

פנחס אלפרט

בית הספר לסביבה ולמדעי כדור הארץ ע"ש פורטר, אוניברסיטת תל-אביב

אסף הוכמן

בית הספר לסביבה ולמדעי כדור הארץ ע"ש פורטר, אוניברסיטת תל-אביב; המכון לחקר מטרוולוגיה ואקלים, המכון הטכנולוגי Karlsruhe (גרמניה)

חופית יצחק-בן-שלום

SCE – המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

אלפרט פ, הוכמן א ויצחק-בן-שלום ח. 2019. סקירת התחזיות לשינוי האקלים הצפוי בישראל. אקולוגיה וסביבה 10(4).



גרפיטי של האומן הנודע בנקסי, בלונדון | צילום: Matt Brown, Flickr, CC BY 2.0

סקירת התחזיות לשינוי האקלים הצפוי בישראל

5 בינואר, 2020

גיליון חורף 2019 / כרך 10(4) / היערכות למשבר האקלים

[סקירות](#)

על קצה המזלג

- שינוי האקלים שעובר על מזרח אגן הים התיכון וצפוי להימשך בו הוא בקצב ובעוצמה גבוהים יותר מאשר במרבית אזורי כדור הארץ.
- בעשורים האחרונים נצפו בישראל מגמת התחממות מובהקת וכן פחיתה בכמות המשקעים, שברובה אינה מובהקת.
- התחזיות מצביעות על המשך ההתחממות, פחיתה במשקעים, התארכות הקיץ והתקצרות החורף. בתרחיש החמור ישררו בישראל תנאי קיץ רוב חודשי השנה, מלבד חורף קצר.
- חיזוי אקלים בסקלה המרחבית המצומצמת של מדינת ישראל, ובפרט חיזוי שינויים באזורים שונים במדינה, מציב אתגרים מדעיים וטכנולוגיים, אך ניתן לראות בהם סמנים למגמות הכלליות של האקלים העתידי.

המערכת

תקציר

במאמר זה נציג את הייחודיות והרגישות של אקלים הים התיכון וישראל, ובהמשך את התחזיות האקלימיות המוקדמות שהתקבלו למאה ה-21. ראוי לציין שמחקר המודלים הראשון בסקלה מזו-מטאורולוגית שהצביע על הפחתה בגשמי השקעים הקפריסאיים עקב התחממות כדור הארץ נערך כבר לפני 25 שנה (1994), אך מודלים אקלימיים אזוריים ראשונים הורצו על-ידינו בישראל במסגרת המיזם הגרמני GLOWA Jordan River רק בתחילת המאה ה-21. לאחרונה הפעלנו תחזיות אקלימיות למאה ה-21 בשימוש בשיטה חדשנית שכללה ניתוח של השינויים במצבים הסינופטיים היום-יומיים עד לשנת 2100 באשכול של שמונה מודלים אקלימיים מובילים בעולם, ומסקנות ראשונות מהן מוצגות כאן. נוסף על כך, נציג תחזיות אקלימיות למאה ה-21 המתקבלות משימוש במודל האקלימי בהפרדה הגבוהה ביותר שבוצעה אי-פעם מעל ישראל (8 ק"מ מרחק סריג) וגם נזכיר את התוצאות בשיטה שמורידה את סקלות המרחק והזמן הרלוונטיות לגשם לאזור הנחקר (downscaling). לבסוף נציג תחזיות אקלימיות עירוניות לישראל למאה ה-21. את התוצאות לא ניתן לקבל באמצעות מודלים אקלימיים מודרניים, והן מצביעות על חימום עירוני משמעותי מסדר גודל דומה לזה של ההתחממות העולמית. בשיטות השונות והמתקדמות נחזתה ירידה של עד 40% בכמויות הגשם העונתיות לאזור הצפון והמרכז של ישראל, בעוד שבדרום נחזתה עלייה בחורף ובאביב. מעל מזרח הים התיכון המודלים מסכימים לגבי ירידה בכמויות המשקעים השנתיות ב-20-35%, ברצף של ימי גשם ב-10-20% ובמספר ימי הגשם ב-20-35%. ממוצעי הטמפרטורה העונתיים צפויים לעלות בכ-2.5 מעלות צלזיוס, בייחוד בחורף ובסתיו.

