

כנס האגודה הישראלית למשאבי מים (אי"ל) 2026

חוברת התקצירים

הרצאות

התפתחות מערכות הביוב המנוהלות בבטחה (safely managed) ביישובי המגזר הערבי בישראל ליאור אגאי

רשות המים

האוניברסיטה העברית

הגידול באוכלוסייה והתמורות הכלכליות מובילים לעלייה בצריכת המים הביתית ולגידול מקביל בכמות השפכים, מה שהופך את הגישה למערכות סניטציה וביוב לאחד האתגרים העולמיים הדחופים ביותר. ביעדי הפיתוח בר-הקיימא של האו"ם (SDG), ובפרט ביעד השישי העוסק במים וסניטציה, המונח המרכזי הוא "ניהול בטוח" (safely managed). משמעות המונח אינה רק חיבור הבית לצנרת ביוב, אלא הבטחה שהשפכים עוברים טיפול הולם ואינם פוגעים בסביבה. בישראל, מדינה הסובלת ממחסור כרוני במים, לניהול הבטוח יש ערך אסטרטגי: השפכים המטופלים (קולחים) הופכים למשאב חיוני להשקיה חקלאית, ובכך משחררים מים שפירים לשימוש ביתי. לכן לא בכדי הפכה ישראל למובילה עולמית בטיפול והשבת קולחים (כ-80% בשנת 2020). עם זאת, מערכות הביוב ביישובי המגזר הערבי בישראל פיגרו היסטורית אחר אלו שבמגזר היהודי כך שבשנות ה-70 רק כ-20% מהיישובים במגזר הערבי היו מחוברים למערכת איסוף ביוב מרכזית. עבודה זו בוחנת את התפתחותן של מערכות הביוב המנוהלות בבטחה ביישובי המגזר הערבי בישראל ומדגישה כי ניהול בטוח של שפכים אינו רק סוגיה תברואתית מקומית, אלא אינטרס אסטרטגי לאומי במדינה הסובלת ממחסור במים, שכן הוא מאפשר השבת קולחים לחקלאות ושמירה על מקורות המים הטבעיים. ניתוח המדיניות לאורך השנים מראה כי המהפך החל להתרחש בעקבות שינויי פרדיגמה ממשלתיים, במיוחד בתקופת ממשלת רבין-פרס בשנות ה-90, אז הוחלט על מדיניות של העדפה מתקנת. תהליך זה המשיך להתעצם עם הקמת תאגידי המים והביוב בתחילת שנות ה-2000 והידוק הרגולציה מצד רשות המים. המחקר מראה כי ההתקדמות הושפעה משילוב של משתנים חיצוניים, כמו תקצוב ממשלתי ורפורמות מבניות, לצד משתנים פנימיים בתוך היישובים, הכוללים התמודדות עם אתגרים פיזיים ייחודיים כמו טופוגרפיה הררית וקשיים בהנחת תשתיות בשטחים פרטיים המאפיינים את הבנייה המסורתית. באמצעות בחינה של שישה מקרי בוחן (אום אל פאחם, כפר קרע, שפרעם, טירה, כפר קאסם וסח'נין) וראיונות עם מומחים. מסקנתנו מעבודה זו היא כי המהפך בתשתיות הביוב במגזר הערבי הוא סיפור הצלחה של "משילות ציבורית חדשה". המעבר מניהול פוליטי-מקומי לניהול מקצועי-תאגידי, בליווי רגולציה מדינתית חזקה, הצליח להביא את היישובים הערביים לרמת תשתית הקרובה לזו במגזר היהודי.

איך בונים מטרו מתחת למי התהום? התמודדות עם מי התהום בפרויקט התשתית הגדול במדינה צפריר אדר, נעם בר נוי

מ"בע הנדסה אקולוג

בעקבות הגידול המתמיד באוכלוסייה ובכמות הרכבים במדינה בכלל ובגוש דן בפרט, עלה הצורך בפתרון הסעת המונים אשר ישרת את כל גוש דן ומרכז מדינת ישראל. בהתאם לכך מקודמים בעשורים האחרונים מספר רב של פרוייקטי תשתית שמטרתם שיפור התחבורה הציבורית ומתן תחליף יעיל להסעת המונים בגוש דן, בהם קווי הרכבת הקלה וקווי המטרו. בניגוד לרכבת הקלה אשר מיועדת ברובה לנסיעה איטית בפני השטח, המטרו היינו מערכת קווי רכבת תחתית אשר אינם מושפעים מתנאי הדרך בפני השטח ומיועדים לנסיעה מהירה בין תחנות בכל גוש דן. נכון להיום מתוכננים 3 קווי מטרו (M1, M2 ו-M3) באורך 150 ק"מ ו-109 תחנות אשר מיועדים להתחבר לרשת התחבורה אשר כוללת מסופי אוטובוסים, רכבת קלה ורכבת כבדה. היות שמפלסי מי התהום במישור החוף קרובים לפני השטח ותוואי המטרו קבור עשרות מטרים מתחת לפני השטח, ישנו צורך בהשפלת מי התהום ע"מ לייצר תנאי עבודה יבשים בעת בניית תחנות המטרו. הפריסה הרחבה של קווי המטרו עד לשוליים המזרחיים של אקוויפר החוף יוצרת אתגר בהתמודדות ומידול מי התהום בתוואי המטרו בטווח הקצר – בעת בניית המטרו, ובטווח הארוך – בעת תפעול מערכת המטרו. על מנת להתמודד עם האתגרים הללו, נעשתה חקירת קרקע מקיפה בתוואי הקווים ונקבעו מפלסי תכן לטובת תכנון הקווים: מפלס לתקופת הביצוע ומפלס לתקופת השירות. בנוסף, מבחנים הדירוגיאולוגיים מבוצעים בתחנות ע"מ לדייק את תכנון ההשפלה ולהעריך את המוליכות ההידראולית המקומית. כדי להמחיש את האתגרים שעומדים בפני צוותי התכנון, הפתרונות האפשריים והמשמעויות שנגזרות מהם, נציג מקרה בוחן של תחנה בעלת חתך ליתולוגי מורכב ומאפיינים גיאומטריים מאתגרים.

High-Resolution Measurement of CO₂ and CH₄ Fluxes in Reclaimed Wastewater-Fed Mediterranean Reservoirs

¹Isaac Yagle, ²Moshe Harel, ²Gad Weiss, ²Alon Goldman, ¹Elad Levintal

¹ Zuckerberg Institute for Water Research, The Jacob Blaustein Institutes for Desert Research, Ben-Gurion University of the Negev

²BlueGreen Water Research Center, BlueGreen Water Technologies Ltd

Inland aquatic systems contribute ~40-50% of global carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) emissions, with reservoirs accounting for more than 5% – a contribution projected to rise with warming and reservoir expansion. Yet, reservoir CO₂ and CH₄ emissions remain highly uncertain, as flux estimates are sparse and episodic, making scaling across heterogeneous space and time challenging. Reservoirs differ from marine systems due to substantial terrestrial and anthropogenic nutrient inputs that stimulate algal production, particularly in warm conditions. Enhanced algal biomass supplies labile organic matter that fuels microbial respiration and methanogenesis, thereby driving both CO₂ and CH₄ emissions. Despite these important interactions, high-resolution observations linking nutrient inflows, thermal structure, and reservoir carbon gas dynamics remain limited. To address this, we are conducting continuous biweekly measurements of CO₂ and CH₄ fluxes in two agricultural reservoirs supplied with reclaimed wastewater in a Mediterranean climate. The flux measurements are conducted using standard flux chambers combined with new tools developed in our lab. These measurements are integrated with remote sensing, water-column profiling, water and sediment chemistry analyses to characterize stratification patterns, redox gradients, nutrient availability, and temporal shifts in algal dynamics. Preliminary results reveal pronounced diurnal and seasonal variability in CO₂ and CH₄ emissions. CH₄ fluxes increase from early morning to early afternoon (07:00-13:00), indicating strong daytime enhancement. Emissions decrease with declining water temperatures across a seasonal range of ~15-29 °C, coinciding with the attenuation of algal biomass blooms. These results demonstrate tightly coupled thermal, biological, and biogeochemical controls on CO₂ and CH₄ emissions in nutrient-enriched reservoirs, highlighting the importance of resolving diurnal and seasonal processes to improve reservoir-scale emission estimates.

סכרים באזורים מדבריים – פתרון פשוט לבעיה מסובכת או סכנה מיידית לתושבים במורד הזרם?

¹משה ארמון, ¹פלגיה בליאקוב, ²אלעד דנטה, ³יובל שמילוביץ

¹המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית בירושלים

²בית הספר למדעי הסביבה, אוניברסיטת חיפה

³המכון השיתופי למחקר מדעי הסביבה, אוניברסיטת קולורדו

סכרים הם פתרון מקומי ופשוט להתמודדות עם סכנות כתוצאה משטפונות באזורים מדבריים. מאידך, פוטנציאל ההרס כתוצאה מקריסת סכר גדול משמעותית מזה של השטפון הטבעי. באזורים מדבריים, היעילות של סכרים בהפחתת סכנת השטפונות מוטלת בספק מאחר שהשונות העיתית והמרחבית של הגשם והשטפונות הנלווים אליו מקשים את הערכת נפחי המים בשטפונות. בספטמבר 2023 הסופה "דניאל" הכתה באזור העיר דרנה שבצפון לוב והובילה לשיטפון אדיר שהוגדר כאסון ההידרו-מטאורולוגי הגדול ביותר במאה ה-21. במחקר קודם הראינו שהאסון התרחש בגלל שהסכרים בואדי לא תוכננו להתמודד עם כמויות הגשם שירדו במהלך הסופה, בגלל תת-הערכה של זמני החזרה של סופות כאלה. במחקר זה אנחנו משתמשים בסדרת נתוני גשם לווייניים מ-25 השנים האחרונות בשילוב ניתוח סטטיסטי מתקדם כדי לכמת את הסיכון לקריסת סכרים באזורים היבשים של יבשת אפריקה. סדרות הגשם הארוכות והמידע המרחבי מאפשרים להשוות בין זמני חזרה גבוהים של גשם לבין נפחי המים שאצורים בסכרים. תוצאות המחקר מראות שנפח המאגרים בשני שלישי מהסכרים שווה לנפח הגשם הצפוי לרדת באירועים עם תקופת חזרה של אחת לעשר שנים או פחות. לשם הדגמה, נפח המים שהיה אצור בסכר שקרס באסון בלוב צפוי לרדת כגשם בסופות עם תקופת חזרה של כשנתיים. המחקר מראה שסכרים רבים באפריקה מצויים בסיכון גבוה למילוי ולכן אולי גם להתמוטטות בעתיד הנראה לעין.

ניהול מושכל של יסודות ההזנה בקולחים – מה החקלאים מקבלים בברז ההשקיה?

^{1,2}אור באסא, ^{1,2}עזר אלבאז, ¹אנה בריוזקין, ¹אלון סלע, ³דוד ויינברג, ⁴מאיה שניט-אורלנד, ¹מיכאל בוריסובר, ¹דוד ילין

¹מנהל המחקר החקלאי (מכון וולקני)

²האוניברסיטה העברית

³משרד הבריאות

⁴משרד החקלאות

החנקן והזרחן המצויים בקולחים יכולים להיות משאב משמעותי לחקלאים המשתמשים במים אלה להשקיה. אך ניהול משאב זה דורש מידע על רמות חומרי ההזנה אלה וצורתם הכימית. בעבודה זו חתרנו לאפיין את רמות חומרי ההזנה בקולחים במוצא המט"ש ובכניסה לשטחים חקלאיים ואת הפילוג בין צורות אורגניות למינרליות. לצורך כך נותחו נתוני משרד הבריאות עבור זרמי היצאה ממט"שים המייצרים יותר מ-250 אלף מ"ק לשנה לאורך השנים 2021-2024. בנוסף בוצעו דגימות המייצגות מי השקיה מאתרי קצה כמו יצאה ממאגרים או בברז ההשקיה של חקלאים ב-4 מועדים שונים בסתיו 2025. בנתוני היצאה מהמט"שים נמצא כי ריכוז יסודות ההזנה תלוי בעיקר באינטנסיביות הטיפול. יחד עם זאת בלטה השונות בין ערכי היצאה של מט"שים שונים באותה רמת טיפול ואף ביצאה מכל מט"ש בפני עצמו. ריכוז החנקן הכללי הממוצע ביצאה ממט"שים שלישוניים היה 22.0 ± 15.6 מג"ל. רמת חנקן ממוצעת זו יכולה לספק חלק ניכר (כ-60-80%) מצריכת מטעים ברמות ההשקיה המקובלות. אך, כפי שניכר מהשונות הגדולה רמת הוודאות של המגדל נמוכה. האמון והחנקה היוו כ-60% מהחנקן הכללי באתרים אלה, מה שמעיד על כמות לא מבטלת של חנקן בצורות אורגניות הזמינות פחות לצמח. במדידות מי ההשקיה נמצאה שונות גדולה גם באתרים שקיבלו את הקולחים ממט"ש יחיד. לגבי החנקן מצאנו עד כה עלייה בערך הממוצע של הצורות האורגניות ביחס לנתוני היצאה מהמט"ש מה שיכול להעיד על תהליכי אימוביליזציה במאגר. גם לגבי הזרחן נמצא כי כמעט מחצית ממנו מצוי בצורות אורגניות הזמינות פחות לגידול. השונות הרבה שנמצאה ברמות יסודות ההזנה בקולחים והימצאותם גם בצורות אורגניות בעלות זמינות משתנה מובילה לחוסר וודאות גדול של המגדלים. ממצאים אלה מעידים על כך שניהול מושכל של חומרי ההזנה על ידי החקלאים ידרוש פתרון למדידות בברז ההשקיה. פיתוח פתרון כזה יכול להוביל את חומרי ההזנה מלהוות מטרד למשאב.

**בניית מודל אזורי לקביעת ספיקת שיא בהסתברויות שונות
1 אלעזר במברגר, 2 אור לץ, 3 אייל זיגל**

¹הידרומודול בע"מ

²גיאוטבע

³רשות המים - השירות ההידרולוגי

חישוב מדויק של ספיקות תכן בהסתברויות שונות הוא חיוני הן בשלב התכנון והן בשלב הביצוע של פרויקטים. בעוד שקביעת ספיקת שיא בהסתברויות שונות בתחנות הידרומטריות עם סדרות נתונים של 50 שנה לפחות היא האמינה ביותר, במרבית המקרים קיים פער מרחבי בין מיקום הפרויקט לתחנה ההידרומטרית, מה שמחייב שימוש במודלים להתאמות ולקבלת התפלגות ספיקות שיא בהסתברויות השונות בהתאם לגודל אגן ההיקוות. השיטות המקובלות כיום בישראל כוללות את מודל השרות ההידרולוגי (עצמון וגבעתי, 2015), את מודל נתיבי ישראל "פולגט" (במברגר ופולק, 2016), ומודל אנלוגי פשוט. עם זאת, למודלים אלה חסרונות משמעותיים: מודל השרות ההידרולוגי מבוסס על הנחות לינאריות שנכונות בקירוב ראשון אולם לא בטווחים גדולים. מודל נתיבי ישראל הוא מודל אנלוגי המחשב ספיקות על פי חלוקת האגן לאזורי קרקעות נפרדים. בדיקות תוצאות שני המודלים מול נתונים מדודים מצביעות על סטיות משמעותיות. המודל האנלוגי עם פרמטר החזקה המקובל 0.5 נכון לשונות קלה בשטח האגן אולם על פני מרחב שלם הוא נותן ברוב האזורים סטיות משמעותיות. מטרת המחקר הנוכחי היא לשפר את המודל האזורי באמצעות: (א) בחינה ודיוק של הסיווג הגיאוגרפי של אגנים שונים; (ב) יצירת מתאם משופר בין שטח אגן וספיקת שיא כפונקציה מעריכית המשקפת את השתנות ספיקות השיא כתלות בגודל האגן. המחקר מציג חלוקה לאזורים מבוסס קרקע וגשם באמצעות כלי GIS וכן מקדמי מתאם מערכיים מתאימים. שיפור מודל ספיקות השיא האזורי בא כמהלך משלים לתוכנית האסטרטגית של רשות המים לשדרוג ועיבוי רשת התחנות ההידרומטריות. מטרת התוכנית היא לייצר פריסת מדידות באגנים מייצגים ולשפר את דיוק המדידות כך שבסיס הנתונים המשופר ישמש בעתיד כקלט למודל המשופר ויצמצם את אי הוודאויות שמייצר המודל.

תובנות מפארק עמק הצבאים בירושלים על ניהול סיכוני מים בעיר באמצעות תשתיות ירוקות-

כחולות

¹ יואב בן דור, ¹ גלית שרעבי, ² רז נוסבאום, ² אפרת מורין, ¹ סברי עליאן, ⁴ אליסף פריימן, ³ אמנדה לינד, ³ ענבל שמש, ³ עמיר בלבן, ³ רמי אוזינסקי, ⁴ אלעד לוינטל

1. המכון הגיאולוגי לישראל

2. האוניברסיטה העברית בירושלים

3. החברה להגנת הטבע

4. אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

התרחבות עירונית מואצת וגידול בצפיפות האוכלוסייה מגבירים את אובדן השטחים הפתוחים, מעלים את תדירות אירועי ההצפה ואת זיהום הנגר העירוני, מחמירים את תופעת אי החום העירוני ופוגעים בחוסן האקולוגי וברוחות האדם. פתרונות מבוססי טבע (NbS) ותשתיות ירוקות מציעים מענה משולב לאתגרים אלו, תוך הפיכת סיכוני מים עירוניים למשאבים תפקודיים. מחקר זה מציג את פארק עמק הצבאים (GVP) בירושלים כתשתית אקו-הידרולוגית המשולבת בלב עיר ים-תיכונית צפופה. הפארק, שהוקם בשנת 2015 בעקבות יוזמה ציבורית, תוכנן כתשתית ירוקה רב-תכליתית לאיסוף, אגירה והולכה של נגר עירוני באמצעות מערכת של בריכות וצמחיה. מערכת זו מעודדת תהליכי שיקוע, סינון וחמצון, מפחיתה עומס מזהמים ותומכת בקיום בית גידול לח טבעי למחצה. בכך מיישם הפארק את העיקרון "ממפגע למשאב", ומספק במקביל יתרונות אקולוגיים, חינוכיים וציבוריים וכן מספק מרחב לפנאי וטיול. בעונת הקיץ היבשה מוזרמים לפארק מי קולחין מושבים לשמירה על בית גידול מימי קבוע, תהליך הכרוך באתגרים ניהוליים הנובעים מעלייה במליחות, בצריכת החמצן, ובנוכחות מזהמים, לצד עלייה בטמפרטורה במהלך העונה היבשה. ניטור הידרומטרי וגאוכימי מצביע על קשר לינארי חזק בין משקעים לנגר, האופייני לאגנים עירוניים עתירי משטחים אטומים, לרבות יצירת נגר גם באירועי גשם בעוצמה נמוכה. עם זאת, מקדם הנגר נמוך מהמקובל בסביבות עירוניות, דבר המשקף את מורכבות מערכות הניקוז. הממצאים מהמדידות הגיאוכימיות מדגישים את תרומת השיקוע והצמחייה להפחתת מזהמים הקשורים לחלקיקים, לרבות מתכות כבדות, ולשיפור איכות המים במורד הזרם. פארק עמק הצבאים מדגים כיצד תכנון רב-תחומי, ניהול אדפטיבי ומעורבות ציבורית מחזקים את תפקודן וחוסן של תשתיות ירוקות עירוניות, ומאפשרים הפחתת סיכוני הצפה, שיפור מיקרו-אקלים בעיר וחיזוק החוסן הסביבתי והחברתי בעיר בתנאים של אקלים ים תיכוני.

אפיון היסטרזה (חשל) להבנת הקשר ספיקה – רחופת בנחלים ים-תיכוניים

מתן בן יונה, אלון רונן, איתי סיגל, רועי אגוזי

התחנה לחקר הסחף, החטיבה לניהול משאבי סביבה, משרד החקלאות וביטחון מזון

המעבדות למחקר רב תחומי של נחלים ואגני היקוות והמעבדה לניטור ומחקר ארוך טווח בתחנה לחקר הסחף מפעילה מזה 5 שנים ניטור רחופת (סחף מרחף) באירועי גאות במספר אגני היקוות בשיתוף פעולה עם רשות המים ומספר רשויות ניקוז ונחלים: קישון, ירדן דרומי, כרמל ושרון. מטרת העבודה היא להציג את רשת התחנות והנתונים ולספק ניתוח ראשוני של תוצאות הניטור שנאספו במהלך השנים 2019-2024 ב 7 תחנות בהן מותקנים: חיישני מפלס ועכירות המודדים באופן רציף בכל 5 דקות, ודוגם מים אוטומטי המתוכנת לשאוב דגימות מים לתוך בקבוקים על פי סף מפלס שנקבע מראש. דגימות המים נשלחות למעבדה לקביעת ריכוז החומר המרחף וחישוב ספיקת הסחף הרגעית (בטון לשנייה) מבוצע על ידי מכפלת ספיקת המים בריכוז הסחף הנמדד. בבסיס הנתונים מתייחס ל 174 אירועי גאות, במהלכם נאספו למעבדה 2785 דוגמאות מים. ריכוז הסחף הממוצע באירועי הגאות הוא 2213 מ"ג לליטר וכמות הסחף הכוללת העוברת בנחל באירוע בודד היא בממוצע של 3600 טון. זו הוכחה לאובדן קרקע משמעותי לרוב מהקרקעות המעובדות ומחייב הגברה של מאמצי שימור הקרקע והמעבר לחקלאות מחדשת שכבר קורים. בנוסף ניסינו להבין את הקשר ספיקה-ריכוז רחופת באמצעות אפיון חשל (היסטרזה) כגורם מסביר הבוחן את הפיגור או ההקדמה של שיא ריכוז הסחף ביחס לשיא הספיקה של ההידרוגרף. תופעה זו חיונית להבנת מקורות הסחף באגן, למשל, האם הסחף מגיע מאפיק הנחל בסמיכות לתחנת המדידה או מהמדרונות המרוחקים. הבנה זו מסייעת להגדיר האם הסעת הרחופת מותנית באנרגיה הזמינה להסעה או בכמות הסחף הזמינה להסעה באגן ההיקוות, ובכך לדייק את ניהול האגן לוויסות הזרימות השיטפוניות או למיתון תהליכי סחיפת הקרקע במדרונות התורמים.

הערכת ביצועי גגות כחולים וירוקים באירוע סופתי

¹אסף בן נריה, ²רועי קציר, ²אורי נחשון

¹עזריאלי- מכללה אקדמית להנדסה ירושלים

²מכון וולקני

בשנים האחרונות, ניהול מי נגר בסביבה העירונית הפך לפרקטיקה נפוצה בישראל. על פי חוק, כל מגרש נדרש באיגום (השהייה) של מי נגר. מצוקת השטחים בפני הקרקע ובתת הקרקע אילצה פתרונות ייחודיים להשהיית נגר. אחד הפתרונות שהפך נפוץ הינו השהייה בגגות המבנים. פתרונות השהייה על הגגות נחלקים לשניים: (1) גגות ירוקים בהם השהיית הנגר היא בקרקע הגנתית, ו-(2) גגות כחולים, בהם השהייה מתקבלת על ידי הוספה של שכבה סופחת על גג המבנה. למרות שהותקנו בגגות רבים, לא קיים מידע מהימן על ביצועי הגגות הירוקים והכחולים באירוע סופתי. המידע על האמצעים השונים מסופק על ידי היצרן וכולל נתונים טכניים, אבל לא נתונים דינמיים. בנוסף, אחת השאלות המרכזיות שדורשת מחקר היא מידת השהיית הנגר של הגגות הכחולים/ירוקים בגל הגשם השני והשלישי, לאחר שהם כבר רוויים במים. מטרת המחקר הייתה להשוות בין התגובה לגשם של גג כחול וירוק לגג ללא אמצעי ניהול נגר. מודלים של גג רגיל וגגות ירוקים/כחולים הותקנו בתוך מיכלי פלסטיק גדולים שמוקמו על גג מבנה קיים. הספיקה הרגעית היוצאת מהגגות השונים נמדדה באירועי גשם אמיתיים ולאורך זמן. בנוסף חושב הנפח הכולל שהתנקז מכל מודל של גג במשך הסופה. תוצאות ראשוניות הראו כי בגגות הכחולים והירוקים ספיקת השיא הגיעה בעיכוב ביחס לגג הביקורת. זמן העיכוב הוא נתון קריטי, שכן עיכוב של ספיקת השיא יכול לתרום לריסון הספיקות במורד, ובכך למתן את עוצמת השיטפונות והסכנה להצפות. בגל הגשם הראשון באירוע הסופתי, הנפח הכולל שהתנקז מגג כחול/ירוק היה נמוך בעשרות אחוזים ביחס לגג ללא אמצעי ניהול נגר. אולם, בגלים המאוחרים יותר, ההפרש בין הנפח שהתנקז מהגג הכחול/ירוק והגג ללא אמצעי ניהול הנגר קטן משמעותית.

מידול נגר עילי באגן היקוות הכנרת

¹אלעד בן צור, ¹חיים גבירצמן, ²גדעון גל, ²ירון בארי-שלוין

¹המכון למדעי כדה"א, האוניברסיטה העברית בירושלים

²המכון לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים לישראל

אגן ההיקוות שמזין את הכנרת הינו בעל חשיבות מכרעת למשק המים הישראלי. בעשורים האחרונים כמות המים הזורמים מהאגן לאגם פחתה באופן משמעותי בעקבות תקופות בצורת וניצול מים מוגבר במעלה האגן. מגמות אלו צפויות לגבור בעקבות שינויי האקלים החזויים והגדילה המתמדת של האוכלוסייה. האגן מאופיין בשונות מרחבית גדולה במאפייני הגאולוגיה, הטופוגרפיה, האקלים ושימושי הקרקע, המכתיבים תכונות הידראוליות שונות לכל אזור. על מנת לשפר את הבנתנו על התהליכים ההידרולוגיים באגן וליצור כלי להערכת ספיקות הנחלים בהינתן אילוצי אקלים ותרחישי ניהול אגן שונים, נעשה שימוש במודל SWAT+, אשר נמצא בשימוש נרחב במידול הידרולוגי של אגנים ברחבי העולם. מחקר זה מתמקד בתהליכי פני קרקע, ומחקר המשך יעסוק במידול מערכת האקוויפרים באגן. המודל מקבל כקלט תכונות מרחביות של הקרקע באגן: גובה, שימושים וסוג. בשל חוסר מדידות משמעותי בחלקים מהאגן, בעיקר באזור החרמון, נעשה שימוש בשלושה סטים של נתוני אקלים אשר נבדלים ביניהם באורך שנות המדידה וברזולוציה המרחבית. שניים מהם מבוססים על תחנות מדידה, ואחד על תוצרי מודל COSMO שהשמ"ט מפעיל. כיול המודל התבצע עבור כל תת-אגן בנפרד (11 תתי-אגנים) ועבור כל סט אקלים, דהיינו 33 תהליכי כיול, על בסיס השוואה בין הנגר העילי המוערך ממדידה לנגר שהתקבל מהמודל. עבור תקופות הכיול והאימות, התאמת הנגר המדוד לעומת המחושב הייתה לפחות מספקת ($0.5 < NSE$) עבור 79% ו-39% מהנחלים, בהתאמה. ההתאמה הייתה טובה בעיקר עבור נהר הירדן ואזור הגולן, ועבור סט אקלים COSMO. מחקר זה מהווה מקרה בוחן למידול אגן הטרוגני ומורכב באמצעות נתוני אקלים שונים. המודל בבסיסו, יחד עם רכיב מי התהום שיתווסף לו, יוכלו לשמש בעתיד ככלי אופרטיבי לניהול מערכת המים באגן.

דינמיקת תהליכים הידרולוגיים בין מים עיליים לתת הקרקע: מידול התווך הבלתי רווי בפשט ההצפה של נחל פולג

עטר בר

העברית האוניברסיטה

אינטראקציות בין מים עיליים לתת הקרקע באזור פשטי הצפה נשלטות במידה רבה על ידי תהליכים המתרחשים בתווך הבלתי רווי, הכוללים וויסות חלחול מפני השטח, אגירה זמנית בתת הקרקע, וקישור הידראולי בין גופי מים עיליים ותת הקרקע. במחקר זה נעשה שימוש במידול מבוסס נתונים לצורך חקר אינטראקציות אלו בתווך הבלתי רווי בפשט ההצפה של נחל פולג (מישור החוף המרכזי), מערכת ים-תיכונית המאופיינת בהצפות עונתיות ובהטרוגניות קרקע גבוהה. פותח מודל דו ממדי ב-HYDRUS, המבוסס על תכונות הידראוליות של הקרקע שנמדדו באתר ועל הטופוגרפיה של פשט ההצפה, תוך החלת תנאי שפה משתנים בזמן המייצגים משקעים והיווצרות הצפה עונתית בפני השטח. תוצאות סימולציות המודל שימשו לניתוח ההתפתחות המרחבית והזמנית של תכולת הרטיבות, עומד המים, ושטפי הזרימה בקרקע תחת תנאי גבול משתנים. הממצאים מצביעים על כך שעם תחילת הגשמים האזור הבלתי רווי פועל כמתווך דינמי בין פני השטח לתת הקרקע, עם חלחול אנכי מהיר בשלבי הצפה ראשוניים, ולאחריהם שלבים ממושכים של פיזור המים במרחב וניקוזם. הסימולציות מדגישות את תפקידן של שכבות קרקע בעלות מרקם שונה בקביעת משך ועוצמת הדינמיקה בין התחום העילי לתת קרקעי. נוכחות שכבות בעלות מרקם עדין בעומק רדוד מובילות להתפתחות מפלס מים שעון, הפועל כגורם מגביל לחלחול אנכי ומעודד אגירה זמנית בתווך הבלתי רווי. לעומת זאת, הימצאות שכבת קרקע חולית בעלת חדירות גבוהה בתחתית הפרופיל מאפשרת שטפים אופקיים מהירים, שכיוונם ועוצמתם תלויים במידה רבה במפלס מי הנחל, המשמש אלמנט הידראולי מרכזי המשפיע על גרדיאנט עומד המים וכיווני הזרימה בין תעלת הנחל לפשט ההצפה. מחקר זה מדגים את תרומתו של מידול מכאניסטי פיזיקלי להבנה כמותית של תהליכים הידרולוגיים בפשטי הצפה הטרוגניים.

