

דו"ח מספר 4. ביו-אינדיקטורים לשינוי אקלים בנחלים. ד"ר זוהר ינאי, לביא קורן

כללי

דו"ח מספר 2 סקר בהרחבה את ההשפעות של שינוי אקלים על המערכת האקולוגית הנחלית. תמצית המסמך מסוכמת בטבלה 1. בפרק הנוכחי, התמקדנו בקבוצות אינדיקטיביות המצביעות על השינוי בהרכב המינים בנחל כתוצאה משינויים אקלימיים, הידרולוגים ואקולוגים.

הנתונים מוצגים בשתי סקאלות נפרדות:

- א. כללית, הרלוונטית לכלל נחלי החוף (טבלה 2), ומתייחסת להשפעת שינוי אקלים כל שינויי מבניים בנחל ועל קבוצות של בעלי חיים.
- ב. השפעה על מינים ספציפיים הידועים מנחלי הבוחן (נחל חרמון ונחל תנינים. טבלאות 3-8). מידע נוסף מובא על ביואינדיקטורים נבחרים וטקסונים רלוונטיים בנספחים 1 ו-2.

ביואינדיקטורים הם טקסונים או מינים הידועים כרגישים או כמושפעים מתהליכים ולחצים על המערכת האקולוגית ומובילים לשינויים במגוון הביולוגי. הביואינדיקטורים משמשים כמדד למצב בית הגידול, החברה או האקוסיסטמה. בנוסף, ניטור של ביואינדיקטורים קלים לזיהוי מהווה תחליף ומדד למגוון של קבוצות שניטורן עשוי להיות מורכב יותר. בכך מהווים הביואינדיקטורים גם מיני מטרייה (Markert et al. 1999). כיוון שחברות ביולוגיות מייצגות את האיכות האקולוגית של כלל מרכיבי בית הגידול, ובתוכן את מכלול הלחצים והתנודות העונתיות והרב שנתיות של המערכת, ישנו יתרון בשימוש בביואינדיקטורים על פני שיטות ניטור אחרות (Iliopoulou-Georgudaki et al. 2003). בנחלים, החברה הביולוגית מתאימה את עצמה לשינויים הסביבתיים בנחל לאורך זמן (דגים וחסרי חוליות ארוכי חיים) ובמרחב (מינים המהגרים לאורך הנחל) ומגיבה ללחצים סביבתיים כגון זיהומים, אוטוריפיקציה ואובדן נישות (כתוצאה מהתייבשות, שינוי מבני באפיק, שינויים בחברת הצומח ועוד) (Hershkovitz et al., 2018). הניטור הביולוגי בנחלים באמצעות ביואינדיקטורים נמצא כאמין וזול באופן יחסי לניטור כימי טוקסולוגי (Iliopoulou-Georgudaki et al. 2003).

קבוצות מינים המושפעות משינוי האקלים בישראל

השפעות שינוי האקלים על נחלים סווגו לארבעה קטגוריות על, בהתבסס על השפעתן על בתי הגידול הנחליים: (1) עלייה בעוצמת אירועי גשם קיצוניים; (2) עלייה בטמפרטורת האוויר; (3) פחיתה במשקעים ובזמינות מים; ו-(4) שינויים בתכונות המים המועצמים על ידי הירידה בספיקה. הקטגוריה הרביעית כוללת שינויים כימיים במים הנגרמים כתוצאה מהשפעות סינרגטיות של שלושת הקטגוריות הראשונות או השפעות שלא צוינו כגון המלחת האסטואר בעקבות עלייה במפלס פני

הים, כולם מועצמים כאשר הספיקה יורדת. קטגוריות העל מוינו ל-13 השפעות שונות על בתי הגידול הנחלים בישראל כפי שמפורט בטבלה 1. קבוצות מינים של צמחים ובעלי חיים המרוויחות ומפסידות מהשינוי הצפוי בבית הגידול מוצגות בטבלה 2.

טבלה 1: השפעות על בתי הגידול הנחליים בישראל

פעילות אנושית שצפויה להגביר את הלחץ	מרחב ההשפעה	פירוט	השפעה (לחץ) על מערכת הנחל	השפעה אקלימית ברמת-על	מספר ההשפעה
הסדרת חתך הנחל כצעד למיתון שיטפונות: בניית סוללות, בניית מתקנים בערוץ, ייצוב קשיח של חתך הנחל	נחלים בעיקר במישור החוף (לפי המודלים הזמינים)	פגיעה בקישוריות לפשט ההצפה, התחתרות הערוץ לעומק, העתקת הערוץ (פריצת ערוץ חדש), הגברת סחיפה (Reset)	עלייה בעוצמות ובתדירות של ספיקות השיא הנדירות (1:10 ומעלה); עלייה באנרגיית הזרימה	עלייה באירועי גשם קיצוניים	1
שאיבת יתר; ריכוז לחץ תיירות וקיט באתרים פחות מופרים	מעיינות		פחיתה בשפיעת מעיינות	פחיתה במשקעים ובזמינות מים (קיצור ההידרופריודה)	2
שאיבת יתר; ריכוז לחץ תיירות וקיט באתרים פחות מופרים	זרימות בסיס בערוצים איתנים ועונתיים	כתוצאה מירידה בשפיעת מעיינות	ירידה בספיקה ובמהירות הזרימה		3
בניית סכרים ומאגרים, הסדרה כצעד ליצוב גדות	נחלי איתן שיהפכו לעונתיים	התייבשות הערוץ ויצירת בריכות עונתיות, הצטברות חומרים מוצקים ועלייה בריכוז מומסים, ערעור היציבות המורפולוגית של הערוץ	קיטוע הנחל		4
בניית סכרים ומאגרים; שאיבת יתר למטרות שונות	נחלים עונתיים	עלייה במשך העונה היבשה בנחל (קיצור ההידרופריודה), ספיקת בסיס נמוכה	אירועי התייבשות תכופים או ממושכים יותר		5
בניית סכרים ומאגרים; שאיבת יתר למטרות שונות	בעיקר נחלים עונתיים	עלייה במספר השנים ללא שיטפונות	פחיתה בתדירות ובעוצמת זרימות השיא השכיחות		6

