

נעמי כרמון

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

ציטוט מומלץ

כרמון נ. 2023. ניהול בר-קיימא של
נגר עירוני – מטרות, פתרונות ודיון
בסוגיות בוערות. אקולוגיה וסביבה
14(3).



ברכת חורף בפארק הרצליה. הבריכה קולטת נגר ממזרח הרצליה ומשמשת מגן חלקי מהצפות במערב העיר. היא תומכת במגוון הביולוגי, והוצאות תחזוקה מינימליות. בריכת החורף היא אחד ממגוון אמצעים מבוססי-טבע בפארק שהוא אתר של "טבע בעיר", המשמש לפעילויות פנאי והוראה לתושבים ולתלמידים מהרצליה ומסביבתה | צילום: רון אלמוג, ויקימדיה, CC BY 2.0

ניהול בר-קיימא של נגר עירוני – מטרות, פתרונות ודיון בסוגיות בוערות

30 באוקטובר, 2023

גיליון סתיו 2023 / כרך 14(3)

[סקירות](#)

על קצה המזלג

- כחלק מהחלתם של עקרונות פיתוח בר-קיימא על פיתוח תשתיות עירוניות, מתחוללים בעולם ובישראל שינויי פרדיגמה בתחום ניהול הנגר העירוני.
- על בסיס מחקרים מהעולם וסדרה ארוכה של מחקרים בטכניון מוצגות ומומלצות במאמר ארבע קבוצות של מטרות ועימן שלוש קבוצות של אמצעים לניהול נגר עירוני: אמצעים תכנוניים-רגולטוריים, אמצעים מבוססי טבע ואמצעים הנדסיים. מומלץ "הנתיב הרך" לניהול מים, שהוא הוליסטי ואינטגרטיבי.
- המאמר כולל דיון ביקורתי באמצעי הנדסי יחיד – קידוחי החדרה של נגר בחצרות מגורים, וזאת בשל הכוונה לכפות את ביצועו בכל בנייה עתידית במישור החוף.
- יש צורך בדיון מקצועי מקיף בדבר תועלות ועלויות (לא רק כספיות) של אמצעים לניהול נגר עירוני, כדי שנשכיל להתאים אמצעים לפיתוח עירוני בר-קיימא ביישובים המתרחבים במישור החוף הישראלי.

מערכת אקולוגיה וסביבה

תקציר

ניתוח חדשני של ניהול נגר מציג שני שינויי פרדיגמה: הראשון – מתפיסת הנגר כמטרד, שיש לסלקו במהירות האפשרית, לתפיסתו כמשאב שראוי להשהות את מהלכו ולהפיק ממנו תועלות מגוונות בטרם תוחדר שאריתו לקרקע; השני – מניהול הנדסי קשיח לניהול הוליסטי ואינטגרטיבי, כך בעיקרו. הניתוח מבוסס על 30 שנות מחקר בטכניון ומשולב בתובנות שעלו מספרות המחקר הבין-לאומית. תוצאותיו מציעות לחוקרים ולפרקטיקאים ארבע קבוצות מטרות ושלוש קבוצות של אמצעים מועילים לניהול בר-קיימא של נגר עירוני. בהתאם לידע זה, המאמר מציג דיון ביקורתי בכוונתה של רשות המים בישראל לכפות על כל בעלי מגורים חדשים במישור החוף להקים ולתחזק בחצרם קידוח החדרה של מי גגות. חישוב התוספת המעטה של מים לאקווה, בצד מניין הסיכונים הפוטנציאליים הרבים, מדגימים את הניגוד בין כפייה מתוכננת זו לבין הידע המתפתח בתחום הנדון.

כדי לענות לאתגרי המאה ה-21 – אתגרים סביבתיים ואקולוגיים ושינוי האקלים בראשם – מוצעים אמצעים רבים ומגוונים בעבור ניהול בר-קיימא של נגר עירוני. מומלץ לנהלו קודם כול באמצעים טכנוניים-רגולטוריים, המאפשרים מיניעה ואפחות (mitigation) של נזקי שיטפונות יחד עם ייעוד שטחי נופש ופנאי לאוכלוסייה והגנה על שירותי המערכת האקולוגית. בעבור הסתגלות (adaptation) לשיטפונות שלא נצליח למנוע, מומלצים פתרונות מבוססי טבע שמטפלים בזרימות הנגר, ובו-בזמן מאפשרים הפקת תועלות מרובות לאדם ולטבע במשך כל השנה. לפעולתם המשולבת ערך מוסף מעבר לפעולה של כל אחד מהם בנפרד. בצד אמצעים אלה, נמשיך לנהל את הנגר גם באמצעים הנדסיים, המופעלים רק בימות הגשמים. בשנים הבאות נשתדל להעדיף אמצעים מרובי-תועלות, בייחוד פתרונות שמשתמשים בנגר על פני הקרקע לפני שמנסים להחדירו אליה; לא נכפה אלא נעודד פתרונות ברשות הפרט, ונרבה בפתרונות בשטחים שברשות הכלל (כולל קידוחי החדרה) באתרים שניתן לפקח עליהם ולתחזק אותם לאורך זמן.

זבוא לניהול מתקדם של נגר בישראל

בראשית שנות ה-90 של המאה הקודמת ייסדנו בישראל, עמיתי פרופ' אורי שמיר ואנוכי, שדה מחקר ופרקטיקה של "תכנון רגיש למים" (תר"מ - ^[13] Water-Sensitive Planning and Design). בשדה זה, שהוא חלק מהתחום הרחב של פיתוח בר-קיימא, פועלים יחד מתכנני עיר ואזור, אדריכלי נוף, מהנדסי מים וניקוז, אקולוגים ואחרים. הטיפול בנגר על-קרקעי היווה מלכתחילה מרכיב מרכזי ב"תכנון רגיש למים", שהמליץ להחדיר נגר לקרקע למטרת שיקום אקוות (אקוויפר) החוף, והורה על אמצעים רבים להחדרה ^[19, 34, 39]. באותו זמן ובאופן דומה התפתח התחום בארה"ב, באוסטרליה, ביפן ובמדינות אחרות.

המחקרים הראשונים שלנו הובילו לשתי מסקנות: האחת – **נדרש שינוי פרדיגמה: מהגדרת נגר כמטרד לתפיסתו כמשאב**; השנייה – **יש לאמץ את המונח "ניהול נגר" כמשלים או כתחליף למונח "ניקוז"**. ניהול נגר משמעו ניהול המכוון להפקת מרב התועלות ולא רק למניעת נזקים, בעוד שניקוז מוגדר בחוק הישראלי כ"מים... המזיקים או העלולים להזיק לחקלאות, לבריאות הציבור, לפיתוח הארץ או לקיום שירותים סדירים במדינה" ^[9]. נוסח החוק לא השתנה עד היום, לאחר שכשלה בכנסת הצעת תיקון לחוק שקבעה כי "בכל מקום בחוק שנכתב בו ניקוז ייכתב ניהול נגר" ^[8].

במאה ה-21 חלו בישראל התפתחויות משמעותיות בתחומי המחקר, המדיניות והתכנון של ניהול נגר. מחקרי תר"מ המשיכו בטכניון, ובהדרגה אימצו את הכיוון האקולוגי-סביבתי, כולל הנופי ^[14, 20, 32]. שתי תוכניות מתאר ארציות למשק המים נוצרו ואושרו, חלקית בהשפעת עבודתנו: האחת – איגום והחדרה (תמ"א 4/34 ב'), והשנייה – ניקוז ונחלים (תמ"א 3/34 ב'). המודעות לתפקידים המגוונים של נחלים, כולל נחלים עירוניים, עלתה, והידע עליהם גדל ^[26, 27]. האחריות לתחום הניקוז עברה מנציבות המים אל משרד החקלאות ופיתוח הכפר, ופותחה בו גישת הניהול האגני האינטגרטיבי ^[6], המנחה כיום את פעולתן של רוב רשויות הניקוז בארץ. מנהל התכנון גילה את חשיבות התחום, ובמאמץ משולב עם גופים אחרים הוציא מסמך מנחה לניהול נגר עירוני ^[18, 24]. פרק המים בתמ"א 1 (תוכנית המתאר הארצית 1) נותן תוקף סטטוטורי לגישה החדשה ולהנחיותיה ^[31]. ייסוד אנגמא – המרכז לאגני היקוות נגר ונחלים – שקיבל על עצמו לאסוף ולהפיץ את הידע המתפתח, מסמן ומגביר את העניין המחקרי והמקצועי בתחום.