בדיקת היתכנות לחידוש השאיבה בקידוחי באר אורה
1 נעם בר-נוי, 2 אריק צוריאלי, 3 דפנה ברנע-רומנו, 4 רן ויזנגרין

¹ אקולוג הנדסה בע"מ

² רשות המים

³ יזמת בלומברג לאזריות

⁴ י.ד.ע. מים וסביבה בע"מ

קידוחי באר אורה, שנקדחו בשנת 1949-1950 רובם לאקוויפר חבורת יהודה, שימשו עם קום המדינה כמקור המים הראשון להתיישבות באילת ולבסיס הגדנ"ע, במיקומה של "ביר הינדיס" המנדטורית. הקידוחים ממוקמים בפיתחה הידרולוגית באר אורה-רחם, כאשר בקידוחים באר אורה 1-3 המערביים ביותר, מפלס מי התהום מצוי בעומק של מטרים ספורים מתחת לפני השטח (ברום של כ-130+ מ'), ואילו בקידוחים 4-7 המזרחיים בעומק של מספר עשרות מטרים (ברום של כ-50-40+ מ'). ההבדל המשמעותי במפלסי הקידוחים על פני מרחק קצר של כ-1 ק"מ (גרדיאנט חריף של 9%-18%), יכול להיות מוסבר ע"י מעבר של העתק (ככל הנראה העתק תמד) בין שתי קבוצות הקידוחים שעשו להוות גם מחסום הידרולוגי לכיוון מזרח ודרום ולאפשר היערכות מי תהום לפני זרימתם מזרחה לערבה. ריכוז הכלורידים הנמוך בקידוחים המערביים (כ-200 מג"ל) מעיד על מקור מילוי חוזר רצנטי לאקוויפר המקומי, ורק ריכוזי סולפט גבוהים (כ-1,200 מג"ל) שמקורם כנראה בהמסת שכבות הגבס שבתצורות חצרה ופצלי אורה, חורגים מתקן מי השתייה ואינם מאפשרים אספקה ישירה לשתייה של מים אלו. אחד המנגנונים המוצעים להסביר הימצאות מי תהום באיכות טובה באזור זה הוא חלחול ישיר לתצורת חצרה מגאוויות בנחל רחם הסמוך ממערב. הנתונים ההיסטוריים מעידים על כך ששאיבה בספיקות גבוהות בקידוח באר אורה 1 הביאה לירידת מפלסים משמעותית עם השנים, ועם התפתחות מערכת אספקת המים באזור, בדגש על מתקני התפלה של מי ים ומי תהום מליחים, ההפקה בקידוח נפסקה בסוף שנות ה-80 של המאה ה-20. מאז ועד היום חלק מהקידוחים משמשים למדידת מפלסים וחלקם נסתמו או נהרסו. באחרונה הוצע על ידי המועצה האזורית בתיאום עם רשות המים לבחון את חידוש ההפקה באזור לצרכי השקיית נוי ביישוב באר אורה ולצרכי תיירות. לצורך כך בוצע מבחן הידרולוגי בקידוח באר אורה 3 במספר דרגות שאיבה (עד 15 מק"ש) כולל מבחן שיוב, ונלקחו דוגמאות מים לאנליזה עדכנית. ניתוח ממצאי המבחן ההידרולוגי מאפשר לבחון את ההנחות הנזכרות ולהעריך את ההיתכנות ההידרוגיאולוגית להפקת מי תהום כלכלית מאקוויפר זה. לסיכום, בניגוד לרוב מאגרי מי התהום בנגב ובערבה ששאיבה מהם מהווה כרייה מהאוגר שאינה מאוזנת עם רכיב המילוי החוזר, נראה שבאזור זה עשויה להתאפשר שאיבה בת קיימא של ספיקות נמוכות באיכות שמתאימה לתמיכה בהתיישבות הסמוכה.

חיזוי הידרומטאורולוגי וגיבוש תחזית לזרימות, שיטפונות והצפות בשירות ההידרולוגי – אתגרי

העונה האחרונה ותובנות מקצועיות

ליעד בר-צבי, דוד גיגוזין, טלי הורוביץ, לאנה ח'ליפה, יעל סטורץ-פרץ

אגף מים עיליים והידרומטאורולוגיה, השירות ההידרולוגי, הרשות הממשלתית למים וביוב

ישראל מהווה מעבדה ייחודית לחיזוי הידרולוגי. המעבר החד ובשטח מצומצם בין האקלים הים-תיכוני בצפון לבין המדברי במזרח ובדרום, לצד שונות טופוגרפית, תכסיתית ודפוסי עיור מגוונים, יוצר אתגר חיזוי מורכב במיוחד. מאפייני גשם דומים יכולים להניב תגובה הידרולוגית שונה בתכלית בין אגן לאגן-מתגובות קלות לגשם ועד לשיטפונות בזק עוצמתיים. באותו האופן-זרימה בעלת מאפיינים דומים יכולה להוביל לסיכון שונה בנחלים שונים או במקטעי נחל שונים. תופעות אלו מדגישות את הצורך בניתוח ולמידה מעמיקה של התנאים ההידרו-מטאורולוגיים המקומיים. בהרצאה תוצג פעילות צוות החיזוי ההידרו-מטאורולוגי באגף מים עיליים בשירות ההידרולוגי, והמתודולוגיה לבניית תחזית ההידרולוגית, המשמשת גשר מקצועי בין נתוני גשם גולמיים לבין תמונת המצב ההידרולוגית בשטח ומשמעותה. עקרונות עבודה מרכזיים (1) מעבר ממידע גולמי לתחזית: מבוססת ידע מומחה שתפקידו מתמקד בסקירת הנתונים העומדים לפניו: תוצרי מודלים (מטאורולוגיים והידרולוגיים), מצב הנחלים והאגנים וניתוח מקצועי המבוסס על ידע וניסיון ברזולוציות זמן ומרחב גבוהות עבור בניית תרחישי שיטפונות והצפות. הניתוח מותאם למורכבות התנאים ההידרו-מטאורולוגיים ולניהול סיכונים. (2) התחזית ככלי אופרטיבי: מתן תחזית הכוללת משמעויות על ידי איסוף ולמידת נקודות סיכון וספי ההצפה מדודים ומחושבים. (3) ניהול אי-ודאות: שילוב תחזיות אנסמבל מאפשרות התייחסות למגוון תרחישים אפשריים ושיקוף גורם אי הודאות בניהול הסיכונים. (4) ניתוח הביצועים: כל תחזית הידרולוגית נבחנת מול ההתממשות בפועל ובאמות מידה מקובלות לצורך למידה ושיפור מתמיד. הניתוח מפורסם בשקיפות בסיום כל עונה. עקרונות העבודה יודגמו בהרצאה במספר אירועי זרימות ושיטפונות מרכזיים מהעונה הנוכחית. לסיום, יוצג אתר אגף מים עיליים, המהווה את התשתית להצגת הנתונים – החזויים והמדודים. נדגים כיצד הנגשת נתוני המדידה מהשטח בזמן אמת משלימים בין התחזית המקדימה למציאות ותורמת לניהול אירועי זרימה ולשיפור תחזיות עתידיות.

הבדלים סינופטיים ואקלימיים באירועי אירוזיה במישור ימין

¹אפרים בריל, ²נועה בלבן, ³יונתן לרון, ¹עדי טורפשיין, ¹אסף הוכמן, ²ניצה חייקין, ³אסף צבר, ⁴ארג

הנקודות

¹אוניברסיטה העברית

²הקריה למחקר גרעיני – נגב

³אוניברסיטת בן גוריון

⁴אוניברסיטת ניוקאסל, ניו סאות' ווילס, אוסטרליה

מישור ימין משתרע על כ-100 קמ"ר מזרחית לעיר דימונה, ומורכב בעיקר מחולות מיוקניים. האזור מאופיין בכמות גשם שנתית ממוצעת נמוכה של כ-80 מ"מ. בשנים האחרונות בוצעו מדידות סחף רציפות (אירוזיה) במטרה לכמת ולהבין את קצב סחיפת הקרקע במישור, כאשר הממצאים הראו כי אירוע סחיפה משמעותי אינו נוצר אחרי כל יום גשם שנמדד, אלא רק מחמישית מהאירועים. עבודה זו בוחנת את ההבדלים הסינופטיים והתרמודינמיים בין ימי גשם ללא אירוזיה לבין ימי גשם המלווים באירועי אירוזיה משמעותיים, וכן מנסה להעריך את תרומת השינויים האקלימיים בעשורים האחרונים לעוצמתם של אירועים אלו. לשם כך נותחו שדות אטמוספריים ברום ובקרקע, מדדי אי-יציבות, ופרמטרים הקשורים להסעת לחות, תוך השוואה שיטתית בין קבוצות הימים, באירועי גשם בחמש השנים האחרונות. הממצאים מצביעים על כך שאירועי אירוזיה מאופיינים בתצורה סינופטית מיוחדת, הכוללת מערכות קרקע ורום עמוקות ודרומיות יותר מהמערכות השכיחות, לצד תנאים תרמודינמיים התומכים באי-יציבות אטמוספרית מוגברת ובהתפתחות תהליכי עליית אוויר אינטנסיביים. שילוב זה מאפשר היווצרות משקעים בקצבים עוצמתיים, אשר תורמים להתגברות תהליכי הסחיפה במישור. בעבודה זו נבחנת גם השפעת ההתחממות הגלובלית באמצעות השוואת אנלוגים סינופטיים של אירועי האירוזיה הקיצוניים ביותר בין תקופה קרה (1980–2000) לתקופה חמה (2005–2025), לאחר ניטרול השפעתם של מצבי שונות טבעית (ENSO, IOD, NAO). הניתוח מצביע על כך שבתקופה החמה אירועי האירוזיה מתרחשים בתנאים חמים יותר ובליווי שינויים במבנה המערכות הסינופטיות ביחס למערכות השכיחות, המלווים בשינוי בדפוס המשקעים המרחביים, ובפרט בהתחזקותם בדרום הארץ. תוצאות אלו מדגישות את הרגישות של אזורים צחיחים למחצה לשינויים אקלימיים ואת הפוטנציאל להחרפת תהליכי אירוזיה בתנאי אקלים עתידיים חמים יותר.

היבטים תכנוניים בניסוי הסמנים לבדיקת זמני השהייה בשפד"ן (סוף מעשה במחשבה תחילה)

¹רן גבאי, ¹סיגל ברודי, ¹עידו נגב, ²דני קורצמן, ²גרא רודניק

¹מקורות

²מכון וולקני

מפעל השפד"ן מטפל בשפכים העירוניים של גוש דן והוא הגדול מסוגו בארץ. המתקן מטפל בכ-150 מלמ"ק שפכים בשנה לרמה של קולחים שניוניים, ולאחר מכן הקולחים מוחדרים לטיפול SAT (Soil Aquifer Treatment) המשפר את איכותם לרמה שלישונית ומעלה. ביולי 2024 פוזרו כ-54.5 טון של סמנים ב-4 בריכות ההחדרה של אגן יבנה 1 קטן. מיד עם הצפתן החל ניסוי סמנים להערכת זמני השהייה של הקולחים באקוויפר. הניסוי תוכנן ובוצע על ידי מח' הידרולוגיה בחברת מקורות בשיתוף עם מכון וולקני, ובליווי ועדת היגוי מרשות המים ומשרד הבריאות. מדובר בניסוי בהיקף שטרם נעשה כמוהו בארץ, ומבין הגדולים שנערכו אי פעם בעולם, מבחינת כמות ומספר הסמנים, שטח הפיזור, מערך קידוחי התצפית, והיקף תכנית הדיגום. לניסוי קדם שלב של תכנון, אישור תוכניות והיערכות שארך כשנתיים, ובמהלכו התלבטנו בהיבטים שונים של הניסוי שיש להם השפעה רבה על היקף המשאבים שהושקעו בתכנון ובביצוע ועל תוצאות הניסוי שאותם אנו רואים לנגד עינינו בימים אלו. בהרצאה זו אנו רוצים להציג את תהליך התכנון והדילמות שעלו במהלכו, ואת המסקנות שכבר ניתן להסיק מההחלטות שהתקבלו במהלך התכנון והניסוי עצמו. החל מבחירת האתר לביצוע הניסוי והגדרת מערכת המחקר והניטור; דרך דילמות של: סוג הסמנים, מספר הסמנים, האם סמנים שונים יתנהגו באותו אופן, כמויות של כל סמן, האם בכלל נצליח לייצר השפעה במי התהום, האם המכשירים רגישים מספיק כדי למדוד את השינויים, האם לסמנים תהייה השפעה על קצבי החלחול בבריכות ואם כן מה אנו יכולים לעשות כדי להימנע מכך, באיזו שיטה לפזר את הסמנים, מתי לפזר את הסמנים, איך למדוד אותם ובאיזו תדירות לבצע את הדיגום; המשך בניסויי שדה וניסויי מעבדה מקדימים ובניית מודל נומרי סטוכסטי; ועד לקביעת התקציב והעמידה ביעדים שהוגדרו מראש. את כל אלו ליוו אתגרים מקומיים ואילוצים תפעוליים רבים שדרשו שינויים והערכות מחדש תוך כדי תנועה.

מדיניות עירונית לניהול נגר בעיר תל אביב

¹רן גולדברג, ¹טל אספריל, ²עזרא נוה, ²אסף סולומון

¹יזמות למען הסביבה

²יחידת התיעול עיריית תל אביב

תהליכי הציפוף העירוני הגוברים בראי העתיד מחייבים שילוב דיסציפלינות וחשיבה יצירתית לניהול הנגר העירוני, תוך מתן ולידציה ליעילות פתרונות ניהול נגר הנדסיים ונופיים המאפשרים ניהול נגר נרחב ברמה העירונית. מסמך המדיניות העירונית לניהול נגר עילי של תל אביב הינו מסמך חדשני, ראשון מסוגו בישראל, אשר מטרתו לקבוע את דרכי ההתמודדות העירונית עם סוגיית ההצפות אשר מקבלת ביטוי משמעותי וקיצוני יותר נוכח שינויי האקלים והבינוי המואץ ברחבי העיר על חשבון שטחים פתוחים. המדיניות מנתחת באופן רחבי את המצב הקיים כיום בעיר ומייצרת מסגרת תכנונית ברורה ואחידה לניהול הנגר העירוני ומניעת הצפות וזאת על ידי שילוב דיסציפלינות שונות אשר מטרתן לתמוך בתפקודה תקין של מערכת התיעול העירונית. במסגרת המדיניות העירונית נבחנו אזורי הכשל ברחבי העיר, פשטי ומפלסי ההצפה באגני הניקוז השונים, אזורי רגישות ומופּו מגבלות סביבתיות-הידרולוגיות אשר משפיעות על אופן ניהול הנגר ברחבי העיר. אזורי הרגישות העירוניים נותחו במסגרת המדיניות וסווגו כאזורים בהם קיימת בעיה תשתיתית ידועה או אזורים בהם קיימים שקעים אבסולוטיים משמעותיים אשר נותחו לראשונה והוגדרו בהם מפלסי ההצפה הפוטנציאליים. המדיניות העירונית משולבת עם מערך פיילוטים אשר מנטרים באופן שוטף במהלך עונת הגשמים ומאפשרים ניתוח של כושר הקליטה, הויסות וההחדרה ואופן ההתמודדות של אמצעים אלה עם אירועי גשם שונים, בעיות תחזוקה וזיהוי נקודות תורפה. המהלכים הללו ילוו את תל אביב לאורך השנים ויאפשרו התמודדות עירונית איתנה יותר עם אירועי גשם קיצוניים וצמצום ההצפות. המדיניות העירונית לניהול הנגר מקדמת תפיסה תכנונית רחבה אשר מטרתה להפוך את העיר תל אביב לעיר בעלת חוסן עירוני לשינויי האקלים ובעיית ההצפות.

פרויקט ביג פ"ת - אתגרי תכנון וביצוע השפלת מי תהום באתר חפירה של 50 דונם בסמיכות למוקד זיהום ושיקום מי תהום

חנה גורביץ, אלעד לבנון, שון ארוך, גלעד טל, נמרוד שוער, נועם צח דבורי

הנדסה. א. אתגר

פרויקטים רבים של בנייה ותשתיות נדרשים לבצע שאיבת מי תהום כחלק מעבודות החפירה. כאשר הפרויקט נמצא בסמוך למוקדי זיהום מי תהום, נדרש תכנון הידרולוגי-סביבתי מורכב, ע"מ לאפשר את ביצוע הפרויקט תוך שמירה על האינטרס הסביבתי ומניעה של התפשטות הזיהום באקוויפר. עבודה זו מציגה אופטימיזציה למערך השפלת מי תהום באתר ביג פ"ת, בשטח חריג של כ-50 דונם. האתר ממוקם בסמוך לאזור תעשייה הכולל מוקדי זיהום ממקורות תעשייתיים. במרחק של 250 מ' מהפרויקט נמצא אתר "טבע אסיא", בו התגלה בעבר מוקד זיהום חמור של מי תהום ובו מבוצעות עבודות לשיקום מי תהום. האתגר המרכזי בתכנון השפלת מי תהום היה למנוע את השפעת השאיבה על מאמצי השיקום באתר טבע אסיא, תוך תיאום מלא עם רשות המים. בנוסף, שטח החפירה הגדול היווה אתגר משמעותי נוסף בתכנון. לצורך ניהול הסיכונים, יושם מודל נומרי תלת-ממדי שכויל באמצעות מבחני שאיבה וחישובים אנליטיים. הפתרון ההנדסי-הידרולוגי התבסס על שלושה עקרונות עיקריים: (1) חיץ הידרולוגי: הקמת מערך קידוחי החדרה ליצירת גרדיאנט נגדי, אשר מנע השפעה של השאיבה על מאמצי השיקום בטבע אסיא ואת התפשטות הזיהום. (2) דיוק מפלסי מטרה: מעבר משאיבה אחידה לצמצום ודיוק מפלסים, מה שהפחית את היקפי השאיבה הנדרשים ואפשר עבודה בשטחים גדולים. (3) צמצום ספיקות שאיבה: באמצעות חלוקת השטח לשלושה תתי-אגנים לשליטה בספיקות השאיבה, ובאמצעות העמקת קירות הדיפון במקטעים שונים. נתוני הניטור בזמן אמת מצביעים על התאמה גבוהה בין המודל לביצוע, עמידה ביעדי הספיקה והגנה אפקטיבית על איכות המים באקוויפר בכלל ובפרויקט בפרט. הפרויקט מהווה מודל ליישום של תכנון הנדסי-הידרולוגי מתקדם, תוך שמירה על האינטרסים הביצועיים של הפרויקט, בד בבד עם האינטרסים הסביבתיים של משק המים.

ההשפעה ההידרולוגית והגאוכימית של שאיבת מי תהום מלוחים סמוך לים באקוויפרים חופיים כלואים

¹יהונתן גלר, ¹יאיר וולנסקי, ²אייל שלו, ²איתי רזניק, ¹אורית סיון

¹אוניברסיטת בן גוריון

²המכון הגיאולוגי

חדירת מים מלוחים ממשיכה להוות איום משמעותי על ביטחון המים באזורי חוף. בעוד שמחסומים הידראוליים שליליים, המבוססים על שאיבת מי תהום מלוחים לצורך ניהול הפן הביני, נחקרו בהרחבה באקוויפרים חופשיים, קיימים מחקרים מעטים בלבד הבוחנים את יעילותם ואת השפעותיהם הגאוכימיות במערכות כלואות מורכבות. מחקר זה משלב שש שנות ניטור הידרולוגי וגאוכימי ברזולוציה גבוהה באתר מחקר הכולל שתי בארות שאיבה ושתי בארות תצפית, יחד עם מודל נומרי תלת-ממדי (מבוסס FEFLOW), באקוויפר החופי הצפוני הכלוא של ישראל (מכמורת). תצפיות השדה בתקופת הניטור הראו ירידה במליחות של 12% בבאר השאיבה ושל 7% בבארות התצפית, תוך הגעה לתת-התייצבות בבאר השאיבה. שינויים גאוכימיים משמעותיים, ובפרט העשרה של כ-20% בסידן ודלדול של כ-15% בבורן, מראים כי השאיבה הרציפה מפעילה תהליכים לא קונסרבטיביים של המסה ממטריקס הסלע וותהליכי חילוף קטיונים. תצפית המודל ל-20 שנה מצביעה על כך ששאיבה מתמשכת (בקצב של ~1.5 מיליון מ"ק לשנה) מביאה למצב פסאודו-יציב של הפן הביני, בהתפרשות רוחבית של כ-1.5 ק"מ לאורך החוף, ובמקביל המשך המתקה בבאר התצפית (כ-70% בסך הכול). ממצאים אלה מבססים את המחסום ההידראולי השלילי כאסטרטגיית ניהול ישימה לאקוויפרים כלואים, ומציעים תשתית לתכנון ואופטימיזציה של מחסום הידראולי שלילי רחב יותר, לשם צמצום חדירת מים מלוחים ולקידום הפקה בת-קיימא של מי תהום מלוחים, עם פוטנציאל ליישומים תעשייתיים בהמשך.

השפעת עודף מים (waterlogging) על הקרקע והצומח בפשטי הצפה המשמשים כמתקני ריסון נגר דורין תורכ, אליהו ולדמן, יונתן גנות

אוניברסיטת בר-אילן

אחת הדרכים המוצעות להתמודדות עם סיכון השיטפונות במורד הנחלים היא בעזרת מתקנים לריסון נגר במעלה האגן. מתקנים אלו מתבססים לרוב על פשטי ההצפה של הנחלים, כאשר חלקם מתוכננים במחצבות וחלקם בשטחי חקלאות, שמורות ויערות. בעוד שהתועלת ההידראולית-הנדסית של מתקנים אלו ברורה, השפעת תדירות ומשך ההצפה על שימושי קרקע שונים הנמצאים או גובלים בפשטי ההצפה מאתגרת יותר לניבוי, ועלולה להיות חיובית או שלילית בהתאם לסוג ושימוש הקרקע. במחקר זה נבחנת ההשפעה האקו-הידרולוגית של שימוש בפשטי הצפה כמתקני ריסון נגר. אתר המחקר ממוקם ביער חורשים בסמוך לנחל קנה שהוא אחד מיובליו העיקרים של הירקון. לפי תוכנית אב לניקוז ירקון, באתר מתוכנן מתקן לריסון נגר "קנה 3" בנפח 2.4 מלמ"ק, שחשיבותו האגנית גבוהה. הדינמיקה של שטח ההצפה בזמן ובמרחב הוערכה בעזרת הידרוגרף התכן בהסתברות של 1%. נתונים אלו, ביחד עם מדידות חלחול שבוצעו ביער חורשים שימשו להערכת פוטנציאל פגיעה אפשרי בצומח כתוצאה מעודף מים (waterlogging). בנוסף, בוצעו ניסויי הצפה למשך 48-72 שעות על קבוצת עצי אורן באתר המחקר, כאשר קבוצה נוספת שלא הוצפה שימשה כביקורת. בחלקות ההצפה והביקורת נוטרו באופן רציף מדדי קרקע (תכולת רטיבות, טמפרטורה, חמצן, ורדוקס) ומדדי צומח (קוטר גזע, זרימת מים בעצה). התוצאות מלמדות שפוטנציאל הפגיעה בצומח הוא בעל שונות מרחבית התלוי במשך ההצפה, עמידות הצומח לעודף מים וסוג הקרקע. בניסויי ההצפה נמדדו בקרקע ערכי חמצן ורדוקס נמוכים ביחס לחלקת הביקורת, בעוד תוצאות מדדי הצומח מורכבות ונראה שתגובת העצים תלויה במצב המים בקרקע לפני ההצפה. המחקר מדגים כיצד הצפות קצרות טווח משנות את תנאי האוויר בקרקע ואת תגובות העצים, ומדגיש את הצורך להביא בחשבון מדדים אקו-הידרולוגיים בתכנון מתקני השהיית נגר.

הידרולוגיה פורנזית: פענוח "טביעת האצבע" המולקולרית של מזהמים אורגניים לאבחון מקורות

וזמני זרימה

גיא גסר, שרון שגיא, בן משה, חיים כץ, ליאור נצר, הראל גל

רשות המים

מבוא: בעוד שהידרולוגיה קלאסית מתמקדת בחיזוי תנועת מים ומזהמים קדימה (על בסיס נתונים הידראוליים), הידרולוגיה פורנזית מציעה חשיבה הפוכה, בעבר, אבחון מערכות כאלו הסתמך בעיקר על ניסויי סמנים אקטיביים, גיאוכימיה כללית ואנליזות איזוטופיות. החידוש בגישה זו טמון במעבר ממדידת ריכוזי מזהמים לבחינת זהותם הייחודית. באמצעות הפיכת המזהם ל-DNA מולקולרי – המבוסס על טביעת אצבע ייחודית של סמנים כימיים המצויים במקור המים – ניתן ליצור קישור ישיר בין קידוח או מעיין מזהם לבין אתר המקור. גישה זו מאפשרת לשחזר את היסטוריית הזיהום, לקבוע את כיוון הזרימה ולזהות את מקור הפליטה באופן ישיר ומדויק. מתודולוגיה וסמנים אורגניים: ההרצאה תתמקד בשימוש בסמנים אורגניים אנתרופוגניים ככלי לאבחון מערכות מורכבות: (1) טביעת אצבע מולקולרית: שימוש בשאריות תרופות ותוספים תעשייתיים ייחודיים כאינדיקטורים בלעדיים לאפיון מקור הזיהום והפרדתו מרקע סביבתי. (2) השעון ההידרולוגי הכרונולוגי: שימוש בסמנים לפי גיל ייצור וזמני כניסה לשוק. טכניקה זו מתבססת על השינויים בהרכב הכימי של מוצרים תעשייתיים לאורך השנים. זיהוי חומר שנכנס לשימוש בשנה מסוימת פועל כ"שעון" המאפשר להבחין בין זיהום עבר לזיהום מתמשך או פעיל. מקרי בוחן: במהלך ההרצאה יוצגו מספר מקרי בוחן המדגימים את יישום הגישה הפורנזית בשטח: (1) אפיון כיוון זרימה ומקור: כיצד שימוש בטביעת אצבע של סמנים אורגניים אפשר לאתר מקור זיהום נקודתי, בניגוד להנחות הידראוליות מוקדמות שהתבססו על מפלסים בלבד. (2) הפעלת ה"שעון": שימוש בסמנים המעידים על גיל הייצור כדי להוכיח כי מקור הזיהום הוא מפעל שפועל ולא מפעל שהפסיק שנסגר, ובכך להפריד בין האחריות של הבעלים הנוכחיים לבעלי העבר. (3) הפרדת מקורות (Source Identification): שימוש ב"קוקטייל" של סמנים ייחודיים להפרדת אחריות בכתמי זיהום מעורבים המגיעים ממספר מוקדי תעשייה. סיכום: הידרולוגיה פורנזית אינה מחליפה את הגישה הקלאסית או את הכלים הגיאוכימיים המסורתיים, אלא מסייעת באופן מכריע בהבנת ההידרולוגיה האזורית. שילוב של הבנת ציר הזמן התעשייתי עם סמנים אורגניים הוא המפתח לשימוש מושכל בזיהוי מקורות זיהום, צמצום חוסר הוודאות וקביעת אחריות סביבתית מבוססת ראיות.

עדכון תכנית אב לאספקת מים לנגב - 2026

ירון גפן

מהנדס מים, יועץ

הנגב מאופייין באקלים חם ויבש ובמיעוט מקורות מים. מצב זה מחייב ייבוא של מים שפירים ממקורות חיצוניים. מערכת המים השפירים בנגב הוקמה בארבעה שלבים עיקריים: בשנות ה-40 הוקמה מערכת מבוססת על קידוחים באזור ניר עם – גברעם ליישובי הנגב המערבי. הפיתוח המואץ היה בראשית שנות ה-50 עם הקמת קו ירקון – נגב, ובמיוחד עם השלמת המערכת הארצית במחצית שנות ה-60. בהמשך, אספקת המים לנגב המזרחי תוגברה באמצעות קו זוהר – צאלים שהושלם בראשית שנות ה-70. בשנת 2005 החל לפעול מתקן התפלת מי ים באשקלון בתפוקה של 117 מלמ"ש, המהווה כיום את מקור המים העיקרי לנגב. בנוסף, בשנת 2011 החל לפעול מתקן להט, המתפיל את מי קידוחי הנקז המזרחי בתפוקה של כ-12 מלמ"ש מי מוצר. לצד מתקני ההתפלה ישנה הפקה מקומית הנשענת על קידוחי החוף הדרומי, וקידוחי הירת"ן בשומריה, באר-שבע ושוקת. אם בעבר אזור הנגב היה צרכן של המערכת הארצית, כיום וביתר שאת בעתיד, מערכת המים בנגב מהווה חלק בלתי נפרד מהמערכת הארצית, שביכולתה גם לייצא עודפי מים צפונה. תוכנית האב האחרונה לאספקת מים לנגב אושרה ברשות המים ב-2022, ועל בסיסה הוגדרה תוכנית פיתוח של מערכות הולכה ואיגום במפעלי אספקת המים בנגב, ותוכנית לשימור כושר ההפקה ע"י ביצוע של קידוחים חדשים באקוויפר החוף הדרומי, וביצוע של שדה קידוחים חדש באזור להבים, שיחליף בהדרגה קידוחים קיימים הנמצאים בשטח העירוני של באר שבע. לאחרונה עלה הצורך בעדכון התוכנית מ-2022, עקב צפי לגידול בתחזיות הצריכה. עדכון התוכנית, ביוזמת רשות המים, מתבצע בימים אלו, ומטרתו להגדיר את השינויים הדרושים בתוכנית הפיתוח מ-2022, על מנת שניתן יהיה לעמוד בתחזית הביקוש העדכנית לשנת היעד 2050, תוך בחינת רגישות לשלב 2075. בהרצאה תובא סקירה של מקורות המים השפירים ופוטנציאל ההפקה, מאזן המים ותוכנית הפיתוח המוצעת על בסיס התוכנית העדכנית.

