

זיהום נחל אשלים – ניטור אקולוגי רב-תחומי

יום עיון לסיכום חמש שנות ניטור ומבט לעתיד

יום רביעי, 3 במאי 2023



המארג

התכנית הלאומית
להערכת מצב הטבע



תוכן עניינים

2..... לוח זמנים ליום העיון

אסופת תקצירים

4..... ניטור ארוך טווח של זיהום הקרקע והמים בנחל אשלים

6..... ניטור הידרו-גיאומורפולוגי של נחל אשלים

9..... ניטור מבנה אוכלוסיות מיקרואורגניזמים בקרקעות נחל אשלים

הדינמיקה של מבנה חברת הקרומים הביולוגיים בקרקע מדברית רוויה

11..... בחומצה והשפעתה על תכונות שטח הפנים של הקרקע

13..... חמש שנות ניטור צומח בנחל אשלים – פגיעה והתאוששות חלקית

אגם נולד: מעקב חישה מרחוק אחר היווצרות אגם הברבורים והשינויים בו

15..... בעקבות אירוע הזיהום בנחל אשלים

17..... חמש שנים של ניטור פרוקי רגליים בנחל אשלים

19..... ניטור השפעת הזיהום על חברת חסרי החוליות המימיים בגבים

21..... השפעת הזיהום על שיחים ובני שיח שליטים בנחל אשלים

23..... ביאקומולציה של פלואור במארג המזון – מערך ניסוי מעבדה

25..... ביאקומולציה של מזהמים במארג המזון של נחל אשלים



לוח זמנים ליום העיון

תוכן	הדוברים
09:00	רישום והתכנסות
חלק א' – פתיחה. מנחה: ד"ר איתי רנן, מנהל המארג, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב	
09:30	דברי פתיחה
פרופ' תמר דיין יו"ר מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב	
גב' רעיה שורקי מנכ"לית רשות הטבע והגנים	
ד"ר יהושע שקדי מדען ראשי רשות הטבע והגנים	
ד"ר נטע ליפמן סמנ"כלית בכירה למשאבי טבע וחוסן לאומי, המשרד להגנת הסביבה	
סטטוס תוכנית הניטור לאחר חמש שנים	
ד"ר רייל הורביץ רכז תוכניות הניטור, המארג, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב	
חלק ב' – הרצאות מנטרים וחוקרים. מנחה: ד"ר רייל הורביץ	
10:00	הידרוגיאוכימיה
ד"ר אורי נחשון ¹ , ד"ר איתי גבריאל ² מנהל המחקר החקלאי, ² המכון הגיאולוגי לישראל	
גיאומורפולוגיה	
ד"ר רועי אגוזי התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות ופיתוח הכפר	
מיקרואורגניזמים	
פרופ' עלי נוג'ידאת אוניברסיטת בן-גוריון בנגב	
קרומים ביולוגיים	
ד"ר אלי צעדי מנהל המחקר החקלאי, מרכז מחקר גילת	



המארג

התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע



11:20	הפסקת קפה	
11:40	צומח	ד"ר אופיר כץ מו"פ מדבר וים המלח
	סקרי חישה מרחוק	מר עידו ליבנה רכז חישה מרחוק, המארג, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב
	פרוקי רגליים	מר גלעד בן צבי מנהל המעבדה האנטומולוגית לאקולוגיה יישומית, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב
	הידרוביולוגיה	ד"ר ירון הרשקוביץ המרכז הלאומי לאקולוגיה אקוויטית, אוניברסיטת תל אביב
13:00	הפסקת צהריים – כריכים וקפה	
13:45	הצטברות מזהמים ברקמות הצומח	פרופ' שמעון רחמילביץ' המכונים לחקר המדבר, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
	הצטברות מזהמים בעקרבים	יורם צביק ^{1,2} , ד"ר אפרת גביש-רגבי ¹ ¹ אוסף העכבישנים הלאומי, האוניברסיטה העברית בירושלים; ² דוכיפת, מרכז צפרות ואקולוגיה
	הצטברות מזהמים במארג המזון	פרופ' נגה קרונפלד-שור בית הספר לזואולוגיה, אוניברסיטת תל אביב; מדענית ראשית, המשרד להגנת הסביבה
חלק ג' – סיכום ומבט לעתיד. מנחה: ד"ר אסף צוער, מנהל אנף סביבה, רשות הטבע והגנים		
14:45	סינתזה ודיון פתוח עם החוקרים והקהל	ד"ר רייל הורביץ רכז תוכניות הניטור, המארג, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב

אסופת תקצירים

ניטור ארוך טווח של זיהום הקרקע והמים בנחל אשלים

אורי נחשון¹, רותם גולן¹, איתי גבריאלי², רועי קציר¹ וגלית שרעבי²

¹המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה – מכון וולקני, ראשון לציון

²המכון הגיאולוגי לישראל, ירושלים



המארג

התכנית הלאומית
להערכת מצב הטבע



רקע. הבנת תנועת המזהמים בקרקעות נחל אשלים היא קריטית מכיוון שמהקרקע המזהמים עוברים לכלל המערכת האקולוגית. המנגנון הטבעי להרחקת המזהמים הוא שטיפה של הקרקעות על ידי מי הגשמים והשיטפונות. במחקר זה עקבנו אחר ריכוזי המזהמים בפרופיל הקרקע ובמי השיטפונות, משנת 2019 ועד היום. עיקר הניטור התרכז במקטע החולי של הנחל מתוך הבנה שהוא חשוב מבחינה אקולוגית. בנוסף, האזור החולי ספג כמות גדולה של מזהמים באירוע הזיהום ויש לו פוטנציאל גבוה לשחרר אותם חזרה לסביבה לאורך תקופות זמן ארוכות.

שיטות. במחקר דגמנו באופן מתמשך שני פרופילי קרקע בטרסות החוליות שמעל לערוץ הזרימה העיקרי. טרסות אלו נשטפו בעת אירוע הזיהום אך תחת תנאים טבעיים אינן נחשפות לשיטפונות. אחת לזמן מה ולאחר כל אירוע גשם, דגמנו את הקרקע שבטרסות, לעומק של 50 ס"מ. הדוגמאות אופיינו במעבדה להרכבם הכימי וריכוז המזהמים. בספטמבר 2022 בוצע חתך לרוחב תעלת הזרימה במקטע האלוביאלי של הנחל ונאספו דוגמאות קרקע עד לעומק של 1.5 מטר. גם הדוגמאות הללו נבחנו במעבדה. במקביל, לכל אורך שנות הדיגום נבחנו מי השיטפונות ומי הגבים מבחינת הרכבם הכימי.

תוצאות. מספיק מבט חטוף בכדי לראות שכמויות גדולות של משקעים זיהום עדיין נמצאים בנחל, בעיקר במקטע החולי בו רואים שכבות עבות של גבס שהצטבר בעקבות אירוע הזיהום. מדידות המעבדה הראו כי מזהמים אחרים מצומדים לגבס, כאשר פלואור הוא העיקרי שבהם. מניטור הקרקע בטרסות נמצא

שמי הגשם המועטים שירדדים באזור אינם מספיקים בכדי ליצור שטיפה משמעותית של המזהמים אל מתחת לבית השורשים ומכיוון שהטרסות אינן נחשפות אל מי השיטפונות, פוטנציאל שטיפת המזהמים מהן הוא מוגבל ביותר. גם בדיגום המקטע האלוביאלי נמצא כי ישנם בו ריכוזים גבוהים של מינרלים ומזהמים מאירוע הזיהום. השוואה של המדידות האחרונות עם מדידות שבוצעו במועדים קרובים יותר לאירוע הזיהום הראתה כי לא חלה דעיכה משמעותית בריכוז המזהמים. מכיוון שקרקעות המקטע החולי עדיין מזהמות, מי השיטפונות מושפעים גם כן וגם הם מכילים מומסים ומזהמים.

