

המערכות האקולוגיות הטבעיות. כמו כן, לנוכח החשיבות העליונה של רצועות הנחלים המתפקדות כמסדרונות אקולוגיים, חשוב לקדם בשנים הקרובות תוכניות טיפול בצמחים הפולשים לאורך נחלים ראשיים נוספים, כגון הירקון, אלכסנדר, שורק ולכיש.

מקורות

- [1] דולב ע ופרבולוצקי א. 2002. הספר האדום של החולייתנים בישראל. רשות הטבע והגנים, החברה להגנת הטבע.
- [2] דופורדרור ז"מ. 2019. הצמחים הפולשים בישראל, מהדורה שנייה. ירושלים: דן פרי.
- [3] דופורדרור ז"מ. 2024. אתר הצמחים הפולשים בישראל. רשות הטבע והגנים.
- [4] דופורדרור ז"מ. 2024. פרויקט טיפול בצמחים פולשים בנחל הקישון. שלב א': מיבוי מוקדים של צמחים פולשים; שלב ב': תוכנית טיפול במוקדים של צמחים פולשים. דו"חות שהוגשו לקק"ל.
- [5] קפלן מ. 2019. מסדרונות אקולוגיים בישראל – היבטים תכנוניים. אקולוגיה וסביבה 10(1): 16–23.
- [6] שמידע א, פולק ג ופרגמן-ספיר א. 2011. הספר האדום – צמחים בסכנת הכחדה בישראל. כרך א' וכרך ב'. רשות הטבע והגנים, המשרד להגנת הסביבה.

[7] Wilson EO. 2003. The future of life. London: Abacus.

בסקר יוני 2022 ירד תוך ארבע שנים ב־95% (מ־727 פרטים ל־31). הצמצום הדרמטי בהיקף מוקדי הצמחים הפולשים שטופלו במהלך התוכנית התאפשר בעקבות שתי פעולות חיוניות ומשלימות: טיפול ראשוני להסרת המוקדים שאותרו בסקר המקדים, ומיד בעקבותיו תחזוקה שוטפת, עקבית, ובתדירות סדורה על־ידי צוות פקחים של רשות הניקוז שהוכשרו לטיפול בצמחים פולשים. פעילותם המקצועית אפשרה לשמר את הישגי הטיפוליים המרשימים שבוצעו בתחילת התוכנית ובהמשכה.

מסקנות

במסגרת פרויקט שיקום נחל ציפורי הוכח כי תכנון ממשק טיפולי בצמחים פולשים לאורך נחל וגם יישומו אפשריים, כדאיים ובני־ביצוע. גם אם רמת הזיהום לאורך הנחל גבוהה, ניתן לשפר את המצב בצורה מהותית ולאורך זמן. מיפוי מפורט של מוקדי הצמחים הפולשים לאורך הנחל הוא תנאי מקדים הכרחי לתכנון נכון של שלבי הטיפוליים. תוכנית הטיפול שגובשה ויושמה במסגרת פרויקט השיקום יצרה מתווה שניתן להעתיק ולפעול לפיו ברצועות נחלים אחרות בעמקים ובמישור החוף בישראל (ראו למשל מיפוי ותוכנית טיפול בצמחים פולשים לאורך נחל הקישון^[4]). הפרוטוקולים החדשים לטיפול בקיקיון מצוי ובפרקינסוניה שיכנית פותחים הזדמנויות נרחבות לצמצום מוקדים של המינים האלה בכל רחבי הארץ, תוך שימור



מעבר אידי בלתי מבוסס, החוצה מקטע נחל בלב שטח חקלאי במורד היישוב ראס עלי. במודל נבחנה התנהגות של שיטפון בספיקה מלאת גדות במעבר זה, לעומת מבנה מבנה הידרומורפולוגי משופר | צילום: נועה הלל

שיקום מורפולוגי ואקולוגי של נחלים באמצעות גישה חדשנית לשימוש בכלים קיימים

נועה הלל^[1], עידו דרורי^[2] ואורה ריין^[3]

StreaMind^[1]

