

7.6.21 ורסיה שנייה.

נחלים ומעיינות בעידן של שינויי האקלים – תמונת המצב והמלצות לפעולה

רקע: מטרת הפרויקט הינה סקירה, מיפוי והערכה של ההשפעות שינויי אקלים על נחלים ומעיינות בישראל, ואפיון הצעדים הנדרשים לשמירה על המערכות הנחליות לאורך זמן. ככל שאנו מתקדמים בחשיבה, מתבהרת התמונה לגבי תוצרי הפרויקט, מתחדדות השאלות ודרכי הפעולה הדרושות לצורך השגת היעד. למסמך הנוכחי מצורף מתווה עדכני של שלבי המחקר השונים (פרק א'), בנספח ניתן למצוא את ההצעה המקורית לצורך (השוואה). המתווה כולל את תכולת הצעת המחקר המקורית, אך מעדכן מעט את סדר התוצרים, ומוסיף שלב עבודה נוסף. שלב ב'. שלב זה כולל בניית שכבות מידע ככלי לתחזית השינויים הצפויים בתרחישים שונים. נבקש לעמוד על השינויים בהרכב, שפע ועושר חברות של ביו-אינדיקטורים נבחרים כתוצאה מהתייבשות, הצפה וזיהום בשלושה נחלי בוחן. לאחר איסוף המידע ובניית השכבות, נבקש להריץ תרחישים שונים של אדפטציה לשינויי אקלים בהתאם לממצאי הפרק השלישי העוסק בכלים.

למסמך הנוכחי מצורפים גם:

- פרק ב'. שינויי אקלים בישראל. תמצית הידע העדכני.
- פרק ג'. השפעות אדם על נחלים.
- פרק ד'. שינויי אקלים בנחלי ישראל. השפעות צפויות.

בברכה, צוות הפרויקט:

אורי רמון, לביא קורן, הילה קליין, ד"ר זוהר ינאי, עו"ד נועה יאיון, ד"ר ירון הרשקוביץ, פרופ' תמר דיין, ד"ר עידן ברנע, אביב אבישר.

פרק א'. מתווה עדכני של שלבי המחקר השונים

נוספות	נקודות להתייחסות הצוות	תוצר	סטטוס	לו"ז	אחראי	נושא	
		פרק א' + זיהוי נחלים עיקריים שבסיכון ותיעדוף לטיפול על פי שקלול ערכיותם האקולוגית ורמת פגיעותם? - לדיון לצוות העבודה	הושלם	נובמבר -20 פברואר 21	הילה+ עידן ואביב	<u>סקירה כללית:</u> א. תיאור התהליכים וההשפעות הצפויות על הנחלים עקב מגמות שינוי אקלים, בהתייחס לשני תרחישים של ה-RCP4.5, RCP6-ו-IPPC. ב. תיאור האיומים הנוספים לבית הגידול, אשר אינם קשורים ישירות בשינויי אקלים וכיצד הם יושפעו משינויי האקלים	
	✓ הקמת ועדת היגוי+ מפגש פתיחה ✓ בחירת נחלים	פרק ב' +הערכת סיכונים לשירותי מערכת מרכזיים? - לדיון לצוות העבודה	בעבודה	מרץ - מאי 21	לביא קורן+ אביב, עידן וירון	<u>סקירה ממוקדת בשלושה נחלים מייצגים:</u> א. תיאור התהליכים וההשפעות הצפויות על הנחלים עקב מגמות שינוי אקלים, בהתייחס לשני תרחישים של ה-RCP4.5, RCP6-ו-IPPC. ב. תיאור האיומים הנוספים לבית הגידול, אשר אינם קשורים ישירות בשינויי אקלים וכיצד הם יושפעו משינויי האקלים	חלק א' סקירת ספרות
	✓ כינוס ועדת היגוי 2 (15.6.21) ✓ הגשת דו"ח ביניים לוועדת ההיגוי	פרק ג' הסקרות. בסקירת	בעבודה	נובמבר -20 מאי 21	זוהר+ ירון נועה, זוהר	זיהוי מיני הצומח ובע"ח העיקריים שבסיכון, המהווים ביו אינדיקטורים לתרחישים הצפויים תיאור פעולות הנעשות בעולם להגדלת יכולת ההתמודדות של נחלים עם שינוי אקלים.	
	✓ דו"ח ביניים לוועדת ההיגוי ✓ כינוס ועדת היגוי 3 (16.11.21)	פרק ד'- מפת סיכונים למגוון ביולוגי		יוני- נובמבר 21	לביא קורן+ ירון, עידן ואביב	בניית שכבות מידע והרצת תרחישים בשלושת האגנים (מפורט לאגן + מעיין) כתוצאה מהשפעות אדם תחת תרחישי אקלים שונים	חלק ב' ניתוח סיכונים

<p>✓ כינוס ועדת היגוי 4 ומסכמת (12.4.22)</p>	<p>פרק ה'- תוכנית פעולה מדורגת על פי דחיפות וקהל יעד</p>		<p>דצמבר -21 אפריל 22</p>	<p>נועה ועידן</p>	<p>הצעה לתכנית פעולה לשיפור כושר העמידה של נחלים בפני שינוי האקלים. תכנית הפעולה תכלול המלצות למשרדי ממשלה וגופים ציבוריים ופרטיים שונים בהתאם לתחומי אחריותם.</p>	<p>חלק ג' תכנית פעולה</p>
			<p>מאי - אוקטובר 22</p>	<p>ירון, עידן, נועה ואביב</p>	<p>שני חקרי מקרה מפורטים לביצוע. דו"ח סופי</p>	<p>דו"ח סופי</p>

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 לעשור⁵. מניתוח הנתונים משנים אלה עולה כי קיימת הפחתה בכמות המשקעים ובמספר הימים הגשומים עם נטייה לאירועי גשם קיצוניים⁸. על פי גבעתי (2021)² 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 לאחר אינם מייצגים עוד את המציאות בעידן של שינוי אקלים. לצורך תחזית אמינה יש לנתח אך נתונים מ-15 השנים האחרונות¹.

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 זה⁶. 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, ועליה בפעילות הסעתית (convective activity) בדרום¹⁰.