בניית סכרים ומאגרים	במורד סכרים ומאגרים, בריכות בנחלים הרריים	בעקבות ירידה בספיקה ובמהירות הזרימה	הידקקות תשתית		7
פגיעה בצומח ריפארי (ירידה באחוז ההצללה)	נחלים, למעט בקרבת הנביעה, וביתר שאת נחלים עונתיים	בעקבות ירידה בספיקה ועלייה בטמפרטורת האוויר	עלייה בטמפרטורת המים	עלייה בטמפרטורת האוויר	8
העשרה במזינים מתשטיפים חקלאיים (אאוטרופיקציה)		כתוצאה מעלייה בטמפרטורה, מהאטה בזרימה או מאאוטרופיקציה	ירידה בריכוז החמצן המומס	שינויים בתכונות המים המועצמים על ידי הירידה בספיקה	9
פעילות נופש וקיט (דשדוש מטיילים)		הפחתה בהסעת סדימנט	עלייה בעכירות המים		10
חקלאות אינטנסיבית, מרעה, גלישות קולחים		עלייה בכמות הנוטריינטים בגוף המים	העשרה במזינים		11
חקלאות אינטנסיבית	נחלים בקרבת מי תהום גבוהים, אסטוארים	כתוצאה מירידה בכמות המים, המלחת מי תהום גבוהים או כניסת אסטוארים לעומק היבשת בעקבות עליית מפלס הים	המלחה		12
פעולות הדברה (יתושים)		ממקורות חקלאיים, עירוניים, תעשייתיים, תשתיות; יותר תשטיפים באירועי גשם קיצוניים; ירידה בספיקת הבסיס מגדילה את ריכוז המזהמים	זיהום		13

טבלה 2: קבוצות מינים שמרוויחות ומפסידות מההשפעה

מרוויחים		מפסידים		השפעה (לחץ) על מערכת הנחל	מספר ההשפעה
בעלי חיים	צמחים	בעלי חיים	צמחים		
מינים שמאכלסים את הנחל במהירות (חרקים)	מינים שמחדשים צמיחה בקלות (למשל, השרשה מענפים; ערבה, פטל)	מינים שלא מתואמים לזרימה (לא נצמדים, מינים שחיים בסדימנט דק: דגים צעירים, שפיראים, בריומאי בוצ, זבובאים, תולעים, רכיכות)	תלוי נחל	עלייה בעוצמות ובתדירות של ספיקות השיא הנדירות (1:10 ומעלה); עלייה באנרגיית הזרימה	1
מאכלסי בריכות, מים עומדים או זרימה איטית (חלי יתושים, בריומאי Cloeon)	מיני חגורות 2,3 (שיח אברהם, טיון דביק) צומח יובשני (כניסה לחתך) צומח רודרלי (כניסה לחתך)	מינים שמוגבלים לשהות במים (רכיכות, סרטנים, דגים); נודדים לאורך הנחל (דגים, דו-חיים, שיערי כנף, בריומאים); מתמחי מעיינות (דו-חיים, שיערי כנף, בריומאים); חובבי זרימה מהירה (בריומאים, שיערי כנף, גדותאים, חיפושיות נחליות, ישחורים, שטצדים)	צומח גדות מעוצה (דלבים, ערבות) צמחי מים (טבולים וצפים) צמחים מזדקרים רגישים (כדורן ענף, גומא הפפירוס) שרכים	פחיתה בשפיעת מעיינות	2
				ירידה בספיקה ובמהירות הזרימה	3
				קיטוע הנחל	4
		מינים שלא יספיקו להשלים מחזור חיים (דו-חיים, חרקי מים בעלי מחזור חיים ארוך)		אירועי התייבשות תכופים או ממושכים יותר	5
מינים לא מתמחים, שבדרך כלל היו נסחפים ואוכלוסיותיהם נפגעות (Chironomidae ..)	צומח רב-שנתי ומעוצה; מינים המאפיינים תשתית דקת-גרגר (סוף, קנה,	חובבי תשתית גסה, נצמדים (בריומאים רבים, ישחורים, גדותאים, חלזונות); מלחכי אצות אפיליטיות (מיני בריומאים, שיערי כנף, שטצדים); מסתתרים בין אבנים ובולדרים (דגים)	חד-שנתיים שיאבדו יתרון תחרותי	פחיתה בתדירות ובעוצמת זרימות השיא השכיחות	6