פארק האגמים בראשון לציון. פרויקט ראשון מסוגו בארץ של אגמי מים לקליטת נגר עירוני, החדרתו למי התהום ושאיבה בקרבת מקום עבור גינון עירוני. המקום משמש פארק מטרופוליני, ולידו הוקמו אתר השעשועים סופרלנד ומתחם בתי הקולנוע 'יס פלאנט'. בתמונה מוצג "אגם הנקיק" הצר והארוך, שהוא אחד ממרכיבי האתר המשולב | צילום: ישראל פרקר, פיקיוויקי, [CC BY2.5](#)

זטרות ואמצעים לניהול בר-קיימא של נגר

הניקוז היה תחום הנדסי מובהק שעסק כמעט רק בטיפול בהצפות. במאה ה-21 מחליף אותו ניהול בר-קיימא של נגר ^[38, 41], המכוון להשגת תועלות מגוונות נוסף על מיתון הצפות, ומחייב שיתוף פעולה רב-מקצועי מתחילת תהליך התכנון. את המטרות לניהול בר-קיימא של נגר ראוי לחלק לארבע קבוצות (טבלה 1). סביר שיהיה משקל שונה למטרות שונות בפרויקטים שונים. המלצתנו היא שכל פרויקט לניהול נגר ישאף לתרום לכל אחת מארבע הקבוצות, אם כי לא לכל המטרות שבתוך כל קבוצה.

טבלה 1. מטרות/תועלות לניהול בר-קיימא של נגר עירוני

מקור: ^[32] Alon Mozes et al., 2020.

תועלות הידרולוגיות (תועלות 'כחולות')	מיניעה, אפחות (mitigation) ומיתון של אירועי הצפות העשרת אקוות קציר מי נגר להשקיה, להדחת אסלות ועוד
תועלות אקולוגיות-סביבתיות (תועלות 'ירוקות')	שיפור איכות המים בגופים קולטי נגר: אקווה, נחל, אגם וים תמיכה במגוון הביולוגי, החי והצומח שיקום בתי גידול לחים שימור קרקע מפני סחיפה (erosion) וסחר
תועלות חברתיות	תרומה לבילוי פנאי, לקיט ולנופש איכויות נופיות ואסתטיקה בריאות: שיפור איכות האוויר והפחתת איי חום עירוניים שילוב חוויית הטבע בעיר חינוך לקיימות ולאזרחות טובה הגדלת המעורבות החברתית של התושבים פתרונות מים לשעת חירום
תועלות כלכליות	הפחתת נזקי הצפות (הצפה = שיטפון שגורם נזק) חיסכון כספי מניצול קציר הנגר חיסכון בבניית תשתיות ניקוז עליית ערך נדל"ן בנוף 'ירוק' ו'כחול-ירוק' מנוף להזדמנויות כלכליות

טבלה 1

מטרות/תועלות לניהול בר-קיימא של נגר עירוני מקור: [32] Alon Mozes et al., 2020

יחד עם השינוי במטרות מתברים גם האמצעים לניהול נגר בכלל וניהול נגר עירוני בפרט, ונעשים מגוונים יותר. על בסיס **תורת החוסן בפני שיטפונות** [40], המחייבת מעבר מתפיסה של שליטה בטבע אל ניהול משאבים שמתחשב בטבע, הריני מציעה לחלק את האמצעים לשלוש קבוצות (**טבלה 2**):

- אמצעים תכנוניים-רגולטוריים שמכוונים **למניעה ולאפחות** (mitigation) של הצפות בערים ובו בזמן גם לייעודי נופש ופנאי לאנשים ולהגנה על שירותים של המערכת האקולוגית;
- אמצעים/פתרונות מבוססי טבע (Nature-Based Solutions) המשמשים בעת ובעונה אחת **להסתגלות** (adaptation) להצפות הבלתי נמנעות ולקידום **מטרות מגוונות, המועילות לאדם ולטבע**;
- אמצעים הנדסיים המכוונים רק או כמעט רק להשגת תועלת הידרולוגית, בעיקר **לניקוז בצורת סילוק מהיר של נגר מהמרחב העירוני**.

טבלה 2. אמצעים לניהול בר-קיימא של נגר עירוני

סוג האמצעים	פירוט האמצעים	תכנון וביצוע
אמצעים תכנוניים-רגולטוריים למניעה ולאפחות של הצפות בערים [32, 30, 141]	התאמה של תכנון שימושי קרקע לטופוגרפיה הטבעית של המקום (למבנה ההידרו-גיאוגרפי)	תכנון עירוני יתחיל ממיקום השטחים הפתוחים, בהתאמה לתוואי הנחלים והזרימות, ורק לאחר מכן ייקבע מיקומם של המגורים, הדרכים ושימושי הקרקע אחרים; יש לשמר נחלים עירוניים ולהימנע מ בנייה באזורים המועדים להצפות, בייחוד אם אין להם מוצא ניקוז טבעי
תיאום בין ניהול נגר בכלל האגן לבין זה שבתוך הערים	תכנון כבישים משולב עם ניהול הנגר [49]	ניהול הנגר במעלה האגן יכוון למניעת הצפות בערים שבמורדו; העיר לא תוציא מתוכה נגר שיזיק לאזורים שמתחתיה
תכנון שטחים ציבוריים פתוחים (שצ"פ) מקושרים ביניהם	כבישים יתוכננו כחלק ממערכת ניהול הנגר. תכנונם הראשוני יוכפף לשיקולי ניקוז: נתיביהם יורחקו מערוצים טבעיים המנקזים נגר משטח גדול; במידת האפשר, ימותן שימועם; יתוכנן רצף זרימה לאורך כבישים עד למוצא של מערכת ניקוז אזורית	יתוכננו שצ"פים קטנים וגדולים; יצירת רצף וקישוריות ביניהם מועילה למשתמשים ומאפשרת לחלק ניכר מניהול הנגר העירוני להסתמך על אמצעים מבוססי טבע
אמצעים/פתרונות מרובי מטרות ומבוססי טבע - תשתית ירוקה [44, 36, 19, 16, 5, 21]	אמצעים להולכה מתונה, להשגחה, לאיגום ולחלחול נגר: חלק מהם גדולים - פארקים, נחלים ותעלות הטיה של נחלים בדרכם לים; רובם בינוניים וקטנים, ובהם חורשות משהות ומחלחות, חניות ומעגלי תנועה מחלחות, כיכרות מים, בריכות חורף, ערוגות יער עירוני, מדשאות קעורות, טרסות, תעלות עשב וגני גשם	תכנון אמצעים מבוססי טבע יפיק תועלת מהנגר קודם כול על פני הקרקע (או סמוך לפניה), ורק השארית תחלחל לקרקע ולמי התהום; אמצעים מבוססי טבע יוטמעו בתכנון השטחים הפתוחים, בשאיפה שיעמדו ביעד ניהול הנגר של התוכנית, אם כי בדרך כלל תידרש השלמה באמצעים הנדסיים; רוב האמצעים הללו תורמים לאדם ולטבע במשך כל ימות השנה
אמצעים הנדסיים - תשתית אפורה	אמצעים לסילוק הנגר מהשטח הבנוי; רובם צינורות בטון ופלסטיק בקטרים משתנים והחיבורים ביניהם, החל מקולטים קטנים ועד מובלי ענק	התכנון בדרך כלל למטרה יחידה - ניקוז מהיר; לפעמים גם בעבור העשרת מי תהום. הביצוע נעשה לפי סטנדרטים מקובלים. אמצעים אלה בטלים משימוש במשך רוב השנה, ומתמלאים חלקית כשורידים גשמים

טבלה 2

אמצעים לניהול בר-קיימא של נגר עירוני



תשתית אפורה – מובל ניקוז חדש באור יהודה מוקם בעלות של 80 מיליון ש"ח ומוביל נגר לנחל איילון | מקור: אתר עיריית אור יהודה. צילום: דוברות עיריית אור יהודה

