

## דו"ח מספר 1. שינויי אקלים בישראל. אביב אבישר והילה גיל

תרחישי ייחוס לשינויי אקלים על פי הפנל הבין ממשלתי לשינויי אקלים (ה- IPCC):

שינויי אקלים הינו תופעה גלובלית המשפיעה על כלל השטחים היבשתיים והימיים על פני כדור הארץ. בהתאם ישנה הבנה כי נדרשת הירתמות של כלל מדינות העולם לשינויי המגמה. לצורך סגירת פערי הידע, איסוף וניתוח המידע והצגת הסיכונים הצפויים, הוקם ב-1988 הפנל הבין ממשלתי לשינויי אקלים (ה- IPCC). הפנל, המונה מעל ל-2500 מדענים מכל רחבי העולם, הוקם ע"י הארגון המטאורולוגי העולמי (WMO) ותכנית הסביבה של האו"ם (UNEP). בשנת 2014, בדו"ח ההערכה החמישי של הארגון נקבע באופן חד משמעי כי ישנה עלייה משמעותית בריכוז גזי החממה באטמוספירה, ושעלייה זו גורמת להתחממות של המערכות האקלימיות<sup>11</sup>. הדו"ח כלל שימוש במודלים שהתבססו על נתוני עבר וגזרו תחזית לעתיד, וביססו מדד משותף, ה- RPC (Representative Concentration Pathway) המבא את ריכוז גזי החממה באטמוספירה בשנת 2100. RPC נבחן תחת ארבעה תרחישי ניהול הנבדלים זה מזה ביכולת של המין האנושי להפחית ביעילות את הפליטות. תרחיש RPC 4.5 מהווה את התרחיש האופטימי אשר בו מדינות העולם מתגייסות להפחתה משותפת בפליטות גזי החממה, שתגענה למקסימום בין השנים 2030 ל-2040 ולאחר מכן תפחתנה. התרחיש הפסימי (RCP 8.5) מתאר "עסקים כרגיל" בו לא ננקטות פעולות לצמצום פליטת גזי החממה, והן תמשכנה לעלות ללא הפסקה במהלך כל המאה ה-21. תחת תרחיש הביניים, RCP 6.0, פליטת גזי החממה תגענה למקסימום בין 2070 ל-2080 ולאחר מכן תפחתנה. היעד שהציב ה-IPCC עומד על הפחתה של 45% מהפליטות עד שנת 2030 ועל אפס פליטות עד לשנת 2050<sup>11</sup>.

שינויי אקלים בישראל

עלייה בטמפרטורה הממוצעת

ב 2015 ה- IPCC התריע כי לעלייה של יותר משתי מעלות צלזיוס, תהיינה השלכות חמורות על כדור הארץ, וכתוצאה מכך על המערכות הטבעיות התומכות במין האנושי. בישראל, משנת 1950 עד 2017 הטמפרטורה הממוצעת בישראל כבר עלתה בכ-1.4 מעלות צלזיוס. אגן הים התיכון הממוקם על קו המדבריות העולמי, רגיש במיוחד לשינויים אקלימיים. מדו"ח עדכני של השירותים המטאורולוגיים (2019)<sup>5</sup>, עולה כי תחת תרחיש "עסקים כרגיל" (RCP 8.5) ההתחממות צפויה להימשך ולעלות עד סוף המאה הנוכחית בעוד כ-4 מעלות צלזיוס (סה"כ 5.4 מעלות צלזיוס ביחס ל-1950). תחת תרחיש אופטימי (RCP 4.5), בו פליטות גזי החממה העולמיות תגענה

למקסימום בין השנים 2030 ל- 2040 ולאחר מכן תפחתנה, ניתן לראות מעיין התייצבות סביב תוספת ממוצעת של כ- 1.5 מ"צ (סה"כ 2.9 מעלות צלזיוס ביחס ל 1950) עד לסוף המאה.