דיון ומסקנות. מהמחקר למדנו כי אגן נחל אשלים עדיין מזהם ושהרחקת המזהמים מן הנחל היא איטית מאוד. הסיבה לכך היא השילוב של תנאי האקלים באזור והעובדה כי אירוע הזיהום שטף אזורים שאינם נשטפים באופן טבעי. בתנאים אלו, עיקר תנועת המזהמים בטרסות היא ורטיקלית, במחזורים של שטיפה רדודה באירועי גשם ועלייה חזרה מעלה בעלייה נימית כתוצאה מהאידיוי שמתרחש בפני הקרקע.



המארג

התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע





המארג

התכנית הלאומית
להערכת מצב הטבע



ניטור הידרו-גיאומורפולוגי של נחל אשלים

רועי אגוזי¹, מתן בן יונה¹, אלון רונן¹, אוהד הרמן¹, שי אלדד², יעל סטורץ³, יניב סויבילמן³

¹התחנה לחקר הסחף, האגף לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות ופיתוח הכפר

²אמפיביו, ייעוץ, תכנון והנדסת סביבה

³אגף מים עיליים והידרומטאורולוגיה, השרות ההידרולוגי, רשות המים

רקע. נחל אשלים הוא מערכת ביו-פיסיקלית בסביבה מדברית, אשר חווה אירוע זיהום גיאוכימי חריג של שפכים תעשייתיים חומציים. כתוצאה מפריצת סוללה של בריכת מס' 3 במפעל כיל רותם זרמו השפכים באפיק הראשי במהירות ובעוצמה לכול אורכו, אך ללא תיעוד בזמן אמת. המחברים ביקשו לברר את השאלות הבאות על מנת להסביר את הפגיעה במערכת האקולוגית הרגישה המתקיימת בנחל ולסייע במאמצי השיקום: 1. שחזור הילוך הגאות באפיק על מנת להבין את עוצמת התפשטות הזיהום בעת האירוע: נפח הגאות, ספיקת השיא, מהירות הזרימה, וויסותים; 2. ניתוח גיאומורפומטרי של יחידות הנוף השונות באגן ההיקוות: חולי, חולי-סלעי, מעוק רדוד, מעוק עמוק, אלוביאלי ו"אגם הברבורים" על מנת להבין מהן ההשלכות של אירוע הזיהום על ההיתכנות לשיקום בהיבט ההידרו-גיאומורפולוגי. 3. בירור קצב התהליכים הגיאומורפולוגיים של הסעת משקע (גרופת) באפיק הנחל על מנת לדייק את פעולות עתידיות של שיקום הנחל. **שיטות.** מדדנו חתכי רוחב בשני מקטעי נחל ביחידה החולית על סמך סמני שיא הזרימה, וקצף ברורים. מהם חושבה ספיקת שיא לפי שיטת העבר שיפוע. תימוכין לכך, נמצאו בעיבוד תמונה בממ"ג המדגימים את השינויים ברוחב האפיק הפעיל ובכיסוי הצמחייה; בוצע ניתוח הידרולוגי של אירועי גאות מדודים ואומדנים של אירועי גאות ביחס לאירוע הפריצה באמצעות מודל הידרולוגי דו-ממדי; הפקנו עקומי רום-שטח-נפח בבריכות אגירת שפכים תעשייתיים 3 ו-4 על סמך הדמאות לוויין ומודל שריג גבהים ספרתי; מדדנו את פילוג גודל הגרגר בשני מקטעי נחל: ביחידה החולית וביחידה האלוביאלית וכן בשני אתרים דומים בנחל גמלים וחרמר הסמוכים. הדגימות נופו בשטח עבור גדלים גסים והועברו להמשך ניפוי



המארג

התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע



במעבדה. הנתונים שימשו אותנו לחישוב קצבי הגרופת (סדימנט גס) במהלך אירוע זרימת הזיהום. ב. הזנת מקדם החיספוס במודל ההידרולוגי, וכן עבור ג. דיוק תערובת הסדימנט שתחליף את הסדימנט שיוסר כחלק מפעולות השיקום; הקישוריות ההידרוגיאומורפולוגית הופקה על סמך ניתוח הגיאומורפומטרי של שריג גבהים דיגיטאלי (DTM) את השטחים התורמים נגר עלי וסדימנטים אל היובלים הראשיים ביחידות השונות; תהליכי ההסרה והמילוי בתשתית הנחל המתרחשים בזמן שיטפון נמדדו ע"י שרשראות סחיפה שהוחדרו לתשתית הנחל במעלה הנחל, באזור החולי, ובאזור התחנה ההידרומטרית במוצא מן המעוק. באותם אתרים ביצענו צילום של מקטעי הנחל באמצעות רחפן ומהצילומים הופקו שריגי גבהים ספרתיים בשיטת SFM. הפחתת רסטרים עוקבים שימשו אותנו למיפוי האזורים הפעילים גיאומורפולוגית בתשתית האפיק.

תוצאות. נפח השפכים שזרם מבריכה 3 מוערך ב-330 אלף מטר קוב. השפכים התנקזו במהירות מבריכה 3 כולל הסרה של משקע מתוך הבריכה. שיא הספיקה מוערך 80 מקש"נ ומהירות זרימה של למעלה מ 2 מטר / שניה. גל גאות השפכים באפיק הראשי גרמה להרחבה משמעותית של אפיק הזרימה הפעיל ולהסרה של צמחייה רב שנתית שאכלסה את אפיק הנחל. אומדן כמות הסחף שהוסעה במעלה האגן (יחידת הנוף החולית) נע בין 3500 ל-5000 טון סדימנט. הסרת הסדימנט והסעתו ביחידה החולית למורד גרמה לעלייה במרקם הגס של תשתית האפיק. המרקם הקיים גם שונה מהאתרים בנחלים גמלים וחמרמר. בהשוואה לאלה נמצא גם שהמרקם ששימש לניסוי החלפת הקרקע אינו מתאים סדימנטולוגית וגיאומורפולוגית כיוון שאינו מייצג כהלכה התפלגות דו-שיאית ומכיוון שהסדימנט בו השתמשו מתאפיין בערכי מוליכות הידרולית גבוהה. לכך השלכות לגבי זמינות מים לצמחייה בערוץ.

