

דו"ח מספר 2. הקשר בין אקלים הידרולוגיה ואקולוגיה נחלים. אביב אבישר

קצב ההתחממות בישראל גבוה מהממוצע העולמי ועומד על עלייה של כ-1.4 מעלות צלזיוס בממוצע באוויר (ביחס ל-1950)⁷ וכשתי מעלות בממוצע בים התיכון¹⁴. אגן הים התיכון הממוקם על קו המדבריות העולמי רגיש במיוחד לשינויים אקלימיים. בתרחיש של עסקים כרגיל טמפרטורת האוויר צפויה לטפס ב-4 מעלות נוספות ולעמוד על 5.4 מעלות צלזיוס ב-2100, בהשוואה ל-1950⁷.

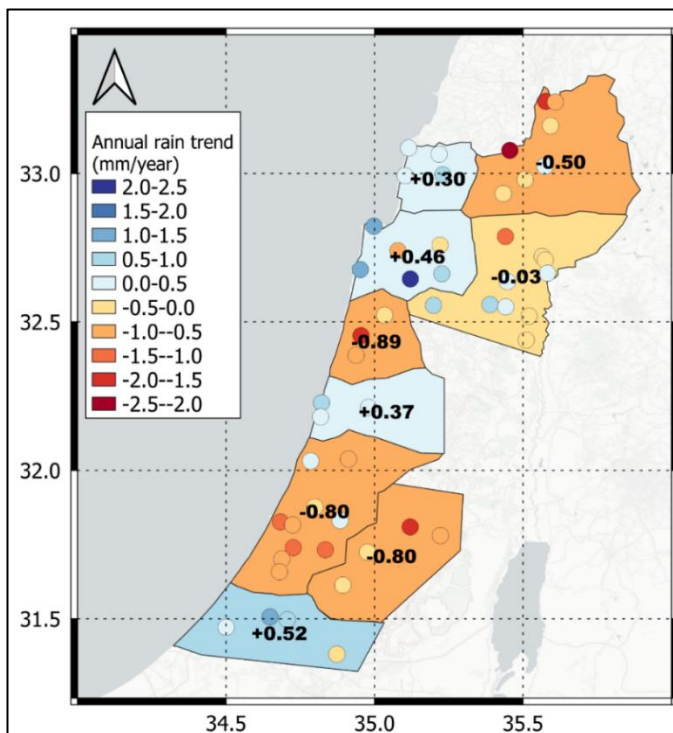
התייבשות

בעוד שהעלייה בטמפרטורת האוויר והים מובהקות סטטיסטית ($P < 0.05$), מגמת השינוי במשקעים אינה אחידה, ואינה מובהקת סטטיסטית באף חלק של הארץ¹⁴. איור 1 מצביע על מגמות גשמים שונות בחלקי הארץ השונים (מסדר גודל של אחוז בעשר שנים), עם ירידה בולטת בצפון מזרח הארץ ובהרי יהודה¹⁴. יש לציין שקיימת יציבות בכמות הגשם היממתית בשפלה הדרומית ובגוש דן², וכן, שברמת הגולן נצפית מגמת ההתייבשות גדולה יותר מהמצוין בצפון מזרח הארץ, אך בשל תקופת מדידות אמינות קצרה באזור זה, הגולן לא נכלל בחישוב (זיו, 2022. מידע בעל פה).