בכל אתר יותאמו האמצעים לניהול נגר לתנאים הפיזיים-הידרולוגיים, החברתיים-כלכליים והסטטוטוריים. **בבנייה חדשה** חובה להתחיל ניהול הנגר מהפעלת אמצעים תכנוניים-רגולטוריים, כמו התאמה של התכנון לטופוגרפיה הטבעית ואיסור בנייה חדשה באזור המועד להצפות; באמצעותם ימנע חלק מההצפות, ויפחתו נזקי נפש ורכוש של אחרות. במקביל, ימוקמו ויתכננו, תוך התאמה מקומית, אמצעים מבוססי טבע כמו פארקים, גינות, בריכות חורף ושדרות, למען קידום מטרות מכל ארבע הקבוצות: הידרולוגיות, אקולוגיות, חברתיות וכלכליות. אמצעים הנדסיים ישלימו את המכלול. **באזורים בנויים ותיקים** ימשיכו להזדקק לאמצעים הנדסיים קונבנציונליים שמוטמעים בהם, עם תוספות וולונטריות של אמצעים מבוססי טבע. **באתרים של התחדשות עירונית**, שרובה כרוכה בחנייה תת-קרקעית, ייקלט רק מיעוט מהנגר בגבולות המגרש, ורובו יוזרם לשטחים ציבוריים – בעיקר שטחים פתוחים וכבישים – ושם הוא ינוהל במידת האפשר תוך שימוש באמצעים מבוססי טבע, וכהשלמה – באמצעים הנדסיים.

כדי שאמצעים משמעותיים לניהול נגר עירוני ימשיכו לתפקד לאורך זמן, דרושה תחזוקה מוסדרת וקפדנית. משום כך מומלץ להקים, לתפעלם ולתחזקם ברשות הכלל או באתרים שנתונים לפיקוח ציבורי: בשצ"פים (שטחים ציבוריים פתוחים) קטנים וגדולים, לאורך כבישים, במגרשים של מוסדות ציבור, באזורי חנייה וכן הלאה. ברשות הפרט – במגרשי מגורים – די באמצעים פשוטים כמו גינה מחלחלת (במרחק מהבניין), שיפועים כלפיה וגדר אבן בגבולה [10].

שינוי האקלים המתרחש כיום בעולם ובאזורנו צפוי להקטין את כמות הגשם השנתית בישראל, אך להגדיל את הכמויות שיורדות בזמן קצר על שטח קטן וגורמות להצפות בערים [3, 43]. השינוי מחייב התאמה של ניהול הנגר לתחזיות אלה. תרומה מרכזית להתאמה הדרושה תבטא באיתור ובפיתוח של שטחי הצפה עירוניים, שטחים גדולים בפארקים, במגרשי חנייה או במגרשי ספורט עירוניים, שבזמני סופות קיצוניות יוצפו למשך שעות או ימים אחדים, מבלי שייגרם נזק רב [40]. אולם עבור התמודדות עם הסיכון הגבוה לערים שיוצרות סופות גשם חריגות בעוצמתן, חיונית פתיחה של צווארי הבקבוק בדרכם של הנחלים אל הים התיכון. חישובים הידרולוגיים מלמדים כי בעזרת תעלות הטיה עוקפות (floodways), המותאמות לאזורים צפופי אוכלוסייה ותשתיות [25], יש סיכוי למנוע אסונות בזמן סופות גשם חריגות ששכיחותן גדלה עם שינוי האקלים.

דיון ביקורתי: קידוחי החדרה של מי גגות בחצרות של בנייני מגורים – סיכונים פוטנציאליים גדולים אל מול תועלת מעטה

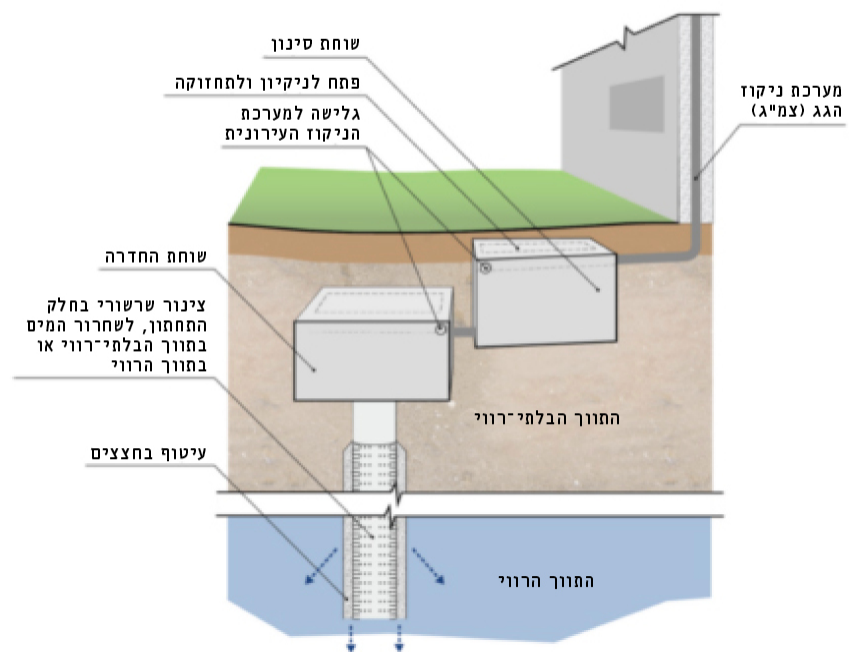
סמינר מקוון רב-משתתפים (340 נרשמים) שערך בפברואר 2023 "אגמא – המרכז לאגני היקוות, נגר ונחלים", עסק באמצעי הנדסי בודד – קידוח החדרה למי התהום – שתוכנן והוצג על-ידי אנשי רשות המים [1]. העמדה הרשמית של רשות המים, שהציג בסמינר המקוון יעקב ליבשיץ: "אנחנו הולכים בכיוון קידוחי החדרה כפתרון עיקרי, וכל הפתרונות האחרים הם פתרונות משלימים" [1, דקה 1:23:00]. **כוונת רשות המים היא לאכוף את השימוש בקידוחי החדרה על רוב מגרשי המגורים שייבנו לאורך מישור החוף בשנים הבאות**, הן מגורים בשטחים שאינם מופרים הן בניינים מתחדשים בתוך המרקם העירוני, וכל החרגה מכלל זה תחייב אישור מהרשות [17]. בשל העניין המקצועי הרב שמעורר האמצעי של קידוח החדרה, אקדיש לו כאן דיון ביקורתי מפורט.

קידוח החדרה הוא מתקן הנדסי המעביר מי גשם בכוח הכבידה באמצעות צינור אל תת-הקרקע (איור 1). קידוחי החדרה בגדלים

משתנים ניתנים לביצוע בשטח ציבורי פתוח או במגרש בנייה פרטי, לאחר סקר אפיון תת-הקרקע. כאן נתמקד בקידוח החדרה ברמת המגרש, שאמור להיות בעל יכולת החדרה שעתית של נפח המים המתקבל משטחי הגגות והמרפסות במגרש ספציפי באירוע גשם שנתי, המתרחש (לפי לוח הסתברויות) אחת ל-50 שנה [17, עמ' 11] (דרישה חמורה הרבה יותר מהמקובל בעיריות, והיא מגדילה ומייקרת את המתקן). מי הגשם מועברים מגג הבניין וממרפסותיו באמצעות מרזבים, הקרויים גם צינורות מעבירי גשם (צמ"ג). הם מובילים את המים אל שוחת סינון ושיקוע, שבה מואטת מהירות הזרימה ומבוצע סינון ראשוני, ואמורה לספק גם פתרונות ל"מי קיץ", למי "שטף ראשון" מזהמים ולגלישה בעקבות זרימת יתר (overflow) אל מערכת הניקוז העירונית. משוחת הסינון המים עוברים לשוחת קידוח מקדימה, שנועדה בעיקר לתחזוקה שוטפת, אך גם לסינון נוסף ולמפלט נוסף לזרימת יתר שיוצרת גלישה. צינור הקידוח מכוסה במלט בחלקו העליון ועטוף חצץ בחלקו התחתון, ובין החלקים ובתחתיתם נדרשים "פקקים" ייעודיים, לצורכי ניקוי ותחזוקה [17]. עלות המתקן תלויה במאפייני סביבתו ובגדלים הרלוונטיים, ומגיעה ברוב המקרים ליותר מ-100,000 ש"ח, ואף למאות אלפי ש"ח.

