



Creating Water Sensitive Cities in Israel

An inter-disciplinary science practice program delivering sustainable and liveable urban environment through innovative urban water management

יצירת ערים רגישות מים בישראל

תוכנית מחקר מדעית יישומית בין-תחומית שמטרתה ליצור סביבה עירונית איכותית ובת-קימא באמצעות ניהול מים עירוני חדשני



האוניברסיטה העברית בירושלים
The Hebrew University of Jerusalem



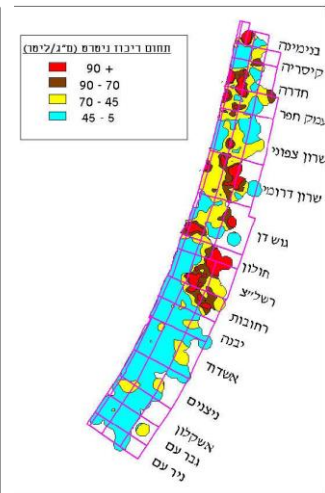
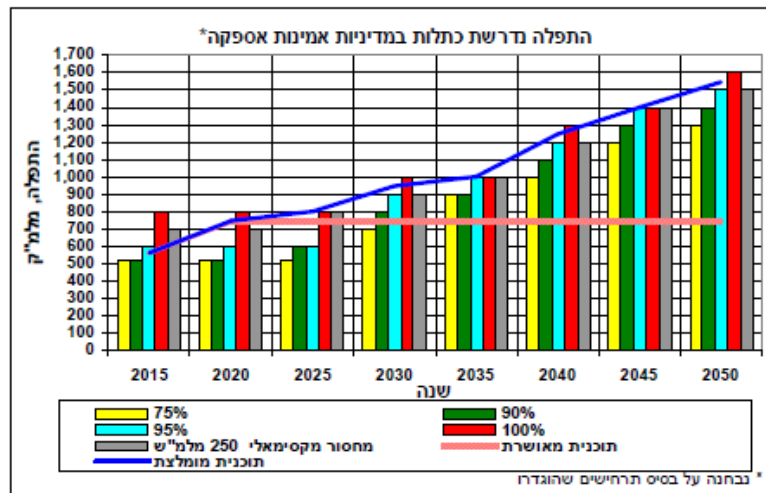
MONASH University

ערים רגישות מים בישראל

תכנית מחקר מדעית יישומית בין-תחומית שמטרתה להתוות דרך ליצירת סביבה עירונית ובת-קיימא באמצעות נהול מים עירוני חדשני

האתגר שבפניו עומדות ערים בישראל

ישראל מתמודדת עם מגוון גדול של בעיות הקשורות בביטחון מים (ביטחון מקורות מים וביטחון בזמינות מים) ובעיור. הערים בארץ מתרחבות במהירות, תוך התמודדות עם מחסור קריטי במים ופגיעה במצב האקוויפרים ונתיבי המים שלהן. ישראל תצטרך להקים 13-15 מתקני התפלת מי ים ב-40 השנים הבאות, על מנת שנוכל לעמוד בצריכות המים העירוניים החזויות עד שנת 2050 (איור 1 משמאל). אקוויפר החוף המשתרע מתחת לערינו הגדולות מצוי תחת איום מפני זיהום אנתרופוגני ומפני חדירת מי-ים (איור 1 - מימין), וקיימת הסכמה על כך כי נדרש בדחיפות לנקוט פעולה בנדון, כדי להבטיח את קיימותו לטווח הארוך. בה בעת, בריאות הציבור מאוימת על ידי השפעות "אי החום" העירוני (urban heat island), בשעה שערי ישראל הופכות לחמות יותר, בשל שינוי האקלים ועיור מהיר. מתחזות The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ברור כי ישראל תהפוך לחמה יותר ב-1 עד 1.5 מעלות צלזיוס בעשורים הקרובים, וזו עלייה משמעותית בהשוואה לרמה הנוכחית. התחזיות הן כי כמות המשקעים השנתית צפויה לרדת בצפון הארץ ב-15% מהרמות הנוכחיות וב-10%-15% באזורי מרכז הארץ. אזורי קו החוף הם מקרה יוצא דופן בכל הנוגע למשקעים, ושם לא צפויה ירידה לעומת הרמות הנוכחיות, בשל הקרבה לים התיכון. יתר על כן, פיזור אירועי הגשם לאורך עונת הגשמים יהיה פחות אחיד, וצפוי כי יהיה מספר קטן יותר של אירועים בעלי עוצמה גבוהה יותר, העלולים להוביל לסכנה מוגברת של הצפות. לפיכך ברור כי **ערי ישראל חייבות לפתח מידה רבה יותר של גמישות, למול תנאי האקלים והלחצים החברתיים שעמם הן מתמודדות, וזאת כדי להבטיח את קיימותה הכלכלית והסביבתית ארוכת הטווח של ישראל.**



איור 1: נפחי המים המותפלים הדרושים בכדי לעמוד בצרכים העירוניים לאורך זמן (שמאל) ורמות זיהום בחנקות (במ"ג/ליטר) של אקוויפר החוף (ימין)

מקור: שמאל - רשות המים לישראל (2011); ימין - נתוני רשות המים לישראל

בעוד שהפתרונות הריכוזיים הקיימים כיום עבור ניהול מים עירוני הם מהותיים לפיתוח ערינו, נכון להיום, הם אינם יכולים להעמיד לרשותנו את היתרונות הרבים הדרושים עבור הצרכים העתידיים של ערינו. לפיכך, **שומה עלינו למצוא פתרונות משולבים יותר הנותנים מענה לשינוי האקלים, לצמיחה העירונית ולזיהום, על ידי מתן יתרונות בו-זמניים** בנוגע לביטחון מים, הסביבה הטבעית ואיכות החיים בעיר.

ערים רגישות למים כפתרון

הדרך בה אנו מנהלים את משאבי המים העירוניים מעצבת כמעט כל היבט של הסביבה העירונית בה אנו חיים ואת איכות חיינו. ערים רגישות למים מאמצות ומשלבות פתרונות מבוזרים וריכוזיים של ניהול מים, וזאת כדי לספק ביטחון מים הן בתסריט עתידי דל-מים והן בעתיד שופע-מים, אקוויפרים בריאים ונחלים עירוניים, שיפורים באקלימים ובנופים עירוניים, וצמצום טביעת הפחמן של העיר. שלושה עקרונות עומדים ביסוד עיר רגיש למים (Wong et al., 2009):

- "ערים כאגני אספקת מים" – משמעו גישה למים דרך מגוון מקורות במגוון סקאלות של אספקה;
- "ערים המספקות שירותים למערכת האקולוגית" – משמעו שהסביבה הבנויה מתפקדת בצורה משלימה ותומכת בסביבה הטבעית;
- "ערים המורכבות מקהילות הרגישות למים" – משמעו שתהליך קבלת ההחלטות על ידי האזרחים והתנהגותם עומדים ביסוד קיימותן הסביבתית של עריהם.

