



המשרד להגנת הסביבה

מרכז ידע להיערכות לשינויי אקלים בישראל
ICCIC- Israel Climate Change Information Center

מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית



הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
הפקולטה לארכיטקטורה ונינו ערים



אוניברסיטת תל אביב
הפקולטה למדעי החיים
ע"ש בירגי ס. ויז



אוניברסיטת חיפה
University of Haifa

מרכז ידע להיערכות לשינויי אקלים בישראל

דו"ח מס' 1

סקירת ידע קיים

זיהוי פערי ידע ועדיפות להשלמתם

נובמבר 2011

תודות

פרופ' חיים קותיאל, ראש צוות האקלים מבקש להודות לחברי ועדת ההיגוי לנושא שינויי האקלים בישראל על ההשתתפות בשתי ישיבות (ב-15.5.2011 באוניברסיטת חיפה וב-11.7.2011 באוניברסיטת תל-אביב), על הדיונים הפוריים, המידע והמחקרים העדכניים שסופקו וסייעו לגיבוש מסמך זה: ד"ר יעקב אביעד, פרופ' פנחס אלפרט, פרופ' אורי דיין, ד"ר נח וולפסון, ד"ר ברוך זיו, פרופ' אברהם זנגביל, ד"ר יואב לוי, ד"ר מיכל לייכטר, ד"ר אפרת מורין, ד"ר ארנה מצנר, פרופ' הדס סערוני, ד"ר עודד פוצ'טר, מר אבנר פורשפן, ד"ר שלומית פז, פרופ' נתן פלדור, ד"ר דב צביאלי, פרופ' שמעון קריצ'ק.

תודות גם לגב' סיגל קלדרון שאירגנה את פגישות וועדת ההיגוי, סיכמה אותן וריכזה את כל עבודת תחום האקלים במרכז הידע.

פרופ' נורית קליאוט, ראש צוות המים, מבקשת להודות לתודות לחברי ועדת ההיגוי לנושא "השפעת שינויי האקלים על משאבי המים" על הדיונים הפוריים, המידע ומחקרים עדכניים שסייעו בגיבוש מסמך זה.

חברי הוועדה הם ד"ר י' בר-אור, ד"ר ס' נתניהו, פרופ' א' אדר, פרופ' א' איסר, פרופ' ה' ברוינס, ד"ר ע' גבעתי, פרופ' ח' גבירצמן, ד"ר י' גוטמן, ד"ר ג' ווינברגר, מ' זיידה, ד"ר י' ליבשיץ, ד"ר א' מורין, ד"ר ד' מרקל, פרופ' ד' רוזנפלד וד"ר י' שקדי.

תודה מיוחדת לפרופ' פ' אלפרט וד"ר א' רימר על מחקריהם העדכניים ולא' טנא מרשות המים על סיועו בנושא ההתפלה.

פרופ' מנפרד גרין, ראש תחום הבריאות, מבקש להודות לצוות ההגוי פרופ' רפאל כראל, פרופ' שי לין, ד"ר יוני דובנוב, פרופ' בוריס פורטנוב, פרופ' חיים המרמן, ד"ר משה אפרת, פרופ' יורם אפשטיין, הלל ברקוביאר, ד"ר אריק אמסטר, פרופ' דניאל כהן, פרופ' שרה רוזנבלום, ד"ר שלומית פז, ד"ר יצחק זיידס, ד"ר (אל"מ) סלאמן זארקא, תמר יגר, ד"ר עומרי ענבר, ד"ר אורנה מצנר, ד"ר ברוריה עדיני, פרופ' חיים ביבי, ד"ר שירה זלבר שגיא, ד"ר שרה לוי.

ד"ר מרסלו שטרנברג, ראש תחום המגוון הביולוגי וד"ר עפרי גבאי המרכזת את התחום, מבקשים להודות לצוותים שעסקו בהיבטים השונים של המגוון הביולוגי.

צוות מים מתוקים: פרופ' אביטל גזית, פרופ' שריג גפני, ד"ר תמר זוהרי, ד"ר דנה מילשטיין, ד"ר מנחם גורן, ד"ר ירון הרשקוביץ

צוות מערכות יבשתיות: ד"ר ז'ז'ה גרינצווייג, פרופ' יורם יום-טוב ופרופ' יוסף שטיינברגר
צוות מערכות ימיות: ד"ר גיל רילוב, ד"ר דרור אנגל, ד"ר אלוארו ישראל, ד"ר אורית ברנע, ד"ר מנחם גורן

פרופ"ח גדי קפלוטו, ראש תחום הבניה הירוקה, מבקש להודות לשותפים לכתיבת הדו"ח אדר' ויקטוריה בלמן, אדר' תמר בן-יצחק, אדר' גנית קאופמן, אדר' טניה קוגן מהפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים. כמו כן, תודות לאנשי המשרד להגנת הסביבה גב' גלית כהן, גב' גלית פלצור, ואדר' יונתן אלעזר.

פרופ' ארנון סופר, ראש תחום גיאוסטרטגיה, מבקש להודות לד"ר אנטון ברקובסקי, השותף לכתיבת הדו"ח וכן לחברי ועדת ההגוי: מר אילן פלוס, מר גדי ויסמן, ד"ר מנשה דוידזון, מר רפי פלד, מר מאיר אורן, ד"ר משה טרדמן, יובל פלד, מר מייקל הרטל, ד"ר סלמן זרקא, ד"ר נעמה טסלר, פרופ' אמציה פלד, ד"ר איתן ישראלי, ד"ר לאה ויטנברג, פרופ' רפי סמיט, ד"ר עמית מור, ד"ר ארנון גולן ופרופ' יהודה חיות.

פרופ' מרדכי שכטר, ראש תחום הכלכלה, מבקש להודות לד"ר רוסלנה-רחל פלטיניק ולגב' אילת דוידוביץ אשר סייעו בכתיבת הדו"ח, וכן לחברי ועדת ההגוי: ד"ר סיניה נתניהו, מר נחום יהושע, ד"ר משה ינאי, גב' ענבל פריד, גב' הלנה פייטלסון ומר עמיר מקוב.

תודות מיוחדות לפרופ"ח אופירה אילון וגב' אילת דוידוביץ על ריכוז החומר ועריכתו.

AR4 - 4th Assessment Report
BAU- Business As Usual
CC – Climate Change
CGE - Computable General Equilibrium
DICE - Dynamic Integrated model of Climate and the Economy
EACC - The Economics of Adaptation to Climate Change
EEA - European Environment Agency
FAIR - Framework to Assess International Regimes for differentiation of commitments
FDI - Foreign Direct Investment
GDI - Gross Domestic Investment
GDP - Gross Domestic Product
GHG - Greenhouse gases
HHWS - Heat Health Warning Systems
IAM - Integrated Assessment Model
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
ODA - Official Development Assistance
OECD - Organization for Economic Cooperation and Development
PAGE - Policy Analysis of Greenhouse Effect
PPP – Public-Private Partnerships
R&D – Research and Design
RICE - Regional Integrated model of Climate and the Economy
UNDP - United Nations Development Programme
UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change
USD – US Dollar
WITCH - World Induced Technical Change Hybrid model

מט"ש- מתקן טיפול בשפכים
מע"צ- מעלות צלזיוס
מלמ"ש- מיליון מ"ק בשנה
מ"ק- מטר מעוקב
קוט"ש- קילווט שעה
שפד"ן- מתקן הטיפול בשפכי גוש דן
תר"מ- תכנון רגיש למים

תוכן עניינים

3	תודות
5	רשימת קיצורים
6	תוכן עניינים
10	סיכום מנהלים
25	פרק א'- סקירת הידע הקיים
25	1. שינויי האקלים
25	1.1 מבוא
25	1.2 סקירת הידע הקיים בתחום האקלים
25	1.2.1 כללי
26	1.2.2 משטר הטמפרטורות
32	1.2.3 משטר הגשמים
41	1.2.4 הסביבה החופית
44	1.2.5 זיהום אוויר
49	1.3 זיהוי פערי ידע בתחום שינויי האקלים
49	1.3.1 כללי
49	1.3.2 משטר הטמפרטורות
49	1.3.3 משטר הגשמים
50	1.3.4 הסביבה החופית
51	2. השפעת שינויי אקלים על משאבי המים בישראל
51	2.1 מבוא
51	2.2 גורמים פסיים ואקלימיים
51	2.2.1 מגמות נצפות ותחזיות בנוגע לכמויות המשקעים באזורים שונים בארץ
52	2.2.2 שינויים אקלימיים באגן הים התיכון ובמזרח התיכון – ירידה במשקעים
52	2.2.3 כמויות ותפרושת משקעים בישראל
52	2.2.4 שינויים באופי המשקעים, עונתיות, פרקי יובש, עוצמת גשם ושיטפונות: מים עיליים ומי תהום
54	2.2.5 השפעות של שינויים בטמפרטורה, ובנפחי המילוי החוזר על האקולוגיה של הכנרת
55	2.2.6 ההשפעות האפשריות על ניקוז וספיקות שיא בנחלים
55	2.2.7 מגמות ותחזיות לגבי טמפרטורה והתאדות מקרקע ממעיינות, נחלים ומאגרים
55	2.3 גורמים אנושיים
55	2.3.1 טיפול בשפכים וקולחים
56	2.3.2 התפלת מי ים ומים מליחים
57	2.3.3 ניהול נגר עילי, בניה משמרת מים, ותכנון רגיש למים
58	2.3.4 זיהום מי תהום, טיוב בארות ואיכות מי שתייה
59	2.3.5 צריכת מים מאפיינים כלליים
59	2.3.6 צריכה עירונית
60	2.3.7 צריכת מים בחקלאות
61	2.3.8 צריכה בתעשייה
61	2.3.9 אספקת וצריכת מים, בטבע, נחלים
62	2.3.10 מים ואנרגיה
62	2.3.11 מים, גאואסטרטגיה וגאופוליטיקה
64	2.4 סיכום ההשפעות האקלימיות על משק המים

68	3. ההשלכות הבריאותיות של שינויי אקלים, בדגש על ישראל
68	3.1. רקע
69	3.2. ההשפעות הבריאותיות של אקלים
69	3.2.1. כללי
69	3.2.2. השפעות פיזיולוגיות של טמפרטורות קיצוניות
71	3.2.3. עונתיות של מחלות כרוניות
72	3.2.3. עונתיות של מחלות מדבקות
76	3.2.5. סיבות חיצוניות לתמותה ותחלואה
77	3.2.6. גורמים תזונתיים
77	3.3. ההשפעות הבריאותיות של שינויי אקלים
77	3.3.1. השפעות בריאותיות ישירות הנובעות ממצג אוויר קיצוני
78	3.3.2. שינוי סביבתי ואקולוגי
79	3.3.3. טראומה והגירה של אוכלוסיות
79	3.3.4. השפעות פיזיולוגיות של שינויי אקלים
79	3.3.5. מחלות כרוניות ושינויי אקלים
80	3.3.6. מחלות מדבקות ושינויי אקלים
83	3.3.7. סיבות חיצוניות לתחלואה ולתמותה
84	3.3.8. גורמים תזונתיים
85	3.4. שינויי אקלים וקבוצות אוכלוסיה בסיכון
86	3.5. האינטראקציה בין שינויי האקלים לזיהום האוויר והשפעתה על הבריאות
87	3.6. ההשפעות הצפויות של שינויי האקלים על תחלואה ותמותה
87	3.7. ניהול ההשפעות הבריאותיות של שינויי האקלים
88	3.8. פערי ידע בתחום השפעת שינויי האקלים על הבריאות
90	4. השפעות שינויי אקלים על מגוון ביולוגי
90	4.1. מבוא
90	4.2. סקירת מצב הידע הקיים
91	4.2.1. השפעות במערכות אקולוגיות יבשתיות
97	4.2.2. השפעות שינויי אקלים על בתי גידול לחים
98	4.2.3. השפעות במערכות אקולוגיות ימיות
99	4.2.4. השפעות על שירותי המערכת
101	4.2.5. סיכום
102	5. השפעת שינויי האקלים על תחום הבניה הירוקה
102	5.1. מבוא
103	5.2. הפחתה - MITIGATION
103	5.2.1. הפחתה - תכנון מבנים
109	5.2.2. הפחתה: עיצוב עירוני
112	5.3. התאמה - ADAPTATION
112	5.3.1. התאמה - תכנון מבנים
113	5.3.2. התאמה - עיצוב עירוני
116	6. גיאואסטרטגיה ושינויי אקלים
116	6.1. מבוא
117	6.2. מחסור במים
117	6.2.1. המעגל הפנימי - ישראל
117	6.2.2. השלכות של המחסור במים על מדיניות החוץ
118	6.2.3. התרחישים הפוטנציאליים בנושא המים שמגעים לביטחונה הלאומי של ישראל
121	6.3. שינויים במפלס פני הים

121	6.3.1 מעגל פנימי – ישראל
121	6.3.2 עליית מפלס הים ומדינות המעגל הראשון
122	6.3.3 עליית מפלס הים ומדינות המעגל שני
122	6.3.4 עליית מפלס הים ומדינות המעגל השלישי
122	6.4 עלייה בטמפרטורות (התחממות, התייבשות גוברת והגברת אירועי קיצון)
123	6.4.1 עלייה בטמפרטורות - המעגל פנימי
123	6.4.2 עלייה בטמפרטורות - המעגל הראשון
124	6.4.3 עלייה בטמפרטורות - המעגל השני
124	6.4.4 עלייה בטמפרטורות - המעגל השלישי
124	6.5 אפקטים מצטברים של שינויי האקלים
124	6.5.1 שינויי אקלים, תחבורה וגיאופוליטיקה
124	6.5.2 שינויי אקלים ומקורות אנרגיה
126	6.5.3 הגירה וקונפליקטים אפשריים כתוצאה משינויי אקלים
128	6.5.4 שינויי אקלים ומזון בראייה גיאואסטרטגית
129	6.5.5 השפעות של שינויי אקלים על צה"ל ועל כלל מערכת הביטחון
130	6.5.6 שינויי אקלים ומדיניות החוץ הישראלית בהיבט הגיאואסטרטגי
130	6.5.7 שינויי אקלים וביטחון לאומי – השפעות תקציביות
130	6.5.8 פגיעה בתשתיות לאומיות
130	6.5.9 שינויי אקלים ותיירות
131	6.5.10 האסלאם ושינויי האקלים
131	6.5.11 שינויי אקלים ושריפות
132	6.5.12 רעידות אדמה ושינויי אקלים
133	7. היבטים כלכליים של שינויי האקלים
133	7.1 מבוא
135	7.2 רקע
137	7.2.1 סוגי התאמה
139	7.3 סקירת ידע קיים
139	7.3.1 עלות/תועלת (Cost Benefit) של אסטרטגיית ההתאמה
141	7.3.2 גישות לאומדן עלויות התאמה לשינויי אקלים
145	7.3.3 מדיניות התאמה בחלוקה למדינות
146	7.3.4 הערכת עלויות ההתאמה לפי ענפים
150	7.3.5 מחקרים רלוונטיים לישראל בנושא התאמה (Adaptation)
152	7.3.6 שילוב אסטרטגיית התאמה (Adaptation) ואסטרטגיית הפחתה (Mitigation)
160	7.4 סיכום
161	פרק ב- פערי ידע וקדימות להשלמתם
161	1. זיהוי פערי ידע ועדיפות מחקרית בתחום האקלים
162	2. זיהוי פערי ידע ועדיפות מחקרית בתחום המים
163	3. זיהוי פערי ידע ועדיפות מחקרית בתחום הבריאות
164	4. זיהוי פערי ידע ועדיפות מחקרית בתחום המגוון הביולוגי
165	5. זיהוי פערי ידע ועדיפות מחקרית בתחום האקלים ותחום הבניה הירוקה
166	6. זיהוי פערי ידע ועדיפות מחקרית בתחום הגיאואסטרטגיה

169 זיהוי פערי ידע ועדיפות מחקרית בתחום הכלכלה
170 ביבליאוגרפיה
170 1. תחום האקלים - רשימת מקורות
188 2. תחום המים- רשימת מקורות
195 3. תחום הבריאות- רשימת מקורות
217 4. תחום המגוון הביולוגי- רשימת מקורות
232 5. התחום הגיאואסטטרגי- רשימת מקורות
247 6. תחום הכלכלה- רשימת מקורות

סיכום מנהלים

במסגרת פעילות המשרד להגנת הסביבה בישראל להכנת תוכנית לאומית להיערכות ישראל לשינויי האקלים במטרה לגבש מדיניות והמלצות אופרטיביות לצעדים המתחייבים בעקבות שינויי האקלים, באופן שיקטין את הנזקים הצפויים מתהליך ההתחממות. לשם בניית מאגר ידע קיים שעל בסיסו תפותח הצעה לתוכנית לאומית, הוקם במרץ 2011 מרכז הידע הישראלי להיערכות לשינויי אקלים בישראל. עבודת מרכז הידע תשמש בסיס לתוכנית לאומית להיערכות ישראל לשינויי אקלים, בהתאם להחלטת ממשלה מס' 474 שהתקבלה ביוני 2009. יעודו של מרכז הידע הוא לרכז את הידע המדעי הקיים בנושא הייערכות (אדפטציה, adaptation) לשינויי האקלים, לזהות פערי ידע, לתאר את הסיכונים והשלכות שינויי האקלים על תחומים שונים ולהציע מדיניות לאומית במספר תחומים. בנוסף, מטרת מרכז הידע לאגם ידע וטכנולוגיות ישראליות אשר ישווקו ויושמו הן במדינת ישראל (משרדי הממשלה השונים) והן במדינות יעד אחרות. מדיניות ההתאמה לתופעת שינויי האקלים הפכה, לאחרונה, לסוגיית המפתח במו"מ על מדיניות האקלים, לקראת תום תוקפו של הסכם קיוטו ב-2012. הקושי ביישום מדיניות הפחתה לאומית ובינלאומית והמודעות הגוברת לתופעות שינויי האקלים גרמו, בסופו של דבר, לכך שנושא ההתאמה קיבל תאוצה בתחום המדע והמדיניות.

במסגרת פעילות מרכז הידע הישראלי (ICCIC) הוכן דו"ח ראשון זה אשר משקף את מצב הידע הקיים נכון להיום בנושא השלכות שינויי האקלים על מדינת ישראל.

הסקירה המוגשת במסגרת דו"ח זה, מתבססת על מחקרים מדעיים ועבודות מקצועיות מהארץ ומהעולם וכוללת זיהוי פערי הידע המדעי הקיימים ומתן המלצות פרטניות לגבי פערי הידע המיידיים וארוכי הטווח בהם נדרשת השלמה מדעית, כולל תעדוף הנושאים על-מנת לאפשר למשרד להגנת הסביבה ולמשרדי הממשלה האחרים לקבוע קדימויות במחקרים הנדרשים.

תחומי הידע שנסקרו מוגשים בהמשך התקציר בצורה הבאה: ראשית, במסגרת תחום הידע בנושא **אקלים**, מתוארים שינויי האקלים הצפויים בישראל ב-50 השנים הקרובות בחלוקה לעשורים. בהמשך, נבחנות השלכות שינויי האקלים בחלוקה ענפית ממוקדת ב-4 תחומים: **משק המים**, **בריאות הציבור**, **המגוון הביולוגי**, **אופי הבניה העירונית**. לבסוף, נסקר הידע המדעי בשני נושאים רב-תחומיים, ובראיה כוללת של השלכות הדדיות בין ענפים, והם התחום **הגיאואסטרוטגי וכלכלת ישראל**. לצורך הכנת הדו"ח והפעילות השוטפת של המרכז הוגדרו מובילי התחומים השונים והוקמו ועדות היגוי, הכוללות מומחים מהאקדמיה ומהתעשייה בשיתוף נציגי המשרד להגנת הסביבה, שמטרתם להוות צוותי חשיבה רב-תחומיים, התומכים בתהליכי העבודה.

אקלים: חלקה הצפוני של ישראל מאופיין באקלים ים-תיכוני וחלקה הדרומי באקלים צחיח (arid) וביניהם רצועה צרה של אקלים צחיח למחצה (semi-arid). באזור זה של מפגש בין אזורי אקלים שונים, ניכרות תנודות רבות במזג האוויר בעקבות השפעות של מערכות אקלימיות ממקורות בעלי מאפיינים סינפטניים שונים. הדבר בא לידי ביטוי, בין היתר, בשונות רבה במשטר הטמפרטורות ובתנודות במשטר הגשמים – על כל מרכיביו.

דו"ח ה- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) מעריך כי שינויי האקלים הצפוי במאה הקרובה יגרום להתחממות עולמית, כתוצאה מכך, צפויה הטמפרטורה הגלובלית העולמית לעלות ב-1.8 מעלות צלזיוס (מע"צ) עד 4 מע"צ עד סוף המאה ה-21, בתלות בתרחישי פליטת גזי החממה השונים. בישראל, נמצא כי במהלך המאה ה-21 צפויים שינויים ניכרים באקלים ברחבי העולם בדגש על אגן הים התיכון. תחזיות האקלים למדינת ישראל מצביעות על התחממות בשיעור ממוצע שבין 0.4 מע"צ ל-0.8 מע"צ לעשור תלוי באזור ובעונה. באופן כללי ניתן לומר שכמויות המשקעים צפויות לרדת ברוב האזורים, אם כי מגמה זו בלתי מובהקת ברובה. בנוסף, צפויה עלייה בשכיחותם של אירועי מזג אויר קיצוניים, שנות בצורת חריפות, שיטפונות ואירועי שרב.

לשינויים אלה עשויות להיות השפעות משמעותיות על ענפי המשק השונים בדגש על משק המים, ענף הבריאות, המגוון הביולוגי ותחום הבניה העירונית. בנוסף, צפויה השפעה גיאואסטרטגית במספר מעגלים וכן על התוצר הלאומי והרווחה החברתית בישראל.

קיימים שני אופני פעולה מרכזיים כמענה לשינויי האקלים. אופן הפעולה הראשון הינו הפחתה (Mitigation) של התופעה באמצעות כלי מניעה שונים, בעיקר התערבות אנושית להפחתת שימוש במקורות אנרגיה שגורמים לפליטת גזי חממה (GHG). אופן הפעולה השני הינו התאמה של מערכות אנושיות וטבעיות בתגובה לתופעות הנובעות משינויי האקלים, לצורך מיתון הפגיעה בהן (Adaptation). לאור ההבנה כי צעדי ההפחתה הנוכחיים לא ימנעו את שינויי האקלים וכי עליית הטמפרטורה הממוצעת ב-2 מע"צ תתרחש בסבירות גבוהה, יש מקום להיערך באמצעות מגוון של צעדי התאמה.

משק המים בישראל צפוי להיפגע בצורה ישירה משינויי האקלים הצפויים. צפויה הפחתה משמעותית באגן ההיקוות של הכנרת בעקבות הפחתה במשקעים. כבר עתה ניכרת ירידה בעובי המשקעים באגן ההיקוות של הכנרת. כמויות המשקעים באגן מראות שונות גבוהה ונעות בין 300 אחוז בסביבה הצחיחה של האגן ועד ל-50% באזורים היותר לחים. בעשורים האחרונים תועדה ירידה בכמויות המשקעים באזורי ההזנה של מקורות הירדן הניכרת בשפיעת המעיינות הגדולים וירידה בנפח המים המגיעים לכנרת. גם בדרום הארץ נמצאה ירידה מובהקת במשקעים. השינויים באופי המשקעים וריבוי אירועי קיצון יגבירו את השיטפונות והנגר העילי ויפחיתו את ההעשרה של המילוי החוזר. הפער בין היצע המים הטבעי לבין הביקוש למים יושלם על ידי התפלת מי ים ומים מליחים ועל ידי הגברת הטיפול בשפכים והעלאת איכותם כדי להתאימם לכל סוגי הגידולים החקלאיים. עם זאת, התפלה וטיפול בשפכים מצריכים שימוש יקר באנרגיה, פליטת מזהמים קונבנציונאליים ופליטת גזי חממה וכן, יש לכלול גם שיקולים של מניעת זיהום סביבתי וזיהום מקורות המים.

הידע המדעי **במשק המים** מתמקד בהשפעות שינויי האקלים על הפחתה בהיצע המים השפירים בישראל והרעה באיכותם. בנוסף, נכללים גם תחומים אנתרופוגניים - מעשי ידי אדם, המשפיעים על היצע המים בישראל בשל השפעתם המשולבת עם השינויים הפיסיים-אקלימיים.

ענף הבריאות מושפע במספר דרכים מהאקלים- הן באופן ישיר דרך השפעות פיזיולוגיות והן באופן עקיף דרך השפעה על מחלות כרוניות ומדבקות וכן על שיעורי תמותה ותחלואה מגורמים חיצוניים. מנגנון השפעתו של האקלים על מחלות כרוניות אינו ברור לגמרי, אך ידוע כי תנאי מזג אוויר קיצוניים (חום, קור ולחות), מעלים את השכיחות של הופעת מחלות שונות, כגון מחלות קרדיו-וסקולאריות ומחלות נשימתיות. שינויי האקלים משפיעים על זמינותם, נוכחותם והתנהגותם של הווקטורים השונים מחוללי מחלות מדבקות; שינויים אלה באים לידי ביטוי בדפוס עונתי המוצג על ידי רבות ממחלות אלה. בעוד חלק מהגורמים האחראיים לעונתיות זו ידועים, חלק נרחב מהתופעה עדיין אינו מוסבר. גורמים אקלימיים נוספים, כגון רמת הקרינה האולטרה סגולה (קיים קשר בין שינויי האקלים ועליית הטמפרטורות ובין פיחות שכבת האוזון בסטרטוספירה), משפיעים על הופעת מחלות אחרות לדוגמה סרטן וקטראקט. אקלים משפיע גם על שיעורי תמותה ותחלואה כתוצאה מגורמים נוספים, כגון תאונות דרכים, שריפות, מצב תזונתי וכו'.

ענף הבריאות בישראל צפוי להיות מושפע משינויי האקלים בצורה משמעותית. על פי ארגון הבריאות העולמי ישנן שלוש תוצאות בריאותיות אפשריות לשינויי אקלים: ראשית, תוצאות ישירות - המתרחשות לרוב בעקבות מזג אוויר קיצוני. שנית, תוצאות המתרחשות בעקבות תהליכי שינוי סביבתיים ואקולוגיים הנובעים משינויי האקלים. לבסוף, תוצאות הנובעות מטראומה, זיהומים או השפעות תזונתיות ופסיכולוגיות בקרב אוכלוסיות חלשות ומהגרות בעקבות הגירה כלכלית, הנובעת משינויי האקלים. התוצאות הבריאותיות הישירות של שינויי אקלים יבואו לידי ביטוי בעיקר בעליית העוצמה והתדירות של גלי החום והקור ובהתגברות העומס הנוצר על הגוף בעקבותיהם וכן בשינויי דפוס העונתיות והפיזור הגיאוגרפי של מחלות כרוניות ומדבקות שונות. השינויים הסביבתיים והאקולוגיים שיתרחשו כתוצאה משינויי אקלים צפויים להביא לעלייה בשכיחות של תופעות טבע, כגון בצורת ושטפונות, אשר ישפיעו

לרעה ובאופנים שונים על האוכלוסיות הנמצאות באזור (התפרצות מחלות, זיהום מים, פגיעה בתשתיות סניטריות וכו'). כלל ההשפעות הבריאותיות הצפויות של שינויי האקלים, כפי שפורטו למעלה, עשויות לכפות הגירה ונדידה של אוכלוסיות אנשים ובעלי חיים שונים (ובניהם גם בעלי חיים המשמשים כווקטורים מעבירי מחלות) לחלקים שונים בעולם. תהליך זה עלול להביא גם הוא לשינויי בהתפלגות הגיאוגרפית של המחלות השונות.

בהיבט **המגוון הביולוגי**, שינויי אקלים גלובליים צפויים להביא לשינויים משמעותיים ביחסי הגומלין בין מינים ובתפוצתם הגיאוגרפית, תוך השלכות על המגוון הביולוגי ועל אספקת שרותי המערכת. הדבר נכון הן לאקוסיסטמות של מים מתוקים ביבשה (כולל נחלים, מקווי מים עונתיים, מעיינות והכנרת), אקוסיסטמות ימיות (מפרץ אילת והים התיכון) והן לאקוסיסטמות יבשתיות. חשוב לציין, כי למרות שהביטה באזורנו מותאמת לתנאים של חוסר ודאות אקלימית, הפחתה נוספת בכמות המשקעים ובסדירותם יכולה להביא לשינויים קריטיים במערכת האקולוגית ובתפקודה, בעיקר באזור המדברי הצחיח.

בנושא **המגוון הביולוגי** ניתן לציין כי למרות שבעשור האחרון הולך וגדל מספר המחקרים העוסקים בהשפעות עתידיות של שינויי האקלים על החי והצומח ועל תפקוד המערכות אקולוגיות, מספר מועט ביותר של מחקרים נעשו בנושא זה בישראל. הסקירה מציגה את הידע הקיים בנוגע להשפעות שינויי אקלים על המגוון הביולוגי באזורים ים תיכוניים בעולם תוך דגש על מחקרים שנעשו בישראל ובחופיה. המחקרים המעטים שבדקו השפעות שינויי אקלים על עושר ומגוון מינים בישראל, מציגים תוצאות שאינן חד-משמעית ומשתנות לפי הקבוצה הנחקרת. מספר המחקרים שבדקו השפעות שינויי אקלים על מערכות מים מתוקים הוא נמוך במיוחד, כנראה משום שבמערכות אלה האיום העיקרי הוא לחץ פעילות האדם. שינויי אקלים יגביר את הלחץ על מערכות אלה, ובכך יחמיר את הדרדרון במצבן. מודל לחיזוי השפעות שינויי אקלים על טווח התפוצה של מינים חוזה שבעקבות עליית הטמפרטורות ישתנו תחומי התפוצה של מינים והם יזוזו לאזורים בהם יהיה טווח טמפרטורות הדומה לזה בו הם מתקיימים כיום. אחת ההשלכות של שינויי טווח התפוצה של מינים עשויה להיות התפשטות של פרוקי-רגליים טרופיים והגברת ההפצה של מחלות המועברות באמצעותם. אוכלוסיות הנמצאות באזור המעבר מאקלים ים תיכוני לאקלים המדברי מאופיינות במגוון גנטי גבוה ולכן אזורים אלה הינם בעלי חשיבות לשמירת מגוון ביולוגי בעידן שינויי אקלים. הבדלים בהרכב הגנטי בין אוכלוסיות מבתי גידול בתנאים סביבתיים שונים יכולים לשמש לשימור המין תחת תנאי עקה. ניתן להניח השפעה קטנה יחסית על יצרנות ראשונית (מרעית) באזורי מרעה. במערכות ימיות, הסקירה מדגישה השפעה חזקה של מינים פולשים בים התיכון, תופעה שככל הנראה צוברת תאוצה עם התחממות מי הים. השפעה משמעותית נוספת היא הרס של טבלאות הגידוד החופיות. האיום העיקרי למערכת במפרץ אילת הוא הלבנת האלמוגים המהווים את הבסיס למערכת האקולוגית של השונית.

תחום **הבניה הירוקה** נתפס לרוב כתחום בו ניתן למנף הפחתה (mitigation) של פליטות גזי חממה, שכן, סקטור המבנים אחראי לכ-40% מצריכת האנרגיה העולמית וכשליש מפליטות גזי החממה. אולם, שינויי האקלים הצפויים מחייבים גם שינויי תפיסתי מבחינת התאמת הערים והמבנים (הצללה, חשיפה לרוח, נוחות תרמית בבניינים, התאמה לאירועי קיצון כמו הצפות או עליית מפלס המים ועוד). סקטור זה הוא גם בעל הפוטנציאל הגדול ביותר להפחתות משמעותיות וכדאיות בצריכה ובפליטות. אורך החיים של מבנים הוא ארוך יחסית ולכן פעולות שנעשות כיום הן בעלות השפעה על כמות הפליטות לטווח הזמן הבינוני והארוך. המערך העירוני הוא בעל השפעה רבה על יצירת מיקרו-אקלים בעיר - מורפולוגית העיר ואוריינטצית הרשת האורבנית משפיעות על הצללה וחשיפת הרחובות והשטחים הפתוחים לשמש ולרוח, אך יחד עם זאת על אגירת החום. כמו כן, יש להתייחס לגורמים אלה בעת שילוב מערכות סולריות להפקת אנרגיה בבניינים (חימום מים, תאים פוטו-וולטאים, מיקרו טורבינות רוח) - למערך העירוני השפעה מכרעת על יעילות מערכות אלה. ערים יכולות להפחית את כמות הפליטות של גזי חממה תוך התמודדות עם בעיות סביבתיות נוספות כגון זיהום אוויר, פסולת ותחבורה, ופיתוח כלכלי מקומי ע"י קידום שימוש במקורות אנרגיה אלטרנטיביים מחד גיסא, וקידום עיר מתוכננת טוב יותר

המצמצמת זחילה עירונית ופרבור, מעודדת עירוב שימושים, בניינים ירוקים ותחבורה ציבורית טובה יותר, מאידך גיסא.

בראיה הרב-תחומית בתחום **הגיאואסטרטגי**, קיימת התייחסות לשלוש תופעות עיקריות הנובעות משינוי אקלים, שעומדות בבסיסן של המשמעויות הגאואסטרטגיות לישראל: מחסור במים, עליית מפלס פני הים, עלייה בטמפרטורות (התחממות), התייבשות גוברת והגברת אירועי קיצון) ובנוסף עליהן, נושאים משולבים שיושפעו מאפקט מצטבר של שינויי האקלים. ההשפעה משליכה על מגוון רחב של נושאים גיאואסטרטגיים, בהתאם למספר מרחבים גיאוגרפיים: מעגל פנימי, מעגל המדינות השכנות, מעגל המדינות המוסלמיות-ערביות הסמוכות למעגל הראשון ויתר מדינות העולם. נמצא, כי לשינויי האקלים יהיו השפעות מרחיקות לכת על ישראל, אם כי קיימים פערי ידע שיש להשלימם. בין הנקודות החשובות ביותר בנושא זה ניתן למנות את שינוי מאזן הכוחות הגיאואסטרטגי, משק המים, ההגירה בישראל (לתוכה, סביבה, או דרכה), צריכת אנרגיה מוגברת, תחום המזון, מערכת הביטחון ועוד.

בתחום **הכלכלה**, שינויי האקלים עלולים להשפיע בין היתר על הכלכלה העולמית בכלל ועל הכלכלה הישראלית בפרט. קיימים מספר מחקרים אשר אומדים את הנזק הכלכלי של שינויי אקלים ללא פעולות הפחתה ו/או התאמה ומצביעים על שינויים בתוצר העולמי הגולמי בהתאם לשינוי הצפוי בטמפרטורה הממוצעת. נזק זה נאמד בכ- 0.5% לשנה במחצית המאה הנוכחית וגדל לכ- 1-5% לשנה עד סוף המאה הנוכחית ולאחריה.

עלויות התאמה, הפחתה ונזק של שינויי האקלים קשורות האחת בזולתה. ככל שצעדי התאמה נרחבים יותר, כך הנזק קטן וקטן הצורך בצעדי הפחתה. מאידך ככל שההפחתה רחבה יותר, השינויים האקלימיים פחות דרסטיים ועלויות התאמה קטנות.

ניתן לציין כי קיימת פעילות מחקרית ענפה בניסיון להעריך כלכלית את פעולות ההתאמה ברמה העולמית. אולם מרבית המחקרים מעריכים עלויות התאמה ברמה עולמית אגרגטיבית או לפי איזורי פיתוח ולא ברמה של מדינה וענף. לרוב, מחקרים אלה באים להצביע על עלויות התאמה גבוהות במדינות מתפתחות ביחס למדינות מפותחות. על כן קשה ללמוד מספרות זו על עלויות התאמה הצפויות למדינה מפותחת קנה כמו ישראל. מחקר בנושא המתמקד על ישראל לא נמצא בספרות. מרבית המחקרים הכלכליים ברמת הענף עוסקים בתופעת עליית פני הים או בענף החקלאות ואילו עבור ענפים אחרים המידע המחקרי מצומצם. מספר מחקרים הכלכליים מבוצעים בשיטת ה- Top-Down, תוך שימוש במודלים מסוג CGE (Computable General Equilibrium) או IAM (Integrated Assessment Model). מודלים אלו משמשים להערכת העלות של תוכניות הפחתה של פליטות גזי חממה, עלויות הנזק של שינויי האקלים או התאמה לשינויים אלה. מחקרים בנושא התמודדות עם השפעות שינויי אקלים על כלכלת ישראל הינם מעטים. ביניהם, ניתן להצביע על מחקרים כלכליים שבוצעו בשנים האחרונות בישראל אשר בחנו את השפעת שינויי האקלים על ישראל, תוך התמקדות בענף בודד כמו החקלאות, וכן מחקרים שאמדו את עלויות תמריצים כלכליים להפחתת פליטות גז"ח.

באופן כללי ניתן לחלק את הפרסומים לשתי קבוצות עיקריות: הראשונה, מחקרים המתעדים שינויים שנצפו במשתנים אקלימיים שונים בתקופות שונות ובאזורים שונים. מחקרים אלו מבוססים בדרך כלל על ניתוחים סטטיסטיים של מדידות. הקבוצה השנייה כוללת מחקרים מבוססי תרחישי בוחן לגבי מגמות ההשתנות של פרמטרים אקלימיים בעתיד בהתאם למודלים או על בסיס הנחות לגבי המשך מגמות השינוי שנמצאו במחקרים בקבוצה הראשונה. **יש להדגיש שעל-אף מספר המחקרים הגדול מאוד שהתפרסם, הסינתזה ביניהם קשה ביותר ואף בלתי אפשרית וזאת מפאת השונות בנתונים, בשיטות ניתוח ובתקופות המחקר.** בהתאם לאמור לעיל, ניתן להסיק כי **פערי הידע** המחקריים לגבי השפעת תופעת שינויי האקלים על כלל התחומים הינם רבים ומגוונים. במשק המים, יש להתייחס לנושאים של שונות במשקעים (כמות, פריסה, אירועי קיצון) והשפעתם על המילוי החוזר, השפעות עליית הטמפרטורות על התאדות לסוגיה ועל איכות מים, שכיחות בצורות, ניטור נגר עילי, ביטחון מים ומזון, ובמערכות העירונית: חיסכון ופחת. בענף הבריאות, הפערים המרכזיים באים לידי ביטוי בעיקר בתחומים

של השפעת שינויי אקלים על מחלות לב, מחלות נשימתיות, סרטן וקטראקט, מחלות מדבקות שמועברות באמצעות מזון ווקטורים. לגבי תחום המגוון הביולוגי, קיים קושי אמיתי להעריך את ההשפעות של שינויי אקלים על מערכות אקולוגיות לאור המחסור בידע המבוסס על מחקר אמפירי. בתחום הכלכלי הרב-תחומי מצביעה הסקירה על פערי הידע בנושאי הערכה אמפירית של עלויות ההתאמה בישראל, מחקרים כלכליים-ענפיים, מחקרים כמותיים מבוססי מודלים של אסטרטגיית התאמה, וחקירת נושא אי-הודאות בתופעת שינויי האקלים והשפעתו על הערכות העלות ובחירת המדיניות, כולל סקטור הביטוח.

בנוסף, קיימים תחומים נוספים, אשר טרם טופלו במסגרת מרכז הידע ולהם פוטנציאל פגיעות משינויי האקלים מחד גיסא, והשפעות על המשק הישראלי, מאידך גיסא, כגון משק האנרגיה והחשמל, החקלאות, התיירות, התחבורה ועוד, שאי טיפול בהם יקשה על קבלת תמונה מלאה וכוללת.

לסיכום, מסמך זה כולל סקירה מקיפה בתחומי הידע המרכזיים בנושא שינויי אקלים, ומיועד להוות בסיס נתונים ראשוני לצורך המשך הפעילות המחקרית-מדעית בנושא, בסיועם של צוותי ההיגוי הייעודיים שהוקמו. המשך הפעילות נדרש לצורך הגדרת מדיניות הפעולה של מדינת ישראל בכל תחום והיערכות לביצועה בעיתוי הנדרש, תוך הקניית האמצעים הניהוליים והתקציביים ע"י מקבלי ההחלטות.

סיכום דו"ח 1 במבט חטוף

אקלים		
צפי לשינוי	השפעות מהותיות	פערי ידע מרכזיים
כמות גשם שנתית	ירידה לא מובהקת של כ-1.1-3.7% לעשור בממוצע	• משטר הגשם
מספר ימי גשם	ירידה לא מובהקת של 1-2.5 ימים לעשור	הקשר בין הטמפרטורה לגשם
אורך פרקי גשם	התקצרות לא מובהקת	תרחישים לגבי מרכיבים שונים של משטר הגשם
פרקי יובש	התארכות פרקי היובש בעונה הגשומה, מובהקת במרבית התחנות	- השפעת עליית הטמפרטורה על משטר הגשם
אורך עונת הגשם	התקצרות עונת הגשם בשיעור של 3-4 ימים לעשור. ניכרת יותר באביב, מובהקת רק במספר תחנות.	- Downscaling לגבי מספר פרקי הגשם
אי וודאות	עליה לא מובהקת	- Downscaling לגבי יבול פרקי הגשם
טמפרטורה שנתית ממוצעת	עליה מובהקת בשיעור שבין 0.3°C ל-0.5°C לעשור.	
טמפרטורה ממוצעת בקיץ	עליה ממוצעת בשיעור 0.4°C לעשור	
טמפרטורה ממוצעת בחורף	עליה ממוצעת בשיעור 0.3°C לעשור	
משרעת שנתית ממוצעת	עליה ממוצעת בשיעור 0.1°C לעשור	
טמפרטורת מקסימום יומית ממוצעת בקיץ	עליה מובהקת ברוב התחנות בשיעור שבין 0.3°C ל-0.6°C לעשור.	
טמפרטורת מינימום יומית ממוצעת בקיץ	עליה מובהקת בשיעור שבין 0.5°C ל-1.0°C לעשור.	
טמפרטורת מקסימום יומית ממוצעת בחורף	עליה מובהקת בשיעור שבין 0.1°C ל-0.5°C לעשור.	
טמפרטורת מינימום יומית ממוצעת בחורף	עליה מובהקת בשיעור שבין 0.1°C ל-0.6°C לעשור.	
משרעת ממוצעת יומית	עליה מובהקת בהרים בשיעור שבין 0.2°C ל-0.3°C לעשור. ירידה מובהקת במישורים בשיעור שבין 0.2°C ל-0.6°C לעשור.	
גלי חום (> 33 °C)	עליה בשכיחות ובעוצמה	
גלי קור ואירועי קרה (< 5 °C)	ירידה בשכיחות בשיעור של 10%-1% לעשור.	
אי וודאות	עליה	
עומס חום	העליה הגדולה ביותר בקיץ בשיעור ממוצע שבין 0.6°C ל-0.7°C לעשור (משמעותה עלייה במדרגת עומס חום שלמה בשלושים שנה).	

מים				
תחום	צפי לשינוי	השפעות מהותיות	השפעות משניות	פערי ידע מרכזיים
משקעים	ירידה בכמות המשקעים באזורים ההרריים בצפון הארץ.	ירידה בספיקת הירדן; ובנפח המים בכנרת; מחסור במים.		<ul style="list-style-type: none"> מודלים: Downscaling של אזורים בעלי חשיבות למשק המים. מודלים הקושרים נפח גאות, כמות גשם, פרישתן והשפעתם על נפח נגר יחסית לגאות. היערכות: לאלו תרחישים יש להיערך לאור השונות במצאי המודלים. התאדות: חיזוי ותרחישי התאדות מהקרקע אירועי קיצון של משקעים והשפעתם על קרקע, חלחול והמילוי החוזר ניטור נגר עירוני אגירה בחינה של כדאיות אגירה-עילית לעומת החדרה למי התהום. מודלים לחיזוי מילוי חוזר באקוויפרים בעשורים הקרובים (כולל השפעות תכסית). בצורת יצירת אינדקס בצורת ישראל השפעות אנתרופוגניות פיתוח שיטות לצורך הבחנה בין השפעות של שינוי אקלים גלובלי על משק המים לבין השפעות אנתרופוגניות מקומיות זיהום מי תהום
	ירידה בכמות המשקעים בדרום הארץ.	אקלים ארידי יותר, יותר התאדות, יותר דיות, מחסור במים.	קריסה של אקוסיסטמות בנגב	
טמפרטורה	חשש להפחתה במילוי החוזר באקוויפרים – מחסור במים.			<ul style="list-style-type: none"> בחינה של כדאיות אגירה-עילית לעומת החדרה למי התהום. מודלים לחיזוי מילוי חוזר באקוויפרים בעשורים הקרובים (כולל השפעות תכסית). בצורת יצירת אינדקס בצורת ישראל השפעות אנתרופוגניות פיתוח שיטות לצורך הבחנה בין השפעות של שינוי אקלים גלובלי על משק המים לבין השפעות אנתרופוגניות מקומיות זיהום מי תהום
	שינויים באופי המשקעים, פרקי יובש ושיטפונות	עליה בשיטפונות, גידול עילי ושיטפונות בנחלים, נזק לרכוש לאקוסיסטמות, פעילות כלכלית וחי"אדם.		
שפכים	עליה בטמפרטורות והתאדות	גידול בהתאדות בכל גופי המים כולל מאגרים; עליה בתדירות הבצורות בדרום.	שינויים אקולוגיים בכנרת; צורך בהגדלת ההשקיה.	<ul style="list-style-type: none"> קביעת הגבול שבו מים שפירים חדלים להיות שפירים לכל אחד ממקורות המים הטבעיים. צריכת מים עירונית מדדים להצלחה וכישלון של מבצעי הסברה לחיסכון. בחינה של מדדי פחת ושיפורים. חקלאות, סביבה, בטחון הגדרת ביטחון מזון (כולל מלאי חירום).
	שפכים וקולחים – גידול בכמות, שיפור באיכות, שימוש במים אפורים.	זיהום קרקע ומי תהום; תוספת מלחים למי התהום; חשש מבעיות תברואתיות.	צריכת קרקע למאגרים; מט"שים ומאגרים; קשיים חוקיים ותכנוניים; הפחתה בצריכת המים שפירים בחקלאות.	
נגר עילי	התפלת מי ים ומים מליחים – הגדלת היצע.	הגדלת היצע המים ללא תלות גאואסטרטגית, הגדלת פליטת גזי חממה; עלות גבוהה לצרכנים.	טיב המים בחקלאות; הפחתת זיהום קרקעות ומי תהום במלחים; סילוק תמלחות.	
	נגר עילי – גידול בנגר עילי במיוחד באזורים מעוררים, הצפות בשטחים חקלאיים.	אובדן מי שאינם מחלחים לאוגר, מניעת נזקי הצפות.	שילוב מי נגר בגנים ופארקים, שימור מי נגר בנחלים.	

בריאות			
צפי לשינוי	השפעות מהותיות	השפעות משניות	פערי ידע מרכזיים
עליית טמפרטורה ממוצעת	<ul style="list-style-type: none"> שינוי דפוס התחלואה במחלות כרוניות-עליית שיעור תחלואה ותמותה ממחלות לב התארכות עונת הפעילות והרחבת הפיזור הגיאוגרפי של וקטורים המעבירים מחלות זיהומיות-התגברות התחלואה במחלות זיהומיות-רלוונטי במיוחד לישראל 	<ul style="list-style-type: none"> עליה בעומס על גוף האדם כתוצאה מהצורך לשמור על טמפרטורת גוף קבועה 	<ul style="list-style-type: none"> ישנה אי וודאות בנוגע לעוצמת ההשפעה של שינויי האקלים על ההיארעות הסתבכות קרדיו-וסקולרית כתוצאה מאירועי מזג אוויר קיצוני וממחלות מסוימות שעוברות מוקטורים לבני אדם. מחלות ה-vector born, הן מחלות מולטי-פקטוריאליות, קשה לדעת מהי התרומה היחסית של כל פרמטר, ובכלל זה משתנים אקלימיים, לתוצאת המחלה הסופית.
עליית העוצמה והתדירות של טמפרטורות קיצון	<ul style="list-style-type: none"> עליה במספר מקרי מכות החום/ההיפו-תרמיה. 	<ul style="list-style-type: none"> עליה בעומס על גוף האדם כתוצאה מהצורך לשמור על טמפרטורת גוף קבועה 	<ul style="list-style-type: none"> למקד את המחקר על מערכות התראה של גילוי מוקדם ואמצעי תקשורת אשר מכוונים בעיקר עבור קבוצות ספציפיות שנמצאות בסיכון מוגבר לתחלואה לבבית שקשורה לשינויי אקלים
התארכות פרקי הזמן של טמפרטורות קיצון	<ul style="list-style-type: none"> התארכות עונת הפעילות של וקטורים המעבירים מחלות זיהומיות-התגברות התחלואה במחלות זיהומיות-רלוונטי במיוחד לישראל 	<ul style="list-style-type: none"> עליה בעומס על גוף האדם כתוצאה מהצורך לשמור על טמפרטורת גוף קבועה 	<ul style="list-style-type: none"> ידוע כי התחממות החורף תגרום להארכת זמן פעילות הוקטורים. לא ידוע כיצד תשפיע על הנגיפים עצמם. רלוונטי במיוחד לישראל קיימים פערי ידע בנוגע להשפעה של שימוש מחודש או מוגבר בחומרי הדברה וקטלי עשבים; יש להעריך את היקף העלייה בשימוש בחומרי הדברה
התגברות הלחות	<ul style="list-style-type: none"> התרבות בתי הגידול של יתושים ווקטורים אחרים המעבירים מחלות זיהומיות-התגברות התחלואה במחלות זיהומיות רלוונטי במיוחד לישראל 	<ul style="list-style-type: none"> החמרה במחלות כרוניות 	<ul style="list-style-type: none"> ישנם פערי ידע ביחס לשינויים בטמפרטורה, משקעים ובמשתני מזג אוויר אחרים שעשויים להשפיע על הטווח הגיאוגרפי וההיארעות של תמותה ותחלואה ממחלות נשימתיות יש לבנות את מערכת הניטור עבור וירוס הנילוס המערבי ומחלות אחרות המועברות על ידי וקטורים בצורה טובה יותר על ידי שיפור הרגישות, כך שתהיה בעלת יכולות טובות יותר לגלות את מחזוריות המחלות בשלב מוקדם.
החמרה בזיהום האוויר	<ul style="list-style-type: none"> עליית תחלואה ותמותה ממחלות נשימה כרוניות 		<ul style="list-style-type: none"> מחקר יעיל דורש פיתוח של מאגר נתונים ארוכי טווח על ההיארעות וההימצאות של מחלות בדרכי הנשימה, בנוסף למשתנים סביבתיים וחברתיים שקשורים אליהם יש להשתמש בשיטות סטטיסטיות מתאימות, כדוגמת רגרסיה רבת-רמות וניתוח נתיבים (Path) analysis עבור הערכת הקשרים בין המשתנים ובין תוצאות בריאותיות נשימתיות על מנת לחקור מתווכים אפשריים של אותם קשרים
עליית השכיחות של תופעות/אסונות טבע (בצורת, שיטפונות)	<ul style="list-style-type: none"> התפרצות מחלות, זיהום מים, פגיעה בתשתיות סנטריה 	<ul style="list-style-type: none"> הגירה כפויה של אוכלוסיות ופיזור גיאוגרפי של מחלות שונות איתן 	

מגוון ביולוגי			
צפי לשינוי	השפעות מהותיות	השפעות משניות	פערי ידע מרכזיים
שינוי תחומי התפוצה של מינים לאזורים בהם יהיה טווח טמפרטורות הדומה לזה בו הם מתקיימים כיום	שינוי הרכב חברות החי והצומח		<ul style="list-style-type: none"> תחזיות לגבי שינוי דגמי תפוצה של מינים תחזיות לגבי שינויים בתצורת הצומח ובהרכב המינים והמגוון של הצמחיה באזורים שונים
	הכחדה של מינים בקצה גבול התפוצה		<ul style="list-style-type: none"> הערכה של איומים על מינים נדירים הערכה של פוטנציאל שימור ex situ תחת שינוי אקלים הערכה של פוטנציאל שימור in situ
	הגברת כניסה של מינים פולשים		<ul style="list-style-type: none"> זיהוי מינים פולשים שפגיעתם משמעותית במיוחד במערכות אקולוגיות טבעיות בישראל זיהוי דרכים לצמצום כניסה של מינים פולשים פיתוח שיטות לדיכוי מינים פולשים זיהוי מזיקים העשויים להתפשט בעקבות שינוי אקלימי
	שינוי טווח התפוצה של גורמים מעבירי מחלות (חרקים ואלרגנים)		<ul style="list-style-type: none"> השפעות שינוי אקלימי על התנהגות פתוגנים ופרזיטים בצמחים ובעלי-חיים ודרכים לטפל בהם השפעות שינוי אקלימי על תפוצת אלרגנים
שינוי תזמון מחזורי החיים של צמחים ובעלי חיים	שינוי באינטראקציות בין-מיניות	הקדמת הנדידה של ציפורים נודדות	<ul style="list-style-type: none"> השפעת שינוי אקלים על פנולוגיה של צמחים ובע"ח תחזיות לגבי השפעות על האבקה והפצת זרעים
התייבשות רחבת היקף של צומח מעוצה	ירידה משמעותית בייצור הראשוני של המערכת וירידה במגוון הצמחים ובעלי החיים		<ul style="list-style-type: none"> עמידות של מיני מפתח בחורש הים תיכוני לשינויי האקלים הצפויים (אורן ירושלים, אלון מצוי, אלון תבור) הערכת ערכי סף של משתני האקלים השונים (טמפרטורה, משקעים, התאיידות), העשויים לערער יציבות של בתי גידול שונים
הגדלת הסיכון לשריפות	תדירות גבוהה של שריפות תשנה באופן מהותי את החורש הים-תיכוני		<ul style="list-style-type: none"> השפעות שינוי אקלימי על תדירות ועצמת שריפות יער וחורש השפעות שריפות חוזרות על המגוון הביולוגי במערכות יער וחורש
הגדלת הלחץ על בתי גידול של מים מתוקים	זרדור נוסף במצבם של בתי גידול רגישים אלה ואף אבדן שלהם		<ul style="list-style-type: none"> השפעה על תנאים פיסיים ועל תפקוד אקולוגי הסדרת נחלים בדרך שתשמר את התפקוד האקולוגי שלהם שימוש בקולחים לשיקום נחלים
הרס של טבלאות הגידוד בחופי הים התיכון	אבדן המינים המאכלסים בתי גידול אלה		<ul style="list-style-type: none"> פיתוח כלים לשיקום מערכות אקולוגיות פגועות
גידול נוסף במספר המינים שמוצאם מים-סוף במי הים התיכון			<ul style="list-style-type: none"> הבנת המבנה של מערכות אקולוגיות ימיות כדי לחזות שינויים כתגובה לשינויים באקלים או כתוצאה מפלישות מינים אקזוטיים הבנת השפעות של שינויים אקולוגיים-אקלימיים-הידרוגראפיים על ריבוי, התרבות, שיפעה וזמינות לדיג של אורגניזמים ימיים.
הלבנת האלמוגים במפרץ אילת	הרס המערכת האקולוגית של השונית		<ul style="list-style-type: none"> פיתוח כלים לשיקום מערכות אקולוגיות פגועות
שינוי ביכולת המערכות הטבעיות לספק את "שירותי המערכת"		בשלב ראשוני לא צפויה ירידה משמעותית בכמות המרעית הזמינה באזורים לחים	<ul style="list-style-type: none"> הערכה של שירותי המערכת האקולוגית שמספקות המערכות הטבעיות בישראל השפעות תסריטים שונים של שינוי אקלים על תפקוד האקוסיסטמה

בניה ירוקה			
פערי ידע מרכזיים	השפעות משניות	השפעות מהותיות	צפי לשינוי (בהתאם להערכות של תחום אקלים)
<ul style="list-style-type: none"> אמצעים לקידום תכנון ביו-אקלימי ובנייה ירוקה להשגת תנאי נוחות בתנאים של טמפרטורות עולות שיפוץ אנרגטי של בניינים פיתוח הנחיות תכנון לסוגי בניין נוספים מעבר לקיימים כיום טכנולוגיות חדישות לחיסכון באנרגיה בחינת השפעתן על צריכת האנרגיה בבניין ועל אקלים הרחוב והעיר 	הגברת צריכת אנרגיה	<p>נוחות תרמית בבניינים</p> <p>עליית צריכת אנרגיה לקירור ושינוי הרכב צריכת אנרגיה בבניין</p> <p>עלייה בכמות הפליטות וזיהום אוויר</p>	עליה בטמפרטורה
<ul style="list-style-type: none"> פיתוח מודלים לאקלים אורבני בקנה מידה בנייני חקירת נוחות תרמית בתנאים משתנים – עבודה בתנאי חוץ בטמפרטורות עולות 		נוחות תרמית ברמת השטחים הפתוחים והעיר	
<ul style="list-style-type: none"> פני העיר בתנאים של עליית מפלס המים חללים ימיים כחללים אורבניים גמישות תכנונים של מבנים, מבנים צפים וכו' 	פגיעה במבנים ובחללים עירוניים	עליית מפלס המים	
	פגיעה במקורות מים ואיכותם	מדבור	
<ul style="list-style-type: none"> תכנון עירוני למצבי קיצון הגנה חופית מפני שיטפונות, מערכת ניקוז עירונית, הגנת אוכלוסייה לאורך קו החוף תכנון אדריכלי למצבי קיצון התאמה לתנאי אקלים משתנים, חיזוק בניינים ואלמנטים בנייניים 		הצפות ושיטפונות	אירועי קיצון
	מגבלות פינני ממשלתיים	שריפות	

גיאואסטרטגיה			
פערי ידע מרכזיים	השפעות משניות	השפעות מהותיות	צפי לשינוי
<ul style="list-style-type: none"> • אין תחזית כמותית מוכחת המצביעה על הפחתת ספיקות המים בישראל ובמעגלים השונים בין היתר: • חסר ידע על משטר המים הצפוי, השפעה על החברה והכלכלה הישראלית, על פיזור אוכלוסייה וחוסן לאומי • חסר ידע עדכני ביותר על ספיקות הנילוס, הפרת והחידקל בהקשר של מאזן הכוחות הגיאואסטרטגי בין מדינות אגן הנילוס, ובין הפרת והחידקל. במקרה של נילוס חשוב לקחת בחשבון את הופעתה של מדינת דרום סודן; במקרה של פרת וחידקל חשוב לנתח את מעמדה ההידרו-אסטרטגי המתחזק של טורקיה. • יש לבדוק את מצבה של אתיופיה לאור השמועות על בצורת חדשה בגבול קניה-סומליה והקו הניצי שלה מול מצרים בעניין זה. • יש לבדוק האם הגירה מאפריקה היא תוצאה של מחסור במים, אולי יש לה רקע אחר, או שקיים שילוב של גורמים? 	<ul style="list-style-type: none"> • סיוע גובר במים לירדן ולפלשתינים. • שריפות רבות יותר, שיטפונות רבים יותר. • משברי מחסור במזון ברחבי העולם. • אי יציבות גוברת בכל העולם. 	<ul style="list-style-type: none"> • גלי הגירה גוברים לישראל – בעיקר מגבול מצרים, אך גם מירדן ויתר הגבולות. • משברי מים במצרים ירדן, סוריה, שישליך על התערעות היציבות בגבולות עם ישראל. • התעצמות יחסית של תורכיה במרחב. • ישראל כגורם מסייע לקהיליה הבינלאומית: התפלה, חקלאות, הנדסה ועוד • הרעה ביחסי מצרים למדינות הנילוס הדרומיות. • הגברת אי היציבות בעיקר בארצות מוסלמיות סביב ישראל ב-2 המעגלים. • הגברת השימוש באנרגיה בשל התפלה רבה וצינון. • קשר בין מחסור במים להתייבשות-להלן. 	מחסור במים
<ul style="list-style-type: none"> • אין מספיק ידע לגבי ישראל והמעגלים השונים בנושא התחממות שתוביל להתייבשות • אין מחקרים בנושא של מינהור (שימושים שונים, עלות חפירה ותחזוקה, בטיחות וכו'). כללית, יש לחקור את האפשרות של "הירידה אל מתחת לפני הקרקע" כאסטרטגיה רבת, מה שעונה על עוד צרכים של ישראל: חיסכון בשטחים ותחומי ביטחון. • שריפות – כרגע מתבצע מחקר רחב היקף והיערכות מדינית בנושא לאור השריפה בכרמל ב-2010. עם זאת חסרים מודלים מתמטיים שיוכלו לנבא את המגמות הצפויות וגם להתמקד במקרים לוקאליים. בנוסף, חסר ידע המחבר בין שריפות ושינוי אקלים: שריפות שפורצות בקרבה לגבולות ישראל ומאיימות עליה (פלסטינים, לבנון, סוריה); או מחקרים על שריפות שפוגעות בהסוואת מתקנים צבאיים ובביטחונם 	<ul style="list-style-type: none"> • הגברת אי-יציבות בארצות סביב ישראל (ב-2 המעגלים). 	<ul style="list-style-type: none"> • פגיעה בכל ענפי המשק בישראל, מערכת הביטחון, נוף צחיח, מחלות, שיטפונות, הגירות (בפנים) ולתוך ישראל, ריבוי שריפות. • פגיעה באיכות החיים בישראל, בעיקר בדרומה. • הגברת השימוש באנרגיה לצינון והתפלה 	התחממות, התייבשות, הגברת מצבי קיצון

<ul style="list-style-type: none"> • אי יציבות בהרבה ארצות השוכנות לחופים ימיים. • מכה כואבת במיוחד למדינות מוסלמיות, כמו בנגלדש, פקיסטן, עיראק וחופי אירן בים הפרסי. • אי יציבות גוברת בעולם <p>• נקודות חשובות שחסר עליהן מידע וחשוב לחקור: ביטחון הנמלים, המפעלים והמתקנים הצבאיים לאורך החופים (רמת עדיפות בינונית).</p> <p>• יש פערי ידע בנוגע לתחזיות מימדי עליית הים והצפתה של הדלתא המצרית. עניין זה הוא אחד הדרמטיים בכל הקשור לשינוי אקלים והמזרח התיכון.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • פגיעה במתקנים אזרחיים וצבאיים על החופים. • פגיעה קשה במצרים כתוצאה מהצפת הדלתא. • הגברת ההגירה מצפון הדלתא, גם בכיוון לצפון סיני-ישראל. • החמרת מצבה של רצועת עזה בכל דבר ועניין. 	<p>שינוי מפלס פני הים</p>
<ul style="list-style-type: none"> • בתוך ישראל – חסרים מחקרים האם אכן התחממות והתייבשות מהוות גורמי דחיפה משמעותיים לאוכלוסיית דרום הארץ להגר צפונה (בין היתר לתל-אביב) • פלסטינים – לא נעשו מחקרים המקשרים בין שינוי אקלים והגירת הפלסטינים מהשטחים, מיהודה לשומרון ולישראל. • מצריים – הכוונה לתנועת האוכלוסייה מתוך סיני והדלתא לישראל וגם דרך מצריים לישראל ממדינות אפריקה. התופעה ידועה, אך המידע קיים רק באופן כללי. יש לבצע מחקר על מסלולי הגירה אפשריים ונוחים (בהם יש בארות מים, או נקודות אספקה בהם משתמשים המבריחים הבדויים). במקביל דרוש מחקר בנושא חסימת הגבול עם מצריים • ירדן – אין מידע ומחקרים רשמיים על ההגירה מירדן, או דרכה לישראל. יש לבצע מחקרים דמוי אלה שהמלצנו בנושא מצריים, בדגש על הגבולות בערבה בשלב ראשון ודרך ים המלח בשלב שני. • סוריה ולבנון – אין מידע מסודר על ההגירה החיצונית. • מדינות במעגל השני והשלישי – יש להתמקד עם מגוון רב של מדינות, אך בדגש של הופעת המהגרים בישראל (הן בתור מדינת יעד והן כמדינת מעבר) דרך גבול מצרים וירדן. יש לחקור את אפשרות בלימת הפליטים האפריקאים בעזרת כיוון יחסים והסכמים בי-לאטרליים עם צד שלישי, לדוגמה מדינת דרום סודן. 	<ul style="list-style-type: none"> • ההגירה בתוך ישראל – מדרום צפונה. הגירה לתוך ישראל ממדינות המעגל הראשון כתוצאה משינויי אקלים, או במסווה של שינויי אקלים. הגירה דרך ישראל, או בקרבתה למדינות אחרות (ישראל בתור מדינת טרנזיט). הפיכתה של ישראל ל"גשר" המקשר בין מצריים לאסיה ואירופה. • פגיעה בכלכלתה, ביטחונה ובחוסן הלאומי של ישראל 	<p>הגירה בעקבות שינוי אקלים (נושא משולב)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • יש פערי ידע בנושא השימוש בגז טבעי באופן נרחב בישראל וההשלכות האפשריות על פליטה רבה במיוחד של מזהמים וגזי חממה. דבר אחרון עלול להביא לחקיקה ישראלית או בינ"ל מגבילה, שתמנע את הניצול המרבי של הגז (סנקציות, מיסים) (רמת עדיפות גבוהה). • חסרים מחקרים בתחום הגרעין ושילובו עם התפלה בהקשר של שינוי אקלים בישראל ובמדינות המעגל הראשון. דרושה התייחסות יותר מקיפה עם דגש יישומי לנושא של מקורות אנרגיה מתחדשים. חסרים מחקרים על שיתוף פעולה פוטנציאלי בתחום האנרגיה עם שכנותיה של ישראל. 	<ul style="list-style-type: none"> • הגברת דרישת האנרגיה אצל הפלסטינאים התלויים בישראל. • הרעה סביבתית בישראל ובסביבתה. • משברי אנרגיה ב-3 המעגלים 	<ul style="list-style-type: none"> • הגברת השימוש באנרגיה בכל המשק ובמגזר הפרטי. דרישה גוברת של אנרגיה לנושאי התפלה וצינון. <p>מחסור באנרגיה-שילוב של כל ההשלכות עד כה (נושא משולב)</p>

<ul style="list-style-type: none"> • דרוש מחקר מקיף בנושא גבולות ישראל, בדגש על הידוקם. בתוך נושא זה ראויים להתייחסות מיוחדת השינויים בחורן ובדרום רמת הגולן הסורית. • דרוש מחקר על נחיצות תקצוב חדש למערכת הביטחון לאור השלכות של שינוי אקלים 		<ul style="list-style-type: none"> • השפעת שינויי אקלים (חום, יובש, אירועי קיצון) על הציוד, מכונות, תחמושת וכלי לחימה. חיזוק תפקידו של צה"ל בהגנת גבולותיה ומתקניה האסטרטגיים של ישראל (צינורות מים וגז) מפני המהגרים והמחבלים. • הגנת בסיסי צה"ל מפני שריפות. הצורך בחיפוש שיטות הסוואה חדשות. הגנת יערות ישראל. 	<p>השפעות על מערכת הביטחון הישראלית, בדגש על צה"ל</p>
<ul style="list-style-type: none"> • יש לבדוק את הפוטנציאל של סוגיית שינוי אקלים כאחד הנושאים במאבק אידיאולוגי-הסברתי שיכול להיות מגויס ע"י אויביה של ישראל במאבק נגדה. מאידך, אולי ניתן להשתמש בנושא זה לצורך העלאת המוניטין של ישראל בזירה הבינלאומית בתור אחת המדינות "המצליחות להתמודד עם השלכות שינוי אקלים ואף מסיעות לשכנותיה" 	<ul style="list-style-type: none"> • פוטנציאל לסייע בינלאומי רחב היקף על ידי ישראל (3 המעגלים). 	<ul style="list-style-type: none"> • אי-שקט חברתי, קונפליקטים והגירות במדינות המעגל הראשון והשני כתוצאה מהשלכות שינויי אקלים. שינוי מאזן האסטרטגי במזרח התיכון. 	<p>השפעות על עבודת משרד החוץ (נושא משולב)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • אין מחקרים המקשרים בין הנושאים. • יש להשלים את פערי הידע שקיימים בנושא החיבור בין סוגיית ההתמודדות עם השלכות שינוי אקלים בעולם הערבי לבין פוליטיזציה וגיאופוליטיזציה של האסלאם. אין מחקרים על שיתוף פעולה בין ישראל לבין שכנותיה. אין ידע מדעי בנוגע לטרפוד של פרויקטים משותפים. הדוגמה: לחץ מצרי על ירדן לא לאמץ את תוכנית תעלת הימים, וזאת מחשש שהתעלה שתיוצר תהווה מתחרה לסואץ. 		<ul style="list-style-type: none"> • השלכות פגיעת שינויי האקלים על העולם המוסלמי: הצפות, בצורות, קונפליקטים על רקע, מחסור מים ומזון, הגירות בקנה מידה גדול. 	<p>שינויי אקלים והאסלאם (נושא משולב)</p>

כלכלה					
נושא	תחום	צפי לשינוי	השפעות מהותיות	השפעות משניות	פערי ידע מרכזיים
הערכה אמפירית של ההתאמה בישראל	כלכלה	עלויות גבוהות של פעילויות התאמה לא מתוכננות בהתאם למדיניות של אי ביצוע (BAU)	עלויות תקציביות גבוהות ובלתי מתוכננות	פגיעה בלתי מתוכננת בתקציב המדינה	מחקר אומדן עלויות של אמצעי התאמה מגוונים באמצעות Case-studies ומחקרים ברמה ענפית (Bottom-up) וכלל משקית (Top-Down)
סוגי אסטרטגית התאמה: – עצמאית/מתוכננת – יזומה/תגובתית – פרטית/ציבורית	כלכלה	עלויות גבוהות כתוצאה משינוי אקלים גלובלי ומקומי	עליה בעלויות הכלכליות. בחירת אסטרט' התאמה בהתאם להתפתחויות ולא בתכנון מראש	חוסר שביעות רצון מתפקוד הממשלה במידה של העדר תכנון מקדים וביצוע של הצעדים הציבוריים הנדרשים	בחינת סוגי אסטרטגית התאמה לישראל בהן נדרשת מעורבות ציבורית לעומת אלו אשר יתבצעו ע"י הסקטור הפרטי. יש לאתר את פעולות ההתאמה שמתאימות לקטגוריה הציבורית+מתוכננת+יזומה כדי להצביע על אמצעים שיש חשיבות רבה להקדמת ביצועם.
מחקר כלכלי ברמה הענפית של שינוי אקלים והיבטים כלכליים באמצעות מקרי בוחן (Case Studies)	מים	עליית מפלס ים פוטנציאלית של 50 ס"מ.	עליה בעלויות כתוצאה מעליה בתדירות ובחומרת השיטפונות ואובדן מים לאורך מישור החוף		מחקר בנושא השפעה על כלכלת ישראל ברמה הענפית: – בתחומי מרכז הידע: מים, בריאות, מערכות אקולוגיות, גיאו-אסטרטגיה, בניה ירוקה – מעבר למיקוד של מרכז הידע בשלב זה: ביטוח, חקלאות, הגנת חופים (עלית פני הים), תירות, תחבורה, אנרגיה, תשתיות.
	אנרגיה	עליה בביקוש לחשמל בזמן עומסי חום וקור	עלויות האנרגיה צפויות לעלות	שימוש באמצעי אנרגיה מזהמים המגבירים את ההתחממות – עשוי לגרום לאי עמידה בהתחייבויות בינלאומיות של ישראל להפחתת הפליטה ללא פעולות התאמה מקדימות עלול להביא לאי אספקה ו/או קריסת מערכות	
	בריאות	פגיעה באוכלוסיות קשישים, ועליה בחולי בקרב עובדים החשופים לחום כתוצאה מעלייה בעומסי החום. תיתכן עליה באירועים של מחלות זיהומיות ומחלות מדבקות.	עליה בעלויות הבריאות	ירידה בפריון ובתפוקה	

	<p>– הגברת אפקט ההתחממות כתוצאה מתוצרי השריפות</p> <p>– פגיעה בשטחי תיירות ופנאי</p>	<p>עליה בעלויות של שימור מינים והגנה על שמורות</p>	<p>עליה בהסתברות לשריפות יער ונזקים שיגרמו לשמורות טבע וכן לפגיעה במגוון הביולוגי</p>	<p>מערכות אקולוגיות</p>	
<p>מחקר כמותי מבוסס מודלים שונים תוך התאמה לכלכלת ישראל. הערכה כלכלית של השפעת מדיניות הפחתה (כפי שמתבצעת על פי תוכנית לאומית להפחתת פליטה) של גזי חממה על עלויות התאמה.</p>		<p>שינויים בהרכב התקציבי, תוך יכולת בחינת ROI בטווח הזמן הבינוני</p>	<p>הגדלת המשקל היחסי בהשקעה התקציבית-ציבורית באסטרטגית התאמה</p>	<p>כלכלה</p>	<p>מחקרים כמותיים מבוססי מודלים לשילוב אסטרטגיית התאמה עם אסטרטגיית הפחתה</p>
<p>מחקר בנושא אי-הודאות בתופעת שינוי האקלים בישראל והשפעתו על הערכות העלות ובחירת המדיניות בישראל, בדגש על תעשיית הביטוח.</p>	<p>עליה בנזקים בלתי צפויים בנפש וברכוש, תביעות לפיצויים ודרישות לביטוח ציבורי מתקציב המדינה</p>	<p>- קושי רב בהגדרה מראש של אסטרטגיית פתרון אופטימלית בעייתיות בהגדרת המועד לקבלת החלטות ומימושן</p>	<p>שינוי משמעותי בין התכנון הכלכלי למציאות בפועל עקב רמת אי ודאות גבוהה בהקשר להיקף ולתזמון של השפעת שינוי האקלים על הכלכלה הישראלית-שונות גבוהה בין מודלי האקלים השונים בספרות המחקרית</p>	<p>כלכלה</p>	<p>מחקר בנושא אי-הודאות בתופעת שינוי האקלים והשפעתו על הערכות העלות ובחירת המדיניות</p>
<p>מחקר בנושא התזמון המיטבי במימוש אסטרטגיות התאמה בישראל</p>	<p>בזבוז תקציבי, כפל הוצאות וצעדים הכרחיים שלא מבוצעים</p>	<p>גידול בעלויות המשתנות לאורך זמן התלויות בתזמון של ההשקעה-תועלות מהתאמה יבחנו בטווח קצר ולא ריאלי לצורך קבלת החלטה</p>	<p>תזמון פעילויות התאמה עפ"י תקציב שנתי בראיה קצרת טווח ולא בראיה רב-שנתית הנדרשת להתמודדות עם שינוי האקלים</p>	<p>כלכלה</p>	<p>תזמון פעילויות התאמה</p>

פרק א' - סקירת הידע הקיים

בפרק זה נציג את הידע העדכני ביותר הקיים בכל אחד מנושאי העבודה.

1. שינויי האקלים

1.1 מבוא

חקר שינויי אקלים ותחזיות לעתיד הינו אחד הנושאים ה"חמים" בכל העולם ולו השלכות, סביבתיות, כלכליות, חברתיות בריאותיות ועוד. זהו, למעשה, אחד הנושאים המרכזיים בסדר היום העולמי. מספר המחקרים בנושא המתפרסמים בכל העולם הינו עצום וגדל מרגע לרגע. באופן גס ניתן לחלק את הפרסומים לשתי קבוצות עיקריות:

- 1 - מחקרים המתעדים שינויים שנצפו במשתנים אקלימיים שונים בתקופות שונות ובאזורים שונים.
- 2 - תרחישים לגבי מגמות ההשתנות של פרמטרים אלו בעתיד.

המחקרים בקבוצה הראשונה מבוססים בדרך כלל על ניתוחים סטטיסטיים של מדידות, אם כי ישנם לא מעט מחקרים בהם נבדקו משתנים עקיפים (proxy data) ובעזרתם ניסו החוקרים לשחזר את אקלים העבר. חשוב ביותר להדגיש שעל-אף מספר המחקרים הגדול מאוד שהתפרסם, הסינתזה בין כולם קשה ביותר ובמקרים רבים אף אינה אפשרית וזאת מפאת נתונים שונים, שיטות ניתוח שונות, תקופות מחקר שונות וכיו"ב.

קבוצת המחקרים השניה מתבססת בעיקר על תוצאות סימולציה של מודלים או על הנחות שונות בקשר להמשך מגמות השינוי שנמצאו במחקרים בקבוצה הראשונה. כאן המקום לציין, שכל תרחיש-בין אם מבוסס על מודל ובין אם מניח קצב שינוי מסויים עפ"י העבר- הינו בעייתי, מאחר, ששום מודל אינו מסוגל לשחזר את התהליכים באטמוספירה באופן מוחלט מחד, ולעולם לא נדע אם מגמה מסויימת שנצפתה בעבר אינה אלא חלק ממחזוריות ארוכה יותר, מאידך.

לגבי ניתוח סדרות עתיות, (שזה ליבו של הדו"ח הנוכחי) חשוב להדגיש, שכמו בכל ניתוח סטטיסטי, תתכנה שתי טעויות:

- 1 - האחת, שנעריך שקיימת מגמת שינוי כלשהי למרות שלמעשה מדובר בחלק ממחזוריות אקלימית. זו בדרך כלל הטעות הנפוצה יותר.
- 2 - השנייה, שהמגמה קטנה מהשונות הטבעית של המשתנה ולכן השינוי לא יהיה מובהק סטטיסטית ומכאן שנעריך שלא היה שינוי. חשוב לציין כי לשתי הטעויות השלכות לא פשוטות.

1.2 סקירת הידע הקיים בתחום האקלים

1.2.1 כללי

מדינת ישראל שוכנת בין קווי הרוחב 29.5° - 33.5° צפון. חלקה הצפוני מאופיין באקלים ים-תיכוני וחלקה הדרומי באקלים צחיח (arid) וביניהם רצועה צרה של אקלים צחיח למחצה (semi-arid). באזור זה של מפגש בין אזורי אקלים שונים, ניכרות תנודות רבות במזג האוויר בעקבות השפעות של מערכות אקלימיות ממקורות בעלי מאפיינים סינופטיים שונים. הדבר בא לידי ביטוי בין היתר בשונות רבה במשטר הטמפרטורות ובתנודות במשטר הגשמים – על כל מרכיביו (פז וקידר, 2007). חשוב להדגיש שלא קיימת תמימות דעים בין כל החוקרים לגבי מגמות השינוי הצפויות או קצבן.

1.2.2. משטר הטמפרטורות

נמצאה מגמה של הקצנה במשטר הטמפרטורות, שבאה לידי ביטוי בעלייה בסטיית התקן העונתית של הטמפרטורות בשיעור של 11% על פני 55 שנים. נמצאו יותר ימים חמים מעל ל- 24.2°C ויותר ימים קרים מתחת ל- 18.7°C אותרה עלייה משמעותית יותר של הימים החמים (פי תשע מזו של הימים הקרירים). מגמה זו נצפתה גם בעליית טמפרטורות המקסימום העונתיות המוחלטות (פז וקידר, 2007).

עליית הטמפרטורה מובהקת מאד בקיץ למעט טמפרטורת המכסימום, שרק בשלוש תחנות עליית בטמפרטורה הטמפרטורה מובהקת (גולדרייך, 2010).

1.2.2.1. טמפרטורות ממוצעות מקסימום ומינימום

תצפיות

בדיקת השתנות הטמפרטורה למשך 50 שנה בתל אביב וירושלים מראה עליה בטמפרטורת המינימום בשיעור של 1.3°C וירידה בטמפרטורת המקסימום ב- 0.3°C (יפה, 1991). מגמה דומה התקבלה גם עבור תחנות לא-עירוניות לאורך עמק הירדן (כפר בלום, איילת השחר, דגניה א' וסודום), ובאזורים אחרים (בית ג'ימל, הר כנען, נגבה ורמת דוד). עבור תקופה של 60 שנות מדידה (שליט, 1992; לוין וגולדרייך, 1997; Cohen and Stanhill, 1996) נמצא כי טמפרטורת המינימום עלתה ב- 0.3°C והמקסימום ירד בשיעור דומה (גולדרייך, 2010) מחקרים נוספים (גולדרייך, 2010; קאפלה וברוינס, 2010) מצביעים גם הם על עליה מובהקת (בדרך כלל $p < 0.001$) של הטמפרטורה השנתית הממוצעת.

יחד עם זאת יש לזכור את התנודתיות במשטר הטמפרטורות. אמנם מאז שנות ה-70 (של המאה הקודמת) רואים מגמה מובהקת של התחממות אולם יש לזכור שבין שנות ה-40 ועד לשנות ה-70 חלה ירידה ולמעשה שנות ה-2000 חמות באותה מידה כמו שנות ה-50.

נצפתה עליה בטמפרטורת המינימום השנתית מובהקת בכל התחנות שנבדקו (גולדרייך, 2010). חלה התחממות בכל העונות, הן בטמפרטורת המקסימום והן במינימום. העלייה הגדולה ביותר והמובהקת היא בעונת הקיץ, ושיעורה הממוצע עולה פי 2 ויותר, מזה של ההתחממות הגלובאלית בשטחי היבשה של חצי הכדור הצפוני. גם בעונת החורף ניכרת מגמת התחממות, אם כי שיעורה נמוך יותר. באשר לעונות המעבר, באביב שיעור ההתחממות קרוב לזה של החורף, אם כי גבוה ממנו במקצת ברוב התחנות. בסתיו השיעור קרוב לזה של הקיץ, אם כי נמוך ממנו בכל התחנות. ההתחממות המקסימלית בעונה החמה מחמירה את תנאי אי הנוחות הקיימים ממילא בעונה זאת. השוני בשיעור ההתחממות בין החורף והקיץ משמעו – שינוי במשרעת השנתית. העלייה קיימת בכל התחנות, אך מובהקת ב-95% רק בשתיים מתוכן, במישור החוף (זיו, סערוני ואלפרט 2011).

1.2.2.2. משרע יומי ושנתי

תצפיות

השוני בשיעור ההתחממות בין החורף והקיץ משמעו – שינוי במשרעת השנתית. ההתחממות המהירה יותר בעונת הקיץ ביחס לעונת החורף משקפת עלייה במשרעת השנתית, בדומה לממצאי מחקרם של Ben Gai et al. (1999).

כאשר ממצעים את הנתונים לערכים עונתיים ושנתיים המובהקויות של התחנות, המצביעות על עלייה בטמפרטורות, מתרבות ומתחזקות. ניתן לומר כי בהשוואה למחקרים הקודמים שעסקו באיתור מגמתיות, ככל שתקופת המדגם מאוחרת יותר כך עולה המובהקות והקצב של ההתחממות בארץ. השינוי במגמתיות הזאת דומה מאד לקצב ההתחממות הגלובלית (גולדרייך, 2010).

השוני בשיעור העלייה של טמפרטורות המינימום והמקסימום משקפת מגמת השינוי במשרעת היומית. במחקרם של Ben Gai et al. (1999) צוין כי המשרעת היומית נמצאה במגמת הקטנה. על פי המחקר של זיו, סערוני ואלפרט (2011) באזורים המישוריים המשרעת אכן קטנה עקב עלייה מהירה

יותר של טמפרטורת המינימום מאשר המקסימום. מאידך, באזורי ההר נמצאה דווקא עלייה במשרעת היומית, שמקורה בעלייה מהירה יותר בטמפרטורת המקסימום לעומת המינימום (זיו, סערוני ואלפרט 2011).

1.2.2.3 גלי חום וגלי קור

תצפיות

ניתן היה לצפות שכחלק ממגמת ההתחממות הכללית תימצא מגמת עלייה במספר הימים החמים. הדבר נמצא אכן עבור הסף הנמוך מבין השלשה (33°C), ובמובהקות של 95% בכל התחנות, למעט מסדה. עם זאת, עבור הסף השני (36°C) מגמת העלייה קיימת בכל התחנות אך מובהקת רק בתחנות חמות ביותר (מסדה ואילת). גם עבור הסף העליון (39°C) המגמה מובהקת רק בשתי התחנות החמות ביותר (בהן ימים אלה שכיחים) אך אינה קיימת ביתר 5 התחנות. עבור הטמפרטורות שמעבר ל- 42°C נמצאה עדיין עלייה באילת ובמסדה אך באילת טמפרטורות אלה עדיין שכיחות יחסית, ובמסדה הן קיצוניות ביותר והעלייה בהן אינה מובהקת (זיו, סערוני ואלפרט 2011).

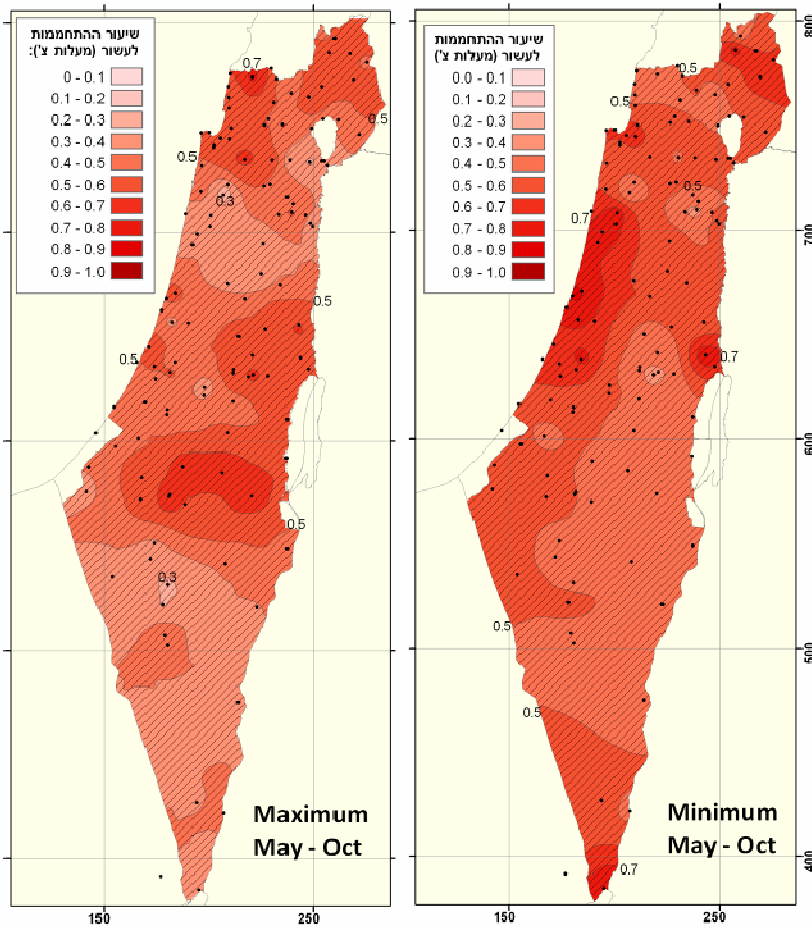
ניתן היה לצפות שמספר החריגות, המשקפות אירועים חמים קיצוניים, יגדל אף הוא בין התקופה הראשונה לשנייה. ואכן, בכל התחנות ניכרת עלייה דרמטית במספר החריגות, פי 1.5 בתחנות ההרריות, הר כנען וירושלים, בערך פי 2 במסדה, שדה בוקר ואילת, פי 3 בעין החורש ופי יותר מ-4 בבית דגן. בולטת העובדה שבאזור החוף, בו שורר בממוצע עומס חום גם ביום וגם בלילה, חלה העלייה הגדולה ביותר במספר החריגות (זיו, סערוני ואלפרט 2011).

בנוסף למגמת ההפחתה הכללית במספר הלילות הקרים, ניתן להבחין ב"תקופות קרות", בהן מרוכזים גלי הקור, בפרט בתפר שבין שנות ה-80 וה-90, בהן אירעו קרות חמורות. קו המגמה מראה מהלך דומה בכל התחנות, עם מקסימום ראשי בתקופה שצוינה לעיל, לאחריו מינימום בתחילת שנות האלפיים ועלייה לקראת סוף התקופה המבטאת את הקרות שאירעו בין היתר בחורף 2007/8 (זיו, סערוני ואלפרט 2011).

גם עבור הסף של 0°C ניכרת ירידה במספר הימים הממוצע בין שתי תתי תקופת המחקר. באשר לאורכם הממוצע של הרצפים, נראה שבמקביל לירידה המסתמנת בהר כנען ובירושלים, בשדה בוקר חלה דווקא התארכות, מה שמדגיש כי אירועי קיצון קרים יכולים להתרחש גם בתקופת התחממות. בשעה שבהר כנען ובשדה בוקר המגמה דומה לזו שנמצאה ברוב התחנות עבור הלילות הקרים הרי שבירושלים המספר הנמוך של אירועים אלה אינו מאפשר לקבוע מגמה בעלת משמעות כלשהיא. לסיכום, הממצאים הנוגעים לגלי הקור מראים שלמרות מגמת ההתחממות, תופעת הקרה עדיין מהווה מרכיב חשוב במשטר האקלימי באזור ומחייב המשך מעקב גם בעידן של התחממות (זיו, סערוני ואלפרט 2011).

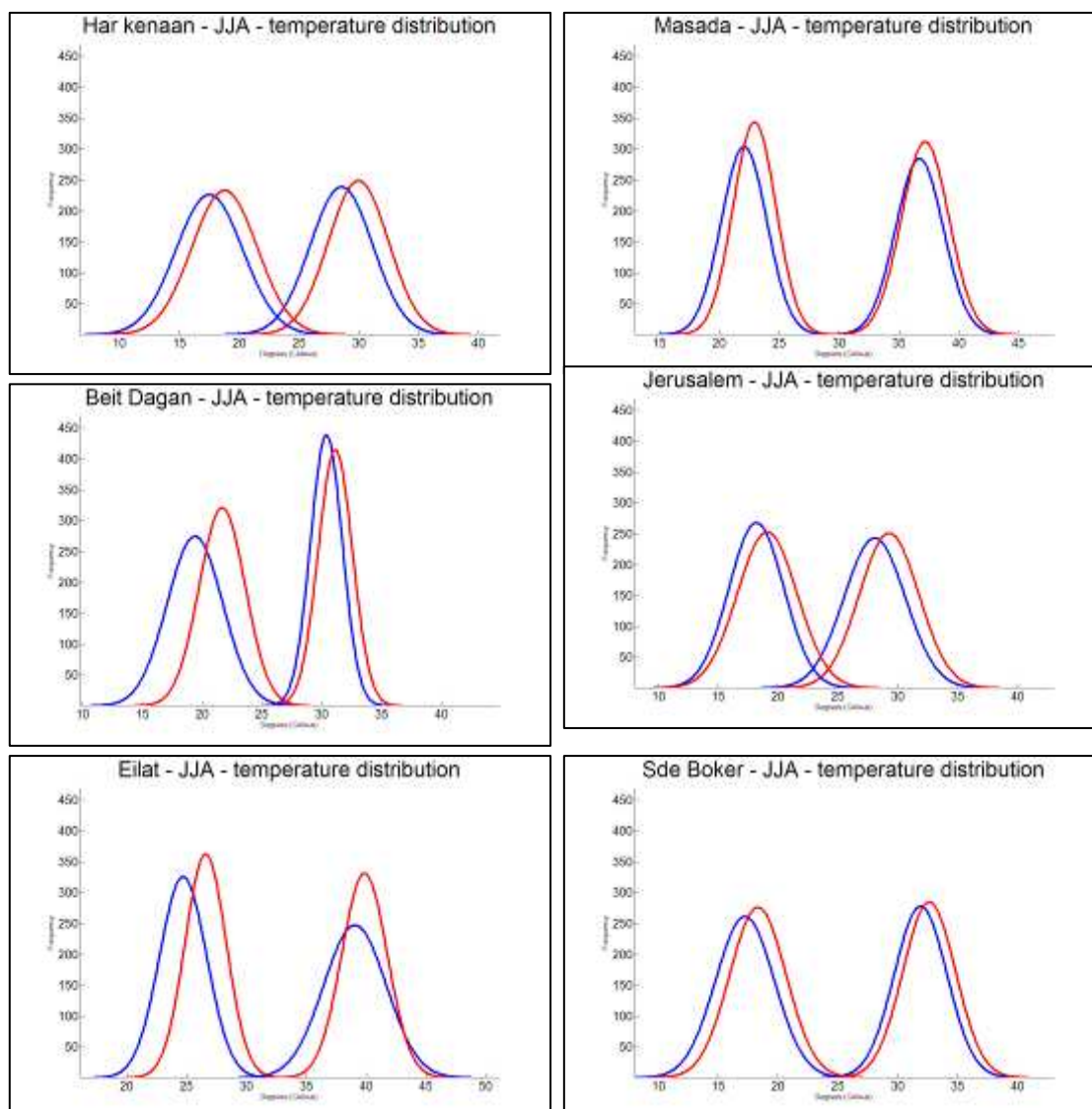
1.2.2.4. תפרוסת עיתית ומרחבית

תצפיות



איור 1.1: התפרוסת המרחבית של מגמת השינוי בטמפרטורת המקסימום, משמאל, והמינימום, מימין, למחצית השנה החמה (מאי-אוקטובר) על פי רגרסיה ליניארית (במעלות לעשור) לאורך תקופת המחקר. ההצללה מציינת מגמה מובהקת ב- 95% מתוך: (זיו, סערוני ואלפרט 2011).

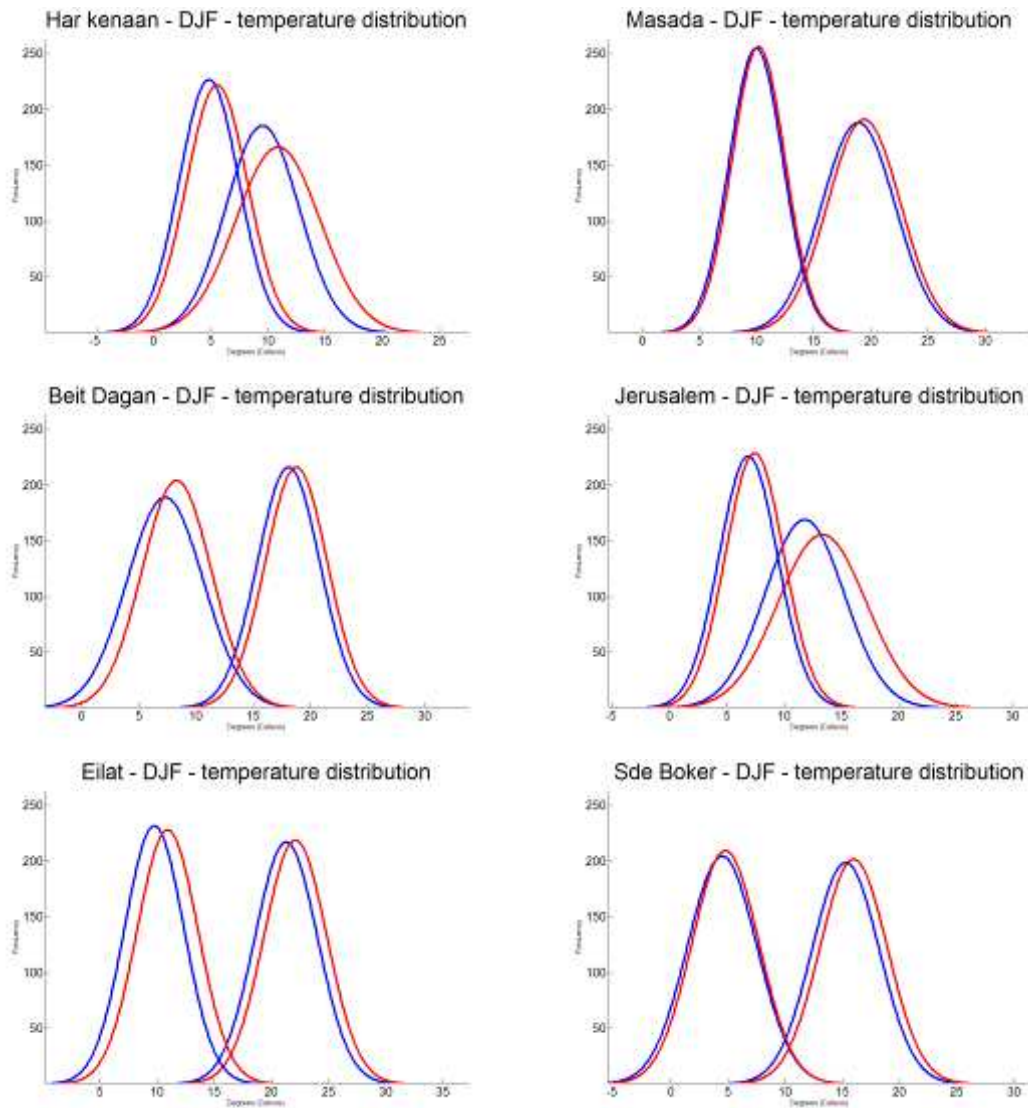
איור 1.2 להלן, מציג את התפלגויות טמפרטורת המקסימום והמינימום לעונת הקיץ (יוני, יולי, אוגוסט). ניתן להבחין שבכל התחנות חלה עלייה בטמפרטורה השכיחה. ההתפלגויות שבות ומדגישות את העלייה הגדולה יותר בטמפרטורת המינימום בתחנות המישוריות, היינו בית דגן, עין החורש (שאינה מוצגת), מסדה, שדה בוקר ואילת, בשיעור של $1-3^{\circ}\text{C}$ ל-17 שנה לעומת כ- 1°C בלבד עבור טמפרטורת המקסימום. בתחנות ההרריות, ירושלים וחר כנען, העלייה הגדולה יותר היא בטמפרטורת המקסימום, בשיעור של $1-2^{\circ}\text{C}$ ל-17 שנה (לעומת 1°C בטמפרטורת המינימום).



איור 1.2: התפלגות טמפרטורות המינימום והמקסימום היומיות בתחנות המייצגות בעונת הקיץ (JJA) בהפרדה לשני חצאי תקופת המחקר (הראשונה בכחול והשנייה באדום)
מתוך: זיו, סערוני ואלפרט, 2011

בניגוד לציפיות, קיימת הפחתה בהשתנות הבין-יומית של הטמפרטורה. מגמה זו בולטת במיוחד באילת ובמסדה הן עבור טמפרטורת המקסימום והן עבור המינימום. אלמנט מרכזי בהתפלגות הטמפרטורות, ובעיקר בקיץ, הוא עוצמתם של אירועי החום הקיצוניים ביותר. התארכות הזנב הימני בטמפרטורת המקסימום משקף את שיאי החום, מה שמהווה, למשל, איום על גידולים חקלאיים ועלול להביא לצריכת שיא של חשמל לצורכי מיזוג. התארכות הזנב הימני בטמפרטורת המינימום משקף התרבות של לילות בעלי עומס חום והחמרה בו באותם הלילות.

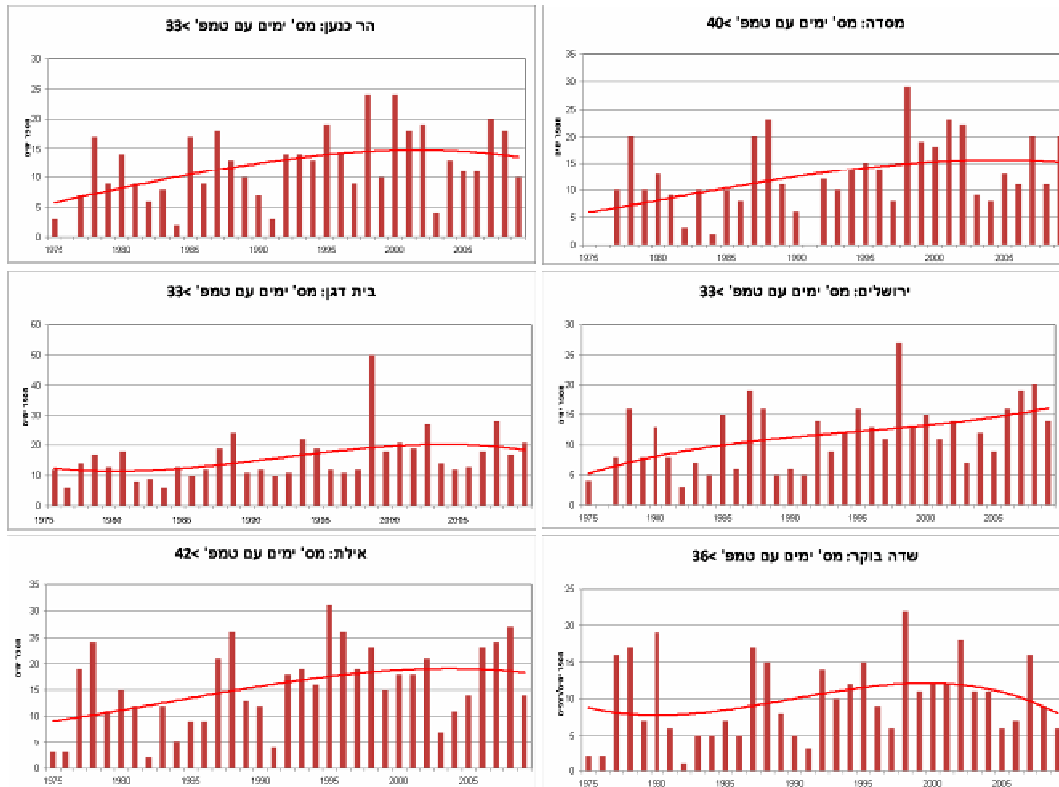
איור 1.3: להלן, מציג את אותן התפלגויות עבור חודשי החורף. ניתן להבחין שהשינויים בין שתי התקופות מתונים יותר בהשוואה לקיץ.



איור 1.3: התפלגות טמפרטורות המינימום והמקסימום היומיות בתחנות המייצגות בעונת החורף (DJF) בהפרדה לשני חצאי תקופת המחקר (הראשונה בכחול והשנייה באדום)
 מתוך: זיו, סערוני ואלפרט, 2011

טמפרטורה- תחזיות

על פי תחזיות גלובליות צפוי אזורנו להתחמם בכל עונות השנה בשיעור ממוצע שבין 0.4°C ל- 0.8°C לעשור תלוי באזור ובעונה.



איור 1.4: מהלך בין-שנתי של מספר הימים החמים מעל סף נבחר לכל תחנה וקו מגמה פולינומיאלי מדרגה 3, מתוך: זיו, סערוני ואלפרט 2011.

בתחנות ההרריות (הרי הצפון, המרכז והר הנגב) העלייה במספר חריגות הטמפרטורה חלה במידה דומה על טמפרטורת המינימום והמקסימום. בתחנות המייצגות את האזורים המישוריים והחופיים (בית דגן, מסדה ואילת), גדולה יותר העלייה במספר החריגות של טמפרטורת המינימום. הדבר תואם את מגמת ההתחממות הגדולה יותר של טמפרטורת המינימום מאשר של טמפרטורת המקסימום באזורים המישוריים, המיוצגים על ידי תחנות אלה. ההתחממות בשעות הלילה מחמירה את עומס החום ולה השלכות בריאותיות וסביבתיות חמורות. לדוגמה, הגברת השימוש במיזוג אוויר בשעות הלילה, שמשמעו בין היתר עלייה בצריכת האנרגיה (זיו, סערוני ואלפרט 2011).

בהרים קיימת התמתנות באירועים החמים הקיצוניים. באזורי החוף קיימת בכל זאת הקצנה מסוימת באירועים החמים, מעבר למגמת ההתחממות עצמה. יש להדגיש שהמצא החשוב ביותר הנוגע לגלי החום הקיציים הוא העלייה במספר החריגות על פי הספים הקבועים בזמן. עלייה זו, פירושה התרבות של אירועים בהם עולה עומס החום לערכים אבסולוטיים גבוהים (זיו, סערוני ואלפרט 2011).

משך של גלי החום: התפלגות גלי החום הקיציים עבור שתי תתי התקופות (בחצאי ימים, עקב הגדרת גל החום הקיצו כרצף של חריגות הן בטמפרטורות המינימום והן בטמפרטורות המקסימום) מראה שברוב הקטגוריות גדל משמעותית מספרם של גלי החום. יוצאים מכלל זה האירועים הארוכים (שמשכם עולה על 5.5 ימים) בשתי התחנות ההרריות, הר כנען וירושלים. בהר כנען לא ניתן להצביע על הבדל בין שתי התקופות מבחינת שכיחות גלי החום הארוכים, וירושלים המגמה מנוגדת למגמה ביתר התחנות. (זיו, סערוני ואלפרט 2011).

ניתן לסכם את הממצאים בכך שבמהלך תקופת המחקר חלה בקיץ עלייה במספר חריגות הטמפרטורה מסף העשירון העליון עבור טמפרטורת המינימום והמקסימום והתארכות במשכם של גלי החום, במיוחד באזורים בהם תנאי אקלים הקיץ קשים ממילא, היינו אזור החוף, הבקעה והערבה (זיו, סערוני ואלפרט 2011).

מלבד זאת התגלתה מגמה של התארכות ניכרת של גלי חום במהלך העונה. עלייה בטמפרטורה השכיחה בכ- 0.5 מעלות צלזיוס בין שתי קבוצות השנים, (1977-1948) ו (2002-1973) מצביעה על עלייה בטמפרטורת הימים ה"מוצעים" אך גם על עלייה בשכיחות הימים החמים ואירועי המקסימום הקיצוניים את האירועים הקיצוניים הסבירו במחקר בשינויים סינופטיים באגן המזרחי של הים התיכון, או בהיחלשות הרוח האטזית (תוצר האפיק הפרסי ממזרח והרמה מעל צפון אפריקה בעונת הקיץ. מגמת ההתחממות שנצפתה ב-850 מיליבר (מ"ב) נראית משמעותית יותר על פני הקרקע, מקום שהאפקט של אי החום העירוני רב בו יותר (סערוני, זיו ואלפרט 2005) מחקרים נוספים (אלפרט 2006; Paz, et al., 2006; Paz, 2006) מצביעים על עלייה בשכיחות של אירועי גלי חום- הן באורכם הן בעוצמתם (פז וקידר, 2007). לנושא זה השפעות מכרעות בנושא הבריאות.

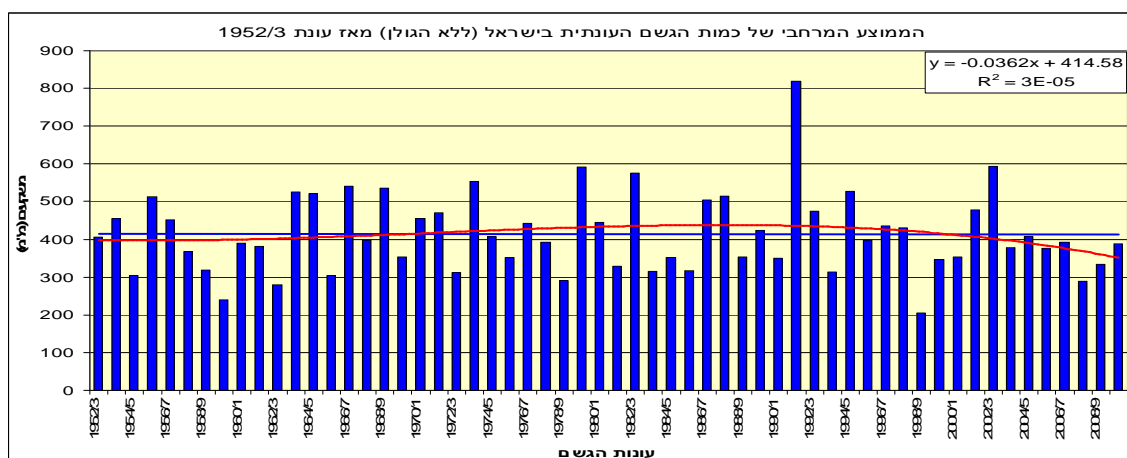
1.2.3. משטר הגשמים

1.2.3.1. כמויות גשם שנתיות

Mariotti וחבריה (2008) קובעים על פי הרצת מודל סימולציה (CMIP3), כי קיימת הפחתה ניכרת בגשמים באזור הים התיכון אשר נמשכת במהלך המאה ה-20 בקצב של 0.007mm/d לעשור.

למרות ש-6 השנים האחרונות היו מעוטות משקעים לא נמצאה מגמה מובהקת של ירידה בעובי המשקעים השנתי. בכל התחנות הייתה מגמה של ירידה אולם למעט שתי תחנות בנגב, (באר שבע ושדה בוקר) המגמה אינה מובהקת. ההשתנות המרחבית של המגמתיות מראה כי אינה רציפה בכיוון דרום-צפון. המגמתיות הולכת ונחלשת עד לאזור הכרמל – עמק יזרעאל – גליל התחתון ומשם שוב מתחזקת באזור הגליל העליון. בדומה למחקרי עבר ובניגוד לנמצא במספר ארצות בדרום אירופה, לא נמצאה עליה בכמות היומית מעל לסיפים שונים גם כאשר נבדקה המגמתיות של הכמות המרבית השנתית נמצא כי כל התוצאות אינן מובהקות וכי בשבע מתוך עשר תחנות המגמתיות היא אפילו בירידה (גולדרייך 2010).

איור 5 להלן, מציג את התנודות הבין-שנתיות בין השנים 1952-3 עד 2009-10. ניכרת מגמת ירידה (בלתי מובהקת), בשיעור 0.004 מ"מ לשנה בלבד. היעדר המובהקות במגמת השינוי נובעת, על פי Morin (2011), מהתנודתיות הגבוהה המאפיינת את משתנה הגשם באזורנו.

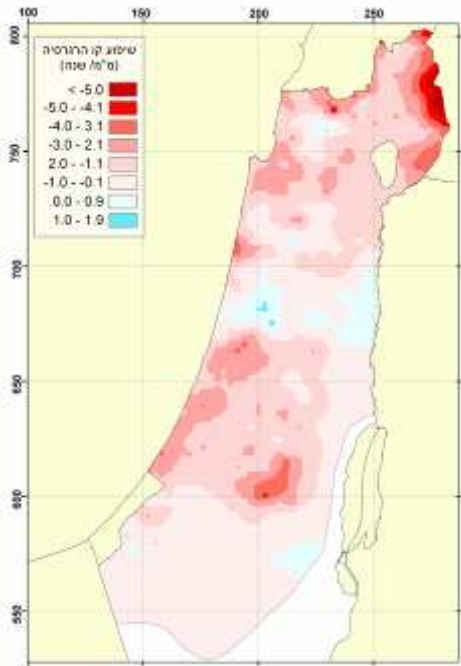
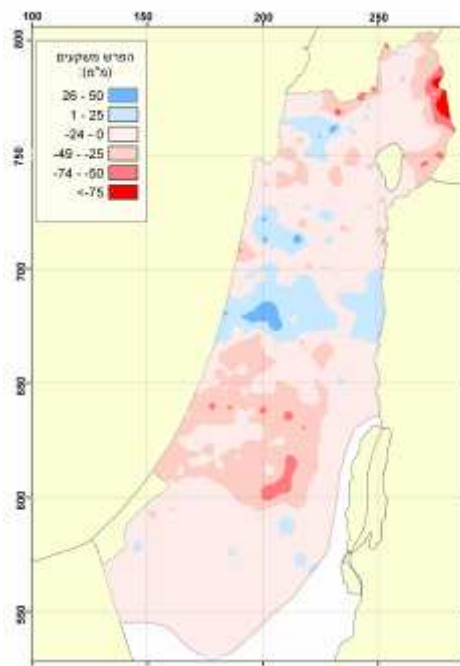
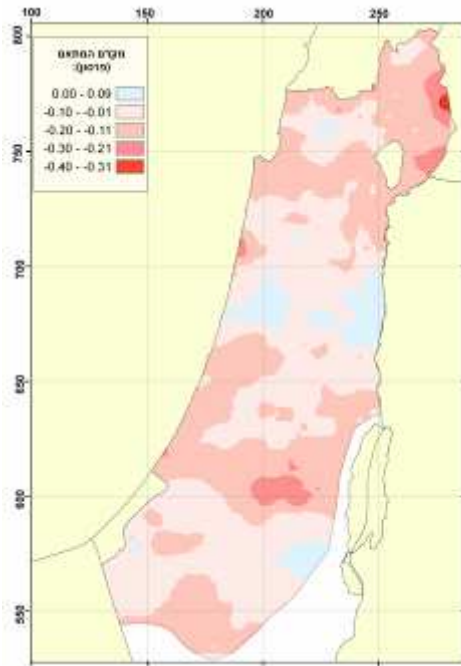


איור 1.5: התנודות הבין-שנתיות ומגמת השינוי בכמות המשקעים השנתית הממוצעת (מ"מ) באזור המחקר. מתוך: זיו, סערוני ואלפרט 2011

ישנם אזורים שבהם קיימת וצפויה עלייה במשקעים וישנם מקומות כמו ארצות צפון הים התיכון שבהם קיימת ירידה בעובי המשקעים השנתי. החוקרים השונים קושרים את הירידה הזאת בהשתנות המצבים הסינופטיים הקשורים להתחממות הגלובלית (גולדרייך, 2010).

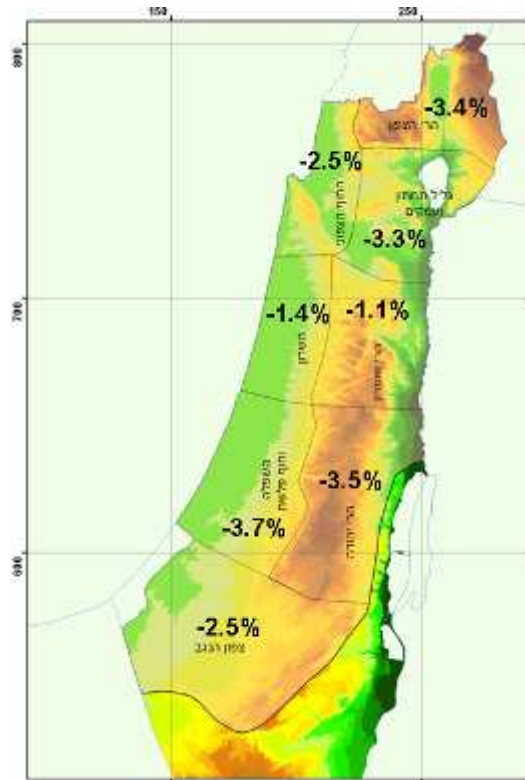
אלפרט ובן צבי (2001) הצביעו על עלייה קלה ובלתי מובהקת של משקעים בדרום הארץ ובאזורים נוספים. הם קשרו זאת בהדרמה של המיקום הממוצע של מרכז שקע קפריסין מדרום תורכיה לישראל. מחקרים מאוחרים יותר (שהמי ומורין, 2009) מצאו כי המגמה השתנתה והחליפה כוון. גולדרייך, (2010) טוען כי אין אפשרות להצביע על מגמה מסוימת.

