

מדינת ישראל
המשרד להגנת הסביבה
לשכת המדען הראשי

היערכות ישראל לשינויי אקלים גלובליים

פרק א'- השלכות שינויי האקלים על ישראל
והמלצות ביניים

עירית גולן-אנגלקו וישעיהו בראור

ירושלים
תמוז תשס"ח
יולי 2008

תקציר מנהלים

במהלך המאה ה-21 צפויים שינויים ניכרים באקלים ברחבי העולם, ואף יותר מכך באגן הים התיכון. שינויים אלו עלולים להוביל לפגיעה משמעותית ברווחת האדם ובמערכות הטבעיות. באגן הים התיכון צפויה עליית טמפרטורה ממוצעת של 1.1°C עד 2.2°C סוף המאה הנוכחית וירידה בכמויות הגשמים בתחום של 27%-4, בהשוואה לסוף המאה העשרים. בנוסף, צפויה עלייה בעוצמת אירועי גשם קיצוניים, עליה בטמפרטורת קיץ מרבית וממוצעת ועלייה במספר גלי החום.

תצפיות ותחזיות לישראל

מגמות שינויי האקלים בשנים האחרונות

- התחממות של כ- 2°C בהשוואה לשנות ה-70
- עלייה במספר אירועי חום
- עלייה במשך השכיח של ימים המוגדרים "חמים"
- עלייה בגשמים העונתיים והיומיים
- עלייה לימים חמים וקרים יותר
- עלייה בשכיחות שנים קיצוניות (רטובות/שחונות)
- קיץ חם יותר וחורף קר יותר
- קצב עליית מפלס בים התיכון: כ-10 מ"מ לשנה

תחזיות שינויי האקלים

- (בתלות בתרחישים העתידיים השונים):
- הטמפרטורה הממוצעת צפויה לעלות ב- 1.5°C עד שנת 2020 בהשוואה לשנים 1960-1990 ולקראת סוף המאה ה-21, היא עשויה לעלות ב- 5°C
 - כמויות המשקעים צפויות לרדת ב-10% עד 2020 ועד 20% בשנת 2050
 - עלייה במספר ובתדירות אירועי אקלים קיצוניים (שנות בצורת חריפה, שיטפונות ואירועי שרב)

השלכות עיקריות של שינויי האקלים בישראל

מים

- עלייה בתדירות ובחומרת שיטפונות, העלולים לגרום לנזקים כבדים לרכוש ולאדם
- ירידה של 25% ויותר בזמינות המים עבור השנים 2070-2099 בהשוואה לשנים 1961-1990.
- ירידה בהעשרה (Recharge) של מי תהום
- אובדן של 16.3 מלמ"ק מים לכל ק"מ לאורך מישור החוף, בעקבות עליית מפלס ים **פוטנציאלית** של 50 ס"מ.
- האובדן יוחמר עם העלייה בתדירות שנים שחונות.
- שינויים במליחות הכנרת.

ים וחופים

❖ עליית מפלס הים התיכון, צפויה לגרום להשלכות הבאות :

- עלייה של 10 ס"מ תוביל לנסיגה של 2-10 מ' פגיעה במושבות האלמוגים במפרץ אילת של קו החוף ואובדן של 0.4-2 קמ"ר חוף כל 10 שנים.
 - נסיגת המצוק החופי והרחבת תחום הסיכון של תשתיות הבנויות עליו ב-40-50 מ' מזרחה
 - פגיעה במבנים חופיים (כגון מזחלים ומעגנות, קירור תחנות כוח חופיות) ובאתרים ארכיאולוגיים
 - פגיעה במינים ובמערכות אקולוגיות של הסביבה החופית
- ❖ עלייה בטמפרטורת מי הים התיכון, תוביל לעלייה בחדירה ובקצב ההתבססות של מינים זרים שמקורם מים סוף.

בריאות הציבור

- עלייה באירועי גשם קיצוניים יחד עם טמפרטורות גבוהות מהמצב הנוכחי, יכולה להעלות את רמת אוכלוסיות היתושים ולשנות את תפוצתם
- עלייה בעומסי חום תוביל לפגיעה באוכלוסיות קשישים, חולים ועובדים החשופים לחום
- עלייה באירועי גשם קיצוניים יחד עם טמפרטורות גבוהות מהמצב הנוכחי, יכולה להעלות את רמת אוכלוסיות היתושים ולשנות את תפוצתם
- חשש (בהסתברות נמוכה) להתפרצות מחודשת של מחלת המלריה

חקלאות

- נזק ליבול בעקבות ירידה בזמינות מים בקרקע, עלייה של כ-20% בדרישה למים בהשקיה, ירידה ביבולי פירות וירקות, הופעת מזיקים ופתוגנים חדשים, עלייה בשכיחות מחלות צמחים ובעלי חיים
- עלייה בסיכון לסחף קרקעות
- עליית הטמפרטורות בחורף תועיל לגידולים מסוימים
- ירידה ביצרנות של חיות המשק
- מחסור במספוא ועלייה במחירו
- התקצרות עונת היצרנות של שטחי מרעה
- פגיעה באוכלוסיות של מיני חרקים מאביקים
- פגיעה בערך התזונתי ובזמן המדף של תוצרת חקלאית

מגוון ביולוגי

- תזוזה מרחבית צפונה בתפוצה של מינים ים
- מינים שונים של צומח ופרפרי יום נמצאו כבעלי רגישות נמוכה לירידה בכמויות

- אקולוגיות מדבריות שינדדו מהנגב
- המשקעים, בתחום החזוי לאזור. עם זאת, תקופות יובש תוך-עונתיות ממושכות יפגעו משמעותית בצומח
- העלייה בתנאי יובש והתארכות העונה היבשה, יעלו את הסיכון לשריפות יער
- הופעת מיני אצות כחוליות בכנרת, המייצרות רעלים, ועשויות לפגוע באיכות מי השתייה ולצמצם את המגוון הביולוגי באגם

אנרגיה

- ביקוש החשמל צפוי לגדול בקצב של 3.2%
- עלייה בשיא הביקוש לחשמל בזמן עומסי חום וקור
- בממוצע ארוך טווח

המלצות ביניים

ניטור אקלים

- מתן גישה חופשית לחוקרים לנתונים מתחנות מטאורולוגיות מישראל

מים

- הכללת השלכות שינויי האקלים (ירידה בזמינות המים, עליית מפלס הים וכו') בתכניות משק המים, לרבות שינויים בתשתיות הפקה והולכה
- שינויי האקלים והלחץ על משאבי המים מדגישים את הצורך בחסכון במים ומניעת זיהומם
- שיפור יכולת ההיערכות וההתמודדות של תשתיות המים, הניקוז (לרבות כבישים וגשרים) והביוב עם הצפות ושיטפונות
- מיתון שיטפונות על ידי הפניית נגר עירוני לאזורים מחלחלים, ושמירה על אזורי פשט ההצפה לאורך נחלים

ים וחופים

- הכללת שינויי האקלים בתכנון שימושי הקרקע של האזור החופי
- הגנה על המצוק החופי באמצעים הכוללים הגנות ימיות (שוברי גלים מנותקים), בשילוב הזנת חול
- אכיפה למניעת העברה של מינים ימיים זרים בדרכי סחר ובאופן לא מכוון (כגון מי שיפוליים)
- מניעת זיהום ממקורות יבשתיים במפרץ אילת על מנת להקטין את העקה על שוניות האלמוגים

חקלאות

- פיתוח מודלים לחיזוי התפתחות היבול, התוצרת, הופעת מזיקים ופתוגנים וצריכה של מים ודישון. הכנת תוכניות עבודה הנגזרות מהאמור לעיל, בהתאם לשינויי האקלים
- הפחתת סחף, מניעת איבוד קרקע והגברת חידור המים לקרקע
- השבחה גנטית ובחירה של צומח וחי, העמידים לעומסי חום, יובש וקור ולעלייה בריכוזי CO₂
- הגברת החיסכון במים, על ידי שימוש בשיטות השקיה יעילות, העמקת השימוש במיני גידולים חוסכי מים, הגברה בשימוש במי קולחים ומים מליחים
- פיתוח שיטות להפחתה ו/או החלפה של מספוא

בריאות הציבור

- הסברה על נזקים אפשריים, הכשרת מומחים ומתן חיסונים נגד מחלות חדשות או מתעוררות
- תכנון עירוני להפחתת אפקט אי החום האורבאני, המגביר את עקת החום
- בקרת גבולות למניעת כניסת פתוגנים (כולל אלו הפוגעים בחיות משק וחיות בית, צמחיה)

תשתיות ואנרגיה

- הגברת יעילות אנרגטית בערים (בניה ירוקה, נורות חסכוניות, מכשירי חשמל יעילים)
- מדיניות לעידוד אמצעי ניצול יעיל של אנרגיה
- תקנות תכנון ובנייה המותאמות להשלכות שינויי אקלים והערכות סיכונים לתשתיות

מגוון ביולוגי

- ממשק שמורות טבע, הכולל את השלכות שינויי האקלים ומאפשר הגירת מינים
- הקצאת משאבים ובניית תכנית לניטור המגוון הביולוגי, אשר תבחן גם שינויים אקלימיים
- ממשק יערות שיכלול השלכות שינויי אקלים והערכת הרגישות והעמידות של מינים חשובים לתנאי עקה
- נטיעת מיני עצים העמידים לתנאי יובש
- דילול יערות
- שימור מים וקרקע ביערות והגדלת זמינות המים
- הגברת פעולות המניעה והטיפול בשריפות יער

הכרת תודה

מסמך זה הוכן בהתייעצות עם רבים וטובים וביניהם :

מר שי אביטל	פרופ' גדעון דגן	פרופ' גידי נאמן
ד"ר צביקה אבני	פרופ' תמר דיין	גב' שולי נזר
גב' אורלי אברהם	ד"ר הולגר הוף	ד"ר טל סבוראי
מר אלון אטקין	ד"ר לין היאמס	ד"ר אהרן סהר
ד"ר עמיר אידלמן	מר עזרא הנקין	ד"ר פול סולברג
מר רפי איפרגן	מר רונן וולפמן	ד"ר אהוד סימון
ד"ר הדר אלמוג	ד"ר גבריאל ויינברגר	גב' רנה סמואלס
ד"ר דוד אלמקיאס	ד"ר ירון זיו	ד"ר הדס סערוני
פרופ' פנחס אלפרט	מר מיקי זיידה	ד"ר אילן סתר
ד"ר שמואל אסולין	פרופ' ברק חרות	גב' הילה עבו
ד"ר אברהם ארביב	גב' מיכל טוכלר-אהרונ	ד"ר שמואל פולק
מר שמואל ארבל	מר יורם טור-ציון	ד"ר שלומית פז
פרופ' יובל אשד	ד"ר חורחה טורצ'צקי	מר דוד פילזר
ד"ר יוסי אשכנזי	ד"ר גדעון טיבור	ד"ר אלי פליק
ד"ר בני בגין	מר משה יזרעאלי	ד"ר ישראל פלמנבאום
ד"ר עומרי בונה	מר צבי יחיאלי	ד"ר אבי פרבלוצקי
ד"ר אבי בורג	מר אייל יפה	מר מו פרוביזור
ד"ר אדריאן ביאנו	פרופ' דן יקיר	ד"ר אילן צדיקוב
פרופ' עמוס בין	מר דוד ירוס	מר נתן צור
מר חזי ביליק	מר בועז כהן	מר ניר קדמי
ד"ר דוד בן יקיר	גב' גלית כהן	ד"ר חיים קיגל
גב' ולרי ברכיה	פרופ' דניאל כהן	פרופ' נורית קליאוט
ד"ר דיאגו ברגר	מר רמי לביא	ד"ר עידו קן
גב' הניה ברקוביץ	ד"ר דן לבנון	ד"ר יורם קפולניק
ד"ר עמיר גבעתי	מר יעקב ליבשיץ	ד"ר שמעון קריצ'אק
ד"ר יוסי גוטמן	מר זאב לנדאו	ד"ר ארנון קרניאלי
פרופ' יאיר גולדרייך	ד"ר אפרת מורין	מר נסים קשת
ד"ר פול גינסבורג	פרופ' אורי מינגלגרין	מר צבי רבהון
פרופ' בלה גליל	ד"ר אפרים מלץ	ד"ר אייל רוטנברג
ד"ר מיכאל גרבר	פרופ' אורי מרינוב	אינג' דב ס. רוזן
ד"ר ז'וז'ה גרונצוויג	ד"ר אברהם מרכדו	ד"ר צבי רון
ד"ר יצחק (איזק) גרטמן	מר יצחק (איציק) משה	ד"ר אלון רימר
מר זאב גרוס	ד"ר מירה מתיוס	ד"ר איריס רסולי

מר אלדד שדלובסקי
מר גיורא שחם
פרופ' משה שחק
פרופ' דני שטיינברג
ד"ר מרסלו שטרנברג
פרופ' יצחק שיינברג
ד"ר גבריאל שילר
ד"ר אלה שירי
מר אייל שלו
ד"ר אורי שלום
מר סלומון שמוקלר
פרופ' אורי שני
ד"ר יהושע שקדי

עם זאת, כל האחריות על הנאמר במסמך זה הינה על מחבריו בלבד.

תוכן עניינים

3	תקציר מנהלים
7	הכרת תודה
13	פתח דבר
14	מילון מונחים
15	1. רקע
15	1.1 התחממות כדור הארץ
17	1.2 הסיבות להתחממות כדור הארץ
20	1.3 שינויי האקלים בזירה הבינלאומית
21	1.4 השלכות ההתחממות הגלובלית שנצפו בשנים האחרונות
21	1.4.1 טמפרטורות
22	1.4.2 משקעים
23	1.4.3 אוקיינוסים
24	1.4.4 מים ומערכות טבעיות
25	1.4.5 בריאות הציבור
26	1.4.6 חקלאות
27	1.5 תחזיות שינויי האקלים
27	1.5.1 מערכת האקלים העולמית
27	1.5.2 אוקיינוסים
30	1.5.3 מים ומערכות טבעיות
34	1.5.4 תיירות
35	1.5.5 בריאות הציבור
36	1.5.6 חקלאות
38	1.5.7 אזורים שונים
38	1.6 הערכות כלכליות של שינויי האקלים
40	1.6.1 השלכות כלכליות של שינויי האקלים על ענף הביטוח
44	2. שינויי אקלים באגן הים התיכון
44	2.1 תצפיות השנים האחרונות באגן הים התיכון
44	2.1.1 מגמות שינוי הטמפרטורה

46	2.1.2	מגמות שינוי המשקעים
48	2.2.3	הים התיכון ותצפיות על שינויים שחלו בו
49	2.2.3.1	עליית מפלס הים התיכון
50	2.2.3.2	שינויים בטמפרטורה ובמליחות הים התיכון
52	2.2.3.3	אירועי צונאמי
53	3.	מגמות שינויי האקלים בישראל בשנים האחרונות
53	3.1	מגמות שינוי הטמפרטורה
55	3.2	מגמות שינוי המשקעים
59	3.3	מגמות שינוי בשיעורי ההתאידות
59	3.4	הים התיכון ושינויים שנצפו לאורך חופי ישראל
62	4.	שינויי האקלים הצפויים באגן הים התיכון
62	4.1	משקעים
64	4.2	טמפרטורה
64	4.3	שיעורי ההתאידות
64	4.4	מערכות טבעיות
65	4.5	בריאות הציבור
65	4.6	חקלאות ודיג
66	4.7	תיירות
66	4.8	אנרגיה ותשתיות
66	4.9	כלכלה
68	5.	שינויי האקלים הצפויים בישראל
69	5.1	פערי הידע בתחום חיזוי שינויי אקלים בישראל
70	6.	השלכות שינויי האקלים על ישראל
70	6.1	מקורות המים בישראל
74	6.1.1	השלכות שינויי אקלים על מקורות המים
78	6.1.2	פערי הידע בתחום שינויי האקלים ומקורות המים
80	6.1.3	המלצות למחקר בתחום המים
82	6.2	הים התיכון

82	השלכות עליית מפלס הים התיכון	6.2.1
84	השלכות עליית מפלס הים התיכון על אקוויפר החוף	6.2.1.1
85	השלכות עליית מפלס הים התיכון על המצוק החופי	6.2.1.2
88	השלכות עליית טמפרטורת המים בים התיכון	6.2.2
88	השלכות שינויי האקלים בים התיכון על אירועי צונאמי	6.2.3
89	פערי הידע בתחום שינויי האקלים והים התיכון	6.2.4
89	המלצות למחקר בתחום הים התיכון	6.2.5
91	בריאות הציבור	6.3
91	השלכות שינויי האקלים על בריאות הציבור	6.3.1
92	פערי הידע בתחום שינויי אקלים ובריאות הציבור	6.3.2
93	המלצות למחקר בתחום בריאות הציבור	6.3.3
94	חקלאות	6.4
94	השלכות שינויי האקלים על החקלאות	6.4.1
95	השלכות השינויים במשקעים	6.4.1.1
96	השלכות השינויים בטמפרטורות	6.4.1.2
97	השלכות השינוי בריכוזי CO ₂	6.4.1.3
97	השלכות שינויים אקולוגיים	6.4.1.4
97	השלכות כלכליות של שינויי האקלים	6.4.1.5
98	פערי הידע בתחום החקלאות ושינויי אקלים	6.4.2
99	המלצות למחקר בתחום החקלאות ושינויי אקלים	6.4.3
101	מגוון ביולוגי	6.5
103	השלכות שינויי האקלים על המגוון הביולוגי	6.5.1
107	פערי הידע בתחום שינויי אקלים ומגוון ביולוגי	6.5.2
108	המלצות למחקר בתחום שינויי האקלים ומגוון ביולוגי	6.5.3
110	משק האנרגיה	6.6
110	הערכת הידע בתחום אנרגיה ושינויי אקלים	6.6.1
112	המלצות למחקר בתחום אנרגיה ושינויי אקלים	6.6.2
113	היערכות לשינויי האקלים	7
113	הכנת תוכנית היערכות לאומית	7.1

117	7.2	פעולות מומלצות להיערכות לשינויי האקלים הצפויים
117	7.2.1	ניטור אקלים ומאגר נתונים
118	7.2.2	מים
120	7.2.3	ים וחופים
121	7.2.4	חקלאות
123	7.2.5	בריאות הציבור
124	7.2.6	תשתיות ואנרגיה
125	7.2.7	מערכות טבעיות
125	7.2.8	יערות
127	7.2.9	כלכלה- ענף הביטוח
128	8.	מקורות ספרות
143	נספח 1	

פתח דבר

במהלך השנים הבאות צפויות השלכות ניכרות על משאבים ועל סקטורים כלכליים ברחבי העולם, בעקבות שינויי האקלים. השלכות אלו מצטרפות ללחץ הרב של האוכלוסייה על משאבי הטבע. הטמפרטורה הממוצעת הגלובלית צפויה לעלות בין $1.8-4^{\circ}\text{C}$ במהלך המאה ה-21, ולפחות חלק מהתחממות זו הוא בלתי נמנע. בעוד שלמערכות הטבעיות ישנה יכולת מוגבלת להתמודד עם האקלים המשתנה, ניתן להפחית את מידת הנזקים הצפויים במערכות המנוהלות על ידי האדם, כגון מקורות המים, חקלאות ובריאות הציבור.

קיימות שתי אפשרויות לתגובה בעקבות שינויים אלו: מיתון פליטות גזי החממה (Mitigation) והיערכות (Adaptation). בעוד פעולות למיתון הפליטות נעשות לשם התמודדות עם הגורמים לשינויי אקלים אלו, היערכות היא התגובה להשפעות של שינויי האקלים על הסקטורים הסוציו-אקונומיים והביו-פיזיקליים. כיום ישנה הכרה עולמית בחשיבות פעולות ההיערכות, בעקבות העלייה הקיימת והחזויה בפליטות גזי החממה ושינויים במערכת האקלים, אלו שכבר אירעו ואלו החזויים. אי לכך, מיתון בפליטות גזי החממה אינה הפעולה היחידה הדרושה במדיניות להתמודדות עם שינויי האקלים.

למרות אי הודאות בנוגע למידת השינויים האקלימיים הצפויים והשפעותיהם על המערכות הטבעיות והסקטורים השונים, היערכות היא חיונית למניעת או הפחתת הנזקים לאדם, לרכוש ולמשאבי הטבע. בנוסף, לפעולות ההיערכות תועלת כלכלית, בעלות הנמוכה מעלות התגובה לשינויים המתרחשים בפועל.

מטרת מסמך זה, היא הצגת עיקר הידע הקיים באשר לשינויי האקלים בעולם ובישראל, השלכותיהם הפוטנציאליות על אגן הים התיכון בכלל ועל ישראל בפרט והצגת המלצות ביניים להיערכות הנחוצה בתחומים הרלוונטיים העיקריים: מים, חקלאות, חוף הים התיכון, בריאות הציבור, המגוון הביולוגי, אנרגיה וכלכלה. היוזמה להכנת המסמך עלתה בעקבות פרויקט לתיאום תוכניות מחקר על שינויי אקלים, במסגרת התוכנית השישית למחקר של האיחוד האירופי (ERA NET CIRCLE). עיקרי הפעילות במסגרת פרויקט זה מתוארים באתר <http://www.circle-era.net/>, שישראל שותפה בו יחד עם 19 מדינות ו-25 ארגונים מרחבי אירופה.

כיום קיימת הסכמה עולמית רחבה ששינויי האקלים אכן מתרחשים בפועל. מקורם של שינויי האקלים (בין אם טבעי או מעשה ידי אדם) אינו רלוונטי לעבודה זו. יש תמימות דעים כי קיימת מגמת התחממות בישראל, אך מאידך קיימת אי ודאות ואי הסכמה בנוגע למגמות המשקעים. מסקנות עבודה זו נובעות מהמגמות הנצפות בישראל, המצטרפות למגמות הנצפות ברחבי העולם בנושא התחממות ומשקעים, שאינן נובעות מרצף של שנים בודדות, בהן נרשמו מגמות שונות בתנאי האקלים.

נדרשת עבודה משלימה שתכלול את סגירת פערי הידע הקיימים, כפי שפורטו במסמך זה, ותוכנית לאומית רחבה, אשר תכלול את הצעדים הנדרשים להיערכות לשינויי אקלים בישראל.

מילון מונחים

אופוטנספירציה- אידוי-דיות. איבודי מים מהקרקע ומהצומח אל האטמוספירה. כלומר, סך כל איבוד המים מפני שטח, על ידי התאידות פיזיקלית (אופורציה) ועל ידי דיות (טרנספירציה, התאידות מים מצמחים).

אוזון טרופוספרי- O_3 , גז הנוצר בשכבה התחתונה של האטמוספירה, כתוצאה מריאקציות כימיות של מזהמים, הנפלטים מכלי רכב וממפעלי תעשייה,, על ידי אנרגיית השמש. גז זה מסוכן לבריאות האדם והסביבה.

אינטרודוקציה- החדרת מינים שונים, בכוונה או בשוגג למקום חדש שאינו מקומם הטבעי. היערכות- Adaptation. התאמה של מערכות טבעיות או של מעשה ידי אדם לשינויי האקלים, החזויים או המתרחשים בפועל, באופן שיביא למיתון נזקים או ינצל הזדמנות להבאת תועלת. התנודה הדרומית (SO)- Southern Oscillation, תופעה אקלימית המייצגת את התנודות החודשיות או העונתיות בהפרשי לחץ האוויר בין טהיטי ודארווין, אוסטרליה. ערך שלילי של אינדקס התנודה הדרומית מעיד בין השאר על אירועי אל-ניניו (עלייה חריגה בטמפרטורת פני האוקיינוס השקט באזורים המשווניים, העשויה לגרום למגוון תופעות אקלימיות כגון שיטפונות ובצורות), בעוד ערך חיובי של האינדקס מעיד על אירועי לה-ניניה (תופעה ההפוכה לתופעת האל-ניניו ובה טמפרטורות מי האוקיינוס השקט נמוכה מהרגיל).

התנודה הצפון-אטלנטית (NAO)- North Atlantic Oscillation, תופעה אקלימית באזור האוקיינוס הצפון אטלנטי, המייצגת את תנודות הפרשי הלחצים האטמוספריים בין איסלנד לאיים האזוריים. תנודה זו משפיעה על עוצמה וכיוון הרוחות המערביות ומסלולי הסופות לאורך האוקיינוס הצפון-אטלנטי.

לבנט- מזרח אגן הים התיכון, הכולל את אזור סוריה, לבנון, ישראל, עבר הירדן, חלקים ממסופוטמיה (האזור שבין נהר הפרת והחידקל), אסיה הקטנה, יוון, קפריסין ומצרים. נוטריינטים- חומרי הזנה, בעיקר חנקן וזרחן. פרמאפרוסט- שכבת אדמה הקפואה דרך קבע, הנמצאת מתחת לפני הקרקע בטונדרה הארקטית. אי החום האורבאני- תופעה המתבטאת בעליית טמפרטורה בריכוזים עירוניים, כתוצאה מפליטת חום על ידי רכבים, פעילות תעשייתית, היעדר אוורור, בליעת חום על ידי אספלט ועוד. אפקט זה מגביר את עומס החום ונמדד בהעצמת הטמפרטורה, הלחות היחסית וירידה במהירות הרוח. אינטנסיביות אי החום האורבאני גבוהה יותר בלילות הקיץ, ומחריפה עם העלייה בצפיפות הבנייה בעיר (Potchter et al. 2006).

CO_2eq - ערך המאפשר הערכת ההשפעה של כמות נתונה של גזי חממה הנפלטים לאטמוספירה, כשוות ערך לכמות של גז CO_2 הנפלטים לאטמוספירה.

GtC- מיליארד טון פחמן דו חמצני.

OECD- הארגון לשיתוף פעולה כלכלי ופיתוח, בו חברות 30 מדינות, ביניהן ארה"ב, אוסטרליה, יפן ומדינות מערב אירופה.

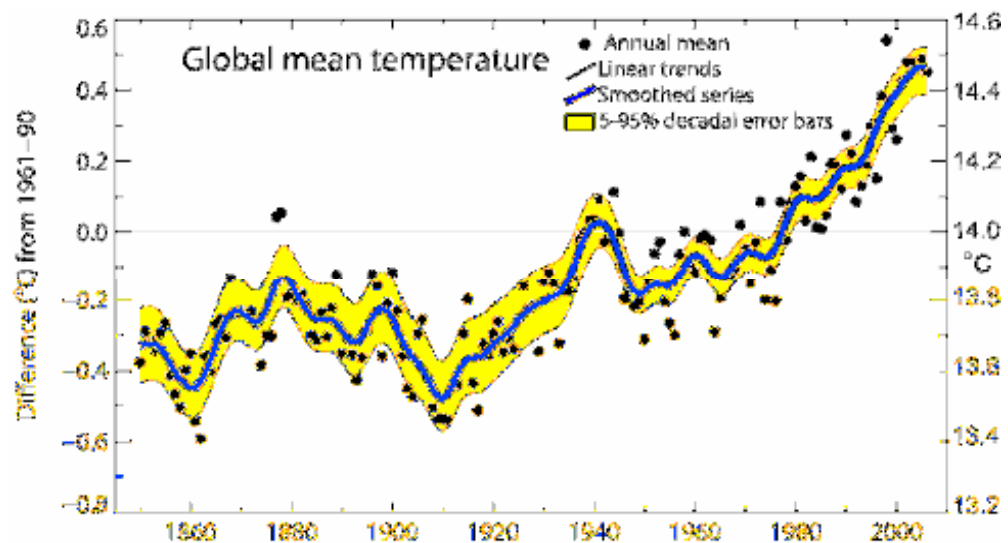
ppb- חלקים למיליארד.

ppm- חלקים למיליון.

1. רקע

1.1 התחממות כדור הארץ

אחת עשרה מתוך שנים עשרה השנים האחרונות (1995-2006), היו בין שנים עשרה השנים החמות ביותר, מאז החלו מדידות טמפרטורת פני השטח הגלובלית ב-1850 (טמפרטורת פני השטח הגלובלית היא ממוצע טמפרטורת האוויר ליד פני הקרקע ומעל פני הים) (IPCC 2007). שמונה השנים החמות ביותר נרשמו החל מ-1998 ו-14 השנים החמות ביותר נרשמו החל מ-1990 (עד 2007) (GISS 2007) (איור מס' 1). 2005 נרשמה כשנה החמה ביותר (עד שנת 2007), בה נרשמה טמפרטורה ממוצעת גלובלית הגבוהה ב- 0.62°C מעל הממוצע לטווח השנים 1880-2004 (NOAA 2006). שנת 2007, מדורגת במקום השני עם טמפרטורה ממוצעת גלובלית הגבוהה ב- 0.57°C מהממוצע בטווח השנים 1951-1980 (GISS 2007). למחזוריות של הקרינה הסולרית ושל התנודה הדרומית יש השפעה ניכרת על השינויים הגלובליים בטמפרטורה משנה לשנה. מכיוון שבשנת 2007 הקרינה הסולרית הייתה בנקודת המינימום של המחזור והתנודה הדרומית נמצאה בשלב הקר שלה, ההתחממות שנרשמה בשנת 2007 אינה במסגרת התנודתיות המחזורית (GISS 2007).



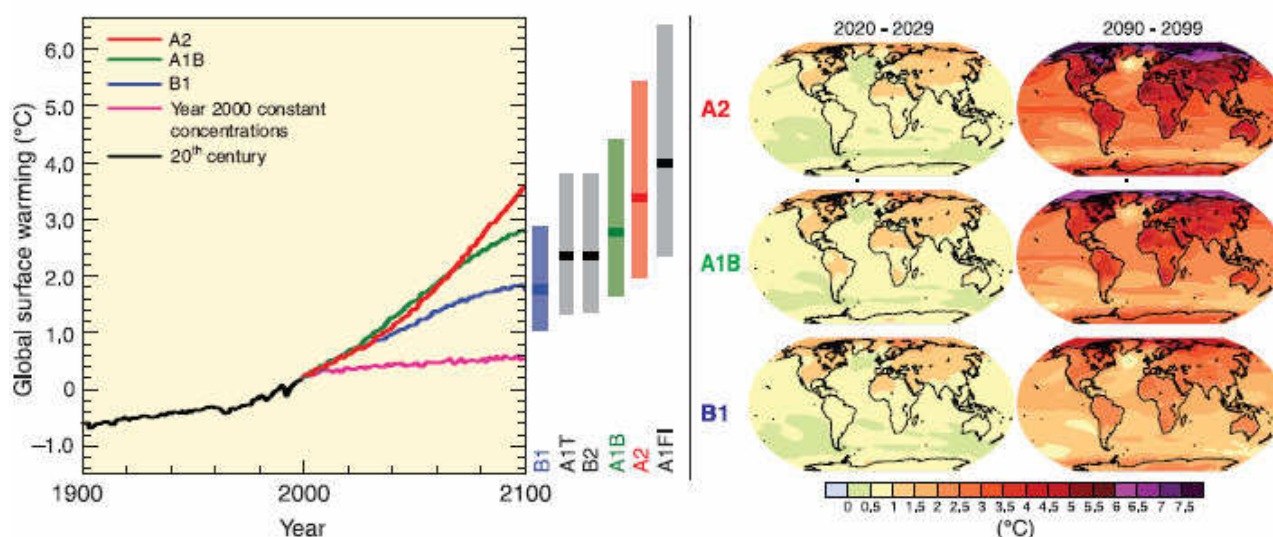
איור מס' 1: שינוי בטמפרטורה הממוצעת הגלובלית החל מ-1850. ניתן לראות כי השנים החמות ביותר נצפו החל מ-1990. מקור: IPCC 2007.

סך שיעור עליית הטמפרטורה בין טווח השנים 1850-1899 לבין טווח השנים 2001-2005 הוא 0.76°C (טווח של $0.57-0.95^{\circ}\text{C}$), כאשר ב-100 השנים שבין 1906-2005 נרשמה עלייה של 0.74°C (טווח של $0.56-0.92^{\circ}\text{C}$). טמפרטורות אלו לא התרחשו לפחות ב-10,000 השנים האחרונות. יש לציין כי הטמפרטורה הגלובלית עשויה הייתה להיות גבוהה יותר מזו הנצפית

כיום, בעקבות ריכוזם של גזי החממה, לולא השפעתם הממתנת של אירוסולים וולקניים ואנתרופוגניים באטמוספירה (IPCC 2007).

שיעור ההתחממות במהלך המאה ה-20 היה איטי וכלל תנודות גדולות, עד לשנת 1975, ומאז החלה התחממות מהירה של כ- 0.2°C לעשור. ההתחממות אשר נצפתה לאחרונה, מתרחשת כמעט בכל כדור הארץ באותו הזמן והיא גבוהה יותר מעל קווי הרוחב הגבוהים של חצי הכדור הצפוני. במהלך 50 השנים האחרונות, ההתחממות השנתית והעונתית הגבוהה ביותר התרחשה באלסקה, סיביר ואנטארקטיקה (GISS 2005).

התחזית לסוף המאה ה-21 (שנים 2099-2090) בהשוואה לשנים 1980-1999, היא עליית טמפרטורה גלובלית בטווח של 1.8°C - 4°C . זאת, על פי תרחישים עתידיים שונים לפליטות גזי חממה, התפתחויות סוציו-אקונומיות וניצול משאבי טבע לאנרגיה, שהוגדרו על ידי הפאנל הבין ממשלתי לשינויי האקלים, ה-IPCC (איור מס' 2) (IPCC 2007).

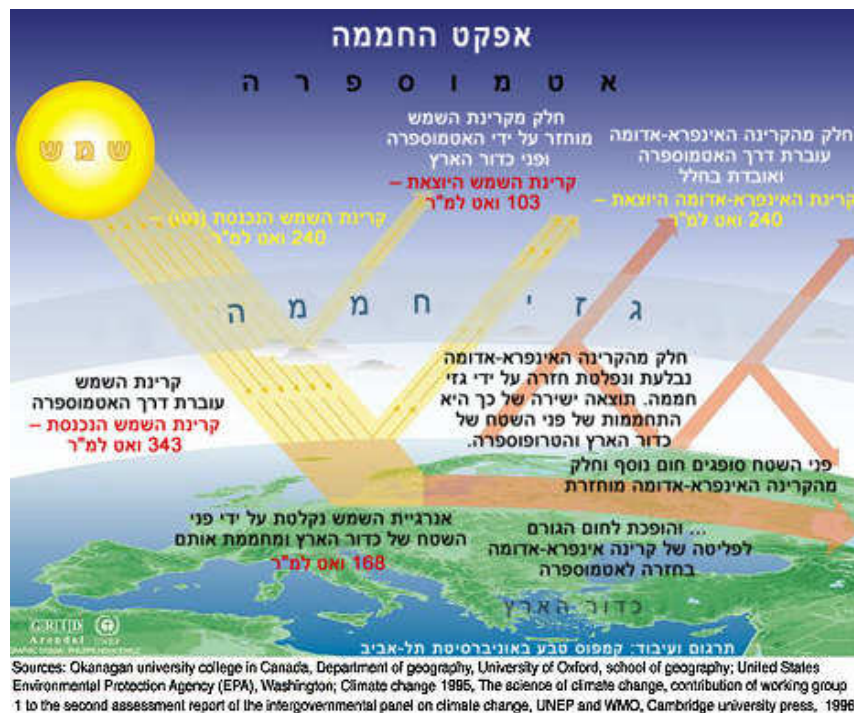


איור מס' 2: תחזיות התחממות פני השטח על פי מודל אטמוספירה-אוקיינוס מחזורי כללי.

משמאל מוצגים ממוצעי מולטי-מודל והערכות טווחי התחממות פני השטח עבור השנים 2090-2099. הקווים מייצגים ממוצעים גלובליים של התחממות פני השטח (ביחס לשנים 1980-1999) בתרחישים האפשריים השונים לפליטות פחמן דו חמצני, התפתחויות סוציו-אקונומיות וניצול משאבי טבע לאנרגיה (A2, A1B, B1, A1T, B2, A1FI, ראה נספח 1), המוצגים כהמשכיות לסימולציות של המאה ה-20. הפסים הצבעוניים העבים במרכז מייצגים את הטווח המוערך עבור כל תסריט ואת ההערכה הטובה ביותר (קו מודגש בכל פס). מימין מוצגים תרחישים אפשריים להתחממות פני השטח ברחבי העולם עבור השנים 2020-2029 ו-2090-2099 ביחס לשנים 1980-1999 על פי התרחישים A2, A1B, B1. מקור: IPCC 2007

1.2 הסיבות להתחממות כדור הארץ

הסיבה העיקרית לעלייה הנוכחית בטמפרטורה היא התיעוש שהחל באמצע המאה ה-19, שלווה בשריפה של כמויות גדולות והולכות של דלקים מכילי פחמן כגון פחם, מזוט, בנזין וגז טבעי, אשר בהישרפם הופך הפחמן שבהם לגז הפחמן הדו-חמצני (CO_2 = Carbon dioxide). דישון שדות חקלאיים ושריפת גדמי עצים תרמו אף הם לפליטת CO_2 ו- N_2O (חנקן תת-חמצני) לאוויר. במקביל חלה הפחתה בהטמעת CO_2 בגלל הגידול בשטח המעובד לחקלאות על חשבון כריתה של שטחי יער גדולים. פעילויות אנושיות אלה ואחרות גרמו לעלייה בריכוז גזי החממה באטמוספירה, הכוללים פחמן הדו-חמצני (CO_2), המייצג 77% מכלל פליטות גזי החממה בשנת 2004, (IPCC 2007), מתאן (CH_4), חנקן תת-חמצני (N_2O), גופרית שש פלואורידית (SFCs), פחמנים פלואורידים (HFCs) ופר-פלואורו-פחמנים (PFCs). גזים אלו מצויים באטמוספירה הטבעית והם קריטיים לחיים, כיוון שהם פועלים כמעין חממה ושומרים בכך על טמפרטורה נוחה על פני כדור הארץ (15°C בממוצע גלובלי). בתהליך זה, הנקרא "אפקט החממה", חלק מקרינת השמש הפוגעת בכדור הארץ נקלטת על ידי היבשות והימים, המתחממים ופולטים קרינה אינפרא אדומה. קרינה זו מוחזרת על ידי הגזים באטמוספירה אל פני שטח כדור הארץ, דבר הגורם להתחממותו (איור מס' 3).



איור מס' 3: אפקט החממה. מקור: http://maps.grida.no/go/graphic/greenhouse_effect. תרגום ועיבוד: קמפוס טבע באוניברסיטת תל אביב.

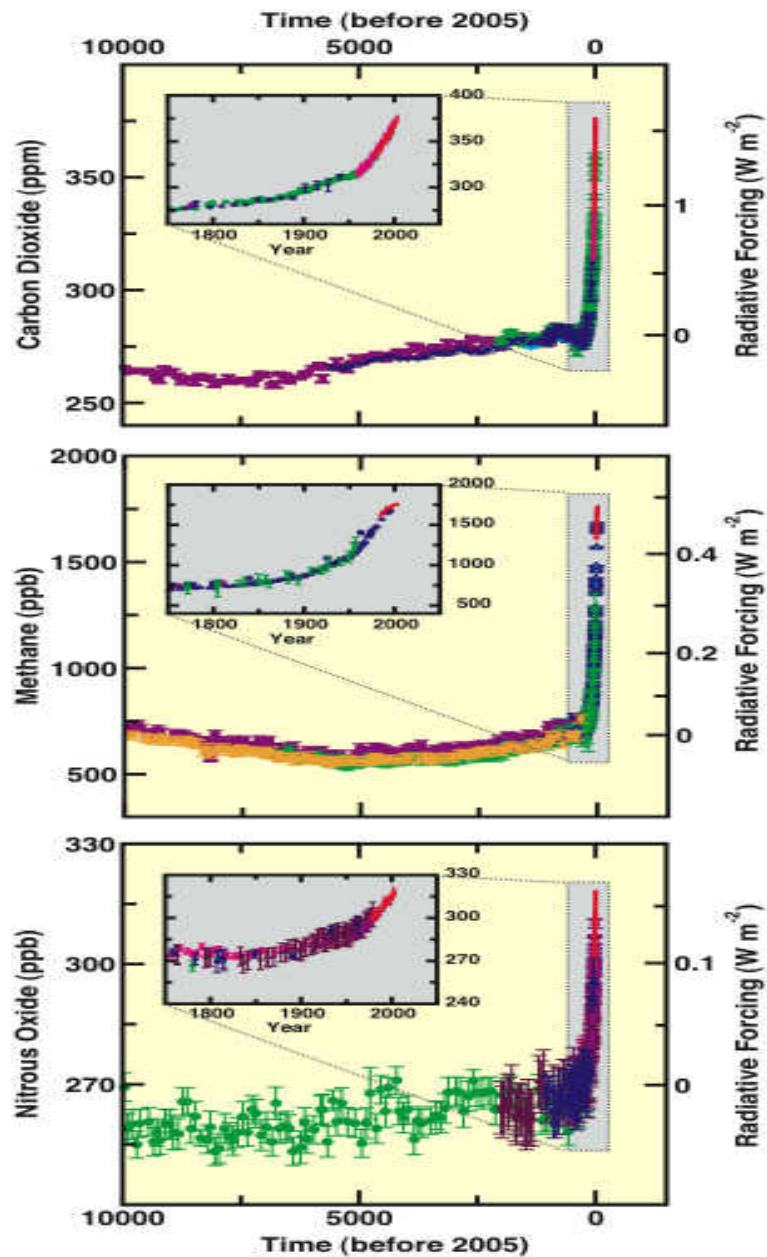
ריכוזם של גזים אלו באטמוספירה עלה כתוצאה מפעילות האדם, החל מהתקופה הטרורם תעשייתית (איור מס' 4) ואף הגיע לרמות החורגות מטווח הריכוזים הטבעי שלהם ב-650 אלף השנים האחרונות. עלייה משמעותית של 70% בפליטות גזי החממה נרשמה בין השנים 1970-2004, בעיקר עקב יצור אנרגיה, תחבורה ותעשייה, בעוד העלייה בשיעור הפליטות עקב כריתת יערות, בינוי (למגורים ולמסחר) וחקלאות הייתה בשיעור נמוך יותר (IPCC 2007).

ריכוז CO_2 עלה מ-280ppm בתקופה הטרורם תעשייתית ל-379ppm בשנת 2005. טווח הריכוזים הטבעי של גז זה ב-650 אלף השנים האחרונות היה 180-300ppm. קצב העלייה בריכוזו עלה במהלך השנים 1995-2005 ל-1.9ppm בשנה לעומת ממוצע של 1.4ppm לשנה בשנים 1960-2005. הסיבה העיקרית לעלייה בריכוזו היא השימוש בדלקים פוסיליים ובנוסף שינוי בשימושי קרקע, המהווה סיבה נוספת משמעותית, אך ברמה מועטה יותר. הפליטות השנתיות של CO_2 עלו מממוצע של 6.4GtC לשנה (טווח של 6.0-6.8GtC) בשנות ה-90 לממוצע של 7.2GtC לשנה (טווח של 6.9-7.5GtC) בין השנים 2000-2005. פליטות של 1.6GtC CO_2 בשנה (טווח של 0.5-2.7 GtC) במהלך שנות ה-90, מיוחסות לשימושי קרקע, למרות שלהערכות אלו יש אי ודאות גדולה (IPCC 2007).

ריכוז המתאן הגלובלי עלה מ-715ppb בתקופה הטרורם תעשייתית ל-1732ppb בתחילת שנות ה-90 ועד 1774ppb בשנת 2005. טווח הריכוזים הטבעי של גז זה ב-650 אלף השנים האחרונות היה 320-790ppb. עיקר העלייה בריכוזי המתאן היא עקב שימוש בדלקים וחקלאות. שיעורי הגידול בריכוזי המתאן ירדו החל משנות ה-90 כיוון שכלל פליטות המתאן (אנתרופוגניות וטבעיות) בתקופה זו נשארו קבועות (IPCC 2007).

ריכוז החנקן התת-חמצני N_2O עלה מ-270ppb בתקופה הטרורם תעשייתית ל-319ppb בשנת 2005. קצב הגידול בריכוזי ה- N_2O נשאר כמעט קבוע החל משנות ה-80 של המאה ה-20. יותר משליש פליטות ה- N_2O הן ממקור אנתרופוגני ומיוחסות בעיקר לחקלאות (IPCC 2007).

בין השנים 2000-2030 צפויה עלייה של 25% עד 90% בריכוז גזי החממה באטמוספירה (IPCC 2007), כולל עליה של 52% בפליטות CO_2 , כל עוד דלקים פוסיליים ימשיכו להיות מקור עיקרי לאנרגיה (בתלות בהתפתחויות סוציו-אקונומיות וניצול משאבי טבע לאנרגיה) (OECD 2008).



איור מס' 4: ריכוזי גזי החממה CO_2 (ריבוע עליון), מתאן (ריבוע אמצעי) וחנקן תת חמצני (ריבוע תחתון) ב-10 אלף השנים האחרונות (במסגרות הגדולות) והחל מ-1750 (מסגרות מוקטנות). הנתונים נלקחו ממדידות של ליבות קרח (סמנים בצבעים שונים עבור מחקרים שונים) וממדידות אטמוספיריות (קווים אדומים). מקור: IPCC 2007.

מודלים אקלימיים גלובליים הצליחו לשחזר את דפוסי ההתחממות מעל ששת היבשות, כולל את השתנותם לאורך הזמן, רק אם כללו השפעות אנתרופוגניות. בנוסף, ההתחממות גבוהה יותר מעל היבשה מאשר מעל האוקיינוסים. אלו מחזקים את העובדה כי לאדם השפעה חזקה על האקלים. למרות שתנודות אקלימיות "טבעיות" פקדו את כדור הארץ מדי פעם בפעם לאורך ההיסטוריה,

הרי שעל פי דעת רוב החוקרים, ההתחממות הנוכחית היא תוצאה של פעילות אנתרופוגנית התורמת לעליית ריכוז גזי החממה באטמוספירה. השינויים האקלימיים המתרחשים כיום, ואלו הצפויים במהלך השנים הבאות, הינם חריגים בקצבם המהיר ובעוצמתם. שינויים המתרחשים בקצב מהיר יחסית לא מאפשרים למערכות טבעיות ולחברת האדם להתאקלם ולהסתגל בהדרגה (Antipolis 2008).

1.3 שינויי האקלים בזירה הבינלאומית

ההכרה לראשונה בשינויי האקלים כבעיה גלובלית רצינית, הייתה בכנס האקלים העולמי הראשון (World Climate Conference), שנערך בחסות הארגון המטאורולוגי העולמי (WMO, World meteorological Organization), ב-1979 בגינבה. הפאנל הבין-ממשלתי לשינויי אקלים (IPCC), הוקם ב-1988 על ידי (United Nations) UNEP (Environment Programme) ו-WMO ושותפים בו למעלה מ-2500 מדענים מרחבי העולם. בדו"ח ההערכה הראשון שפורסם על ידי ה-IPCC ב-1990, ניתן האישור למידע שהתפרסם על השינויים האקלימיים. דו"ח זה שימש בסיס למשא ומתן שהתקיים לקראת אמוץ אמנת שינויי האקלים בכנס ריו ב-1992. האמנה בדבר שינויי האקלים (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) נחתמה בריו דה-ז'נרו, ברזיל, ביוני 1992, על ידי 155 מדינות, כולל ישראל. בין עקרונות האמנה היו יצירת בסיס משותף בין המדינות להפחתת ריכוז גזי החממה, פיתוח טכנולוגיות נקיות ומתן סיוע כלכלי וטכנולוגי למדינות המתפתחות. פרוטוקול קיוטו שליווה את האמנה, נחתם בקיוטו, יפן ב-1997 (נכנס לתוקף ב-2005) ומטרתו יישום עקרונות אמנת האקלים. בפרוטוקול הוסכם כי המדינות המפותחות (36 המדינות המתועשות) יפחיתו את פליטות גזי החממה בשיעור כולל של לפחות 5% מריכוזם בשנת 1990, במהלך 5 השנים שבין 2008-2012 (לכל מדינה הוצב יעד משלה לשיעור הפחתת הפליטות). כמו כן הוסכם על שלושה מנגנונים להפחתת הפליטות: סחר בפליטות, שיתוף פעולה בין מדינות ליישום עקרונות הפרוטוקול ומנגנון פיתוח טכנולוגיות נקיות-CDM (Clean Development Mechanism). מנגנונים אלו מבוססים על עקרונות שוק ומאפשרים למדינות המפותחות לזכות ולסחור בפליטות, דרך פרויקטים אשר ייושמו במדינות מתפתחות או במדינות מפותחות אחרות. באמצעות פיתוח פרויקטים אלו, יוכלו המדינות המפותחות להגיע ליעד הפחתת הפליטות שלהן, בדרכים הזולות ביותר ועל ידי שיתוף הסקטור הפרטי. המדינות המתפתחות יוכלו ליהנות מהשקעות זרות ומקבלת טכנולוגיות חדשות (UN 1998 Kyoto Protocol).

לאחר חתימת הסכם קיוטו, יעדיו נראו כלא בני ביצוע, עקב אי חתימת ארצות הברית על ההסכם, שהיא המובילה בפליטות גזי החממה, ואי מחויבות הודו וסין להסכם, כיוון שהן מוגדרות מדינות מתפתחות.

הועידה האחרונה לשינויי האקלים (נכון ליולי 2008) התקיימה בבאלי, אינדונזיה בנובמבר 2007, ונכחו בה למעלה מ-10 אלף משתתפים, כולל נציגים מיותר מ-180 מדינות. ההסכם הצפוי בעקבות מסקנות הועידה ייחתם בקופנהגן ב-2009 ויחליף את פרוטוקול קיוטו. מסקנות הועידה הן על פי המלצות הדו"ח האחרון של ה-IPCC (IPCC 2007), אשר קבע שעל מנת שהטמפרטורה הגלובלית הממוצעת תעלה בלא יותר מ- 2°C מהטמפרטורה שנמדדה לפני העידן התעשייתי, יש להגיע לשיא בפליטות של גזי החממה מקסימום בעוד 10-15 שנה, ולאחר מכן תהיה ירידה. בנוסף, יש להפחית את ריכוז גזי החממה ב-50% עד שנת 2050, כשהמדינות המפותחות יפחיתו 25% עד 40% מהפליטות, ביחס לרמת הפליטות בשנת 1990, עד 2020. גם המדינות המתפתחות הסכימו להפחית בפליטות גזי החממה, בתנאי שיקבלו סיוע כלכלי וטכנולוגי מהמדינות המפותחות.

למרות פעולות שנעשו עד כה על ידי מדינות ה-OECD, כגון הפחתת זיהום וייעור, הלחץ הגובר על הסביבה, בעקבות גידול האוכלוסין והצמיחה הכלכלית, עולים על התועלות של פעולות אלו. עד 2030, הכלכלה של העולם צפויה להכפיל עצמה ואוכלוסיית העולם תגדל מ-6.5 מיליארד בשנת 2008, ליותר מ-8.2 מיליארד. גידול זה יעצים את הלחץ על משאבי הטבע. צריכת האנרגיה הראשונית של ברזיל, הודו, רוסיה וסין יחדיו צפויה לגדול ב-72% בין 2005 ל-2030, בהשוואה ל-29% ב-30 מדינות ה-OECD. אם לא תינקט מדיניות הולמת, פליטות גזי חממה בארבע מדינות אלו בלבד, תגדל ב-46% עד 2030, ותעבור את הפליטות של 30 מדינות ה-OECD יחד (OECD 2008).

כיום, מדינות שונות פועלות בשני תחומים – מיתון, כלומר הפחתה של פליטות גזי החממה והיערכות למצב של טמפרטורות גבוהות יותר וההשלכות שיש לכך. להיערכות זו יהיה תפקיד מרכזי בהפחתת הפגיעות (vulnerability) לשינויי אקלים.

1.4 השלכות ההתחממות הגלובלית שנצפו בשנים האחרונות

השלכות ההתחממות הגלובלית הן רבות והשינויים במערכות הגלובליות כבר החלו.

1.4.1 טמפרטורות

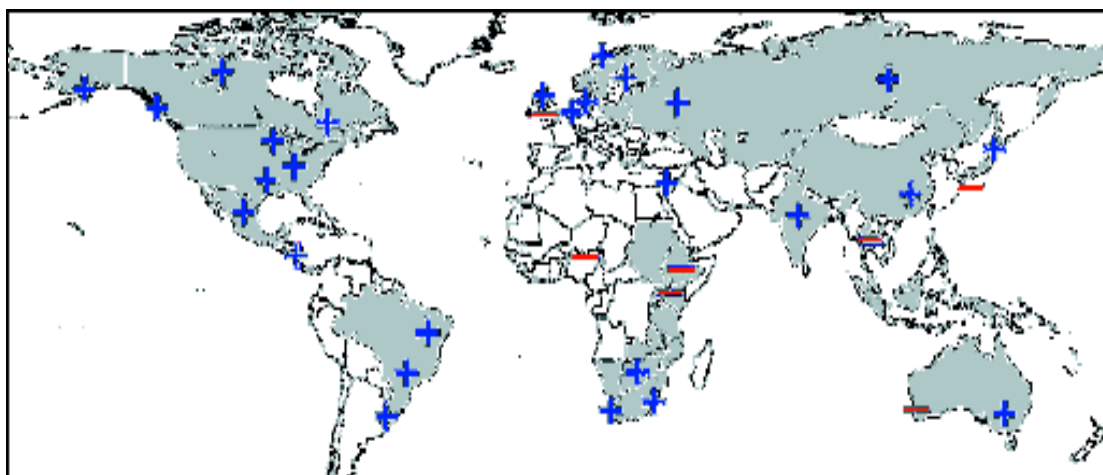
- הטמפרטורות הממוצעות בחצי כדור הארץ הצפוני, במהלך המחצית השנייה של המאה ה-20, היו גבוהות מכל תקופה אחרת של 50 שנה במהלך 500 השנים האחרונות וכנראה הגבוהות ביותר במהלך 1300 השנים האחרונות (McCarthy et al. 2001, IPCC 2007).
- במהלך 50 השנים האחרונות, נרשמה ירידה בכמות הימים והלילות הקרים ובכמות אירועי קרה במרבית אזורי היבשה. לעומת זאת, ימים ולילות חמים עלו בשכיחותם. גלי חום הפכו תדירים יותר מעל מרבית אזורי היבשה (IPCC 2007). למשל, במהלך החודשים יוני-יולי 2007, שני גלי חום אשר אירעו בדרום-מזרח אירופה הובילו

לטמפרטורות יומיות גבוהות מ- 40°C , כאשר בבולגריה הטמפרטורות עברו את ה- 45°C (Antipolis 2008).

- החל מ-1970 לערך, נצפתה עלייה באירועי ציקלון טרופיים קיצוניים באוקיינוס הצפון אטלנטי, אם כי לא נרשמה עלייה במספר אירועי הציקלון הטרופיים השנתית (IPCC 2007).

1.4.2 משקעים

- מגמות ארוכות טווח בכמויות המשקעים, חלו בין השנים 1900-2005 באזורים נרחבים. ישנה עלייה בכמויות המשקעים באזור המזרחי של צפון ודרום אמריקה, צפון אירופה וצפון ומרכז אסיה. מגמת התייבשות נצפתה באגן הים התיכון, בדרום אפריקה ובחלק מאזור דרום אסיה. ב-50 השנים האחרונות, נצפתה עלייה בתדירות אירועי גשם חריגים במרבית האזורים בעולם (איור מס' 5) (IPCC 2007).
- בצורות קיצוניות וארוכות יותר התרחשו באזורים נרחבים החל משנות ה-70, בעיקר באזורים טרופיים וסוב-טרופיים (IPCC 2007).
- ירידה בכמות המשקעים מובילה לירידה ביצור ראשוני וכך לירידה בכמות הצומח על הקרקע. ירידה זו בכמות הצומח מגדילה את האלבדו של הקרקע (החזר קרינת השמש על ידי הקרקע), דבר שגורם לעליה בטמפרטורת הקרקע ולעליה של הקרינה נטו, וכך גם לעליה בטמפרטורת האוויר וההתאידות. כך ששינויים בכמויות המשקעים יוצרים בעקיפין שינויים בטמפרטורה (סבוראי ושפרן-נתן 2006).



איור מס' 5: אירועי גשם קיצוניים ברחבי העולם (מעל פני השטח). (+) מסמן עלייה באירועי גשם קיצוניים, (-) מסמן ירידה באירועי גשם קיצוניים. ניתן לראות כי במרבית האזורים ניכרת עלייה באירועי גשם קיצוניים. מקור: IPCC 2007.

1.4.3 אוקיינוסים

- טמפרטורות פני כדור הארץ ומפלס הים חוו תנודות טבעיות לאורך ההיסטוריה, כאשר העלייה במפלס פני הים עקבית עם ההתחממות. במהלך 600 אלף השנים האחרונות, היה מפלס הים גבוה ב-6 עד 10 מטר מעל המפלס הנוכחי, עם מחזוריות ממוצעת של כ-100 אלף שנה בין שיאי הצפה (צביאלי 2007). כיום בעקבות גורמים אנתרופוגניים, טמפרטורת פני השטח ומפלס פני הים חווים עלייה משמעותית ומהירה יותר. לדעת חוקרים רבים, עליית מפלס הים הממוצעת הייתה במהלך המאה ה-20 בין 0.5 ל-2 מ"מ לשנה (Klein et al. 2004). באזורים מסוימים נרשמה ירידה בעוד באחרים הייתה עליה גבוהה יותר מהממוצע העולמי (צביאלי 2007). על פי הדו"ח האחרון של ה-IPCC (2007), מפלס הים עלה בקצב של 1.8 מ"מ בשנה בממוצע גלובלי (טווח של 1.3-2.3 מ"מ בשנה) החל מ-1961, ומאז 1993 בקצב של 3.1 מ"מ לשנה (טווח של 2.4-3.8 מ"מ לשנה), עקב התרחבות פני הים כתוצאה מההתחממות והמסת קרחונים ולוחות הקרח בקטבים (IPCC 2007).
- ישנה עלייה באירועי סערות גלים חריגות, המיוחסות לעליית המפלס ולשינויי אקלים אזוריים (צביאלי 2007).
- החל מ-1975 הייתה עלייה גלובלית באירועים הנובעים מעליית מפלס ים קיצונית, כולל צונאמי (עלייה קיצונית במפלס הים תלויה בממוצע מפלס הים ומערכות אקלים אזוריות. העלייה מוגדרת כערך השעה באחוזון העליון של מפלס הים בתחנה מסוימת בתקופה זמן מוגדרת) (IPCC 2007).
- שינויי האקלים תורמים לעליית החומציות של האוקיינוסים. האוקיינוסים בעלי תפקיד חשוב במחזור הפחמן, מכיוון שהם סופגים CO_2 מהאטמוספירה ומהווים מאגר משמעותי של פחמן. עם התמוססות ה- CO_2 באוקיינוס, הוא מגיב עם המים וכתוצאה מכך משתחררים יוני מימן. עלייה משמעותית בריכוז יוני המימן מורידה את רמת ה-pH ובכך מעלה את החומציות. pH האוקיינוסים הוא בממוצע 8.2 יחידות (טווח של 7.9-8.5 יחידות pH). החל מאמצע המאה ה-19 (המהפכה התעשייתית), האוקיינוסים ספגו כמחצית מה- CO_2 הנפלט לאטמוספירה. בעקבות כך, pH האוקיינוסים ירד ב-0.1 יחידות, כלומר המים הפכו חומציים יותר (IPCC 2007, Raven et al. 2005). ההחמצה היא תהליך בלתי הפיך למעשה, כיוון שייקח למערכות הטבעיות עשרות אלפי שנים להחזיר את כימיה של המים לתנאים ששררו לפני המהפכה התעשייתית. יכולת המין האנושי להעלות את רמות ה-pH של האוקיינוסים באופן מלאכותי, למשל באמצעות כימיקלים, טרם הוכחה וכנראה תועיל רק ברמה מקומית. כלומר, הפחתת רמות ה- CO_2 באטמוספירה היא הדרך היחידה להפחית איום זה לאוקיינוסים (Raven et al. 2005).