בכל מקרה, קיימת מגמה מובהקת של התחממות בכל חלקי הארץ כאשר באזורים המערביים של ישראל (מישור החוף, השפלה, צפון הנגב ואזור ההר) שיעור ההתחממות גדול יותר מאזורים הפנימיים. שיעור ההתחממות בקיץ גבוה יותר, הן עבור טמפ' מקסימום והן עבור טמפ' מינימום וצפויה להגיע תחת התרחיש החמור לעלייה ממוצעת של 5 מעלות צלזיוס בקיץ עד לסוף המאה. חודשי החורף מתחממים במידה פחותה עם שיעור גידול ממוצע של 3.5 מ"צ עד לסוף המאה<sup>3,5</sup>.

### עליית הטמפרטורה בים התיכון והשפעתה על משטר הגשמים בתחילת החורף

השינוי בטמפרטורת האוויר מתבטא גם בעליית הטמפרטורה הממוצעת בים התיכון. מנתונים עדכניים שפורסמו ע"י ה- IPCC (2019) עולה כי טמפרטורת המים הממוצעת של דרום מזרח אגם הים התיכון עלתה בשלוש מעלות צלזיוס בממוצע ב- 30 השנים האחרונות<sup>7</sup>. מנתוני המכון לחקר ימים ואגמים עולה כי ההתחממות, ההתמלחות וההחמצה של שכבת המים העליונה גדולה בהרבה מהתחזית של ה- IPCC. המשמעות של עליית הטמפרטורה היא הגברת אידוי מי הים מחד, ועליה ביכולת תאחיזת המים באוויר מאידך. הדבר מוביל לעלייה חדה בעוצמות הגשם בפרקי זמן שונים שנבחנו (טווחים של 10 ד', עוצמות שעתיות ויממיות) במישור החוף והשפלה<sup>1</sup>. עלייה זו בעוצמות המשקעים מתבטאת בעיקר בסתיו ובתחילת החורף (נובמבר עד ינואר), עד להתמתנות עוצמות הגשמים עם התקררות העונתית של הים התיכון<sup>1</sup>. המגמה של התחממות הים והשפעתה על גשמי הסתיו ותחילת החורף צפויה להמשך עם התחממות הכללית<sup>13</sup>.

### הפחיתה במשקעים ושינוי בתפרוסת הגשם

ככלל, בשלושים השנים האחרונות ישנה מגמת הפחתה בכמות המשקעים הכללית בישראל על אף שאינה מובהקת סטטיסטית. מגמות הגשמים עד כה (1953-2020), והן מודלים לתחזיות עתידיות, מצביעים על פחיתה במספר ימי הגשם יחד עם עליה במשך תקופות היובש. בעוד השינוי בטמפרטורות העבר מובהק, מגמות השינוי במשקעים מאופיינות בשונות גבוהה ולרוב אינן מובהקות<sup>12,5</sup>. קיים קושי לזהות מגמה מובהקת באזור ישראל בשל התנודות הבין-שנתיות הגדולות. על בסיס מדידות גשם משנת 1952 ניתן לראות ירידה (לא מובהקת) בכמות המשקעים באזור הגליל המזרחי, הגליל העליון, רמת הגולן, ובחלקים מאזור החוף והשפלה במרכז הארץ. בחלקו

הדרום מזרחי של רכס הכרמל, בשפלת שומרון ויהודה, מישור החוף הדרומי ובצפון הנגב, נצפית מגמה (לא מובהקת) של עליה ממוצעת בכמות המשקעים. בחינת הממוצע הכלל ארצי של המשקעים מצביעה על מגמת ירידה בשלושים השנים האחרונות של כ-25 מ"מ לכל עשור, בעוד שהמגמה ארוכת הטווח בשנים 1951-2017, מצביעה רק על הפחתה של כ-4 מ"מ לעשור<sup>5</sup>. מניתוח הנתונים משנים אלה עולה כי קיימת הפחתה בכמות המשקעים ובמספר הימים הגשומים עם נטייה לאירועי גשם קיצוניים<sup>8</sup>. על פי גבעתי (2021)<sup>2</sup> כמויות המשקעים בשקלול ארצי צפויות לפחות בכ-5 אחוזים בתקופה 2020-2050 ביחס לתקופה 1975-2005. אולם, נפחי המילוי החוזר באגנים הצפוניים ובאזורי ההר עשויים לפחות בכ-20% בהתאמה. לטענתו, מודלים הידרולוגיים מצביעים על שינוי ביחס גשם\העשרה\מילוי חוזר אשר ישפיע על שינוי ביעילות המשקעים כך שפחיתה של 5% במשקעים תגרום לירידה גדולה הרבה יותר בנפחי המילוי החוזר (המים במאגרים). יש לציין שחוקרי אקלים סבורים שבשל השינויים החדים במגמות האקלים בשנים האחרונות, ממוצעים המתבססים על נתוני גשם מעשרות שנים לאחור אינם מייצגים עוד את המציאות בעידן של שינוי אקלים. לצורך תחזית אמינה יש לנתח אך נתונים מ-15 השנים האחרונות<sup>1</sup>.

