

שימוש בנגר כבישים להשגת תועלות אקולוגיות וחברתיות באמצעות יישום עקרונות תר"מ – תכנון רגיש למים

אדרי' ליעד מרקוס¹, פרופ' אביטל גזית², פרופ' נעמי כרמון³

המיטבי. מחקרנו בחן אפשרויות לניצול נגר כבישים, לאחר ניקוזו וסילוקו מפני הכביש, כמשאב לשיקום נופי של סביבת הכביש, תוך הפקת תועלות אקולוגיות וחברתיות. המחקר מציע כלים ליישום תכנון רגיש למים (תר"מ) בכבישים בינעירוניים.

המחקר ודרכו

מטרת המחקר הייתה לקדם פיתוח בר-קיימא של מסדרונות כבישים בינעירוניים, באמצעות ניהול מושכל של הנגר הזורם אליהם מן הכביש, ניהול שמכוון את הנגר להשגת תועלות לאדם ולסביבה. המחקר הורכב מארבעה חלקים:

- סקירה נרחבת של הספרות הרלבנטית, בינלאומית וישראלית, בתחומים הבאים: אקולוגיה של כבישים; גישות מתקדמות לניהול נגר; נוהלים של רשויות תחבורה במדינות מפותחות ובישראל ביחס לנגר כבישים.
- בניית "ארגו כלים" - בהסתמך על סקירת הספרות והתייעצויות עם מומחים, פותחו גישה וכלים לשילובם של תכנון נוף, תכנון אקולוגי ותכנון נגר, בעבור הפקת תועלות אקולוגיות וחברתיות מנגר כבישים בינעירוניים. ארגו הכלים כולל: מטרות, עקרונות ואמצעים.
- מקרה בוחן - הדגמת יישומו של ארגו הכלים על קטע נבחר של כביש בינעירוני.
- הצעה של שיטת הערכה והדגמה של השיטה המוצעת, באמצעות השוואה של שלוש חלופות תכנוניות למסדרון הכביש במקרה הבוחן.

במאמר זה מוגש לקוראים תקציר של חלקים מסקירת הספרות, ובהמשכו מוצגים עיקרי ארגו הכלים למתכנן, כולל פירוט אמצעים



איור 1: שימוש בקרקע אבנית לחספוס המדרון בכביש 6 קטע 18 (צילום: ע. מור, 2008)

רקע

כבישים מהווים תשתית חיונית לפעילות כלכלית, לתמיכה בשירותים חברתיים ולשמירה על איכות החיים המודרניים, אך נתפסים כבעלי השפעה שלילית על הסביבה וכגורמים לפגיעה במערכות אקולוגיות ובשירותים שהמערכת האקולוגית מעניקה לבני האדם. הנגר העל-קרקעי (runoff or stormwater) הנוצר על פני הכביש זורם עליו וממנו נחשב כגורם לנזקים סביבתיים, כולל זיהום קרקעות וזיהום של גופי ה"מים המקבלים" - גופי מים עיליים (לדוגמא: נחלים, אגמים, בתי גידול לחים) ותת-קרקעיים (לדוגמא: מי תהום). כתוצאה מזרימות נגר, המנותבות מתחום הכביש אל השטחים הסמוכים לו, נגרמים לעיתים גלישות קרקע וסחף קרקע, הפוגעים בסביבה הסמוכה לכביש. זרימות אלה גורמות לפעמים לטפונות ולנזקי הצפות. בדרך כלל, מתכנני כבישים נדרשים להתייחס לנגר הזורם על הכביש כאל גורם לסיכון בטיחותי, ולפיכך עליהם לתכנן את מערכת ניקוז הכביש לפינוי מהיר ויעיל של המים מתחום הכביש אל הסביבה הסמוכה ואל מערכות ניקוז אזוריות בסביבתו.

ההתייחסות לנגר כבישים היא אמביוולנטית, שכן כאמור הנגר עשוי להיות מפגע בטיחותי בכביש ולגרום לנזקים בסביבתו, אך מאידך בתנאי מצוקת מים, כל "טיפת מים" חשובה. מי הגשמים חיוניים לתפקודן של מערכות אקולוגיות טבעיות, אולם ברוב המקרים נגר הכבישים אינו מוכר כמשאב שניתן לנצל להפקת תועלות. סלילת כבישים חדשים והגדלת היקף השטחים הסלולים והאטומים לחלחול גשם צפויה להגביר את כמויות נגר הכבישים, לצמצם את אספקת המים לטבע ולהחרף את הבעיה הסביבתית. קיומה של הבעיה הסביבתית יוצר אתגר מקצועי - להפוך את הנגר ממטרד למשאב. לאחרונה, כפי שעולה מכתב מרשות המים למתכנן הוועדה לתשתיות לאומיות (הות"ל) מאוגוסט 2010, חדרה ההכרה בכך שנגר הכבישים הוא בעל פוטנציאל לשימוש, ולכן נדרשים פתרונות תכנוניים לניצולו

¹ אדריכלית נוף וסביבה, רעננה

² המחלקה לזואולוגיה, הפקולטה למדעי החיים ובית הספר ללימודי סביבה ע"ש פורטר, אוניברסיטת תל-אביב

³ הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים והמרכז לחקר העיר והאזור, הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל

פרסום זה מבוסס על מחקר שהוגש כעבודת גמר לקראת תואר "מוסמך אוניברסיטה" של אדרי' נוף ליעד מרקוס, בהנחיית פרופ' אביטל גזית ופרופ' נעמי כרמון, במסגרת בית הספר ללימודי הסביבה ע"ש פורטר באוניברסיטת תל אביב. המחקר בוצע בשיתוף עם המרכז לחקר העיר והאזור בטכניון - מכון טכנולוגי לישראל.