שינויים בחומציות המים בעלי השלכות משמעותיות על מינים ובתי גידול ימיים, וקשה לחזות את חומרת והיקף הפגיעה במערכות האקולוגיות. אחת ההשלכות העיקריות היא העובדה שמינים ימיים רבים, כגון שוניות אלמוגים, יוצרים את השלד או הציפוי שלהם ממינרל הקלציום קרבונט (CaCO_3 , סידן פחמתי). תהליך זה, הנקרא הסתיידות, מאפשר לרקמות להתקשות. מינרל זה, יחד עם טמפרטורה ואור, הם אלו שקובעים את הגבולות הביו-גיאוגרפיים של אלמוגים ומינים ימיים אחרים. לתהליך ההסתיידות דרושים תרכובות של פחמן מומס במים, ביקרבונט וקרבונט. קלציום קרבונט לא יתמוסס חזרה למים, כל עוד המים רוויים בריכוז גבוה של יוני קרבונט. לכן מינים ימיים מתקיימים בתחום שבו המים רוויים ביוני קרבונט. תהליך ההחמצה מקטין את יכולת האוקיינוסים לספוג CO_2 ויותר CO_2 נפלט לאטמוספירה, דבר המפחית את ריכוז יוני הקרבונט במים. הירידה בריכוז יוני הקרבונט מפחיתה את ריכוז קלציום קרבונט ופוגעת בתהליך ההסתיידות (Raven et al. 2005).

Fine & Tchernov (2007) מצאו כי אלמוגים ממשפחת scleractinia (אלמוגים קשים, אבניים) הצליחו לשרוד בתנאים חומציים, למרות חשיפתם לירידה ברמות pH, מ-7.6 ל-7.3 ומ-8.3 ל-8. למשך 12 חודשים. עם זאת, החוקרים טענו, כי למרות שהאלמוגים עשויים לשרוד תנאי עקה חומציים, פגיעה נרחבת בתהליך ההסתיידות של שוניות אלמוגים תגרוור שינויים נרחבים לתפקוד ולמבנה מערכות אקולוגיות אלו וכתוצאה מכך תפגע גם בשירותים, אותם מערכות אלו מספקות לאדם.

- עליית טמפרטורות המים של מי תהום, נגר עילי, נהרות, נחלים וימים, בעלי השפעה נרחבת על מרחב התפוצה של מינים זרים. באמצעות תעלות המחוברות נהרות או ימים, משתנים גבולות טבעיים ומתאפשר מעבר מינים אקוויטריים באופן טבעי, או באמצעות כלי תחבורה ימיים. כך מספקות תעלות אלו הזדמנויות להרחבת התפוצה של מינים שונים. עליית טמפרטורת המים מאפשרת למינים אלו להתבסס במקומות החדשים ולדחוק את המינים המקומיים. כניסה זו של מינים זרים למערכות אקולוגיות שונות, מהווה אחד מהנזקים החמורים והמשמעותיים ביותר למערכות אלו, הנעשים על ידי האדם ובעלי משמעות אקולוגית וכלכלית כאחד. לדוגמא, במהלך שני העשורים האחרונים נרשמה עלייה דרמטית בשיעורי הפלישה של מינים זרים מהים הכספי למפרץ המזרחי של פינלנד, כשלמעלה מ-50% מהמינים הפולשים נתגלו לאחר 1986. בתקופה זו הייתה ירידה חדה בתנועת ספינות במעבר וולגה-בלטי (שבקצה הצפוני שלו נמצא המפרץ של פינלנד). כיוון שהמעבר היה פתוח עוד לפני כן והיו האמצעים המתאימים להחדרה (אינטרדוקציה) של מינים פולשים, שינויים סביבתיים בטמפרטורות במזרח האזור הבלטי הם כנראה שהובילו לשינויים בתפוצה (Galil et al. 2007).

1.4.4 מים ומערכות טבעיות

- ישנה המסה מואצת של קרחונים הרריים במקומות שונים בעולם (למשל בהרי האלפים באירופה ובהר הקילימנג'ארו באפריקה) וכיסוי מופחת של שלג באזורים בקווי רוחב גבוהים בשני חצאי כדור הארץ. נתוני לוויינים הראו כי החל מ-1978, ים הקרח הארקטי

הצטמצם ב-2.7% לעשור (טווח של בין 2.1-3.3%), עם הפחתה משמעותית יותר של 7.4% לעשור בקיץ (טווח של בין 5.0-9.8%) (McCarthy et al. 2001, IPCC 2007). השינויים בשלג, בקרח ובפרמאפרוסט, הגדילו את מספרם וכמותם של אגמים קרחוניים, הגדילו את אי יציבות הקרקע בהרים ושטחי פרמאפרוסט אחרים והובילו לשינויים בכמה מערכות אקולוגיות באנטרקטיקה ובאזורים ארקטיים (IPCC 2007).

- מבנה אוכלוסיות ואיכות המים, במספר מערכות אקוטיות, הושפעו ממגמת ההתחממות, מעלייה בנגר עילי ומהפשרה מוקדמת של קרח באביב בנהרות, המתמלאים ממי שלגים וקרח (IPCC 2007).
- לשינויי האקלים השפעה ישירה ועקיפה על רוב המינים, כגון תנודות בזמני הטלה של מיני ציפורים רבות, השפעה על מין עוברי צבים והקדמה במועדי נדידת ציפורים ובזמני פריחה והוצאת עלים בעצים (McCarthy 2001). תופעות אלו עלולות להוביל לפגיעה במגוון הביולוגי ולהכחדת מינים. במערכות יבשתיות, ההתחממות נקשרה עם הקדמת תהליכים פיזיולוגיים המתרחשים באביב ותזוזה של מרחב התפוצה של מיני צמחים ובעלי חיים לכיוון הקטבים. בכמה מערכות ימיות ומערכות מים מתוקים, עליית טמפרטורות המים, שינויים בכיסוי הקרח, במליחות, ברמות החמצן ובסירקולציה גרמו לתנודות במרחב ולשינויים בכמויות של אצות, פלנקטון ומיני דגים (IPCC 2007).
- אגמים ונחלים ברחבי העולם מתחממים, דבר המשפיע על מבנה האגמים כבית גידול וכן על הכימיה של האגמים, דבר המשפיע בתורו על שפע ויצרנות, הרכב אוכלוסיות, פנולוגיה, תפוצה והגירה. אגמים רבים, בעיקר בקווי רוחב גבוהים או בגבהים, מראים על עלייה בכמויות האצות וביצרנות בעקבות ההתחממות במהלך המאה האחרונה. מכיוון שלא כל המינים מגיבים בצורה זהה, השינויים הללו השפיעו על האינטראקציות בשרשרות המזון. החשש משינויים בהרכב האוכלוסיות באגמים הוא בין השאר לבריאות האדם, מבחינת עלייה באצות מסוג ציאנו בקטריה, אשר חלקן עלולות להיות רעילות (IPCC 2007).

1.4.5 בריאות הציבור

- שינויי האקלים הם בין הגורמים התורמים לשינויים בתפוצה של מיני חרקים המזיקים לאדם. גורמים נוספים כוללים שינויים אקולוגיים, גידול בסחר העולמי ועלייה בתנועת הנוסעים ברחבי העולם. כך למשל, תיקנים וזבוב הבית הינם מעבירים פוטנציאלים של חיידקי מעיים ויתושים הינם מעבירים פוטנציאלים של מחלות זיהומיות. לחרקים פוטנציאל ריבוי אדיר והנקבות עשויות להטיל מאות ביצים, כאשר קצב תהליכי החיים וההתפתחות של האוכלוסייה תלוי בעיקר בטמפרטורה, אך גם בלחות, בכמות המזון ובאיכותו (ד"ר ע. וילמובסקי-תקשורת אישית).
- טמפרטורות גבוהות מקנות תנאים מועדפים למיקרו-אורגניזמים, על ידי כך שמזרזות את שכפולם וכך גורמות לעלייה במחלות ובזיהומים שונים, כגון זיהומים במערכת העיכול (Moren-Abat et al. 2006, פז ואלברסהיים 2007). כמו כן, טמפרטורות גבוהות

מזרזות את קצב התרבות אוכלוסיות יתושים, המשמשים וקטורים למחלות, את העלייה בכשירותם ואת יכולת העקיצה שלהם (פז ואלברסהיים 2007). מלריה וקדחת הנילוס המערבי הן בין המחלות המועברות על ידי יתושים, אשר קיים חשש לעלייה בשכיחותן בעקבות שינויי האקלים.

- במספר מחקרים נמצא כי תנאי חום קיצוני מהווים גורם קריטי, המעודד התפרצות קדחת הנילוס המערבי. לגבי השפעתם של כמויות המשקעים על המחלה ישנן הערכות סותרות (פז ואלברסהיים 2007). נמצא קשר בין תחלואה לטמפרטורות יומיות ממוצעות ובין העלייה בטמפרטורות בראשית האביב (מרץ) להופעת מפגעי היתושים ולהופעת קדחת הנילוס המערבי בבני אדם, בשבועות שלאחר מכן. רוב מקרי התחלואה אשר אירעו בישראל בשנים 2001-2006, התגלו במטרופולין תל אביב, בו קיים שילוב של ריכוז אוכלוסייה גבוה, עם תופעת אי החום האורבאני (פז ואלברסהיים 2007).
- אחד ממיני היתושים המפיצים את קדחת הנילוס המערבי, *Aedes albopictus*, הינו בעל יכולת התאמה גבוהה למגוון תנאים אקלימיים, ולכן הרחיב את תפוצתו ברחבי העולם בעשורים האחרונים. מין זה פלש לאיטליה ב-1990 ומשם הוא עשוי לפלוש לאזורים נרחבים בדרום אירופה (Becker & Pluskota 2007).
- עליית הטמפרטורות הגבירה את שיעור התמותה במדינות שונות. לדוגמא, בצרפת באוגוסט 2003, טמפרטורות גבוהות מהרגיל הובילו למוות עודף של 14800 איש, בעיקר קשישים, ב-13 ערים (WHO 2005). בשיקגו, ארה"ב, נרשמו 700 מקרי מוות עודף בעקבות עליית הטמפרטורות במהלך חמש שנים. מרבית מקרי המוות היו בקשר ישיר לחום, כגון שבץ ומקרי בריאות נוספים, הקשורים לחשיפה לחום כבד ומתמשך (Melillo et al. 2000).
- מספר ועוצמת אירועי שיטפונות, עלו באופן המשמעותי ביותר בעשור האחרון. השלכות של אסונות אלו הן מוות (מייד או לאחר זמן), פציעות והתפרצות זיהומים ומחלות. בנוסף, שיטפונות גורמים גם לנזק לתשתיות וליבולים, להם גם כן השלכות על בריאות האדם. נזק לתשתיות גורם במקרים מסוימים למוות ולפציעות של האדם ונזק ליבול עשוי לפגוע בבריאות האדם בעקבות מחסור במזון (Moren-Abat et al. 2006).

1.4.6 חקלאות

- שינויי האקלים שנצפו בשנים האחרונות לוו גם בשינויים ביבולים. הדבר בא לידי ביטוי במיוחד ביבולים רב שנתיים, כגון עצי פרי ומגוון גפנים, אשר תלויים פחות בהחלטות שנתיות של החקלאים. מחקרים רבים באירופה הראו כי ההתחממות אשר נצפתה בשנים האחרונות, הובילה לשינויים ב"לוחות הזמנים" של צמחים, כגון התארכות עונת הצימוח. עם זאת, לא דווח על שינוי בתפוקת היבולים באירופה, הקשור ישירות לשינויי האקלים (IPCC 2007).

1.5 תחזיות שינויי האקלים

למרות פעולות להפחתת פליטות גזי החממה הננקטות כיום, פליטות גזי החממה ימשיכו לגדול במהלך העשורים הקרובים, בעקבות ההתפתחות המהירה של כלכלתן של סין והודו בעיקר, המלווה בזיהום לא מבוקר ובניצול של משאבי הטבע שלא באופן בר קיימא, כמו גם קשיים בהשגת יעדי ההפחתה בחלק ממדינות המערב. צריכת האנרגיה הראשונית של ברזיל, רוסיה, הודו וסין יחדיו צפויה לגדול ב-72% בין השנים 2005 ל-2030, וללא פעולות משמעותיות להתמודדות עם פליטות גזי החממה, כמות הפליטות מארבעת מדינות אלו בלבד תגדל ב-46% עד 2030 (כפי שצוין בסעיף 1.3) (OECD 2008). קצב פליטות גזי חממה, הזהה להיום או גבוה יותר, יוביל להמשך התחממות ויגרום לשינויים רבים במערכת האקלים העולמית במהלך המאה ה-21, כנראה גדולים יותר מאלו שנצפו במהלך המאה ה-20 (IPCC 2007).

1.5.1 מערכת האקלים העולמית

- במהלך שני העשורים הקרובים, צפויה התחממות של כ- 0.2°C לעשור על פי כמה תרחישי פליטות. גם אם ריכוזי גזי החממה יישארו קבועים ברמות של שנת 2000, צפויה התחממות נוספת של 0.1°C לעשור, בעקבות כוח ההתמדה (אינרציה) התרמי של מערכת האקלים העולמית ותגובתם האיטית של האוקיינוסים. ההתחממות תהיה גדולה יותר מעל אזורי היבשה ובקווי רוחב הצפוניים הגבוהים ופחותה מעל האוקיינוס הדרומי (בקרבת אנטארקטיקה) ומעל חלקים מהאוקיינוס הצפון-אטלנטי (IPCC 2007, Meehl et al. 2005).
- במידה ולא ינקטו פעולות להתמודדות עם שינויי האקלים, אחוז הפליטות יגדל ב-37% נוספים עד 2030 וב-52% נוספים עד 2050. עלייה זו תוביל לעליית טמפרטורות של $1.7-2.4^{\circ}\text{C}$ עד 2050, בהשוואה לטמפרטורות לפני העידן התעשייתי (OECD 2008).
- צפויה עלייה בתדירות גלי החום, אירועי חום ומשקעים קיצוניים. צפויה עלייה בעוצמת המשקעים בקווי רוחב גבוהים והפחתה במשקעים ברוב האזורים הסוב-טרופיים, בהמשך למגמות שנצפו עד היום (IPCC 2007).
- צפויה עלייה בעוצמת סופות ציקלון ונדידת מסלולי סופות טרופיות לכיוון הקטבים, אשר תוביל לשינויים בדפוסי רוח, משקעים וטמפרטורות (IPCC 2007).

1.5.2 אוקיינוסים

- על פי דו"ח ה-IPCC לשנת 2007, צפויה עלייה של $0.18-0.59$ מטר במפלס הים לקראת סוף המאה הנוכחית (2090-2099), בהשוואה לשנים 1980-1999, בהתאם לתרחישים השונים (טבלה מס' 1). עלייה זו אינה כוללת את העלייה הצפויה בעקבות המסת קרחונים (IPCC 2007). על פי Rahmstorf (2006), מפלס הים יעלה בין 50 ל-140 ס"מ

בין השנים 1990 ל-2100, על פי עליית הטמפרטורה הצפויה בתרחישי דו"ח ה-IPCC לשנת 2001, עבור תקופה זו ($1.4-5.8^{\circ}\text{C}$).

- עליית מפלס הים בלתי נמנעת כיוון שההתרחבות התרמית, בעקבות עליית הטמפרטורות, תמשך עשורים רבים לאחר התייצבות ריכוזי גזי החממה. אם ריכוזי גזי החממה יתייצבו ברמות שנת 2000, ההתרחבות התרמית של המים בלבד תוביל לעליית המפלס של 0.3-0.8 מטר (לא כולל השלכות על הפשרת קרחונים). התרומה הסופית של אובדן שכבות הקרח של גרנלנד, עשויה להיות מספר מטרים וגבוהה יותר מעליית המפלס בעקבות ההתרחבות התרמית של המים, עם עלייה של $1.9-4.6^{\circ}\text{C}$ בטמפרטורה הגלובלית הממוצעת (IPCC 2007). לפני כ-125 אלף שנים (בתקופה החמה האחרונה שהייתה בין תקופות קרח, interglacial period) גובה פני הים היה 4-6 מטר מעל גובהו במאה ה-20, בזמן שהטמפרטורה הגלובלית הייתה $3-5^{\circ}\text{C}$ יותר מהטמפרטורה הגלובלית הנוכחית, כתוצאה משינויים במסלול כדור הארץ. גובה מפלס זה נבע בעיקר מהפשרת קרחונים בקטבים (IPCC 2007).
- יכולתנו לחשב את מפלס פני הים העתידי לפי תרחישי עליית טמפרטורות שונים, באמצעות מודלים הקיימים כיום, היא מוגבלת. זאת כיוון שקיים קושי בהערכת כלל ההשפעות התורמות לעליית מפלס הים, כגון השלכות של המסת לוחות הקרח. מפעילי מודלים אקלימיים גלובליים אינם יכולים לכלול את השפעת המסת הקרחונים על עליית מפלס הים, מאחר ולא ניתן לנסח אותה במשוואות פיסיקליות פשוטות ומודלים אקלימיים אינם מסוגלים לדמות תופעות אלה באופן ישיר (צביאלי 2007), בין השאר כיוון שקצב ההמסה של הקרחונים הללו עשוי לגדול או לקטון (IPCC 2007). בנוסף, ידועים משובים חיוביים ושליליים בין גזי החממה ומערכת האקלים, ומוערך כי ישנם משובים נוספים בלתי ידועים כיום (IPCC 2007, Rahmstorf 2006). שיעורי עליית המפלס, שחושבו על ידי מודלים של לוחות קרח ואקלים, לרוב נמוכים יותר מעליית המפלס שנצפתה בפועל. החל מ-1990, קצב עליית המפלס תאם את הערכים הגבוהים ביותר שסופקו על ידי ה-IPCC, לפי תרחיש הפליטות המחמיר ביותר (Rahmstorf 2006). דוגמא למשוב חיובי, היא הגדלת ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה בעקבות פליטה של האוקיינוסים (ראו סעיף 1.4.3). לכן הערך העליון של מפלס הים הצפוי בתחזיות, כנראה ואינו הגבול העליון האמיתי, והעלייה במפלס תהיה גדולה הרבה יותר מהצפי לסוף המאה ה-21 (IPCC 2007).

טבלה מס' 1: עליית מפלס הים הצפויה בעקבות התרחבות תרמית בלבד, על פי תרחישי ריכוזי גזי

החממה באטמוספירה.

Category	CO ₂ concentration at stabilization (2005 = 379 ppm) ^(b)	CO ₂ -equivalent concentration at stabilization including GHGs and aerosols (2005 = 375 ppm) ^(b)	Peaking year for CO ₂ emissions ^(a, c)	Change in global CO ₂ emissions in 2050 (% of 2000 emissions) ^(a, c)	Global average temperature increase above pre-industrial at equilibrium, using "best estimate" climate sensitivity ^{(d), (e)}	Global average sea level rise above pre-industrial at equilibrium from thermal expansion only ^(f)	Number of assessed scenarios
	ppm	ppm	year	percent	°C	metres	
I	350 – 400	445 – 490	2000 – 2015	-85 to -50	2.0 – 2.4	0.4 – 1.4	6
II	400 – 440	490 – 535	2000 – 2020	-60 to -30	2.4 – 2.8	0.5 – 1.7	18
III	440 – 485	535 – 590	2010 – 2030	-30 to +5	2.8 – 3.2	0.6 – 1.9	21
IV	485 – 570	590 – 710	2020 – 2060	+10 to +60	3.2 – 4.0	0.6 – 2.4	118
V	570 – 660	710 – 855	2050 – 2080	+25 to +85	4.0 – 4.9	0.8 – 2.9	9
VI	660 – 790	855 – 1130	2060 – 2090	+90 to +140	4.9 – 6.1	1.0 – 3.7	5

מקור: IPCC 2007.

- עליית מפלס הים, בנוסף לסכנת ההצפה של איים ואזורים שגובהם אינו רב, עלולה בנוסף לגרום להמלחה נוספת של אגני ניקוז תת-קרקעיים (אקוויפרים) בקרבת חוף הים (IPCC 2007).
- על פי התרחישים השונים, תהליך החמצת האוקיינוסים צפוי להימשך, וערכי ה-pH של המים במאה ה-21 עשויים לרדת בין 0.14-0.5 יחידות עד 2100 (Raven et al. 2007, IPCC 2007, al. 2005). ערכי pH אלו לא קרו באוקיינוסים כנראה מאות אלפי שנים, וקצב השינוי הנוכחי כנראה גדול פי 100 מכל שינוי שהתרחש במהלך תקופה זו. על מנת למנוע החמצה משמעותית של האוקיינוסים, סך כמות פליטות ה-CO₂ לאטמוספירה צריך להיות נמוך משמעותית מ-900 GtC עד 2100, כמות הנמוכה משמעותית מזו הצפויה באחד מתרחישי ה-IPCC המתונים ביותר (B1, ראה נספח 1) (Raven et al. 2005). החמצת האוקיינוסים תוביל לפגיעה משמעותית באלמוגים באזור הטרופי וסוב-טרופי, עם השלכות על יציבות ואריכות החיים של השוניות באזור זה ושל המינים השונים התלויים בהן. עד 2100, תהליכי בניית השלד עבור אלמוגים אלו עשוי להפוך קשה ביותר, בעיקר באוקיינוס הדרומי. כמה מיני מים רדודים, אשר משחררים נוטריינטים מהסדימנטים, עשויים אף הם להיות מושפעים מהחמצת האוקיינוסים. אורגניזמים נוספים הצפויים להיפגע הם הפיטופלנקטון וזואופלנקטון המהווים מרכיב מזון עיקרי למינים רבים של דגים וחיות אחרות. כמה מחקרים העלו את ההשערה, כי צפויה ירידה בגדילה וברבייה של מספר מינים ימיים (חלק מסתיידים וחלק לא) בעקבות השפעת שינויי האקלים על האוקיינוסים. מינים נוספים העשויים להיפגע הם מינים ניידים כגון תמנונים, אשר עליית החומציות תפגע ביכולתם לנשום, כיוון שתנאי החומציות משפיעים

על יכולת הדם להעביר חמצן. הפגיעה בדגים אינה ברורה ועשויה להיות פגיעה בתהליכי הרבייה (Raven et al. 2005).

עדיין לא ברור אם מינים, אוכלוסיות ומערכות אקולוגיות יוכלו להתאים עצמם או להתפתח בתגובה לשינויים אלו בכימיה של האוקיינוסים או אם יפגעו השירותים אותם מספק האוקיינוס. הפגיעה בשוניות האלמוגים, בדיג ובתיירות התלויים בהם משתווה להפסד של מיליארדי דולרים בשנה. בנוסף, עם הזמן, הפגיעה בשוניות האלמוגים תפחית את יכולתם להגן על אזורי החוף. כמו כן, עשויות להיות השלכות ישירות ולא ישירות על מיני דגים ורכיכות מסחריים. מערכות אקולוגיות ימיות עשויות להפוך יותר פגיעות לנזקים סביבתיים כגון זיהום, איכות מים, שינויי אקלים ועוד (Raven et al. 2005).

- לאוקיינוסים תפקיד חשוב במערכת האקלים העולמית ובמעגל הפחמן הגלובלי. ההחמצה של האוקיינוסים בעקבות העלייה בריכוזי ה- CO_2 , תוביל למשוב שלילי בעקבותיו תרד יכולתם לספוג את ה- CO_2 מהאטמוספירה, דבר שיחריף את תהליך ההתחממות הגלובלית (שהוא משוב חיובי של פחמן-אקלים) (Raven et al. 2005).
- מיני פלנקטון הצפים במים, מהווים גורם חשוב בהטמעת CO_2 באוקיינוסים ופגיעה בהם תוביל למשוב חיובי של ריכוזי CO_2 באטמוספירה. בנוסף, מינים שונים של פלנקטון פולטים גז דימתיל סולפיד, המהווה מרכיב חשוב ביצירת עננים והתקררות אקלימית ופגיעה בהם תוביל להתחממות ניכרת יותר של האקלים (Raven et al. 2005).
- שינויי האקלים וגלובליזציה צפויים להחמיר פלישות אקוויטיות ולהפחית עמידות הסביבה לפלישות של מינים המעדיפים חום (תרמופילים). התחממות הגלובלית עשויה להיות כלי להרחבת התפוצה של מינים ימיים אלו דרך מעברי המים הפנימיים של אירופה (Galil et al. 2007).

1.5.3 מים ומערכות טבעיות

- מערכות טבעיות בעלות היכולת להשתנות ולהתפתח בתגובה למגוון שינויים גנטיים ולחצים חיצוניים, כולל שינויים במערכת האקלים. מערכות אלו מגיבות באופן תמידי להפרעות, עם זאת, הזמן הדרוש לסלקציה טבעית לרוב ארוך יותר ממספר עשורים, בהם לרוב מתרחש השינוי האקלימי. במקרים אלו, מערכות ביולוגיות יסטו בהדרגה או באיטיות באופן מתמשך ממצבן, אם כי גם שינויים קלים באקלים עשויים להיות קשים עבור מערכות ומינים מסוימים. מערכות אקולוגיות רבות ברחבי העולם נמצאות תחת עקות רבות, כולל זיהום, פלישת מינים זרים וקיטוע בתי גידול. עקות אלו בשילוב עם השינויים המהירים יחסית באקלים, יערערו את עמידות המערכות ויפחיתו את סיכוייהן להסתגל בהצלחה (Easterling et al. 2004).
- לשינויי האקלים צפויה השפעה ניכרת על איכות המים, בעקבות שינויים בורידות חלשות או גבוהות, בטמפרטורת המים, שינוי של בתי הגידול השונים במים ושינויים במליחות המים. עלייה בעוצמות משקעים וסערות תעלה את הסיכון להצפות, תרחיב את האזורים המוצפים, תעלה את השונות של זרימות (כלומר העצמת זרימות חזקות והחלשת זרימות

חלשות), תעלה את מהירות המים בזמן זרימות חזקות ותגביר את הארוזיה. לשינויים אלו תהיינה השלכות משמעותיות על איכות המים ובריאות המערכות האקוטיות. זרימות חזקות יכולות להגביר דילול המים, תהליכי ארוזיה וסדימנטציה (בעיקר בשילוב עם ספיקות שיא גבוהות יותר). האטה בזרימות עשויה להפחית דילול, לרכז מלחים ומזהמים אחרים ולהפחית את ריכוז החמצן המומס בלילה באופן לא ישיר (על ידי העלאת הטמפרטורה והגברת מטבוליזם).

- מי תהום משמשים בסיס זרימה למעיינות ונהרות, והם רגישים פחות לשינויי אקלים לטווח קצר ממים עיליים, אך מושפעים יותר משינויים לטווח הארוך. באזורים נרחבים מפלס מי התהום עלול לצנוח וכך תפחת זרימה עונתית. תנודות בטמפרטורת המים מהירות יותר ככל שנפח המים יורד, לכן נחלים קטנים יושפעו יותר משינויים במי התהום וכנראה יסבלו מירידה בזרימה ושינויים בזרימות עונתיות, מה שיגרם כנראה לנזק לבתי גידול אקוטיים.
- טמפרטורות גבוהות יותר מובילות לעליית טמפרטורת המים. עליית טמפרטורת המים בעלת השפעה גדולה על האקולוגיה של אגמים, נחלים ואוכלוסיותיהם הביולוגיות. שינויים אלו בשילוב עם זיהום כימיקלים ישפיע על תפקוד מערכות אקוטיות. מים חמים יותר מקטינים את ריכוז החמצן המומס במים ועשויים להוביל בסבירות גבוהה לתנאי היפוקסיה (ריכוז נמוך של חמצן מומס במים בו מינים אקוטיים לא יכולים לשרוד). בנוסף, מים חמים יותר גורמים לפריחת אצות, מעלים את הרעילות של מזהמים מסוימים, כגון אמוניה ומאפשרים שגשוג של פתוגנים. מספר מקורות המים המוגדרים פגיעים צפוי לעלות, גם אם רמות הזיהום יישארו יציבות (Shapiro et al. 2008, IPCC 2007). עליית טמפרטורה משנה את מחזורי הערבול והשיכוך במים באגמים, המהווים מרכיב מפתח לאיזון הנוטריינטים וערך בית הגידול. עליית טמפרטורת המים יכולה לגרום להיכחדות מיני דגי מים קרים מסוימים אשר נמצאים כבר עתה בסכנה (Melillo et al. 2000). עם העלייה בטמפרטורות המים, הרכב המינים בגופי המים יוחלף במינים המותאמים יותר למים חמים (כלומר דגי מים קרים יוחלפו על ידי דגי מים חמים). עם זאת, תהליך זה יקרה בקצב לא שווה, כך שיפגע בבריאות המערכת האקוטית ויאפשר למינים זרים או פולשים להתבסס. לטווח הארוך (כלומר תוך 50 שנה), מים חמים יותר ושינויים בזרימות עשויים להוביל להתדרדרות משמעותית של בריאות מערכות אקוטיות באזורים מסוימים (Shapiro et al. 2008).
- משך או תזמון שלבי החיים השונים של מינים מסוימים עשויים להשתנות, דבר אשר עשוי להוביל לשינוי דרמטי במבנה המערכת האקוטית (Shapiro et al. 2008, Melillo et al. 2000).
- קושי בהשלמת מעגלי חיים בשלוליות חורף, בהן תלויים מינים אקוטיים רבים כגון דו חיים, בעקבות עלייה בתנאי יובש וחום.
- בצורות, שינויים בדפוסי משקעים, המסת שלגים ועלייה באובדן מים בעקבות התאיידות (כתוצאה מעליית הטמפרטורות) יגרמו לשינויים בזמינות מי השתייה. עליית מפלס הים

וחדירת מי ים יגרמו לתוצאה דומה. טמפרטורות גבוהות יותר יגרמו גם לעלייה בדרישה למי שתייה ולצורך במים לחקלאות, תעשייה וייצור אנרגיה (Shapiro et al. 2008).

- זרימות שנתיות בנהרות וזמינות המים צפויים לעלות בקווי רוחב גבוהים ובכמה אזורים טרופיים לחים ולרדת בכמה אזורים יבשים בקווי הרוחב הבינוניים ובאזורים הטרופיים. מרבית האזורים הצחיחים למחצה (כגון אגן הים התיכון, מערב ארצות הברית) יסבלו ממחסור במשאבי מים בעקבות שינויי האקלים (IPCC 2007).
- פגיעה במקורות המים ובמערכות האקולוגיות בכמה אזורים בקווי רוחב בינוניים (כולל אזורים צחיחים וצחיחים למחצה, כגון אזור אגן הים התיכון), באזורים טרופיים יבשים בעקבות השינויים במשקעים ובאופוטנספירציה ובאזורים התלויים בהמסת שלג וקרחונים (IPCC 2007). עליית מפלס הים תציף את פנים היבשה ואזורי שפך הים, כך ישתנה טווח הגאות בנהרות ובמפרצים. שינויים בזרימות מים לאגמים ונהרות, עלייה בשיעורי התאיידות ושינוי משקעים באזורים מסוימים, ישפיעו על גודלם של אגני ניקוז ואגמים (Shapiro et al. 2008).
- מספר האנשים הצפויים להיות תחת איום של מחסור במים יגדל בעוד כמיליארד, ללמעלה מ-3.9 מיליארד. כמות האוכלוסייה בברזיל, רוסיה, הודו וסין יחדיו, שתסבול ממחסור בינוני עד חמור במים, תעלה מ-63% ל-80%, אם לא יינקטו אמצעים חדשים לניהול של משק המים (OECD 2008).
- פגיעה באזורי טונדרה (אזור בו הטמפרטורות נמוכות באופן קיצוני), ביערות צפוניים, באזורים הרריים, ובמערכת האקולוגית בים הקרח בעקבות רגישותם להתחממות (IPCC 2007).
- בהמשך למגמות שנצפו עד היום, תמשך הצטמצמות כיסוי שלג, הפשרת שטחי הפרמאפרוסט והפחתה בגודל קרחונים בים. על פי כמה תרחישים אפשריים, ים הקרח הארקטי של סוף הקיץ, צפוי להיעלם כמעט לחלוטין לקראת סוף המאה ה-21 (IPCC 2007).
- פגיעה ביערות הגשם היכן שצפויה ירידה במשקעים (IPCC 2007).
- מספר גדול ממיני החיות והצמחים המוכרים כיום ייכחדו. המשך אובדן של המגוון הביולוגי יגביל את יכולת כדור הארץ לספק את שירותי המערכת, אשר תומכים בצמיחה הכלכלית וברוחת האדם (OECD 2008). עליית טמפרטורות בשיעור הגבוה מ-1.5°C (בהשוואה לשנים 1980-1999), עשויה להוביל 20-30% מהמינים שהוגדרו עד היום, להימצא תחת סכנת הכחדה. עליית טמפרטורות בשיעור הגבוה מ-3.5°C, עשויה להוביל להיכחדות של 40-70% מהמינים ברחבי העולם (IPCC 2007). שינוי אשר הרסני למין מסוים, יכול לגרום לתפיסת הנישה האקולוגית המסוימת שלו על ידי מין אחר (Melillo et al. 2000). Thuiller_ וחוב' (2005) מצאו כי מתוך 1350 מיני צמחים אירופאים, שנבחנו תחת תרחישים שונים של שינויי אקלים לקראת סוף המאה ה-21,

מעל למחצית עשויים להיות פגיעים או מאוימים עד 2080, גם עבור התרחישים המתונים יותר. בממוצע בין התרחישים השונים, נמצאה שונות גבוהה בכמות המינים הצפויים להיכחד (27-42% מהמינים בממוצע באירופה) או לעבור שינוי (45-63% מהמינים בממוצע באירופה). בנוסף, נמצאה שונות גבוהה בין אזורים שונים באירופה (2.5-86% מהמינים ימצאו בסכנת הכחדה, ו-17-86% מהמינים יעברו שינוי). אובדן המינים או השינוי שיעברו נמצאו תלויים בעיקר במידת השינוי של טמפרטורה ולחות. מינים המאכלסים בתי גידול בהרים נמצאו רגישים במיוחד לשינויי אקלים (מעל 60% מהמינים יכחדו). באזור הצפוני צפויים להיכחד מעט מינים, אך יתווספו מינים רבים בעקבות הגירה. השינויים הגדולים צפויים במעבר שבין האזור הים תיכוני והאזור האירופאי-סיבירי.

- קשה להעריך את השלכות שינויי האקלים על אזורי החוף ומערכות ימיות. לתפוצת האדם לאורך חופי הים השלכות רבות על מערכות אלו, דבר שלרוב מקטין את יכולתן להיערך ולהסתגל לשינויים (IPCC 2007).
- צפויה פגיעה במנגרובים ובביצות מלח בעקבות ריבוי עקות, ופגיעה במערכות חופיות הנמוכות מגובה פני הים, בעקבות עליית מפלס הים ועלייה בעוצמה ותדירות אירועי מזג אוויר קיצוניים (IPCC 2007).
- שפכי נחלים (Austries) הם מערכות אקולוגיות פרודוקטיביות ביותר, אשר יושפעו בדרכים שונות מהאקלים. עלייה בטמפרטורות החורף, אשר תצר את טווח הטמפרטורות העונתי, תגרום לשינויי בתפוצת מינים ותגביר את רגישות מערכות אלו למינים פולשים. עלייה בנגר תגביר זרימת נוטריינטים, כגון חנקן ופוספט לשפכי נחלים ובו זמנית תגביר את השיכוב שבין מקורות מים מתוקים ומי ים. תוספת הנוטריינטים והגברת השיכוב יגבירו את הפוטנציאל לפריחות אצות, אשר מדללות את ריכוז החמצן המומס במים ומגבירות את העקה על כלל המינים במערכות ימיות. ירידה בנגר עילי תפחית דיג, תצמצם את אזורי הרבייה וגדילת פרטים צעירים ותאפשר לטורפים ומזיקים פתוגניים לחדור לעומק שפכי הנחלים. במידה ושיעור הצטברות חול הים לא יעמוד בקצב עליית פני הים, או אם מערכות אקולוגיות ימיות לא יוכלו לנוע לכיוון פנים החוף עם עליית מפלס הים (בעקבות בנייה על החוף, סלעים ושוברי גלים), מערכות ימיות אלו ייעלמו (Melillo et al. 2000).
- צפויה פגיעה בשוניות האלמוגים בעקבות ריבוי עקות. שוניות אלמוגים צפויות להיפגע מעליית ריכוזי ה- CO_2 (ראה השלכות שינויי האקלים על החמצת אוקיינוסים) (IPCC 2007). עליית טמפרטורת המים גורמת לפליטת האצות באלמוגים החיוניות להישרדותם, כיוון שתוצרי הפוטוסינתזה של האצות הוא מקור מזונם העיקרי של האלמוגים. האצות הן צבעוניות ובלעדיהן האלמוג נראה לבן (תהליך הנקרא הלבנת אלמוגים). אלמוגים יכולים לשרוד תקופה קצרה של התחממות המים, אך התחממות לאורך זמן תגרום לתמותת האלמוגים. לאלמוגים חשיבות כלכלית וסביבתית כיוון שמשמשים בית מחסה לדגים, אזורי רבייה וגדילת פרטים צעירים של מיני דגים, אזורי

תיירות והגנה על חופים. לכן, אובדן שוניות האלמוגים ברחבי העולם מוערכים בהפסד של מאות מיליארדי דולרים כל שנה (Melillo et al. 2000).

- יערות מספקים מגוון רחב של שירותים אקולוגיים בנוסף על משאבים לאדם ומגוון פעילויות נופש. השפע שאותו מספקים היערות מותנה במגוון המינים שביער (מגוון הצמחייה ובעלי החיים) ובתפקוד היער, זרימת המים, מחזור נוטריינטים ויצרנות. גורמים אלו מושפעים מאוד מאקלים. בנוסף, פעילות האדם גם היא משנה יערות. דיכוי שריפות למשל שינה את הרכב המינים, כך גם שיטות כריתת עצים למיניהן ושטילת עצים לפי צרכי האדם. עלייה בריכוזי ה- CO_2 באטמוספירה צפויה לגרום לעלייה ביצרנות היערות, אך עלייה זו תתמתן על ידי גורמים מקומיים, כגון עקת לחות וזמינות נוטריינטים. מעבר לעלייה בריכוזי ה- CO_2 באטמוספירה ושינוי במאזני המים, ישנם גורמים אטמוספריים נוספים המשפיעים על יערות, כגון מחזור החנקן והאוזון (גז האוזון, הנחשב מזהם שניוני, נוצר על ידי השפעת קרינת השמש על מזהמים ראשוניים, כגון תרכובות אורגניות נדיפות ומדכא יצרנות של צמחים) (Melillo et al. 2000). הפרעות טבעיות בעלות ההשפעה הגדולה ביותר על יערות הם חרקים, מחלות, מינים פולשים, שריפות, בצורות, מפלות בוך, סופות וברד. מיני עצים שונים פיתחו עמידות לחלק מההפרעות, אך שינויי האקלים שינו את תדירותן, עוצמתן ומשכן. לכן יערות עלולים להיות חשופים לשינויים המהירים שבהפרעות טבעיות אלו. עלייה בשריפות יער, בעקבות ירידה במשקעים, עשויה להפחית את כמויות המים הנאגרות בקרקע, להגביר ארוזיית הקרקע, להגביר זיהום המים, להעלות הסיכון להצפות ולסכן תשתיות מים (Shapiro et al. 2008).
- בתי גידול פוטנציאליים לעצים, המעדיפים אקלים קריר, ינועו צפונה. בתי גידול לסוגי אשוחים אלפיניים ותת-אלפיניים יכולים להיעלם. לכמה מינים מקומיים יהיה קושי להתפשט לבתי גידול חדשים בגלל הקצב המהיר של שינויי האקלים ושימושי הקרקע על ידי האדם לאורך מסלולי ההגירה. מינים פולשים של עשבים, המופצים במהירות, צפויים למצוא הזדמנויות ליצירת אוכלוסיות חדשות. לכן הרכב האוכלוסיות ביערות ישתנה משמעותית מאלה המאכלסים בתי גידול דומים כיום (Melillo et al. 2000).

1.5.4 תיירות

- עליית הטמפרטורות תוביל למעבר פעילויות הקיץ לאזורים צפוניים או גבוהים יותר (Melillo et al. 2000, IPCC 2007).
- ירידה במספר הימים הקרים בחורף עשויה לפגוע בענף הסקי (Melillo et al. 2000, IPCC 2007).
- ההשפעה על ענף הדיג משתנה בהתאם למיני הדגים. עליית טמפרטורת המים תסייע למיני דגי מים חמים, אך תפגע במיני דגי מים קרים (Melillo et al. 2000, IPCC 2007).

1.5.5 בריאות הציבור

- יש קושי בחיזוי מדויק של השלכות שינויי האקלים על בריאות האדם בעקבות מורכבות וחוסר ידע מספיק על מכלול הגורמים, היכולים להשפיע על בריאותו ופגיעותו של האדם. למשל, קשה לחזות את השלכות שינויי האקלים על פי התרחישים השונים על זיהום האוויר. מידע בסיסי על מידת רגישות האדם לאספקטים של מזג אוויר ואקלים מוגבל. ישנו תחום רחב של השלכות שליליות אפשריות על הבריאות ואף כמה השלכות חיוביות (כגון הפחתת תמותה ממקרי קור, למרות שהאיזון בין תמותה וחולי מעליית טמפרטורות לעומת הפחתת תמותה וחולי מקור, עדיין לא הוערך) בנוסף, קיים חשש שהנזקים יאותרו מאוחר מדי מכדי לטפל במצב, או שעד אז תחול כבר פגיעה משמעותית (Melillo et al. 2000).
- שינויי האקלים צפויים להוביל לשינוי במרחב התפוצה ובעונתיות של מפיצי מחלות (וקטורים) מסוימים, כגון יתושים, מכרסמים וקרציות המשגשים בטמפרטורות גבוהות (McCarthy et al. 2001). מחלות המועברות על ידי יתושים, קרציות ומכרסמים, כגון מלריה, קדחת הדנגי וצהבת, נעלמו ממדינות מפותחות הודות לשינויים בשימושי קרקע, בשיטות חקלאות, בדפוסי מגורים, בהתנהגות אנושית ובבקרה על נשאי מחלות. עם זאת, מחלות היכולות לעבור לאדם מחיות בר ממשיכות להתקיים בטבע, ואנשים עלולים להידבק בפתוגנים על ידי חשיפה ליתושים או קרציות, או על ידי מגע ישיר עם בעל החיים הנשא או נוזלי הגוף שלו. האקולוגיה של הידבקות אלו מורכבת והגורמים המשפיעים על הידבקות ייחודיים לכל פתוגן. מרבית הפתוגנים הינם בעלי דפוסי התנהגות עונתיים, דבר המרמז בבירור כי הם מושפעים ממזג אוויר. גשם, טמפרטורה ועוד מאפייני מזג אוויר משפיעים על הוקטורים והפתוגנים בדרכים רבות. למשל מלריה נקשרת לתקופות גשומות בחלקים מסוימים בעולם, אך עם בצורות באזורים אחרים. טמפרטורות גבוהות יכולות להגביר או להפחית שיעורי הישרדות של וקטורים, בהתאם לכל וקטור, התנהגותו, האקולוגיה שלו וגורמים רבים אחרים. במקרים מסוימים, דפוסי מזג אוויר ספציפיים לאורך מספר עונות, נראים בעלי קשר לעלייה בשיעורי הידבקות (Melillo et al. 2000).
- יתוש ממין *Aedes albopictus*, אחד ממפיצי קדחת הנילוס המערבי, עשוי להרחיב את תפוצתו ברחבי דרום אירופה מאז שפלש לאיטליה ב-1990. בנוסף, הגירה של מין זה צפונה אפשרית עקב שינויי האקלים. אזורים פוטנציאליים לפלישת מין זה הם שווקים של תוצרת חקלאית, נמלים, תחנות רכבת ונקודות שירות לאורך מסלולי תיירות והעברת מטענים ממדינות בהם מין זה נמצא (Becker and Pluskota 2007).
- אוכלוסייה במרכזים עירוניים, הנשמרים חמים גם במהלך הלילה, רגישה יותר לחום, מאשר אזורים כפריים. אי הקלה מהחום בלילות מגבירה את שיעור מקרי המוות. קשישים, ילדים קטנים, עניים וחולים נמצאים בסיכון גבוה (Melillo et al. 2000).
- עליית הטמפרטורות מובילה לעלייה במחלות מדבקות לאחר שיטפונות וסערות. פתוגנים הנישאים במים כוללים וירוסים, בקטריות ופרוטוזואה. שינויים במשקעים, טמפרטורה,

לחות, מליחות ורוח בעלי השפעה על איכות המים. בנוסף, אצות אדומות רעילות משגשגות בעליית טמפרטורת המים ועלולות לתרום להרעת איכות המים. שיטפונות יכולים לגרום להצפה של מערכות ביוב ולפגוע במערכות מים וביוב וכך להגדיל סיכויים גם לזיהומים (Melillo et al. 2000). ישנן ארבע דרכים עיקריות להעברת זיהומים הקשורים במים: (1) זיהומים הנובעים ממקורות המים- כאשר אדם שותה מים המכילים פתוגנים ומפתח זיהום, כגון כולרה. (2) זיהומים הנשטפים במים- מושפעים מכמויות המים הזמינות, כגון גרדת (Scabies) (3) זיהומים המבוססים על מים, כאשר הפתוגן תלוי במחזור חייו במים. (4) חרקים מעבירי מחלות הקשורים במים, כיוון שמתרבים בהם או עוקצים בקרבת מים, כולל מלריה, צהבת וקדחת הדנגי. רגישות הפרט לאירועים קיצוניים תלויה במצב האישי שלו, כולל גיל ומצב סוציו-אקונומי, פרופיל דמוגרפי, מצב שירותי הקהילה, כגון מערכות הביוב והמים, גישה למידע ומיקומו הגיאוגרפי (Moren-Abat et al. 2006).

- בעקבות העלייה בטמפרטורות העונתיות, המעלה את כמויות האבקנים, צפויה התארכות עונת האלרגיות (WHO 2003, McCarthy et al. 2001).
- עליית טמפרטורות תורמת לזיהום האוויר באזורים עירוניים, על ידי יצירת התנאים להיווצרות מזהמים שניוניים כגון אוזון טרופוספרי, בעלי השפעות חמורות על הבריאות. חשיפה לזיהום אוויר בעלת השלכות נרחבות על בריאות הציבור. אוזון טרופוספרי עלול לגרום למחלות נשימה וירידה לטווח הקצר בסיבולת ריאתית. חשיפה לחלקיקים יכולה להחמיר מחלות ריאתיות ובעיות לב, לשנות את מערכת החיסון, לפגוע ברקמת הריאות ולהוביל למוות בטרם עת וכנראה לתרום לסרטן. חשיפה לפחמן חד חמצני, SO₂ ו-NOx בעלת השלכות רבות נוספות על הבריאות, כגון מחלות נשימתיות (Melillo et al. 2000, WHO 2003, McCarthy et al. 2001). על פי דו"ח ה-OECD (2008) צפויה עלייה של למעלה מפי שניים במספר מקרי המוות, בעקבות חשיפה לחלקיקים נשימים, ועלייה של פי ארבעה, במספר מקרי המוות בעקבות חשיפה לאוזון טרופוספרי.

1.5.6 חקלאות

- היצרנות החקלאית עלתה במהלך השנים, דבר שהוביל לירידה בעלויות הייצור ובמחירים, וללחץ תמידי על יצרנים פרטיים להעלות את היצרנות ולהוריד עלויות יצור. לכן כל גורם שיכול להעלות את עלויות הייצור או להגביל את הייצור, מהווה איום על יצרנים, כגון מזג אוויר קיצוני (בצורות ושיטפונות), מזיקים חדשים והתפתחות של עמידות מזיקים לאסטרטגיות בקרת מזיקים קיימות. שינויי אקלים עתידיים ישפיעו על כלל גורמים אלו (Melillo et al. 2000).
- שינויי האקלים, הכוללים שינויים במגמות משקעים, הקצנת טמפרטורות, התאיידות מוגברת, המלחת מים וקרקע, פגיעה במגוון המינים והתפשטות מזיקים ומחלות צמחים, בעלי השפעה ניכרת על ענפי החקלאות השונים (משרד החקלאות ופיתוח הכפר 2006), בהתאם לסוג הקרקע, מערכות הייצור וגורמים נוספים (אשד 2008).

- צפויה פגיעה בחקלאות בקווי רוחב נמוכים בעקבות הפחתה בזמינות מים (IPCC 2007). זמינות המים ותפוקת יבולים בדרום אירופה צפויים לרדת ב-20% עם עלייה של 2°C בטמפרטורה הגלובלית (Stern 2006).
- השלכות העלייה בכמויות המשקעים תלויות בתדירות, בעוצמה ובמשך התקופות היבשות, שבין אירועי הגשם (אשדת 2008). אירועי גשם חזקים גורמים לסחף קרקעות, להצפות, לחלחול של פסולת בעלי חיים, חומרי הדברה, חומרי דישון וכימיקלים אחרים לפני השטח ומי התהום ולנזק ליבולים (אשדת 2008, Melillo et al. 2000). בנוסף, כמות משקעים, העולה על הממוצע, מפריעה לעיבוד האדמה, מפחיתה את כמות קרינת השמש המגיעה ליבולים, עשויה לגרום לחסימת הגישה לשדות ועוד (Fleischer et al. 2007).
- אקלים חם יותר מגביר פירוק חומר אורגני בקרקע על ידי פטריות ובקטריות וכך מוריד את יכולת הקרקע לאגור מים ונוטריינטים (Pittock 2003, Melillo et al. 2000).
- עליית הטמפרטורות מובילה לעלייה בריכוז גז האוזון הטרופוספרי (Melillo et al. 2000). תהליך יצירת גז זה ממזהמים ראשוניים הנפלטים במרכזים עירוניים, אורך מספר שעות. עם זרימות האוויר במהלך היום, ישנה נדידת המזהמים לאזורים מחוץ למרכזי הערים, שם נוצר האוזון. לכן לאוזון השפעה לא רק במרכזי ערים, אלא גם בשטחים שמחוץ להן.
- בין ההשלכות הצפויות משינויי הטמפרטורות הן ירידה ביצרנות של צמחים (פגיעה ביבולי ירקות, פירות ועוד). ההתחממות תוביל לצימוח מהיר יותר ולזמן הבשלה קצר יותר. עם זאת, הערך התזונתי וזמן מדף של תוצרת זו יפחתו (אשדת 2008).
- שינויי הטמפרטורות צפויים לגרום לירידה ביצרנות של חיות המשק ודרישה מוגברת להקלת עומס החום או קור במשקי החי (אשדת 2008).
- ריכוזי CO_2 גבוהים באטמוספירה מובילים לעלייה בשיעורי הפוטוסינתזה ומפחיתים את אובדן המים מצמחיה (בתהליך הפוטוסינתזה, צמחים מנצלים CO_2 יחד עם אור ומים ליצירת אנרגיה וחמצן). אלו מובילים לעלייה בתפוקת היבול. התגובה לעלייה ב- CO_2 משתנה בין יבולים שונים. יבולים כגון חיטה, אורז, שיבולת שועל, תפוח אדמה, שעורה, ומרבית מהירקות, נוטים להגיב חיובית לעלייה בריכוזי CO_2 . ריכוז כפול של CO_2 עשוי להוביל לעלייה של 15-20% ביבול. זאת בתנאי שישנה אספקת מים ונוטריינטים ליבולים אלו. יבולים אחרים כגון תירס, דורה, קני סוכר ועשבים טרופיים מגיבים פחות לעלייה ב- CO_2 (גידול פוטנציאלי של 5% ביבול בהכפלת כמות CO_2) (Melillo et al. 2000). עם זאת, על פי אשדת (2008), העלייה בריכוז CO_2 תוביל לעדיפות של צמיחה וגטיבית (עלווה ועשבייה) על פני ביומסה יצרנית, דבר אשר יוביל להפחתה ביבול של פירות וירקות ובצורך לשימוש מוגבר בקוטלי עשבים.

- תנודות בטמפרטורה ובמשקעים (לאורך שנים) ישפיעו על החקלאות, דבר שישפיע גם על הפתוגנים והתפתחות מחלות צמחים. מחלות צמחים שונות מתפתחות בתנאים שונים (יובש או גשם). לכן, בתלות בתנאים, תהיה עלייה בחלק מהמחלות וירידה באחרות. כמו כן, עשויים להופיע מיני מזיקים ופתוגנים חדשים, אשר ירחיבו את גבול תפוצתם או יצליחו להתבסס במקומות חדשים, בעקבות שינויי הטמפרטורות. בנוסף, ריבוי גשמים פוגע ביכולת לרסס גידולים מה שהופך את הפתוגנים לאלימים יותר (Ragab & Prudhomme 2002, אשד 2008, פרופ' ד. שטיינברג- תקשורת אישית).

1.5.7 אזורים שונים (ראה IPCC 2007)

- אפריקה: עד 2020, 75 עד 250 מיליון איש צפויים לחיות תחת מחסור במים. בחלק מהמדינות, צפויה ירידה של כ-50% ביבולים התלויים בגשמים ופגיעה בזמינות המזון. עליית מפלס הים תשפיע על אזורי חוף נמוכים. עד 2080, צפויה גדילה של 5-8% בשטח של אזורים צחיחים וצחיחים למחצה.
- אסיה: עד 2050 צפויה ירידה בזמינות מי שתייה במרכז, בדרום, במזרח ובדרום-מזרח אסיה, בעיקר בנהרות גדולים. בעקבות עליית מפלס הים, אזורי חוף יהיו תחת סכנת הצפה, בעיקר בדרום, במזרח ובדרום-מזרח אסיה. שינויי האקלים יגבירו את האיום על משאבי טבע והסביבה בנוסף על ההאצה באורבניזציה, התיעוש והפיתוח הכלכלי.
- אוסטרליה וניו-זילנד: עד 2020 צפויה ירידה משמעותית במגוון הביולוגי בכמה אזורים, כולל שונית האלמוגים הגדולה (Great Barrier Reef). עד 2030 צפויה ירידה בתוצרי חקלאות וייעור בדרום ובמזרח אוסטרליה ובחלקים ממזרח ניו-זילנד, בעקבות עלייה בבצורות ובשריפות. עד 2050, אוכלוסיות לאורך חופים יהיו תחת איום מעליית מפלס הים ועלייה בתדירות סופות והצפות.
- אירופה: שינויי האקלים צפויים להגדיל את השוני האזורי במשאבי הטבע. יגבר האיום להצפות בפנים היבשת ובחופים ולהגדלת הארוזיה. בנוסף, צפויה נסיגת קרחוני הרים וכיסוי שלג, פגיעה בתיירות החורף (אתרי סקי) ואובדן מינים רב (בכמה אזורים עד 60% מהמינים עד 2080 עם המשך רמות פליטה גבוהות, כפי שצוין בסעיף 1.5.3). בדרום אירופה יוחמרו התנאים האקלימיים, כולל טמפרטורות גבוהות ובצורות, באזורים הרגישים כבר כיום לשונות אקלימית. בנוסף, תפחת זמינות המים ויפגעו פוטנציאל ייצור האנרגיה על ידי מים, תיירות הקיץ והיצרנות של יבולים. שינויי האקלים ישפיעו בנוסף על בריאות הציבור בעקבות עלייה בעומסי חום ובתדירות שריפות.

1.6 הערכות כלכליות של שינויי האקלים

שינויי האקלים, הצפויים במהלך העשורים הקרובים, עשויים להוביל לפגיעה משמעותית ברווחת האדם ובמערכות הטבעיות במהלך המאה הנוכחית וזו שאחריה, ויהיה קשה או בלתי אפשרי לתקן את הנזק הנגרם בעקבות שינויים אלו. שינויי האקלים יגרמו להוצאות כלכליות אשר יתעצמו במהלך הזמן עם המשך עליית הטמפרטורות (OECD 2008, Stern 2006).

מדינות מפותחות בקווי רוחב נמוכים, תהינה רגישות יותר לשינויי האקלים. למשל זמינות המים ותפוקת היבולים צפויים לרדת ב-20% בדרום אירופה, עם עליית טמפרטורות של 2°C ביחס לשנים 1980-1999. אזורים עם מחסור עכשווי במים צפויים לקשיים חמורים ועלויות נוספות. מדינות מפותחות בקווי רוחב גבוהים כגון קנדה, רוסיה וסקנדינביה, עשויות להרוויח מעליית טמפרטורות גלובלית ממוצעת של $1-3^{\circ}\text{C}$ ביחס לשנים 1980-1999, בעקבות הגדלת כמויות היבול מחקלאות, הפחתת התמותה בתקופת החורף, דרישה מופחתת לחימום ושיפור בענף התיירות. עם זאת, אזורים אלו גם יסבלו מקצב התחממות הגבוה ביותר שיוביל לפגיעה במבנים, בבריאות הציבור, במוצרי מחייה מקומיים ובמגוון המינים, ובסופו של דבר יספגו אף הן נזקים עם המשך עליית הטמפרטורות, הצפויה להתרחש במהלך מחצית-סוף המאה ה-21 (IPCC 2007, Stern 2006). מדינות מתפתחות, בהן האקלים מאופיין בטמפרטורות ממוצעות, הגבוהות מאלו שבאזורים מפותחים ובמשקעים בעלי שונות גבוהה, פגיעות במיוחד לשינויי האקלים. מדינות אלו, בעיקר העניות שביניהן, מתקיימות בעיקר מחקלאות, הסקטור הכלכלי הפגיע ביותר לשינויי אקלים, ושירותי הבריאות והשירותים הציבוריים בהן במצב ירוד. מכלול גורמים אלו יחד עם הכנסותיהם הנמוכות של תושביהן, הופכים את יכולות ההיערכות של המדינות המתפתחות לקשות ביותר (Stern 2006, OECD 2008).

העלות הכלכלית והחברתית של אי פעולה או עיכוב בפעולות היערכות, משמעותית, וכבר היום משפיעה על המשק הכלכלי, הן באופן ישיר (על ידי עלויות של שירותי בריאות לציבור), והן באופן לא ישיר (על ידי ירידה ביעילות עבודה) (OECD 2008). ההפסד בממוצע עולמי יכול להגיע ל-1% עד 5% מהתוצר הגולמי העולמי לנפש (תל"ג) בשנה, עם עליית טמפרטורה גלובלית ממוצעת של 4°C ביחס לשנים 1980-1999, אך הפסדים אזוריים עשויים להיות גבוהים עוד יותר. עם זאת, קשה להעריך את הנזק הכלכלי הצפוי מהפגיעה במוצרים שלא ניתנים לכימות, ולכן הערכות הכלכליות לנזק הצפוי לוקות בחסר. ישנו מגוון רחב של השלכות כלכליות של שינויי האקלים בין אזורים, סקטורים, מדינות ואוכלוסיות שונות. באזורים הרגישים יותר, החשופים יותר או בעלי יכולת היערכות נמוכה, העלות הכלכלית של שינויי האקלים תהיה גבוהה הרבה יותר מהממוצע העולמי (IPCC 2007).