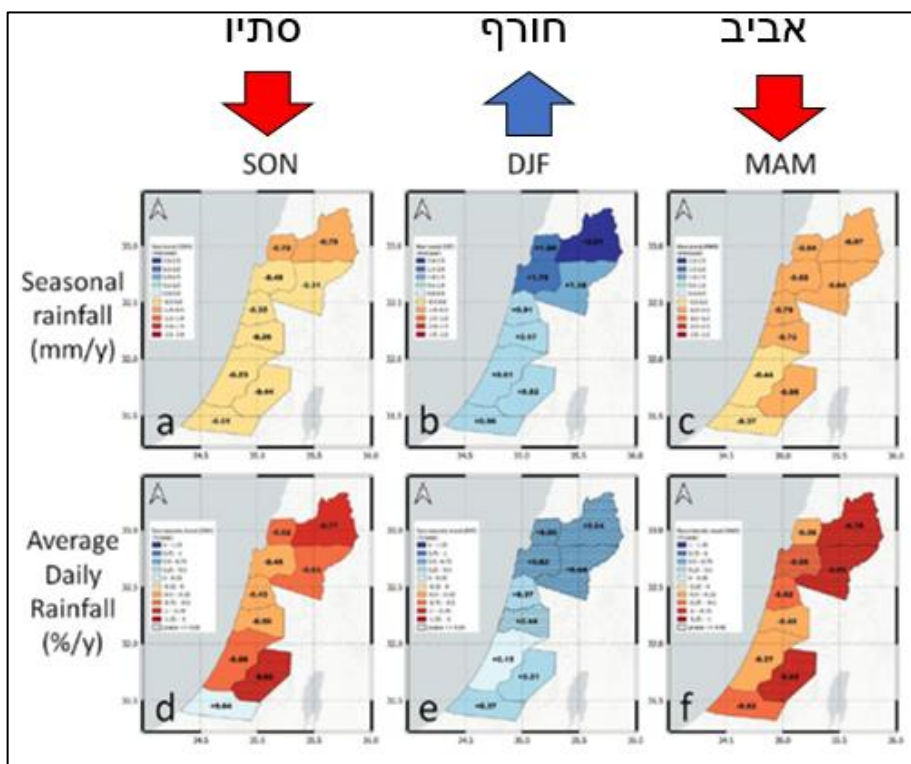
יש לציין שהיעדר מובהקות סטטיסטית במגמות של כמויות הגשם נובעות בראש ובראשונה מהשונות העונתית והרב שנתית הגבוהה המאפיינת נתוני גשם. למעשה, על מנת לקבל מובהקות נדרשת ירידה של יותר מ-20% בנפח הגשם¹⁹. גורם נוסף נעוץ במגמות משתני הגשם: ירידה במספר הימים הגשומים בעונה מחד, ועלייה בכמות הגשם היממתית הממוצעת מאידך^{14,25,26}. מקור הירידה במספר ימי הגשם היא הירידה בכמות מערכות הגשם המגיעות לאזורינו מאירופה ואחריות לחלק הארי של הגשם בישראל²².

פילוח עונתי (סתיו, חורף, אביב), וחודשי של נתוני גשם ממוצעים המוצגים באיורים 2 ו-3 בהתאמה, חושף מגמה ברורה של עלייה בכמות ובעוצמות הגשם באמצע העונה, וירידה בתחילתה ובסופה. נמצא שעונת הגשם התקצרה בשבעה ימים לעונה בממוצע מאז 1975. אנליזה של עונת הגשם על פי המהלך החדשי²⁴ מעידה על מעבר החלק הים תיכוני של ישראל מאזור המאופיין ב"עונת גשם ארוכה" לאזור המאופיין ב"עונת גשם בת 3 חודשים".

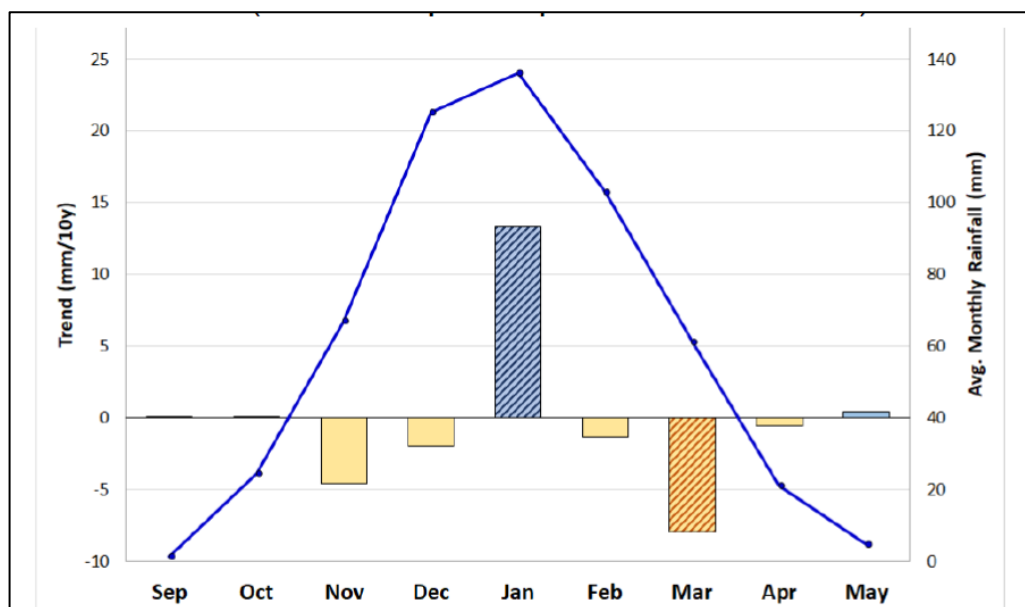
תחזיות המשקעים להמשך המאה ה-21, המבוססות על מודלים אקלימיים מצביעות על המשך מגמת הירידה בכמויות הגשמים (בסדרי גודל של עשרות אחוזים) עקב הפחתה במספר מערכות הגשם העונתיות ולפיכך, במספר ימי הגשם בישראל^{7,16-18,20}.



איור 1 . מגמות בכמות הגשם השנתית (2020-1975)
 Drori, R., Ziv, B., Saaroni, H., Etkin, A., Sheffer, E. (2021). Recent changes in the rain regime over the Mediterranean climate region of Israel. *Climatic Change*, 167(1), 1-21



איור 2 . מגמות בכמות הגשם העונתית והיומית בפילוח עונתי (2020-1975)
 Drori, R., Ziv, B., Saaroni, H., Etkin, A., Sheffer, E. (2021). Recent changes in the rain regime over the Mediterranean climate region of Israel. *Climatic Change*, 167(1), 1-21



איור

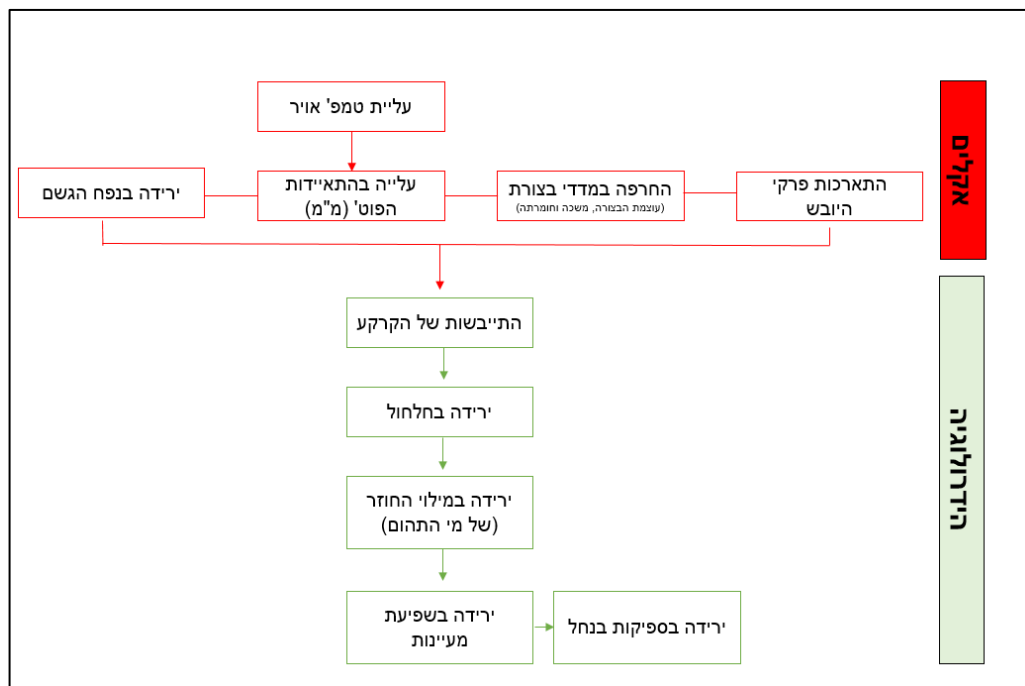
3. מהלך הגשם העונתי (מ"מ, קו כחול) והחודשי (מ"מ לעשור, עמודות). המגמות בינואר ובמרץ מובהקות (2020-1975).

מקור: זיו, ב', דרורי, ר', סערוני, ה', אטקין ע', שפר, א'. (2021)⁵. מגמות שנוי במשטר הגשם בישראל בשנים 2020-1975. מצגת שהוצגה בוועדת ההיגוי לפרויקט "נחלים בעידן שינוי אקלים" 09/02/2021

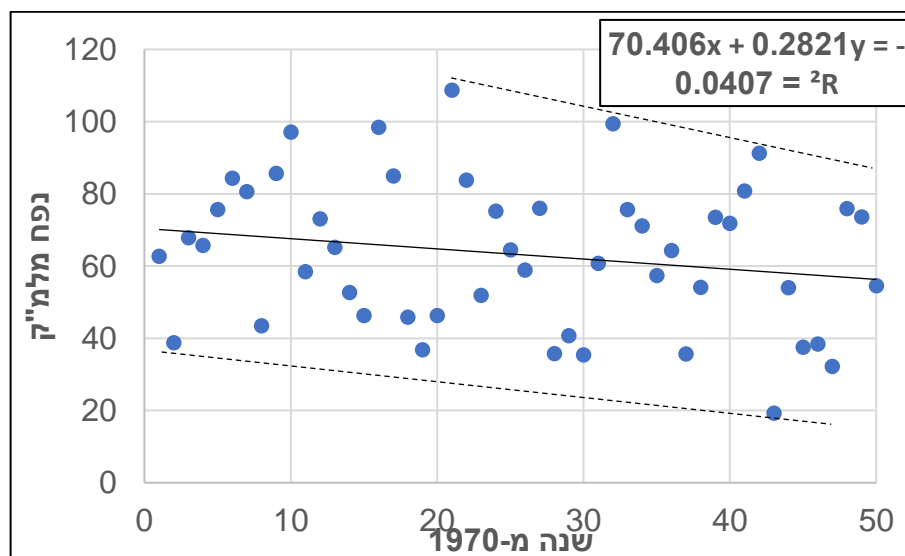
השפעת שינוי אקלים על הידרולוגיה של נחלים

לירידה בכמות השטח המחלחל (כתוצאה מהתמרת שטחים טבעיים) ולכמות המים המופקת השפעה מכרעת על הספיקות בנחלים. עם זאת, במחקר הנוכחי נבקש להתמקד בהשפעות שינוי האקלים על הזרימות בנחלים. הירידה בנפח הגשם והשינויים בתפרוסת המשקעים, לצד העלייה בטמפרטורת האויר והקרקה, מובילים באופן בלתי נמנע לעלייה בהתאדות הפוטנציאלית, ומגמת התייבשות של הקרקע⁴. התייבשות הקרקע מאטה את קצב החילחול ופחות מים זמינים למילוי החוזר של האקוויפר. נפחי המים באקוויפר משפיע על גובה מי התהום ושפיעת המעיינות, וקובעת את ספיקות המים בנחלים (איור 4)¹¹. לפיכך, הקשר בין כמות המשקעים לשפיעת המעיינות איננו לינארי^{15,23}. הווה אומר, שירידה באחוזים בודדים בכמות המשקעים באגן הכנרת מתרגמת לירידה של עשרות אחוזים בשפיעת המעיינות^{4,12,15,23}. מניתוח השפיעות הקיימות באגן הכנרת עולה כי הזרימות החורפיות נמצאות במגמת ירידה¹⁰. בבחינה של מעל 80 מעיינות בצפון הארץ, נמצא ששפיעתם של כ-80 אחוזים מהם מצויה במגמת ירידה (הממצאים תוקננו כדי לבטל את ההטיה הנובעת מגריעת מים על ידי משתמשים בדרך)⁵. מניתוח הספיקות בנחל חרמון במחקר הנוכחי (טרם פורסם) נמצאה ירידה של 20% בשפיעת מעיינות הבניאס והקצינים בין השנים 1970-2021 (איור 5).

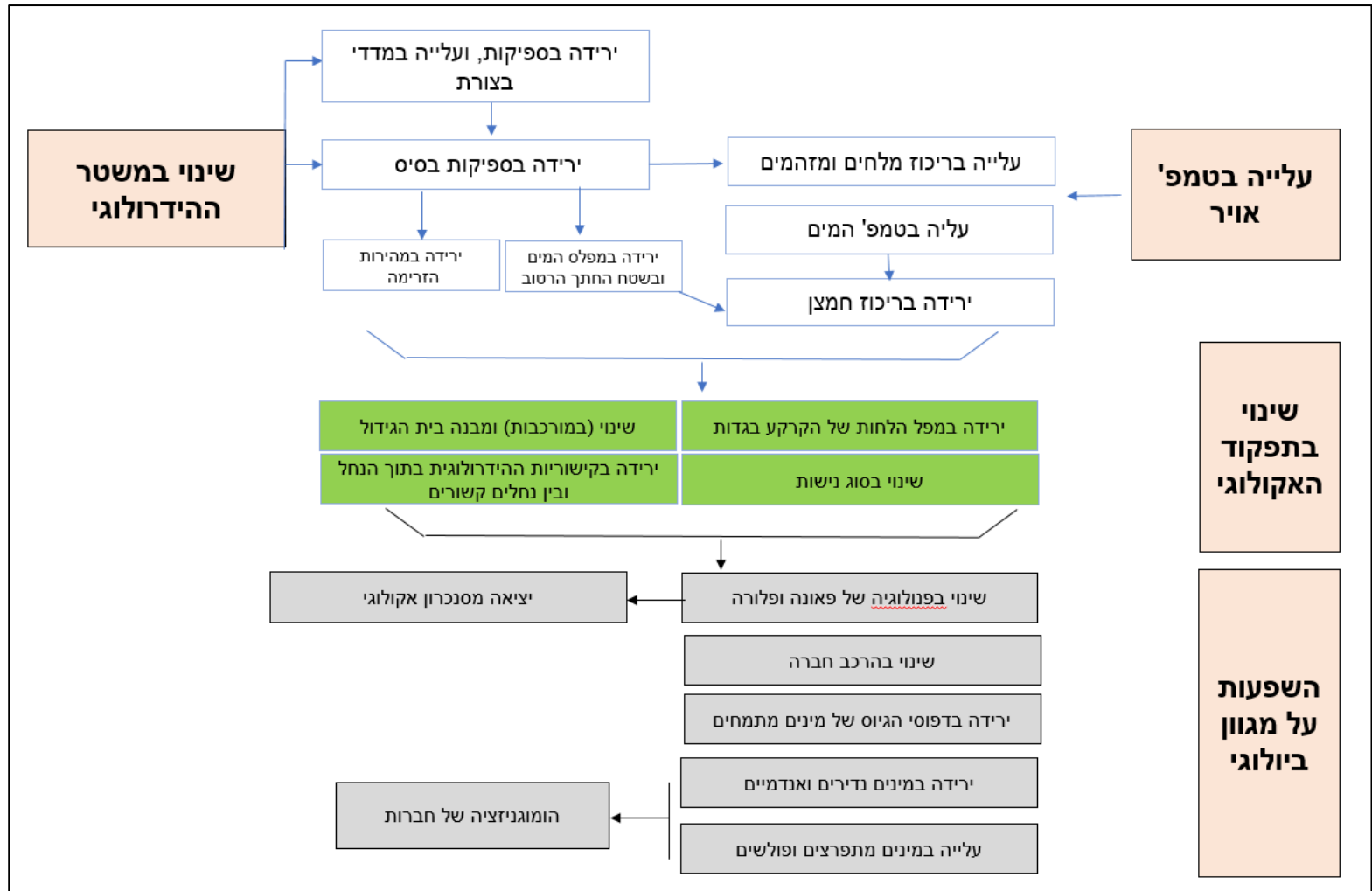
מגמה זו של ירידה בנפחי המילוי החוזר קיימת במספר אגנים בישראל והיא צפויה להחריף בכל תרחיש אקלימי¹. מחקרים שביצעו תחזיות בהתאם לתרחישי האקלים של ה-IPCC חזו ירידה של בין 40-50 אחוז בנפחי הזרימה בנחלים דליות, ותנינים²⁰ והירדן העליון^{16,4} עוד במאה הנוכחית. תחזית לאירועי שיא בהסתברות חזרה של אחת לשנתיים צופה מגמת ירידה בכל הארץ^{12,18}. ההשפעות האקולוגיות של התייבשות נחל חרמון מתוארות באיור 6.



איור 4. הביטוי ההידרולוגי לעונת גשמים שמתחילה מאוחר ומסתיימת מוקדם, ולהפסקות הממושכות בין אירועי גשם, היא ירידה ב"יעילות הגשם" (היחס שבין הגשם לנגר) המשפיעה על זמינות המים למעיינות ולנחלים.



איור 5: נפחי שפיעה במעיין הבניאס בין השנים 1970-2021 כפי שעולים מנתוני השירות ההידרולוגי (זיגל, 2021). ניתן לראות מגמת ירידה בנפח השפיעה השנתית, הן במוצע, והן בשנות המקסימום והמינימום.

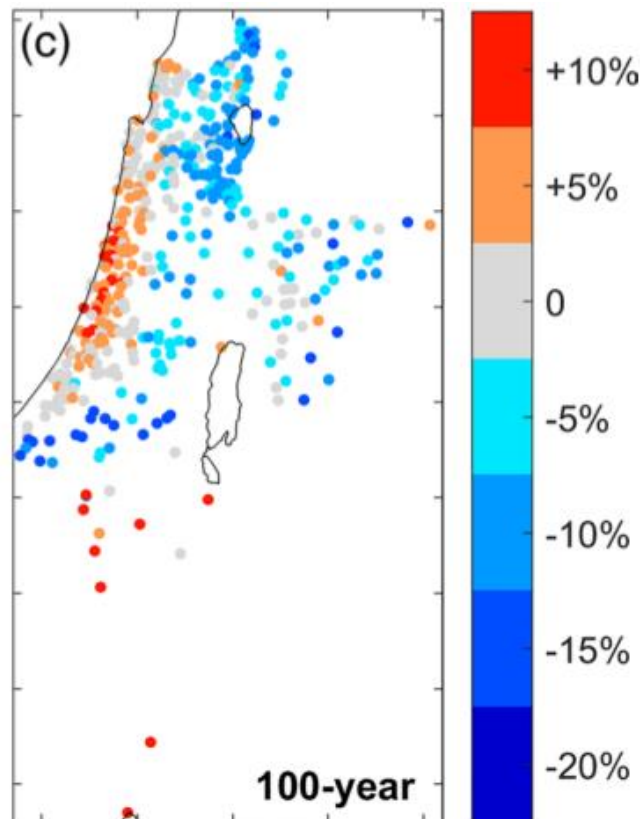


איור 6. הקשר בין התייבשות הנחל לתפקוד האקולוגי של בית הגידול הנחלי בחקר מקרה נחל חרמון.

אירועי קיצון

השפעה נוספת של שינוי אקלים מתבטאת בעלייה באירועי קיצון. עלייה בכמות ועוצמת השריפות, החרפה במדדי הבצורת (עוצמת הבצורה, משכה וחומרתה)⁴, והגדלה בעוצמת השיטפונות וההצפות ברוב חלקי הארץ^{3,18}. העלייה בטמפרטורת המים הממוצעת בדרום מזרח אגן הים התיכון^{14,21} מגבירה את אידוי מי הים, והתחממות האוויר הבא איתם במגע מעלה את קיבולת אדי המים שב⁶, עם כניסת מערכות הגשם האירופיות, חוזרים לארץ גושי אוויר מהים ומורידים גשמים חזקים באזור החוף והשפלה¹². התופעה מובילה לעלייה בלתי נמנעת בתדירות ובעוצמת השיטפונות וההצפות באזורים המאוכלסים ביותר בישראל, עד להתמתנות הגשם עם ההתקררות העונתית של הים התיכון³. ניתוח נתוני מכ"מ הגשם מראים שעוצמות הגשם הגבוהות יורדות על שטחים קטנים יחסית (10 קמ"ר) המגדילים את הסיכון להצפות בנחלי חוף קטנים, ובייחוד בכאלה שאגן הניקוז שלהם עירוני ברובו¹². תחזית לאירועי הקיצון המתקיימים פעם במאה שנה צופה עלייה של מעל 10 אחוז בעוצמות האירועים באזור החוף והמדבר (איור 6)¹⁹.

איור 6. תחזית לעוצמת אירועי קיצון בהסתברות של אחת למאה שנה עד לסוף המאה תחת



תרחיש RCP8.5. התחזית מבוססת על נתונים ממאות תחנות גשם לתקופה 2005-1980. החוקרים השתמשו במדד המשלב את כמויות הגשם היומיות עם ההתפלגות עוצמות הגשם במהלך האירוע. מקור: Marra, F., Armon, M., Adam, O., Zoccatelli, D., Gazal, O., Garfinkel, C. I., Rostkier-Edelstein, D., Enzel, Y., Morin, E. (2021). Toward

Narrowing Uncertainty in Future Projections of Local Extreme Precipitation. .Geophysical Research Letters, 48(5), e2020GL091823

השפעת אירועי קיצון על נחלים

בניסיון למתן את סיכוני ההצפות ולמנוע נזק בנפש וברכוש, הרשויות מגדילות את חתך הנחל ומתאימות אותו להולכה של כמות גדולה מאוד של מים בזמן קצר. הפגיעה במרחב הנחל, ניתוקו מפשט ההצפה והפגיעה במבנה הקרקעית הורסת את בית הגידול והופכת את הנחל החי לתעלה תפעולית. תהליך זה של פגיעה במבנה הנחל מועצם מהצורך לניצול שטח מקסימלי. המרחב הדינמי של הנחל ופשטי ההצפה שלו תופסים מקום רב במרחב, ולכן, הנחל מיושר ומדופן, בצורה החסכנית ביותר במקום. גם מגמה זו הופכת את הנחל, מבית גידול טבעי ורב תפקודי, המעניק שירותי מערכת רבים לאדם ולטבע לתעלה תפעולית המזרימה נפח גדול של מים באירועי שיא⁹.

נוסף לפגיעה במורפולוגיה ובמבנה הנחל, תוצר נוסף של שיטפונות והצפות הן כמויות סחף גדולות הנגרעות מהשטחים החקלאיים, זורמות אל הנחל וסותמות אותו. הצורך בשמירה על אפיק נקי מסחף, וגדות תפעוליות ונקיות מצומח מכתיבים תחזוקה תכופה בתעלות הנחל. התחזוקה יוצרת פגיעה כרונית באיכות בית הגידול, מונעת את שיקומו ומעמיסה על תקציבי התחזוקה ברשויות⁹.

עוד באירועי גשם קיצוניים מזהמים נשטפים אל הנחל מכבישים, אזורי תעשייה ושטחים עירוניים¹³. מהשטחים החקלאיים (המושקים מקולחים) נשטפות כמויות גדולות של חומרי הדברה, חומרים רפואיים ומוצרי טיפוח, ונגר מזהם נשפך לנחל גם ממערכות הביוב הקורסות. התרכובת הרעילה הזורמת לנחל משמידה את הפאונה והפלורה הנחלית ששרדה בנחל⁸.

ספרות

1. גבעתי, ע. (2021). השפעות שינויי האקלים על המחזור ההידרולוגי והיצע מקורות המים בצפון ישראל. כנס מים, תל-חי.
2. גבעתי ע (2021) ניתוח עוצמות גשם במישור החוף, דוח מחקר לעיריית תל אביב
3. גבעתי, ע. (2021). מגמות בעוצמות הגשם ואירועי הצפות במישור החוף: המונסון הים תיכוני. מצגת שהוצגה ביום עיון של אגמה 11.3.21
4. גבעתי, ע, טל, ע. (2017). המצב ההידרולוגי באגן הכינרת – מגמות נצפות וחזויות על בסיס מודלים הידרו-אקלימיים. *אקולוגיה וסביבה*. 8(4)
5. גבעתי ע, עצמון, ב. (2013). מגמות בשפיעת מעיינות בצפון הארץ. רשות המים. דו"ח הידרו/ 2013, ISSN – 0334- 336
6. זיו, ב, דרורי, ר, סערוני, ה, אטקין ע, שפר, א. (2021). מגמות שנוי במשטר הגשם בישראל בשנים 2020-1975. מצגת שהוצגה בוועדת ההיגוי לפרויקט "נחלים בעידן שינוי אקלים" 09/02/2021.
7. יוסף, י, בהר"ד, ע, אוזן, ל, אוסטינסקי-צדקי, א, כרמונה, י, חלפון, נ, פורשפן, 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.
8. מנדלב, א, טופז, ת, בן-ארי י וחפץ ב. 2021. חומרי הדברה, חומרים רפואיים ומוצרי טיפוח בנחלי החוף בישראל בגל השיטפון הראשון: נוכחות וריכוזים. *אקולוגיה וסביבה*. 12(3)
9. סקוטלסקי, א, פרלמוטר, מ., (2012). געגועים לנחל: הנחלים ובתי הגידול הלחים בישראל - מצב קיים, ומתווה לשיקום הידרולוגי ואקולוגי. תל אביב: אגף שמירת טבע - החברה להגנת הטבע
10. רום, מ, ברגר, ד, קורנבטר, ל, טלטש, ב. (2006). שינויים ומגמות הידרולוגיים באגן ההיקוות של הכנרת 1970-2006. מצגת בפורום השפעות שינויי אקלים בישראל, לקראת תוכנית פעולה לאומית. מקורות.
11. רימר, א. (2017). אגן ההיקוות של הכינרת – עקרונות לשמירת יציבות הידרולוגית. *אקולוגיה וסביבה*. 8(4)
12. Armon, M., Marra, F., Enzel, Y., Rostkier-Edelstein, D., Morin, E. (2020). Radar-based characterisation of heavy precipitation in the eastern Mediterranean and its

- representation in a convection-permitting model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(3), 1227-1249.
- Dorchin, A., & Shanas, U. (2010). Assessment of pollution in road runoff using a *Bufo viridis* biological assay. *Environmental Pollution*, 158(12), 3626-3633.
- Drori, R., Ziv, B., Saaroni, H., Etkin, A., Sheffer, E. (2021). Recent changes in the rain regime over the Mediterranean climate region of Israel. *Climatic Change*, 167(1), 1-21.
- 2007: Possible impacts of anthropogenic aerosols on water resources of the Jordan River and the Sea of Galilee, *Water Resour. Res.*, 43, W10419.
- Givati, A., Thirel, G., Rosenfeld, D., Paz, D. (2019). Climate change impacts on streamflow at the upper Jordan river based on an ensemble of regional climate models. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 21, 92-109.
- Hochman, A., Mercogliano, P., Alpert, P., Saaroni, H., Buchignani, E. (2018). High-resolution projection of climate change and extremity over Israel using COSMO-CLM. *International Journal of Climatology*, 38(14), 5095-5106.
- Marra, F., Armon, M., Adam, O., Zocatelli, D., Gazal, O., Garfinkel, C. I., Rostkier-Edelstein, D., Enzel, Y., Morin, E. (2021). Toward Narrowing Uncertainty in Future Projections of Local Extreme Precipitation. *Geophysical Research Letters*, 48(5), e2020GL091823.
- Morin, E. (2011), To know what we cannot know: Global mapping of minimal detectable absolute trends in annual precipitation, *Water Resour. Res.*, 47, W07505.
- Peleg, N., Shamir, E., Georgakakos, K. P., Morin, E. (2015). A framework for assessing hydrological regime sensitivity to climate change in a convective rainfall environment: a case study of two medium-sized eastern Mediterranean catchments, Israel. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(1), 567-581.
- Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., & Weyer, N. M. (2019). The ocean and cryosphere in a changing climate: A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