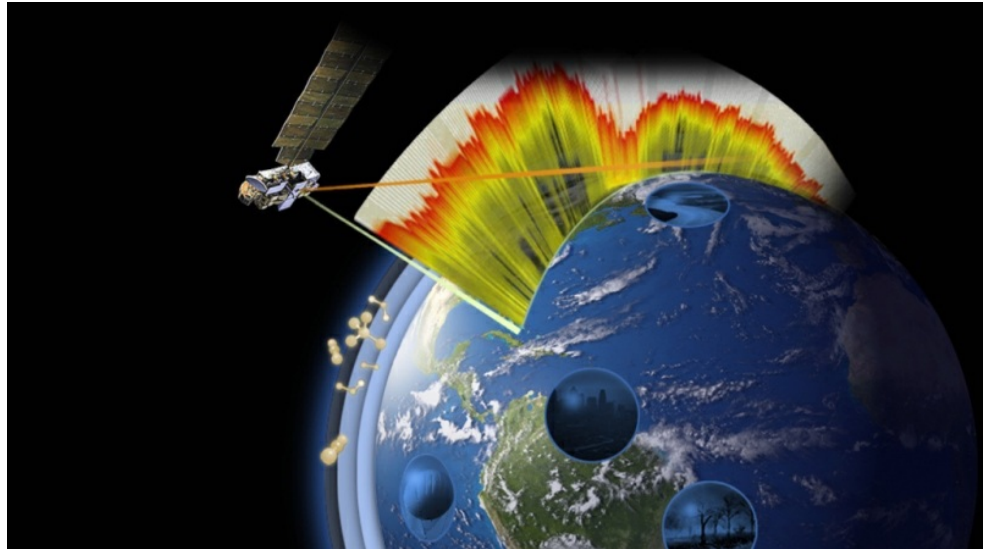
מבוא – שינוי האקלים ותחזיות אקלימיות

הים התיכון מושפע מאוד משינוי האקלים בהווה, וצפוי להמשיך להיות מושפע ממנו ואף בצורה ניכרת יותר גם בעתיד בשל מגמות התחממות והתייבשות [11, 18, 22]. השפעה זאת צפויה להתבטא בשינויים בשכיחות ובעוצמה של השקעים הים תיכוניים באופן כללי, ובשקעי מזרח הים התיכון (בעיקר שקעים קפריסאיים) בפרט, וכן בשינויים בשכיחות המצבים הסינופטיים האחרים באזור.

מזרח אגם הים התיכון ממוקם על הגבול שבין אקלים ים תיכוני ואקלים צחיח למחצה וצחיח, ועל כן הוא רגיש במיוחד לשינויים אקלימיים [12, 32]. אקלים מזרח הים התיכון מאופיין בטמפרטורות מתונות ובאירועי גשם קצרים בעונת החורף [26] ובמזג אוויר חם ויבש עם תנודות מעטות בעונת הקיץ [1].

מחקרים בנושא שינוי האקלים הנצפים באזור מזרח הים התיכון וישראל בעשורים האחרונים הצביעו על מגמת התחממות מובהקת, ועל ירידה בגשמים, ברובה לא מובהקת [34], וזאת יחד עם שינויים באופיין ובשכיחותן של מערכות מזג האוויר באזור. מגמת התחממות של כ-0.2-1 מעלות צלזיוס לעשור נצפתה מעל מזרח הים התיכון בכל עונות השנה, אך בייחוד בעונת הקיץ [18, 31, 33]. אף על פי שמגמות הגשם הנצפות בישראל היו בדרך כלל לא מובהקות בעשורים האחרונים, הן עדיין מצביעות על מגמה אזורית שלילית, שכן מגמה מובהקת באזור ישראל קשה לזיהוי בשל התנודות הבין-שנתיות הגדולות [23]. שינויים בשכיחות מערכות מזג האוויר נצפו גם כן באזור מזרח הים התיכון. זוהתה מגמה שלילית בשכיחות שקעים קפריסאיים (כלומר פחות שקעים מגיעים לאזורנו, ובמשתמע פוחת מספר הימים הגשומים) [4, 30], ועם זאת זוהתה מגמת עלייה מובהקת בשכיחות של אפיק ים סוף בין שנות ה-50 של המאה ה-20 ועד שנת 2000 [4].

מחקרים בנושא **תחזיות** אקלימיות למאה ה-21 בשנים האחרונות הצביעו על מגמת התחממות מובהקת שממשיכה את המגמה שאנו רואים בתצפיות. אף על פי שמגמת התייבשות בתצפיות זוהתה ברובה כלא מובהקת, התחזיות צופות מגמת התייבשות ברורה באזור מזרח הים התיכון וישראל [3, 7-10, 20, 21, 24, 25, 27]. המודל האקלימי האזורי, שהורץ לראשונה בישראל, התמקד בנהר הירדן ובכינרת (בזכות מיזם GLOWA Jordan River, במימון גרמניה) [3]. מחקר המודלים הראשון בסקלה מזו-מטאורולוגית שהצביע על הפחתה בגשמי השקעים הקפריסאיים במספר אירועים עקב הכפלת גזי חממה בישראל נערך כבר ב-1994 [29].