Stern (2006) מעריך כי הנזק הישיר הצפוי לבריאות האדם ולסביבה, בעקבות שינויי האקלים, הוא של 5-11% מהתל"ג העולמי בשנה במהלך שתי המאות הקרובות. עם זאת, הערכות כיום צופות כי המערכת האקלימית אף רגישה יותר לעלייה בריכוז גזי החממה, למשל בעקבות הגברת משובים חיוביים, כגון הצטמצמות מבלעי פחמן (עקב תמותת יערות והחמצת האוקיינוסים, הפוגעים ביכולתם להטמיע CO_2 מהאטמוספירה). בעקבות תרחישים עדכניים יותר, הצופים עלייה אפשרית של $5-6^{\circ}\text{C}$ בטמפרטורה הממוצעת הגלובלית עד סוף המאה ה-21, הנזק הישיר לסביבה ולבריאות האדם עשוי לעלות 7-14% מהתל"ג העולמי בשנה. כיוון שההערכות הן כי נטל השלכות שינויי האקלים ייפול בעיקרו על האזורים העניים יותר, עלות הנזק עשויה להגיע ל-20% מהתל"ג העולמי בשנה (Stern 2006).

הגנה על הסביבה יכולה להתבצע בד בבד עם צמיחה כלכלית. הצפי הוא שהתל"ג העולמי יגדל ב-99% בין 2005 ל-2030 והגידול באחוז הפליטות יהיה 37%, אם יתקיים משטר של "עסקים כרגיל" וללא קווי מדיניות חדשים. ללא שינוי מדיניות, ההשלכות הסביבתיות של צמיחה כלכלית זו יהיו משמעותיות. עם זאת, החלטות מדיניות נבונות, יכולות להוביל לאפשרויות, המטיבות עם האדם, הסביבה והכלכלה. מדיניות פעולה וטכנולוגיות להתמודדות עם השלכות שינויי האקלים, זמינות ואפשרויות כלכליות. פעולות להגנה על הסביבה יכולות להעלות את היעילות של הכלכלה ולהפחית נזקים בריאותיים. לטווח הארוך, התועלות של פעולות מוקדמות יעלו בערך על העלויות (OECD 2008).

ניתן להתמודד עם כמה מההשלכות העיקריות של שינויי האקלים, בעלות של כ-1% בלבד מהתל"ג העולמי בשנת 2030. כך התל"ג העולמי יהיה גבוה ב-97% בשנת 2030 מזה היום, והגידול באחוז הפליטות יישמר ב-13% (OECD 2008).

השקעה בתשתיות אנרגיה המבוססות על פחמן, צפויה לעלות למעלה מ-20 טריליון דולר (10^{12} * 20 דולר) בין השנים 2005 ועד 2030. הטמעת טכנולוגיות נקיות יותר, הצורכות כמות נמוכה של פחמן, עשויה לקחת עוד עשורים רבים, אך ההשקעה הנוספת באנרגיות חלופיות אלו צפויה להיות שולית (מקסימום 5-10% תוספת לעלות ההשקעה בטכנולוגיות רגילות). בשנת 2050, פעולות כלכליות של הפחתת פליטות גזי החממה, לקראת ייצוב ריכוזם ברמה של 445-710ppmCO₂eq, עשויות להוביל לרווח של 1% בתל"ג העולמי, אך גם להפחתה של עד 5.5%. עם זאת, ערכים אלו משתווים לפגיעה מזערית של פחות מ-0.12% בגידול השנתי של התל"ג העולמי (IPCC 2007).

1.6.1 השלכות כלכליות של שינויי האקלים על ענף הביטוח

ענף הביטוח צפוי להאטה בגדילה, בעקבות העלייה בתדירות ובעוצמת אירועי מזג אוויר קיצוניים ואסונות ואף להפלת הנטל הכלכלי מנזקים אלו על ממשלות ויחידים. רוב סוגי הביטוח פגיעים לשינויי האקלים הצפויים, כולל ביטוח רכוש, ביטוח בריאות, ביטוח חיים, ביטוח יבול וחיות משק וביטוח אובדן שירותי ציבור (Mills 2005).

ענף הביטוח הוא הגדול בעולם, עם תשואה שנתית של 3.2 טריליון דולר לשנה. הביטוח מהווה 9% מהתל"ג במדינות מפותחות (2750 דולר לנפש, נכון ל-2005) ו-5% מהתל"ג במדינות מתפתחות (25 דולר לנפש, נכון ל-2005), והוא יהווה 50% מערך השוק העולמי תוך מספר עשורים (Mills 2005).

לא כל אסונות הטבע מבטחים. במקרים מסוימים, כגון שיטפונות והרס יבולים, חברות הביטוח והציבור יחדיו נושאים בנטל הכלכלי. שינויים בלתי צפויים במיקומם, בהיקפם ובטבעם של אסונות טבע, הם האיום הגדול ביותר עבור חברות הביטוח, ולאורך ההיסטוריה, הציבור וחברות הביטוח לא היו ערוכים לרוב לאסונות טבע בלתי צפויים. רעידת אדמה גדולה שהתרחשה ב-1994 (Northridge earthquake) והוריקן אנדרו ב-1992, גרמו בפעם הראשונה להפסדים

בעלות של למעלה מ-10 מיליארד דולר וגרמו לחברות הביטוח לתהות, האם אפשרי לבטח אסונות טבע על ידי השוק הפרטי בלבד (Chemarin et al. 2007).

ההפסדים הכלכליים והפסדי חברות הביטוח בעקבות פגעי מזג האוויר, עלו משמעותית בשנים האחרונות. בין 1980 ל-2004, העלות הכלכלית של פגעי מזג האוויר הייתה 1.4 טריליון דולר, מתוכם 340 מיליארד דולר היו מבוטחים (Mills 2005, GAO 2007). עיקר התביעות היו בעקבות אסונות טבע כגון הוריקנים ובצורות (GAO 2007). במהלך השנים 1970-2006 נרשמו 20 האסונות היקרים ביותר לענף הביטוח. למעט אסון התאומים בניו יורק ב-2001, כל שאר האסונות בדירוג זה היו אסונות טבע, כאשר יותר מ-80% מהאסונות היו כתוצאה ממזג האוויר: הוריקנים, טיפונים, סופות, שיטפונות וכו'. 18 מתוכם אירעו לאחר 1990 ו-10 מתוכם בחמש השנים שבין 2001-2006. במקום ה-20 (בעלות הנמוכה ביותר באופן יחסי) נמצאת הסופה אליסון (2001), שגרמה הפסדים בעלות של 3.5 מיליארד דולר (אסון בודד, אשר גרם לנזקים בעלות הגבוהה מעלות כל האסונות, אשר התרחשו ברחבי העולם בשנה אופיינית במהלך שנות ה-70 ועד אמצע שנות ה-80 של המאה ה-20) (Chemarin et al. 2007). סופות באירופה בשנת 1999 גרמו לנזקים בסכום של 13 מיליארד אירו וגל החום של 2003 גרם לנזקים בעלות של 10 מיליארד אירו (Chemarin et al. 2007).

הגידול בעלות נזקי מזג אוויר קיצוני, יכול לפגוע בשווקים הכספיים העולמיים בעקבות עלייה ואי יציבות במחירי הביטוח. נזקים ממזג אוויר קיצוני כגון סופות והוריקנים, מוערכים ב-0.5% עד 1% מהתל"ג העולמי עד למחצית המאה ה-21, ערך שימשיך לעלות כל עוד העולם ממשיך להתחמם. עלייה של 5% עד 10% במהירות הרוח של הוריקנים, בעקבות עליית טמפרטורת מי הים, צפויה להכפיל את עלות הנזקים השנתיים בארצות הברית. בבריטניה, נזקי הצפות שנתיות יכולים לעלות מ-0.1% מהתל"ג כיום ל-0.2% עד 0.4% מהתל"ג, בהינתן עלייה של 3-4°C בטמפרטורה הממוצעת הגלובלית. גלי חום כפי שנצפו באירופה בקיץ 2003, בהם אירעו 35 אלף מקרי מוות עודף ונגרם נזק לחקלאות בעלות של 15 מיליארד דולר, יהפכו להיות נפוצים עד למחצית המאה ה-21 (Stern 2006).

ישנם שלושה מאפיינים עיקריים אשר תרמו לעלייה זו בנזק הכלכלי של אסונות הטבע; (1) האורבניזציה הגדלה ועלייה בגודל אוכלוסיות באזורים בעלי סיכון, בעיקר לאורך חופים, כך גברה החשיפה של האוכלוסייה ותשתיות לאסונות (GAO 2007, Chemarin et al. 2007); (2) הערכה גבוהה יותר של סיכונים. עלייה בחשיפה של תשתיות, מבנים, נכסים ועוד לאסונות, אשר הגדילה את העלות הכלכלית של אסונות, (3) שינויי האקלים (Chemarin et al. 2007).

החלק של חברות הביטוח מסך העלות הכלכלית של פגעי מזג האוויר הולך ועולה, מחלק זעום בשנות ה-50 של המאה ה-20 ל-25% בעשור האחרון. עלויות אלו הן עצומות עבור חברות הביטוח והמבוטחים עצמם, ובשנים קשות עלויות אלו עשויות להוביל לאי רווחיות, עליית מחירים תלולה

ואף לפשיטות רגל. חברות ביטוח עשויות להגביל כיסוי לסיכונים מסוימים ו/או לסרב לבטח סיכונים אחרים (Mills 2005).

עם זאת, הערכות אלו לוקות בחסר, כיוון שהעלויות המשמעותיות של אירועים קטנים לא נכנסות לסטטיסטיקה זו, ומרבית מכספי הביטוח (60%) מכסים למעשה נזקים מאירועים קטנים ולא דווקא נזקים מאסונות בקנה מידה גדול. לדוגמא בארה"ב, העלות הכלכלית של הפסקות חשמל בכל שנה מוערך ב-80 מיליארד דולר (נזקי מזג האוויר גורמים ל-60% מהפסקות אלו). תאונות דרכים הנגרמות בעקבות מזג האוויר, הגבלה בתיירות ובמסחר, פגיעה בריאותית ואף מקרי מוות, הנגרמים מאירועי מזג אוויר, הכנה לאסונות ופינוי, עליה במחירי האנרגיה ועוד, הן דוגמאות לאירועים שלא נלקחים בחשבון בהערכת העלות הכלכלית של פגעי מזג האוויר (Mills 2005).

קיימים מספר איומים ספציפיים על ענף הביטוח, ביניהם התקצרות משכי הזמן שבין אירועים בהם נרשמו הפסדים, שינוי במרחב התפוצה של אירועים, היקף ההרס, הגדל עם העלייה בעוצמת האירועים ומספר אירועים הקורים בו זמנית במרחב הגיאוגרפי. קיימים בנוסף איומים ספציפיים המבוססים על כוחות השוק: פרמיות המבוססות על נתוני עבר ואינן מעודכנות למחירים בהווה (בעיקר ביטוחי חיים בהם הפרמיה עשויה להיות מקובעת לאורך זמן רב), כשלון בחיזוי ובעמידה בצרכי הלקוחות, המשתנים בעקבות שינויי האקלים, שינויים לא צפויים באופי התביעות וקושי הנלווה לכך בהתאמת התמחור על מנת לשמר רווחיות, פגיעה בשמם הטוב של חברות הביטוח מכיוון שאינם עושים די, בעיני הצרכנים, למניעת ההפסדים הנגרמים בעקבות שינויי האקלים ועוד (Mills 2005).

השלכות שינויי האקלים על ענף הביטוח יתעצמו בעקבות ההתפתחות הכלכלית והתיישבות של אוכלוסיות באזורים מועדים לאסונות (Mills 2005). חברות ביטוח פרטיות וממשלתיות חשופות להשלכות שינויי האקלים במהלך העשורים הקרובים. חברות ביטוח פרטיות רבות מכלילות את נושא שינויי האקלים בהערכות הסיכון השנתיות שלהן וחלקן מבצעות הערכות להשלכות ארוכות הטווח על תעשייה זו (GAO 2007).

Mills (2005) בחן תרחיש לבדיקת ההשלכות הכלכליות של שינויי האקלים העתידיים על ענף הביטוח. התרחיש מעריך המשך עלייה בנזקים לרכוש ושיבושים בפעילות העסקית, בשיעור הזהה לזה שנצפה לקראת סוף המאה ה-20. תוצאות תרחיש זה הראו, כי חלקן של חברות הביטוח בפיצוי על הנזקים ילך ויגדל והחיתום (נכונות חברות הביטוח לבטח) יהפוך בעייתי יותר. שינויי האקלים, המעלים את הפגיעה ברכוש, בבריאות האדם ובסביבה, יובילו לעלייה במספר השנים אשר אינן רווחיות לענף הביטוח. ענף הביטוח עשוי להמשיך להעריך סיכונים בעלות הנמוכה מהעלות האמיתית ולאפשר עבודה גם תחת הפסדים, על ידי הסתמכות על רווחים מהשקעות. התוצאה של התנהלות זו חמורה, בעיקר במהלך שנים בהן מתרחשים הפסדים גדולים בעקבות אסונות, בו זמנית עם ירידה בפעילות העסקית. תרחיש זה צופה בנוסף, כי חברות הביטוח במדינות המתפתחות יפגעו בצורה חמורה ביותר. חברות הביטוח במדינות המתועשות יחלקו נטל זה, בעקבות העמקת חדירתן לשווקים במדינות אלו. כמו כן, ככל שהיכולת לבטח תרד,

חברות הביטוח יעלו פרמיות והוצאות מוכרות, יורידו הגבלות, וחריגות חדשות. עם הזמן לצרכנים תפחת המוכנות לשלם. ככל שהעולם יתחמם, תמשך ההאטה בשוק ענף הביטוח, עד שענף זה יחדל מלהיות התעשייה הגדולה בעולם.

2. שינויי אקלים באגן הים התיכון

כ-5% בלבד מהשטחים היבשתיים בעולם מסווגים כבעלי אקלים ים תיכוני. אלו מצויים בצידן המערבי של יבשות, כאשר כמעט כולם ממוקמים בין קווי הרוחב 30° ל- 40° בשני חלקי כדור הארץ. אקלים זה מאופיין בגשמים בתקופת החורף (בחצי הכדור הצפוני). חוף הלבנט, ובייחוד החוף הדרומי-מזרחי שלו, נעדר משקעי קיץ לחלוטין, דבר שאינו קיים באזורים לא מדבריים אחרים בעולם (גולדרייך 1998). שינויים אקלימיים נרחבים אירעו בעבר באגן הים התיכון. לפני כ-20 אלף שנה, הטמפרטורה הממוצעת הייתה נמוכה ב- 8°C מזו כיום ולפני 6000 שנה, הטמפרטורה הייתה גבוהה ב- $1-3^{\circ}\text{C}$, מזו השוררת כיום. פני השטח, הפאונה והפלורה היו שונים מאוד, בהתאם לתקופות השונות (בעקבות שינויים של כמה עשרות מטרים במפלס הים). שינויים אלו התרחשו לאורך מאות ואלפי שנים (Antipolis 2008).

2.1 תצפיות השנים האחרונות באגן הים התיכון

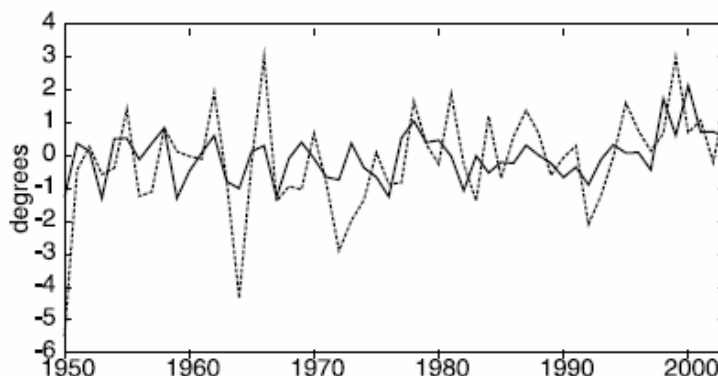
מתוך תצפיות שנערכו, עולה כי קיימות בעשרות השנים האחרונות מספר מגמות:

2.1.1 מגמות שינוי הטמפרטורה

במהלך המאה ה-20, הטמפרטורות מעל אגן הים התיכון עלו בין $1.5-4^{\circ}\text{C}$, בתלות באזורים השונים. במהלך אותה תקופה, ובאופן מואץ החל מ-1970, הטמפרטורות בדרום-מערב אירופה (חצי האי האיברי ודרום צרפת) עלו בכ- 2°C (Antipolis 2008). Saaroni וחובי (2003) מצאו מגמה דומה במהלך הקיץ, לפיה ישנה התחממות של $1.5-4^{\circ}\text{C}$ ב-100 השנים האחרונות, מעל כל אגן הים התיכון. גלי חום הם שהובילו את המגמה הכללית (Ziv et al. 2005). Saaroni וחובי (2003) הראו בנוסף, כי ערכי השיא נמצאו מעל מערב אגן הים התיכון וצפון מצרים, כאשר מגמת ההתחממות ארוכת הטווח הגדולה ביותר, נצפתה מעל סיציליה (0.04°C לשנה). מגמה זו גבוהה פי 3-4 מהמגמה הגלובלית ב-100 השנים האחרונות ויכולה לרמוז על גורמים סינופטיים המשפיעים עליה. עם זאת, לא נמצא גורם סינופטי דינאמי היכול להסביר את מגמת ההתחממות שנצפתה. לכן אפקט החממה, הוא המשפיע על אגן הים התיכון, באופן קיצוני יותר מהשפעתו הגלובלית הממוצעת. השערה זו נתמכת בעובדה שבקיץ באגן הים התיכון, ישנם שמיים נקיים מעננים, הגורמים להחזר שלילי (Ziv et al. 2005).

Alpert וחובי (2007) מצאו מגמת התחממות פחותה יותר של $0.8-0^{\circ}\text{C}$ ל-100 השנים האחרונות באגן הים התיכון מעל היבשה, בעוד באזורים מסוימים, כגון אלגיריה והבלקן, נמצאה מגמת התקררות. עיבוד נתונים שהתקבלו ממרכז הדלי (Hadley, אנגליה) מצביע על מגמה דומה. מגמת התחממות נצפתה כמו כן על ידי Ragab & Prudhomme (2002) מעל אגן הים התיכון, דרום אפריקה והסהל במהלך המאה ה-20. בדומה לכך, מצאו Zhang וחובי (2005) מגמת התחממות ב-15 מדינות (כולל ארמניה, אזרבייג'אן, בחריין, קפריסין, גרוזיה, עירק, אירן, ישראל, ירדן, כווית, תימן, קטר, ערב הסעודית, סוריה וטורקיה) בין השנים 1950-2003. בנוסף

נמצאה עלייה בטמפרטורות המינימום ומקסימום היומיות לאורך השנה (Zhang et al. 2005)
(איור מס' 6).



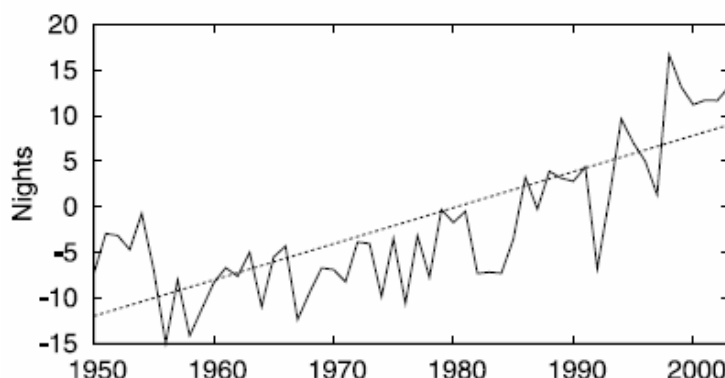
איור מס' 6: אגן הים התיכון- ממוצעים אזוריים של סטיות התקן של ערכי המקסימום (קו מלא) ומינימום (קו מקווקו) השנתיים של טמפרטורת המקסימום היומית. ניתן לראות עלייה בשני ערכים אלו לאורך תקופת המדידה (1950-2003). מקור: Zhang et al. 2005.

עם זאת, תצפיות של Kostopoulou and Jones (2005) מעל מזרח אגן הים התיכון בשנים 1958-2000 (לא כולל תחנות בישראל), הראו מגמה מעורבת בטמפרטורה ($+0.4-0.6^{\circ}\text{C}$ לעשור) לאורך השנה. במרבית התחנות, נרשמה מגמה שלילית בטמפרטורה במהלך חודשי החורף (דצמבר, ינואר, פברואר). באביב (מרץ, אפריל ומאי), הירידה המשמעותית ביותר נמצאה במרכז אזור הבלקן, עם ירידה של יותר מ- 0.6°C לעשור, למרות שאינה מובהקת סטטיסטית. במהלך חודשי הקיץ (יוני, יולי, אוגוסט) נרשמה בעיקר מגמה חיובית בטמפרטורות, עקב העלייה בטמפרטורת המקסימום היומית. בחודשי הסתיו (ספטמבר, אוקטובר, נובמבר) ישנה בעיקר מגמה חיובית, כאשר כמחצית מהמגמות מובהקות סטטיסטית ברמה של 95%. מבחינת טמפרטורה ממוצעת, נמצאה מגמה מעורבת בין התחנות השונות. עם זאת, נמצאו כמה מגמות חיוביות מובהקות בעיקר בתחנות חופיות.

מגמה מובהקת של התחממות לילות הקיץ בכל מזרח אגן הים התיכון נצפתה על ידי Kostopoulou and Jones (2005), בעוד Zhang וחביו (2005) מצאו מגמה מובהקת של התחממות הלילות לאורך כל השנה (איור מס' 7).

ישנה ירידה במספר הלילות הקרים (4-6 ימים לעשור) בתקופת הקיץ והחורף מעל מזרח אגן הים התיכון וירידה בעיקר במספר הימים הקרים בקיץ, המצביעה על מגמת התחממות, בייחוד בתחנות החופיות ובאיים. בחודשי החורף ישנה עלייה במספר הימים החמים באזורים צפונית לקו רוחב 42° וירידה בתחנות הדרומיות לקו רוחב זה, למרות שרק מעט תחנות מראות מגמה שלילית מובהקת. ברחבי מזרח אגן הים התיכון במהלך הקיץ, קיימת עלייה במספר הימים המוגדרים חמים מאוד ועלייה במשך גלי חום (עלייה של 2-3 ימים לעשור ברצף של מעל 6 ימים, עם טמפרטורה העולה ב- 5°C מעל הממוצע לשנים 1961-1990) (Kostopoulou and Jones).

2005). בדומה לכך, Zhang וחובי (2005) צפו בירידה במספר הימים הקרים (ירידה הדרגתית החל משנות ה-70 של המאה ה-20) ובעלייה משמעותית יותר במספר הימים החמים מאוד (בעיקר החל משנות ה-90 של המאה ה-20), לאורך כל השנה. על פי Kostopoulou and Jones (2005) ישנה עלייה במספר ימי הקרה בשנה במרבית מזרח אגן הים התיכון. לעומת זאת, Zhang וחובי (2005) טוענים כי מספר ימי הקרה לא הראו מגמה משמעותית לאורך זמן, למרות שנרשמה ירידה מסוימת החל משנות ה-80.

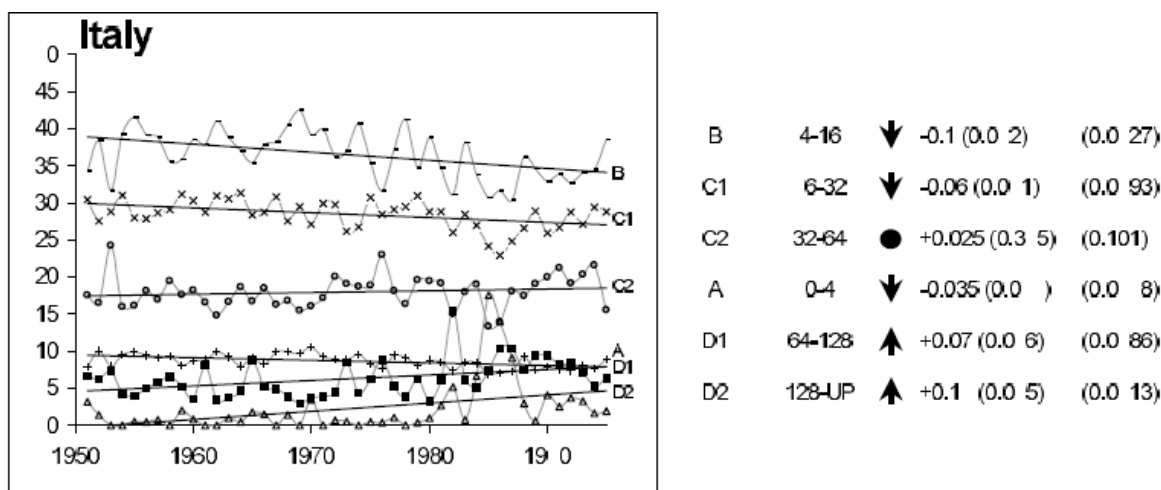


איור מס' 7: ממוצעי סטיות התקן עבור מספר הלילות החמים באזור אגן הים התיכון עבור התקופה של 1950-2003. מקור: Zhang et al. 2005.

2.1.2 מגמות שינוי המשקעים

נמצאה עלייה במשקעים באזור דרום-מזרח הים התיכון, לעומת מגמה דומיננטית של ירידה במשקעים ברוב אגן הים התיכון. על פי Kostopoulou and Jones (2005) כמעט כל התחנות בחצי האי הבלקני, במערב טורקיה ובקפריסין (מזרח אגן הים התיכון) הראו מגמת ירידה במשקעים, אשר הייתה גדולה בעיקר בחורף ביוון, טורקיה וקפריסין. במרכז ובמערב הים התיכון נרשמה ירידה משמעותית של 10-20% בגשמים, בשנים 1950-1995 (Pierivitali 1998). Ragab & Prudhomme (2002) צפו אף הם בירידה בכמויות המשקעים מעל אגן הים התיכון, דרום אפריקה והסהל במהלך המאה ה-20. מאידך, נמצאה עלייה באירועי גשם קיצוניים (ימי גשם בעוצמה גבוהה מעל 64 מ"מ/ביום). בבחינת אירועי משקעים בשנים 1951-1995 על ידי Alpert וחובי (2002) בארבע מדינות באגן הים התיכון (איטליה, ספרד, ישראל וקפריסין), נמצא כי אירועי הגשם הקיצוניים (מעל 128 מ"מ ליום) באיטליה עלו פי 4 לאורך התקופה (איור מס' 8), עם שיאים בשנים בהן היו אירועי אל ניניו. בשנות ה-90, אירועי גשם קיצוניים היוו 4-5% מסך המשקעים באיטליה, בעוד בשנות ה-50 היו אירועי גשם קיצוניים רק כ-1% מסך המשקעים. בספרד נרשמה גם כן עלייה מובהקת באירועי גשם קיצוניים (מעל 64 מ"מ ליום) וכמו כן באירועי גשם קלים (4-0 מ"מ ליום). לא נרשמו מגמות מובהקות בישראל או בקפריסין, אם כי נרשמה עלייה בקטגוריות המאפיינות גשמים חזקים וירידה בקטגוריות המאפיינות גשמים קלים (Alpert et al. 2002). Kostopoulou and Jones (2005) מצאו אף הם

מגמה דומה באיטליה (במרבית התחנות), אך בחלק המזרחי ביותר של אגן הים התיכון (קפריסין וטורקיה) הם מצאו מגמה שלילית במספר הימים עם אירועי משקעים קיצוניים. למעשה, הם מצאו מגמות שליליות בכל הפרמטרים של משקעים בחלק המזרחי של אגן הים התיכון, כולל עלייה ברצף ימים יבשים, המצביעה על מגמת התייבשות בשנים האחרונות. כמו כן, האזור הדרומי של אגן הים התיכון ובמיוחד האיים, נמצאו תחת איום עתידי לבצורות ותהליכי מדבור (Kostopoulou and Jones 2005).



איור מס' 8: כמויות המשקעים היומיות לאורך השנים 1951-1995 באיטליה. ניתן לראות עליה בקטגוריות של גשם חזק מאוד (D1, D2) לעומת ירידה בקטגוריות של גשם קל (A, B) ובינוני (C1). מקור: Alpert et al. 2002.

לעומת זאת, Zhang וחובי (2005) בחנו נתונים מ-52 תחנות ב-15 מדינות (פירוט בסעיף 2.1.1) בין השנים 1950-2003 ולא מצאו מגמות ברורות בתחום המשקעים, כולל במספר ימי גשם, בממוצע עוצמת הגשמים ובאירועי גשם קיצוניים יומיים. גם על פי Norrant and Dougue'droit (2006), אשר בחנו נתונים מ-63 תחנות במהלך השנים 1950-2000 באגן הים התיכון, לא נמצאו מגמות משמעותיות במרבית המדידות, או שנמצאו מגמות ירידה לא מובהקות במשתני המשקעים, ביניהם כמויות המשקעים היומיות, כמות אירועי גשם קל, בינוני וחזק ומספר ימי הגשם. המגמה העיקרית שכן נמצאה במחקרם, היא עבור מספר הימים עם כמויות גשם גבוהות (מעל 10 מ"מ), ובנוסף כמה מגמות מובהקות של ירידת משקעים חודשית, עונתית ושנתית באזורים שונים. לדוגמה, נמצאה ירידה בכמויות המשקעים בחלק הים התיכוני של ספרד במהלך אוקטובר, ביוון במהלך ינואר (חודשי), במהלך החורף (עונתי) ובמהלך כל השנה (שנתי), באיטליה במהלך החורף ובמהלך כל השנה ובאזור המזרח הקרוב (הכולל את אזור הלבנט בו נמצאת ישראל) במהלך החורף. עלייה מובהקת בכמויות המשקעים נמצאה באפריל במפרצי גנואה והאדריאטי. יוון יוצאת דופן בכך שנמצאה מגמת ירידה מובהקת בסך המשקעים בכל הפרמטרים,

כלומר במשקעים החודשיים, עונתיים ושנתיים ועם זאת, עלייה באירועי גשם קיצוניים, דבר התואם את תחזיות המודלים הגלובליים לסוף המאה ה-21 של ה-IPCC לאזור אגן הים התיכון (Norrant and Dougue'droit 2006).

חלק משינויים אלו שנצפו במזרח אגן הים התיכון, ניתנים להסבר כחלק ממגמת ההתחממות הגלובלית וניתן לראות זאת גם בעלייה באינדקס התנודה הצפון-אטלנטית (NAO). עלייה באינדקס זה מצביעה על מגמת התחממות במערב אירופה, לעומת התקררות בצפון אירופה. אינדקס התנודה הצפון-אטלנטית/מערב רוסיה EA/WR (תנודה המייצגת את הפרשי הלחצים האטמוספריים בין מזרח האוקיינוס האטלנטי ומערב רוסיה), נמצא אף הוא במגמה חיובית, התורמת להגברת גשמי מזרח הים התיכון ולכן כנראה אין ירידה מובהקת במשקעים באזור זה. כמו כן, העלייה בתדירות תופעת האל-ניניו (זרם ימי חם באוקיינוס השקט, המשפיע על מזג האוויר ברחבי העולם) נמצאת אף היא בהתאמה חיובית לעלייה במשקעים באזור (Alpert et al. 2007). בנוסף, האזור נתון לא רק להשפעת תהליכים גלובליים, אלא גם להשפעות מקומיות, הקשורות בשימושי קרקע וניצול יתר של משאבים (Kostopoulou and Jones 2005).

2.2.3 הים התיכון ותצפיות על שינויים שחלו בו

הים התיכון הינו אגן סגור חלקית, המכסה שטח של כ-2.5 מיליון קמ"ר עם עומק ממוצע של כ-1.5 ק"מ (Klein et al. 2004). אגן הים התיכון, מהווה אזור מחייה לכ-450 מיליון תושבים עם צפי לכ-600 מיליון תושבים עד שנת 2050. לאגן קו חוף של כ-46000 ק"מ, עם אין ספור שפכי נחלים ואזורי דלתא, המכילים אתרים ארכיאולוגיים ושפע משאבים טבעיים, כגון אקוויפרים חופיים וקרקעות פוריות ומעובדות. הים התיכון מחובר לאוקיינוס האטלנטי על ידי מפרצי גיברלטר, לים השחור על ידי מפרצי הדרדנל וליים סוף על ידי מפרץ סואץ. שיעור ההתאיידות הגבוה וכמות המים המתוקים המוגבלת הנכנסת לים התיכון, הם הסיבה למליחותו הגבוהה יחסית (36-39 גרם לליטר). גובה פני הים התיכון נמוך מזה של האוקיינוס האטלנטי והוא נמוך ביותר במפרצי הגיברלטר וגבוה ביותר בצפון הים האגאי. כמות המשקעים באזור הולכת ופוחתת מצפון לדרום וממערב למזרח והיא נעה בין 1500 לפחות מ-100 מ"מ לשנה. אובדן המים על ידי ההתאיידות מהים התיכון מתאזן לא באמצעות המים הזורמים מהנהרות או הגשם, אלא על ידי מים הזורמים לים התיכון מהאוקיינוס האטלנטי. במהלך העשורים האחרונים פחתו משמעותית הזרימות מהנהרות השונים בעקבות הקמת סכרים והשקיה מרובה (Brochier & Ramieri 2001).

אגני ים קטנים מגיבים מהר יותר מאוקיינוסים לשינויים, לכן הים התיכון מהווה מעבדה טובה לבחינת ההשפעות של שינויי האקלים על המערכת הימית (Boero 2008, CIESM 2002, Antipolis 2008). כמו כן, הים התיכון רגיש מאוד לכוחות האטמוספריים והינו רחוק ממצב יציב. סך שטף החום מהים ופרמטרים מטאורולוגיים אחרים, נמצאים בקשר חזק בחורף עם אינדקס NAO באגן המערבי, ובקיץ עם המונסון ההודי בחלק המזרחי של האגן (CIESM 2002).

2.2.3.1 עליית מפלס הים התיכון

מפלס הים מוגדר כגובה פני הים במקום שבו הם פוגשים ביבשה. גובה זה אינו אחיד על פני כל האוקיינוסים והימים בעולם. בטווח הקצר, המפלס משתנה לאורך היממה ועל פני עונות השנה, בעיקר עקב תופעות גאות ושפל וכן כתוצאה מהשפעת גורמים מטאורולוגיים ואוקיינוגרפיים אחרים. בטווח הבינוני עד מאות שנים ובעיקר בטווח הרחוק של אלפי ועשרות אלפי שנים, מפלס הים מושפע בעיקר משינויים איאוסטטיים (שינויים עולמיים בנפח המים של האוקיינוסים, הנגרמים בעקבות המסה או הצטברות של קרחונים ושינויים בטמפרטורת המים) (צביאלי 2007). קיימות שתי תופעות רב שנתיות בים התיכון, האחת תנודה במחזוריות של כ-10 שנים (Decadal Fluctuation) והשנייה מגמת שינוי במפלס הים בעקבות שינויי האקלים (רוזן 2004).

נתונים שנאספו ממראוגרפים (Tide gauge), המודדים את מפלס פני הים התיכון מסוף המאה ה-19, מראים על עלייה במפלס הים התיכון החל מ-1900. בנוסף, בחינת השינויים במפלס הים התיכון מלוויין Topex-Poseidon, בהשוואה לנתונים ממראוגרפים ברחבי הים התיכון, הראתה כי בין השנים 1993-1999, השינוי במפלס הים היה גבוה יותר מזה שנצפה בין השנים 1970-1999. במהלך 1992-2000, קצב עליית מפלס הים היה 2.2 מ"מ לשנה, כאשר במערב הים התיכון השינוי היה קטן יותר; 0.4 מ"מ לשנה ובמזרח הים התיכון ובים היוני השינוי היה רב יותר; עלייה של 9.3 מ"מ לשנה בממוצע במזרח הים התיכון וירידה של 11.9 מ"מ לשנה בממוצע בים היוני (Fenoglio-Marc 2002). על פי רוזן (2005), סך העלייה במפלס הים לאורך חופי מזרח הים התיכון במהלך המאה ה-20 הייתה של כ-30 ס"מ.

נמצא קשר חזק בין גובה מפלס הים והשינויים בטמפרטורות המים (עלייה של 0.12°C לשנה באזור המזרחי של האגן, וירידת טמפרטורות בים היוני). קשר זה מעיד על כך שהשינוי במפלס נובע ממקור תרמי, בעיקר בסקלה עונתית. לחץ אטמוספרי ורוח נמצאו בעלי השפעה בתדירות נמוכה (Fenoglio-Marc 2002).

מחקרם של Klein וחובי (2004) בדק האם העלייה המהירה שנמדדה בעשור 1990-2000, דומה לעלייה בעשורים אחרים במאה ה-20. לשם כך נבחנו נתונים שנתיים מתחנות ברחבי הים התיכון (4 תחנות באגן המערבי, 9 תחנות בים האדריאטי, 4 תחנות בים היוני ו-6 תחנות בים האגאי) בשנים 1990-2000 בלבד, לחלקי זמן קצרים, על פי נתוני מפלס ממוצעים שנתיים מבסיס נתונים המצוי ב"שרות הקבוע למפלס הים הממוצע" (PSMSL) באנגליה. נתונים אלו נרשמו על ידי מראוגרפים ומייצגים את השינויים בגובה פני הים בממוצע שנתי. המידע ממראוגרפים קיים בעיקר עבור המאה ה-20, למעט מספר תחנות מדידה אשר התקיימו לפני 1870. זהו המידע המדוד המדויק ביותר לחקר שינויים בגובה פני הים. לשם ניתוח מגמות עליית המפלס בתחנות השונות, נבחנו בנוסף ארבע תחנות בעלות הרישום הארוך ביותר באזור. רוב הנתונים לטווח זמן ארוך הן מאזור צפון מערב הים התיכון.

בין השנים 1896 ו-1970, קצבי עליית מפלס הים הגבוהים ביותר נרשמו בוונציה (בין 2.59 ל-4.7 מ"מ לשנה). בשנות ה-70 נמדדה עלייה גבוהה מאוד בשתי תחנות בים היוני (16.5 ו-15.6 מ"מ לשנה) ובים האגאי בתחנה אחת (Kavalla - 17.5 מ"מ לשנה). בשנות ה-80 נמדדה עלייה גדולה אחת בים היוני (Patrai - 14.5 מ"מ לשנה), לעומת ירידה גדולה מאוד של 25.4 מ"מ לשנה בתחנת Posidhonia (Klein et al. 2004).

חמישה אזורים שונים בים התיכון הראו עלייה בקצב דומה של כ-10 מ"מ לשנה. עובדה זו מצמצמת את האפשרות, כי הסיבה לעלייה היא טקטוניה מקומית. בנוסף, ניתוח הנתונים מארבעת התחנות הפועלות לאורך 100 השנים האחרונות (מרסיי, צרפת - 1.25 מ"מ לשנה, גנואה, איטליה - 1.22 מ"מ לשנה, וונציה, איטליה - 2.4 מ"מ לשנה וטריאסט, איטליה - 1.14 מ"מ לשנה), מראה על האצה בקצב עליית מפלס הים התיכון, העומדת בטווח הממוצע של עליית מפלס הים הגלובלית (2-0.5 מ"מ לשנה). קצב עליית מפלס הים התיכון של כ-10 מ"מ לשנה במהלך השנים 1990-2000, ייחודי לעשור זה והוא גבוה מקצב עליית המפלס הגלובלי (כ-3 מ"מ לשנה) (Klein et al. 2004).

ההאצה בקצב עליית המפלס נגרמה ככל הנראה מתופעת המעבר במזרח הים התיכון (EMT - Eastern Mediterranean Transient), שהתרחשה בין השנים 1987-1990, ובה הים האגאי החליף זמנית את הים האדריאטי, כמקור למים העמוקים באזור המזרחי של הים התיכון (CIESM 2000, CIESM 2002, Rosen 2008). תנודות מטאורולוגיות משמעותיות מעל מזרח הים התיכון וחלק מהים האגאי ושינויים בדפוסי המחזוריות בים, אחראים בחלקם ליצירת המים העמוקים בים האגאי (Lascaratos et al. 1999, CIESM 2000). סיבות נוספות לתופעת EMT, כוללות את הקמת הסכרים על נהרות הנילוס והדנובה ומגמות ארוכות טווח בהתאידות ובמשקעים באזור. תופעת ה-EMT שינתה דרסטית את מאפייני המים העמוקים באזור (CIESM 2000). עם זאת, יש לקחת בחשבון כי לא נעשו מחקרים, הבוחנים את תרומת המים אשר הוזרמו לים התיכון מים סוף דרך תעלת סואץ, אשר עשויים אף הם לתרום לעליית המפלס. זרימה זו התחזקה בשנות ה-90 בעקבות העמקה והרחבת התעלה ומוערכת כיום בכ-100 קמ"ר לשנה. עם זאת, כמות זו עשויה להשתנות בעתיד (Rosen 2008).

2.2.3.2 שינויים בטמפרטורה ובמליחות הים התיכון

תופעת ה-EMT, אופיינית לשכבות המים העמוקות ובעקבותיה מים חדשים, חמים ומלוחים יותר החליפו כמעט 20% מהמים העמוקים הקודמים של האגן. עקב כך המליחות באזור הלבנט עלתה (Lascaratos et al. 1999). בנוסף על תופעה זו, תצפיות הקיימות בעיקר החל משנות ה-60, הראו שונות רבה בכל העומקים במזרח אגן הים התיכון, כולל בשכבת המים העליונה (מים מהאוקיינוס האטלנטי) ובשכבות הביניים (מים לבנטיים, מאזור הלבנט). יחד עם שונות זו, נרשמה ירידה משמעותית של טמפרטורות המים (כ-3°C) בין השנים 1955 ל-1995 בשכבות אלו (CIESM 2002). עם זאת, (In CIESM 2002) Gertman & Hecht, אשר בחנו שינויים בשכבת

המים העליונה של אזור הדרום-מזרחי של הלבנט לפני ואחרי הקמת סכר אסואן (לאחר 1965), לא צפו בשינוי מובהק בטמפרטורת המים בשכבה העליונה (מפני השטח עד לעומק של כ-10 מטר) בחודשי החורף והסתיו. מאידך, הם צפו בעליית טמפרטורות של $0.002-0.003^{\circ}\text{C}$ לשנה בעומק שמתחת ל-1500 מטר. כמו כן, המליחות באזור זה הופיעה לאחר בניית הסכר, בעיקר בשכבה העליונה של המים. נרשמה עליה במליחות של 0.008% לשנה במהלך חודשי הסתיו, והמליחות באוקטובר (אשר בנוסף לפברואר מייצג שתי נקודות מינימום של מליחות שנתית) עלתה ממינימום של 38.78 גרם לליטר ל-39.35 גרם לליטר. בנוסף, המקסימום העונתי של המליחות נע מאוגוסט לנובמבר (Gertman & Hecht in CIESM 2002).

באזור אגן הים התיכון המערבי, עלייה של כמה מאיות עד עשיריות המעלה ועלייה של מספר יחידות במליחות, נצפו החל מ-1960 במים עמוקים מ-2000 מטר והחל מ-1975, מפני השטח עד לעומק של 200 מטר באזורים שנבחנו. תצפיות אלו חשובות, כיוון שהן עשויות להעיד על שינויים בשכבת פני המים העליונה, למרות ההפרעות הנובעות משונות עונתיות ובין שנתית. במהלך 1995 ועד 2002 נרשמה עלייה בטמפרטורות ובמליחות שבזרמים היוצאים מהים התיכון, באזור מפרץ ביסקיי (Biscay) (CIESM 2002).

התחממות מי הים, בעקבות שינויי האקלים, משפיעה בנוסף על המערכת האקולוגית הימית. לפני התחממות מי הים התיכון, הקיצים היו קצרים (יוני עד ספטמבר) ונשלטו על ידי מינים עם זיקה טרופית, אשר שגשו בשכבה החמה העליונה של המים. החורפים היו ארוכים (נובמבר-אפריל) ובנוסף היו שינויים עונתיים חדים (במאי ובאוקטובר). מינים אשר התקיימו בחורף, היו בעלי זיקה לטמפרטורות צפוניות ומינים אשר התקיימו בקיץ, היו בעלי זיקה טרופית. כיום, שינויי האקלים השפיעו על העונתיות וכך הקיצים הפכו קיצוניים יותר, והחורפים הפכו מתונים יותר. שכבת המים החמה של הקיץ נעשתה עמוקה יותר, והמים באזור הצפוני של האגן אינם קרים כפי שהיו בעבר. עקב כך, מינים דרומיים הרחיבו את תפוצתם צפונה, בעוד מינים צפוניים נמצאים בסיכון וחלקם אף נכחדו. מינים אשר אפיינו את תקופת הקיץ לפני 25 שנה, קיימים כיום לאורך כל השנה. בנוסף, ישנה תמותה רבה מתחת לשכבת המים החמה של הקיץ (Boero 2008). התחממות מי הים מסייעת כמו כן בפלישת מינים זרים דרך תעלות, המחברות ימים ונהרות (כפי שצוין בסעיף 1.4.3). הים התיכון פגיע במיוחד לפלישות ביולוגיות, כאשר הגורמים העיקריים להחדרת מינים זרים/פולשים (אינטרודוקציה) בים התיכון הם, לפי סדר יורד בחשיבות: מעבר דרך תעלת סואץ, חקלאות ימית ומסחר ימי (Galil 2004). תעלת סואץ מהווה מעבר כמעט חד כיווני לביוטה מים סוף ומהאוקיינוסים ההודי והשקט לתוך הים התיכון (Galil et al. 2007, Boero 2008).

בקצה אחד של תעלת סואץ נמצא ים טרופי (ים סוף) ובקצה השני ים סוב-טרופי (הים התיכון), כאשר טווח הטמפרטורות בצד הים תיכוני גבוה יותר מזה שבמפרץ סואץ ($15-30.5^{\circ}\text{C}$ בים תיכון לעומת $23.5-28.5^{\circ}\text{C}$ במפרץ סואץ). התעלה חצתה סדרת אגמים רדודים בעלי מליחות

גבוהה יחסית. סכר האסואן הפסיק את זרימת המים מנהר הנילוס, אשר סייעו בהורדת המליחות בכניסה לתעלה (Galil 2004). הרחבת התעלה הפחיתה את תנודות המליחות והטמפרטורה במי התעלה, שעד אותו הזמן מנעו ממינים זרים בעלי טווח מליחות וטמפרטורה צר, לפלוש לים התיכון. לכן כיום, המגבלה היחידה הקיימת למינים שונים, העשויים לעבור דרך תעלת סואץ, היא מגבלת העומק של התעלה, כלומר בעיקר מינים החיים בעומק של עד 60 מטר. בנוסף, דיג יתר וזיהום אפשרו החדרת מינים אופורטוניסטיים (מנצלים שינוי בתנאים כדי להתבסס במקום חדש) (פרופ' ב. גליל- תקשורת אישית).

מינים זרים מים סוף, שמקורם ממים טרופיים, זקוקים לטמפרטורות גבוהות מספיק לתהליכי הרבייה והתפתחות ביצים ולטמפרטורות מינימום בחורף מעל לגבול התמותה שלהם, על מנת לבסס אוכלוסיות בים התיכון. התחלת העלייה הדרמטית של חלק מהמינים המצליחים ביותר בפלישה לים התיכון החלה עם העלייה בטמפרטורות המים בחורף (Galil et al. 2007). בנוסף, מינים אלו מתבססים לאחר אירועי מזג אוויר קיצוניים, בהם יש ערעור של המערכות האקולוגיות. לדוגמא, בחורף של שנת 1954-1955, אשר היה חם במיוחד, התבססו בחופי ישראל מעל ל-40 מינים זרים, זאת למרות שבחורפים הבאים הטמפרטורה חזרה לממוצע (פרופ' ב. גליל- תקשורת אישית).

מאז פתיחת התעלה ב-1869, יותר מ-500 מינים מים סוף נמצאו בים התיכון והם שולטים כיום במבנה ובתפקוד המערכת באזורי החוף ותת החוף של הלבנט, לאחר שתפסו את מקום כמה אוכלוסיות של מינים מקומיים. כמה מהם אף מרחיבים תפוצתם מערבה לכיוון טוניס, סיציליה והים האדריאטי. מינים זרים אלו מהווים כ-80% ממיני הדגים הזרים, סרטנים מסוג decapod (בעלי עשר רגליים) ורכיכות, חלקם נחשבים מזיקים או מהווים מטרד, בעוד אחרים בעלי ערך כלכלי (Galil et al. 2007).

שיעור הפלישה של מינים זרים עלה בעשורים האחרונים, ומעט נעשה להעריך את הסיכון הכרוך בכל גורם להחדרה, או להקטנת הסיכון של החדרת מינים נוספים. חוקים הקשורים בהחדרה או העברה של מינים זרים קיימים רק במעט מדינות, כולל בישראל, אך מדיניות למניעה וטיפול בהחדרת מינים זרים כמעט ולא מיושמת בפועל (Galil 2004). בנוסף, כיוון שהים התיכון מהווה העתק של האוקיינוסים העולמיים, כשישראל מייצגת את האזור הטרופי כמקור למינים חדשים בביוטה הים תיכונית, והחופים הצפוניים מייצגים את הקטבים, כמבלע של מיני מים קרים, ניתן להסיק על פי המתרחש בים התיכון, מה יהיו השינויים העתידיים באוקיינוסים (Boero 2008).

2.2.3.3 אירועי צונאמי

הים התיכון נמצא במקום השני בעולם מבחינת אירועי צונאמי, כאשר 25% מכל אירועי הצונאמי בעולם התרחשו בים התיכון. יש תיעוד של כ-41 אירועי צונאמי בים התיכון ב-3700 השנים האחרונות, שהאחרון בהם אירע מול חופי אלג'יריה במאי 2003, בו גובה הגלים הגיע לכ-2 מטר. בשנת 1956 היה אירוע הצונאמי הקטלני האחרון בים התיכון, בו גובה הגלים הגיע לכ-20 מטר וגרם ל-100 נפגעים והרס רב. ב-1908 אירוע צונאמי אשר פגע בחופי סיציליה, איטליה, גרם לכ-70 אלף הרוגים וכ-200 אלף פצועים (רוזן 2008).

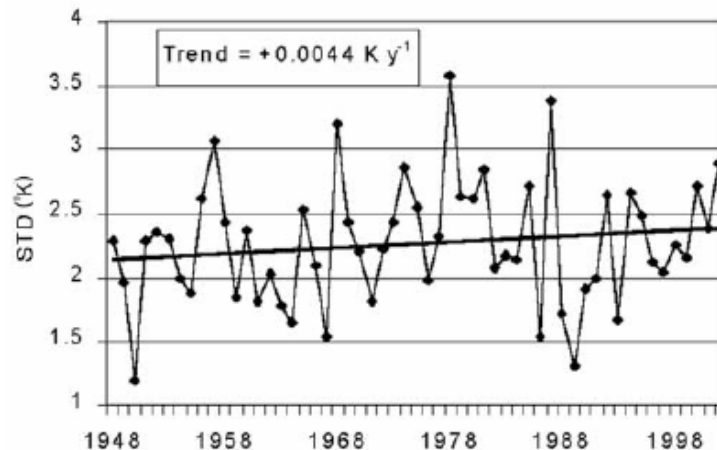
3. מגמות שינויי האקלים בישראל בשנים האחרונות

מזה למעלה מ-5000 שנה, נרשמו בישראל תקופות של עליה וירידה בכמויות המשקעים ובטמפרטורות. באופן כללי, עונת הגשמים אינה אחידה באופייה כך שמספר ימי הגשם בינואר גדול פי 10 מבמאי. החורף בן חמישה חודשים ומאופיין בכמות משקעים ניכרת. האביב והסתיו שונים מהקיץ לא רק במשקעים, אלא גם בשיאי הטמפרטורה המרבית ובערכים הנמוכים של הלחות היחסית הממוצעת. בחודשים יוני, יולי, אוגוסט לא יורד גשם כלל (גולדרייך 1998). בדומה לאגן הים התיכון, גם בישראל נמצאו עדויות לשינוי אקלים באלפי השנים האחרונות (מאיר וחובי 2006).

3.1 מגמות שינוי הטמפרטורה

קיימת מגמה של התחממות בעיקר בשעות הלילה בכל העונות של כ- 2°C , בהשוואה לשנות ה-70 של המאה ה-20 (סיכום פגישת צוות היגוי מרץ 2007). Saaroni וחובי (2003) מצאו מגמת התחממות של 0.013°C לשנה מעל מרכז ישראל במהלך החודשים יולי-אוגוסט, לאורך השנים 1948-2002 (איור מס' 9). שלוש תקופות הוגדרו חמות במהלך תקופה זו: שנות ה-50, סוף שנות ה-70 ותחילת שנות ה-80 והאחרונה והחמה ביותר החל מאמצע שנות ה-90. בין 1951-1960 ובין 1961-1970 נרשמה התקררות, אם כי לא מובהקת. מגמות התחממות מובהקות התרחשו בין השנים 1971-1980 (0.27°C) ו-1991-2000 (0.32°C), דבר המוכיח את תרומתו של העשור האחרון במגמת ההתחממות הכללית (Saaroni et al. 2003).

ישנה מגמת הקצנה בטמפרטורות העונתיות; קיץ חם יותר וחורף קר יותר, והגברת שכיחות של ערכי קיצון, כלומר נטייה לימים חמים וקרים יותר. טמפרטורות המכסימום והמינימום בישראל בקיץ, עלו בשנים 1964-1994 בקצב ממוצע של כ- 0.21°C (טמפרטורת המינימום) ו- 0.26°C (טמפרטורת המכסימום) לעשור. מגמות אלו תואמות את המגמות החזויות משינויי האקלים, גם באשר לכך שהאמפליטודה היומית קטנה (קצב עליית טמפרטורת המינימום גבוה יותר משל טמפרטורת המכסימום) (Ben-Gai et al. 1999).



איור מס' 9: סדרות זמן עבור סטיית התקן של טמפרטורה עבור יולי-אוגוסט מעל מרכז ישראל (נקודת ציון $32.5^{\circ}\text{N}, 35^{\circ}\text{E}$). כל נקודה מסמלת את סטיית התקן של הטמפרטורה היומית הממוצעת ביולי-אוגוסט עבור תקופת הקיץ של אותה שנה. הקו העבה מסמל את המגמה הליניארית. מקור: Saaroni et al. 2003.

ישנה עלייה במספר הימים החמים ($+0.13$ ימים לשנה) והקרים ($+0.014$ ימים בשנה) במהלך יולי-אוגוסט, אשר נצפתה בין השנים 1948-2002. שנת 2000 הייתה הקיצונית ביותר (נכון ל-2003), עם 29 ימי קיץ שהוגדרו "חמים" מתוך 62 (כמעט 50%). לשם השוואה, מספר הימים החמים ב-50 השנים האחרונות (1948-1998), לא עבר את ה-22 לשנה ולרוב היה אף נמוך יותר. תוצאות אלו מראות על עלייה בקיצוניות האקלימית (Saaroni et al. 2003).

ישנה עלייה במשך השכיח של ימים המוגדרים "חמים" (מעל 24.2°C) בשנים 1976-2002 לעומת השנים 1948-1975, מיום אחד ליומיים. בנוסף, עלייה במספר אירועי חום שמשכם מעל 8 ימים, מאירוע אחד בתקופה הראשונה לשמונה אירועים בשנייה. במהלך השנים 1973-2002, יולי הפך לחודש החם ביותר והחליף את חודש אוגוסט, שהיה החם ביותר בשנים 1948-1977, כך שיא הקיץ הגיע מוקדם יותר (Saaroni et al. 2003).

על פי Saaroni וחובי (2003), 4 מתוך 5 השנים החמות ביותר (1996, 1998, 2000, 2001) נכון לשנת 2003 קרו במהלך 7 השנים שקדמו לפרסום המחקר, דבר התואם את ניתוח נתוני הטמפרטורות הגלובליות בדו"ח IPCC 2001. עם זאת, טמפרטורות המכסימום והמינימום בחורף נמצאות במגמת ירידה. לכן, בממוצע שנתי, אין בהכרח עלייה בטמפרטורה, כפי שזו מתבטאת באזורים רבים בעולם (אלפרט ובן צבי 2001).

3.2 מגמות שינוי המשקעים

Ben Gai וחוב' (1998) מצאו מגמת הקצנה בגשמים העונתיים והיומיים עבור השנים 1962-1990 בהשוואה לשנים 1931-1961, ועלייה בשכיחות שנים קיצוניות (רטובות או שחונות). יוסף (2007) מצא אף הוא עלייה באירועי גשם קיצוני (32-64 מ"מ/יום) במרכז ובדרום בשנים 1950/1-2003/4. עלייה באירועי גשם קיצוניים נצפתה גם בתחנה לחקר הסחף של משרד החקלאות (מדידות החל מ-1987, מר ש. ארבל-תקשורת אישית) ובשירות ההידרולוגי (ד"ר ע. גבעתי-תקשורת אישית).

עלייה מסוימת בכמויות הגשמים נמצאה על ידי אלפרט ובן צבי (2001) בשנים 1958-1998, בעיקר בדרום. יוסף (2007) מצא כי חל גידול בכמות הגשם השנתית בכל הארץ בין השנים 1950/1-2003/4, אם כי גידול זה אינו מובהק. שיעור הגידול הגבוה ביותר היה באזור הדרום והמרכז (פי 3~ מהצפון). מאידך, בתחנה לחקר הסחף של משרד החקלאות לא נצפו, החל משנת 1987 ועד היום (תחילת 2008), שינויים בכמויות הגשם. חלק מהסיבה לתצפיות אלו היא השונות המרחבית והעיתית, הבין-שנתית הגדולה הקיימת בישראל, אשר משתנה לפי כמות התצפיות ותחנות שונות טיב התצפיות (מר ש. ארבל-תקשורת אישית).

מגמות סותרות במשקעים נמצאו על ידי חלפון וקוטיאל (2005), לפיהן במוצע מרחבי עלו כמויות המשקעים בכ-6% בין התקופות 1930-1960 ו-1950-1980, אך לא השתנו משמעותית בין התקופות 1950-1980 ו-1970-2000. מאידך, מבדיקת שינויים בחבלי המשנה, לא חלו שינויים מהותיים בכמויות המשקעים בשתי התקופות האחרונות, אך במדרונות המערביים של שדרת ההר חלה עלייה של כ-5% ויותר בכמויות המשקעים בין שתי התקופות ואלו במדרונות המזרחיים חלה ירידה בסדר גודל דומה. לא נמצא הסבר למגמות השינוי הסותרות. Steinberger & Gazit-Yaari (1996) מצאו אף הם מגמות סותרות במשקעים, כאשר במהלך תקופת המחקר 1960-1990 כמות המשקעים ירדה בהרי הצפון ובחופים הצפוניים והמרכזיים (מספר תחנות הראו על ירידה של עד 30% במהלך כל התקופה), אך בחופים הדרומיים ובמדרונות המערביים של הרי המרכז כמות המשקעים עלתה. הם שיערו כי הגורם לכך הוא שינוי סינופטי בעונת החורף.

יוסף (2007) מצא כי מספר ימי הגשם בשנים 1977/8-2003/4, היה גדול יותר מאשר בשנים 1950/1-1976/7, ברוב עוצמות הגשם (קל, מתון וכבד), אם כי הגידול נמצא מובהק רק בתחנת מדידה אחת (תחנת מירון) (יוסף 2007).

