תַּרַ"מ – תכנון רגיש למים

שילוב שיקולי מים בתכנון עירוני ואזורי

תַּרַ"מ – תכנון רגיש למים

שילוב שיקולי מים בתכנון עירוני ואזורי

אורי שמיר נעמי כרמון

בהשתתפות אבנר קסלר

בהזמנת אגף האדריכל הראשי במשרד הבינוי והשיכון

מכון גרנד למחקר המים מכון טכנולוגי לישראל – הטכניון המרכז לחקר העיר והאזור

2007

WATER-SENSITIVE PLANNING:

Integrating Water Considerations into Urban and Regional Planning

Uri Shamir **Naomi Carmon**

With contribution by Avner Kessler

כל הזכויות שמורות © **2007**
למחברים,למשרד הבינוי והשיכון ולמוסד הטכניון בע"מ
הדפסה שלישית **2012**

Copyright © **2007**
By the authors, The Ministry of Construction and Housing and The Technion Research and Development Foundation Ltd.

אין להעתיק, לצלם או לשכפל כל חלק מדו"ח זה ללא רשות בכתב ומראש מבעלי הזכויות.

ספר זה משקף את דעות המחברים והמלצותיהם; משרד הבינוי והשיכון, המרכז לחקר העיר והאזור, מכון גרנד למחקר המים ומוסד הטכניון למחקר ופיתוח בע"מ אינם אחראים לדיוק הנתונים המופיעים בדו"ח ולמסקנותיו.

למען הסר ספק, מודגש בזאת כי חברי הסגל ו/או הטכניון ו/או מוסד הטכניון למחקר ופיתוח בע"מ לא יהיו אחראים לכל נזק לרכוש ו/או לגוף ו/או להוצאה ו/או להפסד מכל מין וסוג אשר יגרמו או עלולים להיגרם לכם או למי מטעמכם עקב חוות דעת זאת או ספר זה, או בהקשר אליהם.

For the elimination of any doubt, it is hereby stressed that the staff members and/or the Technion and/or the Technion research and development foundation ltd will not be liable for any property damage and/or corporeal damage and/or expense and/or loss of any kind or sort that will be caused or may be caused to you or to anyone acting on your behalf, in consequence of this statement or opinion or this report, or in any connection to it.

מסת"ב 965-409-032-5 ISBN

הקדמה והכרת תודה

ספר זה, שהוא בעיקרו מסמך מדיניות, מהווה שלב מסכם בסדרת מחקרים בנושאי תר״מ – תכנון רגיש למים – שנערכה בטכניון בתריסר השנים האחרונות. המחקרים הם פרי יוזמתם ועבודתם של החוקרים הראשיים, נעמי כרמון – פרופסור לתכנון עירוני ולסוציולוגיה בפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים, ואורי שמיר – פרופסור לניהול משאבי מים בפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית. ד״ר אבנר קסלר – מהנדס מים וניקוז, היה שותף בחלקי המחקר העוסקים בנגר העירוני וניהולו, ושמו על דף השער מבטא את שותפותו; ניסיונו ונכונותו לסייע ולייעץ היו חיוניים. דר׳ שמואל בורמיל – אדריכל נוף, היה שותף פעיל בשניים ממחקרי הסדרה. שש משתלמות לתואר שני ערכו את מחקרי התזה שלהן במסגרת סדרה זו, בהנחייתנו יחד עם שותפינו, ארבע במסלול לתכנון ערים ואזורים שבפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים, ושתיים בשטח להנדסת סביבה ומשאבי מים שבפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית: סיגי מירון-פיסטינר (1995), לאה קרונבטר (1998), שרון כץ (1999), אנה לוין (2001), שלומית בארי (2004) וחן חדד-סלע (2007). תודתנו לכל השותפים לעבודה.

המסמך הנוכחי הוזמן ומומן ע״י אגף האדריכל הראשי במשרד הבינוי והשיכון. תודה אישית לצוות המלווה מטעם המשרד, לאדריכל הראשי, קרלוס דרינברג ולאדריכלית מיכל נאור-ורניק, מנהלת תחום תכנון אורבני. שלבו הנוכחי של המחקר נמשך מעבר לתקופה שנחזתה מראש, בעיקר עקב הרחבת היקפו ומעורבותנו בהליכי גיבוש תמ״א 34ב׳; הצוות המלווה התיר לנו את המרחב הדרוש להשלמת העבודה.

שלבים קודמים הוזמנו ומומנו ע״י נציבות המים, המשרד לאיכות הסביבה ומשרד הבינוי והשיכון. עיקר התקציב נתרם ע״י הטכניון, שמימן את זמנם של החוקרים הראשיים והעניק מלגות לשש הסטודנטיות, לאורך לימודיהן ומחקרן. תודתנו החמה נתונה לכל הגופים התומכים והממנים.

ד״ר יודן רופא, אז במשרד הבינוי והשיכון, וד״ר ישעיהו בר-אור, במשרד להגנת הסביבה, ליוו את עבודתנו במשך השנים והשתתפו בסדנאות שערכנו. זכות ראשונים עומדת לצוות התחנה לחקר הסחף בנושא ניהול הנגר העירוני – רמי גרתי, שמוליק ארבל וד״ר משה גטקר - שטבעו את האימרה ״הנגר העירוני הוא משאב, ולא רק מטרד״.

רבים-רבים סייעו בעצה, בהשתתפות בישיבות, במשוב על מסמכים ובתגובה להרצאות שנתנו בפורמים שונים. נודה ל: זאבי אחיפז, טלי אלון-מוזס, נעמי אנג׳ל, נעמה אשל, שמואל בדולח, חזי ביליק, נגה בליץ, טוני בר-און, ניר בר-לב ורוסקה ניקולייב, ישראל גב, יגאל גוריון ז״ל, יוסי דאובר, דליה הראל ושרון נוסבאום, יואב הרפז, משה הרפז, אביחי חדד, אורית כפרי, יעקב לב, עופרה ליבנה ומיכל איתן, ראובן לסטר, יעל מוריה וענת רחמל, רונית נתיב ז״ל, רן פאוקר, דוד פרגמנט, דן פרי, ערן פרידלר, אלון פרלמן וצוות אנוש מערכות, דני עמיר, אלכס קושניר, מוטי קפלן, צבי רבהון, יהודה רבין, מאיר רוזנטל, אמיר שישא, עמרם שלם וגדעון שריג.

במחקר שנמשך כתריסר שנים קשה לשחזר את שמות כל אלו שהתייעצנו איתם; אם נשכח מאיתנו מי שהשתתף ותרם, אך שגגה היא, ואיתם הסליחה.

שלומית בארי השתתפה בשלבים אחדים של העבודה וגם טיפלה בהכנת החומר לדפוס. סבטלנה שניידר השלימה את המלאכה. תודתנו להן.

בהכנת הביבליוגרפיה המוערת, המצורפת על דיסק, סייעו: גילי סגן-כהן, אפרת סנדרוביץ וליאו ניקולאיבסקי.

אנו מכירים תודה לכל מי שתרמו, אך על התכנים של מסמך זה אחראים המחברים בלבד.

תוכן עניינים

תקציר והמלצות עיקריות **1**

חלק ראשון: תכנון רגיש למים (תר"מ) מהו? **13**

פרק 1: הצגת תר"מ, תועלותיו והתפתחותו **15**
1.1 מהותו של תר"מ 15
1.2 עקרונות הליבה של מדיניות תר"מ 17
1.3 מטרותיו ותועלותיו של תר"מ 18
1.3.1 מטרה ראשית: תרומה למשאבי המים של המדינה 19
1.3.2 מטרה ראשית: תרומה לאיכות הסביבה ולאיכות החיים 24
1.3.3 מטרה ראשית: הקטנת נזקי הצפות בעיר 27
1.3.4 מטרות נלוות: תועלות כלכליות וחברתיות 28
1.4 התפתחות תר"מ בישראל 33
1.4.1 הרקע התיאורטי – שני מקורות: פיתוח בר קיימא וגישה רב-דיסציפלינרית 34
1.4.2 תר"מ בישראל (א): מחקר והפצת ידע 35
1.4.3 תר"מ בישראל (ב): ראשית שילובו של תר"מ בתכנון מחוזי ועירוני 40
1.4.4 שילוב תר"ת בתמ"א 34ב': תכנית מתאר ארצית משולבת למשק המים 46

פרק 2: מניסיונן של מדינות בעולם **53**
2.1 ביבליוגרפיה מוערת 54
2.2 ניהול נגר וניקוז 55
2.3 איכות הנגר 62
2.4 חיסכון במים 65

חלק שני: מצע למדיניות מקצועית **71**

פרק 3: תכנון ארצי ואזורי רגיש למים **73**
3.1 תוכנית אב לאגני נחלים – תוספת חיונית לתכנון ארצי ואזורי 74
3.1.1 הכנת תכנית אב אגנית 76
3.1.2 מאגרים במעלה הנחל כחלק מתכנית אגנית לתפיסת מי נגר ולמניעת שיטפונות 80
3.1.3 "ניהול פשט הצפה" ככלי מרכזי במסגרת תכנית אב אגנית 82
3.1.4 השבת מים לנחלים במסגרת תכניות אב אגניות 85
3.2 תוכניות כוללניות לרצועות נחל כחלק מתכנון אזורי 86
3.2.1 נחלים כבסיס לפארקים מטרופולינים 88

3.2.2 איכות המים בנחל 90
3.3 שימור מקורות המים בעזרת תכנון ארצי ומחוזי 94
3.3.1 יצירת "אזורי הגנה תכנונית" על מקורות מים 96
3.3.2 מיפוי רציות (desirability) של החדרת נגר 99
3.3.3 שילוב תשתיות מים בתכנון ארצי ומחוזי 104

פרק 4: תכנון רגיש למים בעיר 107
4.1 פריסת שטחים פתוחים (עיקריים) בעיר בהתאמה לשיקולי מים 108
4.1.1 שימור ושיקום נחלים כמרכיב מרכזי בתכנון עירוני ובהתחדשות עירונית 112
4.1.2 מיקום שטחים פתוחים בהתאמה לזרימות נגר עירוני בעיר 116
4.2 תכנון שימושי קרקע בעיר בשילוב עם שיקולים של ניהול נגר וניקוז 118
4.2.1 עירוב שימושי קרקע 118
4.2.2 בנייה עירונית קומפקטית (ציפוף) 119
4.3 תכנון מערך הדרכים בעיר בשילוב עם ניהול נגר וניקוז 125
4.3.1 השילוב החיוני בין תכנון כבישים ותכנון ניקוז 126
4.3.2 תכנון דרכים עירוניות והחדרת נגר לקרקע 129
4.4 ניהול נגר ושימורו כמרכיב בתכנון הנוף העירוני 131
4.4.1 תכנון תכסיות קרקע בהתאמה לשיקולים של ניהול נגר – כללי 134
4.4.2 תכנון ברמת המיקרו – מגרש הבנייה הבודד 136
4.4.3 תכנון ברמת השכונה והעיר 138
4.4.4 אמצעי תר"מ לניהול נגר במרחב העירוני - (BMP's - Best Management Practices) 142

פרק 5: גישה חילופית לניהול הנגר העירוני ולניקוז 151
5.1 שינוי הגישה/הפרדיגמה לניהול הנגר העירוני 151
5.2 עקרונות וכללי תכנון לניהול הנגר העירוני 154
5.2.1 הגדרת "מערכת הניקוז" בעיר ופעולתה על סופות הגשם 154
5.2.2 ספיקות נגר ונפחי נגר 155
5.3 נתונים, שיטות וכלי חישוב 169
5.3.1 נתונים 169
5.3.2 שיטות חישוב ומודלים 172

פרק 6: ניהול מים בעיר
חיסכון במים ותוספות אחרות למשק המים המקומי 183
6.1 חיסכון במים כתופעה קבועה ואמינה 184
6.1.1 אמצעים לחיסכון במים בבתי מגורים ובבנייני ציבור 187
6.1.2 אמצעים לחיסכון במים בגנים פרטיים וציבוריים 192
6.1.3 החיסכון במים כמקור מים – אומדן הפוטנציאל 198
6.2 תוספות למשק המים העירוני ממקורות בלתי קונבנציונליים 200
6.2.1 קציר גשם על-ידי משקי בית 201
6.2.2 מים אפורים מטוהרים 206
6.2.3 מים שחורים/שפכים מטופלים/קולחים 210
6.2.4 התפלה מקומית 211
6.2.5 לסיכום: תוספות ממקורות בלתי קונבנציונליים 213

חלק שלישי: מימוש תר״מ בישראל **215**

פרק 7: מימוש תר״מ בישראל **217**
7.1 מסגרת משפטית נאותה 217
7.2 מיסוד תר״מ באמצעות תמ״אות וועדות תכנון 222
7.3 הכשרה של בעלי המקצועות הרלבנטיים 229
7.4 תמריצים כלכליים 231
7.5 בניית שותפויות ציבוריות-אזרחיות וציבוריות-פרטיות 234
7.6 חינוך והסברה לציבור הרחב ולנבחריו 237
7.7 תוספות ידע ומידע חיוניים 242
7.7.1 הקמת מוקד של נתונים וידע בנושאי ניהול נגר עירוני וניקוז 244
7.7.2 הקמת פרויקטי חלוץ וניטורם 245

נספח: אמצעי תר״מ לניהול נגר במרחב העירוני **249**

מקורות **265**

תַּרַ״מ – תכנון רגיש למים

שילוב שיקולי מים בתכנון עירוני ואזורי

תקציר והמלצות עיקריות

תַּרַ״מ – ראשי תיבות של תכנון רגיש למים – הינו גישה חדשנית לתכנון אינטגרטיבי של בנייה ושל מערכות מים, המהווה חלק מפיתוח בר-קיימא. שני התחומים העיקריים של תר״מ, התחום של תכנון עירוני ואזורי והתחום של ניהול משאבי מים, הינם שדות ותיקים ומבוססים של פעילות מדעית ומקצועית, אשר התפתחו ומיושמים בנפרד. היגד היסוד של מסמך זה קובע, שהאינטרס הציבורי מחייב שיתוף פעולה הדוק ביניהם, שיתוף שיבטיח עבודה סימולטנית וסינרגטית.

הרציונל למחקרי תר״מ נעוץ הן במניעה/הפחתה של נזקים, והן בתרומה לאיכות החיים. ב״מניעת נזקים״ הכוונה היא למנוע פגיעה במשאבי המים, בעיקר מי התהום, ולהפחית נזקיהן של הצפות. ב״תרומה לאיכות החיים של התושבים״ הכוונה לשימוש מושכל במים ובגופי מים (כמו נחלים), בערים ומחוצה להן, בעבור שירותי פנאי ונופש ולשיפור איכויות חזותיות. מטרת תר״מ איננה לעצור פיתוח ובנייה עקב שיקולי מים, אלא לאפשר בנייה רצויה מבחינה חברתית וכלכלית, גם באזורים רגישים כמו מישור החוף של ישראל, המשתרע מעל לאקוויפר החוף, שהינו מאגר המים המרכזי של המדינה. כוונתנו לאפשר פיתוח ובנייה ולהבטיח שיתוכננו היטב, היינו: שייושם בם תכנון רגיש למים.

קטעים מגישת תר״מ נחקרים ומיושמים בעשרים השנים האחרונות במדינות מפותחות באירופה וצפון אמריקה, ביפן, באוסטרליה, ובמידה חלקית גם בישראל. **החידוש בספר הנוכחי הינו במכלול הכלול בו, מכלול רב-מקצועי ורב-מרחבי, ובחתירה לאינטגרציה בין חלקי המכלול.** כוונתנו לאינטגרציה כפולת פנים: הפן האחד – **שילוב עבודתם של מתכננים מתחומים מקצועיים שונים** - מתכנני ערים ואזורים, אדריכלים, אדריכלי נוף, מהנדסי מים, מהנדסי ניקוז, וגם מהנדסי דרכים; הפן השני, **שילוב בין רמות התכנון השונות** – מתכנון ארצי, אזורי/מחוזי ויישובי, ועד לתכנון שכונתי, מבנני ומגרשי.

ספר תר״מ שעיקריו מתומצתים כאן, הינו מסמך מדיניות, המהווה שלב מסכם בסדרת מחקרים בנושאי תר״מ, שנוהלו בטכניון בתריסר השנים האחרונות על-ידי החוקרים הראשיים, כמפורט בהקדמה לספר. הידע והמסקנות הכלולים בספר נסמכים בעיקרם על סדרת מחקרים זו. הרבינו להסתמך גם על תובנות שהעלינו מתוך פרסומים רלבנטיים במדינות אחדות, בעיקר, אוסטרליה, ארה״ב ויפן, וכן על שורה של סדנאות עבודה, בהשתתפות בעלי המקצועות הקשורים בנושא.

קהל היעד של מסמך המדיניות מורכב ממקבלי החלטות ומאנשי מקצוע בתחומי פיתוח הבנייה והמים ברשויות ממלכתיות ומקומיות, מן העוסקים בנושאי תכנון עירוני ומים בפרקטיקה הפרטית, וגם מנהיגי דעת קהל בארגונים (בעיקר ירוקים) של החברה האזרחית. כוונתו היא להציג בפניהם את הנושא, לשכנעם להתקדם בכיוונו, לפרט מה רצוי ואפשר לעשות לשם כך, בהתאם לידע זמין בנושא, וגם להצביע על חסרים בידע וביישום.

הספר כולל שלושה חלקים:

(א) מבוא - חלק זה מספק את הרציונל, את **ההסבר מדוע חשוב לאמץ מדיניות תר״מ**, חשוב למדינת ישראל, לתושביה ולרשויות המקומיות בה. כאן מוצגים מהותו של תכנון רגיש למים (תר״מ),

תועלותיו הרבות, ובצידם, הרקע התיאורטי, המדעי, המקצועי והמנהלי לפיתוחו וליישומו בארץ. כאן נכללת גם סקירה של הניסיון המצטבר במדינות מפותחות אחדות ביישומם של עקרונות תר״מ, סקירה שמשלימה את הרציונל לאימוץ מדיניות תר״מ.

(ב) מדיניות מקצועית - מציג **מה צריך לעשות בתחומים מקצועיים מוגדרים**, ובמילים אחרות: כיצד צריכים לפעול מתכנני ערים, אדריכלים, אדריכלי נוף, מהנדסי מים וניקוז, בכדי לתכנן פיתוח באופן מועיל לכמות ולאיכות משאבי המים, משלב את המים בתכנון הנוף העירוני, תורם לייעול מערכות הניקוז ולחיסכון בצריכת מים.

(ג) מדיניות מנהלית, משפטית וחינוכית – מפרט מהם **התנאים שיש ליצור והאמצעים שיש להפעיל בכדי לממש את המדיניות** המקצועית של תר״מ, כולל: שילוב עקרונות תר״מ בתכנון הסטטוטורי, יצירת תמריצים כלכליים, הסדרה משפטית ומנהלית, הכשרת בעלי המקצועות הרלבנטיים, חינוך והסברה לציבור הרחב ולנבחריו, יצירת מוקד ידע ונתונים ועידוד המחקר בתחום הנדון.

בחמשת העמודים הבאים יוצגו היגדים עיקריים מתוך כל אחד משלושת החלקים הנ״ל. היגדים אלה מסכמים את הדברים המפורטים בגוף הספר.

תועלותיו של תר"מ

בעשור האחרון מתקבלים ומיושמים עקרונות תר"מ במדינות מפותחות, כמו בריטניה, ארה"ב, אוסטרליה ויפן, בשל התועלות הרבות, הטמונות ביישומו, ובשל יכולתו לקדם מטרות חשובות בעת ובעונה אחת. מומלץ לאמץ מדיניות תר"מ גם בארץ, שכן:

<u>תר"מ הינו מרכיב חיוני בפיתוח בר-קיימא</u> - תר"מ מקדם בד בבד מטרות סביבתיות, חברתיות וכלכליות

<u>תר"מ מגן על מקורות המים</u> - תר"מ מגן על הכמות והאיכות של מי תהום, של אגמים ונחלים

<u>תר"מ תומך בשיקום נחלים וערוצי מים</u> - תר"מ תומך בשיקום נחלים כמרכיב מרכזי בתכנון ובהתחדשות עירונית

<u>תר"מ תורם לשיפור הנוף העירוני</u> - באמצעות שילוב דרכי וגופי מים בעיצוב הנוף ושימוש בנגר לריבוי ירק בסביבה העירונית

<u>תר"מ מייעל את מערכות הניקוז</u> - באמצעות ניהול הנגר - הטייה, השהייה, אגירה והחדרה לקרקע - תר"מ מקטין כמויות וספיקות נגר, מפחית נזקי שטפונות, ומקטין עלותן של מערכות הניקוז

<u>תר"מ מפחית את צריכת המים העירונית</u> - באמצעות ניהול הביקוש למים ושימוש במים ממקורות בלתי קונבנציונליים, תר"מ מפחית את הצריכה ממערכת המים המרכזית

<u>תר"מ מחנך לאזרחות טובה ומזרז יצירת הון חברתי</u> - מימוש תר"מ מחייב מודעות ומעורבות של האזרחים, מתמרץ התארגנויות (ארגונים ירוקים) ושיתופי פעולה בינן לבין הרשויות הציבוריות

<u>תר"מ תורם לשיפור הבריאות</u> - באמצעות תרומתו הישירה לשיפור איכות המים ותרומתו העקיפה לאיכות האוויר בעיר

<u>תר"מ מאפשר מימוש הנ"ל בו-זמנית ובאופן סינרגטי</u> - תוך שימוש באמצעים תכנוניים ופיסיים מרובי-יעדים

הנחיות מקצועיות

בשל תועלותיו הרבות ישולב תר"מ בתכנון כל מערכות הבינוי והפיתוח, במיוחד בשלבי התכנון הראשונים

ההנחיות מתייחסות לתחומים המקצועיים הבאים: תכנון אזורי, תכנון ועיצוב עירוני, אדריכלות נוף, הנדסת דרכים, הנדסת מים וניקוז

<u>קביעת ייעודי קרקע</u>

- **תכנית אב אזורית, שתקיף את כלל אגן ההיקוות של כל נחל, תיועד למניעת הצפות ולשיקום נחלים. התכנית תקבע ייעודי קרקע עיקריים באגן ההיקוות, תוך מיקוד בהבחנה בין שטחים בנויים ופתוחים ותשומת לב לשיקולים של זרימה במעלה ובמורד הנחל ושל פשט הצפה**

<u>תכנון ועיצוב עירוני</u>

- **פריסת השטחים הפתוחים בעיר תתבצע בשלב הראשוני ביותר של התכנון ותותאם – ככל האפשר - למערכת ההידרו-גיאוגרפית**
- **שיקולי מים ישולבו בקביעת המיקום והגודל של תכסיות אטומות – בניינים ושטחים מרוצפים, בכל רמות התכנון, כולל רמת הבניין היחיד**
- **שיקום נחלים ישמש מנוף להתחדשות עירונית**

<u>תכנון דרכים</u>

- **הכבישים מהווים מרכיב בסיסי וחיוני של מערכת הניקוז העירונית; מטעמי יעילות, בטיחות, נוחות ומחיר יש לשלב תכנון דרכים עם ניהול נגר עירוני**

הנחיות מקצועיות (המשך)

<u>ניהול נגר וניקוז</u>

- **ניהול נגר עירוני יחליף את התכנון הקונבנציונלי של ניקוז עירוני**
- **ניהול הנגר יכוון בעת ובעונה אחת הן לשימוש מועיל ויעיל בנגר, על פני הקרקע או במי התהום, והן למניעת נזקי שיטפונות**
- **ניהול הנגר בעיר ובאזור יכלול השהייה, אגירה והחדרה של נגר בכל מקום מותר ואפשרי, על מנת לאפשר ניצול הנגר לשימוש ישיר או להחדרה לקרקע ולמי התהום**
- **יעדים בסיסיים בניהול הנגר הינם מיזעור של נפח הנגר, של הספיקות ושל הזיהומים, במוצא מכל שטח עירוני מתוכנן**

<u>עיצוב הנוף העירוני</u>

- **שיקולי מים ישולבו בקביעת השיפועים בשטח המפותח, סוג כיסוי הקרקע, סוגי הצמחייה והמתקנים (כולל מתקני אגירה והחדרה, תעלות מים, מזרקות ועוד) בשטחים הפתוחים**
- **מי הנגר ישמשו כמשאב בתכנון הנוף העירוני**

<u>תכנון וניהול אספקת המים בעיר</u>

- **החיסכון במים כדאי לכלל ולפרט; מומלץ להגביר את יציבותו ואמינותו של החיסכון במים באמצעות החדרת טכנולוגיות לחיסכון, תקינה, הסברה וחינוך**
- **מומלץ לכלול בהדרגה אמצעים לניצול מקורות מים מקומיים בלתי-קונבנציונאליים, כמו: קציר נגר, מים אפורים, קולחים מטוהרים**

מדיניות מנהלית, כלכלית וחינוכית ליישום תר"מ

בבנייה חדשה - מומלץ לחייב תכנון עפ"י עקרונות תר"מ
בבנייה ותיקה - מומלץ לאפשר ולתמרץ זאת
ברשות הרבים - מומלץ לחייב תכנון עפ"י עקרונות תר"מ
ברשות הפרט - מומלץ לאפשר ולתמרץ זאת

<u>מסגרת משפטית נאותה</u>

- **הכלים המשפטיים הרלבנטיים ליישום תר"מ הינם: חוק התכנון והבנייה, חוק המים, חוק הניקוז וההגנה מפני שטפונות ודיני השלטון המקומי; בכולם נדרשות התאמות, רובן לא כבדות, בכדי להתאימם למימוש תר"מ**

<u>מיסוד תר"מ באמצעות תמ"אות וועדות תכנון</u>

- **המיסוד הנדרש נמצא כבר בהילוך גבוה, המתבטא בתמ"א 34ב', שנקלטו בה המלצות תר"מ, בהנחיות שהוציאו ועדות התכנון המחוזיות בת"א ובמרכז, ובתקנות של חלק מן הרשויות המקומיות**
- **בתהליך המיסוד דרושים עוד: מיסוד של תכניות אגניות, אשר תנחינה תכניות פיתוח באגן, ומיפוי ארצי ומחוזי של אזורים להחדרת נגר**

<u>הכשרת בעלי המקצועות הרלבנטיים</u>

- **חיוניים שינויים בהכשרה המקצועית הניתנת בבתי הספר לאדריכלות, לתכנון עירוני ואזורי ולאדריכלות נוף, להנדסת מים וניקוז, ובמידה חלקית גם להנדסת כבישים, כך שבעלי המקצועות הרלבנטיים יכירו את עקרונות תר"מ ויתרונותיו וידעו ליישמם**

מדיניות מנהלית, כלכלית וחינוכית ליישום תר"מ (המשך)

<u>תמריצים כלכליים</u>

- **חשובים תמריצים כלכליים למימוש תר"מ, רובם מסוג "הגזר", כמו השתתפות הרשויות בעלויות והנחות בתשלומים, ומיעוטם מסוג "המקל", כמו היטלים כספיים על היזם**

<u>בניית שותפויות</u>

- **את יישום תר"מ מומלץ לקדם בעזרת שותפויות ציבוריות-פרטיות וגם בעזרת שותפויות ציבוריות-אזרחיות, בין הרשויות לבין ארגונים אזרחיים**

<u>חינוך והסברה לציבור הרחב ולנבחרין</u>

- **יישום תר"מ מחייב פעולה מצד משקי הבית, בביתם ובחצרם, ומצד הרשויות בבניינים ושטחי ציבור; כלפי כולם עדיפים חינוך והסברה על פני אכיפה בעזרת פקחים ושוטרים**
- **יעילות החינוך וההסברה תלויים במיקוד בקהלי יעד מתאימים ובבחירת תכנים מתאימים וערוצי שיווק מגוונים**

<u>תוספת ידע ומידע חיוניים</u>

- **מומלץ להקים פרויקטי חלוץ, פרויקטים שניתן יהיה לנטרם וללמוד מהם באופן שיטתי על התועלות (והנזקים) הכרוכים ביישום תר"מ במציאות הישראלית**
- **מומלץ להקים מוקד נתונים וידע בנושאי ניהול נגר עירוני וניקוז**

ביבליוגרפיה מוערת

צמוד לספר כלי רב ערך – תקליטור (CD) עם ביבליוגרפיה מוערת (annotated bibliography) ומקבצי פרסומים, המיועד להיות כלי עזר לחוקרים ולבעלי המקצועות הרלבנטיים, מאורגן בקבצים לפי נושאים. מהנדסי ניקוז ימצאו בו עניין מיוחד, אך גם מתכננים, אדריכלי נוף ומנהלי מים עירוניים. בביבליוגרפיה מצוי אוסף של מקורות בנושאי תר״מ – ספרים, דו״חות מחקר מדעיים ומקצועיים, מאמרים מספרים וכתבי עת, אתרי אינטרנט ותוכנות מחשב, שרובם מלווים בדברי הסבר קצרים אודות תכנו של המקור. הביבליוגרפיה המוערת מתייחסת בהרחבה רק לחלק מנושאי תר״מ, בעיקר לניהול נגר עירוני - סוגיות של כמות ואיכות, ולחיסכון במים; בנושאים אלה היא מקיפה וכוללת דוגמאות יישום מארה״ב, קנדה, בריטניה, ספרד, אוסטרליה ויפן. יש בה גם מראי מקום מעניינים המתייחסים לשיקום נחלים ולקשר בין פיתוח עירוני ומשאבי מים. אתרי האינטרנט הנכללים בקובץ מופיעים כ״קישור״, כך שניתן ״לקפוץ״ ישירות מן הביבליוגרפיה הממוחשבת אל אתר האינטרנט.

בנוסף לרשימת המקורות הנ״ל על הערותיה וסיכומיה, מכיל התקליטור גם מספר ניכר של פרסומים רלבנטיים ומעניינים במלואם. נזכיר במיוחד את הפרסומים מאוסטרליה על ״עיצוב עירוני רגיש למים״ ואלה של EPA – הרשות להגנת הסביבה של ארה״ב על BMPs עבור ״גידול עירוני חכם״ (בקובץ הפרסומים שבפרק ׳פיתוח עירוני ומשאבי מים׳) , את מודל ״מאזן המים״ מקולומביה הבריטית (בקובץ הפרסומים שבפרק על ׳ניהול נגר וניקוז׳). הקורא המעוניין ימצא על הדיסק המצורף גם את הגרסאות האחרונות של תמ״א 34ב׳ – תכנית מתאר ארצית משולבת למשק המים, ואת המסמך המלא של ׳המדריך לבנייה משמרת מים׳, שהכינה חברת ׳אנוש׳ עבור משרד הבינוי והשיכון והמשרד לאיכות הסביבה.

לסיום: תר״מ ופיתוח בר-קיימא

תר״מ הינו גישה חדשנית לתכנון אינטגרטיבי של בנייה ושל מערכות מים, המצטרפת לשורה מתארכת של גישות תכנוניות לפיתוח בר-קיימא. תר״מ, כפי שפותח והוצג במסמך זה, מאופיין במספר עקרונות, אשר, להערכתנו, מאפיינים/אמורים לאפיין גם גישות אחרות לפיתוח בר-קיימא:

- **חתירה לסינרגיה בהשגת מטרות סביבתיות, חברתיות וכלכליות** – תר״מ מכוון בעת ובעונה אחת למימושן של מטרות סביבתיות, כמו שימור מקורות המים, להשגת מטרות חברתיות, כמו ריבוי שטחים ירוקים לבילוי פנאי, ולקידום מטרות כלכליות, כמו הקטנת ההוצאות עקב הצפות; על-פי גישת תר״מ, תכנון משולב לקידום שלושת סוגי המטרות מועיל ויעיל יותר מאשר תכנון ספציפי לקידום כל סוג בנפרד.
- **ריבוי מטרות ויעדים ואחדות אמצעים** – אמצעים זהים או דומים משמשים להשגת מטרות או יעדים שונים, בדומה ל״עירוב שימושים״, המקובל בפיתוח בר-קיימא של שטחים עירוניים. לדוגמא: גן ציבורי, מתוכנן בהתאם להמלצות תר״מ, יכול לשרת את תושבי האזור וגם לשמש כאמצעי לשימור כמות ואיכות של מי נגר (ומי תהום), מבלי ליצור עול כבד על צריכת המים העירונית. ועוד: מתקן להשהיית נגר ומניעת הצפה יכול לשמש גם לטיהור נגר עירוני והחדרתו למי התהום, ואולי גם כמתקן נוי בקרבת העיר.
- **שיתוף פעולה לא רק רב-דיסציפלינארי, אלא בין-דיסציפלינארי, בדרך ליצירת תחום טראנס-דיסציפלינארי** – לפנינו תחום מדעי-מקצועי חדש, הנוצר מתוך עבודה משותפת של מומחים מתחומים שונים. מכיוון שתר״מ מחייב עבודה משותפת ומשולבת בין מתכנני מרחב בנוי ופתוח ומתכנני נוף לבין מהנדסי מים וניקוז, מהנדסי תחבורה ומהנדסי קרקע, צומחים/יצמחו בתוכו מודלים טרנס-דיסציפלינאריים מועילים.

- **דגש על תכנון מונע ולא רק על תכנון מגיב** – כוונתנו לפיתוח והשקעה באמצעים למניעת מפגעים, במקום הסתפקות בתכנון ובנייה של אמצעים להתמודדות עם מפגעים. לדוגמא: בעוד ששיטות ניקוז קונבנציונליות עוסקות ב"הגנה מפני שטפונות" (ר' שמו של חוק הניקוז התקף), תר"מ מכוון לפריסה מרחבית של בנייה ולתוספת מתקנים (BMPs) עבור מניעה במקור - במקום שהגשם נופל על הקרקע - של ספיקות גדולות שיוצרות הצפות.
- **עקרונות תכנון זהים ברמות תכנון שונות** – לדוגמא: אותם עקרונות לניהול נגר עירוני - מיזעור נפח הנגר היוצא מן השטח, מזעור ספיקת הנגר ומזעור זיהומי הנגר - חלים על יחידות השטח בכל הגדלים, הן על רמת המקרו – תכנון ארצי ואזורי, הן על רמת המזו – העיר והשכונה, והן על רמת המיקרו – המבנן ומגרש הבנייה היחיד.
- **הליכה עם הטבע, במקום נגדו** – לדוגמא: המלצת תר"מ להתאים את פריסת השטחים הבנויים והפתוחים, את הדרכים ודרכי הניקוז למבנה ההידרו-גיאוגרפי של השטח המתוכנן, ובמיוחד לנתיביהם של הנחלים שבתוכו. זאת, במקום לנצל יכולות טכנולוגיות (של הזזת הרים וסתימת גיאיות), המקובלות בבנייה קונבנציונלית ומאפשרות כמעט להתעלם מטופוגרפיה ומהרכב טבעי של הקרקע.
- **ולבסוף, "קטן הוא יפה"** (כלשון הסיסמה שטבע הכלכלן שומאכר בספרו מ-1973) – עקרונות פיתוח בר-קיימא מעדיפים בדרך-כלל השקעות מקומיות קטנות ובינוניות על-פני בנייתם של "פרויקטי דגל" ענקיים. זאת בהסתמך על הניסיון הבינלאומי המצטבר, המורה שפרויקטי ענק מובילים לעיתים קרובות למדי לנזקים אדירים בעוד שפעולות פיתוח קטנות יוצרות – אם בכלל - שגיאות קטנות וניתנות לתיקון, בנוסף להיותן מותאמות טוב יותר לרוחן של קהילות מקומיות. בהתאמה לכך, תר"מ מדגיש פעולות ברמת המיקרו והמזו – החצר והשכונה – כקודמות וכמתנות את אפשרות הפעולה ברמת תכנון גבוהה יותר. לדוגמא: מיזעור נפחי נגר ביציאה מכל חצר ומבנן נחוץ למיזעור הנפח ברמת השכונה והעיר.

מקבץ זה של עקרונות פיתוח בר-קיימא הינו תרומה נוספת של מחקר תר״מ. תרומה זו עשוייה להועיל הן לגיבוש תיאורטי של המושג פיתוח בר-קיימא והן ליישומו על-ידי מתכננים ומהנדסים.

חלק ראשון: תכנון רגיש למים (תר״מ) מהו?

פרק 1 – הצגת תר״מ, תועלותיו והתפתחותו – מציג את מהותו של התר״מ, עקרונות הליבה שלו, מטרותיו ותועלותיו המגוונות; מציג את הרקע התיאורטי להתפתחות התר״מ מספר את תולדותיו בישראל: מחקר והפצת ידע, ראשית שלובו של תר״מ בתכנון מחוזי ואזורי ובמיוחד, בתכנית המתאר הארצית החדשה תמ״א 34ב׳.

פרק 2 – מניסיונן של מדינות העולם – מסכם בקיצור נמרץ חלק מן החומר הבינלאומי הרב בנושאי תר״מ, חומר שמצוי בדיסק המצורף.

פרק 1
הצגת תר״מ, תועלותיו והתפתחותו

1.1 מהותו של תר״מ

תר״מ – ראשי תיבות של תכנון רגיש למים – הינו **גישה חדשנית לפיתוח, המשלבת שני תחומים: מצד אחד, תכנון עירוני ואזורי, ומצד שני, ניהול משאבי מים**. השילוב בין השניים תורם להשגה סינרגטית של מטרות חשובות לכלל ולפרט, אשר תפורטנה להלן.

תר״מ מתפתח בשנים האחרונות במקומות אחדים בעולם, **כמרכיב חיוני של פיתוח בר-קיימא**. בבסיסו של פיתוח בר-קיימא עומד העיקרון של הפחתת הפגיעה שפוגעים תהליכי פיתוח מעשה-ידי-אדם (כמו בנייה עירונית) בתהליכים הטבעיים, האוצרים בתוכם את תבונת האבולוציה, בת מיליוני השנים. הכוונה אינה למנוע פיתוח אלא לעשותו מושכל יותר, באופן שישפר את איכות החיים של הדור הנוכחי (על קבוצותיו המגוונות), תוך מזעור הפגיעה במשאבים, הדרושים להמשך ההתפתחות בדורות הבאים. בהתאם לכך, כוונתו של תר״מ אינה לעכב פיתוח ובנייה. כוונתו היא **לאפשר בנייה רצויה מבחינה חברתית וכלכלית**, אפילו באזורים רגישים למים כמו מישור החוף של ישראל, המשתרע מעל לאקוויפר המשמש כמאגר המים המרכזי של המדינה, **בתנאי שהבנייה תתוכנן היטב, היינו: בהתאמה לעקרונות תר״מ**.

תר״מ מקיף שדות מקצועיים אחדים. אנו כוללים בו:

תכנון עירוני ואזורי

- **תכנון ייעודי קרקע ברמה ארצית ואזורית** - תכנון המיקום והפריסה של יישובים ושל פארקים מטרופולינייים, תוך התחשבות בנתונים של אגני נחלים, ערוצי מים ופשטי הצפה.

- **תכנון ייעודי קרקע ברמה יישובית ושכונתית** – תכנון הפריסה במרחב – הכמות והגודל - של שטחים פתוחים ודרכים, תוך התחשבות בגופי מים ונתיבי מים, כולל זרימת נגר.
- **תכנון תכסיות קרקע ונוף עירוני ברמה שכונתית ומבנית ועד לרמת חצרו של הבניין הבודד**, תוך התייחסות לשימור וניצול מי נגר עירוני.

ניהול מים עירוניים

- **ניהול נגר עירוני**, אשר בניגוד לניקוז קונבנציונלי: (א) אינו נחפז להרחיק נגר עירוני במהירות האפשרית מן השטח הבנוי, אלא מכוון לנצל אותו – ניצול ישיר ו/או החדרה למי התהום, ולשמר אותו – להגן על כמותו ואיכותו בדרכו למי התהום או אל אגם או אל נחל; (ב) אינו בבחינת תכנון מגיב, היוצר מערכת לסילוק נגר בתגובה לתפרוסת שימושי קרקע נתונה, אלא מצטרף לתכנון מנהיג, הפועל יחד עם המתכנן העירוני למניעה של הצפות בעיר, באמצעות עיכוב זרימת הנגר וטיהורו, תוך כדי השהייה ואגירה שלו ו/או החדרתו לקרקע במקומות מתאימים במרחב העירוני. (ג) משלב את ניהול הנגר ברמה העירונית עם ניהול הנגר ברמה האגנית (אגן הנחל כולו). שלושת השינויים האלה, יחסית לניקוז קונבנציונלי, מחייבים התייחסות לנפחי הנגר ולא רק לספיקות השיא שלו.
- **ניהול הביקוש למים**, ובמיוחד חיסכון בצריכת מים ברשות הרבים וברשות הפרט.
- **שימוש במים מקומיים ממקורות בלתי קונבנציונליים**, כולל: קציר גשם ושימוש במים מזוהמים, שעברו תהליכי טיהור והתפלה – מי תהום שהזדהמו, מים אפורים וקולחים מושבים.

באופן עקרוני, המניין של שדות תר״מ כולל גם ניקוז ושימור קרקע חקלאית וכן את תכנון הביוב העירוני, טיהור הקולחים והשימוש בם. אולם בארץ, כמו במקומות אחרים בעולם, גישת תר״מ עדיין נמצאת בתהליך פיתוח ואינה מגובשת במידה שווה בכל התחומים. מסמך זה

מגיש לקורא את הידע והניסיון שצברנו בשנות עבודתנו (1994-2006), בהנחה שהדברים יושלמו בעתיד.

מדיניות תר"מ קובעת עקרונות לתכנון פיתוח בר קיימא מן ההיבט של משאבי המים. עקרונות תר"מ ותרגומם להמלצות והנחיות עבודה מאפשרים פיתוח ובנייה, אשר אינם מזיקים למשאבי מים ולגופי מים, ובו בזמן יוצרים תועלות רבות, הן בתחום המים וניהולם, והן בהיבטים מגוונים של איכות חיים, חברה וכלכלה.

1.2 עקרונות הליבה של מדיניות תר״מ

מחברי מסמך זה ממליצים בפני רשויות המדינה, אנשי המקצוע והארגונים האזרחיים, העוסקים בתכנון עירוני ואזורי ו/או בניהול משאבי מים, לאמץ את מדיניות תר״מ. פירוט המטרות של מדיניות תר״מ והתועלות הצפויות ממימושה יוצגו להלן. כאן מוצגים שלושת עקרונות היסוד של תר״מ, המהווים את ליבת מדיניותו:

1. **שיקולי מים מהווים חלק חיוני מן השיקולים האמורים לקבוע את הפריסה המרחבית של שטחים בנויים ושטחים פתוחים ברמת האזור, ברמת העיר וברמת השכונה; שיקולי מים ייכללו תמיד בשלב הראשון של התכנון, בכל רמותיו**. כל תכנון של ייעודי קרקע ותכסיות קרקע, החל במיקום יישובים ותשתיות וכלה בתכנון החצר, יכלול שיקולים הנוגעים למים. ארבעת השיקולים הרלבנטיים ביותר הם: שיקולי הגנה על מקורות המים (בעיקר, כמות ואיכות מי התהום), שימור ושיקום נחלים וגופי מים אחרים, מניעת נזקי שטפונות וחיסכון במים.
2. **ניהול נגר עירוני יחליף את התכנון הקונבנציונלי של ניקוז עירוני; ניהול הנגר יכוון הן לשימוש מועיל ויעיל בנגר, על פני הקרקע או**

במי התהום, והן למניעת נזקי שיטפונות; זאת, באמצעות מזעורם של נפח הנגר, של ספיקות השיא ושל זיהום הנגר, היוצא משטחה של כל תכנית פיתוח, גדולה וקטנה.

3. **הרשויות תעודדנה שימוש חסכוני במים**, ובהדרגה גם שימוש במקורות מים חליפיים.

מומלץ שעקרונות אלה ישולבו בהליכים של תכנון עירוני ואזורי, בכל מקום במדינת ישראל ובכל רמות התכנון.

1.3 מטרותיו ותועלותיו של תר״מ

תר״מ מפגיש את תחום התכנון העירוני והאזורי עם תחום הניהול של משאבי מים. מפגש זה יוצר סינרגיה, התורמת להשגת מטרות ותועלות באופן מועיל ויעיל יותר משהיה יכול להשיגן כל תחום בנפרד. בפרק זה נציג שלוש מטרות עיקריות ושתי מטרות משנה של תר״מ ונפרט את התועלות המגוונות הגלומות בכל אחת מהן.

שלוש המטרות הראשיות של תר"מ הן:

- **תרומה למשאבי המים של המדינה**
- **תרומה ליצירת סביבה איכותית – ירוקה-כחולה ובריאה**
- **הקטנת הצפות וייעול הניקוז העירוני**

בנוסף לכך, תר"מ יוצר שורה של תועלות נלוות:

- **תועלות כלכליות**
- **תועלות חברתיות**

מבין שלוש המטרות הראשיות יש בדרך-כלל אחת שהיא המניע העיקרי לפיתוח תר״מ במדינה מסוימת או באזור מסוים במדינה. בישראל, המניע הראשוני הייה הרצון להוסיף מים למקורות המים הזעומים של

המדינה; בארה״ב ובבריטניה - מניעת זיהום של הנגר ושל גופי המים ויצירתה של סביבה נקייה ואיכותית; בטוקיו שביפן – הקטנת נזקי שטפונות בעיר. אך בנוסף למניע הראשון, מדיניות תר״מ תמיד משרתת מטרות נוספות ויוצרת תועלות בתחומים נוספים.

להלן תפורטנה התועלות שיוצר תכנון רגיש למים בכל אחד מחמשת התחומים הנזכרים במסגרת שלעיל. נפרט במיוחד את התועלות בתחום העשרת משאבי המים, בשל מרכזיותם בארץ.

1.3.1 מטרה ראשית: תרומה למשאבי המים של המדינה

העניין הציבורי והמקצועי בתר״מ התעורר בישראל, עקב ההכרה בכך שמים הם משאב שבמחסור ושחשוב להשקיע מאמצים בכדי להגדיל את כמות המים העומדים לרשותנו כיום ובעתיד, ולטייב את איכותם. מימוש תר״מ ייצור שורה של תועלות, המהוות תרומה נכבדה למשאבי המים של המדינה. התרומה מתבטאת בתוספות משמעותיות למשאבי המים הניתנים לניצול, וגם בשיפור איכות המים במקורותיהם.

תוספת למשאבי המים כתוצאה מהחדרה של נגר עירוני למי התהום

הבנייה העירונית יוצרת שפע שטחים אטומים בעיר, אטומים בבטון ובאספלט. השטחים האטומים מונעים מהגשם לחלחל לקרקע ולהעשיר את מי התהום. תופעה זו חשובה במיוחד במקומות שבהם ערים ממוקמות מעל אקוויפרים פריאטיים (קרי: אקוויפרים שאינם חסומים מלמעלה בשכבה בלתי-חדירה), שמילויים תלוי במי הגשם המחלחלים אליהם ישירות מפני השטח. כרמון ושמיר (1997) אמדו את הפסדי החלחול לאקוויפר החוף ב- 160,000 מ״ק לכל קמ״ר של בניה עירונית, בדגמי בנייה שהיו מקובלים בשנות ה-90, במישור החוף הישראלי. מאומדן זה ומתחזיות הפיתוח של תכנית האב ״ישראל 2020״ נגזרו הפסדי החלחול לכל אקוויפר החוף הישראלי (1,900 קמ״ר) כלהלן:

- בשנת 1990 הגיעו הפסדי החלחול מן השטח הבנוי ל- 70 מליון מ״ק, לשנה ;
- בשנת 2020 יגיעו הפסדי החלחול מן השטח הבנוי ל- 150 מליון מ״ק, לשנה.

צריך להתייחס בזהירות לאומדנים אלה, בשל שיקולים שהועלו בגוף הדו״ח (כרמון ושמיר, 1997). יתר על כן, לא כל המים המחלחלים דרך פני השטח מגיעים למי התהום, אפילו באקוויפר החוף שיש בו שפע קרקעות חדירות וחדירות מאוד למים, ולכן הפסד ההעשרה קטן יותר מהפסד החלחול. יחד עם זאת, ברור שבמשטר הבנייה והניקוז הקונבנציונלי מדובר בהפסדים של עשרות מיליוני מ״ק מי תהום הניתנים לניצול, רק במישור החוף. לכך עלינו להוסיף הפסדים לאקוויפרים האחרים, הנגרמים כתוצאה מבנייה עירונית קונבנציונלית.

תועלת ישירה ומשמעותית של תר״מ היא מניעת חלק גדול מהפסדי המים הנ״ל, כי אחד הציווים העיקריים של תר״מ הוא להחדיר נגר עירוני לקרקע בכל מקום שמותר לעשות זאת (על מקומות מותרים, רצויים ואסורים בהחדרה ר׳ להלן, סעיף 3.3.2).

שימור ושיפור איכות המים במקורותיהם, עקב שיפור איכות הנגר

מי הנגר העירוני עלולים לשאת איתם חומרים מזהמים מסוגים שונים, כולל: מוצקים מרחפים, חומרים חנקניים וזרחניים (ניטרטים), מזהמים אורגניים (כולל בקטריות פתוגניות ווירוסים), מתכות כבדות וחומרים רעילים אחרים. משום כך, חשוב שמי הנגר יעברו סינון לפני שהם מגיעים ליעדם, לאגם או לנחל או למי התהום.

אמנם, מדידות של איכות מי הנגר משטחי מגורים בישראל הראו שרמת הזיהום שלהם נמוכה (מדידה בשכונה בראשון לציון ע״י בורמיל, כרמון ושמיר, 2003). אחד המחקרים המקיפים אף טוען, שרמת הזיהום של הנגר העירוני, ללא אזור תעשייה, נמוכה מזו של מי התהום שמתחתיו (מדידות שבוצעו באשדוד ע״י אסף, נתיב ואחרים, 2004, 2005), ומשום כך החדרתו מטייבת את מי התהום באקוויפר החוף. אולם מכיוון שגם

בשטחי מגורים מובהקים קורות תקלות של זיהום (למשל, פריצת דוד דלק לחימום, המוצב בחצר), ומפני שהמצב הרצוי הוא מניעה שלמה ככל האפשר של זיהום במקורות המים (אפילו זיהום נמוך), מומלץ סינון של כל מי הנגר, לפני הגעתם ליעדם.

טיהורו של נגר עירוני מהווה אחת מן התועלות העיקריות הנובעות מהפעלת אמצעי תר״מ. חלק מאמצעים אלה מחדירים נגר בחצרות, סמוך מאוד למקום נפילת הגשם, עוד לפני שבאו במגע עם זיהומים; עצם ההחדרה דרך קרקע מהווה תהליך של טיהור ממזהמים, ובנוסף לכך, נמנע מעבר הנגר בעיר, מעבר שהוא מקור פוטנציאלי לזיהום רב. חלק אחר מאמצעי תר״מ מעכבים ומשהים נגר, ובמקום ההשהייה נעצרים רוב המוצקים המרחפים ועמם חומרים אורגניים, מתכות כבדות וחומרים רעילים אחרים, הנספחים אל המוצקים הללו. רבים מאמצעי תר״מ כוללים צמחייה (גינות, תעלות עשב, אגנים ירוקים), הפועלת כמסננת טבעית מעולה. מחקרים בארה״ב הראו שתעלות מכוסות עשב ודשא הפחיתו ב-% 70-80 את המוצקים המרחפים במי הנגר, ב-% 40-50 את רמת החנקן, ב-50-75% את הקדמיום, הנחושת, העופרת והאבץ שנמצאו במי נגר עירוני (France, 2000). לפיכך, אמצעי תר״מ מהווים כלי עיקרי להבטחת איכותם של מי הנגר המגיעים למקורות המים – למי התהום או לאגם או לנחל.

תוספת למשאבי המים, כתוצאה משימוש ישיר במי גשם ובנגר עירוני

בורות מים שימשו בארץ ישראל כמקור עיקרי למים, מים לשתייה, להשקייה ולשימושים אחרים, במשך דורות רבים. כיום, התופעה של ״קציר גשם״ קיימת בארץ באופן שולי בלבד, ביישובים דרוזים (בתוקף מצווה דתית), בכמה כפרים ערביים ובמספר משקים של יהודים.

במדינות אחרות, כולל מדינות מפותחות טכנולוגית, ״קציר גשם״ שכיח יותר, אם כי - בעיקר - במשקים ויישובים מבודדים במרחב, כמו אלה שנפוצים באוסטרליה. ועידות בינלאומיות בנושאי מים, כמו זו של אונסקו במרסי (2001), קיבלו החלטות והוציאו הצהרות בעניין שילוב השימוש במי גשם בניהול מערכות מים עירוניות.

ככל הנראה, קיים בארץ פוטנציאל משמעותי של תוספת למים העירוניים, כתוצאה משימוש ישיר במי גשם ובנגר עירוני. ספק אם יהיה לכך צידוק כלכלי בתחום משק הבית הפרטי, אך סביר שהדבר כדאי לרשות הציבורית. כהן וענבר (2004) טוענים, כי בחינה ראשונית מלמדת על אפשרות לאיסוף מי נגר בשטחי העיר אריאל בכמויות שבין 80,000 מ״ק ועד 500,000 מ״ק לשנת גשם ממוצעת, תלוי בגודל השטח התורם.

תר״מ כולל המלצות להקמת מאגרים שכונתיים ועירוניים לאיסוף גשם ונגר עירוני, מאגרים מעל או מתחת לפני הקרקע. במאגרים אלה יימצאו מים באיכות סבירה עד טובה, היכולים לשמש לאגירה לשעת חירום, לניקיון העיר, להשקיית הגינון העירוני, ולפיתוח פארקים עירוניים, הכוללים מקווי מים.

תוספת למשאבי המים, כתוצאה מחיסכון במים בסקטור העירוני

העיר היא צרכן גדול של מים. הצריכה במגזר העירוני מהווה כיום כמחצית מכלל צריכת המים השפירים בישראל, למעלה מ- 700 מליון מ״ק מתוך כ- 1,500 מליון מ״ק. צריכת המים השפירים במגזר העירוני הולכת וגדלה במשך השנים, בעוד שבמגזר החקלאי היא קטנה והתייצבה על כמות שנקבעה על ידי הממשלה בכדי לשמר את היקף החקלאות.

חיסכון בצריכת מים, מהווה מרכיב מרכזי של תר״מ. תר״מ ממליץ על כך שניהול הביקוש למים, ובתוכו החיסכון במים, יקבל בישראל מעמד דומה לזה שניתן כיום לפיתוח וניהול היצע המים. תר״מ מתייחס לחיסכון בביתו ובחצרו של התושב הבודד, במוסדות הציבור, ובמיוחד בגינון הציבורי.

חישובים מורים שהחיסכון במים כדאי מבחינה כלכלית לפרט ולציבור. המגזר העירוני בישראל חוסך כיום כ-140 מליון מ״ק לשנה, כ- 15-20% מצריכת המים שהייתה צפויה, אילולא נהג בחיסכון (אילו לא שינה את הרגלי הצריכה, ואילו נמשכה העלייה השנתית בצריכה, כפי שהתקיימה

בשנים 1960-1990) (בארי, כרמון ושמיר, 2005). אם ימומשו המלצות תר״מ ביחס לחיסכון במים, המלצות ביחס לחינוך והסברה, ביחס להתקנת אביזרים חוסכי מים ועוד, התחזית היא שבשנת 2020 יגיע החיסכון במים בישראל ל- 260 מליון מ״ק לשנה, לפחות. (ר׳ להלן פרק 6).

תוספת למשאבי המים כתוצאה ממיחזור מים

רוב צריכת המים הביתית (תוך-ביתית) בישראל, המגיעה לכ-30% מכלל צריכת המים השפירים השנתית, הופכת לשפכים. אלה מתחלקים לשני סוגים: האחד - מים אפורים (דלוחין – grey water), המהווים כשני שלישים מן הצריכה ומגיעים ממקלחות, כיורים במטבח ובחדר הרחצה, מכונות כביסה ומכונות להדחת כלים; והשני - מים שחורים (צואין – black water), המהווים כשליש מן הצריכה ומגיעים משטיפת אסלות. מבחינה טכנולוגית, טיפול והשבת שפכים אפשריים הן לגבי המים האפורים והן השחורים; את כל השפכים אפשר לטהר עד איכות מי שתייה. החסמים העומדים בפני פעולות אלה הם כלכליים (עלות לעומת תועלת), מנהליים (תקנות המתייחסות לבריאות, שקשה יהיה לשנותן) ופסיכולוגיים.

בארץ התמסד טיהור (חלקי) של שפכים לצורכי השקייה חקלאית; שפכים מטוהרים מהווים כיום כרבע מכלל הצריכה החקלאית, ואמורים להוות כמחצית ממנה. לעומת זאת, השימוש בשפכים מטוהרים לצרכים עירוניים נמצא בחיתוליו, ומתבטא בעיקר בפרוייקטים ניסיוניים לטיהור מים אפורים. מדיניות תר״מ תומכת במיחזור מים אפורים במגזר העירוני. גם בהנחה שמים אלה לא ישמשו לשתייה, הם יכולים להחליף מים שפירים לצרכי הדחת אסלות והשקיית גינות. מדובר בחיסכון של עשרות מליוני מ״ק לשנה (פרידלר, 2004).

1.3.2 מטרה ראשית: תרומה לאיכות הסביבה ולאיכות החיים

ברבות מן המדינות המפותחות באירופה ובצפון אמריקה, התפתח תכנון רגיש למים כחלק מן המגמה לשימור וטיפוח הסביבה ולהקטנה של ההשפעות המזיקות של פיתוח ובנייה על איכות הסביבה. המטרות המובילות של תר״מ במדינות אלה הינן מטרות סביבתיות, המתייחסות מצד אחד למערך האקולוגי של חי וצומח, ומצד שני לאיכות החיים של הבריות, כולל יעדים של בריאות, בילוי פנאי ואסתטיקה, העשויים להיות מקודמים כתוצאה משילוב מושכל של שיקולי מים בתכנון עירוני ואזורי. להלן תוצגנה שלוש קבוצות של תועלות לאיכות הסביבה ולאיכות החיים, הנובעות ממימוש תר״מ.

שיפור התפקוד האקולוגי בקרבת האזורים הבנויים

התפקוד האקולוגי של אזורים נפגע קשה בעקבות פיתוח עירוני. המערכות הטבעיות האזוריות והמקומיות נפגעות, עקב ניצול גובר של משאבים טבעיים – מים, קרקע, יערות דגה ועוד, ותהליכי ההתחדשות הטבעיים של המשאבים הפגועים מואטת במידה משמעותית. המאזן ההידרולוגי משתנה, עקב שינויים מסיביים בטופוגרפיה ובתכונות הקרקע, כיסוי של קרקעות ושטחי צומח במבני בטון ומשטחי אספלט והרס של בתי גידול של הצומח והחי המקומיים.

קבלה של עקרונות תר״מ ויישום הנחיות התכנון של תר״מ מאפשרים להתגבר על חלק מבעיות אלה. חלק חשוב במיוחד בשיפור התפקוד האקולוגי יש לשיקומם של גופי מים: אגמים ומקווי מים אחרים, נחלים וערוצים טבעיים, במיוחד מחוץ לאזור הבנוי. אולם גם בתוך המרקם הבנוי וגם באמצעות תחליפים מלאכותיים, כמו בריכות וערוצים בנויים בתחומי השטחים הציבוריים הפתוחים, אפשר לתרום לשיפור התפקוד האקולוגי, לקרב את המאזן ההידרולוגי למצבו הטבעי (שלפני הפיתוח מעשה-ידי-אדם) ולשקם חלק מבתי הגידול של חי וצומח מקומיים, ובכך לתרום לטבע ולרווחת בני האדם.

שיקום נחלים ואגמים, ברמות העיר והאזור המטרופוליני

הפיתוח העירוני והתיעוש המוגבר במאות התשע עשרה והעשרים פגעו חמורות בגופי מים שבקרבתם. הפגיעה נוצרה עקב ניצול מוגבר של המים, הרבה מעבר לכושר ההתחדשות הטבעי שלהם, ובשל זיהום כבד שהוזרם לאותם גופים, ישירות או בעזרת נגר מזוהם שהגיע מאזורים עירוניים, במיוחד תעשייתיים. תר״מ מחייב לשקם את גופי המים הפגועים, הן בשל תפקידיהם האקולוגיים וההידרולוגיים, והן בעבור תפקידיהם החברתיים, התרבותיים והכלכליים החשובים.

משמעות רבה במיוחד יש לשיקום גופי מים, המשמשים כבסיס לפארקים מטרופולינים (ר׳ להלן פרק 3.2.1), כמו שמלמדת התכנית הגדולה לפיתוח פארק האיילון, המהווה דגם לשילוב מוצלח של שיקולי מים עם שיקולים חברתיים, אקולוגיים וכלכליים. דוגמא לתועלות הרבות המופקות מנחל משוקם מצוייה בנחל אלכסנדר, שתכנית שיקומו הגיעה לשלבי ביצוע מתקדמים. גם תפקודו של פארק הירקון, שהוא כעת בעיקר פארק עירוני אך עתיד להיות פארק מטרופוליני חשוב, מעיד על מכלול גדול של תועלות משיקומו של נחל, עם דגש על תועלות חברתיות – מקום בילוי להמונים, אך ניתוב גם לפונקציות האחרות של נחל משוקם. ראוי להוסיף, כי בכמה ערים בעולם שימש שיקומו של נחל מרכזי, העובר בתוכן, כמנוף להתחדשות כוללת של העיר ולשיפור תדמיתה, כמו במקרה של הצ׳ונגיצ׳ון בסיאול (פרק 4.1.1).

תוספת איכויות לנוף העירוני: ירק, בריאות ואסתטיקה

תר״מ מחייב חיפוש דרכים לניצול ישיר של הנגר בתוך המרקם העירוני, בהנחה שניצול ישיר עדיף בדרך כלל על ניצול עקיף, בצורת החדרה לשם העשרת מי תהום, שצריך יהיה לחזור ולשאוב אותם בעבור שימוש עתידי. ניצול ישיר כולל הפיכת הנגר למקור מים עיקרי להשקיית שיחים ועצים עמוקי שורש בשטחים פתוחים בעיר ובשכונה, ולעיתים גם טיפוח בתי גידול לחים אופייניים למקום, שיתבססו על הנגר כמקור מים עיקרי. יתר על כן, תר״מ תומך בשימוש במים ממוחזרים, אפורים

וגם שחורים, היכולים לשמש במשך כל השנה להשקיית שטחים ציבוריים, כמובן, בתנאי שיטופלו כראוי (ר׳ פרק 6 להלן). בדרכים אלה, אפשר להרבות שטחים ירוקים בעיר, שבתוכם עצים בוגרים ירוקים, מבלי להגדיל את צריכת המים מתוך מערכות האספקה המרכזיות.

להגדלת השטחים הירוקים בעיר יש משמעות רבה עבור איכות החיים של תושביה. מגורים בסביבה ירוקה תורמים לחוויה ויזואלית חיובית ולתחושות של מרגוע. מעבר לכך, ישנן הוכחות מדעיות בדבר תרומתה של סביבה ירוקה להקטנת זיהום האוויר, האופייני לסביבה עירונית, שמקורו בחומרים שפולטות תעשיות, בכלי הרכב הרבים הנוסעים בעיר, ולעיתים גם בשריפת עצים לצורך הסקה. מכיוון שזיהום אוויר מקושר עם בעיות בריאות חמורות, כולל סרטן ומחלות נשימה, הפחתתו באמצעות ריבוי צמחים ירוקים תורמת לאיכות החיים בעיר. אישור להכרה בהיגד זה נמצא בהמלצותיה של ועדה בין-משרדית, בהשתתפות המשרד לאיכות הסביבה, משרד התחבורה, עיריות ומוסדות אקדמיה, שעסקה בהפחתת הנזקים מזיהום אוויר הנגרמים בערים; הוועדה המליצה על פיתוח שטחים ירוקים ונטיעת 20,000 עצים חדשים (ר׳ פרק איכות הסביבה באתר של עיריית ת״א).

בנוסף להזנת נטיעות ירוקות, הנגר העירוני מהווה פוטנציאל לשילוב גופי מים גלויים בנוף העירוני. המים הם אלמנט נופי רך עם איכויות עיצוביות, כולל: שקיפות, השתקפות, שבירת אור, שינויי צבע, שינויי צורה ויצירת צלילים. אדריכלים ואמנים יכולים לעצב בעזרת המים ותכונותיהם המיוחדות מזרקות ופסלים סביבתיים. מתקנים לניהול נגר יכולים לתפקד גם כפסלי מים, בעלי איכות אסתטית ואמנותית. דוגמא מוצלחת במיוחד לכך נבנתה בראשית שנות השמונים למאה העשרים ע״י אדריכל הנוף הרברט באיר בוושינגטון שבארה״ב. מאז בנייתו ועד היום המתקן, ששטחו כעשרה דונם, ממלא בהצלחה הן את הפונקציות ההידרולוגיות שלו – אגן ההשהייה יכול להכיל עד 35,000 מ״ק - והן את ייעודיו החברתיים והאמנותיים, בשמשו כאתר נופש ופנאי לתושבי העיר ולמבקרים מחוצה לה (חדד, 2007).

1.3.3 מטרה ראשית: הקטנת נזקי הצפות בעיר

אטימת שטחים נרחבים בבטון ובאספלט הינה פועל יוצא מן העיור הנרחב, המקיף בראשית שנות האלפיים כמחצית מאוכלוסיית כדור הארץ וכ-90% מאוכלוסיית ישראל. הכיסויים האטומים של הקרקע הטבעית המחלחלת יוצרים עלייה ניכרת בכמויות הנגר הזורמות באזור העירוני ובקצב זרימתן. הכמויות הגדולות, הזורמות בקצב מהיר ומתרכזות במהירות בעזרת הנתיבים המשופעים של הכבישים העירוניים, גורמות לריבוי הצפות ונזקי הצפות במקומות הנמוכים.

מהנדסי ניקוז יצרו אמצעים הנדסיים בנויים להתמודדות עם ההצפות, אמצעים שמכוונים לסילוק מהיר ככל האפשר של הנגר העירוני מן האזור הבנוי, ריכוזם במובלים גדולים והולכתם למוצא המוביל אל הים. בשל הגידול בפיתוח העירוני, כולל בנייה במעלה הזרם שמערכות הניקוז שבמורד לא הביאו אותה בחשבון מראש, ההוצאות הציבוריות לניקוז הולכות וגדלות בקצב מהיר מאד, ובכל זאת אינן מצליחות למנוע כשלונות תכופים של מערכת הניקוז. כמעט בכל שנת גשמים, הצפות של נגר גורמות לנזקים כספיים כבדים, ולעיתים עולות גם בחיי אדם.

בסוף המאה העשרים, כחלק מהתפתחות הגישות הירוקות לבנייה, החלו מתכנני ערים, אדריכלי נוף ומהנדסי מים לפתח גישות חדשניות לניהול הנגר העירוני. על-פי גישות אלה, מוטל על המתכננים להפעיל שלושה סוגים של אמצעים: אמצעים לא בנויים, כמו חקיקה ותקנות להסדרה של ייעודי קרקע ותכסיות קרקע; אמצעים בנויים חליפיים (אלה שייקראו להלן BMPs, ר׳ פרק 4.4.4 ונספח), המכוונים לצמצם את נפחי הנגר הזורמים בעיר ולהקטין את זרימות השיא; ואמצעים המלמדים ״לחיות עם הצפות״ (living with floods), כמו הימנעות מבנייה או הטלת מגבלות על הבנייה באזורי פשט הצפה וניצולם לשימושים הנהנים מן ההצפות.

גישת תר״מ, שפותחה בישראל על בסיס הניסיון הבינלאומי וההיכרות עם התנאים בארץ, נועדה להקטין שכיחותן של הצפות עירוניות

ולצמצם את עוצמתן ונזקיהן, באמצעות מניעתן במקור. היינו: במקום לקבל את הזרימות העירוניות המוגברות כגזירה משמים, שכל מה שנותר לאדם הוא להתגונן מפניהן, גישת תר״מ מחייבת להשהות, לאגור ולהחדיר נגר סמוך למקום היווצרותו, ובכך למנוע חלק מן הזרימות, לצמצם אחרות ולהקטין את נזקיהן.

המניעה במקור של הצפות מזיקות נעשית באמצעות (א) תכנון מראש של כל המרחב האגני, כולל השהייה/החדרה במעלה למניעת הצפות במורד, ו-(ב) הפעלה מושכלת של שלושת סוגי האמצעים של תר״מ: האחד - אמצעים לא בנויים, כמו תכניות סטטוטוריות והנחיות של מהנדס העיר; השני - אמצעים בנויים, כמו מרזב מחובר לגינה, תעלת עשב להחדרה ובריכת להשהיה, טיהור והחדרה של נגר; השלישי - תכנון נאות של פשטי הצפה. על-פי עדויות ממדינות אחרות (במיוחד מיפן), מימוש של חלק מאלה די בו כדי להקטין את שכיחותן ועוצמתן של הצפות בעיר. על אחת כמה וכמה, תועלת רבה להקטנת נזקי הצפות צפויה ממימוש בו-זמני של מכלול הנחיות תר״מ.

1.3.4 מטרות נלוות: תועלות כלכליות וחברתיות

תר״מ הינו מרכיב של פיתוח בר-קיימא. פיתוח אינו יכול להיות בר-קיימא אלא אם הוא תורם בעת ובעונה אחת לשלוש קבוצות של מטרות: סביבתיות, חברתיות וכלכליות. בדרך-כלל, כשמדובר בנושא פיתוח או פרויקט פיתוח ספציפי, קבוצה אחת של מטרות מקבלת משקל מרכזי ושתי האחרות משניות, וכך גם במקרה שלפנינו. המטרות הראשיות של תר״מ מתייחסות לשימור משאבים ולאיכות הסביבה, אך כרוכות בו גם תועלות כלכליות וחברתיות נכבדות, שתפורטנה להלן.

תועלות כלכליות-כספיות

בספרות המקצועית, העוסקת במשאבי מים, מתפרסמים לאחרונה דיווחים מחקריים על התועלות הכלכליות, הטמונות בפיתוח תר״מי

(לדוגמא: Johnston et al., 2006). פוטנציאלית, לפחות חמישה סוגים של תועלות כלכליות-כספיות כרוכים במימוש תר״מ.

- **ערך המים הנוספים** – בפרק 1.3.1 נמנו תוספות משמעותיות למשק המים הישראלי, הצפויות עם מימוש העקרונות וההנחיות התכנוניות של תר״מ, כולל תוספת למי התהום, תוספות כתוצאה משימוש ישיר בנגר עירוני, ממיחזור מים ועוד. ערכם הכלכלי-כספי של מים אלה רב. את האומדן הכספי נהוג לערוך באחת משתי צורות: האחת, על פי הערך השולי של המים לחקלאות (בהנחה שהמ״ק הנוסף יינתן לשימוש היצרני שמבלעדי המים הנוספים לא היה זוכה) - כ-34 סנט למ״ק כיום; השנייה, על-פי עלותם של מי ים מותפלים - כ-55 סנט למ״ק. אם נחבר את מכסימום הפוטנציאל של תוספות המים, הצפויות עקב מימוש תר״מ בישראל, ונכפילם בערכים כספיים אלה, נגיע לחיסכון של עשרות רבות של מיליוני דולרים בשנת 2020, אפילו לפי ערך המים לחקלאות; אם נתחשב במחירם של מים מותפלים, נגיע לסכומים העולים בהרבה על 100 מליון דולר לשנה.
- **חיסכון בהוצאות הנגרמות על-ידי הצפות ונזקיהן** – בכל שנת גשמים, נוצרות הצפות בערים רבות. שכיחות מאד הצפות מצומצמות, המתרכזות בכבישים וגורמות לעיכובים בתנועת כלי הרכב ולריבוי תאונות דרכים. בהצפות כבישים שכיחות אלה כרוכה עלות כספית גבוהה, הן לפרט – המועסק והמעסיק - והן לכלל. התקנת אמצעי תר״מ בתוך המרחב העירוני אמורה להקטין את שכיחותן ועוצמתן של הצפות כאלה, וממילא לחסוך בהוצאות הניכרות הכרוכות בן.

נדירות בארץ הצפות גדולות, הגורמות נזקים כבדים לרכוש ואף לאובדן חיי אדם, אך גם כאלה מתרחשות. השטפונות בחורף 1991/2 גרמו לאבדן חיים של תריסר בני אדם, להפסד יבולים חקלאיים ולנזקים ישירים למבנים ולמערכות תשתית; שכונות עירוניות הוצפו בדרום תל-אביב ובמרכזה, ברמת גן בפתח תקווה ובבני ברק וניזוקה קשה מערכת הכבישים (גבירצמן, 2002, עמ׳ 170). אמצעי תר״מ

במעלה האגן יכולים לתרום להפחתה ניכרת של העוצמה והנזק של סופות גדולות, ולו באמצעות השהייה של חלק מזרמי הנגר, המונעת התלכדות של שיאי גאות במורד הנחל.

- **הקטנת צנרת ניקוז וחיסכון בבנייתה** – נכון למועד כתיבתו של דו״ח זה, רוב מהנדסי הניקוז במדינת ישראל גורסים שאסור להקטין את צנרת הניקוז, גם במקומות שמתוכננים על-פי הנחיות תר״מ, ומשום כך לא יהיה חיסכון בעלויות. טיעונם הוא: בזמן סופת גשם גדולה, שעבורה מחושבת מערכת הניקוז, השקעים מתמלאים במהרה והקרקע הופכת לרווייה כליל, כך ששום הכוונה ושום מתקני עצירה והחדרה אינם יכולים לשנות במידה משמעותית את זרמי הנגר העירוני. לפי מיטב שיפוטנו, המסתמך על דבריהם ופרסומיהם של חוקרים ומקצוענים במדינות שבהן מומשו גישות חדשניות לניהול נגר, מעין זו המומלצת במסמך זה, טעון זה שגוי. אפשר בעזרת תר״מ, גם בסופות גשם גדולות מאד, להקטין במידת מה את נפחי הנגר ובמידה רבה את זמני הריכוז, הקובעים את ספיקות השיא. סביר לקוות, שפרוייקטי חלוץ של תר״מ, אשר ינוטרו כראוי, יאששו את הטיעון שלנו במציאות הישראלית. אך גם לפני שכך יקרה, ייצור מימוש תר״מ תועלות כספיות לעיריות שתקפדנה עליו.

שכונות חדשות בערים ותיקות נבנות בדרך-כלל במעלה הזרם. הנחתנו היא, שבשנים הקרובות רבות מהן תכלולנה אמצעי תר״מ, ובכל זאת מהנדסי הניקוז לא יאפשרו להקטין את צנרת הניקוז בן. הצנרת החדשה מובילה את המים לעיתים קרובות לצנרת ותיקה. כשגדל שטח השכונות החדשות, המתנקזות אל הצנרת הוותיקה, נוצרות הצפות במרכז הישן והנמוך של העיר, הגורמות לדרישה להגדלה ניכרת של הצנרת באזור הוותיק, דרישה שעלות ביצועה כבדה מאד. עירייה, אשר תקפיד על ביצוע הנחיות תר״מ בשכונות חדשות, תמנע חלק מן ההצפות ונזקיהן הכלכליים והאחרים וגם תמנע או תדחה בשנים לא מעטות את המועד, בו צריך יהיה להחליף את הצנרת הוותיקה בחדשה וגדולה הימנה. מדובר כאן בחיסכון משמעותי מאד לקופת העירייה.

- **חיסכון בתשלומים תמורת מים** – משק בית החוסך מים, כמומלץ במסמך זה, מקטין את תשלומיו תמורת מים. שימוש במיכל הדחה דו-כמותי ובחסכמים המותקנים בראשי הברזים יביא לחיסכון של כשליש מכמות הצריכה הממוצעת למשק בית, ולהפחתת תשלומי מים בהתאם לכך. אם ניקח בחשבון את ההשקעה באביזרי החיסכון, משק הבית יחזיר את השקעתו בם תוך כשנה וחצי, ומכאן ואילך ירוויח (בארי, כרמון ושמיר, 2005, עמ׳ 96). גם הרשות המקומית יכולה לחסוך בתשלומי מים למקורות, אם תממש את הנחיות תר״מ לחיסכון במים בהשקיית גינות ציבוריות, בהפעלת מתקני מים במוסדות ציבור וכיו״ב. אין בידינו חישובים על החיסכון האפשרי עקב שימוש במים ממוחזרים במסגרת העיר, אך סביר להניח שגם במקרה זה צפוי חיסכון, לאחר תקופה של החזר הוצאות התקנה.
- **עליית ערך נכסי נדל״ן, בעיקר דירות הסמוכות לנוף ירוק-כחול** – מחיריהם של נכסי נדל״ן, ובמיוחד דירות מגורים, תלויים במידה רבה במאפיינים הפיסיים והחברתיים של סביבתם הקרובה. בין המאפיינים הפיסיים החשובים נמנים הימצאות הדירה בסביבה ירוקה והנוף הנשקף מן הדירה. דירה שמשקיפה על נחל, בוודאי על נחל מטופח, או על מקווה מים, אפילו מלאכותי, ערכה עולה במידה ניכרת. מחקרים רבים תעדו את הערך המיוחד של נכסי נדל״ן בקרבת שטחים פתוחים ירוקים ואת הקלות שבה אפשר למוכרם תמורת מחיר גבוה, יחסית לנכסים שאינם נהנים מיתרון זה (Braden and Johnston, 2004). מודעות פרסומת של יזמים ישראלים, המציעים לציבור לקנות דירות, מדגימות את היתרון הכלכלי-חברתי שהם מייחסים לסביבה ירוקה-כחולה.

לגבי כל אחד מחמשת סוגי התועלות הכלכליות-כספיות הנ״ל, נשאלת השאלה: מי משלם ומי נהנה? למשל, עבור התוספת למשאבי המים הצפויה מהחדרת נגר עירוני לקרקע, הנהנית העיקרית היא המדינה, שבבעלותה נמצאים כל משאבי המים, על-פי חוק במדינת ישראל. כל מ״ק שנוסף למי התהום ראוי להכפילו ב-55 סנט, שהוא מחיר ההתפלה

של מ״ק, כי האפשרות להשתמש ביותר מי תהום אמורה להקטין את הצורך בהתפלה. אולם המשלמים העיקריים עבור תהליכי ההחדרה הם האזרחים, אלה שדואגים או אמורים לדאוג להחדרת נגר במגרש ביתם, יחד עם הרשויות המקומיות, המצופות לדאוג להחדרתו בשטחים הציבוריים הפתוחים שהן בונות ומתחזקות; מדוע שירצו לעמוד בהוצאות ההחדרה (הוצאות כספיות וטרחה), אם לא הם המרוויחים הישירים ממנה? לדילמה זו נחזור ונתייחס בחלק האחרון של מסמך זה (פרק 7.4). כאן נסתפק באמירה שאם מתייחסים לתועלות הכלכליות מתר״מ לא כל אחת לעצמה אלא כמכלול, הרי שכל מי שמשלם (משלם בכסף או במאמץ אחר) גם נהנה; האזרחים, לדוגמא, מפיקים תועלות כספיות מחיסכון במים ומעליית נכסי נדל״ן באזור מרובה ירק.

תועלות חברתיות

בכל רחבי העולם המערבי, וגם במדינת ישראל, נושאי מים עומדים גבוה בסדר היום של ארגונים ירוקים ומשמשים **נשא ומנוף לפעילות של ארגוני החברה האזרחית**. נושאי מים כמו אלה שמקודמים על-ידי תר״מ – שיקום נחלים, שימור מי תהום וחיסכון במים – משמשים כמוקדי עניין ופעילות למי שמעוניינים לעודד קשרים קהילתיים, היוצרים ״הון חברתי״, שהוא משאב רצוי לפרט ולכלל.

המרכיב הבולט בפעילותה של חברה אזרחית הינם ארגונים וולונטריים של אזרחים, ללא מטרות רווח (הכינוי הרווח באנגלית: Non-Governmental Organizations – NGOs). בעבר, רוב הארגונים הוולונטריים עסקו בפעולות של חברה ורווחה, ואילו בשנים האחרונות – בעולם הגדול ובישראל בתוכו – עלה במידה ניכרת מספרם של הארגונים הירוקים, העוסקים בעיקר בקידום מטרות סביבתיות. בקרב הארגונים הירוקים למיניהם, גדול במיוחד מספרם של אלה העוסקים בנושאים הקשורים במים: החל בשימורם וטיפוחם של ימים, אגמים, נהרות ונחלים, והחופים של כל אלה, דרך התופעה הנפוצה של שיתוף הציבור בניהול אגני (basin management), בעיקר באירופה (Mostert,

Castillo, 2003 ; 2004), ועד שיתוף הציבור וארגוני אזרחים בפעולות חיסכון במים במשק הבית העירוני (בארי, כרמון ושמיר, 2005).

הכינוס הבינלאומי על מים וסביבה, שהתקיים בדבלין (אירלנד) ב-1992, פרסם סדרה של עקרונות למימוש ע״י כל המדינות. עיקרון מספר 2 קורא לפיתוח וניהול מים בגישה משתפת, תוך התייעצות מתמדת עם הציבור ועירובם של המשתמשים במים בתכנון וביצוע פרויקטים של מים. הארגון השבדי לנושאי מים (Swedish Water House) טוען באתר האינטרנט שלו, כי ארגונים ללא מטרות רווח הינם מנועי הדחיפה העיקריים, העומדים מאחרי קידום נושאי מים וסביבה, בשלושים השנים האחרונות.