הפרסום המלא של חוברת המחקר מופיע באתר האינטרנט של בית הספר ללימודי סביבה ע"ש פורטר בקישור <http://www.environment.tau.ac.il/research/liadm>

תקצירו בקישור <http://bit.ly/1yhVPP1>

ייעוץ למחקר - ד"ר אינג' אלכסנדר קורן, א.א. הנדסה ותכנון מדרונות בע"מ - ייעוץ הנדסי הידרולוגי

דפנה הלבין - ייעוץ אגרונומי ותחזוקת צמחיה לאורך כבישים

ומשלבת את הנגר במחזור ההידרולוגי (אקו-הידרולוגיה), מחולל תהליכים המשפיעים על כמות המים ואיכותם ותורמת לחיזוק המגוון הביולוגי ולמזעור השפעות הקיטוע שיוצר הכביש. תעלות הניקוז של הכביש יכולות לשמש כתוואי אורכי לתנועת מינים שונים, אקוטיים ויבשתיים, בייחוד כאשר הן מובילות אל בתי גידול לחים טבעיים, נחלים למשל. מעבירי המים תומכים בקישוריות של זרימת מים ובקישוריות של חי וצומח בין בתי גידול שמשני צידי הכביש. בהינתן אפשרות לבע"ח לחצות את הכביש לרוחבו, הכביש הופך "חדיר יותר" עבורם, במקום שיגרום לקיטוע של המרחב בו הוקם. שילוב אמצעים פיזיים במערכת לניהול נגר, הבנויים ממשאבים טבעיים (ביוטיים ואביוטיים) של צומח, קרקע ואבנים, כגון תעלות עשב ואגני השחייה למיניהם, מגביר את המורכבות המבנית של השטחים לצידי הכביש ויוצר תנאים מגוונים של מיקרו אקלים ולחות, הנדרשים לקיומם של צמחים ובעלי חיים שונים (van Bohemen, 2004). בריכות השחייה המוזנות בנגר כבישים יכולות להוות תוספת של גוף מים מקבלים, כאשר מתפתח בהן בית גידול ייחודי אקוטי, כמו בריכת חורף. כל זאת, כאשר נשמרת איכות טובה של מים ומשך קיום המים מתאים להשלמת מחזור חיים ביולוגי (גזית, 1978).

איכות המים מנגר הכבישים

הדעות לגבי איכות המים של נגר כבישים והתאמתם לתפקודים האקולוגיים שנוכרו לעיל, חלוקות. נביא כאן מדבריהם של מספר חוקרים ישראלים שבדקו את הנושא.

על פי Opher & Fridler (2010), אשר סקרו מחקרים רלבנטיים רבים, נגר הכבישים הינו לעיתים קרובות מקור משמעותי לזיהום שאינו נקודתי. הם מתארים את המזהמים העיקריים שנמצאו בנגר כבישים, כולל: מתכות כבדות ותרכובות פחמן פוליארומטיות (PAHs) שנחשבות כרעילות במיוחד ומקורן בדליפות שמנים ותוצרי בעירה של דלק; מוצקים מרחפים, הנחשבים כמקור הזיהום המשמעותי ביותר ביחס לנגר הכבישים, כיוון שהם סופחים אליהם חלקיקים קטנים של מזהמים (ביניהם תרכובות הפחמן הפוליארומטיות והמתכות הכבדות) ומסיעים אותם אל גופי המים המקבלים. ריכוזי המזהמים הם פונקציה של גורמים רבים וביניהם: נפחי התנועה בכביש, שימושי קרקע סמוכים ומאפייני סופות הגשם, משכן ותדירותן. לדעת חוקרים אלה, הפרסומים הקיימים מספקים תמונה עמומה; העדר ידע מספיק אינו מאפשר הסקת מסקנות חד-משמעיות.

מחקר אמפירי שנערך באשדוד בשנים 2002-2003 מדד את איכות הנגר באזורי מגורים עירוניים, הכוללים כבישים תוך עירוניים ותוך שכונתיים (Asaf et al., 2004). המחקר מצא שונות גדולה בתכולת המזהמים בין מים שנדגמו באירוע הגשם הראשון ובין אלו שנדגמו באירועי גשם בהמשך עונת הגשמים. הנגר בראשית עונת הגשם - השטיפה הראשונה (First Flush), מזוהם ומלווה יותר ונמצאו בו ערכים גבוהים של ריכוזי מוצקים מרחפים, סדימנטים ותרכובות אורגניות. דגימות נגר שנאספו בהמשך הסופה הראו ירידה בריכוזי המזהמים והצביעו על כך שהמים באיכות טובה. מסקנת החוקרים בעבודה זו היא שהתרכובות האורגניות מוצאן כפי הנראה במי ביוב עירוניים, ושאיות הנגר שמקורו באזורי מגורים והכבישים בהם סבירה, ולפיכך הוא מהווה פוטנציאל שראוי לנצל, אם ישירות ואם באמצעות החדרה לתת הקרקע.

במסגרת הקמת כביש חוצה ישראל (כביש 6) הושקע מאמץ מיוחד לבירור איכות המים מתשטיפי כבישים. מחקר ראשון, שערך חואניקו ופרידלר (2000) עבור המשרד להגנת הסביבה, העריך את הזיהום הפוטנציאלי של הנגר הזורם מן הכביש והשפעתו הצפויה על מעיינות ראש העין ונחל הירקון. הכותבים ערכו סקירת ספרות והגיעו למסקנה, על פי ממצאים שלא נאספו בישראל, כי מי הנגר מזוהמים, בעיקר הנגר

לתכנון מערכת טכנו-אקולוגית לניהול נגר כבישים. קוראים המעוניינים בדו"ח המלא של המחקר, הכולל את פרטי מקרה הבוחן, הדגמה של שיטת ההערכה ורשימת המקורות המלאה, יוכלו למצוא אותו בקישורים הרשומים בראש המאמר.

אקולוגיה של כבישים

מתוך הבנה שכבישים הם כורח חיוני שלא ניתן לוותר עליו, למרות הבעיות הסביבתיות הכרוכות בסלילתם ובתחזוקתם, עולה גישה מדעית המכונה "אקולוגיה של כבישים" (Road Ecology; Forman et al., 2003), העוסקת ביחסי הגומלין שבין מערכות כבישים טכנולוגיות (מעשה-ידי-אדם) לבין מערכות אקולוגיות טבעיות שבסביבתם, למציאת איוון לתועלתן המשותפת (Mitch & Jorgensen, 2003). על פי גישה זו, המערכת הטבעית ומערכת הכבישים נתפסות כשזורות זו בזו ובעלות השפעה הדדית. לפיכך, הטמעת תובנות אקולוגיות בתכנון כבישים עשויה לתרום הן למזעור ההשפעות הסביבתיות השליליות, והן לשחזור איכויות ותפקודים של יחידות הנוף על מרכיביהן הטבעיים והתרבותיים (Dolan et al., 2006).



איור 2: מגלש מרצועת שברי אבן בשקע קרקע

Missouri Department of Transportation, 2013; http://www.modot.org/business/contractor_resources/documents/MoDOTLandDisturbanceTraining2013.pdf

המערכת המשולבת נקראת **מערכת טכנו-אקולוגית** (techno-ecosystem) והיא בנויה ממרכיב טכני - כביש מעשה-ידי-אדם, הנמצא בתוך הנוף הטבעי. מרחב הכביש וסביבתו הסמוכה הם בעלי מורכבות פיזית ותפקודית, מקיימים מגוון בתי גידול וחשופים לגורמים סביבתיים מחוללי שינויים (כדוגמת אקלים). רצועות הקרקע הסמוכות לכביש בתחום זכות הדרך¹ (Right of Way), יכולות לשמש כמסדרון תנועה לחי וצומח (ecosystem corridor), כאזור חיץ (buffer) מהשפעות סביבתיות שליליות, ולתמוך בקישוריות ויחסי גומלין עם הסביבה הטבעית הסמוכה. יש חוקרים המרחיקים לכת וטוענים, כי בהינתן הזדמנות להתפתחות בתי גידול טבעיים בתחום זכות הדרך, הם יכולים לתפקד כמערכת מקור (source), ממנה מתפשטים המינים לשטחים אחרים בהם חברות החי והצומח מופרות (אחירון-פרומקין, Lugo & Gucinski, 2000; 2012).