מחקר אחר שבוצע בישראל⁹ בחן את הזרימות החזויות 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 שמתקף 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-50², שינוי תפוסת המשקעים במרחב ובזמן. השינוי במרחב מתבטא בעיקר בפחיתה במשקעים באגנים הצפון מזרחיים בשונה מאזור המרכז ומישור החוף¹², ואילו השינוי בזמן מתבטא בעליה בעוצמת הגשם הימתית,

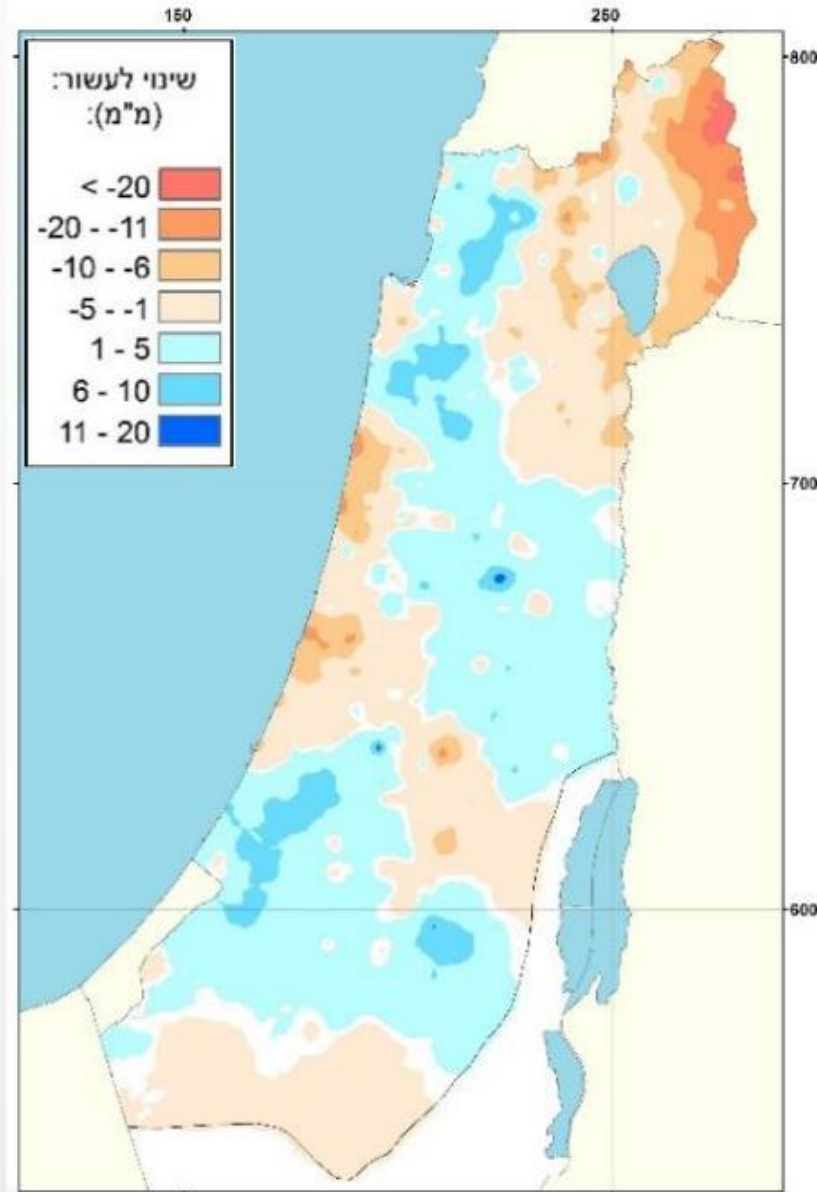
עליה במספר פרקי היובש (5 ימים ברצף ללא משקעים), התארכות "תקופות היובש" (ימים ללא גשם בעונת הגשמים), עליה בהתאדות וירידה בתכולת הרטיבות בקרקע². העלייה באירועי אקלים קיצוניים מתבטאת באירועי גשם סוערים בפרקי זמן קצרים הגורמים בשילוב של תכנון לקוי במרחבים העירוניים והסדרת הנחלים, לעליה בנגר העילי, התגברות סחיפת הקרקע ועליה באירועי שיטפון והצפות באזור מישור החוף.

שינוי בגובה פני הים והשפעתו על קו החוף ואקוויפר החוף

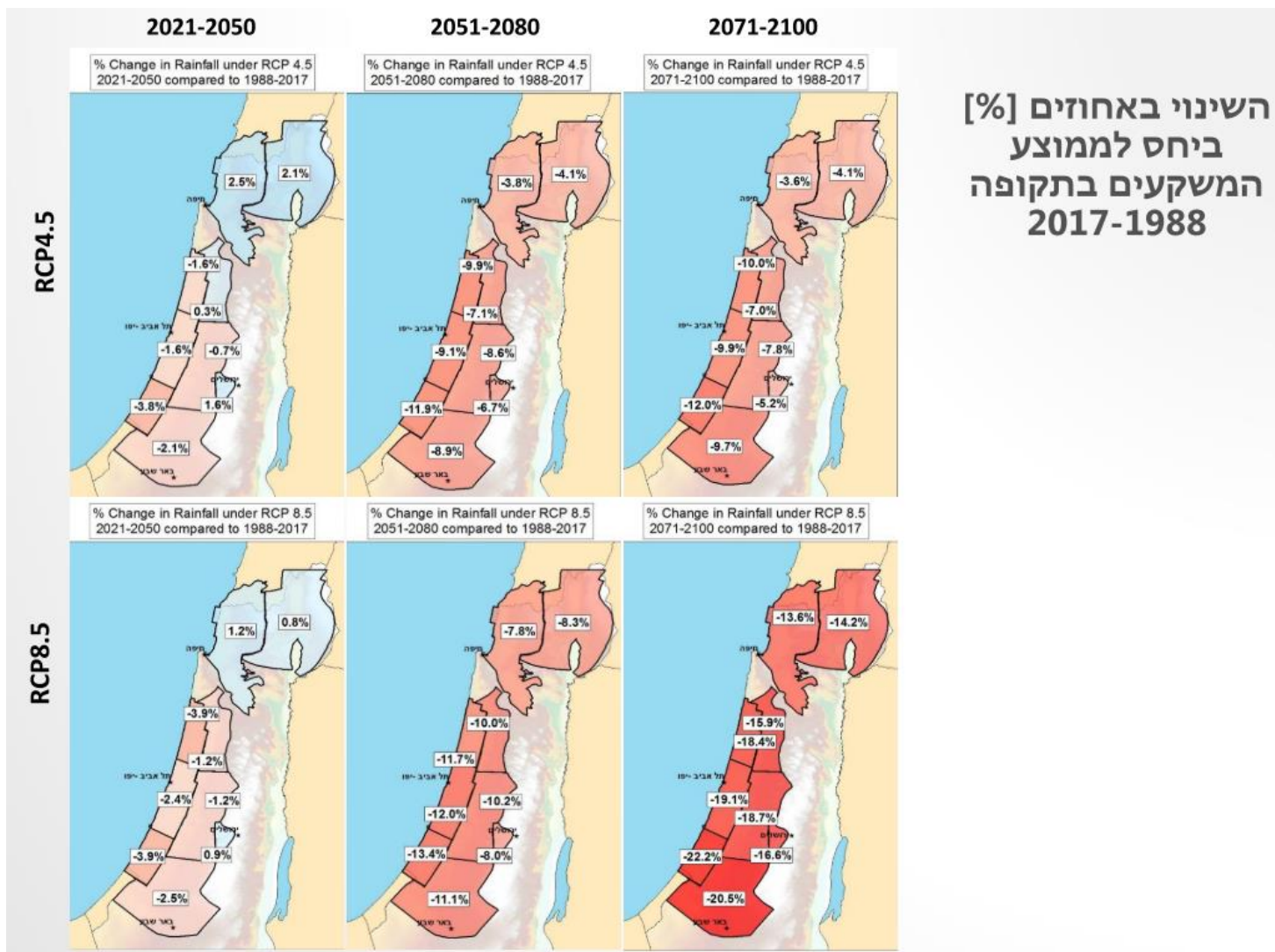
על פי ניתוח המכון לחקר ימים ואגמים⁷ נמדדה עליה ממוצעת של מפלס הים התיכון ב 4.7 מ"מ בשנה, לעומת עליה של 3.2 מ"מ בלבד בממוצע הגלובלי. עליית מפלס הים צפויה להביא לשינוי קו החוף והגברת השחיקה של המצוק החופי, עלייה במשכי הזמן של ההצפה של אזורי חוף רדודים וחדירת מי הים לאסטוארים (שפכי הנהר) של מוצאי נחלים. 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 ההר¹² ובירידה בשפיעת מעיינות⁶.