במדידות שבוצעו בין השנים 1987 ועד היום (2008) בתחנה לחקר הסחף, נמצאה עלייה בשיטפונות בעלי נפחי מים גדולים באגנים בינוניים וקטנים (מר ש. ארבל-תקשורת אישית). עם זאת, ממדידות בתחנה לחקר הסחף ובשירות ההידרולוגי, לא נצפו שינויים בספיקות השיא או בנפחי הזרימה באגנים גדולים (ד"ר ע. גבעתי, מר ש. ארבל-תקשורת אישית). בן צבי ועצמון (2000) לא מצאו אף הם מגמה של ירידה או עליה בספיקות השיא בישראל במשך כ-60 שנה (עד

שנת 1997/98). יוצא מכלל זה הוא תחום הירדן העליון, שם נראתה הקטנה של ספיקות השיא השנתיות, שחלקה נבע מהגברת צריכת המים במדינת לבנון וחלקה קשור, להערכתם, לתנודה מטאורולוגית. ספיקות שיא נדירות יחסית הופיעו מספר רב של פעמים החל משנות ה-90 במרבית הנחלים מהגליל התחתון ועד לצפון הנגב. מכיוון שלנתוני ספיקות השיא שונות גבוהה, קשה בדרך כלל להבחין בין שינויים מקריים לשינויים תמידיים (בן צבי ועצמון 2000).

העלייה בכמויות הגשמים בדרום ישראל יוחסה לשינויים אינטנסיביים ונרחבים בשימושי הקרקע באזור החל משנות ה-60 (Otterman et al 1990, Ben Gai et al. 1993). העלייה בכמויות הגשמים בצפון ומרכז ישראל יוחסה בין השאר לפעולות זריעת עננים שהחלה בישראל בשנות ה-60 של המאה ה-20 (זריעת עננים משמעה, הגברה מועטה של יכולת ההמטרה הטבעית של העננים המגיעים באופן טבעי). מחקרם של רוזנפלד ולהב (2006) מצא כי הזריעה מוסיפה כיום כ-13% לכמות הגשם השנתית לאזורי ההר שבצפון הארץ, אשר מהווים את עיקר מקור המים לאגן ההיקוות של הכנרת. מבדיקה סטטיסטית שבחנה את פעולות זריעת העננים וכללה תוצאות מטאורולוגיות והידרולוגיות, נמצא שעוצמת הגשמים התחזקה ב-10% במישור החוף ועד 20% בצפון הארץ, ואילו בדרום התמעטו הגשמים (גבירצמן 2002). Steinberger & Gazit-Yaari (1996) מציינים אף הם את ההשפעה האפשרית של זריעת העננים על העלאת כמויות המשקעים, וטוענים כי אפשרי שללא זריעת העננים הירידה בכמויות המשקעים בצפון הייתה גדולה יותר. לעומת זאת, Stanhill & Rapaport (1988) לא מצאו השפעות של זריעת העננים על סך כמויות הגשמים השנתי. Alpert וחובי (2008) אף הראו ירידה במשקעים במורדות הרי הגליל, אזור זריעת העננים בישראל, לעומת מעלה הרי הגליל. דבר זה עשוי להראות כי פעולות הזריעה בעלות אפקט שלילי (מפחיתות את כמויות המשקעים במקום להעלות), למרות שהדבר עשוי להיות חלק ממגמת עלייה במשקעים, שנצפתה באזור העירוני בהרי הגליל, או שינוי כללי בתנאים הסינופטיים במהלך השנים האחרונות (Alpert et al. 2008).

למרות שמספר מחקרים הראו עלייה בכמויות הגשמים בישראל בשנים האחרונות, יתכן שבישראל ובדרום מזרח אגן הים התיכון, ישנה הפחתה בכמויות הגשמים החל משנות ה-80, שאיננה נראית בתצפיות, בזכותה של עונת הגשם הברוכה והחריגה ביותר של 1991/2, אשר יוחסה לשילוב פריצה וולקנית של הר הגעש פינטובו (Kirchner et al. 1999), יחד עם תופעת האל-ניניו (Price et al. 1998). הר הגעש פינטובו בפיליפינים התפרץ ביוני שנת 1991 ושחרר לאטמוספירה כמויות של אירוסולים (גזי סולפט וחלקיקי עפר), אשר ספגו את קרינה ארוכת הגל, המוחזרת מהקרקע ואת הקרינה הסולרית הקרובה לאינפרא-אדום. התפרצות הפינטובו הייתה החזקה ביותר במאה ה-20. כמו כן, תופעת האל ניניו נמצאה בהתאמה חיובית לעלייה במשקעים באזורנו (כפי שצוין בסעיף 2.1.2).

בדיקת מגמות ממוצעות על פני 5 שנים באזור הכנרת, ללא חורף 1991/2, מראה מגמת התייבשות מאז 1987 (אלפרט ובן צבי 2001). מחקר חדש שנעשה על ידי רוזנפלד, א. ליטאור, מ.

שוורץ צחור, ר. ופיינגולד א. (תקשורת אישית), מצא כי מהשוואה בין נתוני משקעים משנים 1960-1990 לבין השנים 1970-2000, ישנה ירידה שנתית ממוצעת של 2-5% בכמויות המשקעים ברוב אזורי הארץ. עם זאת, ישנם אזורים שהראו יציבות במשקעים ואף עלייה כגון מישור החוף, הגליל והגולן. על פי Givati & Rosenfeld (2004, 2005), העלייה ברמות זיהום האוויר בישראל תרמה לירידה בכמויות הגשם השנתיות באזור ההר לעומת אזורי החוף, בשיעור של 15-25% לאורך המאה ה-20. חלקיקי זיהום האוויר מאטים את תהליך המרת טיפות העננים לטיפות גשם ושלג, וכך מפחיתים משקעים מעננים קצרי חיים. תהליך זה נצפה גם באזורים אחרים בעולם עם תנאים מטאורולוגיים וטופוגרפיים דומים לישראל. נמצא בנוסף, כי עננים שנוצרו מעל הארץ, הכילו ריכוז טיפות גדול ביחס לעננים הבלתי מופרעים מעל הים. המשמעות היא, שעננים שהושפעו ממקורות הזיהום בישראל, המטירו ככל הנראה ביעילות נמוכה יותר מעננים ממערב לחוף, ומשך הזמן ליצירת משקעים היה ארוך יותר. זריעת העננים באזור זה עזרה להפחית מעט את השפעת זיהום האוויר על הפחתה בכמויות המשקעים, אך עדיין הזיהום הוביל להפחתה נטו בכמויות המשקעים. מאידך, לטענתם של Alpert וחובי (2008), לא נמצאה ירידה בכמויות המשקעים באזור ההר בשנים 1979/80-2003/4 לעומת השנים 1954/5-1978/9, אלא עלייה בכמויות המשקעים בכל הארץ, עם עלייה משמעותית יותר באזור הדרום. כמו כן, מחקרם סותר את הטענה שזיהום אוויר הוביל להפחתה במשקעים, כיוון שלטענתם זיהום אוויר עשוי למעשה להעלות את כמויות המשקעים ואילו גורמים אחרים, כגון עומס החום האורבאני, לחות אורבאנית ועוד, משפיעים בצורה משמעותית יותר. החוקרים טוענים כי עשויה להתקבל הפחתה או עלייה בכמויות המשקעים, כאשר בוחנים תחנות הרריות לעומת תחנות חופיות, בתלות בתחנות הנבחרות להשוואה. החלפת תחנות חופיות בתחנות בפנים הארץ, בעיקר תחנות באזור עם פוטנציאל להגברת המשקעים, בעקבות אי החום האורבאני או השפעות אורבאניות אחרות, מתפרש כהפחתה במשקעים בעקבות זיהום אוויר. אם נבחרות תחנות חופיות, מתקבלת עלייה בכמויות המשקעים מעל מרכז ישראל ומגמה לא מובהקת מעל צפון ישראל.

השינויים הגדולים בכמויות המשקעים, שנצפו על ידי רוזנפלד, א. ליטאור, מ. שוורץ צחור, ר. פיינגולד א. (תקשורת אישית) היו בקצוות עונת הגשמים, אוקטובר ואפריל. הדבר מצביע על שינוי בפיזור כמויות המשקעים על פני חודשי השנה. גידול בגשמי אוקטובר נמצא בנוסף על ידי יוסף (2007) באזור הנגב הצפוני, הצפון והמרכז וגם על ידי Steinberger & Gazit-Yaari (1996), בין השנים 1976/7-1990/1 לעומת השנים 1961/2-1975/6. Steinberger & Gazit-Yaari (1996) מצאו בנוסף מגמת ירידה בכמות המשקעים בחודשים דצמבר-ינואר בתקופת המחקר השנייה, לעומת הראשונה בכל הארץ. יוסף (2007) אף הראה כי עונת הגשמים התארכה. לעומתם, חלפון וקוטיאל (2005) טוענים כי לא חלה כל מגמה ברורה בתפרוסת העיתית של הגשמים בתוך העונה, לאורך 70 שנות מחקר (1930-2000), וכי שינויים קלים בכמויות המשקעים בתחילת או סוף העונה הם ככל הנראה מקריים. Stanhill & Rapaport (1988) הראו אף הם כי עבור השנים 1931-1984 נפחי המשקעים השנתיים היו בתפוצה רגילה ובלתי תלויה (אקראית). בנוסף,

הגשמים היו בתפוצה מרחבית א-סימטרית ועקבית, כאשר אזור המרכז תרם את מרבית נפח המשקעים.

חלפון וקויתאל (2005) ניסו להסביר את הסיבות לטענות הסותרות על שינויים בכמויות המשקעים ממחקרים שונים. לטענתם, ההבדלים יכולים להיות תוצאה של הבדלי דגימות בזמן ובמרחב בין כל מחקר. בבחינת כמויות המשקעים בממוצע נע על 30 שנה, רואים שהבדלים של אחוזים שלמים יכולים להתווסף או להיגרע מהוספת שנה בודדת לחישוב על חשבון שנה אחרת. גם כשמוצאים עלייה או ירידה בין שתי תקופות עוקבות, הדבר לא מצביע בהכרח על מגמת עלייה או ירידה, מכיוון שעשורים שונים היו גשומים יותר או שחונים יותר. לכן יש תלות בתקופות הנבדקות ואיזה עשור נכלל בהן. גם בדיקה לפי עשורים יכולה להראות מגמות שונות, בתלות בשנים מסוימות הנכללות בתקופת המחקר (אם היו גשומות לעומת שחונות). לכן יש להיזהר בקביעה על ירידה או עלייה בכמויות המשקעים בהתבססות על שתי תקופות דיגום באקלים ים תיכוני, כיוון ששינויים באקלים זה מתרחשים כתוצאה מקפיצות, המושפעות בעיקר משנים קיצוניות ולא עקב מגמות ארוכות טווח. בנוסף, תנודות קלות בכמויות המשקעים הממוצעות הן אקראיות ולא ניתנות לחיזוי. כנראה שתקופות דיגום של 30 שנים הן קצרות מדי לקבלת ממוצע יציב, ושינויים של עשרות אחוזים יכולים לנבוע מרצף אקראי של חודשים שחונים או גשומים בשולי העונה. ערכי ממוצע וסטיית תקן יכולים להיות יציבים, רק לאחר בחינת תקופות של 60 שנה ויותר כל אחת, וגם אז אירוע של שנה קיצונית עשוי לערער יציבות זו. בנוסף, מגמות ההשתנות של המשקעים בחבלי הארץ השונים אינן זהות בעוצמת השינויים ולא במגמתם. לבחינת מגמות השתנות הגשם בתא שטח כשל צפון ישראל לדוגמא, לא ניתן להסתפק בתחנות בודדות, כיוון שהדבר עלול ליצור תוצאות סותרות, כיוון שבאזורים השונים ישנן מגמות שונות לאורך התקופה.

דפוס ירידת המשקעים אשר נצפה בשלוש השנים האחרונות, ממחיש את האיומים האפשריים כתוצאה משינויי האקלים בישראל: עונות הגשמים 2004/5, 2005/6 ו-2006/7 אופיינו בכמויות משקעים נמוכות מהממוצע הרב שנתי עם שונות גבוהה. ב-2005/6 הייתה עצירת גשמים ממושכת של 24 יום במהלך דצמבר (תקופה הארוכה ביותר מזה 50 שנה בצפון הארץ לתקופה זו), וב-2006/7 הייתה עצירת גשמים של למעלה מחודש (מאמצע חודש נובמבר ועד אמצע-סוף דצמבר) (השירות ההידרולוגי 2006, 2007). ב-2004/5 כמות המשקעים הייתה גבוהה מהממוצע בתחילת העונה (אוקטובר-נובמבר, אך מהמחצית השנייה של פברואר ועד סוף העונה כמעט ולא ירדו גשמים) (השירות ההידרולוגי 2005).

ב-2005/6 השונות הגבוהה במשקעים אופיינה בחודשים פברואר ומרץ, אשר היו שחונים ביותר בכל הארץ. מאידך, חודש אפריל היה גשום במיוחד עם שני אירועי גשם נדירים, בהם ירדו כמויות משקעים גבוהות ביותר, אשר לא אופייניות לאזורנו (מעל 100 מ"מ ביממה אחת באגן הירדן

העליון). במרכז הארץ, חודש אפריל היה הגשום ביותר מאז החלו המדידות ובצפון הוא היה הגשום ביותר משנת 1971 (השירות ההידרולוגי 2006).

חורף 2006/7 היה השלישי ברציפות בו נפחי המים הזמינים לכנרת היו נמוכים מהממוצע. עם זאת, ב- 27/10/06 עלה מפלס הכנרת ב-3 ס"מ ביום אחד, בעקבות אירוע גשם גדול (בחלקים רבים בכנרת ירדו כמויות משקעים הגדולות פי 3-5 מהממוצע הרב שנתי לחודש זה) (השירות ההידרולוגי 2007). הנפחים השנתיים במעיינות הדן והבניאס היו אף הם נמוכים מהממוצע הרב השנתי במהלך שלושת השנים האחרונות, בעקבות עובי משקעים נמוך מהממוצע בשנים אלו (השירות ההידרולוגי 2007).

רצף של שנים שחונות אירע גם בין השנים 1998/9-2001/2 ובין השנים 1988/9-1990/1, אך רצף זה של שלוש שנים שחונות הוא בלתי שכיח, ובעקבותיו הוכרז במרץ 2008 מצב חירום במשק המים. בשנת 1999, כאשר הוכרז מצב חירום במשק המים, כמות המים במאגרי הארץ הייתה גבוהה ב-480 מלמ"ק מהכמות המצויה בהם כיום. עונת הגשמים של 2007/8 הייתה השחונה ביותר בעשור האחרון (מאז 1998/9), ובחלק מהאגנים היא אחת השחונות ביותר מאז החלו מדידות בארץ (רשות המים 2008).

3.3 מגמות שינוי בשיעורי ההתאיידות

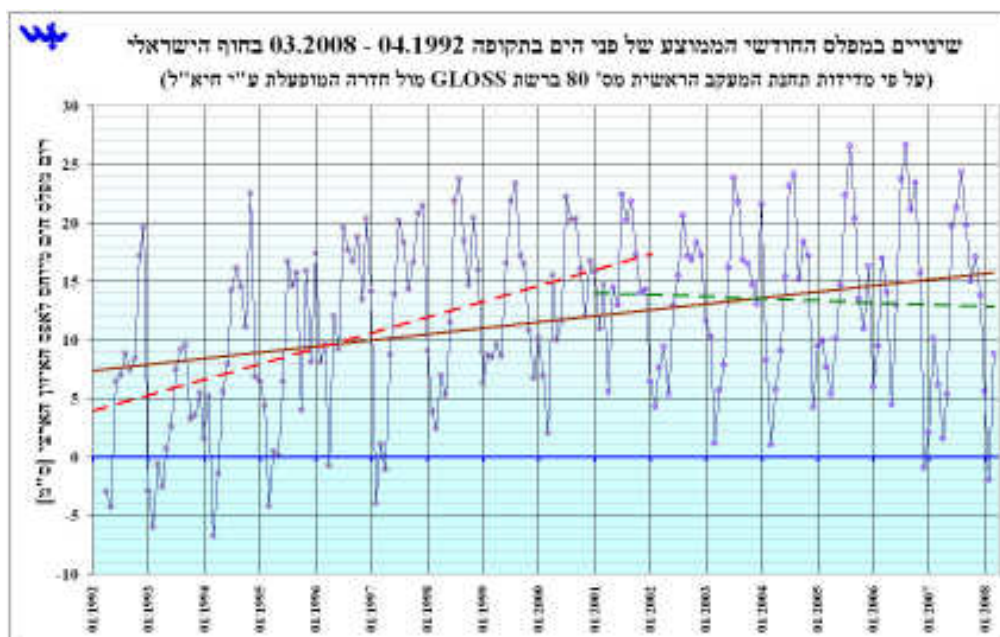
מאמצע שנות ה-60 ועד סוף שנות ה-80 של המאה ה-20 נרשמה ירידה של 14% בממוצע, בשיעורי ההתאיידות באזור הצפון והמרכז (ואילו בכנרת נרשמה עלייה של 19%), אך עלייה של 19% בשיעורי ההתאיידות בדרום (כהן וחובריו 1990). לכך ישנן השלכות חיוביות, כיוון שעשוי להיות צורך מופחת בהשקיה בצפון ובמרכז. מספר חוקרים הסבירו את הירידה בהתאיידות בניגוד לעלייה בטמפרטורות הקיץ, עקב שינויים בפני השטח בקרבת תחנות המדידה, כגון תהליכי עיור והשקיה (אלפרט וכן צבי 2001).

3.4 הים התיכון ושינויים שנצפו לאורך חופי ישראל

בתקופת הקרח האחרונה, מפלס הים התיכון היה נמוך ב-130 מטר מזה כיום. עליית מפלסי האוקיינוסים לאחריה (לפני 18 אלף שנה) הייתה מהירה מאוד, עקב המסת הקרחונים (גולדרייך 1998) והציפה את מדף היבשת המתון והרחב של ישראל, דבר ששינה באופן משמעותי את המורפולוגיה של אזור החוף. בתקופה זו היה קו החוף של ישראל ממוקם בחלק העליון של מדרון היבשת הנוכחי, כך שניתן להסיק, כי שיפוע החוף ושיפוע קרקעית הים היו תלולים. לדוגמא, קו החוף של מפרץ חיפה עבר כ-20 ק"מ ממערב לקו החוף הנוכחי. הסיבה העיקרית לשינויים במפלס הים התיכון לאורך חופי ישראל, משיא תקופת הקרח האחרונה ועד לפני 4000 שנה, קשורה לגורם האיזוסטטי הגלובלי, כלומר מתוספת מים לאוקיינוסים עקב התחממות כדור הארץ והפשרת קרחונים. ב-4000 השנים האחרונות השינויים בגובה המפלס היו קטנים ממטר אחד (צביאלי 2007).

כיום מוצפים חופי ישראל בגלים שגובהם בדרך כלל 2-3 מטר. בין השנים 2001-2004 פקדו את ישראל מספר גבוה יחסית של סערות גלים חריגות בעוצמתן. בזמן הסערה החזקה שבה (שהתרחשה ב-20.12.01) נמדד בחיפה גל בגובה 7.24 מטר וגובה גל מקסימלי של 13.3 מטר. החופים לרגלי צוקי הכורכר הגבוהים רגישים במיוחד, כיוון שמתאפיינים בשפת ים צרה (10-30 מטר), המורכבת מחול ובעלת שיפוע מתון (1:50). מאפיינים אלו מאפשרים כמעט לכל סערות גלים לפגוע בבסיס המצוקים (צביאלי 2007).

מפלס פני הים התיכון הגיע למקסימום בתחילת שנות ה-60 וירד למינימום באמצע שנות ה-70 (ירידה של כ-10 ס"מ). החל מ-1973 חלה עלייה נוספת עד 1980, אז חלה ירידה נוספת. עלייה חדשה החלה מ-1990. כלומר, ישנם שינויים תקופתיים בממוצע השנתי של מפלס פני הים התיכון, אשר לא ניתן להסבירם על ידי מחזוריות מועדי הים האסטרונומיים (Shirman 2003), אינג' ד.ס. רוזן-תקשורת אישית). Shirman (2003) מצא כי החל מ-1990, ישנה עלייה של כ-10 מ"מ לשנה במפלס הים התיכון, שיעור הגבוה בסדר גודל אחד, מזה שנרשם באזור במהלך מאה השנים האחרונות. סך שיעור עליית המפלס, כפי שנרשמה בתחנות מדידה בתל אביב ובאשדוד בשנים 1958-2001, היא של 5.9 ס"מ, בהשוואה לנתונים מתחנת המדידה ביפו. יש הטוענים, כי מאחר שנקודות הייחוס באשדוד שונו במהלך השנים, עבודתו של Shirman (2003) אינה מייצגת בהכרח את השינויים הרב שנתיים בארץ. כך למשל, על פי רוזן (2008), בין השנים 1992-2008 נמדדה עליית מפלס ים רב שנתית ממוצעת במזרח הים התיכון של כ-5 מ"מ לשנה, לעומת קצב של כ-2 מ"מ לשנה ביתר המאה ה-20. סך שיעור עליית המפלס במהלך 16 השנים האחרונות היא 8.5 ס"מ. עלייה זו נרשמה בעיקר בין השנים 1992-2001, בה קצב עליית המפלס היה 13 מ"מ לשנה. עם זאת, בין השנים 2001 ל-2008 נרשמה ירידה של 1.4 מ"מ לשנה במפלס הים (איור מס' 10).



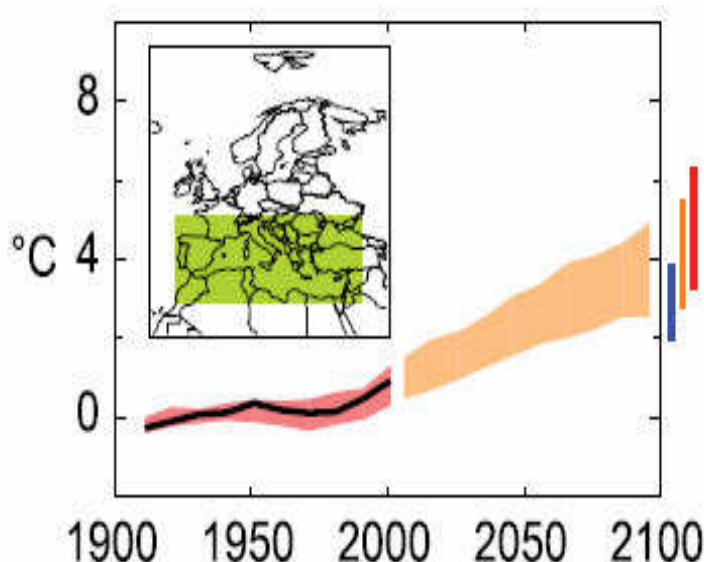
איור מס' 10: שינוי קצב עליית מפלס הים התיכון בחוף הישראלי. מקור: רוזן 2008.

Shirman (2003) טוען כי ישנה קורלציה חזקה בין התפוצה הגיאוגרפית של קצבי השינוי במפלס הים התיכון, בין נתונים שהתקבלו מלוויין Topex/Poseidon (על עלייה מתמשכת במפלס בין השנים 1993-1999) ובין קצב התחממות פני השטח, המרמזים כי עליית מפלס הים התיכון החל משנות ה-90 קשורה לאפקט ההתחממות. עם זאת, על פי Rosen (2008), ההאצה בקצב עליית המפלס נגרמה ככל הנראה מתופעת המעבר במזרח הים התיכון (EMT) שהתרחשה באותה תקופה ובנוסף, טרם הוערכה תרומת המים אשר הוזרמו לים התיכון מים סוף, דרך תעלת סואץ (כפי שצוין בסעיף 2.2.3.1).

בנוסף על שינויים במפלס הים, נצפו שינויים בביוטה בים התיכון, בקרבת חופי ישראל. ישראל ואזור הלבנט פגיעים יותר לפלישות של מינים זרים מים סוף מאשר אזורים אחרים בים התיכון ומרבית אזורי החוף בעולם, כיוון שאזור זה ממוקם בנקודה רגישה- האזור החם והמלוח ביותר בים התיכון, בו הביוטה מנצלת את המים הקרים, המגיעים מהצד המזרחי של אוקיינוס האטלנטי. ישראל ממוקמת ישירות במורד הזרם מתעלת סואץ, שהיא מסדרון פלישה מובהק של מינים זרים (פרופ' ב. גליל- תקשורת אישית). מתוך 296 מינים זרים שהתגלו לאורך חופי ישראל, 284 הגיעו מים סוף/ האוקיינוס ההודי/ מערב האוקיינוס השקט, דרך תעלת סואץ (Galil 2007). זהו המספר הגבוה ביותר של מינים זרים פר ק"מ חוף, בהשוואה לכל שאר מדינות אגן הים התיכון (פרופ' ב. גליל- תקשורת אישית).

4. שינויי האקלים הצפויים באגן הים התיכון

על פי דו"ח ה-IPCC (2007), צפויה עליית טמפרטורה ממוצעת של $2.2-5.1^{\circ}\text{C}$ באגן הים התיכון בשנים 2080-2099 (על פי תרחיש A1B, ראה נספח 1) בהשוואה לשנים 1980-1999. המודלים חוזים בנוסף ירידה בכמויות הגשמים באגן הים התיכון, בתחום של 4-27%, עבור אותן שנים (איור מס' 11). אירועים קיצוניים כגון גלי חום, בצורות ושיטפונות עשויים להפוך חזקים ושכיחים יותר (Antipolis 2008). תוצאות ריצות מודלים אזוריים שנחקרו על ידי Alpert וחוב' (2007), תומכות בתחזיות המודלים הגלובליים לאזור הים התיכון וחוזות ירידה גדולה יותר במשקעים, עלייה דומה בטמפרטורה ומגמה של התחזקות אירועי גשם קיצוניים. האזורים הרגישים ביותר לשינויי האקלים באגן הים התיכון, הם אזורים בצפון אפריקה הגובלים במדבר, הדלתות העיקריות (כגון הנילוס) ואזורי החוף (הצפוניים והדרומיים). זאת בנוסף על אזורים הרגישים מבחינה סוציאלית ואלו עם גידול אוכלוסין מהיר (IPCC 2007).



איור מס' 11: סטיית טמפרטורות בהשוואה לשנים 1901-1950, עבור השנים 1906-2005 (קו שחור) והשנים 2001-2100 כפי שנחזה ממודלים עבור התסריט של A1B לאזור אגן הים התיכון ואירופה. הקווים בצד ימין מייצגים את טווח השינויים הצפויים עבור השנים 2091-2100, כחול-B1, כתום-A1B ואדום-A2. מקור: IPCC 2007.

4.1 משקעים

צפויה ירידה כללית בממוצע המשקעים בכל רחבי אגן הים התיכון (Antipolis 2008). עבור תרחיש A2 (ראה נספח 1), Alpert וחוב' (2007), צופים ירידה בכמויות המשקעים של 15-75 מ"מ בחודשי החורף (דצמבר, ינואר, פברואר), המשתווה לירידה של 10-30% מעל מרבית

המזרח התיכון. מאידך, Raible וחוב' (2007) לא צופים שינוי משמעותי מעל אזור הדרום-מזרחי של הים התיכון עבור התקופה של 2071-2100, בהשוואה לתקופת הביקורת 1961-1990, אלא ירידה משמעותית ביותר במשקעים לאורך החוף הצפון אפריקאי של מרכז ומערב הים התיכון (עד 50%). מרבית תהליכי ההתייבשות נצפו דרומית לקו הרוחב 35°N עבור תרחיש זה. Raible וחוב' (2007) מסבירים את ההשפעה המשמעותית על המשקעים בירידה בעוצמת הציקלונים הצפויה באזור כולו, בעיקר בחלק הדרומי של מערב הים התיכון וחופי צפון אפריקה. אחת הסיבות לכך שהמזרח התיכון פחות מושפע, היא השינוי בהפרעות הקוטביות הצפויות להיות חזקות יותר בתרחיש A2. לכן, האזור הצפוי לסבול בצורה המשמעותית ביותר במהלך החורף, הוא החלק הדרומי של מערב הים התיכון והחלק המערבי של חופי צפון אפריקה (Raible et al. 2007).

עבור תרחיש B2 (ראה נספח 1), Alpert וחוב' (2007) לא צופים מגמה מובהקת במשקעים מעל המזרח התיכון (ירידה של 0-5%), ומעל מרבית טורקיה ניכרת אף מגמת עלייה במשקעים. תחזיות אלו בתחום המשקעים תואמות את מגמת השינויים שנצפו במזרח התיכון בעשורים האחרונים, לפיהם ישנן ירידות גדולות בכמויות הגשמים בצפון-מזרח הים התיכון ועליות מסוימות בגשמים בדרום-מזרח הים התיכון (Alpert et al. 2007). מחקרם של Menzel וחוב' (2007), אשר בחן את השינויים הצפויים עבור השנים 2070-2099, בהשוואה לשנים 1961-1990, באזור אגן הירדן (מהקצה הצפוני של אגן הירדן עד למפרץ עקבה בדרום ומחוף הים התיכון למישור הירדני, סך הכל 90 אלף קמ"ר), הראה אף עלייה בממוצע המשקעים עבור החודשים מאי, יוני ואוקטובר עבור תרחיש זה של ה-IPCC, למרות שסך השינוי הינו קטן ונשאר בטווח של אי ודאות.

Kitoh וחוב' (2007) הריצו לראשונה מודל גלובלי ברזולוציה גבוהה (20 ק"מ) - The Atmospheric General Circulation Model (GCM), אשר הציג בצורה טובה את המשקעים והזרימות כיום באזור הסהר הפורה של המזרח התיכון. עד כה, קשה היה להעריך את תחזיות המשקעים והזרימות באזור המזרח התיכון, עקב מחסור בנתונים ורזולוציה לא מספקת. על פי תוצאות המודל עבור תרחיש A1B (ראה נספח 1) של ה-IPCC, באזור הים התיכון ואזורי החוף של ישראל, לבנון, סוריה וטורקיה, צפויה הפחתה בכמויות המשקעים עבור השנים 2080-2099, בעיקר בחודשי החורף ואביב. מחקרם של Ragab & Prudhomme (2002), אשר התבסס על תרחישים של דו"ח ה-IPCC לשנת 1995, צופה עבור שנת 2050, ירידה בכמויות המשקעים בעונה היבשה (אפריל-ספטמבר) בטווח של 20-25% מהממוצע, בצפון אפריקה ובחלקים ממצרים, ערב הסעודית, אירן, סוריה, ירדן וישראל. בתקופת החורף, הגשמים ירדו בשיעור של 10-15%, אך יעלו באזורי הסהרה בכ-25%. למרות זאת, עלייה זו לא תהיה מועילה לאזור, עקב הכמויות הנמוכות שיוורדות באזור באופן רגיל.

4.2 טמפרטורה

גם במידה ויושגו יעדי האיחוד האירופי, כך שהטמפרטורה הממוצעת הגלובלית לא תעלה מעבר ל- 2°C , באגן הים התיכון עליית הטמפרטורות צפויה להיות מעבר ל- 2°C , בגלל מאפייניו האקולוגיים וסוציו-אקונומיים של האזור (Antipolis 2008).

Ragab & Prudhomme (2002), אשר מתבססים על תרחישים של דו"ח ה-IPCC לשנת 1995, צופים ב-2050 עלייה של $2-2.75^{\circ}\text{C}$ בטמפרטורה בצפון אפריקה ובחלקים ממצרים, ערב הסעודית, אירן, סוריה, ירדן וישראל. בחורף, הטמפרטורות באזורים החופיים יעלו בממוצע בכ- 1.5°C , בעוד בפנים האזור הן יעלו ב- $1.75-2.5^{\circ}\text{C}$. תוצאות מודל ECHAM5 של Raible וחובי (2007) עבור תרחיש A2, מראות על התחממות של כ- $3-4^{\circ}\text{C}$ בחורף מעל אגן הים התיכון, במהלך השנים 2071-2100, בהשוואה לשנים 1961-1990. התפוצה המרחבית של שינוי הטמפרטורות מראה על עלייה מקסימלית של 4.5°C מעל הרי האטלס, עלייה של 2.7°C מעל הים השחור ומזרח התיכון ועלייה הנמוכה ביותר של כ- 2.1°C מעל מצרים. בנוסף, צפוי משטר טמפרטורות קיצוני יותר בחורף במזרח ובמערב הים התיכון, כולל אירועי טמפרטורות נמוכות, אשר יהפכו קיצוניים יותר במערב ובמיוחד במזרח אגן הים התיכון. במזרח התיכון קיצוניות הטמפרטורות תתבטא יותר בסטייה מהנורמל עבור הימים הקרים (מעבר למגמת ההתחממות הכללית), מאשר עבור הימים החמים. יש לציין כי תוצאות אלו מבוססות על מודל אחד והמחשה אחת, והחוקרים ממליצים לבצע סימולציות נוספות ומודלים שונים במורכבות זהה (Raible et al. 2007).

כמו כן, אזור אגן הים התיכון צפוי להחמרת עומס חום הקיץ ולעלייה בגלי חום. אלו יחמירו עוד יותר באזורים צפופי אוכלוסין עקב תופעת אי החום האורבאני (Ziv et al. 2005).

4.3 שיעורי ההתאיידות

ממחקרם של Menzel וחובי (2007), האופוטרנספירציה צפויה לעלות ב-2% באופן לא הומוגני לאורך אזור נהר הירדן. באזורי הדרום, כלומר הנגב, האופוטרנספירציה צפויה לרדת בעוד באזור הצפון ובמישור החוף האופוטרנספירציה צפויה לעלות. Oroud (2006) טוען כי עלייה של 2°C תעלה את שיעורי ההתאיידות בעמק הירדן ב-5-7%. Kitoh וחובי (2007) טוענים אף הם כי שיעורי ההתאיידות צפויים לעלות עד סוף המאה ה-21 על פי תרחיש A1B (ראה נספח 1). עלייה בשיעורי ההתאיידות תגדיל את צריכת המים (גולדרייך 2007).

4.4 מערכות טבעיות

עלייה בשיעורי ההתאיידות והפחתה בכמויות המשקעים ישפיעו באופן משמעותי על מערכות טבעיות. בנוסף לכך, צריכת המים של מדינות אגן הים התיכון הוכפלה במהלך המחצית השנייה של המאה ה-20 והיא צפויה לעלות בכ-50 מיליארד קוב מים עד שנת 2025 ולהגיע לכ-330 מיליארד קוב מים לשנה, כמות הגבוהה בהרבה מיכולת ההתחדשות הטבעית של מקורות המים.

שינויי האקלים יחריפו את הפער בין צריכת המים לזמינותם (Antipolis 2008). Milly וחובי (2005) צופים ירידה של עד 30% בזרימות במזרח התיכון עד 2050. עם זאת, במחקר זה נעשה שימוש במודלים ברזולוציה נמוכה, אשר מקשים על הבנת הטופוגרפיה של אזור חצי הסהר הפורה. לעומת זאת, המודל אשר נבחן במחקרם של Kitoh וחובי (2007) נעשה ברזולוציה גבוהה (20 ק"מ), עבור שתי סימולציות (תרחיש מתון הצופה התחממות של 1.6°C בטמפרטורה הממוצעת ותרחיש מחמיר הצופה התחממות בשיעור של 3.2°C). התחזית על פי מודל זה לסוף המאה ה-21, היא הפחתה משמעותית (29-73%) בשפיעה של נהר הפרת. למרות חוסר הוודאות הרב בחיזוי של אזור אגן הירדן, על פי התרחיש המתון ביותר צפויה הפחתה של 82% בשפיעה של נהר הירדן, ועל פי התרחיש המחמיר יותר צפויה העלמות כמעט מלאה של השפיעה לאורך השנה (98% הפחתה). עם זאת, מודל זה הינו בעייתי כיוון שהורץ לתקופות קצרות של 10 שנים בלבד. תקופת זמן כזו עשויה להיות חלק מתנודה ולא דווקא מצביעה על מגמה, אשר צריכה להיבחן על פני עשרות שנים (ד"ר ש. קריצ'אק-תקשורת אישית).

שינויי הטמפרטורה, הגורמים להתייבשות הקרקע ועקב כך לשינויים בנקבוביות הקרקע, צפויים להוביל לירידה ביכולת אגירת המים בקרקע. בנוסף, צפויה האצה בתהליכי מדבור, אשר מתרחשים כיום בעקבות שינויים בשימושי קרקע וניצול יתר של הקרקעות (Antipolis 2008). מינים יבשתיים וימיים מסוימים צפויים לנדוד צפונה ולאזורים גבוהים, וצפויה הכחדה של מרבית המינים הרגישים לאקלים, או של מינים פחות נידים, והופעת מינים האופייניים לאזורים חמים ויבשים יותר. בנוסף, צפויה עלייה בסיכון לשריפות יער ובמזיקים ליערות (Antipolis 2008).

4.5 בריאות הציבור

צפויות השלכות שליליות על בריאות האדם והחי, בעקבות העלייה בתדירות גלי חום והופעתן של מחלות טפיליות וזיהומיות, בפרט אלו המועברות על ידי נשאים שונים, באזורים אשר לא נחשפו להן עד כה (Antipolis 2008).

4.6 חקלאות ודיג

תפוקת החקלאות והדיג צפויה לרדת בעקבות השינויים בטמפרטורה, במשקעים, במצב הקרקע ובהתנהגות מיני בעלי חיים וצמחים. למשל, במרוקו עד שנת 2020, תפוקת יבול של מיני דגנים צפויה לרדת ב-10% בשנה רגילה וב-50% בשנה יבשה. כמו כן, בעקבות עליית הטמפרטורות וירידה בכמויות המשקעים, צפויה עלייה בדרישה להשקיה (Antipolis 2008). בעקבות השינויים הצפויים באוכלוסיות דגים, לטובת מינים ממקור סוב-טרופי (בעקבות הגירה של מינים או שינויים בשרשראות המזון), צפויות השלכות על איכות וכמות הדגים המסחריים (Antipolis 2008).

4.7 תיירות

האקלים הוא מרכיב חשוב בבחירה של יעדים תיירותיים. אגן הים התיכון הוא אחד היעדים האטרקטיביים לתיירות בינלאומית וקולט למעלה מ-30% מתנועת התיירות עולמית. ענף זה רגיש במיוחד לשינויי אקלים, בעיקר באזור הצפוני ומזרחי של האגן, שם צפויה עלייה בתדירות בצורות וגלי חום. בעקבות העלייה בטמפרטורות הקיץ ובגלי החום, עשויים יעדי התיירות באגן הים התיכון להפוך פחות אטרקטיביים מאזורים בעלי אקלים צפוני יותר. זאת בין השאר בעקבות פגיעה באתרי נופש הכוללים מים טבעיים, לרבות נחלים ואתרים מושלגים. אתרי תיירות באזורי שפלת החוף חשופים במיוחד, כתוצאה מהצפת קטעי חוף ועלייה בשכיחות סערות. ישנן הערכות לפיהן עלייה של 1°C עד שנת 2050 תפחית את מספר התיירים ב-10% לאורך החופים הדרומיים (Antipolis 2008).

4.8 אנרגיה ותשתיות

צפויה ירידה בפוטנציאל ייצור האנרגיה באמצעות מים (מתקנים הידרו-אלקטריים) ושל יכולת קירור של תחנות כוח, בעקבות העלייה בעקת המים באזור, יחד עם העלייה בתדירות של אירועי אקלים קיצוניים. 13% מכלל החשמל, המיוצר במדינות דרום ומזרח אגן הים התיכון, מסופק על ידי תחנות הידרו-אלקטריות והשאר מסופק על ידי תחנות כוח המופעלות בדלקים. בכמה מדינות נרשמה ירידה משמעותית בייצור החשמל, בעקבות ירידה בכמות המים בסכרים. העלייה בטמפרטורות מי הנחלים עשויה לגרום הפחתה משמעותית נוספת בייצור האנרגיה, כיוון שקיימת מגבלה לגובה טמפרטורת המים המשמשת לקירור תחנות כוח (Antipolis 2008). הדרישה לחשמל עבור ייצור ושינוע מים, מייצגת 5% (עבור צפון אגן הים התיכון) עד 10% (עבור דרום ומזרח אגן הים התיכון) מכלל הדרישה לחשמל. עד שנת 2025, ערך זה עשוי לעלות עד 20% בדרום ובמזרח האגן (Antipolis 2008). העלייה הצפויה במספר האירועים הקיצוניים תצריך הערכה מחדש או שינוי בניהול תשתיות, כגון תכנון סכרים לעמידה בזרימות חזקות יותר (Antipolis 2008).

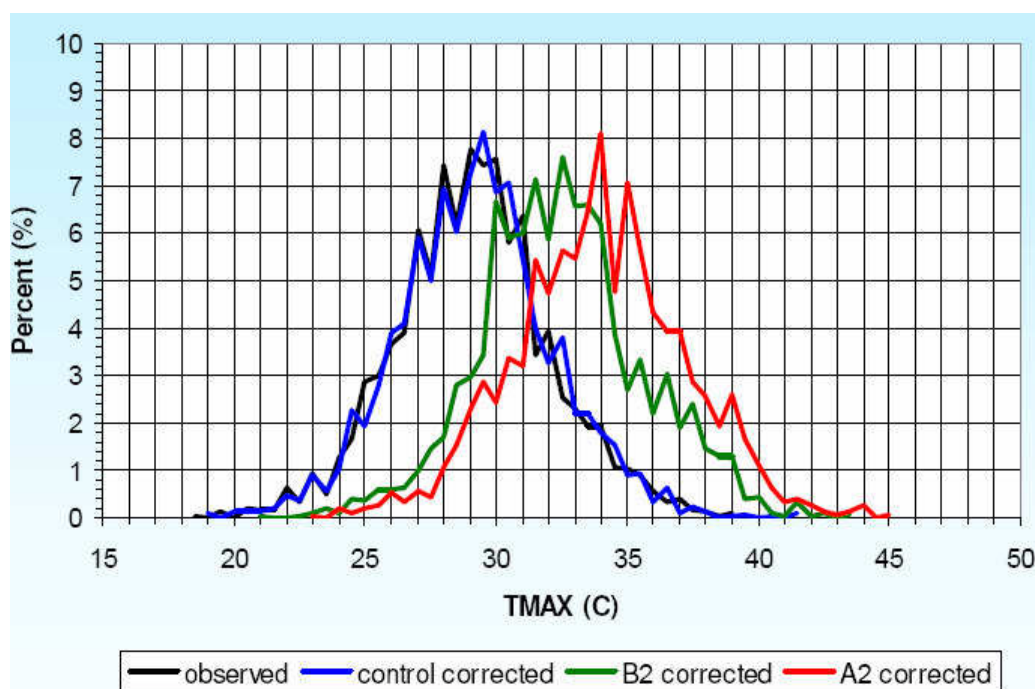
4.9 כלכלה

הנטל הכלכלי של שינויי האקלים בעתיד הקרוב, יהיה משמעותי בעיקר בדרום אגן הים התיכון, בעקבות מבנה הכלכלה של מדינות אלו וחשיפתן הגיאוגרפית לפגעי מזג האוויר. יגדל הפער בין הכנסותיהן של המדינות הצפוניות, בהן צפויות להיווצר הזדמנויות חדשות בעקבות עלייה של פחות מ- 2°C , לבין מדינות דרום אגן הים התיכון, בהן הנזקים יהיו כבדים יותר (Antipolis 2008). הפגיעה במקורות המים תשפיע על כל הסקטורים הכלכליים. מידת רגישותן של מדינות דרום אגן הים התיכון לשינויי האקלים, תשתנה בהתאם למידת חלקם של סקטורים תלויי אקלים בכלכלתן, כגון חקלאות, תיירות, תשתיות, אנרגיה ומערכות טבעיות. ללא ביצוע פעולות להערכות או התמודדות עם השינויים הצפויים, העלות תהיה משמעותית יותר עבור מדינות

התלויות בחקלאות (סוריה, מצרים, מרוקו וטוניסיה). התל"ג החקלאי יפחת בין 2%-ל-9% עד שנת 2050 במדינות אלו (Antipolis 2008).

5. שינויי האקלים הצפויים בישראל

עד שנת 2020 צפויה טמפרטורת המקסימום לעלות ב- 1.8°C , עבור תרחיש A1B (ראה נספח 1), בהשוואה לשנים 1960-1990, והטמפרטורה הממוצעת צפויה לעלות ב- 1.5°C . בנוסף, צפויה ירידה של 10% במשקעים עד שנת 2020 וירידה של 20% במשקעים עד שנת 2050 (פרופ' פ. אלפרט וד"ר ש. קריציאק-תקשורת אישית).
בשנים 2071-2100 על פי תרחישים A2 ו-B2 (ראה נספח 1) של ה-IPCC, הטמפרטורה צפויה לעלות ב- 5°C ו- 3.5°C בהתאמה, בהשוואה לשנים 1961-1990 (איור מס' 12) (Alpert et al. 2007).



איור מס' 12: תפוצת טמפרטורת המקסימום בהר כנען על פי תצפיות עבור 1961-1990 (שחור), וריצות מודל בהפרדה של 50 ק"מ: ריצת הביקורת (כחול) ותרחישים עתידיים לשנים 2071-2100 של ה-IPCC (B2 ירוק ו-A2 אדום). מקור: Alpert et al. 2007.

בנוסף, צפויה עלייה במספר האירועים הקיצוניים בישראל על פי שני התרחישים, בהשוואה לאקלים הנוכחי, יחד עם ירידה בכמויות הגשם העונתיות (Alpert et al. 2007). מהרצות המודל במחקרם של Alpert וחוב' (2007), נמצאו לעיתים הבדלים במספר אירועי הגשם הקיצוניים, הצפויים בין תחנות קרובות בתרחישים השונים, וככל שמצפינים קיימת מגמה של התרבות ימי הגשם הקיצוני. בתרחיש B2 צפויה התרכזות ימי הגשם הקיצוניים בתקופת הסתיו ותחילת החורף, בעוד בתרחיש A2 צפויים להתרכז ימי הגשם הקיצוני בינואר ובאביב (מרץ ומאי). ההבדלים בממוצע הגשם משנה לשנה, צפויים לגדול בהשוואה להיום, כלומר עלייה בשנים

גשומות מאוד לעומת שנות בצורת חריפה. דבר זה מצביע על נטייה לאקלים צחיח יותר בישראל, התואם את תחזיות ה-IPCC לשנת 2001 (Alpert et al. 2007).

5.1 פערי הידע בתחום חיזוי שינויי אקלים בישראל

- ישנה אי בהירות בנוגע להשלכות שינויי האקלים הגלובליים על ישראל, בעיקר בנושא משקעים. התחזיות הגלובליות צופות ירידה בכמויות המשקעים, אך ישנם גם תרחישים הצופים הפחתה של אחוזים בודדים, או תרחישים לפיהם לא צפוי שינוי. מחקרים שונים הראו עלייה בכמויות המשקעים בישראל בשנים האחרונות בניגוד לתחזיות.
- המודלים האקלימיים הגלובליים נותנים הערכות ברזולוציה גסה מדי, וכך לא מאפשרים לקבל את האפקט המדויק של השינויים בסקלה מקומית. למרות שהסימולציות מדגימות את המאפיינים העיקריים של האקלים המזרח תיכוני, כמה בעיות נותרו לא פתורות. ביניהן, היכולת של המערכות העכשוויות להפיק את העוצמה ותדירות התרחשות של טמפרטורה קיצונית, אירועי משקעים קיצוניים ואירועי רוח קיצוניים בצורה מספקת (Krichak et al. 2007).
- קבוצת מחקר באוניברסיטת תל-אביב עושה שימוש במודלים אזוריים (RegCM3, Regional Climate Model), להערכת שינויי האקלים הצפויים במזרח התיכון עבור השנים 2011-2040, לעומת השנים 1960-1990 (ממוצע של 30 שנה), על ידי פירוט ברמה גבוהה יותר (Downscaling) של תוצאות שתי סימולציות של המודל הגלובלי (Atmosphere-Ocean Global Climate Model, AOGCM) ברזולוציה של 150-300 ק"מ. נעשה ניסיון להביא לאופטימיזציה של תוצאות המודל האזורי, אך הרזולוציה שאומצה בניסוי כנראה שאינה מספיק רחבה להערכת תפוצת המשקעים (Krichak et al. 2007). כיום ישנה הסכמה, כי הרצה ברזולוציה של פחות מ-100 ק"מ (רזולוציה נמוכה) מאבדת פרטים רבים, כך שגם שימוש בנתונים אלו במודלים אזוריים לא יוכלו לשחזר את הפרטים שאבדו, וישראל כמדינה קטנה, מחייבת שימוש ברזולוציה גבוהה יותר. בנוסף, ישנה חשיבות לייצר אקלים באזור יחסית גדול מסביב לישראל, על מנת לייצר אקלים מקומי ותהליך זה הינו ארוך (ד"ר ש. קריצ'אק-תקשורת אישית). חסרים מחשבים חזקים ליישום מודלים אקלימיים על ישראל וקבוצות מחקר נוספות בתחום.
- ישנו צורך בבחינת השלכות שינויי האקלים על ישראל, תחת מגוון התרחישים העתידיים האפשריים על פי ה-IPCC, בעיקר השינויים הצפויים במגמות המשקעים. כיום נבחן הנושא על ידי קבוצות מחקר אקלימיות במדינות השונות, על מנת לקבוע על אלו תרחישים להמשיך לבחון את המודלים האזוריים (פרופ' פ. אלפרט וד"ר ש. קריצ'אק-תקשורת אישית).
- ניתוח הנתונים בישראל נעשה על פי מספר מועט של תחנות, כיוון שישנו קושי בהשגת מידע מתחנות מטאורולוגיות בישראל ויש צורך בתקציב גבוה (פרופ' פ. אלפרט-תקשורת אישית).

6. השלכות שינויי האקלים על ישראל

6.1 מקורות המים בישראל

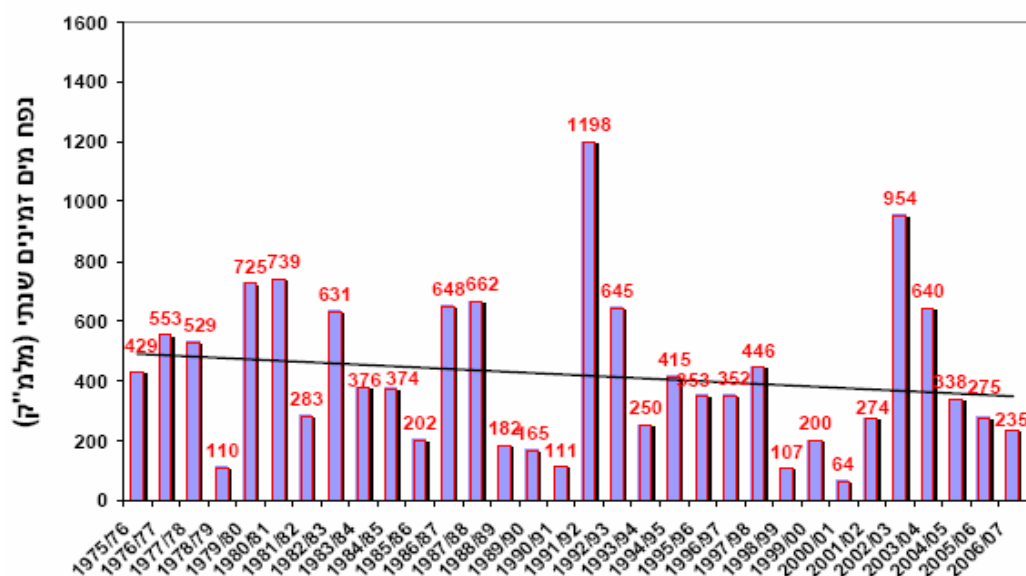
פוטנציאל המים בישראל בממוצע רב שנתי על פני 36 שנה, מוערך בכ-1555 מלמ"ק לשנה (ד"ר ג. ויינברגר-תקשורת אישית). פוטנציאל המים, ללא אזור אקוויפר ההר המזרחי, הנגב והערבה מוערך בכ-1400 מלמ"ק לשנה (מר י. ליבשיץ-תקשורת אישית). בין השנים קיימת תנודתיות גבוהה עם סטיית תקן של 477 מלמ"ק (רשות המים 2008). 650 מלמ"ק לשנה הם מהכנרת, 110 מלמ"ק לשנה מהגליל המערבי, 130 מלמ"ק מהאגנים המזרחיים, 320 מלמ"ק מאקוויפר ההר, 25 מלמ"ק מחוף הכרמל, 250 מלמ"ק מאקוויפר החוף ו-70 מלמ"ק מאגני הנגב והערבה (ד"ר ג. ויינברגר-תקשורת אישית). צריכת המים נחלקת ל-60% למגזר החקלאי, 35% לביתי ו-5% לתעשייתי (גבירצמן 2002). שיעור הגידול בצריכה בין 2006 ל-2007, וכנראה גם בין 2007 ל-2008, עומד על 4%, הגבוה משמעותית משיעור גידול האוכלוסייה (1.7%) (רשות המים 2008). צריכת המים לחקלאות מתאפיינת בתנודות חריפות בהתאם למצב מקורות המים והכרח בקיצוץ (גבירצמן 2002).

אקוויפר החוף - מאגר מי התהום המשתרע תחת מישור החוף, מרכס הכרמל בצפון ועד סיני ומרצועת עזה בדרום וממורדות ההר המרכזי במזרח ועד קו חוף הים התיכון במערב (Melloul and Collin 2006). האקוויפר זוהם מאז הקמת המדינה ואף קודם לכן כתוצאה מעיבוד חקלאי, פסולת ושפכים עירוניים, חומרים מסוכנים ושפכי תעשייה, דליפות דלקים ועוד. עם זאת, אין לאקוויפר זה תחליף, כיוון שהוא מאגר המים היחיד בעל הקיבולת המתאימה לאגירה רב שנתית (כ-2 מיליארד מ"ק), החיונית במציאות בה רצף שנים שחונות הוא חלק מהאקלים האזורי (גבירצמן 2002).

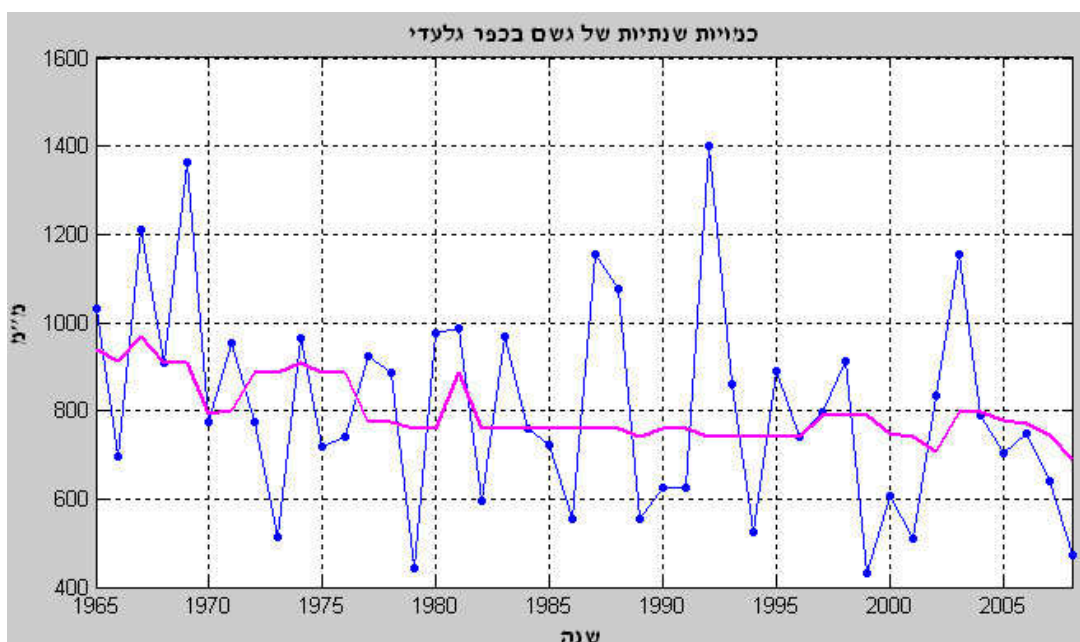
אקוויפר ההר - מאגר מי התהום המצוי תחת שדרת ההר המרכזית בישראל. איכות המי התהום באקוויפר ההר היא הטובה ביותר בהשוואה לשאר מקורות המים הטבעיים בישראל. אקוויפר זה יהווה בעתיד, ככל הנראה, מקור מים עיקרי לשימושים עירוניים (גבירצמן 2002).

הכנרת, אגן הירדן והירמוך - הכנרת מספקת כרבע מצריכת המים בישראל באיכות טובה עד בינונית. נפח המים הזמינים לכנרת (סך כל כניסות המים לכנרת מגשם ישיר על האגם, נחלים ומעיינות בניכוי התאידות) נמצא בירידה מתמדת בעשורים האחרונים כשהסיבות לכך אינן ברורות עדיין (גבעתי 2006) (איור מס' 13). על פי Rimmer (2008) קיימת הפחתה ממוצעת של כ-2 מלמ"ק לשנה, מ-550 מלמ"ק/שנה בשנות ה-50 של המאה ה-20 ל-400 מלמ"ק/שנה בממוצע בשנים האחרונות, ואילו Givati & Rosenfeld (2007) טוענים כי נפחי המים הזמינים לכנרת פחתו ב-143 מלמ"ק, מנפח שנתי של 492 מלמ"ק בשנת 1975/6 לנפח שנתי של 349

מלמ"ק כיום (איור מס' 14). צריכת המים באגן הכנרת בתקופה זו עלתה ב- 24 מלמ"ק בלבד (מ-117 מלמ"ק ל-141 מלמ"ק), בעיקר עבור המגזר הפרטי, חקלאות ובריכות דגים. עלייה זו בצריכה יכולה להסביר רק 17% מהירידה בנפחי המים הזמינים לכנרת (Givati & Rosenfeld, 2007). Steinberger & Gazit-Yaaru (1996) טוענים כי הירידה במפלס הכנרת החל משנות ה-70, נובעת מהירידה בכמויות המשקעים בצפון. גם על פי Givati and Rosenfeld (2007), החלק העיקרי של ההפחתה בנפחי המים הזמינים לכנרת, כ- 110 מלמ"ק (מתוך 119 מלמ"ק הפחתה לאחר הורדת נפחי המים המנוצלים לצריכה), המהווה הפחתה של 22% לאורך השנים (110 מתוך 492 מלמ"ק), נובע מירידה מתמשכת בגשמי החרמון וצפון רמת הגולן, אשר מהווים את מקור המים העיקרי של נהר הירדן והכנרת. ירידה זו מיוחסת במחקרם לעלייה בריכוזי החלקיקים הנפלטים לאטמוספירה במהלך המחצית השנייה של המאה ה-20 כתוצאה מזיהום (תהליך שפורט בסעיף 3.2).