זרימת נגר הכבישים במערכת הניקוז של הכביש, כאשר היא מתוכננת כמערכת טכנו-אקולוגית, דומה למערכות הידרולוגיות טבעיות

1 זכות הדרך - מושג המגדיר את רצועת השטח המיועדת לפיתוח הכביש, הכוללת את מדורנות הכביש, המדרונות הנגדיים לכביש ורצועות הקרקע המקבילות לו וגובלות בו, עד קצה השטח שבאחריות רשות התחבורה.

אנו מייחסים משקל כבד למחקרים אמפיריים, המסתמכים על איסוף נתונים בארץ, יחסית לסקירות של פרסומים מחו"ל. חלק מן המחקרים האמפיריים בוצעו בתנאי מעבדה, ואילו אחרים מסתמכים על מדידות ותצפיות בשדה. חשיבות רבה במיוחד אנו מייחסים לתצפיות שעורך אחד מכותבי מאמר זה, אביטל גזית. הוא מעיד (עדות בעל-פה), כי תצפיותיו האישיות בתעלות שבצידי כבישים בארץ, הנערכות ב-40 השנים האחרונות, לא הצביעו על פגיעה בחסרי חוליות ודו-חיים, אשר התקיימו בגופי מים אלה.

על סמך המחקרים הישראלים הנ"ל ותצפיותיו של גזית, **עבודה זו יוצאת מהנחה שראוי להתייחס למי נגר כבישים, גם אם אינם בעלי איכות הדומה למים טבעיים, כמשאב ראוי לניצול ולא כמפגע אקולוגי.** בדרכים לניצול משאב זה נעסוק להלן.

גישות חדשניות לניהול נגר כבישים במדינות מפותחות

בכל המדינות המפותחות שאת מדיניותן סקרנו במסגרת המחקר - ארצות הברית, אוסטרליה, ניו זילנד ובריטניה, רשויות תחבורתיות נדרשות לפעול על פי מדיניות סביבתית לאומית להגנה על גופי המים המקבלים (העיליים והתת-קרקעיים) ועל בתי הגידול שבהם, מפני שטיפת מזהמים אליהם מכבישים ומפני נזקי הצפות וגלישות קרקע (ר' מקורות בחוברת המחקר).

המדיניות הסביבתית במדינות הנ"ל מעוגנת בחקיקה מתאימה, המתייחסת לנושא השמירה על איכות המים. לדוגמה, בארה"ב נחקק Federal Water Pollution Control Act Amendments of 1972, המכונה גם The Clean Water Act (CWA). החוק קובע כי הזרמת נגר שמקורו באזורים בנויים, ובכלל זאת כבישים, אל מים מקבלים שמחוץ לתחום זכות הדרך, דורשת עמידה בתקני איכות מים הקבועים בחוק. עוד נקבע שהרשויות התחבורתיות נדרשות לקבל מהסוכנות להגנת הסביבה היתר מתאים להזרמת נגר, הנוצר בתחום הכבישים, אל המים המקבלים (US EPA, 2012). החוק אוסר על שפיכה של חומרי חפירה ומילוי אל גופי מים טבעיים.

כחלק אינטגרלי מן המדיניות הסביבתית, פותחו בעשור האחרון למאה העשרים במדינות הנ"ל גישות חדשניות לניהול נגר. בחלק מן המקומות הוחלף המונח ניקוז (drainage) במונח נגר (runoff or stormwater) והשיטות שפותחו ליישום הגישות הללו זכו לכינויים: בארה"ב LID - Low Impact Development, באוסטרליה WSUD Water-Sensitive Urban Design - ובבריטניה SUDS - Sustainable Urban Drainage System. כל השיטות הללו "ירוקות" בטבען; הן מכוונות למניעת מפגעים סביבתיים ולהפקת תועלות מן הנגר (ר' סקירה קצרה בפרק 2.2 אצל שמיר וכרמון 2007). בהדרגה, אימצו את הגישות החדשות הללו גם רשויות התחבורה, אשר מנחות את המתכננים להשתמש במגוון אמצעים הנחשבים כמיטביים וזכו לכינוי Best Management Practices (BMP's). אמצעים מיטביים אלה מיועדים לטפל בנגר, לשפר את איכותו לפני הגעתו ל"מים מקבלים" ולמנוע הצפות ונזקים.

ניתן לסכם מספר עקרונות מרכזיים לבחירת האמצעים המיטביים והיישום שלהם, כפי שעולים מהנחיות התכנון של הרשויות התחבורתיות השונות: א. מעל לכל, הכביש צריך להיות בטיחותי למשתמשים בו; המתכננים צריכים להבטיח שנגר מסולק בצורה יעילה מפני המיסעה; ב. נדרש להתאים האמצעים לכבישים בינעירוניים, מבחינת רמת התחזוקה וסוגי המזהמים בהם נדרש לטפל; ג. בחירת האמצעים צריכה לבצע מתוך גישה משולבת המכוונת לתפקודים מגוונים, לדוגמה: שחזור בתי גידול אקוטיים ביחד עם ייצוב מדרונות ויצירת מופע אסתטי; ד. יעילות המערכת גוברת כאשר היא כוללת

העילי הנוצר באירוע הגשם הראשון שאחרי הקיץ (first flush), וזה שנוצר בדקות הראשונות להיווצרות הנגר בכל אירוע גשם (הריכוזים מתחילים לרדת באופן הדרגתי לאחר 15-20 דקות הראשונות מתחילת אירוע הגשם). הם הציעו, שכדי למנוע מזיהום שמקורו בכביש 6 להגיע אל מעיינות ראש העין ומקורות הירקון, תיבנה מערכת אטומה של איסוף וסילוק הנגר למאגר, שתתפקד גם כמערכת טיפול.