מגמות השתנות המשקעים לתקופה 1952/3-2019/20



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.

Volosciuk, Claudia et al. 2016. "Rising Mediterranean Sea Surface Temperatures Amplify .13 Extreme Summer Precipitation in Central Europe." *Nature Publishing Group* (February):

1–7. <http://dx.doi.org/10.1038/srep32450>.

ספרות

1. אוזן, א' (2010). שיקום ושימור הנחלים ובתי הגידול הלחים בישראל : מדיניות רשות הטבע והגנים. פרסומי חטיבת המדע רשות הטבע והגנים.
2. סוקניק א' וסקוטלסקי א' (2017). זכות הטבע למים? דילמות בשיקום נחלי ישראל לנוכח השינויים במשק המים. אקולוגיה וסביבה 8(4): 68-75.
3. גזית א' (2017). מה צופן העתיד לנחלי ישראל. אקולוגיה וסביבה 8(4).
4. 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.
5. טל א'. 2017. והארץ מלאה, התמודדות עם פיצוץ אוכלוסין בישראל. בני ברק: הוצאת הקיבוץ המאוחד.
6. סקוטלסקי א' ופרלמוטר מ' (2012). געגועים לנחל. אגף שמירת טבע, החברה להגנת הטבע

פרק ד'. שינוי אקלים בנחלי ישראל. השפעות צפויות.

ירידת מפלס והתייבשות

עם הירידה בספיקת המים נחשפים בנחל אזורים שבימים כתיקונם היו אמורים להיות טבולים במים. עצמים כמו סלעים ועצים טבולים שמפלס המים סביבם יורד, עלולים לחשוף מינים שאינם נעים במהירות (למשל רכיכות, ספוגים או טחבים) לאוויר הפתוח ולגרום להתייבשותם. התייבשות גדות הנחל עם נסיגת מפלס המים מסכנת צמחיית גדה מתמחה, שלעיתים מפנה את מקומה לצמחייה רודרלית או פולשת. ניתוק ערוץ הנחל הראשי מצמחיית הגדות שלו גורר פגיעה מיידית בבעלי חיים שמאכלסים בית גידול זה כדי למצוא בו תנאי זרימה נוחים, לארוב לטרף, להטיל ביצים או להתפתח בשלבי החיים המוקדמים (בכלל זה דגים, חרקי מים ועוד). בהתאם לטופוגרפיה של ערוץ הנחל, עשויים להיחשף איים במרכזו (הדוגמה המפורסמת ביותר לכך בישראל מגיעה דווקא ממערכת לא נחלית – האי אל מול חופי מעגן בכינרת). ככל שיווצרו איים רבים יותר וככל שיגדלו, יגבר הסיכוי לאיחודם של האיים או הגדות ובכך לקיטוע מוחלט של הנחל.

קיטוע הנחל משפיע על מאכלסיו בכמה דרכים קיצוניות: הוא יוצר מלכודות בהן בעלי חיים שאינם מסוגלים לעזוב את המים. בעלי חיים אלה לא יוכלו להימלט במקרה של התייבשות מוחלטת, ובכל מקרה יאבד הקשר בינם לבני מינם במקטעי נחל אחרים. פירוש של הקיטוע הוא הפסקה מוחלטת של הזרימה בנחל, ובכך הפיכתו למעשה לבית גידול בריכתי (לנטי). בשל כך, מינים שתלויים בזרימת במים למטרת נשימה (למשל, חלזונות נושמי זימים) או הזנה (למשל, חרקי מים מסננים) לא ישרדו.

תקופות יובש הן חלק מהעונות הטבעיות באזורים ים תיכוניים, אך לאחר תקופות בצורת ארוכות המערכת האקולוגית מתקשה להתאושש. בקליפורניה, לאחר חמש שנות בצורת (מתאר דומה לאזורים הים תיכוניים בישראל), הרכב החברה השתנה לחלוטין ודג פולש התבסס (Bêche et al. 2009). בשנות בצורת בהן ספיקת המים בנחלים פוחתת, חברת הדגים נשלטת על ידי מינים פולשים ואופורטוניסטיים, בעוד בשנים גשומות המינים המקומיים מצליחים לעיתים להשתלט מחדש על הרכב החברה (Bernardo et al. 2003). תקופת יובש ממושכת עלולה להוביל לשינוי גם בהרכב התזונה של דגים (Mas-Martí et al. 2010). כפי שנרמז לעיל, מי שעשוי להרוויח מהתייבשות הנחל הם דווקא מינים פולשים בעלי עמידות ליובש, כמו חילוון הבוץ מניו זילנד (*Potamopyrgus antipodarum*) וסרטן הנהרות *Procambarus clarkii* שכבר פלש בישראל.

הומוגיניזציה של גומחות אקולוגיות

נחלים בריאים ומאוזנים אקולוגית מקיימים מגוון גומחות אקולוגיות, המתבטא בממדים שונים (עומק המים, מהירויות זרימה, תשתית המצע, צמחיית מים, הצללה מצמחיית גדות וכיוצא באלה). תנאים סביבתיים משתנים כמובן גם לאורך ציר הזמן, במחזורים יומיים, עונתיים ושנתיים. מערכת סבוכה זו של תנאים סביבתיים מאפשרת למינים שונים למצוא את הגומחות המתאימות להם – לחלקם מגוון רחב של גומחות ולאחרים דרישות מדויקות ביותר. מגוון הגומחות האקולוגיות משקף את מגוון המינים הפוטנציאלי בנחל. הפחתה בכמות המים בשל ירידה בספיקת הנביעות מובילה באופן ישיר לצמצום כל המשרעות האקולוגיות האפשריות בנחל, ומכאן לצמצום המורכבות המבנית ומגוון הגומחות האקולוגיות.