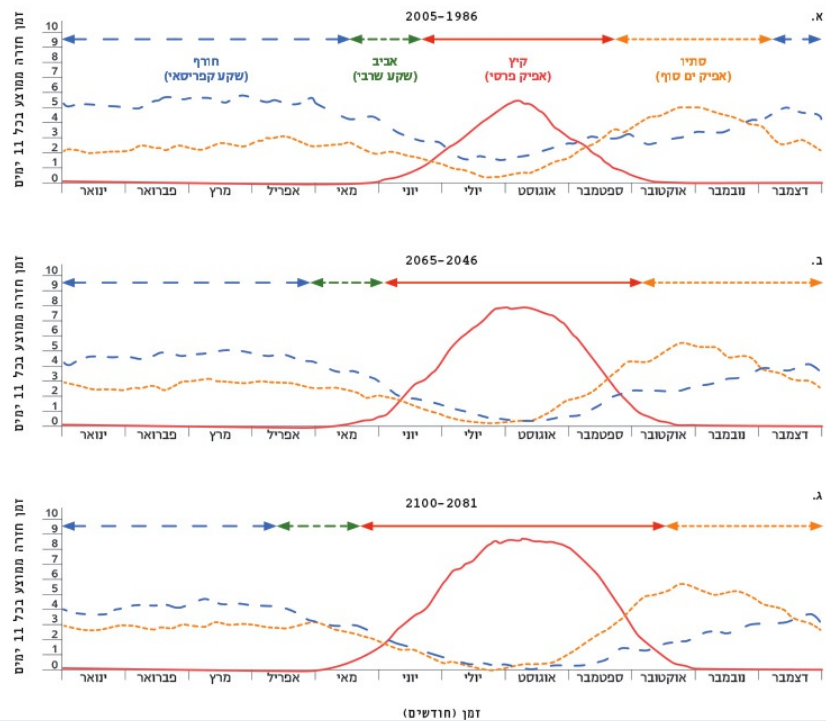
איור של איסוף חוממת ספקטריית של אוזון וגזים אחרים באטמוספירה התחתונה | באדיבות נאס"א

תחזיות אקלימיות למאה ה-21 בשימוש בשיטה חדשנית על פי מצבים סינופטיים

בסדרת מחקרים שנערכו לאחרונה נבחנה השפעת עליית ריכוז גזי החממה על שכיחות מערכות מזג האוויר, על אורך עונות השנה ועל ערכי הקיצון של טמפרטורה וגשם באזור מזרח הים התיכון וישראל. לצורך המחקרים נעשתה התאמה של הסיווג הסינופטי האובייקטיבי למחצה – סיווג שנעזר גם בחזאים בעלי ניסיון רב כדי ליצור בסיס להשוואה אובייקטיבית^[4]. הסיווג החדש הופעל על שמונה מודלים אקלימיים עולמיים מובילים לתקופה "היסטורית" או תקופת "עבר", כלומר לפרק זמן מהעבר הקרוב (1986–2005), לאמצע המאה ה-21 (2046–2065) ולתקופה של סוף המאה ה-21 (2081–2100) עבור התרחישים RCP4.5 ו-RCP8.5. מדובר בתרחישי פליטה של גזי חממה שהאילוץ הקרינתי בהם, הנובע מהעלייה בריכוזים, יהיה בתוספת של 4.5 ו-8.5 ואט למ"ר. הסיווג החדש הצליח יפה בייצוג שכיחות של מערכות מזג אוויר (כלומר המצבים הסינופטיים), ובייחוד הצטיין בסיווג השקעים הקפריסאיים. המשמעות המעניינת (ובהשוואה הלא-טובה מבחינת תושבי ישראל) היא כי שכיחותם של השקעים הקפריסאיים מורידה בגשם בישראל ובאזור מזרח הים התיכון צפויה לרדת בכ-35% לקראת סוף המאה ה-21 בגלל ההתחממות שנגרמת מהעלייה בריכוז גזי חממה^[14] (RCP8.5). בהמשך למחקר זה הופעלה הגדרת העונות החדשה על פי מערכות מזג האוויר^[5] על אשכול של שמונת המודלים האקלימיים העולמיים כדי לחזות את השינויים הצפויים באורך העונות במאה ה-21. האשכול מסוגל למדל היטב את העונתיות של המצבים הסינופטיים העיקריים מעל מזרח הים התיכון. המסקנה מכך היא שעונת הקיץ, המיוצגת על-ידי השכיחות של האפיק הפרסי, צפויה להתארך מאוד, עד כדי שיעור של 49% (כחודשיים), בעוד שעונת החורף, המיוצגת על-ידי שכיחות שקעים קפריסאיים, צפויה להתקצר ב-56% (כחודשיים) בתרחיש RCP8.5 ולקראת סוף המאה ה-21^[15]. איור 1 מציג את משך העונות כיום ואת השינויים באורך עונות השנה בתרחיש החמור של RCP8.5. על פי תרחיש זה, במרבית השנה ישררו בישראל תנאי קיץ, מלבד חורף קצרצר.