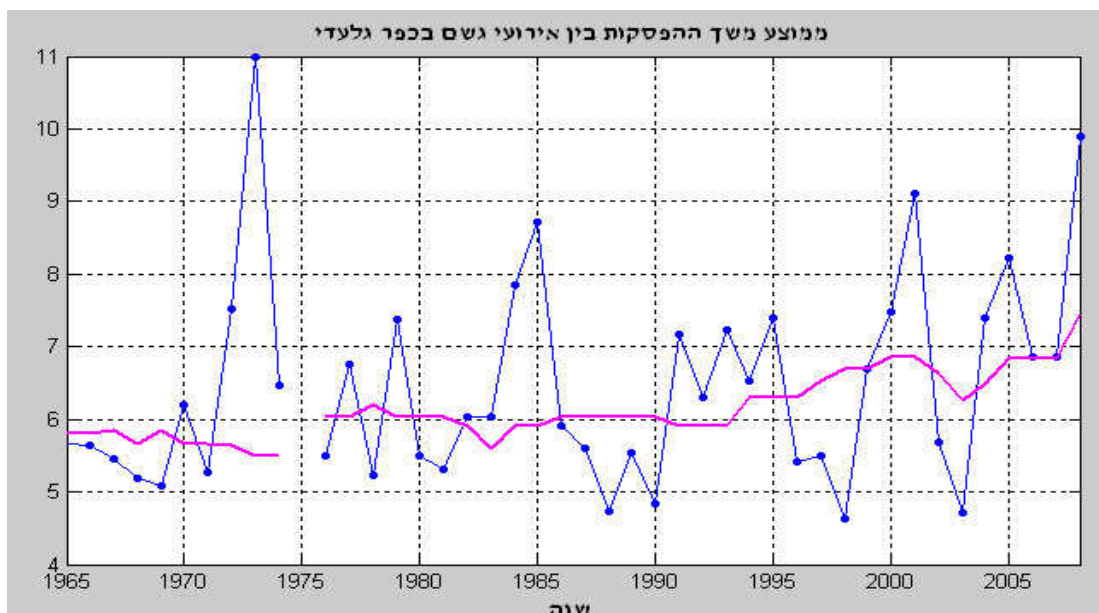


איור מס' 13: ירידה המתמדת בנפחי המים הזמינים לכנרת (סכום זרימות הנחלים ומעיינות, הגשם הישיר על פני הכנרת בניכוי ההתאידות ממנה) בין השנים 1975/6 ועד 2006/7. מקור: השירות ההידרולוגי 2007.



איור מס' 14: כמות גשם שנתית בכפר גלעדי. ניתן לראות ירידה בכמויות הגשמים השנתיות מתחילת שנות ה-80. מקור: חב' מקורות 2008.

בנוסף, נמצאה מגמת עלייה של כ-0.09 יום לשנה בממוצע משך ההפוגות בין אירועי גשם, החל מסוף שנות ה-60. מגמה זו מובהקת יותר החל מ-1986 (1.8 ימים לשנה) (איור מס' 15) (חב' מקורות 2008).



איור מס' 15: ממוצע זמן הפסקות בין אירועים בתחנת כפר גלעדי. מקור: חב' מקורות 2008.

בעקבות הירידה בנפח המים הזורמים לכנרת, החל משנות ה-80 חלה עלייה מתונה במליחות הכנרת. מליחות הכנרת (190-280 מ"ג כלור לליטר) גבוהה משמעותית מהמליחות של נהר הירדן ושל הנגר הזורם לכנרת (כ-30 מ"ג כלור לליטר), והיא נקבעת על ידי מאזן בין כניסת מים מתוקים מנחלי הגולן, הגליל המזרחי והירדן לבין כניסת מים מלוחים ממעינות מלוחים (Rimmer 2008).

שיטפונות ונגר עילי - ישנה הצטברות מים רבים על פני הקרקע שאינם מספיקים להתאדות, להיספג בקרקע או לחלחל למי התהום. נגר עילי נוצר לאחר סופות גשם בעלות עוצמה גבוהה ומוערך בכ-5% מכמות הגשמים בישראל. באירוע שיטפון המים מציפים את השטח שמעבר לגדות הנחלים. שיטפונות מתרחשים בארץ במשך כמה שעות ולפעמים במשך ימים מעטים בשנה, והאזורים המוצפים מצומצמים מאוד מבחינה גיאוגרפית. בשנים שחונות לא מתקיימת כל זרימה שיטפונית אל הים, בשנה ממוצעת נפח הנגר העילי מסתכם ב-3% מנפח המשקעים, ובשנים גשומות הוא 7% מהמשקעים (גבירצמן 2002). נפח המים הכולל, הזורם בנחלים המתנקזים לים בשנה ממוצעת, מסתכם ב-210 מלמ"ק. מערכת הירדן והכנרת היא מערכת הנגר העילי הגדולה ביותר בישראל, ובשנה ממוצעת זורמים בה יותר ממיליארד מ"ק (גבירצמן 2002).

משק המים: הבעיה הקשה ביותר לניהול משק המים היא התמודדות עם מקבצי שנים שחונות, שיוצרות גרעון מצטבר, שלא ניתן להתמודד איתו באמצעות האוגר הקיים. במהלך 16 השנים האחרונות (נכון לשנת 2008), ישנה ירידה משמעותית בממוצע כמויות ההעשרה הטבעית, שכנראה נובעת ממגמת ירידה מתמדת בכמויות המים באזור ואיננה אקראית (רשות המים 2008). היצע המים הטבעיים בממוצע רב שנתי לטווח השנים 1993-2008, באגני הניקוז של הכנרת והים התיכון ללא אזור אקוויפר ההר המזרחי, הנגב והערבה, מוערך בכ-1300 מלמ"ק לשנה ונמוך מהממוצע הרב שנתי ל-36 השנים האחרונות, שעמד על 1400 מלמ"ק (מר י. ליבשיץ-תקשורת אישית).

לא מיותר לציין, שבשנת 2008, קצב עליית מפלס הכנרת הינו הנמוך ביותר ב-10 השנים האחרונות, 35% מהממוצע הרב שנתי. סך המים שיגרעו מכלל האוגרים ב-2008 מסתכם ב-420 מלמ"ק, שישלימו גריעה של 940 מלמ"ק במהלך 4 שנים (רשות המים 2008).

משבר המים באזור הים התיכון מוביל למשברים פוליטיים קשים מפעם לפעם והוא חריף יותר באזור המזרח התיכון, גם בשל ניהול לקוי של משאבי המים וחוסר שיתוף הפעולה בין המדינות. מעבר לצריכת המים בישראל, מקורות המים בישראל נצרכים גם על ידי הרשות הפלסטינית (מעבר ל-4% בשנה), ירדן ובגבול הצפוני (ד"ר ג. ויינברגר-תקשורת אישית).

הסכם השלום עם ירדן, אשר נחתם בשנת 1994, כלל חלוקת מקורות המים. בשנים האחרונות מעבירה ישראל לירדן כ-55 מלמ"ש וההסכם כולל אף תוכניות פיתוח עתידיות לאספקה כוללת של 150 מלמ"ש לירדן (טבלה מס' 2) (גבירצמן 2002). עם סוריה אין לישראל כיום הסכם שלום,

אך במידה ויחתם הסכם עתידי בין המדינות, יש לקחת בחשבון כי ישראל צפויה לאבד כמות מים נוספת ממקורות הירדן והכנרת לטובת הסורים.

טבלה מס' 2: שימושי המים של ישראל וירדן על פי הסכם השלום שנחתם ב-1994

ישראל	ירדן	
קיצ' (15/05-15/10)	שאיבה של 12 מלמ"ק מנהרות הירמוך והירדן	קבלת היתרה מנהרות הירמוך והירדן
חורף (16/10-14/05)	שאיבה של 13 מלמ"ק מנהרות הירמוך והירדן. שאיבה פוטנציאלית של 20 מלמ"ק נוספים מהירמוך	קבלת היתרה מנהרות הירמוך והירדן קבלת 20 מלמ"ק מהירדן בקיץ
עד לתפעול מפעלי התפלה		קבלת 10 מלמ"ק מהירדן

מקור: גבירצמן 2002.

בשנים הבאות, מרכיב גדול מהצריכה העירונית הישראלית והפלסטינית יהיה ממי התפלה (Issar 2007). מאז שנת 1999 ועד 2008, הוקמו שני מתקני התפלה, המוסיפים 138 מלמ"ק בשנה למערכת המים, השווה כמעט לגידול בצריכה הביתית בתקופה זו (רשות המים 2008).

עד שנת 2020, צפויה אוכלוסיית ישראל לגדול עד 8.6 מיליון ישראלים. בו בזמן האוכלוסייה הפלשתינאית תכפיל את עצמה עד 5 מיליון נפש ורמת הצריכה שלהם תגדל. צריכת המים העירונית של כל האוכלוסייה המתגוררת בין הים התיכון לירדן תגדל ב-85% במשך 20 שנה (תוספת שנתית של 3.2% במוצא), מ-2300 מלמ"ש בשנת 2000 ל-3055 מלמ"ש ב-2020 (גבירצמן 2002). צריכת המים גבוהה מקצב ההתחדשות הטבעי של מקורות המים המצומצמים באזורנו, וישנה חשיבות לשמירה עליהם למען הדורות הבאים והן למקרה של רצף שנים שחונות (גבירצמן 2002).

6.1.1 השלכות שינויי אקלים על מקורות המים

המערכת ההידרולוגית משפיעה ומושפעת מתנאי האקלים. שינויים בטמפרטורה משפיעים על שיעורי האוטרנספירציה, מאפייני עננים, לחות הקרקע, עוצמת סופות, ירידת שלג והמסת שלג באזורים שונים. משקעים משפיעים על תזמון ועוצמת שיטפונות ובצורות, שינוי משטרי נגר עילי ושיעורי מילוי חוזר של מאגרי מים. בנוסף, משפיעים גם דפוסי צמחייה ולחות הקרקע. עלייה של 1-2°C וירידה של 10% במשקעים למשל, יכולים להוביל לירידה של 40-70% בזרימה ממוצעת שנתית של נהרות, אשר תשפיע על חקלאות, אספקת מים ואספקת אנרגיה התלויה במים (Ragab & Prudhomme 2002). אזור המזרח התיכון הוא אחד האזורים העניים ביותר מבחינת משאבי מים, הן גלובלית והן מבחינת כמות המים לנפש. באזורים צחיחים, לשונות הבין שנתית והעונתית

באספקת המים יש השלכות רחבות על זמינות המים ואיכותם. לשונות זו שלוש השלכות חשובות על ניהול משק המים: הצורך בהערכה נכונה של עלויות המים, הצורך במאגרים נרחבים לזרימות עונתיות ובין שנתיות, למרות האובדן הרב בשל התאיידות ותכנון הממתן השפעת בצורות (Ragab & Prudhomme 2002).

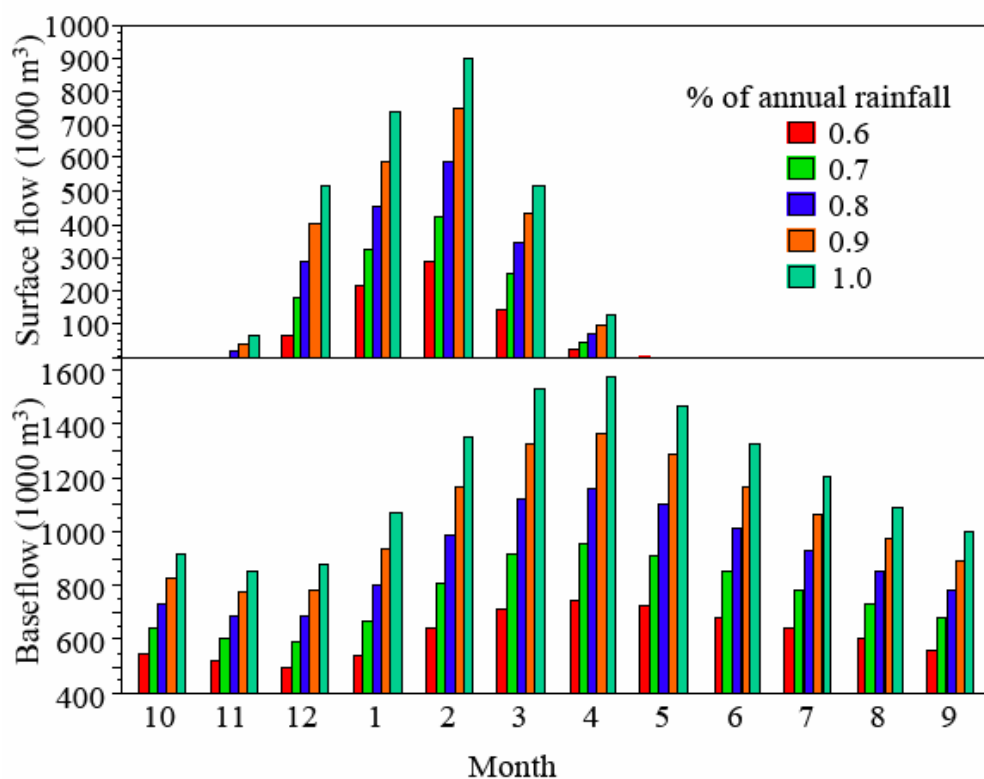
מי תהום: באופן כללי, ירידה בנפח המשקעים תוביל להקטנת המילוי החוזר, אך קשה לתת הערכה כמה מהגשם שיורד מגיע למי התהום, כיוון שהקשר שבין קצב ההרטבה לתכולת הרטיבות אינו ליניארי, ומה שדולף מהשכבה העליונה של הקרקע מטה למי התהום תלוי בהתאיידות ובצריכת המים על ידי הצומח והאדם, לפני החלחול לקרקע. לשינויי האקלים עשויות להיות מגוון השפעות, כגון שינוי במגוון הצמחייה, המכסה את הקרקע ומשנה את יכולת ההעשרה. לכן יש להעריך את כלל מרכיבי המאזן המשפיעים על העשרת מי התהום, ולא רק את השינוי בכמות או פיזור המשקעים (ד"ר א. מורין, פרופ' י. שיינברג, ד"ר ש. אסולין-תקשורת אישית). עלייה באירועי קיצון, שתוביל לכמויות גבוהות של משקעים בפרקי זמן קצרים, תוביל לעלייה בשיטפונות ובסחף ולהפחתה בחלחול (ד"ר א. מורין, פרופ' י. שיינברג-תקשורת אישית).

אקוויפר החוף- גידול האוכלוסייה והעיור במישור החוף, מונעים חידור של מים למי התהום ומגדילים את הנגר (בארי וחובי 2005). עלייה בעוצמת הגשמים עשויה להוביל להפחתה נוספת בהעשרה, למרות שמים עשויים לחלחל באזורים אחרים (פרופ' י. שיינברג-תקשורת אישית). נזק נוסף לאקוויפר החוף נובע מעלייה פוטנציאלית של מפלס הים התיכון (הרחבה בנושא בסעיף 6.2.1.1).

אקוויפר ההר- באגני נחלי תנינים, איילון ושורק נוצרים גלי שיטפונות מדי שנה. הוקמה שורת מאגרים שמטרתם לתפוס ולנצל את מי שיטפונות אלו. צפוי כי עלייה בעוצמת הגשמים תגביר את גלי השיטפון, אף מעבר ליכולת הניצול והתפיסה של המאגרים. מים אלו עשויים להטיב עם הנחלים כמערכות אקולוגיות, אך יאבדו למשק המים. על פי וייס וגבירצמן (2008), מקדם המילוי (היחס בין גשם לכמות המים המחלחלת לאקוויפר) באקוויפר ירת"ן (ירקון-תנינים, האגן המערבי של אקוויפר ההר), מוערך ב-25-35% בשנים ממוצעות ונע בטווח שבין 20-60% בשנים קיצוניות (שחונות וברוכות במיוחד). כלומר, כמות מופחתת של משקעים מובילה להעשרה, הנמוכה ב-30%. העשרת האקוויפר תהיה נמוכה עוד יותר עם הירידה בכמויות המשקעים.

כנרת, אגן הירדן והירמוך - עלייה בעוצמות הגשמים עשויה להוביל להגדלת כמויות המים שנכנסים לכנרת (פרופ' י. שיינברג-תקשורת אישית). שינויים בתפוצת המשקעים ועלייה בהתאיידות יגרמו לתפוצה שונה במרחב של מי הנגר בחורף ויפגעו במילוי החוזר של מי התהום ובזרימות האביב, הממלאות את מאגרי המים השונים. אלה ישפיעו על זמינות המים באגן העליון של נהר הירדן ועל מליחות הכנרת (רימר 2008).

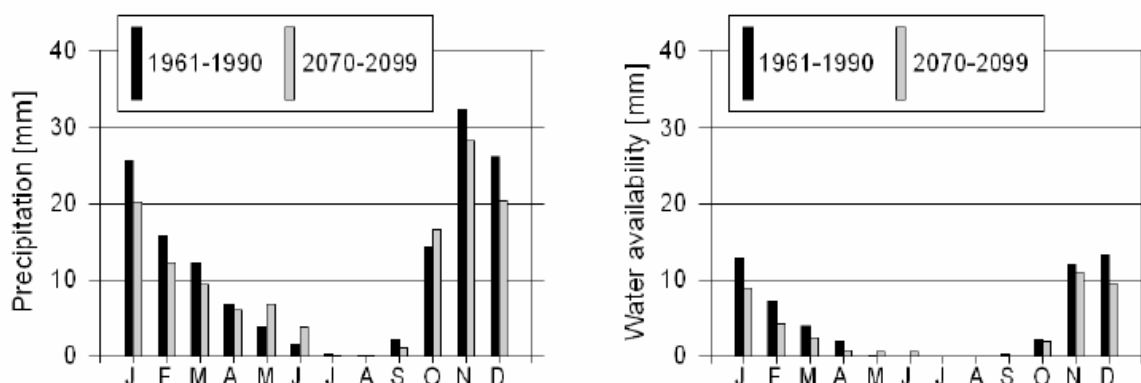
Rimmer (2008) בחן באמצעות מודל נגר-משקעים (HYMKE, Hydrological Model for Karst Environment) השלכות של ירידה של 20% בכמויות הגשמים היומיות ועלייה של 20% בהתאידות באזור אגן נהר הירדן העליון. על פי תרחיש זה צפויה הפחתה קבועה של 300 אלף מ"ק מים ליום במעיינות דן, השווה ל-110 מיליון מ"ק שנתי, כמעט 43% מהמילוי השנתי של המעיינות. נבחן תרחיש נוסף של זרימות חודשיות בנהר הירדן, באמצעות מודל זה, בהפרדה לזרימות בסיס ועל פני השטח, תחת 100%, 90%, 80%, 70% ו-60% מכמויות המשקעים השנתיות מעל הר החרמון. התוצאה של תרחישים אלו היא הפחתה רבה יותר באחוז הזרימות בפני השטח (האחראים למילוי הכנרת בחורף), מאשר באחוז ההפחתה במשקעים (איור מס' 16) (Rimmer 2008).



איור מס' 16: ממוצע זרימות בסיס ועל פני השטח באגן הירדן כפי שחושבו על ידי מודל HYMKE עבור חמישה תרחישים שונים להפחתה בכמות הגשמים באחוזים (60, 70, 80, 90 ו-100) בהשוואה לתנאים העכשוויים. מקור: Rimmer 2008.

במעבדה לחקר הכנרת נבדק כיצד המשך ירידה בכמויות המים הזמינים לכנרת תשפיע על מליחות עתידית של האגם. נמצא כי המשך של ירידה ליניארית בקצב הנוכחי בכמויות המים השוטפים את הכנרת, תגרום לעליית מליחות של עד 470 מג"כל (מיליגרם כלור) עד שנת 2040 (רימר 2008).

במסגרת מחקרם של Menzel וחובי (2007) עבור פרויקט GLOWA- נהר הירדן, נעשו הערכות ראשוניות לזמינות משאבי המים באזור הצחיח למחצה של אזור נהר הירדן, עבור השנים 1961-2070, בהשוואה לשנים 1961-1990, על פי תרחיש B2 (ראה נספח 1) של ה-IPCC. אזור זה כולל 90000 ק"מ, מצפון אגן הירדן עד למפרץ עקבה בדרום ומאזור חוף הים התיכון ועד מישור הירדן. על פי המחקר האמור, צפויה ירידה של 11% בסך ממוצע כמויות המשקעים באזור (ממוצע המשקעים העונתי צפוי לרדת מ-141 מ"מ במהלך השנים 1961-1990, ל-125 מ"מ בשנים 2070-2099), אשר תוביל לירידה של 25% בזמינות המים, כאשר ישנם אזורים בהם זמינות המים תרד אף יותר (איור מס' 17). ירידה זו בזמינות המים צפויה בעשורים הקרובים. באזור הנגב קיים מחסור במים כבר בתנאים האקלימיים העכשוויים, ולכן המשך הירידה הצפויה במשקעים אינו צפוי להחמיר את זמינות המים לאזור. עם זאת, באזור הצפוני ובמישור החוף, ירידה בכמות המשקעים צפויה להפחית את זמינות המים. על מנת לשמר חקלאות בהיקפה הנוכחי, צפוי כי הדרישה לשימוש בהשקיה תעלה ב-22%. השוני הגדול שבין הירידה הצפויה בכמויות המשקעים, לעומת הירידה הצפויה בזמינות המים, מראה על חשיבות תהליכי ההתאידות באזור. יש לציין כי המודל אינו כולל בשלב זה שיטות להתמודדות עם מחסור במים, כגון התפלה, לכידת מי גשמים ושימוש חוזר במים מושבים (Menzel et al. 2007).



איור מס' 17: סך ממוצע כמויות המשקעים החודשית וזמינות המים החודשית באגן הירדן בתקופה העתידית 2070-2099 (על פי תרחיש B2 של ה-IPCC) לעומת השנים 1961-1990. מקור: Menzel et al. 2007.

שיטפונות: העלייה בשכיחות אירועי שיטפונות בעלי נפח מים גדול, הנצפית בשנים האחרונות ועשויה לנבוע מבעיית ההתחממות הגלובלית, יוצרת עומסים על מערכות הניקוז הטבעיות. שיטפונות גדולים בעלי היקף הצפה ועומק נרחבים, מסבים נזקים כבדים לסביבה האקולוגית, לרכוש, לפעילות הכלכלית של המשק ולחיי אדם (נתניהו 2007). מניתוח עלות תועלת שנעשתה לשיטפונות באגן איילון (הערכות המיוחסות למחירי שנת 1997), נאמדו נזקים באירועי גשם בהסתברות של 1 ל-50 שנה, ב-89 מיליון ₪, ובאירועי גשם בהסתברות של 1 ל-100 שנה, ב-338

מיליון ₪ (תכנון מים לישראל ואחרים 1997). הנזק הישיר משיטפונות חורף 1991/92 הוערך ביותר מ-200 מיליון ₪. נוסף על כך, נגרמו נזקים עקיפים בשל חסימת כבישים, אובדן ימי עבודה ואובדן הכנסות, שנאמדו בעשרות מיליוני שקלים (ענבר ופורת 2007). מגמת הקצנה בגשמים והעדויות לשינוי והחרפה באירועי קיצון של משקעים, יובילו לעלייה בתדירות ובחומרת שיטפונות ואיתם לנזקים כבדים לרכוש ולאדם. התועלות מצמצום נזקים אלו כוללות מניעת מפגעים אקולוגיים (סחף קרקע, הרס וסכנת הכחדה של החי והצומח), מניעת אובדן תוצרת חקלאית, מניעת נזק לרכוש פרטי וציבורי (מבנים ציבוריים, כבישים), מניעת שיבושים בפעילות הכלכלית ואובדן הכנסות לפרט, למשק ולקופת המדינה, מניעת פגיעה ואובדן של חיי אדם, שיפור איכות וכמות המים של משאבי המים הלאומיים ושיפור משאבי הקרקע הלאומיים (נתניהו 2007).

עבור אגן הים התיכון, דרום אפריקה והסהל, העלייה בטמפרטורות פחות משמעותית משינויים הצפויים בכמויות המשקעים, באופיטרנספירציה, בנגר עילי ובלחות הקרקע, אשר הינם פקטורים קריטיים לניהול ותכנון משק המים. הירידה במשקעים, בעיקר במדינות בהן ניצול מקורות המים הוא רב, תגרום למשברי מים לאומיים, עם המשך הירידה במפלסי מאגרי המים, האגנים והנהרות. גידול האוכלוסין ובצורות אשר התרחשו לאחרונה, מעמידים את מקורות המים תחת לחץ ומצריכים גישות חדשות בתכנון ובניהול משק המים, לשם הימנעות מקונפליקטים ומהרס סביבתי (Ragab & Prudhomme 2002).

השלכות כלליות נוספות של שינויי האקלים על מקורות המים ניתן לראות בסעיף 1.5.3.

6.1.2 פערי הידע בתחום שינויי האקלים ומקורות המים

- כיום (יולי 2008) אין תוצאות מחקרים או מאמרים, שבחנו את הקשר בין העשרת אקוויפרים ומאגרים לבין עוצמות ופיזור משקעים (ד"ר א. מורין, ד"ר ש. אסולין, ד"ר א. סימון, ד"ר א. מרכדו, פרופ' ג. דגן- תקשורת אישית).
- בשנת 2001 הוגש דו"ח לנציבות המים על ידי ד"ר עמוס ביין וד"ר אבי בורג, לקראת הצבת מודל הידרוגיאולוגי תלת מימדי כמותי לאקוויפר ירת"ן. מהדו"ח עלה כי לא קיים ניתוח הידרומטאורולוגי מלא של האקוויפר, המאפשר לעמוד על היחסים ההדדיים שבין פיזור וכמות המשקעים במרחב ובזמן, לבין הספיקות במעיינות העיקרים והעומדים ההידרולוגיים במרחב האגן, מה שמונע כימות המילוי החוזר (ביין ובורג 2001).
- קבוצת מחקר מהאוניברסיטה העברית, עוסקת כיום בפיתוח מודל אופרטיבי לאקוויפר ירקון-תנינים (ירת"ן), האגן המערבי של אקוויפר ההר והעשיר ביותר במי תהום) עבור השירות ההידרולוגי, שיכלול מודל הידרומטאורולוגי, המחשב מילוי חוזר עבור כל חודש, בהתחשב במאפיינים גיאוגרפיים ובפרוס הגשם בזמן ובמרחב. המודל יאפשר לבחון תרחישים של אירועי קיצון או הפחתה בכמויות המשקעים, בתלות בפיזור המשקעים וכו'. תוצאות המודל יתקבלו ב-2009 (שפר וחובי 2007). יחד עם זאת, יש לקחת בחשבון כי תהליך החידור וההרטבה הוא רגעי, ואילו מודלים מתייחסים לממוצע יומי או חודשי.

מודל לא יכול לשחזר סופות, שבהן יש חידור או הרטבה גדולים, אלא מנבא עלייה ממוצעת או ערכי קיצון, לפיהם קשה יותר להעריך חידור וכך גם נגר (ד"ר ש. אסולין-תקשורת אישית).

- המודל המשמש כיום את השירות ההידרולוגי להערכת נפחי מים זמינים בכנרת, כפונקציה של כמויות המשקעים באגן היקוות הכנרת והנגר הצפוי להתקבל באירוע גשם נתון, אינו בוחן השתנות תנאים באגן ההיקוות, כגון שימושי קרקע והטיות מים (גבעתי 2006). מכיוון שמודל זה משמש לצורך קבלת החלטות נציב המים בתפעול משק המים, ובנוסף משמש לבחינת תרחישים עתידיים, יש חשיבות בשקלול שינויים אלה. על מנת להעריך את זמינות המים העתידית באגן נהר הירדן העליון, תחת תרחישי זמן שונים, נדרש מודל נגר-משקעים. עד היום היה קושי בחיזוי בו זמנית של הזרימות בשלושת מקורות המים העיקריים לאגן נהר הירדן העליון, בגלל אופיו הקרסטי של האזור (Rimmer 2008). מודל HYMKE (Hydrological Model for Karst Environment), המוצע על ידי Rimmer (2008), בוחן משקעים, תהליכי התאיידות, זרימות בפני השטח וחלחול לשכבות עמוקות יותר. ניתן לפתח את המודל לחיזוי זרימות עתידיות לטווח הארוך, בהינתן כמויות המשקעים ורמות ההתאיידות הצפויות. נטען (ד"ר א. רימר-תקשורת אישית), כי השלכות שינויי האקלים בישראל אינן ברורות לגמרי על פי המחקרים כיום וקשה להסכים עם קביעתם. לכן, למרות שהמודל קיים, ישנה בעיה להריץ אותו על סמך הנתונים שקיימים כיום. לאחרונה התקבלו במעבדה לחקר הכנרת הערכות מעודכנות לתחזיות שינויי האקלים בישראל (על פי הרצות המודלים מקבוצת המחקר באוניברסיטת ת"א). תחזיות אלו טרם הוטמעו במודל.
- החל מינואר 2007, נערך מחקר בשיתוף השירות ההידרולוגי וחוקרי אגן ההיקוות של "מקורות", הבוחן האם חלו שינויים במכלול הגורמים המשפיעים על הנגר באזורים שונים בארץ. תוצאות צפויות ב-2008 (ד"ר ד. ברגר-תקשורת אישית).
- חקירת אירועי שיטפונות החלה רק בשנת 1987 (מר ש. ארבל-תקשורת אישית), ולכן קשה לקבוע אם ישנה עלייה או ירידה במספר השיטפונות כיום. השונות הבין שנתית הגדולה של המשקעים בישראל, מקשה לתת אומדן לאירוע גשם בסבירות של 1 ל-100 לשם תכנון תשתיות. יצוין כי המחיר הכלכלי לתכנון תשתיות, על פי סבירות זו, הינו גבוה מאוד ועשוי להיות בלתי אפשרי (מר ש. ארבל-תקשורת אישית).
- חקירת אירועים מיוחדים, סקר קרקעות ונתוני סחף קרקעות לא מרוכזים בבסיס נתונים ואינם נגישים לכל, לשם ניתוח המידע. בנוסף, נתוני הגשם אינם זמינים לכל (מר ש. ארבל-תקשורת אישית).
- כיום אין מחקר או מודלים שקושרים נפח גאות, כמות גשם, או פריסת הגשם והשפעתם על נפח נגר יחסית לגאות. לא קיימת בישראל עבודה מקיפה הבוחנת סבירות של אירועי גשם חריגים, המתקיימים אחת ל-50 או ל-100 שנה והשלכותיהם על ספיקות נפחים גלי גאות. כמו כן, לא קיימת יחידה העוסקת בכך. המודלים המשמשים לחישוב גלי הגאות הצפויים הם סטטיסטיים, המבוססים על השערות ואומדנים. עבור ניקוז, חשובות לא רק ספיקות, אלא גלי גאות והנפחים (צורת ההידרוגרף). כלומר, מה הנזק

הנגרם כאשר הגאות נמשכת מעל זמן מסוים, כך שהמים מתפשטים לאזורים מסביב. מודלים אלו זקוקים פחות לתחזיות אקלימיות, שיספקו מה צפוי להיות ממוצע שנתי ויותר לסבירות לסופות קיצוניות ותפרוסת משקעים בזמן הסופות, דבר שלא קיים כיום. על מנת לספק את הנתונים המתאימים, יש צורך בעבודה משותפת של אסטרו-פיזיקאי (עוסק באטמוספירה) והידרולוג, על מנת שהמודלים האקלימיים יכללו את הנתונים הנחוצים להידרולוג (מר ש. ארבל-תקשורת אישית). בתחנה לחקר הסחף במשרד החקלאות עוסקים בכל הקשור בשימור מים וקרקע. בתחנה השתמשו בעבר בעיקר במודל לספיקות שיא (תחל"ס), שהינו מודל אמפירי, המאפשר אומדן ספיקות שיא בהסתברויות שונות, לצורך תכנון מערכות ניקוז והגנה בפני שיטפונות. בכלי זה התאפשר לחזות שינוי בספיקות, כתוצאה משינוי בעוצמות הגשם ויצירת מפה לקביעת עוצמות ספיקה בכל הארץ. עם זאת, בהרצות הכיול התקבלו ספיקות קטנות מדי ובנוסף, זהו אינו מודל פיזיקלי אלא סטטיסטי. מודל מעודכן לעוצמות גשם, ספיקות שיא והשוואה בין עוצמות גשם, יהיה מוכן ב-2009, אך יש לזכור שההתייחסות היא לספיקות שיא בלבד (חיזוי עוצמות שיא) (מר ש. ארבל-תקשורת אישית).

- ברשות המים לא קיימים מחקרים או עבודות, שבחנו את השלכות שינויי האקלים על מקורות המים. הרשות פועלת כיום במסגרת תכנונית לטווח הבינוני (תוכנית אב מעבר 2002-2010). בעדכונים שנעשו לתוכנית, נבחן תרחיש לפיו שינויים אקלימיים יובילו לירידה בהיקף של 10% - 20% בזמינות המים (135-270 מלמ"ק/שנה). לבסוף נקבעה הערכה שמרנית, לפיה יגרעו 10% בלבד מהיצע המים, ערך הכולל מגוון תרחישים נוספים מעבר לשינויי אקלים, כגון הרעה באיכות המים או הקטנת זמינות המים, כתוצאה מצריכת מים ברשות הפלשתינית או בגבולות הצפוניים. כיום רשות המים יוזמת תוכנית אב, שתכלול את נושא השלכות שינויי האקלים על מקורות המים, אך תוכנית זו תצא לפועל רק בעוד מספר שנים (מר מ. זיידה-תקשורת אישית). בסוף ינואר 2008, מונה צוות המשותף לרשות המים, משרד הבריאות, משרד האוצר וחברת מקורות, אשר יגבש במידית תוכנית פעולה לצמצום הפער בין הביקוש להיצע של המים השפירים עבור השנים 2008-2010, הוספת גמישות תפעולית לניצול מיטבי של האוגר ואפשרות ויסות ההפקה בין האגנים השונים. המלצות הצוות יבוצעו לקראת שנת 2009 (רשות המים 2008).

6.1.3 המלצות למחקר בתחום המים

- השלכות הפחתה בכמויות המשקעים, שינוי בתפרוסת המשקעים, עלייה בשיעורי ההתאידות ואופוטנספירציה ושינוי במגמות הטמפרטורות על מקורות המים השונים בישראל, על זמינות המים להשקיה ודרכים לפתרון.
- הערכת ההשפעה של ריבוי עקות, כגון שינויים במליחות, בזרימות ועוד על "בריאות" גופי המים.

- הערכת נפחי המים הזמינים לכנרת, לפי תרחישי אקלים עתידיים שונים, בשילוב עם שימושי קרקע, ניצול מים במעלה אגן הכנרת וגורמים נוספים, והשלכותיהם על אספקת המים, על התיירות בכנרת ועל המערכת האקולוגית.
- שינויים ביחסי נגר: חלחול: העשרה של מי תהום והשפעתם על מקורות המים בישראל. מודלים אשר יאפשרו לבחון את הקשר שבין כמויות המשקעים ופריסת המשקעים והשפעתם על נפחי נגר. מתן תחזיות לסבירות של סופות קיצוניות ופריסת המשקעים בזמן סופות, אשר יאפשרו הערכות החידור והעשרת מי התהום בזמן אירועים אלו.
- חיזוי של גלי גאות ונפחי זרימה על פי כמויות המשקעים הצפויות.
- השלכות התייבשות צמחייה על העשרת מקורות המים (עקב ירידה בכיסוי קרקע ובצריכת מים מעל פני הקרקע).
- הערכת כמות האובדן של מי תהום באקוויפר החוף, על פי תרחישי עליית מפלס שונים ובשילוב עם תהליכי זיהום האקוויפר.
- שיטפונות בעוצמה גבוהה והשלכותיהם על מקורות המים (אובדן מים), סחף קרקעות, הרס צמחייה ויבולים, נזקים לתשתיות ומקדמי ניקוז (ספיקות, נפחים וגלי גאות).
- שינויים בשימושי קרקע והשפעתם על סחף ונגר עילי (מר ש. ארבל- תקשורת אישית).
- עליית טמפרטורת המים של נחלים, מאגרים והכנרת והשפעתה על פירוק מזהמים ותהליכים כימיים נוספים במים, העשויים להשפיע על איכות וכימיה של המים.
- שינויים בשימושים המותרים באגם הכנרת, בהתחשב בשינויי האקלים והשפעתם על הביטחון האקוויטטי.
- שינויים ברמות הנוטריינטים בגופי המים, בעקבות העלייה בעוצמת זרימות.
- התיישנות תשתיות ויכולת התמודדותן עם עלייה בעוצמת שיטפונות והצפות.
- שינוי בטווח התפוצה של פתוגנים והצורך בקביעה מחודשת של אינדיקטורים לפתוגנים.

6.2 הים התיכון

באזור מזרח הים התיכון, צפויה עליית מפלס הים של 0.5-1 מטר, עד שנת 2100 (רוזן 2005). רוזן (2008) הסיק כי בחוף הישראלי צפויה עלייה של כ-0.5 מטר עד לשנת 2050 ושל כ-1 מטר עד שנת 2100. עלייה זו תאיים על המשאבים הטבעיים באזור (Melloul & Collin 2006). בחברה הממשלתית לחקר ימים ואגמים לישראל (חיא"ל) מנטרים את מפלס הים התיכון בישראל, החל מ-1992.

Melloul & Collin (2006) טוענים כי עלייה בהתאיידות, בעקבות עליית הטמפרטורות, עשויה להוות גורם שימתן את עליית פני הים, אך יש הטוענים כי מסקנה זו בלתי מבוססת והינה בגדר השערה בלבד (אינג' ד.ס. רוזן- תקשורת אישית). העלייה בגובה ועוצמת הגלים החודרים ליבשה, בעקבות העלייה בעוצמת אירועי מזג אוויר קיצוניים, תגביר את חדירת מי הים לפנים היבשת באזורים נמוכים ותגרום נזקים למקורות המים באזור ולמשאבי הטבע החופיים (Melloul and Collin 2006). האדם מנצל ניצול יתר של אקוויפרים, דבר שיכול להוביל לשקיעה לאורך זמן של מסות יבשתיות באזורים מסוימים ולעלייה באזורים אחרים. בניית סכרים אף היא מורידה את כמות המים והסדימנטים המגיעים מהיבשת לים. הפחתת הסדימנטציה באזור הדלתא של הנילוס, עלולה לגרום לארוזיה חמורה של אזור החוף ועקב כך לנסיגת קו החוף ולעליית מפלס הים (Melloul and Collin 2006, רוזן 2004).

השלכות כלליות של שינויי האקלים על הימים והאוקיינוסים ניתן לראות בסעיף 1.5.2.

6.2.1 השלכות עליית מפלס הים התיכון

לעליית מפלס הים התיכון השלכות רבות, אך כיום אין מודל המציג ברמת דיוק מספקת את ההשלכות הצפויות מעליית המפלס על קו החוף, כולל ההשלכות האפשריות על אקוויפרים, אתרים ארכיאולוגיים, בתי גידול ועוד (Melloul and Collin 2006). עם זאת, ישנן מספר השלכות הצפויות במקרה של עליית המפלס : עליית מפלס של 10 ס"מ (בהנחה כי ישנו שיפוע של 1-5% בחוף הישראלי), תגרום לנסיגת קו החוף ב-2-10 מטר, דבר שיוביל לאובדן של 0.4-2 קמ"ר כל 10 שנים (Klein et al. 2004). עלייה של מטר אחד במפלס, תציף חגורה שרוחבה 50-100 מטר בחופים חוליים, שהם יותר ממחצית אורכו של החוף בישראל. רוחב חגורה זו היא כרוחבה המשוער של הרצועה שהוצפה ב-4000 השנים האחרונות. יהושע (2003) העריך כי בעקבות עלייה זו (אשר תתרחש עד לשנת 2060 לפי התרחיש שנבחן במחקרו), יאבדו כ-8.4 קמ"ר חוף, המוערכים בנזק של כ-4-5 מיליארד ₪.

עלייה של מטר אחד במפלס תגדיל את הקף מפרצי החופים הסלעיים ותביא את קו הסערות כ-100 מטר בממוצע מזרחה (לכיוון היבשה) בחופים חוליים ועד 60 מטר מזרחה בחופים, המגדדים את רכס ד"ר. באותם חופים ינדוד קו החוף מזרחה כמה עשרות מטרים, ובמקומות מסוימים הוא עלול להגיע ללמעלה מ-100 מטר, בתלות במידת עליית המפלס, בחוזק רכסי

הכורכר והמצוקים לאורך החוף ובשינוי משטר הגלים ושכיחות סערות חזקות (רוזן 2008).

נדידת קו החוף מזרחה תגרום בנוסף לחדירת מי הים במוצאי נחלים (רוזן 2004).

נדידת קו החוף מושפעת מעבר לשינויים במפלס הים, גם מרום היבשה ומהיחסים שבינו לבין מפלס הים, וכמו כן ממאזן החול, המושפע בחופים המיושבים, גם מהתערבות האדם בתהליכים אלו (בנייה, כריית חול, חפירה מרצועת החוף ומקרקעית הים ושינוע מלאכותי של חול בים וביבשה) (אלמגור 2002).

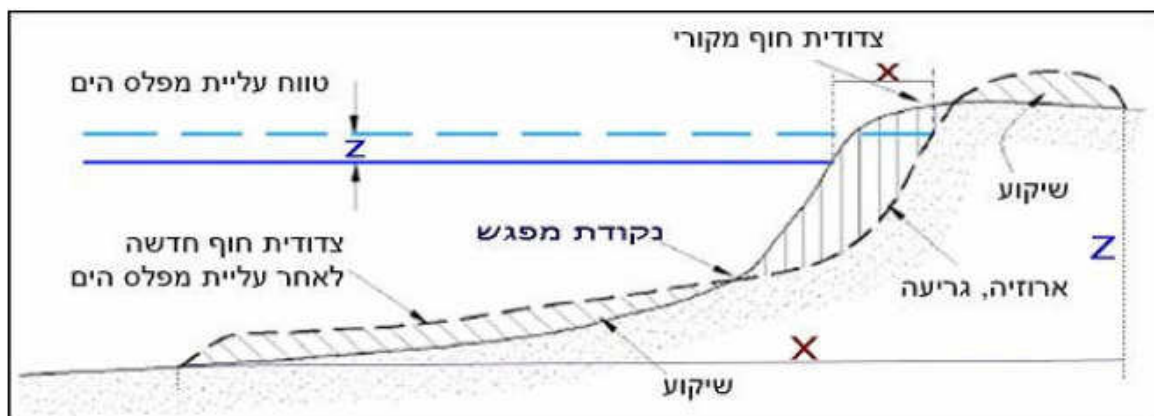
עליית מפלס הים תגרום להגברת הנסיגה של חופי הדלתא והגדלת כמות החול, המוסע לחופי ישראל, בתנאי שלא ישתנה במיוחד משטר הרוחות והגלים מבחינת כיווני הזרימה (רוזן 2004).

בעקבות מיקומו היחסי של החוף הישראלי בים התיכון, כיוון הגלים השולטים (הגבוהים ביותר), אשר הינו מערבי בקירוב, אינו אמור להשתנות, כיוון שכיוון נשיבת הרוחות ממערב למזרח, הינו הכיוון עם אורך משב הרוח המרבי, עבור החוף הישראלי. לעומת זאת, אם תשתנה שכיחות ועוצמת הרוחות, ייתכן שינוי רב שנתי של כמויות הסדימנטים המוסעות ואולי אף בכיוון ההסעה נטו, בממוצע רב שנתי (לרוב ישנו כיוון הסעה נטו צפונה, עקב גלים מדרום לצפון ורק בשנים שקטות יחסית, ללא סערות מערביות חזקות, גוברת תרומת גלים צפון-מערביים להסעה נטו בכיוון דרום) (רוזן 2004). במצב זה קיימת אפשרות היפותטית, כי ישתנה מאזן הסעת החול לאורך החוף ועלולה לגבור עוצמת הגריעה בחופים. מתקנים ומבנים חופיים, כגון מוצאי צינורות ניקוז, ביוב ודלק, מזחים, מעגנות (מרינות), נמלים, שוברי גלים ועוד, נמצאים על נתיב הסעת החול לאורך החופים. המחסור בחול מעברו האחר של המכשול, הנמצא במורד הזרימה, מביא לחתירת גלים, שמסירה וסוחפת שכבת חול עבה מקרקעית הים ומרצועת החוף (אלמגור 2002).

העלייה בעוצמת הגריעה בחופים והמחסור בחול מעברם האחר של מבנים חופיים, יחד עם עליית מפלס הים, יובילו אף הם לנדידת קווי החוף מזרחה (רוזן וחוב' 2004, אלמגור 2002). מאידך, אם הגידוד יהיה גדול באופן עקבי מתהליך צבירת החול, ינוע קו החוף לכיוון פנים היבשה, גם אם מפלס הים יישאר יציב (רוזן וחוב' 2004, אינג' ד.ס. רוזן-תקשורת אישית).

העתקת רצועת הליחוך (גבול הים והיבשה שרוחבו כמה עשרות מטרים), בעקבות עליית המפלס ותזוזת קו המים מזרחה, תביא את חלקה או רובה מעבר לתחום קו החוף הנוכחי, לאזורים בעלי שיפוע, הגדול משיפוע הרצועה כיום. שיפוע זה, יגרום לגל העולה להיעצר ולהשקיע את החול שבו. באזורים אלה, תפחת אספקת החול מהגלים ותגבר החשיפה של מדרונות כורכר מערביים, כגון רכס מגדים מצפון לעתלית וחופי הגליל מצפון לעכו. ברצועת ליחוך משופעת יותר, גלים היורדים לים יתחזקו ויסחפו לים את החול, שהושקע על ידי הגל העולה. תופעה זו נצפית כיום בחופים תלולים במיוחד, כגון גבעת אולגה-תל גדור והיא עשויה להתרחב לחופים אחרים (רוזן וחוב' 2004).

בעקבות עליית מפלס הים, צדודית החוף (צורת החתך המקומי בניצב לקו החוף) צפויה לנוע לכיוון החוף, בהסטה כלפי מעלה, והחול שיגרע מהחוף ישקע בירכתי החוף (איור מס' 18) (רוזן 2005).



איור מס' 18: השתנות צדודית החוף בעקבות עליית מפלס הים. מקור: רוזן 2005.

השלכות אפשריות נוספות של עליית המפלס, כוללות פגיעה בתיירות ובפעילות הנופש והקיט בחופים, פגיעה במבנים חופיים, רציפים, מעגנות ואתרים ארכיאולוגיים, פגיעה באקוסיסטמות חופיות ובמגוון המינים החופי (רוזן 2004). בחופי מפרץ אילת, מהערכות ראשוניות, צפויה פגיעה פחותה מאשר בחופי הים התיכון, עקב אופיו השונה של החוף מבחינת שיפוע הצדודית ומבנה החוף (רוזן 2004), למעט הפגיעה החמורה במושבות האלמוגים, עקב התחממות המים (הלבנת אלמוגים) (Banin et al. 2000, רוזנברג 2005).

6.2.1.1 השלכות עליית מפלס הים התיכון על אקוויפר החוף

עומק האקוויפר כ-150 מטר לאורך קו החוף, והוא מתרדד עד למספר מטרים בודדים, כ-10 ק"מ מזרחה מקו החוף (Melloul and Collin 2006). כיום, הערכת החדירה הממוצעת של הפן הביני לאורך האקוויפר (חדירה מקסימאלית של מי הים לפני היבשה), היא של 1000 מטר מקו החוף. באזורים בהם מי הים חדרו עמוק לאקוויפר בעקבות שאיבת יתר, בארות שאיבה הומלחו ונסגרו כמקורות מי שתייה ואף כמקורות השקיה. בשנים האחרונות, כ-13% מהבארות חרגו מהתקן המותר לאספקת מים ביתיים (מעל 600 מ"ג לליטר כלור ומעל 70 מ"ג לליטר ניטרט). באזורי שאיבת היתר, מפלס מי התהום ירד, כך שנוצרו שקעים בעומק של בין 1-3 מטר מתחת למפלס פני הים. ניתן למצוא שקעים אלו בעיקר 1-3 ק"מ מקו החוף. לכן חדירת הפן הביני מעבר ל-1 ק"מ לפני החוף, יכולה לגרום נזק חמור למקורות המים (Melloul and Collin 2006).

לפי הפרמטרים הליטולוגיים של האקוויפר, עליית המפלס תשפיע בעיקר על השכבות העליונות באזורים בעלי טופוגרפיה נמוכה, בעיקר באזור שפכי נחלים החודרים לים, למשל שפכי הירקון ואילון בתל אביב. תהליכי הארוזיה של החופים, בעקבות עליית המפלס, עשויים לגרום לבליה של השכבות היותר חדירות בליטולוגיית החוף, כך שיחשפו שכבות יותר אטומות, שימתנו את חדירת מי הים ותהליכי הארוזיה. אפשרות אחרת, היא בליית החומר האטים יותר, כך שיחשפו שכבות חדירות ואקוויפר החוף יעשה פגיע יותר לחדירת מי הים ולארוזיה (Melloul and Collin 2006).

Melloul and Collin (2006) בחנו שלושה תרחישים ; אחד לפיו לא תהיה עליית מפלס, שני לפיו תהיה עליית מפלס של 10 ס"מ לאורך 50 שנה (לפי ה-IPCC), ושלישי לפיו תהיה עלייה של 50 ס"מ לאורך 50 שנה, התואמת את המדידות שנערכו החל מ-1992 בים התיכון. ההערכה הייתה של חדירה אופקית ליניארית של מי הים, בקצב של 10 מטר בשנה, ובנוסף הוערך כי נקבוביות האקוויפר היא 25%. תוצאות המחקר קבעו, כי לפי התסריט הראשון, אם השאיבה תמשך בקצב הנוכחי, חדירת מי הים תהיה 500 מטר נוספים לכל היותר, כלומר סך חדירה של 1500 מטר מקו החוף. עקב כך, יאבדו 18.7 מלמ"ק לק"מ חוף. לפי התסריט השני, עבור עליית מפלס של 50 ס"מ, בשיפוע חוף של 1%, תהיה חדירה של 500 מטר נוספים (סך הכל 2000 מטר) ואובדן של 12.5 מלמ"ק נוספים לק"מ חוף. אובדן זה יכול להתגלות כחמור עוד יותר באזורים בהם נוצרו שקעים באקוויפר, עקב שאיבת היתר, כגון חדרה, רמת גן, תל אביב, ניר-עם והאזור שבין אשדוד לארז שקמה. באזורים אלו, מאות מיליוני מ"ק של מי תהום, ימצאו בסכנה. חשוב לציין, כי ישנו אובדן נוסף של מים מתוקים עקב עליית המפלס, בעקבות התזוזה בבסיס האגן של מי התהום. האובדן הנוסף של מי התהום, עקב שינויים בבסיס האגן וצדודיתו לאחר 50 שנה, בהתחשב עליית מפלס של 50 ס"מ, היא כ-3.8 מלמ"ק לק"מ חוף. כלומר, סך אובדן מי התהום עקב עליית 50 ס"מ במפלס הים היא 16.3 מלמ"ק לק"מ חוף. אובדן זה יוחמר במידה ותעלה חדירות השנים השחונות, בהן שיעורי המילוי החוזר של האקוויפר לא יגיעו למוצא השנתי. אובדן המים עקב תזוזה בסיס האגן ושינוי צדודיתו מקשה על שיקום האקוויפר, לעומת מצבים בהם ישנה ירידה במפלסים במרכז האגן, בעקבות הפחתה במילוי חוזר, בהם ניתן לטפל באמצעות מילוי מים בזמן שנים ברוכות (Melloul and Collin 2006).

6.2.1.2 השלכות עליית מפלס הים התיכון על המצוק החופי

70 ק"מ מהחוף הישראלי (שאורכו 190 ק"מ) מאופיין במצוק חופי וגובהו נע בין 30-40 מטר (ביין וחוב' 2008). כל הצוקים, על פי טבעם, אינם יציבים ויוצרים תווי נוף לזמן קצר. שיעור נסיגת המצוק נקבע על ידי חוזקו הכללי ואקלים הגלים שלאורך החוף. המצוק מתמוטט כיוון שאינו יציב ובעל חולשה מכאנית, בעקבות המסלע ואופי השכוב המאפיינים אותו, יחד עם שיפוע המדרון התלול. כרסום הגלים בבסיס המצוק ופעולת נגר עילי, הם בין התהליכים העיקריים התורמים אף הם להתמוטטות המצוק. תהליכים טבעיים אלו מואצים בעקבות פעילות האדם בעורפו של המצוק (בנייה ופיתוח בעיקר), בעקבות עליית מפלס הים, המתרחשת בעקבות שינויי האקלים, מחלחול של מי גשמים, מי השקיה ומי שפכים ובנוסף מרוחות עזות (ביין וחוב' 2008). מחסומים טבעיים (כגון סלעי חוף) או מלאכותיים (כגון שוברי גלים), גורמים לשבירה מוקדמת של הגלים ומצמצמים את שיעור התפשטות הגלים הלוחכים על פני החוף, וכך מגנים על הצוק באופן מקומי ולזמן מוגבל, אך אין להם השפעה על קצב נסיגת המצוק (למעט מחסומים כגון קירות ים, המונעים מגע של מי הים עם מרגלות המצוק באופן מוחלט). נסיגת המצוק מתחוללת בקו מפותל ומשונן, שהוא תוצאה של צרוף חוזק מקומי של המצוק (התנגדותו לסחיפה ולגידוד), משטר גלים מקומי ואירועים אקראיים. הנסיגה אינה פוגעת במורפולוגיה של המצוק והוא ממשיך לשמר את צורתו כל עוד אין התערבות האדם בתהליכים הטבעיים (אלמגור 2002).

גורמים חיצוניים משפיעים באופן תמידי על המצוק, ושינוי באחד הגורמים מפעם לפעם גורם להתמוטטות המצוק ולגלישה מקומית. תוצרי ההתמוטטות נערמים בבסיס המצוק ונגרפים על ידי גלי הים, וכך מתאפשר לגלים להכות ישירות בבסיס המצוק וליצור צנור, המאפשר מחזור התמוטטות נוסף. כך פעולת הגלים גורמת לאי יציבות תמידית של המצוק. עוצמת הגלים המכים בבסיס המצוק, נקבעת על ידי גובה מפלס הים ועל ידי עוצמת הרוח וכיוונה. נגר עילי יוצר ערוצים של כמה עשרות מטרים בחזית המצוק. בעקבות שינוי הניקוז הטבעי והקטנת החלחול על ידי האדם, הנגר העילי יוצר ערוצים רחבים יותר המגבירים את הפגיעה במצוק (ביין וחוב' 2008).

רצועת החוף מאוכלסת בצפיפות, והתמוטטות המצוק באזורים בעלי צפיפות אוכלוסייה, כגון נתניה ואשקלון, הינם בעיה מיוחדת, כיוון שפעילות האדם על המצוק ובעורפו תורמות אף הן לתהליכי הבלייה של המצוק (ביין וחוב' 2008). אזור החוף במרכז נשמר יציב במהלך 2000 השנים האחרונות, אך במהלך המאה ה-20 חלה ארוזיה מתונה בעקבות כריית חול מהחופים (עד 1965), בניית מבנים חופיים וחוסר תחזוקת של החופים (רוזן 2008). חלק מסגולות המצוק הן נוף פתוח בקרבת חופי רחצה ומרכזי נופש, חסימת רוחות מערביות נמוכות ומניעת מטרדי חול מנושב, זפת ופסולת חופים, חיץ טבעי בין חופי הרחצה לחוף העירוני (בו תעבורה, מגורים, מלונות ותעשייה), בעל ערך טבע וכולל שרידים ארכיאולוגיים והיסטוריים. חסרונותיו של מצוק בסביבה מאוכלסת, כוללים חשש לנפילה משפת המצוק, פגיעה ברכוש פרטי וציבורי עקב גלישות פוטנציאליות בעורף המצוק, סכנה לחיי אדם ולמבנים צמודי מצוק, עקב מפולות וקושי בסלילת דרכי גישה לחוף, בעקבות תלילות המצוק (גורם לצפיפות בחניונים ומונעת כך מהציבור להתפרש על חופי רחצה אחרים) (אלמגור 2002). אזורים בהם קיימים שימושי קרקע בעורף המצוק, הם האזורים המומלצים בהם יש לנסות ולהאט את קצב נסיגת המצוק. בנוסף, התמודדות עם בעיה זו, מצריכה פתרונות הנדסיים בעלויות גבוהות ובעלת השלכות סביבתיות-חברתיות (ביין וחוב' 2008).

העלייה הצפויה במפלס הים ובשכיחות סערות החורף ועוצמתן, תגרום לפגיעה קשה במצוק החופי של ישראל, אשר ימשיך וייסוג במהלך המאה הנוכחית, בעשרות מטרים נוספים (רוזן 2008, צביאלי 2007). המצוק ימשיך להתמוטט עוד מספר עשרות שנים עד שיגיע לשיפוע יציב, גם אם יעשו פעולות להגנה על בסיסו. קצב הנסיגה של גג המצוק מזרחה, כפי שנמדד מהשוואת צילומי אוויר בשנים 1945 ו-2004, הוא מספר עשרות סנטימטרים לשנה (בין כ-20 ל-30 ס"מ) (ביין וחוב' 2008). אלמגור (2002) מסביר שלמרות שקצב נסיגת המצוק החופי מהיר בקנה מידה גיאולוגי ואף היסטורי, הוא אינו עלול לשבש או לסכן את התשתית היישובית ממזרח לשפת המצוק, במידה ותוקצה רצועה ברוחב של כ-50 מטר מזרחה למצוק, בה תיאסר בנייה, חפירה, סלילה ופיתוח. שמירה על רוחב רצועה זו, תעזור לשמר את המצוק במצבו הטבעי לפחות למשך כ-200 שנה, בהנחה שקצב נסיגתו הנוכחי יישמר. עם זאת, ביין וחוב' (2008) טוענים, כי בהנחה שמרנית שהתהליכים המשפיעים על המצוק לא ישתנו בעתיד, תחום הסיכון להרס המצוק החופי עד לשנת 2100, נמצא במרחק של 20-30 מטר מזרחה מקו המצוק הנוכחי ב-65% ו-80% מאורך

המצוק, בהתאמה. לפי הנחה זו, ישנם מספר אזורים בהם קיימים עשרות מבנים בתחום הסיכון, ביניהם מרכז נתניה, הרצליה, בית-ינאי והדסה-נעורים (ביין וחוב' 2008).

נדידת קו המים של כ-30-10 מטר מזרחה, הצפויה עד לשנת 2100 (בהינתן שיפועי חוף של מעלות בודדות), בעקבות עלייה של מטר אחד במפלס הים התיכון, תגרום לעלייה בקצב הנסיגה של המצוק במספר עשרות מטרים נוספים עד שנת 2100, והערכת תחום הסיכון יהיה רצועה של 40-50 מטר מזרחה מקו המצוק הנוכחי (ביין וחוב' 2008).

נסיגת המצוק החופי תגרום לנזק כלכלי נרחב, הכולל פגיעה בנכסים ובתשתיות קיימים בקרבת המצוק, אובדן שטחים בעלי ערך נדל"ני גבוה (בשל קרבתם לים), פגיעה בתוכניות בנייה בהתהוותן, פגיעה בשטחים בעלי ערכיות גבוהה (חופים, שמורות טבע), הרס אתרים ארכיאולוגיים ומבנים בעלי מורשת, אובדן שטח חוף בעקבות הצפת הים, וכתוצאה מכך גם נסיגה מזרחה של תחום המים הטריטוריאליים של ישראל (נכון לגבי כל רצועת החוף, בה יתקיימו תהליכי ארוזיה מואצת) (ביין וחוב' 2008).

הערכת הנזק של נסיגת המצוק נעשתה לפי אומדן עלויות הבנייה החלופית, עבור מבנים קיימים ועבור נכסים העלולים להיפגע. הנזק למבנים קיימים הוערך בין 67 ל-90 מיליון ₪, אם קצב הנסיגה יואץ לממוצע של כ-0.5 מטר לשנה ואף עשוי להגיע ל-276 מיליון ₪, אם קצב הנסיגה יגיע לממוצע של כ-1 מטר לשנה. שווי השוק של הנכסים העלולים להיפגע הוערך בין 195 ל-265 מיליון ₪, אם קצב הנסיגה השנתי יעלה לכ-0.5 מטר בשנה. אם יעלה קצב הנסיגה לכ-1 מטר ממוצע בשנה, הנזק הוערך בכ-800 מיליון ₪ (ביין וחוב' 2008).