התפרוסת המרחבית של מגמת השינוי הליניארי לאורך תקופת המחקר (איור 6, מימין למעלה) מראה ירידה ברוב חלקי הארץ, ששיעורה מגיע ל- 3 מ"מ בשנה בהרי יהודה ובגליל העליון ועד מעל 5 מ"מ בשנה במזרח רמת הגולן. עם זאת, באזורים מסוימים ניכרת עלייה מזערית, בפרט במרכז הארץ, בו מתקרב השיעור ל- 2 מ"מ לשנה. איור 6 (משמאל למעלה) מציג את מקדם המתאם (Pearson) של מגמת השינוי, כלומר המתאם בים הערכים השנתיים של כמות המשקעים לבין הכמות המחושבת על פי מגמה ליניארית עולה (ולכן באזורים בהם נרשמה ירידה המתאם שלילי). בשל גודל המדגם (36 שנים) רק ערכים הגדולים מ ± 0.33 מייצגים מגמה מובהקת (ברמת 0.05). ניכר כי רק בגבול המזרחי של הגולן הירידה מובהקת (זיו, סערוני ואלפרט 2011).



איור 1.6: מגמת השינוי הליניארית (מ"מ/שנה, ימני עליון), מקדם המתאם (Pearson, שמאלי עליון) וההפרש בכמות המשקעים השנתית הממוצעת (במ"מ, תחתון) בין 2 תקופות של 20 שנה מעל אזור המחקר. מתוך: זיו, סערוני ואלפרט, 2011.

בחינת השינוי (באחוזים) בכמות המשקעים על פי חלוקה גיאוגרפית (איור 1.7) מצביעה כי הירידה (למרות שאינה מובהקת) ניכרת בכל אחד מן האזורים, בשיעור המגיע עד 3.7% לעשור במישור החוף הדרומי (השפלה וחוף פלשת). אפילו בשרון ובשומרון, בהן נראו עליות נקודתיות (איור 1.6), ניכרת בממוצע ירידה (מזערית) של 1.1% לעשור (זיו, סערוני ואלפרט 2011).



איור 1.7: מגמת השינוי הליניארית (באחוזים לעשור) של כמות המשקעים השנתית בחלוקה לשמונה אזורים. מתוך: זיו, סערוני ואלפרט, 2011

המגמות בכמות המשקעים תואמות כללית את המוצג לעיל, דהיינו, ירידה ברוב האזורים, אם כי בלתי מובהקת ברובה. עם זאת, ניכר כי בתחנות מסוימות המגמה קיצונית מזו שבמפה. בולטת במיוחד מגמת הירידה בכמות המשקעים בתחנת גולן (-11.2% לעשור על פי הממוצע של שתי שיטות החישוב). באזור הצחיח, מדרום וממזרח לקו ה-100 מ"מ, שאינו כלול במיפוי, ניכרת ירידה גדולה מאשר ברוב חלקי הארץ, בשיעורים של -9.3% לעשור בסדום, ו- -31% באילת. ממצאים אלה תואמים את ממצאי דו"ח הגשם בערבה 2008-1950 (שלומי וגינת, 2009) (זיו, סערוני ואלפרט 2011).

טבלה 1.1 להלן מסכמת את הממצאים לגבי השינויים בכמות המשקעים, מספר ימי הגשם והשינויים היממתיים הממוצעים לעשור.

טבלה 1.1: השינוי היחסי בכמות המשקעים השנתית ובמספר ימי הגשם (אחוזים לעשור) בתחנות המייצגות ובממוצע לאשכולות על פי שיפוע קו המגמה הליניארי הפשוט וה- nonparametric בשיטת Mann-Kendall. ערכים המובהקים (non-directional) ב- 95% מודגשים ואלה המובהקים ב- 90% מסומנים בקו תחתית. מתוך: זיו, סערוני ואלפרט, 2011

שינוי בכמות בגשם הימתית הממוצעת (%/10y) על פי שיפוע קו המגמה הליניארי	שינוי במספר ימי הגשם (%/10y)		שינוי בכמות המשקעים (%/10y)		תחנה	אשכול
	Non-parametric Mann-Kendall	Simple linear regression	Non-parametric Mann-Kendall	Simple linear regression		
-2.5	-2.9	-3.3	2-6.	-5.7	כפר גלעדי	הצפון ההררי
-1.5	-6.8	-7.6	-12.5	-9.9	גולן	
-2.4	<u>-4.3</u>	-4.3	-3.1	-2.3	אילון	
+0.1	<u>-4.4</u>	<u>-4.4</u>	-3.9	-4.1	הר כנען	
-0.4	<u>-4.9</u>	<u>-4.9</u>	-6.1	-5.6	ממוצע	גליל תחתון ועמקים
+3.3	-7.8	-8.4	-5.3	-5.1	הסוללים	
+0.9	-4.5	-4.4	-5.1	-3.6	איילת השחר	
+3.9	-13.2	-12.2	-4.8	-4.7	דגניה	
+4.1	-7.0	<u>-6.9</u>	-1.4	-2.7	טירת צבי	
+3.1	-3.7	-3.7	-0.9	-0.7	מרחביה	
+3.8	-6.6	-7.1	-2.8	-3.4	ממוצע	החוף הצפוני
+3.7	-4.7	-4.5	-1.2	-0.8	נמל חיפה	
+3.1	-3.1	-3.6	-1.9	-0.5	עין החורש	מישור החוף
<u>+6.4</u>	<u>-5.8</u>	-5.0	+1.7	+1.6	געש	
+1.6	+0.0	+0.6	+1.7	+2.6	קריית שאול	
+0.8	-6.1	<u>-5.5</u>	-4.8	-4.3	בית דגן	
-4.9	-2.5	-1.1	-5.2	-5.0	נגבה	
-0.2	-2.5	-3.5	-3.9	-3.4	חפץ חיים	
+1.1	-3.3	-3.1	-1.7	-1.4	ממוצע	
+1.7	-5.5	-5.2	-2.9	-3.9	ירושלים	הרי יהודה
-3.0	+0.0	+0.8	-0.5	-1.9	שעלבים	גבעות יהודה
-2.1	-3.9	-3.5	-4.3	-5.4	בית גוברין	
-2.6	-1.3	-1.3	-3.9	-3.4	ממוצע	
-6.1	-3.6	-2.6	-6.6	-8.4	בארי	צפון הנגב
+4.6	-1.3	-2.4	+3.9	+3.0	מגן	
+1.1	-3.8	-3.4	-1.0	-2.1	להב	
-1.1	-3.0	-3.6	-2.8	-4.0	באר שבע	
-0.9	-3.4	-3.0	-3.3	-3.4	ממוצע	
-10.9	+3.7	+3.0	-10.2	-8.3	סדום	עמק הירדן
-2.2	-5.2	-5.3	-6.4	-5.7	שדה בוקר	הר הנגב
-12.0	-27.3	-28.4	-26.4	-35.5	אילת	ערבה

משקעים- תחזיות

הופקו משוואות חיזוי לכמות המשקעים השנתית עבור כל אחד מהאזורים, כמפורט בטבלה 1.2. הגורמים המופיעים במשוואות הם אלה שנמצאו מובהקים בהסברים את ההשתנות הבין-שנתית בכמות המשקעים.

טבלה 1.2: משוואות החיזוי עבור כמות המשקעים (P) והמתאם בין כמות המשקעים המדודה וזו החזויה על פי משוואת החיזוי. הופק בשיטת stepwise. סדר הופעת האיברים במשוואות הוא על פי מידת מובהקותו של הגורם מתוך: זיו, סערוני ואלפרט, 2011

המתאם	משוואת החיזוי	
0.74	$P = -2189 + 99.2_{Nino\ 3_4} + 13.4_{LowsNorth}$	הצפון ההררי
0.78	$P = -990.5 + 6.2_{LowsAll} + 39.7_{Nino\ 3_4}$	גליל תחתון ועמקים
0.68	$P = -1580 + 71.5_{Nino\ 3_4} + 9.8_{LowsNorth}$	חיפה
0.82	$P = -1158 + 9.8_{LowsAll} + 42.6_{Nino\ 3_4}$	מישור החוף המרכזי
0.73	$P = -1454 + 7.7_{LowsAll} + 58.3_{Nino\ 3_4}$	ירושלים
0.82	$P = -1241 + 5.2_{LowsAll} + 53.1_{Nino\ 3_4} + 60.5_{EA-WR}$	גבעות יהודה
0.69	$P = -572.5 + 6.2_{LowsEast} + 25.9_{Nino\ 3_4}$	צפון הנגב
	לא נמצאו גורמים מובהקים	סדום
0.50	$P = +19.9 + 2.9_{LowsEast}$	שדה בוקר
	לא נמצאו גורמים מובהקים	אילת

הגורם הסינופטי משתנה מאזור לאזור, אך הדומיננטי עבור רובם הוא סך מספר ימי השקע הקפריסאי. בצפון הארץ מחליף אותו מספר ימי השקע מצפון ואילו בצפון הנגב ובהר הנגב – השקע ממזרח, בהתאמה לממצאיהם של Saaroni et al (2010b). התנודה EA-WR, שנמצאה אף היא כמתואמת באופן מובהק עם כמויות המשקעים ברוב האזורים, נכללה רק באזור אחד. סיבה אפשרית לכך היא היותה המתואמת ביותר עם שכיחות השקעים הקפריסאיים לטיפוסייהם, ומכאן שתרומתה להסבר ההשתנות בכמות המשקעים באה לביטוי באמצעות הגורם הסינופטי, מה שהפך אותה ל"מיותרת" במשוואת החיזוי.

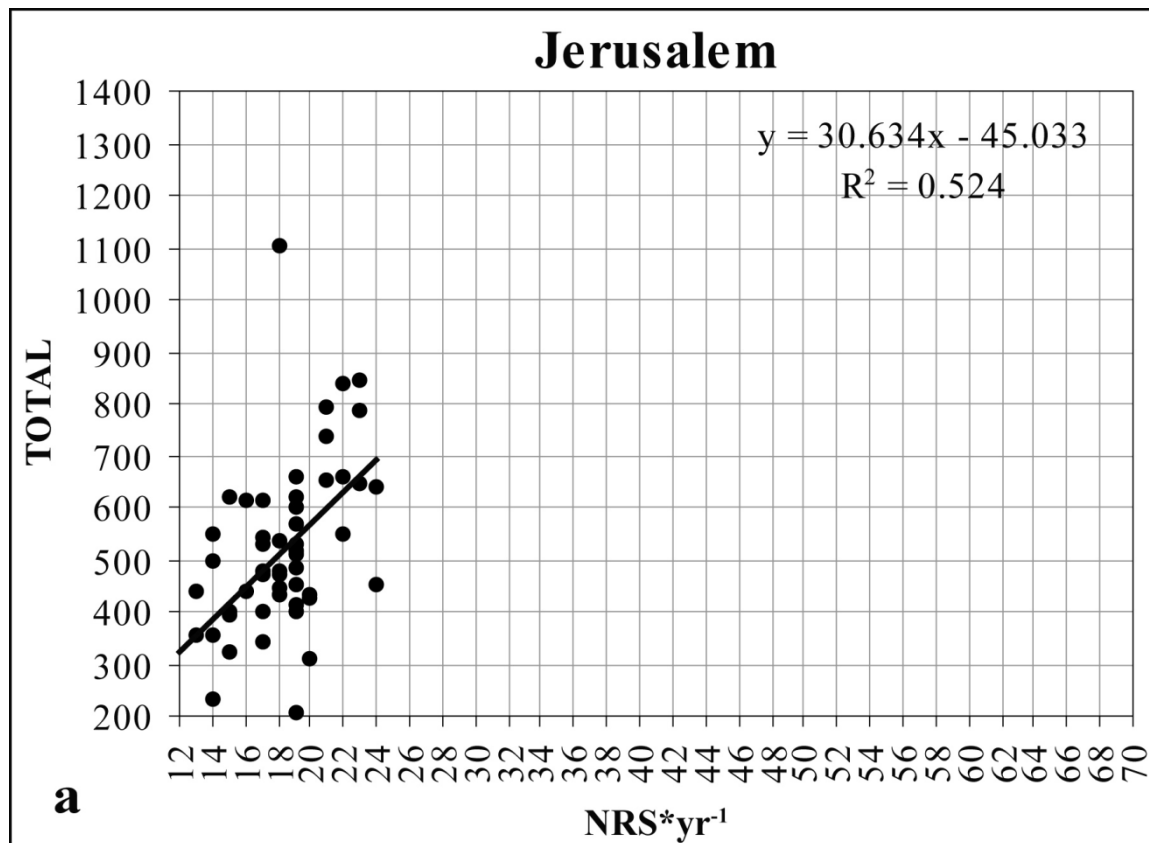
המתאם בין הערכים החזויים והמדודים בצפון הארץ, במרכז ובצפון הנגב גדול מ-0.68, כלומר השונות המוסברת בכמות המשקעים השנתית באזורים אלה עולה על 46%. בשני אזורים, מישור החוף המרכזי וגבעות יהודה המתאם הוא 0.82, כלומר – השונות המוסברת שם היא 67%.

1.2.3.2 מספר פרקי הגשם

תצפיות

במושג פרק גשם (rain-spell) הכוונה לרצף של ימים בהם נמדדה כמות גשם מעל לסף כלשהו. הסף הנמוך ביותר למדידה הינו 0.1 מ"מ אולם מקובל להתייחס לפרקי גשם כרצף של ימים בהם ירדה לפחות כמות של 1.0 מ"מ בכל אחד מן הימים. פרקי גשם נבדלים זה מזה באורכם וביבולם וניתן לאבחן בין תחנות שונות בנוסף גם בהתאם למספר פרקי הגשם בכל אחת מהן. מעל לשני שלישים מסך פרקי הגשם בארץ, אורכם עד שלושה ימים כאשר פרק גשם של יומיים הינו פרק הגשם הנפוץ ביותר. יבול הגשם גדל ככל שפרק הגשם מתארך. תרומתם היחסית של פרקי גשם שמשכם עד שלושה ימים הינו כ-70% מסה"כ כמות הגשם השנתית. בשנים שחונות, אחוז זה מתקרב לכדי 90% בעוד שבשנים גשומות אחוז זה יורד לפחות מ-60%. במילים אחרות, שנים שחונות מאופיינות גם במיעוט של פרקי גשם ארוכים ואילו בשנים גשומות, פרקי גשם ארוכים נפוצים יותר (Reiser and Kutiel, 2011b).

איור 1.8 להלן מראה את הקשר בין כמות הגשם השנתית בירושלים לבין מספר פרקי הגשם באותה שנה. הקשר הינו מובהק ($p < 0.05$),



איור 1.8: הקשר בין כמות הגשם השנתית למספר פרקי הגשם באותה שנה בירושלים.
מתוך, Reiser and Kutiel, 2011b.

1.2.3.3. אורך עונת הגשם

תצפיות

קיימות שיטות שונות למדידת אורך עונת הגשם. לדוגמה, מן הגשם הראשון ועד לגשם האחרון, מן היום הראשון שבו ירדה כמות מעל לסף מסוים ועד ליום האחרון שבו ירדה כמות זו. מן התאריך שבו הצטבר אחוז מסוים מן הגשם לדוגמה 10% לעד לתאריך שעד אליו הצטברו לדוגמה 90% (Paz and Aviad et al., 2003; Kutiel, 2004) מפרטים את השיטות השונות לקביעת אורך עונת הגשם. בניתוח סדרות עיתיות של עשרות תחנות גשם באגן הים התיכון (Reiser and Kutiel, 2009; 2011a) לא נמצאו שינויים מובהקים באורך עונת הגשם. יתרה מזאת, אורך עונת הגשם איננו מהווה גורם משמעותי בקביעת עונת גשם באם תהייה שחונה או גשומה. היו עונות גשם ארוכות שהיו שחונות ולהיפך, עונות קצרות בהן ירדו כמויות גשם מעל לממוצע (Reiser and Kutiel, 2011b).

1.2.3.4. עוצמות גשם

תצפיות

אלפרט וחוב' (Alpert et al, 2002) בדקו את עובי הגשם היומי במספר ארצות באזור הים התיכון. הם מצאו שלמרות שקיימת הפחתה בעובי הגשם השנתי, קיימת מגמתיות של עלייה עם השנים של עובי גשם יממי מעל לסף 64 מ"מ/יממה. הם לא מצאו מגמתיות כזאת לא בישראל ולא בקפריסין. במאמר מאוחר יותר המתייחס לתקופה 1950/1-2003/4, מצאו Yosef וחוב' (2009) כי עצמות הגשם היומי השתנו באופן בלתי מובהק; עלו בדרום ובמרכז הארץ וירדו בצפון. שהמי ומורין (2009) שבדקו אף הם את מגמתיות בעובי המשקעים היומי מעל לסיפים שונים, לא מצאו כל מגמתיות (גולדרייך, 2011).

1.2.3.5. פרקי יובש

תצפיות

האקלים הים תיכוני ככלל, ובאגן המזרחי בפרט, מאופיין בעונת חורב קיצית ארוכה הנמשכת חודשים אחדים. בנוסף, גם במהלך העונה הגשומה, ישנם פרקי יובש בין פרקי הגשם, חלקם ארוכים. כימות פרקי היובש נעשה באמצעות פרמטר DDSLR – Dry Days Since Last Rain (Aviad et al., 2009; Reiser and Kutiel, 2010). ממחקרים אלו עולה שאורכם של פרקי היובש גדל עם הצחיחות (Aviad et al., 2009) וכי לא נמצאה מגמה גורפת של התארכותם של פרקי היובש באגן הים התיכון בעשורים האחרונים (Reiser and Kutiel, 2010).

1.2.3.6. מערכות סינופטיות

תצפיות

מערכות הסינופטיות (שגודלן האופייני נע בסביבות 1000 ק"מ) מושפעות מדפוסי זרימה אטמוספריים בקנה מידה גדול (מסדר גודל של אלפי קילומטרים), המכונים גם "תנודות אקלימיות". תנודות אלה עשויות לשלוט בתנודות בכמויות הגשם ובטמפרטורה ב"תיווכן" של המערכות הסינופטיות (Branston and Livezey, 1987; Jacobeit, 1987). מחקרים רבים הראו שהשינויים התוך שנתיים והבין-שנתיים בתנודות אלה קובעים במידה רבה את שכיחות הופעתם ואת מסלולי תנועתם של השקעים נושאי הגשם לדוגמה, עבור הים התיכון, (רומם, 2010; זיו, סערוני, אלפרט 2011).

Ziv et al. (2003; 2005) בחנו את מגמות השינוי בטמפרטורה הקיצית במפלס 850 הקטופסקל מעל אגן הים התיכון וישראל, והצביעו על התחממות בולטת- הגבוהה מן השיעור הגלובאלי ומלווה בעלייה בשכיחותם של גלי החום ובעוצמתם. מגמה זו הוסברה בחלקה בעלייה בשכיחות טיפוס סינופטי האחראי לגלי החום באזור, האפיק הפרסי הרדוד. באשר לחורף, על אף מגמת ההתחממות הגלובאלית והתחממות שנצפתה באירופה ובמערב אגן הים התיכון, נצפתה בישראל מגמה של התקררות משנות ה-60 ועד אמצע שנות ה-90 (Ben Gai et al., 1999). התקררות זו הוסברה בשינויים במשטר הלחץ בים התיכון הנלווים לפאזה החיובית של התנודה הצפון אטלנטית - NAO שהתגברה באותה תקופה (Ben Gai et al., 2001) (זיו, סערוני, אלפרט 2011).

בחינת הקשר בין תנודות בגשמי ישראל לאינדקסים של תנודות אקלימיות העלתה כי התנודה הים תיכונית (MOI), כפי שהוגדרה ע"י Conté et al. (1989) ע"פ הפרש גובה מפלס 500 הקטופסקל בין אלג'יר לבין קהיר, מתואמת עם גשמי ישראל וצפון הנגב, כך שאנומליה שלילית בקהיר (וחיובית באלג'יר) נלווית לתקופה גשומה באזורנו (Kutiel et al., 1996; Kutiel and Paz, 1998). שתי תנודות נוספות שקודקודיהן מצויים מצפון לאגן הים התיכון, ה- NCP וה- EA-WR, נמצאו אף הן מתואמות עם התנודות במשקעים במזרח אגן הים התיכון ובישראל (קישצ'ה וחוב', 2002; 2003; Krichak et al., 2002; 2003; Kutiel and Benaroch, 2002; Kutiel et al., 2002; Krichak and Alpert, 2005; Kutiel and Türkes, 2009; Yosef et al., 2006; Alpert et al., 2005).

Price et al. (1998) הראו כי תנודת האל נינו (Nino 3-4) מסבירה באופן מובהק את גשמי ישראל, אך זאת רק מאמצע שנות השבעים (1975), ולא בתקופה שקדמה לה. (זיו, סערוני, אלפרט 2011). טבלה 1.3 להלן מפרטת את המתאם בין כמות המשקעים השנתית באזורי הארץ השונים לבין טיפוסים סינופטיים השייכים לשתי המערכות הנ"ל וצירופים שלהם. ערכי המתאם עם מספרם הכולל של ימי שקעים קפריסאיים גבוהים ($R \approx 0.7$) ומובהקים בצפון הארץ ובמרכזה, יורדים עם ההדרמה לנגב, אם כי עדיין מובהקים בצפון הנגב, ומגיעים לערך שלילי (בלתי מובהק) באילת. ממצאים אלה משקפים את היות השקעים גורמי הגשם העיקריים, אפילו בנגב, הרחוק ממסלול מעברם (שנמצא בסביבת קפריסין). מתאם דומה נמצא עבור מספר ימי השקעים העמוקים, אלא שבאזור הצפון ההררי והרי יהודה המתאם גבוה יותר מאשר עם כלל מספר ימי השקעים הקפריסאיים. מיקומם של השקעים

(מצפון או ממזרח) משפיע באופן שונה על האזורים השונים כך שכאשר השקעים ממוקמים מצפון תרומתם רבה יותר לגשמי צפון הארץ, ואילו השקעים הממוקמים ממזרח - תרומתם גדולה יותר לגשמי מרכז הארץ ודרומה בשל הרוחות הצפוניות מערביות המחדירות לחות מהים התיכון לאזורים אלה. ממצאינו תואמים את ממצאיהם של Saaroni et al (2010).

טבלה 1.3 : המתאם (R) בין כמות המשקעים השנתית בכל אחד מאזורי המחקר לבין השכיחות של טיפוס השקעים ואפיקי ים סוף האופייניים לאזור לתקופת המחקר. מתאמים שערכם המוחלט < 0.33 מובהקים ב- 95% ומודגשים ומתאמים שערכם המוחלט בין 0.28 ל- 0.33 מובהקים ב- 90% ומסומנים בקו תחתון מתוך: (זיו, סערוני ואלפרט 2011).

אפיק ים סוף ציר מזרחי	כלל ימי אפיק ים סוף	שקע ממזרח	שקע מצפון	שקעים עמוקים	כלל ימי השקע	
-0.02	-0.11	+0.36	+0.43	+0.73	+0.62	הצפון ההררי
+0.06	-0.10	+0.50	+0.36	+0.67	+0.70	גליל תחתון ועמקים
+0.06	-0.09	<u>+0.31</u>	+0.40	+0.54	+0.60	חיפה
+0.08	-0.04	+0.64	+0.32	+0.60	+0.77	מישור החוף המרכזי
+0.15	-0.04	+0.64	+0.19	+0.71	+0.65	ירושלים
+0.06	-0.10	+0.68	+0.17	+0.62	+0.68	גבעות יהודה
<u>+0.28</u>	+0.12	+0.63	-0.01	+0.46	+0.51	צפון הנגב
-0.12	-0.07	+0.15	-0.11	+0.10	+0.06	סדום
+0.02	-0.12	+0.50	-0.20	+0.20	<u>+0.29</u>	שדה בוקר
<u>-0.28</u>	-0.22	-0.07	-0.04	-0.22	-0.01	אילת

בעוד שהמתאמים בין שכיחויות השקעים לבין הגשם חיוביים ומובהקים עבור צפון הארץ, מרכז וחצי הצפוני של הנגב, אפיקי ים סוף נמצאו בלתי מתואמים, או מתואמים שלילית (אך לא באופן מובהק) עם כמויות המשקעים. ניתן להסיק מכך שאפיקי ים סוף יוצרים תנאים מונעי גשם. הדבר סותר לכאורה את הידוע לנו על אפיקי ים סוף פעילים, מערכת הגורמת לשיטפונות, בעיקר בדרום (Kahana et al., 2002). ניתן ליישב זאת בכך שרובם המכריע של אפיקי ים סוף אינם פעילים (Tsvieli and Zangvil, 2005).

טבלה 1.4 להלן מראה את המתאמים בין התנודות האטמוספריות בקנה מידה גדול, הנחשבות כשולטות במשטר החורפי באירופה ובים התיכון וכן בישראל (ר' חלק א') לבין כמויות המשקעים השנתיות. המתאמים המרביים נמוכים מאלו שהתקבלו עבור שכיחות ימי השקעים הקפריסאיים. עם זאת, נמצאו מתאמים מובהקים עבור כל התנודות שנבדקו (למעט התנודה הצפון אטלנטית NAO), עבור רוב אזורי הארץ, פרט לבקעת ים המלח והערבה. הממצאים מחזקים מחקרים קודמים שפורטו ברקע המדעי (קישצה וחוב', 2003; Price et al., 1998; Krichak et al., 2002 Kutiel and Benaroch, 2002; Kutiel et al., 2002; Krichak and Alpert, 2005; Kutiel and Türkeş, 2005; Ziv et al., 2006; Yosef et al., 2009) ומעידים על כך שלתנודות האטמוספריות בקנה מידה גדול יש השפעה משמעותית על משטר הגשמים בישראל.

טבלה 1.4: המתאם (R) בין כמות המשקעים השנתית בכל אחד מאזורי המחקר לבין האינדקסים של התנודות האטמוספיריות הגדולות (הערכים ממוצעים לדצמבר-פברואר) לתקופת המחקר. מתאמים שערכם המוחלט < 0.33 מובהקים ב- 95% ומודגשים שערכם המוחלט בין 0.28 ל- 0.33 מובהקים ב- 90% ומסומנים בקו תחתון. *עבור תנודת ה- NCP הנתונים הינם לתקופה 1975-2007 בלבד.

מתוך: זיו, סערוני ואלפרט 2011.

NAO	Nino 3_4	EA-WR	NCP*	
-0.10	+0.60	+0.35	+0.17	הצפון ההררי
-0.04	+0.62	+0.43	+0.33	גליל תחתון ועמקים
-0.14	+0.56	+0.34	+0.30	חיפה
+0.11	+0.59	+0.54	+0.48	מישור החוף המרכזי
+0.03	+0.61	+0.55	+0.46	ירושלים
+0.08	+0.65	+0.61	+0.52	גבעות יהודה
+0.25	+0.56	+0.49	+0.41	צפון הנגב
+0.11	+0.08	-0.02	-0.16	סדום
+0.07	+0.43	+0.33	+0.35	שדה בוקר
+0.04	+0.10	+0.00	+0.01	אילת

טבלה 1.5: המתאם (R) בין האינדקסים של התנודות האטמוספיריות הגדולות (הערכים ממוצעים לדצמבר-פברואר) לבין שכיחות קבוצות הטיפוסים של השקעים הקפריסאיים (בחודשים דצמבר-פברואר) לתקופת המחקר. מתאמים שערכם המוחלט < 0.33 מובהקים ב- 95% ומודגשים שערכם המוחלט בין 0.28 ל- 0.33 מובהקים ב- 90% ומסומנים בקו תחתון. *עבור תנודת ה- NCP הנתונים הינם לתקופה 1975-2007 בלבד.

מתוך: זיו, סערוני ואלפרט 2011

NAO	Nino 3_4	EA-WR	NCP*	
0.10-	+0.43	+0.50	+0.29	כלל ימי שקע קפריסאי
-0.14	+0.41	+0.40	+0.33	ימי שקע קפריסאי עמוק
-0.01	+0.49	+0.64	+0.41	ימי שקע קפריסאי מצפון
-0.14	+0.12	+0.05	+0.14	ימי שקע קפריסאי ממזרח

מערכי המתאם שבטבלאות 1.4 ו- 1.5 עולה שהגורמים הסינופטיים והתנודות האטמוספיריות הגדולות מסבירים עד כ- 50% מההשתנות הבין-שנתית של המשקעים. יתכן ששילובים של גורמים משני הסוגים יכולים להסביר חלק גדול יותר מהשונות הבין-שנתית של המשקעים. יש לציין שאם ההתחממות הגלובאלית לבדה הייתה הגורם למגמת הירידה הליניארית במשקעים, היינו מצפים למצוא גם בקירוב הפולינומיאלי מהלך עקבי של ירידה בהתאם לעקביות בהתחממות הגלובאלית ולא מהלך קמור. ממצאים אלה מצביעים על האפשרות של השפעה שמקורה בגורמים סינופטיים אזוריים ובתנודות בקנה מידה גדול (זיו, סערוני ואלפרט, 2011).

1.2.4 הסביבה החופית

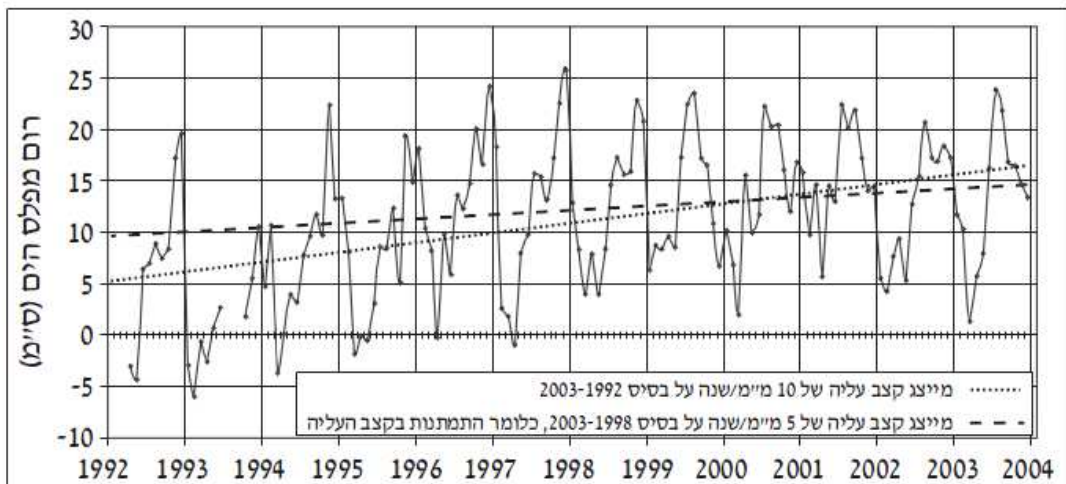
1.2.4.1 טמפרטורות פני הים (SST)

הים התיכון מראה מגמות התחממות מאז 1976 ועד 2006. משנת 2000 מבחינים בעליית טמפרטורת פני הים גם בקיץ וגם בחורף בסדר גודל של לפחות מעלה אחת ללא קשר לטמפרטורת האוויר בישראל. בשנים האחרונות נמדדות בקיץ טמפרטורות של עד 31°C. במערב הים התיכון (מאירקה) נמצאו עליות מובהקות הן של טמפרטורות המינימום והן של המקסימום. במקסימום - 0.58°C לעשור, במינימום - 0.50°C לעשור.

ב- 8 השנים האחרונות רואים עלייה ביותר ממעלה אחת לתקופה. כיום הטמפרטורות בחוף יורדות עד ל- 17.5°C מעלות בעוד שבעבר הטמפרטורות ירדו עד ל- 16°C מעלות.

1.2.4.2. מפלס פני הים

התחנה הראשית למדידת מפלס הים התיכון בישראל נמצאת בחדרה. רוזן (2003), מצא, כי בין 1992 ל- 2003 עלה מפלס פני הים בתחנת מדידה זו ב- 10 מ"מ לשנה (איור 1.9), וכי בשנים 1982-2001 היה המפלס הממוצע סנטימטרים אחדים מעל רום הבסיס של המרכז למיפוי ישראל. קליין ולייכטר (2004) מציינים כי קצב עליית מפלס פני הים בישראל תואם את קצב עליית פני הים באזורים אחרים באגן הים התיכון.



איור 1.9: עליית מפלס פני הים בחוף של ישראל – ממוצע חודשי בשנים 1992 – 2003 . מתוך: רוזן, 2003

המשמעות ההידרולוגית של תופעה זו היא חדירה מוגברת של מי ים לאקוות החוף והמלחתה מפלס המים השפירים באקוות החוף עולה וממתן את שיפוע זרימת הנחלים. היבט נוסף של עליית מפלס מי הים הוא התרחבות היקף ההצפה של שיטפונות במישור החוף (אלפרט וכן צבי, 2001). במידה ומפלס מי הים ימשיך לעלות, יביא הדבר לנסיגה של קו המים מזרחה עד למצוקי החוף ולנדידת הפן הביני (מישור המגע בין מי הים מלוחים לבין מי התהום הקלים יותר המגיעים מכיוון היבשה והדוחקים את מי הים כלפי מטה (מזרחה). בשלב מתקדם יותר עלולים לההרס צדודיות החוף ומצוקי החוף, ועלולה להיות הצפה של שטחים רדודים לזמן ממושך יותר והצפה של ניקוזי הנחלים בצמוד לקו החוף. הדבר יחייב להעתיק מבנים ואתרים שונים מזרחה. ההשפעה של עליית מפלס מי הים על אקוות החוף בישראל נבדקה על ידי Melloul and Collin (2006). מלבד שינויי אקלים, משפיעים על אקוות החוף היבטים נוספים תנודות טקטוניות למיניהן יכולות להרים את מפלס מי הים ובכך לגרום להמלחת האקוות. עליית מפלס מי הים יכולה לגרום לבליה נמרצת של סלעי החוף ולשקיעת גזי חממה לאטמוספירה ובהמסת הקרחונים, אך גם בניצול יתר של אקוות החוף על ידי שאיבה, בנייה וכדומה. בניית סכרים מגבירה ארוזיה אף היא, בכך שחומר שהיה נסחף בעבר אינו מצטבר על החוף. ארוזיה מובילה להמלחה של האקוות, להריסת נישות אקולוגיות ולהרס אתרי תיירות ושרידים ארכיאולוגיים. טבלה 1.6 להלן מסכמת מספר מחקרים שעסקו בשינוי במפלס פני הים.

**טבלה 1.6 : סיכום מחקרים שעסקו במפלס פני הים.
מתוך: רוזן, 2003**

מקור: Melloul & Collin 2006: 283

Sources	Region	Date used (years)	SLR (mm/yr)
Gornitz and Lebedeff (1987) and IPCC	Global	1880–1982	1.2±0.3
Millinan (1992)	Mediterranean Basin	<1991	1–2
Shennan and woodworth (1992)	Northwestern Europe	<1991	1.0±0.2
Zerbini et al. (1996)	Genoa	1884–1988	1.3
Nichollas and Hoozmans (1996)	Marseille	1885–1992	1.2
Gornitz (1995)	Eastern USA	<1994	1.5
Topex—Poseidon satellite	Global	1993–1998	2.5
Shirman (2001) [14]	Tel Aviv–Ashdod	1990–2002	20–25±10
Rosen (2002) [5]	Hadera (Israel)	1992–2002	11±5

מקור: Melloul & Collin 2006: 283

בטבלה בולטים ממצאי המחקרים המתייחסים לחופי תל אביב ולחופי חדרה, המצביעים על עלייה משמעותית במיוחד במפלס הים בשנים 1992-2002. אקוות החוף פגיעה במיוחד גם בגלל השפעות אנושיות ישירות על החוף) בנייה, סלילת כבישים, הקמת מרינות ועוד (אך גם בשל עליית מפלס מי הים כתוצר משינויי אקלים יש לזכור כי באזור החוף של ישראל מתגוררים 70% מהאוכלוסייה, בו מתבצעת 80% מהפעילות התעשייתית ובו מופקים 90% מהכנסות התיירות Melloul and Collin). (2006) היבטים אקולוגיים וחברתיים-כלכליים עלולים להיות מושפעים מעליית מפלס נוספת בפני הים (Georgas 2003). ההיבטים הביופיזיים העיקריים המאיימים על אגן הים התיכון בשל עליית מפלס פני הים הם עפ"י Sterr et al. (2003):

- הגברת הצפות מבחינת התדירות ומבחינת העוצמה
- ארוזיה ומחסור בחומרי סחף
- הצפת ביצות או דלתות ואזורים נמוכים טופוגרפית
- השפעה על מי התהום
- המלחת אקוות
- השפעות ביולוגיות (פז וקידר, 2007)

עפ"י IPCC צפויה עליה של מפלס הים בשיעור של 50 ס"מ עד שנת 2050. ההערכה דיברה על 56 ס"מ עד 2100. בשנים האחרונות רואים בלימה. מ-1990 עד 2000 נצפתה עליה של 1 ס"מ בכל שנה ואילו מאז-2000 ועד 2010 נצפתה עליה של 0.5 ס"מ בכל שנה.

1.2.4.3 סערות

בעשור האחרון נצפו כ-70 סערות גלים שגובהן מעל ל-3.5 מ'. כמו-כן נצפו מספר רב יחסית של סערות חריגות בעוצמתן שגובה הגלים בהן היה מעל 6 מ'. בשנה האחרונה כמו במהלך הסערות החריגות בשנת 2001 ובשנת 2011, נמדד גובה גל משמעותי מעל 7.20 מ', וגובה גל מקסימאלי שגובהו מעל 13 מ', שתקופת חזרתו אחת ל-30 שנה. בנוסף ראוי לציין כי קיים פער גדול היום של ידע בין הנצפה בגלים לבין המצבים הסינופטיים הגורמים להם. לנושא זה השפעות עתידיות לגבי מתקני תשתיות המיועדים להיבנות בים (אסדות קדוח, מסופי פריקה של גז ועוד).

1.2.5. זיהום אוויר

1.2.5.1. חלקיקים אטמוספריים

אירוסולים הם חלקיקים קטנים המרחפים באוויר. חלקם נוצרים באופן טבעי בפעילות געשית, סופות אבק וחול, שריפות ביערות ושדות, צמחיה חיה ורסס מי ים. גם פעילות אדם, כגון שריפת דלקים מאובנים ושינויים על פני כדור הארץ, יוצרת אירוסולים. על פי הממוצע העולמי, אירוסולים שנוצרים כתוצאה מפעילות אדם מהווים כ-10% מסך כמות האירוסולים בהרכב האטמוספירה. אירוסולים נוטים לגרום להתקררות מיידיית של פני כדור הארץ מתחתיהם. היות ורוב האירוסולים מחזירים קרינה קצרת גל מהשמש בחזרה אל החלל, הם יוצרים אפקט קירור ישיר על ידי הפחתת הקרינה הסולארית שמגיעה אל פני כדור הארץ. מידת הקירור תלויה בגודל והרכב החלקיקים וכמוכן במידת הרפלקטיביות (יכולת החזרה) שלהם. משערים כי אפקט הקירור שיוצרים האירוסולים יכול לעכב באופן חלקי את ההתחממות הגלובלית שנובעת מעלייה בריכוז פחמן דו-חמצני כתוצאה מפעילות אנושית. בנוסף, יש הטוענים כי אירוסולים משפיעים על האקלים באופן בלתי ישיר על ידי שינוי תכונות העננים. למעשה, ללא אירוסולים בהרכב האטמוספירה, העננים לא היו קיימים. קשה מאוד ליצור ענן ללא אירוסולים המשמשים כגרעיני התעבות להיווצרות טיפות ענן. ככל שעולה ריכוז האירוסולים בענן, כך עולה כמות חלקיקים קטנים שעל גביהם מתפזרים המים. החלקיקים הקטנים הללו נופלים בקצב איטי יותר באטמוספירה ומפחיתים את כמות המשקעים. בדרך זו, שינוי בכמות וגודל האירוסולים באטמוספירה עלול לשנות את תדירות הופעת העננים, עובי הענן וכמות הגשם. בנוסף, האירוסולים, משפיעים על הכימיה של האטמוספירה ועלולים להגביר את תופעת הגשם החומצי וכן לגרום להשפעות בריאותיות שליליות ולהגדיל את תמותת האדם משמעותית (קרניאלי, 2008).

ריכוז האירוסולים בישראל גבוה יותר במהלך הקיץ בעת ששוררת באזורנו אינברסיית רום היוצרת תנאים אטמוספריים יציבים המקשים על פיזורם של מזהמים (Ganor, 1998). במהלך היום, בריזת הים, נושבת מכוון צפון מערב ואילו בלילה ובבוקר, בריזת היבשה נושבת מכוון דרום מזרח (Ganor, 1998). מרכיבי הזיהום נישאים לתוך היבשה במהלך היום, באמצעות שכבות האויר הגבוהות הצפון מערביות. שינויים עיתיים של ריכוזי חומר חלקיק עדין (FPM - Fine Particulate Mass) וחומר חלקיק גס (CPM - Coarse Particulate Mass) מעל ישראל מוצגים באיורים 10 ו-11. ניתן לומר שפעילויות אירוסולים מחלקות את השנה רק לשתי עונות: חורף וקיץ. החורף – מאוקטובר עד מאי, הוא העונה של סופות אבק וחול עם מסנן העמסה מעל $100\mu\text{g}/\text{m}^3$. אירועים לא רגולריים של סופות אבק וחול, מתרחשים בתקופה זו בשנה.

1.2.5.2. מקורות הזיהום

אגן הים התיכון המזרחי, מהווה שטח קליטה עבור מספר סוגים של אירוסולים קרינתיים ממקורות אנושיים וטבעיים (Maenhaut, 1996). גושי אויר החוצים את אגן הים התיכון ובייחוד מעל מזרח הים התיכון, מקורם מאירופה, אפריקה והים האטלנטי (Ganor, 1998; Ganor, et al., 1998). גושי אויר ממדבר הסהרה הם חמים ויבשים ונושאים אבק מינרלי (Ganor, 1991a). אבל בנוסף לכל המקורות שנזכרו, האזורים החצי-צחיחים בדרום ישראל הם מקור עיקרי לחלקיקים אירוסוליים מינרליים המכילים מרכיבים שונים כולל: ברזל (Fe), סידן (Ca), צורן (Si) וכיוב'.

ישנם שני סוגים של אירוסולים טבעיים הרלוונטים לישראל – ימיים ומינרליים – בשל המיקום הגאוגרפי של הארץ בין הים התיכון ושטחי מדבריות גדולים. האירוסולים הימיים מקורם בעיקר מהרסס הימי, בעוד שהאירוסולים מינרליים מורכבים בעיקר מינרלים כגון קווארץ, קלצית, פצלת השדה, גבס וחרסית (קרניאלי א., 2008; Ganor, 1991b).

מחקרים אחדים עסקו בהשפעות של חלקיקי אירוסולים עדינים ואירוסולים של תחמוצת גפרית (SO_x) במיוחד, על מאזן הקרינה של כדור הארץ. כתוצאה מכך, ניטור הדינמיקות העיתיות של חלקיקי

גפרית אנתרופוגניים עשויים להסביר סוגיות עיקריות בהבנת תהליכים של שינויי אקלים וצפייתם. שינויים בפליטות באזור אחד עשויים ליצור שינויים בהשפעות קרינתיות מקומיות, אבל למגמות פליטות אלה עשויות להיות השפעות שונות בכון הרוח באזורי הקלטה שבהם משטחי קליטה שונים של אלבדו, גיאומטריה סולארית וחלקיקי רקע עשויים או להאיץ או למתן את השפעת הקרינה (קרניאלי, 2008).

1.2.5.3 מרכיבי הזיהום

כפי שניתן לראות (Concentrations of Coarse Particulate Mass) CPM, ריכוזים של חומר חלקיקי גס ($2.5-10 \mu\text{m}$) דומיננטים ובאופן כללי מרכיבים 75% מכלל החומר (total mass (TM)). זה מצביע על כך שרוב הריכוז של המסה נמצא בחלק של הגודל הגס. הממוצע עבור מסת החומר הגס ($2.5-10 \mu\text{m}$ CPM) בשדה בוקר, עבור תקופה של 10 שנים הוא $44.5 \pm 55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ונע בין $32.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ו- $54.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$. ממוצעי CPM גבוהים וריכוזים שונים גדולים קשורים בשנים המאופיינות בסערות תקופות יותר של אבק וחול, כמו במרץ 1995 ופברואר 1996 שבהן הריכוז עלה עד ל- $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

בניגוד ל FPM (Fine Particulate Mass) החומר חלקיקי עדין ($<2.5 \mu\text{m}$) ($14.83 \pm 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) מאופיין בשונות קטנה והוא רק 25% מהמסה הכוללת (TM). באופן כללי חומר חלקיקי עדין, שרובו מורכב מטיפות מים קטנות וחלקיקי זיהום (תוצר שניוני) כמו גפרית לא-ימית, ניטרטים, אמונים, מתכות (Pb, Ni, V, Zn etc.) ופחמן שחור (BC), נישא לכוון ישראל באמצעות גושי אויר גבוהים (קרניאלי, 2008).

1.2.5.4 גזים

לחלקיקי תחמוצת גופרית (SO_x) השפעה על האקלים דרך אילוץ קרינתי (ראה Boucher and Pham, 2007; Langmann, et al., 1998; Marmer, et al., 2002). ההשפעה הישירה היא תוצאה של פיזור קרינת שמש קצרת גל חזרה לחלל. חלקיקים אלה עשויים לשנות עם הזמן את תכונותיהם האופטיות וההיגרוסקופיות ובכך גם את כוחם. יותר מכך, לאורך ההסעה שלהם, התערובת הפנימית שלהם יכולה להשתנות בשונה מהתערובת החיצונית (Lesins, et al., 2002) וההשפעה העקיפה גם היא די מסובכת ולמרות התקדמות ניכרת, איננה מובנת במלואה (Andreae and Rosenfeld, 2008). היא נובעת מהיכולת של חלקיקי אירוסולים של גופרית לנהוג כגרעיני התעבות של עננים שתוצאתם יותר ענני טיפות אבל קטנטות יותר. טיפות רבות יותר אבל קטנות יותר עשויים או להגדיל את אלבדו העננים או להקטין משקעים, אשר עשוי להאריך את אורך החיים של הענן. שני השינויים האלה של עננים על ידי אירוסולים פועלים ביחד ובהתאמה עם ההשפעה הישירה להגדיל את אלבדו הכוכבים, לפזר יותר לחלל קרינת שמש קצרת גל נכנסת, ולספק כוח שלילי (קרניאלי, 2008). פליטות גופרית עם או בלי מזהמים אחרים, עשויות לגרום להשפעות סביבתיות, בריאותיות ואקלימיות רציניות (Stern, 2005). כאשר תחמוצת גופרית וגופרית הכוללת חלקיקים מוסרות מהאטמוספירה באמצעות גשם חומצי, הן משוקעות בקרקע ובפני המים ועשויות להזיק ליערות, אקוסיסטמות וגופי מים (Schopp, et al., 2003; Stoddard, et al., 1999). כאשר חלקיקים אירוסולים של גופרית נלכדים ומתפזרים באטמוספירה הנמוכה תחת תנאים של אינברסיה נמוכה, נוצרת תופעה ששמה ערפוח, הם עשויים להגביל ראות ולפעמים הם מסוכנים לבריאות דרך השפעות נשימה קשות (Derimian, et al., 2007; Luttmann-Gibson, et al., 2006; Spengler, et al., 1996).

תצפיות

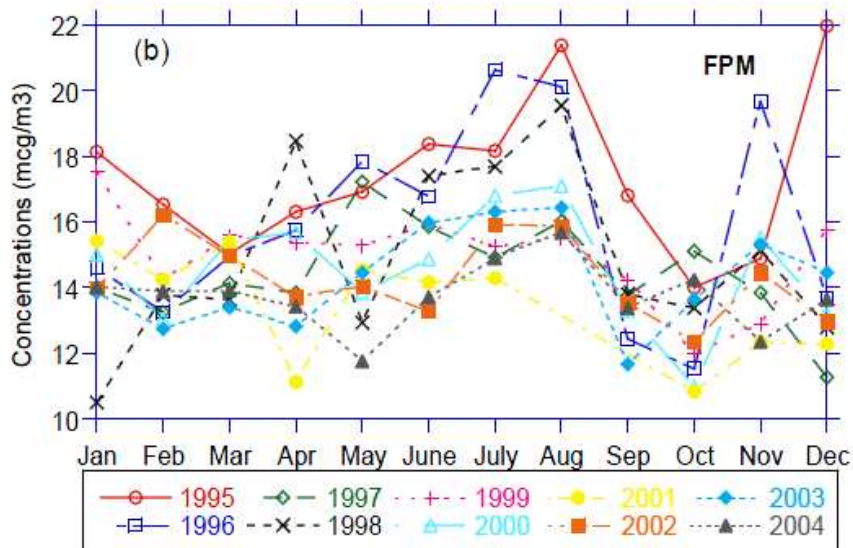
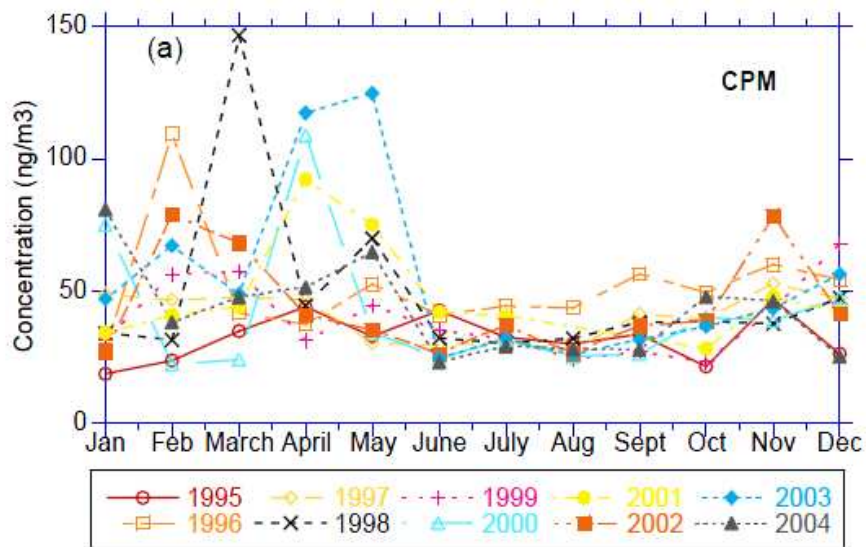
אתר הקליטה, הממוקם במדבר הנגב המרכזי, הראה הקטנה משמעותית בחלקיקי גפרית עדינים. יש לציין שתצפיות אלו הן בניגוד לעובדה שהאוקלוסיה של ישראל גדלה בתקופה המקבילה ב 53% מ-4.7 מיליון ב-1990 ל-7.2 מיליון ב-2007, בעיקר הודות לגלי הגירה גדולים ממדינות ברית המועצות

לשעבר. גידול זה לווה בגידול מקביל בכל הפעילויות הכלכליות. על פי מאגר הנתונים EDGAR¹ פליטות הגפרית של ישראל גדלו ב 60% בין 1990 ו - 2000. תחנות כח, הממוקמות לאורך החוף הים תיכוני הישראלי, רק במרחק 100 - עד 200 ק"מ מקמפוס שדה בוקר, הן המקור העיקרי (כ - 65%) של פליטות הגפרית בישראל. עם זאת בשל תנאי האקלים הסינופטיים של האזור במהלך הקיץ, כלומר שכבת גבול רדודה ורוחות חלשות המונעות הבניה של זיהום אויר מקומי ביחד עם שיפוע לחץ תלול בין הרמה בצפון מערב של האזור והשקע הפרסי בדרום מזרח, שדה בוקר נשארה ללא השפעה של הגידול בזיהום המקומי הזה ונשאר אתר התייחסות מתאימלבחון אירוסולים מזהמים, המוסעים אלפי קילומטר עם הרוח ממקום מוצאם (קרניאלי, 2008). המחקר של קרניאלי (2008) מצביע על הקטנה של 65% בהתקררות חלקיקים (aerosol cooling) מעל ישראל, אשר עלולים להשפיע על זרימות איזוריות בינוניות ודגמי מזג אויר (קרניאלי, 2008).

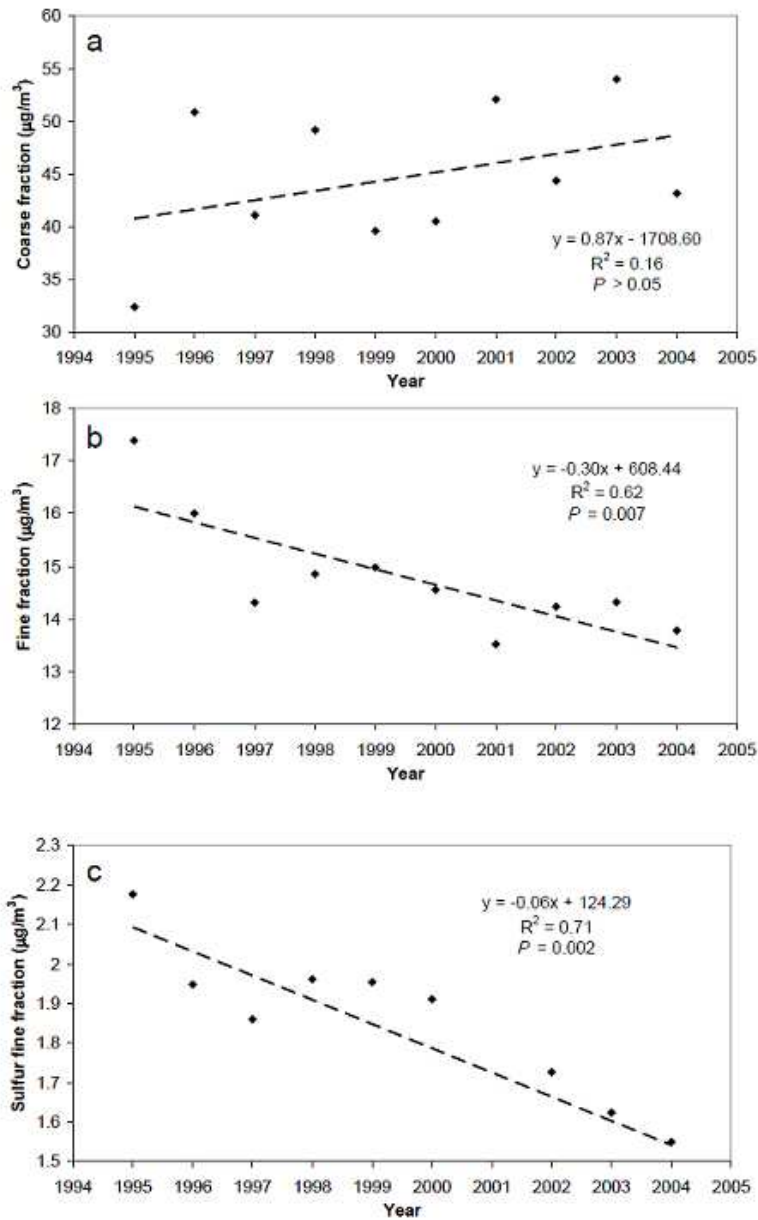
1.2.5.5. אבק וסופות סופות אבק

בגושי האויר שמגיעים לישראל ממדבריות צפון אפריקה, סיני וחצי האי הערבי יש אוכלוסיות אירוסולים המושפעות מאוד מהמרכיבים המינרליים (Herut, 2000). אירוסולים מינרליים קיימים באטמוספירה במשך רב השנה ובעיקר מאוקטובר עד מאי. במהלך יולי ואוגוסט, כאשר מופיעות רוחות אטזיות, מעט מאוד אבק מינרלי נמצא באטמוספירה. (Ganor, 1991b; קרניאלי, 2008). מרבית המסלולים המחושבים פונים לצפון מערב מכוון אתר הקליטה (שדה בוקר). ממצא זה מתיישב היטב עם הזרימות הסינופטיות הכלליות של מזרח הים התכוון במהלך הקיץ. מבלי להתייחס לאירועים קיצוניים, יותר ממחצית המסלולים מקורם במזרח ומרכז אירופה, בעוד ש 73% מכך (40% מהסך הכל) מקורם ספציפית באוקראינה ורוסיה. האחרים החלו מדרום אירופה ומדינות הים התיכון (תורכיה, יוון, איטליה). מעריכים כי אם היה נערך ניתוח מסלולים יותר אחורה, יותר מסלולים היו מתחילים באזורים צפוניים יותר (קרניאלי, 2008). כתוצאה מתנאים אטמוספריים ומטאורולוגיים, הקיץ (יוני עד ספטמבר) היא העונה בה האטמוספירה נשלטת בעיקר על ידי חלקיקים משניים עדינים בשל העדר רוחות והימצאות הולכות ארוכות טווח של גושי אויר. אירוסולים מינרליים נמצאים בריכוזים קטנים מאוד בעונה זו. בחדשים אלו ערכי הריכוזים של סך כל הכמות (TM) קבועים באופן מיוחד (קרניאלי, 2008).

¹ <http://www.mnp.nl/edgar>



איור 1.10: שינויים בזמן של מסת חלקיקים גסים (a) ומסת חלקיקים עדינים (B) מתוך קרניאלי, 2008



איור 1.11: מגמות עיתיות של ריכוזי חומר שמתקבל מדוגם חלקיקים דו-שלבי הממוקם בקמפוס שדה בוקר: (a) חלקיקים גסים, (b) חלקיקים עדינים, (c) גופרית מתוך: קרניאלי, 2008

1.3 זיהוי פערי ידע בתחום שינויי האקלים

1.3.1. כללי

פערי ידע עלולים לנבוע מסיבות שונות כגון:

- חוסר בנתונים (או חוסר יכולת להשיג נתונים קיימים)
 - קיימים נתונים אולם לא נעשה שימוש בהם במחקר בנושא שמעניין אותנו
 - נערכו מחקרים אולם רמת הפירוט (בזמן ו/או במרחב) אינה מספקת
 - מחקרים שונים בנושא מסוים מציגים ממצאים סותרים
 - קיים חוסר ידע בסיסי שמונע עריכת מחקר בנושא מסוים באופן מהימן
 - קיים חוסר מידע על המידע, דהיינו נערכו מחקרים בנושא מסוים אולם לנו לא ידוע עליהם
- באופן כללי, התגלו פערי ידע מחמשת הסיבות הראשונות. לגבי הסיבה האחרונה, אין כמובן דרך לדעת מאחר שאילו היה מידע על המידע זה כבר לא היה פער ידע.

1.3.2 משטר הטמפרטורות

תצפיות

כללית, קיים כיסוי סביר של מדידות טמפרטורה במדינת ישראל לאורך השנים. יחד עם זאת, קשה למצוא סדרות ארוכות של תחנות מאזורים פתוחים (לא עירוניים) בהן קיימות מדידות של טמפרטורות מקסימום ומינימום לאורך שנים רבות. נתונים אלו נדרשים על מנת לנטרל את תופעת אי-החום העירוני על משטר הטמפרטורה. נקודה חשובה ביותר הינה העובדה שבשנים האחרונות, השירות המטאורולוגי עובר יותר ויותר לשימוש בתחנות אוטומטיות. שינוי מבורך לכשעצמו אולם יש לערוך כיוול של הנתונים על-מנת שניתן יהיה להשוותם לנתונים שנמדדו ידנית בעבר וע"י כך לשמור על רצף של מדידות לאורך השנים. לא נמצאו סתירות מהותיות בין המחקרים השונים בהם נבדק משטר הטמפרטורות לאורך השנים.

1.3.3. משטר הגשמים

תצפיות

מבחינת נתונים, במדינת ישראל צפיפות מדי גשם מן הגבוהות בעולם. יחד עם זאת, מאז שנות ה-90 של המאה הקודמת וביתר שאת מאז שנות ה-2000 עם המעבר לתחנות אוטומטיות, מספר התחנות בהן מודדים גשם הולך ומתמעט. מגמה זו אגב, הינה כלל עולמית. בעיה נוספת הקיימת עם הנתונים היא שלמרות מספרן הרב של תחנות המדידה, לא כולן עבדו באותן שנים במקביל, חלקן זז מסיבות כאלו או אחרות למרחק של עשרות מטרים ועל כן לא תמיד ישנן סדרות ארוכות והומוגניות המאפשרות ניתוח עיתי של הנתונים.

אחד מפערי הידע קשור להשפעה של העיור על הגשם. לא נערך עד כה בארץ מחקר מקיף במטרה לענות על שאלה זו. ממעט המחקרים שנגעו בעקיפין בסוגיה זו, עולות תשובות סותרות.

תחזיות

אחד מפערי הידע הבסיסיים מתייחס לשאלה כיצד תשפיע עליית הטמפרטורה (בהנחה שזו אכן המגמה הצפויה) על משטר הגשם בכלל ועל הכמויות השנתיות בפרט? התשובה השכיחה הינה שעליית הטמפרטורה תגרום לירידה במשקעים. הדוגלים בתשובה זו מסתמכים על המתאם השלילי הקיים בין השניים (אגב, רק באזורנו, לא בעולם, שם קיים מתאם חיובי בין השניים). אין שום הגיון פיסיקלי לפיו, ירידת הטמפרטורה תגרום לעליה במשקעים ולהיפך. אדרבא, עליית הטמפרטורה תגביר את ההתאדות ואת אי היציבות, שני מרכיבים בסיסיים ביצירת הגשם. המתאם השלילי בין השניים נובע להערכת, כתוצאה מכך, שמרבית סופות הגשם באזורנו מקורן בחזיתות קרות. ככל

שתרבינה בחורף מספר סופות הגשם, כך יחדרו לארץ יותר גושי אויר קרים, תהייה עננות רבה יותר שתפחית את הקרינה הנכנסת ותגרום לירידה בטמפרטורה. מאידך, חורף בו יש מיעוט של סופות גשם, מיעוט עננות, מיעוט חדירה של גושי אויר קרים, יהיה גם חמים מכרגיל בנוסף להיותו שחון. על כן, יש להתייחס למתאם השלילי בין הטמפרטורות לגשם הפוך מהמקובל בדרך כלל, דהיינו הגשם הוא המשפיע על הטמפרטורה ולא להיפך ומכאן שתרחישים לפיהם צפויה התחממות, אינם מבשרים בהכרח גם על ירידה בכמויות הגשם.

השינויים בכל הפרמטרים במשקעים לא מובהקים. טעות מסוג ראשון הינה שנזהה תנודה כשינוי בצורה מקרית. טעות לא פחות חמורה ואולי אף יותר, הינה טעות מסוג שני דהיינו שכן ישנו שינוי שאיננו מסוגלים לזהותו. כיום, שינוי של פחות מ-25 מ"מ לעשור, הסיכוי לזהותו הוא 50% (אפרת מורין, מפגש 1).

חשוב לבדוק כמה שיותר פרמטרים אטמוספריים שהינם הרבה פחות רועשים. אלו מצביעים על הקטנת משקעים, הגדלת אומגה, כולל גם אפיונים סינופטיים שכמעט כולם מצביעים על הקטנת משקעים, הרב שלילי ולא מובהק אבל כשמסתכלים על האטמוספירה יש הקטנה של משקעים במובהק. שינוי בתדירויות, אפיק פרסי חלש, יש הקטנת ציקלוניות, הקטנת לחות סגולית, הגדלת לחץ. המסקנה שלמרות השינוי לא מובהק, אני חושבת שאפשר להגיד שאנחנו בתקופה של התייבשות.

1.3.4 הסביבה החופית

אחת השאלות שאין לגביהן מידע הוא הקשר בין טמפרטורת פני הים ועליית המפלס. כללית, עליית הטמפרטורה הגוררת בעקבותיה הפשרת קרחונים, אמורה לגרום לעליה במפלס פני הים. יחד עם זאת, כפי שכבר צוין קודם, דווקא בשנים האחרונות, בהן טמפרטורת פני הים עלתה לערכי שיא, עליית המפלס התמתנה.

פער ידע נוסף הינו הקשר בין סופות עם גובה גלים בערכי שיא לבין התנאים הסינופטיים השוררים באותו הזמן. כאמור, בשנים האחרונות, עלתה מאוד שכיחותן של הסופות עם גלים שתקופת החזרה שלהם ארוכה וזאת מבלי שניתן היה להצביע על גורם סינופטי כלשהו שהיה חריג במיוחד, כולל לא מהירויות הרוח שנמדדו באזור.

2. השפעת שינויי אקלים על משאבי המים בישראל

2.1 מבוא

משבר במקורות המים הטבעיים כתוצאה מרצף של שנות בצורת בחמש השנים האחרונות חשף בעיות קשות של ניהול מקורות המים: מאגרי מים ריקים, מפלסים שירדו מתחת לקווים האדומים, זיהום מקורות מים וכמות מים חסרה במאגרים של 1.0 מיליארד מ"ק. הגורמים למשבר הם: אימוץ מדיניות של הליכה על הסף על ידי שאיבת יתר של מאגרי המים, קשיי משילות, איטיות וחוסר עקביות בהגדלת הצע המים ממקורות חלופיים, אי-הקצאה של משאבים מספיקים לפיתוח ועוד. פוטנציאל המים מן המקורות הטבעיים הוא 1.200 מלמ"ש בלבד (תכנית האב למשק המים, 2011, עמ' 19). זאת בהתאמה להסדר המים עם ירדן והרש"פ. אם מביאים בחשבון גם את מליחות המים סך המים השפירים. המתחדשים הינו אף פחות מ-1.100 מלמ"ש בממוצע. גידול אוכלוסייה, עליה ברמת החיים, צריכה גדלה במיגזר ביתי עירוני, בתעשייה ועוד מביאים להגדלת הביקוש למים. המקורות להעשרת היצע המים הקיים הם:

(1 יבוא מים והתפלה; 2 השבת קולחים, טיוב בארות, התפלה והפקה של מים מליחים ואיסוף נגר. המייחד את הקבוצה השנייה הוא הערך המוסף הגלום לצורך הוספת המים, כגון שמירה על מקורות המים השפירים מפני המלחה וזיהום, שמירה על איכות הקרקעות ומניעת זיהומן, בריאות הציבור ומניעת נזקי שיטפונות. מקורות אלה (קבוצה 2) גם מוגבלים מבחינת הכמות ולעתים גם העלויות הכרוכות בהפקת המים עלולות להפוך את ההפקה ללא כדאית. הסקירה הנוכחית על משק המים כוללת יסודות פיסיים אקלימיים, כולל שינויי אקלים אבל גם היבטים אנושיים רבים, משום שמשק המים בישראל מושפע מאוד מגורמים אנושיים של צריכה וניצול וייתכן שלשינויי האקלים יש השפעה מינורית בלבד. בחלק הראשון בסקירה, 6 סעיפים העוסקים בהשפעות של מגמות המשקעים, אופי המשקעים, ושינויי טמפרטורות על מקורות המים ועל התאדות. בחלק השני העוסק בגורמים אנושיים, 4 סעיפים העוסקים בהגדלת הצע המים (טיפול בשפכים, ניהול נגר, זיהום מי תהום והתפלה), ו-5 סעיפים העוסקים בצריכת המים במגזרים השונים. 2 סעיפים עוסקים בקשר בין מים לאנרגיה ומים וגאופוליטיקה. החלק השלישי מזהה פערי ידע ונושאים עדיפים למחקר נוסף. העבודה מתייחסת באופן מועט לגורמי אסדרה (רגולציה) במשק המים וכן לנושאים כלכליים במשק המים. נושאים אלה מוזכרים רק כאשר יש להם חשיבות נקודתית בנושא מסוים.

2.2 גורמים פיסיים ואקלימיים

בפרק הקודם נסקרו מכלול התחזיות וההשלכות הצפויות של שינויי האקלים באיזור. פרק זה מציג הרחבה ודיון מעמיק בנושא השפעות שינויי אקלים על משאבי המים בישראל.

2.2.1 מגמות נצפות ותחזיות בנוגע לכמויות המשקעים באזורים שונים בארץ

התהליכים הגלובליים הבולטים כוללים את הנושאים הבאים:

- הפחתה במשקעים באזורים הממוזגים.
- שונות רבה בין כמויות משקעים ביבשות ובאוקיינוסים במיוחד באירועי אל ניניו. הפחתות ברורות וניכרות במשקעים נמצאו באגן הים התיכון.
- בצורות ויובש התרחבו במאה ה-20. הבצורות שכיחות בתקופות של אירועי אל ניניו.
- גידול באירועי קיצון של משקעים.
- עלייה בטמפרטורות והגברת ההתאדות בפני הקרקע ושינויים שחלים במחזור ההידרולוגי (IPCC,) (Trenberth, 2001, 2007).

2.2.2. שינויים אקלימיים באגן הים התיכון ובמזרח התיכון – ירידה במשקעים

עד אמצע המאה ה-21 צפויים לאזור הפחתות במשקעים הנעות בין 5% ל-20% ושינויים עונתיים: עליה במשקעים בקיץ ובסתיו במזרח התיכון וירידה במשקעי חורף ואביב (Chenoweth et al., 2011; Krichak & Alpert, 2009; Krichak, Breitgand et al., 2010; Jin, Kitoh, Alpert, 2010; Krichak, Breitgand et al., 2010). התמונה העולה היא גידול בהתחממות במיוחד בקיץ ובעונות המעבר, ותנאים פחות טובים לייצור משקעים בחורף ובעונות המעבר (Shohami, Dayan, Morin, 2011).

הטמפרטורה תעלה בכל עונות השנה. המזרח התיכון הוא כבר כעת האזור עם המחסור החמור ביותר בעולם במים, מאופיין בהמלחת הקרקע ומדבור ונשען על ניצול יתר של משאבי המים.

2.2.3. כמויות ותפישת משקעים בישראל

צפון הארץ

מבדיקת מגמות ממוצעות של נתוני משקעים בשנים 1960–1990 בהשוואה ל-1970–2000, עולה כי ישנה ירידה שנתית ממוצעת בכמויות המשקעים ברוב אזורי הארץ של 5%–2% (רוזנפלד וחוברין, 2007). Givati & Rosenfeld (2004, 2005) כימתו את ההפחתה במשקעים באזורים ההרריים בישראל ב-15%–25% וזאת משום ההשפעה של אירוסולים אנתרופוגנים. ההפחתה משמעותית בחורף. ההפחתה במשקעים ניכרת בשפיעה של הודן, חצבני ובניאס (גבעתי ורוזנפלד, 2011). על משטר המשקעים בצפון הארץ משפיע גם ניסוי בהזרעת עננים והגברת עננים שיש לה השפעה של מיתון ההפחתה במשקעים האורוגרפיים של 13%–15% כלומר תוספת של 7% למשקעים השנתיים (רוזנפלד ולהב, 2006; Givati & Rosenfeld, 2007). גישה מנוגדת מיוצגת על ידי Levin, Halfon and Alpert (2010) הטוענים שלזרעת עננים לא הייתה כל השפעה על כמות המשקעים בצפון הארץ.

מרכז הארץ

במרכז הארץ לא ניתן לזהות מגמה ברורה בכמויות המשקעים ונרשמת יציבות במשקעים (גבעתי ורוזנפלד, 2011). Kafle & Bruins (2009) הראו שתחנות מטאורולוגיות פנימיות ומזרחיות הראו מגמות ירידה (לא מובהקת סטטיסטית).

דרום הארץ

ירידה מובהקת במשקעים נמצאה במחקרים השונים ונמצאה קריסה של אקוסיסטמות בנגב המערבי כתוצאה משינויי אקלים ועליה בתדירות הבצורות (גולדרייך, 2010; שחק וקרניאלי, 2009). כמו כן נמצאה עליה בשיטפונות בדרום הארץ שמקורם שקע ים סוף והשקע הציקלוני של החורף (Laronn, Shentsis, Alpert, Forthcoming). האקלים הפך לארידי יותר בכל אזורי המדבר בישראל (Kafle & Bruins, 2009).

לסיכום, יש לציין שתכנית האב לטווח ארוך של משק המים לקחה בחשבון בתכנון העתידי של משק המים הפחתת משקעים של 15% שיש להתחשב בה (זיידה ופרוביזור, 2010).

2.2.4. שינויים באופי המשקעים, עונתיות, פרקי יובש, עוצמת גשם ושיטפונות: מים עיליים

ומי תהום

אגן ההקוות של הירדן

תצפיות ועדות אמפירית

השנתון ההידרולוגי (2008) מראה שבשנת 2007/8 הירדן העליון תרם סך של 230 מלמ"ק לעומת 354 מלמ"ק בשנת 2006/7. בדיקה השוואתית של השנים 2003 עד 2006 מצביעה על ירידה בזרימה של הירדן העליון. 3 התחנות המטאורולוגיות המודדות את המשקעים באגן ההקוות העליון

של הירדן מראות שעובי הגשם ב-2007/8 נע בין 59% ל-64% מהממוצע הרב שנתי לשנים 1971–2000. גם בשנת 2006-7 עובי המשקעים היה נמוך מהממוצע הרב שנתי (שנתון הידרולוגי, 2008). בשנת 2008-9 כמות המשקעים באגן ההיקוות של הכנרת הסתכמה ב-80–85 אחוז ביחס לממוצע הרב שנתי (ווינברגר, 200, גבעתי, 2009).

כמויות המשקעים השנתיות באגן ההיקוות של הירדן כנרת (כולו) הינן בעלות שונות גבוהה ונעות בין 300% בסביבה הצחיחה של אגן הירדן ועד ל-50% באזורים היותר לחים של האגן (Glowa, 2008). בעשורים האחרונים תועדה ירידה בכמויות המשקעים באזורי ההזנה של מקורות נהר הירדן, אזורים אשר תורמים את מירב כמויות המים לאגם הכנרת. התוצאה של הפחתה זו בכמויות המשקעים ניכרת בשפיעת המעיינות הגדולים ומתבטאת בסופו של דבר בירידה בנפחי המים הנכנסים לאגם הכנרת. נפחי המים הזמינים, לאחר ניכוי של הפקה וצריכת מים במעלה האגן פחתו ב-30 השנים האחרונות ב-110 מלמ"ק (גבעתי ורוזנפלד, 2011).

לגבי הדן, המקור העיקרי של הירדן, נמצא שהספיקה השנתית שלו תלויה בספיקתו בשתי השנים הקודמות. בשנים שחונות הוא תורם מים כמעט לבדו לירדן, בעוד שבשנים גשומות דעיכת האוגר מטושטשת על ידי תוספת מים גדולה משכבת הביניים למעיין. בתנאים של יובש ובצורת, אורך הנשימה של אספקת מים מהכנרת למוביל הארצי אינה עולה על 3 שנים בהתאם לספיקה של הדן (רימר, 2006).

אגן הכנרת

נפח המים הזמינים לכנרת נמצא בירידה מתמדת בשנים האחרונות כשהסיבות הן כנראה ירידה במשקעים האורוגרפיים הנגרמת על ידי אירוסולים ממוצא אנתרופוגני. ההפחתה בזרימת המים לכנרת היא של 15% – וזאת לאחר הפחתת צריכת המים בלבנון ובישראל ואובדן באידי של 16% (Givati & Rosenfeld, 2007).

כ-115 מלמ"ק של מים זמינים לכנרת כנראה אובד: כ-50 מלמ"ק בצרכים באגם וכ-50 מלמ"ק נוספים מיוחסים לשינויי אקלים (בר-אור, גולן-אנגלקו, 2008). מנזל וחובריו (2007) חוזים עליה באבפוטנסיפריציה של 2% באופן לא הומוגני, באגן ההיקוות של הירדן.

מודלים וסימולציות לאגן ההיקוות של הירדן-כנרת

אלפרט, ב-5 הרצות של מודלים בסריג של 20 ק"מ, ו-25 ק"מ, מצא שהסהר הפורה יעלם עד סוף המאה ה-21. התצפיות והמודלים מצביעים על כך שהשכיח של כמויות המשקעים בכפר גלעדי יורד מ-800 מ"מ ל-700 מ"מ ויותר מאוחר ל-500 מ"מ (אלפרט 2011).

הרצות המודלים של Glowa, הגלובליים והאזוריים כאחד, מצביעים על כך שהאזור (אגן הירדן) יתנסה בהפחתה במשקעים הממוצעים השנתיים, עליה בטמפרטורות וגידול בהסתברות לאירועי קיצון (Glowa, 2008).

במחקר סימולציה שכלל התאמת מודל אקלימי למזרח התיכון לאגן ההיקוות של הירדן נבדקו התנאים של שינויי אקלים לעתיד הקרוב לשנים 2010-35 ובעתיד הרחוק 2036–2060, וזאת בהשוואה לנתוני התקופה ההיסטורית 1980–2004 (Samuels, Rimmer, Hartmann, Krichak & Alpert, 2010).

נמצא ששינויים מועטים יחולו בעתיד הקרוב בשנים 2010–2035 אבל הפחתה של כ-10% צפויה בעתיד הרחוק. עוד נמצא שהשטחים התורמים מי שלגים לזרימה הנחלית של מקורות הירדן אינם עולים על 12% מכלל שטח אגן ההיקוות ולמי שלגים אין השפעה על תזמון הזרימה בירדן וזאת משום שמרבית התרומה לזרימת הירדן היא ממי תהום (Samuels, Rimmer et al., 2010). הפחתה בזרימת הנחלים אינה בהכרח דומה בכל המקורות ולא בהכרח דומה להפחתה בכמויות המשקעים משום התגובה הלא-לינארית של המערכת ההידרולוגית לכמויות המשקעים (שם, 2010). רימר

וסלינגר אמדו את תרומת הגשם לאגני דן, שניר וחרמון ב-502 מלמ"ק במודל לעומת 393 מלמ"ק מדודים ומכאן שרכיב מי התהום הוא כ-109 מלמ"ק (רימר וסלינגר, 2006).
לגבי השפעת אירועי קיצון של גשם על הירדן (שיטפונות) נמצא שתהיה לכך השפעה לא משמעותית על הזרימה השנתית המצטברת משום שכ-80% מזרימת הירדן באה ממעיינות קרסטיים (Samuels, Rimmer & Alpert, 2009).

מודלים אחרים צופים הפחתה במשקעים באגן ההקוות של הירדן שנעה בין 10% (Samuels, Rimmer et al., 2010) לבין 22% (Kitoh et al., 2008) עד אמצע המאה ה-21, וירידה אף גדולה יותר בשלהי המאה ה-21 (Jin, Kitoh, Alpert, 2010; Chenoweth et al., 2011; Kunstmann, 2009).

השפעה על אקוויפרים ומי תהום

ירידה בנפח המשקעים תוביל להקטנת המילוי החוזר אולם קשה להעריך במדויק את יכולת העשרה של מי התהום כיוון שהקשר שבין קצב ההרטבה לתכולת הרטיבות אינו לינארי, וכמות המים שדולפת מהשכבה העליונה של הקרקע למי התהום, תלויה בהתאיידות ובצריכת המים על ידי הצומח והאדם מעל פני השטח (גולן-אנגלקו, בר-אור ופייטלסון, 2009).

מודל DREAM המבוסס על חישוב יומי של מאזן המים (המשקעים והתאדות) יושם באקוויפר ההר ומאפשר לראות כיצד שונות בשפיעה של מים (באקוויפר ההר) מושפעת מהחלוקה, לאורך השנה, של המשקעים. אורך עונת המשקעים הוא הגורם המרכזי המשפיע על השפיעה (Sheffer, Dafny, Gvirtzman, Navon, Frumkin & Morin, 2010).

המילוי מחדש נע מ-21 מ"מ ועד ל-442 מ"מ שהם 9%–40% מהמשקעים השנתיים. השינויים הצפויים באופי המשקעים – גשמים קצרים ואינטנסיביים, מביאים לעליה מהירה בלחות הקרקע וליצירת נגר עילי האובד למי תהום. תקופות ארוכות של יובש לאחר אירוע משקעים יוליכו לאבדן נוסף בלחות הקרקע בשל התאדות ומכאן שחלק הרבה יותר קטן של המשקעים יוותר על מנת להעשיר את האקוויפר (Sheffer, Dafny, Gvirtzman, 2010).

סביבה עירונית מפחיתה את חדירת המשקעים לאקוויפר מחד, אבל מים שאובדים בצנרת וכן שפכים המטפטים מצנרת ביוב חודרים לאקוויפר ומגבירים את שפיעתו (Peleg & Gvirtzman, 2009).

אקוויפר החוף

גידול אוכלוסייה ועיור גורמים להפחתה בחידור של מים למי התהום ומגדילים את הנגר. עליה בעוצמת המשקעים עשויה להפחית בהעשרה (בארי וחובריו, 2005; גולן-אנגלקו וחובריה, 2009). נזק נוסף לאקוויפר החוף צפוי מעליית מפלס מי הים התיכון.

שיטפונות ונגר עילי

השונות הבין שנתית הגדולה של המשקעים בישראל מקשה לתת אומדן לאירוע גשם בסבירות של אחת ל-50 או 100 שנה, לשם תכנון תשתיות, ולא קיימת בישראל עבודה מקיפה הבוחנת סבירויות של אירועי גשם חריגים והשלכותיהם על ספיקות/נפחים/גלי גאות (ש' ארבל מצוטט אצל גולן-אנגלקו וחובריה, 2009).

שיטפונות גדולים שכיחים יותר בשנים האחרונות ומסבים נזקים כבדים לסביבה האקולוגית, לרכוש לפעילות הכלכלית במשק ולחיי אדם (נתניהו, 2007).

2.2.5. השפעות של שינויים בטמפרטורה, ובנפחי המילוי החוזר על האקולוגיה של הכנרת

דו"ח IPCC לשנת 2001 צופה שאגמים ונחלים ברחבי העולם מתחממים מה שמשפיע על מבנה וכימייה של המים ומשפיע על יצרנות והרכב האוכלוסייה באגמים. עלייה בכמויות האצות בגופי המים

בתקופה האחרונה עשויה להשפיע על טיב המים. בכנרת החלו להופיע בשנים האחרונות מיני אצות כחוליות המייצרות רעלנים חדשים, ואינן נאכלות על ידי הזואופלנקטון בכנרת. הסיבות עדיין אינן ברורות אך נטען כי ניתן לייחס אותן בין השאר להתחממות הגלובלית (זהרי, 2005). ההשלכות של הופעת האצות כוללות פגיעה באיכות מי השתייה המסופקים מהכנרת וצמצום המגוון הביולוגי באגם (בר-אור, גולן-אנגלקו, 2008).

במחקר שבדק את הגורמים לשינויים בשיכוב של הכנרת, נמצא שעליה בטמפרטורת המים, שכתוצאה ממנה משתנה שיכוב המים, נגרמת על ידי שינויים במשטר ההידרולוגי שעיקרו - ירידה בכמות המים ובמפלס בגלל השפעות אנתרופוגניות של שאיבה בעוד שעליית הטמפרטורה וירידה בזרימות לכנרת ממלאות תפקיד קטן יותר בשינויים שנצפו (Rimmer, Gal, Ophir et al., 2011). שינויים במפלס, מביאים לשינויים במערכות האקולוגיות, של האגם. במפלס אגם נמוך, הליטוראל אינו מספק את הסביבה הרצויה לקינון הדגה וכתוצאה פוגע בתפקוד הדגה במערכת האקולוגית (מרקל, 2006).

2.2.6. ההשפעות האפשריות על ניקוז וספיקות שיא בנחלים

המחקרים שהוצגו צופים יותר שינויים באופי המשקעים ויותר אירועי גשם גדולים היוצרים שיטפונות. בירדן לא תהיה לכך השפעה בשנים הקרובות אבל בעתיד הרחוק צפויים שיטפונות בחולה. (ראה גם סעיף 2.3.10).

2.2.7. מגמות ותחזיות לגבי טמפרטורה והתאדות מקרקע ממעיינות, נחלים ומאגרים

טמפרטורות – התחממות ניכרת מובהקת סטטיסטית נמצאה באגן הים התיכון ובישראל (Krichak & Breitgand et al., 2011; Kafle & Bruins, 2009).

מצופה שהתחממות גדולה יותר תוליד גידול בהתאדות הריאלית. מגמה הפוכה של ירידה בהתאדות הוסברה על ידי תהליכים של עמעום גלובלי (Global dimming) (Yanjun Shen, 2010; Stanhill & Cohen, 2001).

סימולציות של מאזן לחות לים התיכון, ולישראל מצאו שההתאדות גדלה מ-2.44 מ"מ ל-2.56 מ"מ ליום, בהשוואה בין התקופה של 1979–2007 ל-2007–2075 (Jin, Kitoh & Alpert, 2010). עבור אגן ההקוות של הירדן נמצא שההתאדות הכללית היא 226 מ"מ שהם 177 מ"מ לשנה (רימר וסלינגר, 2006).

בהשוואה בין 1985–2005 ל-2036-60 נמצא גידול קטן במוצע ההתאדות של 5% בערך (Samuels, Rimmer & Alpert, 2009).

ההתאדות מהכנרת מוערכת ב-50%-35% מאובדן המים כל שנה (רימר, 2009). התאדות מגופי מים גדולים ומאגרים נעה בין 20%-50% (Assouline, Narkis & Or, 2010).

2.3. גורמים אנושיים

2.3.1. טיפול בשפכים וקולחים

שפכים נאספים ומטופלים מסיבות תברואתיות והם מתחלקים לשפכים שחורים ושפכים אפורים (שאינם כוללים שפכי אסלה) שקל וזול יותר למחזרם. שפכים אפורים מהווים 65% מצריכת המים. שפכים הם קנין המדינה בדומה למים. הסמכויות והאחריות על טיפול בשפכים ואיכות מפוצלות בין רשויות רבות: רשות המים, המשרד להגנת הסביבה, משרד הבריאות והפנים, רשויות מקומיות ומשרד הביטחון. שפכים ניתן לסלק לים (בהתאם לתקינה, רמת טיהור מסוימת וצינור ארוך) או לטפל בהם ברמות איכות שונות ולהשתמש בהם בחקלאות בתעשייה, בנחלים ובגינות. 91%

מהשפכים מטופלים במתקן כלשהו אבל באזורים הכפריים בישראל ובמגזר הערבי והבדווי ישנם שפכים שנאספים בבורות סופג ומזהמים את הסביבה.

כ-400 מלמ"ק משמשים את החקלאות להשקיה – כמחצית ממקורות המים שמשמשים אותה כ-160 מלמ"ק שפכים עדיין דולפים לסביבה.

רמות טיפול: רמה ראשונית – בריכות חימצון; שניונית 10/30 (בוצה משופעלת + חיטוי) ושלישונית: תקן ועדת ענבר. למעט בשפד"ן, כיום הטיפול הוא ברמה שניונית בלבד (רוזנטל, פרלמוטר ופפאי, 2010). חוקרים רבים סבורים שגם תקני ועדת ענבר אינם מספיקים ויש צורך בהוצאת מלחים מהקולחים משום שהם מוסיפים מדי שנה כ-700,000 טון מלחים למי התהום וכן 250,000 טון כלורידים. יש הממליצים גם להתפיל קולחים. בעשור הקרוב תקן ועדת ענבר יקבע את רמת הקולחים. באזורים הרגישים הידרולוגית, רק באזורי רגישות נמוכה ניתן להשקות בקולחים ברמה הגבוהה של תקן ועדת ענבר (אלחנני, 2006).

עלות הטיפול בשפכים: התפלה של השפד"ן 40 סנט ל-1 מ"ק. טיפול שלישוני מתקדם: 10–15 סנט ל-1 מ"ק; רבעוני – 0.49–0.67 סנט ל-1 מ"ק; איכות מי שתייה 0.81–1.04 דולר למ"ק.

שפכים וגזי חממה: גזי חממה נפלטים מהביוב עצמו ומהאנרגיה המושקעת בהליך ההשבה. ניתן להפחיתם בכ-11% על ידי התאמת תהליכי הטיפול כדי שיתאים כדשן בחקלאות ע"י ייצור אנרגיה מביוגז. 2% מ-72 מיליון טון גזי חממה הם תרומת הטיפול בביוב (הדס ופיין, 2008).

התפלגות מרחבית ועונתית: ייצור שפכים נעשה בריכוזי אוכלוסין ויש להעבירם לאזורי פריפריה מרוחקים שם מצויים השטחים החקלאיים. במישור החוף שם נוצרים השפכים ומטופלים קיימת סכנת זיהום לאקוויפרים. צריכת הקולחים היא עונתית ולכן יש לאגורם במאגרים או בהחדרה תת-קרקעית. מט"שים יכולים להיות מקומיים או אזוריים. תקלות בטיפול בשפכים קורות מסיבות כלכליות, והנדסיות.

המטרה היא למחזר כ-70%–75% מהמים המגיעים לערים ולהעבירם לשימוש חקלאי תמורת המרתם במים שפירים. הבעיות הנוצרות כוללות: הולכת קולחים לאזורי ביקוש, פוטנציאל המרה באזורי פריפריה (העמקים הפנימיים). בנוסף, קיימים קשיים חוקיים ותכנוניים בהקמת מאגרים לקולחים ושילובם עם מי שיטפונות. כמו כן, איסור תברואי על מחזור מים אפורים זוכה לביקורת, משום שהשבתם נפוצה בעולם ועשויה לחסוך מחצית מהמים בצריכה ביתית.

2.3.2. התפלת מי ים ומים מליחים

ייעודי ההתפלה הם גישור על הפער השוטף בין היצע טבעי וביקוש למים שפירים בעיקר במגזר העירוני ביתי שלאמינות האספקה של מים עבורו מוקנית חשיבות רבה (זיידה ופרוביזור, 2010) מים מותפלים יאפשרו גם את שיקום האוגר הטבעי.

תהליך קבלת ההחלטות הממשלתי על הקמת מפעלי התפלה נעשה בחוסר עקביות, התעלמות ממערכות מקצועיות, היעדר ראייה ותכנון ארוכי טווח ואי ביצוע של מרבית ההחלטות (ביין ואבנימלך וכסלו, 2010).

היקף – היקף ההתפלה מושפע מהכרעות אסטרטגיות הנוגעות להיקף הצריכה הרצוי לחקלאות, למגזר הביתי, לתעשייה ולטבע. מהיותה של ההתפלה עתירת הון, יש להתחשב במשאבים הכלכליים ובצורך למצוא איזון ראוי בין קריטריונים של אמינות וודאות לבין קריטריונים של עלות כלכלית וסביבתית.

כיום פועלים בישראל 3 מפעלי התפלה: אשקלון (120 מלמ"ש בעלות 2.993 ש"ח ל-1 מ"ק) פלמחים (45 מלמ"ש בעלות 3.224 ש"ח ל-1 מ"ק) וחדרה (127 מלמ"ש (בעלות 2.533 ש"ח ל-1 מ"ק). מתקן ההתפלה באשדוד יחל לפעול ב-2013 בתפוקה של 100 מלמ"ש (טנא, תקשורת אישית, 5.8.2011). היקף ההתפלה יגיע ל-600 מלמ"ש ב-2013, 750 מלמ"ש ב-2020 ו-1750 מלמ"ש ב-2050. הארגונים הירוקים גורסים שיש לצמצם את היקף ההתפלה משום נזקיה הסביבתיים: לא יותר מ-658 מלמ"ש ב-2030 (רוזנטל, פרלמוטר ופפאי, 2010). (ראה נספח א, השקעות).

מיקום

בקירבה לחופי-ים, ומקור אנרגיה (אשקלון, חדרה ופלמחים) מתקני ההתפלה בשורק, אשדוד והמתקנים העתידיים יהיו מרוחקים מעל ל-2 ק"מ מקו החוף ולא יתפסו שטחי קרקע חופיים נדירים ויקרים (טנא, תקשורת אישית 5.8.2011). שיקולי מיקום נוספים מתייחסים לשילוב מים מותפלים עניים במלחים במערכת אספקת המים ובשפכים דבר שישפר את איכותם.

כלכלה ועלות

העלות השולית של המים בישראל היא עלות ההתפלה. לעלות ההתפלה יש להוסיף מחירי קרקע, אנרגיה וזיהום סביבתי. ניתן לראות בכך כשל שוק במשאבי הקרקע או האנרגיה אבל יש הטוענים שמשום שהקרקע היא ציבורית, ואנרגיה יוצרת גזי חממה יש לכלול במחיר המים המותפלים את אלה. אם הללו יוכנסו לתחשיב עלות ההתפלה, הם יוסיפו 19.1 סנט עלויות פליטות גזים (מקומיים וגלובליים) ו-6 סנט למ"ק עבור הקרקע והיו מייקרת את עלות המים המותפלים בכ-40%. עלויות אלה אינן נלקחות בתחשיב המים המותפלים (רוזנטל, פרלמוטר, פפאי 2010). עלות האנרגיה בפועל היא 3.8 קוט"ש (טנא, תקשורת אישית 5.8.2011). בפועל, קיימת השבת אנרגיה, ולכן במתקני התפלה שונים ניתן אף לרדת ליחס של 2-2.5 קוט"ש לכל מ"ק מותפל.

סביבה

צריכת אנרגיה גבוהה, פליטת גזי חממה, צריכת קרקעות יקרות ובמפעלים הקיימים גם פליטת ברזל הידרוקסיד לים הן עיקר ההשפעות הסביבתיות. מספר חוקרים מציינים פוטנציאל לזיהום מי התהום באקוויפר החוף. יש רק 8 מוצאים ימיים לסילוק הרז של מפעלי ההתפלה. מים מותפלים ישפרו את איכות המים המושבים, ויפחיתו את המלחים במי השתייה (ביין, אבנימלך, כסלו, 2010).

ביטחון ושיקולים אסטרטגיים

מים מותפלים הם מקור המים האמין ביותר והבלתי מוגבל מההיבט המדיני משום שהוא בשליטה מוחלטת של ישראל. אבל קיים חשש שהגברת ההתפלה עלולה להביא להפעלת לחצים מדיניים על ישראל לוותר על מקורות מים טבעיים המשותפים לה ולשכנותיה. היבטים ביטחוניים אסטרטגיים אחרים – חבלה, מלחמה, רעידת אדמה, תקלות הנדסיות ועליית פני הים העשויות להשפיע על תשתיות ההתפלה. מים מליחים נאמדים ב-180 מלמ"ק זולים יותר להתפלה (גבירצמן, 2002). על פי תכנית האב למשק המים מתוכננת התפלת מים מליחים בסך 70 מלמ"ש עד ל-2013 (טנא, 2010; זיידה ופרוביזור, 2010) (ראה נספח א'). קיים פוטנציאל נוסף להפקה והתפלה של מים מליחים פוסיליים בנגב אבל כדאיות הפקת מים אלה צריכה להיבחן.

2.3.3. ניהול נגר עילי, בניה משמרת מים, ותכנון רגיש למים

נגר עילי נוצר לאחר שהקרקע רוויה במים. באזורים אטומים (במרחבים מעוררים הוא יוצר הצפות ונזקים לרכוש). ניהול נגר עילי נועד למנוע שיטפונות ונזקים, לשפר ניקוז הקרקעות, שיפור סביבה, שיפור נחלים, העשרת מי התהום ושמירה על יכולת החלחול של מי גשם (זיידה ופרוביזור, 2010). גישת הניהול של נגר עילי השתנתה מאוד בעשור האחרון: נגר עילי נתפס בעבר כמטרד שיש לסלקו מהר ככל האפשר ואילו כיום הוא נתפס כמשאב מועיל שיש לנהלו לטובת העשרת מי התהום, מניעת זיהום ושיטפונות שימור קרקע ועוד. כ-90 מלמ"ש של נגר עילי אובדים כל שנה (המשרד להגנת הסביבה, 2010). פוטנציאל מי הנגר בערים שונות ברצועת החוף המרכזית בממוצע רב שנתי כולל הוא 37 מלמ"ק (נתניהו, אסף וטל, 2008).

מחקרים הצביעו על כך שכאשר מאפשרים לנגר העילי לחלחל לקרקע ומסייעים לו באופן מתוכנן, ניתן להפחית אובדן מים (כץ, בורמיל, כרמון, שמיר, 2001; כרמון, שמיר, 1997; כרמון, שמיר, 2011). כמו-כן זוהתה קשת תועלות מעבר לערך הספקת המים כמו עליה בערך הנדל"ן כתוצאה משיפור הנוף והאסתטיקה באזורים בהם נעשה איגום מי נגר ופיתוח פארקים, תועלות ממניעת הצפות ומניעת אובדן ונזק לרכוש פרטי וציבורי ומניעת נזק כתוצאה מהשתקת פעילות כלכלית של המשק (נתניהו, אסף וטל, 2008).

תכנון רגיש למים (תר"מ) ופיתוח בעצימות נמוכה (L.I.D.) הן שיטות לתכנון של שימושי הקרקע, תכניות הקרקע ואמצעים להכוונת הנגר כולו לאצירה, אגירה והחדרה וזאת בכל רמות התכנון מהמגרש הבודד ועד לעיר הרחבה (כרמון, שמיר, 1997; לסטר, אלמוג, לבני ורוזנטל, 2010).

עקרונות והנחיות תמ"א 34 לבניה משמרת מים מוחדרים בהדרגה לבנייה חדשה ברחבי הארץ (מחוזות המרכז ותל אביב) ומשרד השיכון משלב עקרונות אלה בחלק מן השכונות החדשות שהוא שותף לתכנון. יישובים כרעננה, כפר סבא, חולון, יבנה, הרצליה ועוד עושים ניסויים בבניה נגר עילי אבל רק מקצתם מחדירים נגר לקרקע, רובם משתמשים בנגר לשימושים עירוניים (לסטר, אלמוג, לבני ורוזנטל, 2010; כרמון, שמיר, 1997).

נמצאו חסמים רבים בפני ניהול נגר: ראשית, יש צורך בשינוי פרדיגמטי למניעת הצפות, כמו כן חוסר במומחים ובעלי מקצוע ייעודיים שיוכלו לפקח על יישום הוראות רשות מקומית לניהול נגר ברמת התב"ע (נתניהו וחובריה, 2008). - שינויים שחלים כיום בתפקוד רשויות ניקוז המקבלות בשנים האחרונות סמכויות כרשויות נחל ומאמצות ראייה אגנית הכוללת ניהול נגר ושימוש בו לצרכים אקולוגיים וכן הקמת מועצה ארצית לניהול נגר וניקוז מבשרות על שינוי מחשבתי והפיכת נחלים לאזורי החדרה ואגירה (ירוס, 2011). חסמים נוספים הינם: מחסור בחקיקה ותקנות לשימוש חוזר במי נגר, אי זמינות מנגנוני מימון ציבוריים ופרטיים לפיתוח מי נגר, הערכת עלויות תפעול ותחזוקה של מתקנים לשימוש חוזר בנגר. לגבי הקרקע הנחוצה לקציר ושימוש חוזר בנגר קיימות בעיות של זמינות הקרקע, בעלות על הקרקע, שינויי ייעוד הקרקע ושיתוף פעולה עם יישובים חקלאיים בסמוך לערים וכן שיקולים של בריאות הציבור (נתניהו וחובריה, 2008).

תכנית האב למשק המים שמה דגש רב על ניהול נגר וניקוז כחלק חשוב במדיניותה לצורך הוספת נגר למשאבי המים, שיפור איכות מי התהום באקוויפר החוף והקטנת נזקי שיטפונות (זיידה ופרוביזור, 2010). צפוי להתפרסם דוח מבקר המדינה בנושא זה (ראה גם נספח א').

בישראל קיים גם קציר מי גשמים בקנ"מ קטן: בבתי ספר, חממות ובתים פרטיים ובמגזר הכפרי הלא יהודי בעיקר (יחיאלי, 2010; זעירא וקליאט, 2001) מי הגשמים ממוחזרים ומשמשים לגינון, הדחת אסלות, ועוד.

2.3.4. זיהום מי תהום, טיוב בארות ואיכות מי שתייה

מי התהום, במיוחד באקוויפר החוף, לא ראויים ברובם (80%) לשתייה מבחינת ריכוזי הכלורידים והחנקות וזאת לפי התקנים הבינ"ל של EPA ו-WHO (ועדיין מותרים לשתייה בישראל).

מספר רב של בארות (בין 160 ל-219 קידוחים) נסגרו משום זיהומים כחנקות, כלורידים, VOCs, אתילן די ברומיד, פרכלורט וזיהום על ידי שפכים (תע"ש רמת השרון, עדשות דלק באקוות חוף ועוד).

אקוויפר ההר מזוהם על ידי שפכים בלתי מטופלים בעיקר מהיישובים הפלשתינים. קידוחים זוהמו באזור בית לחם, ירושלים – עין כרם ואל עזריה, ובבקעת הירדן (מצפה יריחו, נערן).

בכנרת נמצאו חומרי הדברה, הורמונים, תרופות וקוסמטיקה (גטר, מרקל ואחרים, 2011). מחקר מצא שמפלט מים המאפשר שמירה על איכות מים מינימלית ועל המערכת האקולוגית, מתקבלת רק במפלסים הגבוהים מ-213.4- (בן דוד, פרידלר וחובריה, 2011).

מחצית ממקורות המים הטבעיים של ישראל נמצאים בסכנה ו/או איום כלשהו של זיהום/שינויי אקלים (רשות המים, 2010) רשות המים ומוסד שמואל נאמן מעריכים שהרעה במקורות המים בישראל

תחייב טיפולים מורכבים יותר במים. כרגע המים עוברים טיפול מכני, ביולוגי וכימי (גבירצמן, 2002) ומ-2009 גם סינון.

רמת הניטור גבוהה לגבי מזהמים מיקרוביאליים אבל אינה מספקת כנגד מזהמים אחרים (רוזנטל, פרלמוטר ופפאי, 2010). האכיפה נגד מזהמים אינה מופעלת. תכנית האב למשק המים מקצה 1.3 מיליארד ש"ח ל-5 השנים הבאות לצורך שיפור איכות המים באקוויפר החוף (ראה נספח א').

2.3.5. צריכת מים מאפיינים כלליים

ב-2008 סופקו 2,124 מלמ"ק מהם 759 מלמ"ק למגזר הביתי, 121 מלמ"ק לתעשייה, 1,122 מלמ"ק לחקלאות ו-100 מלמ"ק לירדן ולרש"פ. המגזר הביתי משתמש כמעט רק במים שפירים; החקלאות משתמשת בקולחים מליחים, שיטפונות ושפירים ואילו התעשייה משתמשת בשפירים ובמליחים.

2.3.6. צריכה עירונית

קיימות שתי גישות מנוגדות לגבי ניהול הצריכה: הראשונה גורסת כי אין מקום להגדיל את צריכת המים משום שניתן להתפיל כל כמות נחוצה. מנגד, יש גישה האומרת שיש להגביל את ניצול המים ויש לנצל משאב זה במידה המאפשרת רמת חיים סבירה וזאת לנוכח המחיר הגבוה של המים המותפלים והשפעתה הסביבתית (ביין וחובריו, 2010).

המגזר העירוני ביתי הינו הצרכן הגדול ביותר של מים שפירים. לכל אדם יש זכות למים של 50 ליטר ליום לשתייה סניטציה, היגיינה, רחצה ובישול. מ-1.8.2011 הזכות למים מוגדרת כ-3.5 קוב לנפש לחודש. בשנים 2005-7 הרכב הצריכה במגזר העירוני היה 60 מ"ק צריכה ביתית, גינון מוניציפאלי 7 מ"ק, שימוש עירוני אחר 9 מ"ק, דלף ופחת 16 מ"ק, שונות 5 מ"ק ובסה"כ 107 מ"ק לנפש.

בכל שנה עולה הביקוש במגזר הביתי ב-30-40 מלמ"ק וזה בעיקרו תוצאה של הגידול באוכלוסייה. הגידול בביקוש למים לנפש היה קטן מ-1% (דרורי, 2009).

מצב משק המים כיום מכתוב ניהול להגבלת צריכה עד לשנת 2013 כאשר כמות המים המותפלים תכסה כ-2/3 מהצריכה הביתית עירונית.

ב-2009 חלה ירידה של כ-11% בצריכת המים בהשוואה ל-2008 וזאת למרות קצב גידול אוכלוסייה של כ-2.3% בעקבת מבצעי פרסום והסברה (דאובר, 2010). הצריכה הביתית בשנה זו הייתה 52.21 מ"ק נפש ואילו הצריכה העירונית הכוללת הייתה 72.6 מ"ק נפש.

קיימת שונות רבה בצריכת מים לנפש בקרב יישובים שונים ובמיוחד בין יישובים יהודים ולא יהודים. ניהול משק המים העירוני יהיה מבוסס על העקרונות הבאים: אמינות גבוהה מאוד של אספקת מים, שימור הפקה מקומית, נפח איגום מקומי, שוויון בין כל הצרכנים ברמת השירות, יעילות כלכלית אך תוך התחשבות ביכולת התשלום של הצרכן, צמצום מספר תאגידי המים והביוב, הקטנת פחת על ידי תמריצים וקנסות, חיסכון, ניטור מלא של אספקת המים לצרכנים וניהול לחצים במערכת ההולכה (זיידה ופרוביזור, 2010).

ייעול צריכת המים – ניהול פחת וחסכון

החסכון במים הינה הדרך הזולה ביותר לייצר מים. 1 מ"ק של מים נחסכים שווה 10-20 סנט ל-1 מ"ק. צעדי חיסכון קלים ביותר עשויים לחסוך 5%-10% לשנה במגזר העירוני. מבצעי חיסכון בעבר הראו ללא צל של ספק שניתן לחסוך 10%-20% מכלל הכמות הנצרכת במגזר העירוני ביתי, וציבורי ללא פגיעה ברווחת הצרכן (לב, 2008). לפי המשרד להגנת הסביבה ניתן לחסוך כ-370 מלמ"ש מהצריכה הקיימת (ביין וחובריו, 2010). הפוטנציאל הרב ביותר לחיסכון הוא פחת מים ברשת עד לצרכן ואצל הצרכנים (103 מלמ"ש), פחת ביוב ברשת, ביוב לא מטופל וקולחים (139 מלמ"ש) ובאופן עקיף – חיסכון בצריכה ביתית (100 מלמ"ש), שינוי בגינון (60 מלמ"ש), קירור אוויר במקום קירור

מים (30 מלמ"ש), שיקום קידוחים (70 מלמ"ש) והחדרה למי התהום (30 מלמ"ש) (בין וחבריו, 2010).

אביזרים חוסכי מים במקומות שבהם הותקנו חוסכים בין 35% ל-48% מצריכת המים אבל קיים עיכוב גדול בהתקנתם. התקנת מדי מים למגורים (במגזר הכפרי) עשויה לחסוך במים אבל היא חלקית ואיטית. אובדן מים ביישובים במגזר הכפרי עשוי להגיע ל-10-15 אחוז בחלק מהיישובים (לב, 2008).

גינון – האומדן הוא שפוטנציאל החיסכון נע בין 37-61 מלמ"ש מתוך 182 מלמ"ש המשמשים לגינון וזאת על ידי הקטנת השקיייה מערכות ממוחשבות ושינויים בצמחייה (רשות המים, 2009). אומדני פחת המים השפירים נעים בין 64 מלמ"ש ל-120 מלמ"ש (המשרד להגנת הסביבה, מוסד שמואל נאמן). פחת המים הארצי ל-2009 היה 11.4% או 66.9 מלמ"ש לפי דאובר (2010) או 15% (רוזנטל, פרלמוטר ופפאי, 2010). יש חוסר וודאות גדול לגבי אובדני מים פסיים מהתשתיות וזה כולל מים שפירים ומי שפכים.

קיים צורך בשיפור ניכר של שיטות המעקב הניטור ואיתור תקלות במערכות ההולכה. תכנית אב לחיסכון במים (2008) שמה לה למטרה רמת צריכה לנפש של 110 מ"ק ב-2010 ו-115 מ"ק לנפש ב-2020. מטרה שניה היא להעלות את המודעות של אזרחי ישראל לנושא החיסכון במים והפיכתו לאורח חיים קבוע. יתר הפעילויות המוצעות הן בתחום הרחבת השימוש באביזרים חוסכי מים וצידוד ביתי חסכן במים, תקינה ואכיפה, מחזור מים בבריכות שחיה, מקוואות מבני ציבור גדולים, מכונים לשטיפת רכב, מרכזי ספורט ובתי מלון (לב, 2008). בפרויקטים שנועדו למיחזור מים וכן לחיסכון במי השקיה בגינון מציעה התכנית החזר של רבע ממימון הפרויקטים (שם, 2008).

בתחום הגינון חל שינוי בעקבות הרפורמה בגינון הציבורי לשנת 2009 (לב, 2010). בעקבות יישום הרפורמה ירדה צריכת המים בגינון הציבורי מ-44.8 מלמ"ק בשנת 2007 ל-36.7 מלמ"ק/שנה ב-2009. כמויות המים לגינון מוקצות לרשויות המקומיות ופעולות אכיפה ופיקוח מבוצעות כדי להבטיח שההשקיה תהיה יעילה, בשעות המותרות, ועל פי דיווח מדי מים. בפועל הוקצו לסה"כ הרשויות המקומיות 19.1 מלמ"ק בשנת 2009, חיסכון של 57% מכמות המים שעליה דווח ב-2007 (לב, 2010).

2.3.7. צריכת מים בחקלאות

החקלאות היא עדיין צרכנית המים העיקרית בישראל למרות שצריכת המים השפירים בה פחתה מ-80% מכלל המים השפירים ב-1970 לפחות מ-50% בשנת 2000. צפויה הפחתה נוספת במים שפירים מ-500 מלמ"ק ב-2009 ל-350 מלמ"ק ב-2050 (זיידה ופרוביזור, 2010). החקלאות צורכת מים שוליים (קולחים, שיטפונות, מליחים) המהווים יותר ממחצית צריכת המים שלה. שימור החקלאות ופיתוחה הם יעד לאומי והממשלה קובעת את היעדים ואת צרכי החקלאות ופרישתה. לחקלאות תרומה משמעותית לשימור השטחים הפתוחים, לקיום דמות הנוף הייחודית בישראל, ספקית תוצרת חקלאית, בסיס תעסוקתי באזורים כפריים פריפריאליים וענף כלכלי המייצר תועלות חיצוניות למדינה, לציבור לנוף ולסביבה בכך שהוא קולט רכיבי פסולת, קולחים, אשפה ובוצות, סופגת CO², תורמת לביטחון ולשמירת קרקעות ומקנה ערכי תרבות מורשת וחינוך (אילון, צבן, אבנימלך וחבריהם, 2004). שימור החקלאות ופיתוחה הם יעד לאומי, והממשלה קובעת את היעדים ואת צרכי החקלאות ופריסתה (זיידה ופרוביזור, 2010).

בישראל 4.1 מיליון דונם שטחים חקלאיים ראויים לעיבוד שהם כ-20% משטח המדינה. מתוכם היקף השטחים המושקים במים שפירים 1.05 מיליון דונם, והיקף השטחים המושקים בקולחים 0.85 מיליון דונם. סך הכול השטח המושקה היה 56.4% מתוך שטחי החקלאות (היתר שטחי בעל שטחים מוצבים). בחקלאות מועסקים רק 2.3% מכלל המועסקים במשק רובם שכירים (דרורי, 2009; כסלו, 2011).

פריון החקלאות גבוה מאוד: בארבעת העשורים האחרונים גדלה התפוקה של הגידולים הצמחיים ל-1 מ"ק מים פי 7 (ביין, אבנימלך וכסלו, 2010). לאורך השנים חלה עלייה בעלות המים וירידה בעלות הייצור של הגידולים בגלל הפריון החקלאי אבל מחירי המוצרים הצמחיים ירדו משום ירידת המחירים בעולם דבר המשתקף במיוחד בצמצום שטחי הפרדסים והכותנה (כסלו, 2011). הפריון בייצור משקף ניצול יעיל ביותר של מים ושימוש יעיל במים שוליים. למרות שהספקת מים לחקלאות היא במכסות, בפועל לא השתמשו החקלאים במלוא מכסות המים עד למשבר המים הנוכחי. החקלאות הישראלית שמוגבלת בעיקר במים, אינה יכולה לספק את כל צרכי המזון של המדינה וישראל נשענת על יבוא בשר ומיני מזון אחרים, במיוחד גרעינים למאכל אדם ובעלי חיים. כ-81% מתצרוכת הקלוריות היומית בישראל מיובאת (שובל, 2009). תהליכי השינוי הצפויים בחקלאות הם המרה של מים שפירים במים מושבים אולם התהליך איטי משום פיגורים בהעמדת המקורות הכספיים להשקעות בתשתיות הולכה ובמאגרים (רוזנטל, פרלמוטר ופפאי, 2010).

משק המים לא עמד ביעדי ההשבה לחקלאות כתוצאה מפיגורים בהעמדת המקורות הפיננסיים מצד אגף תקציבים באוצר וקשיי ביצוע של קק"ל (המקימה את המאגרים). הפקת יתר של משאבי מים בישראל מיוחסת לחקלאות. אחד הגורמים להפקת היתר הייתה הקצאת המים לחקלאות שלא אוזנה על ידי תשלום נאות בעבור המים (סובסידיה למים) (ועדת ארלוזורוב, 1997; ועדת מגן, 2002; ועדת ביין, 2010). עדכון מחירי המים לא קרה משום ששנים רבות שרי החקלאות והמגזר החקלאי שלטו במשק המים. ההסדר הנוכחי בין החקלאים לממשלה קובע שהמחיר של מים שפירים אמור לשקף את העלות הממוצעת להפקה ואספקה ובכלל זה גם עלויות ההתפלה. החקלאים עדיין אינם משלמים מחיר מלא זה והמטרה היא שבטווח הארוך תסתגל החקלאות באופן מלא למחירי מים משתנים. מחיר מים נמוך גרם לפיתוח ענפים שהם צרכני מים גדולים כגון כותנה, הדורים ובננות. כאשר ישראל מייבאת חיטה, למשל 1.6 מיליון טון חיטה, היא מייבאת 1.600 טון מ"ק מים, – מים וירטואלים. ישראל מייצאת לאירופה בין 68.7 ל-96 מלמ"ק של מים וירטואלים שפירים בצורת פירות, ירקות ופרחים. החקלאות, לפי התכנון ארוך טווח תשמור על היקף ופרישה נוכחיים, תתבסס בעיקר על גידולים וייקבע מנגנון מכסות מים לחקלאות.

