

לשחרר את הזרימה - מתודולוגיה לקביעת סדר עדיפויות לטיפול בחסמים הידרוביולוגיים בנחל ציפורי

אביב אבישר*, נועה הלל ואלדד אלרון

צוות אקולוגיה, הפרויקט הלאומי לשיקום נחל ציפורי, רשות ניקוז ונחלים קישון

* avivavisar31@gmail.com

אקולוגיה



חיות המחמד

גשרון מעל נחל ציפורי: "בישראל יש צפיפות גבוהה של מעברים חוצי נחל קטנים ותשתיות חקלאיות בתוך הערוץ, אך למרות זאת טרם גובשה מסגרת אסדרה או מתודולוגיה אחידה לקביעת סדר עדיפויות ולהסרת חסמים הידרוביולוגיים" | צילום: אביב אבישר

תקציר

חסם הידרובולוגי הוא מבנה מלאכותי בנחל, היוצר פגיעה בקישוריות ההידרולוגית והאקולוגית באמצעות הגבלת מעבר של מים, סחף, חומרי הזנה ואורגניזמים. בנחלים היס תיכוניים, המאופיינים בספיקות קיץ נמוכות, השפעת החסמים הרבים לאורך הנחל מצטברת להשפעה שלילית על רציפות הזרימה, על תנועת הסחף ועל יכולת התנועה של בעלי חיים באגן. למרות שכיחות התופעה בישראל והשפעתה המתועדת על תפקוד הנחל, המודעות לנושא בקרב מנהלי השטח נמוכה. מאמר זה מציג מתודולוגיה רב-ממדית למיפוי, לדירוג ולקביעת סדר עדיפויות לטיפול בחסמים הידרובולוגיים. המתודולוגיה מבוססת על בחינת השפעת החסמים בשלושה ממדים מרכזיים: רציפות ההידרולוגית, הפרעה מורפולוגית וקישוריות הידרובולוגית. המתודולוגיה יושמה בנחל ציפורי במסגרת פרויקט השיקום הלאומי של הנחל. 79 חסמים מופו לאורך הנחל (כ-2.5 חסמים לקילומטר נחל), וההשפעה של רובם נותחה. לכל מבנה ניתן ציון משוקלל המשקף את מידת ההשפעה שלו על הנחל, ומידת הדחיפות לטיפול נגזרה מהציון. ממצאי העבודה מצביעים על כך שהממד המורפולוגי הוא ממד ההפרעה המשמעותי ביותר, בעיקר במעברים איריים ובסכרים. במקרים רבים זוהו תהליכי התחתרות, יצירת מדרגות ושקיעת סחף, ששינו את מבנה הערוץ ואת מאפייני בית הגידול. מעברים איריים מהווים גורם הפרעה משמעותי למערכת הנחל, בעיקר בממדי המורפולוגיה והרציפות, בעוד שמעברים סמי-איריים מציגים השפעה על ההיבט המורפולוגי בלבד. מעבר לקביעת סדר עדיפויות לדחיפות הטיפול בחסמים, יישום המתודולוגיה הדגיש את הפער הקיים בישראל בפיתוח פתרונות שיקום מותאמי נחל. בהתאם לכך, משולבים בימים אלה בפרויקט פתרונות תכנון חדשים המבוססים על מודלים הידרומורפולוגיים, שכוללים מעברים מותאמי נחל מסוג "אירי עם אפיק קיצי", המאפשרים שמירה על קישוריות גם בספיקות נמוכות. השימוש במתודולוגיה מציע מסגרת יישומית לניהול ולקביעה של סדר עדיפויות לטיפול בחסמים בקנה מידה נחלי, ומדגיש את הצורך בשילוב בין שיקום אקולוגי, תכנון הנדסי וניהול אגני.

מילות מפתח: הפרויקט הלאומי לשיקום נחל ציפורי · חסמים הידרובולוגיים · מעברי דרך · מעברי מים

מבוא

נחלים הם מערכות דינמיות שהתפקוד ההידרולוגי, המורפולוגי וההידרובולוגי בהן שזורים זה בזה ליצירת התשתית האקולוגית. רציפות הזרימה, תנועת הסחף והקישוריות ההידרובולוגית לאורך הערוץ הן תנאי יסוד לתפקוד המערכת ולשימור המגוון הביולוגי [7, 19, 20]. עם זאת, בנחלים רבים ישנם מבנים מלאכותיים המכונים "חסמים" (Instream barriers), המשנים את חתך הערוץ ופוגעים במעבר החופשי של מים, סחף ובעלי חיים מימיים, כלומר בתנאי היסוד הללו. החסמים האלה הם, למשל, מעברים המאפשרים חציית רכב (מעברים איריים וסמי-איריים), מעברי מים סגורים (צינורות ובוקסים), סכרים, תחנות מדידה, גשרונים וגשרים (טבלה 1). השפעת החסמים מתבטאת בראש ובראשונה בשינוי תנאי הזרימה: בספיקות גבוהות המבנים האלה מצרים את רוחב האפיק, וגורמים לשקיעת סחף במעלה המבנה ולסחיפה מואצת במורדו [6, 16]. התהליכים האלה תוארו גם בסקר החסמים במערכת הירדן העליונה (מקורות הירדן ועד הכינרת), ותוארה בו הצטברות סחף ניכרת במעלה סכרים ומעברי מים [2]. בספיקות נמוכות, שאופייניות