גאות משמעותית דורשת חציית סף עובי גשם יומי של 15 מ"מ בעוצמה של 30 מ"מ/שעה וכיסוי של שטח אגן ההיקוות, בהינתן שמתקיימת רציפות זרימה האפיק הראשי, הגאוויות מווסתים במעוקים. כך אירע באירוע הזיהום: הזרימות באפיק צפויים להגיע לכביש 90 תוך 2.78 שעות (אורך ערוץ 22792 ושיפוע של



המארג

התכנית הלאומית
להערכת מצב הטבע



0.031), אולם התצפית בכביש 90 של גל השיטפון תועדה בין 4 ל-5 שעות לאחר פריצת הסוללה. וויסות נוסף מתקיים בכניסה לאגם הברבורים. ניתוח של הקישוריות הידרוגיאומורפולוגית מצביע על כך שמרבית האגן מתאפיין בקישוריות הידרוגיאומורפולוגית נמוכה לאפיק המרכזי כלומר קצבי הסעת הסדימנט / חומר גנטי מהיובלים הלא מזוהמים נמוך והשיקום הטבעי צפוי להיות איטי מאוד. עובי השכבה הפעילה (הסרה/מילוי) של סדימנטים מוגבל לשכבה העליונה של התשתית. לגבי אגם הברבורים, נמצא שהפוטנציאל של השיטפונות מהאגנים: חמרית, ואדמון, חשובים מהשיטפונות של נחל אשלים. **מסקנות.** אירוע הזיהום באפיק הראשי לכול אורכו גרם לזיהום המערכת הנחלית באופן תמידי. הסיכוי לאירוע שיטפון דומה במאפייניו לאירוע הזיהום נמוך מאוד ביחידה החולית, אך סביר בהחלט ביחידה האלוביאליית בגלל האפקט המווסת של המעוקים. לכן זיהום שהושקע לרוחב האפיק הפעיל במעלה עשוי להמשיך ולהיות מקור מתמיד לזיהום. ניהול הסיכון הוא שאלה שלא נידונה כאן והוא נושא שדורש התייחסות נפרדת. שינויים גיאומורפולוגים במהלך שיטפונות שכיחים גורמים להסרה ולמילוי בסדר גודל של $0.5 \pm$ מטרים. כלומר קבירה וחשיפה של משקע מזוהם והסעתו יכולה להתקיים לאורך שנים רבות. מאמצי השיקום היזומים חשובים כיוון שהשיקום הטבעי יארך זמן רב במיוחד לאור הערכים הנמוכים של קישוריות הידרו-גיאומורפולוגית. בפעולות השיקום היזומות יש לדייק את מרקם הסדימנט. פעולות השיקום צריכות לכלול גם פעולות של עיצוב האפיק מורפולוגית, כלומר, הקטנת רוחב האפיק הפעיל. ככול שאגם הברבורים ימשיך להיות מוזן ממי שיטפונות של האגנים חמרית ואדמון צפויה להיות מהילה של המזהמים שכבר הצטברו שם.

ניטור מבנה אוכלוסיות מיקרואורגניזמים בקרקעות נחל אשלים

עלי נוג'ידאת¹

¹מכונים לחקר המדבר, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, קמפוס שדה בוקר

רקע. לאוכלוסיית המיקרואורגניזמים בקרקע תפקיד חשוב במחזור נוטריינטיים ומידת זמינותם לצמחים, היצרנים הראשוניים במערכות אקולוגיות. השונות הביולוגית של החיידקים בקרקע תקבע את אופי ועוצמת התהליכים וכתוצאה מכך את תפקוד המערכת האקולוגית. לאור זאת, מדובר למעשה בדבר חשוב ביותר במערכות אקולוגיות מדבריות בגלל כמותם המוגבלת של הנוטריינטיים.

שיטות. דיגום קרקע: דגימות של קרומי קרקע (שכבה עליונה של 1 ס"מ מפני השטח) נאספו משני אתרים במקטע החולי של נחל אשלים: 17 חודשים, 3 שנים ו-5 שנים לאחר אירוע הזיהום. דגימות קרקע (בין 1 ל-5 ס"מ מפני השטח) נאספו לאחר 17 חודשים ו-3 שנים. דגימות מנחל גמלים ומנחל ימין שימשו כביקורות ללא זיהום. באתרי הדיגום של אשלים, דגימות קרקע מקרומים ובשכבה מתחת לקרומים נאספו מ-5 שכבות חיגור שונות בנחל ובאצרי הביקורת מ-3 שכבות חיגור.

מגוון בקטריאלי: נעשתה הפקה של DNA, ומבנה חברת החיידקים הוגדרה ע"י הגברת מקטעים השייכים לגן הפילוגנטי 16SrRNA (אזורים V3-V4) בעזרת תחלים ספציפיים לבקטריות. המקטעים נשלחו לריצוף ע"י Genomic and Microbiome Core Facility at Rush University, USA.

תוצאות. חמש שנים לאחר אירוע הזיהום, מבנה החברה המיקרוביאלית בדגימות קרומי הקרקע המזוהמות של אשלים המשיך להראות הבדלים משמעותיים מזה שבקרומי קרקע בנחלי ביקורת. באשר לפונקציונליות של החברה המיקרוביאלית בקרומים, ציאנובקטריות הן המרכיב המרכזי והחשוב ביותר לתפקוד תקין וארוך-טווח של מערכות אקולוגיות מדבריות. השפע של קבוצה זו בנחל אשלים המשיך להיות נמוך משמעותית מזה שבביקורת, למרות שעברו חמש שנים מהאירוע. קבוצה זו אחראית לקיבוע פחמן וחנקן שמשמשים את המערכת האקולוגית. ללא החלמה של קבוצה קריטית זו, צפוי תהליך שיקום ממושך של המערכת הפגועה.



המארג

התכנית הלאומית
להערכת מצב הטבע



לגבי הקרקע שמתחת לקרום הביולוגי, הבדלים ברורים במגוון החיידקים תועדו שלוש שנים לאחר אירוע הזיהום, ובמיוחד הראו השפעה שלילית על חיידקים שאחראים על תהליך הניטרופיקציה.

דין ומסקנות. התוצאות מראות כי ישנם סימנים להתחלת תהליכי התאוששות בנוגע לשונות של החיידקים, אך המצב רחוק מהתאוששות מלאה ובמיוחד בערוץ הנחל של אשלים. אחת מקבוצות מחמצני אמוניה עדיין לא התאוששה בערוץ. ניתן לטעון כי מדובר בתהליכים עונתיים, אבל, טענה זו לא נתמכת מאחר ולא נצפו הבדלים בתוצאות בין מועדי הדיגום השונים בנחל הביקורת.

מדיאון הטבע
שטיינרדט
המרכז הלאומי לחקר המגוון הביולוגי



המארג

התכנית הלאומית
להערכת מצב הטבע



הדינמיקה של מבנה חברת הקרומים הביולוגיים בקרקע מדברית רוויה בחומצה והשפעתה על תכונות שטח הפנים של הקרקע

אלי צעדי¹, היאם אבו גליון¹, שמשון שוקר¹

¹המחלקה למשאבי טבע, מינהל המחקר החקלאי, מרכז מחקר גילת

**מדיאון
הטבע**
שטיינהרדט
המרכז הלאומי לחקר המגוון הביולוגי



המארג

התכנית הלאומית
להערכת מצב הטבע



רקע. קרום קרקע ביולוגי (קק"ב) מכסה את פני הקרקע באזורים צחיחים ברחבי העולם. הקק"ב מורכב מחברת אורגניזמים זעירים הכוללת חיידקי הקרקע, אורגניזמים פוטו-אוטוטרופיים, אצות כחוליות (ציאנובקטריות), אצות קרקע ירוקות, חזזיות וטחבים. יכולתם של אורגניזמים אלה לגדול באזורים דלים במים מאפשרת להם לאכלס את פני הקרקע באזורים צחיחים. הקק"ב נוצר כתוצאה מיחסי גומלין בין אורגניזמים פוטוסינטיים לבין גרגרי הקרקע. הם משמשים כמדד לבריאות המערכת האקולוגית ומהווים מהנדסי סביבה במערכות דלות-

גשמים, מונעים סחף על ידי המים והרוח, מעשירים את הקרקע בחומר אורגני ובחנקן קשור ומהווים יצרן ראשוני באזורים ארידיים, ויחד עם קליטת אבק איאולי תורמים להעשרת הקרקע בנוטריינטים. מטרות המחקר הן לבחון את השפעות הזיהום בנחל אשלים על קרומי הקרקע הביולוגיים, בשני אתרי המחקר השונים לאורך הנחל ואת טיפולי השיקום.