במסגרת ההתייחסות לשינויי האקלים הצפויים, יש מקום לרוויזיה כוללת של הגידולים החקלאיים ומעבר לסוגי גידולים שיכולים להסתגל הן לתנאי האקלים הצפויים והן למנות מים קטנות יותר. צפוי כי הדרישה למים להשקייה תעלה ב-22%. (כל עליה בהשקייה בשיעור של 1% משמעה מים נוספים של כ-6.5 מלמ"ק/שנה).

2.3.8. צריכה בתעשייה

התעשייה צורכת כ-5%-7% מכלל הצריכה השנתית של מים 121 מלמ"ק ב-2007 מהם כ-2/3 מים שפירים (דרורי, 2009). התעשייה משתמשת באופן יעיל במים וממחזרת אותם ובאזורי התעשייה בנגב ובים המלח משתמשים במים מליחים בכמויות ניכרות. מתוכננת תוספת שנתית של 0.5% בצריכת המים של התעשייה. טיפולי קדם של שפכי תעשייה לוקים ומזרימים למט"שים שפכים באיכות נמוכה. שפכי תעשייה מגיעים גם לנחלים (רשות המים, סקר ניטור נחלים, 2010).

2.3.9. אספקת וצריכת מים, בטבע, נחלים

משק המים וחוק המים מזהים את הטבע כצרכן מים מן המניין אבל במציאות הנחלים, המעיינות, בתי גידול לחים ושוליות חורף נפגעו קשות מ-2 תהליכים: שאיבת מים וייבוש מעיינות וגופי מים זיהום נחלים על ידי מקורות זיהום רבים – בעיקר שפכים. התוצאה היא שבנחלים ומעיינות זורמים מי קולחים ושפכים או הזרמת מים מלאכותית בצינור (ביין וחוברין, 2010; רוזנטל פרלמוטר ופפאי, 2010). כבר בשנת 2000 הממשלה לראשונה החליטה על הקצאת 50 מלמ"ש לנחלים וחוק המים קבע ששמירה על ערכי טבע נופ היא אחד הייעודים למים. בפועל, הקצאת המים נותרה מצומצמת: כ-7-10 מלמ"ש (ועדת ביין, 2010; תכנית אב למשק המים, 2010). על מנת להבטיח קיום תקין של

המערכות האקולוגיות בנחלים יש צורך בספיקת מים מינימלית של כ-200 מלמ"ק לשנה. בעוד הארגונים הירוקים דורשים להשיב לנחלים מי מקור בלבד משום שתכנית ההתפלה כבר מאפשרת למתן את השאיבה בחלק מהמקורות, תכנית האב למשק המים מקצה את המים לטבע בקצב איטי יחסית – 50 מלמ"ק יושבו לנחלים רק ב-2050 (רוזנטל, פרלמוטר ופפאי, 2010; זיידה, ופרוביזור, 2010).

2.3.10. מים ואנרגיה

משק המים צורך כיום 6% מכמות החשמל המיוצרת במשק. עם הפעלת כל מתקני ההתפלה, תעלה הכמות ל-8% ובעתיד הרחוק תרד שוב ל-6% (זיידה ופרוביזור, 2010; רוזנטל וארז, 2010). התפלת מים תצרוך 40% מהאנרגיה במשק המים ב-2015 ו-58% במשק המים ב-2030 והיקף פליטת גזי חממה עקב צריכת אנרגיה במשק המים לשנת 2015 תהיה 4 מיליון טון CO² ו-6 מיליון ב-2030 (גבעתי, זיידה וחובריהם, 2009/10). הפוטנציאל העיקרי להקטנת צריכת החשמל להתפלה, הולכה וטיפול בשפכים הינו חיסכון בצריכת מים שפירים, התפלה באמצעות אנרגיה סולרית, שיפור ניהול מערכות המים הארציות והמקומיות והתייעלות אנרגטית בטכנולוגיות התפלת מי ים (גבעתי, זיידה וחובריהם, 2009/10). תכנית האב למשק המים קוראת להשתתפות משק המים בתכנון משק האנרגיה הלאומי וכן פיתוח חלקי של מקורות אספקת אנרגיה עצמיים. עוד קוראת תכנית האב להעדפה של פתרונות ידידותיים לסביבה, עידוד פיתוח אנרגיה שאובה ואנרגיה הידרואלקטרית בעזרת כוחות השוק.

2.3.11. מים, גאואסטרטגיה וגאופוליטיקה

ישראל, הרשות הפלשתינית וירדן, מאופיינות ברמה הגבוהה ביותר של מחסור במים: מחסור אבסולוטי הנמדד בזמינות של עד 500 מ"ק נפש לשנה. מחסור במים, המוגדר כזמינות נמוכה מ-1000 מ"ק לנפש לשנה, מצוי במצרים, לבנון וסוריה. בכל הארצות האלה צפויים שינויי האקלים במאה הקרובה – ירידה במשקעים ועליה בטמפרטורות להחמיר את התופעה. לזה יש להוסיף גם גורמים אנושיים המשפיעים על מצוקת המים: גידול אוכלוסין ופיתוח, כלכלה חקלאית, שימוש לא יעיל במים, שאיבת יתר, זיהום מקורות מים ותת ניצול של שפכים, גם מסיבות תרבותיות.

רבים ממקורות המים במזרח התיכון הם מקורות חוצי גבולות: הירדן – ירמוך משותף ללבנון, סוריה, ישראל והרשות הפלשתינית; אקוות ההר משותפת לישראל ולפלשתינים ואילו אקוות החוף הדרומי משותפת לישראל ולפלשתינים. סוריה תורכיה ועירק שותפות לפרת ולמצרים עשר שותפות בחלק העילי של הנילוס. הסדרי חלוקת מים מהמקורות המשותפים הם חלקיים: לישראל ולרש"פ, הסדר במסגרת הסכם אוסלו II 1995 הקובע את ההקצאות מאקוות ההר 483 מלמ"ק לישראל, 118 מלמ"ק לפלשתינים ו-78 מלמ"ק מהאקוויפר המזרחי לפיתוח עתידי של הפלשתינים. ישראל והפלשתינים חלוקים לגבי חלוקה זו. ישראל טוענת שמימשה את מחויבותיה לפי הסכם אוסלו (בהעברה שנתית של 31 מלמ"ק מדי שנה ובשנים האחרונות כ-50 מלמ"ק שנה). הפלשתינים דורשים הרחבה במקורות המים שיעמדו לרשותם בין היתר משום שיש קשיים בפיתוח האקוויפר המזרחי בגלל מליחותו והעלות הגבוהה של הפקתו (ארבל וחובריו, 2010; כסלו, 2008). הפלשתינים סובלים ממצוקת מים וכ-10% מהאוכלוסייה אינו מחובר כלל לרשת המים, ישנן הפסקות בהספקת מים ומים אובדים בצנרת. גבירצמן, מנגד, טוען שישראל מילאה את כל חובותיה בהעברת מים לפלשתינאים ובשנת 2006 צומצם הפער בצריכת המים בין הישראלים לפלשתינים ל-170 מ"ק לנפש לישראלים, ו-129 מ"ק נפש לפלשתינים (גבירצמן, 2009, 2011). בחישוביו גבירצמן מונה 1.4 מיליון פלשתינים בלבד בעוד שלפי מקורות אחרים האוכלוסייה בגדה מונה 2.4 מיליון. בכל מקרה, תכנית האב למשק המים בישראל כוללת המשך ההספקה לרש"פ בסדר גודל של כ-50 מלמ"ש ותוספת בשיעור של 4% לשנה עד 2050 (זיידה ופרוביזור, 2010). הסכם השלום בין ישראל לירדן קובע הקצאה של כ-50 מלמ"ק וכולל המשך ניצול בארות מים בתחום ירדן על ידי ישראל.

גם לירדן, ישראל תמשיך באספקה בסדר גודל של כ-50 מלמ"ק לשנה גם בעתיד. לא מוזכרת באופן ספציפי הגדלה עתידית לירדן אבל ישראל כבר סייעה לירדן בעבר בהגדלת הכמויות המועברות על ידי הגדלת הכמות בעת מחסור חמור.

הסוגיות במחלוקת הן מעבר לכמויות המים המוקצות לרש"פ גם בעיות קשות של ניהול משאבי המים, מרבית השפכים של הפלשתינים אינם מטופלים וזורמים לנחלים ולמי התהום; יש גניבות מים וקידוחים פיראטים, יש אובדן מים ודליפות והפלשתינים אינם משלמים תמורת המים שהם צורכים (גבירצמן, 2009; 2011; כהן, 2011; מושקוביץ, 2011; כסלו, 2008).

הפלשתינים קובלים על מגבלות פיתוח של משאבי המים ומט"שים גם בשטחים שבשליטתם המלאה וגם בשטחי C. לנוכח השינויים הצפויים בגידול האוכלוסייה והצרכים ומשום שינויי האקלים העתידיים, מים עומדים להיות סוגייה ראשונה במעלה ביחסי ישראל-ירדן והפלשתינים כאשר לירדן והפלשתינים אין אופציות להתפלה (חוץ מבעזה וגם שם אין ביכולת האוכלוסייה לשלם תמורת מים מותפלים). באזור הקרוב לישראל, מצוקת מים גוברת בלבנון עשויה להגביר את השאיבה מהחצבני, מצוקת מים בסוריה תגביר את השאיבה בירמוך ותותיר את ירדן כמעט ללא מים וגם במצרים ימשיכו מים להוות סוגיה במחלוקת עם שכנותיה העיליות.

יבוא מים

יבוא מים לישראל בעיקר מנימוקים גאופוליטיים הוצע מספר פעמים, בטכנולוגיות שלא נוסו עדיין ובמחיר דומה למחיר התפלה (ביין, אבנימלך, כסלו, 2010; ארבל וחובריו, 2010). יבוא מים נחשבת כאופציה סביבתית טובה יותר ביחס להתפלה אבל מבחינה גאופוליטית היא רגישה כאשר ארצות המוצא של היבוא הן תורכיה ולבנון. עם זאת, יש להסתכל על אופציה זו כמכשיר אסטרטגי ואמצעי מדיניות שניתן להשתמש בו לעת צורך.

שיקולים פנימיים גאואסטרטגים בניהול משק המים של ישראל

ראשית, נדרשת אספקת מים באמינות גבוהה. אי-לכך, נדרשת הסתכלות על רזרבות או מלאי המים של ישראל ויש לקדם את שיקום האוגר הטבעי באקוויפרים בקצב מהיר יותר (אולי), מהמתוכנן. גם את הכנרת ואת זיהום אקוויפר החוף יש לבחון מהיבט של מלאי חירום.

מים מותפלים ומי שפכים הם 2 מקורות מים אמינים בעלי יתרון אסטרטגי מדיני מהיותם בבעלות בלעדית של ישראל. תשתיות אלה חשופות לסיכונים: תאונות הנדסיות ותעשייתיות, עליית מפלס פני הים, צונאמי ורעידות אדמה וכמובן פגיעת טרור או מלחמה. - חקלאות וביטחון מזון - נושאים הקשורים בעקיפין למשק המים, ליכולתו לספק מים באמינות גבוהה לחקלאות.

הנקודה החשובה ביותר היא כמובן, מעבר לאספקת מים למגזר הביתי באמינות גבוהה, (זיידה ופרוביזור, 2011) היא ליצור תנאים שרזרבות המים או "מלאי" המים של ישראל יגדל לאור השונות הצפויה במשטר הנחלים והנהרות. האמצעי הטוב ביותר הוא שיקום האוגר הטבעי באקוויפרים (במיוחד אקוויפר החוף שיכולת האגירה שלו גדולה מביתר המקורות) ובכנרת. תכנית האב למשק המים מכירה בכך: "המדיניות לניהול ארוך טווח של מקורות המים הטבעיים תהיה שיקום ושימור המשאבים כערך אסטרטגי לאומי. מדיניות ההפקה מהאוגרים הטבעיים מכוונת להשגת הפקה יציבה ובת קיימא. קביעת רמת אמינות גבוהה מאוד לאספקת מים למגזר הבית והתעשייתי ורמות אמינות נמוכות יותר לחקלאות טבע ונוף" (זיידה ופרוביזור, 2010).

יש לבחון לעומק את טווחי הזמן לבניית האוגר וכמו כן, לתופעות זיהום הגורעות מים מהאקוות הקיימות. גם אל הכנרת כמאגר מים יש להתייחס בהיבט של מלאי. היותה מאגר המים היחיד המספק את צרכי חיפה וערי הגליל המערבי והעמקים הצפונים (לפחות עד פתיחתו של מפעל ההתפלה האזורי ב-2017) היא כדברי ועדת ביין צעד שיש לו עלויות סביבתיות כבדות.

לתשתיות הטיפול בשפכים ולמתקני ההתפלה יש יתרון אסטרטגי מהיותם בבעלות בלעדית של ישראל. לכן 2 מקורות אלה הם אמינים ובלתי מוגבלים מההיבט המדיני. אולם גם תשתיות אלה

חשופות לסיכונים: תאונות תעשייתיות, רעידות אדמה, צונאמי, עליית מפלס הים וכמובן פגיעה בעת מלחמה ולכן החשיבות הרבה של שימור האוגר הטבעי. יש לבחון גם "תסריטי בלהה" למקרה של פגיעה במתקני תשתית אלה בעיקר בכל הנוגע לאספקת מים לאוכלוסייה (חיבוריות כפולה ומשולשת למקורות אספקה אלטרנטיביים, כדוגמה). בהקשר לנושאים אלה ועדת בין ציינה: "גם אם יש כוונה להימנע ממשבר, צריך תכנית חירום למשבר נוסף העשוי לקרות בעקבות תקלות במפעלי ההנדסה או במערכות הנדסיות אחרות. ברשות המים קיים אגף לביטחון מים אך הוא מתמודד בסכנות לאירועים קצרי טווח" (בין, אבנימלך, כסלו, 2010).

חקלאות וביטחון מזון

אלה נושאים שקשורים בעקיפין למשק המים ובעיקר ליכולתו לספק מים באמינות גבוהה לחקלאות. חקלאות תורמת לביטחון ולשמירת קרקעות (ועדת בין, 2010; איילון, צבן, אבנימלך וחובריהם, 2004) וביטחון מזון מצוין כאחת המטרות החיצוניות של משק המים ומשפיעות על ניהולו (זיידה ופרוביזור, 2010) נמצא גם שהערך של אמינות האספקה של מים לחקלאות שווה לכ-2 ש"ח ל-1 מ"ק מים. אין ספק שהחקלאים מרוויחים מהמעבר למי קולחים גם אם איכותם נמוכה מאיכות המים השפירים.

אמינות אספקת הקולחים גבוהה מאוד והחקלאים לא תלויים יותר ברמת המשקעים ובמצב המים השפירים (לביא, 2008). נקודות אלה, בשילוב, מצריכות בחינה מחקרית נוספת בהקשר להיבטים גאואסטרטגיים של שינויים אקלים.

מערכת הביטחון

למערכת הביטחון תפקיד בשמירת ביטחון משק המים באמצעות מערך התראה והגנה בפני זיהום. עם זאת בפעולותיה השונות מערכת הביטחון מביאה לפגיעה באיכות הסביבה ולפגיעה במקורות מים (תע"ש, מתחמי חיל האוויר) מניעת ביקורת פקחים ואכיפה בבסיסה. 150 בסיסים עדיין לא מחוברים למערכת השפכים ומשרד הביטחון אינו נוטל אחריות על פגיעות כאלה (עדות ג. ארדן, ועדת בין, 2010).

סיכום ההשפעות האקלימיות על משק המים

ישראל מצויה כרגע במחסור במים בעיקר מסיבות אנושיות:

ניצול יתר של משאבי המים ללא התחשבות בפגיעותם, קשיי משילות והיעדר תכנון לטווח ארוך, תגובה איטית לצורך בהגדלת ההצע – למשל על ידי התפלה והקצאה לא מספקת של אמצעים לפיתוח משאבי מים. לאור התחזיות העתידיות, שינויי אקלים עומדים לתפוס תפקיד חשוב יותר במאזן המים של ישראל כאשר מיקצתם כגון עליות טמפרטורות (מובהקת סטטיסטית) כבר משפיעים על הסביבה ועל מקורות המים אם כי חסרים עדיין מחקרים מכוונים לנושא השפעות הטמפרטורות על גורמים שונים הקשורים בהתאדות ועליה בצריכת המים. ניתן להניח שגם אם כרגע נתפסים שינויים האקלים כבעלי השפעות מינוריות על משק המים הם עשויים להיות הרבה יותר משמעותיים במאה הקרובה ובמיוחד לקראת אמצעיתה.

בסקירה זו הושם דגש רב על גורמים אנושיים העשויים לשנות את הצע המים כגון התפלה, טיפול בשפכים ובזיהומים ובמיוחד נגר עילי העשוי להיות מושפע מאוד מהצירוף של שינויי אקלים ושינויי תכסית. שימושי המים בישראל וייעודיהם יושפעו מאוד מהרעה בכמות ואיכות מקורות המים וצריכים גם הם לעבור שינויים רבים להתאמתם לשינויים העתידיים. משק המים בישראל מושפע מאוד מסוגי ומחיר אנרגיה ומגורמים גאופוליטיים כגון מאגרי מים חוצי גבולות וסביבה פוליטית-מדינית שכולה נתונה במחסור חמור במים. למרות המחקר הרב והמגוון בנושאי מים בישראל ישנם עדיין פערי ידע ניכרים ברמות שונות. לחלק ניכר מנושאי המחקר (ראה להלן), יש היבטים בינ"ל ויש לשאוף לחוקרם במסגרת אזרית.

טבלה 2.1 - השפעות שינויי אקלים על משאבי המים: פערי ידע ונושאים המצריכים מחקר נוסף

תחום – פיסוי אקלימי, פערי ידע	
1. נתונים	- מחיר נתונים מטאורולוגים, זמינות לחוקרים. - מחסור בתחנות אקלימיות למדידת התאדות באזורים לא מופרים. - נתונים של אירועי גשם מיוחדים ושיטפונות אינם מרוכזים בבסיס נתונים יחיד ואינם נגישים לניתוח.
2. מודלים אקלימיים	-רזולוציה, שונות. שימוש בתחזיות אקלימיות המבוססות על אוסף של מודלים כדי לקבל חיזוי ייצוגי יותר. -Downscaling של אזורים בעלי חשיבות למשק המים. -חיבור מודלים אקלימיים למודלים הידרולוגיים, הידרוגיאולוגיים, אקולוגיים, הנדסיים וכלכליים. אין מודלים הקושרים נפח גאות, כמות גשם, פרישתן והשפעתם על נפח נגר יחסית לגאות. -לאילו תרחישים יש להיערך לאור השונות בממצאי המודלים.
3. היערכות	4. התאדות
5. משקעים	-השפעות שונות על משאבי המים השונים, התאדות ממאגרים, מקרקע, השפעת השינויים בהתאדות על השקיה חקלאית, השפעת צמחיה על ההתאדות, מדידות התאדות ריאלית, התאדות שונה בעונות השנה; השפעת ההתאדות על מחזור המים. חוסר בנתונים בהתאדות פוטנציאלית, שיפור מודלים לחיזוי התאדות.
6. נגר	-שינויים בכמויות המשקעים ובאופיים, שינויים בחלוקת המשקעים בין העונות, משך פרקי גשם במהלך עונת הגשמים, אירועי גשם קיצוניים, פערים בין אירועי גשם, הגברה אפשרית של אירועי גשם קונוקטיביים, כמויות משקעים בסוגים שונים של תכסית, השפעות אירוסולים על האקלים, התאדות ומשקעים.
7. חידור, העשרה תכסית	-קישור בין נפח גאות, כמות ופריסת גשם האם יש לשנות את ההערכות הקיימות כיום לגבי ספיקות שיא ונפחי זרימה? איך ישפיע הנגר על שטחים חקלאיים ועירוניים ועל תכנון מערכת הניקוז; ניטור נגר עירוני, התאמת מודלים מותאמים לישראל בנושא הקשר בין תכסית לנגר; יחסי נגר: גשם, כמות הנגר, רטיבות הקרקע, יחסי נגר וסופות גשם, השפעות התכסית הטבעית הצמחית על הנגר.
8. אגירה	-השפעות ישירות על פונקציות החידור של הקרקע ואוגר פני הקרקע, השפעות עקיפות מעשה אדם כולל שימושי קרקע על חידור והעשרה, מחקר בתכונות פסיקליות וכימיות לאורך החתך הלא רווי תחת שימושי קרקע שונים, מודלים שיחזו שינויים במילוי החוזר עקב שינויים בתכסית, בשימושי קרקע ובמשטר המשקעים.
9. מי תהום	-האם מדיניות האגירה העילית צריכה להשתנות – אגירה במעלה והחדרה. האם הכדאיות באגירה תגדל או תקטן שינויים צפויים בנפחי מאגרים עיליים (מפעלי נחלי מנשה ושקמה) התאדות.
10. מים עיליים	-מודלים לחיזוי מילוי חוזר באקוויפרים בעשורים הקרובים, בדיקה של סדרות העשרה טבעיות על מאזן המים של המדינה (כדי לשנות או להמשיך בנתוני ההעשרה הקיימים עבור מי התהום והאם לתת משקל גדול לשנים האחרונות) תגובות לשינויים אקלימיים ואנתרופוגנים, הגברת ניטור באזור הבלתי רווי, השפעות תכסית על המילוי החוזר.
11. עליית טמפרטורות	12. עליית מפלס פני הים
13. זיהום מים	14. בצורת
15. השפעות אנתרופוגניות	16. שפכים וקולחים- השלכות כלכליות והנדסיות של השינויים הצפויים
מט"שים	-כניסת מודל לחיזוי כניסות מים לכנרת, התאדות מהאגם והאגן, מים זמינים לאגם, השפעות כניסות מים עתידיות על המליחות ועל המערכות האקולוגיות. נחלים – הערכות של נפחי זרימה בירדן ומקורותיו ובנחלי ישראל, ניטור הידרולוגי באגני ניקוז קטנים, הגברת הניטור של מעיינות קטנים באזור אגן ההר.
איכות מים מושבים	-השפעה על התאדות, על הצריכה במגזר הביתי, השקיה חקלאית; על פירוק מזהמים בנחלים, מאגרים בכנרת ותהליכים נוספים שישפיעו על איכות המים.
מים אפורים	-השפעת עליית מפלס הים התיכון על בסיס הניקוז של נחלים כגון הירקון והקישון וההשלכות של כך על ספיקות השיא; השפעת עליית מפלס פני הים על אקוויפר החוף, ואיכות מימיו.
	-כימות השפעות של אירוסולים על משקעים, שינוי בהעשרה על ידי משקעים יגרום לשינוי במיהול והדחה לים, זיהום אקוויפר החוף עקב עליה באירועי שיטפונות הסוחפים מזהמים העשויים לחלחל למי התהום.
	-שינויים בתדירות משך ועוצמת הבצורות, יצירת אינדקסים לבצורת עבור ישראל.
	-פיתוח שיטות לצורך הבחנה בין השפעות של שינוי אקלים גלובלי על משק המים לבין השפעות אנתרופוגניות מקומיות, השפעות אנתרופוגניות משולבות בשינוי אקלימי באקוויפרים של ההר והחוף.
	- בחינה של יציבות כלכלית של מט"שים קיימים ומתוכננים, מערכות ניהוליות חלופיות למט"שים, מדיניות ביזור לעומת ריכוז של מט"שים לאור שיטות טיהור חדשות, הליכים משלימים להשגת קולחים משופרים במט"שים חדשים או שדרוג ישנים (חסמים), חסמים בפני שימוש בביוגז כמקור אנרגיה במט"שים, תשתית חיבור בין אזורי היצע לאזורי ביקוש.
	-סילוק מלחים מקולחים המשמשים להשקיה באזורי שימור על בסיס ניתוח עלות תועלת הנדסית ושמירה על מקורות המים, כדאיות התפלת קולחים לצורך החדרה ומיהול עם מים טבעיים ושימוש מלא בתמהיל כולל כמי שתייה, קשיים פסיכולוגיים בהתפלת קולחים לרמת מי שתייה, מתקן חלוץ לפיתוח ובחינה של יישום תהליכי טיפול עד הבאת קולחים לרמת מי שתייה ולחקלאות.
	-מוצרים ושירותים ייעודיים לטיפול ומיחזור מים אפורים, ניתוח פתוגנים ואפידמיולוגיה של מערכות

מים אפורים לאורך זמן, מתקן חלוץ של השבה ביתית של מים אפורים בשכונה חדשה (או במוסד ציבורי/בסיס צבאי).	
17. התפלה	
סילוק תמלחות מיהול	אזורי התפלה פנים ארציים ובחופים, השפעת מי רכז המכילים חנקות ומלחים על הים, ניטור ומעקב. השפעות מיהול מים מותפלים עם מים שפירים, עם מי תהום וקולחים (כולל ניטור).
חקלאות, אקוסיסטמות כלכלה	השפעת מים מותפלים על החקלאות או על אקוסיסטמות; שיקום הירדן הדרומי על ידי מים מליחים מותפלים. כדאיות התפלת מים פוסיליים בנגב, הפנמה של ההשפעות הסביבתיות על עלות המים המותפלים.
אנרגיה	מחקר יישומי בשיפורים טכנולוגיים בתהליך ההתפלה וחיסכון אנרגטי.
18. תחום: ניהול נגר עילי, בנייה משמרת מים ותכנון רגיש למים	
ניהול נגר	מעקב השוואתי אחר פרויקטים קיימים של ניהול נגר: כמות ואיכות המים המוחדרים. ניטור נגר עילי באזורים עירוניים. בחינה של סחרור נגר בסמוך למוצא נחלים לים. חסמים לביצוע ניהול נגר עילי בתחומי חקיקה, מוסדות חינוך והכשרה.
אגני הקוות	ניטור שיטפונות באגני הקוות קטנים. מדיניות אגנית; הגדרת תפקידים וסמכויות. דוגמאות מארצות אחרות ופיילוט. בחינה מחקרית של אצירה והחדרת מים במעלה נחלים.
מאגרים	בחינה מחדש של איסוף שיטפונות במאגרים.
19. זיהום מי תהום, טיוב בארות ואיכות מי שתייה	
מקורות זיהום	סקר ומחקר על המזהמים במערכת הביטחון, כמות איכות ודרכים לפיתרון (לביצוע על ידי מערכת הביטחון). השפעות שליליות של מיקרו-מזהמים על בריאות הציבור.
איכות	קביעת יעדי איכות ספציפיים לכל אחד ממקורות המים הטבעיים בהתייחסות פרטנית למאפייניהם ולייעודיהם. קביעת הגבול שבו מים שפירים חדלים להיות שפירים.
20. צריכת מים עירונית	
חיסכון	מניעים לחיסכון ברמה אישית ויישובית. בחינה מחקרית של הצלחה וכישלון של מערכות הסברה לחיסכון. אימוץ מכשירים כלכליים בהגדלת החיסכון ברמה הביתית וברמת הרשות המקומית.
פחת	בחינה של מדדי פחת ושיפורים. אמצעים לשיפור פחת במערכות מים וביוב – פיילוט אימוץ מכשירים כלכליים בצמצום פחת.
רשויות מקומיות	אוכלוסיות ללא מי רשת והזכות למים. שילוב מערכות מודרניות לצורך יעול הצריכה (קר"מ, מערכות ניטור, איסוף קריאות, ממ"ג). אמצעים לשיפור צריכת מים בגינון הציבורי – פיילוט. פיילוט מחקרי על חיבוריות רשויות למקורות מים שונים (היערכות לשעת חירום).
21. צריכת מים חקלאית	
התאדות	התאדות מקרקעות מושקות. התאדות מים ממאגרים משולבים.
סביבה	היתכנות תשלום עלויות חיצוניות לחקלאות. השפעות סביבתיות של דישון ומשטר השקיה עודפים.
ביטחון מזון	הגדרת ביטחון מזון, מלאי מזון וחקלאות.
סוגי מים	שימוש במי התפלה בחקלאות. המרת מים שפירים במי קולחים – חסמים אפשריים.
אחר	בדיקת גובה היטלי הפקה בעמקים הפנימיים.
22. צריכת מים בתעשייה	
טכנולוגיה	טכנולוגיות לשיפור תהליכים של טיפולי קדם בתעשיות מזון וכימיה. ניטור הטיפול בשפכי תעשייה.
23. הספקה וצריכת מים טבע נחלים ונוף	
אגני נחלים	השפעת קולחים מרמה גבוהה על מערכות אקוויטיות. חישובי ספיקות מינימום והזרמה לנחלים ולמעיינות לצרכי שמירת אקו-סיסטמות. ניסויים באגירה והחדרת שיטפונות בנחלים.
24. מים ואנרגיה	
מט"שים	מחקר של אפשרויות חיסכון אנרגטיים בדגש על שימוש אנרגטי בגזי חממה הנפלים בתהליך ייצור שפכים (כולל חסמים ביורוקרטים וניהוליים).
אנרגיות מתחדשות	שילוב אנרגיות מתחדשות (סולריות) במשק המים כולל סקר עדכני של כל סוגי השימוש באנרגיות מתחדשות במשק המים בישראל ובעולם.
25. מים גאואסטרטגיה וגאופוליטיקה	
ביטחון מים	הגדרות בינלאומיות ומקומיות של ביטחון מים – רכיבים מתוך משק המים ומחוץ לו.

-מלאי מים לעת חירום בישראל.	
- אופציות לסחר/יבוא מים באגן הים התיכון ובמזרח התיכון (כולל מזון תמורת מים).	סחר במים
- הגדרות יסוד, מלאי, תלות במים (ישראל, עולם)	ביטחון מזון
-תסריטים שונים למקום ותפקיד המים בהסדרים עתידיים בין ישראל והרש"פ.	רשות פלשתינית
-תסריטים שונים למקום ותפקיד המים בהסדרים עתידיים עם ירדן.	ירדן

3. ההשלכות הבריאותיות של שינויי אקלים, בדגש על ישראל

3.1. רקע

נכון להיום ישנן עדויות חזקות לכך שהייצור הגובר של גזי חממה במהלך העשורים האחרונים גרם לזירוז התהליך של ההתחממות הגלובלית. תופעה זו עלולה להיות בעלת השלכות רציניות לבריאות העולמית.

שינוי אקלים

פליטת גזי חממה המושרה על ידי בני אדם לשכבת האטמוספירה הנמוכה, תורמת באופן מתגבר להתחממות פני כדור הארץ. בהתבסס על מודלים מנבאים, הטמפרטורה הממוצעת עשויה לעלות באופן גלובלי ברמה של בין 2-5 מעלות צלסיוס במהלך המאה ה-21 (McMichael et al., 2011; IPCC,). ההתחממות הגלובלית תעלה את התדירות של תנאי מזג-אוויר קיצוניים כגון גלי חום, בצורות, ממטרי גשם כבדים, הוריקנים וכדומה. שינוי האקלים הנלווה צפוי להיות בעל השפעות רבות על הסביבה ועל בריאות האדם.

אקלים ובריאות

מזה זמן רב ידוע כי אקלים משפיע באופן משמעותי על דפוסי מחלות. עונתיות המחלות תוארה לראשונה על ידי היפוקראטס במאה החמישית לפני הספירה, ורבות מהמחלות הנפוצות החל מהתקררות מצויה ושלשולים ועד מחלת ריאה חסימתית כרונית (COPD), מראות שיאים עונתיים.

שינוי אקלים ובריאות

ארגון הבריאות העולמי הגדיר שלושה סוגים של תוצאות בריאותיות שיכולות לנבוע משינוי האקלים (WHO, 2003):

תוצאות ישירות, המתרחשות לרוב בעקבות מזג אוויר קיצוני
תוצאות המתרחשות בעקבות תהליכי שינוי סביבתיים ואקולוגיים הנובעים משינוי האקלים
תוצאות הנובעות מטראומה, זיהומים או השפעות תזונתיות ופסיכולוגיות באוכלוסיות חלשות ומהגרות בעקבות הגירה כלכלית הנובעת משינוי האקלים.

בנוסף להשפעות הישירות של טמפרטורות קיצוניות על בריאות, השינוי הסביבתי המושרה על ידי ההתחממות הגלובלית ישפיע על הבריאות דרך שינויים בכמות ובהרכב המזון, בזמינות של מים נקיים ובדפוסים הגיאוגרפיים והעונתיים של מחלות. אחת ההשלכות המשמעותיות של שינוי האקלים עלולה להיות הגירה של אוכלוסיות במהלך חיפושן אחרי מזון ומים, אשר תביא בעקבותיה התפשטות של מחלות שונות.

בעוד שההתחממות הגלובלית עשויה לשכך כמה מתופעות הלוואי של מזג אוויר קר, השפעתה המשמעותית על בריאות האדם צפויה להיות שלילית. מקמיכאל ולינדגרן (2011), הדגישו כי "שינוי האקלים עלול לשנות את הקצב, הטווח, העונתיות והדפוסים של פגיעות, מחלות ומוות".

התכנית הבין ממשלתית לשינוי אקלים (IPCC)

בשנת 1988, כתוצאה מהתגברות הדאגה הבין לאומית, הקימה הוועדה הסביבתית של האו"ם (UNEP), בשיתוף עם ארגון המטאורולוגים העולמי (WMO), את התכנית הבין ממשלתית לשינוי אקלים (IPCC)². IPCC הינו גוף מדעי, הסוקר את כלל המחקרים הזמינים הנוגעים לשינוי אקלים, אך לא מבצע מחקרים בעצמו. מטרותיו המרכזיות הן להעריך כיצד הפליטה של גזי חממה השפיעה וצפויה להשפיע בעתיד על דפוסי האקלים העולמיים, איזו השפעה תהיה לתהליך זה על מערכות

² <http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml>

ותהליכים החשובים לחברה האנושית, ואילו אפשרויות תגובה כלכליות וחברתיות הינן זמינות עבור קובעי המדיניות לצורך מניעת שינוי האקלים (מיטיגציה) והפחתת השפעתו (אדפטציה). בשנת 2007 הפיק ה-IPCC את הדוח הרביעי בנוגע להשפעות הבריאותיות האפשריות של שינוי האקלים (IPCC, 2007). ממצאי הדוח סוכמו כלהלן: "החשיפות שמוערך כי יתרחשו כתוצאה משינוי האקלים צפויות להשפיע על מצב הבריאות של מיליוני אנשים, בעיקר אלה בעלי יכולת ההתאמה הנמוכה. ההשפעות הבריאותיות יבואו לידי ביטוי דרך: עלייה במקרי תת תזונה וסיבוכיה, אשר תשפיע על גדילה והתפתחות של ילדים; עלייה בשכיחות של מקרי מוות, מחלות ופגיעות כתוצאה מגלי חום, שיטפונות, סערות, שריפות ובצורות; עלייה בנתח התחלואה של מקרי שלשול; עלייה בשכיחות של מחלות קרדיו-רספירטוריות כתוצאה מריכוז גבוה של אוזון בשכבות הנמוכות באטמוספירה הקשור לשינוי אקלים ושינוי בפיזור המרחבי של מספר וקטורים של מחלות מדבקות". ההשפעות הבריאותיות של שינוי האקלים יכולות להיות מופחתות על ידי גורמים כגון חינוך, טיפול רפואי, יוזמות בתחום בריאות הציבור, פיתוח תשתית ופיתוח כלכלי. קיימות עדויות לכך ששינוי אקלים משפיע כבר היום על עומס התחלואה העולמי, במיוחד דרך הופעה והופעה מחדש של מחלות מדבקות. שינוי האקלים צפוי להשפיע בעתיד גם על תחומים כגון סחר עולמי; מסעות וטיולים; שימושי קרקע; והגירה של אוכלוסיות אנשים ובעלי חיים.

3.2. ההשפעות הבריאותיות של אקלים

3.2.1. כללי

אקלים יכול להשפיע על הבריאות בדרכים שונות. בין היתר יהיה האקלים בעל השפעות פיזיולוגיות ישירות על הבריאות באמצעות השפעתו על מחלות כרוניות, מחלות מדבקות וגורמי טראומה חיצוניים. אקלים יכול ליצור תופעות לוואי בריאותיות הן דרך שינויים הדרגתיים בטמפרטורה ובלחות או ביחסי הגומלין בניהן, והן דרך מצבי קיצון של טמפרטורה ומשקעים (Ziv & Saaroni, 2011)

3.2.2. השפעות פיזיולוגיות של טמפרטורות קיצוניות

טמפרטורות ולחות קיצוניות משפיעות על הפיזיולוגיה האנושית במגוון דרכים, ובניהן השפעות המודינאמיות, שינויים בלחץ הדם, השפעה על הטסיות, השפעה על רמת הפיברוגן (Ebi, Burton & McGregor, 2008) טמפרטורות קיצוניות העוברות את סף ההתאמה הגופנית עלולות להשפיע גם על תפקודים גופניים שונים, מצב הרוח וההתנהגות. התגובה הפיזיולוגית לטמפרטורות קיצוניות תלויה במספר גורמים, כגון גיל, מגדר, רמת המאמץ הפיזי, מצב התזונה והרוויה ועוד (Ebi, Burton & McGregor, 2008). בנוסף לכך, אנשים הסובלים ממחלות כרוניות כגון אי ספיקת לב, אינם מסוגלים להסתגל לטמפרטורות הקיצון ביעילות (Epstein, 1990).

עומס חום וקור

מכת חום

מכת חום מוגדרת קלינית בתור טמפרטורת גוף העולה מעל 40 מעלות צלסיוס, ומלווה בתגובות לא שגרתיות של מערכת העצבים המרכזית כגון הזיות, פרכוסים או עלפון (Epstein & Roberts, 2011). מכת חום יכולה להיגרם כתוצאה מחשיפה לטמפרטורה סביבתית גבוהה (מכת חום קלאסית, שאינה תלויה במאמץ), או כתוצאה מפעילות מאומצת (מכת חום כתוצאה ממאמץ). מכת חום היא סוג של היפר-תרמיה, הקשורה לתגובה דלקתית מערכתית, המובילה לתסמינים של חוסר תפקוד רב מערכתי, שבו מובילה התנוונות המח (Bouchama & Knchell, 2002) בארה"ב, שיעור ההיארעות השנתי המדווח של מכות חום במהלך גל החום של 1980 נע בין 17.6 ל-26.5 מקרים ל-100,000. בישראל קיימים נתונים מוגבלים בלבד לגבי שיעור ההיארעות השנתי של

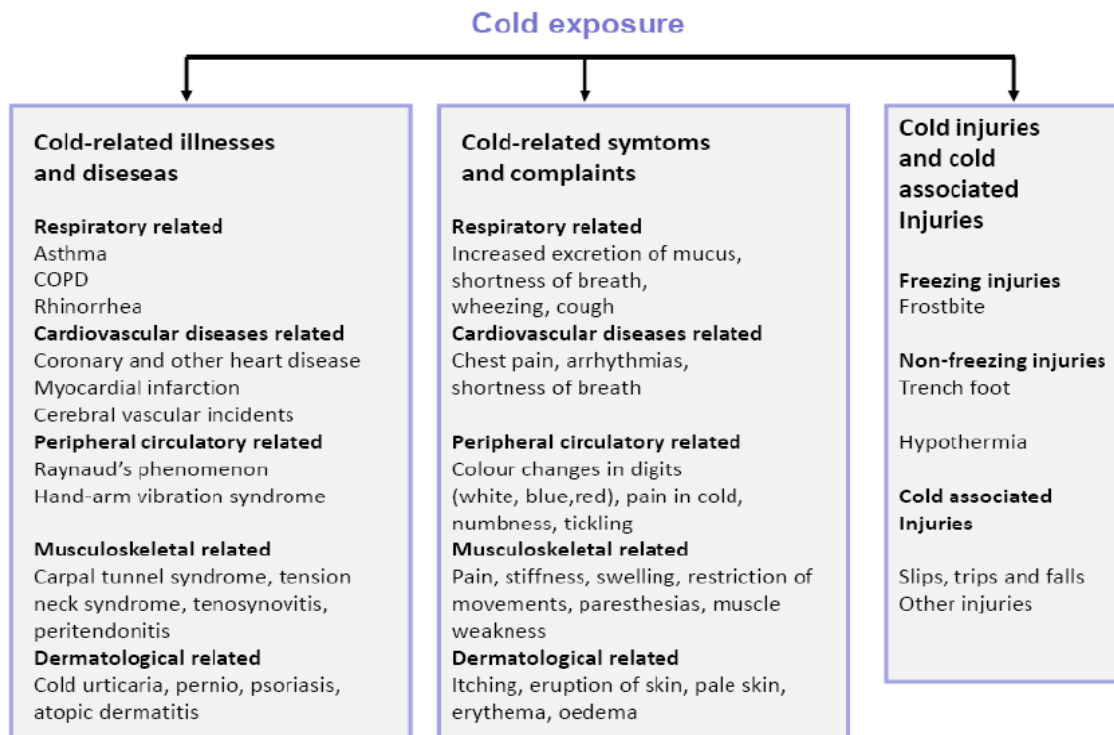
מכות חום בקרב האוכלוסייה האזרחית. בהתבסס על ההערכות מארצות הברית, יתכן כי ישנם יותר מאלף מקרים בשנה. יתכן שהשיעורים הינם גבוהים עוד הרבה יותר ואינם ידועים בגלל חוסר דיווח על כלל המקרים.

הסיבה להתפתחות סימפטומים קלים בעקבות חשיפה לחום אצל אנשים מסוימים והתפתחות מכת חום אצל אנשים אחרים אינה ידועה. יתכן כי גנים מסויימים, כגון הגנים המקודדים את הציטוקינים, את חלבוני הקרישה או את חלבוני שוק החום המעורבים בהתאמה לעומס חום, קובעים את הרגישות למכת חום. קבוצות האוכלוסייה שנפגעות בשיעור הגבוה ביותר ממכות חום הן הילדים הצעירים, הקשישים, מעוטי היכולת והמבודדים חברתית ומי שאינם בעלי מיזוג אוויר בביתם (Bouchama et al., 2007).

עומס קור

עליה בשיעורי התמותה כתוצאה מטמפרטורות נמוכות דווחה באזורים רבים בעולם. השפעת מזג האוויר הקר על התמותה נראה בערך כשבוע לאחר החשיפה, לעומת טווח זמן של יום במקרה של תמותה כתוצאה מגל חום. בנוסף, הקשר בין עומס הקור לתמותה הינו פחות ישיר, בעל שונות גיאוגרפית גדולה יותר ועשוי להיות מעורפל על ידי גורמים המשפיעים על תמותה בחודשי החורף, כגון שפעת ומגיפות של זיהומים נשימתיים אחרים. עומס קור הוא בעל השפעה גדולה על שיעורי התמותה במרכז אירופה, ומכאן שהוא מייצג סיכון לבריאות הציבור הזהה בחשיבותו לזה של עומס חום (Kysely et al, 2009).

חשיפה לקור עלולה להסתיים במחלות שונות הקשורות לקור, ובניהן גם פציעות ותאונות הנגרמות מהחלקות ונפילות, (ראה איור 3.1 להלן) (Michelozzi, 2008).



איור 3.1: ההשפעות הבריאותיות של חשיפה לקור
 מקור: Michelozzi, 2008; לקוח מתוך: Mäkinen & Hassi, 2009

3.2.3. עונתיות של מחלות כרוניות

תקופות של טמפרטורות סביבתיות קיצוניות עלולות להחריף מספר מחלות כרוניות וביניהן מחלת לב איסכמית, שבץ, מחלת ריאות חסימתית, אסטמה ודלקת פרקים. שיעורי ההיארעות והתמותה ממחלת לב איסכמית וממחלות נשימתיות שונות מראים עקומות פיזור בצורת U או בצורת J, עם שיאי היארעות בחודשי החורף והקיץ.

מחלות קרדיו-וסקולריות

שיעורי התמותה ממחלת לב כלילית נוטים להיות נמוכים ביותר כאשר טווח הטמפרטורה היומית הוא בין 15-20 מעלות צלסיוס, וגבוהים ביותר כאשר הטמפרטורה הממוצעת נמצאת מעל או מתחת לטווח זה (Simo Näyhä, 2002). בטווח הטמפרטורות הנמוכות יותר מהתחום המוזכר, מתקיימת עליה של 1% בתמותה עבור כל ירידה במעלת צלסיוס אחת (Simo Näyhä, 2002). עבור הטמפרטורות הגבוהות יותר מהתחום המוזכר, העלייה בשיעורי התמותה עשויה להיות חדה הרבה יותר (Simo Näyhä, 2002). מעניין לציין, כי טמפרטורות המקסימים והמינימום של התחום בו התמותה הינה נמוכה ביותר, כמו גם גודל ההשפעה של שינוי הטמפרטורה עשויים להשתנות בין מדינות (Simo Näyhä, 2002), אך ההבדלים העונתיים של שיעורי התמותה ממחלות קרדיו-וסקולריות קיימים הן במדינות בהן שונות הטמפרטורה היא גדולה והן במדינות בהן שונות זו היא קטנה (Douglas, al-Sayer, Rawles & Allan, 1991) המנגנון המדויק המביא לקיום העונתיות בתמותה ממצבים אלה אינו ברור לגמרי, אך הינו כנראה מולטי-פקטורילי.

שבץ

שבץ הוא הסיבה השלישית בשכיחותה למוות בישראל כמו גם במדינות אחרות. הבדלים אזוריים בתקנון שיעורי המוות משבץ תועדו באירופה, ארה"ב, יפן ומדינות אחרות. עובדה זו יכולה להצביע על ההשפעה של גורמים סביבתיים שונים, ובניהם גם אקלים, על היארעות מקרי השבץ (Beringer et al., 1989).

מחלות נשימתיות

העונתיות של מחלות נשימתיות כרוניות אינה מובנת, אך באופן כללי זיהומים נשימתיים מתגברים במהלך חודשי החורף (Ayres et al., 2009). מחלת ריאות חסימתית כרונית (COPD), מראה שונות עונתית בחומרה, עם שיאים בחודשי החורף (D'Amato et al, 2002; de la Iglesia et al, 2000;) (Donaldson & Wedzicha, 2006; Vilkmán, et al, 1996).

גם סימפטומים של אסטמה מוגברים במזג אוויר קר, אך שיעור ההתקפים האקוטים עשוי גם לעלות בחודשי הקיץ בעקבות גורמים אחרים כגון נוכחות מוגברת של אלרגנים ואינטראקציה עם זיהום אוויר.

סרטן

חשיפה לקרינה אולטרא-סגולה היא גורם סיכון משמעותי לסוגים מסוימים של סרטן עור ומלנומות סרטניות. סרטני עור נפוצים יותר בקרב אנשים בהירי עור המתגוררים באזורי אקלים חמים. כפי שנמצא במחקרים אפידמיולוגים קודמים, מלנומות סרטניות קוטניות קשורות לחשיפה לשמש בגיל צעיר, למקרים של כוויות שמש חמורות ולמספר השומות, אשר קשור גם הוא לחשיפה לשמש בגיל צעיר (Bauer et al., 2005).

קטראקט

העין והעור הם האיברים היחידים בגוף האדם החשופים לקרינה אולטרא-סגולה. ההשפעות של אור השמש על העין יכולות להיות אקוטיות (לרוב אחרי תקופה לטנטית של כמה שעות מהחשיפה), ארוכות טווח אחרי חשיפה אקוטית או ארוכות טווח בעקבות חשיפה כרונית לרמות קרינה הנמוכות מאלה הנחוצות להשפעה אקוטית (Norval et al., 2007). ההשפעה הבריאותית המרכזית של חשיפת העין לקרינה אולטרא-סגולה היא התפתחות קטראקט.

חוסר וויטמין D

חשיפה בלתי מספקת לאור השמש עלולה לגרום לחוסר בוויטמין D, מה שיכול להשפיע לרעה על התפתחות העצמות. מהגרים כהי עור המגיעים לאירופה מארצות חמות, נמצאו כבעלי שיעור גבוה של חוסר בוויטמין D. קיימות עדויות על פיהן רמת וויטמין זה בסרום נמצאת במגמת ירידה בקרב כלל האוכלוסייה (Vilkmán, et al., 1996; Reginster, 2005).

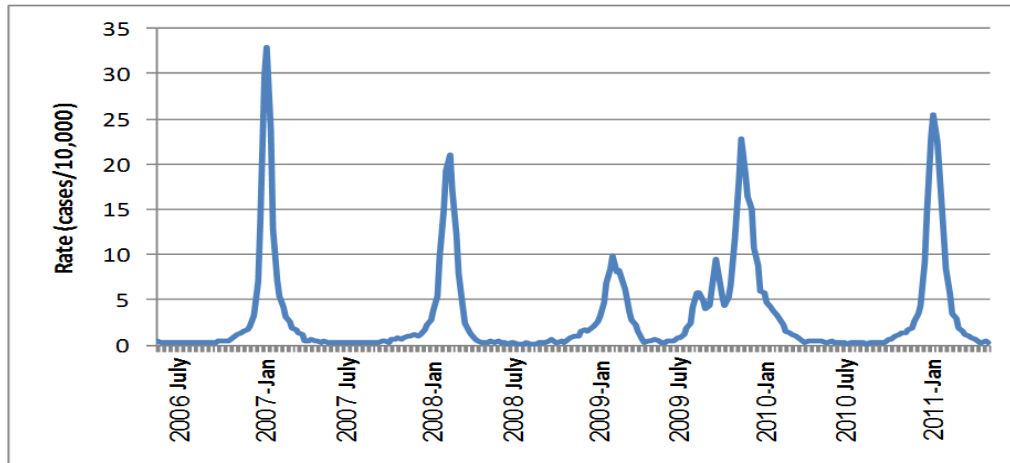
3.2.3. עונתיות של מחלות מדבקות

מחלות מדבקות רבות מראות דפוס היארעות עונתי. בעוד חלק מהגורמים האחראיים לעונתיות זו ידועים, חלק נרחב מהתופעה עדיין אינו מוסבר. העונתיות של מחלות אלה קשורה להתנהגות הפתוגנים עצמם ולצורת ההעברה של המחלות (מחלות ויראליות, חיידקיות או פריזיטיות), כמו גם להתנהגות האוכלוסייה, בכל הנוגע לדוגמא לזמן השהות מחוץ למבנים או בתוכם, המושפעת מהטמפרטורה החיצונית (Ayres et al., 2009).

עונתיות הפתוגנים

מחלות ויראליות

מחלות ויראליות המועברות מאדם לאדם מראות לרוב שיא היארעות בחודשי החורף. דוגמאות כוללות זיהומים של מערכת הנשימה העליונה הנגרמים על ידי וירוסים של מערכת הנשימה כגון שפעת, רהינו-וירוס, חזרת, חצבת, אדמת ואבעבועות רוח. דוגמא לעונתיות של שיעורי הביקורים בקופות חולים בישראל בעקבות נגיף דמוי שפעת (ILI), מוצגת באיור 3.2.



איור 3.2: שיעור הביקורים השבועי למרפאות קופות חולים בישראל בעקבות ILI מקור: ICDC; מכבי שירותי בריאות

מחלות חיידקיות

מחלות חיידקיות כגון סלמונלוזיס ושיגלוזיס הן לרוב בעלות שיאי היארעות בחודשי הקיץ. עובדה זו קשורה באופן חלקי לאופן ההעברה של מחלות אלה. שיגלוזיס לדוגמה מועברת על ידי זבובים, המתרבים באופן מאסיבי יותר בחודשי הקיץ (Cohen et al, 1991).

מחלות פרזיטיות

ג'יאורדיה וקריפטוספורידיום הם טפילים המועברים דרך מים וגורמים למחלות בעיקר בחודשי הקיץ במקרה של שתיית מים מזוהמים.

עונתיות אופן ההפצה

מחלות המועברות על ידי וקטורים (חרקים)

כמה מהמחלות המדבקות החשובות, וביניהן מלריה, קדחת דנגי, קדחת הנילוס המערבי, לישמניה, קדחת כתמים ומחלת ליים מועברות על ידי חרקים. מחלות המועברות על ידי חרקים הן בעלות דפוסים עונתיים הקשורים לעונתיות של החרקים המעבירים אותן. הפיזור הגיאוגרפי של חרקים אלה ושל בעלי חיים אחרים המשמשים כוקטורים להעברת מחלות קשור באופן חזק לאקלים (Patz et al, 1996; Calisher 2005).

קדחת הנלוס המערבי

וירוס קדחת הנלוס המערבי מועבר על ידי יתושים (בעיקר ממשפחת Culex) הווירוס זוהה לראשונה באוגנדה, והינו אנדמי לאפריקה, דרום מזרח אסיה, מזרח ודרום אירופה וחלקים מאגן הים התיכון (Paz & Albersheim, 2008). בישראל, הוקטורים העיקריים של קדחת הנלוס המערבי הם יתושים מסוג Cx. perexiguus ומסוג Cx. Pipiens. אלה הם היתושים הנפוצים ביותר בישראל (Paz & Albersheim, 2008). ההתפרצות הראשונה של קדחת הנלוס המערבי זוהתה בישראל בשנת ה-50 (Paz & Albersheim, 2008). מאז אופיינה האפידמיולוגיה של המחלה במקרים ספורדיים, עם התפרצויות גדולות מדי פעם. בשנת 2000 התרחשה מגיפה רחבה של קדחת הנלוס המערבי בישראל, שבלטה בחודשי הקיץ המאוחרים, והגיעה לשיא באוקטובר (Paz, 2006) המחלה מופיעה באופן חוזר ונשנה בישראל מכיוון שהיא ממוקמת במקום מרכזי כנקודת מעבר של ציפורים נודדות אשר מהוות גורם מארח לוירוס (Paz, 2006). גורמים אקלימיים, (טמפרטורה ולחות), מעודדים את ההתרבות של יתושי Culex spp, ולכן שיא ההיארעות של המחלה מתרחש במהלך חודשי הקיץ (Paz & Albersheim, 2008).

קדחת דנגי

קדחת דנגי היא מחלה אנדמית לדרום מזרח אסיה, אפריקה, הקריביים ואמריקה הלטינית. המחלה מופצת על ידי יתושים מסוג Aedes, בעיקר Ae. aegypti ו-Ae. Albopictus (La Ruche et al., 2010). המחלה נפוצה יותר בחודשי הקיץ. יתושי Aedes הינם רגישים ביותר לתנאים הסביבתיים. טמפרטורה, כמות משקעים ולחות הינם קריטיים להישרדות היתושים, לרבייתם ולהתפתחותם, ויכולים להשפיע על נוכחות או חוסר נוכחות של היתושים באזורים גיאוגרפים שונים. טמפרטורות גבוהות מקצרות את הזמן הנחוץ לוירוס לצורך הכפלה והפצה ביתושים. במידה והיתוש מודבק בוירוס מוקדם יותר בעקבות עליית הטמפרטורות, ישנו סיכוי גדול יותר שידביק בני אדם בוירוס לפני מותו. למרות שהגורמים הסביבתיים הם חשובים, הם אינם הגורמים היחידים המשפיעים על הדבקה בקדחת דנגי³.

מלריה

מלריה המועברת על ידי יתושים, הינה אחד הגורמים המובילים לתמותה ברחבי העולם בעקבות מחלה מדבקת (Tanser et al., 2003). שיא ההיארעות של המלריה הינו בחודשי הקיץ.

קדחת כתמים ים תיכונית (בהרות)

קדחת הכתמים הים תיכונית היא מחלה אנדמית המועברת על ידי קרציות. המחלה הינה לרוב בעלת מופע קל, ושיעורי התמותה בעקבותיה עומדים בערך על 2.5% בקרב החולים הלא מטופלים (Aharonowitz et al, 1999). שיעורי ההיארעות הגבוהים ביותר של המחלה הינם בחודשי הקיץ.

לישמניה

הלישמניות הן בין המחלות הפרוטוזואיות החשובות ביותר המועברות על ידי חרקים. הלישמניות יכולות להיגרם כתוצאה מזיהום בכל אחד ממספר מינים של פרזיטים השייכים למשפחת הלישמניה. הן מועברות לאדם דרך נשיכה של נקבת זבוב חול הנגועה במחלה. למחלה יש שני מופעים קליניים עיקריים בבני אדם: פנימי (קלה-אזאר), ועורי. הליש מניות, הפנימית והעורית, מופיעות בעיקר באזורים החמים של אסיה, אפריקה, מרכז ודרום אמריקה וחלקים במזרח התיכון (Chaves, 2006; Semenza, 2009; Kuhn, 2005).

³ <http://www.cdc.gov/dengue/entomologyEcology/climate.html#climate>

הטמפרטורה ידועה כגורם המשפיע על פעילות הנשיכות של זבוב החול וכן על תקופת ההשהיה וההתבגרות של הפרזיט בתוך הוקטור. בזבובי חול אירופאים פעילות הנשיכה מראה דפוס עונתי, ומוגבלת לחודשי הקיץ.

גורמים אקלימיים אחראיים ככל הנראה גם על התפרצות המחלה בסודן בשנים 6-1985, אז גשמים כבדים הביאו ליתרון ברבייה של זבוב החול (Semenza, 2009; Kuhn, 2005). מאז שנות ה-60 לשמניה פנימית הפכה להיות אנדמית בצפון ישראל, בעיקר בכפרים הערביים (Ya'ari, Jaffe & Garty, 2004). בהתבסס על הנתונים הצבאיים, שיעור התחלואה המקסימאלי מתרחש בין יולי לאוקטובר, בהתאמה למחזור החיים של זבוב החול phlebotomous (Mimouni et al, 2009).

עונתיות החרקים ובעלי החיים המשמשים כוקטורים

יתושים, קרציות וזבובים מתרבים כולם בצורה אינטנסיבית יותר בחודשי הקיץ. עלייה בכמות המשקעים מביאה להתפתחות מקומות דגירה טובים יתר עבור יתושים וקרציות, וכמו כן מביאה יחד עם ריבוי הצמחייה להתרבות גדולה של מכרסמים המשמשים גם הם כנשאי מחלות. הריבוי הגדול של החרקים ווקטורי המחלות השונים מביא גם להדבקה מוגברת של בני האדם במחלות המועברות על ידם. כמה דוגמאות לחרקים המשמשים כנשאי מחלות ולמחלות המועברות על ידם מופיעות בטבלה 3.1.

טבלה 3.1: חרקים המשמשים כנשאי מחלות והמחלות המועברות על ידם
מקור: Haines et al, 2006

מחלות עיקריות	וקטור	קיום הוקטור בישראל	קיום המחלה בישראל
מלריה	יתושי אנופלוס	+++	*יבוא בלבד
קדחת דנגי	יתושי Aedes	++	-
קדחת צהובה	יתושי Aedes	++	-
קדחת הנילוס המערבי	יתושי Culex	+++	+++
צ'ינקגוניה	יתוש הנמר האסייתי	++	=
לישמניה	זבוב החול	++	++
אלרגיות	מקקים	++	++

מקרא: - לא קיים + המצאות מעטה ++ המצאות בינונית +++ המצאות רבה

מחלות המועברות מאדם לאדם

מחלות מדבקות המועברות מאדם לאדם הן לרוב בעלות דפוס עונתי. חלקן, כגון שפעת, חצבת, חזרת, אדמת ואבעבועות רוח הן בעלות שיאי היארעות בחודשי החורף. אחרות, כגון פוליומילאטיס ושיתוק ילדים נוטות לשיאי היארעות בקיץ או באביב. הסיבות לקיום הדפוס העונתי של מחלות אלה אינן מובנות בצורה טובה, והן קשורות ככל הנראה לכמה גורמים, כגון התקהלויות בחדרים סגורים במהלך חודשי החורף ורגישות הפתוגנים לאקלים. כמה דוגמאות למחלות המועברות מאדם לאדם מופיעות להלן:

שלשולים

שלשול מהווה סיבה עיקרית לתחלואה ותמותה, בעיקר בקרב פעוטות וילדים. 90% ממקרי המוות העולמיים בעקבות שלשולים מתרחשים באפריקה, במזרח התיכון ובדרום מזרח אסיה (Kolstad & Johansson, 2010). שלשול הוא לרוב מחלה בעלת דפוס עונתיות קיצי, כתלות בפתוגן הספציפי הגורם אותה.

חזרת חצבת ואדמת

בתקופה הקודמת לחיסון האוכלוסייה באופן מקיף, התפרצויות של חזרת חצבת ואדמת התרחשו לרוב במשך חודשי החורף. מחלות אלה התפשטו במעבר מאדם לאדם דרך האוויר, והתקהלות בחדרים סגורים גרמה להתגברות התפשטות המחלות. למרות כל זאת, מחלות אלה מראות דפוסי עונתיות שונים בחלקים שונים של העולם. לדוגמא, בארה"ב התפרצויות משמעותיות של חזרת הגיעו לשיא באפריל, בעוד באוקראינה התרחשו יותר מקרים במהלך החורף והאביב, ובירדן שכיחות המחלה הייתה גבוהה ביותר בחורף ובאביב והראתה גם שיאים אפידמיים אחרים (Onozuka et al., 2011).

מחלות המועברות במזון

מחלות המועברות במזון ומראות דפוס עונתי של היארעות בחודשי הקיץ כוללות בין היתר סלמונלוזיס, שיגלזיס, דלקת כבד נגיפית והליקובקטר-פילורי שהוא הגורם העיקרי לאולקוס פפטי. אפלה-טוקסין ישמש כאן כדוגמא למחלה המועברת במזון. אפלה-טוקסינים הם מיקוטוקסינים פוטנטים, הגורמים לדיכוי התפתחותי וחיסוני וכן לסרטן ומוות. זיהום באפלה-טוקסין מתרחש כאשר פטרייה מסוימת ממשפחת *Aspergillus* פוגעת בגידולים חקלאיים, ובמיוחד בבוטנים (Cotty & Jaime-Garcia, 2007). זיהום באפלה-טוקסין בקרב בני אדם יכול לגרום לסרטן כבד. הניסיון מראה כי תנודות אקלימיות משפיעות על רמת הזיהום של גידולים באפלה-טוקסינים. האקלים משפיע על הזיהום דרך השפעתו הישירה על הקהילות המורכבות של הפטריות המייצרות את האפלה-טוקסינים (Cotty & Jaime-Garcia, 2007).

מחלות המועברות במים

מחלות המועברות במים, ובניהן כולרה, צהבת A ו-E, שיגלזיס, טיפוס, גיארידיה וקריפטוספורידיום נוטות להתרחש יותר בחודשי הקיץ. דוגמא למחלה המועברת במים היא ויבריו-וולניפיקוס. ויבריו-וולניפיקוס נחשבת לאחת מהמחלות החיידקיות המסוכנות ביותר הנישאות במים. הפתוגן נמצא בכמויות גדולות ברכיכות הניזונות בסינון כגון שבוללים, צדפות ומולים (Paz et al., 2007). ויבריו-וולניפיקוס מתרבה אך ורק באזורים ובמהלך חודשים שבהם טמפרטורת המים עולה על 18 מעלות צלסיוס והמליחות נמוכה עד בינונית (Paz et al., 2007).

3.2.5 סיבות חיצוניות לתמותה ותחלואה

מספר גורמים תורמים להתרחשות של תאונות דרכים, שריפות ומצבי חירום אחרים. ברוב המקרים בהם מתרחש אחד ממצבים אלה ניתן ליחסו למספר גורמים, ובניהם גם טעויות אנושיות. כתוצאה מכך, כל ניסיון להעריך את רמת המעורבות של מזג האוויר במצבים אלה צריך לקחת בחשבון גם את הגורם של שיקול הדעת האנושי כמשפיע על המשוואה (Edwards, 1999).

תאונות

נהיגה הופכת למסוכנת כאשר מזג האוויר גשום והכבישים רטובים. זאת משום שהגשם משפיע על סביבת הדרך בשני אופנים: שטח כביש רטוב מפחית את יכולת החיכוך של הדרך במגע עם צמיגי הרכב (OECD, 1976), במקרה כזה, המרחק הנדרש לצורך עצירה מוחלטת של הרכב גדל. טיפות הגשם, בשילוב עם האבק הקיים באוויר, משפיעים על תנאי הראות, לעיתים גם לזמן מסוים לאחר הפסקת הגשם. התזת מים ורסס מכלי רכב אחרים עלולה ליצור בעיות נוספות, שכן מים ואבק מצטברים על השמשה. התלמים אשר נוצרים על השמשה כתוצאה מהתהליכים שתוארו עלולים להפחית במידה רבה את יכולת הראות של הנהג, במיוחד בשעות החשיכה.

רוחות חזקות עשויות להיות בעלות השפעה גדולה על יכולת הניווט של הרכב. רכבי הובלה בעלי נגרים הינם רגישים במיוחד לתנודות הנגרמות כתוצאה מרוחות חזקות, בעוד משבי רוח קלים יותר יכולים לגרום גם לכלי רכב קטנים לסטות בצורה משמעותית יחסית ממסלולם המתוכנן (Edwards, 1999).

נהיגה במזג אוויר חם מאוד יכולה גם היא להיות מסוכנת, שכן החום משפיע על רמת העייפות של הנהג ועל יכולת הריכוז שלו. האוויר החם והיבש יכול גם להשפיע על תנאי הראות כמו גם על מצב צמיגי הרכב וכדומה.

שריפות

הקיום וההתפשטות של שריפות מושפעים משילוב של תנאי האקלים עם שלושה גורמים נוספים שהם נוכחות דלקים, נוכחות מקורות הצתה ופעילות אנושית (Flannigan, et al., 2005).

3.2.6 גורמים תזונתיים

כמות והרכב המזון

כמות והרכב המזון הינם גורמים המושפעים מהאקלים. אירועים של מזג אוויר קיצוני ושינויים בטמפרטורה ובדפוסי המשקעים עלולים לפגוע באופן ישיר בגידולים ומוצרי מזון אחרים ואף להביא להרס מוחלט שלהם, כמו גם להפריע בתהליכי ההובלה והחלוקה של מזון.

3.3 ההשפעות הבריאותיות של שינויי אקלים

3.3.1 השפעות בריאותיות ישירות הנובעות ממזג אוויר קיצוני

עומס חום וקור

גלי חום

במסגרת סדנה בנושא שינוי האקלים והשפעתו על מחלות מדבקות, (IOM, 2008), הצביע אפשטיין על העובדה ששינוי האקלים הביא להתגברות העוצמה והתדירות של גלי חום. בנוסף לכך, טמפרטורת הלילה הושפעה מהתהליך באופן לא מידתי, ועלתה בשיעור כפול משיעור העלייה בטמפרטורת הסביבה הממוצעת. טמפרטורות לילה גבוהות מגבילות את היכולת הפיזיולוגית להתאושש מטמפרטורות יום גבוהות. אפשטיין ציין גם כי גלי החום צפויים להיות מלווים בעליה בלחות מסקנות דומות צוינו במסגרת מחקרים וכנסים שונים שנערכו בישראל (המשרד להגנת הסביבה, בית הספר ללימודי הסביבה ע"ש פורטר אוניברסיטת תל אביב, בית הספר לבריאות הציבור אוניברסיטת תל אביב, 2009; זיו, סערוני ואלפרט 2011). העלייה בתדירות ובעוצמת גלי החום עלולה להיות בעלת השפעות משמעותיות על התמותה, בעיקר ממחלות לב איסכמיות, שבץ, כשל נשימתי והתקפי לב. לדוגמא, גל החום באירופה בשנת 2003 היה אירוע חדש יחסית, והסתיים בכ- 70,000 מקרי מוות נוספים באותה תקופה (Robine et al., 2008). מקרי המוות התרחשו בעיקר בקרב קשישים שוכני קהילה ובקרב אנשים עם מחלות כרוניות קרדיו-וסקולריות ונשימתיות (Vandentorren et al., 2006; Bouchama et al., 2007).

גלי קור

למרות שהטמפרטורה העולמית עולה, אירועים של מזג אוויר קר קיצוני אינם נעלמים (WHO, 2010). ההגדרות של קור וקור קיצוני משתנות בהתאם לאזור הפיזי והאקלימי. גל קור מוגדר כתקופה של תשעה ימים לפחות, בהם טמפרטורת המינימום היא (-5) מע"צ או פחות, ומתוכם בשישה ימים לפחות טמפרטורת המינימום היא (-10) מע"צ או פחות. מסיבה זו, משך הזמן

של גל קור הוא ארוך יותר מזה של גל חום (Huynen, et al., 2001) לאירועי קור קיצוניים עלולות להיות כמה השפעות משמעותיות על בריאות האדם, אשר יהיו תלויות בכמה גורמים: אורך גל הקור, קצב שינוי הטמפרטורות וגורמים אחרים הקשורים למזג האוויר כגון איכות האוויר, הלחות והרוח.

3.3.2. שינוי סביבתי ואקולוגי

תהליך העיור הוא תורם מרכזי לשינויים האקולוגיים המתרחשים במדינות המתפתחות. תהליך זה משפיע על בתי הגידול הטבעיים של בעלי חיים שונים. השינויים בבתי הגידול של בעלי חיים המשמשים כוקטורים למחלות עלולים לגרום להתפרצות של מחלות שונות ברחבי העולם. לדוגמא, העלייה במספר זבובי החול שנתפסו בכפר אדומים בשנת 2009 (Orshan, 2011), וכן התפרצות ההנטה-וירוס בארה"ב, היו קשורות לבניית שכונות חדשות במקומות בהם היו קודם שטחים פתוחים.

שיטפונות

ההשפעה הישירה והמיידי של שיטפון הינה נזקים פיזיים לאזורים הקרובים לחופים ולנהרות. נזקים אלה כוללים הרס של בתים, דרכים, מערכות ביוב, קווי תקשורת, גשרים, שדות, ציוד ומשקי חיות. כל הנזקים הללו הינם בעלי מחיר כלכלי משמעותי, ובמקרים רבים נלווים אליהם גם פגיעות ומקרי מוות של בני אדם. ככלל, אירועים שכאלה מלווים במחיר בריאותי וכלכלי כבד, כתוצאה מחסר במקומות מחסה, מי שתייה נקיים, מקורות מזון מספיקים, תרופות מערכות לטיפול בשפכים וכדומה. כתוצאה מהמתואר, אירועי שיטפונות גורמים פעמים רבות לעקירה של אוכלוסיות ממקום מושבן ולהתפרצות מגיפות של מחלות הנישאות במים ומחלות מדבקות אחרות. באזורים מוכי שיטפונות קיים פוטנציאל להתפרצות מחלות המועברות דרך הפה או דרך הצואה כגון שלשולים, כולרה, טיפואיד ופרא-טיפואיד ושיתוק ילדים.

כתוצאה מהתפשטות אוכלוסיית המכרסמים באזורים מוכי שיטפונות, מחלות מסוימות המועברות על ידם, כגון לפטוספירוסיס עלולות להפוך לנפוצות יותר. לפטוספירוסיס היא מחלה חיידקית זונטית, הנגרמת כתוצאה מזיהום של מים בשתן של בעלי חיים נגועים.

שיטפונות עלולים לגרום גם להתרחבות האזורים בהם קיימים מקווי מים עומדים, אשר עשויים לשמש כשטחי התרבות ליתושים ובכך לתרום להתפשטות מחלות כגון מלריה, קדחת דנגי, קדחת הנילוס המערבי ועוד.

בצורת

בצורת יכולה להיות בעלת השפעות רבות על גורמים בריאותיים שונים כגון תזונה, מחלות מדבקות ושריפות יער הגורמות לזיהום אוויר. מיעוט מים יביא להפחתה בכמות מי השתייה, ברמת ההיגיינה האישית והקהילתית ובכמות המזון המיוצרת; ולעלייה במקרי התחלואה במחלות הנישאות במים. השפעות אלה יבואו לידי ביטוי בצורה החזקה ביותר במדינות המתפתחות והעניות (Haines, 2006). בצורת יכולה להשפיע גם על ההיארעות וההפצה של מחלות המועברות על ידי חרקים. הירידה בפעילות היתושים בזמן בצורת יכולה להביא להחמרה בהתפשטות המחלות המועברות על ידם לאחר שהבצורת מסתיימת בעקבות העלייה במספר המארחים הרגישים למחלה. מסיבה זו, בצורת ארוכת טווח עלולה להביא להתפשטות של מלריה באזורים המתאימים לקיומה (IOM, 2008).

שינוי בטמפרטורת האוקיינוס

שינויים קלים בטמפרטורת האוקיינוסים (עלייה של חצי מעלה עד מעלה צלסיוס), כנאה שלא ישפיעו באופן ישיר על בריאות האדם. יחד עם זאת, שינויים אלה יכולים להשפיע באופן עקיף על הבריאות דרך השפעתם על אספקת דגי הים למאכל. דגי אוקיינוס מספקים לכ-2.6 בליון בני אדם כחמישית מתצרוכות החלבונים הדרושה להם (McMichael, 2011). הנזק שייגרם לדגים אלה בעקבות העלייה בטמפרטורת האוקיינוסים יגרום גם לנזק להרכב התזונה של בני אדם ברחבי העולם.

פיחות האוזון הסטרטוספרי וקרינה אולטרא-סגולה

פיחות שכבת האוזון בסטרטוספירה יביא לעלייה ברמת החשיפה לקרינה אולטרא-סגולה ולהפחתה ברמת הספיגה של קרני UVB. תהליך זה יעלה את הסיכון לסרטן עור ולקטרקט בקרב האנשים החשופים. שיעור ההיארעות של סרטני עור של התאים הבזאליים והתאים הסק אמוריים קשור באופן ישיר לרמת החשיפה לקרינה אולטרא-סגולה. עלייה בטמפרטורות (הן בהשוואה בין היום ללילה והן בהשוואה בין הקיץ לחורף), קשורה גם היא לעלייה ברמת החשיפה לקרינה האולטרא-סגולה. עליות בטמפרטורה הממוצעת או בטמפרטורת השיא מתרחשות כתוצאה משינוי האקלים. כתוצאה מכך, עלולה להתרחש עלייה במקרי סרטן העור שאינו מלנומה. קרינה אולטרא-סגולה מוגברת יכולה להשפיע גם על המערכת החיסונית האנושית, ולגרום לשינוי ביכולת הגוף לחסל תאים מוטנטיים מוקדמים אשר מתחילים את התהליך הסרטני בניגוד לכך, יתכן גם כי חשיפה מוגברת לקרינה אולטרא-סגולה תביא לעלייה ברמות ויטמין D בדם של בני האדם החשופים, אשר קשורה לירידה בסיכון לפיתוח סוגי סרטן מסוימים, כגון סרטן המעי הגס (Interagency Working Group on Climate Change and Health, 2010).

3.3.3. טראומה והגירה של אוכלוסיות

אירועים של מזג אוויר קיצוני, כמו גם ההשפעות האיטיות יותר של שינוי האקלים, כגון עלייה במפלס הים, ירידה בזמינות המים הנקיים או עליה בטמפרטורה הממוצעת עשויים ליצור הזדמנויות להתפרצות של מחלות מדבקות שונות, אשר יכפו הגירה ונדידה של אוכלוסיות אנשים ובעלי חיים שונים (ובניהם גם בעלי חיים המשמשים כוקטורים מעבירי מחלות) לחלקים שונים בעולם. מצב זה עלול להוביל הן לשינוי במיקום הגיאוגרפי של פתוגנים והן להדבקה של המהגרים עצמם בפתוגנים בהם לא נתקלו בעבר (IOM, 2008). סוכנות האו"ם מעריכה כי עד שנת 2050, יאלצו כמה מיליוני בני אדם להיעקר ממקום מושבם הקבוע בעקבות שינוי האקלים.

3.3.4. השפעות פיזיולוגיות של שינוי אקלים

כלל הציבור צפוי להסתגל לאקלים החם יותר באמצעות מגוון אדפטציות התנהגותיות פיזיולוגיות וטכנולוגיות. ההסתגלות הפיזיולוגית הראשונית לסביבה חמה מתרחשת במשך כמה ימים, אך ההסתגלות המלאה עשויה לערוך כמה שנים. הקצב שבו יתרחשו שיפור התשתיות והתאמתן לשינוי צפוי להיות איטי הרבה יותר (Haines, 2006). ההתחממות הגלובלית תגביר ככל הנראה את ההיארעות של עומסי חום וקור, מה שיביא לעליה בשיעור ההיארעות של מחלות הקשורות באקלים כגון מכות חום והיפו-תרמיה.

3.3.5. מחלות כרוניות ושינוי אקלים

שינוי אקלים צפוי להשפיע על העונתיות של מחלות כרוניות, ובמיוחד מחלות קרדיו-וסקולריות ומחלות נשימה כרוניות. התמותה העודפת הקשורה לחום באירופה עשויה לשקף את שינוי האקלים. תמותת החורף העודפת ממחלות כרוניות, שחלקה קשורה גם למגיפות השפעת, צפויה גם היא להשתנות בעקבות שינוי האקלים.

מחלות קרדיו-וסקולריות

שינוי אקלים ישפיע על מחלות קרדיו-וסקולריות ונשימתיות בכמה דרכים. כתוצאה משינוי האקלים צפויה עליה במספר מקרי המוות והתחלואה כתוצאה מגלי חום. כמו כן, צפויה עליה בשכיחות האירועים הקרדיו-נשימתיים כתוצאה מריכוז גבוה יותר של אוזון בשכבת הקרקע. צפוי שינוי בשכיחות המחלות הנשימתיות כתוצאה מזיהום אוויר הנודד למרחקים ארוכים ונוצר כתוצאה משריפות ומחלקיקים מזהמים באוויר. שינוי האקלים צפוי לשנות את הפיזור של אלרגנים ושל וקטורים של מחלות מדבקות הן במרחב והן בזמן. שינויים אלה צפויים להשפיע גם על בני האדם הסובלים

ממחלות קרדיו-וסקולריות ונשימתיות, וגם על אנשים בריאים, אשר יפתחו מחלות קרדיו-וסקולריות כגון שבץ (Ayres et al., 2009).

מחלות נשימתיות

הגורמים בשינוי האקלים אשר יכולים להשפיע על מחלות נשימתיות הם אירועים של טמפרטורה קיצונית (הן חמה והן קרה), שינויים בזיהום האוויר, שיטפונות, רטיבות במקומות הדיור, סערות ברקים, שינוי בפיזור האלרגנים ובאלרגיות שנגרמות מהם, שריפות יער וסופות אבק. ההשפעות של אירועים אלה על המחלות הנשימתיות עשויות להיות קצרות טווח או ארוכות טווח. המחלות הנשימתיות הצפויות להיות מושפעות משינוי האקלים בצורה המשמעותית ביותר הן אסטמה, רהינוסינטיסיס, מחלת ריאות חסימתית כרונית (COPD) וזיהומים בדרכי הנשימה. הרמה שבה יושפע כל מצב משינוי האקלים ישתנה כתלות בחלקם של האנשים הלוקים בו בקרב האוכלוסייה (Ayres et al, 2009).

צפוי כי שינוי האקלים ישנה את השכיחות של כמה זיהומים נשימתיים כגון שחפת ווירוסים אחרי. לדוגמא, התזמון והמשך של העונה בה פעיל הווירוס הנשימתי הסנטיטלי השתנו מאז אמצע שנות ה-90, והעונה כיום מסתיימת מוקדם יותר מבעבר. גם התקפות הווירוס הפכו לחמורות פחות.

סרטן וקטראקט

פיחות שכבת האוזון בסטרטוספירה, הצפויה להתרחש כתוצאה משינוי האקלים, תגביר את רמת החשיפה לקרינה אולטרא-סגולה, ותעלה ככל הנראה את שיעורי סרטן העור והקטראקט. בהקשר זה יש לשים לב לממצאיהם של ססקי ושותפיו (2002), אשר מצאו כי הטמפרטורה הסביבתית הצפויה לעלות כתוצאה מההתחממות הגלובלית, עשויה לפעול באינטראקציה עם החשיפה המוגברת לקרינה האולטרא-סגולה, ולהעלות עוד יותר את הסיכון לפיתוח קטראקט. יחד עם זאת, הבחירה האנושית הקיימת בקביעה היכן, מתי, כיצד ולכמה זמן האדם חשוף לקרינה סולארית, הינה גורם משמעותי, אם לא הגורם המכריע, אשר יקבע את התוצאות הבריאותיות לגבי כל אדם ואת (Norval et al, 2007).

3.3.6. מחלות מדבקות ושינוי אקלים

שינוי אקלים צפוי להשפיע על העונתיות של מספר מחלות מדבקות. כמה דוגמאות מופיעות להלן:

מחלות המועברות על ידי וקטורים (חרקים)

שינוי אקלים יביא ככל הנראה לשינוי בדפוס העונתיות ובתבנית הפיזור הגיאוגרפי של מחלות המועברות על ידי וקטורים, בעקבות השפעתו על מחזור החיים של בעלי חיים שונים המשמשים כוקטורים למחלות. דוגמאות לשינויים בעונתיות ופיזור הגיאוגרפי של מחלות שונות המועברות על ידי וקטורים ניתנות להלן:

קדחת הנילוס המערבי

שינוי האקלים צפוי להשפיע על שיעורי התחלואה בקדחת הנילוס המערבי בכמה דרכים. ראשית, במחקרים שונים שנערכו בישראל בצפון אמריקה ובמזרח אירופה נמצא קשר בין עלייה בערכי הטמפרטורה הסביבתית לעלייה בשיעורי התחלואה, וכן נמצא כי תנאי חום קיצוניים, (כולל גלי חום), מהווים גורמים חשובים באפשרות התפרצות המחלה. כמו כן נמצא כי טמפרטורות גבוהות הינן אחד מהגורמים הסביבתיים המשפיעים ביותר על פעילותו של וירוס קדחת הנילוס המערבי (Paz, 2006; Paz & Albersheim, 2008).

שנית, במקרה של פיחות בכמות הגשמים וקיום תקופות של בצורת, העלייה בשיעור היחסי של החומר האורגני באדמה צפויה להביא גם היא להצטברות יתושים, מה שבתורו עלול להביא לעלייה בשיעור התחלואה בקדחת הנילוס המערבי (Epstein & Defilippo, 2001). כמו כן, הזיהום של מקורות המים הצפוי להתגבר כתוצאה מפיחות גשמים, עשוי גם הוא לעודד את התרבות היתושים ובכך

לתרום להתפשטות המחלה ברחבי העולם. בניגוד לכך, ישנם גם מחקרים המצביעים על כך שריבוי שיטפונות יכול גם הוא להעלות את שיעור היתושים ובכך לעודד התפשטות של מחלות הנישאות על ידם כגון קדחת הנילוס המערבי (Paz & Albersheim, 2008).

שינוי האקלים אחראי ככל הנראה להתפשטותה והתפרצותה של המחלה בארה"ב ומדינות שונות באירופה במהלך העשור האחרון (Paz & Albersheim, 2008).

על אף כל האמור לעיל, ועדת ההיגוי אשר כתבה דוח זה, מכירה בעובדה כי הגורמים המשפיעים על הופעת קדחת הנילוס המערבי הינם מולטי-פקטוריאליים. על מנת להבין את הפצת המחלה, יש לקחת בחשבון זרזים שונים, הקשורים לפתוגן, למארח, לווקטור, להתנהגות בני האדם, להדברה, לאקולוגיה ולמזג האוויר.

מעבר לכך, ההדבקה במחלה תלויה באקולוגיה המקומית, והזרזים לא יהיו בהכרח בעלי אותה השפעה על מערכות אקולוגיות שונות (European Centre for Disease Prevention and Control, 2011).

קדחת דנגי

מאז שנות ה-70 אחד היתושים המשמש כנשא לקדחת דנגי התבסס במדינות אירופאיות שונות, וביניהן צרפת, יוון, איטליה, הולנד, סלובניה וספרד. זן זה של היתוש קיים גם במדינות השכנות לאלה שהוזכרו כגון אלבניה, בוסניה והרצגובינה, קרואטיה, מונקו, מונטנגרו, סאן מרינו, שווייץ והוותיקן. השינוי הגיאוגרפי בהתפשטות היתוש היה תוצאה של סחר עולמי בצמיגי מכוניות (Ruche et al., 2009) (Seyler, et al., 2010). העובדה שהיתוש הצליח להתרבות באזורים גיאוגרפיים חדשים עברו עשויה להיות תוצאה של שינוי האקלים שהתרחש בעשרות השנים האחרונות. קדחת דנגי טרם הופיעה בישראל, אך יתוש הנמר המשמש כווקטור להפצתה כבר קיים בישראל.

מלריה

שיעור היארעות המלריה מטפס בצורה מטרידה במהלך העשור האחרון בעיקר באפריקה, שם מתרחשים כ-90% ממקרי המחלה. הקשר בין האקלים לדפוס הפיזור של המלריה הוכח זה מכבר. גורמים סביבתיים כגון טמפרטורה, לחות, ממטרי גשם ומהיות הרוח משפיעים על שיעור היארעות של מלריה, הן דרך השפעה על משך מחזור החיים של היתוש והפרזיט, והן על ידי השפעה על התנהגות בני האדם הוווקטורים והפרזיטים (Frank et al., 2003). על אף כל הידע הזה, קיים עדיין יכוח לגבי התפקיד המדויק של האקלים בהתפרצות מגיפות מלריה (Parham & Michael, 2010).

קדחת כתמים ים תיכונית (בהרות)

סכנת ההדבקות בקדחת בהרות תלויה בצפיפות אוכלוסיית הקרציות, שכיחות הקרציות הנגועות במחלה ורמת המשיכה של הקרציות לבני אדם (Aharonowitz et al., 1999). צפיפות אוכלוסיית הקרציות צפוי שתושפע משינוי האקלים.

לישמניה

במהלך העשורים האחרונים, מחלת הלישמניה בישראל מופיעה בעיקר בקרבת מרכזי האוכלוסייה במרכז הארץ וברשות הפלסטיני (Ya'ari et al., 2004), ובקרבת חיילי צה"ל (Mimouni et al., 2009). החל משנת 2005 קיימות עדויות להתפרצויות של תחלואה בלישמניה עורית בטבריה ובישובים אחרים מצפון לכינרת, מעלה אדומים וישובים אחרים בגוש אדומים, פדואל וישובים נוספים בשומרון, כפר ופין וישובים נוספים בבקעת בית שאן ובישובי רמת הנגב. בשנת 2011 נצפו התפרצויות גם באורים ובישובים נוספים בחבל הבשור. שינויים אלה בתפוצה הגיאוגרפית של המחלה עשויים להיות תוצאה של שינויים בגורמים אקלימיים מקומיים שונים.

שינוי בעונתיות ובפיזור החרקים ובעלי החיים האחרים המשמשים כוקטורים

שינוי האקלים יכול לשנות באופן דרמטי את הפיזור של חרקים ובעלי חיים אחרי המשמשים כוקטורים מעבירי מחלות. ההתחממות הגלובלית צפויה להגביר את הפעילות של החרקים המשמשים כוקטורים הן מבחינה עונתית והן מבחינה גיאוגרפית. כמה דוגמאות לוקטורים שהופיעו באזורים גיאוגרפים חדשים מופיעות להלן: קרציות אשר יכולות להעביר אנספלטיה נגיפית נמצאו בגבהים הולכים ועולים בצפון אירופה (Skarphedinsson, 2005). התפרצות של ויבריו פאראמולטי גסטרואנטריטי שהתרחשה בשנת 2004 נבעה מצריכה של צדפות חיות אשר נתפסו באלסקה, במרחק של 1000 ק"מ צפונית מהמיקום הקודם בו תועד פתוגן זה. וירוס הצ'יקונגוניה המועבר על ידי יתושים זוהה באיטליה (Bezirtzoglou et al., 2011). קיימות גם עדויות חדשות לקיום מלריה ילידית באיטליה (Bezirtzoglou et al., 2011). מהמפורט לעיל עולה כי ההתחממות הגלובלית תביא ככל הנראה הן להתפרצות מגיפות בטווח הקצר, והן לשינויים ארוכי טווח בהיארעות מחלות. חשוב לזכור ששינוי האקלים יכול להשפיע גם על הדפוסים העונתיים ועל השכיחות של מחלות המשפיעות על בעלי חיים כגון "לשון כחולה" (Bluetongue) (Enserink, 2008).

יתוש הנמר (Ae. Albopictus)

יתוש הנמר המשמש כוקטור להדבקת בני אדם בקדחת דנגי ובווירוס הצ'יקונגוניה, שינה לאחרונה את תפוצתו הגיאוגרפית וזוהה בישראל והן במדינות שונות באירופה⁴. שינוי האקלים, והשפעתו על הטמפרטורה הממוצעת צפויים להשפיע על הדינמיקה של אוכלוסיית יתושי Ae. Albopictus, ע"י שינוי קצב הרבייה והתמותה שלהם, ובכך עשוי להשפיע גם על טווח ההתפשטות של היתוש. כיוון ההשפעה המדויק קשה לניבוי. עלייה בטמפרטורה, עד נקודה מסוימת תביא ככל הנראה לגידול באוכלוסיית היתושים, על ידי כך שתזרז את קצב הגידול וההתפתחות של היתושים. אף על פי כן, עלייה בטמפרטורה תהיה ככל הנראה קשורה גם לעלייה ביובש, מה שצפוי לגרום לעלייה בתמותה של ביצי יתושים ויתושים בוגרים מהזן Ae. Albopictus, אשר ישפיע באופן ניכר על תפוצתו (Alto & Juliano, 2001).

אוכלוסיית המכרסמים

מגיפת הנטוירוס התרחשה בפעם הראשונה בדרום מערב ארה"ב בשנת 1993, ככל הנראה כתוצאה מגשמי זלעפות אשר סיימו תקופה ארוכה של בצורת. הגשמים עודדו את התפשטות אוכלוסיית המכרסמים באזור, והם שהעבירו את המחלה לבני האדם (Patz et al., 1996, Calisher 2005).

מחלות המועברות מאדם לאדם

שינוי האקלים ישנה ככל הנראה את הדפוס העונתי של מחלות שונות המועברות מאדם לאדם כתוצאה מהשפעתו הצפויה על התנהגות בני האדם. לדוגמה, טמפרטורות גבוהות יותר יגרמו לאנשים לבלות בחללים סגורים יותר זמן במהלך הקיץ ופחות זמן במהלך החורף. עובדה זו תביא ככל הנראה לעלייה בהיארעות המחלות הקיציות ולירידה בהיארעות המחלות החורפיות המופצות מאדם לאדם. דוגמאות לשינויים בדפוס העונתיים ובפיזור הגיאוגרפי של מחלות המופצות מאדם לאדם ניתנות להלן:

שלשולים

קיימות סיבות משכנעות לחשש ששכיחות השלשולים תעלה בעקבות שינוי האקלים (Kolstad & Johansson, 2010).

4

שינוי בגורמים אקלימיים כגון טמפרטורה, ממטרי גשם, לחות יחסית ולחץ אוויר עשויים לתרום לשינויים בהיארעות שלשולים. מנגנון ההשפעה המדויק אינו ברור, אך כל הגורמים הללו יכולים להשפיע על קצב ההכפלה של בקטריות ופתוגנים פרוטוזואים מסוימים, כמו גם על שיעורי ההישרדות של וירוסים שונים. מעבר לכך, ממטרי גשם כבדים עלולים לגרום גם לזיהום של מי שתייה בשיעור נרחב. טווח ההשפעה של גורם זה על היארעות שלשולים תלוי בפתוגן ובתשתיות המים והביוב באזורים השונים בעולם (Kolstad & Johansson, 2010).

חזרת, חצבת ואדמת

העונתיות של חזרת והופעתה המחודשת במדינות שונות מצביעה על כך שגורמים אקלימיים ושינויים המתרחשים בהם, עשויים להיות בעלי תפקיד משמעותי בהיארעות המחלה. בישראל, בין ספטמבר 2009 לאוגוסט 2010, הייתה התפרצות גדולה של מחלת החזרת (Anis et al, 2011).

מחלות המועברות במזון

ההשפעה האפשרית של שינוי האקלים על מחלות המועברות במזון הינה ברובה עקיפה, וצפויה להיות מתונה. יחד עם זאת, בקנה מידה עולמי השפעה זו תהיה גדולה מאוד מבחינת מספר האנשים אשר יפגעו ככל הנראה מהמחלות המדוברות. ארגון הבריאות העולמי העריך כי בשנת 2000 התרחשו יותר מ- 47,000 מקרי מוות כתוצאה משלשול (רבים מהם כתוצאה מחשיפה למחלות המועברות דרך מזון) בעקבות שינוי האקלים (Interagency Working Group on Climate Change and Health, 2010). התכנית המדעית האמריקאית לשינוי אקלים (CCSP) העריכה כי תהיה עלייה בתפוצה של כמה פתוגנים המועברים במזון כתוצאה משינוי האקלים. התפוצה הפוטנציאלית תלויה ביכולת ההישרדות של הפתוגן, בעמידותו, בטווח בתי הגידול האפשריים שלו וביכולתו לעבור מנשא לנשא בסביבה משתנה (Interagency WG on CC and Health, 2010).

דוגמא, לשינוי בעונתיות ובפיזור הגיאוגרפי של מחלות המועברות במזון היא אפלטוקסין. בצורת הוכחה כגורם המעודד התפשטות טפילי יבול כגון אפידים, ארבה וזבובים לבנים, וכן התפשטות עובש מסוג *Aspergillus flavus*, המייצר אפלטוקסין, שהוא חומר העלול להוביל להתפתחות סרטן כבד בקרב בני אדם שצרכו תירס או בוטנים נגועים (Interagency WG on CC and Health, 2010).

מחלות המועברות במים

דוגמא לשינוי בדפוס העונתיות ובפיזור הגיאוגרפי של מחלות הנישאות במים מופיעה להלן: ויבריו-וולניפיקוס הינו רגיש ביותר לטמפרטורת המים ולמליחותם (Motes et al., 1998). הפיזור העולמי של חיידק זה הינו תופעה חדשה. מאז זיהוי החיידק כפתוגני לאדם בשנות ה-70, דווח על קיום של מקרי מחלה במקומות רבים בעולם.

תפקידו של שינוי האקלים בפיזור עולמי של החיידק אינו וודאי, אך אפשרי (Strom & Paranjpye, 2000). לדוגמא, לפני שנת 1996, לא דווח על מקרי הדבקות בחיידק בישראל, אך בשנת 1996 התרחשה התפרצות גדולה של זיהומי רקמות רכות כתוצאה מהדבקות בחיידק בקרב מוכרי דגים ישראלים ולקוחותיהם (Bisharat and Raz, 1996). יתכן כי התפרצות זו של המחלה במקום חדש הינה תוצאה של שינוי האקלים, שכן מחקרים הראו קשר מובהק בין עליית הטמפרטורות לבין התחלואה בחיידק (Paz et al., 2007).

3.3.7. סיבות חיצוניות לתחלואה ולתמותה

תאונות

שינוי אקלים יביא ככל הנראה לעלייה במספר האירועים של מזג אוויר קיצוני, הן חם והן קר. שטרן וזהבי (1990), חקרו את הקשר בין מזג אוויר חם לתאונות דרכים, ומצאו כי הסיכון לתאונה עולה ככל שמתגברת עקת החום (Stern & Zehavi, 1990). התגברות תנאי עקת הקור צפויים גם הם להעלות

את הסיכון לתאונות דרכים, שכן העוצמה של הרוחות הגשמים והשלגים תוגבר ותשפיע על תנאי הדרך.

שריפות

על פי מודלים שונים, שינוי האקלים צפוי להעלות את הסיכון לשריפות יער במדינות השוכנות בקרבת הים התיכון. העלייה בסיכון תבוא לידי ביטוי בשלושה גורמים שהם מספר השנים בהן קיימת סכנת שריפה, אורך העונה בה קיים הסיכון לשריפה, ומספר הימים בעונה בהם הסיכון לשריפה הוא גבוה במיוחד. על פי המודלים מידת ההשפעה העתידית של שינוי האקלים על הסיכון לשריפות יער קשורה בקשר ישר לריכוז גזי החממה שישררו באטמוספירה (Moriondo, et al., 2006). כאשר נבחנה השריפה שפרצה ביערות הכרמל בדצמבר 2010 על פי אחד ממודלים אלה, נמצא כי דפוס ההתפשטות של האש התאים לדפוס שנובא במודל, כאשר הגורמים שנלקחו בחשבון הם מקור ההצתה, הטופוגרפיה, אופי הצמחייה והחומרים הדליקים בשטח ותנאי האקלים ומזג האוויר (Paz et al., 2011). יש לציין שהתנאים האקלימיים אשר שררו באזור הכרמל בעת השריפה עודדו את התפשטותה, שכן העונות שקדמו לתקופה זו היו חמות ויבשות ומשטר הרוחות החזקות שהשתוללו בעת השריפה גרם להתפשטות המהירה של האש.

3.3.8. גורמים תזונתיים

כמות והרכב המזון

הנזקים שיגרמו לגידולים חקלאיים ולמוצרי מזון אחרים כתוצאה משינוי האקלים עשויים להיות עונתיים, אך צפויים להפוך לבעיה כרונית תחת תנאי האקלים המשתנים. באופן עקיף, שינוי האקלים עלול להוביל לתת תזונה ואף לרעב כתוצאה מהפגיעה בגידולים החקלאיים והפגיעה המסחרית הכלכלית והחברתית שיבואו בעקבותיה. פגיעות אפשריות בחקלאות ובמזון כתוצאה משינוי אקלים כוללות יכולת מופחתת לגידול תצרוכת חקלאית כתוצאה משינוי תנאי הסביבה וזמינות המים; זמינות ואיכות מוגבלות של מזונות חלבוניים שמקורם בדגה, חקלאות ימית ומאכלי ים אחרים ועוד (Interagency WG on CC and Health, 2010).

תנאי האקלים המשתנים עלולים להשפיע על כמות והרכב המזון הזמין לבני האדם ברחבי העולם בכמה דרכים, ישירות ועקיפות אשר יפורטו להלן: השפעה על כמות המים; השפעה על איכות הגידולים החקלאיים; השפעה על הפיזור הגיאוגרפי של דגים ובעלי חיים אחרים ועוד. אומגה-3 תשמש כאן כדוגמה להשפעה אפשרית של שינוי האקלים על הרכב המזון. המקור העיקרי לאומגה-3 בתזונת האדם הוא מאכלי ים. שינוי האקלים העולמי עלול להשפיע על הזמינות של חומצות שומן מסוג אומגה-3 על ידי כך שיגרום להפחתת הביו-מסה של הפיטופלנגטונים המייצרים אותן או יאט את קצב גידולן, על ידי כך שיפחית את הייצור של חומצות השומן על ידי פיטופלנגטונים, או על ידי כך שיביא להרס של חומצות השומן שכבר יוצרו (Kang, 2011).

3.4. שינוי אקלים וקבוצות אוכלוסיה בסיכון

קשישים

הקשישים הינם פגיעים במיוחד לטמפרטורות קיצוניות. גלי חום וקור גורמים פעמים רבות לעליה בשיעורי התמותה בקרב חברי אוכלוסיה זו, במיוחד אלה הסובלים ממחלות כרוניות נשימתיות או קרדיו-וסקולריות. מסיבה זו, שינוי אקלים צפוי להעלות את שיעור התמותה בקרב קבוצה זו (Bouchama et al., 2007).

פעוטות וילדים

ילדים ופעוטות יהיו רגישים יותר לטמפרטורות קיצוניות, משום שהמערכות הפיזיולוגיות והמטבוליות שלהם פחות יעילות מאלה של מבוגרים בהסתגלות לחום ולגורמים אקלימיים אחרים בין היתר מכיוון ששטח פני גופם קטן יותר והם מתקשים לווסת את חום גופם בעילות. ילדים ופעוטות יהיו רגישים יותר גם למחלות מדבקות, משום שהתזונה ודפוסי ההתנהגות שלהם עשויים לחשוף אותם לגורמי מחלות שונים מאלה שאלהם נחשפים לרוב המבוגרים (Tillett, 2011).

חולים כרוניים

החולים הכרוניים, בכל קבוצות הגיל, הינם בעלי רגישות יתר להשפעות של טמפרטורות קיצוניות ומחלות מדבקות. עליית הטמפרטורות והתארכות העונה הקייצית בעקבות שינוי האקלים צפויות להביא לעלייה בסיבוכי המחלות הכרוניות בקרב החולים ולעלייה בשיעורי התמותה שלהם. עלייה בטמפרטורות ובכמויות הגשם בטרם עונת איבוק הצמחים, כמו גם גורמים אקלימיים אחרים, מובילים לייצור מוגבר של סוגים רבים של אבקני עצים ודשא. לדוגמא, הוכח כי ייצור אבקני אמברוזיה מוגבר כתוצאה מעלייה בטמפרטורה ובריכוזים האטמוספריים של חמצן דו-פחמני. מכאן נובע, ששינוי האקלים עלול להוביל לשינוי בריכוז האטמוספרי של אבקנים והן של עובש. תהליך זה צפוי להביא לשינוי בדפוסי התחלואה כתוצאה מאלרגיות שונות (Sheffield et al., 2011).

אנשים עם צרכים מיוחדים

ארגון הבריאות העולמי פרסם בשנת 2001 את מערכת המושגים ICF, בה מוגדרים מושגי בריאות וחולי לא רק בהתייחס למבנים ותפקודים גופניים, אלא גם על פי אמות מידה של פעילות, השתתפות בחברה ועורבות בסביבה (Bjornson, 2008). בהתחשב בהגדרה זו, יש לקחת בחשבון כי אנשים עם צרכים מיוחדים בעלי נכויות עלולים להיפגע משינוי האקלים בפגיעה שלא תהיה בהכרח פגיעה פיזית, אלא פגיעה ביכולתם של הפרטים לבצע את הפעילויות והמשימות הנדרשות מהם בחיי היום, ולהיות משתתפים פעילים במגוון סביבות כגון בית ומשפחה, עבודה, לימודים פנאי וחברה (Simeonsson, Scarborough & Hebbeler, 2006).

גורמים שונים, וביניהם גם גורמים אקלימיים כגון הטמפרטורה הסביבתית, הלחות היחסית ושעות האור, תורמים כנראה להופעה של התקפים פסיכויטיים ולהיארעות הגבוהה יותר של אשפוזים פסיכיאטריים בחודשי הקיץ (Shiloh et al., 2005).

מעוטי יכולת

שינוי האקלים צפוי להשפיע על האוכלוסייה מועטת היכולת בצורה קשה הרבה יותר מאשר על האוכלוסייה החזקה. עובדה זו נכונה הן ברמה האישית והמקומית והן ברמה המדינית (מדינות מתפתחות לעומת מדינות מפותחות). ההשפעה השלילית של שינוי האקלים על האוכלוסיות מעוטות היכולת צפויה הן בשל רמת הפגיעות הגבוהה שלהן למחלות מדבקות וכרוניות, והן בשל תנאי החיים

הבסיסים של אוכלוסיות אלה, אשר אינם מתאימים לשינוי בתנאי הסביבה הצפויים להתרחש בעקבות שינוי האקלים (לדוגמא חוסר קיום של מזגנים בבתיים וכדומה).

נשים

שינוי האקלים צפוי להעלות את העומס הפיזי על נשים הרות, בעיקר אלה השייכות למעמד הסוציו-אקונומי הנמוך, אשר אינן בעלות מיזוג אוויר בביתן ואלה העובדות מחוץ למבנים וחשופות לשינויים הצפויים במזג האוויר.

למרות ההכרה בהשפעה השונה של שינוי האקלים על בריאותם של נשים וגברים, המגדר הינו עדיין משתנה המיוצג באופן בלתי מספיק בתכניות האסטרטגיות ובמסמכי המדיניות הנוגעים לקשר שבין שינוי האקלים לבריאות. יש צורך לכלול את ההיבט המגדרי בפיתוח תחומי המחקר והמדיניות הנוגעים להשפעות של שינוי האקלים על מצב הבריאות העולמי. יש צורך לטפל באמונות ובמנהגים החברתיים המפלים נשים ופוגעים בהן הן פיזית והן נפשית (Preet et al., 2010).

עוברים

בסו ושותפיו (2010), מצאו כי טמפרטורה סביבתית גבוהה הייתה קשורה בקשר ישיר עם לידות מוקדמות בקרב נשים מקבוצות אתניות שונות, ללא קשר לגיל האם, רמת החינוך של האם או מין העובר. תוצאת המחקר הראו כי עליה של 5.6 מעלות צלסיוס בטמפרטורה השבועית הממוצעת הייתה קשורה לעליה של 8.6% בלידות המוקדמות (Basu, Maliq & Ostro, 2010).

קבוצות תעסוקתיות שונות

שינוי אקלים ישפיע ככל הנראה על יעילות העובדים בכלל המקצועות בעקבות עלייה בתחלואה הקשורה לאקלים. הקבוצות התעסוקתיות הצפויות להיפגע בצורה המשמעותית ביותר משינוי האקלים הן הקבוצות של האנשים העובדים (או נופשים) מחוץ למבנים, וחשופים באופן ישיר לשינויים הסביבתיים. בין קבוצות אלה נמצאים עובדי הבניין, החיילים, מדריכי התיירים, המצילים, העוסקים בספורט וכדומה.

3.5 האינטראקציה בין שינוי האקלים לזיהום האוויר והשפעתה על הבריאות

רמות הסולפאטים והניטראטים הגבוהות הקיימות כיום באטמוספירה ממסכות ברמה מסוימת על ההשפעות של שינוי האקלים. הפחתת הפליטה של גזים אלה תביא לשיפור בבריאות האדם בכמה היבטים, אך עלולה לגרום גם לכך שהשפעות גזי חממה יראו מהר יותר. בניגוד לכך, הפחתת הפליטה של הגזים המחממים, כגון פחמן שחור (black carbon), תהיה כנראה בעלת רווח כפול, שכן היא תגן על בריאות האדם באופן מקומי ועל האקלים באופן אזורי ועולמי (UNECE, 2003; Law, 2010).

זיהום אוויר ושינוי האקלים משפיעים זה על זה דרך אינטראקציות מסובכות באטמוספירה, וכמו כן משפיעים באופן הדדי על השלכות הבריאותיות זה של זה. (לדוגמא, ההשפעה הבריאותית המזיקה של זיהום באוזון תתעצם ככל הנראה עם שינוי האקלים). מכאן נובע שנקיטת צעדים מסוימים למניעת או לשיפור שינוי האקלים, תוביל גם לרווחים נוספים על ידי שיפור איכות האוויר המקומית והאזורית. צעדים מסוימים להפחתת זיהום האוויר יסייעו גם להגן על האקלים ברמה אזורית וגלובלית.

ניהול התחומים של שינוי האקלים וזיהום האוויר הם בעלי השלכות זה עבור זה, ולכן התכנית לניתור והערכה של מסירת זיהום האוויר לטווח ארוך באירופה (EMEP) החלו לבצע אינטגרציה של שני התחומים האלו לתוך הערכתיה, כך שצעדים עתידיים שנקטו על מנת להפחית את זיהום האוויר יובילו גם לשיפור בתחום שינוי האקלים, ויצרו מצב בו אין מפסידים (UNECE, 2003); המשרד להגנת הסביבה, בית הספר ללימודי הסביבה ע"ש פורטר אוניברסיטת תל אביב, בית הספר לבריאות הציבור אוניברסיטת תל אביב, 2009).

3.6 ההשפעות הצפויות של שינוי האקלים על תחלואה ותמותה

עומס התחלואה

ההשפעות האפשריות של שינוי האקלים נצפו על ידי מודלים. לדוגמא, מודלים מסוימים הראו כי צפויה עליה בהיארעות מחלת ליים המועברת על ידי קרציות בקנדה ובאירופה. על פי ההערכות, התהליך של שינוי האקלים גרם עד כה (נכון לשנת 2000), לכ-150,000 מקרי תמותה (כ-0.3% ממקרי המוות השנתיים בעולם), ולאובדן של כ-5.5 מיליון שנות חיים פוטנציאליות כתוצאה מתחלואה (0.4% מהשיעור השנתי של אובדן שנות החיים הפוטנציאליות). עומס התחלואה הנגרם כתוצאה משינוי האקלים צפוי להתגבר עם הזמן, גם אם מביאים בחשבון הן את העלייה בעושר העולמי והן רמה מסוימת של הסתגלות התנהגותית וכלכלית. ההשפעות צפויות להתבטא בעיקר בקרב האוכלוסיות מעוטות היכולת ובגבהים הנמוכים, שבהם ההשפעות הבריאותיות העיקריות של האקלים (לדוגמא תת תזונה, שלשול ומלריה) כבר קיימות, והפגיעות להשפעות האקלים היא גדולה יותר. המחלות המוזכרות לעיל משפיעות בעיקר על קבוצות הגיל הצעירות, ומכאן שעומס התחלואה שיווצר כתוצאה משינוי האקלים צפוי להראות בעיקר בקרב פעוטות וילדים במדינות המתפתחות (Haines, 2006).

על פי מודלים אפידמיולוגיים, שינוי אקלים יביא ככל הנראה גם ליתרונות בריאותיים, (לדוגמא ירידה בשיעור התמותה כתוצאה מקור, שיפור בתפוקה החקלאית באזורים הממוזגים וכדומה), אך יתרונות אלה יהיו קטנים יחסית להשפעה השלילית של המחלות המדבקות ותת התזונה שיתגברו באזורים המתפתחים.

המגמות הצפויות בגורמים הבריאותיים המושפעים מאקלים הן כדלקמן:

עלייה קלה בתמותה כתוצאה ממחלות קרדיווסקולאריות צפויה באזורים הטרופיים, בניגוד לירידה קלה באזורים הממוזגים, כתוצאה מטמפרטורות גבוהות יותר שישררו בתקופת החורף.

עלייה בעומס התחלואה משלשולים במדינות מתפתחות.

עלייה משמעותית במקרי התמותה כתוצאה משיטפונות באזורי החוף ובפנים המדינות. (עומס התחלואה הנוכחי ממצבים אלה הוא נמוך ביותר, ולכן ההשפעה המצטברת שלהם צפויה להיות נמוכה יחסית).

עליה משמעותית בסיכון למלריה פלסיפרית במדינות השוכנות בגבולות תפוצת המחלה הנוכחית (Haines, 2006).

3.7 ניהול ההשפעות הבריאותיות של שינוי האקלים

התהליך של שינוי אקלים והשלכותיו הבריאותיות ידרשו שינוי במדיניות ובניהול השוטף ברמת המדינה וברמה הבין לאומית. היבטים שונים במערכת הבריאות, כגון אשפוזים, מוסדות לטיפול ראשוני, מוסדות גריאטריים ועוד צפויים להידרש לשינוי. המערכת האזרחית צפויה גם היא לדרוש שינויים, לדוגמא באספקת מיזוג אוויר לאנשים השוהים במוסדות, בין אם במהלך יום העבודה ובין אם במוסדות ציבוריים.

כל אחת מהמדינות, ובניהן גם ישראל, ידרשו ליישם תכנית אדפטציה, להפחתת ההשפעות הבריאותיות של שינוי האקלים. תכנית שכזו צריכה לכלול לדוגמה הגברה של יכולות בריאות הציבור לצורך הפחתת שיעור התחלואה הנוכחי, בעיקר ממחלות מדבקות בניגוד לתכניות האדפטציה, יהיה צורך לנקוט גם בפעולות שונות על מנת להבטיח את קיום תהליך המיטיגציה של שינוי האקלים.

3.8 פערי ידע בתחום השפעת שינויי האקלים על הבריאות

נושא	פערי הידע
שינויי אקלים ומחלות נשימתיות (Ayres et al., 2009)	ישנם עדיין פערי ידע בהתייחס לשינויים בטמפרטורה, במשקעים ובמשטני מזג אוויר אחרים שעלולים להשפיע על הטווח הגיאוגרפי ועל ההיארעות של התמותה והתחלואה ממחלות נשימתיות (Ayres et al., 2009)
שינויי אקלים ומחלות נשימתיות (Ayres et al., 2009)	למחלות של דרכי הנשימה לדוגמא, וירוס ה-syncytia, יש עונתיות חזקה שיכול להיות מושפע מטמפרטורה. עדיין, יש חוסר באינפורמציה לאיזה תפקיד, אם בכלל, דפוסי מזג האוויר משתתפים בהופעה שלהם או בעוצמתם בהעברת המחלה (Ayres et al., 2009)
שינויי אקלים ומחלות נשימתיות (Ayres et al., 2009)	המנגנון הביולוגי שמעלה את הסיכון בייצור והחרפה של מחלות של דרכי הנשימה הוא לא ידוע לגמרי, גם באופן כללי וגם בהקשר של שינויי האקלים (Ayres et al., 2009).
שינויי אקלים ומחלות לב ושבץ (Portier et al, 2010)	ההשפעה הישירה והעקיפה של שינויי אקלים על מחלות לב לא כוסתה לגמרי. רוב המאמרים שמתעסקים בהשפעות של אקלים על השפעות על הבריאות חקרו משתנה חשיפה ספציפי כדוגמת חום או אוזון והתמקדו בתמותה בהסתמך על קישור ידוע, אך הם לא התמקדו נקודתית על ההיארעות של תחלואה ותמותה ממחלות לב (Portier et al, 2010).
שינויי אקלים ומחלות לב ושבץ (Portier et al, 2010)	ישנה אי וודאות בנוגע לגודל ולעוצמה של ההשפעה של שינויי אקלים על ההיארעות של הסתבכות קרדיו-וסקולרית כתוצאה מאירועי מזג אוויר קיצוני ומחלות מסימות שעוברות מבעלי חיים או חרקים לבני אדם (Portier et al, 2010).
שינויי אקלים ומחלות לב ושבץ (Portier et al, 2010)	ישנו מידע חסר על ההשפעות הבריאותיות של פעילות הסתגלותית, כדוגמת איך תשפיע העלייה בשימוש במיזוג אוויר על מנת להגן על האוכלוסיות החלשות ממזג אוויר קיצוני. למשל, אם תהיה דרישה משמעותית נוספת לחשמל תוך עליה בשימוש בדלקים, אז יש סיכוי שתהיה עליה בחשיפה לחלקיקים ולאוזון כתוצאה מכך. אך עם זאת, החשיפות הללו יכולות בחלקן להתקזז באמצעות ההשפעה המגנה של המיזוג אוויר.
שינויי אקלים ומחלות שמועברות באמצעות מזון (Portier et al, 2010)	שינויי אקלים גרמו לשינויים בעליה בתנאים, אשר חושפים את פערי הידע של ההשפעה בשימוש מחדש או מוגבר בחומרי הדברה וקטלי עשבים (Portier et al, 2010).
שינויי אקלים ומחלות שמועברות באמצעות חרקים (European Centre for Disease Prevention and Control, 2011)	יש צורך למערכת ניטור טובה יותר של וירוס הנילוס המערבי, מאחר וטיפול עבור וירוס הנילוס המערבי לא בנמצא (European Centre for Disease Prevention and Control, 2011).
שינויי אקלים ומחלות שמועברות באמצעות חרקים (European Centre for Disease Prevention and Control, 2011)	ההשפעה של מחלות שמועברות באמצעות חרקים על תרומת דם עדיין לא ידועה (European Centre for Disease Prevention and Control, 2011).
שינויי אקלים ומחלות שמועברות באמצעות חרקים (European Centre for Disease Prevention and Control, 2011)	מהו ההבדל בהשפעה של השיטות והאסטרטגיות לבקרת חרקים על וירוס הנילוס המערבי באזורים עירוניים וכפריים? (European Centre for Disease Prevention and Control, 2011)
שינויי אקלים ומחלות שמועברות באמצעות חרקים	התחממות החורף תגרום להארכת זמן פעילות הוקטורים. כיצד ישפיע על הנגיף? האם הנגיף יתחזק?

