

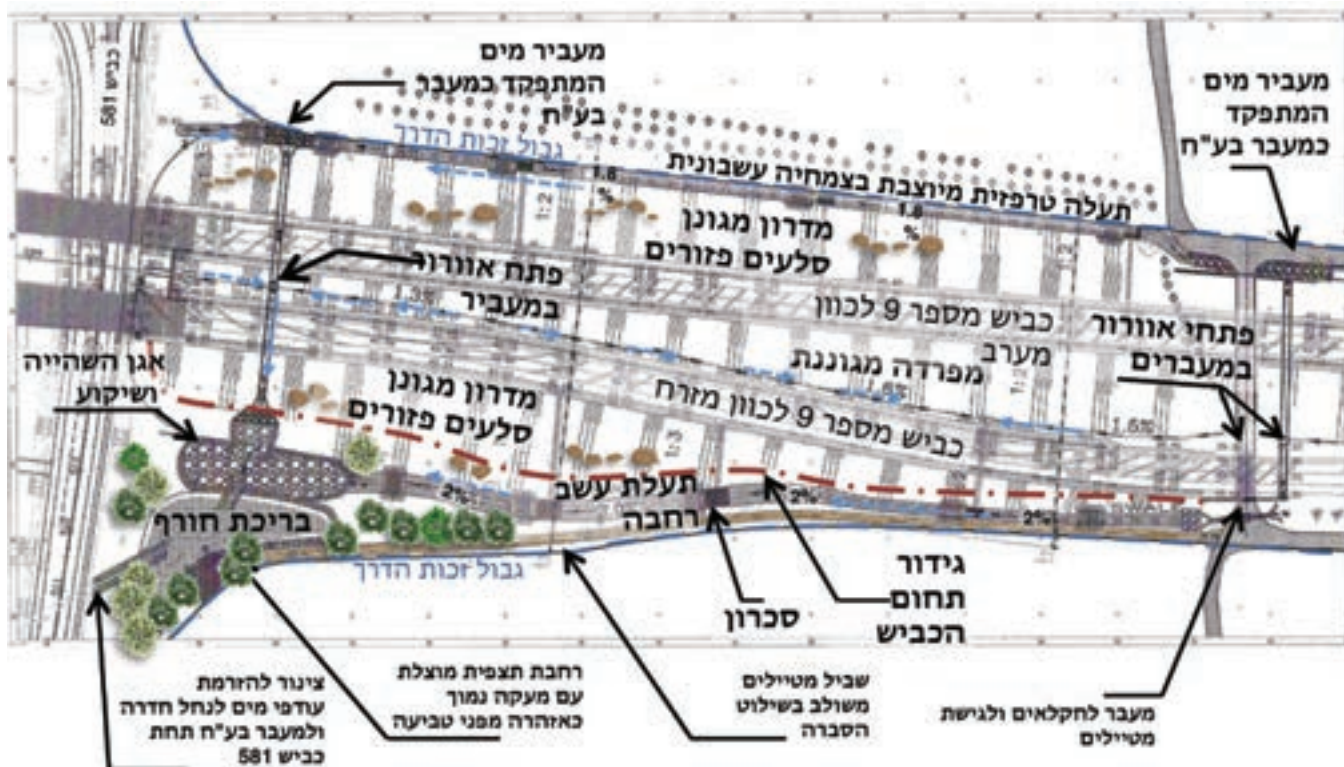
# "ארגז כלים" לתכנון רגיש למים של כבישים בינעירוניים בעבור העצמת תועלות אקולוגיות וחברתיות