על פי מודלים אקלימיים מגמה הפחתת המשקעים צפויה להמשך בשיעור ממוצע של 10-20 אחוזים ברבעון האחרון של המאה, לצד תחזית לרצפי שנים שחונות, בעיקר בצפון ארץ, ואיתה הירידה במילוי האוגר באזור זה<sup>6</sup>. בתחזיות אקלים שנערכו ע"י הוכמן וחובריו נמצאה ירידה של כ-40% בכמות המשקעים בצפון ובמרכז האזור הים-תיכוני של ישראל, ועליה של 40% בכמויות המשקעים ברוב החלקים הצחיחים בישראל, במהלך החורף והאביב. דפוס מרחבי זה נובע ככל הנראה מירידה בהתרחשויות של ציקלונים, שמשפיעים בעיקר על החלקים הצפוניים והמרכזיים של ישראל, ועלייה בפעילות הסעתית (convective activity) בדרום<sup>10</sup>.

מחקר אחר שבוצע בישראל<sup>9</sup> בחן את הזרימות החזיוניות בנחלי אגן הכינרת בעשורים הבאים של המאה ה-21. על פי המודלים האקלימיים צפויה בעשורים הבאים עלייה בתדירות תקופות הבצורת, חומרתן ואורכן באגן הכינרת, בשני התרחישים, וביתר שאת בתרחיש RCP8.5. על פי שני התרחישים תתקבל עלייה בהתאדות הפוטנציאלית באגן, ירידה בכמויות המשקעים, ירידה בנפחי הזרימה בירדן ופגיעה ביעילות הגשם (כלומר שהיחס בין הגשם לנגר ישתנה). בעוד הירידה בכמויות המשקעים צפויה להסתכם בכ-5 עד 15 אחוזים הרי שהירידה הצפויה בנפחי הזרימה בירדן חדה הרבה יותר: בין 20% ל 50% עד סוף המאה בתרחישים השונים. גבעתי (2021) מציין כי כבר בשנים 2020-2050 צפויה פחיתה בנפחי הזרימה בירדן העליון של 13% עפ"י תרחיש RCP 4.5 ושל 19% עפ"י תרחיש RCP 8.5. כפי שמשקף כבר עתה בתצפיות, מתקבלת ירידה בשיעור של כ-50% בכמות הנגר במאגרים ברמת הגולן בגין ירידה של כ-20% בלבד בכמות המשקעים.

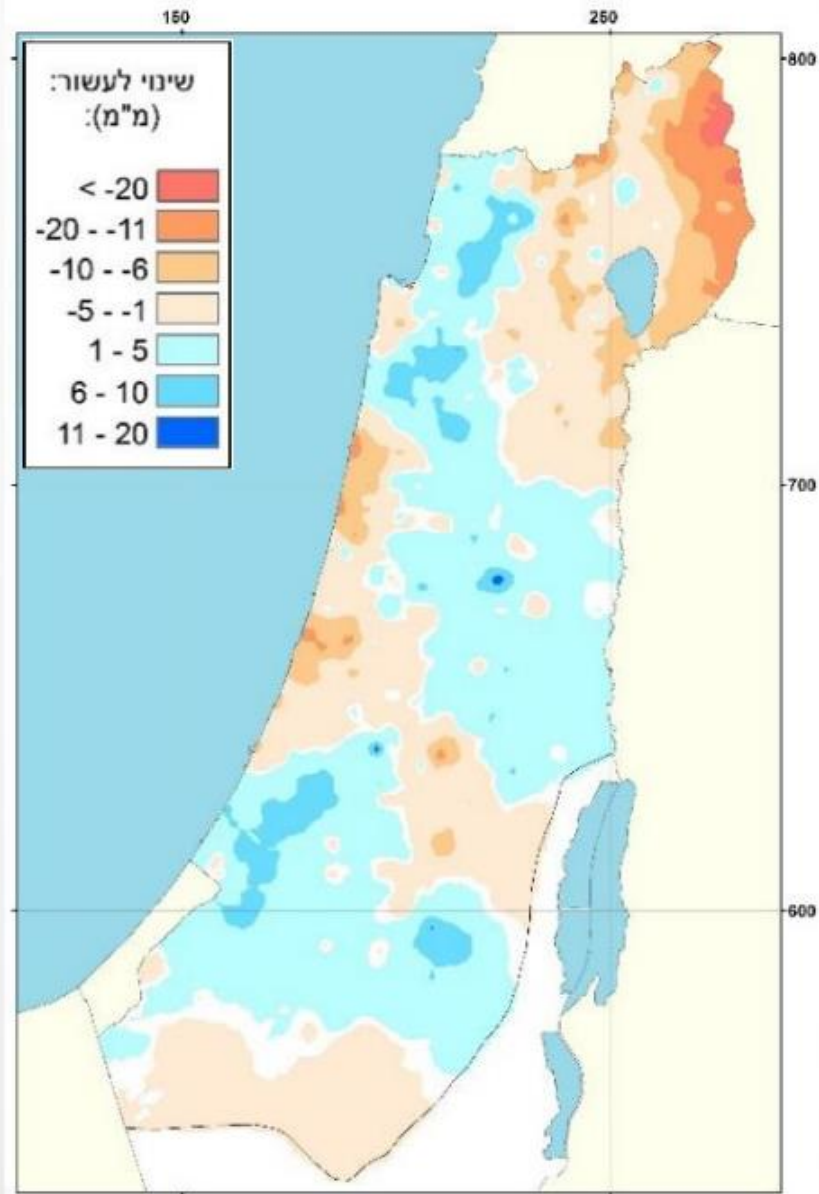
שינוי האקלים מתבטא, אם כן, במספר מאפיינים עיקריים: התקצרות עונת הגשמים ב- 7 ימים בממוצע מאז שנות ה-250, שינוי תפוסת המשקעים במרחב ובזמן. השינוי במרחב מתבטא בעיקר בפחיתה במשקעים באגנים הצפון מזרחיים בשונה מאזור המרכז ומישור החוף<sup>12</sup>, ואילו השינוי בזמן מתבטא בעליה בעוצמת הגשם הימתית, עליה במספר פרקי היובש (5 ימים ברצף ללא משקעים), התארכות "תקופות היובש" (ימים ללא גשם בעונת הגשמים), עליה בהתאדות וירידה בתכולת הרטיבות בקרקע<sup>2</sup>. העלייה באירועי אקלים קיצוניים מתבטאת באירועי גשם סוערים בפרקי זמן קצרים הגורמים בשילוב של תכנון לקוי במרחבים העירוניים והסדרת הנחלים, לעליה בנגר העילי, התגברות סחיפת הקרקע ועליה באירועי שיטפון והצפות באזור מישור החוף.

### שינוי בגובה פני הים והשפעתו על קו החוף ואקוויפר החוף

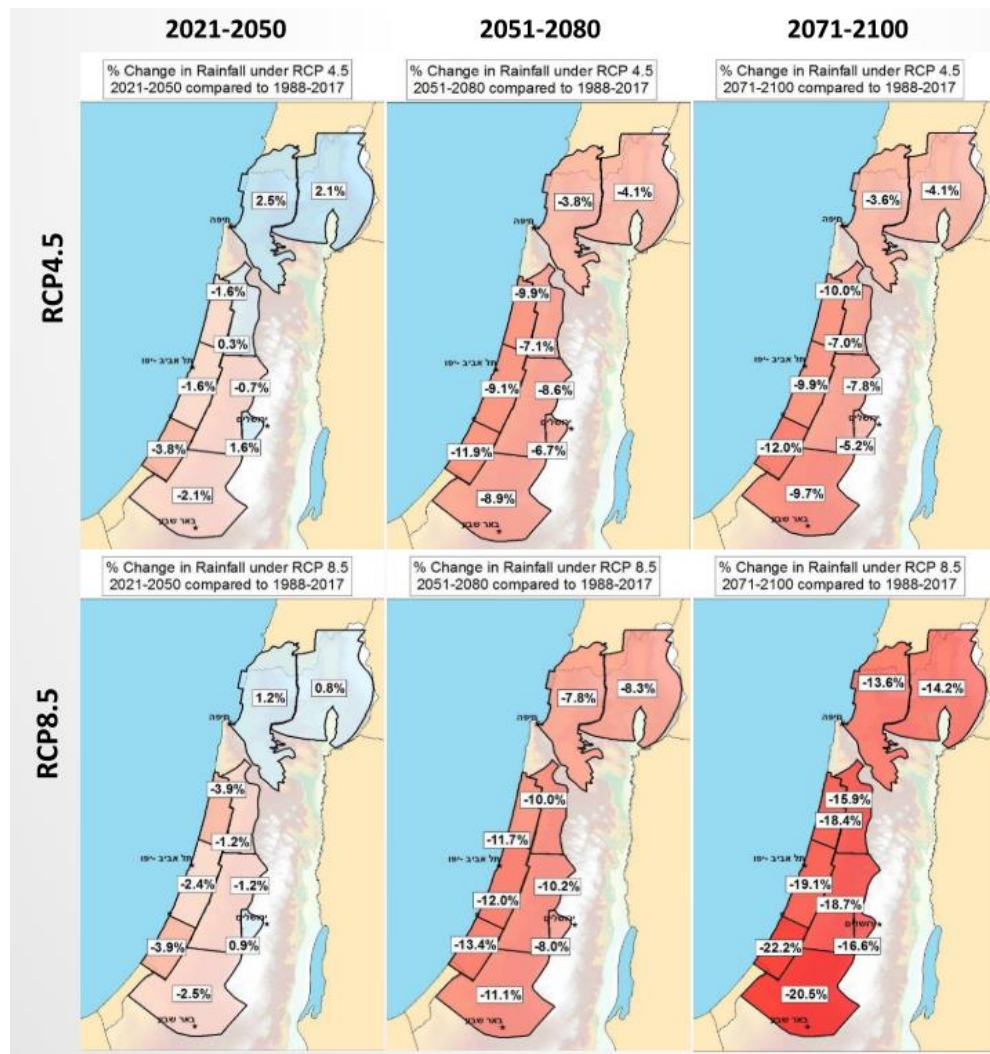
על פי ניתוח המכון לחקר ימים ואגמים<sup>7</sup> נמדדה עליה ממוצעת של מפלס הים התיכון ב 4.7 מ"מ בשנה, לעומת עליה של 3.2 מ"מ בלבד בממוצע הגלובלי. עליית מפלס הים צפויה להביא לשינוי קו החוף והגברת השחיקה של המצוק החופי, עלייה במשכי הזמן של ההצפה של אזורי חוף רדודים וחדירת מי הים לאסטוארים (שפכי הנהר) של מוצאי נחלים. כמו כן, צפויה המשך ההמלחה של האקוויפר החופי שנפגע עקב שאיבת יתר, וחדירת הפן הביני (קו המגע בין מי הים למים התהום המתוקים) מזרחה.

לסיכום, שינוי האקלים שתוארו כבר הביאו לעלייה בטמפרטורת האוויר והמים שבתורה מעודדת אירועי אקלים קיצוניים בעיקר בתחילת החורף. לשינוי בכמות ובתפוסת המשקעים השלכות הידרולוגיות משמעותיות שיתבטאו בירידה ביעילות המשקעים, בהפחתת נפחי המילוי החוזר באגנים הצפוניים ובאקוויפר ההר<sup>12</sup> ובירידה בשפיעת מעיינות<sup>6</sup>.

## מגמות השתנות המשקעים לתקופה 2019/20-1952/3



מ"מ/עשור חושב באמצעות Theil-Sen estimator



השינוי באחוזים [%]  
ביחס לממוצע  
המשקעים בתקופה  
2017-1988

איומים מתוך המצגת של יצחק יוסף, מנהל תחום קלימטולוגיה סטטיסטית, אגף אקלים. השירות המטאורולוגי הישראלי. משרד התחבורה. עבודה זו הוצגה במפגש מנהלת ההיערכות לשינוי אקלים (16.2.21)

## ספרות

1. גבעתי, ע', 2021. מגמות בעוצמות הגשם ואירועי הצפות במישור החוף: המונסון הים תיכוני. מצגת שהוצגה ביום עיון של אגמה 11.3.21
2. גבעתי, ע', 2021. השפעות שינויי האקלים על המחזור ההידרולוגי והיצע מקורות המים בצפון ישראל. כנס מים, תל-חי.
3. זיו, ב', דרורי, ר', סערוני, ה', אטקין, ע' ושפר, א'. 2021. מגמות שינוי במשטר הגשם בישראל בשנים 1975-2020. מצגת שהוצגה בוועדת ההיגוי לפרויקט "נחלים בעידן שינוי אקלים" 9.2.21. מתבסס על מאמר שטרם פורסם: Recent Changes in the Rain Regime over the Mediterranean Climate Region of Israel, by Drori et al., 2021, Clim. Change, in Revision
4. זס"ק, א', רהב ש', 2021. היערכות מדינת ישראל לשינוי אקלים. דוח מספר 1. המנהלת להיערכות לשינוי אקלים, במסגרת יישום החלטת ממשלה 4079 להיערכות מדינת ישראל לשינוי אקלים. המשרד להגנת הסביבה
5. יוסף, י', בהר"ד, ע', אוזן, ל', אוסטינסקי-צדקי, א', כרמונה, י', חלפון, נ', פורשפון, א', לוי, י', סתיו, נ'. 2019. שינוי האקלים בישראל מגמות עבר ומגמות חזויות במשטר הטמפרטורה והמשקעים. דו"ח מחקר מס' 0000075-2019-0804-4000, השירות המטאורולוגי הישראלי.
6. יוסף, י', 2021. מגמות ארוכות טווח במשקעים בישראל- עבר ועתיד. מצגת שהוצגה ב 16.2.21. מפגש מנהלת ההיערכות לשינוי אקלים
7. לזר א', עוזר ט', ביטון א', איזאק ג', 2021. השפעות שינוי אקלים בים התיכון. המכון הלאומי לאוקינוגרפיה, חקר ימים ואגמים לישראל, תל-שקמונה, חיפה.
8. Cramer, W., J. Guiot, and K. Marini. "Risks Associated to Climate and Environmental Change in the Mediterranean Region." *MedECC report (2018)*. Changes in
9. Givati, Amir, et al. "Climate change impacts on streamflow at the upper Jordan river based on an ensemble of regional climate models." *Journal of Hydrology: Regional Studies* 21 (2019): 92-109.
10. Hochman, Assaf, et al. "High-resolution projection of climate change and extremity over Israel using COSMO-CLM." *International Journal of Climatology* 38.14 (2018): 5095-5106.
11. IPCC. 2014. AR5 Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>

Yosef, Yizhak, Enric Aguilar, and Pinhas Alpert. "Changes in extreme temperature and .12 precipitation indices: using an innovative daily homogenized database in Israel."

International Journal of Climatology 39.13 (2019): 5022-5045.

Arcement GJ, Schneider VR (1989) Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains. US Geological Survey Water-Supply Paper 2339

Herskovitz Y et al. (2018) Stream types of the Lake Kinneret (Sea of Galilee) watershed.

International Journal of River Basin Management 16:133–143

Iliopoulou-Georgudaki J et al. (2003) An application of different bioindicators for assessing water quality: a case study in the rivers Alfeios and Pineios (Peloponnisos, Greece).

Ecological Indicators 2:345–360

Markert B et al. (1999) The use of bioindicators for monitoring the heavy-metal status of the environment. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 240:425–429