שיטות. נבחרו שני אתרים שנפגעו באירוע בחלק החולי העליון ובחלק האלוביאלי של הנחל. מולם נבחרו שני אתרי ביקורת בנחל גמלים מול המקטע החולי ובמדף אלוביאלי שלא נפגע מהזיהום בסמוך לאתר שנפגע. כביקורת נוספת נבחר אתר נחל ימין. בשלושת אתרי הביקורת קיימים קרומי קרקע ביולוגיים טבעיים מפותחים המהווים מקרים מייצגים של קרומי הקרקע מקומיים. בארבעת האתרים הראשונים בוצעו חמישה טיפולים המיועדים לנטר ולשקם את הקק"ב. בכל ארבעת אתרים בוצעה שורה של בדיקות פיזיקליות, כימיות וביולוגיות.

תוצאות. כלל תוצאות הניטור והמחקר מצביעות על פגיעה בקרום הקרקע הביולוגי בנחל אשלים, הן בתכונות הפיזיקליות והכימיות והן בביולוגיות שנבדקו. לאחר חמש שנות המחקר הפגיעה עדיין נוכחת, בייחוד בחלקו העליון - החולי של הנחל. לעומת זאת, בחלקו האלוביאלי של הנחל ניכר שיפור בחלק מהמדדים שנבדקו.



דיון ומסקנות. המרחב בו כיסוי קרום הקרקע הביולוגי הוא המשמעותי ביותר בנחל אשלים הוא המרחב החולי שגם מהווה את אגן הניקוז המרכזי של הנחל והוא זה שנפגע ביותר. חוסר גורמי ריבוי של הקק"ב וחומר אורגני מהווה חסם לשיפור המצב. נמצא, לפי תוצאות הטיפולים שנערכו לשיקום, כי טיפולי הוספת גורמי ריבוי של הקק"ב והעשרה בחומר אורגני טחון, כמקור פחמן וחנקן מביאים להשפעה מטיבה, אשר יש להמשיכה ולנטרה ונראה וכי ניתן יהיה להמליץ על טיפולים אלה כאמצעי לזירוז הליך השיקום. קיים צורך להמשיך ולנטר את הטיפולים אלה על מנת לאמוד את קצב שיקום קרום הקרקע הביולוגי באתרים שנפגעו.



המארג

התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע



חמש שנות ניטור צומח בנחל אשלים – פגיעה והתאוששות חלקית

אופיר כץ^{2,1}

¹מו"פ מדבר וים המלח, גן לאומי מצדה, הר מצדה

²אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, קמפוס אילת, אילת

**מדיאון
הטבע**
שטיינהרדט
המרכז הלאומי לחקר המגוון הביולוגי



המארג

התכנית הלאומית
להערכת מצב הטבע



רקע. הצומח בנחל אשלים ספג פגיעה קשה עקב אירוע זרימת השפך התעשייתי. כמאפיין בולט של סביבת קיצון זו, הצומח נשען על מספר קטן של מיני מפתח (בעיקר מיני שיטה, אשל ורותם), המהווים את התשתית הביולוגית עליה נשענות המערכות האקולוגיות.

שיטות. סקר תמותת שיחים ביחידה החולית בוצע בשנת 2018. סקרי צומח מפורטים בוצעו בשנים 2018-2020. מדידות צפיפות צומח (פרטים ליחידת שטח) בשנת 2018 הוחלפו במדידות כיסוי צומח בשנים 2019-2020. בשנים אלה זוהו מינים סמנים למצב הנחל, בהתאם לשכיחותם ותפוצתם בנחל אשלים ביחס לנחלי הביקורת. בוצע ניטור של מצב עצי שיטה בשנים 2018, 2019 ו-2022, ושל שיחי רותם בשנת 2020 (באופן איכותני) ובשנים 2021 ו-2022 באופן כמותי. בשנת 2022 בוצע סקר ראשוני של מצב מיני מפתח באגמון סדום שבמוצא הנחל.

תוצאות. שיעור השיחים המתים ביחידה החולית בשנת 2018 עמד על 8.3% בנחלי הביקורת לעומת 42.7% בנחל אשלים. צפיפות הצומח בנחל אשלים בשנת 2018 הייתה נמוכה באופן מובהק מצפיפות הצומח בנחלי הביקורת. בשנים 2019-2020 נמצא כיסוי צומח נמוך יותר בתוך הערוצים של נחל אשלים בהשוואה לערוצי הביקורת ביחידה האלוביאלית. לא היו הבדלים בולטים בהרכבי חברות הצומח בין נחל אשלים לנחלי הביקורת, למעט בשנת 2018. זהו מספר מינים המאפיינים יותר את נחלי הביקורת, ותפוצתם ושכיחותם של חלק ממינים אלה עלתה בנחל אשלים לאורך תקופת הניטור. במקביל, מינים שאפיינו יותר את נחל אשלים מיד לאחר אירוע הזיהום התמעטו במשך הזמן. לא נמצאו הבדלים בולטים בין עצי השיטה בנחל אשלים לעצים שבנחלי הביקורת. בשנים 2020 ו-2021 מצבם של שיחי הרותם בנחל אשלים היה רע באופן ברור מאלה שבנחלי הביקורת: הם היו ירוקים פחות וללא פרחים ופירות. בשנת 2021 כבר נצפה שיפור במצב



הירוקיות של השיחים בנחל אשלים ובשנת 2022 גם במצב הפריחה. ככלל, צמחים היו במצב גרוע יותר באתר הצפון-מערבי הסמוך לכניסת נחל אשלים לאגמון סדום.

דין ותוצאות. תוצאות הניטורים לאורך חמש השנים מצביעות על פגיעה משמעותית של הזיהום בצומח בנחל אשלים. ישנם סימנים להתאוששות הדרגתית וברוב המקרים עדיין לא מלאה, כאשר ההתאוששות ביחידה האלוביאלית טובה מזו שביחידה החולית. נראה כי לפחות חלק ממגמת ההתאוששות הוא תוצאה של שנים גשומות יחסית, וברור שבצורות עלולות לעצור את ההתאוששות או אף לגרום לנסיגה. לכן התחזית הסבירה לעתיד הקרוב הוא המשך ההתאוששות, אם כי קצב ההתאוששות עשוי להיות מואט.



המארג

התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע



אגם נולד: מעקב חישה מרחוק אחר היווצרות אגם הברבורים והשינויים בו בעקבות אירוע הזיהום בנחל אשלים

עידו ליבנה¹, רייל הורביץ¹, אלה פסטרנק¹

¹המארג, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב

רקע. מאגר אשלים דרום ("אגם הברבורים"), הינו גוף מים מלאכותי למחצה אשר נוצר בעקבות עבודות כרייה של מפעלי ים המלח והתמלא במי תהום ושיטפונות. זהו גוף מים ייחודי המהווה בית גידול אקוטי באזור מלחת סדום. האגם מקיים מגוון רחב של מיני עופות, חלקם נדירים. אירוע הזיהום בנחל אשלים ניקז מזהמים רבים אל האגם ובעקבותיו עלה צורך משמעותי בבחינת השפעת הזיהום על המערכת האקולוגית שהתפתחה במאגר. לשם כך נערכו בו מיפויים בטימטריים, סקרי צומח וחי ונבחנו מדדים כימיים וביולוגיים. בנוסף, בכדי להבין תופעות מחזוריות של פריחת אצות ושינויים בצומח, נעשה שימוש בכלי חישה מרחוק אשר סיפקו נתונים למחקר היסטורי של התהליכים והשינויים העיקריים שהביאו את האגם למצבו הנוכחי.