כעשור לאחר מכן, הזמינה חברת כביש חוצה ישראל מחקר שני (Pacific Water Resources Inc., 2010; א. מרינוב, מידע בע"פ), שהתבסס לא על סקירת ספרות בינלאומית אלא על מדידות אמפיריות בכביש 6 עצמו, והגיע למסקנות שונות בתכלית. מחקר זה מצא כי אפילו בכביש שנעים בו למעלה מ-100,000 כלי רכב ביום, ולמרות עלייה של יותר מ-50% באבק המצטבר על פני הכביש, מדידת איכות הנגר הראתה שבעה מזהמים שנבדקו במים הזורמים בתעלות ניקוז הכביש - מוצקים מרחפים, כרום, אבץ, עופרת, נחושת, חנקן וזרחן - ערכיהם היו קטנים יותר מן הסף הנדרש בתקנות בריאות העם (איכותם התברואתית של מי שתיה ומתקני מי שתיה). הדו"ח מציין כי ההתאמה לתקנות אלה נבחרה בהעדף תקן מתאים לאיכות מים הזורמים אל הטבע.



איור 3: תעלת מרבדי עשב (יבילית קוסט קרוס 1; בכביש 6 אזור כביש 411 חולדה) שהתבססה באופן טבעי זקן שיער, חוטמית זיפנית, שברק, סביון אביבי ובקיה. המים זורמים ישירות מהכביש אל המדרונות המגוננים (ד. הלבץ, מידע בע"פ; צילום: ל. מרקוס, אפריל 2012)

Dorchin & Shanas (2010), שהשתמשו במין קרפדה ירוקה כביו-אינדיקטור, טענו שתשטיפי כבישים (נגר הנשטף מכבישים ראשיים) הינם בעלי פוטנציאל רעילות למערכות ביולוגיות. הם מצאו שהתשטיפים שאספו מכביש 4 (בקטע מחלף מורשה-מחלף גהה) ומכביש 70 (בקטע בין צומת זכרון יעקב-בת שלמה), באמצע עונת הגשמים, פגעו באופן כרוני בקצב הגידול וההתפתחות של הקרפדות וגרמו לעיוותים מורפולוגיים בפרטים המטופלים בהשוואה לפרטים שבביקורת. עדות לכאורה נוגדת מדווחת במחקר של ארלון (2007), שבמחקרו חשף ראשני קרפדה ירוקה לתשטיפי כביש מרוכזים, שמקורם במגרש חנייה במשרדי הרישוי בחולון. בתום חשיפה של 96 שעות לא אובחנה השפעה שלילית על הראשנים שבניסוי. ממצאי המחקר הצביעו על כך שהריכוזים של תרכובות חנקן, הנמצאים במקווי מים עונתיים, אינם מהווים גורם מגביל אקוטי להתפתחות ראשני הקרפדה הירוקה ושהשכיחות המרבית לעיוותים גופניים אינה שונה משיעור השכיחות הטבעית. ראוי לציין ששני המחקרים האחרונים היו שונים במשך החשיפה (הראשון חשיפה כרונית והשני חשיפה אקוטית).

לדוגמה: פארק עירוני, במיוחד אם משולב בו גוף מים משמעותי (קבוע או זמני), תורם לאסתטיקה העירונית ולאוויר נקי, משרת אוכלוסיות מגוונות, ובו בזמן - אם חובר כראוי לנתיבי זרימה - יכול לשמש למיתון זרימות הנגר, לטיהורו ולהחדרתו.

גישת תר"מ ומטרותיה והעקרונות הנ"ל של פיתוח בר קיימא, הינם המקור ממנו צמח מחקר זה, העוסק בתכנון תר"מי של מסדרונותיהם של כבישים בינעירוניים.

גישה לתכנון רגיש למים של מסדרונות כבישים בינעירוניים - "ארגז כלים" למתכנן

מחקרנו מציע גישה לשילוב מושכל של שיקולי מים בתכנון מסדרונות כבישים בינעירוניים, ושימוש בנגר הכבישים להפקת תועלות אקולוגיות וחברתיות. מימוש תובנות מגישה זו מחייב **זיהוי מקומות שיש בהם או אפשר ליצור בהם הזדמנויות מתאימות** ליישום מערכת טכנו-אקולוגית לניהול נגר. דוגמאות ל"הזדמנויות" בהקשר זה הינן: זמינות קרקע לתכנון בתחום הסטטוטורי של זכות הדרך, הימצאות גוף מים טבעי בקרבת הכביש המתוכנן, קיום מוקדים קרובים לטיילות וסיירות.



איור 4: תעלה מדופנת במזרונות "רנו" שהתפתחה בה צמחיה מגוונת (כביש 854 תפן כרמיאל; צילום: ל. מרקוס, ינואר 2013)

מטרות התכנון

בבסיס הגישה עומדות מטרות תכנוניות, המכוונות להשגת תועלות אקולוגיות וחברתיות מניהול נגר בכבישים בינעירוניים. כפלטפורמה להגדרת המטרות השתמשנו בתפיסה של "שירותי המערכת האקולוגית". על פי תפיסה זו, מערכות אקולוגיות מספקות לאדם, באופן ישיר ובאופן עקיף, תועלות וטובין במסגרת שירותים אשר תורמים לרווחתו, כולל: מזון וחומרי גלם, תפקודים תומכי-חיים (כמו מחזור חומרים והתחדשות משאבים), ותועלות רוחניות ותרבותיות שהאדם שואב מהמערכת הטבעית (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). כל אלה תלויים בתפקוד האקולוגי של המערכות האקולוגיות. מטרות התכנון בהקשר לנגר כבישים הוגדרו כלהלן:

- שימור הקרקע** (שירותי ויסות) - מניעת סחף קרקע ושמירה על פוריות הקרקע, כמשאב חיוני ובסיסי לקיום צמחים וחקלאות ולהתפתחות מערכת אקולוגית;
- שיפור איכות המים** (שירותי ויסות) - עידוד היווצרותם של תהליכים טבעיים לטיפול במים ולשיפור איכותם, תהליכים של השהייה ושיקוע, סינון מזהמים ופירוק חומר אורגני;
- ניצול הנגר לתועלת צרכנים שונים** (שירותי אספקה) - אספקת המים

שרשרת אמצעים המטפלים באיכות המים; ה. הפתרונות צריכים להיות מותאמים לתנאים הפיזיים המקומיים של סוג הכביש ורוחבו, כמויות הנגר הזורם במערכת, סוג הקרקע, מורפולוגיה של השטח ותנאי האקלים; ו. האמצעים צריכים להיות משולבים כחלק אינטגרלי מתכנון מערכת הניקוז של הכביש והשיקום הנופי, בשיתוף עם המתכננים הסביבתיים בפריקט בשלב מוקדם ככל הניתן.