<p>דרושה האינפורמציה הבאה על מנת להבין את פוטנציאל העברה ולהתוות את האופציות לבקרה: להגדיר את סף המגיפה של ריבוי החרקים, אם בכלל, שמתחתיו הסיכון להעברה הוא מוגבל ושיכול לשמש לפיקוח על השליטה ביתושים. הידע עבור <i>Aedes albopictus</i>, כולל התנהגות והשהיית ההתפתחות והישרדות הוירוסים בחורף. אילו שיטות מעריכות הכי טוב את הפיזור של היתושים ופעילות העקיצה. ההשפעה של שיטות בקרה עבור כל המחלות שמועברות באמצעות חרקים. היעילות של שיטות הבקרה שכרגע נמצאות בשימוש.</p>	<p>שינויי אקלים ומחלות שמועברות באמצעות חרקים (European Centre for Disease Prevention and Control, 2011)</p>
<p>מחלות ה-vector born, הן מחלות מוטי-פקטוריאליות, קשה לדעת מהי התרומה היחסית של כל פרמטר (גם משתנים אקלימיים) לתוצאה הסופית.</p>	<p>שינויי אקלים ומחלות שמועברות באמצעות חרקים (European Centre for Disease Prevention and Control, 2011)</p>
<p>מה ההשפעות המשולבות של קרינת UVR וטמפרטורה על העור והעיניים? (Sasaki et al., 2002)</p>	<p>שינויי אקלים, העין והעור (Sasaki et al., 2002)</p>
<p>ישנו מידע חסר על הפעילות העתידית של אנשים באמצע קו הרוחב שמבלים יותר זמן בחוץ ולכמה זמן שינויים באקלים ישפיעו על הבריאות שלהם (Sasaki et al., 2002)</p>	<p>השפעות שינוי האקלים בחלקים שונים בעולם (Sasaki et al., 2002)</p>

4. השפעות שינויי אקלים על מגוון ביולוגי

4.1. מבוא

סקירת ספרות זו מתייחסת לנושא השפעת שינויי אקלים על המגוון הביולוגי בישראל. היא כוללת את מצב הידע הקיים בנושא השפעות שינויי אקלים על המגוון הביולוגי וזיהוי פערי הידע בהם נדרשת השלמה מדעית.

המושג "מגוון ביולוגי" ("biodiversity") מתקשר בדרך כלל עם עושר מינים, אולם המושג במובנו הרחב קשור בשונות של עולם החי על מרכיביו השונים. הוא מתייחס למספר רמות ארגון היררכיות: מגוון גנטי (מגוון תוך-מיני המתבטא בהבדלים גנטיים בין אוכלוסיות של אותו המין), מגוון של מינים, ומגוון של מערכות אקולוגיות (הגדרה ע"פ Convention on Biological Diversity). פעמים רבות מתייחסים ל"מגוון הביולוגי" כאל מדד הקשור במספר הרכיבים במערכת האקולוגית (מינים, גנים, או יחידות בנוף), אולם המגוון תלוי גם ביחסים הכמותיים בין הרכיבים וההבדלים ביניהם במבנה ותפקוד (Gaston, 1996). בסקירה זו אנו מתייחסים למגוון ביולוגי כאל מדד הקשור במספר, מבנה ותפקוד של אוכלוסיות, מינים ומערכות אקולוגיות. עם זאת, מאחר ומחקרים רבים עוסקים בהשפעות על עושר מינים, מופיעה כאן התייחסות נרחבת יותר לרכיב זה של המגוון הביולוגי.

המגוון הביולוגי קשור קשר הדוק בתפקוד תקין של מערכות החיים. למינים השונים של הצמחים, בעלי החיים והמיקרואורגניזמים יש תרומה ישירה או עקיפה לשירותים חיוניים לאדם. שירותים אלה כוללים יצירת וטיוב קרקע, מיחזור חומרים, אחזקת מים ובקרת איכות המים, אחזקת קרקע ומניעת סחף, בקרת אקלים וזיהום אויר, יצרנות ראשונית ועוד. תועלות אלה, שהאדם מפיך ממערכות טבעיות מכונות "שירותי המערכת". מכיוון שהמגוון הביולוגי קשור בהבדלים תפקודיים בין רכיבים של המערכת, הוא משפיע על כמות ואיכות השירותים שהמערכת יכולה לספק. שילוב של רכיבי המגוון השונים - מגוון תוך-מיני (שונות גנטית בתוך המין), בין-מיני (עושר ומגוון המינים) ובין מערכות אקולוגיות (שונות בין מערכות אקולוגיות), משפיע על מגוון התפקודים של המערכות האקולוגיות. ככל שמדדי המגוון גבוהים יותר, כך גדל הסיכוי למגוון של תפקודים במערכות אקולוגיות, המבטיח אספקה של קשת רחבה של שירותי מערכת. כיום גוברת ההבנה כי המגוון הביולוגי קשור באספקת שירותי המערכת השונים החיוניים לתפקוד האדם, ושינוי במגוון הביולוגי יכול להשפיע בצורה משמעותית על שירותי מערכת ועל רווחת האדם (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). לפיכך בדו"ח זה אנו מתייחסים גם להשפעות שינויי האקלים על שירותי המערכת, מתוך הכרה בקשר בין השניים ובקשר של שניהם לרווחת האדם.

4.2. סקירת מצב הידע הקיים

ע"פ דו"ח ה- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) מ-2007, שינויי אקלים גלובליים צפויים להביא לשינויים משמעותיים ביחסי הגומלין בין מינים ובתפוצה הגיאוגרפית של מינים, תוך תוצאות שליליות עבור המגוון הביולוגי ועבור אספקת שירותי המערכת. הדו"ח מציין שורה ארוכה של שינויים מקומיים במגוון הביולוגי ובתפקודן של מערכות אקולוגיות שאותם אפשר לייחס לשינויי האקלים הגלובלי (IPCC, 2007). אחת הדרכים לאמוד השפעות עתידיות של השינויי האקלימי היא באמצעות מודלים המדמים שינויים בתפוצת מינים ובתכונות המערכות האקולוגיות לפי תסריטים שונים של שינויי אקלים. מודלים כאלה חוזים כי השינויים האקלימיים יביאו לתזוזה בתפוצה הגיאוגרפית של מינים, כאשר כל אזור אקלימי יעשה מתאים פחות למינים החיים בו היום ומתאים יותר למינים החיים היום באזור אקלימי אחר. באופן כללי, המודלים חוזים תזוזת מינים לכיוון הקטבים וכן תזוזה למקומות גבוהים יותר (Parmesan & Yohe, 2003). בנוסף, צפויים שינויים בפנולוגיה (תזמון תופעות כגון רבייה, נדידה, פריחה, הבשלת פירות ועוד) וכן בתופעות פיזיולוגיות כגון פוטוסינתזה, נשימה, גדילת צמחים, קצב מטבולי ופירוק (דוגמאות ב- Hughes, 2000). שינויים

אלה עשויים להשפיע על אינטראקציות בין מינים כגון תחרות, יחסי טורף-נטרף ויחסי טפילות והדדיות, ובכך לגרום לשינויים נוספים בתפוצת מינים ובהרכב ומבנה החברות (Hughes, 2000). בעשור האחרון הולך וגדל מספר המחקרים העוסקים בהשפעות עתידיות של שינויי האקלים על החי והצומח. עם זאת, מספר קטן של מחקרים נעשו בנושא זה בישראל, והאזור לא נכלל ברוב המודלים העוסקים בהשפעות שינויי אקלים על אזורים ים-תיכוניים באירופה (למשל, Bakkenes et al., 2002; Levinsky et al., 2007). להלן נסקור את הידע הקיים בנוגע להשפעות שינויי אקלים על המגוון הביולוגי באזורים ים תיכוניים בעולם תוך דגש על מחקרים שנעשו בישראל ובחופיה. הסקירה מתייחסת לשלוש מערכות שונות: מערכות מים מתוקים ביבשה (כולל נחלים, מקווי מים עונתיים, מעיינות והכנרת), מערכות ימיות (מפרץ אילת והים התיכון) ומערכות יבשתיות. בתוך המערכות היבשתיות אנו מתייחסים גם למערכות יער נטוע, שאמנם אינן טבעיות, אך מאחר והן מהוות כ-10% מכלל השטחים הפתוחים במדינת ישראל (אחירון-פרומקין, 2011), יש להן חשיבות כחלק ממערך השטחים הפתוחים התורמים לקישוריות בין בתי גידול טבעיים. הסקירה כוללת ממצאים של מחקרים העוסקים בהיבטים שונים של השפעות שינויי אקלים: השפעות פיזיולוגיות על טקסונים שונים, השפעות על תחומי תפוצה, פנולוגיה, מינים פולשים, עושר המינים, מגוון גנטי ושירותי המערכת.

4.2.1. השפעות במערכות אקולוגיות יבשתיות

שינויי האקלים צפויים להגביר את העקות המצטברות על המערכות האקולוגיות. מקובל שהחי והצומח באזורנו מותאמים לתנאים של חוסר ודאות אקלימית, אולם באזור המדברי הצחיח, שבו התנאים הפיזיים לצומח ולחי הם קיצוניים וקשים, הפחתה נוספת בכמות המשקעים ובסדירותם יכולה להביא לשינוי במערכת האקולוגית ובתפקודה. דוגמה לכך היא דרום הערבה, שם נראית ירידה ניכרת בכמות המשקעים הממוצעת בחמישים השנים האחרונות (מ-30 מ"מ לכ-10 מ"מ גשם בשנה). הירידה המתמשכת בכמות המשקעים הביאה לתמותה רבה של שיחים ולמרות שהשטפונות של 2010 אוששו את מצב הצומח, לא נראתה נביטה משמעותית של שיחים חדשים. כתוצאה, ירד היצע המזון לפרסתנים הגדולים, יעלים וצבאים. ככלל, בעשור האחרון ניכרת מגמה של הידרדרות במצבם של מרבית המינים המנוטרים בדרום הערבה, בעיקר מינים טרופיים, סודניים או אירנו-טורניים (אחירון-פרומקין, 2011). דוגמה נוספת היא אתר סיירת שקד בצפון הנגב, בו הנוף מעוצב בעיקר על ידי כתמים של שיחים מעוצים, בין קרומי קרקע ביוגניים וצמחים עשבוניים חד-שנתיים הגדלים בעונת הגשמים. תדירות גבוהה של בצורות בעשור האחרון הביאה להתייבשות נרחבת ותמותה של שיחים. שינוי זה של מבנה הנוף הוא בעל השלכות מרחיקות לכת על תפקוד המערכת ועשוי להביא לבריחת מים, חומר אורגני וקרקע מהמדורן לאפיק, לירידה משמעותית בייצור הראשוני של המערכת, ולירידה במגוון הצמחים ובעלי החיים (שחק וקרניאלי, 2009). התייבשות לאחר רצף של כמה שנים שחונות נראתה גם באלונים מצויים (*Quercus calliprinos*) בכרמל ובגליל (ליאת הדר, תקשורת בע"פ). תופעה זו היא, כנראה, תופעה מחזורית הפוקדת חורשי אלון מצוי בישראל מדי כמה שנים, בעקבות רצף של שנים שחונות. במשטר האקלים הנוכחי ההתייבשות אינה מהווה איום ממשי ואינה גורמת לפגיעה מתמשכת באוכלוסיית האלונים, אך עלייה בתדירות ההופעה של רצף שנים שחונות בעקבות שינויי אקלים באזורנו עלולה לגרום להגברת תופעת התייבשות האלונים ולסכן באופן משמעותי את אוכלוסיית האלונים בפרט ואת החורש הים-תיכוני בכלל (סבר ונאמן, 2008).

מודלים מרחביים מראים שהסיכון לשריפות באזורים ים-תיכוניים יעלה כתוצאה מעלייה במספר ואורך התקופות עם סיכון גבוה לשריפות ובעיקר עליה באירועים קיצוניים (ימים עם סיכון מקסימלי לשריפה ואפיזודות של מספר ימים רצופים כאלה) (Moriondo et al., 2006). התאחרות גשמי החורף תגדיל את הסיכון לשריפות בחורש הטבעי, שכן רוב השריפות מתרחשות בסתיו, כאשר כמות החומר היבש נמצאת בשיא. לחות קרקע נמוכה, אידי גבוה והגדלת תדירות ועוצמת גלי חום, צפויים להגביר את תדירות השריפות, עוצמתן והיקפן (Pe'er and Safriel, 2000). יערות אורנים נטועים עשויים להיות רגישים לשרפות, דבר המתבטא באיבוד קרקע ושינוי בהרכב הצמחיה. אמנם לאורנים יש יכולת טובה

להתחדשות מזרעים אחרי שריפה, אולם הגדלה של תדירות השריפות עשויה להקשות על התחדשות היער, אם פרקי הזמן בין שריפות יהיו קטנים מהזמן הדרוש להצטברות בנק זרעים מספיק בקרקע. לעומתם, החורש והגריגה ים תיכוניים נשלטים ע"י שיחים ועצים רחבי עלים ירוקי עד, שהם בעלי יכולת התחדשות לאחר שרפה, ולכן אקוסיסטמות אלה נחשבות כבעלות עמידות יחסית לשרפות. (Pausas et al. 2008). עם זאת, למרות שלמיני חורש רבים בישראל יש עמידות לשריפות ויכולת התחדשות טובה אחרי שריפה, הגדלת תדירות השרפות עשויה לעלות על הפוטנציאל הזה, ובכך לגרום נזק ממשי גם למערכות החורש (Pe'er and Safriel, 2000). באופן כללי, שריפות יכולות להגדיל את מגוון מיני הצמחים העשבונים ובני-שיח ובעיקר המיקרופטופיטים בעלי ניצני התחדשות בפני השטח (Delitti et al., 2005). אולם שריפות חוזרות עשויות לשנות בצורה דרמטית את מבנה חברת הצומח ואת האקוסיסטמה. שילוב ההשפעות של שינוי אקלימי ושריפות יכול להביא לאבדן של המגוון הביולוגי ללא יכולת התאוששות בתוך מספר עשורים (Colombaroli et al., 2007).

השפעות פיזיולוגיות

שינוי תנאי הסביבה עשוי להשפיע על גודל גופם של אורגניזמים שונים. לפי "כלל ברגמן", אוכלוסיות המתקיימות באזורים חמים יותר הן בעלות גודל גוף קטן יותר. בהתאמה לתיאוריה זו, ניתוח גודל הגוף של ציפורי שיר שנשמרו באוספים במוזיאון בין 1950 ל-1999 הראה ירידה במסת הגוף של ארבעה מינים (פשוש (*Prinia gracilis*), סבכי שחור ראש (*Sylvia melanocephala*) בולבול (*Pycnonotus xanthopygos*) ודרור הבית (*Passer domesticus*)) בשעורים של בין 13 ל-27% ממשקל גופם הממוצע ובמתאם לשיעור ההתחממות באותה תקופה (Yom-Tov, 2001). מסת הגוף משפיעה על המאזן האנרגטי והתרמורגולציה של האורגניזמים, ולכן היא משפיעה על יכולת ההתמודדות של אורגניזמים עם שינויי אקלים. עם זאת, ייתכן שגורמים אחרים מלבד התחממות, כגון ירידה בזמינות המזון (שיכולה להיות קשורה לשינויי אקלים ו/או לשינויים בשימושי שטח הכרוכים בהם), תרמו למגמה זו (Garden et al. 2011).

למרות ההתאמה לתנאי חוסר ודאות אקלימית, נראה שגם אורגניזמים החיים באזורים מדבריים מושפעים משינויי האקלים. גידול בשונות הבין-שנתית של המשקעים עשוי להגדיל באופן משמעותי את העקה של פרסתנים מדבריים גם ללא כל שינוי בכמות המשקעים. זלץ ולנדאו (2009) הראו שיעלים נקבות רגישות לתנאי בצורת בגלל הצרכים התזונתיים הגבוהים בזמן ההתעברות וההנקה ולכן שינויים אקלימיים המתבטאים בעליה בתדירות שנות הבצורת יהוו איום משמעותי על יכולת הקיום של יעלים. באזור שדה בוקר ירד היחס נקבות:זכרים לאחר שנות הבצורת של 1999 ו-2000 באזורים בהם לא היה מקור מזון מלאכותי, ובאילת, בצורת מתמשכת הביאה לירידה של 50% בגודל האוכלוסייה עם ירידה ביחס נקבות:זכרים מ-1:2 ל-1:1.3 (שלמון, מצוטט בזלץ ולנדאו, 2009). להגדלת השונות הבין-שנתית במשקעים יש השפעות שליליות גם על חיוניות אוכלוסיית הפראים (*Equus hemionus*). במחקר מתמשך באוכלוסיית הפראים במכתש רמון, הראו (Saltz et al., 2006), בהסתמך על נתוני אקלים ונתונים דמוגרפיים מהשנים 1985-1999, כמות המשקעים בשנה שלפני ההתעברות ובצורת בזמן ההיריון קובעים הצלחה רבייתית. מודל לחיזוי מצב האוכלוסייה תחת תרחישים שונים של שינויי אקלים הראה שהגדלת השונות הבין-שנתית במשקעים מקטינה את חיוניות אוכלוסיית הפראים.

אחד מהמנגנונים להתמודדות של אורגניזמים עם עקת חום הוא ייצור מוגבר של חלבוני עקת חום (Heat Shock Proteins, HSP), השומרים על תפקודם התקין של חלבוני התא תחת טמפרטורות גבוהות. אנג'ל וחובריו (2006) בחנו את רמות הביטוי של חלבונים אלה בחלזונות ימיים החיים בחופים סלעיים באזור הגאות והשפל באתרים שונים (פלמחים לעומת אכזיב). ניסויי שדה ומעבדה הראו שעלייה בטמפרטורות עשויה לגרום לייצור מוגבר של HSP, ומאחר שהדבר כרוך בהשקעה אנרגטית, התחממות משמעותית של האזור עשויה לגרום להיעלמות של החלזונות מבתי הגידול הנוכחיים שלהם.

השפעות על תחומי התפוצה של מינים

לפי התחזיות, האקלים באזור הים-תיכוני בישראל יעשה בהדרגה יובשני יותר. מינים שלא יוכלו להסתגל לתנאי הסביבה החדשים יעלמו או יהגרו לאזורים בהם יהיה טווח טמפרטורות הדומה לזה בו הם מתקיימים כיום. מודלים שפותחו לשם חיזוי השינוי בטווח התפוצה של מינים כתוצאה משינוי בתנאי הסביבה באגן הים התיכון, חוזים שבעקבות עלייה של 1.5°C הצפויה עד סוף המאה ה-21, אזורי התפוצה של מינים עשויים לזוז צפונה למרחקים של 300-500 ק"מ ולזוז אנכית (לעלות בגובה) ב-300-600 מ' מעל פני הים (Jeftic, 1993). מודל החוזה את השפעת שינוי האקלים על תפוצת יונקים בישראל (שטייניץ וחוב', 2007) משער כי אם פליטת גזי החממה לא תצטמצם ייתכנו שינויים משמעותיים בתפוצת מינים. עם זאת, מאחר ושינוי תחום התפוצה תלוי במידה רבה ברציפות השטחים הפתוחים דרכם יכולים המינים לעבור, אלמנטים שונים (שטחים בנויים, תשתיות תחבורה ותקשורת ומערכות חקלאיות) עלולים לחסום את מעבר המינים צפונה או למעלה. לפיכך ייתכן שמינים רבים לא יוכלו להסיט את טווח התפוצה שלהם ואם לא יסתגלו לתנאי הסביבה החדשים הם יעלמו.

השפעות על פנולוגיה

ניתוח של נתונים שנאספו לאורך תקופה ארוכה עשוי להראות שינויים בפנולוגיה (תיזמון של תהליכים שונים כמו נדידה, נביטה או הבשלה) של אורגניזמים שונים לאורך התקופה. באזורים ים-תיכוניים נמצא ששינויים אלה היו במתאם לשינויים באקלים, בעיקר לעליית הטמפרטורות (Gordo & Sanz, 2005). השינויים הפנולוגיים מפרים את הסינכרוניזציה הקיימת בין תופעות שונות (למשל הופעת ציפורים בו-זמנית עם חרקים אותם הם אוכלות) ולכן עשויות להיות להם השפעות משמעותיות על תפקוד המערכת. שינויים בפנולוגיה נצפו בארץ בעיקר בהקשר של נדידת צפורים. (Sapir et al., 2011) הראו שטמפרטורות האוויר והלחץ הברומטרי עשויים להשפיע על מועד היציאה צפונה באביב של שרקרקים (*Merops apiaster*) החורפים בישראל, ולפיכך עליית הטמפרטורות עשויה להקדים את מועד הנדידה. ניתוח של נתונים שנאספו בין השנים 1984-2005 הראה הקדמה של הופעת ציפורי שיר נודדות בישראל בסתיו, ככל שהקיץ היה חם יותר. בנוסף, התרחשה הקדמה של מועד המעבר של ציפורי שיר מעל ישראל באביב (Oestereich, 2007). גם תחילת הנדידה באביב של המין עיט ערבובת (*Aquila nipalensis*) הוקדמה בין השנים 1977 ל-2008, בהתאמה לטמפרטורות באתרי החריפה ובמסלול הנדידה, וכן פחת מספר הפרטים הנודדים ומספר הצעירים (Zduniak et al., 2010). עם זאת, למרות ששינויים אלה היו במתאם לעלייה בטמפרטורה, ייתכן כי שינויי האקלים אינם הגורם היחיד לתופעה זו אלא סיבות נוספות, כגון שינוי בשימושי קרקע, המשפיעים על זמינות המזון. קשה להעריך את החלק היחסי של כל גורם בהשפעה על השינוי בתזמון הנדידה. לעומת המחקרים על העופות הנודדים, מחקר על פנולוגיה של צמחים לא מצא עדויות לשינויים במועדי הפריחה: במעקב של 12 שנה אחר מועדי הפריחה של 15 מיני צמחים ים-תיכוניים נראה כי עבור 12 מהם תחילת עונת הפריחה וסיומה היו במועדים קבועים, בלא קשר לשינויים שחלו בטמפרטורה הממוצעת באזור. שלושת המינים האחרים הראו שינויים במועדי הפריחה, אך אלה היו בלא קשר ברור לשינויי הטמפרטורה (ויזל ואפשטיין, 2009).

מינים פולשים

עלייה בטמפרטורות תאפשר כניסה של מינים פולשים, בעיקר מינים שמקורם באזורים חמים יותר שהטמפרטורות הנוכחיות נמוכות מדי עבורם (Gasso et al., 2009). בחינה של הרכב מיני העופות בישראל במהלך השנים 1960-2002 הראתה שמבין 11 מינים חדשים של עופות אשר נתגלו בישראל

במהלך תקופה זו, רק שניים הם ממוצא צפוני (פלאוארקטי או הולוארקטי) והשאר בעלי תפוצה טרופית. בנוסף נמצא שההסתברות להרחיב את תחום התפוצה הייתה גבוהה במובהק בעופות ממוצא טרופי לעומת מינים ממוצא צפוני. חלק ממינים אלו הפכו פולשים ובכך עשויים לסכן את המגוון הביולוגי המקומי (Hatzofe & Yom-Tov, 2002). החוקרים מצביעים על האפשרות שהשינוי האקלימי תרם חלקית לכך שהמינים ממוצא טרופי נטו יותר להרחיב ולבסס את תפוצתם, אך גם מדגישים את החשיבות הרבה של פקטורים נוספים, כגון שינוי בתי גידול ושינוי שיטות חקלאיות. מחקר אחר בחן את 184 מיני הציפורים שדגרו באופן סדיר בישראל בין השנים 1863 ל-1993. במהלך התקופה, 72 מינים מתוכם נכחדו או שנמצאים בסכנת הכחדה. המינים שנכחדו היו באופן מובהק יותר פריפריאליים (שישראל נמצאת בשולי תפוצתם הגיאוגרפית העולמית) מהמינים שלא נמצאים בסכנת הכחדה. 113 המינים שלא נמצאים בסכנת הכחדה היו פחות פריפריאליים (היו במרכז שולי התפוצה שלהם) מהמינים האחרים. אחת המסקנות ממחקר זה היא ששינויים אקלימיים יבואו לדחיקה צפונה של טווח התפוצה של מינים, ובכך יגבירו את סכנת ההכחדה של מינים שישראל היא גבול התפוצה הדרומי שלהם (Nathan et al., 1996).

השפעת שינוי אקלים על עמידות חברת הצומח לכניסה של מינים פולשים נחקרה ע"י (Har-Edom & Sternberg, 2010). הם מצאו שהתבססות המין הפולש קייצת קנדית (*Conyza canadensis*) מוגבלת ע"י מנגנונים שונים לאורך גרדיינט המשקעים: באזורים יובשניים היא מוגבלת ע"י המחסור במים ואילו באזורים גשומים ע"י תחרות עם מינים מקומיים. לכן ירידה בכמות המשקעים לא צפויה להגדיל את פגיעות החברות לפלישה של מין זה, משום שהגבלת המים מהווה גורם מגביל להתבססותו. עם זאת, סביר שמינים אחרים, בעלי רגישות פחותה למגבלת מים, יושפעו בצורה שונה מהקייצת הקנדית משינוי בכמות המשקעים.

השפעות על מזיקים, גורמי מחלות ואלרגנים

שינוי אקלימי עשוי לתרום להתפשטות טווח התפוצה של פרוקי-רגליים טרופיים ובכך לסייע בהפצת מחלות המועברות באמצעותם. למשל, עליית הטמפרטורות באירופה עשויה לסייע בהרחבת טווח התפוצה של קרציות המאכלסות כיום אזורים ים-תיכוניים בלבד (Beugnet et al., 2011). עם זאת, התפרצויות של מחלות המועברות באמצעות פרוקי-רגליים הוא תהליך מורכב המונע ע"י מגוון רחב של גורמים אפשריים ושינוי אקלים הוא לאו דווקא המשמעותי שבהם (MacLachlan & Guthrie, 2010). טמפרטורות גבוהות מאפשרות ליתושים המעבירים מחלות כגון קדחת הנילוס המערבי להרחיב את תחום תפוצתם ואת קצב העקיצות שלהם (Paz, 2006), וכן יכולות לגרום לגידול באוכלוסיות החיידק גורם המחלות *Vibrio vulnificus* (Paz et al., 2007). עליית הטמפרטורות עשויה להרחיב את תחום התפוצה של שושנת יריחו (*Cutaneous leishmaniasis*), שכן היא יוצרת תנאים נוחים עבור הטפיל המעביר אותה (Levetin, 2001; Singer et al., 2008). עלייה בריכוז ה- CO_2 באטמוספירה ו/או בטמפרטורות עשויות לגרום לעליה בריכוז האבקנים באוויר (Ziska & Caulfield, 2000; Levetin, 2001) ואף לעלייה באלרגניות של האבקנים (Ahlholm et al., 1998). כפי שהוזכר למעלה, שינויים אקלימיים עשויים לשנות את מועדי הפריחה ואת משך זמן הפריחה ובכך להשפיע על פיזור האבקנים. באירופה נראית הקדמה של תחילת ושיא הפריחה במינים הפורחים בתחילת העונה, והתארכות של עונת הפריחה אצל מינים הפורחים מאוחר יותר במשך העונה (Huynen & Menne, 2003). עם זאת, בישראל לא נראו שינויים במועדי הפריחה של 15 מיני צמחים ים-תיכוניים (ויזל ואפשטיין, 2009). השפעה אפשרית אחרת של שינוי האקלים היא תנאים נוחים להתבססות של מינים אלרגניים חדשים שנכנסו לישראל (למשל, מינים חדשים של הסוג אמברוסיה (Waisel et al., 2008)).

השפעות על עושר המינים והרכב החברות

רוזנפלד וחוב' (2007) הראו שמשתני אקלים (טמפרטורה, משקעים ולחות) הסבירו אחוז נמוך יחסית מהשונות בעושר המינים של צומח מעוצה ופרפרים ב-20 אתרים בישראל (בין 23 ל-50% ברוב המקרים). זה מצביע על כך שהקשר בין משתני האקלים ועושר המינים אינו לינארי ושיש גורמים נוספים המשפיעים על עושר המינים של קבוצות אלה. לפי המודל שהם פיתחו, ירידה של 8% בכמות המשקעים בכל הארץ תביא לירידה ממוצעת של עד 2% בעושר מיני צומח מעוצה וירידה ממוצעת של עד 5% בעושר מיני הפרפרים לקמ"ר. לפי מחקר זה, עושר המינים של צמחים מעוצים ופרפרים הוא בעל רגישות נמוכה לשינויי אקלים בתחום השינויים שנבדק. התחזיות האלה דומות לתחזיות של (Kutiel et al., 2000) שהעריכו שירידה של 1% בכמויות המשקעים תוביל לירידה של כ-0.5% בעושר המינים של צומח מעוצה בבתי גידול ים תיכוניים וספר-מדבריים. במודל אחר שבדקו רוזנפלד וחוב', בו הירידה בכמות המשקעים בכל אזור חושבה לפי הבדלים בנתוני המשקעים באותו אזור בין השנים 1960-90 והשנים 1970-2000, השינוי בעושר המינים ברמה המקומית צפוי להיות גדול יותר.

בניסוי שהחל ב-2001 בוחנים שטרנברג וחוקרים נוספים תגובות פלסטיות ואדפטציות של צמחים לשינויים באקלים באמצעות מחקר לאורך גרדיינט המשקעים בישראל וניסויי הוספת והפחתת מים בחלק מאתרי המחקר. תוצאות בניינים של המחקר הראו דגם פעמון בביזמסה ומגוון מינים עם העלייה לאורך גרדיינט משקעים ועליה בצפיפות הנבטים. עם זאת, לא נראו השפעות עקביות של ירידה או עלייה של 20-30% בכמויות המשקעים על הביזמסה, צפיפות, מגוון או עושר המינים. החוקרים משערים כי לצמחים חד שנתיים יש בנק זרעים גדול, שמפחית את השפעת השינוי במשקעים, ומקנה להם עמידות לשינויים אקלימיים קצרי-טווח. עם זאת, העמידות הנצפית בטווח הקצר של חברות הצומח לא מעידה בהכרח על עמידות כזו לטווח הארוך ויש צורך בניסויים לטווח זמן ארוך יותר כדי לעמוד על מלוא ההשפעות של שינוי עתידי בתנאי האקלים על חברת הצומח (Sternberg et al., 2009).

שינויי האקלים צפויים להשפיע בצורה שונה על דמוגרפיה, פנולוגיה, ופיסילוגיה של מינים שונים ולכן צפויים להשפיע על אינטראקציות בין-מיניות. לפיכך קשה לחזות את השפעת שינויי האקלים על הרכב חברות בע"ח וצומח (Lavergne et al., 2009).

שינויי אקלים ומגוון גנטי

מספר מחקרים ניצלו את הגרדיינט האקלימי לחקור מגוון גנטי של מינים בעלי חשיבות לחקלאות ולבדוק הבדלים בגנוטיפ בין אוכלוסיות מבתי גידול בתנאים סביבתיים שונים. שני מינים של דגניים חד-שנתיים (שבולת שועל נפוצה *Avena sterilis* ושעורת התבור *Hordeum spontaneum*) הראו ירידה בגודל הזרעים ופריחה מוקדמת יותר באוכלוסיות שגדלו באתרים יובשניים יותר לאורך גרדיינט המשקעים (Volis, 2007). ניתוח השונות הגנטית של ש. התבור מ-51 אתרים לאורך ישראל הראה שגובה האתר, טמפרטורה ומשקעים הם הגורמים הסביבתיים החשובים בקביעת ההרכב הגנטי של מין זה (Hueber et al., 2009). בדומה לדגניים אלה, גם המין *Chiמצה שועל* (*Cicer judaicum*) (Boiss.) יוצר אקוטיפים מובחנים לאורך גרדיינט עקה. (Ben-David et al., 2010) הישוו תכונות פנולוגיות ומאפייני גידול של חימצה מ-12 אוכלוסיות משלושה אזורים שונים בישראל שגודלו בתנאים שווים והראו שאוכלוסיות ממקור יובשני יותר נבטו ופרחו מוקדם יותר, כנראה כהתאמה לעונה הקצרה הנוחה לגידול בבתי גידול אלה, והגבעול היה קצר יותר, כנראה בגלל הפריחה המוקדמת. זיהוי הגנוטיפים המותאמים לתנאים ספציפיים (למשל, לתנאי יובש) יכול לשמש לטיפוח זנים עמידים תחת שינויי אקלים, למשל בתקופות בצורת ממושכות. הידיעה מהם הגנים מעורבים בתגובות למשתני הסביבה האלה השונים יכולה לסייע בחיזוי השפעות ארוכות טווח של שינויי אקלים על אדפטציה של מיני תרבות.

הוצע כי אוכלוסיות של מינים ים תיכוניים המצויות באזור המעבר מאקלים ים תיכוני לאקלים המדברי, תהיינה עמידות יותר לשינויי האקלים, מאחר שהן חשופות לרמה גבוהה של שונות אקלימית בזמן ובמרחב, ולכן מותאמות יותר לשינויים סביבתיים (Safriel et al., 1994). כראיה אפשר לראות את המגוון הגנטי הגבוה של חוגלות באזורים אלה (Kark et al., 2002; Kark et al., 2008). לפיכך, אוכלוסיות מאזורי המעבר יוכלו לשמש לשיקום אוכלוסיות הגלעין של אותם מינים באזור הים תיכוני של ישראל שהן עמידות פחות לתנאי עקה.

השפעות על מערכות יער נטע אדם

בסוף שנות ה-90, לאחר מספר שנים רצופות של בצורת, נראתה תמותה רחבה של עצי אורנים ביערות נטועים (איציק משה, תקשורת בע"פ). בדומה לכך, גם בשנים האחרונות נראית תמותה של מאות אורנים ביערות בדרום הארץ (יגיל אוסם, תקשורת בע"פ). לפיכך, שמירה על שטחים מיוערים בישראל תחת שינוי אקלימי דורשת בחינה של שיטות הייעור והמינים המשמשים לנטיעות. כדי למצוא אקוטיפים עמידים. (Atzmon et al., 2004) השוו מדדים אקופיסיולוגיים (גובה, היקף, שיעור הישרדות) של אורן ירושלים (*Pinus halepensis* Mill) מחמישה מקורות מאגן הים התיכון, באמצעות נטיעתם בשני בתי גידול שונים, יובשניים-למחצה וים-תיכוניים. התוצאות הראו הבדלים גדולים בתפקוד העצים מהמקורות השונים, והתפקוד השתנה בין בתי הגידול. החוקרים הצביעו על השונות התוך-מינית הגדולה ועל הצורך לבצע את הסלקציה לבחירת מינים עמידים בתנאים דומים ככל האפשר לתנאים בבית הגידול בו מעוניינים לגדל אותם. אנליזה גנטית לעצים שגדלו באזור היובשני הראתה שונות גנטית גבוהה מזו של אוכלוסית המקור ממנה נלקחו הזרעים לניסוי. הגידול בשונות הגנטית קשור בלחץ סלקציה להעדפת גנום הטרוזיגוטי ודחיקה של הומוזיגוטים ובעמידות לתנאים קיצוניים (Schiller et al., 2004). מכיוון שתנאי הסביבה הקשים יצרו אוכלוסיה עמידה ליובש, אוכלוסייה זו יכולה לשמש מקור לשיתלים שישמשו לשיקום יערות אורנים תחת שינוי אקלימי (Schiller & Atzmon, 2009). נטיעת גנוטיפים עמידים ליובש הוא אמצעי חשוב בניהול ממשק יער תחת תנאי אקלים יובשניים יותר. בהשוואת 24 אוכלוסיות שונות של אורן קנרי (*Pinus canariensis*) מישראל ומהאיים הקנריים, מצאו (Lopez et al., 2007) שרידות גבוהה יותר של נבטים ממקורות יובשניים. הגנוטיפים שמקורם בישראל היו בעלי שרידות גבוהה יותר וגדלו טוב יותר מהגנוטיפים מהאיים הקנריים, ולכן הם מתאימים יותר לנטיעה בארץ.

מחקרים ביער אורנים ביתר (ממוצע 280 מ"מ גשם בשנה) הראו התאמות של יער זה לתנאים היובשניים, באמצעות רגישות מופחתת של נשימת הקרקע לטמפרטורות בעונה החמה וקצבי נשימה איטיים בקיץ של העלווה (בגלל האטה בפוטוסינתזה) ושל הגזע. השיא של הפוטוסינתזה וגדילת הגזע הוא בחורף, שיא גדילת העלים החדשים הוא בקיץ ושיא פעילות הנשימה הוא במרץ, לעומת יולי ביערות מחטניים באזורים ממוזגים (Maseyk, Grunzweig et al. 2008; Gruenzweig,). יעילות ניצול הפחמן השנתית והיצרנות הראשונית ביער יתיר הן גבוהות ותורמות ליצרנות גבוהה באקוסיסטמה, הדומה ליצרנות באתרים לחים יותר. התאמת היער לתנאים יובשניים מרמזת על אפשרות לקיים יערות מחטניים באזורים ים-תיכוניים בישראל שהאקלים בהם עשוי להיעשות יובשני יותר. עם זאת, מאחר ולא נראתה ביער התחדשות זרעיים טבעית, כנראה שהוא לא יוכל להתקיים ללא התערבות האדם.

יער נופי-אקולוגי רב-תכליתי, האמור לספק שירותים אקולוגיים מגוונים, מורכב משילוב של עצים מחטניים ורחבי עלים (אוסם וחוב', 2011). כדי לשפר את עמידות האלון מצוי (*Quercus calliprinos*) לתנאי יובש ולהתאימו לייעור, הציעו (Schiller et al., 2010) לדלל את הגזעים כדי לשפר את המאזן בין המים הזמינים בקרקע לאופוטונספירציה, או להכניס ליער רעיה חזקה שתפחית את שטח העלים.

4.2.2. השפעות שינויי אקלים על בתי גידול לחים

מערכות מים מתוקים נתונות ללחצים רבים, בגלל חשיבותן לשימושי האדם. ברחבי העולם חלה ירידה מתמשכת בגודלם ובמצבם של בתי גידול אלה (Robson *et al.*, 2011). שינוי אקלים יחמיר את הדרדור במצב המערכות, בגלל שעליית הטמפרטורות צפויה להגביר את קצב ההתאדות ובכך לתרום לירידת מפלס המים והקטנת שטחן של מערכות המים המתוקים ושל בתי הגידול הלחים. בנוסף, הפחתת זמינות המים תביא להקטנת הקצאת המים לטבע ולפגיעה נוספת בבתי הגידול הלחים. בנחלי איתן ואכזב צפויה עליה בסחף על הגדות, כתוצאה מעלייה בתדירות ובעוצמה של סופות גשם עזות ושל הצפות. בנוסף, עליית המפלס של פני הים תמליח את שפכי נחלי האיתן הנשפכים לים התיכון (ספריאל, 2010).

בצורות ושאיבת יתר הן האיומים העיקריים על מיני דגי מים מתוקים אנדמיים באזור הים-התיכון (Hermoso & Clavero, 2011) ועליית טמפרטורת המים כתוצאה מהתחממות האטמוספירה עשויה לפגוע קשות באוכלוסיות של דגים מסוימים (Moran *et al.*, 2010). עם זאת, למרות שהעליה הצפויה בטמפרטורות והפחתת הזרימה אל הכינרת משפיעים על המערכת האקולוגית, השפעתם נמוכה ביחס להשפעת שאיבת היתר שמביאה לירידת מפלס הכנרת (Rimmer *et al.*, 2011).

מחקרים הראו השפעה של הפחתה בכמות המשקעים השנתית וטמפרטורות על הרכב חברת הצומח על צמחי מים באקלים ים-תיכוני (Rhazi *et al.*, 2009; Chessman & Royal, 2010). בנחלים באזור ים-תיכוני בישראל, חברת האצות מורכבת ממינים בעלי התאמה לריכוזים נמוכים של מלח ולחומציות נמוכה. ייתכן שתחת תנאי אקלים יובשניים יותר באזור הים-תיכוני, תהיה סלקציה למינים עמידים למלח והאינטראקציות בין המינים יביאו לדחיקה תחרותית של המינים שאינם עמידים למלח ולחומציות גבוהה, ולסכנת הכחדה שלהם (Barinova *et al.*, 2010). למרות שלאוכלוסיות המתקיימות באגן הים התיכון יש פולימורפיזם או פלסטיות פנוטיפית גבוהים יותר, תכונה המאפשרת להתמודד עם שינוי אקלים (Bonada *et al.*, 2007), החמרת היובש בקיץ יגביר את אבדן המינים. למשל, למרות שתדרמת הביצים של סרטניים מאפשרת התמודדות עם תקופות של תנאים קשים, האוכלוסיות לא מסוגלות להתגבר על המשכיות של תנאי יובש מעל 4-10 שנים. הגברת היובש הצפויה באזור עשויה להביא לאבדן של מינים מאוחרים בסוקצסיה והמלחה עשויה להכחיד מיני מים מתוקים רגישים (Waterkeyn *et al.*, 2011). בנוסף, נחלי האיתן יהפכו לנחלים עונתיים וסביר שחסרי חוליות גדולים ייעלמו מהם או יעברו למעיינות קבועים בגלל השפעות ישירות או עקיפות (למשל, הגדלת יחס המזהמים במים) של הפחתה בכמות המים. חסרי חוליות קטנים בעלי יכולת הפצה והתבססות יהגרו לאזורים ממוזגים יותר. תופעה זו כבר נראית בספרד, שם הפחתת הנגר בנחלים הביאה להיעלמות של בעלי חיים מקבוצות שונות (Otero *et al.*, 2011). מלבד הפגיעה הישירה במינים מקומיים, שינויים כגון הארכת תקופות היובש עשויים לעודד אוכלוסיות של מינים פולשים ובכך להגדיל את התחרות ולפגוע במגוון המקומי בעקיפין (Beche *et al.*, 2009).

אחד מבתי הגידול הרגישים ביותר לשינויי אקלים הוא ברכות עונתיות. בריכות עונתיות הן מקור מים חשוב בעיקר באזורים מדבריים בהם מקורות המים מוגבלים (Razgour *et al.*, 2010). הפחתת כמויות המשקעים תביא לקיצור משך הזמן בו יתקיימו ברכות עונתיות ואולי אף לא יאפשרו את קיומן, בגלל ירידת מפלס מי התהום והפחתת כניסת המים מגשם ונגר (Zacharias & Zamparas, 2010). מערכות המים המתוקים בישראל נפגעו לאורך השנים מזיהומים, מניצול המים לחקלאות ולצרכים אחרים ומלחצי פיתוח (Maruani & Amit-Cohen, 2009) ושינוי אקלים עתידי צפוי להחמיר את האיומים על מערכות אלה (Palmer *et al.*, 2009). ייתכן שהגברת השימוש במים מותפלים לצרכי האדם תאפשר הגדלה של הקצאת המים לטבע ובכך תפחית את הלחץ על בתי הגידול הלחים (אדם טבע ודין, 2008).

4.2.3. השפעות במערכות אקולוגיות ימיות

במהלך 40 השנים האחרונות מתרחשת התחממות של מי הים התיכון, תופעה המקלה על כניסה של מינים מהים האדום דרך תעלת סואץ ומסייעת להתפשטות מהירה שלהם צפונה ומערבה, וכן מקלה על התבססות מינים מהחוף האטלנטי של אפריקה הנכנסים אל מערב אגן הים התיכון (Morri *et al.*, 2009). התחממות מי הים משפיעה בצורה דרמטית על הביטה בים התיכון, כולל אצות, עשבי ים, חסרי חוליות ודגים. היא מאפשרת את הרחבת תחום התפוצה של מינים תרמופיליים מקומיים וכן התבססות של יותר ויותר מינים זרים והרחבת תחום תפוצתם. בעקבות ההתחממות יש למינים זרים תרמופיליים יתרון מובהק על פני המינים המקומיים. דומיננטיות של מינים רבים ממוצא טרופי בולטת במיוחד באזורים הדרומיים של הים התיכון, שם מינים ממוצא טרופי מהווים כעת חלק משמעותי מהביטה (למשל, Dulcic *et al.*, 2008).

התחממות מי ים עלולה להגדיל את תדירות ההופעה של מינים תרמופיליים מדרום הים התיכון בחלקים הצפוניים הקרים (Goren & Galil, 2005), ולהגדיל התישבות של מינים דרומיים אקזוטיים שם (Lasram & Mouillot, 2009). באופן כללי, התבססות של מינים פולשים טרופיים עלולה לגרום לחברות הים התיכון לאבד את האופי הייחודי שלהן (Bellan-Santini & Bellan, 2000) ולהפוך דומות לחברות טרופיות, במיוחד בחלקים הדרומיים של האגן (Fishelson, 2000). ייתכן שמינים ממוצא אטלנטי, שמזרח אגן הים התיכון הוא גבול התפוצה המזרחי שלהם, ייכחדו מאזור זה (רילוב וטרבס 2010). התחממות נוספת של האגן יכולה להיות קריטית עבור המינים ממוצא בוראו-אטלנטי אשר נכנסו לים התיכון בתקופות הקרח והתבססו באזורים הצפוניים והקרים של האגן. מכיוון שהם לא יכולים לנוע הלאה צפונה, האוכלוסיות שלהם עשויות להצטמצם באופן דרמטי (Quignard & Raibaut, 1993), או להיכחד מהאזור.

לאוקיינוסים יש תפקיד חשוב כמבבלע של חלק מהפחמן הדו-חמצני המצוי באטמוספירה. כתוצאה מעליית רמות ה- CO_2 באטמוספירה יורדת רמת ה-pH במי הים. הגדלת חומציות מי הים יכולה להיות איום על המגוון הביולוגי בים התיכון, בעיקר עקב פגיעה באורגניזמים אשר מייצרים שלד גירני (Orr *et al.*, 2005). זה משמעותי בעיקר לחברות הפלנקטון והחוף, משתי סיבות: 1. מכיוון שהשקעת שלד גירני של פיטופלנקטון ממלאת תפקיד חשוב בייצור הראשוני של הים התיכון שהוא דל בנוטריינטים ובעל יצרנות נמוכה; 2. מכיוון שקרומי פחמן המושקעים ע"י אורגניזמים הקבועים במקומם הם גורם חשוב בעיצוב בתי גידול חופיים. בחופי ישראל, שהמצע הסלעי העיקרי שלהם הינו כורכר, אשר מבוסס על גיר, עלולה החמצת האוקיינוסים לגרום לבליה מואצת של סלעי החוף ולקריסת טבלאות הגידוד הייחודיות לחופי הארץ (טבלאות שטוחות של כורכר בגובה פני הים באזור הכרית, האזור החשוף לגיאות ושפל). להחמצה יכולה גם להיות השפעה על הייצורים הגירניים בבית הגידול, ובמיוחד לחלזונות השילשולניים קבועי המקום, היוצרים צברים צפופים ושומרים בגופם הגירני הקשה על הטבלאות מפני בליה (Safriel, 1974; Tzur & Safriel, 1978). חלזונות אלו כבר נעלמים מחופינו בשנים האחרונות, מסיבות שעדיין אינן ידועות, ומשמעות היעלמותם יכולה להיות בלייה מהירה במיוחד של הסלע וקריסת הטבלאות בתוך כמה עשרות או מאות שנים, תלוי בקצב הבלייה הטבעי ובהשפעתו של תהליך החמצת האוקיינוסים (רילוב וטרבס 2010).

החמצת המים תפגע גם באצות אדומות גירניות, הבונות שוניות coralligenous, אחת המערכות האקולוגיות הים תיכוניות החשובות ביותר (Kuffner *et al.*, 2008). נוסף על כך, שינויים כימיים אלו באוקיינוס צפויים להחליש שלדי אלמוגים קיימים ולצמצם גדילה של שוניות (Hughes *et al.*, 2003). אפיזודות של התחממות בעונות הקיץ בשנים האחרונות היו קשורות בתמותה המונית של המין *Cladocora caespitosa*, מין הזואוקסנטלה של מים רדודים החשוב ביותר בים התיכון (למשל Rodolfo-Metalpa *et al.*, 2006). לפיכך, נראה כי הים התיכון לא יכיל בעתיד מבנים משמעותיים של אלמוגים.

צמחים פוטוסינתטיים, כגון אצות ועשבי ים עשויה להרוויח מזמינות גדולה יותר של CO₂. אבל זנים גדולים, זקופים של אצות חומיות, כמו גם עשבי ים ים-תיכוניים נמצאים כעת במגמת ירידה בשל הידרדרות הסביבה הנגרמת בעיקר על ידי פעילות האדם (Thibaut et al., 2005). אחת ההשפעות של העלייה בטמפרטורה באטמוספירה ובים היא עלייה במפלס פני הים, בעיקר בגלל המסת הקרחונים המכסים את היבשות והתפשטות של נפח המים (Cabanes et al., 2001; Meehl et al., 2005). מפלס הים יעלה במידה שונה במקומות שונים בעולם ורוב התחזיות מדברות על עלייה של עשרות סנטימטרים במאה הנוכחית. המערכות האקולוגיות שיושפעו ביותר משינויים אלו הן של הכרית והתת-כרית הרדוד. בחופים שבהם משרעת הגאות והשפל היא מינימלית, השפעתה של עליית המפלס, ואפילו קטנה, צפויה להיות משמעותית ביותר. בחוף הישראלי של הים התיכון משרעת הגאות והשפל היא 20-30 ס"מ בממוצע, והמקסימום הוא כ-40 ס"מ. משנת 1992 ועד 2008 עלה המפלס ב-8.5 ס"מ, כלומר כשליש מן המשרעת הממוצע (Rosen, 2008). מעבר לבעיות שעלייה נוספת במפלס יכולה ליצור עבור האדם לאורך החוף (הצפות, בליה וקריסה של צוקים ועוד), המשמעות לבית הגידול הייחודי של טבלאות הגידוד, עלולה להיות חמורה. בגלל החשיפה לסירוגין לאוויר (בזמן השפל) ולמי הים (בזמן הגאות או פעילות גלים) מתקיים בטבלאות הגידוד מגוון מינים ייחודי שאינו קיים על משטחים סלעיים במפלסים שמעליהן או מתחתיהן. עלייה של עשרה ס"מ ויותר עלולה לגרום לצניחה של מגוון המינים לאורך החוף, מכיוון שלטבלאות נרחבות אלו אין תחליף דומה במפלסים גבוהים יותר, כלומר, לא קיימים משטחים סלעיים גבוהים שיכולים להוות חלופה לטבלאות הגידוד, ואלה גם לא ייווצרו בעתיד אם החלזונות בנוי טבלאות הגידוד אכן נכחדים באזורנו (רילוב וטרבס, 2010).

ההשפעות המובהקות ביותר של השינוי האקלימי במפרץ אילת מתבטאות בתופעה של "הלבנת אלמוגים" הנגרמת על ידי אובדן האצות הסימביוטיות שברקמות האלמוגים עקב רגישותן לטמפרטורות גבוהות, ובעקבות כך גם תמותת האלמוגים המאכסנים אותן. תופעה זו, שבעקבותיה עלול להיגרם נזק משמעותי לכלל המגוון הביולוגי של מערכת שוניות האלמוגים, הופיעה בעשורים האחרונים של המאה ה-20 במספר רב של שוניות אלמוגים ברחבי האזורים הטרופיים (Loya et al., 2004). בנוסף, עליית חומציות הים פוגעת בהשקעת השלד הגירני של האלמוגים ואפילו גורמת להמסה של שלדי אלמוגים ולכן עלולה להיות קריטית עבור שוניות האלמוגים. מודלים צופים כי עם הכפלת ריכוז ה-CO₂ באטמוספירה, יפסיקו שוניות האלמוגים לגדול ואף יתחילו להתמוסס (Silverman et al., 2009).

לסיכום, אפשר לומר בוודאות כי שינוי האקלים הגלובלי כבר שינה את האקולוגיה של הים התיכון, והוא משנה בקצב גובר והולך מגוון רחב של מערכות אקולוגיות. שינויים נוספים עוד צפויים כתוצאה מהשילוב של העלייה בטמפרטורה, במפלס פני הים ובחמיצות המים, נוסף על שינוי הזרמים, תדירותן ועוצמתן של סערות ועוד. ההבנה לגבי מלוא המשמעות של שינויים אלו עדיין בראשיתה, ונדרש עוד מחקר רב בתחום (רילוב וטרבס, 2010).

4.2.4. השפעות על שירותי המערכת

יצרנות ראשונית היא אחד משירותי המערכת שהשפעת שינוי אקלימי, בעיקר שינוי במשטר הגשמים עליהם, נחקרה הרבה יחסית בישראל. מלבד היותו בסיס לכל המערכת האקולוגית, ייצור ראשוני של ביומסה משמש גם כשרות אספקה, שכן הוא מספק חומר צמחי למאכל בעלי חיים במרעה. תפקוד זה חשוב במיוחד באזורנו, בו יש מסורת של רעיית חיות משק. סבוראי ושפרן-נתן (2006) כימתו את השפעת השינויים הצפויים במשקעים ובטמפרטורה על תכונות בתי גידול ועל היצרנות הראשונית של צמחיה חד-שנתית בשני אתרים בגבולות האזור הצחיח-למחצה בישראל, להבים (300 מ"מ גשם בממוצע) וכורזים (550 מ"מ). המודל נבדק על פי חמישה תסריטים אפשריים של שינויים בכמות ובפיזור המשקעים, באידי ובטמפרטורה. התוצאות הראו שבשני האתרים לא צפויה ירידה משמעותית בייצור הראשוני בעקבות ירידה של 5-35% בכמות המשקעים הממוצעת. הפחתה של

אחד משירותי המערכת החשובים הוא מיחזור חומרים- פירוק חומר אורגני לתרכובות הזמינות לאורגניזמים אחרים. (Dirks et al., 2010) חקרו את קצב הפירוק של חומר אורגני יבש במהלך הקיץ והראו שאדי מים, יחד עם הקרינה ואיכות החומר האורגני משפיעים על פירוק הנשר ועל השינויים בהרכבו. קליטת אדי המים הינה משמעותית משום שהיא מאפשרת פעילות מיקרוביאלית, ולכן תחת שינויי אקלים צפויים, בתנאים יבשים וחמים יותר, אדי מים יהיו גורם חשוב המשפיע על פירוק החומר האורגני.

מאגרי הפחמן במערכות יבשתיות נקבעים במידה רבה ע"י נשימת הקרקע. ירידה בכמות המשקעים עשויה להפחית את נשימת הקרקע ואת כמות הפחמן האורגני בקרקע, כפי שהראו (Talmon et al., 2011) באמצעות מחקר לאורך הגרדיינט האקלימי בישראל וטיפולים של הוספת וגריעת משקעים. שינוי נופי שייגרם בעקבות שינויי אקלים עשוי לשנות את רמת "שירותי התרבות" של המערכת. (Fleischer & Sternberg, 2006) הראו שהתועלת משירותי התרבות שמספקים השטחים הפתוחים (נופש בחיק הטבע) גבוהה מהתועלת שניתן להפיק משירותי מרעה באותם שטחים. הם הצביעו על כך ששינויי אקלים עשוי להוריד את ערכו של הנוף ובכך להשפיע על סוג זה של שירותי מערכת. גם (Tielboerger et al., 2010) הדגישו את חשיבותם של שירותי תרבות ונופש, המעלים את הערך של השטחים הפתוחים. מכיוון שמערכות שטחים פתוחים יהיו עמידות יותר לשינויי אקלים משטחי חקלאות (זאת אומרת, ימשיכו לתת שירותים גם תחת תצרוכת מים נמוכה יותר), התועלות של מים במערכות אלה יישמרו תחת שינויי אקלים ואף יעלו על אלה שבמערכות חקלאיות. לפיכך התועלת שתופק משטחים אלה תגדל בהשוואה למערכות חקלאיות.

4.2.5 סיכום

הסקירה שערכנו העלתה מספר קטן יחסית של מחקרים העוסקים בהשפעות שינויי אקלים על המגוון הביולוגי ושירותי המערכת בישראל.

מספר המחקרים שנעשו בנושא זה במערכות מים מתוקים הוא נמוך במיוחד, כנראה משום שבמערכות אלה האיום העיקרי הוא לחץ פעילות האדם. במערכות ימיות, הסקירה מדגישה השפעה חזקה של מינים פולשים בים התיכון, תופעה שככל הנראה צוברת תאוצה עם התחממות המים וכן הרס טבלאות הגידוד החופיות. האיום העיקרי למערכת במפרץ אילת הוא הלבנת האלמוגים המהווים את הבסיס למערכת האקולוגית של השונית. גם במערכות אקולוגיות ימיות נעשו בישראל מעט מחקרים בהקשר של השפעות שינויי אקלים ורוב המחקרים שצוטטו נערכו במקומות אחרים באגן הים התיכון. במערכות יבשתיות השפעות על עושר ומגוון מיני בע"ח וצמחים אינן חד-משמעיות ומשתנות לפי הקבוצה הנחקרת. המסקנה הבולטת בהקשר של שירותי המערכת היא השפעה קטנה של שינויי אקלימי על היצרנות הראשונית.

ההיקף המצומצם של המחקר בתחום זה בישראל בהשוואה למקומות אחרים בעולם, מעלה את הצורך בהשלמת פערי הידע בנושאים שלא נחקרו או שהידע לגביהם לוקה בחסר. רבים מן המחקרים שסקרנו כאן חקרו השפעות של גרדיינט אקלימי על תופעות ביולוגיות או התבססו על נתונים שנאספו לאורך טווח רחב של שנים וקשרו תופעות ביולוגיות לנתוני אקלים מאותן שנים. כמעט ולא נעשו מחקרים ייעודיים שהוקמו על מנת לענות על שאולות הקשורות להשפעת שינויי אקלים על המגוון הביולוגי בישראל. קיים קושי אמיתי להעריך את ההשפעות של שינויי אקלים על מערכות אקולוגיות לאור המחסור בידע המבוסס על מחקר אמפירי.

5. השפעת שינויי האקלים על תחום הבניה הירוקה

5.1 מבוא

ההתחממות הגלובלית מוכרת כיום בעולם כאחת הבעיות הגדולות ביותר שעל האנושות להתמודד איתן. כיום מתייחסים אל ההתחממות הגלובלית כאל עובדה מדעית, וצופים שההתחממות תמשיך להתרחש בקצב שתלוי בעיקר בקצב הפליטות של גזי חממה ממקור אנושי [1]. לעומת זאת קיימות דעות הגורסות שאין היום שום טביעת אצבע המעידה על כך שפליטת הפחמן הדו-חמצני היא זו הגורמת לעלייה בטמפרטורה [2].

הקצב המדויק של ההתחממות ושל הסכנות הנובעות ממנה הם עדיין בחזית המחקר, כאשר קיימים תרחישים שונים לגבי היקף התופעה ותוצאותיה הצפויות. ההתמודדות בעולם עם שינויי האקלים ועם הסיכונים הנובעים מהם מתבטאת בשני אמצעים: הפחתה והתאמה. לפי דו"ח ה-IPCC [4], הפחתה משמעותה צמצום ההשפעה האנושית על שינויי האקלים ע"י אסטרטגיות הכוללות הפחתת פליטות גזי החממה מחד, והגדלת המאגרים לתפיסת פחמן מנגד. התאמה משמעותה התאמה של המערכות האנושיות והטבעיות בתגובה לשינויי אקלים ממשיים או צפויים ולהשפעותיהם, אשר גורמת למיתון הנזק או הפקת תועלת מהזדמנויות [4]. הפחתה היא למעשה מניעה של הבלתי-ניתן-לניהול, וההתאמה היא ניהול של הבלתי-נמנע [5].

האסטרטגיות של הפחתה והתאמה קשורות זו לזו, הן מגבירות את ההשפעה על צמצום הסיכונים האחת של השנייה, ולכן רצוי שלא להתייחס לכל אחת מהן בנפרד. ככל שהצלחת הפחתה תגדל, כך יקטן הצורך בהתאמה, ולכן יש להימנע מכך שפעולות ההתאמה יחלישו את המאמצים להפחתה שנועדו לייצב את רמת הפליטות, וכן יש להיזהר מפעולות הפחתה העלולות להוות פשרה מבחינת התאמה [5, 6]. פרק 18 בדו"ח ה-IPCC מפרט את הקשר והסינרגיה של שתי האסטרטגיות [4].

לשינויי האקלים ולתחום הבניה הירוקה יש השפעה הדדית, ולכן תחום הבניה הירוקה יבחן בהתאם לאסטרטגיות שהוצגו לעיל: הפחתה של ההשפעה של תחום הבניה על הגברת שינויי האקלים מחד, והתאמה של תחום הבניה לשינויי האקלים הצפויים לפי תרחישים שונים מאידך. בעבודה זו, ההתייחסות להפחתה ולהתאמה בתחום הבניה נעשתה בשני קני מידה: האחד ברמה של תכנון מבנים, והשני ברמה של עיצוב עירוני (ראה איור 5.1)



איור 5.1: אופן ההתייחסות להפחתה והתאמה בתחום בניה ירוקה

5.2 הפחתה - MITIGATION

המושג הפחתה בהקשר של תחום הבניה הירוקה מכונן בעיקר להפחתת צריכת האנרגיה ופליטות גזי חממה על מנת למזער את זיהום האוויר וההתחממות הגלובלית. מעבר לחשיבותה בהקשר של שינויי האקלים, להפחתת הצריכה והפליטות יש יתרונות נוספים לחברה ולכלכלה, ובמדינת ישראל גם יתרונות אסטרטגיים [1,3,7].

ההפחתה בתחום הבניה היא בעלת חשיבות רבה - סקטור המבנים אחראי על כ-40% מצריכת האנרגיה העולמית וכשליש מפליטות גזי החממה. סקטור זה הוא גם בעל הפוטנציאל הגדול ביותר להפחתות משמעותיות וכדאיות בצריכה ובפליטות. כמו כן, זמן החיים של מבנים הוא ארוך יחסית ולכן פעולות שנעשות כיום הן בעלות השפעה על כמות הפליטות לטווח הזמן הבינוני [8].

5.2.1 הפחתה - תכנון מבנים

האמצעים להשגת הפחתה של פליטות גזי חממה במבנים חולקו ל-3 קטגוריות: צמצום צריכת האנרגיה, מקורות אנרגיה חלופיים וצמצום פליטות אחרות ואנרגיה גלומה. צמצום צריכת האנרגיה הוא האמצעי המרכזי והחשוב ביותר בהפחתה והוא מתחלק לשתי תת-קטגוריות: התייעלות אנרגטית ע"י תכנון מודע לאקלים ולאנרגיה בשילוב של מערכות פסיביות בבניין (תכנון ביו-אקלימי) והתייעלות אנרגטית של המערכות האקטיביות של הבניין. לאחר פעולת צמצום הצריכה ע"י תכנון יעיל, ניתן להביא להפחתה נוספת ע"י שימוש במקורות אנרגיה חלופיים שעשויים לספק את האנרגיה הנותרת שצורך הבניין, מאנרגיה המבוססת על דלקים פוסיליים לאנרגיות חלופיות ממקורות מתחדשים. הקטגוריה האחרונה אינה קשורה לצריכת האנרגיה הישירה של הבניין, אלא לצמצום פליטות נוספות הקשורות בעקיפין לתחום הבניה כמו פליטות מהתעשיות התומכות של ענף הבניה (אנרגיה גלומה) ופליטות של גזי חממה שאינם CO₂.

פרק 6 בדו"ח IPCC [3] בנושא הפחתה (קבוצת עבודה III) מוקדש לתחום המבנים, ובו מפורטים האמצעים השונים להפחתה במבני מסחר ומגורים. המסקנה החשובה היא שבשנים הקרובות ניתן להשיג הפחתה ניכרת של פליטות CO₂ מהקטנת צריכת האנרגיה במבנים ע"י שימוש בטכנולוגיות קיימות של התייעלות אנרגטית שיעילותן כבר מוכחת [3]. כמו כן קיים צורך ליישם שיטות לדירוג יעילות אנרגטית במבנים קיימים וחיוב עמידה בתקן בנייה ירוקה לבנייה חדשה [1].

בישראל, ת"י 5281 בנייה בת-קיימה (בנייה ירוקה) [9] אשר התעדכן לאחרונה, מהווה את המסגרת לבנייה הירוקה בארץ. מכלול הפרקים בתקן מציגים באופן מפורט הנחיות תכנון לבניה בת קיימה, כאשר הסעיפים והנספחים, רובם ככולם, מהווים אמצעים להפחתה התואמים את הקטגוריות שהוצגו. הנושא העיקרי בתקן מבחינת משקלו הוא סעיף האנרגיה המבוסס על ת"י 5282 דירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה [10].

פוטנציאל ההפחתה של פליטות גזי חממה בישראל בתחום המבנים הינו 10 MtCO₂e שהם 24% מהפליטות הצפויות במבנים ב-2030 בתרחיש עסקים כרגיל, כאשר הרוב המכריע של מנפי ההפחתה בתחום המבנים מאופיינים בעלות שלילית למשק [7]. אולם בישראל, כמו במדינות אחרות, יש חסמים משמעותיים המעכבים את מימוש הפוטנציאל הזה כמו: מחסור בתמריצים אשר יחפו על תקופות החזר ההשקעה, העדר זהות בין המשקיע למוטב, חוסר מודעות, הפיצול של ענף הבניה על פני תעשיות רבות וצרכנים רבים ועוד. על מנת להתגבר על החסמים האלו יש לייצר כלים של מדיניות (חוקים ותקנות, למבנים חדשים ולשיפוץ מבנים קיימים), הכשרה, תכנון אינטגרטיבי (IDP), והעלאת המודעות.

בהקשר זה, קיימות עבודות רבות העוסקות בחסמים המעכבים את ההפחתה ובהצעות למדיניות תומכת וצעדים נוספים אשר יאפשרו להתגבר עליהם [3,7,11].

בניתוח אמצעי ההפחתה, נדרשת התייחסות שונה לסקטורים השונים של המבנים: מבני מגורים, מסחר, ציבור וכו'. לכל סוג יש את המאפיינים הייחודיים מבחינת צריכת האנרגיה, אופן ושעות השימוש, פוטנציאל ההפחתה, הכדאיות הכלכלית, החסמים ודרכי הפעולה האפשריות מבחינת מדיניות תומכת. בניתוח הדרכים להפחתה באוסטרליה, נבדק מהן הטכנולוגיות שנמצאות על "הנתיב הקריטי" לתפקוד אנרגטי גבוה, כלומר מהם הצעדים שלהם תרומה משמעותית להפחתה בעלות כדאית. נמצא שהנתיב הקריטי למבני מגורים הוא צמצום צריכת אנרגיה ע"י תכנון (בידוד משופר, שיעור זיגוג מתאים וברמה גבוהה, הצללה ושימוש במסה תרמית), לעומת הנתיב הקריטי למבני מסחר שהוא שיפור היעילות האנרגטית של מערכות HVAC ותאורה [12].

5.2.1.1. צמצום צריכת האנרגיה

בארץ, התכנית הלאומית להתייעלות אנרגטית מציגה תמונה מפורטת של היקפי ההתייעלות האנרגטית הניתנים להשגה במגזרים השונים, תוך הצגת הכדאיות של הפעולות השונות והדרך להתגבר על החסמים [13].

5.2.1.1.1. צמצום צריכת אנרגיה: תכנון ביו אקלימי

הפוטנציאל הגדול ביותר להקטנת צריכת האנרגיה במבנה טמון בתכנון הבניין עצמו, ע"י החלטות הנוגעות למיקום, אוריינטציה, ארגון פנימי והתכונות של מעטפת הבניין. כמו כן ניתן לשלב במבנה מערכות פסיביות להשגת נוחות תרמית ותאורה טבעית ללא השקעת אנרגיה. עבודות רבות בישראל ובעולם עוסקות בנושא הבניה הביו-אקלימית. בארץ הנושא נחקר בעיקר בטכניון ובמכון לחקר המדבר של אוניברסיטת בן-גוריון [14,15,16,17,18].

מעטפת המבנה

מעטפת המבנה נועדה בין השאר להגן על הבניין מפני חדירת חום מבחוץ פנימה והפוך, הפסדי חום מבפנים החוצה. על מנת להגיע לרמת הגנה גבוהה יש להתייחס לדרגת בידוד מתאימה בגגות, קירות חוץ, ורצפות תוך התייחסות למניעת עיבוי ומניעת גשרים תרמיים [10,19]. בנוסף מעטפת המבנה צריכה לכלול מערכת פתחים (דלתות וחלונות כאחד) בעלי תכונות תרמיות טובות. פרמטר נוסף שדורש התייחסות הוא דרגת מעבר אויר מבחוץ פנימה בחורף (אינפילטרציה) או בקיץ לאוורור איכות, אוורור נוחות או אוורור לילה, שתלוי בכוחות ההנעה כגון, רוח, הבדלי טמפרטורות והבדלי לחץ האויר [3]. כמו כן, מעטפת המבנה צריכה להתחשב בשטחה, באלמנטים של מסה תרמית, הצללה וחומרים. כיום, מעטפות בניין אקטיביות (חזית אקטיבית) באות לפתור את נושא הצללה, התאורה והאוורור בבניין, אך על מנת שתכנון המעטפת יהיה יעיל מבחינה אנרגטית יש לדאוג להפניה נכונה של החזית (הפתחים) ולתכנן אמצעי החדרה של תאורה טבעית, הצללה (בעונת הקיץ) על מנת למנוע חדירת קרינה ישירה פנימה וסנוור, ולשפר את תנאי העבודה והפרייון [15,20].

במדינת ישראל ת"י 1045 (בידוד תרמי של בניינים) קובע את רמת הבידוד המינימלית הדרושה, ות"י 5282 (דירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה) נותן את מלוא התיאור והכוונה לתכנון של מעטפת המבנה. מעטפת המבנה על כל מרכיביה נדונה בעבודות רבות [16,17,21,22].

בידוד

מערכת בידוד תרמי נועדה למנוע מעבר אנרגיה של חום וקור דרך מעטפת הבניין. על מנת לייעל צריכת האנרגיה של המבנה יש לדאוג לבידוד חללים הממוקמים מתחת לגגות המבנה, מרפסות, קומת מסד ומעטפת החיצונית. חייבים לדאוג שהטמפרטורה של הקיר הפנימי לא תהיה נמוכה בהרבה מטמפרטורת האויר בתוך המבנה ובכך למנוע את אפקט העיבוי. בנוסף צריך לוודא ביצוע

משלים בקירות המעטפת ע"י כיסוי גשרי קור באמצעים תרמיים, ולדאוג לאוורור מתאים [3,9,23,24]. השפעת הבידוד על צריכת האנרגיה בבניין משתנה בהתאם לאזור האקלימי ולערכים של המשתנים התכנוניים האחרים בבניין.

פתחים

לתכנון הפתחים יש השפעה מכרעת על החזות ועל התפקוד האנרגטי של הבניין, גם כאשר הם מהווים אלמנטים קטנים ביחס לחזית הבניין וגם כאשר מדובר בחזית מזוגגת בשלמותה. למרות ההכרה שניתן לספק תאורה נאותה ואוורור באמצעים אחרים, היתרונות של חלונות בבניין הם רבים וכוללים נושאים כגון שביעות רצון, בריאות ופריון של משתמשי הבניין [21]. חלונות אחרים ליותר מ-12% מסה"כ האנרגיה הנצרכת בבניינים מסחריים בארה"ב, ואם נכללים מבני מגורים הם אחראים ליותר מ-5% מכלל צריכת האנרגיה הלאומית. לכן מאוד חשוב בתכנון המבנים להתייחס למיקום וגודל החלונות, הפניה, אמצעי פתיחה ואיטום, תכנון הצללות על מנת להגביל מעבר חום ואור בעונת הקיץ ולמנוע סנוור [15,20,21] ולתכונות השונות של מערכת הזיגוג (הכוללות את יחידת הזיגוג, הפרופילים ואמצעי ההצללה האינטגרליים).

רוב החלונות ומערכות זיגוג מורכבות מזכוכית ואלמנטי מסגרת. מערכת זיגוג יכול לכלול שכבה בודדת של זכוכית (או פלסטיק), או לכלול מספר שכבות של זכוכית עם רווחי אוויר (או גזים אחרים) ביניהן. מערכות זיגוג אלו מוכרות כזכוכית מבודדת (insulating glazing). כמו כן, שכבות ציפוי או גוונים שונים משנות את תפקוד מערכת הזיגוג, ויש צורך לבחור מערכת מתאימה בהתאם למטרה התכנונית.

התכונות החשובות ביותר שיש לקחת בחשבון בעת בחירת מערכת זיגוג לבניין הן:

- מוליכות (העברות) תרמית – U, להקטנת מעבר חום דרך הזכוכית כאשר קיים הפרש טמפרטורת בין חוץ ופנים.
- מקדם רווח חום סולרי – SHGC, הקובע את כמות החום העובר דרך הזכוכית ע"י קרינה
- מקדם העברת אור יום – VT, הקובע את כמות אור היום העוברת דרך הזכוכית
- מידת אטימות – למניעת הפסדי או רווחי חום ע"י חדירת אוויר.

בסיס הנתונים הבינלאומי לזיגוג International Glazing Database – IGDB מהווה מקור פתוח הכולל נתונים של מספר רב של מוצרי זיגוג מיצרנים מכל רחבי העולם. הפרטים המופיעים במסד הנתונים כוללים נתונים אופטיים ותרמיים, מבניים ופרטים נוספים. נתונים אלה מספקים בסיס אחיד ואמין לביצוע חישובי אנרגיה מדויקים ע"י שימוש במודלים של סימולציה אנרגטית [25].

מסה תרמית

מבנה כבד (בעל מסה תרמית כבדה) המתוכנן כראוי, מאפשר בחורף לאגור את הקרינה הסולרית שחדרה לבניין בשעות היום בהן זרחה השמש, לשעות הלילה בהן הטמפרטורה החיצונית נמוכה. בקיץ לעומת זאת, ניתן לקרר את האלמנטים הכבדים שבבניין במשך הלילה ע"י הזרמת אוויר קר. כתוצאה, בניין כבד שקורר טוב במשך שעות הלילה ישמור על טמפרטורת אוויר נמוכה (ביחס לטמפרטורת חוץ) במשך שעות היום. כל זאת כמובן, בתנאי שהבניין מבודד כראוי מבחינה תרמית. למעשה מהווים הקירות ושאר האלמנטים הכבדים בבניין, מסה תרמית הבולמת את שינויי הטמפרטורה הקיצוניים בבניין [26].

המסה התרמית בבניין קיימת בעיקר בקירות הבית (פנימיים או חיצוניים), ברצפת וגג הבית ולשם כך משתמשים בקירות בטון ובלוקי בטון עבים שיכולים לקלוט ולאגור חום. מסה תרמית ניתן לנצל בעיקר באזורי אקלים חמים ויבשים בהם קיימים הפרשי טמפרטורה ניכרים בין היום ללילה (לפחות 6 מעלות צלסיוס). מחקרים מראים שגם באזור אקלים חם ולח בו קיים הפרש טמפרטורות בין יום ולילה, כגון ברצועת החוף של ישראל בו הפרשי הטמפרטורה הם בין 7 עד 10 מ"צ, ניתן להשיג הפחתה

בטמפרטורה בתוך הבניין בין 3 ל-6 מעלות ע"י שימוש במסה תרמית ואוורור לילה. הדבר תלוי בכמות המסה התרמית, במידת אוורור הלילה וכן בהפרש הטמפרטורה בין יום ולילה הקיים במקום [27,28,29].

הצללה

המטרה העיקרית של ההצללה היא למנוע חדירת קרינת שמש לתוך המבנה בעונות החמות. במקרים בהם נעשה שימוש באנרגית השמש לחימום הבניין בחורף יש למנוע מצב של הצללת החלון בעונה זו, או להיעזר בפתרונות דינמיים המאפשרים התאמה לתנאים משתנים. ההצללה יכולה להינתן על הפתחים, כדי למנוע חדירת הקרינה דרכם, או על מעטפת הבניין כדי למנוע התחממות ולהפחית בזה את הולכת החום דרכה. כשההצללה מתוכננת מבחוץ לפתחים היא חוסמת את החדירה הישירה של הקרינה. מצד שני כשההצללה היא פנימית הקרינה מוחזרת ממשטחי פנים ובחלקה (קרינה ארוכת גל) לא יכולה לעבור דרך הזכוכית ולכן הצללה פנימית פחות יעילה. בתכנון ההצללה יש להתחשב במכלול הגורמים המשפיעים על צריכת האנרגיה בבניין, כגון קירור, חימום ותאורה. יש לקחת בחשבון שלא כל סוגי ההצללות מסוגלים לספק נוחות תרמית וויזואלית ויש להתאים את התכנון למטרה התכנונית [17,18,30].

גגות ירוקים

בשנים האחרונות השימוש בגגות ירוקים הולך ותופס תאוצה בקרב מתכננים ובעלי מבנים. על ידי תכנון גגות ירוקים נוכל להיענות לאתגרים שונים המתייחסים לחיים אורבאניים. עלות מחזור החיים של גג ירוק לא שונה מזו של גג קונבנציונאלי ובכך מהווה התכנון של גגות ירוקים יתרון מבחינה חברתית, סביבתית וכלכלית. השימוש בגגות ירוקים עשוי לתרום ליעילות אנרגטית של הבניין (קירור בקיץ והוספת בידוד בחורף), אורך חיים ממושך יותר, בידוד אקוסטי, אפשרות להפוך את המקום שאין לו שימוש ממשי לאזור המנוצל ע"י משתמשי הבניין, הגג הירוק מהווה תחלופה לשטח הבנוי, תורם לאסתטיקה של הבניין, מאפשר טיפול במי גשם ע"י אגירה ושימוש במים אפורים או העברתם לשטחי גינון ולעידוד מי נגר. בנוסף, גגות מסוג זה יכולים לתרום לוויסות איי החום העירוניים ותורמים לשליטה אקלימית בבניין [9,31,32].

חימום סולרי פסיבי וקירור פסיבי

הצורה הפשוטה והיעילה ביותר לחימום בניינים בחורף היא לאפשר לקרינת השמש הישירה לחדור לתוך הבניין דרך הפתחים או מערכות סולריות אחרות. קרינה זו משמעותית ביותר בחורף על משטחים הפונים לגזרה הדרומית. המערכת לחימום פסיבי היעילה והזולה ביותר היא מערכת קרינה ישירה. לעיתים, מתעורר הצורך ליישם מערכות סולריות פסיביות אחרות, שאינן קרינה ישירה. מערכות אלה נבחרות, כאשר אין אפשרות לתכנן את כל פונקציות הבניין עם אוריינטציה לגזרה הדרומית, או כאשר הגזרה הדרומית של הבניין מוצללת על ידי בניינים ועצמים שכנים (לדוגמה, בשיפוץ אנרגטי של בניין קיים). ביצוע המערכות שאינן קרינה ישירה הוא מורכב, מחייב תכנון מתוחכם ועלותן גבוהה יותר מתכנון של מערכת קרינה ישירה. לכן, במידת האפשר, רצוי ליישם מערכות של קרינה ישירה, תוך פתרון הבעיות שצוינו לעיל.

הגורמים המשפיעים על יעילות המערכות לחימום סולרי פסיבי: (i) הפניית הבניין, (ii) שטח הזיגוג הפונה לגזרה הדרומית, (iii) חשיפת הזיגוג הדרומית לשמש בחורף, (iv) מסה תרמית לאגירה. קיימות סוגים שונים של מערכות סולאריות: מערכות קרינה ישירה כגון חלון דרומי או מערכת חממה, ומערכת קרינה בלתי ישירה כגון קיר קולט עם או ללא אגירה [33].

מצד שני, בעזרת תכנון נכון של אוורור הבניין ומערכת קירור פאסיבית ניתן לשפר משמעותית את נוחות השהיה בתוך המבנה בעונות החמות ולצמצם את השימוש באמצעים מכאניים לקירור המבנה ובכך לחסוך עלויות החשמל ולצמצם פליטות גזי החממה [3,34].

תאורה טבעית

ניצול של תאורה טבעית נקבע במידה רבה ע"י האדריכל בשלבים המוקדמים של התכנון בבחירת צורת המבנה, עומק, תכנון אטריום, צורות ומיקום הפתחים והצללתם. תכנון נכון מאפשר שימוש בתאורה הטבעית בשטחי היקף הבניין, ושילוב תאורה חשמלית יעילה באזורים בהם לא קיימת תאורה טבעית מספקת ע"י שימוש בגלאי אור ומפעילים לשליטה ובקרה באור. לפי מחקרים ניתן לראות כי ניתן לחסוך כ- 40%-80% מצריכת האנרגיה המיועדת לתאורה במבני משרדים [3]. הנחיות תכנון מפורטות לתאורה טבעית קימות בארץ [9,10,35,36].

5.2.1.1.2. צמצום צריכת האנרגיה: מערכות יעילות אנרגטית

מערכות חימום, אוורור וקירור (HVAC)

מערכות HVAC משמשות לסינון האוויר, ויסות הלחות, חימום ו/או קירור של הבניין. המערכות הפשוטות ביותר מבצעות סירקולציה של נפח אוויר קבוע בטמפרטורה מסוימת כדי לשמור על טמפרטורה הרצויה במבנה. חשוב להבטיח נצילות אנרגייה גבוהה בפעולתן של מערכות מיזוג אוויר מרכזיות [9].

תאורה מלאכותית

תאורה נחשבת לכ-17.5% מצריכת החשמל העולמית, כשהחלק הארי משמש למבני מסחר וציבור, ואחריהם למבני מגורים [37]. תאורה יעילה יכולה לחסוך במשרדים ומגורים בישראל עד כמחצית מצריכה זו. בישראל פוטנציאל ההפחתה של הפליטות כתוצאה מהתייעלות בתאורה מהווה כמעט רבע מהפחתה האפשרית במבנים בכלל [7]. בנוסף, התייעלות בתאורה, כולל תאורה טבעית, תביא גם להפחתת עומס החום על מערכות HVAC [12].

ניתן להפחית את הביקוש בצריכת האנרגיה לתאורה ע"י התייעלות של אמצעי התאורה המלאכותית הכוללת: הקטנת בזבז האנרגיה הנגרם כתוצאה משימוש בטכנולוגיות לא יעילות (בנורות ובגופי התאורה), אספקת אמצעי שליטה ובקרה מתאימים ושילוב עם תאורה טבעית, ואופטימיזציה של הרמות המומלצות של תאורה ופיזור האור. אפשרות גדולה לחיסכון נמצאת בתכנון נכון של תאורה טבעית אשר יכולה לספק את מרבית דרישות התאורה של המבנה [37].

התנהגות המשתמש היא גורם משמעותי בהפעלת תאורה מלאכותית, ללא קשר לתאורה טבעית מספקת, מחקרים מצביעים על החשיבות של מערכות בקרה וניהול לתאורה כגורם משמעותי בצמצום הצריכה [38].

טכנולוגיית ה-LED היא טכנולוגיית תאורה עם פוטנציאל גדול לחסכון באנרגיה. התקדמות בפיתוח טכנולוגיית ה-LED ב-25 שנים האחרונות מובילה להפיכתה לטכנולוגיה רלוונטית ליישומים נרחבים בתחום הארת מבנים, ואם מגמה זו תימשך הוא יחליף יותר ויותר את הטכנולוגיות המקובלות [39]. שימוש בטכנולוגיות התייעלות אנרגטית בתאורה הוא בד"כ אפקטיבי מבחינת עלות ובעל החזר השקעה קצר טווח אולם יש חסמים המגבילים את התפתחותו. בשנים האחרונות מדיניות ממשלתית בעולם מצליחה להתגבר על חלקם ע"י התייחסות לתאורה כמערכת כוללת וע"י תכניות לאומיות לשינויי שוק כמו שנעשו בארה"ב, אוסטרליה ועוד [37].

בישראל התקנים הקיימים בנושא הם של יעילות גופי תאורה [9] תקני תאורה למקומות עבודה [40], וחסרה התייחסות מספקת לתאורה טבעית [9,10].

ג. מערכות חימום מים [22]

ד. מערכות ניהול אנרגיה במבנים - BEMS – building energy management systems

BEMS הינן מערכות בקרה עבור מבנה בודד או עבור קבוצת מבנים, המשתמשות במחשב לעיבוד, שליטה, אגירת מידע ותקשורת ע"י חיישנים המפוזרים ברחבי הבניין או הבניינים. מערכות אלו עוזרות למצוא ולחסום איבוד אנרגיה ובכך מאפשרות חיסכון בצריכת החשמל. חיבור בקרת האקלים של הבניין למחשב מאפשר שליטה דרך האינטרנט על הנעשה [3,41].

5.2.1.2. מקורות אנרגיה חלופיים: מערכות אנרגיה מתחדשת המשולבות בבניין

לפי דוחות קיימים מקורות אנרגיה חלופיים מהווים כיום 13.4% של סה"כ מקורות האנרגיה ברמה עולמית [42,43]. על מנת לצמצם את הפליטות של גזי החממה בבניינים, ולעודד שימוש בטכנולוגיות חדישות ע"י מתכננים, יש צורך בבחינת אופציות לשילוב מערכות כחלק אינטגרלי ממערכת המבנה. יישום מערכות מתחדשות בבניינים מוגבל מבחינת המיקום באתר והשילוב שלהם במערכת המבנית. לכן חשוב ביותר להתייחס לנושא זה בתכנון עירוני. הגבלה נוספת ליישום מערכות אנרגיה מתחדשות הוא העלות הגבוהה של המערכות בתנאים הנוכחיים. חשוב מאוד לצמצם את צריכה האנרגיה של הבניין עוד לפני תכנון והתקנה של מערכות חדישות [43]. קיימים מספר מקורות אנרגיה מתחדשים הניתנים לשימוש:

אנרגיה סולארית

לפי דוח "התחזית בידיים שלנו" של אדם טבע ודין ישראל נמצאת בשלב מאוד מתקדם מבחינת ניצול אנרגית השמש לחימום המים. כיום ב- 75% מהבתים בארץ מותקנים דודי שמש לחימום מים מה שגורם לחסכון של 3% מסך ייצור החשמל בישראל [1]. לפי אותו דו"ח עולה כי גם בנושא הקמת תחנות סולאריות ישראל מובילה אך הקמתן של התחנות לא מיושמת בארץ כלל וזה כנראה בגלל צריכת משאבי קרקע יקרים ועלות ההקמה של התחנות הגבוהה. BIPV - תאים פוטו-וולטאים משולבים בבניין – תאים פוטו-וולטאים מצויים כיום במגוון רחב של אפשרויות שימוש וניתן ליישם אותם כמעט על כל משטח בבניין, בהתאם לרמת החשיפה לשמש. בנוסף להפקת אנרגיה מערכות אלו מהוות חלק ממעטפת הבניין ותורמות לתפקודו: הגנה מפני מזג האוויר, שליטה סולארית (הצללה), תאורה טבעית ופרטיות [44]. ניצול נוסף של אנרגיית השמש הוא לקירור סולארי. משתמשים באנרגיה סולארית לייצור חום עבור מעגל תרמו-דינאמי שמייצר מים קרים בטמפרטורות שונות. ניתן לנצל את הטכנולוגיה עבור הקפאה בתעשייה ומיזוג אוויר במבנים וכך להגיע לחסכון של 95% מצריכת האנרגיה [45].

אנרגית רוח

ניתן לנצל את הרוח בתור מקור אנרגיה נקי וללא צורך בהשקעה כלכלית גבוהה. בקנה מידה של בניינים קיימות טורבינות רוח בעלות הספקים שונים המותאמים לצריכה של הבניין. אחד החסרונות הבולטים בשימוש באנרגית הרוח הוא התדירות הלא קבועה של הרוחות. בעיה נוספת הינה הממדים הגדולים של הטורבינות הנדרשות לתכנון. כמו כן, צריך גם להתחשב ברעש הנוצר עקב פעולת הטורבינות. מקרים בהם שולבו טורבינות רוח בבניינים נמצאו לרוב כמייצרים כמות אנרגיה קטנה ולא כלכליים [43].

5.2.1.3. הפחתת אנרגיה גלומה ופליטות נוספות

הולכת וגוברת הדאגה להשפעות הסביבתיות שנגרמות מבניינים ו/או חומרי בניין במשך תקופת הבניה השימוש לאורך חיי הבניין, והריסתו. ההשפעות הן בקני מידה שונים: פנימיות, מקומיות וגלובאליות. חשוב לציין כי ההשפעה הסביבתית הגדולה ביותר במהלך החיים של החומר/בניין מתחילה דווקא בשלב התעשייה והיצור של חומרי הבניה/חומרי הגלם והטיפול הראשוני בצמצום ההשפעות הסביבתיות צריך להתחיל בשלב זה. ההערכה מחזור החיים (Life cycle assessment – LCA) הוא כלי חשוב לחישוב ההשפעה על הסביבה של החומר, תהליך ופעילות מתחילת הדרך ועד הסוף. המידע יכול להיות מתורגם לכמות החומר הנפלט או להפך לתרומה לבעיה הקיימת ועל ידי זה לעודד שימוש בחומרים בעלי נזק סביבתי מועט [46].

5.2.2. הפחתה: עיצוב עירוני

בהתאם לנתונים של האו"ם [47] נכון ל-2010, יותר מ-50% מאוכלוסיית העולם גרה ביישובים עירוניים (בישראל יותר מ-90%), כאשר בעשורים הבאים נהיה עדים להמשך גידול חסר תקדים בעיקר במדינות מתפתחות. אין ספק שעובדה זו תוביל לבעיות סביבתיות וקלימטולוגיות רציניות, אם רשויות, מתכננים וארכיטקטים לא יפתחו אסטרטגיה תכנונית ושיטות תכנון חדשות שתאפשרנה חיזוק והמשך גידול השטחים האורבניים, תוך הבטחת חיים ועבודה בסביבה אקלימית טובה [29,48]. יחד עם הסיכונים קיימות הזדמנויות ולערים תפקיד מרכזי בהתמודדות מוצלחת עם בעיות אלו כפי שבא לידי ביטוי בכנס שנערך השנה בעיר בון בגרמניה "הקונגרס העולמי השני לערים ולהערכות לשינויי האקלים", ביוזמת ארגון ICLEI, ובשיתוף גופים נוספים כגון HABITAT, הבנק העולמי, סוכנויות או"ם נוספות, שרי ממשלה ועוד [49].

יותר ממחצית מפליטות גזי חממה היא תוצאה מפעילות אזורים עירוניים, זאת למרות שהשטח העירוני מהווה רק 0.4% משטח כדור הארץ [50,51]. על כן, לעיצוב העירוני תפקיד חשוב בהפחתה ולהתאמה לתופעות המתרחשות כתוצאה משינויי האקלים [52]. ערים יכולות להפחית את כמות הפליטות של גזי חממה תוך התמודדות עם בעיות סביבתיות נוספות כגון זיהום אוויר, פסולת ותחבורה, ופיתוח כלכלי מקומי. מצד ההיצע, קידום שימוש במקורות אנרגיה אלטרנטיביים והפיכתם לאטרקטיביים יותר מבחינת הצרכן. מצד הביקוש, עיר מתוכננת טוב יותר המצמצמת זחילה עירונית ופרוור, מעודדת עירוב שימושים, בניינים ירוקים ותחבורה ציבורית טובה יותר, עשויה להקטין את טביעת-הרגל האקולוגית של העיר ובו בזמן לספק איכות חיים וסביבה טובים יותר לתושביה [47]. על כן, יש להתייחס יחד עם תכנון בניינים, להקשר העירוני של הסביבה הבנויה והשפעתה בהפחתת בעיות הנגרמות ע"י שינויי האקלים. ברמת עיצוב עירוני ביו-אקלימי – תכנון צורת עיר (מורפולוגיה) יכול לסייע בהפחתת תופעות הנובעות משינויי אקלים, ולאפשר ניצול אנרגית השמש והרוח בבניינים ובשטחים פתוחים. כמו כן, למיקום ולאופי הישוב או השכונה השלכות מרכזיות על עלויות הקמתו ותחזוקתו, על צריכת האנרגיה בבנייתו ובמהלך החיים בו, על איכות הסביבה והחיים שבתוכו, והשפעתו החיצונית על סביבתו.

5.2.2.1 תכנון ביו-אקלימי

כדי לקדם פיתוח בר-קיימא ניתנת עדיפות למחזור קרקע מפותחת, אשר לא נעשה בה שימוש אופטימלי [14]. קרקע כזו יכולה להימצא באזור תעשייה שננטש או שיש מקום לשנות את יעוד כדי להגדיל את מגוון הפעילויות באזור, ע"י ציפוף של אזור מגורים קיים, או ע"י בנייה מחדש אם לא ניתן לשדרג את הבניינים הקיימים. שיקולים נוספים המשפיעים על בחירת האתר הם: קירבה לאזור עירוני קיים ולמערכות תשתית ותחבורה, וטופוגרפיית האתר, שיפועי הקרקע והפנות, משטר הרוחות, וסוג הקרקע ותת-הקרקע [14].

בנוסף לכך, מיקום המבנה בסביבה עירונית, במיוחד במקומות נגישים לתחבורה ציבורית יעילה, מאפשרים למשתמשים בו לנהל את חייהם ללא תלות ברכב פרטי, ועל ידי כך לתרום לסביבה הן בהפחתת צריכת האנרגיה, והן בהפחתת פליטת מזהמים ורעש. התקנת אמצעים לחיסכון במים, מיחזור מים אפורים, ועיכוב והחדרת מי הנגר הנוצרים בסביבת הבניין, מאפשרים חיסכון במים וחיסכון באמצעים הנדסיים ואנרגיה הדרושים כדי לטפל בהם. לבסוף, בנייה בצפיפות גבוהה, תוך תרומה ליצירת סביבה עירונית מרובת שימושים ומגוונת [14].

עצם קיומו של יישוב עירוני משנה באופן משמעותי את תנאי האקלים – הן בתוך השטח הבנוי והן מעבר לגבולותיו. ההשפעות האקלימיות של המרקם העירוני תלויות במאפיינים רבים, וניתן להעריך אותן ברמות שונות של קנה המידה המרחבי [14,53].

המערכת העירונית הוא בעל השפעה רבה על יצירת מיקרו-אקלים בעיר [54]. מורפולוגית העיר ואוריינטציה הרשת האורבנית משפיעות על הצללה וחשיפת הרחובות והשטחים הפתוחים לשמש ולרוח, אך יחד עם זאת על אגירת החום. כמו כן, בעת שילוב מערכות סולריות להפקת אנרגיה

בבניינים (חימום מים, תאים פוטו-וולטאיים), למערך העירוני השפעה מכרעת על יעילות מערכות אלה [55].

5.2.2.1.1 צפיפות הבנייה

לצפיפות הבנייה השפעות רבות על התפקוד האנרגטי של ישובים ובניינים. צפיפות גבוהה יותר ברמת היישוב מגדילה את האפשרות להסתמך על הליכה ברגל ורכיבה באופניים כאמצעי תנועה מרכזיים, היא מאפשרת הגנה של בניינים זה על זה מרוחות, והקטנת המעטפת שלהם ועל כן הקטנת איבוד האנרגיה. מנגד יש לה השפעה על החשיפה האפשרית של המבנה הבודד והשטחים הפתוחים לקרינת שמש ולאורור [14]. צורת הקבצת היחידות לבניין השלם משפיעה באופן משמעותי ביותר על צריכת האנרגיה של הבניין השלם [16,56].

5.2.2.1.2 אי חום

בנייה עירונית גורמת לטמפרטורת אוויר גבוהה בעיר יחסית לאלה שבסביבה הבלתי-בנויה. התחממות זו נתפסת בצורה של "אי חום" – כלומר, כתם חם בתוך המרחב. ישנם מספר תהליכים שגורמים להיווצרות אי החום העירוני, ולחלק מהם יש גם זיקה לתכנון עירוני פיזי: ייצור חום מפעילות אנושית, תחבורה, תכונות פיזיקליות ותרמיות של חומרי בניה, אטימות השטח העירוני והגאומטריה העירונית [14]. החימום המוגבר של אזורים אורבניים מגדיל את צריכת האנרגיה לקירור בניינים ופוגע בנוחות התרמית ואיכות החיים של היישובים האורבניים [57].

מרקם עירוני צפוף עם רחובות צרים ועמוקים עשוי ליצור שטחים מוצלים רבים בימי הקיץ. מצד שני, הגדלת הצפיפות גורמת ל"לכידה" של חום ועלולה לפגוע באורור החלל, ואף למנוע חשיפה לשמש רצויה בחורף. ניתן באמצעים תכנוניים להשיג מערכת רחובות שעונות לדרישות מוגדרות אלה ומביאות לשיפור הנוחות של הולכי הרגל ברחוב. באופן כללי, ככל ש"מצטופף" חתך הרחוב כך נחלשת זרימת הרוח בסמוך לגוף האדם. לכן, גם מבחינתו של אורור הרחוב, הציפוף העירוני גורם להתחממות. עם זאת, חשוב לציין שהאטת הרוח תלויה גם בכיוון ציר הרחוב יחסית לכיוון הרוח [14,53].

מספר מחקרים בדקו את השפעת המרקם העירוני על כמות ועוצמת הקרינה המגיעה ל"קניון העירוני" ועל היווצרות תופעת אי החום ועל האמצעים שעשויים לתרום לשיפור המצב: ציפוף, חתך רחוב, חומרים בעלי אלבדו גבוה, שימוש בצמחיה, הצללה, גגות ירוקים, חשיפה לכיפת הרקיע, ועוד [58,59,60,61].

מחקרים אחרים [1,62,63,64,65] מציגים את הקשר בין הצמחייה בעיר והסביבה התרמית. מהמחקרים עולה כי, לעצים אפשרות ליצירת מיקרו אקלים בסביבתם, אשר הטמפרטורה בו יכולה להיות נמוכה ב 2-4 מעלות מהסביבה, תלוי בסוג העץ [1,62,66]. באקלים חם ולח גגות ירוקים וחזיתות המשלבות צמחייה מועילים לא רק בהפחתת צריכת האנרגיה, אלא גם מספקים יתרונות סביבתיים אחרים כגון שיפור איכות האוויר ומקומות ירוקים נגישים [67]. חשוב להתייחס כמו כן לצורך בשימוש במים [68,69,70,71].

5.2.2.1.3 זכויות שמש ורוח

כדי לנצל את אנרגיית השמש לתאורה ולחימום פסיבי של בניינים, על המתכנן להבטיח את חשיפתם של המערכות הסולריות במידה מספקת לשמש. אסור שהשגת גישה לשמש (Solar Access) תהיה תוצאה מקרית התלויה במציאות המשתנה מסביבנו. גישה לשמש צריכה להיות מובנת כזכות לשמש (Solar Rights) [9,72]. יש להבטיח כמות מינימלית של קרינה או מספר מינימלי של שעות חשיפה לקרני השמש בעונה הקרה של מערכות סולריות ושטחים פתוחים [56,72,73]. כמו כן, מבנים משפיעים על זכויות הרוח של המבנים השכנים ושל שטחים פתוחים ויכולים לפגוע ביכולת זרימת

הרוח החיונית להשגת תנאי נוחות ע"י אוורור טבעי או למערכות לייצור חשמל ע"י רוח [56,74]. לכן חשוב ביותר להתייחס לנושאים אלה כבר בשלב של קביעת הקונפיגורציה העירונית.

5.2.2.2. התייעלות אנרגטית

ייצור אנרגיה בכלל וייצור חשמל בפרט מהווים את הגורם המכריע ביותר לפליטה של מזהמים. בישראל עבור ייצור חשמל נפליטים בשנת 2006 נפלטו 38,660 אלפי טון פחמן דו-חמצני שהם כ-63% מסה"כ פליטות ה-CO₂ כתוצאה משריפת דלקים [1]. כמות זו נפלטת מתחנות הכוח של חברת החשמל ולהן השפעה רבה על הסביבה בכלל ועל הסביבה הקרובה בפרט.

5.2.2.2.1. תשתיות

תכנון תשתיות ותכנון השטח הבנוי מהווים גורם משמעותי ביותר בניהול צריכת האנרגיה של מדינת ישראל – ולכן בפליטות של גזי חממה לאטמוספירה [1]. לפיתוח בערים קיימות או בצמוד אליהן השלכות חשובות גם מבחינת ההוזלה והקטנת הפגיעה של מערכות תשתית ראשיות, וניצולן היעיל יותר. יש בו גם כדי לעזור בשיקום הכלכלי של אזורים קיימים, הזקוקים להשקעות ושדרוג. חיבור למערכות מים דורש השקעה בצנרת, משאבות ואנרגיה. ההשקעות בניקוז יכולות להיות גבוהות מאוד ולהפריע למערך הניקוז הטבעי. כיום כמעט ולא ניתן להקים ישוב חדש ללא חיבורו למערכת טיהור ביוב. חיבור כזה דורש גם הוא השקעות בצנרת ובתחנות סניקה ואנרגיה בהפעלתו. לעיתים במערכת טיהור קיימת אין מספיק קיבולת לישובים חדשים, ועל כן יש צורך בהשקעה נוספת בהגדלת ההספק של מערכות הטיהור. מכל הסיבות הללו עדיף למקם ישוב חדש בסמוך לקווי תשתית קיימים או בצמוד לישוב קיים, אשר ייתכן שאיננו מנצל בצורה מלאה את קיבולת מערכות התשתית הקיימות שלו, ואשר כבר גורם ממילא הפרעה למערכות הטבעיות [14].

5.2.2.2.2. תחבורה

הפליטות העירוניות של גזי החממה נובעות גם מסקטור התחבורה [51]. נסיעות ברכב הפרטי למשל, מהוות היום חלק משמעותי (בין 30% ל-40%) מסך צריכת האנרגיה בארצות מפותחות. השלכותיהן מבחינת רעש, זיהום אויר, גזי חממה, ופיצול שטחים פתוחים על ידי דרכים מהוות פגיעה משמעותית במידת הקיימות הארצית או האזורית [12]. עובדות אלה עמדו בפני מתכנני תכנית המתאר הארצית 35 לפיתוח ושימור כאשר המליצו על כך שלא יוקמו ישובים חדשים ברוב אזורי הארץ, ושעיקר הפיתוח יהיה בערים קיימות, או צמוד אליהן [14]. ניתוח יוזמות שונות בניו יורק, קוריטיבה בברזיל, הנובר בגרמניה ועוד ערים רבות בעולם, מעיד על כך שתכנון העיר קריטי להקטנת טביעת הפחמן של [51] ולתחבורה השפעה מכרעת. עיריית ניו יורק למשל אחראית רק ל-1% מסך טביעת הפחמן של ארה"ב, וטביעת הפחמן שלה קטנה בשליש ממוצע ערי ארה"ב. הדבר נובע מצפיפות העיר ועירוב שימושים יחד עם מערכת תחבורה ציבורית יעילה, המאפשרת להתנייד בעיר ללא שימוש ברכב הפרטי [51].

קיים קשר בין צפיפות גבוהה ונגישות גבוהה [73]. ריכוז פעילויות באזור מסוים בעיר מאפשר פיתוח נמרץ של מערך הסעות המונים בעוד פיזור רב יוצר תלות ברכב הפרטי. יצירת ערוב שימושים של מגורים, מוסדות ציבור ואזורי מסחר ותעסוקה מאפשר הגעה קלה, נוחה ובטיחותית ממקום למקום ללא צורך ברכב הפרטי. הריכוז האינטנסיבי, המתאפשר בבנייה לגובה, מאפשר יצירת מרחב פעיל ונוח להולכי רגל [73]. בארץ תכנון מסוג זה אינו קיים כמעט בעשורים האחרונים, אך בארצות אחרות ישנה חזרה לתכנון אזורים רב-תכליתיים, כחלק מהמגמה של תכנון ירוק והחזרה אל הערים והעירוניות [75].

5.2.2.2.3. תאורה מלאכותית

השימוש באנרגיה ברשות הרבים, כגון במבני ציבור וממשל וכן במרחב הפתוח, הוא משמעותי ביותר, הן באנרגיה לחימום וקירור והן לתאורה. שימוש בתאורת רחוב חסכונית באנרגיה או בתאורה המבוססת על אנרגיה מתחדשת יכול להביא לחסכון ניכר בעלויות של הרשויות המקומיות, כך גם מעבר לתאורה חסכונית במבני הציבור והממשל. התאמת עוצמות ההארה לצרכים, שימוש באמצעי בקרה, שימוש במקורות אור יעילים וצמצום זיהום אורי הם חלק מהגורמים שיש להתייחס אליהם במסגרת תכנון עירוני [76].

5.3. התאמה - ADAPTATION

בשנים האחרונות, גוברת המודעות לגבי חשיבותם של תכנון בניינים חוסכי אנרגיה [9,10]. אולם כמעט לא קיימת חשיבה רחבה בנושא התאמת תהליכי התכנון והבנייה של בניינים לקראת מצב של שינוי אקלים עתידי ועל תפקוד בניינים במצב חדש זה. יש מקום לחשיבה מחודשת על האופן בו אנו מתכננים ובונים את הבניינים בערים שלנו. על מנת להיערך בתחום הבניה יש לפתח אסטרטגיות התאמה הוליסטיות תוך שימוש בנתונים וכלים אשר יוכלו לייצג את הקשרים שבין המבנים לאקלים העתידי. יחסי גומלין בין מקצועות הסביבה הבנויה יכולים וצריכים להוות בסיס איתן ליצירת פתרונות משולבים, לדוגמה איסוף מי גשם ממבנים יוריד את הלחץ על מערכות הניקוז בעת שיטפונות או יכול להיות משולב בפיתוח נופי אשר יהווה הפחתה לאי החום [6,68].

5.3.1. התאמה – תכנון מבנים

תכנון מבנים גמיש מאפשר התאמה לתנאי האקלים המשתנים. התכנון חייב לכלול אסטרטגיות שיהוו יתרון גם אם לא יוצרו שינויים אקלימיים כל שהם, למשל, חיזוק אלמנטים בבניין באופן בטיחותי על מנת למנוע נזק שעלול להיגרם על ידי הרוח, יישור וליטוש ריצוף של קומת הקרקע על מנת לאפשר חזרה לשגרה בהקדם במקרה של הצפה. בנוסף, על המתכננים לחקור את הסיכונים הנובעים משינויי אקלים ולהכין את המבנים לאסונות הצפויים שיכולים לכלול: עליה בטמפרטורות, הצפות, שיטפונות, הגברת גשמים וברד [6].

5.3.1.1. התאמה לעליה בטמפרטורה

עליית הטמפרטורה הצפויה תשפיע על התגברות חוסר הנוחות התרמית במבנים, וכתוצאה מכך תביא גם לעליית הביקוש לאנרגיה לקירור בעת עומסי חום. לכן, לתכנון ביו-אקלימי וליישום טכנולוגיות יעילות אנרגטית כפי שפורטו בפרק ההפחתה, יש למעשה רווח כפול גם למאמצי ההפחתה וגם למאמצי ההתאמה. עבודות העוסקות בהשגת נוחות תרמית גם בטמפרטורות גבוהות יותר, מתמקדות בשיטות פסיביות ומעוטות אנרגיה, כאשר האמצעים האפקטיביים המומלצים הם: הצללה חיצונית, אוורור מפולש, מסה תרמית ובידוד [6,48,53,68].

ההתייחסות לנוחות תרמית היא לא רק ברמת המשתמש במבנה אלא גם בהקשר של התאמת ענף הבניה לעבודה בתנאי חוץ בטמפרטורות גבוהות. דוגמאות להתמודדות עם נושא זה הן הפחתת הבניה באתר לטובת בניה מתועשת או ניהול מותאם של האתר בתנאי חום [6,68].

5.3.1.2. התמודדות עם אירועי קיצון

העלייה בתדירות אירועי גשם בעלי עוצמה גבוהה, בשילוב עם ירידה בסך כל המשקעים צפויה להוביל אירועים קיצוניים ולשיטפונות תכופים יותר ובעלי עוצמה גבוהה יותר. מישור החוף המיושב בצפיפות צפוי לסבול במיוחד מבעיה זו [1,77]. בסן פרנסיסקו נעשתה עבודה הבוחנת מספר אלטרנטיבות אפשריות להתמודדות עם נושא עליית מפלס המים באזור המפרץ, דרך היתרונות והחסרונות של כל אחת מהן: בניית חומה או סדרת חומות מרוחקות מהחוף, שריון חופי ע"י בניית הגנה לינארית מוגבהת, העלאת מפלס הפיתוח, פיתוח צף, פיתוח מוצף, ונסיגה מבוקרת [78].

בעקבות אירועי ההצפות בשנים 2010-2011 באוסטרליה עלה הצורך בתכנון ובניה ברמה גבוהה יותר של בנינים ותשתיות על מנת שיוכלו לעמוד בפני אירועי אקלים דומים גם בעתיד [6]. יש להרחיק את התעשייה ואזורי פיתוח מרצועת החוף ואזורים בעלי סכנת הצפה. האדריכלים והמתכננים צריכים להעריך האם החוקים והתקנות הללו מהווים הגנה מספקת במשך כל חייו של הבניין אותו מתכננים. המשתמש מודע לעלות הגבוהה יותר של הבניין בגלל הדרישות התכנוניות לעמידות בפני סכנות אקלימיות.

אירועים של שיטפונות דוגמת אלו שפקדו את מערב אוסטרליה, בנגלדש וניו אורלינס מדגישים את הצורך של תכנון מותאם לצורך הפחתת הרגישות לסכנת שיטפונות. ברמת המבנה, מדובר בספרות על מספר דרכים להערכות לשיטפונות בעקבות אירועי גשם חריגים: צמצום בניית קומות קרקע למינימום, בינוי רב קומות, שימוש בחומרים עמידים במים וקונסטרוקציות עמידות, תכנון המבטיח שמים יוכלו להתנקז בקלות אם נכנסו (במיוחד במרתפים ויסודות), התקנת ציוד חיוני ורגיש גבוה במידת האפשר ושיפור המודעות והערנות בקרב המשתמשים (דרכי מילוט וכו'). בנוסף, הגנה על מערכת תשתיות ובנינים מסופות באזורי החוף על ידי תכנון ובניה של מבנים מאסיביים דוגמת חומות ים. הבניה באזורי החוף צריכה להיות עמידה להצפות לכן יש לתכנן מבנים על עמודים על מנת לאפשר למים לזרום ולא לגרום לפגיעה בקומות המאוכלסות. יש לדאוג ליסודות המסוגלים לעמוד בפני ההצפות [6].

מבני ציבור, לעומת זאת, נמצאים ברמת סיכון יותר גבוהה בפני ההצפות בגלל המיקום העירוני ובגלל סכנת הניקוזים. לרוב מבנים ציבוריים נבנים מחומרים בעלי עמידות גבוהה בפני מים וזה מאפשר עמידות של 72 שעות בתוך המים ללא נזק ממשי לבניין [6].

5.3.2. התאמה – עיצוב עירוני

התאמה בנושא תכנון עירוני צריכה להבטיח יצירה של סביבה האורבנית חסינה ובריאה יותר. אל מול הבעיות שיש להתמודד איתן עקב שינויי האקלים, קיימות הזדמנויות להפוך ערים לאטרקטיביות יותר ולשפר את איכות החיים על ידי תכנון המאפשר התאמה למצבים שונים. לשם כך יש צורך במדיניות איתנה ומגוון תמריצים בכדי להבטיח ביצוע של התהליך. על אדריכלים ומתכננים לחשוב באופן יצירתי בכדי להבטיח שהסביבה הבנויה מותאמת לשינויים הצפויים. המתכנן מתמודד עם עליית טמפרטורה, שיטפונות והשפעת בצורת. התאמה נדרשת עכשיו בעיקר משום שהאקלים כבר משתנה. רב התחזיות לשינוי אקלים ב-30-40 שנים הקרובות, הן תוצר של פליטות גזי החממה בעבר. גם אם עכשיו נצליח להוריד חלק מהפליטות חלק משינוי האקלים הוא בלתי נמנע. במציאות הנוכחית שטחים ירוקים פרטיים או ציבוריים מוקרבים לרב על ידי הפיתוח העירוני. כאשר העיר מתוכננת לא נכון לשינויי האקלים עליה להתמודד עם מזג אוויר, חם יותר, קיצים חמים יותר שידרשו שימוש מוגבר במיזוג אוויר ובאמצעים מלאכותיים אחרים להשגת תנאי נוחות [79].

5.3.2.1. התמודדות עם שינויי טמפרטורה

המשמעות של שינויי אקלים והשפעתם על העיר כוללת את המארג העירוני, הסביבה הפנימית, התשתית העירונית (מים, אשפה, אנרגיה, תחבורה, תקשורת), שטחים פתוחים, נוחות תרמית, ושימוש בחללי חוץ ופנים [79].

5.3.2.1.1. מדבור

שינויים בירידת מים ובכמותם ישפיעו על מקורות המים ואיכותם. לאזורים אורבניים יש יכולת שמירה נמוכה של מי שתיה והם יפגעו ממחסור במיוחד בתקופות של יובש. ישנו קשר ישיר בין שימוש מוגבר במים לבין פליטות גז החממה, שימוש נמוך בהם יכול לעזור להפחתת הפליטות [80]. על אף הקושי לאגור מים בשל המבנה העירוני, קידום מדיניות דרך חקיקה מקומית יכולה להגביר אגירה [79] (כדוגמה אלבוקרקי, ניו מקסיקו).