הפחתת הדרגתית במשאבי הקרקע לאורך שפת המצוק, למרות ערכם הכלכלי הגבוה, בלתי נמנעת, וגם אם ניתן להאריך את קיומם על ידי בניית קירות מגן, ערכם יפחת בשיעור ההשקעה הנדרשת לביצוע ולתחזוקה (אלמגור 2002). הנזק הצפוי מאובדן פוטנציאל הבנייה ואובדן ערכי הקרבה לחוף אינו משמעותי, בהנחה שפוטנציאל הבנייה ימומש בקרקעות חלופיות. את הנזק לאתרים ארכיאולוגיים קשה להעריך, כיוון שאלו אינם מוצרים סחירים. ניתן להעריך כלכלית את האתרים לפי גובה עלויות ההגנה עליהם (ביין וחוב' 2008).

לטענתם של ביין וחוב' (2008) לא יגרם נזק לשמורות הטבע מהמשך נסיגת המצוק, כיוון שנסיגת המצוק החופי הינו תהליך טבעי, ושמורות הטבע באזור המצוק מאפשרות את המשך תהליכים אלו. לכן הם מעריכים כי ההגנה על המצוק תפגע בערכי הטבע והנוף. טענה זו עשויה להיות בעייתית, כיוון שלמרות שיש לאפשר למצוק לסגת על מנת לשמר תהליכים טבעיים, קצב נסיגת המצוק כנראה ותואץ בעקבות עליית המפלס, תהליך שעשוי להיות מהיר מעבר ליכולת המערכות הטבעיות להסתגל, בדומה לשאר התהליכים בטבע, העשויים להיפגע ואף נפגעים כיום משינויי האקלים. מאידך, הגנה על המצוק ומניעת נסיגתו באופן מוחלט, תפגע אף היא במערכות הטבעיות.

ההפסד הכלכלי בעקבות נסיגת החוף (צמצום השטח החופי) בכ-10 מטר בתוך כ-20 שנה, מוערך בכ-180 מיליון ₪. לעומת זאת, פעולות הגנה על החוף, אשר ירחיבו את שטחו במטר אחד, יובילו

לערך כלכלי של 180 מיליון ₪. הערכת העלות למטר אורך מצוק, נעה בין 12500 ₪ ל-35000 ₪, על פי אמצעי ההגנה השונים (יבשתיים בלבד או משולבים ימי ויבשתי, מפורט בסעיף 7.2.3).

6.2.2 השלכות עליית טמפרטורת המים בים התיכון

עליית טמפרטורת המים תעלה את יכולת ההתבססות של מינים זרים מים סוף, בים התיכון. מינים מים סוף, המוגבלים על ידי טווח טמפרטורות ומליחות, מרחיבים את גבול תפוצתם בים התיכון, באמצעות תעלת סואץ (כפי שפורט בסעיף 2.2.3.2). התחממות המים עשויה להשפיע על מבחר מאפייני אוכלוסייה, כגון רבייה ויכולת הישרדות, לקבוע יחסי גומלין בין מינים, ומכאן להשפיע על דומיננטיות ושכיחות של מינים זרים, דבר שיספק למינים הזרים מים סוף יתרון על המינים הים תיכוניים (Galil et al. 2007). בין ההשלכות של דחיקת הביוטה המקומית על ידי מינים זרים אלו, היא פגיעה בענף הדיג, כיוון שמרבית ממינים אלו בעלי ערך נמוך מהמינים המקומיים. כמו כן, חלק מהמינים הזרים הם רעילים, וכתוצאה מאכילתם אירעו מספר מקרי מוות באזור טורקיה והים האגאי (פרופ' ב. גליל - תקשורת אישית). דוגמא למין פולש היא החוטית הנודדת, מין של מדוזה, המופיעה בלהקות ענק בכל קיץ החל מאמצע שנות ה-80. החוטית הנודדת ניזונה מזאופלנקטון, שהוא מקור מזון עיקרי למיני דגים רבים. כך לא נותר מספיק מזון למיני דגים אלו בתקופת הקיץ, דבר הפוגע בין השאר בענף הדיג. בנוסף, החוטית הנודדת פוגעת בתיירות ובתשתיות חופיות. רשויות מקומיות מדווחות על ירידה בנופשים הפוקדים את החופים, בעקבות החשש מצריבת המדוזה. כמו כן, המדוזות חוסמות צינורות מים המשמשים לקירור מערכות של ספינות ותחנות כוח חופיות. בקיץ 2001, חברת החשמל הסירה כמויות גדולות של מדוזות מצינורות תחנות הכוח שלה בעלות של 50 אלף דולר (Galil 2004), פרופ' ב. גליל - תקשורת אישית).

במהלך 20 השנים האחרונות, המסחר הימי גדל בצורה משמעותית. המסחר הימי הגלובלי הוערך ביותר מ-6.7 מיליארד טון בשנת 2004. תעלת סואץ מרוויחה מפיתוח שדות הנפט של המזרח התיכון, ובימים אלו פועלת הרשות המפקחת על תעלת סואץ להרחבת התעלה, על מנת שתוכל להכיל ספינות משא היכולות לשאת מטען נפט של עד 350 אלף טון (Galil et al. 2007). לכן, העמקת התעלה תאפשר חדירת מינים פולשים, בעלי טווח עומקים רחב יותר, וכמו כן תגביר את מהירות הזרימה בתעלה, אשר תגדיל אף היא את הסיכוי של פרטים לעבור את התעלה. הרחבת תעלת סואץ ללא הקמת מחסום מליחות, תעלה את הסיכון בחדירת קבוצות פולשים חדשים (Galil 2004).

6.2.3 השלכות שינויי האקלים בים התיכון על אירועי צונאמי

איום עתידי נוסף בעקבות שינויי האקלים, הוא עלייה בתדירות ובעוצמת אירועי צונאמי בים התיכון. הים התיכון נמצא במקום השני בעולם מבחינת אירועי צונאמי שהיו עד היום, וגם החוף הישראלי נפגע בעבר מצונאמי. עקב כך ממוקמת כיום מערכת התראה מגלי צונאמי בים התיכון בחסות האו"ם (אינג' ד.ס. רוזן - תקשורת אישית). גלי צונאמי עשויים לפגוע בחופי הים התיכון בעקבות רעידות אדמה חזקות, או גלישות גושי קרקע גדולים לתוך או בתוך הים, ואירועים

שכאלה קרו בעבר בלבנון, איי יוון, איטליה וסיציליה (Melloul and Collin 2006), אינג' ד.ס. רוזן-תקשורת אישית).

גלי צונאמי שיפגעו בחוף בים התיכון (הדבר אף אפשרי בחופי מפרץ אילת), עשויים להגיע לגובה של כ-4 מטר בקרבת החוף ויטפסו בחוף עד גובה של 5-8 מטר, בתלות בחספוס ותצורת הקרקעית של מדף היבשת הרדוד לאורך החוף ובתלות בנוכחותו, חוזקו וגובהו של המצוק החופי. לאירוע שכזה השלכות שונות, כולל גריעה ניכרת של חול מהחוף ופגיעה רבה וממושכת ברכוש ובאדם (רוזן 2005).

6.2.4 פערי הידע בתחום שינויי האקלים והים התיכון

- ברשות המים רואים צורך בהיערכות מערכתית ברמת משרד התשתיות, להגנה על תשתיות החופיות ועל אקוויפר החוף בעקבות עליית מפלס הים (זיידה וגבעתי 2007).
- בחברת נמלי ישראל לא קיימת כיום היערכות להשלכות עליית מפלס הים התיכון על מבנים חופיים/ארכיאולוגיה ימית וכדומה (גב' מ. טוכלר-אהרונג-תקשורת אישית).
- בחברת החשמל ישנן הערכות לעליית מפלס הים של 1.1 מטר, ועליה שנתית מוערכת ב-0.7-0.9 סנטימטר לשנה (ד"ר ל. היאמס-תקשורת אישית). עם זאת, לא קיימת כיום עבודה בחברת החשמל, המעריכה את ההשלכות הצפויות על התשתיות החופיות (ד"ר א. ביאנו-תקשורת אישית).
- משרד ראש הממשלה והמשרד להגנת הסביבה משלימים בימים אלו (יולי 2008) מסמך מדיניות לטיפול בנושא המצוק החופי בהיבט הפיזי, ההנדסי, הכלכלי והמשפטי. אחת ההמלצות המרכזיות של מסמך זה היא הכנת תוכנית אב ותוכנית מתאר ארצית להתמודדות עם התמוטטות המצוק במסגרת תמ"א 13 (ביין וחובי 2008).

6.2.5 המלצות למחקר בתחום הים התיכון

- הערכות קצב התמוטטות המצוק החופי בעקבות שינויים בנגר עילי והיצרות רצועת החוף, הערכת הנזקים הצפויים למבנים, תשתיות, אתרי תיירות ומערכות אקולוגיות ואמצעים להגנה על המצוק באופן בר קיימא. בנוסף, השלכות אמצעי ההגנה על מערכות חופיות ונופש.
- הערכת הנזקים לתשתיות חופיות (נמלים, תחנות כוח) ואתרים ארכיאולוגיים חופיים.
- השלכות הפגיעה במערכות אקולוגיות ימיות וחופיות, בעקבות נסיגה והיצרות של רצועת החוף, האצה בקצב התמוטטות המצוק החופי, חדירת מי ים למוצא נחלים ועליית טמפרטורת מי הים (כולל השלכות עליית טמפרטורת ים סוף על שוניית האלמוגים באילת).
- הערכת הנזק לתיירות בעקבות פגיעה בתשתיות תיירותיות, היצרות רצועת החוף ואובדן שטח חוף, התמוטטות המצוק החופי והגדלת משכי זמן של הצפות.
- השלכות חדירת מי ים במוצאי נחלים.

- השלכות עליית טמפרטורת מי הים על קירור תשתיות חשמל באזורי החוף ועל ענף הדיג (פגיעה במיני דגים מסחריים בעקבות שינוי תנאי בית הגידול, ופגיעה בזואופלנקטון ופיטופלנקטון, המהווים מקור מזון עיקרי למיני דגים רבים).
- השלכות התחממות מי הים על הרחבת תחום התפוצה של מינים ימיים פולשים, הבנת הסיבות לדחיקת הביוטה הים תיכונית המקומית על ידי מינים זרים אוהבי חום (תרמופילים), ובחינת שיעורי התפוצה, דפוסי ההיערכות ודפוסי הרבייה של מינים זרים אלו (פרופ' ב. גליל- תקשורת אישית).
- בחינת תגובת אוכלוסיות ים תיכוניות לפרזיטים זרים ווקטורי מחלות, תחת התחממות מי הים התיכון (פרופ' ב. גליל- תקשורת אישית).
- השלכות כלכליות של התחממות הים על דיג מקומי (פרופ' ב. גליל- תקשורת אישית).
- השלכות שינוי בחומציות מי הים על מינים ימיים (ים תיכון וים סוף).

6.3 בריאות הציבור

מלריה היא מחלה טפילית (זיהומית), האנדמית בלמעלה מ-100 מדינות בעולם ומועברת לבני אדם על ידי עקיצת נקבת יתוש האנופלס. משנות ה-60 של המאה ה-20, ישראל נחשבת מדינה נקייה ממלריה, למרות שמדי שנה מדווח על 60-100 מקרים של מלריה מיובאת, כלומר חולים שנדבקו במחלה בחו"ל. ביעור המחלה הושג ללא הכחדת אוכלוסיות היתושים מעבירי המחלה, וכיום נמצאים בישראל נמצאים כ-6 מיני יתושי אנופלס מעבירי מלריה, ל-4 מהם אוכלוסיות קבועות, המרוכזות במקורות מים מתוקים. לכן קיימת האפשרות להתחדשות התחלואה המקומית בישראל, במיוחד לנוכח אזורי אנדמיים למחלה במדינות שכנות, כגון טורקיה (אניס וחוב' 2004). כיום מלריה נחשבת אחת המחלות הזיהומיות, המתעוררות בעקבות שינויי האקלים, ויש חשש להתפרצותה במדינות בהן מוגרה לפני עשרות שנים, כגון מדינות אירופה וישראל, בעיקר בעקבות הניידות הגבוהה של תיירים ויבוא המחלה על ידי מהגרים ועולים. באירופה יש 7000-8000 מקרים מדווחים מדי שנה, כאשר ההערכות הן, שישנם 30 אלף מקרים בשנה, ובארצות הברית מדווחים 1400 מקרים מדי שנה (אניס וחוב' 2004, Schwartz 2005).

קדחת הנילוס המערבי, היא מחלה נוספת העשויה להתעורר בעקבות שינויי האקלים, והיא מועברת בעיקר בין עופות על ידי יתושים, המתפתחים במים עשירים בחומר אורגני. נגיף המחלה אנדמי לאזורנו ולחלקים נרחבים באפריקה, באסיה, במזרח ובדרום אירופה. עיקר הסכנה עבור האדם, היא האפשרות להופעת דלקת קרום המוח ודלקת רקמת המוח, בעיקר בקשישים או בחולים עם מערכת חיסונית מדוכאת. בישראל, עיקר התפרצויות המחלה אירעו בשנות ה-50 של המאה ה-20, ולקראת סוף המאה ה-20 נראה היה כי קדחת הנילוס המערבי שייכת לנחלת העבר. עם זאת, בשנת 1999 דווח על שלושה בני אדם חולים ובמהלך קיץ 2000 אירעה התפרצות דרמטית, במהלכה אובחנו 429 מקרים, מתוכם 35 נפטרו. בשנים שלאחר מכן, ירד מספר החולים הודות לשיפור בהתארגנות ובטיפול הרשויות במפגעי היתושים ולהעלאת המודעות הציבורית לנושא (פז ואלברסהיים 2007).

6.3.1 השלכות שינויי האקלים על בריאות הציבור

שינוי של מעלות בודדות בטווח הטמפרטורות לא ישפיע, כנראה, על יתושים, היכולים לשרוד טווח רחב של טמפרטורות והמתמודדים כבר היום עם הטמפרטורות הקיימות בישראל (ד"ר ע. וילמובסקי-תקשורת אישית). אחרי שנים גשומות ישנה עלייה באוכלוסיות היתושים, כיוון שהגשמים מעלים את מספר מקומות הדגירה. לכן, קיצוניות במשקעים יכולה להעלות את רמת האוכלוסייה ולשנות תפוצה. לדוגמא, בשנים גשומות (כגון חורף 1991/2), הייתה עלייה בכמות המים בנחלי הדרום ולכן הייתה עלייה בכמות היתושים, כלומר היה שינוי בתפוצה בעקבות המשקעים (ד"ר ע. וילמובסקי-תקשורת אישית). ישנם שינויים אקולוגיים שיכולים לעודד או להרוס אוכלוסיות יתושים, כגון פתיחת ערוץ נחל, שתגרום לזרימת מים וכך תהרוס אזור דגירה, או לחילופין, חסימת נחל, היוצר מים עומדים וכך נוצרים אזורי דגירה. עלייה בכמויות הגשמים בתקופת האביב, בשילוב עם טמפרטורות גבוהות, יכול להעלות את רמות האוכלוסייה של

יתושים (פז ואלברסהיים 2007), אך לשם עלייה משמעותית באוכלוסיות היתושים, ישנו צורך בכמויות רבות של גשם לאורך מספר שנים (ד"ר ע. וילמובסקי-תקשורת אישית). עליית טמפרטורות בראשית האביב (מרץ), עשויה להוביל להופעת קדחת הנילוס המערבי, בעקבות העלייה במפגעי יתושים. העלייה בעומסי החום באזורים אורבאניים, מסייעת אף היא להופעת המחלה (פז ואלברסהיים 2007).

התפרצות מחודשת של מלריה, תוביל בעיקר לפגיעה בתיירות ולצורך בריסוס שטחים נרחבים, מאשר לתחלואה, מכיוון שישנו ניטור מתמיד על אוכלוסיות יתושים, והחולים המעטים, המגיעים לישראל עם מלריה ממדינות זרות, מטופלים על ידי מערכת הבריאות. עם זאת, ההערכות הן שמלריה כנראה ולא תתפרץ בישראל למרות שינויי האקלים. הסיבות לכך הן שיתושי האנופליס דוגרים רק במקורות מים נקיים, שלא נמצאים בקרבת אזורים אורבאניים, בהם יש ריכוזי אוכלוסייה היכולה להידבק. בנוסף, לשם הדבקה ישנו צורך בנשא שימש כמעביר ראשוני, כלומר אדם שהגיע ממדינה אחרת עם מלריה. אנשים שהם פונדקאים של מלריה ומגיעים לישראל (כל שנה כ-60-50), מטופלים וחיים לרוב במרכז, ולכן הסיכוי להדבקה הוא אפסי (ד"ר א. שלום, פרופ' א. שוורץ, ד"ר ע. וילמובסקי-תקשורת אישית).

עלייה בעומסי חום תוביל לפגיעה באוכלוסיות קשישים, חולים ועובדים החשופים לחום. עלייה באירועי שיטפונות בעקבות העלייה באירועי גשם קיצוניים, תוביל לעלייה במקרי הפציעות והמוות, כתוצאה מנזקים לתשתיות ולמבנים.

השלכות נוספות של שינויי האקלים על בריאות הציבור ניתן לראות בסעיף 1.5.5.

6.3.2 פערי הידע בתחום שינויי אקלים ובריאות הציבור

- ישנן הערכות סותרות בנוגע להשפעתם של כמויות המשקעים על קדחת הנילוס המערבי (פז ואלברסהיים 2007).
- השפעת ההתחממות על אוכלוסיות תיקנים/ זבובי בית אינה ברורה. ישנן הערכות לפיהן ההתחממות תוביל לעלייה באוכלוסיות חרקים אלו (ד"ר א. שלום-תקשורת אישית). מאידך, ההתחממות עשויה לא להשפיע על תיקנים, כיוון שאינם מושפעים מהטמפרטורה בחוץ, אלא חיים במבנים ובמערכות הביוב, שם לח בין כה וכה (כך שעלייה או ירידה בשיעורי הלחות לא ישפיעו) (ד"ר ע. וילמובסקי-תקשורת אישית).
- יחידה לניטור יתושים במשרד להגנת הסביבה, מבצעת דיגום באזורים שונים בארץ, אך הדיגום אינו כמותי, אלא איכותי, אשר אינו יכול להעיד על גודל אוכלוסיות ולכן גם לא על מגמות (ד"ר א. שלום-תקשורת אישית).
- ישנה חשיבות לחיזוי התנודות במזג האוויר ולא הממוצע, כיוון ששנת יובש מובילה לירידה בכמות מקווי המים וכך לירידה באוכלוסיות היתושים ואילו שנה גשומה מובילה לעלייה. זה מקשה על ביצוע מדיניות כללית, כיוון שההיערכות משתנה משנה לשנה על פי התנודות. יתושי מלריה ויתושי קדחת הנילוס המערבי מתרבים במקווי מים באיכות שונה, כך שיתכן שתהיה עליה במחלה אחת וירידה באחרת. החוסר בתחזית ברורה של

שינויי האקלים בישראל, פוגע ביכולת לתת הערכות להתפשטות/עלייה באי אלו מזיקים. באזורים שונים יכולה להיות השפעה שונה על מינים שונים של מפצי מחלות, בתלות במידת השינויים הצפויים (ד"ר א. שלום-תקשורת אישית). לדוגמא, תנאי יובש עשויים להוביל לירידה באוכלוסיות פרעושים וקרציות מסוימים, מכיוון שאלו תלויים ברטיבות הקרקע (ד"ר ע. וילמובסקי- תקשורת אישית).

- בשנים האחרונות נצפתה עלייה בתפוצה/מספר המקרים של מחלת שושנת יריחו, המועברת על ידי זבובי חול. לא ברור האם ישנו קשר בין התופעה לשינויי האקלים (פרופ' א. שוורץ- תקשורת אישית). עם זאת, הסברה היא כי הופעת זבובי החול, קשורה בעיקר להתיישבות האדם ולא לשינויי אקלים. זבובי החול נמצאים באזורים חמים וזקוקים לקרקע במינימום לחות של 30%. בעקבות התיישבות רחבה באזור שבו נמצאים זבובי חול, מתווספים מקורות מים רבים לקרקע (כגון השקיה) ואוכלוסייה זמינה לעקיצה ומציצת דם. כך משקעים יכולים ליצור יותר קרקע זמינה לזבובי החול, אך בנוסף ישנו צורך בדם. אוכלוסיות מרוכזות של אדם בקרבת זבובי החול, מספקות את הדם הנחוץ להם. לכן שנים שחונות מורידות את אוכלוסיית זבובי החול ולהיפך (ד"ר ע. וילמובסקי- תקשורת אישית).

6.3.3 המלצות למחקר בתחום בריאות הציבור

- הערכת תחלואה כתוצאה מחשיפת אוכלוסיות פגיעות לאירועים קיצוניים, מזיקים ומעבירי מחלות.
- הערכת תחלואה כתוצאה מעלייה בריכוזי מזהמי אוויר, המושפעים מעליית טמפרטורות. לשם כך ישנו צורך בהערכת רמות הפליטה הצפויות במקומות שונים ותרחישי מזג אוויר מקומיים, על מנת לספק תחזיות יותר מדויקות של חשיפה לזיהום אוויר והשלכותיו הבריאותיות.
- הערכות להתפשטות מחלות שונות, על פי מספר תרחישים עתידיים שונים לישראל.
- העמקת המחקר על הביולוגיה והאקולוגיה של יתושים ומפצי מחלות נוספים, לשם שיפור הבנת השפעות שינויי אקלים אליהם.
- השפעה של עלייה בכמויות האלרגנים, על הופעת וחומרת אסטמה ומחלות נשימתיות נוספות.
- השלכות עלייה באירועי הצפות ושיטפונות, על תחלואה בהקשר למים, והסבירות לזיהומים בעקבות פגיעה אפשרית במערכות הביוב והמים.

6.4 חקלאות

הערך הכלכלי של החקלאות בישראל כולל 21 מיליארד ₪ לשנה תוצרת חקלאית, 2 מיליארד דולר תוצרת חקלאית ליצוא, ו-0.7 מיליארד דולר מזון מעובד. סך השטח המעובד בחקלאות הינו 3000 קמ"ר (שטרנליכט 2006).

מעבר לתפוקה חקלאית, החקלאות היא גם מוצר ציבורי ממנו נהנית החברה כולה. בין התועלות החיצוניות (המוצר הציבורי), אותן מספקת החקלאות, ניתן למנות; שמירת המרחב הפתוח בסביבה הכפרית והאורבאנית, נצפות מעורקי תחבורה, מגוון וייחודיות נופית, תרומה לתיירות, קליטת מזהמים מהסביבה ותרומה לאיכות האוויר. קרוב ל-40% מהשטח החקלאי הוא בעל ערכיות נופית. אומדן הנוף הישראלי בעל ערך גבוה, עקב צפיפות האוכלוסייה ומרקם הנוף הטבעי (עקב מצוקת המים- נוף צהוב). לכן, פגיעה בחקלאות, גורמת מעבר לפגיעה בגידולים מסוימים, גם לפגיעה בשטחים ירוקים, בתיירות ועוד (אבנימלך וצבן 2002, רוזנטל 2004).

אבנימלך וצבן (2002) העריכו את התועלות הכלכליות, אותם מספקת החקלאות בישראל, בכמיליארד ו-300 מיליון ₪ בשנה (מחירים נכונים לשנת 2002). ערך זה כלל מספר צדדים בחקלאות; חסכון של כ-50 מיליון דולר בשנה, באמצעות ניצול מי קולחין בחקלאות, באיכות הנמוכה מהדרוש לנחלים. קליטה של כ-2 מיליון טון CO₂ לשנה, הוערכה בכ-20 מיליון דולר בשנה, הודות לאפשרות לסחר בפליטות. היקף העסקים התיירותיים-חקלאיים הוערך בכ-75 מיליון ₪ בשנה, ערך אשר יעלה ככל שהאוכלוסייה תגדל והיקף התיירות הנכנסת יעלה. לדוגמא, עמק החולה הוערך יותר כאתר תיירות, מאשר כשטח חקלאי. ערך כלכלי נוסף ניתן לחקלאות, כיוון שזו משמשת כשטח פתוח להתפתחות ושימור בעלי חיים, ובאזורים חקלאיים מתאפשר לחלול מי גשמים למי תהום. מכאן שהתרומה הסביבתית-חברתית של החקלאות, משתווה ואף עולה על התרומה העסקית (שחם 2003).

6.4.1 השלכות שינויי האקלים על החקלאות

חקלאות בישראל רגישה במיוחד לשינויי האקלים, בעקבות הקרבה לקו הצחיחות, המיעוט היחסי של שטחים מעובדים והגרדיאנט התלול מצפון לדרום וממערב למזרח לאורך המדינה (Haim et al. 2008). ההשפעות האפשריות של שינויי האקלים הצפויים על החקלאות כוללות; שינוי בכמויות המשקעים, שינוי מגמות הטמפרטורות, שינויים אקולוגיים ועלייה בריכוז CO₂. פגיעה חמורה צפויה בחקלאות בעיקר עקב העלייה הפוטנציאלית באירועי מזג אוויר קיצוניים, מאשר שינוי בממוצע העונתי. כך למשל הסבירות לאירועי קרה בעלי משמעות רבה בהשפעתם על היבולים (פרופ' א. מינגלגרין- תקשורת אישית). צפויה בנוסף עלייה בצריכת האנרגיה ובצורך באנרגיה חלופית (ביו-אנרגיה) (אשד 2008).

השלכות כלליות של שינויי האקלים על חקלאות ניתן לראות בסעיף 1.5.6.

6.4.1.1 השלכות השינויים במשקעים

עלייה בכמויות המשקעים תוביל לעלייה בנגר עילי, הגברת הסעת מזהמים לגופי מים עיליים, עלייה בחלחול של מזהמים למי התהום ונזק ליבולים (אשד 2008). עלייה באירועי גשם קיצוניים תגדיל בנוסף את הסיכון לסחף קרקעות, כאשר לפי מפת הקרקעות המעובדות שבסיכון לסחיפה, כ- 40% משטח גידולי השדה וקרקעות חקלאיות וכ- 10% משטח המטעים, מצויים בקטגוריה של סיכון סחיפה חמור (מר צ. רבהון- תקשורת אישית).

ירידה בכמויות המשקעים, תוביל לירידה בחידור של מים ולירידה בזמינות המים בקרקע ליבולי קיץ וחורף (אשד 2008). בעקבות הירידה במשקעים, ייתכן כי עונת הגשמים תתקצר, ולכן יהיה צורך בהשקיה מוקדמת של יבולי קיץ ובהשקיה מרובה, בעקבות הדחה מועטת של מלחים בפרופיל הקרקע במהלך החורף (אשד 2008, Ragab & Prudhomme 2002). בנוסף, חקלאים המגדלים יבולים תלויי גשם, אינם ערוכים כיום לתנאים יבשים יותר (אשד 2008). כיוון שהדרישה למים תעלה עם הירידה הצפויה בכמויות המשקעים, החקלאות תספוג קיצוצים דרמטיים בשנים הקרובות ממקורות המים הטבעיים, וישנו סיכוי כי אספקת המים הטבעיים לחקלאות תבוטל לחלוטין בזמן בצורות ממושכות (Issar 2007).

Haim וחוב' (2008) ו-Shechter & Yehosua (2000) הראו כיצד הירידה הצפויה בכמויות המשקעים בישראל תוביל לפגיעה כלכלית בענף החקלאות. Haim וחוב' (2008) בחנו השפעת שני תרחישי אקלים (A2 ו-B2, ראה נספח 1) עבור השנים 2070-2100, על חיטה, גידול מרכזי בדרום ישראל וכותנה, המייצגת את הצפון הלח יותר. עבור חיטה, תחת תרחיש A2, הרווח הפך שלילי (בין 145%- ל-273% יחסית לערך הנוכחי), ותחת תרחיש B2 (מתון יותר), התקבלה מגמה מעורבת (בין 43%- ל-35%+ יחסית לערך הנוכחי), כנראה בעקבות עלייה של 17%- ו-10% בכמויות המשקעים בינואר ומרץ בהתאמה, בתרחיש זה. מכאן, שאף בתרחיש המתון B2, שינוי בפיזור משקעים בעונת הגידול משפיעה משמעותית על היבול הצפוי. עבור כותנה, לעומת זאת, תחת שני התרחישים נמצאה ירידה משמעותית ביבול, אשר הובילה להפסדים כלכליים משמעותיים (240%- יחסית לערך הנוכחי בתרחיש A2 ו-173%- יחסית לערך הנוכחי בתרחיש B2) ועלייה של 25% בצריכת המים. נמצא כי החקלאי יכול לפצות על אובדן המים על ידי דישון של חנקן ותוספת השקיה, כל עוד התרחיש המתון מתרחש, אך לא באמצעות שינוי תאריכי הזריעה. לכן החוקרים הסיקו, כי יבולים התלויים בגשמים כיום, יהפכו תלויים בהשקיה בעתיד, בעקבות הירידה הצפויה באספקת המים באזור.

Shechter & Yehosua (2000) בחנו את הנזקים הצפויים לחקלאות, בעקבות הפחתה אפשרית של 4% בכמויות המשקעים. התקבלו הערכות שונות למידת הנזק הצפוי; על פי תרחיש ראשון, קיצוץ שרירותי ביצור בכל קבוצות היבולים, יוביל להפסד שנתי של כ-208 מיליון דולר, במחירים של שנת 2000. לפי תרחיש שני, אשר כלל היערכות חלקית של ענף החקלאות, ההפסד השנתי הצפוי הינו כ-101.5 מיליון דולר, במחירים של שנת 2000, כולל כ-40 מיליון דולר מקיצוצים לא ישירים (מים להשקיה). היערכות זו מתבטאת בהתאמה בין יעילות ניצול המים של היבולים השונים, לבחירת האזורים המתאימים לגידול אותם יבולים. תרחיש שלישי לקח בחשבון הרחבת

השימוש בהתפלה לאספקת מי השתייה הביתיים. העלות השנתית של תרחיש זה היא כ-126 מיליון דולר, במחירים של שנת 2000 (הכוללת עלות התפלת מי ים של כ-80 סנט לס"מ מים). במחקר זה לא נכללו השלכות על פרחים וחיות משק, עקב מחסור בנתונים וההנחה כי ענפים אלו לא יסבלו מקיצוצים במים. יש לקחת בחשבון כי בשני מחקרים אלו, לא נבחנו פעולות היערכות, כגון שיפורים טכנולוגיים, השבחת גידולים, שינויים אגרו-טכניים (למשל ביצוע רוטציה בין סוגי גידולים, כלומר גידול אחד כל שנתיים) והשפעת העלייה בריכוזי CO₂ ושינויים אטמוספריים נוספים, על יבולים, אשר עשויים להשפיע משמעותית על תפוקתם (Shechter & Yehosua 2000).

6.4.1.2 השלכות השינויים בטמפרטורות

השלכות העלייה או הירידה בטמפרטורות, תלויות בעוצמה, בתדירות ובמשך תקופות החום או הקור. ישנן מספר השלכות חיוביות הצפויות מעליית הטמפרטורות, הודות לכך שהחקלאים מתאימים את גידוליהם לתנאי האקלים באזור. התאמה זאת, נעשית בעיקר על ידי ניצול תנאי החום, במקום להיפגע מהם. מכאן, שהחקלאות הישראלית סובלנית יחסית לתנאי חום. בישראל, בעיקר באזורים חמים יותר, מגדלים פירות, ירקות ופרחים בעונת החורף, המשתמשים בעיקר ליצוא לאירופה. כך הסחורה הישראלית מגיעה ראשונה לשוק ונמכרת במחירים גבוהים בשוק האירופאי והמקומי. במקרה זה לטמפרטורות גבוהות יש יתרון (Fleischer et al. 2007), תוך שימוש בהשקיה בהתמודדות עם המחסור במים.

Fleischer וחובי (2007) בחנו את ההשלכות הכלכליות של התמודדות החקלאות בישראל (ללא חיות משק), עם עליית הטמפרטורות. במחקר נעשה שימוש במודל, שלוקח בחשבון את כל פעולות ההיערכות שחקלאים עשויים לבצע, כגון סבב בין סוגי גידולים, שינוי סוג היבול ושימוש בטכניקות ניהוליות או טכנולוגיות. בהינתן מכסות השקיה לחקלאים (הגבלת כמות המים), עלייה קלה בטמפרטורה (צפי לשנת 2020) הובילה לעלייה ברווחים, אך המשך עליית הטמפרטורות (הצפויה עד 2100) הובילה לירידה ברווחים. ללא הגבלה על מכסות השקיה, עליית הטמפרטורה הובילה לעליית רווחים עם הזמן. כלומר, תוספת ההשקיה סייעה בהפחתת השפעות הטמפרטורה. עם זאת, יש לקחת בחשבון, שהנחת המחקר הייתה, שאספקת המים לא תשתנה עם שינויי האקלים.

תועלת נוספת לתפוקת היבולים, בעקבות שינויי הטמפרטורות, צפויה משינוי בתאריכי הזריעה והפריחה של יבולים. שינוי זה עשוי להאריך את עונת הגידול (Ragab & Prudhomme 2002). פגיעה אפשרית נוספת בחקלאות, בעקבות שינויי הטמפרטורות, היא ירידה ביצרנות של חיות המשק. בעלי החיים במשק החקלאי (עופות, בקר, צאן) רגישים מאוד לחום, כיוון שמייבאים אותם מאירופה, כלומר, הם ממוצא גנטי אירופאי, המותאם לתנאי אקלים קר יותר מהאקלים הים תיכוני. לכן התאמתם ויכולתם לספק תנובה באיכות גבוהה, בתנאי החום בארץ, הינה בעייתית. עם זאת, מזה שנים רבות ישנה בישראל התמודדות עם האקלים, דרך שיפור תנאי המחיה של בעלי החיים, באמצעות מבנים, מערכות מיזוג אוויר ועוד. לכן ההערכה היא (ד"ר י. פלמנבאום-תקשורת אישית) שענף זה כמעט ולא יושפע ישירות משינויי אקלים, מבחינת עליית טמפרטורות ולחות, בסדרי הגודל הצפויים באזורנו. עם זאת, צפויה עלייה בצורך לחמם או לקרר

את משקי החי (והחממות) (אשדת 2008). בנוסף, אחת ההשלכות העיקריות של שינויי האקלים על בעלי חיים במשק, היא על מזונם (מספוא). 30% ממזון הפרות במשק החקלאי גדל בישראל ומבוסס על מי גשמים. רצף של שנים שחונות, או שנה שחונה קיצונית, אשר תתרחש כל מספר שנים, עשויים להוביל למחסור במספוא (ד"ר י. פלמנבאום- תקשורת אישית).

6.4.1.3 השלכות השינוי בריכוזי CO₂

ראה סעיף 1.5.6

6.4.1.4 השלכות שינויים אקולוגיים

שינויים אקולוגיים, הצפויים בעקבות שינויי האקלים, כוללים סכנת התייבשות או שריפה של עצים בבתי גידול יבשים, וחשש להתקצרות עונת היצרנות של שטחי מרעה, אשר תפגע במזון לחיות המשק (אשדת 2008).

כמו כן, בשנים האחרונות ישנה עליה במחלות בעלי חיים במשק החקלאי, שמקורן מיתושים וחרקים. עלייה זו יכולה להיות מושפעת ממספר גורמים, ביניהם גם שינויי האקלים (למשל עליית טמפרטורות, המובילה לעלייה בקצב גדילת פתוגנים). העלייה בטמפרטורות הלילות בקיץ, אשר נצפתה בשנים האחרונות, תורמת לשמירה על טמפרטורה גבוהה לאורך מרבית שעות היממה, דבר המאפשר גידול מהיר יותר של וקטורים נושאי מחלות (ד"ר י. פלמנבאום- תקשורת אישית). בנוסף, בשנים האחרונות נצפתה נדידה צפונה של אוכלוסיות חרקים, שמקורם מאירופה, בעוד אוכלוסיות חרקים דרומיות משתלטות על בתי הגידול (ד"ר ד. בן יקר- תקשורת אישית). במקומות קיצוניים, כגון הערבה, שינוי קטן בתנאי האקלים הוא משמעותי עבור חרקים ועשוי להוביל להתדרדרות אוכלוסיות מיני חרקים, אשר הצליחו לשרוד עד כה. באזורים עם אקלים מתון, שינויי קטן לא צפוי להוביל להתדרדרות אוכלוסיות אלו (ד"ר ד. בן יקר-תקשורת אישית).

6.4.1.5 השלכות כלכליות של שינויי האקלים

קיימים מספר שיקולים כלכליים, הנלווים להשלכות שינויי האקלים על החקלאות:

- עלייה בשכירות, בעוצמה ובתדירות אירועי מזג אוויר קיצוניים, תפגע ביבולים ותגרום לנזק כלכלי רב. למשל, בשנת 2008, הנזק מאירועי קרה הוערך בלמעלה מ-500 מיליון ₪ (אשדת 2008).
- הירידה הצפויה בזמינות המים באזור, תוביל לנזקים כלכליים כבדים לחקלאות, כיוון שהחקלאות בישראל תלויה מאוד במים. 60% מאספקת המים מופנית להשקיה, כאשר נציב המים קובע את כמות המים להשקיה בכל שנה, עבור כל ישוב. כמעט כל הגידולים מושקים, למעט יבולי שדה (משרד החקלאות 2007). ב-2006, מים שפירים היוו כ-47% מהרכב המים לשימוש בחקלאות (משרד החקלאות 2007), וחלקם היחסי בחקלאות ממשיך לקטון עם השנים (דותן 2006). עם זאת, ישנם ענפים הצורכים בעיקר מים שפירים, כגון מטעים, ירקות, פרחים ונוי, וענף הבקר, הצורך מים שפירים בלבד (משרד החקלאות 2007). קיצוץ של 50% מהמים השפירים לחקלאות ואף יותר, הינו ממשי

ביותר על פי תרחישי האקלים הצפויים באזורנו ומוערך בנזק כלכלי של מיליארדי שקלים. הקטנת הצריכה של החקלאות ב-200 מלמ"ק מים לשנה, הצפוי לפי כמה תחזיות לשנת 2020, והעשויה להתרחש באופן מיידי בעקבות הבצורת בארבעת השנים האחרונות, תוביל להורדת הכנסה של כ-100 מיליון דולר בשנה (נכון לשנת 2002, אבנימלך וצבן 2002). שטרנליכט (2000) העריך את אומדן ההפסדים בשנת 2000, בעקבות שתי חלופות לקיצוץ בכמות המים השפירים בחקלאות (קיצוץ של 40% או 56% מים שפירים), לאחר עונת הגשמים השחונה של 1998/9 (בהנחת מחירי ממוצע של שנת 1999); הפסדים בערך תפוקה של כ-1,347 מיליוני ₪ בהנחת קיצוץ של 40%, או כ-2,023 מיליוני ₪ בהנחת קיצוץ של 56%. פגיעה בכ-341.6 אלפי דונם של שטחי עיבוד בהנחת קיצוץ של 40%, או בכ-517.7 אלפי דונם בהנחת קיצוץ של 56%. בנוסף, אובדן פרנסה של כ-8 אלפי מועסקים בהנחת קיצוץ של 40%, או כ-15.8 אלפי מועסקים בהנחת קיצוץ של 56%.

- ירידה באיכות המזון למשק החי ועלייה במחירו, יובילו לירידה ברווחיות. התקצרות עונת היצרנות של שטחי מרעה, תוביל לעלייה בשימוש בתחליפי מזון יקרים יותר (אשד 2008). לדוגמא, שטחי מרעה באזורי אקלים ים תיכוני לח, חוסכים כיום למגדלי בקר 83.2 דולר להקטר לשנה, ו-116.5 דולר להקטר לשנה למגדלי כבשים (Fleischer & Sternberg 2006).
- אובדן של מ"ק קרקע, בשל סחף קרקעות, מוערך בכ-15 מ"ק. על פני מיליון דונם, כלומר מיליון מ"ק קרקע, הערך מסתכם ב-15 מיליון ₪ (משרד החקלאות 2007).

6.4.2 פערי הידע בתחום החקלאות ושינויי אקלים

- לשכת המדען הראשי של משרד החקלאות ופיתוח הכפר, נערכת כיום לקביעת מדיניות המשרד בנושא התמודדות עם שינויי האקלים. בשלב הראשון של הפעילות בנושא זה, הוחלט על הקמת ועדת היגוי וצוותי חשיבה. הצוותים יפעלו לאתר את האיומים הצפויים לפעילות החקלאית-כפרית ולאתר את הפעולות שיש לנקוט להתמודדות. הוקמו 6 צוותי חשיבה העוסקים בנושאים הבאים:
 1. ניטור אקלים וניתוח סטטיסטי.
 2. שטחים פתוחים ואקולוגיה חקלאית.
 3. קרקע ומים.
 4. משק החי.
 5. גידולים צמחיים.
 6. נושאים היקפיים וכלליים.
- מאפייני סופות גשם, כגון עוצמת הגשם ופריסת הסופה בזמן ובמרחב אגן הניקוז, הם המשפיעים ביותר על גאויות וסחיפת קרקע. נכון ליולי 2008, קיימים נתונים מעטים

ממדידות גשם נקודתיות, אשר אינם מאפשרים קביעה סטטיסטית מובהקת אם קיימת מגמה של עליה בגודל, או בשכיחות, של סופות גשם קיצוניות. מחסור בניטור מרחבי של הגשם והבנה לא מספקת של יחסי גשם : נגר, יוצרים פער בהבנת השלכות שינויי האקלים על הגאוויות והקרע. כלומר, האם גאוויות קיצוניות הן תוצאה משינויי אקלים, או שינויים בשימושי הקרקע ובכושר ההולכה של עורקי הניקוז (רבהון 2008).

- מחקר הנעשה כיום על ידי פרופ' מרדכי שכטר וד"ר עידו קן מאוניברסיטת חיפה, בוחן את השפעת כמויות המים, דרך משקעים, על החקלאות בישראל. המחקר יאפשר לראות את השתנות הקצאת קרקע אופטימאלית בין הגידולים, בעקבות השינוי בכמויות המשקעים הצפויות על פי תרחישים שונים של שינויי אקלים. על פי תוצאות ביניים, צפויה פחיתת רווחיות ביחס ל- 1975 של כ-5% עד 2020, 11% עד 2050 ו-20% עד 2100.
- במשרד החקלאות לא קיימים כיום נתונים, על פיהם נערכים לפגיעה אפשרית בכמויות המזון לבעלי החיים במשק (ד"ר י. פלמנבאום- תקשורת אישית).
- לא ידוע על מחקרים בישראל בנושא השלכות שינויי אקלים על מחלות צמחים (פרופ' ד. שטיינברג-תקשורת אישית).
- עלייה באירועי חמסינים בשנים האחרונות, עזרה לשמור על אוכלוסיות נמוכות של מזיקים לחקלאות, אשר לא שורדים בעומסי חום. מחקר בנושא מתבצע כיום בעמק החולה (ד"ר ד. בן יקר- תקשורת אישית).
- כיום לא ידוע על מיני חרקים, אשר מקורם מדרום ישראל ומאפריקה והמאכלסים בתי גידול בדרום (ואינם מאכלסים בתי גידול במרכז ובצפון ישראל), המרחיבים את גבול תפוצתם צפונה (ד"ר ד. בן יקר- תקשורת אישית).

6.4.3 המלצות למחקר בתחום החקלאות ושינויי אקלים

- השלכות השינויים במגמות הטמפרטורה, ההתאיידות והמשקעים על ענפי החקלאות השונים, בתלות באזורי האקלים השונים בישראל.
- הערכת יעילות אמצעי היערכות שונים, כגון שינוי תאריכי שתילה וקצירת יבולים, פיתוח טכנולוגי ופגיעה בענפים מסוימים, לעומת העלאת הרווחיות של ענפים אחרים (בתלות בתרחישי אקלים שונים).
- בחינת יכולת ההתמודדות של יבולים שונים להחמרה בתנאי חום ויובש.
- השלכות עליית ריכוז CO₂ באטמוספירה על תפוקת יבולים שונים.
- השלכות עליית ריכוז גז האוזון הטרופוספרי על יבולים.
- בחינת התרבות מזיקים לחקלאות ומחלות צמחים. כיוון שישראל ממוקמת לאורך גרדיאנט אקלימי, ניתן לאתר את קו פיזור הצמחייה והחרקים שנע צפונה. חרקים ממקור אירופאי יכולים להיות מדד טוב לנסיגה צפונית בעקבות שינויי האקלים.
- בחינת השלכות של פיזור משקעים על חרקי קרקע.

- עלייה בעוצמתן ובתדירותן של שיטפונות והשפעתה על תשתיות בחקלאות, על כמויות המים הזמינות לחקלאות ועל סחיפת קרקע.
- השפעת העלייה בתדירות ובעוצמת אירועי מזג אוויר קיצוניים על העמידות והיעילות של מבנים בחקלאות, כגון חממות (פרופ' א. מינגלגרין- תקשורת אישית).
- הגדרת הפרמטרים האקלימיים המשפיעים על החקלאות וניתוחם על פי השימושים בחקלאות (למשל מתי לנטוע, מתי לקצור וכו') ולפי אזורי האקלים השונים (פרופ' א. מינגלגרין- תקשורת אישית).
- חקירה, ניתוח ואפיון השינויים בשימושי הקרקע והשפעתם על משטרי הזרימה והסביבה (רבהון 2008).
- חקירת מערכות הגשם הגורמות לשיטפונות החזקים – גשם קונוקטיבי או חזיתי (רבהון 2008).
- שדרוג סקר קרקע ארצי, בהתייחס לפוטנציאל חידור מים לקרקע וכן חשיפה לסיכוני סחיפת קרקע ותהליכי התדלדלות קרקעות (רבהון 2008).
- יצירת בסיס נתונים של גאוויות חריגות וקישורן לסופות גשם (רבהון 2008).
- ניטור, ניתוח ואפיון יחסי גשם : נגר במרחב הבנוי ובסקלות מרחביות שונות (רבהון 2008).
- ניתוח יעילות של שיטות שונות לקציר נגר בשטחים מעובדים, מיוערים, בשטחי מרעה ובשטחים חשופים (רבהון 2008).

6.5 מגוון ביולוגי

מגוון ביולוגי, הוא מדד כולל למידת השונות והגיוון בעולם הטבע. במגוון הביולוגי נכללים המספר והמגוון של בעלי החיים, הצמחים והמיקרואורגניזמים, השונות הגנטית בתוך אוכלוסיות מינים והשונות הקיימת בין מערכות אקולוגיות שונות בטבע.

למרות שטחה המצומצם של ישראל (כ-22,000 קמ"ר), חיים ומתרבים בה כ-2,388 מיני צמחים שונים, כ-100 מיני יונקים וכ-450 מיני ציפורים (בקליפורניה, הנמצאת באותו קו רוחב גיאוגרפי, יש מספר דומה של מיני ציפורים, על אף ששטחה גדול פי 18 משטח ישראל) (מתוך אתר המשרד להגנת הסביבה, שכתובתו www.sviva.gov.il). עושר זה מקורו במספר גורמים:

- מיקומה הגיאוגרפי של ישראל, המהווה גשר יבשתי המחבר אזורי אקלים ממוזג שבצפון עם אזורי המדבריות, ומעבר להם, עם רצועת יערות הגשם של אפריקה ואסיה. גשר זה מאפשר מעבר של בעלי חיים (לדוגמה, ציר נדידה חשוב לעופות) וצמחים מבית גידול אחד למשנהו.
- האקלים בארץ מגוון ותלוי בטופוגרפיה, בהשפעה הממתנת של הים לעומת היבשה וכו'.
- הבדלים אלו יוצרים מספר רב של בתי גידול.
- בישראל יש מגוון נופים, הכוללים אזורים הרריים ומבותרים, אזורים מישוריים ושטחים ונופים רבים אחרים. אלה יוצרים מגוון רחב של מערכות אקולוגיות.
- השינויים האקלימיים שהתרחשו לאורך ההיסטוריה, אפשרו חדירות של מינים מאזורים משוונים ומאזורים ממוזגים בצפון. מינים אלו התאימו עצמם לסביבה, וכיום הם מינים ותת מינים ייחודיים (אנדמים), הקיימים רק באזורנו.

המגוון הביולוגי נפגע מגורמים רבים, ביניהם הרס (כולל זיהום) ופיצול של בתי גידול, ניצול משאבים (על ידי דיג, ציד, כריתה וכו'), מינים פולשים ומינים מתפרצים (מינים המרחיבים את תפוצתם בעקבות פעילות האדם, ללא העברה אקטיבית או פסיבית על ידי האדם) (שקדי 2008). בישראל נתונים כיום כ-142 מיני יונקים, דו חיים, זוחלים, דגים ועופות תחת סכנת הכחדה. כ-70% ממני הצמחים בישראל לא אותרו מאז שנות ה-50. כ-20% משטחה של ישראל מוקצים לשימור המגוון הביולוגי, אך בשמורות הקטנות שבמישור החוף ובעמקי הצפון קשה לשמור על מערכת אקולוגית מתפקדת, ובשמורות הגדולות בנגב קיימים שטחי אש פעילים (מתוך אתר המשרד להגנת הסביבה).

אקוסיסטמות ושונות ביולוגית מספקות שירותים ומוצרים כלכליים: אספקת משאבים ותשומות אנרגיה כגון עץ, מזון, מוצרי תבלין ומרפא. הטבע קולט מוצרי פסולת, שומר על איכות האוויר, הטמפרטורה, מחזור המים וכו'. הטבע מספק הנאות וביולוגיים, משרה שלווה ונינוחות, בעל ערכים חינוכיים, דתיים ותרבותיים ומאפשר גילויים מדעיים (שמיר 2002).

שטחים לחים ונחלים מספקים מים למי התהום ומקורות מים עיליים. לשטחים לחים תפקיד חשוב בהפחתה של ספיקות שיא, אחזקה של מי סערות וסינון מזהמים, לשם שמירה על חיי אדם, רכוש ואיכות המים (Shapiro et al. 2008). מצב האקוויפרים כיום מוביל לפגיעה במערכות

אקולוגיות התלויות במפלסים (רוזנטל 2004). כיום ישנם כ-200 אתרי טבע המקבלים הקצאת מים, כאשר חלק משטחים אלו תלויים במים שפירים וחלקם מושקים במי קולחים. סך כל המים הנדרשים לקיום מערכת אקולוגית יציבה בשמורות הטבע וגנים לאומיים, הם ברוטו 845 מלמ"ק בשנה ממוצעת, כשנטו נדרשים 185 מלמ"ק (פחות מ-20%). פער זה משמעו הפער שבין הכמות הנדרשת לזרימה דרך בתי הגידול (נחלים, שמורות וכו'), אשר נקרא "ברוטו", לבין כמות המים הנצרכת בפועל באתרים אלו (כמות המים שאינה יוצאת מהמערכת בגלל התאיידות, חלחול וכו'), אשר נקראת "נטו". כך יש פוטנציאל ניצול של 80% מים במורד ובמוצא המערכת האקווטית, אותם ניתן לסחר ולמחזר לצרכים שונים (שחם 2003).

ישנה פגיעה חמורה במקווי מים בישראל על ידי תפיסת המים, ניקוז, ייבוש וזיהום (מר נ. קשת-תקשורת אישית). הפגיעה הקשה בנופי המים גרמה לפגיעה במגוון הביולוגי של ישראל; היכחדות צמחי מים רבים, חסרי חוליות, דו חיים, דגים ועופות מים. מבין מינים אלו, רבים אחרים נמצאים על סף הכחדה או בסיכון. כיום נעשה שימוש בקולחים לצרכי הטבע ושיקום נחלים, והתקן הקיים כיום מוביל לבריאות בינונית-גרועה של הנחלים. מקורות המים המתאימים ביותר לשימור ושיקום בתי גידול טבעיים הם המים הטבעיים. על מנת להגן על ערכי טבע ונוף, יש להבטיח לגיטימציה מלאה לצרכי המים של הטבע והנוף (שמורות טבע, בתי גידול לחים, זרימה בנחלים, פארקים עירוניים, אזורי נופש, חקלאות נופית ומאגרים טבעיים), על ידי הבטחת כמויות המים הטבעיים הדרושים (שחם 2003).

ישנן תועלות רבות בשמירה על משאבי הטבע ולהן רווח ציבורי של עשרות מיליוני שקלים. כך למשל מניית עלות תועלת שנעשה לפיתוח נחל הירקון, התקבל רווח ציבורי של 50 מיליון ₪ (רוזנטל 2004). Fleischer & Sternberg (2006), אשר בחנו ארבעה תרחישים של שינויי כמויות משקעים, באזור בו האקלים ים תיכוני לח, מצאו כי האוכלוסייה העירונית בישראל מוכנה להשקיע בשימורם של הנופים הירוקים של שטחי מרעה (Rangelands, כולל גם אזורים עם פוטנציאל למרעה לאחר שאינם מתאימים לעיבוד חקלאי) באזור זה, לאור העלייה בצחיחות הצפויה באזור. ערכו של שטח מרעה כמקור לרווחת האדם, נמצא גבוה יותר (כ-80 מיליון דולר לשנה למניעת הפיכת האזור הים תיכוני לח לצחיח למחצה), מערך שירותי הרעייה ששטח זה מספק לבקר ולצאן (מגדלי בקר יאבדו 16,000 דולר לשנה ומגדלי צאן יאבדו 22,000 דולר לשנה).

לשטחים מיוערים בישראל נעשו גם כן מספר הערכות כלכליות. לדוגמא, פארק הכרמל הינו אחד הפארקים הגדולים בישראל בו שפע צמחייה, המתקיימת הודות לכמות גשמים ממוצעת של למעלה מ-600 מ"מ לשנה. על פי שמיר (2002), ערך בתי הגידול בפארק זה, אשר כלל את מגוון השירותים שבו, כגון נוף, גנים חקלאיים וערך המינים בשמורה, נע בין כ-3.5 מיליון ללמעלה מ-7 מיליון ₪ לדונם.

דרך נוספת להעריך כלכלית את אתרי הטבע והמערכות האקולוגיות שבהם, היא באמצעות היקף התיירות שלהם. כך למשל, היקף התיירות ברמת הנדיב, הוערך ב-92 מיליון ₪ בשנה (אבנימלך וצבן 2002).

6.5.1 השלכות שינויי האקלים על המגוון הביולוגי

בנוסף להשלכות שאוזכרו בסעיף הקודם, נוספות השלכות שינויי האקלים, המאיצים את התהליכים (שקדי 2008) והעשויים להשפיע על המחזוריות בטבע, הפיזיולוגיה, התפוצה ויכולת ההתאמה של צמחים ובעלי חיים (Yom-Tov 2001). בישראל ישנן מערכות ביולוגיות רגישות, הפגיעות לשינויי האקלים, כגון שוניות האלמוגים של ים סוף (Banin et al. 2000) וכן מערכות אקולוגיות במקומות מבודדים יחסית, כמו החרמון, הר מירון והכרמל (סטופ ואשד 2001). אזורים בעלי עושר (מספר) מינים גבוה, מגיבים מהר יותר לשינויי אקלים, מאשר אזורים בעלי עושר מינים נמוך (ד"ר א. רוזנפלד, פרופ' מ. ליטאור, גב' ר. שוורץ צחור, ומר א. פיינגולד-תקשורת אישית).

בישראל ישנם 7 חודשים יבשים בשנה ושתי עונות מובהקות בהם ישנו מזג אוויר קיצוני, כלומר יובש קיצוני מלווה בחום ורוחות חזקות (גולדרייך 1998). יכולת העמידות של מגוון המינים להחמרה פוטנציאלית בתנאי היובש והחום, תלויה במינים השונים. עלייה של 1.5°C צפויה להוביל לתזוזה מרחבית צפונה, של 300-500 ק"מ, בתפוצה של אורגניזמים ים תיכוניים ותפיסת השטח על ידי מערכות אקולוגיות מדבריות מהנגב. קו המדבר ינוע צפונה, ומערכות ים תיכוניות, שכיום נמצאות בספר המדבר, יהפכו מדבריות. עקב כך, מינים אשר עמידים פחות ליובש עלולים להידחק (Gabbay 2000). רצף של שנים שחונות, או ירידה בכמויות המשקעים, יובילו לפגיעה חמורה בתפקודן של מערכות אקולוגיות (אבנימלך וצבן 2002).

Koechy (2008) מצא כי עלייה באירועי גשם קיצוניים מועילה לצמחייה באזור הצחיח, אך פוגעת בצמחייה באזורי אקלים לחים יותר, כגון אקלים ים תיכוני וים תיכוני לח. לפי מחקרו, עלייה במוצע המשקעים היומי (סופות גשם), המגדילה את הזמן בו המים זמינים לצמחים ב-15 עד 30 ס"מ העליונים של הקרקע (תקופת הרטבה גדולה יותר), מעלה את המילוי החוזר של מאגרי המים בקרקע באזורים יותר צחיחים. לכך השלכות על נביטה, התבססות, יצרנות והתמדה בשטח, של אוכלוסיית צמחים שנתיים. עם זאת, ההשפעה של ממוצע המשקעים היומי, קטנה עם העלייה בלחות. לכן, האינטראקציה בין זמינות המים ונביטה תלוית-צפיפות, מעלה את התבססות של נבטים באזור צחיח, אך באזורים יותר לחים, ההתבססות של נבטים יורדת עם העלייה במוצע המשקעים היומי.

הפחתה בכמות המשקעים או שינויים בהתפלגות המשקעים, יפגעו בחדירת המים לקרקע, כאשר להתפלגות המשקעים לאורך העונה הרטובה, ישנה השפעה רבה יותר על רטיבות הקרקע, כיוון שמאפשרת חדירה של מים לעומק (ד"ר ג. שילר-תקשורת אישית). מיני צמחים, הדורשים יותר מים ייעלמו, כיוון שלא יקבלו מספיק מים בקרקע, בעוד צמחים, היותר עמידים לתנאים אלו, ישרדו. עיקר האיום הוא לשטחי יערות, חורש ושטחים פתוחים, הנמצאים בתחום הצחיחות למחצה, שנמצא באזור קו הרוחב תל אביב-מזרח ודרומה עד באר שבע/פלוגות. ההשפעה המרבית של שינויי משקעים, היא באזור זה, אשר נתון כיום בין כה וכה להשפעות של אקלים

ובצורות ושהגורם המגביל בו לצמחייה, הוא זמינות המים (ד"ר ג. שילר- תקשורת אישית, סבוראי וספרן-נתן 2006). עם זאת, סבוראי וספרן-נתן (2006) הראו כי הפחתה בכמויות המשקעים בטווח של 5-35%, העלאת הטמפרטורה הממוצעת לעונה ב-1.5°C והעלאת הלחות ב-10%, בעלי השפעה נמוכה על יצרנות ראשונית בצומח עשבוני באזור הצחיח למחצה, כיוון שהצומח באזור זה מותאם לתנאי עקה ומנצל באופן מרבי את המים הזמינים. לדעת החוקרים, רק תקופות יובש תוך עונתיות ממושכות, יפגעו משמעותית ביצור הראשוני. בנוסף, יקיר ורוטנברג (2007), אשר בחנו את יכולת ההיערכות של עצי אורן (*Pinus halepensis*) ביער יתיר (בקרב ערד), לתנאי יובש ועקת חום, מצאו כי מין זה שורד את תנאי העקה של הקיץ, באמצעות שמירה על רמות פעילות נמוכות וכך ממקסם את היצרנות שלו. שיא הפעילות (הטמעת CO₂ ויצירת אנרגיה) מתרחשת בסוף העונה הגשומה, וישנה פעילות מינימאלית בזמן עונת היובש הארוכה.