אמצעים לניהול נגר, הדומים לאלה המוזכרים בגישות החדשניות הנ"ל, ניתן לזהות לאורך כביש חוצה ישראל (כביש 6), בו שולבו מתקני ניקוז הבנויים ממשאבים טבעיים. בין האמצעים - הזרמת נגר הכבישים ישירות אל מדרונות מגוננים ואל מפרדה רחבה ומגוננת, ללא אבני שפה ומגלשים, תעלות עשב רחבות ותעלות עפר; שימוש במרבדי עשבונים מסוג יבילית קוסט קרוס 1 כתכנית לתעלות ולמגלשים ועבור ייצוב מדרונות בהם קיים סיכון גבוה להתחתרות קרקע.

תכנון רגיש למים בישראל (תר"מ)

תכנון רגיש למים הינו שדה מחקר ופרקטיקה מקצועית, המשלבים תכנון עירוני ואזורי, כולל אדריכלות נוף, עם ניהול משאבי מים. פיתוח תר"מ החל בטכניון באמצע שנות ה-90 למאה ה-20 על ידי פרופ' נעמי כרמון (תכנון אזורי ועירוני) ופרופ' אורי שמיר (ניהול משאבי מים), בשיתוף עם עמיתים וסטודנטים, במקביל להתפתחויות ברוח דומה בארה"ב (LID), בריטניה (SUDS) ואוסטרליה (WSUD). תר"מ עוסק במכלול הקשרים בין תכנון עירוני ואזורי לבין מים. כאן אנו עוסקים רק בגישתו לניהול נגר.

חוקרי תר"מ דחו את ההנחה שהייתה מקובלת בישראל ומצאה ביטוי בחוק הניקוז הישראלי, שלפיה הנגר הינו "מים מזיקים", דהיינו: מטרד שראוי לסלקו במהירות האפשרית מן האזור המיושב (החוק משנת 1957 עדיין תקף ב-2015). לאחר בדיקה, הם אימצו את ההנחה שמי הגשם הזורמים על הקרקע, בצורת נגר, הינם משאב בעל פוטנציאל להעשרת מקורות המים ולהפקת תועלות נוספות (Carmon and Shamir, 2010). נקודת המוצא למחקרי תר"מ הייתה ששילוב שיקולי מים בתכנון העירוני והאזורי, החל משלב התכנון הראשוני, יכול לאפשר בנייה בת-קיימא, שגורמת לפחות נזק ויוצרת תועלות משמעותיות. בעקבות הפצה מכוונת של מחקרי תר"מ ומסקנותיהם, החלו להתרחש שינויים בקרב בעלי המקצוע הרלוונטיים בישראל. ביטויים לכך נמצא בקבלה של הפרדיגמה לניהול נגר, כפי שהדבר מתבטא בניסוח של תמ"א 34 ב', שאימצה את המושג וחלק ממשמעויותיו הפרקטיות, בפרסומים של משרד הבינוי והשיכון (לדוגמה: מדריך לתכנון ובניה משמרת נגר עילי, 2004), וגם בדיונים ובעבודה השוטפת של ועדות התכנון, של אדריכלי הנוף ושל לא מעט מראשי רשויות הניקוז (שמיר, כרמון וקסלר, 2007). אומנם, התחיקה הישראלית בנושא עדיין בפיגור (לסטר וחובי, 2010), אולם תוכנית האב הארצית ארוכת הטווח למשק המים בישראל (רשות המים, 2012), כוללת פרק בנושא ניהול נגר וניקוז, המאמץ את המטרות והעקרונות של תכנון רגיש למים.

גישת תר"מ מציעה שלושה עקרונות לפיתוח בר-קיימא:

- חתימה לסינרגיה בהשגת מטרות סביבתיות, חברתיות וכלכליות, באמצעות שיתוף פעולה רב-דיסציפלינארי (תכנון כבישים, אדריכלות נוף, ביולוגיה, אקולוגיה, הידרולוגיה ותכנון סביבתי), שקיומו חיוני החל מן השלבים הראשונים של התכנון.
- תכנון ופיתוח מותאמים לטבע, במיוחד למבנה ההידרו-גיאוגרפי של השטח, מאפשרים הקטנה ניכרת של נזקים והגברת החוסן (resilience) המקומי. בהקשר לנגר, עיקרון זה מתייחס הן לצמצום שטפונות (mitigation) והן להתאמה/הסתגלות (adaptation), בעיקר במורד הזרימה.
- בחירת אמצעים רב-תכליתיים, שכל אחד מהם משרת מגוון מטרות.

להתבטא בשני אופנים: א. המורכבות המבנית של כל מרכיב במערכת. למשל, תעלת גביונים משולבת בצומח מעוצה או תעלת עשב עם סכרונים; ב. מורכבות מערכתית - ריבוי אמצעים מגוונים לאורך רצף של מרכיבים במערכת דרכם זורם הנגר, ליצירת "שרשרת של אמצעים".

ה. שמירה על רצף פיזי ליצירת קישוריות - שמירה על הרצף הפיזי למעבר בעלי חיים לאורך רצועת מסדרון הכביש, על פני מדרונות הכביש ובכל השטח שבתחום זכות הדרך, מאפשרת קישוריות בין בתי גידול, וכתוצאה מכך תמיכה במגוון הביולוגי. החשיבות של המעבר לאורך הכביש, לאורך התעלות והמדרונות, בולטת במיוחד כאשר השטחים הסמוכים לכביש מופרים או שקיימות חסימות למעבר בעלי חיים כגון גדרות או מבנים פיזיים אחרים. כאשר המערכת מתוכננת כמוקד ביקור, המקושר אל מערכת שבילי טיול או דרכים חקלאיות במרחב הכביש, עקרון זה משרת את המטרה של עידוד פעילויות פנאי ונופש.

ו. יצירת ערכים מוספים חברתיים - העצמה של איכויות אסתטיות, עידוד פעילויות פנאי ונופש ושילוב תכנים חינוכיים-לימודיים בנושאים של שמירת הסביבה וקיימות.

ז. שימוש באמצעים רב-תכליתיים (מרבצי מטרות) - כל אחד מן האמצעים המשולבים

במערכת הטכנו-אקולוגית תורם להפקתן של מגוון תועלות. בחירת האמצעים צריכה לנבוע מתוך גישה משולבת, המכוונת לתפקודים מגוונים. לדוגמא, שילוב אגן השהייה עונתי רטוב, כמו בריכת חורף, משמש להעצמתן של תועלות אקולוגיות וחברתיות רבות.

ח. התאמת האמצעים לנתונים המיוחדים לאתר (site specific) - הבחירה של האמצעים לשילוב במערכת לניהול הנגר והשילוב ביניהם, צריכה להיעשות בהתאמה למאפיינים המקומיים הפיזיים, זמינות הקרקע, התנאים ההידרו-גיאוגרפיים, הדרישות הסטטוטוריות וגם למאפייני הסביבה החברתית הספציפית לאתר המתוכנן.