שיטות. במחקר זה, אשר נערך על ידי המארג – התוכנית הלאומית להערכת מצב הטבע, ובניהול רשות הטבע והגנים, במסגרת פרויקט ניטור נחל אשלים, נבחנו שינויים בארבעה פרמטרים היסטוריים ועכשוויים של האגם: (1) השטח המכוסה מים (2) שטח ואופי הצמחייה (3) אירועי פריחת אצות (4) שינויים באיכות המים לאחר אירוע הזיהום. פרמטרים אלה נבחנו בהקשר של שינויים מורפולוגיים בשטח, אירועי שיטפונות משמעותיים ואירוע הזיהום בנחל. המחקר נערך באמצעות צילומים של ארבעה לוויינים מאמצע שנות ה-80 ועד ימינו. ניתוח הנתונים נעשה באמצעות בחינה ויזואלית של שילובי ערוצים ספקטראליים, אינדקסים ספקטראליים ואימות מהשטח על ידי דיגום כימי של מי האגם, תצפיות ונתונים מטאורולוגיים.

תוצאות. המחקר חושף את הדינמיקה של התפתחות גוף מים מלאכותי למחצה זה באזור מדברי צחיח, החל מבצבוץ ראשוני של מי תהום באמצע שנות ה-90, דרך הצפת שטח האגם בעקבות אירועים שיטפוניים מז'וריים, צימוח ראשוני של



אשלים ולאחר מכן צמיחה מהירה של קנים בתוך ובשולי האזורים המוצפים. בנוסף, זוהתה ואופיינה הדינמיקה של פריחת אצות עונתית באגם בהיבטים של מרחב וזמן. אנו מראים כי ניתן לקשור בין מדדי חישה מרחוק למוליכות חשמלית במים ומציגים ממצאים המחזקים את הטענה שהאגם הוא למעשה שני גופי מים נפרדים.

דיון ומסקנות. מחקר זה מראה את היתרונות של חישה מרחוק ביכולת לחזור לאחור בזמן ולייצר סדרות זמן אשר על ידי שילוב עם נתונים מטאורולוגיים מסבירות את חלק מהשינויים שהתרחשו באגם. בנוסף, הדגמנו היבטים של חישה מרחוק אשר יכולים לחסוך עבודת שטח מורכבת כגון מעקב אחר אירועי פריחת אצות, כימות עוצמתם והאפשרות לזהות באופן עקיף שינויים במוליכות החשמלית במי האגם.



המארג

התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע





המארג

התכנית הלאומית
להערכת מצב הטבע



חמש שנים של ניטור פרוקי רגליים בנחל אשלים

גלעד בן צבי¹, עדי רמות¹, אור קומאי^{1,2}, יעל מיארה¹, שרון אסיס¹, אחיקם גרא¹,
איתי רנן^{2,1}

¹המעבדה האנטומולוגית לאקולוגיה יישומית, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל
אביב

²המארג, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב

רקע. פרוקי רגליים הם קבוצה עשירה ביותר מבחינת שפע פרטים, עושר מינים ומגוון תפקודים במערכת האקולוגית, ניטורם מספק שפע נתונים ותוצאות חזקות סטטיסטית, ולכן השימוש בהם כביואינדיקטורים מתבקש ומתרחב בשנים האחרונות. ניטור פרוקי רגליים קרקעיים מתקיים בנחל אשלים מאז אביב 2018, האביב הראשון לאחר אירוע זרימת השפכים.

שיטות. חברות פרוקי הרגליים הולכי הקרקע ביחידה העליונה (החולית) וביחידה התחתונה (האלוביאלית) של נחל אשלים נוטרו בעזרת מלכודות נפילה תוך השוואה לנחלים לא מזהמים שכנים. בכל אחד מ-4 הטיפולים (חולי/אלוביאלית X מזהם/ביקורת) נדגמו 4 חלקות, בכל חלקה 25 מלכודות נפילה. החרקים שנדגמו מוינו במעבדה לרמת ה-morphospecies. בניתוח הנתונים נערכה השוואה בין החלקות המזהמות וחלקות הביקורת, ובנוסף הושוּו הנתונים לאביבים של שנים קודמות, על מנת ללמוד על קצב והיקף התאוששות החברה. ההתמקדות היתה בשפע, בעושר, במגוון ובהרכב של כלל חברת פרוקי הרגליים, ובנוסף בקבוצות אינדיקטוריות - גילדות תזונתיות ומינים שידוע שמושפעים מזהום או שנמצאו בעלי העדפה ברורה לחלקות המזהמות או לביקורת.

תוצאות. כלל המדדים מציינים תמונה קוהרנטית, שלפיה היחידה האלוביאלית נפגעה אבל משתקמת בקצב מהיר (הבדלים מובהקים בשורת מדדים בשנה הראשונה שנעלמו החל מהשנה השניה או השלישית), ואילו היחידה החולית נפגעה בצורה חמורה יותר וכמעט לא עוברת תהליך שיקום (ההבדלים המובהקים נותרים בעינם גם לאחר 5 שנים). הקבוצה הביואינדיקטורית הבולטת ביותר היא הנמלים, הידועות כרגישות לזיהום פלואור. בחלקות החוליות המזהמות מספריהן



המארג

התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע



נמוכים במובהק מבחלקות הרפרנס. בנוסף, נמלי הקציר נעלמו כמעט לחלוטין ולא מתחדשות, מה שמעיד כנראה על פגיעה בזרעים המהווים מזון בשבילן. בלי לערער על המגמות הברורות המצטיירות ניתן לשאול עד כמה הרפרנס קביל, גם בשל ההבדלים הטבעיים בין נחלי הרפרנס לנחל אשלים, אך יתכן שגם בשל הבדלים בין נחלי הרפרנס לנחל במצב טבעי ללא הפרעה. בבדיקה יסודית של חברת השבלולים ביחידה החולית, שנערכה בשנת 2023, לא נמצאו שבלולים חיים בחלקות המזוהמות, אך גם בחלקות הרפרנס נמצאו שבלולים חיים מועטים. לעומת זאת, בנחלים מרוחקים יותר צפונה נמצאה חברת שבלולים חיונית ושופעת. מכאן שגם נחלי הרפרנס פגועים, גם אם לא כמו נחל אשלים. יתכן שהדבר מעיד על השפעת זיהום האויר הכבד המגיע מהמפעלים.

דיון ומסקנות. ניתוח תוצאות דיגום חברת פרוקי הרגליים מצביע על פגיעת הזיהום בכל חלקי נחל אשלים, ועל פגיעה קשה במיוחד ביחידה החולית. העלמות גילדת אוכלי הזרעים מעידה על פגיעה בבנק הזרעים ביחידה החולית. העלייה והירידה בגילדת מוצצי המוהל מעידה כנראה על זיהום פלואור זמני ברמה בינונית ביחידה האלוביאלית. השיקום שונה מאוד בקצבו בין שתי היחידות: בעוד ביחידה האלוביאלית ניכרת מגמת השיפור משנה לשנה, נראה שהיחידה החולית לא משתקמת.