7	הידקקות תשתית	מינים המאפיינים תשתית גסת-גרגר	גומא ארוך, כרפס, גרגר)	חובבי תשתית רכה, מתחפרים (מיני בריומאים, תולעים, צדפות)
8	עלייה בטמפרטורת המים	בעלי סבילות טמפרטורה צרה - סטנותרמיים (דגים, דו-חיים, חרקים רבים)		בעלי סבילות טמפרטורה רחבה - יוריתרמיים (זבובאים, סרטנים)
9	ירידה בריכוז החמצן המומס	נושמי זימים (דגים, צדפות, חלזונות, בריומאים, גדותאים, שעירי כנף, סרטנים)		נושמי ריאה (חלזונות בוענית ומינים פולשים אחרים); בעלי אסטרטגיות נשימה מיוחדות (ימשושי <i>Chironomus</i> , יתושים)
10	עלייה בעכירות המים	צמחים טבולים		
11	העשרה במזינים	נושמי זימים (דגים, צדפות, חלזונות); רגישים לזיהום (בריומאים, גדותאים, שעירי כנף, דו-חיים, שטצדים)		עמידים לזיהום (חלזונות ריאה פולשים, ימשושי <i>Chironomus</i> , תולעים)
12	המלחה	בעלי סבילות מליחות צרה - סטנוהאליניים (דגים, דו-חיים, חרקים רבים)		בעלי סבילות מליחות רחבה - יוריהאליניים (זבובאים, סרטנים, זבובאים מסוימים)
13	זיהום	מיני מים מתוקים; צמחי מים (טבולים, צפים); שרכים	רגישים לזיהום (בריומאים, גדותאים, שעירי כנף, שטצדים); מסננים (צדפות); נושמי אוויר	עמידים לזיהום (חלזונות ריאה פולשים, ימשושי <i>Chironomus</i> , תולעים)

	עמידים לזיהום (ארכובית משונשנת)	אטמוספירי כתוצאה מהדברת יתושים (פשפשי מים, חיפושיות מים)	מזדקרים רגישים (אגמון החוף, גומא הפפירוס)		
--	-------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------	--	--

ביואינדיקטורים בנחלי הבוחן

הביואינדיקטורים בפרק הנוכחי מהווים מיני מטרייה לשאר הקבוצות הטקסונומיות בנחל. קל יחסית לזהות אותם ולקבוע אחרי תמורות באוכלוסיותיהם, ואלה מלמדות על פוטנציאל השפעה הן על מינים וקבוצות אחרות, והן על המערכת כולה. המינים משמשים כקנרית במכרה, או כנורת אזהרה. הביואינדיקטורים לנחלים חרמון ותנינים מוצגים בטבלאות 3-5 ו-6-8 בהתאמה, ומחולקים לפי קבוצות: חסרי חוליות, חולייתנים וצמחים. המינים האינדיקטיביים נבחרו עפ"י ידע ספרותי, מידע בע"פ והערכת מומחה, מתוך מצאי המינים הידוע בנחלי הבוחן. כיוון שהיעלמות של מין מחייבת ידע קודם אודות תפוצתו בנחל, נבחרו גם מינים המושפעים חיובית מההשפעה. לכל מין בטבלה מצוינת גם עוצמת הזיקה להשפעה הסביבתית (עד כמה מושפע) כפי שמוצג במקרא בראש הטבלאות. בנספחים 1 ו-2 מובא מידע כתוב אודות חלק מהמינים והטקסונים, המיועד כעזר לקורא ולמנטר.

אופן השימוש בטבלאות:

ניטור בכל נקודת זמן מייצג את מצב הנחל בתקופת הניטור. במידה ונצפתה בניטור מגמה של שינוי בשפע או הרכב הטקסונים בקטע הנחל ביחס לניטור קודם, יש להצליבו עם ההשפעות המיוחסות לו ולהשוות עם טקסונים נוספים בטבלה ובטקסט בכדי להבין באיזה השפעה סביבתית מדובר, ואותה לבחון יותר לעומק. ככל שמספר גדול יותר של ביואינדיקטורים מצביעים על אותה השפעה ולביואינדיקטור זיקה חזקה יותר להשפעה הסביבתית, כך ההשפעה הסביבתית חזקה יותר. במידה ואין מידע קודם, או שניטור קודם בוצע בשיטה שונה, הרכב ושפעת המינים יכול להעיד על ההשפעה הסביבתית בזמן הנתון.

מקרא לטבלאות

עוצמת הזיקה להשפעה הסביבתית



למין	הפיכה דומיננטי	↑↑↑	↑↑	↑	אוכלוסיית המין גדלה
עד	צמצום משמעותי הכחדה	↓↓↓	↓↓	↓	אוכלוסיית המין הצטמצמה

הסבר למקרא: ככל שלמין זיקה חזקה יותר להשפעה הוא יהיה רגיש אליה יותר, ייעלם או ישתלט במהירות גבוהה יותר. למשל בנחל חרמון, אוכלוסיה גדולה של דולב מזרחי צפויה להצטמצם רק

כאשר הנחל ייתייבש במלואו (זיקה נמוכה להתייבשות), ואילו השבטבט צפוי להצטמצם משמעותית עם ירידת הספיקה וגרדיאנט הלחות בגדה (זיקה גבוהה).

נחל חרמון

טבלה 3: חסרי חוליות אינדיקטיביים בנחל חרמון

שטצד .G <i>Pseudosyriacus</i>	חיפושית <i>Elmis</i>	בריום <i>Rh. znojkoii</i>	שעיר כנף <i>Rh. nubila</i>	גדוּתאי <i>P. zernyi</i>	גדוּתאי <i>M. beraudi</i>	שם הטקסון/ השפעה
↓	↓	↓	↓↓↓	↓	↓↓↓	התייבשות, התארכות תקופות יובש, ירידה בספיקה
↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓	↓↓↓	↓↓↓	האטת זרימה
↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓	↓	הידקקות תשתית
↓		↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	עלייה בטמפ המים
↓		↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	ירידה בריכוז החמצן המומס
		↓	↓	↓	↓	פגיעה במסדרון הנחל
		↓	↓	↓	↓	התגברות פעילות קיט