איור 1. תרשים קידוח החדרה של מי גגות בחצר

המקור: אתר ניהול נגר עירוני של אגמא, מנהל התכנון ומשרד החקלאות

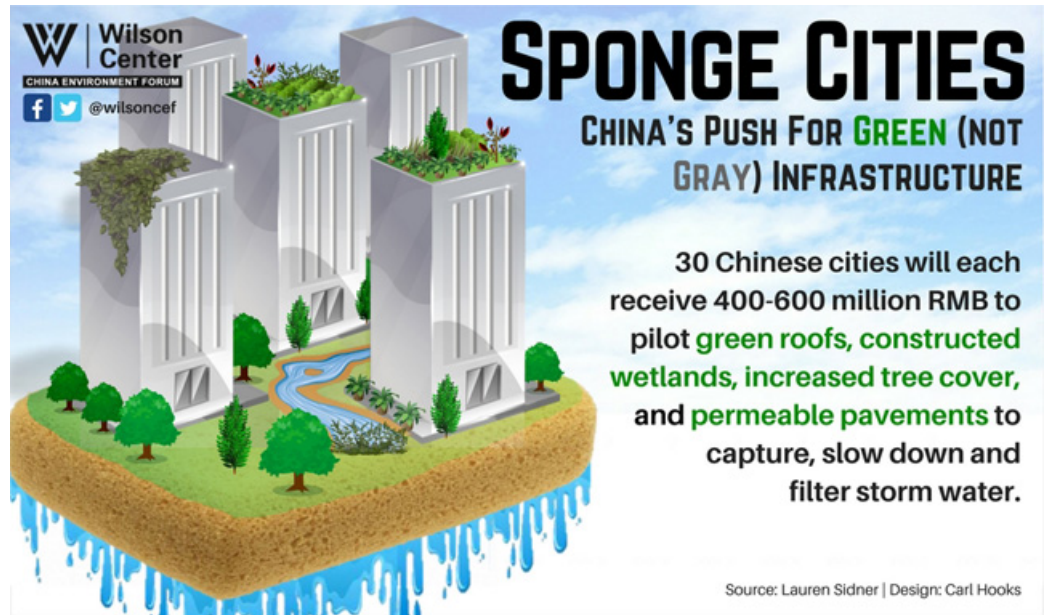


איור 1

תרשים קידוח החדרה של מי גגות בחצר

המקור: אתר [ניהול נגר עירוני של אגמא](#), מנהל התכנון ומשרד החקלאות

אדגיש תחילה עקרונות שאין חולק עליהם: ראוי לשמר את המים הטבעיים בישראל, ששיעור גבוה מהם נמצא באקוות; לאקוות החוף חשיבות מיוחדת, בהיותה – למרות הזיהומים בה – מקור לצריכה שוטפת, לגמישות תפעולית ולתפקוד כמאגר המים העיקרי לשעת חירום; נגר עירוני בארץ מתאים לחלחול לאקוות בשל איכותו הטובה, הן יחסית למדידות אופייניות בערים ותיקות באירופה ובארצ"ב (ברבות מהן נגר זורם בצנרת הביוב) הן יחסית לאיכות מי אקוות החוף ברבים מתאיה [4, 11, 13]. הוויכוח כאן מתמקד בדרכים הנאותות לשימור המים הטבעיים ואקוות החוף בתוכם.



פרסום תוכניות לקידום תשתיות 'ירוקות' בערים בסין

החדרת מי גגות בחצרות מגורים אפשרית, אך אינה רצויה בשל נזקים פוטנציאליים כבדים

ניסוי בחצר של מכון וולקני מלמד שקידוח החדרה אפשרי ומעשי [21], אולם פתרון זה אינו רצוי כאשר מדובר במגרשי מגורים, באיסוף כמות מים ניכרת בקרבת הבניין ובאכיפה ברשות הפרט. אפרט את עיקרי הנזקים הפוטנציאליים.

1. **נזק ליסודות של בנייני המגורים, הצפוי בשל כשלים בביצוע** – מכיוון שבחצרות מגורים כמעט אי אפשר להימנע מקרבה ליסודות הבניין, ומפני שהידע הדרוש לתכנון עדיין לא מוכר לרבים, ומשום שדיוק בביצוע אינו תחום שישיראלים מצטיינים בו, הסיכויים לדליפה ולנזק ליסודות הבניין גבוהים, כפי שהודגם בחקרי מקרה אחדים [15].
2. **כשל תכנון של קידוחי החדרה בשל תחזוקה לקויה** – דרושות פעולות אחזקה רבות, חלק מהן מסובכות [17]: פתיחה וסגירה של מגוף מי הקיץ; ניקוי שנתי של שוחות הסינון, השיקוע והקידוח, כולל הסרת חלקים ולעיתים החלפתם; ניקוי קנה הקידוח בעזרת משאבה ומבחן לכושר ההחדרה בתום הליכי התחזוקה. נדרש גם רענון קידוח אחת לחמש שנים. הסיכוי שאחזקה מסועפת ויקרה כזו תצלח כשהקידוח נמצא בחצר שברשות הפרט – נמוך. אפילו ברשות הכלל יש כשלים תכופים בקידוחי החדרה [23].
3. **סיכונים למי התהום ממתקנים המחזירים ישירות לתוך הרווי** – איכותו של נגר מגגות בניינים מתאימה בדרך כלל לחלחול ואף להחדרה לקרקע, אך עקרון "הזהירות המונעת" (עקרון יסוד בהסכמה בין-לאומית מאז ועידת ריו 1992) מחייב להסתפק בחלחול דרך קרקע מסננת, כפי שהמליצו מחקרי תר"מ בטכניון [35, 32, 30, 13] ולהימנע מהחדרה ישירה למי התהום. החדרה ישירה – אפילו של מי גגות – חשופה לסיכונים למיניהם, כולל גשם חומצי, שחלחול דרך קרקע עם גורמים בסיסיים (כמו גיר) מנטרל אותו. סיכונים פוטנציאליים נוספים הם גגות מצופי זפת (עטרן שבזפת הוא החומר המסוכן בסיגריות), מגוף שנשאר פתוח וזורמים דרכו מי קיץ מזוהמים, ובמיוחד ריבוי "שטף ראשון" מזוהם, שבעבר היה חד-שנתי (אחרי הקיץ) ובעתיד צפוי להתרבות על פי התחזית לריבוי תקופות יובש בין סופות גשם בחורף.
4. **עלויות כספיות גבוהות** – פרסומים למיניהם מונים עלויות גבוהות כחיסרון הראשון של קידוחי החדרה. מנהל התכנון מעריך שעלות כל קידוח החדרה מגיעה ל"עשרות עד מאות אלפי ש"ח לקידוח", חוץ מתחזוקה מסובכת ויקרה [18].
5. **העמסה נוספת על בניית מגורים בעוד שזו זקוקה לפישוט, לזירוז ולהחלה** – בניית מגורים בישראל ממושכת הרבה יותר מהמקובל במדינות אחרות, 12-15 שנה, רובן לתכנון ולאישור הבנייה. החדרה בתחום מגרשי הבנייה תסרב עוד יותר את התהליך, מאחר שהיא תוסיף את רשות המים לרשימה הארוכה של רשויות הנדרשות לאשר כל בניין מגורים; התכנון ומשך אישור הבנייה יתארכו, ומחיר הדירות יעלה.
6. **קושי באכיפה ויצירת מוקד חיכוך בין הרשות המקומית לתושביה** – אכיפת בנייה ותחזוקה של מתקן החדרה בחצר מחייבת פיקוח תכנון מצד העירייה, הכרוך בחדירה לרשות הפרט. הסיכוי לאכיפה יעילה נמוך,

והסיכוי לחיכוכים בין הרשות לתושביה גבוה.