אתר מגן- גישה ויישום של שיקום מי תהום In-Situ באתר בקנה מידה גדול.

נמרוד גפני, איל מושקוביץ, רפי מנדלבאום

מ"בע מתקדמות טכנולוגיות. ד.די.אל

במתחם תעש השלום (אתר מגן) בתל אביב, המשתרע על פני כ-44 דונם, פעל בין השנים 1950–1997 מפעל לייצור נשק קל. תוצאה מפעילותו נגרם זיהום נרחב של הקרקע ומי התהום בממסים אורגניים מוכלרים, ציאניד ומתכות, ובהן כרום שש-ערכי. בראשית שנות ה-2000 פונו כ-12,000 טון קרקע מזוהמת, ובהמשך גובשה תכנית לשיקום מי התהום. בשנת 2021 זכתה חברת LDD במכרז לביצוע התכנית. מטרת שלב א' הייתה הפחתת הריכוז הסכומי של החומרים האורגניים המוכלרים במוקדי הזיהום אל מתחת ל-1,000 מיקרוגרם/ליטר באמצעות טיפול In Situ. השטח שהוגדר לשיקום משתרע על כ-22 דונם ומתמקד בתת האקוויפר העליון. בהתבסס על היקף הזיהום וריכוזי המזהמים, נבחרה שיטת טיפול משולבת של פירוק ביולוגי אנאירובי (ISB) וחיזור כימי (ISCR) In-situ. בהתאם תוכנן והוקם מערך החדרה וניטור הכולל 57 בארות רדודות, 13 בארות עמוקות ו-15 בארות ניטור. בחודשים מרץ-אפריל 2023 בוצע סבב הזרקות ראשון (סבב א'), במסגרתו הוחדרה תמיסה בנפח כ-1,000 מ"ק, שכללה כ-20 טון תורם אלקטרוני וכ-300 ק"ג ברזל דו-ערכי מסיס. לאחר היווצרות תנאים אנאירוביים הוחדרה תרבית חיידקים ממשפחת Dehalococcoides. המעקב הגיאוכימי הצביע על תנאים מחזרים יציבים ופיזור יעיל של תורם האלקטרוני. ריכוזי TCE ירדו בכ-50% לאחר חודשיים ובכ-90% לאחר שנה, וריכוזי כרום שש-ערכי ירדו בלמעלה מ-95% באזור המטופל. לאור ממצאים הנ"ל הוחלט להרחיב את הפרויקט לטיפול במוקדי הזיהום הכרום העמוק. סבב הזרקות נוסף בוצע באוגוסט 2025 וכלל גם התקנתו 15 בארות החדרה עמוקות, בנוסף ל-13 הקיימות. ההרצאה תציג את עקרונות התכנון, את ביצוע הטיפול ואת התובנות משיקום מי תהום בקנה מידה גדול.

שימור תשתיות במתחם התיירות בים המלח - אתגרים ופתרונות גריף חגית

1980 ומתכננים יועצים מהנדסים.מ.ג.ח

ים המלח נחשב לגוף המים המלוח ביותר, המשמש כיום לשני צרכים עיקריים - תעשייה ותיירות. עד לשנות ה-60 נהר הירדן הזין את ים המלח ויצר סוג של איזון בין קצב האידיוי לספיקת הכניסה לים המלח. מאז נבנו הסכרים באגם הכנרת, בסוריה ובירדן, זרימת המים מהירדן לים המלח כמעט והופסקה לחלוטין. כתוצאה מכך זרימת המים לים המלח הפכה דלה מאוד ומפלס המים בים המלח ירד בכ-40 מטר מאז 1960. לפיכך מולאה בריכה מספר 5 במי ים המלח המקוריים כדי לשרת את צרכי התעשייה וגם לתת מענה לצרכי התיירות הקיימים. עם זאת, מדי שנה מפלס קרקעית הבריכה עולה בכ-200 מ"מ כתוצאה משקיעת מוצקים ומהזרמה רציפה של מי ים המלח המקורי אל הבריכה. כתוצאה מכך עולה מפלס פני המים בבריכה 5. מצב זה יוצר מציאות חדשה אשר מחייבת טיפול ברמה לאומית על ידי החברה הממשלתית להגנות ים המלח (חל"י). עליית מפלס המים משפיעה על כלל התשתיות והשירותים התיירותיים הקיימים: המלונות הסמוכים לבריכה 5 נמצאים בסיכון שכן יסודותיהם עלולים להיפגע; קו המים מתקרר לגבולות המלונות וכך רצועת החוף הולכת ומצטמצמת; מי התהום המלוחים - מי ים המלח, גורמים לקורוזיה ופוגעים בתשתיות קיימות; תשתיות רטובות ויבשות שוקעות התרוממות כתוצאה מכוחות ציפה עם סיכויי לחדירת מי מלח; יש צורך קבוע בהשפלת מי תהום כדי לשמור על התשתיות ולמנוע הצפה באזורי המלונות; החלפה זמנית של קווי ביוב גרביטציוניים במערכות לחץ; תחנות השאיבה ניזוקות ממי מלח שחודרים לבורות השאיבה ומזהמים את הביוב המיועד בהמשך לטיפול ולהשקיה. הפתרונות והמסקנות לגבי ההתמודדות עם האתגרים התבססו על מחקר ניתוח סיכונים שבוצע על ידי חברת Ambienta הבריטית עבור חל"י. העלייה השנתית של 200 מ"מ בשנה נקבעה מראש כבסיס לתכנון הסופי של הפרויקט, כך שמפלס המים המרבי יעמוד על +15.10 מטר החל משנת 2019. מעבודה זו עולה כי נדרשת תכנית לשימור ושיקום התשתיות בטווח הקצר, הביניים ובטווח הארוך: בטווח הקצר - פעולות מיידיות לשיקום תשתיות להגנה על המלונות שבצד החוף, השפלת מי תהום, החלפת קוים שקועים ובניית סוללת שן חרסית להגנה על ביסוס בתי המלון, אנליזה ומיפוי תשתיות קיימות. בטווח הביניים - קידום תכנון כוללני למתחם התיירות על בסיס קביעת מפלס פני המים בשלב הסופי, הגבהה והרחבה של רצועות החוף, תכנון מחדש של כלל התשתיות הרטובות וחידושם בהתאם לתכנון בשלב הסופי. בטווח הארוך - כאשר מפלס המים יגיע לערך שנקבע מראש - +15.10 מטר, יבוצע על ידי מפעלי ים המלח קציר מלח לעצירת עליית מפלס המים בבריכה 5.

**תכנית לתגבור אספקת קולחים לנגב
חרמון דרי ליעד**

רשות המים

הצגת תכנית האב לקולחים לנגב - כמויות, איכויות ופרויקטים: המובל הארצי לקולחים שנייד קולחים מהמרכז לנגב והקמת מאגרים ומערכות הולכה לניצול הקולחים במרחב הנגב.

חלחול/ניטור נחל חברון

¹מנחם וייס, ²רוני אסיג, ²איתמר יעקובוביץ

¹השירות ההידרולוגי

²קמ"ט המים ביו"ש, המנהל האזרחי ורשות המים

במשך עשרות שנים זורמים בנחל חברון שפכים סניטריים ותעשייתיים לכל אורכו (מעל 40 ק"מ) מאזור העיר חברון עד אזור מיתר. מדובר בזרימה ישירה על המחשופים של חבורת יהודה, אזור ההזנה של אקוויפר ירקון-תנינים. כדי להבין את משמעות זרימת השפכים על משאבי המים באזור (למשל שדה הפקה שוקת שממנו מפיקים כ- 12 מלמ"ק/שנה), ובעקיפין את מנגנון כניסת מילוי החוזר לאקוויפר ירקון-תנינים, הוקם פרויקט של מדידות ספיקה לאורך הנחל על ידי השירות ההידרולוגי. עבודה קודמת של מכון הערבה ללימודי הסביבה משנת 2005/06 מדווחת על זרימת שפכים במקור (סביב חברון) של בין 5.0 עד 6.2 מלמ"ק/שנה. בנוסף, מדידות ספיקה בכפר ריחיה (כ- 8 ק"מ במורד הזרימה מחברון) הראו שאחוז האיבוד של הזרימה על ידי חלחול נע בין 79% עד 89% (כ- 4.3 עד 5.5 מלמ"ק/שנה). דו"ח רשות הטבע והגנים משנת 2010 מעריך את הזרימה של השפכים במקור בכ- 5.2 מלמ"ק/שנה ו"במורד" בכ- 3.3 מלמ"ק/שנה. דו"ח מעודכן של רשות הטבע והגנים יחד עם רשות המים (2017) מעדכן את הערכות הזרימה במקור לכ- 6.8 מלמ"ק/שנה, וכ- 5.1 מלמ"ק/שנה ב"מורד" הנחל. ייתכן שהסתירה בכמות החלחול המדווחת בין מכון הערבה ובין רשות הטבע והגנים נובעת (חלקית לפחות) מזה שהמדידות במורד הזרימה שדווחו כוללות גם גאוויות. על פי נתוני ספיקה במורד הנחל מהשירות ההידרולוגי בשנות 2015 ו-2016, אחוז נפח הזרימה מגאוויות הוא בין 10% עד 13%. העבודה הנוכחית התחילה בשנת 2009 כאשר השירות ההידרולוגי התחיל למדוד ספיקה ב-5 נקודות שונות באפיק נחל חברון בתדירות גבוהה. המדידות בוצעו על ידי צוות פיקוח ואכיפה (צפ"א) של רשות המים. במהלך שנת 2022 החל השירות למדוד ספיקות פעם בחודש בכל חמשת הנקודות על ידי צוות קמ"ט המים של המנהל אזרחי. מאז שנת 2024, חלק משמעותי של הזרימה, מהיציאה ממט"ש חברון (שעדיין לא עובד), עובר בצינור. מדובר בתשתית שתוקם על ידי הפלסטינים שמטרתו היא (כאשר המט"ש יפעל) להשתמש בקולחים לחקלאות. קמ"ט מים, מעריך כי הסבירות לביצוע תוכנית זו נמוכה בגלל חוסר תקציבים, בעיות סטאטוטוריות, ותחום החקלאות מקולחים לא מפותח באזור זה. בינתיים, רשות המים מקדמת פתרון שיצנר את שאר הזרימה בשטח C עד לטיפול במתקן מיתר. במקביל, בשטחי A-B יוצע לרשות להשלים את הצינור בנחל עד אזור שמעה.

הערכת מידת הדיוק של מודל בהשוואה לעומק מים מדוד

¹יוליה אלכסנדרוב, ¹חגית וינר, ¹תומר בן יאיר, ²אודי גלילי, ²לאונרדו וולין

¹אפיק הנדסת סביבה והידרולוגיה

²אגף הידרומטריה, חטיבת השירות ההידרולוגי, רשות המים

מודל הידראולי דו מימדי באמצעות HECRAS הוא כלי עבודה נפוץ בקרב הידרולוגיות ומהנדסות ניקוז. לכאורה מדובר בכלי פשוט יחסית, שדורש מודל גבהים באיכות גבוהה, הידרוגרף והערכה של מקדמי החיכוך. הקושי טמון בכיול המודל ובהערכת דיוק התוצאות. מטרת המחקר היתה לבחון האם ניתן לשחזר במודל את עומק מים המדוד בתחנה הידרומטרית. כידוע הנתון הישיר המתקבל מתחנה הידרומטרית הוא עומק המים בנחל. מנתון זה ניתן - בעזרת קווי כיול - להעריך את הספיקה שעברה בתחנה. המשתנים במשוואת הכיול הם מקדם מנינג, שיפוע אורכי של קרקעית הנחל או פני המים וחתך רוחב. במחקר המוצג בדקנו את האפשרות לקבל במודל את עומק המים שנמדד בתחנה הידרומטרית כשתנאי ההרצה היה הידרוגרף מדוד באירוע שכיח (ספיקות עד כושר ההולכה של הנחל, על מנת לא להגיע למצב של הצפות). על דיוק ההרצה ההידראולית משפיעים גורמים שונים כגון - איכות המדידה (היכולת לשחזר טופוגרפיה); מקדם החיכוך; שיפוע אורכי של קרקעית האפיק או פני המים); משוואת חישוב המודל; וכמובן קו הכיול המקורי של התחנה ההידרומטרית.

הערכת פוטנציאל הנגר העירוני בישראל

¹איל זיגל, ²טוני יובל, ²גרמן רודניק

¹רשות המים

²מתכנן פרטי

במרחב העירוני חלק גדול ממי הגשם אינו מחלחל לקרקע אלא זורם על פני השטח, בעיקר בגלל ריבוי גגות, כבישים ומשטחים מרוצפים. התוצאה היא נפחי נגר משמעותיים בפרקי זמן קצרים, עומס גבוה על מערכות הניקוז, ולעיתים גם הצפות נקודתיות במוקדים רגישים. מעבר לסיכון, הנגר העירוני הוא גם משאב עם פוטנציאל: הערכה כמותית של הנפח השנתי יכולה לתמוך בקבלת החלטות על השהייה, החדרה, אגירה ושימוש חוזר – במיוחד כאשר יש צורך להפחית עומסים ברשת הניקוז ולשפר את מערך ניהול הנגר העירוני. בישראל נצבר ידע אמפירי על נגר עירוני כבר משנות ה-70, בעיקר דרך מחקרים שעסקו במקדמי נגר ונפחי נגר באגנים עירוניים ספציפיים, אך פוטנציאל הנגר שהוערך לא הסתמך על מדידות אלא על טבלאות אמפיריות. מחקר זה נועד להעריך מחדש את פוטנציאל נפח הנגר השנתי הממוצע מיישובי ישראל באמצעות מתודולוגיה עקבית, הנשענת על מדידות קיימות ועל מידע גיאומרחבי ארצי. תחילה מחושבים מקדמי נגר ממוצעים באגנים מנוטרים על בסיס היחס בין נפח הנגר הנמדד בתחנה הידרומטרית לבין נפח הגשם השנתי באגן, ומופק מקדם נגר רב-שנתי ממוצע לכל אגן. לאחר מכן נגזר קשר אמפירי לינארי בין מקדם הנגר הממוצע לבין שיעור השטח האטים באגן, ולבסוף מיושם קשר זה על כלל יחידות החישוב הארציות: נקבעה חלוקה מרחבית (מערב/מזרח), לכל יחידה. שיעור שטחים אטימים משכבות GIS ארציות של גגות וכבישים, התאמת גשם שנתי ממוצע, ולבסוף חישוב נפחי נגר שנתיים ממוצעים להערכה אזורית וארצית. נמצא שסך פוטנציאל הנגר העונתי הממוצע ביישובי מישור החוף מצפון לדרום (נהריה - אשקלון) הוא 64 מלמ"ק. מספר דומה - 64.5 מלמ"ק הוערך גם עבור החלקים הפנימיים וההרריים המתנקזים לים התיכון, משלומי בצפון ועד באר שבע בדרום.

הערכת ספיקת שיא לפי מתאם גשם רב – משתני

¹איל זיגל, ²אופיר ענבר

¹רשות המים

²אתגר א. הנדסה

ספיקת שיא באירוע גאוויות באזורים הגשומים בישראל (מעל 250 מ"מ בשנה) היא תוצר משולב של גשם המשפיע בזמן האירוע, ואחוז רווית הקרקע. על מנת להעריך ספיקות שיא לפי נתוני גשם חזויים באירוע כלשהו, נדרש למצוא משתנה חלופי למצב רווית הקרקע שאינה ניתנת להשגה. לשם כך נבחן השימוש בכמות הגשם שקדמה לגאות באגן נתון, המתקבלת מתחנות גשם מייצגות באגן, כסממן למצב רווית הקרקע. סממן זה הודגם בדוחות האירוע של השירות ההידרולוגי מפרברואר '24 וינואר '24, באמצעות מדד ספיקת השיא לעומת עובי הגשם - Q/RD, ולפיו נמצאו ערכים גבוהים ככל שכמות הגשם המצטברת באגן גדלה; למשל: עפ"י כמות גשם של 73 מ"מ שהובילה לספיקת שיא של 187 מ"ק/שנ' בנחל אלכסנדר באירוע 18/2/24, נקבע כי ערכו של מדד Q/RD באירוע זה הוא 2.6, לעומת ערך מדד של 0.95 שנקבע ב-ב-26/1/24, בעקבות כמות גשם של 55 מ"מ וספיקת שיא של 52 מ"ק/שנ'. כמובן שכמות גשם המצטבר לפני האירוע האחרון הייתה קטנה יותר. ההתאמה בין כמות הגשם המצטבר לבין יחס Q/RD נמצאה גם ביתר נחלי הצפון שנבחנו באירוע זה. דפוס זה של תגובת האגן לגשם היווה את הבסיס לבניית שיטה חישובית לבחינת ספיקת השיא באמצעות מתאם רב משתני, כפונקציה של כמות גשם מצטברת בשלושה מרווחי זמן: 40 יום (או כמות גשם מצטברת מתחילת העונה), 10 ימים, וכמות גשם משפיעה על האירוע עצמו. תשתית המתאם כוללת עשרות אירועים שתקופת החזרה שלהם גדולה מארבע שנים, מתוך החלטה להתמקד באירועים משמעותיים, בשלושים האגנים שנבחנו. בכל אחד מאירועי הגאוויות הוצבה ספיקת השיא ביחס לכמויות הגשם המוגדרות במרווחי הזמן שהוזכרו. עפ"י המתאם הרב- משתני נקבעו מקדמים לכל אחד ממרווחי הזמן שהוגדרו. עפ"י המבחן הסטטיסטי של מדד RMSE נמצאה התאמה סטטיסטית סבירה ברב האגנים בין משתני הגשם לגודל ספיקת השיא של האירוע, שנע בין סטיה ממוצעת של 3 מ"ק/שנ' בין התוצאה המחושבת למדודה באגנים קטנים (געתון למשל) בהם טווח ספיקות השיא עד 35 מ"ק/שנ', ועד סטיה ממוצעת של 40 מ"ק/שנ' באגנים גדולים (חדרה, אלכסנדר, עזרא) בהם טווח הספיקות מגיע ל- 450 מ"ק/שנ'. ניתן להשתמש במתאם כשיטה נוספת לחיזוי ספיקות שיא, ע"י חישוב הגשם המצטבר בשני מרווחי הזמן של 40 יום (או גשם מתחילת העונה), 10 ימים, וחיזוי הגשם לזמן האירוע עצמו. הצבת נתוני הגשם לפי המקדמים, צפויה להעריך את שיא האירוע בוודאות סבירה, בהתאם למה שחושב במבחן הסטטיסטי של מדד RMSE.

**דינמיקת הסעת גרופת בשיטפונות בזק באקלים צחיח למחצה- מעבר תחנת נחל אשתמוע לתחנת
ניטור מתקדמת בנחל ענים**

ערן חלפי

מופ מדבר וים המלח

במשך למעלה משלושה עשורים שימשה תחנת המחקר בנחל אשתמוע אתר ייחוס מרכזי לחקר דינמיקת שיטפונות בזק באקלים צחיח למחצה, תוך התמקדות בתהליכי הידרודינמיקה, הסעת סחף ותנועת גרופת. מחקרים ארוכי טווח שנערכו באתר תרמו להבנת מנגנוני תחילת התנועה של גרגירים גסי-גרגר, הקשר בין מאמצי גזירה למורפולוגיית הערוץ, והשפעת אירועי קיצון על עיצוב אפיקי נחלים מדבריים. עם זאת, ניטור מתמשך חשף מגמה ברורה של שינוי בתנאי הזרימה ותשתית הנחל: במהלך השנים חלה עלייה הדרגתית במאמצי הגזירה הנדרשים לתחילת תנועת הגרופת, תהליך שהואץ במיוחד בעשור האחרון עקב השקעה של לס והיצרות עקב גידול של צומח גדות. כתוצאה מכך, רק שיטפונות גדולים במיוחד, בתדירות של אחד למספר שנים, הצליחו להניע את תשתית הנחל. על רקע מצב זה ובתמיכה של רשות ניקוז שקמה בשור, העתקנו את תחנת המחקר לנחל ענים הסמוך, המאופיין בתנאים הידרומורפולוגיים המאפשרים הסעת גרופת במאמצי גזירה נמוכים. התחנה החדשה הוקמה כמערכת ניטור מתקדמת וייחודית בקנה מידה עולמי, הכוללת ניטור ישיר של גרופת באמצעות חמש מלכודות חריץ (Reid Slot Samplers), מדידה עקיפה של גרופת באמצעות חיישנים אקוסטיים וסייסמיים, דיגום מים אוטומטי לקביעת ריכוז מרחפים, וכן אפיון מפורט של שדה הזרימה באמצעות מדי עומק (שינוי עיתי של עומק ושיפוע פני המים), מד מהירות תלת-כיווני למדידת מערבוליות, ומצלמת LSPIV לחישוב מהירויות פני המים. בחודש דצמבר האחרון נמדדו בהצלחה שישה אירועי שיטפון, מהם שניים חריגים בעוצמתם. אירועים אלו סיפקו מערך נתונים ייחודי של דינמיקת גרופת, אותות אקוסטיים וסייסמיים ומאפייני מערבוליות, ומהווים בסיס ייחודי לשיפור הבנת מנגנוני ההסעה בשיטפונות בזק ולהערכת מודלים פיזיקליים קיימים.

התחממות של מי התהום באקוויפר החוף כתוצאה משינוי אקלים גלובלי והתרחבות של גוש דן

¹טוביה טורקלסאוב, ²מיכאל פייר, ¹ענת ברנשטיין

¹מכון צוקרברג לחקר במים, המכונים לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושטיין, אוניברסיטת בן גוריון

²המחלקה להנדסת מערכות תוכנה ומידע, הפקולטה למדעי ההנדסה, אוניברסיטת בן גוריון

עלייה בטמפרטורת מי תהום נצפתה במספר אזורים ברחבי העולם, והיא נקשרת בעיקר לתהליכי עיור ולהתחממות גלובלית. מגמות ארוכות-טווח של התחממות מי תהום תועדו בעיקר באזורים ממוזגים, אולם קיימות עדויות מעטות בלבד באזורים צחיחים וצחיחים למחצה. במחקר זה נותחו שלושה עשורים של נתוני טמפרטורת מי תהום שנמדדו בלמעלה מ-1,000 קידוחים באקוויפר החוף, בשילוב נתוני טמפרטורת פני הקרקע (LST) שנמדדו באמצעות הלוויין Aqua MODIS לאורך שני עשורים. השפעת פני הקרקע על טמפרטורת מי התהום הוערכה באמצעות חלוקה לשלושה טיפוסים אזורים (עירוניים וכפריים), אשר הוגדרו על סמך כיוון הקרקע ברדיוס של 1,000 מטר סביב כל קידוח. ניתוח נתוני טמפרטורת פני הקרקע וטמפרטורת מי התהום מצביע על שינויים ניכרים הן בטמפרטורות המוחלטות והן במבנה המרחבי שלהן. באזור גוש דן, המאופיין בעיור אינטנסיבי ובחלק המרכזי של אקוויפר החוף, טמפרטורת מי התהום עלתה באופן מובהק בשיעור של 0.13°C לשנה, ערך הגבוה משמעותית ממגמות טמפרטורת האוויר האזוריות ומקצבי ההתחממות הגלובליים של מי תהום. לעומת זאת, באזורים הכפריים בצפון ובדרום אקוויפר החוף נצפו שיעורי התחממות הדומים למגמות טמפרטורת פני הקרקע ונעים בין $0.02-0.07^{\circ}\text{C}$ לשנה. ניתוחי מתאם מצביעים על שינוי בגורמים השולטים בטמפרטורת מי התהום, תוך מעבר מהשפעת גורמים טבעיים - כגון עובי התווך הבלתי רווי, קו רוחב והקרבה לים - להשפעת גורמים אנתרופוגניים, ובהם עלייה בכיוון קרקע עירונית ושינויים בתכונות הקרקע הקשורים להתפתחות עירונית. ממצאים אלה מדגישים כי התחממות תת-קרקעית באקוויפר החוף מועצמת באופן ניכר בעקבות עיור, ועשויות להיות לה השלכות משמעותיות על איכות מי התהום.

שינוי פרדיגמה בניהול משק המים: מניהול מבוסס משקעים לניהול מבוסס העשרה ומילוי חוזר

יוני יצחק, יעקב לבשיץ

רשות המים - השירות ההידרולוגי

באופן מסורתי, הניהול השנתי של משק המים בישראל התבסס על הערכות של כמויות משקעים החזויות לשנה הבאה כמשתנה ההחלטה המרכזי למצב המערכת ההידרולוגית. ניהול בשיטה זו חשוף לשני פערים מרכזיים: יכולת חיזוי המשקעים לטווח העונתי מוגבלת עד בלתי אפשרית בטכנולוגיות הקיימות, וסך המשקעים העונתי אינו מייצג נאמנה את מורכבות המערכות ההידרולוגיות והתפעוליות במדינת ישראל. כדי לגשר על פערים אלו, פותחו, כוילו והכנסו לשימוש מבצעי ותכנוני מודלים הידרולוגיים, נומריים ואנליטיים, להערכת ההעשרה העונתית והמילוי החוזר. מתודולוגיה: העשרה עונתית מול מילוי חוזר הגישה המוצעת מפרקת את המונח הכללי "מילוי חוזר" לשני תהליכים פיזיקליים נפרדים הנבחנים באמצעות המודלים. א) העשרה עונתית (Seasonal Replenishment): זרימת המים מפני השטח אל תוך תת-הקרקע (התווך הלא-רווי). מדד זה משקלל את עוצמת ותדירות המשקעים, האידי הטיפוגרפיה. ב) מילוי חוזר (Recharge): הגעת המים מתת הקרקע אל מי התהום באזורי הניצול (התווך הרווי). זהו המדד הקובע את המלאי הזמין להפקה. מענה לפערים וניהול סיכונים הידרולוגי השימוש במדדי העשרה ומילוי חוזר מאפשר לצמצם את אי-הוודאות המובנית בחיזוי המשקעים: (1) זיהוי "גשם אפקטיבי" וספי רוויה: המודל מאפשר לזהות מצבים שבהם גשם רב אינו מתרגם למים זמינים בשל "גירעון" ברוויית הקרקע, או לחלופין, מצבים של "הקדמת פאזה" שבהם המערכת עוברת לזרימה אפקטיבית מהירה במיוחד. (2) זיכרון אגני וגירעון מצטבר: בניגוד לנתוני משקעים המתאפסים מדי שנה, מודל המילוי החוזר משקלל את "הגירעון המאזני" מהעונה הקודמת. הבנה זו קריטית למניעת הערכת יתר של משאבי המים בשנים המתאפיינות בשינויי אקלים ובתנודתיות גבוהה. (3) דיוק גיאוגרפי ותפעולי: השימוש במודל משולב חושף את הקישוריות הלא-אחידה בין אגני משנה ומערכות העתקה, המכתיבים את מסלולי הזרימה ואת השפעת ההפקה על המעיינות. סיכום והמלצות למדיניות המעבר לניהול מבוסס העשרה ומילוי חוזר הופך את התחזית העונתית מכלי הערכה סטטיסטית לכלי תכנוני אופרטיבי המאפשר למקבלי ההחלטות לקבוע תרחישי שאיבה והפקה המבוססים על תחזיות המילוי החוזר בפועל, המהוות סמן הידרולוגי. מעבר לגישה תפעולית זו יאפשר לנהל את משק המים בתנאי שגרה ושנות קיצון.

אופטימיזציה של דישון חנקני למניעת זיהום מי תהום באמצעות ניטור רציף של חנקה בבית השורשים

¹יונתן יקותיאל, ²שחר ברעם, ²עפר דהן

¹מכון צוקרברג לחקר המים, אוניברסיטת בן גוריון

²המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מכון וולקני, מרכז המחקר נווה יער

הדישון החנקני בחקלאות מהווה את אחד המקורות העיקריים לזיהום מקורות מים, עודפי חנקן שאינם נצרכים על ידי הצמח מחלחלים מתחת לבית השורשים כחנקה ויוצרים זיהום במי התהום. הגישה המקובלת כיום לדישון מבוססת לרוב על פרוטוקולים קבועים מראש, שאינם מתחשבים בדינמיות הגבוהה של החנקן בקרקע ובשינויים העיתיים בצריכת החנקן לאורך עונת הגידול מה שמוביל לחוסר התאמה בין יישום הדשן לצריכה שלו על ידי הצמח ולזיהום סביבתי. מחקר זה מציג גישת דישון דינמית המבוססת על מערכת ניטור חדשנית למדידה רציפה של ריכוז החנקה בזמן אמת בבית השורשים. המערכת עושה שימוש בספקטרוסקופיה של UV באתר (in-situ) ומספקת נתונים רציפים על ריכוז החנקן בתמיסת הקרקע. נתונים אלה מאפשרים לקבוע את ריכוז הדשן בצורה יומית בצורה מדויקת בהתאם לדרישות הצמח. הגישה נבחנה בשני קני-מידה: במערכת ליזימטרים מבוקרת לגידול חסה ובחלקת שדה מסחרית לגידול פלפל בערבה. ממצאי המחקר מראים כי שימוש בשיטת דישון מבוססת נתוני קרקע מאפשרת לשמור על ריכוז חנקן אופטימלי בבית השורשים ולמנוע עודפים. בניסויי השדה ובליזימטרים הושגה הפחתה דרמטית של בין 50% ל-56% בחלחול חנקן אל מעבר לבית השורשים, תוך צמצום של כ-40% בכמויות הדשן המיושמות. כל זאת, ללא פגיעה ביבול ואף תוך שיפור בביצועים החקלאיים. תוצאות אלו מדגימות כי מעבר לניהול דישון מבוסס משוב רציף מהקרקע מהווה כלי חיוני להגנה על משאבי המים מפני זיהום חקלאי, תוך הבטחת המשכיות ייצור המזון באופן בר-קיימא.