ט. חתירה לאיזון בין עלויות של הקמת מערכת לניהול נגר ותחזוקתה לתועלות המופקות ממנה - פיתוח בר קיימא כולל שיקולי עלויות כלכליות לצד שיקולי תועלות חברתיות וסביבתיות. בחישוב עלות-תועלת יש לבחון את העלויות הכלכליות הנוספות אל מול שיקולי הערך הנוסף של התרומה האקולוגית והחברתית, בכלל זה שירותים שלא ניתן להם ערך כלכלי מובהק.

אמצעים לתכנון המערכת הטכנו-אקולוגית לניהול נגר הכבישים

בהסתמך על סקירת פרסומים מדעיים ומקצועיים, התייעצויות עם מומחים וסוירים שהתקיימו לצורך המחקר, אנו מציעים סדרה של אמצעים ההולמים את הכינוי Best Management Practices (BMP's). כל אחד מאמצעים אלה נמצא כעונה על מגוון מטרות תכנוניות וכמתאים ליישום מספר עקרונות תכנון. **האמצעים הנכללים ב"ארגז הכלים" הינם דוגמאות שניתן לבחור מתוכן ולהוסיף עליהן.** להלן יפורטו חלק מן האמצעים שהוצעו במחקר.



איור 5: תעלת כביש חצובה בסלע ובה תשתית אבנית מקומית (כביש 6, מול הישוב חריש; צילום: ל. מרקוס, נובמבר 2013)

מנגר הכבישים לתועלתם של מגוון צרכנים, כולל במערכות אקולוגיות שבמרחב; צרכנים לדוגמא: צמחיה וגופי "מים מקבלים" - בריכת חורף, נחל טבעי, מי התהום;

ד. תמיכה במגוון ביולוגי (שירותי תמיכה) - עידוד תפקודים ותהליכים אקולוגיים, המסייעים לחיזוק המגוון הביולוגי ולמזעור השפעות הקיטוע שיוצר הכביש;

ה. תרומה לאסתטיקה ואיכויות חזותיות-נופיות (שירותי תרבות) - הגברת האיכויות החזותיות (ויזואליות) של יחידות הנוף בתחום זכות הדרך של הכביש, הנשקפות למשתמשי הכביש ולצופים אליו מן הסביבה;

ו. תרומה לפעילויות פנאי ונופש (שירותי תרבות) - תוספת מוקדי ביקור ויצירת קישוריות בתחום זכות הדרך אל מוקדים אלה ואל אתרי טיילות אחרים במרחב;

ז. תוספת ערכים לימודיים וחינוכיים (שירותי תרבות) - שילוב תכנים ואמצעי הסברה, הקשורים בנגר הכביש ובתהליכים האקולוגיים הקשורים אליו, עבור ידע וחינוך לחשיבה מקיימת בקרב ילדים ומבוגרים.

עקרונות לתכנון מערכת טכנו-אקולוגית לניהול נגר הכבישים

ככדי לקדם השגתן של המטרות שנמנו לעיל, המחקר מציע תשעה עקרונות תכנוניים:

א. זיהוי וניצול הזדמנויות לבניית מערכות טכנו-אקולוגיות, התרומות לקידום שירותי המערכת האקולוגית - לזהות הזדמנויות מתאימות כבר בשלב ראשוני של תכנון מסדרון הכביש, אשר ניתן לנצל ליישום גישת תר"מ ושילוב מערכת טכנו-אקולוגית לניהול הנגר.

ב. מיתון והשהייה של זרימת נגר - האטת הזרימה תורמת לצמצום סחף קרקע ולצמצום אירועי הצפות, ומאפשרת לחלק מן המזהמים לשקוע או להיספח לקרקע ולהגביר הלחות בחללים הנוצרים בקרקע, בין הצמחים ובין האבנים, לתועלת בעלי חיים וצמחים.

ג. שימוש במשאבים טבעיים מקומיים, ביוטיים ואביוטיים (צמחיה, קרקע ואבנים) - שימוש במשאבים טבעיים מקומיים לשחזור ולשיקום יחידות נוף טבעיות שניזוקו מהקמת הכביש ומפעולות פיתוח קודמות, ולהשיב תפקודים אקולוגיים לתמיכה במגוון הביולוגי. זרימת נגר הכבישים דרך אמצעים המורכבים ממשאבים טבעיים מחוללת תהליכים מגוונים (פיסיקליים, כימיים וביולוגיים), המשפרים את התפקוד האקולוגי ותורמת לשימור הקרקע, ולשיפור איכות המים.

ד. הגברת מורכבות מבנית (structural complexity) - יצירת ביטויים שונים של מורכבות מבנית מובילה להגברת כמות ה"גלגולים" שעובר הנגר במערכת, למיתון זרימת המים ולהשהייה שלהם בחללים הנוצרים בין אבנים ובין תלכדי הקרקע, בכל אחד ממרכיבי המערכת. מבנים מורכבים יוצרים רצף של מחסות, המשמשים לתנועת בעלי חיים ובסיס לקיומם של יחסי גומלין שונים, לרבייה ולהתפתחות הצמחייה ולתהליכים טבעיים של סוקצסיה (succession). במחסות לבעלי חיים, מתקיימים תנאים משתנים של אור, לחות וטמפרטורה וקטנה החשיפה לטורפים ולתנאים קיצוניים של מזג האוויר. הגברת המורכבות יכולה

הבריכות. בעבודה הנוכחית אומצה ההנחה שמי נגר הכבישים, גם אם אינם בעלי איכות הדומה למים טבעיים, יכולים לאפשר קיום והתפתחות של נציגים אופייניים לבריכות חורף. בריכות חורף מתפקדות הן כאגן השהייה ושיקוע והן כבית גידול, התומך במגוון ביולוגי חשוב. בית גידול של בריכת חורף אינו דורש תחזוקה ועלות הביצוע שלה אינה עולה על זו של עבודות עפר ושתילה במסגרת השיקום הנופי. בחוברת המחקר (ר' קישור לעיל) מפורטת הנחיות לתכנון בריכת החורף, לרבות הצעה לדרכי חישוב כמות הנגר הדרושה למילוי הבריכה.



איור 6: מבקרים מטיילים בבריכת החורף שבפארק הקהילתי הכפר הירוק. ברקע כביש 20 נתיבי איילון (צילום: א. גזית, ינואר 2013)

1. שימוש במשאב הקרקע המקומית, המכילה על פי רוב זרעים של צמחיה מקומית, המהווה את חברת החלוץ (אחירון-פרומקין, 2012) ותורמת לשימור הקרקע.
 2. מיתון מדרונות (שיפוע של 1:4 ומתון יותר) לצורך שימור הקרקע ומיתון זרימת הנגר.
 3. "חספוס" פני רצועות הקרקע והמדרונות באמצעים טבעיים אביוטיים (לדוגמא, אבנים וסלעים) וביוטיים (צמחיה) ליצירת "מכשולים" לזרימת המים ולהגברת המורכבות המבנית. שימוש באמצעים אלה תורם להיווצרותם של תהליכים מגוונים וביניהם, מיתון זרימת הנגר על פני הקרקע והמדרונות, פיזור המים באופן אחיד על פני הקרקע, הגברת השהייה מקומית שלהם ויצירת תנאים משתנים לנישות אקולוגיות (niches); ומוביל לשחזור יחידות הנוף הטבעיות, תוך התבססות על מים שמקורם בגשם להשקיית הצמחיה. אמצעים לדוגמא: פיזור אבנים וסלעים על פני מדרונות, חיפוי מדרונות בקרקע מקומית בעלת תכולת אבניות גדולה (איור 1), שילוב מגלשי אבן כתחליף למגלשי הבטון (איור 2). התועלות תגברנה ככל שתכנון הצמחיה יכוון ליצירת מורכבות מבנית על פני השטח. מורכבות זו ניתן להשיג באמצעות תכנית מלאה של צמחיה מקומית, בשילובים מגוונים ורב-שכבתיים של סוגי צמחיה (עצים, שיחים, בני שיח, עשבונים רב-שנתיים וחד-שנתיים, גיאופיטים). ניתן לתכנן את הצמחיה באופן המכוון להגברת המורכבות בתהליכים טבעיים (סוקצסיה; איור 3).
 4. מיתון שיפועים בתעלות ניקוז ו"חספוס" פני השטח בתעלות, באמצעות משאבים טבעיים ביוטיים ואביוטיים להשגת תועלות הנזכרות בסעיף הקודם. אמצעים לדוגמא: תעלת עשב רחבה (swale), שהיא שקע רחב ורדוד והצמחיה מכסה את כל חתך התעלה; דיפון תעלות הכביש באמצעות מזרוני אבן למיניהם (שברי אבן מחציבה או אבני לקט הכלואים ברשת פלדה, לדוגמא מזרוני "רנו" בהם עובי המזרון משתנה בין 20-60 ס"מ (איור 4); תעלה חצובה בסלע (איור 5) ותעלות עשב (איור 3).
 5. הפנייה ישירה של הנגר ממיסעת הכביש אל שטחי הגינון (איור 3) ולמפרדה רחבה מגוננת, אשר יכולים לתרום לחוויה החזותית ולתפקד כרצועת סינון (filter strip) לחלקיקים שבנגר, ביניהם יתכנו מזהמים.
 6. שילוב אגן השהייה מתייבש, שהוא שקע מלאכותי דמוי בריכה או תעלה, הקולט את הנגר ממערכת הניקוז. המים באגן מושהים לתקופת זמן קצרה (בדרך כלל 24-48 שעות), האגן מתרוקן אחרי כל אירוע גשם ונשאר ברובו יבש למשך התקופות שבין פרקי גשם. באגן השהייה מתקיימים שני תהליכים עיקריים: שיקוע מזהמים, שעל גבי חלקיקים גסים כדוגמת מתכות כבדות הספוחות לסדימנטים; האטת זרימת המים ושחרור הדרגתי של עודף הנגר אל מורד ערוץ הזרימה, המפחית נזקי הצפות. ניתן לתכנן את האגן להשגת תועלות נוספות כגון חלחול, כאשר הוא בנוי מקרקע קלה; הגברת המגוון הביולוגי, באמצעות הגברת המורכבות על ידי פיזור שברי אבן בתחתית, הגברת הלחות בקרקע ויצירת תנאים לנביטת צמחיה. אגן השהייה יכול להיות בעל ערך אסתטי גבוה, היוצר נוף אטרקטיבי שמעשיר את המרחב ויכול לשמש מוקד עבור פעילויות פנאי ונופש.
 7. שילוב אגן השהייה עונתי רטוב - בריכת חורף (איור 6). מוצע לנצל הזדמנויות מתאימות לשילוב בית גידול עונתי, שמקבל נגר גשמים ומקיימו כל תקופת הגשמים ותקופה מסוימת לאחר הפסקת הגשמים. גוף מים זה משמש בית גידול חשוב לעושר גדול של מאכלסי מים של חי וצומח, בכלל זה מינים אנדמיים ומינים בסכנת הכחדה (גזית, 1978; 1983). בעבר היו בריכות חורף נפוצות בכל אזורי הארץ. פעולות הפיתוח ברחבי הארץ גרמו לשינויים באגני הניקוז הטבעיים, שהזינו את הבריכות ולהתייבשות מרבית
8. יצירת מוקדי עניין לעידוד פעילות מטיילים (איור 6) - כאשר מסדרון הכביש חולף באזור שמתקיימות בו פעילויות טיילות ותיירות, ניתן לנצל הזדמנות להשתמש בנגר הכבישים ליצירת מופע מים וטבע לעידוד ולחזוק פעילות מטיילים במרחב. לדוגמא בריכת החורף, כתם פריחה ייחודי של מינים אטרקטיביים כגון סחלב הביצות, אירוס הביצות, באזורים שבהם צמחים אלה הם מקומיים. הגישה אל המוקד המתוכנן תהיה חלק ממערך השבילים והדרכים באזור. במוקד המתוכנן ניתן לשלב מגוון תכנים בעלי ערך חינוכי, אשר ניתן ללמוד מהם על שמירת הטבע, על הסביבה ועל קיימות. לשם כך מומלץ לשלב אמצעים להסברה ולהדרכה, על מרכיבי המערכת ותפקודם, על דילמות ואילוצים, באמצעות שילוט והדרכה אנושית באתר.

לסיכום

- באזור אקלים ים תיכוני המים הם משאב במחסור; התחרות על ניצול מים טבעיים לא צפויה להיעלם גם בעידן ההתפלה.
- איכות הנגר, כפי שנמצאה בישראל, מאפשרת התייחסות אליו כמשאב מועיל לתפקודן של מערכות אקולוגיות טבעיות. לפיכך, ראוי לשמר אותו, לנצלו בשטחי היבשה ולצמצם את אובדנו לים.
- המחקר מורה שמסדרונות כבישים בינעירוניים, המתוכננים כמערכות טכנו-אקולוגיות, הינם בעלי פוטנציאל לתרום להפקת תועלות אקולוגיות וחברתיות, שראוי לזהות הזדמנויות אלו ולנצל את נגר הכבישים הזורם בתחומם להפקת תועלות לרווחת הטבע והאדם.
- בתכנון כבישים המכוון להפקת התועלות הנ"ל יש לכלול שיקולי מים, תובנות אקולוגיות ושיקולים של תרומה לחברה כבר משלבי התכנון הראשוניים, על ידי צוות תכנון רב-תחומי של הנדסת כבישים וקרקע, סביבה ואקולוגיה, תכנון עירוני ואזורי, ניהול

למים: שילוב שיקולי מים בתכנון עירוני ואזורי. המרכז לחקר עיר ואזור ומכון גרנד למחקר המים. חיפה. (282 עמ')

Asaf, L., Nativ, R., Shain, D., Hassan, M., Geyer, S. (2004). Controls on the Chemical and Isotopic Compositions of Urban Stormwater in a Semiarid Zone. *Journal of Hydrology*, 294 (4): 270-293

Carmon, N. and Shamir, U. (2010). "Water-Sensitive Planning: Integrating Water Considerations into Urban and Regional Planning". *Water and Environment Journal*, Vol. 24, No 3, pp. 181-191.

Dolan, L.M.J., van Bohemen, H., Whelan, P., Akbar, K.F., O'malley, V., O'leary, G., Keizer, P.J. (2006). Chapter 13: Towards the Sustainable Development of Modern Road Ecosystems. In: Davenport, J. & Davenport, J.L.(Eds.), *The Ecology of Transportation: Managing Mobility for the Environment*. Springer. The Netherland: 275-33.

Dorchin, A., Shanas, U. (2010). Assessment of Pollution in Road Runoff a Bufo Viridis Biological Assay. *Environmental Pollution*, 158: 3626-3633.

Forman, R.T.T., Sperling, D., Bissonette, J.A., Clevenger, A.P., Cutshall, C.D., Dale, V.H., Fahring, L., France, R., Goldman, C.R., Heanue, K., Jones, J.A., Swanson, F.J., Turrentine, T., Winter, T.C. (2003). *Road Ecology- Science and Solutions*. Island Press, Washington D.C. (481 pages).

Lugo, A.E., Gucinski, H. (2000). Function, Effect and Management of forest roads. *Forest Ecology and Management*, 133: 249-262.

Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Island Press, Washington, DC. <http://www.unep.org/maweb/en/Index.aspx>

Mitch, W.J. & Jorgensen S.E. (2003). Ecological engineering: A field Whose Time Has Come. *Ecological Engineering*, 20 : 363-377.

Opher, T., Fridler E. (2010). Factors Affecting Highway Runoff Quality. *Urban Water Journal*, 7 (3): 155-172

Pacific Water Resources, Inc. (2010). *Cross Israel Highway Stormwater Quality Study - Final Phase VI Report*. Cross Israel Highway. <http://www.hozeisrael.co.il/download/files/3.pdf>

US EPA (United States Environmental Protection Agency) (2012). *Key Federal Statutes Governing Wetlands in the United States, Clean Water Act (CWA)*. http://water.epa.gov/lawsregs/lawguidance/cwa/wetlands/laws_index.cfm

van Bohemen, H.D. (2004). *Ecological Engineering and Civil Engineering works*. A Practical set of Ecological Engineering Principles for Road Infrastructure and Coastal Management. Doctoral Thesis, TU Delft, The Netherlands (369 pages).

משאבי מים וניקוז ואדריכלות נוף. בצוות התכנון ראוי שישולבו גם אנשי מקצוע שעניינם חברה ותרבות.

- תכנון על פי תובנות המחקר יכול להוות דרך ליישום מדיניות רשות המים, לשיפור וטיוב איכות המים במקורות המים הטבעיים ולהקצאת מים לטבע (רשות המים, 2012).
- כלי התכנון והטרמינולוגיה, המוצעים במחקר זה, יכולים לסייע בתרגום תובנות אקולוגיות וחברתיות לתכנון פיזי, ליצירת שפה משותפת כבסיס לשיתוף פעולה רב-תחומי, לשמש כבסיס להגדרת מטרות לשימושי מים בתכנון מסדרונות כבישים בינעירוניים ולקידום פיתוח בר-קיימא שלהם. המטרות והעקרונות יכולים לסייע גם בגיבוש קריטריונים להשוואה בין חלופות תכנוניות, בהקשר של יעדים לניצול מושכל של נגר הכבישים.
- כצעד משלים לפיתוח "ארגו הכלים" אנו ממליצים על פיתוח קריטריונים הנדסיים-אקולוגיים-נופיים מוסכמים לתכנון כבישים בינעירוניים, שיחייבו את כלל מתכנני הכביש ויותאמו לתנאי האקלים באזורי הארץ השונים. על קריטריונים אלה לכלול שיקולי עלויות כלכליות לצד שיקולי תועלות חברתיות וסביבתיות.

רשימת מקורות

אחירון-פרומקין, ת. (2012). קיטוע בתי גידול על ידי תשתיות תחבורה-מדריך לאיתור קונפליקטים ולתכנון פתרונות. אור יהודה: החברה הלאומית לדרכים (259 עמ').

אלרון, א. (2007). דעיכת אוכלוסיות דן-חיים: מקרה הקרפד הירוקה (*Bufo viridis*) תהליכים והיבטים ביולוגיים אקולוגיים. עבודת גמר לקראת תואר דוקטור לפילוסופיה, אוניברסיטת תל אביב (בהנחיית פרופ' אביטל גזית וד"ר שריג גפני).

גזית, א. (1978). המים כסביבת חיים ושלוליות החורף. מהדורה ניסויית. המכון לחקר שמירת הטבע, הפקולטה למדעי החיים אוניברסיטת תל אביב.

גזית, א. (1983). החי במקווי המים העונתיים. בתוך: אלון, ע. (עורך ראשי). החי והצומח של ארץ-ישראל, אנציקלופדיה שימושית מאוירת. כרך 4 החיים במים. משרד הביטחון - ההוצאה לאור והחברה להגנת הטבע: עמ' 293-297.

חואניקו, מ., ופרידלר, ע. (2000). סקר זיהום מקורות מים מכבישים - דו"ח סופי מוגש למשרד לאיכות הסביבה אגף מים ונחלים. המשרד להגנת הסביבה.

לסטר, ר., אלמוג, ר., ליבני, ד., רוזנטל, מ. (2010). בחינה והתאמה של בנייה משמרת מים בשיטת ה-LID בתנאי הארץ. מחקר מס' 4500288969 דו"ח סופי. משרד התשתיות, רשות המים, אגף המחקרים.

רשות המים (2012). תכנית אב ארצית ארוכת טווח למשק המים, חלק א - מסמך מדיניות, מהדורה 4. רשות המים.

שמיר, א., כרמון, נ., בהשתתפות קסלר, א. (2007). תר"מ - תכנון רגיש

תכנון תנועה מעולם לא היה פשוט יותר

TEKPLN

הכנסו, נסו, ותופתעו www.tekpln.com