5.3.2.1.2. נוחות תרמית

נוחות תרמית היא אחד הגורמים המשפיעים על איכות הסביבה בה אנו חיים, יחד עם איכות האוויר, תנאי התאורה ורמת הרעש. מחקרים מראים שכאשר הסביבה בה אנו עובדים אינה נוחה, עלולה התפוקה לרדת במידה ניכרת.

לאזורים ירוקים חשיבות רבה מאד בהשפעה על תנאי הנוחות בעיר [81], ועל הורדת הטמפרטורה. ככל שהטמפרטורה עולה, עולה הצורך בשטחים ירוקים וכחולים כמו גם בהצללות [79]. בנייה עירונית גורמת לטמפ' אוויר גבוהה בעיר יחסית לזו שבסביבה בלתי בנויה [20]. אחת מהדרכים לטפל בתופעה ברמה התכנונית היא פיתוח תכנית מתאר שתקדם תכנון לפני מעשה ותכלול אינטגרציה של נושאים כמו מים, שטחים פתוחים ירוקים וכחולים ובנויים. המטרה היא להפחית שימוש במערכות על ידי תכנון עם הסביבה ויצירת איזון אתה. אוורור טבעי יכול להתגבר ע"י פתיחת רחובות והקפדה על אוריינטציה מקומית.

במקומות שונים בעולם נוקטים בגישה זו לשיפור הנוחות התרמית בעיר. הפחתת טמפרטורה על ידי גגות ירוקים (טוקיו), תוספת שטחים ירוקים בטבעת החיצונית של העיר (שיקגו), או תכנון צירים עירוניים שלאורכם גנים וצמחיה (פרנקפורט) [79].

5.3.2.1.3. עליית מפלס המים והשפעתה על קו החוף

פני העיר עלולים להשתנות בעקבות עליית מפלס המים. במחקר בנושא נבדק הקשר בין חללים אורבניים לחללים ימיים חדשים ואת החיבור ביניהם עד להפיכתם לחלק אורגני בעיר [82] במטרה להשתמש בתאוריות חדשות כבסיס לתכנון. נושא נוסף המתייחס לפני העיר הוא בגמישות התכנונית, כאשר חלק מהפתרונות המוצעים הם מבנים על קביים, ואפילו מבנים צפים [56].

5.3.2.2. התמודדות עם אירועי קיצון

משמעות התרחשות של אירועי קיצון יכולה להיות פגיעה בהגנה החופית מפני שיטפונות, פגיעה במערכות הניקוז העירוניות במהלך אירועי קיצון [79] וכן פגיעה באוכלוסיות לאורך קו החוף. עליה באירועי מזג אוויר קיצוני (בייחוד שנים חמות ולחות) עלולה לבטל מחסומים אקלימיים ולהעלות תפוצת מחלות כמו מלריה, בעיקר בשל המבנה העירוני הצפוף אינו בנוי לאירועי הצפות גדולים ולספיגתם. אוכלוסיות חלשות כמו ילדים וקשישים וכן אנשים הסובלים ממחלות כרוניות עלולים להיפגע מגלי החום ועליית סופות חול ואבק. תופעות שמוגברות בעיקר בשל הציפוף המבני העירוני [1].

5.3.2.2.1. הצפות ושיטפונות

עלייה במפלס הים, עליה בכמות המשקעים ותדירותם, ההמשכיות והאינטנסיביות שבירידת גשמים מגבירים את הסכנה מפני הצפות [83]. המבנה העירוני מונע ממי הים לחדור אל הקרקע. נושאים נוספים שמשפיעים על גובה המפלס, הם תהליכים עירוניים מואצים כמו גם התוויה מוכוונת של תנועות המים וכן אזורים בהם מערכות הביוב לא יכולות לספוג את כמות המשקעים שזורמים באירוע נקודתי אחד [74]. היסטורית השיטה שפעלה להגנת חופים הייתה בניית קירות נוקשים מחסומים, עד לאחרונה כמעט לא עלתה השאלה האם קו החוף של מדינה מוגן בצורה אפקטיבית. בשנים האחרונות עם שינויי האקלים ירדה האפקטיביות שבפתרון הנוקשה ועלתה הדרישה ליצירת תשתית גמישה [78,84].

הדרך היעילה ביותר להתכונן להצפות עתידיות היא להקטין את החשיפה [68,79,85] על ידי נסיגה מקו המים כך שישאר מרחב פעולה למחסומים. קיימות מספר אסטרטגיות להתמודדות עם הצפות: התעלמות או התרחקות מאזורים מוצפים. עמידות – אזורים שאינם חשופים להצפות היום אך בעתיד כן יפגעו. המניעה תתבצע על ידי דלתות שהופכות לסכרים ושסתומי על חזור. יכולת התאוששות או

גמישות בפעולה – כאשר ישנם אירועי הצפה נקודתיים מתוך מטרה להחזיר את החיים למסלולם [68].

ברמה המחוזית ואף עירונית ההתייחסות להצפות כוללת פינוי מקום למים על ידי שימוש באזורים ירוקים, ובאזורי ביצות (קיוטו) [79,86]. ברמת אגד ערים ההתמודדות היא סביב נושא הגאות והשפל, המטרה תהיה לשלב אזורים פנויים וירוקים עם אסטרטגיית ניהול ההצפות, שכוללת התווית אזורים למעבר מים, הזזת יישובים והכנת אזורי הכלה להצפה כמו מגרשי חניה וספורט (כדוגמת הולנד שבה ישנם 13 מובלים למים) [79].

5.3.2.2.2. שריפות

גלי חום נקודתיים ואקלים יבש וחם מובילים לחשיפה של הערים וסביבתן לשרפות. על התכנון העירוני להתייחס למגבלת לנושא הפינוי ממבנים. על אף הדרישה להגביר את הציפוף העירוני על ידי בנייה לגובה נוצר כאן קונפליקט בין ציפוף למקרים בהם פינוי המבנה נדרש [56]. בהקשר זה קיימת חשיבות מיוחדת לתכנון השטחים הירוקים הפתוחים בתוך וסביב יישובים עירוניים. תכנון אזורי חיץ סביב שכונות ויישובים ולאורך דרכים עשוי להביא למניעת פגיעה בחיי אדם בעת שריפה [56א]. כמו כן, חלוקת אזורים אורבניים גדולים ע"י אזורים ירוקים (גינות ציבוריות, פארקים וכו') עשויה לתת דרך אפקטיבית בעת שריפה לגישה לכוחות כיבוי אש וחילוץ ולהכנסת ציוד, וכן אזורי מילוט ופינוי זמניים עבור תושבים המפנים את האיזור.

6. גיאואסטרטגיה ושינויי אקלים

6.1. מבוא

מעצם הגדרתה עוסקת הגיאואסטרטגיה בנושאים של ביטחון לאומי, בעלי ביטוי מרחבי. סוגיית הביטחון הלאומי כוללת היבטים גאופוליטיים שונים הנוגעים הן למדינה עצמה והן לסביבתה הקרובה והרחוקה שלה.

את ההיבטים הללו ניתן לרכז בשני סעיפים עיקריים:

1. שמירה על החוסן הלאומי של המדינה. תחת כותרת זאת נכנסת הבטחה של קיום חברה חזקה, המאפשרת הישרדות במצבים של אסונות וקונפליקטים. חוסן הלאומי אינו מתבטא רק בקיומו של צבא חזק, שמוכן לגייס רבבות חיילים (אם כי מדובר בנושא החשוב ביותר בפני עצמו). למעשה, עצם קיומו של צבא זה ושל שאר זרועות מערכת הביטחון נגזר ישירות מרמת איכות החיים של אוכלוסייה שרוצה לחיות במדינה הנתונה. איכות חיים זאת באה לידי ביטוי במגוון רחב של נושאים שעל המדינה לטפל: חינוך, בריאות, שמירה על כלכלה חופשית, שמירה על הגבולות, ביצוע מדיניות פיזור אוכלוסייה, מניעת הרחבת שסעים חברתיים, מניעת אלימות, עידוד ענפי המשק השונים (החקלאות, התעשייה, סקטור השירותים), פיתוח מערכת תשתיות (כבישים, מים, ביוב וכו'), שמירה על משאבי הטבע ועל סביבה אקולוגית נאותה.

2. שמירה על אינטרסים חיוניים בזירה הבינלאומית. הכוונה למערכת היחסים של המדינה מול שכניה הקרובים והרחוקים. לכאן נכנסת סוגיות של בריתות צבאיות, ניצול משאבי הטבע המשותפים, תחבורה וסחר בינלאומי וכו' (Podesta & Ogden, 2007; Levy, 1995; Butts, 2008).

על מנת לראות הן את השפעתם הישירה של שינויי האקלים על ישראל והן את ההשלכות העקיפות שנובעות מהשפעת שינוי אקלים על שכנותיה הקרובות והרחוקות, מתייחס המסמך הנוכחי למרחבים גיאוגרפיים הבאים: ישראל שבתחומי הקו הירוק, מזרח ירושלים ורמת הגולן. תהליכים העוברים על שכנותיה של ישראל כתוצאה משינויי האקלים ומחלישים או מחזקים אותן, ועל כן משפיעים על ביטחונה של ישראל ישירות או בעקיפין, יזכו להתייחסות גיאואסטרטגית בתור מעגל המדינות הראשון. הכוונה לארבע המדינות השכנות – סוריה, לבנון, ירדן ומצרים, וגם המרחבים של יהודה, שומרון ורצועת עזה.

מעגל מדינות שני כולל את הארצות המוסלמיות-ערביות סמוכות למעגל הראשון: טורקיה, איראן, ארצות המגרב, מדינות לחופי ים-סוף, כמו סודן על שני חלקיה, ומדינות קרן אפריקה.

מדינות המעגל השלישי. תחת הגדרה זאת נמצאות כל יתר מדינות העולם.

למרות היעדר הסכמה בקרב החוקרים בדבר קיומם של שינויי אקלים והמחלוקת על השפעתם (Dessler et al., 2010) מתייחס המסמך הנוכחי לשלוש תופעות עיקריות הנובעות משינויי אקלים, שעומדות בבסיסן של הסכנות הגאואסטרטגיות לישראל:

1. מחסור במים.

2. עליית מפלס פני הים

3. עליית הטמפרטורות וההתחממות הגלובלית

ההשפעה הבלעדית, או השילוב של התופעות הללו משליך על מגוון רחב של נושאים גיאואסטרטגיים אשר יפורטו בהמשך. אנו מנסים גם לתת תשובה מה אותו היבט עושה או יעשה לגאואסטרטגיה של ישראל בשלושה לוחות זמנים: השלכה מיידית, השלכה לזמן בינוני או רחוק ויתכן גם שאיננו רלבנטי כלל.

בשלב זה במסמך תופיע סקירה שמשקפת את מצב הידע הקיים. לאחר הסקירה יזוהו פערי הידע הקיימים בנושא השלכות שינויי אקלים ויומלץ על המחקרים אשר ישלימו את הפערים הקריטיים. שלושה פרקים ראשונים של המסמך יתחו את ההשלכות הישירות של שינויי האקלים על

גיאואסטרטגיה ישראלית שנובעות ממחסור במים, מעליה מפלס פני הים, מהתחממות והתייבשות. פרק רביעי ידון בהשפעות שנגרמות כתוצאה משילוב של הגורמים הללו, יפרט ויחדד את הנושאים שהוזכרו בפרקים הקודמים. בפרק חמישי נציג טבלה שתתאר בהתאם לרמת הדחיפות השונה את פערי הידע שהתגלו ואת הנושאים שדורשים מחקר משלים.

6.2 מחסור במים

לפי תסריטי איום שונים (אנגרט ואילסר, 2007) מדובר על התחממות והתייבשות הולכת וגדלה בישראל ובשכנותיה הקרובות. לכך ישנן השלכות רבות בנושא המים.

6.2.1 המעגל הפנימי – ישראל

ניתן להבדיל בשני סוגי השפעות בנושא המים כתוצאה משינוי אקלים על ישראל:

1. השפעה ישירה, הקשורה לחוסן הלאומי של ישראל.
2. השפעה עקיפה – משמעותה, שמירה על האינטרסים האסטרטגיים של ישראל בנושא המים בזירה הבינלאומית. מבחינה מרחבית מדובר על הנעשה ב מעגל הראשון, מעגל שני ומעגל שלישי. מצבו של משק המים בישראל הינו קשה גם בלא השפעות של שינויי האקלים. אוכלוסיית ישראל גדלה, אך מקורותיה אינם מתחדשים ואף מתדלדלים. עם זאת לשינוי האקלים ישנה השפעה ישירה על מאזן בעייתי זה. טמפרטורות גבוהות וירידה במשקעים מובילים לתוצאות הבאות:
 - שינויים יותר קיצוניים במשרעת של המשקעים.
 - צמצום כמויות המים.
 - פגיעה באיכותם.
 - ירידה במפלסי המים העיליים. ראה דוגמתו של נהר הירדן (Samuels et al., 2009).
 - הקטנת כמויות המים שמחלחלים לאקוויפרים
 - עלייה במחיר המים, וכתוצאה מכך עלייה במחירי המזון, דבר הפוגע בעיקר בשכבות סוציו-אקונומיות חלשות (ראה פירוט בנושא זה בפרק תחת הכותרת "שינוי אקלים ומזון בראייה גאואסטרטגית").

6.2.2 השלכות של המחסור במים על מדיניות החוץ

השפעה עקיפה של נושא המים בראייה הגאואסטרטגית באה לידי ביטוי בהסכמי המים של ישראל עם שכנותיה: באלה שכבר נחתמו ונאכפים ובאלה שעשויים להיחתם בהמשך (Brooks & Trottier, 2010; Tir & Stinnett, 2010; Weinthal, 2008).

בהסכמי אוסלו הוחלט על העברת כל אקוות החוף של עזה לפלסטינאים. עם זאת הסוגיה של חלוקת המים המשותפים טרם נקבעה (אקוות ירקון-תנינים, מעיינות חרוד ובית שאן). הפלסטינאים מודעים להשפעות שינוי האקלים על משק המים שלהם והשפעותיו (Climate Change Adaptation Strategy and Programme of Action for the Palestinian Authority, 2010). בכל הסכם עתידי ירצו פלסטינאים להבטיח את שליטתם במקורות הללו (Lautze & Kirshen, 2010; Brooks, & Trottier, 2010; Mimi & Mason & Zeitoun, 2010).

מצבה של ירדן כתוצאה משינוי האקלים חמור יותר מזה של ישראל, אפילו לפי התסריטים האופטימיים ביותר. הממלכה ההאשמית סובלת לאחרונה מבצורות, שרק תלכנה ותגברנה (Al-Qinna et al, 2011) מהתפשטות המדבור וכתוצאה מכך מפגיעה בחקלאות (Al-Zu'bi, 2009; Oroud, 2008; Fardous & Jitan, 2008).

סוריה נמצאת במשבר מים קשה, דבר התורם להכבדה במצבה הכלכלי והגיאואסטרטגי (Daoud, 2008). מחסור במים יועלה על ידי ישראל בכל הסכם עתידי עם סוריה ויכלול את הנושא של מקורות

המים בגולן, שהם חלק מאגן הירדן. כמו כן טרם נפתרה שאלת השתתפות סוריה בכינרת (סופר, 2006)

בהסכמים עתידיים תלויה ישראל גם במים שמקורם בלבנון: נחל החצבני, נחל עיון, האגן התת-קרקעי המזין את נביעות נחל הדרן. למרות היותה של לבנון מדינה עשירה יחסית במים, גם היא לאחרונה נוקטת אמצעים על מנת לחסוך במשאב האסטרטגי הזה, הן כתוצאה משינוי האקלים והן כפועל יוצא מגידול אוכלוסיית המדינה ומאי העברת מים מאזור לאזור על פי הצרכים (Bou-Zeid & El-Fadel, 2002; Karam, 2008; Farajalla, 2010).

בנוסף להסכמי השלום העתידיים בין ישראל לשכנותיה חשובה מבחינה הגיאואסטרטגית עמדתה של טורקיה. טורקיה מודעת לשינוי אקלים ומבינה את יכולתה להשפיע על המתרחש סביבה בעזרת הכוח הטמון במשאבי המים שלה (Sensoy et al, 2010). אם טורקיה תשמש מתווכת בתהליך השלום יכולה עמדת הכוח זאת להשפיע על גמישותה, או על התעקשותה של סוריה בשאלת הסכמי שלום ומים עם ישראל (Gurcanli, 2008). התסריט שכזה הינו ריאלי, גם בתנאי והיחסים הבינ-מדיניים בין טורקיה לישראל יחזרו למסלולם הידידותי וגם אם היחסים האלה יחמירו עוד יותר.

6.2.3 התרחישים הפוטנציאליים בנושא המים שנוגעים לביטחונה הלאומי של ישראל

6.2.3.1 מחסור במים והמעגל הראשון

יהודה שומרון עזה.

הקרבה הרבה בין ישראל לרצועת עזה ויו"ש הופכת בעצם את כל ארץ ישראל המערבית למערכת גיאוגרפית אחת, וכל דבר שציינו לגבי שינויי האקלים וישראל ניתן להרחיב גם לשטחים. התפלה ומיזוג אויר יצרכו יותר אנרגיה, אלא שאוכלוסיית יו"ש ור"ע לא תוכל בתקופה הנראית לעין לספק את האנרגיה ולבנות את תחנות הכוח ומתקני ההתפלה הדרושים להתמודד עם הביקוש למים ולממנם בעצמה. הטיפול של ישראל בסוגיית המים של פלסטינאים ידרוש גם התייחסות למערכת הביוב שלהם. יהיה צורך דחוף ומיידי בסיוע לתושבי השטחים בכל הנוגע למזון. זה נכון בהווה, זה יהיה נכון בעתיד גם ללא משבר אקלימי ויחמיר בגלל שינויי האקלים. איי עוני באזורים שונים של יו"ש, יאלצו חלק מהאוכלוסייה לנדוד צפונה. ההיסטוריה של הלבנט מלמדת כי כיוון ההגירה בדרך כלל הינו צפונה, או צפון-מערבה (לישראל). כלומר ההגירה לתוך ישראל שאפיינה את הפלסטינים מאז 1967 במספרים גדולים תמשך. בעניין זה ישנו צורך מיידי בהשלמת הבניה ואטימת גדרות (ולא חשוב היכן יעברו). חשוב להדגיש, כי מציאות זו תיצור מתחים מתמידים לאורך קווי הגבול בין שתי המדינות (ישויות).

יש לבדוק את הקשר בין מחסור גדל במים, במזון והתרחבות אזורי המדבר ביו"ש (דרום הר חברון, כל מרחבי המדבריות יהודה שומרון שיתרחבו עד לקו פרשת המים!) לבין הרעיונות העולים לסדר היום בדבר קליטת פליטי 48 ביו"ש. יש לבדוק את התגברות השריפות בכל ארץ ישראל שישפיעו על מערכת היחסים הביטחונית בין שתי הישויות. שאלה חשובה נוספת – האם נראה התגברות בתחלואה והאם יוצר הצורך בסיוע הומניטרי שלא הכרנו בעבר? רצועת עזה מהווה סיפור של אסון מתמשך. בנוסף ליובש, היא תסבול ישירות מתוצאות עליית מפלס פני הים. גידול אוכלוסייתה שנמשך יקשה עוד יותר על התמודדות עם תוצאות שינויי אקלים.

לסיכום – הפלשתינים הם נטל על ישראל שנוכל לו. מדובר בפחות מים; יותר מאמצי הגירה, יתכן יותר מחלות, יותר זיהום. מצד שני, הם פחות רגישים מתושבי ישראל לבעיות של עולם שלישי ולמצוקה.

מצרים. לשינוי אקלים ישנה השפעה על ספיקת הנילוס (Di Baldassarre, 2011) שעלולות להשפיע על מגוון רב של תחומים במצרים, החל ממצבה הכלכלי-חברתי וכלה במעמדה הבינלאומי (Agrawala et al, 2004; Saber, 2009).

הפחתה בכמות ספיקת הנילוס (תהליך שהחל כבר בשנות ה-70 ונמשך גם בהווה) הינה הרת אסון. אם נחזור לספיקות מים בנילוס של 30-40 מיליארד ממ"ק (כמו שהיה בשנת 1984), מדובר במשבר שאולי מצרים עוד תוכל להתמודד עמו בסיוע זר של מזון רב. אבל בספיקה מתחת לקווים אדומים אלו, קרי ירידה לכדי 30 מיליארד – תתרחש קטסטרופה כלכלית וסביבתית, יורגש מחסור במים לשתייה, יקרו מפעלי הפיתוח והאנרגיה של המדינה. והיה ולא יהיו מים – לא תהיה חקלאות, כלומר יגבר הצורך ביותר ייבוא מזון לכ-100-80 מיליון בני אדם. ייגרם סבל למיליוני נפשות, ולפחות 20-30 מילין מצרים ייאבדו את פרנסתם בענף החקלאות (Bohannon, 2010). יורגשו לחצים גוברים של הגירת חקלאים על קהיר ויתר הערים. דבר זה יוביל ליותר תוהו ובוהו ואי-שקט חברתי, כלכלי ופוליטי. תיתכן עליה ניכרת בכוחו של אסלאם קיצוני.

צמצום בספיקות המים ישים קץ לתוכניות הפיתוח של מצריים בצפון סיני, יעצור את תוכנית טושקה והעמק החדש. ללא ספק תשתנה גם מדיניות החוץ של מצריים. היא תהיה יותר אגרסיבית מול סודן צפונית ודרומית, אתיופיה ויתר מדינות אגן הנילוס במשווה, ויש לכך כבר סימנים מדאיגים בשטח (Link et al, 2010). העוני והמחסור הגוברים יגבירו כנראה את הניסיונות להגר ממצרים. כך או אחרת, סיני הופכת למרחב מופקר על כל המשתמע מכך (שלטון בדווי, מהגרים, טרור, הברחת סמים). במקביל יורגש יותר חיכוך עם המצרים במפרץ אילת ומול מצרים ועזה בים התיכון.

לסיכום, חשוב להדגיש, כי מצרים בעוניה ובגודלה לא תיושע מהתפלה!

ירדן. בעוד שבין ישראל למצרים מפריד מדבר סיני, הרי בין ישראל לירדן יש קשר רב תחומי לכל אורכו של הגבול בערבה, בים המלח ומטירת צבי ועד למשולש הגבולות על הירמוך. עם הממלכה ההאשמית ישנו הסכם שלום חתום, אך בצידה הירדני שוהים מיליוני פלסטינים, המהווים שם את רוב האוכלוסייה. הם מקושרים בקשרי לאום, משפחה, כלכלה, תרבות ודת עם תושבי הגדה המערבית כולה (יו"ש, ישראל, ר"ע). ישראל שותפה עם ירדן בים המלח, בנהר הירדן ובערבה. כל זעזוע באחד ממרכיבים אלו נוגע ישירות לשתי המדינות (כמו גם ליישות הפלשתינית – המדינה הפלשתינית, בצפון ים המלח ובקעת הירדן). מחסור נוסף במים (בנוסף לתהליכים עכשוויים של גידול בביקוש בגלל דמוגרפיה ובגלל העליה ברמת החיים) עומד להפוך את כל הממלכה למדבר מוחלט (Al-Alawi, 2008).

רק התפלה תוכל להציל את תושבי הממלכה, או מפעלים בקנה מידה שלא הכרנו – התפלת מים בחופי ישראל והעברתם לירדן, מתקני התפלה גדולים במפרץ עקבה, או העברת מים מעיראק או מסוריה (של מימי הפרת) בעסקה משולשת, או מרובעת טורקית-סורית-עירקית-ירדנית. בכל הנוגע להידוק היחסים בין שתי המדינות – המשבר החמור והמתקרב עשוי לקרב את ישראל לירדן, בתנאי שישראל תהיה נדיבה בהצעותיה לממלכה.

סוריה. אם סוריה תיכנס לסחרור של מחסור במים, מעבר למשבר המים הכרוני המאפיין אותה בשנים האחרונות, צפויים תהליכים הבאים. מחסור במי-שתייה ברוב הערים הגדולות והיישובים העירוניים, דבר שיביא למהומות (ללא קשר למצב העכשווי באביב ובקיץ 2011). מהיישובים הכפריים נראה הגירות המונית, בעיקר מן הפריפריה אל הערים הגדולות. כמובן תהינה הגירות לכיוון הגבול התורכי, ללבנון (דבר שכבר החל) וניסיונות להיכנס לישראל. לירדן לא תהיה הגירה, מפני שאין שם מים. זו תהיה מדינה במשבר שתזדקק לסיוע רב מחו"ל. זוהי הזדמנות ליחסים משופרים עם ישראל, אם תסכים לקבל סיוע ישראלי בכל הנוגע לשימוש במים ולהפקתם. יחד עם זאת היא תוכל לקבל סיוע כזה מטורקיה שממילא תהיה משועבדת לה. אם התסריט של סיוע והתקרבות לא יצא לפועל, סוריה תהיה כנראה מדינה לא יציבה וגם אלימה כלפי פנים וחוץ. משקלה הגובר של טורקיה בסוריה בגלל המשבר צריך להטריד את ישראל.

לבנון. משבר מים עולמי יפגע בלבנון כנראה פחות מכול יתר מדינות הלבנט והמזרח. לא נראה שמשבר האקלים ישנה את יחסי שתי המדינות לטובה או לרעה בגין אירוע זה. אם היחסים יהיו מתוחים, זה לא יהיה בגלל משבר המים!

6.2.3.2 מחסור במים והמעגל השני

סודן: סודן דרומית. אם תתבסס מדינת דרום סודן ישתנו כללי המשחק ההידרופוליטיים באגן הנילוס. זו תהיה מדינה מרכזית בשליטה ובתוספת מים לנילוס הצפוני (סודן, מצרים). חידוש מפעל ייבוש ביצות הסוד ישנה את מצבה. הוא יוסיף מים חסרים למצרים וגם לסודן הצפונית (Ahmad, 2008). תוספת מים למצרים היא תשובה חיונית למזעור משבר המים במדינה ומזעור ההשלכות השליליות שצפויות להיגרם לישראל. אם יחסי דרום סודן-ישראל יהיו טובים (כפי שאנו מצפים ב-2011), היא תסייע לישראל בצמצום גל המהגרים מאפריקה לישראל וגם כמדינת צד שלישי תסייע בהעברת מהגרים בחזרה לאפריקה. משבר מים, באם יפגע גם בנילוס לבן, יאפשר לישראל להציע למדינה זו סיוע רב בתחומי השימוש במים.

סודן צפונית. משבר מים ירחוף אוכלוסייה מצפון לדרום, מחרטום דרומה לעבר סודן דרומית ולא דווקא צפונה לעבר מצרים המתייבשת. משבר במדינה זו, אם יהיה חמור דיו ואם יחסי ישראל דרום סודן יתהדקו, יוכל לקרב את ישראל גם למדינה זו, אך בשלב מאוחר יותר. בשלב זה לא נראה שינויים דרסטיים בקשרי ישראל-סודן וגם ההשלכות של משבר המים מצד סודן לא יהיו שונים מהמצב כיום (Zakieldeed, 2009) – דהינו התגברות זרם פליטי בצורת משם לכל עבר (Rushton, 2010). סגירת גבולות ישראל-מצרים במפרץ אילת ובגבול ירדן יבלמו גל זה, שיצטרף לגל קשה ממילא לעבר ישראל מכל מדינות אפריקה והמזה"ת.

עיראק. למרות היותה עשירה לכאורה במים (פרת וחידקל) נמצאת עירק במשבר מים הולך ומחריף (Janabi, 2010). משבר מים בעיראק יגביר הגירה ממנה לכל עבר. יחד עם זאת יש לה נפט שיוכל לפצותה כתחליף למחסור במימי פרת-חידקל, דהינו התפלה!

הגירה לסוריה וירדן, כפי שאכן זה קורה בשני עשורים אחרונים, משפיעה על מחסור מים גובר בדמשק, בעמאן ובירדן כולה. לכך השלכות עקיפות על ישראל. מחסור במים מגביר אלימות, קשיחות, גורם להגרות. הגברת התלות של עיראק וסוריה במימי טורקיה מחזקים את מעמדה של טורקיה כמעצמה אזרית. סעודיה. לא נראה קשר ישיר.

טורקיה. לשינוי האקלים יש השלכות אסטרטגיות על יחסי ישראל טורקיה, כפי שכבר ציינו לגבי העתיד להתרחש בעיראק ובעיקר בסוריה. שתי מדינות הללו תלויות במימי הפרת (ועיראק גם בחידקל) המתחילים בטורקיה. ככל ששינויי האקלים יפגעו בספיקת נהרות אלו, יתמעטו המים בסוריה וגם בעירק ועל כן תגבר תלותן הפוליטית והכלכלית בטורקיה. ישראל במקרה כזה תמצא התערבות טורקית גוברת על גבולותיה עם סוריה, עם לבנון, ואולי עם עיראק-ירדן-פלסטינים. לטורקיה יהיה, כך אנו מניחים, יותר מזון, וזו תוכל לייצא למדינות הרעבות במזה"ת, כולל את שכנותיה הקרובות של ישראל (Sensoy, 2010).

מצד שני, וקטור ההגירות של פליטי הבצורת מהלבנט ינהר לכוון מדינה זו בראש ובראשונה ויקל על הלחצים בגבול ישראל. אנו מניחים שיקרה דבר בעל משמעות גיאופוליטית נוסף: הסוגיה הכורדית מונחת על שולחנה של טורקיה כמאיימת בכל מקרה. שינוי האקלים רק יאיץ את המשבר הטורקי-כורדי. לישראל יש הרבה מה לעשות במשבר שכזה כבר בהווה. כך למשל, יש לשקול מתן סיוע ישראלי לכורדים בטורקיה, אם זאת תמשיך ביחסה העוין לישראל.

איראן. לכאורה אין השפעות ישירות בין משבר מים בישראל ואיראן וגם לא להיפך, אלא אם אנו דנים בהגברת האי-יציבות במדינת מיעוטים זו. משבר מים יכה קשות את מרבית הערים הגדולות של איראן הנשענות על מים מן ההרים, או על מי תהום שעלולים להתמעט.

ארצות המגרב. מחסור במים בכל מדינות המגרב עלול להביא ל"רעידת אדמה" גיאופוליטית גדולה, אך בעיקר ביחסי צפון אפריקה-דרום אירופה ולא כל כך ביחסי ישראל-מגרב. מדובר בגלים של מהגרי בצורת. בעקיפין אנו משערים שככל שמצב מדינות הגבול האקלימי של ים תימן-סהרה יורע, יש לישראל שער כניסה אפשרי למדינות אלה כמסייעת להן בהתפלה, בשיטות חקלאיות וכו'. מדובר בטווחי זמן בינוניים ולא מידיים.

6.2.3.3 שינויי אקלים, מחסור במים והמעגל השלישי

שינויי אקלים יביאו למחסור במים בחלקים גדולים של העולם. דבר זה עלול לגרום לנדידות אוכלוסיות גדולות ביותר ולהעברת מזון בממדים מבהילים מאזורי שפע לאזורי מצוקה. זאת כמובן בתנאי שיהיו מספיק עודפים ובתנאי שמדינות עשירות תהינה מוכנות בכלל לתרום מזון בסיסי לנזקקים ללא תשלום. מה זה יעשה לישראל ולשכנותיה? מחירי מזון בסיסי יאמירו לגבהים שהעולם השלישי לא יוכל לרכושן. כלומר צפוי רעב כבד בכל מדינות במעגל הראשון והשני. הגירות ומלחמות תהפוכנה לשגרת חיים. ישראל, אם יהיו בידי ישראל רזרבות של כסף, אולי תוכל לקנות מזון בסיסי לצרכים שונים ולהגדלת מלאי חירום. לקח נוסף חשוב – על ישראל לשמור מכל משמר על הקרקעות המתאימות לחקלאות. עד היום היינו עדים לבזבז בלתי אחראי בעניין זה, שפגע הן בקרקעות חקלאיות והן בחקלאים עצמם (סופר 2010, 2011).

מסקנה נוספת מתבקשת – צה"ל חייב להיות מוכן לניסיונות פלישת המונים ומלחמות בכל הגזרות. אם התרחיש הפסימי ביותר יתממש, יש להניח שלגלי המהגרים יצטרפו פליטי בצורת גם מהמעגל השני.

6.3 שינויים במפלס פני הים

עליית מפלס פני הים מעוררת מספר סוגיות גיאואסטרטגיות שקשורות הן לישראל והן למעגלים שסביבה.

6.3.1 מעגל פנימי – ישראל

העלייה במפלס פני הים תוביל להגברת תדירות ההצפות במקומות הנמוכים. קרקעות יקרות ערך יאבדו. כתוצאה מארוזיה מוגברת יימצאו בסכנת התמוטטות מצוקי הכורכר (רוזן, 2004; פרת, 2004; בין, אידלמן וכהן, 2010). עלולה להיווצר פגיעה במבנים, אשר תבוא לידי ביטוי בהפסדים כלכליים לא מבוטלים (יהושע, 2004).

שינוי במפלס פני הים יפגע בכל חופי ישראל, מראש הנקרה ועד לגבול עם רצועת עזה. באשר לסכנת הצפות הים בעמקים נמוכים מדובר באיום על חדירת מי ים לנעמן ולקישון. במקרה אחרון ידובר בפגיעה במתקני חיל הים ובתשתיות לאומיות רבות. לא קיים ידע בנושא היערכות נמלי ישראל לשינוי מפלס פני הים. דרוש מחקר בנושא.

נקודה גיאופוליטית חשובה לטווח הבינוני והרחוק מתייחסת למעגל הראשון של שכנות ישראל ולתקופה שלאחר הצפת ביצות החוף, דלתאות, איים, או אזורים נמוכים בקרבת החוף.

6.3.2 עליית מפלס הים ומדינות המעגל הראשון

ליו"ש אין קווי חוף מלבד ים המלח.

רצועת עזה. החוף מישורי, נמוך, עליית מי הים תפגע קודם כל במעט מי התהום השפירים שנותרו. יהיו חדירות של מי ים לאפיקי הנחלים, כמו הבשור. חוף הרצועה יפגע ושטח הרצועה יצטמצם אם התהליך ימשך. ככל שבעזה המצב יחריף (בגלל שורה של גורמים) הלחצים לברוח משם כוון יחיד אפשרי – לישראל – יואץ.

סוריה. ההשפעה כנראה תהיה קטנה יחסית.

ירדן. ההשפעה צפויה במפרץ אילת, אך לא נראה נזקים חמורים.

לבנון. כמעט ואין מישור חוף בחלקים גדולים של רצועת החוף. לכן כל עלייה במפלס הים תצמצם עוד יותר את רוחבו של המישור.

מצרים. עליית פני הים תפגע קשות בדלתא המצרית (El Raey, 2010; Elshinnawy, 2010). לכך השלכות כלכליות-חברתיות-ביטחוניות גדולות (Heggy, 2010). לפי תחזיות (Dasgupta et al, 2009), כבר בעלייה של 1 מ' כ- 6 מיליונים יצטרפו להעתיק את מגוריהם, תהיה פגיעה ישירה בחקלאות ובתל"ג בהיקף של 13% ו- 6% בהתאמה. במקביל קיים חשש לפגיעה במי תהום ובתוצרת החקלאית

באזורים נוספים, וצפי לפגיעה בשליש מהדגה עקב שחיקת רצועת החול שמגינה על לגונות המים המתוקים.

בפן הגאואסטורגי – עליית הים בחצי מטר תכסה את אזורי אלכסנדריה (Hansen, 2008), תעלת סואץ הצפונית ופורט סעיד (El-Nahry & Doluschitz, 2010). דבר זה יחייב פינוי אוכלוסייה של כ-3 מיליוני בני אדם לפחות, עם כל המחיר הכבד הכרוך בכך. כמו כן יגרמו נזקים לכל מתקני החוף האזרחיים והצבאיים, כמו כן גם לחקלאות ולמתקני התיירות (Dietrich, 2010; Santucci, 2010). יש לבחון במיוחד מה יקרה לתעלת סואץ, הרי מדובר בהשלכות גלובליות. בנוסף לדלתא ולתעלת סואץ, ההשפעה של עליית מפלס פני הים תורגש כנראה גם ביתר חופי מצרים הארוכים: במפרץ אילת, במפרץ סואץ, בחופי ים התיכון, בסיני ובכיוון למרסה מטרור, בים סוף.

6.3.3 עליית מפלס הים ומדינות המעגל שני

עיראק. העלייה במפלס פני הים אמורה להציף את הדלתא של השאט אל ערב (El Raey, 2010). איראן. עליית הים יכולה להיות לבעיה אסטרטגית למדינה זו, מפני שהים יציף את חבל החוזיסטן בממדים גדולים, על רוב שדות הנפט והצנרת שבו. תיפגע גם הכניסה לערי הנמל האיראניות. כנראה ישנה חשיבות גם לשינוי מפלס פני הים בים הכספי. טורקיה. עליית מי הים תפגע כנראה בכל הדלתאות של טורקיה: בדלתת אדנה, בדלתאות המערב – הגדיס, המנדרס הגדול והקטן חופי ים שחור. אין להניח שמדובר בנזקים בעלי משמעות אסטרטגית. לטורקיה ישנם האמצעים להתמודד עם נזקים אלו. לגבי יתר מדינות המעגל השני איננו רואים השלכות אסטרטגיות בסעודיה, מגרב, או בסודן, שיש בהם קשר ישיר או עקיף לישראל.

6.3.4 עליית מפלס הים ומדינות המעגל השלישי

השילוב של התחממות העולם ועליית מי הים יפתחו כנראה דרכי שייט חדשים באוקיינוס הצפוני, שעשויים לשנות את כל מפות השיט הבינלאומיים. מה זה יעשה למקומו של המזה"ת וישראל בתוכו? שאלה נוספת הינה מה פירוש עליית מפלס פני הים ולהצפת מדינות כמו הולנד, או בנגלדש. מה יקרה עם דלתאות כגון זו של נהר הפו באיטליה (איום על ונציה), של הדנובה ברומניה, של ריין. מה יקרה בבליגיה, בחופי בריטניה, שלא לדבר על ערים ענקיות שממוקמות על גדות נהרות: ניו-אורלינס, שנחאי עם כל דלתת האנג צה, כמו כן כל יתר דלתאות דרום מזרח אסיה. אם אלו יוצפו זה יביא לגל ההגירה הנורא בהיסטוריה, יגרום לאסון רב ממדים בכל הנוגע ליבולי האורז והגידולים הטרופיים, לרעב המוני של מיליארדי נפשות. האם מישהו יחשוב על המזרח התיכון? מה יקרה ליד הגבולות של ישראל בתרחיש כזה?

6.4 עלייה בטמפרטורות (התחממות, התייבשות גוברת והגברת אירועי קיצון)

קיימות תחזיות הגורסות כי התחממות גלובלית (למשל כדי 3 מעלות מעל הממוצע) תקטין כמות היבולים העולמית, תגרום לשריפות גדולות (בין היתר של תוצרת חקלאית), למחסור גובר במזון בקנה מידה עולמי. זו תהיה כנראה אחת הסיבות לגלי הגירה רבים. הדוח של אט"ד משנת 2007 התבסס על המודלים של IPCC והציג תרחיש, לפיו הטמפרטורות בישראל תהינה יותר גבוהות מהממוצע העולמי. הן עשויות לעלות בקיץ בכ-3.3, ובחורף בכ-2.8 מעלות. עוד גורס הדוח, כי התחממות בשעות הלילה תהיה גבוהה מההתחממות בשעות היום, גלי החום יהיה תדירים יותר, חריפים יותר וממושכים יותר (אנגרט ואילסר, 2007).

עם זאת אין אחדות בקרב החוקרים לגבי המובהקות הסטטיסטית של העלייה הקיימת והצפויה בטמפרטורות. לטענתם הזהירה, שינויי האקלים באים לידי ביטוי לא בממדים סטטיסטיים (כמו עליית הטמפרטורה לאורך ציר הזמן, או התמעטות בכמות המשקעים על ציר הזמן), אלא בהגברת "אי-הוודאות" וריבוי אירועים קיצוניים (למשל התגברות סופות ים בכל שנה יותר מכל מה שהיה בעבר, עוצמת הוריקנים שלא הכרנו בעבר, עונות יובש ארוכות מבעבר ובמקרה הישראלי עונות יובש וגשמים

בלתי צפויים) (Paz and Kutiel, 2003). כתוצאה מכך, מתפתחים תנאים להגברת הסיכון ותרחישי אסונות (סערות, שריפות וכו').

6.4.1 עלייה בטמפרטורות - המעגל פנימי

בתוך ישראל נאלץ להתמודד עם יותר מחלות שחלקן אולי לא מוכרות. יש לחשוב על שינוי בכל הנוגע לבנייה במודלים חדשים. יש לשקול את האופציה של ירידה אל מתחת לפני הקרקע כדי לשמור על טמפרטורה צוננת יותר, דבר שגם יסייע לחסוך בשטחים במדינה צפופה כשלנו. עליה בטמפרטורות, שתלווה בגשמי זעף קצרים, מחייבים היערכות חדשה בכל הקשור לתשתיות ולאחזקתם. עוצמות גשם סוערות אך קצרות פירושה יותר שיטפונות, סחיפת קרקע והצפות בכל רחבי המדינה ובעיקר בערים.

ההתחממות עלולה להשליך על הידלדלות היער בישראל, תגביר כנראה את תהליכי המדבור, תוסיף את חלקה לסכנת השריפות.

6.4.2 עלייה בטמפרטורות - המעגל הראשון

יו"ש. כתוצאה מהתחממות, התייבשות, או זיהום אויר יתכן ותפתחנה מחלות חדשות, או תהיה התפרצות של מחלות מן העבר. כל מה שיתרחש בישראל יקרה גם בר"ע ויו"ש ואולי גם במעגל הראשון, קרי מצרים, ירדן, סוריה ולבנון.

בנוסף, בכל תחום השיטפונות, הצפות, ארוזיה כתוצאה מהיעלמות הצומח, כל מה שיתרחש בהרי יו"ש, נוגע לישראל. אם אפשר, יש להגיע לשיתוף פעולה עם מקבלי ההחלטות ביו"ש כדי למזער נזקים כבר שם, ואם לא, אז להתכונן לכל רע על קווי הגבול. נשאלת השאלה, האם על ישראל ליזום פעולות יעור באגני הניקוז כיו"ש (בתור סיוע לפלשתינים!).

רצועת עזה. קווי המגע של ישראל עם ר"ע חסרי צמחייה. אין סכנת שיטפונות מר"ע לישראל. ההיפך הוא הנכון. יש להתריע את האחראים בעזה על הצפוי בעתות גשמי זעף שיטפוניים. אין ספק שכל שר"ע תתייבש, תסבול ממחסור במים, יגבר הלחץ לצאת משם. הכיוון הסביר ביותר תהיה ישראל. זה נכון גם ללא שינויי אקלים ויהיה נכון שבעתיים, אם תהליך זה יימשך (האוכלוסייה ב-2011 1.5-1.6 מיליון נפשות וב-2025 ברצועה יתגוררו כ-2.5-2.6 מיליון נפשות). בכל מקרה בעזה אנו צועדים לקראת אסון אנושי קשה ומאיים.

מצרים. השפעה יחידה יכולה להיות על ממדי ההגירה משם לכל עבר וגם לכיוון ישראל. אין ספק שעליה בטמפרטורות בסיני תקרב את חצי האי למצב דומה לסהרה על כל המשתמע מכך. על ישראל לשאול, האם חום זה יגביל את ממדי ההגירה בנתיבי סיני! מצבם הכלכלי של המצרים יורע ומפעלי הפיתוח סביב אגם נאצר יפסקו כנראה. התוצאה תהיה יותר הגירה גם מדרום מצרים לצפונה.

ירדן. כל מה שצינו לגבי מחסור במים, חופף לעניין ההתייבשות הגוברת. החידוש הוא בעניין השיטפונות בבקעת הירדן, באזור שבין טירת צבי-ירמוך וההשפעה על בקעת הירדן בקטע זה. הסכנה היא למטעי התמרים, בננות וכו'. באשר למערכת הביטחון, יש לראות כיצד מונעים נזקים לגדרות המערכת שבתוך האזור. כנ"ל כבישי ביטחון והנושא של סחיפת מוקשים. בכל הנוגע לערבה, לא נראה שהמצב בעתיד יהיה שונה מהמצב בהווה מבחינת חום, שיטפונות, או שריפות.

סוריה. הסקירה על סוריה בעניין המחסור במים נכונה גם לעניין זה. יהיו פחות מים בגלל ההתייבשות וההתאידות הרבה. הצחיחות תגלוש גם לאזורי האקלים הים תיכוני, ברצועה הצרה מדמשק לחלב ולקמישלי. סוריה כולה תהפך למדברית. נקודה אסטרטגית חשובה קשורה להגירה – תנועת הגירה גדולה בכיוון לצפון המדינה, שיש לה השלכות בעת עימות ישראל-סוריה.

לבנון. התייבשות המדינה תפגע קודם בקווי הגבול עם ישראל שיבערו בשלב ראשון, עד שכל המרחב יהפוך למדברי. עניין זה קריטי ומחייב הערכות מתאימה, שכן כל שריפה שתחצה את הגבול תפגע בנופי הגליל, מחניתה-ראש הנקרה במערב ועד לחצבני-חרמון במזרח. יש להניח שכל מימי עיון וחצבני ינוצלו בדרום לבנון. שיטפונות קשים וסחיפות מאיימים רק בגזרה של בקעת החולה, ממטולה

– נחל עיון ועד לחרמון, בעיקר עיון, חצבני, דן. כל פגיעה שם תשפיע על גדרות המערכת הצה"לית, תשבש דרכים, גשרים, צנרת, מתקנים.

6.4.3 עלייה בטמפרטורות - המעגל השני

מלבד התגברות מגמות ההגירה מכל ארצות המעגל השני, לא נראים קשרים והשפעות על ביטחון ישראל.

6.4.4 עלייה בטמפרטורות - המעגל השלישי

כל מה שצוין בעניין המחסור במים, נכון לתחום זה גם כן. יש לצפות ליותר שריפות, פחות יבולים חקלאיים, פחות מים, יותר הגירות. הסהרה תתרחב צפונה (על חשבון המגרב) ודרומה לאזור הסהל. מדינות העולם ה-1, בדגש על ארה"ב שגם צופה להקצנת אסונות הטבע בשטחה (Begley, 2011.29.5), לא יוכלו לסייע לכל המין האנושי ותהיה בחירה אכזרית בין טובים ורעים. המסקנה לגבי ישראל – יותר הישענות על עצמנו במזון, באנרגיה, יותר גבולות אטומים.

6.5 אפקטים מצטברים של שינויי האקלים

6.5.1 שינויי אקלים, תחבורה וגיאופוליטיקה

לעלית מפלס פני הים ולהמסת קרחוני הקוטב יש השפעה גדולה על נתיבי התחבורה העולמיים (Chircop, 2007), על השייט עצמו (Koetse & Rietveld, 2009) ועל תשתיות הנלוות – בעיקר על נמלים כתוצאה מהתגברות הסערות והשפעתן על החופים (Hawkes et al, 2010). יתכן ונראה ירידה דרמטית בביקוש לתעלת סואץ בטווח הבינוני – מה שעלול לפגוע במצרים. פירוש הדבר שמצרים הולכת להיות מוכה לא רק על ידי התחממות, מחסור במים, עליית מפלס הים, איום של הדלתא, אלא תתדרדר עד לקטסטרופה ממשית. במקרה כזה סיני, גבול ישראל-מצרים, ים התיכון ומפרץ אילת יהיו רגישים ביטחונית. לכך השלכות גיאופוליטיות מרחיקות לכת על ביטחון ישראל. בהקשר זה יש לשאול את השאלות הבאות: האם תהינה השלכות גלובליות של הזנחת המזרח התיכון מצד המעצמות הגדולות?

6.5.2 שינויי אקלים ומקורות אנרגיה

סוגיות גיאופוליטיות גלובליות הקשורות במקורות האנרגיה בעולם זכו לאחרונה גם להתייחסות (קצרה אומנם) בהיבט של שינויי אקלים (Shaffer, 2009). סוגיית שינויי אקלים, זמינות מקורות האנרגיה וניצולם הנכון מטריד גם את מדינות ערב, החל מאלו העשירות ביותר בנפט וגז, כמו כוויית (Hajiah, 2010), סעודיה (Alyousef, 2010) ושאר מדינות המפרץ הפרסי (Alnaser & Alnaser, 2010) וכלה באלו הדלות במשאבים ורואות את המחסור ההולך ומתקרב, שישליך על מצבן הכלכלי, החברתי ואף מעמדן הבינלאומי, כמו לבנון, עזה, ירדן ומצרים (Abdellatif, 2010; Hrayshat, 2007; Oil & Gas, 2010; Journal, 18.2.2008; Jefferson, 2010; Wasser, 2010).

ישראל. שינויי אקלים בישראל משליכים באופן ישיר על ביטחונה האנרגטי של המדינה. התחממות והתייבשות יידרשו יותר אנרגיה, הן לשימוש ביתי (מאווררים, מזגנים), הן למשק (קירור, תעשיות) והן לצורך הטיפול בתשתיות ישנות ובנייתן של החדשות (מתקני התפלה). עם זאת, ראוי לציין, כי ייתכן שההתפלה דווקא תחסוך באנרגיה, וזאת בגלל מיקום מפעלי ההתפלה. הקרבה שלהם למרכזי אוכלוסייה תחסוך את האנרגיה שמנוצלת כיום לצורך השאיבה וההובלה של המים לצרכניהם (סמיט, בישיבת צוות החשיבה, 31.7.2011).

ביטחון אנרגטי של ישראל תלוי במספר מקורות:

מקורות אנרגיה קונבנציונאליים: גז, נפט, פחם. במקורות הללו תלויה ישראל בספקים זרים. לעובדה זו השפעה הולכת וגדלה על עוצמתה ועצמאותה הכלכלית והגיאופוליטית, במיוחד בעקבות הצריכה

המוגברת שצפויה וההתפתחויות המדאיגות במצריים, שכנראה לא תהיה אמינה יותר באספקת הגז, כפי שהייתה קודם (Sobelman, 2011). הגילויים של מקורות הגז במים כלכליים של ישראל יתחילו לשרת אותה רק כעבור מספר שנים (2013-2014 בערך), אחרי השלמת התשתיות הדרושות. בינתיים יורגש בשנים הקרובות מחסור קצר זמן במקורות האנרגיה.

מקורות אנרגיה חלופיים: רוח, סולארי, גלים. השימוש במקורות הללו קיים, אך תרומתם למשק החשמל הישראלי עדיין קטנה ביותר, אם כי השימוש במקורות אלה, כגון אנרגיה סולארית בערבה (Waldoks, 2010), או במגזר הבדוי בנגב (Hartman, 2011) נמצא במגמת העלייה. עם זאת, השימוש באנרגיה זו לצורך ההתפלה בכלל לא בא בחשבון וזאת למרות שמדובר על פתרון אופטימאלי למדינות מזה"ת וצפון אפריקה שטופות שמש ומוגבלות מים (Trieb, & Müller-Steinhagen, 2008).

הגילויים החדשים של נפט בתוך ישראל ובעיקר של גז במים הכלכליים שלה מעלים לכאורה את מעמדה הכלכלי והגיאופוליטי, כפי שעולה מהעיתונות (Morrow, 2010; Pagnamenta, 2010). עם זאת, תוך כדי תהליך הגילוי, הפיתוח של המקורות והתובלה שלהם תידרש ישראל לפתור סוגיות רבות. ביניהן: סידור חד-משמעי של גבולות והשליטה הפיזית במקורות וההכרה הבינלאומית בזכותה הבלעדית של ישראל בהם (Bronner, 2010); פיתוח שווקים למכירת הגז וכתוצאה מכך החלטות גיאופוליטיות מרחיקות לכת על היחסים עם בעלי הברית השנים והבעייתיים כיום, כמו טורקיה, לעומת הידוק היחסים עם יוון (Watkins, 2010), רוסיה (Sandler, 2010) וקפריסין (Rozenberg, 2010); פתרון סוגיות סביבתיות (Hellman, 2010), ביניהן הגברת פליטת גזי חממה כתוצאה מהשימוש המוגבר בגז טבעי בתחנות הכוח (במקרה של דליפות לא מבוקרות); סידור המיסוי והשקעות בתשתיות – כל אלה דורשים השקעה במשאבים וזמן רב.

בינתיים מספקת ישראל את כל צרכיה האנרגטיים של עצמה וגם אלה של הפלסטינאים בגדה המערבית (כ-7% מכלל האנרגיה המופקת בישראל מנוצלת ע"י פלסטינאים, והנתון הזה רק הולך לגדול בשנים הקרובות). אך המצב יכול להשתנות במהרה לאור השלכות של שינוי אקלים המשתלבות בתוך הדרישה ההולכת וגוברת של ישראל באנרגיה ובמים כתוצאה מגידול אוכלוסייתה והעלאה ברמת החיים. ניתן לומר, כי נושא המים והאנרגיה קשורים יחד (Webber, 2008). הצורך בהתפלה יוביל ליתר שימוש באנרגיה מכל מה שהכרנו בעבר. הקמת יותר מתקנים אסטרטגיים תגרום להגברת סכנת הפגיעה במתקני ההתפלה על החופים ועל מערכות ההובלה מן המתקנים למערכת המים הארצית. בנוסף תיווצר סכנת פגיעה על מערכת הובלת האנרגיה למתקני ההתפלה. אם מדובר בשימוש בגז מן הים, חיל הים יצטרך לתת מענה אחר מבעבר להגנת מתקני הגז, וההובלה עד לחוף. חשוב לציין כי יחד עם זאת ישנה סכנה לזיהום מימי הים סמוך למתקני ההתפלה, כמו מקרה שיטפון בנחל בשור שניקה את פסולת רצועת עזה לים ומשם לחופי אשקלון וצפונה.

האופציה הגרעינית המוזכרת בעיתונות (ברקת, 2009) אכן יכולה להיות פתרון טוב למחסור באנרגיה ולא רק בה. כורים גרעיניים יכולים להוות מקור אנרגיה זול יחסית (Freed et al, 2010). בנוסף לכך תחנות כוח גרעיניות אינם מזהמות ולא גורמות להגברת אפקט החממה, בניגוד לתחנות שפולטות דו-תחמוצת פחמן (Socolow & Glaser, 2009). יתרון טכנולוגי נוסף של תחנות גרעיניות הינו יכולת לשלב בין הפקת האנרגיה להתפלת המים (Goosen, 2007; Kostin et al, 2004; Megahed, 2001). התפלה מסוג זה כדאית מאוד גם מבחינה כלכלית (Seneviratne, 2007). נקודה זאת הכרחית ביותר באזורים עם בעיות מים, עם מחסור באנרגיה זמינה ועם יכולת כלכלית מוגבלת, כגון מדינות עניות במזרח התיכון (Misra, 2006). הטכנולוגיות הגרעיניות המודרניות אף מאפשרות הקמת תחנות כוח גרעיניות המשולבות עם מתקני ההתפלה בתוך האוניות שעוגנות בקרבה לחופים (Kostin et al, 2004). במקרה וטכנולוגיה זו תצא לפועל – ימצא הפתרון האולטימטיבי לבעיות האנרגיה והמים של רצועת עזה. עם זאת חסרונם הגדול של כורים אטומיים כרוך בהסכמה בינלאומית רחבה ובסוגיות ביטחוניות רבות, שנוגעות במיקום והבטחת הכור עצמו ובתשתיות הנלוות לו (צינורות, טרנספורמטורים וכו').

מצב מקורות האנרגיה בסוריה נמצא במשבר עמוק (Fifield, 2008), דבר הפוגע בפיתוח הכלכלי של המדינה וגורם לאי שביעות רצונה של האוכלוסייה שהתרגלה מזמן להפסקות החשמל. מקורות הנפט של המדינה התדלדלו, הפקת חשמל הידרואלקטרי ברמה גבוהה לא מתאפשר אודות לשליטתה של טורקיה על נהר הפרת.

מצבה של לבנון דומה לזה של סוריה. בירת המדינה מקבלת חשמל רק 21 שעות ביממה, כאשר בפריפריית האספקה מסתכמת ב-6 שעות (Fielding-Smith, 2010).

לאור התדלדלות מקורות הנפט ולמרות זמינות וכדאיות כלכלית של האנרגיה ההידרואלקטרית שמופקת באסואן, חושבים גם במצריים על פיתוח אנרגיות חלופיות. מדובר לא רק בפיתוח שדות גז (Oil & Gas Journal, 18.2.2008), אנרגית שמש והרוח (Africa News, 9.9.2009), אלא גם בפיתוח יכולות גרעיניות (Ooi, 2009).

הממלכה ההאשמית דוהרת אל עבר פיתוח טכנולוגיות גרעיניות מתקדמות (Isted, 2011; Stern,), גילוי אורניום בשטחה מאפשר לממלכה לא להיות תלויה בהספקת הדלק הגרעיני מבחוץ (Binyon, 2009; Jordan Times website,), (15.12.2010).

6.5.3 הגירה וקונפליקטים אפשריים כתוצאה משינוי אקלים

בראיה גאואסטרטגית יש לחלק את הנושא לשלושה תתי-תחומים:

1. ההגירה בתוך ישראל של אזרחים ישראליים ונלווים להם.
2. הגברת ההגירה מכפר לעיר בעולם הערבי ובאפריקה. לכך השלכות עקיפות על ישראל.
3. ההגירה לתוך ישראל, של לא ישראליים.

לפני הצגת ופירוט התחומים הללו נציג את הרקע הנחוץ להבנת הנושא. הקשר בין שינוי אקלים לבין הקונפליקטים וההגירות שבאות בעקבותיהם אינו חד-משמעי (טעון ביותר מבחינה פוליטית) (Penny, 2007). קיימת מחלוקת רבה על עצם קיומו. לסטר בראון מדבר על פליטי בצורת (Brown, 1976), ארנון סופר מציין נתונים על קשר בין בצורות, נדידות אוכלוסייה ומהפכות צבאיות באגן הנילוס (סופר 1992, 2006). כך גם בעיראק ובסוריה (סופר, 1992). כמו כן קשה לבדל את הסיבה האקלימית מבין שאר הגורמים המביאים למלחמות, או/ו להגירת האוכלוסייה (Halden, 2007; Buhaug, 2010; Nordas, 2007). עם זאת יכולים שינוי אקלים להוות גורם דחיפה נוסף, אך לא עיקרי, להאיץ הגירה ערבית אל הערים מאזורים כפריים.

המחקר המקיף שתוקצב ע"י האיחוד האירופי ושעסק בנושא ההגירה בכל האגן של ים התיכון לא הזכיר את צמד המילים "שינוי אקלים" אפילו פעם אחד (Fargues, 2007). חקר המהגרים האפריקאים שהגיעו לאירופה מ-25 מדינות הגובלות במדבר סהרה ציין את הסיבות הסביבתיות (הנובעות בין היתר משינוי האקלים) כמינוריות (Naude, 2010). בראיונות שהתבצעו עם הפליטים האפריקאים שהסתננו לארץ נמצא שבין גורמי הדחיפה של המהגרים לא הוזכרו הנסיבות האקלימיות (טרדמן, 2009).

עם זאת, בסדנא שהתקיימה במרסיי בקיץ 2010 ושעסקה בתוצאותיה הפוטנציאליות של ההגירה ממדינות אגן הים התיכון כתוצאה משינוי אקלים, זכו להתייחסות כמעט כל שכנותיה הקרובות והרחוקות של ישראל: עזה (Salem, 2010), מצרים (Niazi, 2010; El-Batran, 2010; Shalaby, 2010;), לבנון (Di Bartolomeo, 2010), ירדן (Di Bartolomeo, 2010), סוריה (Di Bartolomeo, 2010; Niazi, 2010), מדינות IGAD (Nanteza, 2010), מדינות הגובלות במדבר הסהרה (Haider, 2010) ואפילו מרוקו, שהוגדרה כדוגמה אולטימטיבית למדינת מעבר של פליטי האקלים (White, 2010). משתתפי הסדנא העלו מגוון גורמי דחיפה אפשריים שמביאים להגירה: משבר מזון, קונפליקטים מקומיים כתוצאה מהתדלדלות המשאבים (מחסור במים, או בקרקע), ריבוי אסונות

שנגרמות כתוצאה משינוי אקלים, כולל מגפות, קריסת תשתיות, מחסור באנרגיה, פגיעה בתיירות, חקלאות, דגה וכו' (Muir, 2010).

כנס שאורגן בדמשק בספטמבר 2010 הדגיש כי אירופה איננה היחידה המודאגת מריבוי ההגירות הפנימית והחיצונית כתוצאה משינוי אקלים (Osman-Elasha, 2010; Assaf, 2010). במפגש שנשא כותרת "Climate Change Impacts in the Arab Region: Water Scarcity, Drought and Population Mobility" הועלו סוגיות רבות המובילות ל"מוביליות יתרה" של אוכלוסיית המדינות הערביות ולא רק ערביות של מזרח התיכון. עם זאת, חשוב לציין, כי מירב תשומת הלב הופנה בכנס זה לנושא של מחסור במים.

6.5.3.1 ההגירה בתוך ישראל

ההתייבשות, העלייה בטמפרטורות, יחד עם הגברת האלימות בדרום הארץ, יכולים להוות גורם דחיפה, כאשר המרכז העשיר והצפון הירוק יותר נתפסים כגורמי משיכה. בעבור הבדווים הם זקוקים למרחבים גדולים למרעה שיתקשו למצוא מצפון לנגב. סוגיית הגירה פנים-ישראלית כתוצאה משינויי אקלים דורשת מחקר דחוף. חסר מידע הן בדגש על האוכלוסייה היהודית והן על זו הלא יהודית (סופר, 2007, 2010).

6.5.3.2 הגירה- המעגל הראשון

יו"ש. ישנם מחקרים אקדמיים המצביעים על הגירת פנים פלסטינית, או מתוך השטחים לתוך ישראל ואולי גם לחו"ל, אך לא ברור אם כתוצאה משינוי אקלים.

מצריים. שינויי אקלים והשלכותיהם הפוטנציאליים צפויות בדלתא של מצריים (Warner et al, 2010; Torab, 2007). הצפתה של הדלתא תביא לאסון אקולוגי-אנושי-כלכלי של מצריים (El-Nahry & Bohannon, 2010; Doluschitz, 2010; Saber, 2009). אך לא רק שלה. המאבק על כמויות המים המצטמצמות של נילוס עלול להוביל למתיחות בין מצרים לשאר המדינות החולקות איתה את הנהר (Link et al, 2010; Cascão, 2008). ניתן לצפות לגלי הגירה, שמסלולם הגיאוגרפי ליעד המועדף (באירופה) יעבור דרך שטחה של ישראל, של יו"ש, או של ירדן. לכך השלכות גיאואסטרטגיות רבות בתחומים שונים, שחלקם מחייב הכנה כבר עתה, קודם כל מישראל, אך גם משכנותיה, ואילו צריכים זמן ומשאבים רבים. על קצה המזלג אפשר למנות את ההגנה על גבולות, ההכוונה והסיוע למהגרים אשר יצליחו לעבור את הגבול.

סוריה. קיימות ראיות ישירות ועקיפות להגירה כתוצאה משינויי האקלים בסוריה. בצפונה דווח על 160 כפרים נטושים בין השנים 2007-2008 כתוצאה מבצורות (Shiva, 2009; El-Atrache, 2009). היובש של 2008-2010 הוביל לנטישת קרקע של כ-250,000 חקלאים סורים (Kliger, 2010). ירדן. אין מידע, אך ניתן לשער, כי ההתייבשות ההולכת וגדלה והשפעתה על החקלאות תוביל לחיפוש אחר שימושי קרקע אחרים, כגון שמורות טבע ויערות (Khresat, 2009). לבנון. אין מידע.

6.5.3.3 הגירה- המעגל השני

בחוברת (Black, et al, 2008) צוין הקשר של שינויי אקלים לקונפליקטים ולהגירה הפוטנציאלית בסודן (דרפור), אתיופיה, גאנה ובנגלדש. אזור הסהל זכה להתייחסות בתור אזור בו שינויי האקלים מביאים להתדרדרות חברתית, כלכלית ופוליטית, לקונפליקטים ולתנועות אוכלוסיה (Raleigh, 2010).

הקשר לישראל הוא בכמה מישורים:

1. הגירה לישראל ממדינות אלה.
2. אפשרות ריאלי לסייע ישראלי.

6.5.3.4 הגירה- המעגל השלישי

העדויות החד משמעית להשפעת שינוי האקלים על התדרדרות מצבה האקולוגי, הכלכלי והדמוגרפי של המדינה נמצא דווקא במעגל השלישי. לדוגמה, בטג'יקיסטן, ובשאר הרפובליקות המרכז אסיאתיות של ברה"מ (אוזבקיסטן, טורקמניסטן), חוקרים מנבאים משבר פוליטי-חברתי ובהמשך גם פוליטי-צבאי (Swarup et al., 2009). בנושא זה אין לשלול את ההשערה, כי שינוי האקלים הוביל להגירת עובדים המונית של תושבי הרפובליקות מרכז-אסיאתיות לכיוונה של רוסיה.

6.5.3.5 סיכום: שינוי אקלים והגירות

ניתן לשער, כי מקור האיום האסטרטגי על ישראל כתוצאה מהגירה שנובעת משינוי אקלים אינו ניכר מה"מעגל השני" ומעבר לו (סהל, קרן אפריקה, או דרפור), אלא בעיקר מהמעגל הראשון. אנו רוצים לקוות כי זרם המסתננים ייפסק בהדרגה אחרי הקמת הגדר בגבול עם סיני, ובמיוחד אחרי כינונה של מדינת דרום סודן. איום הרבה יותר קרוב ורציני ביותר במימדיו עלול לבוא ממצרים, במיוחד אחרי הצפת הדלתא של נילוס. ההצפה ותוצאותיה, יחד עם השפעות שינוי אקלים אחרות על מים, מזון ותברואה עלולות לגרום למשברים כלכליים וחברתיים, לקריסת מערכות טוטאלית במדינה, לשינוי המשטר שבה. גלי ההגירה ממדינה כה מאוכלסת כמו מצרים לא יעצרו בגדר. לכך דרוש מגוון פתרונות, אשר היעיל שביניהם פשוט לא לתת למצב שתואר קודם לכן לקרות. אם תחזית ההגירות בתוך ישראל ואל ישראל תתממש, תידרש מערכת הביטחון להקצות יותר כוחות לשמירת הגבולות, לאטימתן, יותר מחנות לקליטת מהגרים לא חוקיים וטיפול בהם. לאטימת הגבולות בנסיבות של שינוי אקלים והתגברות ההגירה ישנן השלכות על יחסי ישראל מצרים, ישראל והמדינות שממש באים המהגרים, יחסים מתוחים בין ישראל לאו"ם ולארגוני זכויות האדם ויתר ארגוני NGO המגנים על פליטי העולם באשר הם. צה"ל, שב"ס, שב"כ, משטרה, כבר מעורבים בעניין ב-2011 ולכן הניסיון המצטבר יסייע ללמוד טוב יותר את הנושא. מצד שני סיוע ישראלי לארצות מתפתחות בנושאי מים יכול להפחית את ממדי האסון ההומניטארי הזה וגם לסייע למדינות החוץ של ישראל. ללא קשר, סביר שהחמרת מצבן של מדינות בכל המעגלים (בדגש על המעגל הראשון) תגביר את השנאה לישראל בטענה הרווחת "שהיהודים אשמים בכל"!

6.5.4 שינוי אקלים ומזון בראייה גיאואסטרטגית

מחקרים מראים, כי שינוי אקלים יבוא לידי ביטוי בשינוי הטמפרטורות, במשקעים ואפילו בקרינה הסולארית המשתנה כתוצאה מזיהום האוויר (Stanhill & Cohen, 2001; Holden, 2009; Battisti & Naylor, 2009). כל אלה ישפיעו לרעה על כמות יבולי המזון. פגיעה עיקרית תבוא לידי ביטוי באזורים נמוכים, בייחוד באזורים טרופיים או יבשים. מכאן נובע כי הפגיעה באספקת המזון צפויה לישראל ולשכנותיה במעגלים הקרובים והרחוקים. לכך השפעה כלכלית-חברתית על שכבות רבות באוכלוסייה, אך הנפגעים העיקריים משינוי זה יהיו מיעוטי היכולת (Hertel & Rosch, 2010; Schmidhuber & Tubiello, 2007).

ככל שמשבר המים יחריף, יצטמצמו בצורה משמעותית יבולי החיטה והשעורה בארץ, יצטמצמו ממדי גידול הבקר, משקי החלב, פירות וירקות. בישראל כותבים על התופעה הצפויה בעיקר עיתונאים (צפרייר, 2011; צפרייר, 2008), אך בעולם הרחב כבר הופיעו מחקרים אקדמיים בנושא (Lobell et al, 2005; Gregory, Ingram, Brklacich, 2008). מסקנותיהם היו פסימיות: גידולים חקלאיים יפגעו, מחסור במזון יתעצם, המחירים יאמירו, המלחמה (כלכלית ואולי ממשית) על מזון בסיסי תגבר. בהקשר של השפעת שינוי אקלים על המזון יש להתייחס גם לסוגיית הדגה. התחממות פרושה פחות חמצן במים. דבר זה פוגע בדגים. המחקר שהתייחס ל-132 מדינות העולם הגיע למסקנה כי הנפגעים העיקריים מהפגיעה בדגה תהינה מדינות מערב אפריקה (מאלאווי, גינאה, סנגל וגמביה), פרו

וקולומביה בצפון-מערב של דרום אמריקה וארבע מדינות אסיאתיות: בנגלדש, קמבודיה, פקיסטן ותימן (Edward et al, 2009). יש לבדוק, כיצד הצמצום בדגה ישפיע על כלכלת מזה"ת כולו ורצועת עזה ומצרים בפרט. יש לציין, כי מצרים שוב תוכה קשות מהשלכת שינוי אקלים זה.

6.5.5. השפעות של שינוי אקלים על צה"ל ועל כלל מערכת הביטחון

המשך המגמות של שינוי אקלים (התחממות והתייבשות בקיץ והגברת אירועי גשם חזקים בחורף) מציבים בפני מערכת הביטחון הישראלית מספר אתגרים שידרשו התייחסות בטווח הזמן הקצר והבינוני. להלן מספר נושאים שדורשים מחקר והיערכות בהתאם.

לוגיסטיקה

סוג בד וצבע של מדים.

בדיקת נחיצות, או התאמה של אלמנטים מסוימים בתלבושת חיילית.

בדיקת התפריט הצבאי והתאמתו לשינוי אקלים (התייחסות ספציפית למנות קרב).

הגברת השימוש בצבע – הצורך בו יגבר כתוצאה משינוי אקלים.

התאמת ימ"חים.

מיקום בסיסים.

הצורך בחיפוש אחרי פתרונות הסוואה והסתרה חדשים, לאור העובדה שיערות, שדירות עצים ישרפו, או יבוראו.

יש להבטיח עמידות של מערכות כבישים וגשרים כתוצאה משינוי אקלים.

צורך באיטום גבולות. גבול אטום יורכב מגדר/חומה סוגרת. יש להכין הוראות פתיחה באש, היבטים משפטיים לעניין זה, נוהל עצירים, מתקנים, גרושים, התמודדות עם ארגוני הזכויות שיהוו מטרד לא קל.

חימוש

התאמת רכבים (משאיות - מרכז הובלה + רכבים צבאיים). מיזוג טנקים וכלים סגורים אחרים. צמיגים, מבודדים (גומי), דלקים, שמנים, נזל קירור, נזל בלמים ושאר החומרים שדורשים התאמה לשינויים בטמפרטורה ו/או לחות. כלי עבודה מכאניים והנדסיים.

הנדסה

הפגיעה בשדות מוקשים כתוצאה מחום וסחיפה (שריפות, הצפות). נושא המיקוש קריטי כאשר מדברים על איטום גבולות.

חיל האויר

יגבר הצורך בכלי טיס שיועדו לכיבוי שריפות, לזריעת עננים, או לצורכי הובלה במקרי אסון בארץ ומחוצה לה.

חיל הים

חיל הים יידרש להתאים את נמליו ותשתיותיו לשינוי מפלס פני הים הצפוי. כמו כן ידרש החייל להיערך להגנת תשתיות האנרגיה והמים של ישראל, לחסום את תנועת ההגירה הבלתי חוקית.

היערכות חיל רפואה

שינוי אקלים מביאים איתם שינוי במפת המחלות, הן מבחינת המגוון שלהן והן באופן פריסתן בעולם כולו ככלל ובישראל בפרט.

ריבוי מקרים של "מחלות רגילות".

הופעת "מחלות אקזוטיות".

השפעת שינוי אקלים (חום, יובש) על בריאות הנפש (הנושא נידון בינתיים רק באוסטרליה).

בדיקת סוגיית חומרים ביולוגיים מסוכנים.

יש לבדוק את התאמת כל מערכת האימונים ליכולתם הגופנית של החיילים מבחינה רפואית.

האם וכיצד יתאפשרו אימונים במתקנים פחות מוצלים, יותר חמים ויותר יבשים. דרושה הגדרה חדשה של מפת האזורים לאימונים בשעות היום.

מערכת ביטחון – שאלת כוח אדם

שינוי אקלים והסיכונים לביטחון הלאומי הישראלי ידרשו כוח אדם: תגבור יחידות משמר הגבול (הגנה על אזורי חיץ, או גדרות מפני מסתננים/פליטים/מהגרים). תגבור כוחות המשטרה (טיפול באלימות בתוך המדינה). צרכי ביטחון שותף (סוגיית גיוס מילואים). הקמת יחידות ייעודיות נוספות, או תגבורן של הקיימות: "חיל אסונות", "יערנים", או תגבור של פיקוד העורף.

6.5.6 שינוי אקלים ומדיניות החוץ הישראלית בהיבט הגיאואסטרטגי

לשינוי אקלים ברמה המקומית והגלובלית יכולות להיות השפעות על מדיניות החוץ של ישראל. כל סיוע באסונות שנובעות משינוי אקלים (אספקת מים, סיוע בחילוץ, או בהתמודדות ראשונית מול אסונות טבע, כמו הצפות, אירוע יובש קיצוני, גלי חום ועוד) מתורגם לעיתים לתמיכה פוליטית/מדינית. עם זאת ההיסטוריה מלמדת, כי הסיוע הישראלי הרב בתחום החקלאות והמים שהעניקה ישראל למדינות אפריקה החל משנות ה-50 של המאה הקודמת לא נשאו פרי. מכאן אין להסיק, כי על ישראל להימנע מלעזור לשכנותיה הקרובות או הרחוקות, אך יש להיערך לאפשרות של מתן העזרה ללא כל תמורה הנראית לעין בטווח הקרוב.

המחסור במים כבר שימש את המדינות השכנות לתקיפת ישראל בפורומים בינלאומיים. כך, למשל עשתה סוריה, כאשר האשימה את ישראל בביצוע "פשעים סביבתיים". תוך כדי האשמות ההלו נקראה הכנרת "אגם כבוש" (Dagge, 2011).

6.5.7 שינוי אקלים וביטחון לאומי – השפעות תקציביות

לכל הנושאים הגיאואסטרטגיים הנוגעים ישירות, או בעקיפין לביטחונה הלאומי של ישראל, ישנו מחיר. עיקר המחיר הזה יגרע מתקציבה של מדינת ישראל. להלן הסעיפים העיקריים של השקעה שבלעדיהם ייפגע האינטרסים הלאומיים של המדינה, או ייפגם חוסנה הלאומי: מערכות ביטחון (צבא ומשטרה).

השקעה בהתאמת התשתיות, תעשיות, הגנה על חופים.

השקעה נפרדת בהתפלה.

תקציב שנועד להתמודדות עם אסונות

השקעה במערכת הבריאות.

עדכון קצבאות הבטחת הכנסה בעקבות עליית מחירי המים והמזון. אי-טיפול בנושא עלול לגרום ל"מהפכה חברתית".

התערבות המדינה בנושא הביטוחים.

6.5.8 פגיעה בתשתיות לאומיות

לשינויי האקלים קיימת אפשרות להשפעה רבה על התשתיות הלאומיות הפיזיות, כאשר כל אלמנט דורש התייחסות נפרדת (בראייה ביטחונית).

6.5.9 שינוי אקלים ותיירות

התיירות הישראלית חייבת כ-90% מהכנסותיה לחופי המדינה. בגלל עליית פני הים התיכון וירידת המפלסים בים המלח ובכנרת יפגע הבסיס התיירותי של מדינה: מלונות, אתרים היסטוריים וארכיאולוגיים (גלילי, 2004).

פגיעות דומות עלולות להתרחש במדינות מעגל הראשון, כגון מצרים, סוריה, לבנון; השני (בדגש על טורקיה) והשלישי. בעקבות שינוי אקלים עלולים להיפגע יעדי תיירות מוכרים, אך גם להתווסף נקודות תיירותיות חדשות שלא היו מוכרות בעבר (Perch-Nielsen, 2010; Viner & Agnew, 1999).

6.5.10. האסלאם ושינויי האקלים

לכאורה, ישנו גידול מרשים במספר המאמינים בדת האסלאם, כיום 1.6–1.9 מיליארד שיגיעו עד לכדי 2.5–3 מיליארדים בעוד כ-25-20 שנה. איסלם היא הדת הגדולה בעולם, ישנם ויהיו בה עניים רבים, קיצוניים רבים ויש להניח שיהיו חיכוכים רבים בין יתר הדתות עם מאמיניה בכל העולם וגם סביב ובתוך ישראל. מצד שני עליית פני הים תכה בצורה קשה בבנגלדש המוסלמית, על כ-200 מיליוני תושביה, האומללים גם בהווה. המסת הקרחונים בהימלייה תפגע קשות בבנגלדש (אפילו הברירה מפוטרה תינזק). הפחתת ספיקת מימי ההנדוס תיפגע בכ-180 מיליוני הפקיסטנים שתלויים כולם בנהר זה. עליית מפלס פני הים תגרום להצפת דלתת מצרים. היא תוכה גם בתעלת סואץ ואלכסנדריה, תסבול מירידת ספיקת הנילוס, ותמצא בתוהו ובוהו קשה. זעזועים צפויים בסודן, בשאר מדינות אגן הנילוס, במגרב. עוד מאות מיליוני מוסלמים ייפגעו (מדובר באזורנו בכ-300 מיליוני נפשות ב-2020 (!)). לאלו נוסף זעזועים צפויים בעיראק, סוריה, איראן, אפגניסטן (מדובר בעוד כ-150 מיליונים בהווה). המסקנה הינה חד משמעית – שינויי האקלים יכו באוכלוסיה המוסלמית יותר מאשר בכל מאמיני דת אחרת. מה צפוי מתחזית זו? החלשת העוצמה המוסלמית בצד הגברת האלימות מצידה בגין ייאוש, תסכול, רעב, נדידות, אטימת גבולות כלפיהם! זהו נושא קריטי שיש לתת עליו תשובות!

בנוסף לתחזיות הפסימיות שתוארו, ישנם מספר נקודות מדאגות שנוגעות לגיאואסטרטגיה של ישראל ושנובעות מהתעוררות המודעות הסביבתית בעולם הערבי (טרדמן, 2011; Tolba & Saab, 2008), מפוליטיזציה של הדיון ובמיוחד מהחיבור בין נושאים סביבתיים לבין איסלם (El-Sayed, 2004).

6.5.11. שינויי אקלים ושריפות

המערכת האקולוגית הים תיכונית בישראל מועדת לשרפות יער בהיקפים שונים ובתדירות גבוהה. הסיבה העיקרית לשרפות הינה תוצאה ישירה, או עקיפה של מעשה יד אדם. שריפות בעולם ובישראל פורצות בעיקר בגלל הזנחה והצתות. בישראל נגרמות שריפות בשוגג (פעילות של צה"ל, מטיילים, שריפת אשפה חקלאית). בנוסף, קיימות גם שריפות כתוצאה מהצתות פוליטיות לאומניות. (קליאוט וקידר, 1992).

לשרפות השפעות רבות. הן עלולות להוביל לפגיעה והרס בתי גידול, לפגיעה במיני צומח ובע"ח מקומיים, בשינוי הרכב מינים, בתהליכי סוקצסיה ובשינויים בתפקוד המערכות הטבעיות כגון: סחיפת קרקע, הגברת נגר עילי, פגיעה בתכונות הכימיות והפיזיקליות של הקרקע ושינוי במחזור הפחמן (טסלר, 2010; פרובולוצקי, פולק, לחמן, 1992). בנוסף לנזק אקולוגי רב, גורמות שריפות לפגיעה ברכוש ובנפש, כמו כן מעמידות בספק את היכולות של מערכות הביטחון להתמודד עם אירוע אסון בקנה מידה גדול. עליית הטמפרטורות, הגברת היובש ומחסור במים מהווים שילוב קטלני שעלולים לגרום להגברת שריפות, הן בכל המזה"ת והן בישראל. הדוגמה של השריפה בכרמל, שפרצה ב-2 דצמבר 2010, מהווה דוגמה טובה לכך. במהלך השרפה עלו באש כ-5 מיליון עצים בשטח המשתרע על כ-53,000 דונם. השריפה גרמה למותם של 44 אנשי כוחות הביטחון, לפינוי של כ-71,000 תושבים מביתם ולהזדקקותה של מדינת ישראל לסיוע בין-לאומי לכיבוי השרפה (יקיר וברנד, 2011).

שינוי אקלים יכול לגרום להופעת השריפות בעונה שלא היינו רגילים לה. אם בעונת הגשמים הישראלית הטיפוסית שבין השנים 1987-1995 לא היינו עדים לשרפות משמעותיות בחורף (Levin & Saaroni, 1999), ייתכן והאירועים בכרמל של חורף 2010 מנבאים את בואה של מגמה חדשה. בנוסף לשריפות שמקורן בישראל, ישראל תהיה רגישה לשריפות שיתרחשו במעגל הראשון (יו"ש, ירדן בעיקר בעמק הירדן, לבנון ואולי סוריה).

הנושא של שיקום היער ושל הגנתו, שמתעורר בדרך כלל בעקבות השרפות (צפריה, 2010), גם כן קשור לשינוי אקלים. יש לקחת בחשבון את ההשפעות של מחסור במים, עליה בטמפרטורות

והתייבשות על סוגי הגידולים אשר יושתלו במקומות השריפה, אם כי תמיד נשאר האפשרות לתת למערכת אקולוגית לשקם את עצמה ללא התערבות בני אדם (הדר, 2011). בכל מקרה, נושא השרפות חייב לקבל התייחסות מערכתית כוללת. בינתיים, הפתרונות ברמה הטקטית ידועים: יש להגביר פעולות חינוך ולהקים אזורי חיץ (פרבלוצקי, 1992) בתוך היערות, סביב יישובים וחניונים ולאורך כבישים - כדי למנוע שריפות מסוכנות. יש גם להשתמש בשריפות מבוקרות - כדי לצמצם את סכנת האש ולשמור על שטחים פתוחים (נאמן, 2005).

6.5.12. רעידות אדמה ושינויי אקלים

בין רעידות האדמה לשינויי האקלים אין קשר סיבתי, אך קיים קשר עקיף לביטחונה של ישראל. עולם ובו 7 מיליארד בני אדם, שמחציתם מתגוררים בשנת 2011- בערים גדולות, מזמין מכות כואבות בכל רעידת אדמה גדולה שתתרחש בעתיד. עד היום, כל אירוע כזה זכה לסיוע בינלאומי. אם העולם צפוי לשינויי אקלים כמצופה, הרי שבעת רעידת אדמה קטלנית, ספק אם ינתן הסיוע כבעבר. יש חשש כבד שלא יהיה מי שייתן סיוע הומניטרי ואחר. לכן ממדי האסונות יהיו בסדרי גודל שלא הכרנו. ישראל, כמו מרבית שכנותיה, נמצאת במקומות מועדים לרעידות אדמה. לכן מן הראוי להעמיד גם שאלה זו על סדר היום. כיצד תתמודד ישראל עם רעידה קשה ובסיוע בינלאומי מועט? אם לא בשלב המייד, אז בשלב מאוחר יותר, כאשר פגעי שינויי האקלים כבר יזעזעו את המערכת הבינלאומי, בנוסף, יש לבדוק האם בעתיד לאור ההשערה הזאת ישראל תוכל להמשיך לסייע למדינות אחרות בתחום, כפי שהיה בעבר?

7. היבטים כלכליים של שינויי האקלים

סקירה זו כוללת את תחום ההיבטים הכלכליים של שינויי אקלים בישראל. הסקירה כוללת את מצב הידע הקיים בנושא שינויי אקלים והיבטים כלכליים. בהתאם לכך, מזהים הפערים וצרכי מחקר מיידיים וארוכי טווח, ומתוארות המלצות ותעדוף הנושאים בהם השלמת פערי הידע נדרשת. הסקירה כוללת תיאור של המושגים המרכזיים בהקשר לשינויי אקלים וההיבטים הכלכליים הרלוונטיים ובהמשך מתוארות אסטרטגיות הפעולה לצורך התאמת/הפחתת (Adaptation/Mitigation) השפעות שינויי האקלים. הסקירה מחולקת למחקרים ברמה העולמית/גלובלית ולמחקרים בישראל תוך תיאור פרטני של: גישות לאומן עלויות התאמה לשינויי אקלים, מדיניות התאמה בחלוקה למדינות, הערכה של עלויות התאמה גלובליות, הערכת עלויות ההתאמה לפי ענפים ושילוב בין האסטרטגיות (כולל מודלים כלכליים תיאורטיים וכמותיים).

7.1. מבוא

הנזק האנושי והכלכלי שהמיטו אסונות מזג האוויר האחרונים – כולל הוריקנים, שיטפונות, בצורות וגלי חום - הגבירו את החשש של מקבלי החלטות רבים אודות פגיעות הכלכלות שלהם לכוחות הטבע. שתי מגמות רבות עוצמה עשויות להגביר את הפגיעות בעשורים הקרובים. האחד הוא המשך פיתוח כלכלי, אשר צפוי להכניס אנשים נוספים וערך רב יותר בנתיב מזג אוויר הרסני. השני הוא התחממות כדור הארץ, אשר מדענים רבים מאמינים כבר עתה כי הוא צפוי להגדיל את התדירות והחומרה של מצבי מזג אוויר קיצוניים.

במהלך 50 השנים האחרונות, אסונות מזג אוויר קשים גרמו לכ-800,000 מקרי מוות והפסד כלכלי מעל טריליון דולר. בעשור הראשון של המאה ה-21 הנזק שנגרם על ידי אסונות כאלה הגיע לרמות שיא (ECA Working Group, 2009). כלכלות בחלקים רבים של העולם חשופות כבר היום לשיבושים משמעותיים בעקבות האקלים ובהמשך צמיחת המשק יכולה לסכן ערכים נוספים. שינויי האקלים עלול לגרום להפסד מצטבר משמעותי, אפילו בתוך 20 השנים הבאות. עם זאת, הידע על האקלים בעתיד – במיוחד ההשפעות המקומיות של מגמות שינויי האקלים הגלובלי - אינו מלא. למקבלי החלטות לא תהיה ברירה אלא לקבל החלטות מדיניות השקעה בתנאי אי ודאות.

התאמה (Adaptation) לתופעת שינויי האקלים הפכה, לאחרונה, לסוגיית המפתח במו"מ על מדיניות האקלים בתום תוקפו של הסכם קיוטו ב-2012, למרות שכבר ב-1992 ארגון ה-United UNFCCC (Nations Framework Convention on Climate Change) התייחס לנושא ההתאמה. הקושי ביישום מדיניות הפחתה (Mitigation) לאומיים ובינלאומיים והמודעות הגוברת לתופעת שינויי האקלים גרמו, בסופו של דבר, לכך שנושא ההתאמה יצא לאור הזרקורים של מדע ומדיניות (Bosello et al., 2010a).

קיימים שני אופני פעולה מרכזיים כמענה לשינויי האקלים. אופן הפעולה הראשון הינו הפחתת/הקטנת (Mitigation) התופעה באמצעי מניעה שונים ואילו אופן הפעולה השני הינו התאמה לצורך התמודדות עם התופעה לאחר שארעה (Adaptation). במסגרת IPCC (2007) הוגדרו אופני פעולה אילו באופן הבא:

הפחתה (Mitigation) – התערבות אנושית להפחתת המקורות שגורמים לפליטת גזי חממה (GHG).
התאמה (Adaptation) – התאמת מערכות אנושיות או טבעיות בתגובה לתופעות הנובעות משינויי האקלים, לצורך מיתון הפגיעה בהן.

ההבדלים ויחסי הגומלין בין התאמה לבין הפחתה:

הפחתה מיועדת למניעת ההשפעות הבלתי-מנוהלות של שינוי האקלים, לעומת התאמה שיעודה לנהל את ההשפעות הבלתי-נמנעות.

התאמה והפחתה הם שני סוגי מדיניות תגובה לשינוי אקלים שיכולות להיות משלימות, חליפיות או עצמאיות.

ללא תלות בפעילויות ההפחתה, ידרשו פעילויות התאמה עקב השינויים הנוכחיים והצפויים במערכת האקלים.

דו"ח ה-OECD (2008) מציין כי התאמה (Adaptation) מוכרת כיום כבעלת חשיבות זהה וכפעילות משלימה לפעילויות הפחתה פליטת גזי חממה. בסבב העולמי האחרון של דיוני האקלים שנערך ב-Cancun, מקסיקו (2010) סוכם על הקמתם של קרן תקציבית (Green Climate Fund) לטיפול בתופעה ומרכז עולמי לטכנולוגית אקלים. הקרן תכיל תקציב של כ-100 מיליארד דולר לשנה (עד שנת 2020) על-מנת לסייע למדינות העניות במימון הפחתת הפליטה ופעילויות ההתאמה לשינוי אקלים.

סקירת ספרות בנושא התאמה לשינויי אקלים במאמרים ופרסומים מצביעה על פעילות מחקרית ענפה בנושא (Peer-reviewed, English-language literature). אולם עדיין מרבית המחקרים מדווחים על הערכות לגבי פגיעות של המערכות (כוונות לפעול), ולא פעולות ההתאמה עצמה. שינוי האקלים הוא רק לעתים רחוקות המניע היחיד או העיקרי לפעולה. אירועים קיצוניים מהווים מקור גירוי להתאמה לשינויי אקלים בקרב אזורים שונים. התאמה פרואקטיבית (יזומה) היא התגובה האדפטיבית הנפוצה ביותר שדווחה, במיוחד במדינות המפותחות. פעולות התאמה מדווחות בתדירות גבוהה יותר במדינות המפותחות, מדינות עם הכנסה בינונית מיוצגות כראוי ומדינות בעלות הכנסה נמוכה נשלטות (לפי דיווחים של מספר קטן של מדינות). כמו כן, ישנו דיווח מוגבל על פיתוח התאמות המנצלות את שינויי האקלים או התמקדות באוכלוסיות רגישות (נשים, קשישים, או ילדים) (Berrang-Ford et al., 2011).

השאלה האולטימטיבית שמעניינת מקבלי החלטות כיצד להפחית את הפגיעות של מערכות סוציו-אקונומיות משינוי אקלים בדרך החסכונית והיעילה ביותר. ניתן להשיג יעד זה הן באמצעות הפחתה והן באמצעות התאמה. אולם נדרש מצד אחד ידע מעמיק של גודל והתפלגות האזורית של נזקים, ומצד שני הערכה מדויקת של עלות / האפקטיביות של מדיניות חלופית (Bosello et al., 2010a).

7.2 רקע

דו"ח של ארגון ה- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) מעריך כי שינוי האקלים הצפוי במאה הקרובה יגרום להתחממות עולמית, כתוצאה מכך צפויה הטמפרטורה הגלובלית העולמית לעלות ב- 1.8°C עד 4°C עד סוף המאה ה- 21 בתלות בתרחישי פליטת גזי החממה השונים (IPCC, 2007). שינויים אלו עלולים להשפיע בין היתר על הכלכלה העולמית בכלל ועל הכלכלה הישראלית בפרט. תרחישי שינויי אקלים הסטנדרטיים, כלומר התחממות ממוצעת של 3.9 מעלות צלזיוס עד 2100, נבחנו בהיבט השוק הגלובלי עבור שינוי אקלים רחב-היקף ובלתי צפוי. התוצאות מצביעות על השינויים הבאים בתוצר העולמי הגולמי: ירידה של 0.2% ב- 2060, ירידה של 0.9% ב- 2100, ירידה של 5.3% ב- 2200 (Stern, 2006). תופעת שינוי האקלים צפויה לגרום לשינוי בדפוסי ירידת הגשמים, הגדלת תדירות וחומרת סופות ובצורות, ולשינויים הדרגתיים בגובה פני הים ואזורי אקלים (ECA, 2009).

בישראל, עפ"י דו"ח המשרד להגנת הסביבה בנושא היערכות ישראל לשינויי האקלים (גולן-אנגלקו ובראור, דו"ח המשרד להגנת הסביבה, 2010), נמצא כי במהלך המאה ה- 21 צפויים שינויים ניכרים באקלים ברחבי העולם בדגש על אגן הים התיכון. תחזיות האקלים למדינת ישראל מראות עלייה של 1.5°C בטמפרטורה הממוצעת עד שנת 2020 ועליה של 5°C לקראת סוף המאה ה- 21. כמויות המשקעים צפויות לרדת ב- 10% עד שנת 2020 ועד 20% עד שנת 2050. בנוסף, צפויה עלייה במספר ובתדירות אירועי אקלים קיצוניים, שנות בצורת חריפה, שיטפונות ואירועי שרב. לשינויים אלה עשויות להיות השפעות משמעותיות על משק המים, ענף החקלאות, ענף האנרגיה ומשק החשמל, ענף הבריאות ומערכות אקולוגיות. בנוסף, צפויה השפעה על התוצר המקומי והרווחה החברתית בישראל. דוגמאות עיקריות להשפעות של תופעת שינוי האקלים כוללות את הנושאים הבאים:

במשק המים צפויה עליה בתדירות ובחומרת השיטפונות ואובדן מים לאורך מישור החוף, בעקבות עליית מפלס ים פוטנציאלית של 50 ס"מ.

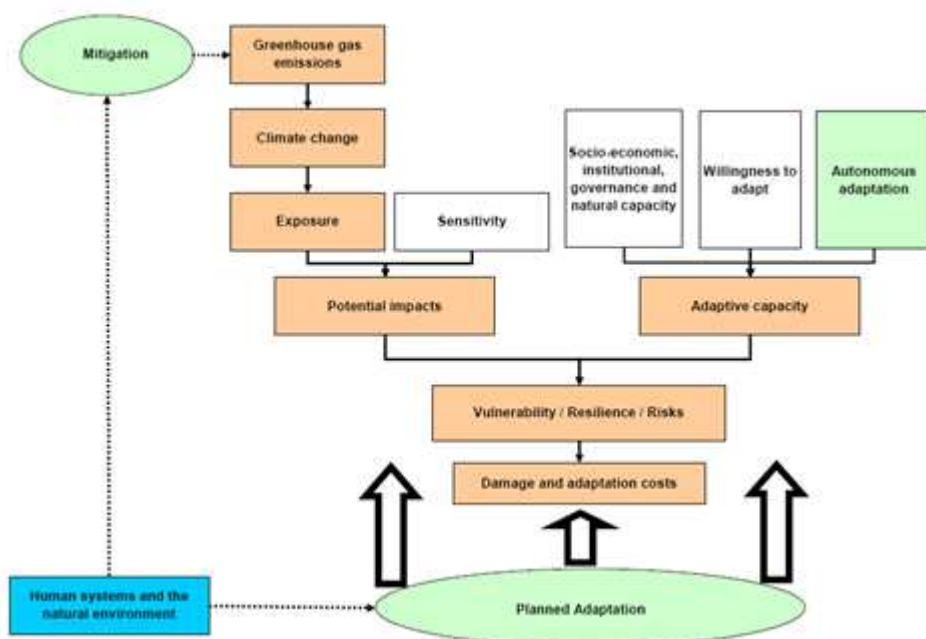
בהיבט ים וחופים עלולים להיפגע מבנים חופיים (כגון: מזחים ומעגנות, קירור תחנות כוח חופיות) ובאתרים ארכיאולוגיים, צפויה פגיעה בתיירות ובפעילות הנופש והקיט בחופים, נסיגת המצוק החופי והרחבת תחום הסיכון של תשתיות הבנויות עליו, פגיעה במינים ובמערכות אקולוגיות של הסביבה החופית.

ענף החקלאות צפוי להיפגע במגוון תחומים וביניהם: מחסור במים זמינים לחקלאות, ירידה באיכות ובכמות היבולים כתוצאה ממחסור במים, ירידה בפריון של חיות משק, פגיעה בערך התזונתי ובזמן המדף של התוצרת החקלאית.

במסגרת ענף האנרגיה והחשמל הביקוש לחשמל בזמן עומסי חום וקור צפוי לעלות, כתוצאה מכך עלויות האנרגיה צפויות לעלות.

במסגרת ענף הבריאות צפויה פגיעה באוכלוסיות קשישים, ועליה בחולי בקרב עובדים החשופים לחום כתוצאה מעלייה בעומסי החום. כמו כן, תיתכן עליה באירועים של מחלות זיהומיות ומחלות מדבקות. במערכות האקולוגיות צפויה עליה בהסתברות לשריפות יער ונזקים שיגרמו לשמורות טבע וכן לפגיעה במגוון הביולוגי.

באיור 7.1 להלן מתואר באופן סכמטי המודל הרעיוני של ההשפעות והפגיעות של שינויי אקלים וההתאמה. מודל זה מדגים כיצד פעילויות להפחתה פליטת גזי החממה משתלבים ביחד עם פעילויות ההתאמה והעלויות הנגזרות מהן על-מנת להתמודד באופן משולב עם תופעת שינוי האקלים (Isoard S., European Environment Agency, 2009). הסיכון הנובע מתופעת שינוי האקלים אינו אחיד אלא משתנה בהתאם לאזורים והענפים הכלכליים. כתוצאה מכך, אפשרויות התאמה צריכות להיות "תפורות" בהתאם לנתונים של אזור גיאוגרפי מסוים מבחינת פגיעות האזור והענף המעורב, במטרה ליישם את הצעדים הדרושים ברמה המתאימה בעת קבלת ההחלטות. מערכות פגיעות שונות (כגון אזורים, סוגי נופך, ענפים) ברמות גיאוגרפיות שונות ידרשו גישות שונות ורמות שונות של התערבות. עם זאת "תפירת" אמצעי התאמה הם חלק מאסטרטגיה רחבה שבה עקביות צריכה להיות מובטחת. שינוי האקלים עשויה גם לספק הזדמנויות עבור חדשנות טכנולוגית וממשל בענפים כלכליים שונים. הגברת יכולת ההתמודדות ויצירת הזדמנויות דורשות פעילויות התאמה יזומות (פרואקטיביות) אשר ניתוח משולב וכלים שונים (למשל: תכנון מרחבי, מיפוי פגיעות ומסגרות אנליטיות טריטוריאליות) נדרשים לצורך כיסוי מגוון רחב של נושאים מקושרים חיוניים (Isoard, 2009). כיום יש הבנה ושיפור משמעותי של הקשר בין ההשפעות (impacts), אשר מהוות את הבסיס לחששות משינוי האקלים, לבין נושא הפגיעות (vulnerability). מטרת ההתאמה לממש את היכולת והנכונות כך שיתאימו להשפעות.



איור 7.1: המודל הרעיוני של ההשפעות והפגיעות של שינויי אקלים וההתאמה
 Source: Isoard S., European Environment Agency, 2009

התאמה לשינויי אקלים כוללת סדרת פעילויות שמטרתן לתת מענה להשפעות שינויי האקלים. מגוון הפעילויות הנ"ל הינו נרחב ורלוונטי לתחומים רבים, כדוגמת: תשתיות המים, היבטי בניה ועוד. פעילויות ההתאמה מבוצעות הן ברמה הציבורית והן ברמה הפרטית. במסגרת דו"ח ה-IPCC (2007) נבחנו העלויות והתועלות של ההתאמה, כולל בחינת העלות לעומת הנזק השולי הנובע מהתופעה. בשונה מפעילויות למניעת והפחתת ההשפעות של שינוי אקלים אשר נדרש לבצען תוך תיאום בין מדינות וארגונים ציבוריים חוצי גבולות, פעילויות ההתמודדות ניתנות להגדרה וליישום באמצעים עצמאיים ברמת המדינה הבודדת או הארגון הבודד, תוך בחינה מקיפה של מרחב קבלת ההחלטות

ברמת ההשקעה של הארגון או תכנון ממשלתי ציבורי. במסגרת ההחלטות על אסטרטגיית ההתמודדות נדרשות הרשויות להיעזר בכלים תומכי החלטה כגון: ניתוח עלות-תועלת, ניתוח רב-קריטריונים.

הסיבה הכלכלית העיקרית והבסיסית להשקעה באסטרטגיית התאמה לשינוי אקלים נובעת מכך שהיא יכולה להפחית את העלויות הכוללות של תופעת שינוי האקלים, כתוצאה מכך שהתועלות (Benefits) אשר ייווצרו מפעילויות ההתאמה יהיו גבוהות מהעלויות של מימושו ולכן יגרמו לרווח לעומת מדיניות של אי ביצוע (Business as Usual). (Parry et al., 2009; Stern, 2006). הקונספט להגדרת עלויות של התאמה ניתן להגדרה באמצעות העלויות הדרושות להסתגל לשינוי האקלים או, כפי שהוגדרו על ידי ה-IPCC (2007), את העלויות של תכנון, הכנה, עזר, ויישום אמצעי התאמה. אולם, למרות שקונספט זה נראה אינטואיטיבי הוא קשה להפעלה. נדרש להגדיר את רמת ההתאמה שאליה רוצים להגיע כך שיוגדרו המשאבים התקציביים הנדרשים להשקעה תוך הסתכלות כוללת על כלל הצרכים הסוציו-אקונומיים. כלומר, על-מנת לבחון את ההיבט הכלכלי של ההתאמה נדרש להבין את המשמעויות על כלל הפעילויות המשקיות, לדוגמא: צפויה עליה של מחירי האוכל כתוצאה משינוי האקלים, עקב ההתייקרויות בייצור מוצרים מסוימים וזאת כתוצאה מעליה ישירה או עקיפה של התשומות.

7.2.1 סוגי התאמה

קיים מגוון רחב של פעילויות התאמה כלכליות שניתן לממש בתגובה לשינוי האקלים, הן בפועל והן עפ"י הערכה מראש. באופן כללי, ניתן לשייך את פעילויות ההתאמה השונות בחלוקה לקבוצות הבאות (Burton, 1996):

נשיאה בנטל ההפסד (Bear Losses) – פעילויות התאמה אשר מבוצעות לאחר שתופעת שינוי האקלים השפיעה על השוק וגרמה להפסדים בהם יש להתחשב ומבוצעת בעיקר ברמת הפרט. חלוקת נטל ההפסד (Share Losses) – נשיאה משותפת בהפסד בקרב קבוצות או באמצעות קרנות ציבוריות, כדוגמת: ביטוח.

פעילויות מניעה (Prevent effects) – פעילויות למניעת ההשפעה של שינוי האקלים.

שינוי יעוד (Change use) – כאשר המניעה אינה מספקת ולא מאפשרת התמודדות עם השפעות השינוי, ניתן לבחון שינוי ביעוד ובאופן השימוש.

שינוי מקום (Change Location) – פעילויות הכוללות שינוי במיקום בו מבוצעות הפעילויות. לדוגמא: העברת שטחי גידול של יבולים למקומות קרים יותר.

קיימים מספר אופנים להגדרה של התאמה (Adaptation) בהיבט הכלכלי. האופנים המקובלים ביותר לסיווג פעילויות התאמה מתוארים להלן (Margulis et al., 2008) מבוסס על כוונה/מוכוון לתכלית מוגדרת (Carter et al., 1994):

התאמה עצמאית/ספונטנית (Autonomous/Spontaneous) – התאמה שנובעת משינויים אקולוגיים במערכות הטבע ולא יזום ע"י שינוי אקלים צפוי. התאמה זו כוללת את משקי הבית והקהילות שלהן ללא התערבות ציבורית אך במסגרת מדיניות ציבורית מוגדרת.

התאמה מתוכננת (Planned) – התאמה כתוצאה מהחלטת מדיניות מושכלת המבוססת על ההערכה שהתנאים השתנו או צפויים להשתנות ונדרשות פעילויות להחזיר, או לשמר, או להשיג את המצב הנדרש.

מבוסס על תזמון (Smit et al., 2000; Klein, 2003):

התאמה יזומה/מקדימה (Anticipatory/Proactive) – התאמה אשר מתבצעת לפני שהשפעות של שינוי האקלים נצפות. התאמה זו מכונה גם Proactive (De Bruin et al., 2011).

התאמה מאוחרת/תגובתית (Reactive) – התאמה אשר מתבצעת אחרי שהשפעות של שינוי האקלים אירעו.

מבוסס על היוזם (Klein, 2003) - על-מנת להתמודד כלכלית עם שינויי האקלים נדרש להבין אילו בעיות יפתרו ע"י השוק הפרטי ומה האמצעים הדרושים כדי להגן על נכסי הציבור ופגיעה באנשים, כלומר, הערכה של ההתאמה המתוכננת (The World Bank, 2008):
התאמה פרטית – התאמה אשר מאותחלת וממומשת ע"י אנשים פרטיים, בעלי בתים או חברות פרטיות. התאמה זו מבוססת על הצרכים האישיים של היוזם.
התאמה ציבורית - התאמה אשר מאותחלת וממומשת ע"י ממשלים בכל הרמות.

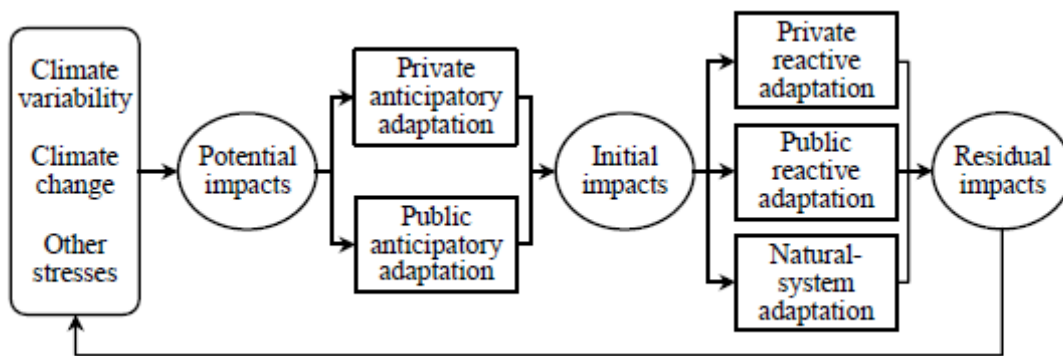
ניתן לציין אופן סיווג נוסף, אשר מבחין בין סוגי התאמה בפן הפסיכולוגי. ראייה זו מרחיבה את ההסתכלות על השינוי הפיזי כתוצאה משינוי אקלים לשינוי אינטלקטואלי וסוציאלי (Nelson, 2011). שינוי האקלים גורם להבנה עולמית כי העולם אינו בטוח ואינו צפוי ולכן נדרשת פעילות התאמה כלכלית המתאימה לתפיסה זו. ראשית, נדרש לבצע פעילויות יזומות תוך תיאום בינלאומי ושנית יש לפעול בנתיב של מניעת הגרוע מכל ולא בראיה אופטימאלית או אופטימית שאינה ריאלית. בהתאם מציע המחקר גישה אתית לפעילות מחקרית כלכלית מקיפה.
המידה שבה החברה יכולה להסתמך על התאמה אוטונומית כדי להפחית את ההשפעות הפוטנציאליות של שינויי האקלים לרמה מקובלת הינה סוגיה אקדמית ובעלת עניין מבחינת מדיניות. התאמה אוטונומית יוצרת בסיס כנגד הערכת הצורך בהתאמה מקדימה ומתוכננת. מחקרים מסוימים מניחים הסתמכות על מנגנוני השוק ובכך ביכולתם של מערכות האדם הפרטי להתאים באופן עצמאי (למשל, Mendelson et al., 1996; Yohe et al., 1996). מחקרים אחרים מדגישים את המגבלות של התאמות אוטונומיות כגון: ידע, מידע מוגבל, גישה למשאבים ועוד, ומדגישות את הצורך בהתאמה מתוכננת יזומה/מקדימה (Tol et al., 1996; Fankhauser et al., 1999). מדו"ח ה- UNFCCC (2001) עולה כי התאמה מתוכננת יזומה/מקדימה (כמו גם הפחתה) ראויים לתשומת לב מיוחדת מקהילת שינוי האקלים הבינלאומית.

מטרות התאמה יזומה/מקדימה לצמצם פגיעות המערכת על ידי הפחתת הסיכון או מקסום יכולת ההתאמה. ניתן לזהות חמש מטרות גנריות של התאמה מקדימה (Klein, 2003):
הגדלת האיתנות של תכנון תשתית והשקעות לטווח ארוך - על ידי הרחבת הטווח של טמפרטורה או משקעים המאפשרת למערכות לעמוד ללא כשל ו / או שינוי הסובלנות של מערכת להפסדים או כשלים (למשל, על ידי הגדלת רזרבות כלכליות או ביטוח)
הגדלת הגמישות של מערכות פגיעות - למשל על ידי מתן התאמות בטווח הבינוני (כולל שינוי של פעילויות או מיקום) ו / או הפחתת תקופת החיים הכלכלית (כולל הגדלת הפחתה).
שיפור יכולת ההתאמה של מערכות טבע פגיעות - על ידי הפחתה לחצים אחרים (שאינם אקלים) ו/או הסרת חסמים להגירה (כגון הקמת מסדרונות אקולוגיים).
החלפת מגמות המגבירות את הפגיעות ("mal-adaptation"), למשל על ידי הצגת מגבלות לפיתוח באזורים פגיעים כגון אזורי שיטפונות או אזורי החוף.
שיפור המודעות והמוכנות החברתית - למשל ליידע את הציבור על הסיכונים ועל ההשלכות האפשריות של שינוי האקלים ו / או הקמת מערכות התרעה.

7.3. סקירת ידע קיים

7.3.1 עלות/תועלת (Cost Benefit) של אסטרטגיית ההתאמה

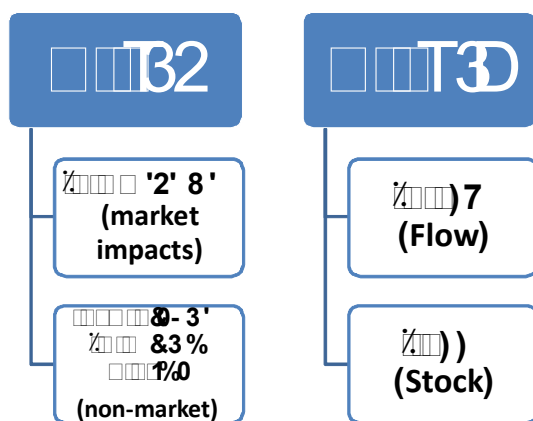
מרכיב מרכזי בבחינה הכלכלית של אסטרטגיית ההתאמה הינו גישת עלות/תועלת (Cost-Benefit), שבאמצעותה ניתן להעריך טוב יותר את המשמעויות הכלכליות. הערכות אמפיריות של עלויות ותועלות מהוות קריטריון מרכזי בקבלת החלטות בנושא התאמה. באמצעותן ניתן לקבוע "תג מחיר" לעלות ההתמודדות הכוללת שיש להקצות להן תקציב באמצעות מקורות פרטיים, ציבוריים ובינלאומיים. התאמה לשינויי אקלים תכלול אלפי פעילויות במספר מעגלים: משקי בית, חברות, ממשלות והחברה האזרחית. מדיניות חכמה יכולה להפוך יוזמה פרטית לכוח מניע ומקדם התאמה תוך התמקדות בשלושה כלים: ביטוח, שווקים סביבתיים ושותפויות ציבוריות-פרטיות. ביטוח הינו כלי מחזורי כחלק מהקונטקסט של תגובות התאמה במספר סקטורים, בעיקר חקלאות. איתותי מחיר ושווקים סביבתיים קריטיים להתאמה בהרבה משאבי טבע רגישים לאקלים כולל מים ומערכות אקולוגיות. לשותפויות ציבוריות-פרטיות (PPP – Public-Private Partnerships) יש תפקיד קריטי במימון והגברת יכולת ההתאוששות המהירה של תשתית לאקלים כאשר העלויות להתאמה גבוהות בצורה לא פרופורציונאלית. כמו כן שותפויות אלו רלוונטיות למחקר ופיתוח (R&D) של טכנולוגיות התאמה חדשות. הערכות אמפיריות של עלויות התאמה ותועלות בתחומים ואזורים הרלוונטיים לשינוי אקלים, כולל: חופים, חקלאות, משאבי מים, אנרגיה, תשתיות, תיירות, בריאות הציבור תוארו במסמך ה-OECD (2008). לטענתם, מרבית המחקרים בספרות מתייחסים לרמה הסקטוריאלי הנ"ל. תועלות מאסטרטגיית ההתאמה אינן פשוטות להערכה. ראשית, נדרש להבחין בצורה ברורה מהם תועלות ההתאמה. באיור 7.2 ניתן להצביע על 5 סוגי התאמה, שכל-אחד מהם מניב יתרונות משלו, שניתן לסווגם לשלוש קבוצות: השפעות אפשריות (Potential), השפעות התחלתיות (Initial), והשפעות שיריות (Residual).