תמ"א 47 נ' - תכנית מתאר ארצית ראשונה לניהול נגר

עומר כהן, עמית קולטין

פלגי מים

ניהול נגר עילי – פרויקט ניהול נגר אגני - תמ"א 47 נ' תמ"א/47/נ' תמ"א מפורטת לאתרי ויסות נגר ומתן פתרונות לניהול נגר בראיה אגנית באגן הירקון, איילון ואגן מקומי שרון. התכנית חלה בשטחי אגני ניקוז איילון – ירקון, ממערב לקו הירוק, ובאגן ניקוז מקומי שרון. הפיתוח הקיים והעתיד במטרופולין גוש דן מציב אתגר משמעותי הן לניהול סיכוני השיטפונות בשל הקרבה לנחלים, והן לניהול הנגר העילי באגנים אלה. תוספת הפיתוח הצפויה במרחב זה ושינויי האקלים המשנים את מופעי הגשם, יחד עם הקרבה לנחלים, צפויים להחריף את תופעת ההצפות ואף להוות איום על המשך הפיתוח העתידי הן של יחידות הדיור והן של התשתיות המאושרות והמתוכננות בהתאם ליעדי התכנית האסטרטגית. לאור זאת, החליטה המועצה הארצית, בשנת 2020, על עריכת תכנית מתאר ארצית לאתרי ויסות במרחב זה. תמ"א 47 נ' ביוזמת רמ"י הינה תכנית "חלוצית" בהיקפה לתחום ניקוז וניהול נגר אגני במדינת ישראל. מטרת התכנית ועיקריה: (1) הסדרה סטטוטורית ברמת תכנית מפורטת, של אתרים לוויסות שיטפונות. (2) לאפשר את הפיתוח העתידי במרחב אגן הירקון ובאגן מקומי שרון, ולהגביר את העמידות של המרחב המטרופוליני בפני שיטפונות ושינויי אקלים. (3) מכח התכנית ניתן יהיה להוציא היתרי בניה ולהקים אתרי ויסות שיטפונות, וכן כל מתקן הנדסי נוסף ומערכות הולכה נוספות שידרשו. (4) אתרי הוויסות בתכנית מבוססים בין היתר על תכנית האב האגנית של רשות ניקוז ירקון. בימים אלו, 5 שנים לאחר יריית הפתיחה ולאחר אלפי שעות תכנון, דיונים, פגישות, תיאומים וסיורים, כאשר באמתחתנו אתר וויסות מאושר- "הכפר הירוק" באגן שרון מוצגת התכנית בכללותה. במסגרת זו נסקור את עקרונות התכנית ונעמוד על האתגרים הרבים בקידום תכנית ייחודית זו במתאר רווי תשתיות, אילוצים, מכשולים ואינטרסים.

פעם נבע פה מעיין: אפיון הידרולוגי של סביבת מעיין שיבש בערבה והשלכות לשיקום

¹מירב כהן, ¹בן צאנג, ¹נעמי ברדה סווידרסקי, ²אבשלום באבד

¹מו"פ מדבר וים המלח

DHV²

מעיינות נמנים עם המערכות האקולוגיות הרגישות והמאוימות ביותר בעולם, ובאזורי צחיח קיצון הם מהווים מרחב מקלט הידרולוגי ואקולוגי חיוני. בערבה הדרומית חלה בעשורים האחרונים דעיכה נרחבת של מעיינות, בעיקר כתוצאה משאיבת יתר של מי תהום ורצף שנות בצורת. תהליך זה הוביל לירידה חדה בספיקות, לעלייה במליחות המים ולקריסה של מערכות אקולוגיות תלויות-מעין, ובהן אוכלוסיות דקלי תמרי הבר בעלי חשיבות אקולוגית, גנטית ותרבותית. במחקר זה נבחן עין שחק, מעיין שהתייבש במרכז הערבה, כמקרה מייצג לקריסת מערכות מעיינות בסביבת צחיח קיצון. מטרת המחקר היא לאפיין את התנאים ההידרוגאולוגיים, הגאומורפולוגיים והאקולוגיים שאפשרו בעבר את שפיעת המעיין, ולהעריך את ההיתכנות להתערבויות שיקום מבוססות העשרת מי תהום מקומית באמצעות מי שיטפונות. המחקר התבסס על אפיון מקיף של אזור המעיין ונביעות עבר, מיפוי צמחייה אופיינית, ניתוח נתיבי זרימת שיטפונות, מיפוי טופוגרפי וגאומורפולוגי, קידוחים רדודים לאפיון הסטרטיגרפיה, וסקר גיאופיזי לזיהוי שכבות תת-קרקעיות רדודות. בנוסף, בוצע מידול באמצעות HYDRUS-2D לבחינת תרחישים שונים של התערבויות גאומורפולוגיות בתוואי השטח, כולל תעלות חלחול וסכרים רדודים, ולהערכת השפעתן על לחות הקרקע, אגירת מים והזנת האקוויפר הרדוד. הממצאים מצביעים על קיומם של אופקי חצץ רדודים בעלי פוטנציאל אגירה, המוגבלים על ידי שכבות חרסית מקומיות. מיקומם של אופקי לאורך העתק מקומי אפשר, ככל הנראה, נביעה ואגירה של מי תהום עמוקים, לצד העשרה נוספת ממי שיטפונות. תוצאות המידול מצביעות על פוטנציאל ממשי להגברת זמינות מים מקומית גם ללא חידוש מלא של שפיעת המעיין. המחקר מדגיש את חשיבות האפיון האקו-הידרוגאולוגי המפורט כבסיס לבדיקת פוטנציאל שיקום אקו-הידרולוגי למעיינות בסביבות צחיח קיצון.

השפעת השקיה בקולחין על איכות מי התהום באקוויפר החוף – ממצאים ומשמעויות רגולטוריות 1¹חיים כץ, 2²גיא גסר, 1¹הראל גל

1¹אגף איכות מים, רשות המים

2²המעבדה הלאומית לאיכות מים, רשות המים

אקוויפר החוף מהווה מקור מים אסטרטגי למדינת ישראל, אך הוא חשוף לסיכוני זיהום מתמשכים כתוצאה מפעילות אנושית אינטנסיבית ומשימוש נרחב בקולחין להשקיה חקלאית. קרבמזפין (Carbamazepine), תרופה נפוצה בעלת עמידות גבוהה בתהליכי טיפול ובסביבה, משמשת כסמן (tracer) ייחודי ואמין לזיהוי ולכימות חדירת שפכים וקולחין למקורות המים, גם בריכוזים נמוכים מאוד. בין השנים 2020-2024 נערך סקר נרחב ב-243 קידוחי הפקה באקוויפר החוף, תחת שימושי קרקע שונים: שטחים עירוניים, שטחים חקלאיים המושקים בקולחין ושטחים חקלאיים המושקים במים שפירים. ממצאי הסקר חושפים נוכחות של הסמן בכ-37% מכלל הקידוחים שנבדקו, לרוב בריכוזים נמוכים, המעידים על חדירת שפכים בהיקפים משתנים. באופן מפתיע, בקידוחים הממוקמים בסמיכות לשטחי השקיה בקולחין, שיעור הגילוי היה נמוך מהממוצע (27%), בעוד שקידוחים באזורים עירוניים הציגו נוכחות קרבומזפין בשכיחות גבוהה יותר ובריכוזים גבוהים משמעותית. ניתוח הנתונים מצביע על כך שריכוזים חריגים במי התהום, מקושרים בעיקר לכשלים תשתיתיים, כגון דליפות ממערכות הולכת ביוב עירונית וממאגרי קולחין. ממצאי מחקר זה, לצד עבודות קודמות בתחום, מצביעים על כך שעד כמה שאנו יודעים כיום, השקיה בקולחין, אף ברמת הטיפול כיום, אינה פוגעת באיכות מי התהום. הדיון בהרצאה יתמקד בממצאים העדכניים מישראל, תוך בחינת השלכותיהם על משק המים והצורך במיקוד הרגולציה והמשאבים בשיפור ותחזוקת תשתיות הולכה ואיטום, לצד המשך ניטור מיקרו-מזהמים.

המצאות תמלחות רדודות סביב נחל הירקון, תוצאות מסקרים גיאושמליים מאזור פארק הירקון

¹אלדד לוי, ²ליאור נצר, ²יעקב ליבשיץ, ²נמרוד חכם

¹המכון הגיאופיסי לישראל

²השירות ההידרולוגי, רשות המים

נחל הירקון ויובלו המרכזי נחל איילון, הינם אסטוארים, לכן ברוב ימות השנה ישנם מי ים מלוחים בתחתית הערוצים, וניתן למצוא אותם עד למרחק של מספר ק"מ במעלה הנחל. הנחלים נמצאים מעל אקוויפר החוף המהווה מקור מים טבעי מרכזי לאספקת מים באזור תל אביב. אפיק נחל איילון שונה מעט עם בנית נתיבי איילון ובחלקו הותקנה תעלה מבוטנת. בבסיס התעלה הותקנו נקזים שגרמו לחלחול מים מלוחים לאקוויפר וגרמו להמלחה מקומית. לצורך הבנת התפשטות התמלחות סביב הערוץ בוצע בשנים האחרונות, סקר גיאושמלי משולב באזור ראש ציפור, ובנוסף נקדחו באזור שני קידוחי ניטור, שאחד מהם שימש גם לטובת ניטור גיאושמלי, ע"י הצבת אלקטרודות סביב צינור הקידוח במהלך פיתוחו. נתונים אלו מתווספים לסקר גיאושמלי משולב שבוצע בשנת 2010 בפארק הירקון שתוצאותיו לא פורסמו מעולם. תוצאות הסקרים מראות כי התמלחות מהנחלים, באזורים שנבחנו, כלואות בשכבת חרסית ומתפשטות למרחק של עשרות עד מאות מטרים מהנחל. ההתפשטות באזור שנבחן מוגבלת לעומק של מספר מטרים. מי התהום בקידוחי הניטור מלוחים ומושפעים מהמים שבנחל אך ככל הנראה חדירת המים המליחים אינה מתרחשת באזור זה של הנחל. תוצאות הניטור הגיאושמלי מראות תמונה יציבה, בה לא רואים שינויים במליחות מי התהום לאורך תקופת הניטור, אך יש להדגיש כי בתקופת הניטור מפלסי מי התהום עלו ובמצב זה מידת חלחול מים מליחים מתעלת האילון לאקוויפר ככל הנראה קטנה משמעותית.

השפעת שינויי אקלים על שיטפונות בזק באגנים ים תיכוניים הטרוגניים - מקרה הבוחן של אגן

ירקון-איילון

¹עומרי ליון, ¹אפרת מורין, ²יאיר רינת, ¹משה ארמון

¹האוניברסיטה העברית בירושלים

²המכון הגיאולוגי לישראל

שיטפונות בזק מהווים סכנה טבעית משמעותית באזורים ים תיכוניים, הגורמים לנזקים, לתשתיות ואף לאובדן חיי אדם. אירועים אלו מושפעים באופן ישיר משינויים בדפוסי הגשם הנובעים משינויי אקלים. חרף מחקר נרחב בתחום, קיימים עדיין פערים בהבנת דינמיקת שיטפונות בזק בקני מידה מרחביים שונים. בפרט, יש מחסור במחקרים המבוססים על מודלים מפורטים ברזולוציה גבוהה, המאפשרים לבחון את רגישות תגובת אגנים הטרוגניים במהלך ארוע לשינויים במאפייני גשם מקומיים. מחקר זה בוחן מאפייני שיטפונות בזק באגן ירקון-איילון, אגן ים תיכוני גדול במרכז ישראל (כ-1,800 קמ"ר), המאופיין בהטרוגניות מרחבית גבוהה. האגן מנוטר ברשת של 14 תחנות הידרומטריות, המנקזות שטחים תורמים בטווח רחב של גדלים (7–953 קמ"ר), ומאפשרות הערכה של תגובת השיטפונות באזורים בעלי תכונות הידרולוגיות שונות. לשם כך מיושם מודל GB-HYDRA, מודל מפורס ומבוסס אירועים ברזולוציה גבוהה, שפותח על מנת לאפיין את דינמיקת הנגר בשיטפונות בזק. קלט הגשם למודל הוא מנתוני מכ"ם מטאורולוגי. ביצועי המודל הוערכו באמצעות סימולציה של 37 אירועי שיטפון היסטוריים. מתוך אירועים אלו, 24 שימשו לכיול המודל ו-13 נוספים לאימות, כשחלק מהתחנות התחנות ההידרומטריות שימשו לאימות בלבד, כך שהתאפשרה בחינת תגובת האגן על פני מגוון של שטחים תורמים. תוצאות הסימולציות מצביעות על ביצועים טובים למדי של המודל, עם ערכי KGE של כ-0.75 לנפח הנגר וכ-0.70 לספיקת השיא. בשלב הבא, נבחנת השפעת שינויי האקלים על שיטפונות בזק באמצעות שימוש בסימולציות גשם ברזולוציה גבוהה ממודל WRF כקלט למודל ההידרולוגי המכיל. הסימולציות מייצגות תנאים היסטוריים ותרחישי גשם עתידיים לסוף המאה ה-21 תחת תרחיש RCP8.5. הניתוח בוחן כיצד שינויים בדפוסי הגשם משפיעים על מאפייני שיטפונות הבזק בקני מידה מרחביים שונים בתוך האגן.

עקרונות מנחים לקביעת אזורי מגן לקידוחי מי שתייה בישראל

יעקב ליבשיץ

השירות ההידרולוגי, רשות המים

שיטה הנהוגה בישראל לקביעת אזורי מגן לקידוחי מי שתייה מאופיינת בגישה מקלה יחסית בהשוואה לסטנדרטים בינלאומיים, ובפרט ביחס לאזורי מגן ג'. לפיכך, צמצום אזור מגן מהווה צעד חריג המעלה את רמת הסיכון לזיהום מקורות מים, ומצדיק בחינה מקצועית מחמירה וקיומו של אינטרס ציבורי מובהק. האיזון בין רמת הסיכון לפגיעה באיכות המים לבין מגבלות השטח, שאינן מאפשרות במקרים רבים קיום מלא של אזורי הגנה, אינו פשוט. מדינת ישראל נדרשת לגבש פתרון המאפשר ניצול ופיתוח של מקורות המים הטבעיים לצד פיתוח מואץ של השטח הבנוי והתשתיות. בשנים האחרונות מקודמות שתי עבודות מרכזיות שנועדו לתת מענה לאתגר זה: (א) העבודה הנוכחית, ו-(ב) עבודת משרד הבריאות – „ארגז כלים”, המאפשרת בתנאים מסוימים אישור קיום מפגעים סביבתיים בתחום אזורי המגן תוך הקמת חסמים הנדסיים. שתי העבודות משלימות זו את זו: העבודה הנוכחית מציגה כלים להגדרת אזורי מגן, בעוד ש„ארגז הכלים” מאפשר, במקרים מוגבלים, קיום פעילות מזהמת בתחום אזורי המגן, בכפוף לאמצעי הגנה הנדסיים. העבודה מציגה את התקנות הקיימות לקביעת אזורי מגן, משווה בין התקינה בישראל לדרישות הנהוגות בעולם להגנה על קידוחי מי שתייה, ומציעה מערך כלים לקביעת אזורי מגן בהתאם לתנאים הידרוגיאולוגיים מקומיים, כגון אקוויפרים כלואים או מקורים, קידוחים החודרים הן לתווך סדוק והן לתווך נקבובי, חדירה חלקית לאקוויפר, שדות זרימה קבועים, הפקה מוגבלת בזמן, וכן את הצורך ואופן השימוש במודלים נומריים מכילים. בנוסף, מפורטות דרישות לאיסוף נתונים במהלך הקדיחה, לרבות תיאור גיאולוגי מפורט, לוגים גיאופיזיים, שאיבות ניסוי ומבחני שאיבה, הנדרשים לצורך קביעה מבוססת של אזורי מגן. העבודה מציעה מתודולוגיה שמטרתה לאזן בין צרכי הפיתוח ואספקת המים לבין שמירה ארוכת טווח על איכות מקורות המים, בדגש על מקורות מי שתייה.

ניהול ממשקי זרימה בערוצים מתחתרים באמצעות חישת לוינים ו- AI

¹עמיר מור-מוסרי, ²אלי צעדי, ¹ליאור בלנק

¹מנהל המחקר החקלאי, מכון וולקני, ראשל"צ

²מכללת ספיר, שדרות

כתוצאה משינויי האקלים והשפעות האדם, השנים האחרונות מתאפיינות במשקעים לא סדירים ובעוצמות גבוהות דבר המביא ליצירת ערוצים מתחתרים (gullies). הימצאותם, התארכותם, והתרחבותם של ערוצים אלו בשטחי בתרונות (ravines) או על פני מצוקי לוס (loess bluffs) עלולה להביא להתמוטטות מקטעי שטח נרחבים ולהוביל לנזק לרכוש ולאדם. ניטור מאפייני הערוצים המתחתרים והבטחת זרימה רציפה של עודפי הנגר למקטעי ניקוז עשוי למנוע נזק זה. בהתאם להנחה שהמאפיינים ההידרולוגיים של הערוצים המתחתרים מתבטאים בהשתנות הצמחייה, תוכנן מחקר נרחב בצפון הנגב שמטרתו כדלקמן: (1) קביעת השתנות מאפייני הצמחייה העונתית בערוצים מתחתרים שונים באמצעות ניתוח דימותי לוויין עיתיים (ברזולוציה גבוהה, 2) בניית מודל דיגיטלי לקביעת הכיסוי הצמחי העונתי בערוץ המתחתר נתון המשלב את השפעות מפנה הגבעה, כמות הגשם, שיפוע ואורך הערוץ, (3) קביעת מיקומים על פני הערוצים המחייבים ניהול הזרימה לשם מניעת התמוטטות סביבתם (הרחבת הערוץ, הסרת מכשולים, פיצולו וכדו'). למחקר נבחר שטח bluff המצוי בפארק סירת שקד (277 הקטאר) ושטח סמוך בגבעות ירוחם (2,160 הקטאר), שטחים אלו מכוסים בעירוץ מתחתר צפוף. לשם בחינת הצמחייה העונתית נערכו סיורי שטח נרחבים בשטחי המחקר שהושוו לדימותי לוויין עיתיים של ה- PlanetScope (רזולוציה מרחבית: 3 מטר לפיקסל, עיתית: דימות לשלושה ימים, לשנים 2019 עד 2024 בין ינואר למאי. באמצעות נתוני הלוויין, יצרנו מפות תפרוסת צמחייה דיגיטלית ((NDVI: Normalized differences vegetation index ל- 80 ערוצים מתחתרים בשטחי המחקר, ונרמלנו את ערכיהם לשם ניטור השפעות חיזונית באמצעות שטח ביקורת. באמצעות מודלי ה- Random Forest וה- Linearic prediction, נמצא שהגורמים המשפיעים על השתנות הצמחייה הם: מפנה הערוץ; מפנה צפוני וצפוני-מערבי העלו את כמות הצמחייה במורד הערוץ בעוד שהמפנה הדרומי הורידו אותה במורד הערוץ. בנוסף נמצא שהגובה היחסי של ראשית הערוץ בהשוואה לפני הים, כמות הגשם השנתית ואורך הערוץ המתחתר הם בעלי השפעה רבה על הצמחייה העונתית בערוץ. כמו כן נמצא שמקטעי ערוצים מתחתרים בעלי כיסוי צמחי עונתי גבוה עשויים לנבא התמוטטות עתידית של סביבתם. מודל זה וניגזרותיו יאפשרו ניהול מיטבי של מי הנגר העילאיים בשטחים נרחבים בעולם הרגישים לעירוץ מתחתר.

ניטור דינמיקת בית השורשים של תמרים במהלך ייבוש טרום-גדיד על ידי טומוגרפיה חשמלית

ולימוד מכונה מונחה פיסיקה

¹זיו מורנו, ¹ג'אנר סקאר, ²אפרים ציפילביץ, ¹שמוליק פרידמן, ¹שבתאי כהן

¹מנהל המחקר החקלאי, מכון וולקני

²מו"פ בקעת הירדן, תחנת צבי

פרקטיקה נהוגה בגידולי תמרים הינה הפסקת ההשקיה למשך כחודשיים לפני הגדיד במטרה להפחית את תכולת המים בפרי ולאפשר אריזה ללא צורך בייבוש חיצוני (כגון ייבוש בתנורים). עם זאת, התגובה הפיזיולוגית של התמר להפחתת זמינות המים ולהצטברות מלחים באזור בית השורשים תחת משטר עקה זה עדיין אינה מובנת לחלוטין. בעבודה זו, ניטרנו את אזור בית השורשים במהלך תקופת הייבוש בעזרת טומוגרפיה חשמלית (ERT) בזמנים עוקבים, תוך השוואה בין שתי אסטרטגיות השקיה: שיטה קונבנציונלית המבוססת על נתונים מטאורולוגיים, ושיטת "השקיה לפי דרישה" המבוססת על חיווים של שני טנסיומטרים בעומקים שונים, להלן (Irrigation On Demand) IOD. אתר הניסוי ממוקם בחווה ניסיונית הסמוכה לקיבוץ גלגל (בקעת הירדן). סקרי ERT בוצעו במהלך אוגוסט 2024. קשרים הידרו-חשמליים כוילו לצורך המרת האות החשמלי לתכולת רטיבות ולריכוזי מלחים. מדידות נוספות כללו חיישני חמצן ורטיבות בקרקע במיקומים שונים, וחיישני זרימה בגזע (sapflow) להערכת קצבי הדיות. לצורך שילוב וניתוח הנתונים יושמה מסגרת למידת מכונה מונחית פיסיקה מסוג Neural Physics-Informed Networks (PINN). התוצאות הראו ששיטת הIOD הפחיתה את נפח ההשקיה בכ-25%, תוך שמירה על שיעורי דיות גבוהים יותר ורמות חמצן גבוהות יותר באזור השורשים לאורך תקופת הייבוש. הטומוגרמות החשמליות חשפו הבדלים מובהקים בדפוסי הרטיבות, צריכת השורשים והמליחות בקרקע בין שתי שיטות ההשקיה, כאשר תחת משטר השקית הIOD ריכוזי המלחים היו גבוהים ביותר מפי שניים ודרגות הרוויה נמוכות בכ-40% מאלו שנמדדו בשיטת ההשקיה הקונבנציונלית.

ההשפעה של שאיבת מי תהום מלוחים רדודים על כניסת המלחים לאגם הכנרת ופוטנציאל ההמלחה

¹תומר מידן, ¹איריס זוהר, ²שקד שטיין

¹המכללה האקדמית תל חי

²המעבדה לחקר הכנרת

הכנרת, מאגר המים המתוקים העילי העיקרי של ישראל, עומדת בפני תהליך המלחה מתמשך המונע על ידי יחסי גומלין מורכבים בין מבנים גאולוגיים לבין מקורות מי תהום מלוחים עמוקים. בעוד שמערכות המעיינות המלוחים בחוף ומחוץ לחוף (במערב ובצפון) נחשבות למקורות ההמלחה העיקריים של האגם, כ-70% מהמלחים הנכנסים לאגם מקורם בחלחול מפוזר מחופיו. קו החוף "האון" בדרום-מזרח הכנרת מהווה מוקד פוטנציאלי להמלחה משמעותית בשל מליחות גבוהה של מי התהום מתחת לאגם (כ-25,000 מ"ג/ליטר של סך המוצקים המומסים) ועומד ההידראולי הגבוה ממפלס האגם. קיים צורך לחקור פעולות אפשריות לניסיון לצמצם את כניסת המלח לאגם. מחקר זה בוחן את השימוש בבארות שאיבה לשאיבת התמלחת מתחת לאגם במטרה לצמצם את כניסת מי התהום המלוחים. השתמשנו בניטור רציף של שתי בארות רדודות בשילוב נתונים משתי בארות עמוקות יותר בחוף האון, כדי לבנות חתך סטריגרפי דו-ממדי לצורך בניית מודל נומרי של זרימה והסעת מומסים. המודל פותח באמצעות קוד FEFLOW וכולל על פי הנתונים מבארות הניטור. על בסיס תשתית מכוללת זו, בוצעו סימולציות הכוללות באר שאיבה פעילה כדי לכמת את הדינמיקה בתת-ההקרקע ואת שטפי המלח בתנאי לחץ. התוצאות מראות כי שאיבת התמלחת מתחת לאגם מורידה את העומד ההידראולי של מי התהום ועשויה לצמצם את כניסת המלחים. יתרה מכך, תוצאות אלו מספקות נתונים קריטיים בנוגע להיתכנות התוכנית הנוכחית לשימוש במי התהום המלוחים המופקים מאקוויפרים סמוכי חוף בכנרת לצורכי התפלה, ובכך מציעות בסיס מדעי לאסטרטגיות ניהול מים שמטרתן למתן את המלחת האגם.

חיזוי והבנת תהליכי המלחת מי תהום בישראל באמצעות למידת מכונה אריאל מרוז, מירב כהן

המלח ים מדבר פ"מו

המלחת מי תהום מהווה אתגר גלובלי הולך וגובר, המאיים על זמינותם ואיכותם של משאבי המים. מחקר זה נועד לחזות ולהבין את תהליכי המלחת מי התהום ואת הגורמים המניעים אותם. במסגרת המחקר נבחנו שבעת אגני מי התהום ההידרולוגיים המרכזיים בישראל. לשם כך, שולב בסיס נתונים רחב הכולל משתנים אקלימיים, גאוגרפיים-גיאולוגיים ואתרופוגניים, לצורך הערכת השינויים בריכוזי הכלוריד במי התהום בישראל לאורך שלושת העשורים האחרונים ונותח באמצעות מודלי למידת מכונה. במחקר יושמו מגוון מודלים של למידת מכונה, ובהם רגרסיה ליניארית, אלגוריתמים מבוססי עצי החלטה וכן רשתות נוירונים מלאכותיות. המידול לווה בשימוש בכלי בינה מלאכותית הסברתיים (XAI) המספקים מדרג חשיבות לכל פרמטר ואת כיוון השפעתו והתוצאות הושוּו בין השיטות השונות וידע קיים לצמצום חוסר הוודאות של המודלים. המודלים הציגו יכולות חיזוי גבוהות באגנים ובמודלים השונים. ניתוח ה-XAI הדגים כי תרומתם היחסית של הגורמים המשפיעים משתנה בין האגנים ההידרולוגיים. התוצאות מצביעות על כך שאקוויפר החוף מושפע במידה רבה ממשתנים אתרופוגניים, לצד השפעתם של גורמים טבעיים, ובראשם המרחק מגופי מלח תת קרקעיים במזרח. אקוויפר ירקון-תנינים מושפע באופן מובהק מן השונות האקלימית הרב-שנתית, בעוד שאגן הכנרת מושפע משילוב של פעילות אדם ושונות אקלימית. אגן הנגב והערבה מתאפיין בהשפעה דומיננטית של המבנה הגיאולוגי, לצד תרומה ניכרת של גורמים אתרופוגניים. ממצאי המחקר עולים בקנה אחד עם הספרות המדעית הקיימת, ובמקביל מאפשרים זיהוי של תובנות חדשות ושאלות מחקר נוספות על השפעת מי קולחין והשקיה חקלאית על מליחות מי תהום. מעבר לכך, המסגרת המתודולוגית שפותחה במחקר זה הינה מקיפה וניתנת ליישום במגוון רחב של הקשרים הידרולוגיים-סביבתיים. יכולת החיזוי של המסגרת חשובה במיוחד לצורך הערכה מוקדמת של השפעות שינויי האקלים על מי התהום, ובכך היא תומכת בקבלת החלטות מבוססות-מידע ובניהול בר-קיימא של משאבי מים.

עלות היערכות עירונית להתגברות עוצמות גשם – שני מקרי בוחן

מורן נאמן, גלעד ספיר

DHV

ביולי 2018 התקבלה החלטת ממשלה מס' 4079 בנושא היערכות מדינת ישראל לשינוי אקלים ולקידום תכנית פעולה לאומית. לצורך יישום ההחלטה הוקמה מנהלת היערכות לשינוי אקלים, אשר הובילה בשנים האחרונות שורה של מחקרים מקיפים הסוקרים את ההשפעות הצפויות של מגמות האקלים המרכזיות בישראל. במקביל, השירות המטאורולוגי פרסם מסמכים המתייחסים לשינויים ארוכי טווח במגמות באירועי גשם קיצוניים. מהנתונים עולה מגמת התחממות מובהקת ומואצת, לצד גידול משמעותי בעוצמות הגשם באירועים נדירים. בהתאם לכך, התבקשנו על ידי מנהלת היערכות לשינוי אקלים לערוך הערכת עלות ראשונית להתאמת תשתיות התיעול העירוניות לעלייה בעוצמות הגשם. לצורך כך בוצעה בחינה הנדסית לשתי מערכות תיעול עירוניות במישור החוף ובשפלה באמצעות מודל גשם-נגר PCSWMM חד-מימדי, המשלב מאפייני אגן ניקוז כגון: שטח, סוג קרקע, שיפועים, אחוז כיסוי שטח אטום, עוצמות ומשכי גשם ומהם מחשב את הנגר המתקבל ואת זרימתו במערכת התיעול העירונית. הבדיקה יושמה על שני אזורים עירוניים בעלי מאפיינים שונים: (1) מערכת תיעול המתוכננת לשכונת סירקין באזור השפלה. (2) תכנית מתאר להתחדשות עירונית באזור תעשייה הרצליה, בה קיימת מערכת תיעול בת עשרות שנים. לכל אחד מהאזורים הוגדר תרחיש בסיס, ונבחנו העלאות הדרגתיות בעוצמת אירועי הגשם עד 50% מהערכים המקוריים, בהתאם למסמכי השמ"ט. ניתוח התוצאות איפשר להעריך את השפעת עוצמות הגשם המתגברות על תפקוד מערכת התיעול, ולגזור מתוכן את אומדן העלויות הנדרש לשדרוג או הרחבת התשתיות כדי להבטיח כושר הולכה מתאים. במסגרת ההרצאה יוצגו המתודולוגיה, הנתונים והממצאים המרכזיים של המודל, לצד הערכת העלות הראשונית להתאמות הנדרשות במערכות התיעול לנוכח שינויי האקלים והתגברות עוצמות הגשם.