^[2] ניטארה

^[3] התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות וביטחון המזון

* noa.streamind@gmail.com

מורפולוגיית הערוץ מהווה גורם מרכזי בוויסות משטר הזרימה, בהסעת הסחף ובהיווצרות בתי גידול בנחלים. פגיעה במבנה המורפולוגי עלולה לשבש את שיווי המשקל הדינמי של המערכת ולפגוע ברציפות ההידרואקולוגית לאורך הנחל. לפיכך, שיקום מורפולוגיית הערוץ מניע לרוב תהליכי שיקום אקולוגי. בעשורים האחרונים התברר כי שיקום מורפולוגי ואקולוגי של נחלים, שתכנונו מבוסס בעיקר על תצפיות וניסיונות שיקום קודמים, יכול להעניק



גשר הפוגע ברציפות המורפולוגית והאקולוגית של נחל ציפורי. הצניורות והתאים בגשר מצרים את הזרימה ומפריעים למעבר סחף וצמחייה דרכם. התוצאה היא התרחבות מקומית במעלה בשל הצטברות סחף וצמחייה, לצד האצת הזרימה, סחיפה והתחתרות במורד | צילום: נועה הלל

אקולוגיה

בקרה

פתרונות נקודתיים, אך מתקשה להתמודד עם הדינמיקה המורכבת של תהליכים במערכות של נחלים^[5]. ללא הבנה מעמיקה של שיווי המשקל הדינמי בין זרימה, סחיפה, השקעה וצורת הערוץ, התערבויות נקודתיות עלולות ליצור בעיות חדשות ואף להפחית את יציבות המערכת^[6]. בעקבות זאת התפתחה גישה מערכתית הרואה בנחל מערכת דינמית החותרת לאיזון מתמשך בין תהליכי הסעה ושקיעה של סחף. גישה זו מובילה לשילוב הולך וגובר של מודלים הידרודינמיים ככלי תומך בקבלת החלטות.

שימוש במודלים הידרודינמיים מאפשר לבחון תרחישים עתידיים, למשל – להעריך כיצד שינויים בחתך או בתוואי הערוץ, כגון הוספת פיתול או אשד (riffle), עשויים להשפיע על יציבות הערוץ ועל תפקודו האקולוגי; לצפות אילו אזורים מועדים לסיכון מבחינת סחיפה והשקעה; לזהות פרמטרים אקולוגיים, כגון אפיון של מגוון בתי גידול בנחל, על פי שינויים פיזיקליים במשטר הזרימה^[2, 3, 4]. כלי מרכזי בהקשר זה הוא HEC-RAS (Hydrologic

בנחל ציפורי התחלנו בפיילוט לבדיקת תרומת הגישה המערכתית לתכנון השיקום במטרה להעריך את התאמתה לנחלים ים תיכוניים ולתרום לגיבוש מתודולוגיות יישומיות לניהול ולשיקום מבוססי תהליכים בישראל. הדגימה, המידול והניתוח המורפולוגי משמשים יחדיו ליצירת הבנה מערכתית טובה יותר של תגובת הנחל להתערבויות תוך שאיפה לשיקום של האיזון ההידרומורפולוגי ושל מגוון תפקודים אקולוגיים.

מגוון תפקודים אקולוגיים.

מבנית לאורך מקטע הנחל. ברמה האגנית, פגיעות מסוג זה עלולות להצטבר ולהוביל לשינוי בדפוסי ההסעה והשקיעה של סחף, להגברת סיכויי הצפה במורד עקב הסעת יתר או סתימות מקומיות ולפגיעה בתפקוד המערכת האקולוגית של הנחל לאורך זמן.

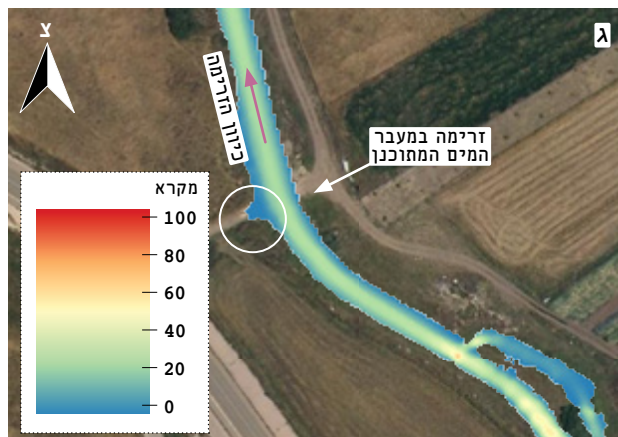
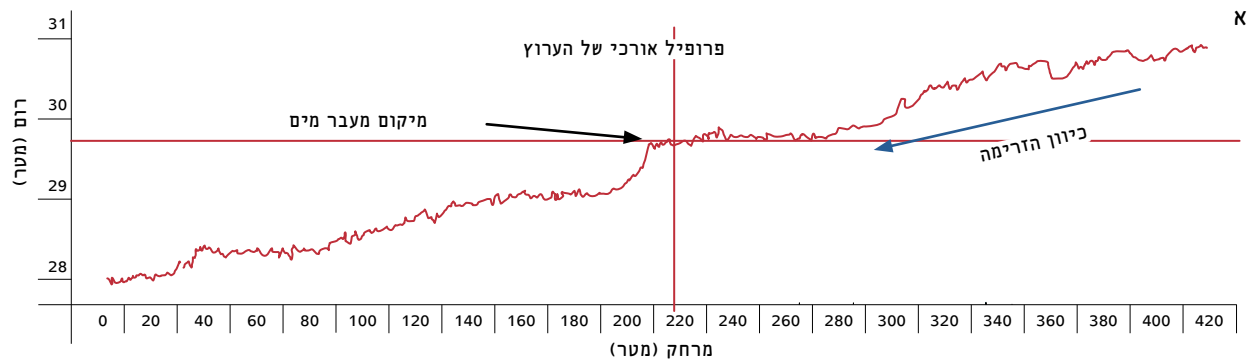
בעזרת מודל גבהים דיגיטלי, המבוסס על מדידות לידר (Light Detection and Ranging) ברזולוציה גבוהה (0.5 מ'), שוחזרה תבניתו המרחבית של הערוץ. תבנית זו שולבה בהדמיות זרימה באמצעות HEC-RAS כדי לבחון התנהגות של שיטפון בספיקה מלאת גדות במעבר הקיים, לעומת מצב שבו במקום המעבר ישנו מבנה הידרומורפולוגי משופר – במקרה זה מעבר אירי המתוכנן לאפשר זרימות קייציות.

המעבר המתוכנן נותן מענה לצורך התפעולי של מעבר כלי רכב חקלאיים, תוך שמירה על חתך זרימה התומך בתפקוד הידרומורפולוגי משופר ביחס למצב הקיים. התרחיש החלופי כלל עיצוב מחדש של שיפוע הנחל, רוחב הערוץ והחתך ההידראולי.

דוגמה לשימוש במודל HEC-RAS בתהליכי השיקום בנחל ציפורי
במסגרת פרויקט השיקום של נחל ציפורי התחדדה ההבנה כי לחלק ממעברי המים בנחל יש השפעה הידרומורפולוגית ואקולוגית גדולה מדי, ולכן יש להחליפם במעברים שהשפעתם נמוכה משמעותית. נתמקד לדוגמה, במעבר אירי בלתי מבוסס, החוצה מקטע נחל בלב שטח חקלאי במורד היישוב ראס עלי.

אף שמעברים מסוג זה לרוב אינם חוסמים את זרימת המים, את תנועת הסחף או את מעבר החומר הצמחי, השפעתם על מורפולוגיית הערוץ ועל תהליכי ההתפתחות שלו משמעותית. במקרה כזה נוצרת במעבר התרחבות של הערוץ עקב מעבר כלי רכב, ועומק המים קטן. שינוי מקומי בשיפוע האורכי יוצר הצטברות סחף במעלה המעבר, בעוד שבמורדו נוצרת מדרגה המגבירה את מהירות הזרימה ואת הסחיפה המקומית (איור 1א). התהליכים האלה פוגעים ברציפות ההידרומורפולוגית והאקולוגית של הנחל, מערערים את האיוון הדינמי בין הסעה לשקיעה של סחף, ועלולים להוביל לאי-יציבות

איור 1. השפעת מעבר מים קיים לעומת תכנון הידרומורפולוגי משופר על פרופיל הערוץ ודפוסי הזרימה
א. פרופיל אורכי של הערוץ; ב. הדמיה של ספיקה מלאת גדות במצב הקיים. ניתן לראות גלישה של המים לשדות; ג. הדמיה של ספיקה מלאת גדות במצב מתוכנן. במצב זה המים לא גולשים מהערוץ. סקאלת הצבעים מתארת מאמצי גזירה ביחידות פסקל.





מעבר אירי שבמורדו נוצרו מדרגה ומפלון, ובעקבות זאת גם התחתרות עמוקה ואיציבות של הגדות. "אף שמעברים מסוג זה לרוב אינם חוסמים את זרימת המים, את תנועת הסחף או את מעבר החומר הצמחי, השפעתם על מורפולוגיית הערוץ ועל תהליכי ההתפתחות שלו משמעותית" | צילום: נועה הלל

מקורות

- [1] Brunner GW. 2021. HEC-RAS River Analysis System User's Manual. U.S. Army Corps of Engineers.
- [2] Entwistle N, Heritage G, and Milan D. 2018. Flood energy dissipation in anabranching channels. *River Research and Applications* 34(7): 709–720.
- [3] Entwistle N, Heritage G, and Milan D. 2019. Ecohydraulic modelling of anabranching rivers. *River Research and Applications* 35(4): 353–364.
- [4] Hawez DM, Füstös V, Pomázi F, et al. 2025. Simulation of sediment dynamics in a large floodplain of the Danube River. *Water* 17(16): 2399.
- [5] Kondolf GM, Boulton AJ, O'Daniel S, et al. 2006. Process-based ecological river restoration: Visualizing three-dimensional connectivity and dynamic vectors to recover lost linkages. *Ecology and Society* 11(2): 5.
- [6] Rinaldi M, Bussetini M, Surian N, et al. 2016. Guidebook for the evaluation of stream morphological conditions by the Morphological Quality Index (MQI).

תצורה זו מאפשרת זרימת בסיס קייצית השומרת על קישוריות הידרובולוגית לאורך המקטע, ובמקביל מפחיתה הצפות בשטחים החקלאיים הסמוכים באירועי גלישה (איור 1ב, 1ג). נוסף על כך, הפחתת מהירויות הזרימה מובילה לירידה במאמצי הגזירה ותומכת בשמירה על שיווי המשקל הדינמי של הסחף לאורך זמן.

הדוגמה שלעיל ממחישה כיצד שילוב נתוני שדה, ניתוח מורפולוגי ומידול הידרודינמי מאפשר מעבר משיקום נקודתי לתכנון מבוסס תהליכים, הרואה בנחל מערכת דינמית שלמה. התערבויות מקומיות במבנה הערוץ, כגון מעברי מים, אינן פועלות במנותק אלא משפיעות על רציפות הזרימה והסעת הסחף, ולכן עשויות ליצור תגובות שרשרת במעלה ובמורד הנחל – החל מהצטברות סחף, דרך שינויי שיפוע מקומיים ועד פגיעה ביציבות הערוץ.

השימוש ב-HEC-RAS אפשר להעריך באופן כמותי את ההשפעה של מבנים קיימים ביחס לחלופות תכנוניות ולבחון את תרומתם לשיפור היציבות ההידרומורפולוגית, הרציפות האקולוגית והאיזון בין הסעה ושקיעה של סחף, תוך צמצום סיכוני סחיפה והצפה. ניתוח תוצרי המודל ותרומתם להחלטות תכנוניות מחייבים מומחיות מקצועית והכשרה ייעודית, שכן פרשנות לא מדויקת עלולה להוביל להתערבויות שאינן מותאמות לדינמיקה המורכבת של המערכת הנחלית.