עליית טמפרטורת המים

ככלל, בבתי גידול לוטיים (של מים זורמים) הטמפרטורה יציבה ונמוכה בהשוואה לבתי גידול לנטיים (בריכות ואגמים). המים הקרירים מאפשרים, ולעיתים מהווים תנאי, להתפתחותם של מיני צומח ובעלי חיים רבים, בעיקר בצפון הארץ. בתרחיש של התחממות עקבית ומדודה הנפרשת לאורך שנים רבות, טמפרטורת המים בנחלים צפויה לעלות בהדרגה ולמתוח את גבול ההתמודדות של מינים הרגישים לחום. מינים אלה, המוגבלים לטמפרטורת מים נמוכה, מאוימים במיוחד בתרחיש של שינויי אקלים (Hershkovitz et al. 2015). חרקי מים כמו גדותאים (Plecoptera), למשל, רגישים במיוחד לעלייה בטמפרטורת המים (Heino 2001). חרקי מים שסובלים רק טווח צר של טמפרטורות יידחקו לאכלס אזורים נוחים יותר, עד שלא יהיה להם יותר מקום להידחק אליו, ולא יהיו בתי גידול הולמים בסביבה (Timoner et al. 2020). כמו כן, לעיתים מינים בעלי טווח סבילות תרמית צר (כלומר, מינים המוגבלים לטווח טמפרטורות מצומצם) הם גם בעלי יכולת הפצה ואכלוס מוגבלת: חיפושיות מים מהסוג *Agabus* המצוי בישראל, למשל, הראו קשר ברור בין סבילות לטמפרטורה ובין יכולת ההפצה (Calosi et al. 2008). מכך עולה שדווקא המינים המאוימים ביותר, שיתקשו יותר מכולם להתמודד עם שינויי האקלים, הם גם אלה שיתקשו להתחמק מתנאי הסביבה המשתנים. אצל חיפושיות מים אחרות נראה שיכולת ההפצה יכולה להיות בלתי תלויה בטווח הסבילות התרמית, אך שני המאפיינים משפיעים על יכולתן להימנע מאיומי האקלים המשתנה (Arribas et al. 2012). לטמפרטורת המים השפעה גם על גורמי מפתח בהיסטוריית החיים של מינים אקוואטיים, כמו יכולת הרבייה. למשל, בניסוי מעבדה, חריגה מטווח מצומצם של 14–16 מעלות צלזיוס הפחיתה בשיעור ניכר את התפתחות הגונדות, ומכאן את יכולת הרבייה, בנקבות של בינון הירדן (*Nemacheilus jordanensis*), דג אנדמי למקורות הירדן הנמצא בסיכון (רוטמן 2009). ככל שהטמפרטורה עלתה, עלה גם שיעור הטפילים שנמצאו על הדג. עלייה של 6 מעלות צלזיוס בטמפרטורת המים הממוצעת צמצם ב-50% את קצב הגדילה ואת ההתפתחות של דגים (Hester and Doyle 2011). כמו כן עלייה בטמפרטורה

מובילה להתפתחות מהירה יותר ולגודל גוף קטן יותר וייצור פחות ביצים בבריום (*Cloeon*) (Sweeney et al. 2018). להתחממות המים השפעה גם על איכותם הכימית והפיזיקלית, כמו עלייה בריכוז המלחים המומסים, ירידה ביכולת המסת החמצן האטמוספירי ופגיעה בכושר המיהול של מזהמים ממקור חיצוני (ר' להלן).

ריכוז מלחים ומזהמים במים

הפרת האיזון ברמות של מומסים שונים במים עלולה לאתגר את המינים האקוואטיים ולסכן את סיכויי שרידותם. אירועי גשם קיצוניים צפויים להגביר את הזרימה באופן מידי ולהוביל מזהמים ממקורות שונים בכמויות מוגברות למים. מתקני תשתית רבים ברחבי הארץ קורסים מדי חורף בשנים האחרונות באירועי גשם קיצוניים, ומזרימים לערוצי נחלים ביוב וקולחים. לאחר ההזרמה לנחל, מגיעות תקופות יובש (עוצר גשמים) תקופות וארוכות משהיו בעבר, המותירות את הזרימה בנחל רגועה. כך נפגעת יכולת הנחל להסיע את המזהמים במהירות או למהול אותם על מנת לדלל את השפעתם. מכאן שלשינויים הצפויים בפיזור הגשמים שתי השפעות על פוטנציאל הזיהום של הנחל: הגברת הזיהום מחד, ופגיעה ביכולת למתן אותו מאידך. כמות המלחים והרכבם מקווי מים ונובעת בדרך כלל מתכסית הקרקע המקומית. ככל שכמות המים קטנה, ריכוז המלחים המומסים בהם עולה.

תשטיפים משטחים חקלאיים נושאים עימם חומרי הדברה (פסטיצידים, הרביצידים) שצפויים לפגוע משמעותית בצמחים ובבעלי חיים בנחל. בנוסף, דשנים ממקור חקלאי מעשירים את הנחל בחומרים מזינים (נוטריינטים); בעיקר צורות של חנקן וזרחן). אלה מספקים תנאים מיטביים להתפתחות אצות במים, בקצב ובהיקף שהמערכת האקולוגית בדרך כלל לא מסוגלת לעמוד בהם. תופעה זו, המכונה אוטרופיקציה, מובילה לצריכת חמצן גבוהה מאוד על ידי האמות בשעות הלילה, ובכך חונקת את שאר המינים המצויים במים ולא מאפשרת להם את ריכוזי החמצן הבסיסיים החיוניים להם.

מינים ששיטת ההזנה שלהם נסמכת על סינון המים יכולים לתרום להטמעה והרחקה של המזהמים. אולם, חימום עקבי של המים יפגע בתפקודן של צדפות נחלים (Unionidae) שרגישות לטמפרטורות גבוהות (Spooner and Vaughn 2008).

מידת השפעה של העשרה בחומרים מזינים על המגוון הביולוגי תלויה במידה רבה בנתוני הבסיס. מערכות אקוואטיות במצב טוב וחפות מזיהום, שאינן מועשרות באופן רגיל (אוליגוטרופיות, oligotrophic streams), מסוגלות לספוג שינויים במשך זמן מה לפני שיתערער האיזון האקולוגי בהן. לרוע המזל, מצבם הכללי של נחלי ישראל הוא כמעט תמיד גרוע יותר, והם כבר סובלים ממידה גבוהה של העשרה (נחלים יוטרופיים, eutrophic streams). בשל כך, השינויים הצפויים כתוצאה משינויי אקלים יפרו את האיזון האקולוגי בנחלי ישראל אף יותר. חברת הדגים צפויה להתחלף, כשמינים ממשפחת הקרפיוניים (Cyprinidae), משפחה עם נציגים מקומיים ופולשים בנחלי ישראל, ידחקו דגים ממשפחות אחרות. בטווח הרחוק יותר, נחלים משמשים כאזור חיץ (בופר)

המסייע במיתון השפעתם של מזהמים. תשטיפים משטחים חקלאיים ומכבישים, למשל, שמגיעים אל נחל בריא, נמהלים בהדרגה במורד הנחל. ככל שספיקת המים קטנה, התשטיפים והשפכים מהווים מרכיב דומיננטי יותר בזרימה, ויכולת המהילה הטבעית של הנחל מצטמצמת. נחלי אגן הכינרת, לדוגמה, צפויים להסיע בתרחיש כזה יותר מזהמים, ובכך לסכן את איכות מי הכינרת.