השינויים בשכיחות ובעונתיות של המצבים הסינופטיים עלולה להשפיע על תפוסת המשקעים והטמפרטורה בזמן ובמרחב. על כן, בחנו את היכולת של 23 מודלים אקלימיים עולמיים למדל ערכי קיצון של משקעים מעל הסהר הפורה ומזרח הים התיכון. השתמשנו באשכול של מודלים אלה כדי לחזות את ערכי הקיצון של משקעים מעל האזורים האלה לסוף המאה ה-21 על פי תרחישים RCP4.5 ו-RCP8.5. מעל מזרח הים התיכון המודלים מסכימים לגבי ירידה בכמויות המשקעים השנתיות ב-20-35%, ברצף הימים הרטובים ב-20-10% ובמספר ימי הגשם ב-20-35%. מעל הסהר הפורה ערכי הקיצון (האחוזון ה-95) של כמות הגשם היומית צפויים דווקא לעלות בכ-25%. לעומת זאת, בדרום-מזרח הים התיכון מדד זה צפוי לרדת^[28]. ראוי לציין, כי דווקא עלייה בגשמים העזים למרות הפחתה בכמויות הגשמים הכוללת זוהתה באזורים רבים במרחב הים התיכון (למעט בדרום-מזרח כאמור לעיל) בעבר, והוגדרה כפרדוקס (כי ברוב העולם המגמה של הגשמים העזים זהה למגמה בסך הגשם) שמאפיין דווקא את אזור הים התיכון^[2].

איור 1. השינויים באורך ארבע עונות השנה בהתאם להגדרתן על פי מערכות מזג אוויר^[5] הממוצעים של שמונת המודלים העולמיים מוצגים עבור אפיקים פרטיים (קיץ), שקעים שרביים (אביב), אפיקי ים סוף (סתיו) ושקעים קפריסאיים (חורף). התקופות המוצגות הן: א) 2005-1986 כמייצגת את תקופה הנוכחית; ב) 2065-2046 כמייצגת את אמצע המאה ה-21; ג) 2100-2081 כמייצגת את סוף המאה ה-21. התוצאות הן על פי אשכול המודלים האקלימיים שצוינו לעיל ובתרחיש של התחממות גבוהה הנקרא RCP8.5. האזור מתוך Hochman ואחרים^[15].



איור 1 השינויים באורך ארבע עונות השנה בהתאם להגדרתן על פי מערכות מזג אוויר^[5]

הממוצעים של שמונת המודלים העולמיים מוצגים עבור אפיקים פרטיים (קיץ), שקעים שרביים (אביב), אפיקי ים סוף (סתיו) ושקעים קפריסאיים (חורף). התקופות המוצגות הן: א) 2005-1986 כמייצגת את תקופה הנוכחית; ב) 2065-2046 כמייצגת את אמצע המאה ה-21; ג) 2100-2081 כמייצגת את סוף המאה ה-21. התוצאות הן על פי אשכול המודלים האקלימיים שצוינו לעיל ובתרחיש של התחממות גבוהה הנקרא RCP8.5. האזור מתוך Hochman ואחרים^[15].