גם בארץ, מגלים ארגונים ירוקים - ובמיוחד ארגון הגג שלהם, חיים וסביבה - עניין רב בנושאי מים: בשימור נחלים, שימור מי תהום וחיסכון במים במגזר העירוני. דוגמא לפעילות קהילתית שמציבה נושאי מים במרכז עבודתה הינה ״שומרה״ (מקודם: ״הוועד לאיכות החיים – הר נוף״, ירושלים), בין פעולותיו של ארגון נמרץ זה: הוצאה לאור של מדריך לחיסכון במים שחולק לתושבים, ומיחזור מי מקוואות לצורך השקיית גינון ציבורי (Shomera, URL).

לבסוף, נזכיר גם את **התועלת החברתית של מים לשעת חירום**: יצירת משאבי מים מקומיים, המומלצים במסגרת תר״מ, כמו אגירת נגר וטיהור מקומי של מים אפורים, יכולים להוות שירות חיוני בשעת חירום.

1.4 התפתחות תר״מ בישראל

פרק זה מתאר את ההתפתחויות שהובילו ומובילות לפיתוח הגישה התכנונית המוצגת במסמך זה והמכונה תכנון רגיש למים, ובקיצור: תר״מ. נדונים כאן הרקע התיאורטי, המונח בבסיסה של הגישה החדשה, והמצבור המתרחב של מחקרים מדעיים ופעולות מקצועיות

ותכנוניות, המאפשרים התקדמות מהירה למדי בעיצוב הגישה ובהבטחת יישומה בישראל. החלטת הממשלה על הנהגת פיתוח בר-קיימא בישראל, באמצעות כל משרדי הממשלה, מהווה תמריץ חשוב ליישום תר״מ. מנקודת הראות של יישום בפועל, סביר כי פיתוחה של תמ״א 34ב׳, תכנית מתאר ארצית ששמה לה כמטרה להפנים שיקולי מים בתכנון עירוני ואזורי, יקדם את הנושא באופן משמעותי.

1.4.1 הרקע התיאורטי – שני מקורות: פיתוח בר-קיימא וגישה רב-דיסציפלינרית

בשליש האחרון למאה העשרים, חדר בהדרגה המושג פיתוח בר-קיימא לשיח ולפעילות של חוקרים, פרופסיונלים, מקבלי החלטות ציבוריות והקהל הרחב. במיוחד מאז ועידת האומות בריו דה ז׳נרו (1992), גברה המודעות להשפעות השליליות של גידול האוכלוסייה, התיעוש והעיור על הסביבה בכלל ועל משאבי המים בפרט. בתגובה לכך, נוצרות בהדרגה גישות חדשניות לפיתוח בר-קיימא, מושג שנגדירו כאן באמצעות ההיגד הבא: **פיתוח בר-קיימא פועל לטובת הדור הנוכחי והדורות הבאים ומקדם, באופן סימולטני וסינרגטי, שלוש קבוצות של מטרות:**

- מטרות **כלכליות** - צמיחה כלכלית ורמת חיים גבוהה;
- מטרות **חברתיות** - איכות חיים לכול, צמצום פערים (בעיקר, דאגה לחלשים), צדק חלוקתי וצדק הליכי;
- מטרות **סביבתיות** - שמירה על משאבי טבע ונוף והפחתת מפגעים סביבתיים.

אחד הבסיסים הפורמליים לקידום תר״מ בארץ הינו החלטת ממשלת ישראל (2003) לאמץ את עקרונות פיתוח בר-קיימא ואת סדר היום 21 (Agenda 21) המפרט עקרונות אלה, ולחייב כל אחד ממשרדי הממשלה להכין תכנית פעולה למימושם של עקרונות אלה במסגרות העבודה השוטפת של כל משרד.

תר״מ הינו מרכיב חיוני בפיתוח בר-קיימא של ערים ואזורים. ראשיתו בקידום מטרה סביבתית - שימור כמותם ואיכותם של משאבי המים הטבעיים, אך התפתחותו והצגתו במסמך הנוכחי כוללים הן מטרה סביבתית נוספת – הפחתת מפגעים (הצפות), והן את קידומן של מטרות כלכליות וחברתיות, כפי שיפורט להלן.

מקור תיאורטי נוסף להתפתחות תר״מ הינו הגישה הרב-דיסציפלינרית והבין-דיסציפלינרית ללימוד ולביצוע נושאים, אשר עד לאחרונה טופלו במסגרות חד-דיסציפלינריות בלבד. בסוף המאה העשרים ובהמשכה במאה העשרים ואחת, מתגבשת ומופצת ברבים התרבות הפוסט-מודרנית, אשר אחד ממאפייניה הינו נסיגה חלקית ממגמת ההתמחות הקיצונית שפרחה במאה העשרים (לדעת יותר ויותר על פחות ופחות) וויתור על הגדר הגבוהה שנבנתה בין ההתמחויות, לטובת שיתוף פעולה בין מקצועות והתמחויות. **תר״מ במהותו מחייב שיתוף פעולה הדוק ועבודה בין-דיסציפלינרית בהשתתפות מתכנני ערים ואזורים, אדריכלים, אדריכלי נוף, מהנדסי מים ומהנדסי ניקוז**. יתר על כן, מעבר לפעולה משולבת של דיסציפלינות שונות, שכל אחת תורמת מן הידע שלה, **הולכת ונוצרת כאן פעולה טראנס-דיסציפלינרית**, שמשמעותה הינה פיתוח של מודלים חדשים לחשיבה וחקירה, שמעורבים בהם יסודות מתוך הדיסציפלינות המשתפות פעולה, אך הם מעבר לאלה שצמחו בתוך כל אחת מן הדיסציפלינות בפני עצמה.

1.4.2 תר״מ בישראל
(א): מחקר והפצת ידע

תכנון רגיש למים – תר״מ – התפתח בישראל, כתוצאה ישירה מעבודתם של חוקרים, אשר לא הסתגרו במגדל השן אלא הפיצו את מימצאיהם ומסקנותיהם בערוצים מקצועיים וציבוריים מגוונים.

זכות ראשונים על ההיגד ״הנגר אינו רק מטרד, הוא גם משאב״, שפרץ את הדרך לגישת תר״מ בישראל, שמורה לקבוצת חוקרים-פרקטיקאים מן התחנה לחקר הסחף של משרד החקלאות: רמי גרתי, שמואל ארבל,

משה גטקר ויוסף מורין (1993, 1995, 1996, 2000א׳, 2000ב׳). חוקרים אלה ביקרו את שיטות החישוב המקובלות בקרב מהנדסי ניקוז בישראל ואת הפתרונות ההנדסיים המקובלים עליהם. לטענתם, במקרים רבים המתכננים שוגים באומדן ספיקות התכן, ואין להם דרך לתקן את עצמם, בהעדר בדיקה מחקרית, אשר משווה אומדני תכנון עם ספיקות בפועל. חלק ניכר מעבודתם התמקד ביחידת הבית הבודד, ועבורו הם פיתחו מודל לחישוב כמויות הנגר. מסקנתם היא, שבאזורים נרחבים בארץ ניתן לקלוט ולהחדיר לקרקע את כל הגשם היורד על מגרשי הבנייה, בעזרת אמצעים פשוטים ולא יקרים.

אחת העבודות המקצועיות המוקדמות, אשר תמכו באמצעי תר״מי – חיבור מרזבים לגינות – בוצעה על-ידי אבנר קסלר (1996), במסגרת ניתוח חלופות פיתוח לשנת 2020 עבור מטרופולין המרכז. הוא טען, כי חיבור מרזבי הבניינים לגינות, במקום לנקז את הנגר לצנרת ניקוז או ישירות לרחוב, יקטין את הנגר העילי ב-30%, יחדיר לאקוויפר החוף 70-100 מליון מ״ק לשנה, ויגרום לחיסכון שנתי בעלויות בסך 220-350 מליון ₪, המהווים חיבור בין הערך הכספי של תוספת המים לאקוויפר והקטנת הצורך להרחיב תשתיות ניקוז.

סדרת המחקרים המקיפה ביותר בנושאי תר״מ בוצעה בטכניון, בשנים 1992-2006, על-ידי מחברי מסמך זה ושותפיהם. ראשיתה בשאלה ששאלה נעמי כרמון, בזמן השתתפותה בפרויקט רחב ההיקף ״ישראל 2020 – תכנית אב לישראל בשנות האלפיים״. על-פי תחזיות האוכלוסייה שהיא ערכה במסגרת פרויקט זה, כמיליון תושבים נוספים (יחסית ל-1990) יתגוררו בשנת 2020 במישור החוף, הנמצא מעל אקוויפר החוף. השאלה הייתה: מהי משמעות התוספת האנושית הזו והבנייה שתידרש עבורה, כולל כיסוי הקרקע בשלמת בטון ומלט, מבחינת מאגר המים הגדול ביותר של מדינת ישראל? ביחד עם אורי שמיר, עוצבה הסוגיה הפרקטית המובילה: כיצד ניתן לתכנן את הבנייה הדרושה עבור תוספת האוכלוסייה ושיפור רמת החיים של התושבים, כך שתזיק כמה שפחות למשאבי המים העיליים והתחתיים, וכך שתגרום עד כמה שאפשר יותר תועלות, הקשורות במים? במשך קרוב

ל-15 שנה אנו עוסקים בשאלות שיש להשיב עליהן, כדי להתמודד עם הסוגיות שהועלו בראשית הדרך. שישה מחקרים לתואר שני, בהנחייתנו, עם שותפינו, כוונו לעסוק בסוגיות אלה ושלושה דוחות מקיפים חוברו בעניינן (ר׳ רשימה בעמוד האחרון של מסמך זה), בנוסף למספר מאמרים בכתבי עת. סיוע כספי התקבל בעיקר מן הטכניון, ובנוסף לכך, ממשרד הבינוי והשיכון, מנציבות המים ומן המשרד לאיכות הסביבה.

כמו עבודותיהם של עמיתנו שהוזכרו לעיל, קסלר, גרתי וחובריו, גם המחקרים שלנו התמקדו **בשנים הראשונות** בנושא ניהולו של הנגר, כאילו היה זה הנושא היחיד של תכנון רגיש למים. יתר על כן, שמנו **דגש עיקרי על המטרה של החדרת הכמות הגדולה ביותר האפשרית של נגר עירוני - באיכות מתאימה - לקרקע, לשם העשרת מי התהום באקוויפר החוף, תוך התעלמות חלקית ממטרות אחרות של תר״מ** (Carmon and Shamir, 1997; Shamir and Carmon, 1999). להתעלמויות אלה שלנו ושל אחרים הייתה, ועדיין יש, השפעה רבה על המתרחש בפועל בארץ בתחום הנדון, כפי שיוסבר בהמשך הדברים.

צמצום נוסף של שדה ההתעניינות היה מיקוד ברמת המיקרו – מגרשו של הבניין הבודד. המודל שפותח בתזה של לאה קרונבטר (הנדסת מים), לשם חישוב התגובה ההידרולוגית של אגנים עירוניים, – HMM Hydrological Micro Model, הותאם במיוחד לרמת המיקרו (Kronaveter, Shamir and Kessler ,1998 ; 2001). עבודתה של שרון כץ (אדריכלות נוף) כוונה לפיתוח הנחיות להחדרת נגר למי התהום, באמצעות עיצוב חצרות בבנייני מגורים (כץ, בורמיל, כרמון ושמיר, 2001). גם חישוביה של אנה לוין (הנדסת מים), שבדקה חלופות החדרה שונות של נגר עירוני, התמקדו ברמת הבניין היחיד, אם כי זה היה בניין ציבורי ולא בית מגורים (Levin, 2001).

אומנם, כבר במרכז עבודתה של סיגלית מירון-פיסטינר (תכנון ערים ואזורים), אשר פתחה את הסדרה, עמדה בדיקה אמפירית וחישובית שהתייחסה למגורים בשכונה בראשון לציון (רמת השכונה ולא רמת

הבניין הבודד) (מירון-פיסטינר, כרמון ושמיר, 1996). יתרה מכך, דו״ח המחקר הראשון שאנחנו פרסמנו (כרמון ושמיר, 1997) השתמש בחישובים מן השכונה בראשון לציון, בצירוף לגזירות שגזרנו ממחקרים אחרים שלנו ושל אחרים, עבור חישובים של הפסדי נגר לכלל אקוויפר החוף. אולם, עדיין עיקרי ההמלצות לבנייה רגישה למים התמקדו ברמת המיקרו, בעיקר הפיכתה של כל חצר למיקרו-אגן, עם גדר מסביב (כולל פתחי מילוט לסופות גדולות), עם יחסים הולמים בין השטח הבנוי והאטום, שיפועים, משטחים חדירים ותוספת מתקני החדרה זעירים (Carmon, Shamir et al., 1997).

שתי עבודות שלנו מן השנים האחרונות מתייחסות הן במדידות ובחישובים והן בהמלצות לרמת המזו, רמת השכונה העירונית. מחקר ״נגר עירוני בשכונת מגורים״ (בורמיל, שמיר וכרמון, 2003) מתייחד בכך שכלל עבודת שדה אמפירית, מדידות של כמות ושל איכות נגר בשכונת מגורים. תוצאות המדידות הושוו לתוצאות של חישובים מקובלים של נפחי נגר ולתקנים מקובלים של איכות מי שתייה. המחקר כלל גם הצגה וניתוח של מתקנים בנויים לניהול מושכל של נגר עירוני, כחלק מבינוי שכונתי. עבודתה של חן חדד (אדריכלות נוף) מטפלת בנגר כמשאב בפיתוח הנוף השכונתי, ומשווה תועלות מימיות, סביבתיות ואחרות של פיתוח קונבנציונלי של שטחים פתוחים בשכונה (ברעננה) עם פיתוח רגיש למים של אותה שכונה (חדד, 2007).

רק אחת משש עבודות המחקר לתואר גבוה, שנערכו בסדרה הנדונה, התייחסה לקנה המידה הכלל עירוני, עבודתה של שלומית בארי-לוי (תכנון ערים ואזורים), אשר ערכה בדיקת ייתכנות לחיסכון במים ברשויות מקומיות בישראל (בארי, כרמון ושמיר, 2005).

בשנת 2001 החלה העבודה על השלב הנוכחי, **השלב הכוללני בפיתוח תר״מ** – תכנון רגיש למים. עניינו **בכוללנות כפולת פנים: הפן האחד מתייחס לכל רמות התכנון והפן השני להכללתם של תחומי תכנון מגוונים**. רמות התכנון כוללות את רמת המקרו, הארצית והכלל אגנית (אגני הנחלים העיקריים במדינה), רמת המזו של העיר והשכונה, ורמת

המיקרו של הבית הבודד. תחומי התכנון, שכולם רלבנטיים לתכנון רגיש למים, כוללים לא רק ניהול נגר וניקוז (עירוני ואזורי), אלא גם תכנון ושיקום של אגני נחלים, רצועות נחל ושטחים פתוחים אחרים (עירוניים ואזוריים), תכנון כבישים, ותכנון תוספות למשק המים העירוני, בצורת חיסכון במים, קציר גשם ומחזור מים אפורים ושחורים.

אין ספק שהתייחסות כוללנית זו היא הראויה לשטח המקצועי החדש הנקרא תכנון רגיש למים. ללא תכנון בכל הרמות, הלוקח בחשבון את המתרחש במעלה אגן הנחל בכדי למנוע הצפות במורדו, יתרחשו הצפות ואסונות, הפוגעים בגוף ורכוש, כמו שקרה בחורף 1991/2 ברבים מאזורי הארץ. ללא שילוב תחומי התכנון השונים, לא נוכל לקדם באופן מועיל ויעיל את מגוון המטרות החברתיות, הכלכליות והסביבתיות החשובות, שנמנו לעיל (פרק 1.3).

בניגוד לרעיונות טובים אחרים שפותחו באקדמיה, התפתחות מדעית-מקצועית זו של תר״מ לא נותרה כאבן שאין לה הופכין על מדף הספרים. החוקרים השקיעו מאמץ רצוף בהצגתה בפני חוגים מקצועיים רבים ומגוונים. במהלך הפיתוח, ובאינטנסיביות רבה בארבע השנים האחרונות, נערכו מפגשים רבים לגיבוש והפצת הידע החדש, כולל מפגשים של סיעור מוחות, כל אחד מסביב לשאלות הנוגעות לאחד מן התחומים התכנוניים שנזכרו לעיל, וסדנאות למוזמנים, לעיתים של בעלי מקצוע אחד, ופעמים אחרות תוך הפגשת בעלי המקצועות הרלבנטיים השונים. עקרונות תר״מ וההנחיות הספציפיות שפותחו הוצגו ונדונו בפורומים מצומצמים ורחבים של הגופים המממנים, בנוסף להצגות בכנסים רבים של מתכננים, מהנדסים ואקולוגים. למזלנו הטוב, הרגשנו בדרך כלל שדברינו נפלו על אוזניים קשובות, ככל הנראה, הודות לאיכפתיות הגוברת של ציבוריים רחבים, כלפי נושאי סביבה בכלל ונושאי מים בפרט. לא שחסרו מתנגדים, בעיקר מקרב מהנדסי הניקוז, אך רבים יותר השתכנעו והחלו לפעול, כפי שידווח להלן.

1.4.3 תר״מ בישראל
(ב): ראשית שילובו של תר״מ בתכנון מחוזי ועירוני

בשנות האלפיים הראשונות, אנו עדים להפנמה הדרגתית של חלקים מתר״מ במערכות התכנון המחוזיות והעירוניות בארץ. נביא לידיעת הקורא נקודות ציון אחדות בתהליך זה, מחולקות לשלוש קבוצות, כל אחת בנושא תר״מי אחר.

ניהול נגר וניקוז

נושא זה זוכה להתייחסות רבה ופעילות רבה בשנים האחרונות, כמפורט להלן.

- ככל הידוע לנו, ראשית הפעילות בשטח הייתה של אורית כפרי, היועצת הסביבתית למחוז המרכז (משרד הפנים). לאחר הכנה ממושכת, נוסחה ואושרה ביולי **2000** החלטה של **הוועדה המחוזית לתכנון ובנייה במחוז המרכז**, בראשות נעמי אנג׳ל, בדבר **״הנחיות לתכנון רגיש למים בתכניות בינוי״**, שמטרותיהן: העשרת מי התהום, צמצום סכנת שטפונות במורד ומיתון הספיקות המגיעות לנחלים. היו אלה הנחיות מתקדמות מאד לזמנן, שהעלו דרישות חשובות, כולל הכללת נושא הנגר וניקוזו בתהליך התכנון החל משלביו הראשונים, כבסיס לקביעת מיקום וגודל של ייעודי קרקע, וכולל שילוב שיקולי מים בתכנון התחבורה ובתכנון הנוף. בנספח הוראות הניקוז נאמר ש״תכנית בינוי תשאף לכך שספיקות השיא שייצאו משטח התכנית לא תהיינה גבוהות מאלה שיצאו ממנו לפני הבינוי״. להנחיות אלה הייתה השפעה רבה על התכנון במחוז המרכז, ובהמשך, גם על מחוז ת״א.
- סמוך לאותו זמן, **המשרד לאיכות הסביבה** פעל לראשונה בכיוון הנדון כאן. ברוך ובר מן האגף למים ונחלים העתיק קטעי המלצות מן הדו״ח הטכניוני הראשון (מבלי לציין שמקורן אצל כרמון ושמיר, 1997) ושלח אותן לרשויות מקומיות. אחדות מהן החליטו לאמץ תקנות, המחייבות **החדרת נגר במגרשי בנייה**. במינהל ההנדסה

בעיריית **נתניה**, למשל, כללו "דרישות לבנייה משמרת מים" בין המטלות של תכנית סניטציה, שבנייה חדשה חייבת בה. דרישות לתכנון משמר נגר, כחלק מכללי התכנון והבנייה, נקבעו גם על-ידי הרשויות המקומיות ב**קרית אונו, בירוחם** וברשויות אחרות.

- בעקבות החלטה של ועדת שרים לענייני כלכלה מיולי 2000, הוקם "**צוות בין-משרדי לבנייה משמרת מים**", בראשות עפרה לבנה, מנהלת האגף לתכניות מתאר ארציות במשרד הפנים. השתתפו בו נציגים ממשרדי האוצר, הבינוי והשיכון, הפנים, איכות הסביבה והחקלאות, וגם מנציבות המים וממינהל מקרקעי ישראל. הצוות פעל במשך למעלה משנה והתייעץ עם מומחים למיניהם. המלצותיו הוטמעו בחוזר מנכ"ל משרד הפנים (אפריל 2002) ובמסמך מדיניות והנחיות, שהוציא האגף למים ונחלים במשרד לאיכות הסביבה (יולי 2002). המלצות הוועדה והחוזרים שיצאו בעקבותיהן כוונו ללשכות התכנון המחוזיות ולמהנדסי הרשויות המקומיות. **הם ממוקדים בהחדרת נגר לקרקע, לשם העשרת מי התהום, סמוך ככל האפשר למקום היווצרות הנגר** (on site). הם מחייבים להשאיר 10-30% משטח כל מגרש פתוחים וחדירים ולכוון אליהם מרזבים ושיפועים, וגם להבטיח שהשטחים הציבוריים הפתוחים בעיר יוכלו לקלוט עודפי נגר משטחים במעלה התכנית. **אין בהם כל התייחסות למטרות אחרות של תר"מ**, כמו: הפחתת העומס על מערכות הניקוז, טיפול בנחלים וערוצי מים, שימוש ישיר במי נגר וחיסכון במים; גם אין בם התייחסות לאזורים שמחוץ לעיר ולצורך בתאום התכנון והבנייה בכל אגן הנחל. המלצות והנחיות אלה תרמו לקבע בתודעה הציבורית את הזהות בין בנייה משמרת מים לבין הדרישה להעשרת מי התהום, זהות שעומדת כמכשול בפני הטמעתה של גישת תר"מ הכוללנית, המוצגת במסמך זה.
- **הוועדה המחוזית לתכנון ובנייה במחוז ת"א**, בראשות נעמי אנג'ל ובסיוע מקצועי של דני עמיר, אישרה במרץ 2004 הנחיות ל**בנייה משמרת מים וניקוז**. גם הנחיות אלה הושפעו מהמלצות הוועדה הבין-משרדית הנ"ל, אך בפני מעצביהן עמדה גם הדוגמא הרחבה

יותר שנוצרה במחוז המרכז, ולפיכך הן מכוונות לשתי מטרות: הן למניעת שטפונות והן למילוי חוזר של אקוויפר החוף. הנחיות אלה משתמשות לראשונה במושג ״ניהול מיטבי של מי הנגר״ ומחייבת הכנת תכנית אב לניקוז, הכוללת עקרונות לפיתוח משמר ומעכב מי נגר, בתיאום עם רשויות שכנות. ההנחיות משאירות מקום לשיקול דעת של מתכנן המחוז, החייב להתחשב הן בשימור מים והן באינטרסים נוספים.

- **משרד הבינוי והשיכון** לקח על עצמו לממש את הנחיית הצוות הבין-משרדי ולבצע **פרויקטי חלוץ**. בבאר שבע (שכונת רמות ג׳) ובמודיעין (שכונות אחדות, בדולח ומצגר, 2004) נמצאות בשלבי תכנון מתקדמים שכונות חדשות, שבהן שולבו עקרונות ואמצעים תר״מיים לניהול נגר.
- משרד הבינוי והשיכון (קרלוס דרינברג ויודן רופא), בליווי של המשרד לאיכות הסביבה (ישעיהו בר-אור) ומשרד החקלאות ופיתוח הכפר (צבי רבהון), יזם מכרז, שזכתה בו **חברת ״אנוש״**, להוצאת **״מדריך לתכנון ובנייה משמרת נגר עילי״** (פרלמן, וידן, גרינבאום ואחרים, 2004). המדריך נועד לסייע להבנת הרקע ולהגביר את המודעות לחשיבות הנושא ולשילובו במערכת התכנון, ובעיקר, לתת בידי המתכננים כלי עזר ונתונים, הן לרמת התכנון הכוללני (עיר או שכונה) והן לרמת התכנון המפורט (מתחמים וחצרות). המדריך מהווה כלי עזר חשוב בהפצת הבשורה של ניהול נגר בגישת תר״מ. הוא כולל דוגמאות לתכנון ברמות השונות ופירוט של אמצעים, כולל משטחים חדירים, תעלות להשהיה ולויסות, תעלות עשב, ותעלות להחדרה.
- חלק מן **המשרדים הפרטיים לאדריכלות נוף**, כולל משרדו של גדעון שריג, משרד מוריה סקלי ומשרד ירון ארי, וחלק מן המשרדים **להנדסת ניקוז**, כולל משרד חג״מ ומשרד ילון-בלשה, מייצרים בשנים האחרונות תכניות, הכוללות שימור נגר עירוני בגישת תר״מ. יתר על כן, נוצרו שיתופי פעולה פוריים בין שני סוגי משרדים אלה,

העובדים יחד על תכניות. אולם אליה וקוץ בה: התכניות לשימור נגר עירוני אינן יוצרות שינוי כלשהו בתכניות הניקוז הקונבנציונליות, שאותם משרדים ממשיכים להכין עבור אותן שכונות. **מערכות הניקוז התר"מיות אינן גורמות למהנדסים להקטין קטרים של צנרת הניקוז**, אלא הן מתוכננות כתוספת לתכנית הקונבנציונלית (ר' תכנית אב לניקוז חיפה, 2004). נכון להיום (2006), אין בקרב הרוב המכריע של מהנדסי הניקוז הכרה בחישובים, המורים על הקטנת סופות השיא עקב תכנון תר"מי, כפי שטוען כבר עשור ויותר מהנדס הניקוז ד"ר אבנר קסלר (1996).

- **תמ"א 35** – תכנית מתאר ארצית משולבת לבנייה, לפיתוח ולשימור – אושרה על-ידי ממשלת ישראל בנובמבר **2005**. הוראותיה, החלות על כל שטח המדינה, כוללות הנחיות עבור **שטחים לשימור מים**, ש"אמורים להבטיח חידור של מי נגר שפירים אל מאגרי מי התהום ומניעת זיהומם".

שיקום וטיפוח נחלים

גישת תר"מ, המוצגת במסמך זה, מקיפה גם הנושא של שיקום נחלים וטיפוחם, כחלק חיוני של תכנון רגיש למים, שחייב להתבצע בתיאום עם חלקיו האחרים (ר' פרק 3).

בעשור האחרון חלה בישראל התקדמות רבה בנושא זה, המוצאת ביטוי במודעות הציבור, בהתארגנות אדמיניסטרטיבית – הקמת המנהלה לשיקום נחלי ישראל, בתכנון ובביצוע של פרויקטים משמעותיים. במקביל, התבסס מעמדם של הנחלים במסגרות התכנון הארצי. **הנחלים נתפסים כיום כנשאים מרכזיים של שני סוגי תשתיות ארציות חיוניות: תשתית הניקוז והתשתית הירוקה של שטחים פתוחים**. התכנון הבסיסי של שני סוגי תשתיות אלה אמור להפנים לתוכו את עקרונות תר"מ והנחיותיו. צעד חשוב ביותר בכיוון זה נעשה בשנה-שנתיים האחרונות, במסגרת **פרק 3 של תמ"א 34ב'** (ר' 1.4.4).

התקדמות לקראת תכנון מתואם ומשולב של נושאי המים המגוונים ושל שיקום נחלים מבוטאת במסמך שהוזמן ע"י המשרד לאיכות הסביבה, האגף למים ונחלים: **"נחלי ישראל: מדיניות ועקרונות תכנון" (קפלן, 2004)**. המסמך מציע מסגרת חשיבה ועבודה, שמשולבים בה היבטים תכנוניים-מערכתיים, הידרולוגיים, אקולוגיים וחברתיים. כדוגמא ליישום של הגישה יכולה לשמש התכנית לשיקום נחל אלכסנדר (ברנדייס, 2003 ; 2004) הכוללת – בין היתר - שיתוף פעולה עם רשויות פלסטיניות במעלה אגן הנחל, בעיקר בנושאי טיהור מימי הנחל.

חיסכון במים במגזר העירוני

במשך עשרות שנים, נודעה ישראל בעולם ככר ניסויים והצלחות בשימוש יעיל במים ובחיסכון במים במגזר החקלאי, הצלחות שהיו להן השלכות גם על השקייה במגזר העירוני. במקביל לתהילה זו, נשמעו לעיתים קרובות תלונות קשות על אי השתתפותו של הסקטור העירוני – משקי הבית והרשויות המקומיות - במאמץ הלאומי לחסוך במשאבי המים הנדירים.

בניגוד לדברי תלונה אלה, מחקר חדש מדווח שהציבור העירוני בישראל מודע ברובו למחסור במים, חוסך במים ומוכן לחסוך עוד יותר (בארי, כרמון ושמיר, 2005). צריכת המים העירונית לנפש (זו שמכונה בלשון המקובלת בנציבות המים "צריכה במגזר הביתי והציבורי" ומשלימה את הצריכה במגזרים החקלאי והתעשייתי) ירדה בשנים 1990-2001 ב-12%! ככל הנראה, החיסכון הושג הודות למודעות הגבוהה של הציבור: 84% ממדגם מייצג של האוכלוסייה – יהודים וערבים, צפוניים ודרומיים, ותיקים ועולים, מבוגרים וצעירים - הסכימו עם האמירה ש"קיימת סכנה מוחשית להתרוקנות מקורות המים של ישראל", ו-75% סבורים ש"החיסכון במים בבתים פרטיים יכול לתרום רבות למצב המים הכללי במדינה" (שם, עמ' 114). מודעות זו הושגה עקב תשדורות ממקורות מגוונים, מספרות יפה דרך פעילות עיתונאית ועד פעולות הסברה של נציבות המים, שהגיעו אל הציבור במשך עשרות

שנים. תשדורות אלה מוצאות קרקע פורייה במיוחד בשנים האחרונות, לנוכח המודעות הגוברת לטיפוח איכות הסביבה.

בנוסף להפצת ההכרה בחשיבות החיסכון במים, המתנהלת בצורה מאורגנת ובלתי מאורגנת, קיימת פעילות מכוונת היטב של המרכז הישראלי לאביזרי מים (מיא"מ) שבנציבות המים. המרכז תמרץ פיתוח אביזרים לחיסכון במים, ערך מחקרים לבחינת יעילותם (גינזבורג, 1989; שם, עמ' 34-32), וביחד עם מכון התקנים פועל ליצירה וחידוש של תקנים לאביזרי עזר לשימוש יעיל למים במשק הבית (שם, עמ' 90-91). קיימים כבר מספר תקנים ישראלים רלבנטיים, כולל "תו כחול" לאביזרים חוסכי מים, אך מעמדם וולונטרי. בשנים 3-2002 הוצאו גם שלושה תקנים רשמיים מחייבים למיכלי הדחה דו-כמותיים, ומשמעות הדבר היא, שאסור למכור בחנויות מיכלי הדחה שאינם עומדים בתקן.

פעולות אחרות, הראויות לציון, בדרך להפיכתו של החיסכון במים למרכיב קבוע במשק המים הישראלי:

- מינהל המים של הרשויות המקומיות הוציא חוזרים בעניין "המלצות לצמצום פחת המים ברשויות המקומיות (1999), ובעניין חיסכון במים – הורדת לחץ ברשתות העירוניות" (2001). המינהל ביצע פרויקט של התקנת אביזרים חוסכי מים בבנייני ציבור ב-203 רשויות מקומיות ועוקב אחר התוצאות.
- מטה ההסברה הלאומי לחיסכון במים ייסד את אתר "טיפה" ברשת האינטרנט – http://www.tipa.gov.il. האתר כולל מידע רב על אמצעים ואביזרים לחיסכון, חומר הסברתי וחינוכי על "כמה אנו צורכים", "חוסכים מים", "נזילות ודליפות" ו"משחקים". יש באתר גם הפנייה ל"ספרות מקצועית".
- רשויות מקומיות לא מעטות כוללות את נושא החיסכון במים בתכניות העבודה השנתיות שלהן, כולל: חיפה, רעננה, אבו גוש, נתניה, אשקלון, יוקנעם, מ"מ שער גליל ומ"א אפעל (ר' סקר שם, עמ' 160-146).

- בעת כתיבת הדברים, האגף לחיסכון במים בנציבות המים מטפל במכרז, אשר בפעם הראשונה אמור לשתף את הסקטור הפרטי בביצוע חיסכון במים בשלושה אזורים בארץ, כאשר התמורה למבצע העבודה תהיה מבוססת על הוכחת החיסכון שהושג.

1.4.4 שילוב תר"מ בתמ"א 34ב': תכנית מתאר ארצית משולבת למשק המים

מטרה מובילה של עבודתנו על תר"מ הינה לגרום להפנמת שיקולי מים בתכנון עירוני ואזורי. זו גם המטרה המובילה של תמ"א 34/ב, הנמצאת בשלבי פיתוח מתקדמים. העבודה על תכנית מתאר ארצית זו מהווה הכרה בכך שעד לאחרונה, החוקים והתקנות לתכנון ובנייה בישראל לא כללו התייחסות נאותה לשיקולי מים.

הכנתה של תמ"א 34ב' הופקדה בינואר 2002 בידי משרד האדריכלים פייטלסון, שילה, יעקובסון; מרכז אותה ד"ר משה הרפז. תכנית המתאר מחולקת לפרקים, המתייחסים לארבעה תחומים: "התפלת מי ים", "מערכות מים", "נחלים וניקוז" (34ב'/3) ו"איגום מים, החדרה, העשרה והגנה על מי התהום" (34ב'/4). שני הראשונים מטפלים בייעוד שטחים למפעלי מים, למתקנים, קידוחים, בארות וצנרת. שני האחרונים עוסקים במדיניות תכנון ובהנחיות בדבר שילוב שיקולי מים בכל רמות התכנון, מתכנון ארצי ואזורי ועד עירוני, שכונתי וחצרי, היינו: שניהם עוסקים בתחומים העיקריים של תר"מ.

כמי שרכשו בשנים האחרונות מומחיות בשטחי העיסוק של התמ"א, נפתחה בפנינו הדלת להשפיע על עיצובה. נכנסנו לתהליך, לאחר שהיה קיים כבר ניסוח ראשוני של הפרקים הנדונים. נציג כאן את הנקודות העיקריות שבהן הגישה שייצגנו – גישת תר"מ – השפיעה על ניסוחיה של תמ"א 34ב', פרקים 3 ו-4.

תחילה יוצגו השינויים התר"מיים שנכללו בפרק 3 – ניקוז ונחלים (שכבר אושר), ולאחר מכן, השינויים לפרק 4, אשר בסוף 2006 עדיין

נמצא בשלב ההערות של הוועדות. מראי המקום שלהלן מכוונים להוראות התמ"א הנדונה (ולא לדברי ההסבר לתמ"א), אלא אם צויין אחרת.

תמ"א 34ב' – שינויים בעקבות מעורבותנו

- **הצבעה ברורה על הקשר האמיץ בין פרקים 3 ו-4** – בשלבים מוקדמים, כל אחד מן הפרקים קודם בפני עצמו, אך מאוחר יותר התקבל ההיגיון שבהצעתנו לקשור בין הפרק העוסק בניקוז לזה שעוסק באיגום נגר והחדרתו למי התהום. ביטוי מובהק לקשר שנקשר מצוי בדברי ההסבר לפרק 3 (עמ' 3 למעלה): "ההפרדה בין הפרקים היא טכנית בלבד ובעתיד יאוחדו הפרקים לתכנית כוללת ... יש לציין כי אמנם הפרקים הללו – תמא 34ב'/3 ותמ"א 34ב'/4 – מופרדים (טכנית) אך יש לראותם כנושאים הקשורים זה בזה".

תמ"א 34ב'/3: ניקוז ונחלים - שינויים בתמ"א בעקבות מעורבותנו

הדברים שלהלן מתייחסים לנוסח התמ"א, אשר הועבר לאישור הממשלה, לאחר אישורו על-ידי המועצה הארצית לתכנון ובנייה, ביום 4.7.2006.

- **מטרות התכנית** – על פי הצעתנו, שונה הסדר, כך שהמטרות הסביבתיות והחברתיות מופיעות לפני המטרה הניקוזית (פרק 3, סעיף 5.1).
- **שם הנספח הנדרש מכל תכנית פיתוח ובנייה משמעותית** – התמ"א דורשת הכנת נספח לתכניות, שבעבר נקרא "נספח ניקוז", ולפי הצעתנו שונה שמו (ותפקידו) ל"נספח לניהול הטיפול במי נגר עילי וניקוז" (פרק 3, נספח).
- **הגדרת "ניקוז"** – לא התקבלה הצעתנו להחליף את המושג "ניקוז" במושג "ניהול נגר", אך התקבלה ההצעה החילופית להוסיף להגדרת ניקוז פעולות להשהייה והחדרה של מים עיליים, ולא להסתפק רק ב"לרכז להוביל ולהרחיק" מים אלה (פרק 3, סעיף 4.1).

- **התייחסות אגנית** – הנוסח המקורי של התמ"א הנדונה עסק ברצועת הנחל ונעדרה ממנו התייחסות לכלל אגן הנחל. לא התקבלה המלצתנו לחייב הכנתן של תכניות לכלל אגן הנחל, אך התמ"א כוללת כעת כמה אזכורים למרחב האגני. הנוסח הסופי כולל הנחייה ש"תכנית נחל וסביבתו תתייחס לאגן הנחל" ותקפיד על "ראייה אגנית" (פרק 3, סעיף 12.4); את הנספח לניהול נגר יש להכין "בהתאם לתכנית אב לניקוז או תכנית אב אגנית, במידה שהוכנו" (פרק 3, נספח, סעיף 1.3).
- **שימור ערוצי מים** – ברוח תר"מ, התומך בשימור וטיפוח ערוצי מים, נקבע כי בתכנית בנייה שבתחומה מצויים עורקים קיימים או מתוכננים, "הם ישולבו במערך השטחים הציבוריים הפתוחים, תוך הבטחת המשך תפקודם כעורקי ניקוז" (פרק 3, סעיף 8.8).
- **חישוב ספיקות וגם נפחים, הן לפני והן אחרי הפיתוח והבנייה** – התמ"א מציגה בפני מתכנני הניקוז דרישה, ברוח תר"מ, שלא הייתה מקובלת על מתכנני ניקוז קונבנציונלי: לכלול בתכנית שלהם חישוב של ספיקת התכן (פרק 3, נספח מנחה א', סעיף 2.7) וגם חישוב של נפחי הנגר (פרק 3, סעיף 4.2), כל אחד מהם פעמיים: פעם לפני השינויים המתוכננים, ופעם שנייה על-פי התוצאות שאמורות להתקבל כתוצאה מביצוע התכנית.
- **טבלת תקופות חזרה לחישוב ספיקת תכן** – לטבלה זו חשיבות רבה מאד, כי כל שינוי בה משמעו שינוי של מערכות ניקוז בעלות של מיליונים רבים. בטבלה המקורית שהוצעה עבור תמ"א 34ב/3, נקבעה תקופת חזרה של 100 שנה לכל הקטגוריה של "שכונות ושטחים אורבניים". בעקבות מחאתנו, הטבלה נבדקה מחדש. הקביעה הנוכחית (בגרסה שאושרה ע"י הממשלה) הינה תקופת חזרה של 50-5 שנה עבור רוב שטחי המגורים, שנרשמו בתמ"א כ"שטחים מבונים (רחובות, מגרשי חנייה, חצרות בתים וכיו"ב)". על מנת להבהיר, שתקנה זו (שדומותיה מקובלות במפותחות שבמדינות) מבטאת השלמה עם נזקי רכוש מוגבלים (ואף הם רק

אחת ל-50-5 שנה), ואינה פותחת פתח לקורבנות בנפש, נקבעה לידה תקופת חזרה של 100 שנה עבור "הצפה נימית של בתים" ועבור "שטחים מבונים מעורקי ניקוז ראשיים". ועוד: על-פי הצעתנו, נוספה לטבלה הערה חשובה: חישוב ספיקות התכן יתבסס על הטבלה או על "עדכונים, כפי שיעודכנו מעת לעת על-ידי נציב המים" (פרק 3, סעיף 2.6). חשיבות הערה זו בעניין עדכונים קשורה בהעדרו של נוהל מחייב לחישובי נגר וניקוז בארץ, ובתקוותנו, שיימצא בקרוב גורם שיירתם למשימה של פיתוחו, תוך התחשבות בגישת תר"מ (ר' פרק 5 וסעיף 7.7).

תמ"א 34ב'/4: איגום מים עיליים, החדרה, העשרה והגנה על מי התהום - שינויים בתמ"א בעקבות מעורבותנו

הדברים שלהלן מתייחסים לנוסח התמ"א הנדונה ביום 6.4.2006, כפי שנמסרה להערותיהן של הוועדות המחוזיות.

- **מטרות התכנית** – ניסוח המטרות שונה, בהתאם להצעתנו, כך שכעת מדובר על מסגרת תכנונית שכוללת לא רק העשרת מי תהום אלא גם "שימור וניצול מיטביים של מי הנגר העילי, תוך הקטנת נזקי הצפות" (פרק 4, סעיף 2).
- **פרק מרכזי בעניין ניצול מיטבי של הנגר ולא רק החדרתו להעשרת מי התהום** – תוכנו (וגם כותרתו) של פרק זה בתמ"א הנדונה שונו, כך שבמקום להתייחס רק להעשרת מי תהום, הפרק עוסק ב"ניצול מיטבי של מי נגר עילי והעשרת מי תהום". המונח "ניצול מיטבי" מפורט ומתייחס ל"העשרת מי תהום, השקייה, אגירה לצורכי נופש ופנאי, לצורכי תעשייה או קירור, הפנייתם לנחלים לשם שיקומם או לשימוש מותר אחר" (פרק 4, סעיף 2.1.1.1).
- **דברי ההסבר לפרק בעניין ניצול הנגר** – דברי ההסבר לפרק הנדון בתמ"א הנדונה (סעיף 8 בדברי ההסבר לתכנית) כתובים ברוח תר"מ. בדברי הרקע מוגדר כהלכה תכנון רגיש למים (שקראנו לו גם "בנייה כחולה") כ"עוסק בניהול נגר וניקוז לשם מניעת הצפות, בשימוש

ישיר בנגר לתמיכה בריבוי שטחים ירוקים, בשימור ושיקום נחלים וערוצי מים, בבנייה המעשירה את מי התהום וגם בחיסכון במים ותוספות מים ממקורות בלתי קונבנציונליים, כמו קציר גשם ושימוש במים אפורים. כל זאת, הן בתחומי השטחים העירוניים הבנויים והן מחוצה להם" (שם, עמ' 11).

- **הנחייה מחייבת בדבר הכנת תכנית לניצול נגר** – במקום "מוסד תכנון ... יבחן את הצורך", נאמר כעת באופן מחייב ש"תכנית להרחבה ניכרת תכלול נספח שמטרתו שימור וניצול מיטביים של מי הנגר בתחום התכנית" (פרק 4, סעיף 22.1). הנחייה זו חלה גם על תכניות שאינן להרחבה ניכרת (שם, סעיף 23.1). יחד עם זאת, תמכנו בהשארת שיקול דעת למוסד המתכנן, אשר במקרים מוצדקים יכול להחליט שלא נדרשת תכנית כנ"ל (שם, סעיף 22.3; ר' גם סעיף 24 בעניין גמישות להוראות).
- **התייחסות לתכניות מאושרות** – ההנחיות החדשות חלות בדרך כלל על תכניות חדשות. אולם בנושא שימור נגר וניצולו נאמר, שרשאי מוסד תכנון (רשאי, לא חייב) לקבוע הוראות להעשרת מי תהום, כתנאי להיתר בנייה, גם עבור תכניות שכבר אושרו (פרק 4, סעיף 25).
- **אחוז השטח שיושאר חדיר בכל מגרש** – בנוסח המקורי נרשם, שמתוך שטח כל מגרש (באזורים שנקבעו) יושארו 20-30% שטחים חדירי מים; התקבלה הצעתנו – הנסמכת על תוצאות מחקרינו (כרמון ושמיר, 1997), שדי לדרוש השארת 15% חדירים מכל מגרש בנייה, או פחות מכך אם בתחומי המגרש נבנים מתקני החדרה (פרק 4, סעיף 23.3.1). לשינוי זה יש – כמובן – משמעות תכנונית וכספית רבה, במיוחד במרכז הארץ.
- **אזורים להחלתן של תכניות לשימור נגר** – הנוסח העכשווי של התמ"א מחייב הכנת תכנית לשימור נגר רק באזורים שמעל לאקוויפרים. בעניין זה לא התקבלה (בינתיים) הצעתנו להחיל את הדרישה על כל אזורי הארץ, כמובן, תוך השארת שיקול דעת למוסד

תכנון שיפטור מקומות מסוימים מחובה זו. בין הנימוקים להצעתנו: (א) החדרה לקרקע דרושה לא רק לשם העשרת מי תהום אלא גם לצמצום נזקי הצפות, ואלה אינם מיוחדים לאזורים שמעל אקוויפרים; (ב) דווקא באזור הנגב מומלץ במיוחד שכל רשות מקומית תכין תכנית לניצול הנגר.

נסכם ונאמר, כי פיתוחה של תמ״א 34ב׳ - תכנית מתאר ארצית משולבת למשק המים – מהווה שלב מתקדם בהתפתחותו של תר״מ - תכנון רגיש למים - בישראל, וכי חלקים חשובים בתוכה הושפעו מן הדברים הכלולים במסמך הנוכחי של תר״מ. אולם, המלאכה רחוקה מלהיות שלימה. חזקים עלינו דברי התנא רבי טרפון: ״לא עליך המלאכה לגמור, אבל אין אתה בן חורין להיבטל ממנה״ (אבות ב׳, ט״ז). לפיכך, בפרק האחרון של מסמך זה נציג חסרים, הדורשים השלמה. ייתכן שחלק מהם יקבל ביטוי במהדורה הסופית של תמ״א 34ב׳, וחלקים אחרים – במסגרות אחרות.

בכל מקרה, תמ״א הינה רק אחד האמצעים – אחד החשובים שבאמצעים - להפנמת תר״מ במערכת התכנון הישראלית. בפרק האחרון של מסמך זה יוצג מכלול של אמצעים.

פרק 2
מניסיונן של מדינות בעולם

בעשור האחרון תופס תכנון רגיש למים (תר״מ) מקום גדל והולך במדיניותן של רשויות בארצות מפותחות רבות, ומתקבל בהדרגה בקרב מתכננים, מהנדסים וחברות מפתחות. המניע לכך יכול שיהיה שונה ממקום למקום, על פי התנאים והצרכים המקומיים, אך מכלול האמצעים לביצוע תר״מ לניהול הנגר דומה בדרך כלל, וממנו בוחרים את אלו המתאימים למטרות ולתנאים המקומיים.

תר״מ החל את דרכו, במדינות אחרות וגם בעבודותינו, כתכנון עירוני רגיש למים (תער״מ), המתייחס לניהול הנגר העל-קרקעי באזור העירוני. לכן, ניתן למצוא בארצות המפותחות את המונח ״עירוני״ כחלק מכותרתה של מדיניות תר״מ, למשל: WSUP = Water Sensitive Urban Planning או WSUD = Water Sensitive Urban Design. הפיתוח העירוני יוצר שטחים אטומים ובכך מגדיל את כמות הנגר וספיקות הנגר ומשפיע לרעה על איכותו. כתוצאה מכך, גדלים סיכוני ההצפות, בעיר עצמה ובמורד ממנה, והנגר המגיע לגופי המים הקולטים אותו במורד (נחל, אגם, ים) גורם לבעיות אקולוגיות עקב השינויים בספיקות ועקב זיהום מי הנגר. מהנדסי ניקוז הונחו, ועדיין ממשיכים ללמוד זאת ברוב המקומות, כי תפקידם הוא לסלק את הנגר העירוני במהירות וביעילות, על מנת שלא תיווצר הצטברות מים מקומית בעיר, ובעקבותיה הצפות, או אפילו רק אי-נוחות זמנית. בחלוף השנים התברר, כי גישה זו דורשת מערכת מובלים (נקזים) גדולה ויקרה בבנייה ובאחזקה, גורמת לריכוז של הספיקות ומגדילה את קשיי הניקוז ואת הנזקים במורד. מכאן החלה להתפתח הגישה החילופית, שהיבטיה העיקריים שניים: (א) הנגר אינו רק מטרד, שיש לסלקו ולהיפטר ממנו מהר ככל האפשר, אלא גם משאב שניתן לנצלו, ו-(ב) ניתן להקטין את כמויות הנגר, למתן את הספיקות ולשפר את איכות מי הנגר ביעילות

רבה יותר, מאשר על-ידי מערכת מובלי ניקוז גדולים לסילוק מהיר. זאת, על ידי אצירה, אגירה וחלחול בתחומי האגן עצמו, בלווית מערכת מובלים קטנה יותר לסילוק העודפים והבטחה מפני נזקי הצפות.

גישתנו לתר״מ הרחיבה את היריעה מעבר לתכנון האזור העירוני עצמו ומעבר לעיסוק בנגר בלבד, על ידי ראיית התכנון בהיקף ארצי ואזורי, בהתייחס לאגן הנחל כולו, הכולל הן את השטח העירוני והן את השטחים האחרים באגן, וגם את הנחל עצמו. כמו כן, הוספנו כמטרה את הקטנת כמויות המים הנלקחות ממערכות האספקה, באמצעות חיסכון במים ושימוש במים ממקורות חילופיים, כולל מי הנגר, מים אפורים וקולחים.

תכנון רגיש למים (תר״מ) הוא לכן הרחבה של תכנון עירוני רגיש למים (תער״מ), הן בהיקף הגיאוגרפי והן בתכנים. מעתה ואילך נשתמש במושג תר״מ, גם כאשר הוא מתייחס לניהול הנגר באזור העירוני עצמו, אלא שניהול הנגר בעיר הינו רק פרק אחד של תר״מ.

בפרק זה נסקור ניסיונן של מדינות אחדות, תוך התמקדות על מקרים שמהם ניתן להתרשם, ללמוד ולהסיק ביחס למדיניות המומלצת במסמך זה למדינת ישראל.

2.1 ביבליוגרפיה מוערת

במהלך המחקרים שערכנו בנושאים המרכיבים את התר״מ, ואשר הובילו בסופו של דבר למסמך מדיניות זה, במשך למעלה מעשור, נאסף חומר רב, ממקורות שונים ובמתכונות שונות: ספרים, תזות, דו״חות, מאמרים בספרות המדעית והמקצועית, אתרי אינטרנט, תוכנות מחשב. למסמך זה נספח קובץ אלקטרוני (על CD), המכיל אוסף של מקורות מלווים בדברי הסבר קצרים (״ביבליוגרפיה מוערת״ Annotated bibliography), כך שהקורא יוכל לבחור מביניהם את אלו המתאימים לצרכיו. הביבליוגרפיה מחולקת לפרקים, לפי נושאים, אך יש פריטים רלבנטיים ליותר מנושא אחד, ומופיעים לכן יותר מפעם אחת.

הביבליוגרפיה המוערת מתייחסת רק לחלק מנושאי התר״מ, בעיקר לניהול נגר עירוני – סוגיות של כמות ושל איכות, ולחיסכון במים. בנושאים אלה היא מקיפה וכוללת דוגמאות יישום מארה״ב, קנדה, בריטניה, ספרד, אוסטריה ויפן. אתרי האינטרנט הרבים הנכללים בקובץ האלקטרוני מופיעים כ״קישור״ (link), ומאפשרים לכן ״קפיצה״ ישירה אל האתר מתוך הביבליוגרפיה הממוחשבת. חלק מן הפריטים נאספו ממקורות שהגישה אליהם אינה זמינה בקלות, והם אגורים בספרייתנו.

2.2 ניהול נגר וניקוז

אחד התפקידים העיקריים של הנדסה אזרחית הינו מניעת הצפות מזיקות באזורים מיושבים. לשם כך פותח המקצוע של הנדסת ניקוז, שחישוביו ממוקדים בספיקות נגר (כמויות זרימה ליחידת זמן), הנוצרות בזמן סופות גשם גדולות במיוחד (בזמן ״סופות תכן״, ר׳ להלן פרק 5). חשיבה ירוקה חדשנית על הסוגיות של ניהול נגר גורמת בשנים האחרונות לשינוי הפרדיגמה המקובלת, להתייחסות לכלל סופות הגשם ולא רק לסופות שיא, להתייחסות גם לנפחי הנגר ולא רק לספיקות שיא. זאת, על מנת להועיל לשמירת המאזן ההידרולוגי ובכדי לנצל חלק ממי הנגר – להשקייה או להחדרה לאקוויפרים - גם בתחומי העיר.

אוסטרליה

באוסטרליה קיימים תנאים דומים למדי לאלו של ישראל, ויש ערים גדולות מעל אקוויפרים המשמשים מקור לאספקת מים. באזור המטרופוליני של פרת׳ פעלה במשך שנים אחדות קבוצת חוקרים (Water Sensitive Urban Design Research Group,1989), אשר בחנה את השפעתם של דפוסים מקובלים של שימושי קרקע ובנייה בעיר, ושל ניהול המים העירוניים, על הכמות ועל האיכות של מי התהום באזור. הבדיקה נערכה בעבור פיתוח הנחיות תכנון ״רגישות למים״, הנחיות שאמורות למנוע או – לפחות – להפחית במידה ניכרת את הנזקים

שגורם העיור המתפתח למאגר מי התהום שמתחתיו. אמנם, החוקרים לא ביצעו תצפיות ומדידות בשטח, אך הם תשאלו מומחים רבים בנושא, סיכמו את הידע המצטבר ובחנו את מסקנותיהם בעזרת מודל. המודל הישווה שתי שכונות (היפותטיות) באותו אזור, האחת עם תכנון קונבנציונלי והשנייה עם תכנון רגיש למים. מסקנות המודל הובילו לפיתוח הנחיות עבור ארבעה תחומים: גודל המגרש וצפיפות הבינוי בו; הפיזור והניהול של השטחים הציבוריים הפתוחים; האוריינטצייה והעיצוב של הדרכים בשטח הבנוי; השימוש במתקנים לקליטה, השהייה והחדרה של מי גשמים (ר׳ דיווח אצל פיסטינר-מירון, כרמון ושמיר, 1996, עמ׳ 4-82), (Hedgcock and Mouritz, 1992).

חוקרים מאוניברסיטת דרום אוסטרליה החלו בשנת 1987 לחקור את השפעת הפיתוח העירוני על העשרת מי התהום באדלייד, בירתה של דרום אוסטרליה עם אוכלוסיה (אז) של כמיליון תושבים ואקלים דומה לישראל, במטרה להתמודד עם המחסור במים. הם בדקו בשדה את יעילותם של מתקני החדרה פשוטים (תעלת החדרה, באר יבשה) ובנו מודל ממוחשב לבחינת חלופות תכנוניות (Bekele and Argue,1994). הם הסיקו כי ניתן לאגור ולהחדיר לפחות 80% ממי הגשם הנופלים על הגגות באמצעות מתקנים אלה, אותם יש למקם במרחק מספיק מן המבנה על מנת לא לסכן את יציבותו, וכי יש להרחיק את החומר המרחף ממי הנגר לפני ההחדרה, על מנת להבטיח את תפקודם של המתקנים. עודפי הנגר בסופות גדולות גולשים מן המתקנים, ויש להרחיקם באמצעות מערכת הניקוז. המערכת שהקימו פעלה בצורה טובה, כולל בשנת 1992, שהייתה שנת שיא בכמות הגשמים שירדה באדלייד.

בשנת 2004 נערך מחקר ע״י צוות מאוניברסיטת מונאש (Fletcher et al., 2004) עבור איגוד המים האוסטרלי ורשות המחקר הלאומית (CSIRO) ונכתב דו״ח מסכם על מדיניות והנחיות תר״מ לניהול נגר עירוני ברמה הלאומית והמחוזית, הכולל: תיאור תפקידי מתקני תר״מ וביצועיהם, הנחיות לשימוש במי הנגר, מובאות מן הניסיון בארצות אחרות, תיאור של כמה פרויקטים שבוצעו, ופירוט נושאי מדיניות, ניהול והיבטים

כלכליים הטעונים המשך ההסדרה על מנת להביא ליישום מושכל של המדיניות. בסיכום נאמר כי ניהול הנגר בגישת תר״מ, המשלבת מטרות הידרוליות (מניעת הצפות) ומטרות סביבתיות, ומהווה מרכיב במדיניות תר״מ כללית יותר, זוכה ליישום גדל והולך באוסטרליה, במיוחד אצל מפתחי שטחים עירוניים גדולים. מצוין כי במקומות רבים ניתן ביטוי לגישה זו בתקנות התכנון(ר׳ גם Argue ,2005).

מלבורן הוציאה הנחיות למרכיבים רבים של תר״מ (Melbourne Water, URL), ביניהם תכנון הבית וחצרו, תכנון הנוף וגינות חסכוניות במים, מיסעות חדירות לשבילים ודרכים, שימוש במיכלי מים לאגירת מי גשם, תכנון ועיצוב מערכת השבילים והכבישים הפנימיים בשכונות.

מאידך, מחקרים אחרים באוסטרליה מצביעים על עיכובים ביישום תר״מ. Lloyd et al. (2001) מצאו כי יש אמנם התלהבות ותמיכה (כדבריהם) לשינוי יסודי בגישה לניהול משאבי מים באזורים עירוניים במגמה לתכנון רגיש למים, אלא שיש גם חסמים, הנובעים מתקנות מגבילות, משיקולים כלכליים, מחוסר טכנולוגיות מתאימות ומהעדר שיווק נאות של הגישה לכל העוסקים בניהול מים באזורים עירוניים. באשר לשימוש במי הנגר, מצאה קבוצת חוקרים באוניברסיטה של ויקטוריה באוסטרליה כי יש אמנם שימוש כזה, אבל ישנם עדיין חסמים לשימוש נרחב יותר (Goonery et al., 2003).

הניסיון האוסטרלי סוכם בשנת 2005 בדו״ח שהוצא ע״י איגוד המים, איגוד התעשייה לניהול נגר, והאוניברסיטה של דרום אוסטרליה (Argue, 2005).

ארצות הברית

הארגון להגנת הסביבה (EPA) בארה״ב תומך בהפצתה של גישה תר״מית לניהול נגר עירוני, המכונה LID – Low Impact Development (USEPA, 2000b). גישה זו חותרת לקירוב המאזן ההידרולוגי באזור בנוי לזה שהיה באותו אזור לפני שפותח ונבנה, על מנת לשרת את המטרה הירוקה של ״הקטנת טביעת הרגל האנושית״ על פני כדור

הארץ. הנחיות LID משאירות למתכנן חופש בבחירת האמצעים, ובלבד שישיג את המטרה של שימור המאזן ההידרולוגי. הגישה נוסדה בשנות ה-90 במחוז פרינס ג׳ורג׳ שבקרבת וושינגטון, בירת ארה״ב. מפתחיה ביססו את חישוביה על שיטת SCS (NCRS-TR55), אשר פותחה ע״י השירות האמריקני לשמירת הקרקע (Soil Conservation Service). מן המתכנן, הממונה על בנייה בשטח כלשהו, נדרש להוכיח (בחישוב) כי מקדם הנגר (הנקרא CN) לאחר הפיתוח יהיה זהה לזה של אותו שטח לפני פיתוח; לרשותו עומד כרך הנחיות מפורטות (Coffman, 2000; Prince George's Country, 1999). גישת LID ממוקדת בנפחי הנגר, אך טמונה בה הנחה שהפחתת הנגר היוצא מכל יחידת שטח בנוייה תקטין גם את ספיקות השיא. ההיבטים ההידרולוגיים של החדרת נגר לקרקע מוצגים בספרו של Ferguson (1994).

באוניברסיטה של וושינגטון בעיר סיאטל שבמערב ארה״ב, נערכה סדרת מחקרים על תר״מ, תוך התייחסות למזג האוויר הגשום של מדינה זו (Konrad et al., 1995). החוקרים הגיעו למסקנה, כי ניתן להקטין את הספיקות היוצאות מן האזור העירוני, על ידי שימוש באמצעי אצירה ואגירה פשוטים ברמת הבניין והשכונה.

מחקרים אחרים עוסקים באמצעים להקטנת ספיקות שיא של הנגר. Nehrke and Roesner (2004) ביצעו סימולצייה של השפעת מתקני אצירה/אגירה בעלי תצורות שונות על ספיקות השיא היוצאות מהם. הם השתמשו בנתוני כל סופות הגשם שנמדדו במשך 50 שנה באטלנטה ובדנבר (השונות זו מזו במשטר הגשמים), ״הורידו״ אותן על אגן היקוות עירוני טיפוסי (לא אמיתי) וחישבו את הספיקות (א) לפני הפיתוח, (ב) לאחר פיתוח קונבנציונאלי, ו-(ג) לאחר תוספת מאגר אצירה/אגירה במוצא השטח. התוצאות הראו, כי המתקן הפחית באופן משמעותי את ספיקות השיא, יחסית לפיתוח ללא המתקן.

במחקרים אלו ואחרים נבחנה גם התועלת הסביבתית של תר״מ (Roesner et al., 2001; England 2004). חוקרים אחרים ניתחו את השפעת תר״מ על הערך של נכסים עירוניים (Braden and Johnston, 2004).

ממצאיהם מורים כי יש עלייה בשיעורים של עד 5% בערך בנייני מגורים באזורים אלה, ועד כדי 15% בבניינים שפניהם אל גופי מים הנוצרים על פי תכנון תר״מי. מכאן, שיש לתר״מ גם תועלת כלכלית.

אנגליה

באנגליה נמצא ניהול הנגר בגישה תר״מית בידי CIRIA, ארגון של תעשיות הבנייה. הארגון כינה את גישת הניקוז החדשנית שהוא מפיץ בשם SUDS - Sustainable Drainage Systems. העיקרון המוביל הינו חיקוי של מערכות ניקוז טבעיות. הטיעון הוא, שפיתוח בר-קיימא מחייב להחזיר את הנגר העירוני למחזור החיים של הטבע ולהפחית ככל האפשר את השפעת הפיתוח והבנייה על המחזור ההידרולוגי. זאת, בדומה לגישת LID, המקודמת על-ידי השירות האמריקני להגנת הסביבה (EPA).

אנשי SUDS מטיפים לשיתוף פעולה הדוק בין מתכנניו של אתר למהנדסי הניקוז לאורך כל תהליך התכנון והביצוע. דגש מיוחד מושם על השיתוף החיוני ביניהם בעיצובה של הבקשה הראשונית לתכנון (Scottish Environment Protection Agency, 2002a,b).

גישת SUDS מחייבת טיפול בנגר העירוני קרוב ככל האפשר למקום נפילת הגשם (on-site), האטת הזרימה, טיפול טבעי באיכות המים והזרמתם באיכות טובה למקורות מים עיליים ותת-קרקעיים. הדרישה העקרונית הינה שהיקף הזרימה ונפחה לא ישתנו בעקבות הפיתוח והבנייה. התכנון כולל אמצעי השהייה, אגירה והחדרה של הנגר, מתוך כוונה שאמצעים אלה ימנעו גלישת נגר אל מחוץ לשטח המתוכנן באירועי גשם בעלי תקופת חזרה של 10 שנים. התכנון כולל מבחן רגישות להערכת ההשפעה של אירועים של 1:50 שנה על אזורים בנויים וסלולים סמוכים, בכדי להבטיח שלכישלון בתפקוד אמצעי SUDS לא תהיה השפעה דרמטית על אזורים אלה. מומלץ גם מבחן רגישות לתקופות חזרה של 1:200 שנה (שם).

בשנת 1996 הוציא הארגון מדריך (Manual of Good Practice) לשימוש באמצעי SUDS (שהם האמצעים שייקראו להלן אמצעי תר״מ), הכולל הנחיות תכנוניות מפורטות לאמצעי החדרה שונים, חלקם על פני השטח, כולל: ריצוף חדיר, אגני חלחול, בריכות השהייה, תעלות עשב, וחלקם תת-קרקעיים, כולל: תעלת החדרה, קולטן מחדיר. באתר של הארגון (CIRIA, 2004) ובדו״חות שלו יש הנחיות מפורטות למתכנני ניקוז. עם זאת, נכתב שם, כי בינתיים לא הושגה מלוא התועלת האפשרית, עקב יישום חלקי בלבד (Bettes ,1996).

יפן

ביפן עוסקים בתכנון עירוני רגיש למים מזה שנים רבות. טוקיו מתמודדת עם בעיות ניקוז קשות, עקב מצבה הטופוגרפי והקרקע שחדירותה נמוכה. על מנת למנוע הצפות, ובכדי לשלוט בזרימות הנגר ולנצלן, הפכה טוקיו לשדה ניסויים של שיטות להחדרת מים. המטרה העיקרית הינה מיתון הספיקות, היוצאות מן השטח הבנוי, בכדי להגן על נחלים, גופי מים וסביבה לחה במורד. קבוצת מחקר אוניברסיטאית ביצעה את ניסויים ופיתחה מודלים חישוביים לתכנון. בשנת 1983 החלו לבנות בעיר מדרכות חדירות ובהמשך נוסו עוד אמצעים רבים להחדרת הנגר לקרקע על מנת למתן את הזרימות, ביניהם קולטנים מחדירים, תעלות החדרה, בארות יבשות ואגני השהייה (Fujita, 1992, 1993; 1993 ,Imbe et al., 1995; Herath et al.).

מוסדות התכנון מחייבים את הבונים בטוקיו להקים מתקני אגירה, שנפחם מחושב על פי גודל השטח המפותח ובהתאם לנתוני הגשמים. התקנות אינן מכתיבות את המקום והצורה של מתקני האגירה, ולכן למתכננים נותר חופש יצירתי. לכן, ניתן למצוא מאגרים פתוחים בעלי ערך סביבתי-נופי, אבל גם כאלה הממוקמים במרתף של בנין רב-קומות או מתחת למגרש טניס או מגרש משחקים.

קנדה

במערב קנדה פותחה גישה תר״מית לניהול הנגר העירוני, המבוססת על גישת Low Impact Developemnt (ר׳ הסבר בקטע על ארה״ב לעיל) ושואפת לתכנון בר-קיימא, באמצעות טיפול בייעודי קרקע ובתכסיות קרקע המשולב עם ניהול הנגר (Government of British Columbia, 2002). חמישה עיקרים ביסוד הגישה: (א) הנגר הוא משאב; (ב) יש לתכנן עבור מלוא הספקטרום של סופות הגשם (שקראנו בפרק 5 ״אוכלוסיית הסופות״); (ג) מתן עדיפות לאגנים שבהם יש סיכוני הצפות; (ד) יש לתכנן בכל ארבע הרמות: אזורית, אגנית, שכונתית, ואת האתר; (ה) יש לבחון את הפתרונות ולהקטין את העלות באמצעות ניהול אדפטיבי. (הגישה כולה מסומנת במונח ADAPT, שמורכב מן האותיות הראשונות של מילות הפתיחה של חמשת העקרונות).

בכדי להקטין את נפחי הנגר היוצאים מכל יחידת שטח, מחולק ניהול הנגר לשלושה נדבכים: (א) תפיסה, אגירה והחדרת נגר מסופות קטנות, (ב) עיכוב ומיתון הספיקות של סופות בינוניות, ו-(ג) הולכה וסילוק עודפי הנגר מסופות גדולות. היות ורוב הנפח של סופות הגשם מצוי בסופות קטנות עד בינוניות, הרי שניתן באמצעים פשוטים למדי להשיג את המטרה הראשונה, ובמידה מסוימת גם את השנייה. רשימת האמצעים המומלצים למתכנן הם: חלחול/החדרה, אצירה במאגרים ביולוגיים (bioretention), גגות ירוקים וקציר גשם. עודפי הנגר, הנגרמים על ידי סופות גדולות, מחושבים על ידי החסרת השפעתם של האמצעים הללו. הולכתם וסילוקם של העודפים (מטרה (ג) תיעשה באמצעים המקובלים: זרימה בכבישים, קולטנים, מערכת נקזים תת-קרקעיים.

חישוב השפעתם של האמצעים הנ״ל נעשית על אוכלוסיית הסופות כולה, לא רק על הסופות הגדולות (שהן ״סופות תכן״ לתכנון מערכת הנקזים, ר׳ גם פרק 5), שכן יש עניין בנפחים המצטברים של כלל הסופות, ולא רק בספיקות השיא. לצורך החישובים הועמדה לרשות המתכננים תוכנה (מצויה חינם ברשת - www.waterbalance.ca) של

״מודל מאזני״ המחשב את רכיבי המאזן ההידרולוגי (חלחול, התאדות, נגר) עבור חלופות תכנוניות שבוחן המתכנן, במטרה לזהות חלופה מועדפת. אחרי החסרת השפעת החלופה המועדפת נותרות הספיקות הנגרמות על ידי סופות גדולות ומוטל על המתכנן למצוא פתרון לטיפול בהן, ע״י הולכה וסילוק (ר׳ פרק 5.3.2.2).

מפתחי ה-water balance model מציגים את גישתם ואת המודל שפיתחו כדרך המלך לניהול נגר ולניהול אגני היקוות (Watershed and Rainwater Management). מכיוון שהסוגיות המתייחסות לפיתוח ייעודי קרקע ולניהול נגר הינן אוניברסליות, הם מאמינים שהמודל ייהפך לאוניברסלי ומעידים (באתר האינטרנט שלהם) שיש לו כבר משתמשים לא רק בצפון אמריקה אלא גם באירופה, אוסטרליה, המזרח התיכון (כולל ישראל) ואסיה (כולל סין, פקיסטן והודו).

2.3 איכות הנגר

מניע עיקרי לניהול מי הנגר באזורים עירוניים בצפון אמריקה הוא איכותם וההשפעה שיש לאיכותם על הסביבה הקולטת. לאיכות מי הנגר חשיבות באשר לשימוש הישיר, להזרמה לנחלים ואגמים, ומידה פחותה עבור החדרה לקרקע, שכן הקרקע מסננת ומהווה תווך עם אוורור המסייע לפירוק חמרים מסוימים.

כבר בשנות ה-70 וה-80 למאה העשרים החל פיתוחן של גישות תכנון רגישות למים ושיטת חדשניות לניהול הנגר העירוני בארה״ב, בשיתוף עם קנדה. זאת, עקב דאגה לאיכותם המתדרדרת של מי האגמים (בעיקר האגמים הגדולים בצפון היבשת, בין ארה״ב וקנדה), כאשר נמצא כי כמחצית מעומס הזיהום מגיע ממקורות לא-נקודתיים (non-point sources) של זרימות נגר מאזורים עירוניים וחקלאיים. בעקבות ממצאים אלה הוצאו הנחיות לעכב, לאצור ולאגור את מי הנגר באגנים העירוניים, בהם ישקע חלק מן הזיהום, ולשחררם בצורה מבוקרת, ככל

האפשר דרך מתקני טיפול. מתקני תר״מ ברחבי האגן מסייעים בשיפור איכות מי הנגר ובשחרור מבוקר לסביבה הקולטת. המתקנים הפיסיים עצמם נקראים BMPs (Best Management Practices).

מחקרים ועבודות שדה בארה״ב מצביעים על השפעתם של מתקנים כאלה על הספיקות ועל איכות מי הנגר לאחר ששהו במתקנים. ניתן למצוא מידע רב ברשת האינטרנט על מתקנים כאלו ועל תפקודם, למשל באתר של Villanova Urban Stormwater Partnership (ר׳ URL ברשימת המקורות).

מחקרים וסקרים רבים הנערכים בארה״ב עוסקים בשאלת איכות מי הנגר (Pitt et al., 1996; USEPA, 2000a; France, 2002). Adams and Papa (2000) מציינים, שיש קושי ניכר בבדיקת איכות מי הנגר העירוני ובקרתה. הקשיים נובעים מן האופי הבלתי רציף של הגשמים, השינוי בעוצמות ונפח (כמות) הגשמים, והשינוי בריכוזי החומרים המזהמים הן לאורך ציר הזמן במשך הסופה והעונה, והן בנקודות שונות במרחב העירוני. נהוג למיין את המזהמים במי הנגר לארבעה סוגים עיקריים (USEPA, 2000a; Marsalek et al., 1997):

1. מוצקים מרחפים - זהו המקור העיקרי לזיהום מי הנגר. הוא מורכב מחלקיקים שנסחפו במהלך הזרימה, המגדילים את עכירות המים, ומהווים תשתית לזיהומים כימיים ובקטריולוגיים.
2. חומרים ובקטריות דורשי חמצן ויצורים פתוגניים - החומרים האורגניים דורשי חמצן מורידים את כמות החמצן הזמינה במי הנגר ופוגעת באיכותם. מי הנגר בעת זרימתם יכולים לבוא במגע עם הפרשות שונות בעיקר של בעלי חיים (ושל אדם במקרה שבו יש זליגה ממערכות הביוב), ולקלוט בקטריות פתוגניות ווירוסים אשר יכולים לפגוע בבריאות הציבור, לבוא במגע חיצוני עם גוף האדם או לחדור עם מי הנגר למאגרי מי השתייה.
3. חומרי מזון (Nutrients) - חומרים חנקניים וזרחניים מעודדים התפתחות אצות במים. מקורותיהם בסביבה העירונית יכולים

להיות בעיקר חומרי דישון ופסולת אורגנית משטחי גנים פרטיים וציבוריים, ומשטחים חקלאיים בשולי העיר.

4. מתכות כבדות וחומרים רעילים אחרים - מחקרים בארה״ב ובקנדה מציינים שמתכות כבדות הן הזיהום הרעיל הנפוץ ביותר במי נגר. המתכות הנפוצות ביותר הן עופרת, אבץ ונחושת. חומרים רעילים אחרים הם אסטרים שונים, פנולים, שמנים, דלק, ואחרים.

סקירה מקיפה של הספרות המדעית הבינלאומית בנושא איכות מי הנגר העירוני (כרמון ושמיר, 1997, נספח לפרק 1.2, מאת ר. ארמון) כללה ניתוח של מקורות לזיהום מי התהום, ובעקבותיו דיווחים על ממצאים בנוגע לאיכות מי הנגר משתי בחינות עיקריות: הימצאותם של מיקרואורגניזמים פתוגניים, אשר השפעתם על הבריאות נמצאת במחלוקת, והימצאותם של מזהמים כימיים, אשר הצטברותם בגוף במשך הזמן עשויה להיות בעלת השפעות בריאותיות שליליות.

מזהמים מיקרוביאלים כוללים פרוטוזואה, מיקרואורגניזמים גדולים יחסית, שיכולתם להפוך לציסטות מעלה את עמידותם, אם כי גודלם מקל על סילוקם בתהליכי סינון. זיהום בקטריאלי מקורו בעיקר בהפרשות ובפסולת אדם ובעלי חיים. נמצאו גם בקטריות, אשר להן יכולת תנועה גדולה יותר דרך הקרקע, התרבות המהירה. ותקופת ההישרדות ארוכה. נמצאו גם וירוסים במי הנגר, אלא שהם מתרבים רק בתוך אורגניזמים חיים, ומספרם אינו גדל לאחר שיצאו מהגוף החי.

המזהמים הכימיים הם המשמעותיים בהשפעתם על איכות הנגר העירוני. בשל גודלם המולקולרי ומסיסותם, ומכיוון שהם נובעים ממקורות רבים במרחב העירוני, שכיחה הופעתם במדידות איכות של נגר עירוני. באותה סקירה של ארמון, מובאים ממצאים ממקומות שונים בעולם, המפרטים את סוגי המזהמים שנמצאו.

המסקנות העיקריות של סקר הידע בעולם (נספח לפרק 1.2 בכרמון ושמיר, 1997) הן:

- מזהמים ביולוגיים וכימיים שכיחים במי נגר עירוני. הסוג והריכוז של המזהמים תלויים במקור הנגר. המקורות העיקריים הם גגות בניינים, חצרות הבניינים, כבישים עירוניים ואזורי תעשייה. מבין אלה, מי הגגות הינם הפחות מזוהמים.
- רוב המזהמים שנמצאו בנגר עירוני מצויים בצורות המסולקות בסינון, ומשום כך החדרה דרך הקרקע בדרך אל מי התהום תסלק את רובם. אולם, ישנם חומרים אחדים שהם מסיסים מאוד, כמו צינק וברזל, וגם כמה מזהמים אורגנים אשר אינם מסולקים על-ידי סינון.
- מידת החדירה של זיהומים ממי הנגר למי התהום תלויה במידה רבה ביכולת הסינון של הקרקע, וזו תלויה במבנה הפיסיקלי של הקרקע ובתכונותיה: בראש ובראשונה עובי שכבת הקרקע שהמים עוברים בדרך למי התהום, וגם טמפרטורה, תכולת חומרים אורגנים ואי-אורגנים, חומציות ועוד.
- הגדלת השטחים הירוקים בנוף העירוני יכולה למלא תפקיד משמעותי בסילוק מזהמים באמצעות תהליכים ביולוגיים.
- יש להימנע מהחדרה ישירה של מי נגר למי תהום דרך בורות ובארות.

2.4 חיסכון במים

ערים ומדינות ברחבי העולם, בוודאי באזורים צחיחים וצחיחים למחצה, אך גם באזורים עתירי מים, מפעילות תכניות רבות לחיסכון במים. חוקרים רבים מעורבים בפיתוחן ובהערכתן (ר׳ פרק 6).

ארצות הברית

השירות לשמירה על איכות הסביבה של ארה״ב הקים אתר ברשת (USEPA – Water Sense), המכיל מידע על צריכות מים בערי ארה״ב

והנחיות לחיסכון במים. ארגון חברות המים הקים אתר בשם WaterWiser המספק מידע נרחב על שיטות לשימוש יעיל ולחיסכון במים (AWWA - waterwiser).

מחקר שנערך על-ידי ה-AWWARF (American Water Works Association Research Foundation) בצפון אמריקה, בדק את התפלגות צריכת המים במגורים ואת פוטנציאל חיסכון המים המרבי בבתים חד-משפחתיים (Mayer et al., 1999) ב-1,188 משקי בית בשניים-עשר ישובים שונים בארצות הברית ובקנדה. הסקר השווה בין מצב נוכחי לבין התקנת כל האמצעים והאביזרים היעילים שניתן להתקין בבית לחיסכון במים, והצביעו על אפשרות חיסכון של כ-32%.

מחקר המשך, שנערך בסיאטל, וושינגטון בשנת 2000, בדק אפשרות לחיסכון ממשי במים בתוך הבית (DeOreo et al., 2001). בדיקה זו, בניגוד למחקר המוקדם שעסק בהערכת החיסכון, נערכה באמצעות התקנת מתקנים ואביזרים חוסכי מים בבתים, והשוואת צריכת המים עבור כל שימוש לפני ואחרי ההתקנה. תוצאות המחקר הצביעו על תוצאות דומות לאלו ששיערו החוקרים במחקר ה- Residential End Uses of Water - ירידה של 37.2% בצריכת מים בתוך הבית. החיסכון המשמעותי ביותר מקורו בשימוש במכלי הדחה חסכוניים בשירותים, ולאחריו נמצאים החיסכון במים במכונות כביסה יעילות ובמניעת דליפות.

מחקר מקיף שנערך על ידי ה-Pacific Institute בקליפורניה הסיק כי ניתן לחסוך כשליש מצריכת המים העירונית באמצעות אביזרים, מדיניות מחירים, חינוך והסברה (Gleick et al., 2003). החוקרים העריכו כי ניתן להשיג כ-85% מחיסכון זה בעלות כלכלית נמוכה מזו של פיתוח מקורות חדשים, אפילו אם אין לוקחים בחשבון את העלויות הסביבתיות והחברתיות של פרויקטי פיתוח. מחקר נוסף של מכון זה (Gleick et al., 2005), ממליץ על אימוץ מדיניות חיסכון, אשר תוביל לייצוב ואף להקטנה מסוימת של צריכת המים הכוללת במגזר העירוני במדינת קליפורניה, בתקופה שעד שנת 2030, וזאת למרות גידול

האוכלוסייה מ-38 ל-46 מיליון תושבים. המחברים ממליצים על מדיניות חיסכון שתוריד את הצריכה העירונית לנפש בשנת 2030 מ-308 מ״ק לשנה (הצריכה צפויה ללא אימוץ מדיניות החיסכון) ל-205 מ״ק לשנה, ירידה של כ-33%. המחברים מדגישים כי זו אינה תחזית (במובן של חיוץ המגמה הקיימת), אלא תוצאה אפשרית ומומלצת של מדיניות מכוונת. הדו״חות של מכון זה מפורטים, ומצביעים על האמצעים למימוש המדיניות המומלצת.

בריטניה

בשנים האחרונות מתנהל בבריטניה שיח מקצועי וציבורי מקיף בנושאי מים, מחסור במים וחיסכון במים. דגש רב מושם על צריכת מים בסקטור העירוני, בעיקר באזור המאוכלס שבדרום-מזרח האי. לנוכח התכניות הממשליות להגדיל את אספקת הדיור באנגליה ב – 200,000 יחידות גיור לשנה עד 2016, הוחלט שאין די במסעות שכנוע לחיסכון במים ושצריך לאכוף אותו.

בדצמבר 2006 פורסמה הודעה ממשלתית על ״התייעצות״ בעניין אכיפת שימוש יעיל במים בבניינים חדשים. מסמך ההתייעצות מופנה אל אנשי תעשיית הבניה, אדריכלים, מתכננים, אנשי אקדמיה ומומחים לאנרגיה ולסביבה. ההתייעצות אמורה להסתיים ב – 09.03.07, שאז ככל הנראה – תתקבל החלטה ביחס לתקנות המוצעות. התקנות מתייחסות בעיקר להתקנתם של חסמים בברזים ואסלות חסכוניות במים, כשהיעד המוצהר הוא להקטין את הצריכה הממוצעת לאדם מ – 150-160 ליטר ביום ל – 120-135 ליטר. התקנות המוצעות אמורות להיות ״נוקשות דין, כדי להצליח בהקטנת הביקוש למים של צרכנים עירוניים, וגמישות דיין, כדי לאפשר מילוי צרכים והעדפות אישיות״ (http://www.communities.gov.uk/index.asp?id=1505175).

ספרד

בספרד קיימת מצוקת מים ותחרות בין המגזר החקלאי, העירוני והסביבתי באגן נהר האברו, הזורם בחלקה הצפון-מזרחי של המדינה, ויוצר דלתא בעלת חשיבות סביבתית וחקלאית עצומה. מדינת אראגון, שדרך שטחה זורם האברו לכיוון הים התיכון, נאבקת מזה שנים רבות נגד תכניות להטיית חלק ניכר ממי האברו לשימושים חקלאיים ותיירותיים לאורך חופי הים התיכון, ובמקביל עושה פעולות לשימוש יעיל וחסכוני במים באגן הנהר. בירתה של אראגון, סרגוסה, היושבת על גדות האברו, הכריזה על עצמה כ״עיר משמרת מים״ ואימצה מדיניות של חיסכון במים הכוללת הכנסת טכנולוגיות, קביעת מחירים שיביאו לשימוש יעיל, ובמיוחד מאמץ הסברתי נמרץ ומתמשך החל מבתי הספר ועד לפרסום מדריכים מפורטים להנחיית האוכלוסייה (Fundacion Ecologia y Desarrolo, URL).

הגישה לחיסכון מבוססת על מספר עקרונות/שלבים: (א) הפעלה במגזרים (העירוניים) ובאתרים אשר בהם תהיה התוצאה משמעותית ביותר (גנים, בנייני ציבור, בנייני משרדים גדולים), על מנת שיהוו פרויקטי חלוץ; (ב) העברת ידע לבעלי מקצוע, למוסדות וארגונים, על מנת להניע אותם להפעיל אמצעי חיסכון, לשמש דוגמה להפעלת אמצעים טכנולוגיים לחיסכון במים, וליצור בסיס מידע על היעילות של כ-50 אמצעים למימוש החיסכון; (ג) סיוע לתעשיות וחברות המייצרות אמצעי חיסכון בהחדרתם לשימוש; (ד) להגביר את מודעות הציבור לחשיבות של חיסכון ושימוש יעיל במים ולשלבו במאמץ ליישומו. האתר של רשות המים בסרגוסה מכיל מידע עשיר (בספרדית) על כל ההיבטים של הנושא.

אוסטרליה

דוגמה מאלפת לחיסכון במים במגזר העירוני ניתן למצוא בפרת׳ שבמערב אוסטרליה, עיר בת כמיליון וחצי תושבים, בה שוררים מזג אויר ותנאים הידרולוגיים דומים למישור החוף בארץ (Dies et al., 2003). במשך שנים רבות ניתנו מים בעיר ללא הגבלה ובמחיר קבוע

ליחידת דיור. הצריכה לנפש עלתה בין 1940 ו-1975 מ-100 עד 230 מ״ק לנפש לשנה (עלייה ממוצעת של כ-3.7 מ״ק לנפש לשנה), ולו הייתה ממשיכה באותה מגמת עלייה הייתה מגיעה ל-340 מ״ק לנפש לשנה. אולם ב-1975 החלו בתכנית רחבה של חינוך והסברה, ובמקביל תוקנו תקנות למניעת שימוש בזבזני והופעלו מחירי מים לפי הכמות הנצרכת. הצריכה העירונית לנפש צנחה תוך שנתיים למחצית מן הערך של השנה הקודמת (ל-120 מ״ק לנפש לשנה), חזרה ועלתה לאחר מכן בהדרגה במשך מספר שנים, ומאז שנת 1985 התייצבה במשך כ-20 שנה על 175 מ״ק לנפש לשנה (עם תנודות מסוימות כלפי מטה ומעלה), (ר׳ פרטים נוספים ותרשים בפרק 6.1). האקלים בפרת׳ דומה לשלנו, ואם כי סגנון המגורים והשימוש במים שונים משלנו, ניתן ללמוד רבות מניסיון זה. לרבות מערי אוסטרליה יש אתרים ברשת המנחים את התושבים לשימוש יעיל וחסכוני במים (ר׳ URL של Adelaide Water ושל Sydney Water).

חלק שני: מצע למדיניות מקצועית

חלק מרכזי זה של המסמך כולל ארבעה פרקים, שכל אחד מהם מתייחס לתחום מקצועי ספציפי:

פרק 3 - תכנון ארצי ומחוזי (אזורי) - עוסק בתכנון של אגני נחלים ורצועות נחלים ולקשר בין תכנון אזורי לבין הגנה על מקורות המים.

פרק 4 - תכנון עירוני - מציג את שילובם של שיקולי מים בתכניות עירוניות למיניהן, מדגיש שיקום נחלים וערוצי מים כמרכיב מרכזי בתכנון העיר, מספק קווים עיקריים לשילוב הנדרש בין תכנון הדרכים העירוניות לתכנון מערכת הניקוז, וגם לשימור נגר עירוני באמצעות תכנון ייעודי קרקע, תכסיות קרקע ותוספת מתקנים לשימור נגר במרחב העירוני.

פרק 5 - ניהול נגר וניקוז - מכוון בעיקר לעוסקים בהנדסת ניקוז ומפרט את המשמעות המקצועית של גישת ניהול הנגר, המוצעת במסמך זה כתחליף לגישה הקונבנציונלית לניקוז.

פרק 6 - מחבר לתר"מ מקבץ של דרכים שנועדו להגדיל ו/או לנצל ביתר יעילות את משאבי המים במגזר העירוני: חיסכון במים ותוספת מים ממקורות חילופיים, כמו קציר גשם, שימוש במים אפורים ובקולחים.

פרק 3
תכנון ארצי ואזורי רגיש למים

פרק זה מתמקד בתכנון ייעודי קרקע, שהוא ענף בפרופסיה של תכנון עירוני ואזורי. נגדיר תכנון ייעודי קרקע כתהליך שיטתי של קבלת החלטות ביחס לשימוש בקרקעות ופיתוחן, בהתאמה לצורכי המשתמשים בהווה ובעתיד הנראה לעין, ובהתאמה לשיקולים סביבתיים, לטובת הדור הנוכחי והדורות הבאים. הפרק קושר בין תכנון ייעודי קרקע לבין שיקולי מים.

התכנון הארצי, האזורי והעירוני של שימושי קרקע חייב להיות רגיש למים, בכדי לשרת את שתי מטרותיו הראשיות: התאמה לצורכי המשתמשים והתאמה לשיקולים סביבתיים. גם שיקולים כלכליים, לפחות של הטווח הארוך, מחייבים תכנון רגיש למים.

תכנון רגיש למים כולל, מצד אחד, שימור משאבי מים (כמו מי תהום) וגופי מים (כמו נחל, אגם, אחו לח), החיוניים לאנשים ולמגוון המינים האחרים, ומצד שני, מניעת סיכונים הנובעים ממים, הגורמים להצפות, הפוגעות הן באנשים ורכושם והן ביחידות טבעיות. מעבר לכך, תכנון רגיש למים יכול – ולדעתנו, צריך - להשתמש בגופי מים ובעורקי מים, בכדי לשפר את רווחתם של האדם, החי והצומח, ובכדי להעשיר את שירותי הפנאי, למקומיים ולתיירים. פרק זה מדגיש את תפקידו של תכנון רגיש למים כנשא (carrier) של איכות חיים וסביבה, במרחב הפתוח שמחוץ לערים. הפרק אינו עוסק בשימור קרקע חקלאית.

מימושו של כלל זה יתרום תרומה רבת ערך לאיכות החיים ולאיכות הסביבה, העומדות בראש מעייניהם של מתכננים ברמה הארצית, האזורית והעירונית.

בכדי שתכנון יוכל להיות רגיש למים, עליו לקיים כלל ברזל: <u>התכנון חייב לכלול שיקולי מים בשלב הראשון של הכנת כל תכנית אזורית ועירונית</u>. שיקולי מים עקרוניים, כמו חשיבותו של שטח שהוא חלק מנחל/עורק מים בעל תפקידים פוטנציאליים, כמו מניעה מראש של סיכוני הצפה וכמו הגנה על כמות ועל איכות המים במקורותיהם (במי התהום, באגמים), חייבים לתפוס את מקומם הראוי במכלול השיקולים, הקובעים הן את המיקום של יישובים ומפעלים למיניהם והן את הפריסה של שימושי קרקע עיקריים, בעיקר שטחים פתוחים וכבישים.

3.1 תכניות אב לאגני נחלים
תוספת חיונית לתכנון ארצי ואזורי

תכנון מרחבי ברמת המקרו, שהוא תכנון ארצי ומחוזי, עוסק בקביעת מיקומם של יישובים ושל ייעודי קרקע "גדולים", התופסים שטח ניכר, כמו פארקים מטרופוליניים, תחנות כוח, מאגרי מים גדולים, מזבלות ועוד. אומנם, הגורמים העיקריים הקובעים מיקום של יישובים וגופים אחרים ברמת המקרו הינם גורמים גיאו-פוליטיים, כלכליים וחברתיים,

אולם תר״מ קובע, כי החל משלביו הראשונים חייב תכנון ברמת המקרו להתחשב גם בשיקולים הקשורים במים[1], בעיקר ב:

(א) מניעת סיכוני מים - שמירה על השטח הבנוי מפני הצפות, המסכנות חיים ורכוש.

(ב) שימור נחלים - שימור באופן שיאפשר להם למלא את תפקידיהם בעיצוב יחסי בנוי-פתוח במרחב הארצי והאזורי, יחד עם תפקידיהם החשובים האקולוגיים, החברתיים והניקוזיים.

(ג) שימור מקורות המים - שימור כמות ואיכות המים במקורותיהם, במיוחד במי התהום.

(ד) חלוקה הוגנת של עלויות הניקוז בין רשויות במעלה ובמורד הנחל.

דרך המלך לקישור החיוני בין שיקולי מים לבין תכנון ארצי ואזורי הינה הכנת תכנית אב אגנית, תכנית שתקיף את כלל אגן ההיקוות של הנחל, שהוא כל השטח המתנקז באמצעות הנחל ויובליו[2]. בארץ, שטח זה משתרע על פני כ-100 קמ״ר במקרה של נחלים קטנים (נחל כזיב - 131 קמ״ר, נחל דליה - 91 קמ״ר), ועל פני אלף עד אלפים אחדים של קמ״ר במקרה של נחלים גדולים (הקישון - 1,100 קמ״ר, הירקון - 1,800 קמ״ר, הבשור - 3,400 קמ״ר). תכנית אגנית, המחייבת תיאום תכנוני ברחבי האגן, היא שתוכל להבטיח את הממשק ההולם בין תכנון ייעודי הקרקע לבין ניקוז ובינם לבין תכנון אקולוגי. הנימוק לכך הוא שהאגן מהווה יחידה אחת מבחינת זרימתם של הנגר והסחף והשפעותיהם; שימושי הקרקע במעלה האגן משפיעים על כמות הנגר והחומרים

---

[1] אחד השיקולים החשובים הקשורים במים הינו שימור קרקע, היינו: מניעת סחיפה וזיהום של קרקע באמצעות מים, בעיקר, קרקע חקלאית על גדות נחלים. בדיון ובהמלצות שלהלן כמעט שלא נעסוק בנושא שימור הקרקע, ולא מפני שאינו רלבנטי לתר״מ. אדרבא, הוא בהחלט קשור בניהול נגר, ניקוזו והחדרתו לקרקע, שהם מרכיבים מרכזיים של תר״מ (ר׳ הפרויקט של קק״ל בנחל יתיר). אולם עיקר שימור הקרקע הינו במרחב הלא עירוני ומומחיותם של כותבי המסמך אינה מקיפה אותו, ולפיכך, העיסוק בו כחלק מתר״מ הושאר להתפתחות עתידית של הנושא.

[2] מדובר כאן רק באגני היקוות שעל פני הקרקע ולא באגני היקוות תת-קרקעיים, שהמבנה שלהם שונה.

המוסעים במימיו כלפי מורד האגן, וממילא גם על שכיחות השיטפונות במורד ועל קיום ביוטי, התלוי בכמות הנגר ואיכותו. משום כך, כל התייחסות למערכת הנחל חייבת לכלול לא רק את נתיב הזרימה אלא את כל שטח אגן ההיקוות.

כחלק מתכנון ארצי או מחוזי, יש ליצור תכניות לאגני נחל, אשר תתייחסנה לשיקולי ניקוז ושימור משאבי מים וקרקע, בשילוב עם שיקולים חברתיים, כלכליים ואקולוגיים. תכנית אגנית תותאם לנתונים המיוחדים - הטבעיים והאנושיים - באגן נחל נתון, בכדי לקבוע שימושי קרקע עיקריים במרחב האגן: פריסה של שטחי בנייה עיקריים, שטחים פתוחים גדולים ותשתיות עיקריות. זאת, תוך שילוב ואיזון בין הדרישה להגנה מפני שיטפונות, לבין מטרות חברתיות ואקולוגיות ספציפיות לאזור הנתון, תוך התחשבות בעלות הפיתוח.

3.1.1 הכנת תכנית אב אגנית

הכנת תכניות אב אגניות אינה כלולה כיום בין הדרישות הסטטוטוריות של תמ״אות ותמ״מות למיניהן, ומסמך זה ממליץ לתקן שגיאה זו. תכנית אב אגנית אמורה להוות תשומה חיונית לכל תכניות האב והמתאר המחוזית והמקומית (סטטוטוריות או אחרות), וכמובן גם לנספחי ניהול הנגר והניקוז החיוניים במסגרתן. ייתכן שהכנתה תייתר הכנתם של חלק מנספחי הניקוז, הנדרשים כיום.

גבולות אגן היקוות של נחל נקבעים עפ״י הידרו-גיאוגרפיה טבעית; נכללים בתוכם כל השטחים, המתנקזים באמצעות הנחל ויובליו. עבור כל אגן הידרו-גיאוגרפי כזה, שמתוכננת בו פעילות אנושית, דרושה תכנית כלל-אגנית. רוב האגנים הטבעיים בארץ מתחילים על קו פרשת

המים שבלב השטח בין הים התיכון לירדן; הם אינם מתחשבים בגבולות המדיניים שבין מדינת ישראל לרשות הפלשתינית. בעולם שכולו טוב, התכנון האגני (לפחות תכנית האב) יבוצע בתיאום מלא עם הרשות הפלשתינית. עד שיקום עולם טוב זה, יש ליצור תכניות אב לאגנים הנ״ל בהתאמה לגבולות החוק הישראלי, ובמידת האפשר, להתחשב גם במה שקיים או עשוי להתקיים בשטח האגן הטבעי, שאינו בתחום המדינה. בחלק מן המקומות, הקשרים הקיימים עם הפלסטינים מאפשרים תיאום חלקי גם כיום (ר׳ הניסיון הטוב בהכנת תכנית לנחל אלכסנדר, בניהולו של עמוס ברנדייס).

בכדי לממש דרישה זו לתכניות אגניות, יש לדון ולקבל החלטות בסוגיות אחדות, שתידונה להלן.

א. **במה תעסוק תכנית האב האגנית**? תכנית אב, במונחים של מהנדסי ניקוז, קובעת את משטר הזרימה של הנגר העל-קרקעי בתחום האגן, את עורקי הניקוז העיקריים ואת כושר ההולכה המירבי שלהם. תכנית אב, על-פי הגדרתה המקובלת בקרב מתכנני עיר ואזור, הינה שלב מקדמי, שלפני התכנון הסטטוטורי, המוקדש לעיסוק במטרות התכנית ולקביעת ייעודי קרקע כלליים. תכנית האב האגנית המומלצת במסמך זה תחבר את המקובל בשתי הפרופסיות הנ״ל. בהתאם למקובל בקרב מהנדסי ניקוז, היא תכלול הנחיות, גם כמותיות, המיוחסות לכמויות הנגר ולספיקות תכן, כולל: תכנון מאגרים של נגר על-קרקעי במעלה האגן, איתור שטחים לפשטי הצפה, הגדרת ספיקה מירבית (לתכנון מערכת הניקוז) ומזערית (לטובת הנחלים והסביבה) בנקודות קריטיות לאורך האגן ופרמטרים של איכות מים בנקודות נבחרות. בהתאם למקובל בקרב מתכנני עיר ואזור, היא תקבע פריסה מקדמית וכללית של יישובים ושל ייעודי קרקע עיקריים, תוך התמקדות בהבחנה בין שטחים בנויים לשטחים פתוחים ברחבי האגן. המיקום והפריסה של השטחים הפתוחים העיקריים, במיוחד במעלה האגן, אך גם בקרבת אפיקי הנחלים, יביאו בחשבון אפשרות וכדאיות של השהייה, אגירה והחדרה של נגר על-קרקעי.

בכך יתאפשר לחלק מן השטחים הפתוחים לקחת חלק בוויסות של כמות ושל איכות מי הנגר שיזרמו במורד האגן, ובדרך זו לשפר את ההגנה מפני נזקי הצפות וגם את הסיכויים להחזרת זרימה וחיים לנחלי ישראל. במסגרת התכנית האגנית יישקל גם הצורך בקביעת "אזורי הגנה" על מקורות מים עיקריים, ובאם קיים צורך כזה, ייקבעו כללי "עשה ואל תעשה" באזורים אלה.

ב. **מי יהיה אחראי לייזום ואכיפה של תכנית אגנית?** קיימות כיום חלופות אחדות: המינהלים לתכניות מתאר ארציות או מחוזיות, רשויות הניקוז או רשויות נחל. במצב הנוכחי, הבחירה הסבירה הינה רשויות הניקוז, אלה שנוסדו במסגרת הרפורמה של רשויות הניקוז ב- 1996: שבע רשויות לאורך הים התיכון– גליל מערבי, קישון, כרמל, שרון, ירקון, שורק-לכיש, שיקמה-בשור ונגב מערבי; וארבע רשויות לאורך הירדן - כנרת, ירדן דרומי, ים המלח והערבה. חלק מן הרשויות האלה כוללות בתחומן אגן היקוות של נחל יחיד (הקישון, הירקון) וחלקן כוללות אגנים אחדים. בכל מקרה, דרושה תכנית לכל אגן נחל בנפרד, אך ייתכן שרשות הכוללת מספר נחלים סמוכים תהיה אחראית לכל הנחלים שבשטחה.

המצב הרצוי הוא הקמת רשויות אגניות, שתחלפנה את רשויות הניקוז ורשויות הנחל הקיימות ותאחדנה את סמכויותיהן (בתוספת סמכויות נוספות). בכל מקרה, הרשות שתהא אחראית למשימה של הכנת תכנית אגנית, חייבת לקיים שיתופי פעולה מקצועיים ופוליטיים. דרוש שיתוף פעולה רב-מקצועי בין מתכנני עיר ואיזור ואדריכלי נוף לבין מהנדסי ניקוז ומתכננים של משאבי המים, ובהתאם למקרה, יועצים לנושאים של אקולוגיה, שימור קרקע, תרבות והיסטוריה. חשוב מאד שתישמע במסגרת זו גם דעתם של נציגי הרשויות העירוניות והאזוריות, השוכנות באגן, כי הן מממנות עיקריות ומפעילות עיקריות של התכנית.

ג. **הכנת תכנית אב לחלק מן האגן** – במצב אידיאלי, תוכן תחילה תכנית לכל שטח האגן ההידרו-גיאוגרפי של הנחל. אך לעיתים קרובות, המציאות הפוליטית או המימונית, או לחץ הזמן או סיבות אחרות, אינן מאפשרות הכנת תכנית לכל שטח האגן הטבעי. יחד עם זאת, המתכננים יודעים שקיימות תכניות לתוספת בנייה משמעותית באגן, בנייה אשר תצטרך להסתדר עם זרמי הנגר המגיעים אליה ממעלה אגן הנחל ואשר תשפיע על הנגר הזורם במורד ממנה. במקרים כאלה, חשוב להכין תכנית אב לחלק מן האגן.

נמליץ כאן על שני קווים מנחים עבור תכנית כזו: האחד – רצוי מאד שתהיה כוללנית, היינו, שהיא תכלול את האלמנטים של הבנייה והנוף יחד עם תכניות ניהול הנגר והניקוז; השני – שהיא תוגדר כתכנית חלקית, שמוטלת עליה החובה לקביעת/הערכת תנאי הגבול, היינו: הערכת מידת מושפעותה מן הקורה במעלה ממנה וקביעה לגבי מידת השפעתה על שטחים במורד האגן.

נציג להלן דוגמא לתכנית אגנית חלקית, כזו שפיתחה שתי חלופות, האחת קונבנציונלית והשנייה תר"מית.

החלופה הירוקה שמתוארת במסגרת אמנם מתחשבת בתנאי הגבול ומפנימה אמצעים תר"מים, אך – בניגוד להמלצתנו – אינה כוללנית. היא מסתפקת בהתייחסות להיבטים של ניהול נגר וניקוז ואינה כוללת את פרטי המגורים המתוכננים ותכנית מתבקשת לפיתוח רצועת הנחל לצרכי קיט ונופש. ככל הנראה, ראשי הרשויות המקומיות מעדיפים את התכנית הקונבנציונלית, שמובטח לה (לדעתם) מימון חיצוני. אילו הוצבה בפניהם תכנית כוללת, הקושרת בין המגורים החדשים לבין פארק אטרקטיבי ברצועת הנעמן, המעלה את יוקרת המגורים ועשוי למשוך אוכלוסייה חזקה, ייתכן שראשי הרשויות היו מעדיפים את החלופה התר"מית. מסקנתנו: אין די בהפעלת אמצעים תר"מים מקומיים; בכדי לממש את עקרונות תר"מ, דרושות תוכניות כוללניות וסינרגטיות.

תכנית אגנית חלקית לאגן נחל הנעמן

אגן נחל נעמן מקיף כ-41 קמ"ר ומהווה חלק מאגן הניקוז של נחל חילזון, שהיקפו כ-312 קמ"ר. הוא מהווה בסיס ניקוז אזורי של שטחים פתוחים ושל שכונות קיימות ומתוכננות בקריית ביאליק ובקריית מוצקין. הנחל סובל מבעיות ניקוז, הן במעלה והן לאורך נתיבו, בשל הצפות ובשל מי תהום גבוהים, אשר בחלק מן המקומות מגיעים לרום פני קרקע +2.0 עד +3.0 מ'. מפלסי ההצפה בנעמן מושפעים בעיקר מנפחי הגאויות, ולאו דווקא מספיקות השיא הרגעיות, וכמובן מן המפלס הגבוה של מי התהום (רוזנטל, 2005).

תכנית לבניית שכונות חדשות בשטח של כ-4,000 דונם במעלה אגן הניקוז של הנעמן, בקריית ביאליק מזרח, האיצה הכנתה של תכנית חלקית לאגן הנעמן. תחילה (2001) הוכנה תכנית ניקוז קונבנציונאלית, שקבעה צורך במובל ענק ("המובל המערבי") להעברת כ-10 מ"ק לשנייה, מן השטח המתוכנן לבנייה חדשה ועד לים. מאוחר יותר, בהקשר לתכנית שיקומו של נחל הנעמן (בשיתוף עם רשות הטבע והגנים, המשרד לאיכות הסביבה ונציבות המים), הוכנה חלופה "ירוקה", שאימצה את מטרת החלופה הקודמת – העברת נגר ללא הצפות בתקופת חזרה של אחת למאה שנה – אך כתחליף למובל הבטון הציעה אמצעי תר"מ לשימור נגר, כולל מערכות שימור נגר במוצאי השכונות המתוכננות, בריכות ויסות היוצרות אחו לח (wetland), מאגר בשטחים החקלאים והחדרה במחצבה נטושה, במשולב עם הסדרה מסוימת של אפיק הנעמן ובניית מובל קטן בהרבה. הערכה משווה של שתי החלופות הורתה, כי החלופה הירוקה זולה מקודמתה ב-15 מליון ₪ (שם). בעת כתיבת הדברים, עדיין לא התקבלה החלטה סופית בנדון.

3.1.2 מאגרים במעלה הנחל כחלק מתכנית אגנית לתפיסת מי נגר ולמניעת שיטפונות

שיטפון מתרחש כאשר גשם בעוצמה גבוהה יורד זמן ארוך מספיק, כך שהשקעים התמלאו, הקרקע רוויה ואינה יכולה לספוג עוד מים ואזי כל הגשם הופך לנגר על-קרקעי, הזורם במהירות במורד האגן. ככל שפני

השטח אטומים יותר וחלקים יותר, באופן טבעי או כתוצאה מפיתוח מעשה-ידי-אדם, כך תקטן יכולת הספיגה המקומית, תגדל מהירות הריכוז של הנגר, תגבר הזרימה ויגדל הסיכוי להתרחשות שיטפון. מצב של הצפה מגיע, כאשר כמות המים הזורמים בנתיב המיועד להם גדולה מכושר ההולכה שלו, כך שהם עולים על גדותיו ומציפים את סביבתו. בשיטפון טמון כוח הרס רב; הוא עלול לסחוף קרקע וצמחיה, כבישים וגשרים, להציף מבנים ומתקנים ולסכן חיים. אומנם, לשיטפונות יש תפקידים אקולוגיים מועילים, בעיקר סיוע בניקוי הנחל ופתיחת ערוצו, אך נזקיהן לאדם ולמשאבים החשובים לו גבוהים מכדי להניח להם להתנהל ללא הכוונה. יתירה מזאת, שיטפון מהווה בזבוז משווע של מים, כי הוא מזרים למוצא הנחל – בדרך-כלל לים – כמויות אדירות של מים טובים.

בין התפקידים העיקריים של התכנית האגנית נכללים מניעת שיטפונות והעשרת משאבי המים. כלים חשובים למילוי תפקידים אלה הינם מאגרים במעלה אגן ההיקוות, אשר התכנית האגנית תקצה קרקע עבורם ותכלול את תכנית האב שלהם. ייאמר מייד, שהאחראים לתכנית האב חייבים להיזהר מלהצליח יותר מדי בתפיסת מי השיטפונות. עליהם למצוא את שביל הזהב בין תפיסת שיטפונות במעלה האגן לבין דרישות המערכת האקולוגית למים, כולל זרימות חזקות במורד הנחל, לפחות אחת לשנים אחדות.

המתכננים יכולים לבחור מבין סוגי המאגרים השונים את המתאימים ביותר למאפיינים הטבעיים המקומיים ולצורכיהם/שאיפותיהם של בני האדם במקום הספציפי שלפניהם. הם יכולים לבחור בין מאגרים שתפקידם העיקרי הוא לעכב את מהירות הזרימה, בכדי להקטין את עוצמת השיטפון ונזקיו הצפויים, לבין כאלה שמעכבים וגם מאפשרים חלחול לקרקע של הנגר. הם יכולים לבחור בין מאגרי גיא, הנבנים בעזרת סוללות/סכרים החוסמים את ערוץ הזרימה, עם מיגלש כלפי המשך הנחל, לבין מאגרי צד, הנבנים בצד הערוץ ועשויים לאפשר – אם נבנו במקום מתאים ובדרך מתאימה – חלחול מי נגר לקרקע. למאגרי הצד יתרונות אחדים, כולל מניעת סתימה ע"י סחף (האופיינית למאגרי

גיא) ואפשרות לאגירה וטיהור של קולחים (שבדרך כלל נשלחים למורד האגם בלתי מטוהרים, בעוברם דרך מאגרי גיא), אך בנייתם יקרה יותר והם אינם מתמלאים בהעדר ספיקות גבוהות במיוחד. המסקנה היא, איפוא, שתכנון מאגרים לתפיסת שיטפונות מחייב ראייה אגנית כוללת ותכנית המקיפה את אגן ההיקוות כולו, תוך מציאת האיזון הראוי בין דרישות האדם ודרישות הטבע (ר' רחמימוב, 1996 ; קפלן, 2004).

תכנון מלכודות נגר במעלה אגן ירקון-איילון

באגני הנחלים היורדים מהרי יהודה והשומרון ומתנקזים לאיילון ולירקון מתפתחים יישובים חדשים ומתעבים יישובים ותיקים. הפיתוח גורם להגדלת כמויות וספיקות הנגר הזורם במורד. נחל ענבה יורד מאזור מודיעין ומתחבר לנחל איילון. שטפונות בנחל איילון מסכנים את נמל התעופה בן-גוריון ואת נתיבי איילון, הכביש ההומה החוצה את האזור המטרופוליני של תל אביב. לפיכך, דרושים פתרונות למיתון הספיקות במעלה האגן, בנחלים המתחברים אל האיילון, כולל נחל ענבה. סיני וחובריו (2006 א' ו-ב') יצרו תכנית מעניינת לשימוש ב"מלכודות נגר" (הקרויות גם "אצירונים") בנחל ענבה, הקוראת לבניית מספר גדול של מאגרים זעירים בקפלי קרקע במעלה האגן - בעומק פחות ממטר, על מנת שלא יהוו סיכון לתושבים, במיוחד לילדים. מלכודות הנגר, בשילוב עם כמה מאגרי גיא בחלקו הנמוך יותר של הנחל אמורים למתן את הספיקות המגיעות לנחל איילון. הצעה זו לא זכתה לאישור, אבל יש בה בכדי להצביע על רעיונות לא-שגרתיים לעיכוב הספיקות במעלה האגן במקום להעבירן במהירות למורד.

3.1.3 "ניהול פשט הצפה" ככלי מרכזי במסגרת תכנית אב אגנית

פשט הצפה הינו שטח לצידו של נחל, שאליו זורמים עודפי מים שאין הערוץ יכול להעבירם בעת ספיקות גבוהות, ובו הם נאגרים באופן זמני ; המים משתחררים ממנו בזרימה בחזרה אל הנחל ו/או בהתאדות ו/או בחלחול, לאחר חלוף הספיקות הגבוהות, והשטח נותר מוכן לקליטת השיטפון הבא. גודלו נקבע לפי השטח הצפוי להיות מוצף באירוע תכן

נבחר (תזכורת: אירוע תכן הוא אירוע זרימה גבוה במיוחד, שנבחר לצורך תכנון הגנה מפני נזקי שיטפונות, ר' פרק 5). "ניהול פשט הצפה" הוא מושג בתורת הניקוז. הוא עוסק בויסות עוצמת השיטפון (למשל, ע"י הקמת מתקני ויסות ואגירה לפני הכניסה לאזור עירוני) ובקביעה מראש של המקומות שיוצפו, באירוע התכן הנבחר.

לפשט ההצפה תפקיד מרכזי הן בויסות הניקוז והן בתפקוד הנחל. במישור הניקוז - שמירה על פשט ההצפה פנוי מבנייה מאפשרת לנחל להציף את סביבתו, מבלי לפגוע בשימושי קרקע גובלים. במישור תפקודו של הנחל - קיום משטר הצפות תקין הוא מרכיב חיוני למערכת האקולוגית של הנחל, באפשרו להחליף חומרים בין אזור יבש לרטוב ולקיים בית גידול לח עונתי. לפשט ההצפה יש גם תפקיד חשוב בשמירה על איכות המים בנחל, וזאת בשל תרומתו לשיקוע חומרים מזהמים, המוסעים מכלל אגן ההיקוות.

תפקידי פשט ההצפה שנמנו לעיל הם התפקידים "המימיים" המקובלים. במסגרת תכנית אגנית כוללנית ייועדו לפשטי הצפה גם תפקידים חברתיים, כחלק ממערך השטחים הפתוחים, המפותחים לשימוש נופש או לשימושים חקלאיים. לפנינו, איפוא, דוגמא נוספת לעיקרון התר"מי של ריבוי מטרות וסינרגיה בהשגתן, סינרגיה שתתממש כשתקוים ההמלצה התר"מית להכנת תכניות אגניות כוללניות.

ניהול פשט ההצפה חייב להתקיים תוך שיתוף פעולה רב-מקצועי בין מהנדסי ניקוז לבין הקובעים את ייעודי הקרקע באזור והמתכננים את ייעודיו האקולוגיים, החקלאיים והנופשיים. הוא חייב להתבצע במסגרת אגנית, הלוקחת בחשבון את כלל השטחים באגן ההיקוות, "התורמים" נגר לעורק שבמורד. על מי שמנהלים אותו מוטל לאתר שטחים פתוחים במרחב האגני, אשר יוצפו בזמן התרחשות אירוע התכן, ו/או לאתר שטחים למאגרים בנויים, אשר יאגרו את המים ו/או יחדירו אותם לקרקע. כל זאת, כתחליף חלקי לבניית מובלי ניקוז גדולים מאד ויקרים מאד, אשר – מסיבות שונות - לא תמיד עומדים

בעומס בשעת מבחן קיצונית. גישה זו לניקוז נחשבת כגישה "ירוקה" (ירוק מתון), מכיוון שהיא תורמת בפוטנצייה לשימור נגר (להשקייה או להחדרה) ולשימור קרקע, ומפני שהיא מציעה אמצעים קרובים לטבעיים במקום אמצעי הנדסיים גדולים. יתר על כן, יש בה פוטנציאל להגנה טובה יותר מפני שטפונות, תמורת עלות שעשויה להיות נמוכה מעלותם של אמצעי ניקוז קונבנציונליים.

במצב אידיאלי, איתור ותכנון פשטי ההצפה יבוצע לפני שתחל בנייה באגן, כפי שנעשה הדבר במקרה של פשט ההצפה של האיילון, במסגרת פארק האיילון, שעניינו יתואר בפרק הבא. ברבים מן המצבים שבמציאות (במיוחד בגוש דן), איחרנו את המועד להכרזת פשטי הצפה אגניים, כי רוב האזור כבר בנוי; אך גם במצב כזה עשויים להיות לגישה המוצעת כאן יתרונות, כמודגם להלן.

ניהול פשט הצפה באזור בנוי (חלקית)

באזור גוש דן נבנתה שכונה בתוך שטח מועד להצפה, והיא אכן מוצפת באופן תדיר. הפתרון הקונבנציונלי למקרה כזה הינו שדרוג עורק הניקוז הראשי, הסמוך לאותה שכונה, כך שיוכל להעביר ספיקות גבוהות יותר. עלותו הכספית של פתרון כזה גבוהה מאד. חיסרון גדול נוסף הוא הגדלת הספיקות במורד האגן והעלאת פוטנציאל ההצפה של היישובים במורד הזרימה, שצפיפות האוכלוסייה בם גבוהה מאד.

במקרה הנדון, מן הצד השני של הנחל, מול השכונה המדוברת, נמצא שטח חקלאי. במקרה כזה, קיומו של גוף האחראי לתכנון וניהול אינטגרטיבי של פשט ההצפה, יכול לאפשר הטיית עודפי המים מן השכונה העירונית אל השטח החקלאי שבגדה השנייה, כמובן, תמורת הסדר פיצוי נאות לחקלאים. פתרון "ירוק" כזה אמור להיות זול מן הקונבנציונאלי, לרסן את ספיקות השיא במורד האפיק וגם להעשיר את מי התהום שמתחת לשטח הנדון.

שיתוף הפעולה, הנדרש על מנת לממש את הפתרון "הירוק", בין אינטרסנטים שונים ובעלי מקצועות שונים, ריבוי המטרות והסינרגיה שמאפשר הפתרון הנדון, עושים אותו לפתרון תר"מי טיפוסי.

3.1.4 השבת מים לנחלים במסגרת תכניות אב אגניות

אפיקי נחלים נושאים עמם מים, וזוהי תמצית תפקידם והווייתם (קפלן, 2004, עמ' 103). ללא מים, הנחל אינו אלא קפל קרקע. המים – אם כזרימה רציפה בנחל איתן, ואם כזרימה עונתית בנחלי אכזב – הם ביטויו הייחודי של הנחל; עליהם נסמכות המערכות האקולוגיות האופייניות לו, ובזכותם עולה ערכם הנופי, וגם הכלכלי, של מבנים ומתקנים הסמוכים לו. נחלי ישראל סובלים מפגיעה מתמשכת במערכותיהם, כתוצאה מהטייה, שאיבת מי מעיינות וניצול מי שטפונות במעלה הערוצים. תר"מ מחייב השבת מים לנחלים, במסגרת תכניות כלל אגניות.

תכנית האב האגנית תבחן מספר מקורות אפשריים להשבת מים לנחל. רצוי מאד להשיב לנחל מים שפירים, בין אם באמצעות הגבלת השאיבה ממקורות הנחל, ובין אם בהזרמה ממקורות חיצוניים. נציבות המים אמורה לדאוג להזרמה, במסגרת היענות לתיקון בחוק המים (2004), אשר הוסיף את ה"שמירה ושיקום ערכי טבע ונוף, לרבות נחלים ומעיינות" למטרות הלגיטימיות להקצאות מים בישראל. סביר שיימצאו גם יישובים עירוניים סמוכים לנחל, אשר יגלו עניין בהעברת חלק מהקצאת המים השפירים שלהם לטובת הזרמתם בנחל, כבסיס לפיתוח שימושי פנאי, נופש ותיירות לאורכו. אולם, בהנחה שלא יימצאו בעתיד הנראה לעיין די מים שפירים להשבת הזרימה לכל הנחלים שמעוניינים לשקמם, אפשר להשתמש גם בשפכים שטוהרו בדרגה ראויה מבחינה סביבתית. חשוב להקים מערכת חייץ (buffer) בין מכון הטיהור לנחל, כך שהמים המושבים יעברו טפול נוסף לפני הזרמתם לנחל. קיימת גם אפשרות לסחרור מים (שפירים או קולחים מטוהרים) דרך הנחל, היינו: יינתן למים לזרום לאורך הנחל המשוקם, וכשיגיעו לקרבת הים הם יישאבו, לצורך הזרמה חוזרת בנחל או לשימוש אחר, כמו השקייה.

תכנית אב האגנית אמורה לאפשר גם תפיסת מי שטפונות במעלה הנחל, תפיסה שתפחית את נזקי השטפונות בעונה הגשומה ותאפשר הזרמת מים לנחל בעונה היבשה.

3.2 תכניות כוללניות לרצועות נחל כחלק מתכנון אזורי

שטחי המדינה נחלקים לשטחים בנויים ופנויים ותפקיד חשוב של המתכננים הוא לבדל בין הבנוי לפנוי. פני הקרקע במדינת ישראל גורמים לכך שתוואי הנחלים משמשים לעיתים קרובות, במיוחד בחלקי הארץ המיושבים בצפיפות לאורך מישור החוף, כחייץ טבעי בין ריכוזי יישובים. כל התכניות הארציות והמחוזיות דורשות לשמר את הנחלים כפרוזדורים פתוחים, מכיוון ששימורם יאפשר להם למלא שורת תפקידים חיוניים: תפקידים מערכתיים - הם תוחמים את המרחבים הבנויים וקובעים את גבולות התפשטותם; תפקידים הידרולוגיים, בעיקר כמובילי נגר על-קרקעי ומסדירי שטפונות, למניעת נזקים בנפש וברכוש; תפקידים אקולוגיים – יחידת נוף המהווה תשתית לקיום מרכיבים ביוטיים של חי וצומח; תפקידים חברתיים - הם מבטיחים לתושבים גישה לשטחים פתוחים בקרבת ביתם, בין אם לצפייה ובין אם לפעילות; תפקידים תרבותיים – מרוכזים בם אתרי תרבות ומורשת רבים; וגם תפקידים כלכליים, כמו עידוד תיירות [קפלן (2004) פיתח את הרציונל לשימור נחלים]. לפיכך, צו ראשון של תכנון רגיש למים ברמת המקרו (תכנון ארצי ומחוזי) הינה שימור ושיקום נחלים, באופן שיאפשר להם למלא את תפקידיהם המגוונים והחשובים הנ"ל הן בתוך יישובים והן במרחב שמחוץ להם.

את החשיבות של תכנון רצועות נחל אפשר לנמק על דרך החיוב ועל דרך השלילה (לסטר, 2003): על דרך החיוב ייאמר, כי רצועת נחל מתוכננת היטב הינה מקור של תרומה נכבדה לאיכות סביבה ולאיכות חיים. רצועות נחל, במיוחד כאשר זורמים בם מים נקיים, הינן מקור מחיה לבעלי חיים ולצמחייה (אקוסיסטמה) ומקור משיכה לבני אדם,

המוצאים במקום אפשרויות לנפוש מלחצי העבודה והעיור, מקום לקיט, לשייט ולדייג. על דרך השלילה נאמר, כי אי תכנון או תכנון גרוע של נחל, עלול להפוך למקור צרה: למקור של הצפות, שנזקן יקר ברכוש ולעיתים גם בנפש, ו/או למפגע זיהומי, המזרים מי ביוב בלתי מטוהרים כראוי, השולח יתושים ומסוכן לבריאות.

פרק קודם (3.1) עסק בתכניות אב לאגני היקוות של נחלים, שכל אחד מהם מקיף את כל השטח המתנקז לנקודת המוצא של הנחל (לים או לגוף מים נמוך אחר) ומשתרע על פני כ-100 קמ״ר, במקרה של נחלים קטנים, ועל פני אלף עד אלפים אחדים של קמ״ר, במקרה של נחלים גדולים. הפרק הנוכחי עוסק בתכניות לרצועות נחל, שהינן שטחי קרקע צרים וארוכים משני צידי האפיק. הפרק נכלל בתוך החלק המתייחס לתכנון ארצי ואזורי (ולא רק למקומי), כי תפקודו התקין של נחל מחייב התייחסות תכנונית לכל אורכו. בהתאם לכך, תמ״א 35, ״תכנית המתאר הארצית המשולבת לבנייה, לפיתוח ולשימור״, קבעה שרצועת הנחל ממקורותיו ועד למוצאו הינה יעוד קרקע רצוף ונפרד, שנכללים בו אפיק הנחל, גדות הנחל ותחום של 100 מ׳ מכל גדה. כחלק מהנחיותיה של התמ״א לתכנון אזורי, נדרשו המתכננים להכין תכנית מיוחדת לשימוש קרקע זה, אשר ייכללו בה הוראות בדבר: רוחב רצועת הנחל, תחום ההשפעה של הנחל, שיקום הנחל ובתי הגידול בו, אזור פשט ההצפה, הנחל כציר ניקוז, מניעת זיהום בנחל, עיצוב גדות וייצובן, אתרי נופש לשהיית יום, פעילות רווחה, צירי טיול להולכי רגל ולרוכבי אופניים. התמ״א קבעה, כי לא תאושר תכנית מחוזית בתחום רצועת הנחל אלא אם היא תכנית שנושא התכנון העיקרי בה הוא שיקום ושימור הנחל, והיא חלה על רוב רצועת הנחל שבאותו אזור תכנון. ועוד: לא תאושר תכנית מקומית לתוספת שטח לבינוי בתחום רצועת נחל אלא אם תכלול נספח בינוי ועיצוב, המתייחס לזיקה שבין הבינוי המוצע לבין הנחל. המלצתנו שלהלן תואמת את רוח הדברים בתמ״א 35, ובה בעת מתייחסת גם להמלצות קודמות של מסמך זה, במיוחד הכפפה לתכנית אגנית כוללת.

בדרישה להכנת תכניות לרצועות נחל אין כל חידוש. לא רק שתמ"א 35 - בעקבות "ישראל 2020" - מחייבת אותה, אלא שתמ"א 34ב/3, "תכנית המתאר הארצית המשולבת למשק המים: נחלים וניקוז" (אושרה במועצה הארצית לתכנון ובנייה ביולי 2006) קובעת רשימה בת 55 נחלים ברחבי הארץ, שחובה להכין עבור תכניות עבור רצועותיהם, בהוסיפה שאין להסיק מכך שאין צורך בהכנת תכניות לנחלים אחרים. אותה תמ"א משולבת למשק המים מטפלת הן בתפקודים הניקוזיים של הנחל והן ובתפקודיו כמסדרון אקולוגי רציף וכמוקד עבור פעילויות פנאי נופש ותיירות. אולם, התמ"א דורשת הכנת תכניות נפרדות לנחל, האחת מנקודת ראותו של הניקוז והשנייה מכל נקודות הראות האחרות, ובהתאם לדרישה זו הוכנו ומוכנות בהווה תכניות נחל אחדות. החידוש במסמך מדיניות זה הינו המלצה להכנת תכנית כוללנית אחת לרצועת הנחל, אשר תבטא את מכלול תפקודיו ואת המשקל הראוי לכל אחד מהם. התכניות לרצועות נחל תונהגנה בדרך-כלל ע"י אדריכלי נוף ותיערכנה בכפיפות לתכנית האגנית, שנדונה בפרק הקודם.

3.2.1 נחלים כבסיס לפארקים מטרופולינים

פארקים מטרופולינייים משמשים כמוקדי נופש בחיק הטבע לאוכלוסייה רבה, המתגוררת בסמוך להם. בקנה המידה הארצי, הפארקים המטרופולינייים משתתפים ביצירת החייצים הירוקים בין המערכים האורבניים, מגדירים זהות ודופן לערים ויוצרים "חגורות ירוקות" סביבן. מספר ניכר של פארקים מטרופולינייים נמצאים כיום בשלבי תכנון או הקמה; רבים מהם משתרעים לאורך צירי נחלים. ביניהם: פארק הירקון, פארק האיילון, פארק נחל הקישון, פארק נחל חדרה, נחל שורק, נחל לכיש, נחל באר שבע ועוד (קפלן, 2004).

הפארקים המטרופולינייים כוללים גנים, חורשות, מתקני ספורט, שבילים ודרכים. הם חיוניים חברתית, על רקע הגידול בזמן הפנוי

שבידי האוכלוסייה, עליית הביקוש לשירותי נופש, והעלייה במודעות הסביבתית, התורמת לרצון לבלות את הזמן בחיק הטבע.

יחד עם תפקידיהם החברתיים, שנמנו כאן, ותפקידיהם המרחביים, שאוזכרו לעיל, הנחלים חייבים למלא גם תפקידים ניקוזיים. הדבר נכון במיוחד במקרים של הנחלים הגדולים, העשויים – גם אם לעיתים נדירות – להוליך מים רבים מאד, העלולים לגרום להצפות, המסכנות חיים ורכוש. המחוקק הישראלי הכיר בחשיבות תפקידי הניקוז של הנחלים ונתן להם בכורה, מבחינה סטטוטורית, על פני שאר תפקידיו; עפ״י חוק הניקוז וההגנה מפני שטפונות – 1957, ״תכנית ניקוז... יהא כוחה יפה מכוחה של כל תכנית בניין עיר״.

בכדי למנוע הצפות, רצוי ליצור אפיק נחל פתוח ונקי ממכשולים, המאפשר זרימה בלתי מופרעת של המים. לשם כך ממליצים מהנדסי הניקוז ליישר פיתולים, לכרות צמחיית גדות, ולעיתים אף להעביר את הזרימה למובל בטון סגור או לתעלת בטון בעלת דפנות מוגבהות (ר׳ תעלת האיילון), שתוכל להכיל גם את הכמויות הגדולות, הצפויות לעיתים נדירות. לפיכך, קיים קונפליקט מובנה בינם לבין משמרי ערכים

יש לפתח תכנית אב כוללנית עבור הרצועה של כל אחד מן הנחלים העיקריים בארץ, לכל אורכה. התכנית תיערך בכפיפות לתכנית כלל אגנית. היא תבטא במשולב שיקולים חברתיים, אקולוגיים וכלכליים וגם שיקולים של שימור משאבי מים ושל ניקוז, תוך איזון נאות בין השיקולים למיניהם. התכנית תקרב אל הנחל ויובליו שימושי פנאי ונופש ותרחיק ממנו פיתוח ובנייה, שאינם עולים בקנה אחד עם יעדיה העיקריים. הכנת התכנית ומימושה מחייבים תיאום בין הרשויות לאורך רצועת הנחל, לצורך חלוקה יעילה והוגנת של התועלות והעלויות, הכרוכות בפיתוח הרצועה והזרמת מים דרכה, בכמויות משתנות וברמות טיהור שונות.

אקולוגיים וסביבתיים, התומכים בתוואי המפותל הטבעי של הנחל ובשימור צמחיית הגדות, המשמשת מסתור לבעלי חיים למיניהם.

אין ולא סביר שיהיה פתרון סטנדרטי לקונפליקט הנדון, אלא כל מקרה צריך להיות מנותח ומתוכנן בהתאם לנסיבות הספציפיות. אחת ההנחיות הכלליות היכולות לסייע, היא להטות את הפתרונות לכיוון הטבע באזורי הפארק המתוכנן מחוץ לעיר, ששם הצפות יכולות להשתרע על פני פשטי הצפה מתוכננים, ובכך להביא תועלת רבה ונזק מועט, יחסית. לעומת זאת, באזורים עירוניים צפופים, חיוני להיענות למקדמי הביטחון שמציעים מהנדסי ניקוז זהירים, גם על חשבון פיתוח "טבעי". יחד עם זאת, מומלץ שמהנדסים המעורבים בתכנון פארקים יכירו היטב את המושג ואת הפרקטיקות של "ניקוז ירוק" (הקרוי בספרות הבריטית Sustainable Drainage Systems ומופיע בספרות האמריקנית הרלבנטית בעיקר כ- BMPs – Best Management Practices). פרקטיקות אלה יכולות למתן במידה רבה את הקונפליקט, אם כי לא לפותרו לחלוטין. דוגמאות רבות שלהן נמצאות בביבליוגרפיה המוערת וחלק מהן תוצגנה להלן (סעיף 4.4.4).

3.2.2 איכות המים בנחל

נחלי ישראל נפגעו פגיעה כפולה: מקורות המים שלהם נלקחו מהם, לטובת מטרות אחרות, ובני האדם החיים סביבם והתעשיות שהם מנהלים בקרבתם זיהמו אותם, באמצעות הזרמת שפכים וזריקת פסולת אליהם. כיום, כשמדובר בהשבת מים לנחלים ושיקומם, נדרש מאמץ רב לניקויים ולשיפור איכות המים הזורמים בם. המאמץ כולל היבטים מקצועיים ופוליטיים, בנוסף לתקציביים.

סוגיה מקצועית קרדינלית הינה איכות המים הדרושה לנחל משוקם, כאן יש להבחין בין שתי גישות: האחת מבקשת להביא את כל הנחלים לתקן איכות משותף, בעוד שהשנייה מציעה תקן נפרד לכל נחל, בהתאם לשימושיו המיועדים, החברתיים והאקולוגיים. מבחינה חברתית, יש

תכנון פארק האיילון - שילוב מוצלח של שיקולי מים עם שיקולים חברתיים, אקולוגיים וכלכליים

הפארק המטרופוליני לאורך אפיק האיילון שבמרכז מדינת ישראל יהיה – עפ"י המתוכנן – הפארק הגדול ביותר והמיוחד ביותר במדינה. הוא ישתרע על פני 8,000 דונם בלב האזור הצפוף ביותר במדינה. בשטחים המקיפים אותו מתגוררת אוכלוסייה בעלת משאבים כלכליים מעטים, יחסית, והיא האמורה להיות הנהנית העיקרית מן הפארק.

השטח הענק, הנמצא בליבו של אזור הביקוש הער ביותר לקרקע במדינת ישראל, נותר פנוי ופתוח בזכות מתכננים בריטים. לפני כשלושת רבעי המאה הם הגדירו את האזור כפשט הצפה של נחל האיילון, אסרו כל בנייה בו ולא כללו אותו בתחומן של הרשויות המקומיות הסובבות אותו. המתכננים הישראלים שמרו על ההנחיה הבריטית, ביודעם כי האיילון ויובלו – נחל השפירים – מועדים להצפות, העלולות לסכן באופן חמור אזורים בנויים רחבים לאורך נתיבי האיילון.

בנוסף לשטחים ירוקים, שבילי הליכה ורכיבה ומתקנים לנופש, הקיימים בכל פארק, הפארק המטרופוליני הנדון יכלול גם את הר חירייה, ההופך בהדרגה מהר זבל מצחין לנקודת ציון גבוהה (60 מ') ומטופחת בשפלה הסובבת אותו, ושורה של פארקי משנה ייחודיים: פארק מיחזור חדשני, פארק ארכיאולוגי עם בני ברק התלמודית בתוכו, פארק המשמר את ביה"ס החקלאי "מקווה ישראל", פארק הדרום של ת"א, הפארק הלאומי והספארי של רמת גן ועוד. רבים מאלה יתוכננו בשיתוף עם הציבור הרחב ויפנו אליו באמצעים חינוכיים, הסברתיים ואחרים. הפארק אמור לשאת את עצמו, אקולוגית וכלכלית.

המים, שיצרו את עילת הקיום של הפארק, ימשיכו להיות מוקד עיקרי בו. המתכננים קבעו שהמים יהיה "אחד הכלים העיקריים, המשמשים למתן צורה, מבנה ותפקוד לפארק האיילון" (אורון ואחרים, 2004). במקום ייבנו מתקנים פונקציונאליים למים – פתרונות להצפות חזויות של השטח ולהשקייתו, ומתקנים ל"מים לשם הנאה". יהיו שם מתקנים ניסיוניים לטיהור מים ב"טכנולוגיות טבעיות", כולל "אגנים ירוקים", מעין "ביצות טיפוליות". סדרה של בריכות חורף אמורה לספק מים להבטחת צמחייה וחי בר וגם ליצירת מאגר של מי נגר, שיכיל די מים להשקיית הפארק במשך כל השנה.

תכנון פארק האיילון - המשך

המערכת לקליטת הצפות תיבנה במפלס ההצפה, המתוכנן בצורה מדורגת, כך שיוכל להכיל מי שטפונות בכמויות שונות, שיגיעו לעיתים תכופות עד המדרגה הראשונה, לעיתים פחות תכופות עד השנייה וכו'. המדרגות תוכלנה לשמש גם כמעין חוף עירוני להנאת הנופשים במקום. בנוסף לכך, ייבנו באתרים אחדים בפארק מתקני מים מיוחדים להנאה, שיאזכרו מסורות של גנים מזרח תיכוניים.

איזור הפארק כולו ישמש כמאגר השהייה עונתי רחב ידיים עם יכולת אגירה של כ-4 מליון מ"ק. על-פי חישובי המהנדסים, אחת ל-20 שנה בממוצע תתרחש הצפה שמימיה ייאגרו בין גדות החתך באזור המתוכנן, אחת ל-50 שנה תתרחש הצפה מעבר לגדות, ואחת ל-100 שנה יציפו המים את כל פשט ההצפה. הצפות אלה של הפארק אמורות למנוע הצפות ונזקי ענק באזורים הבנויים במורד האיילון.

רק חלק מתכניות יפות אלה נמצא כבר בביצוע. המקצועיות והמסירות שמגלים המטפלים בעניין, בעיקר לשכת התכנון של מחוז ת"א וקרן ברכה, נותנים מקום לתקווה שאכן ימומש הפארק הגדול בדרום המטרופולין.

לבחור בין הכשרת הנחל לפעולות הדורשות מגע גוף במים, כמו שחייה, שעבורן דרושה איכות מים גבוהה במיוחד, לבין הכשרתו עבור פעילויות אחרות, כמו שיט, העשויות לאפשר תקן איכות פחות גבוה (במילים אחרות, אפשר להבחין בין פעילויות ליד המים, טיול או פיקניק, על המים, כמו שייט, ובתוך המים, כמו שחייה). מבחינה אקולוגית, בחירה עיקרית היא בין החזרת המערכת האקולוגית (בתי גידול) למה שהייתה בעבר, בחירה המחייבת הזרמת מים מאותם מקורות שהיו בעבר, לבין הצבת יעד של נחל חי שאינו דומה בהכרח במאפייניו למה שהיה במקום לפני הזיהום, בחירה שמעמידה דרישות פחות חמורות בפני המתכננים.

מסמך זה תומך בגישה השנייה, היינו תקן נפרד לכל נחל, בהתאם למטרותיו ולשימושיו. לחילופין: ניתן לשלב את שתי הגישות: לאמץ תקן מינימלי מחייב לכל הנחלים במדינה, ולהוסיף לו תקנים ספציפיים

לכל נחל על-פי שימושיו המתוכננים. בארה״ב, הסוכנות להגנת הסביבה (EPA) יצרה תקן מומלץ לכל הנחלים, בעוד שכל רשות מקומית יוצרת את התקנים המחייבים, המותאמים למקום הספציפי (USEPA, 1992).

בכל גישה שתאומץ, חשוב שהתקנים הנבחרים יורכבו הן מפרמטרים מספריים והן מקריטריונים אחרים. בין הפרמטרים המספריים הדרושים: ריכוזי חמצן מומס, ריכוזי נוטריאנטים (חנקן, זרחן) וכלורידים, חיידקי קוליפורם, מתכות כבדות ועוד. בין הקריטריונים האחרים נכללים: מטרדי ריח, עכירות המים ועוד. יש הממליצים על ניטור ביולוגי של מיני בעלי חיים (בעיקר דגים) כתחליף או כתוסף לתקנים מספריים. התקן שאומץ לשיקום נחל הקישון יכול לשמש כדוגמא לרצוי בתכנון נחלים אחרים בארץ (רשות נחל הקישון, 2002).

בנוסף להחלטות מקצועיות, שיקום איכות המים בנחלים מחייבת החלטות פוליטיות. חיוני שיתוף פעולה בין כל הרשויות המקומיות השוכנות על גדות הנחל, מכיוון שמקורות הזיהום – הן נקודתיים והן דיפוזיים - מצויים לכל אורך תוואי הנחל. הרשויות המקומיות הינן המממנות העיקריות של מכוני טיהור השפכים, הדרושים לאורך הנחל, ולפיכך, הן תצטרכנה לשלם תמורת רמת הטיהור הנדרשת ולהצדיקה בפני בוחריהן. בשנים האחרונות, כאשר חלק מהן לומדות להכיר בערכו של הנחל עבור פיתוח מקומותיהן, יש עדויות בפועל על נכונות לשלם ונכונות לשתף פעולה עם הגופים האחרים המתפקדים לאורך הנחל.

רמת טיהור המים הנדרשת בתכנית אב לרצועת נחל, אמורה להיקבע בעיקר על-פי איכות המים הדרושה לנחל (ולא על-פי איכות המים להשקייה בחקלאות) וקביעתה אמורה להיות חלק מן התכנית האגנית. בנוסף לכך, חיוני לכלול בתכנית של אגן ההיקוות כלים של ניטור שוטף, התראה והתמודדות עם אירועי זיהום בלתי צפויים.

אחת ההצלחות המעודדות בתחום זה הינו פרויקט שיקומי של נחל אלכסנדר, שבעבורו פועלים יחד מאז 1994 כעשרים גופים ציבוריים מכל הרמות – ארצית, מחוזית ומקומית – בהנהגתה של המועצה האזורית עמק חפר (בראשה נחום איצקוביץ). הוכנה תכנית כוללנית

לרצועת הנחל (משרד עמוס ברנדייס), שיש בה איזון מוסכם בין שיקולי ניקוז, אקולוגיה, נוף, תיירות, תחזוקה ועוד. שיתוף פעולה וגישה כוללנית חיוניים עבור כל היבט של פיתוח הנחל, ובמיוחד בעבור שיקום איכות המים בנחל. למעל מטרה זו, ולמרות המצב המתוח עם הפלסטינים בעשור האחרון, הצליחו אנשי נחל אלכסנדר ליצור שיתוף פעולה עם עיריית טול כרם. בפברואר 2006 נחנך מחדש פרויקט לחיבור בריכות הביוב של טול כרם למתקן טיפול, הנמצא בצד הישראלי, פרויקט שהצלחתו מהווה תנאי חיוני לשיקום הנחל (עפ"י "ירוק בשרון" www.basharon.com).

3.3 שימור מקורות המים בעזרת תכנון ארצי ומחוזי

התכנון הארצי (תמ"אות) והתכנון המחוזי (תמ"מ) מהווים – בין היתר - כלים תכנוניים לשימור מקורות המים של ישראל, היינו: לקביעת תקנות והנחיות לפיתוח ובנייה, אשר בעזרתן יטופחו המקורות הטבעיים של המים ותימנע פגיעה בהם.

מקורות המים הזקוקים לשימור והגנה בישראל מתחלקים לשני סוגים: האחד - מקורות טבעיים - מי התהום, אגם הכנרת, מי שטפונות ומי מעיינות (מקור שולי, מבחינת הפקת מים, אך חשוב לנוף הארץ); השני - מקורות מעשה-ידי-אדם - מאגרים לתפיסת מי שטפונות בחורף, מאגרים של קולחים מטוהרים ברמות שונות (לצריכה חקלאית בקיץ), מאגרי חלחול להחדרת מי נגר ומי שטפונות, והמקור החדש – מפעלים להתפלת מי ים ומים מליחים. בין תפקידי התכנון הארצי והמחוזי נכללים טיפוח ושימור המקורות הטבעיים וגם קביעת המיקום וכללי התכנון בסביבת המקורות מעשה-ידי-אדם.

מסמך זה, וכמותו הפרק הנוכחי, ממוקד במקורות המים הטבעיים, אך הוא עוסק גם במפעלים מעשה-ידי אדם שנועדו לשימור המקורות הטבעיים, כמו מפעלי החדרה למי התהום. הפרק מחולק לשני חלקים:

הסיפור של פארק אמשר בחבל הרוהר, גרמניה

כשני מליון נפש התגוררו בשנות ה-80 של המאה העשרים באזור הרוהר הצפוני בגרמניה (כ-800 קמ"ר). האזור, העשיר במכרות פחם, פרח בעידן התעשייתי, אך מאמצע המאה שעברה הלך והידרדר פיסית, כלכלית וסביבתית. ההידרדרות מצאה ביטוי קיצוני בזיהומו של נהר האמשר (Emscher), העובר לאורך האזור.

בשנת 1989, ביוזמתה של ממשלת צפון ריין-וסטפליה, החל לפעול באזור פרויקט שיקום רחב מימדים. תכנית האב של הנהר חייבה שיתוף פעולה בין 17 ערים, השוכנות לאורכו. תוך עשור, בוצעו כ-120 פרויקטים גדולים וקטנים, שנועדו להשיג תריסר מטרות סביבתיות, כלכליות וחברתיות. הראשונה מבין התריסר הייתה: שיקום אקולוגי של האמשר ויובליו, בשילוב עם פיתוח מערכות ביוב וניקוז מודרניות.

לפני העידן התעשייתי, היו האמשר ויובליו מערכת מפותלת שזרמה בשיפוע מתון. בעקבות תיעוש האזור והרצון לנצל את הקרקע לבנייה, הנהר יושר והפך לתעלת בטון. שפכים הוזרמו לתעלה והנוף המקורי נעלם כליל. המשימה הראשונה של פרויקט השיקום הייתה ניקוי הנחל מן הזיהומים הכבדים שהגיעו אליו. מפעלים לטיהור שפכים נבנו לאורכו ותכנית להשבת מים נקיים אליו כללה הזרמת נגר ושפכים מטוהרים. על גדות המים הזורמים הוסדרו פרוזדורים ירוקים, ובתוכם שבילים להליכה ולרכיבת אופניים, שטחי נופש, גנים ציבוריים ושמורות אחדות.

תוך חמש שנים הושקעו בפארק שלאורך הנחל 2.5 מיליארד מארק גרמני ב-134 פרויקטים שונים. עיקר ההשקעה הייתה של הממשל הפדרלי והמקומי בגרמניה, שאליו חברו הסקטור הפרטי והסקטור ההתנדבותי, בצירוף תמיכה של האיחוד האירופי.

נהר האמשר שוקם אקולוגית. במקביל, שומרה ושוקמה מורשת הבנייה באזור. בניינים תעשייתיים ואחרים לאורך הנהר שופצו והוסבו למבני חינוך, תרבות ופנאי. אירועים פסטיבליים הופעלו באזור, ככלי למשיכת המוני תושבים ותיירים. הפרויקט כולו נחשב כאחד המוצלחים מסוגו באירופה. מעריכיו קבעו, כי "שיקום מערכת המים מהווה את עמוד השדרה של התכנון כולו".

המקור:

European Academy for the Urban Environment, SURBAN

הראשון דן באמצעים סטטוטוריים להגנה על אתרים של הפקת מים ממקורות טבעיים ושל החדרת מים למי התהום, והשני עוסק במיפוי הפריסה המרחבית של החדרת נגר.

3.3.1 יצירת "אזורי הגנה תכנונית" על מקורות מים

המנגנון ההולם לקביעת אזורי הגנה על מקורות מים גדולים וחשובים הינו הכנת תכנית אגנית כוללת, ובהעדרה, תכנית אב מחוזית. על מה שראוי להיכלל בהגנה התכנונית, אפשר ללמוד מן המנגנון הקרוי "תקנות בריאות העם", הקובעות רדיוסי הגנה לקידוחי מים (תנאים תברואתיים לקידוחי מי שתייה, התשנ"ה – 1995). אולם הרדיוסים בתקנות אלה מתייחסים נקודתית לכל קידוח בפני עצמו, בעוד שכאן מדובר ב"אזורי הגנה", שכל אחד מהם עשוי לכלול מספר רדיוסי הגנה בשטח של אלפי דונמים, שנמצאים בם מקורות מים חשובים במיוחד, לא רק קידוחי מים. יתר על כן, הצירוף שלהם עשוי ליצור שטח, הנמצא באחריותן של רשויות אחדות, ומשום כך חיוני תכנון אזורי, אשר כל הרשויות הנוגעות בדבר אמורות לקבל את סמכותו.

נציין עוד, שהתקנות הנ"ל נכנסו לתוקף רק ב-1995, ולעיתים קרובות אינן חלות על אזורים שהייתה בם כבר בנייה במועד זה (תקנה 16 מאפשרת פטור כזה). ההצעה במסמך זה הינה להתייחס גם לאזורים שכבר בנויים, וגם אם אי אפשר או לא רצוי להשיב את הגלגל אחורנית, אפשר ורצוי למנוע את המשך הפגיעה.

בתקנות הנזכרות של בריאות העם נקבעו שלוש רמות של "הגנה תכנונית" על מים:

- אזור מגן א' (רדיוס של 10-20 מ' מן המקור) - אסורה כל בנייה, למעט מבנים המשמשים לשאיבת מים ולשיפור איכותם;
- אזור מגן ב' (רדיוס של עשרות מ' מן המקור) – אסורה כל בנייה, התקנה או פעילות, העלולים לזהם את המים, כולל מבני מגורים, מבני ציבור ומבני מסחר;

- אזור מגן ג' (רדיוס רחב יותר מן המקור) – אסורה כל בנייה, התקנה או פעילות, העלולים לגרום לזיהום חמור של המים, כולל מיתקני ביוב, אתרי אשפה, אזור תעשיה או אזור השקייה בקולחים.

במסגרת מסמך זה לא נדון בקביעתה של רמת ההגנה הדרושה (מגן א' או ב' או ג' שלעיל). קביעתה צריכה להיות מותאמת למקרים ספציפיים, שלגביהם יחליטו הידרו-גיאולוגים יחד עם מהנדסים, העוסקים בבריאות הציבור. כאן נמנה את הסוגים השונים של גופי מים חשובים, אשר תכניות אגניות צריכות לקבוע אזורי הגנה עבורם.

3.3.1.1 הגנה על אזורי מעיינות ראשיים

הדוגמא המובהקת לעניין זה היא מעיינות הירקון בראש העין, שהתכנית עבורם מוצגת בקצרה להלן. דוגמאות נוספות של מקבצי מעיינות חשובים, אשר דרושה להם הגנה תכנונית הם: מעיינות הירדן,

"שימור אסטרטגי" של מי תהום באזור בנוי חלקית מעיינות הירקון

אבי המושג "שימור אסטרטגי של מי תהום" הוא מהנדס בריאות הסביבה במחוז המרכז, אהוד לשם, שיזם את מח/161 – תכנית לשימור של מי התהום באזור נביעתם של מעיינות הירקון. מעיינות אלה מספקים 70 מליון מ"ק לשנה, כ-50% ממי השתייה של תל-אביב וסביבתה. התכנית קובעת את גבולות האזור על-פי רדיוסי מגן ב' של מכלול קידוחי מעיינות הירקון ובכך נוצר אזור הגנה בן 5,650 דונם. מדובר בתכנית בעלת מעמד סטטוטורי, לפי סעיף 78 לחוק התכנון והבנייה. מעמד זה מקנה לה את הזכות להתנות תנאים מיוחדים לפעילויות המתבצעות בתחום התכנית.

כשלב ראשון בוצע סקר מקיף של שימושי הקרקע באזור שהוגדר (לשם, 2002). נמצאו שם מגורים (השכונות המערביות של ראש העין וקיבוץ גבעת השלושה), אזור תעשייה, חקלאות, מתקנים הנדסיים, תחנת רכבת, מערכות כבישים ופארק לאומי אפק. בכל אחד מאלה מצאו הסוקרים מקורות זיהום בפועל או בפוטנציה, כשהערכתם היא כי חומרים שנפלטים משימושי קרקע אלה יכולים להגיע למקורות של מעינות הירקון 20 שנה מיום הגעתם אל פני השטח (שם, עמ' 7).

מעיינות כורדני/נעמן, והתנינים. רוב המעיינות באזורים הללו יבשו, בשל שאיבת יתר שהנמיכה את מפלסי מי התהום, כך שהמים אינם מגיעים אל פי המעיין. אולם באזורים אלה קיימים קידוחי מים צפופים, שיש להגן עליהם מזיהומים למיניהם, ובשנים ברוכות גשמים, כשהמפלסים עולים, גם המעיינות מתגלים ושופעים וזקוקים מאד להגנה.

3.3.1.2 הגנה על אגמים, במיוחד הכינרת

הכנרת משמשת מקור למי שתייה (לאחר טיפול) ומהווה מערכת אקולוגית בעלת חשיבות רבה. בה בעת היא מהווה גם בסיס כלכלי, בעיקר לתעשיות התיירות והדייג, וממלאת תפקיד חברתי חיוני כאתר נופש וקייט. מינהלת הכנרת מופקדת על הגנת כל התפקודים הללו ואחראית לא רק על האגם עצמו אלא גם על הנחלים המובילים אליו ועל כלל אגן ההיקוות. תפקידה לאכוף הנחיות תכנוניות ולפקח על הפעולות בשטח. הזרימות ברחבי האגן ואיכות המים בנחלים ובאגם מנוטרים על ידי השירות ההידרולוגי, מעבדת הכנרת של החברה לחקר ימים ואגמים (חיא״ל), צוות אגן ההיקוות של ״מקורות״ ומעבדת מיג״ל, שפעולתם מונחית על ידי צוות היגוי מטעם נציב המים וממצאיהם מעובדים ומנותחים לזיהוי תהליכים ופעולות בעלי השפעה על כמויות ואיכות המים המגיעים לכנרת. רשות הניקוז של אגן הכנרת עוסקת ברצועות הנחלים ובפעולות שמטרתן מניעת נזקים עקב זרימות גבוהות, תוך תיאום עם מנהלת הכנרת.

תכנית המתאר הארצית למרחב הכנרת וחופיה היא תמ״א 13, שקיבלה תוקף בשנת 1981. היא קבעה את ייעודי הקרקע במרחב הכנרת ובחופיה, בראייה תכנונית כוללת. מטרתה הוגדרה כיצירת אפשרות לניצול משאבי טבע לצורכי נופש, תיירות ורווחת הציבור, תוך שמירה על איכות מי הכנרת וערכי נוף וטבע. ייעודים של מגורים, מלונאות, נופש ושייט הותרו, אולם מכיוון שכולם מהווים פוטנציאל לזיהום מי האגם, הוטלו עליהם מגבלות: נאסרה כליל בניה במרחק 50 מ׳ מקו מפלס המים המירבי (209-), שטחים נרחבים הוגדרו כשטחים פתוחים,

קיבולת החופים הוגבלה ל – 92,000 נופשים, קיבולת האכסון הוגבלה תחילה ל – 30,000 ומאוחר יותר ל – 50,000 מיטות, וקיבולת מעגני השייט הוגבלה ל – 750 סירות (גרין, 2006). לא כל המגבלות נאכפות במלואן, ובכל זאת יצוין, שלפנינו דוגמא טובה של שילוב שיקולים של הגנה על מקור מים בתכנון אזורי.

3.3.1.3 הגנה על אזורים עיקריים של החדרה למי התהום

ברשימת מקורות המים החשובים, הראויים להגנה במסגרת תכניות אב אגניות או אזוריות, נכלול גם שטחים המיועדים למפעלים ואתרים להחדרת מים למי התהום, מים שמקורם עשוי להיות במערכת הארצית, או במתקני התפלת מים, או במי גשמים שזרמו כנגר על-קרקעי. הכוונה כאן איננה למתקני החדרה קטנים, שנמליץ במקום אחר על התקנתם בשטחים עירוניים, אלא למפעלי החדרה גדולים, שנועדו להעשיר את מי התהום בכמויות מים משמעותיות, כמו המפעלים והאתרים הנזכרים בתמ״א המשולבת למשק המים 34ב׳/4 (37 מפעלים ואתרים בנספח שם). את פריסתם וגבולותיהם של אלה יש לכלול בתכנית אגנית, ובהעדרה, בתכנית מחוזית. התכנית תקבע את גבולותיהם של סוגי ההגנה התכנונית הדרושה להם, כדי למנוע פגיעה בתפקודו של המפעל, בכמות ובאיכות של המים המוחדרים באמצעותו ובבריאות הציבור.

3.3.2 מיפוי רציות (desirability) של החדרת נגר

הפנמת שיקולי מים בתכנון ארצי ואזורי הינן מחייבות פיתוחן של מפות, שתנחינה את המתכננים היכן רצוי והיכן אסור להחדיר נגר לקרקע.

בישראל מקובל לחשוב על החדרת נגר רק בהקשר של העשרת מי תהום. אם כך, במקום שאין אקויפר פריאטי מתחתיו – אין צורך להחדיר. ולא היא. **החדרת נגר עשויה להיות מועילה מאד גם במקום שהמים**

החודרים אינם מגיעים לאקויפר, כי החדרה משמשת גם למניעת הצפות מזיקות, באמצעות עיכוב זרימת הנגר, הארכת זמן הריכוז שלו והקטנת ספיקות השיא. יתר על כן, החדרה מרווה את שכבת הקרקע העליונה ובכך תורמת לסביבה ירוקה יותר. לפיכך, רצוי להחדיר מי גשם לקרקע בכל מקום שאין איסור להחדירם, איסור היכול להיות מוטל בשל חשש מזיהום או בשל חשש מהצפה וסיכון של בניינים ותשתיות. בכדי שהמתכננים ידעו היכן רצוי/מותר/אסור להחדיר, דרושות להם מפות של "רציות" (desirability) החדרתו של נגר לקרקע, מפות ארציות ומפות מקומיות. כפי שיוסבר להלן (3.3.3.2), המפות החלקיות הקיימות אינן עונות על הצורך.

יש לפתח מפות רציות (desirability) החדרה של נגר לקרקע, מפות ארציות ומפות מקומיות, אשר תצבענה על קבוצות של שטחי קרקע אשר בהם:

<u>אסור להחדיר</u> – אסור, כי החדרה תגרום לנזק, כגון: הצפה, פגיעה בבנייה ותשתיות, פגיעה באיכות המים ו/או הקרקע; בכל יתר השטחים - מותר ורצוי להחדיר;

<u>רצוי להחדיר עבור מי התהום</u> – החדרה מעל אקוויפר שמימיו ניתנים לניצול; מומלץ להבחין כאן בין רצוי לרצוי מאד, כאשר רצוי מאד מתייחס לתא שטח שבו קיים נפח מחסור גדול והקרקע מאפשרת מעבר ממקום החלחול למקור המים תוך 10 שנים, וזאת בהנחה ששיקולי האיכות עומדים בקריטריונים שנקבעו;

<u>רצוי להחדיר מטעמים אחרים</u> – ההחדרה עשויה לסייע למיתון ספיקות הנגר ומניעת שטפונות ו/או להגדלתם של שטחים ירוקים.

הכנת מפות כאלה אינה מאמץ חד פעמי. חיוני לעדכן אותן אחת למספר שנים, בהתאם למידע מתחדש.

3.3.2.1 קריטריונים לקביעת רציות ההחדרה

מוצגת כאן רשימה מומלצת (לאו דווקא שלימה) של קריטריונים לקביעת רציות/אי רציות של החדרת נגר לקרקע. ארבעת הראשונים מיוחדים להחדרה לצורך העשרת מי תהום, בעוד ששלושת האחרונים חשובים לכל מקרה של החדרה, גם במקום שאינו מעל אקויפר.

- **קיום אקוויפר שמימיו ניתנים לשאיבה מתחת לאזור ההחדרה וגובה מפלס המים בו** - בשל שאיבות יתר, מרבית תאי האקוויפרים בישראל סובלים ממחסור, היינו: מפלס המים בהם נמוך (לעיתים במטרים אחדים) מזה שנקבע כרצוי. בחלק מן המקומות ידוע על "שקעים הידרולוגיים" באקויפר, מעין מכתשים של מחסור. ההחדרה רצויה במיוחד בשטחים הסובלים ממחסור חמור. לעומת זאת, יש גם מקומות (בקרבת חוף הים, כמו בחוף ת"א-יפו), שבהם מי התהום גבוהים במידה כזו שהחדרת נגר עשויה לגרום להצפות מזיקות.
- **זיהומים בקרקע, בתווך הבלתי רווי** - חשובים כקריטריון להחדרה מעל אקויפרים, בשל חשש מסחיפת הזיהום מן הקרקע אל מי התהום, באמצעות הנגר המוחדר. שימושי קרקע מסוימים, כמו מזבלות ותחנות דלק, ידועים כמקורות לזיהום חמור של הקרקע, וודאי שאסור להחדיר מים במקום קיומם או במקום שהיו קיימים בעבר. קיים מידע רב על מציאות זיהומי קרקע, במיוחד באזורים שמעל אקויפר החוף, באגף לאיכות המים של השירות ההידרולוגי בנציבות המים ובמכון הגיאולוגי.
- **שיקולים של ניהול האקויפר** - המים החודרים למי התהום משתתפים בתמונה אזורית של העשרה, זרימה, הפקה והשפעה על חדירת גופי מים שכנים (כמו מי הים, מה שקרוי חדירת הפן הביני). לפיכך, שיקולי ההחדרה אינם מקומיים בלבד, אינם מתייחסים רק למי התהום הנמצאים אנכית מתחת לשטח ההחדרה, אלא תכנון ההחדרה צריך לקחת בחשבון את תועלתם הצפויה של המים המוחדרים, כתוספת עתידית לשאיבה או לניהול המפלסים

והאיכויות בכל האזור הרלבנטי של מי התהום. לפיכך, מומחיות בניהול אקוויפרים, מעין זו המצויה כיום בנציבות המים, חיונית ליצירת המפות הנדונות.

- **איכות מי התהום** - הנגר המוחדר לקרקע ונמהל במי התהום אמור להועיל לשיפור איכות המים בתאי אקוויפר שהזדהמו. לפיכך, המים המוחדרים צריכים להיות טובים יותר באיכותם ממי התהום שאליהם הם זורמים, בוודאי באקוויפר שממנו נשאבים מי שתייה. כמובן, שיש להימנע מלזהם מי תהום באיכות טובה, באמצעות החדרת נגר באיכות נמוכה. נציין, שיש מתנגדים להזרמת נגר למי תהום שאיכותם נמוכה במיוחד, בטענה שמים אלה מיועדים לטיהור (התפלה), והרחקת ק״ג של מזהמים מומסים מתמיסה מרוכזת תהיה תמיד יותר זולה מאשר הרחקתם מתמיסה מהולה. מידע רב על איכויות מי התהום מצוי בשירות ההידרולוגי.
- **איכות מי הנגר** – מומחים יקבעו את הקווים האדומים של מדדי איכות לנגר המותר להחדרה לקרקע; סביר יהיה להבחין בין מותר להחדרה מעל אקוויפר שההחדרה אמורה להגיע אליו תוך שנים ספורות לבין מותר להחדרה בשטחים אחרים, כולל שטחים שאינם מעל אקוויפר. יצוין, כי על-פי פרסומים בספרות המקצועית, איכות נגר משכונות מגורים (כולל השירותים והדרכים שבתוכן) טובה להחדרה, אפילו מעל לאקוויפרים שמהם נשאבים מי שתייה (כרמון ושמיר, 1997 בורמיל, שמיר וכרמון, 2003; Asaf et al., 2004, 2005; הנחיות המשרד לאיכות הסביבה, 2002). לעומת זאת, מומלץ לאסור החדרת מי נגר, המגיעים מאזורי תעשייה ומלאכה, וודאי ממתקני תשתית מזהמים. יש לבדוק בזהירות רציות ההחדרה מדרכים ראשיות.
- **תכונות החלחול של הקרקע** – קרקעות נבדלות זו מזו בתכונות החלחול שלהן, יש חדירות מאד, כמו חול, ויש אטומות, כמו חרסית. מפות של סוגי הקרקעות בישראל מצויות במקורות רבים, כולל אטלס ישראל החדש (1995). הפרמטר הרלבנטי ביותר הינו כושר

החלחול ברוויה של כל סוג קרקע, היינו: קצב החלחול מפני הקרקע, כאשר השכבה העליונה של הקרקע רוויה ואין היערמות מים על פני הקרקע. בספרות המקצועית מצויות טבלאות של נתוני מוליכות הידראולית של קרקעות מסוגים שונים (ר' מקבץ נתונים אצל כרמון ושמיר, 1997, עמ' 7-163).

- **סיכונים למתקנים בנויים** – מים מוחדרים יוצרים רטיבות בקרקע לאורך זמן, המועילה בדרך-כלל לצמחים, אך עלולה לפגוע בבניינים ובתשתיות בנויות. מהנדסי ביסוס אמורים לקבוע את מידת הסכנה לסוגי מבנים ותשתיות ספציפיים ולדרוש הרחקה של החדרה מהם. שיקולים אלה הינם מקומיים, בדרך-כלל בקני מידה של מטרים ספורים עד עשרות מטרים.

3.3.2.2 המיפוי הקיים אינו עונה על הצורך

לכאורה, קיימות בארץ מפות מנחות להחדרת נגר, שחלקן אפילו הוכן במיוחד למטרה זו, אך משותפים להן שני פגמים: האחד – כולן מתייחסות רק למטרה של העשרת מי תהום ומתעלמות מרציות ההחדרה גם למטרות אחרות; השני – הן מתייחסות רק לחלק (בד"כ קטן) מן הקריטריונים החשובים הנ"ל.

ב"מדריך לתכנון ובנייה משמרת נגר עילי" (פרלמן, וידן, גרינבאום ואחרים, 2004, נספח 1.3, עמ' 105) נערך ניסיון להשתמש במפה של השירות ההידרולוגי (2003) לצורכי הנחייה להחדרת נגר. ניסיון שסובל מפגמים דומים מוצג בטיוטה של תמ"א 34ב'/4 (אפריל 2006), המחלקת את ישראל באופן גס לשלושה אזורי רגישות, מבחינת "פגיעות מי התהום" (קנה מידה 1:250,000). ניסיון קרוב יותר ליעד הנדון כאן בוצע בידי השירות ההידרולוגי, שפרסם מפות של אזורי החדרה פוטנציאליים לטווח הקצר ולטווח הארוך (השירות ההידרולוגי, 2004). מפות אלה מתחשבות באיכות המים המוחדרים ואלה שבאקוויפר, מסמנות את הפן הביני, ובעיקר, את "נפח המחסור" במים בתוך האקוויפר. קנה המידה שלהן (ריבועי יוסום של 2 x 2 ק"מ) מתקרב

לקנה מידה שימושי לקביעה ראשונית של ייעודי קרקע באזור עירוני. אולם, מפות אלה מתייחסות למישור החוף בלבד (שמעל לאקוויפר החוף), והן מתעלמות מניתוח הקרקע (חדירותה, עומקה, מידת הזיהום בה), החיוני לקביעת רציות ההחדרה, ואינן מתייחסות להחדרה שלא לצרכי העשרת אקוויפרים.

כל המפות שהוזכרו כאל הינן בקנה מידה גדול עד גדול מאד. מכיוון שתר״מ ממליץ על החדרה גם בשטחים פתוחים קטנים וגדולים בתוך הערים, **דרושה הכנה של מפות מקומיות לרציות החדרה, לפי אותם קריטריונים, בכל רשות מקומית עירונית**. ההבדל בין מפות אזוריות ומקומיות יהיה בקנה המידה ובמידת הפירוט. במפות המקומיות דרושה הקפדה רבה על זיהוי האזורים האסורים להחדרה, בשל זיהומים או סיכונים אחרים, כולל הסיכונים למתקנים קיימים. בהעדר מפות מקומיות מפורטות, נדרשת בדיקה פרטנית של רציות ההחדרה בכל אתר מתוכנן.

3.3.3 שילוב תשתיות מים בתכנון ארצי ומחוזי

התכנון הארצי והאזורי חייב לייעד שטחי קרקע לתשתיות מים, בעיקר למערכת הפקה והולכה, כולל מאגרים ראשיים, מתקנים גדולים להתפלה וטיפול במים, מט״שים, תחנות שאיבה ראשיות וקוים ראשיים. במתכונת ההתנהלות הנוכחית נוצרים פערים גדולים בין צרכי אספקת המים לבין היכולת לממשם, בשל עיכובים סטטוטוריים (לדוגמא: ידוע ומקובל הצורך במערכת חמישית לירושלים, אלא שהבטחת הפרוזדור להעברת הקו נתקלת בקשיים ונמשכת זמן רב).

הדרישה לשילוב תשתיות מים בתכנון הארצי אמורה להתמלא בעזרת תמ״א 34/ב׳, פרק 5: מערכות הפקה והולכת מים. תהליך הכנתו של פרק זה נמצא בשלבים ראשונים, בעת כתיבת מסמך זה. בטיוטות הראשונות נקבע כי המטרות של חלק זה בתמ״א הן: (א) הבטחת יכולת אספקת סוגי המים השונים לצרכנים; (ב) העברת מים ממקורותיהם הטבעיים ו/או המלאכותיים , במקומות שבהם הביקוש

נופל מההיצע למקומות שבהם הביקוש גובר על ההיצע; (ג) הגנה על מקורות מים. אלה מטרות ראויות . נוסיף כאן שפיתוח מערכות ההפקה וההולכה נעשה בתנאי אי וודאות (הידרולוגיה, פריסת האוכלוסיה וגידולה, דרישות החקלאות למים שפירים ולקולחים), ולכן לא ניתן לקבוע מראש, לטווחי זמן ארוכים, את כל האתרים שיידרשו. לכן, תמ״א 34/ב׳5 צריכה לכלול מנגנון שיאפשר התאמה לצרכים ולתנאים משתנים.

פרק 4
תכנון רגיש למים בעיר

תכנון רגיש למים (תר״מ) מחייב לכלול בתהליך התכנון העירוני אותם שלושה שיקולי מים חשובים, שהמלצנו לתת להם משקל גבוה בתכנון ארצי ואזורי: האחד - שימור נחלים וערוצי מים טבעיים; השני - הגנה מפני שיטפונות; השלישי, ולא אחרון בסדר החשיבות - שימור מקורות המים, כולל דגש על מי התהום, המשמשים כמקור עיקרי למים עבור אוכלוסיית ישראל. בנוסף להם, ינחה את המתכנן העירוני העיקרון של חיסכון במים.

התחשבות בשיקולי המים הנ״ל בתכנון עירוני חיונית, מצד אחד בכדי לקדם את איכות הסביבה, התורמת לאיכות החיים בעיר, ומצד שני על מנת למנוע מפגעים, המזיקים לאיכות החיים והסביבה. מניעת מפגעים מתייחסת להיבטים של איכות המים, העלולים לסכן את הבריאות, ושל הגנה מנזקי שיטפונות, העלולים לגרום (וגורמים בפועל) נזקים כבדים בעונת הגשמים. קידום איכות הסביבה העירונית מתייחס לריבוי שטחים ירוקים בעיר, כתוצאה של שימור נחלים וערוצים ושל ״ניהול ירוק״ של הנגר והניקוז העירוני, ריבוי שחשוב לבריאות (ירק תורם לטיהור אוויר מזוהם), לאסתטיקה (רוב בני האדם מתייחסים בחיוב לאסתטיקה ירוקה), לבילוי מגוון של זמן פנוי וגם לערך הכלכלי של נכסי נדל״ן בעיר, העולה בסמוך לשטחים ירוקים, ובמיוחד, בסמוך לשטחי מים.

לכל היתרונות הללו של שילוב שיקולי מים בתכנון העירוני, סביר להוסיף תחושה טובה של תושבים, המסייעים לשימור מים בעיר, בין אם באמצעות חיסכון במים ובין אם בדרך של החדרת נגר בחצרותיהם. זאת, על רקע דיווחים על עליית המודעות הכללית לנושאי סביבה,

בעיקר בקרב אוכלוסייה צעירה, ועל בסיס מימצאים שלנו (בארי, כרמון ושמיר, 2005) בדבר מודעות גבוהה מאד של הציבור בישראל למצב

החמור של משק המים בארץ ורצון של רבים בציבור הישראלי לתרום תרומה אישית בנושא.

<u>שיקולי מים ייכללו תמיד בשלב הראשון של יצירת תכנית עירונית</u>. זהו השלב המתאים להחלטות בדבר מיקומם וגודלם של השטחים הפתוחים העיקריים, תוך התחשבות בתוואי הנחל והערוצים הטבעיים שבעיר והתחשבות באפשרות ההחדרה לקרקע של הנגר העירוני. זהו גם השלב לסימון התוואים המשותפים לכבישים ולמערכות הניקוז. בקבלתן של החלטות תכנוניות בסיסיות אלה, בדבר מיקום וגודל שטחים פתוחים ותוואי הכבישים העירוניים, יוקצה מקום חשוב לשיקולי מים.

4.1 פריסת שטחים פתוחים (עיקריים) בעיר בהתאמה לשיקולי מים

חשיבותם של השטחים הציבוריים הפתוחים (שצ״פים) במרקם העירוני זוכה כיום להכרה כללית במדינות המערב. הכרה זו גברה בשנים האחרונות, בשל סיבות מגוונות, כולל: העלייה הגדולה בממוצע שעות הפנאי בכלל ושעות הבילוי בחיק הטבע בפרט, המודעות הגוברת לאיכות סביבה כמרכיב יסודי באיכות החיים, וגם הגידול באוכלוסייה המבוגרת, שהיא משתמשת מובהקת בשטחי גנים עירוניים (רז ועין דור, 2000).

תכנון השטחים הפתוחים בעיר מחייב קבלת החלטות לגבי כמותם, מיקומם ועיצובם. בפרק זה נתייחס לסוגיות של כמות ומיקום.

כמות השטחים הפתוחים הדרושה בעיר אינה קבועה בחוק או בתקנות. היא נקבעת על-פי מדריכי תכנון מקובלים, כמו אלה הוותיקים של היל

ואלתרמן (1977,1988) וכמו המדריך של לרמן (1999). גורמים "ירוקים", ובמיוחד עמותת "אדם טבע ודין", טוענים שהמדריכים הנ"ל אינם עומדים בסטנדרטים המקובלים במדינות המערב. הם ממליצים (רז ועין דור, 2000) על קביעת סטנדרט של 20 מ"ר לנפש בערים, לעומת כ-10-12 בלבד ב"תדריך תכנון להקצאת קרקע לצורכי ציבור", שיצא לאור לפני שנים אחדות (לרמן, 1999).

נימוקים רבים תומכים בהקצאה נדיבה של שטחים פתוחים בעיר. אחד החשובים ביניהם הוא, שבהעדר כמות גדולה של שטחים פתוחים קטנה האטרקטיביות של החיים בעיר. התגברות המודעות בציבור לנושאי איכות החיים ואיכות הסביבה מתבטאת, בין היתר, בשאיפה לגור במקום שיש בו "ירוק לעיניים" ומרחב לנשימה, מה שהביא לביקוש רב למגורים צמודי קרקע מחוץ לעיר. על כן, שמירת איכות החיים והסביבה בעיר, כולל ריבוי "ירוק לעיניים", הינה תנאי לכך, שגם מי שיכולים להרשות לעצמם לצאת ולגור בבתים צמודי קרקע מחוץ לעיר, יחליטו להתגורר בעיר. פיתוח שטחים פתוחים איכותיים בכמות ניכרת הינה דרך טובה להפוך את העיר למקום מושך עבור אוכלוסיות רחבות, מה שרצוי מבחינת העיר ורצוי מבחינת שימור השטחים הפתוחים שמחוץ לעיר.

נימוק חשוב נוסף לטובת הקצאה נדיבה של שטחים פתוחים וירוקים בעיר הינו הנימוק האקלימי-בריאותי. ירק בעיר, במיוחד עצים, תורם למיתון טמפרטורות קיצוניות במהלך היממה והשנה, סופג או מחזיר קרינת שמש, מווסת את כמות הלחות באוויר, קולט חלקיקי אבק ומזהמים מן האוויר, ובכך תורם להפחתת מחלות, הנגרמות על-ידי זיהום אוויר (עמיר ומשגב, 1989).

לכאורה, שיקולי מים, ובמיוחד הרצון לחסוך בהשקייה, עשויים לעמוד כנגד השאיפה להגדיל את השטחים הפתוחים בעיר. טענתנו היא, **שתכנון רגיש למים מגשר בין הרצון לטפח שטחים פתוחים נרחבים**

בעיר לבין הצורך לחסוך במים, וליתר דיוק: הצורך להקטין את הצריכה של מים ראויים לשתייה. זאת, בשלוש דרכים: האחת – המלצות תר״מ כוללות הנחיות לתכנון גנים חדשים חסכוניים במים וגם להפיכת גנים קיימים לחסכוניים במים, תוך שדרוגם; השנייה – המלצות תר״מ להקצאת שטחים לאצירה והחדרה של נגר בעיר ולשימוש ישיר בנגר עירוני לצורכי השקייה יוצרות פוטנציאל לריבוי שטחים ירוקים ללא עלייה בצריכת המים; ולבסוף – מימוש ההמלצות לשימוש עירוני במקורות מים חילופיים, כולל מים אפורים ומי קולחים מטוהרים, יאפשר להקטין את הצריכה העירונית של מים שפירים. לפיכך, מסקנתנו היא שהצורך לחסוך במים אינו עומד בניגוד לשאיפה להגדיל את השטחים הפתוחים בעיר.

בשל נימוקים שפורטו לעיל, מומלץ לאמץ תקנים (סטנדרטים) גבוהים לכמות השטח הפתוח לאדם בעיר, וזאת בתנאי שהשטחים הפתוחים יתוכננו בהתאם לכללי תר"מ, המפורטים במסמך זה. <u>מומלצים תקנים גבוהים לשטחים פתוחים בעיר</u>, ברוח המלצות "אדם טבע ודין" (2000), <u>אך אין לחייב תקנים אחידים ביישובים שונים ובאזורים בעלי אופי שונה בתוך אותו יישוב</u>. בדרך-כלל, תושבי הפריפריה העירונית ייהנו מיותר שטחים פתוחים מאשר תושבי מרכז העיר, הנהנים מיתרונות אחרים. אולם, באותם מקרים שדווקא במרכז מצויים אלמנטים הידרו-גיאוגרפיים מסוימים, כמו נחל משמעותי או שטח נמוך במיוחד וחסר מוצא טבעי לניקוז ("אמבטיה"), יוגדלו השטחים הפתוחים גם במרכז העיר.

ההמלצה שלעיל עוסקת בעיקרה בסוגיית הכמות הרצויה של שטחים פתוחים בעיר, אך סופה מוביל לסוגיית המיקום. תר״מ מחייב קביעת

מיקום תוך התחשבות בשיקולי מים, היינו: בנתונים ושיקולים של המערכת ההידרו-גיאוגרפית. מובן מאליו, שאין אלה השיקולים היחידים, ולעיתים קרובות ראוי ששיקולים חברתיים וכלכליים יקדימו אותם בסדר החשיבות. אולם במקרים ספציפיים, כמו במקומות שבהם יש סיכוי לשיטפונות חמורים, יש להעלות את השיקול ההידרולוגי לעדיפות ראשונה. מומלץ לאסור בנייה של בנייני מגורים והעברה של דרכי תחבורה במקומות המועדים לשיטפונות. את ככר סטרומה שבחולון, הנמצאת על נתיב תחבורה עמוס, מציפים מי גשמים כמעט בכל שנה, הצפות שגורמות לנזקים כבדים; במקום זה צריך היה להיות שטח פתוח, המתוכנן כך שהוא יכול לקלוט הצפות, מבלי לפגוע באדם וברכוש, על ככר סטרומה (ומקומות נוספים בגוש דן) http://www.telaviv.police.gov.il/index.asp?id=7&year=2003.

גם במקרים שבהם עובר נחל בעיר, ראוי להעלות את שימורו ושיקומו למקום גבוה בסדר העדיפות של קבלת החלטות המיקום של שטחים פתוחים, בשל תועלותיו המגוונות. אף ערוצי מים קטנים, המנתבים זרימתו של נגר בחלק מימות השנה, יכולים לתרום לאיכות החיים בעיר, אם הבנייה העירונית לא תכסה אותם והם יתוכננו היטב.

כללי תר"מ מחייבים שתכנונו של שטח חדש יתחיל מפריסת השטחים הפתוחים בו, לפחות הגדולים שביניהם, היינו: יש למקם את השטחים הפתוחים העיקריים, כאשר אתר התכנון עדיין נקי משימושים אחרים. זאת, כדי <u>להתאים את פריסת השצ"פים – ככל האפשר – למערכת ההידרו-גיאוגרפית המקומית</u>, בעיקר לתוואי הנחלים ולשיפועי השטח, היוצרים את נתיבי הזרימה של נגר על-קרקעי באזור המתוכנן. לעיתים יש להתחשב גם בזרימות תת-קרקעיות, במיוחד באזורים קרסטיים.

4.1.1 שימור ושיקום נחלים כמרכיב מרכזי בתכנון עירוני ובהתחדשות עירונית

נחלים אורבניים הינם, לפחות בפוטנצייה, נכס עירוני ראשון במעלה. נחל העובר בעיר יכול לשמש כריאות ירוקות, שחשיבותן ויזואלית, בריאותית וגם כלכלית: הן מעלות את ערך הנכסים שבקרבתן. נחל שהוכשר כריאה ירוקה יכול לשמש לתמיכה והעשרה של פעילויות פנאי, נופש, ספורט, תיירות, חברה וחינוך. נחל מתוכנן כראוי בסביבה עירונית עונה על צרכים רבים של האוכלוסייה הרבה המתגוררת בסמיכות אליו. בנוסף לכך, יש לו גם תועלות אקולוגיות ואקולוגיות-חברתיות, כולל: ניקוז ומניעת הצפות בחלקי העיר השונים, שיפור איכות המים, החדרה מוגברת למי התהום, וגם קירוב של צמחייה טבעית ובעלי חיים למקום מגורי התושבים, באופן התורם ללימוד והעשרה חינוכית.

בכל עיר שיש בה או בקרבתה נחל, תר"מ מחייב לשקמו, לטפחו, למקם לאורכו שטחים ציבוריים ולהנגישו לאוכלוסייה רבה ככל שניתן, באופן שימצה את הפוטנציאל הטמון בנחל ויאפשר לו למלא את תפקידיו החברתיים, ההידרולוגיים והאקולוגיים. קל, יחסית, לממש המלצה זו באזורים שעדיין בלתי בנויים, אך ההמלצה מתייחסת גם לאזורים בנויים, בידיעה ששיקום נחל יכול לשמש כמנוף מרכזי בחידוש והחייאה של אזורים עירוניים ותיקים וירודים. יש לשאוף לשתף את הסקטור העסקי בשיקום נחלים עירוניים, כתרומה לקהילה וכן על בסיס הערכים הכלכליים, הטמונים בנדל"ן שבקרבת הנחל המשוקם, ואולי גם על בסיס עסקי הנופש והתיירות שאפשר יהיה לפתח בקרבתו.

הנחל הינו רצועת קרקע ליניארית. רצועה כזו יעילה במיוחד לאספקת צורכי נופש בעיר הצפופה, משתי סיבות: האחת – שטח פנים גבוה; הוא נושק לעיר לאורך כל מסלולו, ובכך מאפשר לאוכלוסייה רבה להיות קרובה לשטח הירוק; השנייה – פעילויות רבות שתושבי העיר מעוניינים לקיים בשטחים פתוחים כרוכות בתנועה לא מוטורית, כגון הליכה, ריצה ורכיבה על אופניים; לפעילויות כאלה מתאימות במיוחד רצועות ארוכות, היכולות להיות צרות למדי.

רוב הערים בישראל בורכו בקיומו של נחל בתוכן או בקרבתן המיידית. אולם במקרים רבים, התכנון התעלם מנכס פוטנציאלי זה. מסלול הנחל שונה על-פי דרישות יזמי בנייה, גדותיו מותנו ו/או דופנו בבטון, תוך השמדת הצמחייה והחי הטבעיים, ועבור מימיו ומי הנגר האמורים לזרום בו נבנו צינורות תת-קרקעיים. במקרים אחרים, הנחל נשאר בלתי בנוי, אך הפך לחצר אחורית, שבה מושלכת פסולת למיניה ומוזרמים שפכי העיר. כך קרה לעיתים קרובות בעבר, אך גם כיום יש לא מעט ערים המתעלמות מן הנחל שעובר בן.

בניגוד לכך, עיר ישראלית שתכנונה מודע לנחלים לאורך כל ימיה, היא חיפה. כבר בתכנית המתאר הבריטית מ-1934, נשמרו ערוצי הואדיות בעיר כ"אצבעות ירוקות", החודרות אל תוך המרחב הבנוי. במשך עשרות השנים שחלפו מאז, ולמרות הגידול הדרמטי במספר האוכלוסין, נשמרו הואדיות הירוקים. למרות שלא נפתרה בעיית הנגישות אליהם, בעיקר מפני שרובם תלולים מאד, שימורם תורם לעיר את אופייה הפיסי המיוחד, במיוחד להתיישבות שעל הר הכרמל. ערכן של הריאות הירוקות הללו מקבל ביטוי מובהק במחיריהן הגבוהים – יחסית - של הדירות החיפניות, הפונות אל נוף הואדיות.

בשנים האחרונות, גדל מספרן של הערים הישראליות, המכירות בפוטנציאל הטמון בנחליהן ועוסקות בתכנונם ושיקומם. התכנית לנחל באר שבע (מתכנן: אריה רחמימוב), העובר בלב המרקם האורבני ונושק למרכז העתיק, מהווה דוגמא להתחשבות בפוטנציאל האמור, לא מעט בשל ה"אצבעות הירוקות" ששולח תכנון הנחל אל תוך המרחב הבנוי

סביבו. ועוד בדרום: קק״ל מקדמת תכנית לפארק עירוני על גדותיהם של נחלי הפטיש ואופקים, הנפגשים בלב השטח החדש המתוכנן לעיר אופקים. תכנית המתאר לעיר המתוכננת החדשה כוכבי יאיר (מתכננים: רכס-אשכול), שתאחד את צור נתן, כוכב יאיר וצור יגאל, נסמכת על הציר של נחל אלכסנדר ומשבצת לאורכו מבני ציבור ומסחר (במרכז המתוכנן) ושטחי בילוי נרחבים (בשולי העיר).

תר״מ תומך בשיקום וטיפוח נחלים גדולים ומזרימי מים, אך גם יובלים וערוצים יבשים ברוב ימות השנה מומלץ שיטופחו כשטחים פתוחים. כבר הזכרנו את ערכם האורבני של הואדיות בחיפה, אשר ערוציהם מזרימים מים רק אחת לשנים אחדות. גישת טיפוח היובלים לשיפור איכות החיים בעיר נקלטה גם בתכנית האב לפרדס חנה-כרכור (מתכנן: יצחק פרוינד, מתכנני נוף: גרינשטיין הר-גיל), הממליצה על הפיכת מובלי המים ביישוב – יובלים של נחל עדה ותעלות של מפעל נחלי מנשה – לשצ״פים עירוניים. נזכיר כאן, כי במדינות אחדות באירופה ובצפון אמריקה מתפשטת המגמה של ״הארת ערוצים״ (creek day-lighting): התארגנויות מקומיות של אזרחים, הפועלות למען חשיפתם של ערוצי ניקוז טבעיים, שהוסדרו בתעלות תת-קרקעיות, והפיכתם לשטחים ירוקים לרווחת הציבור (ר׳ דוגמא מקליפורניה ב – California Department of Water Resources – Urban Stream Restoration Program (URL)).

בצד התמיכה בשילוב נחלים בתכנון העירוני, חובה להזכיר, שהעברת מים בתוך העיר עלולה לגרום בעיות לא מעטות: הצפות בזמן סופות גשם גדולות (נדירות, אך רבות עוצמה), זיהום יתושים ומטרדי ריח. כדי למנוע בעיות אלה, יש לדאוג לתחזוקה רצופה של גופי המים העירוניים, לפעולות למניעת זיהום, לטיפול באפיק ובגדות ועוד. כל אלה דורשים משאבים עירוניים, בדומה לשירותים עירוניים אחרים, התומכים באיכות החיים של תושבי העיר.

מימוש המטרה של שיפור איכות החיים העירוניים הוא המניע בשנים האחרונות פרויקטים גדולים של שיקום נחלים כמרכיב מרכזי בחידוש

עירוני. **הניסיון הבינלאומי מצביע על כך ששיקום נחלים אורבניים יכול להוות מנוף להחייאה, התחדשות ושינוי לטובה של הדימוי של העיר כולה**. הנחל יכול לשמש כשער לעיר או כשדרה המרכזית שלה.

חשיפת נהר צ'ונג גי צ'ון בסיאול
פרויקט מוביל בחידוש העיר

במשך מאות שנים היה נהר צ'ונג גי צ'ון שבסיאול מרכיב מרכזי בחיי העיר. קיסרי המדינה ותושביה ראו בו עורק חיים, והדאגה לנהר הייתה בין המסורות העתיקות של שליטי המדינה. בעשורים הראשונים של המאה ה-20 הגיעו לסיאול אלפי כפריים, שהתיישבו במגורים מאולתרים על גדות הנהר והפכו אותו לתעלת ביוב מצחינה. בתחילת שנות ה-70 כוסה הנהר באוטוסטרדה, שאורכה קילומטרים רבים. לאחר שנים אחדות נבנה מעליה - על עמודים - מפלס כביש נוסף. כבישים אלו הפכו לציר תחבורה ראשי של העיר.

ב-2003 החליטה מועצת העיר "לגלות את הנהר": האוטוסטרדה פורקה (פורקו שני המפלסים, תוך השארת כמה עמודי בטון כ"מצבה" לאוטוסטרדה) וצינור ביוב גדול הוטמן מתחת לערוץ. נחשפו שישה ק"מ של מים זורמים, שנתיבם עובר בין בנייני העיר (חלק ניכר בתוך תעלה בנויה), ולכל אורכם פארק עירוני עם שפע נתיבי פעולה ומוקדי פעילות. על גדות הנהר מצויים מבנים היסטוריים רבים; 22 גשרי הליכה מאפשרים מעבר מצד לצד. תאורת לילה מרהיבה מאריכה את שעות הפעילות לאורך הנהר. בעבודה על חשיפתו ושילובו מחדש של הנהר במרקם העירוני הושקעו כ-350 מיליון דולר.

בעיר שהיא כיום בת למעלה מ-10 מיליון נפש ובירת קוריאה הדרומית, התקיים בראשית אוקטובר 2005 פסטיבל לרגל "הולדתו מחדש של צ'ונג גי צ'ון", כולל תערוכות פרחים, תצוגות ארכיטקטוניות ומספר רב של תערוכות ואירועים של התרבות הקוריאנית. כחלק ממנו נערך בעיר כנס עולמי של ראשי ערים ומתכננים, ששם לו למטרה ליצור סיעור מוחות פורה, הממוקד בשיקום נחלים עירוניים והשפעתם על התחדשות עירונית. ראש העיר רואה בפרויקט חשיפת הנהר מנוף לשינוי תדמיתה של העיר למקום מודרני וידידותי לסביבה, מרכז תרבות ופעילות לאומי ובינלאומי.

המקור:
http://english.seoul.go.kr/today/news/new_abroad/1225024_13495.html

ניתן לפתחו כשטח עירוני פתוח ולשבץ בו גם מקומות לפעילויות תרבותיות, לעסקים ולבידור, שיעודדו את הצמיחה הכלכלית בעיר.

המשרד להגנת הסביבה מוביל יוזמות לשיקום נחלי ישראל, כולל תשומת לב מיוחדת לנחלים עירוניים. מדריך מועיל למימוש יוזמות אלה הינו פרסום בהוצאת המשרד: נחלי ישראל: מדיניות ועקרונות תכנון (מוטי קפלן , 2004). בתהליך הכנה מתקדם נמצא פרסום נוסף של המשרד, המוקדש כולו לנחלים עירוניים (מוטי קפלן, בהכנה).

4.1.2 מיקום שטחים פתוחים בהתאמה לזרימות נגר עירוני בעיר

המרכיב ההידרו-גיאוגרפי השני, בנוסף לתוואי הנחלים, אשר בו צריך המתכנן להתחשב בקובעו את פריסת השטחים הציבוריים העיקריים במרחב העירוני, הינו הכמות והאיכות של הזרימות הצפויות של נגר עירוני. הזרימות תלויות במצב הטבעי של הקרקע ותכסיותיה ובשינויים מעשה-ידי-אדם, שבוצעו או עומדים להתבצע, הן בתוך המרחב העירוני והן בכל המרחב האגני שהעיר הינה חלק ממנו.

על בחירת מיקומם ועל תכנונם של שטחים ציבוריים פתוחים (שצ"פים) ישפיעו – יחד עם נושאים חשובים אחרים – שיקולים של התאמת השטח להשהיית נגר, טיובו והחדרתו לקרקע. מומלץ למקם פארקים שכונתיים ועירוניים בשטחים נקיים מזיהומים ובעלי כושר החדרה גבוה, רצוי במורד המתחם הבנוי. כמו כן מומלץ שימוש ישיר של נגר בשצ"פים, להשקייה ולעיצוב הגן.

זיהוי הערוצים הטבעיים שבהם זורם הנגר, מעל לקרקע וגם מתחת לקרקע (כמו באזורים קרסטיים) – הינם משימה ראשונה במעלה בשלב הראשוני של כל תכנון בנייה. **על המתכננים לכוון לכך שהשטחים**

הפתוחים ירוכזו לאורך ערוצי הזרימה הטבעיים, במיוחד ערוצים שמנקזים אליהם שטחים גדולים (שני קמ״ר ומעלה). אם יש שקעים במהלך הזרימה, שאין מתוכם ניקוז טבעי, חשוב במיוחד לייעד אותם לשמש כשטחים פתוחים ולהימנע מלבנות עליהם בניינים או דרכים. מובן מאליו, כי לא סביר לדרוש ששיקולי מים יכתיבו את כל מערכת השטחים הפתוחים בעיר, שאמורה לשרת בראש ובראשונה יעדים חברתיים. אולם, בכל מקום שאפשר, יש להשתדל למלא את הצרכים החברתיים בשטחים פתוחים לאורך ערוצי הזרימה הטבעית, ובכך לממש את אחד מעקרונות היסוד של פיתוח בר-קיימא - תרומה בו זמנית למטרות מגוונות: סביבתיות, חברתיות וכלכליות.

מיקום בהתאמה לערוצי הזרימה יאפשר לשטחים הפתוחים להועיל גם ל״מטרות מימיות״, למניעת הצפות של שטחים בנויים וכבישים ולשימור נגר עירוני, לטובת השקייה והחדרה למי התהום. תכנון מושכל יכול לדאוג לטיהור, השהייה, אגירה והחדרה - כ״א בנפרד או כמה מהם יחדו - של נגר עירוני, המוזרם לשטח פתוח מגונן. הזרמה המותאמת למבנה ההידרו-גיאוגרפי של האזור, תהיה לעיתים קרובות מועילה יותר וזולה יותר מניתוב אחר של הנגר העירוני.

שימוש ישיר בנגר עבור השקיית צמחייה בשטחים פתוחים חשוב במיוחד באזורים צחיחים או צחיחים חלקית, הסובלים ממחסור במשאבי מים, כפי שהבינו כבר הנבטים בנגב לפני כאלפיים שנה ויותר. לפיכך, באזורים כאלה רצוי למקם את כל השטחים הפתוחים באתרים שאליהם זורם הנגר העירוני ומאפשר תחזוקת ״יער עירוני״ כמעט ללא השקייה וחיסכון ניכר גם בהשקיית צמחייה אחרת, בתנאי שתותאם לטבע המקום.

4.2 תכנון ייעודי קרקע בעיר בשילוב עם שיקולים של ניהול נגר וניקוז

העקרונות התכנוניים של עירוב שימושי קרקע ובנייה עירונית קומפקטית מקטינים את סך כל השטח האטום לחדירת מי גשמים לקרקע, ובדרך זו הם תורמים לשימור משאבי המים ולהקטנה של סכנת הצפות בעיר. בה בעת הם תורמים להשגת מטרות אחרות של פיתוח בר-קיימא. לפיכך, אסכולות חדשות לתכנון ועיצוב עירוני, שנוצרו בסוף המאה העשרים, כולל האסכולה של "גידול עירוני חכם" (Smart Growth) והאסכולה המכונה "העירוניות החדשה" (New Urbanism), אימצו את העקרונות של עירוב שימושי קרקע וגידול חכם.

4.2.1 עירוב שימושי קרקע

העיקרון המקובל על רוב התכניות העירוניות שנולדו במהלך המאה העשרים הכתיב הפרדת שימושי קרקע: איזור מגורים בנפרד מאזור תעסוקה, בנפרד מאזור שירותי פנאי וכו'. בניגוד לכך, אחד העקרונות המרכזיים של גישות התכנון המתפתחות בסוף המאה העשרים הינו עירוב שימושי קרקע, במיוחד עירוב מבני תעסוקה - מבנים לתעסוקות נקיות ושקטות, האופייניות למאה ה-21 - באזורי מגורים. עירוב זה נועד לשרת יעדים חברתיים, כלכליים וסביבתיים, ביניהם: להקטין את התלות ברכב פרטי, הגורם לתאונות, לזיהום אוויר ולבזבוז זמן רב של הפרט והכלל; להקטין פשיעה עירונית, באמצעות תפקוד פעיל של האזור לאורך היממה (בבקרים בשל מקומות תעסוקה ובערבים בשל מגורים ושירותים למיניהם); להקטין את השימוש במשאב הקרקע, הודות לסמיכות התפקודים. בישראל, כמו במדינות מפותחות אחרות, העיקרון של עירוב שימושי קרקע מופיע לעיתים קרובות בדבריהם של מתכננים מעודכנים, אך בפועל יושם במעט תכניות. מסמך זה מוסיף לטיעונים התומכים בו, את הטיעון של תועלת למשאבי המים ומניעת נזקי מים.

מומלץ לתכנן וליישם שימושי קרקע מעורבים בעיר, מפני שמימוש עיקרון תכנוני זה מועיל - בין היתר - לשימור נגר. זאת, בתנאי שבאתר, אשר שימושיו מעורבים, מופעלים אמצעי תר"מ לניהול ושימור נגר (פירוט אמצעים בסעיף 4.4.4 ובנספח).

יצירת סמיכות בין מגורים לבין תעסוקה ושירותים מקטינה את הצורך בסלילת דרכים (כבישים ומדרכות) ארוכות ביניהם, ויכולה לאפשר הליכה ברגל וחיסכון בשטחי חנייה. מכיוון שדרכים וחניות תופסים חלק ניכר (כשליש ויותר) מן השטח העירוני, חיסכון בם מהווה אמצעי אפקטיבי להפחתת השטחים האטומים בעיר ולהקטנת ההשפעות השליליות של הבנייה העירונית על משאבי המים. דברים אלה מדויקים בהקשר של סך השטחים האטומים בעיר כולה וגם במדינה. אולם, בתוך אתר ספציפי של שימושי קרקע מעורבים, סביר שאחוז השטחים האטומים יהיה דווקא גבוה במיוחד, ולו בשל צורכי חנייה. על מנת שהריבוי המקומי של שטחים אטומים לא יגרום לנזקי נגר (זיהום, הצפות) ולא יחסום כליל החדרת נגר לקרקע, יש לשלב בתכנונו ובינויו של האתר אמצעים תר״מיים. בין האמצעים המומלצים: הפחתת שטחים אטומים בעזרת עיצוב רחובות (הצרת המיסעה, למשל, שיש בה תועלת למיתון תנועה וגם לחיסכון בשטח סלול ואטום) או חנייה על משטחים מחדירי מים (כורכר, למשל), וגם הזרמת נגר לתעלות עשב ובניית מיני-אגנים להשהיית נגר, לטיהורו, ולעיתים גם להחדרתו לקרקע (רשימה של אמצעי תר״מ בפרק 4.4.4 ובנספח).

4.2.2 בנייה עירונית קומפקטית (ציפוף)

החל מראשית המאה העשרים, יצרו מתכנני ערים תכניות לריווח הבנייה העירונית הצפופה, אשר אפיינה את הערים שקמו בעקבות המהפכה התעשייתית וגדלו במאה התשע-עשרה. הפרדיגמה התכנונית של ״היחידה השכונתית״ (Perry, 1929) פיתחה ועודדה את ״החלום האמריקני״, שהתפשט בעולם בעזרת אמצעי התקשורת המשתכללים

ו"הדביק" רבים מבני המעמד הבינוני במדינות המפותחות, כולל ישראל: בית גדול על מגרש גדול לכל משק בית (משפחה). לחצו של הביקוש הגובר לקרקע גרם לעלייה ניכרת של מחירי הקרקעות העירוניות, המהווה גורם מרכזי להתפתחות הפרברים, אותן שכונות וערי שינה, הממוקמות במרחק מן העיר, הממשיכה להיות מקום עיקרי לתעסוקה ולצריכת שירותים של רבים מדרי הפרברים. מרחקי היוממות גדלו ועימם ההשפעות השליליות של שימוש מרובה ברכב פרטי, כולל: עלויות זמן וכסף כבדות לפרט ולכלל, זיהום אוויר על השלכותיו השליליות על החי והצומח וריבוי תאונות דרכים על תוצאותיהן המרות.

בניגוד למגמה הנ"ל, אשר שלטה ברוב התכניות לבניית דיור (הדיור מהווה בדרך כלל כ-80% משטחי הרצפות בבנייה עירונית) ברוב המדינות המפותחות במשך רוב המאה העשרים, העקרונות החדשים של פיתוח בר-קיימא תומכים בציפוף הבנייה העירונית. הציפוף, המכונה "פיתוח קומפקטי" נחשב כיום כאמצעי אפקטיבי להשגת מטרות חיוניות: חברתיות (מגוון שירותים ועוד), כלכליות (הקטנת עלויות ועוד) וסביבתיות (מניעת זיהומים ועוד). בספרות המקצועית, העוסקת בתכנון רגיש למים, נהוג להוסיף לרשימת יתרונותיו של הציפוף את הפחתת השטחים העירוניים הבנויים, הסלולים והמרוצפים, השטחים האטומים לחדירת מי גשם לקרקע. מכיוון שריבוי שטחים אטומים הינו

הסוכנות האמריקנית להגנת הסביבה:

כיצד ציפוף הבנייה העירונית משפיע על הנגר העירוני?

בצפיפות של 1 יחידת דיור לאקר, כל יח"ד גורמת ל-530 מ"ק של נגר לשנה;
בצפיפות של 4 יחידות דיור לאקר, כל יח"ד גורמת ל-175 מ"ק של נגר לשנה;
בצפיפות של 8 יחידות דיור לאקר, כל יח"ד גורמת ל-140 מ"ק של נגר לשנה.

בצפיפות הנמוכה כמות הנגר ליחידת דיור גדולה פי 3 מזו שבצפיפות הבינונית ופי 3.8 מזו בצפיפות הגבוהה. ככל שהצפיפות גדלה, נותר יותר שטח פנוי מבנייה, המאפשר החדרה והקטנת הנגר.

המקור: USEPA, 2005, p. 16 (אקר ~ 4 דונם).

גורם ראשון במעלה להצפות ולנזקיהן וגם למניעה של העשרת מי התהום, תר״מ ממליץ על הפחתתם באמצעות ציפוף הבנייה העירונית.

חישובים שערכנו במסגרת סדרת מחקרינו בנושאי תכנון רגיש למים מדגימים היטב את חשיבותה של בנייה עירונית קומפקטית וצפופה:

- באחת מעבודותינו המוקדמות (כרמון ושמיר, 1997), השווינו אומדן של סך כל השטחים הבנויים מעל אקוויפר החוף הישראלי בשנת 1990 עם תחזית השטחים שיהיו בנויים בשנת 2020. התחזית אימצה כנקודת מוצא את ההערכות שגובשו בצוות הפרויקט ״ישראל 2020 – תכנית אב לישראל בשנות האלפיים״ (מזור וחובריו, 1996), אשר הותאמו לדפוסי הבנייה שהיו מקובלים במדינה, בתוספת העליות החזויות ברמת החיים ובגודל האוכלוסייה – כמיליון נפשות נוספות על השטח שמעל אקוויפר החוף. התוספת החזויה הייתה כ-600 קמ״ר, שמתוכם 42% תכסית אטומה (שם, עמ׳ 27, 198-195).
- חישוב דומה במהותו – תוספת של שטח בנוי עקב יישוב מיליון תושבים נוספים מעל אקוויפר החוף – ערכנו בעבודה מאוחרת יותר (בורמיל, שמיר וכרמון, 2003). ההבדל המהותי היה, שנקודת המוצא לחישוב המאוחר הייתה בנייה עירונית קומפקטית (תערובת של רבי קומות עם בנייה רווייה בת 4 קומות ומיעוט של קוטג׳ים טוריים), הנהוגה בשנים האחרונות ברבים משטחי הבנייה החדשה בערים גדולות במרכז הארץ. בהסתמך על נקודת מוצא זו, יידרשו רק 170 קמ״ר ליישוב מיליון נוסף בשכונות קומפקטיות ובערים בעלות רמת חיים גבוהה ושירותים מפותחים במישור החוף (שם, עמ׳ 99-97).

כדי למנוע ספקות יצוין מייד, שאת ההמלצה לצופף את הבנייה העירונית אין לפרש כהמלצה לשכן חלק ניכר מן האוכלוסייה במגדלי מגורים (בבניינים בני 12 קומות ומעלה). אמנם, ייתכן שאילו ריכזנו את כל האוכלוסייה או את כל תוספת האוכלוסייה במגדלים, היינו יכולים לקלוט באותו שטח מספרים גדולים הרבה יותר. אולם ההפרש מבחינת איטום הקרקע אינו רב, כי רוב האטימה בבנייה קומפקטית נגרם ע״י

דרכים וחניות ולא ע״י בנייני המגורים, בעוד שמבחינות חברתיות וחברתיות-כלכליות ריבוי מגדלים אינו מומלץ, כי:

- מגדלי מגורים מתאימים רק לפלח מצומצם מכלל האוכלוסייה, בעיקר לבעלי הכנסות גבוהות, אשר יכולים לעמוד לאורך זמן בהוצאות הכבדות של אחזקה שוטפת ושל שיפוצים תקופתיים, ואשר אין להם משפחות גדולות ושאינם חרדים (צ׳רצ׳מן, 2001).
- מחקר חדש של העדפות דיור בקרב בני המעמד הבינוני, המחפשים דיור חדש, מלמד שכמחציתם מעדיפים בנייה צמודת קרקע, כ-40% מעדיפים לגור בבניינים ״בגובה צמרות העצים״ (עד 4 קומות), ורק 10% הביעו נכונות להתגורר בבניינים מרובי קומות (בר-לב, 2003). במדינה דמוקרטית, המנהלת כלכלה של שוק חופשי, לא סביר לבנות בניגוד לרצון האוכלוסייה.
- ניסיון רב בבניית מגדלי מגורים לאוכלוסייה בעלת הכנסה נמוכה מבינונית נצבר בארה״ב ובאירופה; ניסיון זה מלמד, שלעיתים קרובות מאד הבניינים הידרדרו כעבור שנים אחדות, לעיתים עד כדי נטישה. כיום ניכרת מגמה להריסת רבים מן המגדלים שנבנו לשיכונן של משפחות מעוטות הכנסה, בעיקר בהולנד ובארה״ב.

כפי שמתברר מן הדיון דלעיל בבניית מגדלי מגורים, המשמעות התכנונית-פרקטית של ציפוף עירוני ובנייה קומפקטית אינה מובנת מאליה. מסמך בהוצאת הסוכנות האמריקנית להגנת הסביבה אומר את דברו בסוגיה זו, באמצעות קישור בין מדיניות בנייה קומפקטית (הקרויה שם Smart Growth) לבין מדיניות המועילה לניהול נגר ולמשאבי המים, ובעזרת אמירה שאותם עקרונות וטכניקות משרתים את שני תחומי המדיניות הללו. למשל, התחדשות עירונית; המסמך קובע, כי חידושן של רקמות עירוניות קיימות ובנייה על ״קרקעות חומות״, בכל מקום אפשרי בתוך השטח העירוני, מהווים טכניקה, המשרתת היטב את שני תחומי המדיניות הללו (USEPA, 2005).

במבט ראשון עשוי הקורא לתמוה: מה בין התחדשות עירונית לבין תכנון רגיש למים ומדוע כללה אותה הסוכנות האמריקנית להגנת

הסביבה בין ה-BMPs - Best Management Practices של ניהול נגר עירוני? התשובה לכך מצויה בדיון שבראש תת-פרק זה, שהסביר את היתרונות של תוספת בנייה (ציפוף) בשטח העירוני, בהשוואה לבנייה בשטח בתול מחוץ לגבולות העיר, יתרונות שביניהם נמנה חיסכון בשטחים אטומים. בהתאמה לגישה זו, ובהסתמך על התאמת העקרונות שעוצבו במדינות אחרות לניסיון התכנוני בישראל, גובשו המלצות תר"מ.

<u>מומלץ לתכנן ולבנות בנייה קומפקטית בערי ישראל ולממש בתוכה את המלצות תר"מ (להלן) בנושא ציפוף הבנייה ושילוב אמצעי תר"מ בה</u>. בדרך זו תקודמנה מטרות חברתיות, כלכליות וסביבתיות, כולל הקטנת השטחים האטומים לחדירת מי גשם לקרקע, שטחים שמאיצים היווצרותן של הצפות מזיקות ומונעים העשרה של מי התהום. המלצה זו תקפה הן עבור בנייה באזורים חדשים והן עבור בנייה ושדרוג של מרקם עירוני קיים.

להלן פירוט של המלצות תר"מ בנושא ציפוף ובנייה עירונית קומפקטית:

- **בנייה בצפיפות בינונית-גבוהה** - בהקשר הישראלי, ובייחוד לאורך מישור החוף, התמהיל המומלץ הינו: שילוב של בניינים רבים "בגובה צמרות העצים" – 3-8 קומות עם מיעוט של מגדלי מגורים. אפשר לשלב במכלול גם בנייה צמודת קרקע, שהביקוש לה גבוה במיוחד, ובתנאי שתהווה מיעוט מסך-כל הבנייה ושהבניינים ייפרסו על הקרקע כך שהצפיפות תגיע ל-8 יחידות דיור לדונם (נטו-נטו) (פירוט אצל בורמיל, שמיר וכרמון, 2003).
- **הכוונת חלק ניכר מן הפיתוח**, הנדרש עבור אוכלוסייה נוספת ועבור העלאת רמת החיים של האוכלוסייה הקיימת, **לתוך המרקמים העירוניים הבנויים כבר, באמצעות תמרוץ תהליכים של התחדשות**

עירונית. התחדשות בשטחים העירוניים הקיימים כתחליף לחלק מן הבנייה בשטחים פתוחים מועילה למטרות חברתיות, כלכליות וסביבתיות, כולל הפחתת הפגיעה במשאבי המים. יש דרכים מגוונות למימוש התחדשות עירונית: הסבת שימושים של מבנים, הרחבת דירות ישנות וקטנות ועדכון בניינים, תוספת דירות על גגות ובשטחים פנויים בתוך העיר (infill), וגם פינוי ובינוי, כשיטה קיצונית של חידוש עירוני. כל הדרכים האלה גורמות להגדלה של הצפיפות העירונית (נפשות/משקי בית לדונם), מפני שהן נשענות בעיקרן על תשתיות פיסיות וחברתיות קיימות (דרכים, בתי-ספר וכו׳) ומונעות בכך בנייה רחבה נוספת על שטחים פנויים. יתר על כן, תהליכי התחדשות עירונית יוצרים הזדמנות – שאין להחמיצה – לשלב עקרונות ומתקנים של תכנון עירוני רגיש למים בתוך אזורים של בנייה ותיקה, כולל: אביזרים חוסכי מים בבניינים ובחצרות, עריכה מחודשת של הקשרים בין שטחים אטומים וחדירים והכוונה של מרזבים ושיפועים. לפעמים מתאפשרת גם תוספת מתקנים להשהיה, אגירה והחדרה של מי נגר בתוך השטח העירוני, כחלק מתכנון מחודש של הנוף העירוני (פירוט נוסף בפרק 4.4).

- **הפחתת התכסית המכוסה באספלט בלתי חדיר למים באתר הבנוי בצפיפות** - בנייה קומפקטית (צפופה) אמנם מקטינה במידה ניכרת את סך כל השטח האטום בעיר, אך בתוך האתר הבנוי בצפיפות גדל במידה ניכרת אחוז השטח האטום, התורם לריבוי נגר ולמהירות זרימתו, המגביר סכנת הצפות ומונע חלחול נגר לקרקע. כל זאת, בשל המגמה התכנונית להרבות בשטחים סלולים באזורי בנייה צפופה, בעיקר, כבישים, מדרכות וחניות. בספרות הבינלאומית (USEPA, 2005) מוצעות דרכים מגוונות למיתון מגמה זו, שרובן מומלצות גם עבור בנייה ישראלית, ביניהן: הצרתם של כבישים תוך-שכונתיים (מומלצת גם כאמצעי להפחתת תאונות דרכים), תקני חנייה מופחתים, במיוחד במרכזי ערים (מומלצים גם כאמצעי להפחתת השימוש ברכב פרטי ועידוד השימוש בתחבורה ציבורית), בניית מקומות חנייה בקומות, שימוש ב״אספלט שקט״ לסלילת

כבישים (אספלט המאפשר החדרה חלקית של מים) וציפוי אזורי חנייה בחומרים חדירים למים.

- **בבנייה צפופה תינתן עדיפות להחדרת נגר עירוני לקרקע ברשות הציבור ולא במגרשי בנייה פרטיים** – מסמך זה מצדד בהחדרת נגר עירוני לקרקע סמוך ככל האפשר למקום היווצרותו, היינו: קודם כל בחצרו של המבנה היחיד. אולם בבנייה צפופה של 7 קומות ומעלה, כאשר סביר ששטחי קומות המרתף לצורכי חנייה ושימושים אחרים יתפסו את רוב שטח המגרש,יוטל על המתכנן למצוא פתרון תר״מי לנגר היוצא ממגרש הבנייה בשטחים הציבוריים הקרובים אליו, ברחוב, בגן הציבורי וכיו״ב. סביר להטיל על היזם להשתתף במימונו של הפיתרון, בוודאי בבנייה שעלותה לצרכן עולה על 2,000$ למ״ר.
- **בבנייה צפופה עולה במידה ניכרת החשיבות של שילוב אמצעי תר״מ בשטח הבנוי** – בבנייה שמשאירה שטחים גדולים וחדירים בין בניינים ובצידי דרכים אפשר לנהל את הנגר מסופות גשם קטנות ובינוניות באמצעים הפשוטים ביותר של הכוונת מרזבים ושיפועים מן השטחים האטומים לתכסיות החדירות. אולם בנייה צפופה קונבנציונלית משאירה רק מעט מאד שטח חדיר, אם בכלל, וכאשר השטח העירוני הולך ומתמלא באתרים צפופים מתרבה מאד הנגר העירוני, מואצת זרימתו, גוברים סיכויי הצפות ונזקיהן ונמנעות חדירה של נגר לקרקע והעשרת מי התהום. לפיכך, ככל שהבנייה צפופה יותר וככל שמתרבים האתרים הצפופים בעיר, כך חיוני יותר לנהל את הנגר באופן מושכל ולשלב אמצעים תר״מיים בבנייה העירונית. לפירוט האמצעים ר׳ 4.4.4.

4.3 תכנון מערך הדרכים בעיר בשילוב עם ניהול נגר וניקוז

הדרכים בעיר נועדו בראש ובראשונה לאפשר תעבורה של בני אדם, רכבים ומוצרים בין שימושי הקרקע השונים, אך בנוסף לכך, הן

מובילות מי גשמים. שתי עובדות יסוד מחייבות שיתוף פעולה הדוק בין מתכנני דרכים עירוניות לבין המהנדסים האחראים לניהול נגר וניקוז:

- הדרכים הסלולות (כבישים לסוגיהם, מדרכות חניות) מהוות חלק ניכר מן השטחים האטומים בעיר, עד כדי 70% מכלל השטח האטום באגן עירוני (Wong, Breen and Lloyd, 2000).
- על-פי גישות עדכניות לתכנון, הכבישים מהווים מרכיב בסיסי וחיוני של מערכת הניקוז העירונית (ASCE and WEF, 1992: 50-56).

4.3.1 השילוב החיוני בין תכנון כבישים ותכנון ניקוז

מנקודת ראותם של מתכנני מערכות ניקוז עירוניות, לפחות המעודכנים שביניהם, הכבישים בעיר הינם חלק חיוני של מערכת הניקוז (ASCE and WEF, 1992; 250-260). צנרת הניקוז ברוב חלקי העיר קרויה "מערכת ראשונית" (primary system or minor system) ומיועדת להתמודד עם אירועי גשם שכיחים וקטנים, יחסית (תקופת חזרה של 5-10 שנים). מערכת זו אמורה להיות בנויה במקביל לתוואי הכבישים העירוניים, כאשר הכניסות אליה הינם קולטנים בצידי הכביש. כאשר מתרחשת סופת גשם גדולה, ספיקת הנגר העילי עולה על כושר הסילוק של הצנרת במערכת הראשונית, והעודפים שלא נקלטים בצנרת זורמים בכביש, בעיקר לאורך שפת המדרכה. כושר העברה של הכביש אמור להיות מתוכנן לאירועים קיצוניים, לסופות גשם גדולות במיוחד המתרחשות אחת ל-100–50 שנה. המונח המקצועי לניקוז עילי, באמצעות מערכת הכבישים, הוא "מערכת ראשית" (major system). המסקנה היא, איפוא, כי החפיפה הדרושה בין תוואי צנרת הניקוז לתוואי הכבישים והשימוש במערכת הכבישים לצרכי ניקוז של אירועים קיצוניים מחייבים תיאום קפדני בין תכנון הכבישים לבין תכנון מערכת הניקוז (ר' גם Wong et al., 2000).

חשוב לזכור, כי בעוד שהכבישים מהווים מרכיב חשוב בהולכת הנגר מסופות גדולות, ובכך מקטינים סיכוני הצפות בשוליהם, הם גם

מזרזים את זרימות הנגר וריכוזו בשטחים נמוכים במורד, שהם לעיתים קרובות מרכזי הערים, ובכך מגדילים את סיכוני ההצפה שם. ידועים מקרים בארץ, כמו בבת ים וחולון, שבהם נוקזו שטחים במעלה ביעילות רבה, באמצעות נקזים וכבישים, וגרמו בכך הצפות קשות במורד. יש לכן למצוא איזון נאות בין שימוש בכבישים כמוליכי הספיקות הגבוהות, מחד, לבין עיכוב הנגר ומיתון הזרימות באמצעות תכנון נכון של שיפועי הכביש והגאומטריה הרוחבית שלו.

מדריכים למהנדסים, העוסקים בתכנון דרכים עירוניות, מבחינים בין ארבעה סוגים: דרכים שכונתיות (local), כבישים מקומיים (collectors), עורקי תנועה (arterials) וכבישים ראשיים (freeways). עבור כל אחד מאלה קיימות הנחיות ניקוז ייחודיות, הן עבור סופות גשם שכיחות ויחסית קטנות והן עבור סופות נדירות וגדולות (לדוגמא: ASCE and WEF, 1992, בעיקר טבלאות 8.5-8.3, עמ' 257-255). למרות ההנחיות הברורות, כל אזרח יודע שרבים הכישלונות בתחום הנדון ושהצפות ונזקים בעונת הגשמים קורים כמעט בכל שנה. להערכתנו, גורמים מרכזיים לכישלונות תכופים אלה הינם סדרי תכנון לקויים והתעלמות משיקולי מים וניקוז בשלבים הראשונים של התכנון, כאשר נקבעים ייעודי הקרקע העיקריים ומיקום הדרכים.

שיקולי מים אמורים להיכלל בשלב הראשון של הכנת כל תכנית עירונית, כולל תכנית דרכים. תוואי הכבישים ותוואי מערכת הניקוז השכונתית והעירונית חייבים להיות חופפים בחלקם הגדול, כי לכבישים תפקיד חיוני בניקוזן של סופות גשם. <u>מומלץ להכפיף אלמנטים יסודיים בתכנון הראשוני של תוואי הכביש לשיקולי ניקוז</u>: להרחיק נתיבי תחבורה עיקריים מערוצים טבעיים, המנקזים נגר משטח בנוי גדול; ליצור רצף זרימה לאורך הכבישים, עד למוצא של מערכת ניקוז אזורית; להשתדל למתן את שיפוע הדרך ולהימנע מהתווית הכביש לאורך השיפוע המכסימלי באזורים משופעים.

קווים מנחים לשילוב מוצלח בין התוויית מערכת הכבישים לבין צרכי הניקוז הם:

- **יצירת רצף זרימה לאורך הכבישים עד למוצא של מערכת ניקוז אזורית** - חשוב מאד להימנע מיצירת "שקעים מקומיים" לאורך הכביש, ולהימנע ממעבר הכביש בתוך שקעים כאלה. שקע מקומי הוא שטח ללא פתח ניקוז עילי, מעין אמבטיה, שהמוצא היחיד ממנה הוא באמצעות צנרת הניקוז העירונית. רוב פוטנציאל הנזק עקב אירועי הצפה הוא בשקעים מקומיים. בכביש קיים, או במקום שנראה שאין ברירה אלא להעביר כביש דרך שקע מקומי, חייב להינתן פתרון הנדסי לסוגיית הניקוז, רצוי בצורת העברה של הנגר לשטח ציבורי פתוח וחדיר בקרבת מקום.
- **הרחקת נתיבי התחבורה העיקריים מערוצים טבעיים, אליהם מתנקזים עודפי הנגר העילי משטח בנוי שהיקפו גדול** – רצוי להימנע מלסלול דרכים באזורים נמוכים, המתאימים להשהייה והחדרה של נגר. במיוחד חשוב להרחיק את הדרכים ממקומות נמוכים, המנקזים אזורים בנויים שהיקפם גדול מ-2 עד 3 קמ"ר. הקפדה על הרחקה כזו תקטין את הנזקים הכספיים בגין הצפות בתחום העיר. ההצפות גורמות לנזקים כספיים כבדים, שהם פועל יוצא של קשיי תעבורה, הגורמים להפסד שעות עבודה ולהשבתה זמנית של פעילות מסחרית.
- **הולכה איטית של הנגר העירוני, באמצעות תכנון מושכל של הפריסה והגיאומטריה של כבישים, חניות, שבילים ומדרכות** - הולכה מהירה של נגר מאפיינת אזורים עירוניים ותורמת להיווצרותן של הצפות מזיקות בעת סופות גשם בינוניות וקטנות; מיתון ההולכה, באמצעות מיתון השיפוע של הדרך ובאמצעים אחרים, יקטין את שכיחותן. **באזורים משופעים רצוי להימנע מהתוויית הכביש לאורך השיפוע המכסימלי**. שיפועים חזקים מקצרים את משך הריכוז של הנגר העילי ותורמים לגידול של ספיקות השיא במורד האגן, בעוד ששיפועים מתונים של כבישים

עירוניים תורמים הן למיתון זרימתו של הנגר והן למיתון תנועת רכב ומניעת תאונות. אמנם, יש להכיר בכך שפיתוח עירוני ובנייה מתקיימים גם באזורים משופעים מאד, וגם בכך שחיסכון בעלויות פיתוח ובקרקע הינם שיקולים מאד חשובים, ולכן לעיתים ייסלל כביש לאורך שיפוע טבעי תלול. אך תמיד יש לשקול חלופות תכנוניות שתגרומנה להקטנת השיפוע, שמועילותה רבה למיתון זרימות הנגר ולמטרות חשובות אחרות.

הדיון וההמלצות שלעיל חוזרים ומלמדים, שהקטנה ניכרת של הסתברות הצפות מזיקות בעיר מחייבת הכללת שיקולי מים וניקוז כבר בשלב הראשון לתכנונו של כל מרחב עירוני (תכנית השלד), בין אם מדובר בתכנית לעיר בכללה, לרובע, לשכונה או למבנן. מובן מאליו, ששיקולי מים לא יכתיבו לבדם מיקום דרכים, ובדרך-כלל גם לא יהיו הגורם העיקרי שיקבע זאת. אך חייבים להביאם בחשבון, ובמקומות המועדים לפורענות (כמו "שקעים מקומיים") יש לתת משקל רב מאד לשיקול הניקוזי.

4.3.2 תכנון דרכים עירוניות והחדרת נגר לקרקע

נגר הזורם על פני כבישים ואזורי חנייה מזדהם, בשל גלישות של דלק ושמן, שאריות צמיגים ועוד. על-פי הנוהל המקובל, נגר זה מוזרם כולו לצנרת ניקוז תת-קרקעית, הבנויה מבטון בדרך-כלל. סוגיית היסוד של תר"מ בנושא הנדון הינה האם מותר/רצוי לתכנן החדרה לקרקע ולמי התהום של נגר מכבישים וחנייה בתוך העיר.

מחקרים בדקו את מידת הזיהום המאפיינת נגר עירוני. רבים מהם הגיעו למסקנה שבנגר הזורם בשכונות מגורים עירוניות, כולל הכבישים הפנימיים והחניות הצמודות למגורים ולכבישים, אומנם מכיל זיהומים, אך בכמות קטנה, קטנה הרבה יותר מזו השכיחה בחלק ניכר מן התאים של מי תהום באקוויפר החוף הישראלי. כך מצא הצוות של פרופ' רונית נתיב מן האוניברסיטה העברית, שבחן מדידות נגר באשדוד (Asaf, Nativ et al., 2004, 2005) וכך מצאנו גם אנחנו במדידות שבצענו

בראשון לציון (בורמיל, שמיר וכרמון, 2003). יתר על כן, **מרבית המדידות של נגר עירוני בארץ מצאו שהוא עומד בתקנים של מי שתייה**: 97% מכלל הדגימות באשדוד (מאזורי מגורים, מסחר ותעשייה קלה, כולל הכבישים שבתוכם) ו-85% מכלל הדגימות בראשון לציון (אזור מגורים ודרכים פנימיות) עמדו במבחן התקן הישראלי, כאשר הבחינה בראשון לציון התייחסה לתקן חדש ומחמיר (שם, עמ' 71).

מותר ורצוי להחדיר לקרקע ולמי התהום נגר שזרם בכבישים ובשטחי חנייה של איזורי מגורים עירוניים. בשם הזהירות ומחוסר ידע מספיק, נמליץ על אי החדרת נגר מכבישים עירוניים ראשיים. נגר מכבישים עירוניים פנימיים ומשטחי חנייה יוחדר דרך מסננים ומטהרים טבעיים של קרקע וצמחייה; יש לאסור על החדרתו ישירות לתוך מי התהום (דרך קידוח וכיו"ב).

החדרת נגר בצידיהן של דרכים עירוניות תורמת למיתון זרימתו (ובכך להקטנת שכיחותן של הצפות), להעשרת מי התהום (במקום שיש אקוויפר פריאטי) ולגיוון הנוף העירוני. בידינו דוגמאות רבות ממדינות המערב של רצועות ירוקות לאורך דרכים, המשמשות להחדרת נגר בעונת הגשמים ולנוי ביתר עונות השנה. כדי שהרצועות הללו לא תגדלנה במידה משמעותית את הצורך בהשקייה בעונה היבשה, יש לנטוע בהן צמחייה המסוגלת להעמיק שורש, לספוג מים רבים בעונה הגשומה ולהתקיים ללא השקייה או עם מעט השקייה בעונה היבשה הארוכה בארץ.

4.4 ניהול נגר ושימורו כמרכיב בתכנון הנוף העירוני

מתכננים לא מעטים סבורים, שתכנון רגיש למים עוסק רק בשימור נגר עירוני והחדרתו לקרקע. הנחיות משרד הפנים ל"בנייה משמרת מים" וה"מדריך לתכנון ובנייה משמרת נגר עילי" (פרלמן, וידן, גרינבאום, 2004) תורמים לגישה זו. על-פי גישתנו, תחום עיסוקו של תר"מ – תכנון רגיש למים – רחב הרבה יותר (ר' פרק 1 במסמך זה), אולם הקטע הנוכחי מתמקד בחלק "הפופולרי" של תר"מ – ניהול נגר עירוני, במיוחד החדרתו לקרקע, והקשר שלו עם תכנון תכסיות קרקע ונוף עירוני. כיאה למסמך מדיניות, הדגש כאן יהיה על הרציונל ועל העקרונות של עבודת המתכננים. לפרטי תכנונו של השטח והאתר נפנה את הקורא לספרנו (כץ, בורמיל, כרמון ושמיר, 2001), למדריך הנ"ל ולתזה של חדד (2007), המהווים משלים הולם לפרק זה.

בתחום אחריותו של אדריכל הנוף נמצאים בדרך-כלל השטחים הפתוחים, אלה שאינם מכוסים בבניינים ובדרכים. משום כך, הנוהל המקובל הינו לשלב את אדריכל הנוף בתהליך התכנון רק לאחר שתוכננו, ולעיתים קרובות, לאחר שהוצבו בשטח הבניינים והדרכים. בניגוד לכך, תר"מ מחייב לשתף אותו, את מהנדס הניקוז ולעיתים גם מהנדס קרקע וביסוס, החל מראשית התהליך, כדי ששיקולים של שימור נגר וניקוז ייכללו בין אלה שקובעים את מיקום השטחים הפתוחים, ובמיוחד, את החיבורים בין השטחים הבנויים והסלולים לשטחים הפתוחים, בין תכסיות קרקע אטומות לחדירת מי גשם לבין התכסיות החדירות לנגר.

האתגר הניצב בפני אדריכל הנוף, המודע לשיקולים של ניהול נגר וניקוז, הוגדרה ע"י פרגוסון (Furguson, 2002). הוא הבחין בין **זרימות של נגר עירוני כתוצאה מ"זרימות בעוצמת שיא"**, אלה שנוצרות כתוצאה מסופות גשם גדולות ונדירות, יחסית לממוצע המקומי, ואת הנגר הנוצר בגללן יש להוביל באמצעות מערכות הניקוז, בכדי למנוע הצפות, לבין **"זרימות בעוצמות קטנות ושכיחות"** – יתר הסופות,

המייצרות בדרך כלל יותר ממחצית כמות הנגר השנתית (במישור החוף הישראלי מצאנו שסופות קטנות מ-10 מ״מ ליום מהוות כ-56% מסה״כ הסופות, ואילו סופות מעל 30 מ״מ ליום מהוות רק 11%, בורמיל, שמיר וכרמון, 2003, 47-44). בנוף הטבעי, זרימות מן הסוג השני מהוות זרימות בסיס לקיום מערכות אקולוגיות של צומח וחי, אך בנוף העירוני הן מובלות בדרך כלל למערכות הניקוז. **תפקידו של אדריכל הנוף לשלב את הזרימות מן הסוג השני בשטחים הפתוחים בעיר**, לתועלת האדם והטבע.

אדריכל הנוף העירוני, המבקש לשלב בעבודתו שיקולים של שימור נגר וניצולו, יפעל על פי הכללים שלהלן:

- **את רוב הנגר מסופות קטנות ובינוניות, שהן השכיחות בישראל, מומלץ להשתדל לנצל במרחבי המגורים העירוניים**. ניצול משמעו שימוש ישיר בנגר להשקייה ולעיצוב אלמנטים בולטים בנוף (כולל גגות של בנייני העיר), ומשמעו גם החדרה לקרקע, בדרך כלל עבור העשרת מי התהום. במקום שאפשרי שימוש ישיר ועכשווי בנגר, יש להעדיפו על החדרה, המאפשרת שימוש עתידי במים.

נגר כמשאב בפיתוח בנוף העירוני
פרויקטים בישראל

בשנים האחרונות, אדריכלי נוף ישראלים משלבים בעבודותיהם מים זורמים, ובמיוחד מי נגר וזרימות בערוצים טבעיים, באופן יצירתי ומעורר השראה. עבודות אחדות דווחו ע"י בטאון ארגונם – **אדריכלות נוף** (2,2001; 16,2004). נזכיר כאן את עבודתו הוותיקה והמצויינת של אדריכל נוף יחיאל סגל, אשר בשנת 1935 תכנן את שכונת קריית מאיר בת"א. השכונה (בין רחובות ציטלין, דובנוב, מאנה ואבן גבירול) הייתה מוקפת בכביש גבוה מן הכניסות לבניינים ואי אפשר היה לנקז את השטח כלפי חוץ. סגל חיבר את הכניסות בעזרת שביל, שניקז את מי הגשם אל מפלס דשא נמוך בין הבניינים. לא זו בלבד שאין שם צורך במערכת ניקוז, אלא שבמשך השנים היו הדשאים ירוקים גם בקיץ ללא השקייה. על פי נסיון זה נבנו לימים שכונות ובתים שהניקוז בם היה מקומי (סגל, 2001).

נגר כמשאב בפיתוח בנוף העירוני
פרויקט בארה"ב

מערכת תעלות, בריכות וסכרים להובלה והשהייה של נגר מתפקדת כאלמנט נופי בעל ערך אמנותי-פיסולי, וושינגטון, ארה"ב - מתחם של 10 דונם בתוך פארק עירוני בן 400 דונם. במתחם סכר, המעוצב כפסל סביבתי, המשחרר בהדרגה את הנגר המצטבר מאחריו באגן השהייה (עד 35,000 מ"ק). באגן יצר האדריכל באייר פסל אדמה, שעוצב מסוללות עפר מכוסות בעשב, ובו צורות גיאומטריות תלת מימדיות, המשולבות בקומפוזיציה הרמונית עם הטופוגרפיה הטבעית של המקום. בין הצורות המפוסלות ובתוכן עוברים שבילי אספלט מוגבהים, בהם יכולים באי הפארק לטייל לאחר אירועי גשם, לחזות בתנועת המים ובשינויים המתרחשים בפסל עם השינויים במפלסי המים. בתקופות יבשות, המבקרים יכולים לטייל ואף להתמקם בין צורות הפסל, המתאימות לכך. מזה עשרים שנה, המתחם ממלא בהצלחה את תפקידיו החברתיים, כאתר נופש ובילוי לתושבים, יחד עם תפקידיו ההידרולוגיים בהשהייה והובלה של נגר.

המקור: עבודה לתואר שני של חן חדד-סלע (2007), בהנחיית טלי אלון-מוזס ונעמי כרמון.

- **החדרת נגר עירוני לקרקע מומלצת ברוב המקומות שבהם מתקיימת בנייה עירונית - החדרה חשובה מאד בבנייה עירונית על שטחים שמתחתם מצוי אקוויפר פריאטי** (שחלקו העליון מאפשר חדירת מים מפני הקרקע), מפני שהיא מעשירה את מי התהום, שהם מקור המים העיקרי בישראל. **החדרה רצויה מאד גם בשטחים שאין מקור מים מתחתם**, בשל חשיבותה לא רק להעשרת מי התהום אלא גם (ולפעמים, בעיקר) לשם מיתון ספיקות הנגר והקטנת הסיכוי להצפות ונזקיהן. אולם יש מקומות שבהם אסור להחדיר נגר

מסיבות מגוונות, בין אם בשל מי תהום גבוהים ובין אם בשל זיהום של הנגר או של הקרקע במקום ההחדרה (ר׳ דיון בקריטריונים לקביעת רציות החדרתו של נגר לקרקע בפרק 3.3.2.1 שלעיל).

- **מומלץ להחדיר נגר העירוני לקרקע סמוך ככל האפשר למקום ירידתו של הגשם** (on site). אם אפשר ומותר (על-פי שיקולי רציות החדרה במקום הנדון), יוחדר הנגר בחצר שבמגרש הבנייה; אם אי אפשר או אם נותר עודף מן החצר – מומלץ למצוא מקום החדרה בשטח המבנן; עודפים יוחדרו בשטחים פתוחים שכונתיים, ורק מה שלא הצלחנו להחדיר בחצר , במבנן ובשכונה יזרום ממנה החוצה אל נתיבי הניקוז העירוני.

הבעייתיות ביישום כללים אלה והנחיות תר״מ אחרות בשטח העירוני נובעת מכך שרבים מבין המתכננים והמנהלים של המערכות לטיפול בנגר ולמניעת הצפות מאמינים, שיש סתירה בין מניעת הצפות לבין ניהול מועיל של הנגר בשטח הבנוי. בתודעתם של אלו שליטה עדיין הגישה שיש לסלק את הנגר מהר ככל האפשר מסביבתם של בתי המגורים, ובכך למנוע נזקים. אולם, מחקרים וניסיון במקומות רבים בעולם מלמדים אותנו, שאין סתירה הכרחית בין המטרות של ניהול הנגר לבין המטרות של תכנון עירוני רגיש למים, וכי תכנון מושכל יכול להשיג את מטרות האחד בלי לפגוע באחר. אמצעים להשהייה, לטיפול, לשימוש ו/או להחדרה של מי נגר בתוך המרקם העירוני יכולים לתרום משמעותית הן למיתון ספיקות השיא וההצפות שהן גורמות, הן לטיוב המים (סילוק מזהמים), הן למניעת הפסדי מים באקוויפרים שמתחת לשטח הבנוי והן לשיפור הנוף העירוני.

4.4.1 תכנון תכסיות קרקע בהתאמה לשיקולים של ניהול נגר - כללי

נבחין כאן בין שני סוגים של תכסיות קרקע, הרלבנטיות לשיקולי מים ונגר עירוני: תכסיות חדירות למים, אשר מי הגשמים יכולים לחדור דרכן ולחלחל לקרקע (חלקן מגוננות וחלקן אינן מגוננות), לעומת

תכסיות אטומות, שמי הגשמים אינם יכולים לעבור דרכן בדרכם אל הקרקע ואל מי התהום (כמו תכסיות בטון ואספלט).

כללים אלה טובים לכל רמות התכנון העירוני. מעבר להם, עוצבו הנחיות עבודה מיוחדות לרמת המיקרו – מגרש הבנייה היחיד ולרמת המזו – המבנן והשכונה.

הכללים הבאים עומדים בבסיסו של תכנון תכסיות קרקע, המתחשב בשיקולי מים ונגר עירוני:

- **ככל שתרבינה התכסיות החדירות בשטח המתוכנן, כך יהיה מועיל יותר לשימור מים, וזאת בתנאי שצמחייתם לא תצרוך מים רבים;**
- **במידת האפשר, יש לקטוע רצפים של תכסיות אטומות ולשבץ ביניהם תכסיות חדירות, שתוכלנה לקלוט נגר ולהחדירו לקרקע;**
- **במידת האפשר, יש ליצור חיבורי זרימה בין תכסיות אטימות לחדירות, תוך התחשבות בשיקולי מעלה ומורד;**
- **העברת מי נגר דרך שטחים עם צמחייה מסייעת לטיהורם, בעיקר, סילוק ממוצקים מרחפים, הסוחפים עמם מזהמים.**

4.4.2 תכנון ברמת המיקרו – מגרש הבנייה הבודד

"קטן הוא יפה" (Small is Beautiful) קבע הכלכלן שומכר (1973 ,Schumacher). עקרון יסודי זה אומץ על-ידי רוב הדוגלים בפיתוח בר-קיימא, בניגוד ל"יתרון לגודל" המקובל על רבים מבין המתכננים, בעיקר על בעלי "הראש הכלכלי" שביניהם. גם תר"מ דוגל ב"קטן הוא יפה", בטענה שטיפול ברמת המיקרו מועיל סביבתית, חברתית וכלכלית.

תכנון רגיש למים ברמת המיקרו – מגרש הבנייה היחיד – מכוון להחדרה לקרקע של רוב הנגר, בכל מקום שאפשר ומותר להחדירו. הנחיות הפעולה למימוש המלצה זו, הנעזרות בתכנון תכסיות הקרקע במגרש, הינן כדלקמן:

- **בכל מגרש בנייה יושאר שטח חדיר בשיעור של לפחות 15% מן המגרש, שטח מגונן או מכוסה חצץ או טוף או חומר חדיר אחר;**
- **כל מגרש בנוי יהפוך ל"אגן היקוות זעיר", המשאיר בתוכו את רוב הגשם היורד עליו, באמצעות:**
  - **גדר אבן בגובה 20 ס"מ לפחות, שתוצב מסביב למגרש או בקצהו הנמוך, ויהיה בה מוצא לעודפי מים שייווצרו בעת סופות גדולות;**
  - **חיבור השטחים האטומים לשטחים החדירים במגרש, בעזרת מרזבים מן הגגות ושיפועים מתוכננים בחצר;**
- **שמירה על כושר חדירות הקרקע הטבעית בשטח החדיר, ע"י מניעת ערבוב של חומרי בנייה וחומרים אוטמים אחרים, מניעה של הידוק הקרקע ועירוב יזום של חומרים, המגבירים את כושר חדירותה;**
- **שימוש בחומרי ריצוף חדירים, למשל, באזור החנייה (לאחר שמחקרים מצאו שאיכות המים מחנייה פרטית ראויה להחדרה, גם למי התהום).**

חלק ניכר מעבודתנו בנושאי תר״מ הוקדש לשילוב בין תכנון ועיצוב ברמת המיקרו לבין ניהול נגר (מירון-פיסטינר, כרמון ושמיר, 1996; כרמון ושמיר, 1997; Kronaveter, Shamir and Kessler, 1997; Levin, 2001; כץ, בורמיל, כרמון ושמיר, 2001). בעבודות אלה הודגמו היתרונות הגלומים בהחדרת נגר לקרקע סמוך ככל שניתן למקום ירידת הגשם, במידת האפשר, בחצרו של המבנה הבודד. ביניהם: סיוע ביצירת סביבה עירונית ירוקה; הגדלת כמות המים, המעשירים את מי התהום; שיפור איכות המים, המגיעים למי התהום; הקטנת שכיחותן של הצפות, כפועל יוצא של הקטנת הנפחים והספיקות היוצאים מכל חצר, מבנן ושכונה; וגם: פוטנציאל לחיסכון בגודל ועלות של מערכות הניקוז (כרמון ושמיר, 1997, עמ׳ 41-40). בעבודות אלה עוצבו גם המלצות תר״מ לתכנון ברמת המיקרו.

חישובים שערכנו, בעזרת נתונים על מאפיינים רלבנטיים של בנייה, קרקע וגשמים במישור החוף, מורים כי קיום ההנחיות שלעיל (גם ללא ריצוף חדיר) מאפשר החדרה בתחומי מגרש הבנייה של כ-70% מן הנגר שיורד עליו בשנת גשמים שופעת (600 מ״מ לשנה) (כרמון ושמיר, 1997; Kronaveter et al., 1998). אומנם, אפשר להחדיר בשטח המגרש 100% מן הנגר, אך הדבר ידרוש השארת 50% מן המגרש פנויים וחדירים או תוספת מתקני החדרה בחצר. תוספת מתקנים אפשרית ונהוגה במקומות אחדים בעולם, כמו בטוקיו, שהנהיגה משטר החדרה למניעת השטפונות וההצפות השכיחים בעיר (ר׳ פרק 2). אף על פי כן, המלצתנו היא להסתפק בהנחיה לבעלי מגרשי הבנייה להוסיף אמצעים פשוטים וזולים להתקנה ולתחזוקה, שיאפשרו להחדיר בשטח המגרש את רוב מי הגשם היורדים עליו. הנימוקים העיקריים להסתפקות זו הינם:

- חוסר מידע אמפירי – לפני שנמליץ לבנות מתקני החדרה בחצרות לקליטת מים רבים, דרושות בדיקות אמפיריות בתנאי הארץ של תפקוד אמצעים ומתקנים להחדרת נגר; דרוש ידע רב יותר על דרכים למניעת הצפות בקומה הקרובה למפלס החצר או מצויה מתחתיו, ועל מרחקים ואמצעים למניעת פגיעה ביסודות המבנה;

- מתקני החדרה דורשים השקעה בהקמתם, ובעיקר, בתחזוקתם השוטפת; ספק אם התועלות הנובעות מהחדרה של יתרת הנגר דווקא בחצר (ולא בשטחים פתוחים ציבוריים) מצדיקה לדרוש זאת מכלל האזרחים.

יתר על כן, המלצנו לעיל לא להקפיד על החדרת נגר לקרקע בחצרותיהם של בניינים גבוהים (7 קומות ויותר), גם זאת מפני שזו גזירה שהציבור יתקשה לעמוד בה. בבנייה עירונית בצפיפות בינונית-גבוהה, המומלצת מטעמים רבים (לאו דווקא מימיים), שטח המגרש דרוש לצורכי חנייה מעל ומתחת לקרקע. קשה להצדיק דרישה חד-משמעית להחדרת נגר בתחומי מגרש כזה, אם הבונים מצליחים למצוא מקום חליפי להחדרה בשטח חדיר סמוך ומתחייבים להשתתף במימון המתקן.

כל ההנחות הללו מתייחסות למבני מגורים ולמגרשים של מבנים פרטיים אחרים. הדברים שונים במבני ציבור, בעיקר בבתי ספר ומרכזים קהילתיים. באלה האחרונים ממילא דרוש שטח פתוח גדול וממילא מתקיימת בקרה ציבורית, ולפיכך, יש להחיל עליהם את כל ההמלצות הנ״ל בתוספת המלצה לשילוב מתקנים להשהייה והחדרה של נגר, היכולים לשרת מטרות מימיות וגם חינוכיות.

4.4.3 תכנון ברמת השכונה והעיר

הנגר העירוני הינו משאב חשוב, ובדרך כלל בלתי מנוצל, לפיתוח הנוף השכונתי והעירוני. בעוד שניהול נגר ברמת המיקרו מתמקד בעיקר בהחדרת נגר לקרקע, בעבור תועלות למי התהום ולהקטנת שכיחותן של הצפות, ניהולו בשכונה ובעיר אמור להתחלק בין שירותם של אותם יעדים לבין שירות היעד של שיפור הנוף. לא מדובר כאן ביעדים שונים, אלא בדגשים שונים עבור המרחבים השונים.

חדד (2006) מונה ארבע מטרות לתכנון נוף שכונתי/עירוני, המתחשב בנגר כמשאב, וזאת בנוסף למטרות ניהול נגר שכבר נימנו לא אחת לעיל:

- הוספת איכויות חזותיות לנוף – המים הם אלמנט נופי רך עם איכויות עיצוביות, כולל: זרימה משתנה במרחב ובזמן, שקיפות, השתקפות, שבירת אור, שינויי צורה וצבע ויצירת צלילים. אדריכלים ואמנים משתמשים במים לעיצוב ברכות מיוחדות, מזרקות ופסלים סביבתיים. מתקנים לניהול נגר יכולים להיות מעוצבים כפסלי אדמה ומים בעלי איכויות אסתטיות.
- שימור תפקידו האקולוגי של הנוף, גם בעיר – הפיתוח העירוני כרוך בדרך כלל בפגיעות אקולוגיות חמורות: בבתי גידול לצמחים ובעלי חיים שנהרסים, בקרקע שאבדן לחות פוגע בתפקוד המיקרו-אורגניזמים שבתוכה, החיוניים לפוריותה והתחדשותה, במי התהום המזדהמים ושהתחדשותם השנתית נפגעת, בערוצים הטבעיים הנסתמים או נסחפים, וגם בטמפרטורה הטבעית הנוטה לעלות, עקב הקטנת ההתאדות ומסיבות אחרות (Ferguson, 2002). פעולות ומתקנים לשימור נגר עירוני, המאפשרים המשך קיומם של תהליכי זרימה, היקוות וחדירה של נגר במרחב העירוני, מאפשרים שיקום של חלק מן הפגיעות הללו.
- תרומה למודעות סביבתית של תושבי השכונה/העיר, ובמיוחד של בני הדור הצעיר – שילוב בולט לעיין של מתקני ניהול נגר בנוף השכונתי/עירוני תורם להפנמת הרעיון של שימור תהליכים ומשאבים טבעיים בכלל, ובפרט להמחשת תהליכים של מחזור המים בסביבה היומיומית של התושבים.

בכדי שאדריכל הנוף יוכל לפעול למימושן של המטרות המימיות והנופיות, חייב להתקיים תנאי יסוד: שיתופו בתכנון מן השלב הראשון של יצירת תכנית השלד, בכדי שכבר בשלב מוקדם זה יוכל להציג את רעיונותיו ביחס לפריסה הולמת של השטחים הפתוחים והחדירים, בדבר ערוצי זרימה עיליים לנגר ואתרים לריכוזו לשם השהייה והחדרה. בהתקיים תנאי זה, יהיה באפשרותו של אדריכל הנוף לקיים את המלצות תר"מ לגבי שילובו של נגר בתכנון הנוף של המרחב השכונתי/עירוני.

אדריכל נוף, המבקש לתרום לשימורו של נגר במרחב השכונתי והעירוני, יתאים את ההמלצות וההנחיות שהוצגו לעיל (4.4.1, 4.4.2) לקנה המידה הרלבנטי. נמליץ שבנוסף לכך, הוא ישתמש בנגר כמשאב לתכנון הנוף, באמצעות אימוצן של הצעות כלהלן:

- **חשיפה לציבור של נתיבי זרימת הנגר, באמצעות יצירת רצף גרביטציוני של תעלות עשב, המשמשות להולכת נגר ולטיהורו ויכולות לשמש גם להחדרתו; התעלות תובלנה מחצרות המבנים אל שדרות ירוקות, לאורך הכבישים או לאורך שבילי הליכה, ומן השדרות אל שצ"פים שכונתיים או עירוניים;**
- **שימוש בנגר להשקיית "היער העירוני" – עצים מתאימים לאקלים המקומי, היכולים להתקיים כל השנה ללא תוספת השקייה, מעבר להזרמת נגר בעונת הגשמים לתוך הגומה המקיפה אותם; הגומה יכולה להיות מגוננת או – כאשר היא צריכה לשמש חלק מדרך או מדרכה - מכוסה במבנה קשיח וחדיר;**
- **תוספת מתקנים מגוונים להשהייה ו/או איגום ו/או החדרה של נגר (ר' 4.4.4) במקומות מתאימים לאורך השדרות הירוקות ו/או בשטחים הציבוריים הפתוחים, קטנים וגדולים;**
- **שיתוף האזרחים בתכנון הנוף, ובמידת האפשר בתחזוקתו, לשם השגת המטרות החינוכיות ולמניעת התנגדות צפויה למתקנים חריגים בנוף.**

על מנת ליישם המלצות אלה, ובעיקר את ההמלצה לתכנון והקמה של מתקנים להשהייה ו/או איגום ו/או החדרה של נגר, מוטל על אדריכל הנוף לשתף פעולה באופן הדוק עם מהנדס מים וניקוז. לעיתים, עליו לשתף פעולה עם אמנים, כאשר קיימת כוונה להפוך את מתקני הטיפול

בנגר לנכס אסתטי-אמנותי (בישראל ובעולם המערבי פועלים פורומים ואגודות לאמנות אקולוגית). בכל מקרה, בניית מתקנים עם מים ברשות הציבור דורשת תשומת לב לנושאי בטיחות, בעיקר של ילדים קטנים, ולנושאי גיהות, במיוחד אלה הקשורים לריחות וליתושים.

נגר עירוני כנכס קהילתי

מתכננת משירות Smart Growth Online מתארת שכונה, אשר בה מיושם העיקרון של נגר עירוני כנכס קהילתי. גגות הבניינים בשכונה ירוקים ומכוסים בצמחייה, הניזונה ממי הגשמים. הנגר מן הגגות מוזרם במרזבים לאגני השהייה והחדרה זעירים, הממוקמים בין הבניינים ומכוסים בצמחייה מקומית. מסביב לכל אחד מעצי הרחוב יש גומה, הקולטת מי נגר ומכוסה בצמחיית נוי. בצמתים שברחוב הראשי משובצות כיכרות עשירות בנטיעות (במקום רמזורים), הממלאות תפקידים משולבים: תפקיד בהאטת תנועת הרכבים ומניעת תאונות דרכים, תפקיד באסתטיקה המקומית, הודות לצמחייה ייחודית למקום, ותפקיד בניהול הנגר, המוזרם לכיכרות, משקה אותן ועובר טיהור בעזרת צמחייתן, לפני שחלקו חודר לקרקע ולמי התהום. בבית הקפה המקומי, השולחנות מסודרים מסביב למפל דקורטיבי, המוזן ע"י נגר מן הגג וזורם לתוך בריכת מים קטנה, המכוסה בצמחי מים יפים.

זהו תיאור של שכונה היפותטית, אך המחברת מעידה שיש פרויקטים של דיור ברחבי ארה"ב המממשים גישה זו, כמו אזור החידוש העירוני בסיאטל (High Point Redevelopment, Seattle, Washington), ומתרבה מספר המתכננים והעיריות המעוניינים ביישומה.

המקור: Richards (2006)

תכנון רגיש למים של נופים עירוניים הולך ונעשה מקובל בחברות מערביות מפותחות. הדוגלים ב"תכנון עירוני חכם" כוללים בשנים האחרונות את הטיפול בנגר עירוני כחלק מאסטרטגיית הפיתוח שלהם. שירות Smart Growth Online (URL) מציע לראות בנגר "נכס קהילתי", המעשיר את "תחושת המקום" המיוחדת לקהילה, מעצים את הקשר

למקום, ובפוטנציה, חוסך כסף למשלם המיסים המקומיים. אנשי השירות טוענים, שעבר זמנו של ניהול טכני של הנגר ע״י מהנדסים בלבד, והגיע הזמן של ניהול נאור של הנגר העירוני לטובת הקהילה, באמצעות שיתוף פעולה בין אדריכלים, מתכנני ערים, יזמים ומנהיגים קהילתיים, הפועלים יחד לבנייה וחידוש של שכונות עירוניות.

4.4.4 אמצעי תר״מ לניהול נגר במרחב העירוני - (BMP's - Best Management Practices)

אמצעי תר״מ לניהול נגר במרחב העירוני הינם כל התקנות, ההנחיות התכנוניות והמתקנים, העוסקים בנגר עירוני, אך אינם מסתפקים בסילוקו במהירות מן השטח הבנוי, אלא מכוונים לנצלו לטובת האדם והטבע, היינו: לטהר אותו, להאט את זרימתו ולהשהותו, לאגור אותו לצורך שימוש ישיר, או להחדיר אותו לקרקע ולמי התהום, לצורך שימוש עתידי. אמצעים אלה מכונים בעגה האמריקנית Best Management Practices, ובקיצור BMPs. **ה-BMPs נחלקים לשני סוגים עיקריים: האחד – הנחיות תכנוניות**, המופנות אל האחראים לפריסת ייעודי קרקע (כולל דרכים) ולתכנון תכסיות הקרקע בעיר – באלה עסקו כל החלקים הקודמים של פרק 4; **השני – מתקנים טכניים**, כמו תעלות ובריכות, שנועדו לטפל בנגר, לעוכבו, לאוגרו ולהחדירו – באלה עוסק חלק אחרון זה של הפרק. נציג תחילה שיקולים בבחירתם של מתקנים, ובהמשך, נאפיין את החשובים שביניהם ונדגים את דרכי שילובם במערך העירוני. מתכננים המעוניינים בפרטים נוספים על מתקנים אלה ימצאו את חלקם **בנספח** למסמך זה, ויותר מכך באתרי אינטרנט מיוחדים להם[1] ובפרסומים שיצרו בארצות הברית הרשות לשמירת איכות הסביבה (EPA -

[1] בין אתרי האינטרנט העוסקים בנושא נמליץ על:
www.epa.gov/OST/stormwater
www.bmpdatabase.org/docs/dataelement.pdf
www.forester.net/sw_0103_national.html
www.villanova.edu/VUSP/index.html

Environmental Protection Agency), האגודה להנדסה אזרחית (ASCE - American Society of Civil Engineers) ומוסדות אחרים.

4.4.4.1 שיקולים עיקריים בבחירת מתקנים לאתר נתון

שיקולי תועלת

התועלות המצופות ממתקנים וממערכות לטיפול בנגר עילי נגזרות מן המטרות אשר לשמן הוא מוקם, ביניהן ניתן למנות:

- הפחתה של נזקי הצפות באגן שבו נבנה המתקן ו/או במורד;
- הפחתה של נזקי סחף (ארוזיה) ושיקוע (סדימנטציה) באגן עצמו;
- הפחתת נזקים בשטחים ובגופי מים (נחל, אגם) שבמורד האגן;
- הפחתה של רמת זיהום הנגר;
- אגירת מים לשימושים שונים, בעיקר השקייה;
- שחרור מבוקר לנחל במורד על מנת לשמור על האקולוגיה;
- תוספת חלחול של נגר לקרקע, המעשיר את מי התהום;
- שיפור הנוף העירוני, באמצעות תוספת מתקן כחול או ירוק;
- הקטנת העלות הכוללת של מערכת ההגנה מפני הצפות ונזקי שטפונות.

בין אלו יש מטרות משלימות, שניתן להשיגן בעת ובעונה אחת באמצעות מתקן (למשל: אגירה, מיתון ספיקות ושיפור האיכות), ויש כאלו המתחרות זו בזו (למשל: אגירה לצורך שימוש לעומת החדרה למי התהום). משקלן היחסי של המטרות יקבע בכל מקרה ספציפי את בחירת סוג המתקנים, מיקומם, גודלם וצורת הפעלתם.

גם לאחר שנבחרו המטרות ותוכננו המתקנים, קשה להגדיר הגדרה אופרטיבית את ממדי התועלות וקשה עוד יותר לכמת אותן. עם זאת, כימות התועלות רצוי מאד, בכדי שאפשר יהיה להעמידו כמשקל נגד לעלויות, שאותן קל יותר להגדיר ולכמת, הן את העלויות הכרוכות בהקמה/בנייה של מתקן, וגם את אלה שכרוכות בתחזוקתו. קושי מיוחד להעריך תועלות נובע מן העובדה שהן בעלות אופי אקראי, משתנות עם התממשות אירועי הגשם והזרימה ומתפרסות על פני שנות

קיומו של המתקן. בנוסף, יש קושי להעריך את התועלת ממיתון ספיקות השיא והקטנת נזקי הצפות, משום שאלו מתייחסות לאירועים קיצוניים ולכן נדירים, שעוצמתם גבוהה והסתברותם נמוכה.

יש הטוענים, שסוגיית התועלות לעומת עלויות איננה קריטית בהקשר הנוכחי. בעיניהם, פעולות למען קירוב הסביבה העירונית הבנויה למאזן האקולוגי הטבעי, שהיה בשטח לפני הבנייה העירונית, הינו חובה המוטלת על הרשויות, כשם שחובתן לספק רמה מסוימת של שירותי חינוך, בריאות, מים נקיים וכיו״ב לתושבי המקום. בהתאם לכך, חייבות הרשויות לממן מתקנים לטיפול בנגר במרחב העירוני, גם אם העלויות עולות על התועלות לטווח הקצר, מעין אלה שנזכרו במניין הנ״ל. ההנחה היא, שהתועלת לטווח הארוך משמירה על המאזן הטבעי עולה על כל השיקולים לטווח הקצר. אחרים טוענים, שלנוכח קשיי המדידה של מגוון התועלות, מן הראוי להתמקד במדידת תועלת עיקרית אחת. בארה״ב, למשל, שכיחה התמקדות במטרה של הקטנת זיהום הנגר העירוני, משום השפעת הזיהום על גופי המים המקבלים את הנגר (נחל, אגם, ים). אצלנו עולה חשיבות השימור של משאבי הניתנים לניצול, ולכן עמדה החדרת מי הנגר למי התהום במרכז ההתעניינות שלנו ושל אחרים בעשור האחרון. עם כל חשיבותה של מטרה זו חשוב לזכור כי בכל אחד מאזורי הארץ ובכל אתר נדון יש לבחון את המטרות השונות ולהתאים את בחירת המתקנים ותכנונם להשגת מטרות אלה.

4.4.4.2 שיקולי הקמה באגן הניקוז

נתונים ושיקולים המתייחסים לנגר העירוני והטיפול הרצוי בו

- תקופות החזרה של אירועי התכן (ספיקות שיא) לתכנון, על פי מידת ההגנה הנדרשת לשימושי הקרקע השונים ;
- פירוס וממוצעים של עוצמות וכמויות גשם לסופה ולעונה, משכי הסופות, עוצמות ומשכי ההפסקות בין סופות ;

- השיטות לחישוב כמויות הנגר הצפויות (נפחים) ועוצמות הזרימה הצפויות (ספיקות) מתוך נתוני הגשמים;
- סוגי המזהמים שרוצים להרחיק וריכוזם הצפוי בנגר;
- סוגים של מתקנים שאפשר/רצוי להשתמש בם עבור הטיפול הנבחר בנגר, ונתוני עלות טיפוסיים.

נתונים ושיקולים המתייחסים לסביבה הבנויה

- המקום/השטח עבורו מתוכנן האמצעי/המתקן: מגרש, מבנן, שכונה, עיר, שטח פתוח;
- זמינות קרקע עבור המתקן ושימושיה החליפיים;
- אפשרות גישה למתקן לצורך הקמתו ותחזוקתו;
- התחשבות בשימושי קרקע שכנים (קרבה למגורים, לתשתיות);
- פיתוח ושימושי קרקע עתידיים באזור;
- התחשבות בסיכונים פוטנציאליים לאוכלוסייה (במיוחד מניעת תאונות של ילדים) והסכמתה להקמת המתקן (במקרה שמדובר במתקן פתוח).

נתונים ושיקולים המתייחסים לסביבה הטבעית

- הטופוגרפיה והגיאולוגיה של השטח;
- תכונות הקרקע, בעיקר חדירותה למים;
- המרחק בין פני הקרקע למי התהום;
- שימושים אפשריים למי הנגר הנאגרים (למשל השקייה);
- זמינות מים במקרה שנעשה שימוש במתקנים המשלבים צמחייה או בריכות פתוחות (תעלות צמחייה, בריכות אחסון).

נתונים ושיקולים נוספים

- עלות המתקן/המערכת;
- זמינות התקציב להקמתם ותחזוקתם של המתקנים;
- תדירות וסוג פעולות התחזוקה שהמתקן דורש;
- זמינות כוח אדם שיידרש לתחזוקה;

- תקנות או דרישות מקומיות המתייחסות להקמה ולתחזוקת המתקן;
- שיקולים אסתטיים.

את הנתונים בקבוצה הראשונה חייב לספק גוף ממלכתי מנחה, בפירוט על פי אזורי הארץ, בעוד ששלוש הקבוצות האחרונות ספציפיות לכל אתר ולהקשר הארגוני והכלכלי המקומי ולכן, המתכנן עצמו חייב לכנס את הנתונים ולהתחשב בהם.

4.4.4.3 מתקנים להשהייה, לאגירה, להחדרה ולטיהור של נגר עירוני

נמנה כאן מתקנים נבחרים לטיפול בנגר עירוני במרחב הבנוי. עבור כל מתקן נציין את שימושו העיקרי ומיקומו הראוי בנוף העירוני. יש מתקנים קטנים, כמו באר יבשה ותעלת החדרה, המתאימים בראש ובראשונה לחצרו של בניין יחיד, אם כי יש להם שימושים גם ברשות הרבים, ובצד השני של הרצף נזכרים מתקנים כמו בריכות ואגנים ירוקים, המתאימים לרמת היישוב בכללו.

פרטים נוספים על מתקנים אלה ואחרים אפשר למצוא ב**נספח** שלהלן, באתרי אינטרנט רבים (אחדים נזכרים בביבליוגרפיה המוערת שבדיסק המצורף ובמקומות אחרים במסמך זה), ובעברית אצל: פיסטינר, כרמון ושמיר 1996; כרמון ושמיר, 1997; בורמיל, שמיר וכרמון, 2003; פרלמן וחובריו, 2004.

מתקנים נקודתיים

מסנן חול (Sand Filter)

מתקן בשטח מצומצם, על-קרקעי או תת-קרקעי, שמטרתו העיקרית היא הרחקת מזהמים וטיוב איכות מי הנגר. מסנני חול שונים זה מזה ברמת המורכבות שלהם, כאשר העיקרון הוא הזרמת הנגר דרך שכבות של חול ואגרגטים בעובי כולל של עד כ-100 ס"מ.

מסנן חול ניתן למקם מתחת לשימושי קרקע אחרים, כמו מגרשי חנייה ודרכים או במרתפי בניינים. לכן, השימוש במתקן זה נעשה בדרך-כלל לטיפול בנגר מאזורים קטנים כמו מגרשי חנייה, מאזורים בהם קיים סיכון שהנגר יכיל מזהמים רבים כמו אזורי תעשייה, ומאזורים עירוניים צפופים בהם לא ניתן להשתמש בשיטות BMP אחרות בשל מגבלות מקום.

באר יבשה (Dry Well)

בור מלא בחצץ, חול ואבנים, לעיתים מכוסה בשכבת עשב. מתקן זה מיועד לאגור ולהחדיר את מי הנגר, ובכך להקטין את עוצמת זרימת המים לאחר אירוע גשם.

את הבור הקרוי באר יבשה ניתן לשלב בחצרו של בניין ולחבר אליו את המרזב היורד מן הגג. אפשר לשלבו גם ברמת המיבנן, בגינות ציבוריות ובפארקים. מתקן זה אינו מטפל היטב באיכות המים ולכן רצוי לשלבו באזורי מגורים בהם זיהום הנגר פחות.

משטחים חדירים למים

ריצוף חדיר חלקית הוא מונח כללי המתייחס לריצוף המאפשר למים לחלחל דרכו. כלי זה אפקטיבי להקטנת אחוז השטח האטום בחצר ובשכונה ולהפחתת כמות הנגר הנוצרת במקום. סוגי הריצוף החדיר המקובלים הם:

(1) חומר חיפוי גרגירי כמו חצץ, טוף או חלוקי נחל;
(2) אספלט חדיר או חומר סלילה חדיר אחר;
(3) יחידות ריצוף עם פתחים מונחות במרחק זו מזו, בשילוב עם דשא או חצץ דק.

ריצוף חדיר יכול להחליף ריצוף רגיל או משטח סלול בשטחי חנייה, שבילי גישה, מדרכות ומשטחי דריכה אחרים בעיר. השימוש בו יכול להיעשות בכל הרמות: מהמגרש הבודד ועד לרמת העיר. בכל מקרה של

שימוש בריצוף חדיר רצוי למקמו מעל תשתית המורכבת מקרקע טבעית ועלייה שכבת חצץ, על-מנת להגביר את יעילותו.

תעלות ורצועות קרקע

תעלות החדרה

אמצעי המשמש להחדרת נגר, כמו גם לשיפור איכות המים לפני מעברם למי התהום. תעלת ההחדרה חפורה אל תוך הקרקע, מלאה באבנים או חצץ, ומקבלת את מי הנגר ישירות ממרזבים או מפני השטח, רצוי דרך משטח דשא או עשב.

התעלה קטנה יחסית ואינה מהווה מפגע בטיחותי, ולכן ניתן להתקינה בקלות יחסית לא רק באזור בינוי חדש אלא גם במגרשיהם של בניינים קיימים, כמו גם במבננים ובשכונות קיימות. נפחה של תעלת החדרה באזור בנוי צריך להיות מותאם לקליטת הנגר מאירוע גשם אחד.

תעלת עשב

תעלות רחבות ושטוחות, מכוסות צמחייה עשבונית צפופה, המשמשות לניקוז שטחים קטנים, מיתון זרימות ושיפור איכות המים.

את תעלות העשב ניתן לשלב באזור הבנוי ברמת השכונה והעיר. שימוש מקובל בהן הוא ניקוז נגר בשולי דרכים ובאזורי הפרדה בין נתיבים. תעלות עשב יכולות לשמש כתחליף לתעלות ניקוז עשויות בטון והן עדיפות מבחינה חזותית.

רצועת סינון

רצועות סינון הן משטחי צומח שטוחים, אופקיים או בשיפוע מועט, אליהם מוזרמים עודפי נגר בזרימה משטחית. מטרתן העיקרית היא האטת מהירות זרימת הנגר, סינונו והחדרתו לקרקע.

רצועות הסינון יכולות להשתלב בקלות בשטחים ציבוריים ברמת השכונה והעיר. את רצועות הסינון ניתן להקים לאורך דרכים, לצד

משטחים מרוצפים ומגרשי חנייה ובאזור יציאת המים ממרזבים. תועלות נוספות הנובעות משימוש באמצעי זה הן יצירת שטחים ירוקים פתוחים בעיר ויצירת מקום גידול לבעלי-חיים שונים.

צינור חדיר תת-קרקעי

צינור מחורר להובלת מים, המותקן מתחת לפני הקרקע. מטרתו העיקרית היא הובלת מים בשילוב עם החדרתם לקרקע במהלך הזרימה.

אמצעי זה יכול להשתלב כחלק ממערכת הניקוז הקונבנציונלית באזורי המגורים בעיר. הוא יכול להוות תחליף לצינורות ההובלה הרגילים. רצוי לא לשלבו במערכת הניקוז המנקזת מים מכבישים סואנים וממגרשי חניה גדולים.

מאגרים ובריכות

בריכות השהייה יבשות או רטובות

אמצעי יעיל למיתון זרימות נגר עילי ולאגירת נגר לצורך שימוש ישיר ו/או להחדרה לקרקע. ישנם סוגים שונים של בריכות, הנבדלים זה מזה בהתאם למשך אגירת המים, מידת השימוש בצמחייה, נפח האגירה וצורת תפעול הבריכה בין סופות. מאפיינים אלו קובעים את תרומתה למיתון הספיקות ולשיפור איכות מי הנגר.

בתחומי העיר מדובר במאגרים קטנים יחסית, המשתלבים בנוף העירוני ברמת המבנן, השכונה או העיר. רצוי לשלבם בשטחים פתוחים, כך שישמשו הן כנכסי נוף והן לפעילויות פנאי, ולמקם אותם במרחק מאזורי מגורים.

אגנים ירוקים

אמצעי יעיל לטיהור מים ולשיפור איכותם. אגן ירוק הוא שקע מלאכותי דמוי בריכה או תעלה, שחלק גדול מקרקעיתו או משטח פני

המים בו מכוסה צמחייה. האגן משמש לשיקוע חומרים מרחפים ולקיבוע נוטריינטים באמצעות האטת הזרימה של הנגר ובסיוע צמחייה.

בשל גודלם ועל-מנת שלא יהוו מטרד, רצוי למקמם בשולי העיר או בשטחים המקיפים אותה. אגנים אלו יכולים ל השתלב במערך השטחים הפתוחים, כנכסי נוף וכאתרים לפעילויות פנאי.

פרק 5
גישה חילופית לניהול הנגר העירוני ולניקוז

5.1 שינוי הגישה/הפרדיגמה לניהול הנגר העירוני

במשך עשרות שנים התייחסו האזרחים והשלטונות, ובתוכם גם מתכנני הערים ומהנדסי הניקוז, אל הנגר העירוני **כמטרד**, שאותו יש לסלק במהירות וביעילות מן השטח העירוני ולהעבירו למורד. מסמך מדיניות זה מציע לאמץ גישה/פרדיגמה חילופית, המבוססת על מחקרים חדישים בחו"ל ובארץ, שניתן להגדירה כלהלן:

הגישה החילופית לניהול הנגר העירוני:

(א) הנגר הינו משאב ולא רק מטרד, וניתן להפיק ממנו תועלות למשאבי המים, לסביבה ולחברה.

(ב) הרחקה מהירה של הנגר למורד באמצעות מערכת הניקוז אינה הדרך הטובה ביותר לשרת את המטרה של מניעת נזקי הצפות; מוטב להשהות, לאגור, להחדיר את הנגר ברחבי האגן ובכך למתן את ספיקות היציאה ממנו, ובה בעת תאפשר ניצול מימיו לשימוש ישיר או להעשרת מי התהום.

בהתבסס על מחקרים ועבודה במשך עשור ויותר, שכללו לימוד הנעשה בעולם וניתוחים על הנעשה בארץ, אנו ממליצים להחליף את המונח התכנוני "**ניקוז**" ב-"**ניהול הנגר וניקוז**", כאשר המטרה הינה **ניצול ושימור מיטביים של הנגר תוך הגנה מפני נזקי שטפונות**. בפרסומים קודמים כבר המלצנו על החדרת הנגר למניעת הפסדים למי התהום

אלו זכו להד בגופי התכנון, שהביא להוצאת חוזרים מנחים ומדריכים להחדרת הנגר לקרקע, תחת הכותרת "בנייה משמרת נגר עילי", ואף השפיעו על תמ"א 34ב', שהוזכרה כבר בפרק 3 ותידון בפרק זה. אלא ששימור וניצול הנגר הינו בעל משמעות רחבה הרבה יותר מאשר החדרה בלבד.

"ניקוז" מוגדר, הן כמונח והן כמשתמע בחוק ובתקנות, כסילוק מלא ומהיר ככל האפשר של הנגר מן השטח המוגן. בניגוד לכך, מוצעת כאן מדיניות וגישה חילופית, המקדמת באופן סימולטני וסינרגטי מספר מטרות: תוספת למשאבי המים וקידום יעדים סביבתיים וחברתיים, ביחד עם הקטנת נזקי הצפות. על פי גישה זו, יש לעכב, לאגור ולהחדיר נגר, בכדי להעשיר את משאבי המים ובכדי להפחית שכיחותן של הצפות הגורמות נזק. אנו כוללים בכותרת גם "ניקוז", בידיעה שבסופות גדולות יידרש סילוק הנגר העודף, למרות אמצעי השימור שנוקטת הגישה החילופית. ניהול הנגר יכוון גם לשיפור איכותו, כך שיוכל לשמש תוספת מועילה למשאבי המים ולא יפגע באיכותם ובאיכות הסביבה. הגישה החילופית גם מדגישה את הצורך לחבר את ניהול הנגר באזור העירוני המתוכנן עם הנעשה ו/או המתוכנן במעלה אגן ההיקוות ובמורד.

גישה חילופית זו הולכת ומתחזקת, קונה לה מהלכים, וכבר מצאה ביטוי בהנחיות תכנוניות ותקנות במספר ארצות בעולם (ר' פרק 2), ובשנים האחרונות גם בארץ, בעקבות מחקרים ועבודות שלנו ושל אחרים (מירון-פיסטינר וחוב', 1996; כרמון ושמיר, 1997; הוועדה המחוזית לתכנון ובנייה – מחוז המרכז, 2000; הצוות הבינמשרדי לבנייה משמרת מים, 2002; הוועדה המחוזית לתכנון ובנייה – מחוז תל-אביב, 2004; אנוש מערכות, 2004; תמ"א 34ב' 3 ו-4). אולם גישה זו צריכה להתמודד עם מסורת ארוכה של תכנון מערכות הניקוז לסילוק מהיר של הנגר, עם חשש של מהנדסי ניקוז מפני תביעות על נזקים אם סטו ממתכונת התכנון המקובלת בעבר ומפורטת בספרי הלימוד, ועם דרישתם של ראשי רשויות מקומיות לתת פתרון "רדיקלי" לנושא

הניקוז, כזה שימנע כל אפשרות של השהיית מי נגר באזורי המגורים ושל תלונות ותביעות מצד אזרחים.

ניצול הנגר יכול לכלול שימוש ישיר בו. מומלץ לבחון שימוש ישיר בנגר כחלופה להחדרתו לקרקע, כאשר איכותו ברמה מתאימה לשימוש המיועד וכאשר ההחדרה נועדה למטרת העשרה של מי התהום. במקרה כזה, עדיף להשתמש במי הנגר בעודם על הקרקע, במקום להחדירם ולאחר מכן להעלותם. פרויקט מתוכנן, המיישם שימוש ישיר והחדרה, הוצע לאחרונה עבור ראשון לציון (הלבץ 2007), ועל פניו נראה ראוי למימוש כפרויקט חלוץ, לאחר עיבוד נוסף של התכנון הפיסי והכלכלי. הפרויקט שנקרא "מפעל אגמי החולות" מציע לרכז נגר עירוני משטח בן 40,000 דונם, המניבים (לפי החישוב שם, המבוסס על מקדם נגר בן 25%) 5 מליון מ"ק לשנה ממוצעת. ריכוז זה אמור לשמש בחלקו כמי הזנה למתקן שיפיק מי שתייה, בחלקו לגינון עירוני (ברשת כפולה) בשילוב עם החדרה. תוצרי לוואי חשובים של המפעל הינם ניקוז תת-קרקעי של אזור מרזבה ושני אגמים, שישמשו לנוף ולקיט.

ניצול הנגר יכול לכלול גם שימוש ישיר בו. מומלץ לבחון שימוש ישיר בנגר כחלופה להחדרתו לקרקע, כאשר איכותו ברמה מתאימה לשימוש המיועד וכאשר ההחדרה נועדה למטרת העשרה של מי התהום. במקרה כזה, עדיף להשתמש במי הנגר בעודם על הקרקע, במקום להחדירם ולאחר מכן להעלותם. פרויקט מתוכנן, המשלב שימוש ישיר והחדרה, הוצע לאחרונה עבור ראשון לציון (הלבץ 2007), ועל פניו נראה ראוי למימוש כפרויקט חלוץ, לאחר עיבוד נוסף של התכנון הפיסי והכלכלי. הפרויקט שנקרא "מפעל אגמי החולות" מציע לרכז נגר עירוני משטח בן 40,000 דונם, המניבים (לפי החישוב שם, המבוסס על מקדם נגר בן 25%) 5 מליון מ"ק לשנה ממוצעת. ריכוז זה אמור לשמש בחלקו כמי הזנה למתקן שיפיק מי שתייה, בחלקו לגינון עירוני (ברשת כפולה) בשילוב עם החדרה. תוצרי לוואי חשובים של המפעל הינם ניקוז תת-קרקעי של אזור מרזבה ושני אגמים, שישמשו לנוף ולקיט.

5.2 עקרונות וכללי תכנון לניהול הנגר העירוני

כללי התכנון העיקריים לניהול נגר עירוני רשומים במסגרת.

ניהול הנגר העירוני יכוון:

- **למיזעור הספיקות במוצא מן השטח המתוכנן, על מנת לשפר את ההגנה מפני נזקי שטפונות ולהקטין את עלות מערכות הניקוז;**
- **למיזעור נפח הנגר במוצא מן השטח המתוכנן, על מנת לעשות במי הנגר שימוש ישיר בשטח עצמו ליצירת סביבה ירוקה ו/או החדרתם לקרקע להעשרת מי התהום;**
- **למיזעור זיהומים בנגר, כדי למנוע זיהום של מקורות המים שאליהם מגיע הנגר (נחל או מי תהום);**
- **ניהול נגר עירוני יתחשב בצורכי הנחלים והסביבה וישולב עם תכנון כלל אגני, המתייחס לזרימות במעלה ובמורד מן השטח הבנוי.**

את המונחי "מיזעור" יש להבין בהקשר של **איזון בין המטרות השונות של ניהול הנגר**: תרומה למשאבי המים, הגנה מפני נזקי שטפונות, הקטנת עלות מערכת הניקוז, קידום יעדים סביבתיים וחברתיים, כל זאת בתנאים הספציפיים של האתר הנדון.

5.2.1 הגדרת "מערכת הניקוז" בעיר ופעולתה על סופות הגשם

עם המעבר מ"**ניקוז**" ל-"**ניהול הנגר וניקוז**" תתוכנן "**מערכת הניקוז**" כך שתכלול את כל האלמנטים הפיסיים, המשתתפים בהתמרה של הגשמים היורדים על העיר ושל הנגר המגיע ממעלה האגן לרכיבים הידרולוגיים: התאדות ודית (אוופוטרנספירציה), חלחול בתחומי האגן,

נגר הזורם באגן ונאגר בו, נגר הזורם החוצה ממוצא האגן. בהמשך נתרכז בהשפעת הגשם היורד על האגן עצמו, שכן הנגר מן המעלה אינו ניתן לניתוח עקרוני, ותלוי בתנאי המקום הספציפיים. עם זאת, יש לקחת בחשבון בעת תכנון ניהול הנגר באגן עצמו את מה שנתרם כיום מן המעלה, וכן את מה שצפוי כתוצאה מפיתוח עירוני אפשרי במעלה.

מכלול רכיבי האגן, המשפיעים על התמרת הגשם לספיקות וכמויות נגר, מגדיר את "**מערכת הניקוז**", הכוללת את:

- **התכסיות** ודרך חיבורן זו לזו, כולל את חיבור השטחים אטומים לשטחים חדירים או ישירות למערכת הניקוז התת-קרקעית.
- **קולטנים ומערכת הנקזים**: מובלים, חלקם ערוצים על-קרקעיים וברובם תת-קרקעיים, שחלקם הגדול צינורות מסחריים אך יש בהם גם מובלים הנבנים במיוחד להעברת ספיקות גדולות.
- **מתקני תר"מ** המיועדים לאצור (להשהות ולשחרר באופן מבוקר), לאגור (ללא שחרור למורד), ולהחדיר מי נגר.

5.2.2 ספיקות נגר ונפחי נגר

אירועי הגשם נקראים **סופות**, הנמדדות ב**כמות** הכוללת של הגשם (הנקראת גם **עובי הגשם**, בהיותה מבוטאת במ"מ) וב**עוצמה** (נמדדת במ"מ לשעה, ומשתנה במהלך הסופה). כאשר הסופה מספיק גדולה, כך שלא כל כמות הגשם המגיעה לקרקע מתאדה במהלך הסופה או מחלחלת לקרקע, נוצר נגר הזורם על פני הקרקע ובמערכת הניקוז עד למוצא האגן. סופות גשם קטנות ובעלות עוצמה נמוכה אינן יוצרות נגר במוצא האגן. סופות בעלות כמות ועצמת גשם גדולות יוצרות נגר, וככל שכמות הגשם ורטיבות הקרקע בתחילת הסופה גדולות יותר כך תגדל כמות הנגר היוצאת מן האגן.

כמות הגשם הסופתי היורד על האגן עצמו מתחלקת להתאדות ודית, חלחול ונגר. חלוקה זו תלויה בעצמת הגשם – השתנותה בזמן ופריסתה

על פני שטח האגן, ובמאפייני האגן (תכונות הקרקע, כולל מצב רטיבות הקרקע בתחילת הסופה, שיפועים, צמחייה). הכמויות השנתיות של רכיבים אלה יחושבו כסיכום של תרומות כל הסופות במשך השנה. חלק מן הנגר הנוצר יכול להיות מושהה במהלך הסופה או נאגר למשך זמן באגן עצמו, כאשר רק השארית זורמת אל מוצא האגן

חשוב להבחין בין **ספיקת הנגר** (כמות ליחידת זמן) ו-**כמות (נפח) הנגר**. ספיקת הנגר במוצא האגן משתנה על פני זמן, עולה לאחר תחילת הסופה עד לערך מרבי (״**ספיקת השיא של הסופה**״) ויורדת לאחר תום סופת הגשם ב״עקום דעיכה״ (דגם זה נקרא ״**הידרוגרמה**״). אם משך גשם בעוצמה קבועה ארוך מספיק, כך שכל שטח האגן תורם לנגר במוצאו, תתקבל שם הספיקה המרבית המתאימה לעוצמת גשם זו. את הנקז במוצא האגן מתכננים על פי ספיקת השיא של ״**סופת תכן**״ נבחרת, כפי שיוסבר להלן (ר׳ סעיף 5.3).

5.2.2.1 מיזעור נפח הנגר היוצא מן האגן, בכל רמות התכנון

ניהול הנגר העירוני יכוון למיזעור נפח (כמות) הנגר היוצא למורד מכל יחידת שטח - באמצעות אגירה, שימוש והחדרה.

משמעות המלצה זו היא, שיש להשאיר בכל יחידת שטח את מירב כמות הנגר הנוצר בה או זורם אליה מן המעלה, באמצעות החדרה לקרקע ו/או אגירה ושימוש ישיר, תוך איזון עם הצורך להגן בשטח עצמו בפני נזקי הצפות.

האגן מורכב מאגני-משנה, המתנקזים גרביטציונית מאחד למשנהו ו/או אל תוך מערכת הנקזים. בעצם, ניתן לראות בכל יחידת שטח (כל מטר מרובע) אגן-משנה, אלא שמבחינה מעשית יש מקום להגדיר אגני-משנה באופן היררכי החל מגודל מסוים. היחידות הקטנות (**רמת המיקרו**) תהיינה חצרות הבניינים הפרטיים והציבוריים, אחריהם אגני-משנה בגודל ביניים (**רמת המזו**) של מבנן ושכונה, שבהם ייעשה טיפול בנגר

העודף מחצרות הבניינים, ועד לשטח גדול יותר (**רמת המקרו**) של חלק מן העיר או העיר כולה. האזור העירוני כולו יכול להיות בתוך אגן נחל אחד, או שחלקים שלו יהיו באגני נחל שכנים.

הערכת מתקני תר"מ ביפן

קבוצות חוקרים ביפן עסקו במשך שנים רבות בתר"מ, כאשר המטרה העיקרית הינה מיתון ספיקות הנגר משטחים עירוניים במורד והגנה על נחלים וגופי מים במורד, תוך כדי הקטנת הצפות באזור העירוני עצמו. קיים גם גוף מקצועי, שהוקם ב-1991 בחסות המשרד לבניה (http://www.arsit.or.jp).

נערכו מחקרים תיאורטיים ומעבדתיים, ובהמשך גם ניסויים בשטח, להערכת תרומתם של מתקני תר"מ להקטנת ספיקות ונפחי הנגר בשטח עירוני. אחד הניסויים נערך בעיר Fukaya City, בת כ-100,000 תושבים, כ-150 ק"מ צפונית-מערבית מטוקיו, הבנויה על קרקע שסווגה כ-loam (תערובת חול, טין וחרסית).

אותרו שני שטחים מבננים סמוכים, באחד (שטחו כ-5 דונם) הותקנו מתקני תר"מ, והשני (שטחו כ-7 דונם) נשאר ללא שינוי, עם מערכת הניקוז הישנה. מתקני התר"מ יועדו להחדיר מי נגר לקרקע, ונעשה שימוש במתקנים פשוטים וקטנים יחסית, ברחבי האגן, בעיקר תעלות וצינורות תת-קרקעיים חדירים אליהם מועבר הנגר באמצעות קולטנים, וכן באמצעות משטחים חדירים. ספיקות הנגר במוצא משני השטחים נמדדו ברציפות במהלך סופות הגשם ואחריהן, בשנים 1991-1981. נפח הנגר מכל סופה חושב ממהלך הספיקות (הידרוגרמה) וכל הערכים יוחסו ליחידת שטח (על מנת לאפשר השוואה בין שני השטחים).

התוצאות של 40 הסופות הגדולות ביותר במהלך שנות המדידה מראות, כי היחס בין נפחי הנגר (ליחידת שטח) בשטח התר"מי לשטח השני נע בין 0% (אין נגר כלל בשטח התר"מי) לבין 32.2%, כאשר במחצית הסופות היחס קטן מ-10%. ספיקות השיא בשטח התר"מי קטנות לכדי חצי, שליש ואף פחות מאלו שבשטח השני.

מקור: Ishizaki et al. (undated). ר' מירון-פיסטינר, כרמון ושמיר (1996), עמ' 75-81.

את האמצעים המשמשים למיזעור הנפח הנגר אנו מכנים **אמצעי תר״מ** (או: אמצעים תר״מיים) לניהול הנגר. הם כוללים:

- הפניית מרזבים לשטחים חדירים;
- טופוגרפיה המכוונת את הנגר למקומות שבהם ייאגר ו/או יוחדר;
- הפיכת החצר לאגן סגור, על ידי בניית קיר מסביבה, עם פתח גלישה שיבטיח מפני נזקים בשטח הסגור;
- הקצאה של משטחי חידור ושמירה על כושר החלחול של הקרקע;
- בניית מתקני חידור/חלחול (באר הפוכה, תעלת חלחול, שקע בקרקע לאצירת והחדרת הנגר, ואחרים);
- יצירת בריכות אצירה/ אגירה בשטחים פתוחים, שיכולים להוות גם מתקני חלחול ומקור לשימוש ישיר במי הנגר.

חומר רב על מתקנים לניהול הנגר העירוני ותפקודם, עם המלצות מעשיות ליישום, הוכן ביפן (Herath et al., 1993; Imbe et al., 1995; Fujita et al., 1992, 1993) וגם בדו״חות קודמים שלנו (מירון-פיסטינר וחובריה, 1996; כרמון ושמיר, 1997; כץ וחובריה 2000; בורמיל וחובריו, 2003) ר׳ גם סעיף 4.4.4 ונספח.

אגירה, חלחול ושימוש ישיר בנגר יקטינו את נפח הנגר היוצא מן השטח, בכל סופה ובסיכום כולל על פני העונה. רוב הסופות (כ-90% מהן) הינן קטנות, כלומר כמות הגשם קטנה, ולכן סידורים פשוטים וזולים (שטח חדיר של כ-15% משטח המגרש, קיר מקיף, טופוגרפיה, שמירה על חדירות הקרקע) יכולים להביא, בממוצע, להחדרת כ-70% מנפח הנגר השנתי בתחומי המגרש עצמו ולהקטין מאד את נפח הנגר השנתי היוצא ממנו (כרמון ושמיר, 1997). לדעתנו, יש להסתפק במתכונת תכנונית זו ברמת המגרש, שביצועה אינו מכביד מדי על המפתחים ואינו מעמיס על הדיירים עומס בלתי-סביר של עלות.

אמצעים נוספים, שיכולים להיות מורכבים ויקרים יותר, ניתנים לביצוע ברמת המזו (בשצפ״ים, במגרשי משחקים), ואלו ימזערו את

נפחי הנגר הנותרים היוצאים מן המגרשים. נגר שלא ניתן לתפוס ברמות אלו יהיה בעיקרו מסופות בעלות כמות ועוצמה גדולות. הוא יעבור לרמת המקרו, בתחומי העיר עצמה או לעיתים בשטחים סמוכים (מחצבות, שטחים פתוחים). חישוב נפחי הנגר נעשה באמצעות שיטות חישוב כגון SCS ; על כך בהמשך.

לחישוב תרומת תר"מ באגן למשאבי המים דרוש להתייחס **לאוכלוסיית הסופות** כולה, ולא רק לסופות גדולות/קיצוניות. כאמור, כ-90% מנפח הנגר השנתי נתרם ע"י סופות קטנות יותר, ולכן יש לבצע חישובי נפחים (של נגר, השהייה ואגירה, החדרה) על נתוני כלל הסופות.

5.2.2.2 מיזעור ספיקות השיא של הנגר היוצא מן האגן, בכל רמות התכנון

ניהול הנגר העירוני יכוון למיזעור ספיקת השיא של הנגר במוצא מכל יחידת שטח - באמצעות אצירה/השהייה, אגירה, והחדרה.

ניהול בגישת תר"מ אמור לגרום להקטנת כמויות וספיקות הנגר. הסופות הקטנות (והן הרוב) תיקלטנה לגמרי באגן או שייצרו ספיקות יציאה קטנות. סופות גדולות ימצו את מלוא יכולת הקליטה והשהייה של מתקני תר"מ והשארית תצא מן האגן.

הנקז במוצא האגן (מבנן, שכונה, עיר) יחושב על פי ספיקה הנגרמת על ידי "**סופת התכן**", הנקראת "**ספיקת התכן**" (יש להבין כי זו אינה הספיקה המרבית שעשויה לקרות אי-פעם, אלא ספיקה נבחרת על ידי המתכנן, שעבורה תחושב מערכת ההגנה מפני נזקי הצפות). סופת התכן נבחרת על פי רמת ההגנה הנדרשת לשטח המנוקז, והיא מוגדרת על פי "**תקופת החזרה**" שלה. תקופת החזרה היא מספר השנים הממוצע, אשר על פי החישוב ההנדסי חולף בין פעמים עוקבות, שבהן תיקרה סופה זו או גדולות ממנה ("גדולות" במובן שהן גורמות לספיקה גדולה יותר). **בחירת תקופת החזרה הינה עניין של מדיניות**. בארצות

המפותחות קיימים כללים לבחירת תקופת חזרה, על פי חשיבותו של האזור המוגן. למשל: לשטחי מגורים 5-2 שנים, לשטחים מרכזיים יותר 10 עד 50 שנה, וכאשר הצפה עלולה לגרום לנזקים כבדים ולאובדן בנפש תיבחר תקופת חזרה של 100 שנים ואף יותר (למשל: ASCE-WEF, 1992). ככל שעולה תקופת החזרה כך גדלה ספיקת התכן ויידרשו נקזים גדולים ויקרים יותר.

בחירת תקופת החזרה על פי אפיונו של השטח המתוכנן, וקביעת בסיס הנתונים ושיטות החישוב של ספיקת התכן מהווים חלק ממערכת תקנים במדינה מסודרת, אך אלו עדיין לא קיימים בארץ. לכן, מתכנני מערכות ניקוז בארץ משתמשים בערכים "מקובלים", אלא שיש חוסר אחידות, קיימים פערים בין תכנונים שונים, וראינו כבר החלטות אד-הוק של מתכננים, שגרמו לויכוחים ולשינויים בתקופות החזרה ובבחירת סופות התכן במהלך בדיקת התכניות. אמנם תמ"א 34ב'/3 מספקת למתכננים טבלה של תקופות חזרה (2006, נספח מנחה א'), אך עדיין אין ניסיון בשטח באשר לישימותה ומשמעויותיה. נאמר שם (לפי המלצתנו), שהטבלה תעודכן מעת לעת על ידי הרשות האחראית לניקוז, כך שניתן יהיה לקחת בחשבון את הצטברות הנתונים, הידע והניסיון.

בקביעת תקופת החזרה יש לאזן בין עלות מערכת ההגנה לבין הנזקים העלולים לקרות, כתוצאה מאירועים שאין המערכת מגינה מפניהם. בעניין זה עולים נושא הביטוח המסחרי ונושא אחריות הממשלה ל"נזקי טבע", אחריות שמעבר לנזק שבוטח באופן פרטי. מעורבים בנושא שיקולים של מתן שירותי "נוחות הידרולוגית" לתושבים ושיקולים כלכליים קשים לכימות, וכן אינטרסים של גורמי ביטוח, ומכאן המורכבות והקושי בקביעת תקנים מחייבים. בפרק 5 נחזור לצורך בקביעת תקנים להגנה מפני נזקי הצפות.

משנקבעה תקופת החזרה יש לבחור את סופת התכן: משכה, כמות הגשם הכוללת, חלוקת עוצמות הגשם על פני משך הסופה. בחירת סופת התכן נעשית על פי תכונותיה ודרישותיה של השיטה שתשמש לחישוב הנגר שיוצרת הסופה. בשיטה הרציונלית משתמשים בעוצמת הגשם

המתאימה לתקופת החזרה שנבחרה ולמשך סופה השווה לזמן הריכוז של האגן (הזמן שלוקח לכל האגן לתרום לזרימה במוצאו). בשיטות סימולציה (למשל: SWMM) נדרשת פריסת עוצמות הגשם במשך הסופה. בשיטות ביניים (למשל: SCS) נדרשת כמות הגשם הכוללת בסופת התכן, ממנה מחשבים את נפח הנגר וניתן לתרגמו גם לספיקת שיא. מקובל גם שימוש בהעתקת סופה "גדולה" מדודה מאתר אחד לאחר, אלא שאין לכך בסיס מקצועי מוצק.

רוב מהנדסי הניקוז נוטים כיום לא לסמוך על היכולת של מימוש תר"מ לתרום להקטנת ספיקות שיא. הם טוענים, כי בסופות גדולות כל אמצעי תר"מ ימוצו במהרה (מבחינת השהייה, אגירה, החדרה), ולאחר מכן, "כל אגן יתרום ספיקה כאילו אין בו אמצעי תר"מ", ולכן אסור להקטין את הנקזים המנקזים את סופות השיא. בניגוד לכך, הניסיון בארצות אחרות, במחקרים ובשטח, מצביע בבירור על תרומת תר"מ להפחתת ספיקות שיא (Prince Geoge's County, 1999; Nehrke and Roesner, 2004), ועל כן ממליץ מסמך זה על בחינת השפעת תר"מ בארץ, במחקרים ופרויקטי חלוץ, על מנת שיהיה אפשר לכלול את השפעת תר"מ בתקנים לתכנון מערכות הניקוז.

יש לבחון את השפעת תר"מ על הצפות בשני מקרים, בשטח בנוי ובשטח מתוכנן לבנייה:

(א) בשטח עירוני מפותח, עם מערכת ניקוז קיימת: האם מימוש תר"מ באגן יקטין את ספיקת הנגר, ועקב כך, יתרום להקטנת נזקי הצפות?

(ב) בשטח מועמד לפיתוח עירוני, ועבור סופת תכן שנבחרה: האם התחשבות במתקני תר"מ תקטין את המערכת המתוכננת של נקזים, ובכך תגרום להוזלת הבנייה של מערכת הניקוז?

פרויקטי חלוץ, שנמליץ עליהם בפרק 7, יספקו תשובות לשאלות אלו.

5.2.2.3 טיפול במזהמי הנגר העירוני באמצעות המערכת לניהול הנגר והניקוז

בארץ לא היווה עד כה סילוק מזהמים ממי הנגר העירוני מטרה מוצהרת (לעומת צפון אמריקה, שם שיפור איכות מי הנגר הינה מטרה עיקרית, ר׳ פרק 2), אך עם עליית הדאגה לבריאותם של נחלים וגופי מים גדל העניין בנושא, וראוי לכן לקחת בחשבון את התועלת של תר״מ בשיפור איכות מי הנגר.

כמה מחקרים וסקרי שדה שנערכות בארץ (כרמון ושמיר, 1997; בורמיל וחוב׳ 2003; Asaf et al., 2004, 2005) הראו כי מי נגר מאזורי מגורים אשר אין בהם פעילויות מזהמות במיוחד (כגון: מוסכים, תעשיות המשתמשות בחמרים מזהמים) הינם בעלי איכות טובה מספיק להחדרה, עד כדי שאיכותם טובה מזו של מי התהום באזור בו מוחדר הנגר. ממצאים אלה תואמים את מה שנמצא במחקרים רבים בחו״ל (ר׳ בפרק 2, בקטע על ארה״ב, עיקר הממצאים הכלולים בנספח 1.2 של כרמון ושמיר, 1997, מאת ר. ארמון). עם זאת, יש במי הנגר מזהמים שראוי לסלקם לפני שיגיעו למי התהום או יאגרו ויילקחו לשימוש ישיר. לתר״מ יכול להיות תפקיד מועיל בעניין זה.

שטחים פתוחים מתוכננים היטב ומתקני תר״מ תורמים לשיפור איכות מי הנגר, על ידי אצירה, השהייה וסינון, במיוחד כאשר קיימת צמחייה מתאימה. ממצאי מחקרים בארץ ובחו״ל מורים כי איכות מי הנגר מאזורים של בנייני מגורים וציבור, כולל דרכים וחניות, טובה מאיכות מי התהום במקומות רבים, ואפילו טובה ברוב הפרמטרים מאיכות מי שתייה. עם זאת, יש חשש כי לא ניתן להבטיח איכות מספקת, במיוחד בגשמים הראשונים של העונה, ולכן ראוי להשתמש באמצעי תר״מ גם לשיפור איכות מי הנגר.

טיהור נגר באמצעות מתקני תר"מ

מחקרים שנערכו בארצות הברית בדקו את יעילות הפחתת מזהמים במי נגר בעזרת רצועות חייץ במגרשי חנייה (רצועות סינון משולבות צמחייה) ותעלות עשב לאורך כבישים ובשטחים בנויים. התוצאות הראו הפחתה בשעורים של עשרות אחוזים בריכוזי המזהמים, למשל:

- מוצקים מרחפים - 69-81%
- מוצקים מסיסים - 18-28%
- עופרת - 60-80%
- זרחן - 50-85%
- נחושת - 40-65%

התעלות גם השהו את הזרימות במידה ניכרת ותרמו להפחתת ספיקות השיא

מקורות: USEPA, 1999; France, 2002

5.2.2.4 התייחסות לתכסיות עירוניות כמרכיב במערכת ניהול הנגר והניקוז

התכסיות בעיר מהוות מרכיב חשוב במערכת לניהול הנגר והניקוז. המונח "מערכת הניקוז" משמש בגישה הקונבנציונלית להגדרת מערכת הנקזים אשר באמצעותם מוזרמים מי הנגר. כאמור לעיל (סעיף 5.1) עם שינוי הפרדיגמה אנו רואים בכל המרכיבים הפיסיים שבהם נאגר ודרכם זורם הנגר חלק מן המערכת ל"ניהול הנגר וניקוז". זה כולל את **פני השטח והתכסיות במגרשים ובמיבננים, דרכים, מדרכות, מגרשי חנייה בגדלים השונים, שצ"פים, מתקני אגירה והחדרה, וכמובן מערכת המובלים התת-קרקעיים**. כל אלה משתתפים בתהליכי התמרת הגשם המפוזר על פני האגן להתאדות ודית, חלחול ונגר.

שטחים פתוחים, בכל הגדלים (החל מצלחות עצים וערוגות, דרך פסי ירק ועד שצ"פים גדולים), יכולים לתרום לאצירת והחדרת הנגר,

ולמיתון מהירות זרימת החלק הנותר למורד. בכך הם תורמים להארכת זמן הריכוז והקטנת מקדם הנגר המשמשים בשיטה הרציונלית (או בכל שיטת חישוב אחרת של ספיקות התכן).

דרכים עירוניות הינן בעלות השפעה גדולה במיוחד על זרימת הנגר. הן מהוות ערוצי ניקוז ומובילות לאורכן כמויות נגר גדולות. בהן מותקנים הקולטנים – פתחי הכניסה למערכת הנקזים (אשר במקרים רבים אינם מתפקדים כנדרש).

ניהול נגר באמצעות תר"מ בפילדלפיה

בעיר הוקם בשנת 1999 המשרד לאגני היקוות (Office of Watersheds), שבתוכו משתלבות פעולותיהם של מתכנני ערים, מהנדסי מים וניקוז, מהנדסי סביבה ואדריכלי נוף. המשרד יזם תכנית לניהול נגר עילי בשכונות חדשות (בעיקר) וגם בוותיקות. המטרות שהוצבו הן: (1) הקטנת ספיקות שיא; (2) הקטנת הנפח הכולל של הנגר; (3) הקטנת רמת הזיהום של הנגר.

הפרויקטים מתחלקים לשש קבוצות: מגרשים ריקים – הפיכתם לשצ"פים שכונתיים ובהם החדרת נגר ואחסון תת-קרקעי; בתי ספר – שילוב של "גינות גשם" ואזורי החדרה, הקולטים נגר מגגות; מגרשי חניה – שימוש באזורי החציצה בתוכם כאזורי השהייה, טיפול והחדרת נגר; מגרשי משחקים – ריצוף בחומר חדיר; גגות – הפיכתם ל"גגות ירוקים"; פרויקטים גדולים – בניית מתקנים תת-קרקעיים להשהיית הנגר והחדרתו. המשרד הקים מספר פרויקטי הדגמה מסוגים שונים, כאמצעי לימוד ועל מנת להוכיח את יעילות הפתרונות השונים בתנאים המקומיים. המשרד מתכוון להביא לאישור תקנות אשר יאפשרו לבצע את התכנית.

מקור: Abrams, 2004

לכן אנו ממליצים לכלול את מיקום וגודל השטחים הירוקים/הפתוחים בעיר ואת עיצוב הדרכים והכבישים כבר מתחילת תהליך התכנון, ולא,

כפי שנהוג ברוב המקרים, לאחר שתוכננו כבר שטחי המגורים והשירותים. לאחר שנקבעו שימושי הקרקע, צריך עיצוב הנוף העירוני והתכסיות לממש את ניהול הנגר והניקוז.

חצרות וגינות הבתים מהווים חלק ניכר מן השטח העירוני ויכולים להוות אגנים לקליטת וחלחול מי הגשם. עיצוב החצרות ובניית קיר מקיף נמוך עם פתחים לשחרור עודפים (על מנת למנוע הצפות בתחומי המגרש עצמו), ביחד עם השארת שטח חדיר בהיקף של 15% משטח החצר והפניית הנגר מן השטחים האטומים (גג, מרפסות, ריצוף בחצר) לשטח החדיר יכולים להשאיר ולהחדיר בתחומי המגרש כ-70% מנפח הנגר (כץ וחובריה, 2000). בתנאים מתאימים ניתן להוסיף מתקני החדרה פשוטים, זולים, אמינים לאורך זמן ונעדרי סיכון לאוכלוסיה, במיוחד לילדים, כגון באר הפוכה הנמצאת במרחק מה מן הבניין (על מנת למנוע נזק לבנין, ליסודותיו ולקומות תת-קרקעיות) או תעלת החדרה מכוסה בעשב. אמצעים אלו יכולים להגדיל עוד את כמות הנגר הנעצרת, נאגרת ומחלחלת בתחומי המגרש.

5.2.2.5 שילובו של ניהול הנגר העירוני וניקוז עם ניהול הנגר ברמה האזורית-אגנית

אנו ממליצים על **תכנון אגני**, בו יחידת התכנון הבסיסית היא אגן היקוות. בעת הנוכחית רשויות התכנון הן הוועדות המחוזיות והמקומיות, שגבולותיהן אינן תואמות גבולות אגנים. כתוצאה מכך, אין מסגרת ארגונית-חוקית האמונה על ראיית התכנון של ייעודי ותכסיות הקרקע במסגרת אגנית, והשיקולים האגניים מובאים לועדות התכנון ע״י נציגים של רשויות הניקוז. בהעדר מסגרת חוקית המחייבת לתכנון אגני (לסטר וגרינברג, 2006), אנו ממליצים על כי:

גישה מקפת, המכתיבה תכנון משולב של ייעודי ותכסיות הקרקע בכל הרמות - אזורית ואגנית, שכונתית ומקומית - ניתן למצוא במדיניות של ממשלת קולומביה הבריטית בקנדה (Government of British Columbia, 2002), המסתמכת על מדיניות WSUD של אוסטרליה (Argue, 2005) (ר׳ פרק 2.3).

תכנון המערכת לניהול הנגר העירוני והניקוז ייעשה בראייה אגנית. התכנון יתחשב הן בהשפעת המערכת המתוכננת על השטחים הפתוחים והמבונים ועל הנחלים במורד האגן, והן בזרימת הנגר משטחים במעלה האגן, הן במצבם הנוכחי והן - במידת האפשר - במה שצפוי להתפתח בהם. במקרים מיוחדים תיתכן העברת חלק מן הנגר של השטח המתוכנן לאגן שכן שאינו במורד, או קבלת נגר משטח שכן.

הרציונל לגישה זו מובן מאליו. אזור התכנון העירוני עשוי לקבל נגר משטח הנמצא במעלה, בין אם הוא שטח עירוני או פתוח, והוא בתורו יעביר את שאריות הנגר שאינן נקלטות בתוכו אל שטח במורד, שיכול אף הוא להיות שטח פתוח או בנוי. כאשר השטח במעלה אינו מבונה בעת התכנון, אך יהיה כזה בעתיד, נדרשת תשומת לב מיוחדת לצורך העתידי להעביר כמויות וספיקות גדולות יותר דרך השטח העירוני המתוכנן – אלא אם בשטח המעלי יתבצע תר״מ ברמה הדרושה למניעת הגדלה כזו. בינתיים קשה לסמוך על כך, כל עוד לא אומצו תקנות מחייבות. העברת ספיקות גדולות מאלו שעבורן תוכננה מערכת הניקוז יוצרת בעיית הצפות או מניעתן באמצעות הגדלה יקרה מאד של מערכת הניקוז.

במקרים רבים יצטרך השטח המתוכנן להעביר את עודפי הנגר דרך שטח מבונה במורד, אלא אם הוא סמוך ממש ומתנקז ישירות לנחל או לים. במקרה כזה יש לחייב את המתכנן לתאם את התכנון עם שיקולי ניהול הנגר במורד. כיום אנו עדים להתגברות בעיות הניקוז בחלקים רבים של הניקוז המערבי בארץ, עקב בנייה במעלה, במורדות המערביים של הגדה המערבית, וכך גם באזורים אחרים בארץ.

הצעה לתכנון תר"מי בישראל

בקרית ביאליק מזרח, במעלה אגן הניקוז של נחל נעמן, מתוכננת בנייתן של שכונות מגורים חדשות בהיקף של כ-4 קמ"ר. על פי התכנון המקורי של הניקוז, יש צורך לבנות מוביל תת-קרקעי מאזור זה עד לים להעברת 10 מ"ק לשנייה. תכנון חילופי מציע בניית מאגרים לויסות הנגר, במוצא השכונות אל ערוצי הניקוז המתחברים לנחל נעמן, הסדרה נוספת של ערוץ הנעמן, החדרה במחצבה ובקידוחים, ומאגרי ויסות נוספים במורד. מתכנני הפתרון החילופי ערכו חישוב עלויות של שתי החלופות, והצביעו על הפרש של למעלה מ-15 מיליון ₪ לטובת התכנון החילופי. ראשי העיריות מעדיפים ככל הנראה את החלופה הקונבנציונאלית, ובעת כתיבת הדברים עדיין לא נפלה החלטה סופית בעניין.

מקור: מ. רוזנטל מהנדסים (2005)

5.2.2.6 תכנון מונחה תוצאות לעומת תכנון מונחה אמצעים

תכנון מכוון-אמצעים מכתיב למתכנן אמצעים תכנוניים ספציפיים, שבהם עליו להשתמש, בעוד ש**תכנון מכוון-תוצאות** מורה למתכנן להשיג תוצאה מוגדרת, מבלי להכתיב לו במפורש את האמצעים לכך.

דוגמא לתכנון מכוון אמצעים היא ההנחיה להשאיר במגרש לפחות 15% שטח חדיר, במקומות שבהם הקרקע מחלחלת, ולהפנות את הנגר מן השטחים האטומים לשטח חדיר זה. דוגמא לתר"מ מכוון-תוצאות הינה גישת LID – Low Impact Development, שפותחה במחוז פרינס ג'ורג' שליד וושינגטון, בירת ארה"ב. מדריך LID מחייב את המתכנן להשתמש בשיטת SCS ולהראות בעזרת חישובים את התוצאה של השפעה מעטה על הסביבה, וביתר דיוק: להראות שכמות (נפח) הנגר מכל סופה שתצא מן השטח לאחר בנייתו אינה עולה על זו שיצאה ממנו לפני הבנייה [במונחים מקצועיים: כי מקדם הנגר (CN) המחושב בשיטת SCS של השטח לאחר פיתוח שווה לזה של השטח לפני הפיתוח]. אין קביעה לגבי האמצעים שצריך המתכנן להפעיל, כדי להגיע לתוצאה זו של נגר נמוך,

למרות שבנייה קונבנציונלית מגדילה את השטחים האטומים ואת הכמות והמהירות של זרימת הנגר. אמנם, יש במדריך הצעות לשיטות ואמצעים אפשריים להשגת תוצאה זו, אך המתכנן חופשי לבחור בין אמצעים של טופוגרפיה, צמחייה, אמצעי השהייה והחדרה וכיו״ב. המדריך מסביר את השימוש בכלי החישוב המומלצים על ידו וגם מכיל שלוש דוגמאות חישוביות לתכנון פיתוחו של שטח: לשכונה צמודת קרקע, לקבוצת בניינים רבי-קומות, ולשטח מסחרי, שכולן עומדות בתוצאה הנדרשת (Prince George's County, 1999). השרות לשמירת איכות הסביבה בארה״ב ממליץ על השיטה, אם כי למיטב ידיעתנו לא הפך אותה עד כה למחייבת (USEPA, 2000b).

עקרונית, נעדיף תכנון מכוון-תוצאות, אלא שיישומו מותנה בהסכמה על שיטות חישוב עבור השפעת הפרמטרים הקרקעיים (תכסית, טופוגרפיה, חדירות) והשפעת מתקנים שונים על הנגר והחלחול. אילו הייתה הסכמה בין מהנדסי הניקוז בישראל, ששיטת החישוב הפשוטה יחסית של SCS טובה דייה להערכת כמויות נגר (ר׳ סעיפים 5.3.2.1 ג׳ ו-5.3.2.2 א׳) או, לחילופין, המודל המאזני מקנדה (Government of British Columbia, 2002), ייתכן שאפשר היה להנהיג תר״מ מכוון-תוצאות גם במקומותינו, לפחות עבור פרויקטים בינוניים וגדולים, המצדיקים את ההשקעה בביצוע בדיקות קרקע ושטח, איסוף נתונים לא קל ועוד. אולם בהעדר הסכמה כזו, ובעיקר לנוכח העדר כיול של חישובי SCS במציאות הישראלית, **מסמך מדיניות זה תומך בגישה פרקטית וממליץ על תכנון מכוון-אמצעים ברמת המיקרו והמזו**, הכולל הנחיות כמו: להשאיר לפחות 15% משטח המגרש חדיר; להקים גדר בגובה נתון מסביב למגרש ולהשאיר בו פתח מוצא בגובה מסוים; להשתמש באדמת גן בעלת כושר חידור ספציפי; להתקין אמצעי החדרה (בור, תעלה) בעל מימדים התלויים בגודל שטח המגרש; להשתמש במסעה חדירה למדרכות וכדומה. תכנון מכוון-אמצעים מעין זה יתאים לאורך זמן לתכנון הפיתוח ברמת המיקרו (מגרש) ואפילו המזו (מיבנן ושכונה).

בעתיד יש להעדיף הנחיות לתכנון מונחה-תוצאות, לשטחים גדולים יחסית. לשטחים קטנים יהיו ההנחיות מונחות אמצעים, אלא אם יאומצו ויוכנסו לשימוש מודלים פשוטים שניתן להפעילם עם יכולת ארגונית ומקצועית צנועה, כמו המודל המאזני המוזכר בסעיף 5.3.2.2 (Government of British Columbia, 2002). בינתיים, וכל עוד לא הוכנו והוטמעו הכלים לתכנון כזה, יהיה התכנון מונחה-אמצעים.

עבור תכנון ברמת המקרו (החל מרמת רובע עירוני ומעלה) **נדרש תכנון מכוון-תוצאות**, וכדי לממשו כראוי צריכים החוקרים והמהנדסים להגיע להסכמה הן לגבי שיטות מדידה ראויות והן עבור ערכי תוצאה מקובלים. בפרק האחרון, העוסק בפיתוח מוקד ידע ארצי ובסוגיית עידוד המחקר, נחזור לעניין זה.

5.3 נתונים, שיטות וכלי חישוב

5.3.1 נתונים

5.3.1.1 גשמים

קיימות בארץ תחנות רבות למדידת גשם, אך רק חלקן תחנות רושמות. באחרות נמדדות כמויות גשם יומיות. בתחנות הרושמות מתקבלות עוצמות הגשם במרווחי זמן קצרים (של 10 דקות ופחות). כמויות הגשם היומיות מספיקות בכדי לבצע חישובי כמויות נגר סופתיות בשיטת SCS (כרמון ושמיר, 1997 וסעיף 5.3.3.2) או דומות לה. אולם זמני הריכוז באגנים עירוניים מתבטאים בדקות עד שעות ספורות, ולכן רק נתונים מתחנות הגשם הרושמות מאפשרים הכנת נתונים לחישוב ספיקת התכן.

מקור נוסף לנתוני גשם בפרקי זמן קצרים הוא מכ"מ, שנתוניו הינם בפרקי זמן של 5 דקות, ואת המדידות האלקטרוניות ממירים באמצעות נוסחה אמפירית לעוצמת גשם. במשך השנים מצטברת כמות גדולה של נתונים אלה, אך רק חלקם הקטן מתורגמים למונחי עוצמות גשם.

לצורך השימוש בשיטה הרציונלית, שהיא המקובלת כיום לחישוב ספיקות תכן של מערכות הנקזים, מעובדים נתוני עוצמות הגשמים לעקומי "**עוצמה-משך-תקופת חזרה**" (Intensity-Duration-Frequency – IDF) אשר מהם ניתן לקרוא עבור זמן הריכוז ותקופת החזרה את העוצמה שתוכנס לנוסחה לחישוב ספיקת התכן. השירות המטאורולוגי הכין נתוני IDF למספר תחנות. אולם, עקב מיעוט הנתונים עבור כל חלקי הארץ, נוהגים המתכננים להעתיק נתוני גשמים לאתר שלהם – ללא ביסוס מספיק.

במסגרת הכנת תקן לאומי לניקוז (כפי שאנו ממליצים בחלק השלישי של המסמך) יש צורך לארגן את נתוני הגשם הקיימים ואת מערך איסוף הנתונים ועיבודם בעתיד, כך שניתן יהיה לנהל את הנגר על פי העקרונות המוצעים כאן.

5.3.1.2 התאדות ודית

יש רק מעט נתונים מדודים על התאדות ודית (טרנספירציה של הצמחייה) באזורים עירוניים. נושא פרקי הזמן היבשים בין סופות הינו קריטי לחישוב ספיקות התכן. בזמנים אלה, המרכיב העיקרי הינו התאדות ודית, המקטינים/מרוקנים את תכולת הרטיבות של הקרקע וקובעים את תגובת האגן בסופה הבאה. למשל, ידוע כי במישור החוף לא מתחילה זרימת נגר עילי עד שכמות הגשם העונתי מגיעה לסדר גודל של 200 עד 300 מ"מ. לכן יש צורך חיוני במחקרים וסקרים לקביעת נתוני התאדות ודית באזורים השונים, לפני ואחרי הפיתוח העירוני.

5.3.1.3 תכונות הקרקע

המידע על חדירות הקרקע (כושר החלחול) באזורים עירוניים אינו רב (כרמון ושמיר, 1997, נספח לפרק 2, עמ' 163-167). השונות המרחבית

של תכונות הקרקע גדולה מאד, ולכן אפשר לקחת את הערכים המפורסמים רק כאינדיקציה ראשונית, וחייבים לבצע בדיקות חדירות באזור התכנון.

חדירות הקרקע משתנה עקב הפיתוח העירוני, עירוב חומרי בנייה בקרקע, הידוק, הכנסת "אדמת גן" לחצרות, וכיסוי באלמנטים או חמרים אטומים או בעלי חדירות נמוכה.

השפעות אלה אינן ניתנות לחיזוי מראש, עוד טרם הפיתוח, והמתכנן חייב: (א) לכלול בהנחיות התכנון והאחזקה התייחסות לצורך לשמור על חדירות מרבית בכל שטחי האגן, ו-(ב) לקחת בחשבון אפשרות להקטנת החדירות.

5.3.1.4 האזור הבלתי-רווי

כושר החלחול מבטא את יכולת הקרקע להעביר את המים דרך פניה כלפי מטה. בתהליך החלחול עד למי התהום יש להתחשב גם בתכונות הקרקע בין פני השטח למי התהום (האזור הבלתי-רווי), שם ייתכנו שכבות בעלות תכונות חלחול שונות. למשל, באקוויפר החוף החולי יש שכבות חרסית בעומקים שונים. האזור הבלתי-רווי עלול להיות מזוהם בחמרים שיישטפו עם המים המחלחלים כלפי מטה.

מידע על תכונות החלחול של הקרקע עד פני מי התהום מצוי עבור חלק ניכר מאזורי הארץ. מידע על זיהום באזור הבלתי-רווי מצוי בנציבות המים עבור אזורים מסוימים, במיוחד באקוויפר החוף.

במקומות שבהם יש שכבות חוצצות בעומק לא רב, ו/או יש באזור הבלתי-רווי זהום, יש לשקול שימוש בקידוחים שיעקפו אזורים אלה ויחדירו את מי הנגר עד לאזור המאפשר חלחול ואינו מזוהם.

5.3.1.5 מי התהום

הנתונים על מפלסים ואיכויות של מי התהום נמדדים ומפורסמים באופן שוטף על ידי השרות ההידרולוגי ב-"התפתחות ניצול ומצב מקורות המים בישראל" המתפרסם מדי שנה. יש גם מידע מפורט עבור

מקומות מסוימים, בנציבות המים ואצל גורמי מחקר ותכנון, כתוצאה מביצוע סקרים ומחקרים. נושא רציות (desirability) של החדרת נגר לני התהום נדון בסעיף 3.2.2.

5.3.1.6 מדידות נגר וחלחול

מדידות נגר באזורים עירוניים מועטות ביותר, בודאי בתנאים אקלימיים וקרקעיים דומים לאלו בארץ. בארץ ידועות העבודות הבאות: מדידות ע״י התחנה לחקר הסחף, במשך כ-20 שנה במוצא אגן ברעננה, ששטחו כ-10 קמ״ר; מדידות גשם וספיקת נגר במוצא משכונת קרית גנים בראשון לציון (שטחה כ-494 דונם) וממבנן אחד בשכונה (שטחו כ-23 דונם) במשך שלוש עונות גשם (בורמיל, שמיר וכרמון 2003); מדידות נגר ומדידות חלחול באזור הבלתי-רווי בעיר אשדוד על ידי פרופ׳ רונית נתיב ז״ל וצוותה (Asaf, 2004, 2005).

5.3.2 שיטות חישוב ומודלים

לצרכי תכנון משמשות שיטות חישוב המבוססות על מודלים הידרולוגיים. אלו נבדלים על פי התוצאות המבוקשות (ספיקות, נפח), על פי הגישה שביסוד המודל, וכתוצאה מכך גם בדרגת המורכבות (Singh, 1995). אין זה המקום להרחיב בעניינים אלה, שצריך להילמד בקורסים למהנדסים ולמתכנני נוף. ייאמר רק, שלצרכים הנדסיים-תכנוניים ראוי להשתמש במודל הפשוט ביותר שנותן את התוצאה המבוקשת ברמת דיוק נאותה, וכי המודלים לתכנון מערכות ניקוז עירוניות נחלקים על פי גישתם לשתי קבוצות:

א. מודלי קלט-פלט אמפיריים, המבוססים על עיבוד וניתוח נתונים מדודים של גשם ונגר.

ב. מודלים המנסים לדמות את התהליכים הפיסיקליים המתמירים גשם לרכיבים הידרולוגיים באגן: התאדות ו״הפסדים״ אחרים (כגון: אוגר שקעים), חלחול, נגר. דימוי המרכיבים השונים יכול להיות שונה ברמת התאמתו לתהליכים פיסיקליים.

הראשונים פשוטים יותר ונוחים לשימוש, אך יש לזכור כי הם מבוססים על נתונים אמפיריים שאינם בהכרח מתאימים לתנאים המקומיים בארץ. נמנה כאן את המודלים המקובלים בארץ, ובמידה רבה גם בעולם, בלי לנסות ולכסות את כל מרחב המודלים הקיימים.

חשוב להבחין בין מודלים המחשבים רק את **נפח הנגר** לעומת כאלו המחשבים את **ספיקת השיא**, שהיא **ספיקת התכן** ו/או את **הידרוגרמת הזרימה כולה**. לתכנון הנקזים דרושה ספיקת התכן, לחישובים מאזניים דרושים נפחי הנגר, ולחישוב השפעתם של מאגי השהייה על הספיקות דרושה ההידרוגרמה כולה. יש מחקרים משווים בין מודלים שונים, למשל Jariello (1998), שהשווה את ביצועיהם של תשעה מודלים. כל מודל הורץ על ידי מומחה המכיר אותו היטב, על שני אגנים בעלי אקלים שונה, ללא כיול, ולאחר מכן הושוו התוצאות עם נתוני שדה מדודים, על מנת לבחון את מידת השונות בתוצאות המתקבלות והשוואתן לנתוני השדה. התברר שיש הפרשים ניכרים בין התוצאות של המודלים השונים, ללא כיול. ר׳ גם (Bhaduri et al., 2001).

5.3.2.1 שיטות לחישוב ספיקות התכן המשמשות לתכנון נקזים

א. **השיטה הרציונלית**: מיועדת לחישוב **ספיקת השיא** של **סופת תכן** נבחרת, שהיא **ספיקת התכן** המשמשת לתכנון. זו השיטה המקובלת ביותר בארץ וברוב ארצות העולם, במתכונתה הדטרמיניסטית (יש גם שכלולים של השיטה, אבל אלו פחות נפוצים, בודאי לא בארץ). השיטה משתמשת בעקומי עוצמה-משך-תקופת חזרה של הגשמים, המפותחים על פי נתונים מקומיים-ספציפיים. בארץ אין כיסוי נאות של האזורים השונים בעקומים כאלה, ונוטים ״לשאול״ עקום ממקום אחד ולהעתיקו לאחר, לפעמים תוך ניסיון להתאמה כלשהי.

בשיטה הרציונלית נקבעת ספיקת התכן כדלקמן. על פי **זמן הריכוז** של האגן (משך זמן הגשם הדרוש עד שכל האגן תורם לזרימה במוצא) ו**תקופת החזרה**, המבטאת את רמת ההגנה על השטח מפני

הצפות נבחרת עוצמת הגשם והיא מתורגמת לספיקת שיא, המהווה את **ספיקת התכן** של הנקז במוצא האגן.

יש לציין כי מצאנו במספר מקרים של שימוש בשיטה על ידי מתכננים בארץ שגיאות, במיוחד כאשר האגן מורכב ממספר אגני משנה, התורמים כל אחד חלק מספיקת התכן. במקרה כזה, חישוב זמני הריכוז צריך לקחת בחשבון את צורת ההצטברות של תרומות חלקי האגן, ודבר זה לא תמיד נעשה כיאות.

ב. **שיטת תחל״ס**: פותחה על ידי צוות התחנה לחקר הסחף עבור שטחים גדולים יחסית (גרתי וחוב׳, 1995), ולא יועדה לשימוש ברמת המיקרו והמזו בעיר.

ג. **מודל SCS**: מיועד לחישוב נפח הנגר מסופה (NCRS-TR55) (ר׳ סעיף 5.3.2.2) אך ניתן להעריך מן הנפח גם ספיקת שיא, ע״י יצירת הידרוגרמה מתוך עקום חסר-מימד, או באמצעות נוסחה מקורבת.

ד. **מודל SWMM**: מדמה את הזרימות בחלקים השונים של המערכת ההידרולוגית וההידרולית, ומחשב את ההידרוגרמה במוצא האגן כולה, ולכן ניתן לאתר בה את ספיקת השיא.

ככל שהמודל פשוט יותר (ראשונים ברשימה לעיל) כך הפרמטרים שלו ייחודיים לכל איזור, ולכן יש להימנע משימוש בנתונים מארצות, שתנאיהן אינם דומים. ככל שהמודל מבוסס על תיאור תהליכים פיסיקליים (במיוחד האחרון ברשימה לעיל) כך ניתן להפעילו בתנאים שונים, זאת בתנאי שהתבצעה התאמה של הפרמטרים שלו לתנאים המקומיים, אלא שזה דורש נתונים אשר אינם זמינים כיום אלא במקרים מיוחדים.

על מנת לחשב את השפעתו של תר״מ בשטח התכנית על הידרוגרמת הנגר, ולאתר בה את ספיקות השיא היוצאות מן השטח (בכל רמת תכנון) דרושים חישובים הידרוליים: יש להתמיר את הידרוגרמת הכניסה אל תוך תא שטח או אל תוך מתקן אצירה/אגירה להידרוגרמת היציאה ממנו (הידרוגרמה היא מהלך הספיקות על ציר הזמן), אשר בה ניתן לאתר את ספיקת השיא הנגרמת על ידי הסופה. פעולתו של מתקן

אצירה/אגירה הינה להפחית/למתן/למזער את ספיקת השיא היוצאת מן המתקן ולהאריך את משך הזרימה. צורת הידרוגרמת היציאה תלויה במידות המתקן ותכונות פתח היציאה ממנו.

5.3.2.2 שיטות לחישוב נפח הנגר הנוצר מסופות שונות והנפח השנתי

על מנת לחשב את תרומת תר"מ למשאבי המים יש לחשב את **נפחי הנגר**. שיטות החישוב מתייחסות לסופה בודדת, מתחשבות בתכסיות הקרקע ומאפייני סופת הגשם. התוצאה היא נפח הנגר היוצא מן האגן כתוצאה מן הסופה. לקבלת נפח הנגר השנתי מבצעים חיבור של תרומות כל הסופות בשנה (ר' כרמון ושמיר, 1997; בורמיל וחובריו, 2003).

א. **שיטת SCS**: מודל שפותח על ידי השרות לשימור הקרקע בארה"ב (Soil Conservation Service, ר' NCRS-TR55). על מנת להפעילו מאפיינים את האגן באמצעות טבלת מקדמים (הנקראים CN = Curve Numbers) על פי אפיון הקרקע ותכסיתה, והמודל מחשב את נפח הנגר הנוצר על ידי הסופה. טבלת המקדמים נוצרה על סמך נתונים אמפיריים בארה"ב, ולכן חלקם אינו מתאים לתנאי הארץ. עם זאת, נראה לנו (ר' בורמיל וחובריו, 2003, עמ' 95-93) כי הוא המתאים ביותר כיום לחישובי תר"מ בארץ, וראוי לשפר את כיולו בתנאי הארץ. יתרונותיו של המודל הם:

- משתמשים מתוחכמים כמו הרבור וחובריו (Harbor, 1994, Grove et al., 1998, Lim et al., 2006) ומחוז Prince George שבארצות הברית (Prince George's County, 1997) מעידים על מועילותו.
- הנתונים הדרושים לחישובים אינם קשים להשגה. עם זאת, נמשך המחקר על המקדמים של המודל - האוגר התחילי שאותו יש למלא לפני שמתחיל נגר וערכי המקדם CN לתכסיות שונות (Lim et al., 2006).

- החישובים הנערכים ליישום המודל פשוטים, אינם דורשים תוכנה מיוחדת וניתנים לביצוע באמצעות גיליון אלקטרוני סטנדרטי (Levin, 2001).
- במחקרינו (כרמון ושמיר, 1997) השתמשנו בו, ואף הצבענו על טעות נפוצה ביישומו (ר׳ להלן).

הצעדים הדרושים לחישוב נגר עילי בעזרת מודל SCS הם כלהלן:

איסוף נתונים על אגן היקוות רלבנטי, תכסיותיו וחיבוריהן:

- הגדרת אגן (מבנני, שכונתי או אחר) שכל השטח המצוי בגבולותיו מתנקז לנקודה אחת.
- חלוקת האגן לאגני-משנה הומוגניים, על-פי סוג הקרקע וחדירותה, התכסית שעליה (מכוסה בבטון, או אספלט, או כורכר, או מכוסה חצץ, או דשא, או עצים וכו׳), ומידת ה״סגירה״ של שטחים שתכסיתם חדירה (שטח ״סגור״ מחלחל את כל הנגר, פרט לסופות קיצוניות);
- חיבורם של אגני המשנה ההומוגניים אלו לאלו (זרימה משטח אחד לשכנו) ולמערכת הניקוז.

איסוף נתוני גשמים:

- כמויות הגשם (עובי במ״מ) של כל סופה בתקופת מדידה של שנים אחדות, המכסות מגוון של משטרי גשם (גשום, שחון, ממוצע), מתחנת גשם באגן עצמו (רצוי) או מתחנת גשם אחת או יותר באזור הנחשב דומה מבחינת משטר הגשמים;
- את כמויות הגשם המיוחסות לאתר הנבדק ניתן לקחת מנתוני כל אחת מתחנות אלה או תוך שילובם (בשיטת שקלול מתאימה) לסדרה יחידה;
- במקום שאין נתונים רציפים, המאפשרים זיהוי סופות, ניתן להשתמש בנתוני גשם יומיים (כאילו היו סופות בודדות, למרות שסופות יכולות להימשך יותר מיממה).

חישוב הנגר באגן:

- ייחוס מקדם CN לכל אגן משנה, על-פי טבלת המודל (ר' דיון להלן);
- חישוב הנגר, בהתאם לנוסחת המודל לכל אגן משנה; כאמור חישוב פשוט, שניתן לעשותו בגיליון אלקטרוני סטנדרטי;
- חיבור כמות הנגר מכל תת-אגן, בכדי לקבל את הכמות לאגן כולו, תוך שקלול מתאים. במדריך למודל SCS מומלץ לעבוד בשיטת CN משוקלל, כלומר: לשקלל את ערכי CN של כל תת-אגן, על-פי גודל השטח שהם מייצגים ולקבל ערך CN יחיד עבור האגן כולו . אנו ממליצים (ר' גם Grove et al., 1998) לעבוד בשיטת Q משוקלל, שלפיה מחשבים את תרומת הנגר מכל תת-שטח של האגן ומחברים לנפח הכולל על ידי שקלול התרומות על פי חלקו היחסי של תת-השטח. על הבדלים בין שתי הגישות לשקלול והנימוקים לזו בה אנו פועלים ר' כרמון ושמיר (1997, נספח לפרק 2.4, עמ' 189-193).

ב. **מודל SWMM**: המודל מדמה את התהליכים ההידרולוגיים היוצרים נגר בחלקי האגן וזורם מתא שטח אחד לשכנו ונכנס אל הקולטנים, ואת התהליכים ההידרוליים במערכת הנקזים עד למוצא האגן. למיטב ידיעתנו, נעשה שימוש במודל זה רק במקרה של תכנון מערכת הניקוז של תל אביב ע"י קסלר ושחם (צנובר יועצים "תוכנית אב לניקוז ת"א, כרך מס' 1: דו"ח מסכם, אוגוסט 1996"). המודל דורש נתונים מפורטים, שאינם מצויים בדרך כלל והשגתם כרוכה במאמץ ניכר. מודל **HMM- Hydrologic Micro Model** מ"משפחת SWMM" פותח במחקרנו (Kronaveter et al., 2001, 1998) לחישוב הנגר ממגרש. במודל זה נכללו רק הרכיבים הדרושים לחישוב בקנה מידה זה: שטח הבניין, גיאומטרית הגג, תכונות הידרוליות של המרזב, שטחים אטומים נוספים במגרש, חיבור השטחים האטומים לחדירים, התאדות ודית, תכונות החלחול של השטחים החדירים.

ג. **מודל מאזן מים של British Columbia**: חברת CH2Mhill הכינה עבור ממשלת קולומביה הבריטית שבמערב קנדה מסגרת תכנונית לניהול הנגר העירוני, הכוללת מודל לחישוב מאזני של חלופות תכנוניות (איור 5.1). המודל זמין ברשת, חינם. ראוי לציין כי האזור שם מבורך בגשמים, היורדים רוב ימות השנה, והמטרות של ניהול הנגר הן שמירה על המאזן ההידרולוגי ומניעת שטפונות. למסגרת התכנונית שלושה נדבכים: (א) מודל מאזני לחישוב פעולתם של תכסיות קרקע שונות ומתקנים קטנים על הגשם של סופות קטנות עד בינוניות, המיועדים לקלוט, לאגור ולחלחל את מי הגשם, המוטיב המוביל הוא "חשיבה על נפחים" (volume based thinking), (ב) אצירה ואגירה של נגר מסופות גדולות יותר, ו-(ג) מיתון ספיקות והולכת הנגר מסופות קיצוניות בשיטות הידרולוגיות קונבנציונליות. שני הנדבכים האחרונים דורשים "חשיבה על זרימות" (flow-based thinking).

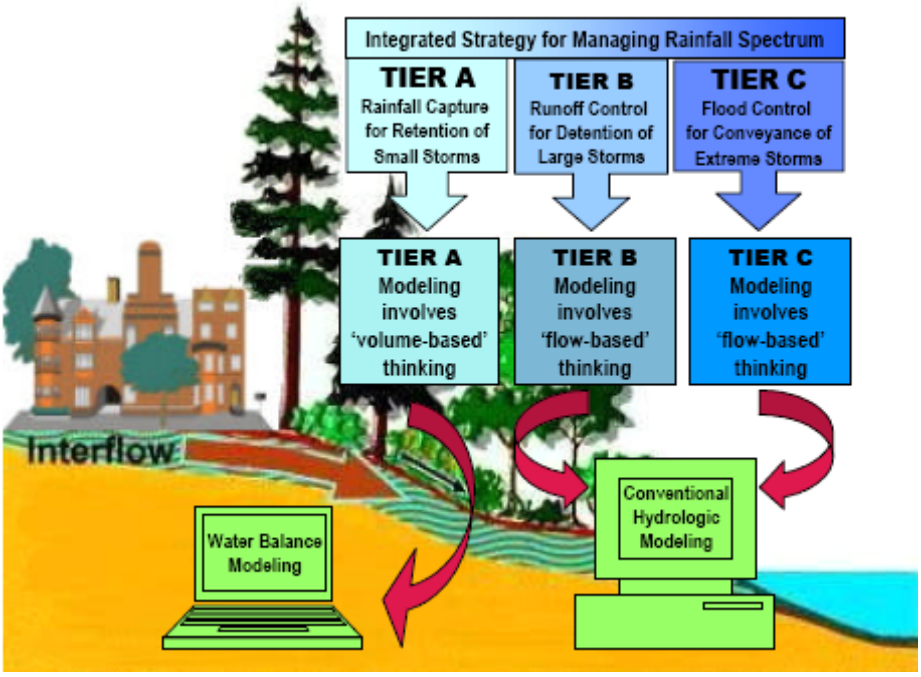
5.3.2.3 שיטות לחישוב החלחול

חשוב להדגיש כי החלחול הינו חדירת המים דרך שכבת הקרקע העליונה, ואינו מהווה לכן את כמות המים המגיעה למי התהום. חישוב החלחול חשוב במסגרת ביצוע מאזן הנגר העילי. חישוב העשרת מי התהום דורשת העברת המים דרך שכבת הקרקע הבלתי-רוויה עד לפני מי התהום. במסגרת עבודותינו עד כה התייחסנו לחלחול כקירוב לכמות המים המגיעה למי התהום. השיטות לחישוב החלחול כוללות:

1. **חישוב בעזרת מקדמים**: באמצעות מחקרי שדה ושיטות הערכה נבנו טבלות של מקדמי חלחול על פי סוג הקרקע. בדו"ח כרמון ושמיר (1997, נספח לפרק 2, עמ' 163-167) מרוכזים נתונים ממקורות שונים ומובאת המלצה (של ש. אסולין) לערכים המתאימים ביותר למישור החוף.
2. **חישוב בעזרת נוסחאות**: בספרות מופיעים מודלים אחדים לחישוב החלחול על פי תכונות מסוימות של הקרקע. בעבודתנו השתמשנו במודל של Main and Larson (ר' Kronaveter et al., 1998).

3. **חישוב על פי מאזן הנגר**: בגישה זו החלחול הינו תוצאה של חישוב מאזני: נפח הגשם פחות הנגר המחושב בשיטת SCS.

איור 1: מסגרת לתכנון עירוני רגיש למים לניהול הנגר העירוני ובתוכו המודל המאזני, בשיטת British Columbia



5.3.2.4 ליקויים וטעויות בביצוע חישובים ותכנונים הידרולוגיים-הידרוליים

במהלך עבודתנו נתקלנו בחסרים וליקויים ברמת המדיניות ושימוש בנתונים שאינם מתאימים לאתר הנבחן, וכן במקרים, שבהם נעשו טעויות של שימוש שגוי בשיטות לחישובים הידרולוגיים-הידרוליים. נציין כאן את הליקויים, אך בעיקר מהי הדרך הנכונה לפעולה:

א. אין הבחנה נאותה בין **ספיקות** הנגר לבין **נפחי** הנגר. הספיקות דרושות על מנת לחשב את כושר ההולכה של מובלים (תעלות

וצינורות) המהווים את מערכת הניקוז. לשם כך מחשבים את **ספיקת השיא**, שהיא הספיקה הצפויה לעבור בנקודה כלשהי בשכיחות/תקופת חזרה נבחרת. השיטות המקובלות לחישוב ספיקת השיא נמנו לעיל.

ב. את השכיחות/תקופת החזרה קובעים על פי חשיבותו של האזור עליו יש להגן מפני הצפות. השכיחות נמוכה/תקופת החזרה גדולה ככל שערך האזור המוגן גבוה יותר, ועוד יותר אם יש סיכון לחיי אדם. טבלאות של תקופת חזרה לשימושי קרקע שונים צריכות להיקבע כמדיניות, אלא שבארץ עדיין אין תקן מחייב.

ג. לאחר שנקבעה תקופת החזרה (כהחלטת מדיניות), הסופה בעלת השכיחות המתאימה ״מיוצרת״ מנתוני גשמים שנמדדו, בהתאמה לגודל השטח המנוקז (ככל שהשטח גדול יותר גדל גם ״זמן הריכוז״ וקטנה עוצמת הגשם עבור תקופת חזרה מסוימת), ונקבעת כך שהיא תהיה ״קריטית״ מבחינת קביעת כושר ההולכה הדרוש של המובל. כאשר המובל הנדון מנקז שטח המורכב מתתי-שטח ההולכים ומצטרפים במורד, יש להתאים את עוצמות הגשם המשמשות לתכנון לגודל השטח הסכומי עד לנקודה הנדונה, ולהתייחס גם להילוך של הזרימה במערכת המובלים (Bras, 1990). במספר מקרים מצאנו שהמתכננים אינם מפעילים כיאות את חיבור הספיקות משטחי המשנה לספיקה הסכומית.

ד. לחישוב תפקודם של מתקני אצירה, השהייה, אגירה וחלחול דרושים **נפחי הנגר** של כל ״אוכלוסיית״ סופות הגשם הצפויות. רוב הנפח השנתי של הנגר (עד כדי 90%) נוצר מסופות קטנות דווקא, ונדרשת סימולציה של פעולת המתקנים על פני כל הסופות כולל חישוב החלחול והספיקה היוצאת מן המתקן, כפונקציה של צורתו, מימדיו ופתחי היציאה (Nehrke and Roesner, 2004). בארץ קשה למצוא נתונים רצופים של הגשמים, במשך שנים רבות, או אפילו במשך שנה אחת שלימה, היכולה להיחשב כמייצגת את מה שיקרה בעתיד, באזור נתון. אלו נמצאים (לא תמיד) בידי השירות המטאורולוגי, ונדרשת עבודה רבה ליצור מהם מערך

נתונים מספיק לצורך הסימולציה. לכן אנו ממליצים כי תינתן הדעת על הרחבת המדידה הרצופה ויצירת מאגר נתונים זמין של סופות גשמים (או, לפחות, על בסיס יממה, כפי שנעשה במדי גשם רושמים), על מנת לאפשר את חישובי הסימולציה.

ה. חסר בסיס מידע אחיד על תכונות הקרקע הרלבנטיות לחלחול ויצירת נגר, בעיקר מקדמי חלחול (מידע קודם מרוכז בנספח לפרק 2, שנכתב ע"י ש. אסולין, בכרמון ושמיר, 1997). דרושה עבודה שתייצר בסיס נתונים אמין.

ו. חסר בסיס מידע אחיד על התאדות ודית באזורי הארץ השונים. דרושה עבודה שתייצר בסיס נתונים אמין.

פרק 6
ניהול מים בעיר: חיסכון במים ותוספות אחרות למשק המים המקומי

כל מה שנוגע לפיתוח ובנייה וקשור גם למים הינו חלק ממסמך זה של תר״מ – תכנון רגיש למים. מכיוון שהעיר הינה צרכן גדול של מים ופיתוחה משפיע במידה הולכת וגוברת על משאבי המים, נכלל במסמך גם פרק זה, הממוקד בניהולם של מים עירוניים.

מדינת ישראל צורכת כ-1,800 מליון מ״ק מים בכל שנה, מתוכם 56% בחקלאות, 6% בתעשיה ו-38% בסקטור העירוני (2003). הפרק מתייחס למים במגזר העירוני בלבד. בעבר נטל המגזר העירוני חלק קטן בסך כל הצריכה בישראל, אך חלקו הולך ועולה: 15% ב-1958 וב-1970, 20% ב-1981 ו-31% ב-1991. בשנים הבאות צפוי שחלקו יעלה עוד יותר, עם הגידול באוכלוסייה וברמת חייה, ועם הקיטון בכמות המים השפירים המוזרמים לחקלאות.

הביקוש למים בישראל גדול מן ההיצע הזמין, ולפיכך, קיים מחסור במים. אפשר להתמודד עם המחסור באמצעות הגדלת היצע המים, היינו, באמצעות ניצול אינטנסיבי יותר של המקורות הקיימים או פיתוח מקורות חדשים, ואפשר לבחור בנתיב אחר: חיסכון במים, המקרב את הביקוש להיצע הזמין. תר״מ ממליץ בראש ובראשונה על ניהול הביקוש ועל אימוץ חיסכון במים כקו מדיניות מוביל; לנושא החיסכון במים במגזר העירוני, חשיבותו והאמצעים למימושו, מוקדש חלקו הראשון של פרק זה. בהמשך הפרק יוקדש מקום גם להגדלת היצע המים בעיר, אך בניגוד למקובל, לא נדון כאן בהתפלת מי ים, אלא בפיתוח מקומי (עירוני) של מקורות מים בלתי קונבנציונליים, כמו קציר גשם וטיהור מים אפורים.

6.1 חיסכון במים כתופעה קבועה ואמינה

בפתח הדיון בפרק זה נציב היגדים אחדים, המבוססים על מחקרנו בנושא חיסכון במים במגזר העירוני (בארי, כרמון ושמיר, 2005*): המחקר כלל בדיקות ייתכנות של חיסכון במים, ייתכנות טכנית, חוקית, כלכלית, חברתית ומנהלית. ממסקנותיהן של בדיקות אלה נגזרו ההיגדים שלהלן:

- **החיסכון במים מהווה את האמצעי הזמין ביותר להקטנת הפער בין היצע וביקוש למים בישראל** - חיסכון משמעותי במגזר העירוני ניתן להשגה בטווח הזמן המיידי, והוא אינו דורש תשתיות מיוחדות, כמו אלו שדורשים מפעלי התפלה ושימוש בקולחים.
- **החיסכון במים כדאי מבחינה כלכלית, לפרט ולכלל** - תוך כשנה וחצי, משק בית ממוצע מחזיר לעצמו את ההשקעה באביזרי חיסכון במים [מיכל הדחה דו-כמותי ווסתי ספיקה (חסכמים)], ולאחר מכן החיסכון במים מקטין את סך-כל ההוצאות הביתיות. השקעה אינטנסיבית של המדינה במאמץ לחיסכון במים במגזר העירוני, ושילובו כמרכיב אמין וחיוני בתכנון עתידי, יביאו לצמצום נכבד בעלויות הכרוכות בפיתוח משק המים: עלות מ״ק מי שתיה מהתפלה גבוהה פי 3.5 עד פי 5 מעלות מ״ק מחיסכון!
- **החיסכון במים רצוי מבחינה סביבתית** - החיסכון במים מאפשר להקטין את העומס על מקורות המים ולשמר את איכותם וכמותם של המים בהם. זוהי תועלת סביבתית משמעותית. בין היתר היא מאפשרת להפנות ״רזרבות״ מים לטבע, לקיום נופים תלויי מים ולטיפוח מיני חי וצומח, המתבססים על מים כמקור חיות.

---

* הפרק מבוסס במידה רבה על המחקר הנ״ל, אשר עיקרו בוצע במסגרת עבודה לתואר שני במסלול לתכנון ערים ואזורים בטכניון, על-ידי שלומית בארי, בהנחיה של נעמי כרמון ואורי שמיר. הנתונים המובאים בפרק מצוטטים ממחקר זה, אלא אם צוין אחרת.

- **החיסכון במים יכול להיחשב כמרכיב קבוע במשק המים הישראלי** - היגד זה מבוסס על התפתחות צריכת המים בעשור האחרון: הצריכה ירדה בחדות בשנת הבצורת 1991, ולמרות העלייה הנמשכת בתמ"ג לנפש וברמת החיים במשך העשור, היא המשיכה לנוד באזור הנמוך; לא רק שלא עלתה במקביל לעלייה ברמת החיים, אלא שבשנת 2003 הייתה מעט נמוכה יותר מזו של שנת 1983. צירוף ניתוח זה עם ממצאינו, בדבר המודעות הגבוהה של הציבור הישראלי לנושאי מים, מוביל למסקנה, שכבר כיום החיסכון במים הוא מרכיב קבוע בצריכה הישראלית. טענה מרכזית של מסמך תר"מ זה הינה, **שהחיסכון במים מומלץ שיהיה ויכול שיהיה מרכיב קבוע ואמין במשק המים הישראלי.**

ראוי לציין, כי החיסכון במים במגזר העירוני אינו אמור לפגוע באיכות החיים של התושבים. המטרה הינה לספק לאזרח שירותים ברמה טובה, שירותים של שתייה, בישול ניקיון וגינון, באמצעות כמות קטנה יותר של מים. קיימת טענה, שמדינה בעלת רמת חיים גבוהה כישראל, הגובה מתושביה מחיר מלא על המים המסופקים להם, צריכה לאפשר לאזרח להשתמש בכל כמות שירצה, בתנאי, שהמחיר ישקף את מלוא העלות. כנגד זאת, טענתנו היא שבשום מקום בעולם מחיר המים אינו משקף

מומלץ שניהול הביקוש למים, ובתוכו עידוד החיסכון במים, יקבל מעמד דומה לזה שיש כיום לפיתוח וניהול היצע המים (אספקת המים), ובהתאם לכך יזכה בתשומת לב מקצועית ובתקציבים נאותים. מומלץ להגביר את יציבותו ואמינותו של החיסכון במים באמצעות פעילות קבועה לאורך זמן רב, בעיקר בתחומי החינוך לילדים וההסברה למבוגרים. החינוך וההסברה יכללו יידוע הציבור בדבר התנהגויות חוסכות מים והפצת מידע על אביזרים לחיסכון במים בבית ובחצר. מומלץ להמשיך לפתח טכנולוגיות חדשות לחיסכון במים ולפעול לתקינה של אביזרים חוסכי מים.

את מלוא העלות של היבטים סביבתיים ושל דאגה לדורות הבאים. לפיכך, מדיניות של חיסכון, שאינו פוגע ברמת השירות, עדיפה. לכך נוסיף, שהימנעות מבזבוז מים יכולה לתרום גם לפיתוח אחריות אזרחית ואורח חיים, המבטא התחשבות במשאבים טבעיים למיניהם.

חיסכון במים בעיר פרת' שבמערב אוסטרליה

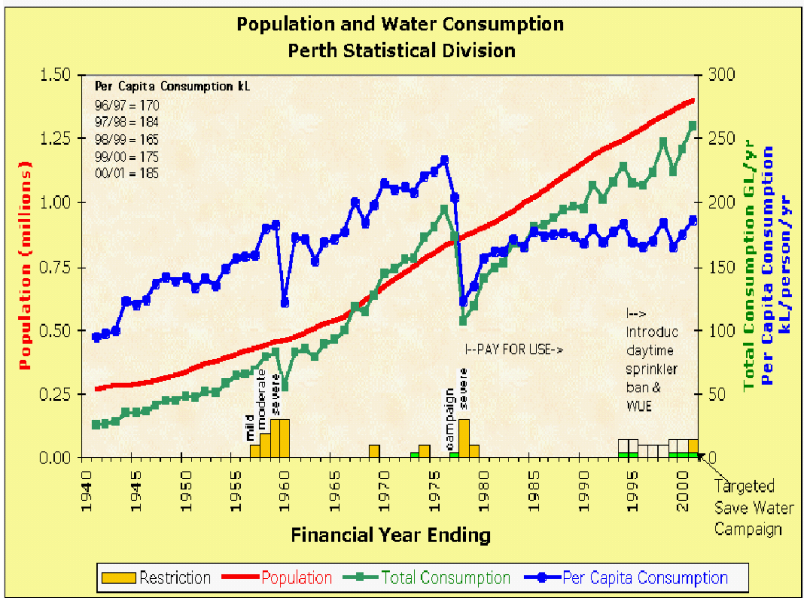
פרת' שוכנת באזור שאקלימו דומה לזה של ישראל. בציור מתוארים נתוני האוכלוסייה, צריכת המים הכללית וצריכת המים לנפש מאז 1942 ועד 2002. על ציר הזמן מופיעים מלבנים שמשמעותם הפעלת תכניות הסברה במשולב עם תקנות המגבילות את השימוש במים, בעיקר להשקיית גינות (גובה המלבן מצביע על רמת הפעילות), והפעלת תשלום על פי כמות המים הנצרכת החל משנת 1977.

מאז 1942 גדלה אוכלוסיית פרת' מרבע מיליון עד קרוב למיליון וחצי תושבים (ציר שמאלי). צריכת המים לנפש נראית בקו כהה (ציר ימני, ביחידות של מ"ק לנפש לשנה) וצריכת המים הכוללת בקו אפור בהיר יותר (ציר ימני, ביחידות של מלמ"ק לשנה). עיון בנתונים מורה: ב-1959 ירדה הצריכה לנפש, תוך שנה אחת, בכ-35% (מ-185 ל-120 מ"ק לנפש לשנה) ובשנים 76-1975 ירדה הצריכה בכ-50% (מ-230 ל-120 מ"ק לנפש לשנה), בעקבות הפעלת שילוב של הסברה, תקנות המגבילות את השימוש, ותשלום עבור הצריכה. חשוב לציין, כי למרות שבין 1977 לתחילת שנות ה-80 עלתה הצריכה לנפש, הרי שבמשך כ-20 שנה מאז, נותרה הצריכה לנפש קבועה בממוצע על ערך של כ-175 מ"ק לנפש לשנה, עם ניודים לא גדולים לשני הכיוונים (הצריכה הכוללת המשיכה לעלות, במקביל לגידול באוכלוסייה). מכאן, שהפעלת מכלול של כלים לניהול הצריכה יכולה להביא לכך שהחיסכון בצריכה לנפש יכול להיות קבוע ואמין.

מחלקות לתכנון ולמים עירוניים בערים רבות ברחבי העולם הוציאו הנחיות מפורטות לחיסכון במים. לא רק בספרד ובאוסטרליה, הסובלות ממחסור במים, אלא גם ברבות מערי קנדה, המשופעות בגשמים, המודעות לכללי פיתוח בר-קיימא גורמת למתכננים ולרשויות להנהיג

כללי חיסכון במים. על הנעשה בערים בעולם ר׳ פרק 2 לעיל. כאן נסתפק בדוגמא אחת לפעילות חיסכון מוצלחת.

חיסכון במים בעיר פרת' (המשך)



המקור: Dies, R., McKenna, N. and Davidson, K. (2003)

6.1.1 אמצעים לחיסכון במים בבתי מגורים ובבנייני ציבור

החלק הארי של צריכת המים העירונית נצרך בתוך בניינים. לרשותם של מתכנני בניינים ושל אזרחים, המעוניינים להקטין את צריכת המים בבניינים, עומדת שורה ארוכה של אמצעים טכניים. נמנה כאן את העיקריים שביניהם.

חיסכון במים בבית השימוש

בית השימוש הוא צרכן המים הבודד הגדול ביותר בבית; כשליש מכלל צריכת המים הביתית מתבצעת בבית השימוש. לפיכך, יש משמעות רבה לאמצעי החיסכון שלהלן.

מיכל הדחה דו-כמותי, כתחליף למיכל הדחה חד כמותי – מיכל הדחה דו-כמותי כולל מנגנון שטיפה מפוצל, אשר מאפשר להדיח את האסלה בשני נפחי מים שונים – הדחה מלאה לשטיפת מוצקים ונייר, והדחה חלקית לשטיפת שתן. זאת, על-ידי שימוש בשני לחצנים או ידיות. מיכל ההדחה החסכוני דומה בעיצובו החיצוני ובמידותיו למיכל ההדחה החד-כמותי. בעבר, הישראלים השתמשו במיכל הדחה סטנדרטי של 9 ליטר. כיום, מיכל ההדחה הנפוץ בישראל הוא מיכל דו-כמותי בעל נפחי שטיפה של 9 ו-4.5 ליטר. לאחרונה החלו למכור בארץ גם מיכל הדחה דו-כמותי בעל נפחי שטיפה של 6 ו-3 ליטר. בדיקות מלמדות, כי:

- החלפת מיכל הדחה סטנדרטי בנפח שטיפה של 9 ליטר, במיכל הדחה דו-כמותי בנפחי שטיפה של 9 ו-4.5 ליטר מאפשרת חיסכון של 35%-40% מצריכת המים בשירותים, שהם כ- 12% מצריכת המים הביתית.
- החלפת מיכל הדחה סטנדרטי בנפח שטיפה של 9 ליטר, במיכל הדחה דו-כמותי בנפחי שטיפה של 6 ו-3 ליטר מאפשרת חיסכון של כ- 60% מצריכת המים בשירותים, שהם כ- 18% מצריכת המים הביתית.

באוסטרליה ובאירופה מקובלים מיכלי הדחה דו-כמותיים בעלי נפחי שטיפה של 6 ו- 3 ליטר, ואף קטנים יותר. משך החיים של מיכל ההדחה הוא עשרות שנים. המנגנון עצמו אינו אמור להתקלקל, אך אם הדבר קורה, ניתן להחליפו בעלות נמוכה.

הקטנת נפח השטיפה במיכל הדחה סטנדרטי – מקובלות דרכים אחדות להקטנת נפח השטיפה של מיכל הדחה, כמו: הנחת גוף אטום (בקבוק פלסטיק מלא מים או לבני בנין) בנפח של ליטר עד ליטר וחצי בתוך מיכל ההדחה, או כוונון של סגר שסתום הכניסה באמצעות בורג,

המחובר למוט האופקי שבמיכל, להקטנת הכמות המרבית המצטברת במיכל עד לסגירת שסתום הכניסה. אלה אמצעים זולים מאוד, שהרכבתם פשוטה ואינה מצריכה בעל מקצוע מיוחד.

גילוי ותיקון דליפות בבית השימוש – לעתים קרובות, קיימות דליפות בבית השימוש, היכולות להביא לבזבוז של כמויות מים גדולות, עד כדי מאות ליטרים למתקן לשנה. הדליפות שקטות ונסתרות בדרך כלל, אך הגילוי והתיקון שלהן פשוט ומהיר יחסית. גילוי דליפה יכול להיעשות בעזרת טבליות דיו או צבע מאכל, הנמצא בכל בית. לתוך מיכל ההדחה מכניסים טבלית או מטפטפים מספר טיפות צבע מאכל; מחכים כ- 15-20 דקות מבלי להדיח את האסלה. אם מי האסלה נצבעו מבלי שהאסלה הודחה, הרי שיש דליפה. בשלב הבא, יש לאתר את מקום הדליפה. זה לרוב יהיה באיזור כניסת המים למיכל או יציאת המים ממנו, ויגרם כתוצאה מבלייה של השסתומים, הגומיות, המצוף או המנוף. מומלץ לבצע בדיקות תקופתיות לגילוי דליפות, מכיוון שאם קיימת דליפה, נפח הפסד המים יגדל עם הזמן.

מנגנון ההדחה של אסלות הוא מנגנון פשוט ביותר, כך שבדיקה ותיקון של דליפות הינן פעולות פשוטות, שיכולות להיעשות על-ידי הדיירים עצמם לאחר הדרכה קצרה, או על-ידי שרברב. נתונים שנאספו ממאות דירות בישראל הראו, כי הדליפות בבתי השימוש שכיחות יחסית. סקרים אלו הצביעו על כך שב-30% מהדירות הישנות וב- 5%-10% מהדירות החדשות קיימת דליפה ממיכל ההדחה (כהנא, 1991). תיקון הדליפות יכול להביא לחיסכון של עשרות ליטרים לאדם ליום.

החיסכון הצפוי משימוש חסכוני במים באסלות ותיקון דליפות בבית השימוש עשוי להגיע לכדי 25% מכלל צריכת המים הביתית.

ראש מקלח חוסך מים

לאחר בית השימוש, צריכת המים במקלחת היא הגבוהה ביותר בתוך הבית. בישראל כ- 30% מצריכת המים במשק בית ממוצע היא במקלחת. צריכת המים במקלחת, שלא כמו צריכת המים בבית השימוש או צריכת המים של מכונת הכביסה, תלויה מאוד בהרגלי

ההתקלחות של הדיירים (תדירות המקלחת, משך זמן המקלחת, סגירה או אי-סגירה של המים בזמן ההסתבנות ועוד). לכן, אחוז גבוה מחיסכון המים במקלחת נובע לאו דווקא מהתקנת אביזר נכון ושימוש בו, אלא משינוי הרגלים.

קיימות מספר וריאציות של ראשי מקלח ומקלחי יד חוסכי מים בשוק. ביניהם:

- ראש מקלח מווסת בעל ספיקה נמוכה, המצמצם את צריכת המים על-ידי הקטנת כמות המים המוזרמת בעת פתיחת הברז. אף-על-פי שספיקת המים באביזר זה נמוכה יחסית (11 ליטר בדקה בישראל), לחץ המים, המורגש על-ידי המתקלח, כמעט שאינו נפגע.
- ראש מקלח שאינו מקטין את ספיקת המים, אך מאפשר עצירה של יציאת המים מתוך הראש באמצעות שסתום ידני או כפתור המותקן בראש המקלח, ללא סגירת הברז הראשי של המקלחת. כך מתחדשת הזרימה ללא כיוון מחדש של טמפרטורת המים ובזבוז מים תוך כדי כך. כל זמן שזרימת המים מעוכבת, יהיה טפטוף דק, שיזכיר למשתמש שהברז אינו סגור.

הרכבת ראש מקלח ניתנת לבצוע באופן עצמאי, בקלות יחסית. משך החיים של מוצרים אלה יכול להיות עשרות שנים, אם כי הדבר תלוי באיכות האביזר, באיכות המים העוברים בו, בתדירות השימוש ועוד. מחקר ישראלי (כהנא, 1991), שעקב אחר תוצאות הרכבת וסתי ספיקה בראשי מקלח במאות דירות ברחבי המדינה, מצא חיסכון של 6-12% מצריכת המים הביתית.

חסכמים (מגבילי ספיקה) לברזי כיורים

מטרתם של מגבילי הספיקה, המכונים בישראל חסכמים, היא להגביל את כמות המים העוברת בברז, כך שלא תוכל לעלות על ספיקה מכסימלית שנקבעה מראש. התקנת חסכם בראש מקלח או במקלח יד תיתן אפקט דומה לזה של ראש מקלח מווסת (הקטנת הספיקה מ- 30-20 ליטר לדקה, ל-10 ליטר לדקה). בברזים, החסכם יקטין את הספיקה

מכ-20 ליטר לדקה לכ- 6-8 ליטר לדקה, כאשר הספיקה המומלצת לברז מטבח היא 8 ליטר לדקה ולכיור חדר הרחצה 6 ליטר לדקה.

חסכמים ניתנים להרכבה עצמית, בקלות יחסית. משך חייהם הוא שנים אחדות, בתנאי שינוקו תקופתית. תיאורטית, תרומתם לחיסכון במים רבה מאד (למשל: 60% מצריכת המים במטבח), אך חישוב ריאלי מעמיד את פוטנציאל החיסכון שלהם על 17% מן הצריכה הביתית.

וסתי לחץ

ווסת לחץ הוא אביזר המורכב על קו כניסת המים למבנה מיד לאחר שעון המים הדירתי. כוונון הווסת מאפשר לקבוע את לחץ המים המירבי הרצוי בבית ובגינה, ובכך להקטין את לחץ המים עוד לפני כניסתם לבית. על-גבי הווסת מותקן חיווי, המראה בכל זמן נתון את לחץ המים המוזרמים לדירה. לרוב מותקן וסת לחץ לא כחלק ממאמץ לחיסכון במים, אלא בכדי להפחית את הסיכוי לדליפות ולתקלות אחרות בצנרת ובאביזרים בבית.

התקנת הווסת פשוטה יחסית, אך מצריכה בדרך-כלל שירות של בעל מקצוע. משך החיים של ווסת הלחץ הוא שנים אחדות. גם כאן הדבר תלוי מאוד באיכות המים העוברים דרכו.

השפעתו של וסת הלחץ משתנה ותלויה בלחץ לפני כניסת המים לווסת ובקביעת הלחץ בווסת עצמו. בדומה לווסת הספיקה, השפעת וסת הלחץ היא בעיקרה על מתקנים המשתמשים בכמות מים שונה בכל פעולה, בעוד שאין לו השפעה על כמות המים הנצרכת על-ידי אסלות, מכונות כביסה ושימושים אחרים, הדורשים כמות מים קבועה. ווסתי לחץ אזוריים, המופעלים על-ידי הרשות המקומית, מקטינים את הצריכה לא רק בבתי מגורים, אלא גם במוסדות ציבור, גינון ציבורי ועוד, וכן מקטינים את הדלף מן הצנרת העירונית; שמירה מפני לחצים גבוהים מדי יכול לחסוך כמות משמעותית של מים.

מתקנים לחימום מים

אחת הסיבות לבזבוז מים במקלחת ובשימוש בכיורי הרחצה והמטבח, היא משך הזמן שעל המים החמים לעבור בצנרת מהדוד ועד הגיעם לברז. משך זמן זה יכול להימשך מספר דקות, תלוי במרחק שעל המים לעבור. חיסכון של זמן זה, בו זורמים (בדרך-כלל לריק) המים הקרים, יכול להביא גם לחיסכון במים. שני מתקנים, המקטינים בזבוז זה, הינם מתקן לחימום מים מיידי, אשר עם פתיחת הברז מעביר את המים דרך גוף חימום, ומערכת סחרור מים, המאפשרת זרימת מים חמים רציפה בצנרת הביתית. את זו האחרונה כדאי להתקין בבניינים שבהם מרחק רב מדוד החימום לברזים, שבהם מזרימים מים חמים.

6.1.2 אמצעים לחיסכון במים בגנים פרטיים וציבוריים

חלק גדול מהשטחים הפתוחים באזורי מגורים עירוניים הם שטחי נוי פרטיים וציבוריים. שטחים אלו משמשים כשטחי משחק, בילוי ונוף ומהווים מרכיב חשוב באיכות החיים של התושבים. סיור בשטחים אלו מעלה שאופי הגינון בישראל הפך עם השנים דומה, בחלקו הגדול, לאופי הגינון האירופאי - במקרים רבים ניתן למצוא בגינות שטחי דשא גדולים, ערוגות פרחים עונתיים וצמחים המתאימים לאזורים ממוזגים ואף טרופיים. אלו דורשים כמויות גדולות של מים. מודל הגן האירופאי אינו מתאים לאקלים באזורנו. אי התאמה זו מתחדדת בשנים שחונות בהן כמות המשקעים קטנה וקיימת סכנה מוחשית למקורות המים.

היציאה נגד בזבוז המים בגנים אינה מצדדת בייבוש כל הדשאים והגינות והקמת גני קקטוסים תחתם, אלא דורשת חשיבה אחראית ושימוש יעיל ונכון במים בחצר. רשימת פעולות, המבטאות סוג זה של חשיבה, ניתן למצוא אצל הל-אור (1999). יישום חלוצי מוצלח וארוך שנים של שימוש יעיל במים, כולל טל ונדר, ניר עוז, על ידי רן פאוקר (פאוקר וכהנוביץ, 2000). חוברת מקיפה בנושא הופקה לפני שנים ספורות על-ידי האגף לקידום החיסכון במים, שבנציבות המים (שלם וחובריו, 2002). נסכם כאן את עיקרי ההמלצות:

- תכנון מוקדם של נוף הגן ;
- שימוש בצמחיה חסכונית במים ;
- חיפוי שטחים חשופים ;
- תכנון יעיל של מערכת ההשקייה, כולל מערכת בקרה.

המלצות אלו ניתן לסכם במונח הלועזי Xeriscape, שמשמעותו "גן יובשני". בגן זה מיושמים עקרונות המעודדים תכנון נוף נאות, חסכוני במים וסביבתי, החופפים את שורת ההמלצות הנ"ל. מחקרים בארצות הברית מצאו ששימוש בעקרונות ה- Xeriscape, במקום שימוש בשיטות גינות מקובלות, הביא לחיסכון של לפחות 50% מצריכת המים בגינה (Vickers, 2001).

הקורא המעוניין מוזמן למצוא ברשת האינטרנט מדריכים רבים לשימוש יעיל במים בשטחים פרטיים וציבוריים (למשל: Capital Region District, Victoria BC, Canada, (URL)). כאן נציג עיקריהן של הנחיות ליישום בגינה הפרטית ובגן הציבורי, המיועדות לחסוך במים, מכלי לפגוע באיכות השימוש בגן.

תכנון נוף הגן

הקמת גינה פרטית או ציבורית דורשת התייחסות למכלול נושאים. הראשון ביניהם הוא, כמובן, קביעת ייעודו של הגן, ובהתאם לו החלטה על צורתו הכללית של הגן, הצמחייה המתאימה לו, אמצעי ההשקיה שיש לעשות בהם שימוש, שילובם של אלמנטים קישוטיים שונים ועוד. כל זה צריך להיעשות במטרה להבטיח שהגן ימלא את הפונקציות עבורן הוא נוצר ועל-מנת להכניס בו עניין למשתמש בו או למסתכל עליו.

שיטות התכנון המתאימות ל"גן יובשני" הן שיטות תכנון נוף מקובלות, הלוקחות בחשבון גם את הצורך לחסוך במים, את האקלים וכמויות המשקעים השנתיות, את סוג הקרקע ואת הצמחייה הטבעית. הן משתמשות בצמחייה שדרישות המים שלה נמוכות, בחיפוי, באביזרי השקיה יעילים ועוד. תכנון מוקדם המתחשב בכל אלו יכול להביא

להקמת גן מגוון, המשלב סוגי צמחים רבים, ועם זאת חסכוני במים, מבלי שהדבר יגרע מערכו של הגן או יפגע בייעודו.

נציין כאן שני אמצעים שניתן לרתום לעניין זה:

- **שימוש בצמחייה** – מומלץ משחק עם גווני הצמחים וצורות הנוף, כולל שינוי היחס בין שטחי הדשא והפרחים העונתיים לבין שטחי שיחים, עצים וצמחי כיסוי. בעזרת שימוש במגוון רחב של צמחים וצמצום שטחי מדשאה (הדורשים כמויות מים גדולות) ניתן ליצור גן בעל אופי מיוחד הצורך כמחצית מכמות המים של גן המורכב ברובו מדשא. אין כאן המלצה לביטול שטחי דשא בכלל, אלא להחלפת שטחי דשא שאינם משרתים צורך ספציפי חשוב בשטחים עם צמחי כיסוי, המספקים אותה ״תחושת ירוק״ בפחות מים ובדרישות אחזקה מזעריות.
- **ביצוע שינויים טופוגרפיים** – שינויים טופוגרפיים יכולים להתבצע בקלות על-ידי גריעה או תוספת של אדמה באזור מסוים, יצירת מסלעות ועוד.

צמחייה חסכונית במים

ישנם מינים רבים של צמחים המתאימים לתנאי האקלים באזורנו ואינם דורשים מנות מים גדולות. צמחים אלו ניתן למצוא בין מיני הצומח הטבעי באזור או בין מינים שמקורם באזורי אקלים דומים כמו אוסטרליה ודרום אפריקה. בספרות ניתן למצוא מספר רשימות המרכזות סוגי עצים, שיחים, מטפסים וצמחי כיסוי, המסתפקים בכמויות מים קטנות יחסית ויכולים להחליף בהצלחה צמחים הצורכים כמויות גדולות יותר של מים. הפנייה לצמחייה מתאימה ניתן לקבל גם במשתלות לצמחי בית וגן. אחת מהרשימות, הנמצאת בידנו, מונה כ-240 צמחים שנמצאו חוסכי מים בחלקות האקלום של קיבוץ ניר-עוז שבנגב המערבי (פאוקר, 2000). ברשימה זו צמחים רבים, בעיקר עצים ושיחים, שאינם דורשים השקיה נוספת מעבר לכמות המשקעים השנתית, שבניר עוז עומדת על ממוצע של 250 מ״מ בלבד. בחירת אותם צמחים מוצלחים נעשתה לאחר מעקב של לפחות עשר שנים אחר

העצים וארבע שנים אחר השיחים; המעקב התייחס לקריטריונים של מראה יפה, גידול ללא מחלות או מזיקים, גידול ללא צורך בגיזומים רבים לחידוש נוף הצמח, מניעת עשבים ומילוי תפקיד אסתטי או פונקציה חשובה בגן.

חיפוי הקרקע

חיפוי הוא כיסוי הקרקע בשכבה של חומר אורגני או אנאורגני במטרה ליצור שכבת בידוד לויסות הטמפרטורה וממשק המים בקרקע (אבישי, 2000). בשיטת החיפוי משתמשים בשטח פתוח חשוף, בערוגות, גומות עצים, בין שיחים ועוד.

שימוש בחיפוי מביא לתוצאות הבאות (הל-אור, 1999; פאוקר וכהנוביץ, 2000; שלם, 2000; הדר-גבאי וחובריה, 2003):

- הורדת טמפרטורת הקרקע בקיץ, מניעת התאדות מים מהקרקע ושמירה על הלחות;
- מניעת היווצרות קרום על הקרקע בזמן ההשקיה, דבר המגביר את חידור המים לקרקע, מקטין היווצרות נגר עילי ומצמצם את סחיפת הקרקע;
- העשרת הקרקע בחומר אורגני (אם חומר החיפוי אורגני);
- הגדלת כמות המים הזמינים לצמח;
- תמיכה בהתפתחות מערכת שורשים שטחיים בשכבה העליונה, המאווררת, של הקרקע;
- מניעת נביטת עשבים, ה"גונבים" מים מצמחי הנוי, והקטנת הצורך בעיבוד הקרקע;
- הקטנת השימוש בחומרי הדברה נגד עשבים ומזיקים.

מחקר שנערך בגן הבוטני האוניברסיטאי בירושלים (הדר-גבאי וחובריה, 2003) מלמד, כי חיפוי קרקע אורגני של 7-10 סנטימטר תורם להתפתחות הצמח, מקטין את הצורך בשימוש בחומרים להדברת

עשבים, מביא לחיסכון כללי בהוצאה השנתית לדונם גינון, ולענייננו – מביא לחיסכון של למעלה מ-40% מצריכת המים.

השקייה חסכונית

אחת הסיבות העיקריות לבזבוז מים בגינה הינה שימוש לא יעיל במים בהשקייה. מקורה של אי יעילות זו בחוסר ידע לגבי דרישות המים של הצמחים, לגבי תכונות הקרקע ולגבי זמינותם של אביזרים השונים היכולים לצמצם את כמויות המים ולייעל את ההשקייה. חיסכון במים בהשקיה ניתן להשיג על-ידי שילוב הרגלי השקייה נכונים ושימוש בטכנולוגיות המייעלות את ההשקייה.

- **מתי וכמה להשקות** - השקייה בכמויות ובמרווחי זמן נכונים תועיל לצמח ותעודד אותו לנצל טוב יותר את המים שבקרקע. מרווחי זמן ההשקיה וכמויות המים שהצמח צריך תלויים בסוג הצמח, סוג הקרקע ועונת השנה.

רוב הצמחים יכולים לפתח שורשים עמוקים ולנצל את הרטיבות שבעומק הקרקע. צמחים רב-שנתיים מפתחים עם הזמן מערכת שורשים עמוקה ולכן זקוקים למעט מים יחסית. לעומתם, צמחים עונתיים, שאין ביכולתם לפתח מערכת שורשים ענפה, זקוקים להשקיות תכופות יותר. בבדיקות שנערכו בקיבוץ ניר עוז נמצא שמינים וזנים של הדשא שגדלים בארץ מנצלים מים ביעילות מעומק של לא פחות מ-1.5 מטר, וצמחי כיסוי, שיחים ועצים מנצלים מים מעומקים של 3-6 מטר ויותר (פאוקר וכהנוביץ, 2000).

קביעת כמות המים ותכיפות ההשקיה נעשית גם בהתאם לסוג הקרקע. את הקרקעות ניתן לחלק לקרקעות קלות, בינוניות וכבדות, כאשר ניתן להבחין ביניהן לפי צבען – קרקעות קלות (כמו חול) יהיו צהבהבות, קרקעות בינוניות (כמו החמרה) יהיו אדמדמות וקרקעות כבדות יהיו בעלות צבע אפור כהה או חום. הקרקעות הקלות סופגות מהר את המים ומתייבשות מהר ולכן יש צורך להשקות צמחים הגדלים בהן בכמות קטנה ולעיתים קרובות יחסית. קרקעות בינוניות סופגות מים יותר לאט ומתייבשות יותר לאט ודורשות

השקיה בכמות בינונית לעיתים רחוקות יותר. קרקעות כבדות, שסופגות מים ומתייבשות הכי לאט מהשלוש, יש להשקות בכמות גדולה ולעיתים רחוקות. פרסומים כמו זה של שלם (2000) כוללים טבלאות של כמויות המים מומלצות להשקייה, לפי עונות השנה, סוגי הצמחים ואזורים גיאוגרפיים.

- **איך להשקות** - במשתלות ובחנויות העוסקות בגינון ניתן למצוא אביזרי השקיה רבים, השונים זה מזה בצורת ההשקיה, בשטח הכולל שאותו הם מכסים, באחידות פיזור המים על-פני השטח, בגמישות ההפעלה, בספיקה ועוד. בכדי להביא לכך שהצמח ינצל את כל כמות המים העומדת לרשותו, ומכיוון שלצמחים שונים יש דרישות השקיה שונות, ניתן לשלב בין אביזרי השקיה שונים. לדוגמא: דשא מומלץ להשקות בהמטרה, ואילו לעצים, שיחים ופרחים יתאימו מתזים וטפטפות.

אביזרים טכניים להגברת יעילות ההשקייה

המעקב אחר מצב הגינה ורטיבות הקרקע והצורך להשקות בכמויות מים מסוימות ובמרווחי זמן קבועים, דורשים מבעל הגינה התעסקות מתמדת. על-מנת להקל, ניתן לשלב במערכת ההשקיה של הגינה אביזרים טכניים שונים אשר ינהלו את המערכת באופן אוטומטי לפי תכנית קבועה מראש. את האמצעים הטכניים העומדים לרשות משקי הבית לייעול מערכת ההשקיה ניתן לחלק לשתי קבוצות:

- **אביזרי בקרה** – קיימים בשוק אמצעי בקרה מרכזית, כמו מחשב (בקר השקייה) או קוצב מים, המאפשרים גמישות בתכנות מערכת ההשקייה: קביעת זמני השקייה, מנות מים להשקייה ועוד. קיימים גם אמצעים, המאפשרים בקרה על מידת הרטיבות בקרקע, כמו חיישני לחות וחיישני גשם.
- **אביזרים המספקים יעילות השקיה משופרת** – זמינים בארץ וסתי לחץ, ממטרות ומתזים. עבור יעילות מירבית, מומלצות בדרך-כלל טפטפות, המיועדות להשקיית צמחייה בספיקות שעתיות נמוכות. ההשקייה בטפטפות נעשית בצמוד לצמח, על-פני הקרקע או

מתחתם, דבר המקטין את שיעור ההתאדות ואת השפעת הרוח על ההשקייה, ומאפשר לצמח לנצל ביעילות את כל כמות המים העומדת לרשותו. מערכת הטפטוף היא מערכת גמישה, המאפשרת להשקות בנפרד סוגי צמחים שונים זה מזה בדרישות למים, ולהשאיר שטחים אחרים יבשים. כמו כן, מאפשרת המערכת להוסיף לקוו נקודות טפטוף בדיוק במקומות הדרושים.

6.1.3 החיסכון במים כמקור מים – אומדן הפוטנציאל

תר״מ ממליץ להתייחס לפיתוח החיסכון במים כמו לפיתוח כל מקור אחר למים, לטפחו ולתקצבו באופן קבוע. על מנת להבין את חשיבותה של המלצה זו למשק המים בישראל, חישבנו במחקרנו שלושה ערכים: החיסכון התיאורטי במים, החיסכון שכבר הושג בפועל במגזר העירוני ותחזית ריאלית לחיסכון בעתיד (בארי, כרמון ושמיר, 2003, פרק 10).

החיסכון התיאורטי במשיכת מים מתוך רשת האספקה העירונית הוא חיסכון שניתן להשיג אם משתמשים בכל האביזרים והשיטות הזמינים ו/או האפשריים לחיסכון במים, הן במשקי בית והן ברשות המקומית. **אם כל משקי הבית העירוניים ישתמשו באופן מלא בכל האמצעים הזמינים, העומדים לרשותם בבית (בשירותים ובמטבח) ובגינה, הם יוכלו להגיע לחיסכון של 40%-50% מסך-כל הצריכה השנתית לנפש במגורים שהייתה מתרחשת ללא כל הפעולות הללו**. אם נגזור מכאן גזירה ביחס לצריכת המים בכלל המגזר העירוני, הכולל חלקים רבים שהרשות המקומית שולטת בם (גינון ציבורי, צריכה במוסדות חינוך, בריאות, פנאי ועוד), ואם נניח שאפשר להקטין במידה רבה גם את אחוזי הפחת בעיר, הרי שבאופן תיאורטי, יכול היה המגזר העירוני להשתמש בכמחצית הכמות שהיה צורך ללא ביצוע פעולות לחיסכון במים. על פי דיווח מאוסטרליה (ר׳ מסגרת סמוך לראש פרק 6) אין מדובר בפוטנציאל תיאורטי, אלא בשיעור חיסכון שהושג בפועל בעיר פרת׳.

החיסכון שהושג בפועל - אמצעי התקשורת נוהגים לקונן על כך שהמגזר החקלאי חוסך במים, בעוד שהמגזר העירוני בישראל אינו

חוסך. חישובינו מורים שאין הדבר כך. החיסכון שהשיגה בפועל האוכלוסייה העירונית בארץ חושב, על סמך השוואה בין צריכת המים לנפש בפועל ב-2003 לבין הצריכה שהייתה מתקבלת באותה שנה, אילו נמשכה הן בשנות ה-90 והן כיום אותה עלייה בצריכת מים לנפש, אשר התקיימה בעבר. נמצא שהעלייה בצריכה, שהגיעה ל-1 מ״ק לנפש לשנה במשך 30 השנים שבין 1960 ל-1990, נעצרה בשנות ה-90. יתר על כן, בתחילת שנות ה- 2000 הסתמנה ירידה, שהחזירה את צריכת המים במגזר העירוני בישראל לרמה של שנות ה-80 המוקדמות, וזאת, למרות העלייה הנמשכת ברמת החיים. אילו נמשכה העלייה בצריכה העירונית בקצב שהיה מקובל בעבר, היא הייתה מגיעה ל- 840 מליון מ״ק בשנת 2003, בעוד שהנתון בפועל היה כ- 700 מליון מ״ק. מסקנה: הודות לשימוש הגובר בארץ באביזרים חוסכי מים, בעיקר מיכלי הדחה דו-כמותיים, חסכמים, טפטפות ומחשבי השקייה, והודות להתנהגות חוסכת מים, **תושבי ישראל חוסכים בשנים האחרונות כ-17% מתוך הצריכה שהייתה צפויה אילולא נהגו בחיסכון**.

תחזית ריאלית לחיסכון בעתיד - בהסתמך על נתונים אלה ועל ממצאים נוספים ממחקרנו, המעידים על מודעות ציבורית גבוהה למחסור במים ורצון מצד הציבור להשתתף במאמץ החיסכון, סביר להניח שאפשר להגביר את החיסכון במים בישראל. ערכנו חישובים זהירים, תוך לקיחה בחשבון של ההשפעה הפסיכולוגית של הכנסת שפע מים מותפלים למערכת המים הישראלית (מה שאמור לצמצם את תחושות המחסור והצורך לחסוך), והגענו לתחזיות המבוטאות בטבלה הבאה.

צריכת מים במגזר העירוני בישראל בשנת 2020: השוואת תחזיות שונות

	תחזית ללא חיסכון	תחזית תכנית אב, עם חיסכון מוגבל	התחזית שלנו, עם חיסכון מוגדל, אך ריאלי
צריכת מים לנפש בישראל (מ״ק)	145	130	115
צריכת מים במגזר העירוני (מלמ״ק)	1,300	1,175	1,035

הטבלה מבטאת את ההערכה, שאם אוכלוסיית ישראל בשנת 2020 תגיע ל-9 מליון נפש ואם תתקבלנה המלצות תר״מ לחיסכון במים במגזר העירוני*, הרי שעל-פי חישוב שמרני תחסוך מדינת ישראל בכל שנה כ-265 מליון מ״ק מים שפירים, יחסית לצריכה שהייתה צפויה ללא נקיטה באמצעי חיסכון כלשהם (חיסכון של כ-135 מליון מ״ק יחסית לתחזית של תכנית האב של נציבות המים). ראשי המינהל למשק המים ברשויות המקומיות בישראל אופטימיים יותר: הם העריכו שהצריכה לנפש ב-2020 יכולה להיות 90 מ״ק בלבד, אם יינקטו אמצעים מתאימים לחיסכון במים. משמעות תחזיתם הינה חיסכון **נוסף** של 225 מליון מ״ק מים שפירים בכל שנה.

חשוב להדגיש, כי חיסכון משמעותי ימומש רק אם יושקעו משאבים בהשגתו, הן באמצעות טכנולוגיות והן באמצעות פעולה נמרצת ונמשכת של הסברה וחינוך (ר׳ גם בפרק 7).

6.2 תוספות למשק המים העירוני ממקורות בלתי קונבנציונליים

מקורות מים ייקראו ״לא קונבנציונליים״ אם אינם נמצאים כיום בשימוש רגיל ונרחב, גם אם חלקם מהווה מקור לאספקה במקומות אחדים בעולם ובישראל. תוספות ממקורות אלה אמורות להקטין את כמות המים הנלקחת על ידי העיר ממקורות האספקה המקובלים, הקונבנציונליים. דוגמה לאסטרטגיה כוללנית של שימוש במקורות שאינם קונבנציונליים הינה בסינגפור (Singapore URL), והיא כוללת מספר מרכיבים:

- הקמת מספר גדול של מאגרים לתפיסת מי נגר - קציר גשם - לשימושים שונים;

* בפרק זה הוצגו אמצעים טכניים זמינים להגברת החיסכון במים ברשות הפרט וברשות הרבים. המלצות הנוגעות לאמצעים חוקיים, מינהליים וכלכליים תוצגנה בפרק 7.

- תכניות לחיסכון במים;
- מפעלים לטיפול בשפכים (מט״ש) המפעילים מספר תהליכים המשלימים זה את זה – מיקרופילטרציה, אסומוזה הפוכה וחיטוי UV - ומביאים את המים לאיכות מי שתייה. כיום מייצרים שלושה מפעלים כאלה כ- 30 מלמ״ש.

ההנחה היא, שניצול מקורות אלה במסגרת עירונית מקומית (בניגוד לכלל ארצית) כרוך ביתרונות לרשות המקומית וגם לרשות הממלכתית. עניין זה מעלה את שאלת חלוקת העלויות והתועלות, הכרוכות בשימוש במקורות בלתי קונבנציונליים: האם מי שמשקיע ביצירת מקור חדש גם נהנה מפירות השקעתו, ואם יש נהנים אחרים, כיצד מטילים את העלויות ומתחלקים בתועלות. למשל, אם קבלן או רשות מקומית מפעילים אמצעים להחדרת מים לקרקע, להעשרת מי התהום, ואילו את מי התהום שואבת המערכת הממלכתית, כיצד יפוצה המחדיר על פעולתו זו? בדוגמה אחרת, אם רשות מקומית שואבת מי תהום מזוהמים ומטפלת בהם לצרכיה שלה, ובכך מקטינה את כמות המים שהיא מקבלת מן המערכת הארצית, מהם ההסדרים בינה לבין המערכת הממשלתית? ראוי להסדיר את הנושא, על מנת להגיע לניצול רציונלי של המקורות הבלתי קונבנציונליים. עוד נשוב לעניין זה בפרק מאוחר יותר, שכן כל עוד אינו מוסדר קיימים חסמים למימוש הפוטנציאל של מקורות לא קונבנציונליים.

6.2.1 קציר גשם על-ידי משקי בית

קציר מים הוא שם כולל לשיטות ואמצעים לאיסוף, ריכוז, וטיפול במי גשם, והכוונתם לשימושים שונים. באזורי מגורים, מערכות מסוג זה אוספות גשם היורד על הבית וסביבתו מגגות, מרפסות, חניות ומשטחים אטומים אחרים בחצר. המים הנאספים מהגגות מיועדים בדרך-כלל להדחת אסלות, השקיה ושטיפת מכוניות ומשטחים שונים בחצר, ולעיתים השתמשו בם גם במערכת המים החמים בתוך הבית. המים המכוונים ממשטחים נמוכים אחרים בחצר (כמו מדרכות וחניות)

משמשים בדרך-כלל להשקיית הגינה ולהעשרת מאגרי מי התהום. עד מחצית המאה הקודמת היו נפוצים למדי בארץ בורות מים ביתיים לאיסוף מי הגשמים מגגות ומשטחים אטומים, שמימיהם שימשו גם לשתייה, ובודאי זכורות מערכות עירוניות שלמות בערים העתיקות לאיסוף ואגירת מי הגשמים לכל צרכי העיר.

מערכות המשמשות לקציר מי גשם מקובלות במדינות רבות, ונפוצות במיוחד באזורים צחיחים וצחיחים למחצה באוסטרליה ובארה״ב. קיימות מערכות פשוטות וזולות, כמו תיעול מי המרזבים לאזורים נמוכים יחסית בגינה, בצד מערכות מורכבות ויקרות, הכוללת שימוש במכלי אחסון וטיפול במים. סוג המערכת הרצוייה תלוי במקור המים (אם מגגות ואם ממשטחים נמוכים) ובשימוש המיועד להם. המים הנאספים יכולים לשמש להשקייה ללא טיפול, אך אם הם מיועדים לשימוש בתוך הבית או לאחסון, חייבים לטפל בם. הצורך בטיפול נובע מאפשרות שהגשם מכיל מזהמים שנספגו מהאטמוספירה, כמו ארסן ועופרת, ולכלוך שהמים שוטפים מרגע המגע עם המשטחים האטומים בחצר (אבק, עלים, לשלשת וכד׳).

איכות מי גשם הנאספים מגגות (ואינם באים במגע עם הקרקע) טובה בדרך-כלל, ולאחר טיפול מתאים ניתן היה להשתמש בהם לכל צורכי הבית, אפילו לשתייה ולבישול. הטיפול כולל סינון נוסף (מעבר לניקוי הראשוני במרזב ותהליך ההשקעה במיכל האחסון) וגם תהליך חיטוי כלשהו. טיפול חיוני זה אינו זול ואינו פשוט לניהול ותחזוקה. משום כך, השימושים המקובלים העיקריים במים שהם תוצאה של קציר גשם הם מילוי מכלי הדחה, כביסה והשקיית גינות.

פוטנציאל החיסכון במים, הנובע מהחלפת מים הנלקחים ממערכת האספקה הראשית של העיר במי גשם הנאספים באמצעות מערכות לקציר גשם, קשה לחישוב. הגורם העיקרי הקובע אותו הינו האקלים באזור: תקופת המשקעים וכמויותיהם. בישראל, איסוף מי גשם יכול

קציר גשם בסינגפור

בקמפוס שבדרום מערב סינגפור, אשר כולל 6 בתי ספר, 2 בנייני מנהלה, אולמות מגורים וקפיטריה, על שטח של 2,000 דונם, נאספו מי גשם מגגות המבנים. סך כל השטח התורם נגר הגיע ל- 38,700 מ"ר. המים שנאספו הועברו תהליך חיטוי וטיפול להעלאת רמת החומציות, ולאחר מכן הועברו למיכל אחסון מרכזי, החולק דופן עם מיכל חלוקה, שמשמש לאחסון מי שתייה. שני המכלים מהווים יחידות נפרדות, כאשר מיכל החלוקה מספק מים למטרות שתייה בלבד ומיכל מי הגשם עונה לכל דרישות המים לצרכים שאינם שתייה. שני המכלים מחוברים ביניהם בברז חד-כיווני, כך שבמקרה שמיכל מי הגשם מתרוקן, מועברים אליו מי שתייה. זרימה הפוכה לא יכולה להתקיים. פעילות שני המכלים במקביל מבטיחה את מילוי כל הדרישות לאספקת מים ברחבי הקמפוס.

מקור: Appan, 2000

קציר גשם באוסטרליה

בשכונה אוסטרלית בשם Figtree Place, נבדקו אפשרויות החיסכון במים במגורים כתוצאה משימוש במי גשם. השכונה, הכוללת 27 יחידות דיור על שטח כולל של 60 דונם, צויידה מלכתחילה במכלים לאחסון מי גשם, תעלות ניקוז והחדרה ואגן מרכזי דרכו מוחדרים מי גשם מנוקים לאקוויפר. המערכת פועלת באופן הבא:

- נגר מגגות הבתים מופנה בעזרת מרזבים ל-4 מכלי אחסון תת-קרקעיים בנפח של 9-15 אלף ליטר;
- משאבות מעבירות את המים ממכלי האחסון למערכת המים החמים ולמכלי ההדחה בבתים. מים עודפים מועברים לתעלות החדרה הממוקמות בחצרות הבתים;
- נגר משבילים, חניות, דשאים וגינות מופנה לאגן השהייה מרכזי, המשמש גם כאזור נופש פתוח. מים מאגן זה משמשים להשקיית גינות פרטיות וציבוריות במתחם.

תוצאות ראשונות של הפרוייקט מראות על חיסכון של 45% מתצרוכת המים בתוך הבית, וחיסכון של כ-60% מהצריכה בשכונה כולה, כולל השקיה.

מקור: Coombos et al., 2000

להיעשות רק בעונה הגשומה. אמנם, השימוש במים אלו אפשרי גם בעונות היבשות, אך לשם כך יש צורך במכלי אחסון גדולים, המייקרים את המערכת.

גורם חשוב נוסף לקביעת פוטנציאל החיסכון במים הוא גודל השטח התורם, כלומר סך-כל השטח ממנו נאספים המים. ככל שזה גדול יותר, כך כמות המים שתיאסף תהיה גדולה יותר. דבר זה מרמז שניתן להגדיל בקלות יחסית את כמות המים הנקצרים באמצעות תכנון מתאים של הבית והחצר והגדלת אזורי איסוף המים. גורמים נוספים שיכולים להביא להקטנת כמות המים הנאספת הינם התאדות, יעילות מערכת האיסוף (רוחב המרזבים למשל) וכמות המים אותה יש לסלק בשטיפה הראשונה בתחילת העונה משום שהיא מזוהמת. כמו כן, יש לקחת בחשבון את גודל מיכל האחסון.

דוגמא לחישוב: בחיפה, בה ממוצע המשקעים הרב-שנתי הוא 550 מ״מ, אם ניתן היה לתפוס ולהשתמש במחצית מכמות הגשם היורדת על גג בשטח 100 מ״ר, המשמעות היא איסוף של כ-28 מ״ק בשנה. כמות זו יכולה לספק כ-45% מצריכת המים השנתית הממוצעת לנפש במגורים (העומדת על 62 מ״ק), או את כל צריכת המים השנתית לנפש לשימוש בשירותים ובהשקיית הגינה.

בנין המכון למחקר המים ע"ש גרנד בטכניון

בשטח גג של 144 מ"ר הותקן "משפך" אשר מי הגשמים ממנו יורדים בצינור עד למיכל אגירה של 5 מ"ק. על פי התכנון יעברו המים ממיכל האגירה, לאחר שיצורפו אליהם גם מים אפורים ומי עיבוי ממזגנים, דרך מתקן טיפול אל מיכל נוסף הנמצא על גג הבניין, וממנו ישמשו לשטיפת אסלות. בעת כתיבת הדברים אין עדיין אישור של משרד הבריאות מערכת זאת, אבל נעשה מאמץ למצוא דרך למימושה

מאז 1989, קיים ארגון בינלאומי, העוסק בעידוד השימוש במי גשמים באזור העירוני (וגם באזורים אחרים), תוך לימוד ומחקר של ההיבטים התברואתיים, ההנדסיים הכלכליים והסביבתיים של הנושא: International Rainwater Catchment Systems Association (IRCSA). באתר של הארגון (ר' URL ברשימת המקורות) ניתן למצוא חומר רב בכל הנושאים הללו.

בארץ קיים פוטנציאל משמעותי של תוספת למים העירוניים, כתוצאה משימוש ישיר במי גשם ובנגר עירוני. ייתכן שיהיה לכך צידוק כלכלי גם בתחום משק הבית הפרטי, אך ברורה יותר הכדאיות לרשויות ציבוריות, המבקשות להקטין את כמות המים שהן נוטלות ממערכת האספקה הארצית. כהן וענבר (2004) טוענים, כי בחינה ראשונית מלמדת על אפשרות לאיסוף מי נגר סופתי בשטחי העיר אריאל בכמויות שבין 80,000 מ"ק ועד 500,000 מ"ק לשנת גשם ממוצעת, תלוי בגודל השטח התורם.

הפוטנציאל בולט, אך החשש מבעיות בריאותיות העלולות להיות תוצאה של ביזור האחריות לאיסוף וטיהור מי גשם ושל הפקדתן בידי אזרחים, החוק הישראלי אינו מתיר לאדם לאסוף, לאגור ולהשתמש במי גשם לצריכה אישית, אלא לאחר קבלת רשיון הקמה למתקן תפיסה של מי גשם וקבלת רישיון הפקה מנציב המים. זהו מכשול שכעת הוא כמעט בלתי עביר לפיתוח קציר גשם בישראל.

למרות המכשול החוקי, פועלות בישראל זעיר פה וזעיר שם מערכות קציר מים במגזר הביתי ובמגזר החקלאי. זעירא (2002) בחן בפירוט חלק מהן, רובן בסקטור הערבי, שבו הן מוקמות מטעמי מסורת ובשל הפסקות מים תכופות, ובמגזר הדרוזי, שבו יש למים שנאספים בבית משמעות דתית. מערכות אלה הוקמו ע"י אזרחים, ללא סיוע מקצועי, ובהתאם לכך הן סובלות מליקויי תכנון, ולעיתים, מליקויי תברואה.

ניצול הפוטנציאל של קציר גשם בישראל תלוי בשינויי חקיקה, בייצור או יבוא של ציוד טכנולוגי מתאים, בתכנון מקצועי ובבקרה מוסדרת של איכות המים.

6.2.2 מים אפורים מטוהרים

צריכת המים הביתית בישראל מגיעה לכ-20% מכלל צריכת המים השפירים השנתית. רוב הכמות הנצרכת בתוך הבית הופכת לשפכים, המתחלקים לשני סוגים: האחד - מים אפורים (דלוחין – grey water), המהווים כשני שלישים מן הצריכה ומגיעים ממקלחות, כיורים במטבח ובחדר הרחצה, מכונות כביסה ומכונות להדחת כלים; והשני - מים שחורים (צואין – black water), המהווים כשליש מן הצריכה ומגיעים משטיפת אסלות. מבחינה טכנולוגית, טיהור שפכים עד איכות מי שתייה אפשרי הן לגבי המים האפורים והן השחורים. החסמים העומדים בפני פעולות אלה הם כלכליים (עלות לעומת תועלת), מנהליים (תקנות המתייחסות לבריאות, שקשה יהיה לשנותן) ופסיכולוגיים.

בארץ התמסד טיהור של שפכים לצורכי השקייה חקלאית; שפכים מטוהרים מהווים כיום כרבע מכלל הצריכה החקלאית ובעוד כעשור הם יהוו כמחצית. לעומת זאת, כמעט שלא קיים שימוש בשפכים מטוהרים לצרכים עירוניים. הגישה המקובלת היא לרכז את כל השפכים העירוניים, שחורים ואפורים גם יחד, מה שמחייב טיהור כבד לשם מיחזור המים. רבינוביץ (2004) טוען, כי הקמת מערכות נפרדות יעילה יותר ויכולה לתרום להקטנת השימוש במים שפירים ולהוזלת המערכות.

המים האפורים מכילים סבון, שמפו, משחת שיניים, אבקת כביסה וכדומה, ויכולים להכיל גם שיער ושאריות צואה (מחיתולים). בחו"ל ניתן לרכוש מגוון מערכות ביתיות למיחזור לצורך שימוש חוזר במים אלה, מערכות שונות זו מזו במורכבותן, רמת ביצועיהן ועלותן. בכל מקרה, מערכת לשימוש חוזר במים אפורים צריכה לכלול: (1) צנרת כפולה לאיסוף וחלוקה של מים; (2) אזור טיפול; ו- (3) מיכל/ים לאחסנת המים עד לשימוש בם. חשיבות הצנרת הכפולה נובעת מהצורך לשמור על הפרדה בין איכויות המים השונות, כך שהמים בעלי האיכות הפחותה לא יזהמו את המים שאיכותם טובה יותר. במערכת איסוף המים ההפרדה תהיה בין המים השחורים, הנאספים מהמטבח ומבית

השימוש, ובין המים האפורים, על-מנת שאלו האחרונים לא יקלטו חומר אורגני נוסף. ההפרדה במערכת חלוקת המים תהיה בין המים האפורים המטופלים, המועברים בדרך-כלל למכלי ההדחה בשירותים, לבין מים שפירים המועברים לשאר השימושים בבית.

אחסון המים האפורים נעשה במכלים שגודלם ומיקומם בבניין משתנה ממקרה למקרה. מחקר אנגלי (Dixon et al, 1999) מלמד שחיסכון קטן אך חשוב, של 20%-30% מצריכת המים בבית השימוש, ניתן להשיג באמצעות מכלים בעלי נפח אחסון קטן של 10-20 ליטר, המתמלאים מכיור הרחצה בלבד. נציין שלמכלים בעלי נפח אחסון קטן קיים יתרון נוסף - מניעת זיהומים ומחלות שיכולים להיגרם כתוצאה מזמן אחסון ארוך.

מערכות השימוש במים אפורים זקוקות לגיבוי של מערכת המים הקונבנציונלית: גיבוי בעבור תוספת מים, במקרה שכמות המים האפורים אינה מספיקה להדחת האסלה, וגיבוי בעבור סילוק מים, באם קצב "ייצור" המים האפורים גבוה ונפחם עולה על נפח האחסון במיכל המיועד לכך.

מדיניות תר"מ תומכת במיחזור מים אפורים במגזר העירוני. גם בהנחה שמים אלה לא ישמשו לשתייה, מומלץ למחזרם, בעבור הדחת אסלות והשקיית גינות, במיוחד במקבצי מגורים גדולים ובמוסדות ציבוריים. העודפים יוחדרו לקרקע לשם העשרת מי התהום. מימוש הפוטנציאל כרוך בהמשך מחקר ופרויקטי חלוץ מבוקרים.

השימוש המקובל העיקרי במים אפורים הוא להדחה בשירותים. השוואה בין כמות המים המשמשים להדחת אסלות לבין כמות המים האפורים הנוצרים במשק הבית בישראל, מלמדת שכמות המים האפורים גדולה פי 1.5 מזו הנצרכת להדחת אסלות (www.tipa.gov.il). המסקנה: בעזרת שימוש חוזר במים אפורים, לצורך הדחת אסלות,

אפשר לחסוך כ-30% מצריכת המים הממוצעת במשק הבית בישראל. ניתן להגדיל פוטנציאל חיסכון זה, אם משתמשים במים אפורים מטופלים גם לשטיפת כביסה ולהשקיית הגינה (פרידלר, 2004). ניתן להגדיל את פוטנציאל המים האפורים למיחזור, אם מוסיפים להם מי מזגנים ומגדלי קירור.

מיחזור מים אפורים באוסטריה

מחקר שבוצע בוינה, בדק שתי מערכות למיחזור מים אפורים שהותקנו בשני מתחמי מגורים, כל אחד עם כ-500 יחידות דיור. בכל מתחם "יוצרו" כ-60 מ"ק מים אפורים ביום, ורק מחצית מכמות זו מוחזרה. בדיקות המים המטופלים הראו שהמים אינם מכילים זיהום מיקרוביולוגי ושאיכותם מספקת לשם הדחת אסלות. איכות מים זו התקבלה לאחר טיפול שכלל סינון דק, חיטוי UV וכלורינציה. המימצאים הוכיחו שניתן ליישם מערכות מיחזור מים אפורים באזורי מגורים, ושהם אינם מהווים סכנה לבריאות הציבור.

המקור: Treberspurg and Hofbauer, 1998

מיחזור מי מקוואות בשכונת הר נוף בירושלים

ועד שכונת הר נוף בירושלים הקים לפני שנים ספורות מערכת להשבת מים אפורים ממקווה טהרה שבשכונה. המערכת כוללת מיכל אגירה של 1,500 ליטר, מסננים, משאבת מים, מחשב השקייה וצנרת השקייה בטפטוף. המערכת מעבירה את המים להשקיית גינה סמוכה. עלות המערכת הגיעה ל-10,000 ₪, אך לאחר שנלמדו הלקחים, תוכננה מערכת נוספת למקווה טהרה בשכונה, שנפח האגירה שלה גדול פי שלושה ועלותה דומה לזו הראשונה. לפי הוראות משרד הבריאות, יש לחטא את המים באמצעות הכלרה לרמה של 1 מג"ל, אך בפועל, מרבית המקוואות מוסיפים ממילא כלור למים.

פוטנציאל החיסכון טמון בהקמת מערכות דומות בכל ששת המקוואות בשכונה ובהפצת השיטה ליתר המקוואות במדינה, כמו גם לבריכות שחייה, מגדלי קירור ומיזוג אוויר ועוד.

המקור: שומרה לסביבה טובה www.shomera.org

במגזר העירוני הציבורי בארץ, ישנם מספר פרוייקטים שמטפלים באופן מקומי במים אפורים (או שחורים), באמצעות מתקנים קומפקטיים, בכדי "לייצר" מים להשקיית גינות. דוגמאות ניתן למצוא במרכז הקניות של סביון, ברמת הנדיב שבזיכרון יעקב ובתחנת הדלק פז בצומת בית-דגן (לב, 2001). כמו כן, פועלים מספר פרוייקטים ביוזמת נציבות המים והטכניון: בבניין החדש של הפקולטה להנדסה אזרחית בטכניון (בניין רבין) מתקיים פרוייקט חלוץ, הממומן על-ידי נציבות המים, של הפניית מי מזגנים ומי כיורים להשקייה, להדחת אסלות ולמחקר; האגף לפיתוח ותחזוקה בטכניון מבצע כיום בדיקת ייתכנות לפרוייקט מיחזור מים במעונות, שיכלול שימוש במים אפורים להדחת אסלות ו/או להשקיה. החוקר הטכניוני (פרידלר, 2004) העריך, שאם הממשלה תעודד מיחזור מים אפורים, אפשר יהיה להגיע תוך כ-20 שנה לחיסכון ריאלי של כ-40 מליון מ"ק לשנה, וזאת בהנחה צנועה וריאלית שרק ב-30% מכלל הבניינים תותקנה מערכות להשבת מים אפורים, לצורך הדחת אסלות בלבד. אם וכאשר תוכפל החדירה ותגיע ל-60%, אפשר יהיה לחסוך מידי שנה 80 מליון מ"ק.

מורכבות הטיפול במים אפורים במשקי בית נובעת מהצורך לשמור על בריאות האזרחים. טיפול לא נאות במים יכול לגרום למחלות. עניין זה הביא לפיתוח תקנות העוסקות בשימוש במים ממוחזרים במספר מדינות. בשל חומרת התקנות והתייחסותן לפעילות משקי בית, בהם קיים קושי יחסי באכיפת תקנות מסוג זה, אין זה נדיר לראות התחמקות או הימנעות מקיומן. הציבור הרחב נבהל מאופיין, הדרקוני לעיתים, של התקנות, ועם זאת מעוניין לקיים פעולות שימוש חוזר במים אפורים. מאחר שכך, פעולות אלו נעשות פעמים רבות תוך התעלמות מהתקנות, כאשר המבצעים אותן אינם מודעים תמיד לנזק הסביבתי והבריאותי שיכול להיגרם בשל כך.

בישראל אין היתר של משרד הבריאות לשימוש במים אפורים בבית ובסביבתו. באופן כללי, משרד הבריאות אינו תומך בשימוש חוזר במים במגזר הביתי, בשל בעיות פיקוח ואכיפה שיכולות להיווצר במגזר זה. עם זאת, ניתן למצוא במשרד פתיחות כלפי אפשרות השימוש בקולחים

(שפכים מטופלים) בחקלאות, תעשיה וגינון ציבורי (משרד הבריאות, דו״ח ועדת הלפרין, 1999). בחודש יולי 2003 הוציא משרד הבריאות הנחיות מיוחדות להשקייה של שטחים ציבוריים בעיר במים אפורים. שימוש זה מחייב להביא את המים לאיכות מתאימה; להציב בשטח המושקה שילוט ברור, המודיע שההשקייה היא במים מושבים שאינם לשתייה; לבצע את ההשקייה רק בשעות הלילה או כאשר השטח מוגן מכניסת אנשים אליו או כשההשקייה היא בטפטוף טמון; לוודא שההשקייה מתבצעת במרחק מספיק ממבני מגורים, על-מנת למנוע התזת קולחים על בני אדם ועוד.

6.2.3 מים שחורים/שפכים מטופלים/קולחים

השימוש במים שחורים/שפכים מטופלים/קולחים בעיר בעייתי יותר מן השימוש במים אפורים מטופלים, שכן הסיכון הבריאותי גבוה יותר. קיימת תכנית ארצית לניצול קולחים, אך היא מבוססת על ריכוז שפכים של אוכלוסייה גדולה, טיפול במתקנים לטיפול בשפכים (מט״שים) מרכזיים ושימוש עבור השקייה בחקלאות. לאחרונה מדובר גם על שימוש בשפכים מטוהרים בעבור תגבור זרימות בנחלים. משרד הבריאות אינו מתיר שימוש בשפכים מטופלים בתוך המרחב העירוני.

כאמור, ניתן לטפל בשפכים עד לאיכות מי שתייה, וכך נעשה בסינגפור (Singapore URL). אלא שרוב המומחים מסכימים, שכל עוד יש מקורות זולים יותר לאספקת מי שתייה, אין הצדקה לטיפול היקר עד לאיכות זו, מה עוד שקיימים מחסומים פסיכולוגיים לשתיית שפכים מטופלים. במקום זאת, מוצעים שימושים עירוניים שיכולים לקלוט שפכים ברמות טיפול פחותות. ישנן אפשרויות להתאים את איכות השפכים לשימוש המתוכנן (השקייה, הזרמה לנחל, קירור), לתנאי הסביבה (קרבה לציבור, במיוחד לילדים, נזק אפשרי לחי ולצומח בנחל) ולטכנולוגית השימוש (טפטוף טמון, ערבוב במי הנחל תוך אוורור). יש דוגמאות רבות בעולם של שימוש בקולחים מטוהרים להשקיית פארקים ושטחים ירוקים בקמפוסים גדולים של תעשייה, מבני ציבור או מוסדות השכלה, להשקיית מגרשי גולף, לשטיפת מדרכות וכיבוי

אש, וגם לצורכי קירור ומיזוג אוויר. מערכת מעניינת תוכננה עבור הקמפוס של אוניברסיטת תל-אביב; כוונתה לרכז את השפכים מאותם שטחים של הקמפוס שאינם מייצרים שפכים בעלי פוטנציאל נזק מיוחד (שפכי ביה"ס לרפואה אינם נכללים בתכנית), לטפל בם טיפול מתקדם ולהשתמש בם להשקייה בקמפוס, במערכת הטמונה בקרקע. בעת כתיבת הדברים אין, למיטב ידיעתנו, אישור לתכנית.

בדרך כלל, מתקנים לטיפול בשפכים הינם מרכזיים, גדולים ומוצבים מחוץ לעיר או בשוליה. אבל יש גם מתקנים קטנים, מקומיים, שיכולים לטפל בכמות שפכים של בנין בודד או קבוצת בניינים. בעבר התקיימו מערכות ביתיות של בור רקב, שבו עוברים השפכים תהליך ביולוגי של פירוק, ובור סופג, שאליו מועברים הקולחים להחדרה לקרקע. מערכות אלה בוטלו עם בניית מערכות איסוף השפכים המודרניות. אך בכמה מדינות ניתן למצוא שימוש במערכות מקומיות קטנות, העשויות ממיכל תת-קרקעי ממתכת או פלסטיק, שבו מתרחש טיפול ביולוגי, אשר יכול להיות מואץ ומשופר באמצעות תוספת כימיקלים; ממנו מועברים הקולחים להשקייה טמונה בפארק או בגינה של קבוצת בניינים, או לאחו לח (wetland) להמשך הטיפול הטבעי, או להזרמה לנחל. במדינת וירג'יניה בארה"ב מיושמת גישה זו באזורים שבהם אין הצדקה או יכולת להקים מערכת שפכים מרכזית (Virginia Cooperative Extension, URL).

גם באוסטריה יש הנחיות מפורטות לשימוש במתקנים קטנים ומקומיים לטיפול בשפכים ושימוש בקולחים (Aquamedia, URL).

6.2.4 התפלה מקומית

במונח "התפלה" הכוונה כאן לטיפולים מתקדמים להרחקת מלחים וגורמי זיהום אחרים ממי ים או מי תהום או מים ממקור אחר. קיימות שתי שיטות עיקריות להתפלה: שיטת האיוד, המצריכה השקעה רבה של אנרגיה, ושיטת האוסמוזה ההפוכה, הפועלת באמצעות "סינון" בממברנות. בישראל נבחרה שיטת האוסמוזה ההפוכה. מערכות

ההתפלה, בעיקר אלה המתפילות מי ים, גדולות בדרך כלל ומיועדות להיות חלק ממערכת האספקה הארצית, אשר פרק זה אינו עוסק בה. כאן נתייחס רק למערכות קטנות, בקנה מידה ביתי או קהילתי, ובמערכות בינוניות, בקנה מידה עירוני, המתפילות מי תהום.

השימוש במערכות קטנות מקובל בעיקר ביישובים שאליהם לא מגיעה אספקת מים מרכזית. לעיתים, ההתפלה במערכות אלה נשענת על אנרגית שמש (Desware, URL). ככל הנראה לא ישתמשו בארץ במערכות כאלה, להוציא מספר חוות או יישובים קטנים ומבודדים.

אולם, מערכות התפלה באמצעות תהליכים ממברניים בקנה מידה בינוני, עירוני, כבר נכנסו לישראל. בשל זיהום גובר של מי התהום במקומות ספציפיים באקוויפר החוף, עיריות אחדות הקימו מתקנים משלהן להתפלת מי תהום, שהן שואבות בתחומן, כולל עיריות ראשון לציון ורמת השרון. מכיוון שתקני האיכות של מי שתייה הולכים ועולים, בשעה שמימיו של אקוויפר החוף הולכים ומזדהמים (לפחות, בחלק מן התאים), ומפני שבשנים הקרובות ייכנסו תאגידים לניהול מים עירוניים, במקום העיריות, סביר להניח שבעתיד הלא רחוק יוקמו לא מעט מתקנים עירוניים להתפלת מי תהום. ההנחה הרווחת היא שכלכלית יהיה כדאי להקימם, ולו בשל החיסכון במחיר ההולכה (למשל: מים לחיפה מגיעים כיום מן הכנרת, לאחר שהעלו אותם מגובה של מינוס 200 מ' והוליכו אותם מרחק ניכר).

הקמת מפעל מקומי להתפלת מי תהום צורכת שטח עירוני קטן, כשטחו של בניין לא גדול, אך כרוכה בו בעייה של רכז התימלחות, הנותר לאחר תהליך ההתפלה. כמות הרכז עלולה להגיע למחצית המים המטופלים, כך שדרוש פתרון לכמות מים גדולה. פתרון מקובל הוא בריכות אידוי, אך אלה דורשות שטחי קרקע נרחבים, אשר לרוב אינם מצויים בסביבה העירונית. חלק מן המהנדסים הציעו להעביר את הרכז לים, אך רשויות וארגונים השומרים על החופים מתנגדים לכך נמרצות. עתיד ההתפלה העירונית נראה תלוי במידה לא מעטה במציאת פתרון הולם, כלכלית וסביבתית, לבעיית רכז התימלחות הנוצר בתהליך ההתפלה המקובל.

6.2.5 לסיכום: תוספות ממקורות בלתי קונבנציונליים

ההיסטוריה של אספקת המים בארץ החלה ממערכות מקומיות, מבוזרות וקטנות והתפתחה לעבר מערכת מרכזית, גדולה ואינטגראלית. במהלך הזה נזנחו במידה מרובה מקורות קטנים, מקומיים, אם כי לא פסקה הקמה של מאגרים לאיסוף נגר וקולחים, שימוש בבארות פרטיות וניצול מקורות בלתי קונבנציונליים נוספים. כיום, המקורות הטבעיים כמעט מוצו, ואף נוצלו מעבר לכושר ההתחדשות שלהם. מדינות מפותחות אחדות, אשר הגיעו למצב דומה, מבחינת ניצול המקורות הטבעיים, נדחפות לעבר פיתוח ושימוש במקורות בלתי קונבנציונליים בשל תחושת הכרח. אולם רבים במדינות המפותחות תומכים בפיתוח מקורות כאלה לא מטעמים של כורח אלא מטעמים סביבתיים, כאשר העדיפות היא לחיסכון, לקציר גשם ולמיחזור של דלוחים וקולחים. בניגוד לכך, מדינת ישראל מעדיפה לפתח התפלה, ובמיוחד התפלה של מי ים.

משותפת לכל המקורות הבלתי קונבנציונליים התועלת של הפחתת כמויות המים הנלקחות ממערכות האספקה המרכזיות. אך משותפים להם גם מספר היבטים בעייתיים:

- שימוש בקציר גשם, מי נגר, מים אפורים וקולחים יכול להוות רק השלמה או תחליף חלקי לאספקה מן המערכות המרכזיות, תוספת שאין סומכים עליהן למילוי האספקה החיונית של מי שתייה. אבדן זמני של מקור בלתי קונבנציונלי כזה אסור שיפגע באמינות האספקה החיונית.
- כאשר רשות מקומית בונה על אספקת מי שתייה מהתפלה של מים ממקור מקומי, הרי שכאשר קורית תקלה ביכולת לספק ממקור זה, עקב זיהום המקור או סיבה אחרת כלשהי, פונה הרשות המקומית לרשות הלאומית לקבלת סיוע, לעיתים זמני ולעיתים לתקופה ארוכה, וזה סותר במידה רבה את היתרון של האספקה המקומית. אירועים מסוג זה כבר קרו בכמה מערי המרכז (רמת השרון, רעננה).

- רשות מקומית הבונה על אספקה ממקור בלתי קונבנציונלי מקומי לוקחת על עצמה את האחריות על איכות המים המסופקים ועל אמינות האספקה, והדבר דורש יכולת מקצועית וארגונית שאינה מצויה אלא ברשויות גדולות וחזקות.

למרות סייגים אלה, מומלץ על בחינה, בכל מקרה לגופו, של אספקה ממקורות בלתי קונבנציונליים לצרכים ספציפיים. על פי הניסיון בעולם, אפילו באזורים עתירי-מים (ר׳ המקרה של אוסטריה, לעיל), יש תועלות רבות בפיתוחם. בראש ובראשונה, הקטנת הכמויות הנלקחות ממערכות האספקה המרכזיות, עצמאות מקומית והורדת עלויות (בחלק מן המקרים), ובנוסף לכך, הקטנת העומס על מערכות הביוב המרכזיות והקטנת העומס הסביבתי. עקרונות פיתוח בר-קיימא ו״הקטנת טביעת הרגל האנושית על פני כדור הארץ״ תובעים חיסכון במים ומיחזור מים.

חלק שלישי: מימוש תר״מ בישראל

החלק השלישי והאחרון מציג תנאים ואמצעים למימוש תכנון רגיש למים בישראל:

- מסגרת משפטית נאותה
- מיסוד באמצעות תמ״אות וועדות תכנון
- הכשרה של בעלי המקצוע הרלבנטיים
- תמריצים כלכליים
- בניית שותפויות ציבוריות-אזרחיות וציבוריות-פוליטיות
- חינוך והסברה לציבור הרחב ולנבחריו
- תוספות ידע ומידע חיוניים

פרק 7
מימוש תר״מ בישראל

7.1 מסגרת משפטית נאותה

מימושו של תכנון עירוני רגיש למים (תר״מ) ברחבי מדינת ישראל מחייב מסגרת משפטית נאותה. לפי גישתנו, **המסגרת המשפטית צריכה לחייב הליכים של תכנון וביצוע בנייה עפ״י עקרונות תר״מ בכל מקום ברשות הרבים, וצריכה לאפשר מימוש העקרונות ברשות היחיד.**

להלן נתייחס לשלושה חוקים של מדינת ישראל, המהווים בפוטנציה מסגרת משפטית לתר״מ: חוק התכנון והבנייה (תשכ״ה, 1965), חוק המים (תשי״ט, 1959) וחוק הניקוז וההגנה מפני שטפונות (תשי״ז, 1957). כולם חוקים ותיקים, שאינם מותאמים לעקרונות תר״מ, שהוא תחום מדעי ומקצועי חדש יחסית, שהתפתח בעולם ב-20 השנים האחרונות, ובישראל – בעשור האחרון.

חוק התכנון והבנייה (תשכ״ה, 1965)

החוק העיקרי המסדיר את תכנון ייעודי הקרקע במדינה, נועד להבטיח שימוש בקרקע רק בהתאם לתכניות מאושרות בדרג הארצי (תמ״אות), בדרג המחוזי (תמ״מות) ובדרג המקומי (תב״עות). החוק מצווה על הכנת תכניות בשלושת הדרגים, אך **הוראותיו אינן מתייחסות לשיקולי מים** ואינן כוללות הוראות לניהול הנגר העירוני. במשך השנים הוכנסו בחוק קרוב ל-50 שינויים, אך אף אחד מהם אינו עוסק בנושאי מים.

יש לחוק הנדון חסרונות לא מעטים, אולם לענייננו, יתרונו הוא בכך – שבניגוד לחוקים האחרים שנסקור כאן – אין הוא מניח מכשולים

חוקיים לפתחם של רעיונות חדשים. **כל אחת מן המסגרות הביורוקרטיות הרבות שהקים חוק התכנון והבנייה, בדרג הארצי, המחוזי והמקומי, רשאית להוציא הנחיות ולהתקין תקנות, הנראות לה כמשרתות את האינטרס הציבורי בתחומה**. הרשאה זו כוללת, כמובן, גם הנחיות בתחומי המים והניקוז. כל דרגי התכנון משתמשים בה: בדרג הארצי, נמצאת בתהליכי עיצוב ואישור תכנית מתאר ארצית, המתאמת בין מערכת התכנון הסטטוטורי לבין שימור משאבי המים וצורכי משק המים (תמ"א 34ב'). חלק מועדות התכנון המחוזיות (תחילה במחוז המרכז ואח"כ במחוז ת"א) וועדות מקומיות אחדות (כולל נתניה, רעננה, פתח-תקוה, הרצליה, קריית אונו, רמלה וירוחם) נקטו יוזמה והוציאו בשלוש-ארבע השנים האחרונות הנחיות, המחייבות שימור נגר בבנייה חדשה. פעולות אלה נסקרו כבר בחלקן בפרקים 1.4.3-1.4.4 (שהציגו את ראשית שילובו של תר"מ בתכנון ארצי, מחוזי ועירוני בישראל). השלמות לדיון זה תובאנה בפרק הבא (7.2).

חוק המים (תשי"ט, 1959)

לחוק המים יש פנים לכאן ולכאן, מבחינת מימוש תר"מ. לחיוב ייאמר, שחוק זה "מהווה את ההסדר המקיף ביותר בנושא משק המים והחוק היחיד המסדיר את נושא המים בכללותו, תוך קביעת מדיניות מרחבית כוללת" (הכנסת 2002). הוא קובע, כי כל מקורות המים בארץ הם קניין הציבור (סעיף 1 לחוק), ומגדיר את מקורות המים ככל זרמי ומקווי המים, "בין עיליים ובין תחתיים, בין טבעיים ובין מוסדרים או מותקנים, בין שהמים נובעים או זורמים או עומדים בהם תמיד או לפרקים, לרבות מי ניקוז", היינו: **נכללת בו התייחסות למי ניקוז כמשאב ולא רק כמטרד**. יתר על כן, חוק המים מחייב כל אדם לנהוג במים שברשותו ביעילות ובחיסכון, והוא אוסר כל פעולה העלולה לזהם את מקורות המים, שני ציוויים העולים בקנה אחד עם עקרונות תר"מ.

אולם, **חוק המים מניח מכשולים לפתחו של תר"מ.** בשנת 1965, הוסף לחוק המים פרק מיוחד, שנועד להסדיר את הנושא של החדרת מים למי

התהום. עידוד החדרת מים לקרקע ולמי התהום הינו – כמובן - מעיקרי תר״מ, אך אליה וקוץ בה: החדרת מים, לפי החוק, מחייבת קבלת רישיון מנציב המים. חובה זו הגיונית עבור הפעלתם של מפעלי מים גדולים, כמו החדרת מים ממאגרים גדולים ומפעלים לטיהור והחדרה של קולחים, אך היא יוצרת מכשול בלתי סביר בפני כל החדרה ברמת המיקרו, כמו בחצר מגורים של תושבים. תר״מ גורס, שהחדרה ברמת המיקרו היא לעיתים קרובות הרצויה ביותר, מבחינת שימור כמות ואיכות של משאבי הנגר העירוני, ומשום כך מומלץ להסיר מן החוק חיוב זה בקבלת רישיון. יחד עם זאת, יש להכפיף את זכות ההחדרה לקבלת אישור מן הרשות המקומית, בהנחה שבה ירוכז המידע בדבר אזורים שבהם רצוי או מותר או אסור להחדיר נגר עירוני לקרקע.

בדומה לכך, חוק המים מתייחס בחיוב לתפיסתם של מי גשם והשימוש בהם (קציר גשם), אך אדם המעוניין להקים מתקן לתפיסת מי גשם חייב לקבל לשם כך רישיון הקמה, בהתאם לחוק המים, והיתר בניה, בהתאם לחוק התכנון והבניה. אם אותו אדם קיבל רישיונות אלה והקים מתקן לאיסוף מים, הוא אינו יכול לעשות בהם שימוש, אלא אם קיבל לכך רישיון מנציב המים. התניות אלה בולמות כל יוזמה בקנה מידה קטן (אישית או אחרת) לניצול הנגר, לשימוש ישיר או להחדרה לקרקע, ומומלץ לשקול בחיוב את ביטולן. הסרת מכשולים אלה חיונית ליצירתה של סביבה המאפשרת בנייה רגישה למים.

בסוף 2006 עמד להיות מוגש לאישור **חוק מים חדש**. מבחינת הנושאים שנידונו לעיל, החדרת נגר לקרקע וקציר גשם, אין בחוק החדש חידושים, בהשוואה לחוק הוותיק.

חוק הניקוז וההגנה מפני שטפונות

חוק משמעותי מאד למימוש תר״מ הוא חוק הניקוז וההגנה מפני שטפונות. זהו חוק מיושן, שהצורך לתקנו מורגש כבר שנים רבות. ומבקר המדינה דרש לזרז ולהשלים את הליכי העדכון, הנמשכים כבר יותר מעשר שנים. לענייננו, **העובדה שהחוק נמצא על שולחן הניתוחים**

ועובר תהליכי שיפוץ נרחבים, הינה הזדמנות חשובה לכלול בו את עקרונות תר״מ.

נציע כאן חמישה מבין התיקונים המהותיים הנדרשים בחוק. הראשון מתייחס לשם החוק - ראוי שייקרא **לא חוק להגנה משטפונות**, ביטוי שטמונה בו הנחה ששטפונות שכיחים חייבים להתרחש, **אלא חוק למניעת הצפות**, כי תר״מ מכוון להשהות ולהחדיר נגר סמוך למקום היווצרותו, ובכך מטפל במקור הבעיה ומקטין במידה ניכרת השכיחות של הצטברות גדולה של נגר, היוצרת הצפות מזיקות. התיקון השני עוסק בהגדרתו של הניקוז בחוק - ההגדרה כוללת פעולות לריכוז, אגירה, הובלה והרחקה של מים מזיקים; אנו ממליצים **לכלול בין הפעולות המוגדרות כניקוז גם החדרה לקרקע**, ובנוסף לכך, **להימנע מלכנות את מי הניקוז מים מזיקים**. תיקון שלישי מתייחס לכך שהחוק אינו מבחין במפורש בין מערכת ניקוז אזורית, שהיא בתחום סמכותן של רשויות הניקוז, לבין מערכת מקומית, אשר בתחום האחריות של רשויות מקומיות; נמליץ **להבחין בחוק בין המערכות האזוריות למקומיות ולהגדיר את סמכויותיהן, מקורות תקציביהן והתאום הדרוש ביניהן**; הגדרות אלה חיוניות מסיבות רבות, כולל הסדרת האחריות התכנונית והתקצובית למתקני תר״מ. התיקון הרביעי – נמליץ **להעניק לרשויות הניקוז סמכויות פיקוח ואכיפה**, במקום לרכזן בידי נציב המים, המרוחק מן האזור ואין לו מנגנון פיקוח; כאשר הן תפקחנה על מימוש עקרונות תר״מ, כולל מניעת גידולו של הנגר כתוצאה מבנייה חדשה, יימנע חלק ניכר מן השיטפונות המתרחשים כיום (ר׳ דו״ח מבקר המדינה, 2004). לבסוף, תיקון חמישי – החוק הנוכחי קובע, שאסור לאדם להטות מים אל עורק, מתקן ניקוז או צינור ניקוז, ללא היתר מנציב המים; חוק זה הופך לעבריין תושב, אשר בהתאמה להנחיות תר״מ בונה בחצרו תעלת החדרה (העלולה להיחשב כ״מפעל החדרה״, המחייב תהליך הפקדה, התנגדויות ואישור של השר הממונה) ומעז להטות אליה את מי הנגר המגיעים מגג ביתו. מכיוון שמומלץ ליצור סביבה המאפשרת שימור מים ברמת המגרש

הביתי, **יש להסיר חסמים חוקיים מדרכם של אזרחים, המבקשים לממש את עקרונות תר״מ**, או להחליפם בתקנות מאפשרות מתאימות.

דיני השלטון המקומי

גם במסגרת דיני השלטון המקומי, במיוחד אלה העוסקים בתכנון ובנייה ובמים וניקוז, רצוי ואפשר להטמיע את עקרונות תר״מ. נדגיש, כי איננו ממליצים להשתמש בחוקי העזר העירוניים ובעונשים הנגזרים מהם (כולל ניתוק הבניין מחיבור למים), בכדי לאלץ את כל התושבים להפוך את חצרות מגוריהם לאגני היקוות ולהתקין בן מתקני החדרה ו/או בכדי לכפות עליהם חיסכון במים. בחצרות שהן ברשות הפרט, בוודאי **במרקם הקיים של מגורים עירוניים, נמליץ לקדם את הנושא בהדרגה ובאופן וולונטרי**, תוך התבססות על חינוך והסברה לתושבים (ר׳ 7.6 להלן) ועל תמריצים כלכליים, כולל סיוע טכני למעוניינים (ר׳ 7.2.1). זאת מפני, שמערכת הניקוז בבנייה ותיקה כבר מותקנת, כך שהתועלות הצפויות משינוי בכיוון המומלץ ע״י תר״מ בשום אופן אינן מצדיקות חדירה בדיעבד לרשות הפרט ודרישה לשינוי ברכושו. לעומת זאת, **בבנייה חדשה, במיוחד בנייה הנמצאת במעלה אגן ההיקוות, יחסית לשטח הבנוי הקיים, חשוב להשתמש בחוקי עזר מקומיים, בכדי להבטיח שנפח הנגר, ספיקות השיא והזיהומים, היוצאים מן האזור החדש, יהיו מינימליים**. בנוסף לכך, בכל בנייה של מגורים חדשים, אפשר ומומלץ לחייב התקנה של אמצעים לחיסכון במים.

אשר למבנים ושטחים פתוחים שברשות הציבור, מומלץ לאכוף עליהם באמצעות חוקי עזר מקומיים הכללה של עקרונות תר״מ בייחס להכוונה, החדרה ושימוש בנגר העירוני, ובייחס לחיסכון במים. חשוב להכין כלים משפטיים מתאימים לבנייה חדשה באופן מיידי, ולטפל במבנים ושצ״פים קיימים באופן הדרגתי, בצמוד לתכניות שיפוץ של המקומות הרלבנטיים.

7.2 מיסוד תר"מ באמצעות תמ"אות וועדות תכנון

מיסוד תר"מ באמצעות תכניות מתאר ארציות, מחוזיות ומקומיות, ובאמצעות ועדות התכנון המחוזיות והמקומיות, הפועלות מתוקף חוק התכנון והבנייה, הינו מרכיב בסיסי וחיוני ממימושו של תכנון רגיש למים בארץ. בפרק הראשון של מסמך זה, בקטעים שדנו בהתפתחות תר"מ בישראל, הוצג מכלול הפעולות שכבר נעשו בשנות האלפיים לשילוב תר"מ ועקרונותיו בתכנון המחוזי והעירוני (ר' 1.4.3) וגם פורטו המלצות תר"מ שנכללו בתמ"א 34ב', תכנית מתאר ארצית משולבת למשק המים (ר' 1.4.4). לפיכך, בפרק הנוכחי לא נעסוק במה שכבר התמסד, אלא באשר עדיין חסר ובאשר אפשר ורצוי – להערכתנו – למסדו. נעלה ארבעה נושאים תר"מיים, אשר מומלץ מאד לקדם את מיסודם: שלושת הראשונים ביניהם דורשים מיסוד באמצעות תכניות מתאר והנחיות של ועדות תכנון, ואילו הרביעי, המהווה מרכיב חשוב במימוש תר"מ, תובע מיסוד בעזרת נציבות המים או רשות המים שתחליף את הנציבות:

- הכללת שיקולי מים החל מן השלבים הראשונים של התכנון, בכל רמותיו;
- תפיסת אגן הניקוז כיחידת תכנון, שתכניות אחרות נגזרות ממנה;
- הצורך במיפוי ארצי ומחוזי של אזורים להחדרת נגר;
- הצורך בתקנים לקביעת תקופות חזרה וספיקות תכן.

הכללת שיקולי מים החל מן השלבים הראשונים של התכנון, בכל רמותיו

המלצתנו היא למסד הכללת שיקולי מים כבר בשלבים הראשונים של התכנון, בכל רמותיו, מן הרמה האזורית ועד לתכנון המפורט ברמת השכונה והמבנן. כיום מקובל להצמיד נספח ניקוז לתכניות בניין עיר (תב"ע), ומשמעות הדבר היא ששיקולי מים מובאים בחשבון רק לאחר שתוכננה הפריסה הבסיסית של ייעודי קרקע, כולל כבישים ושצ"פים. בדומה לכך, תמ"א 34ב' דורשת ש-"מוסד תכנון, הדן בתכנית להרחבה

ניכרת, ידון בה רק לאחר קבלת חוות דעת של רשות ניקוז שהתכנית בתחומה״ (פרק 3, סעיף 8.1), ולכאורה נראה כי בכך תהיה התחשבות בשיקולי ניהול נגר וניקוז בכל תכנית ל״הרחבה ניכרת״ כהגדרתה בתמ״א 35. אלא שעל פי מיטב שיפוטנו, חשוב לדרוש באופן המפורש ביותר הכללה של שיקולי מים מלכתחילה, כבר בשלבים הראשונים של הכנת תכנית אב, עוד לפני שניגשים להכנת תכנית סטטוטורית, וזאת בכל רמות התכנון: ארצית, מחוזית ומקומית, כולל שכונה ומבנן בתוך העיר.

הכללה מראש של שיקולי מים ברמת המקרו, הארצית והאזורית, תשפיע על קביעת מיקומם של יישובים ואזורי פיתוח אחרים (תעשייה, כבישים ומסילות), ועל ההנחיות הכלליות לייעודי הקרקע ולתכסיות בהם, ובכך תימנע בנייה באזורים המועדים להצפות. אמנם, בישראל לא מתרחשים אסונות שבהם נהרגים אלפים רבים בשל הצפות, כמו שקורה במדינות אחרות, בעיקר כאשר מוקמים יישובים בתוך פשטי הצפה. אולם גם בארץ מתרחשות הצפות בכל חורף, הצפות הגורמות נזקים כלכליים כבדים. אפשר היה למנוע רבות מאלה, באמצעות תכנון המיקום של יישובים וייעודי קרקע, תוך התחשבות בשיקולי מים וערוצי זרימתם.

ברמה העירונית, שיקולי מים אמורים להשפיע על קביעת המיקום של שטחים ציבוריים פתוחים ועל נתיבי הכבישים, כי שני אלה מהווים חלק חיוני ממערך ניהול הנגר העירוני. במידת האפשר, מומלץ שמיקומם ותכנונם של שצ״פים ושל כבישים ייערך **בהתאמה למערך ההידרו-גיאוגרפי הטבעי**, היינו: לנחלים, לעורקי המים לקווי פרשת המים ולשיפועים המקומיים. התאמה כזו תסייע להוזלת עלויות ההקמה והאחזקה, למניעת הצפות, לניצול מי הנגר העירוני (בין אם להשקייה ובין אם להחדרה למי התהום), וגם לטיפוח סביבה ירוקה-כחולה, התורמת לאיכות החיים של התושבים. אולם מימושה של התאמה כזו מותנה בכך שהכללת שיקולי מים בתכנון לא תידחה עד לאחר בניית תכנית השלד (שזה השלב המקובל להזמנת ייעוץ של

מהנדס ניקוז), אלא תהווה חלק מן התכנון הקונצפטואלי הראשוני של המקום.

רוב ההנחיות של ועדות תכנון בנושאי בנייה משמרת מים שכבר מוסדו (ר׳ 1.4.3) מתעלמות מן ההמלצות הנ״ל. ועדות התכנון המקומיות, המתייחסות לתר״מ (כמו נתניה, קרית אונו ואחרות), עוסקות בדרך-כלל רק במגרשי בנייה פרטיים ומחייבות להשאיר בם X% של שטח פנוי וחדיר בעבור החדרת נגר לקרקע, מתוך כוונה להעשיר את מי התהום; אין בהן התייחסויות לתכנון העיר בכללה ולקביעת מיקום של שימושי קרקע על-פי שיקולי מים. הוועדה המחוזית של ת״א (הנחיות מ-2004) הרחיבה מעט את היריעה ועוסקת בניהול מיטבי של נגר (ניקוז ו/או השהייה ו/או שימור והחדרה), גם ברשות הרבים; יתר על כן, נכללת בה דרישה מן הרשויות המקומיות להכין תכנית אב לניקוז ברשות המקומית. יחד עם זאת, הדגש בהנחיות אלה הינו עדיין על נספח ניקוז לתכניות עירוניות, נספח שהכנתו מתרחשת **לאחר** שנקבעו ייעודי הקרקע בתכנית, בניגוד להמלצתנו הנ״ל. רק ההנחיות הוותיקות, יחסית, ל״תכנון רגיש למים בתכניות בינוי״, אשר הוציאה וועדת התכנון המחוזית של מחוז מרכז, מתקרבות לרוח המלצותינו כאן. בראשן הוצבה הדרישה להכנת תכנית אב לניקוז בצמוד לכל תכנית מתאריט, תכנית אב שתתייחס לכלל אגן הניקוז המקומי ותיאומו עם אגני ניקוז במעלה ובמורד ממנו. יתרה מכך: הנחיות אלה מכוונות להתחשבות במבנה ההידרו-גיאוגרפי הטבעי, כולל שימור פשטי הצפה והשתדלות להימנע מקיצור ושינוי תוואי הזרימה. כל אלה חיוניים בשלב הראשוני של תכנית האב. נספח הניקוז נעשה רלבנטי רק בשלב המאוחר יותר של הכנת תכנית מפורטת.

אגן הניקוז כיחידת תכנון

אגן ניקוז כולל את כל השטח המתנקז לנקודת מוצא אחת. רוב אגני הניקוז של נחלי ישראל מתחילים על גב ההר ומסתיימים במוצא הנחלים לים. מבחינת המים וזרימתם הטבעית – כנחלים או כנגר על-קרקעי – אין משמעות לגבולות מוניציפליים. למרות זאת, בארץ קיימת

הפרדה אנכרוניסטית בין ״ניקוז״ ל״תיעול״, כאשר הראשון מתייחס לטיפול בנגר מחוץ לשטח העירוני, המופקד בידי משרד החקלאות (כאילו כל מטרת הטיפול במים בשטחים הלא עירוניים היא לנקזם, בכדי לשמר קרקעות חקלאיות), בעוד שהשני מתייחס לנגר וניקוזו בתוך העיר, המופקד בידי הרשות המקומית. ככל הנראה, הפרדה אדמיניסטרטיבית זו מונעת תכנון ופעולה בהתאם להיגיון ההידרו-גיאוגרפי, המחייב הכנתה של תכנית אב כלל-אגנית, שממנה יש לגזור תכניות חלקיות למיניהן (ר׳ לעיל פרק 3.1).

תמ״א 34ב׳, שמהותה הינה דרישה לתיאום ושילוב בין תכנון עירוני ואזורי לבין תכנון מערכות מים, הייתה אמורה לחייב הכנתן של תכניות אב אגניות. פרק 3 של תמ״א זו, העוסק בנחלים, אושר כבר ע״י המועצה הארצית לתכנון ובנייה וע״י הממשלה, מבלי לכלול חיוב כזה. יש בו רק אמירה רכה, שלפיה ״המסמך יוכן בהתאם לתכנית אב לניקוז או תכנית אב אגנית, במידה שהוכנו״ (פרק 3, נספח מנחה א׳, סעיף 1.3).

המלצתנו היא שתוקמנה רשויות אגניות, שתחלפנה את רשויות הניקוז (11 במספרן) ורשויות הנחל (רק 2 בינתיים) ותאחדנה את סמכויותיהן; בשיתוף פעולה רב-מקצועי הן תיצורנה את התכניות האגניות. בהעדרן של רשויות אגניות, **ההמלצה החמה היא שהוועדות המחוזיות, יחד עם רשויות הניקוז הרלבנטיות לאזוריהן, תרמנה את הכפפה ותיצורנה את תכניות האב הדרושות**. לתכניות אלה יהיו שתי פנים: פן אחד - פריסה מקדמית וכללית של יישובים וייעודי קרקע עיקריים, תוך התמקדות באבחנה בין שטחים פתוחים ובנויים ברחבי האגן, כולל איתור שטחים למאגרים של נגר במעלה האגן ולפשטי הצפה במורד; פן שני – הנחיות עקרוניות בייחס לכמויות נגר, לספיקות תכן, וגם לפרמטרים של איכות נגר, הכול בנקודות נבחרות ברחבי האגן. בהעדר תכניות כאלה, רבים מדי המקרים שבהם נגרמות הצפות בשטחים בנויים שבמורד הזרימה, עקב פיתוח ובנייה במעלה. בסופו של דבר, נדרשת הרחבה ניכרת של מערכות הניקוז שבמורד, שיש לבצעה תוך הפרעות למהלך החיים והוצאות כבדות מאד.

חוסר ההתאמה בין גבולות האזורים/מחוזות שעבורם מוכנות תכניות לפי חוק התכנון והבנייה, לבין הגבולות המשמשים את עורכיהן של תכניות ניקוז, פוגע פגיעה אנושה בתיאום החיוני בין תכנון ייעודי קרקע לתכנון הניקוז. העדר התיאום הוא אחד הגורמים העיקריים לכך שלאורך השנים התרחשו אסונות ניקוז, שגרמו – לעיתים - לאובדן חיי אדם, ובדרך-כלל - לפגיעה בתשתיות, רכוש, מתקנים, מבנים ושיבוש החיים התקינים (ביטוי לדברים בכמה מדו״חות מבקר המדינה). התקדמות בכיוון התאמת הגבולות מצאנו ב״תכנית מחוזית לעורקי ניקוז״, אשר הוכנה במסגרת הכנת תכנית מתאר מחוזית למחוז הצפון (תמ״מ 2, שינוי 29) (רשות ניקוז גליל מערבי, 2002) ויועדה לקבל תוקף משפטי. הכנת תכנית זו דרשה שיתוף פעולה בין חמש רשויות ניקוז במרחב הצפון. בהעדר תכניות מותאמות לאגני נחלים, יש לקדם בברכה תכניות מחוזיות כגון זו, אשר מתייחסת למחוז שלם (על-פי הגדרתו במשרד הפנים), אשר קובעת גבולותיהם של ערוצי זרימה ופשטי הצפה ותובעת תיאום בין תכנון סטטוטורי לתכנון מפעלי ניקוז, ואשר כוללת נספחים מנחים לבנייה בפשט הצפה ולבנייה משמרת נגר.

הצורך במיפוי ארצי ומחוזי של אזורים להחדרת נגר

אחת ההמלצות העיקריות של תר״מ היא זו שקוראת להגדיל במידה ניכרת את החדרתו של נגר לקרקע. האומנם רצוי להחדיר בכל מקום? לא, כי יש מקומות שבהם הקרקע מזוהמת והחדרה דרכה תעביר את הזיהום למים שמתחתיה, או שמי התהום גבוהים כך שהחדרה תגרום להצפות, או מסיבה אחרת המחייבת הימנעות מהחדרה. לפיכך, חיוני לפרסם מפות, שתצבענה על המקומות הראויים ושאינם ראויים להחדרת נגר.

ייאמר מייד: מדובר במפות שמהוות הנחייה ראשונית בלבד, בדבר אזורים שבהם רצוי מאד/רצוי/ אסור להחדיר. מפות כלליות כאלה אינן מספקות עבור החלטה להחדיר או לאסור החדרה באתר ספציפי, שבו – למשל – יכול להיות קטע מרופד בחרסית, המונעת חלחול. מכאן:

דרושה בדיקה ספציפית לאתר, אך קיומה מתבקש באותם אזורים שיש בם הנחייה כללית להחדרה.

המלצת תר״מ להחדרת נגר נקלטה במוסדות התכנון, כולל תמ״א 34ב׳ וכולל הנחיות שהוציאו ועדות תכנון מחוזיות ומקומיות, טוב יותר מכל המלצותינו. אולם אליה וקוץ בה: בארץ מקובל לחשוב על החדרת נגר רק בהקשר של החדרת מים לשם העשרת מי התהום, ומשום כך, המלצות ההחדרה של מוסדות התכנון הנ״ל מתייחסות רק (או כמעט רק) למקומות שמתחתם נמצא אקוויפר פריאטי (כמו אקוויפר החוף). בהתאם לגישה זו, תמ״א 34ב׳ (פרק 4, שעדיין לא אושר) מציגה מפות של ״אזורי פגיעות מי תהום״, האמורות להנחות את ההחדרה. הנחייה כזו מחמיצה מטרות מרכזיות של החדרה ושל מתקני השהייה והחדרה של נגר, בעיקר את המטרה של הפחתת הצפות מזיקות בשטח הבנוי, באמצעות הארכת זמן הריכוז והקטנת ספיקות השיא וגם את המטרה של החדרה לצורך הגברת הירוק בסביבות עירוניות. ה**מלצת תר״מ הינה להחדיר מי גשם לקרקע בכל מקום שאין איסור להחדירם, ולא רק במקום שהם עשויים להגיע למי התהום**. על תכניות המתאר וועדות התכנון מוטל להבהיר, כי בכל מקום שאין סיכון למי התהום או לתשתיות, מותר ורצוי להחדיר נגר, בין אם למטרת העשרה של מי התהום, בין אם להקטנת סיכוני הצפות ובין אם ״רק״ לשם השקיית עצים ויצירת סביבה ירוקה יותר.

בהקשר זה ייאמר, כי המפות המוצעות בגרסה הנוכחית של פרק 4 בתמ״א 34ב׳ מורות כי אין רציות להחדרת נגר בכל אזור הנגב. כבר הנבטים ידעו, שמי נגר הם אוצר מים חיוני בדרום הארץ, וגם הנטיעות בלימנים של הנגב העכשווי מבוססות על מקור מים זה. מן הראוי, שמפה, המצורפת לתכנית מתאר ארצית, תחייב כל יישוב בנגב לבחון את כל האפשרויות לשימוש בנגר, אשר הבולטת ביניהן היא אגירה ו/או החדרה לצורך גידול עצים, היוצרים ירק וצל חיוניים. בנגב גדלים עצים שמסתפקים בנגר החורפי לקיומם במשך כל השנה, לאחר הגיעם לגיל שנתיים-שלוש.

המלצתנו היא להכין מפות משוכללות הרבה יותר, שתתחשבנה באמור כאן ובקריטריונים לקביעת רציות (desirability) ההחדרה, כפי שפורטו בפרק 3.3.2.1.

הצורך בתקנים לקביעת תקופות חזרה וספיקות תכן

נציבות המים ולא מוסדות התכנון המרחבי אחראית לעניין הנדון בכותרת שלעיל. אף-על-פי-כן, מצאנו לנכון להזכירו במסמך זה, משום שמדובר בהנחיות הנקבעות בהתאם לייעודי קרקע, ומפני שאי אפשר להכין תכנית בינוי שמתחשבת בשיקולי מים, מבלי להחליט מהן תקופות החזרה וסופות התכן המתאימות לשטח התכנית. ואכן, תמ״א 34ב׳ כללה בדברי ההסבר לפרק 3 (סעיף 3.4) טבלה שמתאימה תקופות חזרה לייעודי קרקע למיניהם, אולם עורכי התמ״א ידעו שזו טבלה זמנית וציינו (לפי הצעתנו) שיש לעדכנה מעת לעת. גם מבקר המדינה (דו״ח 2004) המליץ לקדם ״במשנה מרץ״ הליכים לתקינה מחייבת של מערכות ניקוז.

אנו ממליצים על ביצוע עבודה מקפת ויסודית, שתביא לקביעת תקנים לניקוז, כמקובל במדינות מתוקנות. כנראה שיידרשו שני שלבי עבודה: האחד - סקר שיבחן את הנעשה בעולם ובארץ, כולל הערכות כלכליות של עלויות ותועלות של מניעת נזקי הצפות, וכתיבת מפרט מלא ומפורט לביצוע הכנת התקנים; השני - הכנת התקנים ואישורם.

במקביל, יש להרחיב ולבסס את מערכת הניטור של גשמים וספיקות, ליצור מאגר של נתונים מקוריים ומנותחים לשימושם של המתכננים, להטמיע מודלים חישוביים מותאמים לתנאי הארץ, להוציא הנחיות מחייבות על השימוש בכלי חישוב סטטיסטיים ובמודלים, ובמיוחד לעשות להכשרתם המושכלת של מתכנני ערים ואזורים ומהנדסי מים וניקוז, כך שהפעלת כלי התכנון תהיה מושכלת.

ההשלכות הכלכליות, החברתיות והסביבתיות של תקינה כזו משמעותיות ביותר. הגורמים המעוניינים רבים, וכוללים את התושבים, הרשויות, חברות הביטוח, ואחרים. יש לזכור כי תכנון אפקטיבי של

מערכות הניקוז מיועד להגדיל את רווחת התושבים ויכול להביא לחיסכון כספי משמעותי ביותר.

7.3 הכשרה של בעלי המקצועות הרלבנטיים

תנאי מקדים ראשוני למימושו של תכנון עירוני רגיש למים (תר״מ) הינו הכשרה של בעלי המקצועות האמורים לתכנן ולבצע, בהתאם לעקרונות המוצעים. בעלי המקצועות, העוסקים באופן שוטף בפעילות הנדונה במסמך זה, הם מצד אחד אדריכלים, מתכננים עירוניים ואדריכלי נוף, ומצד שני, מהנדסי מים וניקוז; אל אלה יש להוסיף מהנדסי כבישים, וכמובן, מתכננים סביבתיים. כאנשי טכניון, המוסד שהכשיר את הרוב המכריע של בעלי המקצוע בתחומים הנדונים המתפקדים בישראל, מוכר לנו החינוך המקצועי שקיבלו בעלי המקצועות הנדונים. ידוע לנו, **שההכשרה המקובלת עד כה אינה עולה בקנה אחד עם עקרונות תר״מ**.

לשינוי הנדרש בהכשרת בעלי המקצוע שלושה היבטים: האחד - שינוי בפרדיגמות/אמונות /גישות מקצועיות בסיסיות; השני - תוספת כלים מקצועיים; השלישי – תרגול של שיתוף פעולה רב-מקצועי.

שינויי פרדיגמות - מתכנני עיר ואזור אינם מתחנכים להתחשב בשיקולי מים, ובוודאי לא בשלב הראשון של קביעת מיקום יישובים וייעודי קרקע עיקריים. מעטים מהם יתחילו את התבוננותם באיזור/מקום תוך ניסיון לזהות נחלים, העשויים לשמש כמנוף לפיתוח ירוק ויוקרתי בעיר, כולל מנוף להתחדשות עירונית. לא מקובל עליהם להתחיל את הפריסה של שטחים בנויים ופתוחים מהתבוננות במערך ההידרו-גיאולוגי הטבעי ולהלביש עליו את השיקולים החברתיים והכלכליים (ר׳ המלצות בנדון בפרקים 4.1, 4.2). מתכנני כבישים לא מתחנכים לכך שהכבישים הם חלק חיוני ממערך הניקוז העירוני, ולפיכך מלכתחילה התוואי שלהם והגיאומטריה שלהם צריכים להיות משולבים בתכנון מערך הניקוז והשטחים הפתוחים, המשמשים גם

לניקוז ולהחדרה (ר׳ 4.3 לעיל). מהנדסי הניקוז אינם לומדים לתכנן מערכות כלל-אגניות, המחברות ניקוז שמחוץ לעיר ותיעול שבתוך העיר ומוציא נגר מן העיר, היכולות להישען – בין היתר – על השהייה והחדרה של נגר במעלה הנחל ועל פשטי הצפה מתוכננים היטב במורדו. ומעבר לכל אלה, מעטים הם בעלי המקצוע, במיוחד בקרב מהנדסי הניקוז, אך גם בקרב המתכננים ואדריכלי הנוף, שהפנימו את פרדיגמת תר״מ בדבר הנגר כמשאב, הראוי לניצול מועיל, ולא כמטרד, אשר יש להרחיקו מן השטח הבנוי במהירות הרבה ביותר האפשרית. גם הטיפול הבו-זמני בכמות ובאיכות של הנגר העירוני עדיין אינה מן הדברים המקובלים בתכניות ההוראה ובפרקטיקה המקצועית.

תוספת כלים מקצועיים – במקביל להחדרת השינויים בתפיסות מקצועיות שנמנו לעיל, יש לתת בידי המקצוענים כלים מתאימים למימוש המשימות החדשות שבפניהם. מתכננים ואדריכלים, ובמיוחד אדריכלי נוף, זקוקים לידע בסיסי בהידרולוגייה ובניקוז, כולל הבנת חשיבותם של נתונים מתאימים ומודלים לחישוב. בעייתית במיוחד הכשרתם של מהנדסי ניקוז, המתורגלים לתכנן על-פי טבלאות וסטנדרטים נוקשים, עד כדי כך שבמקרים לא מעטים מצאנו שהתעלמו מן ההבחנה בין ספיקות נגר, המשמשות לחישוב כמויות לניקוז, לבין נפחי נגר, הדרושים לחישוב כמויות להחדרה[4]. חישובי תר״מ ברמות המיקרו (מגרש הבנייה הבודד) וגם ברמת המזו (המבנן והשכונה) אמורים להסתמך על מודלים פשוטים להבנה ולהפעלה, שניתן להקנותם לכל בעלי המקצוע הרלבנטיים (לדוגמא: מודל מאזן המים של קולומביה הבריטית שבקנדה, ר׳ 5.3.2.2). רק לצורך רמות המקרו (העירונית והאזורית) יידרשו כלים מתוחכמים, שיישארו בידיהם של מהנדסי ניקוז.

[4] לתכנון נקזים דרושות ספיקות תכן, הנובעות מסופות קיצוניות, בעוד שלהערכת פעולתם של מתקני אצירה, השהייה, אגירה וחלחול יש להתייחס לכלל הסופות, במיוחד לאור העובדה שרוב נפח הנגר השנתי נובע מסופות קטנות. גם ביישום שיטות מקובלות לחישוב מערכות נקזים מסועפות נמצאו מקרים שבהם לא בוצעו החישובים כיאות. ר׳ גם סעיף 5.3.2.3.

שיתוף פעולה רב מקצועי – מתכננים ומהנדסים חייבים לעבוד יחד מלכתחילה ולראות את שיקולי המים כחלק מהותי מן השיקולים הקובעים את התכנון של ייעודי קרקע ותכסיות קרקע. זאת, בשונה מן הגישה המקובלת כיום, שלפיה המתכננים פועלים לבדם בשלב הראשון והמהנדסים נכנסים למשחק רק בשלב מתקדם ומתכננים לבדם את המערכות לניהול נגר עירוני ולאספקת מים.

כדי שתתרחשנה התמורות הנ״ל, חיוניים **שינויים בתכנית הלימודים**, כולל קורסים משותפים למתכננים ולמהנדסים, ודרושות **סדרות של ימי עיון מקצועיים והשתלמויות** עבור בעלי המקצועות הרלבנטיים, הפעילים כיום. חלק מן ההשתלמויות אפשר לקיים במשותף לכל המקצועות המעורבים בנושא, וחלקים אחרים של החומר צריכים להיערך בנפרד לשלוש קבוצות: למתכננים של ייעודי קרקע, לאדריכלי נוף ולמהנדסים. חשוב שהמשתתפים בהשתלמויות יהיו הן מן הסקטור הציבורי, המתקנים תקנות ציבוריות, בודקים ואוכפים את ביצוען, הן מן הסקטור הפרטי, שאליו שייכים רוב היועצים-המתכננים, והן מן ״הסקטור״ האקדמי, אלה שאמורים להנחיל את הדברים לתלמידים.

7.4 תמריצים כלכליים

החדרה של מדיניות חדשה אפשרית בעזרת כפייה באמצעות החוק, באמצעות הסברה ושכנוע ו/או תמריצים כלכליים. **ההמלצה החמה שלנו היא להקדיש מאמצים לפיתוח דרכים לתמרוץ כלכלי ולשכנוע, שתאפשרנה להמעיט באכיפה חוקית.** יש לתמרץ ולשכנע בראש ובראשונה את האזרחים, אך גם את הרשויות המקומיות.

תמריצים כלכליים רצוי שיהיו בראש ובראשונה מסוג ״הגזר״ – תמריצים חיוביים של השתתפות הרשויות בהוצאות ושל הנחות בתשלומים. דוגמא לתמריץ חיובי הינו סבסוד ישיר, המועבר ליזם הבונה שכונה וכולל בה אמצעים להחדרת מי נגר עירוני לקרקע. מכיוון

שהמדינה היא בעלת המים המוחדרים, יש היגיון בסבסוד כזה. בהתאם לאותו היגיון, יש סיבה טובה לכך שהמדינה תסבסד מתקנים להחדרת נגר ולחיסכון במים ושתעניק הנחות במחירי מים לרשויות מקומיות, אשר מנהיגות תכנון אלטרנטיבי של הניקוז במקומותיהן. הרשויות מצידן, נקראות לתת הנחות במחירי מים, היטלי ביוב ואולי גם תשלומי ארנונה, ליזמים ולאזרחים, המוכיחים ביצוען של פעולות עפ״י עקרונות תר״מ. זאת מכיוון שהן משרתות את איכות הסביבה של כלל תושבי המקום, ומפני שהגישה החדשה אמורה להפחית במידה ניכרת שיטפונות והצפות בתחומי הרשות המקומית, ובכך לחסוך בתשלומי ביטוח ופיצויים, ובעתיד, גם להקטין את העלויות של מערכות ניקוז, בעיקר העלויות הכבדות של הגדלת מערכות ניקוז וותיקות, בשל בנייה חדשה במעלה אגן הניקוז .

אפשר ליצור תמריץ כלכלי למימוש תר״מ, ובמיוחד, להחדרת נגר בעבור שימוש בו מתוך מי התהום, באמצעות שינויים או ויתור על היטל ההפקה. היטל זה מחייב מפיק לשלם למדינה עבור המים המופקים, כביטוי לערכם של המים במקור. אם מי שמחדיר נגר לקרקע מוסיף למשאבים הניתנים לניצול מים שהיו אובדים אלמלא עשה זאת, הרי ראוי שלא ישלם היטל הפקה עליהם. הדבר אמור, כמובן, במפעלי החדרה גדולים יחסית, בהם היזם מתכוון להיות המחדיר והמפיק, ובהם מוצדקת חקירה מוקדמת של התנאים ההידרולוגיים וניטור של התוספת למים הניתנים לניצול.

בנוסף לתמריצים חיוביים, מקובלים גם תמריצים כלכליים מסוג ״המקל״, בצורת היטלים כספיים מיוחדים או מגבלות על הבנייה, הפוגעות בכיסו של הייזם. רשויות מקומיות אחדות בארה״ב (בפלורידה, למשל; England, 2001) מטילות על היזמים הבונים היטל פיתוח, שהינו פונקציה של השטח שהבנייה הופכת לאטום לחדירת מים (מעבר למינימום מסויים). ניתן גם להגביל את אחוזי הבנייה המותרים במגרש או במבנן, אשר לא מיושמים בו עקרונות תר״מ.

דיון זה בתמריצים כלכליים למימוש תר״מ מחייב **התייחסות לסוגיה של ״מי משלם ומי נהנה?״** ה״ייצרן״ במקרה של ניצול מי נגר (להחדרה או ליצירת שטחים ירוקים) הינו לעיתים קרובות מי שמפתח את השטח (יזם, קבלן), והעלות מוטלת עליו, או באמצעותו על האזרח הרוכש את מגוריו. התועלת, מאידך, תגיע לבעל המים. זו יכולה להיות הרשות המקומית, במקרה של שימוש ישיר בנגר, או הרשות הלאומית המנצלת את מי התהום. בכל מקרה, יש לתת את הדעת על חלוקת העלויות והתועלות בין יצרן המים באמצעי תר״מ לבין המשתמש, והסדרתה מהווה תנאי חשוב להצלחת היישום.

מימוש חלוקה זו נתקל במספר קשיים. ראשית, ייצור המים באמצעות החדרה למי התהום מבוזר במתקנים קטנים ומקומיים, ולא נראית יכולת והצדקה לניתוח פרטני מדויק של עלויות ותועלות בכל מקרה. שנית, רק חלק מן המים הנאגרים או מוחדרים יגיע לכלל שימוש, עקב איבודים ופרקי הזמן הארוכים העוברים בין ההחדרה לשימוש. קשיים אלה מחייבים יצירת כללים ריאליים להקצאת תמריצים ליצרנים הנובעים מן התועלת שתצמח מן המים המיוצרים.

ככל שמפעל הניצול גדול ומרוכז יותר, כך גדל הצורך וגדלה הכדאיות לבצע ניתוח פרטני של העלויות והתועלות. כך קורה במספר יזמויות פרטיות (משואות יצחק, 2000 ; וינשטיין, 2003) להקמת מפעל להחדרת מי נגר עירוני מחוץ לשטח העירוני עצמו, על מנת לשאוב אותם ולתגבר את אספקת המים לצרכנים באזור, שבהם נדרשה הוכחה של כמות המים המיוצרת. נראה כי ניתוח זה הצדיק את הפרויקט, אבל באותה עת גם הוצבה דרישה מן היזם לשלם היטל הפקה כאשר הוא יפיק את המים שהוא עצמו ״ייצר״ באמצעות החדרה. דרישה זו מהווה חסם למימוש היוזמה, אשר על פניה נראית כדאית כלל הנוגעים בדבר.

בעיית החלוקה של עלויות ותועלות בין מי שמייצר התועלת ומי שמנצל אותה עשויה להיפתר באמצעות ״מיסלקה לאומית״, שתנהל מדידה ורישום של תוספות המים הנוצרות (כולל באמצעות חיסכון בצריכה) ושל ניצולן, תייחס להן עלויות ותועלות, תזהה מיהם הנהנים מהן,

ותבצע ״העברות וקיזוז״ בין ״יצרנים״ ו״צרכנים״. לדוגמה, יזם שיחדיר מי נגר יזכה לגמול בכסף או באמצעי אחר, למשל זכות לשאוב מים באותו מקום או במקום אחר, בכמות שתיקבע, ללא תשלום היטל הפקה. כמובן, שתנאי לביצוע הינו יכולת לעקוב אחר הפעולות, לחשב את תוצאותיהן (במונחים של כמויות מים ובמונחים כספיים), ולהפעיל מנגנון של העברות וקיזוז.

7.5 בניית שותפויות ציבוריות-אזרחיות וציבוריות-פרטיות

אספקת שירותי תשתית בעיר, כולל תעבורה ותשתיות זורמות של מים, ניקוז וביוב, מצוייה בדרך-כלל בתחום סמכותו ופעולתו של השלטון המקומי. ברבע האחרון של המאה העשרים, מסיבות שלא זה המקום לפרטן, הופיעו סוגים חדשים של יזמות עירונית, הפועלים חלקית גם בתחום התשתיות. החל ביצוע פרויקטים ב**שותפויות ציבוריות-פרטיות** (**PPP** – Public-Private Partnership), שמשמעותה היא הסדר בין רשות מן המגזר הציבורי לבין גוף מן המגזר העסקי, המשתמש במיומנויות ובמשאבים של שני הצדדים, בכדי לספק שירותים ותשתיות, הדרושים לתושבי העיר. באותו זמן, במקביל לעלייתו של המגזר השלישי, הקרוי גם מגזר החברה האזרחית, הופיעו גם **שותפויות ציבוריות-אזרחיות**, שאף הן מגייסות משאבים של ממון, זמן, כוח פוליטי ומיומנות מקצועית בכדי לטפל באופן מועיל בשירותים ובאינטרסים של תושבי העיר (**PCP** - Public-Civic Partnership). שני סוגים חדשים אלה של שותפויות יכולים להיות מועילים מאד למימושו של תכנון עירוני רגיש למים (תר״מ).

יחסית למדינות מפותחות במערב, פעילות החברה האזרחית בארץ אינה בולטת. אולם בתחום אחד, שרלבנטי מאד לענייננו כאן, קיימת פעילות ערה מאד בשנים האחרונות: תחום השמירה על איכות הסביבה. נדגים אמירה זו באמצעות אזכור ארגון הגג ״חיים וסביבה״, אשר תחת דגלו

התקבצו קרוב ל - 100 ארגונים מכל רחבי הארץ, הפועלים לקידום איכות החיים והסביבה ולשינוי חברתי-סביבתי. הסעיף הראשון בהכרזת המחויבות של ״חיים וסביבה״ מתייחס (בין היתר) לזכות האזרחים בישראל למים: זכות למים נקיים ולנגישות למים זורמים. הארגון קיים במשך תקופה ארוכה ועדה מייעצת לענייני משק המים (שאחת ממחברי מסמך זה הייתה חברה בה), אשר שאפה לעצב דרכים למעורבות הארגונים האזרחיים במשק המים. הארגון הנדון ושלוחותיו הרבות יכול לשמש ורצוי שישמש כנשא ראשי של הטמעת עקרונות תר״מ בציבור הישראלי.

מימוש תר״מ תלוי במידה רבה ברצונם של האזרחים, בין אם מדובר בהחדרת מים בחצר או בחיסכון במים בבית ובחצר או בתמיכה בהקצאת תקציבי הרשות המקומית לשיקום נחל. הפנייה לציבור הרחב נועדה ליצור ולהעלות את המודעות לנושא בקרב כלל האוכלוסייה ולשמור על רמת מודעות גבוהה לאורך זמן; המודעות והמחויבות חיוניות לתחזוקת המתקנים (מתקני החדרה, אחסון וחיסכון במים) ולביצוע פעולות שוטפות התורמות למטרות תר״מ, בוודאי ברשות הפרט ולעיתים גם ברשות הכלל. לפיכך, שיתוף פעולה בין הרשויות לבין ארגונים אזרחיים הינו אחד האמצעים העיקריים בדרך למימוש עקרונות תר״מ.

אשר לשותפויות ציבוריות-פרטיות, אלה הולכות ונעשות פופולריות בארץ עם התפשטותו של רעיון ההפרטה של חברות ציבוריות ושירותים ציבוריים. בעשור האחרון הוקמו מספר שותפויות ציבוריות-פרטיות בתחום התחבורה, שביניהן ידועה במיוחד זו המאפשרת סלילתו של כביש חוצה ישראל (כביש 6). גם במשק המים מתרחשת כניסה של גורמים פרטיים, שבינתיים מתמקדים בעיקר בנושאי ההתפלה והטיפול בשפכים. גורמים אלה מקבלים על עצמם ייצור של מים או קולחים במתקנים שהם מקימים, והמוצר נמכר לגורם ממלכתי (מי ים מותפלים מוכנסים למערכת המים הארצית) או מקומי (קולחים לחקלאים).

מגמה זו של שותפויות ציבוריות-פרטיות שימושית גם לקידום תר״מ. מימוש הנחיות תר״מ גורם לעיתים קרובות לייצור מים, למשל באמצעות שימוש ישיר או עקיף (החדרה) של זרימות נגר, ולכן יש מקום לחשוב על הקמת שותפויות בין היצרנים לבין הרשות הציבורית.

מרחב נוסף לשותפויות ציבוריות-פרטיות נוצר לאחרונה, עם העברת החוק לתאגידי מים עירוניים. התאגיד אמור להיות בתחילה בבעלות הרשות המקומית, אך החוק מתיר לרשות להפריט את התאגיד לאחר שנים אחדות. מספר רשויות כבר הקימו תאגידים, ואף היו ניסיונות למסור לגורמים פרטיים את הזיכיון להפעלת התאגיד.

התאגידים העירוניים למים מקיפים לעיתים גם את הביוב, אך לא ידוע על מקרים שבהם הניקוז נכלל אף הוא. יש היגיון בהכללת שלושת הנושאים במסגרת אחת, שכן ניתן אז לנצל קשרי גומלין פיסיים וכלכליים בין המרכיבים. למשל: הפרדת הנגר ומניעת כניסתו למערכות הביוב, ניצול מי נגר כתחליף לחלק מן המים המיובאים, או ניצול הקולחים להשקיה בתחומי הרשות, במקום מים שפירים, או מכירתם לצרכנים אחרים.

תכנית תאגידי המים כוללת גם כ-30 תאגידים אזוריים. בחלק מן המקומות, ראוי לבחון את הקמת התאגידים כהזדמנות לבניית מערכת לניהול כולל של תשתיות זורמות - מים, ביוב וניקוז - על בסיס הידרו-גיאוגרפי ולא על בסיס מוניציפאלי גרידא. אמנם, עיקר אספקת המים בישראל מתנהל כיום ויתנהל גם בעתיד באמצעות רשת ארצית אינטגרטיבית, שבמרכזה המוביל הארצי. אולם תר״מ מעודד פיתוח אפשרויות תחלופה מקומית בין מי שתייה לבין מי קולחים (ביוב) ובין מי שתייה למי נגר (ניקוז), בין אם לצורכי השקייה ובין אם כהקצאה לטבע. כידוע, זרימת הביוב והניקוז גרביטציונית בעיקרה, היינו: קשורה למבנה ההידרו-גיאוגרפי האגני. לפיכך, נמליץ לבחון יצירת תאגיד אחד מצירוף של רשויות, המכסות איזור אגני הגיוני מבחינה ״מימית״, ולהפקיד בידי תאגיד זה את שלוש התשתיות הזורמות - מים, ביוב וניקוז. ההמלצה מכוונת לרשויות המדינה, שלהן תפקיד

חשוב בעידוד התארגנויות החורגות מן הגבולות המוניציפאליים, בכדי להבטיח שרשויות קטנות, כמו הגדולות, תעבורנה לניהול מושכל של התשתיות הזורמות. במשך הזמן, סביר להניח שהשליטה בחלק ניכר מן התאגידים שיוקמו תהא פרטית, או בשותפות פרטית-ציבורית.

7.6 חינוך והסברה לציבור הרחב ולנבחריו

תנאי נוסף למימוש תר״מ הוא הכרה ציבורית נרחבת בחשיבותו, כמרכיב מרכזי בשימור משאבי המים של ישראל. ידוע לנו ממחקרים שלנו ושל אחרים, כי **הציבור הישראלי מודע לחשיבות המים וגם מוכן לפעול לשימורם.** יש לרתום מודעות ונכונות זו לעניין שימור והחדרה של נגר עירוני, כשם שהן מסייעות לחיסכון במים. זהו תנאי יסוד למימוש תר״מ בפועל, משתי סיבות: האחת, דרוש שיתוף פעולה של כל תושב בביתו ובחצרו, על מנת לממש חיסכון במים, שימור והחדרה של נגר ברמת המגרש הבודד; לדוגמא: גם אם הרשות תחייב את הקבלן להימנע מריצוף כל החצר, כדי לקבל רישוי לבניין, הדייר הבודד יכול לשנות זאת לאחר הוצאת האישורים הדרושים, אם לא יכיר בחשיבות העניין. יתר על כן, אם יהיה מודע ויכיר את הנושא ועקרונות הטיפול בו, סביר שיגלה סובלנות כלפי מי גשם, העומדים לזמן מה במגרש הציבורי ובמקומות אחרים. הסיבה השנייה היא שדרוש לחץ מצד הציבור על נבחריו ברשות המקומית וברשויות המרכזיות, כדי לתמרץ יצירתן של הנחיות מקומיות מתאימות לתר״מ; אם הנבחרים ידעו שציבור בוחריהם מעוניין בנושא, סביר שיטפלו בו.

הנחתנו היא, שמימוש תר״מ מחייב פעולה מקיפה בקרב משקי הבית ובשטחים שברשות הפרט, ולא הסתפקות בעשייה ציבורית בשטחים שברשות הכלל – במבני הציבור, בגנים העירוניים, בדרכים ובמגרשי החנייה. משקי הבית העירוניים צורכים כ-70% מצריכת המים העירונית, והם מתחזקים כ-40% משטחה של שכונת מגורים טיפוסית בישראל (בורמיל, שמיר וכרמון, 2003). איננו מציעים לכפות עליהם

התנהגות ההולמת את עקרונות תר״מ, באמצעות שוטרים ועונשים, אלא לשכנע אותם באמצעות חינוך והסברה.

חינוך והסברה מוכרים ככלים יעילים להעלאת המודעות ולהגברת המעורבות והעשייה האישית. יעילותם מוכחת ביחס לנושאים סביבתיים ואחרים (ר׳ למשל השפעת מסעות ההסברה האינטנסיביים לחיסכון במים בראשית שנות התשעים ובראשית שנות ה-2000; בארי, כרמון ושמיר, 2004). נדגיש, שהמטרה בשימוש בכלים אלו היא לשנות דפוסי חשיבה והתנהגות וליצור תנאים יציבים, שבהתאם להם ניתן יהיה לתכנן את מערכת התשתיות הזורמות בעיר. לכן קיימת חשיבות רבה בתכנית חינוך והסברה ארוכת טווח שתופעל לאורך זמן, ולא לתקופה חולפת של חודשים ואפילו שנים בודדות.

על-מנת שפעילות החינוך וההסברה תשיג את התוצאות הרצויות, היא צריכה להיות מקיפה ולכלול קהלי יעד רלבנטיים, מספר תכנים וערוצי שיווק מגוונים.

קהלי היעד המקובלים בתכניות מסוג זה הם ילדים ונוער מצד אחד וכלל הציבור מצד שני. ילדים ונוער מהווים קבוצה שלא גיבשה עדיין הרגלים קשיחים. קבוצה זו נוטה להיות מושפעת בקלות יחסית, ויש בה נכונות גבוהה לנסות דברים חדשים ולשנות את מנהגיה. ילדים ונוער מהווים קהל יעד מרכזי גם משום שהם משמשים פעמים רבות כסוכני הסברה ויכולים להשפיע על בני משפחותיהם וסביבתם הקרובה. הפנייה לציבור הרחב נועדה ליצור ולהעלות את המודעות לנושא בקרב כלל האוכלוסייה ולשמור על רמת מודעות גבוהה לאורך זמן. המודעות והמחויבות, שניתן ליצור באמצעים אלו, חיונית לתחזוקת המתקנים (מתקני החדרה, אחסון וחיסכון במים) ולביצוע פעולות שוטפות התורמות למטרות תר״מ ברשות הפרט.

לקהלי יעד עיקריים אלו, נוסיף את אנשי המקצוע האחראיים על תכנון ייעודי הקרקע והתשתיות הזורמות, ואת קבוצת בעלי המקצוע והעסקים היכולים לתרום להגברת המודעות בקרב הציבור וליישום עקרונות תר״מ. אלו יהיו אנשי חינוך מצד אחד, ובעלי משתלות, גננים,

קבלני בנייה וכדומה מן הצד השני. קבוצות אלו מחזיקות בידע מקצועי רב ומעבירות אותו הלאה לכלל הציבור. הציבור סומך על אנשי המקצוע, שואל לעצתם, ומצפה שיעבירו לו מידע אמין ומדויק. הפנייה לאנשי המקצוע נועדה ליידע אותם בדבר חידושים טכנולוגיים ולרתום אותם למאמץ ההסברה, כך שגם הם ישמשו כסוכני שינוי.

קבוצת יעד חשובה במיוחד מהווים נבחרי הציבור מהשלטון המרכזי ועד לרמה המקומית. קבוצה זו של נבחרים ומקבלי החלטות יכולה לסלול את הדרך לשינוי ההתייחסות למים במרחב העירוני, וליישום עקרונות תר״מ בתחומי אחריותה.

תכני ההסברה, שזוהו בעבודה זו ובעבודות קודמות של הצוות הטכניוני, כוללים התייחסות לסוגי המידע שיועבר לציבור ולמניעים לפעולה. תכנים אלו אינם באים האחד על חשבון השני, אלא צריכים להשלים זה את זה בתכניות החינוך וההסברה. התכנים שזוהו הם:

- **מניעים** - זוהו שלושה מניעים שרצוי להדגיש: צורך לאומי-קיומי, שימור סביבתי ותועלת כספית.

- המניע הלאומי עוסק בצורך לשמור על כמות ואיכות המים כמשאב חיוני לקיום המדינה בהווה ובעתיד. במחקר קודם נמצא כי הציבור רגיש לנושא המים, מודע לחשיבותו ברמה הלאומית ומוכן לפעול בנושא (נבדק עבור חיסכון במים; כרמון, שמיר ובארי, 2004).

- המניע הסביבתי עוסק בחשיבות השמירה על איכותם וכמותם של המים לשימור המאזן ההידרו-אקולוגי בטבע, ולקיום בתי גידול לחים. מניע זה עולה מהספרות המקצועית הבינלאומית ומתגלה כמניע שחשיבותו, בעיני מקבלי ההחלטות והציבור הרחב, נמצאת בעלייה.

- המניע של תועלת כספית - תועלת זו יכולה להיות אישית למשק הבית, ולנבוע מחיסכון בצריכת מים, או תועלת ציבורית-עירונית, הנובעת מהקטנה עתידית של תשתיות המים, הביוב והניקוז.

- **אמצעים לשימור מים** – מטרתם של תכנים המתייחסים לאמצעים לשימור מים היא להביא לידיעת הציבור מידע על אביזרים, מתקנים ופעולות לשימור מים – להשהייתם ולהחדרתם, לאחסון מים ולחיסכון במים בבית ובגינה. רצוי שהפנייה לציבור תכלול הסבר על המתקנים והאביזרים השונים, על דרך התקנתם ואחזקתם, עלותם, והתועלת הצפויה (האישית והלאומית) משימוש בהם. יש לציין כדוגמא פעולות ספציפיות שניתן לקיים במטרה לשמר מים – הפניית מרזבי גגות לשטחים מגוננים, הקטנת השטח האטום במגרש, יצירת שיפועים מחלקים מרוצפים בחצר כלפי חלקים חדירים בה, תיקון דליפות וכדומה (ר׳ סקירות מפורטות של אמצעים להחדרת נגר בחצרות אצל שרון, בורמיל, כרמון ושמיר, 2001, ואמצעים לחיסכון במים אצל בארי, כרמון ושמיר, 2005). חשוב שהמידע שיועבר לציבור ולנבחריו יעסוק – בין היתר – בהרגעת חששות, הקיימים בקרב הציבור ונבחריו, ביחס לאי נעימויות וסכנות הקשורות לכאורה במימוש תר״מ, מחשש מריחות לא טובים ויתושים ועד סכנה להצפות, פגיעה במבנים ותשתיות וסכנת תאונות של ילדים.
- **מידע ספציפי בהתאם לאזור הגיאוגרפי** – מידע זה יתפרסם בדרך-כלל על בסיס מקומי, ויכלול נתונים על כושר החלחול של הקרקע, צמחייה מומלצת, דיווח על מזג האוויר, כמויות משקעים ועוד. כמו כן, ניתן לספק רשימה של יועצים ובתי עסק מקומיים שהשתתפו בהדרכות בנושא. מידע זה יכול להתפרסם בעיתונות המקומית, במוקד מידע (יישובי או ארצי), אתרי אינטרנט ייעודיים וכדומה.

ערוצי השיווק העיקריים והמוכרים ביותר הם **תכניות לימוד לילדים ונוער** במסגרות החינוך הפורמאלי והבלתי פורמאלי, **ומסעות הסברה** רחבי היקף באמצעי התקשורת המרכזיים (טלוויזיה, רדיו ועיתונות). השימוש בערוצים אלו חשוב ביותר להעברת מסרים ומידע לקהלי היעד השונים. אנו מוצאים חשיבות בשילוב בין מגוון ערוצים להעברת מידע, אשר ימצאו את דרכם לקהלי יעד שונים. ערוצי שיווק נוספים הם:

- **עלונים למשקי בית** – עלון בן אחד-שלושה עמודים, המועבר לאוכלוסייה דרך תיבות הדואר באופן חד-פעמי או על בסיס תקופתי. העלון יכול לכלול הסבר קצרצר על תר״מ ומטרותיו, ולפרט פעולות ספציפיות שיש לבצען, בהתאם להשתנות העונה, ו/או לספק מידע על פעולות הרשות המקומית בנושא. ישנן מספר דוגמאות בארץ לעלונים מסוג זה שהופצו על-ידי רשויות מקומיות בנושא חיסכון במים. דוגמאות לעלונים הנוגעים לבנייה משמרת מים קיימים בחו״ל.
- **נקודות הדרכה** (ניידות בדרך-כלל) בקניונים, מתנ״סים, משתלות וכדומה – דוכני הסברה הכוללים חלוקת עלוני הסבר, מדבקות וכדומה, ומאפשרים לציבור לראות ולהכיר את האביזרים והמתקנים השונים. הפעלת דוכנים אלו אינה דורשת הכרה מעמיקה עם הנושא ויכולה להתבצע על-ידי עובדים לא מקצועיים או מתנדבים.
- **עבודת שטח** – כולל: מעבר מבית לבית, הדרכת קבוצות קטנות במתנ״סים, חוגי בית וכדומה. פעילויות אלו יכללו הסבר קצר על הנושא וחשיבותו, הכרת האביזרים והמתקנים (התקנה ואחזקה), מתן עצות ושינוי התנהגויות. הדרכות אלה יכולות לכלול גם הדגמה של פעולת המתקנים. פעילות זו מאפשרת לאוכלוסייה הכרה מעמיקה יחסית עם הנושא ומדרבנת אותה לפעול לטובתו. הפעילות יכולה להתבצע על-ידי מתנדבים, אך היא מחייבת שהמדריך יכיר את הנושא או יעבור הכשרה קצרה.
- **מדריכים כתובים לבעלי מקצוע ועסקים רלבנטיים** – עלונים וחוברות הדרכה שיוכנו על-ידי גופים מקצועיים (חוקרים, איגודים מקצועיים), בעידודו של השלטון המרכזי, עבור מהנדסי ניקוז וקרקע, אדריכלים, אדריכלי נוף, מתכננים, קבלני בנייה, שרברבים, בעלי משתלות ועוד. מדריכים אלו יספקו מידע על טכנולוגיות חדשות ומחקרים בנושא, ויפרטו את מקומם של בעלי המקצוע בתהליכי הפנמת עקרונות תר״מ בקרב הציבור ונבחריו. כמו כן,

יכללו החוברות דוגמאות לפעולות שאנשי המקצוע יכולים לנקוט בבואם במגע עם האוכלוסייה.

- **ימי עיון** לנבחרי ציבור ולבעלי מקצוע רלבנטיים מהמגזר הפרטי והציבורי – ימי עיון אלו, כמו חוברות ההדרכה, מיועדים להכיר למקבלי ההחלטות ואנשי המקצוע את הנושא ומטרותיו, ולהפנים את עקרונותיו בעבודתם.
- **שילוב של ארגונים מקצועיים וגופים אזרחיים במסע ההסברה הארצי** – ארגוני מהנדסים, אדריכלים, אדריכלי נוף וכד׳, הארגון לגננות ונוף בישראל, החברה להגנת הטבע, המועצה לארץ ישראל יפה, האגודה לתרבות הדיור, תנועות נוער, ארגונים אזרחיים מקומיים ועוד.

7.7 תוספות ידע ומידע חיוניים

תכנון רגיש למים – תר״מ – הינו תחום ידע חדש למדי בעולם וחדש לגמרי בישראל. הוא הולך ונבנה, בהתבססו על ידע שנצבר בכל אחת מן הדיסציפלינות המרכיבות אותו בפני עצמה (כולל תכנון עירוני, אדריכלות נוף, ניהול משאבי מים והנדסת ניקוז), ומעבר לכך, על מחקרים חדשים שהחלו לחבר בין התחומים, שחלק מהם קיבצנו והצגנו בקצרה בפרק 2 ובתקליטור הנלווה אליו. נזכיר כאן במיוחד את סדרת העבודות החלוציות של המרכז האוסטרלי (Fletcher et al., 2004), את הסדרה של הנחיות Low Impact Development ממחוז וושינגטון בארה״ב (Prince George Country, 1999 ; USEPA ,2000b), ואת הספר המחבר בין פיתוח מקרקעין לניהול מים בעריכתו של רוברט פראנס מאוניברסיטת הרווארד (France, 2002).

במסמך זה כמו בעבודותינו הקודמות (ר׳ רשימה של כלל הפרסומים בסדרת תר״מ בעמוד האחרון של מסמך זה) השתדלנו להציג בפני הקוראים את הידע הקיים. אולם בהתחשב בהתקדמות שחלה

לאחרונה בכניסתו של הנושא לפרקטיקת התכנון והבנייה, ובהתקדמות הצפוייה לנוכח התקדמות העבודה בפיתוחה של תמ״א 34ב׳, המחייבת עריכת תכניות לניצול מיטבי של נגר בכל רחבי הארץ, חיוני להדגיש חסרונו של ידע מספק.

יש לזכור שאחד מתנאי היסוד למימושו של תר״מ הוא איסוף שיטתי של מידע ועידוד המחקר בתחומיו המגוונים. נכון להיום, חסר מידע (נתונים) וידע בתחומי יסוד, כולל:

- נתונים שיטתיים על סופות גשם, בצמידות לכל האזורים הבנויים בארץ – חיוני במיוחד לאור ההנחיות החדשות בתמ״א 34ב׳ ועבור מילוי ההנחיות שבהם כבר החלו להנהיג תכנון לשימור וניצול נגר עירוני, וכנראה, שבקרוב התקנות תחייבנה תכנון כזה, לפחות בכל בנייה חדשה בם;
- נתונים ומדידות של תכונות הקרקע באזורים כנ״ל;
- מדידות של נגר בתנאים מגוונים של תכסיות קרקע ותכונות קרקע;
- מדידות וניתוח של התאדות ודיית (אבפוטרנספירצייה) באזורים בנויים;
- ההשפעה של החדרת מי נגר באזור הבנוי על זרימות נחלים, שאולי היו נזונים מזרימות אלה אילולא הוחדרו;
- קבילותם של עקרונות תר״מ מבחינת האזרחים, שעומדים להיות מחוייבים לממשם;
- המשמעויות הכלכליות והכספיות של תר״מ, מנקודות הראות של כלל החברה, של הרשויות המקומיות ושל האזרחים.

כל הגופים הממלכתיים, האמורים להיות מעוניינים בקידומו של תר״מ, כולל נציבות המים, משרדי הפנים, איכות הסביבה, השיכון והתשתיות, כמו גם גופים כמו החברה להגנת הטבע או הקרן הקיימת לישראל, נקראים לעודד יצירתם של בסיסי נתונים ועריכת מחקרים בנושאי תר״מ. לשם צבירתו של הידע החיוני, מוצעים להלן שני מנגנונים.

7.7.1 הקמת מוקד של נתונים וידע בנושאי ניהול נגר עירוני וניקוז

תפקידו הראשון של המוקד המוצע יהיה לאסוף ולהעמיד לרשותם של חוקרים ואנשי מקצוע נתונים מאורגנים של גשמים ברחבי הארץ, בעיקר באזורים הבנויים והעומדים להיות בנויים, כמו גם במעלה האגנים המזרימים נגר אל האזורים הבנויים. נתוני הגשם הדרושים ביותר הם של משך, עוצמה והסתברות של סופות גשם (עקומות IDF – עוצמה, משך, תקופת חזרה), שאפשר לייחס אותם לאתרי הבנייה למיניהם. אמנם, השירות המטאורולוגי וגופים אחרים עוסקים במדידות גשם, כולל מדידות גשם באמצעות מכ״מ (אשר יש לכיילן בעזרת מדידות קרקעיות), ואף קיים ריכוז של נתונים בתחנה לחקר הסחף של משרד החקלאות במרכז רופין. אך הנתונים הללו אינם מספיקים: במקומות רבים מודדים רק אחת ליום, בשעה 08:00, בחלק מן המקומות לא מודדים בשבת, וחסר מאד מידע לפי סופות גשם. יתר על כן, הנתונים אינם מאורגנים בצורה שמאפשרת שימוש נוח ע״י מהנדסי ניקוז. פריסתם של מדי גשם רושמים עדיין דלילה.

במוקד המידע המוצע ייאספו נתונים לגבי שני נושאים נוספים, שלגביהם דרוש מידע אמין למי שמבקשים לממש תכנון רגיש למים. האחד – איכות מי הנגר המגיעים משימושי קרקע למיניהם; דרושים הן סקרי ספרות בנדון (ר׳ נספח של ארמון, אצל כרמון ושמיר, 1997) והן מדידות אמפיריות והערכתן, מעין אלה שביצעו פרופ׳ נתיב ז״ל ושותפיה באשדוד (אסף וחובריו, 2002) ושאנחנו ביצענו בראשון לציון (בורמיל, שמיר וכרמון, 2003). הנושא השני – נתונים וידע על תכונות הקרקעות הרלבנטיות, ובמיוחד, מידת חדירותן למים של קרקעות טבעיות באזורי הארץ השונים ושל קרקעות גן מקובלות בארץ (ר׳ לעניין חדירות קרקעות נספח של אסולין, אצל כרמון ושמיר, 1997).

במוקד המומלץ צריך אולי להיווצר ובוודאי להיאגר הידע הרלבנטי, ביחס למודלים לחישוב ספיקות נגר ונפחי נגר (תוך הדגשת שימושיהם השונים), ובנוגע לתכנון מתקנים להשהיית נגר, החדרתו והזרמתו. השיטות המקובלות בארץ לחישובי מערכות ניקוז מתחלקות לשתי

קבוצות עיקריות: השיטה הרציונלית, ובעקבותיה שיטת תחל״ס (התחנה לחקר הסחף), המחשבות ספיקות שיא ונחשבות כמספקות אומדנים סבירים לתכנון כושר ההולכה של מערכות ניקוז קטנות, ואולי בינוניות; ותוכנות סימולציה – כמו SWMM – הדורשות כמות גדולה של נתונים מפורטים, הן על הגשמים והן על האתר הבנוי או מתוכנן לבנייה, וגם רמה גבוהה של ידע מקצועי להפעלה אמינה של המודל. בעקבות מחקרים אחדים שערכנו בעשור האחרון (במיוחד: בורמיל, כרמון ושמיר, 2003), הגענו למסקנה שעבור ניהול נגר עירוני בגישת תר״מ, ובמיוחד עבור השהייה והחדרה של נגר, מומלץ מודל ביניים מבחינת מורכבותו, המתאים במיוחד לחישוב נפחים של נגר: זהו מודל SCS, שבו חישוב מקדם הנגר מסתמך על טבלת מקדמי CN, אשר פותחו בעזרת מדידות אמפיריות (להבדיל מהנחות תיאורטיות וחישובים) בארה״ב (ר׳ דברינו בנדון בפרק 5.3.2.2). במוקד הידע והמידע המוצע יבחנו את שימושיותם של המודלים השונים, יעריכו את יתרונותיהם וחסרונותיהם בהקשרים שונים ועבור פרויקטים בקני מידה שונים. עובדי המוקד הזה יכולים לתרום תרומה חשובה באמצעות ״גיור״ מודלים, למשל: יצירת טבלה ישראלית של מקדמי CN עבור מודל SCS, שכעת מסתמך על מדידות במציאות האמריקנית, או התאמת מודל מאזן המים של British Columbia (ר׳ סעיף 5.3.2.2) לתנאים המקומיים.

ללא פיתוח מוקד ידע כזה, שבתוכו תיערכנה השתלמויות למנהלי נגר עירוני, לא מומלץ להחיל באופן נרחב תקנות המחייבות ניהול תר״מי של נגר, כולל החדרת נגר להעשרת מי התהום.

7.7.2 הקמת פרויקטי חלוץ וניטורם

קיימת סתירה בין הרצון לממש עקרונות תר״מ באופן המוני ומיידי, במיוחד באזורים הבנויים בצפיפות במרכז מישור החוף הישראלי, כפי שהדבר מתבטא בתקנות של ועדות מחוזיות ובתמ״א 34/ב׳ שעומדת בפני אישור, לבין מיעוט הידע המדעי והפרקטי על השפעות תר״מ. חסר

מאד ידע הן על התועלות והן על הנזקים הפוטנציאליים, ידע שמקורו לא בתיאוריה השאולה ממקומות אחרים אלא במציאות שלנו.

אחת הדרכים היותר סבירות ליצור ידע בנושאים הנדונים היא לעודד הקמתם של פרויקטי חלוץ, פרויקטים ניסיוניים, שהקמתם ותפעולם ינוטרו, היינו: ילוו במעקב מתוכנן מראש ע״י חוקרים מנוסים. נביא כאן לדוגמא פרויקט רלבנטי, שנוטר היטב ביפן (Ishizaki et al., undated) (דווח בפירוט אצל מירון-פיסטינר, כרמון ושמיר, 1996). מטרתו של הפרויקט הייתה לתרום למניעתן של הצפות מזיקות בטוקיו הצפופה, באמצעות מיתון ספיקות השיא והקטנת נפחי הנגר היוצא מן השטח הבנוי. בתוך העיר נבחרו שני אזורי מגורים סמוכים, האחד בגודל 5 דונם והשני - 7 דונם; באחד הותקנו מתקני תר״מ לעיכוב והחדרה של הנגר, ובשני נותר השטח עם מערכת ניקוז קונבנציונלית. הנגר שיצא משני האזורים הבנויים נמדד באופן רצוף במשך שנים רבות, ולכל סופה חושבו הספיקות ונפח הנגר ליחידת שטח (בכדי להביא את הערכים משני השטחים למכנה משותף). הדיווח שבידינו מכיל רישום של 40 הסופות הגדולות ביותר, שנמדדו בעשור 1980 עד 1990. הוא מורה על כך שנפח הנגר מן השטח הממותקן היה לכל היותר 30% מהנפח מן השני, וברוב הסופות היה פחות מ-10-20% ממנו, כלומר 80-90% מן הנפח נעצרו בתוך השטח בעל מתקני התר״מ במהלך הסופה. הקרקע בטוקיו אינה נחשבת חדירה, ולכן לפחות חלק מן הנפח ה״חסר״ יופיע במורד מאוחר יותר, בספיקות נמוכות; אולם אמצעי ההשהייה וההחדרה השיגו את המטרה העיקרית של תר״מ בטוקיו, שהיא הקטנת ספיקות השיא ונפחי הנגר הישיר מן הסופה, הגורמים בכל שנה להצפות מרובות נזקים.

ניתן לתכנן פרויקטי חלוץ מעין אלה גם בארץ, בין אם ע״י עריכת מדידות בשני שטחים (קבוצת ניסוי וקבוצת ביקורת, שאמורות להיות מתואמות בכל המשתנים הרלבנטיים) ובין אם ע״י מדידה בשטח אחד, שיהיו בו מתקנים שאפשר לסתום אותם (במכסה) או לעקוף אותם, לפי בחירה.

בפרויקטי חלוץ דרושות מדידות לא רק של כמויות מים אלא גם של איכויות. איכויות מים שיצאו משימושי קרקע שונים (מחצר מגורים או מחניה של סופרמרקט) שעברו על פני חומרים שונים (סוגים שונים של ציפוי גגות, של מרזבים עשויים מחומרים שונים) וכיו״ב. דרוש מאד גם מעקב אחרי עמידותם של מתקנים (האם ריצוף חדיר ממשיך להחדיר אחרי 3 או 7 שנים? האם בור החדרה נסתם כעבור שנים אחדות?), פעולות האחזקה והוצאות האחזקה לאורך זמן.

בנוסף לאלה, יש לחשוב מראש על נזקים אפשריים ולעקוב אחריהם: האם החצר הוצפה לעיתים מזומנות? האם המים הפריעו לדיירים? פלשו לביתם? האם נפגעו יסודות המבנה? האם פעולות ההחדרה המבוזרות פגעו בזרימה לנחלים? ועוד שאלות רלבנטיות, שיש לנסות להשיב עליהן בעזרת מספר לא קטן של פרויקטי חלוץ מנוטרים היטב.

כל אלה היו דוגמאות לנחוץ עבור צבירת ידע בנושאי ניהול נגר בגישת תר״מ. את שיטת הפרויקטים הניסיוניים יש לממש גם עבור צבירת ידע בשיקום נחלים וערוצי מים, ובוודאי גם בתחום עידוד החיסכון במים וצריכת מקורות מים בלתי קונבנציונליים, כמו קציר גשם ומים אפורים. הצעות בנושאים אלה מופיעות אצל בארי, כרמון ושמיר, 2005.

נספח
אמצעי תר״מ לניהול נגר (אמצעים הנדסיים)

חלק גדול מהאמצעים לניהול נגר במרחב העירוני הם מתקנים פיזיים הניתנים ליישום ברמות התכנון השונות באזורים הבנויים – מגרש בודד, מיבנן, שכונה ועיר – בהתאם לגודלם, רמת מורכבותם, בטיחות השימוש בהם ודרישות אחזקתם.

המתקנים השונים משמשים להשהיית הנגר, אצירתו, החדרתו וטיפול באיכותו. חלקם פועלים באופן ספציפי להשגת מטרה אחת מאלו, ואחרים עונים על מספר מטרות בו זמנית.

את המתקנים ניתן למיין למספר טיפוסים עיקריים:

- מאגרים ובריכות (כולל אגנים ירוקים)
- תעלות ורצועות קרקע
- אמצעים נקודתיים
- ריצוף חדיר למים

מאגרים ובריכות

מאגרים ובריכות (ponds, basins) הם אמצעים יעילים למיתון זרימות נגר עילי ולאגירת נגר לצורך שימוש ישיר ו/או להחדרה לקרקע. ישנם סוגים שונים של בריכות - כאלו האוגרות באופן זמני או מתמשך את המים, בריכות המשלבות צמחייה וכאלו שלא, בריכות בעלות קרקעית אטומה או חדירה וכיוצ״ב. תכונות אלה, וכן נפח הבריכה וצורת תפעולה בין הסופות (השארת המים בתוכה או ריקונה לאחר הסופה) קובעים את תרומתה הן למיתון ספיקות והן לשיפור איכות מי הנגר.

את הבריכות ניתן לקבץ לשלוש קבוצות:

1. **מאגרי החדרה** (infiltration basins) – משמשים לתפיסה, השהייה והחדרה של נגר עילי לקרקע. מטרתם העיקרית היא להעביר מים מזרימה על-קרקעית לזרימה תת-קרקעית ולהפחית תוך כדי כך את כמות המזהמים במים. אגני השהייה ממוקמים בדרך-כלל מחוץ למסלול הזרימה הישיר של מי הנגר (off-line), ומתוכננים כך שהמים יתנקזו מהם ויחדרו לקרקע תוך מקסימום של 72 שעות. מאחר שמטרתם העיקרית איננה טיפול באיכות המים, ועל-מנת לשפר, במידת האפשר, את הטיפול באיכות הנגר, ניתן לשלב בהם צמחייה לייצוב הקרקע והפחתת מזהמים.
2. **מאגרי השהייה** (detention basins) – משמשים לעיכוב ולאחסון זמני של נגר, אותו משחררים באיטיות להמשך הזרימה ואל מערכת הניקוז. מטרתם העיקרית של אגנים מסוג זה היא הפחתת ספיקות בזמן סופה. אגנים מעכבים אינם מאחסנים מים באופן קבוע בין אירועי גשם, ומרביתם מתנקזים תוך שעות אחדות ועד 24 שעות מזמן הסופה.
3. **מאגרי אחסון** (retention ponds) – בריכות המשמשות לתפיסה ולאחסון כמות גדולה של נגר. מטרתן היא לטפל הן בכמות והן באיכות של מי הנגר. לרוב, בריכות האחסון ימוקמו במסלול הזרימה של מי הנגר (on-line) ויהוו הרחבה והעמקה של אפיק הזרימה. כלומר, מדובר בבריכה המאחסנת מים באופן קבוע.

מאגרים ובריכות מים זקוקים לשטח נרחב ולכן ימוקמו בשטחים פתוחים גדולים בתחומי העיר או בשוליה. הבריכות תשתלבנה בנוף העירוני, במערכת הניקוז העירונית ובפעילויות נופש ופנאי.

נפח האגירה המומלץ לבריכות מסוג זה צריך להיות מותאם לכמויות הגשם הצפויות באזור ולשטח המנוקז את הבריכה. המלצת ה-ASCE (2001) היא לקבוע את נפח הבריכה על-פי גשם של 32 מ״מ על פני השטחים הבלתי חדירים באגן הניקוז, או על-פי גשם של 25-13 מ״מ על פני שטח כל אגן הניקוז. לפי הניסיון בפלורידה מומלץ להקצות

לבריכות כ-10% מן השטח המיועד למגורים, וכ-15% עד 20% משטח המיועד לאזורים מסחריים.

מומלץ לפתח סביב הבריכה שטח לגישה ולטיפול ברוחב של כ-6 מטר, ולטפח בו ובבריכה עצמה צמחים שיכולים לקלוט נוטריינטים ולשפר את הנוף מבחינה חזותית. שיקול נוסף שיש לקחת בחשבון הוא מרחק סביר, של לפחות 60 ס״מ מעל למפלס מי התהום, על-מנת ליצור תנאים מתאימים לחלחול המים.

על-מנת שהרחקת המזהמים בבריכה תהיה יעילה, נדרשת אחזקה שוטפת של המערכת. אחזקה זו כוללת: שמירה על עומק קבוע של הבריכה על ידי ניקוי הקרקעית, טיפול בצמחייה ואיסוף שמנים ואשפה המצטברים על-פני המים.

את השיקוע הטבעי, המתרחש עקב השהיית המים בבריכה, ניתן לזרז ולהגביר על-ידי הוספת סולפטים של אלום. האלום מתקשר עם מוצקים מרחפים, המכילים מתכות כבדות וזרחות, ושוקע איתם לקרקעית המאגר. שיטה זו יכולה להפחית בכ-90% את כמויות הזרחן והמוצקים המרחפים במים, ב-40-60% את החנקן הכללי, ב-50-90% את המתכות הכבדות, ולהרחיק לגמרי את הקוליפורמים הצואתיים. השימוש בשיטה זו מחייב שימוש במשאבות ובחשמל וניטור קבוע של המים. פעולה זו מוצדקת כאשר הזיהום במורד קריטי ומוכנים להשקיע עבודה וחומרים במניעתו, וכדאית מבחינה כלכלית לאגנים גדולים במיוחד (125 דונם ומעלה לפי הנסיון בפלורידה).

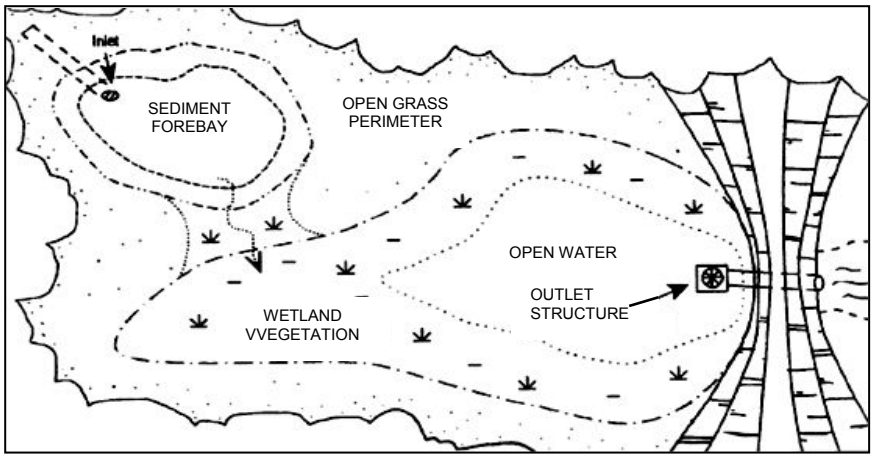
אגנים ירוקים

אגן ירוק (constructed wetland) הוא שקע מלאכותי דמוי בריכה או תעלה, שחלק גדול מקרקעיתו או משטח פני המים בו מכוסה צמחייה (ר׳ דוגמא באיור 2).

המים נכנסים לאגן, שוהים בו וזורמים דרכו באיטיות, והצמחייה שבו מסייעת לתהליכי ערבוב, שיקוע וקיבוע של חלק מהמזהמים בצמחים עצמם.

גודלו של האגן הבנוי צריך להתאים לזרימות החזויות. כמו כן, רצוי שקרקעית האגן תהיה קרובה מספיק למי התהום על-מנת להבטיח את קיום הצמחייה בתקופות שכמות הנגר קטנה ואינה מספיקה למילוי האגן.

איור 2: אגן ירוק בנוי



מקור: USEPA, 1999

תעלות ורצועות קרקע

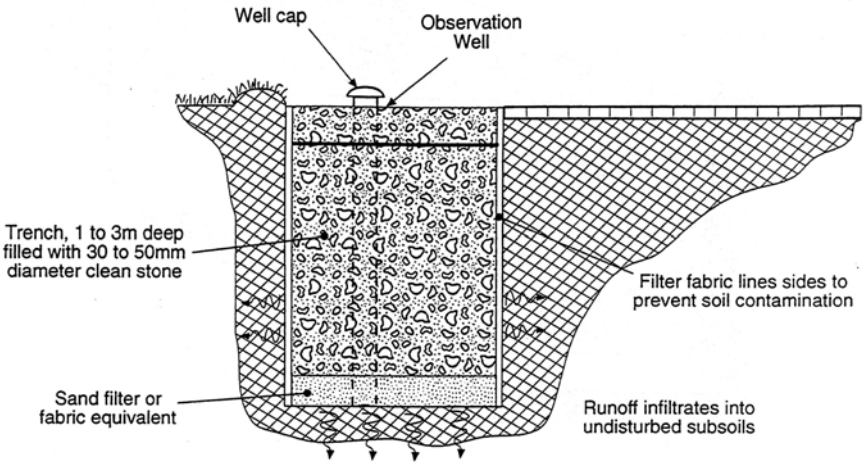
תעלת החדרה

תעלת החדרה חפורה אל תוך הקרקע, מלאה באבנים או בחצץ, ומקבלת את מי הנגר ישירות ממרזבים או מפני השטח, רצוי דרך משטח דשא או עשב (ר' איור מס' 3).

התעלה מתוכננת בדרך-כלל להחדרת חלק גדול מהנגר המוזרם אליה למי התהום, דרך דפנותיה וקרקעיתה (Kronaveter et al., 2001), אם

כי יש תעלות החדרה שמטרתן העיקרית איננה החדרה אלא הגנה על איכות המים. תעלות אלו נבנות לטיפול במים שמקורם באירוע הנגר הראשון בעונה (first flush) או במזהמים המצטברים על-פני השטח בין אירוע גשם אחד לשני.

איור 3: תעלת החדרה



מקור: Bettess, 1996 בתוך: כרמון ושמיר, 1997.

תעלת החדרה המגנה על איכות המים, דומה לתעלת החדרה רגילה - היא מכוסה ביריעה חדירה או ברשת ומעליהם דשא, ורצפתה וקירותיה מצופים ביריעות מחוררות או בשכבת חול מיוצבת. לטיפול נוסף בנגר רצוי לשתול מסביב לתעלה רצועת דשא שתשמש כרצועת סינון.

מתקן זה קטן יחסית ולכן ניתן להתקינו בקלות יחסית גם באזורים בנויים. נפחה של התעלה צריך להיות מותאם לאירוע אחד, שכן ההנחה היא כי במרווח הזמן מן האירוע הקודם התרוקנה התעלה, גם אם מקדם החלחול של הקרקע נמוך יחסית.

בהקמת תעלת החדרה יש להקפיד על מרחק של לפחות 3 מטרים מיסודות בניינים כאשר התעלה במורד השיפוע מן המבנה, ושל לפחות

30 מטר כאשר התעלה במעלה השיפוע. כמו כן, יש להרחיק את התעלה ממקור מי שתייה. על-מנת להבטיח את יעילותה של התעלה, יש לנקותה מידי פעם ולדאוג שקרקעיתה תהיה אופקית ותאפשר חלחול דרך כל השטח.

תעלת עשב

תעלות עשב (vegetated wales) הינן תעלות רחבות ושטוחות, מכוסות צמחייה עשבונית צפופה, המשמשות לניקוז שטחים קטנים ולהולכת מי נגר, בדרך-כלל מכבישים. התעלות מתוכננות להאט את זרימת הנגר, להרחיק חלק מהמזהמים ולהחדיר את הנגר לקרקע.

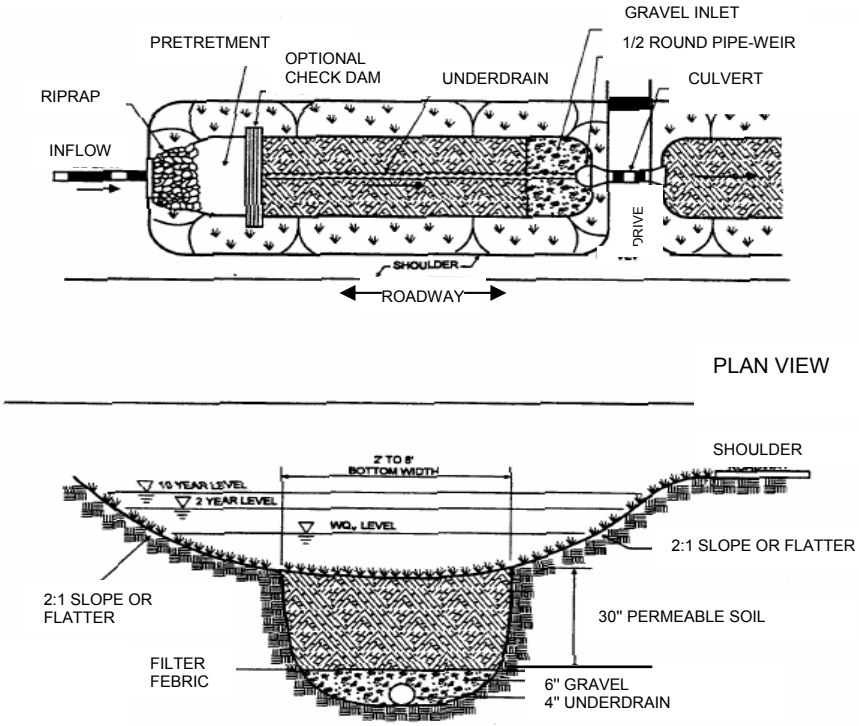
סילוק המזהמים ממי הנגר מוגבל וקשור לאורך התעלה ולמרחק זרימת המים בה: ככל שהתעלה ארוכה יותר, כך יעילות סילוק המזהמים תהיה גבוהה יותר. על-מנת להגביר את יעילות החדרת המים וסילוק המזהמים, רצוי ששיפוע מדרונות התעלה יהיה מתון ולא יעלה על 5% ושרוחב תחתית התעלה יהיה 0.6-1.8 מטר.

ישנם שני סוגים של תעלות עשב: תעלות יבשות ותעלות רטובות. **תעלות יבשות** (איור מס׳ 4) מתאימות לאיסוף נגר ממשטחים קטנים באזורי מגורים ואין בהן סכנה לבטיחות הציבור. **תעלות רטובות** מכילות מים באופן קבוע והן משמשות בעיקר לניקוז נגר בשולי דרכים ובאזורי הפרדה בין נתיבים. השימוש בתעלה יבשה או רטובה יעשה לפי הצורך במקום ולפי חדירות הקרקע. במקרה שקצב חדירת המים לקרקע נע בין 0.7-1.3 ס״מ לשעה, רצוי להשתמש בתעלה יבשה (Prince George's County, 1999).

תעלות עשב יכולות לשמש כתחליף לתעלות ניקוז עשויות בטון והן עדיפות מבחינה חזותית. עם זאת, הן דורשות שטח גדול יותר. כמו כן, יש לזכור שמדובר בתעלות מים פתוחות ולכן יש לקחת בחשבון את נושא בטיחות הציבור, מרחק מבנייני מגורים וכדומה. הטיפול

והאחזקה של תעלות הצמחייה כולל שמירה על כיסוי עשב צפוף וניקוי השטח במקומות שבהם מצטברת פסולת.

איור 4: תעלת צמחייה יבשה



מקור: Prince George's County, 1999

רצועת סינון

רצועות סינון (grass filter strips) הן משטחי צומח שטוחים, אופקיים או בשיפוע נמוך (של 1-15%) אליהם מוזרמים עודפי נגר בזרימה משטחית. מטרתן העיקרית היא האטת מהירות זרימת הנגר, סינונו והחדרתו לקרקע. פעמים רבות משמשות רצועות אלו כמערכת סינון

ראשונית בה עובר הנגר לפני כניסתו למערכות סינון והשהייה אחרות. כמו כן, ניתן להשתמש ברצועות אלו לייצוב גדות נחלים ותעלות ניקוז.

רצועות הסינון יכולות להשתלב בקלות בשטחים ציבוריים ולהוות חלק ממכלול תכנוני הכולל אגנים ירוקים ו/או תעלות החדרה. את רצועות הסינון ניתן להקים לאורך דרכים, לצד משטחים מרוצפים ומגרשי חנייה ובאזור יציאת המים ממרזבים. אפשרות נוספת היא לשלבן בנקודות יציאה של עודפי מים ממערכות אחרות (מאגרי השהייה וויסות, תעלות החדרה וכדומה).

סינון הנגר ברצועות נעשה בעזרת הצמחים הגדלים בהן. אלה יכולים להיות מסוגים שונים ולכלול דשא, שיחים ואף עצים. בדרך-כלל הצמחייה ברצועות אלה תהיה צמחיית כיסוי נמוכה. שהות המים ברצועות קצרה יחסית - עד כ-10 דקות - וגודלן צריך להתאים לזרימה משטחית בעובי של עד כס״מ אחד.

רצועת הסינון היא אמצעי פשוט שעלותו ודרישות הקמתו ואחזקתו נמוכות מאוד. תועלות נוספות הנובעות משימוש בו הן יצירת שטחים ירוקים פתוחים בעיר ויצירת מקום גידול לבעלי-חיים שונים.

אבן שפה חדירה בצורת U

אבן שפה עשויה בטון, המהווה מעין תעלה פתוחה מחוררת. האבן שקועה בחלקה באדמה וסביבה שכבת חצץ.

מתקן זה יכול להוות תחליף לאבני השפה הקונבנציונליות המשולבות בדרכים בתוך העיר. בשל יכולת הסינון המוגבלת של המתקן, רצוי להתקינו באזורי מגורים, אך לא בצידי דרכים או מגרשי חנייה הומים, בהם מי הנגר נוטים להיות מזוהמים יחסית.

צינור חדיר תת-קרקעי

צינור מחורר להובלת מים, המותקן מתחת לפני הקרקע. מטרתו העיקרית היא הובלת מים בשילוב עם החדרתם לקרקע במהלך הזרימה.

אמצעי זה יכול להשתלב כחלק ממערכת הניקוז הקונבנציונלית באזורי המגורים בעיר. הוא יכול להוות תחליף לצינורות ההובלה הרגילים. רצוי לא לשלבו במערכת הניקוז המנקזת מים מכבישים סואנים וממגרשי חניה גדולים.

מתקנים נקודתיים

מסנן חול

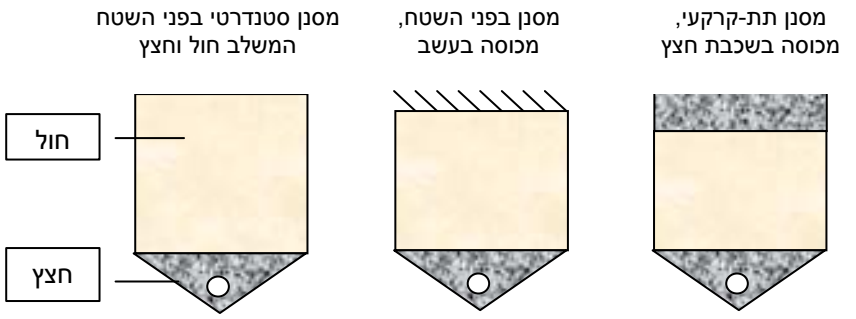
מסנן חול הוא אמצעי שמטרתו העיקרית היא הרחקת מזהמים וטיוב איכות מי הנגר. ישנם מספר סוגים של מסנני חול, הנבנים על פני הקרקע או מתחתם.

מסנני חול פשוטים ניתן לבנות כבור בקרקע, מלא בשכבות של חול ואגרגטים, כאשר בשכבות העליונות חומר דק ובתחתונות חומר גס יותר. הנגר מוזרם למתקן זה בעזרת שיפועים או תעלה פשוטה (ר' איור 5). מסנני חול מורכבים יותר כוללים 3-2 שלבי פעולה: אחסון ושיקוע חלקיקים גסים, סינון חול וחיבור העודפים למערכת הניקוז או לבאר החדרה.

חלק ממסנני החול מיועדים לטפל רק בכמויות הראשונות של הנגר לאחר הפסקה ארוכה של גשמים (כמו בתחילת העונה), בכדי לסלק או לפחות להפחית את כמות המזהמים המצטברים על-פני השטח בין אירוע גשם אחד לשני.

מאחר שניתן למקם מתקנים אלה מתחת לשימושי קרקע אחרים כמו מגרשי חנייה ודרכים או במרתפי בניינים, ובשל יעילותם בהרחקת מזהמים, השימוש במסנני חול נעשה בדרך-כלל לטיפול בנגר מאזורים קטנים כמו מגרשי חנייה, מאזורים בהם קיים סיכון שהנגר יכיל מזהמים רבים כמו אזורי תעשייה, ומאזורים עירוניים צפופים בהם לא ניתן להשתמש בשיטות BMP אחרות בשל מגבלות מקום.

איור 5: דוגמאות למסנני חול פשוטים



מקור: Claytor and Schueler, 1996, in: USEPA, 1999

את מסנני החול ניתן להתקין מעל או מתחת לקרקע. כאשר מחליטים להתקין מסנן, חשוב לזכור שמתקנים על-קרקעיים עלולים להוות מפגע חזותי, מפגע ריח ואף להוות מכשול ללא טיפול מתאים. מתקנים תת-קרקעיים עלולים להישכח ולזכות לאחזקה לקויה.

עיקר פעולות האחזקה של המסנן קשורות להיווצרות סתימות. המסנן דורש טיפול תקופתי לסילוק השכבה העליונה הנוצרת על-ידי החומר הנלכד, כאשר תכיפות הניקוי נקבעת לפי קצב הצטברות החומר וירידת ביצועי המסנן. כחלק מפעולות האחזקה חשוב לוודא גם מצב מאוזן של חומר הסינון, על-מנת שלא לגרום למאמץ סינון לא אחיד ובלייה לא אחידה של המסנן.

באר יבשה

בור מלא בחצץ, חול ואבנים, לעיתים מכוסה בשכבת עשב. מתקן זה משולב במערכת הניקוז במטרה לאגור ולהחדיר את מי הנגר, ובכך להקטין את עוצמת זרימת המים לאחר אירוע גשם.

באר יבשה ניתן לשלב ברמת המגרש הבודד והמיבנן, בגינות ציבוריות ובפארקים. מתקן זה אינו מטפל היטב באיכות המים ולכן רצוי לשלבו

באזורי מגורים בהם זיהום הנגר פחות. בשילוב המתקן בחצרות בתים, ניתן לחבר את המרזבים ישירות לבאר.

רצוי שפני השטח של הבאר היבשה יכוסו במשטח דשא, שיוסיף לרמת הטיפול באיכות הנגר ויסתיר את המתקן עצמו. שימוש במספר בארות יבשות רדודות יעיל יותר בחידור מים משימוש בבאר אחת עמוקה. בכל מקרה, יש לדאוג שתהיה גישה נוחה לניקוי הבאר ממשקעים, ולמקם מעל אבני המילוי מסנן שיעצור סחף אשר עלול לסתום את החללים דרכם עוברים המים.

קולטן חדיר

קולטן הינו פתח דרכו נכנסים מי הנגר מן המשטחים העיליים השונים בעיר למערכת הניקוז. הפתח הנפוץ הוא תעלה קטנה, המכוסה במכסה יצוק ברזל בעל פתחים מאורכים. הקולטן ממוקם בדרך-כלל מתחת למדרכה ובצמוד לאבן השפה.

קולטן חדיר הוא קולטן שבצידו ובתחתיתו הוא מחורר. הקולטן מותקן מעל שכבת חצץ, היוצרת שטח אחסון למים ומאפשרת לכמות גדולה יחסית של נגר לחדור לקרקע.

הקולטן החדיר יכול להחליף את הקולטן הקונבנציונלי המשמש במערכת הניקוז העירונית. רצוי שלא לשלבו בצידי כבישים סואנים, בהם הנגר העילי מזוהם מאד.

משטחים חדירים למים

ריצוף חדיר חלקית הוא מונח כללי המתייחס לריצוף המאפשר למים לחלחל דרכו. חידור המים יכול להיעשות על-ידי שימוש בחומרי ריצוף חדירים או על-ידי יצירת דוגמת ריצוף חדירה. כלי זה אפקטיבי

להקטנת אחוז השטח האטום באגן הניקוז ולהפחתת כמות הנגר הנוצרת במקום.

סוגי הריצוף החדיר המקובלים לשימוש הם:

(1) **חומר חיפוי גרגירי כמו חצץ, טוף או חלוקי נחל** - חומר גרגירי המפוזר באופן אחיד על-פני הקרקע, ומאפשר למים לחלחל דרך החללים הנוצרים בין הגרגירים. אופי חללים אלו תלוי בגודל וצורת החלקיקים.

השימוש בחומרים אלו זול יחסית וניתן ליישמם ולתחזקם בקלות. מנגד, הם לא יוצרים משטח קשיח ולכן אינם מתאימים להליכה.

(2) **יחידות ריצוף חלולות מחומר קשיח ועמיד** - יחידות עשויות פלסטיק או בטון, המשולבות במשטחי דשא או חצץ דק (איור 6א׳). השימוש ביחידות אלו יוצר משטח קשיח יחסית, המאפשר לרצף שטחים גדולים יחסית. חוזקן ויציבותן של היחידות מאפשרים לדשא לצמוח ביניהן מבלי שיירמס.

(3) **יחידות ריצוף אטומות המונחות על הקרקע במרחק זו מזו** – אבנים משתלבות טרומיות (איור 6ב׳), אבן מסותתת, אבן שכבות וכיוצ״ב. האבנים מונחות על הקרקע עם מרווחים חדירים ביניהן, בשילוב עם דשא או חצץ דק. מידת החדירות נקבעת במידה רבה בהתאם לגודל המרווח ולסוג המילוי בין האבנים.

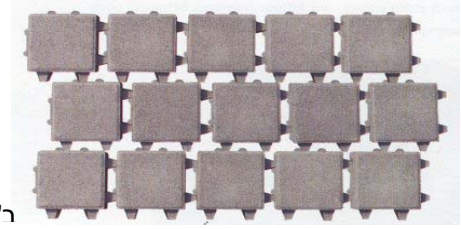
השימוש באבנים משתלבות נפוץ מאד באזורי מגורים ומשמש לריצוף דרכים פנימיות, מדרכות, חניות ורחבות מסוגים שונים. חסרונן העיקרי שהן נוטות להיסתם לאחר מספר שנים כתוצאה מהידוק והצטברות לכלוך.

על-מנת להגביר את יעילותו, רצוי להתקין את הריצוף החדיר (על סוגיו השונים) מעל תשתית המורכבת מקרקע טבעית ועלייה שכבת חצץ (איור מס׳ 6). במקרה שיחידות הריצוף מונחות על-גבי משטח בטון, רצוי לדאוג שמשטח הבטון יהיה בשיפוע כלפי אזור ניקוז המים. גם

במקרה זה רצוי להשתמש בשכבת חצץ, על-מנת שזו תקלוט את הנגר ותאחסן אותו עד שייספג בקרקע או יועבר הלאה במערכת הניקוז.

איור 6: ריצוף חדיר חלקית
יחידות ריצוף חלולות (א')
ויחידות ריצוף אטומות היוצרות מרווחים ביניהן (ב')

א'



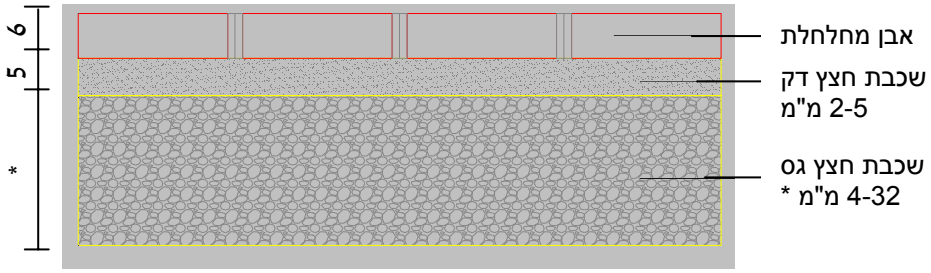
ב'

מקור תמונה 6 ב': אקרשטיין תעשיות

ריצוף חדיר יכול להחליף ריצוף רגיל או משטח סלול בשטחי חנייה, שבילי גישה, מדרכות ומשטחי דריכה נוספים בכל רמות התכנון בעיר.

בכל מקרה, יש לבחון את התועלות הצפויות לאורך זמן, היינו: היכולת להתמודד עם סיכויי סתימת החללים והקטנת החדירות במשך הזמן. בנוסף לכך, חובה לשקול את התועלות שבריצוף חדיר לעומת אי הנוחות הצפויה להולכי רגל, סיכויי לתאונות של הולכי רגל והגבלה חמורה של תנועת נכים ומתקשים בהליכה על ריצוף שפניו אינם מיושרים.

איור 7: חתך אופייני להנחת ריצוף חדיר



* עובי השכבה בהתאם לכמות הגשם הצפויה

מקור: אקרשטיין תעשיות

מקורות

הרשימה כוללת מקורות בעברית ובאנגלית: ספרים, דוחות, מאמרים, אתרי אינטרנט ופרסומים אחרים. כל המקורות הרשומים כאן ורבים אחרים נכללים בביבליוגרפיה המוערת, המצורפת על דיסק למסמך זה. מתוך הדיסק אפשר "לקפוץ" לתוך אתרי האינטרנט הרלוונטיים.

אבישי, מ. (2000) "חיפוי קרקע אורגאני ואנאורגאני כאמצעי לשיפור מאזן המים בקרקע והעלאת ערך הקרקע", גן ונוף, גיליון א' כרך נ"ה, עמ' 14-16.

אורון, צ. בסיוע מרטין וייל ודני שטרנברג (עורכים) (2004) עקרונות תכנון פארק איילון. מסקנות סדנת התכנון הבינלאומית (charrette) של פארק האיילון. תל אביב.

אדריכלות נוף – ביטאון האיגוד הישראלי של אדריכלי נוף, גליון מספר 2, יוני 2001; גליון מספר 16, דצמבר 2004 – "תכנון במים".

אנוש, בשיתוף עם נעם גרינבאום (2001) חיזוי אזורי של אובדני נגר עילי כתוצאה מפיתוח במישור החוף והגדרת דרכים תכנוניות לצמצומם – דו"ח סופי לעיון, לנציבות המים.

אנוש / אביב (2004) מדריך לתכנון ובניה משמרת נגר עילי. ראש העין: אנוש - מערכות איכות סביבה ותכנון אורבני, וחברת אביב. דו"ח משותף למשרד הבינוי והשיכון, המשרד לאיכות הסביבה ומשרד החקלאות ופיתוח הכפר. מחברים: פרלמן, א., וידן, א., גרינבאום, י. וחובריהם.

אסף, ל., נתיב, ר., חסן, מ., ושיין, ד. (2002) כמויות ואיכויות נגר עירוני בעיר אשדוד, דו"ח מחקר. ירושלים: האוניברסיטה העברית.

אתר טיפה: http://www.tipa.gov.il

בארי, ש., כרמון, נ. ושמיר, א. (2005) חיסכון במים במגזר העירוני: בדיקת ייתכנות והמלצות לפעולה. המרכז לחקר העיר והאזור, הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים, הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל.

בדולח, ש. ומצגר, ש. (2004) תכנית לשימור הנגר העילי: מודיעין – אתר N – מהדורה שלישית, ח.ג.מ. מהנדסים יועצים ומתכננים.

בורמיל, ש., שמיר, א. וכרמון, נ. (2003) נגר עירוני בשכונות מגורים, דו"ח משולב למשרד הבינוי והשיכון ולמשרד לאיכות הסביבה, המרכז לחקר העיר והאזור, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל.

בלשה-ילון (2003) תכנית אב לניקוז, עיריית חיפה – סעיף 7.

ברנדייס, ע. (2003) שיקום נחל אלכסנדר: תמונת מצב וסיכום הפעילות בשנת 2002. המנהלה לשיקום נחל אלכסנדר ואחרים.

ברנדייס, ע. (2004) פרויקט שיקום נחל אלכסנדר. תכנון, כרך 1 (1), עמ' 43-50.

ברלב, י. (2003) שיקולים של מבקשי דיור חדש בעיר מודיעין. מחקר לתואר שני בתכנון ערים ואזורים, בהנחיית רחל קלוש ונעמי כרמון. חיפה: הטכניון, הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים.

גבירצמן, ח. (2002) משאבי המים בישראל: פרקים בהידרולוגיה ומדעי הסביבה. ירושלים: יד יצחק בן-צבי.

גינזבורג, א. (1989) מעקב אחר אבזרים חוסכי מים בדירות במרכז קליטה "מבשרת ציון": דו"ח מעקב שנתי, פרסום 93689, המרכז הישראלי לאבזרי מים.

גרתי ר., ארבל ש., ומ. גטקר, מ. (1993) הבינוי העירוני מגביר את ספיקות השיא ואת אחוזי הנגר אמת או אגדה? דו"ח מיוחד מס. 43- M, התחנה לחקר הסחף, האגף לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות.

גרתי ר., גטקר מ. ולזנוב מ. (1995) ניתוח סטטיסטי של נפחי נגר שנתיים שלב 1 – תחנות השרות ההידרולוגי, התחנה לחקר הסחף, האגף לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות.

גרתי, ר., מורין, י., גטקר, מ. וארבל, ש. (1996) ניהול מיטבי של מי הגשם והנגר באזורים בנויים: המשימה הלאומית, פרסום מקדים – PL-25 (טיוטה), התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות.

גרתי, ר., מורין, י., ארבל, ש. וגטקר, מ. (2000א') הנחיות לתכנון ניקוז עירוני, פרק א': מיזעור כמויות הנגר העירוני (הנחיות לקליטת מי גשם ונגר בחצרות), PL-29A, התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות.

גרתי, ר., גטקר, מ. וארבל, ש. (2000ב') הנחיות לתכנון ניקוז עירוני, פרק ב': מודל לקביעת ספיקות תכן למערכות ניקוז עירוניות (ספיקות תכן סגוליות לאזור החוף) PL-29B, התחנה לחקר הסחף, משרד החקלאות.

הדר-גבאי, ר., אבישי, מ., איילון, י., פרגמן-ספיר, א., שמואל חי, ד., וורן, כ. והררי ט. (2003) השימוש ברסק גזם עצים לחיפוי ובחינת השפעתו כמקדם חיסכון במים בגינון: סיכום עונת הניסוי הראשונה, נובמבר 2001- דצמבר 2002, הגן הבוטני האוניברסיטאי, ירושלים.

הוועדה המחוזית לתכנון ובנייה - מחוז המרכז (2000) הנחיות לתכנון רגיש למים בתכניות בינוי (תכנון ניקוז), החלטות מליאת הועדה מיום 26.7.2000

הוועדה המחוזית לתכנון ובנייה – מחוז תל-אביב (2004) פרוטוקול החלטות מישיבת מליאה מספר 695 שהתקיימה ביום 22.3.2004

היל, מ. ואלתרמן, ר. (1977,1985) מכסות קרקע לתכנון, שלב א': שטחים פתוחים. חיפה: הטכניון, המרכז לחקר העיר והאזור.

הל-אור, י. (1999) "צריכה אחרת: שיטות אגרוטכניות לחיסכון במים בגן הנוי בתקופות של מחסור במים", טכנולוגיות מים, גליון 43, עמ' 24-18.

הלבץ, א. (2007) "מפעל אגמי החולות", מוצע ע"י חברת לביא נטיף מהנדסים בע"מ. עמ' 31-26 בתוך: חוברת תקצירים של יום עיון של האגודה הישראלית למשאבי מים, בנושא: פיתוח, ניצול ושימור מקורות המים באקוויפר החוף (15.3.2007).

הצוות הבינמשרדי לבנייה משמרת מים (2002) חוזר המנכ"ל, משרד הפנים, 10.4.2002

המשרד לאיכות הסביבה (2002) בנייה ושימור מים – מדיניות והנחיות, 7.2002

השרות ההידרולוגי (2003) מפת רגישות הידרוגאולוגית להשקייה בקולחים באגן החוף – עקרונות מנחים + ארבע מפות לחלקי הארץ השונים.

הקונגרס לאורבניזם חדש: www.cnu.org

ויינשטיין, צפריר, מהנדסים ויועצים בע"מ (2003) עבור מהדרין בע"מ "הקמת אתר לאגירה והחדרה של מי גיאויות מנחל עקרון וגמליאל" (התקבל מיהודה רבין)

זעירא, ש. (2002) קציר מי גשמים בישראל, חיבור לתואר שני בחוג לגיאוגרפיה, הפקולטה למדעי החברה, אוניברסיטת חיפה.

חדד, ח. (2007) נגר כמשאב בפיתוח הנוף העירוני. עבודה לתואר שני בהנחיית טלי אלון-מוזס ונעמי כרמון. חיפה: הטכניון, הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים.

כהן, מ. וענבר, מ. (2004), מדידת כמות ואיכות מי הנגר העירוני באריאל. מסמך שלא פורסם.

כהנא, י. (1991) חיסכון במים בישראל – רקע כללי ואמצעים להשגתו, המרכז הישראלי לאביזרי מים.

כץ ש., בורמיל ש., כרמון נ. ושמיר א. (2001) תכנון עירוני רגיש למים – החדרת גשם למי תהום באמצעות עיצוב חצרות , המרכז לחקר העיר והאזור, הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים, הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל.

כרמון, נ. ושמיר, א. (1997) תכנון עירוני רגיש למים: הגנה על אקוויפר החוף הישראלי, חיפה: המרכז לחקר עיר ואזור, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל.

לב, י. (2001) ראיון אישי עם מנהל האגף לקידום החיסכון במים, נציבות המים, 24.04.2001

לסטר, ר. (2003) ההיבט המשפטי של העברת סמכות רשות נחל לרשות ניקוז. מסמך שלא פורסם.

לסטר, ר. (2004) הצעה לחוק אגני היקוות, התשס"ד. מסמך שלא פורסם.

לסטר, ר. וגרינברג, א. (2006) "אחרי המבול – עיריית חיפה נגד מנורה חב' לביטוח בע"מ", הנדסת מים, גיליון 46, יולי-אוגוסט 2006, עמ' 34-28.

לרמן, עדנה ורפי (1999) תדריך תכנון להקצאת קרקע לצרכי ציבור. תל-אביב: המכון לפיתוח מבני חינוך ורווחה

לשם, א. (2002) מח/161 – שימור אסטרטגי של מי תהום: סקר שימושי קרקע באזור רדיוסי המגן של מעיינות הירקון. משרד הבריאות, מחוז המרכז.

משואות יצחק (2000) "תפישת מי נחל לכיש והחדרתם לאקוויפר", תכנון: אריה שוורץ - מהנדסים יועצים בע"מ, ניהול הפרויקט: יהודה רבין.

משרד הבינוי והשיכון, המשרד לאיכות הסביבה ומשרד החקלאות ופיתוח הכפר (2005), מדריך לתכנון ובנייה משמרת נגר עילי. ראש העין: אנוש (מערכות איכות סביבה ותכנון אורבני), אביב.

משרד הבריאות (1999) דו"ח ועדת הלפרין: עקרונות למתן היתרים להשקיה בקולחים, המחלקה לבריאות הסביבה, משרד הבריאות.

משרד הפנים – מחוז הצפון (2002) תכנית מחוזית לעורקי ניקוז – מחוז הצפון. נצרת עילית: מינהל מחוז צפון, לשכת התכנון המחוזית.

מירון-פיסטינר, ס., כרמון, נ. ושמיר, א. (1996) בנייה עירונית ומי תהום: לקראת הנחיות למתכננים, חיפה: המרכז לחקר עיר ואזור, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל.

סגל, י. (2001) "סיפורי תל-אביב: ניקוז מי נגר בשטחים בנויים", אדריכלות נוף", גליון 2, עמ' 6.

סיני, ג., איינס, א. ונזלובין, ד. (2006א') "מלכודות נגר (אצירונים) למיתון שטפונות ולשימור מים וקרקע ביהודה ושומרון", מחקרי יהודה

ושומרון, קובץ ט"ו, המכללה האקדמית יהודה ושומרון ומו"פ אזורי השומרון ובקעת הירדן, עמ' 400-387.

סיני, ג., רובין, ה., נזלובין, ד., במברגר, א., גלעד, י. ואיינס, א. (2006 ב') הערכת גלי גאות משטחים מבונים ומיתונם במורד הנחל, דו"ח מסכם לשנה א' 2005, מחקר מס' 200-6518, הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית, הטכניון.

עמיר, ש. ומשגב, א. (1989) מדריך לעצי רחוב ביישובים עירוניים. חיפה: הטכניון, המרכז לחקר העיר והאזור.

פאוקר, ר. (2000) גן אקלום וניסוי חסכוני במים – רשימת צמחים מומלצים, המכונים למחקר שימושי, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב וקיבוץ ניר עוז.

פאוקר, ר. וכהנוביץ, ח. (2000) שימוש נבון במים בגן הנוי: סיכום 40 שנות מחקר, קיבוץ ניר עוז.

צנובר יועצים (1996) – תוכנית אב לניקוז ת"א, עבור עיריית תל-אביב – יפו

צ'רצ'מן, א. (2001) הבנייה לגובה: היבטים חברתיים ופסיכולוגיים. בתוך: א. מן, ע. שנער, א. צ'רצ'מן ואחרים, בחינת הבנייה לגובה, כרך א'. חיפה: הטכניון, המרכז לחקר העיר והאזור.

פרידלר ע. (2004) "שימוש חוזר במים אפורים להדחת אסלות במגזר העירוני", בין הקורות – ביטאון הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית, הטכניון, מכון טכנולוגי לישראל.גיליון 5, עמ' 9-7.

קפלן, מ. (2004) נחלי ישראל: מדיניות ועקרונות תכנון. ירושלים: המשרד לאיכות הסביבה.

קפלן, מ., חקלאי, ר., אופנר, ש. ואמדור,ל. (יראה אור ב-2007), נחלים בסביבה עירונית: מדיניות ועקרונות תכנון. ירושלים: מכון ירושלים לחקר ישראל.

קסלר, א. (1996א') תשתית הניקוז של מטרופולין המרכז: ניתוח חלופות פיתוח לשנת 2020, או: הקשר בין המרזב לאקוויפר החוף, חיפה.

קסלר, א. (1996ב') סקר תקופות חזרה לתכנון מתקני ניקוז בארץ ובעולם, עבור אגף שימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות.

רבינוביץ, י. (2004) "המים האפורים והשחורים – ביזור הטיפול והניצול", מים – הנדסת מים, גיליון 59, מאי 2004, עמ' 13-9.

רוזנטל, מאיר (2005) אגן נחל נעמן, שטחי קרית ביאליק מזרח: חלופות מערך ניקוז אזורי. מסמך שלא פורסם.

רז, א. ועין דור, ד. (2000), מדדים והנחיות תכנון לשטחים פתוחים עירוניים. "אדם, טבע ודין" – אגודה ישראלית להגנת הסביבה.

רחמימוב, א. – אדריכלים ומתכנני ערים (1996) תכנית אב לנחל הירקון, עבור רשות נחל הירקון.

רשות נחל הקישון (2002) תקן סביבתי לאיכות מי נחל הקישון. דו"ח מסכם לעבודת הוועדה הבין-משרדית להכנת תקן סביבתי של איכות מים לנחל הקישון.

שומרה לסביבה טובה: http://www.shomera.org

שלם, ע. (2000) התארגנות ענף גננות הנוי בתנאים של מצוקת המים המתמשכת, האגף לקידום החיסכון במים, נציבות המים, משרד התשתיות הלאומיות.

שלם, ע., בלבן, י. , באר, ר. ופאוקר, ר. (2002) תכנון גנים ונוף חסכנים במים, משרד התשתיות הלאומיות, נציבות המים – האגף לקידום חיסכון במים.

תמ"א 34 ב'/3 "נחלים וניקוז", נוסח סופי, 4.7.2006 .

תמ"א 34 ב'/4 "איגום מים עיליים, החדרה, העשרה והגנה על מי התהום", נוסח לא סופי, 6.4.2006.

תמ"א 35, תכנית מתאר ארצית משולבת לבנייה, לפיתוח ולשימור. משרד הפנים – ר' באתר של משרד הפנים:

http://gov.il/FirstGov/TopNav/OfficesAndAuthorities/OAFList/OAMoin/OAMConst/

Abrams G. J. (2004) " New thinking in an old city: Philadelphia's movement towards low-impact development", NWQEP Notes, No.112. http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/wqg/issues/notes112.pdf

Adams, B. J. and Papa, F. (2000) Urban Stormwater Management Planning with Analytical Probabilistic Models, New York: John Wiley & Sons.

Adelaide Water: http://www.watercare.net/water_conserving.php

American Society of Civil Engineers (ASCE) (2001) A Guide for Best Management Practice (BMP) Selection in Urban Developed Areas, Reston, Virginia.

Appan, A. (2000) “A Dual-Mode System for Harvesting Roofwater for Non-Potable Uses”, Urban Water, Vol. 1, Issue 4, pp. 317-321.

Aquamedia http://www.aquamedia.at/templates/index.cfm?id=15114

Argue, J., (Ed.) (2005) "Water Sensitive Urban Design: Basic Procedures for 'Source Control' of Stormwater: A Handbook of Australian Practice", Australian Water Association, The Stormwater Industry Association, and the University of Southern Australia, with Executive Summary at http://www.waterbalance.ca/waterbalance/dynamicImages/369_WSUDHandbookExecutiveSummaryMar2005.pdf

Asaf, L., Nativ, R., Shahin, K. Hassan, M. and Geyer, S. (2004) “Controls on the chemical and isotopic composition of urban Stormwater in a semiarid zone”. Journal of Hydrology, 294, 270-293.

Asaf, L., Nativ, R., Shahin, K, Geyer, S. and Ziv, B. (2005) “Influence of small- and large-scale variables on the chemocal and isotopic composition of urban rainwater, as illustrated by a case study in Ashdod, Israel”. Journal of Geophysical Research, 110, D11307, doi:10.1029/2004JD005414

ASCE and WEF - American Society of Civil Engineers and Water Environment Federation (1992) Design and Construction of Urban Stromwater Management Systems, ASCE, Manual and Report of Engineering Practice N. 77, New York, N.Y., WEF, Manual of Practice No. FD-20, Alexandria, VA.

ASCE-WEF-EPA and other organizations: International; Stormwater Best Management Practices (BMP) Database:

http://www.bmpdatabase.org/

Association for Rainwater Storage and Infiltration Technology (ARSIT, Japan) http://www.arsit.or.jp

AWWA (American Water Works Association): Water Wiser http://www.awwa.org/waterwiser/

Bhaduri, B., Minner, M., Tatalovich, S. and Harbor, J. (2001) "Long-Term Hydrologic Impact of Urbanization: A Tale of Two Models", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, January/February 2001, pp. 13-19.

Bekele, G. and Argue, J.R. (1994) "Sotrmwater Research in South Australia", National Conference Publication – Institute of Engineers, Australia, Vol. 3, No. 94/15, pp. 305-311.

Bettes, R. (1996) Infiltration Drainage – Manual of Good Practice, Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), Report 156.

Booth, D.B., Leavitt, J. and Peterson, K. (1996) "The University of Washington Permeable Pavement Demonstration Project, Background and First-Year Field Results", Center for Urban Water Resources Management, Department of Civil Engineering

http://depts.washington.edu/cwws/Research/Reports/rc3.pdf

Braden, J.B. and Johnston, D.M. (2004) "Downstream Economic Benefits from Storm-Water Management", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, November/December 2004, pp. 498-505.

Brandeis, A. (2005) "Restoration and Management of Degraded River Basins – The Alexander River Case Study", in: River Basin Restoration and Management, Edited by Avi Ostfeld and John Tivson, IWA Publishers, London, UK

Bras, R. (1990) An Introduction to Hydrological Science, Addison-Wesley.

California Department of Water Resources – Urban Stream Restoration Program

http://www.watershedrestoration.water.ca.gov/urbanstreams/pastproj/projreview.cfm

Capital Region District, Victoria, British Columbia, Canada – Water Servioces: Outdoor Water Saving Tips

http://www.crd.bc.ca/water/conservation/outdoorsavingtips.htm

Carmon, N. and Shamir, U., (1997), "Water-Sensitive Urban Planning: Concept and Preliminary Analysis", in: Groundwater in the Urban Environment: Problems, Processes and Management, Ed. By J. Chilton et al., Proceedings of the XXVII IAH Congress on

Groundwater in the Urban Environment, Nottingham, UK, 21-27, September 1997, pp. 107-113.

CIRIA – Construction Industry Research and Information Association (2004) "Sustainable Drainage News – Issue 6, July 2004" www.ciria.org/suds

Coffman L. (2000) Low Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach. EPA 841-B-00-003. Maryland: Prince George County

Coombos, P.T., Argue, J. R., And Kuczera, G. (2000) “Figtree Place: A Case Study in Water Sensitive Urban Development (WSUD)”, Urban Water, Vol. 1, Issue 4, pp. 335-343.

Consumer Water Purification Systems: What is NEWWater? http://www.consumerwaterpurificationsystems.com/newwater.htm

DeOreo, W. B., Dietemann, A., Skell, T., Mayer, P. W., Lewis, D. M. and Smith, J. (2001) “Retrofit Realities”, American Water Works Association, Vol.93, No.3, pp. 58-72.

DESWARE http://www.desware.net/desa1.aspx

Dies, R.D., McKenna, N. and Davidson, K. (2003) "An Investigation of the Effect of Policy on Water Consumption in Perth, Western Australia", Student Project, Centre for Water Research, University of Western Australia.

Dixon, A., Butler, D. and Fewkes, A. (1999) “Water Saving Potential of Domestic Water Reuse Systems Using Greywater and Rainwater in Combination”, Water Science and Technology, Vol. 39, No. 5, pp. 25-32.

Engineering Technologies Associates, Inc. (1993) Design manual for use of bioretention in storm-water management, the Prince George's County Government.

England, G. (2001) "Success Stories of Brevard County, Florida Stormwater Utility", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, May/June 2001, pp. 180-185.

European Academy for the Urban Environment – SURBAN – Database of Sustainable Urban Development in Europe http://www.eaue.de – Emscher Park.

Ferguson, B.K. (1994) Stromwater Infiltration, Lewis Publishers.

Ferguson, B. K. and Debo, T. N. (1990) On-Site Stormwater Management Applications for Landscape and Engineering, New York: Van Norstrand Reinhold, 2nd Edition.

Fletcher, T.D., Deletic, A.. and Hatt, B.E. (2004) A Review of Stormwater Sensitive Urban Design in Australia, Department of Civil Engineering and Institute for Sustainable Water Resources, Monash University, for the Australian Water Conservation and Reuse Research Porgram, Australian Water Association and the CSIRO.

France, R.L. (2002) Handbook of Water Sensitive Planning and Design, Lewis Publishers, a CRC Press Company, 728 p.

Fujita, S. (1992) Infiltration Facilities in Tokyo: Their Purpose and Practice, In: Urban Stormwater Infiltration, Klintholm Havn, Denmark: Fifth European Junior Scientist Workshop.

Fujita, S. (1993) “Storm water goes to ground as Japan chooses infiltration”, Water Quarterly International, No. 3, pp 18-19.

Fundacion Ecologia y Desarrollo, (URL), "Catalogo de Buenas Practicas: uso efficiente del la cuidad" Zaragoza, Spain.

http://www.agua-dulce.org/htm/portada/50BP/

Gleick, P.H., Haasz, D., Henges-Jeck, C., Srivasan, V., Wolff, G., Kushing, K.K. and Mann, A. (2003) "Waste Not – Want Not: The Potential for Urban Water Conservation in California", Pacific Institute, California.

http://www.pacinst.org/reports/urban_usage

Gleick, P.H., Cooley, H. and Groves, D. (2005) "California Water 2030: An Efficient Future", A Report of the Pacific Institute, Oakland, CA

http://www.pacinst.org/reports/california_water_2030/index.htm

Goonrey, C.M., Lechte, P., Maheepala, S. and Mitchell, V.G. (2003) "A review of current practices in and impediments to using stormwater as an alternative supply source within urban areas", The Institution of Engineers, Australia, 28th International Hydrology and Water Resources Symposium, 10 - 14 November 2003, Wollongong, NSW

See also: http://en.scientificcommons.org/14194242

Government of British Columbia (2002) "Stormwater Planning: A Guidebook for British Columbia", Ministry of Water, Land and Air Protection

http://www.env.gov.bc.ca/epd/epdpa/mpp/stormwater/stormwater.html

Water Balance Model http://www.waterbalance.ca

Grove, M., Harbor, J. M. and Engel, B., (1998), "Composite Versus Distributed Curve Numbers Effects on Estimate of Storm Runoff Depths", Journal of the American Water Resources Association, 34(5) 1015-1023.

Harbor, J.M. "A Practical Method for Estimating the Impact of Land-Use Change on Surface Runoff, Groundwater Recharge and Wetland

Hydrology", Journal of America Planning Association, Vol. 60, No. 1, pp. 95-107.

Hedgcock, D. and Mouritz, M. (1993) Water Sensitive Urban Design, Australian Planner. (See also below: Mouritz and Hedgcock)

Herath, S., K. Musiake and S. Hironaka (1993) "Evaluation of Basin Scale Effects of Infiltration System", in: Torno, H. and Marsalek, J. (eds.) Proceedings of the 6th Conference on Urban Storm Drainage, American Society of Civil Engineers, September 12-17, 1993.

Imbe M., Ohta T., Takano N., Methodological Approach to Improve the Hydrological Water Cycle in Urbanized Areas (1995) 2nd International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage", May 30-June 1 1995, Lyon, France.

International Rainwater Catchment Systems Association (IRCSA) http://www.eng.warwick.ac.uk/ircsa

Ishizaki, K., Seiji, M., Kagawa, A., Mochizuki, T. and Imbe, M. (received from the authors, undated) "Rainfall Infiltration Technology for Urban Areas"

Johnston, D.M., Braden, J.B. and Price, P.E. (2006) "Downstream Economic Benefits of Conservation Development", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, pp. 35-43.

Konrad, C.P., Jensen, B.W., Burges, S. And Reinelt, L.E. (1995) On-Site Residential Stormwater Management Alternatives, Department of Civil Engineering, University of Washington, Center for Urban Water Resources Management.

Kronaveter L., Shamir U. and Kessler A. (1998) Hydrologic response of urban watersheds: The effects of spatial variability, physical parameters, and some planning alternatives, Water Research Institute, Technion.

Kronaveter, L., Shamir, U. and Kessler, A. (2001) “Water-Sensitive Urban Planning: Modeling On-Site Infiltration”, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, March/April 2001, pp. 78-88.

Levin, A. (2001) “Principles for Water-Sensitive Planning of Urban Public Spaces”, MSc Thesis, Faculty of Civil Engineering, Technion.

Lim, K.J., Engel, B.A., Muthukrishnan, S. and Harbor, J. (2006) "Effects of Initial Abstraction and Urbanization on Estimated Runoff using CN Technology", Journal of the American Water Resources Association, 42(3) 629-641.

Lloyd, S.D., Wong, T.H.F. and Chesterfield, C.J. (2001) "Opportunities and Impediments to Water Sensitive Urban Design in Australia", Proceedings of the 2nd South Pacific Stormwater Conference, Auckland, New Zealand, 27 – 29 June 2001, pp 302-309.

Low Impact Development Center, USA

http://www.lid-stormwater.net/intro/background.htm

http://www.lowimpactdevelopment.org/home.htm

Marsalek, J. C., Watt, W. E., Anderson B. C. and Jasskot, C. (1997) "Physical and Chemical Characteristics of Sediments from a Stormwater Management Pond", Water Quality Research Journal Canada, Vol. 32, Issue 1, pp. 89-100

Mayer, W. P., DeOreo, W. B., Opitz, E., Kiefer, J., Davis, W., Dziegielewski, B., and Nelson, J. O., (1999) Residential End Uses of Water, A Water Works Association Research Foundation Report, Denver, Colorado.

Melbourne Water: Water Sensitive Urban Design
http://wsud.melbournewater.com.au/

Metropolitan Washington Council of Government (1992) A current assessment of urban best management practice, U.S. Environmental Protection Agency.

Mouritz, M. and Hedgcock, D. (1992) "Water Sensitive Design: An Ecological Approach to Urban Development"

http://www.urbanecology.org.au/ecocity2/watersensitivedesign.html

Nehrke, S.M. and Roesner, L.A. (2004) "Effect of Design Practice for Flood Control and Best Management Practices on the Flow-Frequency Curve", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, March/April 2004, pp. 131-139.

NCRS-TR55 – Natural Resources Conservation Service, US Department of Agriculture "Urban Hydrology of Small Watersheds TR-55"

http://www.wcc.nrcs.usda.gov/hydro/hydro-tools-models-tr55.html

Neubrand, W., Heiser, J., Schindler, A., Treberspurg, M., Hofbauer, W. and Czaya, H. (2002) "Greywater Recycling: Field Experience", in: Rubin, H., Nachtnebel, P., Furst, J. and Shamir, U. (Eds.) Water Resources Quality: Preserving the Quality of our Water Resources, Springer-Verlag, 2002.

Perry, C. (1929), A Plan for New York and Its Environs. Vol. 7. New York: New York Regional Planning Association.

Pitt, R., Clark, S., Parmer, K. and Filed, R. (1996) Groundwater Contamination from Stormwater Infiltration, Ann Arbor Press, Inc.

Pratt C.J., (2001) "Sustainable urban drainage – A review of published material on the performance of various SUDS Devices", Coventry University.

Prince George's county (1990) Low impact development – Design manual, Prepared by L. Coffman, Prince George's County, Maryland,

Department of Environmental Resource, Programs and Planning Division, 9400 Peppercorn Place, Largo, Maryland 20774

Prince George's County, Maryland, USA (1999) Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach, Prepared by L. Coffman, Prince George's County, Maryland, Department of Environmental Resource, Programs and Planning Division, 9400 Peppercorn Place, Largo, Maryland 20774 http://www.epa.gov/owow/nps/lid/lidnatl.pdf - LID Design Strategies
http://www.epa.gov/owow/nps/lid/lid_hydr.pdf - Hydrologic Analysis

Richards, Lynn (2006), Turning Stormwater Runoff into a Community Amenity. ICMA (International City/County Management Association) internet site: http://icma.org/sgn/newsdetail.cfm?nfid=2511&id

Rimmer, A. and Salinger, Y. (URL) Developing a dynamic River Basin Model for Contaminants Transport in the UCJR using GIS.

http://luna.tau.ac.il/~glowa/eilat/River_Basin_Model_for_Contaminants_Transport-A_Rimmer.pdf

Roesner, L.A., Bledsoe, B.P. and Bradshear, R.W. (2001) "Are Best-Management-Practice Crieteria Really Environmentally Friendly?" Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, May/June 2001, pp. 150-154.

Schumacher, E. F. (1973) Small is Beautiful: Economics as if People Mattered. New York: Harper & Row.

Scottish executive development department (2002a) "Planning and sustainable urban drainage system"
http://www.scotland.gov.uk/about/Planning/pan_61_susturbdrains.aspx

Scottish environment protection agency (2002b) "Drainage impact assessment: Guidance for Developers and Regulators" www.sepa.org.uk/publications/leaflets/suds

Seoul Museum of History (2005), The Reborn Cheonggyecheon

http://english.seoul.go.kr/cheonggye/
http://en.wikipedia.org/wiki/Cheonggyecheon

Shamir, U. and Carmon, N., (1999), "Water-Sensitive Urban Planning: The Case of Israel's Coastline Aquifer", in: Impacts of Urban Growth on Surface Water and Groundwater Quality, Ed. By B. Ellis, IAHS Publications No.259, pp. 409-415.

Singapore – Water for All: Conserve, Value, Enjoy

https://www.pub.gov.sg/home/index.aspx

http://en.wikipedia.org/wiki/Water_resources_of_Singapore

Singapore - New Water Strategies

http://www.pub.gov.sg/NEWater_files/index.html

Singh, V.P. (1995) Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, 1130 p.

Smart Growth Online
http://www.smartgrowth.org/library/articles.asp?art=2344

Stormwater Authority.Org http://stormwaterauthority.org/

Sydney Water URL http://www.sydneywater.com.au/

Treberspurg, M. and Hofbauer, W. (1998) "Residential Housing Complex „Osramgründe“ Vienna – Heat recovery and waste water treatment", Treberspurg & Partner, Ziviltechniker GmbH, Vienna

http://www.ecosan.at/download/ecosan_tagung0904_Treberspurg-Beitrag.pdf

USEPA (1998) National Recommended Water Quality Criteria, Federal Register, Vol. 63, No. 237.

USEPA (1999) Preliminary Data Summary Of Urban Storm Water Best Management Practices, Office of Water, Washington DC.

USEPA (2000a) Preliminary Data Summary Of Urban Storm Water Best Management Practices, Office of Water, Washington DC.

USEPA (2000b) Low Impact Development (LID) – A Literature Review, EPA-841-B-00-005, October 2000.

USEPA (2005) Using Smart Growth Techniques as Stormwater Best Management Practices. EPA report number 231-B-05002 http://www.epa.gov/smartgrowth

USEPA - Non-Point Source Pollution http://www.epa.gov/owow/nps/urban.html

USEPA – WaterSense http://www.epa.gov/watersense/

Vickers, A. (2001) Handbook of Water Use and Conservation, WaterPlow Press, Amherst, Massachusetts.

Villanova Urban Stormwater Partnership http://www3.villanova.edu/VUSP/index.html

Virginia Cooperative Extension

http://www.ext.vt.edu/pubs/waterquality/448-406/448-406.html#L2

Water Sensitive Urban Design Research Group (1989) Water Sensitive Residential Design: An Investigation into its Purpose and Purpose in the Perth Metropolitan Region, Australia: The Western Australian Water Resources Council, Leedsville, Western Australia

Wong, T., Breen, P. and Lloyd, S. (2000) Water Sensitive Road Design: Design Options for Improving Stormwater Quality of Road Runoff, Technical Report 00/1. Research Center for Catchment Hydrology.

http://www.catchment.crc.org.au/archive/pubs/1000006.html

Zarriello, P.J. (1998) "Comparison of Nine Uncalibrated Models to Observed Flows in Two Small Urban Watersheds" in Proceedings of the First Federal Interagence Hydrologic Modeling Conference, April 19-23, 1998, Las Vegas, NV: Subcommittee on Hydrology of the Interagency Advisory Committee on Water Data, pp. 7-163 to 7-170.

http://smig.usgs.gov/SMIG/features_0398/runoff.html

מכון גרנד למחקר המים

המכון למחקר המים ע"ש סטיבן וננסי גרנד מקדם את המדע, הטכנולוגיה, ההנדסה והניהול של מים באמצעות מחקר ופיתוח בין-דיסציפלינרי והפצת הידע, בדגש על בעיות המים של ישראל. הנושאים המטופלים נוגעים גם לאזורים אחרים בעולם, במיוחד לאזורים צחיחים וצחיחים למחצה.

המכון הוקם ב-1992, כמכון סנטי בו פועלים חברים מ-7 פקולטות. חוקרים ממוסדות אחרים משתתפים במחקרי המכון, ומספר חברי סגל מאוניברסיטאות אחרות בישראל יכולים להתקבל כחברים במכון. בכך מתממשת מטרתו של המכון להיות בפועל מכון המחקר הלאומי למים.

המכון מנוהל על ידי ראש המכון, בהנחיית הנהלה, בה חברים המשנה לנשיא למחקר, דקני הנדסה אזרחית וסביבתית, הנדסה כימית והנדסת מזון וביוטכנולוגיה, שני חברי מכון נבחרים, וראש המכון.

ועדה מדעית בינלאומית (ISAC), בה חברים שישה מדענים בעלי שיעור קומה מן הארץ ומחו"ל, מתמנה על ידי נשיא הטכניון, ומסייעת בבחינת פעילות המכון ובהתוויית דרכו.

קרן יד הנדיב שותפה לטכניון בהקמת המכון, ומאז הקמתו זוכה המכון לתמיכתה ולתמיכת ידידי הטכניון בחו"ל.

המכון מפעיל מספר מוקדים (הנקראים "מעבדות") לפעילות מחקרית רחבה בנושאים מוגדרים: המעבדה להתפלה ע"ש רבין, המעבדה לאיכות מים וטיפול במים ע"ש ארתור ורוזלינד גילברט, המעבדה לטיפול בשפכים ושימוש חוזר בתמיכת קרן פוהס, המעבדה למשאבי מים ע"ש קרן משפחת מיטשל, מעבדת סיידל למדידות זרימה. פעילויות אלו ממוקמות באתרים שונים ברחבי הקמפוס.

במסגרת המכון הקים פועל מרכז המידע ע"ש בלומנשטיין, כמרכז הלאומי למידע על מים. מרוכז בו מידע על פרסומים וחמרים המתייחסים למשאבי המים בישראל ובאיזור, וכן על מחקרים, כנסים, סדנאות ופעילויות שוטפות. באתר של מרכז המידע ניתן למצוא חומר זה, כמו גם קישור למוקדי מידע אחרים בארץ ובחו"ל בנושאי מים, וכן מערכת מידע "מי ומי במשק המים".

המכון מפעיל מספר מחקרים אזוריים עם עמיתים ירדניים ופלסטינים, במגמה להרחיב שיתוף פעולה מקצועי המהווה בסיס לניהול מושכל ומתואם של משאבי המים באיזור.

במאי 2005 חנך המכון את ביתו החדש, הבנין ע"ש סטיבן וננסי גרנד, אשר בו מוקמים משרדי המכון, מרכז המידע, אולם הרצאות, ומעבדות מרכזיות של המכון.

אתר המכון
http://gwri.technion.ac.il

אתר מרכז המידע
http://gwri-ic.technion.ac.il

המרכז לחקר העיר והאזור

המרכז לחקר העיר והאזור, שהיה ראשון מסוגו בישראל, הוקם בטכניון בשנת 1969 על-ידי פרופ' משה היל ז"ל. מאז 1989 המרכז זוכה לתמיכתה הנדיבה של משפחת פיליפ ואתל קלצניק. מרכז המחקר שוכן בפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים וקשור הדוקות במסלול ללימודי מוסמכים בתכנון ערים ואזורים שבפקולטה. הוא משתף פעולה עם מוסדות מחקר אחרים בטכניון ועם עמיתים-חוקרים בטכניון ובישראל בכללה.

ייעודו של המרכז הוא לקדם את הידע, הנוגע להבנת תהליכים של התפתחות ותפקוד עירוניים ואזוריים, ולסייע בקביעת מדיניות פיתוח ברמה הלאומית, האזורית והיישובית-מקומית. העקרונות המנחים את עבודת החוקרים הם מצויינות מחקרית בקנ"מ בינלאומי, מצד אחד, ותרומה לאיכות החיים של תושבי מדינת ישראל, מצד שני.

החוקרים הפעילים במרכז עוסקים בתחומים הבאים: תכנון שימושי קרקע, תכנון חברתי, תכנון כלכלי, היבטים פסיכולוגיים ביחסי אדם-סביבה, היבטים משפטיים בתכנון, היבטים סביבתיים בתכנון, פיתוח אזורי, פיתוח מקרקעין, תחבורה, דיור, שיקום והתחדשות עירונית, תכנון ומשאבי טבע (מים, אנרגיה), תכנון ועיצוב הנוף, שיטות ממוחשבות מתקדמות בתכנון, שיתוף הציבור בתכנון, מיתון קונפליקטים בתהליכי הפיתוח העירוני ותכנון עבור אוכלוסיות ספציפיות: ערבים, קשישים, ילדים.

מחקרים תקדימיים בישראל, שפילסו את הדרך לתחום התכנון העירוני בארץ, נערכו במסגרת המרכז לחקר העיר והאזור. מביניהם נזכיר את תסקיר ההשפעה הסביבתי הראשון בישראל – הבדיקה למיקום תחנות הכוח, את סדרת המדריכים למכסות קרקע לשירותים ציבוריים, את ההערכה הכוללת של פרויקט שיקום השכונות בישראל, ואת פרויקט המחקר והתכנון בתמיכת 13 משרדי ממשלה וגופים ציבוריים נוספים – "ישראל 2020 – תכנית אב לישראל בשנות ה-2000".

מחקרי המרכז ממומנים על-ידי קרנות וגופים בינלאומיים ולאומיים, על-ידי מרבית משרדי הממשלה בישראל, רשויות מקומיות וגופים ציבוריים אחרים בארץ. הידע הנאגר באמצעות המחקרים מופץ לחוקרים עמיתים, לציבור המתכננים ולמקבלי החלטות באמצעים מגוונים: בראש ובראשונה באמצעות ספרים ומאמרים, כולל הוצאת ספרים עצמית, שבמסגרתה רואים אור גם דוחות המחקרים וניירות עמדה (בעברית ובאנגלית). בנוסף לכך, המרכז יוזם סמינרים, ימי עיון וסימפוזיונים אקדמיים וציבוריים. החוקרים מרבים להשתתף בכנסים מדעיים ומקצועיים, בינלאומיים וישראלים, ומכהנים לעיתים קרובות בוועדות ציבוריות, לאומיות ומקומיות.

המרכז לחקר העיר והאזור
http://www.ccrs.technion.ac.il

לרכישת פרסומים בנושא תכנון רגיש למים ובנושאי תכנון אחרים

(סביבה, דיור ובנייה, פיתוח כלכלי והיבטים משפטיים)

היכנסו לאתר המרכז לחקר העיר והאזור

www.ccrs.technion.ac.il

רשימת פרסומים של מחקרי הטכניון בנושא תכנון רגיש למים

ספרים

בארי, ש., כרמון, נ. ושמיר, א. (2005), חיסכון במים במגזר העירוני: בדיקת ייתכנות והמלצות פעולה. חיפה: המרכז לחקר העיר והאזור ומכון גרנד למחקר המים (231 עמ').

כץ, ש., בורמיל, ש., כרמון, נ. ושמיר, א., (2001), תכנון עירוני רגיש למים: החדרת גשם למי התהום באמצעות עיצוב חצרות - ספר עזר לאדריכלים ואדריכלי נוף, מתכננים סביבתיים ומהנדסי ניקוז. חיפה: הטכניון, המרכז לחקר העיר והאזור (160 עמ' +).

מירון-פיסטינר, ס., כרמון, נ. ושמיר, א., (1996), פיתוח עירוני רגיש לשיקולי מים: לקראת הנחיות תכנון. חיפה: הטכניון, המרכז לחקר העיר והאזור (120 עמ' + נספחים).

יונגר, מ., כרמון, נ. ושמיר, א., (1993), מי נהנה ממשאבי המים של ישראל? ניתוח התועלות שהפיקו קיבוצים ומושבים. חיפה: המרכז לחקר העיר והאזור (160 עמ').

דוחות מחקר

בורמיל, ש., שמיר, א. וכרמון, נ., (2003), נגר עירוני בשכונות מגורים. חיפה: המרכז לחקר העיר והאזור (120 עמ').

Kronaveter, L., Shamir, U. and Kessler, A., (1998), Hydrologic Response to Urban Watersheds: The Effects of Spatial Variability, Physical Parameters and Some Planning Alternatives. Technion, The Mitchell Family Foundation Water Resources Management Laboratory, Water Research Institute (93 pages).

כרמון, נ. ושמיר, ש., (בהשתתפות ר. ארמון, ד. גולדמן, ש. כץ ול. קרונבטר), (1997), תכנון עירוני רגיש למים: הגנה על אקוויפר החוף הישראלי. חיפה: המרכז לחקר העיר והאזור (227 עמ').

תזות

שלו, שי (2011), ניהול נגר בשיטת תר"מ (תכנון רגיש למים): השוואת חלופות בגבעת זמר בכרמל. חיבור על מחקר לתואר מגיסטר למדעים במדעי איכות הסביבה, הטכניון. מנחים: אורי שמיר ונעמי כרמון.

חדד (סלע), חן (2007), נגר (מי גשם) כמשאב בפיתוח הנוף העירוני. חיבור על פרויקט לתואר מגיסטר למדעים בתכנון נוף, הטכניון. מנחים: טלי אלון-מוזס ונעמי כרמון.

בארי, שלומית (2004), חיסכון במים במגזר העירוני בישראל: בדיקת ייתכנות כוללנית. חיבור על מחקר לתואר מגיסטר למדעים בתכנון ערים ואזורים, הטכניון. מנחים: נעמי כרמון ואורי שמיר.

Levin, Anna (2001), Water-Sensitive Urban Planning: Analyzing Alternatives for Increasing Infiltration. Research Thesis for Master of Science in Civil Engineering and Management of Water Resources, Technion. Supervisors: Uri Shamir and Shmuel Burmil.

כץ, שרון (1999), הגברת ההחדרה של מי גשמים לקרקע באמצעות עיצוב חצר הבית העירוני. חיבור על מחקר לתואר מגיסטר למדעים בתכנון ערים ואזורים, הטכניון. מנחים: נעמי כרמון ושמואל בורמיל.

Kronaveter, Lea (1998), Hydrologic Response of Urban Watersheds: The Effects of Spatial Variability, Physical Parameters and Some Planning Alternatives. Master of Science in Civil Engineering and Management of Water Resources, Technion. Supervisors: Uri Shamir and Avner Kessler.

מירון-פיסטינר, סיגלית (1995), תכנון עירוני המתחשב בשיקולים של מי תהום: לקראת גיבוש הנחיות תכנוניות. חיבור על מחקר לתואר מגיסטר למדעים בתכנון ערים ואזורים, הטכניון. מנחים: נעמי כרמון ואורי שמיר.

מאמרים

Carmon, N. and Shamir, U., (2010), "Water-Sensitive Planning (WSP): “Integrating Water Considerations into Urban and Regional Planning”, Water and Environment Journal, 24 (3), pp.181-191.

Kronaveter, L., Shamir, U. and Kessler, A., (2001), "Water-Sensitive Urban Planning: Modeling On-Site Infiltration", Journal of Water Resources Planning and Management, American Society of Civil Engineers.

Shamir, U. and Carmon, N., (1999), "Water-Sensitive Urban Planning: The Case of Israel's Coastline Aquifer", in: Impacts of Urban Growth on Surface Water and Groundwater Quality, Ed. By B. Ellis, IAHS Publications No.259, pp. 409-415.

Carmon, N. and Shamir, U., (1997), "Water-Sensitive Urban Planning: Concept and Preliminary Analysis", in: Groundwater in the Urban Environment: Problems, Processes and Management, Ed. By J. Chilton et al., Proceedings of the XXVII IAH Congress on Groundwater in the Urban Environment, Nottingham, UK, 21-27, September 1997, pp. 107-113.

Carmon, N., Shamir, U and Meiron-Pistiner, S., (1997), "Water-Sensitive Urban Planning: Protecting Groundwater", Journal of Environment Planning and Management, 40(4), pp. 413-434.