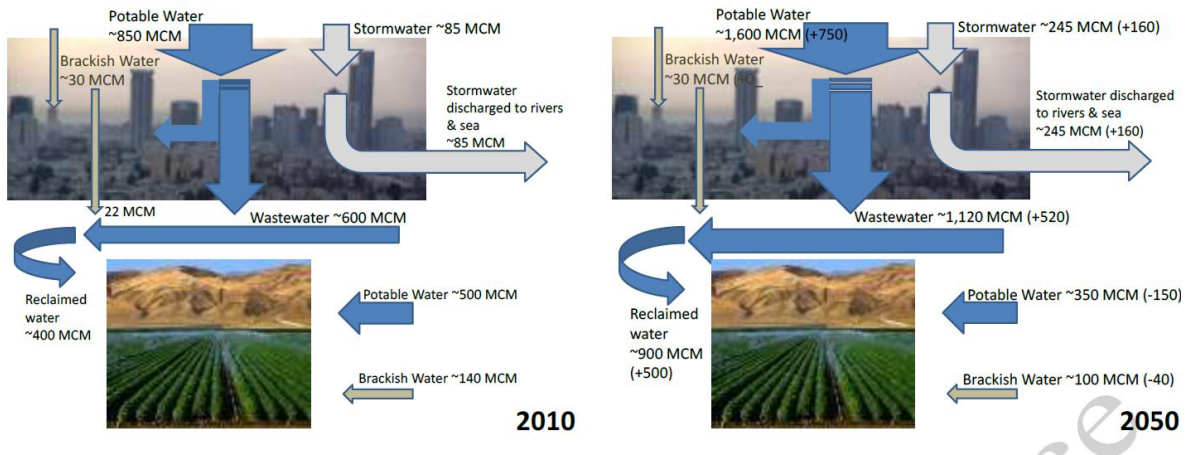
חזון הערים הרגישות למים עודו צריך להתגבש, בהקשרים של צרכים ישראלים פיזיים, אקלימיים וחברתיים ספציפיים. ישראל, עם הרקע הפיזי הייחודי שלה וההיסטוריה שלה המובדלת אף יותר, צריכה לפתח את נתיבים משלה, לצורך מעבר לקראת תסריטים עתידיים של משאבי מים עירוניים בני-קיימא.

תקציב המים של ישראל

התפלת מים-ים היא נתיב בלתי-נמנע שאותו חייבת ישראל לאמץ, אם ברצונה לתת מענה לצריכת המים העירונית הגדלה במהירות, כתוצאה מגידול אוכלוסין. כפי שמתואר באיור 2, עד שנת 2020, ישראל תצטרך להתפיל כ-700 מיליון מטר-מעוקב\שנה, 50% ממשק המים הלאומי ועד שנת 2050 היא תצטרך יותר מלהכפיל את התפוקה שתידרש בשנת 2020, כך שתפוקת ההתפלה תעמוד אז על 1,500 מיליון מטר-מעוקב\שנה. הדבר יהיה כרוך בבניית כחמישה עשר מתקני התפלה נוספים לאורך קו החוף הצפוף כבר כיום, ובנוסף לעלויות בנייה ותפעול גבוהות, תהיינה לכך גם השפעות שליליות על הסביבה הימית הקרובה, זיהום האוויר המקומי\אזורי וההתחממות הגלובלית, בשל צריכת אנרגיה גבוהה וכו'.

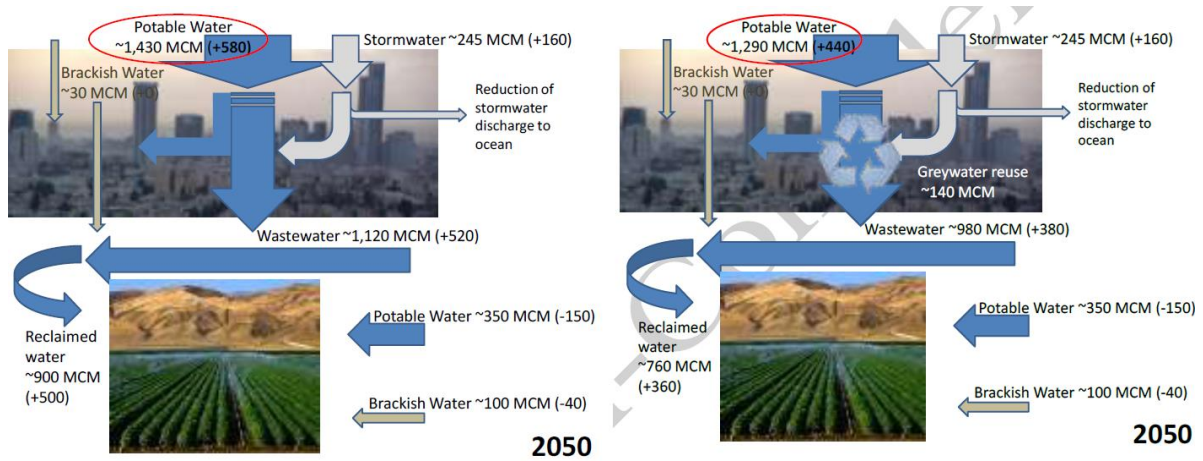
עם זאת, ניתן לצמצם רמה עתידית זו של תפוקה נחוצה של התפלה, אם במקביל למערכות הריכוזיות המסורתיות, ייעשה גם שימוש במערכות מבוזרות, לצורך אספקת מים לשימושים שלא-לשתייה בטוחים (לדוגמה, מים להשקיית מרחבים ירוקים בנוף העירוני, הדחת אסלות, מים לקירור וכו').

החלופה הראשונה המוצעת היא לכלול קציר נגר עירוני, פעילות אשר נכון להיום, כמעט שאינה מיושמת בפועל בישראל (איור 3 - משמאל). נגר עירוני מוגדר כמי נגר שמקורם במשטחים עירוניים סלולים, ובהקשר זה, הם נבדלים ממי נגר הנלכדים משטחים פתוחים (יער, קרקע חקלאית, או שטחי מרעה). אף על פי שנדרשת הערכה מעמיקה בנוגע לנפחי הנגר הזמינים, קיימות מספר ראיות לפיהן עד שנת 2050, בשל העיור המוגבר הצפוי (שפירושו כיסוי הקרקע בדרכים, בתים ומזדננות), ערי ישראל צפויות להניב כ-160 מלמ"ק של מי נגר מדי שנה (נתניהו וחובריה, 2008) אם מקור מים זה יילכד, יטופל ולאחר מכן ייעשה בו שימוש (לדוגמה, לשימושים שאינם לשתייה), הוא יוכל לספק מים יקרים מפז שביכולתם לצמצם את התפוקה השנתית של מים מותפלים ב-10% והן לצמצם את ההשפעות הסביבתיות השליליות שתהיינה כתוצאה מכך. יתר על כן, לכידתו של המשאב האלטרנטיבי ה"חדש" הזה אף יגן על האקוויפרים וישפרו את איכות החיים בערים (liveability). ראוי לציין שצמצום נוסף בתפוקה בעתידית הנדרשת של מים מותפלים הוא דבר בר-השגה (כ-140 מלמ"ק\שנה נוספים) אם יוטמע השימוש במים אפורים בשילוב עם קציר נגר עירוני (איור 3 - מימין).