7. **העסקה רבה של כוח אדם מקצועי, הדרוש לעיסוקים אחרים של משק המים** – כוח אדם משובח ונדיר של משק המים כבר הושקע בפיתוח ההנחיות לקידוחי החדרה. אם תצלח הכוונה לכפות החדרה בכל חצרות הבנייה החדשה, היא תספק תעסוקה רבה בפיקוח ובחישובים בלתי מתוככמים, תעסוקה שתרחיק צעירים מהמקצוע, ותזיק לנושאים חיוניים של שימור מים ופיתוח מקורות מים.
8. **הפסד השקיה ליער העירוני** – כל העצים ברחובות העיר, בחורשות, בשטחים הציבוריים ובשטחים הפרטיים הם "היער העירוני". עצים אלה משפיעים רבות על איכות חיי התושבים: מורידים את טמפרטורת הסביבה עד כדי 4 מעלות צלזיוס בצל, ומטירים את האוויר (סופחים פח, עשן, אבק ופחמן דו-חמצני, וגם פולטים חמצן לסביבה). עצים מפותחים מהווים תרומה אסתטית לסביבתם ומעלים את ערך הדירות בקרבתם. חלק ניכר מעצי הרחוב בישראל יכולים להסתפק בהשקיית נגר בחורף, ואחרים זקוקים למספר קטן של השקיות קיץ עמוקות, בתנאי שהוזרם אליהם הנגר מגשמי החורף. קידוחי החדרה בחצרות בניינים יגזלו את הנגר מן היער העירוני.



הדגמה של תכנון רגיש למים בשכונת ראמלסבורג (ברלין). העיר ברלין הכריזה על אסטרטגיית "עיר ספוג" – במקום לאגור חום ולדחות מים כמו רוב הערים הגדולות בעולם המערבי, ברלין מפעילה מגוון אמצעים כדי לחקות את מחזור המים הטבעי ולהשאיר את מי הגשם בעיר במטרה לקרר את סביבות המגורים, להוסיף צבע ירוק, לטהר את האוויר ולמנוע הצפות/צילום:

Marco van Oel, Wikimedia, [CC BY-SA 4.0](#)

צפי לתועלת מעטה בשל כמות קטנה של מי גגות קיימים וצפויים

קידוחי החדרה של מי גגות מוצגים במסמך של רשות המים כאמצעי מוביל לניהול נגר ולהעשרת אקוות החוף; המסמך כולל נספח תקינה, היורד לפרטי ביצוע המסובך^[17]. לטענת רשות המים, קידוח החדרה הוא פתרון יעיל לניהול נגר ושימור נגר, כי ביכולתו להעביר לתת-הקרקע כמות מים גדולה כשהוא תופס שטח קרקע קטן בלבד. יכולת זו אכן חשובה באזורים עירוניים, אך מהן כמויות הנגר הצפויות להיאסף מהגגות להעשרת אקוות החוף? נבחן שאלה זו באופן שונה מן הרגיל, שמבטא את המציאות בשטח הבנוי, באמצעות צירוף מידע מתכנון עירוני לנתוני גשם ונגר.

אומדן שטח הגגות מבוסס על חישוב של רשות המים לסך כל השטחים הבנויים העיקריים במישור החוף: 343 קמ"ר במרכז הארץ (רחובות עד נתניה) ו-79 קמ"ר בחיפה והקריות, סך הכול 422 קמ"ר^[28]. כמוצג בטבלה 3, מגורים מהווים כ-40% מכלל השטח הבנוי (168 קמ"ר)^[22] ושטח הגגות מהווה כ-20-40% משטח המגורים (67.5 קמ"ר, לפי ההערכה הגבוהה) (על-פי מדידות בשדה העירוני^[5]). כמו כן, על-פי פרנקל אמנון, ידע אישי, 2023. מבוסס על מומחיות באומדן שטחים לשמושי קרקע למיניהם). כמות הגשם באזור שהוגדר היא 550 מ"מ כממוצע רב-שנתי (1991–2020)^[7].

טבלה 3. שימושי קרקע בשטחים בנויים במישור החוף

שימושי קרקע בשטחים בנויים*	% מכלל השטח הבנוי
מגורים (40% גגות ו-60% שטח פרטי פתוח, חנייה פרטית, שבילים וכו')	40%
דרכים וחנייה	35%
בניינים אחרים (בנייני ציבור, תעשייה ומלאכה, מסחר ועוד)	25%
סך כל השטח הבנוי העיקרי, מרחובות עד נתניה וכן חיפה והקריות	100%

* השטחים הבנויים מרחובות עד נתניה וכן שטחי חיפה והקריות
המקורות: רונה (2023)^[28]; עיריית תל-אביב (2017)^[22]; פרנקל א (ידע אישי, 2023).

טבלה 3

שימושי קרקע בשטחים בנויים במישור החוף

מכיוון שמדובר בשטח אטום של גגות, נניח שמקדם הנגר – אחוז הגשם שזורם על פני השטח ואינו מחלחל לקרקע – הוא 1.0 (זו הנחה מוגזמת כלפי מעלה, מכיוון שהיא מתעלמת מהתאיידות ומאובדן בדרך). בהתאם לכך, קמ"ר (מיליון מ"ר) מיצר 0.55 מיליון מ"ק נגר לשנה בממוצע, ו-67.5 קמ"ר ייצרו 37 מיליון מ"ק נגר לשנה. זהו הפוטנציאל המרבי להחדרה לקרקע של מי גגות מחישוב זה יש להוריד את האזורים שנאסר להחדיר בהם נגר כי הקרקע מזוהמת או הג מזוהם (כולל גגות ירוקים, לפי קביעת רשות המים), אזורים שמפלס מי התהום בהם גבוה, ואזורים שהם בגבולות חצי הפן הביני שלאורך מישור החוף^[17]. אין בידינו מידע מדויק על גודל השטחים האסורים בהחדרה, אך מחקר מאוניברסיטת תל אביב מספק אינדיקציות להיקפו של אחד ממרכיביו, מרכיב הקרקעות המזוהמות: "בישראל כ-23,000 מוקדים פוטנציאליים לזיהום הקרקע ... קרוב ל-200 אתרי קידוח של מי תהום – כרבע מאתרי הקידוח בישראל – נסגרו בשל זיהומים". בהתחשב במכלול הגורמים – קרקע מזוהמת, גגות מזוהמים, מי תהום גבוהים, חדירת הפן הביני וההגזמה במקדם הנגר – נוריד באופן שמרני רק שליש מהפוטנציאל המרבי, ונסיק שגם אילו היו מחדירים נגר בכל חצרות המגורים שמתחת להחדרה, היינו מקבלים תוספת ממוצעת להעשרה השנתית בת כ-25 מלמ"ק. בהסתכלות לעתיד, כמות זו צפויה לקטון, כי שינוי האקלים גורם להפחתת כמויות הגשם בארץ (בצד הגדלת מספר הסופות הקיצוניות)^[3]. להשוואה: המילוי החוזר של אקוות החוף בשנת 2017/18 הגיע ל-427 מלמ"ק^[29]; כמות ההתפלה של מי ים בישראל בשנת 2019 הייתה 654 מלמ"ק.

איש לא יטען שאפשר לאכוף קידוחי החדרה בכל מגרשי המגורים הקיימים כעת במישור החוף, וככל הנראה גם אין כוונה לכפות זאת בדיעבד. האכיפה תתמקד בשטחי בנייה חדשה, ואולי גם בהתחדשות עירונית בתוך העיר. הבנייה החדשה תהיה גבוהה מהוותיקה, וככל שהבניין גבוה יותר, שטח הגג לנפש קטן, כלומר: גידול שטח הגגות יהיה פרופורציונלי קטן מגידול האוכלוסייה. המסקנה היא שגם אם יוכפל שטח הרצפות הבנויות למגורים בשנים הבאות, ובידיעה שקידוחי החדרה יבוצעו בעיקר בבנייה החדשה ורק בחלק ממנה, היא לא תביא עימה כמויות משמעותיות של נגר מגגות שיעשירו את אקוות החוף.

אין כאן כוונה לפסול קידוחי החדרה. מומלץ לעודד את הקמתם בשטחים שהרשות הציבורית יכולה לפקח בהם בקפדנות על התכנון, ההקמה והתחזוקה; בדרך כלל יהיו אלה שצ"פים, אך אפשר לממשם גם במגרשים גדולים של מבנים ציבוריים ופרטיים. יתר על כן, רצוי גם – כפרויקט ניסיוני – להמליץ על קידוחי החדרה כחלק מאמצעים שאזרחים בעלי מודעות סביבתית יממשו בחצרם באופן וולונטרי; ניסוי זה ינוטר בקפדנות על-ידי חוקרים, כבסיס להחלטות בדבר הרחבתו או צמצומו.