שיפור כושר החדרה במפעל השפד"ן: שיקום אגני החדרה נחותים על ידי החלפת חול

עידו נגב

מקורות

במפעל השפד"ן מוחדרים כל שנה בין 115 ל-145 מלמ"ק קולחים שניוניים שמקורם במט"ש איגודן המטפל בשפכים מכל רחבי גוש דן והערים הסמוכות. לאחר הטיפול במט"ש הקולחים מוזרמים לשדות החדרה הממוקמים באזורי הדיונות ורכסי הכורכר שבין ראשל"צ לאשדוד. כושר החדרה בשדות החלחול של המפעל הנו גורם מרכזי המשפיע על יכולת הטיפול המשלים בשיטת Soil Aquifer Treatment (SAT) בכמויות הקולחים הגדולות, על כמויות המים המושבים הנשאבים מהאקוויפר ומופנים להשקיה ללא מגבלות בנגב, ועל הכמות של עודפי הקולחים באיכות שניונית שלא ניתן להחדירם ולכן הם מוגלשים לסביבה וליים. בסך הכל המפעל כולל כ-1070 דונם של שדות החדרה המחולקים ל-5 אגנים שנבנו בהדרגה החל מאמצע שנות ה-70 באזור ראשל"צ (שורק) והתפשטו בהדרגה דרומה לכיוון יבנה ואשדוד (יבנה 1, 2, 3 ו-4). דווקא שדה החדרה של יבנה 4 שנבנה אחרון בתחילת שנות ה-2000 באזור חולות אשדוד מאופיין בכושר ההחדרה הנמוך ביותר במפעל, עם עומס הידראולי של כ-40 מ' בשנה בהשוואה לעומס הידראולי ממוצע של כ-135 מ' בכלל המפעל. לאורך השנים נערכו די הרבה מחקרים, סקרים ופעולות שונות במטרה לשקם את כושר ההחדרה הירוד של שדה זה, אך ללא הצלחה רבה. במחקר זה בחנו את האפשרות לשיקום כושר ההחדרה של שדה יבנה 4, ושל שדות החדרה נחותים נוספים במפעל, באמצעות החלפת חול לעומק רדוד. המחקר התחלק לשלושה שלבים עיקריים: בשלב הראשון (2019) נבחנה השערת המחקר שטוענת שהסיבה לכושר ההחדרה הירוד הינה שניוניים קטנים בתכולת הדקים של החול בשדות החדרה; בשלב השני (2021-22) נערך ניסוי שדה לבחינת השערת מחקר נוספת שלפיה די בהחלפת החלק העליון של הקרקע, עד עומק של כ-1.5 מ', על מנת לשקם את כושר החידור; בשלב השלישי שהחל בשנת 2024 ונמצא בעיצומו נערך פיילוט להחלפת חול בבריכת החדרה 7102 ביבנה 4, בריכה שאופיינה בכושר החידור הנמוך ביותר במפעל לאורך כל שנות פעולתה. בהרצאה זו נציג את התוצאות והמסקנות של שני שלבי המחקרים הראשונים שהובילו בסופו של דבר לאישור של ביצוע הפיילוט בהשקעה כספית ניכרת. כמו כן נציג תוצאות ראשוניות מניסוי הפיילוט בבריכה 7102 שפועלת ברציפות החל מאפריל 2024 תוך מעקב צמוד אחר קצבי ההחדרה והתהליכים השונים המתרחשים בשדה.

מידול הידרוגיאוכימי של הטמנת פחמן דו-חמצני ורכז התפלה באקוויפרים חופיים מלוחים

¹רחלי נוימן ולהיימר, ²רביד רוזנצוויג, ³שקד שטיין, ²איתי רזניק, ⁴בועז לזר, ¹אורית סיון

¹אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, המחלקה למדעי כדור הארץ והסביבה

²המכון הגיאולוגי לישראל

³חקר ימים וגמים לישראל

⁴המכון למדעי כדור הארץ באוניברסיטה העברית

התפלת מים בשיטת אוסמוזה הפוכה מייצרת כמויות גדולות של רכז שאריתי בעל מליחות גבוהה ומלווה בפליטות משמעותיות של פחמן דו-חמצני (פד"ח), ובכך יוצרת אתגרים סביבתיים באזורים חופיים. אופן התמודדות אפשרי מול אתגרים אלו כולל הרווית הרכז השאריתי בפ"דח והטמנתו באקוויפרים חופיים, מלוחים ועמוקים. באזורים אלו לחץ גבוה ותהליכים גיאוכימיים עשויים לתרום לכליאה של פחמן לטווחי זמן ארוכים, תוך מניעת סילוק רכז ההתפלה לסביבה הימית. מחקר זה בוחן כיצד הרוויית רכז התפלה בפד"ח והחדרתו לאקוויפר החוף העמוק תשפיע על פרמטרים גאוכימיים ועל פוטנציאל כליאת הפחמן. המחקר מבוסס על מודל גאוכימי ובוחן את השינוי בהרכב רכז התפלה רווי בפד"ח באקוויפר החוף, תוך התמקדות בריכוזי פחמן אנאורגני מומס (DIC), ערך הגבה (pH), אלקליניות וריכוזי קטיונים עיקריים. המודל כולל ארבעה שלבים: (1) רכז ההתפלה התחלתי, (2) המסה של פד"ח ברכז בלחץ גבוה (עד 13 אטמוספרות), (3) הגעה לשיווי משקל עם סלע קרבונטי, ו-(4) תהליכי שחלוף קטיונים עם הסלע, כולל ערבוב עם מי תהום מלוחים באקוויפר. בתנאי לחץ גבוה, ריכוז הפד"ח ברכז ברוויה עולה, וכתוצאה נצפית ירידה חדה ב-pH ועלייה משמעותית בריכוז ה-DIC. שיווי משקל עם סלע קרבונטי יוצר בופר עם התמיסה וגורם לעלייה בערכי ה-pH, האלקליניות, ריכוזי סידן מומס ו-DIC, כאשר מתקיים יחס 1:1 בין האלקליניות לנורמליות הסידן שמייצג המסת קרבונט. ערבוב עם מי תהום מלוחים באקוויפר מוריד את ריכוזי המומסים באופן ליניארי. שחלוף קטיונים משחרר סידן ומגנזיום לרכז, וקושר נתן ואשלגן לסלע, תוך השפעה זניחה על ערכי pH, אלקליניות ו-DIC. התוצאות מציגות היתכנות לשילוב קבורת רכז שאריתי מהתפלה וקיבוע פד"ח באקוויפרים חופיים עמוקים, ומהוות בסיס למידול הידרוגיאוכימי עתידי.

החלשים נחלשים והחזקים מתחזקים: השפעת מגמות משקעים מנוגדות על הנגר העירוני

רז נוסבאום, משה ארמון, אפרת מורין

* זוכה פרס גולדשמידט *

המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית בירושלים

הצפות עירוניות הנגרמות מגשמים קיצוניים הפכו לבעיה מרכזית בערים ברחבי העולם, על רקע העלייה בשיעור העיור והשפעות שינויי האקלים. במחקר זה אנו מנתחים תחזיות אקלימיות ממערך המודלים האקלימיים הגלובלי העדכני ביותר ומראים כי כ-26% מהאזורים העירוניים בעולם, וביניהם גם אזורים עירוניים בישראל, צפויים לחוות מגמות גשם מנוגדות, המתאפיינות בירידה בכמויות הגשם הכוללות לצד עלייה בעוצמות הגשם. ההשלכות ההידרולוגיות של דפוס זה על ערים אינן ברורות דיין. לפיכך, אנו משלבים סימולציות ברזולוציה גבוהה של אירועי גשם קיצוניים היסטוריים ועתידיים עם מודל נגר עירוני מפורט. באמצעות למעלה מ-5,300 סימולציות של אירועי גשם בהסטה מרחבית, אנו מראים כי סופות עתידיות נעשות מרוכזות יותר במרחב, בעוד שעוצמות הגשם קצרות הטווח גוברות וסך המשקעים פוחת. כתוצאה מכך, שיאי נגר חלשים נחלשים, בעוד ששיאים חזקים מתחזקים, תופעה המועצמת עם העלייה ברמת העיור. ממצאים אלה מצביעים על כך ששינויי האקלים אינם משפיעים באופן אחיד על סיכון להצפות עירוניות: סופות עתידיות נוטות להחטיא אזורים עירוניים לעיתים תכופות יותר ולהפחית נגר, אך כאשר הן פוגעות ישירות בעיר הן גורמות להצפות חמורות יותר, במיוחד בקנה המידה השכונתי. דפוס מנוגד זה מדגיש את הצורך בהתאמת תכנון וניהול הנגר העירוני למציאות אקלימית משתנה, המתאפיינת בתגובות הידרולוגיות מורכבות ולא-ליניאריות לשינויי משטר הגשם.

שימוש בשיטת למידת מכונה להבנת יחסי-גומלין בסט נתונים מורכב: הגורמים המשפיעים על פיזור

בשדה של תרופות וחומרי הדברה

¹שולמית נוסבוים, ²אורה ריין

¹המחלקה לגיאוגרפיה ולימודי הסביבה, בת הספר ללימודי סביבה, אוניברסיטת חיפה;

²המחלקה לניהול משאבי טבע, התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות והביטחון התזונתי

חומרי הדברה ותרופות כוללים מאות תרכובות המפוזרות בשדה או שמקורן בהשקיה בקולחים. מזהמים אלו פוגעים באיכות המים והקרקע ונשארים בסביבה לאורך זמן. שיטות חדשות לגילוי מזהמים בדגימות סביבתיות מאפשרות זיהוי של עשרות תרכובות בדגימה. כתוצאה מכך בסיס נתונים של דיגום שדה יכול לכלול אלפי דוגמאות, והדבר מקשה על ניתוח הנתונים. המחקר הנוכחי נערך בשני שדות על גדות הקישון (מזרחי ומערבי), בעמק יזרעאל. בשדות אלו הותקנה מערכת נקזים תת-קרקעית בשל בעיות ניקוז בקרקע הכבדה ובכך התאפשרה דגימה ישירה של נגר תת-קרקעי. באירועי הנגר הראשונים נאספו דוגמאות מהנגר העילי ומי התהום. נמצאו תבניות פיזור לפי תכונות המזהמים במרחב ובזמן, אך כמות הנתונים הגדולה הקשתה על היכולת לתאר תהליכים ולהעריכם באופן כמותי. Kernel Canonical Correlation Analysis (KCCA) היא שיטת למידת מכונה המאפשרת טיפול בבסיס נתונים גדול ומאפשרת זיהוי קשרים שאינם לינאריים בגורמים שונים על ידי טרנספורמציה למרחב חבו. במדעי הסביבה כמעט ואין שימוש בשיטה זו. במחקר זה נעשה שימוש ב-KCCA למציאת המשתנה הקנוני, עליו הפעלנו מבחנים לא פרמטריים. השתמשנו בסט הנתונים המקורי וכן במטרציה ההפכית של סט הנתונים, כאשר אתרי הדיגום והתרכובות היו המוקד בכל פעם, בהתאמה. בעזרת KCCA מצאנו משתנה קנוני והראנו באופן מובהק שנתיבי ההסעה מהווים מערכת המאלצת את המזהמים בפיזור המרחבי. בתוך כל אחד מנתיבי ההסעה יש שונות בין התכונות המוביליות, אך נתיבי ההסעה נבדלים במובהק זה מזה. "נתיב הסעה דומיננטי" מוצע כאן כמדד יעיל. גודל זה, למרות פשטותו וקביעתו המיידית מספק הערכה טובה מאד ומובהקת לגורל המזהמים. השימוש ב-KCCA הדגים כיצד ניתן למצוא קשרים והשפעות הדדיות בסט נתונים מורכב, בו הקשרים מאד מורכבים ותלויים בגורמים רבים ולא בהכרח לינאריים.

תהליך שיטתי ליצירת טופולוגיית רשת נחלים תואמת-מודל ZIN-AgriTra מנתוני GIS

¹שולמית נוסבוים, ²מתיאס גסמן, ¹יונתן גנות

¹המחלקה לסביבה, תכנון וקיימות, אוניברסיטת בר-אילן

²The Institute of Water, Waste and Environmental Engineering, Department Hydrology and Substance Balance, Kassel University, Germany

מודלים פיזיקליים-נומריים מבוזרים (דיסטריבוטיביים) משמשים לחיזוי והבנת הידרולוגיה והסעת מזהמים בסדר גודל מרחבי של אגן ההיקוות. המודל ZIN-AgriTra הופעל בישראל בנחל כליל ובאגן הקישון ומתוכננת הרצתו גם בנחל קנה. כדי לתאר את התקדמות המים ברשת בערוצים יש לדעת את מיקומה הפיזי במרחב. לשם כך מייצרים רשת ערוצים בעזרת DEM, הכוללת עשרות ערוצים ותתי ערוצים לפי שיטת Strahler. הערוצים מחולקים למקטעים וממוספרים. עבור כל מקטע יש לדעת את מספר המקטע במעלה, אילו מקטעים מתנקזים אליו, ולאיזה מקטע נשפך. ישנה מגבלה של עד שני מקטעים מתנקזים למקטע. לרוב הטופולוגיה נעשית באופן ידני והדבר דורש זמן וגורר טעויות רבות. אנו מציעים תהליך חצי-אוטומטי מבוסס AI ליצירת טופולוגיית רשת ערוצים. עבור נחל קנה נבנתה רשת ערוצים מ-DEM ברזולוציה גבוהה, עד סדר 4, הכוללת 206 ערוצים. התהליך עושה שימוש במודל שפה גדול (ChatGPT), אליו הוזנו הנחיות טופולוגיות מוגדרות מראש ונתונים שהופקו בכלי GIS, לצורך יצירת טבלת טופולוגיה. לשם כך נעזרנו בהוראות בקובץ Word, בקבצי shapefile של הערוצים והצמתים, שנמצאו על ידי כלי GIS, וקובץ DEM לחישוב השיפוע הממוצע בכל מקטע. התוצר כלל טבלה המתארת את הקישוריות בין מקטעים ואת השיפוע הממוצע לכל מקטע. הרשת נבדקה באמצעות קוד ייעודי לאימות טופולוגי ונמצאה תקינה. התהליך כולו הושלם בתוך דקות ספורות והומר גם לקוד ב-Python, MATLAB, ו-R לצורך שחזור מלא. אף שהיישום בוצע עבור ZIN-AgriTra, הסכמה המוצעת ניתנת להתאמה למודלים מבוזרים נוספים. השיטה מדגימה כיצד ניתן לייעל שלבים טכניים קריטיים במידול הידרולוגי, לצמצם שגיאות, ולאפשר מיקוד בתהליכים ההידרולוגיים והכימיים אותם המודל נועד לייצג.

מערכת שכונתית משולבת להחדרת מי נגר עירוניים

¹ליאור נצר, ¹מיכאל רוני, ²יעל אמיד, ²נמרוד רבינוביץ, ¹יעקב ליבשיץ

¹השירות ההידרולוגי, רשות המים

²אקולוג הנדסה בע"מ

בעשור האחרון מובילה רשות המים מדיניות לניהול נגר עירוני במעלה האגן - ברמת המגרש הפרטי. גישה זו כוללת החדרת מי גגות והיא מצמצמת את הספיקות המגיעות לניקוז העירוני, ומהווה נדבך מרכזי במערך ניהול הנגר העירוני בישראל. עם זאת, כדי להשיג חוסן עירוני מרבי ולהקטין יותר את הסיכוי להצפות ולנצל את פוטנציאל השבת המים במלואו, יש צורך במערך משלים ברמה השכונתית-אגנית שיפעל בסינרגיה עם הפתרונות המגרשיים. כפתרון משלים, מוצע מודל של "פתרון שכונתי משולב" המבוסס על מאגר מחלחל בעל נפח משמעותי שישולב עם קידוח/ החדרה, ויקלוט נגר משטחים עירוניים מגוונים (כבישים, מדרכות ופארקים). יכולת החלחול של מאגרים כאלה פוחתת עם הזמן עקב שקיעת חלקיקים מרחפים המגיעים עם מי הנגר, מה שמגדיל את הסיכוי לגלישת מים מהמאגר באירועי גשם משמעותיים. במקרה שהמאגר מלא במים הוא למעשה מתפקד גם כמתקן קדם-טיפול ושוחת שיקוע, ומים שיגלשו מהמאגר צפויים להיות עם ריכוז מרחפים נמוך יותר, מכאן שמיקום קידוח/ החדרה ביציאה מהמאגר, ולפני העברת המים לניקוז העירוני, הוא המיקום האופטימאלי. שילוב של מאגר מחלחל יחד עם קידוח/ החדרה כשתי מערכות נפרדות מהווה "מכפיל כוח" ועתיד להקטין בצורה משמעותית את כמות המים "שתאבד" לניקוז ואת הסיכוי להצפות עירוניות. ע"מ לעודד החדרה ברמה השכונתית/עירונית רשות המים מציעה כיום מנגנון תמרוץ הכולל שיפוי כספי עבור כל מ"ק שמוחדר.

ניהול נגר אורבני הלכה למעשה

חיים סהר

יועץ שימור קרקע וניהול נגר עילי

במהלך העשורים האחרונים תהליכי העיור המואצים יוצרים רצפים אורבאניים נרחבים לאורכה ולרוחבה של הארץ תהליכים אלו משפיעים על כמויות ואיכויות מי הנגר העילי המעשירים את האקוויפרים והזורמים אל הים. שטחי החלחול והחידור הטבעיים של מי גשמים שאך לפני מספר שנים היוו את מקור האספקה וההעשרה החוזרת של מעיינות ומפלסי מי התהום, הפכו למקור מספר אחת לאספקת מי נגר עירוני, המוזרמים ישירות לעבר השטחים הפתוחים לערוצי הנחלים ומשם ישירות לעבר הים. הערים הפכו להיות יצרניות מים כמו כל מפעל מים אחר, כגון מפעל התפלה, מפעל מי קולחים וכו'. מתכנני העיר ראו במי הנגר מפגע חמור אשר יש לסלקו בדרך הקצרה והמהירה אל מעבר לקו הכחול של תוכנית העיר. השילוב של שטחים אורבאניים אטומים לחלחול (כמו כבישים וחניות ועוד), והעדר תכנון של בנייה משמרת נגר, מייצרים כמויות גדולות של מי נגר במתחם הבנוי, המרוכזים למערך ניקוז עירוני אל מחוץ לעיר לעבר בסיס הניקוז-הים. כך נוצר מערך של מפגעים ומטרדים:1) מערך ניקוז עירוני יקר. 2) תחזוקה יקרה של מערך הניקוז העירוני. 3) מהירויות זרימה גבוהות יוצרות אנרגיות גבוהות, הגורמות לבלייה וסחף. 4) איבוד קרקע עידית יקרה. 5) פגיעה בתשתיות, מתקנים הנדסיים ודרכים במורד הזרימה. 6) ערעור מבנים וכבישים. 7) מפגעים נופיים. 8) מפגעים בטיחותיים. 9) גורמות להצפות ושיטפונות בערי החוף. שילוב מושכל של תכנון ובנייה תוך התייחסות לתנאים הפיזיים של העיר, התנאים האקלימיים, וההידרולוגיים, גיאולוגיים, טופוגרפיה ועוד, ובנייה משמרת נגר והטיפול במי הנגר במקום היווצרותם, יכולים להפוך את מי הנגר ממפגע למשאב.

בחינת מגמות רב-שנתיות במשטר הזרימות בנחלי ישראל: מקרה בון נחל קישון יניב סויבלמן גלין, איל זיגל, יעל סטורץ-פרץ

אגף מים עיליים והידרומטאורולוגיה, השירות ההידרולוגי, הרשות הממשלתית למים וביוב

שינויי האקלים והפעילות האנתרופוגנית המואצת במרחב אגני ההיקוות מציבים אתגרים משמעותיים לניהול משאבי המים, ניהול סיכוני שיטפונות והמערכות האקולוגיות בנחלי ישראל. הבנת הדינמיקה של משטרי הזרימה קריטית לתכנון והיערכות לעתיד בכל אחד מתחומים אלו. השירות ההידרולוגי מוביל כיום עבודה מקיפה הבוחנת את המגמות בנחלי הארץ לאורך עשורים של ניטור. עבודה זו מהווה נדבך ראשון במחקר רחב יותר, שמטרתו זיהוי השינויים ואפיונם, בטרם בחינת הגורמים להם (אקלימיים מול אנתרופוגניים) וניתוח פריסתם המרחבית. המתודולוגיה מתמקדת בניתוח סדרות עיתיות של מגוון מדדים הידרולוגיים שנתיים, כגון ספיקות שיא, נפחי זרימה וזרימות מינימום. לבחינת מובהקות המגמות נעשה שימוש במבחן Mann-Kendall. בנוסף, בוצעה השוואה בין שתי תקופות עוקבות ושוות באורכן; מובהקות השינויים בחציון ובשונות הנתונים נבחנה באמצעות המבחנים Levene- ו Mann-Whitney U (בהתאמה), לצד ניתוח ויזואלי באמצעות Box-Plots לאפיון אופי השינוי. כמקרה בוחן נבחר אגן הקישון (כ-1,100 קמ"ר), המתאפיין במשטר זרימה משולב: אכזב-שיטפוני בחלקו העליון ואיתן בחלקו התיכון והמורדי. הניתוח התמקד בתחנת קישון-מחצבה (ניקוז של כ-700 קמ"ר), המאופיינת באמינות הידרומטרית גבוהה וברקורד מדידות ארוך. הממצאים הראשוניים מצביעים על עלייה (לא מובהקת) בספיקות השיא, לצד ירידה מובהקת בספיקות השגרתיות והמינימליות ועלייה במספר אירועי הזרימה. ממצאים אלו מספקים עדות ראשונית לשינויים המתרחשים במשטרי הזרימה ברמה המקומית, הן בעוצמתן והן בתנודתיות שלהן, ומניחים תשתית לאפיון גורמי השינוי וזיהוי מגמות מרחביות בפריסה ארצית.

מהערוץ אל המרחב: מידול פשטי הצפה בגישת גשם ישיר לעומת שיטת המקטעים

דרור פז

גיאוטבע ייעוץ ותכנון סביבתי בע"מ

המודל המקובל כיום בישראל לחיזוי פשטי הצפה לצורכי תכנון מפורט, מתבסס על תוכנת HEC-RAS בגישת Unsteady Flow, שבה תנאי הסף מוכתב כהידרוגרף נכנס בראש מקטע (Reach). למרות יעילותה בחישוב זרימות בתוך ערוצים מוגדרים, גישה זו מוגבלת ביכולתה לתאר את הדינמיקה המרחבית המלאה של אגן הניקוז, במיוחד במעברים בין מקטעים ובאזורים שבהם ישנה חשיבות לערוצים תורמים לערוץ המרכזי. הרצאה זו מציגה שיטת עבודה המבוססת על גישת Rain-on-Grid (גשם ישיר על המרחב). בשיטה זו, המודל אינו מסתמך על הזרקת ספיקה בנקודת קצה, אלא מחשב את המרת הגשם לנגר בכל תא ותא במרחב הדו-ממדי, תוך שימוש בשכבות מידע של כיסוי קרקע וסיווג הידרולוגי לחישוב אובדנים (Infiltration losses). השוואה בין שתי הגישות מעלה כי שיטת ה-Rain-on-Grid מספקת פתרון לשתי בעיות מרכזיות במידול הנהוג: (1) רציפות פשט ההצפה: ביטול הקיטוע המלאכותי הנוצר במעבר בין מקטעי מודל שונים, מה שמאפשר קבלת מפת הצפה רציפה ואמינה יותר. (2) מיפוי זרימות משניות: זיהוי נתיבי זרימה וצבירת נגר בשטחים פתוחים עוד בטרם הגעתם לערוץ הראשי- אלמנט קריטי בתכנון מבוסס סיכונים. במהלך ההרצאה יוצגו מקרי בוחן מאגנים נבחרים בארץ, המדגימים את הפערים בין הגישות ואת הערך המוסף של המידול המרחבי עבור מתכננים ומקבלי החלטות בתחום ניהול הנגר בארץ.

השתנות בזמן ובמרחב של אי. קולי במים, ביופילם וסדימנטים של נחל משושים
1 אשל פלג, 1 שי ארנון, 3 שקד שטיין, 4 שירין עסאלי, 1 עידו בר זאב, 4 לודה גרויסמן, 3 ירון בארי, 3 שירה
נינו, 2 אמילי טראן

¹ מכון צוקרברג לחקר המים, המכונים לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושטיין, אוניברסיטת בן גוריון בנגב

² מכון שמיר למחקר, אוניברסיטת חיפה, קצרין

³ המעבדה לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים לישראל

⁴ משרד הבריאות, המעבדה הארצית לבריאות הציבור, תל אביב

פתוגנים במערכות מים מהווים סיכון לבריאות הציבור ופוגעים באיכות המים, במיוחד אלו המשמשים לשתייה ולפעילות פנאי ונופש. חיידקי קולי, קולי צואתי ו- *Escherichia coli* (אי-קולי) משמשים כסמנים לזיהום צואתי ולסיכון תברואתי במחקר המדעי ובמסגרות רגולטוריות. למרות ספרות ענפה על אי-קולי בנחלים, מחקרים קודמים התמקדו בעיקר בדינמיקה בגוף המים, ורק לעיתים רחוקות בחנו באופן משולב את האינטראקציה בין המים לבין קרקעית הנחל (ביופילם וסדימנט). מטרת מחקר זה הייתה לכמת את ריכוזי האי-קולי במי הנחל, בביופילם ובסדימנטים, ולהעריך כיצד בתי גידול אלו מעצבים דפוסים מרחביים ועונתיים של ריכוזי אי-קולי. ריכוזי אי-קולי במים, בביופילם על סלעים ובסדימנטים שעברו ניפוי לפי גודל (0-75, 75-300 ו-2000-300 מיקרומטר) נמדדו במשך 12 חודשים בחמישה אתרים לאורך 19 ק"מ בנחל המשושים ברמת הגולן. בנוסף, בכל נקודת דיגום נמדדו טמפרטורה, עכירות, ספיקה, מוליכות חשמלית, pH וחמצן. במקביל נדגמו מי נחל ובוצעו אנליזות למדידת ריכוזי פחמן, חנקן וזרחן. ריכוזי האי-קולי במי הנחל עלו באופן מובהק בעונה החמה והציגו מתאם חזק לטמפרטורה ולמוצקים מרחפים ברוב אתרי הדיגום. לעומת זאת, ריכוזי האי-קולי במאגרי הביופילם והסדימנט נותרו יציבים באופן מובהק לאורך השנה. ריכוזי אי-קולי על גבי הפרקציות השונות של הסדימנט הצביעו על זיקה חזקה לסדימנט הקטן ביותר (0-75 מיקרומטר), שבו נמדדו ריכוזים גבוהים עד פי 50 לעומת הסדימנט הגדול ביותר (300-2000 מיקרומטר). ממצאים אלו מצביעים על כך שסדימנטים דקי-גרגר מתפקדים כמאגר חשוב לאי-קולי לא רק במהלך אירועי זרימה גבוהה, שבהם חלקיקים מורחפים מחדש מעבירים אי-קולי לעמודות המים, אלא גם בתנאי זרימת בסיס, שבהם המאגר עשוי להשפיע על ריכוזי האי-קולי במים גם ללא אירועי הרחפה משמעותיים.

ניצול כח המים לתעשייה בתקופה הממלוכית - עדות לתעשיית סוכר בנחל עמל?

¹עמוס פרומקין, ²ינון שבטיאל, ³דרור סגל, ⁴עזריאל יחזקאל

¹האוניברסיטה העברית בירושלים

²המכללה האקדמית צפת והמרכז לחקר מערות

³המוזאון לארכיאולוגיה בגן השלושה ואוניברסיטת חיפה

⁴אוניברסיטת בר אילן

הממלוקים הרחיבו את שליטתם מתקופת ימי הביניים מעמק הנילוס עשיר המים אל הלבנט הדרומי היבש. אנו מנסים להאיר את הדרך הממלוכית לניצול אנרגיית מים לייצור סוכר בעמק בית שאן. המנהרות החצובות שנחקרו שירתו מתקן תעשייתי כלשהו. תיארכנו את המנהרות לתקופת האימפריה הממלוכית, ומציעים שהן הזרימו מים לטחנות סוכר, תעשייה דומיננטית במיוחד בתקופה זו באזור. המנהרות חושפות כיצד הממלוקים התאימו את טכנולוגיות המים שלהם לתנאים המקומיים. במקום להשתמש באמות-מים פתוחות מסורתיות שהיה קשה לבנות, הם חצבו מנהרות דרך סלע טופה רך - מה שמדגים גם כושר המצאה הנדסי וגם פתרון בעיות פרגמטי כדי לתמוך בתעשיית יצוא משתלמת. זה מחבר ממצאים ארכיאולוגיים מקומיים לרשתות הסחר הבינלאומיות הרחבות יותר של ימי הביניים. אנו מראים כיצד משאבי המים המליחים מעט נוצלו מחדש לאורך מאות שנים - מטחנות סוכר ממלוכיות לטחנות קמח עות'מאניות - מה שמדגים את הערך המתמשך של מקורות מים אמינים. אנו מדגימים את החשיבות של להסתכל מעבר לשרידים הברורים של אמות-מים וסכרים כדי למצוא תשתיות פחות גלויות אך חשובות באותה מידה כמו המנהרות הללו.

תשתית כחולה-ירוקה לאיכות חיים עירונית | ניהול נגר עילי

¹שחר צור, ²יהונתן ענתבי, ²רוני כהן

¹הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל

²חברת TREETUBE

בעשור האחרון ניצבת ישראל מול שילוב מאתגר של שינויי אקלים, צמיחה דמוגרפית מהירה וציפוף עירוני. בתוך מציאות זו מתגבשת בקרב מהנדסים ומתכננים ההבנה כי פתרונות מבוססי-טבע (Nature Based Solutions) אינם "קישוט" ירוק, אלא תשתית חיונית לניהול נגר עילי, תשתית שמצליחה בו-זמנית להפחית עומסים על מערכות הניקוז, לשפר את הנוחות התרמית במרחב מבונה, ולהעצים את היער העירוני לטובת בריאות ורווחת התושבים. אולם העיר המודרנית הולכת ומעמיקה אל מתחת לפני הקרקע: מרתפים, חניונים ותשתיות תופסים את הנפחים ששימשו בעבר לקרקע חיה—לנטיעה, לחלחול ולאגירה טבעית של מי גשם. כך נוצר פרדוקס עירוני: ככל שהעיר נאטמת, מתקשחת ומתמלאת, כך היא נעשית פגיעה יותר להצפות, עומסי חום, והידרדרות חיוניות העצים. על רקע זה מציגה חברת TreeTube™™ גישה של "כחול וירוק" באמצעות מערכות תת-קרקעיות נושאות עומס המשלבות בית גידול לעצים עם תפקוד הידרולוגי. בין הפתרונות: TreeTube™™ FLOW™, מערכת הקולטת מי גשם, מווסתת ומשהה אותם, מאפשרת חלחול מבוקר, ומחזירה את המים כמשאב להשקיית עצים וצמחייה. המערכת מיועדת ליישומים עירוניים מגוונים: חניות וכיכרות, מדרכות ושבילי אופניים, גינות משחקים, מגרשי ספורט, אגני חלחול מגוונים ואף תחת כבישים ומיסעות כבדות, כחלק מתכנון רב-שכבתי שמחבר בין תשתיות הנדסיות קשיחות לבין תשתיות ירוקות - קרקע, מים, אקולוגיה וחיים. בהרצאה יוצגו העקרונות, היישומים והלקחים להטמעת תשתיות כחולות-ירוקות בעיר צפופה.

תרחישים במודל אגן הנגב והערבה ומיפוי גיאופיסי מחודש מקדים בפתחת עשת-חיון לבחינת פיתוח מקורות מים

¹אריק צוריאלי, ¹יוני יצחק, ²סבטלנה לומלסקי, ³דורית מטמון, ³נועם בר נוי

¹רשות המים

²ועצת פרטית

³אקולוג הנדסה בע"מ

פעולות עדכון, שידרוג וכיול מודל הערבה הסתיימו בהצלחה. העבודה הנוכחית כללה הרצות של מספר תרחישים שונים במודל אגן הנגב והערבה לבחינת פיתוח מקורות מים ואף מיפוי גיאופיסי ראשוני מקדים לצורך עדכון מבנה תת הקרקע העמוק בפתחת עשת-חיון. הרצות התרחישים במודל אגן הנגב והערבה כללו בשלב ראשון הרצת 5 תרחישי תפעול שונים בכלל האזורים באגן ההידרוגיאולוגי ולשלושת האקוויפרים הכוללים את מילוי הערבה, חבורות יהודה וכרנב: תרחיש בסיס, הגברת הפקה עד 120% בקידוחים קיימים, הגברת הפקה לפי תוכניות האב של רשות המים ומקורות והגברת הפקה בצד הירדני. תוצאות ההרצות מראות על ירידות מפלסים מתמשכות לאורך תקופת הרצה של 30 שנה בקצבים משתנים בין שדות הקידוחים זאת כתלות בנפח ההפקה בכל שדה ובכל אקוויפר. בשלב השני בוצעו במודל הרצות תרחישים לפיתוח מקורות מים ב-3 אזורי הפקה חדשים ומוגדרים: פיתוח מקורות מים לאקוויפרי חבורות יהודה וכרנב בפתחת עשת-חיון ובפתחת עין עופרים, ופיתוח לאקוויפר חבורת יהודה המזוהם באזור מישור רותם בסינקלינת אפעה במקביל לפיתוח מאקוויפר חבורת כרנב. תוצאות של מרבית ההרצות מראות על ירידות מפלסים מתונות יחסית בפתחות ההידרוגיאולוגיות עשת-חיון ועין עופרים כתלות באקוויפר, וירידות מפלסים גבוהות יותר לאקוויפר חבורת יהודה באזור מישור רותם. הרצות אלו מראות כי ניתן לפתח מקורות מים באזורים אלו אך באופן מדורג. בשלב השלישי, בוצע עיבוד ופענוח מחודש של המידע הסייסמי של חבורות יהודה וכרנב בגיזרת פתחת עשת-חיון לצורך הבנה טובה יותר של מבנה תת הקרקע העמוק, נטיות השכבות, ומיקום העתקים במרחב זה. העבודה מראה על נטיית שכבות מתונה לכיוון צפון-מזרח וקיומן של מערכות העתקים הגובלים את סינקלינת חיון מדרום ומצפון. עבודה זו ביחד עם תוצאות הרצות התרחישים במודל אגן הנגב והערבה מאפשרים תכנון קידוחים עתידיים לאורך הפיתחה ההידרולוגית. בהמשך יורחב המיפוי הגיאופיסי המחודש גם לאזור פתחת עין עופרים ותבוצע עבודת תכנון עקרונית לאזורים אלו.

סקר אקולוגי במורד נחל הקישון בראי שינויי אקלים: קשרים בין הידרולוגיה למגוון ביולוגי

¹מעייין ציון, ²עפרי גבאי, ²עידן שפירא

¹רשות נחל הקישון

²ליגם פרויקטים סביבתיים

סקר אקולוגי במורד נחל הקישון בראי שינויי אקלים: קשרים בין הידרולוגיה למגוון ביולוגי. סקר זה, שהוגש באפריל 2024, בוחן לראשונה בצורה סיסטמטית את הקשרים בין נתוני המגוון הביולוגי למאפיינים הפיזיים וההידרולוגיים של מורד נחל הקישון. המחקר התמקד במקטע שבין תל קשיש לשפך וכלל ניתוח מעמיק של: משטרי זרימה, ספיקות שיא היסטוריות ומידול פשטי הצפה בהסתברויות של 1% ו-10%. ממצאי הסקר מצביעים על זיקה ישירה בין משטר השיטפונות למבנה המערכת האקולוגית: ככל שחלק גדול יותר מהגדות נמצא בתחום פשט הצפה (בהסתברות 10%), עולה עושר המינים ההידרופיליים והמעוצים. מנגד, עלייה בשטח פשט ההצפה קשורה בירידה בעושר מיני העופות בכלל, ובעלי הזיקה לבתי גידול מימיים בפרט. תובנות אלו קריטיות לנוכח שינויי האקלים, הצפויים להגדיל את תדירות ועוצמת השיטפונות ובכך לשנות את הרכב חברת הצומח והעופות לאורך הנחל. בנוסף, הסקר בוחן את השפעתן של פעולות היערכות, כגון יצירת אתרי ויסות למיתון הצפות במפרץ חיפה. נמצא כי שטחים אלו עשויים לעודד צמיחה הידרופילית, אך תכנונם חייב להתחשב במניעת פגיעה בגדות הנחל המקוריות. המתודולוגיה הסיסטמטית של הסקר מאפשרת שימוש בנתונים כבסיס לניטור ארוך-טווח וממשק אדפטיבי. הבנת הקשרים בין הרכיבים הפיזיים לביזיים מאפשרת לגבש תחזיות לגבי השתנות הנחל תחת תרחישי אקלים קיצוניים, ומספקת כלים לניהול מושכל ושיקום של המערכת האקולוגית. ניתן לדמות את פשטי ההצפה של הנחל ל"ספוג" טבעי; ככל שהספוג גדל ומתמלא בתדירות גבוהה יותר (בשל שינויי האקלים), הוא משנה את פני הקרקע עבור הצמחים הזקוקים ללחות, אך עשוי לצמצם את מרחב המחיה של בעלי חיים אחרים התלויים ביציבות הגדות.

Tracking PFAS Transport Across the Vadose Zone into Groundwater

Samuel Kolade, Avner Ronen, Ofer Dahan

Zuckerberg Institute for Water Research, Ben Gurion University of the Negev

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are persistent anthropogenic contaminants released from sources such as firefighting training areas, industrial facilities, landfills, and wastewater treatment plants, leading to widespread contamination of water resources and environmental biota. This study examines the fate and transport of PFAS in the unsaturated zone (UZ) at a firefighting response site in Ashkelon, Israel, utilizing a vadose zone monitoring system (VMS) in conjunction with soil and groundwater sampling over a multi-seasonal period. Continuous water content monitoring revealed strong seasonal variability in infiltration and storage, which controlled PFAS mobilization. Analysis of PFAS in vadose porewater samples revealed that both short-chain and long-chain PFAS were released during periods of intense infiltration. During drier periods, long-chain PFAS were minimally released, indicating strong retention. Soil analysis revealed that legacy PFAS persist in both surface and shallow clayey layers, serving as long-term sources of groundwater contamination. Overall, the results highlight the coupled influence of water content-infiltration dynamics dependency, soil heterogeneity, and compound-specific properties on PFAS retention and migration. These findings emphasize the long-term role of the vadose zone as both a reservoir and a source of PFAS to groundwater, with implications for risk assessment and remediation strategies at contaminated sites.

מלח, מים: מעיינות ישראל הולכים ונעשים מלוחים יותר

אור קומאי, ירון הרשקוביץ

מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב

מעיינות הם מקורות המים הטבעיים העיקריים של נחלי האיתן בישראל, ולכן איכות מי המעיינות תקבע במידה רבה את איכות המים בנחלים טבעיים (שאינם מושפעים מקולחין). המליחות הינה גורם משמעותי על חסרי חוליות אקוויטיים, ושינויים ברמת המליחות עלולים לגרום להכחדות מחד גיסא והתבססות מינים זרים מאידך גיסא. כדי לבחון את המגמה ארוכת הטווח, ניתחנו את נתוני מליחות המעיינות של השירות ההידרולוגי בין השנים 1924-2025. מתוך 311 מעיינות עבורם היו די נתונים להשוואה בין עשורים, מצאנו 125 מעיינות בהם המליחות עלתה לפחות ב-10% בתקופה בה נמדדו, ובהם 20 מעיינות בהם המליחות הוכפלה פי שניים ויותר. לעומת זאת, ב-71 מעיינות בלבד המליחות ירדה לפחות ב-10% ורק בשלושה מעיינות המליחות ירדה פי שניים ויותר. המעיינות שהומלחו במידה הרבה ביותר נמצאו בעיקר בבקעת בית שאן וביהודה ושומרון. עם זאת, ההבדלים הגיאוגרפיים בין המעיינות גבוהים בהרבה מאשר השינויים שחלו לאורך העשורים – המעיינות לאורך השבר הסורי-אפריקני מליחים בסדרי גודל יותר מהמעיינות באזורים ההרריים. העליה במליחות החלה עוד בשנות השישים ונמשכה כמעט ברציפות מאז, כאשר רק בשנות התשעים ובשנות האלפיים ועשרים ניכרו ירידות במליחות במרבית המעיינות. העשור בו ההמלחה הייתה המהירה ביותר הוא שנות השבעים, בהן המליחות עלתה בכ-11% בממוצע לעומת שנות השישים. בבחינת קטגוריות המליחות של בתי גידול של חסרי חוליות אקוויטיים, נמצא כי 13 מעיינות עלו בקטגוריה בתקופת המדידות (10 מתוכם מאז שנות השבעים) לעומת מעיין אחד בלבד שירד בקטגוריה (הבניאס). מגמת המלחת המעיינות היא תהליך הדרגתי ועקבי, שקצבו איננו אחיד ברחי הארץ. מינים רגישים, בעיקר של חרקי מים עלולים להיכחד מנחלים שהומלחו יתר על המידה, אפילו אם יזרמו בהם רק מי מעיינות.

ניסוי סמנים בשפד"ן – תוצאות עד כאן (בשפד"ן שואבים מי תהום כפי שחשבו המייסדים)

¹דניאל קורצמן, ²סיגל ברודי, ²עדו נגב, ²רן גבאי, ^{1,3}עידו ניצן, ^{1,3}גרמן רודניק

¹מכון וולקני

²מקורות מקורות מקורות מכון וולקני

³איניברסיטת תל אביב

הזיהוי הראשון של פריצת סמן (ברומיד) בקידוח השבה בריכוז נמוך (0.05 מג"ל מעל ריכוז הרקע) אירע 173 יום לאחר תחילת הניסוי. כלומר זמן שהייה הקצר ביותר של קולחים שניוניים בניסוי ארוך בהרבה מ 90 יום אותם דורש משרד הבריאות. הפריצה ארעה בקידוח יבנה 125 שהמרחק האופקי הקצר ביותר שלו לאגני ההחדרה יבנה 1 קטן הוא 220 מטר (מרחק אנכי של כ- 55 מ'). ריכוז השיא של הברומיד בקידוח זה, 5.4 מג"ל מעל הרקע נצפה רק ביום ה- 423 לניסוי. הסמנים הגיעו לשאר קידוחי ההשבה המנותרים (250 - 450 מ' מרחק אופקי קצר מאגן ההחדרה) אך רק לאחר 300 ימים ויותר. בקרוב ראשון, ניתן לומר שחזית הברומיד נעה לכיוון בארות ההשבה במהירות אופקית של כ- 1.1 מ' ליום. מסת הסמן שהושבה בשאיבה לאחר 280 יום הייתה כ 1% מהמסה שיושמה באגני החלחול ולאחר 400 יום הושב כ 12% מהברומיד שיושם (96% מהשבה זו, בבאר אחת, יבנה 125). לכן, ניתן לומר שכ 90% מהמים המוחדרים שוהים באקוויפר יותר משנה עד להפקתם בבארות. ריכוזי הסמנים (ברומיד ויורנין) הגבוהים ביותר (33 מג"ל ברומיד, 102 חל"ב יורנין), נצפו בבאר התצפיתית 107 שבמרחק אופקי של 105 מ' ומרחק אנכי של כ- 55 מ' מהקצה הקרוב של אגן ההחדרה. בבאר התצפיתית הקרובה ביותר 121, שבמרחק 10 מ' אופקי וכ- 25 מ' אנכי נצפו ריכוזים מרביים קטנים בהרבה (4.6 מג"ל ו- 1.1 חל"ב ברומיד ויורנין, בהתאמה). ניתן להסיק מזה שהזרימה האנכית מתחת לאגני ההחדרה גם מתחת לפני מי התהום משמעותית מאד. כלומר, המים זורמים בהתחלה בעיקר למטה עד לאופק ההפקה באזור הנמצא במקטע 45-85 מ' מתחת לפני הקרקע של אגן ההחדרה ורק אח"כ הזרימה הטרלית הופכת לדומיננטית. עשרות ראלזציות של מודלים של זרימה והסעה ברזולוציות זמן ומרחב קטנות (יום, 40 מ') הורצו לפני תחילת הניסוי, והם חזו הגעת סמנים לקידוחי ההשבה מוקדמת בהרבה והומוגנית יותר מהתוצאות (ללא דומיננטיות כה גדולה של קידוח 125). במודלים אלה השתמשנו בערכי מוליכות הידראולית (ונקבוביות) מהמודל הרחב של השפד"ן שמצליח לתאר טוב את הזרימה בסקלה של כל אזור השפד"ן (ראשון לציון – אשדוד). לאחר הגעת התוצאות בחודשים האחרונים ניסינו כמה דברים ע"ב המודלים האפריוריים ללא הצלחה והבנו שנצטרך כאן גישה אחרת להתאמת המודל לתוצאות הניסוי. המשך יבוא.

תהליכי שיטפונות באזורים מדבריים ברמה התת-אגנית, מקרה בוחן של אגן נחל צאלים

¹עמית קלוש, ²דוידה זוקאטלי, ³ערן חלפי, ⁴דניאל קאדול, ⁵טליה רוזין, ⁶יונתן לרון

¹המחלקה למדעי כדור"א והסביבה, אוניברסיטת בן גוריון בנגב

²מכון לוקסמבורג למדע וטכנולוגיה

³מו"פ מדבר וים המלח

⁴המחלקה למדעי כדור הארץ והסביבה, אוניברסיטת ניו-מקסיקו טק

⁵המכון למדעי כדור"א, האוניברסיטה העברית

⁶המחלקה לסביבה, גיאואינפורמטיקה ותכנון ערים, אוניברסיטת בן גוריון בנגב

שיטפונות בזק באזורים מדבריים מהווים אתגר הידרולוגי משמעותי בשל אופיים הפתאומי, השוני המרחבי, ובשל המחסור בנתונים ברזולוציה גבוהה. במחקר זה נותחו שנים-עשר אירועי שיטפון תוך שימוש ברשת תת-אגנית צפופה וייחודית באגן נחל צאלים, המשתרע בין אזור צחיח-למחצה לאזור צחיח-קיצוני (מדבר יהודה). זהו המחקר הראשון המספק הערכה כמותית של הנחות מקובלות לגבי יחסי גשם-נגר בקנה המידה של תת-אגן בסביבה צחיח-קיצונית. הממצאים מראים כי עובי הגשם מנבא באופן עקבי את עובי הנגר, כאשר הקשר מתחזק בתתי-אגנים גדולים יותר שבהם שונות מקומית מתמתנת. בניגוד לציפיה הרווחת, ספיקת השיא נמצאה קשורה באופן חזק יותר לשטח המכוסה ע"י לב הסופה (ההיקף המרחבי של הגשם בעוצמה גבוהה) מאשר לעוצמת הגשם המרבית בנקודה. תוצאות אלה מדגישות את חשיבות הניטור ברזולוציה גבוהה באזורים צחיחים ואת התרומה של מאפייני גשם מרחביים להבנת תגובת הנגר ולשיפור ההערכה של שיטפונות בזק. מעבר לכך, הממצאים מצביעים על מדדי חזיוני הניתנים להעברה לאזורים צחיחים וצחיחים-למחצה שבהם זמינות הנתונים מוגבלת.

**מודל אנליטי של קיבולת החידור הדינמית בבארות/קידוחים יבשים לניהול נגר והחדרתו דרך התווך
הבלתי רווי
תמיר קמאי**

מנהל המחקר החקלאי - וולקני

ניהול נגר מהווה אתגר משמעותי, עם כמויות וספיקות שהולכות וגוברות עקב תהליכי עיור המקטינים את החלחול ועצימות גשם שגוברת עם הקצנת האקלים. החדרת נגר, כחלק מניהולו, מהווה פתרון לצמצום שיטפונות ולשימור המים. בארות יבשות מאפשרות את החידור ישירות לתת הקרקע, אל התווך הבלתי רווי, ולכן יעילות וזולות יחסית, עם קצבי חידור גבוהים וחסכון בשימוש שטחי קרקע לכך. תכנון החדרת הנגר ופיתוח בארות יבשות בהתאם, מצריך ידע על קיבולת החידור של הבאר. אך זה נושא מורכב, בעיקר בגלל שתהליך החידור דינמי, עם קיבולת חידור שיורדת משמעותית ככל שהתהליך מתארך. בנוסף, קיימת אי-הוודאות לגבי התכונות ההידראוליות של תת הקרקע והמורכבות ההטרוגנית הטבעית, שמאוד משפיעות על החידור. מודלים מכאניסטיים קיימים מתחלקים לשני סוגים עיקריים: (א') אנליטיים שפותרים את הבעיה התמידית (הסטטית) ו-(ב') סמי-אנליטיים ונומריים שנותנים מענה לדינמיקה ולמורכבות, אבל מצריכים משאבים משמעותיים (ידע, זמן וכוח מחשוב). בנוסף, מודלים אלה מתארים את תהליך החידור, אך אינם נותנים פתרון ישיר לקיבולת ההחדרה. המודל המוצע, מקשר בין קצב החידור בבאר ובין הנפח המצטבר המוחדר, עם פתרון אנליטי שמתאר את קיבולת החידור כפונקציה רציפה. בשיטה זו ניתן לתכנן את קיבולת הבאר על פי ספיקות ונפחים שונים, גם מבעוד מועד וגם במהלך סופה ועונת גשמים. מודל זה מהווה שיטה פשוטה להבנה וליישום, ויכולה להוות כלי תכנוני וניהולי להחדרת נגר בבארות יבשות.

חשיבות לחות קרקע ומשקעים בהיווצרות שיטפונות - ניתוח בקנה מידה אירועי על פני מדגם רחב

יפעת קמחי, אפרת מורין

המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית

שיטפונות נוצרים מאינטראקציה בין משקעים ללחות הקרקע, הקובעת כמה משקעים יומרו לנגר. מחקרים מסווגים שיטפונות באמצעות סטטיסטיקות ברמת האגן, ומתייחסים ללחות הקרקע בצורה לא מפורשת, באופן שממסך את תפקידה כמוסת ישיר. מחקר זה שואף לכמת את חשיבותם היחסית של משתנים אלו ביצירת שיטפונות בקנה מידה אירועי ברמה הגלובלית, באמצעות כלי למידת מכונה ושיטות פרשנות. מודל LightGBM אומן על מאגר הנתונים Caravan-GRDC לחיזוי זרימה יומית באגנים ברחבי העולם, בהתבסס על נתוני משקעים ולחות קרקע בארבעה עומקים שונים (0-289 ס"מ). עבור 38,317 אירועי זרימה מקסימליים, נעשה שימוש בשיטת הפרשנות SHAP לכימות התרומות היחסיות של כל משתנה לזרימה החזויה, ולסיווג השיטפונות כמונעי-משקעים או כמונעי-לחות קרקע. התוצאות מראות שלחות קרקע הינה דומיננטית בהיווצרות שיטפונות ברמה הגלובלית, אך חשיבות המשקעים עולה ככל שזרימת השיא גדלה, תופעה שמעידה על הצורך באילוץ אינטנסיבי שיתגבר על יכולת האגירה של הקרקע. שני משטרי הזרימה מראים דינמיקה ייחודית- שיטפונות מונעי-משקעים מתאפיינים בהידרוגרפים מחודדים (עלייה ודעיכה מהירה), מושפעים בעיקר משכבת הקרקע הרדודה (0-7 ס"מ) ושכיחים באגנים קטנים, גבוהים ותלולים, עם מי תהום עמוקים. שיטפונות מונעי-לחות קרקע מתאפיינים בהידרוגרפים מתונים (עלייה ודעיכה איטית), מושפעים מחתך קרקע עמוק יותר (7-100 ס"מ), ושכיחים באגנים גדולים, נמוכים ושטוחים עם מי תהום רדודים. שונות זו באה לידי ביטוי ביכולת החיזוי של המודל, שמתקשה לחזות שיטפונות הנגרמים מסופות קצרות-מועד, לעומת כאלו הנשלטים על ידי יכולת האגירה של הקרקע ומתפתחים באיטיות. מסגרת זו מאפשרת ניתוח פרטני של זרימות שיא ובעלת פוטנציאל לשיפור חיזוי והתמודדות עם שיטפונות בעידן של שינויי אקלים.

סיכונים בזרם: השפעת PFAS בנגר עילי על משק המים הישראלי ניבי קסלר, גיא גסר, חיים כץ

רשות המים

תרכובות פרא ופולי-פלואורואלקיליות (PFAS) מהוות אתגר סביבתי ובריאותי משמעותי בשל עמידותן הגבוהה בסביבה ("כימיקלים נצחיים"). בעוד שבישראל מיפוי מוקדי זיהום ה-PFAS במי התהום נמצא בשלב מתקדם, הבנת תפקידו של הנגר העילי כמנגנון להסעת הזיהום במרחב נמצאת עדיין בראשיתה. סקרים שביצעה רשות המים בשתי עונות הגשמים האחרונות לאיתור PFAS בנגר עילי, איתרו ריכוזי PFAS משמעותיים בנגר עילי באתרים מזוהמים. ניתוח כולל של פריסת המזהמים מעלה כי הנגר העילי משמש כ"נשא" (Vector) יעיל, המסיע את הזיהום מהמקור לאורך אגני הניקוז. תהליך זה מוביל לזיהום משני של מקורות מים מרוחקים, כגון מאגרי השקיה ומי תהום. ממצאים אלו מדגישים את החשיבות שבאימוץ ראייה הוליסטית, הבוחנת את תנועת המים בפני השטח ובמי התהום ואת יחסי הגומלין ביניהם. בנוסף, הממצאים מחדדים את החשיבות של איתור ושיקום פני שטח מזוהמים ב-PFAS, לצורך הגנה על משאבי המים ולבלימת התפשטות הזיהום אל המערכות האקולוגיות והחקלאיות.

הידרוגיאולוגייה גיאוטכנית – חישובי יציבות "הקיר החמישי"

נמרוד רבינוביץ, נעם בר-נוי

אקולוג הנדסה בע"מ

חפירות מתחת למפלס מי התהום, התרבו בשנים האחרונות והפכו לחלק בלתי נפרד מעבודתם הסטנדרטית של ההידרוגיאולוגים במשק. באתרי השפלה בהם חלופת ההשפלה מתבססת על שכבת חרסית בתור "הקיר החמישי" – קופסא אטומה אשר נאטמת ע"י קירות הדיפון, נדרש לבחון את יציבותה ועמידותה לכוחות העילוי הפועלים בבסיסה. בחינת יציבות שכבת החרסית, לוקחת בחשבון איזון בין שני כוחות – כוחות העילוי בבסיס השכבה כתוצאה מעומד המים, וכוחות "ההתנגדות" כתוצאה מעומס הקרקע והמים מעל לשכבת החרסית. באתרי השפלה, מבוצעת הפחתה בכוחות ההתנגדות – הן הורדת מפלס מי התהום מעל לשכבת החרסית והן הסרת שכבות קרקע (רווי ולא רווי). על כן, בתכנון ספיקות השאיבה שיכנסו לבור החפירה נדרש לבחון את יציבות שכבת החרסית. היות וחישובים אלה הם בגדר סל הכלים של יועצי קרקע, בהיעדר ביצוע חישובים אלה מצדם נדרש לוודא את היתכנות חלופת ההשפלה במסגרת סל הכלים הקיים. בהרצאה זאת נסקור את הפער המקצועי הקיים, ונדון בחלופות הכלים העומדים לרשותנו.

“דיאליזה ירוקה” – שימוש בתוואי גדות הנחל לטיהור מבוסס־טבע של מזהמים מומסים בנגר

חקלאי

¹אורה ריין, ²עזרא אורלופסקי, ³איגי ליטאור, ⁴יעל בן צבי

¹התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות

²מכון וולקני

³מיגל

⁴עופרה

נחלי ישראל מתמודדים עם אתגרי ניהול ייחודיים הנובעים ממשטר הידרולוגי ים־תיכוני, חקלאות אינטנסיבית, שינויים אנתרופוגניים מתמשכים, זרימות מזהמות מאזורים שמחוץ לתחום השיפוט האזרחי, ושימוש נרחב במי קולחין להשקיה. גורמים אלו הובילו לפגיעה חמורה באיכות המים ובתפקוד המערכות האקולוגיות הנחלתיות. מחקר זה בוחן יישום של פתרון מבוסס־טבע לטיפול בנגר עילי חקלאי באמצעות מערכת אגני טיפול היברידית (Wetlands Treatment), במטרה לשפר את איכות מי נחל הקישון, לטפל בנגר מזהם מניקוז תת־קרקעי חקלאי אינטנסיבי, ולשפר את התפקוד האקולוגי בממשק שבין השטח החקלאי לנחל. במסגרת הפרויקט הוקמה מערכת היברידית הכוללת תא זרימה אנכית ותא זרימה אופקית תת־קרקעית, עם מגוון של חומרי מילוי כמו אבן בזלת, חימר מנופה, קליפות אורן וזאוליט, הפועלים בשילוב תהליכים פיזיקליים, כימיים וביולוגיים, לרבות ספיחה, תנאי חמצון-חיזור משתנים ופעילות מיקרוביאלית וצמחית. המערכת החלה לפעול בפברואר 2024, עם הזרמת מי נחל הקישון בקצב של כ־1 מ"ק ליום, באמצעות שאיבה סולארית מתת־אגן הניקוז של הגלבע (כ־10 ק"מ דרומית לעפולה). התוצאות מצביעות על מערכת ביולוגית מתפקדת היטב, כפי שניכר מהפחתה משמעותית בצריכת חמצן ביוכימית (BOD) מריכוזים של מעל 100 מ"ג/ל" בכניסה לפחות מ־10 מ"ג/ל" ביציאה. בנוסף, נמדד טווח רחב של תנאי חמצון-חיזור, מערכים מחזרים של כ־70 mV– ועד תנאים מחמצנים של כ־+150 mV, המעידים על קיום נישות ביוגיאוכימיות מגוונות לאורך המערכת. כמו כן, נמדדו שיעורי הפחתה של 90–99% במוצקים מרחפים, קוליפורמים, מתכות, גופרה, חנקה ופרמטרים נוספים. ניטור של עשרות חומרי הדברה ותרופות הדגים שורה של טרנספורמציות ביולוגיות לאורך שלבי הטיפול השונים, דבר המחזק את העדות לפעילות מיקרוביאלית אינטנסיבית וליכולת המערכת להתמודד עם מזהמים מורכבים.