גם על פי מחקר חדש, הנערך בימים אלו על ידי ד"ר אריה רוזנפלד, פרופ' מיכאל ליטאור, גב' רחלי שוורץ צחור ומר פיינגולד אביתר (תקשורת אישית), הפחתה פוטנציאלית של 8% בכמות המשקעים בישראל (בממוצע כ-30 מ"מ בכמות המשקעים השנתית), לא צפויה לפגוע משמעותית במגוון המינים בישראל. זאת לפי תוצאות ביניים, המראות כי מיני פרפרי יום וצומח מעוצה, המהווים אינדיקטור למגוון המינים, נמצאו בעלי רגישות נמוכה לשינויי אקלים, בתחום השינוי החזוי (ירידה ממוצעת של עד 2% בעושר מיני צומח מעוצה לקמ"ר, וירידה ממוצעת של עד 5% בעושר מיני פרפרים לקמ"ר). בנוסף, שינויים בלחות ובטמפרטורה לא נמצאו כבעלי השפעה מובהקת. עם זאת, יש לקחת בחשבון כי נעשתה מדידה יחידה בכל אתר, ולכן אפשרי כי ישנם מינים שלא נדגמו. בנוסף, לא נבחנו השפעות הגירה של מינים בין אתרים, העלולה להתרחש בעקבות השינויים הצפויים.

מחקר בראשותם של ד"ר חיים קיגל, ד"ר מרסלו שטרנברג ופרופ' תמר דיין במסגרת פרויקט GLOWA- נהר הירדן, בוחן בימים אלו את עמידות המערכות האקולוגיות בישראל לשינויי האקלים בטווח הקצר. המחקר בוחן לאורך ארבע שנים, צמחייה עשבונית חד שנתית (בה ישנה חלופיות מהירה יותר לעומת צמחייה רב שנתית) ובעלי חיים לאורך גרדיאנט של גשם, והוא צפוי להסתיים ב-2008. מתוצאות ביניים של המחקר, המתמקד בחברות צמחים, נראה כי ירידה או עלייה של כ-20-30% בכמויות המשקעים בטווח הקצר, לא השפיעו ברמה מובהקת על המגוון, או על עושר המינים (נבחנו בתחנות מדידה באזור להב ופרוזדור ירושלים). החוקרים משערים כי לצמחים חד שנתיים יש בנק זרעים גדול, שמפחית את השפעת השינוי במשקעים, ומאפשר להם עמידות לשינויים אקלימיים קצרי-טווח. עם זאת, אפשרי שמשך הניסוי קצר מדי (ד"ר ח. קיגל- תקשורת אישית).

גישה שונה, בוחנת את ההבדלים במגוון הצומח באזורים השונים לאורך גרדיאנט גשם, לאורך ההיסטוריה, אשר במהלכה היו שינויים בכמויות המשקעים. על פי השתנות מגוון המינים לאורך ההיסטוריה, בהתאם לשינויים בכמויות המשקעים/ טמפרטורות, ניתן להסיק שבמידה ויתרחשו שינויים בכמות הגשם והטמפרטורות, כפי שהיה בעבר, נראה מגוון מינים מסוים באזור. גישה זו נבחנת כיום בפרויקט ארכיאולוגי רב שנתי, שהחל ב-1996 במכון לארכיאולוגיה באוניברסיטת

בר אילן (מאיר וחוב' 2006). הפרויקט נערך בתל צפית/גת, אתר הנמצא בשפלה הנמוכה ליד קיבוץ כפר מנחם, והינו בין התלים המקראיים הגדולים בישראל. האקלים באזור ים תיכוני זה, נע בין לח למחצה לצחיח למחצה והינו רגיש במיוחד לשינויי אקלים. הצומח מאפשר את יציבות האזור ומפחית את הסיכון לתהליכי סחיפה. בעקבות השפעות אקלימיות ואנושיות (רעייה וכריתה) באזור, מהווה תל צפית/גת אתר מתאים לבחינת ההיסטוריה האקלימית בקורלציה להיסטוריה האנושית. מתוצאות המחקר, במהלך שלושת אלפים השנים האחרונות, נרשמה תנודתיות של 20% במשקעים מתנאים לחים ויציבים, עם כ-600 מ"מ גשם, לתנאים יובשניים ותנודתיים יותר, עם כ-450 מ"מ גשם. תנודתיות זו במשקעים לא גרמה לשינוי משמעותי בסביבה, למרות שניתן לראותה בנוף בהצטברויות הסחף וגם בתנודות בעושר כיסוי הצומח בפני השטח. אופי הצומח הים תיכוני במהלך התקופה דומה ביותר לצומח כיום, אם כי בתקופה הלחה, היה עושר צומח רב יותר, מאשר בתקופה היובשנית (מאיר וחוב' 2006).

ניתן להסיק ממחקרים אלו, כי ישנם מינים בישראל, חלקם אף בתחום הצחיחות למחצה, אשר הסתגלו לתנאי העקה של יובש וחום לאורך השנים ואף יכולים להתמודד עם הפחתה מסוימת בכמויות המשקעים. עם זאת, לא ברור האם מינים אלו יוכלו לשרוד החמרה בתנאי היובש והחום לטווח הארוך, הצפויים בעקבות שינויי האקלים, בעיקר עלייה במשך תקופות יובש, במשך עומסי החום ועלייה בתדירות שנות בצורת.

כך למשל, ממחקרם של אשכנזי וחוב' (2007), הפחתה פוטנציאלית של 50 מ"מ במוצק המשקעים בטווח הארוך, באזור הצחיח של ישראל, משמעותית לצומח ותוביל להתייבשות של כמעט 100% מכיסוי הצומח הרב שנתי. זאת כיוון שבאזור המחקר (דיונות ניצנה, כ-70 ק"מ דרום-מערב מבאר שבע, על גבול מצרים), כמות המשקעים הממוצעת היא כ-80 מ"מ וכמות המשקעים המינימאלית, הדרושה להתפתחות צומח באזור זה, היא 50 מ"מ. התייבשות הצומח עשויה להוביל למובילות הדיונות, כיוון שאלו מיוצבות על ידי הצמחייה. עם זאת, מתוצאות ביניים במחקר זה, כמות המשקעים הממוצעת בדרום ישראל, אינה צפויה לרדת באופן משמעותי, ולכן דיונות החול בניצנה ימשיכו להיות מיוצבות, כל עוד הפרעות האדם יהיו מינימליות ובהנחה שלא יהיו שינויים אקלימיים בפוטנציאל הסחיפה של הרוח באזור. רוח עשויה לגרום לארוזיה של הקרום הביוגני, לו תפקיד חשוב ביציבות הדיונות.

הפחתה פוטנציאלית של 100 מ"מ בכמויות המשקעים לאורך שנים באזור הצחיח, תצריך הורדת שטחי חורש ביערות נטועים (ד"ר ג. שילר- תקשורת אישית), כיוון ששנות בצורת מובילות לתמותת יערות. לדוגמא, בשנת הבצורת 1998/99, מתו 7000 דונם עצים בדרום (ד"ר ע. בונה- תקשורת אישית).

שינויי האקלים מעלים בנוסף את הסבירות לשריפות יער. על פי נתוני קק"ל, לא נצפתה בשנים האחרונות עלייה במספר השריפות ולא בשטח השריפות. ישנן שנים בהן שילוב של תנאי מזג אוויר עם גורמים אחרים, כגון מציתים, גורם לעלייה במספר השריפות. ימים קיצוניים, בעיקר בעונות המעבר, או משך עונת היובש, בעלי השפעה ניכרת על הסבירות לשריפות יער, בעוד עליית הטמפרטורות בעלת השפעה פחותה (ד"ר צ. אבני-תקשורת אישית). העלייה במספר ימי חמסין

(ימים עם טמפרטורות גבוהות), העלייה בתנאי יובש והתארכות העונה היבשה, יעלו את הסיכון לשריפות יער.

חלק מהשפעות שינויי האקלים, כוללות התחממות גופי מים עיליים. בכנרת החלו להופיע בשנים האחרונות מיני אצות כחוליות, המייצרות רעלנים חדשים. חלק מאצות אלו מקבעות חנקן אטמוספרי, ועד 1994 לא הופיעו מינים מקבעי חנקן אטמוספרי בצורה מאסיבית בכנרת. הופעתן מהווה אות אזהרה להשתנות התנאים הסביבתיים באגם. מיני אצות כחוליות (כגון אפניזומנון וצילינדרוספרמופסיס), שהחלו להופיע בכמויות שהולכות ועולות משנה לשנה, מעדיפות טמפרטורת מים גבוהה יחסית, המאפשרת קצב גידול מהיר וכושר ייצור רעלנים. אצות אלו הן חוטיות ולכן לא נאכלות על ידי הזואופלנקטון בכנרת. כך כמותן נשמרת גבוהה במים, הנעשים עכורים יותר. הסיבות לשינויים אלו בהרכב המינים בכנרת עדיין אינו ברור, אך ייתכן כי ניתן לייחס אותן בין השאר, להשפעת ההתחממות הגלובלית (זהרי 2005). ההשלכות של הופעת האצות, כוללות פגיעה באיכות מי השתייה המסופקים מהכנרת וצמצום המגוון הביולוגי באגם. בנוסף, הגברת התנודות של מפלס הכנרת בין 215 ל-209 מטר, גרמה לכך שבתי הגידול הביצתיים, הלגונריים והאגמיים, אינם יציבים מרחבית (קפלן וגולדשטיין 2005). מצב זה עשוי להחמיר עם הפחתת המים הזמינים לכנרת (ראה סעיף 6.1.1) והורדה מנהלית של "הקו האדום" מתחתיו אין שואבים מהכנרת.

לעליית הטמפרטורות השפעה ניכרת גם על מיני בעלי חיים. Yom-Tov (2001) הראה קורלציה בין מסת גוף ואורך כף רגל במיני דורורים ועליית טמפרטורה בישראל. על פי מחקרו, נמצא קשר שלילי מובהק בין טמפרטורות מינימום באביב (אפריל, מאי, יוני), לאורך השנים 1950-1999, לבין מסת גוף ואורך כפות הרגליים של ארבעה מיני דורורים. מסת הגוף של ארבעת המינים ירדה בין 13.4-27.2%, ואורך כף הרגל של שניים מהמינים הראה ירידה של 8.7%-15.6%. לכן החוקר הסיק, כי הפחתה זו במסת הגוף ואורך כפות הרגליים, היא כתוצאה משינויי האקלים. הפחתה זו הינה משמעותית והיא בתיאום עם חוק ברמינגהם, לפיו מיני בעלי חיים בעלי דם חם, יהיו קטנים יותר באזורי חמים, מאשר באזורי קרים. תגובות אבולוציוניות ופנוטיפיות אלו (תכונות הנראות לעין), אפשרויות וידועות כמתרחשות מהר יחסית. ישנה אפשרות כי פקטורים נוספים, כגון הפחתה בזמינות המזון, תרמו אף הם להפחתה במסת הגוף. להפחתה זו השלכות חמורות למבנה אוכלוסיות ותחרות בין מינים של ציפורים והן עלולות להשפיע על הישרדות של דורורים (Yom-Tov 2001).

שינויי האקלים הם בין הגורמים להתפשטות והתבססות מיני ציפורים ממקור טרופי בישראל. Hatzofe & Yom-Tov (2002) מצאו כי במהלך השנים 1960-2002, מבין מינים חדשים של ציפורים אשר נתגלו בישראל, אלו ממקור טרופי, נטו יותר להרחיב ולבסס את תפוצתם, מאשר מיני ציפורים ממקור צפוני. עם זאת, פקטורים נוספים, כגון שינוי בתי גידול ושינוי שיטות חקלאיות, תרמו אף הם להתפשטות זו ואף היוו מרכיב עיקרי. חלק ממינים אלו הפכו פולשים, ובכך מסכנים את המגוון הביולוגי המקומי (Hatzofe and Yom-Tov 2002).

בין ההשלכות של פגיעה במגוון המינים בעקבות שינויי האקלים, היא פגיעה כלכלית. למשל נזקים לתיירות בעקבות פגיעה בשמורות הטבע. אתרים כגון עין אפק ושמורת החולה, המושכים תיירים הודות למים שבהם, יאלצו לצמצם את שטחם במידה ותופחת כמות המים לטבע. בנוסף, ניסיונות הצלה של מינים בסכנת הכחדה גם הם בעלי משמעות כלכלית. לוגמא, פעולות ההצלה של דג לבנון הירקון, בזמן הבצורת של שנים 1998-99, עלו כמיליון ₪ (מר נ. קשת- תקשורת אישית).

6.5.2 פערי הידע בתחום שינויי אקלים ומגוון ביולוגי

- צוות בראשותו של ד"ר יהושע שקדי, המדען הראשי ברשות הטבע והגנים, מבצע כיום הערכה של השלכות שינויי האקלים על מגוון המינים. קיימת מורכבות בהערכת מכלול ההשלכות הצפויות, בין השאר כיוון שיש שינויים בתחזיות לחלקי הארץ השונים, ושינויי האקלים עשויים לשנות גבולות ביו-גיאוגרפיים, כך שקשה יהיה להעריך מה השתנה במגוון הביולוגי. במצב זה, הקווים אינם ברורים וקשה מאוד לבנות תחזיות ביולוגיות-אקולוגיות. הערכות ראשוניות הן כדלקמן (שקדי 2008);
- ❖ לא ברור כיצד השינויים החזויים ישפיעו על חברת הצומח. הצפי הוא שהשינויים האקלימיים יגרמו לשינויים בתפוצת המינים.
- ❖ הדרכים לשמירה על המגוון הביולוגי, הן שימור של שטחים פתוחים, מסדרונות אקולוגיים ובמקומות בהם המעבר חסום, יתכן ויהיה צורך בהעתקות אוכלוסיות. עם זאת, ישראל מדינה קטנה, מיושבת והשטחים הפתוחים קטנים.
- אשכנזי וחובי (2007) מבצעים מחקר המשך בנושא השלכות השינויים הצפויים בכמויות המשקעים, על יציבות דיונות החול באזור ניצנה. במחקר יופעל מודל, אשר יכלול שני משתנים דינאמיים, כיסוי הקרום הביולוגי וכיסוי צמחייה. בשלב הבא יפותח מודל מרחבי, אשר יכלול התפשטות הצומח באמצעות הפצת זרעים, והשפעת כיווני הרוח על התפתחות כיסוי הצומח.
- מחקרים מעטים בלבד בחנו את השפעת שינויי האקלים על יצור ראשוני במרחב ובזמן, ברזולוציה גבוהה, מכיוון שמודלים אקלימיים בודקים שינויים ברמה אזורית, או גלובלית, בעוד מודלים, הבודקים יצור ראשוני, מתייחסים למיקרו סביבה. כמו כן, מחקרים מעטים בדקו את השפעת השונות העיתית, כלומר שינויים במועד תחילת או סיום העונה הגשומה, על היצור הראשוני. בנוסף, המודלים הקיימים כיום אינם יכולים לתת תחזית טובה על הקשר בין הירידה בתדירות הסופות, לבין יצור הצומח (סבוראי ושפרן-נתן 2006).
- לא ידוע על מחקרים בישראל שבוחנים את השלכות שינויי האקלים על שריפות יער (פרופ' ג. נאמן, ד"ר ע. בונה, ד"ר צ. אבני- תקשורת אישית). נושא השלכות שינויי האקלים על שריפות יער, אינו נושא שמייחסים לו חשיבות בישראל, כיוון ששריפות מושפעות יותר מהאדם ולא משינויי אקלים. ישנה התייחסות רבה יותר לסכנת התפשטות שריפות לישובים סמוכים והסכנה לסביבה ולמיני הצמחים. לכן, לא קיימת

היערכות לשינויי האקלים בקק"ל, מבחינת ממשק שריפות, אלא היערכות רב תחומית בנושא שריפות יער, הכוללת הפעלת יחידה חקלאית בשיתוף עם השירות המטאורולוגי, הבוחנת את רמות הסיכון לשריפות ברחבי הארץ ומאפשרת היערכות עם צוותי כיבוי אש בהתאם לרמות הסיכון. מכיוון שכיום לא ברור מה שינויי האקלים הצפויים באזורנו, לא ניתן להפיק הערכות לסיכון לשריפות יער (ד"ר צ. אבני-תקשורת אישית).

6.5.3 המלצות למחקר בתחום שינויי האקלים ומגוון ביולוגי

- ניטור ארוך טווח של מגוון המינים באזורי האקלים השונים. ניטור יאפשר לבחון את השינויים המתרחשים, וכיצד שינויי האקלים משפיעים על מינים שונים ותחומי תפוצתם.
- בחינת יכולת של מינים ים תיכוניים לנוע צפונה, בעקבות הפחתת כמויות המשקעים, בשילוב עם שימושי קרקע ופעילות האדם.
- הערכות סיכון של מינים תחת סכנת הכחדה, העשויים להיכחד בעקבות השינויים האקלימיים (בין השאר בעקבות השפעות עקיפות של שינויי האקלים על התפשטות מחלות ופתוגנים, התבססות מינים אקזוטיים והשתלטות מינים אופורטוניסטיים על בתי הגידול).
- השלכות ההתחממות על הקדמת עונת הצימוח, עונת הרבייה של מינים וזמני נדידת ציפורים.
- הערכת ערכי סף של משתני האקלים השונים (טמפרטורה, משקעים, התאיידות), העשויים לערער יציבות של בתי גידול שונים, ביניהם בתי גידול במוצאי נחלים, בתי גידול אקוויים, בתי גידול מדבריים ובתי גידול באזורי מעבר בין אקלים מדברי וים תיכוני, הרגישים יותר לשינויים אקלימיים.
- הערכת ערכי הסף של כמויות הגשם והטמפרטורה, אשר יפגעו משמעותית ביציבות בתי הגידול (סבוראי ושפרן-נתן 2006).
- השוואה בין התרחישים השונים של שינויי אקלים לתקופות הקציר בשנים שחונות, בהן התרחשו תנאים דומים (סבוראי ושפרן-נתן 2006).
- בחינת השפעת השינוי הרב שנתי המצטבר בזמינות המים על בתי גידול (סבוראי ושפרן-נתן 2006).
- השלכות התחממות גופי המים על מינים אקוויים, כגון דגים, זואופלנקטון ואצות, לרבות אצות רעילות בכנרת.
- השלכות התחממות גופי המים על הרעת איכות המים, כמויות הנוטריינטים ושיכוב המים.
- השלכות העלייה בתדירות ועוצמת שיטפונות על שטף מזהמים לגופי המים, והשפעתם על המערכות האקוטיות.
- השלכות המלחת הכנרת על בתי הגידול והרכב המינים באגם.

- השלכות ריבוי אירועי שריפות ועלייה בריכוזי CO₂ ואוזון, על הרכב מינים ויצרנות של יערות.
- בחינת עמידות יערות להחמרה בעקות אקלימיות, כגון תנאי יובש, טמפרטורה, התאידות ובצורות ממושכות.
- השלכות עליית מפלס הים והיצרות רצועת החוף על הטלת ביצי צבים בחוף, והשלכותיהם על הישרדות מינים אלו, הנתונים בסכנת הכחדה.
- בחינת ההבדלים במגוון הצומח לאורך גרדיאנט גשם בתקופות קדומות, בהן התרחשו שינויים אקלימיים חדים. כך ניתן לבחון את סף השינוי האקלימי, שגרם בעבר לשינוי משמעותי באופי הצמחייה והסביבה (מאיר וחובי 2006).
- בניית מודלים, שישלבו מגוון גורמים העלולים להשפיע על עושר המינים, כגון מבנה טופוגרפי, זיהום, פעילות אנושית ועוד (מתוך מחקר חדש של ד"ר א. רוזנפלד, פרופ' מ. ליטאור, גב' ר. שוורץ צחור ומר א. פיינגולד-תקשורת אישית).

6.6 משק האנרגיה

סקטור האנרגיה תורם כ-85% מכלל פליטות גזי החממה בישראל, הנובעות משריפת דלקים מסוגים שונים, במגוון ענפים במשק. ייצור אנרגיה בכלל וייצור חשמל בפרט, מהווים את עיקר הגורמים לפליטת CO₂ (חפץ ושות' 2007).

על פי תוכנית האב לאנרגיה של משרד התשתיות הלאומיות משנת 2004, קיימים שלושה תרחישים אפשריים לביקוש האנרגיה בישראל בשנים 2001-2025, ביקוש נמוך, סביר וגבוה (סברדלוב וחוב' 2004). התחזית ניתנה על פי תרחיש "עסקים כרגיל", לפיו מידת ההתערבות הממשלתית בתהליכים השונים ובמנגנוני הצמיחה המרכזיים, דומים לאלו ששררו בעבר (חפץ ושות' 2007). בנוסף, התחזית התבססה על שיעורי צמיחה במשק, מחירי הדלק, חזירת גז טבעי לשוק, שיעורי אינפלציה ופיחות. על פי התרחיש הסביר, ביקוש החשמל צפוי לגדול בקצב של 3.2% לשנה, בממוצע ארוך טווח. זאת לעומת קצבי גידול של פחות מ-3% בכל שאר מוצרי האנרגיה, למעט גז טבעי, שצומח בקצב מהיר מ-0% מצריכת האנרגיה הראשונית (כגון נפט ופחם) בתחילת התקופה (2001), ועד 40% בשנת 2025 (סברדלוב וחוב' 2004). עם זאת, בתוכנית זו הונחה כניסה מוקדמת של הגז הטבעי מכפי שקרה במציאות (חפץ ושות' 2007). על פי חפץ ושות' (2007), קצב ייצור החשמל צפוי לגדול עד שנת 2025 בכ-3.5% בממוצע לשנה, שיעור הכפול מקצב גידול האוכלוסייה עד לשנה זו (כ-1.7% בממוצע לשנה).

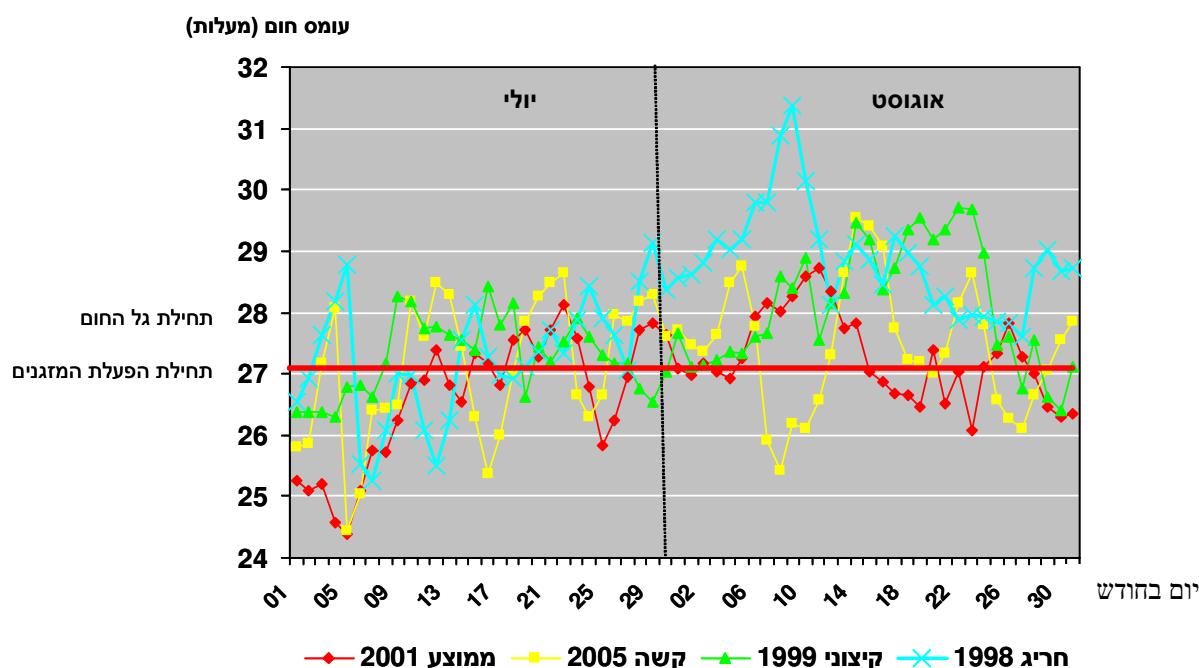
פוטנציאל החיסכון באנרגיה בישראל, על פי הערכות גסות, עומד על יותר מ-20% מכלל הביקוש לאנרגיה (סברדלוב וחוב' 2004). תוכנית האב לאנרגיה המתוארת לעיל, לא אומצה על ידי הממשלה עד היום (07/08), ולא נעשו בפועל מעבר לאנרגיה סולארית (פרופ' א. מרינוב-תקשורת אישית). בנוסף, למרות החלטת הממשלה משנת 2002 לספק 10% מייצור האנרגיה על ידי אנרגיות חלופיות עד לשנת 2020, בפועל בשנת 2007, פחות מ-0.1% מכלל ייצור החשמל נעשה על ידי אנרגיות חלופיות (חפץ ושות' 2007).

6.6.1 הערכת הידע בתחום אנרגיה ושינויי אקלים

כיום (יולי 2008), לא קיימת בישראל תוכנית להיערכות משק האנרגיה לשינויי האקלים הצפויים (ד"ר א. ארביב-תקשורת אישית). סדרות הנתונים היחידות המסופקות באופן סדיר ברמה טובה ובפירוט, הן מחברת החשמל, בעוד במגזרים אחרים קיימות בעיות של אי זמינות נתונים (סברדלוב וחוב' 2004). בנוסף, קיים מחסור בנתונים, מודלים ותחזיות, המספקים את ההשלכות הצפויות על משק האנרגיה, בעקבות שינויי האקלים. הבנת ההשלכות הצפויות יאפשר למקד תוכנית פעולה בנושא (מר ז. גרוס-תקשורת אישית).

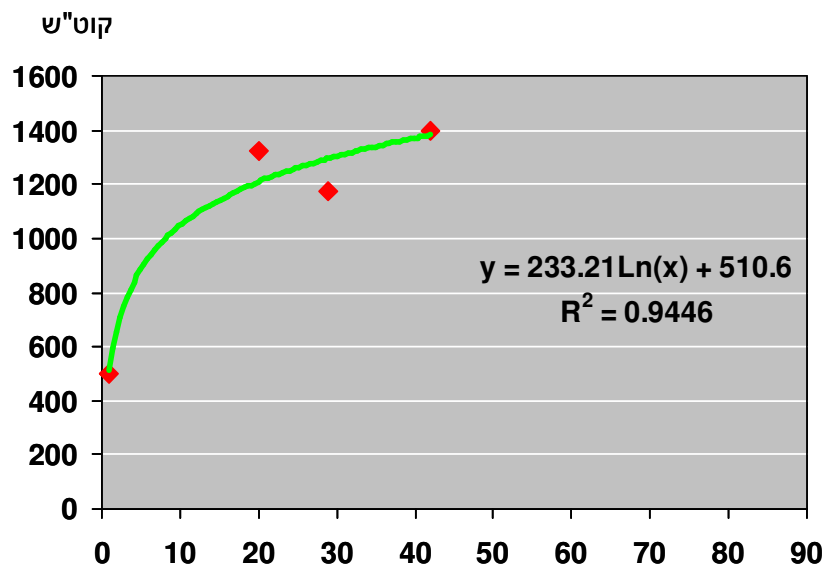
בחברת החשמל נערכים כיום לביקוש האנרגיה, על פי מספר תרחישים אקלימיים, שנקבעו על ידי ניתוח סטטיסטי של סכום ההפרשים, בין עומס החום שנוצר בקיץ בממוצע ארצי, לבין עומס חום של 27°C, שהינה הטמפרטורה שבה מפעילים מזגנים (נכון לשנים 1964-2006). ממצאי הניתוח

הסטטיסטי מצביעים על ארבעה תרחישים אפשריים לעוצמת החום בקיץ ; ממוצע, קשה, קיצוני וחריג (איור מס' 19). ההסתברות להופעת קיץ ממוצע, קשה, קיצוני וחריג הינה 53.5%, 27.9%, 16.3% ו- 2.3% בהתאמה. הקיץ הממוצע מיוצג על ידי שנת 2001, בה נרשם גל חום, שנמשך 5 ימים, ובשיאו עומס החום היה 28.71°C בממוצע ארצי. הקיץ הקשה, מיוצג על ידי שנת 2005, בה נרשם עומס חום, שנמשך יומיים, ובשיאו עומס החום היה 29.55°C בממוצע ארצי. קיץ הקיצוני מיוצג על ידי שנת 1999, בה נרשם גל חום, שנמשך 11 יום, ובשיאו עומס החום היה 29.7°C בממוצע ארצי. הקיץ החריג מיוצג על ידי שנת 1998 בה נרשם גל חום, שנמשך 13 יום עם שיא של 31.36°C בממוצע ארצי (ד"ר ל. היאמס, ד"ר א. שירי- תקשורת אישית).



תרשים מס' 19: עומס החום היומי שנמדד בממוצע ארצי בחודשים יולי-אוגוסט, בשנים 1998, 1999, 2001, 2005. כל שנה מייצגת תרחיש אפשרי לעוצמת החום בקיץ: ממוצע (2001), קשה (2005), קיצוני (1999) וחריג (1998). מקור: לין היאמס, המחלקה לסטטיסטיקה וחקר שווקים, חברת החשמל.

עומס החום בקיץ, מעלה את שיא הביקוש בצריכת החשמל, בעיקר בגלל הפעלה אינטנסיבית של מזגנים. הקשר בין צריכת החשמל של המזגן הביתי ובין עומס החום מתואר בתרשים מס' 20.



סכום ההפרש בין עומס החום ברבעון השלישי ל- 27°

תרשים מס' 20: צריכת החשמל של מזגן ביתי כפונקציה של סכום ההפרשים בין עומס

החום ביולי-אוגוסט בממוצע ארצי לבין 27°C ברבעון.

לדוגמא: אם ברבעון מסוים יש 91 ימים ובכל יום יש עומס חום ממוצע של 28 °C אז

סכום ההפרשים יהיה: $91 \times (28 - 27) = 91$

מקור: ד"ר לין היאמס, המחלקה לסטטיסטיקה וחקר שווקים, חברת החשמל.

6.6.2 המלצות למחקר בתחום אנרגיה ושינויי אקלים

- בחינת התרחישים השונים, אשר נקבעו על ידי חברת החשמל (כמפורט לעיל) על מנת לספק תחזיות לטווח הארוך לצריכת החשמל, בנוסף על תרחישים שונים של יעילות אנרגטית של מכשור שונה של מיזוג אוויר (כגון מזגן ישן וחדש) בבית ובעיקר בשטחים תעשייתיים וציבוריים.
- הערכה מקיפה של הביקוש הצפוי לאנרגיה מבחינת כל מקורות האנרגיה (דלק, גז וכו'), תוך התחשבות בהשפעות שינויי אקלים צפויים.
- השלכות עליית מפלס ים תיכון על תשתיות האנרגיה לאורך החוף.
- בחינת מקורות אנרגיה חלופיים ויעילותם, כגון אנרגיה סולארית, אנרגיית רוח ואנרגיה גרעינית.

7. היערכות לשינויי האקלים

היערכות מוגדרת כשינוי בהתנהגות של מערכת בתגובה לגירוי חיצוני, כגון שינוי במערכת האקלים. מערכות אנושיות יכולות לחזות שינויים סביבתיים ולהגיב בהתאם, וכך להיערך לשינויים הצפויים. התגובה לשינויים אקלימיים נעשית בשני מישורים: תגובה באמצעות פעולות מקדימות, בצפייה לשינוי (כגון תכנון מבנים, ביטוח מפני אסונות והתקנת מערכות מיזוג אוויר), ותגובה לשינוי עצמו (כגון הגירה ממוקדי אסונות, הזנת חופים ואכיפת תקנות בנייה). שיטות וכלים אלו להתמודדות עם השינויים הצפויים, או המתרחשים בפועל, מיושמים מזה שנים רבות, בעקבות אירועי אקלים קיצוניים (UNEP 2006).

סקטורים העוסקים בשימושי הקרקע, כגון חקלאות, הצליחו להתמודד עם שינויים אקלימיים, אשר התרחשו בהדרגה ובקביעות. המפתח להצלחה זו, הוא זיהוי של הסימנים לשינוי, על מנת להיערך במועד באופן המתאים. בעקבות שינויי האקלים, אשר יעלו את תדירותם ועוצמתם של אירועים קיצוניים, יהיה צורך להתאים או להרחיב כלים אלו, בהתאם לתנאים החדשים (UNEP 2006). מאידך, שינויי האקלים, המתרחשים בקצב מהיר יותר, יקשו על הסתגלות במועד. כמו כן, אירועים קיצוניים יקשו אף הם על ההיערכות וייקרו אותה, בהשוואה לשינויים בתנאים האקלימיים הממוצעים. בנוסף, לא ברור האם הכלים להתמודדות עם סיכונים אקלימיים, המיושמים כיום בסקטורים השונים, יהיו יעילים בהתמודדות ארוכת טווח עם שינויי האקלים הצפויים, והאם השימוש בכלים אלו בלבד, יהיה מספיק בפעולות ההיערכות. למשל, שיטות שונות, כגון שינוי גנטי של גידולים ושל חיות משק להפחתת הפגיעות לעקות, יעילות במידה ושינויי אקלים אינם חריפים (Easterling et al. 2004).

מידת ההיערכות תלויה גם בגישת הציבור הרחב. כלומר, מוכנות הציבור לאמץ את הטכנולוגיות החדשות, או מזון המפותח בשיטות טכנולוגיות חדשות (למשל עקב חשש מסיכונים בריאותיים, משינוי המגוון הגנטי של צמחים וממאפיינים אסתטיים) (Easterling et al. 2004).

יש לאזן בין הצורך בפעולות מקדימות, אשר מטרתן הימנעות מהשלכות שינויי האקלים (כגון הגנה על מערכות אקוויטיות), לבין הצורך בתגובה להשלכות אלו (כגון הגנה על תשתיות מהצפה), על מנת להימנע מעלויות מיותרות. לפעולות להתמודדות עם שינויי אקלים עשויות להיות תוצאות לא מכוונות אשר צריכות להיות ברורות, ויש להעריך אותן בהתאם, בזמן תכנון הפעולות (כגון חיזוק הגנות על תשתיות כנגד עליית מפלס הים, יכול להוביל להצפת שטחים לחים או תשתיות אחרות) (Shapiro et al. 2008).

7.1 הכנת תוכנית היערכות לאומית

תחת תרחישי אקלים שונים, משתנים הסיכונים, וכתוצאה מכך משתנה מרחב ההחלטות. לכן מומלץ על הכנת תוכנית מסגרת, שתהווה מדריך לקידום היערכות מוצלחת. באמצעות תוכנית מסגרת, מקבלי החלטות יוכלו להעריך את ההשלכות והסיכונים של שינויי האקלים, ולנצל את הידע הקיים, בצורה הנכונה ביותר (UKCIP 2003). בנוסף, על פי ה-IPCC, הפגיעות העתידית תלויה לא רק בשינויי האקלים, אלא גם בדרכי הפיתוח, ופיתוח בר קיימא יכול להפחית פגיעות זו. לכן מדיניות שינויי אקלים יכולה לקדם פעולות היערכות, אשר יאפשרו בו זמנית הגעה למטרות פיתוח בר קיימא.

האוי"ם והאיחוד האירופי רואים בשינויי האקלים נושא בעל חשיבות מרכזית בסדר היום העולמי. כנסים רבים בנושא זה נערכו בשנים 2006-2007, ורובם עסקו בהיערכות/הסתגלות לשינויים הצפויים, אף יותר מאשר בהפחתה של גזי חממה, כנראה בעקבות חוסר האמון בהצלחת פרוטוקול קיוטו (גולדרייך 2007). למרות אי אלו הצלחות אשר יהיו לפעולות הפחתת פליטות גזי החממה, השלכות שינויי האקלים כבר החלו וחלקן צפויות להימשך עוד עשורים רבים. לכן על מדינות העולם להיערך להן. כיום ברוב מדינות מערב ומרכז אירופה, בארה"ב ובאוסטרליה, ישנן תוכניות להיערכות לשינויי האקלים, הכוללות יישום טכנולוגיות לצמצום פגיעה בחקלאות, הגנה על חופים וחיזוק תשתיות. בישראל טרם הוכנה תוכנית לאומית שכזו. מכיוון שהשפעות שינויי האקלים ניכרות כבר היום, וקיימת סכנה מוחשית לנזקים ניכרים כבר בטווח הקצר והבינוני, יש לפעול להיערכות, אשר תמזער את הנזקים הצפויים. היערכות לשינויי האקלים הצפויים חשובה למניעת נזקים כלכליים וחברתיים בהיקף גדול, לפיתוח חדשנות טכנולוגית וליצוא לארצות בעלות סיכון לשינויי אקלים, לרבות ארצות מפותחות. בנוסף, לדרכי ההיערכות יש לרוב משמעות סביבתית, שיש לה ערך בפני עצמו.

שמונה שלבים, החשובים בהכנת תוכנית היערכות (UKCIP 2003):

- 1) זיהוי בעיות ויעדים
- 2) ביסוס קריטריונים לקבלת החלטות
- 3) הערכת סיכונים
- 4) זיהוי אפשרויות פעולה
- 5) אומדן האפשרויות השונות לפעולה
- 6) קבלת החלטה
- 7) הטמעת ההחלטה
- 8) ניטור, הערכה וסקירה

כמו כן, היערכות לאומית יעילה צריכה לכלול (UNEP 2006, UNFCCC 2006, UKCIP 2003, OECD 2008):

- אמצעים להגדלת הבסיס המדעי לקבלת החלטות
- שיטות וכלים להערכת פעולות ההיערכות
- חינוך, הכשרה ומודעות הציבור להיערכות, כולל האוכלוסייה הצעירה
- פיתוח טכנולוגי, ניצול יעיל של משאבים וחדשנות אקולוגית
- קידום גישות התמודדות מקומיות
- חקיקה ותקינה המקדמות פעולות היערכות ידידותיות

אמצעים להגדלת הבסיס המדעי לקבלת החלטות - שינויי האקלים הם גורם אי ודאות נוסף עבור מקבלי החלטות, בעיקר בעקבות מגבלות הידע כיום על מערכת האקלים ועל השלכות השינויים על הסביבה, החברה והכלכלה. בנוסף, מכיוון שלא ידוע מה צפוי להיות הריכוז העתידי של גזי

החממה באטמוספירה, קיימים מספר תרחישים אפשריים בהתאם לריכוזים השונים, ולכן קשה להעריך בברור מה יהיו השפעות השינויים. עם זאת, התקדמות המדע בעשורים האחרונים, מאפשרת לנו להעריך את השינויים העיקריים הצפויים בעקבות שינויי האקלים (Pittock 2003, UKCIP 2003).

שיטות וכלים להערכת פעולות ההיערכות – מומלץ לזהות תנאים אקלימיים, המייצגים נקודות ציון לסיכון אקלימי, אשר לפיהם ניתן לתכנן מדיניות פעולה. נקודות ציון אלו יכולות להיות מבוססות על ניסיון העבר (כגון תקופות של בצורת ממושכת), או שיתארו תנאי אקלים עתידיים אפשריים. אלו יצינו רמות סיכון נסבלות ולא נסבלות, ויספקו בסיס לפיתוח הערכות סיכונים מעשיות. בהערכות הסיכון יש לכלול שינויים ממוצעים בתנאי האקלים, כגון עליית טמפרטורה עונתית, בנוסף לשינויים בתנאי אקלים קיצוניים, כגון אירועי גשם קיצוניים. אירועים חריגים אמנם נדירים יותר, אך לרוב בעלי השלכות משמעותיות יותר. עם זאת, אלו לרוב קשים יותר לחיזוי (UKCIP 2003).

תצפיות אקלימיות חדשות ועדכון של תחזיות, יוכלו להשתלב, במשך הזמן, בנקודות ציון אלו. משובים יעזרו לשפר את הקריטריונים לקבלת ההחלטות, ויאפשרו זיהוי אופציות נוספות, להפחתת ההשפעות של שינויי אקלים (UKCIP 2003).

יש לקחת בחשבון כי לפעולות ההיערכות עשויות להיות השלכות שליליות. למשל, שימוש מוגבר בהדברה להתמודדות עם התפשטות מזיקים, מחלות ועשבים שוטים בחקלאות, עלול לזהם מי תהום, נהרות ואגמים עקב נגר עילי, הסוחף עימו חומרים אלו, ולאיים כך על מי השתייה, אתרי נופש ובתי גידול אקוויטיים (Melillo et al. 2000). בנוסף, כאשר הסיכון האקלימי מוערך מעבר למידה, נעשית היערכות יתר, ואף ניצול לא הכרחי של משאבים. כמו כן, קיימת האפשרות שפעולות ההיערכות לא יספקו את התגמול המצופה, בעקבות אי הודאות של האקלים העתידי (UKCIP 2003, Pittock 2003). לכן יש לקבוע את הסיכון האקלימי בהשוואה למדדי סיכון לא אקלימיים. תרחישים אקלימיים ולא אקלימיים בעלי רגישות גבוהה, המאפשרים ניתוח של אי הודאות, יעזרו לזהות את מקור אי הודאות הנלוות להערכות הסיכונים, את ההשערות העיקריות, ובעיקר יעזרו להבין את השלכות אי הודאות על ההחלטות השונות. יש לאפשר עריכת שינויים בהחלטות שיתקבלו, או להגדיל את האפשרויות ליישום אמצעי היערכות, במידה ויהיה בהם צורך, או כאשר תהיה יותר ודאות בנוגע להשפעתם (UKCIP 2003).

הערכת סיכונים תאפשר בנוסף זיהוי אפשרויות היערכות "ללא חרטות" (בחירת אמצעי היערכות, המוערכים כנכונים ביותר ובעלי תועלות בכל תרחיש אקלימי עתידי אפשרי, כולל בתנאי האקלים הנוכחיים). עם זאת, לרוב קבלת החלטות "ללא חרטות" אינה אפשרית, וההחלטה על אופן ההיערכות תהיה לא ודאית. במקרה זה, ההחלטה תהיה תלויה בגישת מקבל ההחלטות למקורות הסיכון (אקלימיים ולא אקלימיים), ולסיכונים הנלווים לפתרונות השונים. מומלץ כי מקבלי ההחלטות יפרטו את גישתם לסיכונים השונים, כחלק מתהליך קבלת ההחלטות (UKCIP 2003).

חינוך, הכשרה ומודעות הציבור להיערכות – חשוב להגביר את מודעות הציבור בנושא שינויי האקלים, כולל השפעותיהם ודרכים לצמצום הנזקים, ולשפר את הבנתו בעלויות ובתועלות של

אמצעי ההיערכות המוצעים (UNEP 2006, OECD 2008). פעולות אלה יש לבצע תוך שיתוף ארגונים לא ממשלתיים, מוסדות חינוכיים ועסקים קטנים, ומתן מיסים או תמריצים. ארגונים לא ממשלתיים עשויים לשמש גם כמתווכים במציאת טכנולוגיות, בהתאמת השקעות ובעזרה ניהולית וטכנית. בנוסף, יש להכשיר כוח אדם, המיומן בנושא, ולאפשר גישה למידע בנוגע לשינויי האקלים לכלל הציבור (UNEP 2006). יש לוודא מהן המטרות הברורות של הפעולה, ולאחר מכן להעביר את המסר לציבור בצורה הטובה ביותר, בעיקר על ידי המדיה. מומלץ לאתר את קהל היעד המתאים להעברת המסר של פעולות ההיערכות, לעודד השתתפות פעילה של קבוצות עניין, ולקחת בחשבון את האינטרסים השונים של בעלי העניין והצדדים שונים, אשר יושפעו מההחלטות. באמצעות השתתפות זו, ניתן למנוע התעלמות מהשלכות מסוימות ומההגבלות הכרוכות בהחלטות השונות (UNEP 2006, UKCIP 2003).

פיתוח טכנולוגי, ניצול יעיל של משאבים וחדשנות אקולוגית - באמצעות יישום של מדיניות סביבתית איתנה, חופש המסחר והשקעות בינלאומיות יוכלו לעודד איתור גלובלי יעיל יותר של משאבים. בהיעדרה, גלובליזציה תגביר את הלחץ על הסביבה. מדיניות יעילה נחוצה ברמה המקומית, מדינית, אזורית ועולמית. הגלובליזציה יכולה לעודד עסקים להיערך ולחדש באופן "ירוק" (חדשנות אקולוגית). שיטות ליעילות סביבתית וחדשנות אקולוגית לא רק יועילו עם הסביבה, אלא אף יובילו להעלאת היצרנות הכלכלית ולתחרות בין עסקים ומדינות. במסגרת המדיניות לטווח ארוך, יש לחזק את שיתוף הפעולה בין הרשויות ועסקים ולספק תמיכה ממשלתית בחדשנות אקולוגית. כמו כן, לכלול עלויות סביבתיות בפעילות הכלכלית (למשל באמצעות מיסים ירוקים), על מנת שטכניקות ירוקות יוכלו להתחרות בשוק, ולספק לעסקים את התמריצים לחדשנות. הגברת שיתוף פעולה סביבתי בינלאומי, יאפשר הפצת ידע, שיטות וטכנולוגיות הטובות ביותר. למדינות המתפתחות ישנה הזדמנות ללמוד מהניסיון של מדינות אחרות, וליישם טכנולוגיות נקיות ויעילות אנרגטית, הכוללות גם ניצול יעיל של משאבים ויישום דרכי פיתוח ירוקות יותר (OECD 2008).

ביצוע מדיניות בשלבים - הסתגלות הדרגתית להחלטות שהתקבלו ומיחזור של רווחי מיסים חזרה לסקטורים שנפגעו (OECD 2008).

יש לשלב את השלכות שינויי האקלים בכל תחומי קבלת ההחלטות המדיניות, כולל בתחום הכלכלה והמסחר, וליישם את ההחלטות בכל תהליכי הייצור והצריכה. עסקים ותעשיות צריכים לשחק תפקיד מוביל, אך על ממשלות לספק מדיניות ברורה וארוכת טווח. מומלץ לספק מידע מקיף על ההשלכות על הסקטורים השונים, לצד התועלות לטווח הארוך הצפויות בעקבות פעולות ההיערכות והרווח הכלכלי הפוטנציאלי. עם זאת, יש לקחת בחשבון כי יהיו כמה סקטורים שיושפעו במידה מסוימת (OECD 2008). חמישה צעדים חשובים יסייעו לממשלות בפיתוח ובתפעול של תוכנית פעולה לאומית מוצלחת לאורך זמן (UNEP 2006):

1. התחייבות לפיתוח תוכנית לאומית להיערכות לשינויי האקלים.
2. ביצוע הערכה של הצרכים הלאומיים.

3. ארגון סדנאות בנושא לבעלי השפעה. עבודה בשיתוף עם בעלי עניין, כגון עסקים, אנשי מחקר, ארגוני מסחר וארגונים אזרחיים, למציאת פתרונות יצירתיים וזולים (OECD 2008).
4. הטמעת פעילויות בעדיפות ראשונה, ומתן עדיפות לפעולות בסקטורים העיקריים, המשפיעים על הסביבה: אנרגיה, תחבורה, חקלאות ודיג (OECD 2008).
5. חיזוק ותמיכה בהמשך התוכנית.

הטמעת אמצעי היערכות אינו תהליך מיידי, אלא מתפתח עם הזמן. במידה ושינויי האקלים יתרחשו בקצב מהיר ומתמשך, ההיערכות תהיה קשה יותר, כיוון שתצריך תגובות מהירות ויקרות יותר, ויהיה קושי בביצוע הפעולות השונות במקביל לשינויים המתרחשים. היערכות לאחר התרחשות שינויים, עשויה להיות יקרה יותר, מאשר היערכות מבעוד מועד, בעיקר בעקבות ההשפעה על תשתיות ונכסים בעלי זמן חיים ארוך, כגון גשרים וסכרים, פיתוח חופים ותכנון שטחי הצפה (Easterling et al. 2004). פעולה מוקדמת תקל על יישום ההיערכות ותאפשר הוזלת עלויות. כמו כן, יש לקחת בחשבון כי עבור פעולות רבות, יעבור זמן עד למימוש התועלות. עם זאת, נקיטת פעולות לטווח קצר, תהיה בעלת השלכות סביבתיות לטווח ארוך. חלון ההזדמנויות לפעולה פתוח כיום, אך לא יישאר כך לעוד זמן רב. אי נקיטת פעולות או עיכוב ביישומן, יובילו לעלויות כלכליות, סביבתיות וחברתיות גבוהות, בעקבות השינויים הצפויים כבר בעתיד הקרוב (OECD 2008).

7.2 פעולות מומלצות להיערכות לשינויי האקלים הצפויים

7.2.1 ניטור אקלים ומאגר נתונים

- מאגר אשר יכיל ריכוז מידע על נתונים. מאגר זה צריך להיות נגיש מהאינטרנט לכלל הציבור, להכיל תיאור מלא של הנתונים הקיימים והסבר כיצד להשיגם. לדוגמא, בתחום האטמוספירה, רשימה של תחנות מטאורולוגיות, מיקום כל תחנה, הנתונים הנמדדים בכל תחנה, פרק הזמן שעבורו קיימים הנתונים, רזולוציית זמן המדידות ודיוק המדידות. בנוסף, פרטי בעלי הנתונים ודרכים להשגתם (כולל טופס בקשה ותמחור במידה ונדרש). ישנה חשיבות לגישה חופשית ונוחה (בחינם) עבור חוקרים בתחום.

ניטור אקלים

- ניהול כולל של חקר האקלים בישראל, אשר ירכז את המחקרים הקיימים ויפיק את המסקנות והצרכים הנלווים להם.
- פיזור תחנות מדידה בכל אזורי הארץ, בכמות הגבוהה מהקיימת כיום. יש לכלול מדידה של טמפרטורת אוויר ונתוני לחץ ברזולוציה שעתית, כמויות משקעים שעתיות, ריכוזי אבק, חתכי גובה של לחץ, לחות וכיוון ומהירות הרוח.
- נדרש מודל אטמוספרי ברזולוציית זמן נמוכה לטווח ארוך (חיזוי אקלים).

הידרוספירה

- הגדלת מספר תחנות הידרולוגיות למים עיליים, המודדות את כמות ואיכות המים (כולל ניטור של כלל המזהמים האפשריים) ומהירות זרימה בערוץ.
- מדידת טמפרטורת פני ים במספר מקומות לאורך חוף הים התיכון, ים סוף, ים המלח, הכנרת, בעומקים שונים וברזולוציה שעתית.
- מדידת גובה פני הים והימות כל כמה דקות ומליחות הים והימות ברזולוציה של מספר פעמים ביום.
- מדידת נתונים מטאורולוגיים וימיים מול חופי ישראל, במרחק כמה עשרות עד מאה ק"מ.

נתונים נוספים בחשיבות נמוכה

אטמוספירה

- הקמת תחנות מטאורולוגיות הכוללות עוצמת קרינה בשטח, אחוז עננות, סוג עננות, לחות קרקע בעומקים שונים וטמפרטורת קרקע בעומקים שונים.
- הקמת מכ"מ מזג אוויר, המספק נתונים בגובה ובשטח.
- הרחבת הניטור בתחנות איכות סביבה, כך שיכללו מגוון מזהמים (pm_{10} , $pm_{2.5}$ Nox, SO_x , O_3 , CO ועוד) ומשתני מזג אוויר כגון טמפרטורה, משקעים ורוח.
- מדידות מזהמים בגובה רב, למשל דיווחי טייסים על גובה שכבת אובך ועובייה.

אחר

- מדידות גובה מפלס פני ים מלוויינים
- מודל קרקע דיגיטאלי ברזולוציה גבוהה לשימוש במודלים, או לרישום מפות אינדקסים של תכסית קרקע.
- צילומים ברזולוציה גבוהה מאוד (עשרות מטרים) של אזורים מסוימים. למשל עבור חקלאות לאיתור צמחייה שנפגעה (למשל מהמלחת קרקע) או פגיעה בגופי מים (פריחת אצות, זיהום משפך נהר).

מודלים

- מודל אטמוספרי ברזולוצית זמן גבוהה (חיזוי מזג אוויר)
- מודל אטמוספרי הבוחן אירוסולים טבעיים
- מודל פיזור מזהמים ותחזיות זיהום בהנחות מסוימות של פליטות מזהמים

7.2.2 מים

- הכללת השלכות שינויי האקלים (כגון ירידה בזמינות המים, עליית מפלס הים ועוד) על תוכניות במשק המים, לרבות שינויים בתשתיות הובלה והפקה כתוצאה מעלייה בביקוש

- למים. מומלץ ניהול באופן בר קיימא הכולל ניהול שיטפונות, הגנה על מערכות אקווטיות ותכנון תשתיות מים (Shapiro et al. 2008). יש צורך בניהול גמיש, כיוון שהרבה מהשפעות האקלים קשות לחיזוי. כך ניתן יהיה להיערך ולהתאים את פעולות ההיערכות, מעבר לשינויים במזג האוויר, גם למצבי עקה אחרים (Santos et al. 2001, Pittock 2003, Melillo et al. 2000). כלי חשוב בתכנון ארוך טווח הוא שימוש במודלים החוזים שינויים במשאבי המים, בעקבות שינויי האקלים (Santos et al. 2001, Pittock 2003, Melillo et al. 2000). דוגמא למודלים אלו הוא מודל BASINS, המיושם על ידי הסוכנות להגנת הסביבה האמריקאית (EPA). המודל מאפשר הערכת השלכות שינויי האקלים על מקורות המים, במיוחד גופי מים פגועים. זוהי מערכת רבת-תכלית לניתוח סביבתי, הניתנת להתקנה במחשב פרטי ומאפשרת למשתמש להעריך איכות מים באתרים נבחרים, או במרחב אגן הניקוז כולו. הגישה למערכת זו היא חופשית, דרך האתר: <http://www.epa.gov/waterscience/BASINS>. באתר ישנו מידע מקיף על מודל זה ואפשרויות להורדת גרסאות שונות של המודל (Shapiro et al. 2008).
- יש לקשר בין מודלים אקולוגיים ובין מודלים הידרולוגיים. בנוסף, עם שינוי בתנאים הנוכחיים, גישות ומאפיינים של תנאי העבר וההווה במודלים אמפיריים, עשויים להיות לא רלוונטיים, או לא יעילים, בחיזוי העתיד. גישות של מודלים מכניסטיים וניתוח של אי ודאות כמותית, יהפכו לכלים חשובים יותר (Shapiro et al. 2008).
 - על מנת לעודד שימוש יעיל במשאבי המים וניהול יעיל של משק המים יש להעריך את מחיר המים, באופן הכולל את אספקת המים, השימוש בהם והטיפול בשפכים וסילוקם או השבתם. משק מים בר-קיימא מחייב התייחסות וכימות של ההשפעות החיצוניות בקביעת מדיניות תפעול, השקעות ותמחור. שינויים אלה יביאו כנראה לעליית מחירי המים ויש לדאוג שעליה צפויה זו, לא תפגע בשכבות החלשות (אט"ד 2007).
 - שיפור יכולת ההיערכות וההתמודדות של תשתיות המים והביוב עם הצפות ושיטפונות (Shapiro et al. 2008).
 - שינויי האקלים והלחץ של האוכלוסייה על משאבי המים, מדגישים את הצורך בחיסכון במים ומניעת זיהומם. מסע הסברה לחסכון במים ושימוש נכון במים יסייע בשינוי התפיסה של מים כמוצר סופי, יעודד מחזור מים (UNFCCC 2006), ועשוי למנוע שימוש בזבזני במים, כגון רחיצת מכונות בצינור והצפת דירות, מדרכות, חנויות ושווקים בסילוני מים (מורגנשטיין 1999). יש להדגיש כי המים הם משאב כלכלי ומדיני חשוב, שיש לנצל בדרך בת קיימא ויעילה, גם למען הדורות הבאים (Euro-Mediterranean Ministerial Conference 1999). יש לכלול בתי ספר, גנים וצבא, ולפרסם בכל אמצעי התקשורת האלקטרונית והמודפסת. ניתן לעודד חסכון במים על ידי שינויים בתמחור ובמיסוי, בשילוב עם התקנת תקנות ואכיפתן (אט"ד 2007).
 - מיחזור שפכים באיכות גבוהה באופן אופטימאלי (אט"ד 2007).

- מיתון שיטפונות על ידי הפניית נגר עירוני לאזורים מחלחלים (אנוש מערכות 2004) ושמירה על אזורי פשט ההצפה לאורך נחלים. וויסות מי הצפות ושיטפונות על ידי הרחבת אזורי שימור קרקע, הצפת שטחים חקלאיים נרחבים יותר, תוך מתן פיצוי לחקלאים, וניהול כולל של אגני ניקוז (מר ש. ארבל-תקשורת אישית).
- תכנון מחדש של מערכות המים באזורים עירוניים להגדלת קיבולת (Shapiro et al. 2008).
- ייעול השימוש במים במרכזים עירוניים, באמצעות התקנת אמצעים חוסכי מים במשק הביתי ואימוץ ופיתוח שיטות של גינון יובשני, הכולל שימוש בצמחייה חסכונית בצריכת מים, במקום גינות נוי (דשאים ופרחים), הדורשות כמויות גדולות של מים (אט"ד 2007). בנוסף, יש להנהיג משטר השקיה המותאם לעונות השנה, לטיב הקרקע, למשטר הרוחות וכדומה (מורגנשטרן 1999). פעולות אלו יכולות להביא לחסכון רב בצריכת מים שפירים, עד לכדי 360 מלמ"ק מהצריכה העירונית (אט"ד 2007).
- הערכה מחדש של רשימות מזהמי מי השתייה והסטנדרטים של מי השתייה, והערכת הפוטנציאל של שינויי האקלים, בהעלאת אופי וגודל הזיהום של מי השתייה והמערכות האקוטיות (Shapiro et al. 2008).
- הכנת מפות של דפוסי שימושי קרקע חזויים לעשורים הקרובים (מפה לכל עשור), כך שניתן יהיה להיערך להשלכות הצפויות של שימושי הקרקע על איכות המים, בנוסף על ההשלכות של שינויי האקלים (Shapiro et al. 2008).
- להערכת בריאות המערכות האקוטיות יידרשו הגברת הניטור הביולוגי, מיפוי, ושיתוף פעולה בין רשויות וגופים שונים בניהול של מקורות המים (Shapiro et al. 2008).