כל הנאמר עד כאן בא ללמד: (א) שעניינו בניהול נגר עירוני שיש לו מטרות רבות ומגוונות (טבלה 1) ולא רק בשימור נגר למטרת העשרת אקוות, כפי שמכריזה רשות המים^[17], עמ' 3; (ב) שניהול נגר עירוני כולל מגוון רחב של אמצעים מועילים (טבלה 2), גם זאת בניגוד לעמדה הרשמית של רשות המים שלפיה קידוחי החדרה הם הפתרון העיקרי וכל האחרים רק משלימים; (ג) שלא רצוי לאכוף קידוחי החדרה בחצרות בנייני מגורים שברשות הפרט, מאחר שהסיכונים רבים וגדולים, והתועלות מצומצמות ומפני שבחצרות די באמצעים פשוטים וזולים כדי להחדיר מים לאקוה^[10]. (ד) שיש להזהיר מפני החדרה ישירה של נגר – כולל מי גגות – לתוך הרווי; מומלצים חלחול והחדרה לתוך הבלתי רווי, כך שהנגר יעבור תמיד דרך קרקע מסננת לפני הגעתו למי התהום.



תכנון רגיש למים בעיר סופוט שבצפון פולין | צילום: [Artur Andrzej, Wikimedia, CC BY-SA 4.0](#)

סיכום

במאה ה-20 שלטה גישה הנדסית קשיחה בכל נושאי התשתיות העירוניות, כולל ניקוז. לקראת סוף המאה חל שינוי בפרדיגמה, כאשר המונח "ניהול נגר" – ניהול להשגת תועלת מרובה נוסף על מניעת הצפות – הוכנס למילון המקצועי. כדי לעמוד באתגרים ובסיכונים של המאה ה-21 מתחולל שינוי פרדיגמה נוסף: מתפתחת תורת "החוסן מפני שיטפונות", המחייבת מעבר מתפיסה של שליטה בטבע אל ניהול משאבים שמתחשב בטבע. מתחולל שינוי דרגתי לכיוון "נתיב רך" (Soft Path), **התואם פיתוח בר-קיימא**. הנתיב הרך הוא גישה הוליסטית ואינטגרטיבית, מרובת מטרות ודיסציפלינות; היא מתחשבת באדם ובטבע, פחות ריכוזית ויותר מקומית ^[12, 33, 37, 42]. התאמנו את תחום ניהול הנגר העירוני לגישה זו, ובהלימה לכך, גווננו והורחבו מטרותיו והאמצעים להשגתן: בשטחי בנייה חדשה מומלץ לנהל את הנגר קודם כול באמצעים תכנוניים (לא בנויים) למען מניעה ומיתון של הצפות בעיר. במטרה להסתגל לבלתי נמנע מומלצים אמצעים מבוססי טבע, שהתועלת שניתן להפיק מהם מרובה לאדם ולטבע. אמצעים הנדסיים ימשיכו לשמש השלמה לאמצעי התכנון. עקרונות אלה עשויים לשמש כדגם לפיתוח בר-קיימא באשר הוא, במיוחד לפיתוח ולניהול תשתיות אנרגיה ותחבורה.

תודות

המחברת מודה לעורך כתב העת ולשני מבקרים על הערות בונות, שתרמו רבות לשיפור המאמר.



Mill Creek Canyon Earthworks Park, פארק ציבורי במדינת וושינגטון (ארה"ב), שתכנן הרברט באייר (Bayer) ב-1982. מערך ניהול הנגר בפארק כולל סכר להשהיית נגר ושחרור מדורג שלו, היוצר יצירה אומנותית מרהיבה. המערך שודרג ב-2008, תוך שיעמוד בסופה ששכיחותה אחת ל-100 שנה | באדיבות: The City of Kent Arts Commission – public art program

תגובות רשות המים

ד"ר יעקב ליבשיץ וליאור נצר, השירות ההידרולוגי, רשות המים:

נושא ניהול הנגר העירוני מעסיק רבות את רשות המים, ואנו מקדמים סל פתרונות לניהול נגר. קידוחי החדרה הם כלי מרכזי בסל זה, אך לא הכלי היחיד. ברור לנו שפתרון שכונתי או עירוני הוא הפתרון המועדף. עם זאת, אף על פי שמאז פרסום מדריך תר"מ מאת פרופ' כרמון ופרופ' שמיר עברו יותר מ-25 שנה, למיטב ידיעתנו הפתרונות שהוצגו במדריך מיושמים באופן חלקי, אם בכלל. לעומת זאת, כל חודש נקדחים ברחבי הארץ עשרות קידוחי החדרה, שרק חלק מהם עוברים ביקורת מקצועית של רשות המים. רשות המים רואה בקידוחי החדרת מי גגות ברמת המגרש פתרון יעיל, גם אם לא מיטבי, לתפיסת מי נגר ולהחדרתם לתת-הקרקע, דבר שמקטין את הסיכוי להצפות ומעשיר את מתהווים.

בנושא של הקטנת הנגר באמצעות החדרת מי גגות בחרה פרופ' כרמון לצטט ידע אישי של פרופ' אמנון פרנקל ולא מאמרים בנושא בעיתון בין-לאומי מכובד (21). כמו כן, נציין שהפרויקט לדוגמה שמוצג במאמר זה, גן בוואר, כולל גם הוא קידוחי החדרה.

נסכם ונאמר שרשות המים בהחלט רואה עדיפות בקידום פתרונות שכונתיים. עם זאת, החדרת מים באמצעות קידוחים ברמת המגרש היא הפתרון המעשי המיושם בשלב הנוכחי. לצערנו המאמר כולל אי-דיוקים, שלמרבה המזל לא התייחסנו בשל מגבלות אורך התגובה. חבל שפרופ' כרמון לא פנתה אלינו להבהרות טרם פרסום המאמר.

מקורות

1. Nachshon U, Netzer L, and Livshitz Y. 2016. [Land cover properties and rain water harvesting in urban environments](#). *Sustainable Cities and Society* **27**: 398–406.
2. Nachshon U, Silva CM, Sousa V, et al. 2022. [New modelling approach to optimize rainwater harvesting system for non-potable uses and groundwater recharge: A case study from Israel](#). *Sustainable Cities and Society* **85**: 104097.

זערות נעמי כרמון לתגובות רשות המים

במרכז מאמרי עומדת גישה חדשה, הוליסטית ואינטגרטיבית לניהול מים ונגר, וכן אמצעים מגוונים לניהול נגר עירוני. אשמח לשתף פעולה עם אגף התכנון ברשות המים בהקשר להמלצה העיקרית, להעדיף אמצעים תכנוניים-רגולטוריים, אשר (בין היתר) ימנעו בנייה באזורים המועדים להצפות.

שמחתי לקרוא בדברי התגובה, שרשות המים מקדמת "סל פתרונות לניהול נגר" ושהיא "בהחלט רואה עדיפות בקידום פתרונות שכונתיים", דברים שזהים להמלצותיי במאמרי, ומנוגדים לאמירה של ד"ר יעקב ליבשיץ ⁽²⁾. לא שמחתי לקרוא שהתגובה התעלמה מרשימה מנומקת של שמונה סוגי נזקים פוטנציאליים כבדים, הכרוכים בקידוחי החדרה בחצרות ובאכיפת אופן בנייתם ותחזוקתם.

מאמרי מבוסס על 45 פרסומים הרשומים ב"מקורות" וב"קריאה נוספת", ועל פרסומים מכ-30 שנות מחקר בטכניון בנושא תכנון רגיש למים ⁽¹⁾. לפני 25 שנה לא פרסמתי (לא עם שמיר ולא עם אחרים) "מדריך תר"מ".

אלפי פרויקטים בעולם ועשרות רבות בישראל מדגימים את הישימות של אמצעים מגוונים לניהול נגר עירוני (כולל קידוחי החדרה). תשעה חקרי מקרה בערים ישראליות, שבכל אחד מהם פועלים מספר אמצעים לניהול נגר, מנותחים במחקרנו האחרון ⁽³⁾.