טבלה 4: חולייתנים אינדיקטיביים בנחל חרמון

שם הטקסון/ השפעה	לוטרה	סלמנדרה	חפף ישראלי	בינון הירדן
התייבשות, התארכות תקופות יובש, ירידה בספיקה	↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓
קיטוע הנחל	↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓
האטת זרימה	↓		↓	↓
עלייה בטמפ המים		↓↓↓		↓↓↓
ירידה בריכוז החמצן המומס		↓		↓
המלחה		↓		
זיהום	↓	↓↓↓		
פגיעה במסדרון הנחל	↓↓↓	↓↓↓		
התגברות פעילות קיט	↓	↓	↓	↓

טבלה 5: צומח אינדיקטיבי בנחל חרמון

מינים עמידים			מיני מים מתוקים	חד שנתי- נפוץ		צף	נדירים	מעוצים		שרכים	מאפיין הצומח:		
טיון	דביק, פטל קדוש	חנק מחודד	קנה מצוי	זקוף, נענע משובלת	אחילוטוס	גרגר הנחלים	ערברבה שעירה	נהרונית צפה	כדורן ענף	ערבה לבנה	דולב מזרחי, הרדוף הנחלים	שטבט גדול, שטבט ענף, שערות שולמית	השפעה/ שם המין
↑↑↑	↑↑	↑↑			↑	↓	↓↓↓	↓↓↓	↓	↓	↓↓↓	התייבשות, התארכות תקופות יובש, ירידה בספיקה	
↑↑↑	↑↑	↑↑					↓↓	↑			↓↓	רצף שנים ללא שיטפון	
		↑↑↑			↑	↑↑↑						הידקקות התשתית	

				↑							העשרה במזינים
	↑↑	↑↑	↓↓↓			↓↓↓				↓↓↓	המלחה
↑↑		↑↑	↓↓↓	↓↓		↓↓↓	↓↓↓			↓↓↓	זיהום
↑↑↑	↑↑	↑↑↑					↓↓↓			↓↓↓	פגיעה במסדרון הנחל
↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↓↓↓	↓↓↓			↓↓↓	התגברות פעילות קיט

נחל תנינים

טבלה 6: חסרי חוליות אינדיקטיביים בנחל תנינים

שטצד	שעיר כנף <i>Hydropsyche</i>	בריום <i>Procloeon</i> .cf <i>pennulatum</i>	סלסלה חופית	חלזונות פולשים: <i>Tarebia</i> , <i>Pyrgophorus</i>	טקסון/ השפעה
↓	↓↓↓		↓↓↓	↓	התייבשות, התארכות תקופות יובש, ירידה בספיקה
	↓↓↓	↑	↑		האטת זרימה
	↓		↓↓↓		קיטוע הנחל
↓↓↓	↓↓↓		↑	↑	הידקקות תשתית
	↓	↓	↓		עלייה בטמפ המים
↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↑	ירידה בריכוז החמצן המומס
	↓	↓		↑	המלחה
	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↑	זיהום
	↓	↓↓↓			פגיעה במסדרון הנחל וניתוק מפשט ההצפה

טבלה 7: חולייתנים אינדיקטיביים בנחל תנינים

קצוות בור	עגלסת הירדן	חפף ישראל	לבנון הירקון	טריטון פסים	טקסון/ השפעה
↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	התייבשות, התארכות תקופות יובש, ירידה בספיקה
↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	קטוע הנחל
↓		↓	↓		האטת זרימה
	↓↓↓		↓↓↓		הידקקות תשתית
↓↓↓				↓	עלייה בטמפרטורות המים
↓↓↓			↓	↓	ירידה בריכוז החמצן המומס
↓↓↓	↓↓↓		↓↓↓	↓↓↓	זיהום
				↓↓↓	פגיעה במסדרון הנחל
		↓	↓	↓	התגברות פעילות קיט

טבלה 8: צומח אינדיקטיבי בנחל תנינים

	רודרלים	חד שנתי נפוץ	מיני מלחות				מיני מים מתוקים	חגורה 2,3 עמידים	מעוצים		צמחים טבולים	צמחים צפים	נדיר	
			ברומית קצרת-שיבולית, שמורה נימית, אספרג-ארץ-ישראלי	סמר, חד, ערר כרתי	שרשר שיחני, מלוח רגלני	אשל מרובע			שיח-אברהם מצוי	ערבה מחודדת				
נסמנית קיפחת	כף אווז, ריחנית, שלמון יפואי	כרפס הביצות, גרגר הנחלים, עדשת מים	ברומית קצרת-שיבולית, שמורה נימית, אספרג-ארץ-ישראלי	סמר, חד, ערר כרתי	שרשר שיחני, מלוח רגלני	אשל מרובע	נענע משובלת	טיון דביק, פטל קדוש	שיח-אברהם מצוי	ערבה מחודדת	נהרונית צפה, קרנן טבוע, קרנן טבול	נופר צהוב	מכבד הביצות	טקסון/ השפעה
		↑						↑↑↑	↑↑	↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	התייבשות, התארכות תקופות יובש, ירידה בספיקה

									↑↑↑	↑↑	↑				רצף שנים ללא שיטפון שפותח את הנחל
		↑↑↑													העשרה במזינים
			↑	↑↑	↑↑↑	↑↑↑				↓↓		↓↓↓	↓↓	↓↓↓	המלחה
↑↑↑	↑↑↑	↓				↑↑↑	↓↓↓	↑↑↑	↓	↑		↓↓↓	↓↓	↓↓↓	זיהום
↑	↑↑↑							↑↑↑		↓		↓↓	↓↓	↓↓↓	פגיעה במסדרון הנחל