ריכוז החמצן המומס

ריכוז החמצן המומס במים עשוי להיות קריטי עבור מינים המסתמכים עליו לנשימה (למשל, סרטנים, חלזונות זימים ודגים), והוא מושפע ממספר גורמים שלעיתים פועלים באופן סותר: טמפרטורת המים עומדת ביחס הפוך לריכוז החמצן שהם מסוגלים להכיל, כך שהתחממות עקבית תתבטא בריכוזי חמצן נמוכים מהמוכרים היום; זרימה ומערבולות מאווררות את המים ומעלות את ריכוז החמצן, אך בתנאים של הקטנת הספיקה או של פעולות הנדסיות ליישור ערוצי זרימה ריכוז החמצן צפוי לרדת; ולבסוף ריכוז צמחיית המים, ובעיקר אצות, עשוי להשפיע על תנודות יממתיות ולהוביל לריכוזי חמצן גבוהים מאוד ביום ונמוכים מאוד בלילה (אאוטרופיקציה, ר' לעיל). מירידת ריכוזי החמצן במים צפויים להיפגע, כאמור, בעיקר מינים הנושמים באמצעות זימים ושייכים מסוגלים לצאת ליבשה, כמו דגים, ראשני דו-חיים, סרטנים ירודים, חלזונות נושמי זימים (למשל מגדלית או שחריה, *Melanoides spp.*, *Melanopsis spp.*, סוגים בולטים בנחלים רבים בישראל) וזחלי חרקים כמו בריומאים, גדוואים, שעירי-כנף, שפיריות ושפיריות. בתמורה, בתנאי עקת חמצן מתמשכת יתבססו מינים אחרים, חלקם מהווים מטרד עבור בני האדם, כמו זחלי יתושים (Culicidae, ר' להלן).

החמצה

השפעת שינויי האקלים על ערך ההגבה בנחלים (כלומר, הפיכת המים לחומציים או בסיסיים יותר) לא נחקרה לעומק עד כה. מעט המחקרים שבוצעו מצביעים על תוצאות סותרות, וכן על השלכות סותרות על המגוון הביולוגי (Heino et al. 2009).

מהלך חיים ותזמון

מינים מציגים פנולוגיה (עונתיות) שמשקפת מהאקלים שבמסגרתו הם התפתחו במשך שנים רבות. שינויים קיצוניים בדפוסים עונתיים עלולים לשנות את מהלך החיים ולפגוע בתזמון של שלבי מפתח בחייהם של בעלי חיים וצמחים (Filipe et al. 2012). מינים רבים, למשל, מקיימים שלבי חיים צעירים במים, ובשעת כושר עוזבים את המים בצורתם הבוגרת על מנת להמשיך בחייהם, ובעיקר להתרבות. בטרם יעזבו את המים הם חייבים לגדול דיים ולפתח את כל מערכות גופם בצורה נאותה לקראת השלב הבוגר בחייהם. דו-חיים, למשל, מתפתחים במים כראשנים, ובמהלך התפתחותם משנים את מבנה גופם ויוצאים אל היבשה. במקרה של התייבשות מוקדמת,

כושר ההפצה של מינים הוא מרכיב חיוני ביכולתם להתמודד עם שינויי אקלים, כי הוא מאפשר להם לאכלס בתי גידול חדשים ונוחים יותר, לקשר בין אוכלוסיות שנקטעות, או להימלט באופן זמני לאתרי מפלט. בנחלים האתגר גדול אף יותר, שכן מינים רבים לא מסוגלים לחצות את התווך היבשתי ולדלג בין נחלים. גם בעלי חיים ניידים יותר ניצבים בפני קשיים: שפיריות מהסוג *Enallagma*, למשל, מרחיבות את תפוצתן בעילות רבה יותר ככל שכנפיהן גדולות באופן יחסי (Rundle et al. 2007). שינוי בתכונה כמו גודל הכנפיים מתרחש על פני דורות רבים, די והותר זמן כדי לאיים על שרידותו של המין. המינים שצפויים למתוח את גבול התפוצה שלהם צפונה הם אלה שמוצאים בישראל את גבול התפוצה הצפוני שלהם, כלומר בעיקר מינים אפריקניים ואסייתיים. מינים ממוצא פליארקטי, כלומר שעיקר תפוצתם באירופה ובצפון אסיה, מבטאים בישראל את תחום התפוצה הדרומי שלהם, וצפויים להיעלם בהדרגה מהמערכות האקולוגיות בישראל עם שינויי התנאים הקיצוניים בהם. ישראל עשירה במינים מהקבוצה השנייה (ממוצא אירופי), כולל דגים, דו-חיים וחרקים רבים (מנחם גורן). תנאי האקלים המתחממים בישראל יהיו נוחים יותר עבור מינים טרופיים, בכלל זה מינים פולשים כמו רכיכות ממוצא טרופי (ר' להלן), או מינים נושאי מחלות אנדמיות לאפריקה ולדרום-מזרח אסיה, כמו יתושים (ר' להלן).

שינויים בהרכב החברה

היעלמותם של מינים מהמערכת לצד הגעתם של מינים חדשים (מינים אופורטוניסטים הממלאים גומחות שהתפנו, או כאלה המחפשים מפלט) משנות את פני החברה הביולוגית (Bêche and Resh 2007). ככל שנצברים שינויים רבים יותר, המערכת האקולוגית כולה משתנה, וקטנים סיכוייה להשתקם ולחזור למה שהייתה. בתרחישים של שינויי אקלים, שינויים בהרכב החברה צפויים להפוך מהירים ותכופים (Filipe et al. 2012). ככל שבתי גידול רבים יותר יהפכו להיות עוינים למינים שונים, מינים אלה יתרכזו בבתי גידול נוחים וייצרו חברות הומוגניות יותר (Timoner et al. 2020), שתהיינה גם צפופות יותר מבחינה אקולוגית וככל הנראה שיעור התחרות בהן יהיה גבוה במיוחד.

שינויים בטמפרטורה מובילים לשינויים ברמות ההזנה (הרמות הטרופיות) בחברה, על ידי שגשוג או דעיכה של קבוצות שפונקציונליות שונות (Woodward et al. 2010). שינויים כאלה מוציאים את המערכת מאיזון ועלולים להוביל לקריסתה. בסדרת מחקרי מעבדה תחת משטרי טמפרטורה משתנים, נראו שינויים בהרכב חברת ה-Protista שהתבטאו בפגיעה לא פרופורציונלית בטורפים ובהרביבורים (לעומת יצרנים ובקטריבורים), לצד פגיעה בבקרה הטרופית על רמות נמוכות במארג המזון (Petchey et al. 1999). שינויים בהרכב חברת הפטריות, למשל, יובילו לפגיעה ביכולת המערכת לפרק את החומר האורגני המת שבה (Dang et al. 2009), מה שעלול לגרום לפגיעה בתנאים הכימיים הדרושים לאורגניזמים כולם.