ליעד מרקוס, נעמי כרמון, אביטל גזית | עורך: גלעד רונן

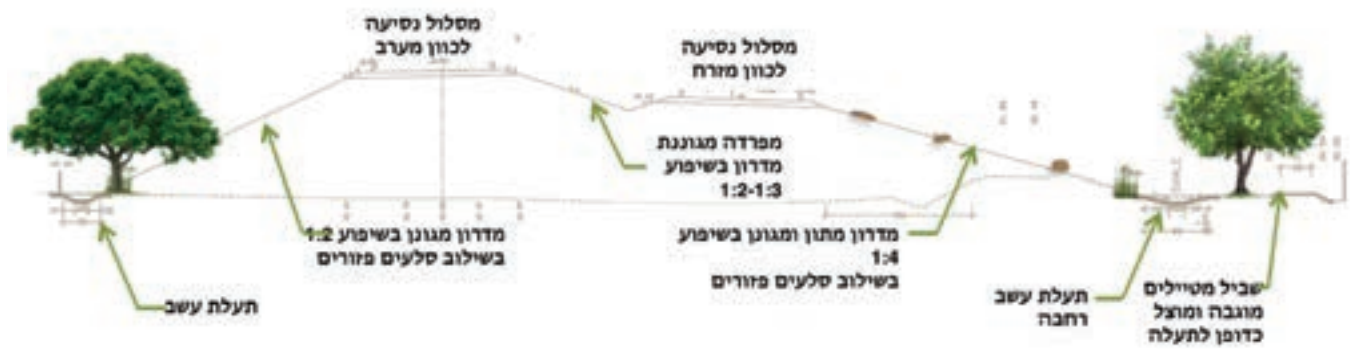
הפקת תועלות אקולוגיות וחברתיות; הגישה השנייה - "אקולוגיה של כבישים" (Forman et al., 2003) עוסקת בשיקום רצועות הקרקע שבתחום זכות הדרך של כבישים בינעירוניים, בעבור השבת תפקודים אקולוגיים שנפגעו עקב פעולות הפיתוח. המחקר משלב בין הגישות ומציע ליישמן באמצעות יצירת מערכת טכנו-אקולוגית (טכנו - מעשה ידי אדם; Lugo & Gucinski, 2000) לניהול נגר הכבישים. במערכת זו, הבנויה ממשאבים טבעיים, ביוטיים ואביוטיים (צמחייה וקרקע, אבנים וסלעים בהתאמה) נוצרים יחסי גומלין בין הטכני לטבעי, המבוססים על הנגר וזרימתו ותורמים להעצמתן של תועלות אקולוגיות וחברתיות מגוונות. התוצר המרכזי של המחקר הינו "ארגז כלים" למתכנן, ליישום תכנון רגיש למים (תר"מ) בכבישים בינעירוניים. המתודות שהובילו

אקולוגיה וחברה. חשיבות הנושא גבוהה במיוחד בתקופתנו, לנוכח ריבוי הפרויקטים להרחבת כבישים קיימים וסלילה של כבישים חדשים על ידי רשויות התחבורה בישראל. ייחודו של מחקר אינטר-דיסציפלינרי זה הינו בבניית גשר בין-תחומי, המחבר בין ידע אקולוגי וחברתי לבין מעשה תכנוני והנדסי, בהקשר של תכנון מסדרונות כבישים בינעירוניים וניהול הנגר הזורם בהם. המחקר צמח מתוך שילוב בין שתי גישות מדעיות-מקצועיות: האחת, גישת תכנון רגיש למים - תר"מ (שמיר וכרמון, 2007; Carmon & Shamir, 2010), לפיה שילוב שיקולי מים בתכנון מרחבי ונופי נועד לקדם מגוון רחב של מטרות; במחקר זה, שילוב שיקולים הנוגעים לנגר כבישים בתכנון מסדרונותיהם מאפשר לקדם את המטרה של הפחתת נזקים סביבתיים יחד עם

באזור אקלים ים תיכוני המים הם משאב במחסור, אשר קיימת לגביו תחרות עזה, שגם בעידן ההתפלה לא צפויה להיעלם. מי הגשמים, בכלל זה נגר עילי, חיוניים לתפקודן של מערכות אקולוגיות טבעיות, אך מי נגר הזורמים על כבישים אינם מוכרים כמשאב שניתן לנצל. היפוכו של דבר: הנגר הנוצר על פני כבישים נחשב כמקור לזיהום ה"מים המקבלים" שאליהם הוא מגיע בסוף נתיב זרימתו וגם לגורם המסכן את בטיחות הנסיעה. בשל כך מתכנני הכבישים נדרשים להציע פתרונות לסילוק מהיר ויעיל של נגר הכביש, תוך צמצום נזקים לסביבה הסמוכה. מחקרנו בחן את האפשרויות לניצול נגר הכבישים, לאחר סילוקו מפני הכביש, והפיכתו ממטרד למשאב, אשר ניתן לנצל בעבור שיקום של מסדרונות הכביש מנקודת מבט של נוף,



איור 1: סכמה מקרה הבוחן בו מוצגת מערכת מוצעת לניהול נגר על פי תובנות המחקר (בסיוע ד"ר אינג' אלכסנדר קורן, א.א. מדרונות והנדסה בע"מ)



איור 2: סכמה של התכנון המוצע בקטע כביש 9 - חתך לרוחב למטה: איור 3: תכנית מלאה של צומח מקומי מגוון על פני המדרון בשילוב סלעים לצד כביש חוצה ישראל צפונית למנהרת חדיד (צילום: ל. מרקוס, אפריל 2012)

ז. **תוספת ערכים לימודיים וחינוכיים** - שילוב תכנים ואמצעי הסברה, הקשורים בנגר הכביש והתהליכים האקולוגיים הקשורים אליו, עבור ידע וחינוך לחשיבה מקיימת. בכדי לקדם השגתן של המטרות שנמנו לעיל, מוצעים ב"ארגז הכלים" עקרונות תכנוניים ואמצעים מיטביים (BMP's - Best Management Practices) לניהול נגר. פירוט עקרונות התכנון והאמצעים מופיע בחוברת המחקר. כאן נדגים את יישומם באמצעות הצעה תכנונית עבור מקרה בוחן של קטע קצר מכביש 9. קטע הכביש שבמקרה הבוחן ממוקם בעמק חפר, בין מחלף באקה-ג'ת על כביש חוצה ישראל (כביש 6) לבין צומת להבות חביבה, שבמפגש כביש 9 עם כביש 581. הכביש הוקם בשנת 2004 כזרוע מערבית של מחלף באקה-ג'ת, מתוקף תמ"א 31/ א / 17 (תכנית מתאר ארצית משולבת

המים מנגר הכבישים לתועלתם של מגוון צרכנים במערכות אקולוגיות שבמרחב הכביש (צרכנים כדוגמת צמחיה וגופי "מים מקבלים" - בריכת חורף, נחל טבעי, מי התהום);

ד. **תמיכה במגוון ביולוגי** - תכנון מסדרון הכביש כמערכת טכנו-אקולוגית בה מתקיימים תפקודים ותהליכים אקולוגיים, המסייעים לחיזוק המגוון הביולוגי ולמעורר השפעות הקיטוע שיוצר הכביש;

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

ו. **תרומה לפעילויות פנאי ונופש** - תוספת מוקדי ביקור ויצירת קישוריות בתחום זכות הדרך אליהם ואל אתרי טיילות אחרים במרחב;

לגיבושו כללו: סקירת ספרות מדעית ומקצועית; התייעצויות עם מומחים בתחומי הנדסת כבישים, הידרולוגיה ואגרונומיה; איסוף מידע על מצבים רלוונטיים בישראל, באמצעות סיורי שטח, ניתוח ובחינה של מפרטים ופרטים טכניים. "ארגז הכלים" מאפשר שילוב תובנות אקולוגיות ומוצעות בו שבע מטרות לתכנון המערכת הטכנו-אקולוגית לניהול נגר כבישים:

א. **שימור הקרקע** - מניעת סחף קרקע ושמירה על פוריות הקרקע, כמשאב חיוני ובסיסי להתפתחות מערכת אקולוגית;

ב. **שיפור איכות המים** - עידוד היווצרותם של תהליכים טבעיים לטיפול במים ולשיפור איכותם, של השהייה ושיקוע, סינון מזהמים ופירוק חומר אורגני, כתוצר של השהיית הנגר והזרמתו דרך קרקע, אבנים וצמחיה;

ג. **ניצול הנגר לתועלת צרכנים שונים** - אספקת





איור 4: דוגמא לתעלת מרבדי עשב (יבלית קוסט קרוס 1; בכביש 6 אזור כביש 411 חולדה) שהתבססה בה באופן טבעי זקנן שעיר, חוטמית זיפנית, שברק, סביון אביבי ובקיה (ד. הלבין, מידע בע"פ: צילום: ל. מרוקס, אפריל 2012)

אשר הופקע בעבר לצרכי הקמת הכביש ושאינו נדרש להרחבה עתידית של המחלף; ב. קיום שטחים נרחבים בין מסלולי הכביש המתוכנן (מפרדה) ושטחים לצדי הכביש ובתחום זכות הדרך, שהיקפם מאפשר לשחזר את יחידות הנוף שאפיינו בעבר את מישור החוף באזור השרון ושנעלמו כמעט כליל בשל הפעילות החקלאית במרחב; ג. מיקום מסדרון הכביש בלב רשת דרכים חקלאיות, אשר משמשות גם כשבילי טיול ומאפשרות נגישות אל מוקד משיכה - נחל חדרה, אשר נשמר בקטע זה בתוואי הטבעי והמפותל; ד. סמיכות קטע הכביש ליישובים מאור ושדה יצחק, שתושביהם יכולים להפיק ערך מוסף, באם יתוכנן מסדרון הכביש מתוך גישה התורמת להגברה של תועלות חברתיות. הצעה התכנונית (איורים 1,2) כוללת ביטויים שונים של מורכבות מבנית (structural complexity); עקרון תכנוני המתבסס על קשר ישיר בין מורכבות מבנית ומגוון ביולוגי, על ידי שילוב של אמצעים, הבנויים ממשאבים טבעיים מקומיים, ביוטיים (צמחיה) וא-ביוטיים (קרקע, אבנים). המורכבות המבנית מתבטאת בשני אופנים - בכל מרכיב במערכת ובמורכבות מערכתית, שבה רצף של אמצעים מגוונים דרכם זורם הנגר. אנו מציעים להגביר את המורכבות המבנית באמצעות "חספוס" מדרונות הכביש על ידי פיזור סלעים, החלפת מגלשי בטון במגלשי עשב, ביחד עם צמחיה מקומית מגוונת, אופיינית לאזור - עשבונים, שיחים ועצים (איור 3); ו"חספוס" התעלות בתוואי זרימת הנגר - על-ידי שילוב תעלת עשב רחבה מדרום, בשטח שבין הכבישים, ותעלת עשב מצפון (איור 4), בהן

הכוללת בין היתר תוספת סוללה מצפון וביטול חלק מהכביש הקיים. במסגרת זו זוהתה הזדמנות, שניתן לנצלה, לשילוב מערכת טכנו-אקולוגית לניהול נגר הכביש המורחב. הזדמנות זו נובעת משילוב של מספר גורמים: א. ביטול ופירוק חלק מהכביש הקיים בתחום הדרך משאיר שטח פנוי וזמין,

לבנייה, לפיתוח ולקליטת עלייה - דרכים, להבות חביבה עד דרך 65). הוראות התכנית מציבות דרישה לשקול שיקולים סביבתיים בעת תכנון הכביש ובעת ביצועו, כדי "להגביר את ההשלכות החיוביות של הדרך ולמזער את הפגיעות ממנה". בשנת 2013 החלה חברת נתיבי ישראל בביצוע הרחבה של הכביש לדרך-מסלולית-דו-נתיבית,



## בשדה המחקר

מגיע אליהן. על סמך תצפיות אלה ניתן להסיק שאפשר להזרים מי נגר אל בריכות חורף, ללא חשש לבריאותם של דו-חיים ולפחות חלק ניכר מבעלי החיים האחרים. המחקר מציע הזרמת נגר לבריכת חורף לאחר שהתגלגל דרך אמצעים ביוטיים ואביוטיים. התורמים למיתון הזרימה ולטיהור חלקי של הנגר, לפני הגיעו אל הבריכה. ההחלטה על תכנון אגן כבריכת חורף דורשת התייחסות למגוון שיקולים: תנאי אקלים, כגון כמות הגשם ופיזורו העונתי, קצב האיזוי והדיות, הרכב הקרקע ואיבוד מים בחלחול, כמות נגר משטח תורם שניתן לנצל. משך קיום המים (hydro-period) בבריכה צריך לאפשר השלמת מחזורי החיים הקצרים של מאכלסיה הייחודיים, משבועות אצל סרטנים וחרקים ועד ארבעה חודשים אצל דו-חיים. התייבשות הבריכה לפני שהושלם מחזור החיים בה, הופכת אותה למלכודת אקולוגית. בפרסום המלא של "ארגז הכלים" למתכנן (ר' קישור), מצויות הנחיות לתכנון והקמה של בריכות חורף, ביחד עם הצעה לאופן חישוב כמות המים לבריכה וגם לבחינת ייתכנות לשילובה במערכת.

בריכת החורף במקרה הבוחן מתוכננת כמוקד ביקור, המעשיר את חוויית הטיול באזור. הגישה אליה הינה באמצעות שביל מטיילים מוצל בצל עצים, שמלווה את תוואי זרימת המים. לאורכו של השביל מוצע לשלב תכנים חינוכיים-לימודיים בנושאים של שמירת

מאבנים) שמשך קיום המים בו קצר ולכן מוגדר כ"יבש", אך מתאפשר בו שיקוע חלקיקים. מאגן זה זורמים המים בגרביטציה אל אגן השהייה רטוב שיתוכנן כבריכת חורף.

בריכת החורף היא 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 מן החי והצומח, בכלל זה מינים אנדמיים ומינים בסכנת הכחדה (גזית, 1983). בעבר היו בריכות חורף נפוצות בכל אזורי הארץ. פעולות הפיתוח ותפיסת השטחים על ידי עיור וחקלאות ברחבי הארץ גרמו לשינויים באגני הניקוז הטבעיים, שהזינו את הבריכות, ולהתייבשות מרבית הבריכות, אשר מוגדרות כיום כבית גידול בסכנת הכחדה (גזית, 1978). כדי להצדיק את השימוש בנגר הכבישים לצורך הזנה ויצירה של בריכת חורף, יש להתייחס תחילה לסוגיית איכות הנגר מכבישים והתאמתה לשימושים כמו בריכת חורף. מחקרים רבים מחו"ל הצביעו על זיהומים במי נגר, אולם חוקרים של איכות מי נגר בישראל (Asaf et al., 2004; אלרון, 2007) לא מצאו שאיכותם נמוכה ופוגעת במאכלסי בריכות חורף. אחד מן הכותבים כאן, אביטל גזית, שהוא זואולוג ומומחה באקולוגיה אקוטיית, עורך בעצמו מזה ארבעים שנה (!) תצפיות בבעלי חיים בתעלות שלצדי כבישים ובבריכות חורף שנגר כבישים

משולבים סכרוני אבן הבנויים כגל אבנים (איור 5). בתחתית מגלשי העשב, בתוואי התעלה, משולבים שבירי אבנים. אמצעים אלה יוצרים מיתון והשהייה של זרימות הנגר, ובכך יוצרים תועלות של שימור הקרקע ושל שיפור איכות המים; הזרימה האיטית, ובמיוחד ההשהייה, מאפשרות לחלק מן המזהמים להיספח לחלקיקים ולשקוע לקרקעית. תועלת נוספת היא תמיכה במגוון הביולוגי, מאחר שבהשהייה המים מתגברת הלחות בחללים שבין הצמחים ובין האבנים ונוצרים תנאים מגוונים של מיקרו אקלים ולחות, הנדרשים לקיומם של צמחים ובעלי חיים שונים. המבנים המורכבים יוצרים רצף של מחסות, המסייעים בקיום ובתנועה של בעלי חיים ומאפשרים קיום של יחסי גומלין מורכבים, התומכים בהתפתחות הצמחיה ובתהליכים טבעיים של סוקצסיה (succession - התפתחות עוקבת מתמשכת). תעלות הניקוז של הכביש יכולות לשמש כתוואי אורכי לתנועת מינים של בעלי חיים, אקוטיים ויבשתיים, בייחוד כאשר התעלות מובילות אל בתי גידול לחים טבעיים, כמו בריכת חורף (ר' להלן). בכך, המערכת עונה על עקרון תכנוני נוסף של שמירה על רצף פיזי ליצירת קישוריות.

בכדי לנצל את הנגר מתחום מסדרון הכביש באופן מיטבי, מנותב כל הנגר הנוצר בתחום זכות הדרך אל מערכת אגני השהייה. האחד - אגן השהייה מחלחל או מתרוקן (דפנותיו

מימין למטה: איור 5: סכרונים הבנויים כגל אבנים בתעלת עשב רחבה (MoDOT, 2013b)  
למטה: איור 6: מבקרים מטיילים בבריכת החורף שבפארק הקהילתי הכפר הירוק. ברקע כביש 20 (צילום: א. גזית, ינואר 2013)





איור 7: מעביר מים צינורי המתוכנן כמעבר לבע"ח (Trocme, 2006)

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.

שמיר, א., כרמון, נ., בהשתתפות קסלר, א. (2007). תר"מ - תכנון רגיש 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., Shamir, U. (2010). Water Sensitive Planning (WSP): Integrating Water Consideration into Urban and Regional Planning. *Water and Environment Journal*, 24 (3): 181-191.

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.

MoDOT (Missouri Department of Transportation) (2013). Road side Development, Category: 806.8 Storm Water Pollution Prevention Plan (SWPPP). Texas, U.S.A.

Trocme, M. (2006). Habitat Fragmentation due to Linear Transportation Infrastructure: An overview of mitigation measures in Switzerland. 6th Swiss Transport Research Conference, Conference Paper STRC. Monte Verita Ascona Switzerland.

van Bohemen, H.D. (2004). Ecological Engineering and Civil Engineering works. Doctoral Thesis, TU Delft, The Netherlands.

שהמטרות והעקרונות שהמחקר מציע לאמצע נראים מתאימים לקידום השגתן של תועלות סביבתיות וחברתיות לא רק בתכנון מסדרונות כבישים בין עירוניים, אלא בתכנון שטחים פתוחים באשר הם.

בשנים האחרונות חלה התקדמות מסוימת בחשיבה על ניהול נגר בתכנון כבישים בינעירוניים בישראל. אלא, שחשיבה זו אינה מעוגנת בקריטריונים מוסכמים לתכנון המחייבים את כלל מתכנני הניקוז, ואינה מגובה במפרטים טכניים לתכנון ולביצוע. כצעד משלים לפיתוח "ארגו הכלים" אנו ממליצים על פיתוח קריטריונים הנדסיים-אקולוגיים-נופיים מוסכמים לתכנון כבישים בינעירוניים, שייחבו את כלל מתכנני הכבישים ויותאמו לתנאי האקלים באזורי הארץ השונים. על קריטריונים אלה לכלול שיקולי עלויות כלכליות, לצד שיקולי תועלות חברתיות וסביבתיות.

#### רשימת מקורות

אלרון, א. (2007). דעיכת אוכלוסיות דו-חיים: מקרה הקרפדה 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 כסביבה חיים ושלוליות החורף. מהדורה ניסויית. המכון לחקר שמירת הטבע, הפקולטה למדעי החיים אוניברסיטת תל אביב.

הסביבה וקיימות, בצורת שלטי הסברה על מרכיבי המערכת ותפקודם. לצד הבריכה מתוכנן מקום לתצפית, שיוכל לשרת גם פעילות של סיורים מודרכים (איור 6). יש להזכיר, שהזמנת הציבור לבקר בבריכת חורף הסמוכה לכביש בינעירוני מחייבת לשלב אמצעי בטיחות למניעת טביעה ולמניעת גישה אל הכביש, בהתאם להנחיית גורם מקצועי מתאים. שילוב אמצעים אלה עונה על עקרון תכנוני נוסף של יצירת ערך מוסף חברתי, ובכך עונה גם על המטרה של תרומה לחברה.

במקרה הבוחן יוזרמו עודפי המים מבריכת החורף אל נחל חדרה, באמצעות מעביר מים צינורי תחת כביש 581, שיתוכנן כמעבר בעלי חיים ויאפשר קישוריות בין בריכת החורף לבין הנחל. מעביר מים זה מתווסף לשניים אחרים שבמערכת, שתוכננו כמעברים לבעלי חיים באמצעות שילוב שברי אבן וצמחיה ודרגש לתנועת בע"ח יבשתיים בעת זרימת מים דרך המעביר (איור 7).

הרעיונות המוצעים במחקר, שלפיהם נגר הכבישים יכול לשמש לעיצוב הנוף ולעידוד תפקודים אקולוגיים במסדרונות כבישים (e.g., van Bohemen, 2004), וכמשאב בלתי נדלה לקיומן של בריכות חורף (אלרון, 2007), אינם רעיונות חדשים. התרומה המרכזית של המחקר מתבטאת בשילוב בין דיסציפלינות וגישות מקצועיות שונות ובתרגומן לשפת המעשה. כלומר, תרגום תובנות אקולוגיות לעקרונות תכנוניים ישימים. חשוב לציין,

ליעד מרקוס - אדריכלית נוף וסביבה, רעננה

נעמי כרמון - הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים והמרכז לחקר העיר והאזור, הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל  
אביטל גזית - המחלקה לזואולוגיה, הפקולטה למדעי החיים ובית הספר ללימודי סביבה ע"ש פורטר, אוניברסיטת תל אביב

#### ייעוץ למחקר

ד"ר אינג' אלכסנדר קורן, א.א. הנדסה ותכנון מדרונות בע"מ - ייעוץ הנדסי הידרולוגי  
דפנה הלביץ - ייעוץ אגרונומי ותחזוקת צמחיה לאורך כבישים

פרסום זה מבוסס על מחקר שהוגש כעבודת גמר לקראת תואר "מוסמך אוניברסיטה" של אדר' 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://bit.ly/1yhVPP1> תקצירו בקישור <http://www.environment.tau.ac.il/research/liadm>

מדור 'בשדה המחקר' חושף קולות מהאקדמיה העוסקים בנושאים עכשוויים בשדה מחקר הנוף. השאיפה היא לקיים דו-שיח יצירתי ופעיל בין שדות העשייה והמחקר השונים. נשמח לקבל מחקרים לפרסום. **עורך המדור, אדר' נוף גלעד רונן, [gronnen@gmail.com](mailto:gronnen@gmail.com)**