תרועה להידרומטאורולוגיה: ניטור זיהוי שיטפונות, גלישות מדרון (Debris Flow) וברד באמצעות הרשת הסיסמית "תרועה"

¹יאיר רינת, ²משה (קוקו) ארמון, ¹שלו סימן טוב, ¹איתי קורזון, ²גלי שרייבר, ²צחי ליאור

¹המכון הגיאולוגי לישראל

²האוניברסיטה העברית בירושלים

אירועים הידרומטאורולוגיים חמורים הם בין הסיכונים הטבעיים העיקריים הגורמים לנזקים ולפגיעות בגוף ובנפש בארץ ובעולם, ובמיוחד באזורים מדבריים. מתוכם, שיטפונות בזק הם אחד האסונות המוכרים יותר באזורנו. שיטפונות בזק מתרחשים מידי שנה בעונות המעבר ובחורף, לעיתים קרובות ללא התרעה מוקדמת. הם מאופיינים בעוצמת זרימה גבוהה, מסיעים איתם סדימנטים רבים וגורמים לחסימת כבישים, לפגיעה בתשתיות ולסכנה לחיי אדם. זיהוי אירועים אלו מבעוד מועד קריטי להתרעה מוקדמת. יתרה מכך, נתונים כמותיים על שיטפונות חיוניים לתכנון הנדסי של גשרים ומובילי מים, אולם כיום קיים פער משמעותי ביכולות הניטור וההתרעה בתחום זה. סיכון נוסף לצד השיטפונות הוא גלישות מדרון (DEBRIS FLOWS). המדרונות התלולים באזור מדברי יהודה מועדים לגלישות מדרון שמתרחשות בעקבות רעידות אדמה או כתוצאה מגשמים קיצוניים. אירועים אלו, המאופיינים בריכוז סדימנט גבוה (מעל 50% מהנפח) ותנועה מהירה במורד, מתרחשים בפתאומיות ומהווים סכנה ממשית, אך גם הם כמעט ואינם מנוטרים כיום. הסופות המדבריות החמורות ביותר מייצרות לא רק גשם, אלא גם ברד. ברד כבד בקוטר של מספר סנטימטרים, גורם לנזק משמעותי לרכוש אך כיום היכולת לחזות ולמדוד אירועי ברד מוגבלת ביותר ונשענת בעיקר על דיווחי אזרחים ותצפיות אקראיות. לכן היקף התופעה, ההבנה של התנאים להיווצרות ברד כזה והמחקר אודותם לוקה בחסר. מחקר זה מציע שימוש חדשני ברשת התחנות הסיסמיות הארצית של המכון הגיאולוגי – רשת "תרועה" לזיהוי ומדידה של אירועים הידרומטאורולוגיים חמורים. אף שהרשת תוכננה לניטור רעידות אדמה, נמצא כי היא מסוגלת לזהות תנודות קרקע הנוצרות כתוצאה משיטפונות, גלישות מדרון ואף ברד. אנו מתכננים להשתמש בנתונים מרשת זו לפיתוח כלים למחקר, זיהוי, אפיון והתרעה מוקדמת מפני אירועי קיצון אלו, במטרה לשפר את ההיערכות ולהעמיק את הידע המדעי במרחב המדברי.

גוף המים המתוק שבגרנן כרכום: ארכיון הידרו-אקלימי מסוף תקופת הקרח

¹יעקב ברינקמן, ²איתי רזניק, ³אלן זלצר, ¹ורנר אאסבאך, ⁴וויי ג'יאנג, ²רועי רם

¹אוניברסיטת היידלברג

²המכון הגיאולוגי לישראל

³המכון האוקיינוגרפי וודס הול

⁴אוניברסיטת המדע והטכנולוגיה של סין

גזים אצילים נמצאים בשימוש נרחב במחקר ההידרולוגי, ומאפשרים, בין היתר, קביעת זמני שהות ושחזור של הטמפרטורה אשר שררה באזור ההעשרה בעת המילוי החוזר למי התהום. התקדמות של העת האחרונה ביכולת מדידת היחס האיזוטופי היציב של גזים אצילים 'כבדים' (Ar, Kr, Xe) מאפשרת, לראשונה, שחזור של עומק מפלס מי התהום בעת ההעשרה. שחזור זה מתבסס על פרקציונציה (הפרדה) תלוית-עומק באזור הבלתי-רווי, הנשלטת על ידי גרביטציה, תחת ההנחה כי מי התהום רוכשים את החותם האיזוטופי של התווך הבלתי-רווי בפני מי התהום, המקום בו מתאפשר שחלוף גז אחרון. במערכת עמוקה (תווך בלתי-רווי בעובי עשרות מטרים ומעלה) המצויה בשיווי משקל, צפויה פרקציונציה משמעותית בנפיצותם היחסית של האיזוטופים, ואף בלחצים החלקיים של גזים קלים וכבדים יותר. השיטה החדשנית יושמה לאחרונה באקוויפר הקלסטי של תצורת חצבה שבגרנן כרכום. האקוויפר השפיר (פחות מ-300 מג"ל) מוזן משיטפונות בנחלים הגדולים המתנקזים דרכו, בעיקר פארן, כרכום וערוד. השילוב בין מדידות פחמן-14 וקריפטון-81 באופקים השונים של האקוויפר (מסננות בעומקים של 100–1000 מ') מציע כי ההזנה העיקרית התרחשה לקראת סוף התקופה הקרחונית, לפני כ-30,000–10,000 שנים. טמפרטורת ההעשרה, המחושבת על בסיס ריכוז הגזים האצילים, נמוכה ב-4–2 מ"צ מזו השוררת כיום בפני השטח, בדומה להתקררות המוקלטת ברקורדים אחרים במזרח הים התיכון (בים וביבשה). עומק המפלס המשוחזר מצוי בטווח של כ-10–5 מטרים מתחת לפני השטח, ומבטא מפלס גבוה יותר מזה הסטטי הנוכחי (טרם הפקה). פער זה תומך בקצבי מילוי חוזר גבוהים יותר שהתקיימו בעבר באגן הצחיח. מפלס גבוה יותר עשוי להסביר גם את ערכי פחמן-13 הנמוכים שהתקבלו בפחמן האי-אורגני המומס (DIC) באקוויפר, שכן זמינות מי תהום קרוב לפני השטח עשויה לתמוך בכיסוי צומח משמעותי יותר. התוצאות שהתקבלו מדגימות את הפוטנציאל הקיים בשיטות גיאוכימיות ואיזוטופיות מתקדמות ככלי לפתרון סוגיות הידרולוגיות מורכבות, כדוגמת מקורות המים ומערכת הזרימה בגרנן כרכום.

ההיבט ההידרולוגי בתכנית לשיקום מרחב הכבארה.

יונתן שביט

DHVMED

הכבארה, בעבר מרחב ביצות ואגם אשר יובש בעבודות ניקוז והסדרה שהחלו בשנת 1922 על ידי פיק"א. נפח הנביעות שזרם בעבר באגן תנינים מוערך בכ- 60 מלמ"ק בשנה. כ-75% ממי התנינים נבעו בשטח הכבארה, כשהעיקרית שבהם הן עיינות תמסח. כיום נפח הנביעות השנתי של עיינות נאמד בכ-30 מלמ"ש. מפלס המים הנמדד ביציאה משמורת התמסח השמורה ברום של 2.2 מ' מפני הים ושטח ההצפה כיום בשמורת נאמד בכ- 10 דונם והוא כולל בתוכו את תעלות הניקוז עד לנחל תנינים. במסגרת עבודות הניקוז שנעשו על ידי קובלנוב וקרן (1922-1927), תועלו נביעות השטח בנקזי ת"ק ועינות תמסח בתעלות אל ערוץ נחל תנינים, שהועמק לצרכי ניקוז ושימוש בקרקעות לחקלאות ומיגור המלריה. במהלך העבודות על תכנית המתאר ותכנון מפורט לשיקום המרחב, נמדדו פיאזומטרים קיימים ונערכו מספר ניסויים בהם נמדד מפלס מי התהום הנע בין 2-3.5 מ' מפני הים, כתלות במאזן ההידרולוגי בירת"ן. כמו כן, נבחן בניסוי נוסף מה פוטנציאל ההצפה של השטחים מנביעות עינות תמסח במימוש עומד המים בהם נובעים. הניסוי הוכתר בהצלחה לאחר שהוצפה תוך יממות בודדות עשרות דונמים וגוף המים גלש מתחומי השמורה. גוף המים שאופיין בתכנית השיקום ע"י אקולוגים, בעל מדרגות הצפה משתנות ועומקו המירבי מגיע ל- 1.8 מ', הוא תוכנן כך שייתן את מירב שירותי המערכת של בית הגידול האקוטי, יאפשר מגוון נישות אקולוגיות וידע להתמודד עם מצבים הידרולוגים שונים. בנוסף, מרחב הכבארה משמש פשט הצפה לנחלים עדה ותנינים ומקיים עוד מספר בתי גידול שונים. במסגרת ההרצאה אסקור את גופי המים ומערכות המים הטבעיות והאנושיות שיש במרחב ואציג את תמונת העתיד של המרחב.

דינמיקה של תהליכים ביוגאוכימיים במי התהום החופיים של אגם הכנרת במהלך תנודות מפלס

האגם

¹שקד שטיין, ²גלית שרעבי, ²תמי זילברמן, ²אילן לוי

¹חקר ימים ואגמים לישראל, המכון לחקר הכנרת ומדעי המים

²המכון הגיאולוגי

אגם הכנרת מהווה מקור מים מתוקים מרכזי ואסטרטגי במדינת ישראל. תהליכים גאוכימיים וביוגאוכימיים במי התהום הרדודים באזור קו החוף עשויים להשפיע על כמות והרכב חומרי ההזנה המגיעים לאגם באמצעות שפיעת מי תהום לאגמים, רכיב אשר עדיין אינו מאופיין היטב במאזני הנוטריינטים ובהערכות של תפקוד המערכת האקולוגית האגמית. תנודות במפלס האגם ובמפלס מי התהום משנות את הגרדיאנטים ההידראוליים, ובכך משפיעות על קצבי השפיעה ועל איכות המים; עם זאת, התגובה המיקרוביאלית לשינויים אלו השולטים בהרכב וכמות הנוטריינטים אינה מובנת דיה. לצורך חקר תהליכים אלה נחפרו ידנית בארות ניטור רדודות (~1 מ') לאורך קו החוף, בסמוך למכון לחקר הכנרת ומדעי המים. מי התהום נוטרו באופן רציף באמצעות חיישנים *in situ* (במרווחי זמן של 15 דקות), אשר מדדו מוליכות חשמלית, מפלס מים, טמפרטורה, חמצן מומס, פוטנציאל חמצון-חיזור ו-pH, ובנוסף בוצעו דיגומי מים דו-שבועיים. דגימות מי התהום נותחו ליונים עיקריים, יסודות קורט, פחמן אורגני ואי-אורגני מומס (DOC, DIC), $\delta^{13}\text{CDIC}$, ורכיבים רגישים לתנאי חמצון-חיזור (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+}). התוצאות מצביעות על תנאים אנאירוביים במי התהום החופיים, כאשר עוצמת תנאי החמצון-חיזור משתנה עם המרחק מקו החוף. בבארות נצפו תנאים מחזרים, המאופיינים בחיזור ברזל ומנגן, לצד אירועים אפיזודיים של ניטריפיקציה. ריכוזי ה-DIC וערכי $\delta^{13}\text{CDIC}$ מרמזים כי חמצון חומר אורגני התרחש לאורך תקופת הניטור. מידול גאוכימי באמצעות PHREEQC מצביע על פוטנציאל להמסה של מינרלים קרבונטיים כמעט לאורך כל מחזורי העליה והירידה של מפלס האגם. ממצאים אלה מצביעים כי תנודות מפלס האגם משפיעות באופן משמעותי על הגאוכימיה של מי התהום החופיים ועל תהליכים מיקרוביאליים באזור קו החוף, ובכך עשויות להשפיע על דינמיקת חומרי ההזנה ושפיעתם אל האגם.

פיתוח ויישום כלי רגולטורי לתיעוד סיכונים הנובעים ממוקדי זיהום במי התהום

¹יצחק שטרמר, ¹מירי למפרט, ²כ"ץ, ח., ²שגיא בן משה, ש., ²אלאנה לוינשטרן טנזר, ³טוני יובל, ³ירון אלקיים

¹אקולוג הנדסה

²הרשות הממשלתית למים ולביוב, אגף לאיכות מים

³הרשות הממשלתית למים ולביוב, אגף בכיר טכנולוגיות דיגיטליות ומידע

אגף איכות מים ברשות המים עוסק, בין השאר, באיתור מקורות זיהום מי התהום, הפסקת הזיהום, מניעת התפשטותו ושיקום מקורות המים. אקולוג הנדסה בע"מ פיתחה עבור הרשות מודל ככלי רגולטורי לתיעוד אתרים. המודל מתבסס על ניתוח רב-קריטריונים המעריך את רמת הסיכון הנשקפת מכל אתר על פי סיכונים לאוגר מי התהום, בריאות האדם וסביבה כתוצאה מזיהום מי תהום. המודל משלב נתונים על רמת והיקף הזיהום באקוויפר, בוחן מסלולי חשיפה בפאזה המומסת ובפאזה הגזית (נפלים ממזהמים נדיפים), ומעריך את הסיכון הפוטנציאלי לקולטנים רגישים כגון אוגר מי התהום, בריאות האדם וקולטנים אקולוגיים. תוצאות המודל נאספות ומנותחות באמצעות מערכת ניקוד, לצורך תיעוד אתרים על-פי רמת הסיכון. יישום המודל מיועד לסייע בקביעת דרוג מבוסס סיכון יחסי של מקורות הזיהום, הן קיימים והן פוטנציאליים. בשיתוף עם אגף איכות מים והאגף הבכיר לטכנולוגיות דיגיטליות ומידע, בוצעה עבודה נרחבת לשילוב המודל במערכות המידע ברשות המים, לצורך עיבוד נתוני איכות מים מקידוחי ניטור והפקה ברחבי הארץ. מומחי GIS ברשות המים מפתח תהליכי אוטומציה ומיפוי פלומות הזיהום ב-GIS.

זרימה ואיכות מי תהום באקוויפר קרסטי מורכב: גישה משולבת של הידרו-כימיה, ניסויי נותבים

ומידול הידרו-גיאולוגי

¹אוהד שלום, ¹חיים גבירצמן, ²עובדיה לב

¹המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית בירושלים

²המכון לכימיה האוניברסיטה העברית בירושלים

אפיון זרימת מי תהום ואיכותם באקוויפרים קרסטיים נקבעת לעיתים קרובות מתצפיות נקודתיות, כגון כימיית מי מעיינות וניסויי נותבים המתבצעים סמוך לנקודות הנביעה. אף ששיטות אלו נפוצות ובעלות ערך, פרשנותן עשויה להיות מורכבת ולא חד-משמעית באקוויפרים קרסטיים שבהם העתקים, שונות ליתולוגית ועובי גדול של האזור הבלתי רווי משפיעים על מסלולי הזרימה. במחקר זה מודגם כיצד שילוב של ניטור הידרו-כימי ארוך טווח וניסויי נותבים יחד עם מודל הידרו-גיאולוגי מכויל משפר את ההבנה של דינמיקת זרימת מי התהום וקיטוע האקוויפר במערכת קרסטית שבורה בהרי ירושלים. מאגר נתונים הידרו-כימי אזורי שנאסף לאורך מספר שנים נותח באמצעות ניתוח רכיבים עיקריים (PCA) וזוהו בו אשכולות מרחביים ברורים הנשלטים הן על ידי גורמים ליתולוגיים והן על ידי השפעות אנתרופוגניות. ריכוזי מגנזיום משקפים הבדלים בעובי יחידות דולומיטיות, בעוד שהתפלגות ניטראט וכלוריד מצביעה על השפעת מקורות אנתרופוגניים כמו מערכת שפכים אזורית ועל השינויים שחלו בעקבות שדרוג תשתיות ביוב. תוצאות אלו מספקות מסגרת מרחבית לזיהוי אזורים הידרו-גיאולוגיים מובחנים באקוויפר ההר. בקנה מידה מקומי, ניסויי הנותבים הציגו תוצאות מנוגדות, הכוללות זרימה קרסטית מהירה לאורך מסלולים מועדפים יחד עם היעדר קשר הידראולי מנקודות החדרה סמוכות. פרשנות התוצאות באמצעות מודל זרימה מכויל מצביעה על הסטת זרימה הנשלטת על ידי העתקים, ותומכת בהבנה שהאקוויפר השעון מחולק לתת-מדורים מבניים המזינים מעיינות מובחנים. המחקר מדגיש את מגבלות השימוש בתצפיות כימיות או תוצאות ניסויי נותבים נקודתיים ומדגים את תרומת השילוב בין תצפיות שדה למודלים פיזיקליים מרחביים לצורכי ניהול, הגנה ותכנון שימושי קרקע באקוויפרים קרסטיים מורכבים.

שיקום נופי והסבה הנדסית של שטח מופר למתקן לריסון שיטפונות: מחצבת שחורת כמקרה בוחן

גל שני

רשות ניקוז ונחלים ערבה

תשתיות קריטיות באזורים צחיחים חשופות לפגיעות גוברות מאירועי שיטפונות קיצוניים, הנוצרים מסופות קצרות ועצימות אף במקומות עם ממוצעי משקעים נמוכים. שיטפונות פתאומיים אלה מהווים סיכון משמעותי לתפקוד תשתיות חיוניות במורד הזרם. מקרה בוחן זה מציג את התכנון, ההנדסה והיישום של פרויקט מבוסס שימוש חוזר לשיקום נופי ולניהול נגר בערבה הדרומית. הפרויקט מתמקד בהסבת מחצבה נטושה, המצויה באפיק נחל שחורת, למתקן ריסון גאיות. הפרויקט משתרע על פני כ-270,000 מ"ר וכולל שני מאגרי ויסות בנפח אגירה כולל של כ-450,000 מ"ק, המשמשים להשהיה של נגר, הפחתת ספיקות במורד והארכת זמני התרעה לתשתיות חיוניות באזור הכניסה לעיר אילת. לפרויקט תרומה למילוי חוזר של האקוויפר וכן תועלת אקולוגית. הרכיבים ההנדסיים כוללים תעלת הולכה מבטון, מגלש עודפים ומתקנים לפיזור אנרגיה, בשילוב עבודות שיקום נופי המבוססות על חומרים מקומיים. הפרויקט הושלם בשנת 2020, ומעקב לאחר ההקמה מצביע על שיפור משמעותי בחוסן של תשתיות האנרגיה, המים והתחבורה במורד. מקרה בוחן זה ממחיש את היעילות של שימוש חוזר אדפטיבי באתרים תעשייתיים פגועים כפתרון הנדסי-סביבתי יעיל וחסכוני לשיקום סביבתי ולניהול נגר, במהלך משולב אחד.

מצב מקורות המים בעקבות חורף 2025/26

ליבשיץ, י.

רשות המים, השירות ההידרולוגי

שנת 2025/26 מסתיימת כשנה קרובה לממוצע מבחינת כמות המשקעים השנתית, אך חריגה מאוד מבחינת פריסת המשקעים בזמן ובמרחב. למרות שכמות המשקעים השנתית הכוללת הייתה קרובה לממוצע, שילוב של פריסה המשקעים לא מיטבית ושל שנת 2024/25, שהייתה מן השחונות ביותר הוביל למילוי החוזר בשנת 2025/26 נמוך יחסית: כ-73% מהממוצע בהערכה ראשונית. בשל עיכובים במימוש תוכנית ההתפלה, עקב השלכות תקופת הקורונה והמצב הביטחוני, נדרש משק המים להפיק מים מהמקורות הטבעיים בהיקף גבוה מן המתוכנן. כתוצאה מכך נרשמה גם השנה ירידת אוגר המוערכת באגני המערכת הארצית בכ-90 מלמ"ק. ירידה זו מצטרפת לירידת אוגר של כ-690 מלמ"ק בשנת 2024/25, כך שבסך הכול מסתכמת ירידת האוגר בשנתיים האחרונות בכ-780 מלמ"ק. בסוף השנה ההידרולוגית הנוכחית צפוי האוגר הזמין לניצול באגני המערכת הארצית להתקרב לקווים האדומים, ובחלק מן האגנים - הכינרת, נעמן וחלקים מאקוויפר החוף - אף לרדת מתחת להם. משמעות הדבר היא כי עד לסיום השנה ההידרולוגית צפוי משק המים לנצל כמעט את מלוא האוגר הזמין שנצבר בשנים 2019 - 2024. ירידה מתחת לקווים האדומים עלולה לסכן את מקורות המים הטבעיים של מדינת ישראל. הסיכון קיים בכל מקורות מי התהום, אך הוא משמעותי במיוחד באקוויפר ירקון - תנינים, שבו תהליכי המלחה עלולים להתפתח בקצב מהיר. במבט קדימה ניתן להעריך כי השפעת ה"זיכרון ההידרולוגי" השלילי של שנת 2024/25 הצטמצמה באופן משמעותי. הדבר בולט בעיקר באגן הכינרת. במקביל, היקף ההתפלה צפוי לגדול באופן ניכר. בהנחה של גידול טבעי בצריכה בשיעור של כ-1.5% בשנה, ובהתבסס על תוכנית התפלה בהיקף של כ-840 מלמ"ק, ניתן לצפות לעלייה באוגר באגני המערכת הארצית בשנת 2026/27 בתרחיש של משקעים העולים על כ-90% מהממוצע הרב-שנתי.

פוסטרים

תת אקוויפר C באזור תל אביב – ממצאים מקידוח הפקה חליפי יער מגינים א'

יעל אמיד, מקסים גינזבורג, יונתן קרן

אקולוג הנדסה בע"מ

אקוויפר החוף מהווה את אחד ממקורות מי התהום העיקריים בישראל. הפקה משמעותית מהאקוויפר החלה לפני למעלה מ-70 שנה והיא נמשכת עד היום. במהלך השנים חלה ירידה באיכות המים בעיקר בחלקו העליון של האקוויפר (תתי אקוויפר A+B) כתוצאה מפעילות אנטרופוגנית ובחלקו המערבי אף מחדירת מי ים. בשנים האחרונות, החלה מגמה של תכנון קידוחים חדשים לתת האקוויפר התחתון, תת אקוויפר C, המוגן יותר מזיהומים מפני השטח מאחר ולרוב הוא נמצא בתנאי כליאה חלקיים. חברת אקולוג הנדסה בע"מ תכננה עבור תאגיד המים והביוב של תל אביב יפו, מי אביבים, קידוח הפקה חליפי - קידוח יער מגינים א', לשם תגבור אספקת המים והגברת אמינות האספקה עבור ת"א-יפו. הקידוח הישן הושבת בשנות ה-80 עקב חריגות באיכות המים ותוצאות דיגום שבוצע בקדח הישן בשנת 2018 הראו חריגות בריכוזים של מספר מזהמים. הקידוח החליפי, יער מגינים א', מוקם סמוך לגני הטבע בדרום ת"א-יפו, דרומית מערבית לצומת הרחובות פנחס לבון וקיבוץ גלויות. הקידוח נקדח בחודשים יוני-דצמבר 2024 ע"י חברת ט.ג.ברגמן לעומק של 166 מ' והוא יפיק (טרם צויד) מאקוויפר החוף, אופק C, בתנאים פריאטיים. הקידוח נקדח בשיטת רוורס עד עומק של כ-132 מ', ומעומק זה ואילך באמצעות מכונת הקשה עם צינורות עזר. החתך שמול המסננות מורכב מפלטות של אבן חול גירית עם חלוקים, שברי צדפות ומעט חרסית. איכות המים שנדגמה בקידוח טובה מאוד ואין חריגות בערכי ביחס לתקן מי שתייה. בהתאם לתוצאות שאיבת הנסיון שבוצעה בקידוח, נקבעה ספיקת הקידוח המקסימלית ל-130 מק"ש. בספיקה זו חושבה ספיקה יחסית של 1.43 מק"ש/מ' נפילה.

תובנות מפארק עמק הצבאים בירושלים על ניהול סיכוני מים בעיר באמצעות תשתיות ירוקות-כחולות

¹ יואב בן דור, ¹ גלית שרעבי, ² רז נוסבאום, ² אפרת מורין, ¹ סברי עליאן, ⁴ אליסף פריימן, ³ אמנדה לינד, ³ ענבל שמש, ³ עמיר בלבן, ³ רמי אוזינסקי, ⁴ אלעד לוינטל

¹ המכון הגיאולוגי לישראל

² האוניברסיטה העברית בירושלים

³ החברה להגנת הטבע

⁴ אוניברסיטת בן גוריון בנגב

התרחבות עירונית מואצת וגידול בצפיפות האוכלוסייה מגבירים את אובדן השטחים הפתוחים, מעלים את תדירות אירועי ההצפה ואת זיהום הנגר העירוני, מחמירים את תופעת אי החום העירוני ופוגעים בחוסן האקולוגי וברווחת האדם. פתרונות מבוססי טבע (NbS) ותשתיות ירוקות מציעים מענה משולב לאתגרים אלו, תוך הפיכת סיכוני מים עירוניים למשאבים תפקודיים. מחקר זה מציג את פארק עמק הצבאים (GVP) בירושלים כתשתית אקו-הידרולוגית המשולבת בלב עיר ים-תיכונית צפופה. הפארק, שהוקם בשנת 2015 בעקבות יוזמה ציבורית, תוכנן כתשתית ירוקה רב-תכליתית לאיסוף, אגירה והולכה של נגר עירוני באמצעות מערכת של בריכות וצמחיה. מערכת זו מעודדת תהליכי שיקוע, סינון וחמצון, מפחיתה עומס מזהמים ותומכת בקיום בית גידול לח טבעי למחצה. בכך מיישם הפארק את העיקרון "ממפגע למשאב", ומספק במקביל יתרונות אקולוגיים, חינוכיים וציבוריים וכן מספק מרחב לפנאי וטיול. בעונת הקיץ היבשה מוזרמים לפארק מי קולחין מושבים לשמירה על בית גידול מימי קבוע, תהליך הכרוך באתגרים ניהוליים הנובעים מעלייה במליחות, בצריכת החמצן, ובנוכחות מזהמים, לצד עלייה בטמפרטורה במהלך העונה היבשה. ניטור הידרומטרי וגאוכימי מצביע על קשר לינארי חזק בין משקעים לנגר, האופייני לאגנים עירוניים עתירי משטחים אטומים, לרבות יצירת נגר גם באירועי גשם בעוצמה נמוכה. עם זאת, מקדם הנגר נמוך מהמקובל בסביבות עירוניות, דבר המשקף את מורכבות מערכות הניקוז. הממצאים מהמדידות הגיאוכימיות מדגישים את תרומת השיקוע והצמחייה להפחתת מזהמים הקשורים לחלקיקים, לרבות מתכות כבדות, ולשיפור איכות המים במורד הזרם. פארק עמק הצבאים מדגים כיצד תכנון רב-תחומי, ניהול אדפטיבי ומעורבות ציבורית מחזקים את תפקודן וחוסןן של תשתיות ירוקות עירוניות, ומאפשרים הפחתת סיכוני הצפה, שיפור מיקרו-אקלים בעיר וחיזוק החוסן הסביבתי והחברתי בעיר בתנאים של אקלים ים תיכוני.

**מוקד מחקר בנושא השפעת שינויי אקלים ופעילות אנושית על תהליכים הידרולוגיים ואיכות מים
באגני ניקוז באקלים ים תיכוני
טל גודינגר בשם משתתפי פרויקט ות"ת**

אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, מכון המים

שינויי האקלים ופעילות אנושית אינטנסיבית משפיעים על תהליכים הידרולוגיים ואיכות מים באגני ניקוז, וכתוצאה מכך משפיעים על שירותי המערכת האקולוגית ועל חיי האדם. ישנן מעט תוכניות מחקר מקיפות התומכות במדידות הידרולוגיות באגני ניקוז באקלים ים תיכוני למרות שכ-530 מיליון אנשים חיים לאורך חוף הים התיכון. כדי להתמודד עם פערי הידע האלו, ולקדם את מדע הלימנולוגיה בישראל ובאזור הים התיכון, יעסוק מוקד המחקר בהיבטים הקשורים להידרולוגיה ואיכות מים באגן הירקון. מטרת העל של מוקד המחקר היא פיתוח והתקנת תשתית מדידה אוטונומית המאפשרת איסוף נתונים בזמן אמת לצורך הבנת תהליכים ותמיכה בפיתוח מודלים לחיזוי תנועה ואיכות מים באגן ניקוז ירקון. צוות המחקר משתף פעולה עם רשויות ממשלתיות/מקומיות כגון רשות נחל הירקון ורשות ניקוז נחלים ירקון ונמצא בימים אלו בשלבי הקמה של מערך הניטור. עד כה הותקנו שלוש תחנות ניטור רציף של איכות המים באמצעות חיישנים בנחל הירקון. תחנות ניטור נוספות בנחל, בבארות להחדרת מי גשם מגגות, בנקזים עירוניים ובקרקעות (לצורך שיפור חיזוי יחסי גשם-נגר) נמצאות בשלבי תכנון והקמה. ניתוח הנתונים ופעילות המחקר יבוצעו בקבוצות עבודה ממוקדות בנושאי האקלים, הידרולוגיה, איכות מים, ומדיניות עם דגש מיוחד על פעילויות הסברה ושיתוף פעולה הדוק עם בעלי עניין. המחקר צפוי לפתח תשתית חדשה תוך יצירת מסד נתונים ומודלים משופרים להבנת התהליכים ההידרולוגיים באגן הירקון, ולאפשר מחקר מדעי מתקדם בנושאים אלו. תוצאות המחקר צפויות לשפר את ניהול משאבי המים באגן על ידי מתן מידע וחיזויים עתידיים על הזרימה ואיכות המים בנחל ובמי התהום מתחת לאזורים החקלאיים והעירוניים.

השפעת מהירות תנועת סדימנט חולי בנחל על שרידות של מזהמים אורגניים בנחלים 1 אלמוג גפני, 1 טניה אקוניס, 2 סטפני ספאר, 2 יורג ליונדוסקי, 1 שי ארנון

¹מכון צוקרברג לחקר המים, אוניברסיטת בן גוריון

²המחלקה לאקו-הידרולוגיה וביוטכנולוגיה, מכון ליבניז לחקר אקולוגיה של מים מתוקים ודגה, ברלין

תרכובות אורגניות שאריתיות, ובהן תרופות ומוצרי טיפוח אישיים, מהוות סיכון למערכות אקולוגיות בנחלים. תרכובות אלו מגיעות לנחלים בעיקר בשל הזרמת קולחים. עיקר תהליכי הניחות של מזהמים בנחלים, ובמיוחד פירוק ביולוגי, מתרחשים בסדימנטים ולכן תלויים בקצב חילוף מומסים בין הנחל לסדימנט (האזור ההיפוראי). אף שידוע כי למהירות תנועת הסדימנטים השפעה משמעותית על מעבר מומסים בין הנחל לסדימנט, על זמני השהייה ועל זמינות החמצן, השפעתה הישירה על פירוק תרכובות אורגניות טרם נחקרה. מטרת מחקר זה היא לכמת כיצד מהירות תנועת הסדימנטים משפיעה על פירוק תרכובות אורגניות. לצורך כך בוצעו ניסויי מעבדה בתעלה מבוקרת, אשר מדמה באופן מיטבי את התנאים בנחל ואף מאפשרת שליטה על התנאים הפיזיקליים (זרימה, טמפרטורה וכו'). תעלת המחקר מולאה בסדימנט מנחל הירקון ומים. שמונה-עשרה תרכובות המייצגות טווח רחב של זמינות ביולוגית, ותכונות כימיות הוספו למים בריכוז של כ 20 מיקרוגרם לליטר וריכוזן נמדד במשך שבעה ימים ותחת ארבע מהירויות זרימה ותנועת סדימנט שונות. מהירות תנועת הסדימנט נמדדה בעזרת ניתוח תמונות שנלקחו בזמנים שונים במהלך הניסוי. ריכוז החמצן באזור ההיפוראי נמדד באמצעות אופטודות למיפוי דו מימדי של החמצן מומס, וריכוזי התרכובות נמדדו במי הנחל ובמי החללים. התוצאות הראו כי ישנו שיפור ברור בקצב ירידת הריכוז המזהמים כאשר ישנה עלייה במהירות תנועת הסדימנטים בעיקר עבור תרכובות המתפרקות בתנאים אירוביים. הגברה נוספת של מהירות תנועת הסדימנטים אינה מובילה לשיפור משמעותי בתהליכי הניחות, ככל הנראה עקב קיצור זמני השהייה של המזהמים בסדימנט. מחקר זה מספק תובנות תהליכיות חדשות לגבי האופן שבו מהירות הזרימה ותנועת הסדימנטים מווסתת את הגורל של תרכובות אורגניות שאריתיות בנחלים ויאפשר דיוק טוב יותר של מודלים החוזים תנועת מזהמים בנחלים.

Magnitude of the 2025 extreme floods in the Kati Thanda-Lake Eyre basin in a historical context

¹אלעד דנטה, ²משה ארמון, ³טים כהן, ³אטול ראי, ³לאורה מוגנסן

¹אוניברסיטת חיפה

²האוניברסיטה העברית בירושלים

³אוניברסיטת וולונגונג

בסוף מרץ 2025, גשמים קיצוניים באזורים הצחיחים של מרכז אוסטרליה גרמו לשיטפונות גדולים שהציפו חלקים נרחבים מהמדבר. כמות הגשם שירדה תוך ימים ספורים עלתה על 500 מ"מ. שיטפונות באגן הניקוז של אגם אייר (Lake Eyre), אחד מאגני הניקוז הפנימיים (טרמינליים) הגדולים בעולם, הגיעו לספיקות שיא דומות בגודלן לנהר המיסיסיפי. בגלל גודלו העצום של האגן (כ-1.2 מיליון קמ"ר) קשה לחשב תחזיות לזרימת המים במורד האגנים – כלומר, כמה מים ימלאו בסופו של דבר את האגם. בהתחשב במיעוט תחנות מדידה ובקושי בחישוב הספיקה במקומות בהם רוחבי הנהרות משתרעים על פני עשרות קילומטרים, איך אפשר לקבוע את גודל השיטפון ואת נפח המים? בעבודה זו, השתמשנו בשטח המים במהלך זרימת הנהרות כמדד לנפח שיטפונות 2025 בהשוואה לאירועים היסטוריים. לשם כך השתמשנו בסדרת הדמאות לוויין MODIS בין השנים 2000-2026 והדמאות מלוויינים נוספים. תוצאות המחקר מראות כי שטח השיטפון של 2025 היה הנרחב ביותר באגן ב-25 השנים האחרונות, עם שטח הצפה מקסימלי של כ-38,000 קמ"ר (בדומה לשטחה של בלגיה). שטח זה גדול ביותר מ-10% משיטפונות הענק שתועד במהלך השנים 2010 ו-2011. השוואה לתיעוד נדיר של השיטפונות משנת 1974, מראה ששיטפונות 2025 היו בסדר גודל דומה. במהלך חמשת חודשי השיטפון, כל שלושת היובלים העיקריים של אגם אייר חוו שיטפונות קיצוניים. עם זאת, הספיקה הגבוהה ביותר באגן הייתה בערוץ ה-קופר (Cooper Creek), היכן שאובדני תמסורת משחקים תפקיד משמעותי. לכן תרומותו למילוי האגם היתה מוגבלת ומאוחרת ביחס לערוצים האחרים, ומילוי האגם היה קטן מאשר בשטפון 1974.

תרחישי אספקה עתידיים למשק מים עם מקורות בעלי מאפייני מילוי חוזר שונים

רן ויסמן, אלכס פורמן

הטכניון, מכון טכנולוגי לישראל

תכנון ארוך טווח של מערכות לאספקת מים מצריך ניתוח היסטורי של פוטנציאל ההפקה מהמקורות הטבעיים השונים, על בסיס המילוי החוזר שלהם. למקורות שונים מאפיינים שונים ובעידן בו ההתפלה משמשת כמקור לאספקה, וכמקור פוטנציאלי למילוי חוזר של אקוויפרים ומאגרים עיליים, נדרש לפתח מודל אינטרטיבי לעמידה ביעדי האספקה. בעבודה זו נבחנת גישה רובסטית לבניית הפקת מים עתידית ושילוב מתקני התפלה לאספקה לצריכה, ולמילוי חוזר בהתחשב במגבלת הכמות השנתית של מתקני ההתפלה וניצול האוגר הרב שנתי באקוויפרים והאוגר העילי. ההשוואה בין התרחישים העתידיים נעשית לפי מדדים של אמינות ועלות. מוצגת הגישה הרובסטית והשוואה לממוצעים נעים. בגישה הרובסטית נבחנו סדרות עם נתונים בלתי תלויים ונבחנה הגישה עם נתונים תלויים. המודל בוצע עבור תשעת האגנים המרכזיים בישראל בהתבסס על נתונים היסטוריים שנתיים.

ניתוח תהליכי נגר-גשם וחישוב מקדמי נגר בשטח עירוני פתוח

^{1,2} אליהו ולדמן, ¹ יונתן גנות, ² תמיר קמאי

¹ המחלקה לסביבה, תכנון וקיימות - אוניברסיטת בר-אילן

² המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה - מכון וולקני

תהליכי נגר-גשם הינם תהליכים מורכבים ודינמיים אשר תלויים במשתנים רבים. בעבודה זו ניתחנו תהליכי היווצרות נגר ומהם חישבנו מקדמי נגר באגן ניקוז קטן (2500 מ"ר) בשטח עירוני פתוח. הנתונים ההידרולוגיים מתבססים על מדידות שנאספו מאתר החדרת מי-נגר במערב ירושלים. אתר ההחדרה, שפועל ומנוטר מאז חורף 2022/23, מנקז שטח עירוני פתוח אל תוך קידוח יבש (קידוח לתוך הבלתי רווי שאינו חודר את מי התהום). נסקור תיאורטית בקצרה את הגורמים המרכזיים המשפיעים על היווצרות נגר, בהם קצב הגשם ומשך אירוע הגשם, יכולת החידור (capacity Infiltration) של הקרקע, ותכולת הרטיבות ההתחלתית – זאת יחד ולאור ההשפעות המטאורולוגיות והאקלימיות על תהליכי הנגר-גשם בסקלה העונתית. יכולת החידור והשתנותה בזמן מוסברות במונחי הגרדיאנט ההידראולי והמוליכות ההידראולית. השיטות כללו ניטור רציף של הגשם והנגר באגן הניקוז באמצעות מד גשם ומד ספיקה, וחישוב מקדמי נגר באופן מתמשך לאורך אירועי הגשם-נגר (בנפרד לכל אירוע). החישובים התבססו על היחס שבין עובי/נפח הנגר לגשם, זאת לצד ניתוח איכותי של דינמיקת קצבי הגשם והנגר במהלך האירועים. התוצאות מצביעות על שונות ניכרת בין האירועים, עם מקדמי נגר בטווח שבין 0.01-0.45. שונות זו נובעת משילוב של תנאי רטיבות התחלתיים, משך אירוע הגשם ועוצמות הגשם במהלכו. הממצאים מעידים כי לעיתים תכולת הרטיבות ההתחלתית של הקרקע היא הגורם הדומיננטי בהיווצרות הנגר, ולעיתים קצבי הגשם הגבוהים הם הגורם הדומיננטי. עבודה זו מדגישה את המורכבות והדינמיות של תהליכי הנגר-גשם בשטחים פתוחים, ואת החשיבות בשקלול מצב הרטיבות ההתחלתי ומאפייני אירוע הגשם לצורך חיזוי וניהול נגר באופן מיטבי.

Investigating Pore-scale Oxygen Dynamics and redox potential in unsaturated porous media Using Microfluidic Soil-on-Chip Technology

¹Ilil Levakov, ¹Sanna Musa, ²Hamidreza Khoshtarash, ²Veronica L Morales, ¹Oshri Borgman

¹Migal galilee research institute, Israel

²University of California, Davis, CA

The availability of key soil nutrients is strongly governed by soil redox conditions, making redox dynamics a key determinant of agricultural and environmental sustainability. These redox conditions are directly linked to oxygen concentrations in porewater, which are highly dynamic and fluctuate significantly over millimeter-scale distances. In cultivated soils, different land management practices modify soil pore structure, directly influencing oxygen distribution, which subsequently governs coupled physicochemical and biological processes. This study investigates the interaction between porous medium structure and water saturation in shaping pore-scale oxygen distribution. These interactions were examined using two-dimensional microfluidic soil-on-chip reactors, enabling high-resolution observation of oxygen dynamics across diverse porous medium structures under drainage conditions. To ensure that oxygen dynamics were governed solely by pore-space transport, the microfluidic devices were fabricated from gas-impermeable NOA-81. The microfluidic devices were embedded with oxygen-sensitive fluorescent sensors, enabling high-resolution, real-time visualization of oxygen concentrations within pore spaces. By varying pore structural complexity and water distribution in controlled experiments, we aim to quantify the relationships between pore geometry, water saturation and distribution, and oxygen dynamics. Preliminary results comparing two porous media with distinct correlation lengths reveal that structural connectivity significantly dictates water distribution during drainage. In structures with a higher correlation length, the liquid phase organizes into large clusters with a lower surface-to-volume ratio. In contrast, media with lower correlation lengths exhibited smaller, more dispersed clusters with a higher surface-to-volume ratio. These spatial patterns directly govern oxygen gradients, where the center of larger clusters maintains significantly lower oxygen concentrations.

זרימה והרכב גזים בבארות: ניטור רציף רב-עומקי לצורך אפיון דינמיקת משאבה אטמוספירית

¹ יואב לינגווד, ¹ אלעד לוינטל, ² איתי רזניק, ² רועי רם

¹אוניברסיטת בן גוריון

²המכון הגיאולוגי לישראל

קידוחים יוצרים גבול פתוח בין תת הקרקע לאטמוספירה ומהווים צינור לזרימת גזים מתת הקרקע לאטמוספירה ולהפך, כתלות בתנאי מזג האוויר והלחץ, בתכונות הגאומטריות והכימיות של הבאר ובליטולוגיה. למרות שכיחותן הרבה של בארות בעולם, מנגנוני הזרימה והרכב הגזים המוסעים בקידוח אינם מאופיינים הן כמותית והן תהליכית. המחקר הנוכחי מתבצע בבאר ניטור בהרי ירושלים. קוטר הבאר 7.5 ס"מ ועומקה כ-117 מטר. בעוד עומק מפלס מי התהום הינו כ-103 מטר מתחת לפני השטח, המסוננות מצויות בעומק 84.5 עד 114.5 מטר, כך שהבאר פתוחה אל מול התווך הבלתי רווי והרווי גם יחד. בבאר הותקנה מערכת חדשנית המבצעת ניטור רציף (קריאות בכל דקה) של פחמן דו-חמצני, חמצן, טמפרטורה, ולחץ בשלושה עומקים בעמודת האוויר. מערך זה אפשר מעקב אחר דינמיקת פליטת ושאיבת גזים בזמן אמת ואפיון מחזוריות יומית ועונתית של תהליכי הזרימה. בנוסף לניטור רציף של הגז, התבצעו דגימות של מי התהום והאוויר בבאר על מנת לבצע אנליזות נוספות בהמשך. שילוב בין מדידות רציפות לדגימות עומק תקופתיות מאפשר לבחון את הקשר בין התווך הרווי לבלתי רווי. תוצאות ראשוניות מראות שזרימת האוויר בבאר נשלטת על ידי שינויים בלחץ האטמוספרי המניע תנועה אדבקטיבית של גזים מתת-הקרקע אל האטמוספירה, ושחחזוריות שינויי הלחץ מכתיבה את כיוון ועוצמת הזרימה בבאר, בעוד שתהליכים תרמליים ממלאים תפקיד משני. בנוסף, נצפו פערים בין הפרשי הריכוזים של פחמן דו-חמצני וחמצן המעידים כי הרכב הגזים בבאר אינו מוסבר על ידי נשימה ביולוגית בלבד ומרמזים על מעורבותם של תהליכים נוספים המצריכים המשך מחקר. הממצאים שהתקבלו מדגישים את תפקידן של בארות כנתיב להעברת גזים, ואת הצורך באפיון מפורט לצורך הערכת תרומתן למאזן גזי החממה הגלובלי.

אפיון וכימות תהליכים גיאוכימיים עיקריים בסדימנטים ביצתיים בישראל

¹מתן סקשידלק, ¹רותם גולן, ²גלעד אנטלר, ³אלון אנגרט, ⁴אלעד לוינטל, ⁵קרן ינוקה גולוב, ¹רועי קציר, ⁶גל יסעור, ⁶יואב עובד רוזנברג

¹מכון וולקני - המכון לחקר קרקע ומים

²המחלקה למדעי כדור הארץ וסביבה, אוני' בן גוריון

³המחלקה למדעי כדור הארץ האוניברסיטה העברית

⁴מכון צוקרברג למדעי המים, אוני' בן גוריון

⁵אגודת הגליל- המכון למחקר יישומי

⁶המכון הגיאולוגי לישראל

ביצות מהוות רכיב מרכזי במערכת ההידרולוגית, ומשפיעות באופן ישיר על זמני שהות וספיקות נגר עילי, חלחול, והרכב המים. בעידן של שינויי אקלים, המתבטאים בעלייה בשכיחות ובעוצמת אירועי גשם קיצוניים מחד, ובתקופות יובש ממושכות מאידך, גוברת חשיבותן של הביצות בהקשרים שונים כגון שימור מאגרי פחמן, ויסות ומיתון שיטפונות, העשרת מי התהום, ובתמיכה במגוון בתי גידול. בביצה, קצב יצרנות ראשונית גבוה בצימוד לקרקעית רוויה, גורמים לכך שחדירת החמצן לקרקעית מוגבלת ולפיכך קצבי פירוק החומר האורגני איטיים. מחקר זה עוסק באפיון תהליכים גיאוכימיים עיקריים בסדימנטים של ביצות משוקמות בישראל. במסגרת המחקר נבחנת השונות בין האתרים ונלמדת הדינאמיקה כפי שמתבטאת לאורך פרופילי הסדימנט בביצות תחת אקלים ים-תיכוני. המחקר התבצע בשמורות הטבע: החולה, עין אפק ופולג. בכל אתר נאספו גלעיני סדימנט ופרופילי מי נקבובים בגוף מים פתוח ובאזורים של סבך צמחייה. ניתוח מי הנקבובים כללו פחמן אנאורגני מומס, מתאן, ברזל, מנגן, וסולפט. הממצאים מצביעים על שונות מרחבית הנובעת מהבדלים בכימיית המים ובמליחות ומאששת שבכל האתרים מתקיימים תהליכי חימצון-חיזור בסדימנט. מידת החימצון-חיזור משתנה בין האתרים ואף משפיעה על פוטנציאל ייצור המתאן (גז חממה). בשמורת עין אפק, אזורי מים פתוחים מאופיינים בדומיננטיות של חיזור ברזל ומנגן, ואילו בשולי הצמחייה, מתקיימים תהליכי חיזור מתקדמים אף יותר. אלו כוללים חיזור ברזל, מנגן וסולפט לרבות, יצירה של מתאן לאורך עמודת הסדימנט. לעומת זאת, בשמורת החולה תועד ייצור של מתאן דווקא באזור המים הפתוחים ולא בקרבת הצמחייה. באתר הפולג זיהינו גם כן ייצור של מתאן, אם כי באזור הקרוב לצמחייה נמדדו ריכוזים גדולים יותר מאשר באזור המים הפתוחים. בנוסף, ערכי הברזל באתר הפולג היו גבוהים ובמדידת מתכות כבדות נוספות לא נצפו ערכים גבוהים שיכלו להעיד על זיהום ואנו עדיין בודקים אפשרויות להסבר מציאת ערכים גבוהים של ברזל באתר. אפשר להבחין שבשלושת האתרים שנמדדו עד כה, תהליכי החמצון חיזור שולטים וכי רואים פוטנציאל של ייצור מתאן. תוצאות אלו מראות את השוני בין האתרים ויכולות לתרום להבנה של פוטנציאל קיבוע פחמן וייצור של גזי חממה, וכיצד הוא מושפע מהמערך ההידרולוגי. המידע יוכל לתרום לניהול מושכל של מערך המים בביצות משוקמות בראי שימור וקליטת פחמן

פירוק טבעי של 1,4 דיאוקסן במי תהום בישראל גלעד קירשנר, ענת ברנשטין

אוניברסיטת בן גוריון

1,4-דיאוקסן הוא מזהם אורגני סינתטי אשר שימש בעבר כמייצב בממסים מוכלרים (בעיקר TCA) ונמצא בשימוש במגוון רחב של מוצרים תעשייתיים וצרכניים. עקב טיפול לא תקין ודליפות, דיאוקסן חדר לאורך השנים לקרקע ולמי התהום וגרם לזיהומם. לדיאוקסן מסיסות גבוהה במים. הוא כמעט ואינו נספח לחומר אורגני או מינרלי ולכן מתפשט במהירות במי התהום. הוא מתועד במי התהום ברחבי העולם כולל בישראל. דיאוקסן מסווג כמסרטן אפשרי (קטגוריה B2 ע"י IARC) ונחשב לבעל זמן מחצית חיים ארוך בסביבה. אף שאין תקן בינלאומי מחייב לריכוזו במי התהום, קיימים ערכי מטרה במספר מדינות. דיאוקסן עשוי לעבור פירוק ביולוגי טבעי במי התהום, בתנאים אירוביים שיובילו להפחתת ריכוזו בסביבה. בתהליך הפירוק טבעי הדיאוקסן נפתחת ומתקבלים תוצרים שאינם רעילים וממשיכים להתפרק. זיהוי פירוק של דיאוקסן בשדה מהווה אתגר, שכן לא ניתן לבנות מאזן מסה ותוצרי הפירוק לעיתים אינם ניתנים לזיהוי. אחת האסטרטגיות להתגבר על קושי זה היא ניטור ההרכב האיזוטופי של הדיאוקסן, כאשר שינויים בהרכב האיזוטופי מספקים עדות לתהליכי פירוק היסטוריים. מטרת מחקר זה היא לבחון האם דיאוקסן מתפרק באופן משמעותי במי התהום באתרים מזהמים באקוויפר החוף הישראלי באמצעות ניטור ההרכב האיזוטופי שלו ועל ידי ניסוי פירוק במעבדה. תוצאות ראשוניות במחקר מראות כי בחמצון א-ביוטי בתנאי על ידי אשלגן פרמנגנט מעבדה מבוקרים על ידי, חלה פרקציונציה איזוטופית משמעותית של פחמן $\delta^{13}\text{C}$ עם מקדם העשרה איזוטופית של $\epsilon\text{C} = -6.16 \pm 3.41\%$. מנגד, באנליזה איזוטופית של מספר דוגמאות שדה, לא נצפתה שונות בערכי ההרכב האיזוטופי בין הדוגמאות השונות (ממוצע -32.42%), כך שאין עדות לפירוק ביולוגי משמעותי בקידוחים הנדגמים. עבודת השדה תורחב למספר רב יותר של קידוחים.

ניטור רציף של איכות המים באמצעות חיישנים זולים ומדענים אזרחיים בנחל עדה
1 יובל רוטשטיין, 2 אמילי טראן, 3 אלעד לוינטל, 1 אורן רייכמן, 3 שי ארנון

¹המכללה האקדמית תל חי

²מכון שמיר למחקר

³מכון צוקרברג לחקר המים, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

דיגום חטף בנחלים אינו יכול לספק מידע מלא על איכות המים בנחל שמשנתנה בזמן ובמרחב באופן טבעי, ובמיוחד בזמן אירועי זיהום קצרים. ניטור רציף בזמן אמת יכול להתגבר על מגבלה זו ולכן הוא מהווה כלי מרכזי לניהול משאבי מים בנחלים, אך פריסה רחבה של תחנות ניטור מוגבלת בשל עלויות גבוהות, תחזוקה מרובה ותלות באנשי מקצוע. לאור זאת, מטרת מחקר זה היא לבחון היתכנות, אמינות ותועלת של תפעול תחנה לניטור רציף של איכות מים בעלות נמוכה תוך שילוב מדענים אזרחיים. ביולי 2025 הותקנו והחלו לפעול במקביל שתי תחנות ניטור בנחל עדה: תחנה מקצועית ותחנה בעלות נמוכה שפותחה באוניברסיטת בן-גוריון בנגב. בתחנות הותקנו חיישנים למדידת חמצן ומוליכות חשמלית ומדידות מתבצעות כל רבע שעה. בשלב הראשון תופעלו שתי התחנות על ידי צוות המחקר על מנת לבדוק את תיפקודן. שילוב והכשרת הקהילה החל בתחילת חודש דצמבר 2025, ומתחילת 2026, התחנה בעלות נמוכה מתופעלת על ידי צוות מקומי של מדענים אזרחיים. תוצאות ראשוניות מהמדידות הראו שהשוואה בין התחנה המקצועית לבין התחנה בעלות נמוכה, התקבלה התאמה גבוהה בערכים שנמדדו ($R^2 < 0.93$), ובמגמות השינוי. לדוגמא: באירועי גשם ודליפת ביוב נצפתו שינויים במוליכות החשמלית ובריכוזי החמצן על ידי שתי התחנות ניטור. הערכים חזרו לערכים שלפני האירועים בזמנים של בין יום אחד עד שלושה ימים. הממצאים הראשוניים מצביעים על פוטנציאל גבוה ליישום של הטמעת תחנות לניטור רציף של איכות מים בעלות נמוכה תוך שילוב קהילות נחל. שילוב הקהילה בתחזוקה של התחנה בעלות נמוכה והערכת יכולת המערכת לזהות אירועים חריגים של איכות מים צפויה לשפר את התגובה לאירועי זיהום לאור זמינות ונגישות הקהילה המקומית.

התפלת תמלחות הכנרת למניעת המלחת האגם 1' אייל שורצשילד, 2' שקד שטיין, 1' רוני כשר, 2' אורית סיוון

¹המחלקה להתפלה וטיפול במים, אונ' בן גוריון

²המעבדה לחקר הכנרת, המכון לחקר ימים ואגמים

³המחלקה למדעי כדה"א והסביבה, אונ' בן גוריון

אגם הכנרת אשר היווה את מקור המים העיקרי בישראל למשך עשורים רבים, נמצא בסכנה תמידית של המלחה עקב כניסת מי תהום מלוחים לאגם. המוביל המלוח (מ.מ) מטה את רוב נביעות טבח'ה פוליה וחמי טבריה אל עבר נהר הירדן הדרומי, מה שהביא לירידה של כ-100 מגכ"ל במהלך שנות ה-60. עם זאת, ההמלחה נמשכת וכיום הערך הממוצע הוא כ-270 מגכ"ל ומהווה אתגר לגידול חקלאי ובעל פוטנציאל להמלחת אקוויפרים מתחת לשדות חקלאיים אשר משתמשים במי הכנרת להשקיה. לעיתים המליחות אף מתקרבת לערך המקסימלי המותר בתקן למי שתיה. אתגר נוסף בניהול משק המים הוא שהכנרת ואזורים סמוכים לה אינם מחוברים למערכת המים הארצית והצורך במקורות מים באזורים אלו עולה עם הזמן. ניתן להתפיל חלק ממי המוביל המלוח בתהליך אוסמוזה הפוכה (RO) אשר ישמש כאספקת מקור מים נוסף לאזור הכנרת. בנוסף, ניתן להתפיל מי תהום רדודים הנמצאים בחופי הכנרת, מה שעשוי לסייע גם בהפחתת המלחת האגם עקב הורדת העומד ההידראולי שלהם מתחת לאגם. באופן כללי התפלת מי תהום צפויה להיות משתלמת יותר מהתפלת והובלת מי ים לאזור, אך יש להשוות את טיבם של מי התהום השונים באזור הכנרת כמי גלם להתפלה. מטרת מחקר זה היא איפיון הגיאוכימיה של מי התהום הללו, וקביעת הפוטנציאל שלהם להתפלה בתהליך RO. במחקר זה אנו משווים בין מי המעיינות המלוחים של טבח'ה פוליה וחמי טבריה (בתחנות שאיבתם לעבר המוביל המלוח), ובנוסף את מי שפך המוביל המלוח בסכר אלומות ומי התהום רדודים מחוף האון. אנו בודקים ומשווים את ההרכב הכימי של התמלחות השונות והתכונות הפיסיקליות של המים המשפיעים על יעילות תהליך RO. כמו כן, אנו עורכים ניסויי אילוח במעבדה לבדיקת ביצועי תהליך האוסמוזה הפוכה ופוטנציאל סתימת הממברנה. מחקר זה תורם הבנה מעמיקה יותר על פוטנציאל התפלת תמלחות הכנרת, הרחבת מאגרי המים בצפון הארץ, וכלי נוסף למניעת המלחת הכנרת ושמירה על מקורות המים הטבעיים.

The impact of heterogeneity on bacterial biofilm growth dynamics in microfluidic porous media

אורי שטוקלמן,^{1,2} אלחנן ציפילביץ,^{1,2} אושרי בורגמן

¹תל חי

²מיגל

Bacterial biofilms play a role in environmental and engineered porous media by strongly influencing fluid flow, solute transport, and contaminant degradation. A mechanistic understanding of how biofilms interact with pore-scale structural heterogeneity and imposed flow conditions is therefore essential for accurately modeling and predicting these systems. At the same time, the contribution of specific extracellular biofilm components to growth dynamics and spatial organization remains poorly understood, despite their importance for biofilm stability, adhesion, and resilience. In this work, we investigate how biofilm characteristics and porous medium structure jointly control biofilm growth dynamics. We employ microfluidic porous medium devices with well-defined geometries that allow precise control over pore-scale heterogeneity. The devices are fabricated from PDMS and consist of a rectangular channel filled with an array of circular pillars whose diameter distribution governs pore and throat size variability. The microfluidic chips are inoculated with *Bacillus velezensis*, a model plant growth promoting rhizobacterium. Following inoculation, nutrient broth is injected at a constant flow rate, and biofilm development is monitored over time using brightfield microscopy. Biofilm growth attenuates transmitted light, enabling quantitative, spatially resolved measurements of biofilm accumulation. In parallel, we compute detailed pore and throat size distributions and numerically estimate the liquid velocity field within the porous medium. Preliminary results indicate preferential biofilm accumulation in smaller pores during early to intermediate stages, suggesting that low-velocity regions favor initial colonization. Ongoing experiments explore how varying flow rates, and thus Péclet number, modulate biofilm growth through coupled effects of solute transport and fluid shear stress.

מיפוי נחלים באמצעות Airborne Topo-Bathymetric LiDAR רוני לפיד

חץ הצפון מיפוי והנדסה בע"מ

מיפוי נחלים מדויק ורציף הינו אבן יסוד בהבנת סביבת הנחל לצרכים הנדסיים ומחקריים. נתוני המיפוי משמשים להפעלת מודלים הידרולוגיים שונים, בחינת שינויים מורפולוגיים מחקר ביולוגי על בתי הגידול ועוד. מאפייני סביבת הנחל מציבים אתגר משמעותי לביצוע המיפוי בשל קשיי נגישות, איכות המים, צמחייה סבוכה, קשירת הנתונים מעל ומתחת לפני המים ושינוי תדיר במפלס פני המים. שיטות המיפוי המסורתיות עושות שימוש בחתכי נקודות לאורך תוואי הנחל ויצרת משטח הקרקעית על ידי ביצוע אינטרפולציה גסה. מדידת חתכים לא רציפה (מכשולים בקרקעית), צמחייה צפופה בגדות הנחל וקושי גאודטי לקשירת הנתונים לתשתית הנתונים המרחבית (פוטוגרמטריה), עלולים לייצר שגיאות מצטברות וכתוצאה מכך להשפיע על תוצאות המודל/המחקר. טכנולוגיית ה- **Airborne Topo-Bathymetric LiDAR** מהווה פריצת דרך משמעותית במיפוי נחלים וגופי מים רדודים, בזכות היכולת לשלב בין מדידת פני הקרקע היבשה (טופוגרפיה) לבין מדידת קרקעית הנחל (בתימטריה) בגיחה אחת. בניגוד ל- **LiDAR** סטנדרטי המשתמש בקרן אינפרה-אדומה הנבלעת במים, מערכת זו משלבת קרן ירוקה המסוגלת לחדור את עמוד המים ולהחזיר נתונים מדויקים מהקרקעית עד לעומק $3 \times$ מהעומק הנראה בעין. יתרונות השיטה: (1) רציפות הנתונים (Seamless Data): היתרון המובהק ביותר הוא יצירת מודל גובה דיגיטלי DTM משולב. (2) דיוק ברזולוציה גבוהה: המערכת מאפשרת הפקת ענני נקודות בצפיפות גבוהה, המאפשרים לזהות שינויים מורפולוגיים עדינים בנחל, כגון סחף גדות והתחתרות הערוץ. (3) יעילות ובטיחות: מיפוי מהאוויר חוסך את הצורך בגישה פיזית לנחלים בעלי זרימה חזקה, צמחייה עבותה או גדות תלולות, ובכך מצמצם סיכונים בטיחותיים לצוותי המדידה ומקצר משמעותית את זמן איסוף הנתונים בשטח. (4) יישומים הידרולוגיים וסביבתיים: הנתונים המופקים קריטיים להרצת מודלים של פשט הצפה וניהול סיכונים שיטפונות. בנוסף, הטכנולוגיה מסייעת במיפוי בתי גידול מימיים ובמעקב אחר תהליכים אקולוגיים ללא הפרעה למערכת הסביבתית.