מידע עזר על ביואינדיקטורים בנחל חרמון

חסרי חוליות

1. הגדותאי *Marthamea beraudi* - תועד בבניאס בעבר (Bromley 1988 ;Zwick 1984). עונת הפעילות של הבוגרים קצרה, ומתרחשת במאי וביוני (Bromley 1988 ;Alouf 1984). הנימפות חיות במים קרירים (העדפה ברורה ל-15-16 מעלות צלזיוס לכל היותר). כמו גדותאים אחרים, מוגבל לבתי גידול הקרובים לנביעות ולראשי נחלים עם טמפרטורות נמוכות וריכוז חמצן גבוה (Tierno de Figueroa et al. 2010), ועל כן שינויים קלים בתנאי בית הגידול יתבטאו בצמצום האוכלוסייה של המין.
2. הגדותאי *Protonemura zernyi* - תועד בבניאס בעבר (Bromley 1988) ולאחרונה (Uekötter 2016; Weiss 2019). עונת הפעילות של הבוגרים אינה ממוקדת, ונמשכת לאורך החורף והאביב (Berthelemy and Dia 1982; Bromley 1988). הנימפות חיות במים קרירים (העדפה ברורה ל-15-16 מעלות צלזיוס לכל היותר). כמו גדותאים אחרים, רגיש לבתי גידול הקרובים לנביעות ולראשי נחלים עם טמפרטורות נמוכות וריכוז חמצן גבוה (Tierno de Figueroa et al. 2010), ועל כן שינויים קלים בתנאי בית הגידול יתבטאו בצמצום האוכלוסייה של המין.
3. שעירי כנף- סדרת חרקים עם זחל המתפתח במים. מאפיינים בדרך כלל נחלים עם זרימת מים בינונית-מהירה ואיכות מים גבוהה.
Rhyacophila - מאפיין בתי גידול של זרימה מהירה, טמפרטורה נמוכה וריכוז חמצן גבוה. דורש תשתית אבנית. טורף. תועד בנחל דן, בבית גידול דומה לקטע המורדי של נחל חרמון.
Glossosoma - תועד בנחל חרמון בזרימה מהירה בלבד.
4. בריום *Rhithrogena znojkoii* - זרימת המים המהירה חשובה לו, רגיש לטמפרטורת המים ולריכוז החמצן המומס. נצמד לאבנים.
5. חיפושית *Elmis* - חיפושית המאפיינת זרימה מהירה.

6. השטצד *Gammarus pseudosyriacus* - מלחך אצות אפיליתיות ועל כן צפוי להיפגע מהידקקות תשתית ואובדן אבנים בנחל. אחוז חמצן גבוה וזרימת מים חיוניים לקיומו (Herbst and Dimentman 1983), ולכן ייפגע גם מעלייה בטמפרטורת המים ומירידה בספיקה. מין שלא ידוע רבות על הביולוגיה והאקולוגיה שלו.
7. שפירית *Onychogomphus lefebvrei* - על פי Dumont (1991) נמצאה בנחלים חרמון, גילבון, קורן, דלייה תבור ובאזור יריחו.
8. שפירית *Caliaeschna microstigma* - נדירה, נמצאת במקורות הירדן ועד חולתה (Dumont 1991).

חולייתנים

1. סלמנדרה *(Salamandra infraimmaculata)* - רגישה לטמפרטורות גבוהות על מנת להתרבות. טווח טמפרטורות מצומצם בהשוואה למיני הדו-חיים האחרים בישראל (אופטימלי עד 20 מעלות צלזיוס; Goldber et al. 2020). כנ"ל מוליכות חשמלית עד $1400 \mu\text{S}/\text{cm}$. ככל הנראה כשהתנאים יבשים או חמים מדי הבוגרים לא שורדים, ולכן הם מאפיינים יותר אזורים מעיינות בראש הנחל ולא את הנחל כולו לאורכו (כך בתל דן; Degani and Kaplan 1999). נראה שפרטים בוגרים לא משוטטים בטווח העולה על כמה עשרות מטרים (Degani and Warburg 1978), מה שיקשה עליהם להימלט מבית גידול שקרס לחיפוש בתי גידול חדשים, ומחייב גם הגנה על מסדרון הנחל והתווך המקיף אותו, משום שחלק ניכר מתנועתו של המין מתבצע שם. טריפת ראשנים על ידי גמבוזיות נצפתה במעבדה. מידע על סלמנדרות מרחבי העולם מעלה שהן נפגעות כתוצאה מעלייה במליחות הנחל (עלייה במוליכות החשמלית), פגיעה המתבטאת במצב גופני ירוד יותר ובדעיכת אוכלוסיות. נראה שמנגנון הפגיעה של המלחת הנחל הוא עקיף, ונובע משיבוש חברת חסרי החוליות בנחל המהווה מזון לסלמנדרות (Hutton et al. 2021).
2. בינון הירדן *(Nemacheilus jordanensis)* - דג אנדמי למקורות הירדן הנמצא בסיכון. בניסוי מעבדה, חריגה מטווח מצומצם של 14–16 מעלות צלזיוס הפחיתה בשיעור ניכר את התפתחות הגונדות, ומכאן את יכולת הרבייה, בנקבות (רוטמן 2009). ככל שהטמפרטורה עלתה עלה גם שיעור הטפילים שנמצאו על הדג.
3. חפף ישראלי *(Capoeta damascina)* - דג שכיח במערכת הירדן ההררי. מאפיין בתי גידול של זרימה (קרוטמן 2004), ולמרות היותו עמיד ושכיח בהשוואה לדגים רבים בישראל, גם הוא עלול להינזק עם מגמות כמו האטת הזרימה, ניתוק בתי גידול ליניאריים ויצירת בריכות. קרוטמן (2004) מציין שהחפפים קצרים יותר בנחלים רדודים ובמיעוט זרימה, וכן באזורים שמופרים על ידי פעילות קיט (קיאקים). פעילות הרבייה שלו תחומה בחודשי החורף, ומערבת הגירה במעלה הנחל (כל הנהרות והנחלים בגולן ובמערכת הירדן) לאתרי הטלה הולמים (גורן, 1983; Fishelson et al., 1996). כיום נמצא במספרים גדולים בנחל חרמון (קרוטמן 2003, 2010).