ניטור השפעת הזיהום על חברת חסרי החוליות המימיים בגבים

ירון הרשקוביץ¹, טוביה אשכולי¹, אביטל כ"ץ¹, איתי כהנא¹, לירון גורן¹, אורי שגב¹, אלישע בר²

¹המרכז הלאומי לאקולוגיה אקוויטית, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוני' תל אביב

²מכון אילזה כץ למדע וטכנולוגיה, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

רקע. בעקבות אירוע הזיהום בנחל אשלים בקיץ 2017 החלה תוכנית ניטור רב-תחומית שמטרתה לבחון את השפעות הזיהום על המערכת האקולוגית של הנחל ואת תהליך התאוששות בעלי החיים המאכלסים את הגבים. מטרת הניטור ההידרוביולוגי היא ביצוע מעקב אחר תהליך שיקום חברת חסרי החוליות הגדולים המורכבת בעיקר חרקי מים וסרטנים ירודים צדפוניות (Ostracoda), דפניתאים (Daphniidae) וזימרגלאים (Chirocephalidae). בעוד חרקי המים מאכלסים את הגבים על ידי השלבים הבוגרים המכונפים, הסרטנים תלויים במאגר מקומי של גופי קיימא השורדים את תקופת הקיץ בגבים היבשים.

19

שיטות. בהמשך לדיגומי 2018-2021, בשנת 2022 בוצע דיגום חלקי בגבים של נחל אשלים ובגבי ביקורת בנחל לוט ובנחל צאלים. נמדדו מדדים כימיים ופיזיקליים: ריכוז החמצן המומס, טמפרטורת המים, המוליכות החשמלית (ריכוז היונים) וערך ההגבה (pH), באמצעות מד אלקטרוני נייד מדגם YSI professional plus. במקביל, נאספו פרטים מייצגים של כל הטקסונים הנוכחים בדגימה. חסרי החוליות נאספו מגוף המים באמצעות רשת יד (גודל נקבים 400 מיקרון). החומר סונן וחסרי החוליות שומרו בשטח באתנול 96%, והועברו להמשך מיון, ספירה והגדרה טקסונומית במרכז הלאומי לאקולוגיה אקוויטית, במוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט. חסרי החוליות המיועדים לאנליזת מתכות כבדות מוינו לרמה הטקסונומית הנמוכה ביותר האפשרית ונשמרו בהקפאה (מינוס 20 מעלות צלזיוס). לאחר מכן, עברו תהליך של כתישה, המסה עם חומצה ניטרית והומוגניזציה. הדגימות הועברו לאנליזת מתכות כבדות בשיטת ICP-OES.

תוצאות. הממצאים שנאספו במהלך 2018-2021 הציגו עדות להתאוששות מהירה אך חלקית של חברת חסרי החוליות, אשר נשלטה על ידי חרקי מים כמו



המארג

התכנית הלאומית
להערכת מצב הטבע



חיפושיות, פשפשאים, שפיראים וזבובאים. בעוד שחברת החרקים בנחל אשלים לא הייתה שונה בהרכבה או בדינמיקה העונתית שלה מגבי הביקורת בנחל פרס ובנחל זוהר, הסרטנים נמצאו במספרים מועטים ורק בחלק מהגבים שנדגמו עד שנת 2021. ממצאי הסקר בשנת 2022 מעידים על חזרה הדרגתית, אך ברורה של מיני הסרטנים הירודים, ובכלל זה מין ממשפחת זימרגלאים המוכר בגבי האיזור (נחל פרס ונחל זוהר). המצאותם של אלפי פרטים צעירים בגבי אשלים, מהווה עדות חזקה לקיומה של אוכלוסייה יציבה ומתרבה בנחל אשלים. ככל הנראה מקור הפרטים ביובלים סמוכים שלא נפגעו בעת הארוע, כמו "היובל הכחול" הנמצא במעלה הזרם למקטע שנסקר. תוצאות של מתכות כבדות בדגימות שנלקחו בשנת 2022 נמצאות באנליזה.

דיון ומסקנות. הופעתם של סרטני זימרגלאים הנדירים בסקר הגבים בשנת 2022, מהווה סימן אפשרי לקיומה של אוכלוסייה מתפקדת באגן ההיקוות של נחל אשלים. ככל הנראה מדובר באוכלוסייה שהתקיימה באחד מיובלי הנחל ולא נחשפה לאירוע הזיהום. גופי הקיימא של אוכלוסייה זו נפוצו עם שיטפונות החורף, והפרטים שהגיחו מהם מאכלסים לאיטם את הגבים בנחל אשלים. עם זאת בשל העובדה שמדובר בניטור חד פעמי וממוקד, יש לחזור לבדוק את הגבים גם בעתיד על מנת לבחון האם חברת הסרטנים אכן הצליחה לבסס אוכלוסיות בגבי אשלים או שמדובר בסחיפה אקראית של פרטים בוגרים מהמעלה.



המארג

התכנית הלאומית
להערכת מצב הטבע



השפעת הזיהום על שיחים ובני שיח שליטים בנחל אשלים

נטלי דה פלקו¹, שמעון רחמילביץ¹, טימאה יגנת¹, רוסאמארי אלפונס¹
¹המכונים לחקר המדבר המחלקה לביוטכנולוגיה של אזורים צחיחים על שם אלברט כץ,
אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

רקע. צמחים יכולים להיפגע באופן ישיר משאריות יסודות כימיים דוגמת זרחן, סולפט ופלוואור שנותרו בקרקע לאחר הזיהום בנחל אשלים ובעקיפין משינוי מאפייני הקרקע. מטרת הניטור הנוכחי היא לבחון את השפעת הזיהום בשמורת אשלים על שיחים ובני שיח שליטים לאורך זמן. עבודת שטח נעשתה בין שנת 2019 לשנת 2021. מאז 2022 נעשים שני ניסויי חממה מבוקרים על מנת להבין את הצטברות המזהמים (קדמיום ופלוואור) מצמחים ושורשים ואת הספיגה באדמה.

שיטות. עבודת שטח: על מנת לבחון את השפעת הזיהום על גידול השיחים והשיחים בשמורת נחל אשלים, נבדקו הבדלים במצב הפיזיולוגי, בחתימה הספקטרלית ובריכוזם של יסודות שונים (מתכות כבדות ופלוואור) בין מיני צמחים המצויים בערוצים מזהמים לעומת ערוצים לא מזהמים לכאורה בקרבת מקום. נעשה מעקב אחר שני בתי גידול (חול ואלוביאלי) וסה"כ נדגמו 3 מיני צמחים: מלוח קיפח (*Atriplex halimus*), יפרוק המדבר (*Anabasis articulata*) ורותם המדבר (*Retama raetam*). נמדדו פיגמנטים (כלורופיל a ו-b וקרוננואידים) ונאספו דגימות מחלקי עלווה ומקרקע ליד השורשים כדי להשוות בין צמחי רותם, יפרוק ומלוח.

ניסויי חממה: ניסוי ראשון נעשה עם שיח קרקש (*Colutea istria*). הקרקע נשטפה מספר פעמים בריכוז ידוע של מזהמים ואז נעשה איסוף דגימות של עלווה, קרקע, שורשים ומי ניקוז. במקביל נעשה ניסוי שני עם קרקע מזהמת שבו נשתלו צמחי חיטה (*Triticum aestivum*).

כל דגימות הצמחים והקרקע, מעבודת השטח ומניסויי החממה, עברו עיכול עם חומצה באמצעות מיקרוגל Milestone Ethos Up. לאחר מכן נבדקו הדגימות בעזרת ICP-MS. על מנת למדוד את ריכוז הפלוואור, דגימות של עלווה וקרקע



המארג

התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע



עברו מיצוי מימי ונבדקו בקרומטוגרפית יונים (IC). נתונים של החתימה הספקטרלית, חישובנו מדד מתח שונה עבור צמחים. כל הנתונים הושאו גם לנתוני חתימה ספקטרלית.

תוצאות. באופן כללי, חמש שנים לאחר אירוע הזיהום הריכוז של מתכות כבדות ופלוואור בקרקע של בית השורשים ובעלווה של מיני השיח שנבדקו עדיין עולה בבית הגידול החולי. בנוסף, נמדדו הבדלים משמעותיים במדדי עקת המים (water stress), במדדי הכלורופיל ובכלל מדדי הצמח (NDVI) בין אזור הביקורת לאזור המזוהם. לעומת זאת, בבית הגידול האלוביאלי של נחל הביקורת, ריכוז המתכות של כרום, קדמיום וסטרונוציום בקרקע עולים לאורך זמן, דבר המעיד על זיהום מרחבי גם מעבר לנחל אשלים, ככל הנראה מאזור התעשייה של מישור רותם. בדומה לבית הגידול החולי, גם באלוביום המזוהם של אשלים נמדדו הבדלים משמעותיים במדדי עקת המים (water stress), במדדי הכלורופיל ובכלל מדדי הצמח (NDVI) בהשוואה לביקורת. זאת, מלבד המדדים בצמח המלוח שבו ההבדלים במדד ה-NDVI בלבד לא היו משמעותיים. תוצאות ניסוי החממה נמצאות באנליזה.

דיון ומסקנות. מרבית המדדים הפיזיולוגיים לאורך שלוש שנות ניטור (2019-2021) הראו הבדלים מובהקים בין הצמחים בחלקות המזוהמות לבין חלקות הביקורת. כמו כן, תוצאות האנליזות של מתכות כבדות מעלווה וקרקע של בית השורשים הראו באופן ברור שהם ממשיכים להצטבר בצמחים לאורך זמן. בחלקם השפעת הזיהום אפילו התגברה, וגורמת להשלכות פיזיולוגיות (שינויים במדד NDVI); ייתכן שמתרחש פיזור מזהמים על ידי וקטורים ביולוגיים מחוץ לנחל אשלים. יש לציין שהאזורים החוליים בנחל מראים את הפגיעה החמורה ביותר מבחינת המדדים שנמדדו.

ביואקומוולציה של פלואור במארג המזון – מערך ניסויי מעבדה

יורם צביק^{1,2}, אפרת גביש-רגב¹, רייל הורביץ³, רועי גרינבאום⁴ נטלי דה-פלוקו⁵, שמעון רחמילביץ⁵

¹ אוספי הטבע הלאומיים, האוניברסיטה העברית בירושלים

² המעבדה לחקר עקרבי ישראל, עמותת דוכיפת לצפרות ואקולוגיה, ירוחם

³ המארג, מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב

⁴ ישיבת מקור חיים, כפר עציון

⁵ המכונים לחקר המדבר המחלקה לביוטכנולוגיה של אזורים צחיחים על שם אלברט כץ, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב



רקע. הזיהום שזרם לנחל אשלים בקיץ 2017 גרם, על-פי ממצאי תכנית הניטור, לריכוזים גבוהים של חומרים רעילים במים, בקרקע ובצומח. חדירה של חומרים מזהמים למארג המזון במערכת האקולוגית, עשויה לחולל השפעות קיצוניות וארוכות-טווח. מטרת הניסוי הראשון היא לבדוק בתנאים מבוקרים את אפשרות חדירת המזהמים למארג המזון ולמעבר בין הרמות הטروفיות. מטרתו של ניסוי שני היא לברר את השפעתו הישירה של המזהם על רמה טרופית ספציפית. אחד החומרים שנמצא בריכוזים גבוהים יחסית בנחל אשלים, הוא פלואור ונגזרותיו. לכן בחרנו להשתמש בפלואור כמודל למזהם במערכת. ריכוז הפלואור שנבחר תאם את ריכוזו כפי שנמדד בשטח לאחר הזיהום. השערת הניסוי הייתה שניתן יהיה לעקוב אחר מעבר הפלואור בין רמות טרופיות שונות במערכת ובמקביל, לבחון בסימנים להשפעתו המזיקה על בעלי-חיים מסוימים.

שיטות. בכדי לבדוק את השערת המחקר, העמדנו ניסוי מעבדה ראשון שבדק מעבר והצטברות של נתרן פלואורי במארג המזון בשלוש רמות טרופיות: יצרנים (חיטת הלחם *Triticum aestivum*), צרכנים ראשוניים (חגבים מהמין *Schistocerca gregaria*) וצרכנים שניוניים (עקרבים מהמין עקצן צהוב *Leiurus hebraeus*). הניסוי כלל קבוצת טיפול, עם השקיה במים עם נתרן פלואורי וקבוצת ביקורת עם השקיה במים מזוקקים. כלי החיטה בכל קבוצה הושקה שלוש פעמים ב-200 מ"ל; בקבוצת הטיפול בתמיסת נתרן פלואורי בריכוז של 150 מ"ג לליטר ובקבוצת הביקורת במים מזוקקים. בניסוי הראשון, גודלו



המארג

התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע



שמונים חגבים בתנאי מעבדה החל מדרגת התפתחות ראשונה ועד לדרגת תת-בוגר, מחציתם הואכלו במשך 15 ימים בחיטה המטופלת ומחציתם בחיטת הביקורת. ארבעים עקרבים גודלו בתנאי מעבדה, מחציתם קיבלו חגב תת-בוגר אחד לכל עקרב, שגדל על חיטה מטופלת, פעם בשבועיים במשך חודש וחצי, ומחציתם קיבלו עקרב שגדל על חיטת הביקורת. בתום הטיפול, עשרה פרטים מכל רמה טרופית נשלחו לבדיקת רמת הפלואור ברקמות.

בניסוי השני, בדקנו את השפעת הפלואור על החגבים. גידלנו 30 חגבים מבקיעה ועד לשלב הבוגר. נרשמו מספר החגבים ששרדו, מועד הגיעם לבגרות ונמדדה מסת הגוף של הבוגרים. בהמשך, הועברו 5 זוגות מכל קבוצה לכלוב הטלה למשך 45 יום. התטולות נאספו ונספרו ובהמשך נספרו כל הצאצאים שבקעו מהן.

תוצאות. מבדיקת החיטה בקבוצת הטיפול, נמצא ריכוז גבוה של פלואור באופן מובהק בהשוואה לביקורת. הפלואור עבר בין הרמות הטרופיות כשהחגבים הדגימו הבדלים בנוכחות פלואור ברקמות הגוף בין אלו שאכלו חיטה מטופלת לבין אוכלי חיטת הביקורת. בעקרבים של קבוצת הטיפול לא נמצאו ריכוזים גבוהים של פלואור בהשוואה לעקרבים בביקורת. בניסוי השני לא נמצאו הבדלים בקצב הגדילה, באחוז התמותה ובמסת הבוגרים בין החגבים של שתי הקבוצות. עם זאת, נמצא הבדל מובהק במספר הצאצאים כשחגבי הביקורת העמידו מספר צאצאים הגדול בכ-75% מזה של חגבי הטיפול.

דיון ומסקנות. ראשית, חשוב לציין שהניסוי השני שמתמקד בחגבים עדיין בביצוע ואנו נדרשים לעוד תוצאות מסבבי גידול נוספים. עם זאת, תוצאות שני הניסויים מדגימות בצורה ברורה את צבירה של פלואור בצומח ואת המעבר שלו מרמת היצרנים (חיטה) לצרכנים ראשוניים (חגבים). הפלואור לא נצבר בעקרבים (רמת הטורפים), ייתכן עקב היותם פרטים בוגרים. כמן כן, תוצאות הניסוי השני הדגימו את השפעה השלילית של הפלואור על הרבייה של החגבים. יש לשער כי מה שקורה בפועל בשטח המזוהם זו השפעה גדולה בהרבה, עקב השפעה סינרגיסטית של מספר מזהמים שחדרו למערכת האקולוגית יחדיו.

ביואקומוולציה של מזהמים במארג המזון של נחל אשלים

מאיה אלדר¹, מרווה סאם¹, אלה פסטרנק¹, פרנק וון היפל², נגה קרונפלד-שור¹

¹בית הספר לזואולוגיה, אוניברסיטת תל אביב

²אוניברסיטת אריזונה, ארה"ב



המארג

התכנית הלאומית
להערכת מצב הטבע



רקע. במטרה לנטר את השפעת זרימת כמויות גבוהות של מי גבס המכילים מתכות כבדות ומזהמים נוספים לאורך נחל אשלים בשנת 2017, מדדנו נוכחות מתכות כבדות ברקמות אורגניזמים מקבוצות טקסונומיות מגוונות בסביבת הנחל. זאת, במטרה לזהות דפוסי מעבר מתכות במארג המזון בבית הגידול מתוך ההבנה שהימצאות מתכות בגופם של האורגניזמים היא בעלת השפעה שלילית ועשויה להסביר חלק מהמגמות וההשפעות של הזיהום שמוצאות קבוצות הניטור האחרות בתכנית.

שיטות. בשנים 2018-2022 נאספו דגימות פרוות מכרסמים ונוצות של עופות. בשנים 2021-2022 נאספו גם פרוקי רגליים, צמחים וקרומי קרקע. הדגימות נאספו בנחל אשלים ומנחלי ביקורת בעלי קרקעות דומות בקרבת מקום. נוצות העופות נאספו ב"אגם הברבורים" בלבד. דגימות פרוות מכרסמים נוספות נאספו גם בעין גדי ובמושבת רבייה באוניברסיטת תל אביב לצורך השוואה. במעבדתו של פרופסור פרנק וון היפל באוניברסיטת אריזונה, נבדקה נוכחות המתכות: ונדיום (V), כרום (Cr), ארסן (As), אלומיניום (Al), מנגן (Mn), ניקל (Ni), נחושת (Cu), אבץ (Zn), מוליבדן (Mo), קדמיום (Cd), סטרונציום (Sr) וטיטניום (Ti). עבור החולייתנים נבדקו גם מין הפרט ומשקלו, ועבור מכרסמים הוערך מצבם הרבייתי.

תוצאות. מכרסמים: באופן כללי, כמעט ולא נמצאו הבדלים מובהקים בין האזור המזוהם לביקורת. עם זאת, מצאנו עלייה מובהקת בין השנים בכמות האבץ, בקוצנים מצויים ובגרבילי סלעים, ועלייה מובהקת בכמות הונדיום, הכרום, האלומיניום והמנגן בקוצנים המצויים. בשני המינים נמצאה ירידה מובהקת בין השנים בכמות הארסן ומגמת ירידה בכמות הנחושת שזוהתה בשני המינים והייתה מובהקת בקרב הקוצנים המצויים (זוהי הקבוצה היחידה בה היה הבדל מובהק גם בין קבוצת הזיהום לביקורת). כמות המתכות בפרטים מאתרי הביקורת



המארג

התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע



גבוהה במובהק מזו שנמצאה בפרטים מחוץ לאזור (עין גדי ומושבה באוניברסיטת תל אביב). משקל הקוצנים המצויים הבוגרים בנחל אשלים נמוך במובהק מזה של אלו בנחלי הביקורת, לא נמצא הבדל במשקלי הגרבילים. מעניין לציין כי בשנת 2023 נלכדו מעט קוצנים באופן יוצא דופן.

עופות: דגימות 2022 עדיין באנליזה. בשנת 2018 נמצא שרמות הנחושת והכרום בצעירים גבוהות משל הבוגרים. רמות הנחושת, הונדיום והמוליבדן בבוגרים עלו בשנת 2020 באופן מובהק ורמות הטיטניום עלו באופן קרוב למובהק ($p=0.07$). רמות הכרום בבוגרים ירדו באופן מובהק בשנת 2020.

פרוקי רגליים: דגימות 2022 עדיין באנליזה. בפרוקי רגליים טורפים רמות סטרונציום, כרום ואלומיניום גבוהים במובהק באתרי הזיהום. רמות מנגן גבוהות כמעט במובהק (0.07) באתרי הזיהום. בצמחוניים כמעט ולא נמצאו הבדלים בין אתרי הביקורת ואשלים, ורמות ונדיום ומנגן גבוהות במובהק במעט באתרי הביקורת מאשר באשלים.

צמחים: רמות אבץ, טיטניום, כרום, ניקל, קדמיום וארסן גבוהות במובהק בצמחים מאתר הזיהום בהשוואה לאתר הביקורת.

דין ומסקנות. כצפוי, רמות טרופיות גבוהות מראות הצטברות מזהמים בגופן, אשר עדיין מראים מגמת עלייה. במכרסמים נראה כי על אף שכמעט ולא זוהו הבדלים בכמות המתכות בין אתרי הזיהום לביקורת, ברוב המתכות, באתרי הזיהום כמו גם באתרי הביקורת ישנה עליה בכמות המתכות שנמדדת בפרוות, הגבוהה לעיתים בסדרי גודל בהשוואה לקבוצה חיצונית, בדומה למה שזוהה גם בשנים קודמות בקרב העופות. מסת גוף נמוכה בקוצנים המצויים בנחל המזוהם מצביעה על השלכות פיזיולוגיות שיש לזיהום. וייתכן שאף משפיעה על גודל האוכלוסייה. בעופות רמות הנחושת, ונדיום ומוליבדן בנוצות עלו בצורה מובהקת בין 2018-2020, ורמות הטיטניום עלו בצורה כמעט מובהקת. רמות הכרום בלבד ירדו בצורה מובהקת. נראה שהעופות ממשיכים להיחשף לרמות גבוהות של מתכות, הנצברות בגופן. גם בפרוקי רגליים טורפים נמצאו רמות מזהמים גבוהות ביחס לביקורת. אין ספק כי החולייתנים בכל האזור, כולל אתרי הביקורת, נחשפים

לרמות גבוהות של מזהמים שמקורם בזרימת מי הגבס שממשיכים להצטבר בגופם של החולייתנים ולהשפיע על בריאותם.

תוצאות אלו אינן מפתיעות כשבוחנים את רמות המתכות שנמצאו בצמחים ובפרוקי רגליים שנמצאו באשלים בהשוואה לאתרי הביקורת. בכל המקרים בהם נמצא הבדל מובהק בין האתרים, רמות הזיהום היו גבוהות יותר באשלים. מהתוצאות שהתקבלו אין ספק כי המזהמים שמקורם בזרימת מי הגבס ממשיכים להצטבר בגופם של החולייתנים, ובחלקם השפעת הזיהום אפילו התגברה. לפחות בקוצנים, נראה שיש לזיהום השלכות פיזיולוגיות, המתבטאות במסת גוף נמוכה במובהק בנחל אשלים.

מדיאון הטבע
שטיינהרדט
המרכז הלאומי לחקר המגוון הביולוגי



המארג

התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע



מזמ
מזמ
מזמ



רשות
הטבע
והגנים



המשרד להגנת הסביבה



אוניברסיטת
תל אביב
UNIVERSITY