איור 2: שימוש עירוני וחקלאי נוכחי ועתידי חזוי במים בישראל - תרחיש "עסקים כרגיל" המספרים בסוגריים מציינים שינוי מ-2010 ל-2050

Stormwater - נגר עירוני; Potable Water - מים באיכות מי שתייה; Brackish water - מים מליחים; Reclaimed water - מים ממוחזרים; Greywater - מים אפורים



איור 3: שימוש עירוני וחקלאי עתידי (2050) אפשרי במים בישראל, אם נכללות מערכות מבוזרות: קציר נגר עירוני (משמאל) ושילוב של קציר נגר עירוני ושימוש חוזר במים אפורים (מימין)

המספרים בסוגריים מייצגים שינויים בין שנת 2010 לשנת 2050; אליפסות אדומות מדגישות את ההבדל של הפקת מים (כל המים המותפלים) אופציית BAU לעיל (איור 2 - מימין).

קציר נגר עירוני חיוני לצורך הגשמת חזון "ערים רגישות מים", והסיבות לכך הן:

- נגר עירוני הוא מקור משמעותי של מים, ה"נוצר" קרוב למקום בו הוא נחזק. צריכת מים ב-25 הערים הגדולות בישראל (18 מהן שוכנות מעל אקוויפר החוף) הייתה 311 מל"ק לשנה בשנת 2009 (אוכלוסייה בת 4.1 מיליון תושבים) (ICBS, 2010). בהתבסס על נתניהו וחבריה (2008) פוטנציאל איסוף הנגר העירוני בערים האלה עומד על 55 מל"ק לשנה. לפיכך, ניתן לראות כי נגר עירוני מהווה מקור מים חלופי חשוב, המשתווה לכ-18% מצריכת המים הכוללת באזורים עירוניים אלה. יש לציין עוד כי מי נגר הם בדרך כלל בעלי איכות גבוהה באופן משמעותי ממי שפכים, ולפיכך הם יותר כלכליים ובטוחים לשימוש.
- זרימות מי נגר מאזורים עירוניים מזהמות חופים, אקוויפרים רדודים ונתיבי מים. כמויות גדולות של שטחים בלתי-חדירים בערים "מייצרות" כמויות מוגברות של נגר עירוני, וגורמות לאירוניה ולזיהום של נחלים עירוניים (Hatt et al., 2004), ובתוך כך גם לזיהום חופים; לדוגמה, נגר עירוני הוא המזהם מספר אחת של מי חופים בארצות הברית. נגר עירוני מהווה מקור נדיר למים מתוקים, שהשימוש בהם צפוי להועיל לסביבה, במקום לדרדר אותה (Fletcher et al., 2007).

- מתקני טיפול בנגר עירוני המכילים צמחייה יכולים לשפר את המיקרו-אקלים העירוני, לצמצם את העומס התרמי, ולפיכך אף לסייע בשיפור בריאות הציבור. קציר נגר עירוני תוך שימוש במערכות צמחיות טבעיות כגון אגנים ירוקים, גינות גשם הידועים גם כביו-פילטרים (איור 4) יכולים לשחק תפקיד חשוב בצמצום תופעת אי החום העירוני. על ידי שמירת מים בנוף העירוני, הטמפרטורות המקומיות יורדות, תוך הקטנת טמפרטורות קיצוניות (Endreny, 2008); במערכות אלה למעשה מתקיים ניצול של קירור פסיבי, ובכך, הדבר אינו תורם לפליטת גזי חממה.



איור 4: מתקן החלויץ של מערכת הביופילטר דואלית בכפר סבא עבור איסוף מי נגר עירוני והעשרת מי התהום בחורף תוך שיקום מי תהום בקיץ

- קציר מי נגר תוך שימוש בתשתית ירוקה משפרת את מידת הנעימות בסביבה האנושית-חברתית ופעילות זו צפויה להתקבל בחיוב על ידי הציבור. הגדלת היקף הצמחייה והנופים הירוקים משפרת את נעימותן האנושית-חברתית של ערים (איור 4). קבלתה של פעילות קציר מי נגר בציבור ובקרב גורמים ממסדיים גבוהה בהשוואה לשימוש חוזר במי-שפכים (Brown and Keath, 2007).
- מערכות איסוף והשבת מי גשמים הן כלכליות ויכולות לתפקד לרוב ללא צריכת אנרגיה (או תוך צריכת אנרגיה נמוכה). קציר והשבת נגר עירוני באמצעות מגוון שיטות לטיפול פסיבי, המבוססות על עקרונות ביולוגיים, כרוכות בדרישות אנרגטיות נמוכות הרבה יותר לעומת פתרונות רבים אחרים עבור טיפול במים ואספקת מים. כפי שהודגם לאחרונה במחקר שהוזמן על ידי קק"ל (כיוון, 2010), עלות קציר והשבת נגר עירוני עומדת על 2.95 ש"ח/מ"ק, עלות שהיא זולה ב-17% לעומת התפלת מ"ק של מי ים למושגים על פי עלויות הפיילוט בכפר סבא (כאשר עלויות הייצונית נלקחו אף הן בחשבון).

מדוע אנו לא קוצרים נגר עירוני?

בשונה מהמערכות אספקת מים מרכזיות מסורתיות, אשר צברו יתרון טכנולוגי לאורך יותר ממאתיים שנה של מחקר ופיתוח ייעודי, מערכות קציר נגר עירוני מודרניות הן המצאות חדשות יחסית (CWSC, 2011). מספר פערים משמעותיים בידע מונעים אף יותר את אימוצן הרחב של מערכות אלה בישראל:

- מחסור בטכנולוגיות בנות קיימא. כיום, ישנו מחסור בטכנולוגיות יעילות מבחינת עלות-תועלת, שביכולתן לאפשר קציר מי נגר עירוני בטווח סקאלות, החל ברמת משק הבית הבודד וכלה ברמה האזורית. לאחרונה, היו כמה התקדמויות באוסטרליה בתחום טכנולוגיות הביו-פילטריציה (איור 4, FAWB, 2009), ואלה הפגינו תוצאות מבטיחות בטיפול בחומרים מזינים, במתכות ובפתוגנים (Zinger et al., 2007; Bratieres et al., 2008; Blecken 2010). הביופילטר הראשון לקציר מי נגר עירוני לשם החדרת המים המטופלים לאקוויפר הוטמע לאחרונה בהצלחה בכפר סבא (איור 4, Zinger et al., 2011). עם זאת, נחוצה עבודה רבה נוספת בכדי להמשיך לפתח טכנולוגיות אלה ולהתאימן לתנאים המקומיים בישראל. ראשית, יש צורך להבין ולכמת את איכות מי הנגר העירוני בערי ישראל, מפאת מחסור משמעותי בנתונים מקומיים (בוצע רק מספר מצומצם מאוד של עבודות בתחום זה בארץ). אגירת מי הנגר שנקצרו הם סוגיה נוספת ברורה מאליה, משום שהמרחב העירוני יקר מפז. אף מלוי חוזר של אקוויפרים (שיטה הידועה גם כאגירה והשבה באקוויפר), עשויה להיות השיטה הישימה והכלכלית ביותר עבור התנאים המקומיים בישראל.
- סיכונים לבריאות האדם. הידע שלנו בנוגע לסיכונים הנשקפים לבריאות הציבור, בקשר לשימוש במי נגר שנקצרו, הוא נמוך, ואי לכך נוצרת אי-ודאות המונעת את אימוצו של השימוש הזה. אפילו באוסטרליה, המתקדמת יותר בתחום זה, זהו החסם העיקרי המונע את אימוץ נרחב של קציר נגר עירוני (CWSC, 2001).
- התועלת הצפויה עבור שיקום אקוויפרים. קציר נגר עירוני, טיפול ומילוי-חוזר בקנה מידה גדול של המים המטופלים בחורף, עשוי לסייע בשיקום אקוויפר החוף (הסובל הן מירידת מפלסים והן ומירידה באיכות מים). בחודשי הקיץ היבשים, ניתן יהיה להשתמש בטכנולוגיות קצר הנגר הירוקות, כדי לטפל במי האקוויפר המזוהמים.

עם זאת, עדיין יש להמשיך ולפתח מערכות כלאיים מסוג זה, בהן מטופלים הן מי נגר עירוני בעלי רמות זיהום נמוכות (לדוגמה, רמות החנקות במי הנגר העירוני הן בדרך כלל 2-3 מ"ג ליטר) בחורף, ומי-תהום בעלי רמות גבוהות של חנקות (מעל ל-100 מ"ג ליטר) בקיץ.

- **התועלת הצפויה עבור המיקרו-אקלים העירוני.** התועלות שעשויות לצמוח לנוף העירוני בגין הטמעה ואימוץ של טכנולוגיות קציר נגר עירוני בקנה מידה גדול (איור 2), כמו גם התועלות הכרוכות בהשקיה עירונית על מיקרו-אקלימים עירוניים, לא כומתו עד כה, בפרט עבור תנאי האקלים השוררים בישראל. שימוש במערכות כלאיים ירוקות היכולות להפיק מים בטוחים לצורך השקיה נופית עשוי להיות אידיאלית עבור הקיץ החם יבש וארוך בישראל.
- **היבטים כלכליים.** יש לאמוד את ערכן של מערכות קציר הנגר העירוני כנכסים רב-תכליתיים בהקשר של שינוי אקלים ומגמות כלכליות עתידיות כלליות. צריך להיות צידוק עסקי ברור עבור איסוף מי גשמים, בו נלקחים בחשבון גם גורמים חיצוניים. אף על פי שמחקר שבוצע עבור קק"ל על הכלכליות של קציר נגר עירוני (כיוון, 2010) מציג תוצאות מבטיחות מאוד, לא נלקחו בחשבון הערכה של התועלות הסביבתיות, או של התועלות מיצירת מרחבים עירוניים נעימים ופרודוקטיביים.
- **היבטים חברתיים ומוסדיים.** קיים צורך להבין טוב יותר את תפקידו של ההקשר הממסדי והחברתי בקידום יישום רחב של קציר נגר עירוני מבוסס בערי ישראל. הועלתה ההשערה כי המבנה הממסדי הקיים הוא החסם העיקרי העומד בפני הטמעתן של מערכות מבוססות וכי יש לבצע בו רפורמה, כדי לאפשר טרנספורמציה של מגזר המים העירוני.

פתרונם של מכשולים נפרדים אלה, בזה אחרי זה, לא יספיק; **דרושה גישה בין-תחומית**, אם ברצוננו לפתח ולקדם פתרונות משולבים ובני קיימא בנושא זה.

מה בכוונתנו להשיג

מטרתה של תכנית המחקר שלנו היא לקדם ערים מקיימו ובעלות איכות חיים גבוהה (liveable) בישראל, באמצעות ניהול חדשני של מים עירוניים. זוהי תכנית בין-דיסציפלינרית ושאפתנית המביאה את התעשייה הישראלית ואת גורמי הממשל בישראל לשתף פעולה עם המוסדות האקדמיים הישראליים והאוטרליים המובילים. התכנית תתבצע בשני שלבים;

שלב 1: פיתוח פתרונות משולבים לקציר נגר עירוני, כחלק מהגשמת חזון הערים הרגישות למים.

שלב 2: העמדת טכנולוגיות, אסטרטגיות, ותכניות חינוכיות ופעילויות הכשרה, הדרושות בכדי ליצור בישראל ערים רגישות למים, אשר תשלבנה את כל זרמי המים בתחומי הנופים העירוניים, ואי לכך תאפשרנה ערים ראויות יותר למחייה בעלות איכות חיים יותר גבוהה.

ניתן לראות בשלב 1 כבדיקת ההיתכנות של רעיון ה"ערים רגישות מים". מסמך זה יתמקד בשלב הזה, הצפוי להניב את התוצרים הבאים:

1. **התכנית** המתייחסת לשאלה כיצד ניתן להגשים את חזון הערים הרגישות למים (WSC), על ידי ניהול רגיש מים של מי-נגר עירוני ושילובן של הטכנולוגיות האלה בתכנית העירונית.
2. **טכנולוגיות רב-שימושיות חדשניות** לקציר נגר עירוני בחורף, וטיפול במי תהום מזוהמים בקיץ, לצורך שיקום אקוויפרים, אשר תתרומנה גם לאיכות החיים של קהילות מקומיות;
3. **אתרי הדגמה ובניית יכולת:** פניה ועירוב הקהילה ושל המגזר הפרטי והציבורי, לצורך בניית הון חברתי וממסדי עבור ערים רגישות מים והשקתן של עבודות מפתח אשר תדגמנה את עיקרון עיר רגישת מים.

(Brown et al., 2007; Wong and Brown, 2008)

התועלות הצפויות לישראל

עיר רגישת מים תבטיח תיקון והגנה סביבתיים, ביטחון אספקת מים, בריאות הציבור וקיימות הכלכלית, באמצעות תכנון עירוני רגיש למים (WSUD - Water Sensitive Urban Design), הון חברתי וממסדי "נאור", ובחירות טכנולוגיות מגוונות ובנות-קיימא (Brown et al., 2007; Wong and Brown, 2008) התועלות העיקריות הצפויות של המחקר האינטגרטיבי המוצע:

- **קציר נגר עירוני:** רתימת פוטנציאל מי הנגר העירוני כמקור מים אלטרנטיבי שיעמיד לרשותן של ערים גיוון

נוסף במקורות המים שלהן. זאת בקנה אחד עם האסטרטגיה לבניית גמישות ועמידות בתחום זה, באמצעות גיוון. אם קציר מי נגר עירוני יאומץ באופן נרחב, הוא יתרום לצמצום מצוקת המים העירונית במחירים מתקבלים על הדעת ובדרישות אנרגיה נמוכות; הפוטנציאל הנאמד עומד על כ-160 מלמ"ק לשנה, אשר יוספו למאזן המים העירוניים של ישראל.