4. עגולסת הירדן *Garra rufa* - נמצאה על ידי ירון קרוטמן בקטע הנחל במורד השמורה ובבריכת הקצינים ב-2003 וב-2010.
5. לוטרה *Lutra lutra* - טורף ממשפחת הסמוריים, נמצא בסכנת הכחדה חמורה בישראל (הספר האדום, דולב ופרבולוצקי 2002). מאוימת על ידי הרס בית הגידול שלה – נחלים ומקווי מים – כתוצאה מייבוש, שאיבה, איגום, סכירה וזיהום. כמו כן מאוימת על ידי דריסה והרעלה (איומים שאינם רלוונטיים לפרויקט זה). הלוטרה טורפת, ותיפגע מהיעלמות בעלי חיים קטנים המשמשים לה טרף (למשל סרטני נחלים, דו-חיים, דגים, ציפורים ומכרסמים החיים בגדות הנחל). שרדו בישראל ככל הנראה כמה עשרות פרטים בלבד (דולב ופרבולוצקי 2002). נראה שהאוכלוסיות בארץ מבודדות ולכן הפוטנציאל ל"אפקט ההצלה" במקרה של הכחדה מקומית נמוך במיוחד, למרות מקרים נדירים של קישור בין האוכלוסיות (Magory Cohen et al. 2012).

מידע עזר על ביואינדיקטורים בנחל תנינים

חסרי חוליות

1. בריום *Procloeon cf. pennulatum* - חי בבתי גידול של זרימה שקטה וצמחייה טבולה. אובדן פשט ההצפה יצמצם משמעותית את בית הגידול שלו. שיטפונות ככל הנראה סוחפים את הדרגות הצעירות; תכיפות גוברת של אירועי שיטפון תחבל בסיכוייו של הבריום להשלים גלגול ולאכלס מחדש את הנחל. הביולוגיה של המין הישראלי לא מוכרת לאשורה, אך ניתן לשער על סמך הידע על מינים קרובים באירופה, ששינויים קיצוניים בספיקה ובתנאי המים יצמצמו את בית הגידול שלו. תנאי טמפרטורה גבוהה צפויים להשפיע גם הם על קצב התפתחותו, יכולת הרבייה שלו וכושר ההפצה שלו.
2. שעיר כנף *Hydropsyche* - חובב אבנים, ולכן אוכלוסייתו צפויה להצטמצם עם התפשטות צמחייה, ירידה בספיקת המים, ירידה במהירות הזרימה והידקקות התשתית. מגמות מעין אלה נצפו על ידי Hershkovitz (2014).
3. שטנד *Echinoqammarus foxi* - מלחך אצות אפיליתיות ועל כן צפוי להיפגע מהידקקות תשתית ואובדן אבנים בנחל. בעבר היה שכיח יותר בנחלי החוף אך נראה שאוכלוסיותיו הולכות ומצטמצמות (Herbst and Dimentman 1983), כנראה בשל הפגיעה האנושית העקבית בנחלים אלה. משגשג בטווח מליחיות רחב וגם בזרימה איטית יחסית, ועל כן השפעות שינויי אקלים על מאפיינים אלה לא צפויות לפגוע בו.
4. סרטן *Corophium orientalis* - היסטורית ידוע מכמה נחלי שפלה בישראל, לרבות מורד נחל תנינים (Herbst and Dimentman 1983) ובמורד הנחל (הבריכה המזרחית, מכון השאיבה; גזית וגורן 1999), אך אוכלוסיותיו הצטמצמו משמעותית בשנים האחרונות. מעדיף זרימה איטית, מליחות לא נמוכה, ותשתית דקת גרגר שמאפשרת לו להתחפר.
5. החלזונות הפולשים *Pyrgophorus* או *Tarebia granifera* - מינים פולשים נפוצים בעולם, שהופיעו בעשורים האחרונים בכמה נחלים בישראל, ובנחל תנינים החל משנת 2010 (Mienis et al. 2011); מילשטיין וחוב (2012). שני המינים נמצאו גם במים מליחים (Mienis 2011). עם הידקקות התשתית והפגיעה הכללית בתנאי בית הגידול, אוכלוסיותיהם צפויות להתרחב ולהתבסס באתרים חדשים. התבססותם מקושרת (באופן שטרם הוכח אמפירית) עם דחיקת מיני רכיכות מקומיים. החילוץ *Pyrgophorus* הוא הרכיכה היחידה ששרדה אירוע קיצוני של זיהום אורגני בסביבת נחל תנינים (Mienis 2011), מה שמעיד על עמידותו הגבוהה לתנאי זיהום והיפוקסיה (למרות היותו חילוץ הנושם באמצעות זימים). העמידות הגבוהה למליחות, להעשרה בחומרי הזנה ולירידה בזמינות החמצן תשרת את החלזונות הפולשים בתחרות מול מינים מקומיים ותסייע לשגשוגם.