7.2.3 ים וחופים

- הכללת השלכות שינויי האקלים בתכנון שימושי קרקע של האזור החופי (Santos et al. 2001).
- ניטור קבוע של עליית מפלס הים לאורך החוף (אינג' ד. ס. רוזן-תקשורת אישית).
- אכיפה למניעה של העברת מינים ימיים זרים בדרכי סחר ובאופן לא מכוון (כגון מי שיפוליים, מינים המגיעים עם אצות או צדפות וכו') (פרופ' ב. גליל-תקשורת אישית).
- התקנת מחסום מליחות בתעלת סואץ. דוגמא לכך ניתן למצוא בתעלת פנמה, בה אגם מים מתוקים מלאכותי מונע מעבר של מינים ימיים. לשם כך ניתן להתקין מחסומים ימיים לאורך תעלת סואץ (כפי שקיימים בתעלות ימים ונהרות רבות בעולם) (פרופ' ב. גליל-תקשורת אישית).
- סיוע בנסיגת מערכות אקולוגיות חופיות לכיוון פנים החוף בעקבות עליית המפלס, כגון מניעה של מבנים, העשויים לבלום את התנועה לפנים היבשת, או לדאוג בהרחבה מחדש

- של קו החוף באמצעות הזנת חול. עם זאת, תזוזה זו אפשרית רק באזורים מסוימים, בעקבות פיתוח של אזורי חוף רבים (Santos et al. 2001, Melillo et al. 2000).
- מניעת זיהום הים ממקורות יבשתיים במפרץ אילת, על מנת להקטין העקה על שוניות האלמוגים (Shapiro et al. 2008).
 - המשך פעילויות ניטור של שינויים בחופי המצוקים החופיים, על ידי מיפוי פוטוגרמטרי שנתי בקנה מידה של 1:500 או מפורט יותר. אחת האפשרויות המוצלחות היא באמצעות מיפוי לייזר מוטס (רוזן 2008).
 - הגנה על המצוק החופי באמצעים הכוללים הגנות ימיות (שוברי גלים מנותקים), בשילוב הזנת חול. פתרון משולב זה מצריך תחזוקה מתמשכת על ידי הזנת חול, כדי למנוע גריעת חול מחופים סמוכים, בעקבות לכידת חול על ידי שוברי הגלים. ההנחה היא שתחזוקה זו תידרש שנתיים עד חמש שנים מזמן השלמת ההגנה, ותקבע על ידי עוצמת הסערות בשנתיים הראשונות לחיי המבנה. הצורך בעבודות תחזוקה מוערך בממוצע אחד בעשר שנים, וכמויות החול לתחזוקה נאמדות ב-40 עד 60 מ"ק למטר אורך מצוק מטופל, סך הכל 1.5-2 מיליון מ"ק חול, שהם כ-30% מהתצרוכת השנתית של החול למשק הבנייה בישראל. את החול ניתן לספק בכרייה תת ימית במדף היבשה, בעומק מים של יותר מ-30 מטר ובמקומות שיבחרו בקפידה. דוגמא טובה למערכת יציבה זו היא חופי תל אביב, אשר הורחבו באמצעים אלו. הסכום הנדרש להגנה על המצוק החופי בתחום האורבני (כ-20 ק"מ חוף מצוק), הוערך בכ-700 מיליון ₪, הכולל בניית שוברי גלים, משאבים לייצוב המצוקים ולהסדרת הנגר העילי. בנוסף, עלות של 300-400 מיליון ₪ בייצוב קטעי מצוקים נוספים, בהנחה כי הפעולות יעשו בהדרגה. חלופות למימון ההגנה על המצוק החופי, כוללות חיוב בעלי רכוש על המצוק החופי בתשלום "פרמיית ביטוח חובה", כהגנה על רכושן, שבאמצעותה יממנו את פעולות ההגנה על המצוק. התחזוקה השוטפת הנדרשת צפויה להיות בעלות של 1%-3% לשנה, מסך השקעת ההון, עבור מבנים ימיים כגון שוברי גלים, רציפים ומזחלים, ו-1.5% לשנה, עבור פתרונות יבשתיים, שעיקרם ייצוב המצוק (ביין וחובי 2008).

7.2.4 חקלאות

יבולים

- שיפור איכות התחזיות העונתיות (Haim et al. 2008), פיתוח מודלים לחיזוי התפתחות היבול, התוצרת, צריכה של מים ושל דישון, מודלים של חרקים מזיקים ומחלות צמחים (אשד 2008) ותוכניות העבודה הנגזרות מהם בהתאם לשינויי האקלים.
- הוספת משתנים המציגים השלכות על החקלאות בניתוחים סטטיסטיים, כגון: תדירות ועוצמת תקופות עומס חום כבד (אירועי שרב) ואירועי קרה, תדירות של אירועי יובש בין אירועי גשם, ואירועים נוספים, המשפיעים על הפיזיולוגיה של צמחייה. שיפור יכולת

- האיתור של שינויים משמעותיים במגמות של המשתנים הרלוונטיים לשינויי אקלים, במודלים סטטיסטיים (אשדת 2008).
- העמקת ניצול הקולחים בישראל כתחליף למים שפירים (אשדת 2008). חיבור כל מתקני השבת הקולחים, למתקני ההשקיה החקלאיים, על מנת למנוע הזרמת מים מטהרים לים. עם זאת יש חשיבות להשקיית גידולים גם במים שפירים על מנת לנטרל את המלחת הקרקעות ופגיעה בפוריותן על ידי מים מושבים (מורגנשטרן 1999).
 - הגברת החיסכון במים על ידי העמקת השימוש בצמחים הצורכים כמויות פחותות של מים, ואשר ערך התרומה שלהם למ"ק מים הוא גבוה יותר (כגון חיטה, חומס, חמניות, כרובית, חסה, שום) (אבנימלך וצבן 2002), שימוש במים מליחים, שילוב גידולי ירק בין שורות המטעים, שיפור טכנולוגית מים ליעול השקיה (השקיה בפולסים, טפטפות, מים מושבים) ועוד (אשדת 2008).
 - השבחה גנטית ובחירה של צומח, העמיד לעומסי חום, יובש וקור ולעלייה בריכוזי CO₂ (אשדת 2008, Santos et al. 2001, Pittock 2003, Melillo et al. 2000, UNFCCC 2006). ביוטכנולוגיה מאפשרת הכרת מינים סובלניים יותר למלח, למזיקים ושיפור כללי בתנובת היבול ובאיכותו (Santos et al. 2001, Pittock 2003, Melillo et al. 2000, UNFCCC 2006).
 - שיפור מגוון יבולים, חומרים ומערכות בקרת אקלים בחממות (אשדת 2008).
 - שינוי תאריכי שתילה וקצירה של יבולים, ובחירת מגוון עונתי רחב יותר. הקדמת זמני שתילת גידולים תסייע בהתמודדות עם עליית הטמפרטורות (Santos et al. 2001, Melillo et al. 2000). עם זאת, Haim וחובי (2008) מצאו, כי זריעה מוקדמת אינה אמצעי היערכות יעיל עבור חיטה, ויעיל במידה מועטה עבור כותנה.
 - העדפת גידולי אביב וסתיו, עם זמן גידול קצר, על מנת להימנע מעומסי החום של אמצע הקיץ. יבולי חורף עשויים להפוך יותר פרודוקטיביים מגידולי קיץ (Santos et al. 2001, Melillo et al. 2000).
 - התאמה בין יעילות ניצול המים של היבולים השונים, לבחירת האזורים המתאימים לגידול אותם יבולים (Shechter & Yehosua 2000).
 - יישום שיטות להפחתת סחף ומניעת אובדן קרקע, בנוסף להגדלת חידור המים לקרקע השדות (אשדת 2008). שיטת אי-פליחה, מאפשרת שימור קרקע והקטנת סחף על ידי כך שאין היפוך של הקרקע והזריעה מתבצעת ליד הצמחייה שנקצרה בשנה הקודמת (מר ש. ארבל-תקשורת אישית).

חיות משק

- שיפור מערכות קיימות לבקרת אקלים, שיפור התכנון והחומרים המשמשים למשקי החי (אשדת 2008), הצללה ושימוש בממטרות מים, על מנת להקל על חיות המשק מעומסי

חום. בחירת זני בקר, העמידים יותר לתנאי חום ולמזיקים, או שיפור גנטי של הזנים הקיימים (עמידות לחום ולמזיקים ויעילות בניצולת המזון) (Pittock 2003, אשד 2008) ותזמון רבייה לפי התנאים העונתיים (Pittock 2003).

- הגדלת היקף ענפי בעלי החיים במקום ענפי הצומח. ענפי החי שומרים על שטחים חקלאיים כשטחים פתוחים וצורכים כמויות מים קטנות יותר (אבנימלך וצבן 2002).
- פיתוח שיטות להפחתה או/והחלפה של מספוא של דגנים, ביניהן שיטות למיחזור של פסולת אורגנית ותעשייתית, אשר תשמש כמזון, במקום דגנים לחיות המשק (אשד 2008).
- פיתוח שיטות לשיפור איכות נוטריינטית של תוצרי לוואי חקלאיים ופסולת, כגון תבן (אשד 2008).

קיבוע CO₂

- פיתוח שיטות טכניות-חקלאיות חדשות להעלאת קיבוע ה-CO₂ (אשד 2008).
- תמריצים כלכליים להגברת השימוש במקורות אנרגיה חלופיים במכונות עיבוד קרקע, להפחתת השימוש בדלקים פוסיליים (אשד 2008).
- עידוד שימוש בשיטות אירוביות (אווירניות) בטיפול בפסולת אורגנית, במקום בשיטות אנאירוביות (לא אווירניות בהן נפלט מתאן) (אשד 2008).

חקלאות אינטנסיבית ושטחים פתוחים (יערות, שטחי עשבייה ויבולים תלויי גשם) (אשד 2008)

- בחירה של זנים סתגלניים (פרות קטנות יותר) ושימוש בזנים מקומיים.
- שילוב מקורות מספוא עציים ברעייה.
- שיפור טכניקות קצירה.
- חזרה לשימוש ביבולים מסורתיים (אשר נעשה בהם שימוש בעבר).
- פיתוח טכניקות חקלאיות חדשות להתאמה לתנאים החדשים.

7.2.5 בריאות הציבור

- חינוך והסברה על נזקים בריאותיים אפשריים בעקבות שינויי האקלים (Melillo et al. 2000).
- הכשרת מומחי בריאות בתחומים הרלוונטיים (Melillo et al. 2000).
- תכנון עירוני להפחתת אפקט אי החום האורבאני, המגביר את עקת החום (Santos et al. 2000, Melillo et al. 2003, Pittock 2001), כגון שימוש בעצים (הצללה) להפחתת עמוס החום ביישובים (UNFCCC 2006, Potchter et al. 2006).

- פעולות היערכות בתחום זיהום אוויר, להן ישנן בנוסף להיערכות לשינויי אקלים, תועלות כלליות לשיפור איכות האוויר: שיפור מערכות הבקרה על זיהום האוויר והפעלת מערכת התרעה על איכות האוויר (Santos et al. 2001, UNFCCC 2006), הגבלות תנועה של רכבים באזורים צפופי אוכלוסייה (UNFCCC 2006), שיפור תחבורה ציבורית (UNFCCC 2006) וחינוך המעודד נסיעה משותפת (UNFCCC 2006).
- בקרת גבולות למניעת כניסת פתוגנים (כולל אלו מחיות משק וחיות בית) (Melillo et al. 2000, Pittock 2003, Santos et al. 2001).
- הגברת ניטור הסביבה, מחלות ווקטורים שונים מעבירי מחלות (Melillo et al. 2000, Santos et al. 2001, Pittock 2003, UNFCCC 2006).
- הערכה מחדש של הקריטריונים למים נקיים (מיקרוביאלית) ולסיכונים למחלות הנישאות במים, או של וקטורי מחלות, הקשורים במים (Shapiro et al. 2008).
- מניעת חשיפה לוקטורים מעבירי מחלות (כגון זבובים ויתושים), על ידי הגבלת בתי הגידול של וקטורים אלו (בעיקר מאגרי מים בקרבת אוכלוסייה) (Pittock 2003).
- שיפור מערכות הבריאות הציבוריות ויכולת התגובה שלהן לשינויי אקלים ולזיהוי רגישות של אוכלוסיות מסוימות (Santos et al. 2001, Melillo et al. 2000).
- מתן חיסונים כנגד מחלות חדשות או מתעוררות (UNFCCC 2006).

7.2.6 תשתיות ואנרגיה

- פיתוח ושימוש במתקני אנרגיה סולארית (פרופ' ד. יקיר- תקשורת אישית) כדי להתמודד עם העומס על תשתיות אנרגיה קונבנציונאליות כתוצאה מהצורך הגובר במיזוג אוויר ולהקטנת פליטות של גזי חממה.
- תמחור אנרגיה המשקף את עלות הפחמן (OECD 2008).
- הגברת יעילות אנרגטית בערים, כגון שימוש במעברי אוויר ואמצעי בידוד בבניינים להקלת עומסי חום או קור (UNFCCC 2006) ומדיניות לעידוד ניצול יעיל של אנרגיה בבניינים, בתחבורה ובייצור חשמל (OECD 2008).
- תקנות תכנון ובנייה המותאמות להשלכות צפויות משינויי אקלים (UNFCCC 2006). הכנת הערכות סיכונים של תשתיות פגיעות, כגון כבישים, מסילות רכבת, נמלים וגשרים, באזורים תחת איום של אירועים קיצוניים (למשל הצפות) (Pittock 2003). חיזוק והגנה על תשתיות קיימות ובנייה לפי תחזיות חמורות יותר של אירועי מזג אוויר (לפי סף רגישות גבוה יותר של התשתיות) (UNFCCC 2006).
- ממשק שימושי קרקע להפחתת פעולות המגדילות את הפגיעות לשינויי אקלים, כגון כריתת יערות (המגדילה סחף קרקעות), לחץ של חיות משק על מקורות מים, וקרבת ישובים לאזורי רבייה של וקטורים של מחלות (Pittock 2003).

- צמצום תלות תעשייה במשאבים נדירים (UNFCCC 2006).
- מיקום מרכזי תעשייה הרחק מאזורים רגישים לפגעי מזג האוויר (UNFCCC 2006).

7.2.7 מערכות טבעיות

- הכללת השלכות שינויי האקלים בניהול שמורות טבע, אשר מאפשר הגירת מינים. חיבור מסדרונות אקולוגיים בין שמורות שונות, יאפשר עלייה בעושר המינים וזרימה גנטית בין האזורים (Pittock 2003, Santos et al. 2001, שקדי 2008).
- בדיקה פרטנית והתמקדות במינים נדירים וחברות אקולוגיות בעלות רגישות גבוהה, הזקוקות לשטחים גדולים. שטחים פתוחים גדולים מגדילים את המגוון הביולוגי (שקדי 2008).
- הקצאת שטחים לשימור באזורי המעבר בין אקלים צחיח לאקלים ים תיכוני – צפון הנגב, בואכה שפלת יהודה, מזרח לכיש (שקדי 2008).
- הקצאת משאבים ובניית תכנית לניטור המגוון הביולוגי, אשר תבחן גם שינויים אקלימיים (שקדי 2008).
- טיפול במינים פולשים, התורמים לירידה במגוון המינים המקומי, וחיזוק אמצעי הסגר בנמלים/גבולות דרכם עשויים להגיע מיני מזיקים אקזוטיים (Santos et al. 2001, Pittock 2003).
- מיפוי רגישות של צמחים וחיות למזיקים, פתוגנים ופרזיטים אנדמיים (הייחודיים למדינה) ואקזוטיים. הכנת מאגר נתונים ושיפור הניטור על מנת לאתר במועד מזיקים, מחלות צמחים ומוצרי צמחים, העשויים להפוך מזיקים בתנאי האקלים העתידיים. בנוסף, שיפור אמצעי הטיפול בהם (Pittock 2003, Santos et al. 2001).
- הרחבת הידע המדעי על מגוון אסטרטגיות, היעילות בטיפול במזיקים, והטמעתן בשטח (Pittock 2003, Santos et al. 2001).

7.2.8 יערות

- ניהול יערות הכולל השלכות שינויי אקלים תחת תרחישים שונים, שיפור הידע על הדרישות האקלימיות של מינים ספציפיים, והערכת הרגישות והעמידות של מינים חשובים לתנאי עקה (Santos et al. 2001, Pittock 2003).
- ניהול משאבי קרקע בקרבת יערות, המונעים אכלוס יתר ופעולות מדבור (Pittock 2003, Santos et al. 2001).
- הימנעות מניצול יתר של משאבי היער (Santos et al. 2001).

- השבחה גנטית של מיני צמחייה על מנת שיוכלו להתמודד עם טמפרטורות גבוהות ועקת יובש (Santos et al. 2001, ד"ר ע. בונה- תקשורת אישית). פעולה זו תסייע במענה לתזוזה פוטנציאלית של קו המדבר צפונה ותפיסת השטח על ידי מערכות מדבריות (ד"ר ע. בונה- תקשורת אישית).
- הגדלת יכולת המבלע של CO₂ על ידי ייעור ומניעת הרס הקרקעות (Santos et al. 2001).
- נטיעת סוגי עצים עמידים לתנאי יובש (ד"ר י. משה וד"ר פ. גינסברג- תקשורת אישית).
- דילול יערות על מנת להתאים את כמות העצים ביער לתנאי בית הגידול. הדילול (הקטנת כמות העלווה הירוקה המדייית (דיות) ליחידת שטח) מאפשר למים להתחלק באופן נכון בין עשבייה, פרחים, מי התהום וכו' (ד"ר ע. בונה, ד"ר י. משה וד"ר פ. גינסברג - תקשורת אישית). במהלך שנות הבצורת שאירעו בעבר נלמד כי יערות בהם בוצעו פעולות דילול במועד הראוי, שרדו את תקופת הבצורת בהשוואה ליערות בלתי מדוללים. היערכות לדילול יערות, כוללת הכנת תכנית פעולה המתבססת על מידע בנוגע לצפיפות היערות בפועל, מול צפיפות העצים הנדרשת בהתאם לגיל היער ואופי בית הגידול (ד"ר י. משה וד"ר פ. גינסברג- תקשורת אישית). ניתן בהמשך לבצע ניהול יער הכולל שמירה על אזורים לא נטועים ורעייה (ד"ר י. משה, ד"ר פ. גינסברג וד"ר ג. שילר- תקשורת אישית). כלים אלו קלים לביצוע ויכולים להניב תוצאות מהירות (ד"ר י. משה וד"ר פ. גינסברג- תקשורת אישית).
- הבנה נכונה של בריאות היער (שמשמעותו התייבשות עצים, נזק ממזיקי יער והתפתחות לקויה של עצי היער) מהווה אמצעי מהמעלה הראשונה לתכנון ונקיטת פעולות ניהוליות, להבטחת עמידות והתפתחות היערות בתקופות היובש הצפויות. נדרשת תכנית ניטור אינטנסיבית מזו המיושמת כיום, למעקב אחר תהליכים תלויי אקלים ביער (ד"ר י. משה וד"ר פ. גינסברג- תקשורת אישית).
- שימור משאבי הקרקע והמים ביער. שמור המים באתרי נפילת טיפות הגשם באזור הים תיכוני של ישראל, איסוף מי נגר באזור השחון, פעולות שמור קרקע לשיקום וייצוב אפיקים ומדרונות, כמו גם תכנון ותחזוקה של דרכים, עשויים להגביר את עמידות הצומח ביער להפחתה בכמות המשקעים וימנעו נזקי סחף קרקע. במידה והאזור הים תיכוני של ישראל ייחשף לתנאי האקלים, השוררים כיום באזור צפון הנגב, יהיה צורך להעתיק צפונה את דגמי הייעור וניהול משאבי הקרקע והמים, הננקטים בדרום (ד"ר י. משה וד"ר פ. גינסברג- תקשורת אישית).
- פעולות העשויות לשפר את עמידות היערות לשריפות הצפויות, הן שיפור ממשק הרעיה, טיפול בשטחים הגובלים עם אזורים מבונים, תחזוקת דרכי יער, שדרוג של מערך רכבי הכיבוי ושיפור מערך ההדרכה (ד"ר י. משה וד"ר פ. גינסברג- תקשורת אישית), הטמעת תוכניות לבקרה על הבערת אש בשטחי יער וניקוי יערות מחומרי בערה פוטנציאליים, או קיום שריפות מבוקרות, למניעת הצטברות חומרי בערה (Santos et al., Pittock 2003, 2001).

7.2.9 כלכלה - ענף הביטוח

חברות הביטוח צריכות להיערך לשינויי האקלים בשני אופנים. האחד, היערכות להשפעות השליליות של שינויי האקלים על הרווחיות ואף על יכולת הפירעון שלהן (היכולת לעמוד בתשלומים על הפסדים בעקבות אסונות) (Mills 2005, Chemarin and Bourgeon 2007). יש לבצע ניתוח מקיף של ההשלכות הפוטנציאליות של שינויי האקלים על ענף זה (GAO 2007). מצד אחר, ענף הביטוח יכול לעזור ליחידים, לממשלות ולחברות פרטיות למתן את ההפסדים הכלכליים. חברות הביטוח יכולות לפעול לשיפור המחקר המדעי בנוגע להשלכות השינויים הצפויים ודרכים להתמודדות (Mills 2005, Chemarin and Bourgeon 2007) ולסייע במימון ופיתוח פרויקטים לקידום טכנולוגיות נקיות ובנייה יעילה אנרגטית. דרך נוספת היא מתן תמריצים כלכליים, כגון הנחות בפרמיה למבוטחים אשר יבצעו היערכות מבעוד מועד לשינויים הצפויים. שינויים אלו יכולים ליצור הזדמנויות עסקיות חדשות עבור ענף הביטוח, כיוון שישנם תמריצים רבים לפיתוח מוצרי ביטוח חדשניים, להפחתת ההפסדים בעקבות שינויי האקלים (Chemarin and Bourgeon 2007).

8. מקורות ספרות

- אבנימלך י., צבן ח. 2002. פיתוח חקלאות בת קיימא בתנאי מחסור במים. מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה.
- אטי"ד (אדם טבע ודין). 2007. התחזית בידיים שלנו- שינויי האקלים בישראל. האפשרויות, ההשפעות וקווים למדיניות.
- אלמגור ג. 2002. חוף הים התיכון של ישראל. המכון הגיאולוגי. ירושלים. דו"ח מס' GSI/13/02
- אלפרט פ. ובן צבי א. 2001. השפעת שינויים אקלימיים על זמינות משאבי המים בישראל. דו"ח שהוגש לנציבות המים.
- אנוש מערכות. 2004. מדריך לתכנון ובניה משמרת נגר עילי. דו"ח שהוגש למשרדי השיכון, חקלאות ואיכות הסביבה (ניתן למצוא באתר המשרד : www.sviva.gov.il).
- אניס א., פנר ח., גולדמן ד. ולבנטל א. 2004. מלריה- בעיה ישנה-חדשה. הרפואה כרך 143, חוב' י"א (נובמבר 2004).
- אשד י. 2008. שינויי אקלים וחקלאות. סדנת עבודה בנושא היערכות ישראל לשינויי אקלים, 26/03/08. לשכת המדען הראשי, המשרד להגנת הסביבה.
- אשכנזי י. צוער ח. יצחק ח. וסיגל ז. 2007. השפעת בצורות ממושכות על מוביליות דיונות החול בישראל. דו"ח מסכם שהוגש למשרד להגנת הסביבה.
- בארי ש., כרמון נ., ושמיר א. 2005. חיסכון במים במגזר העירוני. הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, חיפה.
- ביין ע., אידלמן א. וכהן ג. (עורכים). 2008. מסמך מדיניות להתמודדות עם התמוטטות המצוק החופי. מוכן עבור משרד ראש הממשלה. המשרד להגנת הסביבה, מכון ירושלים לחקר ישראל, המכון הגיאולוגי, המכון לחקר ימים ואגמים.
- ביין ע. ובורג א. משרד התשתיות הלאומיות, המכון הגיאולוגי. 2001. הצבת מודל ההידרוגיאולוגי תלת מימדי כמותי לאקוויפר ירקון תנינים ככלי לבחינת מגבלות תפעול ("קווים אדומים") ולתכנון מערך הפקה מיטבי. שלב הפתיחה ותוכנית עבודה מפורטת. מוגש לנציבות המים.
- בן צבי א. ועצמון ב. 2000. מגמות בספיקות השיא השנתיות של נחלי ארץ ישראל. השירות ההידרולוגי, נציבות המים. משרד התשתיות הלאומיות. דו"ח הידרו/00/2/ ירושלים אפריל 2000.
- גבירצמן ח. 2002. משאבי המים בישראל- פרקים בהידרולוגיה ובמדעי הסביבה. יד יצחק בן-צבי. ירושלים.
- גבעתי א. 2006. מודל לחיזוי עונתי של נפחי מים זמינים בכנרת. דו"ח הידרו/2006/2. השירות ההידרולוגי. נציבות המים. משרד התשתיות הלאומיות. ירושלים.

גולדרייך י. 1998. האקלים בישראל- תצפיות, חקר ויישום. רמת גן : אוניברסיטת בר אילן, תשנ"ח 1998. 292 עמודים

גולדרייך י. 2007. השפעות והשלכות שינויי אקלים בישראל- ניתוח תרחישים ותחומים שונים של השפעות שינויי אקלים (שינויי טמפרטורה, שינויים בכמויות הגשם, שינויים ברמות קרינת השמש) על ישראל, גישות ודרכים להתמודדות עם שינויים אלו. המשרד להגנת הסביבה. ירושלים, ישראל. גישה דרך : <http://www.sviva.gov.il/Enviroment/>

דותן ש. 2006. משק המים בישראל- נקודת מבט חקלאית. הרשות לתכנון ופיתוח החקלאות, ההתיישבות והכפר. בית דגן.

השירות ההידרולוגי. 2005. סיכום עונת הגשמים 2004/5 ומאפייניה ההידרולוגיים העיקריים. דו"ח הידרו/2007/5. השירות ההידרולוגי, רשות המים. ירושלים.

השירות ההידרולוגי. 2006. סיכום עונת הגשמים 2005/6 ומאפייניה ההידרולוגיים העיקריים. דו"ח הידרו/2006/5. השירות ההידרולוגי, רשות המים. ירושלים.

השירות ההידרולוגי. 2007. סיכום עונת הגשמים 2006/7 ומאפייניה ההידרולוגיים העיקריים. דו"ח הידרו/2007/5. השירות ההידרולוגי, רשות המים. ירושלים.

וייס מ. וגבירצמן ח. 2008. הערכת חידור למי התהום באמצעות מודלים של מעיינות שעונים ביהודה ושומרון. כנס האגודה הישראלית למים.

זהרי ת. 2005. צילינדרוספרמופסיס-אצה לא רצויה נוספת התבייתה בכנרת. המעבדה לחקר הכנרת. אגמית גיליון 171. עמ': 13-15.

זיידה מ. וגבעתי ע. 2007. התייחסות רשות המים לדו"ח אדם טבע ודין. דו"ח אגף התכנון, רשות המים. תל אביב.

חברת מקורות. 2008. פרקי גשם בצפון 2008. מצגת של חברת מקורות, מרחב חבל הירדן.

חלפון נ. וקותיאל ח. 2005. שינויים במאפייניו המרחביים והעיתיים של הגשם בצפון ישראל ומשמעותם. יורם בר-גל ומשה ענבר (עורכים) מאזור לסביבה- ארבעים שנות מחקר גיאוגרפי באוניברסיטת חיפה. אופקים בגיאוגרפיה 64-65 (2005) 153-172.

חפץ א. ושות'. 2007. הנחות בסיס לחיזוי פליטת גזי חממה, גישת עסקים כרגיל, 2006-2025. מוגש למשרד להגנת הסביבה. דצמבר 2007. עבודה מס' 2513/07.

יהושוע נ. 2003. השפעת השינוי האקלימי על חופי ישראל- הערכה כלכלית של הנזקים הצפויים לשטחי החוף של ישראל עקב עליית פני הים. עבודת מוסמך, אוניברסיטת חיפה, הפקולטה למדעי החברה החוג לניהול משאבי טבע וסביבה.

יוסף י. 2007. מגמות שינוי בכמות ותפירת הגשם בישראל כפונקציה של כמות הגשם היומית בין השנים 1950/1-2003/4. הוגש כחלק מהדרישות לקבלת התואר "מוסמך אוניברסיטה" באוניברסיטת תל-אביב.

יקיר ד. ורוטנברג א. 2007. קיבוע CO₂ ביערות על סף המדבר ושיפור מאזן ה-CO₂ של ישראל. דו"ח מסכם. מוגש למדען הראשי. משרד להגנת הסביבה.

<http://www.sviva.gov.il/Enviroment/>

כהן א., מרר י., קמינסקי א., בניהו י., בן-צבי א. ומנדל מ. 1990. מגמות ההתאידות בחודשי הקיץ בישראל, דוח סופי. הוגש לנציבות המים ע"י המחלקה למדעי האטמוספירה, האוניברסיטה העברית בירושלים, ירושלים.

מאיר א., אקרמן א., ברוינס ה., איילון א., בר-מתיוס מ., אלמוגי-לובין א. ושילמן ב. 2006. שחזור ההיסטוריה האקלימית סביבתית באזור תל צפית/ גת במהלך אלפי השנה האחרונות- כלי לחיזוי השפעות אפשריות של שינויים אקלימיים. דו"ח שנתי המסכם שנת מחקר ראשונה. מוגש למדען הראשי, משרד להגנת הסביבה.

<http://www.sviva.gov.il/Enviroment/>

מורגנשטרן ד. 1999. חיסכון זה העיקר, התפלה זה התפל. הספרייה הוירטואלית של מטח. <http://lib.cet.ac.il/pages/item.asp?item=610&rel=1>

משרד החקלאות ופיתוח הכפר. 2006. חקלאות ישראל במשטר של שינויי אקלים. לשכת המדען הראשי, משרד החקלאות ופיתוח הכפר, בית דגן.

<http://www.sviva.gov.il/Enviroment/>

משרד החקלאות ופיתוח הכפר. 2007. דין וחשבון כלכלי על החקלאות והכפר 2006. הרשות לתכנון ופיתוח החקלאות, ההתיישבות והכפר, משרד החקלאות ופיתוח הכפר, ירושלים.

משרד החקלאות ופיתוח הכפר. 2007. פיתוח חקלאות משמרת משאבי קרקע וסביבה חקלאית. תוכנית ארצית רב שנתית. אגף בכיר לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.

נתניהו ס. 2007. היבטים כלכליים של מפעלי ניקוז. תהל יועצים מהנדסים בע"מ. מסמך שהוכן עבור אגף שימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.

סבוראי ט. ושפרן-נתן ר. 2006. חיזוי שינויים בייצור ראשוני של צומח עשבוני כתגובה לשינויים בתכונות גשם וטמפרטורה: תסריטים של מודל דינאמי בזמן ובמרחב. דו"ח סופי שהוגש למשרד הגנת הסביבה. <http://www.sviva.gov.il/Enviroment/>

סברדלוב א. מור ע. סרוסי ש. ברמן ד. מרינוב א. נשר ג. 2004. תוכנית האב למשק האנרגיה בישראל- סיכום ותוכנית חומש. מוגש למשרד התשתיות הלאומיות.

סטופ א. ואשד א. 2001. התחממות כדור הארץ והשפעותיה על מדינת ישראל.

האייל הקורא- כתב עת לענייני תרבות ואקטואליה. http://www.haayal.co.il/story_79

ענבר מ. ופורת ר. 2007. אסונות טבע בישראל. החוג לגיאוגרפיה ולימודי הסביבה. אוניברסיטת חיפה.

פז ש. ואלברסהיים א. 2007. השפעת תנודות אקלימיות בקיץ הישראלי על גודל אוכלוסיית יתוש הבית המצוי (*Culex pipiens*) ועל מידת הסיכוי להתפרצות קדחת הנילוס המערבי (WNF). מוגש ללשכת המדען הראשי, משרד להגנת הסביבה, פברואר 2007.

צביאלי ד. 2007. שינויים בגובה מפלס הים לאורך חופי ישראל: עבר, הווה, עתיד. המשרד להגנת הסביבה והמכון ללימודי ים ע"ש ליאון רקנאטי, אוניברסיטת חיפה. מוגש לוועדת ההיגוי לבחינת פתרון קבע למצוק החוף במסגרת מסמך מדיניות בנושא התמוטטות המצוק החופי. בראשות משרד ראש הממשלה.

קפלן ד. וגולדשטיין ח. 2005. תגובות ממשק הבטיחה (עמק בית ציידא) לתנודות מפלס הכנרת. אגמית- המים בארצנו. ביטאון נציבות המים ומנהלת הכנרת. גיליון מס' 175 (אוקטובר-דצמבר 2005).

רבהון צ. 2008. הערכות להשפעות של שינויים אקלימיים על מערכות ניקוז ועל שימור קרקע. פערי ידע וצורך במחקרים וניטורים ייעודיים. אגף בכיר לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.

רוזן ד.ס. 2004. שינוי מפלס הים ובחינת ההשלכות על מצב חופי הים התיכון של ישראל. חקר ימים ואגמים לישראל בע"מ, חיפה.
<http://www.ocean.org.il/MainPage.asp/>

רוזן ד.ס. 2005. סיכום ידע על תהליכים חופיים והשפעות שינויי האקלים על מצב החופים והמצוק החופי לקראת גיבוש מדיניות לאומית לשימור החופים והמצוק החופי בים התיכון. דו"ח חיא"ל H41/2005. המכון לחקר ימים ואגמים לישראל בע"מ. הוגש לוועדה הלאומית לשימור החופים והמצוק החופי.

רוזן ד.ס. 2008. עליית מפלס הים, שינויים במשטר הגלים וחיזוי השפעתם על הרס המצוק החופי. יום עיון בנושא ים וחופים: מדע ומדיניות סביבתית, 26.06.2008. המכון הישראלי לאנרגיה וסביבה, רמת אביב, תל אביב-יפו.

רוזן ד., קליין מ., לייכטר מ., פרת א., יהושע נ., מלול א., גלילי א., פפאי נ. 2004. חופי ישראל 2004. דו"ח החברה להגנת הטבע ופורום ארגוני החוף על מצב חופי הים התיכון. מוגש לשרה לאיכות הסביבה.

רוזנטל ד. 2004. היבטים סביבתיים של משק המים- מסמך מדיניות. חברת כיוון. טיוטא שהוגשה לרשות הטבע והגנים.

רוזנפלד ד. ולהב ר. 2006. הערכת פוטנציאל הגברת הגשם בארץ בשיטות זריעה שונות. מחקרים בתחום המים. יום עיון ספטמבר 2006. נתניה. אגף מחקרים, נציבות המים, משרד התשתיות הלאומיות.

רימר א. 2008. חוות דעת בנושא מליחות הכנרת במפלסים נמוכים. המעבדה לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים לישראל בע"מ, חיפה.

רשות המים. 2008. מועצת הרשות הממשלתית למים וביו-ישיבה מס' 17 (ישיבה לא מהמניין). 27.3.08. מועצת רשות המים.

שחם ג. 2003. זכות הטבע למים- דרישות מים עבור גופי מים ובתי גידול לחים.
 גיורא שחם- הנדסת משאבי סביבה ומים. מסמך מדיניות עבור המשרד לאיכות הסביבה
 ורשות הטבע והגנים.

שטרנליכט ר. 2000. אומדן הפסדים בגין קיצוץ של מים שפירים בחקלאות-
 בחלופות שונות. דו"ח שהוגש עבור הרשות לתכנון ופיתוח החקלאות, ההתיישבות והכפר,
 משרד החקלאות ופיתוח הכפר.

שטרנליכט ר. 2006. תקציר התפתחויות בחקלאות בשנת 2006, עדכון. סיכום
 ביניים. הרשות לתכנון ופיתוח החקלאות, ההתיישבות והכפר. משרד החקלאות ופיתוח הכפר
 והסוכנות היהודית לארץ ישראל.

שמיר ש. 2002. מתן ערך כלכלי לבתי גידול עם יישום לחורש ים-תיכוני בפארק
 הכרמל. עבודת מסטר שהוגשה לטכניון ולאוניברסיטת חיפה, חיפה.

שפר נ., נבון ש., מורין א. וגבירצמן ח. 2007. מודל גשם- מילוי חוזר מבוסס נתוני
 מכ"ם מטאורולוגי ותחנות גשם לאקוויפר ירקון-תנינים- דו"ח מסכם אפריל 2007. מוגש
 לנציבות המים ומשרד התשתיות הלאומיות.

שקדי י. 2008. שינויים גלובליים והמגוון הביולוגי. סדנת עבודה בנושא היערכות
 ישראל לשינויי האקלים. לשכת המדען הראשי. המשרד להגנת הסביבה. 26/03/08, ירושלים.

תכנון המים לישראל (תה"ל) בע"מ, לביא-נטיף מהנדסים יועצים בע"מ, צנובר
 יועצים בע"מ. 1997. מיתון שיטפונות באגן איילון ירקון- ניתוח עלות תועלת. מסמך שהוגש
 למשרד התשתיות הלאומיות ונציבות המים.

Alpert P., T. Ben-Gai, A. Baharad, Y. Benjamini, D. Yekutieli, M.
 Colacino, L. Diodato, C. Ramis, V. Homar, R. Romero, S. Michaelides and A.
 Manes, 2002: The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily
 rainfall in spite of decrease in total values. *Geophys. Res. Lett.*, 29, 11, 31-1 – 31-
 4, (June issue).

Alpert P., Halfon N., Levin Z. 2008. Does Air Pollution Really Suppress
 Precipitation in Israel? *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. Vol. 47.
 (Accepted)

Alpert P., Krichak S.O., Shafir H., Haim D., and Osetinsky I. 2007.
 Climatic trends to extremes employing regional modeling and statistical interpretation
 over the E. Mediterranean, *Global and Planetary Change*, 2007 (accepted).

Banin F., Y. Ben-Haim, T. Israely, Y. Loya and E. Rosenberg. 2000.
 Effect of the Environment on the Bacterial Bleaching of Corals. *Water, Air and Soil
 Pollut.* 123: 337-352.

Becker N. and Pluskota B. 2007. Influence of climate change on mosquito development and mosquito-borne diseases in Europe. Conference on Vector-Borne Diseases: Impact of Climate Change on Vectors and Rodent Reservoirs. Berlin, Germany. 27&28 September 2007.

Ben-Gai T., Bitan A., Manes A. and Alpert. P.1993. Long Term Changes in October Rainfall Patterns in Southern Israel. *Theor. Appl. Climatol.* 46, Pp 209-217.

Ben-Gai T., Bitan A., Manes A., Alpert P. and Rubin S. 1999. Temporal and Spatial Trends of Temperature Patterns in Israel. *Theor. Appl. Climatol.* 64, 163-177.

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.

Boero F. 2008. What are the potential impacts of climate change on the Mediterranean Sea? Presentation from EU Network of Excellence on Marine Biodiversity and Ecosystem Functioning. International Commission for the Scientific Exploration of the Mediterranean Sea.

Brochier F. and Ramieri E. 2001. Climate Change Impact of the Mediterranean Coastal Zones. Venice, 82 p.

Chemarin S., Bourgeon J-M., Carle J., Chemitte J., Guye J-N., Hardelin J., Michel-Kerjan E., Nickson A., Nussbaum R., Treich N. 2007. Insurance and Adaptation to Climate Change. Final Report. French Environment and Energy Management Agency (ADEME) and Ecole Polytechnique. February 2007

CIESM. 2000. The Eastern Mediterranean Climatic Transient, its Origin, Evolution and Impact on the Ecosystem. Workshop No.10. Trieste, Italy. 29 March-1st April 2000.

CIESM. 2002. Tracking long-term hydrological change in the Mediterranean Sea. CIESM Workshop Series, no. 16, 134 pages, Monaco. www.ciesm.org/publications/Monaco02.pdf.

Easterling W. E., Hurd B. H., Smith J. B. 2004. Coping with Global Climate Change. The Role of Adaptation in the United State. Prepared for the Pew Center on Global Climate Change.

Euro-Mediterranean Ministerial Conference on Local Water Management. Action plan. 1999. Turin, 18-19 October.

Fenoglio-Marc L. 2002. Long-term sea level change in the Mediterranean Sea from multi-satellite altimetry and tide gauges. *Physics and Chemistry of the Earth* 27 (2002) 1419–1431.

Fine M. and Tchernov D. 2007. Scleractinian Coral Species Survive and Recover from Decalcification. *Science* 315, 1811 (2007). DOI: 10.1126/science.1137094.

Fleischer A., Lichtman I. and Mendelsohn R. 2007. Climate Change, Irrigation, and Israeli Agriculture: Will Warming Be Harmful? World Bank Policy Research Working Paper 4135, February 2007.

Fleischer A. Sternberg M. 2006. The economic impact of global climate change on Mediterranean rangeland ecosystems: A Space-for-Time approach. *Ecological Economics* 59 (2006) Pp. 287-295.

Gabbay S. (Ed.). 2000. Israel National Report on Climate Change. First National Communication to the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Ministry of the Environment. Jerusalem. Israel November 2000.

Galil B.S. 2004. Exotic species in the Mediterranean Sea and pathways of invasion. In: Davenport, J., Davenport, J.L. (Eds.). *The effects of human transport on ecosystems: cars and planes, boats and trains*. Royal Irish Academy, pp. 1-14

Galil S. B. 2007. Seeing Red: Alien species along the Mediterranean coast of Israel. *Aquatic Invasions* (2007) Volume 2, Issue 4: 281-312 DOI: 10.3391/ai.2007.2.4.2

Galil B. S., Nehring S., and Panov V. 2007. Waterways as Invasion Highways –Impact of Climate Change and Globalization. *Ecological Studies*, Vol. 193. W. Nentwig (Ed.) *Biological Invasions*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007, pp. 59-74.

GAO. 2007. Climate Change- Financial risks to federal and private insurers in coming decades are potentially significant. United States Government Accountability Office. Report to the committee on homeland security and government affairs, U.S. Senate. GAO-07-285.

Gertman I., Murashkovsky A., Zodiatis G. 2006. Long term changes of the thermohaline structure in the Southeastern Mediterranean. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 07225, 2006. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-07225.

GISS. 2005. Global Surface Temperature Analysis. Global Temperature Trends: 2005 Summation. NASA. Goddard Institute for Space Studies (GISS). <http://www.giss.nasa.gov/>.

GISS. 2007. Global Surface Temperature Analysis. Global Temperature Trends: 2007 Summation. NASA. Goddard Institute for Space Studies (GISS). <http://www.giss.nasa.gov/>.

Givati A. and Rosenfeld D. 2004. Quantifying Precipitation Suppression Due to Air Pollution. *Journal of Applied Meteorology*. Vol. 43. Pp 1038-1056.

Givati A. and Rosenfeld. D. 2005. Separation between Cloud-Seeding and Air-Pollution Effects. *Journal of Applied Meteorology*. Vol. 44. Pp 1298-1314.

Givati A. and Rosenfeld. D 2007. Possible impacts of anthropogenic aerosols on water resources of the Jordan River and the Sea of Galilee, *Water Resour. Res.*, 43, W10419, doi:10.1029/2006WR005771.

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. *Climate Change* (2008): 86: 425-440. DOI 10.1007/s10584-007-9304-x.

Hatzofe O. and Yom-Tov Y. 2002. Global Warming and Recent Changes in Israel's Avifauna. *Israel Journal of Zoology*, Vol. 48, 2002, pp. 351–357.

IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Synthesis Report*. 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 and Reisinger, A.(eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

Issar A. S. 2007. Mitigating Negative Impacts of Global Warming on Water Resources of the Middle East. In: *Water Resources in the Middle East*. Springer DOI 10.1007/978-3-540-69509-7. Pp. 379-386.

Kirchner I. Stenchikov G.L. Graf H-F., Roboc A., Antuna J. C. 1999. Climate model simulation of winter warming and summer cooling following the 1991 Mount Pinatubo volcanic eruption. *Journal of Geophysical Research* Vol. 104 ,No. D16, Pp 19039-19055.

Kitoh A., Yatagai A. and Alpert P. 2007. First super-high-resolution modeling study that the ancient "Fertile Crescent" will disappear in this century. Submitted to *SUISUI Hydrological Research Letters*.

Klein M. Lichter M. and Tzviely D. 2004. Recent Sea-Level Changes along Israeli and Mediterranean Coasts. *Contemporary Israeli Geography* (Special Issue of Horizons in Geography Vol. 60-61) Pp 167-176.

Koechy M. 2008. Effects of simulated daily precipitation patterns on annual plant populations depend on life stage and climatic region. *BMC Ecology* 2008, 8:4 doi:10.1186/1472-6785-8-4.

Kostopoulou E. and Jones P. D. 2005. Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorol Atmosphys* 89, 69–85.

Krichak S. O, Alpert P., Bassat K., and P. Kunin. 2007. The surface climatology of the eastern Mediterranean region obtained in a three-member ensemble climate change simulation experiment. *Adv. Geosci.*, 12, 67–80.

Lascaratos A., Roether W., Nittis K. and Klein B. 1999. Recent changes in deep water formation and spreading in the eastern Mediterranean Sea: a review. *Progress in Oceanography* 44 (1999) 5–36.

McCarthy J.J., Canziani O.F., Leary N.A., Dokken D.J. and White K.S., Ed. 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. IPCC TAR Working Group II. Cambridge Univ. Press.

Meehl G. A., Washington W. M., Collins W. D., Arblaster J. M, Hu A., Buja L. E., Strand W. G. and Teng H. 2005. How Much More Global Warming and Sea Level Rise? *Science* Vol. 307 no. 5716 pp. 1769-1772. DOI: 10.1126/science.1106663.

Melloul A., Collin M. 2006. Hydrogeological changes in coastal aquifers due to sea level rise. *Ocean & Coastal Management* 49 (2006) 281–297. Hydrological Service, P.O. Box 36118, IL-91 360 Jerusalem, Israel.

Menzel, L.; Teichert, E.; Weiss, M. (2007). Climate change impact on the water resources of the semi-arid Jordan region In: Heinonen, M. (Ed): *Proc. 3rd International Conference on Climate and Water*, Helsinki, 320-325.

Mills E. 2005. Insurance in a Climate of Change. *Science* Vol. 309.Pp. 1044-1044. www.sciencemag.org.

Milly P. C. D., Dunne K. A. & Vecchia A. V. 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*. Vol 438|17 November 2005.

Moren-Abat M., Quevauviller P., Feyen L., Heiskanen A-S., Noges P., Solheim A.L. and Lipiatou E.(Eds). 2006. *Climate Change Impacts on the Water*

Cycle, Resources and Quality. International Workshop on Climate Change Impacts on the Water Cycle, Resources and Quality 25 & 26 September 2006, Brussels.

Melillo J. M., Janetos A. C., Karl T. R., Corell R., Baroon E. J., Burkett V., Cecich T. H., Jacobs K., Joyce L., Miller B., Morgan M. G., Parson E. A., Richels R. G. and Schimel D. S. (National assessment Synthesis Team) 2000. Climate change impacts on the United States: The Potential Consequences of Climate Variability and Change. Cambridge University Press.

NOAA. 2006. Climate of 2005- Annual Report. National Climatic Data Center. NOAA Satellite and Information Service. National Climatic Data Center. U.S. Department of Commerce.

<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/2005/ann/global.html>

Norran C. and Dougue´droit A. 2006. Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950–2000). *Theor. Appl. Climatol.* 83, 89–106 (2006) DOI 10.1007/s00704-005-0163-y.

OECD (Organization for economic co-operation and development). 2008. OECD Environmental Outlook to 2030. Summary in English. <http://www.oecdbookshop.org/oecd>

Ottermann J., A. Manes., S. Rubin, P. Alpert and D. O`C. Starr.1990. An Increase of Early Rains in Southern Israel Following Land-Use Change? *Boundary-Layer Meteorology* 53. Pp 333-351

Oroud, I.M., 2006. Land use changes in the Jordan Valley and the impact of a climate change on irrigation water requirements. *Proc. Conf. on Climate Change and the Middle East, Past Present and Future*, ITU Istanbul, Nov. 2006, 341-346.

Pittock B (Ed.). 2003. Climate Change: An Australian Guide to the Science and the Potential Impacts. Published by the Australian Greenhouse Office, the lead Australian Government agency on greenhouse matters. <http://www.climatechange.gov.au/science/guide/pubs/science-guide.pdf>

Potchter, O., Cohen P. and Bitan A. 2006. Climatic Behavior of Various Urban Parks During Hot and Humid Summer in the Mediterranean City of Tel-Aviv, Israel. *International Journal of Climatology* (in press). Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/joc.1330

Potchter, O., Yaacov, Y., Oren, G. 2006. The Magnitude of the Urban Heat Island of A City in An Arid Zone: the Case of Beer Sheva, Israel, *Proceeding of*

the 6th International Conference on Urban Climate, Gothenburg, Sweden, pp 450-453.

Price C. Stone L. Hupper A. Rajagopala B. and Alpert P. 1998. A possible link between El Nino and precipitation in Israel. *Geophysical Research Letters* Vol. 25, no. 21, Pp. 3963-3966.

Ragab R. and Prudhomme C. 2002. *Climate Change and Water Resources Management in Arid and Semi-arid Regions: Prospective and Challenges for the 21st Century*. *Biosystems Engineering* (2002) 81 (1), 3-34.

Rahmstorf S. 2006. A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea- Level Rise. *Science* Vol. 315, Pp. 368-370. DOI: 10.1126/science.1135456

Raible C. C. Saaroni H., Ziv B., and Wild M. 2007. Winter Synoptic-Scale Variability over Mediterranean Basin under Future Climate based on the ECHAM5 GCM. *Climate Dynamics* manuscript (in revision).

Raven J. Caldeira K., Elderfield H., Hoegh-Guldberg O., Liss P., Riebesell U., Shepherd J., Turley K., Watson A., Heap R., Banes R., Quinn R. 2005. Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide. Policy document 12/05. The Royal Society. London. Available at: www.royalsoc.ac.uk

Rimmer A. 2008. Hydrological models to support water policy: The case of Lake Kinneret watershed, Israel. Chapter 4 In "Mountain, valleys and flood plains: managing water resources in time of global change". A. Dinar and A. Garrido [eds.]. *Proceedings of the 5th Rosenberg International Forum on water policy*, Banff, Canada, September 2006. (In Press).

Rosen D. S. 2008. Monitoring Boundary Conditions at Mediterranean Basin-key Element for Reliable Assessment of Climate Change Variability and Impacts at Mediterranean Basin Shores. *Israel Oceanographic & Limnological Research*, National Institute of Oceanography (CIESM). Towards an Integrated Mediterranean Marine Observatory CIESM Workshop no. 34, 16-19 January 2008, La Spezia, Italy. (In Press).

Saaroni H., Baruch Z., Edelson J. and Alpert P. 2003. Long term variations in summer temperatures over the east Mediterranean. *Geophysical Research Letters*. Vol. 30. No. 18. 1946. CLM 8 (1-4).

Santos. F. D., Forbes K. and Moita R. (editors). 2001. *Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures-SIAM*. Gradiva, Lisbon. Portugal.

Schwartz E. 2005. Malaria -A Disease that Refuses to Die but Continues to Kill. *IMAJ* 2005; 7:404–405.

Shapiro M., Anderson W., Arling J., Birnbaum R., Boornazian L., Brown J., Cantilli R., Codrington A., Corr E., Crossland A., Dowell K., Drake W., Fertik R., Flahive K., Hilbrich S., Kruger D., Kutschenreuter K., Lavery T., Leutner F., McGovern C., Metchis K., Muse M., Pabst D., Perkins S., Peterson J., Reetz G., Rimer L., Rudzinski S., Scheraga J., Schwinn K., Segall M., Shah S., Swietlik W., Thie B., VanHaagen P. and Wilson J. 2008. National Water Program Strategy: Response to Climate Change. National Water Program Climate Change Workgroup. Office of Water. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Public Review Draft. March 2008.

Shechter M. and Yehosua N. 2000. Exploratory Economic Assessments of Climate Change Impacts in Israel: Agriculture. In: Beniston, M. (ed.), *Climate Change: Implications for the Hydrological Cycle and for Water Management*. *Advances in Global Change Research*, 10. Dordrecht and Boston.

Shirman, B. 2003. East Mediterranean sea level changes over the period 1958–2001. *Isr. J. Earth Sci.* 53: 1–12.

Stanhill G. and Rapaport C. 1988. Temporal and Spatial Variation in the Volume of Rain Falling Annually in Israel. *Isr. J. Earth Sci.* Vol. 37, Pp 211–221.

Steinberger, E. H., and N. Gazit-Yaari .1996. Recent changes in spatial distribution on annual precipitation in Israel. *Journal of Climate*, 9 (12): 3328–3336.

Stern N. 2006. *The Economics of Climate Change*. The Stern Review. Cambridge University Press. Available at: http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm

Thuiller W., Lvoel S., Araujo M. B., Sykes M. T. and Prentice C. 2005. Climate Change Threats to Plant Diversity in Europe. *PNAS*. June 7, 2005. Vol.102. No. 23: 8245–8250. Published Online on May 26, 2005. 10.1073/pnas.0409902102.

UKCIP (United Kingdom Climate Impact Programme). 2003. *Climate Adaptation: Risk, Uncertainty and Decision-Making*. UK Climate Impact Programme Technical Report May 2003.

UN (United Nations).1998. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Available at:
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2006. Technologies for Adaptation to Climate Change. Issued by the Climate Change Secretariat (UNFCCC), Bonn, Germany.

UNEP (United Nations Environmental Programme). 2006. Raising awareness of climate change. a handbook for government focal points. Published by the United Nations Environment Programme's Division of Environmental Law and Conventions in October 2006

WHO (World Health Organization). 2003. Climate change and human health-risk and assessment-Summary. WHO. Geneva. Switzerland.

WHO (World Health Organization). 2003. Phenology and Human Health-Allergic Disorders. Report on WHO Meeting. Rome. Italy.

WHO (World Health Organization). 2005. Health and Climate Change. The "Now and How". A Policy Action Guide.

Yizhaq H., Ashkenazy Y., Tsoar H. 2007. How can active dunes and stabilized dunes coexist under the same climate conditions? Report submitted to the Environmental Protection Ministry.

Yom-Tov Y. 2001. Global warming and body mass decline in Israeli passerine birds. Proc. R. Soc. Lond. B (2001) 268, 947-952.

Zhang, X Aguilar E. Sensoy, S. Melkonyan, H Tagiyeva U. Ahmed, N Kutaladze N., Rahimzadeh, F., Taghipour, A., Hantosh, T. H., Alpert, P Semawi, M Karam Ali M., Al-Shabibi M. H. S., Al-Oulan, Z., Zatari T., Al Dean Khelet, I., Hamoud, S., Sagir R., Demircan, M., Eken, M., Adiguzel M., Alexander L., Peterson T. C. and Wallis T. 2005. Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, J. Geophys. Res., 110, D22104, doi:10.1029/2005JD006181.

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, LXXXXX, doi: 10.1029/2005GL022796.

תקשורת אישית

ד"ר אבני צביקה, מנהל אגף הייעור, קרן קיימת לישראל.
ד"ר ארביב אברהם, מדען ראשי, ראש אגף מו"פ ואנרגיה, משרד התשתיות הלאומיות.
פרופ' אלפרט פנחס, אוניברסיטת תל אביב.
ד"ר אסולין שמואל, מכון קרקע ומים, מכון וולקני, משרד החקלאות.
מר ארבל שמואל-מ"מ מנהל התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות.
ד"ר בונה עומרי, מנהל מרחב צפון, קרן קיימת לישראל.
ד"ר ביאנו אדריאן, סמנכ"ל משאבים אסטרטגיים, חברת החשמל.
ד"ר בן יקיר דוד, מכון וולקני, משרד החקלאות.
ד"ר ברגר דיאגו, חבל ירדן, חברת "מקורות".
ד"ר גבעתי עמיר, השירות ההידרולוגי, רשות המים.
ד"ר גינסבורג פול, קרן קיימת לישראל.
פרופ' גליל בלה, חקר ימים ואגמים לישראל.
מר גרוס זאב, מנהל אגף ניהול משאבי תשתית, משרד התשתיות.
פרופ' דגן גדעון, אוניברסיטת תל אביב.
ד"ר היאמס לין, מחלקה לסטטיסטיקה וחקר שווקים, חברת החשמל.
ד"ר ויינברגר גבריאל, מנהל השירות ההידרולוגי, רשות המים.
מר זיידה מיקי, אגף תכנון, רשות המים.
גברת טוכלר-אהרונאי מיכל, ראש היחידה לתכנון סטטוטורי, חברת נמלי ישראל.
מר יעקב ליבשיץ, השירות ההידרולוגי, רשות המים.
ד"ר מורין אפרת, האוניברסיטה העברית.
פרופ' מרינוב אורי, ראש החוג לניהול משאבי טבע וסביבה, אוניברסיטת חיפה.
ד"ר מרכדו אברהם.
ד"ר משה יצחק, מרחב דרום, קרן קיימת לישראל.
פרופ' נאמן גידי, מכללת אורנים.
ד"ר סימון אהוד, אגף הידרולוגיה, תה"ל.
ד"ר סערוני הדס, אוניברסיטת תל אביב.
מר פיינגולד אביתר, אגודת חובבי הפרפרים.
ד"ר פלמנבאום ישראל, ראש תחום בע"ח בשירות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות.
ד"ר צדיקוב אילן, ראש תחום פרויקטים, המשרד להגנת הסביבה.
ד"ר קיגל חיים, האוניברסיטה העברית.
ד"ר קן עידו, אוניברסיטת חיפה.
ד"ר קריצ'אק שמעון, אוניברסיטת ת"א.
מר קשת ניסים, מנהל אגף סביבה, רשות הטבע והגנים.
אינג' רוזן דב ס., חקר ימים ואגמים לישראל.
ד"ר רוזנפלד אריה, מכללה אקדמית תל חי.
ד"ר רימר אלון, המעבדה לחקר הכנרת, חקר הימים ואגמים לישראל.
שוורץ-צחור רחלי, אוניברסיטת חיפה, אורנים.

פרופ' שטיינברג דני, מכון וולקני, משרד החקלאות.
פרופ' שטיינברג יצחק, מכון קרקע ומים, הקריה החקלאית.
ד"ר שילר גבריאל, המכון למדעי הצמח, מכון וולקני, משרד החקלאות.
ד"ר שירי אלה, מחלקה לסטטיסטיקה וחקר שווקים, חברת החשמל.
ד"ר שלום אורי, ראש אגף מזיקים, המשרד להגנת הסביבה.

נספח 1

תרחישי פליטות גזי החממה על פי ה-IPCC

A1 - תרחיש המתאר מצב בו אוכלוסיית העולם צומחת באופן רציף עד הגעתה לשיא באמצע המאה ה-21 שלאחריו ישנה ירידה באוכלוסייה. ישנה צמיחה כלכלית מהירה והכנסה מהירה של טכנולוגיות חדשות ויעילות יותר. קבוצת A1 כוללת שלוש דרכים לפיתוח טכנולוגי: שימוש בדלקים עתירי פחמן (A1FI), מקורות אנרגיה נקיות מפחמן (A1T) או איזון בין כל מקורות האנרגיה (A1B).

A2 - תרחיש המתאר מצב בו ישנה צמיחה מתמדת באוכלוסייה העולמית. צמיחה כלכלית בהתאם לאזורים השונים ולנפש, והטכנולוגיות משתנות באופן יותר מקוטע ואיטי מאשר בשאר התרחישים.

B1 - תרחיש המתאר מצב בו אוכלוסיית העולם צומחת באופן רציף עד הגעתה לשיא באמצע המאה ה-21 שלאחריו ישנה ירידה באוכלוסייה, בדומה לתרחיש A1, אך בשילוב עם שינוי מהיר במבנה הכלכלה לכיוון כלכלת שירותים ומידע, תוך הפחתה בשימוש בחומרים והכרה של טכנולוגיות נקיות ויעילות בניצול משאבים.

B2 - תרחיש המתאר מצב בו הדגש הוא לקיימות כלכלית, חברתית וסביבתית. צמיחה מתמדת באוכלוסייה העולמית, בקצב נמוך מזה שבתרחיש A2, רמות ביניים של פיתוח כלכלי ושינוי טכנולוגי מהיר ורבגוני פחות מאשר בתרחישים A1 וב-B1. אמנם התרחיש מבוסס על הגנת הסביבה וצדק חברתי, אך ההתמקדות היא יותר ברמה המקומית ואזורית.