מקורות

1. כרמון נ ושמיר א. 2021. [רשימת פרסומים של מחקרי תר"מ – תכנון רגיש למים](#). הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל.
2. ליבשיץ י. 2023. החדרת מי נגר עירוני לתת הקרקע – מי גגות כמקרה בוחן. סמינר מקוון (וובינר), 16.2.2023. [תגובה, החל מ-1:22:46](#).
3. Alon Mozes T, Carmon N, Portman M, et al. 2020. [Sustainable stormwater in urban open spaces in Israel: Policy and best management practices](#). Research report. Technion, Center of Urban and Regional Studies. [תמצית בעברית עם הערכה של חקרי אירוע](#).

הלכה למעשה

ד"ר ינאי עמינז, הידרולוג, מתכנן בתחומי הידרולוגיה והידרוגאולוגיה, בחברת גלבע מהנדסים יועצים בע"מ:

בחלקו הראשון של המאמר מוצג התהליך שעברה תפיסת ניהול הנגר, ממטרד למשאב, מעת הכנסתה ללקסיקון התכנון על-ידי חוקרי מוסד הטכניון, ובהם כותבת המאמר. גישת תכנון ניהול הנגר כמשאב, שניתן להשתמש בו לתועלתם של תחומים שונים תוך צמצום תופעת ההצפות, אומצה על-ידי הרגולטור והשטח, בין היתר מאחר שגישת הניקוז המסורתית לבדה, כפי שבאה לידי ביטוי בחוק הניקוז וההגנה מפני שיטפונות (תשי"ח-1957), לא סיפקה פתרונות שביכולתם לצמצם את תופעת ההצפות.

על הגישה הרואה בנגר משאב רובצת חובת ההוכחה – האם באמצעות התפיסה החדשה והכלים שעומדים לרשותה, ניתן לצמצם את ההצפות ולהשיג את התועלות השונות המפורטות במאמר? על שאלה זו מוקדם עדיין לענות בצורה החלטית, כי הטמעת הגישה החדשה ויישומה בשטח הם תהליך בראשית דרכו. מדובר בתהליך ממושך, שעבר ועוד יעבור שינויים, תוך שאיפה להגיע לאיזון בין עמוד העשן של האקדמיה שמוביל את המחנה, בין הרגולטור שמספק את המסגרת, ובין העשייה בשטח על מורכבויותיה הרבות, הנובעות מהתנגשות בין אינטרסים שונים ומגוונים של בעלי העניין.

לגבי חלקו הביקורתי של המאמר בעניין קידוחי ההחדרה – על רשות המים להשלים את תהליך תקינת קידוחי ההחדרה, שהתחיל בשיטות עם מכון התקנים לפני שנים ספורות, כדי להפיג חששות לגבי תפקודו של הכלי כאמצעי לניהול נגר. עם זאת, מדובר באמצעי שמוכיח את יכולותיו הגבוהות בשטח ובסופו של דבר ינהל את הנגר באופן ששיב לאקוות את המים שנגזלו מהן עקב כיסוי שטחי המילוי החוזר בתכסית העירונית. היות שהמרחב העירוני יצר נפחי נגר רבים שיש לנהל, אני בהחלט לא רואה מקום לפתוח חזית נגד קידוחי ההחדרה – יש מספיק נגר לכולם.

מקורות

1. אגמא. 2023. [החדרת מי נגר עירוני לתת הקרקע](#). סמינר מקוון (וובינר) – 16.2.2023.
2. אגוזי ר. 2021. [פתרונות מבוססי-טבע – סל כלים לטובת ניהול סיכונים הצפה](#). אקולוגיה וסביבה 12(3): 49–58.
3. ארמון מ, מארה פ, אנזל י ואחרים. 2021. [השפעת שינוי האקלים על דפוסי גשם עתידיים באזור ישראל: סופות העתיד צפויות להיות מרוכזות – פחות גשם, פחות זמן, בשטח מצומצם יותר – ועוצמתן תגבר](#). אקולוגיה וסביבה 12(4).
4. בורמיל ש, שמיר א וכרמון נ. 2003. איכות הנגר העירוני – ניתוח מקרה. בתוך: נגר עירוני בשכונות מגורים. הטכניון, המרכז לחקר העיר והאזור ומכון גרנד למחקר המים. עמ' 64–74.
5. בלק ב, גרוסמן מ, ארביב מ והלס א. 2022. [כלים פיננסיים למימון תשתיות כחולות ברשויות מקומיות, נייר מדיניות](#). תוכנית ממשק והאגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה.
6. גוטמן ג. 2019. [גישה אגנית משלבת לניהול אגני היקוות](#). משרד החקלאות ופיתוח הכפר.
7. השירות ההידרולוגי הישראלי. [ממוצעי גשם 1991–2020](#).
8. כנסת ישראל. [הצעת חוק הניקוז וההגנה מפני שיטפונות \(תיקון מס' 7\), התשע"ד-2014](#).
9. כנסת ישראל. חוק הניקוז וההגנה מפני שיטפונות, תשי"ח-1957.
10. כץ ש, בורמיל ש, כרמון נ ושמיר א. 2001. תכנון עירוני רגיש למים: החדרת גשם למי התהום באמצעות עיצוב חצרות. חיפה: הטכניון, המרכז לחקר העיר והאזור.
11. כרמון נ. 2020. נגר עירוני כמשאב מים בישראל: כמות ואיכות. נייר עבודה. הטכניון: המרכז לחקר העיר והאזור.
12. כרמון נ. 2020. ניהול בר-קיימא של נגר עירוני: מהפך התיב הרך. הוועידה השנתית ה-48 למדע ולסביבה, 12–13 באוקטובר, 2020.
13. כרמון נ ושמיר א (בהשתתפות ארמון ר, גולדמן ד, כץ ש, וקרונברט ל). 1997. תכנון עירוני רגיש למים: הגנה על אקוויפר החוף הישראלי. הטכניון, המרכז לחקר העיר והאזור.
14. כרמון נ ושמיר א. 2011. [ניהול נגר וניקוז: סוגיה בתכנית האב למשק המים בישראל](#). הנדסת מים 94: 36–45.
15. לבנון א. 2023. קידוחי החדרה, לא רק על הנייר – הצגת מקרי בוחן.
16. לוינגר ל, נרדי ג ומלכה ל. 2013. [נספח נופי לתכנית האב לניקוז לתל-אביב-יפו](#). סטודיו אורבנוף.
17. ליבשיץ י, ברנשטיין ג, יצחק י ואחרים. 2021. [עקרונות שימור נגר: הנחיות לשימור פוטנציאל המים הטבעי בישראל באמצעות מערכות חלחול והחדרת נגר](#). רשות המים והשירות ההידרולוגי.
18. מנהל התכנון. 2023. מדיניות ניהול נגר עירוני: [מסמך מדיניות לניהול נגר ושינוי 8 לתמ"א 1](#). עלויות הקמה ותחזוקה של אמצעים לניהול נגר בשקופית 110.
19. מירון-פיסטינר ס, כרמון נ ושמיר א. 1996. פיתוח עירוני רגיש לשיקולי מים: לקראת הנחיות תכנון.

חיפה: הטכניון, המרכז לחקר העיר והאזור.