6. סלסילה חופית (*Corbicula consobrina*) - הייתה מצויה ברוב נחלי החוף אך ככל הנראה נכחדה מרובם. עדיין נמצאת בנחל תנינים אך מצויה בסכנה (מילשטיין וחוב 2012). רגישה לזיהום ולייבוש. ככל הנראה רגישה לשינויים במשטר הזרימה ובריכוז החמצן. הביולוגיה של הצדפה לא מוכרת לאשורה, אך ניתן להעריך שהיא תלויה לצורך רבייה בדג פונדקאי, ועל כן קיומה מותנה בקיומו של הפונדקאי וברציפות הזרימה בנחל. מתחפרת במצע של חול גס.

חולייתנים

1. לבנון הירקון *Acanthobrama telavivensis* - אוכלוסייה שרידית במקטע ההררי (אזור אביאל; גורן 1998, גזית וגורן 1999). להשלמת מחזור החיים הדג חייב תשתית של אבנים קטנות ביניהן מוטלות הביצים ומסתתרים הדגים. כאשר התשתית דקת גרגר ובוצית הרבייה של הלבנון אינה אפשרית. לבנון הירקון רגיש במיוחד לזיהום מטיפוסים שונים וככל הנראה נפגע ממינים פולשים אגרסיביים כמו גמבוזיות.
2. חפף ישראלי (*Capoeta damascina*) - מאפיין בתי גידול של זרימה (קרומן 2004), ולמרות היותו עמיד ושכיח בהשוואה לדגים רבים בישראל, עלול להינזק עם מגמות כמו האטת הזרימה, ניתוק בתי גידול ליניאריים ויצירת בריכות. קרומן (2004) מציין שהחפפים קצרים יותר בנחלים רדודים ובמיעוט זרימה.
3. עגולסת הירדן (*Garra rufa*) - נכחד משאר נחלי החוף ככל הנראה כתוצאה מזיהום, ולכן חשיבותה של האוכלוסייה השרידית בנחל תנינים ניכרת במיוחד. לא מוגבל על ידי מהירויות זרימה. רגיש לזיהום, ובמקרים של זיהום כבד ועקבי צפוי להיכחד גם מנחל תנינים. מוכר במורד הנחל (במקטע בין כביש 4 לסכר הרומי) ובעיקר מעינות תמסח. שוחה בבית גידול של אבנים וצמחיית מים, מאוים במקרה של אובדן הצמחייה.
4. קרנון נהרות (*Salaria fluviatilis*) - תועד בנחל תנינים פעמים ספורות, לאחרונה בשנת 1996 (ייתכן שנכחד מהנחל). רגיש מאוד לשינויים בבית הגידול, כשלתשתית האבנית חשיבות עליונה לקרנון לצורכי רבייה והזנה. ייתכן שנדחק ונטרף על ידי גמבוזיות.
5. קיפון בורי (*Mugil cephalus*) - דג בעל ערך כלכלי שחי בסביבת שפכי נחלים ומגיע עד מעלה הנחל, אך מרבית אוכלוסייתו מרוכזת באסטוארים של נחלי החוף בישראל. שינויים קיצוניים בתנאי הסביבה מובילים לעיתים לתמותת דגים מאסיבית בנחלי חוף, כפי שאירע כמה פעמים בשנים האחרונות. נראה שהבורי הוא אחד הדגים הרגישים ביותר, הוא הראשון להיפגע ולעיתים מהווה 100% מהדגים המתים באירועי התמותה ההמוניים (אלרון, 2014). אף כי אין לכך גיבוי אמפירי, מעריכים שמנגנון הפגיעה בקיפון הוא הרעה קיצונית באיכות המים, כמו למשל ירידה משמעותית בריכוז החמצן המומס או עלייה בריכוזי האמוניה הרעילה (אלרון, 2014). אירועים שתועדו עד כה בנחלי החוף נובעים לרוב מהזרמות של שפכים ברמות טיהור שונות לנחל; יחד עם זאת, שינויי אקלים עלולים להוביל לעלייה בטמפרטורת המים ולירידה בספיקה, וכך לדעיכה בריכוז

החמצן המומס. בתרחיש כזה נצפה ליותר אירועים של תמותת דגים המונית, בהם הקיפון צפוי להיות אחד הראשונים שייפגעו.

6. טריטון פסים (*Triturus vittatus*) - רגיש לזיהומים ולהפרעות שונות, לרבות טריפה על ידי גמבוזיות. אוכלוסיות מקוטעות נמצאות באגן נחל תנינים ובנחל עצמו, אך המידע על גודלן ועל מידת הקישוריות ביניהן מוגבל ואינו עדכני. פגיעה במבנה הטבעי והמתון של גדות הנחל והצמחייה בהן, למשל במסגרת עבודות הסדרה למיתון שיטפונות, מחבלת בסיכוייו של הדו-חי להיכנס ולצאת מהמים באופן חופשי. האוכלוסייה

