



קתדרת חייקין לגאואסטרטגיה
אוניברסיטת חיפה

שינויים אקלים

השלכות חזויות ותופעות נצפות:
רקע גלובלי ומבט ישראלי

שלומית פז
אורן קידר



קתדרת חייקין לגאואסטרטגיה
אוניברסיטת חיפה

שינויי אקלים

השלכות חזויות ותופעות נצפות:
רקע גלובלי ומבט ישראלי

שלומית פז

אורן קידר

אפריל 2007

קתדרת חייקין לגאואסטרטגיה, אוניברסיטת חיפה

הקתדרה עוסקת בנושאי הביטחון הלאומי שלהם ביטוי מרחבי, דוגמת משאבים טבעיים ותפוצתם, פריסת האוכלוסייה, התשתית הפיזית והמרכיבים הסביבתיים.

הקתדרה מפרסמת ניירות עמדה, נותנת ייעוץ למקבלי החלטות בכירים, יוזמת מחקרים, ימי עיון וכנסים, מפרסמת ספרים ועבודות מדעיות ומסייעת לתלמידי מחקר בתחומים הנזכרים לעיל.

כמו כן עוסקת הקתדרה בהפצת הנושא בבתי הספר התיכוניים ומוסדות אקדמיה.

ראובן חייקין ז"ל (1918-2004)

ראובן חייקין נולד בתל אביב, היה שותף בכיר במשרד רואי חשבון סומך-חייקין, גילה עניין רב בגאוגרפיה ובגאופוליטיקה וסייע רבות לתחומים אלה באוניברסיטת חיפה.

יהיה זכרו ברוך!

ראש הקתדרה : **ארנון סופר**

עריכת לשון : **עפרה פרי**

עריכה גרפית והבאה לדפוס : **נוגה יוסלביץ**

הודפס בישראל בשנת 2007

הדפסה : א.א.א. הדפסות בע"מ

© כל הזכויות שמורות - 1-6-90648-965 ISBN

<http://geo.haifa.ac.il/~ch-strategy>

תוכן העניינים

6	הקדמה
8	מבוא
9	פרק ראשון – שינוי אקלימי – מהו?
11	פרק שני – הגברת אפקט החממה
13	פרק שלישי – החור באוזון הסטרטוספרי
15	פרק רביעי – שינויי אקלים גלובליים והשלכותיהם – תופעות ומגמות נצפות וחזויות
15	עליית טמפרטורת האוויר
17	המסת קרחונים
19	עליית מפלס פני הים
21	מערכות אקולוגיות
22	מזון וחקלאות
24	דגה
25	ייעור
26	אזורי ההרים
26	מקורות מים
32	אנרגיה
32	תיירות
33	בריאות האדם
36	פרק חמישי – שינויי אקלים בישראל, תופעות ומגמות נצפות וחזויות
36	רקע גאוגרפי ואקלימי
36	מגמות בטמפרטורות
39	מגמות במשקעים
42	התאדות וקרינה
42	משק המים בישראל
46	היבטים גאופוליטיים של נושא המים
48	עליית מפלס פני הים
51	צמחייה
52	חקלאות
53	מדבור
53	בריאות האדם
55	פרק שישי – משמעויות גאואסטרטגיות
58	סיכום, פתרונות ודרכי התמודדות
60	מקורות

רשימת האיורים, הלוחות והטבלאות

איורים

- 12 : איור 1 : אפקט החממה
- 14 : איור 2 : שיעור ההפחתה בגז האוזון הסטרטוספרי מעל אנטרקטיקה בחודשי אוקטובר, ביחידות דובסון
- 16 : איור 3 : האנומליה בטמפרטורות הממוצעות החודשיות הרב-שנתיות (ינואר-דצמבר) בפני כדור הארץ, ים ויבשה (בשנים 1880-2005)
- 17 : איור 4 : אנומליה בטמפרטורות הגלובליות בשנת 2005
- 18 : איור 5 : שטח הקרחונים בים, חצי כדור הארץ הצפוני (בשנים 1978-2005)
- 18 : איור 6 : כיסוי הקרחונים שנת 1979 ושנת 2005 (חודש ספטמבר) בים הארקטי
- 20 : איור 7 : השלכות מפלס פני הים על דלתת הנילוס
- 29 : איור 8 : הקרחון Pasterze באוסטריה, תמונה משנת 1875 לעומת שנת 2004
- 30 : איור 9 : מפת הרגישות למדבור
- 35 : איור 10 : השלכות ההתחממות הגלובלית - תרשים זרימה
- 37 : איור 11 : רגרסיה סדרתית מותאמת לעונה הקרה והחמה בישראל בשנים 1964-1994
- 38 : איור 12 : מספר הימים בהם נמדדו טמפרטורות הגבוהות מ-30 מעלות צלסיוס
- 40 : איור 13 : עלייה במספר הימים החמים והקרים של החודשים יולי ואוגוסט
- 41 : איור 14 : עלייה ברמת הא-ודאות במשטר המשקעים של מזרח הים התיכון
- 49 : איור 15 : עליית מפלס פני הים בחוף של ישראל – ממוצע חודשי בשנים 1992-2003
- 52 : איור 16 : יחס המים השפירים והשוליים לחקלאות (1995-2004)

טבלאות

- 44 : טבלה 1 : אנרגיה ומים : הפקת מים וצריכתם, לפי מקור וייעוד
- 50 : טבלה 2 : סיכום מחקרים שעסקו בעליית מפלס מי הים

נספחים

- 66 : נספח 1 : The Greening of American Diplomacy

דברי תודה

המחברים מודים לפרופ' ארנון סופר על שהעלה את הרעיון העומד בבסיסה של חוברת זו ועל תרומתו לפרק על מצרים ועל המשמעויות הגאואסטרטגיות של שינויי האקלים על ישראל. תודות מקרב לב לפרופ' נורית קליאוט על הבקרה המדעית, על הערותיה והארותיה.

ליצירת קשר:

ד"ר שלומית פז, החוג לגאוגרפיה ולימודי סביבה, אוניברסיטת חיפה. טלפון (משרד): 04-8249617, פקס: 04-8249605, דוא"ל: shlomit@geo.haifa.ac.il

הקדמה

קתדרת חייקין לגאואסטרטגיה גאה לפרסם את המסמך "שינויי אקלים – השלכות חזויות ותופעות נצפות: רקע גלובלי ומבט ישראלי".

בכל רחבי העולם וגם בישראל מדברים רבות על שינויי האקלים. יש המשערים שהשינוי כבר כאן. יש האומרים שהוא יבוא, ואחרים, גם בשל סיבות פוליטיות, מפקפקים בקיומם.

מעטים בציבור הישראלי המשכיל יודעים באמת מה קורה. עוד פחות מבינים מה יכולים שינויים אלה לעולל לעולם, למזרח התיכון, לישראל ולתושביה.

ד"ר שלומית פז ותלמידה אורן קידר מהחוג לגאוגרפיה ולימודי סביבה באוניברסיטת חיפה נענו לבקשתי, ובצורה בהירה ומובנת לכל הם מסבירים מהם שינויי האקלים, מדוע הם קורים ומה עוד עלול לקרות. אני הוספתי הערות משלי על אגן הנילוס וכן כתבתי את הפרק על ההשלכות הגאואסטרטגיות של שינויי האקלים על ישראל.

נציין כבר בהקדמה, כי הייתה זו רשות הביון של ארצות-הברית, ה-CIA, שמיד לאחר נפילת ברית-המועצות הבינה כי היא טעתה והטעתה את הרבים בעבודת המודיעין שלה על הגורמים להתעצמות מדינות או לנפילתן. כך מסכם בקצרה העיתון "ניו יורק טיימס" ביום 8.10.1995 את מסקנות רשות הביון (נספח 1):

"הגורמים החדשים שיש להביא בחשבון בניסיון להעריך היכן ייפלו ממשלות הם מפלסי מי התהום וכמות המשקעים בשנה מסוימת בארץ שבה מדובר, או מדידת ממדי התפשטות הסהרה כמנבאים את המלחמות האתניות, מאבקי כוח על משאבים מתכלים כמו שדות מרעה ומזרע, או גידול אוכלוסייה מהיר ועלייה בתמותת תינוקות כמנבאים מרידות, מאבקים אתניים ונפילת ממשלות. ייצור נשק וייצואו כבר אינם הגורם הבלעדי המאיים על שלום העולם".

כך מסכם מוסד ביון חשוב זה וקובע, כי כיום, כדי להיטיב להבין את בעיות הביטחון הלאומי של מדינות העולם, יש ללמוד נושאים סביבתיים. פירושו של דבר, כי שינויי האקלים כבר אינם נחלתם הבלעדית של כמה משוגעים לדבר, ירוקים או אחרים; הם כבר עניינם של כל תושבי הפלנטה שלנו.

הרעיון לפרסום זה נולד אחרי שהזמנתי את ד"ר שלומית פז להרצות על הנושא "שינויי אקלים" לפני חניכי המכללה לביטחון לאומי בט"ו בשבט תשס"ו. מן ההתעניינות הרבה של המאזינים בדבריה הבנתי, שהגיעה העת להביא חומר חשוב זה לקהל הרחב.

אין לי כל ספק שחוברת זו תהיה מבוקשת בקרב הציבור המשכיל ובו כל מי שעוסק ישירות ובעקיפין בהשלכות של שינויי האקלים על ישראל, על שכנותיה ועל העולם כולו. היא אמורה לשרת מורים ותלמידים בכל המוסדות מגני ילדים ועד לאוניברסיטאות, את מערכות הביטחון ואת מוסדות המחקר.

כראש קתדרת חייקין לגאואסטרטגיה אני מבטיח, כי בעתיד הקרוב נפרסם חומרים חדשים על הדו-שיח, אולי על הדו-קיום העדין, השורר בין כדור הארץ ובינינו, תושביו.

בחוץ לגאוגרפיה באוניברסיטת חיפה אנו מתמודדים כבר כמה שנים בשאלות הנוגעות לדו-קיום זה, מחשש שמא גידול אוכלוסיית העולם וריכוזה במספר קטן של מוקדים עירוניים יביא אסונות בקנה מידה שלא הכרנו מעולם, יהיו אלו מכות טבע (כולל שינויי אקלים) או מפגעים מעשה ידי אדם שיגבו מחיר דמים נורא. אנו מנסים לשאול כיצד למזער אסונות כאלה, ואם הם כבר היכו בנו, כיצד נוכל להיטיב להתמודד איתם.

נזכיר רק את אסון קתרינה בשנת 2006 ואת אסון הבצורת באגן הנילוס בשנים 1970-1990. אסונות אלה מספרים לנו כי אין אנו עוסקים בתאוריה אלא במציאות קשה. ואולי זו רק ההתחלה?

שוב תודה לשלומית פז, לאורן קידר, כרגיל לנוגה יוסלביץ על עיצוב החוברת והבאתה לדפוס ולעפרה פרי על עריכת הלשון.

אני גאה בצוות מופלא זה, על פרסום מסמך כה חשוב במסגרת פרסומי קתדרת חייקין לגאואסטרטגיה.

פרופ' ארנון סופר

ראש קתדרת חייקין לגאואסטרטגיה

מבוא

מראשית המהפכה התעשייתית לפני כ-250 שנה מנצל האדם את משאבי סביבתו באופן גובר והולך. הישגי התיעוש והקידמה הטכנולוגית הובילו את האנושות להישגים חסרי תקדים, לרווחה ולעלייה ניכרת בתוחלת החיים. אולם, הישגים אלה גבו מחיר סביבתי כבד, הביאו להידרדרות דרמטית באיכותם של משאבי הסביבה ובזמינותם ופגעו קשות במרבית המערכות האקולוגיות על פני כדור הארץ. תהליכים אלה החריפו בעיקר במחצית השנייה של המאה ה-20 והובילו למשבר חריף ביחסי האדם עם סביבתו, עד כדי סכנה להישגי האנושות נוכח קריסת התשתיות הסביבתיות. כיום ברור כי האדם הוביל לדלדול מקורות קיומו הבסיסיים ביותר.

חלק ניכר מהמשברים הסביבתיים, כמו זיהום מים, מפגעים הקשורים בפסולת והידלדלות קרקעות, מוגבלים פחות או יותר לאזורים גאוגרפיים מוגדרים. בסוגיות מעין אלו ניתן לטפל ברמה המקומית או האזורית. מורכבים יותר הם משברים סביבתיים חוצי גבולות, המשפיעים למעשה על כל תושבי כדור הארץ בצורות מגוונות. דוגמה בולטת במיוחד למשבר מעין זה היא סוגיית שינויי האקלים, שעל דעת רוב מדעני האקלים נובעת מהשפעת האדם על הרכב האטמוספירה ובעיקר מהגברה מלאכותית של אפקט החממה (IPCC 2007). שינויי האקלים הוגדרו לאחרונה על ידי האו"ם כבעיה המשמעותית ביותר שעימה מתמודדת האנושות כיום. הצהרה זו נובעת מההכרה, שסוגיית ההתחממות הגלובלית היא משבר סביבתי חוצה גבולות, המשפיע על כל תושבי כדור הארץ. תנודות אקלימיות משפיעות על כל המערכות הטבעיות, ביניהן המקורות לקיום חיינו ברמה הבסיסית ביותר – חמצן נקי לנשימה, מים ראויים לשתיה, קרקעות פורייות וגידולים חקלאיים שמהם מופק מזוננו.

המסמך שלהלן סוקר את הרקע להתחממות הגלובלית והשפעותיה המגוונות ומתייחס גם להשלכותיה על ישראל, הניכרות כבר עתה.

פרק ראשון – שינוי אקלימי מהו?

אקלים כדור הארץ נקבע על ידי שני גורמים בסיסיים:

1. כמות קרינת השמש המגיעה אל פני כדור הארץ – התלויה במיקומו ביחס לשמש ובמידת בהירות האטמוספירה, שכן עננים או מזהמים שונים (ממקורות טבעיים, כמו אפר וולקני, ותוצרי פעילות אנושית, למשל מזהמי אוויר שונים מארובות המפעלים, מתחנות כוח ומכלי רכב) עשויים להפחית את שיעור הקרינה שתגיע לפני כדור הארץ.

2. יעילות תהליכי פיזור חום השמש מהמשווה לקטבים – התלויה ברוחות העולמיות ובזרמים האוקייניים.

שינוי אקלימי הוא סטייה מהותית של פרמטר אקלימי מממוצע ארוך טווח, על ציר הזמן (Singh 1998). כאשר מתייחסים ל"שינויים", יש להגדיר קודם כל מהו מצב "יציב" (נורמלי) ומהו מצב "בלתי יציב" (א-נורמלי). דבר זה תלוי בפרמטר הנבדק ובסקלת הזמן. יש לזכור כי התהליכים המתרחשים בכדור הארץ בכלל ובאטמוספירה בפרט הם מורכבים מאוד ובעלי רכיבים משמעותיים של אי ודאות בטווח הקרוב ובעתיד הרחוק.

תהליכים מגוונים מעצבים את אקלים כדור הארץ וגורמים לו להשתנות. העיקריים שבהם הם:

1. שינויים אסטרונומיים ביחסים הגאומטריים שבין כדור הארץ והשמש
2. יעילות המעבר של הקרינה באטמוספירה
3. שינויים בכמות הקרינה הנפלטת מכדור הארץ (תנודות באלבדו, שיעור הקרינה המוחזרת מפני כדור הארץ)
4. שינויים טקטוניים (מיקום יבשות, קימוטים ועוד)
5. התפרצויות וולקניות ובעיקר נוכחותו של אפר וולקני באטמוספירה
6. תנודות בשיעורי הפחמן הדו-חמצני באוויר

לאורך ההיסטוריה הגאואקלימית של כדור הארץ חלו שינויים רבים באקלימו, שבאו לידי ביטוי בתקופות של יציבות אקלימית ולעומתן בפרקי משבר קשים וארוכים. ברוב המקרים היו אלה שינויים ארוכי טווח, בקצב איטי של אלפי ומיליוני שנים. לעיתים פקדו את עולמנו תקופות קרות מאוד – תקופות קרח, שבשל התקררות דרמטית גדל בהן שטחם של הקרחונים שבקטבים ובראשי ההרים, הטמפרטורה של היבשות ושל מי הים ירדה, השלג שירד בחורף לא הפשיר בקיץ ותנאי האקלים נעשו קשים יותר. מכיוון שהצטברות הקרח צורכת כמויות גדולות של מים מתוקים, הצטמצם שטח פני הים, ורמת המליחות שלו עלתה. פני הימים והאוקיינוסים ירדו בשיעור של עשרות מטרים. כידוע, לים יש השפעה אקלימית ממוזגת. כאשר מצטמצם שטח הימים, חלה החרפה נוספת בתנאי האקלים וחוזר חלילה. בנוסף – הגידול בשטחי הקרח גורם לעלייה בשיעורי האלבדו ולכן להתחזקות של תהליכי ההתקררות. בתקופות קרח, צמחים ובעלי חיים שלא הצליחו להתמודד עם קשיי הסביבה, הן עם הטמפרטורות הנמוכות הן עם אובדן מקורות מזון בשל כיסוי הקרח – נכחדו. נראה כי בתקופות הקרח השונות נכחדו אורגניזמים שהידע שלנו לגביהם אפסי. עם זאת ידוע כי היו תקופות שהמצב בהן היה הפוך – טמפרטורות חמימות, מפלס פני ים הגבוה בעשרות ואפילו במאות מטרים מזה המוכר לנו כיום, צמצום ניכר בשטחם של הקרחונים, כמויות משקעים מרובות – כל אלה הובילו לשגשוגם של בעלי חיים וצמחים רבים.

שינויי האקלים שהוזכרו לעיל נבעו מסיבות טבעיות לחלוטין ללא כל קשר להשפעות פעילות האדם. ניתן לומר כי תנודות אקלימיות הן חלק בלתי נפרד מהריתמוס הטבעי של כדור הארץ.

כיום ההגדרות שונות – המושג "שינויי אקלים" מבטא שינויים מהירים בהרכב האטמוספירה המתרחשים בקצב של עשרות שנים ופחות, ואשר לדעת רוב חוקרי האקלים נובעים מהשפעות הפעילות האנושית על הרכב האטמוספירה מאז תחילת המהפכה התעשייתית ובאופן מואץ מן המחצית השנייה של המאה ה-20.

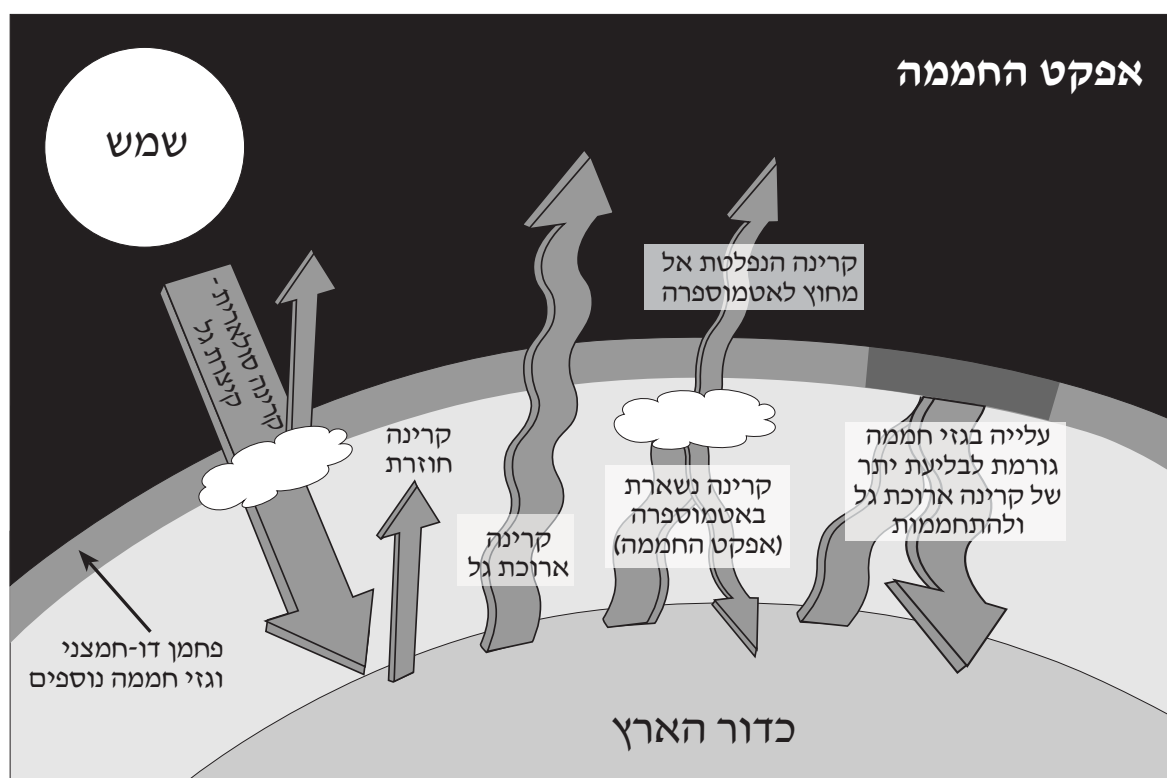
תנודות אקלימיות אלה שונות משינויי אקלים טבעיים שחלו בעבר בשני אופנים. האחד, קצב השינוי המהיר – תוך עשורים בודדים. השני הוא שיעור הגזים הנפלטים לאטמוספירה. למשל, ניתוח מדידות שיעורי הפחמן הדו-חמצני מתוך גלעיני קרח שנחצבו באנטרקטיקה הראו כי ב-400,000 אלף השנים האחרונות לא עלה הערך המרבי של גז זה באוויר על 300ppm (Petit, Jouzel, Raynaud, et al. 1999), ואילו באמצע שנות השישים של המאה ה-20 עמד שיעור ה- CO_2 על 320ppm ובשנת 2005 הגיע לכמעט 380ppm!

פרק שני – הגברת אפקט החממה

האטמוספירה היא מעטפת הגזים העוטפת את כדור הארץ, הצמודה אליו והנעה עימו בזכות כוח הכבידה. גזי החממה הם גזים שקופים באטמוספירה, העבירים לקרינה קצרת הגל המגיעה מהשמש והבולעים היטב את הקרינה ארוכת הגל הנפלטת מכדור הארץ. בליעת הקרינה על ידי גזי החממה מתבצעת בתחומי אורכי גל האופייניים לכל גז, המכונים פסי בליעה. הקרינה האינפרה-אדומה הנבלעת בגזי החממה מומרת לחום הגורם להתחממות האטמוספירה. זהו "אפקט החממה" (The Greenhouse Effect). אלמלא קיומו של אפקט החממה הייתה הטמפרטורה הממוצעת של פני כדור הארץ נמוכה בכ-40 מעלות צלסיוס (להלן: מ"צ) מן הערכים הנוכחיים.

מחקרים רבים מן העשורים האחרונים מראים כי פליטה מוגברת של גזי חממה בידי האדם (בעיקר פחמן דו-חמצני ומתאן), תוצר פעילות אנושית בתעשייה ובתחנות כוח, בתחבורה ובמגזר הביתי – כל אלה הובילו להגברה משמעותית של אפקט החממה ולהתחממות האטמוספירה, בעיקר בשכבות הנמוכות (איור 1).

גזי החממה העיקריים הם: (א) פחמן דו-חמצני (CO_2). זהו גז החממה העיקרי הנפלט לאטמוספירה כתוצר לוואי של כל תהליכי הבעירה והמוצא ממנה בעיקר על ידי תהליך הפוטוסינתזה. ב-200 השנה האחרונות ובעיקר החל מאמצע המאה ה-20, מרבית הפליטות של פחמן דו-חמצני הן תוצאה של שריפת דלקים בתחנות כוח ליצור חשמל, בתעשייה ובתחבורה. (ב) מתאן (CH_4). מקורותיו הטבעיים הם קיני טרמיטים, ביצות ורקב צמחייה. במקביל נפלט המתאן בשיעורים גבוהים כתוצר של פעילות אנושית: פירוק פסולת אורגנית בתנאים אנאירוביים במטמנות פסולת ובמכוני טיהור שפכים; כתוצר של פעילות חקלאית: עקב תהליכי עיכול של בעלי חיים, בעיקר מעלי גרה, מפירוק אנאירובי של צואת בעלי חיים וכתוצאה מגידול אורז בשטחים מוצפים. (ג) אדי מים (H_2O). שכיחותם משתנה במקום ובזמן והם מהווים 1/3000 מכמות המים הכוללת של כדור הארץ. אדי המים (והעננים) בולעים היטב קרינה בתחום האינפרה-אדום ובכך תורמים משמעותית לאפקט החממה. (ד) חנקן תת-חמצני (N_2O). מקורותיו בשריפת דלקים ובתהליכים מיקרוביים בקרקע ובמים המושפעים משימוש בחומרי דישון המכילים חנקן. קצב הגידול בריכוזי גז זה הוא איטי יותר מאלה של שאר גזי החממה, אך משך קיומו באטמוספירה ארוך יותר ולכן השפעתו ממושכת יותר.



איור 1: אפקט החממה. ניתן לראות כיצד העלייה בכמות גזי החממה מגבירה את קליטת הקרינה ארוכת הגל. הקרינה ארוכת הגל מתורגמת לחום, המעלה את ערכי הטמפרטורה בכדור"א (מקור: http://www.environment.sa.gov.au/sustainability/greenhouse_effect.html).

(ה) אוזון (O_3). תוצר של תגובות פוטוכימיות בין מזהמי אוויר, בסמוך לפני הקרקע. העלייה בשיעורם של גזי החממה באטמוספירה בשל פעילות האדם הובילה להגברת אפקט החממה ולכן לעליית טמפרטורת האוויר ולהתחממות גלובלית. (ו) כלורו-פלורו-פחמימנים, CFC's. אלו הן תרכובות סינתטיות מעשה ידי אדם, הנפלטות לאטמוספירה כתוצאה משימוש בתרסיסים, במתקני קירור ובמזגנים, בעת ניקוי רכיבים אלקטרוניים ועוד. תרכובות אלה פוגעות בגז האוזון הסטרטוספרי הבולע את הקרינה האולטרה-סגולה (UV) שמגיעה מהשמש ומגבירות בעקיפין את אפקט החממה – פגיעתן באוזון מאפשרת חדירת שיעור גבוה יותר של קרינה קצרת גל לפני כדור הארץ (קליאוט 2001).

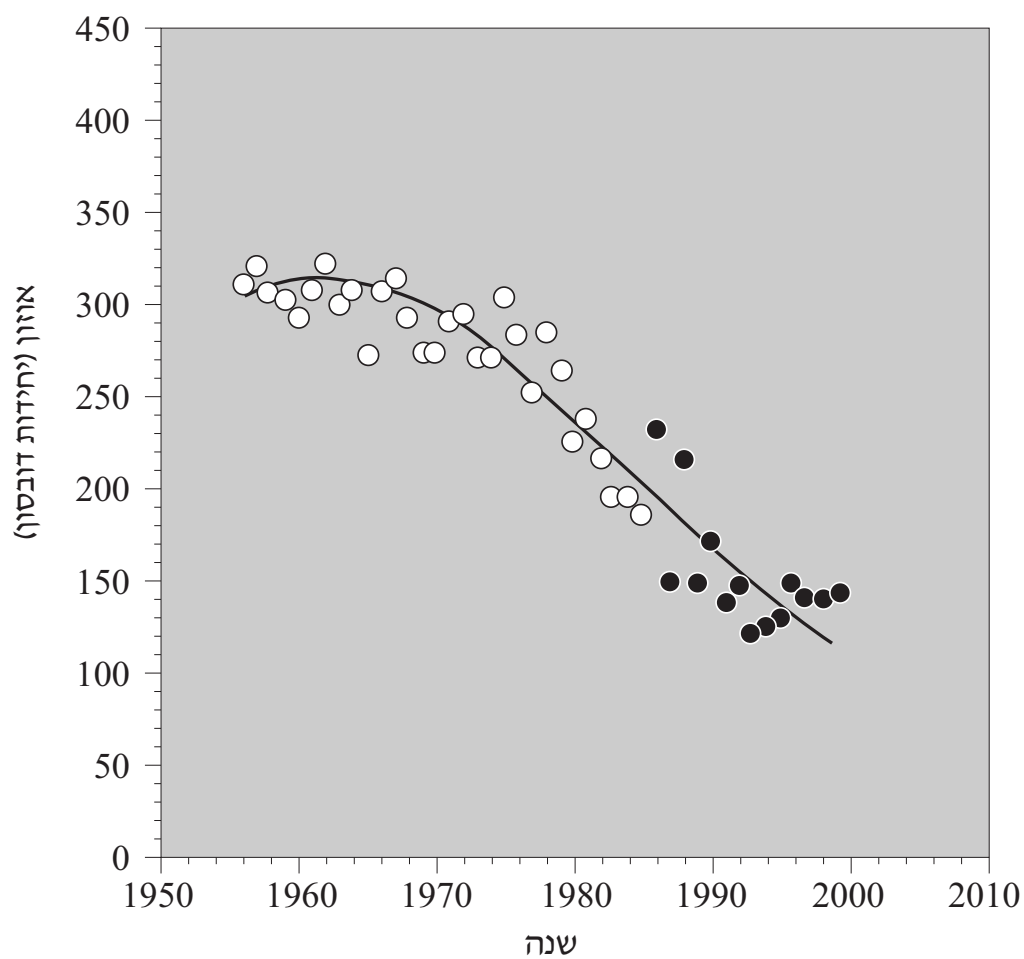
פליטת היתר של גזים אלו לאטמוספירה על ידי האדם, במקביל לבירוא שטחים נרחבים של יערות הגשם (הבולעים ומטמיעים פחמן דו-חמצני), מובילה לשינוי בהרכב האטמוספירה ולהפרת האיזון המתקיים בה מיליוני שנים, ללכידת חום רב יותר באטמוספירה, לעליית הטמפרטורות ולשינויי אקלים מגוונים.

פרק שלישי – החור באוזון הסטרטוספרי

האוזון (O_3) הוא גז חסר צבע, שהמולקולה של מורכבת משלושה אטומי חמצן. 90% משיעורי האוזון באטמוספירה נמצאים בשכבת הסטרטוספירה (ריכוזו העיקרי בגובה 22~ ק"מ מעל לפני כדור הארץ), והיתר בטרופוספירה (השכבה התחתונה של האטמוספירה), שבה הם מהווים מזהמי אויר שניוניים. האוזון בולע קרינה אולטרה-סגולה שמשית ובכך מגן על האדם, החי והצומח שעל פני כדור הארץ. באמצע שנות השמונים אותרה הפחתה דרמטית בריכוז האוזון הסטרטוספרי מעל אנטרקטיקה. תופעה זו, שהלכה והתגברה, זכתה בכינוי "החור באוזון" (The Ozone Hole) (איור 2).

מחקרים שונים שנעשו באזור אנטרקטיקה הראו כי ההפחתה בשיעורי האוזון נגרמה בשל שילוב של השפעות אנושיות וגורמים טבעיים. ההשפעות האנושיות הן פליטת כלורו-פלורו-פחמימנים (CFC's). כאשר תרכובות אלה מגיעות לסטרטוספירה הן משמידות את מולקולות האוזון. הגורמים הטבעיים הם ראשית, המערבולת הקוטבית הנושבת סביב אנטרקטיקה, המקשה על אוויר משווני עשיר באוזון להגיע אל הקוטב הדרומי. שנית, התנאים הסינופטיים הייחודיים המאפיינים את אנטרקטיקה מעודדים את הפעילות ההרסנית של מולקולות ה-CFC. על פני שטח הפנים של ענני הקרח הסטרטוספריים מתרחשות תגובות כימיות המשחררות את מולקולות הכלור והברום מחבילת ה-CFC והופכות אותן לפעילות מבחינה כימית. כאשר חוזרת השמש להאיר את הקוטב הדרומי באביב, מפרקות קרינה את מולקולות הכלור והברום לאטומים, ואלה משמשים כזרז בשרשרת תהליכים המפרקים את מולקולות האוזון לאטומי חמצן.

הידלדלות מעטה האוזון גורמת לחדירת קרינת UV רבה יותר לשכבות הנמוכות של האטמוספירה. דבר זה מוביל להפרה של האיזון בין שכבות האטמוספירה – התקררות הסטרטוספירה לעומת התחממות הטרופוספירה, וכן בין האטמוספירה לכדור הארץ, וזו "תרומה" נוספת ליצירת שינויים אקלימיים. מחקרים רפואיים מן השנים האחרונות באזורים החשופים לקרינת UV מוגברת אף הראו, כי התופעה פוגעת בבריאות האדם (WHO 2003). כך נמצאו נזק לדנ"א ויצירת מוטציות בעור הגורמות לסוגים שונים של מחלות סרטן עור, פגיעה בעיניים, גידול במקרי הקטרקט וירידה באיכות הראייה וכן פגיעה בעמידות המערכת החיסונית – רגישות למחלות זיהומיות וחשיפה למחלות אוטו-אימוניות.



איור 2: שיעור ההפחתה בגז האוזון הסטרטוספרי מעל אנטרקטיקה בחודשי אוקטובר, ביחידות דובסון (הנקודות הבהירות מתייחסות לתקופה לפני גילוי החור באוזון ב-1985) (מקור: British Antarctic Survey - http://www.antarctica.ac.uk/Key_Topics/The_Ozone_Hole).

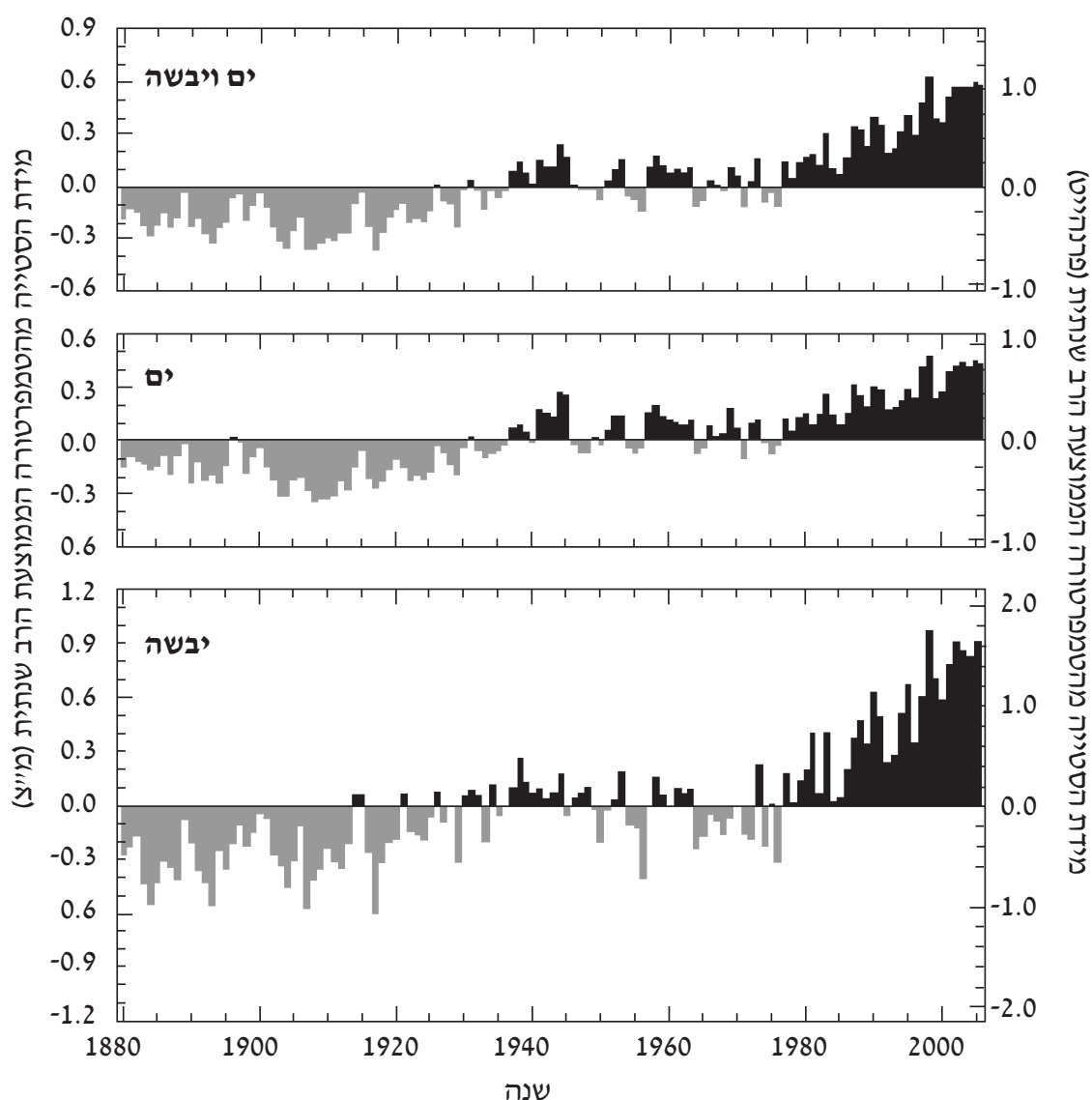
פרק רביעי – שינויי אקלים גלובליים והשלכותיהם – תופעות ומגמות נצפות וחזויות

האטמוספירה היא אחת המערכות הטבעיות המורכבות ביותר, בעלת אלמנטים של אי ודאות, ולמרות זאת עלינו להיערך לתרחישים עתידיים הקשורים בשינויי האקלים. ואכן, מודלים שפותחו במרכזי מחקר שונים מנסים לתת חיזוי לגבי השלכות עתידיות של ההתחממות הגלובלית. כל המודלים צופים את המשך המגמה של עליית הטמפרטורה – בשיעור של כ-1.4 עד 5.6 מ"צ בממוצע עולמי עד סוף המאה ה-21, בהנחה ששיעורי פליטת גזי החממה נמשכים ואף מתגברים. ההשלכות החזויות הן רבות: הגברת מגמת ההקצנה של תופעות מזג אוויר, שינוי במשטר המשקעים, הפשרת קרחונים ועימם עליית מפלס פני הים ועוד. להגברת אפקט החממה ולהתחממות הגלובלית מעשה ידי אדם השלכות רבות ומגוונות, ורבות מהן נצפות כבר עתה באזורים נרחבים על פני כדור הארץ. להלן מובאת סקירה תמציתית שלהן.

עליית טמפרטורת האוויר

תחנות מדידה רבות באזורים שונים בעולם דיווחו על עליית הטמפרטורה. למרות ששיעורי ההתחממות אינם אחידים באזורים הגאוגרפיים השונים, ניכר כי במהלך המאה האחרונה עלתה טמפרטורת האוויר הגלובלית בפני כדור הארץ ב- 0.6°C . הערך "טמפרטורה גלובלית" מבטא שקלול של אלפי תחנות מדידה אקלימיות ברחבי העולם, באזורים מגוונים (קווי רוחב שונים, הבדלים טופוגרפיים, מיקום יבשתי לעומת ימי וכיוצא בזה). מגמה זו גברה (איור 3), ובמהלך 25-30 השנים האחרונות הגיעה לקצב של 1.8°C למאה שנה (הכוונה היא כי קצב ההתחממות גבר ולא כי כדור הארץ התחמם ב- 1.8°C). יש לציין כי עלייה כזאת בטמפרטורה הגלובלית היא משמעותית ביותר (IPCC 2001).

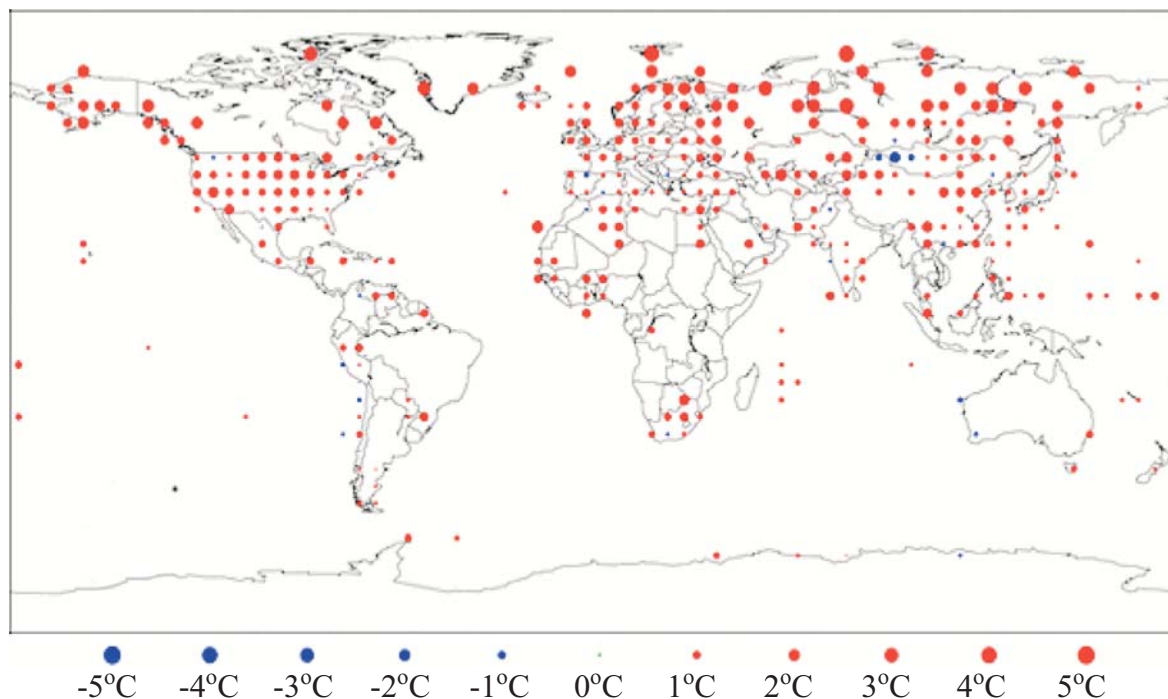
שנת 2005 נרשמה כשנה החמה ביותר בכדור הארץ מאז תחילת המדידות בסוף המאה ה-19. מקרה זה אינו חד-פעמי, שכן לפי תיעוד של מינהל התעופה והחלל של ארצות-הברית, השנים החמות ביותר מאז שנות התשעים של המאה ה-19 היו (מהחמה ביותר ומטה) 2005, 1998, 2002, 2003 ו-2004 (NASA 2006). שנת 2006 נחשבת לשנה החמה ביותר בתולדות ארצות-הברית (NOAA 2007). באזורים רבים ברחבי העולם (ובהם



איור 3: האנומליה בטמפרטורות הממוצעות החודשיות הרב-שנתיות (ינואר-דצמבר) בפני כדור הארץ, ים ויבשה (בשנים 2005-1880). האיור מציג עלייה בטמפרטורה הממוצעת של פני כדור הארץ, בעיקר החל מאמצע שנות השבעים של המאה ה-20. ניתן לראות את מגמת ההתחממות (עמודות אדומות) בעשרות השנים האחרונות, לעומת סוף המאה ה-19 ותחילת המאה ה-20 (מקור: http://www.ncdc.noaa.gov/img/climate/research/2005/ann/glob_jan-dec_pg.gif).

ישראל) חלה עלייה מובהקת במספר גלי החום, באורכם ובעוצמתם וכן הקצנת טמפרטורות – עלייה בטמפרטורות הקיץ וירידה בטמפרטורות החורף.

איור 4 מראה כי בחורף שנת 2005 הייתה הטמפרטורה הממוצעת על פני כדור הארץ גבוהה יותר בערכים של עד 5 מ"צ לעומת הממוצע הרב-שנתי של השנים 1961-1990. ההתחממות העיקרית נצפתה בחצי הצפוני של כדור הארץ.

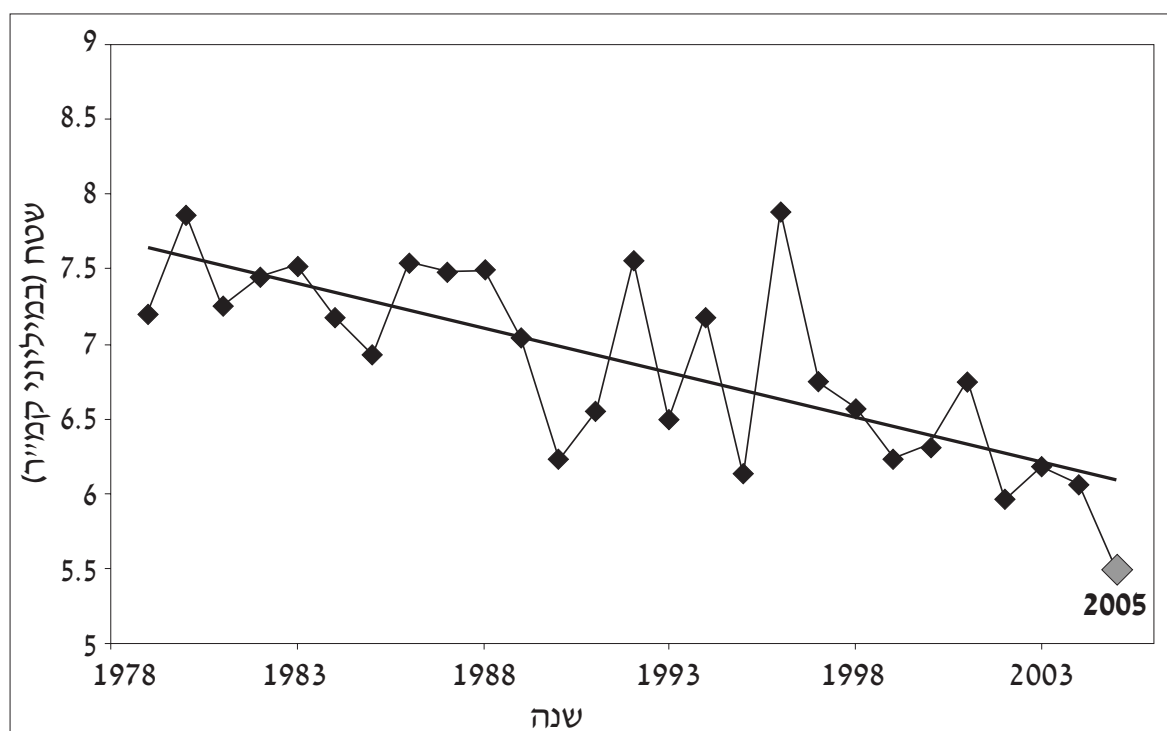


איור 4: אנומליה בטמפרטורות הממוצעות ברחבי כדור הארץ בשנת 2005. ניתן לראות כי בחצי הצפוני של כדור הארץ חלה עלייה משמעותית ביחס לשנים קודמות. מעטים האזורים בהם חלה התקררות (מקור: <http://www.ncdc.noaa.gov/img/climate/research/2005/ann/> (map_Rvose_Jan-Dec_13_2005_pg.gif).

המסת קרחונים

אחת ההשלכות של העלייה בטמפרטורת האוויר היא המסת קרחונים. בשנים האחרונות יש ירידה ניכרת בשטח הקרחונים בקטבים ובפסגות ההרים הגבוהים. שנת 2005 הייתה שנת שפל, ושטח הקרחונים הנמצאים בים, בחצי כדור הארץ הצפוני, הגיע בה ל-5.32 מיליון קמ"ר (איור 5). זהו הערך הנמוך ביותר מאז שנת 1978.

בים הארקטי חלה משנת 2001 עד שנת 2005 ירידה של כ-1,305,200 קמ"ר כל שנה. שטח הקרחונים הנמסים שווה לפעמיים לשטחה של מדינת טקסס בארצות-הברית. החל משנת 1979 נראה כי אחוז הכיסוי של הקרחונים בים הארקטי ירד ב-9.6% לעשור. איור 6 ממחיש את ההבדלים בין כיסוי הקרחונים בים הארקטי בשנת 1979 לבין שנת 2005. ניתן לראות כי בשנת 1979 כיסוי הקרחונים בים הארקטי גבוה יותר מזה של שנת 2005 (NASA 2005).



איור 5 : שטח הקרחונים בים, חצי כדור הארץ הצפוני (בשנים 1978-2005, נמדד מדי שנה בחודש ספטמבר) (מקור: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/2005/ann/global.html#Gtemp>)

Sea Ice Minimum 1979



Sea Ice Minimum 2005

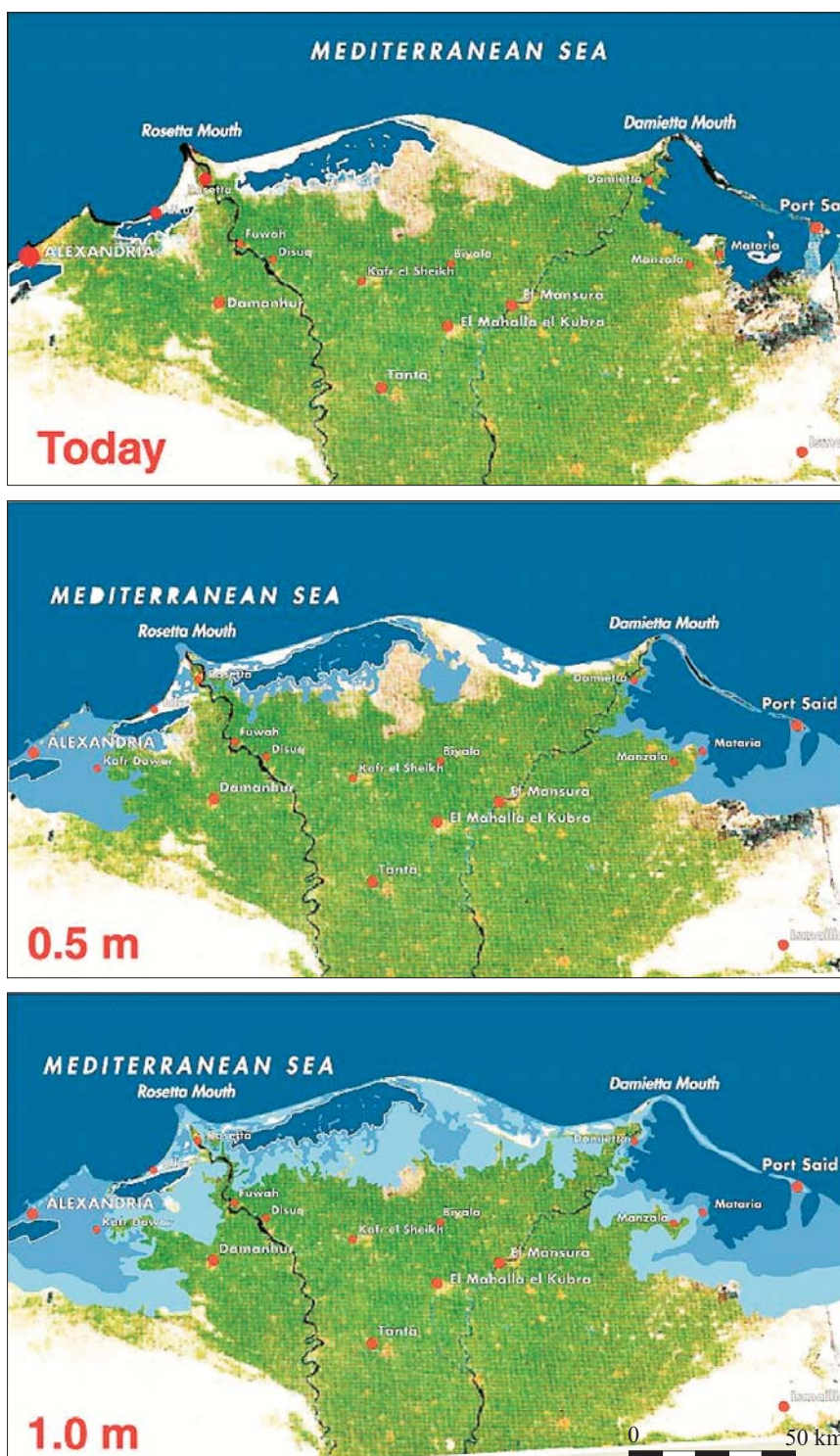


איור 6 : כיסוי הקרחונים שנת 1979 ושנת 2005 (חודש ספטמבר) בים הארקטי (מקור: http://www.nasa.gov/vision/earth/environment/arcticice_decline.html)

עליית מפלס פני הים

תוצר מובהק של המסת כיפות הקרח הוא השינוי במפלס פני הים. במאה ה-20 עלה המפלס בקצב של עד 2 מ"מ לשנה. במקביל, עם עליית ערכי טמפרטורת האוויר, מתפשטות מולקולות מי הים בהתאם ויוצרות עלייה מסוימת במפלס פני הים. מובן שכל הזרמת נגר עילי מהיבשה לים תגרום אף היא לעלייה במפלסו. לתופעה שתי השלכות עיקריות. האחת, הצפות באזורי החוף ובמקומות נמוכים טופוגרפית. בהתחשב בעובדה שרוב תושבי כדור הארץ חיים בקרבת החופים, מדובר בתופעה מדאגה ביותר. כבר כיום קיימים איים באוקיינוס השקט שתושביהם מדווחים על עלייה במפלס הים, ולאחרונה התפרסם בכתב העת Science מחקר החוזה הצפת ערים מרכזיות כדוגמת ניו-יורק עד סוף המאה ה-21 (Rahmstorf 2007). ההשלכה השנייה היא המלחת אקוות (אקוויפרים) חופיות. הצפות יכולות לגרום לארוזיה בקו החוף ואף לנזק לרכוש ולנפש. 9% מחופי אירופה נמצאים מתחת לרום של 5 מ' ונחשבים לפגיעים לכל עלייה במפלס פני הים. הנושא מטריד ביותר גם לנוכח העובדה שרבים מחופי אירופה משמשים לצורכי תיירות. הולנד ובלגיה למשל הן חבלי ארץ ש-85% משטחן נמצאים מתחת לרום של 5 מ'. עלייה של מטר אחד במפלס מי הים תשפיע על חייהם של יותר מ-13 מיליון תושבי אירופה בחמש מדינות: הולנד, גרמניה, פולין, אסטוניה ואירלנד. בין האזורים הפגיעים נמצאים הים הבלטי ואגן הים התיכון (IPCC 2001; EEA 2005).

יותר מרבע אוכלוסיית אפריקה שוכנת לאורך 100 ק"מ על החוף. אוכלוסייה זו תהיה פגיעה לכל שינוי במפלס פני הים. העלייה הצפויה בממוצע של 0.38 מ' של מפלס פני הים יכולה להיות הרת אסון לחופי אפריקה בכלל ולחופי מצרים בפרט, שכן הדלתא של הנילוס פגיעה ביותר לעליית מפלס פני הים. אזור הדלתא נחשב לאחד האזורים העתיקים ביותר המעובדים והמיושבים בצורה אינטנסיבית. אזורי ההצפה הנמוכים מוקפים ברובם במדבר. רק 2.5% משטחה של מצרים, דלתת הנילוס ועמק הנילוס, מתאימים לעיבוד חקלאי. מרבית השטחים מצויים מתחת ל-2 מ' מעל גובה פני הים. אזור זה מוגן מעליית מפלס פני הים באמצעות דייקים העשויים חול בלבד, הפרוסים לאורך 10-1 ק"מ. סחיפת החול באזור בעייתית ביותר ואף החרפה מאז נבנה סכר אסואן. התחזיות לעליית מפלס פני הים צופות הרס של החלקים הרגישים של רצועות החול. רצועות אלה שומרות על המפרצים ומקורות המים הרדודים בדלתא, וכן מפני הצפות במקומות הנמוכים. לעליית מפלס פני הים השלכות משמעותיות מהיבטים אלה (איור 7):



איור 7: ההשלכות של עליית מפלס פני הים על דלתת הנילוס. ניתן להבחין במצב כיום (למעלה), בתרחיש של עלייה בשיעור של 0.5 מ' במפלס פני הים שתשפיע על 3,800,000 מתושבי הדלתא ועל 1,800 קמ"ר של שטחים חקלאיים (במרכז), ובמצב של עליית המפלס בשיעור של 1 מ' שעתידה להשפיע על 6,100,000 מתושבי הדלתא ועל 4,500 קמ"ר של שטחים חקלאיים (למטה) (מקורות: <http://www.grida.no/climate/vital/34.htm> וכן <http://www.grida.no/climate/vital/34a.htm>).

- המלחת מי תהום ופגיעה בדגה החיה במים מתוקים
- הצפת שטחי חקלאות
- הצפת מתקנים ותשתיות באלכסנדריה ובפורט סעיד
- פגיעה בתיירות המושתתת על אזורי החופים

אמצעי הגנה כמו חומות חול ודייקים יכולים למנוע נזקים צפויים של עליית מפלס פני הים ב-0.5 מ', אך בנייה כזאת תגרום להמלחה של אקוות. נזק נוסף העלול להיגרם מבניית אמצעי הגנה הוא סחיפתן של החומות על ידי נחשולי הגלים (McCarthy, Canziani, Laery, Dokken, and White 2001; UNEP).

עליית מפלס פני הים באסיה הטרופית עשויה להיות חמורה ואף קטסטרופלית עבור מיליוני בני אדם. עלייה של מטר אחד במפלס פני הים יכולה לגרום לנדידתם של 15 מיליון תושבים מאזור בנגלדש, שבעה מיליון מהודו ושני מיליון מאזור אינדונזיה, וכן לאובדן שטחים בשיעור של 30,000 קמ"ר בבנגלדש ו-6,000 קמ"ר בהודו. ההשלכות הצפויות הן הגברת הסחף החופי; הצפה של שטחים נמוכים טופוגרפית ובעקבותיה אובדן מקורות תעסוקה ושטחי חקלאות ומחיה גם עקב המלחת קרקעות; השפעה על החקלאות הימית ועל התיירות המבוססת על חופי הים. עקב כל אלה יהפכו תושבים רבים לפליטים.

מידת הפגיעות של אזור הדלתא בבנגלדש, אחד האזורים המאוכלסים בעולם, רבה ביותר. שילוב תופעות אקלימיות יחד עם הרגישות הגאולוגית של האזור עלולות לגרום לניקוז גרוע של מים נוסף על הגברת הבליה החופית ואובדן קרקעות. עם עליית מפלס פני הים יהיו יותר שטחים פגיעים לנחשולי הציקלון (הוריקן). אקוות ובריכות המכילות מים מתוקים יהיו חשופות להמלחה. התקדמות גבול הגאות עלולה לעלות נגד כיוון זרם הנהר ולגרום אף היא להמלחת קרקעות ומקורות מים מתוקים. פועל יוצא של תופעה זו הוא מחסור במים לשתיה ולחקלאות בשטחים נרחבים במיוחד, דבר בעל השלכות חברתיות-כלכליות מהותיות (IPCC 1997).

מערכות אקולוגיות

סביבתו המגוונת של המין האנושי מספקת לו צרכים בעלי משמעות ערכית וכלכלית: פליטת חמצן לאטמוספירה על ידי צמחים, מזון, מים, נוף ונוי ועוד. במהלך העשורים האחרונים השפיע האדם על המערכות האקולוגיות (האקוסיסטמות) השונות, וקצב

הכחדת המינים עלה בשל אובדן בתי גידול, או מסיבות ישירות כמו ציד. נוסף על כך, עקב גידול האוכלוסייה האנושית והדרישה המוגברת למשאבים נתונות מערכות אקולוגיות שונות תחת לחץ משמעותי וסובלות מהידרדרות באיכותן, המתבטאת בשינויים באיכות המים והקרקעות, בזיהום אוויר, בפגיעה בבעלי חיים וצמחים וכדומה. שינויי האקלים הם גורם נוסף העלול להגביר את הלחץ על מערכות אלה. יותר ויותר מחקרים מצביעים על קשר מובהק בין שינויי אקלים לשינויים ביולוגיים ופיזיים החלים באקוסיסטמות: שינוי בשטח של המערכת האקולוגית (בדרך כלל הקטנה של השטח), תנודות בזמני הפריחה (הקדמה או איחור), שינויים במועדי נדידת הציפורים ועוד. יש לציין שרוב השינויים נצפו בקווי הרוחב הבינוניים והגבוהים יותר.

מגוון המינים צפוי להידלדל בעושרו ובכמותו, שכן רוב המינים משגשים בתנאי אקלים מסוימים ודועכים במשטר אקלימי הגורם לעקה (stress) בתנאי מחייתם. שינוי אקלימי עשוי להשפיע על יכולתו של מין כלשהו להתקיים באזור מסוים. מיני אורגניזמים שיתקשו לתפקד בטמפרטורות גבוהות מדי בעבורם צפויים להגר לאזורים קרירים יותר, ולהפך – מינים המתרבים בטמפרטורות גבוהות עתידים להתפשט לאזורי מחיה חדשים. שינויי אקלים מתבטאים גם באירועי מזג אוויר קיצוניים הגורמים לשריפות המשנות את הרכב המינרלים בקרקע. באירופה למשל, ההתחממות של המשקעים וירידה בכמותם גרמה לכך שהיונקים הארקטיים מאבדים את בתי הגידול המאפשרים להם מחיה בשל היעלמות הקרחונים. באנגליה חלה ירידה ניכרת במגוון המינים ובכמותם.

האקוסיסטמות הנחשבות פגיעות ביותר הן החגורה הארקטית, האזורים ההרריים ואזורי החוף (בייחוד הים הבלטי והים התיכון). מודלים חוזים כי עד שנת 2050 צפויים 2,000 מינים, ובהם 1,350 צמחים, 157 יונקים, 108 זוחלים ו-383 מיני ציפורים להיכחד בגלל המשך פליטות גזי חממה ושינויי אקלים, וצופים כי 5% מהמינים יאבדו את כל בתי הגידול הזמינים (McCarthy et al. 2001; EEA 2005).

מזון וחקלאות

לחקלאות תפקיד קריטי בייצור מזון. גידול האוכלוסייה האנושית יוצר לחץ להשגת מזון שיספק את צרכיה. המאה ה-20 הצטיינה באספקת מזון בקצב גבוה יותר מהביקוש, הודות לטכנולוגיה מתקדמת, אך הנהנים העיקריים מכך היו תושבי המדינות המפותחות. מחקרים שונים מראים כי הביטחון לגבי אספקת המזון ימשיך

להישמר אחרי שנת 2020 למרות קצב גידול האוכלוסייה. מחקרים אחרים מציגים נימה פחות אופטימית ומציינים כי שינויי אקלים כבר פוגעים בענפים חקלאיים מגוונים.

שינויי אקלים עלולים להגביר את הלחצים על יבולים המעובדים בשיטות חקלאות מסורתיות וגם חדשות. אחת הסכנות קשורה בהפחתה משמעותית במספר סוגי הגידולים שניתן יהיה לגדל. שינויי אקלים יהיו עשויים ליצור מצב של "מרוויחים" ו"מפסידים". נראה כי אזורי שוליים עניים יותר יהיו הפגיעים ביותר לשינויי אקלים בסקטור החקלאות. לעומתם, אזורים ממוזגים יוכלו להרוויח מגידולים נוספים בעתיד. הערכות ה-IPCC גורסות, כי עד שנת 2080, 80 מיליון בני אדם נוספים יהיו חשופים לסכנת רעב. בחלק מהמדינות השוכנות באזורים הטרופיים כבר ניתן להבחין בהשפעות של הטמפרטורות המשתנות על היבולים. יש לציין כי התופעה קיימת גם במדינות מפותחות – גל החום הכבד שפגע באירופה בקיץ 2003 גרם לפגיעה קשה ביותר בענפי החקלאות השונים של מדינות דרום אירופה ומרכזה.

עליית הטמפרטורה ועימה הירידה בכמות המשקעים באזורים כדוגמת אגן הים התיכון והמזרח התיכון יגבירו את הצורך בהשקיה. לכך יש להוסיף את גידול האוכלוסייה ואת הגברת הדרישה למים שיפחיתו את שיעורי המים השפירים. השקיית יתר והגברת האידוי עלולות לגרום לירידה במפלסי אגמי מים מתוקים (דוגמה קיצונית לכך היא ימת אראל בקזחסטן שאיבדה 60% מנפחה בשל שימוש יתר במים) ולהמלחת קרקעות.

ההשפעות של שינויי האקלים על החקלאות מתבטאות גם בתגובת הגידולים לפליטת ה- CO_2 . דגנים הקולטים יותר פחמן דו-חמצני הם קשים יותר וצורכים יותר זמן בישול. הפחמן ידחק את המינרלים והאבץ החשובים לתזונת האדם. אחוז הפרוטאין בתבואה ירד בשל השפעות הטמפרטורה העולה. בחיטה ירד אחוז הפרוטאין ב-9% עד 13% (McCarthy et al. 2001). טמפרטורות גבוהות המלוות בירידה בכמות המשקעים עשויות לגרום לירידה משמעותית בכמות התבואה באגן הים התיכון ובמזרח אירופה. מודלים שונים צופים ירידה בכמות התבואה בדרום אירופה עד שנת 2050. אירועי מזג אוויר קיצוניים כמו גלי חום (heat waves), סופות, גשמים חזקים ושנות בצורת עלולים לשנות את מערך החקלאות באירופה ואף לפגוע בו. דוגמה לכך הוא גל החום הכבד שפקד את אירופה בקיץ 2003, שהטמפרטורות בו היו גבוהות ב-10 מ"צ מן הממוצע החודשי הרב-שנתי ושפגע אנושות בענף החקלאות בדרום אירופה ובמרכזה.

שינויי אקלים המשפיעים על יבולים בדרכים שונות משפיעים גם על ענפי חקלאות הקשורים במשק בעלי החיים: ירידה בזמינות השטחים לרעייה ובאיכותם, פגיעה בפריון, ירידה בתפוקת ביצים וחלב ועוד. הגידול בתפוצת מזיקים, במחלות ובעשבים שוטים עלול אף הוא להשפיע על התבואה באופן ישיר. התגוננות מפני מחלות תגרור שימוש בחומרי הדברה ובקוטלי פטריות, המזיקים לטיב המזון. האוכלוסייה העתידה להיפגע ראשונה עקב השפעות האקלים על החקלאות היא אוכלוסיית הכפריים והחקלאים העניים, תושבי המדינות המתפתחות (EEA 2005).

דגה

ההשפעות של שינויי האקלים על המדגה למאכל אינן חד-משמעיות. נראה כי ההשפעה עתידה להיות גם לטובה וגם לרעה מבחינת השפע והתפוצה של דגי הים, תלוי במין שבו מדובר, בתנאי הסביבה שלהם הוא זקוק לקיומו ובמידת השינוי בטמפרטורת המים או בזרמי הים. מבחינה פיזיולוגית, דגים החיים במים מתוקים או מלוחים רגישים לשינויים בטמפרטורות. ישנן הערכות הגורסות כי התחממות האוקיינוסים ועליית מפלס פני הים כבר הובילו לשינויים במגוון המינים הימי. למשל, בים התיכון ובים האדריאטי ניכר שגשוג של מינים תרמופיליים – מינים המשגשגים בטמפרטורות חמות. מחקרים צופים הגירה של אוכלוסיות דגים שונות לקווי רוחב צפוניים וקרים יותר, כשתנועת הדגים תהיה בהתאם לתזוזת החגורות האקלימיות צפונה. מעניין לציין כי כבר עתה, חברות ביטוח מסוימות מבטחות דייגים מפני תנודות בטמפרטורה המשפיעות על גודל אוכלוסיות הדגים בין שנה לשנה. דגי הבקלה בים הצפוני נמצאים כיום בטווח המקסימלי של ערך הטמפרטורה שבו הם יכולים לשרוד. התחממות נוספת עלולה להוביל להכחדת המין. הדגה מצויה תחת לחצים נוספים, כמו זיהום ימים ואגמים העלול לפגוע בפוריות ובהתרבות המינים.

ארגוני סביבה מביעים חשש בעיקר לגבי מצבים שיתפתחו באזורים הסובלים מדיג יתר, שתתווסף בהם השפעת השינוי האקלימי לרעת הדגה. מעבר להיבט הסביבתי, אירוע כזה יהיה בעל השלכות כלכליות על אוכלוסיית האזור החופי ועל כלכלת המדינות לאורך החופים. ה-IPCC טוען שדרך נכונה לשימור המדגה תהיה יצירת שמורות טבע ימיות שיבטיחו את המשך קיומם של דגים ויונקים ימיים (Hansen, Biringer, and Hoffman 2003; EEA 2005).

חופי הים התיכון נמצאים תחת לחץ מתמיד של פיתוח מערכות עירוניות, כלכליות,

תעשייתיות, חקלאיות ותיירותיות. הזיהום הרב המגיע אל הים באופן ישיר או בעקיפין פוגע באוכלוסיית הדגים לאורך החופים. דיג יתר וזיהום הים והחופים כבר הובילו להפחתה בכמות הדיג (IPCC 1997).

קו החוף הים תיכוני מושפע יותר מפיתוח מואץ, מעשה ידי אדם, מאשר משינויי אקלים. אזורים נרחבים מושפעים מלחצים של ערים גדולות (של יותר מ-100,000 תושבים), על כל המשתמע מהן – תעשייה, תחבורה, ביוב וכדומה. מדינות רבות לאורך החוף עוסקות בייצור מוצרי דלק במתקני זיקוק. רוב הייצור מתקיים ביבשה ולכן הוא פחות פגיע לשינויי אקלים בהשוואה לרמת הפגיעות של אסדות נפט ימיות. מתקני הדלק פגיעים פחות לשינויי אקלים הנובעים ממזג אוויר קיצוני, הצפוי להכות יותר בקווי הרוחב הבינוניים והגבוהים. עם זאת, נחשולי גלים שמקורם בסערות קיצוניות עלולים לפגוע גם במתקנים הממוקמים ביבשה. מכיוון ששליש משיעור הובלת הדלק העולמית עובר דרך הים התיכון, חשוף הים לזיהום דלק מאוניות ולדליפות מצינורות, נוסף על הזיהום מהיבשה.

ייעור

יערות, ובעיקר יערות הגשם, הם "הריאה הירוקה" של כדור הארץ. זו מערכת אקולוגית מורכבת ביותר, המספקת צרכים חיוניים לאורגניזמים ובכללם האדם: היא קולטת פחמן דו-חמצני ופולטת חמצן, היא מספקת מזון, עצים לאנרגיה ולבנייה, דלק, סיבים וחומרים לתרופות. יש בה עושר מינים, חל בה ויסות חומרים מזהמים מהאטמוספירה והיא מקור למים ולקרקע ומקום לבילוי ערכי בטבע. כיום מכסים היערות 30% מכלל היבשות. 57% מהם נמצאים באזורים טרופיים, רובם תחת ריבונות של מדינות מתפתחות. 60% מכלל היערות נמצאים תחת ריבונותן של שבע מדינות: חבר המדינות, ברזיל, קנדה, ארצות-הברית, סין, אינדונזיה וקונגו. בשנים 1980-1995 ירד כיסוי היערות העולמי ב-5% כתוצאה מפעילות האדם: כרייתה, בירוא ושריפה. להקטנת שטחי היערות בידי האדם משמעות חמורה במיוחד, כי בכך נגרע מקור עיקרי להטמעת הפחמן הדו-חמצני, ושריפת העצים אף מוסיפה כמויות של פחמן לאטמוספירה.

שינויי אקלים משפיעים על הצלחת היערות לספק את הצרכים שזכרו לעיל. בצורת, סחף קרקעות בשל סופות חזקות ועקירת עצים – כל אלה יכולים להחליש את יעילות היער ולצמצם את שטחו. מודלים צופים כי המשך עליית הטמפרטורות תגרום לתמותת עצים במרכז ודרום אירופה. לעומת זאת, יש מקומות (כמו אזורים צפוניים יותר) בהם כיסוי היער צפוי לעלות הודות להתחממות (EEA 2005).

אזורי ההרים

אזורים הרריים, בייחוד ההרים המושלגים, רגישים ביותר לשינויי האקלים. כבר כיום מבחינים בהתקצרות עונת השלג ובהפחתה בכיסוי השלג בקווי רוחב נמוכים ובינוניים בשווייץ, סלובקיה, קרואטיה ועוד. התחממות של 1°C עלולה לקצר את עונת השלג בשבועות אחדים, גם בקווי הרוחב הגבוהים יותר. הרגישות לעלייה בטמפרטורה תגרום להפשרת השלג מוקדם יותר באביב. מעריכים כי שכבת האדמה הקפואה תלך ותצטמצם עם העלייה בטמפרטורה. הקרחונים הנמצאים בפסגות ההרים יצטמצמו בשטחם עקב ההתחממות הגלובלית. ישנן הערכות שעד סוף המאה ייעלמו שטחי הקרחונים בהרי האלפים. קרחונים נמסים עלולים לגרום למפולות שלגים ולהנחתות גושי קרח ונפילתם. אלה, נוסף על מפולות סלעים עלולים לפגוע בנפש וברכוש. בעלי חיים וצמחים החיים באזורים ההרריים והסובארקטיים יושפעו משינוי כה דרמטי במערכת האקולוגית שלהם עד כדי הכחדתם. תיירות הסקי תיפגע מהתופעה עם עליית השלג הנערם ברום, מ-1,200 מ' לרום של 1,800 מ'. 56% מאתרי הסקי בשווייץ של היום יהיו בלתי זמינים, ואתרי סקי ברחבי אירופה יאלצו להעתיק את מיקומם (McCarthy et al. 2001; EEA 2005). הקרחון Vernagtferner שבאוסטריה הוא דוגמה לקרחון שעבר שינויים מהותיים ב-15 שנה (איור 8).

מקורות מים

משקעים: מחקרים שונים מצביעים על עלייה בכמות המשקעים באזורים גשומים ועל אירועי בצורת ותהליכי התייבשות באזורים המאופיינים בכמויות משקעים מוגבלות, כדוגמת אגן הים התיכון. במילים אחרות, אזורים גשומים יזכו בכמויות גשם גבוהות יותר, ולעומתם אזורים צחיחים למחצה יסבלו מהתייבשות (IPCC 2001). תצפיות שונות מעידות על עלייה בשכיחותם של אירועי גשם קיצוניים (בכמות הגשם ליחידת זמן הבאה לידי ביטוי בעלייה בעוצמתו) הגורמים לשיטפונות ולנזקים בנפש וברכוש באזורים רבים, ביניהם: ארצות-הברית, אירופה, אגן הים התיכון (וישראל). בולטת מגמת ההקצנה באירועי גשם חריגים בעוצמתם כדוגמת מכת ההוריקנים שפקדה את דרום ארצות-הברית בשנים האחרונות, ששיאה היה הוריקן קתרינה (קיץ 2005), אסון הטבע שגבה את הנזק הכלכלי הגבוה ביותר מאז ומעולם. מודלים צופים המשך העלייה בכמות המשקעים השנתית בקווי רוחב בינוניים וגבוהים וגם באזור קו המשווה. בקווי הרוחב בחגורה הסובטרופית צפויה ירידה בכמות המשקעים השנתית. יש סימנים ליותר אירועי גשם קיצוניים ולירידה בכמות המשקעים היורדים כשלג.

במקומות שמשקעי השלג נחשבים בהם לשוליים עוד תפחת הסבירות לשלג. מדינות רבות באגן הים התיכון זוכות בפחות משקעים מאשר בעבר, ובהן דרום איטליה שאיבדה בעשורים האחרונים כרבע מכמות הגשם השנתי הממוצע.

נגר עילי: נגר עילי מתפתח בעיקר כאשר הקרקע רוויה במים או אטומה למים. הגברה בכמות המשקעים עלולה לגרום להצפת גדות הנחלים ולנזקים לסביבתם. מחסור בגשם יגרום לספיקות נמוכות עד חסרות בנחלים ולהרס המערכות האקולוגיות המקיפות את הנחל או הנהר. בצפון ארצות-הברית נצפתה מגמה של עלייה בכמות הספיקות. מודלים צופים ירידה של 20% עד 30% בכמות הנגר העילי בדרום מזרח אירופה עד שנת 2050 (McCarthy et al. 2001; EEA 2005).

באגן הנילוס נמצאה ירידה של 20% בשיעור הנגר העילי בין השנים 1972 ו-1987. ההסבר לכך הוא ההפחתה בכמות המשקעים באזור פלגי הנהר. תחזיות שונות המתייחסות להשפעת שינויי אקלים על אגן הנילוס מצביעות על מגמות הפוכות. יש מחקרים הצופים ירידה של כ-77% בנפח הזרימה, ולעומתם יש תחזיות לגבי עלייה בשיעור של 30% בנפח הזרימה. תחזית מסוימת אף צופה עלייה בכמות המשקעים באזור הנילוס, אך עלייה שתלווה בהגברת האידוי. הפחתה בכמות המשקעים המלווה בעלייה של 0.5°C אפיינה את אזור הנילוס בחצי השני של המאה ה-20. תחזיות סותרות אלה מצביעות על עלייה במידת האי-ודאות לגבי הספיקה הצפויה בנהר ולכן לבעיות בתכנון משק המים הלאומי המצרי ובניהולו (UNEP).

אגמים: לאגמים מידת פגיעות גבוהה ביותר לתנודות אקלימיות. שינויים בערכי טמפרטורות ובמשטר המשקעים משפיעים ישירות על ההתאדות, על מפלס המים ועל ההרכב הכימי שלהם וכן על מכלול המרכיבים של המערכות האקולוגיות המתקיימות באגם. במצב קיצוני של בצורת קשה במשך שנים, כדוגמת זו שפקדה את אזור הסהל שבאפריקה (מדרום לסהרה), עלולים האגמים להיעלם לגמרי. קיים הבדל בין אגמים סגורים לאגמים פתוחים בעלי מוצא. אגמים סגורים תלויים מאוד בכמות המים הנכנסת אליהם, בשיעורי ההתאדות ובהתערבות האדם, והם סמנים חשובים ביותר לתנודה במשטר האקלימי. גם אגמים פתוחים ששטחם קטן רגישים לשינויי אקלים, וכל הפחתה בכמות המים בהם יכולה לגרום לשינוי מהותי במפלס המים ומליחותם. רגישות מיוחדת לתנודות אקלימיות קיימת באגמים המושפעים מאוד מפעילות אנושית.

בימת אראל שבקזחסטאן חלה ירידה קיצונית במפלס המים עקב השימוש במי האגם במעלה להשקיה. בניגוד אליו, הסולט לייק בארצות-הברית גדל בגלל ריבוי כמות

הגשמים שמימיהם נאגרים בו. אגם Qinghai בסין הצטמק בגלל הפחתה בכמות המשקעים באגן ההיקוות שלו.

גם אגמים הניזונים מנהרות יכולים להיות רגישים לשינויי אקלים. אלה משפיעים על זרימת הנהרות אליהם ועל שיעורי המים המתאדים מהם. הכינרת היא דוגמה לאגם הנתון ללחץ כבד הנובע מהשפעה אנושית, שגם תלוי מאוד בכל שינוי במשטר המשקעים. מפלסו של אגם ויקטוריה במצרים עלה זמן קצר לאחר עונות גשמים ברוכות שהגבירו את הזרימות בנחלים המזינים אותו (McCarthy et al. 2001). על פי נתונים חדשים, כ-800 אגמים נעלמו ביבשת אפריקה בשני העשורים האחרונים והגדול שבהם הוא אגם צ'אד.

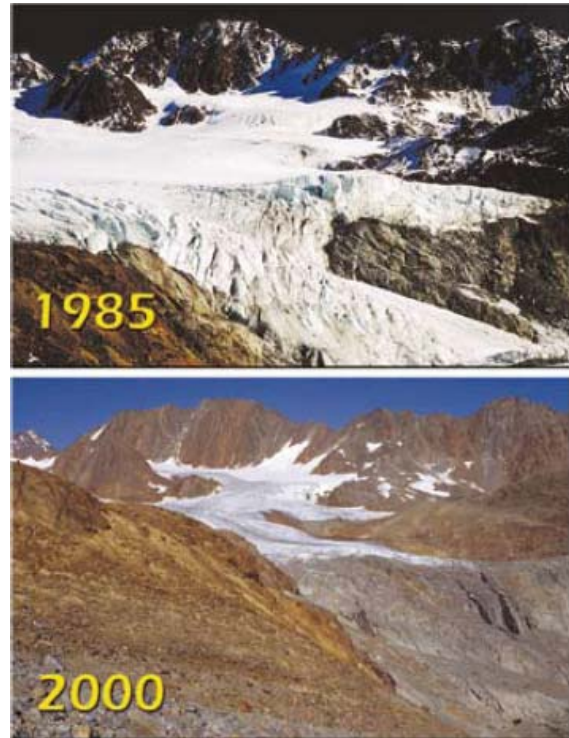
אקוות: האקוות (אקוויפרים), מאגרי המים התת-קרקעיים, חיוניות בעיקר באזורים צחיחים או צחיחים למחצה, שההתאדות בהם רבה. שינויי אקלים המשפיעים על כמות המשקעים ישפיעו גם על שיעור המים המחלחלים לאקוות, ועל עיתוי החלחול. לכך יש חשיבות רבה בכל הנוגע לכמות המים הזמינה בקרקע. בקווי הרוחב הבינוניים ומעלה, שלגביהם חזויה עלייה מסוימת בכמות המשקעים, צפויה העשרה רבה יותר של האקוות. עלייה בהתאדות תמתן את העשרת האקוות ממי המשקעים. באזורים שכמויות הגשמים בהם מוגבלות, תחרף מצוקת המים.

עליית מפלס מי הים עלולה להשפיע על אקוות החוף ולגרום להמלחתן, ובעיקר באיים, שבהם מקורות המים מוגבלים יותר. שילוב של שאיבת יתר ועליית מפלס מי הים עלול לגרום להרס האקוות.

התאדות: מחקרים הראו מגמת עלייה בהתאדות הפוטנציאלית. התאדות רבה בשל טמפרטורות גבוהות עם כמות משקעים מעטה תוביל לירידה בשיעור המים בקרקע, בנפח הנגר העילי ובכמות המים הזמינים לצומח. הרכב הצומח ומאפייניו ממלאים תפקיד חשוב בכל הנוגע להתאדות: ככל ששטח פני הצמח גדול יותר, כך רבה יותר ההתאדות. שינוי אקלימי שיביא לשינוי באופיה של הצמחייה ישנה גם את שיעורי ההתאדות.

מדבור: באזורים צחיחים למחצה בולטת תופעת התפשטות המדבר (מדבור). הדבר נובע משילוב בין ניצול יתר של משאבים על ידי האדם – רעיית יתר, ניצול מוגזם של מים וקרקע – ובין עליית הטמפרטורה והתגברות אירועי הבצורת. כשתנאי הסביבה הופכים להיות מדבריים יותר, ניכרות הפחתה בכמות הגשם השנתית, התקצרות

משך אירועי הגשם והתארכות פרקי היובש בין אירועי הגשם. תנאים אלה יחד עם עלייה בערכי הטמפרטורה מובילים להפחתה בכמות המים, בכמות הביומאסה ובכמות החומר האורגני בקרקע, ומכאן לפגיעה בתלכידי הקרקע וביציבותם. פועל יוצא של תופעה זו הוא שיטפונות הסוחפים את הקרקע בשכבותיה העליונות (Lavee, Imeson, and Sarah 1998). סוגיית המדבור משפיעה ישירות על 250 מיליון בני אדם ופוגעת בכ-100 מדינות, מרביתן מהעניות ביותר בעולם (איור 9). כך למשל 30% משטחה של ארצות-הברית, רבע משטחה של אמריקה הלטינית, אזורים נרחבים בסין, צפון אפריקה (אזור הסהל) וחמישית משטחה של ספרד – כל אלה סובלים ממדבור. באזורים נחשלים

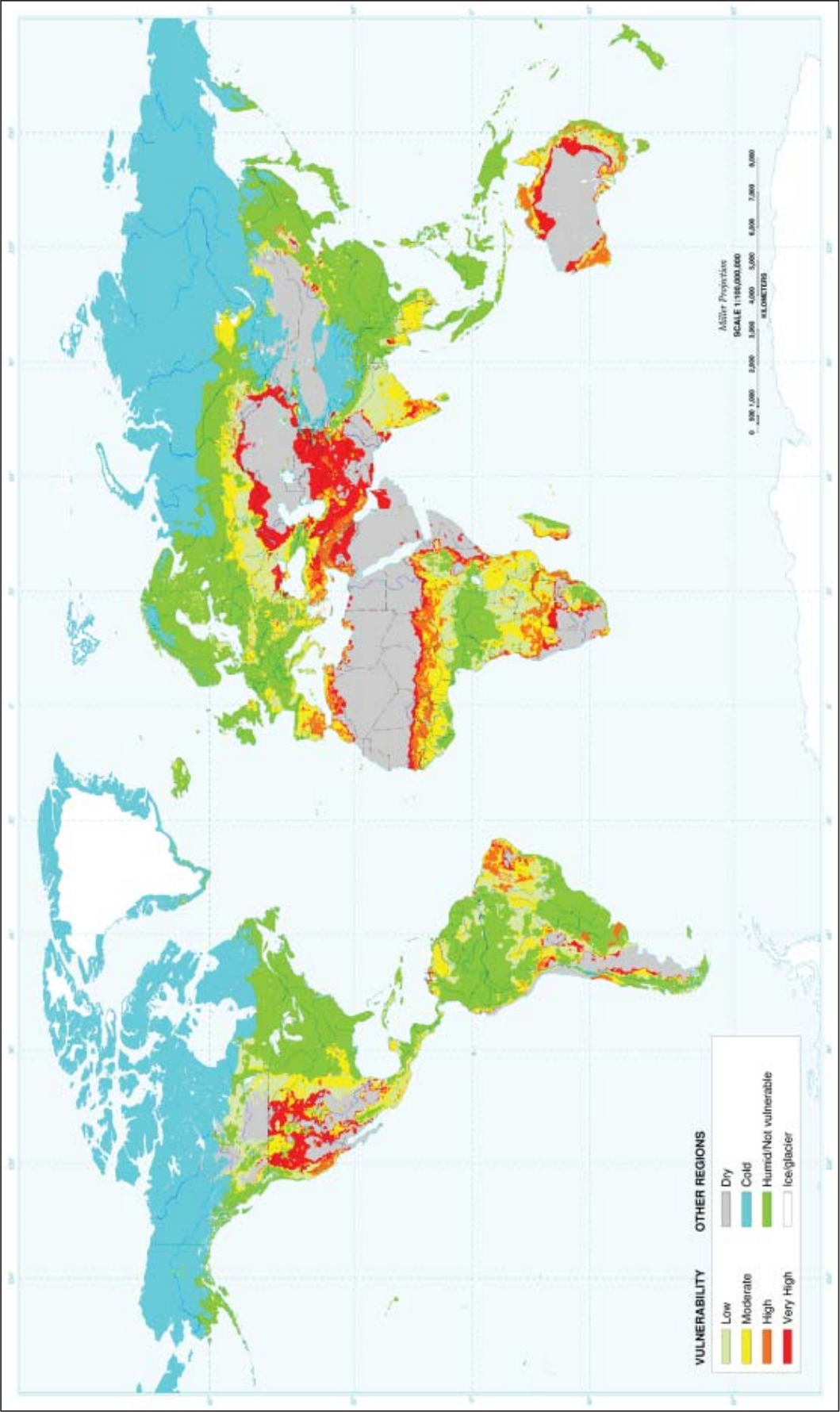


איור 8 : הקרחון Vernagtferner באוסטריה, תמונה משנת 1985 לעומת שנת 2000 (מקור: Braun and Weber 2002 appears in EAA (2005:20

מובילה התופעה לעוני, לרעב ולמצוקת מים, יוצרת הגירה, מתחים אתניים וסכסוכי גבולות. הידלדלות הקרקעות ובעיקר היחלשות תלכידי הקרקע באזורים הצחיחים גם מגבירה את שכיחותן של סופות חול ואבק, והשפעתן מגיעה למרחק של מאות ואלפי קילומטרים ממקורן הגאוגרפי.

אגן הנילוס 1967-2007 : סיפורו של אגן הנילוס ימחיש יותר מכל את ההשלכות הנובעות משינויים אקלימיים, בעיקר בכל הקשור לעצירת גשמים (על פי סופר 2006).

רקע הידרולוגי: ספיקת הנילוס (באסואן) נמדדה במשך יותר ממאה שנה, והממוצע הרב-שנתי נאמד ב-84 מיליארד מ"ק מים בשנה. בעשורי שנות השבעים והשמונים של המאה העשרים פקדו את צפון אתיופיה ומרכז סודן שנות בצורת קשות וארוכות (יותר מ-25 שנות בצורת בשלושה עשורים כמעט ברציפות!). ממוצע הספיקה בנילוס בשנים אלו ירד ל-54 מיליארד מ"ק בשנה, ירידה של כ-35% בספיקה השנתית הממוצעת (בשנת 1984 הגיעה הספיקה ל-35 מיליארד מ"ק בלבד!). חלק מהתמעטות הזרימה יש



איור 9 : מפת הרגישות למדבור (מקור: <http://soils.usda.gov/use/worldsoils/mapindex/desert.html>) (US Department of Agriculture,

לזקוף להתאדות הגבוהה של המים באגם נאצר (יותר מ-10 מיליארד מ"ק מים) ועוד התאדות משורה של מאגרים חדשים מאחורי סכרי הנילוס בסודן.

התוצאות: לא רק אגן הנילוס נפגע באסון זה אלא מרבית אזורי הסהל. אסון זה הביא למותם של מיליוני בני אדם ולתזוזות אוכלוסייה רבות שזעזעו את כל המדינות במרחב גדול זה. סכסוכים בין-שבטיים בסודן (חבל דרפור), צ'אד, אתיופיה, מאוריטניה, סנגל ובבוריקניה-פסו נמשכים גם בשנת 2007.

באגן הנילוס התוצאות היו קשות במיוחד. פני אגם נאצר הלכו וירדו מדי שנה בעקבות הבצורת המתמשכת. בעוד באתיופיה וסודן מתו מיליונים ואחרים סבלו, נמשכו במצרים החיים כרגיל בזכות אגם נאצר. אולם ביוני 1988, בסוף תקופת השפל של אותה שנה, הגיע מפלס המים באגם לרמה קריטית שעלולה הייתה לסכן את אספקת החשמל במדינה, ומיד לאחר מכן עלול היה הנילוס לחדול לזרום. מצרים עמדה בפני אסון והפיקה לקחים בשורה של תחומים. אחד העיקריים שבהם הוא שאין לסמוך עוד על סכר אסואן כספק אנרגיה אמין. חלף עשור, הזרימה הממוצעת חזרה לנילוס, ונשיא מצרים, המהפך נואשות פתרונות לאוכלוסיית ארצו הגדלה, החליט על מפעל נועז – הזרמת מימי הנילוס (מאגם נאצר) לשקעים הטופוגרפיים שבמדבר סהרה (פרפרה, דחלה, בחרייה ועוד) באמצעות תעלת טושקה. במקביל החלו המצרים להעביר מים מהנילוס לצפון סיני דרך תעלת אל-סלאם. אלא שהבצורת חזרה, ושני מפעלים עתירי הון אלה עומדים בשנת 2007 בפני אסון כלכלי וסביבתי נוסף.

מפעלי המים של מצרים יצרו דאגה בקרב שכנותיה (אתיופיה, סודן והמדינות הסמוכות לאגם ויקטוריה). מדינות אלה סובלות ממחסור מתמשך במים וזקוקות באופן נואש לשטחי חקלאות והשקיה במימי הנילוס. אולם, מצרים החזקה אוסרת עליהם לעשות כן מסיבות שונות הנוגעות לה. תוצאות הלוואי של האסון: מאז ראשית הבצורת באגן הנילוס היו שתי הפיכות צבאיות באתיופיה והביאו לאסונות קשים שערערו את יסודות המדינה. הפיכות והפיכות-נגד התחוללו גם בסודן, עם מלחמת אזרחים עקובה מדם והרס מתקני המים על ידי המורדים בדרום המדינה. שנות הבצורת אף הביאו לשורה של מלחמות אזרחים בחבל דרפור ולעליית משטר מוסלמי קנאי.

במצרים אין פריצת דרך כלכלית, אבל ניכרת הצלחה מסוימת בצמצום התלות של המדינה בנילוס.

מה יקרה למצרים אם שינויי האקלים שוב יביאו להפחתה בזרימת הנילוס או לעליית מי הים שיציפו את צפון הדלתא? ההשלכות עשויות להיות חמורות אף יותר לנוכח העובדה שמדינות אגן הנילוס מאופיינות בקצב גידול אוכלוסיה מואץ – מספר תושביהן נאמד ב-90 מיליון בשנת 1980, בשנת 2007 ב-200 מיליון ובשנת 2025 הוא עתיד לעלות לפי אומדן ל-300 מיליונים.

אנרגיה

שינויי אקלים עלולים לפגוע במקורות אנרגיה שונים. יצירת פחות משקעים יובילו לספיקות חלשות יותר ולכן גם לפחות תנע היוצר חשמל ממקור ההידרואלקטרי. גם התאדות רבה יותר בשל עליית הטמפרטורות תפחית את התנע הנוצר מהמים. באזורים ששיעור המשקעים בהן יעלה, ייווצרו שיטפונות מעבר ליכולת הספיקה של המתקנים ההידרואלקטריים. עננות מוגברת עלולה להפחית את שיעור הקרינה הסולרית המגיעה לפני כדור הארץ ובכך להפחית את כמות האנרגיה המיוצרת ממקור סולארי. אנרגיה הנוצרת מהרוח עלולה להיפגע כתוצאה מהשתנות משטר הרוחות (הגברה או הפחתה), מכיוון שהיא לא תעמוד בדרישות של תפעול תחנת הרוח. אנרגיה מפחם ומדלקים עלולה להיפגע בעיקר מאירועי מזג אוויר הפוגעים במתקני הייצור ובמערכות החשמל (כדוגמת הפגיעה במתקני הנפט בעקבות הוריקן קתרינה בקיץ 2005). מפעלים המייצרים אנרגיה תרמית עלולים להיפגע בשל זרימות נמוכות (זרימת מים חשובה לצינון המתקנים).

צריכת האנרגיה עלולה לעלות בקיץ על ידי קירור ממזגנים. שיאים גבוהים יותר בדרישה צפויים בעונה החמה לא רק בעקבות שינויי אקלים, אלא גם עקב עלייה ברמת החיים ובגודל האוכלוסייה, בעיקר בערים הצפופות שסובלות מתופעת "אי החום העירוני" (מצב שבו הטמפרטורות עולות לכיוון מרכז העיר). העלייה באירועי קור קיצוניים בעונת החורף תוביל אף היא לצריכת אנרגיה מוגברת, לחימום.

משבר המים המחמיר יוביל להגברת הצורך בשימוש במים מותפלים. למרות הירידה במחירי מים אלה, כל השיטות השונות להתפלת מי ים דורשות השקעה רבה של אנרגיה, דבר בעל משמעות רבה למשקי האנרגיה של המדינות הרבות הסובלות ממצוקת מים.

תיירות

ענף התיירות מתפתח במקביל לעלייה ברמת החיים ופיתוח תרבות הפנאי. רוב

התיירות באירופה נעה מצפון לדרום, היינו התיירים בוחרים במדינות אירופה הים-תיכוניות החמות יותר מארצותיהם. איום של גלי חום ארוכים ותדירים, שריפות ובצורת עלולים לדרדר לשפל את ענף התיירות באגן הים התיכון ולשנות את יעדי התיירות כך שצפון אירופה למשל, תהיה אטרקטיבית יותר מדרומה. עונת התיירות באגן הים התיכון עשויה להשתנות לכיוון עונות המעבר, במקום עונת הקיץ כיום. אזורים פגיעים במיוחד הסובלים כבר היום מטמפרטורות גבוהות בקיץ הם יוון ודרום ספרד, הנשענים על תיירות ענפה. אזורים הררים צפויים להפוך אטרקטיביים במיוחד לנופש בקיץ, היות שהאקלים בהרים מתון יותר. האזור האטלנטי של חופי אירופה יהיה נתון למפגעים של אירועי גשם חזקים ותדירים יותר שיאיימו על ענף התיירות באזור.

גם אירועי בצורת מאיימים על התיירות, בייחוד באגן הים התיכון, מקום שהדרישה לתיירות עולה בו בקנה אחד עם הדרישה למים. עליית מפלס פני הים עלולה להציף מוקדי תיירות חשובים כמו ונציה, וכן את אזורי החופים.

כפי שכבר צוין, תיירות הסקי בחורף עלולה להיפגע, שכן עליית הטמפרטורות גורמת לירידה בעובי השלג הנערם. מחקרים מראים כי כיסוי השלג בהרי האלפים ירד במהלך המאה האחרונה. עלייה של 3°C בממוצע טמפרטורת הרי האלפים תגרום לכך שלא יצטבר שלג מתחת לרום של 1,500 מ' (McCarthy et al. 2001; EEA 2005).

בריאות האדם

שינויי אקלים משפיעים גם על בריאות האדם. ראשית, גוף האדם רגיש לתנאי מזג אוויר קיצוניים – חום, קור וסופות חמורות. שנית, שינויי אקלים גורמים להתפשטות מחלות זיהומיות הנישאות על ידי יצורים הרגישים לכל שינוי בטמפרטורה.

הגברת תדירות גלי החום ועוצמתם עלולות לגרום לעלייה בבעיות נשימתיות וקרדיולוגיות, ולכן ליותר מקרי תמותה. גם גלי קור בחורף עלולים להגדיל את שיעורי התמותה. ארגון הבריאות העולמי מעריך, כי גל החום של קיץ 2003 באירופה הביא למותם של כ-35,000 איש, רובם קשישים, הרגישים לטמפרטורות קיצוניות. בעולם שאחוז האוכלוסייה המבוגרת גדל בו בהתמדה, עשויים גלי החום לגרום לפגיעה אנושה באלפי בני אדם בכל אירוע חום קיצוני.

במחלות מקבוצת ה-Vector borne diseases (כמו מלריה וקדחת הנילוס המערבי), גם הפתוגנים (וירוסים, חיידקים) וגם הנשאים הספציפיים של כל מחלה (למשל, יתוש

וקרצייה) חסרים מכניזמים לשמירה על טמפרטורת גוף קבועה, ולכן הם מושפעים מאוד מכל שינוי בטמפרטורה. להתחממות יש השפעות מגוונות: כשמדובר בפתוגנים החיים בטמפרטורה נמוכה יחסית, תוביל אף עלייה קלה בטמפרטורה לעלייה בהתפתחות, בדגירה ובשכפול של הפתוגן. קריטי במיוחד הוא זמן הדגירה של מחולל המחלה, הרגיש במיוחד לכל שינוי בטמפרטורה והמתקצר במקביל להתחממות. מחקרים מראים כי הקשר הוא אקספוננציאלי – שינוי בטמפרטורה עלול להאריך את עונת ההעברה של המחלה.

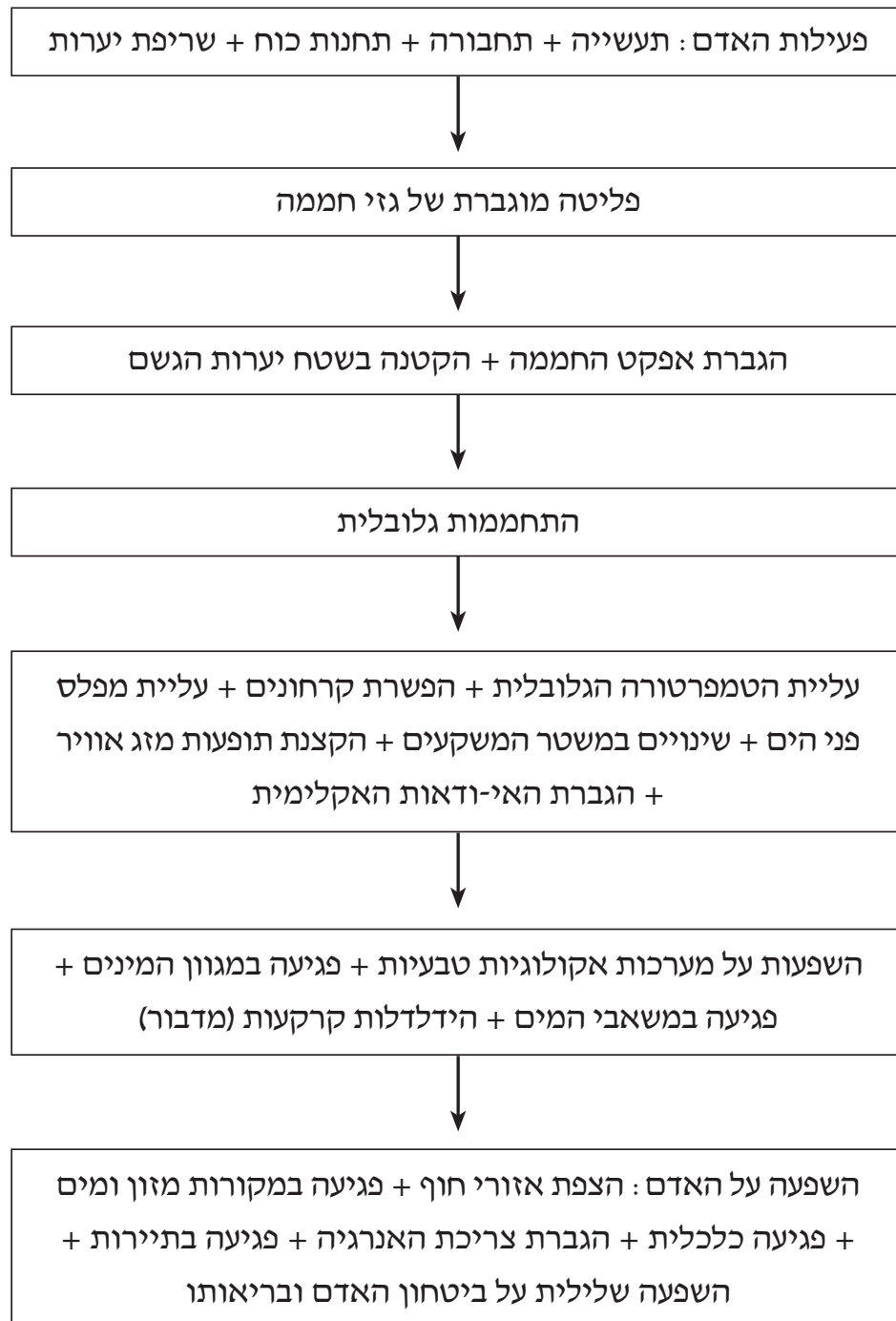
מחוללי המחלה ונשאייהם יכולים לעבור התאמה לאקלים המשתנה על ידי שינוי במיקומם הגאוגרפי ובתפוצתם. למשל, ההופעה של מלריה באקלים הקריר יותר של הרמות האפריקניות היא ככל הנראה תוצאה של התחממות האזור ועימו שינוי סביבת החיים של יתושי האנופלס.

פרמטר חשוב נוסף הוא העלייה בכמויות המשקעים בעקבות העלייה בשיעורי ההתאדות. מקרי גשם קיצוניים עלולים ליצור שיטפונות, ואלה מסוכנים הן בפגיעתם הישירה הן בגלל צניחת טמפרטורת הגוף הנחשף למי שיטפון קרים. בעבור חלק מנשאי המחלות, השילוב של טמפרטורה גבוהה עם לחות גבוהה הוא כר פורה להתרבות מהירה. למשל, בעקבות הוריקן מיץ' שפגע באמריקה הלטינית באוקטובר 1998, גברה התחלואה במלריה (יותר מ-30,000 מקרים), בכולרה (יותר מ-30,000 מקרים) ובמחלות זיהומיות נוספות.

מחסור במים בשילוב עם עליית ערכי הטמפרטורות עשוי לדרדר את טיב המזון וכפועל יוצא את מערכת החיסון של האדם. שינוי בזמן הפריחה של צמחים שונים עלול לגרום להופעת אלרגיות למיניהן במועדים בלתי צפויים בשנה. עלייה בערכי הטמפרטורות עלולה להרחיב את תפוצת הקרציות המעבירות מחלות זיהומיות לאזורים שכיום אין בעיה זו קיימת בהם. דוגמה לכך היא העלייה בשיעור המחלות הנישאות על ידי קרציות באזור הבלטי, מרכז אירופה ורוסיה, הנצפית החל משנת 1980.

שינויים באיכות האוויר לנשימה (זיהום אוויר) ובמערכות אקולוגיות הסופחות מזהמים והמייצרות חמצן פוגעים אף הם בבריאות. עלייה במספר המזהמים הנשימים באוויר יוצרת עודף חומרים אלרגניים הגורמים למחלות כרוניות בדרכי הנשימה (ברונכיטיס, אסתמה, סרטן הריאות), גירוי עיניים, הפחתה ביעילות של העברת חמצן לתאי הגוף על ידי הדם, הפרעות בתפקודי המוח (הרעלת עופרת) הגורמות לבעיות ריכוז וקשב אצל

ילדים ועוד. בעיה חמורה נוספת הנגזרת מזיהום האוויר היא תופעת הגשם החומצי, הפוגע אף הוא (בין יתר השפעותיו המגוונות) בבריאות האדם, ובעיקר באוכלוסיות רגישות – נשים הרות, תינוקות, קשישים וחולי דיאליזה (WHO 2003).



איור 10: ההשלכות העיקריות של ההתחממות הגלובלית – תרשים זרימה

פרק חמישי – שינויי אקלים בישראל, תופעות ומגמות נצפות וחזויות

רקע גאוגרפי ואקלימי

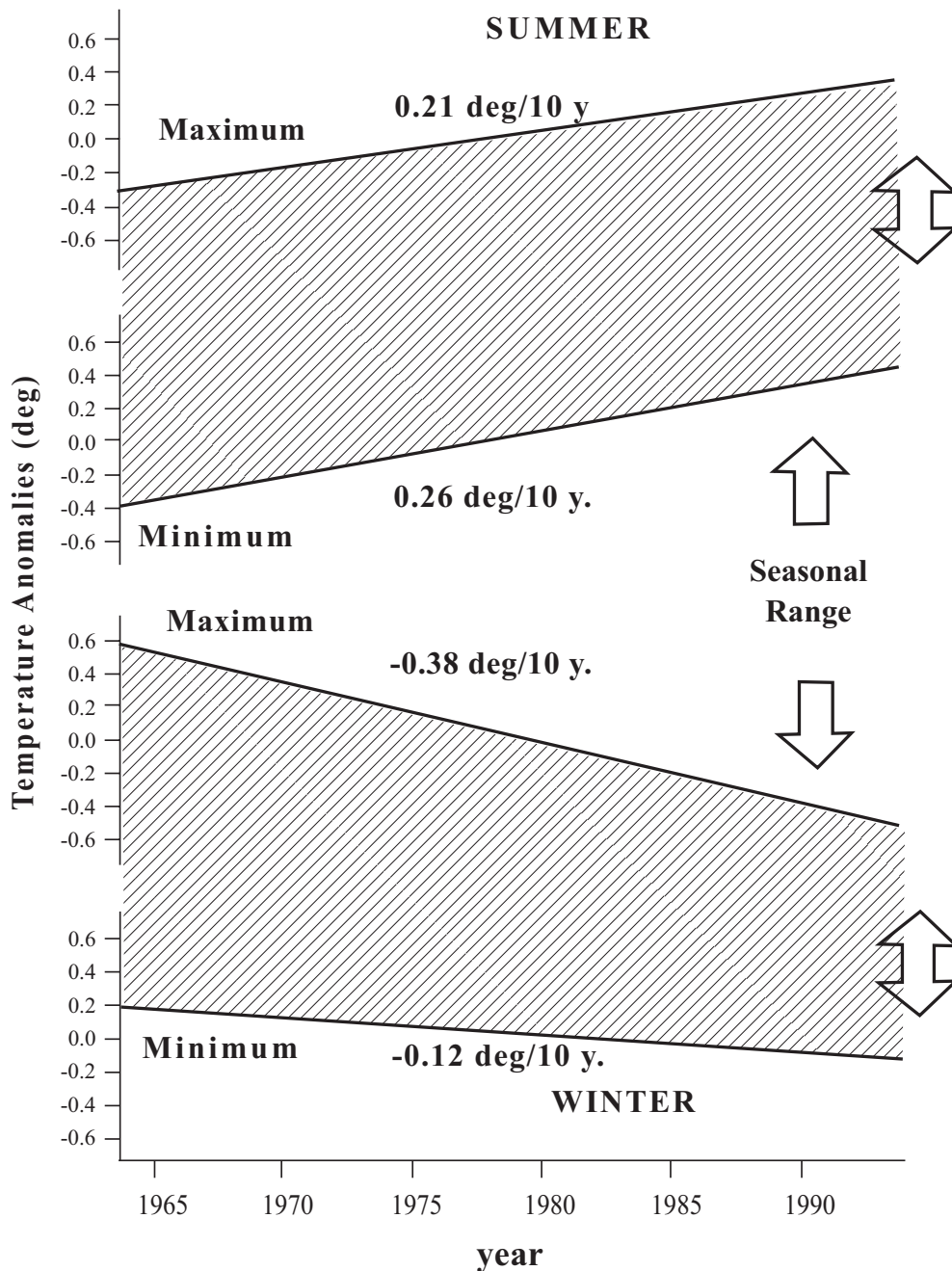
מדינת ישראל שוכנת בין קווי הרוחב 30° – 33° צפונית לקו המשווה. חלקה הצפוני מאופיין באקלים ים-תיכוני וחלקה הדרומי מדברי. במקום זה, במפגש טיפוסי אקלים שונים, ניכרות תנודות רבות במזג האוויר בעקבות השפעות של מערכות אקלימיות ממקורות בעלי מאפיינים סינופטיים מנוגדים. הדבר בא לידי ביטוי גם בתנודות במשטר הגשמים – שנים גשומות לעומת שחונות – בתנודות במועדי תחילת העונה הגשומה וסופה ובתנודות בתפרוסת הגשם באזורי הארץ השונים. האזור אף מתאפיין בהפסד של מים רבים בשל אידוי מי הגשם חזרה לאטמוספירה, דבר בעייתי במיוחד בשנים שחונות (גבירצמן 2002).

למרות שטחה המצומצם של ישראל והעובדה כי המודלים העוסקים בשינויי אקלים מתייחסים לאזורים גאוגרפיים נרחבים יותר, מחקרים שונים מן השנים האחרונות מראים מגמות מובהקות של תנודות אקלימיות גם באזורנו.

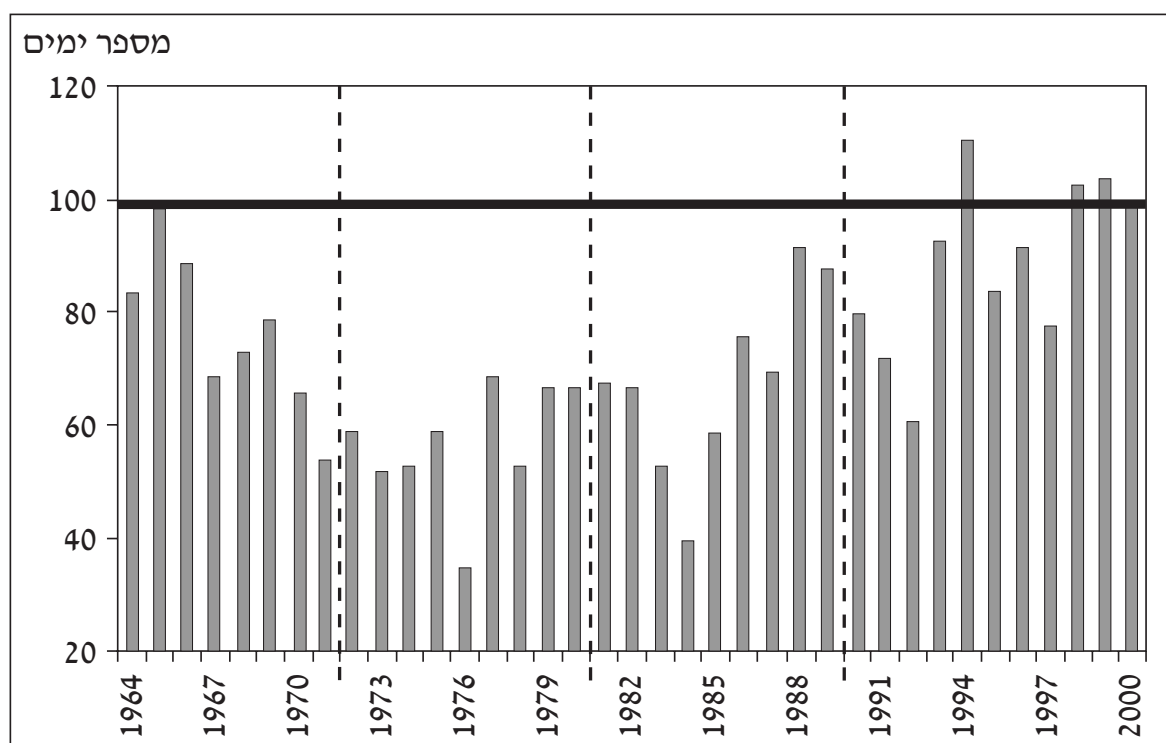
מגמות בטמפרטורות

מחקרים שנעשו בישראל מצאו תמורות בערכי הטמפרטורות השונים, גם בקיץ וגם בחורף. במחקר שכלל 40 תחנות אקלימיות ברחבי הארץ נמצא, שהקיץ בישראל נעשה חם יותר בעוד החורף נעשה קר יותר. ניכרת עלייה משמעותית בטמפרטורת המינימום הממוצעת ובטמפרטורת המקסימום הממוצעת בקיץ. בחורף ניכרת ירידה משמעותית של טמפרטורת המקסימום הממוצעת, וירידה משמעותית פחות של טמפרטורת המינימום הממוצעת (איור 11). התדירות של הופעת טמפרטורות חריגות לעונות השנה עלתה (Ben-Gai, Bitan, Manes, and Rubin 1999). על פי ממצאי המחקר, ב-30 השנים האחרונות יש עלייה של 0.6 מ"צ בטמפרטורת המקסימום הממוצעת. עליית טמפרטורת המינימום הממוצעת הקיצית תואמת את התחזית של השפעות הגברת אפקט החממה על אזורנו. לדוגמה, בשנות השישים והשבעים של המאה ה-20, רק בארבעה ימים בחודש אוגוסט נרשמה טמפרטורה של יותר מ-35 מ"צ בירושלים, בתקופה של 15 שנים. אחת לשלוש שנים היה באוגוסט יום עם טמפרטורות מקסימום מעל לסף זה. לעומת זאת, בשנים שבין 1980 ל-1995, טמפרטורה כזאת באוגוסט

הייתה יום אחד כמעט כל שנה. בשנים האחרונות אף עלתה שכיחות זו של ימי אוגוסט שיש בהם יותר מ-35 מ"צ (איור 12) (אלפרט 2001).



איור 11: רגרסיה סדרתית לעונה הקרה והחמה בישראל בשנים 1964-1994. האיור מראה את הגברת השינוי בטווח העונתי בין עונת החורף לקיץ. ניכרת עלייה בערכי טמפרטורת המקסימום וטמפרטורת המינימום בקיץ. מגמה הפוכה ניכרת בחורף – ירידה בערכי טמפרטורת המקסימום וירידה פחותה בערכי טמפרטורת המינימום. התופעה מעידה כי ישנה הקצנה הן בעונת החורף הן בעונת הקיץ. הקיץ נעשה חם יותר והחורף קר יותר (מקור: אלפרט 2001 : 22).



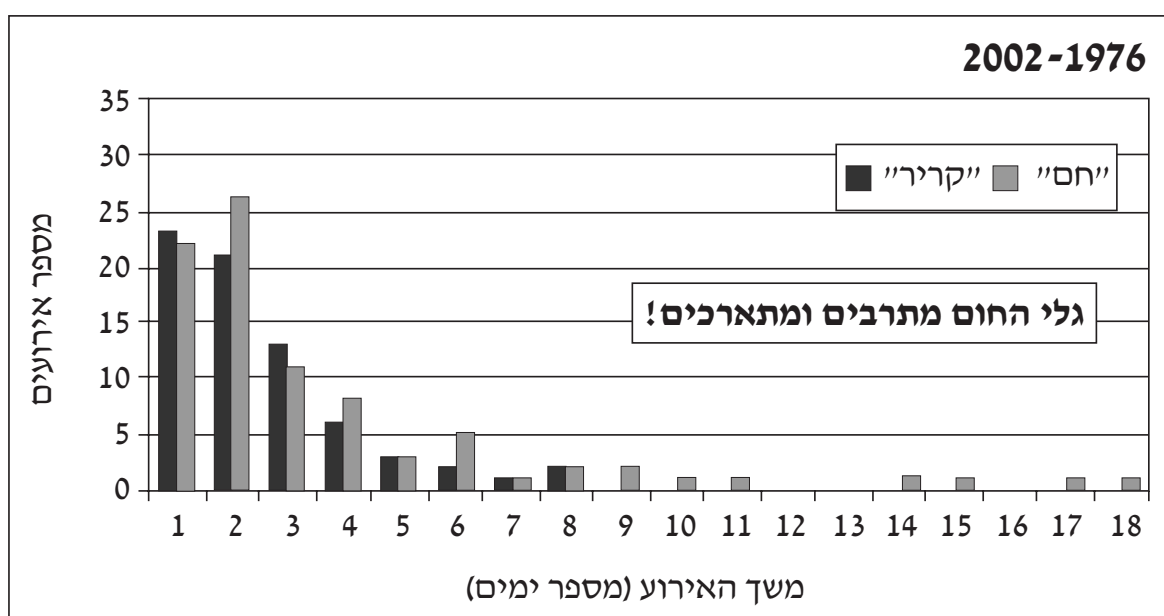
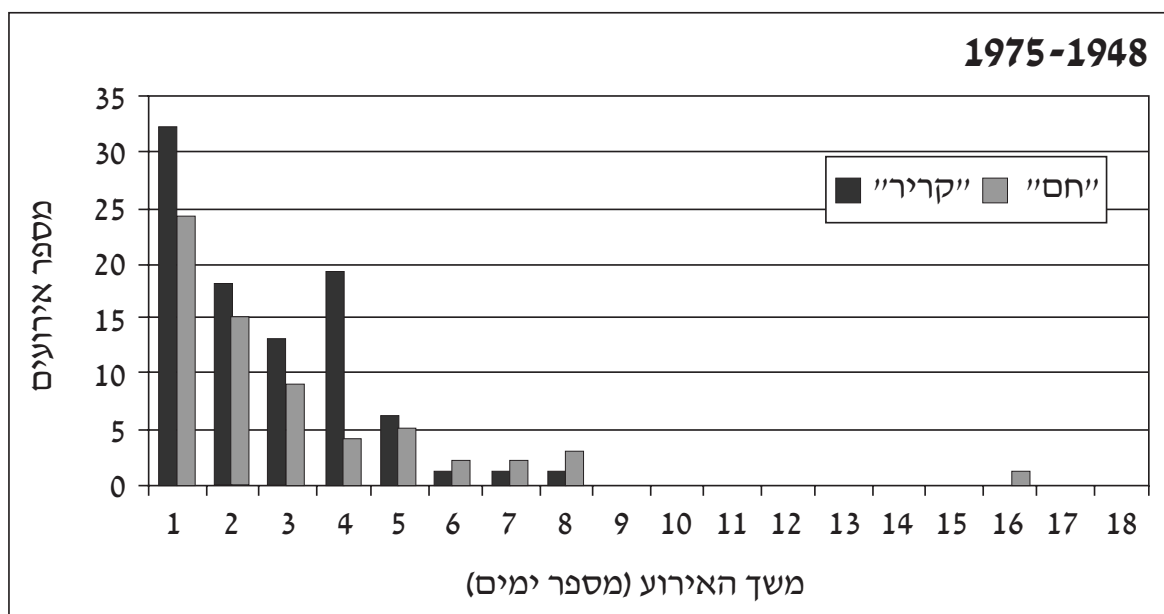
איור 12: מספר הימים בהם נמדדו טמפרטורות הגבוהות מ-30 מ"צ. האזור מציג את מספר הימים בהם נמדדו טמפרטורות הגבוהות מ-30 מ"צ. ציר X, משתנה בלתי תלוי, הוא ציר הזמן בשנים. ציר Y, משתנה תלוי, מבטא את מספר הימים. ניתן לראות כי החל משנת 1995 ישנם יותר ימים בהם הטמפרטורה גבוהה מ-30 מעלות צלזיוס בממוצע של תחנות המדידה בישראל (מקור: צור 2006).

מחקר אחר (סערונ, זיו ואלפרט 2005), קשר את ההתחממות הגלובלית עם עונת הקיץ בישראל (יולי ואוגוסט), בשנים 1948-2002. המחקר בחן את מגמות ההשתנות של ערכי הטמפרטורה היומיות הממוצעות במפלס לחץ ברומטרי של 850 מיליבר (כ-1,500 מטר מעל לפני הים). מגמת השינוי הרב-שנתית הראתה התחממות של 0.013 מ"צ לשנה. בעשור של שנת 1991-2000 הייתה מגמת ההתחממות הקיצית בשיעור של 0.32 מ"צ לשנה, ותרומתה למגמת התחממות הבין-שנתית הייתה משמעותית ביותר. כאשר החוקרים השוו את קבוצת השנים 1948-1977 ו-1973-2002, נמצא כי בקבוצה הראשונה החודש החם בשנה היה אוגוסט, ובקבוצה השנייה החודש החם היה יולי. משמעות הדבר היא ששיא הקיץ מגיע מוקדם יותר בעונה. מגמה זו הסתמנה גם לגבי טמפרטורות המקסימום הממוצעות וגם לגבי טמפרטורות המינימום הממוצעות. השנים החמות ביותר שנמצאו בעבור כל תקופת המחקר הן: 1998, 2000, 2001, 1996 (מהשנה החמה ביותר ומטה). הדבר מעיד על התחממות רבה יותר בשבע השנים האחרונות למחקר, משמע התחממות רבה יותר בעשור האחרון. בהמשך המחקר

נבדקה מידת ההקצנה האקלימית, דהיינו העלייה בשכיחותם של אירועים קיצוניים. נמצאה מגמה של הקצנה במשטר הטמפרטורות, שבאה לידי ביטוי בעלייה בסטיית התקן העונתית של הטמפרטורות בשיעור של 11% על פני 55 שנים. נמצאו יותר ימים חמים (יותר מ-24.2 מ"צ) ויותר ימים קרים (פחות מ-18.7 מ"צ). אותרה עלייה משמעותית יותר של הימים החמים (פי תשעה מזו של הימים הקרירים). מגמה זו נצפתה גם בעליית טמפרטורות המקסימום העונתיות המוחלטות. מלבד זאת התגלתה מגמה של התארכות ניכרת של גלי חום במהלך העונה. עלייה בטמפרטורה השכיחה בכ-0.5 מ"צ בין שתי קבוצות השנים (1948-1977, ו-1973-2002), מצביעה על עלייה בטמפרטורת הימים ה"ממוצעים" אך גם על עלייה בשכיחות הימים החמים ואירועי המקסימום הקיצוניים. את האירועים הקיצוניים נעצו במחקר בשינויים סינופטיים באגן המזרחי של הים התיכון, או בהיחלשות הרוח האטזית (תוצר האפיק הפרסי ממזרח והרמה מעל צפון אפריקה בעונת הקיץ). מגמת ההתחממות שנצפתה ב-850 מ"ב נראית משמעותית יותר על פני הקרקע, מקום שהאפקט של אי החום העירוני רב בו יותר (סערוני, זיו ואלפרט 2005). מחקרים נוספים (אלפרט 2006; Paz 2006; Paz, S., Bisharat, Paz, E., Kidar, and Cohen 2006) מצביעים על עלייה בשכיחות של אירועי גלי חום, הן באורכם הן בעוצמתם (איור 13).

מגמות במשקעים

אלפרט ובן צבי (2001) הצביעו על מגמת עלייה בכמות הגשמים בדרום הארץ ועל ירידה בכמותם בצפון הארץ. בין הסיבות שהם מונים צוינה העלייה באינדקס ה-NAO (North Atlantic Oscillation), שמשמעה התחזקות הגשמים בצפון אירופה והיחלשותם בדרום אירופה ובמזרח הים התיכון. עליית הגשמים המסוימת בצפון הנגב הוסברה חלקית על ידי שינויים אינטנסיביים בשימושי הקרקע שם. ניתוח מגמות הגשם ב-12 תחנות בישראל בין השנים 1950-2001 הראה כי בשני אזורים בארץ ישנה מגמה מובהקת: באגן הכינרת (דגניה א', אילת השחר, יראון, כפר בלום) ניכרת ירידה בכמות המשקעים. בצפון הנגב נצפו מגמות של עלייה בערכי הגשם בשיעור של 11-20 מ"מ לעשור. בץ (1996) קשר את תופעת ההפחתה בכמות הגשמים בצפון הארץ לעומת העלייה בכמות הגשמים בדרומה לבניית סכר אסואן. לפיו, הסכר שנבנה בשנת 1970 מונע את זרימתם של 37 מיליארד מ"ק מים לשנה אל הים התיכון. המים מהנילוס היו מים חמים, ומאז הקמת הסכר חלה עלייה במערך התרמלי וברמת המליחות של אזורי שונים במזרח הים התיכון. אלה גרמו לשינוי במערך הלחצים הברומטריים בעונת החורף. מתחילת

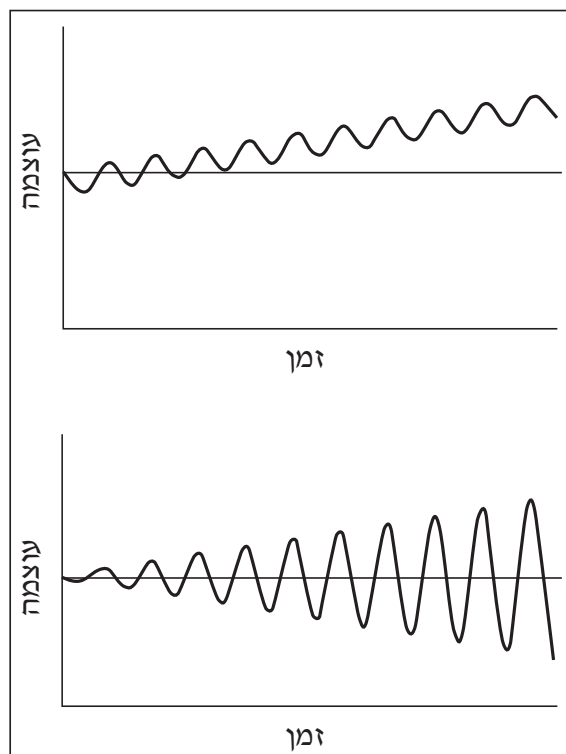


איור 13: עלייה במספר הימים החמים והקרים בחודשים יולי ואוגוסט (מקור: אלפרט 2006)

שנות השבעים ניתן לראות כי מערכות הלחץ המניבות גשם מדרימות בהדרגה, ועקב שינויים במיקומן נגרמו שינויים בכמות הגשם בארץ ובתפוזתו (בץ 1996). חוקרים אף גילו קשר בין ארוסולים (חלקיקים מוצקים המרחפים באוויר) לכמות המשקעים, שהראה כי ארוסולים שנפלטו לאטמוספירה כתוצאה מפעילות האדם משפיעים באופן שלילי על כמות הגשם (Rosenfeld 2000; Rosenfeld, Rudich, and Lahav 2001). גם לארוסולים ממקור מדברי (אבק) השפעה שלילית על כמות הגשם.

מניתוח שעשו אלפרט וחובריו (Alpert, Ben-Gai, Baharad et al. 2002) עולה, כי ירידת הגשמים הטוטאלית באזור הים התיכון מלווה ברובה בעלייה פרדוקסלית של תרומתם היחסית של ימי הגשם, שעוצמתם הייתה גבוהה מ-64 מ"מ ליום, לסך הגשם השנתי. בעשרות השנים האחרונות המגמה היא לכיוון של הגברה בשכיחותן של שנים גשומות יותר ושנים יבשות יותר, על חשבון שנים עם כמות גשמים ממוצעת. היינו, ישנה נטייה להקצנה בכמות הגשמים היומית והשנתית (אלפרט ובן צבי 2001). מניתוח אחר (Paz, Tourre, and Planton 2003), עולה, כי ב-40 השנים האחרונות של המאה ה-20, ירדה כמות גשמי החורף במזרח הים התיכון.

מחקרם של (Paz and Kutiel 2003) הראה עלייה ברמת האי-וודאות בכל הנוגע למשטר המשקעים בישראל. התברר כי אינדקס האי-וודאות עולה על חשבון הוודאות במשטר המשקעים באזור (איור 14). גם עבודתה של פז (2005) הראתה תנודות בדפוסי המשקעים בישראל.



איור 14: עלייה ברמת האי-וודאות במשטר המשקעים של מזרח הים התיכון (מקור: קותיאל 2001: 40)

מחקר אחר (Givati and Rosenfeld 2004) קשר בין העלייה בכמות המזהמים ממקור אנושי והירידה בכמות המשקעים האורוגרפית (גשמים הנוצרים בשל התקררות גוש אוויר לח בעלותו במעלה הררי) בישראל. לפי המחקר, עלייה בכמות המזהמים מפחיתה את יכולת חלקיקי ההתעבות בענן להפוך לטיפות המסוגלות לרדת כגשם. כאשר עובר גוש אוויר את מישור החוף המזוהם יותר, נוספים גרעיני התעבות לענן ו"מתחרים" על הלחות. בהגעת הענן למכשול הררי, פוטנציאל ההמטרה שלו נמוך ב-15% עד 25%. הדבר משמעותי במיוחד באזורים צחיחים למחצה.

התאדות וקרינה

אלפרט ובן צבי (2001) ניתחו את מגמות ההתאדות היומית הממוצעת בישראל הנמדדת בגיגית, ומצאו ירידה בהתאדות למרות העלייה בטמפרטורת הקיץ. תחנות מסוימות (למשל סדום), הראו עלייה ניכרת בהתאדות, המוסברת בשינוי אקלימי מקומי הנובע מהשפעת ההתייבשות בים המלח. הם מביאים את הסברו של סטנהיל (מכון וולקני), הטוען ששינויים בפני השטח בקרבת תחנות המדידה, קרי עיור והשקיה, הם שגרמו לירידה ברמת ההתאדות. אפשרות אחרת היא כי הירידה בקרינה הסולארית היא האחראית לירידה ברמת ההתאדות. מדובר בירידה גלובלית של 20W/m^2 שהגורם לה הוא התרבות ארוסולים אנתרופוגניים באטמוספירה, וכן התרחבות העננות כתוצר אפקט החממה והארוסולים (אלפרט ובן צבי 2001).

בבדיקה של שינויי האקלים על שיעורי ההתאדות שנעשתה בבית דגן (1964-1998) מצאו החוקרים (Cohen, Inatez, and Stanhill 2002) עלייה קלה בהתאדות מגיגית, בעיקר בעונה החמה – הקיץ והסתיו. במקורות מים פתוחים לאוויר ובצמחייה לא נרשם שינוי בשיעורי ההתאדות. לדעת החוקרים, הדבר נובע מהפחתה של כמות הקרינה הסולארית, משינויים בלחץ אדי המים ומשינוי במהירות הרוח ובכיוונה.

משק המים בישראל

משק המים הישראלי ניצב בפני שתי בעיות קשות, צמצום מקורות המים מבחינת כמותם וצמצום מקורות המים הראויים לשתייה מבחינת איכותם. שליש ממקורות המים הטבעיים של ישראל הם מים עיליים, היינו אגמים ומאגרים, ושני שלישים מהם הם מי תהום הנמצאים במאגרים תת-קרקעיים והנשאבים באמצעות קידוחים.

רבע מכמות המים בישראל מגיעה מהכינרת, המספקת מים באיכות טובה עד בינונית, ויתר המים מגיעים ממקורות עיליים, והם מטיב ירוד יחסית של מי שיטפונות וביוב מטופלים. מי התהום אגורים בתת-קרקע באקוות. מבין האקוות, אקוות ההר מספקת מים באיכות טובה יחסית הנאמדת ביותר מחצי כמות המים שמספקות האקוות. אקווה זו מחולקת לשניים: מערב, הנקרא גם "ירקון תנינים", ומזרח, המתנקז לים המלח ולבקעת הירדן. אקוות החוף משתרעת בין חדרה לעזה. טיב המים בינוני וכמות המים המסופקת היא שליש מזו שמופקת ממי התהום. שאר מקורות המים התת-קרקעיים נמצאים בגליל, בנגב ובכרמל. איכות המים במקורות אלה וכמותם משתנה

ממקום למקום. בסוף המאה ה-20, פוטנציאל המים שנוצל בישראל היה 2 מיליארד מ"ק לשנה בקירוב (גבירצמן 2002).

מרכיבי מקורות המים הם:

- מי תהום בכמות של 1.1 מיליארד מ"ק לשנה. כ-55% מסה"כ פוטנציאל המים
- מקורות מים עיליים בכמות של 0.6 מיליארד מ"ק בשנה. כ-30% מסה"כ פוטנציאל המים
- מים שוליים – מי ביוזב מטופלים ומים מליחים. כמות של 0.3 מיליארד מ"ק בשנה. כ-15% מסה"כ פוטנציאל המים

צרכני המים העיקריים:

- המגזר החקלאי, הצורך כ-60% מכלל כמות המים המנוצלת לשימוש בארץ
- המגזר הביתי, הצורך כ-35% מכלל כמות המים המנוצלת לשימוש בארץ
- המגזר התעשייתי, הצורך כ-5% מכלל כמות המים המנוצלת לשימוש בארץ (גבירצמן 2002).

טבלה 1 מראה את שיעורי ההפקה והצריכה של המים בישראל. ניתן להבחין בעלייה בכמות צריכת המים הביתית ציבורית. ב-2004 עמדה כמות זו על 712 מלמ"ש לעומת 482 מלמ"ש ב-1990. אותה מגמת עלייה קיימת במגזר התעשייתי; בשנת 2004 עמדה הכמות הנצרכת על 113 מלמ"ש לעומת 106 מלמ"ש ב-1990. הדבר נובע מעלייה ברמת החיים ובפיתוח התעשייתי. אך הצרכן הראשי של משאב המים הוא מגזר החקלאות, והוא מצוי בתנודתיות מעלה ומטה בהקשר של צריכת המים לאורך השנים. מצבם (בכמות) של מקורות המים בכל שנה קובע את הקצבת המים לחקלאות על ידי מקבלי ההחלטות בנציבות המים, משרד החקלאות וגופים רלוונטיים נוספים (גבירצמן 2002).

מרחב התמרון בניהול מדיניות משק המים הוא צר, והלחצים המופעלים על משאבי המים רבים. הדבר נעוץ בכך שכמות המים הנצרכת במשק קרובה לכמות המים הזמינה. היבט נוסף הוא השונות הרבה של זמינות המים לאורך ציר הזמן (בשנים). הפיזור העיתי (עונתי) והמרחבי מוסיפים לאי-ודאות. הקשיים של שני מרכיבים אלה מגדילים את סיכון הטעות בתכנון המדיניות אפילו בטווח זמן קצר (דרי וסלומון 1995).

טבלה 1: מים: הפקת מים וצריכתם, לפי מקור וייעוד, לוח 21.6 – השנתון הסטטיסטי לישראל 2006

מים WATER							
הפקה וצריכה של מים (1) WATER PRODUCTION AND CONSUMPTION(1)							
Million cubic meters	מיליוני מטרים מעוקבים						
	2004	2003	2002	2000	1990	1979/80	1969/70
BY SUPPLIER	הפקה						
TOTAL	2,128	1,970	1,912	1,996	1,939	1,743	1,711
<i>Mekorot Water Co. - total</i>	1,457	1,346	1,298	1,341	1,232	1,042	997
Wells(2)	507	531	762	725	733	..	..
Hamovil water carrier (Kinneret)	527	414	152	230	153	..	..
Upper water	226	215	197	216	247	..	..
Effluents(3)	197	186	187	170	99	-	-
<i>Other producers - total</i>	671	624	614	655	707	701	714
Wells	320	299	309	331	393	..	..
Upper water	223	223	204	225	254	..	..
Effluents	128	102	101	99	60	-	-
BY SUPPLIER AND PURPOSE	צריכה						
TOTAL	1,954	1,860	1,831	1,924	1,804	1,700	1,564
Mekorot Water Co.	1,307	1,238	1,218	1,269	1,127	1,010	853
Other suppliers(4)	647	622	613	655	677	690	711
<i>Agricultural - total</i>	1,129	1,045	1,021	1,138	1,216	1,235	1,249
Mekorot Water Co.	671	611	604	667	704	700	660
Other suppliers	458	434	417	471	512	535	589
By type of locality(5)							
Jewish and mixed localities	1,109	1,025	1,001	1,116	1,188	1,204	1,103
Kibbutzim	606	580	552	618	506	523	564
Moshavim and collective moshavim	360	330	330	361	405	417	377
Local authorities	68	54	56	76	94	137	144
Other	75	61	63	61	183	127	146
Non-Jewish localities	20	20	20	22	28	31	18
<i>Domestic and public</i>	712	698	688	662	482	375	240
Mekorot Water Co.	562	550	534	519	344	..	..
Other suppliers	150	148	154	143	138	..	..
<i>Industrial</i>	113	117	122	124	106	90	75
Mekorot Water Co.	74	77	80	83	79	..	..
Other suppliers	39	40	42	41	27	..	..

Source: The Water Commission.

מקור: נציבות המים.

1. Until 1988 budget year. From 1990 calendar year.

1. עד שנת 1979/80 שנת תקציב. משנת 1990, שנה קלנדרית.

2. Excluding production from drilling for Dan Region Reclamation Project.

2. לא כולל הפקה מקידוחי שפד"ן.

3. Incl. Dan Region Reclamation water, see Introduction.

3. כולל מי שפד"ן, ראה מבוא.

4. Incl. self supply.

4. כולל אספקה עצמית.

5. See Introduction.

5. ראה מבוא.

מקור: הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה 2006.

מכל הנאמר עולה, כי הגורמים לאי ודאות באספקת המים בישראל הם:

א. איכות המים – איכות המים נקבעת על ידי גורמים פנימיים, כאלה הקיימים בתוך המערכת ההידרולוגית, וגורמים חיצוניים – החודרים למערכת מבחוץ. חלק מהותי של גורמי הזיהום נובע באופן ישיר או עקיף ממעשה ידי האדם. דוגמה לכך היא השימוש במי קולחין להשקיה. הוא נועד להקטין את האי-ודאות לגבי כמות המים, אך כפועל יוצא מזה גדלה האי-ודאות בכל הקשור למרכיבי איכות המים. בין השאר, איכות המים קובעת את יכולת היצוא של תוצר החקלאות (דרי וסלומון 1995).

ב. הביקוש והצריכה – במגזר החקלאי קיימת אי-ודאות המבוטאת במאפייני הביקוש. מדיניות המים לגבי מגזר זה מבוססת על הקצאות במחיר נמוך, כשאינן מידע על גמישות בדרישה למים, היינו לא ידוע מהי הדרישה בתנאי השוק. כמות המים שצורך המגזר הביתי תלויה בגודל האוכלוסייה, בהרגלי הצריכה וברמת השירותים העירוניים הניתנים ביישוב. האי-ודאות לגבי האוכלוסייה היא בנושאי הכמות – גודל האוכלוסייה והרגלי הצריכה שלה הנובעים מעלייה ברמת החיים (קשור לאוכלוסייה ולתעשייה). האדם משפיע על משק המים על ידי ייצור אשפה וביוב, שימוש בקולחין להשקיה ויצירת ביקוש למוצרי תעשייה שייצורם צורך מים.

ג. טכנולוגיה – מערכת אספקת המים מושתתת על טכנולוגיית איתור, קידוח, שאיבה, טיהור, השקיה, צריכה והתפלה. טכנולוגיות כמו חשמל ובנייה קשורות גם הן במשאב המים. התפתחויות טכנולוגיות אלה משפיעות על יכולת אספקת המים (בעיקר טכנולוגיית ההתפלה). קפיצות דרך אינן ניתנות לחיזוי.

ד. מדיניות ממשלתית – הממשלה היא גורם העוסק בקביעת מדיניות בתחומי ביטחון, קליטה, התיישבות וכדומה. מדיניות ממשלתית יכולה להציב אילוצים ודרישות בפני האחראים למשק המים. מדיניות המים נדרשת להתאים עצמה לנושאים של פיזור אוכלוסין, חקלאות, תעסוקה, קליטה וכו' (דרי וסלומון 1995).

סוגיות הקשורות בהשפעת שינויי האקלים על אזורנו – עליית הטמפרטורות, עלייה באידוי, שינוי בכמויות המשקעים ובמשטר הגשם השנתי והרב-שנתי – כל אלה עלולות להחמיר את אלמנט האי-ודאות בכל הקשור למשק המים הישראלי.

היבטים גאופוליטיים של נושא המים

מאז ומתמיד עומדים המים במרכז המחלוקת בין ישראל לשכנותיה. הדבר בא לידי ביטוי במלחמות ישראל, אך גם בדיונים לקראת הסכמי שלום. הוויכוח נסב בעיקר על חלוקת מים מאגני היקוות חוצי גבולות ועל ביצוע פרויקטים משותפים. אספקת המים מישראל לגורמי חוץ נאמדה בשנת 2002 ב-97 מלמ"ש: מזה 35 מלמ"ש לירדן, 35 מלמ"ש לרשות הפלסטינית ו-27 מלמ"ש שהפיקו הפלסטינים מאקוות ירקון תנינים (נציבות המים 2002).

למדינת ירדן יש חלק רב בשיתוף פעולה עם ישראל בתחום משאבי המים, מסיבות פוליטיות והידרולוגיות. יש לה הסכם מים חתום עם ישראל והיא השותפה העיקרית של ישראל בגופי מים משותפים: נהר הירדן, נהר הירמוך, ים המלח, נחל הערבה וים סוף. יש גם אקוות משותפות של אגן הירמוך והערבה.

אלה הם עיקרי הסכם המים עם ירדן לפי החתימה באוקטובר 1994 :

- א. ישראל מנצלת את כל מי הכינרת ומשחררת מהכינרת לנהר הירדן רק מים מליחים (למעט שיטפונות בשנים גשומות מאוד).
- ב. מתוך זרימת הירמוך בקיץ (5-10 מלמ"ק לחודש) יש לישראל זכות על 2.5 מלמ"ק לחודש.
- ג. מהזרימה החורפית של הירמוך (שאין לה שימוש) שואבת ישראל אל הכינרת כפי יכולתה.
- ד. ישראל מפעילה קידוחים בערבה בשטח הירדני. ההסכם מעניק לירדן כמויות מים נוספות:
 1. 10 מיליוני מ"ק לשנה מי כינרת או מי המעיינות המליחים שהוטו מהכינרת ויותר פלו.
 2. ישראל תאגור בכינרת בחורף 20 מלמ"ק לשנה ממי הירמוך בעבור ירדן לשימוש בקיץ. מים אלה שייכים לירדן וישראל עוזרת בנושא האגירה (מכיוון שכשליש ממי הכינרת מתאדים, בעיקר בקיץ, הרי בעצם ישראל מעבירה כ-20 מיליון מ"ק נטו מהירמוך לירדן בחורף ומחזירה 20 מיליון מ"ק שהם בעבורה למעשה כ-25 מיליון מ"ק ברוטו).

3. ישראל תסייע לירדן לייצר עוד 100 מלמ"ק לשנה ברמת מי שתייה, אך לא בבת אחת ולא מיידית. ההתניות הן שוועדת המים המשותפת תפעל למציאת מקורות להספקה הנ"ל ושהתוכנית שתוכן לשם כך תועבר לאישור שתי הממשלות. באחריות שתי המדינות שלא להטות מים מזוהמים ו/או מליחים לירמוך ולירדן הדרומי, במגמה לשפר את איכות מי הירדן. בסעיף זה מוטלת מגבלה על ישראל לגבי המשך הטיית מי המעיינות המלוחים של הכינרת אל הירדן.

עוד נקבע כי שתי המדינות ישתפו פעולה בבניית מאגרים על נהרות הירדן והירמוך, בניהול המקורות המשותפים ובהחלפת ידע (גזית וסופר 2002).

הרשות הפלסטינית – בהסכם אוסלו נקבעו עקרונות לאספקת מים לשימוש הרשות הפלסטינית וכן הוחלט להעביר לאחריותה את כל ניצול אקוות החוף ברצועת עזה (גרוס וסופר 1996) עד להסדר הקבע. העניין המרכזי הראשון הוא חלוקת מקורות מים משותפים כמו אקוות ירקון תנינים והאקווה המתנקזת אל מעיינות חרוד ובית שאן. תחום המיקוח ייקבע על פי עקרונות חוקי המים הבינלאומיים: 1. בחלוקת מי מקור משותף יש עדיפות לשימושים היסטוריים וקיימים על פני שימושים חדשים. 2. לצריכה ביתית עדיפות על צריכה חקלאית. שיתוף פעולה עם הרשות יכול להתבטא בהתפלת מי ים. ברצועת עזה, בגלל מצוקת המים המיוחדת, היה ברור שרק התפלת מי ים תפתור את בעית המחסור. רצועת עזה יכולה לספק מי ים מותפלים גם ליו"ש במעבר צינור דרך ישראל. תיתכן גם אספקת מים שיותפלו בצפון ישראל, למשל בחדרה, לאזורים הצפוניים ביו"ש.

סוריה – עם סוריה אין בשנת 2007 כל מגעים מדיניים ולכן גם לא בנושאי מים. מכל מקום, אם יהיו שיחות שלום עם סוריה, יהיה נושא זה מן המרכזיים במשא ומתן, שכן כ-250 מיליון מ"ק מימי גולן יורדים לאגן הירדן מלבד אלה שיורדים לבניאס (עוד כ-110 מיליון מ"ק), מקורות הדן באים בחלקם דרך טריטוריה סורית (מלפני 1968) וכך גם מימי החצבני העוברים כ-4 ק"מ בשטח סורי (קדם 1967) בדרכם לישראל. שאלת השתתפותה של סוריה בכינרת טרם נפתרה, ועל פי הסכמי ג'ונסטון משנת 1950 יש לה זכויות בה.

לבנון – ישראל תלויה בלבנון בשאלות מים הנוגעות לנחלים חצבני, עיון והאגן התת-קרקעי המזינים את נביעות נחל הדן. הסכם עתידי יצטרך להבטיח את זכויות ישראל במים אלה.

ישראל – בראשית המאה ה-21 נמצאת ישראל במשבר המים החמור ביותר בתולדותיה. מאגרי המים מזוהמים ומפלסיהם נמצאים מתחת לקו האדום (מתחת לקו האוגר התפעולי). תופעה שלילית זו קשורה לשאיבת יתר. בעשורים הראשונים אחרי קום המדינה עלה ההיצע למים על הביקוש, ומפעלי המים הרבים שנבנו בכל הארץ ניצלו את המשאב כמעט במלואו. החל משנות השבעים עלה הביקוש למים בכל המגזרים, ושאיבת היתר באה להשלים את הפער בין ההיצע לביקוש. דבר זה עלול לחסל את כל רזרבות המים של ישראל, שכה נחוצות לשנות בצורת (גבירצמן 2002).

בצורת עלולה לפגוע במשק המים הישראלי באופנים הבאים:

1. בצורת אקלימית: כאשר כמות המשקעים השנתית פחותה מן הממוצע ב-25%. בצורת כזאת לא תמיד יוצרת נזק מיידי לחקלאות, אך אם היא מופיעה ברציפות מספר שנים, היא מזיקה.
2. בצורת חקלאית: יש די משקעים אך חלוקתם במשך העונה אינה מספקת.
3. בצורת הידרולוגית: מחסור רגיונלי במים זורמים לעומת הממוצע לאזור ולעונה. מקורה של בצורת הידרולוגית הוא בדרך כלל בבצורת אקלימית. שנה חמה במיוחד, או בעלת שכיחות של רוחות חזקות, תגביר את שיעור ההתאדות ותצמצם בכך את כמות המים הזמינים (גולדרייך 1998).

העלייה בשכיחות של שנות הבצורת והשינוי במשטר המשקעים בישראל הם ככל הנראה ביטוי מקומי לשינויי האקלים הגלובליים. תופעות אלו יחריפו את מצבו הרעוע ממילא של משק המים הישראלי וידרשו פתרונות מהירים להתמודדות עם המחסור הגובר. הדבר אף יוסיף לסיטואציה המורכבת ממילא של חלוקת משאבי המים בין ישראל ושכנותיה, הן ביכולת למלא התחייבויות בהסכמים קיימים הן בהגעה להסכמים עתידיים. האחרונים יהיו קשים יותר ככל שתתעורר בהם סוגיית המחסור במים, הגובר מדי יום עקב גידול מהיר של אוכלוסיית המשתמשים ובשל שינויי האקלים (סופר 2006).

עליית מפלס פני הים

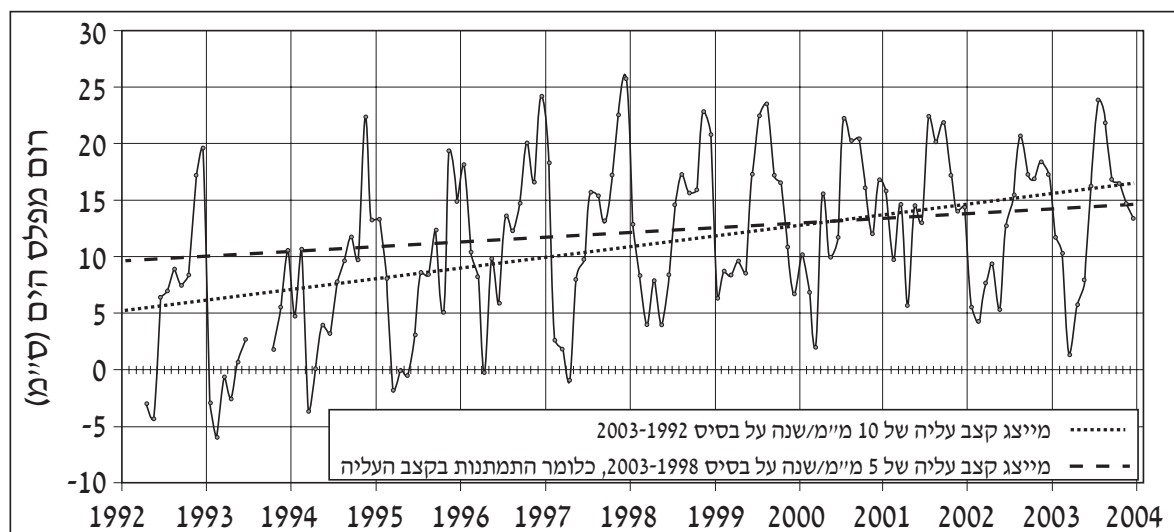
התחנה הראשית למדידת מפלס הים התיכון בישראל נמצאת בחדרה. רוזן (2003) מצא, כי בין 1992 ל-2003 עלה מפלס פני הים בתחנת מדידה זו ב-10 מ"מ לשנה (איור 15), וכי בשנים 1982-2001 היה המפלס הממוצע סנטימטרים אחדים מעל רום

הבסיס של המרכז למיפוי ישראל. קליין ולייכטר (2004) מציינים כי קצב עליית מפלס פני הים בישראל תואם את קצב עליית פני הים באזורים אחרים באגן הים התיכון.

המשמעות ההידרולוגית של תופעה זו היא חדירה מוגברת של מי ים לאקוות החוף והמלחתה. מפלס המים השפירים באקוות החוף עולה וממתן את שיפוע זרימת הנחלים. היבט נוסף של עליית מפלס מי הים הוא התרחבות היקף ההצפה של שיטפונות במישור החוף (אלפרט ובן צבי 2001).

אם ימשיך מפלס מי הים לעלות, יביא הדבר לנסיגה של קו המים מזרחה עד למצוקי החוף ולנדידת הפן הביני (מישור המגע בין מי הים מלוחים לבין מי התהום הקלים יותר המגיעים מכיוון היבשה והדוחקים את מי הים כלפי מטה) מזרחה. בשלב מתקדם יותר עלולים ליהרס צודדיות החוף ומצוקי החוף, עלולה להיות הצפה של שטחים רדודים לזמן ממושך יותר והצפה של ניקוזי הנחלים בצמוד לקו החוף. הדבר יחייב להעתיק מבנים ואתרים שונים מזרחה.

ההשפעה של עליית מפלס מי הים על אקוות החוף בישראל נבדקה על ידי Melloul and Collin (2006). מלבד שינויי אקלים משפיעים על אקוות החוף היבטים נוספים. תנודות טקטוניות למיניהן יכולות להרים את מפלס מי הים ובכך לגרום להמלחת האקוות. עליית מפלס מי הים יכולה לגרום לבליה נמרצת של סלעי החוף ולשקיעת הסחף בתחתית הים. ברמה הגלובלית מתבטא הגורם האנושי בהגברה של פליטת



איור 15: עליית מפלס פני הים בחוף של ישראל – ממוצע חודשי בשנים 2003-1992 (מקור: רוזן 2003: 3)

גזי חממה לאטמוספירה ובהמסת הקרחונים, אך גם בניצול יתר של אקוות החוף על ידי שאיבה, בנייה וכדומה. בניית סכרים מגבירה ארוזיה אף היא, בכך שחומר שהיה נסחף בעבר אינו מצטבר על החוף. ארוזיה מובילה להמלחה של האקוות, להריסת נישות אקולוגיות ולהרס אתרי תיירות ושרידים ארכאולוגיים. טבלה 2 מסכמת מספר מחקרים שעסקו בשינוי במפלס פני הים.

בטבלה בולטים ממצאי המחקרים המתייחסים לחופי תל אביב ולחופי חדרה, המצביעים על עלייה משמעותית במיוחד במפלס הים בשנים 1992-2002. אקוות החוף פגיעה במיוחד גם בגלל השפעות אנושיות ישירות על החוף (בנייה, סלילת כבישים, הקמת מרינות ועוד) אך גם בשל עליית מפלס מי הים כתוצר משינויי אקלים (Melloul and Collin 2006). יש לזכור כי באזור החוף של ישראל מתגוררים 70% מהאוכלוסייה, בו מתבצעת 80% מהפעילות התעשייתית ובו מופקים 90% מהכנסות

טבלה 2: סיכום מחקרים שעסקו בעליית מפלס מי הים

Data information about global sea level rise (SLR)

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

מקור: Melloul & Collin 2006: 283.

התיירות. היבטים אקולוגיים וחברתיים-כלכליים עלולים להיות מושפעים מעליית מפלס נוספת בפני הים (Georgas 2003). ההיבטים הביופיזיים העיקריים המאיימים על אגן הים התיכון בשל עליית מפלס פני הים הם (Sterr, Klein, and Reese 2003):

1. הגברת הצפות מבחינת התדירות ומבחינת העוצמה
2. ארוזיה ומחסור בחומרי סחף
3. הצפת ביצות או דלתות ואזורים נמוכים טופוגרפית
4. השפעה על מי התהום
5. המלחת אקוות
6. השפעות ביולוגיות

היבטים נוספים קשורים בהשפעה הישירה על תושבי האזור:

1. השפעה על יישובים סמוכים לחוף ועל תשתיות עירוניות – דרכים וכבישים, מערכות ביוב וניקוז מים, מערכות אנרגיה ותקשורת, מבנים וכיוצא באלה
2. השפעה על נמלים ומתקני חוף שונים
3. השפעות כלכליות
4. השפעות על אתרי תיירות

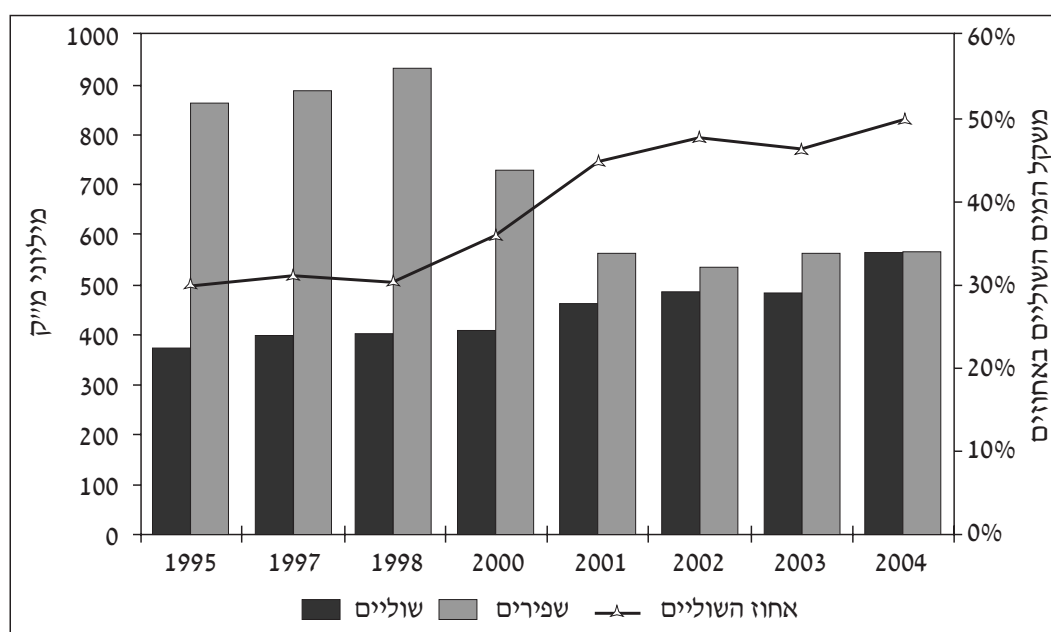
הצמחייה

פעילות האדם ושינויי האקלים משפיעים על הצמחייה. בישראל, האזורים הפגיעים ביותר לשינויי האקלים הם אזורי ההר הגבוהים בגליל ובכרמל, בייחוד בתי הגידול הלחים יותר, המבורכים במשקעים רבים ובטמפרטורות נוחות באביב ובראשית הקיץ. תנאים אלה מאפשרים עונת צמיחה ארוכה יותר ועושר של מינים נדירים ואנדמיים הרגישים יותר לעקות יובש. בצפון ישראל מושפעים הנגר העילי והארוזיה מכיסוי הצמחייה. הגשמים המוקדמים לעונה מופיעים פעמים מספר בצורה של סערות קשות הגורמות לארוזיה (בליה) רבה של מדרונות ושדות חשופים. שינויי אקלים יכולים להביא לידי התייבשות הדרגתית ואף לכיליון מינים בעלי דרישות גבוהות יותר למים. הסכנה היא בהידחקותם על ידי בני שיח ועשבוניים עמידים יותר, והתפשטותם של אלה ניכרת כבר עתה. חשיפת מדרונות תלולים, בייחוד נופי גיה, דולומיט, קירטון וחואר עלולים לגרום להגברת הזרימה העילית ולהגברת הסחף. המגמה המסתמנת של עצירת הגשמים בראשית החורף בצפון הארץ ותדירות שנות בצורת יביאו להרעה במשטר ההידרולוגי ולפגיעה בצומח. עקות חום יגבירו את הסכנה של היפגעות הצומח הטבעי והחקלאי מנזקי מזג האוויר, מזהום אוויר (בעיקר אוזון, מזהם שניוני) ממחלות וממזיקים.

אירועי השרב החוזרים ונשנים מסכנים את הצומח בנזקי השריפה. תהליכים המזרזים התייבשות מגבירים את כמות החומר הדליק בחורש הים תיכוני ומעלים את הפוטנציאל להתלקחות שריפות נרחבות. באזורי הספר השחונים למחצה עונת הצמיחה קטנה יותר וניכרת שונות בין-עונתית ותוך-עונתית רבה יותר. בתנאים אלה מתפתחים מינים עמידים ליובש וגם זנים אקולוגיים שוליים עמידים של אותם מינים. אלה גדלים גם באזורים לחים יותר. אלת המסטיק היא דוגמה למין כזה. מחקר על אלת המסטיק שבוצע בגלבוע מעלה את ההשערה כי השיחים מאוכלוסייה זו עלו בכושרם על צמחים בני אותו מין מהכרמל ומהגליל. נראה כי צומח מבתי גידול המאופיינים בתנאים קשים יותר עמיד יותר לשינויי האקלים (נאוה 1995).

חקלאות

גורמים רבים עשויים להשפיע על החקלאות בישראל. החקלאות תלויה במשק המים ומוגדרת כסקטור גמיש, היינו בשנות בצורת ניתן להוריד את מכסות המים לסקטור זה (שכטר ויהושע 2001). לבנון (2006) סבור כי האיומים על החקלאות בישראל הנובעים משינויי אקלים אפשריים: הפחתה בכמות המשקעים, התאדות מוגברת, פגיעה במגוון המינים, המלחת מים וקרקע, פגיעה בענפי חקלאות חשובים והתרבות מזיקים ומחלות. התמעטות משקעים ועלייה באידוי עלולים להפחית את רמת הפעילות המיקרוביאלית ואת ריכוז החומר האורגני בקרקעות. פועל יוצא הוא ירידת רמת החדירות בקרקע ויכולת האגירה שלה. עלייה בנגר עילי תגרום לסחיפה של אופקים פוריים בקרקע ולמדבור אזורים צחיחים למחצה בישראל. סביר להניח כי החקלאות תנסה להסתגל לשינויי אקלים על ידי מעבר לגידולים הזקוקים לפחות מים או לגידולי בעל, דבר שישנה את הרכב הגידולים המיוצרים בארץ, וכן על ידי מעבר משימוש במים שפירים לשימוש במים מליחים. מים מליחים זולים יותר, אך נותנים יבול מועט יותר. כבר כיום ניכרת מגמה לשימוש במים שוליים בחקלאות (איור 16 המראה את הירידה בשימוש במים השפירים לחקלאות ואת העלייה בשימוש במים השוליים). אחוז המים השוליים עלה ב-20% משנת 1995 עד לשנת 2004. דרך נוספת להתגבר על השלכות שינויי האקלים בחקלאות היא שיפורים טכנולוגיים: שיטות השקיה, זני גידול ודישון (קדישי, זיתוני, שמיר ושכטר 2003).



איור 16: יחס המים השפירים והשוליים לחקלאות (1995-2004) (מקור: לבנון 2006)

מדבור

מאפיינים שונים מעידים על התגברות המדבור בישראל. אלפרט ובן-צבי מצאו כבר ב-1991 כי מאז אמצע שנות השמונים עלתה שכיחות הופעתן של קבוצות שנים שחונות, בד בבד עם התגברות תדירות השיטפונות. שתי תופעות אלה אינן סותרות זו את זו אלא מצביעות על מגמת מדבור שמתרחשת כיום. כידוע, ספיקות הגאוויות באזור הנגב גבוהות מאלו שבצפון הארץ ובמרכזה. התגברות שנים גשומות אחדות בין תקופות הבצורת תואמת את הידוע על תופעת המדבור, מכיוון שבאזור מדברי התנודות היחסיות בעובי המשקעים גדולות מאלה שבאזורים אחרים. על פי Naveh (1991), תהליכי מדבור עתידים להתגבר באגן הים התיכון גם אם כמות המשקעים תישאר ללא שינוי, משלוש סיבות 1. התאדות מוגברת הנובעת מעלייה בממוצע הטמפרטורות, היכולה להגיע ל-400 מ"מ לשנה. 2. שינוי בתדירות המשקעים ופריסתם במרחב. 3. הידרדרות בתהליכים בצמחייה ובקרקע, שימנעו מהקרקע להכיל לחות החיונית להתפתחות חיים.

גם פז (2004) מציינת, כי ישראל ושאר מדינות האגן המזרחי של הים התיכון חשופות להתעצמות תהליכי מדבור. לתופעה קיימים הסברים ממקורות אנושיים (רעיית יתר, ניצול יתר של מים וקרקעות) ואקלימיים גם יחד. ב"תוכנית פעולה לאומית לשינוי אקלימי" שהוגשה למשרד להגנת הסביבה (המשרד להגנת הסביבה 2005) נסקרה רגישותן של מערכות אקולוגיות ומשקיות בישראל לתנודות אקלימיות אפשריות. בתוכנית צוין כי אחת ההשלכות העיקריות של שינוי אקלימי גלובלי באזורנו היא הרחבת האזורים הצחיחים על חשבון המערכות האקולוגיות הים-תיכוניות. למשל, בתנאי התחממות והתייבשות עלול אקלים הגלבע להפוך למדברי למחצה, בקעת הירדן ואזורי ספר המדבר עלולים להפוך לבעלי אקלים מדברי.

בריאות האדם

נראה כי השפעות שינויי האקלים על בריאות האדם קיימות גם בישראל. דוגמה לכך היא ה-*Vibrio vulnificus*, חיידק המצוי בבריכות דגים שמימיהן מלוחים. פגיעה מחיידק זה התרחשה בארץ בעיקר בקרב אלה שנדקרו מסנפיר של דג אמנון. מדובר במחלה קשה הגורמת לכאבים עזים, לחוס גבוה מאוד ולעיתים לצורך בכריתה של האיבר הנפגע. החיידק התגלה לארץ בראשונה ב-1996 בבריכות בעמק בית שאן. מחקרם של Paz et al. (2006) הראה קשר בין גלי חום שהשפיעו על טמפרטורת מי בריכות הדגים, להופעת החיידק בארץ.

מחלה אחרת שנעדרה מארצנו במשך שנים רבות היא קדחת הנילוס המערבי, המועברת בעיקר על ידי העברות חוזרות של הנגיף בין עופות באמצעות יתושים. הנגיף אנדמי לאזורנו ולחלקים נרחבים באפריקה, אסיה, מזרח אירופה ודרומה. עיקר הסכנה עבור האדם טמונה באפשרות של הופעת דלקת קרום המוח ודלקת רקמת המוח בעיקר אצל קשישים או חולים בעלי מערכת חיסון מדוכאת. במספר מחקרים נמצא כי תנאי חום כבד הם גורם קריטי המעודד את התפרצות קדחת הנילוס המערבי. טמפרטורות גבוהות מזרזות את שכפול הנגיף, את קצב התרבות אוכלוסיית היתושים עצמם, את העלייה בכשירותם ואת יכולת העקיצה שלהם עד כדי סכנה ממשית לאדם. מכיוון שמאגר הנגיף בטבע מצוי בעיקר בעופות, מיקומה של ישראל בנתיב ציר נדידה מרכזי הוא בעל חשיבות קריטית להעברת המחלה. הנגיף נתגלה בארץ במגוון עופות נודדים כמו חסידות ואווזים, אך גם בעופות השוכנים דרך קבע בערים, כמו יונים ועורבים. עיקר ההתפרצויות של קדחת הנילוס המערבי אירעו בארץ בשנות החמישים של המאה העשרים, ולקראת סוף המאה נראה היה כי מחלה זו בישראל הפכה לנחלת ההיסטוריה. אולם, בקיץ 2000 חלה התפרצות דרמטית של המחלה בבני אדם בישראל: בין אוגוסט לנובמבר אובחנו 417 מקרים, 324 חולים אושפזו בבתי חולים ו-35 מהם נפטרו. ההתפרצות של שנת 2000 הופיעה לאחר שתי עונות קיץ (1998 ו-1999) שהתאפיינו בסימנים מקדימים הן מבחינה רפואית והן מהצד האקלימי.

עונות הקיץ של 1998, 1999 ו-2000 היו חמות באופן קיצוני יותר מאי-פעם ולוו בגלי חום ארוכים. נרשמו עלייה בטמפרטורות המינימום והמקסימום, עלייה במספר גלי החום, במשך הזמן שלהם ובעוצמתם.

את התופעות האקלימיות האלה, ככל הנראה תוצאת ההשפעה המקומית של ההתחממות הגלובלית, צריך היה להביא בחשבון בעת בחינת הסיכויים המקדימים להתפרצות המחלה. התפרצות קדחת הנילוס המערבי ומהלכה היו דומות לאלו שאירעו בעמק הדנובה ברומניה (1996) ובניו יורק (1999). למרות הבדלי האקלים בין שלושת האזורים, כולם מאופיינים בקיץ חם בעל שיעורי לחות גבוהים. כל אחת מההתפרצויות הופיעה לאחר תקופה ארוכה של גל חום כבד (Paz 2006).

כידוע, בשנים האחרונות פקדו גלי חום כבדים את שכונותינו מצפון-מערב וגבו עשרות אלפי קורבנות, רובם קשישים. על ישראל, שאחוז המבוגרים באוכלוסייתה נמצא במגמת עלייה מתמדת, להיות ערוכה לתרחיש מעין זה.

פרק שישי – משמעויות גאואסטרטגיות

ממשלת ארצות-הברית וזרועותיה השונות (במחקר, באקדמיה ובמערכת הביטחון) מוטרדת כבר מספר שנים משינויי האקלים ומתוצאותיהם הקשות. במסגרת הכנת הספר *Preparing for an uncertain climate* (כרך א') שיצא לאור בשנת 1993 על ידי הקונגרס האמריקאי, המשרד להערכה טכנולוגית, התבקשו כ-400 מומחים לחוות את דעתם בנושא, והם הציגו מגוון חלופות להתמודדות עם משמעויות שינויי האקלים. החוקרים בדקו השלכות על החופים ומידת פגיעותם, השפעות על משק המים האמריקאי ועל החקלאות האמריקאית, המזינה מיליוני בני אדם בעיקר בכל הנוגע לדגנים. נדונו גם סוגיות של ייעור, קרקע, דיג, פארקים לאומיים, חי וצומח, בריאות הציבור ובטחון לאומי.

מאז, פורסמו מאות עבודות שעסקו בקשר שבין הביטחון הלאומי, הסביבה ושינויי האקלים. החוקרים דנו בשלושה טווחי זמן של סכנות:

א. אסונות מידיים – למשל, זיהום אוויר הפוגע כבר עתה במיליוני אנשים וגלי חום הגורמים לתמותה של מאות ואלפים.

ב. אסונות בטווחי זמן בינוניים (10-30 שנה) – הצפות של אזורי דלתות (במדינות מפותחות כמו הולנד ויפן ובמדינות מתפתחות כמו בנגלדש, מצרים ואינדונזיה). מעניין לציין כי להולנד יש המשאבים והיכולת "לראות רחוק" והיא כבר מתכוננת לאפשרות זו. לעומתה, יכולתה של בנגלדש להתמודד עם שינויים מעין אלה היא אפסית). דוגמה אחרת לסיכון בטווח זמן בינוני היא בצורת בקנה מידה נרחב כמו זו שהתרחשה באזור הסהל באפריקה (סומליה, אתיופיה, סודן, צ'אד, ניגריה, מאלי, סנגל ומאוריטניה), שהפכה רצועה של 150 ק"מ רוחב לאורך כל רצועת הסהל לשממה מוחלטת. מדינות רבות אינן מצליחות להתאושש מהמכה הקשה שיצרה הבצורת של שנות השבעים, שבמקרים רבים גרמה למלחמות אזרחים, שחלקן נמשכות עד עתה (סופר 2001, 2006).

ג. אסונות בטווח הרחוק – קשה להתנבא בשנת 2007 על ההשלכות לטווח הרחוק, אך אפשר לקבוע כי אם יימשכו המגמות שתוארו במסמך האמריקאי, יתפתח אסון סביבתי משמעותי.

בשנת 2004 פרסם משרד ההגנה האמריקאי את מאמרם של פיטר שוורץ ודף רנדל (Schwartz & Randal 2004), שבו דנו החוקרים בשינויי אקלים ובהשלכות תוצאותיהם על הביטחון הלאומי של ארצות-הברית. בין היתר הם תיארו שינויי אקלים העתידים לפגוע בכושר הנשיאה של אזורים נרחבים בכדור הארץ, פגיעה העלולה להביא למלחמות.

התמונה המצטיירת היא אפוא של עולם מסוכסך הסובל ממאבקים על מרחבי מחיה ועל משאבי מים, מזעזועים פוליטיים ומתנודות אוכלוסייה המוניות. במאמר הוצגו חלופות לסכסוכים בעקבות תנודות אקלימיות הצפויות כבר בתקופה הקרובה. כותבי המאמר סבורים על סמך מחקרים רבים, כי שינויי האקלים מהירים יותר מכפי ששוער עד כה, ושהסבירות לתחזיותיהם בדבר אסונות סביבתיים גבוהה מאוד.

ובאשר להשלכות על המזרח התיכון, התגברות תופעת הבצורות תרחיב את רצועת המדבריות העולמית צפונה לאזורנו. המדינות שיוכו במיוחד הן מרוקו, אלג'יריה, תוניסיה וחופי לוב, שעדיין נהנו מקצת משקעים. בסוריה ובעירק יצטמצמו עוד יותר שטחי המזרע. פירוש הדבר הגירות גדולות של אוכלוסיות הנעות צפונה. חלקן ינסו לחצות את הים התיכון בדרכן לאירופה. בצפון אפריקה יתגברו המאבקים על המים והקרקע וישרור רעב. כל אלה עלולים להביא להפיכות פוליטיות ולאי-יציבות שלטונית. התמעטות מים נוספת בנילוס תביא אסון ל-200 מיליוני תושבי אגן הנילוס (מספרם המוערך בשנת 2007) ואסון רב-ממדים עד לשנת 2020, אז צפויה האוכלוסייה באגן להגיע ל-300 מיליוני תושבים, אם קצב גידולה לא יקטן. דבר דומה עלול להתרחש באגני הפרת והחידקל, שם האסון עלול להכות בכ-100 מיליוני בני אדם בשנת 2025 (סופר 2006).

אם תימשך עליית פני הים, תוצף בהדרגה הדלתא של הנילוס, שבשנת 2007 כבר מאוכלסת ביותר מ-40 מיליון נפש. דלתת עירק תוצף אף היא בהדרגה וחופי ים אחרים באזורנו ייפגעו.

ומה באשר לישראל?

ניתן לשער שהפחתה בכמות המשקעים תגביר את צחיחותה של ישראל, ותוביל להשלכות בשורה ארוכה של תחומים – מצוקת מים, צמצום שטחי החקלאות, מדבור ועוד. הרחבת ההתפלה לאורך חופי ישראל תחייב ניצול אנרגיה רבה יותר, העלול

לתרום להגברת זיהום האוויר לאורך מישור החוף. עליית מי הים תפגע בעיקר במפרץ חיפה אך גם בשפכי נחלים במקומות אחרים ובתחנות הכוח שלאורך החוף.

בצורת בישראל משמעותה גם בצורת בארצות השכנות לה, ולכן יגבר הלחץ מצד פליטים למצוא מקלט בישראל. חלק מהתופעות החזויות לעתיד מתרחשות בסמוך לגבולות ישראל כבר עתה, והן עלולות להתגבר (ניסיונות חדירה של פליטים לישראל, התגברות הדרישות להעברת מים מישראל למדינות השכנות הסובלות ממצוקת מים קשה כמו דרום סוריה, ירדן והאוכלוסייה הפלסטינית).

בארץ שתהיה יותר צחיחה, ושעל גבולותיה יהיו יותר עניים, יצטרך צה"ל להגן יותר מאשר עתה על מתקני ההתפלה, שיהיו מקור המים העיקרי של ישראל. השלכות שינויי האקלים (ישירות ועקיפות) על ביטחונה של ישראל ושל שכנותיה הם בעלי סבירות גבוהה, והן ידרשו מענה כבר בעתיד הקרוב.

סיכום, פתרונות ודרכי התמודדות

ועידת IPCC שהתקיימה בפריז בפברואר 2007 הציגה סיכום מחקרים בתחום שינויי האקלים שבוצעו ונאספו במשך שנים על ידי 2,500 מדענים מרחבי העולם. החוקרים הביעו הסכמה גורפת, כי מעשי האדם, ובעיקר פליטת גזי החממה מהתעשייה, מתחנות כוח ומכלי הרכב הממונעים הם האחראים לתופעת ההתחממות הגלובלית. באי ועידת IPCC שהתקיימה בבריסל באפריל 2007 הדגישו כי ההתחממות הגלובלית אינה איום שהוא נחלתם של כמה משוגעים לדבר, אלא בעיה עולמית אמיתית שתוצאותיה המדאיות ניכרות כבר עתה, הדורשת טיפול מיידי בכל הרמות – המקומית, האזורית והגלובלית.

הסקירה שהוצגה בחוברת זו הביאה סיכום תמציתי של רוב ההשלכות הנגזרות משינויי האקלים, תוך התייחסות לממצאים עדכניים ברחבי העולם וגם כאן בישראל. ההתחממות הגלובלית יוצרת משבר חוצה גבולות, ולכן ההתמודדות עימה חייבת להיעשות תוך תיאום בינלאומי. באמנת פסגת כדור הארץ שנחתמה בריו דה-ז'ניירו ב-1992 צוינה המטרה "להביא לייצוב גלובלי של ריכוזי גזי החממה באטמוספירה ולצמצם לרמה שבה אין נגרמות הפרעות המסכנות את מערכות האקלים". פרוטוקול קיוטו שנכנס לתוקף ב-16 בפברואר 2005 הוא השלב המעשי והמחייב של אמנת ריו, ויישומו הוא בעיקר פעולת בלימה. זהו המאמץ האנושי הגדול והמורכב ביותר להתמודד עם סיכוני שינויי האקלים. הפרוטוקול, שחתומות עליו 141 מדינות, מציב יעדים משפטיים מחייבים לקיצוץ פליטת גזי החממה בידי המדינות העשירות, ב-5.2% מתחת לרמה שנרשמה בשנת 1990, במהלך השנים 2008 עד 2012. אולם, גם יעדיה של האמנה ניצבים בסכנה, בשל הודעתו של הנשיא ג'ורג' בוש ב-2001 על פרישת ארצות-הברית – המזהמת הגדולה בעולם – מפרוטוקול קיוטו. בוש טען כי היישום יקר מדי ומתח ביקורת על העובדה שהאמנה אינה חלה על המדינות המתפתחות, ובהן סין, אף היא מהמדינות המזהמות ביותר. לעומת זאת, הפרוטוקול זכה בחיזוק בסוף 2004, כאשר נשיא רוסיה ולדימיר פוטין חתם עליו.

על מנת לעמוד ביעדים, הגדיר הפרוטוקול שלושה "מנגנוני גמישות" שיאפשרו את השגת היעדים בעלויות נמוכות יותר. אחד מהם, מנגנון ה-CDM (מנגנון הפיתוח הנקי), מאפשר למדינות מפותחות לבצע פרויקטים להפחתת פליטות במדינות מתפתחות (שישראל נמנית עימן), בתמורה ל"אשרות פליטה" שבהן יוכלו להשתמש לצורך מילוי

מחויבותם ותוך שמירה על פיתוח בר-קיימא. עם כניסתו לתוקף של פרוטוקול קיוטו יצא לדרך שוק בינלאומי לסחר בפחמן, בעוד ה-CDM החל לעבור ליישום מלא שיביא להשקעות בפרויקטים סביבתיים במדינות המתפתחות (המשרד להגנת הסביבה 2005).

מעניין לציין כי בסוף שנת 2006 ותחילת 2007 ניכרת התעוררות מסוימת גם בהצהרותיהם של מנהיגי המדינות המתועשות. בקיץ 2006 חתמו בריטניה ומדינת קליפורניה על הסכם הדדי (ללא התערבות הממשל האמריקני), שנועד לקדם את מניעת ההתחממות הגלובלית ופליטת גזים מזהמים. סוגיית ההתמודדות עם השלכות שינויי האקלים צוינה באופן משמעותי בועידה הכלכלית בדאבוס, שווייץ (ינואר 2007), בעיקר על ידי ראש ממשלת בריטניה טוני בלייר. הנושא הוזכר גם ב"נאום לאומה" שנשא בוש בראשית 2007. שאלה משמעותית מטרידה היא מידת השפעתן העתידית של סין והודו המצויות בתהליך פיתוח מואץ.

האם העובדה שהנושא מוזכר יותר ויותר כחלק בלתי נפרד מסדר היום המדיני והציבורי מסמנת תחילתו של שינוי? יש לקוות שהתשובה לכך חיובית.

ישראל חתמה על פרוטוקול קיוטו ב-1998, ואישרה אותו בפברואר 2004. למרות שישאל איננה מוגדרת כמדינה מפותחת בהגדרות אמנת האקלים, עליה לקחת חלק במאמץ לבלימת שינויי האקלים על ידי אימוץ יעדי ההפחתה של גזי החממה. יש לעודד הפחתת פליטת גזי חממה בתעשייה, מעבר לגז על חשבון פחם ונפט, שימוש בתחבורה ציבורית, חסכון בחשמל ומים ובנייה ירוקה המודעת לסביבה. עלינו להשקיע מאמץ משמעותי יותר בישומן של אנרגיות חלופיות מתחדשות כמו אנרגיה סולרית, אנרגיית רוח, או אנרגיה ממקורות ביולוגיים.

אנו סבורים כי על ישראל להיערך לשינויי האקלים כבר עתה, על ידי גיבוש מדיניות שתחתור לפתרון הבעיות העיקריות הנובעות מהם. היערכות מיידית נחוצה במיוחד בכל הקשור למשאבי המים הקיימים והעתידיים. נדרשים שינויים בתכנון עתודות המים הנחוצות לישראל וחלוקתם למגזרים השונים. תחומים נוספים שדרושה בהם היערכות מיידית הם תחומי משק האנרגיה והחקלאות, התכנון הלאומי, המחוזי והמקומי וכמובן מערכות הביטחון (חוץ ופנים).

מקורות

אלפרט, פי' 2001. אפקט החממה והשלכותיו על האקלים בישראל. עיונים בניהול משאבי טבע וסביבה, א(1), 15-27.

אלפרט, פי' 2006. מגמות אקלימיות בעשורים האחרונים ותחזיות לעתיד. כנס השפעות שינויי אקלים בישראל לקראת תכנית פעולה לאומית (21.6.2006), תל אביב. בתוך: http://www.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/ModulKvatzim/alpert_1_1.pdf

אלפרט, פי' וא' בן-צבי. 2001. השפעות שינויים אקלימיים על זמינות משאבי המים בישראל. מים והנדסת מים, 51, 10-15.

בך, א' 1996. האם משפיע סכר אסואן על כמותו ותפירתו של הגשם בארץ? מטאורולוגיה בישראל, 4 (1), 8-17.

גבירצמן, ח' 2002. משאבי המים בישראל. ירושלים: יד יצחק בן צבי.

גולדרייך, י' 1998. האקלים בישראל: תצפיות, חקר ויישום. ירושלים: מאגנס.

גזית, נ' וא' סופר. 2002. סעיף המים בהסכם השלום בין ישראל וממלכת ירדן – רקע, ניסוח ומימוש 1999-2000. חיפה: המרכז לחקר המזרח התיכון.

גרוס, ד' וא' סופר. 1992. מאגרי מי תהום בינלאומיים במזרח התיכון. חיפה: המרכז לחקר המזרח התיכון.

דרק, ד' וא' סלומון. 1995. אחרי המבול - אי ודאות ומדיניות המים בישראל. ירושלים: מכון ירושלים לחקר ישראל.

הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. 2006. לוח 21.6 – "אנרגיה ומים: הפקת מים וצריכתם, לפי מקור וייעוד", שנתון סטטיסטי לישראל. ישראל: ירושלים.

המשרד להגנת הסביבה. 2005. הודעות הדובר: "החל מיום רביעי 16/2/05 פרוטוקול קיוטו להפחתת גזי חממה נכנס לתוקף", בתוך: <http://www.sviva.gov.il/Enviroment/bin/en.jsp?enPage=BlankPage&enDisplay=view&enDispWhat=Object&enDispWho=Spokesman^l969&enZone=Spokesman>

לבנון, ד' 2006. חקלאות ישראל במשטר שינויי האקלים, כנס השפעות שינויי אקלים בישראל לקראת תכנית פעולה לאומית. עורך: ד' לבנון. תל-אביב: משרד החקלאות ופיתוח הכפר לשכת המדען הראשי, 21 ביוני 2006. בתוך: http://www.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/ModulKvatzim/levanon_1.pdf

נציבות המים - האגף לתכנון, משרד התשתיות הלאומיות. 2002. - תכנית אב (מעבר) לפיתוח משק המים -2002-2010, ישראל: ירושלים.

נאוה, ז' 1995. שינויי אקלים גלובאליים וערעור יציבות האקלים. אקולוגיה וסביבה, 2(4), 207-212.

סופר, א' 2001. איכות סביבה ובטחון לאומי. בטחון לאומי, 1, 165-183.

סופר, א' 2006. המאבק על המים במזרח התיכון. תל אביב: עם עובד.

סערונני, ה', זיו, ב' ופ' אלפרט. 2005. ההתחממות הגלובאלית וביטוייה בקיץ הישראלי. מטאורולוגיה בישראל, 1-2, 13-28.

פז, ש' 2004. מדבור באגן המזרחי של הים התיכון: הסבר אקלימי להיווצרותו. עיונים בניהול משאבי טבע וסביבה, 2(7), 7-17.

פז, ש' 2005. תנודות בדפוסי הגשם בישראל – האם השפעה מקומית של שינויים גלובליים? מים והשקיה, 465, 26-31.

צור, נ' 2006. הביקוש לחשמל, כנס השפעות שינויי אקלים בישראל לקראת תכנית פעולה לאומית (21.6.2006), תל אביב. בתוך: http://www.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/ModulKvatzim/natan_zur_1.pdf

קדישי, נ', זיתוני, נ', שמיר, ש', ומ' שכטר. 2003. היבטים כלכליים של השפעת שינויי אקלים על החקלאות במדינת ישראל. עיונים בניהול משאבי טבע וסביבה, 1(1), 123-130.

קותיאל, ח' 2001. אי הוודאות האקלימית באגן הים התיכון. עיונים בניהול משאבי טבע וסביבה, 1(1), 29-43.

קליאוט, נ' 2001. שינויי אקלים גלובליים: גורמים, תהליכים והשפעות. עיונים בניהול משאבי טבע וסביבה, 1(1), 5-14.

קליין, מ' ומ' לייכטר. 2004. שינויים רצנטיים בגובה פני הים בחופי ישראל ובחופי הים התיכון. *חופי ישראל 2004, דו"ח מס' 5 - עליית מפלס פני הים*, החברה להגנת הטבע ופורום ארגוני החוף, 5, 29-34. בתוך: [http://www.teva.org.il/_Uploads/dbsAttachedFiles/hofim_2004_lr\(1\).pdf](http://www.teva.org.il/_Uploads/dbsAttachedFiles/hofim_2004_lr(1).pdf)

רוזן, ס"ד 2003. שינוי מפלס הים ובחינת ההשלכות על מצב חופי הים התיכון של ישראל, בתוך אתר חקר הימים והאגמים לישראל: http://www.ocean.org.il/Heb/_documents/10.pdf

שכטר, מ' ונ' יהושע. 2001. אומדן כלכלי של השפעת השינוי האקלימי על החקלאות בישראל. *מים והשקיה*, 417, 17-39.

Alpert, P., Ben-Gai, T., Baharad, A. et al. 2002. The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters*, 29 (11), doi:10.1029/2001GL013554.

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

British Antarctic Survey Available: http://www.antarctica.ac.uk/Key_Topics/The_Ozone_Hole

Cohen, S., Inatez, A., and G. Stanhill. 2002. Evaporative Climate Changes at Bet Dagan, Israel. 1964-1998. *Agriculture and Forest Meteorology*, 111, 83-91.

EEA - European Environment Agency. 2005. Technical report (No. 7, 2005) - Vulnerability and adaptation to climate change in Europe. Available: http://reports.eea.europa.eu/technical_report_2005_1207_144937/en/EEA_Technical_report_7_2005.pdf

Georgas, G. D. 2003. Assessing the impacts of climate change in the Mediterranean coastal zone. In: C. Giupponi and M. Shechter (Eds.) *Climate Change in the Mediterranean*. Cheltenham (UK): Edward Elgar Publishing Limited, 11, 225-244.

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

Greenhouse, S. 1995. The Greening of American Diplomacy, *New York Times*. 8.10.1995.

Hansen, L. J., Biringer, J. L., and J. R. Hoffmann. 2003. Buying Time: A User's Manual for Building Resistance and Resilience to Climate Change in Natural Systems, WWF-World Wildlife Fund (Climate Change Program). Available: http://assets.panda.org/downloads/buyingtime_unfe.pdf

IPCC. 1997. The Regional Impact of Climate Change - an Assessment of Vulnerability (Working Group II of the IPCC, contribution to the Second Assessment Report). Available: <http://www.grida.no/climate/ipcc/regional/index.htm>

IPCC Third assessment report, 2001. In: J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs et al. (eds.) Climate change 2001. The scientific basis. Available: http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm

IPCC, Climate Change 2007. The physical science basis, Summary for policymakers, 10th session of working group I of the IPCC, Paris, February 2007.

Lavee, H., Imeson, C. A., and P. Sarah. 1998. The impact of climate change on geomorphology and desertification along Mediterranean – arid transect. *Land Degradation & Development*, 9, 407-422.

McCarthy, J. J., Canziani, F. O., Laery, A. N., Dokken, J. D., and S. K. White. 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Contribution of Working Group 2 to the Third Assessment Report of the IPCC, Cambridge: Cambridge University Press. Available: http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/index.htm

Melloul, A., and M. Collin. 2006. Hydrological changes in coastal aquifers due to sea level rise. *Ocean & Coastal Management*, 49, 281-297.

NASA. 2005. Satellites see a double-texas sized loss in Arctic Sea ice. Available: http://www.nasa.gov/vision/earth/environment/arcticice_decline.html (updated 28/9/05).

NASA. 2006. 2005 Warmest Year in Over a Century. Available: http://www.nasa.gov/vision/earth/environment/2005_warmest.html (updated 24/1/06)

National Climatic Data Center- U.S Department of Commerce- Climate of 2005. - Annual Report Available: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/2005/ann/global.html#Ttrends> (last accessed 16/12/2006)

Naveh, Z. 1991. Some Implications of Climatic Changes on the Mediterranean Landscapes and their Vegetation in Israel. In: M. Graber, A. Cohen and M. Magaritz (eds.), *International Workshop on Regional Implications of Future Climate Change*, Rehovot: Nevo Publishing, 175-194.

NOAA. 2007. NOAA REPORTS 2006 WARMEST YEAR ON RECORD FOR U.S. General Warming Trend, El Niño Contribute to Milder Winter Temps. Available: <http://www.noaanews.noaa.gov/stories2007/s2772.htm> (updated: 9/1/07)

Office of Sustainability Australia - The Greenhouse Effect and Climate Change Available: http://www.environment.sa.gov.au/sustainability/greenhouse_effect.html (last accessed 16/12/2006)

Petit, J. R., Jouzel, J., Raynaud, D. et al. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399, 429-436.

Paz, S., and H. Kutiel. 2003. Rainfall regime uncertainty (RRU) in an Eastern Mediterranean region - A methodological approach. *Israel journal of earth science*, 52, 47-63.

Paz, S., Tourre, Y., and S. Planton. 2003. North Africa-West Asia (NAWA) sea-level pressure patterns and its linkages with the Eastern Mediterranean (EM) climate. *Geophysical Research Letters*, 30(19), 1999-2002, doi:10.1029/2003GL01786.

Paz, S. 2006. The West Nile Virus outbreak in Israel (2000) from a new perspective: the regional impact of climate change. *International Journal of Environmental Health Research*, 15(6), 1-13.

Paz, S., Bisharat, N., Paz, E., Kidar, O., and D. Cohen. 2006. Climate Change and the Emergence of *Vibrio Vulnificus* Disease in Israel. *Environmental Research* (Online 1 September 2006).

Preparing for an uncertain Climate Vol I. 1993. United States Congress, Office of Technology Assessment.

Rahmstorf, S. .2007. A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise. *Science*, 315 (5810), 368-370.

Rosenfeld, D. 2000. Suppression of rain and snow by urban and industrial air-pollution. *Science*, 287, 1793-1796.

Rosenfeld, D., Rudich, Y., and R. Lahav. 2001. Desert dust suppressing precipitation - a possible desertification feedback loop. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98, 5975-5980.

Schwarz, P., and D. Randall. 2004. "An Abrupt Climate Change Scenario and its Implications for United States National Security" US Department of Defense (Environmental Defense Org.)

Sterr, H., Klein J. T. R., and S. Reese. 2003. Climate change and coastal zones: an overview of the state-of-art on regional and local vulnerability assessment. In: C. Giupponi and M. Shechter (eds.) *Climate Change in the Mediterranean*. Cheltenham (UK): Edward Elgar Publishing Limited. Chapter 12, 245-278.

Singh, S. K. 1998. *Dictionary of Global Climate Change*, New Delhi: Commonwealth.

UNEP - United Nation Environmental Program - Potential impact on sea level rise: Nile Delta. Available: <http://www.grida.no/climate/vital/34.htm>.

US Department of Agriculture. Available: <http://soils.usda.gov/use/worldsoils/mapindex/desert.html>

WHO. 2003. Climate change and human health - risks and responses: Summary. Available: <http://www.euro.who.int/document/gch/climchsum0903e.pdf>

נספח 1 : The Greening of American Diplomacy

The Greening of American Diplomacy

By STEVEN GREENHOUSE

WASHINGTON, Oct. 8 — Environmental threats like the beautiful water hyacinths choking Lake Victoria and the desert sands eating away the sparse pastures bordering the Sahara are some of the issues deemed urgent today by American foreign policy makers in much the same manner as military threats like new surface-to-air missile sites alarmed policy makers several decades ago.

These days, intelligence officials are being asked to look at softer targets — those flowers and sand dunes — to shed light on this decade's hot wars. Through this optic, Somalia and Rwanda can be interpreted not as spontaneous outbreaks of clan warfare or ethnic violence, but as conflicts nourished by the underlying strains of hunger, drought and a lack of arable land in Somalia, and huge population growth and population density in Rwanda.

So in addition to their traditional intelligence gathering — arms, nuclear weapons programs, expansion of foreign armies — American policy makers are looking more than ever before at natural phenomena in their search for the deeper roots of war and threats to global security. They are expecting more wars like Somalia, where the United States sent troops to calm a desperate situation spawned by environmental calamities and the brutal political response to it. To prepare for such future wars, they are analyzing subjects like the water table levels in Central Asia and the water hyacinths in Central Africa.

In August, the Defense Intelligence Agency finished a study on the rapid spread of the water hyacinth plant in Lake Victoria, which provides 120,000 tons of fish each year to Uganda, Kenya and Tanzania. The agency noted with due seriousness how a single water hyacinth can multiply into a million plants in one year and, the report warned, these plants could ultimately strangle the lake and kill most of its fish. The consequences would be serious: famine and such political instability in neighboring countries that the United States could be called in to help.

In looking at the underlying causes of war and crisis, the intelligence community now examines an expanded menu of subjects, including agriculture, demographics, econom-

A CLOSER LOOK

National Fears, Old and New

Factors looked to assess national security threats.



TRADITIONAL FACTORS

- Massing of troops.
- Development of weapons of mass destruction.
- The pecking order in the Kremlin.
- Arms shipments to cold-war surrogates in the Third World.

NEW FACTORS

- Rainfall and water table levels as predictors of famine and the collapse of governments.
- Infant mortality rates as a predictor that a government will collapse.
- High population growth and density as a predictor of rebellion or ethnic strife.
- The spread of the Sahara Desert as a predictor that ethnic strike will result when tribes are forced to compete for the remaining grazing and arable land.
- Inflation rates and trade deficits as a way to predict financial and political instability.
- The ability of a Third World country to absorb young people into the labor market.

and ethnic strife. Now we're paying much more attention to early warning factors, like famine and the environment."

The United States looks less than before at who is sitting where in the Kremlin and more at how good this fall's harvest will be in the Central Asian republics.

The Central Intelligence Agency recently commissioned a study to determine whether there was a correlation between a country's infant mortality rate, the openness of a country's trading system to imports and the stability of its government, hoping that finding a way to view these factors collectively would help the C.I.A. predict where the next crisis might erupt.

Gathering of the so-called soft intelligence has become routine. The C.I.A. now does an annual study,

wrong to switch from harder to softer intelligence. "The hard stuff is as important as ever because guns will determine the future of the world as much as they ever did," he said.

Toby Gati, Assistant Secretary of State for Intelligence, disagrees, saying, "This soft stuff immediately becomes hard when you have to send in the Marines."

George Moose, the Assistant Secretary of State for African Affairs, is a promoter of this new approach and says that if the intelligence community had studied Somalia's water table levels in the three years before the outbreak of famine and clan warfare there, the information might have warned diplomats of an imminent crisis. Mr. Moose is particularly sensitive to the role of natural disasters in human conflicts. He argues that the rapid spread of the Sahara desert set off the 1989 conflict between Senegal and Mauritania, when herdsmen from the two countries went to war over a dwindling amount of grazing land.

In recent years the Pentagon has sent troops to Somalia, where American soldiers made it safe for relief

Looking for the causes of wars and disasters.

Source: Greenhouse, S. 1995. The Greening of American Diplomacy, *New York Times*. 8.10.1995.

ד"ר שלומית פז היא מרצה וחוקרת בחוג לגאוגרפיה ולימודי סביבה באוניברסיטת חיפה. מתמחה בחקר שינויי אקלים ובעיקר בהשלכותיהם על אגן הים התיכון, דרום אירופה וצפון אפריקה, תוך התייחסות מיוחדת להשפעותיהם על בריאות האדם.

אורן קידר הוא תלמיד לתואר שני בחוג לגאוגרפיה ולימודי סביבה באוניברסיטת חיפה. עבודת התזה שלו "מסגרות הבנה להיערכות לשינויי אקלים בישראל" בהנחיית פרופ' נורית קליאוט וד"ר שלומית פז הוכרה על ידי המדען הראשי של המשרד להגנת הסביבה כאחד מהמחקרים המתבצעים בחסות המשרד לשנת 2007.