לנחלי ישראל בעונת הקיץ, הזרימה נקטעת בשפת המבנה, והנחל הופך מבית גידול ליניארי זורם לסדרה של בריכות רדודות ומנותקות, שינוי המשפיע על החי והצומח בנחל [2, 3]. לשינויים האלה נלוות השלכות מורפולוגיות, ובהן הרחבת האפיק, שחיפת גדות, העמקת הערוץ וחיפת יסודות תשתית [12, 16], שמשנות את בתי הגידול בנחל, מערערות את יציבות הערוץ, ומאיצות שחיקה וכשל מבני של מבנה הערוץ, של החסם עצמו ושל מבנים הנדסיים סמוכים. מבחינה הידרובולוגית מבנים כגון מתקנים הידראוליים, מעברים לרכב ומעברי מים מגבילים או חוסמים תנועת דגים במעלה הנחל, בעיקר בשל זרימה מואצת במורד המבנה ומים רדודים במעלה, שלצד תשתית הבטון החלקה במבנה עצמו מקשים על האחיזה והשחייה במעלה הזרם [12, 13]. קיטוע זה פוגע בגישה לאתרי רבייה, מחסה והזנה, מצמצם את מגוון בתי הגידול הזמינים, והוא גורם מרכזי לירידה באוכלוסיות דגים [15, 17, 18]. ההשפעה ניכרת גם בקרב חסרי חוליות, בהם גם חלק ממיני הצדפות התלויות בתנועת הדגים להשלמת מחזור חייהן [8, 9]. בנחלים ים תיכוניים המאופיינים בשינויים עונתיים קיצוניים של



על קצה המזלג

- * חסמים מלאכותיים, כמו סכרים ומעברים, פוגעים ברציפות הנחל ובתפקודו ההידרוביולוגי.
- * המחקר מציג מתודולוגיה למיפוי החסמים לאורך נחל ציפורי ולקביעת סדר העדיפויות לטיפול בהם בהתאם להערכת מידת הפגיעה שלהם בנחל, המבוססת על שלושה ממדים מרכזיים: רציפות ההידרולוגית, הפרה מורפולוגית וקישוריות ההידרוביולוגית.
- * הממצאים מראים כי סכרים הם החסמים המשמעותיים ביותר בכל הממדים, בעוד שגשרים, שעלותם גדולה עשרות מונים, הם החלופה ההנדסית המיטבית לשמירה על תפקוד הנחל.
- * קיימת שכיחות גבוהה של מעברי רכב חקלאיים "פיראטיים" הגורמים להפרות מורפולוגיות קשות ולקיטוע של בתי גידול.
- * המתודולוגיה מאפשרת מעבר מטיפול נקודתי לתוכנית עבודה אגנית שיטתית המבוססת על דחיפות הטיפול.
- * כדי שתוכנית העבודה תתבסס על היתכנות ביצועית, יש להמשיך ולפתח פתרונות תכנון ופתרונות הנדסיים המותאמים לצורכי שיקום הנחל.

מערכת אקולוגיה וסביבה

התעלמות מההשפעות המורפולוגיות של החסמים על תפקוד הנחל. היעדר מתודולוגיה סדורה ליצירת סדרי עדיפויות לטיפול בחסמים ולהסרתם יוצר תמונת מציאות מורכבת עבור מנהלי הנחל, ומקשה עליהם להטמיע את הנושא בתוכניות העבודה. סקר החסמים במערכת הירדן העליונה הדגים את היקף התופעה, כשתיעד מאות מתקנים היוצרים חסימה מלאה או חלקית, והדגיש את הצורך בדירוג שיטתי של דחיפות הטיפול [2].

בעשורים האחרונים התפתחה באירופה מסגרת אסדרה רחבה לשיקום קישוריות נחלים, הנשענת בעיקר על דירקטיבת המים האירופית (Water Framework Directive) ועל אסטרטגיית המגוון הביולוגי של האיחוד האירופי. במסגרת זו הוגדרו הסרת חסמים ושיקום רציפות נהרות ככלים מרכזיים לשיפור המצב האקולוגי של נהרות, ואף נקבע יעד לשיקום 25,000 ק"מ של נהרות שיזרמו באופן חופשי עד שנת 2030. במדינות רבות פותחו בעשורים האחרונים מתודולוגיות להערכת חסמים ולקביעת סדר עדיפויות לשיקומם, בעיקר בהקשר של מעבר דגים ושיקום קישוריות אקולוגיות [7, 14]. הגישות האלה משלבות לעיתים שיקולים הידרולוגיים, אקולוגיים, הנדסיים וכלכליים לצורך קבלת החלטות באשר להסרת חסמים לשיקום רציפות נהרות ולקביעת סדר עדיפויות להשקעות בשיקום [10, 11]. בשנים האחרונות גוברת גם ההכרה בחשיבותם של חסמים קטנים, כגון מעברים איריים, מעברי מים וסכרים נמוכים, שהשפעתם המצטברת על קישוריות נחלים עשויה להיות משמעותית במיוחד [7, 10]. בישראל יש צפיפות גבוהה של מעברים חוצי נחל קטנים ותשתיות חקלאיות בתוך הערוץ, אך למרות זאת טרם גובשה מסגרת אסדרה או מתודולוגיה אחידה לקביעת סדר עדיפויות ולהסרת חסמים ההידרוביולוגיים.

נחל ציפורי, הגדול שביובלי נחל קישון, הוא נחל איתן ברובו, אורכו כ־32 ק"מ, ואופי האגן שלו כפרי (איור 1). הפרויקט הלאומי לשיקום הנחל, שהחל בשנת 2022 בהובלת רשות ניקוז ונחלים קישון ובמימון יד הנדיב ושותפים נוספים, נועד לשמש מודל לשיקום תפקודי ולצמצום פערי ידע. הנחל חוצה שטחים חקלאיים רבים, ולכן מתאפיין בצפיפות גבוהה של מעברי שירות לכלי רכב. בסקירה קודמת (רון ריימונד, מידע בע"פ, 2025) נמצא כי 57% מהחסמים בציפורי הם מעברי דרך מוסדרים לחציית רכב חקלאי, ו־16% נוספים הם מעברים "פיראטיים" שאינם מוסדרים. מטרת העבודה הנוכחית היא לפתח וליישם כלי סדור למיפוי ולדירוג של מידת הנזק של כל אחד מהחסמים בנחל, ולקבוע סדר עדיפויות שיטתי לטיפול בהם. בימים אלה עובדו תוצרי העבודה המתודולוגית לכדי תוכנית עבודה מדורגת לשיקום בקנה מידה נחלי. אפשרויות הטיפול בחסמים מגוונות, ונעות מהסרה מלאה של המבנה, דרך התאמות הנדסיות לשיפור הקישוריות (כגון שינוי שיפועים, שינוי סוג המעבר או שדרוג שלו) ועד השארת המבנה ללא שינוי כאשר תפקודו ההנדסי או התחבורתי חיוני. לפיכך, תהליך קביעת סדר

זרימות, עשויה להיות לחסמים משמעות אקולוגית גבוהה במיוחד [5]. בעידן של שינוי האקלים ההשפעה מחריפה, למשל כאשר בספיקות נמוכות נוצרות בריכות חמות ודלות־חמצן משני צידי החסם, ובעלי החיים מנועים מלהגיע למעיינות המשמשים מקלט תרמי [4]. לפיכך, חסמים ההידרוביולוגיים הם גורם מרכזי המשפיע על תפקוד הנחל והמערכת האקולוגית כולה [4].

בישראל הדיון בהשפעת החסמים האלה על סביבת הנחל עדיין מצומצם, ולרוב מוגבל לדיון בקישוריות ההידרוביולוגית בלבד, תוך



סולם דגים בתחנה ההידרומטרית 'עליל' בנפתול ראס עלי. ממצאי הניטור עולה כי הדגים משתמשים בסולם, אך עדיין לא מצליחים לשחות במעלה המפל. בימים אלה מתוכנן שדרוג נוסף לסולם הדגים | צילום: אביב אבישר

במדד הרציפות ההידרולוגית. חסמים המצויים במקטע האכזב של הנחל הוסרו מתוכנית העבודה, כי ללא זרימה איתנה של מים, בין כה וכה אין רציפות הידרולוגית וקישוריות הידרובולוגית.

בשלב האחרון שולבו לצד המדדים האקולוגיים גם שיקולים יישומיים, ובהם צורך חקלאי חיוני, פגיעה מערכתית חריגה או עלות הטיפול הנדרשת בחסם. למשל, הסרת מבנה שאינו בשימוש, תיקון מפל או שיקום ערוץ עולים אלפי שקלים, יציקת מעבר אירי חדש

העדיפויות אינו עוסק רק בזיהוי עוצמת הפגיעה האקולוגית של החסם, אלא גם בהיתכנות הטיפול, בעלויותיו וביכולת לאזן בין צורכי האדם לבין שיקום תפקוד הנחל.

מתודולוגיה למיפוי השפעת חסמים על הנחל

לצורך קביעת סדר עדיפויות לטיפול בחסמים בנחל ציפורי פותחה ויושמה מתודולוגיה הבוחנת כל חסם בשלושה ממדים מרכזיים: הידרולוגי, מורפולוגי והידרובולוגי. בשלב הראשון מיפנו באופן שיטתי את כלל החסמים החוצים את הנחל באמצעות תצלומי אוויר, שכבות ממ"ג (GIS) ייעודיות, נתוני לוויין ותצפיות בשדה. עבור כל חסם נאספו נתונים תיאוריים אחידים, הכוללים את סוג המבנה, מיקומו, ייעודו העיקרי (חקלאי, תחבורתי, תיירותי או אחר) והערכת היקף השימוש בו. בהמשך הוערכה השפעת כל חסם על בסיס שלושה מדדים: (א) רציפות הידרולוגית – מידת ההפרעה לזרימת מים ולמעבר סחף; (ב) הפרעה מורפולוגית – קיומם של תהליכי סחיפה, התחתרות, שקיעת סחף, יצירת מדרגות ושינוי חתך האפיק; (ג) קישוריות הידרובולוגית – מידת החסימה למעבר דגים. כל מדד דורג בסולם תלת-שלבי: ציון 1 מייצג הפרעה משמעותית, ציון 2 – הפרעה בינונית, וציון 3 – הפרעה נמוכה או היעדר הפרעה. מתוך תפיסה שרציפות הידרולוגית, שלמות מורפולוגית וקישוריות הידרובולוגית הן ממדים משלימים ובעלי חשיבות דומה לתפקוד הנחל, ניתן לכל אחד מן המדדים משקל זהה (33.3%).

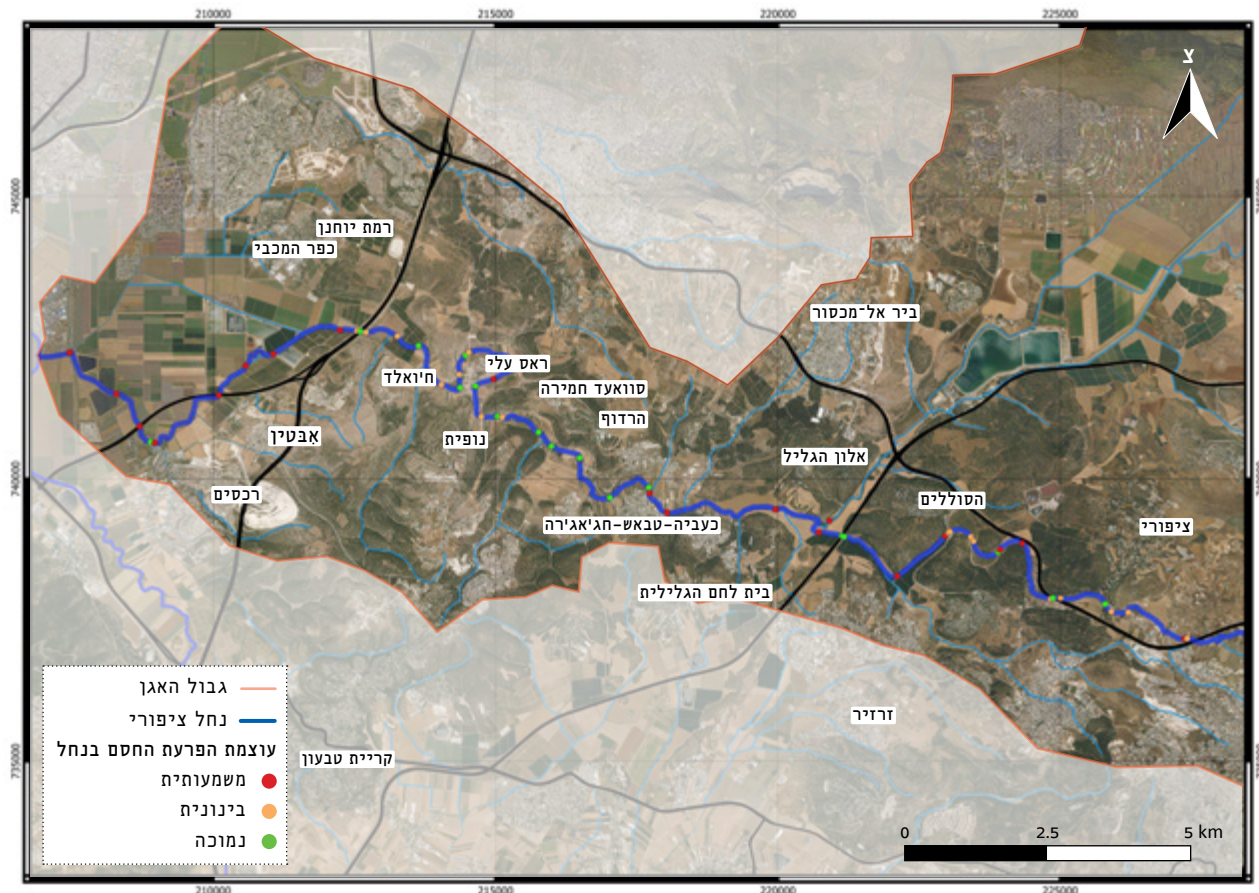
בשלב הבא בוצע תקנון מרחבי לציונים על בסיס הערכת מומחים מצוות האקולוגיה של פרויקט השיקום. דירוג החסמים עודכן בהתאם להערכת השפעת מיקומם בנחל על חשיבות הרציפות ההידרולוגית והקישוריות הביולוגית. בחסמים במורד הנחל (בעמק זבולון) ניתן משקל גבוה יותר לציון מדד הקישוריות הביולוגית בשל תפקודם כשער כניסה לדגים נודדים מן הקישון, בעוד שלחסמים במעלה הנחל, במקטע שבין עינות ציפורי לעינות יפתחאל, שהוא מקטע הנוטה להתייבש בעונת הקיץ, ניתן משקל גבוה יותר לציון

טבלה 1. סוגי חסמים הידרובולוגיים: מעברי דרך, מעברי מים, גשרים וסכרים

סוג המעבר	משמעויות הידרובולוגיות של שימוש במעבר
מעבר אירי	מאפשר מעבר מים גם בספיקות גבוהות, אך יוצר לעיתים חסם אקולוגי והידרולוגי משמעותי עקב מדרגה במורד, זרימות מהירות ושינוי במשטר הזרימה והסחף
מעבר סמי-אירי	משלב מעבר זרימה ייעודי לספיקות נמוכות עם גלישת מים מעל המבנה בספיקות גבוהות, ולכן נחשב פתרון ביניים המשפר חלקית את הרציפות ההידרולוגית והאקולוגית ביחס למעבר אירי מלא
גשר וגשרון	הפתרון המועדף מבחינה אקולוגית והידרומורפולוגית, שכן הם מאפשרים שמירה מיטבית על רציפות הזרימה, על מעבר סחף ועל תפקוד טבעי של הערוץ והמשק האקולוגי
מעבר מים בוקס	מעבר סגור, מספק כושר הולכה גבוה ועמידות מבנית, אך כאשר הוא אינו מותאם לתנאי הנחל הוא עלול לגרום להאצת זרימה, לחסימת מעבר בעלי חיים ולפגיעה בתנועת הסחף וברציפות והמורפולוגית
מעבר מים בצינור	מעבר סגור, פתרון פשוט ונפוץ, אך קוטר מוגבל ומהירויות זרימה גבוהות הופכים אותו לעיתים לחסם משמעותי למעבר מים, סחף ואורגניזמים
סכר	מהווה חסם משמעותי לרציפות הזרימה, לתנועת הסחף ולקישוריות האקולוגית בנחל, ומשנה באופן מהותי את המשטר ההידרולוגי והמורפולוגי לאורך הערוץ

איור 1. מיפוי החסמים ההידרוביולוגיים לאורך נחל ציפורי

צבעו של כל חסם משקף את הציון המשוקלל שהתקבל בהליך ההערכה המתודולוגי, ומבטא את עוצמת השפעתו של החסם על מדדי ההידרולוגיה, המורפולוגיה והביולוגיה במערכת הנחל. הכנת המפה: מיכאל ברויאר, רשות ניקוז ונחלים קישון.



שנבדקו: 52% מן החסמים דורגו כבעלי הפרעה משמעותית, לעומת 34% בלבד שדורגו ברמת הפרעה משמעותית בממד הרציפות, ו-33% בממד הקישוריות ההידרוביולוגית. מנגד, שיעור החסמים בעלי הפרעה נמוכה היה הגבוה ביותר בממד ההידרוביולוגי (53%), בינוני בממד הרציפות (46%), והנמוך ביותר בממד המורפולוגי (34%) (טבלה 2).

בהשוואה בין סוגי החסמים עולה כי ברובם, ובפרט במעברים איריים ובסכרים, הפגיעה המורפולוגית היא המשמעותית ביותר. השפעת החסמים על הרציפות ההידרולוגית מציגה דפוס ביניים, המאופיין בפגיעה משמעותית שנמצאה במעברים איריים, לצד פגיעה נמוכה יחסית בגשרים.

השפעת סוג החסם על ההפרעות השונות

ניתוח סוגי החסמים השונים העלה כי לכל סוג מבנה יש דפוס הפרעה ייחודי, המתבטא בעוצמות שונות של פגיעה ברציפות ההידרולוגית,

עולה עשרות אלפי שקלים, ובניית גשרון נאמדת במאות אלפי שקלים לחסם. הרחבה על אודות המתודולוגיה מופיעה בנספח 1 (באתר כתב העת).

המתודולוגיה שלפניכם מאפשרת מעבר מהערכה נקודתית של השפעת מבנה בודד, לתוכנית עבודה רב-שנתית לכלל החסמים בנחל, המדורגת לפי מידת הדחיפות. התוכנית מבוססת על שקלול רב-ממדי של התפקוד ההידרולוגי, המורפולוגי והביולוגי, תוך שילוב אילוצים תשתיתיים ומערכתיים, ומתרגמת הערכה אקולוגית לכלי תכנון יישומי בקנה מידה של נחל שלם.

תוצאות

במקטע הנחל הנחקר מופו 79 חסמים, ממוצע של כ-2.5 חסמים לקילומטר (איור 1), ונותחה ההשפעה הרב-ממדית של 62 מתוכם, הממוקמים בחלק שהנחל הזורם בו הוא נחל איתן. הממד המורפולוגי הוא הממד הפגוע ביותר מבין שלושת ממדי ההשפעה

מעברים סמי־איריים: במחצית מהמעברים הסמי־איריים נמצאה הפרעה מורפולוגית משמעותית, בעוד שבממד הרציפות ובממד ההידרובולוגי שיעור ההפרעה היה נמוך יותר. מעברים אלה מאופיינים בפגיעה בינונית, ללא דפוס קיצוני של חסימה.

מעברי בוקס: מעברי בוקס (box culverts) הציגו שונות גבוהה. כשליש מהם דורגו כבעלי הפרעה משמעותית בממד הרציפות ובממד המורפולוגי, אך בממד ההידרובולוגי רובם דורגו כבעלי הפרעה נמוכה. דפוס זה מעיד כי אף על פי שהם משפיעים על תהליכים הידרולוגיים ומורפולוגיים, במקרים רבים הם פתרון הנדסי טוב השומר על תפקוד הנחל.

גשרים וגשרונים: גשרים היו המבנים בעלי ההשפעה השלילית הנמוכה ביותר בכל הממדים. בממד הרציפות 86% דורגו כבעלי הפרעה נמוכה, ובממד ההידרובולוגי 79% דורגו כבעלי הפרעה נמוכה; גם בממד המורפולוגי רובם הציגו פגיעה מזערית. ממצא זה מחזק את ההבנה כי גשר פתוח הוא החלופה ההנדסית המיטבית לשמירה על תפקוד נחל תקין.

סכרים: כל הסכרים שנבדקו גרמו להפרעה משמעותית לרציפות הזרימה ולחסימה מורפולוגית והידרובולוגית מלאה. ממצא זה עולה שסכרים הם המבנים בעלי ההשפעה השלילית העקבית והעמוקה ביותר בכל שלושת הממדים.

דיון

המתודולוגיה שפותחה במחקר זה מציעה מסגרת סדורה, שקופה ויישומית לקביעת סדר עדיפויות לטיפול בחסמים בקנה מידה אגני. יתרונה המרכזי טמון בפשטותה היחסית לצד עיגון ברור במדדים אקולוגיים, באמצעות בחינה נפרדת של רציפות הידרולוגית, הפרעה מורפולוגית וקישוריות הידרובולוגית לכל מבנה, ושקלולם לציון אחיד. גישה זו מאפשרת מעבר מהערכה איכותית נקודתית לכלי כמותי לקבלת החלטות שהוא ב־השוואה ומבוסס נתונים.

הממצאים מנחל ציפורי מצביעים על דפוס עקבי וברור: הממד המורפולוגי הוא המופרע ביותר בכלל סוגי החסמים. שיעור ההפרעות המשמעותיות בממד זה גבוה באופן עקבי לעומת ממדי הרציפות וההידרובולוגיה, ובולט במיוחד במעברים איריים ובסכרים. ממצא זה מדגיש כי השינוי הפיזי בערוץ – התחתרות, יצירת מדרגות, שינוי חתך ושקיעת סחף – הוא לעיתים קרובות ההשפעה הראשונית והעמוקה ביותר של חסמים. השינוי המורפולוגי יוביל לפגיעה בבריית הגידול בנחל, להקטנת המורכבות המבנית ולפגיעה ברציפות ההידרולוגית, שבתורם יובילו לפגיעה במגוון הביולוגי. **למרות חשיבותו של הממד המורפולוגי, על פי רוב הוא כלל אינו נכלל בהערכות השפעה, ובפועל אינו מקבל כל התייחסות.** עיקר ההתייחסות לחסמים, אם ישנה, נוגעת לתנועת דגים או לרציפות הידרולוגית. הממצאים מחזקים את המסקנה כי התעלמות מהשפעת חסמים על שינויים מורפולוגיים עלולה



מעבר מים בוקס משוקם מתחת לכביש 79 באזור עינות ציפורי. הזרימה נאספה לאפיק משוחרר על גבי תכסית טבעית בשיפוע מתון | צילום: אביב אבישר

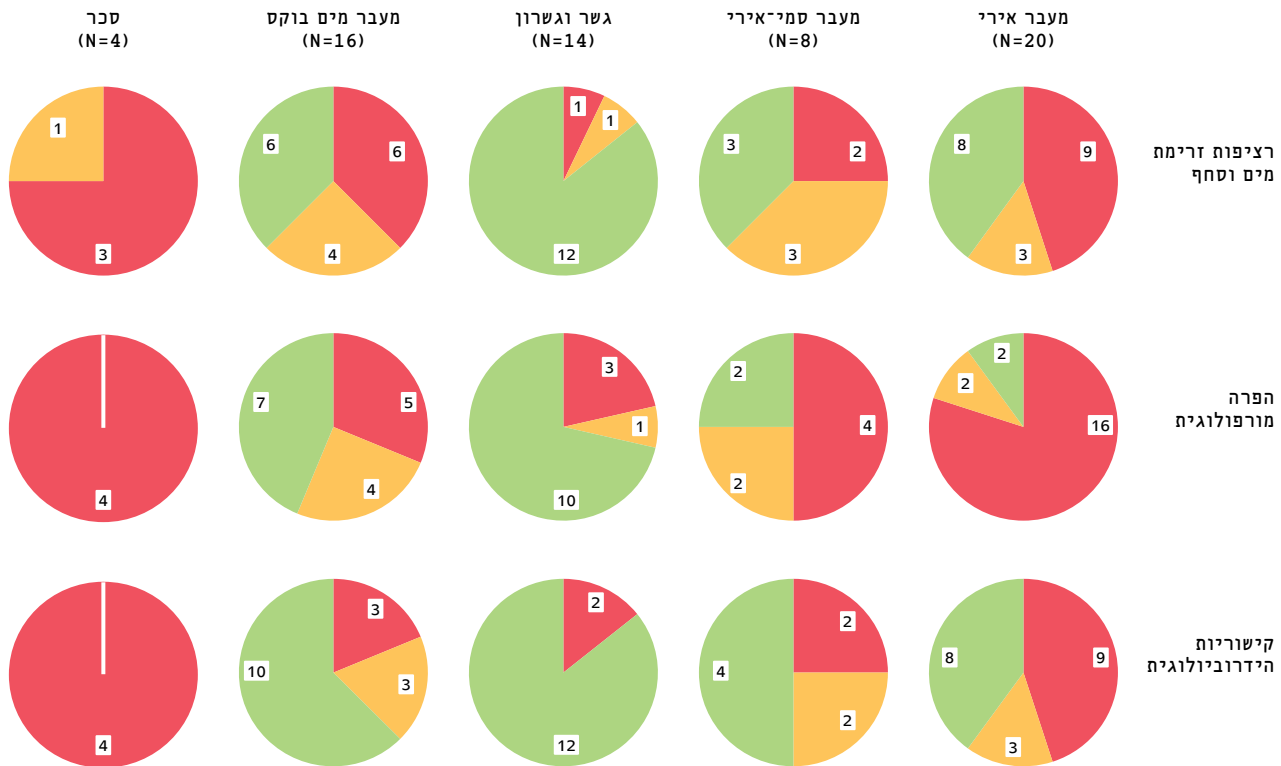
במורפולוגיית הערוץ ובקישוריות ההידרובולוגית (איור 2).

מעברים איריים: גורמים להפרעה מורפולוגית גבוהה במיוחד – 84% מהם דורגו כבעלי הפרעה משמעותית. גם בממד הרציפות נרשמה פגיעה ניכרת, עם 47% מעברים שדורגו כבעלי הפרעה משמעותית. לעומת זאת, בממד ההידרובולוגי נצפה שיעור דומה של הפרעה משמעותית והפרעה נמוכה (42% כל אחת). הממצאים האלה מצביעים על פוטנציאל פגיעה מורפולוגי מובהק, גם כאשר שיעור החסימה ההידרובולוגית אינו מרבי.

טבלה 2. התפלגות דרגות ההפרעה בציון המשוקלל של שלושת ממדי ההשפעה של חסמים בנחל ציפורי: רציפות הידרולוגית, הפרעה מורפולוגית וקישוריות הידרובולוגית
בכל תא מופיע מספר החסמים בדרגת ההפרעה שקיבלו את הציון, ובסוגריים השיעור היחסי שלהם מכלל החסמים שנבחנו בממד.

ממד / ציון משוקלל	ציון 1 (הפרעה משמעותית)	ציון 2 (בינונית)	ציון 3 (נמוכה)
הפרעה לרציפות הידרולוגית	21 (34%)	12 (20%)	28 (46%)
הפרעה מורפולוגית	32 (52%)	9 (15%)	21 (34%)
הפרעה לקישוריות הידרובולוגית	19 (33%)	8 (14%)	31 (53%)

איור 2. התפלגות דרגות ההפרעה לפי סוגי חסמים ולאורך שלושת ממדי ההשפעה המספרים בכל חרשים מייצגים את כמות המבנים בכל דרגת הפרעה.



על בסיס התובנות האלה גובשה תוכנית עבודה מדורגת לטיפול בחסמים בנחל ציפורי, המשלבת הסרה או הסדרה של מבנים פיראטיים, החלפת מעברי רכב והתאמות הנדסיות של סכרים לצד שיקום מורפולוגי של הערוץ. המתודולוגיה שפותחה במסגרת העבודה מספקת מסגרת סדורה למיפוי החסמים ולקביעת סדר עדיפויות לטיפול בהם, באופן המאפשר גיבוש תוכנית עבודה אגנית והקצאת משאבים מושכלת. עם זאת, במהלך יישום התוכנית התברר כי גם לאחר שלבי המיפוי וקביעת סדר העדיפויות, קיים בישראל מחסור בפתרונות הנדסיים ותכנוניים לשיקום קישוריות בנחלים ים תיכוניים, ובפרט במעברים חוצי נחל בעלי שימוש חקלאי ותפעולי. משום כך, חלק משמעותי מעבודת הפרויקט מתמקד בימים אלה בפיתוח פתרונות חדשים ומותאמי אתר, הנשענים על שילוב של תכנון הנדסי, הידרולוגי ומורפולוגי. שלב התכנון הוא שלב מורכב: כל חסם מקבל התייחסות מפורטת, המגבשת פתרון ייעודי שמותאם לתנאי האתר ומבוסס על תחזיות של מודל הידרומורפולוגי, המביא בחשבון את מבנה הערוץ ביחס לספינקות נתונות לאורך השנה (ראו עמ' 38–41 בגיליון זה). עבור מספר מעברים איריים במעלה הנחל, שהם בעלי השפעה גבוהה ושימוש תפעולי מתמשך, הומלץ על

להוביל להערכת חסר של מידת ההשפעה המערכתית, וכי עלינו לאמץ גישה רב-ממדית המשלבת מורפולוגיה, הידרולוגיה וביולוגיה. מעברי רכב איריים הציגו רמות הפרעה גבוהות, בעיקר בממד המורפולוגי, אך במקרים רבים נרשמה בהם גם פגיעה ביולוגית משמעותית. מעברים איריים גם מאפשרים מגע ישיר בין גלגלי הרכב והמים, גורמים להרחפת סחף, ופוגעים בעקיפין גם באיכות המים. נוכח שכיחותם הגבוהה של מעברים איריים בנחלים, בין היתר בשל עלותם הנמוכה, מתחדדת חשיבות ההבנה של פוטנציאל ההפרעה הגלום בהם, ושל הצורך בתכנון מתחשב ובמציאת פתרונות יצירתיים וחדשניים. מעברים סמי-איריים הציגו דפוס ביניים של הפרעה, בעוד שמעברי בוקס בלטו בעיקר בהפרעה מסוימת של רציפות הזרימה והסעת הסחף, אך לא תמיד יצרו חסימה משמעותית. לעומתם, גשרים וגשרונים נמצאו כחלופה ההנדסית המיטבית מבין החלופות שנבחנו, עם שיעורי הפרעה נמוכים ועקביים בכלל הממדים, אך כי עלות הקמתם גבוהה יותר לפחות בסדר גודל. הממצאים מדגישים כי משמעותם האקולוגית של מעברי רכב חוצי נחל משתנה באופן ניכר בהתאם לסוג המבנה, וכי לבחירה התכנונית יש השפעה ישירה על תפקוד המערכת.

המלצות לקריאה נוספת

מאמר הסוקר קישוריות גאומורפולוגית כמנגנון מרכזי בתפקוד מערכות נחלים. המאמר מדגיש את חשיבות רציפות מעבר המים והסחף ואת האופן שחסמים ותשתיות משנים את הדינמיקה המורפולוגית של הנחל לאורך זמן ובקנה מידה אגני.

Wohl E, Brierley G, Cadol D, et al. 2021. Connectivity as an emergent property of geomorphic systems. *Earth Surface Processes and Landforms* 46(1): 4–26.

מחקר רחב-היקף על השפעת חסמים קטנים בנחלים על קישוריות הידרולוגית, תנועת סחף ומבנה הערוץ. העבודה משלבת מיפוי חסמים, ניתוח תהליכים מורפולוגיים ופיתוח מתודולוגיה לקביעת סדר עדיפויות באגן כולו בביצוע התאמות לחסמים ובהסרתם.

Kelly-Quinn M, Bruen M, and Turner JN. 2022. Assessment of the extent and impact of barriers on freshwater hydromorphology and connectivity in Ireland (Reconnect). EPA research report no 421.

מקורות

ראו באתר כתב העת.

החלפה למעבר אירי חדש שנמצא בתהליכי פיתוח ונקרא "אירי עם אפיק קיצי". על פי התכנון, המעבר החדש יאפשר שמירה על מעבר רציף של מים ובעלי חיים גם בספיקות נמוכות שאופייניות למעלה הנחל. הוא מבוסס על יצירת אפיק צר ומעוצב בתוך חתך המבנה האירי, המרכז אליו את זרימת הקיץ לצד שיקום האפיק ומרכז הזרימה אל אפיק הבטון הקיצי מעל למבנה ומתחתיו. התכנון ההנדסי שנעשה במסגרת הפרויקט מדגים מעבר מגישה המבוססת על "מעבר מים" בלבד, לגישה תפקודית רחבה יותר של שיקום רציפות הנחל. גישה זו נשענת על כלים הידרולוגיים והידראוליים מתקדמים, על מודלים טופוגרפיים ועל תכנון מורפולוגי מותאם נחל, ומאפשרת לשלב בין צורכי תשתית, חקלאות ושיקום אקולוגי. במציאות התשתיתית בישראל ובנחלים שמאופיינים בצפיפות גבוהה של מעברי שירות חקלאיים, לא ניתן לטפל בזמנית בעשרות חסמים. לפיכך, מתודולוגיה המאפשרת דירוג שיטתי של דחיפות הטיפול היא חיונית. קביעת סדר עדיפויות המבוסס על חומרת ההפרעה מאפשרת לכוון שדרוג או החלפה של חסמים לא רק לפי אילוצי תקציב, אלא גם בהתאם להשפעתם בפועל על תפקוד הנחל. בכך מציעה העבודה מעבר מטיפול נקודתי לגישה מערכתית לניהול רשת חסמים לאורך נחל שלם, ומעמידה כלי יישומי לתכנון תוכנית עבודה רב-שנתית לשיקום קישוריות הידרובולוגית.



מעבר אירי משודרג במורד עין יבקע. המבנה נועד לאפשר מעבר חופשי של מים, סחף ואורגניזמים, אך בפועל קשה עקב סתימת חריצי המעבר והתפתחות מדרגת סחיפה במורד המבנה | צילום: אביב אבישר