- Alouf, N. J. (1984). Cycle de *Marthamea beraudi* Navás dans un cours deau du Liban (Plecoptera). *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 20, 11–16.
- Berthélemy C., & Dia, A. (1982). Plecoperes du Liban. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 18, 191–214.
- Botosaneanu, L. (1992). Trichoptera of the Levant. Israel Academy of Sciences and Humanities.
- Botosaneanu, L., & Gasith, A. (1971). Contributions taxonomiques et ecologiques a la connaissance des trichopteres (Insecta) dIsrael. *Israel Journal of Zoology*, 20, 89–129.
- Bromley, H. (1988). A note on the Plecoptera of Israel. *Israel Journal of Entomology*, XXII, 1–12.
- Degani, G., & Kaplan, D. (1999). Distribution of amphibian larvae in Israeli habitats with changeable water availability. *Hydrobiologia*, 405, 49–56.
- Degani, G., & Warburg, M. R. (1978). Population structure an seasonal activity of the adult *Salamandra salamandra* (L.) (Amphibia, Urodela, Salamandridae) in Israel. *Journal of Herpetology*, 12, 437–444.
- Dumont, H. J. (1991). Odonata of the Levant. Israel Academy of Sciences and Humanities.
- Fishelson, L., Goren, M., van Vuren, J., & Manelis, R. (1996). Some aspects of the reproductive biology of *Barbus* spp., *Capoeta damascina* and their hybrids (Cyprinidae, Teleostei) in Israel. *Hydrobiologia*, 317, 79–88.
- Goldber, T., Nevo, E., & Degani, G. (2009). Breeding site selection according to suitability for amphibian larval growth under various ecological conditions in the semi-arid zone of northern Israel. *Ecologia Mediterranea*, 35, 64–74.
- Herbst, G. N., & Dimentman, C. (1983). Distributional patterns and habitat characteristics of Amphipoda (Crustacea) in the inland waters of Israel and Sinai. *Hydrobiologia*, 98, 17–24.
- Hershkovitz, Y. (2014). Macrophytes as ecosystem engineers: macroinvertebrate community response to the modulation of landscape and resources in Mediterranean-climate streams. Thesis submitted towards the PhD degree at Tel-Aviv University.
- 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
- Hershkovitz 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
- Hutton, J. M., Price, S. J., Richter, S. C., & Barton, C. D. (2021). Diet composition: a proximate mechanism explaining stream salamander decline in surface waters with elevated specific conductivity. *Global Ecology and Conservation*, 29, 2–11, e01719.
- Iliopoulou-Georgudaki, J., Kantzaris, V., Katharios, P., Kaspiris, P., Georgiadis, T., & Montesantou, B. (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.
- Magory Cohen, T., Narkiss, T., Dolev, A., Ben-Ari, Y., Kronfeld-Schor, N., Guter, A., Saltz, D., & Kahila Bar-Gal, G. (2012). Genetic diversity of the Eurasian otter (*Lutra lutra*) population in Israel. *Journal of Heredity*, 1–10, doi: 0.1093/jhered/see094.
- Markert, B., Wappelhorst, O., Weckert, V., Herpin, U., Siewers, U., Friese, K., & Breulmann, G. (1999). The use of bioindicators for monitoring the heavy-metal status of the environment. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 240(2), 425–429.
- Mienis, H. K. (2011). On the further spread of *Pyrgophorus* in Israel. *Ellipsaria*, 13, 28.
- Mienis, H. K., Rittner, O., & Vaisman, S. (2011) Another riddle from Israel: how can we explain the presence of a *Pyrgophorus* species in the Tanninim River Basin? *Ellipsaria*, 13, 17–18.
- Tierno de Figueroa, J. M., López-Rodríguez, M. J., Lorentz, A., Graf, W., Schmidt-Kloiber, A., & Hering, D. (2010). Vulnerable taxa of European Plecoptera (Insecta) in the context of climate change. *Biodiversity and Conservation*, 19, 1269–1277.
- Uekötter, L. (2016). Diversity of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera in large streams of the Lake Kinneret catchment. Thesis submitted towards the MSc degree in the biodiversity program of the Faculty of Biology and Biotechnology at the Ruhr University Bochum and the Faculty of Biology at the University of Duisburg-Essen.

Weiss, A. (2019). Identifying the eco-hydrological niches of macroinvertebrates to assess the impact of prolonged drought in the Upper Jordan River. Thesis submitted towards the MSc degree in Ecology and Environmental Studies at Tel-Aviv University.

Zwick, P. (1984). *Marthamea beraudi* (Navás) and its European congeners (Plecoptera: Perlidae). *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 20, 129–139.

אלרון, א. (2014). ניטור הידרו-ביולוגי במורד נחל לכיש. מוגש לאיגוד ערים לאיכות הסביבה אשדוד-חבל יבנה. DHV MED בע"מ, 32 ע.

גורן, מ. (1983). דגי המים המתוקים בישראל. הוצאת הקיבוץ המאוחד. עמ 78
גזית, א., וגורן, מ. (1999). דו"ח סקר עינות תמסח ונחל תנינים – 9.8.99. טיוטה להתייחסות. המכון לחקר שמירת הטבע, אוניברסיטת תל אביב. 9 ע.

דולב, ע. פרבולוצקי א. (2002). הספר האדום של חולייתנים בישראל. רשות הטבע והגנים והחברה להגנת הטבע. מילשטיין, ד., מיניס, ה., וריטנר, ע. (2012). מגדיר שדה לרכיכות המים הפנימיים של ארץ ישראל. רשות הטבע והגנים ואוניברסיטת תל אביב. 54 ע.

קרוטמן, י. (2003). סקר דגים בנחל הבניאס. מוגש לרשות הטבע והגנים. המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל אביב. 4 ע.

קרוטמן, י. (2004). המגוון הביולוגי ומבנה חברת הדגים במערכת הירדן והקשר בינם למבנה בית הגידול ולהשפעות אנתרופוגניות. חיבור המוגש כעבודת גמר לקראת התואר "מוסמך אוניברסיטה" במסלול לאקולוגיה ואיכות הסביבה באוניברסיטת תל אביב.

רוטמן, ב. (2009). ביולוגיה ואקולוגיה של בינון הירדן (*Nemacheilus jordanicus*). חיבור המוגש כעבודת גמר לקראת התואר "מוסמך אוניברסיטה" במסלול לאקולוגיה ואיכות הסביבה באוניברסיטת תל אביב.