תחזיות אקלימיות למאה ה-21 בשימוש במודל בהפרדה הגבוהה ביותר

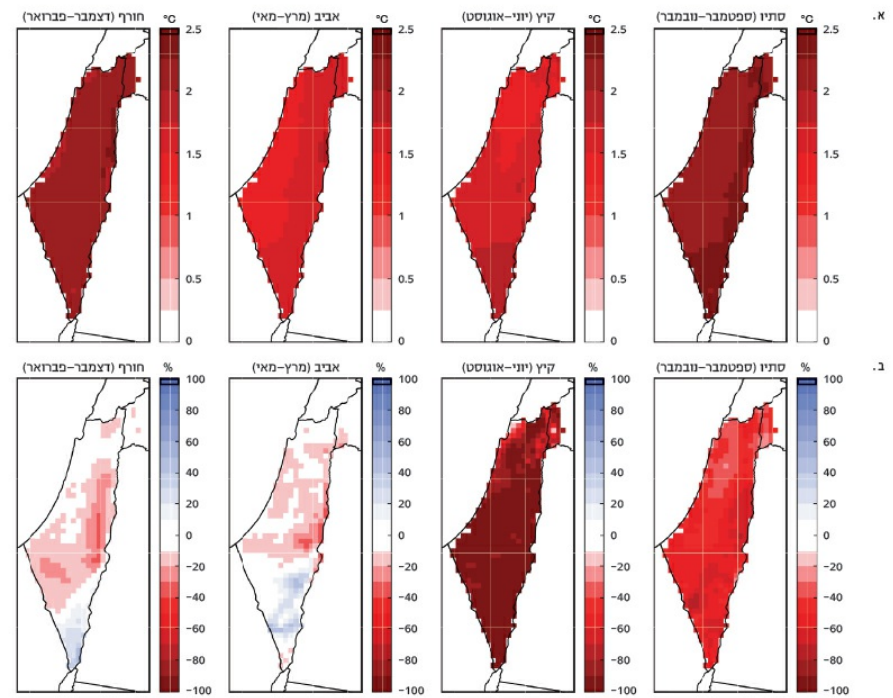
לאחרונה השתמשנו במודל COSMO-CLM ברזולוציה האקלימית הגבוהה ביותר (8 ק"מ מרחק סריג או גודל של פיקסל במודל) שנעשתה בישראל, כדי לחזות את ערכי הקיצון וממוצעי הגשם והטמפרטורה אצלנו לתקופה 2041-2070 ביחס לממוצע של התקופה 1981-2010 וכן גם לתרחיש RCP4.5. הריצות דרשו זמני מחשוב גדולים מאוד, ונעשו בשיתוף עם חוקרים מאיטליה. התוצאות מלמדות שממוצעי הטמפרטורה העונתיים צפויים לעלות בכ-2.5 מעלות, בייחוד בחורף ובסתיו (איור 2). ערכי הקיצון של הטמפרטורה הראו גם הם עלייה, שערכה גדול יותר בערכי המינימום מאשר המקסימום. תופעה זו של הקטנה במשרעת היומית של הטמפרטורה (כלומר בהפרש היממתי בין הטמפרטורה הקרה לחמה) היא עולמית. גורמה נחקרו בישראל בפירוט, ונמצא כי הלחות האטמוספירית היא הגורם הדומיננטי^[6]. כמו כן, נחזתה ירידה של עד 40% בכמויות הגשם העונתיות באזור הצפון והמרכז של ישראל, בעוד שבדרום נחזתה עלייה בחורף ובאביב (איור 2). עלייה בערכי הקיצון של הגשם נחזתה בייחוד באזורים הדרומיים של ישראל, עם סימנים מסוימים לעלייה בערכי הקיצון גם בצפון^[17,13]. מגמות דומות נחזו לסוף המאה ה-21 גם במחקר שהשתמש בשישה מודלים אקלימיים וב-18 תחנות גשם מעל ישראל^[16].

איור 2

תחזיות של השינויים לשנים 2041–2070 לעומת 1981–2010, בתרחיש של התחממות בינונית (RCP4.5) (א) בממוצעי טמפרטורה עונתיים (במעלות צלזיוס), (ב) בממוצעי גשם (באחוזים)

מתוך: Hochman ואחרים [17]

איור 2. תחזיות של השינויים לשנים 2041–2070 לעומת 1981–2010, בתרחיש של התחממות בינונית (RCP4.5) (א) בממוצעי טמפרטורה עונתיים (במעלות צלזיוס), (ב) בממוצעי גשם (באחוזים) מתוך: Hochman ואחרים [17]