איור 7.2: היתרונות הנובעים מסוגי ההתאמה השונים
Source: Klein, 2003

באופן עקרוני, התועלות של ההתאמה (בכל חמשת הסוגים יחדיו) יהיו עלויות הנזקים שימנעו כתוצאה מתופעת שינוי האקלים. לפיכך, אם נכמת את ההשפעות האפשריות של שינוי האקלים (תחת ההנחה שאין התאמה), כמו גם את ההשפעות השיריות (בהנחה של כל חמשת סוגי ההתאמה), התועלות של ההתאמה ניתנים על ידי ההבדל ביניהם. מתוך הערך המתקבל ניתן להפחית את עלויות היישום של ההתאמה ולקבל את העלות נטו של ההתאמה. ייצוג מתמטי של התועלות הנ"ל תואר במחקרם של Callaway et al. (1998). עם זאת, על-מנת להשיג אסטרטגיית התאמה אופטימלית

נדרש לשקלל במודל את אי-הודאות של התרחישים העתידיים ואת המתודולוגיה הנבחרת, אשר נדרשת לכלול את כלל ההיבטים. נושאים אלו מתוארים בהמשך הדו"ח בצורה פרטנית. בראיה כלכלית מבוססת מודלים קיימת חשיבות רבה בהבחנה בין פעילויות התאמה שבהן העלויות והתועלות מתרחשות באותה תקופת זמן לעומת פעילויות התאמה בהן ההשקעות הראשוניות גורמות לרווחים בטווח הזמן הרחוק יותר, מעבר לתקופת הזמן הנוכחית בה מבוצעות ההשקעות (Lecoq and Shalizi, 2007). הסוג הראשון של השקעות נקרא "Flow" והסוג השני נקרא "Stock". פעילויות התאמה מסוג "Flow" ניתנות להכללה בשתי קטגוריות. ראשית, קטגוריה של התאמות תגובתיות (ריאקטיביות), כדוגמת: טיפול פרטי/ציבורי במחלות הנגרמות משינוי אקלים בהן לא נדרשת השקעה תקציבית תשתיתית מראש. הקטגוריה הנוספת היא התאמות יזומות שבהן התועלות המופקות מההשקעות באות לידי ביטוי באותו פרק זמן ולא נגררות לאורך זמן. פעילויות התאמה מסוג "Stock" כוללות השקעה מתוכננת של מוצרים ותשתיות שמטרתם להפחית את הנזק בפועל כתוצאה משינוי האקלים אשר מביאות לתועלות לאורך זמן בעתיד הבינוני והרחוק. דוגמה לפעילויות מסוג זה ניתן למצוא בהשקעות תשתיתיות במשק המים אשר צפויות להימשך זמן רב ורמת חשיפתן לתופעת שינוי האקלים הינה ארוכה ולכן יש להתחיל את ההשקעה בנושא באופן מיידי. דוגמה נוספת הינה בבידוד של חלונות ומבנים בבניה ארוכת טווח לכ- 100 שנים אשר צפויים להיות מושפעים בטווח הזמן הארוך משינוי האקלים (Agrawala et al., 2010). באיור 7.3 תיאור סכמטי של סוגי פעילויות התאמה.

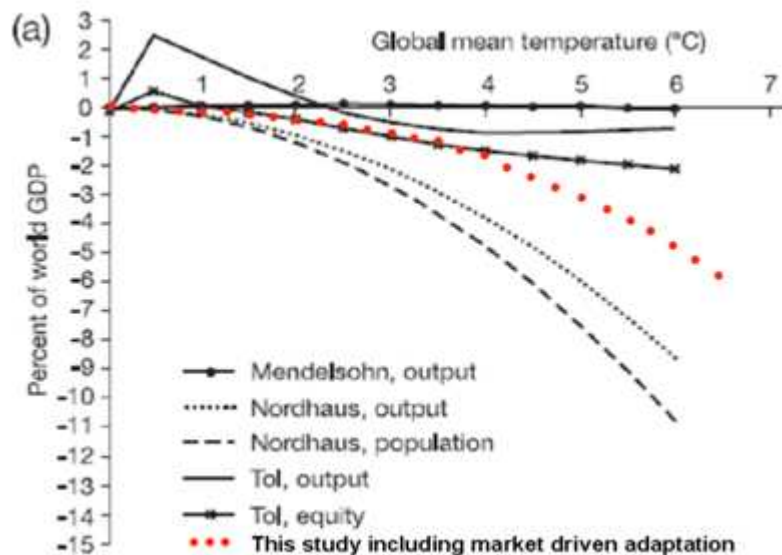


איור 7.3: תיאור סכמטי של סוגי פעילויות התאמה

ניתן לסווג את עלויות שינוי האקלים באמצעות ההבחנה בין השפעות משקיות ולא-משקיות. השפעות משקיות מוערכות באמצעות מחירים והשינויים צפויים בביקוש ובהיצע, לעומת זאת השפעות לא-משקיות לא כוללות עלויות צפויות ולכן נדרשות שיטות אחרות להערכתן כגון הערכות שווי על בסיס נכונות לשלם (Bosello, 2010a). הספרות המחקרית הקיימת מצביעה על הנזקים הפוטנציאליים הגדולים הצפויים משינוי האקלים שישפיעו בעיקר על מדינות מתפתחות ועל המגזרים הלא-משקיים (IPCC, 2007) ובפרט על מגזר הבריאות. ההערכות הנוכחיות אינן שלמות ומרביתן בחנו מחלות ספציפיות (מחלות ילדות, מחלות לב ומחלות בדרכי הנשימה). יתר על כן, ההשלכות הכלכליות העקיפות עשויות להיות רלוונטיות. עם זאת עבור ארה"ב, בוצעה ההערכה של ההשפעות הכוללות במגזר הבריאות המצביעה על הפסדים של כ- 10 מיליארד דולר בשנה (Hanemann, 2008) לעומת מחקרים קודמים שהצביעו על הפסדים הקטנים בכ- 80%.

חברת הביטוח Munich Re, המובילה בתחום ביטוחי המשנה, פיתחה מסד נתונים אשר מקטלגת אסונות טבע גדולים בעלי השפעה חמורה על המערכת הכלכלית. אולם, מסד נתונים זה מכיל הערכת חסר של הנזקים כתוצאה משינוי האקלים, מכיוון שרק האירועים הגדולים נכללים בו. עדיין, ההפסדים המוערכים הינם בסדר גודל של 0.5% מהתמ"ג העולמי, וקיימת עליה בעלויות הנזקים בקצב של 6%

בשנה. באמצעות מידע זה והתאמתו להכללת כלל הנזקים בוצעה הערכה שבשנת 2030 העלויות הכוללות יהיו 1%-1.5% מהתוצר העולמי. הערכה נוספת הצביעה על הערכות דומות עבור עליית טמפרטורה של 2.5°C , הצפויה לקראת סוף המאה הנוכחית (Nordhaus and Boyer, 2000). עבור עליית טמפרטורה מעל 2.5°C מרבית המודלים הכלכליים אשר משמשים להערכת העלות הכוללת של שינוי האקלים, מעריכים עלויות של עד 2%. פירוט של המודלים מופיע בהמשך דו"ח זה. איור 7.4 מציג את ההערכות בצורה השוואתית.



איור 7.4: נזקי שינוי אקלים כפונקציה של עליית הטמפרטורה הגלובלית הממוצעת
Source: Bosello et al. (2010a)

7.3.2. גישות לאומדן עלויות התאמה לשינויי אקלים

נושא ההתאמה לשינויי אקלים בהיבט הכלכלי הופיע לראשונה בספרות עם פרסום דו"ח ההערכה הראשון של ה-IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) בשנת 1991. עם זאת דו"ח זה והמאמרים השונים שהופיעו לאחריו במהלך שנות ה-90 של המאה הקודמת עסקו בעיקרם בפעילויות ההפחתה של פליטת גזי חממה ורק מיעוטם עסק בנושאי ההתאמה. ניתן לייחס זאת לניסיון להתמודד עם הפחתת התופעה והרצון למנוע אותה בתחילת הדרך, אולם כאשר התברר כי התופעה צפויה להתרחש החל מחקר מקיף יותר בנושא ההתאמה הנדרשת לתופעה זו. מחקר אנליטי כלכלי בנושא ההתאמה הינו מורכב מכיוון שהוא נדרש להכיל היבטים מרובים של התופעה וההתאמות הנדרשות להתמודד עם שינויים ורמת אי-ודאות גבוהה המשתנה לאורך זמן כפי שתואר בדו"ח הרביעי של ה-IPCC (IPCC AR4, 2007). אשר על כן, בסקירת הספרות הנוכחית היקף המידע המחקרי ממוקד במחקר הכמותי של העלויות והתועלות הכוללות של פעילויות ההתאמה לשינויי אקלים, המצריכות פיתוח של מודלים תיאורטיים-כלכליים על-מנת לבחון את מדיניות ההתאמה השונות. מחקרים מרכזיים אשר בחנו בצורה כוללת את העלויות והתועלות של ההתאמה לשינויי אקלים קיימים בצורה מצומצמת. (Callaway, 2004; Perry et al., 2007; EEA, 2007; Fankhauser, 2008; Watkiss 2009).

באופן כללי, טכניקות האומדנים הכלכליים ניתנות לסיווג לשתי קטגוריות. הקטגוריה הראשונה, הינה גישת Top-down (בגישת שיווי משקל כללי ממוחשב) אשר כוללת בו-זמנית את כלל השווקים והתעשיות ואת ההשפעות ההדדיות שלהן זו על זו. הקטגוריה השנייה, הינה גישת ה-Bottom-up,

גישת שיווי המשקל החלקי, אשר מתמקדת בהשפעות שינוי האקלים על שווקים מסוימים בלבד. הבחירה בטכניקת האומדן הכלכלית הנכונה תלויה בניתוח הנדרש לביצוע. שתי הגישות בקטגוריות השונות הינן למעשה שיטות משלימות, מכיוון שגישת שיווי המשקל הכללי הממוחשב (CGE - Computable General Equilibrium) מתבססת על טכניקות אומדן Bottom-up לצורך זיהוי והערכה של ההשפעות הספציפיות אשר נכללות במודל הכלכלי (Agrawala et al., 2010). באיור 7.5 תיאור סכמטי של טכניקות שונות של האומדנים הכלכליים.



איור 7.5: תיאור סכמטי של טכניקות שונות של האומדנים הכלכליים

המתודולוגיה המומלצת להיערכות להתאמה לתופעת שינויי האקלים כוללת מספר שלבים. ראשית, נדרש להבין ולכמת את רמת החשיפה לסיכונים הנובעים משינויי אקלים ואת הרגישות של הכלכלה לשונות זו כולל ההשפעות האפשריות. בפועל, השלב הראשון יכול הגדרה הן של הגורמים שצריכים להתאים עצמם והן של התופעה שאליה צריכה להתבצע ההתאמה. השלב השני, הוא ללמוד מניסיון העבר בהתאם לפעילויות התאמה שבוצעו בעבר שהצליחו או לא. בהתאם לכך, ניתן להעריך את יכולתה של המדינה לעמוד בהתאמה הנדרשת. יכולת זו הוגדרה ע"י ה- IPCC בשם: "Adaptive Capacity". השלב הבא כולל הערכה תקציבית של עלויות ההתאמה והגדרת נקודת העבודה האופטימאלית בהיבטי עלות-תועלת של פעילויות ופרויקטים להתמודדות עם שינויי האקלים. לצורך בחינת העלויות המדויקות תבוצע הערכה השוואתית של עלויות הפעילויות/פרויקטים עם/ללא השפעת שינויי האקלים. בנוסף, יש להתחשב בפעילויות הייעודיות שמבוצעות תחת ההנחה של השפעת שינויי האקלים. השלב הרביעי מאגד את כלל השלבים שלעיל לתמונה כוללת ברמת המקור, כולל ההשפעות על כלל המערך הכלכלי כולל לדוגמא: שוק העבודה, שוק הנדל"ן ועוד. למעשה ההערכה התקציבית שהוגדרה בהסתכלות של "bottom up" משתלבת בתוך הערכה משלימה בשיטת ה- "top down" כולל שימוש במודלי CGE. כאשר במודלים נבחנים שלושה תרחישים: ללא היבטי שינויי אקלים, עם השפעות שינויי אקלים אך ללא תכנון התאמה מתאים, עם ההשפעות ועם תכנון התאמה מוגדר מראש (Agrawala et al., 2010).

תקצוב של פעילויות להתאמה (Adaptation) עם תופעת שינויי האקלים תלויים במבנה הממשל המקומי וקיימים מספר אופנים לתעל את התקציב למקום שבו הוא נחוץ ואפקטיבי יותר (Przyluski & Hallegatte, 2010). לצורך בחינת הנושא מסתמכים על בעיה דומה שהייתה קיימת בעבר, כדוגמת תוכנית התקצוב האירופית למדינות מזרח אירופה. הנושאים דומים מכיוון שבשניהם קשה להגדיר ולמדוד את העלויות. ההיבטים המרכזיים עליהם ניתן להצביע בהקשר של תקצוב ההתמודדות עם שינויי האקלים כוללים את הנושאים הבאים:

כאשר מטרות התקציב הוגדרו בצורה ברורה ניתן להגדיר בצורה ברורה את האסטרטגיה הכלכלית לטיפול בהם. לעומת זאת, כאשר המטרות הינן כלליות לא ניתן להגדיר בצורה ברורה את היבטי התקצוב. כתוצאה מכך, על-מנת להיערך כלכלית בצורה נכונה לבעיית שינוי האקלים נדרש להגדיר יעדים ברורים וממוקדים כדוגמת: "הפחתה האוכלוסייה הנחשפת לשיטפונות" ולא יעד כללי כדוגמת: "התמודדות עם שינויי אקלים".

תקצוב ההתמודדות עם שינויי אקלים דורש שיתוף פעולה הדוק וקשרים בין נותני התקציב לבין מקבלי התקציב על-מנת לשלוט על תוצאות ההתמודדות ולוודא מתן עדיפות מתאימה לנושאים השונים. אשר על כן, נדרש להגדיר גישה תקציבית רב-שלבית לצורך בקרה הדוקה על התקציב הניתן והתוצאות המתקבלות.

השימוש בתקציבים פרטיים לצורך השקעה הינו בעייתי מכיוון שתקציב זה מתמקד בהפקת רווח ע"י המשקיעים ולא יכול לתת מענה לנושאי תשתית רחבים הנדרשים לתקצוב ברמה הממשלתית-ציבורית. לדוגמא מימוש הגנה לחופים כנגד בעיית עליית גובה פני הים לא תצלח לאורך זמן ללא מעורבות ממשלתית בתשתיות.

יש לוודא כי התקציב מתועל להתמודדות עם האוכלוסיות הרגישות יותר לתופעת שינויי האקלים גם אם העלויות של ההתמודדות יקרות יותר. שמירה על איזון תקציבי וחלוקה שווה בין אוכלוסיות לא תיתן מענה מתאים לתופעה.

7.3.2.1. אומדני עלויות התאמה בקנה מידה גלובלי

המחקר העדכני והמשמעותי ביותר בנושא בוצע במסגרת מחקר של הבנק העולמי (2010) ע"י ה-EACC (Economics of Adaptation to Climate Change). במחקר זה בוצעה הערכת Bottom-up של עלויות ההתאמה הגלובליות בהתאם לתרחישים מוגדרים בשבע מדינות מתפתחות. מחקר זה בוצע בראיה של עלויות ציבוריות-ממשלתיות בלבד (ללא עלויות פרטיות) מכיוון שהוא מיועד בעיקרו למקבלי ההחלטות הציבוריות. המחקר כולל הגדרת מתודולוגיה חדשה של העלויות הכולל ארבעה שלבים: הגדרת ה-Baseline, בחירת חיזוי אקלים, הגדרת השפעות החיזוי, זיהוי חלופות התאמה ועלויות בהתאם. בכל הסקטורים הנבחרים מבוצעת הערכה מלאה של עלות התאמה לשינוי אקלים, כך שתתאפשר שמירה על איכות החיים והרווחה שהיו קיימים לפני ההשפעות של תופעת שינוי האקלים.

הערכות עלות התאמה גלובלית סווגו ע"י Fankhauser (2010) לשתי קטגוריות מרכזיות המתבססות על מתודולוגיות שונות בחישובי עלויות ההתאמה. הקטגוריה הראשונה מתבססת על המחקר שבוצע בבנק העולמי בשנת 2006 ואשר כלל הערכה של עלויות ההתאמה במדינות מתפתחות, באמצעות הערכה של ההשקעות המבוצעות במדינות אלו עבור פעילויות הרגישות לשינויי אקלים. במחקר זה עלויות ההתאמה מחושבות בהתאם להשקעות הנוכחיות שמוגדרות כרגישות לתופעת שינוי האקלים, בחלוקה לשלוש קבוצות:

ODA (Official Development Assistance), FDI (Foreign Direct Investment) ו-ODA

GDI (Gross Domestic Investment). מחקר הבנק העולמי כולל הבחנה ברורה בין עלויות התאמה ציבוריות לפרטיות. העלויות הפרטיות מיוצגות ע"י ה-FDI וה-GDI ומייצגים את מרבית עלויות ההתאמה (כ- 55%-80%). לעומת זאת, הסקטור הציבורי המיוצג ע"י קבוצת ה-ODA, שלגביו מבוצעות מרבית המחקרים מייצג רק כשליש מהעלויות (World Bank, 2006). מחקר זה של הבנק העולמי הינו המחקר הראשון והיחיד אשר עוסק בעלויות פרטיות מעבר לעלויות הציבוריות-ממשלתיות. אשר על כן, קיימת חשיבות מרובה לעלויות ההתאמה בסקטור הפרטי, אך המידע המחקרי בנושא מצומצם מאוד. מתודולוגיית המחקר של הבנק העולמי באה לידי ביטוי בדו"ח שנכתב ע"י Stern (2006), שכלל עדכון לגבי תזרים ההשקעות. מסגרת זו שימשה בנוסף להערכת עלויות ההתאמה שבוצע ע"י Oxfam (2007), במסגרתה התווספו שלושה מרכיבי עלות נוספים: עלויות ארגונים לא-ממשלתיים, עלויות התאמה מיידיות של ממשלות במדינות מתפתחות, הכללת עלויות

התאמה שלא נכללו בהערכות הבנק העולמי. מחקר נוסף אשר השתמש בתשתית זו בוצע ע"י UNDP (2007) והעריך את ההשקעות השנתיות הנדרשות לצרכי התאמה בשנת 2015. במחקר זה התווספו למודל עלויות התאמה של אסטרטגיות להפחתת העוני לשינוי אקלים ולהגדלת המאמצים להפחתת סיכוני מחלות.

הקטגוריה השנייה כוללת מחקרים שבוצעו בנושא בהתאם להגדרה של ה- UNFCCC (2007) שבהן נבחנו ההשקעות ותזרים המזומנים הנדרש לצרכי התאמה לשינוי אקלים לשנת 2030 בחמישה תחומים עיקריים: אספקת מים, בריאות הציבור, חופים, חקלאות יערנות ודיג, ותשתיות. כל-אחד מהפרקים בדו"ח זה נכתב בצורה בלתי תלויה ע"י צוות חוקרים עצמאי. הגישות שנבחרו בכל-אחד מהסקטורים ניתנים לחלוקה לשני תחומים. האחד, תזרים ההשקעות הנדרש והשני, המשמעויות הנגזרות. לאחרונה, נבחן במסגרת מחקר של הבנק העולמי נושא עלויות ההתאמה בגישה דומה ל- UNFCCC. אולם, בעבודה זו התמקדו ההערכות הכלכליות בנושא תשתית ובמודל שיווי משקל כללי. התוצאות המספריות של דו"ח ה- UNFCCC מתוארות בטבלה 7.1.

טבלה 7.1: עלויות התאמה לשינויי אקלים לפי ענפים במדינות מתפתחות ומפותחות
Source: UNFCCC, 2007

Sector	Global Cost (\$bn in 2030)	Of which	
		Developed Countries	Developing Countries
Agriculture	14	7	7
Water	11	2	9
Human health	5	0	5
Coastal zones	11	7	4
Infrastructure	8–130	6–88	2–41
<i>Total</i>	<i>49–171</i>	<i>22–104</i>	<i>27–67</i>

עם זאת, בשתי הקטגוריות קיימות מגבלות משמעותיות המהוות חסרון בהערכת העלויות. בגישה הראשונה, ההכללה הרבה והגישה הכוללנית מהווה חסרון ואינה בוחנת את הפרטים הסקטוריאליים, כך שהיא קשה ליישום ואכן כמות המחקרים בגישה זו הינו מצומצם. הגישה השנייה, בוחנת אמנם את ההיבטים הסקטוריאליים אולם יכולת ההרחבה מהמקרה הסקטוריאלי המסוים עם הכיסוי הגיאוגרפי החלקי לרמות הגלובליות הוא בעייתי ועלול להוביל להטיית התוצאות. החשיבות הרבה בהגדרת ההשערות שעליהן מתבססים מתוארת ע"י Watkiss (2011). סיכום המאמרים הנ"ל מתואר בטבלה .

טבלה 7.2: סיכום מאמרים בנושא הערכות עלות התאמה גלובלית
מקור: Agrawala and Fankhauser., 2008

המחקר	איזור	הערות בנושא שיטות/מקורות	הערכת עלות התאמה
World Bank, 2006	מדינות מתפתחות	ההערכה מבוססת על OECD והבנק העולמי	9-41 מיליארד דולר לשנה (כיום)
Stern Review, 2006	מדינות מתפתחות	עדכון של דו"ח הבנק העולמי	4-37 מיליארד דולר לשנה (כיום)
Oxfam, 2007	מדינות מתפתחות	מבוסס על מחקר הבנק העולמי עם אקסטרפולציה של ההערכות מפרויקט NAPA ו-NGO	לפחות 50 מיליארד דולר לשנה (כיום)
UNDP, 2007	מדינות מתפתחות	מבוסס על מחקר הבנק העולמי פלוס עלויות התאמה של צמצום העוני וחיזוק מערכות תגובה לאסונות	86-109 מיליארד דולר לשנה (לשנת 2015)
UNFCCC, 2007	מדינות מתפתחות	הערכת עלויות מעמיקה: אספקת מים, בריאות הציבור, חופים. הערכת עלויות פחות מפורטת: חקלאות יערנות ודיג, ותשתיות.	28-67 מיליארד דולר לשנה (לשנת 2030)
UNFCCC, 2007	עולמי	כנ"ל. הערכת עלויות תשתית חופפות עם עלויות מים וחופים	44-166 מיליארד דולר לשנה (לשנת 2030)
World Bank, 2010	מדינות מתפתחות	מבוסס על אנליזה ברמה הענפית שבוצעה ברמה לאומית (3-5 ענפים בכל מדינה)	70-100 מיליארד דולר לשנה בין השנים 2010-2050 (כיום)

בהמשך למחקרים אלו Parry et al. (2009) הגדירו חסרונות משמעותיים בעבודה שבוצעה ע"י ה-UNFCCC. טענתם המרכזית היא שבוצעה הערכת חסר של העלויות מכיוון שלא נכללו כל הסקטורים. יתר על כן, גם הסקטורים שנכללו במחקר כללו השפעות חלקיות של תופעת שינוי האקלים. אי-לכך, להערכתם התוצאות במחקר של ה-UNFCCC צריכות להיות מוכפלות פי 2 ואפילו פי 3. בנוסף, לטענתם הרעיון של התאמה מושלמת אינו ישים ולהערכתם ההשפעות השיוריות שעבורן אין התאמה צפויות להיות בהיקף של כשני שלישים מסך כל ההשפעות. מתודולוגיית תזרים ההשקעות צריכות להתבסס על הערכה של ההשקעות הנדרשות בעתיד ולא על הערכת השקעות הנוכחית כפי שבוצע ע"י ה-World Bank (2006) ובשלושה סקטורים בדו"ח ה-UNFCCC (2007).

מסגרת כלכלית גנרית התומכת בקבלת החלטות של בעלי עניין בסקטור הציבורי לצורך הגדרת אסטרטגיות התאמה יעילות הוצעה ע"י Hallegatte et al. (2011). ארבעת תחומי העיסוק העיקריים המוצעים כוללים: ייצור והפצה של מידע על שינוי האקלים והשפעותיו; התמודדות בהיבטי תקנים, תקנות ומדיניות פסיקאלית; השינויים הנדרשים במוסדות; פעולות של ממשלות וקהילות מקומיות במונחים של תשתיות ציבוריות, מבני ציבור ומערכות אקולוגיות. מוצעת שיטה לבניית תוכניות התאמה ציבוריות אשר תכלול הערכה של הכדאיות של המדיניות האפשרית.

7.3.3 מדיניות התאמה בחלוקה למדינות

קיימת מדיניות התאמה פורמאלית במספר מדינות, בדגש על מדינות ה-OECD ומדינות מערב אירופה, ביניהן ניתן למצוא את הפירוט הבא: מדינות OECD (2011), בריטניה/אנגליה (2009/2010),

בלגיה (2010), ווילס (2010), אוסטרליה (2010), דנמרק (2008), גרמניה (2007), מדינות הים הבלטי (2007), איסלנד (2007), שבדיה (2007), פינלנד (2005).
ארה"ב טרם חוקקה חקיקה מקיפה בנוגע לשינוי האקלים ברמה הפדראלית. אולם, לחוקי המס הפדראלי המשפיעים על האנרגיה יש השפעה משמעותית בהקשר שינויי אקלים. ברמה האזורית, מספר מדינות בארה"ב חברו יחד בחקיקה בנושא שינויי האקלים ובנוסף ברוב המדינות קיימים חוקים מדינתיים המשפיעים על אנרגיה. עם זאת, מכיוון שמדובר על חוקים שאינם מתואמים בין המדינות נוצרים קונפליקטים ותופעות של אי-יעילות. בהיעדר מדיניות פדראלית כוללת בנושא, החלופה השנייה הטובה ביותר היא תיאום כולל על-מנת לעודד התנהגות נבונה בנושא האנרגיה. במאמר של Mann (2011) נבחנות חלופות לתיאום ושיתוף פעולה כולל בארה"ב ומוצגים האתגרים הפוטנציאליים. סקירה של השפעת האקלים הצפויה ומשאבי התכנון הלאומיים הנדרשים בשלוש מדינות (בריטניה, סין וארה"ב) מתוארת במאמרו של Farber (2011). בשלושתן, מסגרות התכנון נמצאות ברמת עדיפות נמוכה. מומלץ על שימוש בתכנון תרחישים מבוססי השפעה גבוהה.
קיימים מספר מחקרים בספרות אשר עוסקים בשיתוף פעולה בינלאומי ובהסכמים הנלווים בנושא ארכיטקטורת התקצוב לצורך אישור סיכומים גלובליים (Hallegatte, 2008; Dellink, 2009). מציאת פתרון משולב אשר ייתן מענה מספק הן למדינות המפותחות והן למדינות המתפתחות בעיצוב התקצוב הגלובלי הינה הכרחית על-מנת לאפשר הסכמים בינלאומיים.
נמצא כי אמצעי התאמה המבוצעים ע"י מדינות אל מול שינויי האקלים משפיעים ישירות על הפחתת הנזק ועשויים להשפיע בצורה עקיפה על הפחתת פליטת גזי החממה כתוצאה מייצוב ההסכמים הבינלאומיים בנושא הפחתת הפליטה. ככל ששיתוף הפעולה בנושא התאמה רחב יותר ברמה הבינלאומית קיימת הפחתה ברמות הפליטה הגלובליות ושיפור ברווחה העולמית. (Marrouch et al., 2011).

לסיכום, ניתן לציין כי ברמה הלאומית קיים מספר מוגבל ביותר של מחקרים שהעריכו את העלות של אסטרטגיית ההתאמה.

7.3.4. הערכת עלויות ההתאמה לפי ענפים

במסגרת דו"ח של ה-OECD (2008) נטען כי מרבית ההערכות האמפיריות של עלויות התאמה לעומת תועלת מבוצעות בחלוקה לענפים. הענפים העיקריים הם: חופים, חקלאות, משאבי מים, אנרגיה, תשתיות, תירות, בריאות הציבור.
מרבית הידע על העלויות והתועלות של ההתאמה נלמד ממחקרי case studies של ענפים מסוימים או מדינות. סקר שביצע ה-OECD מצא כי הידע שלנו על התאמה ברמת הסקטוראלית גדל, אך מידע זה מופץ בצורה לא אחידה (Agrawala and Fankhauser, 2008). עם זאת, מהראיות הקיימות עולה כי להתאמה השפעה חזקה מאוד בהתמודדות עם כמויות מתונות של התחממות. מאחר שמחקרים אלה מתמקדים בעלות הנמוכה של התאמה, ניתן לצפות לעלות תועלת גבוהים. השאלה היא כיצד להחזר על התאמה משתנה כאשר עולים בעקומת עלות התאמה ומתחילים ליישם באמצעים יקרים יותר. מחקר שנערך על ידי ארגון ה-ECA (2009) באמצעות חברות McKinsey & Swiss Re בשמונה מדינות מאשר כי יחס עלות/תועלת צפוי לרדת בסופו של דבר מתחת ל-1. אמנם קיים גבול לשיעור ההתאמה, אולם, המחקר מצא כי בשמונת מקרי-הבחון, רוב ההשפעות הכלכליות של שינוי האקלים הצפויים עשויות להימנע באמצעות התאמת עלות-יעילות.
אולם, מחקרים בנושא עלויות התאמת תשתיות בצורה כוללת ורב-ענפית אינם רבים. התשתיות מוגדרות הן בהיבט הפתרונות התשתיתיים המהווים התאמות והן בהיבט תשתיות כלליות הנדרשות לענות לתופעת האקלים המשתנה. המחקרים הקיימים בנושא בראיה הגלובלית כלל-עולמית כוללים את הדו"ח של הבנק העולמי (World Bank, 2010) המצביע על עלויות תשתית של כ-100-70 מיליארד דולר לשנה בין השנים 2010-2050 בהתאם לתרחישי אקלים שונים ואת הדו"ח של UNFCCC (2007) המעריך עלויות שנתיות של 4-41 מיליארד דולר עד לשנת 2030. מחקר נוסף בחן

את עלויות ההתאמה התשתיתיות והעריך אותן בהיקף של עשרות מיליארדי דולרים עד לשנת 2030 (Satterthwaite, 2007). מחקרים נוספים בוצעו ברמת המיקרו ולא בצורה גלובלית, כדוגמת: מחקר העוסק בעלויות תשתית בקנדה בחן את עלות החלפת והתאמת תשתית הכבישים לעליה בטמפרטורה ואת עלויות תשתית האחסון למי גשמים (Dore & Burton, 2001). מחקר נוסף עוסק בהערכת עלויות לשדרוג התשתיות הציבוריות באלסקה (Larsen et al., 2008). מרבית המחקרים ברמה הסקטוראלית עוסקים בתופעת עליית גובה פני הים והגנה על החופים ובנוסף בנושא החקלאות. בדו"ח זה נתמקד במחקרים בנושאי תחומי הידע אשר נכללים במרכז הידע וכוללים את ענף המים, ענף הבריאות, ענף האנרגיה, מערכות אקולוגיות. עלויות צרכי התאמה לטווח הקצר (עד שנת 2015-2030) מוערכות בהערכה גסה בכ- 4-100 מיליארד דולר בשנה. הטווח המינימלי ממעיט מצרכי התאמה. הטווח המקסימלי יותר מציאותי, כי לעיתים נלקחות בחשבון גם פעילויות "התאמה חברתית" המהוות חלק מהבסיס לפיתוח הכלכלי (Fankhauser, 2009).

7.3.4.1. ענף המים

ענף המים הינו ענף מרכזי אשר צפוי להשפעה מהותית כתוצאה משינוי האקלים, הן בהיבט העלייה הצפויה בטמפרטורה הממוצעת והן בהיבט הירידה החזויה בכמויות המשקעים. כתוצאה מכך, צפויה השפעה ישירה על הנגישות למים באזורים שונים בעולם וכתוצאה מכך השפעה על תחומים שונים, כדוגמת: אספקת מי השתייה, הטיפול בקולחים, וכמובן ענף החקלאות. למרות המרכזיות שבו, המחקרים בנושא הינם נקודתיים ומתמקדים באזורים מסוימים. עם זאת, קיים מחקר שבוצע ע"י Kirshen (2007) ובמסגרתו נבחנו עלויות ההתאמה של משאבי המים בראיה גלובלית. המחקר בחן את צריכת המים הצפויה בחלוקה לענפים שונים והצביע על עלות כוללת צפויה של יותר מ- 500 מיליארד (!) דולר עד לשנת 2050. התאמה בענף המים הוגדרה כצורך בסיסי וחיוני ע"י Hurd et al. (1999), כאשר קיים צורך לשלב היבטי אספקה, (כדוגמת: התפלה, יכולת אחסון תשתית ועוד) עם פעילויות של צריכה ע"י הציבור (כדוגמת: מחזור). מחקרים מתקדמים יותר בחנו את העלויות והתועלות של ההתאמה כתוצאה משינוי אקלים בהקשר לאיכות המים וזמינותם. בחינת עלויות ההתאמה בזמינות אספקת מים לשתייה ואופן הטיפול בבזבז מים בקנדה נבחנו ע"י Dore & Burton (2001), כאשר הושם דגש על פיתוח תוכניות חדשות לטיפול בנושאים ושיפור התוכניות הקיימות תוך הערכת עלותן. במחקר של Kirshen et al. (2004) נבדקה האמינות של אספקת המים באזור בוסטון (ארה"ב) כולל ההערכות לעלויות ההתאמה. המחקר בדק את ההשפעה של פעילויות מקיפות למניעת בזבז מים, הקמת מאגרי מים ייחודיים, שיפור יכולת חלחול מים לאגני היקוות. המחקר מעריך את עלויות ההקמה בעשרות מיליונים ואת עלויות התפעול השנתיות בכ- 300 אלף דולר. במחקר של ה-European Environment Agency (EEA) משנת 2007 בוצעה הערכה כלכלית של ניהול כנגד הצפות של נהר הריין בגרמניה כאשר העלות הכוללת מוערכת בכ- 1.5 מיליארד דולר לעומת התועלת המוערכת בפי שתיים. Muller (2007) העריך את עלויות שינויי האקלים בהקשר ענף המים באפריקה, בהיקף שנתי של 2-5 מיליארד דולר, והצביע על העלויות הנדרשות להתאמת תשתיות המים כולל השקעות תשתית אל מול התועלות. המשמעויות של השקעות תשתיות בתחום המים צפויות לגרום לעלויות גבוהות אל מול התועלות הצפויות ונדרש לבחון אותן לאור רמת אי-הודאות הגבוהה. נדרשת הבחנה ברורה בין אזורים בהם כמות המים צפויה לגדול, בהם השקעת התשתית צריכה להתמקד במניעת הצפות לעומת אזורים בהם כמות המים צפויה לקטון ובהן נדרשת השקעה בתשתית באגירת המים ומניעת בזבזם. ההשפעה של אירועי שיטפונות נגזרת משילוב של גורמים טבעיים ואנושיים. לצורך התמודדות עם שיטפונות קיימות שיטות ניהול משולבות אשר נבחנו כמותית. בשל חוסר הודאות הנגרם משינויי האקלים והשפעתו של עוצמת ותדירות השיטפונות נדרשת יכולת התאמה גמישה עם הסיכונים בהתאם לתרחישים עתידיים הכוללים שינוי בגובה פני הים, כמויות הגשמים והמסת הקרחונים. הפתרון המסתמן נדרש להיות אדפטיבי ואינקרמנטלי (Jha, 2011).

טבלה 7.3: סיכום מחקרים בנושא הערכות עלות בענף המים

המחקר	איזור	הערות בנושא שיטות/מקורות	הערכת עלות התאמה
Dore & Burton, 2001	קנדה	זמינות מי שתייה וטיפול בשפכים	הערכה כללית
Kirshen etl al., 2006	בוסטון, ארה"ב	עלויות שימור איכות המים ב-Assabet River	6.5-15.5 מיליון דולר עלויות תפעול שנתיות: 100-400 אלף דולר
EEA, 2007	אירופה	הגנה מפני הצפות של נהר הרין	במהלך המאה ה-21: עלויות: 1.5 מיליארד יורו תועלות: 1-3.9 מיליארד יורו
Muller, 2007	אפריקה	עלויות תשתיות מים עירוניות ופיתוחן	עלות שינוי האקלים: 2-5 מיליארד דולר לשנה עלות ההתאמה: כמחצית.
רשות המים בישראל, 2011	ישראל	עלות תכנון כללי הן בהקשר לעליה בביקושים למים והן בהקשר ירידה בהיצע עקב שינויי אקלים ומגמות אחרות	206 מיליארד ש"ח (בין השנים 2010-2050)

7.3.4.2. ענף הבריאות

תופעת שינוי האקלים תשפיע על ענף הבריאות בצורה ישירה ובצורה עקיפה. השפעה ישירה צפויה לנבוע כתוצאה מהתגברות כמות והיקף הסופות, תדירות השיטפונות והיקפם, היקף ותדירות גלי החום וכדו'. השפעה עקיפה צפויה לנבוע מהפצת מחלות זיהומיות והזמינות של אוכל ומים נקיים (Campbell-Lendrum and Woodruff, 2007). הערכה כלכלית בענף זה הינה מורכבת מכיוון שנדרש להפריד בצורה ברורה עלויות תשתית הנובעות מתופעת שינוי האקלים לעומת עלויות אחרות הנובעות משינויים אחרים המשפיעים על ענף הבריאות כדוגמת השינויים הדמוגרפיים. בנוסף, קיימת בעייתיות בהבחנה בין עלויות הטיפול במחלות הרגישות לשינוי אקלים לעומת עלויות ההתאמה הנדרשות. עם זאת, קיימים מחקרים אשר בחנו ברמה הגלובלית הרחבה את השפעות שינוי האקלים (Bosello et al., 2006; Watkiss et al., 2007). כמו כן, נבחנו תוכניות התאמה בריאותיות שונות בהיבטי עלות-תועלת (Markandya and Chiabai, 2009). קיימים מחקרים בהם נבחנו הערכות עלויות ותועלות של השפעות שינוי האקלים במתן שירותי בריאות ועל פעילויות ההתאמה שניתן ליישם בענף זה (WHO, 2005; WHO, 2006). אולם, מחקרים אלו אינם מקיפים את כלל היבטי המחלות. בדו"חות עדכניים שפורסמו לאחרונה והתמקדו בעלויות הנובעות ממחלות בלבד, ואינן כוללות עלויות תשתית במדינות מתפתחות ומפותחות, העריך הבנק העולמי (World Bank, 2010) את העלויות בהקשר לענף הבריאות בכ- 2 מיליארד דולר לשנה בין השנים 2010-2050 ואילו ה- UNFCCC (2007) העריך את העלויות הכוללות בכ- 5 מיליארד דולר לשנה עד 2030. מחקר נוסף קיים התייחס הן לעלויות הנובעות ממחלות והן לעלויות התשתית במסגרת בחינת מערכת תשתית בריאות בשם Heat HHWS (Health Warning Systems) בפילדלפיה ארה"ב (Ebi et al., 2004).

טבלה 7.4: סיכום מחקרים בנושא הערכות עלות בענף הבריאות

המחקר	איזור	הערות בנושא שיטות/מקורות	הערכת עלות התאמה
UNFCCC, 2007	עולמי	עלויות הנובעות ממחלות ואינן כוללות עלויות תשתית	5 מיליארד דולר לשנה עד 2030
Hanemman, 2008	ארה"ב	ההשפעות הכוללות (ישירות ועקיפות)	10 מיליארד דולר לשנה
World Bank, 2010	עולמי	עלויות הנובעות ממחלות ואינן כוללות עלויות תשתית	2 מיליארד דולר לשנה בין השנים 2010-2050

7.3.4.3. ענף האנרגיה והחשמל

סקטור האנרגיה מתמקד מבחינה מחקרית בהקשר של שינוי אקלים בעלויות ההתאמה כתוצאה מהדרישה הגוברת לאנרגיה קירור בקיץ ואנרגיה חימום בחורף, כאשר מרבית הספרות עוסקת בענף החשמל. מרבית המחקרים אשר בוצעו בעיקר בהקשר של ארה"ב מצביעים על כך שעלויות ההתאמה של אנרגיה הקירור יהיו גבוהות יותר מהתועלות הצפויות (Tol, 2002; Bigano et al., 2006, De Cian et al., 2007; Petrick et al., 2010). מאמר נוסף עוסק בהשפעות ההתאמה באזור דרום-מזרח הים התיכון העולמית באזורים שונים. מחקרים קודמים יותר עסקו אף הם בהיבטי צריכת האנרגיה בארה"ב (Cartalis et al., 2001). מחקרים נוספים (Rosenthal et al., 1995; Morrison & Mendelsohn, 1999; Mendelsohn, 2003) והצביעו על התועלות לעומת עלויות צפויות של מיליארדי דולרים.

7.3.4.4. מגוון ביולוגי

המגוון הביולוגי ושימור בעלי החיים והצמחים צפוי להיות מושפע בפן הכלכלי מתופעת שינוי האקלים. מחקר מקיף שסקר את ההשפעות על ענף זה בהסתכלות של 22 שנים אחורה בוצע על ידי Heller & Zavaleta (2009). המחקר מצביע על המלצות כלליות לניהול הענף בראיית שינוי האקלים, אולם המלצות אלו אינן ספציפיות מספיק לצורך הגדרת פעילויות ברות-מימוש. בשנים האחרונות, מאז המחקר הנ"ל, התווספו מחקרים אשר מספקים המלצות ברורות לפעילויות ספציפיות בנושא (Gilman et al., 2008; Galatowitsch et al., 2009).

מחקרים נוספים (Hodgson et al., 2009, Krosby et al., 2010) בוחנים את האפקטיביות של אסטרטגיות כלליות כדוגמת "קישור לסביבה הטבעית" (Habitat Connectivity) או לחילופין אסטרטגיות שימור חדשות כמענה לתופעת שינוי האקלים. בנוסף, מספר מחקרים בוחנים את האופן שבו מדיניות ורגולציה מוסדיים כפי שקיימים בארה"ב (לדוגמה: פארקים לאומיים) משפיעים על היכולת של מנהלי המשאבים להתמיד ביעדי ההתאמה (Baron et al., 2009, West et al., 2009). ככל שהמחקרים בנושא מתפתחים מעבר לתכנון ועוסקים ישירות בנושא המימוש בפועל צפוי המשך פעילות מחקרית ספציפית בנושא ההתאמה לענף חשוב זה (Glick et al., 2011).

7.3.4.5. סיכום רמת הידע לפי ענפים

בספרות קיים סיכום נרחב יותר של רמת הידע המחקרית בחלוקה לנושאים סקטוריאליים (Agrawala and Fankhauser, 2008). בטבלה 7.5 סיכום המצביע על כך שבענפים מסוימים קיימים מחקרים נרחבים לעומת ענפים אחרים בהם היקף המחקר מצומצם. יש להדגיש כי חלק ממגוון הנושאים המתואר להלן הינו מעבר למיקוד של מרכז הידע בשלב זה.

טבלה 7.5: סיכום רמת הידע בחלוקה למגזרים
Source: Agrawala & Fankhauser (2008)

	Analytical Coverage	Cost Estimates	Benefit Estimates
Coastal zones	Comprehensive	√√√	√√√
Agriculture	Comprehensive	—	√√√
Water	Isolated case studies	√	√
Energy	N. America, Europe	√√	√√
Infrastructure	Cross-cutting partly covered in other sectors	√√	—
Health	Selected impacts	√	—
Tourism	Winter tourism	√	—

7.3.5. מחקרים רלוונטיים לישראל בנושא התאמה (Adaptation)

מחקרים בנושא התמודדות עם השפעות שינויי אקלים על כלכלת ישראל הינם מעטים. ביניהם, ניתן להצביע על מחקרים כלכליים שבוצעו בשנים האחרונות בישראל בחנו את השפעת שינויי האקלים על ישראל, תוך התמקדות בענף בודד כמו החקלאות (Haim et al., 2008; Kan et al., 2007; Amdur et al., 2011) או משק החשמל (Gressel et al., 2000).

במחקרם של Kan et al. (2007) פותח מודל כלכלי לצורך ניתוח השפעת שינויי האקלים על ענף החקלאות בישראל. בוצע שימוש במודל הכולל פונקציות ייצור לא-לינאריות המייצגות את התוצר בהתאם למיקום הקרקע והיבטי מים. המודל מאפשר הערכה של השפעות שינויי האקלים עבור ניהול חקלאי אופטימאלי, כאשר אסטרטגיית ההתאמה נחשבת פנימית ביחס לשוליים הרחבים. מדינת ישראל חולקה ל-14 אזורים בהן משוערות כמויות משקעים שונות. התוצאות מצביעות על ירידה של 20% בהכנסות השנתיות מענף החקלאות בשנת 2100 ביחס לשנת 2002, כאשר היבולים שרגישים יותר למים הם הנפגעים העיקריים פרוט. מחקר נוסף אשר עסק בהשפעת שינויי האקלים על ענף החקלאות בישראל, המאופיינת בחורף גשום וקר וקיץ חם ויבש, מצביע על ההשפעה העמוקה של שינויי האקלים (Haim et al., 2008). מחקר זה בדומה לקודם בוחן מודל כלכלי בגישת פונקציות הייצור תוך התייחסות לשני יבולים מרכזיים: חיטה (בדרום היבש של מדינת ישראל וכותנה (בצפון הלח). התוצאות של המודל לגבי יבול החיטה משתנות מהיבט שלילי לחיובי בהתאם לתרחיש ואולם בהקשר לכותנה קיימות אמנם תוצאות שונות אבל ההשפעה היא שלילית לכל התרחישים. מאמרם של Amdur et al. (2011) בוחן את החלופות לפיתוח מדיניות סביבתית בישראל תוך התמקדות בכלי שיווק יעודיים. החלופות נבחנות באמצעות שני קריטריונים מרכזיים: תרומתם לשיפור התועלת של המדיניות, הישימות של מימושו. המחקר מתאר את כלי המדיניות הכלכלית בהן מבוצע כיום שימוש בישראל.

נושאים מתודולוגיים ואמפיריים במגוון תחומים סוציו-כלכליים אשר מושפעים מתופעת שינויי האקלים תוך השפעה על המדיניות הנדרשת מרכזים בספרם של Giupponi & Shechter (2003). אחד המחקרים בספר, שבוצע ע"י Yehoshua & Shechter עוסק בהשפעת שינויי האקלים על ענף החקלאות

בישראל, תחת הנחת אי-הודאות באמצעי ההתאמה הצפויים בעתיד. מחקר נוסף עסק בהשפעות על משק המים במזרח התיכון כולל ישראל (El-Fadel and Bou-Zeid, 2003). המחקר צופה שצריכת המים הביתית בישראל אינה צפויה לעלות בשונה ממדינות אחרות במזרח התיכון, אולם צריכת המים לחקלאות צפויה לעלות גם בישראל. בנוסף, מכיוון שמרבית האוכלוסייה בישראל הינה עירונית ולא כפרית, אספקת המים הרציפה בישראל אינה צפויה להיפגע. בהקשר לשיטפונות, תופעת שינוי האקלים לא צפויה להשפיע בישראל בצורה ניכרת לנוכח המחסור בנהרות והעדר אזורים עירוניים גדולים בסביבה של מקורות מים. בהסתכלות כוללת על מגזר המים, הירידה בתוצר המקומי הגולמי בישראל צפויה להיות פחותה משמעותית מאשר שאר המדינות במזרח התיכון. הערכה השוואתית זו מתוארת בטבלה 7.6.

טבלה 7.6: הערכה איכותית של ההשפעה על התוצר הגולמי במזרח התיכון בחלוקה למדינות
Source: El-Fadel and Bou-Zeid (2003)

Impact	Iraq	Israel	Jordan	Lebanon	Palestinian Authority	Syria
Increased industrial and domestic water demand	++	+	+	++	+	++
Increased agricultural water demand	+++	++	+	+++	+++	+++
Water resources distribution equity decline	+++	++	+++	++	+++	+++
Flood damage	+++	+	+	++	+	+
Water quality damage	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Hydropower loss	+	+	+	++	+	+
Ecosystems damage and species loss	++	++	+	+++	++	++
GDP reduction (percent)	3-6	1-2	1-2	2-5	2-5	4-7

+++ high; ++ moderate; + insignificant

מחקר המרכז את פעילויות ההתאמה לשינוי אקלים באגן הים התיכון נכתב ע"י Magnan et al. (2009). מאמר זה מתאר את הגישה לנושא במדינות אגן הים התיכון עם התייחסות מועטה לישראל. המחקר מציג את התוכניות והאסטרטגיות הלאומיות והאזוריות במדינות: ספרד, צרפת, טוניס והאיחוד האירופי וכן פרויקטים ייעודיים במדינות נוספות כדוגמת: מרוקו, מצרים ואלבניה. מוגדרת מסגרת כללית למימוש פעילויות ההתאמה במדינות אגן הים התיכון, כולל המלצות לאופן הפעלתן. קיים צורך בפעילות משותפת אזורית של מדינות אגן הים התיכון להרחבת המחקר בנושא ולפעילויות משותפות ומותאמות.

במסגרת מסמך רשמי של מדינת ישראל שנכתב ע"י המשרד להגנת הסביבה בשנת 2010 עבור ה-UNFCCC (Yanai-Axelrod, 2010) רוכזו הפעולות הרשמיות של מדינת ישראל בנושא ההתאמה לשינוי אקלים. ראשית, מרבית הפעילויות בנושא בוצעו נכון להיום בהקשר של אסטרטגית ההפחתה. עם זאת, קיימת החלטת ממשלה מיוני 2009 להקמת ועדה שתקבע את מדיניות ההיערכות לטיפול בתופעת שינוי אקלים בהיבט אסטרטגית ההתאמה ואסטרטגית ההפחתה. במסגרת הדו"ח קיימת טבלה מפורטת המציגה עבור תחומים סקטוריאליים שונים את פעילויות ההתאמה שניתן לבצע. התחומים כוללים את משאבי המים, חקלאות, חופים, בריאות הציבור, מערכות אקולוגיות, אנרגיה ותשתית, המערכת הכלכלית. בנוסף לפעילות ברמה הלאומית מקומית, מתוארות הפעילויות שבהן ישראל שותפה ברמה הבינלאומית.

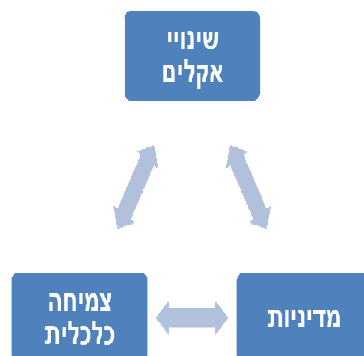
7.3.6. שילוב אסטרטגית התאמה (Adaptation) ואסטרטגית הפחתה (Mitigation)

נכון להיום, מרבית המחקרים הכלכליים בנושא אסטרטגיות התאמה בוצעו עד היום בגישת Bottom-up בתפיסת המיקרו. למרות שמתודולוגיה זו מספקת מידע לגבי ההיבטים הכלכליים, חסרה בגישה זו ראייה רחבה יותר ברמת המקרו של אסטרטגיות ההתאמה משולבות עם מדיניות כלכלית ופעילויות נוספות, בעיקר הפחתה (Mitigation). בשנים האחרונות בוצעו מספר מצומצם של מחקרים אשר עוסקים בנושא זה של שילוב הראיה הרחבה של הפחתה והתאמה עם הראיה הנקודתית של פעילויות ההתאמה השונות. ניתן לייחס מחקרים אלו לשתי קבוצות עיקריות: מחקרים כמותיים, מחקרים תיאורטיים. דו"ח ה-OECD (2008) מספק הערכה של עלויות ההתמודדות והיתרונות בסקטורים הרלוונטיים לשינוי אקלים ובנוסף בקשרים הבין-סקטוריאליים ברמות גלובליות ולאומיות. פעילויות התאמה לשינוי אקלים מהוות למעשה דרך פעולה משלימה לפעילויות ההפחתה של פליטת גזי חממה (GHG) (Carraro & Sgobbi, 2008). קיימת חשיבות מרובה בהערכה התקציבית של הפעילויות השונות, הן פעילויות ההפחתה/הפחתה והן פעילויות ההתאמה לצורך הערכות מתאימה ברמות השונות. העלויות הכוללות של תופעת שינוי האקלים כוללות שלושה מרכיבים: עלות פעילויות הפחתה, עלות פעילויות ההתאמה, עלות הנזק בפועל. בהתאם להערכת העלויות ניתן לתעל בצורה אפקטיבית את המדיניות הכוללת בנושא על-מנת שניתן יהיה לכמת את העלויות והתועלות. המדיניות תיגזר למעשה מהגדרת היחס המיטבי לתקצוב פעילויות ההתאמה אל מול פעילויות ההפחתה ובנוסף בין פעילויות ההתאמה עצמן (Bosello et al., 2010a).

7.3.6.1 מחקרים כמותיים

המחקרים הכמותיים נפוצים יותר מאשר המחקרים התיאורטיים. רובם מבוצעים תוך שימוש במודלים מסוג IAM (Integrated Assessment Model). באמצעות מודלים אלו ניתן לייצג את הקשרים בין שלושת הגורמים: שינוי אקלים, הצמיחה הכלכלית והמדיניות. הפיתוח של מודלים אלו התחיל בתחילת שנות ה-90 של המאה הקודמת לצורך הערכת מדיניות הפחתה על-מנת להתמודד עם תופעת שינוי האקלים. המחקרים השונים אימצו את המודלים הללו לצורך בחינת המדיניות בנושא התאמה ושילוב אסטרטגיה זו במודלים כמותיים משולבים. ההצגה המתמטית הפורמאלית של עלויות ההתאמה ניתנת לייצוג כבעיית integer-programming. המטרה היא לבחור פרויקטים כך שהרווחים/תועלות הצפויים ימוקסמו. נתוני ההתחלה של הניתוח הינם תקציב נוכחי של השקעות הממשלה לצורך טיפול עקבי באיזון הפיסקאלי (הכולל הן את הוצאות הממשלה והן את האופן בו הן ממומנות כדוגמת: הטלת מיסים, חוב ציבורי, הדפסת כסף). עלויות ההתאמה הינן עלויות מימוש פרויקטים אשר מבוצעים לצרכים ייעודיים של התאמה לשינוי אקלים שבמידה שהתופעה לא הייתה קיימת לא היו מתבצעים. (Margulis et al., 2008).

באיור 7.6 מתוארים הקשרים בין שלושת הגורמים במודל IAM



איור 7.6: הקשרים בין שלושת הגורמים במודל IAM

המחקרים הראשונים שעסקו בנושא (Hope, 1993, 2006, 2009; Plambeck et al., 1997) תיארו מודל בשם PAGE (Policy Analysis of Greenhouse Effect), אשר כלל פרמטרים של קצב השינוי היחסי ושל הערך האבסולוטי של הטמפרטורה. פעילות ההתאמה צפויה להשפיע הן על כ"א מהפרמטרים בנפרד (כך שרגישות המודל עליהן תקטן). מחקרים אלו הצביעו על הפחתת ההשפעה של שינוי אקלים בהיקף של החל מ-90% (במדינות ה-OECD) ועד 50% באזורים אחרים. המחקרים מצביעים על הפחתת נזק של 35 טריליון דולר בהשקעה של 3 טריליון דולר בין השנים 2000-2200, ולכן מצביעים על הצורך בהשקעה משמעותית בפעילויות התאמה בעדיפות על פני פעילויות ההפחתה. עם זאת, המודל הנ"ל הינו תלוי תרחיש ולכן אינו יכול לשמש לקביעת מדיניות כוללת בנושאי התאמה והפחתה. אי לכך, יש צורך בהגדרת מודלים גלובליים מתאימים במחקר נוסף פותח מודל בו שולבה אסטרטגיית ההתאמה כמשתנה ברור בקבלת החלטות, אולם בראיה צרה יחסית של תופעת עליית גובה פני הים באמצעות מודל FUND (Tol, 2007), כאשר הגנת החופים הינה משתנה קבלת החלטה הנבחר בצורה אופטימלית על בסיס קריטריון של עלות-תועלת שהוגדר ע"י Fankhauser (1994). פעילויות ההתאמה בנושא הגנת החופים כוללים בעיקר פרויקטי תשתית ולכן פעילות ההתאמה הנכללת הינה בעיקרה פרואקטיבית (ולא תוצאתית). מודלים מתקדמים יותר תוארו במספר מחקרים. מודלים אלו מתבססים על משפחת מודלי DICE (Nordhaus 1994, 1996, 2000). מודלי DICE ו-RICE הינם מודלים כלכליים של שינויי אקלים אשר משלבים תפיסה כלכלית יחד עם תפיסה גיאופיזית (שיטה פיזיקלית כמותית לחקר גיאוגרפי). משפחת מודלים זו כוללת מודלים כלכליים שבהם נכללים הפרמטרים הבאים: רמת הצריכה הנוכחית, ההשקעה בהון יצרני, הפחתת הפליטה (כולל רכיב הנזק, המיוצג ע"י פונקציה נזק כתלות בעלית הטמפרטורה ביחס לשנת 1900). עלות ההתאמה נכללת במודלים אלו במסגרת פונקציה הנזק, אולם עלות זו אינה מייצגת פרמטר החלטה או התייחסות מקלה לנזק השיורי. אי-לכך, המחקרים המתקדמים מרחיבים את המודל כך שעלות ההתאמה תיכלל במודל בהגדרה המרחיבה שלו. כל המחקרים מצביעים על היתרון באסטרטגיה משלימה של פעילויות התאמה והפחתה, מכיוון ששתייהן מפחיתות את נזקי תופעת שינוי האקלים ומציינים כי רווחת הציבור תגדל כאשר שתי הגישות מטופלות. המחקרים מציגים תוצאות מספריות אשר בוחנות את המשמעויות הכלכליות כאשר אסטרטגיות ההתאמה וההפחתה מופעלות בנפרד לעומת אסטרטגיה הכוללת שילוב שלהן. ניתן לחלק מאמרים אלו לשתי קטגוריות בפן הכלכלי: גישת עלות-תועלת (Cost-Benefit) וגישת עלות-יעילות (Cost-Effectiveness). שתי הגישות הנ"ל מתחרות על המשאבים המוגבלים (Hof et al., 2010; Agrawala et al., 2009). במחקרים בגישת עלות-תועלת, נמצא כי ההתאמה היא האופציה הכלכלית המועדפת, תוך שימוש יעיל במשאבים ותרומה משמעותית להפחתת הנזק. מסקנה זו נובעת מכך שהמודלים הללו אינם כוללים שינויים פתאומיים משמעותיים וסבירות נמוכה לאירועים קטסטרופליים המתוארים ע"י Lenton et al. (2008). במידה שהמודלים היו כוללים השפעות אלו, תפקיד אסטרטגית ההפחתה היה גדל, מכיוון שפעילות ההפחתה הייתה מקטינה את ההסתברות לאירועי טבע חמורים ואילו פעילות ההתאמה הינה רלוונטית רק לאחר שהאירוע כבר התרחש (Settle et al., 2007). בהתאם לכך, הציעו גם Bosello et al. (2010) במחקרם שהפחתה תוגדר בצורה עצמאית ללא תלות בהתאמה כך שהפעילויות הקשורות להפחתה יבוצעו על-מנת להימנע מתרחישים אקלימיים קיצוניים ואילו התאמה תותאם על-מנת להקטין את הנזק השיורי שפעילויות ההפחתה לא מנעו. כאשר למעשה פעילויות התאמה מרובות יותר מפחיתות את התועלת השולית של פעילויות ההפחתה וכך ניתן לתכנן כלכלית כמות נזק שיורי קטנה יותר שיש לצמצמה (Fankhauser, 2010). הכללת אי הודאות במודלי IAM הן בהקשר להתאמה והן בהקשר להפחתה נבחנה ע"י Felgenhauer & Bruin (2009). במחקר נבחן האפקט של תוצרי אי-הודאות בשינוי אקלים במונחי פילוג הסתברותי

עבור חמישה ערכים שונים של רגישות לאקלים. נמצא כי עבור רגישות גבוהה לשינוי אקלים העלייה בהפחתה גבוהה יותר מאשר העלייה בהתאמה.

המחקר הראשון בגישת עלות-תועלת בוצע ע"י Bosello (2008). במחקר זה בוצע שימוש במודל RICE תוך הגדרת עלויות ההתאמה כתוספת לפונקציית הנזק המקורית. גישה זו נובעת מאי-הודאות הגבוהה בעלויות אלו והנזק השיורי הרלוונטי לה. במחקר נמצא כי ההשקעה בהתאמה מקטינה את נזקי תופעת שינוי האקלים, אולם נדרש להשלימה עם השקעה מתאימה בפעילויות מו"פ, הון קיים ועלויות ההפחתה. תוצאות המחקר מצביעות על עליה בהפחתת הנזק מ-80% בשנת 2040 ל-94% בשנת 2010. כאשר נרחיב את המדיניות הכוללת כך שתכלול פעילויות התאמה בנוסף לפעילויות ההפחתה הקיימות צפויה הקטנה של 80% בעלויות הכוללות בשנת 2100. גישה מחקרית דומה של הפרדת עלויות ההתאמה מרכיב הנזק השיורי אשר הוגדר במודל של Nordhaus קיימת גם במחקרים נוספים. De Bruin et al. (2009) פיתחו את מודל ה-AD-RICE המבוסס על פונקציית הנזק של מודל DICE99 (Nordhaus & Boyer, 2000). במודל זה ההתאמה הינה פרמטר תגובתי (ולא יזום) ולכן נדרשת התאמתו עם הזמן לנזקים העתידיים. במחקר נמצא כי ההתאמה צפויה לגרום להפחתה של 132 מיליארד דולר של הנזק השיורי השנתי, לעומת 58 מיליארד דולר בלבד כתוצאה מפעילויות ההפחתה. Parry et al. (2009) הציעו שעלויות ההתאמה יגדלו בצורה לא-ליניארית ביחס להשפעות שנמנעות. לטענתם, השפעות מסוימות לא ניתנות לטיפול אפילו אם התקציבים היו בלתי מוגבלים מכיוון שחלק מהטכנולוגיות אינן זמינות עדיין. Bahn et al. (2010) פיתחו מודל DICE מעודכן הכולל את היבט ההתאמה. המחקר בחן שתי חלופות דלק (מזוהם ונקי) תוך בחינת ההתאמה אל מול פעילויות ההפחתה. החוקרים ציינו כי עלול להיווצר מצב שבו פעילויות התאמה יעילות במיוחד אשר יאפשרו הגנה על הכלכלה העולמית מפני השפעת תופעת שינוי האקלים עלולות להוביל להשהיה בפעילויות השונות המבוצעות לצורך הגעה לכלכלה "נקיה" ומכאן יגרמו לריכוזי פליטת גזי חממה בערכים גבוהים מאוד לקראת סוף המאה ה-21. הרחבה נוספת של המחקר בוצעה באמצעות פונקציית CES (Constant Elasticity of Substitution) מקוננות. Bosello et al. (2010, Agrawala et al. 2010). בשני מחקרים אלו נבחנות התאמות תגובתיות לעומת מקדימות, אולם במחקר של Bosello מתאפשר שיפור פנימי ביעילות של ההתאמה התגובתית כתוצאה מהשקעה במו"פ כאשר הגישה היא גישת עלות-תועלת. במחקר זה נמצא כי הפחתת הנזק השיורי בשימוש באסטרטגית התאמה בלבד עומד על 55% בשנת 2100 לעומת הפחתה של 20% בלבד באסטרטגית הפחתה בלבד. המחקר מצביע על הבחנה בין איזורים/מדינות בהקשר זה. עבור מדינות ה-OECD התאמה יזומה (פרואקטיבית) מהווה 88% מכלל תקציב ההתאמה, כך ש-12% בלבד מוקצים להתאמה תגובתית (ריאקטיבית) ואילו במדינות שאינן חברות OECD נמצא כי קיימת השקעה דומה בין שתי שיטות ההתאמה.

לעומת זאת במחקר של Agrawala בגישת עלות-יעילות (Cost-Effectiveness), מוגדרת השקעה ראשונית יעודית לצורך הגדרת קיבולת ההתאמה לפני הקצאת המשאבים בפועל בין התאמה מקדימה לבין התאמה תגובתית. מדיניות הפחתה של 550ppm צפויה להשפיע על הקטנת הבזבז בפעילויות התאמה. עפ"י מודל AD-DICE ההקטנה היא מ-0.26% מה-GDP ל-0.2% ואילו עפ"י מודל AD-WITCH ההקטנה היא מ-0.15% ל-0.1%. בהקשר להבחנה בין מדינות מפותחות למדינות מתפתחות, מצביע המאמר על הצורך להשקיע את מרבית התקציב בחצי הראשון של המאה ה-21 בבניית תשתיות מתאימות ורק בהמשך להשקיע תקציבים מפעילויות התאמה נוספות. מחקר נוסף בגישת עלות-יעילות של Hof et al. (2009) כלל הצעה לשלב את מודל ההתאמה במודל האזורי FAIR אשר מיועד לבחון את היעילות של תקצוב בינלאומי של עלויות התאמה באמצעות שימוש ברווחים שיווצרו מפעילויות ההפחתה. פעילויות ההתאמה צפויות להביא להקטנת עלויות ההתאמה ב-2100 מ-1% ל-0.4% מהתוצר הגולמי העולמי (עבור עליה של 3°C) ול-0.1% (עבור עליה של 2°C). מחקרם של Bosello et al. (2010) מצביע על קיום אסימטריות בין פעילויות ההתאמה לבין פעילויות

ההפחתה. למרות שקיימת הדדיות בין שתי השיטות, פעילויות ההתאמה חזקות יותר ומשפיעות יותר מאשר פעילויות ההפחתה במיוחד בראיה קצרת טווח, שבה מעריכים כי הירידה בנזקי תופעת שינוי האקלים כתוצאה מפעילויות ההפחתה תהיה קטנה מדי ולכן לא תשפיע בצורה ישירה על פעילויות ההתאמה שיש לבצע.

מודל נוסף המתמקד בשילוב אסטרטגית התאמה יזומה עם הסכמי מדיניות בינלאומיים להתמודדות עם תופעת שינוי אקלים כולל התבססות על מודל (AD-STACO) (De Bruin et al., 2011). במחקר נבחנה ההשפעה של רמות שונות של התאמה יזומה על יציבות ההסכמים הבינלאומיים. מרבית המחקרים הכמותיים שצינו בפרק זה עוסקים בפעילויות התאמה משמעותיות המאופיינות בספרות כגישות "hard". עם זאת קיימות גישות נוספות המסווגות כ- "Soft" וכוללות פעילויות התנהגותיות ושינויים ארגוניים כדוגמת: תוכנית בנין עיר, חינוך ועוד. מדיניות התאמה יעילה תכלול שילוב של שתי קטגוריות אלו. אולם, מכיוון שההערכות של עלויות ה- "Soft" הינן קשות יותר להגדרה, המחקרים עוסקים בעלויות המשמעותיות יותר (מסוג Hard) (Moore, 2011).

טבלה מסכמת של ההשפעות העולמיות, בחלוקה לאזורים, ביחס ל- GDP (באחוזים) בתגובה לעלית טמפרטורה צפויה של 2.5°C, בהתאם למודלים השונים שתוארו בפרק זה, מופיעה להלן:

טבלה 7.7: השפעות עולמיות, בחלוקה לאזורים, ביחס ל- GDP (באחוזים) בתרחיש עלית טמפ' של 2.5°C
Source: Bosello et al., 2010a

	ICES model (Bosello et al. 2009)*	AD-WITCH model (Bosello et al. 2009a)**	Fankhauser (Fankhauser and Tol 1996)	Tol (Fankhauser and Tol, 1996)	Nordhaus and Boyer (2000)	Mendelsohn et al. (2000)	Pierce et al. (1996)
USA	0.2	0.4	1.3	1.5	0.4	-0.3	1
WEURO	-1.3	1.6	1.4	1.6	2.8	n.a.	1.4
EEURO	0.8	0.5	n.a.	0	0.7	n.a.	-0.3
KOSAU	0.9	0.8	n.a.	0	-0.4	n.a.	1.4
CAJANZ	-0.8	0.5	n.a.	3.8	0.5	0.1	1.4
TE	0.9	0.8	0.4	-0.4	-0.7	-1.1	0.7
MENA	0.2	2.9	n.a.	5.5	1.9	n.a.	4.1
SSA	2.0	5.1	n.a.	6.9	3.9	n.a.	8.7
SASIA	3.0	5.5	n.a.	0	4.9	2	n.a.
CHINA	1.7	0.5	2.9	-0.1	0.2	-1.8	5
EASIA	2.3	4.2	n.a.	5.3	1.8	n.a.	8.6
LACA	1.8	2.3	n.a.	3.1	2.4	1.4	4.3

הערה: הקטגוריה האזורית MENA מייצגת את המזרח התיכון וצפון אפריקה וכוללת את ישראל.

7.3.6.2. מחקרים תיאורטיים

המחקרים התיאורטיים כוללים מספר תחומי מחקר שונים:

- השילוב האופטימלי בין התאמה לבין הפחתה.
- היחסים ההדדיים בין התאמה לבין הפחתה.
- היבט ההתאמה ברמה הבינלאומית.

בהיבט השילוב האופטימלי בין התאמה לבין הפחתה, הספרות המחקרית עוסקת בעיקר בהבחנה, האם פעילויות אלו הינן חליפיות או משלימות. ניתן להגדיר אסטרטגיות אלו כחליפיות כאשר הפחתה בעלות של אסטרטגיה אחת (מבין השתיים) מגדילה את השימוש בה ומקטינה את השימוש בשנייה. לעומת זאת, התאמה והפחתה יכולות להיות משלימות כאשר פעילויות ההפחתה מקטינות את העלויות השוליות של ההתאמה. המשמעות על קבלת ההחלטות לגבי המדיניות הרצויה תלויה במקרה הבוחן (case-study) וניתן למעשה להגדירה הן בהיבט פעילויות משלימות והן בהיבט פעילויות חליפיות (Klein et al., 2007). Brechet et al. (2010) בחנו את אופן קבלת ההחלטה לגבי היקף ההשקעה הנדרש לאסטרטגית ההתאמה ולאסטרטגית הפחתה. מסקנתם המרכזית היא שההחלטה תלויה ברמה הכלכלית המקומית. עבור אזורים או מדינות עשירות ומפותחות קיימת עדיפות להשקעה בפעילויות התאמה, לעומת מדינות עניות בעלות כלכלה חלשה, מכיוון שעלויות ההתאמה הינן גבוהות מדי ולא ישימות. בשונה מכך, פעילויות הפחתה ניתנות לשימוש בצורה אופטימאלית ללא תלות ברמת הכלכלה המקומית. אי-לכך, ניתן להגדיר את היחס שבין התאמה להפחתה ביחס לרמת הרווחה הכלכלית באמצעות פונקצית פעמון. עבור כלכלות חלשות במיוחד, אין כלל התאמה ורק פעילויות הפחתה ישימות. מדובר למעשה על מודל מצטבר של הגדלת השקעות עם הזמן ובהמשך הקטנתן, עד שתועלתן השולית נמוכה מאוד. Kane & Shogren (2000) ו-Tulkens & Van Steenberghe (2009) השתמשו בתיאוריה כלכלית על-מנת לציין כי בהעדר אי-ודאות פעילויות ההתאמה וההפחתה הינן חליפיות וניתן להשתמש בהן בצורה חליפית עד אשר העלויות והתועלות השוליות משתוות. תוצאות דומות נמצאו במחקרם של Boub & Stephan (2011) אשר בחנו בצורה תיאורטית את הבעיה ומצאו כי ניתן למצוא שיווי משקל עצמאי הן עבור התאמה בלבד והן עבור הפחתה בלבד, כאשר שתי הפעילויות מוגדרות תחליפים מושלמים. כאשר קיימות למעשה שתי גישות אפקטיביות שוות לשיפור איכות הסביבה, הבחירה בין החלופות תבוצע עפ"י בחינת עלות-תועלת נקודתית.

בהקשר ליחסים ההדדיים בין התאמה לבין הפחתה, Lecoq & Shalizi (2007) השתמשו במודל של תכנות ליניארי לצורך הדגמת תכונת החליפיות בין הפחתה לבין התאמה. לטענתם, היבט אי-הודאות בכמות ופיזור הגיאוגרפי של הנזקים הסביבתיים גורמים להגדלת היעילות ביחס לתועלת של הפחתה בהסתכלות הגלובלית, בהשוואה להתאמה בהסתכלות המקומית. Ingham et al. (2005) השתמשו גם הם בתשתית של תכנות ליניארי והצביעו על כל שפעילויות ההתאמה וההפחתה הינן למעשה חליפיות. ע"י הפחתת הסיכון לארועים קטסטרופליים, פעילות הפחתה תגרום להגדלת היעילות של ההתאמה (Yohe & Strezepck 2004, 2007).

בהקשר להתאמה ברמה הבינלאומית, המחקרים מצביעים על חלופות שונות להסכמים בינלאומיים בנושא התאמה והפחתה. המחקרים בוחנים את האפקטיביות של הסכמים הכוללים אסטרטגיות התאמה והפחתה לעומת הסכמים בינלאומיים בנושא הפחתה בלבד. Buob & Stephan (2008) השתמשו בתיאורית משחקים והצביעו על כל שמדינות מתפתחות לא יהיו מעוניינות להגיע להסכמי שיתוף פעולה כלכליים לפעילויות הפחתה. הסיבה לכך נובעת מכך שעלויות ההתאמה במדינות המתפתחות צפויות להיות גבוהות יותר מאשר במדינות מפותחות. כאשר רמת הרווחה במדינות המפותחות גדלה, צפויה ירידה ברמת הרווחה במדינות המתפתחות כתוצאה מהסטות תקציביות מפעילויות התאמה לפעילויות הפחתה. אי-לכך, בתפיסת הפעילויות כמשלימות קיימת מעין תחרות בין שתי האסטרטגיות והמדינות המתפתחות צפויות להיפגע מכך. Barrett (2008) מצביע על היתרון

בהסכמים נפרדים מאשר בהסכמים גלובליים. במקרה זה להתאמה יש משמעות בעיקר עבור מדינות מתפתחות ובחלוקה לענפים השונים. מחקר נוסף של Barrett (2010) מצביע על כך שאסטרטגיית ההתאמה מגדילה את כמות המדינות השותפות למאמץ העולמי. עם זאת, גידול בפעילויות ההתאמה ובאפקטיביות שלהן עשוי להוביל להקטנת הצורך בפעילויות הפחתה.

7.3.6.3. מידול אי-הודאות במודלים הכלכליים

היבט אי-הודאות הינו מרכיב מרכזי וחשוב בתופעת שינויי האקלים. קיימת רמת אי-ודאות גבוהה בהקשר להיקף ולתזמון של השפעת התופעה על הכלכלה. כתוצאה מכך קיים קושי רב בהגדרה מראש של אסטרטגיית פתרון אופטימלית, מכיוון שקיימת אי-ודאות אילו פעילויות לממש ומתי לממש אותן. אי-לכך מקבלי החלטות נדרשים לבחון האם לפעול כעת בתנאי אי-ודאות גדולים או להמתין עד שהשפעת שינוי האקלים תתברר (Margulis et al., 2008). במקרה אידיאלי, ללא תנאי אי-הודאות, ניתן היה באמצעות המודלים האקלימיים לחזות את האקלים הצפוי ולהיערך בהתאם מבחינת ההשקעות התשתיות. אולם, קיים פער משמעותי בין יכולות המידול לבין התוצאות והמסקנות המופקות ממנו שבאמצעותם יכולים מקבלי החלטות לבצע את החלטה (Hallegatte, 2009). מספר מחקרים עוסקים בנושא אי-הודאות בהקשר הכלכלי. ראשית ניתן לפתח אסטרטגיות חדשות אשר מוכוונות להתמודדות עם מרכיב האי-ודאות הפנימי של שינוי האקלים (Lempert and Schlesinger, 2000). לדוגמא, ניתן לבסס את החלטות בהתאם לניתוח תרחישים (Schwartz, 1996) ולבחון את הפתרון הגמיש (Robust) יותר, שהינו רגיש פחות לתנאי אקלים עתידיים, ולא לבחור את הפתרון הטוב ביותר בהתאם לתרחיש ספציפי (Lempert and Collins, 2007). למעשה, נדרש להכיל את היבט הגמישות של הפתרון כקריטריון נוסף בתהליכי קבלת החלטות מרובי-קריטריונים. בהיבט הציבורי, שימוש בעקרון הזהירות (Precautionary principle) הוא דוגמה נוספת לאסטרטגיית קבלת החלטות אשר לוקחת בחשבון את אי-הודאות באופן מפורש וברור (Gollier and Treich, 2003). במחקרו של Hall (2007) נטען כי הערכה לא נכונה של ההסתברות השולית לגבי אי-ודאות האקלים, כאשר מתכננים את אסטרטגיית ההתאמה, עלולה להוביל למסקנות שגויות בנושא ההתאמה. יתרה מכך, קיימת שונות גבוהה בין מודלי האקלים השונים בספרות המחקרית ורק בחינה בפועל במהלך המאה הקרובה לעומת התכנון הקיים תצביע על המודלים הנכונים. אולם על-מנת להימנע מעלויות התאמה גבוהות מדי לא ניתן להמתין לשינוי האקלים בפועל (Hallegatte, 2006; Roe et al., 2007). בהתאם לכך, הוגדרו במספר מאמרים דרכים להתמודד עם תופעת אי הודאות בחיזוי האקלים במודלים הכלכליים של אסטרטגיית ההתאמה. Ranger et al. (2010) הראו כי לאי-ודאות זו יש השפעה לא רק על הגישות השונות להערכת חלופות התאמה שונות אלא גם על הגישה המתאימה לתכנון ההתאמה. Hallegatte et al. (2008) הציע שתכנון התשתיות נדרש לעמוד בהתמודדות עם מגוון רחב של אי-ודאות בתנאי האקלים, תוך הגדרת נושאי התשתיות בצורה מקומית. עם זאת, הגישה הסטנדרטית שבה נעזרים לצורך ניהול סיכונים תקציביים היא לבסס את החלטות על אנליזה של תרחישים ולבחור את הפתרון הרובוסטי (חסין) ביותר. בדו"ח של הבנק העולמי שנכתב ע"י Hallegatte et al. (2011) נטען כי לאחרונה קיימת התעוררות מבחינת המחקר הכלכלי בנושא אסטרטגיית ההתאמה בעיקר ברמה המקומית. במחקר מתוארת מסגרת כלכלית כללית לצורך פיתוח אסטרטגיית ההתאמה אפקטיביות על-מנת לתת כלים כמותיים למקבלי החלטות בעידן של אי-ודאות בשינוי האקלים. מוצגים ארבעה נושאי פעילויות התאמה מרכזיים: הפצת ידע מחקרי בנושא תופעת שינוי אקלים והשפעותיה, התאמה של מדיניות כלכלית וסטנדרטים, השינוי הארגוני הנדרש, ופעילויות ההתאמה הציבוריות-ממשלתיות בהקשר של תשתיות ציבוריות, מבני ציבור ומערכות אקולוגיות. מידול של אי-הודאות במסגרת המודל הכולל של אסטרטגיית ההתאמה ואסטרטגיית ההפחתה מוצע ע"י Bloch (2011). מתואר מודל אשר כולל את אי-הודאות בשלב תהליך התכנון אשר נובע מפליטת GHG שכבר ארעה בשנים האחרונות ואשר צפויה להימשך. המודל כולל נגזרות אקלימיות לצורך

הערכת התקצוב של פעילויות ההתאמה ושל פעילויות ההפחתה. המנגנון המוצע מאפשר להגיע לתוצאה משמעותית יותר.

על-מנת לקבל החלטה לגבי פעילויות ההתאמה הנדרשות לצורך התמודדות עם שינויי האקלים נדרש לחזות בצורה מהימנה את שינויי האקלים הצפויים ובהתאם לכך את השפעתן הכלכלית הן בראיה כוללת והן בראיה פרטנית של התחומים השונים. אולם, כיום קיימת אי ודאות גבוהה בתחזית של שינויי האקלים בפועל בהתאם לתרחישים שונים. הגישה המוצעת היא לפתח אסטרטגיות חדשות אשר מתמודדות עם רמת אי-הודאות הגבוהה של שינויי האקלים, כדוגמת ניתוח תרחישים שונים כפי שבוצע ב- IPCC (2007), ולבחור את הפתרון הרובסטי יותר לתרחישים השונים. למעשה הרובסטיות נדרשת להיכלל כקריטריון החלטה נוסף בתהליכי קבלת ההחלטות מרובי הקריטריונים. שיטות קבלת החלטות רובסטיות ארוכות טווח הוצגו בעבר עבור תחום ניהול המים בקליפורניה (Groves et al., 2007).

יש להדגיש, כי על-מנת להתאים את שיטות קבלת ההחלטות דרוש שיתוף פעולה הדוק יותר בין המשתמשים בידע לגבי אקלים לבין מדעני האקלים. המידע שיידרש ממדעני האקלים יכול להערכות לגבי אי הודאות ברמת מה אפשרי לעומת מה צפוי ובנוסף מידע כמותי לגבי יכולת האבחנה בין ההשערות השונות של התרחישים. בהתאם לכך, הוגדרה שיטה לחלוקת פעילויות ההתאמה לקטגוריות שונות (Hallegatte, 2009):

- No regret strategy
- Reversible/flexible
- Existence of cheap safety margins
- Soft strategy
- Reduced decision horizon
- Synergies with mitigation

הסוג הראשון אשר מוגדר כ- No regret, כולל אסטרטגיות אשר מתמודדות עם שינויי האקלים ומייצרות יתרונות ותוצרים גם במקרה שלא ייווצר שינויי אקלים. לדוגמא מערכת בקרת נזילות בצינורות מים הינה השקעה טובה בהיבטי עלות תועלת גם ללא תופעת שינויי האקלים. הסוג השני (Reversible/flexible) הינן אסטרטגיות הפיכות (לעומת כאלו שהן בלתי הפיכות) כאשר המטרה היא לצמצם את העלויות של הפעילויות הנגזרות במקרה של תחזיות שגויות של שינויי האקלים העתידי. דוגמא מתאימה הינה תעשיית הביטוח ומערכות התראה מוקדמת אשר ניתן להתאימן בצורה קלה יחסית בתדירות שנתית כתגובה לקבלת מידע חדש. אולם, ישנם מקרים בהם החלטות בנושא תשתיות אינן ניתנות לדחייה מכיוון שמימושן אורך זמן רב ובהיבט התקציבי ראוי לפרוס את מימושן על-פני תקופת זמן. אי-לכך יש להקפיד על בחינה השוואתית בין פעילויות הפיכות לפעילויות שאינן הפיכות בכול נושא לגופו. הקטגוריה השלישית כוללת אסטרטגיות בהן קיימת תוספת שולית זולה (נקראות: Cheap Safety Margins). באמצעותן ניתן להקטין את הרגישות לשינויי אקלים בעלויות נמוכות. לדוגמא: התמודדות עם עליית פני הים וההשקעות בשוק המים באמצעות תשתיות בעלות קיבולת גבוהה יותר כבר כיום, כך שימנע הצורך משדרוגם בעתיד בטווח הבינוני-רחוק. הסוג הרביעי מוגדר כ- Soft Strategy במסגרתו מבוצע מיסוד חוקתי וציבורי של ההתמודדות עם שינויי אקלים, כך שנותני השירותים נדרשים לתכנן לטווח ארוך ולתת מענה מיטבי. אסטרטגית התמודדות נוספת עם אי-הודאות הגדלה כתוצאה מתנאי האקלים העתידיים היא לצמצם את משך הזמן של מחזור חיי ההשקעות (Reduced Decision Horizon) וכך להפחית את אי-הודאות הכלכלית. אסטרטגיה זו קיימת בנושא היערנות בו משתמשים בזנים בעלי זמני סבב קצרים יותר. האסטרטגיה האחרונה מצביעה על הצורך לשלב בצורה מיטבית עם פעילויות המניעה של שינויי האקלים המבוצעות במקביל. דוגמאות לפעילויות התאמה בקטגוריות השונות הובאה ע"י Hallegatte (2009) בטבלה 7.8.

טבלה 7.8: דוגמאות לפעילויות התאמה בקטגוריות השונות
Source: Hallegatte (2009)

Sector	Examples of adaptation options	No regret strategy	Reversible / flexible	Existence of cheap safety margins	Soft strategy	Reduced decision horizon	Synergies with mitigation	Ranking
WATER RESOURCES	• Institutionalization of long-term perspective	++	-	-	-	-	-	1
	• Loss reduction (leakage control, etc.)	++	-	-	-	-	-	1
	• Demand control and water reuse	++	-	-	+	-	-	1
	• Storage capacity increase (new reservoirs)	+	-	+	-	-	-	2
	• Desalination and water transport	+	-	+	-	-	-	3
	• Climate proofing of new building and infrastructure	+	-	-	-	-	-	1
HUMAN SETTLEMENTS	• Climate proofing of old building and infrastructure	-	-	-	-	-	+	2
	• Improvement of urban infrastructures	+	-	+	-	-	+	2
	• Restrictive land use planning	++	-	+	-	-	-	1
HUMAN SETTLEMENTS	• Flood barriers, storm / flood proof infrastructure	+	-	+	-	-	-	2
	• Development of early warning systems	++	-	-	+	-	-	1

הערה: סימון "++" מצוין תועלות אשר גורמות לתועלות גם ללא היבטי שינוי האקלים, לעומת "+" אשר מייצג אסטרטגיית "No regret" רק במצבים מסוימים. בעמדה האחרונה ניתן מדרוג לפעילויות שיש לבצע.

בנוסף על כך, נדרש להעריך בצורה כלכלית ולהתחשב בתוצרים הנלווים (Side Effects) החיוביים והשליליים של פעילויות ההתאמה. יחסי הגומלין בין ההתאמה להפחתה מכתבים תכנון משולב והערכה הדדית של מדיניות התאמה ומדיניות הפחתה, אשר בד"כ מוגדרות ע"י גורמים שונים (Hallegatte, 2009).

7.3.6.4 תזמון הפעילויות

בדו"ח ה-OECD (2008) מתוארת הערכה של עלויות ותועלות של ההתאמה ובנוסף התפקיד של כלי המדיניות הכלכליים המסייעים בהתאמה הן בהיבט התזמון (Timing) בביצוע הפעילויות והן בהיבט אי-הודאות של השפעת שינוי האקלים אשר משפיעה בצורה ישירה על התועלות בפועל לעומת הערכות התכנון. מעבר להערכות העלויות, נבחנים מגננונים רגולטורים שיכולים לעודד פעילויות התאמה. התזמון תלוי בשלושה גורמים:

- ההבדל בעלויות המשתנות לאורך זמן כתלות במועד ההשקעה (דוגמא: תשתיות מים, גשרים ונמלים המבוצעים כעת בראיה ארוכת טווח)
- תועלות מהתאמה בטווח הקצר. התאמה מוקדמת תהייה מוצדקת אם יהיו לה תועלות מיידיות כמו הפחתה ההשפעות של השתנות האקלים. דוגמאות:
 - חיזוק ושימור המערכת האקולוגית.
 - השקעה בבריאות כמו התפתחות תהליך מציאת ריפוי ממלריה שהתועלת בסיוע בטיפול בעוני רבה כמו התועלת לשינוי אקלים.
- מידת ההשפעה לטווח ארוך של פעילויות התאמה מוקדמות.

נושא זה נחקר בהיבט התזמון המיטבי של פעילויות ההתאמה ושל פעילויות ההפחתה במיוחד בתפיסה שבה פעילויות אלו משלימות זו את זו. ההנחה הבסיסית היא שפעילויות ההפחתה נדרשות לביצוע בשלבים מוקדמים ואילו פעילויות ההתאמה צפויות לביצוע בתלות בפונקציה הנזק של שינוי האקלים. בנוסף, מכיוון שגזי החממה נשארים לאורך זמן רב מאוד (עשרות ומאות שנים) באטמוספירה התועלות מפעילויות ההפחתה ניתנות לבחינה רק בראיה ארוכת טווח. בהתאם לכך חלק מהמחקרים מצביעים על פעילויות ההתאמה כגורם מפחית עלות עיקרי (De Bruin et al., 2009) ואילו מחקרים אחרים מצביעים דווקא על פעילויות ההפחתה כגורם זה (Bosello 2008, Bahn et al., 2010).

7.4. סיכום

הסקירה הנוכחית כוללת סיכום של הספרות בנושא היבטים כלכליים של התאמה. קיים מגוון של מחקרים בנושא שינוי אקלים וההיבטים הכלכליים. המחקרים הראשונים אשר עסקו בתחום התמקדו בעיקר בהפחתה (Mitigation) הפעילויות אשר גורמות לשינוי האקלים. בעשור האחרון, התרחבה הפעילות המחקרית לפעילויות התאמה (Adaptation) לתופעת שינוי האקלים, כולל ההשפעה ההדדית בין שני סוגי האסטרטגיות השונות. עם זאת, מרבית מחקרים אלו בוצעו בעיקרם ברמה העולמית ואילו בהקשר למדינת ישראל כמות המחקרים קטנה. המחקרים הינם מגוונים וכוללים הן ראייה כלכלית כוללת והן ראייה ענפית. בנוסף ניתן לחלקם בין מחקרים עולמיים לבין איזורים/מדינות מסוימים. מרבית המחקרים הענפיים עוסקים בתופעת עלית פני הים או בהקשר לענף החקלאות ואילו עבור ענפים אחרים המידע המחקרי מצומצם. מחקרים בנושא התמודדות עם השפעות שינוי אקלים על כלכלת ישראל הינם מעטים. ביניהם, ניתן להצביע על מחקרים כלכליים שבוצעו בשנים האחרונות בישראל אשר בחנו את השפעת שינוי האקלים על ישראל, תוך התמקדות בענף בודד כמו החקלאות. לסיכום, נדרש להרחיב את המחקרים על-מנת לשפר את רמת הידע בנושא השפעת שינוי האקלים בהיבט הכלכלי. יש להתמקד בעדיפות גבוהה בהיבטי ההערכה האמפירית של עלויות ההתאמה בישראל. כמו כן, יש לשים דגש על שיפור טכניקות האומדן בנושאים ענפיים כדוגמת: מערכות אקולוגיות ומערכות בריאות הציבור. בנוסף, יש להתאים את מידול האקלים לאזור הגיאוגרפי ולהתמקד בהשפעות העתידיות של שינוי האקלים ולא בהערכות של אירועי עבר.

פרק ב - פערי ידע וקדימות להשלמתם

פרק זה דן במתן עדיפות לבצוע מחקרים והשלמת פערי ידע בתחומים השונים בכל הטבלאות להלן עדיפות 1 ניתנת לתחומים שקיימת עדיפות גבוהה לביצועם, עדיפות 2 ניתנת לתחומים בהם העדיפות בינונית ודרגת עדיפות 3 מצביעה על עדיפות נמוכה יחסית לבצוע.

1. זיהוי פערי ידע ועדיפות מחקרית בתחום האקלים

תחום	נושא	אזור	תאור	רמת עדיפות
טמפרטורות	אי חום עירוני	שטחים עירוניים ואזורים במורד הרוח	הערכת התרומה העירונית לשינויי הטמפרטורה	2
			השפעת העיור על משטר הגשם	3
משטר הגשם	הקשר בין הטמפרטורה לגשם תרחישים לגבי מרכיבים שונים של משטר הגשם	כל הארץ	השפעת עליית הטמפרטורה על משטר הגשם	1-2
			Downscaling לגבי מספר פרקי הגשם	1
			Downscaling לגבי יכולת פרקי הגשם	1
			Downscaling לגבי אורך עונת הגשם	2-3
הסביבה החופית	עליית המפלס גובה גלים	אזורי החוף	הקשר בין הטמפרטורה לעליית המפלס	3
			זיהוי המצבים הסינופטיים הגורמים לסערות	2
זיהום אויר	השתנות עיתית	כל הארץ עם דגש על אזורים עירוניים	בדיקת סדרות עיתיות של ריכוזי מזהמים ממקורות שונים	2

2. זיהוי פערי ידע ועדיפות מחקרית בתחום המים

רמת עדיפות	תחום – פיסי אקלימי, פערי ידע
1 2 1	1. מודלים - Downscaling של אזורים בעלי חשיבות למשק המים. - חיבור מודלים אקלימיים למודלים הידרולוגיים, הידרוגיאולוגיים, אקולוגיים והנדסיים. - מודלים הקושרים נפח גאות, כמות גשם, פרישתן והשפעתם על נפח נגר יחסית לגאות.
1	2. היערכות - לאלו תרחישים יש להיערך לאור השונות בממצאי המודלים.
1 2	3. התאדות - התאדות מקרקע. - השפעת השינויים בהתאדות על השקיה חקלאית.
1	4. משקעים - אירועי קיצון של משקעים והשפעתם על קרקע, חלחול והמילוי החוזר.
1 2	5. נגר - ניטור נגר עירוני. - יחסי נגר – תכסית (סוגי תכסית), גשם, רטיבות הקרקע, יחסי נגר וסופות גשמים.
1 1	6. אגירה - בחינה של כדאיות אגירה-עילית לעומת החדרה למי התהום. - מודלים לחיזוי מילוי חוזר באקוויפרים בעשורים הקרובים (כולל השפעות תכסית).
3 3 2	7. עליית טמפ' - השפעות העליה בטמפרטורות על הצריכה במגזר הביתי עירוני. - השפעות עליית הטמפרטורות על צרכי ההשקיה החקלאית. - השפעות עליית הטמפרטורות על פירוק מזהמים בנחלים ובכנרת.
1	8. בצורת - יצירת אינדקסים של בצורת עבור ישראל.
תחום – אנושי, פערי ידע	
1	9. השפעות אנתרופוגניות - פיתוח שיטות לצורך הבחנה בין השפעות של שינוי אקלים גלובלי על משק המים לבין השפעות אנתרופוגניות מקומיות.
3 2	10. שפכים - שיטות טיפול/טיהור חדשות במט"שים, מבוזרים. - חסמים בפני שימוש בביו-גז כמקור אנרגיה במט"שים.
2	שפכים וקולחים - כדאיות התפלת קולחים לצורך החדרה ומיהול עם מים טבעיים ושימוש מלא בתמהיל, כולל מי שתייה.
2	11. מים אפורים - ניתוח פתוגנים ואפידמיולוגיה של מערכות מים אפורים לאורך זמן.
2 2	12. התפלה - כדאיות התפלת מים פוסיליים בנגב. - הפנמה של ההשפעות הסביבתיות על עלות המים המותפלים.
2	13. נגר עילי - בחינה מחקרית של אצירה והחדרת מים במעלה נחלים.
1	14. זיהום מי תהום - קביעת הגבול שבו מים שפירים חדלים להיות שפירים לכל אחד ממקורות המים הטבעיים.
1 2 1 3	15. צריכת מים עירוניים - מדדים להצלחה וכישלון של מבצעי הסברה לחיסכון. - אימוץ מכשירים כלכליים בהגדלת החיסכון ברמה הביתית וברמת הרשות המקומית. - בחינה של מדדי פחת ושיפורים. - מחקר חלוץ בחיבוריות רשויות מקומיות למקורות מים שונים (היערכות לשעת חירום).
2 1	16. צריכת מים חקלאית, סביבה, בטחון - היתכנות תשלום עלויות חיצוניות לחקלאות. - הגדרת ביטחון מזון (כולל מלאי חירום).
2	17. אנרגיה - שילוב אנרגיות מתחדשות במשק המים.
2	18. מים גאואסטרטגיה גאופוליטיקה ביטחון/מים - הגדרות מקומיות ובינ"ל של ביטחון מים – תיאוריות חדשות.

3. זיהוי פערי ידע ועדיפות מחקרית בתחום הבריאות

רמת עדיפות	פערי הידע	נושא
1	מחקר יעיל דורש פיתוח של מאגר נתונים ארוכי טווח על ההיארעות וההימצאות של מחלות בדרכי הנשימה, בנוסף למשתנים סביבתיים וחברתיים שקשורים אליהם (Ayres et al., 2009)	שינויי אקלים ומחלות נשימתיות
1	שיטות סטטיסטיות מתאימות, כדוגמת רגרסיה רבת-רמות עבור הערכת הקשרים בין המשתנים ובין תוצאות בריאותיות נשימתיות וניתוח נתיבים (Path analysis) על מנת לחקור מתווכים אפשריים של אותם קשרים, צריכים להיות מיושמים (Ayres et al., 2009).	שינויי אקלים ומחלות נשימתיות
2	דרוש מחקר על התפקיד של מערכות בקרת האקלים בתוך המבנים והבתים על המחלות הנשימתיות (Ayres et al., 2009).	שינויי אקלים ומחלות נשימתיות
2	להגביר את המחקר על ההיארעות של הפרעה בקצב הלב והקשר לטמפרטורה ולמשתני חשיפה סביבתיים אחרים (Portier et al, 2010).	שינויי אקלים ומחלות לב ושבץ
1	למקד את המחקר על מערכות התראה של גילוי מוקדם ואמצעי תקשורת אשר מכוונים בעיקר עבור קבוצות ספציפיות שנמצאות בסיכון מוגבר לתחלואה לבבית שקשורה לשינויי אקלים (Portier et al, 2010).	שינויי אקלים ומחלות לב ושבץ
2	לאפיין את המרכיבים הבודדים המרובים של זיהום האוויר על מנת לצפות טוב יותר את ההשפעות הבריאותיות כתוצאה משינוי התערובת של הזיהום באוויר דרך השימוש בדלקים חליפיים (Portier et al., 2010).	שינויי אקלים ומחלות לב ושבץ
2	להבין ולחזות שינויים אפשריים במערכות האקולוגיות בעקבות שינויי אקלים שעלולים לבסס מחדש מחוליי מחלות שמועברות באמצעות מזון, מזהמים כימיים או רעלים, בנוסף לחשיפות בדרכים חדשות עבור בני האדם (Portier et al, 2010).	שינויי אקלים ומחלות שמועברות באמצעות מזון
3	להבין את ההשפעה של חומציות האוקיינוס כתוצאה משינויי האקלים, בהקשר לעליה בזיהום האוויר, על איכות וזמינות המזון הימי (Portier et al, 2010).	שינויי אקלים ומחלות שמועברות באמצעות מזון
2	דרוש מחקר על היעילות הקלינית ההתערבותית והטיפולית בהקשר של שינויי אקלים. הדבר צריך לכלול מחקר על גורמים, כדוגמת מצב תזונתי, שיכול להעלות את הרגישות והיעילות של הטיפול (Ayres et al., 2009).	שינויי אקלים ומחלות שמועברות באמצעות מזון
1	לבנות את מערכת הניטור עבור וירוס הנילוס המערבי בצורה טובה יותר על ידי שיפור הרגישות ושתיה בעלת יכולות טובות יותר לגלות את מחזוריותו בשלב מוקדם. European Centre for Disease Prevention and Control, 2011)	שינויי אקלים ומחלות שמועברות באמצעות חרקים
2	פיתוח ערכות שדה לזיהוי מחוליי מחלות בשדה.	שינויי אקלים ומחלות שמועברות באמצעות חרקים
1	הערכה של היקף העלייה בשימוש בחומרי הדברה.	שינויי אקלים ומחלות שמועברות באמצעות חרקים
2	פיתוח שיטות הדברה כנגד העלייה בכמות הוקטורים ובמיגון הוקטורים.	שינויי אקלים ומחלות שמועברות באמצעות חרקים

4. זיהוי פערי ידע ועדיפות מחקרית בתחום המגוון הביולוגי

נושא	פער ידע מחקר	רמת עדיפות
מינים מזיקים	זיהוי מזיקים העשויים להתפשט בעקבות שינוי אקלימי	1
	השפעות שינוי אקלימי על תפוצת אלרגנים	2
	השפעות על התנהגות פתוגנים ופרזיטים בצמחים ובבעלי-חיים ודרכים לטפל בהם	2
מינים פולשים	זיהוי מינים פולשים שפגיעתם משמעותית במיוחד במערכות אקולוגיות טבעיות בישראל	2
	זיהוי דרכים לצמצום כניסה של מינים פולשים	1
	פיתוח שיטות לדיכוי מינים פולשים	1
	תחזיות לגבי שינוי דגמי תפוצה של מינים	3
הרכב חברות	תחזיות לגבי שינויים בתצורת הצומח ובהרכב המינים והמגוון של הצמחיה באזורים שונים	2
	הערכה של איומים על מינים נדירים	2
	השפעת שינוי אקלים על פנולוגיה של צמחים ובע"ח	3
התאמות פיסולוגיות	עמידות של מיני מפתח בחורש הים תיכוני לשנויי האקלים הצפויים (אורן, אלון מצוי, אלון תבור)	2
	הערכה של פוטנציאל שימור <i>ex situ</i> תחת שינוי אקלים	3
שימור	הערכה של פוטנציאל שימור <i>in situ</i> תחת שינוי אקלים	2
	הערכה של שירותי המערכת האקולוגית שמספקות המערכות הטבעיות בישראל	2
שירותי המערכת	השפעות תסריטים שונים של שינוי אקלים על תפקוד האקוסיסטמה	2
	הערכת ערכי סף של משתני האקלים השונים (טמפרטורה, משקעים, התאיידות), העשויים לערער יציבות של בתי גידול שונים	1
	השפעה על תנאים פסיים ועל תפקוד אקולוגי	2
בתי גידול של מים מתוקים	הסדרת נחלים בדרך שתשמר את התפקוד האקולוגי שלהם	2
	שימוש בקולחים לשיקום נחלים	1
	הגדרת תנאי הסף לתגובות ביולוגיות	2
מערכות ימיות	פיתוח כלים לשיקום מערכות אקולוגיות פגועות	2
	השפעות של שינויים אקולוגיים-אקלימיים-הידרוגראפיים על ריבוי, התרבות, שיפעה וזמינות לדיג של אורגניזמים ימיים.	2
	הבנת המרקם והמבנה של מערכות אקולוגיות ימיות כדי לחזות שינויים כתגובה לשינויים באקלים או כתוצאה מפלישות מינים אקזוטיים	2
	תחזיות לגבי השפעות על האבקה והפצת זרעים	2
אינטראקציות בין מיניות		

5. זיהוי פערי ידע ועדיפות מחקרית בתחום האקלים ותחום הבניה הירוקה

רמת עדיפות	פער ידע מחקרי	נושא
1	ניתוח ולימוד מקרי בוחן	יישום בנייה ירוקה
1	ניתוח עלות/תועלת בהשוואה לבנייה רגילה	
2	ניתוח רגישות של תפקוד בניין ביחס להתנהגות משתמשים	
1	זיהוי חסמים	
1	ניטור בניינים ירוקים – השוואה לסימולציה	
1	פיתוח הנחיות תכנון לסוגי מבנים נוספים	חיסכון באנרגיה
3	טכנולוגיות תאורה חדישות: הביטים כמותיים ואיכותיים	
1	בחינת השפעה על צריכת אנרגיה בבניין	גגות ירוקים
2	בחינת השפעה על אקלים הרחוב והעיר	
2	אפשרויות יישום	
2	שילוב מערכות כחלק אינטגרלי של מעטפת הבניין	מערכות
3	מערכות בקרה	
1	אסטרטגיות לשיפוץ אנרגטי	שיפוץ אנרגטי של בניינים
2	הערכת פוטנציאל חיסכון במבנים קיימים	
2	נוחות תרמית בתנאים משתנים	התמודדות עם מצבי קיצון
1	תכנון אדריכלי למצבי קיצון	
3	פיתוח מודלים לאקלים אורבני בקנה מידה בנייני	
1	תכנון עירוני למצבי קיצון	

6. זיהוי פערי ידע ועדיפות מחקרית בתחום הגיאוסטרטגיה

נושא	פער ידע / המלצות מחקר	רמת עדיפות
מים	אין תחזית כמותית מוכחת המצביעה על הפחתת ספיקות המים בישראל ובמעגלים השונים. חסר ידע על משטר המים הצפוי, החברה והכלכלה הישראלית, פיזור אוכלוסייה וחוסן לאומי. כל זה נכון לחברה במדינות המעגל הראשון. חסר ידע עדכני ביותר על ספיקות הנילוס, הפרת והחידקל בהקשר של מאזן הכוחות הגיאואסטרטגי בין מדינות אגן הנילוס, הפרת והחידקל. במקרה של נילוס חשוב לקחת בחשבון את הופעתה של מדינת דרום סודן; במקרה של פרת וחידקל חשוב לנתח את מצבה ההידרו-אסטרטגי של טורקיה. כמו כן יש לבדוק את מצבה של אתיופיה לאור השמועות על בצורת חדשה בגבול קניה-סומליה.	1
	יש פער בכל הנוגע לתנועת ההגירה והקשר שלה לשינוי אקלים ומחסור במים. השאלה המשתמעת היא, האם הגירה מאפריקה היא תוצאה של מחסור במים, אולי יש לה רקע אחר, או שקיים שילוב של גורמים?	1
התחממות, התייבשות, מצבי קיצון	בנושא התחממות שתוביל להתייבשות אין מספיק ידע לגבי ישראל והמעגלים השונים. נראה, כי המנהור הוא אחת התשובות להתחממות. אין מחקרים בנושא של מינהור (שימושים שונים, עלות חפירה ותחזוקה, בטיחות וכו') כאחת האופציות של התמודדות מול התייבשות והתחממות כללית, יש לחקור את האפשרות של "הירידה אל מתחת לפני הקרקע" כאסטרטגיה רבת־י, מה שעונה על עוד צרכים של ישראל: לחיסכון בשטחים ותחומי ביטחון.	1
	שריפות – כרגע מתבצע מחקר רחב היקף והיערכות מדינית בנושא לאור השריפה בכרמל ב-2010. עם זאת חסרים מודלים מתמטיים שיוכלו לנבא את המגמות הצפויות וגם להתמקד במקרים לוקאליים. בנוסף, חסר ידע המחבר בין שריפות ושינוי אקלים: שריפות שפורצות בקרבה לגבולות ישראל ומאיימות עליה (פלסטינים, לבנון, סוריה); או מחקרים על שריפות שפוגעות בהסוואת מתקנים צבאיים וביטחונם.	1
שינוי מפלס פני הים	ביטחון הנמלים, המפעלים והמתקנים הצבאיים לאורך החופים. מסמך המדיניות שהוכן במהלך שנת 2010 על ידי מכון ירושלים ומשרד להגנת הסביבה ועסק בהתמוטטות מצוק החוף, דרכי התמודדות, המשמעויות הכלכליות, הסביבתיות והציבוריות (ביין, אידלמן, כהן, 2010), אינו מספיק בעניין זה. גם המחקרים שהוזמנו קודם לכן על ידי העיריות ועסקו בעקיפין בתוצאות הנצפות של שינוי אקלים (התמוטטות המצוקים בחופים, או השפעת המרינות על החוף)... החלטת הממשלה בנושא, שכללה בין היתר תקציב להגנת אזורים שמהווים סכנה מיידית לחיי אדם, בעלות שבין 880 מיליון ל-1.3 מיליארד שקל, למשך 20 שנה, אכן הכרחית, אך יש לחקור האם היא נכונה וברת יישום גם בנושא התשתיות, המפעלים ומערכת הביטחון.	2
	יש פערי ידע בנוגע לתחזיות מימדי עליית הים והצפתה של הדלתא המצרית. עניין זה הוא אחד הדרמטיים בכל הקשור לשינוי אקלים והמזרח התיכון.	1
	יש לחקור את השפעת עליית מפלס פני הים על עירק, בדגש על ההשלכות הפוטנציאליות הנובעות מהצפת אזור השאט אל ערב. הכוונה לפגיעה האפשרית בענף הפקת הנפט והובלתו. ההתמקדות המחקרית בהקשר הזה תיעשה גם על חבל החוזיסטן (ערביסטאן) שבאירן. בנוסף לפגיעה כלכלית אפשרית, תגרום הצפתו גם להגירות וקונפליקטים פוטנציאליים בין האוכלוסייה הערבית לבין הפרסית. בנוסף יש לחקור את השלכות ירידת המפלס בים הכספי על איראן.	2
נושא משולב: הגירה בעקבות שינוי אקלים	בתוך ישראל – חסרים מחקרים האם אכן התחממות והתייבשות מהוות גורמי דחיפה משמעותיים לאוכלוסיית דרום הארץ להגר צפונה (בין היתר לתל-אביב)? אולי מדובר רק על נסיבות כלכליות. חשוב ללמוד ולקבוע "תנאי הסף" שאחרי חצייתם הופכים שינוי אקלים לגורם משמעותי בסיבות להגירה (אם עלייה בטמפרטורות – כמה מעלות?, אם ירידה במשקעים – כמה מ"מ?, אם האפקט הינו פסיכולוגי (מחסור בצבע ירוק, יותר מדי אבק ועוד) – כיצד זה בא לידי ביטוי, איך ניתן לבדלו מגורמים אחרים? בניסיון לבדד את השפעת שינוי אקלים על הגירה נראה שיש מקרים בהם השפעות שליליות של שינוי אקלים נבלמות על ידי גורם שלישי (קרבה לאתר תרבותי, דתי, או רפואי; עידוד כלכלי)? כך לדוגמה ניתן להיזכר בלאס-ווגאס בארה"ב, או בערד בארץ. אם שינויי אקלים לא מהווים סיבה עיקרית להגירה, אולי יש סיבה עקיפה, כמו	1

נושא	פער ידע / המלצות מחקר	רמת עדיפות
	הנעשה בקרב הבדוים, שנובע גם כתוצאה משינוי אקלים (בעקבות העדר מרעה לצאן, אי-יכולת לעסוק בחקלאות וכ"ד). בנוגע לבדויים ישנם מחקרים כלליים (סופר, 2011), אבל דרוש מחקר נוסף שיתמקד בהשלכות שינוי האקלים על אוכלוסייה זו.	
	פלסטינים – לא נעשו מחקרים המקשרים בין שינוי אקלים והגירת הפלסטינים מהשטחים, מיהודה לשומרון ולישראל.	1
	מצריים – הכוונה לתנועת האוכלוסייה מתוך סיני והדלתא לישראל וגם דרך מצריים לישראל ממדינות אפריקה. התופעה ידועה, אך המידע קיים רק באופן כללי. יש לבצע מחקר על מסלולי הגירה אפשריים ונוחים (בהם יש בארות מים, או נקודות אספקה בהם משתמשים המבריחים הבדויים). במקביל דרוש מחקר בנושא חסימת הגבול עם מצריים.	1
	ירדן – אין מידע ומחקרים רשמיים על ההגירה מירדן, או דרכה לישראל. יש לשער שהיא קיימת ותתגבר. המהגרים יעברו דרכה צפונה, או לישראל. מהגרים אפשריים: ירדנים, פלסטינים, מצרים, סעודים, עיראקים ואפילו אפריקאים. יש לבצע מחקרים דמוי אלה שהמלצנו בנושא מצריים, בדגש על הגבולות בערבה בשלב ראשון ודרך ים המלח בשלב שני.	1
	סוריה ולבנון – אין מידע מסודר על ההגירה החיצונית. מבחינת הגירת הפנים ישנם הזכורים של תופעה ידועה בעולם השלישי – עזיבת הכפרים לטובת הערים (במיוחד לאזור דמשק רבתי). יש לחקור את האפשרות של הגירת סורים ללבנון, או לטורקיה. זו כבר קיימת (יוני-אוגוסט 2011), אך כדאי לבדוק היכן הקשר לשינוי אקלים ובעיקר השלכות גיאואסטרטגיות.	1
	מדינות במעגל השני והשלישי – יש להתמקד עם מגוון רב של מדינות, אך בדגש של הופעת המהגרים בישראל (הן בתור מדינת יעד והן כמדינת מעבר) דרך גבול מצרים וירדן. יש לחקור את אפשרות בלימת הפליטים האפריקאים בעזרת כינון יחסים והסכמים בי-לאטרליים עם צד שלישי, לדוגמה מדינת דרום סודן.	1
נושא משולב: אנרגיה	יש פערי ידע בנושא השימוש בגז טבעי באופן נרחב בישראל וההשלכות האפשריות על פליטה רבה במיוחד של מזהמים וגזי חממה. דבר אחרון עלול להביא לחקיקה ישראלית או בינ"ל מגבילה, שתמנע את הניצול המרבי של הגז (סנקציות, מיסים).	1
	חסרים מחקרים בתחום הגרעין ושילובו עם התפלה בהקשר של שינוי אקלים בישראל ובמדינות המעגל הראשון. כמו כן דרושה התייחסות יותר מקיפה עם דגש יישומי לנושא של מקורות אנרגיה מתחדשים. חסרים מחקרים על שיתוף פעולה פוטנציאלי בתחום האנרגיה עם שכנותיה של ישראל.	1
נושא משולב: מזון	בשילוב עם כלכלנים יש להשלים פער ידע בכל הנוגע לתפוקות המזון בישראל ובמעגלים הקרובים והרחוקים. מכאן ניתן יהיה לגבש אסטרטגיה נכונה בתחום יצוא, יבוא והיקף של מלאים של מזון בישראל.	2
	אין מחקרים שעוסקים במזון וביטחון של ישראל לאור שינוי אקלים. במחקרים עתידיים יש להתייחס למרכיבי מזון הבאים: דגניים, שמנים, סוכרים. בנפרד חשובה התייחסות לנושא של מספוא.	2
	דרושים מחקרים משולבים בנושא שמירה, פיתוח ועידוד של החקלאות בארץ בתור ספק מזון חשוב של המדינה.	2
	יש לחקור האם האופציה של אגירת מזון הינה רלוונטית בארץ? האם ישנם תשתיות בארץ שדרושים כדי לאחסן מזון בכמויות אסטרטגיות? האם יש תועלת כלכלית ברכישת מזון בכמויות אסטרטגיות כאשר מחירו בשוק יחסית נמוך? מכאן נובע שייתכן ואגירת מזון עונה לא רק על הצורך להתכונן להשלכות של שינוי אקלים, אלא גם מועילה הן למשק והן לאזרחי ישראל.	2
	יש לחקור את השפעת שינוי אקלים על הדייג בישראל ובמעגל הראשון (דגה "רגילה" ובריכות דגים).	2
	יש לערוך מחקרים בנושא הרחבת בסיס המזון בישראל: מקורות מזון חדשים, זמינים וזולים.	2
	יש לחקור כיצד ניתן לנטרל את הפגיעה בשכבות סוציו-אקונומיות חלשות כתוצאה מעליה במחירי המזון לאור שינוי אקלים.	2
נושא משולב:	דרוש מחקר מקיף בנושא גבולות ישראל, בדגש על הידוקם. בתוך נושא זה ראויים להתייחסות מיוחדת השינויים בחורן ובדרום רמת הגולן הסורית.	1

נושא	פער ידע / המלצות מחקר	רמת עדיפות
ביטחון	דרוש מחקר מקיף ברמה האסטרטגית בנושא הגנת המתקנים (צינורות, מפעלים, בתי זיקוק, נמלים, בסיסים צבאיים), הן כתוצאה מעליית מפלס פני הים והן כתוצאה מהניסיונות לפגוע בהם על ידי כוחות טרור.	3
	יש לחקור את השפעות שינוי אקלים על תחומים הבאים: לוגיסטיקה, חימוש, בינוי והנדסה, כוח אדם, חיל רפואה, חיל האוויר, הסוואה וביטחון בסיסים (בעקבות התדלדלות היער ושריפות).	2
	יש להתייחס למשטר אימונים חדש בצה"ל וחיי יום-יום במערכת הביטחון לאור שינויי אקלים.	2
	דרוש מחקר על נחיצות תקצוב חדש למערכת הביטחון לאור השלכות של שינוי אקלים.	1
נושא משולב: משרד החוץ	אין מחקרים בנושא שיתוף פעולה אזורי פוטנציאלי בעקבות שינוי אקלים. יש לבצעו, תוך כדי התחשבות בשני תסריטים עיקריים: שיתוף פעולה אזורי הכולל את ישראל בתוכו וזה שלא מתחשב בקיומה או/ו בתרומתה של ישראל.	2
	נושא של אסון טבע, או מעשה ידי אדם והסיוע לישראל בעקבותיהם על רקע שינוי אקלים. חשוב לחקור האם העולם (בדגש על ארה"ב) יעזור לשיקומה של ישראל לטווח ארוך, או שיהיה עסוק מדי (או תשוש ודל אמצעים) בהתמודדות עם השלכות שינוי אקלים בעולם השלישי? לכך מתקשרת שאלה הבאה: האם לאור השינויים שתוארו קודם תוכל ישראל להמשיך לספק סיוע חוץ לאזורי אסון שונים? האם יהיו לכך אמצעים ורצון פוליטי?	2
	יש לבדוק את הפוטנציאל של סוגיית שינוי אקלים כאחד הנושאים במאבק אידיאולוגי-הסברתי שיכול להיות מגויס ע"י אויביה של ישראל במאבק נגדה. מאידך, אולי ניתן להשתמש בנושא זה לצורך העלאת המוניטין של ישראל בזירה הבינלאומית בתור אחת המדינות "המצליחות להתמודד עם השלכות שינוי אקלים ואף מסיעות לשכנותיה".	1
נושא משולב: שינוי אקלים ואיסלם	אין מחקרים המקשרים בין שתי המשתנים שבכותרת. יש לקבוע, האם הקשר הזה נחוץ בכלל ומה משמעותו. הנושאים הרלוונטיים בתחום הינם: גלי הגירה בעקבות השלכות שינוי אקלים, כגון הצפות, או בצורות; קונפליקטים ומלחמות בין המוסלמים ללא מוסלמים (ניגריה, דרפור, הודו), או בין מוסלמים למוסלמים; הגירת עבודה מארצות האסלאם; התלות הכלכלית של מספר מדינות אסלאמיות בכספים שמעבירים אליה מהגרי עבודה (אסיה תיכונה, בנגלדש ועוד); השפעת המהגרים על היציבות של המדינות הקולטות הגירה מוסלמית (כגון הגברת קסנופוביה, אי-שביעות רצון חברתית, שינויים במפה פוליטית וכו'). האם יש בסיס להשערה כי העולם המוסלמי יפגע יותר מכל קבוצה אחרת בעקבות שינויי האקלים	1
	יש להשלים את פערי הידע שקיימים בנושא החיבור בין סוגיית ההתמודדות עם השלכות שינוי אקלים בעולם הערבי לבין פוליטיזציה וגיאופוליטיזציה של האסלאם. אין מחקרים על שיתוף פעולה בין ישראל לבין שכנותיה. אין ידע מדעי בנוגע לטרפוד של פרויקטים משותפים. הדוגמה: לחץ מצרי על ירדן לא לאמץ את תוכנית תעלת הימים, וזאת מחשש שהתעלה שתיווצר תהווה מתחרה לסואץ.	1

7. זיהוי פערי ידע ועדיפות מחקרית בתחום הכלכלה

נושא	מידע קיים עולמי	מידע קיים ישראל	פער ידע בישראל	רמת עדיפות
הערכה אמפירית של עלויות ההתאמה בישראל	קיימים מחקרים ודו"חות בחלוקה לשתי קטגוריות: Bottom-up, Top-Down	לא קיים	ביצוע מחקר כללי הכולל הערכות תוך שילוב שתי הקטגוריות	1
מחקר כלכלי ברמה הענפית של שינוי אקלים והיבטים כלכליים באמצעות מקרי בוחן (Case Studies)	מגוון סקטורים (בדגש על חקלאות והגנת חופים)	בעיקר חקלאות ומים	מחקר בנושא השפעה על כלכלת ישראל ברמה הענפית: בתחומי מרכז הידע: מים, בריאות, מערכות אקולוגיות, גיאואסטרטגיה, בניה ירוקה מעבר למיקוד של מרכז הידע בשלב זה: ביטוח, חקלאות, הגנת חופים (עלית פני הים), תיירות, תחבורה	1
מחקרים כמותיים מבוססי מודלים לשילוב אסטרטגיית התאמה עם אסטרטגיית הפחתה	מחקרים ראשוניים הבוחנים את הנושאים הבאים: -השילוב האופטימלי בין התאמה לבין הפחתה. -היחסים ההדדיים בין התאמה לבין הפחתה. -היבט ההתאמה ברמה הבינלאומית.	לא קיים	מחקר כמותי מבוסס מודלים השונים תוך התאמה לכלכלת ישראל. השפעה של מדיניות הפחתה על אסטרטגיית התאמה.	1
מחקר בנושא אי-הודאות בתופעת שינוי האקלים והשפעתו על הערכות העלות ובחירת המדיניות	קיימים מודלים מועטים לשילוב אי הודאות	לא קיים	מחקר בנושא אי-הודאות בתופעת שינוי האקלים בישראל והשפעתו על הערכות העלות ובחירת המדיניות	1
תזמון פעילויות התאמה	קיים ברמה ראשונית	לא קיים	מחקר בנושא התזמון המיטבי במימוש האסטרטגיות בישראל	2
מחקר השוואתי של מדיניות התאמה לפי מדינות	קיימת מדיניות התאמה ברמות שונות (בעיקר באירופה ו-OECD)	לא קיים	בחינת הנגזרות הרלוונטיות לכלכלת ישראל, בעיקר מדו"ח ה-OECD (בדגש על משקים דומים לישראל)	2
סוגי אסטרטגית התאמה: עוצמאית/מתוכננת/יזומה/תגובתית/פרטית/ציבורית	מגוון סוגים והבחנות ביניהם	לא קיים	בחינת סוגי אסטרטגית התאמה רלוונטיים לישראל	3

ביבליאוגרפיה

הביבליאוגרפיה המוצגת כאן מחולקת לכל אחד משבעה תחומי העבודה. ללא ספק, יש מספר מקורות לא מבוטל אשר שימשו מספר צוותי עבודה. לשם בהירות, בחרנו להציג לכל פרק את הספרות הרלוונטית, ללא ניפוי המקורות החוזרים על עצמם.

1. תחום האקלים - רשימת מקורות

אלפרט, פ. 2006. מגמות אקלימיות בעשורים האחרונים ותחזיות לעתיד. כנס השפעות שינויי אקלים בישראל לקראת תוכנית פעולה לאומית. תל-אביב 21.6.2006

אלפרט, פ. וא. בן-צבי. 2001. השפעת שינויים אקלימיים על זמינות משאבי מים בישראל. מים, 51: 10-15

ביתן, א. ורובין, ש. 1991: *אטלס אקלימי לתכנון פסי וסביבתי בישראל*, רמות, תל אביב.

בן גיא, ת. 1999: שינויים במשטר הגשם בישראל במחצית השנייה של המאה ה-20, *מים והשקיה*, 387, 37-27.

בן-צבי, א. ו'וב'עצמון: 2000, מגמות בספיקות השיא השנתיות של נחלי ארץ ישראל. דוח הידרו, 2/00, השרות ההידרולוגי, ירושלים.

גולדרייך, י. 1998: האקלים בישראל: תצפיות, חקר ויישום, רמת-גן, הוצאת אוניברסיטת בר-אילן ומאגנס,

גולדרייך, י. : 2007. השפעות והשלכות שינויי אקלים בישראל – ניתוח תרחישים ותחומים שונים של השפעות

גולדרייך, י., 2010 ניתוח מגמות שינויי אקלים בישראל במהלך שלושים שנה אחרונות, דו"ח מסכם אשר הוגש למשרד לאיכות הסביבה, מספר המחקר במשרד להגנת הסביבה 8-814

גלזר, א. 2010: הופכים פחמן למזומן. *תשתיות*, כתב עת לתשתיות סביבה ואנרגיה, נוב'-דצמ' 2010, 31-30.

גת, צ. ולומס, י. 1990: *ניתוח השרב האביבי במישור החוף*, דו"ח מחקר 4/90, השרות המטאורולוגי, בית דגן.

זיו ב., סערוני ה. ואלפרט פ., 2011. תנודות ומגמות בטמפרטורה, בעומס חום ובמשקעים בישראל ב-30 השנים האחרונות – האם עדות לשינוי אקלימי? בחינה קלימטולוגית-סינופטית. המחלקה למדעי הטבע והחיים, האוניברסיטה הפתוחה, רעננה, החוג לגיאוגרפיה וסביבת האדם, החוג לגיאופיסיקה וביה"ס פורטר ללימודי הסביבה, אוניברסיטת תל אביב

חלפון, נ., קותיאל, ח. וזיו, ב. 2007: על תנודה ורדידות: תנודות עתיות בין יחס המשקעים בדרום מערב הארץ וצפון מזרחה והקשרן לשינויים במשטר הלחצים ברום הנמוך. *מטאורולוגיה בישראל*, 53-56.

חרמוני, צ. : 2005, 'ההשתנות העיתית של משך הקיץ בישראל. עבודת מוסמך, המחלקה לגיאוגרפיה וסביבה, אוניברסיטת בר-אילן.

יפה, ש: 1991, 'האם חלה התחממות האוויר בארץ? מטאורולוגיה בישראל 1 (26), 92

לווין, א' ו' גולדרייך: 1997, השתנות הטמפרטורה בארבעים השנים האחרונות בישראל. קובץ תקצירי הרצאות. לכנס השנתי של האיגוד המטאורולוגי הישראלי, בת-ים, מרס, 1997 עמ' 51

לומס, י. וגת, צ. 1971: שיטות בסקר אגרוטופואקלימיים, דו"ח אגרוטופואולוגי מס. 1, השרות המטאורולוגי, בית דגן.

סערוני, ה. ובן דור, א. 2009: היבטים אקלימיים של העיר תל אביב - תופעת "אי החום" כביטוי לבינוי העירוני. בתוך: קיפניס, ב. (עורך) תל אביב-יפו מפרבר גנים לעיר עולם, פרדס הוצאה לאור, תל אביב, 420-402.

פוצ'טר, ע. וסערוני, ה. 1998: בחינת מפת אזורי האקלים של ארץ-ישראל על פי מיון קפן. מחקרים בגיאוגרפיה של ארץ ישראל, ט"ו, תשנ"ח, 179-194.

פז ש., קידר א., 2007, שינויי אקלים השלכות חזויות ותופעות נצפות: רקע גלובלי ומבט ישראלי, קתדרת חייקין לגיאואסטרוטגיה, אוניברסיטת חיפה.

קאפלה ה. ח. ו ברוינס ה., 2010. מגמות אקלימיות בישראל 1970-2002: חם וצחיח יותר בפנים הארץ, אקולוגיה וסביבה; 1: 22-16

קישצ'ה, פ., ברקן, י. ואלפרט, פ. 2003: שינויים בין-עשוריים באנומליות זרימת האוויר והגשמים בישראל. מחקרי יהודה ושומרון, קובץ י"ב, 379-389.

קסלר, א, א' כהן וד. שרון: 2006, ניתוח אפקט ההגברה של זריעת העננים בצפון ישראל – דו"ח מסכם עבור נציבות המים 117. ע"מ.

קרניאלי א., 2008, איתור מגמות של שינויי אקלים בישראל באמצעות ניתוח סידרת זמן ארוכה של נתוני אירוסולים, דווח סופי מוגש למשרד להגנת הסביבה, המעבדה לחישה מרחוק המכונים לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושטיין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב.

רומם, מ. 2010: משטר השקעים בים התיכון. "קשרים מרחוק" בין חלקיו השונים ובינם לבין אירופה. עבודת דוקטוראט, אוניברסיטת תל אביב.

שהמי, ד' וא' מורין: 2009, מגמות בנתוני טמפרטורה ומשקעים בישראל. מטאורולוגיה בישראל 09/1, 60-57,

שחק, מ' וא' קרניאלי: 2009, עליה בתדירות הבצורות וקריסת מערכות אקולוגיות בנגב: הקשר בין שינויי אקלים

שטיינברגר, ח. 1999: תפרוסת הגשמים באיזור ישראל. מים והשקיה: ירחון ארגון עובדי המים, 391: 44-38

שטרן, א., גרדוס, י., מאיר, א., קרקובר, ש. וצוער, ח. 1986: אטלס הנגב, באר שבע, הוצאת אוניברסיטת בן גוריון בנגב והמכון לחקר המדבר, 66-59.

שינויי האקלים) שינויי טמפרטורה, שינויים בכמויות הגשם, שינויים ברמות קרינת השמש (על ישראל,

שלומי, י. וגינת ח. 2009: גשם בערבה 1950-2008 - דו"ח ראשוני מוגש לרשות המים ולרשות ניקוז ערבה, מרכז מדע ים המלח והערבה, 23 עמ'.

שליט, י. : 1992, 'היש סימנים להתחממות האוויר בארץ? ' מטאורולוגיה בישראל, 27, 526-27, 38-50. בישראל,

שרון, ד. 'וא אנגרט (1998) השינויים ארוכי-הטווח בגשמי הנגב הצפוני במבט רגיונלי רחב יותר. מטאורולוגיה בישראל, 5, (1) 50-38.

שרון, ד. 2001: הגידול בגשמי הנגב הצפוני 1938-1984: השגות ושאלות פתוחות. תקציר מיום עיון בנושא: מידבור ואנטי מידבור בישראל, השרות המטאורולוגי הישראלי, 20 בפברואר 2001.

שרון, ד. אנגרט, א. 1998: השינויים ארוכי הטווח בגשמי הנגב הצפוני במבט רגיונלי רחב יותר, מטאורולוגיה בישראל, 5, (1) 50-38.

Alpert, P.; Baldi, M.; Ilani, R.; Krichak, S.; Price, C.; Rodó, X.; Saaroni, H.; Ziv, B.; Kishcha, P.; Barkan, J.; Mariotti, A. and Xoplaki, E. 2006. Relations between climate variability in the Mediterranean region and the tropics: ENSO, South Asian and African monsoons, hurricanes and Saharan dust. [Developments in Earth and Environmental Sciences, 4](#): 149-177.

Alpert P., T. Ben-Gai, A. Baharad, Y. Benjamini, D. Yekutieli, M. Colacino, L. Diodato, C. Ramis, V. Homar, R. Romero, S. Michaelides & A. Manes, 2002: The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophys. Res. Lett.*, 29, 31-1 - 31-4. AMS Council Statement, 2009: Geoengineering the climate system. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 90:1369-1370.

Alpert, P. and A. Ben-Zvi, 2004: *Effects of Climatic Changes on the Availability of Water Resources in Israel*. Report submitted to the Israel Water Commissioner.

Alpert, P., 2004. The water crisis in the Eastern Mediterranean - and relation to global warming? In: Zereini, F. & W. Jaeschke (Eds), *Water in the Middle-East and North Africa*, Springer, 55-61.

Alpert, P., et al. 1990. The prevailing summer synoptic system in Israel - subtropical high, not Persian trough, *Israel Journal of Earth Sciences*, 39, 93-102.

Alpert, P., et al. 2002. A dust prediction system with TOMS initialization, *Monthly Weather Review*, 130: 2335-2345.

Alpert, P., et al. (2004), Vertical distribution of Saharan dust based on 2.5-year model predictions, *Atmospheric Research*, 70: 109-130.

Alpert, P., Krichak, S. O., Shafir, H., Haim, D. and Osetinsky, I. 2008: Climatic trends to extremes employing regional modeling and statistical interpretation over the E. Mediterranean. *Glob. Planetary Change*, 63: 2-3, 163-170.

Alpert, P., Osetinsky, I., Ziv, B. and Shafir H. 2004a: Semi-objective classification for daily synoptic systems: application to the eastern Mediterranean climate change. *International Journal of Climatology*, 24 (8): 1001-1011.

- Alpert, P., Osetinsky, I., Ziv, B. and Shafir H. 2004b: A new season definition based on classified synoptic systems: An example for the eastern Mediterranean. *International Journal of Climatology*, 24 (8): 1013-1021.
- Anderson, T. L., and J. A. Ogren (1998), Determining aerosol radiative properties using the TSI 3563 integrating nephelometer, *Aerosol Science and Technology*, 29, 57-69.
- Anderson, T. L., et al. (1996), Performance characteristics of a high-sensitivity, three-wavelength, total scatter/backscatter nephelometer, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 13, 967-986.
- Andreae, M. O., and D. Rosenfeld (2008), Aerosol-cloud-precipitation interactions. Part 1. The nature and sources of cloud-active aerosols., *Earth-Science Reviews*, 89, 13-41.
- Andreae, T. W., et al. (2002), Light scattering by dust and anthropogenic aerosol at a remote site in the Negev desert, Israel, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 107, 4008, doi:4010.1029/2001JD900252.
- Aviad, Y.; Kutiel, H. and Lavee, H. 2004. Characteristics of the rainy season along a Mediterranean-Arid climate transect: Start, end & length – a geomorphic approach. *Journal of Arid Environments* 59: 189-204.
- Aviad, Y., Kutiel, H. and Lavee, H. 2007. Variation of Dry Days Since Last Rain (DDSLR) as a measure of dryness along a climatic transect. *Journal of Arid Environments*, 73: 658-665
- Aviad, Y., Kutiel, H. and Lavee, H. 2009. Beginning and end of rainy seasons along a climate transect: Judean Mountains – Dead Sea (in Hebrew with English summary). *Horizons in Geography*, 72: 43-57
- Avisar, R. and Mahrer, Y. 1988: Mapping frost-sensitive areas with a three-dimensional local-scale numerical model. Part II: comparison with observations. *J. Appl. Meteor.* 27, 414–426.
- Baldi, M., Dalu, G., Maracchi, G., Pasqui, M. and Cesarone, F. 2006: Heat waves in the Mediterranean: A local feature or a large scale effect? *Int. J. Clim.*, 26, 1477–1487.
- Batarseh, S., 2009: Climate change and drought analysis in Jordan: P\PET aridity index classification and mapping of the dry-land zones. M.Sc. Thesis, The Albert Katz International School for Desert Studies, Ben-Gurion Univ. of the Negev,24
- Ben Gai, T., Bitan, A., Manes, A., Alpert, P., and S. Rubin. 1999. Temporal and Spatial Trends of Temperature Patterns in Israel. *Theoretical and Applied Climatology*, 64, 163-177.
- Ben-Gai, T., A. Bitan, A. Manes & P. Alpert, 1993: Long-term change in October rainfall patterns in Southern Israel. *Theor. Appl. Clim.*, 46, 209-217.
- Ben-Gai, T., Bitan A., Manes, A., Alpert P. and Kushnir, Y. 2001: Temperature and surface pressure anomalies in Israel and the North Atlantic Oscillation, *Theoretical and Applied Climatology*, 69: 171-177.
- Ben-Gai, T., Bitan A., Manes, A., Alpert P. and Rubin, S. 1999: Temporal and spatial trends of temperature patterns in Israel, *Theoretical and Applied Climatology*, 64: 163-177.

- Ben-Gai, T., Bitan, A., Manes, A. and Alpert, P. 1994: Long-term changes in annual rainfall patterns in southern Israel, *Theoretical and Applied Climatology*, 49: 59-67.
- Ben-Gai, T., Bitan, A., Manes, A., Alpert P. and Rubin, S. 1998: Spatial and temporal changes in annual rainfall frequency distribution patterns in Israel, *Theoretical and Applied Climatology*, 61: 177-190.
- Beniston, M. & S. Goyette, 2006: Changes in variability and persistence in Switzerland: exploring 20th century and 21st century simulations. Proc. (Abst.) Int. Workshop: Climate Variability and Extremes during the Past 100 Years. Gwatt, Switzerland, July 2006, NP.
- Boucher, O., and M. Pham (2002), History of sulfate aerosol radiative forcings, *Geophysical Research Letters*, 29, 1308, 1310.1029/2001GL014048.
- Branston, A.G. and Livezey, R.E. 1987: Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1083-1126.
- Buseck, P. R., and M. Posfai (1999), Airborne minerals and related aerosol particles: Effects on climate and the environment, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96, 3372-3379.
- Charlson, R. J., et al. (1992), Climate Forcing by Anthropogenic Aerosols, *Science*, 255, 423-430.
- Chin, M. A., and D. J. Jacob (1996), Anthropogenic and natural contributions to tropospheric sulfate: A global model analysis, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 101, 18691-18699.
- Chin, M., et al. (2000), Atmospheric sulfur cycle simulated in the global model GOCART: Model description and global properties, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 105, 24671-24687.
- Choi, J. C., et al. (2001), Chemical composition and source signature of spring aerosol in Seoul, Korea, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 106, 18067-18074.
- Chou, M.-D. (1992a), A solar-radiation model for use in climate studies, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 49, 762-772.
- Chou, M. D. (1992b), A Solar-Radiation Model for Use in Climate Studies, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 49, 762-772.
- Chou, M. D., and M. J. Suarez (2002), A solar Radiation Parameterization for Atmospheric Studies, Technical Report Series on Global Modeling and Data Assimilation, Laboratory for Atmospheres NASA/Goddard Space Flight Center Greenbelt, Maryland.
- Chou, M.-D., and M. J. Suarez (1999), A solar radiation parameterization (CLIRAD-SW) for atmospheric studies, 48 pp.
- Christopher, S. A., and J. L. Zhang (2002), Shortwave aerosol radiative forcing from MODIS and CERES observations over the oceans, *Geophysical Research Letters*, 29.

- Chu, D. A., et al. (2003), Global monitoring of air pollution over land from the Earth Observing System-Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 108.
- Cohen, S. & G. Stanhill, 1996: Contemporary climate change in the Jordan Valley. *J. Appl. Meteorol.*, 35, 1051-1058.
- Conte, M., Giuffrida, A. and Tedesco, S. 1989: The Mediterranean Oscillation: impact on precipitation and hydrology in Italy. In: *Conference on Climate and Water*, 1, 121–137, Publications of the Academy of Finland 9/89.
- Dai, A., I.Y. Fung & A.D. Del Genio, 1997: Surface observed global land precipitation variations during 1900-1988. *J. Climate*, 10, 2943-2962.
- Dayan, U. (1986), Climatology of back trajectories from Israel based on synoptic analysis, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25, 591-595.
- Dayan, U., and I. Levy (2005), The influence of meteorological conditions and atmospheric circulation types on PM10 and visibility in Tel Aviv, *Journal of Applied Meteorology*, 44, 606-619.
- Dayan, U., and J. Rodnizki (1999), The temporal behavior of the atmospheric boundary layer in Israel, *Journal of Applied Meteorology*, 38, 830-836.
- Derimian, Y., et al. (2006), Dust and pollution aerosols over the Negev desert, Israel: Properties, transport, and radiative effect, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 111.
- Derimian, Y., et al. (2007), Tracking regional anthropogenic air pollution: A case study in Israel, *Water Air and Soil Pollution*, 180, 185-198.
- Draxler, R. R., and G. D. Hess (1998), An overview of the Hysplit_4 Modeling System for Trajectories, *Aust. Met. Mag.*, 47, 295-308.
- Draxler, R. R., and G. D. Rolph (2003), HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website, (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD., edited.
- Dubovik, O., and M. D. King (2000), A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements, *Journal of Geophysical Research*, 105, 20673-20696.
- Dubovik, O., et al. (2000), Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from Aerosol Robotic Network (AERONET) Sun and sky radiance measurements, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 105, 9791-9806.
- Dubovik, O., et al. (2002a), Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 59, 590-608.
- Dubovik, O., et al. (2002b), Non-spherical aerosol retrieval method employing light scattering by spheroids, *Geophysical Research Letters*, 29, doi:10.1029/2001GL014506.

- Dubovik, O., et al. (2006), Application of spheroid models to account for aerosol particle nonsphericity in remote sensing of desert dust, *Journal of Geophysical Research*, *111*, D11208, doi:11210.11029/12005JD006619.
- Dulac, F., and P. Chazette (2003), Airborne study of a multi-layer aerosol structure in the eastern Mediterranean observed with the airborne polarized lidar ALEX during a STAAARTE campaign (7 June 1997), *Atmospheric Chemistry and Physics*, *3*, 1817-1831.
- Erel, Y., et al. (2006), Trans boundary transport of pollutants by atmospheric mineral dust, *Environmental Science & Technology*, *40*, 2996-3005.
- Erel, Y., et al. (2007), European atmospheric pollution imported by cooler air masses to the Eastern Mediterranean during the summer, *Environmental Science & Technology*, *41*, 5198-5203.
- Formenti, P., et al. (2001a), Aerosol optical properties and large-scale transport of air masses: Observations at a coastal and a semiarid site in the eastern Mediterranean during summer 1998, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, *106*, 9807-9826.
- Formenti, P., et al. (2001b), Physical and chemical characteristics of aerosols over the Negev Desert (Israel) during summer 1996, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, *106*, 4871-4890.
- Fraser, R. S., and Y. J. Kaufman (1985), The relative importance of aerosol scattering and absorption in remote-sensing, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *23*, 625-633.
- Ganor, E. (1991a), The composition of clay minerals transported to Israel as indicators of Saharan dust emissions, *Atmospheric Environment*, *25A*.
- Ganor, E., Foner, H.A., Brenner, E., Neeman, E., Lavi, N (1991b), The chemical composition of aerosols settling in Israel following dust storms, *Atmospheric Environment*, *25A*.
- Ganor, E. (1994), The frequency of Saharan dust episodes over Tel-Aviv, Israel, *Atmospheric Environment*, *28*, 2867-2871.
- Ganor, E., and H. A. Foner (1996), The mineralogical and chemical properties and the behaviour of aeolian Saharan dust over Israel, in *The Impact of Desert Dust Across the Mediterranean*, edited by S. Guerzoni and R. Chester, pp. 163-172, Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands.
- Ganor, E., and H. A. Foner (2001), Mineral dust concentrations, deposition fluxes and deposition velocities in dust episodes over Israel, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, *106*, 18431-18437.
- Ganor, E., et al. (1991), The Chemical-Composition of Aerosols Settling in Israel Following Dust Storms, *Atmospheric Environment Part a-General Topics*, *25*, 2665-2670.
- Ganor, E., et al. (1998), Composition of individual aerosol particles above the Israeli Mediterranean Coast during the summer time, *Atmospheric Environment*, *32*, 1631-1642.
- Ganor, E., Levin, Z., Van Grieken, R., (1998), Composition of individual aerosol particles above the Israeli Mediterranean coast during the summer time, *Atmospheric Environment*, *32*.

- Gerasopoulos, E., et al. (2003), Climatological aspects of aerosol optical properties in Northern Greece, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 3, 2025-2041.
- Gilbert, R.O., 1987. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Goldreich Y. & Z. Chermoni, 2006: The changes in the summer season length in the Middle East. *Proc. Conf. CCME2006/Climate Change and the Middle East*, Istanbul Turkey, November, 2006, 440-446.
- Goldreich, Y. & A. Manes, 1979: Urban effects on precipitation patterns in the greater Tel-Aviv area. *Arch. Meteorol. Geoph. Biokl., B*, 27, 213-224.
- Goldreich, Y. (2003), *The Climate of Israel: Observation, Research and Applications*, 270 pp., Kluwer Academic / Plenum Publications, New York.
- Goldreich, Y., 2003: *The climate of Israel, Observation, Research and Application*. Kluwer Academic/Plenum Publ., NY.
- Graedel, T. E., and P. J. Crutzen (1989), The changing atmosphere, *Scientific American ; Vol/Issue: 261:3; DOE Project*, Pages: 58-68.
- Hansen, J., et al. (1997), Radiative forcing and climate response, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 102, 6831-6864.
- Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M and Lo, K. 2010: Global surface temperature change, *Rev. Geophys.*, 48, RG4004, doi:10.1029/2010RG000345.
- Haywood, J. M., and K. P. Shine (1995), The Effect of Anthropogenic Sulfate and Soot Aerosol on the Clear-Sky Planetary Radiation Budget, *Geophysical Research Letters*, 22, 603-606.
- Hegerl, G.C., O. Hoegh-Guldberg, G. Casassa, M.P. Hoerling, R.S. Kovats, C. Parmesan, D.W. Pierce, P.A. Stott, 2010: Good Practice Guidance Paper on Detection and Attribution Related to Anthropogenic Climate Change. In: Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Detection and Attribution of Anthropogenic Climate Change [Stocker, T.F., C.B. Field, D. Qin, V. Barros, G.-K. Plattner, M. Tignor, P.M. Midgley, and K.L. Ebi (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland.
- Herut, B., Nimmo, M., Medway, A., Chester, R., Krom, M.D., (2000), Dry atmospheric inputs of trace metals at the Mediterranean coast of Israel: sources and fluxes, *Atmospheric Environment*, 35, 803-813.
- Holben, B. N., et al. (1998a), AERONET--A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization, *Remote Sensing of Environment*, 66, 1-16.
- Holben, B. N., et al. (1998b), AERONET - A federated instrument network and data archive for aerosol characterization, *Remote Sensing of Environment*, 66, 1-16.
- Hopke, P. K., et al. (1997), Characterization of the gent stacked filter unit PM10 sampler, *Aerosol Science and Technology*, 27, 726-735.

Ichoku, C., et al. (1999), Interrelationships between aerosol characteristics and light scattering during late winter in an Eastern Mediterranean arid environment, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 104, 24371-24393.

IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change 2007: The Physical Science Basis,

Summary for Policymakers (contribution of WG I to the 4th Assessment Report of the IPCC), Cambridge and New York: Cambridge University Press. <http://ipcc-wg1.ucar.edu/>

Israelevich, P. L., et al. (2003), Annual variations of physical properties of desert dust over Israel, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 108.

Jacobeit, J. 1987: Variations of trough positions and precipitation patterns in the Mediterranean area. *International Journal of Climatology*, 7, 453-476.

Jin F., Kitoh A. and Alpert P. (2009), The atmospheric moisture budget over the Eastern Mediterranean based on a high-resolution global model – past and future. *Internat. J. Climatol.*

Jin F., Kitoh A. and Alpert P. (2010), Water cycle changes over the Mediterranean: a comparison study of a super-high-resolution global model with CMIP3. *Phil. Trans. R. Soc. A* November 28, 368 (1931) 5137-5149; doi:10.1098/rsta.2010.0204

Jin F., Kitoh A. and Alpert P. (2011), Climatological relationships among the moisture budget components and rainfall amounts over the Mediterranean based on a super-high-resolution climate model, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 116, D09102, doi:10.1029/2010JD014021, 2011

Kahana, R., Ziv, B., Enzel, Y. and Dayan, U. 2002: Synoptic climatology of major floods in the Negev desert, Israel, *International Journal of Climatology*, 22: 867-882.

Kallos, G., et al. (1993), Synoptic and mesoscale weather conditions during air-pollution episodes in Athens, Greece, *Boundary-Layer Meteorology*, 62, 163-184.

Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R. and Joseph, D. 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Ame. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.

Kaufman, Y. J., et al. (1994), Size Distribution and Scattering Phase Function of Aerosol-Particles Retrieved from Sky Brightness Measurements, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 99, 10341-10356.

Kaufman, Y. J., and R. S. Fraser (1997), The effect of smoke particles on clouds and climate forcing, *Science*, 277, 1636-1639.

- Kaufman, Y. J., et al. (1997), Operational remote sensing of tropospheric aerosol over land from EOS moderate resolution imaging spectroradiometer, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 102, 17051-17067.
- Kaufman, Y. J., et al. (2002), A satellite view of aerosols in the climate system, *Nature*, 419, 215-223.
- Kaufman, Y. J., et al. (2005), Aerosol anthropogenic component estimated from satellite data, *Geophysical Research Letters*, 32.
- Kellogg, W. W., et al. (1972), Sulfur cycle, *Science*, 175, 587-596.
- Kistler, R., Kalnay, E., Collins, W., Saha, S., White, G., Woollen, J., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Kanamitsu, M., Kousky, V., Van Den Dool, H., Jenne, R. and Fiorino, M. 2001: The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation, *Bull. Ame. Meteor. Soc.*, 82, 247-267.
- Koch, J., and U. Dayan (1992), A synoptic analysis of the meteorological conditions affecting dispersion of pollutants emitted from tall stacks in the coastal-plain of Israel, *Atmospheric Environment Part a-General Topics*, 26, 2537-2543.
- Kostopoulou, E. and Jones, P. D. 2005: Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean, *Meteorol. Atmos. Phys.*, 89, 69-85.
- Kouvarakis, G., et al. (2002), Chemical, physical, and optical characterization of aerosols during PAUR II experiment, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 107.
- Kovalev, N. A. (2003), Russian Federation Fire 2002 Special. Part I. The Wildland Fire Season 2002 in the Russian Federation. An Assessment by the Global Fire Monitoring Center (GFMC), 34 pp.
- Krichak, S. O., Kishcha, P. and Alpert, P. 2002: Decadal trends of main Eurasian oscillations and the Mediterranean precipitation, *Theoretical and Applied Climatology*, 72: 209–220.
- Krichak, S. O. and Alpert, P. 2005: Decadal trends in the East Atlantic–West Russia pattern and Mediterranean precipitation, *International Journal of Climatology*, 25: 183–192.
- Krichak, S. O., Breitgand, J. S., Samuels, R. and Alpert, P. 2011: A double-resolution transient RCM climate change simulation experiment for near-coastal eastern zone of the Eastern Mediterranean region, *Theoretical and Applied Climatology*, 103: 167-195, DOI 10.1007/s00704-010-0279-6.
- Kubilay, N., et al. (2003), Optical properties of mineral dust outbreaks over the northeastern Mediterranean, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 108, doi:10.1029/2003JD003798.
- Kuglitch, F. G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P. M., Zerefos, C. S., Türkeş, M. and Luterbacher, J. 2010: Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L04802, doi:10.1029/2009GL041841
- Kutiel, H., Maheras, P. and Guika, S. 1996. Circulation indices over the Mediterranean and Europe and their relationship with rainfall conditions across the Mediterranean, *Theoretical and Applied Climatology*, 54: 125-138.

- Kutiel, H. and Paz, S. 1998: Sea level pressure departures in the Mediterranean and their relationship with monthly rainfall conditions in Israel, *Theoretical and Applied Climatology*, 60: 93-109.
- Kutiel, H. and Benaroch, Y. 2002: North Sea–Caspian pattern (NCP) — an upper level atmospheric teleconnection affecting the eastern Mediterranean: identification and definition, *Theoretical and Applied Climatology*, 71: 17–28.
- Kutiel, H., Maheras, P., Türkes, M. and Paz, S. 2002: North Sea Caspian Pattern (NCP) - an upper level atmospheric teleconnection affecting the eastern Mediterranean: Implications on the regional climate, *Theoretical and Applied Climatology*, 72: 173-192.
- Kutiel, H. and Türkeş, M. 2005. New evidence for the role of The North Sea-Caspian pattern on the temperature and precipitation regimes in continental central Turkey, *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 87: 4, 501-513.
- Langmann, B., et al. (1998), Radiative forcing of climate by sulfate aerosols as determined by a regional circulation chemistry transport model, *Atmospheric Environment*, 32, 2757-2768.
- Lelieveld, J., et al. (2002), Global air pollution crossroads over the Mediterranean, *Science*, 298, 794-799.
- Lesins, G., et al. (2002), A study of internal and external mixing scenarios and its effect on aerosol optical properties and direct radiative forcing, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 107.
- Levin, N. and Saaroni, H. 1999: Fire weather in Israel - synoptic climatological analysis. *GeoJournal*, 47: 4, 523-538.
- Levin, Z., et al. (1996), The effects of desert particles coated with sulfate on rain formation in the eastern Mediterranean, *Journal of Applied Meteorology*, 35, 1511-1523.
- Levy, R. C., et al. (2007a), Global aerosol optical properties and application to Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer aerosol retrieval over land, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 112.
- Levy, R. C., et al. (2007b), Second-generation operational algorithm: Retrieval of aerosol properties over land from inversion of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer spectral reflectance, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 112.
- Lionello, P. and Giorgi, F. 2007: Winter precipitation and cyclones in the Mediterranean region: future climate scenarios in a regional simulation, *Adv. GeoSci.*, 12, 153-158.
- Lupu, A., and W. Maenhaut (2002), Application and comparison of two statistical trajectory techniques for identification of source regions of atmospheric aerosol species, *Atmospheric Environment*, 36, 5607-5618.
- Luria, M., et al. (1996), Atmospheric sulfur over the east Mediterranean region, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 101, 25917-25930.

Luttmann-Gibson, H., et al. (2006), Short-term effects of air pollution on heart rate variability in senior adults in Steubenville, Ohio, *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 48, 780-788.

Maenhaut, W., Cafmyer, J., Ptasinsky, J., Andrea, M.O., Andreae, T.W., Elbert, W. (1997), Chemical composition And light scattering of th atmospheric aerosol at a remote site in the Negv Desrt, Israel, *Journal of Aerosol Science*, 28.

Maenhaut, W., and J. Cafmeyer (1998), Long-term atmospheric aerosol study at urban and rural sites in Belgium using multi-elemental analysis by particle-induced X-ray emission spectrometry and short-irradiation instrumental neutron activation analysis, *X-Ray Spectrometry*, 27, 236-246.

Maenhaut, W., et al. (1994), The “Gent” stacked filter unit (SFU) sampler for the collection of aerosols in two size fractions: Description and instructions for installation and use. Applied research on air pollution using nuclear-related analytical techniques, NAHRES-19, IAEA, Vienna, Vienna, Austria, 30 March - 2 April, 1993.

Maenhaut, W., et al. (1996a), Regional atmospheric aerosol composition and sources in the eastern Transvaal, South Africa, and impact of biomass burning, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 101, 23631-23650.

Maenhaut, W., et al. (1996b), Anthropogenic and natural radiatively active aerosol types at Sede Boker, israel, *Journal of Aerosol Science*, 27, S47-S48.

Maenhaut, W., et al. (1997), Chemical composition and light scattering of the atmospheric aerosol at a remote site in the Negev Desert, Israel, *Journal of Aerosol Science*, 28, S73-S74.

Maenhaut, W., Salomonovici, R., Cafmeyer, J., Ichoku, C., Karnieli, A., (1996), Anthropogenic and natural radiatively active aerosols types at Sede Boker, Israel *Journal Aerosols Science*, 27.

Mariotti, A., N. Zeng, J. H. Yoon, V. Artale, A. Navarra, P. Alpert and Z. X. Li, 2008: Mediterranean water cycle changes: transition to drier 21st century conditions in observations and CMIP3 simulations, *Environmental Research Letters*, 3, 044001 (8pp) doi:10.1088/17489326/3/4/044001.

Mariotti, Annarita, 2010: Recent Changes in the Mediterranean Water Cycle: A Pathway toward Long-Term Regional Hydroclimatic Change?. *J. Climate*, 23, 1513–1525. doi: 10.1175/2009JCLI3251.1

Markowicz, K. M., et al. (2002), Absorbing mediterranean aerosols lead to a large reduction in the solar radiation at the surface, *Geophysical Research Letters*, 29.

Marmer, E., et al. (2007), Direct shortwave radiative forcing of sulfate aerosol over Europe from 1900 to 2000, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 112.

Matvev, V., et al. (2002), Atmospheric sulfur flux rates to and from Israel, *Science of the Total Environment*, 291, 143-154.

McGregor, G.R. and Nieuwolt, S. 1998: *Tropical Climatology*. 2nd ed., John Wiley & Sons, Chichester.

- Meagher, J. F., et al. (1983), The seasonal-variation of the atmospheric SO₂ to SO₄²⁻ conversion rate, *Journal of Geophysical Research-Oceans and Atmospheres*, *88*, 1525-1527.
- Meehl, G.A. and Tebaldi, C. 2004: More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century, *Science*, 305:5686, 994-997
DOI: 10.1126/science.1098704
- Menon, S., et al. (2002), Climate effects of black carbon aerosols in China and India, *Science*, *297*, 2250-2253.
- Mishchenko, M. I., et al. (1997), Modeling phase functions for dustlike tropospheric aerosols using a shape mixture of randomly oriented polydisperse spheroids, *Journal of Geophysical Research*, *102*, 16831-16847. Arnon Karnieli 84
- Mitchell, J. M. Jr., 1966: *Climate change*. WMO 175, Tech. Notes 100, Geneva.
- Morin, E. 2011: To know what we cannot know: Global mapping of minimal detectable trends in annual precipitation, *Water Resources Research* (#2010WR009798, in press)
- Myhre, G., et al. (2004), The radiative effect of the anthropogenic influence on the stratospheric sulfate aerosol layer, *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, *56*, 294-299.
- Mylona, S. (1996), Sulphur dioxide emissions in Europe 1880-1991 and their effect on sulphur concentrations and depositions, *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, *48*, 662-689.
- NASA (1996), Atmospheric Aerosols:What Are They and Why Are They So Important?, 4 pp.
- Nations Framework Convention on Climate Change, 2011, Fact sheet: Climate change science - the status of climate change science today United,
http://unfccc.int/files/press/backgrounders/application/pdf/press_factsh_science.pdf
- Nativ, R., et al. (1985), The occurrence of sulfate-rich rains in the Negev Desert, Israel, *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, *37*, 166-172.
- Osetinsky, I., 2006: *Climate changes over the E. Mediterranean - a synoptic systems classification Approach*. Ph.D. Thesis, Tel-Aviv University, Tel-Aviv, Israel.
- Otterman, J., A. Manes, S. Rubin, P. Alpert & D.O'C. Starr, 1990: An increase of early rains in Southern Israel following land use change? *Boundary-Layer Meteorol.*, *22*, 373-392.
- Paz, S. 2006. The West Nile Virus outbreak in Israel (2000) from a new perspective: the regional impact of climate change. *International Journal of Environmental Health Research*, *15*(6): 1-13.
- Paz, S., Bisharat, N., Paz, E., Kidar, O., and D. Cohen. 2006. Climate Change and the Emergence of *Vibrio Vulnificus* Disease in Israel. *Environmental Research*
- Paz, S., Steinberger, E. H. and Kutiel, H. 1998: Recent changes in precipitation patterns along the coast of the Eastern Mediterranean, *2nd European Conference on Applied Climatology* 19 to 23 October 1998, Vienna Austria.

- Paz S., Steinberger E. H. and Kutiel H., 1998: Recent changes in precipitation patterns along the Mediterranean Coast. *2nd International Conf. On applied climatology*, Vienna, Austria, p. 79.
- Paz, S. and Kutiel H. 2003. Rainfall regime uncertainty (RRU) in an eastern Mediterranean region – a methodological approach. *Israel Journal of Earth Science*, 52: 47-63.
- Penner, J. E., et al. (2001), Unraveling the role of aerosols in climate change, *Environmental Science & Technology*, 35, 332A-340A.
- Perlin, N. and Alpert, P. 2001: Effects of land-use modification on potential increase of convection - A numerical study in south Israel, *J. Geophys. Res.*, 106, 22,621-22,634.
- Piervitali, E., Colacion, M. and Conte, M. 1998: Rainfall over the central-western Mediterranean Basin in the period 1951-1995, Part I: Precipitation trends, *Nuovo Climento.*, C21, 331-344.
- Price, C., Stone, L., Huppert, A., Rajagopalan, B. and Alpert, P. 1998: A possible link between El-Nino and precipitation in Israel. *Geophys. Res. Lett.*, 25(21), 3963-3966.
- Raible, C.C., Ziv, B., Saaroni, H. and Wild, M. 2010: Winter synoptic-scale variability over the Mediterranean Basin under future climate conditions as simulated by the ECHAM5, *Clim. Dyn.*, 35, 473-488, DOI 10.1007/s00382-009-0678-5
- Reid, J. S., et al. (2003), Comparison of size and morphological measurements of coarse mode dust particles from Africa, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 108.
- Reiser, H. and Kutiel, H. 2009. Rainfall uncertainty in the Mediterranean: Definition of the Daily Rainfall Threshold (DRT) and the Rainy Season Length (RSL). *Theoretical and Applied Climatology*, 97: 151-162, DOI: 10.1007/s00704-008-0055-z
- Reiser, H. and Kutiel, H. 2010a. Rainfall uncertainty in the Mediterranean: Intra-seasonal rainfall distribution. *Theoretical and Applied Climatology*, 100: 105-121, DOI: 10.1007/s00704-009-0162-5.
- Reiser, H. and Kutiel, H. 2010b. Rainfall uncertainty in the Mediterranean: Dryness distribution. *Theoretical and Applied Climatology*, 100: 123-135, DOI: 10.1007/s00704-009-0163-4.
- Reiser, H. and Kutiel, H. 2011a. Rainfall uncertainty in the Mediterranean: time series, uncertainty and extreme events. *Theoretical and Applied Climatology*, 104: 357-375, DOI: 10.1007/s00704-010-0345-0.
- Reiser, H. and Kutiel, H. 2011b. The dependence of the annual TOTAL on the Number of Rain-Spells and their yield in the Mediterranean. *Geografiska Annaler*, (in press).
- Remer, L. A., et al. (2005), The MODIS aerosol algorithm, products, and validation, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 62, 947-973.
- Remer, L. A., and Y. J. Kaufman (2006), Aerosol direct radiative effect at the top of the atmosphere over cloud free ocean derived from four years of MODIS data, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, 237-253.

- Robinson, J., et al. (1992), The effects of mesoscale circulation on the dispersion of pollutants (SO₂) in the eastern Mediterranean, southern coastal-plain of Israel, *Atmospheric Environment Part B-Urban Atmosphere*, 26, 271-277.
- Rolph, G. D. (2003), Real-time Environmental Applications and Display sYstem (READY) Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD., edited.
- Rosenfeld, D., et al. (2001), Desert dust suppressing precipitation: A possible desertification feedback loop, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98, 5975-5980.
- Rudich, Y., et al. (2008), Estimation of transboundary transport of pollution aerosols by remote sensing in the eastern Mediterranean, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 113.
- Saaroni, H., Ben-Dor, E., Bitan, A. and Potchter, O. 2000: Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel, *Landscape and Urban Planning*, 48, 1-18.
- Saaroni H. and Ziv, B. 2000: Summer rain episodes in a Mediterranean climate - the case of Israel: climatological-dynamical analysis, *Int. J. Clim.*, 20, 191-209.
- Saaroni, H., B. Ziv, J. Edelson & P. Alpert, 2003: Long-term variations in summer temperatures over the eastern Mediterranean, *Geoph. Res. Lett.*, 30, 1946-1949.
- Saaroni H., Ziv B., Osetinsky, I. and Alpert P. 2010a: Factors governing the inter-annual variation and the long-term trend of the 850-hPa temperature over Israel, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, Part B, 136, 305-318, DOI:10.1002/qj.580.
- Saaroni H., Halfon H, Ziv B., Alpert P. and Kutiel H. 2010b: The role of East-Mediterranean synoptic systems in controlling the rainfall regime in Israel, *International Journal of Climatology*, 30, 1014-1025 DOI: 10.1002/joc.1912.
- Saaroni, H. and Ziv, B. 2010: Isolating the urban heat island contribution in a complex terrain and its application for an arid city, *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 49, 2159–2166, DOI: 10.1175/2010JAMC2473.1
- Salmi, T., A. Määttä P. Anttila T. Ruoho-Airola T. Amnell, 2002: Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutant by the Mann-kendall Test and Sen's Slope Estimates – the EXCEL Template Application MAKESENS. Publications on air quality No. 31, Finnish Meteorological Institute, Helsinki.
- Satheesh, S. K., and V. Ramanathan (2000), Large differences in tropical aerosol forcing at the top of the atmosphere and Earth's surface, *Nature*, 405, 60-63.
- Schopp, W., et al. (2003), Long-term development of acid deposition (1880-2030) in sensitive freshwater regions in Europe, *Hydrology and Earth System Sciences*, 7, 436-446.
- Seinfeld, J. H., and S. N. Pandis (1998a), *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, edited, p. 49, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Seinfeld, J. H., and S. N. Pandis (1998b), *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, John Wiley and Sons, Inc., New York.

Sharon, D., 1978: Rainfall fields in Israel and Jordan and the effects of cloud seeding on them. *J. Appl. Meteorol.*, 17, 40-48.

Sharon D., Kessler A., Cohen A. and Doveh, E., 2008: A note on the history and recent revision of Israel's Cloud Seeding Program. *Isr J. Earth Sci.*, 57, 1-5.

Sinyuk, A., et al. (2007), Simultaneous retrieval of aerosol and surface properties from a combination of AERONET and satellite data, *Remote Sensing of Environment*, 107, 90-108.

Sirois, A., 1998. A Brief and Biased Overview of Time Series Analysis or How to Find that Evasive

Smirnov, A., et al. (2000), Cloud-screening and quality control algorithms for the AERONET database, *Remote Sensing of Environment*, 73, 337-349.

Sobanska, S., et al. (2003), SEM-EDX characterisation of tropospheric aerosols in the Negev desert (Israel), *Journal of Atmospheric Chemistry*, 44, 299-322.

Sofer, M. and Potchter, O. 2006: The urban heat island of a city in an arid zone: the case of Eilat, Israel, *Theo. Appl. Climatol.*, 85, 81-88, DOI 10.1007/s00704-005-0181-9

Sohar, E. 1980: Determination and presentation of heat load in physiologically and meaningful terms. *Int. J. Bioclimatol.*, Series B, 14, 336-359.

Spengler, J. D., et al. (1996), Health effects of acid aerosols on North American children: Air pollution exposures, *Environmental Health Perspectives*, 104, 492-499.

Stanhill, G., and S. Cohen (2001), Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences, *Agricultural and Forest Meteorology*, 107, 255-278.

Steinberger, E.H. & N. Gazit-Yaari, 1996: Recent changes in the spatial distribution of annual precipitation in Israel. *J. Clim.*, 9, 3328-3336.

Stern, D. I. (2005), Global sulfur emissions from 1850 to 2000, *Chemosphere*, 58, 163-175.

Stern, E., et al. (1986), *Atlas of the Negev*, Keterpress Enterprises, Jerusalem.

Stockwell, W. R., and J. G. Calvert (1983), The mechanism of the HO-SO₂ reaction, *Atmospheric Environment*, 17, 2231-2235.

Stoddard, J. L., et al. (1999), Regional trends in aquatic recovery from acidification in North America and Europe, *Nature*, 401, 575-578.

Tanre, D., et al. (1997), Remote sensing of aerosol properties over oceans using the MODIS/EOS spectral radiances, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 102, 16971-16988.

Thom, E. C. 1959: The discomfort index. *Weatherwise*, 12, 2, 57-60.

- Trewartha, G.T. and Horn, L.H. 1980: *An introduction to climate*. McGraw-Hill, New York
- Tsvieli, Y. and Zangvil, A. 2005: Synoptic climatological analysis of “wet” and “dry” Red Sea Troughs over Israel, *International Journal of Climatology*, 25, 1997–2015.
- Vestreng, V., et al. (2007), Twenty-five years of continuous sulphur dioxide emission reduction in Europe, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 3663-3681.
- Wang, J., and S. A. Christopher (2003), Intercomparison between satellite-derived aerosol optical thickness and PM_{2.5} mass: Implications for air quality studies, *Geophysical Research Letters*, 30.
- Wanger, A., et al. (2000), Some observational and modeling evidence of long-range transport of air pollutants from Europe toward the Israeli coast, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 105, 7177-7186.
- Wild, M., et al. (2005), From dimming to brightening: Decadal changes in solar radiation at Earth's surface, *Science*, 308, 847-850.
- William R. L. Anderegg, James W. Prall, Jacob Harold, and Stephen H. Schneider (April 9, 2010). "Expert credibility in climate change". Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.
- WMO report No. 133: *WMO/EMEP workshop on Advanced Statistical methods and their Application to Air Quality Data sets* (Helsinki, 14-18 September 1998).
- WMO, 2007: Inter Governmental Panel on Climate Change (IPCC4) *Forth Assessment Report[AR4]*, [Climate Change 2007] Summary for Policy Makers [SPM] I, II, III.
- Xoplaki, E., Gonzalez-Rouco, J. F., Luterbacher, J. and Wanner, H. 2003: Mediterranean summer air temperature variability and its connection to the large-scale atmospheric circulation and SSTs, *Clim. Dynam.*, 20, 723-739 doi:10.1007/s00382-003-0304-x.
- Xoplaki, E., Luterbacher, J., Burkard, R., Patrikas, I. and Maheras, P. 2000: Connection between the large-scale 500 hPa geopotential height fields and precipitations over Greece during wintertime, *Clim. Res.*, 14, 129-146.
- Yosef, Y., Saaroni, H. and Alpert, P., 2009: Trends in daily rainfall intensity over Israel 1950/1-2003/4. *Open Atmos. Sci J.*, 3, 196-203.
- Zangvil, A., Karas, S. and Sasson, A. 2003: Connection between Eastern Mediterranean seasonal mean 500 hPa height and sea-level pressure pattern and the spatial rainfall distribution over Israel. *International Journal of Climatology*, 23, 1567-1576.
- Zhang, X., E. Aguilar, S. Sensoy, H. Melkonyan, U. Tagiyeva, N. Ahmed, N. Kutaladze, F. Rahimzadeh, A. Taghipour, T. H. Hantosh, P. Alpert, M. Semawi, M. K. Ali, M. K. Al-Shabibi, Z. Al-Oulan, T. Zatari, I. Al Dean Khelet, S. Hamoud, R. Sagir, M. Demircan, M. Eken, M. Adiguzel, L. Alexander, T. C. Peterson, and T. Wallis 2005: Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, *J. Geophys. Res.*, 110, D22104.

Ziv, B., Saaroni, H. and Alpert, P. 2004: The factors governing the summer regime of the eastern Mediterranean, *International Journal of Climatology*, 24: 1859-1871.

Ziv, B., Saaroni, H., Baharad, A., Yekutieli, D. and Alpert, P. 2005: Indications for aggravation in summer heat conditions over the Mediterranean Basin, *Geophys. Res. Lett.*, 32, 12, L12706.

Ziv, B. and Saaroni, H. 2011: The contribution of moisture to heat stress in a period of global warming: the case of the Mediterranean, *Climate Change*, 104(2): 305-315, DOI 10.1007/s10584-009-9710-3

2. תחום המים- רשימת מקורות

אבנימלך, י', א' אילון (2003). סדרי עדיפות לאומית בתחום איכות הסביבה בישראל. חיפה, הטכניון מוסד שמואל נאמן.

אבנימלך, י', ח' צבן, נ' פלר, ל' אמדור, א' אילון (2004). "חקלאות בת קיימא, כיצד לשמור קיום החקלאות בישראל כגורם סביבתי חיוני, בתוך י' אבנימלך, א' אילון (עורכים), סדרי עדיפות לאומית בתחום איכות הסביבה בישראל, כרך ג': סוגיות במינהל הסביבתי בישראל, חיפה, הטכניון, מוסד שמואל נאמן.

בקר, נ', ד' לביא, ח' שניר, י' סלינגר (2004). "הערכה ראשונית של כימות ההשפעות החיצוניות הכרוכות בהקמת מתקני התפלה בישראל.

בר-אור, י', ע' גולן-אנגלקו (2008). "היערכות להשלכות שינויי אקלים על משק המים", מים והשקיה, מס' 496, מרץ 32-39.

גבירצמן, ח' (2002). משאבי המים בישראל, ירושלים: יד בן צבי.

גבירצמן, ח' (2009). "סוגיית המים בין ישראל לפלשתינים, היקף מפעלי המים והביוב לישראלים ולפלסטינים ביו"ש", הנדסת מים, גיליון 65, אוקטובר, 2009, עמ' 38-51.

גבעתי, ע' (2006). מודל לחיזוי עונתי של נפחי מים בכנרת. ירושלים: משרד התשתיות הלאומיות, נציבות המים, השירות ההידרולוגי.

גבעתי, ע' וד' רוזנפלד (2011). "השפעת שינויי האקלים על מקורות המים בישראל". ספר תקצירים, הכנס המשותף של איגודי המים בישראל, 28 במרץ 2011, עמ' 18.

גולדרייך, י' (2010). ניתוח מגמות שינויי אקלים בישראל במהלך 30 השנה האחרונות. ירושלים: המשרד להגנת הסביבה, דוח מחקר 8-814.

גולן-אנגלקו, ע', י' בר-אור, ע' פייטלסון (2009). "השלכות שינויי האקלים על משאבי המים בישראל כבסיס למדיניות ההיערכות", בתוך: א' דפני, י' ליבשיץ (עורכים), הכינוס השנתי בנושא משבר המים: בעיות, רעיונות ופתרונות, תל אביב: אוניברסיטת תל אביב, עמ' 17-22.

גופן, מ' (2011). "איכות המים בכנרת: שמירת טבע, אספקת מים ומה שביניהם", הכנס ה-39 של האגודה האקולוגית הישראלית, מ.א. מגידו, 27-28.6.2011.

אורון, ג', ר' כרמלי, ע' שפיר, ע' סופר, א' מנצור (2011)? "הקמת איום אסדות התפלה בים לייצור מים חדשים: הגישה ההדונית". הנדסת מים, גיליון 73, מרץ, עמ' 24-27.

אלחנני ש' (2006). "שדרוג איכות הקולחים היבטים ההידרולוגיים", הנדסת מים, גיליון 46, יולי, עמ' 26-27.

אלפרט פ', וא' בן צבי (2001). השפעת שינויים אקלימיים על זמינות משאבי המים בישראל. ירושלים: נציבות המים, דוח מחקר.

אנגרט, א' וח' אילסר (2007). התחזית בידיים שלנו, ההתחממות הגלובלית בישראל. תל אביב: אדם טבע ודין.

ארבל, י', ר' ברנשטיין וד' יהודה (2010). "שמירה ושיתוף – ניהול משאבי המים של ישראל ושכנותיה", בתוך: ג' רוזנטל, ר' ארז (עורכים), *מדיניות סביבתית לניהול משק המים*. תל אביב: הארגונים הסביבתיים, עמ' 103–117.

בארי ש', נ' כרמון, א' שמיר (2005). *חיסכון במים במגזר העירוני*. חיפה: הטכניון.

בין, מ', י' אבנימלך, י' כסלו (2010). *ועדת החקירה הממלכתית בנושא משק המים בישראל*, חיפה <http://www.court.gov.il/mayim>

ביליק ח' (2009). "חובת האבחנה בין פחת לבין דלף", תגובה למאמר של דו"ח מוסד שמואל נאמן שפורסם בגיליון 505 של מים והשקיה, מאי 2009, *מים והשקיה*, גיליון 506, 38–39.

בן-גל, א', נ' לזרוביץ, ש' כהן, א' ירמיהו (2011). "ימים מותפלים להוסיף דשן או למערבב עם מים מליחים", *מים והשקיה*, מס' 514, ינואר-פברואר 18–25.

גלר, י' (2009). ארגון המים העולמי: מדד האחוז לפחת מים אינו אמין", *הנדסת מים*, גיליון 61, פברואר, עמ' 14–18.

גסר, ג', ד' מרקל וחובריהם (2011). "ניטור חומרי הדברה ומזהמים אורגניים באגן היקוות הכנרת", *הכנס השנתי ה-39 של האגודה האקולוגית הישראלית*. מ.א. מגידו, 27-28.6.2011.

גרוס, ע', ע' פרידלר וחובריהם (2011). "שימוש בטוח במים אפורים שמקורם בבית בודד להשקיית גינת הבית", *הכנס ה-39 של האגודה האקולוגית הישראלית*, מ.א. מגידו, 27-28.6.2011.

גרמז מ', ע' פרידלר, א' כץ (2010). "מיחזור מים אפורים: בתוך ג' רוזנטל, ר' ארז (עורכים), *מדיניות סביבתית לניהול משק המים*. תל אביב: הארגונים הסביבתיים, עמ' 57–66.

דאובר, י' (2010). *נתוני צריכת המים ברשויות המקומיות דו"ח שנתי 2009*. תל אביב: רשות המים.

דרורי, ש' (2009). *נתוני בסיס של משק המים בישראל לוועדת החקירה בעשור האחרון*. לוטם, אבן יהודה, הוכן לוועדת החקירה הממלכתית בנושא מים.

וייס, מ' וח' גבירצמן (2008). הערכת חידור למי התהום באמצעות מודלים של מעיינות שעונים ביהודה ושומרון. *כנס האגודה הישראלית למים*.

זהרי, ת' (2005). "צילינדרוס פרמופסיס – אצה לא רצויה נוספת התבייתה בכנרת". *אגמית*, גיליון 171, 13–15.

זוטא, נ' (2011). "מורה נבוכים לעולם מושגי פחת המים: כלי מעקב וטיפול מניעתי", *הנדסת מים*, גיליון 74, מאי-יוני, עמ' 22–25.

זיידה, מ' ומ' פרוביזור (2010). *תכנית אב ארצית ארוכת טווח למשק המים*, מסמך מדיניות מהדורה 2. תל אביב: רשות המים.

זיידה, מ' ומ' פרוביזור (2009). "צרכי ההתפלה לטווח הבינוני והארוך", בתוך הכנס השנתי של איגוד המים.

זעירא, ש', נ' קליאוט (2001). "קציר מים", *מים והשקיה*, 419, עמ' 14–19.

חיים וסביבה (2010). "מחיר המים למשקי בית ככלי בניהול משק המים", בתוך: ג' רוזנטל, ר' ארז (עורכים), *מדיניות סביבתית לניהול משק המים*, תל אביב: הארגונים הסביבתיים, עמ' 51–56.

טנא, א' (2010). "ההתפלה בישראל", *אגמית*, גיליון 184, ינואר, 5–7.

יחיאלי א' (2010). "איסוף גשם – מפנה בתודעה סביבתית", *מים והשקיה*, 513, אוקטובר-נובמבר, 36–38.

ישראל, משרד התשתיות, רשות המים (2009), *בחינת אפשרויות לחיסכון במים בגינון על רקע בצורת 2008*. תל אביב: רשות המים.

ישראל, המשרד להגנת הסביבה (2010). *ניטור מים ונחלים דו"ח פעילות לשנת 2009*, ירושלים: המשרד להגנת הסביבה: אגף מים ונחלים.

ישראל, המשרד להגנת הסביבה (2010). *ניטור מים ונחלים דו"ח פעילות לשנת 2009*, ירושלים: רשות הטבע והגנים, היחידה הסביבתית, מדור ניטור נחלים.

ישראל, משרד התשתיות, רשות המים (2009). *תשובות לשאלות של ועדת בין*.

כהן, א' (2011). "הזרמת שפכים וקולחים בנחלי יהודה ושומרון, הערכת מצב". *אקולוגיה וסביבה*, כרך 2, גיליון 2, מאי, 126–132.

כסלו, י' (2011). "פריון המים בחקלאות". *מים והשקיה*, מס' 515, אפריל, עמ' 8–12.

כסלו, י' (2008). "מים ביישובים הפלשתינים, הנדסת מים, גיליון 55, פברואר, 30–36.

כרמון, נ', א' שמיר (2011). "סוגיה במסגרת תכנית האב של משק המים", *הנדסת מים*, גיליון 73, מרץ, עמ' 36–45.

לביא, ד' (2008). "הערך הכלכלי של אמינות אספקת המים לחקלאות", *הנדסת מים, גיליון 55*, פברואר, 10–14.

לביא, ד' (2006). "שדרוג קולחים ושימושם בחקלאות, חלק א'", *הנדסת מים, גיליון 43*, ינואר-פברואר 2006, 38–41.

להב, ר', ד' רוזנפלד (2006). "הערכת פוטנציאל הגברת הגשם בארץ בשיטות זריעה שונות", *מים והשקיה*, מס' 480, עמ' 22–33.

לסטר, ר', ר' אלמוג, ד' ליבני, מ' רוזנטל (2010). *בחינה והתאמה של בניה משמרת מים בשיטת ה-LID בתנאי הארץ*. ירושלים: משרד התשתיות, רשות המים. דוח מחקר.

מושקוביץ ש' (2011). "סיכון סביבתי ובריאותי ממצב התשתיות והשפכים ברשות הפלשתינית", *מים אנרגיה וסביבה*, 77, 10–12.

מוקדלה ח', וע' פרידלר (2011). "קציר גשם מגגות כמקור מים אלטרנטיבי להקטנת השימוש במים במגזר העירוני", הכנס השנתי ה-39 של האגודה האקולוגית הישראלית, מ.א. מגידו, 27-28.6.2011.

מושקוביץ ש' (2011). "סיכון סביבתי ובריאותי ממצב התשתיות והשפכים ברשות הפלשתינית", מים אנרגיה וסביבה, גיליון 77, עמ' 10-12.

מרקל, ד' (2006). מפלס המינימום המומלץ בכינרת אגמית, גיליון 176, ינואר-מרץ, 10-13.

נתניהו, ס' (2007). היבטים כלכליים של מפעלי ניקוז, תל אביב: תה"ל, דוח שהוכן עבור משרד החקלאות אגף שימור קרקע וניקוז.

עינב א' (2006). תמצית דוח סקירה וניתוח של מחקרי התפלה וטיפול במים, "הנדסת מים, גיליון מס' 44, מרץ-אפריל, עמ' 22-30.

רוזנטל, ג', מ' פרלמוטר, נ' פפאי (2010). "מאזן מים סביבתי ועלותו". בתוך: ג' רוזנטל, ר' ארז (עורכים), *מדיניות סביבתית לניהול משק המים*. תל אביב: הארגונים הסביבתיים, עמ' 131-137.

רוזנטל, ג', מ' פרלמוטר, נ' פפאי (2010). "מקורות המים הלא טבעיים: התפלה – ביוב – קולחים", בתוך: ר' רוזנטל, ר' ארז (עורכים), *מדיניות סביבתית לניהול משק המים*. תל אביב: הארגונים הסביבתיים, עמ' 123-128.

רוזנטל, ג', מ' פרלמוטר, נ' פפאי (2010). "הצריכה הביתית", בתוך: ג' רוזנטל, ר' ארז (עורכים), *מדיניות סביבתית לניהול משק המים*. תל אביב: קרן ברכה, ידידי כדור הארץ, מגמה ירוקה החברה להגנת הטבע אדם טבע ודין, חיים וסביבה ועוד, עמ' 45-50.

רוזנטל, ג', מ' פרלמוטר, נ' פפאי (2010). "הצריכה החקלאית". בתוך: ג' רוזנטל, ר' ארז (עורכים), *מדיניות סביבתית לניהול משק המים*. תל אביב: הארגונים הסביבתיים, עמ' 69-73.

רוזנטל, ג', ר' ארז (עורכים) (2010). *מדיניות סביבתית לניהול משק המים*. תל אביב: ידידי כדור הארץ, מגמה ירוקה החברה להגנת הטבע אדם טבע ודין, ואחרים (הארגונים הירוקים).

רוזנטל, ג', מ' פרלמוטר, נ' פפאי (2010). "השבת מים לנחלים ולבתי הגידול הלחים ושמירת מפלסים גבוהים באקוויפרים ובכנרת, בתוך: ג' רוזנטל, ר' ארז (עורכים), *מדיניות סביבתית לניהול משק המים*. תל אביב: הארגונים הסביבתיים, עמ' 67-68.

רימר, א', י' סלינגר (2006). "מודל הידרולוגי לאגן קרסטי: יישום למקורות נהר הירדן", *הנדסת מים, גיליון 43*, ינואר-פברואר, עמ' 12-17.

רימר, א' (2004). "השפיעה במעיין הדן – מודל לניתוח הספיקה", *הנדסת מים, גיליון 48*, נובמבר-דצמבר, 24-29.

שוכל, ה' (2009). "בעד מים לטבע – נגד סבסוד המים לחקלאות", *הנדסת מים, גיליון 63*, עמ' 18-25.

שוכל, ה' (2006). "לשמור על ישראל ירוקה", *מים והשקיה, מס' 480*, עמ' 8-14.

שחק, מ', א' קרניאלי (2009). "עליה בתדירות הבצורות וקריסת מערכות אקולוגיות בנגב: הקשר בין שינויי אקלים ותפקוד אקו-סיסטמות, בתוך: כנס שינויי אקלים בישראל 2009. ירושלים: המשרד להגנת הסביבה.

Allan J.A. (2001). *The Middle East Water Questions: Hydropolitics and the Global Economy*. London: I.B. Touris.

Alpert P. (2011). "Global Warming Projected Atmospheric Water Budget Changes over the Mediterranean with Focus on Israel – Are we drying?"

ספר תקצירים, הכנס המשותף של איגוד המים בישראל, 28 במרץ 2011, עמ' 1

Assouline S., K. Narkis and D. Or (2010). "Evaporation from Partially Covered Water Surfaces", *Water Resources Research*, Vol. 46, 1-12.

Ben-Asher J., P. Alpert and A. Ben Zvi (Forthcoming). "Dew is a Major factor Affecting Vegetation water use efficiency rather than a source of water in the Eastern Mediterranean.

Bruins H. & H.K. Kafle (2009). "Climatic trends in Israel 1970-2002: Warmer and increasing aridity inland", *Climatic Change*, 96, 63-77.

Chenoweth J., P. Hazinicolacou, A. Bruggeman, J. Lelieveld, Z. Levin et al. (2011). "Impact of Climate Change on the Water Resources of the Eastern Mediterranean and Middle East Region: Modeled 21st century changes and implications", *Water Resources Research*, Vol. 47, 1-18.

Givati A. and D. Rosenfeld (2005). "Separation between Cloud Seeding and Air Pollution Effects", *Journal of Applied Meteorology*, 43, 1038-1056.

Givati A. and D. Rosenfeld (2004). "Quantifying Precipitation Suppression Due to Air Pollution", *Journal of Applied Meteorology*, 43, 1038-1056.

Givati A. and D. Rosenfeld (2007). "Possible Impacts of Anthropogenic aerosols on water Resources of the Jordan River and the Sea of Galilee", *Water Resources Research*, Vol. 47, 1-15.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Sciences Basis*. Switzerland: Geneva, IPCC (<http://www.ipcc.ch/>).

Jin P., A. Kitoh & P. Alpert (2010). Water Cycle Changes over the Mediterranean: A Comparison Study of a Super-high-resolution global model with CMIP3, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 268, 1-13.

Jin P., A. Kitoh & P. Alpert (2011). "Climatological Relationship Among the Moisture Budget Components and Rainfall Amounts over the Mediterranean based on a Super-high-resolution Climate Model", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 116, 1-13.

Kamai, T., N. Weisbrod and M.I. Drugila (2009). "Impact of Ambient Temperature on Evaporation from Surface – exposed fractures", *Water Resources Research*, Vol. 45, 1-11.

Kitoh A., A. Yatagai and P. Alpert (2008). "First Super-high-resolution Model Projection that the ancient "fertile Crescent" will disappear in this Century", *Hydrological Research Letters*, 2, 1-4.

Krichak S., J.S. Breitgand, R. Samuels and P; Alpert (2011). "A double-resolution transient RCM Climate change Simulation Experiment for Near-Coastal Eastern Zone of the Eastern Mediterranean Region", *Theoretical Applied Climatology*, Vol. 103, 167-195.

Krichak S. & J.S. Breitgand (2010). "Evaluating Effects of Tropospheric Dynamics in Extreme Precipitation Climate Events in the Mediterranean", *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, EGU 2010-11618 general Assembly.

Krichak S., P. Alpert and P. Kunin (2009). "Projections of Climate Change over non-boreal East Europe during first half of twenty-first century according to results of a transient RCM Experiment", in: P.Y. Groisman and S.V. Ivanov (eds.), *Regional Aspects of Climate – Terrestrial Hydrologic Interactions in Non_boreal Eastern Europe*, Springer, pp. 55-63.

Kunstmann H. et al. (2009). *Regional Climate Scenario in Glowa Jordan River, An Integrated Approach to sustainable Management of Water Resources under Global Change*. Phase II, Final Report, pp. 55-72.

Laronne J., I. Shentsis, P. Alpert (Forthcoming). "Red Sea Through Floods in the Negev, Israel", *Hydrological Science Journal*, No. DATA.

Levin Z., N. Halfon, P. Alpert (2011). "Reply to Comment" by Ben Zvi, A.D. Rosenfeld and A. Givati on the Paper: Levin Z., N. Halfon and P. Alpert, Reassessment of rain experiments and operations in Israel including synoptic considerations", *Atmospheric Research*, 99, 593-596.

Levin Z., N. Halfon, P. Alpert (2010). "Reassessment of Rain Experiments and Operations in Israel including Synoptic Considerations", *Atmospheric Research*, 97, 513-525.

Mediterranean Water Scarcity and Drought Working Group (2010). *State of the Art on Drought and Water Scarcity in the Mediterranean*, EUWI MED, EU.

Menzel L., E. Teichert, M. Weiss (2007). *Climate Change Impact on Water Resources of the Semi-Arid Jordan Region*, Glowa Jordan River project. (<http://www.glowa-Jordan-river.de/>).

Morin, E. (2011). "To Know what we can not know: Global Mapping of Minimal Detectable Absolute Trends in Annual Precipitation", *Water Resources Research*, 47, 1-9.

Peleg N., H. Gvirtzmann (2010). "Groundwater Flow Modeling", *Journal of Hydrology*, 388, 13-27.

Rimmer A., G. Gal, T. Ophir, Y. Lechinsky and Y. Yacobi (2011). "Mechanisms of long-term variations in the thermal structure of a Warm Lake", *Limnological Oceanography*, Vol. 56(3), 974-988.

Rimmer A., R. Samuels, Y. Lechinsky (2009). "A Comprehensive Study across methods and time scales to estimate surface fluxes from Lake Kinneret, Israel", *Journal of Hydrology*, Vol. 379, 181-192.

Rimmer A. (2008). "Systems Hydrology models for the upper catchments of the Jordan River and Lake Kinneret, Israel", *Israel Journal of Earth Sciences*, Vol. 56, 1-17.

Rosenfeld D., U. Lohmann, G. Raga and C. O'Dowd (2008). "Flood or Drought: How Do Aerosols Affect Precipitation?" *Science*, Vol. 321, 5.9.2008, pp. 1309-1313.

Samuels R., A. Rimmer, A. Hartmann, S. Krichak and P. Alpert (2010). "Climate Change Impacts on Jordan River Flow: Downscaling Application from a Regional Climate Model", *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 11, 860-879.

Samuels R., A. Rimmer & P. Alpert (2010). "Effect of extreme rainfall events on the water resources of the Jordan River", *Journal of Hydrology*, Vol. 375, 513-523.

Shaban, A. (2009). Indicators and Aspects of Hydrological Drought in Lebanon", *Water Resources Management*, Vol. 23, 1875-1891.

Sheffer, N.A., E. Dafny, H. Gvirtzman, S. Navon, A. Frumkin and E. Morin (2010). "Hydrological daily recharge assessment model for the Western Mountain Aquifer Israel", *Water Resources Research*, Vol. 46, 1-16.

Shen, Y., C. Liu, M. Liu et al. (2010). "Change in Pan Evaporation over the Past 50 years in Arid Region in China", *Hydrological Process*, 24, 225-231.

Tanay J., S. Cohen, S. Assouline, F. Lange et al. (2008). "Evaporation from a small water reservoir: Direct Measurements and Estimates", *Journal of Hydrology*, 351, pp. 218-229.

Trenberth K. (2011), "Changes in Precipitation with Climate Change", *Climate Research*, Vol. 47, 123-138, 2011, 123-138.

General:

A Commission on climate change. (2009). *Lancet*, 373(9676), 1659

Akerlof, K., Debono, R., Berry, P., Leiserowitz, A., Roser-Renouf, C., Clarke, K. L., Rogaeva, A., Nisbet, M. C., Weathers, M. R. & Maibach, E. W. (2010). Public perceptions of climate change as a human health risk: surveys of the United States, Canada and Malta. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(6), 2559-2606.

Bezirtzoglou, C., Dekas, K., & Charvalos, E. (2011). Climate changes, environment and infection: Facts, scenarios and growing awareness from the public health community within Europe. *Anaerobe.* , In Press, Uncorrected Proof. doi: 10.1016/j.anaerobe.2011.05.016.

Bush, K. F., Lubber, G., Kotha, S. R., Dhaliwal, R. S., Kapil, V., Pascual, M., Brown, D.G., Frumkin, H., Dhiman, R.C., Hess, J., Wilson, M.L., Balakrishnan, K., Eisenberg, J., Kaur, T., Rood, R., Batterman, S., Joseph, A., Gronlund, C.J., Agrawal, A., & Hu, H. (2011). Impacts of climate change on public health in India: future research directions. *Environmental Health Perspectives*, 119(6), 765-770.

Costello, A., Abbas, M., Allen, A., Ball, S., Bell, S., Bellamy, R., Friel, S., Groce, N., Johnson, A., Kett, M., Lee, M., Levy, C., Maslin, M., McCoy, D., McGuire, B., Montgomery, H., Napier, D., Pagel, C., Patel, J., de Oliveira, J. A., Redclift, N., Rees, H., Rogger, D., Scott, J., Stephenson, J., Twigg, J., Wolff, J., & Patterson, C. (2009). Managing the health effects of climate change. *Lancet*, 373(9676), 1693-1733.

Díaz, J., Jordán, A., García, R., López, C., Alberdi, J. C., Hernández, E., et al. (2002). Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly. *Int Arch Occup Environ Health*, 75(3), 163-170.

Douglas, A. S., al-Sayer, H., Rawles, J. M., & Allan, T. M. (1991). Seasonality of disease in Kuwait. *Lancet*, 337(8754), 1393-1397.

Epstein, P. R., Diaz, H. F., Elias, S., Grabherr, G., Graham, N.E., Martens, W. J. M., Mosley-Thompson, E., & Susskind, E.J. (1998). Biological and physical signs of climate change: focus on mosquito-borne disease. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(3), 409-417.

Epstein, P. R., & McCarthy, j. j. (2004). Assessing climate stability. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(12), 1863-1870.

Epstein, P. R. (2005). Climate change and human health. *New England Journal of Medicine*, 353(14), 1433-1436.

Epstein, P. R. (2007). Climate change: healthy solutions. *Environmental Health Perspectives*, 115(4), A180-181.

- Frumkin, H., Hess, J., & Vindigni, S. (2007). Peak petroleum and public health. *JAMA*, 298, 1688-1690.
- Frumkin, H. M. A., & Hess, J. (2008). Climate Change and the Health of the Public. *American journal of preventive medicine*, 35(5), 401-402.
- Habib, R. R., Zein, K. E., & Ghanawi, J. (2010). Climate change and health research in the Eastern Mediterranean Region. *Ecohealth*, 7(2), 156-175.
- Haines, A., Kovats, R. S., Campbell-Lendrum, D., & Corvalan, C. (2006). Climate change and human health: impacts, vulnerability and public health. *Public Health*, 120(7), 585-596.
- Haines, A., Kovats, R. S., Campbell-Lendrum, D., & Corvalan, C. (2006). Climate change and human health: impacts, vulnerability, and mitigation. *Lancet*, 367(9528), 2101-2109.
- Jendritzky, J., & de Dear, R. (2009). Adaptation and Thermal Environment. In K.L. Ebi, I. Burton & G. R. McGregor (Eds.), *Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change* (pp.9-32). Netherlands: Springer.
- Kan, H. (2011). Climate Change and Human Health in China. *Environmental Health Perspectives*, 119(2), a60-61.
- Khalaj, B., Lloyd, G., Sheppard, V., & Dear, K. (2010). The health impacts of heat waves in five regions of New South Wales, Australia: a case-only analysis. *International archives of occupational and environmental health*, 83(7), 833-842.
- Longstreth, J. (1991). Anticipated public health consequences of global climate change. *Environmental Health Perspectives*, 96, 139-144.
- Luber, G., & Prudent, N. (2009). Climate change and human health. *Transactions of The American Clinical and Climatological Association*, 120, 113-117.
- McMichael, A. J., & Butler, C. D. (2011). Promoting global population health while constraining the environmental footprint. *Annual Review of Public Health*, 32, 179-197.
- McMichael, A. J., & Lindgren, E. (2011). Climate change: present and future risks to health, and necessary responses. *Journal of Internal Medicine*. In Press. doi: 10.1111/j.1365-2796.2011.02415.x).
- O'Neill, M. S., & Ebi, K. L. (2009). Temperature extremes and health: impacts of climate variability and change in the United States. *Journal of occupational and environmental medicine*, 51(1), 13-25.
- Orshan, L. (2011). A sharp increase in the natural abundance of sand flies in Kfar Adummim, Israel. *Journal of Vector Ecology*, 36 Suppl 1, S128-131.

Patz, J. A., McGeehin, M. A., Bernard, S. M., Ebi, K. L., Epstein, P. R., Grambsch, A., Gubler, D.J., Reither, P., Romieu, I., Rose, J.B., Samet, J.M., & Trtanj, J. (2000). The Potential Health Impacts of Climate Variability and Change for the United States: Executive Summary of the Report of the Health Sector of the U.S. National Assessment. *Environmental Health Perspectives*, 108(4), 367-376.

Roberts, I. (2009). The health co-benefits of climate change policies: doctors have a responsibility to future generations. *Clinical Medicine*, 9(3), 212-213.

Preet, R., Nilsson, M., Schumann, B., & Evengård, B. (2010). The gender perspective in climate change and global health. *Global Health Action*, 3, 5720-5727.

World Health Organization. Dept. of Protection of the Human Environment. (2003). *Climate change and human health: risks and responses: summary*. Geneva: World Health Organization. [Retrieved from <http://www.who.int/globalchange/publications/cchhsummary/en/index.html> (Viewed at 22.8.2011)]

World Health Organization. Regional Office for Europe. (2011). *Climate change, extreme weather events and public health: meeting report 29 - 30 November 2010 Bonn, Germany*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. [Retrieved from <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environment-and-health/Climate-change/publications/2011/climate-change,-extreme-weather-events-and-public-health> (viewed at 17.8.2011)]

המשרד להגנת הסביבה, בית הספר ללימודי הסביבה ע"ש פורטר אוניברסיטת תל אביב, בית הספר לבריאות הציבור אוניברסיטת תל אביב. (2009). *השפעת שינויי אקלים על בריאות הציבור – חוברת תקצירים*. תל אביב: אוניברסיטת תל אביב.

זיו ברוך, סערוני הדס, אלפרט, פינחס (2011). *תנודות ומגמות בטמפרטורה, בעומס חום ובמשקעים בישראל ב- 30 השנים האחרונות – האם עדות לשינוי אקלימי? בחינה קלימטולוגית-סינופטית*. דוח מחקר מסכם.

Web sites:

Bakir, H. (2011). WHO/ CEHA Collaborative Programme on Climate Change and Health in Jordan [PDF slides]. World Health Organization [Retrieved from http://www.who.int/globalchange/mediacentre/events/2011/Bakir_Introduction_and_status_on_the_WHO_component_of_the_MDGF.pdf (viewed at 20.7.2011)]

Bambrick, H., Dear, K., Woodruff, R., Hanigan, I., & McMichael, A. (2008). The impacts of climate change on three health outcomes: Temperature-related mortality and hospitalisations, salmonellosis and other bacterial gastroenteritis, and population at risk from dengue. *Garnaut Climate Change Review*. [Retrieved from

http://www.garnautreview.org.au/domino/Web_Notes/Garnaut/garnautweb.nsf (viewed at 19.7.2011)]

Center for Disease Control and Prevention (2009, December 14). CDC Policy on Climate Change and Public Health: Scientific Framework. [Retrieved from http://www.cdc.gov/climatechange/pubs/Climate_Change_Policy.pdf (Viewed at 20.7.2011)]

Center for Disease Control and Prevention (2011, January 4). Climate Change & Public Health brochure. [Retrieved from http://www.cdc.gov/climatechange/pubs/Davis_climate_change_brochure.pdf (Viewed at 20.7.2011)]

Center for Disease Control and Prevention (2011, May 13). Morbidity and Mortality Weekly Report: Summary of Notifiable Diseases, United States, 2009. [Retrieved from <http://www.cdc.gov/mmwr/PDF/wk/mm5853.pdf> (Viewed at 21.7.2011)]

Expert Group on Climate Change and Health in the UK (2001). Health effects of climate change in the UK - 2001/2002 report. United Kingdom, Department of Health. [Retrieved from http://www.dh.gov.uk/en/Publicationsandstatistics/Publications/PublicationsPolicyAndGuidance/DH_4007935 (Viewed at 20.7.2011)]

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K., & Reisinger, A. (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. pp 104. [Retrieved from http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm (Viewed at 16.8.2011)]

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., & Hanson, C.E. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7-22. [Retrieved from <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-spm.pdf> (Viewed at 20.7.2011)]

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. [Retrieved from <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf> (Viewed at 18.8.2011)]

Menne, B. (2007, October 2). Climate change and Human health [PDF slides]. Retrieved from http://www.env-health.org/IMG/pdf/Climate_change_and_human_health_Bettina_Menne.pdf (Viewed at 20.7, 2011)

Nerlander, L. (2009). Climate Change and Health 2009. Commission on Climate Change and Development [Retrieved from <http://www.climatecentre.org/downloads/Climate%20change%20and%20health.pdf> (Viewed at 20.7.2011)]

Paz, S., Xoplaki, E., & Gershunov, A. (2010). Scientific Report of the Workshop: Impacts of Mediterranean Climate Change on Human Health. The European Science Foundation (ESF) – MedClivar, January 2010, 10 pp. [Retrieved from http://www.medclivar.eu/Science_meeting_reports_FinalReport2488.pdf (viewed at 19.7.2011)]

Portier, C.J., Thigpen, T. K., Carter, S.R., Dilworth, C.H., Grambsch, A.E., Gohlke, J., Hess, J., Howard, S.N., Luber, G., Lutz, J.T., Maslak, T., Prudent, N., Radtke, M., Rosenthal, J.P., Rowles, T., Sandifer, P.A., Scheraga, J., Schramm, P.J., Strickman, D., Trtanj, J.M., & Whung, P.Y. (2010). A Human Health Perspective On Climate Change: A Report Outlining the Research Needs on the Human Health Effects of Climate Change. Research Triangle Park, NC: Environmental Health Perspectives/National Institute of Environmental Health Sciences. [Retrieved from www.niehs.nih.gov/climate-report (Viewed at 3.8.2011)]

United Nations Environment Programme (2011, April 1). Secretary-General Ban Ki-moon welcomes new report on efforts to green the UN. [Retrieved from http://www.un.org/en/sustainability/pdfs/UN_Greenhousegas.pdf (viewed at 20.7.2011)]

United State Environmental Protection Agency (2011, April 14). EPA's Endangerment Finding - Climate Change Facts. [Retrieved from <http://www.cdc.gov/mmwr/PDF/wk/mm5853.pdf> (Viewed at 20.7.2011)]

Whiteman, G. M. (2011). Making Sense of Climate Change: How to Avoid the Next Big Flood. Erasmus Research Institute of Management (ERIM). [Retrieved from <http://hdl.handle.net/1765/22952> (Viewed at 19.7.2011)]

World Health Organization .(n.d.) WHO's suggestions to protect health from climate change. [Retrieved from http://www.who.int/globalchange/health_policy/cop16_messaging_climate_change_health.pdf (viewed at 20.7.2011)]

World Health Organization. (2011, March 21). Piloting climate change adaptation to protect human health project in Amman. [Retrieved from <http://www.who.int/globalchange/mediacentre/events/2011/InceptionWorkshopNews.pdf> (viewed at 20.7.2011)]

World Health Organization. Regional Office for Europe. (2010). Protecting health in an environment challenged by climate change: European Regional Framework for Action. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe. [Retrieved from <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environment-and-health/Climate-change/publications/protecting-health-in-an-environment-challenged-by-climate-change-european-regional-framework-for-action> (viewed at 18.8.2011)]

Communicable diseases (infectious)

General

Ashkenazi-Hoffnung, L., Kaufman, Z., Bromberg, M., Block, C., Keller, N., Dictar, R., Goldberg, A., Green, M. S. (2009). Seasonality of *Bacillus* species isolated from blood cultures and its potential implications. *American journal of infection control*, 37(6), 495-499.

Ebi, K. L. (2008). Adaptation costs for climate change-related cases of diarrhoeal disease, malnutrition, and malaria in 2030. *Globalization and health*, 4(1), 1-9.

Hartz, D. A., Golden, J. S., Sister, C., Chuang, W. C., & Brazel, A. J. (2011). Climate and heat-related emergencies in Chicago, Illinois (2003-2006). *International Journal of Biometeorol.* [Epub ahead of print. doi: 10.1007/s00484-010-0398-x]

Institute of Medicine (IOM). (2008). *Global climate change and extreme weather events: understanding the contributions to infectious disease emergence*. Washington, DC: The National Academies Press. [Retrieved from <http://www.nap.edu/catalog/12435.html> (viewed at 19.7.2011)]

Lafferty, K. D. (2009). The ecology of climate change and infectious diseases. *Ecology*, 90(4), 888-900.

Novikov, I., Kalter-Leibovici, O., Chetrit, A., Stav, N., & Epstein, Y. (2011). Weather conditions and visits to the medical wing of emergency rooms in a metropolitan area during the warm season in Israel: a predictive model. *International Journal of Biometeorology*. [Epub ahead of print, doi: 10.1007/s00484-011-0403-z]

Patz, J. A., Graczyk, T. K., Geller, N., & Vittor, A. Y. (2000). Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. *International Journal for Parasitology*, 30(12-13), 1395-1405.

Rosenthal, J. (2009). Climate change and the geographic distribution of infectious diseases. *Ecohealth*, 6(4), 489-495.

Semenza, J. C., & Menne, B. (2009). Climate change and infectious diseases in Europe. *The Lancet infectious diseases*, 9(6), 365-375.

Stein-Zamir, C., Shoob, H., Abramson, N., Zentner, G., & Agmon, V. (2009). The changing panorama of bacterial enteric infections. *Epidemiology and Infection*, 137(11), 1531-1537.

Stone, L., Olinky, R., & Huppert, A. (2007). Seasonal dynamics of recurrent epidemics. *Nature*, 446(7135), 533-536.

World Health Organization. Dept. of Epidemic and Pandemic Alert and Response., World Health Organization. Dept. of Protection of the Human Environment., & Global Partnership to Roll Back Malaria. (2005). Using climate to predict infectious disease epidemics. Geneva: World Health Organization. [Retrieved from <http://www.who.int/globalchange/publications/infectdiseases.pdf> (viewed at 18.8.2011)]

Vector borne diseases

Aharonowitz, G., Koton, S., Segal, S., Anis, E., & Green, M. S. (1999). Epidemiological characteristics of spotted fever in Israel over 26 years. *Clinical infectious diseases*, 29(5), 1321-1322.

Alto, B. W., & Juliano, S. A. (2001). Temperature effects on the dynamics of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) populations in the laboratory. *Journal of Medical Entomology*, 38(4), 548-556.

Bacaër, N., & Guernaoui, S. (2006). The epidemic threshold of vector-borne diseases with seasonality: the case of cutaneous leishmaniasis in Chichaoua, Morocco. *Journal of Mathematical Biology*, 53(3), 421-436.

Bisharat, N., & Raz, R. (1996). *Vibrio* infection in Israel due to changes in fish marketing. *Lancet*, 348(9041), 1585-1586.

Center for Disease Control and Prevention (2011). Dengue virus infections among travelers returning from haiti --- georgia and nebraska, october 2010. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 60(27), 914-917. [Retrieved from <http://www.cdc.gov/mmwr/pdf/wk/mm6027.pdf> (Viewed at 21.7.2011)]

Center for Disease Control and Prevention. (2010, June 09). Dengue & Climate. [Retrieved from <http://www.cdc.gov/dengue/entomologyEcology/climate.html#climate> (Viewed at 7.8.2011)]

Chaves, L. F., & Pascual, M. (2006). Climate cycles and forecasts of cutaneous leishmaniasis, a nonstationary vector-borne disease. *PLoS Med*, 3(8), e295. doi:10.1371/journal.pmed.0030295

Cohen, D., Green, M., Block, C., Slepon, R., Ambar, R., Wasserman, S. S & Levin, M. M. (1991). Reduction of transmission of Shigellosis by control of houseflies (*Musca Domestica*). *The Lancet*, 337, 993-997.

Egbendewe-Mondzozo, A., Musumba, M., McCarl, B. A., & Wu, X. (2011). Climate change and vector-borne diseases: an economic impact analysis of malaria in Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(3), 913-930.

Epstein, P.R., & Defilippo, C. (2001). West Nile Virus and drought. *Global Change and Human Health*, 2(2), 105-107.

Ermert, V., Fink, A. H., Jones, A. E., & Morse, A. P. (2011). Development of a new version of the Liverpool Malaria Model. II. Calibration and validation for West Africa. *Malaria journal*, 10(1), 1-19.

European Centre for Disease Prevention and Control. (2011). Consultation on mosquito-borne disease transmission risk in Europe: meeting report. 26 November 2010 Paris. [Retrieved from http://ecdc.europa.eu/en/publications/Publications/1102_MER_Consultation_on_%20mosquito-borne_diseases.pdf (viewed at 17.8.2011)]

European Centre for Disease Prevention and Control. (2011). Expert consultation on West Nile virus infection: meeting report. 25–26 January 2011 Thessaloniki. [Retrieved from http://ecdc.europa.eu/en/publications/Publications/1106_MER_WNV_Expert_Consultation.pdf (viewed at 17.8.2011)]

Gage, K. L., Burkot, T. R., Eisen, R. J., & Hayes, E. B. (2008). Climate and vectorborne diseases. *American journal of preventive medicine*, 35(5), 436-450.

Gething, P. W., Smith, D. L., Patil, A. P., Tatem, A. J., Snow, R. W., & Hay, S. I. (2010). Climate change and the global malaria recession. *Nature*, 465(7296), 342-345.

Gillis, D., Slepson, R., Karsenty, E., & Green, M. (1990). Seasonality and long-term trends of pediculosis capitis and pubis in a young adult population. *Archives of dermatology*, 126(5), 638-641.

Gjenero-Margan, I., Aleraj, B., Krajcar, D., Lesnikar, V., Klobučar, A., Pem-Novosel, I., Kurečić-Filipović, S., Komparak, S., Martić, R., Duričić, S., Betica-Radić, L., Okmadžić, J., Vilibić-Čavlek, T., Babić-Erceg, A., Turković, B., Avsić-Županc, T., Radić, I., Ljubić, M., Sarac, K., Benić, N., & Mlinarić-Galinović, G. (2011). Autochthonous dengue fever in Croatia, August-September 2010. *Euro Surveill*, 16(9), 1-4.

Green, M. S., Weinberger, M., Ben-Ezer, J., Bin, H., Mendelson, E., Gandacu, D., Kaufman, Z., Dichtiar, R., Sobel, A., Cohen, D., & Chowders, M. Y. (2005). Long-term Death Rates, West Nile virus epidemic, Israel, 2000. *Emerging infectious diseases*, 11(11), 1754-1757.

Guha-Sapir, D., & Schimmer, B. (2005). Dengue fever: new paradigms for a changing epidemiology. *Emerging Themes in Epidemiology*, 2(1), 1-10.

Jacobson, R. L., Eisenberger, C. L., Svobodova, M., Baneth, G., Sztern, J., Carvalho, J., Nasereddin, A., El Fari, M., Shalom, U., Volf, P., Votypka, J., Dedet, J. P., Pratlong, F., Schonian, G., Schnur, L. F., Jaffe, C. L., & Warburg, A. (2003). Outbreak of cutaneous leishmaniasis in northern Israel. *Journal of Infectious Diseases*, 188(7), 1065-1073.

La Ruche, G., Souarès, Y., Armengaud, A., Peloux-Petiot, F., Delaunay, P., Desprès, P., Lenglet, A., Jourdain, F., Lepercq-Goffart, I., Charlet, F., Ollier, L., Mantey, K., Mollet, T., Fournier, J. P., Torrents, R., Leitmeyer, K., Hilairet, P., Zeller, H., Van Bortel, W., Dejour-Salamanca, D., Grandadam, M., & Gastellu-Etchegorry, M. (2010). First two autochthonous dengue virus infections in metropolitan France, September 2010. *Euro surveillance*, 15(39), 19676-19676.

Milly, P.C., Dunne, K.A., & Vecchia, A.V. (2005). Global pattern of trends in stream flow and water availability in a changing climate, *Nature*, 438(7066), 347-350.

Mimouni, D., Balicer, R. D., Levine, H., Klement, E., Bar-Zeev, Y., Davidovitch, N., & Zarka, S. (2009). Trends in the epidemiology of cutaneous leishmaniasis in a young adult population in Israel: a long-term survey. *International journal of dermatology*, 48(6), 611-613.

Orshan, L., Bin, H., Schnur, H., Kaufman, A., Valinsky, A., Shulman, L., Weiss, E., Mendelson, E., & Pener, H. (2008). Mosquito vectors of West Nile Fever in Israel. *Journal of Medical Entomology*, 45(5), 939-947.

Orshan, L., Szekely, D., Khalfa, Z., & Bitton, S. (2010). Distribution and seasonality of *Phlebotomus* sand flies in cutaneous leishmaniasis foci, Judean Desert, Israel. *Journal of Medical Entomology*, 47(3), 319-328.

Ostroi, P., Anis, E., & Green, M. S. (1996). Shigellosis in Israel--update 1995. *Public Health Rev*, 24(3-4), 213-225.

Paaijmans, K. P., Blanford, S., Bell, A. S., Blanford, J. I., Read, A. F., & Thomas, M. B. (2010). Influence of climate on malaria transmission depends on daily temperature variation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(34), 15135-15139.

Parham, P. E., & Michael, E. (2010). Modeling the effects of weather and climate change on malaria transmission. *Environmental Health Perspectives*, 118(5), 620-626.

Paz, S. (2006). The West Nile Virus outbreak in Israel (2000) from a new perspective: the regional impact of climate change. *International Journal of Environmental Health Research*, 16(1), 1-13.

Paz, S., & Albersheim, I. (2008). Influence of warming tendency on *Culex pipiens* population abundance and on the probability of West Nile fever outbreaks (Israeli Case Study: 2001-2005). *Ecohealth*, 5(1), 40-48.

Roiz, D., Neteler, M., Castellani, C., Arnoldi, D., & Rizzoli, A. (2011). Climatic factors driving invasion of the tiger mosquito (*Aedes albopictus*) into new areas of Trentino, northern Italy. *PLoS One*, 6(4), e14800. doi:10.1371/journal.pone.0014800

Sainz-Elipe, S., Latorre, J. M., Escosa, R., Masià, M., Fuentes, M. V., Mas-Coma, S., & Bargues, M. D. (2010). Malaria resurgence risk in southern Europe: climate assessment in an historically endemic area of rice fields at the Mediterranean shore of Spain. *Malaria journal*, 9(1), 221-237.

Schlein, Y., Warburg, A., Schnur, L. F., Le Blancq, S. M., & Gunders, A. E. (1984). Leishmaniasis in Israel: reservoir hosts, sandfly vectors and leishmanial strains in the Negev, Central Arava and along the Dead Sea. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 78(4), 480-484.

Seyler, T., Grandesso, F., Le Strat, Y., Tarantola, A., & Depoortere, E. (2009). Assessing the risk of importing dengue and chikungunya viruses to the European Union. *Epidemics*, 1(3), 175-184.

Soverow, J. E., Wellenius, G. A., Fisman, D. N., & Mittleman, M. A. (2009). Infectious disease in a warming world: how weather influenced West Nile virus in the United States (2001-2005). *Environmental Health Perspectives*, 117(7), 1049-1052.

Svobodova, M., Votypka, J., Peckova, J., Dvorak, V., Nasereddin, A., Baneth, G., Sztern, J., Kravchenko, V., Orr, A., Meir, D., Schnur, L. F., Volf, P., & Warburg, A. (2006). Distinct transmission cycles of *Leishmania tropica* in 2 adjacent foci, Northern Israel. *Emerging Infectious Diseases*, 12(12), 1860-1868.

Tanser, F. C., Sharp, B., & le Sueur, D. (2003). Potential effect of climate change on malaria transmission in Africa. *Lancet*, 362(9398), 1792-1798.

Wasserberg, G., Yarom, I., & Warburg, A. (2003). Seasonal abundance patterns of the sandfly *Phlebotomus papatasi* in climatically distinct foci of cutaneous leishmaniasis in Israeli deserts. *Med Vet Entomol*, 17(4), 452-456.

Wymann, M. N., Flacio, E., Radczuweit, S., Patocchi, N., & Luthy, P. (2008). Asian tiger mosquito (*Aedes albopictus*) - a threat for Switzerland? *Euro Surveill*, 13(10), 1-2.

Ya'ari, A., Jaffe, C. L., & Garty, B. Z. (2004). Visceral leishmaniasis in Israel, 1960-2000. *The Israel Medical Association journal*, 6(4), 205-208.

המשרד להגנת הסביבה. (15.8.2010). יתוש הנמר האסיאתי. [הוצא מתוך

<http://www.sviva.gov.il/bin/en.jsp?enPage=BlankPage&enDisplay=view&enDispWhat=Object&nDispWho=Articals^1724&enZone=yatush> (נצפה בתאריך 24.8.2011)

פז, ש. ואברהם, א. (2007). השפעת תנודות אקלימיות בקיץ הישראלי על גודל אוכלוסיית יתוש הבית המצוי (*Culex pipiens*) ועל מידת הסיכוי להתפרצות קדחת הנילוס המערבי (WNF). דו"ח מחקר.

Person to person

- Anis, E., Grotto, I., Moerman, L., Warshavsky, B., Slater, P. E., & Lev, B. (2011). Mumps outbreak in Israel's highly vaccinated society: are two doses enough? *Epidemiology and Infection*, 1-8. (Epub ahead of print, doi:10.1017/S095026881100063X)
- Ashkenazi, S., May-Zahav, M., Sulkes, J., Zilberberg, R., & Samra, Z. (1995). Increasing antimicrobial resistance of *Shigella* isolates in Israel during the period 1984 to 1992. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 39(4), 819-823.
- Chan, P. K., Mok, H. Y., Lee, T. C., Chu, I. M., Lam, W. Y., & Sung, J. J. (2009). Seasonal influenza activity in Hong Kong and its association with meteorological variations. *Journal of Medical Virology*, 81(10), 1797-1806.
- Egoz, N., Shmilovitz, M., Kretzer, B., Lucian, M., Porat, V., & Raz, R. (1991). An outbreak of *Shigella sonnei* infection due to contamination of a municipal water supply in northern Israel. *Journal of Infection*, 22(1), 87-93.
- Green, M. S., Block, C., & Slater, P. E. (1989). Rise in the incidence of viral hepatitis in Israel despite improved socioeconomic conditions. *Review of Infectious Diseases*, 11(3), 464-469
- Kolstad, E. W., & Johansson, K. A. (2011). Uncertainties associated with quantifying climate change impacts on human health: a case study for diarrhea. *Environmental Health Perspectives*, 119(3), 299-305.
- Onozuka, D., & Hashizume, M. (2011). Effect of weather variability on the incidence of mumps in children: a time-series analysis. *Epidemiology and Infection*, 1-9. (Epub ahead of print, doi:10.1017/S0950268810002967)
- Shaman, J., & Kohn, M. (2009). Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America*, 106(9), 3243-3248.
- Sloan, C., Moore, M. L., & Hartert, T. (2011). Impact of pollution, climate, and sociodemographic factors on spatiotemporal dynamics of seasonal respiratory viruses. *Clinical and Translational Science*, 4(1), 48-54.
- Tang, J. W., Lai, F. Y., Nymadawa, P., Deng, Y. M., Ratnamohan, M., Petric, M., Loh, T. P., Tee, N. W., Dwyer, D. E., Barr, I. G., & Wong, F. Y. (2010). Comparison of the incidence of influenza in relation to climate factors during 2000-2007 in five countries. *Journal of Medical Virology*, 82(11), 1958-1965.

Food borne

Cotty, P. J., & Jaime-Garcia, R. (2007). Influences of climate on aflatoxin producing fungi and aflatoxin contamination. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1-2), 109-115

Kang, J. X. (2011). Omega-3: a link between global climate change and human health. *Biotechnology Advances*, 29(4), 388-390.

Paz, S., Bisharat, N., Paz, E., Kidar, O., & Cohen, D. (2007). Climate change and the emergence of *Vibrio vulnificus* disease in Israel. *Environmental Research*, 103(3), 390-396.

Water borne

Du, W., FitzGerald, G. J., Clark, M., & Hou, X. Y. (2010). Health impacts of floods. *Prehospital & Disaster Medicine*, 25(3), 265-272.

Euripidou, E., & Murray, V. (2004). Public health impacts of floods and chemical contamination. *Journal of public health*, 26(4), 376-378.

Taylor, J., Lai, K., Davies, M., Clifton, D., Ridley, I., & Biddulph, P. (2011). Flood management: prediction of microbial contamination in large-scale floods in urban environments. *Environment international*, 37(5), 1019-1029.

Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Liermann, C. R., & Davies, P. M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315), 555-561.

Non communicable diseases

General

Analitis, A., Katsouyanni, K., Biggeri, A., Baccini, M., Forsberg, B., Bisanti, L., Kirchmayer, U., Ballester, F., Cadum, E., Goodman, P. G., Hojs, A., Sunyer, J., Tiittanen, P., & Michelozzi, P. (2008). Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE project. *American Journal of Epidemiology*, 168(12), 1397-1408.

Bouchama, A., & Knochel, J. P. (2002). Heat stroke. *The New England Journal of Medicine*, 346(25), 1978-1988.

Bouchama, A., Dehbi, M., Mohamed, G., Matthies, F., Shoukri, M., & Menne, B. (2007). Prognostic factors in heat wave related deaths: a meta-analysis. *Archives of Internal Medicine*, 167(20), 2170-2176.

Friel, S., Bowen, K., Campbell-Lendrum, D., Frumkin, H., McMichael, A. J., & Rasanathan, K. (2011). Climate change, noncommunicable diseases, and development: the relationships and common policy opportunities. *Annual Review of Public Health*, 32, 133-147.

Huynen, M. M., Martens, P., Schram, D., Weijenberg, M. P., & Kunst, A. E. (2001). The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. *Environmental Health Perspectives*, 109(5), 463-470.

Mäkinen, T. M., & Hassi, J. (2009). Health problems in cold work. *Industrial Health*, 47(3), 207-220.

Heart diseases

Bhaskaran, K., Hajat, S., Haines, A., Herrett, E., Wilkinson, P., & Smeeth, L. (2010). Short term effects of temperature on risk of myocardial infarction in England and Wales: time series regression analysis of the Myocardial Ischaemia National Audit Project (MINAP) registry. *BMJ*, 341, c3823. doi: 10.1136/bmj.c3823

Crawford, V. L., McCann, M., & Stout, R. W. (2003). Changes in seasonal deaths from myocardial infarction. *Monthly Journal of the Association of Physicians*, 96(1), 45-52.

Ebi, K. L., Exuzides, K. A., Lau, E., Kelsh, M., & Barnston, A. (2004). Weather changes associated with hospitalizations for cardiovascular diseases and stroke in California, 1983-1998. *International Journal of Biometeorology*, 49(1), 48-58.

Epstein, Y. (1990). Heat intolerance: predisposing factor or residual injury? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22(1), 29-35.

Green MS, Harari G & Kristal-Bone E (1994). Excess winter mortality from ischaemic heart disease and stroke during colder and warmer years in Israel. An evaluation and review of the role of environmental temperature. *European Journal of Public Health*, 4, 3-11.

Kysely, J., Pokorna, L., Kyncl, J., & Kriz, B. (2009). Excess cardiovascular mortality associated with cold spells in the Czech Republic. *BMC Public Health*, 9, 19-30.

Loughnan, M. E., Nicholls, N., & Tapper, N. J. (2010). The effects of summer temperature, age and socioeconomic circumstance on acute myocardial infarction admissions in Melbourne, Australia. *International Journal of Health Geographics*, 9, 41.

Näyhä, S. (2002). Cold and the risk of cardiovascular diseases. A review. *International Journal of Circumpolar Health*, 61(4), 373-380.

Baruch Ziv, Hadas Saaroni. (2011) The contribution of moisture to heat stress in a period of global warming: the case of the Mediterranean. *Climatic Change* 104:2, 305-315

Cancer

Bauer, J., Büttner, P., Wiecker, T. S., Luther, H., & Garbe, C. (2005). Risk factors of incident melanocytic nevi: a longitudinal study in a cohort of 1,232 young German children. *International Journal of Cancer*, 115(1), 121-126.

Bharath, A. K., & Turner, R. J. (2009). Impact of climate change on skin cancer. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 102(6), 215-218.

Norval, M., Cullen, A. P., de Gruijl, F. R., Longstreth, J., Takizawa, Y., Lucas, R. M., Noonan, F.P. & van der Leun, J. C. (2007). The effects on human health from stratospheric ozone depletion and its interactions with climate change. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 6(3), 232-251.

van der Leun, J. C., Piacentini, R. D., & de Gruijl, F. R. (2008). Climate change and human skin cancer. *Photochemical & photobiological sciences*, 7(6), 730-733.

Stroke

Berginer, V. M., Goldsmith, J., Batz, U., Vardi, H., & Shapiro, Y. (1989). Clustering of strokes in association with meteorologic factors in the Negev Desert of Israel: 1981-1983. *Stroke*, 20(1), 65-69.

Respiratory diseases

Ayres, J. G., Forsberg, B., Annesi-Maesano, I., Dey, R., Ebi, K. L., Helms, P. J., Medina-Ramón, M., Windt, M. & Forastiere, F. (2009). Climate change and respiratory disease: European Respiratory Society position statement. *European Respiratory Journal*, 34(2), 295-302.

Asthma

Asher, M. I., Stewart, A. W., Mallol, J., Montefort, S., Lai, C. K., Ait-Khaled, N., Odhiambo, J. & Group, I. P. O. S. (2010). Which population level environmental factors are associated with

asthma, rhinoconjunctivitis and eczema? Review of the ecological analyses of ISAAC Phase One. *Respiratory Research*, 11, 8.

COPD

D'Amato, G., Liccardi, G., D'Amato, M., & Cazzola, M. (2002). Outdoor air pollution, climatic changes and allergic bronchial asthma. *European Respiratory Journal*, 20(3), 763-776.

de la Iglesia Martínez, F., Pellicer Vázquez, C., Ramos Polledo, V., Nicolás Miguel, R., Pita Fernández, S., & Diz-Lois Martínez, F. (2000). Chronic obstructive pulmonary disease and the seasons of the year. *Archivos de Bronconeumología*, 36(2), 84-89.

Donaldson, G. C., & Wedzicha, J. A. (2006). COPD exacerbations .1: Epidemiology. *Thorax*, 61(2), 164-168.

Vilkman, S., Keistinen, T., Tuuponen, T., & Kivelä, S. L. (1996). Seasonal variation in hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Finland. *Arctic Medical Research*, 55(4), 182-186.

Allergies

Sheffield, P. E., Weinberger, K. R., & Kinney, P. L. (2011). Climate change, aeroallergens, and pediatric allergic disease. *Mount Sinai journal of medicine*, 78(1), 78-84.

Vitamin D

Holick, M. F., & Chen, T. C. (2008). Vitamin D deficiency: a worldwide problem with health consequences. *American Journal of Clinical Nutrition*, 87(4), 1080S-1086S.

Reginster, J. Y. (2005). The high prevalence of inadequate serum vitamin D levels and implications for bone health. *Current Medical Research & Opinion*, 21(4), 579-586.

Cataracts

Nichols, A., Maynard, V., Goodman, B., & Richardson, J. (2009). Health, Climate Change and Sustainability: A systematic Review and Thematic Analysis of the Literature. *Environmental Health Insights*, 3, 63-88.

Sasaki, H., Jonasson, F., Shui, Y. B., Kojima, M., Ono, M., Katoh, N., Cheng, H.M., Takahashi, N. & Sasaki, K. (2002). High prevalence of nuclear cataract in the population of tropical and subtropical areas. *Developments in Ophthalmology*, 35, 60-69.

Mortality in general

Cropper M.L., Hammitt, J.K., & Robinson L.A. (2011). Valuing Mortality Risk Reductions Progress and Challenges, (March 17, 2011). Resources for the Future Discussion Paper No. 11-10.

[Retrieved from http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1788975&download=yes (Viewed at 20.7.2011)]

El-Zein, A., Tewtel-Salem, M., & Nehme, G. (2004). A time-series analysis of mortality and air temperature in Greater Beirut. *Science of the Total Environment*, 330(1-3), 71-80.

Gosling, S. N., McGregor, G. R., & Lowe, J. A. (2009). Climate change and heat-related mortality in six cities Part 2: climate model evaluation and projected impacts from changes in the mean and variability of temperature with climate change. *International Journal of Biometeorology*, 53(1), 31-51.

Gosling, S. N., McGregor, G. R., & Páldy, A. (2007). Climate change and heat-related mortality in six cities part 1: model construction and validation. *International Journal of Biometeorology*, 51(6), 525-540.

Hajat, S., Armstrong, B., Baccini, M., Biggeri, A., Bisanti, L., Russo, A., Paldy, A., Menne, B., & Kosatsky, T. (2006). Impact of high temperatures on mortality: is there an added heat wave effect? *Epidemiology*, 17(6), 632-638.

Keatinge, W. R. (2002). Winter mortality and its causes. *International Journal of Circumpolar Health*, 61(4), 292-299.

Kysely, J., Pokorna, L., Kyncl, J., & Kriz, B. (2009). Excess cardiovascular mortality associated with cold spells in the Czech Republic. *BMC Public Health*, 9, 1- 11.

Laaidi, M., Laaidi, K., & Besancenot, J. P. (2006). Temperature-related mortality in France, a comparison between regions with different climates from the perspective of global warming. *International Journal of Biometeorology*, 51(2), 145-153.

Peng, R. D., Bobb, J. F., Tebaldi, C., McDaniel, L., Bell, M. L., & Dominici, F. (2011). Toward a quantitative estimate of future heat wave mortality under global climate change. *Environmental Health Perspectives*, 119(5), 701-706.

Robine, J. M., Cheung, S. L., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J. P., & Herrmann, F. R. (2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*, 331(2), 171-178.

Physiological effects

Assia, E., Udassin, R., Epstein, Y., Shapiro, Y., & Sohar, E. (1989). [Physiological responses to heat and effort and complaints of hyperperspiration]. *Harefuah*, 116(12), 617-620.

Epstein, Y., Moran, D. S., Shapiro, Y., Sohar, E., & Shemer, J. (1999). Exertional heat stroke: a case series. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(2), 224-228.

Epstein, Y., & Roberts, W. O. (2011). The pathophysiology of heat stroke: an integrative view of the final common pathway. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. [Epub ahead of print, doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01333.x]

Frank, A., Belokopytov, M., Moran, D., Shapiro, Y., & Epstein, Y. (2001). Changes in heart rate variability following acclimation to heat. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 12(1), 19-32.

Kristal-Boneh, E., Harari, G., Green, M. S., & Ribak, J. (1995). Seasonal changes in ambulatory blood pressure in employees under different indoor temperatures. *Occupational and Environmental Medicine*, 52(11), 715-721.

Kristal-Boneh, E., Harari, G., Green, M. S., & Ribak, J. (1996b). Summer-winter variation in 24 h ambulatory blood pressure. *blood pressure monitor*, 1(2), 87-94.

Kristal-Boneh, E., Harari, G., Green, M. S., & Ribak, J. (1996). Body mass index is associated with differential seasonal change in ambulatory blood pressure levels. *American Journal of Hypertension*, 9(12 Pt 1), 1179-1185.

Kristal-Boneh, E., Froom, P., Harari, G., Shapiro, Y., & Green, M. S. (1993). Seasonal changes in red blood cell parameters. *British Journal of Haematology*, 85(3), 603-607.

Kristal-Boneh, E., Harari, G., & Green, M. S. (1993). Circannual variations in blood cholesterol levels. *Chronobiology International*, 10(1), 37-42.

Kristal-Boneh, E., Harari, G., & Green, M. S. (1997). Seasonal change in 24-hour blood pressure and heart rate is greater among smokers than nonsmokers. *Hypertension*, 30(3 Pt 1), 436-441.

Kristal-Boneh, E., Harari, G., & Green, M. S. (1997). Heart rate response to industrial work at different outdoor temperatures with or without temperature control system at the plant. *Ergonomics*, 40(7), 729-736.

Shapiro, Y., Pandolf, K. B., & Goldman, R. F. (1980). Sex differences in acclimation to a hot-dry environment. *Ergonomics*, 23(7), 635-642.

Shapiro, Y., Hubbard, R. W., Kimbrough, C. M., & Pandolf, K. B. (1981). Physiological and hematologic responses to summer and winter dry-heat acclimation. *Journal of Applied Physiology*, 50(4), 792-798.

Shapiro, Y., Pandolf, K. B., Avellini, B. A., Pimental, N. A., & Goldman, R. F. (1981). Heat balance and transfer in men and women exercising in hot--dry and hot--wet conditions. *Ergonomics*, 24(5), 375-386.

Shoenfeld, Y., Udassin, R., Shapiro, Y., Ohri, A., & Sohar, E. (1978). Age and sex difference in response to short exposure to extreme dry heat. *Journal of Applied Physiology*, 44(1), 1-4.

Sohar, E., Shapiro, Y., & Epstein, Y. (2000). [Man in a hot climate--early studies of the Institute of Military Physiology]. *Harefuah*, 138(9), 723-727, 808, 807.

High risk group

Children

Bernstein, A. S., & Myers, S. S. (2011). Climate change and children's health. *Current Opinion in Pediatrics*, 23(2), 221-226.

Dapi, L. N., Rocklöv, J., Nguetack-Tsague, G., Tetanye, E., & Kjellstrom, T. (2010). Heat impact on schoolchildren in Cameroon, Africa: potential health threat from climate change. *Glob Health Action*, 3, 1-8.

Shah, A. P., Smolensky, M. H., Burau, K. D., Cech, I. M., & Lai, D. (2006). Seasonality of primarily childhood and young adult infectious diseases in the United States. *Chronobiology International*, 23(5), 1065-1082.

Simeonsson, J. R., Scarborough, A. A., & Hebbeler, K. M. (2006). ICF and ICD codes provide a standard language of disability in young children. *Journal of Clinical Epidemiology*, 59, 365-373.

Tillett, T. (2011). Climate change and children's health: protecting and preparing our youngest. *Environmental Health Perspectives*, 119(3), a132.

Embryos (fetus)

Basu, R., Malig, B., & Ostro, B. (2010). High ambient temperature and the risk of preterm delivery. *American Journal of Epidemiology*, 172(10), 1108-1117.

Mental health

Berry, H. L., Hogan, A., Owen, J., Rickwood, D., & Fragar, L. (2011). Climate change and farmers' mental health: risks and responses. *Asia-Pacific Journal of Public Health*, 23(2 Suppl), 119S-132.

Shiloh, R., Shapira, A., Potchter, O., Hermesh, H., Popper, M., & Weizman, A. (2005). Effects of climate on admission rates of schizophrenia patients to psychiatric hospitals. *European Psychiatry*, 20(1), 61-64.

Occupational groups

Bennett, C. M., & McMichael, A. J. (2010). Non-heat related impacts of climate change on working populations. *Global Health Action*, 3, 1-10.

Mathee, A., Oba, J., & Rose, A. (2010). Climate change impacts on working people (the HOTHAPS initiative): findings of the South African pilot study. *Global Health Action*, 3, 1-9.

Nilsson, M., & Kjellstrom, T. (2010). Climate change impacts on working people: how to develop prevention policies. *Global Health Action*, 3, 1-6.

Elderly

Goodwin, J. (2007). A deadly harvest: the effects of cold on older people in the UK. *British Journal of Community Nursing*, 12(1), 23-26.

Shapiro, Y., Seidman, D. S., & Epstein, Y. (1990). [Predisposition of the elderly to heat stroke; etiology, diagnosis and prevention]. *Harefuah*, 118(10), 606-608.

Vandentorren, S., Bretin, P., Zeghnoun, A., Mandereau-Bruno, L., Croisier, A., Cochet, C., Ribéron, J., Siberan, I., Declercq, B., & Ledrans, M. (2006). August 2003 heat wave in France: risk factors for death of elderly people living at home. *European Journal of Public Health*, 16(6), 583-591.

Disabled

Bjornson, K. (2008) Activity limitations: What are they really doing? *Developmental Medicine and Child Neurology*, 50, 166.

World Health Organization. (2001). International classification of functioning, disability and health : ICF. Geneva: World Health Organization. [Retrieved from http://www.disabilitaincifre.it/documenti/ICF_18.pdf (Viewed at 16.8.2011)]

Migration

Gushulak, B. D., & MacPherson, D. W. (2004). Globalization of infectious diseases: the impact of migration. *Clinical Infectious Diseases*, 38(12), 1742-1748.

Lonergan, S. (1998). The role of environmental degradation in population displacement. *Environ Change Secur Proj Rep*(4), 5-15.

Air Pollution

Bell, M. L., Goldberg, R., Hogrefe, C., Kinney, P. L., Knowlton, K., Lynn, B., Rosenthal, J., Rosenzweig, C. and Patz, J. (2007) Climate change, ambient ozone, and health in 50 U.S. cities. *Climatic Change*, 82, 61–76. DOI 10.1007/s10584-006-9166-7

Bernard, S. M., Samet, J. M., Grambsch, A., Ebi, K. L., & Romieu, I. (2001). The potential impacts of climate variability and change on air pollution-related health effects in the United States. *Environmental Health Perspectives*, 109 Suppl 2, 199-209.

Jacob, D.J., & Winner, D.A. (2009) Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment* 43(1):51–63.

Kinney, P. L. (2008). Climate Change, Air Quality, and Human Health. *American Journal of Preventive Medicine*, 35(5), 459-467.

Martens, W. J. (1998). Health impacts of climate change and ozone depletion: an ecoepidemiologic modeling approach. *Environmental Health Perspectives*, 106 Suppl 1, 241-251.

Pope, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G. D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*, 287(9), 1132-1141.

Spickett, J. T., Brown, H. L., & Rumchev, K. (2011). Climate change and air quality: the potential impact on health. *Asia-Pacific Journal of Public Health*, 23(2 Suppl), 37S-45.

Steinvil, A., Fireman, E., Kordova-Biezuner, L., Cohen, M., Shapira, I., Berliner, S., & Rogowski, O. (2009). Environmental air pollution has decremental effects on pulmonary function test

parameters up to one week after exposure. *American Journal of the Medical Sciences*, 338(4), 273-279.

Web sites:

European Commission. (2010). Air Pollution and Climate Change, Issue 24. [Retrieved from <http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/24si.pdf> (Viewed at 7.8.2011)]

The United Nations Economic Commission for Europe (n.d.). Air pollution and climate change tackling both problems in tandem. [Retrieved on 7.8.2011 from http://www.unece.org/press/pr2003/03env_p02e.htm]

Accidents

Bauer, M., & Hemborg, A. (1979). Snowmobile accidents in Northern Sweden. *Injury*, 10(3), 178-182.

Edwards, J. B. (1999), The temporal distribution of road accidents in adverse weather. *Meteorological Applications*, 6: 59–68.

Gill, M., & Goldacre, M. J. (2009). Seasonal variation in hospital admission for road traffic injuries in England: analysis of hospital statistics. *Injury prevention*, 15(6), 374-378.

Radun, I., & Radun, J. E. (2006). Seasonal variation of falling asleep while driving: An examination of fatal road accidents. *Chronobiology International*, 23(5), 1053-1064.

Stern, E., & Zehavi, Y. (1990). Road Safety and Hot Weather: A Study in Applied Transport Geography. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 15(1), 102-111.

Zebala, J. (2007). Influence of rubber compound and tread pattern of retreaded tyres on vehicle active safety. *Forensic science international. Genetics*, 167(2-3), 173.

Fires

Flannigan, M.D., Amiro, B.D., Logan, K.A., Stocks, B.J. & Wotton, B.M. (2005). Forest fires and climate change in the 21st century. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(4), 847–859.

Moriondo, M., Good. P., Durao, R., Bindi, M., Giannakopoulos, C., & Corte-Real, J. (2006). Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Climate Research*, 31, 85–95.

Paz, S., Carmel, Y., Jahshan, F., & Shoshany, M. (2011). Post-fire analysis of pre-fire mapping of fire-risk: A recent case study from Mt. Carmel (Israel). *Forest Ecology and Management*, 262(7), 1184-1188.

4. תחום המגוון הביולוגי- רשימת מקורות

אדם טבע ודין (2008). משבר המים במדינת ישראל – הפער שבין החלטת הממשלה על ניהול משק מים בר קיימא לבין הביצוע המינורי בפועל. דו"ח לרגל יום המים הבינלאומי החל ב-22.3.2008

אוסם י, מנדל צ, נאמן ג, פרבולוצקי א, ריוב י, שילר ג. 2011. היער המחטני הנטוע באזור הים תיכוני בישראל: דיון בעקרונות הממשק. נייר עמדה של מדעני יער בישראל. יער 70-68:1.

אנג'ל ד, ניצן ט, פז ש, עבדוסלם ע. 2011. השפעה של שינויי אקלים על חברות הכרית הים תיכונית: הערכת האבדן לסביבה ולאדם. מוגש למדען הראשי, המשרד לאיכות הסביבה.

אשכנזי י, צוער ח, יצחק ח, סיגל ז. 2007. השפעת בצורות ממושכות על מוביליות דיונות החול בישראל. מוגש למדען הראשי, המשרד לאיכות הסביבה.

http://www.sviva.gov.il/Environment/Static/Binaries/mechkarim/ashkenazi6-105_1.pdf

אחירון-פרומקין ת. 2011. דוח מצב הטבע 2010. המאר"ג (מערך אקולוגי רב-גורמי), בחסות האקדמיה הישראלית למדעים.

ויזל י ואפשטיין ו. 2009. שינויים באקלים: האם הצמחים מזהים אותם? בתוך: כנס שינויי אקלים בישראל 2009 הערכת מצב. חוברת תקצירים של הכנס. המשרד להגנת הסביבה, המדען הראשי.

זלץ ד, לנדאו סי. 2009. השפעת שינויי אקלים על פרסתנים בעלי דו-פרצופיות זוויתית. מוגש למדען הראשי, המשרד לאיכות הסביבה.

http://www.sviva.gov.il/Environment/Static/Binaries/mechkarim/zeltz6-106_1.pdf

רוזנפלד א, ליטאור מ, שוורץ צחור ר, פיינגולד א. 2007. חיזוי השפעת שינויי אקלים על עושר מיני צומח מעוצה ופרפרי יום בישראל. מוגש למדען הראשי, המשרד לאיכות הסביבה.

http://www.sviva.gov.il/Environment/Static/Binaries/mechkarim/ronfeld_5-025_1.pdf

סבוראי ט, שפרן-נתן ר. 2006. חיזוי שינויים בייצור ראשוני של צומח עשבוני כתגובה לשינויים בתכונות גשם וטמפרטורה: תסריטים של מודל דינאמי בזמן ובמרחב מוגש למדען הראשי, המשרד לאיכות הסביבה.

http://www.sviva.gov.il/Environment/Static/Binaries/mechkarim/5-021t_eng_1.pdf

סבר נ ונאמן ג. 2008. התייבשות והתאוששות של עצי אלון מצוי בישראל לאחר רצף של שנות בצורת. יער 10-16:10.

רילוב ג, טרבס ח. 2010. השפעות שינויי אקלים גלובלי על מערכות אקולוגיות ימיות: תמונת מצב עולמית והשלכות על הסביבה הימית בישראל. אקולוגיה וסביבה 65-57:1.

שחק מ, קרניאלי א. 2009. עליה בתדירות הבצורות וקריסת מערכות אקולוגיות בנגב: הקשר בין שינויי אקלים ותפקוד אקו-סיסטמות. בתוך: כנס שינויי אקלים בישראל - 2009 הערכת מצב. חוברת תקצירים של הכנס. המשרד להגנת הסביבה, המדען הראשי.

שטייניץ ה, דיין ת, יום-טוב י. 2007. שינויים בתפוצת יונקים בעקבות שינויי אקלים גלובאליים. עבודת דוקטורט. המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל-אביב.

Ahlholm JU, Helander ML & Savolainen J (1998) Genetic and environmental factors affecting the allergenicity of birch (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii* Orl. Hamet-Ahti) pollen. *Clinical and Experimental Allergy* 28, 1384-1388.

Atzmon N, Moshe Y & Schiller G (2004) Ecophysiological response to severe drought in *Pinus halepensis* Mill. trees of two provenances. *Plant Ecology* 171, 15-22.

Azzurro E, Moschella P, Maynou F. (2011) Tracking Signals of Change in Mediterranean Fish Diversity Based on Local Ecological Knowledge. *PLoS ONE* e24885. doi:10.1371/journal.pone.0024885

Bakkenes M, Alkemade JRM, Ihle F, Leemans R & Latour JB (2002) Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biology* 8, 390-407.

Barinova SS, Yehuda G & Nevo E (2010) Comparative analysis of algal communities in the rivers of northern and southern Israel as bearing on ecological consequences of climate change. *Journal of Arid Environments* 74, 765-776.

Beche LA, Connors PG, Resh VH & Merenlender AM (2009) Resilience of fishes and invertebrates to prolonged drought in two California streams. *Ecography* 32, 778-788.

Bellan-Santini D & Bellan G (2000) Distribution and peculiarities of Mediterranean marine biocoenosis. *Biologia Marina Mediterranea* 7, 67-80.

Ben-David R, Abbo S & Berger JD (2010) Stress gradients select for ecotype formation in *Cicer judaicum* Boiss., a wild relative of domesticated chickpea. *Genetic Resources and Crop Evolution* 57, 193-202.

Beugnet F, Kolasinski M, Michelangeli P-A, Vienne J & Loukos H (2011) Mathematical modelling of the impact of climatic conditions in France on *Rhipicephalus sanguineus* tick activity and density since 1960. *Geospatial Health* 5, 255-263.

Bonada N, Doledec S & Statzner B (2007) Taxonomic and biological trait differences of stream macroinvertebrate communities between mediterranean and temperate regions: implications for future climatic scenarios. *Global Change Biology* 13, 1658-1671.

Cabanes C, Cazenave A & Le Provost C (2001) Sea level rise during past 40 years determined from satellite and in situ observations. *Science* 294, 840-842.

- Chessman BC & Royal MJ (2010) Complex environmental gradients predict distributions of river-dependent plants in eastern Australia. *Aquatic Sciences* 72, 431-441.
- Coll M. et al. (2010) The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats. *Plos One* 2010;5:e11842.
- Colombaroli D, Marchetto A & Tinner W (2007) Long-term interactions between Mediterranean climate, vegetation and fire regime at Lago di Massaciucoli (Tuscany ,Italy). *Journal of Ecology* 95, 755-770.
- Convention on Biological Diversity (2010) Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2010) Global Biodiversity Outlook 3. Montréal, 94 pages
- Delitti W, Ferran A, Trabaud L & Vallejo VR (2005) Effects of fire recurrence in *Quercus coccifera* L. shrublands of the Valencia Region (Spain): I. plant composition and productivity. *Plant Ecology* 177, 57-70.
- Dirks I, Navon Y, Kanas D, Dumbur R & Gruenzweig JM (2010) Atmospheric water vapor as driver of litter decomposition in Mediterranean shrubland and grassland during rainless seasons. *Global Change Biology* 16, 2799-2812.
- Dulcic J, Scordella G & Guidetti P (2008) On the record of the Lessepsian migrant *Fistularia commersonii* (Ruppell, 1835) from the Adriatic Sea. *Journal of Applied Ichthyology* 24, 101-102.
- Fishelson L (2000) Marine animal assemblages along the littoral of the Israeli Mediterranean seashore: the Red-Mediterranean Seas communities of species. *Italian Journal of Zoology* 67, 393-415.
- Fleischer A & Sternberg M (2006) The Economic Impact of Global Climate Change on Mediterranean Rangeland Ecosystems: A Space-for-Time Approach. *Ecological Economics* 59, 287-295.
- Gardner JL, Heinsohn R, Peters A, et al. (2011) Declining body size: A third universal response to warming? *Trends in Ecology and Evolution* 26, 285-291
- Gasso N, Sol D, Pino J, Dana ED, Lloret F, Sanz-Elorza M, Sobrino E & Vila M (2009) Exploring species attributes and site characteristics to assess plant invasions in Spain. *Diversity and Distributions* 15, 50-58.
- Gaston KJ (1996) What is biodiversity? *Biodiversity: A biology of numbers and difference*, 1-9.
- Gordo O & Sanz JJ (2005) Phenology and climate change: a long-term study in a Mediterranean locality. *Oecologia* 1.484-495 ,46
- Goren M & Galil BS (2005) A review of changes in the fish assemblages of Levantine inland and marine ecosystems following the introduction of non-native fishes. *Journal of Applied Ichthyology* 21, 364-370.

Goren M & Ortal R (1999) Biogeography, diversity and conservation of the inland water fish communities in Israel. *Biological Conservation* 89, 1-9.

Har-Edom O-L & Sternberg M (2010) Invasive species and climate change: *Conyza canadensis* (L.) Cronquist as a tool for assessing the invasibility of natural plant communities along an aridity gradient. *Biological Invasions* 12, 1953-1960.

Harrison PA, Vandewalle M, Sykes MT et al.(2010). Identifying and prioritising services in European terrestrial and freshwater ecosystems. *Biodiversity and Conservation* 19: 2791-2821

Hatzofe O & Yom-Tov Y (2002) Global warming and recent changes in Israel's Avifauna. *Israel Journal of Zoology* 48, 351-357.

Hermoso V & Clavero M (2011) Threatening processes and conservation management of endemic freshwater fish in the Mediterranean basin: a review. *Marine and Freshwater Research* 62, 244-254.

Hueber S, Hoeffken M, Oren E, Haseneyer G, Stein N, Graner A, Schmid K & Fridman E (2009) Strong correlation of wild barley (*Hordeum spontaneum*) population structure with temperature and precipitation variation. *Molecular Ecology* 18, 1523-1536.

Hughes L (2000) Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology & Evolution* 15, 56-61.

Hughes TP, Baird AH, Bellwood DR, Card M, Connolly SR, Folke C, Grosberg R, Hoegh-Guldberg O, Jackson JBC, Kleypas J, Lough JM, Marshall P, Nystrom M, Palumbi SR, Pandolfi JM, Rosen B & Roughgarden J (2003) Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science* 301, 929-933.

Huynen M, Menne B (2003) Phenology and human health: allergic disorders. Report of a WHO meeting, Rome, Italy, 16–17 January 2003. *Health and global environmental change, Series No. 1.* (EUR/03/5036791 and EUR/02/5036813), 2003

IPCC (2007) Summary for Policymakers. A Report of Working Group I, Fourth Assessment Report. <http://www.ipcc-wg2.org/index.html>

Kark S, Hadany L, Safriel UN, Noy-Meir I, Eldredge N, Tabarroni C & Randi E (2008) How does genetic diversity change towards the range periphery? An empirical and theoretical test. *Evolutionary Ecology Research* 10, 391-414.

Kark S, Mukerji T, Safriel UN, Noy-Meir I, Nissani R & Darvasi A (2002) Peak morphological diversity in an ecotone unveiled in the chukar partridge by a novel Estimator in a Dependent Sample (EDS). *Journal of Animal Ecology* 71, 1015-1029.

- Koechy M (2008) Effects of simulated daily precipitation patterns on annual plant populations depend on life stage and climatic region. *BMC Ecology* 8, 4.
- Koechy M, Mathaj M, Jeltsch F & Malkinson D (2008) Resilience of stocking capacity to changing climate in arid to Mediterranean landscapes. *Regional Environmental Change* 8, 73-87.
- Kuffner IB, Andersson AJ, Jokiel PL, Rodgers KuS & Mackenzie FT (2008) Decreased abundance of crustose coralline algae due to ocean acidification. *Nature Geoscience* 1, 114-117.
- Kutiel P, Kutiel H & Lavee H (2000) Vegetation response to possible scenarios of rainfall variations along a Mediterranean-extreme arid climatic transect. *Journal of Arid Environments* 44, 277-290.
- Lasram FBR & Mouillot D (2009) Increasing southern invasion enhances congruence between endemic and exotic Mediterranean fish fauna. *Biological Invasions* 11, 697-711.
- Lavergne S, Mouquet N, Thuiller W, Ronce O (2010) Biodiversity and climate change: Integrating evolutionary and ecological responses of species and communities. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 41, 321-350
- Levetin E (2001) Effects of climate change on airborne pollen. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 107, S172-S172.
- Levinsky I, Skov F, Svenning J-C & Rahbek C (2007) Potential impacts of climate change on the distributions and diversity patterns of European mammals. *Biodiversity and Conservation* 16, 3803-3816.
- Lopez R, Zehavi A, Climent J & Gil L (2007) Contrasting ecotypic differentiation for growth and survival in *Pinus canariensis*. *Australian Journal of Botany* 55, 759-769.
- Loya Y (2004) The coral reefs of Eilat - past, present and future: three decades of coral community structure studies. *Coral health and disease.*, 1-34.
- MacLachlan NJ & Guthrie AJ (2010) Re-emergence of bluetongue, African horse sickness, and other Orbivirus diseases. *Veterinary Research* 41.
- Maruani T & Amit-Cohen I (2009) The effectiveness of the protection of riparian landscapes in Israel. *Land Use Policy* 26, 911-918.
- Meehl GA, Washington WM, Collins WD, Arblaster JM, Hu AX, Buja LE, Strand WG & Teng HY (2005) How much more global warming and sea level rise? *Science* 307, 1769-1772.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being. Synthesis.* Island Press, Washington, D.C.

Moran R, Harvey I, Moss B, Feuchtmayr H, Hatton K, Heyes T & Atkinson D (2010) Influence of simulated climate change and eutrophication on three-spined stickleback populations: a large scale mesocosm experiment. *Freshwater Biology* 55, 315-325.

Moriondo M, Good P, Durao R, Bindi M, Giannakopoulos C & Corte-Real J (2006) Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Climate Research* 31, 85-95.

Morri C, Puce S, Bianchi CN, Bitar G, Zibrowius H & Bavestrello G (2009) Hydroids (Cnidaria: Hydrozoa) from the Levant Sea (mainly Lebanon), with emphasis on alien species. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 89, 49-62.

Nathan R, Safriel UN & Shirihai H (1996) Extinction and vulnerability to extinction at distribution peripheries: An analysis of the Israeli breeding avifauna. *Israel Journal of Zoology* 42, 361-383.

Oestereich M (2007) Evidence for the effect of climate change on the arrival dates of autumn and spring migrants in stopover site, Thesis submitted in partial fulfillment requirements for the degree Master of Science, Haifa: Haifa University: Faculty of Science and Science Education, Dept. of Evolutionary and Environmental Biology.

Orr JC, Fabry VJ, Aumont O, Bopp L, Doney SC, Feely RA, Gnanadesikan A, Gruber N, Ishida A, Joos F, Key RM, Lindsay K, Maier-Reimer E, Matear R, Monfray P, Mouchet A, Najjar RG, Plattner GK, Rodgers KB, Sabine CL, Sarmiento JL, Schlitzer R, Slater RD, Totterdell IJ, Weirig MF, Yamanaka Y & Yool A (2005) Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437, 681-686.

Otero I, Boada M, Badia A, Pla E, Vayreda J, Sabate S, Gracia CA & Penuelas J (2011) Loss of water availability and stream biodiversity under land abandonment and climate change in a Mediterranean catchment (Olzinelles, NE Spain). *Land Use Policy* 28, 207-218.

Palmer MA, Lettenmaier DP, Poff NL, Postel SL, Richter B & Warner R (2009) Climate Change and River Ecosystems: Protection and Adaptation Options. *Environmental Management* 44, 1053-1068.

Parmesan C & Yohe G (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421, 37-42.

Paz S (2006) The West Nile Virus outbreak in Israel (2000) from a new perspective: The regional impact of climate change. *International Journal of Environmental Health Research* 16, 1-13.

Paz S, Bisharat N, Paz E, Kidar O & Cohen D (2007) Climate change and the emergence of *Vibrio vulnificus* disease in Israel. *Environmental Research* 103, 390-396.

Pausas JG, Llovet J, Rodrigo A, Vallejo R (2008) Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? –A review. *International Journal of Wildland Fire* 17, 713–723.

Pe'er G and Safriel UN (2000) The first report of the State of Israel to the Conference of the Parties (COP) of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) on impacts, adaptation and vulnerability to climate change in Israel

Quignard JP & Raibaut A (1993) Ichthyofauna of the Languedocian Coast (Gulf of Lion): Faunistic and demographic modifications. *Vie et Milieu* 43, 191-195.

Razgour O, Korine C & Saltz D (2010) Pond characteristics as determinants of species diversity and community composition in desert bats. *Animal Conservation* 13, 505-513.

Rhazi L, Grillas P, Rhazi M & Aznar J-C (2009) Ten-year dynamics of vegetation in a Mediterranean temporary pool in western Morocco. *Hydrobiologia* 634, 185-194.

Rijnsdorp AD, Peck MA, Engelhard GH et al. (2009) Resolving the effect of climate change on fish populations. *ICES Journal of Marine Science* 66, 1570–1583.

Rimmer A, Gal G, Opher T, Lechinsky Y & Yacobi YZ (2011) Mechanisms of long-term variations in the thermal structure of a warm lake. *Limnology and Oceanography* 56, 974-988.

Robson BJ, Chester ET & Austin CM (2011) Why life history information matters: drought refuges and macroinvertebrate persistence in non-perennial streams subject to a drier climate *Marine and Freshwater Research* 62, 801-810.

Rodolfo-Metalpa R, Richard C, Allemand D, Bianchi CN, Morri C & Ferrier-Pages C (2006) Response of zooxanthellae in symbiosis with the Mediterranean corals *Cladocora caespitosa* and *Oculina patagonica* to elevated temperatures. *Marine Biology* 150, 45-55.

Rosen D (2008) Monitoring boundary conditions at Mediterranean Basin – Key element for reliable assessment of climate change, variability and impacts at Mediterranean basin shores. In: *Towards an integrated system of Mediterranean marine observatories*, pp. 107-111. CISEM workshop, La Spezia.

Safriel UN (1974) Vermetid gastropods and intertidal reefs in Israel and Bermuda. *Science* 186, 1113-1115.

Safriel UN, Volis S & Kark S (1994) Core and peripheral-populations and global climate-change. *Israel Journal of Plant Sciences* 42, 331-345.

Saltz D, Rubenstein DI & White GC (2006) The impact of increased environmental stochasticity due to climate change on the dynamics of asiatic wild ass. *Conservation Biology* 20, 1402-1409.

Sapir N, Wikelski M, Avissar R & Nathan R (2011) Timing and flight mode of departure in migrating European bee-eaters in relation to multi-scale meteorological processes. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 65, 1353-1365.

Schiller G & Atzmon N (2009) Performance of Aleppo pine (*Pinus halepensis*) provenances grown at the edge of the Negev desert: A review. *Journal of Arid Environments* 73, 1051-1057.

Schiller G, Korol L & Shklar G (2004) Habitat effects on adaptive genetic variation in *Pinus halepensis* Mill. provenances. *Forest Genetics* 11, 325-335.

Schiller G, Ungar ED, Cohen S & Herr N (2010) Water use by Tabor and Kermes oaks growing in their respective habitats in the Lower Galilee region of Israel. *Forest Ecology and Management* 259, 1018-1024.

Silverman J, Lazar B, Cao L, Caldeira K & Erez J (2009) Coral reefs may start dissolving when atmospheric CO₂ doubles. *Geophysical Research Letters* 36.

Singer SR, Abramson N, Shoob H, Zaken O, Zentner G & Stein-Zamir C (2008) Ecoepidemiology of cutaneous leishmaniasis outbreak, Israel. *Emerging Infectious Diseases* 14, 1424-1426.

Sternberg M, Harel D, Kigel J, Konsens I, Tielboerger K (2009) Effects of climate change on terrestrial ecosystems: an integrative approach along an aridity gradient in Israel.

בתוך: כנס שינויי אקלים בישראל - 2009 הערכת מצב. חוברת תקצירים של הכנס. המשרד להגנת הסביבה, המדען הראשי

Talmon Y, Sternberg M & Gruenzweig JM (2011) Impact of rainfall manipulations and biotic controls on soil respiration in Mediterranean and desert ecosystems along an aridity gradient. *Global Change Biology* 17, 1108-1118.

Thibaut T, Pinedo S, Torras X & Ballesteros E (2005) Long-term decline of the populations of *Fucales* (*Cystoseira* spp. and *Sargassum* spp.) in the Alberes coast (France, North-western Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin* 50, 1472-1489.

Tielboerger K, Fleischer A, Menzel L, Metz J & Sternberg M (2010) The aesthetics of water and land : a promising concept for managing scarce water resources under climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences* 368, 5323-5337.

Tzur Y & Safriel UN (1978) Vermetid platforms as indicators of coastal movements. *Israel Journal of Earth Sciences* 27, 124-127.

Volis S (2007) Correlated patterns of variation in phenology and seed production in populations of two annual grasses along an aridity gradient. *Evolutionary Ecology* 21, 381-393.

Waisel Y, Eshel A, Keynan N & Langgut D (2008) Ambrosia: A New Impending Disaster for the Israeli Allergic Population. *Israel Medical Association Journal* 10, 856-857.

Waterkeyn A, Vanschoenwinkel B, Vercampt H, Grillas P & Brendonck L (2011) Long-term effects of salinity and disturbance regime on active and dormant crustacean communities. *Limnology and Oceanography* 56, 1008-1022.

Yom-Tov Y (2001) Global warming and body mass decline in Israeli passerine birds. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 268, 947-952.

Zacharias I & Zamparas M (2010) Mediterranean temporary ponds. A disappearing ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 19, 3827-3834.

Zduniak P, Yosef R, Sparks TH, Smit H & Tryjanowski P (2010) Rapid advances in the timing of the spring passage migration through Israel of the steppe eagle *Aquila nipalensis*. *Climate Research* 42, 217-222.

Ziska LH & Caulfield FA (2000) Rising CO₂ and pollen production of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*), a known allergy-inducing species :implications for public health. *Australian Journal of Plant Physiology* 27, 893-898.

5. תחום הבניה הירוקה- רשימת מקורות

[1] ד"ר, אנגרט, א., עו"ד, אילסר, ח., אדם טבע ודין (2007). התחזית בידיים שלנו – ההתחממות הגלובאלית בישראל – האפשרויות, ההשפעות וקווים למדיניות.

[2] Shaviv N.J. and Veizer J. (2003), Celestial driver of Phanerozoic climate? GSA Today 2003;13(7):4-10.

[3] IPCC, (2007). Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

[4] IPCC, (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK.

[5] GTZ/PIK, (2009). Climate Change Information for Effective Adaptation: A practitioners manual, German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development and the Potsdam Institute for Climate Impact Research, Germany.

[6] Prasad, D., Snow, M., (2011). Climate Change Adaptation for Building Designers: An Introduction.

[7] McKinsey & Company. (2009). פוטנציאל הפחתת פליטות גזי חממה בישראל. Retrieved from: http://www.mckinsey.com/en/Client_Service/Sustainability/Latest_thinking/~media/McKinsey/dotcom/client_service/Sustainability/cost%20curve%20PDFs/israel_cost_curve_hebrew.ashx

[8] UNEP, (2009). Buildings and Climate Change, Summary for Decision-Makers.

[9] מכון התקנים הישראלי, (2011). ת"י 5281 בניה בת-קיימה (בניה ירוקה): דרישות לבנייני מגורים.

[10] מכון התקנים הישראלי, (2011). ת"י 5282 דירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה, חלק א': בנייני מגורים, חלק ב': בנייני משרדים.

[11] International Energy Agency (IEA), (2008). Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings.

[12] Department of Climate Change & Energy Efficiency, (2010). The Pathway to 2020 for Low-Energy, Low-Carbon Buildings in Australia: Indicative Stringency Study.

[13] משרד התשתיות הלאומית, (2010), התכנית הלאומית להתייעלות אנרגטית, צמצום בצריכת החשמל 2010-2020.

[14] פרלמוטר ד., אראל א., מאיר י., עציון י., רופא י. (2010), המדריך לבניה ביו-אקלימית בישראל

[15] Ochoa C.E, and I.G. Capeluto, 2008. "Strategic Decision-making for Intelligent Buildings: Comparative Impact of Passive Design Strategies and Active Features in a Hot Climate", Building and Environment, Vol 43/11 pp 1829-1839, Elsevier Science Ltd., 10.1016/j.buildenv.2007.10.018

[16] Shaviv E. and Capeluto I.G., 1992., CLIMATIC AND ENERGY CONSCIOUS DESIGN GUIDELINES FOR RESIDENTIAL BUILDINGS - In Temperate-Cool and Hot-Humid Mediterranean Climate, Ministry of Construction and Housing, The S. Neeman Institute for Advanced Studies in Science and Technology, Technion Israel Institute of Technology, Haifa (192 pages) (in Hebrew).

[17] Shaviv, E., A.Yezioro, I.G.Capeluto, R. Becker, Warshavsky A. (2004). Thermal Performance of Buildings and the Development of Guidelines for Energy Conscious Design - Office Buildings. Technion Research and Development Foundation Ltd., No. 022-755-2. Sponsored by the Ministry of National Infrastructures, (248 pages. in Hebrew).

[18] Shaviv, E., A.Yezioro, I.G.Capeluto, R. Becker, Warshavsky A. (2002). Thermal Performance of Buildings and the Development of Guidelines for Energy Conscious Design - Residential Buildings.. Technion Research and Development Foundation Ltd., No. 022-733. Sponsored by the Ministry of National Infrastructures, (237 pages. in Hebrew).

[19] מכון התקנים הישראלי, (2005). ת"י 1045 בידוד תרמי של בניינים. חלק 0, בידוד תרמי של בניינים: כללי.

[20] Altan, H., Ward, I., Mohelnikova, J., & Vajkay, F. (2009). An internal assessment of the thermal comfort and daylighting conditions of a naturally ventilated building with an active glazed facade in a temperate climate. *Energy and Buildings*, 41(1), 36-50. doi:10.1016/j.enbuild.2008.07.009

[21] Carmody, J., Selkowitz S., Lee, E., Aratesh, D., & Willmert, T. (2004). Window Systems for High-Performance Buildings, W.W. Norton & Company. NY.

[22] Roaf, S., Fuentes, M., Thomas, S., (2007). Ecohouse: A Design Guide, Third edition.

[23] מכון התקנים הישראלי, (2005). ת"י 1045 חלקי 5-1, בידוד תרמי של בניינים: מגורים, חינוך, משרדים, בתי מלון, בתי חלים.

[24] Alvarado, J. L., & Martinez, E. (2008). Passive cooling of cement-based roofs in tropical climates. *Energy and Buildings*, 40(3), 358-364. doi:10.1016/j.enbuild.2007.03.003

[25] IGDB website: <http://windows.lbl.gov/g/IGDB/default.htm>

[26] שביב ע., בניה אקלימית. (1989). במדריך לשימור אנרגיה במבני מגורים, עורכים: דבוסקין ד., גרנות נ., משרד התשתיות הלאומיות.

[27] Capeluto, I. G., Shaviv, E., & Yezioro, A. (2004). What are the Required Conditions for Heavy Structure Buildings to be Thermally Effective in a Hot Humid Climate? ASME, Vol. 126

[28] Capeluto, I. G., Shaviv, E., & Yezioro, A. (2001). Thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy. *Renewable Energy: An International Journal*, 24(3), 445.

[29] שביב ע., יזיאורו א., קפלוטו ג. (2003). הבטים אקלימיים-אנרגטיים בעיצוב אורבני באקלים ארץ ישראל חם ולח. הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים, הטכניון. משרד התשתיות הלאומיות.

[30] Kim, G., Lim, H. S., Lim, T. S., & Kim, J. T. Assessment of shading devices on the thermal performance of residential buildings. Available at: <http://www.sustainablehealthybuildings.org/PDF/4th/korean/16.pdf>

[31] Peck, S., Kuhn, M., B.E.S, & B.Arch, O. A. Design guidelines for green roofs. Available at: www.cmhc.ca

[32] R. Fioretti, A. Palla, L.G. Lanza, P. Principi, (2010). "Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate", "Building and Environment", Volume 45, Issue 8, August 2010, Pages 1890-1904

[33] שביב, ע., (2011), נספח א' - מערכות פסיביות – גישה מרשמית/ תיאורית, נספח נורמטיבי לתקן 5281 פרק האנרגיה.

[34] Givoni, B., (1994), Passive and Low Energy Cooling of Buildings.

[35] נאמן א. (2003). תאורה טבעית בבניינים. עקרונות והנחיות תכנון. משרד התשתיות הלאומיות.

[36] Capeluto I.G, (2003). "The influence of the urban environment on the availability of the daylighting in office buildings in Israel", "Building and Environment", Vol 38/5 pp. 745-752 Elsevier Science Ltd.

[37] IEA, (2006). Light's Labour's Lost: Policies for Energy-efficient Lighting, OECD/IEA 2006

[38] Yun G.Y, Kim H. & Kim J.T. Effects of blind and lighting system use patterns on lighting energy consumption. Available at: <http://www.sustainablehealthybuildings.org/PDF/4th/korean/2.pdf>

[39] US DOE. (2011) Solid-state lighting Research and Development: Multi-year program plan. Available at: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_mypp2011_web.pdf

[40] מכון התקנים הישראלי, (2007) תקן ישראלי - ת"י 8995 – תאורה למקומות עבודה שבתוך מבנים

[41] Xiao, F., & Wang, S. (2009). Progress and methodologies of lifecycle commissioning of HVAC systems to enhance building sustainability. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 13(5), 1144-1149. doi:10.1016/j.rser.2008.03.006

[42] IEA, (2007) Renewables in Global Energy Supply, An IEA Fact Sheet

[43] Centre for Energy and the Environment, Building Integrated Renewables. The Design and Delivery of Low Carbon Buildings. Available at: <http://emps.exeter.ac.uk/research/energy-environment/cee/researchandteaching/low-carbon-design/>

[44] Roberts S., Guariento N. (2005). Building integrated photovoltaics: A handbook. Birkhauser Architecture.

[45] Desideri, U., Proietti, S., & Sdringola, P. (2009). Solar-powered cooling systems: Technical and economic analysis on industrial refrigeration and air-conditioning applications. *Applied Energy*, 86(9), 1376-1386. doi:10.1016/j.apenergy.2009.01.011

[46] Seongwon, S., Selwyn, N. T., & Delwyn, G.J. (2003). Identification of key environmental issues for building materials.

[47] <http://www.unhabitat.org/> - State of the World Cities 2010/2011: Bridging the Urban Divide.

[48] ARUP (2005), Beating the Heat: Keeping UK Buildings Cool in a Warming Climate

[49] <http://resilient-cities.iclei.org/bonn2011/>

[50] Woodbury, R., Bartram, L., Cole, R., Hyde, R., Macleod, D., Marques, D., Mueller, T., Vanier, D., (2008) Buildings and climate solutions. Pacific Institute for Climate Solutions, University of Victoria.

[51] גוטליב א., רונן א., לבציון נדן, נ., ביגר א., אילסר ח., דולב ש. (2007). התחממות גלובלית והעיר: אתגרים והזדמנויות, נייר עמדה לוועדת השלטון המקומי III, אוניברסיטת תל אביב

[52] Kjellstrom, T., & Weaver, H. J. (2009). Climate change and health: Impacts, vulnerability, adaptation and mitigation. *New South Wales Public Health Bulletin*, 20(1-2), 5-9.

[53] Meir, I. A., & Pearlmutter, D. (2010). Building for climate change: Planning and design considerations in time of climatic uncertainty. *Corrosion Engineering Science and Technology*, 45(1), 70-75. doi:10.1179/147842209X12476568584548

[54] Looman, R. H. J., & Van Esch, M. M. E. (2010). Passive solar design: Where urban and building design meet. 5th International Conference on Comparing Design in Nature with Science and Engineering, Design and Nature 2010, Pisa. , 138 129-138. doi:10.2495/DN100121

[55] Ishii, S., Tabushi, S., Aramaki, T., & Hanaki, K. (2010). Impact of future urban form on the potential to reduce greenhouse gas emissions from residential, commercial and public buildings in Utsunomiya, Japan. *Energy Policy*, 38(9), 4888-4896. doi:10.1016/j.enpol.2009.08.022

[56] Roaf, S., (2009), ADAPTING BUILDING and CITIES for CLIMATE CHANGE

[56א] דופור-דרור ז'מ. (2011). אזורי חיץ למניעת שריפות סביב ישובים ולאורך דרכים - בחינת הידע הקיים באזורים ים תיכוניים ומפרט טכני ליישום בישראל, המשרד להגנת הסביבה.

[57] Vettorato D., (2010). Urban planning and design for local climate mitigation. A methodology based on remote sensing and GIS, 46th ISOCARP Congress 2010, Nairobi, Kenya.

[58] Chan, C. F. (2008). Urban heat islands: A climate change adaptation strategy for montreal. *Plan Canada*, 48(1), 30-33.

[59] Tsuchiya, T., Ooka, R., Chen, H., & Huang, H. (2008). Effects of various relaxation methods for the heat island phenomenon on outdoor thermal environment in the present urban blocks using

numerical simulations. *Journal of Environmental Engineering*, 73(630), 1021-1027. doi:10.3130/aije.73.1021

[60] Giridharan, R., Lau, S. S. Y., Ganesan, S., & Givoni, B. (2007). Urban design factors influencing heat island intensity in high-rise high-density environments of Hong Kong. *Building and Environment*, 42(10), 3669-3684. doi:10.1016/j.buildenv.2006.09.011

[61] Cuddihy, J. M. M., Kennedy, C. A., & Byer, P. H. (2005). Urban design and energy consumption: An exploration of cause and effect. 33rd. CSCE Annual Conference 2005, Toronto, ON. , 2005 GC-332-1-GC-332-10.

[62] Shashua-Bar L., Tzamir Y., Hoffman M.E. (2006), "Integrated thermal effects of generic built forms and vegetation on the UCL microclimate", *Journal of Building and Environment*, Vol. 41, pp. 343-354.

[63] Watkins, R., Palmer, J., & Kolokotroni, M. (2007). Increased temperature and intensification of the urban heat island: Implications for human comfort and urban design. *Built Environment*, 33(1), 85-96. doi:10.2148/benv.33.1.85

[64] Sun C., Lin H., & Ou, W. (2007). The relationship between urban greening and thermal environment. 2007 Urban Remote Sensing Joint Event, URS, Paris. doi:10.1109/URS.2007.371792

[65] Liu H., Wang D., Che Y., Zhang, C., Zheng Y., Zou, C, Che, D. (2008). Ecological effect of street-greening in Harbin city. *Chinese Journal of Ecology*, 27(6), 894-902.

[66] Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147-155. doi:10.1016/j.landurbplan.2010.05.006

[67] Haggag, M. A. (2010). The use of green walls in sustainable urban context: With reference to Dubai, UAE. 3rd International Conference on Harmonisation between Architecture and Nature, Eco-Architecture 2010, A Coruna. , 128 261-270. doi:10.2495/ARC100221

[68] Technology Strategy Board, & Gething, B., (2008), Design for future climate - opportunities for adaptation in the built environment.

[69] Gober, P., Brazel, A., Quay, R., Myint, S., Grossman-Clarke, S., Miller, A., & Rossi, S. (2010). Using watered landscapes to manipulate urban heat island effects: How much water will it take to cool phoenix? *Journal of the American Planning Association*, 76(1), 109-121. doi:10.1080/01944360903433113

[70] Kohutiar, J., & Kravčík, M. (2010). Water for an integrative climate paradigm. *International Journal of Water*, 5(4), 298-310. doi:10.1504/IJW.2010.038725

[71] Zeng, Z., & Li, B. (2010). The analysis and design of urban wetland: The water garden in portland and living water park in chengdu as case studies. 3rd International Conference on Harmonisation between Architecture and Nature, Eco-Architecture 2010, A Coruna. , 128 209-219. doi:10.2495/ARC100181

[72] שביב ע., קפלוטו ג., יזיאורו א. בלייברג ת. (2004) זכויות שמש בתכנון אורבני בצפיפות גבוהה. הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים, הטכניון. משרד התשתיות הלאומיות.

[73] קפלוטו ג., יזיאורו א., שביב ע., (1999) השפעת הבנייה לגובה על אנרגיה בבניינים ועל הצללת הסביבה. במחקר: בחינת הבנייה לגובה, א. צ'רצמן, א. מן, ע. שנער, משרד הפנים.

[74] Capeluto I.G., A. Yezioro and E. Shaviv, (2003). "Climatic Aspects in Urban Design – A Case Study", Building and Environment, Vol 38/6 pp. 827-835, Elsevier Science Ltd.

[75] אדם טבע ודין (2009), המחלקה התכנונית והמחלקה המשפטית. חושבים רחוק בונים ירוק.

[76] <http://cltc.ucdavis.edu/> - California Lighting Technology Center

[77] Ryan D., Hill G., (2006). Turning the Tide: Researching Sea Level Rise Adaptation Strategies through the Architecture Design Studio, 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON DESIGN EDUCATION

[78] Tam L. (2009). Strategies for managing sea level rise, SF Planning Urban Research Association.

[79] Town and Country Planning Association (2007), Climate Change Adaptation by Design. A guide for sustainable communities. TCPA, London

[80] European Environment Agency, (2009), Ensuring quality of life in Europe's cities and towns. Tackling the environmental challenges driven by European and global change.

[81] Gómez,F.; Sifre,V.; Montera,L.; De Vicente,V.; Gil,L.(2006), Sustainability in cities: The green areas and climatic comfort as fundamental parameters, WIT Transactions on Ecology and the Environment, 93:83

[82] Brand,D.(2007), Bluespace: A typological matrix for port cities, Urban Des.Int. 12:2-3:69

[83] Watson, D., Adams M. (2010) Design for Flooding: Architecture, Landscape, and Urban Design for Resilience to Climate Change, ISBN: 978-0-470-47564-5

[84] Environment Agency-Abu-Dhabi, (2009), CLIMATE CHANGE, Impacts, Environment, Vulnerability & Adaptation.

[85] Burrell,B.C.; Davar,K; Hughes,R,(2007), A review of flood management considering the impacts of climate change, Water International,sep:32:3:342

[86] Morimoto,Y,(2011), Biodiversity and ecosystem services in urban areas for smart adaptation to climate change: "Do you Kyoto"?, Landscape and Ecological Engineering 7:1:9

6. התחום הגיאואסטרטגי- רשימת מקורות

- איילון, א., "ביטחון לאומי", מערכות (1980), גיליון 27, עמ' 6-22
- אלפרט, פ., בן צבי, א., "השפעות שינויים אקלימיים על זמינות משאבי המים בישראל", מים והנדסת מים (2001), כרך 51, עמ' 15-10
- אנגרט, א., אילסר, ח., התחזית בידיים שלנו. התחממות הגלובלית בישראל – האפשרויות, ההשפעות וקווים למדיניות, דוח אטד (יולי, 2007)
- בין, ע., אידלמן, ע., כהן, ג. (עורכים), התמוטטות המצוק בחופי ישראל. דרכים להתמודדות והמשמעויות הכלכליות, הציבוריות והסביבתיות. מסמך מדיניות, טיוטא לדיון (אפריל, 2010)
- ברקת, ע., "ישראל בודקת אפשרות לבניית כור גרעיני להפקת חשמל", גלובס (30.11.2009)
- גלילי, א., "הרס ערי החוף העתיקות של ישראל בשנות האלפיים- אסון לאומי", בתוך פפאי, נ. (עורך), חופי ישראל 2004 דוח החברה להגנת הטבע ופורום ארגוני החוף על מצב חופי הים התיכון (יוני, 2004), עמ' 49-52
- הדר, ל., "עת לא לטעת-מחשבות לפתח שיקום הכרמל לאחר השרפה הגדולה", אדריכלות נוף (2011), גיליון 37, עמ' 23-20
- טל, י., ביטחון לאומי, מעטים מול רבים, תל אביב, דביר (1996)
- סולר, נ., "שרפות יער וחורש במערכת הים תיכונית בישראל", האגודה הישראלית לאקולוגיה ומדעי הסביבה (יולי, 2009)
- <http://www.isees.org.il/DMPage.aspx?MenuId=16&ItemId=11>
- טרדמן, מ., "האתגרים הסביבתיים הניצבים בפני העולם הערבי", זווית אחרת (12.7.2011), <http://www.zavita.co.il/index.php/archives/2706>
- טרדמן, מ., "סוגיית הפליטים מדרפור ומאריתראה – מבט ייחודי מכסא המתשאל", מתוך סופרת א. (עורך), פליטים או מהגרי עבודה ממדינות אפריקה, קתדרת חייקין לגיאואסטרטגיה, אוניברסיטת חיפה (2009), עמ' 66-48
- יהושע, נ., "הערכה כלכלית לנזקים הצפויים לשטחי החוף של ישראל כתוצאה מעליית פני הים", בתוך פפאי, נ. (עורך), חופי ישראל 2004 דוח החברה להגנת הטבע ופורום ארגוני החוף על מצב חופי הים התיכון (יוני, 2004), עמ' 44-41
- יקיר, ד., ברנד, ד., "שרפות יער ושינויי אקלים, מערכת אקולוגיה וסביבה", אקולוגיה וסביבה (2011), גיליון 1, עמ' 8-6
- נאמן, ג., "נגד שרפות רעות, בעד שרפות טובות", הארץ (3.5.2005)
- סופר, א., "איכות סביבה וביטחון לאומי", ביטחון לאומי (יוני, 2001), גיליון 1, עמ' 183-165

סופר, א., החקלאות – אבן יסוד בביטחונה של ישראל, קתדרת חייקין לגיאואסטרוטגיה, אוניברסיטת חיפה (2010)

סופר, א., המאבק על המים במזרח התיכון, תל אביב, עם עובד (2006)

סופר, א., נהרות של אש, תל אביב, עם עובד (1992)

פז, ש., "שינויי אקלים בישראל: תופעות נצפות והשלכות אפשריות על הביטחון הלאומי" כנס הרצליה השמיני, ירושלים: משכן הכנסת (20.1.2008)

פרבלוצקי, א., "אזורי חיץ להקטנת נזקי שרפות ביער ובחורש: או, השימוש בעז השחורה ככלי ממשקי בניהול החורש", אופקים בגיאוגרפיה (1992), גיליון 35-36, עמ' 107-118

פרת, א., "השפעת עליית מפלס הים על רצועת החוף והמצוק החופי", בתוך פפאי, נ. (עורך), חופי ישראל 2004 דוח החברה להגנת הטבע ופורום ארגוני החוף על מצב חופי הים התיכון (יוני, 2004), עמ' 35-40

צפיר, ר., "יידרשו בין עשרים לארבעים שנים כדי שנוף הכרמל ישוקם ויחזור למצבו הקודם", הארץ (3.12.2010)

צפיר, ר., "מומחים מזהירים: על הרשויות בארץ להיערך למחסור עתידי במוצרי מזון חיוניים", הארץ (27.2.2011)

צפיר, ר., "ספק אם "הסהר הפורה" יפרי האזור בסוף המאה", הארץ (8.2.2008)

קליאוט, נ., קידר, ג., "שרפות יער והצתות וגורמיהן האנושיים בישראל", אופקים בגאוגרפיה (1992), גיליון 35-36, עמ' 23-34

רבהון, צ., הערכות להשפעות של שינויים אקלימיים על מערכות ניקוז ועל שימור קרקע. פערי ידע וצורך במחקרים וניטורים יעודיים. אגף בכיר לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות ופיתוח הכפר (2008)

רוזן, ד., שינוי מפלס הים ובחינת ההשלכות על מצב חופי הים התיכון על ישראל, חקר הימים והאגמים לישראל (2003)

רוזן, ד., "תהליכים חופיים והשפעות שינוי האקלים על מצב חופי הים התיכון של ישראל", בתוך פפאי, נ. (עורך), חופי ישראל 2004 דוח החברה להגנת הטבע ופורום ארגוני החוף על מצב חופי הים התיכון (יוני, 2004), עמ' 21-28

Abbasi, F., Heydari, N., Sohrab, F., "Water Use Efficiency in Iran Islamic Republic: Status, Challenges and Opportunities", in AARINENA Water Use Efficiency Network Proceedings of the Expert Consultation Meeting 26-27 November 2006, ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas), Aleppo, Syria (2008), pp. 58-70

Abdellatif, A., "Arab Climate Resilience Initiative. Climate Change Impacts in the Arab Region: Toward Sustainable Energy – Resources, Challenges, and Opportunities", Consultation on Sustainable Energy: Opportunities for Renewable Resources and Increased Efficiency, Manama, Bahrain (6-7 October, 2010) (presentation)

Abdel Gelil , I., “Energy Efficiency and Renewable Resources in the Arab Region”, Consultation on Sustainable Energy: Opportunities for Renewable Resources and Increased Efficiency, Manama, Bahrain (6-7 October, 2010) (presentation)

Adapting to climate change- UK climate projection 2009, DEFRA- department for environment food and rural affairs (2009)

Agrawala, S., Moehner, A., El Raey, M., Conway, D., van Aalst, M., Hagenstad, M., Smith, J., DEVELOPMENT AND CLIMATE CHANGE IN EGYPT: FOCUS ON COASTAL RESOURCES AND THE NILE, OECD (2004)

Ahmad, A., “Post-Jonglei planning in southern Sudan: combining environment with development”, Environment and Urbanization (2008), Volume 20, pp. 575-586

Al-Alawi, M., “Desertification in Jordan: A Security Issue” in Liotta, P., Mouat, D., Kepner, W., Lancaster, J. (editors) ,Environmental Change and Human Security: Recognizing and Acting on Hazard Impacts, (NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security) (2008), pp.81-102

Al-Qinna, M., Hammouri, N., Obeidat, M., Ahmad, F., “Drought analysis in Jordan under current and future climates”, Climatic Change (2011), Volume 106, Number 3, pp. 421-440

Alexeev, A., Good, D., Reuveny, R., “Weather-Related Disasters and International Migration”, First Workshop on Climate-Induced Migration and Displacement in MENA, Marseille (June 15-16 2010) (presentation)

Alnaser, W., Alnaser, N., “Renewable Energy To Combat Climate Change for GCC Countries”,Consultation on Sustainable Energy: Opportunities for Renewable Resources and Increased Efficiency, Manama, Bahrain (6-7 October, 2010) (presentation)

Alpert, P. et al, “The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values”, Geophysical Research Letters (2002), Volume 29, Issue 11, pp. 1-4

Alyousef, Y., “Renewable Energy Research and Development in Saudi Arabia; Role of KACST”, Consultation on Sustainable Energy: Opportunities for Renewable Resources and Increased Efficiency, Manama, Bahrain (6-7 October, 2010) (presentation)

Ansink, E., Ruijs, A., “Climate Change and the Stability of Water Allocation Agreements”, Environmental and Resource Economics (2008), Volume 41, Number 2, pp. 249-266

Assaf , H., “Climate Change: Projected impacts on water resources in the Arab region and adaptation options”, Consultation on Water Scarcity and Desertification Adapting to More Extreme Conditions, Damascus, Syria, (15-16 September, 2010) (presentation)

Axelrod, M., Gabbay, S. (editors), Israel's Second National Communication on Climate Change, Ministry of Environmental Protection, Jerusalem (November 2010)

Barnett, J., “Security and climate change”, Global Environmental Change (2003), Volume 13, pp. 7–17

- Barnes, J., "Managing the Waters of Bath Country: The Politics of Water Scarcity in Syria", Geopolitics (2009), Volume 14, Issue 3, pp. 510 - 530
- Barnett, J., Adger, N., "Climate change, human security and violent conflict", Political Geography (2007), Volume 26, pp. 639-655
- Battisti, D., Naylor, R., "Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat", Science, Volume 323 (9 January 2009), pp. 240-244
- Becker, A., Inoue, S., Fischer, M., Schwegler, B., "Climate change impacts on international seaports: knowledge, perceptions, and planning efforts among port administrators", Climatic Change (2010), DOI: 10.1007/s10584-011-0043-7
- Begley, S., "Are You Ready for More? In a world of climate change, freak storms are the new normal. Why we're unprepared for the harrowing future", Newsweek (29.5.2011)
- "Beirut and Cairo in energy pact", Financial Times (London, England) (18.8.2008)
- Berger, M., "U.S.: CLIMATE CONCERNS SPUR CHANGES IN MILITARY", IPS - Inter Press Service (29.4.2010)
- Binyon, M., "Uranium provides Jordan with spark for much-needed economic bonanza; Nuclear power will drive an engineering boom as the desert nation eases its water shortage through vast projects. Michael Binyon reports", The Times (London) (15.5.2009)
- Bohannon, J., "The Nile Delta's Sinking Future. Climate change and damming the Nile threaten Egypt's agricultural Oasis", Science (19.3.2010), Volume 327, pp. 1444-1447
- Bou-Zeid, E., El-Fadel, M., "Climate change and water resources in Lebanon and the Middle East", Journal of Water Resources Planning and Management (2002), Volume 128 (5), pp. 343-355
- Brown, L., Mcgrath, P., Stokes, B., "Twenty two dimensions of the population problem", Worldwatch Paper 5, Washington DC: Worldwatch Institute (1976)
- Brown, L., "An Untraditional View of National Security", World Watch (1977), Volume 14, pp. 21-22
- Brooks, D., Trottier, J., "Confronting water in an Israeli-Palestinian peace agreement", Journal of Hydrology (2010), Volume 382, pp. 103-114
- Black, R., Kniveton, D., Skeldon, R., Coppard, D., Murata, A., Schmidt-Verkerk, K., Working Paper T-27. Demographics and Climate Change: Future Trends And their Policy Implications for Migration, Development Research Centre on Migration, Globalisation and Poverty, University of Sussex (2008)
- Bohannon, J., "The Nile Delta's Sinking Future. Climate change and damming the Nile threaten Egypt's agricultural Oasis", Science (19.3.2010), Volume 327, pp. 1444-1447
- Bronner, E., "Israel finds energy riches but also new headaches", The International Herald Tribune (20.8.2010)

Brown, O., Crawford, A., Climate Change and Security in Africa. A study for the Nordic- African Ministers of Foreign Affairs Forum 2009, International Institute for Sustainable Development (2009)

Buhaug, H., "Climate not to blame for African civil wars", PNAS (September 21, 2010), Volume 107, Number 38, pp. 16477-16482

Busby, J., Climate change and national security: an agenda for action, Council on Foreign Relations (November, 2007), CSR No. 32

Busby, J., Who Cares about the Weather? Climate Change and U.S. National Security, Human Security and Climate Change An International Workshop, Holmen Fjord Hotel, Asker, near Oslo, (21–23 June 2005)

Butts, K., "Climate Change: Complicating the Struggle against Extremist Ideology", in Pumphrey, C.(editor), Global Climate Change: National Security Implications, SSI (Strategic Studies Institute United States Army War College) (2008), pp.127-141

Cascão, A., "Ethiopia–Challenges to Egyptian hegemony in the Nile Basin", Water Policy (2008), Volume 10, Number S2, pp. 13–28

Chircop, A., "Climate Change and the Prospects of Increased Navigation in the Canadian Arctic", WMU Journal of Maritime Affairs (2007), Volume 6, Number 2, pp. 193–205

Climate Change Adaptation Strategy and Programme of Action for the Palestinian Authority, United Nations Development Programme, Programme of Assistance to the Palestinian People, Jerusalem (2010)

Daoud, M., "Water Use Efficiency for agricultural purposes in Syria", in AARINENA Water Use Efficiency Network Proceedings of the Expert Consultation Meeting 26-27 November 2006, ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas), Aleppo, Syria (2008), pp.155-162

Dagge, J., "Parting the Waters", Syria Today (May, 2011), Issue 72

Dasgupta, S., Laplante, B., Meisner, C., Wheeler, D., Jianping, Y., "The impact of sea level rise on developing countries: a comparative analysis", Climatic Change (2009), Volume 93, pp. 379–388

Dawson, A., "Rates and Mechanisms of Climate Change: Implications for Ports and Harbours", WMU Journal of Maritime Affairs (2008), Volume 7, Number 2, pp. 467–476

Demianyk, G., "West vulnerable to storms threat; Westcountry communities have never been more at risk from the perils of climate change as roads and rail lines become increasingly "vulnerable", a report has warned", Western Morning News (Plymouth, UK) (25.6.2009)

Dessler, A., E., Dessler, A., Parson, E., The Science and Politics of Global Climate Change: A Guide to the Debate(second edition), Cambridge University Press (2010)

Detraz, N., Betsill, M., "Climate Change and Environmental Security: For Whom the Discourse Shifts", International Studies Perspectives (August 2009), Volume 10, Issue 3, pp. 303–320

Di Baldassarre, G., Elshamy, M., van Griensven, A., Soliman, E., Kigobe, M., Ndomba, P., Mutemi, J., Mutua, F., Moges, S., Xuan, Y., Solomatine, D., Uhlenbrook, S., "Future hydrology and climate in the River Nile basin: a review", Hydrological Sciences Journal (2011), Volume 56 (2), pp. 199-201

Di Bartolomeo, A., "Climate change and Migration Scenarios in the MENA Region", First Workshop on Climate-Induced Migration and Displacement in MENA, Marseille (June 15-16 2010) (presentation)

Dietrich, J., "Meeting the Challenges of Sea Level Rise and Coastal Erosion.... a Case Story Shoreline Management from The North West Coast of Egypt", Consultation on Sea-Level Rise and Coastal Erosion Addressing the Impacts, Cairo, Egypt (15-16 September, 2010) (presentation)

Dronin, N., Kirilenko, A., "Climate change and food stress in Russia: what if the market transforms as it did during the past century?", Climatic Change (2008), Volume 86, pp. 123-150

Dronin, N., Kirilenko, A., "Climate change, food stress, and security in Russia", Regional Environmental Change (2010), Volume 11, pp. 167-178

Edward H. Allison, E., Perry, A., Badjeck, M., Adger, W., Brown, K., Conway, D., Halls, A., Pilling, G., Reynolds, J., Andrew, N., Dulvy, N., "Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries", FISH and FISHERIES (2009), Volume 10, pp. 173-196

"Egypt; Desert Winds Stir New Hope", Africa News, Inter Press Service (Johannesburg) (9.9.2009)

"Egypt to provide Lebanon with power through Jordan, Syria", Jordan Times website, Amman, in English (2.9.2008)

El-Atrache, T., "160 Syrian villages deserted 'due to climate change'", AFP (2.6.2009)

El-Batran, M., "Climate Change and Its Impacts on Internal and External Migration: the case of Egypt", First Workshop on Climate-Induced Migration and Displacement in MENA, Marseille (June 15-16 2010) (presentation)

El-Nahry, A., Doluschitz, R., "Climate change and its impacts on the coastal zone of the Nile Delta, Egypt", Environmental Earth Sciences (2010), Volume 59, pp. 1497-1506

El Raey, M., Impact of Sea Level Rise on the Arab Region, University of Alexandria and Regional Center for Disaster Risk Reduction Arab Academy of Science, Technology and Maritime Transport (2010)

El-Sayed, S., Environmental Security in the Arab World, Paper prepared for presentation at the Meeting of the International Studies Association, 17-20 March 2004, Montreal, Canada

Elshinnawy, I., "Vulnerability Assessment and Adaptation Policies for C C Impacts on the Nile Delta Coastal Zones", Consultation on Sea-Level Rise and Coastal Erosion Addressing the Impacts, Cairo, Egypt (15-16 September, 2010) (presentation)

"ENERGY FOR TOMORROW; EGYPTIAN ENERGY STRIDES AHEAD; Egypt's Petroleum Future: Adding value to natural gas, developing deepwater prospects are key goals", Oil & Gas Journal (18.2.2008)

Evans, J., "21st century climate change in the Middle East", Climatic Change (2009), Volume 92, pp. 417–432

Farajalla, N., "Climate Change and Water Resources in Lebanon", Consultation on Water Scarcity and Desertification Adapting to More Extreme Conditions, Damascus, Syria, (15-16 September, 2010) (presentation)

Fardous, A., Jitan, M., "Water Use Efficiency in Jordan", in AARINENA Water Use Efficiency Network Proceedings of the Expert Consultation Meeting 26-27 November 2006, ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas), Aleppo, Syria (2008), pp. 71-104

Fargues, F. (editor), Mediterranean Migration 2006-2007 report, Cooperation project on the social integration of immigrants, migration, and the movement of persons, Financed by the European Commission - MEDA Programme, European University Institute, Robert Schuman Centre for Advanced Studies (2007)

Fedoroff, N. et al., "Radically Rethinking Agriculture for the 21st Century", Science (12.2.2010) , Volume 327, pp. 833-834

Fifield, A., "Double blow for Syria's energy security", Financial Times (London, England) (20.11.2008)

Fielding-Smith , A., "Lebanon's other power struggle", Financial Times (London, England) (9.9.2010)

Fleischer, A., Lichtman, I., Mendelsohn, R., "Climate change, irrigation, and Israeli agriculture: Will warming be harmful?", ECOLOGICAL ECONOMICS (2008), Volume 65, pp. 508 – 515

Freed, J., Horwitz, E., Ershow, J., "Thinking Small On Nuclear Power", NUCLEAR ENERGY, The Clean Energy Program (September 2010)

Gemenne, F., "Climate-induced migration and the securitization of borders in the Mediterranean. Conflicting policy directions", First Workshop on Climate-Induced Migration and Displacement in MENA, Marseille (June 15-16 2010) (presentation)

Ghanem, M., Abu Zied, N., Abu Saada, M., Ali, W., "Using Groundwater Flow Model for the potentiality of the Sustainable Aquifer Management: Case Study Bethlehem Area /West Bank", Arab Water Council Journal (March 2007), Volume 1, Number. 1, pp. 32-41

Gold, D., "How Israel could revolutionize the global energy sector", The Jerusalem Post (11.3.2011)

Goosen, J., "Nuclear Process Heat Desalination", GCEP – Fission Energy Workshop (November 29-30, 2007) Stanford University (Presentation)

Govindarajalu, C., "Middle East and North Africa Region In a Changing Climate", Consultation on Sustainable Energy: Opportunities for Renewable Resources and Increased Efficiency, Manama, Bahrain (6-7 October, 2010) (presentation)

"Greece, Lebanon sign memorandum of cooperation in energy sector", Athens News Agency-Macedonian Press Agency website, Athens, in English (27.10.2008)

Gregory, P., Ingram, J., Brklacich, M., "Climate change and food security", Philosophical Transactions (2005), Volume 360, pp. 360, 2139–2148

Gurcanli, Z., "Daily says Turkey to facilitate Syria-Israel peace deal with water from Euphrates", Text of report by Turkish daily Hurriyet website, Istanbul, in Turkish (29.5.2008)

Haddouche, A., "ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY MOROCCO: INTEGRATED APPROACH SOLAR PLAN", Consultation on Sustainable Energy: Opportunities for Renewable Resources and Increased Efficiency, Manama, Bahrain (6-7 October, 2010) (presentation)

Haider, A., "Climate Induced Migration & Displacement –Sub-Sahara Region", First Workshop on Climate-Induced Migration and Displacement in MENA, Marseille (June 15-16 2010) (presentation)

Haim, D., Shechter, M., Berliner, P., "Assessing the impact of climate change on representative field crops in Israeli agriculture: a case study of wheat and cotton", Climatic Change (2008), Volume 86, pp. 425–440

Hajiah, A., "Sustainable Energy in Kuwait –Challenges and Opportunities", Consultation on Sustainable Energy: Opportunities for Renewable Resources and Increased Efficiency, Manama, Bahrain (6-7 October, 2010) (presentation)

Haldén, P., The Geopolitics of Climate Change: Challenges to the International System, FOI, Swedish Defence Research Agency, Stockholm (2007)

Hansen, L., "Rising Sea Levels Threaten Egypt's Ancient Cities", NPR (20 April 2008)

Hartman, B., "Green panel explores Beduin's role in solar energy. Rahat mayor to Eilat-Eilat conference: It could help residents enjoy greater employment and income", The Jerusalem Post (27.2.2011)

Hartmann, B., "Rethinking climate refugees and climate conflict: Rhetoric, reality and the politics of policy discourse", Journal of International Development (March 2010), Volume 22, Issue 2, pp. 233–246

Hassan, S., "The current initiatives in renewable energy and energy efficiency across the Arab region", Consultation on Sustainable Energy: Opportunities for Renewable Resources and Increased Efficiency, Manama, Bahrain (6-7 October, 2010) (presentation)

Hawkes, P., Pauli, G., Moser, H., Arntsen, Ø., Gaufres, P., Mai, S., White, K., WATERBORNE TRANSPORT, PORTS AND NAVIGATION: CLIMATE CHANGE DRIVERS, IMPACTS AND MITIGATION, PIANC MMX Congress Liverpool UK (2010)

Hermann, C., "Are the Dimensions and Implications of National Security Changing?", Mershon Center Quarterly, Report 3, 101, pp.5-7

Heggy, E., "Climate Change and Its Impact on Egypt: "When the Unpredicted Happens"", Consultation on Sea-Level Rise and Coastal Erosion Addressing the Impacts, Cairo, Egypt (15-16 September, 2010) (presentation)

Hellman, Z., "An Alternative to Oil", The Jerusalem Post (1.3.2010)

Hendrix, C., Haggard S., Magaloni, B., Grievance and Opportunity: Food Prices, Political Regime, and Protest, Paper prepared for presentation at the International Studies Association convention, New York (February 15-18, 2009)

Hertel, T., Rosch, S., "Climate Change, Agriculture, and Poverty", Applied Economic Perspectives and Policy (2010), pp. 1–31

Hibbs , M., "Jordan to identify site, technology for first power reactors by early 2011", Platts Nucleonics Week (26.3.2009)

Holden, C., "Higher Temperatures Seen Reducing Global Harvests", Science, Volume 323 (9 January 2009), p. 193

Hrayshat, E., "Analysis of renewable energy situation in Jordan", Renewable and Sustainable Energy Reviews (2007), Volume 11, pp. 1873–1887

Hummel, D., "The Interaction of Population Dynamics and Transformations in Water Supply Systems in the Jordan River Basin", in Climatic Changes and Water Resources in the Middle East and North Africa Environmental Science and Engineering (2008), pp. 497-518

Issar, A., Adar, E., "Progressive development of water resources in the Middle East for sustainable water supply in a period of climate change", Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, (November 28, 2010), Volume 368, Number 1931, pp. 5339-5350

Issar, A., "Planted deserts will prevent famine and sequester CO₂", International Journal of Development Issues (2010), Volume 9, Issue 3, pp.192 – 197

Isted, C., "Jordan urges greater innovation in reactor design", Platts Nucleonics Week (3.3.2011)

Janabi , H., "Water Security in Iraq", Consultation on Water Scarcity and Desertification Adapting to More Extreme Conditions, Damascus, Syria, (15-16 September, 2010) (presentation)

Jefferson, M., "CLIMATE RESILIENCE – Balancing sound energy initiatives against future challenges", Consultation on Sustainable Energy: Opportunities for Renewable Resources and Increased Efficiency, Manama, Bahrain (6-7 October, 2010) (presentation)

"Jordan, Russia to promote energy cooperation", Jordan Times website, Amman, in English (20.1.2011)

"Jordanian official says country's potential uranium reserves growing", Jordan Times website, Amman, in English (15.12.2010)

Karam, F., " Water Use Efficiency in Lebanon" in AARINENA Water Use Efficiency Network Proceedings of the Expert Consultation Meeting 26-27 November 2006, ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas), Aleppo, Syria (2008), pp.105-117

Khalil, F., Farag, H., El Afandi, G., Ouda, S., "VULNERABILITY AND ADAPTATION OF WHEAT TO CLIMATE CHANGE IN MIDDLE EGYPT", Thirteenth International Water Technology Conference, IWTC 13 2009, Hurghada, Egypt (2009) pp. 71-88

King, G., "Jordan approves agreement with BP over Risha gas field", Platts Oilgram News (8.10.2009)

Kliger, R., "A shift in weather patterns, or just a dry season? Drought ruins 250,000 Syrian farmers", The Jerusalem Post (24.1.2010)

Khresat, S., "Effect of climate change on agriculture sustainability in Jordan", Geophysical Research Abstracts (2009) Vol. 11

Koetse, M., Rietveld, P., "The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings", Transportation Research (2009), Part D 14, pp 205–221

Kostin, V., Samoilov, O., Kuul, V., Kurachenkov, A. et al., "THE VBER-300 REACTOR PLANT ON THE BASIS OF PROVEN NUCLEAR SHIPBUILDING TECHNOLOGIES FOR GROUND-BASED AND FLOATING NUCLEAR POWER PLANTS", 5th International Conference on "Nuclear Option in Countries with Small and Medium Electricity Grid", Dubrovnik (May 16-20, 2004)

Kostin, V., Panov, Y., Polunichev, V., Fateev, S., Gureeva, L., "NUCLEAR POWER DESALINATING COMPLEX WITH IRIS REACTOR PLANT AND RUSSIAN DISTILLATION DESALINATING UNIT", 5th International Conference on Nuclear Option in Countries with Small and Medium Electricity Grids Dubrovnik, Croatia (May 16-20, 2004)

Lautze, J., Kirshen, P., "Water allocation, climate change, and sustainable water use in Israel/Palestine: the Palestinian position", Water International (June 2009), Volume 34, Number 2, pp. 189–203

"Lebanon, Iran sign 17 trade agreements", The Daily Star website, Beirut, in English (14.10.2010)

Levy, M., "Is the environment a national security issue", International Security (1995), Volume 20(2), pp. 35-62

Link, P., M., Piontek, F., Scheffran, J., Schilling, J., "Integrated Assessment of Climate Security Hot Spots in the Mediterranean Region: Potential Water Conflicts in the Nile River Basin", Paper presented at the Conference "Climate Change and Security", Trondheim, Norway (21-24 June, 2010)

Livshitz, Y., Issar, A., "Applying the Conceptual-Model of Progressive Development to the Contaminated Aquifer Underlying Israel's Coastal Plain", Journal of Water Resource and Protection (May 2010), Volume 2, Number 5, pp. 396-402

Link, P., M., Piontek, F., Scheffran, J., Schilling, J., "Integrated Assessment of Climate Security Hot Spots in the Mediterranean Region: Potential Water Conflicts in the Nile River Basin", Paper presented at the Conference "Climate Change and Security", Trondheim, Norway (21-24 June, 2010)

Lobell, D., Burke, M., Tebaldi, C., Mastrandrea, M., Falcon, W., Naylor, R., "Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030", Science, Volume 319 (1 February 2008), pp. 607-610

- Megahed, M., "Nuclear desalination: history and prospects", Desalination (2001), Volume 135, pp. 169–185
- Meier, P., Bond, D., Bond, J., "Environmental influences on pastoral conflict in the Horn of Africa", Political Geography (August 2007), Volume 26, Issue 6, pp. 716-735
- Melloul, A., Collin, M., "Hydrogeological changes in coastal aquifers due to sea level rise", Ocean & Coastal Management (2006), Volume 49, pp. 281–297
- Mimi, Z., Mason, M., Zeitoun, M., "Climate Change: Impacts, Adaptations and Policy-Making Process: Palestine as a Case Study", Consultation on Water Scarcity and Desertification Adapting to More Extreme Conditions, Damascus, Syria, (15-16 September, 2010) (presentation)
- Misra , B., "Desalination of seawater using nuclear energy", Arab Gulf Journal of Scientific Research (2006)
- Morrow, A., "Israel's gas discovery set to change political relations in Mideast; Offshore find poses challenge of deep-water drilling and could bring either regional conflict or stability", The Globe and Mail (Canada) (31.12.2010)]
- Muir, M., "Impacts and Adaptation to Climate Induced Migration In Coastal and Marine Zones of the Middle East, North Africa and Mediterranean", First Workshop on Climate-Induced Migration and Displacement in MENA, Marseille (June 15-16 2010) (presentation)
- Nanteza, J., "CLIMATE CHANGE INDUCED DISPLACEMENT IN THE IGAD REGION: IMPLICATIONS FOR POLICY AND LIVELIHOODS AMONG PASTORAL COMMUNITIES", First Workshop on Climate-Induced Migration and Displacement in MENA, Marseille (June 15-16 2010) (presentation)
- Naude, W., "The Determinants of Migration from Sub-Saharan African Countries", Journal of African Economies (2010), Volume 19, Number 3, pp. 330–356
- Niazi, A., "Climate Change in MENA:Migration in Syria and Egypt", First Workshop on Climate-Induced Migration and Displacement in MENA, Marseille (June 15-16 2010) (presentation)
- Ooi , T., "Egypt seeks Australian help with nuclear plant", The Australian (5.5.2009)
- Oroud, I., "The Impacts of Climate Change on Water Resources in Jordan", in Zereini, F., Hötzl, H. (editors), Climatic Changes and Water Resources in the Middle East and North Africa, Springer (2008), pp. 109-123
- Osman-Elasha, B., "Regional Synopsis of Adaptation to Climate Change", Consultation on Water Scarcity and Desertification Adapting to More Extreme Conditions, Damascus, Syria, (15-16 September, 2010) (presentation)
- Osman-Elasha, B., Mapping of Climate Change Threats and Human Development Impacts in the Arab Region, Arab Human Development report research paper Series (2010)
- Osman-Elasha, B., Climate Change Adaptation: Options and Good Practices for the Arab Region, United Nations Development Programme - Regional Bureau for Arab States (2010)

- Pagnamenta, R., "Huge gas discovery reinforces Israel's power in Middle East", The Times (London) (30.12.2010)
- Paz, S., Kutiel, H., "Rainfall regime uncertainly (RRU) in an Eastern Mediterranean region – A methodological approach", Israel Journal of Earth Science (2003), Volume 52, pp. 47-63
- Penny, C., "Greening the security council: climate change as an emerging "threat to international peace and security", International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics (2007), Volume 7, Number 1, pp. 35-71
- Perch-Nielsen, S., "The vulnerability of beach tourism to climate change – an index approach", Climatic Change (2010), Volume 100, pp. 579–606
- Planning for Climate Change Impacts at U.S. Ports. White Paper. Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency (July 2008)
- Raleigh, C., "Political Marginalization, Climate Change, and Conflict in African Sahel States", International Studies Review (2010), Volume 12, Issue 1, pp. 69-86
- Rushton, P., "International Organization for Migration Sudan Climate and Environment Activities and Findings", Consultation on Water Scarcity and Desertification Adapting to More Extreme Conditions, Damascus, Syria, (15-16 September, 2010) (presentation)
- Rimmer, A., "Long term stratification changes in the Sea of Galilee, Israel – climate change or water usage pattern change?", Geophysical Research Abstract (2009), Volume 11
- Rozenberg, D., "Political tensions cast shadow over eastern Mediterranean gas bonanza. Israel, Cyprus delineate their maritime border, upsetting Turkey", Jerusalem Post (23.12.2010)
- "Russian, Chinese, North Korean companies bid to build Egyptian nuclear reactor", Text of report by Egyptian Muslim Brotherhood website Amlalommah Alexandria, in Arabic (translation) (19.2. 2008)
- Saber, M., "Environment in Jeopardy: Consequences of climate change in Egypt", Journal of Ecology and the Natural Environment (November, 2009), Volume 1(5), pp.191-195
- Sale, H., "Egypt's food inflation feeds social unease", Financial Times (London, England) (31.8.2010)
- Salem, H., "The Environmentally-Induced Migration (EIM) as Related to Climate Change Impacts in the Middle East and North Africa (MENA) Region: Global Warming and Climate Change: A Man-Made Disaster or Natural Phenomenon?", First Workshop on Climate-Induced Migration and Displacement in MENA, Marseille (June 15-16 2010) (presentation)
- Samuels, R., Rimmer, A., Krichak, S., Alpert, P., "Climate Change impacts on the Jordan River, Israel: Downscaling application from a Regional Climate Model", Geophysical Research Abstracts (2009), Volume 11
- Sandler, N., "Gazprom in discussions for stake in Israel offshore block", Platts Oilgram News (25.11.2010)

Sands, D., "DOE partners with the Pentagon to cut oil, electricity use at military bases", Platts Inside Energy (2.8.2010)

Santucci, A., "Migration, Climate Change and the Environment", Consultation on Sea-Level Rise and Coastal Erosion Addressing the Impacts, Cairo, Egypt (15-16 September, 2010) (presentation)

Schmidhuber, J., Tubiello, F., "Global food security under climate change", PNAS (December 11, 2007), Volume 104, Number 50, pp. 19703–19708

Seneviratne, G., "Research projects show nuclear desalination economical", Nuclear News (April 2007), pp. 60-63

Sensoy, S., Simsek, O., Yalcin, G., Ulupinar, Y., Demircan, M., Balta, I., Mengü, G., "Climate Change Impacts on Agriculture and Water Resources in and around Turkey", Technical Conference on Changing Climate and Demands for Climate Services for Sustainable Development, Antalya, Turkey (16-18 February 2010), pp. 11-12

Shaffer, B., Energy politics, University of Pennsylvania Press (2009)

Shalaby, T., "The Impact of Climate Change on Migration: The Case of Egypt", First Workshop on Climate-Induced Migration and Displacement in MENA, Marseille (June 15-16 2010) (presentation)

Shiva, V., "Leaving the land in Syria", Seedling (10 October 2009) pp. 42-43

Sissoko, K., van Keulen, H., Verhagen, J., Tekken, V., Battaglini, A., "Agriculture, livelihoods and climate change in the West African Sahel", Regional Environmental Change (2011), Volume 11, pp. 119-125

Sobelman, B., "Israel warily watches turmoil next door; Upheaval in Egypt could undermine a cornerstone of the Jewish state's regional strategy", Los Angeles Times (31.1.2011)

Socolow, R., Glaser, A., "Balancing risks: nuclear energy & climate change", Dædalus (Fall 2009), pp. 31-44

Solh, M., "Tackling the drought in Syria", Nature Middle East, EISSN: 2042-6046 (27.9.2010)

Stanhill, G., Cohen, S., "Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences", Agricultural and Forest Meteorology (2001), Volume 107, pp. 255–278

Stern, Y., "Jordan announces plans to build nuclear power plant by 2015", Haaretz (2.4.2007)

Sutcliffe, J., Parks, Y., "Upstream influence on the wetlands of the Bahr el Jebel, Sudan", Hydroecology: Linking Hydrology and Aquatic Ecology (Proceedings of Workshop HW2 held at Birmiingham, UK. July 1999). IA1 IS Publ' (2001), Number 266, pp. 125-138

"SYRIA: Drought driving farmers to the cities", IRIN (2.9.2009)

"Syrian-Turkish conference discusses energy-market prospects", Text of report in English by Turkish semi-official news agency Anatolia (17.3.2011)

- Swarup, A. et al., Reaching Tipping Point? Climate change and poverty in Tajikistan, Oxfam (2009)
- “Three companies to submit offers to build Jordan's nuclear power plant”, Text of report by Jordanian newspaper Al-Arab al-Yawm Amman, in Arabic (23.1. 2011)
- Tir, J., Stinnett, D., Coping with the Consequences of Climate Change: International Institutions as Strategies for Mitigating Conflict over Water Resources, Paper prepared for presentation at the Climate Change and Security Conference, Trondheim, Norway (June 21-24, 2010)
- Tolba, M., Saab, N. (editors), Arab Environment: Future Challenges, Arab Forum for Environment and Development (AFED) Report (2008)
- Toll, M., “Investigating Unconsolidated Aquifers in an Arid Environment – A Case Study from the Lower Jordan Valley/Jordan”, in Climatic Changes and Water Resources in the Middle East and North Africa Environmental Science and Engineering (2008), pp. 289-324
- Torab, M., “Modern shoreline changes along the Nile Delta Coast as an impact of construction of the Aswan High Dam”, Geographia Technica (2007), Number 2, pp. 69-76
- Trieb, F., Müller-Steinhagen, H., “Concentrating solar power for seawater desalination in the Middle East and North Africa”, Desalination (2008), Volume 220, pp. 165–183
- “UN climate chief warns warming can cause conflict”, The Bismarck Tribune (16.2.2011)
- Viner, D., Agnew, M., Climate Change and Its Impacts on Tourism, Report Prepared for WWF-UK (July 1999)
- Waldoks, E., “15 new solar fields will produce 100MW of power”, The Jerusalem Post (8.2.2010)
- Warner, K., Hamza, M., Oliver-Smith, A., Renaud, F., Julca, A., “Climate change, environmental degradation and migration”, National Hazards (2010), Volume 55, pp. 689–715
- Wasser, L., “Egypt needs more natural gas for electricity”, Platts Oilgram News (5.4.2010)
- Watkins, E., “The scramble for East Mediterranean gas is on”, Oil & Gas Journal (4.10.2010)
- Webber, M., “Energy versus Water: Solving Both Crises Together”, Scientific American (October, 2008)
- Weinthal, E., “Water, Climate Change, and Human Security”, in Pumphrey, C.(editor), Global Climate Change: National Security Implications, SSI (Strategic Studies Institute United States Army War College) (2008), pp. 77-85
- White, G., “Morocco as a “Transit State””, First Workshop on Climate-Induced Migration and Displacement in MENA, Marseille (June 15-16 2010) (presentation)
- Wichelns D., Barry, Jr. J., Muller, M., Nakao, M., Philo, L., Zitello, A., “Co-operation regarding water and other resources will enhance economic development in Egypt, Sudan, Ethiopia and Eritrea”, International Journal of Water Resources Development (December 2003), Volume 19, Number 4, pp. 535-552

“Wind power can help ease Lebanon's energy woes – report”, The Daily Star website, Beirut, in English (27.1.2011)

Zakieldeen, S., Adaptation to Climate Change: A Vulnerability Assessment for Sudan, Gatekeeper (November 2009), Volume 142

Zeitoun, M., Power and Water in the Middle East: The Hidden Politics of the Palestinian-Israeli Water Conflict, London: Tauris (2008)

Zino, I., “Renewable Energies in Algeria”, Consultation on Sustainable Energy: Opportunities for Renewable Resources and Increased Efficiency, Manama, Bahrain (6-7 October, 2010) (presentation)

Zohry, A., Migration and Development in Egypt, Paper Prepared For Project on Migration as a Potential and Risk Funder by Robert Bosch Foundation Institute for Migration and Cultural Studies (IMIS), Osnabruck University (2007)

Agrawala S., Bosello F., Carraro C., De Cian E., Lanzi E., de Bruin K., Dellink R., (2010) "PLAN or REACT? Analysis of adaptation costs and benefits Using Integrated Assessment Models", OECD Environment Working Papers, No. 23, OECD Publishing.

Agrawala S., Fankhauser S., (2008) "Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Costs, Benefits and Policy Instruments", OECD, Paris.

Agrawala S., Kramer A.M., Prudent-Richard G., Sainsbury M., (2010) "Incorporating Climate Change Impacts and Adaptation in Environmental Impact Assessments: Opportunities and Challenges", OECD Environment Working Papers No. 24, p. 38.

Amdur L., Bertke E., Freese J., Marggraf R., (2011) "Agri-Environmental Policy Measures in Israel: The Potential of Using Market-Oriented Instruments", *Environmental Management*, 47, pp. 859–875.

Australia, Department of Climate Change, Australian government (2010), Adapting to climate change in Australia 2010.

Bahn O., Chesney M., Gheysens J., (2010) "The Effect of Adaptation Measures on the Adoption of Clean Technologies" paper presented at the WCERE Congress, Montréal, 2010. Viewed on December 22, 2010, <http://www.webmeets.com/files/papers/WCERE/2010/793/Bahn-WCERE2010.pdf>

Baron J.S., Gunderson L., Allen C.G., Fleishman E., McKenzie D., Meyerson L.A., Oropeza J., Stephenson N., (2009) "Options for national parks and reserves for adapting to climate change", *Environmental Management*, 44, pp. 1033-1042.

Barrett S., (2008) "A Portfolio System of Climate Treaties," Discussion Paper 08-13. The Harvard Project on International Climate Change Agreements.

Barrett S., (2008) "Dikes v. Windmills: Climate Treaties and Adaptation", paper presented at the workshop "The Environment, Technology and Uncertainty" of the Ragnar Frisch Centre for Economic Research, Oslo, <http://www.frisch.uio.no/renergi/Barrett.pdf>.

Bauer A., Feichtinger, J., Steurer, R., (2011) "The governance of climate change adaptation in ten OECD countries: Challenges and approaches", The Institute of forest, environmental, and natural resource policy, Austria: Vienna, pp 4-28.

Belgium, National climate commission, (2010) Belgium national climate change adaptation strategy, Belgium: pp 3-39.

Berrang-Ford L., Ford J.D., Paterson J., (2011) "Are we adapting to climate change?", *Global Environmental Change*, 21, pp. 25–33.

Bloch D. A., (2010) "Financing Adaptation to Climate Change with Climate Derivatives", Working Paper, Université Paris VI Pierre et Marie Curie.

- Bosello F., Carraro C., De Cian E., (2010) "Climate Policy and the Optimal Balance between Mitigation, Adaptation and Unavoided Damage", FEEM Working Paper No. 32.2010 CMCC Research Paper No. 86. And *Climate Change Economics: Vol.1: No. 2*, pp 1-22.
- Bosello F., Carraro C., De Cian E., (2010a) "Market- and Policy-driven adaptation" in Bjorn Lomborg (ed) *Smart Solutions to Climate Change*, Chapter 6, pp. 222-283, Cambridge University Press.
- Bosello F., (2008) "Adaptation, Mitigation and Green R&D to Combat Global Climate Change. Insights From an Empirical Integrated Assessment Exercise", CMCC Research Paper No.20.
- Bosello F., Roson R., Tol R.S.J., (2006) "Economy-wide estimates of the implications of climate change: human health, *Ecological Economics*, 58, pp. 579-591.
- Bréchet T., Hritonenko N., Yatsenko Y., (2010) "Adaptation and mitigation in long-term climate policies", CORE Discussion Papers No. 65, Université catholique de Louvain, Center for Operations Research and Econometrics (CORE).
- Buob S., Gunter S., (2008) "Global climate change and the funding of adaptation", Bern University Discussion Papers 08-04.
- Buob S., Gunter S., (2011) "To mitigate or to adapt: How to confront global climate change", *European Journal of Political Economy*, 27: 1-16.
- Burton I., (1996) "The growth of adaptation capacity: practice and policy", In J.B. Smith et al. (eds) *Adapting to Climate Change: An International Perspective*. New York: Springer, pp. 55-67.
- Callaway J.M., Næss L.O., Ringius L., (1998) "Adaptation costs: a framework and methods", In: *Mitigation and Adaptation Cost Assessment—Concepts, Methods and Appropriate Use* [Francis, D., C. Brooke and K. Halsnæs (eds.)]. UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, pp. 97–119.
- Callaway J.M. (2004) "Adaptation Benefits and Costs: Are they Important in the Global Policy Picture and How Can We Estimate Them?", *Global Environmental Change* 14, pp. 273–282.
- Campbell-Lendrum D., Woodruff R., (2007) "Climate change: Quantifying the health impact at national and local levels", *Environmental burden of disease series*, No. 14.
- Cartalis C., Synodinou A., Proedrou M., Tsangrassoulis A., Santamouris M., (2001), "Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: an assessment for the southeast Mediterranean region", *Energy Conversion and Management*, Vol. 42, No. 14, pp. 1647-1656.
- Carter, T.L., Parry M.L., Nishioka S. Harasawa H., (1994) "Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations". Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, University College London and Centre for Global Environmental Research, London, UK and Tsukuba, Japan, x+59 pp.
- Ciscar J.C. (ed.), (2009), "Climate change impacts in Europe", Final report of the PESETA research project, JRC scientific and technical reports.

Dasgupta S., Laplante B., Meisner C., Wheeler D., Yan J., (2007) "The Impact of Sea Level Rise on Developing Countries: A Comparative Analysis", World Bank Policy Research Working Paper 4136.

Danish government, (2008), Danish strategy for adaptation to a changing climate 2008.

De Bruin K.C., Dellink R.B., Tol R.S.J., (2009) "AD-DICE: An Implementation of Adaptation in the DICE Model," *Climatic Change*: Vol.95, pp 63–81.

De Bruin K.C., Dellink R.B., Agrawala S., (2009) "Economic aspects of adaptation to climate change: integrated assessment modelling of adaptation costs and benefits," OECD Environment Working Paper, No. 6.

De Bruin, K.C., Dellink R.B., Tol, R.S.J., (2010), "International Cooperation on Climate Change Adaptation from an Economic Perspective", FEEM Working Paper No. 63.

De Bruin, K.C., Weikard, H., Dellink, R.B., (2011), "The Role of Proactive Adaptation in International Climate Change Mitigation Agreements", CERRE Working Paper No. 2011:9, Umea University, Sweden.

De Cian E., Lanzi E., Roson R., (2007) "The Impact of Temperature Change on Energy Demand: A Dynamic Panel Analysis", FEEM Working Paper No. 46.

Dellink R.B., (2009), "Sharing the burden of financing adaptation to climate change", *Global Environmental Change*, 19, No. 4, pp. 411-421.

Dore Mohammed H.I., Burton I., (2001) "The Costs of Adaptation to Climate Change in Canada: A Stratified Estimate by Sectors and Regions Social Infrastructure", Climate Change Laboratory, Brook University, St. Catherines, Ontario.

Ebi K.L., Teisberg T.J., Kalkstein L.S., Robinson L., Weiher R.F., (2004) "Heat Watch/Warning Systems Save Lives: Estimated Costs and Benefits for Philadelphia 1995-1998", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(8): pp. 1067-1073.

Economic of Climate Adaptation Working Group (2009), "Shaping Climate-Resilient Development a framework for decision-making", ECA.

El-Fadel M., Bou-Zeid E., (2003) "Climate change and water resources in the Middle East: a vulnerability and adaptation assessment", In *Climate change in the Mediterranean: socio-economic perspectives of impacts, vulnerability and adaptation*, By Giupponi and Shechter, in Part III, issue 1, pp. 53-74.

European Environment Agency (EEA) (2007) "Climate Change: The Cost of Inaction and the Cost of Adaptation", EEA Technical Report, No. 13/2007.

Fankhauser S., (1994) "Protection vs. retreat—the economic costs of sea level rise," *Environmental Planning A*: Vol.27: No.2, pp 299–319.

Fankhauser, S., Smith J.B, Tol . R.S.J., (1999) "Weathering climate change: some simple rules to guide adaptation decisions", *Ecological Economics*, Vol. 30, No. 1, pp. 67–78.

- Fankhauser S., (2010) "The costs of adaptation", Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, Vol. 1: No. 1, pp 23–30.
- Farber, D. A., (2011), "The Challenge of Climate Change Adaptation: Learning from National Planning Efforts in Britain, China, and the United States", UC Berkeley Public Law Research Paper No. 1789194.
- Finland, Ministry of agriculture and forestry of Finland, (2005) Finland's national strategy for adaptation to climate change, Publication 1a/2005.
- Galatowitsch, S., L. Frelich, and Phillips-Mao. L., (2009) "Regional climate change adaptation strategies for biodiversity conservation in a midcontinental region of North America, *Biological Conservation*, 142, pp. 2012-2022.
- Gilman E., Ellison J., Duke N.C., Field C., (2008) "Threats to mangroves from climate change and adaptation options", *Aquatic Botany*, 89 pp. 237-250.
- Giupponi C., Shechter M., (2003) BOOK: Climate change in the Mediterranean: socio-economic perspectives of impacts, vulnerability and adaptation, The Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM) series on Economics and the Environment.
- Gollier C., and Treich N., (2003) "Decision-making under scientific uncertainty: the economics of the precautionary principle", *Journal of risk and uncertainty*, Vol. 27, No. 1, pp. 77-103.
- Glick P., Chmura H., Stein B.A., (2011) "Moving the conservation goalposts: A review of climate change adaptation literature," Washington, DC: National Wildlife Federation. Retrieved from CAKE.
- Haim D., Shechter M. & Berliner P., (2008) "Assessing the impact of climate change on representative field crops in Israeli agriculture: a case study of wheat and cotton", *Climatic Change*, 86, No. 3-4, pp. 425-440
- Hall J.W., (2007) "Probabilistic climate scenarios may misrepresent uncertainty and lead to bad adaptation decision", *Hydrological Processes* Vol. 21, No. 8, pp. 1127-1129.
- Hallegatte S., Hourcade J.C., Dumas P., (2006) "Why economic dynamics matter in assessing climate change damages: Illustration on extreme events", Working Paper.
- Hallegatte S., (2007) "Do current assessments underestimate future damages from climate change?", *World Economic*, Vol. 8, No. 3, Economic and Financial Publishing: July, pp. 131-146.
- Hallegatte S., (2008) "Adaptation to climate change: Do not count on climate scientists to do you work", Reg-Markets Center 06-02, Related Publication 08-01.
- Hallegatte S., (2008) "A note on including climate change adaptation in an international scheme", *Idees pour le Debat* No. 18, IDDRI.
- Hallegatte S., (2009) "Strategies to adapt to an uncertain climate change", *Global Environmental Change*, 19, pp. 240–247.

Hallegatte S., Lecoq F., De Perthuis C., (2011) "Designing Climate Change Adaptation Policies: An Economic Framework", World Bank Policy Research Working Paper Series.

Hanemann W.M., (2008) "What is the Cost of Climate Change?", CUDARE Working Paper No. 1027, University of California, Berkeley.

Heller N.E., Zavaleta E.S., (2009) "Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations", *Biological Conservation* 142, pp. 14-32.

Hilpert K., Mannke F., Schmidt-Thomé P., (2007) Towards climate change adaptation strategies in the Baltic sea region, Geological Survey of Finland, Espoo.

Hodgson J.A., Thomas C.D., Wintle B.A., Moilanen A., (2009) "Climate change, connectivity and conservation decision making: Back to basics", *Journal of Applied Ecology*, 46, pp.: 964-969.

Hof A.F., de Bruin K.C., Dellink R.B., den Elzen M.G.J., van Vuuren D.P., (2009) "The effect of different mitigation strategies on international financing of adaptation", *Environmental Science and Policy*, Vol. 12: pp 832–843.

Hope C., Anderson J., Wenman P., (1993) "Policy Analysis of the Greenhouse effect: an Application of the PAGE model," *Energy Policy*: Vol. 21: No. 3, pp 327-338.

Hope C. (2006) "The marginal impact of CO2 from PAGE2002: An integrated assessment model incorporating the IPCC's five reasons for concern", *The Integrated Assessment Journal*: Vol. 6: No. 1, pp 19–56.

Hope C., (2009) "The costs and benefits of adaptation", in *Assessing the costs of adaptation to climate change: A review of the UNFCCC and other recent estimates*: pp. 100-110, IIED London.

Hurd B., Leafy N., Jones R., Smith J., (1999) "Relative regional vulnerability of water resources to climate change". *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 35, No. 6, pp. 1399-1409.

Iceland, Ministry for the environment, (2007), *Iceland's climate change strategy*, Iceland, pp 3-37.

Ingham A., Ma J., Ulph A.M., (2005) "Can Adaptation and Mitigation be Complements?", Working Paper No. 79, Tyndall Centre for Climate Change Research.

IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change) (2007), "Climate Change 2007: The Physical Science Basis", Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, "Chapter 10: Global Climate Projections", Cambridge University Press, Cambridge.

Isoard S. (2009), "Conceptual framework for mapping vulnerability, disaster risks and adaptation options in Europe", Expert meeting on Climate information services based on reanalyses systems, EEA 11-12 February, Copenhagen.

Jha A. et al., (2011), "Five Feet High and Rising: Cities and Flooding in the 21st Century", World Bank Policy Research Working Paper Series.

Kan, I, Rapaport-Rom, M., and Shechter, M., (2007) "Assessing Climate Change Impacts on Water, Land-Use and Economic Return in Agriculture", *Agricultural & Natural Resource Economics*, Vol 11, No. 67.

Kane S., Shogren J.F., (2000) "Linking Adaptation and Mitigation in Climate Change Policy", *Climatic Change*: Vol. 45, No. 1, pp. 75-102.

Kirshen P., (2007) "Adaptation options and cost in water supply: A report to the UNFCCC Secretariat Financial and Technical Support Division"
(http://unfccc.int/cooperation_and_support/financial_mechanism/financial_mechanism_gef/items/4054.php)

Klein R.J.T. (2003), "Adaptation to climate variability and change: what is optimal and appropriate?", In *Climate change in the Mediterranean: socio-economic perspectives of impacts, vulnerability and adaptation*, By Giupponi and Shechter, in Part II, issue 2, pp. 32-50.

Klein R.J.T., Huq S., Denton F., Downing T., Richels R., Robinson J.B., Toth F., (2007) "Inter-relationships between adaptation and mitigation", *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Martin L. Parry, Osvaldo.F. Canziani, Jean Palutikof, Paul van der Linden and Clair Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 745-777.

Krosby M., Tewksbury J., Haddad N.M., Hoekstra J., (2010) "Ecological connectivity for a changing climate", *Conservation Biology*, Vol. 24, pp. 1686-1689.

Larsen P.H., Goldsmithb S., Smith O., Wilsonb M.L., Strzepek K., Chinowskyd P., Saylorb B., (2008) "Estimating future costs for Alaska public infrastructure at risk from climate change", *Global Environmental Change*, Vol. 18, No. 3, pp. 442-457.

Lecoq F., Shalizi Z., (2007) "Balancing Expenditures on Mitigation and Adaptation to Climate Change: An Explorations of Issues Relevant for Developing Countries", *World Bank Policy Research Working Paper* 4299.

Lempert R.J., Schlesinger M.E., (2000), "Robust strategies for abating climate change", *Climatic change*, 45 (3/4) pp. 387-401.

Lempert R.J., Collins M.T., (2007) "Managing the risk of uncertain thresholds responses: comparison of robust, optimum, and precautionary approaches", *Risk Analysis*, 27, pp. 1009-1026.

Lenton T.M., Held H., Kriegler E., Hall J.W., Lucht W., Rahmstorf S., Schellnhuber H.J., (2008) "Tipping elements in the Earth's climate system", *PNAS*: Vol: 105: No. 6.

www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0705414105

Magnan A., Garnaud B., Billé R., Gemenne F. and Hallegatte S., (2009) "The future of the Mediterranean from impacts of climate change to adaptation issues", *Institut du développement durable et des relations internationales (IDDRI)*.

- Mann, R. F., (2011), "Federal, State, and Local Tax Policies for Climate Change: Coordination or Cross-Purpose?", *Lewis & Clark Law Review*, 15, No. 2
- Mansur, E.T., Mendelsohn, R.O., Morrison W., (2005) "A Discrete-Continuous Choice Model of Climate Change Impacts on Energy", *Yale SOM Working Paper No. ES-43*.
- Margulis et al., (2008), "The economics of adaptation to climate change: Methodology report", World Bank.
- Markandya Anil and Aline Chiabai (2009) "Valuing Climate Change Impacts on Human Health: Empirical Evidence from the Literature". *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 6(2): pp. 759-786.
- Marrouch W., Ray C.A., (2011) "International Environmental Agreements in the Presence of Adaptation", *CentER Discussion Paper No. 2011-023*.
- Mendelsohn R., Nordhaus W.D., Shaw D., (1996) "Climate impacts on aggregate farm value: accounting for adaptation", *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 80, No. 1, pp. 55–66.
- Mendelsohn R.O., Morrison W., Schlesinger M.E., Andronova N.G., (2000) "Country-specific market impacts of climate change". *Climatic Change*, Vol. 45, pp. 553-569.
- Mendelsohn R.O.. (2003) "The Impact of Climate Change on Energy Expenditures in California", in C. Thomas and R. Howard (eds.), *Global Climate Change and California: Potential Implications for Ecosystems, Health, and the Economy*, Appendix XI, Sacramento, CA, p. 35.
- Moore F.C. (2011), "Costing Adaptation: Revealing Tensions in the Normative Basis of Adaptation Policy in Adaptation Cost Estimates. *Science, Technology, & Human Values*.
- Morrison W.N., Mendelsohn R.O., (1999) "The Impact of Global Warming on US Energy Expenditures", in R. Mendelsohn and J. Neumann (eds.), *The Impact of Climate Change on the United States Economy*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 209-236.
- Nelson J. A., (2011) "Ethics and the Economist: What Climate Change Demands of Us", *Global Development and Environment Institute Working Paper No. 11-02*.
- Nordhaus W.D., (1994) "Managing the Global Commons: The Economics of the Greenhouse Effect". MIT Press, Cambridge, MA.
- Nordhaus W.D., Yang Z., (1996) "A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies", *American Economic Review*: Vol. 86; No. 4, pp 741-765.
- Nordhaus W.D., Boyer J., (2000) *Warming the World: Economic Models of Global Warming*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Oxfam (2007) "Adapting to Climate Change. What is Needed in Poor Countries and Who Should Pay?" *Oxfam Briefing Paper 104*.
- Parry M., (2009) "Closing the loop between mitigation, impacts and adaptation," *Climatic Change*: Vol. 96: pp 23–27.

Parry M., Canziani O., Palutikof J., van der Linden P., Hanson C. (eds.), (2007) "Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability". Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report on Climate Change. Cambridge University Press.

Parry M., Arnell N., Berry P., Dodman D., Fankhauser S., Hope C., Kovats S., Nicholls R., Satterthwaite D., Tiffin R., Wheeler T., (2009) "Assessing the costs of adaptation to climate change: A critique of the UNFCCC estimates", International Institutes for Environment and Development.

Petrack S., Rehdanz K., Tol R.S.J., (2010) "The Impact of Temperature Changes on Residential Energy Consumption." Kiel Working Paper No. 1618.

Plambeck E.L., Hope C., Anderson J., (1997) "The PAGE95 model: integrating the science and economics of climate change", *Energy Economics*: Vol.19, No.1, pp. 77–101.

Przyluski, V., Hallegatte, S., (2010) "Climate Change Adaptation: Development, and International Financial Support: Lessons from EU Pre-Accession and Solidarity Funds", FEEM Working Paper No. 137.2010.

Ranger N., Millner A., Dietz S., Franhauser S., Lopez A., and Ruta G., (2010) Adaptation in the UK: A decision making process. Grantham/CCCEP Policy Brief.

Roe G.H., Baker M.B., (2007), "Why is climate sensitivity so unpredictable?", *Science*, 318, pp. 629-632.

Rosenthal D.H., Gruenspecht H.K., Moran E.A., (1995) "effects of global warming on energy use for space heating and cooling in the United States", *Energy Journal*, Vol. 16, No.2, pp. 77-96.

Settle C., Shogren J.F., Kane S., (2007) "Assessing mitigation-adaptation scenarios for reducing catastrophic climate risk", *Climatic Change*, Vol. 83, pp. 443–456. DOI 10.1007/s10584-007-9260-5.

Not in abc order Satterthwaite D., (2007) "Adaptation Options for Infrastructure in Developing Countries", A Report to the UNFCCC Financial and Technical Support Division (Bonn, Germany: UNFCCC, 2007).

Smit B., Burton I., Klein R.J.T., Wandel J., (2000) "An anatomy of adaptation to climate change and variability", *Climate Change*, 45, pp. 223-251.

Solomon S., Qin D., Manning M., Alley R.B., Berntsen T., Bindoff N.L., Chen Z., Chidthaisong A., Gregory J.M., Hegerl G.C., Heimann M., Hewitson B., Hoskins B.J., Joos F., Jouzel J., Kattsov V., Lohmann U., Matsuno T., Molina M., Nicholls N., Overpeck J., Raga G., Ramaswamy V., Ren J., Rusticucci M., Somerville R., Stocker T.F., Stouffer R.J., Whetton P., Wood R.A., Wratt D., (2007) "Technical Summary". In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Stern N., (2006) "The Economics of Climate Change". The Stern Review. Cambridge University Press, Cambridge UK.

Tol R.S.J., Klein R.J.T., Jansen H.M.A, Verbruggen H., (1996) "Some economic considerations on the importance of proactive integrated coastal zone management", *Ocean & Coastal Management*, Vol. 32, No. 1, pp. 39–55.

Tol R.S.J., (2002) "Estimates of the damage costs of climate change. Part I: Benchmark Estimates". *Environmental and Resource Economics* 21, 1, pp. 47-73.

Tol R.S.J. (2002) "Estimates of the damage costs of climate change. Part II. Dynamic Estimates". *Environmental and Resource Economics* 21, 2, pp. 135-160.

Tol R.S.J. (2007) "The Double Trade-Off between Adaptation and Mitigation for Sea Level Rise: An Application of FUND", *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Vol.12, pp 741–753. DOI 10.1007/s11027-007-9097-2.

Tol R.S.J., Fankhauser S., (1998) "On the representation of impact in integrated assessment models of climate change", *Environmental Modeling and Assessment*, Vol. 3, pp 63-74.

Tulkens H., van Steenberghe V., (2009) "Mitigation, adaptation, suffering" : In search of the right mix in the face of climate change," CORE Discussion Papers No. 054, Université catholique de Louvain, Center for Operations Research and Econometrics (CORE).

UNDP (2007). *Human Development Report 2007/08*. Palgrave MacMillan, New York.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2007), "Investment and Financial Flows to Address Climate Change". Background paper on analysis of existing and planned investment and financial flows relevant to the development of effective and appropriate international response to climate change.

Welsh assembly Government, (2010) *Climate change strategy for Wales adaptation delivery plan*, Wales: pp 1-14

Yanai-Axelrod M., (2010) *Israel's Second National Communication on Climate Change*, Air Quality and Climate Change Division, Ministry of Environmental Protection, Israel.

Yohe G.W., Neumann J., Marshall P., Ameden H., (1996) "The economic cost of greenhouse-induced sea-level rise for developed property in the United States", *Climatic Change*, Vol. 32, No. 3, pp. 387–410.

Yohe G.W., Strzepeck K., (2004) "Climate change and water resources assessment in South Asia: Addressing uncertainties", in Mizra MMQ (ed) *Climate change and water resources in South Asia*. Taylor and Francis, The Netherlands.

Yohe G.W., Strzepeck K., (2007) "Adaptation and mitigation as complementary tools for reducing the risk of climate impacts", *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*: Vol. 12: pp 727-739, DOI 10.1007/s11027-007-9096-3.

Watkiss P., Horrocks L., Pye S., Searl A., Hunt A., (2007). "Projection of economic impacts of climate change in sectors of Europe based on Bottom up Analysis (PESETA)". *Human Health. Summary for Policy Makers*. Report to JRC / IPTS.

Watkiss P., (2009) "Potential Costs and Benefits of Adaptation Options: a Review of Existing Literature", Technical Paper, United Framework Convention on Climate Change, FCCC/TP/2009/2/Rev. 1.

Watkiss P., (2011) "Aggregate economic measures of climate change damages: explaining the differences and implications", Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, Volume 2, Issue 3, pp. 356–372.

West J.M., Julius S.H., Kareiva P., Enquist C., Lawler J.J., Petersen B., Johnson A.E., Shaw M.R., (2009) "U.S. natural resources and climate change: Concepts and approaches for management adaptation", *Environmental Management*, 44, pp. 1001-1021.

WHO (2005) "Preventing Disease through Healthy Environments: Towards an Estimate of the Environmental Burden of Disease". World Health Organisation, Geneva.

WHO (2006) "World Health Organisation Malaria report 2008", WHO/HTM/GMP/2008.1, World Health Organisation, Geneva.

World Bank (2007) "PPI in Developing Countries in 2006". Results from the PPI Project Database, Washington DC, November.

World Bank (2009) The costs to developing countries of adaptation to climate change: new methods and estimates. Washington, DC.

World Bank (2010) "Economics of Adaptation to Climate Change: Synthesis Report", The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank.

פורת שגית, 2009, " ישראל מול משבר האקלים - סיכונים לעומת הזדמנויות כלכליות", מסמך מדיניות של קואליציית "דרכים לקיימות".