- **שיקום אקוויפרים:** הוספת מי נגר מטופלים (שרמת המליחות שלהם היא בדרך כלל נמוכה בהרבה מ-1 מיליסימנס"ס"מ), כמו גם טיפול רחב היקף במי תהום שכבר זוהמו, עשוי להיות צעד לקראת ההגנה על האקוויפרים שלנו ושיקומם. חשיבותם של אקוויפרים "בריאים" לקיומה של ישראל היא רבה, הואיל והם מהווים ערובה ארוכת-טווח לזמינותם של מים שפירים.
- **הלימותן של ערים למחיה:** טכנולוגיות ירוקות, אשר תשולבנה לתוך הנופים העירוניים, תשפרנה את המיקרו-אקלים בסביבתן, את בריאותם האקולוגית של נתיבי המים, ולפיכך גם את איכות החיים בערי ישראל. אם מערכות מסוג זה לא תפותחנה ותאומצנה, מי הנגר העירוני ימשיכו להוות גורם מפתח בזיהום הנחלים והחופים שלנו, במקום להפוך למשאב יקר-ערך.
- **הגברת קיימות:** אם יאומץ בהיקף נרחב, קציר נגר עירוני יאפשר למנוע את בנייתו של מתקן התפלה אחד עד שנת 2050, על עלויות הבנייה והתפעול הכרוכות בכך. חשוב לא פחות, הדבר אף יאפשר לצמצם את ההשפעות הסביבתיות השליליות של התפלת מי ים, יסייע בהקלה על אפקט "אי החום" בשטחים עירוניים, ואי לכך ישפר את קיימותן של ערינו העתידיות.

הפרויקט יהיה מורכב מארבעה פרויקטים אינטגרטיביים, כפי המומחש באיור 5. תכנית המחקר המוצעת מקיפה מחקר מדעי הנעשה במספר דיציפלינות, תוך שיתוף פעולה לצורך שילוב מאמצי המחקר וממצאי המחקר לאורך תקופה של שלוש שנים של שלב 1 בתכנית. המסגרת לשילוב פעילויות המחקר העיקריות של התכנית היא בעלת שתי רמות, דהיינו, (א) פיתוח ושכלול של פרספקטיבת המחקר בניסוח שאלות ליבה מחקריות; והן (ב) אינטגרציה של התובנות המחקריות באמצעות תכנון ויישום של פרויקטי הדגמה של נוף אקולוגי ועיצוב עירוני בטווח סקאלות.



איור 5: ארבעת פרויקטי האב בתכנית המחקר

פרויקט 1: מחזור המים העירוני

מטרתו של פרויקט זה היא לאפיין את מערכת המים העירונית בערים ישראליות. הוא יתמקד בשילובן של מערכות מים עירוניות מרכזיות ומבוזרות, כדי להבטיח את ביטחון מים בערים הישראליות המתרחבות במהירות, תוך אימוצן של המטרות הבאות:

- כימות מקורות המים הזמינים הנוכחיים והעתידיים בתוך הסביבה העירונית (מי תהום, מים אפורים, מים שחורים, מי נגר עירוני, מים ממוחזרים וכו') ובחינת השפעת שינוי האקלים, האוכלוסייה והתכנון העירוני על מקורות מים אלה.
- ניטור וכימות איכות מקורות מים אלה, אשר נכון לעכשיו אינם מכומתים כראוי, תוך התמקדות, בשלב ראשון, על אפיון מי הנגר העירוני.
- פיתוח אסטרטגיות לשיקום של אקוויפרים עירוניים מזהמים.
- זיהוי וכימות הזדמנויות למיחזור מים וקציר מי נגר במגוון סקאלות עירוניות (ברמת משק הבית, המבנה, השכונה וברמת העיר עצמה).
- כימות ההשפעות האפשריות של תשתיות מבוזרות (לדוגמה, מיחזור רב-פעמי) על אספקת המים הקיימת ועל תשתית איסוף מי השפכים; בפרט, ללמוד את ההשפעות של זרימות מופחתות וריכוזים גבוהים יותר על מערכות ביוב עירוניות ומתקני טיפול במי שפכים.

בשלב הראשון, פרויקט זה יכלול שתי פעילויות, כמפורט להלן.

תת-פרויקט p1.1: חזון ערים רגישות מים בישראל.

מטרתו של תת-פרויקט זה היא לפתח חזון הוליסטי-כוללני עבור ערים רגישות מים בישראל, המקיף היבטים מדעים, כלכליים וחברתיים. יהיה זה מחקר שיתבסס על מטה-אנליזה (meta-analysis) לא-סטטיסטית, שבו ייבחן ונותח הידע הקיים אודות נושאים ספציפיים הקשורים במטרתו של תת-פרויקט זה. תיחקרנה ותכומתנה השפעות פוטנציאליות של התחממות גלובלית על טמפרטורות ומשטרי ירידת הגשמים בישראל, בקנה המידה האזורי. תיגזרנה מגמות גידול אוכלוסין וביקוש למים. יכומתו קצבי עיור ואופי המרקמים העתידיים של שטחים עירוניים, וינתחו השפעותיהם על פוטנציאל קציר הנגר העירוני. יבחנו צעדים רגישים למים, כגון קציר נגר, שימוש חוזר במים אפורים, שיקום אקוויפרים מקומיים וגגות ירוקים, תבוצע הערכה לגבי הטמעתם הפוטנציאלית בהינתן הקונטקסט הישראלי, ותוערך תרומתם הכוללת לערים רגישות למים. ייחקרו היבטים של קבלה על ידי הציבור והסמיים/תמריצים מוסדיים של מקורות מים עירוניים חלופיים, בהקשר של ערים רגישות למים, על בסיס הניסיון המדווח בספרות, ויותו הדרכים לעידוד הקבלה על ידי הציבור והתגברות על מכשולים. עלויות ישירות ועקיפות (חיצוניות) והתועלות של ערים רגישות מים יכומתו בדרך הוליסטית-כוללנית, המכסה היבטים חברתיים, כלכליים וטכניים. בשלב האחרון של המחקר הזה, ישולבו הממצאים הספציפיים ויפתח חזון כמותי עבור ערים רגישות למים בישראל. לבסוף, החזון ייבחן במסגרת חקירת מקרים של ערי פיילוט.

תת-פרויקט p1.2: אפיון מי הנגר בערי ישראליות

נגר עירוני הוא מקור משמעותי לזיהום בשטחים עירוניים, אף על פי שעדיין אין הכרה מלאה בכך בישראל. הסיבה לכך היא שעדיין אין בנמצא הבנה מספקת בנוגע לאיכות וכמות מי הנגר העירוניים ה"משוחררים" מערים ישראליות. כדי לאמוד את מאפייני מי הנגר הקשורים בשימושי קרקע שונים, טווחי גודל חלקיקים, ועוצמת ומשך אירוע הגשם, חשוב שתהיה הבנה ברורה לגבי התהליכים הפיזיקליים והכימיים הקשורים הצטברות זיהום במהלך עונת הקיץ הארוכה והן בין אירועי גשם עוקבים, והסעתם על ידי מי הנגר. מטרתו העיקרית של תת-פרויקט זה היא לאמוד את רמות הזיהום במי הנגר ולאפיין את השפעתם של מגוון שימושי קרקע (עירוניים) שונים על כמות ואיכות הנגר בהקשר הישראלי. לשם השגת מטרה זו זוהו המטרות הספציפיות הבאות: (1) לאפיין את הכמות והאיכות של מי נגר המשוחררים מאזור עירוני בגודל בינוני של העיר כפר סבא, על ידי ניטור מי הנגר משלושה תתי-אגני ניקוז בעלי שימושי קרקע שונים, כמו גם ניטור הנגר המשתחרר משני אגני ניקוז עירוניים קטנים (שימוש קרקע יחיד), הממוקמים בבת ים וברמלה; (2) לחקור את השפעתם המשולבת של שימושי קרקע שונים על איכות וכמות הנגר במוצא אגן הניקוז.

פרויקט 2: תכנון ותכן עירוניים רגישים למים

פרויקט זה יספק פתרונות תכן עירוניים אינטגרטיביים עבור חידושים בתחום ערים רגישות מים. תת-מחקר זה יתמקד בהעמדת תשתית מים עירונית המספקת - (א) תכן עירוני פונקציונלי, (ב) בריאות אקולוגית של נחלים עירוניים וחופים, ו-(ג) צמצום השפעות "אי החום" העירוני. על מנת למלא משימה זו, זוהו המטרות הבאות:

- הגדרת סקאלות וסוגי (typologies) מבנה ומבנים (אשכול של מספר בניינים) אופטימליים עבור ניהול מחזור מים עירוני אינטגרטיבי, לצורך הבטחת איכות חיים גבוהה במרחב העירוני (liveability).
- פיתוח גישות תכנון ותכן שבהן נלקחים המים בחשבון הן כמשאב והן כגורם המגביר את איכות החיים (public amenity), המוסיפים לפונקציונליות האקולוגית ותומכים בסביבה הציבורית.
- קידום הנוחות התרמית במרחב העירוני, באמצעות יצירת מיקרו-אקלים משופר.
- יצירת קשר הדוק בין הנדסת מים לתכנון עירוני, על ידי שילוב בין תשתיות לבין המרחב הציבורי.
- שילוב אסטרטגיות תכנון עירוני רגיש מים (WSUD), על מנת לשפר את הנוחות החברתית במרחבים ציבוריים (חקלאות עירונית, נופים חינוכיים, גינות קהילתיים, וכו').
- ניסוח שפת תכן עבור תכנון עירוני רגיש מים.

תת-פרויקט p2.1: חקר פתרונות תכן עירוניים עבור חידושים בתכנון עירוני רגיש מים

כדי להניב תועלות סביבתיות משמעותיות ממי נגר עירוני בישראל, יש למצוא פתרונות היכולים להתאים את תשתיות השטחים העירוניים הקיימים. כאשר מתוכננות שכונות חדשות, ניתן לתכנן היררכיה של מסלולי זרימה, על מנת לקשור אגני ניקוז בסקאלות פיזיות שונות אל שטחי איסוף שבהם ניתן לאגור את המים (כמי תהום על ידי מילוי חוזר של אקוויפרים או לחילופין בדרך של אגירה מעל פני הקרקע). בשטחים בנויים קיימים, ייתכן שמסלולים כאלה לא יהיו ניתנים לזיהוי פשוט, וייתכן שלסקאלות מסוימות לא יהיו שטחי איסוף מתאימים בגודלם. פרויקט זה יבקש לקדם תכנון

רגיש למים, על ידי פיתוח והדגמת מתודולוגיה אשר תתייחס לשתי שאלות: א) כיצד ניתן לזהות ולמפות רשת משולבת ומקיפה של נתיבי מים, שטחי איסוף ואגירה, ובשטחים עירוניים קיימים, תוך שילובן של מערכות חדשניות לאיסוף וטיפול בנגר עירוני (לדוגמה, ביו-פילטרים, מערכות מודולריות) ומילוי חוזר של האקוויפר הצמוד? ב) מה הן התבניות האפקטיביות ביותר להטמעת אלמנטים של תכן עירוני רגיש מים (WSUD) בשטחים קיימים, במונחים של שיפור הנוחות התרמית של הולכי הרגל והפחתת דרישות האנרגיה של מבנים? שאלות אלה תיחקרנה בהקשר של פיתוח עירוני צפוף, המאפיין ערים ישראליות, בהן קרקע חשופה היא מחזה נדיר יחסית ומרחבים ירוקים פתוחים הם משאב מוגבל. ייעשה שימוש במערכת מידע גיאוגרפית (ממ"ג, GIS), בכדי לנתח סוגי מרקמים עירוניים טיפוסיים, בשילוב תשתית קיימת והידרולוגיה תת-קרקעית, וזאת כדי להדגים כיצד ניתן ליישם איסוף מי נגר במיקום עירוני נבחר בעיר השוכנת על פני מישור החוף. השפעתן של תבניות צמחייה שונות, הקשורות בקציר מי גשם ובאלמנטים של טיפול, על המיקרו-אקלים, המתאימות עבור טיפולוגיות עירוניות מייצגות, תילמד באמצעות מודל ממוחשב. בתוצאות סימולציה זו, ניתן יהיה להשתמש בכדי לחולל נתונים מפורטים לצורך הדמיה ממוחשבת של הנוחות התרמית של הולכי רגל וביצועים אנרגטיים של בניינים.

פרויקט 3: טכנולוגיות רגישות למים

מטרת הפרויקט היא לפתח טכנולוגיות מים רב-פונקציונליות חדשניות, שאותן ניתן להקים בתחומי המרחב העירוני ואלה כוללות:

- טכנולוגיה יחידה שתוכל לטפל המגוון מקורות מים (לדוגמה, מי נגר עירוני, מי תהום ומי שפכים מטופלים) בתחומי השטחים העירוניים. לדוגמה, תפוחתנה מערכות ביו-פילטרים לצורך טיפול במי-נגר עירוני, במהלך העונה הרטובה, ובמי-תהום/מי-שפכים מטופלים במהלך העונה היבשה.
- הטכנולוגיות תאמצנה את עיקרון טיפול-תואם-מטרה; לדוגמה, לטפל במים עד לרמה המתאימה לצורך השקיית גנים, מילוי חוזר של אקוויפרים, הדחת אסלות, וכו'.
- הטכנולוגיות תפוחתנה לצורך ייפוי ושיפור של נופים עירוניים, הגדלת המגוון הביולוגי בעיר, שיפור המיקרו-אקלים, והגנה על מקורות המים (מי-תהום, נחלים וחופים).
- יפותחו פתרונות עבור סקאלות עירוניות שונות, החל ברזולוציה של משקי בית, מבנון, שכונה, וכלה ברמת העיר.
- יפותחו פתרונות טכניים, לצורך אינטגרציה של הטכנולוגיות החדשות לתוך תשתיות עירוניות קיימות ועתידיות.
- יושם דגש רב על פיתוח נהלים ופרוטוקולים לניהול, תפעול ותחזוקה עבור טכנולוגיות אלה.

תת-פרויקט 3.1: ביופילטרים רב שימושיים עבור טיפול משולב במי נגר ובמי-תהום:

ביופילטרים עירוניים לקציר מי-נגר, כמו אלה שפותחו באוסטרליה, הוטמעו בהצלחה בכפר סבא. במהלך הפרויקט הנ"ל התגבשה ההבנה כי ההקשרים הישראליים, כגון האקלים המקומי, מאפייני אגני הניקוז העירוניים (לדוגמה, שימושי קרקע ומצב מערכות הניקוז העירוניות), כמו גם תווח הקרקע והצמחים המקומיים, דורשים תשומת לב מיוחדת, אם ברצוננו לפתח טכנולוגיות יעילות עבור התנאים המקומיים. הבדל משמעותי מהמצב באוסטרליה קשור בתקופה החמה והיבשה הממושכת בישראל, שאורכה כ-7-8 חודשים מדי שנה, הדורשת השקיה של הביופילטרים. בה בעת, אזורים רדודים רבים של אקוויפר החוף מזוהמים ברמות גדולות של חנקות. לפיכך, תפוחת גרסה מותאמת של ביופילטר, לצורך קציר מי נגר עירוני במהלך חודשי הסתיו/חורף הרטובים וטיפול במי-תהום המזוהמים בחנקות, במהלך חודשי הקיץ. פיתוח מערכות מותאמות אלה יאפשר להתגבר על שתי בעיות ספציפיות לישראל; שמירה על חיות מערכות הטיפול במהלך הקיץ שיקום האקוויפר. השאלה המחקרית העיקרית היא כיצד להאיץ את תהליך הרחקת החנקות (דה-ניטריפיקציה) בתוך המערכות, על ידי בחירה בצמחים מתאימים ואופטימיזציה של אזורי ההרחקה של החנקות (האזור הרווי במים). אנו מציעים לגבש ולהפעיל סדרת ניסויים בקנה מידה מעבדתי, שבהן ייבחרו פיתוח תורם-אלקטרוניס מהיר וריאקטיבי, אשר ישולב ביעילות בתחום אזור ההרחקה של החנקות. לאחר מכן, נייעל את המערכות, באמצעות בחירת צמחים ותכן אזורי ההרחקה. כמו כן, נפתח משטרים תפעוליים מיטביים לצורך הטמעה מבוססת של מערכת הכלאיים החדשנית. בסוף הפרויקט ינוסחו הנחיות מובנות לתכנון, הפעלה ותחזוקה של טכנולוגיית הכלאיים.

פרויקט 4: ערוצי הטמעה

מטרתו של פרויקט זה היא לקדם את הטמעתם של חידושים סוציו-טכנולוגיים אשר יובילו לפיתוחן של ערים רגישות למים בישראל. המטרות העיקריות של פרויקט זה הן:

- קידום ההטמעה המעשית של הרעיונות, הטכנולוגיות ורעיונות תכנון העירוני הנגזרים מתכנית המחקר.
 - זיהוי חסמים מוסדיים וחסימי שוק העומדים בפני אימוצם של פתרונות עירוניים חלופיים לניהול מים, ולפתח מסלולים לצורך התגברות על חסמים מוסדיים אלה.
 - טיפוח מדיניות מבוססת-ראיות, לצורך ניהול מים בר-קיימא.
 - פיתוח מודל חדש להערכה כלכלית, לצורך הערכת אסטרטגיות מים עירוניות
 - פיתוח קווים מנחים וכלי תוכנה לטובת תכן ותכנון
- שלוש פעילויות עיקריות של הפרויקט הזה תיכללנה בשלב 1 בכדי להאיץ את ההטמעה, כפי שמוסבר להלן.

תת-פרויקט 1.4.p: הבנת התכן העירוני הרגיש למים, בהקשר הישראלי

יישום של ניהול נגר עירוני הוא אלמנט חשוב של ערים רגישות מים. פרויקט זה בוחן בדרך של חקר מקרה-בוהן את הטמעתן בשטח של גישות לניהול נגר עירוני בישראל, הן מן ההיבט הפיזי בשדה והן מן ההיבט של החלת מדיניות. המטרות הן לסקור להעריך על בסיס נתונים מהפרקטיקה בפועל את הטעמתן של גישות נבחרות לניהול נגר עירוני. הערכה זו תוביל להמלצות עבור גישות הניהול הטובות ביותר: Best Management Practices (BMPs), התפורות לפי מידה עבור מגוון סקאלות התכנון (דהיינו, ברמת הבית הבודד, המבנה, השכונה, העיר, והמטרופולין) ולפי אזורים גיאוגרפיים ספציפיים בארץ.

מחקר זה כולל את השלבים הבאים: א) בחירת מקרי-בוהן בהתאם לקריטריונים נבחרים; ב) פיתוח מתודולוגיות לצורך הערכתם של מקרי הבוחן ויישומן של מתודולוגיות אלה; ג) הצגתן והפצתן של ההמלצות שמטרתן לשפר את הגישות לניהול מי נגר עירוני הנהוגות בישראל. ברגע שמקרי הבוחן ייבחרו בהתאם לסקאלה, מטרות (פונקציות), הצלחה נתפסת, ייצוגיות גיאוגרפית וזמינות נתונים, החוקרים יגבשו שיטות הדירות (replicable), לצורך הערכת מדיניות והערכת הביצועים של מקרי הבוחן. בהערכה ייעשה שימוש באינדיקטורים הנגזרים מן הספרות הרלוונטית, מן הניסיון הניהולי, וממאפיינים וחשובים התפורים-לפי-מידה עבור מקרה הבוחן.

נתחיל על ידי בחינה וניתוח של התכנון המרחבי של מקרי הבוחן בקונטקסט הרחב יותר של התכנון העירוני. בהמשך, נבחן וננתח את תהליך ההטמעה של הפרקטיקות הנבחרות בתוך הקונטקסט התכנוני של ישראל (לדוגמה, ועדות תכנון ומוסדות קשורים). לאחר מכן, המחקר יעריך את השגת המטרות במגוון מקרי הבוחן: מטרות הקשורות במים, פונקציונליות אקולוגית, יעילות חברתית (במונחים של תועלות לציבור) וכלכלית.

התוצאות של תת-פרויקט זה תהיינה: א) המלצות עבור שיפורן של מדיניות שביכולתן להוביל לאימוץ רחב יותר של BMPs (גישות ניהול הטובות ביותר) בנושא קציר נגר עירוני, המשיגות את מטרותיהן, כולל מכשולים וגורמים תומכים; ב) המלצות עבור BMPs בעניין קציר נגר עירוני, במגוון סקאלות תכנוניות, המתאימות להקשר הישראלי, ובכלל זה תכנון מרחבי משופר של פרקטיקות כאלה בתוך המרקם העירוני.

תת-פרויקט 2.4.p: הדגמת יכולת איסוף מי-גשמים בישראל

מערכת הביופילטר של כפר סבא הינה מערכת קצה-צינור צמחית, הממוקמת בתוך אזור פיתוח עירוני חדש. על מנת שרעיון קציר הנגר העירוני יאומץ בקנה מידה נרחב, נצטרך הדגמה נוספת של הטכנולוגיות המתאימות בתנאים ויישומים השונים בישראל. מטרתו של תת-פרויקט זה היא להדגים את יכולת סינון מי נגר עירוני וטכנולוגיות הביופילטרציה, לצורך קציר נגר עירוני במקור (בחלקים העליונים של אגני הניקוז העירוניים), והן להציג את הגמישות של טכנולוגית הביופילטרציה, לצורך הטמעתה בשטחים עירוניים קיימים. מלבד טכנולוגיית הביופילטרציה, הפרויקט יבחן מערכות סינון לא-צמחיות (אשר פותחו לאחרונה באוסטרליה), המסוגלות לטפל בספיקות גדולות יותר של מי נגר, בסביבות העירוניות הצפופות, הכפופות לאילוצים מרחביים של מרחבים פתוחים. שני האתרים נבחרו, אחד מהם ממוקם בבת ים והשני ברמלה, שבהם תותקן מערכת ביופילטרציה אחת לצד מערכת מודולארית (ללא צמחיה) אחת תותאמנה לתוך המרחב העירוני הקיים. המערכות תזונה גרביטציונית ישירות ממשטחים סלולים צמודים (רחוב וכביש טיפוסיים), והמים המטופלים ישוחררו ישירות אל אקוויפר מקומי (פריאטי). המערכות ינוטרו לאורך עונת גשמים אחת, בה ייבחנו ביצועיהן בהשגת איכות המים הדרושה לצורך השקיה בלתי-מוגבלת ומילוי מחדש של אקוויפר. עלך מנת לחקור את הפוטנציאל של המערכות להפיק מים באיכות מי שתייה, איכות מי הנגר המטופלים תשווה לתקנות איכות מי השתייה בארץ.

צוות התכנית

צוות המחקר מורכב מחוקרים מאוניברסיטאות ישראליות ואוסטרליות מובילות:

- הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל, חיפה - Tech.
- אוניברסיטת בן גוריון בנגב, באר שבע - BGU.
- האוניברסיטה העברית, ירושלים - HU.
- אוניברסיטת מונאש, מלבורן - MU.

סטודנט	צוות מחקר אקדמי*	פרויקטי משנה של שלב 1	
RF/MSc	פרופסור-חבר פרידלר (Tech)	חזון ערים רגישות מים (WSC) בישראל	P1.1
PhD MSc	פרופסור וולך (HU) ומר זינגר (MU), פרופסור-חבר פרידלר (Tech), ד"ר מקרתי (MU), פרופסור דלטיק (MU)	אפיון מי נגר עירוני בערים ישראליות	P1.2
RF 50% MSc 2	פרופסור אראל (BGU) ופרופסור-חבר מוזס (Tech), פרופסור טאפר (MU), פרופסור-חבר ברין (MU), מר אלן (MU), פרופסור וונג (MU)	חקר פתרונות תכנון עירוני עבור טכנולוגיות חדשניות רגישות מים	P2.1
PhD MSc	פרופסור ברנר (BGU) ופרופסור וולך (HU), פרופסור-חבר פרידלר (Tech), מר זינגר (MU), פרופסור דלטיק (MU), ד"ר האט (MU), ד"ר מקרתי (MU)	ביופילטרים היברידיים לטיפול משולב במי-נגר עירוני ובמי-תהום מזוהמים	P3.1
MSc 2	פרופסור חבר מוזס (Tech), פרופסור-חבר א. פרידלר (Tech), ד"ר מ. דובסון (MU), מר אלן (MU)	הבנת התכנון העירוני הרגיש למים בהקשר הישראלי	P4.1
RF 2 MSc 2	מר זינגר ופרופסור א. דלטיק (MU), פרופסור ברנר (BGU), ד"ר מקרתי (MU), פרופסור-חבר ברין (MU)	הדגמת יכולת קציר נגר עירוני בישראל	P4.2

* ראשי פרויקטי המשנה מסומנים בגופנים מודגשים

הפצת התוצאות

אחת המטרות העיקריות של התכנית המוצעת היא להדגים את גישת הערים הרגישות למים בישראל, ולהגביר את המודעות לקציר נגר עירוני מבוזר, כאמצעי לעמוד בציפיות חקיקתיות וקהילתיות, ביחס לשיפור איכות החיים בערים ישראליות.

אסטרטגיות התקשורת הפנימיות תתמקדנה בהעברת מידע רלוונטי ובצורה תקופתית לשותפים ולנציגי בעלי העניין. הדרכים העיקריות לכך תכלולנה חומרים אשר יוצגו ישירות למשתתפים מטעם גורמי תעשייה וממשל, כמו גם עלון מידע (ניוזלטר) אשר יישלח דרך קבע בדוא"ל לקהילה הרחבה יותר.

ממש בתחילתה של התכנית, תפותח תכנית תקשורת. אסטרטגיית התקשורת החיצונית תתמקד בהמישה אלמנטי מפתח המיועדים לתמוך במודעות, בהבנה ובקבלה, המהווים כולם תנאי מוקדם לאימוץ: (א) מאמרים טכניים ומאמרים המבוססים על סוגיות מסוימות, אשר יפורסמו באמצעי תקשורת המתמקדים בתעשייה, (ב) דיוור ישיר ממוקד, (ג) אתר אינטרנט אשר יספק גישה לדו"חות רקע טכניים, מאמרי כנסים וחומרי קידום כלליים, (ד) סמינרים, תכניות הכשרה וסדנאות טכניות, והן (ה) ביקורים באתרים בהם מופעלים מתקני החלוץ וההדגמה וימי שדה.

יצירת ערך ציבורי ופרטי, באמצעות יישומו של ידע מדעי לפתרון סדרה של בעיות סביבתיות הקשורות בפיתוח עירוני ובשולי דרכים. אחת מדרכי ההפצה העיקריות תמומש דרך פרויקט 4.2, דהיינו, אתרי הדגמה שיוקמו בערים גדולות בישראל.