20. מרקוס ל, גית א וכרמון נ. 2014. [תכנון רגיש למים \(תר"מ\) בכבישים בינעירוניים בישראל](#). אוניברסיטת תל אביב, בית הספר ללימודי סביבה ע"ש פורטר; הטכניון, המרכז לחקר העיר והאזור.
21. נצר ל. 2023. [העשרת מי תהום מגנות – זה פשוט עובד](#). הרצאה במסגרת וובינר אגמא.
22. עיריית תל-אביב-יפו. 2017. תכנית אסטרטגית לתל-אביב-יפו. פרק 3: המבנה הפיזי.
23. צוק ש ופסטר א. 2018. בארות החדרה בתווך הלא-רווי: ניסוי שדה ומודל נומרי מלא. כנס האגודה למשאבי מים, נווה אילן, 16–17 במאי, 2018.
24. קולסקי ר, קרנץ פ, בן בסט ע, ואחרים. 2021. [מסמך מדיניות ניהול נגר עירוני](#). מנהל התכנון.
25. קסלר א. 2023. [שינוי קונספציה תכנונית במצבי קיצון](#). הוועידה השנתית של נחלי ישראל, נתניה, 4 במאי, 2023.
26. קפלן מ. 2004. [נחלי ישראל: מדיניות ועקרונות תכנון](#). המשרד להגנה הסביבה.
27. קפלן מ. 2022. [תכנון נחלים בישראל: מדריך בהשראת תמ"א אחת](#). המשרד להגנת הסביבה, רשות הטבע והגנים, קק"ל.
28. רונה מ. 2023. [למה ואיפה כדאי להחדיר מי נגר?](#) הרצאה במסגרת וובינר אגמא.
29. רשות המים. 2021. [התפתחות וניצול מצב מקורות המים בישראל עד סתיו 2018](#). השירות ההידרולוגי.
30. שמיר א וכרמון נ. 2007. [תר"מ – תכנון רגיש למים: שילוב שיקולי מים בתכנון עירוני ואזורי](#). חיפה: הטכניון, המרכז לחקר העיר והאזור ומכון גרנד למחקר המים.
31. תמ"א/8.1. 2022. שינוי לפרק המים, הוראות התכנית נוסח משולב. נוסח העברה לוועדות המחוזיות לפי סעיף 106ב'.
32. Alon Mozes T, Carmon N, Portman M, et al. 2020. [Sustainable stormwater in urban open spaces in Israel: Policy and best management practices](#). Research report. Technion, Center of Urban and Regional Studies. [תמצית בעברית עם הערכה של חקרי אירוע](#).
33. Brandes OM, and Brooks DB. 2007. [The soft path for water in a nutshell](#). Friends of the Earth Canada and POLIS Project on Ecological Governance. University of Victoria.
34. Carmon N and Shamir U. 1997. Water-sensitive urban planning: Concept and preliminary analysis. In: Chilton J et al. (Eds). Groundwater in the urban environment: Problems, processes and management. Proceedings of the XXVII IAH Congress on Groundwater in the Urban Environment, 21–27 September 1997; Nottingham, UK.
35. Carmon N and Shamir U. 2010. [Water-Sensitive Planning \(WSP\): Integrating water considerations into urban and regional planning](#). *Water and Environment Journal* **24**(3): 181–191.
36. Cohen-Shacham E, Andrade A, Dalton J, et al. 2019. Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions. *Environmental Science and Policy* **98**: 20–29.
37. Gleick PH. 2003. [Global freshwater resources: Soft-path solutions for the 21st](#)

- [century](#). *Science* **302**(5650): 1524–1528.
38. Goulden S, Portman ME, Carmon N, and Alon Mozes T. 2018. [From conventional drainage to sustainable stormwater management: Beyond the technical challenges](#). *Journal of Environmental Management* **219**: 37–45.
 39. Kronaveter L, Shamir U, and Kessler A. 2001. [Water-sensitive urban planning: Modeling on-site infiltration](#). *Journal of Water Resources Planning and Management* **127**(2): 78–88.
 40. Liao KH. 2012. [A theory on urban resilience to floods – A basis for alternative planning practices](#). *Ecology and Society* **17**(4).
 41. Lim HS and Lu XX. 2016. [Sustainable urban stormwater management in the tropics: An evaluation of Singapore's ABC Waters Program](#). *Journal of Hydrology* **538**: 842–862.
 42. Pahl-Wostl C. 2007. Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. *Water Resources Management* **21**: 49–62.
 43. Reale M, Cabos Narvaez WD, Cavicchia L, et al. 2022. [Future projections of Mediterranean cyclone characteristics using the Med-CORDEX ensemble of coupled regional climate system models](#). *Climate Dynamics* **58**: 1–24.
 44. Su J, Wang M, Razi MAM, et al. 2023. [A bibliometric review of Nature-Based Solutions on urban stormwater management](#). *Sustainability* **15**(9): 7281.
 45. Wong THF, Breen PF, and Lloyd SD. 2000. Water sensitive road design: (No. 00/1). Melbourne, Australia: CRC for Catchment Hydrology.

קריאה נוספת

מצגת המתארת ומסבירה את המהפך המתרחש בישראל ב-30 השנים האחרונות מניקוז נגר לניהול בר-קיימא שלו. מטרות ועקרונות, שחלק מהם משותפים לכל הפרויקטים לפיתוח בר-קיימא וחלק ייחודיים לניהול נגר, מוצגים ומנותחים במצגת זו. מוצג גם ארגז כלים מגוונים (BMPs – Best Management Practices), כולל דוגמאות ואיוורים מישראל וממדינות אחרות.

כרמון נ. 2018. [תכנון רגיש למים \(תר"מ\) וניהול בר-קיימא של נגר עירוני ואגני](#). הטכניון: הרצאה במסגרת לימודי המשך משותפים למתכננים ומהנדסים.

דו"ח מחקר ישראלי (שנכתב באנגלית) ומיועד למקבלי החלטות ולאנשי מקצוע. הפרק הראשון מציג נתונים של כמות ואיכות של נגר עירוני בארץ ודן בו כמשאב מים בישראל. בפרק השני מוצג ניתוח של חסמים בפני ניהול בר-קיימא של נגר בארץ. במרכז הדו"ח הערכה מתומצתת של תשעה חקרי מקרה בערי ישראל, שהטמיעו בהם אמצעים מגוונים לניהול נגר. בדו"ח נכלל גם "ארגז כלים" מפורט לשימושם של בעלי מקצוע המעוניינים לתכנן ולבצע ניהול בר-קיימא של נגר עירוני. בנפרד פורסמו תמצית בעברית של המחקר ונספח בעברית עם תיאור של ארבעה מחקרי המקרה שנבדקו.

Alon Mozes T, Carmon N, Portman M, et al. 2020. [Sustainable stormwater in urban open spaces](#)

[in Israel: Policy and best management practices](#). Research report. Technion, Center of Urban and Regional Studies. [תמצית בעברית עם הערכה של חקרי אירוע](#).

התאוריה המוצגת במאמר מציעה הסתגלות להצפות כתחליף לשליטה בהצפות. המדד המוצע ל"חוסן עירוני בפני הצפות" מקשר בין תכנון עירוני לניהול מים: אחוז השטח בעיר שיכול להיות מוצף בעת שיטפון (floodable areas) מבלי לגרום לאסון הומניטרי.

Liao KH. 2012. [A theory on urban resilience to floods – A basis for alternative planning practices](#). *Ecology and Society* **17**(4): 48.

מאמר שזכה להדים רבים (וצוטט מעל ל-1,700 פעמים) המשווה מדיניות לניהול משאבי מים במאה ה-20 לזו שבמאה ה-21. במאה הקודמת המדיניות התבססה על תשתית מסיבית ויקרה מאוד של סכרים, על צנרת מסועפת, מובלי ענק ומפעלי טיפול מסובכים וריכוזיים. הם הועילו למיליארדי בני אדם, אך גרמו בעיות חברתיות, כלכליות ואקולוגיות קשות. בניגוד לכך, המדיניות החדשה סוללת "נתיב רך": פתרונות מים שקנה המידה שלהם קהילתי ועלותם נמוכה; שוקי מים שמשלבים טכנולוגיה יעילה, הגנה סביבתית ומחירים שוויוניים.

Gleick PH. 2003. [Global freshwater resources: Soft-path solutions for the 21st century](#). *Science* **302**(5650): 1524–1528.

מסמך המציע לרשויות מקומיות לאמץ תשתיות כחולות-ירוקות לניהול הנגר העירוני, וממפה עבורן מקורות תקציביים זמינים, בהם: הקרן לשמירה על שטחים פתוחים, רשות מקרקעי ישראל, שיתופי פעולה עם משרדי ממשלה, עם גופים סמי-ציבוריים, כמו קק"ל ומפעל הפיס, ועם גופי תשתית, דוגמת נתיבי ישראל ורכבת ישראל.

בלק ב, גרוסמן מ, ארביב מ והלס א. 2022. [כלים פיננסיים למימון תשתיות כחולות ברשויות מקומיות](#). נייר [מדיניות](#). תוכנית ממשק והאגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה.