

רועי אגוזי

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

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

אגוזי ר. 2021. פתרונות מבוססי
טבע – סל כלים לטובת ניהול סיכוני
הצפה. *אקולוגיה וסביבה* 12(3):
49–58.



הצפה של שטח חקלאי (פשט הצפה) מעבר לסף גדות מלאות בעת שיטפון בנחל הקישון, חורף 2020/21. לצד פיתוח של נתיבי תחבורה וכדומה עלינו לדאוג למערכות האקולוגיות הנחליות, שלהן הפוטנציאל הרב ביותר בוויסות שיטפונות, באמצעות שיקומן ויישום פתרונות מבוססי טבע. הפתרון הקל ביותר הוא שיקום פשטי ההצפה | באדיבות רשות ניקוז ונחלים קישון

פתרונות מבוססי טבע – סל כלים לטובת ניהול סיכוני הצפה

15 בנובמבר, 2021

גיליון סתיו 2021 / כרך 12(3) / נחלי ישראל

[סקירות](#)

על קצה המזלג

- הסכנות מהצפות נחלים מחריפות עם השנים בשל שינוי משטר הגשמים והגדלת השטח הבנוי – ועדויות לכך מגיעות בשנים האחרונות מרחבי הארץ והעולם.
- במקביל, התפיסה הרואה בנחלים ישות מורפולוגית-אקולוגית בעלת מגוון תפקידים, ולא רק הזרמת נגר,

תפסה עמדת בכורה אצל מנהלי הסביבה הנחלית.

- הצורך לגשר בין הצרכים האקולוגיים של הנחל לבין צורכי ניהול מערכות תשתית לניהול נגר מניע תהליך איטי של מעבר מפתרונות קשיחים מבוססי הנדסה לפתרונות גמישים מבוססי טבע.
- פתרונות מבוססי טבע לצמצום סכנת הצפות מבוססים על שיקום וחיזוק של תפקודים בסביבה הטבעית של הנחל, כחלק מניהול מתכלל של אגן ההיקוות.
- הטמעת פתרונות מבוססי טבע לצמצום סכנת ההצפות בישראל מחייבת התאמה שלהם לתנאים האופייניים לארץ, ונכונות להשקעה לטווח הארוך, הנדרש להבשלת הפתרון עד להגעה ליעילות מרבית מבחינה תפקודית וכלכלית.

המערכת

תקציר

כדי להתמודד עם אתגרי העתיד (שחלק מהם כבר נמצאים כאן) מדיניות ניהול הנגר וניהול סיכוני הצפה בישראל זקוקה לעדכון. העדכון דחוף בשל השילוב של פיתוח עירוני מואץ, המאפיין את ישראל, עם התחזיות העולמיות לאירועי הצפה מוגברים עקב תהליכי שינוי האקלים. בד בבד, מתקדם בישראל, כמו בארצות מפותחות אחרות, שינוי תפיסה איטי, עמוק ומבורך, שכולל מעבר מפתרונות מסורתיים מבוססי הנדסה לפתרונות מבוססי טבע. פתרונות מבוססי טבע מקדמים שיקום וחיזוק של תפקודים בסובב הטבעי – אגני היקוות, נחלים, שטחי הצפה ופשטי הצפה, והם דורשים שטח רחב לאיגום ולריסון של ספיקות המים. לאחרונה מתקיים שיח שנעשה בו שימוש רב היקף במונח מבלי להבין את משמעותו לעומק. התוצאה עלולה להיות יישום פתרונות מבוססי טבע במקומות שהם לא נדרשים, בחירת פתרון לא מדויק או ביצוע לא נכון. מטרת מאמר סקירה זה היא להציג בפני אנשי המעשה – מתכננים, אנשי שימור קרקע וניקוז, אקולוגים, מנהלי שטחים פתוחים, מקבלי החלטות וקובעי מדיניות – את עולם המושגים והעקרונות של פתרונות מבוססי טבע כדי לקדם את יישומם ולהביא להפחתת סיכוני הצפה כחלק מניהול מתכלל של אגן ההיקוות.

הגדרה: פתרונות מבוססי טבע

פתרונות מבוססי טבע (Nature Based Solutions, NBS) הם פעולות בנות-קיימא שמטרתן לשמור, לשקם ולחזק את מגוון המינים המתקיימים במערכות אקולוגיות [7] טבעיות או מעשה ידי אדם. החברה האנושית ניצבת בפני אתגרים סביבתיים מרובים, כגון: שינוי האקלים, בריאות הציבור, ביטחון תזונתי ואספקת מים, אסונות טבע ואובדן מגוון המינים [15,16]. מטרת הפתרונות היא העצמת שירותי המערכת האקולוגית המסופקים לרווחת החברה האנושית ולשגשוגה [7]. המונח פתרונות מבוססי טבע הוא מושג מטרייה, כמו מונחים אחרים המגלמים גישות אקטיביות ונושאים משמעות דומה – תשתיות כחולות-ירוקות (Blue-Green Infrastructure), הנדסה אקולוגית (Eco-Engineering) ובנייה עם הטבע (Building With Nature). כל המונחים הללו מאגדים דרכים להתמודדות עם האתגרים העתידיים ועם אלה שכבר כאן, בדרך כלל בהקשר של שינוי האקלים. דרכי ההתמודדות כוללות פתרונות משולבים של התערבות אפחות (mitigation) וניהול מסתגל (adaptation) להקטנת הסיכונים ולאספקת פתרונות שיהיו זולים לאורך זמן ויעילים בהתמודדות עם הצפות, בצורות, זיהומים סביבתיים וכדומה [23,41].

מבוא

זאבולוציה של המושג פתרונות מבוססי טבע

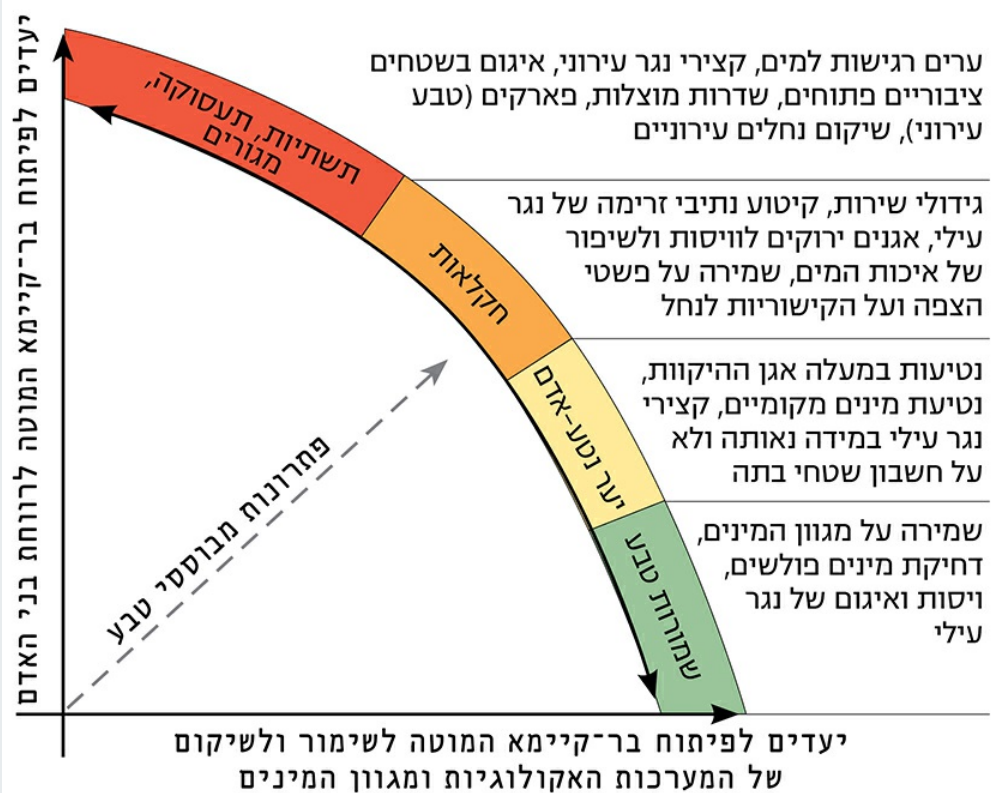
הגישה של פתרונות מבוססי טבע התפתחה מהתפיסה של שירותי המערכת האקולוגית, ומגולמים בה רעיונות מתחומי ידע שונים: כלכלה סביבתית, אקו-הידרולוגיה, סוציו-אקולוגיה, סוציו-הידרולוגיה, אגרו-אקולוגיה, חקלאות משמרת ועוד, העוסקים ביחסי האדם והטבע [14,17,20,22,30,38,48]. העיסוק בכך צבר תאוצה בעקבות אמת המגוון הביולוגי (נחתמה ב-1995) ואימוץ הגישה המערכתית לניהול מתכלל של משאבי הטבע על-ידי "הפלטפורמה הבין-ממשלתית בנושא המגוון הביולוגי ושירותי

המערכת האקולוגיים (IPBES) שהוקמה ב-2012. הפלטפורמה הוקמה כמענה לאחר פרויקט "הערכת המילניום – מערכות אקולוגיות ורווחת האדם" (The Millennium Ecosystem Assessment, 2001–2005), שהצביע על פגיעה מתמשכת ועתידית במערכות האקולוגיות ועל הגרעה של משאבי הטבע בגלל ניצול יתר ופיתוח שאינו בר-קיימא. במקביל החלו מצטברות העדויות המדעיות על שינוי האקלים והשלכותיו. נתונים אלה מסוכמים בעבודות הפאנל הבין-ממשלתי לנושא (IPCC). פעילות זו העלתה את המודעות לצורך להתמודד עם שינוי האקלים בשני אופנים: פעולות שמטרתן הפחתה של פליטת גזי חממה, ופעולות שמטרתן ניהול מסתגל אל מול השלכות שינוי האקלים, כגון: עלייה בטמפרטורה הממוצעת, עלייה בתקופות היובש, פחיתה בכמות המשקעים ועלייה במספר אירועי הקיצון החריגים [3,5,6].

הממצאים והמדיניות של ארגוני האו"ם בנושאי שינוי האקלים, אובדן המגוון הביולוגי והגרעה של המערכות האקולוגיות קיבלו ביטוי ביעדים לפיתוח בר-קיימא – תוכנית פעולה לשנת 2030 (אפשרה ב-2015) [44]. מטרת התוכנית היא שיפור רמת החיים והצמיחה הכלכלית תוך שימוש מושכל במשאבים בצורה שמותירה אפשרויות פיתוח לדורות הבאים על-ידי הגדלת הצדק החלוקתי, הקטנת הבערות והעוני ובזמן שמירת המגוון הביולוגי והמערכות האקולוגיות וטיפוחם. יישום פתרונות מבוססי טבע עשוי לקדם השגת חלק מ-17 יעדי התוכנית. **איור 1** מדגים כיצד פתרונות מבוססי טבע עשויים לתת מענה בהתאמה למערכת האקולוגית ולרמות שונות של פיתוח ושימור.

איור 1. הצגה רעיונית של העצמת שירותי המערכת האקולוגית והגברת התועלת דרך פתרונות מבוססי טבע ביחס להרכב משתנה של יעדי פיתוח בר-קיימא בשימושי קרקע שונים

באיור מוצגים יעדי פיתוח בר-קיימא המוטה לכיוון שימור ושיקום של המערכות האקולוגיות ומגוון המינים אל מול יעדי פיתוח בר-קיימא המוטה לרווחת בני האדם. האיור מבוסס בחלקו על טיוטה של דו"ח הפורום העולמי לשיקום אקולוגי [43].



איור 1 הצגה רעיונית של העצמת שירותי המערכת האקולוגית והגברת התועלת דרך פתרונות מבוססי טבע ביחס להרכב משתנה של יעדי פיתוח בר-קיימא בשימושי

קרקע שונים

באיור מוצגים יעדי פיתוח בר-קיימא המוטה לכיוון שימור ושיקום של המערכות האקולוגיות ומגוון המינים אל מול יעדי פיתוח בר-קיימא המוטה לרווחת בני האדם. האיור מבוסס בחלקו על טיטה של דו"ח הפורום העולמי לשיקום אקולוגי [43]

ארגוני פיתוח בין-לאומיים דוגמת הבנק העולמי, הבנק לפיתוח אמריקה והבנק לפיתוח אסיה אימצו את הגישה של פתרונות מבוססי טבע והדגישו את התועלת הרבה המסופקת באמצעותה במספר הולך וגדל של פרויקטים, שנערכים במימוןם בסביבה החופית, העירונית והחקלאית [11, 27, 46]. המגמה של אימוץ פתרונות מבוססי טבע התרחבה לארגונים בין-לאומיים נוספים, למשל, ארגון המזון והחקלאות של האו"ם [40] והארגון הבין-לאומי לתשתית לתחבורה ימית [34], וכן למיזמים של ארגונים בין-לאומיים אזוריים, דוגמת האיחוד האירופי. הסוכנות האירופית לסביבה פרסמה דו"ח [18] שסקר את הפוטנציאל שיש לפתרונות מסוג זה ואת מידת הישימות של הגישה באופן כללי, והמסר שלו היה "חשוב ירוק" – עידוד חשיבה חליפית לגישה המקובלת והנפוצה שדוגלת בהשקעות בפתרונות המבוססים על אמצעים הנדסיים (תשתיות אפורות). שלוש שנים לאחר מכן, בדו"ח של סוכנות הפיתוח של האו"ם [47], שעסק גם כן בפתרונות מבוססי טבע לניהול משאבי מים, המסר חודד – "עבוד עם הטבע ולא נגדו".

לאחרונה פרסם האיחוד האירופי דו"ח [19] ובו הצהרה כי פתרונות מבוססי טבע הם כלים להתמודדות מוצלחת עם ההשלכות של שינוי האקלים, ובמבט צופה עתיד – הם יהיו כלי מרכזי בתוכנית להעצמת המגוון הביולוגי 2030. הדו"ח מהלל את הגישה של פתרונות מבוססי טבע ככזו שתספק משרות ופריחה לעסקים, ולכן הגדלת המאמץ ביישום פתרונות כאלה בקנה מידה נרחב נחשבת למפתח בעיצוב המדיניות האירופית להתמודדות עם שינוי האקלים ועם אתגרים סביבתיים נוספים. גם ארגונים אזרחיים סביבתיים ללא מטרות רווח, כמו האיגוד הבין-לאומי לשמירה על הטבע (IUCN), הקרן לשמירת חיות הבר (WWF) והארגון לשמירת טבע (The Nature Conservancy) אימצו את הגישה ופועלים לקדמה באמצעות מדריכים ופרויקטים להדגמה ברחבי העולם [13, 28].



במקטע זה של נחל אלכסנדר בחרו בפתרון הנדסי של שריון גדות הנחל כדי להבטיח זרימה מהירה של מים ולמנוע התמוטטויות של גדות הנחל. כפי שניתן לראות, פתרון זה אינו בר-קיימא | צילום: רועי אגוזי

מטרות המאמר

באופן מפתיע קיימות תמימות דעים לגבי החשיבות של פתרונות מבוססי טבע וגם הסכמה על צורך בהסטת משאבים ודחיפה לפעולה, ואף על פי כן, קיים פער ביישומם ברמה הלאומית. במדינת ישראל, בדומה למדינות אחרות, המגזר הממשלתי וארגונים מהחברה האזרחית פתוחים לאמץ את הגישה של פתרונות מבוססי טבע [1, 2, 4, 8]. דוגמה לכך אפשר לראות בהחלטת הממשלה מ-1.8.2021 בנושא "קידום תשתיות וניהול סיכונים שיטפונות", כחלק מהתוכנית הכלכלית ל-2021–2022 [10]. לעיתים

הדבר נעשה ללא ידע מספק והבנה של העקרונות הבסיסיים, ובמקרה הגרוע – נוצרות טעויות בתכנון ובביצוע של פתרונות מבוססי טבע [26]. לכן, **המטרה הראשונה במאמר זה היא להציג את עקרונות הבסיס של פתרונות מבוססי טבע בשטח הפתוח** (לא המבונה) בדגש על ניהול הנגר העילי והפחתת נזקי הצפות. הצגה זו נועדה לכך שהגישה תיושם כהלכה: היכן שניתן וצריך, ובאופן נכון, שמערב את הקהילות שמתגוררות באגן ההיקוות ותורם להן. **המטרה השנייה היא להראות כיצד פתרונות מבוססי טבע מסייעים בהגברת החוסן של המערכות האקולוגיות בזיקה לתפקודים ההידרולוגיים של אגני ההיקוות העיליים ובתגובה לשינוי האקלים ולעוצמות הפיתוח ההולכות והגוברות בשטחים הפתוחים.**

נקודת המוצא היא ההנחה שאגני ההיקוות העיליים מושפעים מאוד מהפעילות האנושית: עיור ובינוי, פיתוח תשתיות ואזורי תעסוקה, חקלאות וניצול נרחב של משאבי הטבע. לכן, מצבן של המערכות האקולוגיות, המתקיימות בזיקה לתפקודים ההידרו-מורפולוגיים של אגני ההיקוות, מדורדר, ומכאן שאספקת שירותי המערכת האקולוגית באגן ההיקוות מוחלשת ונמצאת בחוסר יישום פתרונות מבוססי טבע בקנה מידה רחב יכול להיות אמצעי מפתח בשינוי המצב. תימוכין לכך ניתן למצוא בדו"חות האחרונים של הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים: האחד עוסק בשינוי האקלים ובשינויים בשימושי הקרקע, ועולה ממנו כי כ-20% מסך פליטות גזי חממה שמקורם אנתרופוגני נוצרים בעקבות הגרעה של מערכות אקולוגיות יבשתיות [28]; השני קושר בין שינוי האקלים לנזקים למגוון הביולוגי ולמערכות האקולוגיות השונות [35].

יישום פתרונות מבוססי טבע כחלק מניהול מתכלל של אגן ההיקוות להפחתת נזקי שיטפונות: עקרונות, יתרונות וחסרונות

שיטפונות והצפות הם מאסונות הטבע השכיחים ביותר מבחינה עולמית, והם מהווים כ-43% מכלל אסונות הטבע שתועדו בשנים 1994–2013. אירועים אלה השפיעו על כ-2.5 מיליארד איש. שינוי האקלים, גידול האוכלוסייה והפיתוח העירוני משמעים התגברות הסיכון לאירועי הצפה חופיים (coastal flooding) ונחליים (fluvial flooding) ושיטפונות בזק מקומיים (pluvial flooding), בדרך כלל תוצאה של סופת גשם קיצוני מקומית, שבר ענן) וכן התגברות הסיכון לנפש ולרכוש מאירועים כאלה. לכן, מדיניות לניהול סיכוני הצפה צריכה להיערך לבאות, בין היתר, באמצעות הגדלת השימוש בפתרונות מבוססי טבע [46].

עד לאחרונה הגישה המקובלת בניהול סיכוני הצפה הייתה שימוש באמצעים מבוססי הנדסה, המכונים פתרונות תשתית אפורה, כדוגמת דיפון ושריון גדות נחלים, הגבהת סוללות לצידי האפיק (artificial levees), סכרים, ותעלות לניקוז המים הגואים. לעומת זאת, פתרונות מבוססי טבע נשענים על תהליכים טבעיים, ויכולים להתבסס על אלמנטים של המערכת האקולוגית בלבד (תשתית ירוקה) או על שילוב של תשתיות אפורות עם תשתיות ירוקות [11, 27]. פתרונות מבוססי טבע עשויים לרסן שיטפונות, בצורות, גלישות וסחיפת קרקע. לדוגמה, באזור הכפרי בבורקינה פאסו יישמו ממשקי שימור קרקע מסורתיים ומקומיים במטרה לשקם את משאב הקרקע כדי להתמודד עם שיטפונות ובצורות, בצ'לה נטעו יערות כדי להפחית גלישות קרקע ומפולות שלגים; בתאילנד שוקם יער מנגרובים כאמצעי להגנה על קו החוף מאירועי הצפה חופיים; בקולורדו (ארה"ב) משקמים נחלים במטרה להתמודד עם סיכוני הצפה; ביפן ובאנגליה שוקמו אגנים ירוקים באזור החקלאי ובקו החוף, בהתאמה, במטרה לווסת הצפות; בברצלונה (ספרד) מקודמת תוכנית רחבת היקף לשיקום אקולוגי של מרחבים ציבוריים בעיר לצד כבישים ולשיקום של מובלעות ירוקות בעיר במטרה לווסת את הנגר העירוני והטמפרטורות, לצד הגדלת האזורים לפנאי ולנופש. כל הפתרונות נערכים בשיתוף הקהילות המתגוררות באזור כדי להפחית את הפגיעות לשינוי האקלים ולהפיק תועלת עבור הסביבה והחברה, כגון השגת ביטחון תזונתי ושיפור איכות החיים [15, 31]. ניתן ליישם את הפתרונות הללו באגני ההיקוות ובסביבה החופית והעירונית. ריסון שיטפונות באמצעות פתרונות מבוססי טבע באגן ההיקוות ייעשה בשילוב יישום גישות של חקלאות בת-קיימא או חקלאות משמרת [30] או עם הגברת חוסן הסביבתי של הערים והמרכזים העירוניים [12]. יישום המשלב פתרונות כאלה במערכות אקולוגיות שונות באגן ההיקוות יתרום לשיפור באיכות המים ובכמות המים הזמינים לטובת מאמצי השיקום של מערכות אקולוגיות – טבעיות או מעשה ידי אדם, כפי שיפורט בהמשך [24].

יתרונות והחסרונות העיקריים של פתרונות מבוססי טבע בהשוואה לפתרונות ניקוז הנדסיים (תשתית אפורה) מובאים בטבלה 1, וניתן ללמוד ממנה שהגישות משלימות זו את זו. היתרונות והחסרונות תלויים מאוד לא רק בהקשר הגאוגרפי-פיזי, אלא גם בהיתכנות הכלכלית-משפטית והארגונית, בעיקר לנוכח סוגיות הנוגעות לזכויות במקרקעין.

לאחרונה התפרסמו מספר עבודות המציגות עקרונות ליישום מוצלח של פתרונות מבוססי טבע, ובהן דגשים ורמות פירוט שונות [15, 16, 46]. שלושת העקרונות המובאים כאן הם ניסיון לסכם את עקרונות היישום ולהתמקד בנושא הפחתת סיכונים מהצפות נחלים:

טבלה 1. יתרונות וחסרונות של פתרונות מבוססי טבע אל מול אמצעים הנדסיים מקובלים מהחוסר הסדרת נחלים וניקוז הנדסי להפחתת נזקי הצפה ושיטפונות מבוסס על פרסום של הבנק העולמי [46].

קריטריונים להשוואה	פתרון מבוסס טבע	הסדרת נחל או מתקן ניקוז הנדסי (תשתיות אפורות)
ההשפעה על הסביבה	ההשפעה חיובית – פתרון בר-קיימא. משקף אחריות סביבתית רחבה וראייה הוליסטית.	ההשפעה שלילית – לא תמיד מובאת בחשבון ההשפעה על הסביבה, והפתרון אינו בר-קיימא.
יעילות תפקודית	עולה עם חלוף הזמן. עולה כפונקציה של קנה המידה המרחבי של הפתרון.	יורדת עם חלוף הזמן. הפתרון מותאם לגודל אגן ההיקוות ולמאפייניו (סטטי).
השתנות בזמן	המערכות האקולוגיות משתנות עם התנאים הסביבתיים ומתאימות את עצמן במהלך הזמן שחולף לתנאים הקיימים.	בניו לתנאי התכן שהוגדרו טרם הבנייה, ולכן הסביבות של כשל תגדל עם הזמן ועם השינוי בתנאים, למשל, עלייה בשכיחות ספיקות שיא חריגות או עוצמת אירועי הגשם.
הזמן ליישום	יישום של פתרונות מבוססי טבע עשוי לארוך זמן רב יותר, והוא מותנה בהשגת החוסן של המערכת האקולוגית ובהשגת תקציב. גבוהה בגלל הסדרי מקרקעין ופעולות שיקום.	היישום נעשה תוך זמן קצר יחסית, מותנה תקציב.
עלות-תועלת כלכלית	בטווח הארוך העלות פחותה. בטווח הקצר העלות עשויה להיות גבוהה בגלל הסדרי מקרקעין ופעולות שיקום.	העלות עשויה להיות גבוהה יותר לטווח הארוך בגלל עלות התחזוקה שנדרשת.
עירוב מספר רב של בעלי עניין	הדבר הכרחי לאורך הרתימה שלהם ליישום הפתרון (ויתור על שטח), ולעיתים כרוך בהקמת מיזמים אזוריים.	בהתאם לסוג הפתרון, יש נטייה לצמצום בעלי עניין על-ידי הגורם המנהל את תא השטח הרלוונטי, שלו האחריות.
תקציב מתאים ועידוד עסקים	חסר	קיים
חינוך והכשרה של בעלי מקצוע והדגמה באמצעות חקרי מקרה	חסר. נדרשות תמיכה והטמעה מוסדית של מדריכים איך לבצע, וכך אפשר ללמוד מה עובד ומה לא עובד.	קיימות ספרייה של מדריכים מסוגים שונים, מסורת של תיעוד חקרי מקרה ולמידה, וכן זמינות של אנשי מקצוע ומומחים.
שכיחות היישום בניהול סיכונים הצפה	לא שכיח, בגלל חוסר מודעות ולזמינות וליעילות שלהם ולתועלת הנוספת שפתרונות מבוססי טבע מספקים.	שכיח, אולם לעיתים הפתרון המוצע אינו מיטבי, ואינו מביא בחשבון את צורכי הקהילות המתגוררות באגן ההיקוות.
תקינה ואחידות	קיימים פערי ידע. מדדים אחידים יתבססו על מדדי הצלחה לשיקום מערכות אקולוגיות. יש צורך בחקרי מקרה כדי לאמת תוצאות ממודלים ממוחשבים.	נבחנים בקריטריונים כמותיים, קיימת תורה סדורה של מדריכים לתכנון שמנחים באשר לפתרון המתאים ולביצוע מיטבי.
השטח הנדרש ליישום	רחב	מקומי ומצומצם

טבלה 1

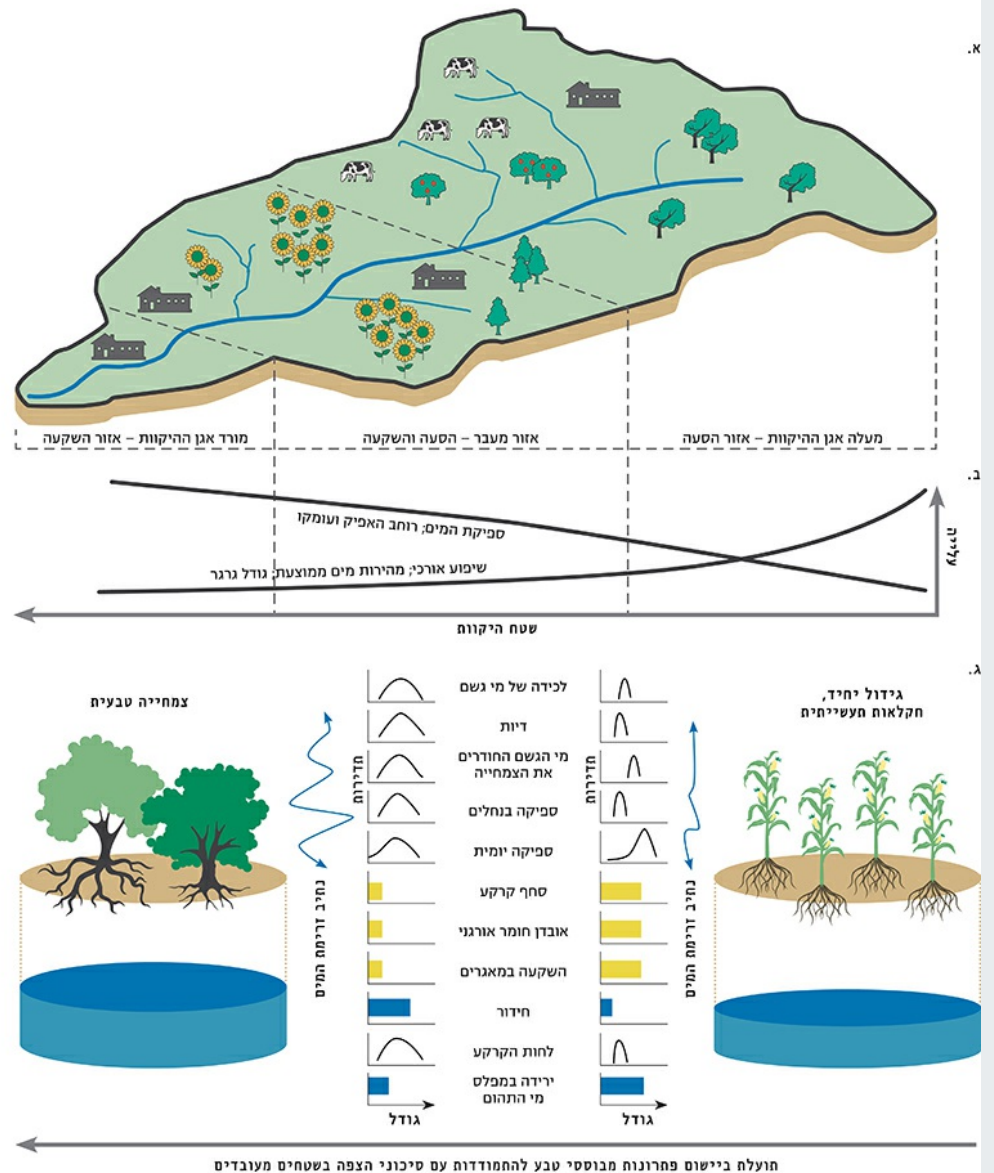
יתרונות וחסרונות של פתרונות מבוססי טבע אל מול אמצעים הנדסיים מקובלים מתחום הסדרת נחלים וניקוז הנדסי להפחתת נזקי הצפה ושיטפונות

מבוסס על פרסום של הבנק העולמי [46]

העיקרון הראשון: הליבה של פתרונות מבוססי טבע היא הבנת המערכת האקולוגית

בהקשר של שימור ושיקום של מערכות נחלים הכוונה היא שלפני תכנון של פתרון מבוסס טבע יש להבין את התהליכים ההידרולוגיים, המורפולוגיים והאקולוגיים הפועלים באזור. עיקרון זה מצריך התייחסות לשלוש שאלות: א. האם המערכת האקולוגית נמצאת באיזון ועשויה להתגבר על הפרעות (למשל, זיהומים) תוך זמן קצר או שהיא מצויה במצב מופר ובתה-תפקוד (דוגמת נחל הירקון הסובל מאירועי זיהום חוזרים ונשנים)? ידוע כי נחלים בעלי זרימה חופשית והשפעת אדם פחותה הם מערכות אקולוגיות שיש בהן מגוון מינים גבוה, ובדרך כלל הן מאופיינות ברמת יצרנות ובחוסן גבוהים, ולכן, גם עמידות להפרעות דוגמת שיטפונות [25, 31, 33]. ב. האם יישום פתרונות מבוססי טבע מתאים לאתר המיועד? מומלץ לשפר את התנאים האביוטיים של המערכת, כדי ששיקומה יתאפשר בהתבססות על מינים מקומיים. למשל, שחרור תפיסת מעיינות או תפיסה של זרימות בסיס בנחלים יגדילו את הסיכוי של צומח הגדות ובית הגידול המימי לשרוד בתקופת היובש של הקיץ ולדחוק צמחים פולשים. מאידך, גיסא, הפתרונות צריכים גם להישען על שיקום של מערכות אקולוגיות בהתאמה לתנאים הסביבתיים. למשל, בעת הקמה של בריכת חורף לקליטת נגר עילי וויסות, יש לוודא שמתקיימים התנאים שיאפשרו איגום מים בכמות ובאיכות מספיקות ובמשך הזמן הדרוש למיני דו-חיים לסיים את שלבי הגלגול וההתפתחות שלהם. ג. על אילו מרכיבים במערכת האקולוגית הפתרון מבוסס הטבע צפוי להשפיע? יש למקד את הפתרונות בהתאם למצאי בתי גידול ולמאפייניהם הביו-גאוגרפיים שרוצים לשקם ולשמור עליהם בהווה ובעתיד. נדרשת התייחסות לתפקודים ההידרו-גאומורפולוגיים של מרכיבי אגן ההיקוות (המערכת המדרונית, ערוצים מסדר גודל שונה, פשטי הצפה, שטחי הצפה וכדומה) ושל המערכות האקולוגיות המתקיימות בפשטי ההצפה (איור 2). בכל מקרה, אין מדובר על החזרת המערכת האקולוגית להרכבה ולמצבה הקודמים. בהיעדר אפשרות שכזו, ובייחוד אל מול שינוי האקלים שעשוי להוביל לשינויים אקולוגיים (למשל, התמוטטות אוכלוסיות מקומיות), יש להביא בחשבון גם שינויים אקולוגיים בהרכב המינים. למשל, שיקום המערכת עשוי להביא להתבססות מינים או חברות צומח המקיימות מגוון נמוך, אולם חוסנה של המערכת האקולוגית יגדל.

איור 2. סוגי תועלת פוטנציאלית ביישום פתרונות מבוססי טבע כחלק מהתמודדות עם סיכוני הצפה במערכות אקולוגיות שונות בקנה מידה של אגן ההיקוות (א) ועל סמך ההבנה של עקרונות הידרו-גאומורפולוגיים (ב) בהדגמה על השטח / המערכת האקולוגית החקלאית (ג). מבוסס על ^[31] Levia et al.



איור 2 סוגי תועלת פוטנציאלית ביישום פתרונות מבוססי טבע כחלק מהתמודדות עם סיכוני הצפה במערכות אקולוגיות שונות

בקנה מידה של אגן ההיקוות (א) ועל סמך ההבנה של עקרונות הידרו-גאומורפולוגיים (ב) בהדגמה על השטח / המערכת האקולוגית החקלאית (ג). מבוסס על ^[31] Levia et al.

העיקרון השני: יישום פתרון מבוסס טבע צריך להתייחס להיבטי מרחב וזמן ולהיבטים חברתיים-כלכליים-משפטיים

ההיבט המרחבי

המערכת הנחלית היא תוצר של פעולות גומלין בין תהליכי הסעת המשקע (סדימנט) והמים הזורמים ובין המרכיבים האקולוגיים, בעיקר הצומח. המכלול של המערכת מושפע משטפי מים, ממשקעים ומחומרי מזון. שינוי בעוצמת השטפים יכול לפגוע בתפקוד התקין של המערכת. למשל, סכר שנבנה וחוסם את שטף המשקעים למורד באירועי גאות עשוי לגרום להתחזרות של אפיק הנחל במורד הסכר ולהרס האפיק והגדות. על כן, פתרונות מבוססי טבע צריכים להביא בחשבון את התהליכים המעצבים את המערכת האקולוגית, להבין איזה מבין התהליכים דומיננטי בקני מידה מרחביים שונים ולכוון לקנה המידה הגדול ביותר. כמובן שהדבר עשוי לעורר קונפליקט אל מול מחזיקי הקרקע, ויש לפתור אותו בהידברות ובהסכמות. כעיקרון, יש לשאוף ליישום של פתרונות אלה במרחבים גדולים (שטחים פתוחים) או לריבוי שלהם במרחבים מצומצמים (שטחים מבוניים), כי אז האפקטיביות שלהם גבוהה יותר, והיכולת לבנות חוסן ולהתמודד עם אתגרים, כגון הצפות, טובה יותר. דוגמה לכך היא האפקט המצרפי של ריבוי גגות ירוקים או כחולים כפתרון מרחבי לוויסות הנגר העירוני^[12]. דוגמה נוספת היא התועלת הנמוכה בשיקום נחל במקטעים – נמצא שהשיקום אינו משפיע על איכות מקטעי נחל שטרם שוקמו במעלה או במורד המקטע המשווקם^[9]. לכן, יש לנסות ולקדם תוכניות שיקום נחל בקנה מידה גדול, כגון תוכניות שיקום הנחלים תנינים וציפורי המתוכננות לביצוע בעתיד הקרוב, ובהן התייחסות לכל אורכו של האפיק הראשי.

היבט הזמן

פתרונות מבוססי טבע מוכוונים לטווחי זמן ארוכים. הציפייה היא שתכנון שיקום המערכת האקולוגית ישרת את הקהילות המתגוררות בסמיכות לה, ויספק להן מענה ברציפות ולטווחי זמן ארוכים שבמהלכם יתרחשו אירועים חריגים של הצפות. הסיבה לכך היא שהמערכות האקולוגיות משתנות עם התנאים הסביבתיים ומתאימות את עצמן במהלך הזמן שחולף לתנאים הקיימים, כגון עלייה בתדירות השיטפונות ועוצמתם או עלייה של מפלס מי הים.

ההיבט החברתי-כלכלי-משפטי

פתרונות מבוססי טבע צריכים להתאים למאפייני המבנה והארגון של החברה והכלכלה במדינות או בקהילות המעורבות בשטחים המיועדים להצפה וכדומה. מכיוון שמדובר בניצול מקרקעין שאינם מיועדים מראש לתשתית ציבורית הנדסית, קיימים בדרך כלל גם אתגרים משפטיים ולעיתים גם צורך בפיצויים. מאחר שבניסיון להפחית נזקי שיטפונות פתרונות מסוג זה פחות שכיחים ומוכרים, עשויה להיות רתיעה מאימוצם. כיום חסר מידע על היעילות שלהם ועל התועלת הכלכלית והחברתית הנובעת מהם. המידע הקיים הוא בעיקר ממדינות מתפתחות שגופי פיתוח אזוריים ובין-לאומיים פועלים בהן בתקציבים גדולים להנעת פרויקטים שננסמים על פתרונות מבוססי טבע^[32]. מאחר שההתבססות על הטבע היא רעיון חדש, אי אפשר עדיין למדוד את הצלחתם. באשר למודעות לפתרונות אלה בקרב הציבור הרחב ובקרב ציבור מקבלי ההחלטות – ברבים מהמדריכים בנושא מצוין שיישום פתרונות מבוססי טבע מצריך עבודה לגיוס תמיכת הציבור ולהטמעה במסגרות השלטוניות ובגופים המאסדרים, וכן חינוך ולמידה בקרב בעלי העניין השונים^[45].



איקליפטוס המקור (*Eucalyptus camaldulensis*) – מין פולש – בגדת נחל מיוצבת של נחל שורק. דחיקה והוצאה של מינים פולשים כחלק משיקום צמחי של אזור הגדות תסייע בויסות שיטפונות ובאספקת שירותי מערכת נוספים | צילום: רועי אגוזי

זעיקרון השלישי: ניהול מסתגל מבוסס ניטור

ניהול מסתגל הוא גישה בקבלת החלטות, בתגובה למציאות משתנה ולמידע חדש. בהקשר של יישום פתרונות מבוססי טבע להפחתת נזקי שיטפונות מדובר על קבלת החלטות הנשענות על ניטור ארוך טווח, המיועד להבטיח תפקוד מיטבי ובר-קיימא של הפתרונות. הניהול המסתגל מאפשר התאמה של הפתרון לשינויים שמתרחשים ולתובנות הנלמדות. ניהול מסתגל של פתרונות מסוג זה דורש זמינות של תקציב כדי ליצור ניטור סדיר וכדי לשפר את הפתרון מעת לעת. יש לכך שתי סיבות עיקריות: א. נדרש זמן ללמוד ולהבין את הדינמיות של המערכת האקולוגית שפתרון מבוסס טבע נשען עליה. לדוגמה, ייעור אינטנסיבי במעלה אגן ההיקוות עשוי לגרום לספיגת כל כמות הגשם בקרקע ובעלוות הצומח, להביא להגברת שיעור המים האובדים מהמערכת האקולוגית בתהליכי דיות והתאדות, ולהקטין את המים הזמינים לקיום ספיקות זרימות בסיס בנחל החיוניות לשרידותם של צומח וחי בתי גידול לח. היות שכך, נדרש פתרון מדויק באמצעות קבלת החלטות גמישה העונה על מספר תרחישים אפשריים. ב. יש להבין שבניגוד לגישה ההנדסית, פתרונות מבוססי טבע נשענים על היכולת של המערכת האקולוגית להסתגל לשינוי בתנאים האביוטיים. רכיב האי-ודאות הוא חלק מהמנגנון של הפתרון, והצלחת היישום תלויה ביכולת להכיל את האי-ודאות במקום לנסות ולצמצמה אל מול סכנה של שיטפון חריג. הפתרון ההנדסי מיועד להגן מפני סכנת השיטפונות, והוא יעשה זאת באמצעות הגדלת מקדמי הביטחון בתכנון ההנדסי, דוגמת סכרים או ביטון וביצור של קרקעית הנחל וגדותיו, שמשמעותם לעיתים ייקור הפתרון והשפעה נרחבת על הסביבה. לעומת זאת, פתרון מבוסס טבע נשען על מערכת אקולוגית בריאה ומתפקדת והוא עצמו חלק מניהול סיכוני הצפה, ועל כן הפתרון עתיד להכיל את השיטפון ולרסנו. אם פתרון מבוסס טבע יינק, הוא עתיד להשתקם באופן עצמי, ללא צורך בתיקון או בתחזוקה, גם אם יתרחש שיטפון חריג.

ותווה ליישום פתרונות מבוססי טבע באגן היקוות בדגש על שלוש מערכות אקולוגיות מופרות

איור 2 מדגים מדוע ניהול אגני מתכלל מתאים ליישום פתרונות מבוססי טבע להפחתת נזקים מהצפות בהתייחסות למספר מערכות אקולוגיות שונות: חקלאות, טבע עירוני במרכזים עירוניים, נחלים ומקווי מים יבשתיים, שטחי יער ושמורות טבע. להלן יפורטו אמצעים ליישום, המתאימים לשלוש המערכות הראשונות.

יישום פתרונות מבוססי טבע במערכות אקולוגיות חקלאיות

במערכות אלה פתרונות מבוססי טבע מיושמים בשלושה אופנים: א. שיפור במדדי בריאות הקרקע יסייע בהגברת החידור, בתאחיזת המים ובעלייה במפלסי מי התהום, ולכן יפחית את נגר מי הגשם על פני הקרקע. בריאות הקרקע היא גישה מערכתית כוללת, המתייחסת אל הקרקע כאל מערכת אקולוגית, וככזו היא גם מספקת שירותי מערכת אקולוגית שונים. שיפור בתכונות הקרקע מותנה גם בממשק חקלאי משמר קרקע^[37, 30]; ב. ויסות נגר עילי באמצעות שינוי הקישוריות ההידרו-גאומורפולוגיות^[30, 21]: קיטוע המדרון באמצעות רצועות חיץ, כיסוי הקרקע בגידולי שירות (service crops) שמטרתם האטת הזרימות ומניעת ריכוז הזרימה בערוצים, שיקום ושימור של בתי גידול לחים ומימיים של פשטי הצפה, אזורי חיץ בין האפיק לשטח המעובד והתקנת אגנים ירוקים^[30, 42] (wetlands); ג. ניהול שימושי הקרקע החקלאיים – תכנון של הגידולים החקלאיים בהתאם לתנאים הביו-פיזיוגרפיים (האקלים, התבליט, הקרקע, התכסית הטבעית); הרחקת גידולים הרגישים במיוחד להצפות מאזורים הסמוכים לאפיק הנחל, הרחקת מבנים חקלאיים מהאפיק ומפשטי ההצפה^[30, 26].



לישת הקיקיון המצוי בגדת נחל שורק היא סמן להגרעה של המערכת האקולוגית של הנחל | צילום: רועי אגוזי

יישום פתרונות מבוססי טבע במערכות אקולוגיות עירוניות

גם במרחב העירוני אפשר לקדם פתרונות מבוססי טבע בדרכים מגוונות: שיפור איכות מי הנגר, כמותם וזמינותם לשימוש נוסף באמצעות הגברת היכולת של השטח המבונה לווסת את נפחי המים ולצמצם את ניקוזם המהיר אל מחוץ לשטח הבנוי; הפיכת נחלים עירוניים לפארקים של טבע עירוני ולריאות ירוקות, במקום תעלות בטון פתוחות או מובלים סגורים; הימנעות מהסטת נחלים ומשינויים טופוגרפיים שיגרמו לבעיות ניקוז; הארכת זמן הריכוז של מי הנגר העירוני באמצעות הולכה איטית דרך

צמחייה ומכשולים אחרים, איגום זמני בשטחים ציבוריים וניקוז איטי, רצוי דרך מערכת אגנים ירוקים ומשם החדרה או שחרור מבוקר לנחל; בנייה ירוקה סופגת גשם; נטיעת עצים [43, 41, 11].

יישום פתרונות מבוססי טבע במערכות אקולוגיות של נחלים ומקווי מים יבשתיים

שיקום נחלים ושמירתם מבטיחים יכולת ויסות שיטפונות לצד אספקת שירותי מערכת נוספים, כגון לכידת פחמן, טיהור מים, הגברת החידור למי תהום במהלך הזרימה באפיק (איבודי תמסורת) ושמירה על המגוון הביולוגי. הפעולות המוצעות הן: א. הפחתה של תשטיפים וזיהומים אל המערכת הנחלית, למשל באמצעות הקמה ושיקום של אזורי חיץ ויישום פתרונות מבוססי טבע בשטחים החקלאיים והעירוניים המתנקזים לנחל; ב. הגברת הקישוריות ההידרולוגית לפשטי ההצפה, שמירה על פשטי ההצפה מפני פיתוח, הסרת סוללות צד (דייק), מיתון שיפוע הגדות ומתן מרחב לנחל להתפתל ולעצב בכוח אנרגיית זרימת המים את המורפולוגיה שלו, בדומה לפרויקט שהחל בהולנד [36, 45] (Room for the river); ג. שיפור כמות המים ואיכותם בנחל: השהיית המים בנחל באמצעות מורפולוגיה מורכבת ומגוונת וצמחיית אפיק וגדות, הסרת מחסומים הידראוליים לזרימה רציפה ולמעבר של בעלי חיים וחומר גנטי, הסרת מתקנים לתפיסת מי גאות והסרת איחוז מעיינות להבטחת זרימת בסיס; ד. שיקום צמחי של אזור הגדות בהתאם למשטר הלחות ועל בסיס מינים מקומיים ודחיקה והוצאה של מינים פולשים, דוגמת קיקיון מצוי (*Ricinus communis*), פרתנון אפיל (*Parthenium hysterophorus*) ושיטה כחלחלה (*Acacia saligna*), וריסון מינים מתפרצים, כגון פטל קדוש (*Rubus sanguineus*) קנה מצוי (*Phragmites australis*) ואשל היאור (*Tamatis nilotica*). הדבר יאפשר הבטחת גאוויות חורפיות לפתיחה של נוף הצומח ולחידוש המערכת הביופיזיקלית של הנחל (תחזוקה עצמית) והבטחת זרימת בסיס לשיפור השרידות של צומח בית גידול לח ומימי.

סיכום

הפירוש המילולי של הביטוי "פתרונות מבוססי טבע" עשוי להטעות. הגדרת המונח שמובאת כאן, על סמך סקירת הספרות שבוצעה, היא ההגדרה המקובלת כיום על-ידי רוב ארגוני הפיתוח והסביבה בעולם. היא מבטאת תפיסה שונה מזו הקיימת כיום בארץ בניהול הנגר העילי וההגנה בפני שיטפונות. פתרונות מבוססי טבע הם פעולות שנגזרות מההתמודדות עם שינוי האקלים ועם הפגיעה המתמשכת במשאבי הטבע, במערכות האקולוגיות ובמגוון הביולוגי. מומלץ שהביצוע או היישום של פתרונות מבוססי טבע יהא על פי העיקרון המכונה "אי-חרטה" (no regret), ומתייחס לפעולות שלא נחרט על ביצוען גם אם התחזיות לשינוי אקלים לא יתממשו [5]. מכאן נובע, שאם רוצים לקדם את החוסן של אגן ההיקוות בפני ההשלכות של שינוי אקלים עלינו לקדם פתרונות מבוססי טבע שמשרתים מספר מטרות בו-זמנית.

יישום פתרונות מבוססי טבע נשען על העקרונות שהוגדרו כאן: הבנת המערכת האקולוגית והתבססות עליה (שיקום ושמירה); גישה רחבת היקף בממדי השטח, הזמן ועומק (חברה וכלכלה); ניהול מסתגל הממזג תכנים מתחומי ידע שונים שלעיתים מוצגים כמנוגדים (הנדסת הניקוז, הידרולוגיה וגאומורפולוגיה ואקולוגיה של שיקום נחלים). יישום מלא של העקרונות יגדיל את היסודי להצלחתם. ההבנה של המערכות האקולוגיות הללו תהיה בזיקה לתפקודים ההידרו-גאומורפולוגיים הבסיסיים – משטרי ספיקת זרימת המים וההסעה של משקעים – וביחס לפריסתם באגן ההיקוות.

פתרונות מבוססי טבע הם חלק מניהול סיכוני הצפה והם משתלבים היטב בניהול מתכלל של אגני היקוות. יש לשאוף להטמעתם בתהליכים המובלים כיום במנהל התכנון, במשרד החקלאות ופיתוח הכפר, במשרד להגנת הסביבה, במשרד הבינוי והשיכון, ברשות המים, ברמ"י, ברשויות הניקוז והנחלים ובשותפויות עם ארגוני החברה האזרחית. פתרונות מבוססי טבע צריכים להיות מסונכרנים באמצעות גישת הניהול האגני המתכלל, כדי שלצד הפחתת נזקי שיטפונות לא נגרם להפחתה בזרימות הבסיס או לפגיעות אחרות במערכות אקולוגיות סמוכות. פתרונות מבוססי טבע דורשים שטחים גדולים, שתהיה בהם ספיגה של המים והשהייתם. תכנון הפתרונות וביצועם צריכים להתבצע בשיתוף הקהילות המקומיות ובשקיפות (בעיקר בכל הנוגע ליכולת לממשם אל מול זכויות קניין על הקרקע). נדרש תקציב מתאים לתכנון הפתרונות הללו, להקמתם, לניהולם ולניטורם.

הלכה למעשה

רחל קולסקי, מנהלת אגף קרקע, מים ומוסדות ציבור, מנהל התכנון:

מנהל התכנון מקדם רפורמה מקיפה בנושא ניהול נגר בהליכי התכנון, שעיקרה אחריות של כל תוכנית מפורטת לנגר

שנוצר בגין הבינוי בתחומה. האחריות תתבטא במספר היבטים: ניהול יעד כמותי (נפח מסוים); הטמעת שיקולי ניהול נגר כבר מתחילת הליך התכנון; הגדרת יעדי מניעת הצפות לפי תקופות חזרה ובהתאם לייעודי הקרקע בתוכנית. הלכה למעשה, כל תוכנית או היתר בנייה יידרשו לכלול תמהיל אמצעים לניהול נגר בהתאם ליעד שנקבע. המדיניות המקודמת מדגישה את היתרונות של פתרונות מבוססי טבע, תוך התאמה מיטבית של תמהיל הפתרונות למקום, לשטח ולזמן, בהתאם למרחב – עירוני אינטנסיבי, התחדשות עירונית, כפרי ועוד. מאמר זה מתייחס לסוג מסוים של פתרונות לניהול נגר: בשטחים פתוחים ובקנה מידה גדול. אנו סבורים, כפי שבא לידי ביטוי ברפורמה המקודמת, כי גם בתחום העירוני – בשטחים הציבוריים הפתוחים ובמגרשים הפרטיים – יש להעדיף תמהיל אמצעים המבוסס על פתרונות רכים-נופיים. נוסף על כך, מנהל התכנון מקדם תוכניות מתאר ארציות, שבמסגרתן יוצמחו ההצפות בשטחים המבונים על-ידי מתן פתרונות לנגר בשטחים הפתוחים. אין ספק שהעקרונות המרכזיים שפורטו במאמר עומדים בפני צוותי התכנון במסגרת כלל השיקולים למתן הפתרונות.

מקורות

1. אוזן א. 2020. מרחבי השהיה – בלמי הזעזועים של הטבע. אקולוגיה וסביבה 11(2).
2. גוטמן ג ואטינגר ע. 2020. הצפות חוזרות ונשנות ונחלים שהפכו תעלות בטון – לא גזרת גורל. אקולוגיה וסביבה 11(2).
3. זס"ק א וררה ש. 2021. היערכות מדינת ישראל לשינוי אקלים. דו"ח מספר 1. המנהלת להיערכות לשינוי אקלים, במסגרת יישום החלטת ממשלה 4079 להיערכות מדינת ישראל לשינוי אקלים. המשרד להגנת הסביבה.
4. טבצ'ניק ד. 2020. הממשק בין רשויות ניקוז ונחלים לבין מערכת התכנון. אקולוגיה וסביבה 11(2).
5. טופרוב ג, פרל מ, גרינהוט צ ולוינגרט ע. 2019. היערכות חקלאות ישראל לשינוי האקלים. אקולוגיה וסביבה 10(4).
6. יוסף י, בהר"ד ע, אוזן ל ואחרים. 2019. שינוי האקלים בישראל מגמות עבר ומגמות חזויות במשטר הטמפרטורה והמשקעים. דו"ח מחקר מס' 0000075-2019-0804-4000. השירות המטאורולוגי הישראלי.
7. לוטן א, ספריאל א ופיטלסון ע (עורכים). 2017. מערכות אקולוגיות ורווחת האדם הערכה לאומית, דו"ח ביניים. תל-אביב: המארג, מוזאון הטבע, אוניברסיטת תל-אביב.
8. כפיר ת, ברטן מ, ברנשטיין א ואחרים. 2020. כלים תכנוניים לצמצום שיטפונות ונזקים – ניהול משאב המים בתוכנית האסטרטגית לדיור ולניהול הנגר העירוני. אקולוגיה וסביבה 11(2).
9. משה א, אגוזי ר, שטרנברג מ ורטנר ט. 2018. הערכה אקו-הידרו-גיאומורפולוגית של שיקום נחל – המקרה של נחל ציפורי. חוברת יום העיון של נקודת ח"ן: 20-29.
10. משרד האוצר. 2021. התוכנית הכלכלית לשנים 2021-2022.
11. ADB. 2016. Nature based solutions for building resilience in towns and cities. Manila.

12. Almenar J, Elliot T, Rugani B, et al. 2021. Nexus between nature-based solutions, ecosystem services and urban challenges. *Land Use Policy* **100**: 104898.
13. Bridges T, Bourne B, Suedel E, et al. 2021. [Engineering With Nature: An Atlas, Volume 2](#). ERDC SR-21-2. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center.
14. Bridgewater P. 2018. Whose nature? What solutions? Linking Ecohydrology to Nature-based Solutions. *Ecohydrology and Hydrobiology* **18**(4): 311-316.
15. Cohen-Shacham E, Walters G, Janzen C and Maginnis S (Eds). 2016. Nature-based Solutions to address global societal challenges. Gland (Switzerland): IUCN.
16. Cohen-Shacham E, Andrade A, Dalton J, et al. 2019. Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions. *Environmental Science and Policy* **98**: 20-29.
17. Di Baldassarre G, Sivapalan M, Rusca M, et al. 2019. Sociohydrology: Scientific challenges in addressing the sustainable development goals. *Water Resources Research* **55**(8): 6327-6355.
18. EEA. 2015. Exploring nature-based solutions. Technical Report No 12/2015. Copenhagen (Denmark).
19. EEA. 2021. Nature Based Solutions in Europe. Copenhagen (Denmark).
20. Egoh B, Rouget M, Reyers B, et al. 2007. Integrating ecosystem services into conservation assessments: A review. *Ecological Economics* **63**(4): 714-721.
21. Egozi R and Lekach J (Eds). 2014. Stream catchment dynamics. *Geomorphology* **212**: 1-108.
22. Ekins P. 2003. Identifying critical natural capital: Conclusions about critical natural capital. *Ecological Economics* **44**(2-3): 277-292.
23. Girardin CA, Jenkins S, Seddon N, et al. 2021. Nature-based solutions can help cool the planet – If we act now. *Nature* **593**: 191-194.
24. Giordano R, Pluchinotta I, Pagano A, et al. 2020. Enhancing nature-based solutions acceptance through stakeholders' engagement in co-benefits identification and trade-offs analysis. *Science of the Total Environment* **713**: 136552.
25. Grill G, Lehner B, Thieme M, et al. 2019. Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature* **569**: 215-221.
26. Hanson H, Wickenberg B, and Olsson J. 2020. Working on the boundaries – How do science use and interpret the nature-based solution concept? *Land Use Policy* **90**: 104302.
27. IDB. 2020. Increasing infrastructure resilience with nature based solution (NBS).
28. IUCN. 2020. Global standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS. First edition. Gland (Switzerland):

- IUCN.
29. IPCC. 2019. Summary for policymakers. In: Climate change and land : An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security and greenhouse gas fluxes in terrestrial.
 30. Keesstra S, Nunes J, Novara A, et al. 2018. The superior effect of nature-based solutions in land management for enhancing ecosystem services. *Science of the Total Environment* **610**: 997-1009.
 31. Levia D, Creed I, and Hannah D. 2020. Homogenization of terrestrial water cycle. *Nature Geoscience* **13**(10): 656-658.
 32. Mondal S and Patel P. 2018. Examining the utility of river restoration approaches for flood mitigation and channel stability enhancement: A recent review. *Environmental Earth Sciences* **77**: 195.
 33. Monty F, Murti R, Miththapala S, and Buyck C (Eds). 2017. Ecosystem protecting infrastructure and communities: Lessons learned and guidelines for implementation. Glend (Switzerland): IUCN.
 34. Moyle P and Mount J. 2007. Homogenous rivers, homogenous founas. *PNAS* **104**(14): 5711-5712.
 35. PIANC. 2021. [Working with nature](#). Viewed on 24 June 2021.
 36. Portner H, Scholes R, and Agard J. 2021. [IPBS-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change](#). IPBS and IPCC.
 37. Rijke J, van Herk S, Zevenbergen C, and Ashley R. 2012. [Room for the River: Delivering integrated river basin management in the Netherlands](#). *International Journal of River Basin Management* **10**(4): 369-382.
 38. Rinot O, Levy G, Steinberger Y, et al. 2019. Soil health assessment: A critical review of current methodologies and a proposed new approach. *Science of the Total Environment* **648**: 1484-1491.
 39. Sivapalan M, Konar M, Srinivasan V, et al. 2014. Socio-hydrology: Use-inspired water sustainability science for the Anthropocene. *Earth's Future* **2**(4): 225-230.
 40. Sonneveld B, Merbis M.D, Alfarrá A, et al. 2018. Nature-based Solutions for agricultural water management and food security. FAO Land and Water Discussion Paper no. 12. Rome: FAO.
 41. Sutton-Grier A, Wowk K, and Bamford H. 2015. Future of our coasts: The potential for natural and hybrid infrastructure to enhance the resilience of our coastal communities, economies and ecosystems. *Environmental Science and Policy* **51**: 137-148.
 42. Third Global Forum on Ecological Restoration. 2021. Achieving Net gain for biodiversity and human wellbeing: Integrating ecological restoration with other Nature Based Solutions. Preliminary Report.

43. Thorslund J, Jarsjo J, Jaramillo F, et al. 2017. Wetlands as large-scale nature-based solutions: Status and challenges for research, engineering, and management. *Ecological Engineering* **108**: 489-497.
44. United Nations – Department of Economic and Social Affairs (DESA). [Sustainable Development](#).
45. Verweij S, Busscher T, and van den Brink. 2021. Effective policy instrument mixes for implementing integrated flood risk management: An analysis of the 'Room for the River' program. *Environmental Science and Policy* **116**: 204-212.
46. World Bank. 2017. Implementing nature-based flood protection: Principles and implementation guidance. Washington (DC): World Bank.
47. WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)/UN-Water. 2018. The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water. Paris: UNESCO.
48. Zalewski M. 2013. Ecohydrology: Process-oriented thinking towards sustainable river basins. *Ecohydrology and Hydrobiology* **13**(2): 97-103.

קריאה נוספת

סקירה רחבה יותר של הרעיונות המובאים במאמר כאן, ובדומה לו מציגה פתרונות מבוססי טבע בזיקה לנושא סיכוני הצפות.

Kuriqi A and Hysa A. 2022. [Multidimensional aspects of floods: Nature-based mitigation measures from basin to river reach scale](#). In: Ferreira CSS, Kalantari Z, Hartmann T, and Pereira P (Eds). Nature-based solutions for flood mitigation: Environmental and socio-economic aspects. Springer.

מאמר המביא התייחסות לשטח העירוני (הבנוי) המשלימה לזו המתוארת במאמר כאן, ובדומה לה פונה לקהילת המתכננים כדי לספק להם מידע לצורך יישום מדויק ונכון של פתרונות מבוססי טבע על סמך הרעיון של שירותי מערכת אקולוגית.

Krauze K and Wagner I. 2019. [From classical water-ecosystem theories to nature-based solutions – Contextualizing nature-based solutions for sustainable city](#). *Science of The Total Environment* **655**: 697-706.