שינויים במשטר הזרימה, בעיקר בעקבות אירועים תכופים וארוכים של ירידה משמעותית בספיקה, יובילו לשינויים בהרכב חברת האצות, ובעקבותיה בחברת חברי החוליות שנשענת עליהן (Ledger et al. 2008).

מאגרים וסכרים

פרקטיקה נפוצה במקומות שונים בעולם. למעלה משני שלישים מנהרות העולם סכורים (Grill et al. 2019). באירופה מעל 21 אלף סכרים קיימים ואלפים נוספים מתוכננים, כמעט אך ורק למטרה של הפקת אנרגיה הידרואלקטרית. בישראל המצב שונה, ללא סכרים פעילים להפקת אנרגיה הידרואלקטרית (הניסיון היחיד היה תחנת הכוח בנהריים שאינה פעילה). תחת זאת, קיימים סכרים רבים היוצרים מאגרי מי שתייה, בעיקר בגולן ובאזורים המנותקים ממערכת הובלת המים הארצית, אך גם במקומות אחרים. מטרת המאגרים היא הבטחת אספקה שוטפת של מים שפירים לשימושים חקלאיים וביתיים, בעיקר במקומות שאינם מחוברים למערכת הובלת המים הארצית, כמו הגולן והערבה. הסכר קוטע את זרימתו הטבעית של הנחל, ובכך מונע מאורגניזמים המאכלסים את הנחל מעבר רציף לאורכו. מינים שונים נסמכים על היכולת להגר בין חלקו העליון של הנחל לחלקו התחתון, למשל על מנת להשלים את מחזור חייהם. השפעתו העיקרית של הסכר גלומה במטרתו: יצירת מאגר המים, שהוא למעשה אגם מלאכותי רחב-ממדים. התייחסות מיוחדת לסכר דגניה ולקיטוע הירדן הדרומי ממקורותיו הטבעיים העיקריים באופן שלא צפוי להשתנות בעטיית המגמות האקלימיות. הסכר משפיע גם על הנחל במורד הזרם, אפילו אם זרימת המים מובטחת. אחת ההשפעות עליה בטמפרטורת המים (Coleman et al. 2021), שנובעת ככל הנראה משינויים במשטר הזרימה. אכן, במורד סכרים נמדדו עליות בטמפרטורת המים שמקושרים עם דילול אוכלוסיותיהם של דגים ייחודיים למים קרים (Lessard and Hayes 2003).

פלישות ביולוגיות

שינויי אקלים עשויים לעודד ולהרחיב את מגמת הפלישות הביולוגיות בשלושה ערוצי השפעה עיקריים (Rahel and Olden 2008): (א) תגובות האדם להתמודדות עם שינויי האקלים תיצורנה הזדמנויות פלישה חדשות; (ב) מינים פולשים שבעבר נבלמו בשל התנאים הסביבתיים עשויים למצוא סביבה נוחה יותר להתבססות; ו(ג) מינים מקומיים שאינם בעלי סבילות גבוהה יקראו תחת הצורך להתמודד עם האקלים המשתנה ועם המינים הפולשים במקביל.

שינויי האקלים יובילו בני אדם להגברת פרקטיקות נפוצות או לאימוץ פרקטיקות חדשות שמעודדות פלישות ביולוגיות. בניית סכרים, מאגרים ומערכות השקיה נדון לעיל. בהיבט של חקלאות מים, תנאי אקלים חמים יותר יעודדו ענפי חקלאות מים (אקווקולטורה) המבוססת על מינים מאזורים טרופיים. מינים אלה יכולים לשגשג בבריכות גידול, ומקרים של הימלטות למערכות טבעיות (כמו שקורה לא אחת) יאפשרו להם להתבסס גם בטבע. לא רק בחקלאות המתועשת, שבה קיימים פיקוח ואסדרה, התופעה צפויה, אלא גם בגינות נוי פרטיות. בריכות

נוי בגינות פרטיות מתהדרות לעיתים קרובות בצמחי מים, דגים וחלזונות ממקור טרופי. במכוון או שלא במכוון, פעמים רבות מינים המגודלים לצורכי נוי משוחררים לטבע ומתבססים במערכות טבעיות, גם בישראל (Roll et al. 2007, 2009; Yanai et al. 2017; דופור-דרור 2019).

לאחר הגעתו של מין זר למערכת אקולוגית חדשה, המכשול הקריטי שיקבע אם יצליח להתבסס הוא יכולתו לסבול ולשגשג בתנאי האקלים החדשים. בעוד שבעבר מינים רבים ממקור טרופי אולי נקלעו במקרה למערכות טבעיות בישראל אך לא שרדו זמן רב ובוודאי שלא הצליחו להעמיד צאצאים, היום עם עליית הטמפרטורות הם פוגשים תנאים נוחים יותר שמעלים את סיכוייהם להתבסס. סרטני נהרות (crayfish) למשל, שרבים מהם משונעים ברחבי העולם ומגודלים למטרות נוי או מאכל, מצליחים בעשורים האחרונים להתבסס בהצלחה יתרה באירופה ובארה"ב, שם הם מסכנים צמחים, חסרי חוליות, דו-חיים ודגים (Lodge et al. 2000). גם בישראל נצפו סרטנים פולשים בטבע, וחלקם אף הצליחו לבסס אוכלוסיות (Wizen et al. 2008; Levitt-Snovsky and Galil 2011; Barmats et al. 2019).

בהתמודדות מול מינים פולשים, ידם של המקומיים בדרך כלל על התחזונה. כשהתבססה פלישה של מין זר במערכת אקולוגית מופרעת, המין הזר מתערב ביחסי הגומלין הוותיקים במערכת, ויוצר אינטראקציות של טריפה או תחרות עם המינים המקומיים. למשל, ארבעה מיני קרפיוניים (Cypridae) צפויים לדעוך משמעותית או אף להיכחד כליל בתוצאה מהתבססותו של דג פולש שינצל את התחממות מקווי המים בצפון אמריקה (Jackson and Mandark 2002). חשדות דומים עולים גם בישראל. למשל, החסילון הטרופי שפלש לאחרונה לנחלי ישראל, *Neocaridina denticulata*, הוא מתחרה פוטנציאלי של הסרטן המקומי קפיצון הנחלים, *Atyaephyra orientalis* (Levitt-Barmats et al. 2019). תנאי אקלים חריגים משפרים לעיתים את סיכוייו של מין פולש להתחרות בהצלחה עם מין מקומי (Taniguchi et al. 1998).

שינויים בשימושי קרקע

ניתן להניח ששינויים מהותיים בשימושי הקרקע הסמוכים לגדות ישפיעו על חברת חסרי החוליות בנחלים. חקלאות (דישון, הדברה; Allan 2004). גם שינוי באופי צמחיית הגדות והיבשה ובהרכבה ישפיע על המים. נשר עלים שמגיע למים הוא חלק מהמערכת האקוואטית ומשפיע עליה במגוון דרכים. חסרי חוליות רבים, למשל, ניזונים מגריסת עלים (למשל מיני בריומאים, גדותאים או חיפושיות), ודילול עצים רחבי-עלים בנחל עלול לפגוע בדומיננטיות שלהם בחברות מסוימות (אולי ציטוטים טובים מ-Wallace and Webster 1996, Covich et al. 1999).

הפצת מחלות

היחלשות זרימות בנחלים מעודדת ריכוז גבוה של מחוללי מחלות במנגנונים שונים, הנובעים מפגיעה בהסעתם וביכולת המהילה שלהם. כפי שנכתב לעיל, אירועי גשם קיצוניים מגבירים את הסיכון בגלישת ביוב וקולחים בדרגות טיפול שונות לנחלים, ובכך חשיפתם לציבור הרחב. חיידקי E. coli צאתיים נבדקים תדיר ונמצא שכמותם עולה בשיעור ניכר לאחר אירועי גלישת ביוב לנחלים. זוהי דרך נוספת בה מחלות עלולות להתפשט במרחב ולהגיע לבני אדם, דוגמת מטיילים ורוחצים. הועלו השערות (למשל מילשטיין והרשקוביץ 2018) שהתפרצות מחלת העכברת (leptospirosis) בגולן בקיץ 2018 קשורה להיחלשות הזרימות בנחלים (המחלה מועברת באמצעות יונקים, כמו בקר, ומקורות מים).

מחלות רבות מופצות באמצעות יתושים, מקרה פרטי של חרקי מים שמהווים מטרד לבני אדם וידועים כמפיצי פתוגנים שונים. מרבית מיני היתושיים בישראל) מהמשפחה (Culicidae משגשגים במקווי מים עומדים או בזרימה חלשה מאוד, ועל כן צפויים להיות נפוצים יותר בתרחיש של ירידה בספיקה והיחלשות זרימות. בטמפרטורות גבוהות יותר יתוש האנופלס מתפתח מהר יותר ויכולתו להפיץ את מחלת המלריה עולה (Bayoh and Lindsay 2007).

ספרות

אוזן א'. (2010). שיקום ושימור הנחלים ובתי הגידול הלחים בישראל : מדיניות רשות הטבע והגנים. פרסומי חטיבת המדע רשות הטבע והגנים.

גזית א'. (2017). מה צופן העתיד לנחלי ישראל. אקולוגיה וסביבה 8(4).

טל א'. (2017). והארץ מלאה, התמודדות עם פיצוץ אוכלוסין בישראל. בני ברק: הוצאת הקיבוץ המאוחד.

סקוטלסקי א' ופרלמוטר מ'. (2012). געגועים לנחל. אגף שמירת טבע, החברה להגנת הטבע

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

סוקניק א'. ו סקוטלסקי א'. (2017). זכות הטבע למים? דילמות בשיקום נחלי ישראל לנוכח השינויים במשק המים. אקולוגיה וסביבה 8(4): 68-75.

Bayoh, M N, and S W Lindsay. 2021. "Effect of Temperature on the Development of the Aquatic Stages of *Anopheles Gambiae* Sensu Stricto (Diptera : Culicidae)." (2003): 375–81.

Boix, Dani et al. 2010. "Response of Community Structure to Sustained Drought in Mediterranean Rivers." *Journal of Hydrology* 383(1–2): 135–46.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.014>.

Bromley, Heather J. 1988. "Israel Journal of Entomology Vol. XXII (1988) Pp. 1-12 A NOTE ON THE PLECOPTERA OF ISRAEL HEATHER J. BROMLEY." XXII: 1–12.

Calosi, P, D T Bilton, J I Spicer, and A Atfield. 2008. "Thermal Tolerance and Geographical Range Size in the *Agabus Brunneus* Group of European Diving Beetles (Coleoptera : Dytiscidae)." : 295–305.

Cid, Núria, Carles Ibáñez, and Narcís Prat. 2008. "Life History and Production of the Burrowing Mayfly *Ephoron Virgo* (Olivier , 1791) (Ephemeroptera : Polymitarcyidae) in the Lower

Ebro River : A Comparison after 18 Years." 0424.

Coleman, Daniel, Robyn Bevitt, and Ivars Reinhelds. 2021. "Predicting the Thermal Regime Change of a Regulated Snowmelt River Using a Generalised Additive Model and Analogue Reference Streams."

Connors, Peter G, Vincent H Resh, and Adina M Merenlender. 2009. "Resilience of Fishes and Invertebrates to Prolonged Drought in Two California Streams." (January).

Conspecifics, Desiccated et al. 2011. "Compensatory Development and Costs of Plasticity : Larval Responses to Compensatory Development and Costs of Plasticity : Larval Responses to Desiccated Conspecifics." (December 2014).

Covich, Alan P, Margaret A Palmer, and Todd A Crowl. 1999. "The Role in of Species Invertebrate Freshwater Ecosystems Benthic Zoobenthic Species Influence Energy Flows and Nutrient Cycling." (February): 119–27.

Dufour-Dror, Jean-Marc. 2019. *Alien Invasive Plants in Israel*. second. ed. Hagar Leshner.

Epbx, U R. 2009. "Impact of Twenty-First Century Climate Change on Diadromous Fish Spread over Europe , North Africa and the Middle East." : 1072–89.

Filipa, Ana, and Filipe Justin. 2012. "Vulnerability of Stream Biota to Climate Change in Mediterranean Climate Regions : A Synthesis of Ecological Responses and Conservation Challenges Vulnerability of Stream Biota to Climate Change in Mediterranean Climate Regions : A Synthesis of Ecological Responses and Conservation Challenges." (August).

Frank, J, C Douglas, and G Kenneth. 1998. "Temperature Mediation of Competitive Interactions among Three Fish ..."

Gallardo, Belinda et al. 2018. "Science of the Total Environment Current and Future Effects of Global Change on a Hotspot ' s Freshwater Diversity." *Science of the Total Environment* 635(April): 750–60. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.056>.

Garci, Emili, and Esther Mas-marti. 2015. "Comparing Fish Assemblages and Trophic Ecology of Permanent and Intermittent Reaches in a Mediterranean Stream Comparing Fish

Assemblages and Trophic Ecology of Permanent and Intermittent Reaches in a Mediterranean Stream.” (December 2010).

Greenberg, Dan A, Wendy J Palen, Canada Va, and Dan A Greenberg. 2021. “Hydrothermal Physiology and Climate Vulnerability in Amphibians.”

Grill, G et al. “Mapping the World’s Free-Flowing Rivers.” (Ci).

Heino, Jani. 2005. “Positive Relationship between Regional Distribution and Local Abundance in Stream Insects : A Consequence of Niche Breadth or Niche Position ?” 3(January).

Heino, Jani, Raimo Virkkala, and Heikki Toivonen. 2009. “Climate Change and Freshwater Biodiversity : Detected Patterns , Future Trends and Adaptations in Northern Regions.” 84: 39–54.

Hershkovitz, Yaron, Veronica Dahm, Armin W Lorenz, and Daniel Hering. 2015. “A Multi-Trait Approach for the Identification and Protection of European Freshwater Species That Are Potentially Vulnerable to the Impacts of Climate Change.” *Ecological Indicators* 50: 150–60.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.10.023>.

Hershkovitz, Yaron, and Avital Gasith. 2013. “Resistance , Resilience , and Community Dynamics in Mediterranean-Climate Streams.” : 59–75.
In, Treams. 1999. “S m c R :” : 51–81.

Ledger, Mark E, Rebecca M L Harris, Patrick D Armitage, and Alexander M Milner. 2008. “Disturbance Frequency in X Uences Patch Dynamics in Stream Benthic Algal Communities.” : 809–19.

Lessard, Joanna L, and Daniel B Hayes. 2003. “EFFECTS OF ELEVATED WATER TEMPERATURE ON FISH AND MACROINVERTEBRATE COMMUNITIES BELOW SMALL DAMS.” 732(March 2002): 721–32.

Levitt-barmats, Ya, Zohar Yanai, Tali Magory Cohen, and Noa Shenkar. 2019. “Life-History Traits and Ecological Characteristics of the Ornamental Shrimp *Neocaridina Denticulata* (De Haan , 1844), Recently Introduced into the Freshwater Systems of Israel.” 14(4): 684–702.

- Lodge, David M. 2000. "American Freshwater Biodiversity : Lessons from Europe." 8446(July 2014).
- López-rodríguez, Manuel J, J Manuel Tierno De Figueroa, and Javier Alba-tercedor. 2009. "The Life History of Serratella Ignita (Poda , 1761) (Insecta : Ephemeroptera) in a Temporary and Permanent Mediterranean Stream." 71: 179–88.
- Mandrak, Nicholas. 2015. "Changing Fish Biodiversity : Predicting the Loss of Cyprinid Biodiversity Due to Global Climate Change Changing Fish Biodiversity : Predicting the Loss of Cyprinid Biodiversity Due to Global Climate Change." (January 2002).
- Manipulation, A N Ecosystem-level, Canada M I C la, I A N D Hogg, and D Dudley Williams. 1996. "GLOBAL-WARMING THERMAL REGIME : " 77(2): 395–407.
- Matono, Paula, A N A M Costa, O M Bernardo, and Maria Ilhe. 2003. "INTERANNUAL VARIATION OF FISH ASSEMBLAGE STRUCTURE IN A MEDITERRANEAN RIVER : IMPLICATIONS OF STREAMFLOW ON THE DOMINANCE OF NATIVE OR EXOTIC SPECIES." 532(September 2002): 521–32.
- Petchey, Owen L, P Timon Mcphearson, Timothy M Casey, and Peter J Morin. 1999. "Environmental Warming Alters Food-Web Structure and Ecosystem Function." 402(November): 69–72.
- Rahel, Frank J, and Julian D Olden. 2008. "Assessing the Effects of Climate Change on Aquatic Invasive Species." 22(3): 521–33.
- Resh, Vincent H, and Leah A Be. 2007. "Short-Term Climatic Trends Affect the Temporal Variability of Macroinvertebrates in California ' Mediterranean ' Streams." : 2317–39.
- Ripton, Abbots, Manor Yard, and East Lulworth. 2006. "The Distributions of a Wide Range of Taxonomic Groups Are Expanding Polewards." : 450–55.
- Roll, Uri, Æ Tamar Dayan, Æ Daniel Simberloff, and Á Fish Á Impact. 2007. "Characteristics of the Introduced Fish Fauna of Israel." : 813–24.
- Roll, Uri, Æ Tamar Dayan, Æ Daniel Simberloff, and Henk K Mienis. 2009. "Non-Indigenous Land

and Freshwater Gastropods in Israel.” : 1963–72.

Rundle, Simon D, David T Bilton, John C Abbott, and Andrew Foggo. 2007. “Range Size in North American Enallagma Damselflies Correlates with Wing Size.” : 471–77.

Snovsky, Gregory, and Bella S Galil. 2011. “The Australian Redclaw Crayfish *Cherax Quadricarinatus* (von Martens , 1868) (Crustacea : Decapoda : Parastactidae) in the Sea of Galilee , Israel.” 6: 35–37.

Spooner, Daniel E, and Æ Caryn C Vaughn. 2008. “COMMUNITY ECOLOGY - ORIGINAL PAPER A Trait-Based Approach to Species' Roles in Stream Ecosystems : Climate Change , Community Structure , and Material Cycling.” : 307–17.

Sweeney, Bernard W, David H Funk, Allison A Camp, and David B Buchwalter. 2018. “Why Adult May Flies of *Cloeon Dipterum* (Ephemeroptera : Baetidae) Become Smaller as Temperature Warms.” (January).

Temperature, Mark O, C Hristian K D Ang, M Arkus S Chindler, and E R I C C Hauvet. 2009. “Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO) Temperature Oscillation Coupled with Fungal Community Shifts Can Modulate Warming Effects on Litter Decomposition.” 90.

Timoner, Pablo, Pierre Marle, Emmanuel Castella, and Anthony Lehmann. 2020. “Spatial Patterns of Mayfly, Stonefly and Caddisfly Assemblages in Swiss Running Waters in the Face of Global Warming.” (March).

Velasco, Josefa, David T Bilton, Paula Arribas, and Pedro Abella. 2012. “Evaluating Drivers of Vulnerability to Climate Change : A Guide for Insect Conservation Strategies.” : 2135–46.

Wallace, J Bruce, Jackson R Webster, and Wallace Webster. 1996. “THE ROLE OF MACROINVERTEBRATES IN STREAM ECOSYSTEM.” (131).

Wizen, Gil, Bella S Galil, Alex Shlagman, and Avital Gasith. 2008. “First Record of Red Swamp Crayfish , *Procambarus Clarkii* (Girard , 1852) (Crustacea : Decapoda : Cambaridae) in Israel – Too Late to Eradicate ?” 3(2): 181–85.

Wood, Monks, and Abbots Ripton. 2005. “A Northward Shift of Range Margins in British

Odonata." : 502–6.

Woodward, Guy, Daniel M Perkins, and Lee E Brown. 2010. "Climate Change and Freshwater Ecosystems : Impacts across Multiple Levels of Organization." : 2093–2106.

Yanai, Zohar, Tamar Dayan, Henk K Mienis, and Avital Gasith. 2017. "The Pet and Horticultural Trades as Introduction and Dispersal Agents of Non-Indigenous Freshwater Molluscs." 8(4): 523–32.