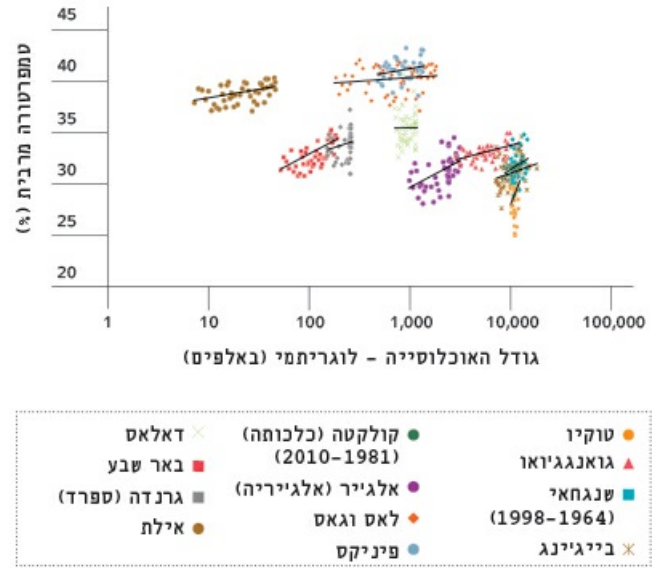
תחזיות אקלימיות עירוניות למאה ה-21

המודלים האקלימיים שהוצגו עד כה גם בהפרדה מרחבית גבוהה ביותר אינם מסוגלים לייצג בצורה אמיתית את ההשפעות המקומיות של העיר. לשם כך, הצענו שיטה חדשה שמאפשרת ניתוח של ההשפעה העירונית למאה ה-21 עם השוואה לתרומה שנובעת מן ההתחממות העולמית [19]. בדיקה של מגמות ארוכות טווח בקיץ בערים מרכזיות בעולם, על פי קצב גידול האוכלוסייה וגודל האוכלוסייה, מאפשרת ראייה טובה ומקומית של מגמות הטמפרטורה ההיסטוריות בערים מרכזיות בישראל (איור 3). חישוב החלק של טמפרטורת האוויר העירונית הצפויה עד שנת 2060 נעשה באמצעות המודל האקלימי RegCM על פי שלושת תרחישי גידול באוכלוסייה – העיר שומרת על גודל אוכלוסייתה, אוכלוסייתה העיר ממשיכה לגדול בקצב אחיד ואוכלוסיית העיר גדלה במהירות.

מצאנו כי הגידול בטמפרטורה בשעה 15:00 חזק משמעותית מזה של שעות הבוקר; בירושלים ובאילת עלייה של כ-0.3 מעלות לעשור ובבאר שבע של כ-0.15 מעלות. ערכי הגידול העירוניים בטמפרטורות משמעותיים ביותר ומסדר גודל דומה לערכים שנובעים מן ההתחממות בסקלה העולמית.

לנוצאות המחקר השלכות יישומיות על תהליכי תכנון, בנייה ועיור. עולה מכאן כי יש צורך בבנייה עירונית מודעת אקלים ובפיתוח אסטרטגיות למיתון תהליכי ההתחממות העירוניים. ישנן השלכות חשובות של ההתחממות הגלובלית והעירונית גם יחד על ההחמרה הניכרת בנוחות התרמית על האדם הגר בעיר בעתיד הקרוב.

איור 3. שינוי טמפרטורת האוויר המרבית בערים גדולות שינוי הטמפרטורה העירונית המרבית בערים גדולות בעולם ובערים בישראל, לעומת גידול באוכלוסייתן לשנים 1964–2010 (למעט שתי התחנות המצוינות במקרא).



איור 3

שינוי טמפרטורת האוויר המרבית בערים גדולות

שינוי הטמפרטורה העירונית המרבית בערים גדולות בעולם ובערים בישראל, לעומת גידול באוכלוסייתן לשנים 1964–2010 (למעט שתי התחנות המצוינות במקרא).

סיכום

אחד מן האתגרים הגדולים ביותר בחיזוי שינוי האקלים בכלל, ובישראל בפרט, הוא הורדת סקלת המרחק (והזמן) הרלוונטית לאזור הנחקר (downscaling). עניין זה נעשה קריטי באופן כללי, ובייחוד בחיזוי של ירידת הגשם הצפויה באזור עם שינויים טופוגרפיים ופני שטח גדולים, למשל, באגן הניקוז של הכינרת או ים המלח, וזאת משום שמרחק סריג המודל הטיפוסי במודלים האקלימיים איננו מכיל ואיננו מכסה באופן אמיתי את התהליכים הפיזיקליים והדינמיים שקובעים את מזג האוויר שם, שמתרחשים בסקלות מרחק קטנות יותר (למשל, יצירת עננים ומשקעים). בסדרה של מאמרים שפרסמנו משנת 2016 בספרות המדעית, הפעלנו מגוון של שיטות חדשניות להורדת הסקלה של הטמפרטורה ושל הגשם מעל המזרח התיכון עם התמקדות באקלים החזוי של ישראל ובאזורים שונים. באופן דומה, אתגר קשה אחר קשור לאי-יכולתם של המודלים האקלימיים המקובלים "לראות" שינויים עירוניים, משום שהם מתרחשים בסקלה קטנה מדי למרחק הסריג הטיפוסי במודלים אלה.

הלכה למעשה

לצורך היערכות משרדי הממשלה והמגזרים השונים לשינוי האקלים, יש צורך בתחזיות מדויקות ככל הניתן. רוב התחזיות לאזורנו מבוססות על תוצאות מודלים אקלימיים גסים, שאינם מסוגלים לתאר כהלכה תהליכים מטאורולוגיים חשובים, כגון חלק ממנגנוני יצירת המשקעים בחורף (התכנסות רוחות בקו החוף, השפעתם של ההרים על היווצרות ענני גשם) או מהלך הבריזה וגובה האינורסיה בקיץ. הנחת העבודה המקובלת היא שלמרות זאת, יש בהם ערך כמסמנים את המגמות הכלליות. אף על פי כן, היות שהם מתקשים לדמות כהלכה את האקלים הנוכחי, קיים קושי לבצע השקעות חריגות לצורך היערכות לעתיד

תוך התבססות עליהם. לפיכך, הגישה הרווחת בממשלה היא נקיטת צעדי אי-חרטה. כדי להגיע לתחזיות מדויקות יותר יש להריץ מודלים אקלימיים ברזולוציה גבוהה, ולשם כך נכון לממש את החלטת הממשלה בנדון ולהקים מרכז חישובים אקלימי לאומי, שישמש משאב לחוקרי האקלים באקדמיה ולממשלה. הנושא נדון בימים אלה במנהלת ההיערכות לשינוי אקלים.

ניר סתיו, מנהל השירות המטאורולוגי

מקורות

- Alpert P, Abramsky R, and Neeman BU. 1990. The prevailing summer synoptic system in Israel – Subtropical high, not Persian trough. *Israel Journal of Earth Sciences* **39**: 93-102
- 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): 31-1–31-4
- Alpert P, Krichak SO, Shafir H, et al. 2008. Climatic trends to extremes employing regional modeling and statistical interpretation over the E. Mediterranean. *Global and Planetary Change* **63**: 163-170
- Alpert P, Osetinsky I, Ziv B, and Shafir H. 2004a. Semi-objective classification for daily synoptic systems: Application to the Eastern Mediterranean climate change. *International Journal of Climatology* **24**: 1001-1011
- Alpert P, Osetinsky I, Ziv B, and Shafir H. 2004b. A new season's definition based on classified daily synoptic systems: An example for the Eastern Mediterranean. *International Journal of Climatology* **24**: 1013-1021
- Barkan J, Shafir H, and Alpert P. 2019. [Multi-factor analysis of DTR variability over Israel in the sea/desert border](#). *Theoretical and Applied Climatology*
- Black E. 2009. The impact of climate change on daily precipitation statistics in Jordan and Israel. *Atmospheric Science Letters* **10**: 192-200
- Chenoweth J, Hadjinicolaou P, Bruggeman A, et al. 2011. Impact of climate change on the water resources of the eastern Mediterranean and Middle East region: Modeled 21st century changes and implications. *Water Resources Research* **47**: W06506
- Evans JP. 2009. 21st century climate change in the Middle East. *Climatic Change* **92**: 417-432
- Evans JP. 2010. Global warming impact on the dominant precipitation processes in the Middle East. *Theoretical and Applied Climatology* **99**: 389-402

- Giorgi F. 2006. Climate change hot spots. *Geophysical Research Letters* **33**: .11
.L08
- Giorgi F and Lionello P. 2008. Climate change projections for the .12
.Mediterranean region. *Global and Planetary Change* **63**: 90-104
- Hochman A, Bucchignani E, Gershtein G, et al. 2018. Evaluation of .13
regional COSMO-CLM climate simulations over the Eastern
Mediterranean for the period 1979–2011. *International Journal of Climatology* **38**:
.1161-1176
- Hochman A, Harpaz T, Saaroni H, and Alpert P. 2018. Synoptic .14
classification in 21st century CMIP5 predictions over the eastern
Mediterranean with focus on cyclones. *International Journal of Climatology* **38**:
.1476-1483
- Hochman A, Harpaz T, Saaroni H, Alpert P. 2018. The seasons' length .15
in 21st century CMIP5 projections over the Eastern Mediterranean.
International Journal of Climatology **38**(6): 2627-2637
- Hochman A, Kunin P, Alpert P, et al. 2019. Weather regimes and .16
analogues downscaling of seasonal precipitation for the 21st century;
A case study over Israel. *International Journal of Climatology*
DOI:10.1002/joc.6318
- Hochman A, Mercogliano P, Alpert P, et al. 2018. High-resolution .17
projection of climate change and extremity over Israel using COSMO-
.CLM. *International Journal of Climatology* **38**(14): 5095-5106
- IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. .18
Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the
Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker TF, Qin D,
Plattner GK, et al. (Eds)]. Cambridge (UK) and New York (USA):
.Cambridge University Press
- Itzhak-Ben-Shalom H, Samuels R, Potchter O, and Alpert P. 2016. .19
Recent trends and future predictions until 2060 of urban warming in
four Israeli cities employing the RegCM climate model. *American Journal of*
Climate Change **5**(04): 464-484
- Krichak SO, Alpert P, Bassat K, and Kunin P. 2007. The surface .20
climatology of the eastern Mediterranean region obtained in a three-
member ensemble climate change simulation experiment. *Advances in*
Geosciences **12**: 67-80
- Lelieveld J, Hadjinicolaou P, Kostopoulou E, et al. 2012. Climate .21
change and impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle
.East. *Climatic Change* **114**: 667-687
- Lelieveld J, Proestos Y, Hadjinicolaou P, et al. 2016. Strongly .22
increasing heat extremes in the Middle East and North Africa (MENA)

- .in the 21st century. *Climatic Change* **137**. DOI:10.1007/s10584-016-1665-6
- Morin E. 2011. To know what we cannot know: Global mapping of minimal detectable absolute trends in annual precipitation. *Water Resources Research* **47**: W07505 .23
- Önol B and Semazzi FHM. 2009. Regionalization of climate change simulations over the eastern Mediterranean. *Journal of Climate* **22**: 1944-1961 .24
- Peleg N, Bartov M, and Morin E. 2015. CMIP5-predicted climate shifts over the East Mediterranean: Implications for the transition region between Mediterranean and semi-arid climates. *International Journal of Climatology* **35**: 2144-2153 .25
- Saaroni H, Halfon N, Ziv B, et al. 2010. Links between the rainfall regime in Israel and location and intensity of Cyprus lows. *International Journal of Climatology* **30**: 1014-1025 .26
- Samuels R, Harel M, and Alpert P. 2013. A new methodology for weighting high resolution model simulations to project future rainfall in the Middle East. *Climate Research* **57**: 51-60 .27
- Samuels R, Hochman A, Baharad A, et al. 2017. Evaluation and projection of extreme precipitation indices in the eastern Mediterranean based on CMIP5 multi-model ensemble. *International Journal of Climatology* **38**(5): 2280-2297 .28
- Segal M, Alpert P, Stein U, and Mandel M. 1994. On the 2xCO₂ potential climatic effects on the water balance components in the Eastern Mediterranean. *Climatic Change* **27**: 351-371 .29
- Shohami D, Dayan U, and Morin E. 2011. Warming and drying of the eastern Mediterranean: Additional evidence from trend analysis. *Journal of Geophysical Research* **116**: D22101 .30
- Yosef Y, Aguilar E, and Alpert P. 2018. Detecting and adjusting artificial biases of long-term temperature records in Israel. *International Journal of Climatology* **38**(8): 3273-3289 .31
- Zhang X, Aguilar E, Sensoy S, et al. 2005. Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *Journal of Geophysical Research* **110**: D22104 .32
- Ziv B, Saaroni H, and Alpert P. 2005. The factors governing the summer regime of the Eastern Mediterranean. *International Journal of Climatology* **24**: 1859-1871 .33
- Ziv B, Saaroni H, Pargament R, et al. 2014. Trends in the rainfall regime over Israel, 1975–2010, and their relationship to large-scale variability. *Regional Environmental Change* **14**(5): 1751-1764 .34

קריאה נוספת

מאמר המציג את הבסיס המדעי לשינויים הצפויים באורך עונות השנה באזורנו במאה ה-21.

Hochman A, Harpaz T, Saaroni H, and Alpert P. 2018. The seasons' length in 21st century CMIP5 projections over the eastern Mediterranean. *International Journal of Climatology* **38**(6): 2627-2637.

מאמר המציג את אופן איסוף הנתונים מתחנה מטאורולוגית, ניתוחם והצגתם, וכן מספק בסיס טוב להבנת ניתוח הנתונים ושינוי האקלים המקומי בעקבות השינוי העירוני.

Itzhak-Ben-Shalom H, Samuels R, Potchter O, and Alpert P. 2016. Recent trends and future predictions until 2060 of urban warming in four Israeli cities employing the RegCM climate model. *American Journal of Climate Change* **5**(04): 464-484.