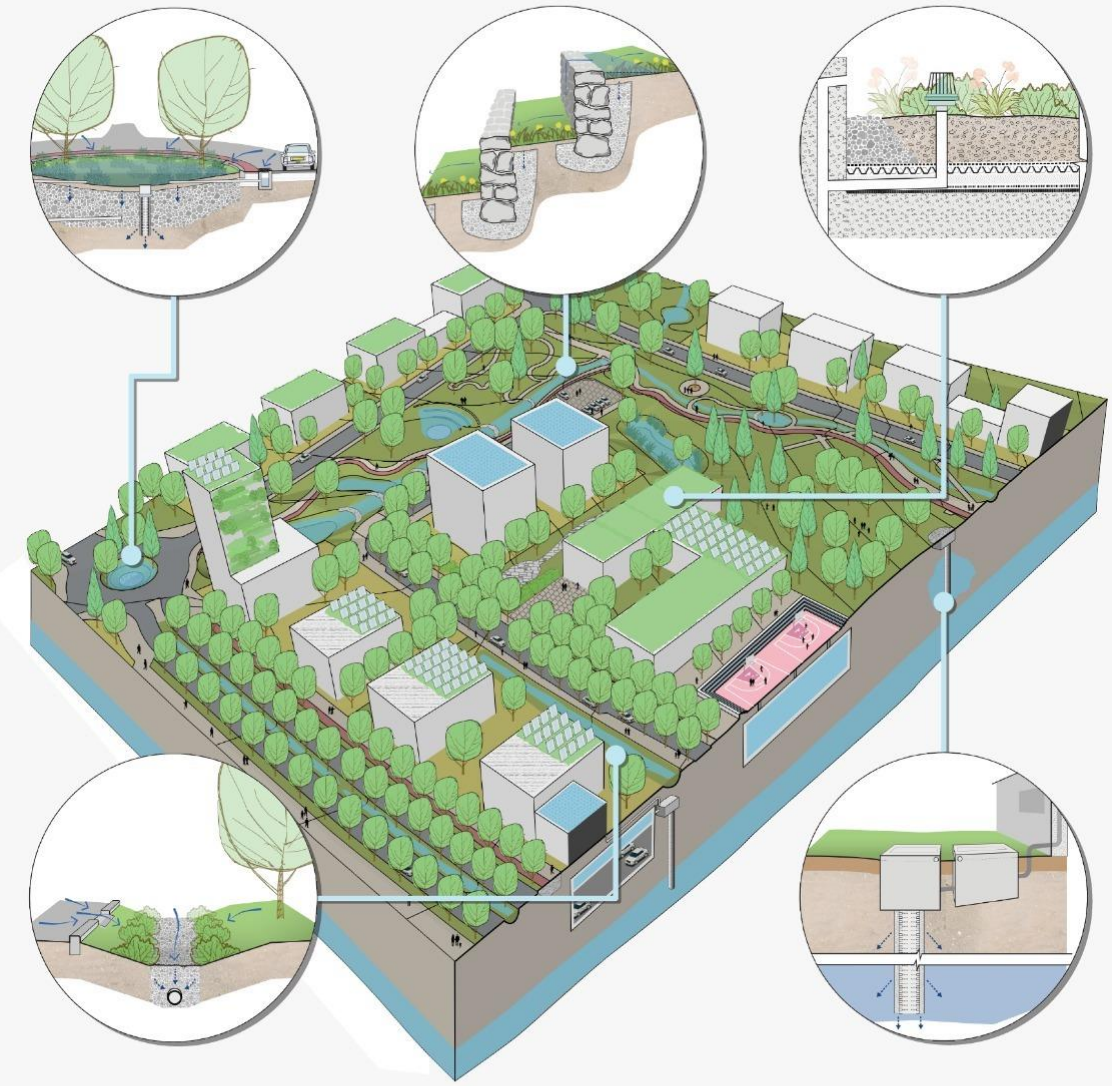
מסמך מדיניות ניהול נגר עירוני



אוגוסט 2021
אלול, תשפ"א

מינהל התכנון

צוות העבודה:

רחלי קולסקי - מנהלת אגף מים, קרקע ומוסדות ציבור לאומיים, מינהל התכנון
פיאנה קרנץ - אגף מים, קרקע ומוסדות ציבור לאומיים, מינהל התכנון
עידית בן בסט - מתכננת ערים, יועצת למנהל התכנון
ירון גלר – הידרולוג, 'ירון גלר, הנדסה וניהול משאבי מים בע"מ'
גלעד ספיר - הידרולוג, חברת DHV MED
טלי וקסלר - אדריכלית נוף, 'נחלת הכלל'*
מיכל גרוסמן - כלכלנית, חברת AVIV AMCG
עו"ד ליטל הילמן - יועצת משפטית, מינהל התכנון
ד"ר בן בלק - עמית ממשק, מנהל התכנון

השתתפו וסייעו:
משרד החקלאות ופיתוח הכפר, מטה מינהל התכנון, לשכת תכנון תל אביב, רשות המים, אגמא - המרכז לאגני היקוות ונחלים, רשויות ניקוז משרד הבינוי והשיכון, השירות המטאורולוגי, עיריית תל אביב, עיריית בת ים, עיריית חולון, האוניברסיטה העברית, קרן קיימת לישראל, החברה להגנת הטבע.

* התרשימים והדוגמאות בפרקים 4 ו 7, נערכו ע"י צוות המשרד, אדר׳ נוף טלי דינור, אדר׳ נוף אור אריאב וארז ויניק

תוכן עניינים

תקציר מנהלים:

בשנים האחרונות, ערים, יישובים ואף שטחים פתוחים בישראל סובלים בתדירות הולכת וגדלה מהצפות, המלוות בנזקים הולכים ומחמירים. מגבלות ניקוז מרחביות מצטברות לחסמי פיתוח משמעותיים באזורי ביקוש ולהליכי התחדשות במרקמים ותיקים. בעבר, תשתיות תיעול שהותאמו לתכנית, היו המענה הכמעט בלעדי לטיפול בנגר, אולם הן אינן יכולות עוד לשאת בנטל לבדן. ההתייחסות המוגבלת בהליכי התכנון לתפקיד הקרקע הטבעי לחלחול וניקוז, בשילוב הציפוף, תוספת הבינוי וצמצום השטחים הפתוחים בערים, גבה וגובה מחירים רבים. המחירים מתבטאים בפגיעה באיכות המרחב העירוני הסובל מהישנות הצפות וצמצום שטחים פתוחים איכותיים, כמו גם לפגיעה באקוויפרים,[1] לזיהום ים ונחלים ונזקי הצפות וסחף במורד.

שינויי האקלים בישראל, המתבטאים גם בשינוי בדפוסי הגשם, מצביעים על מעבר לאירועי גשם קצרים ואינטנסיביים.[2] בשילוב עם מגמות גידול האוכלוסייה והעיור, שמשמעותן כיסוי שטחים פתוחים נוספים בבניה וצמצום שטחי החלחול, כמות הנגר הנוצרת עתידה לגדול. ההשפעות העתידיות הצפויות הן עליית תדירות ועוצמת אירועי ההצפות והנזקים המנויים לעיל. זאת בנוסף, לאי מיצוי התועלות הפוטנציאליות מהשימוש בנגר, לאיכות המרחב המתוכנן, להעצמת הטבע העירוני, להשקיה, להעשרת מי התהום ועוד.

בהתאם לכך, הוביל מינהל התכנון רפורמה רחבה בנושא ניהול נגר בהליכי תכנון. מעבר למסמך זה, מקודמים גם **תיקון מס' 8 לפרק המים בתמ"א 1 ולנספח הנחיות ניהול נגר (ב'4)**,[3] שעיקריהם חובת ההגשה של מסמך ניהול נגר, ולקיחת אחריות של כל תכנית על הנגר שמוסיפה בתחומה דרך חובה לעמידה ביעד ניהול נגר ויעדי מניעת הצפות.

מסמך זה נערך על מנת לתת מעטפת מקצועית רחבה להטמעת הרפורמה, בקרב בעלי המקצוע הרלוונטיים בהליכי התכנון, ובכלל זאת, מתכננים, אדריכלים ואדריכלי נוף, הידרולוגים, מהנדסי ניקוז, אקולוגים ועוד. המדיניות המוצגת במסמך קוראת להטמעת היבטי ניהול נגר כבר מתחילת הליך התכנון, בין היתר, בהנגשה והתחשבות במידע הידרו-גיאולוגי של השטח, לטובת שילוב מושכל של מערך אמצעי ניהול נגר טבעיים והנדסיים. מסמך המדיניות בנוי כך שהוא נותן יריעה כללית על ניהול משק המים ומערך הניקוז בישראל ועל המדיניות המוצעת, בנוסף, לפרקים אופרטיביים לבעלי המקצוע השונים הלוקחים חלק בהליך התכנון.

המסמך נפתח בשני פרקי מבוא, **ואחריהם בפרק 3 ישנה סקירה וניתוח של המצב הקיים בישראל בתחום הניקוז וניהול נגר**, תוך הצגת השחקנים הראשיים, הרגולציה והתכנון הארצי והמחוזי. הסקירה מבהירה את החפיפות והפערים בתחום, לדוגמא, הפרדה מרחבית באחריות לניקוז ומניעת הצפות, כך שהרשויות המקומיות הן האחריות בתחומן, ורשויות הניקוז, אחראיות בתחום השטחים שמעבר לשטחי הרשויות המקומיות. בנוסף, ישנה הפרדה באחריות על היבטים שונים הנוגעים לניקוז וניהול הנגר, לדוגמא, בעוד שרשויות הניקוז אחריות על ניקוז המרחב שמחוץ לשטחי הערים, המשרד להגנת הסביבה אחראי על ההיבטים הסביבתיים של הנחלים ועל איכות המים, שעל האחרון אחראיות גם משרד הבריאות ורשות המים. מהסקירה עולה הצורך בגיבוש מדיניות כוללת ועדכנית בנושא הניקוז וניהול הנגר.

בפרק 4 מוצגת בהרחבה תפישת המדיניות הכוללת, תוך פירוט אופן יישומה, בתכניות השונות ובתכנון ייעודי לניקוז ולניהול נגר (תכנית אב אגנית ותכנית אב מקומית), וכן מוצעים כלים להטמעת השינויים. בפרק מפורטים סוגי תכניות לניהול נגר, מטרותיהן ותכולתן, ונקודות הממשק אחת עם השנייה, כמכלול קוהרנטי, מרמת האגן, דרך הרשויות המקומיות ועד לביטוי בתכנית לשכונה או למגרש הבודד. כן, ישנה התייחסות ליישום המדיניות בתכניות מפורטות ובתכניות מתאר/ כוללניות, תוך הדגשת החשיבות לשילוב היבטי ניהול מי הנגר כבר בראשית

---

[1] צמצום חלחול והחדרה טבעיים של נגר למי תהום, מביאים לירידת מפלסי מי התהום, שמשמעותה ירידה באוגר התפעולי ובאיכות מי האקוויפרים, לעיתים עד כדי פגיעה חריפה באקוויפר, ששיקומה עלול להימשך שנים רבות .

[2] (השירות המטאורולוגי, נוב', 2019). לתחזית זו אין מובהקות סטטיסטית, לאור התנודתיות החזקה משנה לשנה, שיעור/עוצמת השינוי ואורך הסדרה.

[3] התיקון נדון ביום 6.4.2021 במועצה הארצית והוחלט להעבירו להערות הוועדות המחוזיות.

הליך התכנון, על מנת להניח תשתית טובה לניהול מי הנגר וכן, מוצעות הוראות להטמעה בתקנון התכנית. בנוסף, ישנם הסברים והרחבה על השינוי הסטטוטורי, והצעות לאופן הטמעת המדיניות בהליכי התכנון ובמסמכי התכנית. וכן, על מנת לסייע לצוותי תכנון ולמוסדות תכנון, מוצעת גם התייחסות לאופן קבלת החלטות בבחירת תמהיל אמצעי ניהול נגר בתכניות.

בהמשך, **פרק 5, מציג ומנתח את ההשלכות הכלכליות של המדיניות החדשה,** תוך שימוש בתמ"ל 1001 - תל השומר מרכז, כמקרה מבחן. במסגרת הבחינה הכלכלית, נערכו לתכנית 4 חלופות למערכות ניקוז: חלופת אפס הכוללת מערכת תיעול בלבד, ו 3 חלופות למערכות ניהול נגר (שילוב של מערכת תיעול מצומצמת ותמהיל אמצעי ניהול נגר), העומדות ביעד ניהול הנגר שחושב עבור התכנית. בנוסף, 4 החלופות נבנו בשני אזורים גיאוגרפים - החוף וההר, כך שסה"כ נבחנו 8 חלופות שונות. השונות בחלופות הייתה בתמהיל אמצעי ניהול הנגר שהותאם לכל אזור גיאוגרפי, וכן, באופן פריסת האמצעים בין מגרשי הפיתוח לשטחים הפתוחים, ובין השטחים הפרטיים והציבוריים. מניתוח מקרה המבחן ניתן ללמוד כי **תוספת ההשקעה היחסית ליח"ד בחלופות ניהול הנגר הייתה נמוכה מ 1% ביחס לעלות הבנייה.**

עוד נראה בניתוח, כי תמהיל אמצעי ניהול הנגר הממוצע במגרשי הפיתוח (מגורים, מסחר ותעסוקה, מבני ציבור), היה יקר מתמהיל האמצעים בשצ"פים הגדולים, כלומר, **נמצא יתרון כלכלי ליישום אמצעי ניהול נגר בשטחים ציבוריים פתוחים גדולים**. היתרון נובע הן מהיתרון לגודל, והן, מהיצע אפשרויות היישום של אמצעים מבוססי טבע (ולא מלאכותיים/ טכנולוגיים), זאת בנוסף, לתועלות כגון שיפור איכות המרחב המתוכנן ושימוש במי הנגר. כמו כן, נמצא שהעלויות השנתיות, (החזר הון ותחזוקה) של אמצעי ניהול נגר במגרשים הציבוריים, נמוכות יותר לרשות המקומית, ביחס לתיעול בלבד, ואילו יקרות יותר למגרשים הפרטיים ביחס למצב הקיים. הסיבה העיקרית לכך היא שאמצעי ניהול הנגר נדרשים לחידוש בתדירות גבוהה יותר ביחס למערכות תיעול. עם זאת, תחזוקה שנתית נאותה עשויה להפחית את תדירות החידוש ולהוזיל את העלות השנתית.

תמ"ל 1001 היא תכנית שתוכננה מראש בתפישת ניהול נגר, כך שהשטחים הפתוחים בה מוקמו באזורי פוטנציאל לניהול נגר, מה שנתן לה יתרון בהטמעת מערכות ניהול נגר יעילות וחסכוניות. בהתאם לכך, נערך מבחן רגישות, שבחן את העלות של מערכות ניהול נגר שכללו פחות אמצעי ניהול נגר בתחום השצ"פים, ויותר אמצעים בתחום מגרשי הפיתוח. מבחן הרגישות מצא, שגם במידה ורק 40% מיעד הנגר מנוהל בתחום השצ"פים, והשאר במגרשי הפיתוח, עדיין העלות היחסית ליח"ד עמדה על כ 1% מעלות הבניה. בדיקת זו יכולה לשמש גם כאינדיקטור בתכניות להתחדשות עירונית, שבדר"כ מתאפשר בהן היצע שצ"פים מצומצם.

עוד נסקרו בהרחבה מגוון **התועלות הכלכליות** לאמצעי ניהול נגר, מנקודת מבט מקומית ולאומית, ועל בסיס סקר הספרות הוערך שתועלות אלו יכולות להגיע למאות מיליוני ש"ח בשנה, כתלות במאפייני הרשות המקומית.

פרק 6 מציג פרק כלים ובסיסי נתונים הידרולוגיים לתכנון, שישמשו את צוות התכנון בעריכת מסמך ניהול הנגר לתכניות. הפרק נועד לסייע לאנשי המקצוע למלא באופן מיטבי את הנחיות הנספח והמדיניות החדשה, וכן לייצר סטנדרט מקצועי חדש וגבוה בשימוש בשיטות חישוב ומודלים בהליכי העבודה. הפרק כולל הסברים והפניות לאופן חישוב זמן הריכוז, ספיקת שיא הנגר, נפח הנגר ופשטי הצפה ועוד. בנוסף, הפרק מציג את בסיסי הנתונים החדשים שגובשו במסגרת העבודה, ואת המתודולוגיה ואופן גיבושם, ובמקומות הרלוונטיים, מפנה למקורות ובסיסי נתונים נוספים.

פרק 7 מציג סל אמצעים לניהול נגר, המספק יריעה רחבה ומקיפה על מגוון אמצעי ניהול נגר שניתן להשתמש בהם בקני מידה משתנים, החל מרמת המגרש, דרך המבנן והשכונה ועד השטחים העירוניים הפתוחים. הפרק מתחיל בהתייחסות להליך התכנון, ומציג תפישה ועקרונות לניהול נגר משלבי התכנון הראשוניים, לטובת קידום תכניות הממצות את פוטנציאל ניהול הנגר במרחב התכנית, ומאפשרות הטמעה יעילה של אמצעי ניהול נגר. הפרק מציע מגוון רחב של אמצעי ניהול נגר בחלוקה לאופני הפעולה העיקריים של כל אמצעי (הולכה, השהייה ואיגום, החדרה לתווך הרווי והבלתי רווי וטיוב איכות הנגר). וכן, לגבי כל אמצעי מפורטים אופן השילוב בתכנית, יתרונותיו, חסרונותיו, דוגמאות, פרטים אופייניים ותמונות להמחשה. מטרת פרק זה היא להציג את מנעד

האפשרויות הזמינות כיום, לעודד חיפוש אמצעים נוספים, לסייע לבעלי מקצוע בתרגום המדיניות והתפישה המוצעות במסמך לפרקטיקה, וכן, להוות מקור ידע עבור צוותי התכנון ומוסדות התכנון, בהליכי תכנון ואישור התכניות.

פרק 8 מציע סט אמצעים משלימים לטובת הטמעה מיטבית של השינויים הרגולטוריים והמדיניות החדשה. בכלל זה מוצעים מהלכים להשלמת התכנון האגני והעירוני לניקוז וניהול נגר ואימוץ תכניות אלו ע"י מוסדות התכנון; קידום תמ"א משלימה לניהול סיכוני שיטפונות בשטחים הפתוחים; וקידום תיקון תקנות קיימות בנושאים רלוונטיים.

הטמעת המדיניות תלויה ברתימה ומחויבות של כלל השחקנים הלוקחים חלק בהליכי התכנון והבניה. בלטה במיוחד המחויבות הנדרשת מהרשויות המקומיות, האחראיות על המרחב העירוני, ביום שאחרי אישור ומימוש התכנית. **שכן, התחזוקה השוטפת קריטית לתפקוד אמצעי ניהול הנגר**. אם היום, האחריות לניקוז המרחב היא של הרשויות המקומיות, והיא מתבצעת בעיקר דרך בניית מערכות תיעול או תשתיות ניקוז ציבוריות שונות. השינוי בתמ"א 1 מחייב כל תכנית מפורטת בעמידה ביעד ניהול נגר כמותי, ובמציאות ניתן לבצע זאת, דרך תמהיל אמצעי ניהול נגר. המשמעות היא שלראשונה, גם השטחים הפרטיים יישאו באחריות לניקוז המרחב.

מסמך המדיניות הינו חלק מעשייה תכנונית רחבה יותר שעניינה, בין היתר, העלאת איכות התכנון במרחב העירוני והיערכות לשינויי אקלים, והוא חלק מרפורמה פורצת דרך בתחום ניהול הנגר בהליכי התכנון. אנו מקווים שהצלחנו לעמוד במשימותינו במסמך זה, והוא אכן יתמוך בהטמעת השינוי בהוראות פרק המים בתמ"א 1 ובמדיניות הכוללת, ויהיה בשימוש תדיר ע"י מוסדות התכנון וצוותי התכנון בהליכי העבודה השוטפים.

EXECUTIVE SUMMARY

During the past few years, cities, town, and open spaces in Israel have been suffering frequently from increasing damages caused by floods. Regional drainage limitations combine to form significant hurdles in development of high-demand areas, as well as urban renewal areas.

Previously, adjusted infrastructure conduits were essentially the drainage sole solution for management; however, they can no longer provide this solution on their own. The limited attention to soil's natural function of percolation and drainage, during the planning phases, in addition to the ever-growing density, construction and the reduction in open spaces in cities, has taken a significant toll. These circumstances result in a deterioration of the urban landscape, which gets flooded often, along with a limited quality of open areas. In addition, the aquifers are being hurt[4], seawater and rivers are being polluted, and overflow and sediment damages are taking place in the law areas.

Climate Changes in Israel, manifested in changes of rainfall patterns among other things, point to a move towards short and intensive rain events[5]. In combination with the population growth and urbanization, which means more impervious areas and less percolation due to construction, the amount of runoff is set to grow in the future. The anticipated effects are estimated to include rising frequency and intensity of flooding events, following the damages mentioned above. Furthermore, the potential use of runoff water, for decent planned landscape, urban naturalization, irrigation, and ground water enriching, will be lost.

Due to these reasons, the Planning Administration has led a wide reform regarding runoff management within planning procedures. In conjunction with this document, **Amendment number 8 of the Water section in the National Outline Plan 1 (TAMA 1) and Runoff Management Appendix (B-4)**[6] are moving forward in which the main objectives are: requiring a runoff management document and to make any plan responsible for the additional runoff it generates.

This document was created in order to provide a wide, professional framework for the implementation of the reform among the workflow of professionals involved in the planning process, included planners, architects and landscape architects, hydrologists, drainage engineers, ecologists and more. The policy provided in this document calls for the implementation of runoff management aspects in the initial phases of the planning process. This will be accomplished by providing and involving local hydro-geological information, thus allowing smart implementation of a range of natural and technical runoff management solutions. This policy document is meant to provide a general overview about the water management status in Israel, and proposed policy, including implementation instructions for professionals during the entire planning phase.

[4] Reduction of natural percolation and infiltration runoff to ground water, leads to decrease of ground water level, which means reduction of the storage accumulation and quality of aquifer water, that might cause severe damage of the aquifer, that his rehabilitation can take many years.

[5] 'Climate Changes in Israel, past and predicted trends in Temperature and Precipitation rules', Israel Meteorological Service, November 19. This forecast has no statistical signification, in light of strong fluctuations from year to year, the rate/intensity of change and the length of the series.

[6] The Amendment being discussed in the National planning Committee on the April 6th 2021, and was decided to pass it to the district committees notes.

The document begins with two introductory chapters, **followed by chapter three which includes an overview of the status of water management in Israel, regarding drainage and runoff management** and an introduction to the key players in regulation and national and regional planning. The overview describes the overlap and gaps in the field. For example, the region-based separation of responsibility for flood management, which places responsibility on local authorities for regions beyond their defined area. In addition, the overview shows a separation of responsibilities of different aspects regarding drainage and runoff management. For example, while the drainage authorities are responsible for drainage outside urban areas, The Ministry of Environmental Protection is in charge of the environmental aspects of rivers and water quality, in which they share the latter responsibility with The Ministry of Health and the Water Authority. This review shows the need of creating an overall, up-to-date policy regarding drainage management and runoff management.

In chapter four the comprehensive policy is presented, including its implications in different plans and in specific plans for drainage and runoff management (basin and local Master plans), and tools for implementing the new policy are being suggested. The chapter introduces the various plans for runoff management, their purpose, content, and their interconnectedness as one coherent complex from the basin level, through localities, all the way to the neighborhood or even the single lot.

In addition, the fourth chapter discusses policy implementation in comprehensive and master plans, and emphasizes the importance of integrating runoff aspects from the very beginning of the planning process, in order to provide an appropriate infrastructure of water runoff management. There is also a suggested list of optional instructions for Plan Regulations, and expanding on the statutory changes, including suggestions to the method of policy implementation in the planning process and the plan documents. To further assist planning teams and institutions, there is also a suggestion with regards to the decision-making method for choosing runoff management components for the plan.

Chapter **five analyzes the economic impact of the new policy**, using Preferred Housing Areas Plan 1001 (TAMAL1001): Tel Hashomer Center, as a test case. As part of the economic overview, the plan examined four different alternatives for drainage systems: a default alternative which includes a conduit system alone, and three runoff management alternatives (a combination of a smaller conduit system with various runoff management solutions) that meet the runoff management calculated target for the plan. The four alternatives were built in two geographically different areas - coastline and mountain. Altogether, eight different alternatives were examined. The differences between the alternatives were the variety of runoff management solutions fitted to each geographic area, as well as the distribution of said solutions between developed and open lots and private and public areas. The review concluded that **the relative additional investment to a housing unit among the different runoff management alternatives was less than 1% of the building cost.**

The results also found that the various runoff management mix solutions suggested for the developed lots (residential, commerce, public buildings) were more expensive than the ones suggested for large scale open public spaces. This means that there are financial advantages

to the implementation of runoff management solutions in large scale open public areas. The advantages are derived from Economies of scale as well as from the wide variety of nature-based solutions (not artificial / technological). That is in addition to other benefits, such as improving the quality of the planned areas and utilizing the runoff water. The annual costs (capital recovery and maintenance) of runoff management tools in public spaces are less expensive for the local authorities in comparison to the default alternative, yet they are more expensive for private properties, compared to the current situation. The main reason is that these tools require refurbishment more often than traditional drainage systems. That being said, with adequate annual maintenance the costs may go down significantly.

TAMAL 1001 is a plan designed with runoff management in mind. Open areas in the plan were located where runoff management potential was high, giving it an advantage in implementing efficient and cost-effective runoff management components. A sensitivity test was conducted, measuring the cost of runoff management systems considering fewer implementation in Public open spaces, and more tools in the development lots. The sensitivity test found that even managing only 40% of the runoff around public open spaces and the rest is in the developed lots, the relative cost per housing unit was approximately 1% of building costs. This test is also an indicator for new urban renewal plans, which usually have less open public spaces possibilities.

The various **economic benefits** of runoff management solutions were reviewed, from both the local and national points of view. Based on a literature review it was estimated that these benefits can reach hundreds of millions of ILS annually, depending on the local authority characteristics.

Chapter six reviews hydrological tools and databases for planning, which were used by the planning teams in the preparation of the runoff management document. This chapter aims to assist professionals in optimizing compliance with the Appendix instructions and the new policy, as well as creating a new professional, high standard in using calculation modules in their workflow. The chapter includes explanations and references to relevant methods of calculating like Time of Concentration, Peak Discharge Runoff, Runoff volumes, Floodplain, etc. Furthermore, the chapter introduces new databases created during the working process, their methodology and the way they were created, pointing to additional sources and databases where relevant.

Chapter seven introduces various tools for runoff management, presented in a broad datasheet of available tools for use in different scales - starting from the single lot, through the block and the neighborhood, and ending with urban open spaces.

The chapter starts with concept and principals for runoff management applicable in the beginning of the planning process, in order to promote plans that utilize the potential for runoff management in the plans' scope, allowing an efficient implementation of runoff management tools. The chapter offers a wide variety of runoff management tools divided into the different operation type of each method: Flow Control, Detention and Retention,

Percolation and Penetration to the saturated and unsaturated medium, betterment the water quality. For each method, information is provided about its implementation in plans, its advantages and disadvantages, examples, typical details and demonstrations. The purpose of this chapter is to introduce the variety of accessible possibilities at hand, and to encourage the exploration of new tools. It is also intended to help professionals in translation of policy and concepts into practice, and serve as an index for planning teams and institutions, in both planning and statutory phases.

Chapter eight offers a set of complementary tools for efficient implementation of the regulatory changes and new policy. Among others, this chapter offers steps for completing the phase of basin and localities planning for drainage and runoff management, and for their adoption in the planning institutions; promote the supplemental National outline Plan for flood risk management in open areas; and promote updating current regulations in relevant subjects.

The policy implementation is dependent on the commitment of all actors taking part in the planning and construction fields. Especially notable is the commitment required from the local authorities, which are in charge of the urban landscape, after the approval and implementation of the plan, **since constant maintenance is critical to the function of the runoff management tools.**

Currently, the responsibility for regional drainage infrastructure lies within the local authorities and is executed mainly through the construction of drainage conduits or other public drainage infrastructure. The eighth amendment of TAMA 1 requires every plan to achieve quantitative runoff destinations. This can be practically done using a combination of drainage and runoff management solutions. Which means that for the first time, private properties will also be held accountable for their region's drainage.

This policy document is part of a comprehensive planning document. Its wide scope determines goals for the improvement of the planning quality of urban areas and preparations towards climate change, and it is part of a breakthrough reform in the field of runoff management in planning processes. We hope that we were successful in meeting our goals in this document, and that it will indeed support implementing the changes required to TAMA 1 water section, as well as to the overall policy, and will be in frequent use by the planning institutions and teams in their daily workflow.

1. מבוא

1.1. הקדמה

מטרתה העיקרית של מלאכת התכנון היא לספק לאוכלוסייה סביבה בטוחה וראויה למחייה, לשגשוג ולצרכי העתיד. בהקשר ההידרולוגי, בו עוסקת עבודה זו, בתכנון ובחירת מקום להתיישבות אנושית, נשקלו גם הקרבה למקורות מים וההגנה מפני מזג האוויר ובפרט גשמים והצפות. פיתוח מערכות הניקוז והתיעול בתת הקרקע, אפשר לתכנון, במובנים מסוימים, להתחשב פחות בשיקולים אלו, מה שהביא לשינוי בתפקיד הטבעי של הקרקע במערך הניקוז, לאיגום, הולכה, חלחול או אידוי של נגר.

מגמות גידול האוכלוסייה והזדקנותה, העיור ושינוי האקלים, מייצרות לחץ הולך וגובר על המערכות הטבעיות, ואיתן, התהוותה קשת חדשה של אתגרים גם לעולם התכנון. המערכת העירונית, בה מרוכזת רוב אוכלוסיית העולם, עומדת בליבת הקונפליקטים, ולכן גם מהווה את ליבת הפתרונות.

בהקשר ההידרולוגי, ציפוף הבינוי העירוני, גידול השטח הבנוי ושינוי משטר הגשמים, בשילוב התחשבות מוגבלת של התכנון בהיבטי הידרולוגיה וניקוז טבעי, והסתמכות על מערכות התיעול, הביאו לכך שהעיר הפכה ליצרנית נגר מאסיבית, בעוד שמערכות התיעול מתקשות לתת מענה לצרכים ההולכים וגדלים. הקרקע העירונית ומערכות הניקוז אינן מסוגלות עוד לקלוט את הגשם בתחומן. כך קורה, שהנגר הנוצר בעיר, זורם על פני השטח המבונה, ולבסוף מתנקז, באופן טבעי או דרך מוצא ניקוז, לאזורים הנמוכים, הבנויים או הפתוחים.

פגיעות הנגר, נובעות מהצטברות נגר בשטח נמוך, הן ההצפות, וכן, מנזקים הנובעים מנפח, עוצמה ותאוצה אדירים שהנגר צובר בדרכו לנקודה נמוכה, בנוסף לסחף ומזהמים שאוסף הנגר מהמרחב העירוני ומאזורי תעשייה.

נזקי הנגר שחוותה ישראל אשתקד, שהיו בנפש, היו כואבים ויקרים, והבהירו את עוצמת הבעיה. נזקי הנגר השכיחים יותר הם פגיעות ברכוש, בתשתיות ובפעילות העירונית השוטפת, ולכשעצמם, מוערכים במאות מיליונים עד מיליארדי שקלים. בנוסף, ישנו נזק רב גם לשטחים הפתוחים: פארקים, יערות, שדות, חופים וים, הנפגעים מבחינה סביבתית, נופית ובטיחותית, בזיהום והתחתרות קרקע, בצמחייה, בשטחי המחייה של בעלי חיים, במצוקי החוף ועוד.

עודפי הנגר ההולכים וגדלים הביאו לכך שהנגר הוא אחד מחסמי הפיתוח המרכזיים בישראל. מאות אלפי יחידות דיור ותשתיות תחבורה בעלי חשיבות לאומית, אינן מקודמות או מיושמות בשל חסמי ניקוז. יעדי הדיור האסטרטגיים והתשתיות הנדרשות לשרת את יח"ד הנוספות, מעצימים את הצורך בקידום הנושא בראייה לאומית ארוכת טווח.

הפתרון שמסמך זה מציע לבעיה הוא ניהול הנגר. ניהול הנגר נמצא בעשור האחרון במוקד העשייה בעולם התכנון המערבי ובמחקר האקדמי. משמעות ניהול נגר היא איסוף ושימוש בנגר כמה שיותר קרוב למקור היווצרותו, ע"י שימוש ושילוב מגוון כלים נופיים והנדסיים להולכה, השהייה, איגום, חלחול והחדרה.

הטמעה מיטבית של ניהול נגר בהליך התכנון, תלויה בשיתוף פעולה של צוות התכנון ובתזמון ההטמעה. הכוונה היא שהתכנון, כבר מראשיתו, יתבסס, בין היתר, על מגוון סדור של נתוני רקע הידרולוגים וגיאולוגים, על מנת להתאים עצמו לתנאי הסביבה ולמאפייני הקרקע, בקביעת שלד התכנון ומערך ייעודי הקרקע. באופן זה, תתאפשר הטמעה מושכלת ויעילה של אמצעים נופיים והנדסיים לניהול נגר בשטח התכנית, המשתלבים ומנצלים את פוטנציאל המרחב הפתוח והבנוי לניהול נגר. ניתוח כלכלי שהתבצע במסגרת עבודה זו, הראה כי בהינתן תכנון מושכל ומתחשב לניהול נגר, עלות אמצעי ניהול הנגר שולית לעלות הבניה, ואף מתקזזת עם צמצום מערכת התיעול המתאפשר בזכות ניהול הנגר.

מסמך זה מהווה חלק מעבודה רחבה יותר שקודמה במינהל התכנון בנושא ניהול הנגר. העבודה מורכבת מחלק סטטוטורי, שעניינו הטמעת המדיניות בהוראות התכנון הארצי, והוא כולל את תיקון מס' 8 לתמ"א 1, בין היתר, לגבי חובת הגשה של נספח ניהול נגר (ב'4), ועמידה ביעד ניהול נגר, וכן, תיקון הנחיות הנספח הקיים (ב'4). מסמך זה, מהווה מהלך משלים לתיקון תמ"א 1, והוא גובש במטרה לפתוח צוהר לנושא ניהול נגר בהקשר מקומי, תוך הצעת מסגרת וכלים יישומיים להטמעה מיידית בעבודת התכנון השוטפת.

מסמך המדיניות מורכב מהסבר כללי על ניהול משק המים והנגר בישראל; הצגת תפישת המדיניות ופירוט אופן יישומה בכלי התכנון השונים; הצגה והסבר על השינוי הסטטוטורי והשלכותיו על הליך התכנון, לרבות הצעת כלים למוסדות תכנון ולמתכננים ליישום המדיניות; הצעת סט כלים ושיטות עבודה לאדריכלים, אדריכלי נוף ומתכננים; ניתוח כלכלי של השלכות המדיניות ובפרט על עלויות הבניה ליח"ד; פרק הידרולוגי המציע חישובים ומודלים לעבודה הנדרשים לעריכת נספח ניהול הנגר בתמ"א 1; ודוגמאות לנספחי ניהול נגר החדשים.

1.2.שינויי אקלים בישראל

בעשורים האחרונים חוקרי האקלים מזהים שינויים ממשיים בתבניות האקלים העולמיות, והתחזית היא כי שינויים אלו ילכו ויקצינו, והם עתידים להשפיע באופן גלובאלי ומקומי על החברה, המשק והכלכלה ומערך היחסים הבינלאומיים. את תופעות שינויי האקלים ניתן להכליל בעיקר כתוצאה של הפעילות האנושית שיצרה פגיעה מצטברת ומתמשכת במערכות האקולוגיות, אשר הולכת ומעצימה, בין היתר, לאור מגמת גידול האוכלוסייה והעלייה ברמת החיים והצריכה האנושית. ערים ומדינות בעולם נערכות ומתמודדות עם שינויי האקלים בדרכים שונות, בהתאם לאתגרים הנוכחיים והצפויים להן, וביחס לתרבותן וליכולותיהן. דרכי ההתמודדות משלבות בין הפחתת פליטות (Mitigation), על מנת למתן את תופעות שינוי האקלים, והיערכות לבניית יכולת הסתגלות או התמודדות של החברה עם העתיד לבוא (Adaptation).

השפעת שינויי האקלים על המערכת הגלובאלית ואופן הביטוי המקומי, הינה קשה ומאתגרת לחיזוי, שכן, מערכת האקלים היא מערכת מורכבת, הנתונה לתנודות טבעיות, ועליית ריכוז גזי החממה הנמדדת לרוב בהקשר זה, היא רק אחת מההשפעות. על מנת לספק תחזית מקומית מהימנה, נדרש לעבוד עם מודלים אקלימים המשקללים תהליכים פיזיקליים ואטמוספריים, וכאלו עדיין אין בישראל.

עיקר השינוי החזוי באקלים בישראל[7] הוא בעליית הטמפרטורה ועלייה בכמות הימים והלילות החמים, מול צמצום הימים והלילות הקרים. השינוי הצפוי במשטר הגשמים בישראל הוא בהפחתה כללית של מספר ימי הגשם וכמות המשקעים. מספר ימי הגשם צפוי לפחות, ואילו כמות המשקעים (עוצמת הגשם) היחסית לאירוע גשם, צפויה דווקא לגדול.[8] כמו כן, התחזיות מראות שונות בין אזורים בארץ, כאשר באזורים מסוימים נצפתה מגמת ירידה במשקעים, (גליל מזרחי, גליל עליון, רמת הגולן), ובאזורים אחרים נצפתה מגמת עלייה, (צפון הנגב, מישור החוף הדרומי, דרום מזרח רכס הכרמל ושפלת יהודה ושומרון).

ההיערכות לשינויי אקלים היא מגוונת, ומבוססת על קשת היבטים שמטרתם לספק לתושבי ישראל, שמרביתם מתגוררים בערים, שמירה והגנה מפני אסונות ואירועי אקלים, במקביל להיערכות והסתגלות לשגרת שינוי האקלים המתמשכת. היערכות זו נכללת גם תחת ההגדרה 'חוסן עירוני', המתייחסת למכלול היבטים פיזיים וחברתיים רחבים, הנדרשים לבנייה ולשימור מרקם עירוני וחברתי איכותי, עמיד ומקיים.

היבט ניהול הנגר הינו חלק מהיערכות זו, כאשר דחיפותו ואופן הטמעתו, משתנים ביחס לאתגרי ואופי המקום. בישראל, ישנו חוסר וודאות לגבי השפעת שינוי האקלים על משטר הגשמים. אירועי ההצפות על חומרתם הגוברת, בשילוב עם יעדי הדיור וההתחדשות העירונית ותכנון התשתיות הרחב, שיביאו תוספת הבינוי ואיטום הקרקע, מחייבים לכשעצמם פעולה רחבה וקוהרנטית, על מנת לשנות את האופן בו מתייחסים לניהול נגר בתכנון בישראל.

---

[7] על שינויי האקלים החזויים בישראל ניתן ללמוד ממסמכים אלו:

א. 'היערכות ישראל להסתגלות לשינויי אקלים: המלצות לממשלה לאסטרטגיה ותכנית פעולה לאומית', המשרד להגנת הסביבה, דצמבר, 2017. העבודה מתבססת על ניתוח נתונים IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) משנת 2013.

ב. 'שינוי האקלים בישראל מגמות עבר ומגמות חזויות במשטר הטמפרטורות והמשקעים', השירות המטאורולוגי, נובמבר 2019. העבודה מתבססת על נתוני תחנות הידרולוגיות וניתוח תחזיות לפי מודלים אקלימיים אזוריים לעשורים הקרובים.

[8] לתחזית זו אין מובהקות סטטיסטית, לאור התנודתיות החזקה משנה לשנה, שיעור/עוצמת השינוי ואורך הסדרה.

1.3. למי מיועד המסמך

מטרת המסמך היא לחשוף את קשת העוסקים במלאכת התכנון בישראל לנושא ניהול הנגר, על מנת לקדם תכנון איכותי יותר בישראל. בהתאם לכך, בראש ובראשונה, המסמך מיועד למתכננים ואנשי צוות התכנון: אדריכלים ואדריכלי נוף, מתכננים, הידרולוגים, מהנדסי ניקוז ועוד. מהצד השני, המסמך מיועד למוסדות תכנון, המתווים מדיניות תכנון ארצית, מחוזית או מקומית, ומלווים ומאשרים תכניות. כמו כן, מעצם יריעת המידע הרחבה שמציע המסמך, הוא עשוי לעניין ולתרום גם לבעלי עניין נוספים.

1.4. צוות עבודה, תהליך ומשתתפים

כטיבו של נושא ניהול הנגר, המחייב ראייה אינטגרטיבית ושיתוף פעולה מקצועי ומרחבי, גם צוות העבודה הורכב ממגוון בעלי מקצוע מומחים בתחומי התכנון, ההידרולוגיה והניקוז, אדריכלות הנוף והכלכלה, במטרה להקיף את הנושא באופן מהימן ויסודי, במקביל להצעת פתרונות יישומיים לטובת קידום שינוי אמיתי.

בנוסף, הליך עריכת המסמך כלל שיתוף פעולה רחב בין משרדי ממשלה והשלטון המקומי. הגופים שלקחו חלק בתהליך הם: מטה ומחוזות מינהל התכנון, רשות המים, משרד החקלאות ורשויות הניקוז, השירות המטאורולוגי, משרד הבינוי והשיכון, רשות מקרקעי ישראל, רשויות מקומיות, האוניברסיטה העברית, החברה להגנת הטבע, קק"ל, אנשי מקצוע ואקדמיה מתחום התכנון, ההידרולוגיה והניקוז, אדריכלות הנוף, הקרקע, הסביבה ועוד.

2. מדיניות ניהול נגר ומטרות המסמך

2.1.רקע

ניהול נגר הוא חלק מתפישת תכנון מקיים, שעניינה השתלבות מושכלת ומבוקרת של הפיתוח האנושי בסביבה ובמערכת האקולוגית, במטרה למזער את הפגיעה בה, במקביל למיצוי יתרונות כלכליים, חברתיים וסביבתיים. הביטוי לתפישה המקיימת בניהול נגר הוא בחיזוק מחזור המים הטבעי, דרך החזרת מי הגשמים לאטמוספרה ובעיקר לקרקע, כמה שיותר קרוב למקום היווצרותם והימנעות משינועם. היתרונות הנלווים לכך הם בצמצום בניית תשתיות הנדסיות בתת הקרקע; בצמצום הסעת נגר, על הנפח, העוצמה, הסחף והזיהום שנצבר, וע"י כך, להביא לצמצום תופעת ההצפות והפגיעה בים, בשטחים הבנויים והפתוחים, אליהם מתנקז הנגר; בהפחתת שיאי הזרימה (עוצמת הזרימה) באירוע גשם; זאת בנוסף, ליתרונות חלחול והחדרת נגר לאקוויפרים, לטובת העשרה וחיזוק משק המים בישראל.

ניהול נגר מהווה גם שכבה נוספת ומשלימה ליצירת חוסן עירוני, המתייחסת להיבט ההצפות העירוניות, זאת ע"י צמצום אירועי הצפה בערים, והפחתת הנזקים והפגיעה בפעילות העירונית, ברכוש ואף בנפש. ניהול הנגר משתלב, תומך ומחזק היבטים שונים התורמים לחוסן העירוני ולאיכות החיים העירונית, בהתייחס להיבטים סביבתיים, חברתיים, בריאותיים וכלכליים.

בשנים האחרונות ישנן מספר גישות מובילות לניהול נגר, שפותחו במדינות המתמודדות עם אתגרי שינוי האקלים והעיור. הגישה המובילה היום בתחום נקראת 'פיתוח עירוני רגיש מים' (Water Sensitive Urban') Design', 'ערי ספוג' (Sponge Cities), ערים רגישות מים ועוד. גישה זו התפתחה מתוך ההבנה, שבמרחב העירוני האינטנסיבי, תשתיות התיעול לבדן, אינן מסוגלות להתמודד עם כמויות הנגר ההולכות וגדלות. גישה זו קוראת לכך שכל תכנית תהיה אחראית לטפל במי הנגר הנוצרים בתחומה, באמצעים של איגום, השהיה, חלחול והחדרה, במטרה להימנע מהסעת נגר והצפה וזיהום שטחים נמוכים סמוכים.

משלימה לגישות ניהול הנגר, היא גישת התכנון בתפישה אגנית. גישה זו עוסקת בפיתוח מושכל של הקרקע המתבסס על זיקה למקורות המים ולהיבטי הניקוז הטבעי, תוך שימור משאבי טבע. עקרונות הפיתוח בגישה זו, יהיו לאור ראייה מערכתית כוללת של מרחב אגן הניקוז ותוך קיום שיח אינטגרטיבי שוטף של בעלי עניין מרכזיים, על מנת להגדיר את כללי הפיתוח, אזורי השימור ופתרונות ניהול הנגר, לרבות איגום משאבים לתכנון ולביצוע.

גישות אלו, עודדו פיתוח שיטות וכלים חדשים ומתקדמים לניהול הנגר, המשלבים בין הליך התכנון מושכל והטמעת אמצעים נופיים והנדסיים לניהול נגר, המשתלבים במרחב הפתוח והבנוי. כלי ניהול הנגר החדשים, מגדילים את ההגנה מפני נזקי נגר והצפות במרחב, במקביל להפחתת הצורך בשדרוג והרחבת תשתיות תיעול והוספת מוצאים. אמצעי ניהול נגר נופיים הם פתרונות המאפשרים לשלב בשימוש הקרקע גם ניהול נגר. דוגמא לכך, היא גינה ציבורית שבנויה בשיפוע, כך שבעת אירוע גשם, היא משמשת כמרחב לאיגום, השהייה וחלחול נגר. אותה גינה יכולה גם לשלב תשתית ניקוז הנדסית בתת הקרקע, ובכך להציע נפח נוסף לאיגום נגר, ולהחדירו למי התהום. בדומה, גם גג מבנה, מעבר לתפקידו לקירוי ואיטום המבנה וכבסיס לדודי שמש / פאנלים סולריים, יכול לשמש גם להשהיית נגר. המחקר והפרקטיקה מוכיחים שלמרחב הבנוי יש את היכולת לתת מענה לנגר שנוצר בתחומו, בין היתר, ע"י פתרונות מבוססי טבע. בכוחן של אותן תשתיות נופיות 'רכות', היכולות להיות משולבות עם תשתיות הנדסיות, לשדרג את המרחב הבנוי, תוך העלאת איכות החיים העירונית, חיזוק המערכות האקולוגיות, וזאת בעלות נמוכה יחסית.

בהליך התכנון בישראל היום, קורה לא פעם, שההתייחסות והטיפול בהיבטי הניקוז בכלל ובניהול נגר בפרט, מתקיימים רק בשלבי התכנון המאוחרים, כשהמטרה היא להתאים לתכנית מערכת ניקוז שתספק הגנה מפני הצפות. כמו כן, מבחן המציאות הוכיח כי ההוראה המחייבת השארה של 15% שטח פתוח בתכנית לטובת ניהול

נגר, מבלי שתהיה התייחסות לתפקוד השטח בהיבט סוג הקרקע והגובה היחסי במגרש, אינה ערובה לניהול נגר בתכנית, לא כל שכן כאשר אין יעד כמותי.

לסיכום, לפריסת ייעודי הקרקע במרחב השפעה ישירה על סיכוני הצפות ובפרט לפוטנציאל ניהול נגר בתכנית, לעיתים אף יותר מתשתיות הניקוז ואמצעי ניהול נגר עצמם. ייעודי קרקע שימוקמו, ללא התחשבות בסיכוני הצפות בתחומם או בהיבטי ניהול נגר, מראש יגבילו את יעילות תשתיות הניקוז וניהול הנגר, והביטוי יהיה בהשקעות ותחזוקה גבוהים ופחות יעילים. בהתאם לכך, שילוב שיקולי ניהול נגר כבר משלב התכנון הראשוני, הינו עיקרון מהותי ומרכזי בהטמעה נכונה של היבטי ניהול נגר בתכנון.

2.2.מדיניות ניהול נגר מוצעת

המדיניות המוצגת בעבודה זו מבקשת להטמיע גישות מתקדמות לניהול הנגר, כפי שצויינו לעיל, בהתאם למרחב ולמאפיינים המקומיים בישראל. המדיניות תומכת בניהול וטיפול בנפח משמעותי מהנגר הנוצר בשטח התכנית ובתחום גבולותיה, ובכך להפחית ולהימנע מהוצאת הנגר מחוץ לשטח התכנית.

את ניהול הנגר, מוצע לעשות ראשית, בהליך התכנון, דרך קביעת מערך ייעודי הקרקע ושלד השטחים הפתוחים, ושנית, בהטמעה ושילוב אמצעים וכלים נופיים והנדסיים לניהול נגר. לדוגמא, תכנון מבוסס ניהול נגר, ימקם את השטחים הפתוחים (פארקים, גינות, צדי הדרכים, כיכרות ועוד), באזורים בעלי פוטנציאל לניהול נגר, וכן, יאפשר בהם בנוסף, שימושים לטובת ניהול נגר. שימוש בשצ"פים לטובת ניהול נגר, מחזק את פעילות המערכות האקולוגיות במרחב, בין היתר, ע"י הוספת שטחים פתוחים, מגוננים ומחלחלים במרחב העירוני האינטנסיבי.

משמעות המדיניות החדשה היא שהשארת שטח פתוח בתכנית לא תהווה תנאי ומענה לנושא ניהול נגר, אלא שבתחום מגוון השטחים הפתוחים שתציע התכנית, ניתן יהיה גם לנהל חלק מיעד ניהול הנגר של התכנית, במקביל ליתרונות של שטחים אלו לאיכות התכנון והמרחב.

לתוספות אלו, תרומה גדולה למבנה הבודד ולמרחב העירוני, מבחינה בריאותית, סביבתית, חברתית וכלכלית. הביטוי לכך הוא בוויסות הטמפרטורה, שיפור איכות האוויר, הקרקע, המגוון הביולוגי, חיזוק הטבע עירוני, זאת בנוסף, לתוספת שטחים פתוחים איכותיים למפגש חברתי ובניית קהילה, ועליית ערך הקרקע והנכסים, הנלווים לשיפור איכות החיים. כמו כן, ניהול נגר יכול להיעשות בעוד דרכים מגוונות, בגגות ובקירות מבנים, בבורות חלחול, קידוחי החדרה ועוד, כאשר יש לשאוף לבחירת תמהיל מגוון המותאם לתנאי וליכולות השטח, מבחינת מימוש האמצעים ומבחינת תחזוקתם השוטפת. לפירוט והרחבה על אמצעי ניהול הנגר, ראו פרק 7.

באופן מובהק, אחד הנושאים שעלה לאורך כל העבודה, לרבות הבחינה הכלכלית, הינו שעל מנת למצות את פוטנציאל המרחב לניהול נגר, ולאפשר בחירת תמהיל אמצעי ניהול נגר באופן מיטבי, יש להטמיע את שיקולי ניהול הנגר כבר מתחילת הליך התכנון. בדרך זו, מערך ייעודי הקרקע ייקבע, בין היתר, בהתייחס לפוטנציאל ניהול הנגר בהם, שאחרת מגוון האמצעים שניתן יהיה להטמיע מוגבל, עלותם מתייקרת ויעילותם פוחתת.

2.3.מטרות מסמך המדיניות

המסמך מהווה מהלך משלים לתיקון סעיף 7.1 בפרק המים בתמ"א 1, לרבות עדכון נספח הנחיות לניהול נגר (ב'4), לטובת הטמעה כוללת של מדיניות ניהול הנגר בישראל, כחלק אינטגרלי מהליך התכנון. מטרת המהלך הכולל היא קודם כל, לשפר את איכות התכנון בישראל ולהיערך לשינויי אקלים, בין היתר, ע"י קידום תפישת תכנון מקיימת, ובפרט, קידום חוסן עירוני בהיבט הנגר.

בשנים האחרונות ישנה עשייה ערה בתחום ניהול הנגר בישראל, המתבטאת בעבודות ומסמכים רבים ואיכותיים העוסקים בניהול נגר בפרט או כחלק מתפישה רחבה יותר של תכנון איכותי ומקיים. המדיניות שמוביל מינהל התכנון מעדכנת את תפישת ניהול הנגר לצו ולרוח השעה, תוך המרתה למדיניות תכנון קוהרנטית ואחידה, והתאמתה והטמעתה בפרקטיקת התכנון המקומית בישראל.

להלן מטרות המסמך:

- צמצום תופעת ההצפות במרחב העירוני;
- הקטנת העומס על מערכת הניקוז העירונית, צמצום הצורך בהוספה ושדרוג מערכות קיימות, והימנעות משימוש במערכות אלו לצרכי איסוף שפכים;
- העצמת פוטנציאל הפיתוח בשטח הבנוי והמתוכנן ע"י הפחתת מגבלות שמקורן בניקוז;
- העשרת מי תהום ושמירה על מקורות המים;
- שמירה על הים, השטחים פתוחים והנחלים מפני זיהום ומפגעי נגר וסחף לא מבוקרים;
- צמצום הוספת מוצאי ניקוז חדשים לים, לחופים ולשטחים הפתוחים;
- שמירה על הקרקע ומניעת סחף קרקעות.

3. ניהול נגר בישראל - תיאור מצב קיים

3.1.רקע כללי

הניהול הכולל של משאב המים בישראל מורכב, שכן הוא כולל מספר גופים המחלקים בניהם סמכויות ואחריות על היבטים שונים, שרובם לא באמת ניתנים להפרדה. הספקת מים לכלל צרכי המדינה, נמצאת באחריות רשות המים; איכות המים, לעומת זאת, נמצאת באחריות משותפת של רשות המים, משרד הבריאות והמשרד להגנת הסביבה; משרד החקלאות אחראי על חוק הניקוז, ורשויות הניקוז בישראל אחריות על צמצום נזקי הצפות בשטחים הפתוחים. באזורים עירוניים, מניעת ההצפות היא בסמכות הרשות המקומית, לעיתים רחוקות פועלת דרך תאגידים עירוניים; עוד, המשרד להגנת הסביבה אחראי על היבטים סביבתיים של נחלים, אלא אם הנחל עובר בשטח עירוני, ושוב, הרשות המקומית היא האחראית.

3.2.גשם ונגר בישראל

נפח הגשם הממוצע בישראל מסתכם בכ-7.9 מיליארד קוב בשנה. אמנם פריסת הגשמים אינה אחידה, כאשר אזור הדרום, המהווה כ- 50% משטח המדינה, מקבל כ- 14% בלבד מנפח הגשם הממוצע. כמו כן, מרבית מהגשם שכבר יורד בישראל, מתאדה חזרה לאטמוספרה (כ-70%), ומנפח הגשם הנותר (30%), כ-25% מחלחל למאגרי מי התהום וכ-5% זורמים כנגר עילי בנחלים. באזורים העירוניים, התנהגות הגשם משתנה באופן ניכר, כך שמקדם הנגר[9] גדל משמעותית, במקביל לצמצום היקף החלחול הטבעי, במיוחד בעת אירוע גשם. ההידרולוגיה באזורים עירוניים שונה בהיבטים נוספים מזו שבשטחים הפתוחים, זמן הריכוז,[10] של הנגר העירוני קצר יותר וכן זמני החזרה בין אירועי שיא קטנים יותר, עקב היעדר קרקע מחלחלת.[11]

על פי המדידות,[12] מסתכם נפח הנגר בתחום הניקוז המערבי (הנחלים אשר מתנקזים לים התיכון, מנחל בצת בצפון ועד הבשור בדרום), בכ-200 מיליון קוב בממוצע בשנה. מתוך נפח זה, כ- 20% בממוצע נתרמים מהאזור העירוני (כ- 40 מלמ"ק). מגמת העירוניות וגידול האוכלוסייה בישראל מרחיבות את היקף השטח הבנוי במקביל לצמצום השטחים הפתוחים והחקלאיים, ובכך משפיעות באופן ישיר על נפחי הנגר, זמני הריכוז וזמני החזרה להצפות.

---

[9] אחוז הגשם שהופך לנגר.

[10] משך הזמן במתחילת הגשם להגעה לספיקת השיא.

[11] (גבירצמן, 2002).

[12] השירות ההידרולוגי ברשות המים מודד את נפחי הנגר העילי בנחלי ישראל העיקריים.

3.3.שחקנים ראשיים בניהול נגר בישראל

להלן השחקנים המשמעותיים ובעלי הסמכות, העוסקים באופן שוטף בניהול הנגר ובניקוז בישראל:

3.3.1. רשות המים

רשות המים הינו הגוף הממשלתי האמון לניהול של משאב המים במדינה, הנדרש להבטיח ברמה האסטרטגית והמעשית את הספקת המים לאוכלוסייה, לתעשייה ולחקלאות. רשות המים מרכזת את הסמכויות בתחומי המים והביוב, ואחראית לניהול, תפעול, שימור, שיקום מקורות המים הטבעיים והסדרת משק המים, בהתאם למדיניות הממשלה ולהחלטות מועצת הרשות. בהקשר של ניהול הנגר, רשות המים מתמקדת בהיבט העשרת מי תהום, ע"י פתרונות החדרה, ובהתאם, בימים אלו, עורכת הרשות הנחיות ארציות לעידוד החדרת נגר למי תהום, שהינן משלימות לעבודה זו. הרשות קמה ופועלת מכוח סמכויות שהעניק לה חוק המים, 1959.

3.3.2. משרד החקלאות ופיתוח הכפר

שר החקלאות הוא השר האחראי על חוק הניקוז וההגנה מפני שיטפונות, 1957, מכוחו הוקמו רשויות הניקוז. המשרד פועל, בין היתר, בתחומי שימור ערכי הקרקע החקלאית בישראל וצמצום נזקי הצפות, ומכוח אילו, אחראי לקביעת מדיניות ארצית כוללת בתחום הניקוז. האגף לשימור קרקע וניקוז, הוא גוף המטה של המשרד, האמון לנושאים אלו, לרבות ניהול ונציגות ברשויות הניקוז, המהוות את זרועות הביצוע האזוריות. בימים אלו מקדם האגף, עבודה בנושא גישה אגנית משלבת בניהול אגני היקוות, שכוללת גם הנחיות לגיבוש תכניות אגניות לניהול סיכוני שיטפונות. מטרת ההנחיות החדשות לתת מענה כלל אגני לנושא שיטפונות והצפות, בניתוח מקומי של עלות תועלת, ובגישת 'win win', הכוללת תועלות נוספות, לדוגמה בתחומי האקולוגיה והקהילה. בנוסף, המשרד מוביל את מהלך לגיבוש מדיניות אגנית בישראל, באמצעות ועדת היגוי רחבה.

3.3.3. רשויות הניקוז ורשויות נחל

בישראל פועלות 11 רשויות ניקוז החולשות על כל שטח המדינה. גבולות הרשויות נקבעו לפי גבולות אגני ההיקוות, והרכב הרשות כולל נציגים של הרשויות מקומיות בתחומה וכן נציגים של משרדי הממשלה. "תפקידי רשות הניקוז הם לדאוג לניקוזו הסדיר של התחום שנקבע לה. ולשם כך להקים, לשנות ולהחזיק ולפתח מפעלי ניקוז באותו תחום" (חוק הניקוז וההגנה מפני שיטפונות, 1957). בתחומה, הרשות היא הגורם בעל הסמכות לניהול, שליטה, בקרה ותחזוקה על מערכת הניקוז, ובכלל זה, הסדרת אפיקי וערוצי ניקוז למניעת שיטפונות והצפות, וכן שימור, תפיסת מי שיטפונות ועוד. רשויות הניקוז מקדמות תכנון וביצוע של פרויקטים במרחב הרשות, לרבות שיקומי נחלים, מפעלי ניקוז וכד'. בתחומי העיריות והמועצות המקומיות, רשות הניקוז אינה בעלת הסמכות לנושא הניקוז, אלא הרשות המקומית. רשויות הניקוז פועלות מכוח חוק הניקוז וההגנה מפני שיטפונות, תשי"ח-1957.

על 11 רשויות הניקוז הטיל השר להגנת הסביבה חלק מתפקידי רשות נחל. וכן, מכוח צווים, הוקמו 3 רשויות נחל, (קישון, ירקון, באר שבע), בתחומם, נקבעו תפקידי וסמכויות רשות הנחל ורשות הניקוז ומסגרת הזמנים לכך. כך שלמעשה, כל רשויות הניקוז, לרבות אלו שבמקביל אליהן פועלות רשויות נחלים, הן רשויות ניקוז ונחלים, אולם מידת מימוש תפקידי רשות נחל ע"י רשות הניקוז, משתנה, בעיקר לאור תקצוב.

3.3.4. רשויות מקומיות

עיריות ומועצות מקומיות הן בעלות האחריות והסמכות לעניין הניקוז בתחומן. עפ"י פקודת העיריות (1925), חובת העירייה לדאוג '.. לתיקונו, ניקויו, הזלפתו, תאורתו וניקוזו של רחוב שאינו רכוש הפרט'. ברוב הרשויות המקומיות בישראל הוקמו תאגידי מים וביוב שאליהן הועברו הסמכויות בעייני אספקת מים וביוב. ישנן רשויות מקומיות שערכו תכניות אב לניקוז וניהול נגר או קידמו נספחי ניקוז וניהול נגר במסגרת תכנית כוללנית ו/או מפורטת, וכן מתייחסות להיבט ניהול הנגר בהליכי התכנון והרישוי.

3.3.5. תאגידי מים וביוב

בשנת 2001 נכנס לתוקף 'חוק תאגידי המים והביוב' מכוחו הוקמו תאגידי המים העירוניים. מטרת החוק הייתה לייצר מסגרת עירונית להסדרה ולניהול כלכלי של שירותי ומערכות המים והביוב, ע"י הסמכת חברות עירוניות ייעודיות. 'ניקוז ותיעול מי גשמים ושיטפונות' נכלל בחוק תחת הגדרת 'פעילות נוספת', המשמעות שפעילות זאת אינה מחייבת, אלא אם הוגדר כך. בערים ספורות, הוסמכו תאגידי המים והביוב לטפל גם בניקוז העירוני. ראשון לציון הייתה הראשונה בהן, ועשתה זאת במסגרת תאגיד המני"ב.

3.3.6. גופים לא ממשלתיים

מחקר אקדמי ופעילות ארגונים ועמותות סביבתיות ומקצועיות, הנגישו וקידמו תפישת תכנון חדשניות בתחומי הבניה וניהול הנגר, שבחלקן אף נתמכו והשתלבו בעבודת משרדי הממשלה והרשויות המקומות. פעילות זו כללה יצירת תקנים וולונטריים חדשנים ואלטרנטיביים לתכנון מקיים, שמהמוכרים בהם: LEED-SITES, BRE, GREEN STAR, ENVISION ועוד.

ככל שתכנית ו/או פרויקט מעוניינים לעמוד בתקן, הם נדרשים לעמוד בניקוד המתקבל ע"פ מדרג מוסכם שמתכלל אלמנטים שונים בפרויקט, כך שככל שמוצע אלמנט או פתרון 'מחמיר' יותר, הניקוד עולה. בתחום המים וניהול הנגר, הדרישות מתייחסות למניעת בנייה בתחום פשטי הצפה או טיפול כמותי בנגר דרך אמצעי ניהול נגר.

בארץ קיימים "תקן ישראל 5281 - בנייה בת קיימא - בנייה ירוקה" המודד קריטריונים בתחום המגרש עצמו, ומדריך - "שכונה 360° - מדדים לתכנון ופיתוח סביבת מגורים". שניהם כוללים התייחסות לנושא הנגר העילי, תוך גמישות ברמת הפתרונות. בסעיף 3.4.2 - 'מדריכים ועבודות בתחום ניהול הנגר', ניתן לקרוא על התקן והמדריך לעיל.

3.4. חקיקה ומדיניות לניהול משאב המים והניקוז בישראל

ניהול הנגר, מקורו בניהול משאב המים, ולכן הנגזרות הסטטוטוריות העיקריות שלו הן מתחום ניהול המים, כאשר קיימות השקות טבעיות גם לעולם התכנון והבניה. להלן נציג סקירה קצרה שמפרטת חקיקה, מסמכי מדיניות ותכניות אב הרלוונטיות לניהול הנגר, על מנת להראות תמונת מצב עדכנית בנושא, ואת ההשפעה על התכנון. בפרק הבא 'ניהול נגר בתכנון בישראל', נפרט על התכנון המתארי הסטטוטורי שמכתיב את אופן ניהול הנגר בתכנון בישראל. מטרת ההפרדה היא להבחין בין החקיקה והמדיניות הייעודים לניהול הנגר לבין מדיניות התכנון לניהול נגר, כפי שמוכתבת ע"י תכניות המתאר הארציות, המחוזיות והמקומיות.

3.4.1. חקיקה ראשית ומשנית

3.4.1.1. חוק המים, 1959

חוק המים קובע כי מקורות המים, (ובכללם הנגר העילי), הם קניין ציבורי, ותפקידה של המדינה, לנהלם. החוק מסמיך את רשות המים כאחראית ראשית לניהול ושימוש במשאב המים. הוראת החוק עוסקת בעיקר בשמירה כוללת על מקורות המים, לרבות העשרת מי תהום, מניעת זיהום וניהול מלאי משקי. היבט ניהול הנגר רלוונטי כמקור מים להעשרת מי תהום, אף שבישראל מקור המים משמעותי הוא מתקני התפלה, ומי שיטפונות מהווים מקור משלים ותומך באספקת המים בישראל.

3.4.1.2. חוק הניקוז, 1957

שר החקלאות אחראי על חוק הניקוז, ובהתאם לחוק הוקמו רשויות הניקוז. החוק מסמיך את הרשות 'לדאוג לניקוזו הסדיר של התחום שנקבע לה... ולשם כך, להקים, לשנות ולהחזיק ולפתח מפעלי ניקוז באותו תחום.. ולמניעת מפגעי בריאות'. ראו בסעיף 3.3.3 את ההסבר על רשויות הניקוז להרחבה. לחוק מגוון כלים על מנת לתמרץ השקעות במערכות ניהול נגר והחדרה. לפני מספר שנים יזם משרד החקלאות תיקון מקיף לחוק הניקוז שכלל ריכוז סמכויות, עדכון מבנה הארגונים שפועלים לפי החוק, הסדרת המודל התקציבי, הסמכת רשויות הניקוז בסמכויות פיקוח ועוד. הליכי החקיקה לא הושלמו, בעיקר בשל מחלוקות על ענייני תקציב בין הממשלה לבין השלטון המקומי.

3.4.1.3. חוק רשויות נחלים ומעיינות, 1965

השר להגנת הסביבה הוא האחראי על החוק. תפקיד הרשות הוא לנהל ולהסדיר את תפקודו השוטף של הנחל לטובת הציבור, ובכלל זאת, להסדיר את זרימת המים באפיק ולדאוג לניקוז המרחב, לשמור על סביבת הנחל, להסיר מפגעים ולהסדיר את החלוקה והשימוש במי הנחל. בסמכות השר להגנת הסביבה להקים רשות נחל, בתחום נחל או חלקים ממנו, או להטיל על רשות ניקוז את תפקידי רשות הנחל, כולם או חלקם. למעשה, על מנת להקים רשות נחל, יש להוכיח שאין הצדקה להטיל סמכויות אלו על רשות הניקוז. כיום פועלות בישראל 3 רשויות נחל (קישון, ירקון ובאר שבע), שהוקמו מתוקף צו, כאשר בשאר הנחלים, את חלק מתפקידי רשות הנחל קבלה רשות הניקוז במרחב.

3.4.1.4. תקנות המים (מניעת זיהום מים) (מערכת להולכת שפכים), התשע"ב- 2011

תקנות שמטרתן למנוע דליפה ממערכת הולכת שפכים כדי להגן על מקורות המים, מערכות אקולוגיות, המגוון הביולוגי ומשאבי טבע אחרים ולמנוע מפגעים סביבתיים, באמצעות הטלת חיובים, בעיקר על רשויות מקומיות. התקנות קובעות כי על רשויות מקומיות להחזיק נתונים מעודכנים של מערכת השפכים שבתחומן באופן ממוחשב על גבי מערכת מידע גאוגרפית. בנוסף, על רשות מקומית להכין ולבצע תכניות של שדרוג מערכת השפכים שבתחומה. התכניות יתייחסו גם לניתוק מערכת הולכת השפכים ממערכת הניקוז, כאשר הוגדר לכך פרק זמן לביצוע, של שנתיים מיום תחילת התקנות. כן כוללות התקנות מנגנון תחזוקה, בקרה ופיקוח על מערכת הולכת השפכים העירונית ונוהל טיפול בדליפות.

3.4.1.5. תקנות התכנון והבנייה (תכן הבנייה) (תברואה), התש"ף, 2019

התקנות קוראות לניקוז מי הנגר הנצברים בגגות ובמרפסות אל מערכת ניקוז מי הגשם במגרש. ישנה החרגה של גגות ומרפסות ששטחם קטן מ 40 מ', שהראשונים יכולים להתחבר למערכת הביוב, והשניים, להוצאה

חופשית למגרש, ללא נקז. כמו כן, מוצאי הנקז של הגגות והמרפסות יהיו בשפיכה חופשית לאזורי הגינון או לאזור ריצוף מחלחל. הוצאת יתרת הנגר מחוץ למגרש תהיה בשפיכה חופשית למדרכה והכביש, או בתת הקרקע, כך שתמנע הפרעה לציבור. על מנת לתאם בין מהלך תיקון תמ"א 1 ונספח ניהול הנגר לבין תקנות התברואה לתפישה קוהרנטית, מוצע לתקן את התקנות ברוח מדיניות ניהול הנגר החדשה.

3.4.1.6. תכנית אב ארצית ארוכת טווח למשק המים, מהדורה 4, אוגוסט, 2012

תכנית האב היא תכנית אסטרטגית משמעותית ופורצת דרך שהוציאה רשות המים בשנת 2012, ועניינה ההיערכות הלאומית הכוללת למשק המים בישראל. התכנית הגדירה מטרת על : "להבטיח אספקת מים, מתן שירותי ביוב וייעוד קולחים **וניהול נגר וניקוז** - באיכות, בכמות ובאמינות נאותים וביעילות כלכלית לפיתוח המדינה ומימוש יעדיה הלאומיים, להשאת הרווחה בת הקיימא של כלל הצרכנים." (ההדגשה לא במקור). אחד מעיקרי המלצות התכנית היה 'ניהול נגר וניקוז', והוגדרו בה קווי מדיניות הבאים: הנגר הוא משאב ולא מטרד; הכנת תכניות אב אגניות, בהן תהיה אינטגרציה בין ניהול הנגר האגני לניהול הנגר העירוני; תישקל העברת האחריות לניהול נגר וניקוז ביישובים העירוניים לידי התאגידים למים וביוב; ותקודם בנייה משמרת מים. התייחסות לניהול נגר במסמך אסטרטגי למשק המים, מעיד על חשיבות ומקומו בניהול משק המים בישראל.

3.4.2. מדריכים, עבודות וכלי מדידה בתחום ניהול הנגר

ישנן עבודות רבות שנעשו בתחום העשורים האחרונים, שכל אחת בזמנה הציגה את הגישה העדכנית. ככלל התפישה והעקרונות של העבודות דומים. להלן נציג את העבודות עיקריות העוסקות בנגר, המתייחסות גם להליך התכנון.

3.4.2.1. מדריך לתכנון ובניה משמרת נגר עילי[13]

מדובר בחוברת ראשונה וחדשנית באיכותה ובהיקפה, אשר יועדה לאנשי תכנון, אדריכלות, אדריכלות נוף והידרולוגיה, והנחתה לשילוב היבטי ניהול נגר בהליכי התכנון השונים. המדריך כולל הנחיות לתכנון מתארי ומפורט, פרטי ניהול נגר טיפוסיים, התייחסות להיבטים נלווים בהליך התכנון המוצע מבחינה סביבתית, כלכלית ותחזוקתית, וכן, מפנה למקורות נתונים שונים (הידרולוגים, גיאולוגיים), ומציע שיטות חישוב, מודלים לעבודה ועוד. עבודה זו מקיימת חפיפות מסוימות עם המדריך, תוך הצעת זוויות ומיקודים שונים, הרחבות ועדכונים. התפישה והעקרונות המדריך דומות לאלו של מסמך זה, שהרעיון הוא טיפול בנגר כמה שיותר קרוב למקום היווצרותו באמצעים נופיים והנדסיים, ע"י שיתוף פעולה של המתכנן, אדריכל הנוף, מהנדס הניקוז/ ההידרולוג, תוך התייחסות ושילוב היבטים הידרולוגים, גיאולוגיים וסביבתיים בהליך התכנון, החל מראשיתו.

3.4.2.2. תר"מ - תכנון רגיש למים, שילוב שיקולי מים בתכנון עירוני ואזורי[14]

הספר מציע גישה המשלבת בין תחום התכנון העירוני לתחום ניהול המים כחלק מעקרונות של פיתוח מקיים. הספר מכוון למניעה במקור, לטובת צמצום נזקי הצפות ושיפור איכות השטח הבנוי והשטח הפתוח. הספר קורא לקידום הנושא דרך תפישת עבודה כוללת ואינטגרטיבית של כלל אנשי צוות התכנון, החל מראשית הליך התכנון. זאת בנוסף, לתפישה מרחבית כוללת אינטגרציה מרחבית, בהתייחסות כוללת וקוהרנטית לנושא המים והנגר ברמה הארצית והמחוזית, דרך המקומית וכלה בשכונה ובמגרש. הספר נכתב על בסיס עבודה מחקרית אקדמית ותובנות מהעולם המערבי, והוא נחלק להבנת היתרונות והרציונל של הגישה, היישום המקצועי בשדה והצעת מדיניות כוללת להטמעת הגישה ומימוש החזון.

3.4.2.3. מדריך לתכנון סביבתי, הטמעת היבטים סביבתיים בהליכי התכנון[15]

המדריך ומסמך זה דומים בתפישה. המדריך קורא להתייחסות מרחבית כוללת לניקוז וניהול הנגר, ולהתבססות על נתוני הסביבה הטבעיים, על מנת לתכנן את מערך השטחים הפתוחים לניהול נגר בדרכים של קליטה, החדרה והשהייה, כך שתמנע, ככל האפשר, הוצאת נגר מתחום התכנית.

---

[13] (משרד הבינוי והשיכון, 2004).
[14] (שמיר, 2007).
[15] (עמיר, 2015).

3.4.2.4. ניהול אגני היקוות בגישה אינטגרטיבית - לקראת גיבוש מדיניות[16]

סקירה מושגית של נושא הניהול האגני האינטגרטיבי כפי שמשתקף בעולם ובמקרי בוחן בישראל. העבודה כוללת השוואת המדיניות האגנית האינטגרטיבית בין האיחוד האירופי, ארה"ב תוך שימת דגש על הכלים הרגולטוריים, הכלכליים והמשפטיים. סיקרה מקיפה של חקר מקרים, תוך דגש של ייחודיות מאפייני האגן, צרכים ואינטרסים.

3.4.2.5. גישה אגנית משלבת לניהול אגני היקוות - נייר מדיניות ומפת דרכים להטמעת עקרונות הגישה בישראל 17

הצעת מדיניות ותכנית פעולה משותפת לכלל הגופים שלוקחים חלק בתהליך. משימות הליבה הן: גיבוש מתודולוגיה לניהול סיכוני שיטפונות, גיבוש מתודולוגיה לניהול סיכוני זיהום, הקמה של מאגר מידע בנושאים אגניים, קידום מסמך מדיניות זה על ידי מנהל התכנון, מעבר מרשויות ניקוז לרשויות אגניות ועוד.

3.4.2.6. מסמך עקרונות ניהול ושימור נגר [18]

על רקע הפיתוח האינטנסיבי שמביא לצמצום בשטחי המילוי החוזר של האקוויפרים, ובהתאמה להקטנת נפחי המים הנקלטים בהם, המסמך מפרט את העקרונות לשימור נגר בהתייחס לסוג האקוויפר וסוג התכנית (רמת השכונה/ רמת המבנה).

3.4.2.7. מסמך הנחיות להחדרת מים במסגרת בניה משמרת מים [19]

מסמך המציג הנחיות לתכנון מערכות החדרה בשלב היתר הבניה או הביצוע, וכן הצעה לתקינה לקידוחי החדרה למי גגות הכוללת מפרט טכני להקמה ולתחזוקה של הקידוחים.[20]

3.4.2.8. שכונה °360, מדדים לתכנון ופיתוח שכונות מגורים[21]

כלי מדידה שמטרתו לקדם את התכנון, הפיתוח והבינוי של שכונות איכותיות, בריאות ומשגשגות לאורך זמן, דרך הטמעת עקרונות פיתוח מקיים. בהתייחס לנגר, עקרונות העבודה תואמים את מדיניות ניהול הנגר המוצעת במסמך זה, ועניינם בהפקת מירב התועלת מהנגר, לטובת צמצום השימוש במערכות הניקוז וצמצום הפגיעה במערכות המים הטבעיות. הכלי מציע ניקוד בגיבוש ובניית אסטרטגיה תכנונית לניהול נגר, ע"י אנשי המקצוע הרלוונטיים, תוך פירוט ההליך והבחינות שיש לקיים. בנוסף, מוגדר שמערכת הניקוז ומניעת הצפות בתכנית תתוכנן לתקופת חזרה של 1:100 שנים, בהתאם לנתוני הגשם מפרסומי השירות המטאורולגי וניתוח יועץ מוסמך לעניין התחשבות בשינויי אקלים. כמו כן, ישנה העדפה להחדרה למי התהום, כך שהניקוד עולה עם גידול שיעור ההחדרה.

3.4.2.9. תקן בניה ירוקה, תקן מס' 5281[22]

תקן שעד לאחרונה היה וולונטרי, ולאחרונה הפך מחייב, במסגרת הזמנים שנקבעה בתקנות התכנון והבנייה (תכן הבנייה) (בנייה בת-קיימה), תש"ף-2020. המתייחס לרוב סוגי המבנים בישראל, ומציע קטגוריות לבחינה ומדדים להגדרת מבנה ירוק (מקיים), בהתאם לניקוד על עמידה בתנאים שקובע. התקן הושק לראשונה בשנת 2005, וב- 2011 בגרסה חדשה ומורחבת. התקן מתייחס לנושאים: אנרגיה, קרקע, מים, חומרים, בריאות ורווחה, פסולת, תחבורה, ניהול אתר הבניה. פרק 3 הוא פרק המים, כולל תת פרק העוסק בניהול מי נגר עילי וניקוז, שעניינו עידוד ניהול ושימור מי נגר. היקף הניקוד הוא לפי הטיפול הכמותי בנגר במגרש, וכן, הפיתוח נבחן לפי שיפור מערכות הניקוז הטבעיות הקיימות או חלופת הניקוז. בנוסף, יש להציג אסטרטגיית ניהול הנגר בתכנון

---

[16] (גוטמן, 2018).

[17] (גוטמן, 2019).

[18] (ליבשיץ, 2018).

[19] (עמיעז, 2018).

[20] בימים אלו פועלת ועדה מס' 592318 במכון התקנים, העוסקת במערכת להחדרת נגר עילי ומי עיבוי מזגנים לתוך הלא רווי והרווי (מי תהום). הוועדה צפוי לסיים את עבודתה בחודש יולי 2021.

[21] שכונה °360 מדדים לתכנון ופיתוח שכונות מגורים, יצא בשיתוף פעולה של המועצה לישראל ירוקה ומשרד הבינוי והשיכון, גרסה אחרונה פורסמה ביולי 2019.

[22] תקן בניה ירוקה, 5281, בנייה בת קיימה (בנייה ירוקה): דרישות לבנייני מגורים, מכון התקנים הישראלי, יולי 2011.

ונתוני רקע הידרולוגיים וגיאולוגיים, וכן להבטיח את הטמעת אמצעי ניהול הנגר בבניה בפועל. התקן קובע התייחסות לתקופת חזרה של 1:5 שנים, לפי פרסומי השירות המטאורולוגי. התקן האמריקאי והבינלאומי המקביל נקרא LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).

3.4.2.10. תקנות התכנון והבנייה (תכן הבנייה) (בנייה בת-קיימה), תש"ף-2020

ביום 3.3.2020, אישרה המועצה הארצית לתכנון ובניה את תקנות בנייה בת קיימה, שעניינן חיוב הדרגתי של תקן 5281. בין היתר, התקנות קובעות את מועד תחולת חובת עמידה בתקן לפי שימוש הקרקע, כך למשל, החל מחודש מרס 2022, רבי קומות, מבני מסחר ומשרדים[23], בתי חולים[24] ועוד, יחויבו בעמידה בתקן.

3.4.2.11. LID (*Low Impact Development*)

תפישה אקולוגית תכנונית לניהול נגר, המתעדפת שימוש באמצעים רכים ונופיים לניהול נגר במגרש, ומניעת הוצאה של נגר עודף. הגישה תומכת בשימור ושימוש במערכת ההידרולוגית הטבעית של השטח, על מנת לטפל בנגר בגבולות המגרש, באמצעים נופיים רכים מגוונים, ולהימנע, כמה שניתן, משימוש במערכות תיעול.

[23] מעל שטח של 5,000 מ"ר.

[24] מעל שטח של 5,000 מ"ר.

3.5.ניהול נגר בתכנון בישראל

היררכיית התכנון בישראל, מחקיקה ראשית ומשנית, דרך התכנון הארצי והמחוזי וכלה בתכנית המקומית ו/או המתארית, מייצרות יחד את המסגרת הסטטוטורית להכנה ולאישור תכניות מפורטות, מכוחן יוצא היתר בניה. להלן נסקור תכניות מתאר ארציות ומחוזיות, ואת אופן התייחסותן להיבט ניהול הנגר:

3.5.1. תכניות מתאר ארציות

3.5.1.1. תמ"א 35/ 1 - תכנית מתאר ארצית משולבת לבנייה, לפיתוח ולשימור, 2016

תמ"א 35 מתייחסת לנגר בעיקר בהיבט של שימור משאב המים והגנה על מי התהום. התמ"א מסמנת אזור ל'שימור משאבי מים', ובתחומו קובעת (ס' 10.2) כי מוסד תכנון הדן בתכנית בשטח, ישקול את הצורך בקביעת הוראות בדבר חלחול והשהיית מי נגר, וכן, בתכניות עם סיכון לזיהום מי תהום, מחייבת הגשת חוות דעת הידרולוגית וקביעת הוראות למניעת הזיהום.

3.5.1.2. תמ"א 1

פרקי המים והנחלים בתמ"א 1, מאגדים ומחליפים את התמ"אות שהסדירו את מערכת המים הארצית בעניינים הבאים: איגום, החדרה, העשרה והגנה על מי תהום, הפקה והולכה של מים, ניקוז, ביוב והתפלה וכן, הבטחת התפקוד האקולוגי, ההידרולוגי והחברתי של הנחלים בראייה אגנית. בהתאם לכך, עם אישורה של תמ"א 1 ע"י ממשלת ישראל, בוטלו למעשה, בין היתר, תמ"א 34/ ב/ 3 ותמ"א 34/ ב/ 4.

לעניין הניקוז והטיפול בנגר, התמ"א מחייבת כל תכנית מקומית ומפורטת המוסיפה שטח לבינוי, לכלול הנחיות לבניה משמרת מים וניצול מיטבי של הנגר. בתכנית בשטח נרחב[25] או תכנית שעתידה להשפיע בהיבט הנגר מחוץ לגבולותיה, יש להגיש נספח ניהול הנגר. מוסד תכנון מוסמך לפטור מהגשת הנספח, בתנאי להשארת שטח פנוי לחלחול בהיקף של 15%; או כאשר מדובר בתכנית נקודתית ללא השפעה בהיבט הנגר; או במידה ומדובר בתכנית הסמוכה לשטח פתוח שיכול לקלוט את הנגר. במסגרת העבודה על מסמך זה, קודם שינוי להוראות התמ"א ולהנחיות של נספח ניהול הנגר, על מנת להתאימם לרוח המסמך.

פרק הנחלים, הנמצא בחטיבת השטחים הפתוחים, עוסק בהבטחת קיומם ותפקודם ההידרולוגי, אקולוגי, חברתי ומבני (מרחב חיץ פתוח החוצץ בין שטחים בנויים), של הנחלים וסביבתם, בראייה אגנית. בהתייחס לניהול נגר, הפרק מבקש להבטיח את תפקיד הנחל כציר ניקוז והולכת מים בקיבולת מתאימה, על מנת לצמצם נזקי סחף והצפות. סעיף 8 לפרק, עוסק ב'הנחיות לתכניות המשנות את משטר הזרימה העילי', ומוסיף על האמור בפרק המים, בכך שמחייב כל תכנית שצפויה לשנות את משטר הזרימה העילי של הנחל, להגיש גם היא, נספח ניהול נגר. גם בפרק זה, יש אפשרות לפטור מהצורך בהגשת המסמך.

לעניין שמירה על מי התהום, פרק המים מגדיר שטחים בעלי חשיבות להחדרה והעשרה של מי תהום, (גבוהה מאוד, גבוהה, בינונית, נמוכה). בשטחים בעלי חשיבות גבוהה מאד, אוסרת התמ"א על אישור תכניות בעלות פוטנציאל לזיהום מי תהום, אלא במקרים חריגים, ובהתאם להוראות התמ"א. כמו כן, מסומנים בתמ"א אזורים רגישים להחדרת מי נגר עילי, שהינם חשודים בזיהום קרקע ו/או מי תהום, בהם נדרשת חוו"ד של רשות המים, לעניין החדרת נגר למי התהום.

[25] 'שטח נרחב' היא הגדרה מתמ"א 1. פרשנותה נתונה לשיקול הדעת של מוסד התכנון, לפי מאפייני היישוב המקומיים.

3.5.1.3. תמ"א 34/ ב / 264 - תכנית מתאר ארצית משולבת למשק המים- איגום מים עיליים, החדרה, העשרה והגנה על מי תהום, 2007

לתמ"א שתי מטרות עיקריות בתחום הנגר - יצירת מסגרת תכנונית להקמת מאגרים לאיגום מים, מפעלים ואתרים להחדרת מים למי תהום ומסגרת תכנונית לשימור וניצול מיטביים של מי נגר עילי, הקטנת נזקי סחף והצפות והעשרת ושמירה על מי התהום.

החלק הראשון עוסק בשמירת קרקע לאתרי החדרה והתווית הנחיות לתכניות להקמתם ולהליך אישורם. החלק השני, עוסק בהטמעת היבט ניהול הנגר בתכנון השוטף, תוך הבחנה בין תכנית להרחבה ניכרת[27] ותכנית שאינה להרחבה ניכרת. לגבי הראשונה, נקבע שיש לערוך נספח לשימור וניצול מיטביים שיכלול הנחיות ופתרונות לניצול הנגר לטובת העשרת מי תהום, השקיה, אגירה לצרכי נופש ופנאי, הפניה לנחלים ועוד. וכן, להפנות לשימוש בשטחים ציבוריים פתוחים לקליטה והשהיית נגר ולעידוד החדרה למי התהום.

לגבי תכנית מפורטת שאינה להרחבה ניכרת, התמ"א קובעת כי באזורי ההר (אקוויפר ההר), במקרה של שינוי יעוד משטח פתוח לבינוי, יש לכלול הוראות בדבר שימור וניצול מי נגר עילי, השהייתו והחדרתו למי התהום. ההוראות כאמור, יתחשבו בתנאי השטח הגיאולוגיים וההידרולוגיים, בבינוי המוצע ובשיקולי העשרת מי תהום ומניעת הצפות. באזור מישור חוף (אקוויפר החוף), מחייבת התמ"א השארה של לפחות 15% שטחים חדירים למים, לטובת חלחול למי התהום, תוך אפשרות להקלות אם מיושמים מתקני החדרה. באזור אקוויפר ההר, נדרש לקבוע הוראות להעברת מי הנגר מהאזור הבנוי לשצ"פים או למתקני החדרה סמוכים לטובת השהייה והעשרת מי תהום.
למוסד התכנון יש אפשרות למתן פטור מהדרישות המפורטות.

3.5.1.4. תמ"א 34/ ב/ 3 - תכנית מתאר ארצית משולבת למשק המים- נחלים וניקוז, 2006

מטרת התמ"א היא להבטיח את התפקוד התקין של נחלים וסביבתם מבחינה אקולוגית, תרבותית וכעורקי ניקוז ופשטי הצפה, להולכת מים וצמצום סחף והצפות. אלו נובעים, בין היתר, לאור הבנת חשיבותו של תפקוד הנחל במערך הניקוז האגני. התמ"א כוללת הוראות לתכנון בתחום עורק, רצועות מגן ופשטי הצפה; הוראות לתכנון מפעלי ניקוז לפי חוק הניקוז; והוראות להבטחת שמירה ושיקום ערכי הטבע והסביבה לאורך הנחלים.

[2626] כאמור בהסבר על תמ"א 1 בסעיף 3.5.1.2, תמ"אות 34 אינן תקפות עוד, אמנם מצאנו לנכון לציין את המצב התכנוני שהיה תקף זמן רב, עד לאישורה של תמ"א 1.

[27] תכנית להרחבה ניכרת מוגדרת בתמ"א 35 - כתכנית הכוללת תוספת שטח לבינוי בהיקף של 50 אלף מ"ר ויותר, או 100 יח"ד ויותר, או כזו שנחשבת ע"י מוסד תכנון להרחבה ניכרת לנוכח אופיו, גודלו או סביבתו של היישוב.

3.5.2. תכניות מתאר מחוזיות

תכניות המתאר המחוזיות נבדלות בהוראות שקבעו לנושא ניהול הנגר. להלן סקירה קצרה המציגה את ההתייחסות לנושא הנגר בתכניות המתאר המחוזיות:

- **תמ"מ 1/ 30 מחוז ירושלים, 2013:** קובעת כי תכנית מפורטת תחומה תכלול הוראות המבטיחות פיתוח בר קיימא לרבות טיפול במי הנגר העילי, ככל האפשר, במטרה להעשיר את מי התהום. בכל הנוגע למערכות מים וניקוז מפנה לתמ"א 34/ ב/ 4.
- **תמ"מ 3/ 21 מחוז מרכז, 2003:** מנחה שמי הנגר יטופלו, ככל האפשר, בתחום המגרשים, באמצעים טכנולוגים והנדסיים המגבירים את העשרת מי התהום וכוללים אמצעי השהיית נגר, כגון חיבור מרזבי גגות למתקני החדרה, חומרי סלילה חדירים, מניעת רצף שטחים אטומים, אגנים, רצועות גינון וכד', תוך תיאום עם רשות הניקוז. כן קובעת התמ"מ שתכנית בתחום ייעודי הקרקע הכוללים בינוי, תכלול הנחיות להסדרת הנגר העילי.
- **תמ"מ 4/ 14 מחוז דרום, 1999:** קובעת כי בתכניות מפורטות בתחום התכנית תוכן, לפי דרישת משרד הבריאות, חוו"ד הידרולוגית שתבדוק את השפעת התכנית על מי התהום.
- **תמ"מ 5 מחוז תל אביב, 2010:** קובעת כי תכנית מקומית תבטיח הותרת שטחים חדירים למים בהיקף שלא יפחת מ- 15, ומפנה את הטיפול במי הנגר להוראות תמ"א 34/ ב/ 4. בנוסף, קבעה כי הוועדה המחוזית תערוך מסמך עקרונות לאישור חניה בתת הקרקע מתחת לגנים, שבין היתר, יתייחס לנושא טיפול והסדרת הנגר העילי. מסמך זה נערך ואומץ בוועדה המחוזית.[28] תמ"מ 5/ 2, נחל הירקון, מסמנת, בין היתר, פשט הצפה לנחל, וכוללת גם את רומי ההצפה, ולעניין זה הינה תקדימית.
- **תמ"מ 6 מחוז חיפה, 2013:** קובעת כי על איגום מים עיליים, החדרה, העשרה והגנה על מי תהום יחולו הוראות תמ"א 34/ ב/ 4.

[28] (מינהל התכנון, 2012).

4. מדיניות תכנון מוצעת לניהול נגר בישראל

4.1. כללי

בפרקים הקודמים נחשפו האתגרים הקיימים והעתידים בתחום ניהול הנגר בישראל, מהם עולה בבהירות הצורך בגיבוש תפישה וחזון עדכני, קוהרנטי ויישומי. יוזמי ועורכי תכניות נתקלים היום בקשיים בקידום ובאישור תכניות המבקשות לנהל את הנגר בתחומן, לאור ריבוי כלי המדידה והמדריכים, היעדר שיטות חישוב ומקורות מידע אחידים, וברקע ההבדלים בתפישה וביישום המדיניות במוסדות התכנון. מנגד, מוסדות התכנון, המלווים ומאשרים את התכניות, מוגבלים גם הם בכלי ביקורת ופיקוח על ניהול הנגר בתכנית ובנספחים.

תפישת המדיניות המקודמת במסמך זה מתמקדת מצד אחד, בלקיחת אחריות של התכנית לניהול הנגר הנוצר בתחומה, ומהצד השני, קוראת לאופן ביצוע ניהול הנגר, בתכנון מושכל ובשילוב אמצעי ניהול נגר נופיים והנדסיים.

החזון הוא שמדיניות ניהול נגר תותווה מרמת אגן הניקוז, דרך מרחב הרשות המקומית ומשם לתכנית המפורטת ולמגרש. כך שכל מוסד תכנון ומתכנן יכירו, או יהיו זמינים לתכניות, למדיניות ולמידע הרלוונטיים להם. בהתאם, כל תכנית ומגרש יוגשו ויבחנו מתוך הקשר מרחבי, תוך שימוש בכלים ובבסיסי מידע אחידים ועדכניים, כך שהם ממלאים את חובותיהם המרחביים הקונקרטיים לניהול הנגר.

4.2. מסגרת כוללת לקידום המדיניות

על מנת להגשים את החזון ולהטמיע את המדיניות באופן מיטבי ומהיר, מקודמים במינהל התכנון מספר מהלכים מקבילים, שיחד יצרו מהלך קוהרנטי כולל. המהלכים כוללים חלקים סטטוטוריים ואמצעי מעטפת ומדיניות, ומסמך זה הינו אחד מאמצעי המעטפת. להלן פירוט המהלך המלא המקודם במינהל התכנון:

4.2.1. מסגרת תכנונית והליך התכנון (הליכים סטטוטוריים)

א. תיקון סעיף 7.1 בפרק המים בתמ"א 1, העוסק בניהול וניצול מיטבי של מי נגר עילי והעשרת מי תהום, בנוסף לשינויים המתייחסים, בין היתר, לחובת הגשה של נספח ניהול נגר, לקביעת יעד לניהול נגר ועוד.

ב. עדכון הנחיות נספח ניהול נגר (ב'4) בתמ"א 1

4.2.2. מסמך מדיניות, העוסק בין היתר בנושאים הבאים

א. היכרות עם השינוי הסטטוטורי

- הצגה והסבר של שינוי הוראות תמ"א 1 והנחיות נספח ניהול הנגר החדשות ואופן הטמעתם בהליכי התכנון

ב. תפישה תכנונית כוללת לניהול נגר

- גיבוש והתווית תפישה כוללת לניהול נגר מאגן הניקוז ועד המגרש הבודד, דרך הצגת רמות התכנון והתכניות השונות ומערכות היחסים בניהן

ג. שילוב היבטי ניהול נגר בהליכי התכנון ועקרונות לקבלת החלטות

- תיאור והסבר על שינוי המדיניות המוצע והשפעתו על שלבי התכנון
- קווים, עקרונות וכלים לקבלת החלטות לקידום תכניות מנהלות נגר ונספחי ניהול נגר

ד. ארגז כלי ניהול נגר

מדריך יישומי לאנשי המקצוע להיכרות ולבחירה מושכלת של אמצעים לניהול נגר בתכנית ו/או בהיתר הבניה

ה. בחינה כלכלית

ניתוח עלויות יישום המדיניות והבנת ההשלכות הכלכליות על עלות הבניה ליח"ד בהתייחס למאפייני התכנון ולמאפיינים מקומיים

ו. פרק הידרולוגי

- הנחיות לביצוע החישובים ההידרולוגיים, לרבות שיטות החישוב, שימוש במודלים ובסיסי נתונים הנדרשים להגשת נספח ניהול נגר
- דוגמאות לנספחי ניהול נגר

ז. כלים ובסיסי נתונים

א. גיבוש והנגשת בסיסי מידע אחידים בתחום ההידרולוגיה והקרקע

ב. יצירת מחשבון פשוט לחישוב נגר בתכנית

4.2.3. הפצה והטמעה

מתוך הבנה בחשיבותו של הליך הטמעה שלם ויסודי לקידום ויישום מהיר ואיכותי של השינוי הסטטוטורי והמדיניות המוצעת, נדרש מהלך מוסדר של לימוד, ליווי ובקרה בקרב המוסדות ואנשי המקצוע. בהתאם לכך, אנו מציעים מערך הטמעה כולל המתייחס לנושאים הבאים:

א. **היכרות, התנסות ושיתוף פעולה רוחבי :** נושא הניקוז המרחבי, ובפרט ניהול הנגר מחייב שיתופי פעולה מקצועיים ומרחביים, בהתאם, הליך העבודה לווה בשיתוף קשת רחבה של גורמים מקצועיים שכללו, בין היתר, את מוסדות התכנון המחוזיים, רשויות מקומיות ורשויות הניקוז. הגורמים המשתתפים השפיעו על התהליך ותרמו לעיצוב המדיניות והתוצרים. חלקם אף החליטו באופן וולונטרי, ליישם את המדיניות, אם דרך פיילוטים או ממש בשגרת העבודה השוטפת. ברוח תפישה זו, המשך שיתופי הפעולה הכרחיים ליישום מדיניות.

ב. הדרכות : גיבוש סדנאות, ימי עיון, קורסים במוסדות אקדמאים והדרכות למוסדות תכנון, גופי ממשלה, רשויות מקומיות, אנשי מקצוע העוסקים בתכנון, אדריכלות, הידרולוגיה ועוד.

4.3.ניהול נגר מאגן הניקוז ועד למגרש הבודד

4.3.1. מסגרת כוללת

טרם ההסבר על ניהול הנגר בכל אחת משלוש הרמות (אגן הניקוז, רשות מקומית, שכונה / מתחם/ מגרש), חשוב להבין את התמונה הכוללת. שלוש הרמות, כל אחת בהתאם למאפייניה, תפקידה וסמכויותיה, מתוות וקובעות את תפישת ניהול הנגר, כך שנשמר ממשק והדדיות, וכל תכנית לפי מיקומה, ניזונה ומתבססת על התכנית ברמה מעליה. תכנון ניהול נגר חייב להתחיל מלמעלה, באגן הניקוז, לאורו יש לתכנן את ניהול הנגר במרחב העירוני המקומי, כאשר התכניות משלימות ומתכתבות בניהן. לאחר השלמת התכנית האגנית והעירונית, וכנגזרת שלהן, נכון לגבש את התפישה ופרקטיקת ניהול נגר בתכנון מפורט ו/או בהיתר הבניה,[29,30] וכך לתכנן באופן המתחשב והמדויק ביותר מבחינת היבטי ניהול נגר, בהתאם למרחב בו נמצאת התכנית. בהתאם לכך, ועל מנת לחזק את הקשר בין מוסדות התכנון ורשויות הניקוז/ אגפי הניקוז המקומיים, ראוי שגורמי התכנון המקומיים והמחוזיים, ייקחו חלק בהליך גיבוש התכניות האגניות והמקומיות לניקוז וניהול נגר. כמו כן, לכשיגובשו תכניות אלו, על מוסדות התכנון לאמץ אותן, על מנת להטמיען בעבודה השוטפת בעיצוב מדיניות תכנון ובאישור תכניות והיתרי בניה.

מאחר שברוב שטח המדינה אין עדיין תכנון אגני ו/או תכנון אב עירוני עדכני לניקוז וניהול נגר, או שהוא לא מוכר או אומץ ע"י מוסדות התכנון, אנו פועלים בתקופת מעבר, בה חלק מהמידע, שאמור היה להיות בידי הרשויות הרלוונטיות, אינו קיים עדיין. לפיכך, בשנים הקרובות, מוטל על התכנון, דרך נספח ניהול הנגר, עבודה משמעותית יותר, שבאה לכסות על היעדר המידע והנתונים. ככל שיעבור זמן, יתגבשו התכנון האגני והעירוני, ובכל יאפשר הטמעה מיטבית של תפישת ניהול הנגר ברמה ארצית, אזורית ומקומית.

4.3.2. ניהול נגר בהליכי התכנון

על מנת להטמיע את מדיניות ניהול הנגר בהליך התכנון ובפרט בתכנון המפורט, יש לתת את הדעת להיבט ניהול נגר כבר משלבי התכנון הראשונים, בהליך אינטגרטיבי של צוות התכנון, תוך דינמיקה והזנה הדדית. המטרה במסגרת עבודה זו היא לייצר תכנון מותאם לתנאי השטח ולטיפול ביעד נגר כמותי. בהליך המוצע, יקבע השלד התכנוני ומערך ייעודי הקרקע ושטחים הפתוחים, בין היתר, על בסיס המאפיינים ההידרולוגים והניקוזים של השטח, מתוך תפישה של מיצוי פוטנציאל ניהול הנגר בתחום התכנית, דרך ניהול עיקר הנגר, ככל האפשר, באמצעים נופיים רכים, בשילוב עם אמצעים הנדסיים.

כאמור בסעיף הקודם, העדיפות היא לעריכת תכנית מפורטת ונספח ניהול נגר לאור תכנית אגנית/ עירונית/ נספח בתכנית כוללנית. אולם, מאחר שאלו עדיין חסרים במקרים רבים, ועל מנת לקדם שינוי ממשי, הוחלט לפעול כבר עכשיו במתן הנחיות ארציות מחייבות לניהול נגר בתכניות. כאשר יקודם ויאומץ התכנון האגני והעירוני במוסדות התכנון, תכניות אלו ישמשו כמסמכים מנחים ומלווים לתכנון המפורט.

מעבר לתכנון המפורט, היתר הבניה הינו מהותי ביותר למימוש המדיניות, שכן, הוא מגדיר את הצורה ואופן פיתוח המרחב והבינוי בשטח. ההיתר נגזר בעיקרו מהתכנית המפורטת, ומכאן החשיבות בעריכת מסמכי התכנית: הוראות, תשריט ונספחים, באופן ברור ומחייב. בתכניות שלא חלה עליהן חובת הגשת נספח ניהול נגר, אמצעי ניהול הנגר יוצגו במסגרת היתר הבניה או במסגרת תכנית בינוי ופיתוח שתהווה תנאי להיתר הבניה.

---

[29] חשוב להבחין בין תכניות, לפי חוק התכנון והבניה, שהן סטטוטוריות, ועניינן שינוי ייעודים, שימושי הקרקע או הוראות התכנון וזכויות הבניה, (בתכניות כוללניות, תכנית מפורטת), לבין תכנון אב מנחה, שאינו סטטוטורי, והוא מתמקד בניתוח השטח, הנגשת בסיסי מידע ומתן הנחיות לניהול נגר במרחב התכנון, (תכנית אב אגנית ומקומית עירונית לניהול נגר).

[30] תכנית כוללנית או מתאר, יכולה גם הם להוות בסיס לניהול נגר בתכנון מפורט או בהיתר שיצאו מכוחה, בכפוף לאופן התייחסותה להיבט ניהול הנגר. ישנה עדיפות לעריכת התכנית והנספח לאור תכנון אגני מנחה, ככל שקיים.

4.3.3. היררכיית תכניות ותפישה כוללת לניהול נגר

להלן פירוט והנחיות להכנת תכניות לניהול נגר ברמה האגנית והעירונית, שיכלול את תפקיד ומטרות כל תכנית, הזיקות שמקיימת עם התכניות השונות, מתווה עקרוני לעריכת התכנית.

4.3.3.1. תכנון אב אגני

אגן הניקוז (היקוות), הינו מרחב גאוגרפי הנקבע באמצעות קו פרשת המים, והוא הגבול טבעי. חוק הניקוז הגדיר בישראל גבולות של 11 אגנים. האגף לשימור קרקע וניקוז במשרד החקלאות, מקדם בשנים האחרונות עבודה רחבה שעניינה הטמעת גישה אגנית משלבת בניהול אגני הניקוז, ומפעיל במסגרת זו ועדת היגוי רחבה.[31] העבודה כללה, בין היתר, סקירת[32] תכניות אב אגניות לנושא ניקוז ולימוד שלהן לטובת גיבוש מתודולוגיה אגנית לניהול סיכוני שיטפונות, בראי הדירקטיבה האירופית (2007). כן פועל המשרד מתוקף עבודה זו, לגיבוש מסגרת כוללת לקידום ועריכת תכניות אב אגניות לניהול סיכוני שיטפונות בפריסה ארצית, שיכללו גם את תכנון האב האגני. הליך גיבוש תכניות האב האגניות כאמור, חשוב שייעשה בשיתוף מוסדות התכנון המחוזיים והמקומיים, על מנת להבטיח היכרות ותיאום של התכנית במוסדות התכנון, וכן, לאחר הגיבוש, התכנית תדון ותאומץ במוסד התכנון.

מבנה תכנית האב האגנית יקבע בהליך בינמשרדי בהובלת משרד החקלאות, כאשר רשויות הניקוז יהיו האחראיות לייזום וקידום התכניות. אחת ממטרות התכנית הינה הסדרת היבטי הניקוז וניהול הנגר באגן, תוך התייחסות להסדרת היבטי אקולוגיה, מקורות זיהום, שימור קרקע, נוף, קהילה ותרבות ופנאי.

ניהול נגר בתכנית האגנית יעשה לכלל השטח הפתוח, ע"י הגדרת זיקתו עם שטחי היישוב הבנויים והמתוכננים באגן. התכנית תכלול מיפוי ומידע נרחב על מנת להציג תמונת מצב תכנונית עדכנית ורחבה, ככל הניתן. הצגת המצב התכנוני ייעשה, בין היתר, באמצעות סקירת אירועי עבר וניתוח פיתוח עתידי בפשטי הצפה שעשוי להשפיע על הספיקות במורד וגיבוש שכבת פשטי ההצפה הצפויה. בנוסף, יש לערוך סקר סיכונים שיתמקד בזיהוי אזורים מועדים להצפות, תוך דירוג חשיבותם באמצעות "תג מחיר" כלכלי לכל אזור שנמצא בסיכון להצפה.

לבסוף, התכנית תציע חלופות תכנון אגניות להתמודדות עם הסיכונים, כגון שימור רצועת נחל כתשתית טבע הידרולוגית, שמירה על שצ"פים הסמוכים לאזורי פיתוח שעושים לקלוט נגר, מאגרי וויסות, אזורי השהייה, מוצאי ניקוז וכד'.

מעבר לעדכון גבולות פשטי ההצפה, לכל מקטע נחל תקבע ספיקת התכן שהאפיק יכול להוביל ללא גרימת הצפה. מקטעי הנחל יכולים להיות מוגדרים לפי מאפיינים כגון כניסות יובלים או נקזים משמעותיים, שינוי מורפולוגי בערוץ, בטופוגרפיה או בסוג הקרקע, או לפי גורמים מלאכותיים כגון מאגר, תחנת שאיבה על הנחל וכד'. בנוסף, התכנית תמפה את תתי האגנים ומוצאי הניקוז העירוניים במרחב האגן. המיפוי יכלול את שטח תת האגן ואחוז השטח האטום/ בנוי, ואת המידות והאינוורט[33] של המוצא, לרבות התייחסות לתכנון מאושר ו/או מקודם שעתיד להוסיף תכסית ו/או נקזים חדשים.

בהתאם לספיקת התכן שנקבעו למקטע הערוץ אליו מתנקז מוצא הניקוז, וביחס לגודל תת האגן והשטח הבנוי, יקבע לכל מוצא ניקוז ספיקת התכן אותה הוא רשאי להזרים לערוץ הרלוונטי. הגדרת הספיקות התכן, פשטי ורומי ההצפה כאמור, ייצרו את החיבור בין ניהול הנגר באגן הניקוז לניהול הנגר במרחב העירוני, ויהוו את הבסיס להכנת תכנית האב העירונית.

---

[31] (גוטמן, 2019).

[32] (נוימן, 2019).

[33] גובה בסיס המוצא.

4.3.3.2. תכנית אב עירונית לניקוז ולניהול נגר

מטרת תכנית האב העירונית היא להתוות תפישה ומדיניות כוללת לניהול נגר ברשות המקומית, והיא נגזרת, משלימה ומפרטת את התכנון האגני. התכנית תכלול עריכה והנגשת נתונים; יצירת כלי עבודה חכמים; קביעת הנחיות תהליכיות וכמותיות לעריכת תכניות והיתרי בניה ולגיבוש תכנית עבודה לרשות. להלן הצעה עקרונית להכנת תכנית אב עירונית, לפי שלבי עבודה:

1. **מיפוי** - יצירת בסיס מידע גאוגרפי (ממ"גי) נגיש, שיכלול את הנתונים הבאים :
   - **נתוני השטח:** טופוגרפיה, תתי אגני ניקוז, ערוצי זרימה קיימים והיסטוריים, מוצאי ניקוז, שקעים אבסולוטיים, אזורי הצפה ואזורים בעלי היסטוריית הצפות, שכבת קרקע עליונה (Top Soil), חתך קרקע אזורי, קידוחי מי שתייה ורדיוסי מגן, מפלס מי תהום, קרקע מזוהמת או חשודה כמזוהמת, מקווי מים ובתי גידול לחים ואזורים רגישים להצפות.
   - **תשתיות**: מיפוי מערכות ותשתיות ניקוז ותיעול וניהול נגר קיימות,[34] שיכלול את הנתונים הרלוונטיים לגבי האלמנטים השונים, לרבות צינורות, שוחות וקולטנים.
   - **תכנון קיים ומאושר:** מיפוי ייעודי קרקע וסוגי תכסיות קיימות ומתוכננות.
2. **זיקות מרחביות עם אגן הניקוז** - השתלבות עם אגן הניקוז והגדרת ספיקות תכן בעורקי הניקוז המקומיים, לפי ספיקות התכן של המוצאים, כפי שהוגדרו בתכנית האב האגנית. ככל שלא נעשתה תכנית אב אגנית או שאינה עדכנית, יש לחשב את ספיקות התכן של עורקי הניקוז לפי כושר ההולכה הקיים של מוצא הניקוז. ככל שספיקת התכן שנקבעה גבוהה מיכולת המוצא הקיים, יש לתאם זאת עם רשות הניקוז, על מנת להבטיח את יכולת הקליטה של הערוץ באגן.
3. **קביעת אירועי תכן של גשם**: אירועי הגשם הם הבסיס לתכנון ניהול הנגר העירוני ולתכנון המפורט. אירוע תכן סינתטי אחד קיים בבסיס הנתונים של עוצמות הגשם המפורסם (נספח מס' 2: בסיס נתוני עוצמות גשם לתכנון בישראל) אירועים נוספים יש לבנות מתוך אירועים היסטוריים ידועים, שנמדדו בתחנות רציפות ברחבי העיר.
4. **בניית מודל:** בניית מודל ממוחשב של מערכת ניהול הנגר העירונית שיכלול את נתוני המיפוי הרלוונטיים.[35]
5. **הרצת מודל:** לפי אירועי גשם בהסתברויות שונות ותרחישים שונים, סינטטיים ומדודים.
6. **מיפוי אזורי סיכון** : לפי תוצאות המודל, יש ליצור שכבת ממ"ג של אזורי הסיכון להצפות ותכלול, בין היתר, את המרכיבים הבאים:
   - א. שקעים האבסולוטיים
   - ב. אזורים בעלי היסטוריית הצפות - ממקורות דיווחי מוקד עירוני, ככל שהמידע הקיים חלקי ולא מאפשר את בניית השכבה, יש להמליץ בפני הרשות המקומית להסדיר זאת
   - ג. פשטי הצפה בנחלים מתוך תכניות האב האגניות
   - ד. סימון פשטי הצפה עירוניים לפי תוצאות המודל, בתוספת מרכיב דו ממדי לזרימה על פני השטח, וקביעת רום ההצפה
   - ה. איחוד המידע לעיל לשכבת אזורי סיכון
   - ו. מיפוי חניונים תת קרקעיים וחניונים בסיכון, לרבות רום מפתן הכניסה לחניון
   - ז. ניתן לסווג את שטחי הסיכון להצפות,[36] ככלי לתעדוף השקעות ולבקרה על תכניות פיתוח עתידיות

---

[34] ברשויות רבות ישנו חוסר במידע כולל על מערכות התיעול, ולכן משימה זו יכולה להיות מורכבת. במצבים של פערי מידע, מומלץ להוציא צוותי מדידה לשטח להשלמת הנתונים.

[35] יש להשתמש בתוכנה שמקבילה חישובית למודל EPA SWMM, שימוש בשיטה הרציונלית אינו מומלץ לתכניות אב מקומיות .

[36] ניתן לסווג את סיכוני ההצפה על פי קטגוריות של חומרת ההצפה (מהירות זרימה, עומק הצפה), שנקבעו בתקן האוסטרלי, Management Guideline Flood Hazard, Australian Institute For Disaster Resilience

7. **קביעת ספיקות תכן במערכת התיעול העירונית**: בהתאם לספיקות שנקבעו למוצאי הניקוז העירוניים בתכנית האגנית, יש לגזור ספיקות תכן לעורקי הניקוז בעיר, ע"פ גודל האגן הרלוונטי והשטח הבנוי בו. ניתן ומומלץ להשתמש במודל שנבנה לצורך זה.
8. **איתור שטחים לניהול נגר:** על בסיס המודל ולאור הנתונים שנאספו, זיהוי השטחים הפוטנציאלים לניהול נגר ברמה מרחבית, כגון שצ"פים, צדי דרכים, כיכרות עירוניות, מבני ציבור וכד'.
9. **בחינת חלופות :** עריכת תכנון עקרוני לחלופות ניהול נגר במרחב ובחינתן במודל
10. **בחירה ותכנון חלופה נבחרת:** תכנון כללי של החלופה הנבחרת שתכלול תשתיות ואמצעים מרחביים לניקוז ולניהול נגר, לרבות אומדן כלכלי, פרטי פרויקט ותעדוף משוקלל של פרויקטים כך שיהוו בסיס להכנת תכנית עבודה לרשות המקומית
11. **מדיניות והנחיות לתכנון מפורט ורישוי -** הגדרת מדיניות מקומית לניהול נגר בתכנון, לרבות המלצות לאמצעים מותאמים למאפיינים המקומיים ולשימוש מושכל בשטחים קיימים, פתוחים ובנויים, לטובת ניהול נגר. בנוסף, קביעת יעדים כמותיים לניהול נגר ולספיקות יוצאות והנחיות לניהול נגר בתתי האגנים (או בכל חלוקה לתת שטח שתמצא לנכון), על בסיס הגדרת ספיקות התכן במערכת העירונית, וביחס למאפייני האגן הבינוי ושימושי הקרקע. יעדי ניהול הנגר והספיקה היוצאת יהיו בהתייחס ליעדים ולהוראות תמ"א 1, ובסמכותם לעדכן אותם, ככל הנדרש, בהתאם להוראות התמ"א.

4.3.3.3. תכנית כוללנית / מתאר

התכנית הכוללנית, מתוקף הגדרת חזון ומטרות, מייצרת מסגרת תכנונית כוללת ליישוב, ומתווה הנחיות והוראות לתכניות מקומיות ומפורטות שיצאו מכוחה. הליך התכנון הכוללני מורכב מניתוחים מגוונים ולימוד מקיף של היישוב, על האתגרים וההזדמנויות הצפונים לו. בהתאם לכך, תכנית זו היא הזדמנות לקביעת מסגרת תכנונית מקצועית ועדכנית גם לנושא ניהול הנגר. תכנית אב עירונית לניהול נגר ונספח ניהול נגר בתכנית כוללנית, מקיימים חפיפה מסוימת, שכן הם מתייחסים לניהול נגר ברמה העירונית. השוני הוא, שהראשונה היא מסמך ייעודי לניהול נגר שמנחה תכניות ופרויקטים, היא אינה סטטוטורית וקיימות מעטות ממנה בישראל. אילו השני, נערך במקביל לעריכת תכנית כוללנית ומהווה חלק ממנה, והשפעתו מתבטאת במסמכי התכנית ובהנחיה לעריכת תכניות מפורטות.

בהליך העבודה על נספח ניהול הנגר בתכנית כוללנית יוגדרו החזון והמדיניות המקומית לנושא הנגר; תוצע מסגרת נתונים עדכנית ואיכותנית בתחומי ההידרולוגיה והקרקע המקומיים, לרבות מיפוי טופוגרפי עדכני, הכולל שקעים אבסולוטיים, פשטי ושטחי ההצפה; מיפוי תתי אגני הניקוז הראשיים, מיפוי שלד מערכת הניקוז הקיימת שיכלול תוואים ומוצאים וחישוב ספיקות התכן בהם; זיהוי אזורי הסיכון להצפות, ואיתור שטחים ייעודיים משמעותיים לניהול נגר במרחב ולהעשרת מי תהום. מידע זה ישתלב בקבלת ההחלטות לגבי פריסת ייעודי הקרקע והשצ"פים, לטובת שימוש מושכל בשטחים קיימים והחדשים לניהול נגר. כמו כן, מומלץ לקבוע יעדים לניהול נגר בתכנון המפורט, עבור כל תת אגן ו/או יעוד קרקע, על מנת לבקר ולעמוד ביעדי הספיקה היוצאת שיוגדרו בתכניות האגניות. עוד מוצע לכלול בנספח סט כלים ופתרונות לניהול נגר, המותאמים להוראות ומדיניות התכנית ולרוח ותנאי המקום, שיעמוד לרשות המתכננים ובודקי התכניות.

חשוב להדגיש את הזיקה המחויבת בין נספח ניהול הנגר להוראות התכנית הכוללנית שתכתיב את התכנון המפורט, שכן, אם היא לא מתקיימת כראוי, ביטוי הנספח, מסקנותיו והשימוש בו, יתממשו באופן חלקי בלבד, אם בכלל.

4.3.3.4. תכנית מפורטת

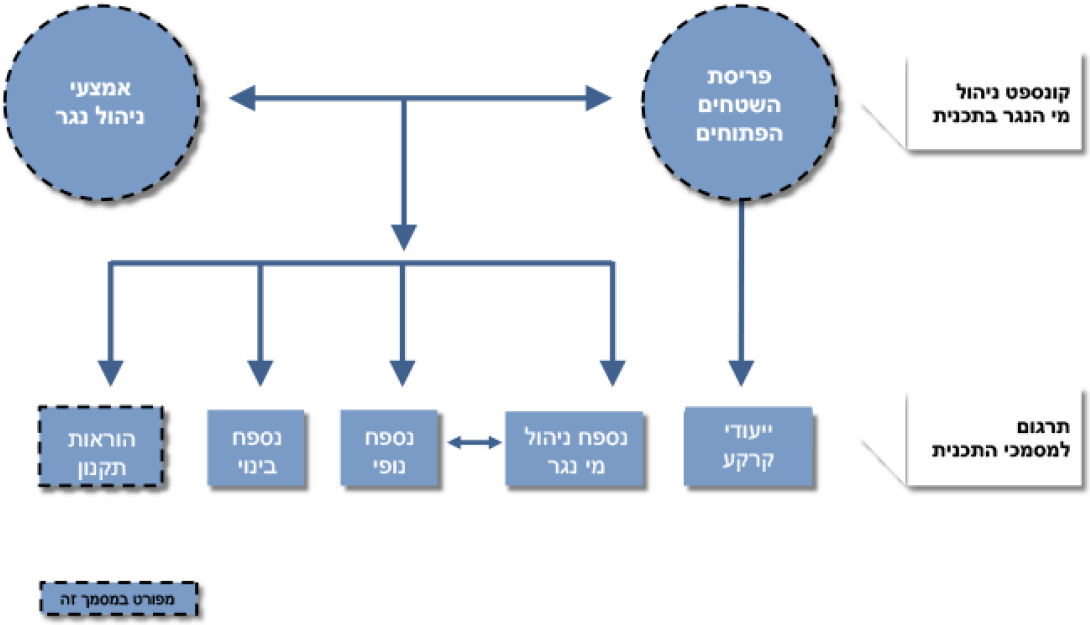
תכנית מפורטת קובעת את המסגרת התכנונית של השטח, ברמת פירוט שתאפשר הוצאת היתר בניה. עדכון תמ"א 1 מציב לתכנית המפורטת שני יעדים בהקשר הנגר, הראשון הוא יעד נפח נגר אותו יש לנהל בשטח התכנית, השני הוא יעד למניעת הצפות. על נספח ניהול הנגר שנערך לתכנית לספק את מלוא המידע המקצועי הנדרש, על מנת לאפשר תכנון וקבלת החלטות מיטבית בנוגע לניהול הנגר, כאשר בהליך התכנון נדרשת עבודה מסונכרנת עם עריכת הנספח.

כרקע, נבהיר כי הליך התכנון הינו הליך מורכב, מרובה קונפליקטים ובעלי עניין, תלוי במדיניות תכנון, בזמן ובמקום. בהתאם לכך, הנחיות התכנון להלן מכוונות למהלך ועקרונות ניהול נגר, שיש לקחת בחשבון כחלק ממערך השיקולים הכולל בהליך התכנון המפורט.

תכנון אדריכלי-נופי הוא הבסיס למיצוי פוטנציאל ניהול הנגר בשטח המתוכנן. זאת דרך תכנון מערך השטחים הפתוחים, באופן שיאפשר עמידה ביעד ניהול הנגר של התכנית, דרך הטמעה מושכלת ויעילה של אמצעי ניהול נגר נופיים מבוססי טבע, במקביל לאמצעים הנדסיים משלימים. (לפירוט אמצעי ניהול הנגר ועקרונות לשילובם והטמעתם בתכנית ראו פרק 7). בהתאם לכך, תפישת ניהול הנגר בתכנית אמורה לשלב בין פריסת השטחים הפתוחים לבין עיצוב השטח והטמעת אמצעי ניהול נגר עצמם, באופן שיצור חשיבה תכנונית קוהרנטית. ביטוי לתפישה זו יופיע הן בתשריט התכנית, בהיבט פריסת השטחים הפתוחים, והן בנספח ניהול הנגר ובנספח הנופי, (שיתוכננו באופן משלים זה לזה), בנספח הבינוי ובהוראות התכנית, לפי עניין, דרך פירוט עקרונות תכנון ואמצעי ניהול הנגר עצמם. כמו כן, פריסת התכסית מכתיבה את פריסת השטחים הפתוחים, ולהיפך, ובכך מתאפשר דיאלוג בין המתכנן למוסד התכנון, באמצעותו ניתן וודא כי נבחנו ושולבו שיקולי ניהול נגר בתכנית מתחילתה.

לניהול הנגר בשטחים הפתוחים פוטנציאל ויתרונות גדולים על פני השטח המבונה, כפי שנראה גם בבחינה הכלכלית פרק 5. פריסת השטחים הפתוחים בבסיסה עומדת תפישת ניהול נגר, מאפשרת ניהול נגר בהיקף משמעותי, דרך אמצעים נופיים ופתרונות מבוססי טבע, שהינם חסכוניים משמעותית, עמידים יותר, דורשים תחזוקה מינימלית ובעלי יתרונות נלווים בשימור וחיזוק המערכת האקולוגית. מעבר לכך, הטמעת אמצעים נופיים בשטחים הפתוחים, מהווה ניצול מיטבי של שימושי הקרקע המתוכננים, וכן, מאפשרת גם גמישות בבחירת אמצעים משלימים לניהול נגר.

העיקרון המוביל במיקום השטחים הפתוחים הוא לאפשר בנוסף לתפקודם העיקרי כשטח לרשות הציבור ולרווחתו, גם את תפקודם כשטח ייעודי לקליטה ולטיפול בנגר הנוצר בסביבתם. על מנת להבטיח את המשך התפקוד של שטחים אלה כמנהלי נגר, קיימת הגדרה סטטוטורית במבא"ת של 'שטח לניהול נגר'. לאור זאת, תכנון מערך השטחים הפתוחים ראוי שיתבסס על תפישה מערכתית תפקודית כוללת, ויעשה דרך ביצוע הערכות נגר ראשוניות ובחינת חלופות תכנון עקרוניות, לרבות בחינה ושילוב אמצעים מותאמים למקום, לטובת ניהול הנגר. מיקום השטחים הפתוחים ייקבע לאור עקרונות כגון 'תפיסת' הנגר בנקודה הקרובה ביותר למקום היווצרותו ויושתתו על בסיס הטופוגרפיה של השטח; העדפת שטחים בעלי כושר חלחול גבוה; התווית השטח הפתוח לאורך ערוצי זרימה טבעיים; פיזור שטחים פתוחים בהיררכיות שונות בתכנית; ומיקום שטח פתוח של גנים ציבוריים, כיכרות, איי תנועה ועוד, סביב הנקודות הנמוכות בתכנית.

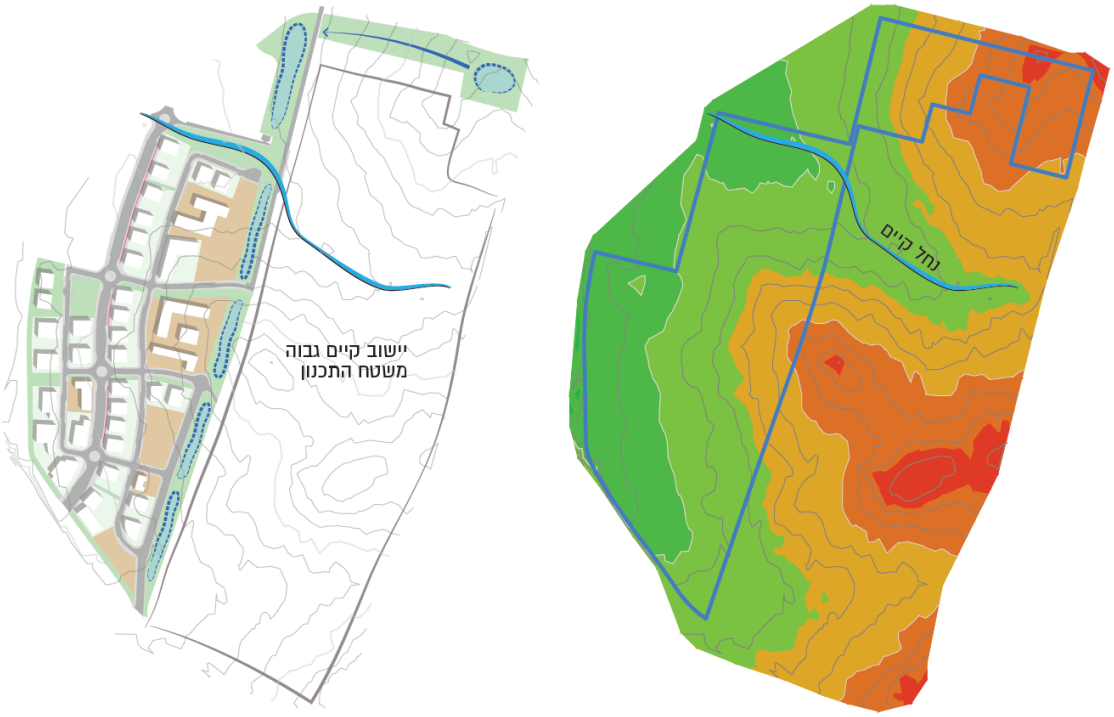


איור 1 | תהליך הטמעת ניהול מי נגר בתכניות מפורטות

4.3.3.5. עקרונות לניהול נגר בהליך התכנון המפורט[37]

לתכנון מערך השטחים הפתוחים בתכנית משקל משמעותי בקידום פוטנציאל ניהול נגר באמצעות פתרונות נופיים מבוססי טבע. להלן העקרונות שמומלץ לשקול בשלב התכנון הנופי וקביעת מערך השטים הפתוחים ותפישת מדיניות ניהול הנגר.

1. **מיקום שטחים פתוחים באזורים הנמוכים בתכנית (איור 2)**



איור 2 מיקום שטחים פתוחים באזורים הנמוכים בתכנית - בדוגמא שילוב שטח פתוח לאורך הדופן המזרחית של השכונה המתוכננת, מאפשרת ויסות של מי הנגר מהשטח הבנוי הגבוה יותר ממזרח
(תמ"ל 1038 - גני אז"ר, רמת גן)

[37] להרחבה על עקרונות התכנון ראו פרק 7.

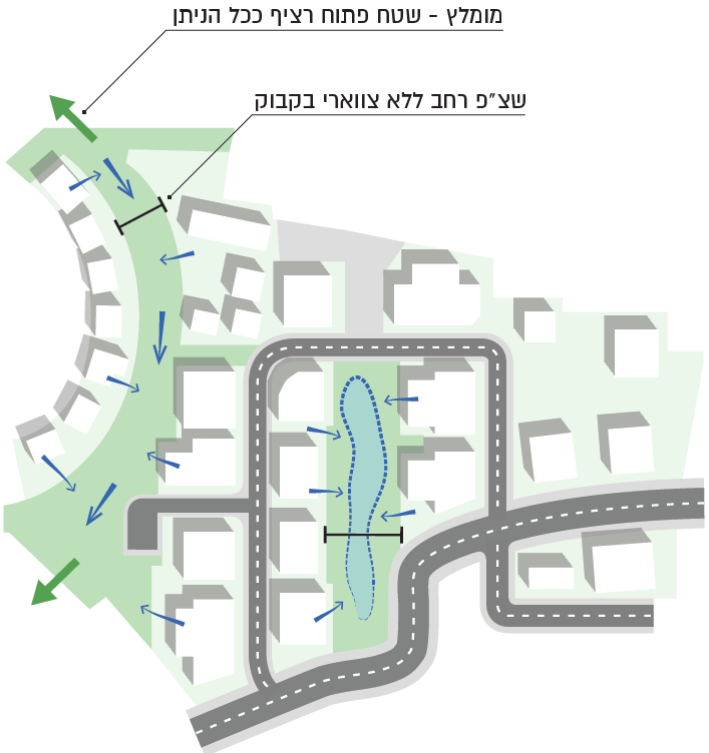
1. **שילוב שטחים פתוחים לאורך ערוצי זרימה קיימים (איור 3)**

איור 3 שילוב שטחים פתוחים עם ערוצי זרימה קיימים - בדוגמא שימור נחל יתיר וערוצי הזרימה המשניים כשטחים פתוחים מאפשר ניהול נגר של זרימה שיטפונית ומונע הצפות.
(תכנית מס׳ 625-0711564, שכונת אלמטלה, תל שבע)

2. **שילוב שטח פתוח בכל מבנן (שגיאה! מקור ההפניה לא נמצא.)**

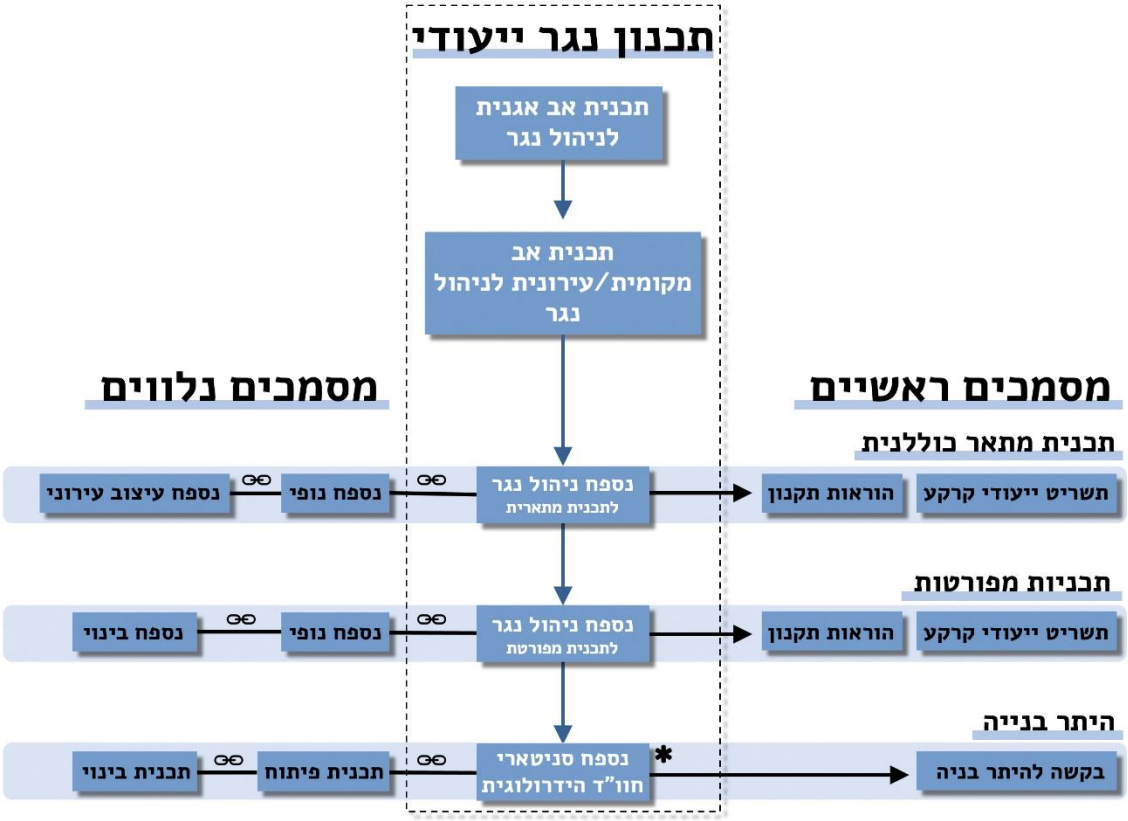
איור 4 | שילוב שטח פתוח בכל מבנן - בדוגמא שילוב שטח פתוח (ציבורי או פרטי) נמוך מסביבתו בכל בלוק, מאפשר השהייה של מי הנגר במבנן, לפני הפניה שלהם למערכת העירונית.
(תכנית מס׳ 415-0838573, מתחם יוספטל, רמלה)

4. רצף והמשכיות (איור 5)



איור 5 | רצף והמשכיות - בדוגמא, מיקום שטח פתוח אורכי גדול במרכז התכנית והרחבת השטח הפתוח במערבה, וזאת בהתאמה לטופוגרפי במתחם, מאפשר ניהול מי נגר בשטחים הפתוחים, בנוסף לצמצום עבודות עפר וקירות תמך.
(תכנית מס' 507-0523845, מתחם אח"י דקר, תל-אביב)

4.3.4. מערכות היחסים בין התכניות השונות



*בכל שנספח מי הנגר של התכנית המפורטת נותר ללא שינוי, אין צורך בנספח בשלב ההיתר.

4.4.הצעות לסעיפי הוראות ניהול נגר לשילוב בתכנית

על מנת לממש את תפישת ניהול הנגר בתכנית, יש להטמיע אותה במסמכי התכנית, ובין היתר, בהוראות. מטרת פרק זה היא להציע לצוות התכנון ולמוסדות התכנון מגוון הוראות העוסקות בהיבטי ניהול הנגר, **שניתן לשלב בהוראות התכנית**. **<u>אין בהצעות שלהלן להוות סעיפים לשילוב אוטומטי בהוראות תכנית</u>**. סעיפי ההוראות שלהלן **מצביעים על כיוונים ואפשרויות**, חלקם מנוסחים באופן כללי וחלק ממוקדים יותר. צוות התכנון, בבואו להמיר תפישת ניהול הנגר למסמכי התכנית המחייבים, **ייבחר, יתאים ויוסיף סעיפי הוראות, לפי צרכיו, על מנת להתאימם למאפייני וצרכי התכנית ולתפישת ניהול הנגר שגובשה**. את ההוראות ניתן לשלב בפרק 6 ׳הוראות נוספות׳, בתת פרק ׳ניהול מי נגר׳, או בפרק 4 ' ייעודי קרקע ושימושים', לפי עניין:

4.4.1. הוראות כלליות בפרק 6 'הוראות נוספות', 'סעיף ניהול נגר'

- יעד ניהול הנגר לתכנית לפי המחשבון הוא X מ"ק. מתוכו, Y מ"ק ינוהלו בתחום מגרש Z המשמש כשצ"פ.
- בהתאם לתכנית אב אגנית/ תכנית אב עירונית לניקוז וניהול נגר שאומצו ע"י הועדה המחוזית, יעד לניהול נגר הינו X מ"ק.
- פני הקרקע בשצ"פ/ בחצר מבני הציבור/בחלק הפתוח של כל יעוד אחר יתוכננו בשיפוע ליצירת ערוצי הזרימה, במטרה לייצר אזור הצפה והשהייה בנפח של לפחות X מ"ק.
- הרחובות בתכנית ישמשו גם להולכת נגר, לצורך כך חתך הכביש ייבנה בשיפוע לציר המרכזי, בתחומו גם יונחו הקולטנים.
- לעת בחירת אמצעי ניהול הנגר יהיה, ככל הניתן, שימוש באמצעים המשלבים שימור בתי גידול לעצים בוגרים בקרקע טבעית.
- ככל הניתן, הנגר יופנה אל שטחים החדירים והמחלחלים, כאשר השטחים הנמוכים וקפלי הקרקע, ישמשו ווסת זמני לזרימות העיליות.
- השטח המיועד לחלחול נגר יהיה נמוך מסביבתו, ככל הניתן, ויחופה, ככל הנדרש, בחומר חדיר למים, כגון אדמה/ חומר גרנולארי, על מנת לאפשר את חלחול הנגר.
- שטחי פיתוח נופי המחופים בחומרים אטומים (כגון ריצופים), לא יחשבו כשטח מחלחל לניהול הנגר.
- ככל הניתן, יעשה שימוש בשטחי הפיתוח הנופי לניהול נגר, תוך הימנעות מחיפוי בחומרים אטומים (כגון ריצופים), שאינם מחלחלים/ חדירים.
- שטחים מיועדים לחלחול לא יהיו תחומים בחומרים בלתי חדירים (כגון אבני שפה או קירות), ככל הניתן, על מנת לאפשר זרימת מי נגר מאזורים גבוהים יותר אליהם.
- היתר הבנייה יתייחס להיבטים של שלביות הפיתוח, במטרה למנוע פגיעה באמצעי ניהול הנגר בעת ביצוע עבודות הפיתוח, להבטיח את תפקודם בסיום העבודות, וכן, להבטיח את ניהול הנגר בשטח בשלבי הפיתוח השונים. בכלל זה תהיה התייחסות ל:
    - פתרון ביניים לניהול הנגר בשלבי הפיתוח, לפי חלוקה למתחמים
    - מפרט הגנה על אמצעי ניהול הנגר בביצוע העבודות, להבטחת תפקודם התקין בסיום העבודות

4.4.2. הוראות מפורטות למגרשים:

- ככל שמגרש X ממוקם בתחום שקע אבסולוטי:
  - יש להבטיח כי גובה האפס אפס במגרש ייקבע ביחס לרום פשט ההצפה, ויהיה לפחות 20 ס"מ (או גובה אחר שנקבע על ידי עורך מסמך ניהול נגר) מעל רום ההצפה.
  - יובטח כי מפלס הכניסה הקובעת במפלסי הכניסה לחניונים יקבע, לכל הפחות, בגובה של 20 ס"מ (או גובה אחר שנקבע על ידי עורך מסמך ניהול נגר)מעל רום ההצפה.
- מפלס המדרכה יהיה X ס"מ מעל מרכז הכביש / צדי הכביש ומפתני הכניסה לחניונים בתת הקרקע יהיו Y ס"מ מעל מפלס המדרכה.
- בתחום מגרש X המשמש כשצ"פ, ינוהל נפח נגר של Y מ"ק, ע"י יצירת שיפוע של W% בעומק של עד Z ס"מ.
- על כל מגרש בחלקה X לנהל Y מ"ק של נגר. לשם כך יש לבחון הקמה של קידוח החדרה משותף לכל זוג בניינים, או אמצעי אחר.
- לפחות 30% משטחי הגגות ייבנו כגגות כחולים היכולים להכיל Z מ"ק מים. עודפי הנגר יופנו לשצ"פ המרכזי בכל בלוק, שאמצעו ייבנה כארגז חול מונמך לשם חלחול.

4.4.3. הוראות לשילוב אמצעי חלחול והחדרה

- אמצעי החלחול וההחדרה בהיתר הבניה ייקבעו לאור דו"ח קרקע שייערך לאתר, שייבחן, בין היתר, את פוטנציאל החלחול וההחדרה למי התהום.
- באזורים המסומנים להחדרה מי תהום, תינתן העדפה לניהול נגר באמצעים המעצימים ותומכים במערכת הטבעית, כגון חלחול והחדרה.
- מיקום אמצעי ניהול נגר הכוללים מנגנוני חלחול והחדרה ייבחן, בין היתר, בהתחשב במרחק מיסודות המבנים, ובהתייעצות עם יועץ קרקע, על מנת להבטיח את בטיחות המבנה.

4.4.4. הוראות לשילוב בפרק 4,' ייעודי קרקע ושימושים'

4.4.4.1. דרך קיימת ומוצעת

- תכנון הרחובות ייעשה באופן שימצה את פוטנציאל ניהול הנגר בתחומם לפני הזרמת עודפי מים למערכת העירונית או לפתרון אחר, באמצעים של ויסות זרימה/ השהייה/ חלחול נגר, תוך תיאום עם ההידרולוג, מתכנן הניקוז ומתכנן הכבישים, לפי עניין.

4.4.4.2. שטח ציבורי פתוח

- השטח הציבורי הפתוח יתוכנן, יעוצב ויחופה, ככל הנדרש, על מנת שישמר ויקלוט את הנגר בתחומו ובסביבתו, לפני הזרמת עודפי מים למערכת התיעול או לפתרון / שימוש אחר. ניהול הנגר בשצ"פ יהיה באמצעות שילוב אמצעים לאיגום, השהייה, חלחול, החדרה, טיהור נגר וכד', תוך תיאום עם ההידרולוג ומתכנן הניקוז.
- פתחי נטיעה של עצים ברחובות יהיו בנפחים ראויים לבתי גידול לנטיעות עצים, ולכל הפחות בעומק מינימאלי של 1.5 מ׳ ובשטח שלא יפחת מ- 2 מ״ר, תוך שמירה על רציפות בית הגידול, ככל הניתן.

- תעלות השתילה ברחוב יהיו נמוכות ב-15 ס"מ ממפלס הכביש, ואליהן יופנה הנגר מהכביש.

4.4.5. הוראות לתכניות כוללניות - 'הוראות להכנת תכניות מפורטות' סעיף 'ניהול נגר' / 'שטחי ציבור'

- בתכנית מפורטת תהיה עדיפות לשמירה על ערוצי ניקוז קיימים או מתוכננים, לטובת המשך תפקודם כעורקי ניקוז, מהמעלה למורד, בין היתר, שישמשו לטובת ניהול נגר.
- תכנית מפורטת תמקם את השטחים הציבורים הפתוחים, ככל הניתן, באזורים הנמוכים והמחלחלים, על מנת להשתמש בהם לטובת ניהול נגר.
- תכנית מפורטת תוכיח עמידה ביעד ניהול הנגר שנקבע לתכנית / מתחם, ע"י שילוב והצגת אמצעי ניהול נגר.

4.5.השינוי המוצע והשפעתו על הליך התכנון

שינוי הוראות פרק המים בתמ"א 1 ונספח הנחיות ניהול הנגר בתמ"א (ב4'), מהווים את השלד הסטטוטורי עליו נשענת המדיניות. להלן נפרט ונבהיר את עיקרי תיקון הוראות תמ"א 1, במטרה להנגישם לצוותי התכנון ולמוסדות התכנון, על מנת לסייע להטמעתם בפעילות התכנון השוטפת.

4.5.1. חישוב יעד ניהול נגר בתכנית

התיקון המוצע לתמ"א מחייב שכל תכנית מפורטת תחשב את נפח הנגר שנוצר בתחומה. נפח הנגר מחושב לפי שטח התכנית, סוג הקרקע, עובי הגשם היממתי בהסתברות של 1:50 ותכסית הבינוי המוצעת. לפי נפח הנגר שחושב לתכנית, יקבע יעד נפח הנגר אותו התכנית מחויבת לנהל. יעד ניהול הנגר יקבע באופן הבא:

- תכנית מתחת ל 5 דונם, נדרשת לנהל 50% מנפח הנגר שנוצר בתחומה
- תכנית מעל ל 5 דונם, נדרשת לנהל 75% מנפח הנגר שנוצר בתחומה

ההבדל נובע מהשטח הציבורי הפתוח בתכנית, שכן, ככל שהתכנית גדולה יותר, היא כוללת שצ"פים נרחבים יותר, שיכולים לשמש כאמצעים משמעותיים לניהול נגר, שכן, ישנה עדיפות והיתכנות גבוהה יותר לניהול נגר בשצ"פ, מבחינת יעילות והיבטי תחזוקה.

חישוב נפח ויעד ניהול נגר : על מנת להקל על הליך חישוב היעד והיכולת לבקר אותו, נבנה מחשבון ייעודי, שנדרש להזין בו 4 נתונים:

- שטח התכנית בדונם;
- אחוז התכסית המוצעת;[38]
- אזור הגשם בו ממוקמת התכנית, ממנו נגזר עובי הגשם היממתי;
- סוג הקרקע ממנו נגזר מקדם הנגר.[39]

על מנת שכבר בתחילת הליך התכנון יעמוד בפני צוות התכנון יעד נגר ראשוני שהם נדרשים לתת לו מענה בתכנית, רצוי לבצע את חישוב יעד נפח הנגר פעמים. פעם ראשונה, כאשר נתון תכסית השטח הבנוי הינו הערכה

[38] ככל שהתכסית המדויקת אינה ידועה בשלב התכנון הראשוני, ניתן להעריכה תחילה על בסיס הפרוגרמה התכנונית, ולדייק אותה בשלבי התכנון המתקדמים.

[39] מקור הנתונים לסוג הקרקע עדיף שיהיה ממידע מקומי מסקר קרקע, וככל שלא קיים, יהיה מתוך מפת חבורות קרקע של משרד החקלאות.

המבוססת על פרוגרמת התכנית. ופעם שניה, כאשר מסמכי התכנית כבר גובשו, ואז חישוב יעד הנגר יהיה מדויק יותר.

4.5.2. חובת הגשת נספח ניהול נגר בתכנית ויישום אמצעי ניהול הנגר בהיתר

התיקון המוצע בהוראות פרק המים בתמ"א 1 יצר הבחנה בין שלוש קטגוריות של תכניות, לעניין חובת הגשת נספח ניהול הנגר (ב'4), והטמעת אמצעי ניהול הנגר בהיתר הבניה שיצא מכוח התכנית, להלן:

1. תכנית קטנה (עד 1 דונם): אינה נדרשת בהגשת נספח ניהול נגר, ומחויבת בניהול יעד הנגר. תמהיל אמצעי ניהול הנגר ייקבע ויוצג במסגרת היתר הבניה, ויהיה כפוף לאישור מהנדס הוועדה המקומית. בוועדה מרחבית, אישור התמהיל יהיה לאחר התייעצות עם מהנדס הרשות המקומית
2. תכנית בינונית (1-5 דונם): אינה נדרשת בהגשת נספח ניהול נגר, ומחויבת בניהול יעד הנגר. תמהיל אמצעי ניהול הנגר ייקבע תוך התחשבות בהיבטים הידרולוגים, גאולוגיים, טופוגרפיים, מאפיינים מקומיים וכו' של התכנית וסביבתה. הצגה ופירוט האמצעים יעשה באחד האופנים הבאים:

   א. באמצעות היתר בניה, בכפוף לאישור מהנדס הוועדה המקומית. בוועדה מרחבית לאחר התייעצות עם מהנדס הרשות המקומית.

   ב. בהוראות התכנית, ייקבע שתנאי למתן היתר בניה יהיה הגשת תכנית בינוי ופיתוח בקנה מידה של 1:500 או בקנ"מ אחר שיקבע ע"י מוסד התכנון. בתכנית הבינוי יוצגו ויפורטו אמצעי ניהול הנגר, בחלוקה למתחמים או מגרשים. תכנית הבינוי תאושר על ידי הוועדה המקומית, ובוועדה מרחבית, לאחר התייעצות עם מהנדס הרשות המקומית.
3. תכניות גדולות (מעל 5 דונם): מחויבת בהגשת נספח ניהול נגר. אמצעי ניהול הנגר ייקבעו בהתאם להמלצות הנספח ויוטמעו במסמכי התכנית. הצגה ופירוט האמצעים יעשו בדומה לתכנית בינונית.

4.5.3. גמישות בקביעת יעד ניהול הנגר בתכנית

מוסד תכנון רשאי לשנות את יעד ניהול הנגר בתכנית, לאחר שבחן את מאפייני הניקוז והיסטוריית ההצפות בשטח התכנית, בכפוף לתוספת הנגר הצפויה; תוספת הפיתוח המקודמת והמתוכננת באזור; הנחיות תכנית האב האגנית או תכנית אב עירונית ככל שישנה ואומצה ע"י הועדה המחוזית; ישימות פתרונות ניהול הנגר בשטח התכנית בשל אילוצים הנובעים כתוצאה ממאפיינים גאולוגיים, זיהום קרקע ומים, וכו'; יכולת מערכת הניקוז העירונית לקלוט את עודפי הנגר מהתכנית, (סעיף 7.1.2 בפרק המים בתמ"א 1).

4.5.4. פתרונות ניהול נגר מחוץ לשטח התכנית

במקרים לחריגים, בתכניות שנמצא שיש בהן צורך בפתרונות ניקוז וניהול נגר, אולם היתכנות היישום של הפתרונות אלו נמוכה, ניתן לבחון מענה מרחבי לניהול נגר, מחוץ לשטח התכנית, ובתנאי שיהיה בו לענות לצרכי הניקוז וניהול הנגר בתכנית. התכנית תקבע שלביות בינוי, ביחס לקידום והקמת הפתרונות כאמור.

4.5.5. עמידה ביעד מניעת הצפות לפי שימושי הקרקע

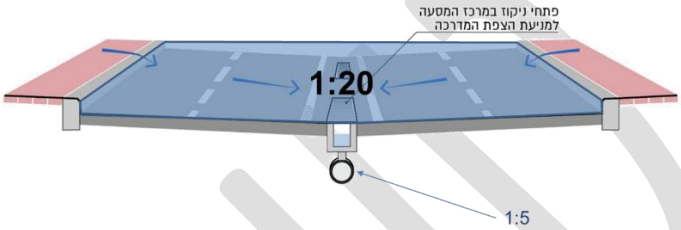
1. התיקון המוצע העמיד יעד נוסף בפני תכנית מפורטת, הוא יעד מניעת הצפות לפי תקופות חזרה, (טבלה 3 בנספח ב4'). אופן יישום יעד מניעת ההצפות נחלק לשניים:

- רחובות וכבישים עירוניים, נדרש לבצע לגביהם חישובים להוכחת עמידה ביעד (ראו איור 6).
- שאר ייעודי הקרקע, (רובם), ניתן להסתמך על מידע קיים ולא נדרש לבצע חישוב

2. בשימושי הקרקע של רחובות וכבישים עירוניים, התכנית נדרשת להוכיח עמידה בשני קריטריונים. להלן:

- מערכת התיעול, ללא התחשבות בהקטנת הספיקות כתוצאה מיישום מערכות ניהול נגר, תתוכנן למניעת הצפות מאירועי גשם בתדירות של 1:5 שנים. הצפה תחשב היערמות מים מעבר לצנרת התיעול.
- מערכת התיעול, עם התחשבות בהקטנת הספיקות כתוצאה מיישום מערכות ניהול נגר, תתוכנן למניעת הצפות מאירועי גשם בתדירות של 1:20 שנים. הצפה תחשב כהיערמות מים מעבר לאבני השפה של הכביש. (ראו איור 6).

בשאר ייעודי הקרקע, חישוב עמידה ביעדים הקבועים יתבסס על נתונים של פשטי ורומי הצפה מתכניות ניקוז וניהול נגר אגניות ועירוניות. ככל שאין נתונים זמינים, נדרש לבצע את החישוב רק במקרים בו מוצעת בניה בתת הקרקע, בתחום שקע אבסולוטי / פשט הצפה/ אזור בו התרחשו הצפות. לחילופין, וככל שלא מדובר בתחום פשט הצפה, ניתן להימנע מהחישוב כאמור, ע"י תכנון מערכת תיעול לתקופת חזרה של 1:100.



איור 6 דוגמא ליישום יעדי מניעת הצפות ברחובות ובכבישים העירוניים, כך שמערכת התיעול לבדה, ללא התחשבות במנגנוני ניהול נגר עומדת ביעד של 1:5, ואילו מערכת התיעול המשולבת עם מנגנוני ניהול נגר עומדים ביעד של 1:20.

4.5.6. גמישות בחובת הגשת נספח ניהול נגר

מוסד תכנון רשאי לחייב הגשת נספח תכנית שאינה נדרשת, או לפטור באופן חלקי או מלא מהגשת הנספח, לאחר שבחן את מאפייני הניקוז והיסטוריית ההצפות בשטח התכנית והשתכנע כי ביחס לגודל התכנית, לנפח הנגר שמייצרת, ליעד ניהול הנגר שנקבע לה, למאפייני הסביבה ולשינוי המוצע בתכסית, ולנזקי הצפות וסחף הצפויים בשטח התכנית ובמורד באגן בו נמצאת התכנית יש /אין חשיבות בהגשת הנספח או חלקים ממנו. במקרה בו נקבע שאין צורך בהגשת הנספח, אמצעי ניהול הנגר יקבעו בשלב היתר הבניה או במסגרת תכנית הבינוי והפיתוח, (סעיף 7.1.4 בפרק המים).

4.5.7. עידוד והעדפת שימוש באמצעי ניהול נגר הכוללים חלחול והחדרה למי תהום

התמ"א מעודדת הטמעת אמצעים הכוללים גם חלחול והחדרה למי תהום, בשל החשיבות בהעשרת אקוויפרים ומניעת זיהומם. דרישה זו מתחזקת באזורים המוגדרים כ'בעלי עדיפות להעשרת מי תהום', אלא אם לא ניתן להטמיע אמצעים ופתרונות להעשרת מי התהום מטעמים של סוג המסלע, מרחק ממי תהום, זיהום קרקע, איכות מי תהום ונגר וכו'. החלטה של מוסד תכנון בעניין אי הכללת פתרונות חלחול והחדרה בתכנית מפורטת החלה באזור עדיפות להעשרת מי תהום, תידרש להיוועצות עם רשות המים, ככל ששטח התכנית גדול מ 5 דונם.

4.6.שילוב היבטי ניהול נגר בהליכי התכנון

על מנת להבטיח את הטמעת מדיניות ניהול הנגר, התחקינו אחר אופן הביטוי של ניהול נגר בשרשרת התכנון, החל מהליך התכנון, דרך ההליך הסטטוטורי לאישור התכנית, ומשם להליך הרישוי ועד לבנייה והתחזוקה השוטפת. להלן יוצגו השלבים השונים בתהליך, ובכל שלב יפורט האופן בו מוצע להתייחס להיבט ניהול הנגר, לאור המדיניות החדשה והשינוי הסטטוטורי, תוך ניתוח חסמים עיקריים והמלצות להתמודדות. ניתוח זה נערך מנקודת מבט של צוות התכנון, העורך את התכנית, ושל מוסד התכנון, שבודק ומלווה את התכנית לאישור. להלן:

4.6.1. תכנון ראשוני

כפי שנכתב לאורך המסמך, ישנה חשיבות לעיתוי הטמעת היבטי ניהול נגר כבר מתחילת הליך התכנון, על מנת לאפשר פתרונות ניהול נגר מיטביים בתכנית.

הצעת יישום : לשנות את השיח - לעלות את נושא ניהול הנגר ואת ההתייחסות אנשי המקצוע הרלוונטיים (הידרולוג, אדריכל נוף) במפגשי טרום התכנון (פרה רולינג). על מוסד התכנון להתוות שאלות לגבי בניית שלד התכנית, מערך הניקוז הטבעי ותבנית ייעודי ושימושי הקרקע, בהתייחס להיבטי ניהול הנגר, וכן, לאופן השילוב של בסיסי הנתונים והמסקנות של נספח ניהול הנגר ויעד ניהול הנגר במסמכי התכנית המחייבים.

4.6.2. הליך תכנון סטטוטורי

לאחר גיבוש מסמכי התכנית ולאורך קידום התכנית להפקדה ולאישור, יש לבחון את המענה ליעד ניהול הנגר ואת אופן הטמעת נספח ניהול הנגר, ככל שיידרש, על הנתונים והמסקנות שלו, לרבות הצעת אמצעי ניהול נגר במסמכי התכנית. חשוב לשמור לאורך ההליך, שיישמר ממשק שוטף בין השינויים הנדרשים בתכנית, וההתאמות להיבטי ניהול הנגר ולנספח ניהול הנגר. שכן, נספח ניהול נגר, איכותי ומלא ככל שיהיה, לא ימלא את תפקידו אלא אם יבוא לידי ביטוי במסמכי התכנית.

הצעת יישום: בדומה להליך הראשוני, גם כאן, נדרש לבחון את אופן התייחסות התכנון ואנשי הצוות המעורבים, לנספח ניהול הנגר ולהיבטי ניהול הנגר, כחלק ממערך השיקולים הנלקחים בחשבון בהליך התכנון. זאת, בדגש על שלד התכנית, מערך ייעודי הקרקע, אמצעי ניהול הנגר שהתכנית מחייבת, בהתאם ליעד שנקבע לה. במסגרת בחינת חלופות התכנון, ככל שיוצגו, יש לבחון את גם את ההתייחסות להיבטי הניקוז וניהול הנגר בכל חלופה. בנוסף, יש להטמיע את המלצות נספח ניהול הנגר במסמכי התכנית, על מנת להבטיח את יישום המדיניות ואת העמידה ביעד ניהול הנגר בהליך הרישוי. במקרים בהם לא נדרש להגיש נספח ניהול נגר, יש לוודא שתהיה חובה לקביעת אמצעי ניהול הנגר כתנאי לקבלת להיתר.

4.6.3. עריכה ואישור היתר בניה

מטרת שלב זה, היא להבטיח את יישום המדיניות והוראות התכנית, על נספח ניהול הנגר שלה, באופן מיטבי בהיתר הבניה.

הצעת יישום: ככל שהתכנית כללה הוראות ברורות ומחייבות לניהול נגר, הסיכוי שהיתר הבניה יתחשב בהיבטי ניהול הנגר בתכנון המרחבי, ויכלול את אמצעי ניהול הנגר גבוה יותר.

4.6.4. בדיקת תכן, בקרת ביצוע וגמר ביצוע

בכל השלבים נדרשת התייחסות והבנה למדיניות והוראות התכנית והיתר הבניה, ביחס לניהול הנגר. לגבי כלל האמצעים, יש לפקח ולבקר את הקמתם בשלבי בדיקת התכן, בקרת הביצוע וגמר הביצוע. בעניין זה, ישנה בעייתיות מסוימת, שכן, חלק מאמצעי ניהול הנגר שמסמך זה מקדם, אמורים להשתלב במרחב, לא בדרך של בינוי, אלא דרך הבדלי גבהים, קרקע, צמחייה, הוראות לשטחי גינון, גגות, צדי דרכים ועוד. שלבי בקרת הביצוע מכוונים לבינוי ולהנדסה, ולכן הפיקוח על ביצוע אלמנטים אלו בשלב הבניה ולאחריה, ייתכן ויבוצע באופן חלקי אם בכלל. כמו כן, לעניין הקמת אמצעי ניהול הנגר, על מנת להבטיח את תפקודם היעיל, נדרשת להתחשב בשלביות פיתוח השטח. אמצעי ניהול נגר, הכוללים מסננים לדוגמא, יכולים להיסתם מעבודות העפר, ככל שלא דאגו להגנה עליהם בשלבי הפיתוח של השטח.

הצעת יישום: כלל אמצעי ניהול הנגר המוצעים בתכנית יכללו פרוטוקול תחזוקה, (טרם קבלת תעודת גמר בנייה), שיכלול נהלי התחזוקה השוטפת ומועדם, לרבות הגדרת גורם אחראי לכך. ככלל, נכון לתת העדפה לאמצעי ניהול נגר הדורשים תחזוקה מינימלית. כמו כן, לטובת הבטחת יישום כלל אמצעי ניהול הנגר ובפרט הנופיים, יש לכלול אותם בתכנית הבינוי והפיתוח הפיתוח ובנספח נופי כתנאי להיתר בניה, על מנת להבטיח את ההתייחסות המרחבית להיבטים אלו, ואת הפיקוח על ביצועם בפועל. בנוסף, היתר הבניה ו/או תכנית הפיתוח, יפרטו את שלביות הקמת אמצעי ניהול הנגר, ביחס לפיתוח והבנייה בשטח, על מנת להגן על האמצעים הרגישים יותר, ולהקים אותם בשלבי הפיתוח הסופיים או לדאוג להגנות מתאימות תוך כדי עבודות.

4.7.מתווה לקבלת החלטות לבחירת תמהיל אמצעי ניהול נגר בתכנית

קבלת החלטות, הן של צוות התכנון והן של מוסד התכנון, לעניין אמצעי ניהול הנגר שישולבו בתכנית ו/או בהיתר, היא מורכבת, שכן כוללת משתנים רבים וצריכה לאפשר גמישות בקבלת ההחלטה המתאימה ביותר לעת הביצוע. מטרת פרק זה, בשילוב עם ארגז הכלים ב- פרק 7 היא לסייע ולקדם קבלת החלטות מושכלות בהטמעת ניהול נגר ואמצעי ניהול נגר בתכנית ובהליך התכנוני. השונות בין התכניות גדולה, ולעיתים מאפיינים פיזיים, מקומיים, ואילוצים שונים, מראש מכתיבים או מצמצמים את מרחב האפשרות בהחלטות תכוניות בכלל, ובפרט באמצעי ניהול הנגר. לפיכך, הפרק בנוי מעקרונות שיש לשקול בעת קבלת ההחלטות, כאשר בכל מקרה, לפי תנאיו הייחודיים, ישכילו הגורמים הרלוונטיים איך לשלב ולהתייחס לעיקרון.

4.7.1. התחדשות עירונית

מדיניות ניהול הנגר המוצעת קוראת ותומכת בתכנון מושכל של השטח, על מנת למקסם את הפוטנציאל של התכנית לניהול נגר באמצעים נופיים רכים בשילוב אמצעים הנדסיים. בניגוד לתכנון שטח חדש, בהתחדשות עירונית ישנן מגבלות תכנוניות הנובעות מהצורך להשתלב במרקם הקיים, בעל גמישות מוגבלת בכל הקשור למיקום ייעודי הקרקע ובפרט שצ"פים. בהתאם לכך, אופן תכנון ניהול הנגר בתכנית זו שונה, ויכול להיות מורכב יותר. יחד עם זאת, יכול להיות משמעותי יותר, שכן יש לו פוטנציאל ואפשרות לשיפור מצב שטח הקיים, שלעיתים יכול לסבול מהצפות ונזקי נגר חמורים. כמו כן, לאורך השנים, יעדי הדיור הולכים ומרחיבים את היקף יח"ד בהתחדשות עירונית, במיוחד במחוזות העירוניים, מה שמדגיש את החשיבות והצורך לניהול נגר בתכניות אלו. להלן עקרונות מנחים לתכנון ניהול נגר בהליכי התחדשות עירונית:

1. **מאפייני הצפות וניקוז בשטח הבנוי**: בהתחדשות עירונית ישנה חשיבות גדולה לבחינת היסטוריית ההצפות ומאפייני הניקוז של השטח הקיים, על מנת להשתמש בתכנית כדי לשפר את המצב הקיים ולמצער, למנוע את החמרתו.
2. **שיפור התכנון הקיים**: תכנון ומיקום ייעודי הקרקע בהתאם לגמישות התכנונית, ולאור מאפייני השטח ההידרו-גיאולוגיים, על מנת למצות את פוטנציאל ניהול הנגר של התכנית.
3. **גמישות בקביעת יעד ניהול הנגר** : לאור המאפיינים והמורכבות של הליכי התחדשות יש לבחון שימוש בסמכות מוסד התכנון להגדלה או הקטנה של יעד ניהול הנגר בתכנית, באופן מושכל ובראייה מרחבית. הבחינה תתייחס, בין היתר, להיקפי ההתחדשות העירונית, הצורך בעידוד הליכים אלו וחשיבות ניהול הנגר בתכניות, לטובת שיפור איכות התכנון והניקוז של השטח הקיים.

4.7.2. תחזוקה ופעילות - הבטחת תחזוקה ויעילות שוטפת

תחזוקת אמצעי ניהול הנגר מהותית לתפקוד וליעילות האמצעים לאורך השנים. בדומה למערכות התיעול ההנדסיות, שם נדרשת תחזוקה בניקוי הקולטנים או בשדרוג ושיפור תקופתי של התשתית. כאשר מדובר באמצעים ניהול נגר רכים, המשתלבים באופנים ובגדלים שונים במרחב הבנוי, הכוללים מערכות נופיות והנדסיות, הם חשופים ורגישים יותר לפגעי הזמן, לסתימות או תקלות. מאחר וחלק מהאמצעים עתיד להיות בתחום האחריות של התושב הפרטי, עולה חשש לתחזוקתם, ובהתאם גם לתפקודם. פרק 4.8 יעסוק בהרחבה בהיבט התחזוקה ובחשיבותו להטמעת מדיניות ניהול הנגר, מבחינת מימון, ביצוע התחזוקה ופיקוח ובקרה על ביצועה. בסעיף זה נציע איך בקבלת החלטות על קביעת תמהיל אמצעי ניהול הנגר בתכנית, ניתן להתייחס להיבט התחזוקה, ולשפר את ישימותה. להלן קריטריונים שאנו מציעים לשקול בעת קבלת החלטות על קביעת תמהיל אמצעי ניהול הנגר בתכנית:

א. **העדפת מיקום בקרקע ציבורית:** הטלת עיקר אמצעי ניהול נגר במרחב הציבורי, הפתוח והבנוי - שצ"פים, צדי דרכים, מוסדות ציבור וכד'. היתרון הוא שאחריות תחזוקת האמצעים של הרשות המקומית, היא בעלת היתכנות ביצוע גבוהה יותר, לפחות בשלב הראשון להטמעת המדיניות.

ב. **התייחסות להיבטי תחזוקה בבחירת האמצעים ושאיפה לבחירת אמצעים דלי תחזוקה:**[40] בחינת דרישות התחזוקה של אמצעי ניהול הנגר, במטרה למקסם את משך ויעילות תפקודו, הכרחית בקבלת החלטות לבחירת אמצעי ניהול נגר. באופן טבעי, ככל שתנאי התחזוקה מורכבים ויקרים יותר, וכן נדרשים בתדירות גבוהה יותר, הסבירות להבטחת התחזוקה מתערערת. בהתאם לכך, על מוסד התכנון לבחון, בין היתר, גם את היבטי תחזוקת האמצעי, תוך שהוא מתעדף ושואף לבחור אמצעים עם צרכים ודרישות תחזוקה מינימליים. בכלל זה, נציין את היתרון של אמצעים מבוססי טבע, הכוללים כמה שפחות מנגנונים טכנולוגים ואמצעי שאיבה. היבטי תחזוקת האמצעים מפורטים בפרק 7 סל אמצעי ניהול נגר במסמך זה. כל מידע בנושא התחזוקה, יש לבקש מצוות התכנון התייחסות.

ג. **שמירה של אמצעי ניהול הנגר בהליך פיתוח השטח והבטחת ניהול הנגר בשלבי הביניים:** הליך פיתוח שטח כולל עבודות חפירה, פילוס קרקע ובהמשך גם עבודות בנייה. אלו, מעמידים בסיכון את מערכות ניהול הנגר, הכוללות מנגנוני סינון ורכיבים עדינים שיכולים להיסתם. בנוסף, בעוד שתכנית יכולה לתת מענה הוליסטי לניהול נגר בשטחה, לעיתים קורה שהתכנית עצמה מפותחת בשלבים, כך שיכול ששטח שפותח, אינו כולל פתרונות ניהול הנגר, או כולל פתרונות חלקיים, ועל כן, הסיכון להצפות בתחומו גדל. בהתאם לכך, מומלץ לשלב בהוראות התכנית התייחסות להיבטי שלביות הפיתוח, ובכלל זה, מפרט הגנה לשמירה על אמצעי ניהול הנגר, ושילובו בתזמון ביצוע העבודות להבטחת תפקודם בסיום העבודות. בנוסף, יש לבחון מתן פתרון זמניים לניהול הנגר, בשלבי הביניים של פיתוח השטח.

ד. **חישוב נפח קיבולת עודף:** על מנת להבטיח את תפקוד פעילות ניהול הנגר בתכנית, מוצע לייצר מערכת עם היתכנות לפעילות עודפת, שיכולה לספוג גם גריעה תפקודית. הרעיון הוא לתכנן את האמצעים לקיבולת גבוהה, תוך חישוב נפח הניהול בחסר, כאילו המערכת בתפקוד חלקי. במצב זה, תחילה המערכת מאפשרת מניעת הצפות בתקופות חזרה נדירות יותר, אם וככל שיעילותה פוחתת, עדיין מובטחים יעדי מניעת ההצפות לפי תקופה מינימלית שקבועה בנספח ב'4 בתמ"א 1. אמצעי ניהול הנגר הרלוונטי לכך הוא קידוח ההחדרה, ודרך קביעת מקדם הדעיכה, תחושב קיבולת עודפת.

ה. **אחריות וטיפול שוטף:** על מנת שניתן יהיה להבטיח את אחזקת האמצעים, נדרש בשלב הרישוי, בו נקבעים באופן מפורט האמצעים ומיקומם, לכלול פרוטוקול התחזוקה של אמצעי ניהול הנגר כאשר במסגרתו יפורטו פעולות תחזוקה נדרשות, תדירותן ומועדן ביחס לעונות השנה, וכן יוגדר הגורם האחראי על ביצוע הפעולה.

ו. **שיח מול הרשויות המקומיות**: במסגרת העבודה השוטפת של מוסד התכנון עם הרשויות המקומיות, ניתן להעלות את הנושא לטובת יצירת שיח, מחויבות והצעת פתרונות חדשים.

4.7.3. העדפת פתרונות מבוססי טבע

תפישת המסמך מבוססת על תפישה מקיימת, והיא רלוונטית גם לבחירת האמצעים. ככלל, פתרונות נופיים הינם זולים יותר לביצוע, וכן, עדיפים בהיבט התפקודי, שכן דורשים תחזוקה מצומצמת יחסית. מעבר לכך, לפתרונות תומכי טבע, יתרונות בחיזוק מערכות טבעיות ותרומה למרחב העירוני בהיבטים נוספים.

[40] בהקשר זה, חשוב לציין, כי מאחר שמדובר בהנחייה חדשה, החשש לגורם התחזוקה גדל. ככל שהנושא יתקבע, ייפתרו גם אספקטים אלו.

4.7.4. ניצול משאב הקרקע

שילוב אמצעי ניהול נגר במרחב הקיים, מהווה מיצוי מיטבי של פוטנציאל השטח המתוכנן. מעבר לכך שבישראל, משאב הקרקע נמצא במחסור, עקרונות העירוניות הטובה, מושתתים, בין היתר, על קומפקטיות ואינטנסיביות. לפיכך, תכנון חכם וצופה פני עתיד, הוא כזה שימקסם את פוטנציאל השימוש ביחידת שטח, בהתאם לשינויים לאורך היממה, עונות השנה, אירועים חריגים ועוד. לפיכך, יש להעדיף שילוב והטמעת אמצעי ניהול נגר במרחב הקיים, שבשגרה, ישמשו (לדוגמה), כשטח ציבורי או שטח פרטי פתוח, ובאירוע גשם, כמאגר השהייה וחלחול.

4.7.5. גמישות בבחירת אמצעי ניהול נגר

על מנת שבשלב היתר הבניה, ניתן יהיה לקבל החלטות לבחירת אמצעי ניהול, שיהיו נכונות ומדויקות לזמן ולמקום, נדרשת מידת גמישות בהוראות התכנית. בהתאם, מומלץ בתכנית לקבוע מגוון רחב של אמצעים, אשר חלקם מחייבים, (בעיקר אלו המשתלבים עם התכנון הנופי או משמעותיים בנפח ניהול הנגר שמנהלים), וחלקם, נתונים לבחירה בשלב היתר הבניה, שבמסגרתו או במסגרת תכנית הפיתוח, יקבע סופית הרכב האמצעים ופריסתם בשטח.

4.7.6. גיוון ופריסת אמצעים

ככלל, ישנה העדפה לקביעת מגוון אמצעים לניהול נגר במרחב, לטובת ניהול סיכונים והבטחת היתכנות תפקודית וניהול סיכונים בפעילות האמצעים. לכן, מומלץ לשלב תמהיל רחב ומגוון של אמצעי ניהול, כך שכשל נקודתי לא יימנע את תפקוד המערכת.

4.7.7. העדפת פתרונות חלחול והחדרה בשטחים בעלי חשיבות להעשרת מי תהום

באזורים בהם ישנה חשיבות להחדרה והעשרת מי התהום, יש להעדיף ולחזק, כמה שניתן, אמצעי ניהול הנגר שכוללים חלחול והחדרה. לבחינת מיקום התכנית ביחס לפוטנציאל העשרת מי התהום שלה, יש לפנות למפת 'אזורי העדפה להחדרת נגר'.[41]

4.7.8. טיפול במי הגגות והמרפסות

שטח הגג, מייצר נפח נגר גדול יותר מחלקו היחסי בשטח המגרש. הסיבה לכך היא, שבשונה מהמגרש, כל הגשם שיורד על הגג הופך לנגר. בנוסף, איכות הנגר מהגגות והמרפסות גבוהה מאד, מהסיבה שאינה מתערבבת עם הלכלוך והזיהום בקרקע. אלו, הופכים את נגר הגגות והמרפסות לפוטנציאל גדול, מהבחינה הכמותית - לטיפול בנפח נגר גדול, ומהבחינה האיכותית - לחלחול והחדרה להעשרת מי תהום.

[41] המפה מפורסמת על ידי רשות המים באתר data.gov.

4.8.תחזוקת אמצעי ניהול נגר

4.8.1. רקע:

על מנת להטמיע את מדיניות ניהול הנגר באופן אפקטיבי ולמצב את ניהול הנגר כשחקן לגיטימי במערך הניקוז המרחבי, נדרשת וודאות לגבי יעילות התפקוד השוטף של אמצעי ניהול הנגר לאורך שנים. בכדי שזה יקרה, מחד, נדרש לבצע תחזוקה שוטפת של האמצעים, ומנגד, נדרש שיהיה גורם אחראי ומפקח לכך. ככל שזה לא יקרה, ייקח זמן רב עד שיקרו השינויים המיוחלים של מדיניות ניהול הנגר, בצמצום הצפות ובשיפור איכות המרחב העירוני, בצמצום נפח וכמות תשתיות התיעול, ובהפחתת נזקים לשטחים הפתוחים ולים.

כמו בכל שינוי, סביר שיידרש זמן הסתגלות של מערכות התכנון והרישוי ושל המערכות המוניציפליות, הן בהטמעת האמצעים בתכניות ובהיתרי הבניה, והן בביצוע ובתחזוקה השוטפת שלהם. אולם, מרגע שזוהתה החשיבות של נושא התחזוקה במערך ההטמעה, מצאנו לנכון לבחון ולהציע אפשרויות שונות להתמודדות עם הסוגיה. סעיף 4.7.2 דן בצמצום התחזוקה ע"י בחירה מושכלת של תמהיל אמצעי ניהול הנגר. סעיף זה מתייחס ליום שאחרי הקמת האמצעים, ובוחן את היבטי המימון והפיקוח והבקרה אחר תחזוקתם.

השאלות שעלו בהקשר זה הן (1) מה יהיו מקורות המימון לפעולות התחזוקה הנדרשות? (2) כיצד ניתן לוודא שפעולות התחזוקה אכן מתבצעות במועדן ובאופן ראוי? (3) מי יישא באחריות לתפקודן התקין של המערכות לאורך זמן?

התחזוקה בפועל

פעולות התחזוקה הנדרשות לאמצעי ניהול נגר הינן פשוטות וזולות במהותן. עיקר פעולות התחזוקה עניינן בניקיון מסננים וריקון סחף ומשקעים, הנעשים באופן שוטף, וכן, פעולות ניקוי יסודיות יותר, הנדרשות אחת למספר שנים או לאחר אירוע גשם משמעותי. העובדה שמדובר בפעולות זולות שאינן דורשות הסמכה וידע מורכבים, מקלה מאד על החשש מהטמעת האמצעים.

מנגד, עלותה של תחזוקה לקויה היא גבוהה מאד, שכן, לאורך זמן, תפגע יעילות האמצעים, לעיתים עד כדי הוצאה משימוש וגרימת נזק בלתי הפיך לאמצעי. קידוח החדרה שלא יתוחזק עלול להיסתם באופן שיקשה מאד את החזרתו לשימוש, ולמעשה יצריך קדיחה מחדש. לתחזוקה נאותה השפעה מכרעת, לא רק על יעילות תפקוד האמצעי, אלא גם על משך תקופת חייו. בנוסף, ישנם אמצעים רגישים פחות, כגון שוחת שיקוע שעלולה להיסתם ולגרום להצפה, אך לא באופן בלתי הפיך, וניקיונה תמיד יהיה פעולה פשוטה יחסית.

להלן דוגמה להמחשת הכוונה בתחזוקה שוטפת של אמצעי ניהול נגר. מערכת ניהול נגר אפקטיבית במבנה עשויה לכלול השהיית מי נגר על ׳גג כחול׳, הזרמת המים דרך המרזבים אל שוחת סינון ומשם החדרתם בקידוח אל מי התהום. במערכת כזו תידרש תחזוקה וניקוי תקופתי של מסננים ומשקעים בכל אחד מהמרכיבים: ׳הגג הכחול׳, המרזבים, שוחות הסינון וקידוח ההחדרה. למעשה, רוב אמצעי ניהול הנגר דורשים פעולות ניקוי תקופתיות, דוגמת בסיסי קידוחי החדרה, מסננים, מצעי סינון, שוחות שיקוע ועוד.

ייעודי קרקע

ייעוד הקרקע מהותי להיבט התחזוקה, שכן, ככל שמדובר בשטחים ציבוריים ובמבני ציבור, הרי שאין מניעה מהרשויות המקומיות לקחת חלק בביצוע התחזוקה. זאת ועוד, ככל שמדובר במבני תעשייה ומסחר, בכוחן של הרשויות המקומיות לערוך בקרה של תחזוקת המערכות לניהול נגר במעמד חידוש רישיון העסק. בנוסף, ככל שמדובר בנכסים המנוהלים על ידי חברות תחזוקה וניהול, פרטיים או ציבוריים, ניתן לשלב את תחזוקת אמצעי ניהול הנגר במסגרת פעולות התחזוקה המתבצעות דרך קבע על ידי חברות התחזוקה. מכאן שהאתגר המרכזי הוא זה הנוגע למבני מגורים משותפים ללא חברת ניהול. אולם, הפתרונות המפורטים לעיל עדיין מותירים ללא מענה שאלות הנוגעות למימון פעולות התחזוקה, ולסמכויות פיקוח ואכיפה במקרה של תחזוקה לקויה.

4.8.2. תחזוקה במגרש הפרטי

סוגית התחזוקתיות (maintainability) של אמצעי ניהול מי נגר במגרשים פרטיים איננה סוגיה עצמאית, כי אם סעיף אחד מתוך שאלת מדיניות רחבה הנוגעת לבקרה ולאכיפה של תחזוקה ארוכת הטווח במגרשים הפרטיים. מערכות הנדסיות מורכבות, המותקנות דרך קבע בבניינים, לרבות מעליות, חניונים תת-קרקעיים, אמצעי בטיחות אש, מאגרי מים ועוד, מחייבות מערך תחזוקה מורכב. על אלו, יש להוסיף מערכות שניתן לחזות שיותקנו בקרוב גם במבנים פרטיים, דוגמת גגות סולאריים, מערכות פינוי אשפה מתקדמות ועוד.

נכון לכתיבת שורות אלה, האחריות לנושאי תחזוקה במבנים אלו בישראל נחלקת בין מספר משרדים ויחידות ממשלתיות: משרד הכלכלה והתעשייה (בעיקר בכל הנוגע למעליות, אך גם בנושאי תקינה, הסמכת בעלי מקצוע, הגבלים עסקיים ועוד), המשרד לביטחון פנים (בכל הנוגע לבטיחות אש), מינהל התכנון (בכל הנוגע להסדרת הנושא בחוק התכנון והבנייה, בתקנות ובאישור תכניות), וכן משרד הבינוי והשיכון (בכל הנוגע להיבטי מדיניות התכנון ורגולציית הבנייה בישראל). בנוסף, עוסקות בנושא גם הרשויות המקומיות (בין היתר באמצעות אגפי הרישוי העירוניים), כאשר ניתן לזהות שונות גדולה במידת המעורבות של רשויות שונות בסוגיית התחזוקה.

על מנת להבין את מעטפת התחזוקה הנדרשת, יש להבחין בין סוגי התחזוקה:

א. תחזוקה שוטפת (ניקיון, גינון וכו');
ב. תחזוקה לטווח הבינוני והארוך (תחזוקה תקופתית מונעת);
ג. תחזוקת שבר (פעולות הנעשות בדיעבד, לאחר שהתקלה התרחשה);
ד. חידוש המערכות בסוף תקופת חייהן.

נכון להיום, רוב תקציב התחזוקה של בתים משותפים, (שמקורו בדמי ועד הבית), מוקדש לעבודת התחזוקה השוטפת לבניין. פירוש הדברים הוא שבפועל לא מתקיימת תחזוקה מונעת, מה שמביא לרמת תחזוקה ירודה בבתים משותפים רבים, העשויה לגרור עמה סכנות בטיחותיות, כלכליות וחברתיות. מעבר לסכנות אלו, נוצר מצב בו כאשר נדרש תיקון שבר או החלפת מערכת בסוף תקופת חייה, הדיירים נדרשים לשלם סכום חד-פעמי גבוה, בו לא כולם יכולים לעמוד. זאת ועוד, לדיירים שבכוונתם לעזוב את הבית המשותף בעתיד הקרוב יש תמריץ שלילי להשתתף בעלות הפעולה, והם מעדיפים "לגלגל" את העלות על הדיירים הבאים. מסיבות אלו ואחרות, חיוני להתמקד בסוגיית אחריות ביצוע ומימון פעולות התחזוקה ובהקמתם של מנגנונים רגולטוריים שבכוחם לאכוף ולפקח אחר ביצוע הפעולות במועדן. להלן מוצעים כיווני פעולה להתמודדות עם הסוגיות לעיל:

4.8.2.1. מקורות מימון אפשריים לתחזוקה ארוכת טווח במבנים פרטיים

- הקמת קרן הונית לתחזוקה ע"י היזם, והעברתה לרשות הדיירים עם אכלוס המבנה (מתקיים היום בפרויקטים של התחדשות עירונית)
- הקמת קרן הונית לתחזוקה ע"י הדיירים ומימונה באמצעות תשלומים חודשיים
- גביית תשלומים ע"י הרשות המקומית (לדוג' היטל תיעול, היטל שצ"פ ועוד)
- יצירת שטחים מניבים בשטח התכנית שישמשו לצורך מימון פעולות התחזוקה

4.8.2.2. מנגנונים רגולטוריים לבקרת ביצוע פעולות התחזוקה

- חיוב התקשרות עם חברות ניהול ותחזוקה תוך הסדרת פעילותן
- הקמת גוף ציבורי שינהל את גביית תשלומי התחזוקה ויאכוף את ביצועה
- הטלת אחריות גבייה, בקרה ו/או אכיפה על הרשויות המקומיות

4.8.3. סקירת מדיניות תחזוקת נכסים פרטיים במדינות העולם

- **אנגליה (תחזוקת אמצעי ניהול נגר):** החלטת ממשלה קובעת כי מנגנון התחזוקה של אמצעי ניהול נגר בשטח המבנה חייב להילקח בחשבון בשלב הכנת התכנית, ולהוות שיקול מרכזי בבחירה בחומרים / אמצעים כאלה או אחרים. עוד קובעת ההחלטה כי יש למזער את השימוש במשאבות, ובכך להפחית את תדירות ועלויות התחזוקה.

- **ווילס (תחזוקת אמצעי ניהול נגר):** ב- 2019 נכנסו לתוקף סטטוטורי הנחיות לפיהן על כל תכנית בנייה העולה על 100 מ"ר להתקין בשטחה אמצעים לניהול מי נגר בר-קיימא (SuDS). על פי ההנחיות, יש להבטיח כי תחזוקת האמצעים תהיה פשוטה, בטיחותית, תדירה, כלכלית, וחסכונית באנרגיה ובמשאבים. עוד קובעות ההנחיות כי תכנית התחזוקה של האמצעים בטווח הארוך, לרבות מנגנון המימון שלה, יידונו בטרם אישור התכנית במוסדות התכנון על ידי גוף ציבורי שהוקם לשם כך ברשויות המקומיות (SAB - SuDS Approval Body). גוף זה אף יהיה אחראי על אכיפת תכנית התחזוקה לאחר האכלוס.

- **אירלנד (תחזוקה כללית):** חקיקה מ- 2011 מחייבת יזם המקים בית משותף (מעל 5 יח"ד) להקים חברת ניהול ואחזקה על חשבונו עוד בטרם האכלוס. בעלי זכות ההצבעה בחברת הניהול והאחזקה הם בעלי הדירות בפרויקט. חברת הניהול מחויבת להוציא דו"ח שנתי על ניהולה והתנהלותה הכספית. זאת ועוד, בתוך 3 שנים מיום הקמתה, מחובתה של חברת הניהול לייעד "קרן פחת" לצורך ביצוע עבודות תחזוקה ארוכות טווח. כל דייר חייב לשלם תשלומים עיתיים לצורך תקצוב קרן הפחת.

- **פלורידה, ארה"ב (תחזוקה כללית):** חקיקה ייעודית מסדירה את נושא התחזוקה בבתים מרובי דירות באמצעות חיוב הדיירים להתארגן במסגרת תאגיד לצורך ניהול המבנה. התאגיד נדרש להכין תכנית עבודה שנתית, ובה לצפות עלויות תחזוקה שוטפות וארוכות טווח כאחד ובהתאם לנהל את הגביה מהדיירים. בנוסף, במדינת פלורידה קיים גוף סטטוטורי שתפקידו לפקח על פעולת תאגידי הניהול הללו ולאשר את הדו"ח השנתי שלהם.

- **אוסטרליה וניו זילנד (תחזוקה כללית):** בבניינים מרובי דירות, בעלי הדירות מנהלים את הרכוש המשותף באמצעות תאגיד. בניו זילנד - וכן בחלק ממדינות אוסטרליה - מחויב התאגיד להכין תכנית ל- 10 שנים אשר תמנה את הפעולות שיידרשו על פני תקופה זו, והתקבולים שעל כל בעל דירה לשלם כדי לממנם.

- **קנדה (תחזוקה כללית):** חקיקה מ- 2015 קובעת כי יוקם בבתים משותפים תאגיד דיירים אשר יחויב להכין תכנית תחזוקה ארוכת טווח למבנה ואף להקים קרן למטרה זו. במחוז אונטריו אף הוקמה רשות בתים משותפים שתפקידה לרכז נושאים אלו, לספק מידע, להציע הכשרות, לנהל מרשם של תאגידי הבתים המשותפים וכן להציע שירותי יישוב סכסוכים.

4.8.4. סיכום

תחזוקה אפקטיבית של אמצעים לניהול נגר מצריכה הקצאה מסוימת של משאבים ותשומות ניהוליות, אולם אין בה כדי להוות חסם משמעותי. אכן, ישנם היבטים הנוגעים לסוגית התחזוקה שטרם זכו למענה מספק, לרבות אלו הנוגעים למימון פעולות התחזוקה ולבקרתן. אולם, כפי שצוין, הפעולות הנדרשות פשוטות ודומות באופיין, ומתבססות על ניקוי מסננים ואיסוף משקעים וסחף, כך שאינן דורשות מומחיות מיוחדת או לוגיסטיקה מורכבת; ככל שיצטבר ידע וניסיון בתחום ניהול הנגר, ניתן יהיה אף לברור בצורה מושכלת בין האמצעים השונים, ולהתאים את תמהיל האמצעים לאפשרויות המימון ולמנגנוני הבקרה. בנוסף, יש לזכור כי סוגית תחזוקת אמצעי ניהול נגר במגרשים פרטיים אינה סוגיה עצמאית, כי אם סעיף אחד מתוך שאלת מדיניות רחבה הנוגעת לבקרה ואכיפת תחזוקה שוטפת העולה בעיקר כאשר מדובר במבני מגורים משותפים.

בהתאם לכך, בימים אלו נבחנת לעומק במשרד המשפטים סוגיית המדיניות הרחבה יותר, בדבר ניהול ותחזוקת בתים משותפים, בשיתוף עם המשרדים הרלוונטיים, זאת במטרה להציע מענה רגולטורי שיסדיר את מכלול היבטי התחזוקה הנדרשים בבתים משותפים. ככל שבחינה זו תתקדם ותגובש למענה רגולטורי, ניתן לצפות כי גם היבטי תחזוקת אמצעי ניהול הנגר יידונו במסגרת זו.

4.9.מדיניות תכנון מוצאים חדשים

מוצאים הם נקודות הקצה הסופיות של מערכות התיעול, דרכם יוצא הנגר הנאסף במערכת. ככל שהיקף ניהול הנגר בשטח קטן, עולה הצורך במערכת התיעול, ובהתאם, גדלים הקטרים ומספר המוצאים של מערכות התיעול. מוצאי הניקוז מובילים את הנגר ממערכת התיעול לשטח נמוך פתוח, שאמור להיות מסוגל לקלוט את נפח הנגר ואנרגיית הזרימה הגבוהה בשיא האירוע. אולם, לא פעם קורה שהשטח הפתוח, (סביבה חופית / שמורות טבע / פארק / יער ..), אינו מתוכנן וערוך לקלוט הנגר מהמוצא, ואז הנגר היוצא פוגע ומזיק לשטח הפתוח. הפגיעה נגרמת מעוצמת זרימת הנגר שמתחתר בקרקע; ההצפות שנוצרות במקום; הסחף והפסולת שאוסף הנגר בדרכו; והזרמת מזהמים הנאספים בנגר. זאת, מבלי להתייחס לפגיעה בשטח מעצם הקמת המוצא עצמו - מבחינה נופית, יציבות הקרקע, תפקוד השטח הפתוח ועוד. לאור היבטים אלו, מודגשת עוד חשיבות ניהול הנגר, וכן, הצורך בתכנון מושכל ומתחשב של מוצאים חדשים. להלן עקרונות מנחים, לקבלת החלטות תכנוניות בעניין מוצאי ניקוז חדשים:[42]

- **צמצום הצורך:** עדיפות לניהול מירבי של נגר בשטח התכנית ולצמצום הנגר המובל במערכת התיעול.
- **מיצוי הקיים:** שימוש מיטבי במוצאים הקיימים וקבלת החלטה מושכלת בתכנון מוצאים חדשים. ההחלטה תתקבל תוך בחינת הפגיעה העתידית בשטח הפתוח בתוספת מוצא חדש, אל מול הנזק הפוטנציאלי בהגדלת הספיקה במוצא הקיים. כמו כן, ככל שמוצא יוצא משימוש, יש לקבוע הוראות פינוי ושיקום השטח.
- **פגיעה מינימלית:** מיקום מוצא ניקוז חדש בתחום שטח ציבורי פתוח, יהיה בסביבות מופרות וככל האפשר, בצמידות לתשתית קיימת, תוך התערבות נופית וסביבתית מינימלית וצמצום ההפרעה לתפקוד השטח הציבורי. בסביבה חופית יש להימנע, ככל הניתן, ממיקום המוצא מול סלעי חוף, אזור המצוק ובחופים צרים. בנוסף, יש לבחון מנגנונים לטיוב איכות הנגר היוצא, כך שתימנע פגיעה בשטח הפתוח שמקורה בזיהום, פסולת וסחף. הוספת מוצא או הגדלה של ספיקת מוצא קיים בשטחים פתוחים, יהיו בהיוועצות עם הגורם הרלוונטי, לדוגמא, קק"ל בשטחי יערות, רט"ג בשמורות טבע, משרד החקלאות והחקלאי בשטחים חקלאיים, זאת במטרה לאפשר היערכות מיטבית של השטח ולמזער את הנזק הפוטנציאלי. ככלל, מומלץ שתכנון המוצא החדש ילווה בחוו"ד אקולוגית.
- **שיכוך אנרגיה:** על המוצא עצמו לכלול אמצעים לשבירת אנרגיית הזרימה, על מנת לצמצם נזקי סחף והתחתרות במורד, במיוחד כאשר מדובר במוצאים בשטחים הרריים ובאזורים חופיים / חוליים. אמצעי שיכוך יכולים להיות הצבת בולדרים או קירות אלכסוניים לאחר הצינור, כחלק מתשתית המוצא.[43]
- **פתרונות ניהול נגר לשטח הקולט:** על מנת לצמצם את הפגיעה בשטח הקולט ולהמשיך את תפקודו כשטח פתוח לשימוש הציבור / שטח חקלאי / שטח לתשתית ועוד, בנוסף לאמצעי שיכוך בתוך המוצא, יש לתכננו אדריכלית ונופית לקליטת עוצמת ונפח הנגר. במסגרת זו, יש לכלול אמצעים לשיכוך עוצמת הזרימה היוצאת, לטובת מניעה של נזקי סחף והתחתרות קרקע. ראו את הטרסה (סעיף 7.1.1.2), כדוגמא לאמצעי ניהול נגר הכולל שיכוך עוצמת זרימה, בנוסף לשבירת האנרגיה במוצא. כמו כן, יש להתאים את האמצעים לעוצמת הזרימה הצפויה, וכן, לאמצעים המשלימים להשהייה ולהובלת הנגר ליעדו הסופי. ככל שמדובר בשטח בעל רגישות וערכיות סביבתית גבוהה, דוגמת הסביבה החופית, יש לכלול את אמצעי השיכוך וההשהייה במסגרת תשתית התיעול ו/או הנקז, או בשילוב האמצעים בשטחים סמוכים בעלי ערכיות נמוכה יותר.
- **פתרון למי קיץ:** שילוב פתרונות למי קיץ, דוגמת קיר חוסם עונתי למניעת זרימה, שוחות שאיבה וחיבור לקו ביוב.

---

[42] להרחבה בעניין מוצאי ניקוז עירוניים עם מוצא חופי, יש לפנות למסמך העמדה של היחידה הארצית להגנת הסביבה הימית במשרד להגנת הסביבה, אפריל 2018 .

[43] ראו דוגמאות לאמצעי שיכוך בתוך המוצאים במסמך של ה IECA.

- **סינון פסולת**: התאמה ותחזוקה של רשתות סינון פסולת בפתח הנקז. ראשית, יש לבחור רשת בצפיפות שתותאם לחתך הצינור, על מנת שמתקן תפיסת הפסולת לא יגרום לסתימת הנקז באירוע גשם. אם ניתן, במגבלות הגובה והמקום, עדיף להתקין את הרשתות במורד המוצא, כך שהפסולת לא תפריע לזרימה.[44] בנוסף, יש לוודא ביצוע תחזוקה שוטפת של אמצעי סינון הפסולת בפתח הנקז, (רשתות, סורגים וכד'), על מנת למנוע הוצאה של פסולת הנסחפת למערכת הניקוז העירונית עם הנגר. כן רצוי שניקוי ותחזוקת מערכת התיעול יעשו בתדירות גבוהה יותר לפני החורף או באזורים מועדים.
- **צמצום שימוש בחומרים קשיחים:** יש להתאים את חומרי הבניה לסביבתם ולספיקת התכן במוצא, על מנת לצמצם ולבקר את הפגיעה בשטח. לדוגמא, בסביבה חופית, המאופיינת בקרקע חולית, יש לצמצם את השימוש בחומרים קשיחים (בטון, ריפראפ), במטרה להימנע מסחיפה והתחתרות של חול, ובמקום, להשתמש בחומרים הגמישים לשינויים במפלס החול, כגון כלונסאות.

[44] דוגמאות ניתן לראות באתר של Storm water system.

5. בחינה כלכלית

5.1.תקציר

מטרת הבחינה הכלכלית הייתה לנתח ולהעריך את המשמעות הכלכלית של תיקון מס' 8 לתמ"א 1,[45] כפי שבא לידי ביטוי בתוספת השקעות, בהשפעה על עלות הבניה ליח"ד, בעלויות שנתיות ובתועלות פוטנציאליות.

במסגרת הבחינה נעשה ניתוח עלויות השוואתי, על בסיס מקרה מבחן של תמ"ל 1001 תל השומר מרכז. על בסיס התמ"ל, הושוו ארבע חלופות לשילוב מערכות ניקוז הכוללות תשתית תיעול ומערכות ניהול נגר, באזור מישור החוף ובאזור ההר המזרחי. חלופה מס' 1, 'חלופת התיעול', שיקפה את המצב התכנוני הקיים, והיא כוללת תשתית תיעול בלבד, חלופות 2-4, 'חלופות ניהול נגר', התייחסו לתוספת אמצעי ניהול נגר לטובת ניהול יעד ניהול הנגר של התכנית ולהקטנת תשתית התיעול, והושוו לחלופה 1. בנוסף, חלופות ניהול הנגר שיקפו השתתפות / נשיאת נטל שונה של ה'שחקנים' בתכנית (מגורים, מסחר, תעסוקה ותעשייה, מבני ציבור).

כמקרה מבחן לתכנון מערכות הניקוז נבחרה תמ"ל 1001, כיוון שהיא משקפת תכנית שיישמה את מדיניות ניהול הנגר המוצעת. תכנית זו התייחסה לניהול נגר כבר מהליך התכנון הראשוני, ולכן מערך השצ"פים תוכנן כך שניתן היה לממש בתחומו פוטנציאל גבוה לניהול נגר, שעמד על כ-70% מהיעד. כמו כן, הפרוגרמה בתכנית וצפיפות יח"ד שיקפו את מדיניות התכנון הנוכחית במרכז הארץ. על מנת להפוך את תמ"ל 1001 למקרה מבחן מייצג ארצי, לתכנון המקורי הוספו אמצעי ניהול נגר לצורך עמידה ביעד נפח הנגר הנדרש. כמו כן, נתוני הבסיס מהתכנית, המתאימים לאזור החוף, עברו התאמה כדי לייצג מקרה בוחן גם באקוויפר ההר.

בגוף העבודה ובנספחיה מפורט הרציונל והנחות העבודה לבניית חלופות מערכות הניקוז; לקביעת עלויות רכיבי המערכת ועלות העבודה; ולחלוקת הנטל ליישום האמצעים בין שימושי הקרקע במרחב.

לפי מקרה המבחן, תוספת ההשקעה היחסית ליח"ד היית הנמוכה מ 1% ביחס לעלות הבנייה, ואף הוזילה את העלויות ביחס להשקעות במצב הקיים. יחד עם זאת, לאמצעי ניהול הנגר נדרש חידוש בתדירות גבוהה יותר, ולכן העלות השנתית הכוללת שלהם (החזר הון + תחזוקה), הייתה גבוהה יותר ביחס למצב קיים. במקרה המבחן נמצא כי באמצעות ניהול נגר ניתן להוזיל את עלות האמצעים במרחב הציבורי, אולם נדרשים להוסיף עלות של אמצעים חדשים במרחב הפרטי. במקרה כזה, כאמור, סך העלות השנתית, גבוהה יותר. כמו כן, ניתן לדחות את החידוש הנדרש למערכות וכן להקטין את העלות השנתית של אמצעי ניהול נגר.

נערכה בדיקת רגישות, על מנת לבחון את המשמעויות הכלכליות במצב בו ניתן לממש אחוז נמוך יותר מיעד ניהול הנגר בתחום השצ"פים, ולכן נדרש ליישם יותר אמצעים בתחום מגרשי הפיתוח. בבדיקה נמצא שגם אם ניתן יהיה לנהל רק 40% מיעד הנגר בתחום השצ"פים, ונדרש יהיה לנהל 60% מיעד הנגר בתחום המגרשים הפרטיים, עדיין תוספת ההשקעה ליח"ד תעמוד על כ 1% מעלות הבניה. בדיקת רגישות זו יכולה לשמש כאינדיקטור גם להשפעה הכלכלית במקרים של התחדשות עירונית.

תמהיל אמצעי ניהול הנגר הזמין בשצ"פים מאפשר יותר שימוש באמצעים מבוססי טבע, שהם בדרך כלל זולים יותר ביחס לאמצעים מלאכותיים. זאת לעומת מגרשי הפיתוח, בהם יש פחות מרחב לתכנון, פחות יתרון לגודל ופחות גמישות בבחירת האמצעים. לאמצעים מבוססי טבע יתרונות נוספים רבים, בשיפור איכות המרחב המתוכנן, בתמיכה בטבע עירוני, בניתוב המים לשימוש משני ועוד. על מנת לממש את היתרון הכלכלי לניהול נגר בתחום השצ"פים, חשוב להשתלב מוקדם בהליך התכנון, ולמקם את מערך השצ"פים בצורה מתאימה.

[45] תיקון מס' 8 לתמ"א 1 כלל גם את תיקון נספח הנחיות לניהול נגר (ב'4), ואושר להעברה להערות הוועדות המחוזיות במועצה הארצית ביום 6.4.2021.

על מנת להתייחס לתועלות אלו ואחרות נסקרו בהרחבה גם מגוון התועלות הכלכליות לאמצעי ניהול נגר, מנקודת המבט של הרשות המקומית ומנקודת מבט לאומית, אשר את מרביתם לא ניתן לכמת בשלב זה. עם זאת, על בסיס הסקירה ניתן להעריך כי תועלות אלו יכולות להגיע עד למאות מיליוני ש"ח בשנה, כתלות במאפייני הרשות.

5.2.מבוא

השינוי המהותי המוצע בתיקון מס' 8 לתמ"א 1, הוא בקביעת יעד כמותי לניהול נגר לתכנית. עמידה ביעד, יכולה להיעשות באופנים וצורות שונות, דרך מגוון אמצעי ניהול נגר. ההחלטה על תמהיל אמצעי ניהול הנגר בתכנית, תלויה בשיקול הדעת של צוות התכנון, ומשתנה בהתאם למאפייני התכנית ולתנאי הזמן והמקום. האפשרויות לבחירה מגוונות, ותלויות באופן ניהול הנגר, בסוג האמצעים ובמיקומם, בשטח הבנוי/ פתוח/ ציבורי/ פרטי. שונות זו, מייצרת מנעד אפשרויות רחב לעלויות מערכות ניהול הנגר בכלל, ובפרט, לעלות היחסית המושטת על השחקנים השונים, שבשטחם מיושמים האמצעים.

השתמשנו בתמ"ל 1001 - תל השומר מרכז, כמקרה מבחן להערכת ההשפעה הכלכלית של הוספת אמצעי ניהול נגר בתכנית לטובת עמידה ביעד. לשם כך, נבחר תמהיל אמצעי ניהול נגר מייצג, ועלותו נותחה מנקודות מבט של השחקנים השונים, בדגש על העלות התיאורטית הכוללת ליחידת דיור. העלות, כאמור, היא תיאורטית, שכן אופני המימון של האמצעים במרחב הציבורי נתונים לשיקול הרשויות המקומיות.

הפרק מתחיל מסקירת ספרות הכוללת מספרי מקרי מבחן, בעיקר מישראל. לאחר מכן, מוצג ניתוח מקרה מבחן שהתמקד בהשלכות הכלכליות לשינוי המוצע, על בסיס בחינת חלופות השוואתית, כולל בדיקות רגישות. בהמשך, מוצגת סקירה מפורטת למגוון התועלות הפוטנציאליות, ולבסוף סיכום והמלצות.

5.3.סקירת ספרות

להלן סקירה קצרה של מחקרים ועבודות כלכליות שנעשו בישראל בשנים האחרונות בתחום ניהול נגר עירוני. המחקרים כוללים: מיפוי סוגי העלויות והתועלות הרלוונטיים, (ראו הרחבה בנושא בסעיף 0), ניתוח מקרי מבחן ובדיקות היתכנות טכנו-כלכליות.

- **Green-eye (2014), תכנית אב לניקוז תל אביב - נספח הערכה כלכלית סביבתית לנספח ניהול מי נגר, נערך עבור עיריית ת"א יפו**

בתכנית זו הושווה שדרוג מערכת הניקוז בשכונה בצפון ת"א (רמת אביב הירוקה), להתקנת פתרונות ניהול נגר (איגום תת קרקעי) . מקרה מבחן זה הצביע על פוטנציאל לחסכון של 22-8 מלש"ח (כתלות בהנחות העבודה, על בסיס 2 ניתוחים הנדסיים שונים), באגן ניקוז רמת אביב. כמו כן, הוצג חסכון עקיף פוטנציאלי של 10-7.5 מלש"ח, הכולל חסכון בעלות מימון ההשקעות שלעיל, וכן מניעת מפגעים הקשורים בתקופת השיפוץ (רעש, זיהום אויר וכו'). צוינו גם תועלות מורכבות לכימות, כגון: השימוש וההנאה מהגן שישופץ לטובת פתרונות ניהול נגר מקומיים.

הניתוח הנופי-הנדסי גם הצביע על אפשרות לבצע אקסטרפולציה מתוצאת הניתוח לאגני ניקוז נוספים בעיר, והסיק מכך על פוטנציאל חסכון של כ-25% ביישום פתרונות ניהול הנגר ביחס לעלות ההשקעה הנדרשת בתכנית האב העירונית לתיעול. פוטנציאל זה מסתכם בכ-239 מלש"ח של חסכון לתקציב ההשקעה העירוני.

- **רשות ניקוז ירקון ונתיבי ישראל (2016), ניהול מי הנגר של אגן הניקוז איילון - בדיקת היתכנות ניקוז - הוגשה במסגרת תת"ל 33 - 'מסילה רביעית באיילון'**

על מנת להשוות בין חלופות ניהול הנגר שונות באגן האיילון, כחלק מהבחינות המקדימות לתכנון מסילה רביעית לרכבת באיילון, בוצעו מספר סוגי ניתוח:[46]

  - ניתוח עלות מיטבית לעמידה ביעד המחייב לפי הסתברות תכן לשיטפון במרחב
  - ניתוח עלות תועלת של החלופות ביחס למצב קיים וזו לזו, על בסיס אומדן סדרי הגודל של נזקים לרכוש, לגוף ולנפש ושיבוש פעילות המשק כתוצאה מהשבתת עורק תחבורה ראשי
  - ניתוח איכותני של דירוג החלופות מבחינת השפעות חיצוניות – כולל היבטי אמינות, ישימות, השפעה על מסדרונות אקולוגיים, תפקוד נופי וכו'

ניתוח תועלות ניהול הנגר במרחב העלה כי הנזקים הפוטנציאליים של השיטפון הנמנע באירוע גדול, מוערכים בכ-727 מלש"ח, בערך נוכחי נקי של כלל הנזק בניתוח לאורך 100 שנה, וכ-23 מלש"ח בצפי נזק שנתי משוקלל, ובאירוע בינוני כ 424 מלש"ח וכ 13 מלש"ח, בהתאמה (ש"ח 2014).

חשוב לציין כי העובדה שמדובר בפתרון למרחב אורבני שהינו מהצפופים בישראל ולעורק תחבורה ראשי ברמה ארצית, מביאה להערכות נזק גבוהות במיוחד. מאידך, ניתן להניח שעם גידול האוכלוסייה והמשך הפיתוח, פוטנציאל הנזק ילך ויגדל, בהתאם לגידול בניזוקים הפוטנציאליים.

בתכנית זו, אמצעי ניהול הנגר שהוצעו לא נותנים מענה מלא לסיכון, בעוד מערכות התיעול שהוצעו הן בעלויות הקמה גבוהות מאוד. לכן, נערכה תת"ל/33/א', 'תכנית משלימה לניהול הנגר באגן נחל אילון',[47] שמטרתה "הבטחת פתרונות ניקוז, תיעול, איגום והחדרה בכל אחד מהאתרים הנדרשים למימוש תת"ל/33 ובהתאם לעקרונות שנקבעו בה".

- **תה"ל, סיניה נתניהו, מכון ערבה - ליאור אסף, אמפיביו - עמית טל (2007-2008), כדאיות כלכלית של שימור נגר בדגמים עירוניים ברצועת החוף, עבור נציבות המים, אגף המחקרים**

---

[46] יש לציין כי בעבודה של רשות נחל ירקון, בהקשר תת"ל 33 והמסילה הרביעית באילון נבחנו סוגיות הנוגעות לכלל אגן ההיקוות בהתייחס לתא שטח משמעותית גדול יותר מזה הרלוונטי לדיון על ניהול הנגר העירוני. לא רק זאת אלא תא שטח בעל מאפיינים רחבים ומגוונים יותר מאלו של המרחב העירוני.

[47] תת"ל/33/א', הועברה להערות והשגות ביום 16.4.2021.

מחקר זה מציג ניתוח מפורט של התועלות משימור נגר, הכוללות: הפחתת עומסי מזהמים, תועלות אקולוגיות והידרולוגיות, תועלות בבריאות הציבור (מניעת סחף, זיהום מים), מניעת נזק ברכוש פרטי וציבורי, תועלת אסתטית, הקטנת חבות הנטל על הרשויות המקומיות (הקטנת תשתית התיעול), הפחתת הצורך במימון ציבורי לטיפול בשימור מי נגר.

לאחר מכן, עורכים החוקרים בחינה מפורטת של פרויקטים של שימור נגר בראשל"צ והרצליה. חלק נרחב מוקדש לחסמים לניהול יעיל של מי נגר. הניתוח הכלכלי השווה את כלל עלויות הפרויקט לתועלת מתרומת המים למקורות המים המוניציפליים והארציים. מהניתוח עלה כי פרויקט שימור מי נגר לטובת גינון ציבורי בעיר ראשון לציון מחזיר את עצמו כבר בשנה הראשונה לפרויקט.[48] לגבי שאר הפרויקטים שבוצעו במסגרת שימור נגר, כמו פרויקט האגמים בנפח 6-7 מלמק"ש בראשל"צ, ופרויקטים נוספים בהרצליה, הכדאיות הכלכלית שלהם אינה מוצדקת בהתבסס על התרומה למקורות המים העירוניים או הארציים בלבד. מיזמים אלו הופכים לכדאיים רק כאשר נקודת המבט מתרחבת לתרומה למקורות המים, וכוללת גם מניעת הצפות במורד, השפעות על עליה בערך הנדל"ן, מסחר ותעסוקה כתוצאה מפיתוח נופי ואסתטיקה, המתבססים על פרויקטים של איגום מי הנגר וכו'.

- **דב יעקובוביץ (2013), פיתוח באימפקט נמוך כמענה לבעיית מי הנגר והשלכותיה, סמינר למרכז הבינתחומי הרצליה**

במסגרת עבודה זו בוצעה סקירת ספרות בה נסקרו 15 מקרי בוחן מארה"ב וקנדה. ברוב המקרים שנסקרו נמצאו חסכונות משמעותיים בזמן שלבי פיתוח הפרויקטים, בשל הפחתת העלויות במספר רכיבים: הכנת השטח ויישור הקרקע, מערכות לניהול מי נגר, ריצוף, סלילה ועיצוב הנוף. החסכון שנמצא בהשקעה הנדרשת בפרויקטים אלה ביחס לפרויקטים ללא ניהול מי נגר, נעו בין 15%-80%, אולם נמצאו גם מקרים יוצאים מן הכלל, בהם יישום פרקטיקות עדכניות לניהול מי נגר העלה את עלות הפרויקט לעומת הגישה השמרנית לניקוז ותיעול.

- **אנוש (2004) מדריך לתכנון ובנייה משמרת נגר, עבור משרד הבינוי והשיכון**

במסמך זה הוצג מודל כלכלי לניתוח עלות-תועלת בתחום ניהול נגר עירוני. בצד העלות הוצגו החזר הון שנתי בגין ההשקעה והתחזוקה השנתית. לעומתם, בצד התועלת הוצגו החסכון מהקטנת עומס על מערכות הניקוז,[49] וכן ערך המים שניתן היה לחלחל לאקוויפר (לפי עלות התפלת מים בקיזוז עלות שאיבה).

בנוסף, הוצג חישוב גס של אפשרות הקטנת קוטר צנרת התיעול, כתלות באחוז הנגר העילי שניתן לנהל במקור. מהתחשיב לדוגמא עולה כי ניתן תיאורטית לחסוך עד 84% מהעלות צנרת המוצא באמצעות ניהול נגר (כ-180 אלף $ ל-100 דונם, עם 80% נגר לפי 40 מ"מ לשעה).

לסיכום, התמקדנו בעיקר במקרי מבחן בישראל, בכדי להגביר את הרלוונטיות (מבחינת אקלים, צורת בינוי וכו'). רוב המחקרים התמקדו בהשוואת עלויות בין מערכות תיעול לבין שילוב מערכות ניהול נגר, ונמצאה בהם כדאיות כלכלית משמעותית.

מעבר לפוטנציאל הצמצום של מערכות התיעול, ניתנה התייחסות לפוטנציאל הכלכלי בשימור המים. זאת, בפרט מנקודת המבט של הרשות המקומית שיכולה ליהנות מהמים, למשל באמצעות איגום כחלק מאתר טבע עירוני ושימוש במים להשקיה בקיץ.

---

[48] השימוש במים לגינון עירוני הינו כ-1 מלמק"ש בהרצליה וכ-1.9 מלמק"ש בראשל"צ. לפי תעריף מים לגינון ציבורי בעת המחקר - 7.6 ש"ח למ"ק, מדובר בלמעלה מ-14 מלש"ח הוצאה שנתית. זו גם עלות ההשקעה הנדרשת במערכת האיגום לטובת פרויקט ההשקייה שבוצע בראשל"צ, ומכאן שהחזר ההשקעה היה כבר בשנה הראשונה לפרויקט.

[49] נתון מרכזי במשוואה שיש קושי לאמוד, הוא שווי של נפח ניקוז נחסך, ולגביו לא הוצג חישוב אלא הנחה בלבד ($0.4 לקוב).

ככל שהניתוח הכלכלי ייעשה בצורה הוליסטית יותר, כך הוא יוכל לשקף בצורה רחבה ומפורטת יותר את מגוון התועלות העקיפות והחיצוניות (ראה פירוט בסעיף 0). אולם חלק ניכר מסוגי התועלות הן מורכבות יותר לכימות. בפרט, יש קושי לכמת את הערך הכלכלי השנתי הפוטנציאלי ממניעת נזקי שיטפונות. זאת כיוון שבמרחב העירוני אין מתאם סטטיסטי ברור בין עוצמת אירוע הגשם לבין הנזק ממנו[50]. לכן, יש קושי לבצע בחינת עלות תועלת מלאה, ובמסמך זה מוצג מקרה מבחן של השוואת עלויות בין המשך מצב קיים (מערכת תיעול) לבין חלופות בהן משולבים אמצעי ניהול נגר, כמפורט בסעיף הבא.

5.4.מתודולוגיה

מטרת העבודה הייתה להציג ניתוח כלכלי של יישום תיקון מס' 8 לתמ"א 1 בהיבט ניהול הנגר, ביחס למצב התכנוני הקיים.[51] הניתוח מתבסס על מקרה מבחן בו הושוו עלויות ליישום התיקון המוצע, ביחס להמשך מצב קיים. ההשוואה נעשתה מנקודות מבט שונות, של הרשות המקומית, של יחידות הדיור ושל שחקנים נוספים.

לשם כך, תוכננו, על בסיס תכנית זהה, (תמ"ל 1001, כמפורט בסעיף 5.5), ארבע חלופות. הראשונה, משקפת את המצב התכנוני הקיים,[52] ללא חובה כמותית לניהול נגר, והיא כוללת תשתית תיעול בלבד. שלוש האחרות, משקפות את המצב התכנוני המוצע, קרי, יעמידה בחובת ניהול יעד נגר כמותי, באמצעות שילוב אמצעי ניהול נגר. השוני בין המערכות בשלוש החלופות האחרונות, הוא בתמהיל השחקנים/ שימושי הקרקע המשתתפים בהטמעת אמצעי ניהול הנגר בשטחם (מגורים, מסחר ותעסוקה ומבני ציבור).

בנוסף, על מנת לשקף את השונות בעלויות בין אקוויפר החוף לאקוויפר ההר, בוצעה השוואה מקבילה בין ארבע החלופות בכל אחד מהאזורים, על בסיס הערכה של התאמת התשתית והאמצעים למאפייני הקרקע המקומיים.

5.5.בחירת תכנית

התכנית שנבחרה לשמש כמודל בעבודה היא תמ"ל 1001 - תל השומר מרכז.[53] המניע העיקרי לבחירתה היה אופן תכנונה, בתפישת וברוח מדיניות ניהול הנגר המוצעת. על ידי כך התאפשר לנהל נגר בשטח התכנית באופן יעיל וחסכוני, בעיקר באמצעות התייחסות לניהול נגר בשלב מוקדם של התכנון, שאפשר הטמעה אפקטיבית של אמצעי איגום והשהייה בתחום השצ"פים, שנקבעו מראש, בשטחים בעלי פוטנציאל גבוה לניהול נגר. כמו כן, ניתן לומר כי הפרוגרמה וצפיפות יח"ד של תמ"ל 1001, משקפים את הפרקטיקה התכנונית המקובלת כיום במרכז הארץ.

---

[50] זאת להבדיל מפשטי הצפה של נחלים במרחב פתוח, שבהם ניתן לחזות בצורה טובה יותר את גודל הפשט ביחס לספיקה באירוע גשם, ולייצר סטטיסטיקה של שיטפונות פוטנציאליים. סטטיסטיקה כזו מאפשרת לאמוד את תוחלת הנזק השנתי הנמנע, וכך לכמת רכיב תועלת משמעותי מניהול נגר.

[51] הפרק נכתב טרם אישור השינוי לתמ"א 1

[52] במצב הקיים חובת ניהול הנגר אינה מעוגנת ביעד כמותי, ולכן ההנחה הייתה שלא ייעשה ניהול נגר כלל

[53] עופר קלוקר – עורך התכנית, אדר' ליאור לווינגר - אדריכל הנוף, בועז כהן - עורך נספח ניהול מי הנגר לתכנית

חשוב להדגיש כי התכנית שימשה בסיס תיאורטי בלבד, ולתכנון המקורי הוספו אמצעי ניהול נגר לצורך עמידה ביעד נפח הנגר הנדרש[54]. כמו כן, כאמור, נתוני הבסיס מהתכנית, המתאימים לאזור החוף, עברו התאמה כדי לייצג מקרה בוחן באקוויפר ההר.

5.6.חלופות תכנון למערכות ניקוז וניהול נגר

להלן פירוט חלופות התכנון וחלוקת האחריות לניהול נגר בשטח התכנית בין השחקנים השונים.

5.6.1. פירוט חלופות מערכות הניקוז

- **חלופה מס' 1: מערכת ניקוז מבוססת תיעול, ללא אמצעי ניהול נגר - 'חלופת האפס'**

מערכת ניקוז המבוססת על תשתית תיעול בלבד, ללא אמצעי ניהול נגר. בהתאם להוראות תמ"א/34/ב/4, שהיו תקפות באישור התכנית, התכנית כללה שטחים חדירים למים בהיקף של 15% משטחה. אולם לאור הקרקע החולית חרסיתית באזור, המאופיינת ביכולת חלחול בינונית נמוכה, שטחים אלו לא תרמו לניהול נגר, ועל כן לא היה בהם להשפיע על תכנון תשתית התיעול. לפיכך, חלופה זו מבוססת על תשתית תיעול בלבד שתוכננה למניעת הצפות בשטח התכנית בהסתברות של 1:20 שנים.

- **חלופות מס' 2,3,4: תיעול בשילוב אמצעי ניהול נגר, 'חלופות ניהול נגר'**

בחלופות אלו מערכות הניקוז התבססו על תשתית תיעול מצומצמת, תוך שילוב אמצעי ניהול נגר בתחום השצ"פים ומגרשי הפיתוח הפרטיים,[55] בהתאם ליעד ניהול הנגר של התכנית. אמצעי ניהול הנגר היעילים ביותר כלכלית הם אמצעים אקסטנסיביים, שניתן ליישם בשטחים הציבוריים הפתוחים. לאלו גם יתרונות נוספים רבים לסביבה העירונית, כפי שיפורט בסעיף 0 'תועלות'. לכן, על מנת למצות את אפשרויות ניהול הנגר בשצ"פים, יש להתייחס להיבטי ניהול נגר כבר מתחילת הליך התכנון. במקרה המבחן של תכנית תל השומר ניתן היה להגיע לניהול כ 70% מיעד הנגר בתחום השצ"פים, בזכות העבודה שמוקמו בשטחים מתאימים לניהול נגר.

השונות בין חלופות ניהול הנגר נעוצה בחלוקת האחריות ליישום אמצעי ניהול נגר הנדרשים לשם השלמת העמידה ביעד (30%), בין שימושי הקרקע השונים, כמפורט להלן:

- חלופה מס' 2: מגרשי המגורים
- חלופה מס' 3: מגרשי המגורים, מגרשי המסחר והתעסוקה
- חלופה מס' 4: מגרשי המגורים, מגרשי המסחר והתעסוקה, מגרשי מבני הציבור

[54] כמו כן, הובאו בחשבון אמצעים שאינם ברי יישום בתכנית תל השומר, בשל זיהום קרקע, כמו קידוח החדרה.

[55] חלופה 4 הכוללת גם ניהול נגר במבני ציבור, כשחקן משמעותי במרחב ובעל פוטנציאל רב לשאת באחריות לניהול נגר בתחומו .

טבלה 1: פירוט חלוקת נטל ניהול הנגר בכל חלופה, לפי שימושי הקרקע

	חלופה מס' 1	חלופה מס' 2	חלופה מס' 3	חלופה 4
שצ"פים	-	70.0%	70.0%	70.0%
מגורים	-	30.0%	21.1%	14.5%
מסחר ותעסוקה	-	-	8.9%	6.1%
מבני ציבור	-	-	-	9.4%
ניהול נגר (יעד)	-	100%	100%	100%

כל חלופה נבחנה בהתייחס לשני אזורים גיאוגרפים שונים - חוף והר, השונות השפיעה על הרכב אמצעי ניהול הנגר שנבחרו, על החומרים ועל עלות העבודה בהנחת תשתית התיעול ואמצעי ניהול נגר.

- **אקוויפר החוף** - מתאפיין בקרקע חולית ובאקוויפר גבוה יותר
- **אקוויפר ההר** - מתאפיין בקרקע סלעית, ובאקוויפר עמוק שלעיתים חסום ע"י הסלע

5.7.בסיסי נתונים

5.7.1. תמ"ל 1001, כללי

תמ"ל 1001, תל השומר מרכז, אושרה ביום 19.1.2016, מטרתה הקמת אזור מגורים חדש בשטח מחנה תל השומר המתפנה. התכנית חלה על שטח של כ- 1,360 דונם, וכוללת כ- 9,500 יחידות דיור, מבני ציבור ושטחי תעסוקה ומסחר. צפיפות יח"ד בתכנית עומדת על צפיפות ברוטו של כ-14 יח"ד לדונם, וצפיפות נטו של כ-25 יח"ד לדונם, והיא דומה לצפיפות הנהוגה היום בתכניות בסדר גודל דומה. תמ"ל 1001, חלה באזור בעל טופוגרפיה מישורית יחסית, מעל אקוויפר פורוזי (נקבובי), המתאים לסביבת מישור החוף.

5.7.2. נתונים כמותיים, מצב מוצע

נתונים כמותיים מטבלה 3.2 :

יעוד	דונם	אחוזים
דרך מאושרת	32.9	2.42
דרך מוצעת	270.3	19.91
מבנים ומוסדות ציבור	248	18.27
מגורים ג'	322.4	23.75
מגורים מסחר ותעסוקה	119	8.76
מסחר ותעסוקה	102.1	7.52
שטח ציבורי פתוח	262.8	19.36
סה"כ שטח התכנית	1,357	100

נתונים כמותיים מ מטבלה 2.3 :

יעוד	כמות
מגורים (יח"ד)	9,500
מגורים (מ"ר)	997,500
מבני ציבור (מ"ר)	340,216
מסחר (מ"ר)	303,380
תעסוקה (מ"ר)	42,681
סה"כ (מ"ר)	1,683,777

טבלה 3 נתונים כמותיים מטבלה 3.2

טבלה 4: שקלול נתוני ייעודי ושימושי הקרקע השונים לפי שטח, זכויות בניה והיחסים ביניהם,[56] שהיוו בסיס לחלוקה תיאורטית של עלויות מערכות הניקוז

שימושי קרקע	זכויות בניה (מ"ר)	שטח (דונם)	יחס שטחים מגורים מסחר ותעסוקה	יחס שטחים מגורים, מסחר ותעסוקה ומבני ציבור
'מגורים'	997,500	322	70.3%	48.3%
'מגורים מסחר ותעסוקה'[57]		119	29.7%	20.4%
'מסחר ותעסוקה' [58]	346,061	102		
'מבנים ומוסדות ציבור'	340,216	248		31.3%
סה"כ	1,683,777	792	544 (דונם)	792 (דונם)

[56] ישנה הטעיה בין זכויות הבנייה לשטחים בתכנית. זכויות הבניה מתייחסות לשימוש בכל היעודים (ז"א שימוש מגורים בייעוד 'מגורים ג'' ו'מגורים ומסחר'), ואילו השטחים בתכנית מתייחסים לייעוד הקרקע עצמו ('מגורים ג''/ 'מגורים מסחר ותעסוקה' וכד'). בהתאם לכך, היחס בניהם לא נשמר.

[57] חלוקת השטחים בייעוד המעורב 'מגורים ומסחר ותעסוקה' הייתה 50-50 .

[58] ביחסי השטחים, שטחי המסחר והתעסוקה נמדדו לפי החלק היחסי שלהם בייעודים המעורבים.

5.7.3. יעד נפח הנגר לניהול בתכנית

החידוש העיקרי של שינוי סעיף 7.1 המוצע במסגרת תיקון 8 לתמ"א 1, הוא חובת ניהל יעד כמותי של נגר לתכנית. בהתאם לכך, לתמ"ל 1001 חושב יעד נפח נגר לניהול, וחלופות מערכת הניקוז שתוכננו, נדרשו להוכיח עמידה ביעד זה.

יעד נפח הנגר בתמ"ל עמד על 91,078 מ"ק, שהינו 75%[59] מנפח הנגר הימ*מתי בתכנית, לתקופת חזרה של* 1:50 שנים, (נפח הנגר הימ*מתי עמד* על 121,371 מ"ק).[60]

נתוני התכנית לפיהם חושב יעד ניהול הנגר הם:

- שטח התכנית: **1,357 דונם**
- תכסית אטומה: **713 דונם**
- מיקום התכנית: **אזור גשם 'גוש דן וראשל"צ'**
- סוג קרקע: **חרסית חולית / חמרה**

[59] יעדי ניהול הנגר המוצעים בתיקון מס' 8 לתמ"א 1, עומדים על 50% מנפח הנגר הימ*מתי בתכנית מתחת ל* 5 דונם, ו 75% בתכנית מעל 5 דונם. ההבדל נובע מכך שבתכניות גדולות יש יותר שצ"פים שניתן לנהל בהם היקף משמעותי של נגר.

[60] חישובים אלו בוצעו באופן אוטומטי ע"י המחשבון שנבנה במסגרת העבודה, לאחר הזנת המשתנים הבאים: שטח התכנית, אזור הגשם בו נמצאת (ממנו נגזר נפח הגשם הימ*מתי*), סוג הקרקע ותכסית הבינוי המוצעת, חושב יעד ניהול הנגר לתכנית.

5.8.הנחות עבודה

5.8.1. תכנון מערכות הניקוז

- מערכת הניקוז בכל החלופות, תוכננה למניעת הצפות בתקופת חזרה של 1:20 שנים, בהתאם לטבלה 3 בנספח ב'4 (הנחיות לניהול נגר), לפי קטגוריית 'רחובות וכבישים עירוניים'. חלופה 1 עמדה בקריטריון זה ע"י תשתית תיעול בלבד, ואילו חלופות 4-2, ע"י תשתית תיעול בשילוב מערכות ניהול נגר.
- תכנון מערכות הניקוז נעשה באמצעות מודל ממוחשב מסוג SWMM (Storm Water Management Model), המשקלל את מערכות ניהול הנגר ותשתית התיעול.
- רמת מילוי מקסימלית בקווי התיעול, חושבה לפי קריטריון תכן של 95%.

5.8.2. בחירת אמצעי ניהול נגר

בחירת האמצעים נתונה לשיקולו של צוות התכנון, ומושפעת ממאפייני התכנית, וניתוח תנאי השטח. להלן רשימת אמצעי ניהול הנגר, שמתוכה נבחר לכל שימוש קרקע בכל חלופה, תמהיל האמצעים המתאים ביותר:

- קידוחי החדרה: קידוחי החדרה למי תהום, נכלל בעיקר באזור החוף
- מאגר ויסות: בורות לאיגום מים, הכוללים חלחול וקידוחי החדרה
- גגות סופגים: גג ירוק / כחול / חי (כולל גינון מעל קומת מרתף)

בחירת אמצעי ניהול הנגר בחלופות 4-2, התבססה על 4 עקרונות מרכזיים:

- העדפת אמצעים יעילים כלכלית, קרי, העדפת האמצעים בהם ניתן לנהל מקסימום נגר במינימום עלות.
- שאיפה לעמידות גבוהה וצרכי תחזוקה ותפעול נמוכים, כגון הימנעות ממנגנונים טכנולוגים ושאיבות מים.[61]
- שאיפה לפתרונות מבוססי טבע על יתרונותיהם לחיזוק המערכת האקולוגית ולתרומה למרחב המתוכנן.
- באזורים עם עדיפות להחדרה לתוך הרווי הייתה העדפה להטמעת אמצעים הכוללים חלחול והחדרה. לכן, למרות שבפועל לא ניתן לבצע קידוחי החדרה בתל השומר (בשל זיהום קרקע), הובא בחשבון יישום קידוחי החדרה. זאת על מנת להשתמש במקרה המבחן כמקרה בוחן גנרי.

5.8.3. חישוב מקדמי הנגר

מקדמי הנגר חושבו בשיטת CIA, (עפ"י שיטה רציונלית), בהתחשב במקדמי נגר שעתיים.

5.8.4. שונות בחישוב עלויות בין אזור החוף לאזור ההר

כאמור, התבססנו על מקרה המבחן, על מנת לייצר מקרה בוחן גנרי. לכן, ביצענו התאמה של המקרה גם לאזור ההר. השונות בתכנון ובחישוב עלויות מערכות הניקוז באזור החוף וההר, באה לידי ביטוי באופן הבא:

- שונות בתמהיל אמצעי ניהול הנגר במגרשי הפיתוח (מגורים, מסחר ותעסוקה, מבני הציבור), שנבעה מפוטנציאל החלחול וההחדרה המוגבלים של אקוויפר ההר. בפועל, באזור החוף תוכננו יותר קידוחים ואילו בהר תוכננו יותר מנגנונים לאיגום והשהיית נגר. בתכנון מערכות ניהול הנגר בשצ"פים לא הייתה שונות בין האזורים.
- עלות ההקמה של תשתית התיעול באזור ההר חושבה ב- 35% יותר מאזור החוף, בשל הקרקע הסלעית בשטח.

[61] האמצעים שנבחרו למקרה המבחן אינם כוללים פינוי ושאיבה, ולכן אינם כוללים עלויות תפעול. האמצעים שנבחרו. כוללים עלויות תחזוקה נמוכות יחסית, למעט קידוחי ההחדרה, שדורשים תחזוקה מעט יותר מורכבת בשל העובדה שנמצאים מתחת לפני הקרקע.

- באמצעי ניהול הנגר בשצ"פים באזור החוף, בגלל תכונות הקרקע הרכה, נוספו לחישוב העלויות גם בדים גיאו-טכניים, שמטרתם למנוע סחיפה וגריפת חומרים דקים. באזור ההר, לאור הקרקע הסלעית באזור, מרכיב זה אינו נדרש.

5.8.5. תכנון תשתית התיעול

תכנון תשתית התיעול התבסס על העקרונות הבאים:

- תשתית התיעול שתוכננה בחלופות השונות הייתה תיאורטית, ותוכננה לפי תוואי הכבישים והתייחסה לרכיבים הרלוונטיים לשטח התכנית בלבד, ללא בחינת ההשפעה על תשתיות העל הנדרשות ברמה המרחבית.[62]
- בהתאם לטבלה 3 בנספח ב4', בחלופות 2-4, תשתית התיעול תוכננה לעמידה בקריטריון מניעת הצפות הקבוע בטבלה 3 בנספח ניהול הנגר.
- תוואי התשתית תוכנן לפי תוואי הכבישים בתכנית, כאשר התשתית שמרה על תוואי ואורך זהים בכל החלופות. צמצום תשתית התיעול בחלופות ניהול נגר (2-4), נובע מהקטנת קוטר הצנרת ומובלי הניקוז.

[62] תכנון הניקוז מחייב ראייה מרחבית, הכוללת התחשבות בעלות של תשתיות על ומרכיבים חיצוניים. במידה ופוחת נפח הנגר, ניתן להקטין גם רכיבים אלה. כאמור, אלו לא נלקחו בחשבון.

5.9.עקרונות תחשיב העלויות

5.9.1. כללי

החישוב הכולל של עלויות תשתית התיעול ומערכות ניהול הנגר כלל את מרכיבי המערכת, עלות ההקמה והתחזוקה,[63] שנות הקיים והחזר ההון.

א. הערכת עלויות תשתית התיעול התבססה על הניסיון והפרקטיקה, תוך כיול באמצעות מחירון חוק העזר של עיריית חולון.[64]

ב. הערכת עלויות מערכות ניהול נגר התבססה על הניסיון והפרקטיקה.

ג. באומדנים שהתבססו על טווח עלויות, הובא בחשבון הטווח הגבוה, על מנת לבצע **תחשיב שמרני** ביחס לעלויות אמצעי ניהול הנגר.

ד. החזר ההון השנתי על ההשקעות חושב לפי שיעור ניכיון של 4%. שנות הקיים למערכת התיעול נקבעו ל- 35 שנים, ולמתקני ניהול נגר במבנים ל- 11 שנים. עלות התחזוקה הוערכה לפי 0.5% מההשקעה לתשתית התיעול ו-2% מההשקעה למערכות ניהול נגר.

ה. **עלות השקעה** במערכות הניקוז הורכבה מרכיבי המערכות ומעלות העבודה.

ו. לעלות ההשקעה, נוספו שירותי תכנון בהיקף 10% מעלות ההשקעה, ובצ"מ בהיקף של 10% לתשתית התיעול ו- 20% למערכות ניהול הנגר. השוני באחרון נובע מניסיון והיכרות מוגבלים של השוק בישראל עם מערכות ניהול הנגר וטכנולוגיות בתחום.

ז. **העלויות השנתיות** למערכות הניקוז חושבו כהחזר הון המבוסס על פריסת עלות ההשקעה, בהתאם לשנות הקיים והריבית שלעיל, ובתוספת רכיבי התפעול והתחזוקה.

ח. עלות ההשקעה היחסית לדונם והעלות השנתית היחסית לדונם נשמרה בכל גודל שטח. השונות הייתה בעלות ניהול נגר ליח"ד / מ"ר, שנבעה ממספר יח"ד / היקף זכויות הבניה בשטח.

ט. חישוב עלויות מערכות ניהול הנגר בחלופות השונות, התבסס על **הנחת לינאריות**, שבאה לידי ביטוי בכך שהעלות הממוצעת לניהול נגר בדונם שצ"פ ומגרשי פיתוח נקבע לפי חלופה 2. כל שינוי בנפח הנגר שנוהל במגרשים לפי החלופות השונות וניתוח הרגישות, היה לינארי, קרי, הפחתה של 10% מנפח ניהול הנגר במגרשי מגורים, הביאה להפחתה של 10% מעלות ניהול הנגר בהם, וכן הלאה.

5.9.2. חישוב ההשקעה היחסית של מערכות ניהול נגר במגרשי הפיתוח

חישוב העלות היחסית בוצע ליח"ד ולמ"ר בנוי למגורים, על מנת להעריך את העלות ליחידות מידה בנות השוואה. להלן העקרונות לאופן חישוב העלויות:

א. חישוב עלות מערכות ניהול הנגר במגרשי הפיתוח (מגורים, מסחר ותעסוקה ומבני ציבור), התבסס על **ממוצע השקעה לדונם** לפי שלוש מערכת ניהול נגר שתוכננו למגרשים בגדלים: 1.5, 5, 10 דונם.

ב. **ההשקעה היחסית ליח"ד** חושבה לפי ממוצע ההשקעה לדונם לעיל, בחלוקה לצפיפות ממוצעת של 25 יח"ד נטו לדונם, בהתאם לנתוני תמ"ל 1001.

ג. **ההשקעה היחסית למ"ר בנוי**,[65] חושבה לפי העלות הממוצעת ליח"ד בחלוקה לגודל דירה ממוצע בתמ"ל, שעמד על 105 מ"ר.[66]

---

[63] אמצעי ניהול הנגר שהובאו בחשבון במקרה המבחן אינם דורשים עלויות תפעול, כיוון שאינם מחייבים פינוי ושאיבה.

[64] תמחור הפרמטרים של הרכיבים (עלות צינור/ שוחה/ קולטני מי גשם), נגזר מעלות הרכיב במחירון חוק העזר, כך שלא תמיד נשמרה אחידות בעלויות הפרמטרים השונים בכל הרכיבים. במטרה לשקף עלות ריאלית, המחיר המחושב כלל את הפרמטרים הרלוונטיים למקרה הבוחן, והחסיר את אלו שנמצאו לא רלוונטיים למקרה הבוחן, כגון תוספת עבודה בסביבה בנויה, טיפול בתשתיות תנועה וכדומה.

[65] הכוונה למ"ר בנוי בשימושי הקרקע בתכנית – מגורים, מסחר ותעסוקה ומבני ציבור.

[66] בהוראות התמ"ל נקבע שטח ממוצע ליח"ד העומד על 105 (עיקרי). בשיחה עם צוות הוותמ"ל, הובהר כי מדיניות הוועדה לעניין גודל יח"ד התעדכנה מאז, ונכון להיום באזורי הביקוש היא עומדת על שטח ממוצע של 95 מ"ר (עיקרי). לאור האמור, הוחלט לקבוע שטח יח"ד ממוצע בתכנית של 105 מ"ר (עיקרי + שירות).

5.9.3. תחשיב חלוקת השקעות

תחשיב חלוקת ההשקעות הוא תיאורטי, ומטרתו הייתה להעריך את הנטל הכלכלי על השחקנים השונים, בהנחה שההשקעות הציבוריות נחלקות בין המגרשים הפרטיים, בהתאם לשטחם. אולם, חלוקת נטל המימון בפועל נתון להחלטתה של הרשות המקומית, בהתאם לעקרונות שפורסמו ע"י משרד הפנים.[67] ההערכה לחלוקה עלות התבססה על העקרונות הבאים:

א. ההשקעה במערכות הניקוז נחלקה המרחב הציבורי ומגרשי הפיתוח, באופן הבא:

- מרחב ציבורי - כללו את תשתיות התיעול ואמצעי ניהול הנגר בשצ"פים.
- מגרשי פיתוח - כללו את מערכות ניהול הנגר במגרשי המגורים, מסחר ותעסוקה ומבנה ציבור.

ב. נשיאת ההשקעה של מערכות הניקוז נעשתה לפי מדיניות משרד הפנים,[68] באופן הבא:

- **מרחב ציבורי** - שימושי הקרקע 'מגורים' ו'תעשייה, מסחר ותעסוקה' בלבד הם אלו שנשאו בהשקעה עבור התשתיות במרחב הציבורי. ההשקעה למ"ר הייתה זהה, שכן חושבה לפי חלוקה לסך זכויות הבניה המאושרות בשימושים אלו.
- **מגרשי פיתוח** - כל שימוש בנפרד ('מגורים', 'תעשייה, מסחר ותעסוקה' ו'מבנים ומוסדות ציבור'), נשא בהשקעה היחסית שלו בהתאם לשטחו בתכנית, ולפי חלוקה לזכויות הבניה המאושרות בו.

[67] 'נוהל הליך חישוב היטל סלילה ותיעול במרכז השלטון המקומי', משרד הפנים, 2019 . נוהל זה מתייחס לאפשרות לגביית היטל ניקוז על בסיס תכנית אב לניקוז, ותעריפים שייקבעו בגינה בחוק עזר עירוני. בהתאם להתייעצות עם משרד הפנים, ניתן לממן גם מערכות ניהול נגר באמצעות היטל הניקוז. הנושא מטופל ע"י משרד הפנים, כך שעל מנת לפתח כלים תומכים נוספים למימון, ונדרש אישור רשמי של המשרד.

[68] שם.

5.10. סיכום השקעות בחלופות השונות

לפירוט הרכב ועלויות רכיבי החלופות השונות, ראו נספח מס' 1. הלן בטבלה סיכום ההשקעות בכל חלופה, באקוויפר החוף וההר, בחלוקה למרחבים בהם יותקנו אמצעים ניהול הנגר.

טבלה 5: סיכום השקעות (במלש"ח) במערכות הניקוז בכל החלופות:

מרכיבי מערכת הניקוז	חלופה מס' 1		חלופה מס' 2		חלופה מס' 3		חלופה מס' 4	
	חוף	**הר**	**חוף**	**הר**	**חוף**	**הר**	**חוף**	**הר**
תיעול	39.57	43.52	13.66	15.02	13.66	15.02	13.66	15.02
ניהול נגר בשצ"פ	3.38	3.46	3.38	3.46	3.38	3.46	3.38	3.46
ניהול נגר במגורים			12.98	17.46	9.12	12.27	6.26	8.42
ניהול נגר במסחר והתעסוקה					3.86	5.19	2.65	3.56
ניהול נגר במבני ציבור							4.07	5.47
סה"כ	**35.48**	**39.56**	**30.01**	**35.94**	**30.01**	**35.94**	**30.01**	**35.94**

סיכום ההשקעות מראה שההשקעה הכוללת בחלופות ניהול הנגר נמוכה בכ 10%-15% מחלופה מס' 1, הכוללת תשית תיעול בלבד. זאת בעיקר בשל הפוטנציאל לצמצם את מערכת התיעול. ההשקעה בחלופות ניהול הנגר זהה בחלופות 2-4, אולם הן מתחלקות אחרים בין מגרשי הפיתוח.

ניתן לראות כי ניהול הנגר בשצ"פים הינו האמצעי היעיל ביותר כלכלית, שכן לרוב ניהול נגר בשצ"פים מבוסס על אמצעים מבוססי טבע, שהינם פשוטים יחסית להקמה ולתחזוקה שוטפת. זאת בנוסף, ליתרונותיהם מבחינת שימור וחיזוק המערכת האקולוגית ותרומה לאיכות החיים בעיר. האפשרות מלכתחילה לנהל היקף כזה משמעותי של נגר בתחום השצ"פים היא תולדה של הליך תכנון רגיש לנגר בו מוקמו השצ"פים במקומות בעלי פוטנציאל לניהול נגר. בסעיף 5.11 יוצג ניתוח רגישות שייבחן את ההשקעות במקרים השצ"פים מנהלים פחות נגר.

5.10.1. חלוקת השקעות בחלופות השונות

ביצענו תחשיב תיאורטי של חלוקת ההשקעות בין שימושי הקרקע. התחשיב התבסס על כך שכל שימוש קרקע במגרשי הפיתוח נושא בהשקעה של האמצעים בתחומו, וכן בחלקו היחסי (בהתאם לשטח המגרש) מתוך ההשקעה באמצעים במרחב הציבורי, המבוצעת בפועל ע"י הרשות המקומית.[69]מטרת התחשיב להעריך את נטל המימון הפוטנציאלי למגרשי הפיתוח השונים למ"ר/ ליח"ד. אולם, המימון של האמצעים בפועל וחלוקת הנטל, בין המרחב הציבורי והפרטי, נתון להחלטת הרשות המקומית.[70]

טבלה 6: נשיאת ההשקעות לפי שימושי קרקע, לכל רכיב במערכת הניקוז:

שימוש הקרקע	תשתית תיעול	מערכות ניהול נגר			
		שצ"פים	מגרשי מגורים	מסחר ותעסוקה	מבני ציבור
מגורים	+	+	+	-	-
מסחר ותעסוקה	+	+	-	+	-
מבני ציבור	-	-	-	-	+

5.10.2. חלוקת השקעות מערכות הניקוז בחלופות לפי שימושי קרקע:

ההשקעה לכל שימוש קרקע נקבעה לפי יחסי השטחים של השימושים, ונחלקה בכל שימוש לפי סה"כ זכויות הבניה בשימוש. המשמעות היא שהשקעות בתשתיות במרחב הציבורי נחלקו לפי סה"כ זכויות הבניה למגורים ולמסחר ותעסוקה, ואילו במגרשי הפיתוח, כל ההשקעה בכל רכיב (ניהול נגר במגורים/ מסחר ותעסוקה/ מבני ציבור), נחלקה בזכויות הבניה המאושרות לאותו שימוש קרקע. נציין כי נשיאות ההשקעות על שמושי הקרקע השונים, נקבע ביחס להנחיות משרד הפנים, שאינן כוללות את שטחי מבני הציבור במימון ההשקעות בתשתיות הציבוריות (תיעול וניהול הנגר), למרות שמעצם הימצאותם במרחב, הרי שהם נהנות מיתרונות של מערכות אלו. טבלה *7* להלן תציג את אופן חלוקת ההשקעות בין רכיבי מערכת הניקוז, מבחינת שימושי הקרקע המשתתפים וזכויות הבניה בכל שימוש. וטבלה 8 אחריה, תציג בפועל את ההשקעות לפי שימושי הקרקע.

טבלה 7: חלוקת השקעות בין רכיבי מערכת הניקוז

תשתית תיעול	מערכות ניהול נגר			
	שצ"פים	מגרשי מגורים	מסחר ותעסוקה	מבני ציבור
[71]A	[72]B	[73]C	[74]D	[75]E

בהתאם לעקרונות לעיל, טבלה 11 להלן תפרט את העלות היחסית בכל שימוש קרקע לפי מ"ר ויח"ד. האותיות הלועזיות (E,D,C,B,A), מייצגות בהתאם לטבלה הקודמת, את אופן החישוב של כל רכיב.

---

[69] זאת בהתאמה ל'נוהל הליך חישוב היטל סלילה ותיעול במרכז השלטון המקומי', משרד הפנים, 2019 . נוהל זה מתייחס לאפשרות לגביית היטל ניקוז על בסיס תכנית אב לניקוז, ותעריפים שייקבעו בגינה בחוק עזר עירוני, בהתבסס על שטח המגרשים והשטח הבנוי בהם.

[70] בנושא זה מתבצע הליך המשך של חשיבה עם משרד הפנים ומרכז השלטון המקומי.

[71] תשתית ציבורית - נשיאת השקעות על סך זכויות הבניה בשימושי מגורים, מסחר ותעסוקה בתמ"ל - 1,343,561 מ"ר

[72] תשתית ציבורית - נשיאת השקעות על סך זכויות הבניה בשימושי מגורים מסחר ותעסוקה בתמ"ל - 1,343,561 מ"ר

[73] תשתיות פרטיות, נשיאת השקעות על זכויות הבניה בשימוש מגורים - 997,500 מ"ר / 9,500 יח"ד, לפי 105 מ"ר ליח"ד

[74] תשתיות פרטיות, נשיאת השקעות על זכויות הבניה בשימוש מסחר ותעסוקה - 346,061 מ"ר

[75] תשתית ציבורית מיוחדת, נשיאת השקעות על זכויות הבניה בשימוש מבני ציבור בלבד - 340,216 מ"ר

טבלה 8: השקעות לפי שימושי קרקע בתכנית, בש"ח למ"ר/ יח"ד :

שימושי קרקע	חלופה מס' 1		חלופה מס' 2		חלופה מס' 3		חלופה מס' 4		מבנה עלויות[76]
	חוף	הר	חוף	הר	חוף	הר	חוף	הר	
מ"ר מגורים	26.4	29.4	25.69	31.26	21.82	26.05	18.95	22.20	**A+B+C**
יח"ד	2,773	3,092	2,697	3,282	2,291	2,735	1,990	2,331	**(A+B+C)/105**
% מעלות הקמת יח"ד[77]	0.55%	0.62%	0.54%	0.66%	0.46%	0.55%	0.40%	0.47%	
מ"ר מסחר ותעסוקה	29.5	32.4	13.0	14.1	23.83	28.75	20.33	24.05	**A+B+D**
מ"ר מבני ציבור							11.95	16.08	**E**

ניתן לראות כי תוספת ההשקעה ליח"ד (הן עבור האמצעים במרחב הפרטי והן עבור חלקה היחסי של יח"ד במימון האמצעים במרחב הציבורי), בחלופות ניהול הנגר, נעה בין 1,990-3,282 ₪. ככל שיותר שחקנים/ שימושי קרקע משתתפים באחריות לניהול נגר, כך ההשתתפות בהשקעה לכל אחד מהמשתתפים יורדת. ובכל מקרה, כאמור, ההשתתפות בהשקעה מנקודת המבט של כל שחקן נמוכה ביחס לחלופת תיעול בלבד.

[76] מבנה העלויות בכל חלופה משתנה בהתאם לרכיבי החלופה, כך לדוגמא, בחלופה 1 אין מערכות ניהול נגר במגורים, לכן אלו לא נכללות בהשקעות בחלופה זו. על אותו עיקרון, בחלופה מס' 2 אין מערכות ניהול נגר במגרשי המסחר והתעסוקה ומבני הציבור, ולכן הן לא יכללו בהשקעות בחלופה זו

[77] עלות הקמת יח"ד סטנדרטית נאמדה בכחצי מלש"ח (השקעה בבנייה, ללא עלות הקרקע)

5.11. ניתוח רגישות

מקרה המבחן בעבודה היה תמ"ל 1001, שתוכננה מראש תוך יישום תפישת ניהול נגר מתקדמת, והמשמעות הייתה, שבתחום השטחים הפתוחים בתכנית, ניתן היה לנהל נפח נגר משמעותי, עמד על 70% מיעד ניהול הנגר של התכנית.

לעיתים, מאפייני השטח הטבעיים או מגבלות שונות, בפרט בהליכי התחדשות עירונית, אינם מאפשרים להגיע לניהול נפח נגר משמעותי בתחום השצ"פים, ולכן, מחייבים יותר אמצעים במגרשי הפיתוח. מטרת ניתוח הרגישות להלן היא לשקף את המשמעות הכלכלית במקרים אלו.

בניתוח הרגישות בחנו 4 אפשרויות של חלוקת ניהול יעד הנגר בין השצ"פים לשאר שימושי הקרקע. עקרונות החלוקה התבססו על שימור יחסי חלוקת נטל ניהול הנגר בין שימושי הקרקע בהתאם ליחסי השטחים, כפי שנעשה בעבודה.

להלן דוגמא לניהול 50% מיעד הנגר בתחום שצ"פים, ולנשיאת ההפרש שנגרע מהם (20%), על שימושי הקרקע האחרים, לפי יחס השטחים, בנוסף לנפח הנגר שנוהל בהם מלכתחילה בחלופה המקורית.

טבלה 9: חלוקת אחריות לניהול יעד הנגר במצב של ניהול 50% מהיעד בשצ"פים

	חלופה מס' 2	חלופה מס' 3	חלופה מס' 4
ניהול נגר בשצ"פ	50%	50%	50%
ניהול נגר במגורים	50%	35%	24%
ניהול נגר במסחר ותעסוקה		15%	10%
ניהול נגר במבני ציבור			16%

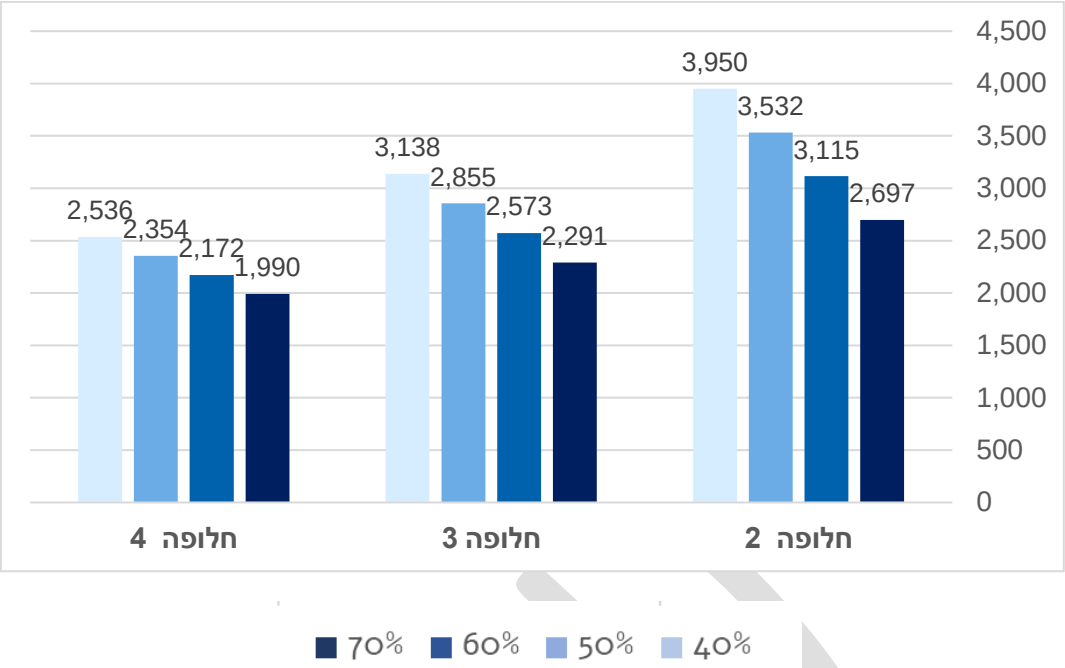
טבלה 10: השקעות ליח"ד ולמ"ר לפי שימושי קרקע ביחס להיקף ניהול הנגר בשצ"פים

יחס היקף נ.נ בשצ"פ מהיעד בתכנית	השקעה בש"ח	חלופה מס' 2		חלופה מס' 3		חלופה מס' 4	
		חוף	הר	חוף	הר	חוף	הר
70%	השקעה ליח"ד בש"ח	**2,697**	**3,282**	**2,291**	**2,735**	**1,990**	**2,331**
	השקעה למ"ר מסחר	12.68	13.75	12.68	13.75	12.68	13.75
	השקעה למ"ר מבני ציבור					11.95	16.08
60%	השקעה ליח"ד בש"ח	**3,115**	**3,856**	**2,573**	**3,127**	**2,172**	**2,588**
	השקעה למ"ר מסחר	12.32	13.39	27.18	33.39	22.53	27.12
	השקעה למ"ר מבני ציבור					15.94	21.44
50%	השקעה ליח"ד בש"ח	**3,532**	**4,430**	**2,855**	**3,519**	**2,354**	**2,845**
	השקעה למ"ר מסחר	11.96	13.02	30.54	38.02	24.72	30.18
	השקעה למ"ר מבני ציבור					19.92	26.80
40%	השקעה ליח"ד בש"ח	**3,950**	**5,004**	**3,138**	**3,911**	**2,536**	**3,102**
	השקעה למ"ר מסחר	11.60	12.65	33.90	42.65	26.91	33.25
	השקעה למ"ר מבני ציבור					23.91	32.16

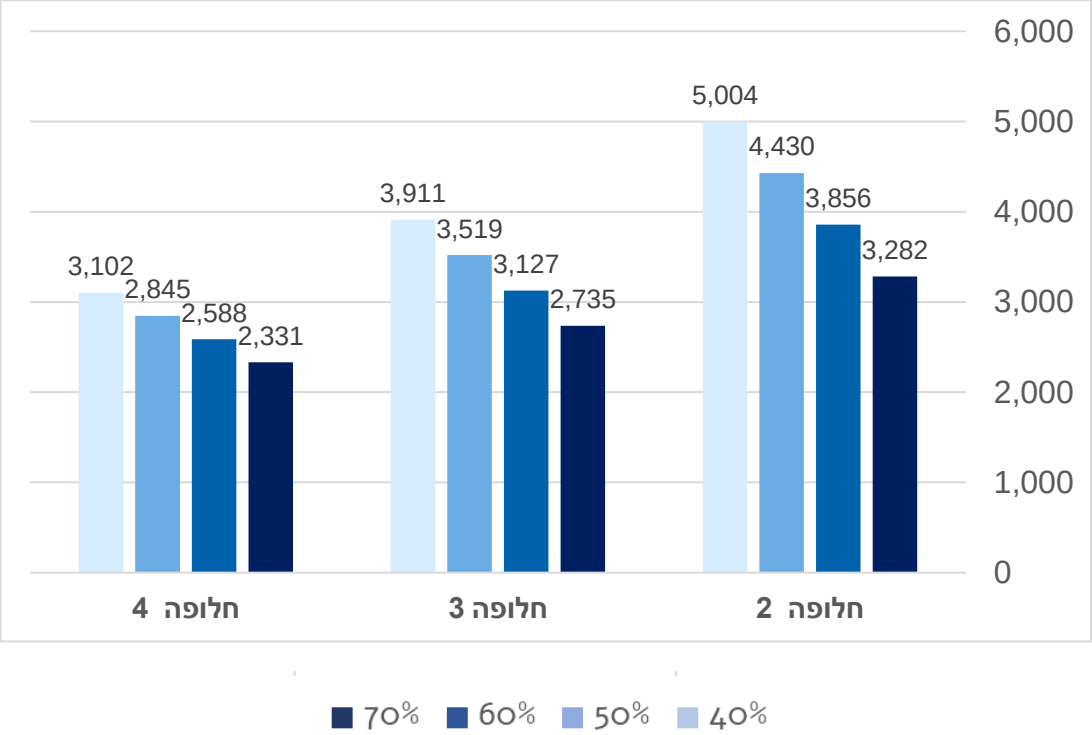
בחינת נתוני ניתוח הרגישות, בהתייחס להשקעה על יח"ד, מראה שגם במקרה הקיצוני ביותר, אותו משקפת חלופה מס' 2 בסביבת ההר, המטילה ניהול של 60% מיעד ניהול הנגר בתכנית על מגרשי המגורים, ההשקעה מוערכת ב 5,004 ₪ ליח"ד, כלומר, כ 1% בלבד מעלות ההקמה של יח"ד.[78]

ניתן לראות תוצאות אלו גם בגרפים שלהלן.

[78] עלות הקמת יח"ד סטנדרטית נאמדה בכחצי מלש"ח (השקעה בבנייה, ללא עלות הקרקע).



איור 7| השקעה בש"ח ליח"ד בכל חלופה, לפי היקף ניהול הנגר היחסי בשצ"פ, אזור החוף



איור 8| השקעה בש"ח ליח"ד בכל חלופה, לפי היקף ניהול הנגר היחסי בשצ"פ, אזור ההר

5.12. עלויות שנתיות

להלן סיכום עלויות שנתיות בכל החלופות: החזר ההון השנתי (פרישת ההשקעה בהתאם לשנות הקיים ושיעור הניכיון) בתוספת לעלות תחזוקה שנתית.

טבלה 11: עלויות שנתיות בכל חלופה (במלש"ח)

סוג העלות	מרכיבי מערכת הניקוז	חלופה מס' 1		חלופה מס' 2		חלופה מס' 3		חלופה מס' 4	
		חוף	הר	חוף	הר	חוף	הר	חוף	הר
השקעה (מלש"ח)	תיעול	39.57	43.52	13.66	15.02	13.66	15.02	13.66	15.02
	נ"נ בשצ"פים	3.38	3.46	3.38	3.46	3.38	3.46	3.38	3.46
	נ"נ במגורים			12.98	17.46	9.12	12.27	6.26	8.42
	נ"נ מסחר ותעסוקה					3.86	5.19	2.65	3.56
	נ"נ במבני ציבור							4.07	5.47
	סה"כ	**35.48**	**39.56**	**30.01**	**35.94**	**30.01**	**35.94**	**30.01**	**35.94**
החזר הון שנתי[79] (מלש"ח)	תיעול	1.90	2.12	0.73	0.80	0.73	0.80	0.73	0.80
	נ"נ בשצ"פים			0.39	0.40	0.39	0.40	0.39	0.40
	נ"נ במגורים			1.48	1.99	1.04	1.40	0.71	0.96
	נ"נ מסחר ותעסוקה					0.44	0.59	0.30	0.41
	נ"נ במבני ציבור							0.46	0.62
	סה"כ	**1.90**	**2.12**	**2.60**	**3.19**	**2.60**	**3.19**	**2.60**	**3.19**
תחזוקה שנתית[80] (מלש"ח)	תיעול	0.18	0.20	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08
	נ"נ בשצ"פים			0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	נ"נ במגורים			0.26	0.35	0.18	0.25	0.13	0.17
	נ"נ מסחר ותעסוקה					0.08	0.10	0.05	0.07
	נ"נ במבני ציבור							0.08	0.11
	סה"כ	**0.18**	**0.20**	**0.40**	**0.49**	**0.40**	**0.49**	**0.40**	**0.49**
עלות שנתית (מלש"ח) החזר הון + תחזוקה	תיעול	2.08	2.32	0.80	0.88	0.80	0.88	0.80	0.88
	נ"נ בשצ"פים			0.45	0.46	0.45	0.46	0.45	0.46
	נ"נ במגורים			1.74	2.34	1.22	1.65	0.84	1.13
	נ"נ מסחר ותעסוקה					0.52	0.70	0.36	0.48
	נ"נ במבני ציבור							0.55	0.73
	סה"כ	**2.08**	**2.32**	**2.99**	**3.69**	**2.99**	**3.69**	**2.99**	**3.69**

ניתן לראות בטבלה כי העלויות השנתיות בחלופות ניהול הנגר (חלופות 2-4) גבוהות מחלופת המשך מצב קיים (חלופה 1) ב 44%-60%. הסיבה העיקרית לכך היא תדירות החידוש הנדרשת למערכות ניהול הנגר. אורך ממוצע לחיי אמצעי ניהול נגר מוערך ב- 11 שנים, לעומת 35 שנים לתשתית התיעול.

[79] החזר הון בוצע לפי שיעור ניכיון של 4%, על בסיס שקלול מחיר ההון הנמוך (אם בכלל) של רשות מקומית וריבית ליזמים פרטיים. שנות הקיים לצנרת הן 35 שנה, ולמתקני ניהול נגר במבנים ובשצ"פים 11 שנה. אחוז התחזוקה ביחס להשקעה הוערך לפי 0.5% לצנרת ניקוז, ו-2% למתקני ניהול נגר במבנים.

[80] יש לציין כי צפויה גם תוספת עלות מסוימת בגין אכיפה ורגולציה, שיש קושי לכמתה בשלב זה, והיא תשתנה בין הגופים השונים.

ההנחה לגבי אורך חיי האמצעים זו היא כאמור ממוצע, וסל האמצעים בפרק 7 כולל אמצעים הנדרשים לחידוש בתדירות נמוכה יותר. כמו כן, תחזוקה נאותה של אמצעי ניהול הנגר, מבטיחה את תפקודם, ותאפשר להאריך את מחזור החיים שלהם. מאחר וטרם נצבר ניסיון רב בישראל ביישום ארוך טווח של אמצעי ניהול נגר, ההנחות בנושא הן שמרניות.

בטבלה שלהלן הצגה של העלות השנתית בש"ח למ"ר, בחלוקה לשימושי קרקע (לפי יחסי השטחים של השימוש, בחלוקה לזכויות הבנייה בכל שימוש).[81]

טבלה 12: עלות שנתית לפי שימושי קרקע (ש"ח למ"ר)

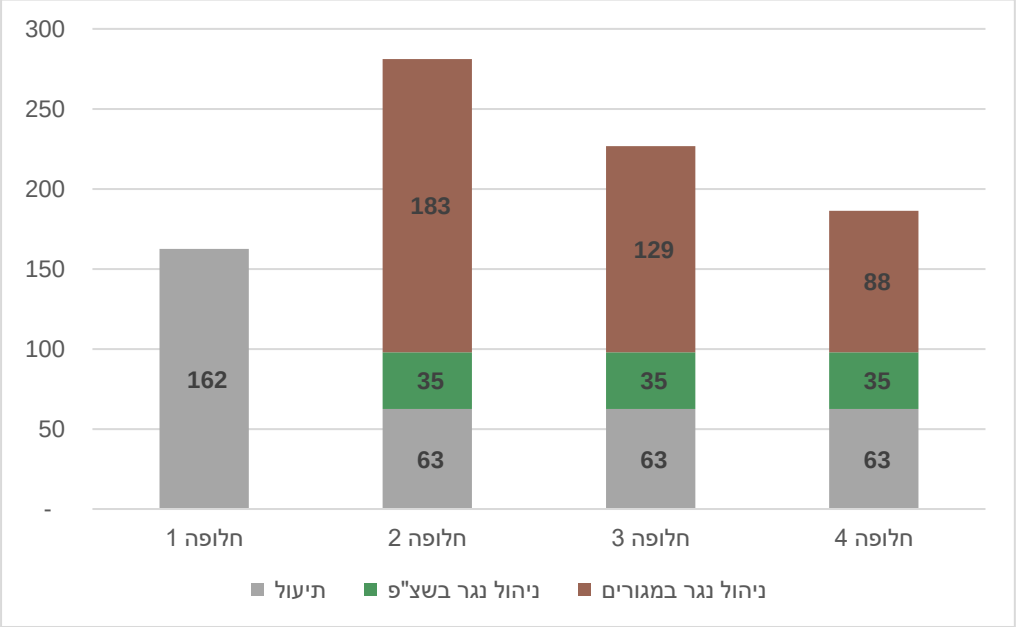
סוג העלות	מרכיבי מערכת הניקוז	חלופה מס' 1		חלופה מס' 2		חלופה מס' 3		חלופה מס' 4	
		חוף	הר	חוף	הר	חוף	הר	חוף	הר
עלות שנתית למגורים (ש"ח למ"ר)	תיעול	1.55	1.72	0.60	0.65	0.60	0.65	0.60	0.65
	נ"נ בשצ"פים			0.34	0.35	0.34	0.35	0.34	0.35
	נ"נ במגורים			1.75	2.35	1.23	1.65	0.84	1.13
	סה"כ	1.55	1.72	2.68	3.35	2.16	2.65	1.77	2.13
עלות שנתית למסחר ותעסוקה (ש"ח למ"ר)	תיעול	1.55	1.72	0.60	0.65	0.60	0.65	0.60	0.65
	נ"נ בשצ"פים			0.34	0.35	0.34	0.35	0.34	0.35
	נ"נ מסחר ותעסוקה					1.50	2.01	1.03	1.38
	סה"כ	**1.55**	**1.72**	**0.93**	**1.0**	**2.43**	**3.01**	**1.96**	**2.38**
עלות שנתית למבני ציבור (ש"ח למ"ר)								**1.60**	**2.16**

כדי לנתח את העלות למשק בית, בגרפים שלהלן המרנו את העלויות השנתיות ממ"ר ליח"ד,[82] תוך הבחנה בין רכיבי תיעול, ניהול נגר בשצ"פ וניהול נגר במגורים.

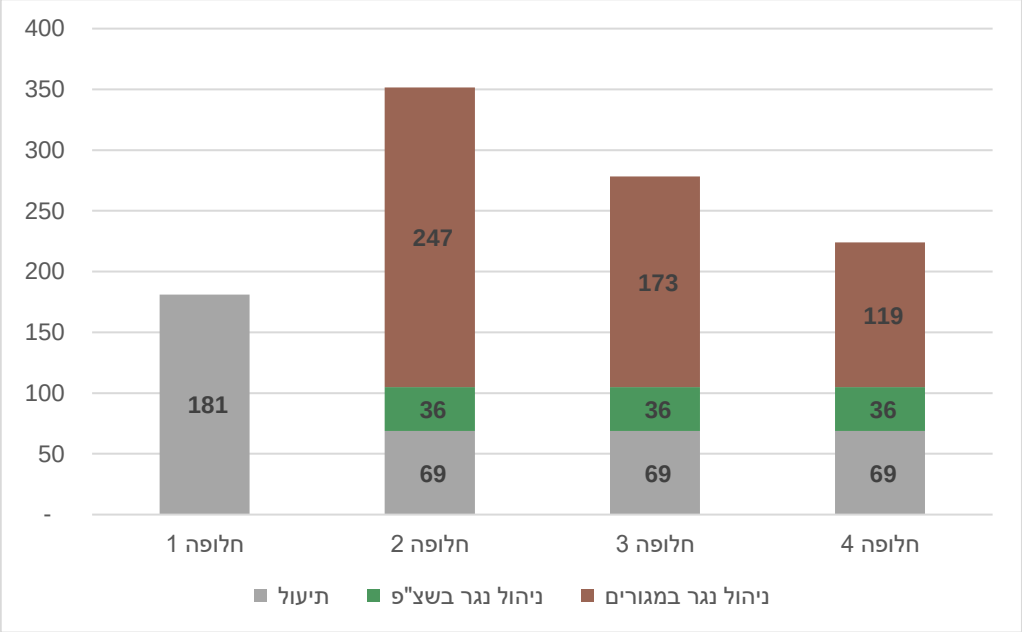
[81] נשיאות ההשקעות על שמושי הקרקע השונים, נקבע ביחס להנחיות משרד הפנים, שאינן כוללות את שטחי מבני הציבור במימון ההשקעות בתשתיות הציבוריות (תיעול וניהול הנגר), למרות שמעצם הימצאותם במרחב, הרי שהם נהנות מיתרונות של מערכות אלו.

[82] לפי 105 מ"ר ליח"ד, ראה פירוט בהנחות העבודה לעיל.

טבלה 13 : עלות שנתית בש"ח ליח"ד באזור החוף



טבלה 14: עלות שנתית בש"ח ליח"ד באזור ההר



מהגרפים לעיל ניתן ללמוד כי העלות השנתית המיוחסת ליח"ד עולה בחלופות ניהול הנגר (חלופות 2-4) ביחס לחלופת תיעול בלבד (חלופה 1). זאת כיוון שההפחתה בעלות התיעול[83] אינה מפצה על התוספת בהתקנת אמצעי ניהול הנגר בתחום המגורים ובשצ"פים. העלויות השנתיות הגבוהות ביותר הן בחלופה 3, בהן רק בתחום המגורים ממוקמים אמצעי ניהול הנגר (ללא השתתפות המסחר התעסוקה ומבני הציבור). בחלופה זו, העלות השנתית ליח"ד הינה 281 ₪ באזור החוף ו-352 ₪ באזור ההר. עלויות אלה יצטרפו לוועד הבית החודשי (ראה הרחבה בפרק 4.8 העוסק בתחזוקה). מדובר בתוספת חודשית של כ 23-29 ₪, ומכיוון ששינוי התמ"א יחול על כל בנייה חדשה והתחדשות עירונית, ניתן להעריך כי מדובר באחוזים בודדים של העלאת תעריפי ועד הבית לצורך עמידה בחובת ניהול הנגר במגורים.

[83] העלויות המרחב הציבורי (תיעול וניהול נגר בשצ"פים) יוחסו לסקטור המגורים בהתאם להנחות לגבי חלוקת ההשקעות לעיל.

5.13. תועלות נוספות

כפי שהוסבר בתחילת הפרק, ישנן מגוון רחב מאוד של תועלות עקיפות וחיצוניות שיש קושי לכמת באופן מלא, על בסיס המידע הקיים. בפרט, יש קושי לכמת את הערך הכלכלי השנתי הפוטנציאלי ממניעת נזקי שיטפונות במרחב העירוני, כיוון שבמרחב זה אין מתאם סטטיסטי ברור בין עוצמת אירוע הגשם לבין הנזק כתוצאה ממנו.[84] לכן, יש קושי לבצע בחינת עלות תועלת מלאה. עם זאת, התועלות מניהול נגר הינן רבות ומשמעותיות, ולהלן סקירה תמציתית בנושא.

5.13.1. מניעת נזקי הצפות בתכנית ובמורד

מניעת נזקי שיטפונות דרך הקטנת ההסתברות להצפות, הינה תועלת מרכזית של ניהול נגר. הנזקים הנמנעים כתוצאה מפעולות ניהול נגר, יכולים להשפיע הן ברמה המקומית, על שטח התכנית וסביבתה, והן ברמה האזורית, על מורד אגן הניקוז, המקבל נפח נגר מופחת או מווסת. בהקשר זה חשוב לציין, שניהול נגר של תכנית במעלה, כפי שמחויב בהנחיות החדשות, מהווה מנגנון מהותי, אם כי לא בלעדי, להפחתת הסיכוי לאירועי הצפה במורד. הסיבה לכך היא שהמורד מנקז אליו אזורים נוספים, שככל שלא ניהלו נגר, עשויים לתרום נגר בהיקף רב שעלול לגרום להצפה. הקושי לכמת את התועלת ממניעת נזקי הצפות, נובע ממחסור בנתונים, כמפורט להלן:

- **תוחלת הנזק:** לא ניתן לחשב את תוחלת הנזק הנמנעת בצורה סטטיסטית במרחב העירוני. זאת, עקב מחסור בנתונים ומורכבות הניתוח בשטח עירוני צפוף, שמקשה על יצירת מתאם בין עוצמה ושכיחות אירוע הגשם ושטח ועומק ההצפה לגובה הנזק.[85]
- **איכות הנתונים:** ככל שישנו מידע לגבי נזק מאירוע הצפה, לרוב הוא אינו מלא, ובפרט חסרים נתונים לגבי אירוע הגשם והכשלים שהובילו להיווצרות ההצפה. מנעד האפשרויות רחב וכולל: אירוע גשם מקומי קיצוני (המכונה 'שבר ענן'); כשל מקומי של מערכת הניקוז (למשל, כתוצאה מתחזוקה לקויה); כשל מערכת ניקוז שכונתית/מרחבית (לדוגמא: הצפות באשדוד כתוצאה מהערמות מים בנחל לכיש); כשלים אחרים במערכת הניקוז (פריצה של מעביר מים בישוב בת חפר בחורף 2015-16 שהביא להצפות משמעותיות בישוב); וחוסר התאמה ו/או יכולת של מערכת התיעול, לנקז את הנגר העודף בתחומה.
- **איסוף נתונים**: בישראל אין גוף אחראי ברמה לאומית ומקומית, וחסרה מתודה ברורה ורציפה לתיעוד נזקי הצפות במרחב העירוני הבנוי. כיוון שהמצב הקיים אינו מתועד ברמה המקומית או הלאומית, לא ניתן להעריך את השיפור הצפוי.
- **אמינות נתונים:** קיים חוסר בנתונים אמינים ורציפים לגבי הצפות ונזקי הצפה ברשויות מקומיות. מקור הנתונים הקיימים הם בעיקר פרסומים בעיתונות, המהווים לרוב אומדן ראשוני וגס של הנזק. מחד, הם אינם משקפים את מלוא הנזק, שנחשף לעיתים רק בחלוף הזמן, וכולל, בין היתר, עלויות הנובעות משיבוש הפעילות המשקית. מאידך, הם עשויים להיות בהערכת יתר, ביחס לעלות השיקום/חידוש הנדרשות, שכן מדובר בד"כ בהערכות כלליות, המוגשות לעיתים במסגרת תביעות נזיקין.

על אף האמור, ניתן להעריך כי מדובר בתועלות משמעותיות, על בסיס מספר מקורות מידע ונתונים, לדוגמא:

- **אירועי ינואר 2020**: אירועי הגשם הקשים שהתרחשו במהלך חודש ינואר 2020, הינם דוגמא עדכנית לנזקים הכבדים שיכולים הצפות להסב, בעיקר במרחב העירוני הבנוי. הפגיעות היו בנפש וברכוש, והורגשו היטב ברחבי הארץ. מהעיתונות ניתן לחלץ אומדנים גסים להערכת הנזקים, לדוגמא: לפי

---

[84] זאת להבדיל מהצפות נחלים במרחב פתוח, שבהם ניתן לחזות בצורה טובה יותר את גודל פשט ההצפה ביחס לספיקה באירוע גשם, ולייצר סטטיסטיקה של שיטפונות פוטנציאליים. סטטיסטיקה כזו מאפשרת לאמוד את תוחלת הנזק השנתי הנמנע, וכך לכמת רכיב תועלת משמעותי מניהול נגר.

[85] זאת להבדיל מהצפות נחלים במרחב פתוח, שבהם ניתן לחזות בצורה טובה יותר את גודל פשט ההצפה ביחס לספיקה באירוע גשם, ולייצר סטטיסטיקה של שיטפונות פוטנציאליים. סטטיסטיקה כזו מאפשרת לאמוד את תוחלת הנזק השנתי הנמנע, וכך לכמת רכיב תועלת משמעותי מניהול נגר.

רשות שוק ההון, הערכת חברות הביטוח לנזקים הכוללים הסתכמה בכ-130 מלש"ח;[86] לפי ראש עיריית נהריה, הנזקים לעיר מאמירים לכדי כ- 250 מלש"ח;[87] ובבסיס חצור נפגעו מטוסי קרב של חיל האוויר, שעלות הנזק נאמד ב-30 מלש"ח.[88]

- **חורף 1991-92:** מסד הנתונים של המרכז לחקר אסונות טבע בישראל (מאטי[89]) מתעד נזקי שיטפונות משנות ה-60 ועד 2016, המגיעים לעיתים עד מאות מיליוני ש"ח. הנתונים מציגים ריבוי תביעות בחורף 1991-92, הידוע כאחד החורפים הקשים בישראל.
- **תביעות נזקים לרשויות הניקוז והנחלים:** רשויות הניקוז והנחלים תיעדו, בין השנים 2005-2016, את התביעות בהן היו מעורבות. הנתונים מציגים את סכומי התביעות שהוגשו לרשויות, שהגיעו למאות מיליוני ש"ח,[90] כתלות במאפייני האירוע והמקום. בפועל, רוב התביעות מסתיימות בפשרה, שעלות סילוק הנזק בפועל, מהווה כ-13% בממוצע, ביחס לעלות הנתבעת.[91] אולם, הפשרה אינה בהכרח מעידה על גובה הנזק, אלא על קביעת בית משפט, בהתאם לחלוקה בין הנתבעים ושיקולים נוספים.
- **נתוני רשות שוק ההון ביטוח וחסכון:** מנתוני חטיבת הביטוח בשוק ההון ביטוח וחסכון, תביעות בגין נזקי טבע בין השנים 2010-2018 הסתכמו ב 3.1 מיליארד ₪. מהניתוח עולה כי התביעות העיקריות בתחום נזקי טבע מתבססות על נזקי רכוש, ובפרט על נזקים לדירות, וניתן לייחס את רובן המכריע לנזקי הצפות בגין אירועי גשם.
- **סקר שמאים[92]** סקר שמאים שבחן את גובה נזקי שיטפונות סטנדרטיים בשימושי קרקע שונים, ניתן ללמוד שהנזקים עומדים על אלפי ש"ח למ"ר לשימושי מגורים ותעשיה, ועשרות אלפי ש"ח לדונם לשימושים חקלאיים שונים. מובן כי ככל שעומק ההצפה גדול יותר, והשימוש אינטנסיבי/ צפוף ורגיש יותר, (בחקלאות, גם כתלות במשך ההצפה) ערך הנזק עולה.

נוסיף גם כי מערכות ניהול נגר עירוניות מאפשרות ניהול סיכונים טוב יותר. זאת, כיוון שמערכת ניקוז המבוססת על מגוון אמצעים (מערכות ניהול נגר, תשתית תיעול), מקטינה את הסיכון מכשל נקודתי, הן בהשקעה והן בתחזוקה.

5.13.2. מיצוי פוטנציאל ציפוף עירוני בהליכי התחדשות עירונית

הגדלת פוטנציאל הפיתוח העירוני מהווה תועלת כלכלית משמעותית נוספת. שכן, ישנן רשויות בהן מערכות התיעול העירוניות רוויות, כך שתוספות הבינוי, מותנות בהגדלת קיבולת הניקוז של המערכת. אולם, שדרוג מערכת התיעול מתאפיין בעלות גבוהה, בין היתר, עקב מגבלות השטח הבנוי, ובשל כך, מהווה חסם לתוספות בניה במסגרת הליכי התחדשות עירונית. במצבים אלו, ניהול נגר לקדם את ההתחדשות, ובכך, מביא לניצול יעיל יותר של הקרקע. מצבים כאלה קיימים בערים שונות בגוש דן למשל, בהן ביצוע הרחבות ושדרוגים למערכות התיעול מוגבל בגלל תנאי השטח.

5.13.3. הוספה ופיתוח שטחים ירוקים במרחב העירוני

כפי שנסקר בפרק 3, ישנם פתרונות שונים לניהול נגר. המשמעות של חלק מהפתרונות, היא הוספת שטח/ חזית ירוקה ו/או מחלחלת במרחב העירוני. לדוגמא גגות ירוקים או כחולים, איגום בשצ"פים ואלמנטים נוספים המאפיינים בריבוי תועלות. מעבר לתועלת בהיבט הנגר, לאלמנטים יתרונות נוספים:

- **עליית ערך הנכסים:** יצירת סביבה עירונית ירוקה מעלה את ערכי הנכסים, בשיעור הנע בין 5-25% מערכו טרם הפיתוח הנופי הסביבתי.[93] עליית הערך מהווה את העלות שתושבים מוכנים לשלם עבור

---

[86] קישור לחדשות הכנסת, 20 ינואר 20.
[87] קישור לכתבה בכלכליסט.
[88] קישור לכתבה במעריב.
[89] קישור מרכז המידע לחקר אסונות טבע בישראל .
[90] לדוגמא, השיטפונות באזור רשות ניקוז ונחלים שרון ב-2013, שהתביעות לגביהם מוערכים בכ-300 מלש"ח
[91] כולל עלות ניהול התיק, 17% בממוצע ביחס לעלות הנתבעת
[92] סקר שנערך במסגרת הכנת מדריך ניהול סיכוני שיטפונות ע"י משרד החקלאות, ראו סעיף 3.4.2.5
[93] (נתניהו, 2008), נתון דומה נמצא במחקר של השמאי הממשלתי (פיישמן. ל', י'. 2006), בו נמצא כי נוף הנשקף מהדירות בשכונת בבלי לרצועת פארק הירקון מוסיף לשוויין כ 5%.

פיתוח נופי והקמת פארקים ואלמנטים הכוללים מים לצד ביתם. סקירת מחקרים שפורסמה ע"י אוניברסיטת מונאש באוסטרליה ב-2019,[94] מציגה עשרות מחקרים הדוניים המצביעים שפיתוח נופי מעלה את ערך הנכסים.

- **צמצום תופעת איי חום עירוניים**: מרחבים ירוקים ומוצלים במרקם העירוני תורמים לוויסות הטמפרטורה המקומית, ובכך מסייעים להקטין את תופעת איי החום העירוני.
- **שירותי המערכת:** תוספת השטחים הירוקים במרקם העירוני, מגדילים את שירותי המערכת האקולוגית והטבע העירוני, ומספקים מגוון שירותים לאדם כגון: הנאה אסתטית, תועלות לבריאות הציבור וכו'.[95]

[94] (Gunawardena, 2019).

[95] להרחבה, ראה פרויקט המארג – בקישור זה 'התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע'.

5.14. תועלות כמותיות - החדרת מים לאקוויפר

חלופות ניהול הנגר, בעיקר באזור החוף, כוללות החדרת מים לאקוויפר. על מנת להעריך באופן ראשוני את התועלת מהמים המוחדרים, חושבה לפי כמות הנגר שניתן להחדיר בשנה, ישירות לשכבה הרוויה, לטובת שימור האקוויפר ושימוש חוזר במים. חישוב כמות הנגר המוחדר חושב כממוצע לפי הערכת מקדמי חידור הקרקע, מימוש ותפקוד מתקני ההחדרה וערך המים. החישוב התבסס על שונות בין אזור החוף להר במקדמי החלחול[96] ויישום קידוחי ההחדרה,[97] בהתאם אליהם חושב נפח ההחדרה השנתי הפוטנציאלי. ערך המים נקבע לפי ערכי רשות המים להחדרת נגר לשכבה הרוויה, ועמד על 2 ש"ח לקוב.[98, 99]

להלן התועלת מהכפלת כמות הנגר השנתית בערך המים

- סביבת החוף: **203,700 ש"ח** = 2 X 101,850
- סביבת ההר: **55,226 ש"ח** = 2 X 27,613

ערך זה הינו אומדן מינימלי ביותר לערכם הכולל של המים, ומתבסס על גובה השיפוי של רשות המים, נכון להיום. במידה והמים מוחדרים לאקוויפר באזור מתאים ובהיקף משמעותי, הם יכולים לאורך זמן לסייע לשיקום התאים הרלוונטיים באקוויפר, ואף להביא לשיקומו בטווח הארוך.

יחד עם השפעות זיהום ארוך שנים, בפרט באקוויפר החוף, תאים שונים אינם ראויים עוד לשתייה וזקוקים עתה לשיקום, שעלותו גבוהה מאוד, ודורשות שנים ארוכות. מעבר לתפקידו במערכת האקולוגית, האקוויפר משמש כמקור מים לשימושים מגוונים (שתייה, חקלאות, תעשייה), וכן, כמאגר חירום חשוב למשק המים הלאומי, ועל כן החשיבות הרבה לשימורו במצב תקין ובר שימוש. לחלופין, הרשות המקומית יכולה להשתמש במים לגינון עירוני ולחסוך את עלות המים להשקיה.[100]

5.14.1. מניעת זיהום נחלים, ים ושטחים פתוחים ממוצאי ניקוז

מערכות ניהול נגר עירוני מאפשרות הפחתת נפח ועומס מזהמים בגופי המים ושטחים פתוחים, הקולטים את הנגר ממוצאי הניקוז. המזהמים נגרפים ומתנקזים מהמרחב העירוני (מדרכות, כבישים וכו'), למוצאים או מתנקזים למורד. לכן, ניהול הנגר במקור, התופס את המים במעלה, מצמצם את כמות הנגר ואת משך הולכתו במרחב העירוני, ולכן, עשוי להיות משמעותי למצב הנחלים, הים והשטחים הפתוחים הקולטים את הנגר. בנוסף, ניהול נגר מאפשר הפחתה בתדירות ובחומרה של הצפות מערכות ביוב ועומס על המט"שים, כתוצאה מאירועי גשם (הן באופן ישיר, והן כתוצאה מחיבור לא חוקי של צנרת הניקוז למערכת הביוב). נושא זה נדון בין השאר ב (נתניהו, 2008), וניתן ללמוד על סדרי הגודל של העלות למשל מתובענה ייצוגית כנגד תאגיד המים 'מי כרמל' מ 2014, בנושא הזרמת ביוב לים, שעמדה על 43 מלש"ח.[101]

לסיכום, ישנן תועלות משמעותיות לניהול נגר, שאת מרביתן קשה לכמת אותן בשלב זה. בעתיד, ראוי לנסות לכמת תועלות אלו, באמצעות מחקרים עתידיים, הן בשיטות הדוניות (כלומר, על בסיס ניתוח אקונומטרי של ערכי נדל"ן ביחס לפתרונות אלה), בהערכות מותנות (כלומר, שאלונים מותאמים המאפשר לציבור לספק הערכות לתועלות מנקודת מבט), ועל בסיס איסוף נתונים מקומי אחיד, שיטתי מקיף. עד אז, חשוב להצביע על תועלות אלה ברמה עקרונית, במסגרת ניתוח תועלות ניהול נגר.

---

[96] סד"ג של 1 לאזור החוף ו- 3-4 לאזור ההר.

[97] הנחת יישום של 50% באזור החוף, ו- 20% באזור ההר, מדובר בהנחות מחמירות ובמימוש השכיח סביר שיהיה גבוה יותר

[98] לפי "כללי המים - תעריפי מים המסופקים מאת מקורות" - תיקון 2018.

[99] נכון להיום, תעריף זה חל על חברת מקורות בלבד, להיקפים העולים על 125 אלמק"ש.

[100] עלות קוב להשקייה, לפי ספר התעריפים של רשות המים לשנת 2020 הוא 3.5-6 ש"ח לקוב כולל מע"מ (עמ' 26 בקישור). שימוש כזה מחייב יצירת איגום מתאים בחורף, שיאפשר שימוש במים בקיץ.

[101] (צלול, 2015).

5.15. היבטי מימון

לנושא מימון אמצעים ניהול הנגר חשיבות רבה בהצלחת המדיניות החדשה. לאמצעי ניהול הנגר במרחב הפרטי, בפרט בשלב התחזוקה והחידוש, ראו פרק 8 'אמצעים משלימים לקידום ניהול נגר בישראל'. לנושא מימון הקמה תחזוקה וחידוש האמצעים במרחב הציבורי, מקודם בימים אלו מהלך חשיבה משותף של צוות העבודה עם משרד הפנים והגופים המוניציפליים, במטרה לפתח כלי מימון משלימים. בין השאר נבחנים מספר כלים יישומיים:

- ייעוד היטל ניקוז גם לנושא ניהול נגר (בשילוב עם מערכות תיעול)
- שימוש באגרה ייעודית לנושא ניהול נגר (בהנחיית מנכ"ל משרד הפנים)
- ייעוד היטל שצ"פים גם לנושא ניהול נגר בשצ"פים
- קבלת שיפוי מרשות המים להחדרת נגר לאקוויפר במרחב העירוני

עם הבשלת המהלך וגיבוש הצעות לכלים, אלו יפורסמו במסמך נפרד.

5.16. סיכום ומסקנות

פרק זה הציג מקרה מבחן שעל בסיסו בוצעה השוואת עלויות בין ארבע חלופות של מערכות ניקוז, שכל אחת מהן נותחה באזור מישור החוף ובאזור ההר המזרחי. חלופה 1, הכוללת מערכת תיעול, ושלוש חלופות נוספות, המיישמות את הנחיות ניהול הנגר החדשות בתמ"א 1.

מטרת ההשוואה הייתה לבחון את השפעת השינוי המוצע ואת משמעויותיו הכלכליות ביחס למצב התכנוני הקיים.

מהניתוח עולה כי תוספת ההשקעה היחסית לעלות הקמת יח"ד מוערכת ב 2,000-3,000 ₪ ליח"ד, המהווה כ 0.66% מעלות הקמה של יח"ד סטנדרטית. החסכון בחלופות ניהול הנגר התאפשר בזכות צמצום מערכת התיעול, שהתאפשר לאור הקטנת הספיקות כתוצאה מיישום מערכות ניהול הנגר. אולם, תוספת העלות של מערכות ניהול הנגר במגרשים הפרטיים הביאה לכך **שסה"כ העלות השנתית של חלופות ניהול הנגר הייתה גבוהה יותר ביחס לחלופה מס' 1 (תשתית תיעול בלבד), זאת עקב מחזורי החיים הקצרים יותר בממוצע של אמצעי ניהול הנגר. ע"י תחזוקה שנתית טובה, ניתן להאריך את מחזור החיים של אמצעי ניהול נגר ובכך לצמצם את העלות השנתית.**

נערכה בדיקת רגישות על מנת לבחון את המשמעויות הכלכליות במצב שבו ניתן לממש אחוז נמוך יותר מיעד ניהול הנגר בתחום שצ"פים, ולכן נדרש ליישם יותר אמצעים בתחום מגרשי הפיתוח. **נמצא שגם אם ניתן יהיה לנהל רק 40% מיעד הנגר בתחום השצ"פים, ואת השאר, (60%), נדרש יהיה לנהל בתחום מגרשי הפיתוח, עדיין תוספת ההשקעה ליח"ד עומדת על כ 1% מעלות הבניה. בדיקת רגישות זו יכולה לשמש כאינדיקטור גם להשפעה הכלכלית במקרה של התחדשות עירונית.**

תמהיל אמצעי ניהול הנגר הזמין בשצ"פים מאפשר יותר שימוש באמצעים מבוססי טבע, שהם בד"כ זולים יותר ביחס לאמצעים טכנולוגיים. זאת לעומת מגרשי הפיתוח, בהם יש פחות מרחב לתכנון, פחות יתרון לגודל ופחות גמישות בבחירת האמצעים. **לאמצעי מבוססי טבע יתרונות נוספים רבים, בשיפור איכות המרחב המתוכנן, תמיכה בטבע עירוני, ניתוב המים לשימוש משני ועוד. על מנת לממש את היתרון הכלכלי לניהול נגר בתחום השצ"פים, חשוב לשלב כבר בתחילת הליך התכנון היבטי ניהול נגר, על מנת למקם את השצ"פים באזורים המתאימים לניהול נגר.**

על מנת להתייחס לתועלות אלו ואחרות, **נסקרו בהרחבה גם מגוון התועלות הכלכליות לאמצעי ניהול נגר, מנקודת המבט של הרשות המקומית ומנקודת מבט לאומית,** אשר את מרביתם לא ניתן לכמת בשלב זה. עם זאת, על בסיס הסקירה, **ניתן להעריך כי תועלות אלה יכולות להגיע למאות מיליוני ש"ח בשנה, כתלות במאפייני הרשות.**

6. כלים ובסיסי נתונים הידרולוגיים לתכנון

מטרת פרק זה היא להוות בסיס מקצועי להטמעת מדיניות ניהול הנגר בכלל, ובפרט למילוי נספח הנחיות לניהול נגר (ב'4), בקרב הידרולוגים ויועצי ניקוז. בפרק הסברים על אופן מילוי סעיפי הנספח השונים, לרבות רקע מקצועי, שיטות חישוב והמלצות לשימוש במודלים.

6.1.ריכוז הנחיות לחישובים הידרולוגיים

פרק זה מרכז הנחיות לביצוע החישובים ההידרולוגיים, העומדים בבסיס תכנית הנדרשת להגיש נספח ניהול הנגר. להלן אופן עריכת החישובים שיוצגו בפרק:

- עוצמות גשם לתכנון
- זמן ריכוז
- ספיקת השיא של הנגר - יוצגו 3 שיטות וכן הנחיות מתי להשתמש בכל שיטה
- נפח הנגר
- ספיקת הנגר העודף
- פשטי ורומי הצפה

6.2.עוצמות גשם לתכנון

בכדי להשתמש בעוצמות הגשם המחושבות,[102] יש לשייך את התכנית הנדונה לאזור הגשם בו היא נמצאת, בהתאם למפה שבאיור 9. לאחר מכן, יש לאתר את עוצמת הגשם הרלוונטית לשטח התכנית, בהתאם לתקופת החזרה הנדרשת ולזמן הריכוז (ראה סעיף 6.3), של האגן הנדון. את עוצמת הגשם הרלוונטית לשטח התכנית ניתן למצוא *בנספח מס' 2: בסיס נתוני עוצמות גשם לתכנון בישראל.*

6.2.1. מקדם הפחתה מרחבית

עוצמות הגשם חושבו מתוך נתונים שהתקבלו מתחנות הידרולוגיות המודדות את הגשם בנקודה אחת. באגנים שגודלם עולה על 1 קמ"ר, שוקלל אלמנט נוסף, הנקרא הפחתה מרחבית. תאי גשם הינם מוגבלים בגודלם וככל שעוצמת הגשם גדולה יותר, כך גודלו של תא הגשם קטן. לכן, ככל שהשטח הנדון גדול יותר, עוצמת הגשם הממוצעת על פני כל השטח, קטנה.[103] יש לציין כי ההשפעה של מקדם ההפחתה המרחבית קטנה ככל שמשך אירוע הגשם הנדון גדל.[104]

באגנים שזמן הריכוז שלהם (ראה סעיף 6.3) קטן משעה וגודלם נע בין 1-6 קמ"ר, יש להכפיל את עוצמת הגשם במקדם לפי משוואה 1. באגן שגודלו שני קמ"ר לדוגמא, יש להכפיל את עוצמת הגשם במקדם של 0.9. יצוין כי העבודה שבוצעה בישראל בנושא הינה ראשונית בלבד ומחייבת מחקר נוסף[105]. חלק מהמחקרים בעולם העלו ממצאים דומים, אך רובם התמקדו באגנים גדולים בהרבה מקמ"ר בודדים.[106]

משוואה 1: מקדם הפחתה מרחבית לאגנים שגודלם 1-6 קמ"ר ולאירועי גשם שמשכם קטן משעה.[107]

$$d_0 = 1.0005 \times A^{-0.157}$$

כאשר:

- d0 - מקדם הפחתה מרחבי
- A - שטח האגן בקמ"ר

[102] המתודולוגיה לחישוב עוצמות הגשם מפורטת בנספח מס' 2: בסיס נתוני עוצמות גשם לתכנון בישראל10.2.
[103] (הלוי ר' א', 2016).
[104] (EPFL, 2006).
[105] (הלוי ר' א', 2016).
[106] (EPFL, 2006).
[107] (הלוי ר' א', 2016).

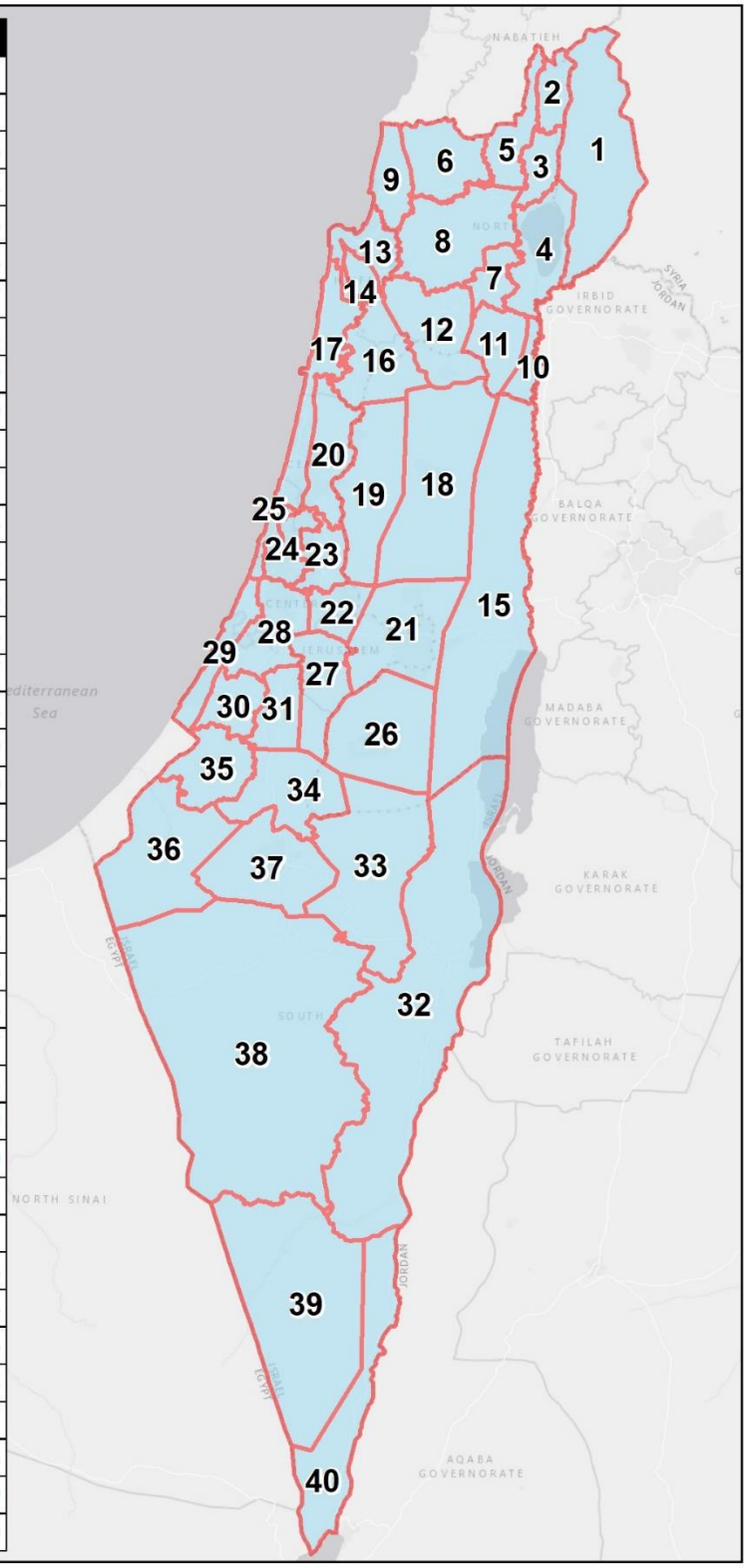
6.2.2. אירוע גשם

במידה ונדרש אירוע גשם לתהליך התכנון,[108] נתוני עוצמות הגשם מספקים גם אירוע גשם מלאכותי, המייצג סוג אחד של תרחיש. לצרכי תכנון, מומלץ לבנות אירועי גשם נוספים על בסיס מדידות גשם רציפות של אירועי קיצון מתחנת הגשם הרלוונטית. בכדי לקבל את תקופת החזרה הרצויה ניתן להכפיל את האירועים המדודים בפקטור, בהתאם לעובי הגשם המצוין בקובץ בסיס הנתונים.

באגנים שגודלם עולה על 2 קמ"ר בהם נדרש להציב מודל גשם-נגר רציף, לא מומלץ להניח שהגשם יורד באופן אחיד על פני כל האגן. לכן ראוי לבנות את פירוס הגשם במרחב באמצעות צירוף של כמה תחנות גשם וחיבורן באמצעות כלי הניתוח המרחביים Thiessen, Inverse Distance, או כל שיטת אינטרפולציה מקובלת אחרת.

[108] למשל, כקלט למודל גשם-נגר, כמתואר בסעיף 6.4.4 .

מס"ד	אזור גשם
1	רמת הגולן
2	מקורות הירדן
3	עמק החולה
4	סובב כנרת
5	גליל עליון
6	גליל מערבי
7	גליל מזרחי
8	הרי נצרת וגליל תחתון
9	חוף גליל מערבי
10	צפון בקעת הירדן
11	עמק חרוד וגלבוע
12	עמק יזרעאל
13	חיפה והקריות
14	כרמל
15	בקעת הירדן
16	מנשה
17	חוף השרון וחוף הכרמל
18	הרי השומרון
19	מערב השומרון
20	צפון השרון
21	הרי ירושלים
22	חבל איילון
23	לוד- בקעת אום
24	גוש דן
25	תל אביב
26	דרום הרי יהודה
27	לכיש צפון
28	יישובי גדרות
29	אשדוד ואשקלון
30	פלשת
31	לכיש- גת
32	דרום ים המלח וערבה צפונית
33	ערד דימונה
34	צפון הנגב
35	עוטף עזה צפון
36	עוטף עזה דרום
37	באר שבע
38	רמת הנגב
39	מישורי חיון ופארן
40	ערבה דרומית ואילת



איור 9 מפת אזורי הגשם בישראל[109]

[109] שכבת ממ"ג של אזורי הגשם ניתנת לצפייה באתר מינהל התכנון (התכנית האסטרטגית / שכבת 'שטחים לשימור משאב מים').

6.3.זמן ריכוז

זמן ריכוז מוגדר כמשך הזמן הנדרש לנגר עילי לזרום מהנקודה המרוחקת ביותר באגן עד למוצא האגן. זמן הריכוז משמש לקביעת משכי הגשם לתכנון. כלומר, זמן הריכוז הוא משתנה בקביעת עוצמת הגשם ו/או אירוע הגשם לתכנון.

יש לחשב זמן ריכוז ע"י סימון תוואי הזרימה הארוך ביותר באגן וחלוקתו ל-3 מקטעים. לאחר מכן יש לחשב את משך הזרימה בכל מקטע ולסכמו בהתאם למשוואה 2. מדובר במודל שפותח ב-NRCS מבוסס על מאות מחקרים ומדידות, ומקובל לשימוש בארה"ב,[110] ובמקומות אחרים בעולם.[111]

משוואה 2: חישוב זמן ריכוז

$$\boldsymbol{T_c = t_i + t_s + t_t}$$

כאשר:

- Tc - זמן הריכוז הכולל בדקות
- t_i - זרימה משטחית (Overland/sheet flow)[112]
- t_s - זרימה רדודה (Gutter flow)[113]
- t_t - זרימה עורקית (Channelized flow)

איור 10 מציג סכמה של שכונת מגורים עירונית, עם דוגמא טיפוסית להבחנה בין שלושת סוגי זרימה, להלן:

א. **זרימה משטחית** (Overland flow או Sheet flow) היא זרימה על פני שטח פתוח ומתאפיינת בעומק של 3 ס"מ או פחות. באזורים עירוניים מדובר לרוב בזרימה בשטח המגרשים עצמם.

ב. **זרימה רדודה** (Gutter flow או shallow concentrated flow) נוצרת לאחר כמה עשרות מטרים של זרימה משטחית והיא מוגדרת כזרימה בעומק של 3-15 ס"מ. מדובר בזרימה שיכולה להיווצר על פני השטח או לאורך מדרכות, פלגים וערוצים קטנים. באזורים עירוניים לרוב מדובר בזרימה שבכבישים עד לכניסה לקולטן.

ג. **זרימה עורקית** (Pipe flow או Channelized flow) מתרחשת בעורקי ההולכה שהם מובלי הניקוז או תעלות.

---

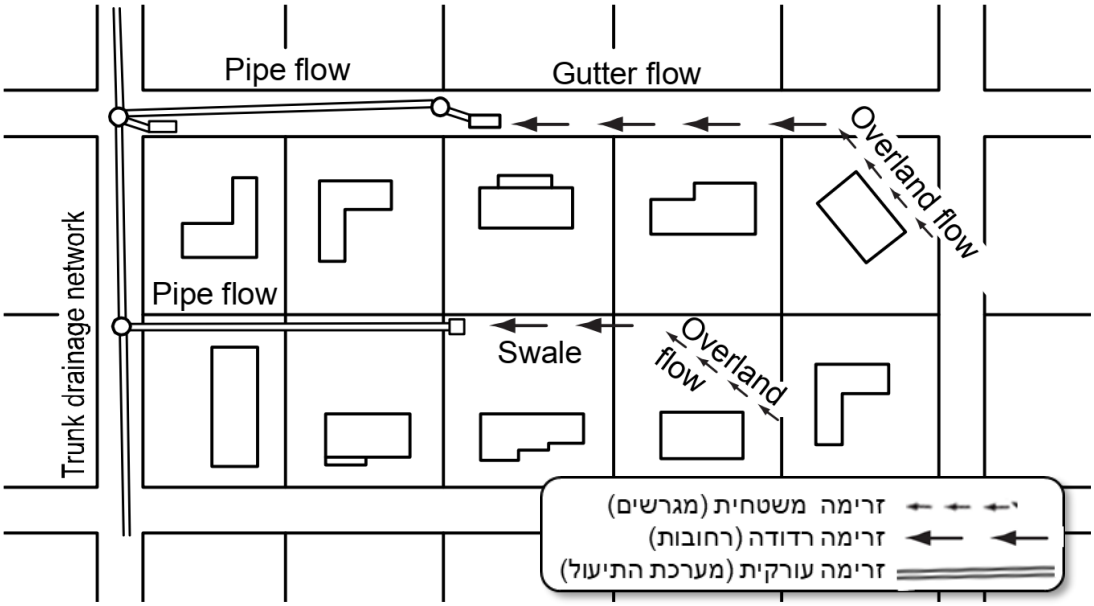
[110] (NRCS, 2010).

[111] (Quweensland Goveronment, 2013).

[112] ישנם אגנים בהם המגרשים אינם מחוברים ישירות למערכת התיעול העירונית והנגר מהם מגיע במובהק אחרי הנגר משאר האגן. במקרים אלו, הכללת הזרימה המשטחית תאריך את זמן הריכוז ותוריד תוצאתית את ספיקת השיא (ראה הרחבה בסעיף 6.3.5שגיאה! מקור ההפניה לא נמצא.). במצב זה, ניתן להשמיט מהחישוב את מרכיב הזרימה המשטחית, ולהישאר עם זרימה רדודה ועורקית בלבד, בהתאם לשיקול דעת המתכנן.

[113] ישנם אגנים בהם התיעול מכסה את נתיב הזרימה הארוך ואין מקטע רחוב ארוך בו מתרחשת זרימה. במקרים כאלה ניתן להשמיט את מרכיב הזרימה הרדודה ולהישאר עם זרימה משטחית ועורקית בלבד, בהתאם לשיקול דעת המתכנן.

להלן פירוט דרך חישוב זמן הריכוז לכל אחד משלושת סוגי הזרימה:



איור 10| הבחנה בין שלושת סוגי הזרימה בשכונת מגורים עירונית[114]

6.3.1. זרימה משטחית

ניתן לקבוע את משך הזרימה המשטחית בהתאם לטבלה 15

. לחלופין, ניתן להשתמש לקביעת משך הזרימה המשטחית בשיטת קירפיך (Kirpich) המוצגת במסמך.[115]

טבלה 15 משך הזרימה המשטחית בדקות[116]

תוואי הזרימה המשטחית	דקות
כביש בלבד	**5**
גג עם צמ"ג המחובר לניקוז	5
שטח עירוני בשיפוע גדול מ-15%	5
שטח עירוני בשיפוע של 10-15%	8
שטח עירוני בשיפוע של 6-10%	10
שטח עירוני בשיפוע של 3-6%	13
שטח עירוני בשיפוע קטן מ-3%	15

[114] (Quweensland Goveronment, 2013)
[115] (טל-ברזילי, במברגר, & פולק, 2018, עמ' 8).
[116] (Quweensland Goveronment, 2013, עמ' 86, טבלאות 4.6.2, 4.6.3)

6.3.2. זרימה רדודה עד קולטן

זרימה רדודה מרוכזת, גם אם היא נוצרת על פני השטח, מאופיינת בתוואי זרימה מוגדר (למשל, בתוך מיסעת הכביש סמוך לשפת המדרכה). משך הזרימה הרדודה המרוכזת מחושב על ידי חלוקת אורך תוואי הזרימה במהירות הזרימה הממוצעת. מהירות הזרימה מחושבת באמצעות משוואה 3, לאחר מכן ניתן לחשב את משך הזרימה ע"י משוואה 4. זרימה רדודה יכולה להתקיים באזורים נטולי תשתיות ניקוז גם לאורכים של עד 400 מטר.

משוואה 3: חישוב מהירות זרימה רדודה מרוכזת[117]

$$V_s = K * \sqrt{S_0}$$

כאשר:

- V_s - מהירות ממוצעת של הזרימה הרדודה המרוכזת במטר לשנייה
- K - מקדם זרימה מתוך טבלה 16
- S_0 - שיפוע השטח או ערוץ הזרימה במטר למטר

טבלה 16- פקטור K לזרימה רדודה מרוכזת[118]

סיווג פני שטח	מקדם זרימה K למשוואה 3
צמחיה עשבונית מפותחת	0.77
שדה או שטח חרוש	1.53
מדשאות	2.12
קרקע חשופה או כמעט חשופה	3.04
תעלה עם צמחיה (כגון תעלת שתילה)	4.92
מיסעה סלולה או מבוטנת	6.2

משוואה 4: חישוב משך זרימה רדודה מרוכזת

$$t_s = \frac{L_t}{60 * V_s}$$

כאשר:

- t_s - משך הזרימה הרדודה המרוכזת בדקות
- L_t - אורך מקטע הזרימה במטרים
- V_s -מהירות ממוצעת של הזרימה הרדודה המרוכזת במטר לשנייה

[117] (NRCS, 2010, עמ' 8-15 טבלה 3-15).
[118] שם.

6.3.3. זרימה עורקית

זרימה עורקית מתרחשת בתוך ערוץ זרימה מובנה, כגון מובל ניקוז או תעלה פתוחה. חישוב מהירות הזרימה בעורקים נעשה באמצעות נוסחת מאנינג (Manning equation) המוצגת במשוואה 5. יש להניח שהתיעול מלא ב-85%. לאחר מכן ניתן לחשב את משך הזרימה ע"י משוואה 4.

משוואה 5: משוואת מאנינג לחישוב מהירות זרימות בתעלות[119]

$$V_t = \frac{R^{2/3} * \sqrt{S_0}}{n}$$

כאשר:

- V_t - מהירות הזרימה העורקית במטר לשניה
- R - רדיוס הידראולי[120]
- S - השיפוע הארכי של העורק במטר למטר
- n - מקדם החיכוך של מאנינג[121]

6.3.4. זמן ריכוז מזערי

בעת עבודה על אגנים קטנים, יתכן ויתקבלו זמני ריכוז של מספר דקות בלבד. זמן הריכוז המינימלי יהיה 10 דקות. באגנים ששטחם קטן מ-5 דונם, ניתן להניח שזמן הריכוז הוא 10 דקות, ללא צורך בחישוב.

6.3.5. זמן ריכוז באגנים בהם עיקר תרומת הנגר נוצרת רק בחלק מהשטח

כפי שתואר לעיל, בספרות העולמית מומלץ לחלק את האגן העירוני לשלושה חלקים על מנת לייצג כהלכה את השינויים במהירויות הזרימה לאורך הנתיב הארוך ביותר. ישנם מקרים בהם עיקר תרומות הנגר מתקבלת רק מחלק מהאגן ובהם זמן הריכוז צריך להיות מחושב מתוואי זרימה חלקי. במקרה של ספק עדיף להשמיט מרכיב אחד מחישוב זמן הריכוז, גם אם התוצאה עלולה להיות הערכת חסר של זמן הריכוז. הערכת חסר היא שמרנית ולכל היותר תוצאתה תהיה צינור מעט גדול מהדרוש, אולם הערכת יתר של זמן ריכוז משמעותה בחירת עוצמות גשם נמוכות ותכנון ניקוז שעלול להוביל להצפות תדירות.

איור 11 מציג מספר דוגמאות למקרים כאלה. לרוב מדובר באגנים בעלי צורה מאורכת ושימושי קרקע מעורבים, שהחלק הבנוי נמצא במורד והחלק הפתוח במעלה, או במקרים בהם המגרשים אינם מחוברים ישירות למערכת התיעול.

על המתכנן להיות ער לאפשרות זו ולבדוק שבאגן הנדון לא נוצרת עיקר התרומה ביותר רק בחלק מהשטח. במידה וכן, יש לחשב זמן ריכוז רק לפי החלק הרלוונטי של האגן תוך השמטת הזרימה המשטחית. לחלופין, ניתן לחלק את האגן לשניים ולחשב את ספיקת השיא בנפרד לכל אחד מהחלקים. במקרה של חלוקת האגן מומלץ לחשב את ספיקת השיא בשיטה המאפשרת חישוב הילוך גאות.

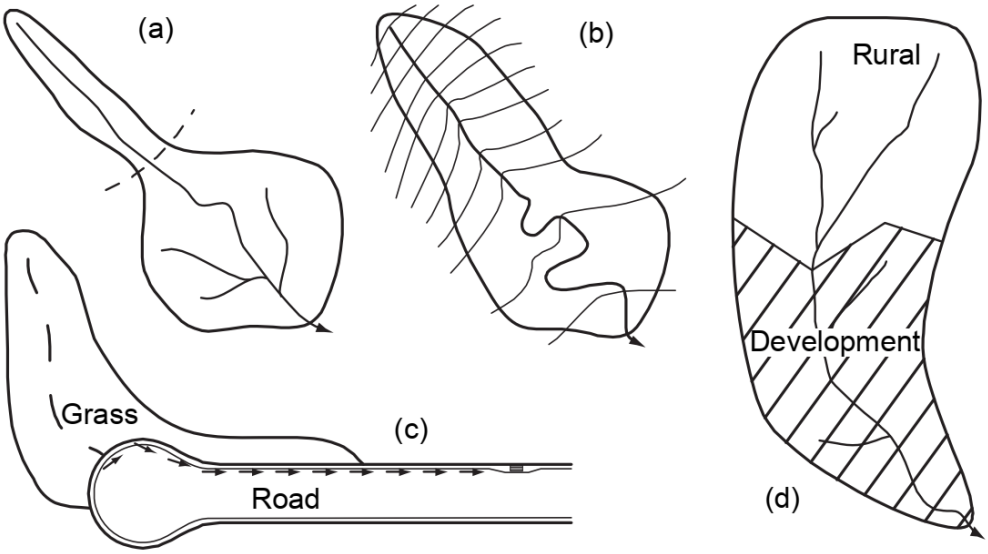
במקרים אחרים ייתכן שהתיעול מכסה את כל הרחובות בנתיב הארוך ביותר ואז ניתן להזניח את הזרימה הרדודה ולחשב את זמן הריכוז רק לפי זרימות משטחית ועורקית.

---

[119] (CFRC, 2006).

[120] (Szyk, 2021) .

[121] (CFRC, 2006).



איור 11| דוגמאות לאגנים שבהם אפשר וספיקת השיא נוצרת רק בחלק מהשטח[122]

6.3.6. זמן פיגור

זמן הפיגור (Lag time) הוא משך הזמן שעובר ממרכז אירוע הגשם ועד להיווצרות ספיקת השיא במוצא האגן. ישנם מודלים, כגון SCS UH (ראה סעיף 6.4.3 להלן), שדורשים זמן פיגור כקלט. במקרים אלה יחושב זמן הפיגור באמצעות משוואה 6.

משוואה 6: חישוב זמן פיגור[123]

$$L = 0.6 * T_c$$

כאשר:

- L - זמן הפיגור
- T_c - זמן הריכוז

[122] (Quweensland Goveronment, 2013).
[123] (NRCS, 2010, עמ' 3-15, משוואה 3-15).

6.3.7. שיטות לא מומלצות לחישוב זמן ריכוז באגנים עירוניים מתועלים

במחצית הראשונה של המאה ה-20 פותחו מספר שיטות אמפיריות לחישוב זמן ריכוז על סמך מספר מוגבל של תצפיות. שיטות אלה היו מקובלות בעבר, ככל הנראה מכיוון שהיו היחידות בזמנן. כיום שיטות אלו נתפשות כלא מדויקות בספרות המקצועית.[124] לכן שיטות אמפיריות כבר לא מופיעות במסמכי ההנחיות והרגולציה מהמאה ה-21.

דוגמה בולטת לשיטה ישנה, היא שיטת קירפיך (Kirpich)הנזכרת לעיל. שיטת קירפיך פורסמה ב-1940 על ידי ה- Soil Conservation Survey של ארה"ב, (שהפך ל-NRCS ברבות השנים), על בסיס מדידות משבעה אגני היקוות חקלאיים בטנסי, בהיקף שטחים של 5-450 דונם, עם שיפועים הנעים בין 3-8%.[125] כלומר, מראש שיטת קירפיך לא יועדה לשימוש באגנים עירוניים. עם השנים פותחו אמנם מקדמי התאמה לאגנים עירוניים, אך השיטה מניחה מהירות זרימה אחידה בכל האגן ואינה מתחשבת בכך שבתיעול העירוני המהירויות גבוהות מאשר על פני השטח. לכן השיטה נוטה להערכת יתר באגנים עירוניים מישוריים, שבהם מרכיב התיעול הוא משמעותי. שיטה זו אינה מומלצת כיום אפילו ע"י ה-NRCS שפרסם אותה לראשונה.[126] כן ניתן להשתמש בשיטת קירפיך ודומותיה לחישוב זמן ריכוז בשטחים פתוחים או לחישוב מרכיב הזרימה המשטחית באגן עירוני, אך מומלץ שלא להשתמש בשיטות אמפיריות ישנות המתייחסות לאגן כאל מקשה אחת באגנים עירוניים מתועלים.

6.4.חישוב ספיקת השיא של הנגר

ספיקת השיא תחושב באחת מהשיטות המפורטות בטבלה 17. העמודה האמצעית בטבלה מציבה מגבלה של גודל שטח האגן הנדון, בעוד העמודה השמאלית מסבירה מילולית את המקרים בהם שיטת החישוב מתאימה לצרכי תכנון.

טבלה 17: שיטות מקובלות לחישוב נגר

שיטה	שטח האגן בדונם	הערות/ מגבלות נוספות
השיטה הרציונאלית המעודכנת	0-200	לחישוב המצב הקיים, ניתן להשתמש בשיטה הרציונאלית גם בשטחים גדולים יותר עד 5 קמ"ר ובלבד שאין במצב הקיים ניהול נגר. לחישוב במצב המוצע, מתאים מרמת המגרש עד רמת הרחוב, כל עוד אין בתכנית אמצעי המיועד להשהיית נגר
הידרוגרף יחידה	ללא מגבלה	כאשר משולבים בתכנון אמצעי ניהול נגר, יש לבנות שני הידרוגרפי יחידה עבור כל אמצעי, אחד לפני האמצעי ושני אחרי, עם חישוב ניהול הנגר
מודל גשם-נגר רציף [127]	ללא מגבלה	תכנון ניהול נגר מרמת השכונה/אגן עירוני ומעלה ובוודאי שתכניות אב עירוניות, צריכות להיעשות במודל ממוחשב ולא בשיטה אחרת

[124] (Grimaldi, Petroselli, Tauro, & Porfiri, 2012).
[125] (Mays, 1988 & ,Chow, Maidment).
[126] (NRCS, 2010).
[127] המודל הנפוץ בעולם הוא EPA SWMM, שהוא חינמי. ישנם מודלים מסחריים אחרים, שניתן להשתמש בהם ובלבד שהם שווי ערך ל-EPA SWMM .

להלן פירוט לגבי השיטות השונות:

6.4.1. השיטה הרציונאלית העדכנית

השיטה הרציונאלית המעודכנת[128], המכונה באנגלית MODRAT (Modified rational method), הינה פיתוח של השיטה הרציונאלית המחושבת במשוואה *7*.

משוואה *7: חישוב ספיקת שיא בשיטה הרציונאלית*

$$Q_{\left[\frac{m^3}{s}\right]} = \frac{C \times I_{\left[\frac{mm}{h}\right]} \times A_{[km^2]}}{3.6}$$

כאשר:

- A הוא שטח האגן בקמ"ר
- I הוא עצמת הגשם לפי זמן הריכוז במ"מ לשעה.
- C הוא מקדם הנגר

מקדם הנגר מחושב באמצעות משוואה 8 חישוב מקדם הנגר בשיטה הרציונאלית המעודכנת:

$$\mathrm{C} = (0.9 * IMP) + (1 - IMP) * Cu$$

[128] (LA County, 2006, pp. 59-62).

כאשר:

- C הוא מקדם הנגר
- IMP הוא אחוז השטח האטום
- Cu הוא מקדם הנגר בשטח הפתוח (באגנים עירוניים בהם מרכיב השטח האטום הוא הדומיננטי, ניתן להשמיט את מרכיב השטח הפתוח אם תרומתו זניחה, או שבאופן מובהק הנגר ממנו מגיע מאוחר יותר מאשר זה של השטח האטום (ראה הרחבה בסעיף 6.3.5. הדבר נתון לשיקול דעת המתכנן).

כלומר, בשיטה זו השטח תורם הנגר באגן נחלק לשניים: השטח האטום (גגות, כבישים, חניות וכד') והשטח הפתוח (שטח לא מפותח, גינון וכד'). מקדם הנגר של השטח האטום הוא תמיד 0.9. מקדם הנגר של השטח הפתוח (Cu) הינו תלוי בחבורת הקרקע ובעוצמת הגשם הרלוונטית, כמפורט בטבלה 18.

טבלה 18 מקדמי נגר לקרקעות בישראל כתלות בעובי הנגר היומי[129]

סוג כללי	תיאור כללי	מקדם לפי עובי גשם במ"מ ליום									
		0-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	>100
A	טרה רוסה	0.01	0.04	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
B	רנדזינה	0.01	0.04	0.05	0.10	0.12	0.17	0.20	0.25	0.30	0.35
E	חמרה	0.01	0.03	0.04	0.08	0.09	0.13	0.15	0.19	0.23	0.26
H	גרומוסול	0.06	0.09	0.13	0.15	0.23	0.30	0.33	0.38	0.43	0.48
V	חול	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.09	0.10	0.13	0.15	0.18
(-)	לס[130]	-	-	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
אדמה גננית[131]		0.01	0.04	0.05	0.10	0.12	0.17	0.20	0.25	0.30	0.35

במידה ויש יותר מסוג קרקע אחד, ניתן להשתמש בסוג הקרקע הדומיננטי באגן. במידה ואין סוג קרקע אחד דומיננטי במובהק, נדרש לחלק את השטח ע"פ סוגי הקרקע השונים ולחשב לכל אחד מהם את מקדם ה-Cu שלו ואז לחשב את מקדם ה-Cu הכללי לפי שטחן היחסי של הקרקעות. במידה והקרקע הדומיננטית באגן אינה מופיעה בטבלה 18, המתכנן ישתמש במקדמים ממקורות אחרים תוך ציון המקור ממנו נלקח המקדם.
יש לשים לב שמקדם הנגר בשיטה זו אינו תלוי בתכסית. כלומר, לא משנה אם השטח האטום הוא גג או אספלט ואם השטח הפתוח מכוסה בצמחיה או לא. הסיבה היא שבאירועי תכן בעלי תקופת חזרה של עשרות שנים ויותר, הנחת העבודה היא שהתכסית רוויה ואינה משפיעה על ספיקת השיא.
היתרון הגדול של השיטה הרציונאלית היא בפשטותה, אך השימוש בה באגנים עירוניים מוגבל לגודל של עד 200 דונם.[132] באזורים שאינם עירוניים, ניתן להשתמש בשיטה באגנים שגודלם עד 800 דונם,[133] תלוי במורכבות האגן ועל המתכנן להעריך ולהסביר את תקפות השיטה במקרה בו נעשה בה שימוש באגנים גדולים.

עבור הצגת ספיקת הנגר במצב הקיים, כפי שנדרש בסעיף 2.3.4 בנספח ניהול הנגר בתמ"א 1 (ב'4), ניתן להשתמש בשיטה הרציונאלית גם באגנים שגודלם עד 5 קמ"ר,[134] מאחר שאין בכך השפעה על התכנון. השיטה

[129] הנתונים בטבלה 17 נערכו בעבודה משותפת של צוות התכנון עם רשות המים, על בסיס "מודל לחישוב נגר בתחום הניקוז המערבי" שגובש ברשות המים, פרט למקדמי הנגר באדמת הלס, המבוססים על הערכה .
[130] קרקעות לס מופיעות במספר סיווגים, לרבות N, R, S, M ועוד מיני קרקעות מעורבות.
[131] המקדם לאדמה גננית הונח לפי ערך 'רנדזינה', יש לברר, בכל מקרה לגופו, את תקפות ההנחה.
[132] (NRCS, 1988, p. 15).
[133] (Thompson, 2006).
[134] (טל-ברזילי, במברגר, & פולק, 2018).

הרציונלית אינה מומלצת במקרים בהם קיימים / מתוכננים בשטח אמצעי ניהול נגר, כיוון שלא ניתן להתחשב בריסון והפחתות נגר בשיטה זו.

6.4.2. הידרוגרף יחידה

המושג של 'הידרוגרף היחידה', שהוצע לראשונה על ידי Sherman בשנת 1932, גורס שלכל אגן היקוות יש 'פונקציית תרגום' אופיינית המשקללת את תכונות האגן, וממנה ניתן לחשב יחסי גשם-נגר, בהנחה שהגשם יורד באופן אחיד על כל האגן.

הידרוגרף יחידה ממיר עובי גשם אפקטיבי[135] להידרוגרף במוצא האגן, באמצעות מודל לינארי פשוט של אגן הניקוז. היתרון בהשוואה לשיטה הרציונאלית הוא שהידרוגרף יחידה מתאר את כל מהלך הנגר הסופתי ובכך הוא מאפשר תכנון של אוגר להשהיית נגר, לעומת השיטה הרציונאלית שנותנת ספיקת שיא בלבד. כמו כן, להידרוגרף יחידה אין מגבלת גודל. עם זאת, הידרוגרף יחידה מחייב חישובים מורכבים יותר ביחס לשיטה הרציונאלית.

יתרון של הידרוגרף יחידה מול מודל גשם-נגר הוא שהוא פשוט יותר להצבה. יתרון זה עלול להפוך לחיסרון כאשר מעורב בתכנון אמצעי לניהול נגר. עבור כל אמצעי ניהול נגר, יש לבנות שני הידרוגרפי יחידה, אחד לפני האמצעי והשני לאחר האמצעי עם התחשבות בניהול הנגר. כאשר באגן משולבים מספר אמצעים לניהול נגר, המערכת הופכת ללא ליניארית.[136] תכנון בשיטת הידרוגרף יחידה ידרוש התייחסות ליחסי גומלין בין אמצעי ניהול הנגר, שעלולים להשתנות בהתאם לתרחישי התכנון ולתקופות החזרה. במקרים כאלה סביר להניח שיהיה יותר פשוט להציב מודל גשם-נגר.

פרק זה מספק מבוא ומספר דגשים לשתי משפחות של הידרוגרף יחידה, אך אינו מהווה מדריך מלא. ככל שנעשה שימוש בשיטות אלו, יש להסתמך על ספרות מקצועית בנושא. הפניות לספרות מקצועית יוצעו בהמשך.

---

[135] גשם אפקטיבי הוא סך כל הגשם בניכוי אובדן של חלחול ואידוי, כלומר החלק בגשם שיוצר נגר.

[136] מערכת שלא ניתן להגדירה כסכום מרכיביה.

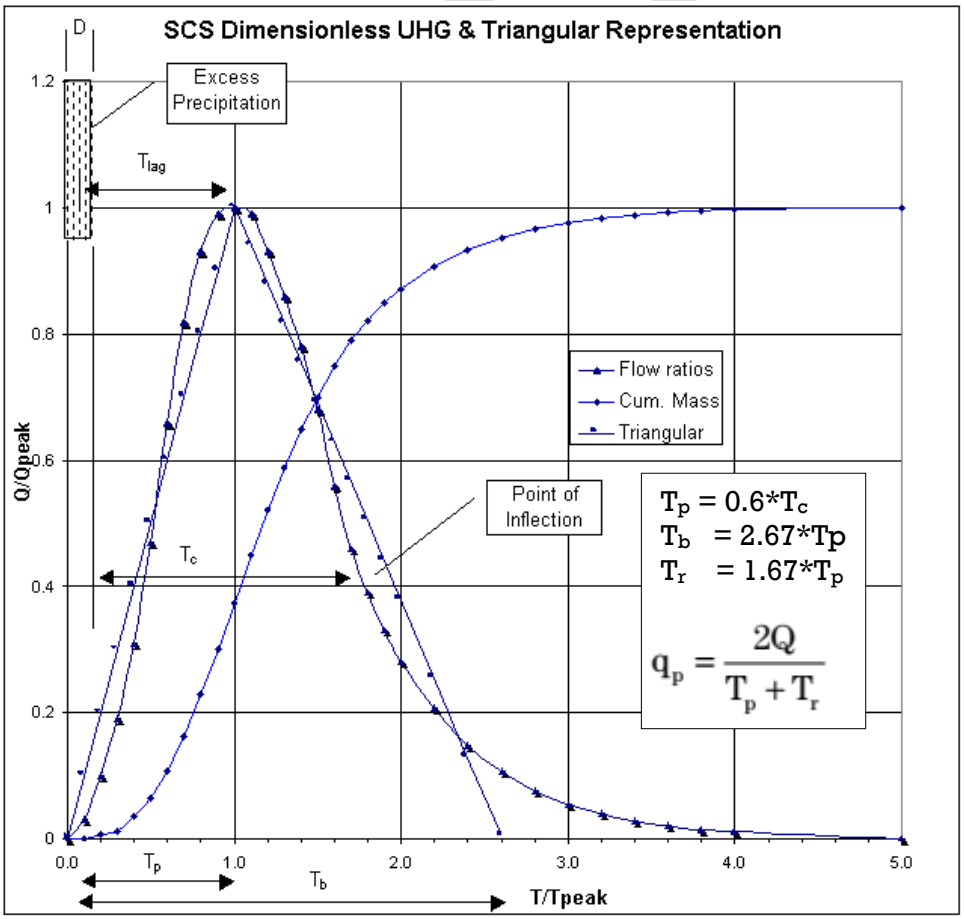
6.4.3. הידרוגרף יחידה סינטטי בשיטה אמפירית

העדיפות היא לפתח הידרוגרף יחידה מתוך מדידות של גשם ונגר בשטח, אולם ברוב המוחלט של המקרים אין בנמצא מדידות כאלה ולכן פותחו מספר שיטות לחישוב הידרוגרף יחידה סינטטי. השיטות נסמכות על ההנחה שהתגובה ההידרולוגית של אגן הניקוז ליחידת גשם היא פרופורציונאלית לעובי הגשם וניתן לפשטה לצורת משולש, תוך הערכת מספר מועט יחסית של פרמטרים. איור 12 להלן מציג הידרוגרף יחידה סינטטי בשיטת SCS UH, שהיא אחת השיטות הנפוצות. הפרמטרים לקביעת צורת המשולש של ההידרוגרף הם:

- זמן הפיגור (Lag time או T_p) - משך הזמן שעובר בין מרכז הגשם לבין ספיקת השיא במוצא האגן
- זמן הבסיס (T_b) - משך בסיס ההידרוגרף
- ספיקת השיא (q_p)

שני הפרמטרים הראשונים הם פונקציה של זמן הריכוז, אותו ניתן לחשב כמתואר בסעיף 06.3. לפרמטר האחרון, ספיקת השיא, ישנה נוסחה, שהיא פונקציה של צורת המשולש ונפח הנגר. חישוב נפח הנגר מתואר בסעיף 6.5 להלן. מומלץ לבדוק את ספיקת השיא מול חישוב מקביל בשיטה הרציונאלית.

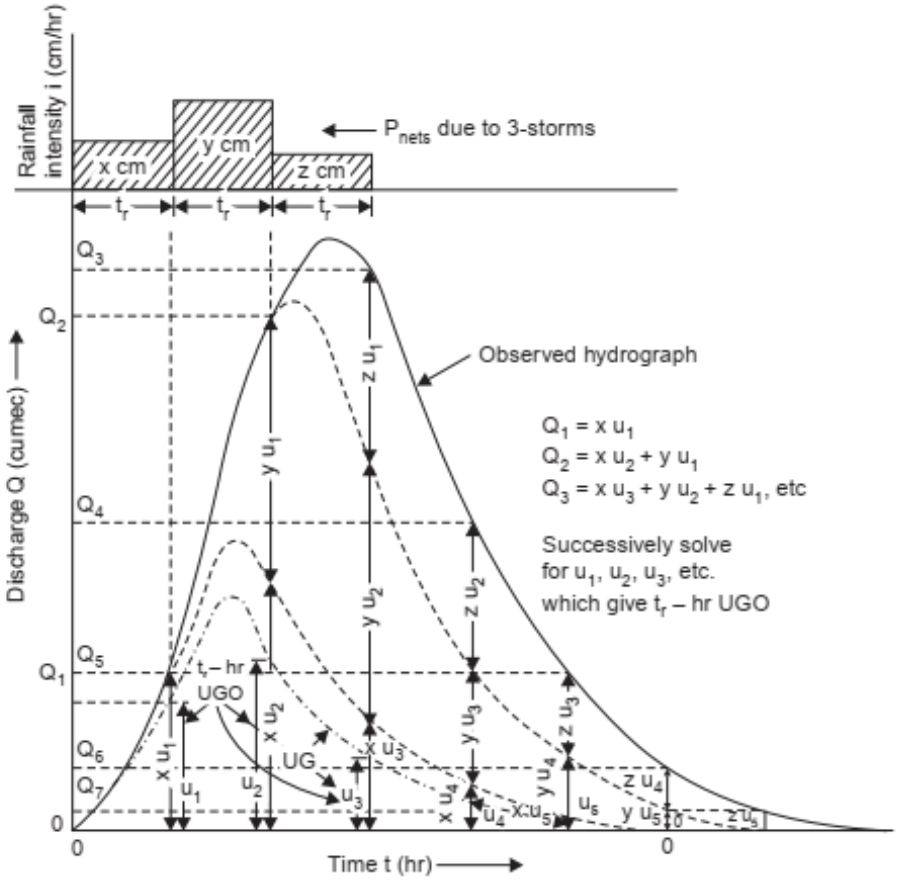
הסבר מלא על שיטת SCS UH נמצא ב- (NRCS, 2007, עמ' A16). הסבר תמציתי ניתן למצוא ב- (NOAA, 2005). מחשבון אקסל, ביחידות אימפריאליות, ניתן להורדה ב-(NRCS, 2019) .



איור 12| הידרוגרף יחידה מסוג SCS UH (NOAA, 2005)

קבוצת השיטות נקראת אמפירית, משום שהן מגדירות את הפרופורציות של המשולש על סמך מדידות גשם-נגר שבוצעו באגנים רבים, רובן ככולן בארה"ב בחצי הראשון של המאה ה-20. ישנן שיטות נוספות מלבד SCS (למשל Synder, Taylor & Schwarz או Gamma-1) וכל שיטה פותחה לפי אגנים בעלי מאפיינים מסוימים. ניתן להשתמש בשיטות אחרות ממקור מוסמך בספרות, אך יש לוודא כי השיטה מתאימה לאגן הנדון. בהתאם לתכונות האגן, לעיתים ישנו מקדם התאמה אותו יש ליישם וחשוב לשים לכך לב וכן לתעד זאת בדו"ח.

לאחר שנבנה הידרוגרף היחידה לאגן הנדון, יש להרכיב באמצעותו את ההידרוגרף המתאים לאירוע גשם, לאור זאת שהגשם בפועל אינו בעל עוצמה אחידה והוא משתנה לאורך זמן. לשם כך נעזרים בהנחה שהוזכרה לעיל, שהתגובה ההידרולוגית היא פרופורציונאלית לעובי הגשם. כלומר, אם אגן הניקוז מגיב ל-1 מ"מ גשם אפקטיבי בצורה מסוימת, הרי שהתגובה ל-2 מ"מ גשם אפקטיבי תהיה כפולה. באירוע בעל כמה אורדינטות של גשם, ניתן להשתמש בעיקרון הסופרפוזיציה, על פיו ההידרוגרף שיתקבל הוא סכום כל ההידרוגרפים של כל האורדינטות, כמוצג באיור 13. לשם הרחבה לגבי צורת החישוב ניתן לפנות לפרק 5.5 ב- (Raghunath, 2006).

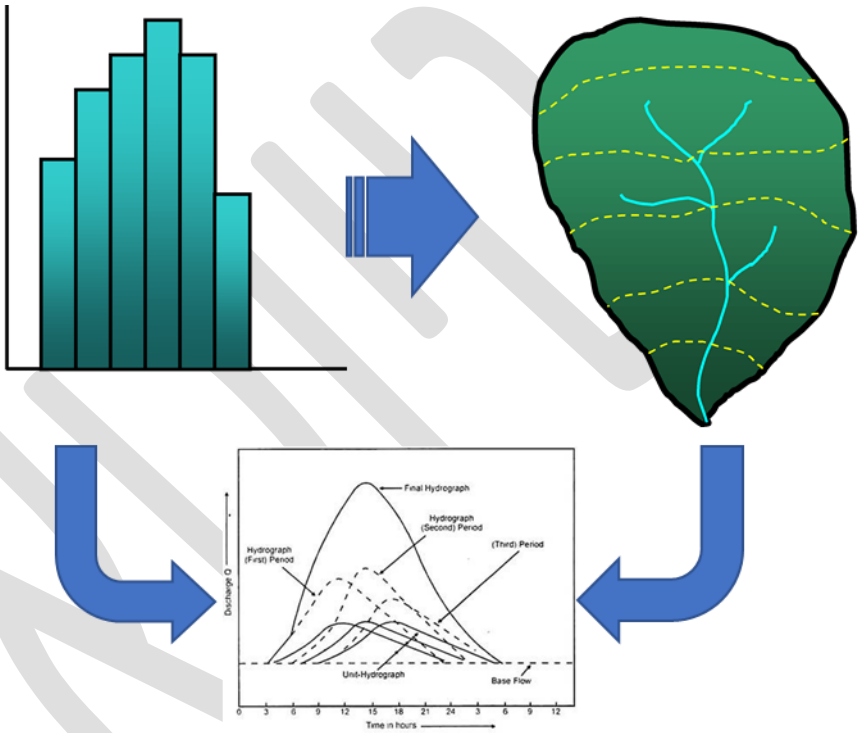


איור 13| הידרוגרף יחידה מורכב למספר אורדינטות של גשם (Raghunath, 2006, עמ' 132 פרק 5.5)

6.4.3.1. הידרוגרף יחידה בשיטת *Clark*

ב-1945 פיתח Clark[137] הידרוגרף יחידה הנקרא Instantaneous Unit Hydrograph (IUH), שנוקט בשיטה אחרת, בה מחלקים את האגן למספר אזורי משנה (אין להתבלבל עם אגני משנה). החלוקה תיעשה לפי קווי הילוך גיאות (איזוכרונות) בעלי משך זהה לאירוע הגשם, כלומר לפי משך הזמן שלוקח לנגר להגיע למוצא האגן. לכל אורדינטת גשם בכל אזור, תחושב הספיקה הנוצרת מהגשם האפקטיבי ובמוצא האגן יצורפו ספיקות השיא בתזמון המתאים להילוכי הגיאות של האזורים (איור 14).

היתרון בשיטת IUH לעומת השיטות האמפיריות הוא, שאין צורך בהנחה של גשם אחיד על פני האגן והיא תקפה לכל סוג של אגן ללא תלות במדידות אמפיריות. עם זאת, בכדי שלהידרוגרף יהיה משמעות, יש צורך בלפחות שתי איזוכרונות (שלושה אזורים). בהנחה שרזולוציית הגשם היא 5 דקות, נדרש אגן בעל זמן ריכוז של 15 דקות לכל הפחות על מנת שיהיה טעם בשיטת IUH.



איור 14| הידרוגרף יחידה IUH בשיטת Clark

6.4.3.2. שלבי העבודה לבניית הידרוגרף יחידה בשיטת *IUH*:

א. בניית אירוע גשם – ראה סעיף 6.2.

ב. שרטוט ערוצי הזרימה העיקריים באגן וחישוב משך הזרימה בהם. ניתן לעשות זאת במשוואת מאנינג, ראו סעיף 6.3.3

ג. שרטוט איזוכרונות ברזולוציה 5 דקתית (בהתאם לרזולוציית אירועי הגשם בישראל).

ד. חלוקת האגן לאזורי משנה לפי האיזוכרונות וחישוב גודל האזורים ומקדם הנגר שלהם (ניתן להשתמש במקדמי הנגר בסעיף 6.4.1).

ה. חישוב הגשם האפקטיבי וספיקות השיא של הנגר הנוצרות בכל אזור ובכל צעד זמן.

ו. צירוף כלל הספיקות להידרוגרף אחד במוצא.

[137] (Clark, 1945).

פירוט מלא על השיטה וצורת החישוב ניתן למצוא ב- (Raghunath, 2006, עמ' 393, פרק 17). הסבר תמציתי ניתן למצוא ב-(Ponce & Nuccitelli, 2013) .

6.4.4. מודל גשם-נגר רציף

מודל גשם-נגר ממוחשב מקבל כקלט אירוע גשם ומחשב את הנגר הנוצר. המודל הנפוץ בעולם לתכנון מערכות ניהול נגר עירוניות פותח ע"י הסוכנות הסביבתית של ארה"ב (US EPA) ונקרא SWMM (Storm Water Management Model). ניתן להשתמש במודל זה עבור כל אגן ניקוז, וחובה להשתמש בו (או במודל שווה ערך) באגנים שגודלם עולה על 200 דונם, או בתכניות הכוללות אוגר שתכליתו להשהות נגר.[138]

לצורך שימוש במודל, יש להציב מודל פיזי של אזור העבודה הכולל את חלוקתו לאגני משנה, וכן את מערכת הניקוז המוליכה את הנגר עד למוצא. יש לאפיין את אזור העבודה בשלבים הבאים:

א. חלוקת אזור העבודה לאגני משנה;
ב. אפיון תכונות אגני המשנה;
ג. הצבת מערכת הניקוז הקיימת;
ד. בניית אירועי תכן של גשם;
ה. כיול המודל.

6.4.4.1. בניית מודל *SWMM*

הליך העבודה לבניית המודל כולל את חלוקת אזור העבודה לאגני משנה, כאשר חלוקת האגנים וגודלם, נתונה לשיקולו של המתכנן, תחת מספר עקרונות:

- החלוקה לאגנים צריכה להיעשות למול מערכת ההולכה הקיימת, (טבעית או מערכת תיעול), כך שלכל אגן משנה יהיה מוצא אחד אל מערכת ההולכה. לא יכול להיות אגן עם יותר מעורק אחד. מוצאי אגני המשנה הם צמתים ושוחות ניקוז במערכת ההולכה.
- החלוקה צריכה להיעשות כך שיתקבלו אגנים אחידים בתכונותיהם. בעיקר הדברים אמורים לגבי שיפוע, סוג קרקע ותכסית. במידה ומתקבל אגן שאינו אחיד (למשל, שיפוע תלול שהופך למתון, או יותר מסוג קרקע אחד), יש לפצלו כך שיתקבלו אגני משנה אחידים.

6.4.4.2. אפיון תכונות אגני המשנה

לאחר שאזור העבודה חולק לאגני משנה, יש לאפיין את תכונותיהם של האגנים. להלן הנחיות לתכונות העיקריות אותן יש לאפיין:

- שיפוע (Slope) - השיפוע הממוצע של פני השטח באגן הניקוז. חשוב להבדיל בין שיפוע פני השטח לשיפוע מערכת ההולכה, ואין להכניס ערך של שיפוע מובלי הניקוז. ישנם כלים אוטומטיים במערכת GIS- לחישוב השיפוע מתוך DTM (Digital Terrain Model).
- אחוז השטח האטום (Imperv %) - יש לסכום את השטחים האטומים בפועל (גגות, כבישים, חניות וכו') ולחלק בשטח אגן המשנה. בעבר היה נהוג להעריך את השטח האטום מתוך מקדמים התלויים בייעוד הקרקע, אולם כיום עדיף לחשב את השטח האטום באמצעות כלי Image classification בממ"ג.
- מקדם חיכוך מאנינג - את מקדם החיכוך יש להעריך בנפרד עבור השטח האטום והשטח החדיר, ע"פ התכסית ובהתאם לטבלאות מקובלות בספרות. יש לשים לב שלוקחים את המקדם מטבלה המתארת זרימה על פני השטח ולא מטבלה המיועדת לתעלה או צינור.

[138] המודל הוא חינמי וניתן להורדה בכתובת https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm.

- חלחול - החלחול רלוונטי רק לשטח החדיר ומתעלם מהשטח האטום. המודל מאפשר לבחור בין כמה שיטות לחלחול ויש לבחור בשיטה Green & Ampt. הערכים נקבעים לפי סוג הקרקע ויש לקחתם מטבלה 18 שלהלן.

- **טבלה 19: סיווג קרקעות ותכונותיהן הפיזיקליות**[139]

סוג קרקע באנגלית	מוליכות הידראולית ברוויה (מ"מ לשעה)	יניקה (מ"מ)	נקבוביות Porosity	סוג קרקע ע"פ סיווג יואל דן
Sand	120.34	49.02	44%	חולות נודדים
Loamy Sand	29.97	60.96	44%	חמרה
Sandy Loam	10.92	109.98	45%	סיין חולי
Loam	3.3	88.9	46%	רנדזינה חומות ובהירות
Silt Loam	6.6	169.93	50%	קרקעות חומות בהירות לסיות
Sandy Clay Loam	1.52	219.96	40%	טרה רוסה
Clay Loam	1.02	210.06	46%	קרקעות חומות ים תיכוניות, קרקעות אלוביות מדבריות דקות גרגר
Silty Clay Loam	1.02	270	47%	ליתוסולים חומים וסירוזיומים לסיים
Sandy Clay	0.51	240.03	43%	קרקעות חומות כהות
Silty Clay	0.51	290.07	48%	ליתוסולים חומים וקרקעות חומות בהירות לסיות, סירוזיום גירניים
Clay	0.25	320.04	47.5%	גרמוסולים, פרוטוגרמוסוליים בזלתיים, קרקעות חומות בהירות ולסיות

[139] (Miller, 1983 & ,Rawls, Brakensiek).

6.4.4.3. הצבת מערכת הניקוז הקיימת

מערכת הניקוז מתוארת באמצעות אלמנטים משלושה סוגים: צמתים, עורקים ואמצעים לריסון נגר.[140] הצמתים במערכת עירונית הם לרוב שוחות ניקוז, שמחברות במודל (וגם במציאות) בין צינורות. שתי התכונות החשובות ביותר בשוחות הן:

- אינוורט - רום תחתית השוחה, הוא הקובע את שיפוע המובלים שבין השוחות.
- עומק - המרחק בין האינוורט לרום הקרקע.

העורקים יכולים להיות תעלות פתוחות או מובלים סגורים בשלל צורות ויש להציב במודל את המערכת בצורה שתייצג את המציאות נאמנה. ארבעת התכונות החשובות ביותר בתיאור העורקים הן:

- האורך - ניתן למדוד ב-CAD או GIS
- מקדם החיכוך - יש לשים לב לקחת מטבלה מתאימה בספרות למובל סגור או תעלה פתוחה, בהתאם להקשר. במודל של המצב הקיים מקדם החיכוך מהווה לרוב פרמטר עיקרי לכיול (ראה סעיף 6.4.4.5 להלן). במודל של המצב המתוכנן יש להעלות את מקדם החיכוך ב-25% מול המצב הקיים. במובלים חדשים יש לקחת את הטווח העליון שמופיע בטבלה (למשל, אם מקדם החיכוך המקובל לצינורות בטון הוא 0.011-0.015, אז יש לקחת מקדם n=0.015 לצורך תכנון)
- חתך רוחב - יש במודל אפשרויות בחירה רבות לסוגים שונים של מובלים ותעלות.
- היסט כניסה או יציאה - ישנם מקרים בהם מובלי הניקוז מחוברים לשוחות מעל האינוורט (כלומר, לא בתחתית השוחה). חשוב למפות מקרים כאלה במערכת ולייצגם נאמנה במודל, שכן הם משפיעים על שיפועי האורך של העורקים.

בנוסף לצמתים ולמובלים, מודל SWMM ודומיו מאפשרים ייצוג של אלמנטים לריסון נגר, במספר רב של מתארים שונים.

6.4.4.4. בניית אירועי תכן של גשם

יש להכניס למודל אירועי גשם בהסתברות המתאימה בהתאם ליעד נפח ניהול הנגר הנדרש בתכנון. אירוע הגשם ייבנה בהתאם לרשום בסעיף 6.2 לעיל.

6.4.4.5. כיול המודל

סעיף זה רלוונטי במיוחד לתכניות אב עירוניות. המודל צריך להיות מכויל מול מדידות, על מנת לשקף את המציאות כמה שניתן. על הכיול להיעשות מול מספר אירועי גשם שונים באופיים, כאשר שומרים כמה אירועים כקבוצת ביקורת לוודא שהכיול צלח. תנאי הכרחי לכיול הוא קיום תחנת גשם רציפה ואמינה באזור העבודה.

ניתן לכייל את המודל מול 3 סוגי נתונים וכדאי לשלב ביניהן:

א. מדידות מפלס או ספיקה במערכת הניקוז - השיטה הטובה והמדויקת ביותר לכיול היא מול מדידות מפלס. לשם כך יש להציב מדי זרימה/מפלס במספר שוחות ברחבי האגן הרלוונטי במשך חורף אחד לפחות. לאחר מכן מציבים במודל את אירועי הגשם המדוד ומכיילים אל מול מפלסי הזרימה המחושבים במודל. שיטה זו היא הטובה ביותר, שכן היא מאפשרת כיול של מפלס השיא, משך האירוע, צורת ההידרוגרף והילוך הגאות במערכת.

ב. סימני מים - במידה ולא ניתן להציב מדי מפלס, האופציה השנייה בטיבה היא למדוד סימני מים לאחר אירועי נגר. לשם כך יש צורך לפתוח שוחות מיד לאחר אירועי זרימה ולמדוד את סימני המים שנשארו לאחר האירוע. בניגוד למדידות מפלס רציפות, סימני מים נותנים רק את מפלס השיא ולא את כל ההידרוגרף ולכן ניתן לכייל רק את ספיקת השיא.

[140] ישנם אלמנטים נוספים, כמו קולטנים, שהצבתם במודל נתונה לשיקולו של המתכנן.

ג. דיווחי הצפה - אפשרות שלישית היא למפות את דיווחי ההצפה שהתקבלו בשנים האחרונות במוקד העירוני, להריץ את אירועי הגשם הרלוונטיים במודל ולוודא שמתקבלות הצפות בדומה למציאות. חשוב לסנן הצפות עקב סתימה בקולטנים או במובלים ולא לנסות לכייל מולן.

6.5.חישוב נפח הנגר

בכל אגן בו מתוכנן איגום, השהייה, או החדרת נגר; חובה לחשב גם את נפח הנגר השעתי והיומי. באגנים שזמן הריכוז שלהם קטן משעה אחת, נפח הנגר יכול להיות מחושב לפי הנוסחה הבאה:

$$V_{[m^3]} = C \times I_{[mm]} \times A_{[Dunam]}$$

כאשר:

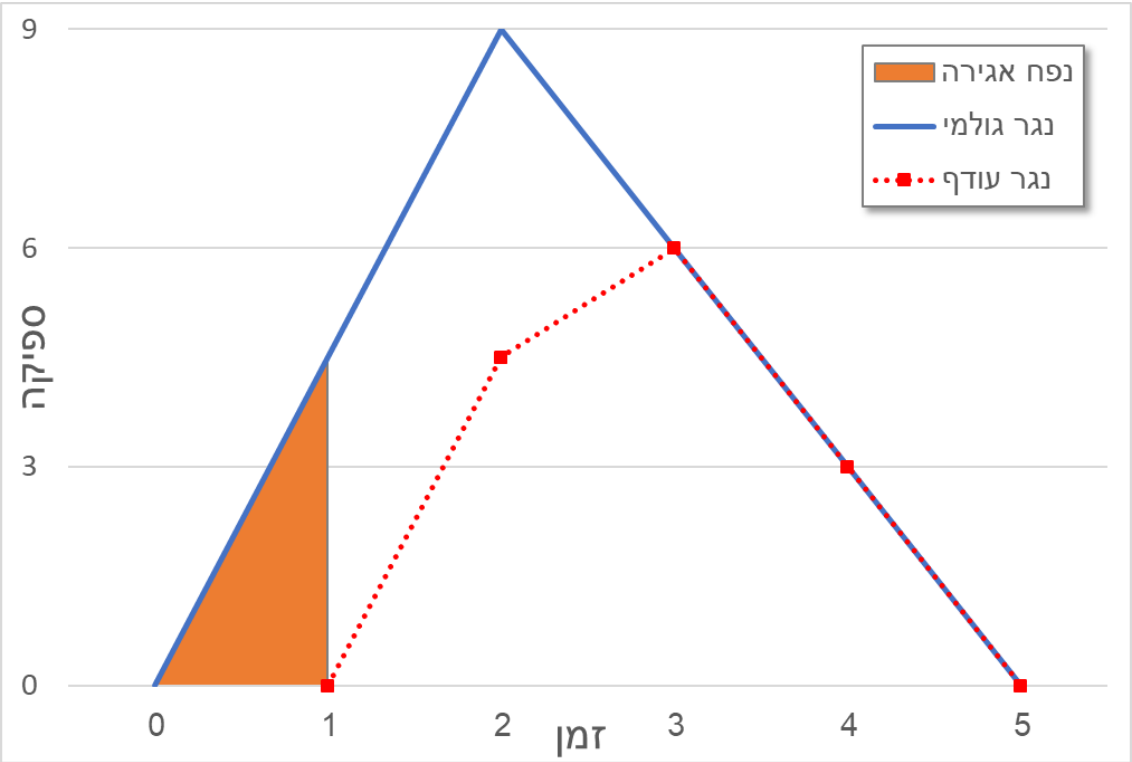
- A הוא שטח האגן בדונם
- I הוא עובי הגשם השעתי או היומי במ"מ
- C הוא מקדם הנגר

מקדם הנגר C יחושב בדומה למוצג בסעיף 6.4.1 בכל אגן שזמן הריכוז שלו קטן משעה אחת. הנפח השעתי יחושב עם עובי גשם שעתי והנפח היומי יחושב עם עובי גשם יומי. במידה וזמן הריכוז גדול משעה אחת או במידה ונבנה מודל גשם-נגר, נפח הנגר יחושב באמצעות המודל.

6.6.חישוב ספיקה רגעית של נגר עודף

בניגוד לחישוב הנפחי, כאשר מחשבים ספיקה רגעית, המנגנון החשוב הוא נפח האיגום, כיוון שהסעת המים בתת הקרקע היא איטית מהיווצרות הנגר. יש להתחשב בכל הנפח הזמין במתקני האיגום והוויסות ובזמן המילוי שלהם, כיוון שכל עוד אלו לא מתמלאים (כולל מערכות חידור מי נגר) לא ייוצר נגר עודף.

איור 15 מדגים בצורה סכמתית את העיקרון של חישוב ספיקת השיא של הנגר העודף, בו הספיקה היוצאת מתחילה רק אחרי שנפח האגירה (המשולש הכתום) התמלא. מרגע זה הנגר העודף מתחיל מספיקה אפס ועולה במקביל להידרוגרף הכניסה (הנגר הגולמי) עד לנקודת השיא. ספיקת השיא של הנגר העודף מתרחשת בנקודת המפגש עם הצד היורד של הנגר הגולמי. מנקודת השיא, שני ההידרוגרפים יורדים ביחד במקרה שמדובר באוגר שהוא יעד סופי (כמוצג באיור 15).



איור 15/ סכמה גרפית של העיקרון של חישוב נגר עודף עבור איגום ללא ויסות

בכדי לבצע את החישוב, יש לבנות תחילה הידרוגרף כניסה, שהוא הנגר הגולמי (אפשר באמצעות הידרוגרף יחידה כמתואר לעיל). הנגר העודף יחושב בקבועי זמן (time steps) בצעדים כדלקמן:

א. להפוך את הספיקה לנפח ע"י הכפלת הספיקה ביחידת הזמן
ב. לחשב ספיקה מצטברת לאורך זמן
ג. לחשב את נקודת הזמן בה הספיקה המצטברת משתווה לנפח האוגר
ד. מנקודה זו, לחשב את נפח הנגר העודף המצטבר
ה. לחשב את הנפח העודף לכל נקודת זמן מתוך הנפח המצטבר
ו. לחשב את הספיקה ע"י חלוקת הנפח בקבוע הזמן

מספר הערות לחישוב המתואר לעיל:

- יש לקחת טווח ביטחון ולהכפיל את נפח האוגר ב-0.8, משום שהנגר העודף מתחיל עוד לפני שהאוגר מתמלא לחלוטין.
- כאשר מדובר במתקן ויסות, יש להוסיף לחישוב לעיל שני אלמנטים המתווספים לנגר העודף:

1. הספיקה היוצאת. לדוגמא, במקרה של חריר שבתחתית המתקן, יש לחשב למתקן גם עקום רום-נפח, להגדיר לכל קבוע זמן את רום המים ובהתאם לו לחשב את הספיקה היוצאת מהחריר[141]
2. נפח האיגום אותו יש להוסיף לצד היורד של ההידרוגרף, כאשר הספיקה פוחתת מהספיקה בה החל הנגר העודף (באיור איור 15 מדובר בספיקה של 4.5).

- לקבוע הזמן של החישוב עשויה להיות השפעה מסוימת על ספיקת השיא והדבר נתון לשיקול המתכנן.
- כאשר קצב הסעת המים בקרקע הינו נמוך, ניתן להזניח חלחול/החדרה/ספיקה בקרקע ואז החישוב יהיה שמרני. במידה וקצב הסעת המים בקרקע הוא משמעותי, אפשר להוסיפו לנפח האיגום, תוך

[141] מחשבון לספיקה דרך חריר: https://www.ajdesigner.com/phporifice/orifice_equation_flow_rate.php מקדם ברירת המחדל הוא 0.6, אולם יש לבדוק את התאמתו למקרה הנדון.

פריסתו בהתאם לקבועי הזמן של החישוב. לדוגמא, עבור קידוח שקצב ההחדרה שלו הוא 60 מק"ש וכאשר קבוע הזמן הוא 5 דקות, אז לכל צעד בחישוב ניתן להוסיף נפח של 5 מ"ק. הזנחת או לקיחה בחשבון של חלחול/החדרה/ספיגה, נתונות לשיקול הדעת של המתכנן.

6.7.פשטי ורומי הצפה

חישוב פשטי ורומי הצפה במרחב, דורש הצבת מודל זרימה דו-ממדי, המתייחס לספיקות מכל אגן הניקוז. מדובר בחישוב מרחבי מורכב, הנדרש להיעשות במסגרת תכניות ניקוז עירוניות ואגניות. עם זאת, במקרים בהם מוצעת בניה בתת הקרקע באזורים בעלי סיכוני הצפות (שקע אבסולוטי, פשט הצפה, אזור הידוע בהיסטורית הצפות), נספח ניהול הנגר מחייב הצגה של פשטי ורומי הצפה, גם אם המידע הדרוש אינו קיים. לעניין זה ראו הסבר בסעיף 6.3.5.

ככל שנדרש להציג את רומי ההצפה ואין בנמצא נתונים זמינים, יש לחשבם. לצורך כך, יש להשתמש בפשטי ההצפה המסומנים בתמ"א 1, תמ"מ או תכנית עירונית, ולהעריך את רום ההצפה ע"י הצלבת גבול הפשט עם הטופוגרפיה, כך שהגובה בו הטופוגרפיה מצטלבת עם גבול פשט ההצפה, הוא רום ההצפה. החישוב יהיה לפי גובה פני הקרקע, שיילקח מגבול פשט ההצפה, בנקודה הקרובה ביותר לאזור הרלוונטי. לשם כך, נתוני הטופוגרפיה צריכים להיות עדכניים וברזולוציה מתאימה. מומלץ לבדוק עוד מספר נקודות קרובות בגבול פשט ההצפה, בכדי להימנע מטעות הנובעת מכשל נקודתי בנתונים.

לגבי פשטי ורומי הצפה שאינם קשורים לנחל, ככל שנבנה מודל גשם-נגר, הדרך הטובה ביותר לחשבם היא באמצעות הוספת שכבת 2D למודל שכבר נבנה. יכולת זו קיימת במספר תוכנות מסחריות. את תוצאות המודל יש לתקף, ככל האפשר, במידע מהשטח, כגון דיווחי הצפה, מידע על בתים שהוצפו, חיפוש ברשת של הצפות ברשות המקומית וסיור בשטח, בכדי לוודא שאת מהימנות המידע. במידה ולא נבנה מודל או שאין ברשות המתכנן תוכנה מסחרית כאמור, יש להעריך את רום ופשט ההצפה בצורה מחמירה, בהתאם לטופוגרפיה כדלקמן:

- במקרה של שקע אבסולוטי, פשט ורום ההצפה המירבי ייקבעו לפי קו הגובה של גבול השקע האבסולוטי בתוספת 10 ס"מ.
- כאשר מדובר באזור בעל היסטוריה ידועה של הצפות, יש לבצע תחקיר ברשות המקומית וברשת על דיווחי הצפות, אותם יש להצליב עם סיור שטח ותשאול התושבים לגבי הערכת גבולות ההצפה. כמו כן, יש להעריך את תקופות החזרה של אירועי הגשם שיצרו את ההצפות, ע"פ מדידות של תחנת גשם רציפה סמוכה. פשט ורום ההצפה יסומנו בהתאם להערכות שיימצאו, בתוספת 50 ס"מ.

7. סל אמצעי ניהול נגר

המדיניות המוצעת קוראת לשלב היבטי ניהול נגר ולגבש תפישה לנושא, כבר בשלבי התכנון הראשוניים, שהביטוי העיקרי שלה הוא בפריסת השטחים הפתוחים, באופן שיאפשר הטמעה מושכלת ויעילה של אמצעי ניהול נגר נופיים והנדסיים (ראה פרק 4 'תכניות מפורטות'). שילוב השניים, הבסיס התכנוני והטמעת האמצעים, יוצרים יחד חשיבה תכנונית שלמה בנושא ניהול הנגר.

האפשרויות לבחירת אמצעי ניהול בשלב קידום תכנית או טרם מתן היתר בנייה הינן מגוונות, ומשתנות בהתאם לשטח התכנית, ההקשר המרחבי והתנאים המקומיים. בחירת אמצעי ניהול הנגר תעשה לאור יעד ניהול הנגר שעל התכנית/ ההיתר לנהל ובהתאם לתשריט והוראות התכנית, מאפייני השטח והסביבה, וברקע בסיסי הנתונים והמידע של נספח ניהול הנגר. מומלץ, שבחירת אמצעי ניהול הנגר תעשה במשותף ע"י אדריכל הנוף וההידרולוג (יועץ הניקוז), בשיתוף עם צוות התכנון. כמו כן, אמצעי ניהול הנגר, יכולים להיות מפורטים ומוצגים, בפירוט שונה, בהוראות ותשריט התכנית, וכן בנספח ניהול מי הנגר, הנספח הנופי ונספח הפיתוח והבינוי.

מטרת פרק זה היא להציע למתכנן ולמוסד התכנון סט מגוון של כלים לניהול נגר, לטובת בחירה ושילוב מושכלים שלהם בתכנית או בהיתר בניה. הפרק מתחיל מפירוט והסבר על אופני ניהול נגר השונים, כך שבכל אופן ניהול נגר, מוצעים מגוון אמצעים, מרמת התכנית עד לרמת המגרש. כל אמצעי מוצג ברקע הסבר והרחבה עליו, מאפייניו, שילובו בשטח, יתרונותיו, חסרונותיו ואיורים מלווים.

הקדמה

גיבוש תפישה לניהול מי נגר בתכנית מפורטת משלב עקרונות לפריסת השטחים הפתוחים, בשילוב עם אמצעי ניהול נגר היוצרים יחדיו חשיבה תכנונית שלמה בנושא. לאחר שתורגמה התפישה התכנונית למסמכי התכנית (ראה סעיף 4.3.3.4 'תכניות מפורטות'), והוטמעה פריסת השטחים הפתוחים בתשריט ייעודי הקרקע, יש לפרט את אמצעי ניהול הנגר, (בהם עוסק פרק זה), במסמכים הבאים: נספח ניהול מי הנגר, הנספח הנופי, נספח הבינוי והוראות התקנון (ראה סעיף 4.4).

האמצעים לניהול מי נגר פועלים במספר מישורים ומשלימים זה את זה, כאשר ישנם אמצעים רבים אשר נותנים מענה ליותר מתפקיד אחד. נהוג לאפיין את אמצעי ניהול הנגר לפי התפקיד העיקרי של האמצעי, אולם למעשה, רוב האמצעים נותנים מענה ליותר מתפקיד אחד. כך לדוגמא, התפקיד העיקרי של אמצעי ׳גן גשם׳ הינו ׳חלחול׳, אך הוא נותן מענה גם לתפקידי ׳איגום והשהייה׳ של נגר.

סל אמצעי ניהול הנגר מחולק לאמצעים שעיקר תפקידם הוא (1) הולכת נגר (2) השהייה ואיגום (3) חלחול לתווך הבלתי רווי (4) החדרה לתווך הרווי (5) טיוב איכות הנגר. להלן נציג כל תפקיד:

הולכת נגר עוסקת באמצעים להובלת הנגר, באופן המאפשר את פיזורו המיטבי באתר, עד להשתלבותו באמצעי ניהול נגר אחרים.

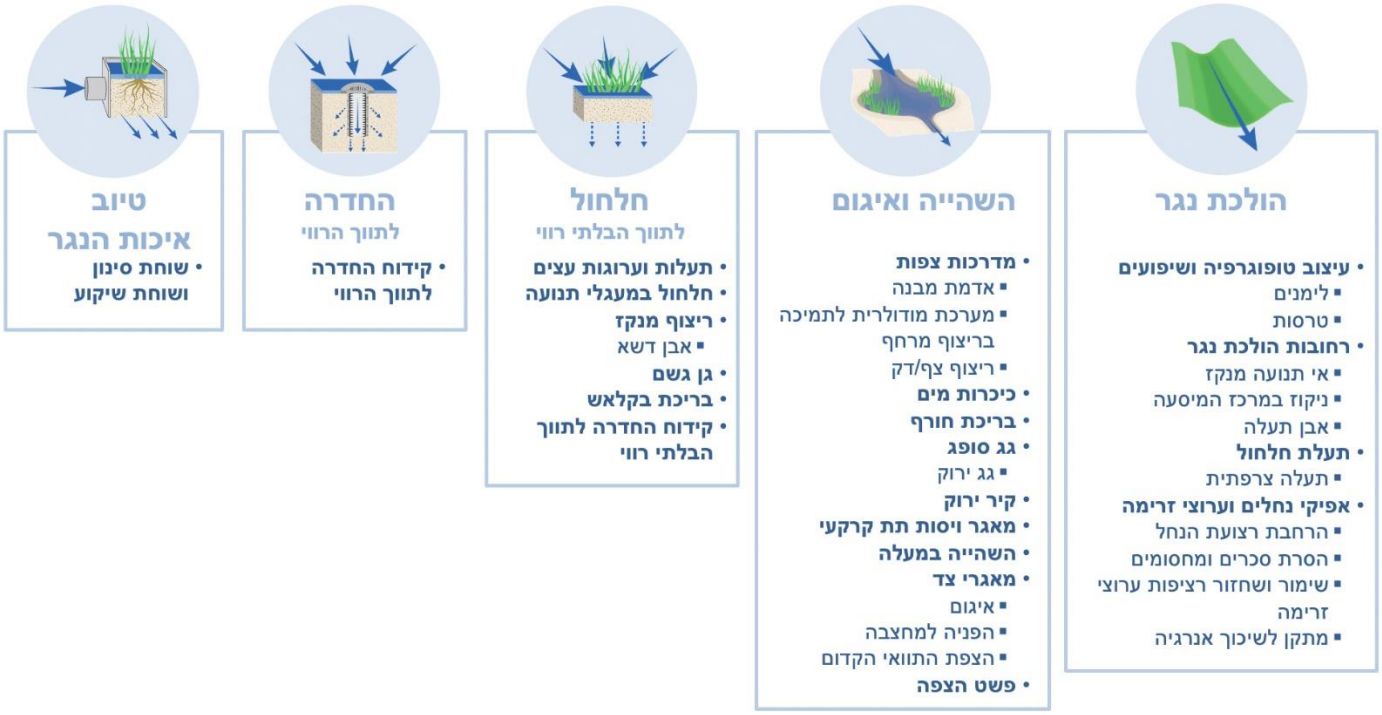
השהייה ואיגום הם אמצעים המאפשרים היקוות של הנגר. במקרה של איגום, מדובר במקום היקוות סופי, בעוד שהשהייה מאפשרת שחרור הדרגתי של הנגר, עד להשתלבותו באמצעי ניהול נגר אחרים.

חלחול לתווך הבלתי רווי[142] הכוונה למנגנון החלחול הטבעי של הנגר לקרקע, שמאפשר תהליכי סינון טבעי לנגר. בהתאם לגובה מי התהום וסוג הקרקע, הנגר יכול גם להגיע ולהעשיר את שכבת מי התהום. שימוש במנגנוני חלחול מחייב בחינה של איכות הקרקע ורמת הזיהום בה, במטרה להימנע מהחדרה של מזהמים לקרקע ולמי התהום.

[142] התווך הבלתי רווי הוא האזור בתת הקרקע שנמצא בין פני הקרקע למי התהום ואינו רווי במים.

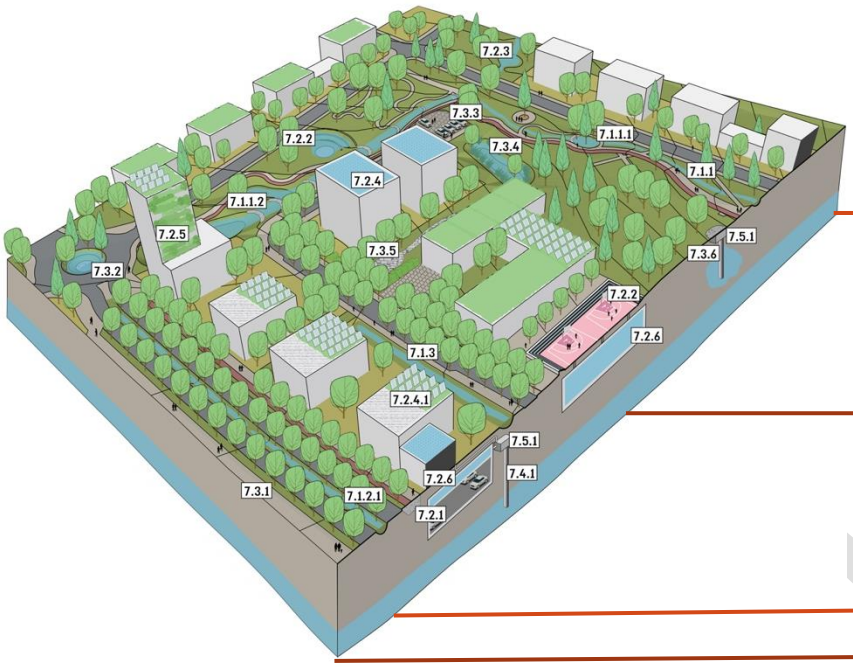
החדרה לתווך הרווי[143] הינה הזרמה מלאכותית של הנגר מפני הקרקע ישירות למי התהום באמצעות קידוח בקרקע. שימוש במנגנוני החדרה מחייב בחינה של איכות הנגר המוחדר, מחשש לסכנת זיהום מי תהום.

טיוב איכות הנגר הינו אמצעי משלים לאמצעי ניהול מי נגר אחרים, שתפקידו לפרק ולהרחיק מזהמים המצויים בנגר, טרם חלחול ו/או החדרה אל הקרקע ומי התהום.



איור 16 חלוקה לאמצעי ניהול נגר לפי תפקיד עיקרי

[143] התווך הרווי מתייחס לאותם אזורים בתת הקרקע שהינם רוויים במי תהום והגבול העליון שלהם הוא שפת מי התהום.



הולכת נגר

7.1.1 - עיצוב טופוגרפיה ושיפועים
7.1.1.1 -לימנים
7.1.1.2 - טרסות
7.1.2.1 - אי תנועה מנקז
7.1.3 - תעלת חלחול
7.1.5 - מתקן שיכוך אנרגיה

השהייה ואיגום

7.2.1.1 - אדמת מבנה
7.2.4 - גג סופג
7.2.4.1 - גג ירוק
7.2.4 - כיכרות מים
7.2.5 - קיר ירוק
7.2.6 - מאגר ויסות תת-קרקעי

חלחול

7.3.1 - תעלות וערוגות עצים
7.3.2 - חלחול במעגלי תנועה
7.3.3 - ריצוף מנקז
7.3.4 - גן גשם
7.3.5 - בריכת בקלאש
7.3.6 - קידוח החדרה לתוך הבלתי רווי

החדרה

7.4.1 - קידוח החדרה

טיוב איכות הנגר

7.5.1 - שוחת שיקוע

איור 17 / המחשת שילוב אמצעי ניהול נגר בתכנון עירוני

7.1.הולכת נגר (Flow Control)

האמצעי העיקרי להולכת נגר כיום הינו התיעול הקלאסי באמצעות צנרת, מובלים ותעלות. עם זאת, ניתן להוליך מי נגר במגוון אמצעים, באופן המאפשר פיזור מיטבי שלהם באתר, עד להגעתם לאמצעי ניהול נגר אחרים - אזורי איגום/ השהייה/ חלחול/ החדרה/ טיוב איכות הנגר או להובלתו למערכת התיעול. התפישה המקיימת של ניהול נגר, מתעדפת פתרונות נופיים, המשתלבים באופן רגיש ומושכל בסביבה ובמערכות האקולוגיות, ומקטינים את נפחי הנגר וספיקות השיא. בנוסף, לפתרונות הנופיים, יתרונות בהיבטי הסביבה, הכלכלה והחברה, והם מהווים ניצול מיטבי של הקרקע, שהינה משאב במחסור בישראל.

7.1.1. עיצוב טופוגרפיה ושיפועים

א. הסבר כללי

מי נגר הם מי הגשם המצטברים על פני הקרקע, לאחר שחלקם התאדו וחלקם חלחלו לקרקע, עד קצה גבול יכולת הספיגה של האדמה. ככל שהקרקע רוויה יותר, האדמה חדירה פחות למים, כלומר החלחול מועט ואין המים מספיקים להיספג באדמה. ככל שפני השטח משופעים יותר מצטבר מהר יותר נגר במורד, ובנפחים גדולים יותר. נגר עילי הוא מרכיב עיקרי במחזור המים, וגורם עיקרי לשחיקת אדמה כתוצאה ממים.

ככלל, העדיפות היא להתבסס על תנאי הטופוגרפיה הקיימים של הקרקע, עם התערבות מינימלית, ככל הניתן. תכנון נופי של טופוגרפיה, (הפרשי הגובה בין נקודות שונות בשטח), עם דגש על מיקום השטחים הפתוחים ויצירת שיפועי ניקוז עילי (תהליך בו נעים מים ממקום גבוה לנמוך), שמטרתו הובלת הנגר למקומות הנמוכים, מהווה בסיס משלים להטמעת אמצעי ניהול נגר נוספים.

ב. שילוב בתכנית

בעיצוב הטופוגרפיה של שטח התכנית, השטחים הנמוכים, ימוקמו באזורי הקרקע המתאימים לחלחול והחדרה. שבילים ומעברים יפותחו במפלס גבוה ממפלס הגינון, עם הסדרת שיפועי ניקוז לגינון. הפרשי הגבהים יתוכננו בשיפוע מינימאלי של 2% (2 ס"מ למטר אורך), ככל הניתן, הנדרש להבטחת ניקוז תקין. בנוסף, תשולב צמחייה בשטח, במטרה לאחוז את האדמה ולמנוע סחף קרקע.

ג. יתרונות

עיצוב טופוגרפיה הינו כלי תכנוני נופי שיכול להשתלב בכל תכנית, ושימוש מיטבי בו, יאפשר ניהול נגר יעיל בתכנית, בעלויות נמוכות.

תכנון הטופוגרפיה בתחילת הליך התכנון ובאופן שמתייחס לערוצי הזרימה הטבעיים, תורם לניהול נגר יעיל, מונע סחף קרקע (תנועת חלקיקי הקרקע כתוצאה מתנועת מים מהירה על-פני הקרקע), ומצמצם עלויות עבודות עפר, מערכות הנדסיות, תחזוקה לאורך זמן וצורך בקירות תמך. תכנון שגוי של הטופוגרפיה עלול לצמצם ולייקר את מגוון אמצעי ניהול הנגר הרלוונטיים לתכנית, וכן, לייצר בעיות ניקוז והצפות בשטח, שיהיה קשה לפתור בעתיד.

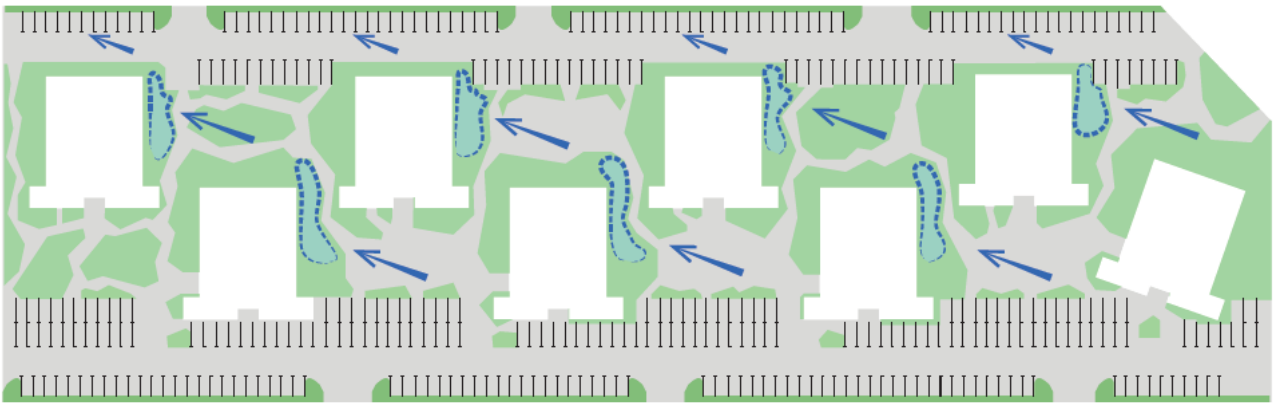
ד. חסרונות

תכנון ערוצי זרימה חדשים, השונים מתוואי ערוצי הזרימה הטבעיים, במהלך הזמן, יוצרים התחתרות של זרימת המים בקרקע, שמנסים לשוב ולזרום בנתיב המקורי.

האופן שבו נתפס כיום כלי זה הוא כאמצעי נופי, שאיננו אמצעי ניהול מי נגר, ועל כן, פעמים רבות אינו נכלל בחישוב הכולל של פתרונות מי נגר ומכאן נוצרת כפילות עם תכנון מערכות הנדסיות, שמוסיפות עלויות תכנון, הקמה ותחזוקה.

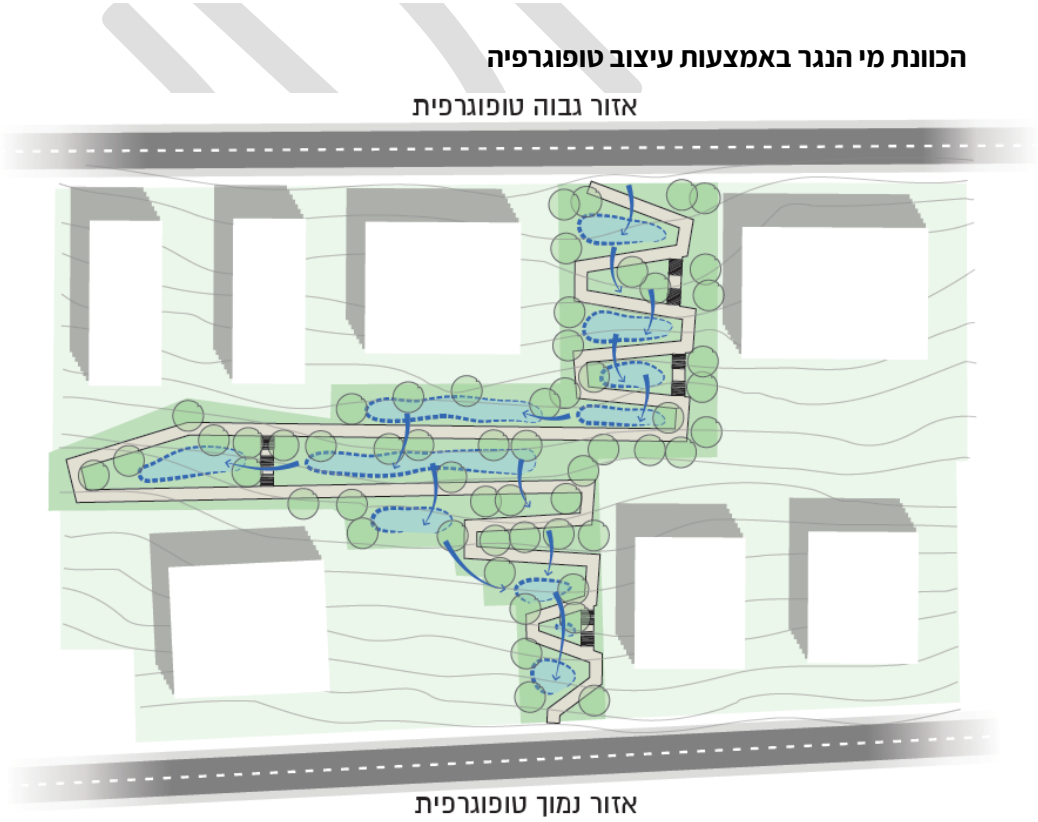
בהקשר זה נציין כי בכל הנוגע לשילוב אמצעי ניהול נגר בשטחים הפתוחים, בצד תועלות ניהול הנגר יש לבחון גם את ההשלכות והנזק הצפוי לסביבה הטבעית, על מנת לקבל החלטה מושכלת, ולמזער, כמה שניתן, נזקים עתידים.

יצירת נקודות נמוכות מגוננות לאיסוף והשהיית נגר

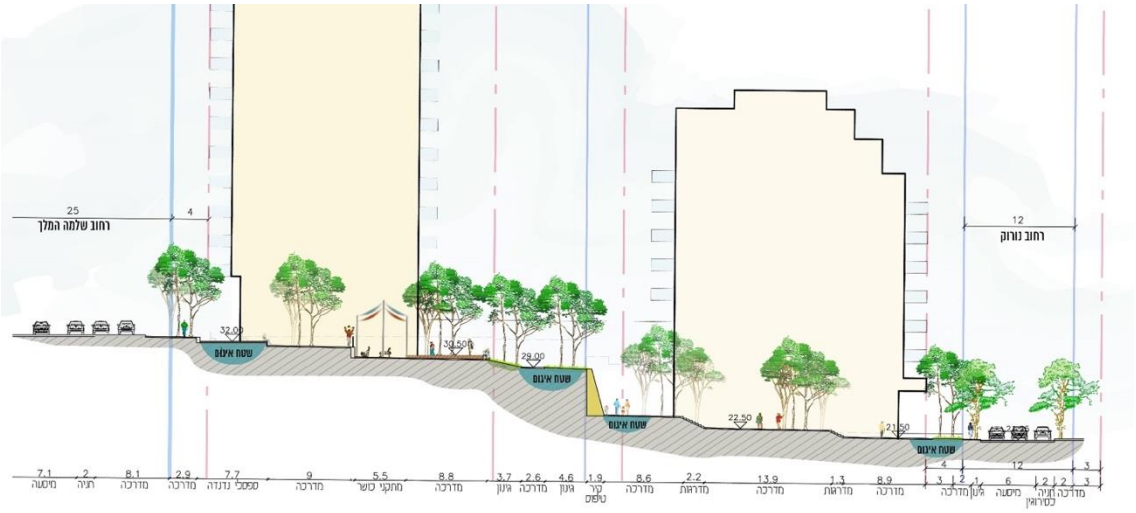


איור 18 | הכוונת מי הנגר באמצעות עיצוב טופוגרפיה לאזורים הנמוכים

הכוונת מי הנגר באמצעות עיצוב טופוגרפיה



איור 19 | הכוונת מי הנגר באמצעות עיצוב טופוגרפיה

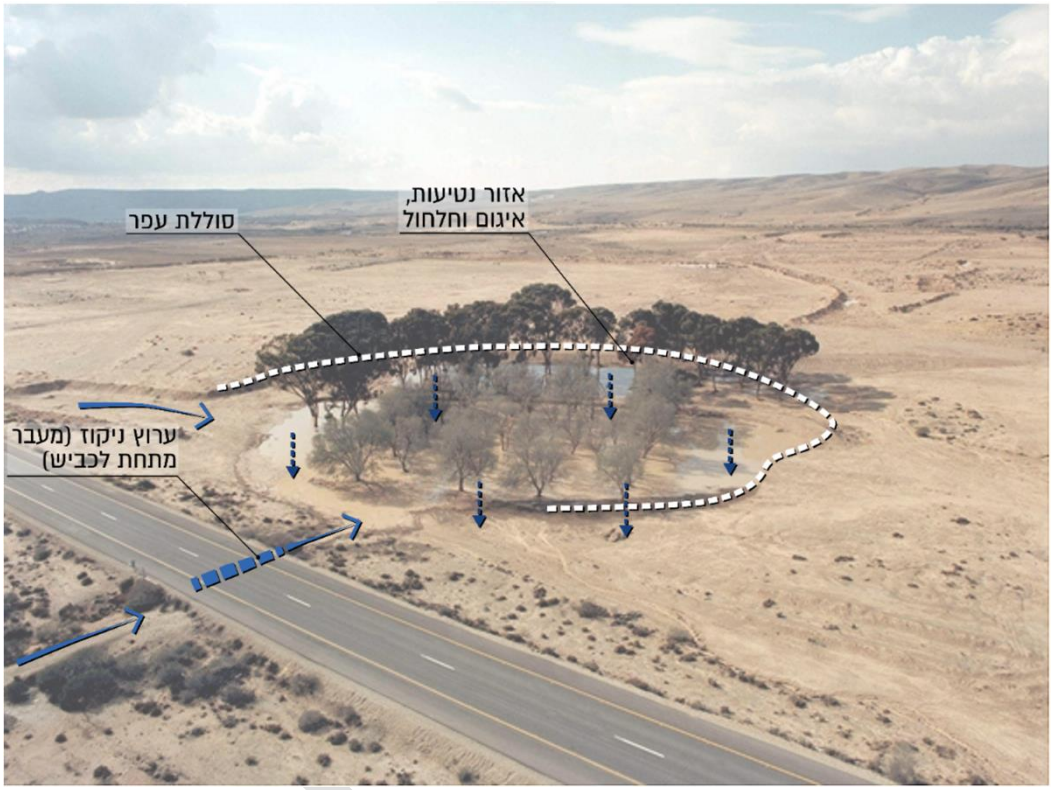


איור 20 | הכוונת מי הנגר באמצעות עיצוב טופוגרפיה

7.1.1.1. לימנים

לימן היא מערכת טבעית ללכידת מי שיטפונות, בהשראת שיטות השקייה נבטיות, המשמש לאיגום מי גשם באזורים מדבריים. הלימן נוצר על ידי סוללת עפר מלאכותית / בולדרים / גביונים, הנבנים באפיק נחל אכזב. מדובר בסוללת עפר בצורת האות "ח" שבסיסה משוקע, ומפתח הסוללה פונה אל מעלה אפיק הנחל. בעת זרימה בנחל, הסוללה מאטה את הזרימה הנגדית, עוצרת סחף, וכן מאפשרת איגום נגר להשקיית עצים, לפי גובה הסוללה ועומק הגומחה בבסיסה. הלימן נבנה מאדמה מקומית, ועבודת התחזוקה העיקרית שלו היא פינוי הסחף, שיכול להיעשות אחת לחורף או למספר חורפים.

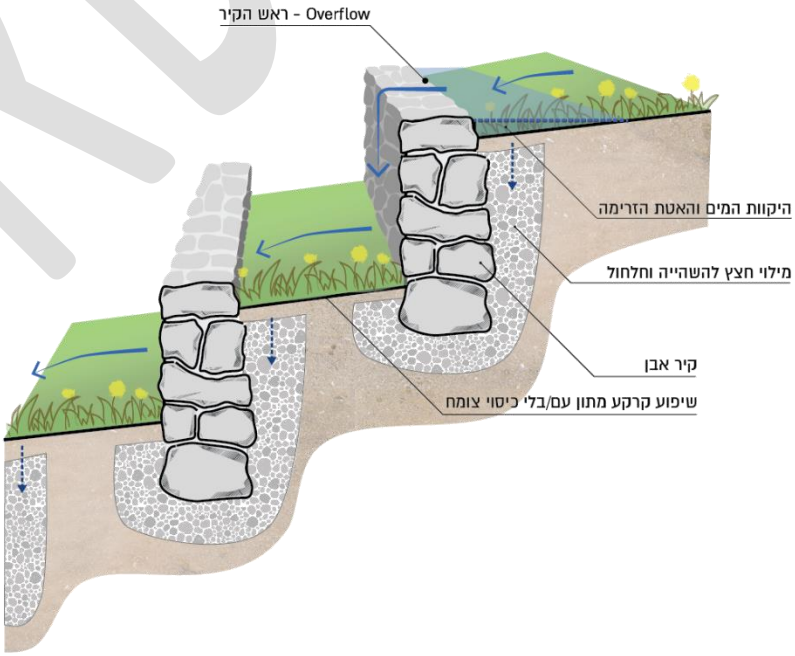
השילוב בין מיקום הלימן בערוץ הזרימה לקרקע האטומה, יוצר את התנאים המיטביים לתפקודו. בתכנון הלימן, יש לבחון גם את משכי הזמן הפוטנציאליים לאגירת הנגר, על מנת שלא ייווצרו 'מלכודות אקולוגיות' מקומיות, דוגמת משך זמן ארוך דיו על מנת למשוך דו חיים להטיל ביצים וגם להשלים גלגול חיים. שימוש בלימן מתאים בפרט בנחלי אכזב ובשטחים פתוחים נרחבים, עם זאת ניתן ליישום בכל חלקי הארץ, בקני מידה מגוונים.



7.1.1.2. טרסות

טֶרֶסָה היא ׳מדרגה חקלאית׳, המשמשת אמצעי לוויסות זרימה ולחלחול נגר, ומקורה בשיטות חקלאות מסורתיות. הטרסות ממוקמות באזורים תלולים / משופעים, ובנויות כקירות תמך נמוכים, הממוקמים בשיפוע נגדי לכיוון זרימת המים. מיקום ומבנה הטרסה מאפשר את צמצום והאטת זרימת הנגר, מונע סחף קרקע, ומאפשר חלחול, כתלות בסוג הקרקע. ניתן לשלב בבסיס הטרסה גם קידוחי החדרה, וכן, ישנה עדיפות לבנות את הטרסה מאבן מקומית. בתכנון והטמעת טרסות בשטחים פתוחים, ייבחנו יתרונות ניהול הנגר אל מול הפגיעה הפוטנציאלית היחסיות בהתערבות בשטח הטבעי.

איור 22 | טרסות בסמוך למעלה אדומים - קק"ל



איור 23 | הולכת נגר באמצעות טרסות

7.1.1.3. הולכת נגר ברחובות

א. הסבר כללי

מדיניות ניהול הנגר נולדה, בין היתר, מהעלויות והמורכבות הגבוהה בתכנון ובשדרוג של מערכות הניקוז (תיעול) ברחובות, וכן, מהקושי שלהן לתת מענה למניעת הצפות באזורים עירונים אינטנסיביים ומתחדשים. גם מערכות התיעול העירוניות הטובות בעולם, באירועי קיצון, אינן מסוגלות לטפל בכמויות הנגר בתחומן, והתוצאה היא הצפת רחובות וכבשים. תכנון רחובות נכון, הינו פתרון חכם ויעיל להולכת עודפי נגר למשכי זמן קצרים בעת אירוע קיצון, מבלי לגרום נזק לסביבתם. יתרה מכך, הספיקות הפוטנציאליות שרחוב יכול להוליך גדולות בהרבה מהספיקות בצינורות תיעול סגורים.

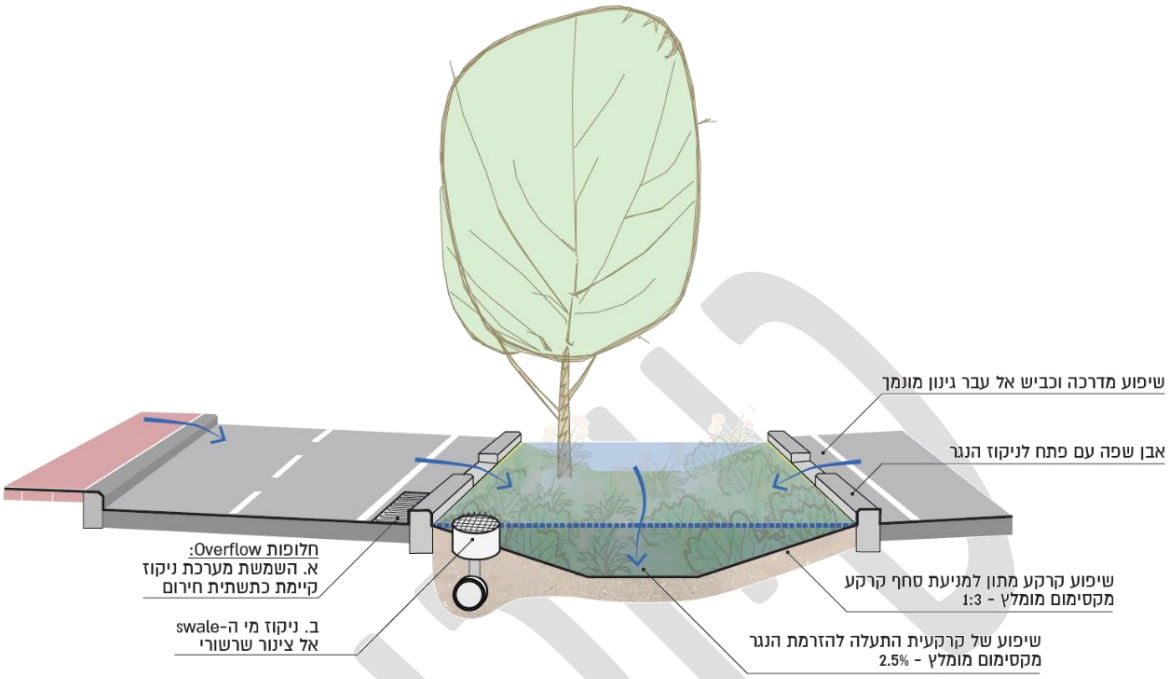
הולכת נגר ברחובות היא כלי לניהול נגר המתבסס על המרחב הקיים, ועל כן היא יעילה וחסכונית. אמצעי זה יכול לצמצם את הצורך בהקמה ושדרוג של מערכת תשתית התיעול העירונית וכן, ויכול לסייע במידה רבה בעמידה ביעדי מניעת ההצפות הקבועים בנספח הנחיות ב4'.

להלן התנאים ההכרחיים לאפשר הולכת נגר ברחובות:

- שיפוע אורכי בכביש של 0.5% לכל הפחות, ללא שקעים אבסולוטיים (0.5 ס"מ ל100 מ')
- מפתני הכניסה לחניות בתת הקרקע יהיו גבוהים בלפחות 25 ס"מ מציר הכביש

7.1.1.4. אי תנועה מנקז

ברחובות רחבים, בהם משולב אי תנועה מרכזי, ניתן להפנות את שיפוע המסעות למרכז הדרך, כך שאי התנועה יהיה שקוע ביחס אליהן ויקלוט את מי הנגר. אי התנועה יתוכנן כ״תעלת חלחול״ (ראה פירוט לעיל), יאסוף, יוביל, ישהה ויתרום לחלחול מי הנגר, ובכך יפחית את ספיקות הנגר. במקרים בהם קיים חשש לפגיעה בשכבות מבנה הכביש, ניתן לשלב פתרונות מקובלים למניעת זרימת מים אופקית, כמקובל בתכנון רחובות (ערוגות ופתחי נטיעה).



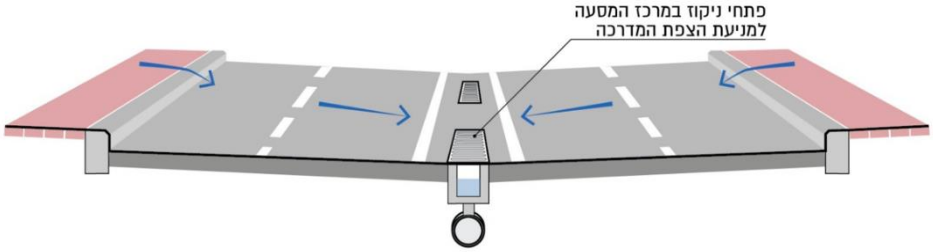
איור 24 | הולכת נגר באמצעות אי תנועה מנקז

איור 25 | תעלת חלחול לפני שתילת צמחיה, רחוב הגלעד בפרדס חנה. תכנון הידרולוגי וצילום: אורי מורן

7.1.1.5. ניקוז במרכז המסעה

גם ברחובות בהם אין איי תנועה, ניתן להוביל נגר על ידי הפניית שיפוע הרחוב והנמכת הציר המרכזי לאורך הכביש, והטמעת צנרת התיעול בבסיסו. בשגרה, הנגר מהכביש יצטבר במרכז הציר ויופנה למערכת התיעול. באירועי גשם חריגים, כשמערכת התיעול לא תעמוד בהולכת כמות הנגר שנוצרה, עודפי הנגר יזרמו לאורך מרכז הכביש, לפרק זמן קצר. ישנן מספר תועלות מתכנון הרחוב באופן זה:

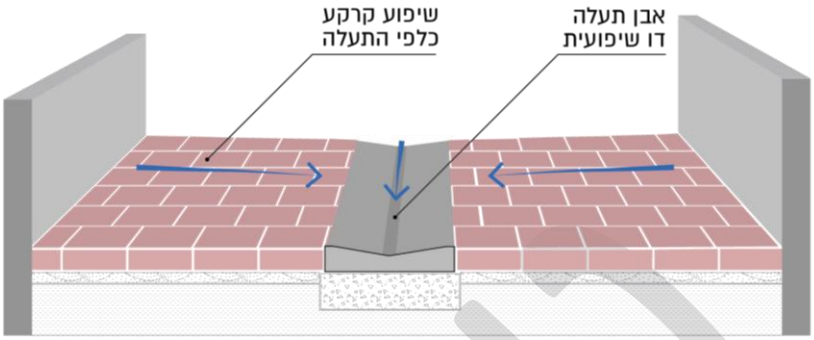
- מניעת התזת מים על הולכי הרגל במדרכה
- הרחקת ערוץ זרימת המים מהמדרכות, החניות והבינוי
- צמצום וייעול הקולטנים לאורך הכביש - דרוש קולטן אחד במרכז הכביש במקום שנים בצדדיו. בנוסף, ניתן לתכנן את הקולטן בצורת חריץ לאורך הכביש, שהינו פתח יעיל יותר מבחינה הידראולית ומועד פחות לסתימות.



איור 26 | הולכת נגר באמצעות תעלת ניקוז במרכז הכביש

7.1.1.6. אבן תעלה

שילוב אבן תעלה בחתך הרחוב, מתאים לרחובות צרים או לשבילים. מטרת האמצעי להרחיק את המים מהמבנים והמגרשים הפרטיים. בנוסף, ע"י ריכוז זרימת הנגר לאורך התעלה, ניתן לשמר על רצועות הליכה מוגנות מההצפות. הפניית מי הנגר לתעלה תעשה באמצעות תכנון שיפועים, שגובה התעלה יהיה נמוך מסביבתה.



איור 27 | הולכת נגר באמצעות אבן תעלה

7.1.2. תעלת חלחול

א. הסבר כללי

ערוץ זרימה מגונן ומתון, קיים או מתוכנן, שתפקידו להשהות ולחלחל נגר, תוך כדי הובלתו לאזור איגום, חלחול החדרה של נגר או למוצא ניקוז. התעלות יכולות להיות מכוסות בדשא או עשבייה גבוהה, שיכולים גם לחפות על עומק התעלה.

ב. שילוב בתכנית

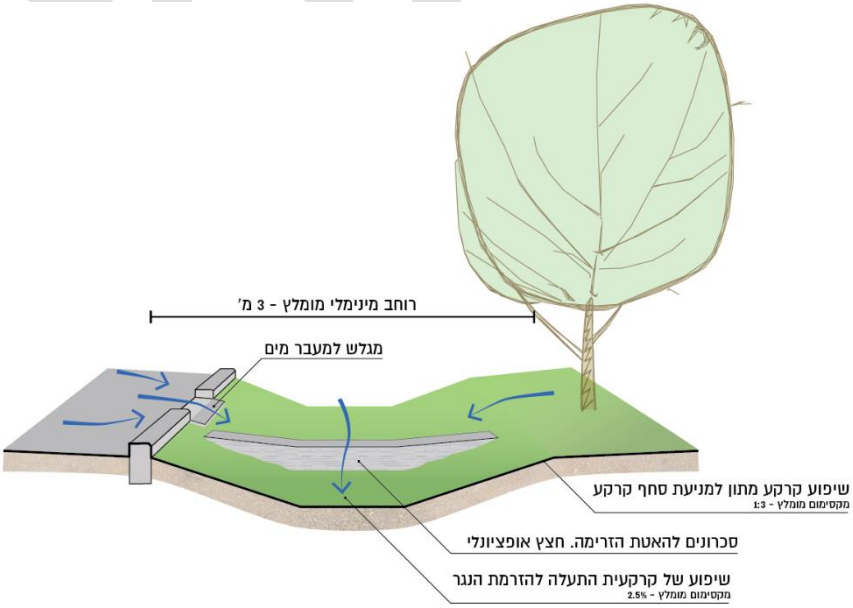
ניתן לתכנן את התעלה כחלק משטח ציבורי רחב יותר, שישמש גם כפשט הצפה בעת אירועי קיצון. התעלה יכולה להשתלב בצדי דרכים כשטח ירוק לגינון ונוי. שילוב התעלה יעשה בהתאם לטופוגרפיה של השטח, וביחס לצירי הניקוז ולסוג הקרקע ויכולת החלחול שלה, (אף שניתן להחליף קרקע). ניתן לשלב את התעלה בשטחים ציבוריים שיכולים להכיל רצועות לינאריות, כגון: צדי כבישים ודרכים, מגרשי חנייה ופארקים. במקרים מסוימים התעלה יכולה להחליף תיעול תת קרקעי. ככל שהתכנית או ההיתר כוללים תוואי ורצועת דרך, תכנונית, ישנה עדיפות למקם אותם בסמיכות ולאורך צירי הניקוז הטבעיים. בשנה הראשונה להקמת התעלה, טרם התבססות השורשים, יש חשש לסחף קרקע בתעלה. לכן כדאי להקים את תעלות החלחול באביב, ולשזרע ולהשקותן בקיץ הראשון.

ג. יתרונות

מווסת את זרימת הנגר, משמש לחלחול והעשרת מי תהום ומונע סחף קרקע.
הנגר מהווה השקיה טבעית לצמחייה בתעלת החלחול, ובכך תומך בהתפתחותה. חיזוק בתי הגידול בשטח העירוני תורמים לאיכות האוויר והקרקע ומעודד יצירת בתי גידול טבעיים. מאחר שמדובר באמצעי נופי רך, ניתן להטמיע את תעלות החלחול במרחבים בנויים הסובלים מהצפות, בהתאם לתנאי ומאפייני השטח, ובשיתוף אנשי מקצוע מתחום הניקוז והקרקע.

ד. חסרונות

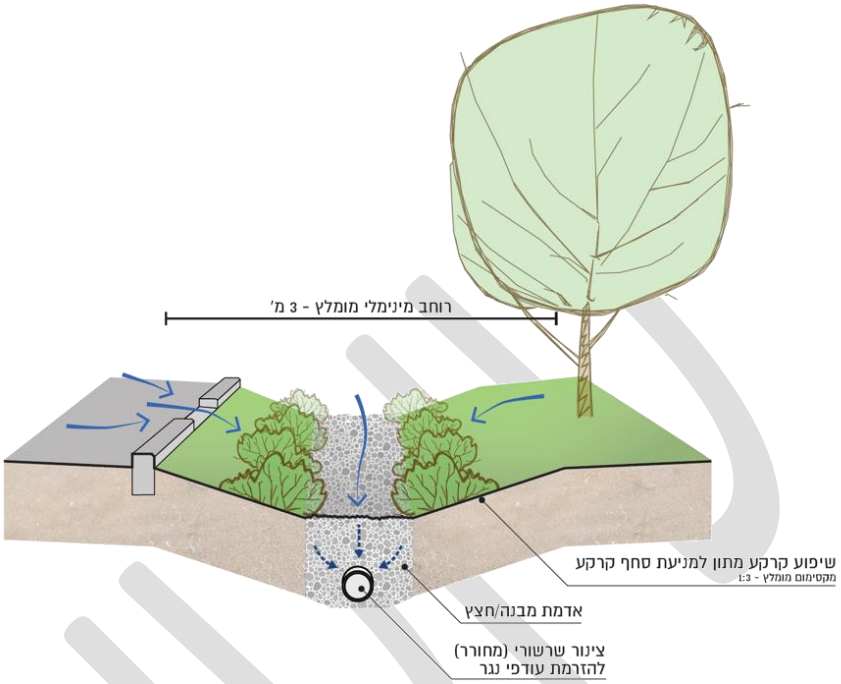
מאחר שמדובר באמצעי הכולל חלחול טבעי לקרקע, באזורים בהם ישנה קרקע מתנפחת, קיים חשש לפגיעה ביציבות בינוי ותשתיות סמוכים לתעלה. נדרש ניקוי עונתי או לאחר אירוע גשם שהביא עמו סחף וזיהום.



איור 28 | הולכת נגר באמצעות תעלת חלחול

7.1.2.1. תעלה צרפתית *(Infiltration Trench)*

תעלה צרפתית היא תעלת חלחול (ס' 6.2.4.), שכוללת ערוץ עמוק יותר שנמצא בבסיסה, ומטרתו לשמש כמצע סופג נוסף לסינון וחלחול נגר, ללא שינוי פני הקרקע. כמו כן, ניתן להגדיל את כושר ההולכה של התעלה הצרפתית ע"י הנחת צינור שרשורי (מחורר) בבסיסה, שינקז את הנגר שנצבר בתחומה.



איור 29 | הולכת נגר באמצעות תעלה צרפתית

7.1.3. אפיקי נחלים וערוצי זרימה

א. הסבר כללי

הנחל, יובליו וערוצי הזרימה המובילים אליו, משמשים להסעת מים הנקווים ברחבי אגן הניקוז, עד לשפך הנחל. אפיקי נחלים וערוצי זרימה, שאינם מוגדרים בתמ"א 1, עוברים בשטחים הפתוחים והבנויים, הן במרחב העירוני והן במרחב הכפרי. עוצמת המים והתפשטותם במרחב הבנוי עלולה לייצר סכנה ממשית לחיי-אדם, לרכוש ולתשתיות.

לאורך הערוץ זרימת המים מושפעת מהתוואי, חתך הנחל, השיפוע האורכי ואופי כיסוי הגדות והקרקעית. מאפיינים אלו משפיעים על תפקודי הנחל השונים, ויכולים לתמוך ביצירת המערכת האקולוגית הניזונה ממנו ומקיימת אותו. ערוצי זרימה ונחלים רבים ברחבי הארץ תועלו באמצעים הנדסיים, שהשפיעו על צורתם הטבעית ופגעו בתפקודים אלו. בנוסף לניתוק הנחל מסביבתו, הקטין התיעול את חלחול המים בערוצים עצמם, (מרכיב חשוב בריסון נגר, במיוחד באזורי ההר, אך לא רק), והגביר את מהירות זרימת המים למורד האגן. בכך גדלו הזרימות בנחלים הן בספיקת השיא והן בנפח הכולל של המים. שחזור מאפייניו הטבעיים של הנחל מסייע בהשבת תפקודיו האקולוגיים ורתימתם להאטת הזרימה ולוויסות ספיקות שיא באירועי קיצון.

ב. שילוב בתכנית

על מנת להשיב את תוואי הנחל וערוצי הזרימה למצבם הטבעי, ולהשתמש בהם כאמצעי להולכה ולוויסות נגר, יש להתייחס להיבטים הבאים:

- מצב קיים - מיפוי האגנים במרחב התכנית וזיהוי הנחלים וערוצי הזרימה. בתהליך המיפוי ישולבו גם תעלות ומובלים חפורים המשתתפים בפעולות ניקוז השטח באירועי סופה משמעותיים.
- מצב היסטורי / טבעי - במידת האפשר, יש למפות את מצב הנחל טרם התערבות אנושית. תוואי הנחל ההיסטורי מופיע פעמים רבות במפות מנדטוריות בקנ"מ 1:20,000. ניתן גם ללמוד על מצב הערוץ מתצ"אות היסטוריות ומתכניות עדות של הביצוע, ככל שישנן.
- ספיקות תכן - חישוב זרימות התכן (ספיקות שיא, נפחים והידרוגרף) בערוצים עבור אירועים שיטפוניים בהסתברויות שונות (1:50 שנים או יותר). יש לקחת בחשבון את השינויים (בעיקר הבינוי) שעבר אגן הניקוז הרלוונטי וכן את השינויים שהאגן עתיד לעבור (תכניות עתידיות). החישוב יתבצע ע"י הידרולוג ויכלול התאמה של האמצעים הנכונים לוויסותם.
- קביעת זרימות סביבתיות - זרימות סביבתיות הן אופייני זרימה (איכות מים, מהירות זרימה, מפלסים ושינויים בעונות השנה), המאפשרות קיום בית הגידול בערוץ. הזרימות הסביבתיות ייקבעו ע"י אקולוג אקווטי.

איסוף המידע יאפשר את הבסיס לתכנון מחדש של מרחב הנחל ולשחזור ערוצי הזרימה הטבעיים. התכנון יכלול את תוואי הזרימה, עומק הקרקעית, חתך התעלה, שיפועה, רוחב אפיק הנחל והגדות, וכן מילוי/חפירה של מרחב הנחל, לפי הצורך. ככלל, פתרונות מרובים במעלה ולאורך תוואי הנחל עדיפים על פתרונות קצה גדולים במורד.

שחזור ערוצי זרימה טבעיים יאפשרו לאורך זמן את שיקום המערכות האקולוגיות ויחזקו ויגוונו את בתי הגידול הלחים באגן. חשוב לציין, שתהליכי השיקום הטבעיים אינם מידיים ויש להכין תכנית הדרגתית המתחשבת בתקופת המעבר הנחוצה להשבת התפקוד ההידרולוגי המלא של הנחל.

ג. יתרונות

כיסוי הגדות בצמחיה, האטת הזרימה, הארכת התוואי והסרת חסמים לאורך הערוץ מקטינים את הספיקות במורד, מונעים הצטברות סחף וכן דורשים פעולות תחזוקה תקופתיות בלבד. שיקום הנחל יתמוך גם בתפקוד המערכת האקולוגית בסביבת הנחל ובאגן, ויביא ליצירת מרחבי נחל נעימים ומזמינים כבסיס לפעילות פנאי ונופש בחיק הטבע, פעילויות חינוכיות ועוד.

ד. חסרונות

השבת ערוצי זרימה טבעיים והרחבת הגדות עשויה להגביל ביעודים ושימושים אחרים. הפרויקט מתחילתו ועד לשיקום הנחל עלול להימשך מספר שנים.

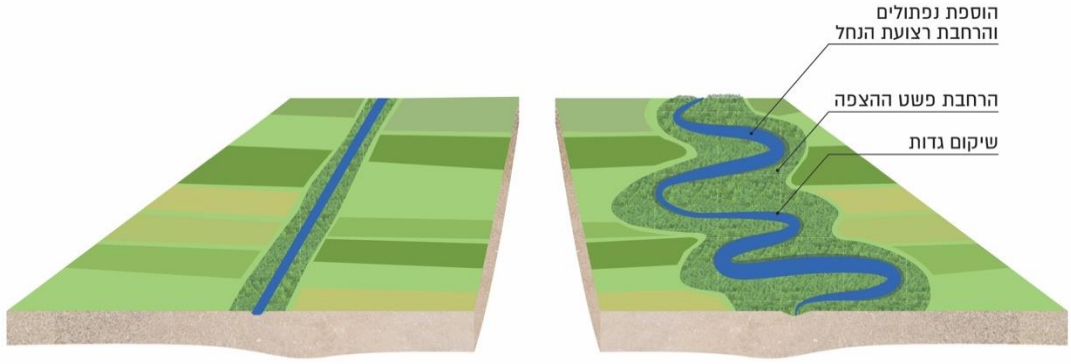
7.1.3.1. דוגמאות להולכה באפיקי נחלים וערוצי זרימה

א. הרחבת רצועת הנחל

מיתון שיפועי הגדות על ידי הרחבת חתך הנחל ושמירה על שטח החתך, תורם לייצוב הקרקע ולהגדלת המגע בין המים הזורמים לקרקעית הנחל והגדות. עליית המפלס מגדילה את שטח המגע של המים עם הגדות ובכך מייצרת וויסות טבעי לספיקות חזקות באירועי קיצון. הגדלת המורכבות בחתך הנחל ולאורכו יוצרת שטח מגע גדול יותר, שוברת את זרימת המים ומאיטה אותה. הרחבת הרצועה, בצורה שמגדילה את שטח החתך וכתוצאה מכך את נפח הערוץ, מגדילה את יכולת האיגום שלו.

ב. שיקום תוואי הנחל והשבת נפתולים

לרוב ערוצי זרימה ונחלים שהוסטו מהתוואי הטבעי שלהם, הוסדרו מחדש כתעלות בטון ישרות. בטבע, פריצת תוואי ערוצי הזרימה ונחלים מתהווה לאורך שנים, באופן המשפיע ומושפע מתנאי השטח, כך שנוצרות הטיות ונפתולים לאורכו. פיתוליות התוואי הטבעי מגדילה את אורך התוואי וכן מקטינה את מהירות הזרימה ובכך מאריכה את משך זרימת המים בו ומקטינה את עוצמת הזרימה. התנאים הגיאוגרפיים לאורך התוואי יכולים לסייע לתכנון וייצוב הגדות, לדוגמא, קרקעית הנחלים שנבנתה לאורך אלפי שנים על ידי סחף גס (קולוביאלי), יציבה ועמידה יותר. בנוסף השבת הנחל לתוואי הטבעי שלו, מאפשרת גם למערכת האקולוגית המקומית, שהתפתחה לאורכו במשך אלפי שנים, להשתקם ולהתחדש.



איור 30 | השבת נפתולים

איור 31 | שיקום תוואי הנחל והשבת נפתולים, עין נמפית. תכנון: ליגם פרויקטים סביבתיים

ג. מיתון גדות וייצוב באמצעות שיקום צמחי

שיפועים מתונים של חתך הערוץ, מרחיבים את שטח הרצועה הלחה הנוצרת ע"י זרימות הבסיס בנחל. הצמחייה החיה והיבשה אוחזת את הקרקע ועל ידי כך מאטה את הזרימה העוברת דרכה, ומהווה אמצעי משלים לוויסות ספיקות והשקעה של סחף קרקע. שימוש במינים מקומיים של צומח טבול וצמחיית גדות, מהווה בסיס לשיקום בתי גידול לחים ברצועת הנחל ולחיזוק תפקודה כמסדרון אקולוגי החוצה את אגן ההיקוות.

איור 32 | שיקום והרחבת חתך הנחל, נחל חביבה. צילום רשות ניקוז שרון

ד. שיחזור אגמים או ביצות

בעבר, מישורי החוף התאפיינו בביצות שתרמו לוויסות זרימות שיטפוניות ולשמירה על איכות המים במורדות הנחל. בית גידול ביצתי בתוואי הנחל הוא למעשה תוצר של גדות נחל רחבות בשיפוע זניח. פעולות הניקוז של תחילת המאה ה-20 ייבשו וצמצמו את בתי הגידול הביצתיים מהנוף המקומי, עד כדי סכנת הכחדה. שיחזור מרחבים המשמשים כבריכות חורף יספק נפח אגירה לריסון נגר. כמו כן, השבת בתי גידול אלו והמגוון הביולוגי הרב המאפיין אותם, תתרום רבות להעשרת הנוף הטבעי ולמערכת האקולוגית של מרחבי הנחלים בארץ. בערים, שיחזור מרחבים טבעיים אלו יתרום לפיתוח אתרי טבע עירוניים לפעילויות חינוך, פנאי ונופש. כמו כן, מרחבים המשמשים כבריכות חורף מספקים נפח אגירה לריסון נגר.

איור 33 | שיחזור אגמים או ביצות, פארק הרצליה. תכנון: שלמה אהורונסון אדריכלים

ה. מאגר גיא

יצירת סכר בערוץ זרימה או נחל בשטח הררי ומחורץ, יכולה לשמש להשהיה של זרימות שיטפוניות בתוואי הערוץ. באזורים הררים גובה הגדות והשיפוע שלהן נגזרים ישירות מהטופוגרפיה הטבעית. בשל הצורך לשמור על רצף הידרולוגי קבוע לקיום המערכת האקולוגית בנחל, נדרש סכר עם פתח בתחתית (חריר), שאינו מפריע לזרימות הבסיס. בצורה זו ימתן הסכר את ספיקות השיא בלבד, במהלכן המים יושהו בגיא הנחל. גובה הסכר, שיפוע הנחל וחתך הערוץ יקבעו את נפח האיגום. ספיקות הבסיס של הנחל וגודל הפתח ישפיעו על משך ריקון המאגר. פתיחת תחתית הסכר מונעת הצטברות סחף בקרקעית, ובכך מצמצמת מאד את עלויות התחזוקה.

ו. הסרת סכרים ומחסומים של זרימות הבסיס

איגום והאטה של זרימת המים באמצעות סכירת ערוצים קוטעת את הרצף ההידרולוגי ולכן בעלת השפעות אקולוגיות שליליות. הקמת סכר עשויה לגרום לייבוש מורד הנחל ואף להביא להצפות במעלה. סוללת הסכר דורשת תחזוקה תקופתית, לרבות פינוי סחף. מסיבות אלו, וכן, מהסכנה הנשקפת במקרים של פריצת סכרים במהלך זרימות שיטפוניות, אמצעי זה אינו מומלץ כחלק ממערך ניהול הנגר באגן. השבת ערוצי הזרימה לתוואי הטבעי היא התשתית עליה נסמכת המערכת האקולוגית ושיקום רצועת הנחל.

ז. שיקום וחיבור מחדש של נחלי אכזב (עונתיים)

רשת הנחלים וערוצי הזרימה באגני הניקוז מורכבת בעיקרה מנחלי אכזב וערוצי זרימה מקומיים, שחלקם הגדול אינו מסומן בתמ"א 1. מופע הערוצים תלוי בעונה ובמשטר הגשמים השנתי, כך שבעונות שחונות מופע הערוצים עלול להיטשטש עד כדי כך שתאושר בניה על האפיק. משמעות הבניה היא חסימה / הסטת תוואי הזרימה / סגירת הערוץ בתעלות ניקוז. שיקום נחלי האכזב והשבת מאפייניהם הטבעיים, חשוב ברישות וחיבור מחדש של המערכת האקולוגית ברחבי האגן, ובפרט של בתי הגידול הלחים. השבת תפקוד רשת הנחלים במעלה ובייחוד במרחב הבנוי המופר כאמצעי להשהיה וניהול הנגר יסייעו רבות בהפחתת העומס על תשתיות הניקוז במורד.

איור 34 | שיקום וחיבור מחדש של נחל פרדסים בסמוך לשכונת נווה-שרת בתל-אביב. תכנון וצילום: ליאב שלם.

7.1.4. מתקן שיכוך אנרגיה

א. הסבר כללי

בריכה או חפיר מלאים באבנים בגדלים שונים, המשמשים לוויסות זרימה, לאיגום ולהשהיית נגר. עוצמת הזרימה של המים נשברת במצע האבנים, ולאחר מכן, המים ממלאים את החללים בין האבנים, וכך לבריכה תפקיד משמעותי בריסון וויסות הנגר.

ב. שילוב בתכנית

ניתן למקם במקומות בהם יש התמודדות עם יציאת נגר בעוצמות גבוהות, לדוגמא, בממשקים בין מוצא ניקוז עירוני לשטח הפתוח (כדוגמת נחל, יער). בנוסף, הבריכה יכולה לשמש בקני מידה שונים, גם כאמצעי לשיכוך זרימה, איגום והשהייה, בתוך שצ"פים עירוניים.

ג. יתרונות

ניתן לייצר חפירה עמוקה מבלי להידרש להיבטי הבטיחות הנלווים לבריכה במרחב הציבורי, מאחר והחפירה מלאה באבנים. מאפשר שימוש בחומרים מקומיים והשתלבות בסביבה.

איור 35 | שילוב בריכות ותעלות שיכוך בשטחים פתוחים ביער ירושלים. צילום: רחלי קולסקי

7.2. השהייה ואיגום (Retention-Detention)

מנגנוני השהייה או איגום נגר, מבוססים על אלמנטים המכילים את הנגר, ובכך מאפשרים את אגירתו, או לחילופין, שחרור הדרגתי של הנגר, לפני העברתו לפתרונות ניהול נגר משלימים. ההבדל בין השהייה לאיגום הוא שאיגום הוא מקום ההיקוות הסופי של הנגר, כך שנפח הנגר היוצא קטן, בעוד שהשהייה היא מיקום זמני לנגר, אשר אינה משנה את נפח הנגר (למעט אובדן), אלא משחררת את המים בקצב איטי יותר, ביחס לזרימה הטבעית.

7.2.1. מדרכות צפות

א. הסבר כללי

מערכת להשהיה וחלחול נגר, הבנויה מתחת לריצוף חדיר. המנגנון הוא של קולטן דו כיווני, שראשית, מעביר את הנגר אל מתחת למדרכה, ואת הנגר העודף שנוצר (overflow), מוליך לפתרון קצה, קידוח החדרה או למערכת התיעול.

ב. שילוב בתכנית

מדרכה צפה מסוגלת לאחוז מים בכל השטח עליו בנויה לרבות ברצועת התשתיות הסמוכה, וניתנת ליישום ברחובות, כיכרות, שטחי חניה וגגות ירוקים.

ג. יתרונות

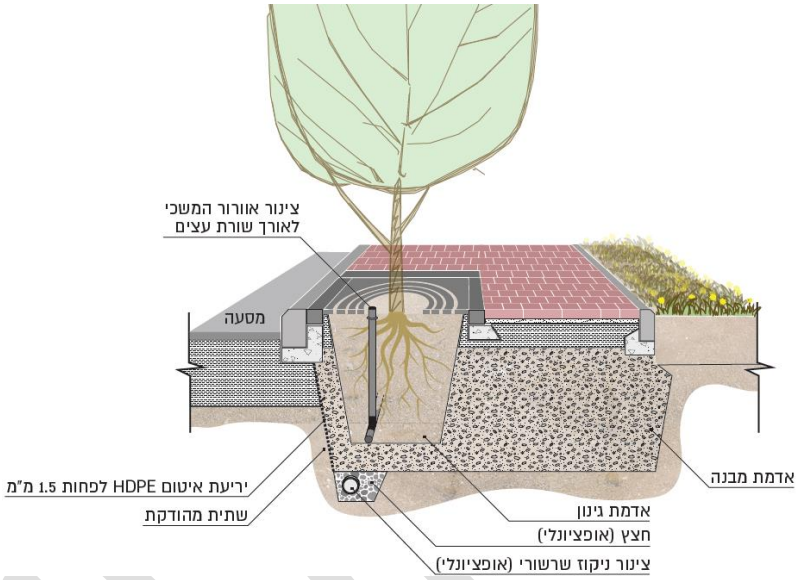
ניצול יעיל של הקרקע העירונית האינטנסיבית, בשימוש רב שכבתי בשטחים המרוצפים, ללא הפרעה לתפקודם בשגרה ובאירוע הגשם, בנוסף, לאפשרות ניהול נפח נגר משמעותי בשטחים אלו, ע"י השהייה והולכת נפח נגר תחתיהם. ניתן לשלב באופן מיטבי, בין אזורי ההשהיה לבתי גידול לעצים ושטח למעבר תשתיות.

ד. חסרונות

עלויות הקמה גבוהות באופן יחסי.

7.2.1.1. אדמת מבנה

מצע תשתית יציב למדרכות ולמיסעות, המבוסס על שכבות אגרגטים בגדלים שונים. האגרגטים ננעלים אחד עם השני בתהליך הכבישה, שנעשה ללא הידוק מלא, יוצרים מצע יציב בעל חללים בהם ניתן להשהות נגר ולאפשר חלחול הדרגתי לקרקע. אדמת המבנה מאפשרת שתילת עצים מתחת לתשתיות הדורשות מצע יציב, כגון כבישים, חניות ומדרכות, דבר שלא ניתן לעשות מעל בורות שתילה רגילים. פתרון זה מאפשר את צמצום ההפרעות של בתי השורשים על יציבות המדרכה. אדמת מבנה יכולה להיות הפתרון המתאים ביותר לניהול נגר ברחובות עירוניים צפופים, שאין בהם אפשרות לפתרונות אחרים.

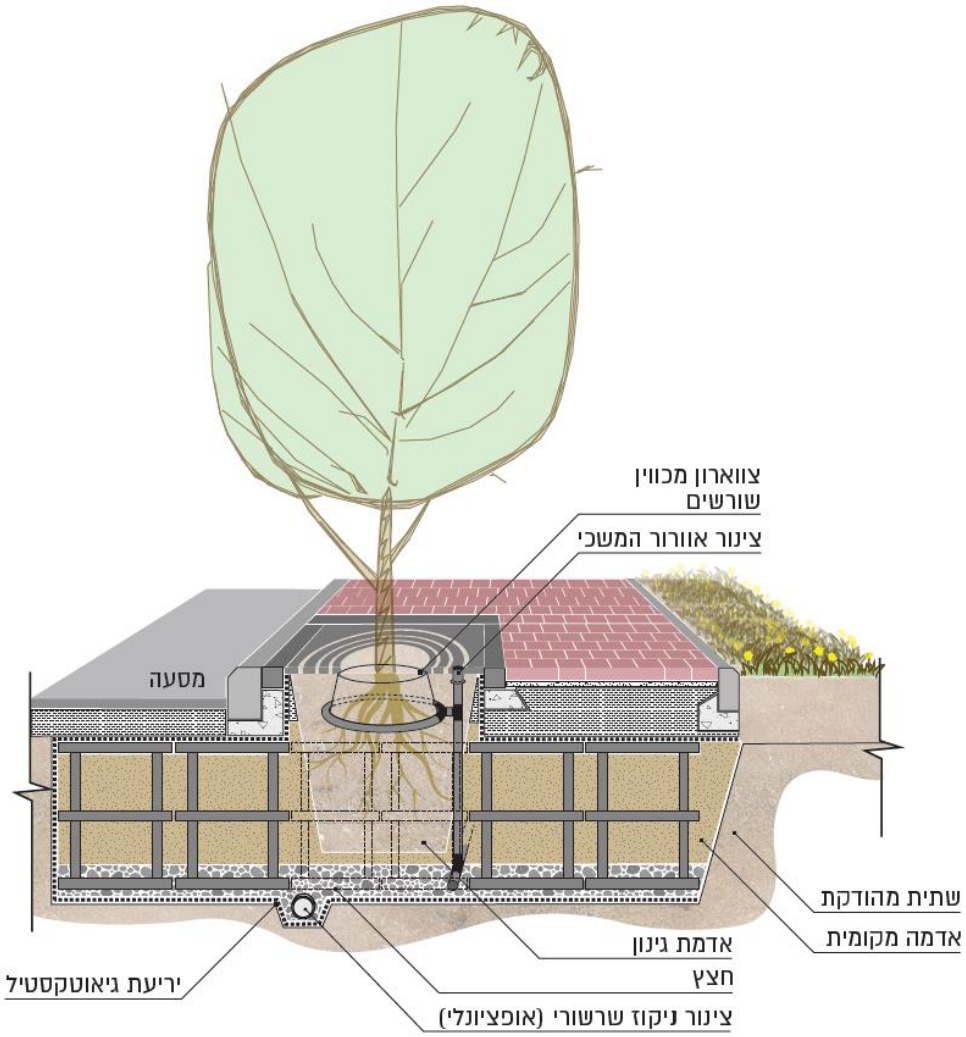


איור 36 | השהיית מי נגר באמצעות מדרכות צפות

7.2.1.2. מערכת מודולרית לתמיכה בריצוף מרחף

מערכת להשהיה וחלחול נגר, המבוססת על שלד מודולרי קונסטרוקטיבי, שיושב בתת הקרקע, ועליו מונח ריצוף, כך שלא נדרש הידוק הקרקע. פתרון זה מאפשר השהיית מי נגר בתאים (חללים) שנוצרים ואת חלחול הנגר לקרקע. בנוסף, המערכת מאפשרת מעבר חופשי של תשתיות לאורך ולרוחב התאים, וכן, ניתן להשתמש בקרקע המקומית למילוי הקונסטרוקציה.

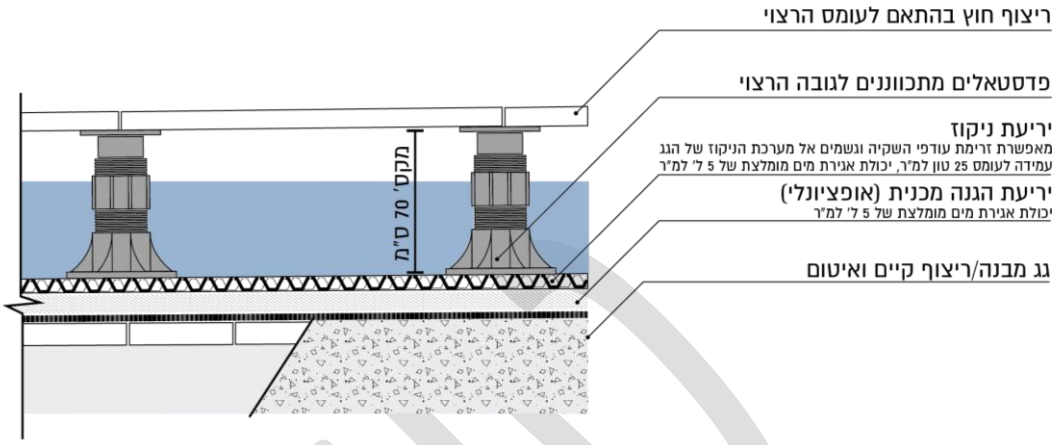
המערכת המודולרית מרחיבה את מרחב הגידול של עצי הרחוב. לנוף העץ ועלוותו יתרונות בתפיסת נגר והגדלת האידוי, בנוסף, שורשי העץ משפרים את המוליכות ההידראולית של הקרקע, ובכך קצב ונפח החלחול גדלים. כמו כן, הפתרון מאפשר צמצום ההפרעות של בית השורשים על יציבות המדרכה.



איור 37 | השהיית מי נגר באמצעות מערכת מודולרית לתמיכה בריצוף מרחף

7.2.1.3. ריצוף צף / דק

ריצוף המותקן על גבי רגליות או קונסטרוקציה קלה אחרת, המאפשר מרווח בין תקרת מרתף לבין מישור הריצוף. המרווח מאפשר השהייה ואיגום של מי נגר. פתרון זה מתאים לרחבות מרוצפות; מצריך עלויות הקמה ותחזוקה גבוהות יחסית; ותשומת לב מיוחדת לניקוז מיטבי של הגג / מישור הריצוף, למניעת מקרים של מים עומדים.



איור 38 | השהיית מי נגר באמצעות ריצוף צף

איור 39 | ריצוף צף על גבי פדסטלים

7.2.2. כיכרות מים

א. הסבר כללי

שטח פתוח בסביבה העירונית הבנויה, שבשגרה מתפקד כרחבה ציבורית לשימושים שונים (כיכר עירונית, מגרש ספורט, אמפיתיאטרון וכו'), ובמהלך אירוע גשם, מוצף ומתמלא בנגר. בהצפת השטח הוא מתפקד כאזור איגום והשהייה, עד להובלתו להמשך טיפול באזורי איגום/ השהייה/ חלחול/ החדרה/ טיוב, או במערכת התיעול. כיכר מים משלבת אגני איגום והשהייה בעומקים ונפחים שונים, ונותנת מענה להשהיית נגר בשיא האירוע, ובכך מסייעת למערכת התיעול העירונית להתמודד עם נפחי הנגר בשיא אירוע גשם.

ב. שילוב בתכנית

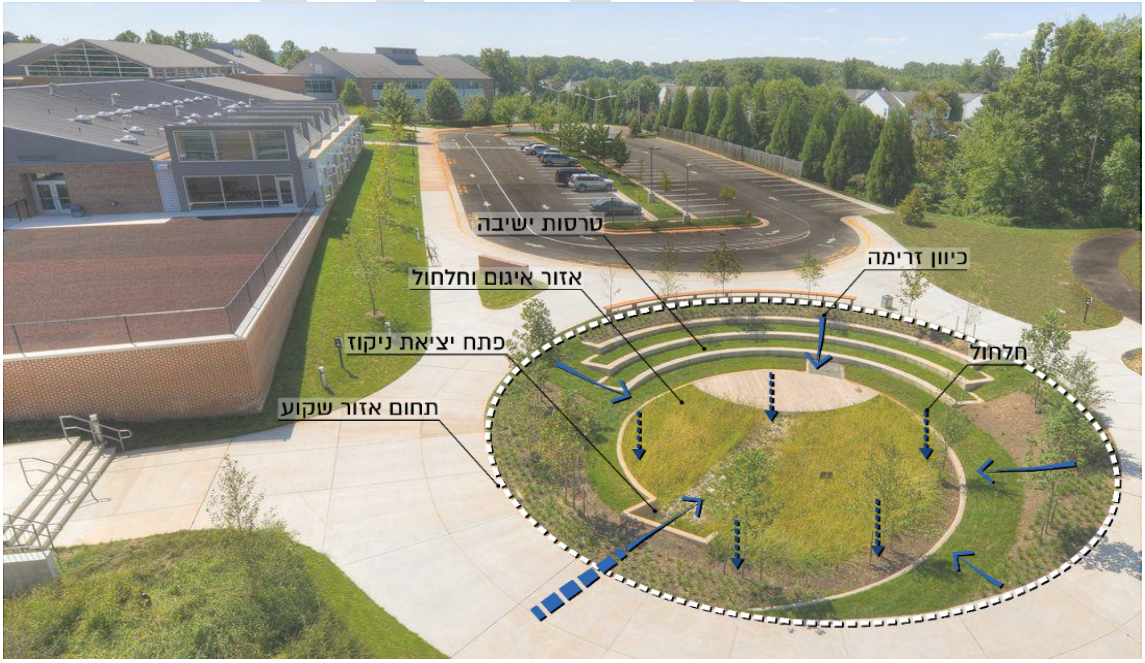
תכנון הגבהים של המרחבים העירוניים יפנה אליהם את מי הנגר, וימנע הזרמת נגר ישירות לכבישים ולמערכת התיעול העירונית. חומרי הגמר שיבחרו לפיתוח מרחבים אלה צריכים להיות עמידים בפני הצטברות מים למספר שעות. חומרי הגמר שיבחרו לפיתוח מרחבים אלו, צריכים להיות עמידים בפני הצטברות מים למספר שעות.

ג. יתרונות

פתרון המאפשר שילוב מיטבי בין ניהול מי נגר ובפרט הגנה מפני הצפות, יחד עם מרחב פתוח עירוני פעיל. בימים יבשים הכיכר מתפקדת כמרחב ציבורי רב תכליתי. בימים רטובים, המים נותרים בכיכר שמשנה את פניה וכך תורמת ליצירת נוף דינאמי וכחול בעיר.

ד. חסרונות

מאחר שמדובר באיגום מים בשטח פתוח, יש לפעול לפי תקני בטיחות.



איור 40 | Manassas park elementary school, וירג'יניה, ארה"ב - O'shea + Willson Siteworks

איור 41 | איגום מי נגר בכיכר עירונית, רוטרדם, Water Square Benthemplein

7.2.3. בריכת חורף (Vernal Pond)

א. הסבר כללי

בריכת חורף היא גוף מים עונתי, הניזון בעיקר ממי נגר, אך לעיתים גם ממי תהום רדודים. בריכות החורף עונתיות, ובקיץ מתייבשות כחלק ממחזור טבעי. בריכת החורף אוגרת את המים למשך זמן רב, מה שהופך אותה לחלק ניכר ממשאבי הנוף והטבע העירונים, ומאפשר לה לשמש בית גידול למיני צומח וחי ייחודיים במשך מרבית השנה.

ב. שילוב בתכנית

ניתן למקם בריכת חורף בשקעי קרקע, בהם יכולים להיקוות מי נגר. רצוי לאתרה במקום בו הנגר נקווה באופן טבעי. פרק הזמן הדרוש לדו-חיים בבריכה להשלים את גלגול החיים הוא כ-4 חודשים ולכן יש להשהות את המים לפחות לתקופה. ניתן להאריך את משך האיגום בבריכה, על ידי העמקת הבריכה וריבודה בקרקע חרסיתית שאינה מחלחלת לצמצום איבוד המים. עם זאת יש להקפיד על ייבוש מוחלט של הבריכה עד לסוף הקיץ על מנת לשמור על הדינמיקה של בית הגידול.

שטח הבריכה יהיה לפחות חצי דונם, ויאסוף מי נגר מסביבתו. ניתן להוביל מים בתעלות ניקוז אל הבריכה, וכן יש לדאוג לאפשרות גלישה של עודפי מים (over flow).

ככל שצורת הבריכה מפותלת יותר ומעוצבת בעומקים משתנים, נוצרים תנאי גידול מגוונים יותר, שיכולים להתאים למינים שונים.

בריכות חורף יכולות לשמש כמוקדי פעילות פנאי בחיק הטבע וכאתרי טבע עירוני. ישנה חשיבות ליצירת מקבצים של בריכות חורף במרחק של עד כמה קילומטרים זו מזו, לצורך שמירה על חוסן בתי הגידול. באמצעי איגום הכוללים מים 'עומדים', עולה לעיתים חשש מפני הופעת יתושים, שלא בצדק. הרי מדובר בהשהיה זמנית של נגר, לכל היותר, למספר שעות בלבד, בעת אירועי גשם בחורף או בעונות המעבר, ואילו התרבות של יתושים מתקיימת בקיץ, ולכן אינה סבירה. בבריכות חורף, המצב שונה, כיוון שהמים יכולים ״לעמוד״ למשך מספר חודשים, אך מכיוון שמדובר במערכת אקולוגית חיה, הצמחייה ובעלי החיים מאזנים את המערכת, ולכן לא צפויה היווצרות יתושים.

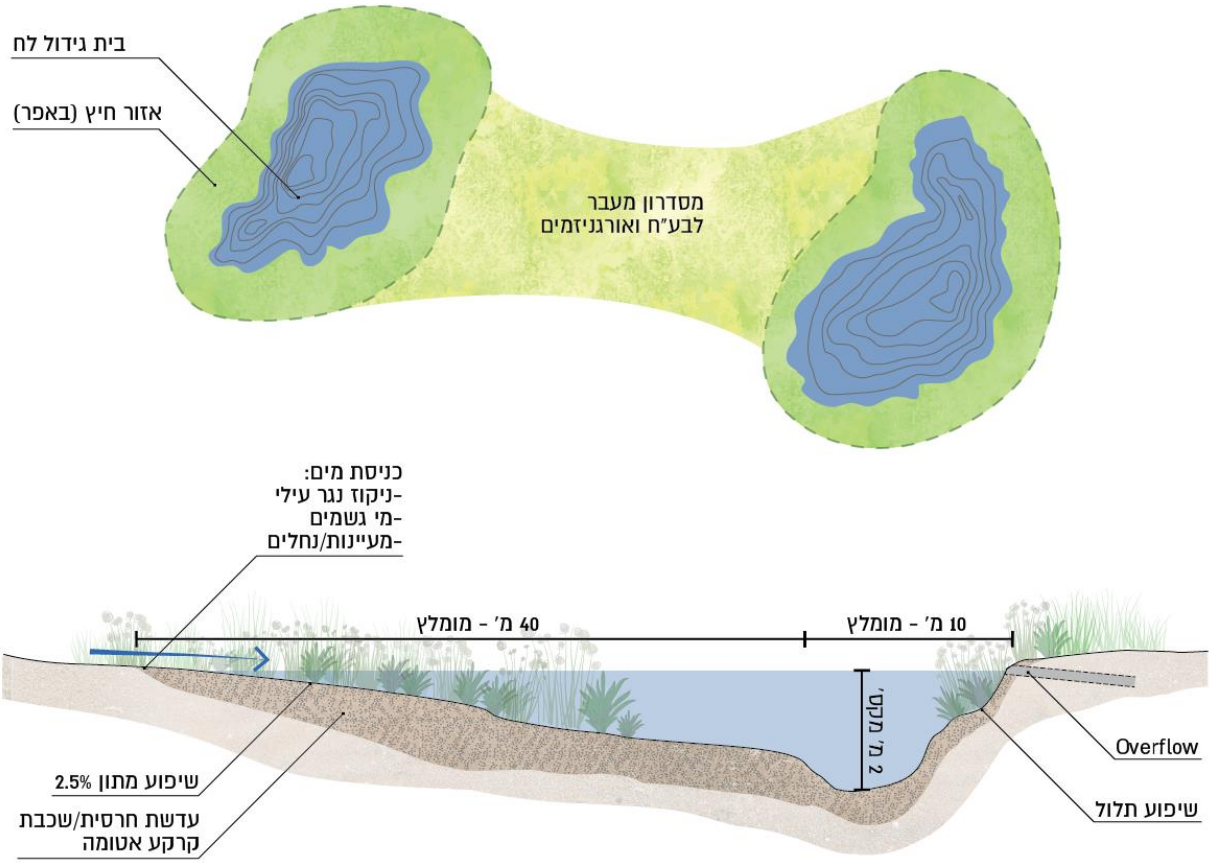
ג. יתרונות

טיוב איכות המים, קיבוע פחמן מהאוויר ומיתון השפעות אקלים. הבריכה תומכת, מעודדת ומעשירה את המגוון הביולוגי, לרבות מיני בעלי חיים וצמחים נדירים. יצירת בתי גידול לחים תומכת במגוון ביולוגי ומשמרת את ערכי טבע של צמחייה, בע"ח או בתי גידול מקומיים וייחודים לסביבתם. יתרון נוסף הינו יצירת פארקים התורמים לרווחה ולבריאות הציבור. מגע ישיר ובלתי אמצעי עם הטבע מביא עמו תועלות חברתיות, בריאותיות וחינוכיות.

ד. חסרונות

מאחר שמדובר בבריכה פתוחה בשטח ציבורי, יש לפעול לפי תקני בטיחות.

בשל הרגישות האקולוגית נדרשת איכות מים גבוהה ללא סכנה של גלישות ביוב וזיהומים אחרים.



איור 42 | השהייה ואיגום באמצעות בריכת חורף

איור 43 | בריכת החורף לב שרון. תכנון וצילום: ליאב שלם

7.2.4. גג סופג

א. הסבר כללי

החזית החמישית ותקרות המרתפים של הבינוי הם יצרני הנגר המשמעותיים במגרש, בשל העובדה שהם אטומים לחלוטין, כך שכמעט כל הגשם שיורד עליהם מתהווה לנגר. בהתאם לכך, לגג ולתקרות המרתפים חשיבות ופוטנציאל גדולים בניהול הנגר במגרש.

גג סופג, קולט ומשהה את הנגר לטובת הפחתת העומס בשיא האירוע, ולשחרור מבוקר של הנגר למגרש, לטיפול במיכל אגירה, בור חלחול, קידוח החדרה או מערכת תיעול עירונית. המערכת מורכבת משכבות שונות: מצעים סופגים, פתחים וסכרים שתופסים את הנגר הנקלט בגג, ומערכת וויסות שמשחררת את הנגר הנאסף.

כאשר המערכת הסופגת הנמצאת בחיפוי הגג מבוססת על משטחים לתפיסת נגר בלבד, היא תכונה **גג כחול**; מערכת שתשלב גם מצע אינרטי (ללא השפעה כימית במגע עם מים), הכוללת מערכת פתחים וסכרים, תכונה **גג סופח**; מערכת שתשלב שכבות לתפיסת נגר ומצע גידול לגינון לחקלאות או נוי תכונה **גג ירוק,** וכאשר מדובר בצמחייה טבעית, היא תכונה **גג חי**.

מערכת הגג הסופג מסייעת בניקוז וויסות זרימת הגשם מהגג אל המרזבים, ובכך מסייעת במניעת הצפות. המערכת משלבת שכבות סופגות ואוגרות של מצע אינרטי (חצץ, חלוקי נחל, מכלי אגירה וכדומה), שכבות תלת ממדיות לתפיסת נגר (גמישות או קשיחות), שכבת איטום למבנה ומערכת וויסות שמשחררת את הנגר החוצה.

הערה: אפשר לייצר 'גג כחול' שינהל נגר במגרש, בעלות מינימלית וללא התקנת מערכות ספיגה או השהיית נגר, ע"י הקטנת קוטר המרזבים והתקנת פתח ה-overflow בגובה 11 ס״מ מעל פני הגג העליונים.

ב. שילוב בתכנית

ניתן לשלב גגות סופגים (כחולים/ ירוקים) על גבי גגות המבנים או מעל חניונים, כאשר פתרון הקצה לנגר, ייקבע בהתאם לתנאי השטח והקרקע. אין מניעה ואף מומלץ, לשלב את הגג הסופג עם מערכות הנדסיות נוספות, כגון, דודי שמש או פאנלים סולאריים[144],שניתן להניחם על גבי מצע הגג הסופג.

ג. יתרונות

מי נגר המושהים בגג ובמרפסות נקיים ואיכותיים במיוחד, שכן אינם במגע עם מזהמים ברחוב, וניתן להחדירם ישירות לתווך הרווי. הגגות הסופגים מהווים פתרון יעיל ולא יקר, במיוחד במגרשים ושכונות בהם אין שטח מספק להשהיית נגר. כמו כן, השימוש בהם מהווה ניצול של שטח עירוני (חזית חמישית ותקרות מרתפים), שלעיתים נמצא במצב מוזנח ובשימוש חלקי ביותר.

הגגות דורשים תחזוקה מינימאלית, שעיקרה במניעת סתימות בפתחי הניקוז. הגגות תורמים להגנה ולחיזוק האיטום המבנה, שכן, שכבת האיטום מכוסה באבני חצץ בהירות המגנות מפני פגיעות ונזקי שמש ישירות. בנוסף, האיטום האפקטיבי משפר את ויסות הטמפרטורה במבנה, כך שבקיץ, שכבת האיטום מגנה מפני השמש הישירה, ובחורף מונעת את קירור המבנה כתוצאה ממגע עם האוויר הקר. וויסות הטמפרטורה, מפחית את הדרישות לקירור וחימום המבנה, וע"י מצמצם את צריכת האנרגיה של המבנה ואת היקף הפליטות ממנו, ובזאת, מסייע להפחתת תופעת אי החום העירוני. בנוסף, הגגות הירוקים והחומים מהווים שטח פתוח, ירוק ומגונן לשימוש דיירי הבניין לפנאי, מפגש, חקלאות עירונית, משפרים את איכות האוויר, תורמים ליצירת בתי צמיחה וגידול לחים ומעשירים את המגוון הביולוגי.

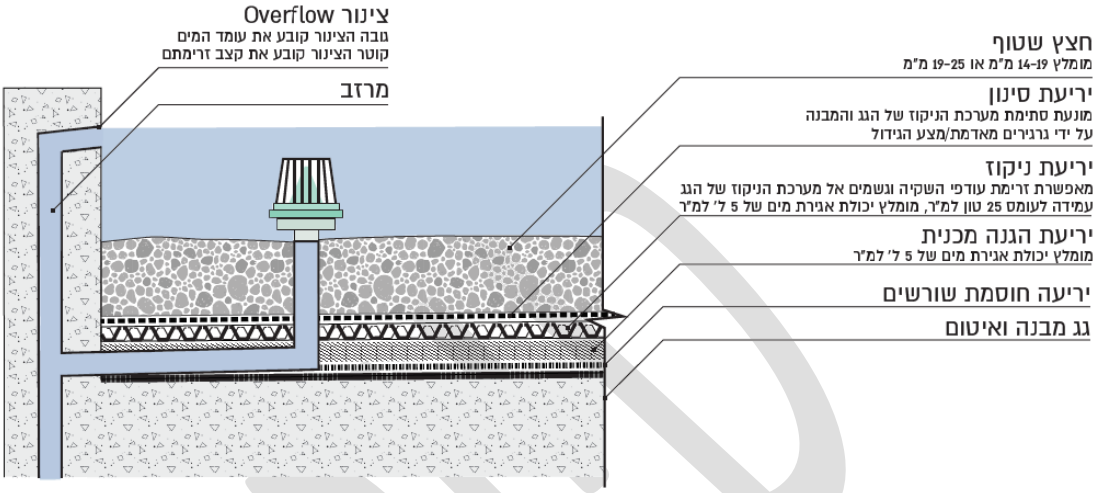
---

[144] מחקר שנערך באונ' חיפה, מצא שלא רק שהגג הירוק יכול להשתלב עם פאנלים סולאריים, הם אף תורמים אחד לשני. הסיבה היא שהפאנלים הופכים יעילים יותר, בכך שהם נשארים קרירים, ע"י אידוי המים מהצמחים. מחקרים בארה"ב הראו עליה של 6% בייצור החשמל במערכת סולארית על גג ירוק בהשוואה לגג רגיל.

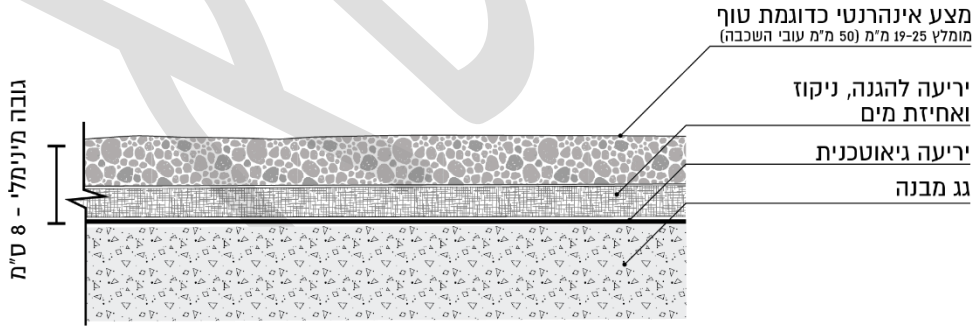
חיפוי הגג משתלב ואף תורם ליעילותם של פאנלים סולאריים, בשל צינון הטמפרטורה בגג. בנוסף, בגגות סופגים, חיפוי הגג באבני חצץ בהירות, תורם לחסכון באנרגיה על יד החזר קרינה.

ד. חסרונות

חוסר ניסיון בתחום הגגות הסופגים בישראל יוצר חששות לא מבוססים, ובכך מקשה על כניסה ומימוש האמצעי. ניתן לקוות שהיתרונות והיעילות של הגגות יזרזו את השימוש בהם. יש לוודא כי המערכת מותקנת על גבי איטום תקין. בבניה קלה, דוגמת חלק מהמבנים התעשייתיים, לא ניתן לבנות גג סופג עקב משקלו.



איור 44 | השהיית מי נגר באמצעות מערכת מודולרית לגג סופג



איור 45 | השהיית מי נגר באמצעות גג סופג

איור 46 | שילוב של גג ירוק וגג כחול בברונקס, ניו יורק, ארה"ב - Hazen and Sawye

7.2.4.1. גג ירוק (*Green Roof*)

גג ירוק הוא גג סופג המכוסה במלואו או בחלקו בצמחייה. הגג עשוי שכבת צמחיה שנמצאת מעל מערכת ניקוז. גג ירוק יכול להיות אינטנסיבי או אקסטנסיבי, תלוי בעומק שכבת הגידול, מערכות ההשקייה וסוג הצמחייה.

הגג האקסטנסיבי נקרא גם 'גג חי' או 'גג חום', והוא מדמה מצב קרקע וצמחייה מקומיים טבעיים, ויתרונותיו בהשקעה ובתחזוקה המינימליים.

הגג הירוק הוא ממשפחת הגגות האינטנסיביים, שכן הוא כולל צמחייה (לפי בחירה), ומערכת השקייה. יתרונותיו בחופש ובגיוון הצמחייה לאורך כל השנה, וחסרונותיו, בהשקעה הגדולה יותר, הנגזרת מהאיטום, מהתחזוקה ומעלויות ההשקיה.

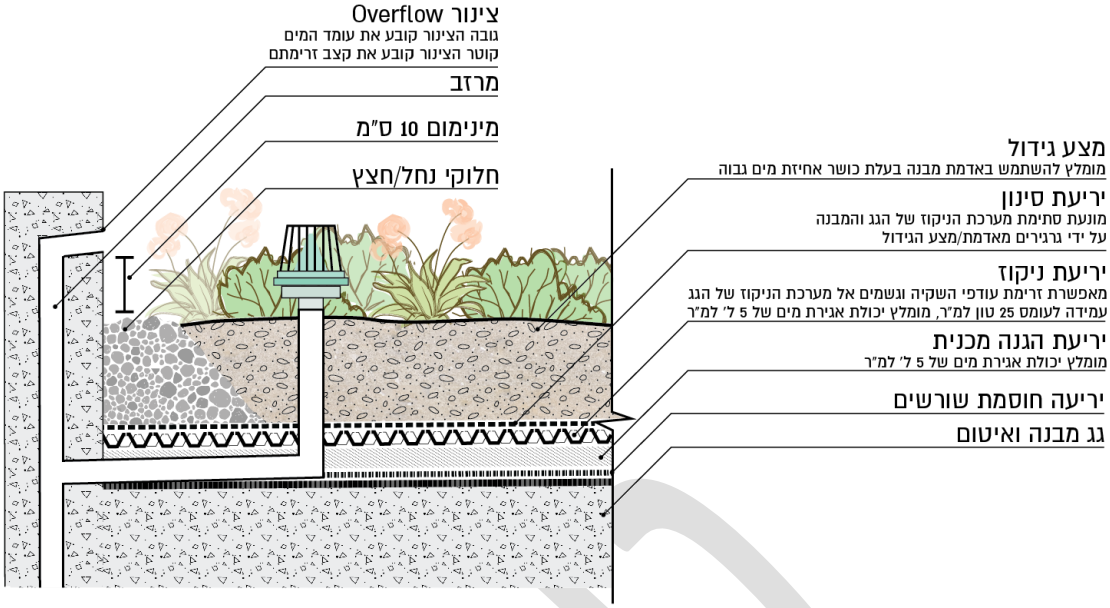
עומק שכבת הגידול המומלץ הינו נגזרת של סוג הצמחייה המתוכנן. עבור צמחי כיסוי מומלץ עומק מינימאלי של 20 ס"מ, עבור שיחים מומלץ עומק מינימאלי של 40 ס"מ ועבור נטיעת עצים, מומלץ עומק מינימאלי של 80 ס"מ, כתלות בסוג העץ וברציפות בית הגידול, כך שנפח נטיעה שלא יקטן מ- 2.5 מ"ק.

הגג הירוק מהווה ביוספרה המזמינה אליה ציפורים, פרפרים ובעלי חיים אחרים. הוא מסייע בשימור תחושת הטבע בעיר ובהעשרת המגוון הביולוגי. צמחיית הגג מסננת רעלים ומזהמים מהאוויר וממי הגשם. היא סופחת מהאוויר פחמן דו חמצני, גזים רעילים ואבק ומייצרת חמצן. סינון רעלים ממי הגשם מונע את הגעתם למי התהום.

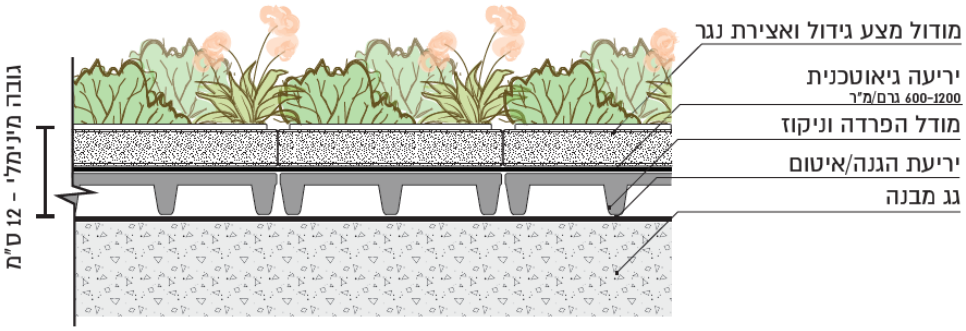
ניתן לשלב בין גג כחול לגג ירוק באופן אנכי, בהנחת מצעי הספיגה מתחת לאדמה, או באופן אופקי, בחלוקת שטח הגג לשטח כחול וירוק.

מבחינה הידרולוגית אין הבדל משמעותי בין גג ירוק לכחול. עם זאת, נגר היוצא מגג ירוק אינו ראוי להחדרה לתווך הרווי, עקב חשש מזיהום מי התהום בנוטריינטים אך ניתן לחלחל את הנגר לתווך הלא רווי. ניתן להשתמש בגגות ירוקים גם בחצרות מגוננות מעל מרתפים.

איור 47 | גג ירוק בשילוב תאים פוטו-וולטאים, בנין חברת Bauder, לונדון, אנגליה



איור 48 | השהיית מי נגר באמצעות גג ירוק



איור 49 | השהיית מי נגר באמצעות מערכת מודולרית לגג ירוק

7.2.5. קיר ירוק (Green Wall)

א. הסבר כללי

קירות ירוקים הם קירות בהם מגדלים צמחים על גבי משטחים אנכיים הצמודים או סמוכים לקירות מבנים. פתרון זה מאפשר קציר מים, ע"י לכידת מי הגשם באמצעות צמחייה, וכן, אידוי, השהייה והשקיה של הצמחייה.

קיימות מספר אפשרויות ליצירת קיר ירוק כגון צמחים מטפסים ששורשיהם באדמה, לרוב, הקירות הירוקים משלבים מצעים מנותקים, המותקנים על הקיר, לעיתים, כגידולים הידרופוניים או על גבי פאנלים המכילים מצעי גידול בכיסים מבד לבד ובדרכים אחרות, תוך שימוש במגוון טכנולוגיות וחומרים.

ב. שילוב בתכנית

פתרון המתאים במקרים של בינוי גבוה ושטחי גגות מצומצמים, כך שחזיתות המבנה מאפשרות קליטת נפח נגר משמעותי. ישנה עדיפות למיקום הקיר בחזית מערבית, לאור משטר הגשמים האופייני בארץ.

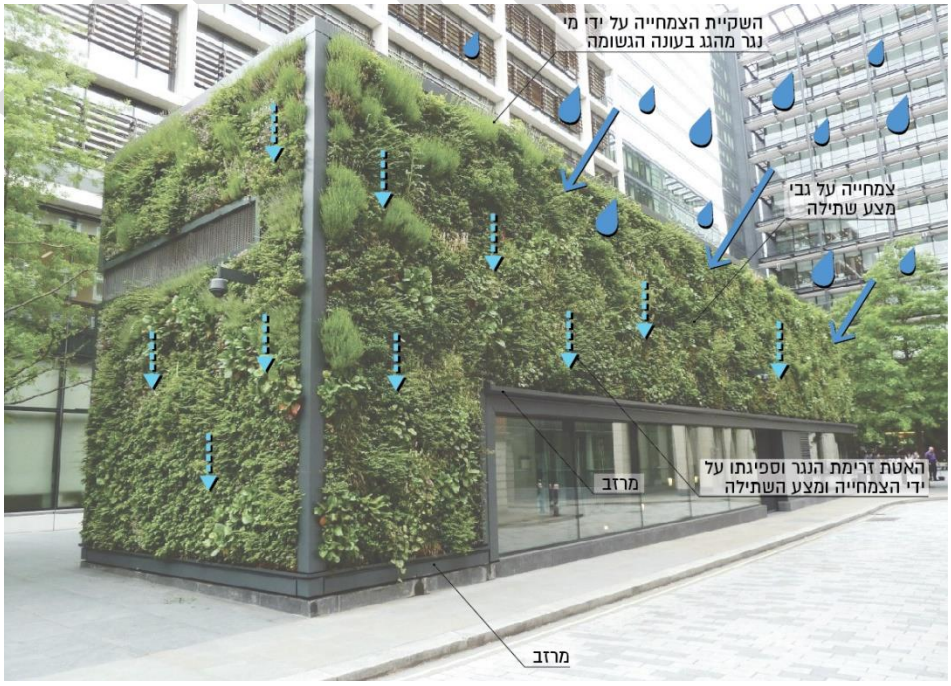
ג. יתרונות

הקירות הירוקים תורמים ולמבנה עצמו ולסביבתו הקרובה. . הקיר הירוק מגן מהשמש, מווסת את הטמפרטורה במבנה באמצעות שכבת הבידוד שיוצר. כך שצריכת האנרגיה במבנה פוחתת, ובהתאם גם היקף הפליטות. בנוסף, הקיר הירוק מפחית רעש וזיהום אוויר ומהווה אלמנט נופי ועיצובי.

הקירות הירוקים תורמים לחסכון במים – מאחר והשתילים גדלים זה מעל זה, נעשה שימוש יעיל במים המחלחלים מהצמח העליון לאלו שתחתיו. קירות ירוקים יכולים גם לשמש לצורך גידולים חקלאיים.

ד. חסרונות

דורש תחזוקה גבוהה יחסית, השקייה ברוב השנה, ולרוב מחייב גם דישון.



איור 50| קיר ירוק בלונדון, אנגליה. New Street Square, Holborn. תכנון: Biotechture

7.2.6. מאגר ויסות והשהייה

א. הסבר כללי

התפקיד העיקרי של מאגר ויסות הוא להשהות נגר בעת אירוע הגשם, ולשחררו באופן מבוקר, תוך הקטנת ספיקת השיא. בנוסף, תלוי במאפייני הנגר והמקום, מאגר יכול לסייע בהעשרת מי תהום, אם ע"י השארת מקטע מחלחל בקרקעית המאגר או בשילוב קידוח החדרה.
יישומי המאגר מגוונים, ומשתנים לפי גודל המאגר ונפח ההשהייה, ובהתאם למיקום המאגר, אם מעל או מתחת לקרקע. ניתן לתכנן מאגר שהינו מיכל קטן, להשהיית נגר מגג מבנה בודד, שימוקם מעל / מתחת לקרקע, בחצר הבניין או בחנייה התת קרקעית. כמו כן, ניתן לתכנן מאגר למספר מבנים, לדוגמא, בשטח ציבורי פתוח - גינה או כיכר עירונית, שוב, מעל או מתחת לקרקע. בנוסף, ניתן לתכנן מאגרי איגום גדולים, ברמת השכונה או המרחב, מאגר כזה יכול גם להיות חנייה או מקלט תת קרקעיים, בתנאי לקיום מנגנון התראה לפינוי הרכבים או הציוד במקום. בתכנון וביצוע המאגר יש לתת את הדעת לבטיחות יסודות המבנה.

על מנת שנפח מאגר הוויסות ייספר לטובת עמידה ביעד ניהול הנגר, מומלץ לקבוע את שחרור המים המושהים בקצב של עד 25% מנפח המאגר בשעה, קרי, עד 4 שעות לשחרור המאגר כולו. שליטה בקצב שחרור המים יכולה להיעשות ע"י עיצוב חריר היציאה או ע"י גודל המשאבה המנקזת. כמו כן, יש לתכנן את המאגר גם עבור אירועים חריגים, ע"י הוספת מוצא שני בצורת מגלש או משאבה גדולה יותר.

ב. שילוב בתכנית

ניתן לשלב מאגר על קרקעי פתוח באמצעות עיצוב טופוגרפיה ושיפועים בתחום מגרשי ספורט, גינות משחקים או כיכרות עירוניות, (ראו סעיף 7.1.1 ׳עיצוב טופוגרפיה ושיפועים׳, וסעיף 7.2.2 ׳כיכרות מים׳). באופן זה ניתן ליצור השהייה בעומק של כמה עשרות סנטימטרים מגוננים או מרוצפים, שיכולים לשמש כפשט הצפה באירועי קיצון. דרך נוספת לשילוב מאגר ויסות על קרקעי הינה באמצעות חיבור צמ"גים (צינור מי גשם) מהגגות והמרפסות למיכל, והוא יכול להיות משולב בפיתוח הנופי של השטח, אם בתחום ספסל ישיבה או אלמנט פיתוח אחר, אשר יאפשר את הטמעת המערכת תוך צמצום הפגיעה הנופית.

לעיתים, בעיקר במרקמים בנויים, אין ברירה אלא לבנות מאגר תת קרקעי, בהתייחס לשיקולים של נפח המאגר מול שטח הקרקע שתופס. דרך אחת לכך היא שימוש במוצרים סטנדרטיים, בדרך כלל מפלסטיק, דוגמת Drainboxes, או שיטות נוספות, שיתרונן בביצוע מהיר ונקי. מפאת מגבלת הגובה (2.5 מ') והעומס של אמצעים אלו, הם לא מתאימים במקומות המוגבלים בשטחם, או כאשר רוצים לבנות מעליהם. לטובת מאגרים גדולים יותר בתת הקרקע, ניתן להשתמש בבטון, שמגבלות הגובה אינן חלות עליו, ולכן ניתן לצמצם את שטחו. בנוסף, על מנת לצמצם את נפח ושטח המאגר, מומלץ להשתמש בו כחלק ממערך אמצעי ניהול נגר במרחב, לדוגמא, ע"י תכנון ההטייה למתקן הכניסה בהיסט מקרקעית התיעול.

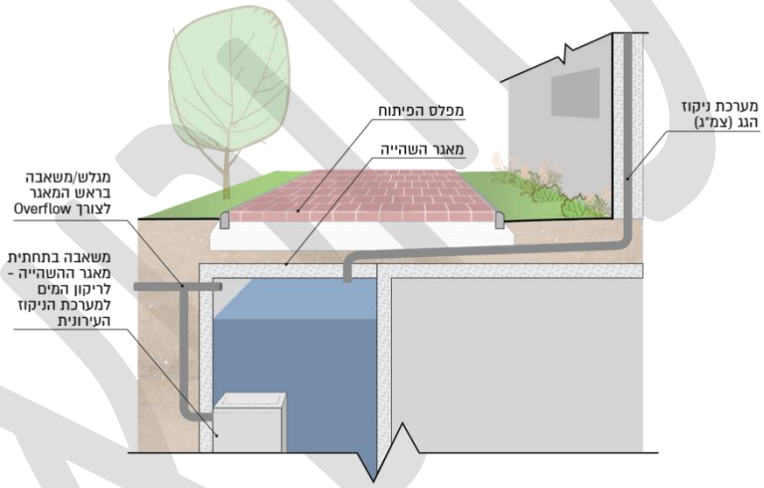
ג. יתרונות

מאגר הוא האמצעי האמין והיעיל ביותר, בשל הביטחון הרב שנותן בניהול נפחי נגר גדולים. יתרונותיו וחסרונותיו של המאגר משתנים בהתאם ליישום שלו, בין שמדובר בשימוש משני של השהיית נגר בתחום שטח ציבורי פתוח, במיכל זעיר המשולב בחצר המבנה או שמא בחלל חפור בתת הקרקע בנפחים שונים ועוד. מגוון אפשרויות היישום הרחב, בשילוב עם פוטנציאל ניהול נפחי נגר גדולים ואמינות ועמידות גבוהים במיוחד, עושים את מאגר הוויסות לאמצעי אטרקטיבי לשילוב בתכנית. מאגר ויסות גדול דיו הממוקם נכון, יכול להוות פתרון לבעיות הצפה של שכונה שלמה, וגם להיות יעיל ברמת הבניין הבודד. התפעול והתחזוקה של המאגר פשוטים וזולים יחסית.

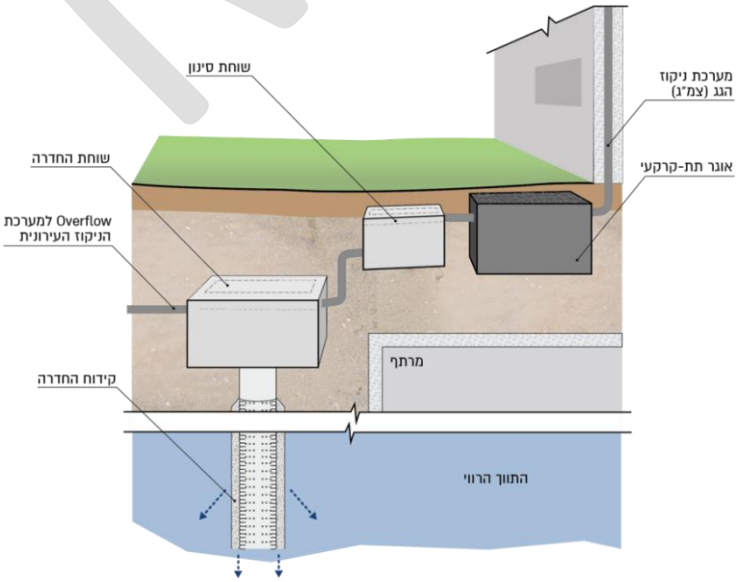
ד. חסרונות

ככל שמדובר באמצעי הנדסי חפור בתת הקרקע, דורש שטח זמין במיקום מתאים, ועלות ההקמה יכולה להיות גבוהה יחסית לאמצעי ניהול נגר אחרים. ככל שמדובר במאגר על קרקעי, עלול לתפוס שטח גדול, ניתן לצמצם חסרון זה ע"י עירוב שימושים ושילוב חכם בפיתוח, אך בכל זאת מדובר במגבלה

איור 51 | מאגר תת-קרקעי לוויסות נגר מתחת לפארק Joan Miró בנפח של 54,000 מ"ק, ברצלונה, ספרד



איור 52 | מאגר ויסות תת-קרקעי בין קומת המרתף ומפלס הרחוב



איור 53 אוגר תת-קרקעי קטלוגי

7.2.7. השהיה במעלה

א. הסבר כללי

התחלת הטיפול בנגר בשטחים במעלה האגן באמצעות אזורי השהייה, תצמצם את הספיקות במורד, בכך שתמנע הסעה, הצטברות וצבירת תאוצה של תנועת נגר למורד. שטחי פארקים, יערות ושדות חקלאיים מהווים חלק משמעותי מסך השטחים הפתוחים בכל אגן ניקוז. בתכנון ותפעול מושכל של שטחים אלו, ניתן יהיה להשתמש בהם לטובת השהיית נפחי נגר משמעותיים, ועל ידי כך להביא לצמצום נזקי נגר במורד, במקביל להעשרה והזנת הקרקע. תכסית הצמחייה בשטחים הפתוחים משפיעה על כמות המים שיקלטו ואף על נתיבי הזרימה שלהם מעל הקרקע, כנגר עילי, בנוסף לתת-הקרקע. כיסוי קרקע מלא וחומר אורגני בשלבי פירוק שונים שומרים על מבנה קרום הקרקע ויכולתו לספוח מים, סביבת שורשים מפותחת תורמת לחדירת מים לעומק הקרקע והגדלת אוגר המים. מלבד תכסית הקרקע תוואי השטח עשוי לשמש למיתון וניתוב זרימות ולהשהיית נגר קצרת וארוכת מועד.

ב. שילוב בתכנית

על מנת לשלב שטחי השהייה בתכנית, ראשית יש לזהות במעלה יחידות משמעותיות של שטחים פתוחים רלוונטיים, כגון פארקים, יערות ושטחים חקלאיים. את השטחים שנמצאו יש לנתח מבחינת שיפועים, סוג קרקע, אחוז כיסוי צמחי, אגני היקוות וערוצי זרימה ברמה המקומית. על בסיס הניתוח, ניתן לזהות ולצמצם אזורים תורמי נגר כגון משטחי סלע ובינוי, קרחות יער, עיבוד חקלאי, כרי מרעה, דרכים, חניונים ורצועות מגן למניעת שריפות. בכדי שלא ליצור ערוצי זרימה מהמעלה, יש להימנע ממיקום אזורים תורמי הנגר באופן רציף ובמקביל לקווי הגובה. כמו כן, לטובת זיהוי שטחים מועדים לסחף קרקע, ניתן להיעזר במפת סיכוני סחיפה של משרד החקלאות.

המערכת האקו-הידרולוגית בשטחי פארקים ויערות הינה מורכבת מאד ושונה מהסביבה העירונית או המרחב החקלאי. לשם הבטחת פעילות המערכת ותרומתה למערכת האקולוגית בטווח הארוך, יש להתייעץ עם מומחים בתחומים הרלוונטיים.

לטובת שימוש בשטחים חקלאיים להשהיית נגר, יש לאפיין את הגידולים והממשק החקלאי (גד"ש, פלחה ומטעים), גודל השדות, סוג הקרקע והממשקים המיושמים. בהתאם לאלו, ולאור המלצות יועץ חקלאי ובחינת זכאות לתמיכה כספית,[145] יש לקבוע את הממשק המתאים בתכנית.

ג. יתרונות

השהיית נגר באזורים המיועדים לפארקים ויערות מעשירה את המערכת האקולוגית והנופית של מרחב הפארק. קרקע לא מהודקת ושורשים עמוקים יוצרים מוליכות מים טובה וזאת לצד מערכת אקולוגית מפותחת, המשמשת כפילטר ביולוגי, הופכת את היער לאזור השהייה והחדרה מועדף.
חקלאות המתוכננת באופן המשמר נגר, הינה, מעבר להיבטים של השהייה וחלחול מי הנגר, בעלת יתרונות רבים בהיבט החקלאי. שימוש נכון בממשקים חקלאיים משמרי נגר תורם לבריאות ופוריות הקרקע וכן, מצמצם את זיהום הנחלים בכימיקלים שמקורם בענף החקלאות. תפיסת מי הגשמים מגדילה את אוגר המים הדרוש עבור הגידולים החקלאיים ומקטינה סחף קרקע מהשדה. מניעת סחף ושימור קרום הקרקע תורמים בטיוב סביבת השורש ושמירת חומרי ההזנה בשדה.

ד. חסרונות

באזורים בהם כמויות הגשם השנתיות אינן גבוהות יש להתייחס להשפעה של הפחתת הנגר במורד ולוודא כי לא עתיד להיגרם מכך נזק.

---

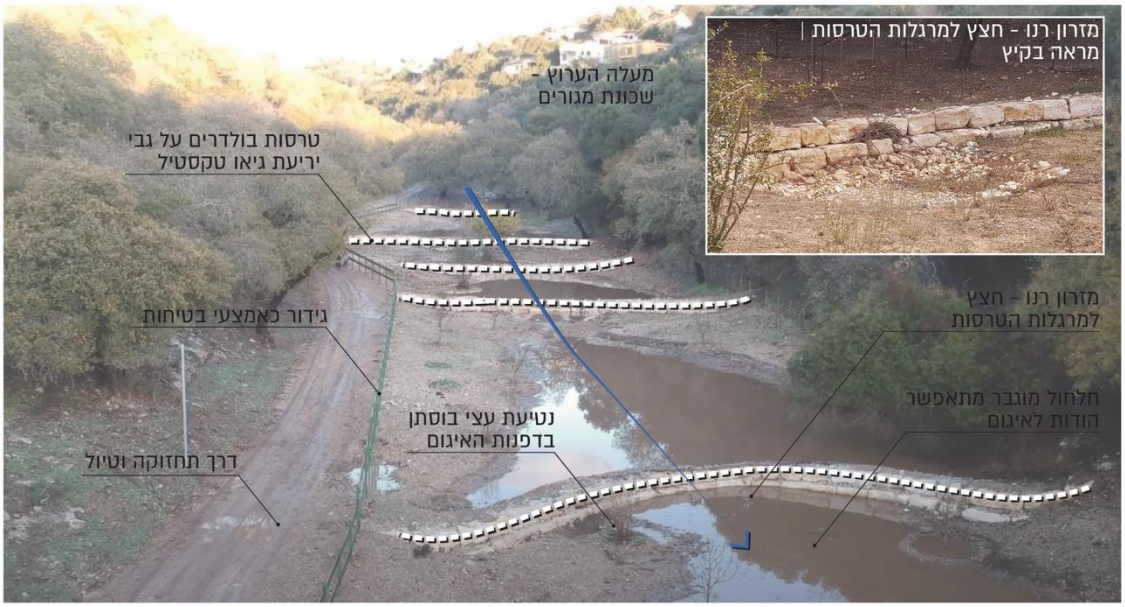
[145] תמיכות הניתנות ע"י משרד החקלאות במסגרת קול קורא לתמיכה בפעולות שימור קרקע ומים

על אף היתרונות המוסכמים של ממשקים משמרי נגר בחקלאות, בחינה של עלות תועלת ליישומם, שאינה מתייחסת לתועלות ניהול הנגר ומניעת הנזקים במורד, עשויה להצביע על כך שאינה משתלמת כלכלית. גם במקרים בהם קיימת כדאיות כלכלית, עלויות ההסבה לממשק עיבוד חדש עשויות להוות חסם נוסף.

7.2.7.1. דוגמאות להשהיית נגר ביער ופארקים

א. השהיית נגר באמצעות נטיעות בשטחים חשופים

נטיעות במדרונות חשופים ישפרו את אחיזת הקרקע ובנייתה. עם הזמן, קרקע זו תאפשר שגשוג של צומח רב-שנתי ועשבוני, כשכבות נוספות של כיסוי צמחי. שורשי עצים עמוקים ועשבייה מקומית, יגבירו את הולכת המים ואת האוגר בקרקע. פעולות אלו יקטינו את מקדם הנגר ויפחיתו את עוצמת הזרימות במורד ויצמצמו סחף קרקע. שילוב הנטיעות עם פעולות לדירוג השטח כגון טרסות, שיעצימו את השפעתן.

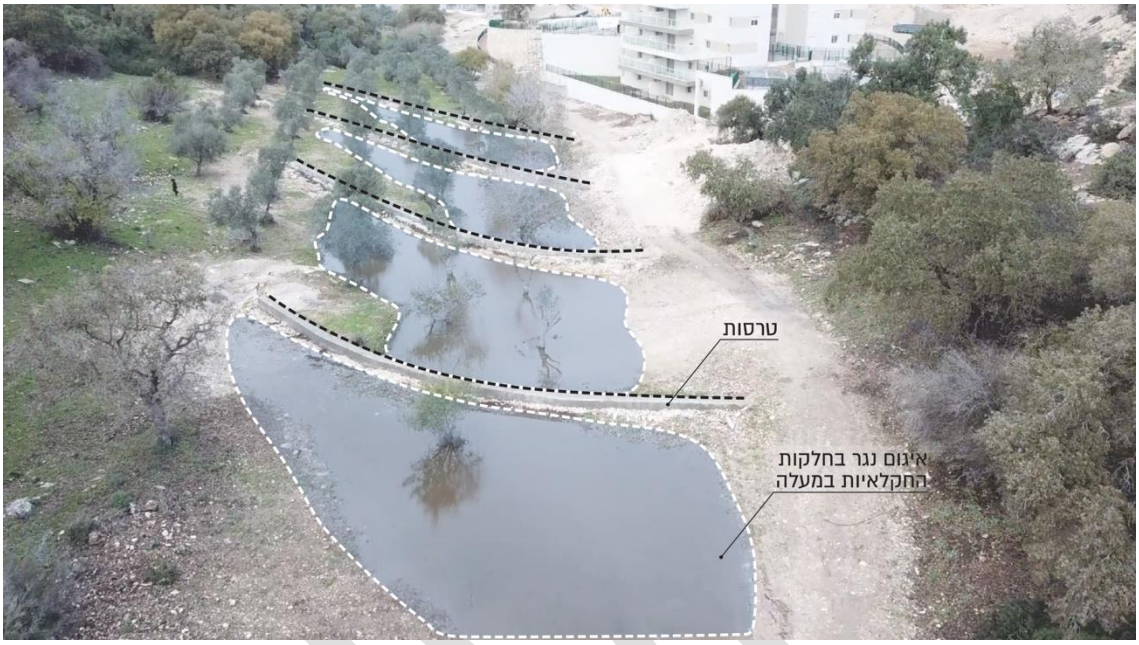


איור 54 | השהיה באמצעות נטיעות שטחים חשופים, נחל דושה. תכנון וביצוע: קק"ל

7.2.7.2. דוגמאות להשהיית נגר בשטחים חקלאיים

א. עיבוד לאורך קווי הגובה בשדה

קווי חריש או תלמים המשיקים לקווי הגובה שוברים את נתיבי המים ומפזרים אותם לאורך השדה. הסחיפה המשטחית קיימת אך נמוכה, ותאוצתה נבלמת לאורך המדרון ע"י בליטות הקרקע שמייצר ממשק העיבוד. להבדיל, עיבודי שדה החותכים את קווי הגובה מנקזים את המים לערוצים מקומיים ומאפשרים להם לזרום במדרון ללא הפרעה. סחיפה ערוצית מסוג זה מייצרת סחף קרקע מקומי לאורך נתיב הזרימה וגורמת להעמקה שלו ולהגברת אנרגיית הזרימה והסחף בערוץ. בשיפועים גבוהים ניתן לדרג את השטח באמצעים שונים כגון גדודיות, לימנים או טרסות לאורך קווי הגובה.



איור 55 | דירוג שטח חקלאי משופע באמצעות טרסות בנחל יונאי

ב. חיפוי קרקע צמחי או יבש

טיפות הגשם המכות על קרקע חשופה אוטמות ומהדקות אותה. שיכוך הנפילה ע"י כיסוי צומח שומר על מרקם הקרקע ויכולתה לספוח מים. כיסוי צמחי יבש יסייע במיתון זרימות מקומיות העוברות מעליו. כיסוי חי של צמחיה בעלת שורשים, יתרום גם בהחדרת המים לעומק הקרקע.

7.2.8. מאגרי צד

א. הסבר כללי

מאגרי צד הם גופי מים בעלי נפח משמעותי, המתמלאים על-ידי הפניה של זרימות שיטפוניות מאפיק הנחל. הזנת המאגרים מפחיתה את נפח המים שעובר באפיק הנחל באירועי קיצון ובכך מקטינה את ספיקות השיא במורד. איגום המים עשוי לשמש ישירות לחקלאות, או להעשרת מי התהום, וכן, ליצירת ערכים נופיים ובתי גידול לחים בסביבת המאגר והתעלות המזינות אותו. האוגר האפקטיבי המסייע בוויסות הספיקות בנחל תלוי בשטח המאגר והפרש הגובה בין מפלס המים בתחילת אירוע הגשם ובין המפלס המקסימלי. עם מילוי המאגר, עומק המים וקצב החלחול של הקרקעית יקבעו את משך מופע המים. במידת הצורך, ניתן לחפור תעלת ניקוז החסומה בסכר שתאפשר לרוקן את המים אל הנחל שבמורד בתום האירוע, על מנת לפנות נפח אגירה לקראת אירוע הגשם הבא.

ב. שילוב בתכנית

לצורך שילוב מאגרי צד בתכנית, יש למפות את מרחב הנחל לטובת זיהוי שטחים המתאימים לאיגום או השהייה זמנית של מים באירועים שיטפוניים, דוגמת מחצבות, פארקים, שטחים חקלאיים ושטחים פתוחים נוספים שיפורטו בדוגמאות המשך. שטח וחתך המאגר ונפח האגירה הרצוי, ייקבעו בהתאם לחישוב נפחי הגאויות.

המגלש ותעלת ההטיה למאגר יתוכננו בהתאם למפלסי הזרימה בנחל בספיקות התכן הנדרשות, תוך התייחסות לפונקציית המטרה. תיתכנה למשל, דרישות להשארת זרימת בסיס במורד לשם קיום זרימות סביבתיות. שיקול נוסף הוא נפח האגירה הזמין ביחס לנפחי הגאויות הצפויים. ככל שהנפח הזמין קטן מידי, ניתן יהיה לתכנן את ההטיה כך שתתפוס רק את שיא הזרימה, על מנת שלא לבזבז נפח בספיקות נמוכות. אפשר ויהיו גם מגבלות מקומיות כגון אזורים עליהם יש לשמור מהצפה בהסתברויות שונות, (למשל, אזור פעיל מול אזור לא פעיל במחצבה). כל התערבות במשטרי הזרימה של הנחל תיעשה תוך בחינת השינויים הצפויים ברצועת ההשפעה של הנחל ושמירה על בתי הגידול הטבעיים שבה.

תכנון בתי הגידול והשימושים הרצויים במאגר יתחשב בהידרו-פריודה (משך האיגום או ההשהיה של המים במהלך עונות השנה) ובשינויים ותקופות חזרה רב-שנתיים. הסטת מים מאפיק הנחל תתמקד בוויסות אירועי שיא ותמנע מפגיעה בזרימת הבסיס. כל התערבות במשטרי הזרימה של הנחל תיעשה תוך בחינת השינויים הצפויים ברצועת ההשפעה של הנחל ושמירה על בתי הגידול הטבעיים שבה.

ג. יתרונות

המאגר הפתוח וסביבתו תומכים ומעודדים יצירת ערכים נופיים ואקולוגיים במרחב, בדגש על תעלות ההזנה והניקוז המשמשים כמסדרון הידרולוגי ואקולוגי וכמסלולי טיול במרחב הנחל. מופע המים המשתנה לאורך השנה והמערכת האקולוגית של בית גידול לח מעשירים את הסביבה הטבעית של המאגר וכן את חווית הנופש והפנאי בשטחים אלו. מאגרי צד נוטים להתמלא בפחות סחף ועל כן דורשים תחזוקה נמוכה יותר בהשוואה למאגרים בערוץ הנחל.

7.2.8.1. דוגמאות לממשקים של מאגרי צד

א. חפירת מאגר חדש

חפירת מאגר מאפשרת לבחור את מיקום המאגר, סוג הקרקעית (לאפשר חלחול או אגירה), נפח המאגר ותכנון החתכים הרצויים.

איור 56 | בריכות חורף בתחום מחלף תל קשיש, כביש 6, ניקוז שטחי המחלף ויצירת ערך אקולוגי

ב. מאגר מחצבה

מחצבות רבות נחפרו בערוצי נחלים או בקרבתם, ובתום תקופת פעילות האתר, ניתן להשתמש בבורות החציבה כמאגרים להשהיה וחלחול. השימוש במחצבה לטובת מאגרי מים צריך לכלול פעולות שיקום וייצוב על מנת להימנע מקריסת מדרונות וזיהום מי תהום.

איור 57 | מחצבת פולג ששוקמה כאגם בעל מאפיינים טבעיים. תכנון: ברוידא-מעוז. צילום: מדבא מדידות והנדסה בע"מ

ג. הצפת התוואי ההיסטורי הטבעי

נחלים וערוצי זרימה רבים הוסדרו בתעלות עמוקות וישרות. ככלל, תנועת המים בערוץ תשאף לחזור לצורתה הטבעית. במקרים רבים תוואי הזרימה הטבעיים עדיין נוכחים בשטח, ועל ידי הסרת חסמים בנקודות החיבור עם תעלת הנחל, ניתן לשלבם חזרה לתוואי הנחל הטבעי. ככל שלא התבצעה הפרה משמעותית, התוואי ההיסטורי יהיה נמוך ביחס לשטח ויכול לשמש כמאגר לינארי זמין.

ד. תעלות הגנה

תעלות המוליכות את עודפי-המים (Overflow) מהאזור המוצף למורד הערוץ הראשי. התעלות חוצצות בין השטח המוצף למרחבים הסובבים אותו, ומגינות עליהם במצב של עלייה קיצונית במפלס המים. תכנון מאפיינים טבעיים לתעלה (תוואי, חתך וכיסוי קרקעית וגדות), יאפשר יצירה של בית גידול חדש, התומך בתפקוד המערכת האקולוגית של מרחב הנחל. עם זאת, נדרשת התחשבות בצורך ההידרולוגי של הולכה יעילה של המים למורד גם באירועי קיצון.

7.2.9. פשט הצפה

א. הסבר כללי

לכל ערוץ נחל כושר הולכה מוגבל, הנקבע לפי מידות החתך והשיפוע האורכי הקבועים, והספיקה ומקדם החיכוך המשתנים. בעליית המפלס לגובה הגדות נפרצים ערוצי זרימה חדשים וזרימות רדודות מתחילות להציף שטחים נרחבים, הנקראים פשטי ההצפה של הנחל. מחזורי ההצפה של פשט הנחל תורמים ליצירת המערכת האקולוגית בסביבתו, והם חלק טבעי ורצוי בוויסות משטר הזרימה במורד. שטחים מישוריים בפשט ההצפה של הנחל משמשים להשהיה וחלחול של נפחי מים גדולים לפרקי זמן קצובים. משך ההצפה יכול לנוע בין דקות לימים ספורים, ומושפע בעיקר מנפח ההצפה, ממקדם החלחול של הקרקע, מגובה המים וכן מהאפשרות של המים להתנקז חזרה לערוץ הזרימה, עם ירידת המפלס בתעלה.

ב. שילוב בתכנית

נפח ההצפה האפקטיבי נגזר מגובה המפלס וגודל השטח המוצף, ובמידה פחותה, מקצב החלחול של הקרקע. למציאת רום ההצפה. על מנת לחשב את גובה ושטח ההצפה, יש להציב מודל הידראולי דו-ממדי של הנחל והשטח הרלוונטי לפשט ההצפה, לפי תקופות חזרה שונות. החישוב יתייחס גם לתוואי הזליגה של המים מהערוץ הראשי, לאורך מקטעים שלמים או בתעלות.

לצורך איתור פשטי הצפה פוטנציאליים, יש למפות את שימושי הקרקע במרחב הנחל, ולבחון את השימושים שיכולים להתקיים בסביבה מוצפת. שצ"פים עירוניים, שדות חקלאיים, פארקים וכן, שטחים פתוחים נוספים יכולים לשמש להצפה מלאה, מבלי שתפקודם העיקרי יפגע. עם זאת, נדרשת התאמה פרטנית לגבי הצרכים השונים של כל שטח, (שטח חקלאי מול שטח פתוח לדוגמא) ומשך ההצפה הצפוי. ניתן לראות הרחבה בסעיף 7.2.7 'השהייה במעלה'.

שילוב תשתיות בשטח פשטי ההצפה, ייבחן ביחס להבטחת עמידותן באירועי הצפה. בנוסף, יש להציב בשטח שילוט המזהיר מתנועה במקום במהלך אירועי גשם והצפות. כמו כן, ניתן להשתמש באמצעים שונים, כגון תעלות/סוללות הגנה ועוד, לטובת תיחום והגבלת שטח ועוצמת ההצפה. ככל שמשתמשים בתעלות, סוללות וסכרים, יש לשקול בעת הליך התכנון גם היבטי תפעול, תחזוקה ובקרה לפני, בעת ואחרי אירועי הגשם.

ג. יתרונות

שימוש מושכל בשטחים פתוחים גם לטובת השהייה וחלחול באירועי שיא, ללא פגיעה בתפקוד העיקרי שלהם, מהווה תכנון מתקדם וחכם, המאפשר ניצול מיטבי של משאב הקרקע, בהשוואה לתכנון מאגרים ושטחים לניהול נגר בכלל. בנוסף, תכנון זה מאפשר תפיסה של הנגר, באמצעות איגום וחלחול, ושימוש בנגר להחדרה או השקיית שטחים חקלאיים וטבעיים. הרחבת הרצועה הלחה לצד אפיק הנחל מחזקת את התפקודים השונים של רצועת ההשפעה.

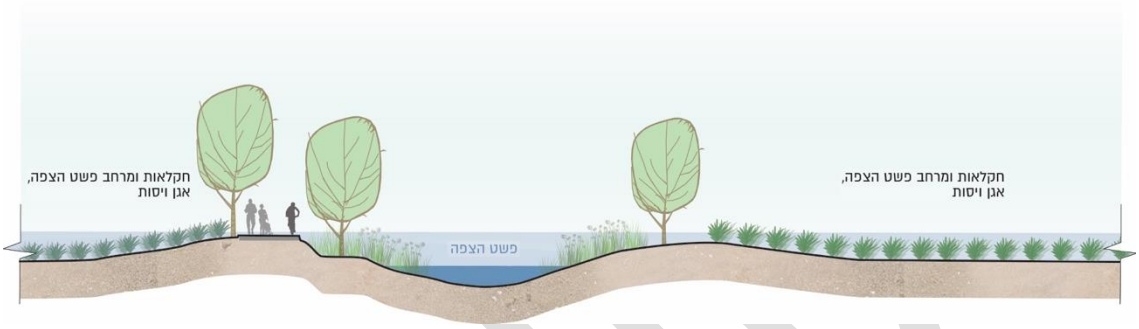
ד. חסרונות

ההצפה דורשת שטחים רחבים למשכי זמן משתנים, ויש לבחון שאינה פוגעת בשימושים הנוספים המתוכננים של השטח.

7.2.9.1. דוגמאות ליישומים של פשטי הצפה

א. פשט הצפה בשטחי חקלאות

בעבר הפניית זרימות רדודות לשדות חקלאיים הייתה ממשק חקלאי מקובל. הזרימה השיטפונית העשירה את הקרקע ושימשה להשקיה. בחקלאות המודרנית אין צורך בהצפת השטחים, ואף קיים חשש לנזק ליבולים, בהתאם לסוג הגידולים, עומק ומשך ההצפה. כיום, בשטחי חקלאות הנמצאים בתחום פשט ההצפה ומשמשים להשהיית נגר, נדרש תיאום ובקרה על מנת לשמור על תפקודם. בחירה של שטחים חקלאים שישמשו כפשטי הצפה (ע"י הסטה מכוונת של נגר אליהם), תהיה בהתייחס להשפעה הצפויה לשטח, מבחינת הקרקע והתוצרת החקלאית, במטרה ומקסם את התרומה לקרקע ולצמצם את היקף הנזק. תכנון להצפת שטחים חקלאיים ייעשה בתיאום מלא עם החקלאים, וככל שמדובר בשטחים נרחבים, התיאום יהיה גם עם משרד החקלאות.



איור 58 | פשט הצפה בשטחים חקלאים

ב. פשט הצפה בשטחים פתוחים

שטחים פתוחים כמו יער, פארק, שצ"פ וכ' בקרבת אפיק הנחל, הינם בעלי פוטנציאל לתפקד גם כפשט הצפה. התפקוד כפשט הצפה יהיה בהתייחס לתכסית השטח, על מנת למנוע פגיעה מהצפה מתמשכת. תכנון השטח המוצף בשילוב יצירת בתי גידול חדשים ומופע מים משתנה, יוכלו להעשיר את סביבת השטח הפתוח מבחינה נופית ואקולוגית. תכנון שימושים עמידים להצפה ותכסית קרקע שאינה אטימה, יאפשר לשטחים אלו דו-שימושיות, וחשיבות בניהול משטרי הזרימה ומרחב הנחל.

איור 59 | הצפה של פארקים ותשתיות טיילות ונופש, נחל אלכסנדר

7.3.חלחול לתווך הבלתי רווי

מקור מי התהום בתת הקרקע (אקוויפרים), הוא מחלחול גשמים ומעיינות. המים הנצברים, מרווים ונשמרים בין חללי הסלעים, בדומה לספוג הרווי במים. מניעת הזרמה טבעית לשכבת האקוויפר עלולה להביא לזיהומו ובכך להוציאו מתפקוד כמקור מים.

חלחול לתווך הבלתי רווי הוא חלחול טבעי של הנגר עד לעומק של 3 מטר מעל מי התהום. החלחול מאפשר לנגר לעבור תהליכי טיהור טבעיים, ולכן, בשונה מהחדרה לתווך הרווי, בה ניתן להשתמש בנגר נקי בלבד, בחלחול ניתן לעשות שימוש בנגר שמקורו בדרכים ובגינות. מהתווך הלא רווי, בהתאם לגובה מי התהום, יחלחלו המים בהדרגה ויעשירו את מי התהום (התווך הרווי).

7.3.1. תעלות וערוגות עצים

א. הסבר כללי

הפניית מי נגר ממדרכות ומשטחים מרוצפים לערוגות שתילה, ע"י מיקום הערוגות נמוך ממפלס הריצוף, לצורך השהייה וחלחול מי נגר. לעיתים נדרש לשלב מגביל שורשים.

ב. שילוב בתכנית

חתך הרחובות הטיפוסי משלב רצועת תשתיות לאורך אבני השפה. רצועות אלו יכולות להיות משולבת בפתחי נטיעה ארוכים לעצים או ערוגות לינאריות, ברוחב מינימאלי של 1 מ׳, (תוך שמירה על רציפות בית גידול), אליהם יאספו מי הנגר. הפניית מי נגר מרחבות וכיכרות אל ערוגות צמחייה ונטיעות. מגרשי חנייה משולבים רצועות גינון לינאריות אליהם נאספים מי הנגר. על מנת לשמור על נגישות, יש לאפשר מעברים ממקומות חנייה או חציה של הרחוב.

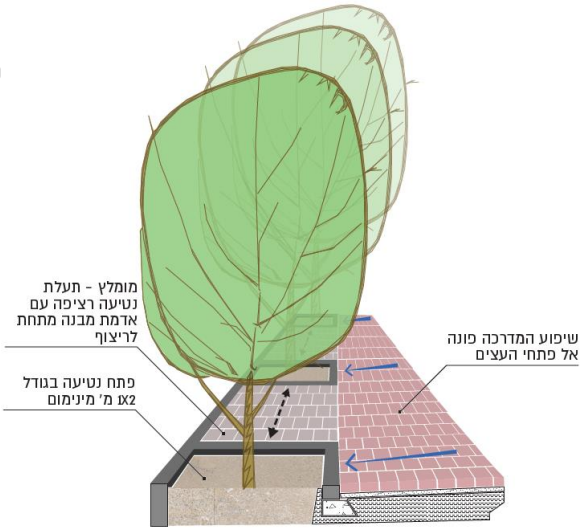
בפתרונות המשלבים בתי גידול לעצים, מומלץ להשאיר את סביבת העץ פנויה מריצוף אטום, על מנת להבטיח מרחב גידול מיטבי לעץ ובכך גם לשפר את יכולת ניהול הנגר והחלחול לקרקע.

ג. יתרונות

מיחזור מי נגר להשקיית צמחייה ונטיעות, וחסכון בהוצאות השקיה. העצמת השלד הירוק ברחובות, שיפור ושימור איכות הנגר והקרקע.

ד. חסרונות

קושי בתחזוקה שוטפת של רצועות מגוננות צרות ולא רציפות במרחב הציבורי



איור 60 | חלחול לתווך הבלתי רווי באמצעות תעלות וערוגות עצים

7.3.2. מעגלי תנועה

א. הסבר כללי

מעגל תנועה הוא אלמנט תחבורתי נפוץ לוויסות תנועה. שטח הכיכר הפנימי ברוב המקרים אינו שימושי, להוציא תועלות חזותיות. ניתן להשתמש בשטח זה גם לניהול נגר, בשילוב אמצעי השהייה וחלחול.

ב. שילוב בתכנית

ברוב המקרים, מעגל תנועה המתוכנן לנהל נגר, יתוכנן במפלס נמוך מסביבתו וכך יקלוט את הנגר מהכביש המקיף אותו. המים יזרמו למעגל התנועה באמצעות קולטן ייעודי, או דרך הריצוף החוצץ בין הכביש למעגל, שעליו להיות במפלס מתאים.

בתת הקרקע מתחת למעגל יש לבסס מצע מחלחל, שממנו תהיה יציאה למערכת התיעול או לאמצעי ניהול נגר אחר. ככל שהנגר יוזרם למערכת התיעול, כושר ההולכה של המוצא יתחשב בנפח המים שניתן לאגור בכיכר, על מנת להבטיח מניעת הצפה בכביש.[146] כמו כן, אין להתחשב בקצב החלחול בחישוב כושר ההולכה, מכיוון שהינו קטן בסדרי גודל מקצב היווצרות הנגר בעת אירוע שיא.

מומלץ לבנות את הכיכר עם אלמנט מחלחל הדומה לבריכת שיכוך (ראו סעיף 6.3.2, 'בריכת שיכוך). במידה ושכבות הקרקע העליונות מתאימות לחלחול, ניתן לבסס מצע מחלחל.

ככל, שנדרש לחדור שכבת חרסית בכדי להגיע לשכבת המטרה בתת הקרקע, או שרוצים להאיץ את קצב החלחול, ניתן לשלב גם מספר בורות חלחול בתחתית. כמו כן, מאחר שמדובר בנגר כבישים שאסור בהחדרה, יש לשים לב כי החלחול לא יעבור לתווך הרווי.

יש לוודא כי הנגר הנצבר נקי מסחופת על מנת שלא יסתום את הכיכר. אם הנגר נכנס לכיכר בזרימה עילית, הרי שהדבר פחות חשוב, כיוון שקל יהיה לנקות את הסחופת ולעיתים אף ניתן לתכנן את הכיכר בכוונה שתשמש כמלכודת לסחופת.

במידה והנגר מחלחל לקרקע, ניתן לצמצם את הסחופת באמצעות מלכודות בקולטנים. במידה ומפנים נגר ממערכת התיעול לכיכר, יש לעשות זאת לאחר בור שיקוע וכן בצינור שיתחיל בהיסט מקרקעית מערכת התיעול.

במידה והקרקע אינה מחלחלת בקצב מספק והמים יישארו במתקן, עלול להיווצר ביופילם (בוצה), שתשקע לקרקעית ותכסה אותה בשכבה אטימה שתעכב חלחול עתידי. במקרה כזה יהיה צורך בפעולות תחזוקה תכופות כגון תיחוח או הסרת הבוצה. על מנת למנוע זאת, יש לתכנן את המתקן כך שיתרוקן לאחר 24 שעות, לכל היותר. אם לא ניתן לעשות זאת באמצעות החלחול או צינור יציאה בקרקעית, יש לתמוך בריקון באמצעות משאבה.

במידה וישנו מעגל תנועה גדול במיוחד, או שמקימים תחתיו איגום תת קרקעי, ניתן להפנות אליו נגר מקו ניקוז סמוך ולפתרון אזורי לניהול נגר.

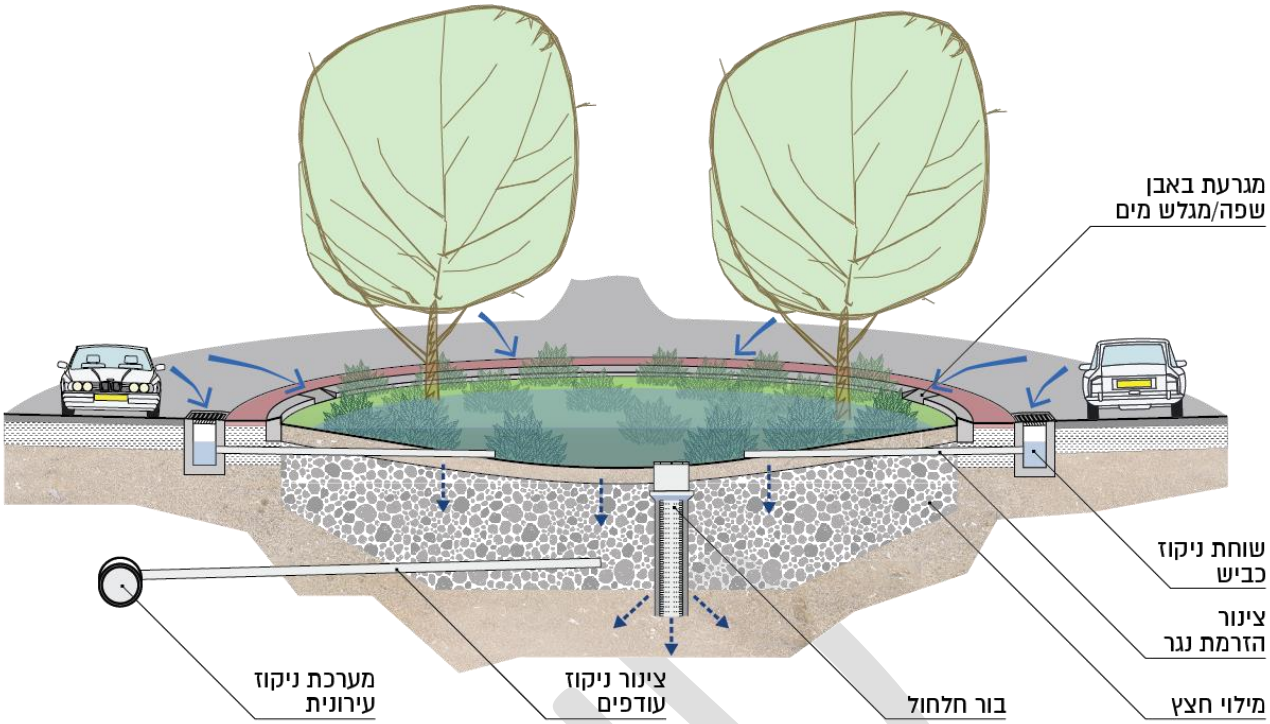
ג. יתרונות

ניצול יעיל של שטח נופי. ניתן לנהל בכיכר כמויות נגר משמעותיות, במקרה של הצפה, הכביש שמסביב למעגל יספק חוצץ נוסף בין ההצפה לבתים, ובכך יגדיל את ההגנה על הרחובות והבתים.

ד. חסרונות

גודל המתקן מוגבל לגודל המעגל התנועה. במקרה של אירוע גדול מאירוע התכן, או תכנון שגוי, או תחזוקה לקויה, עלול לגרום להצפה בכביש.

[146] לפי ההסתברות הקובעה בתמ"א 1 - 1:20 שנה.



איור 61 | חלחול לתוך הבלתי רווי במעגלי תנועה

איור 62 | כיכר מחלחלת בפרדס חנה (טרם שתילת הצמחייה). תכנון הידרולוגי וצילום: אורי מורן

7.3.3. ריצוף מנקז

א. הסבר כללי

ריצוף רחוב, חנייה או שביל, המשמש כשטח נוסף לקליטה והשהיית מי נגר, חלחול או הובלה למערכת הניקוז. החלחול מתאפשר ע"י מעבר הנגר בין אריחי הריצוף, שמונחים במרווחים מתאימים. הריצוף עצמו מונח על שכבת חומר אנרטי מדורג, (אגרגטים בגדלים שונים), שמתחתיה יריעת איטום לניקוז הנגר והעברתו למערכת התיעול או לטיפול אחר. ריצוף מחלחל הינו ריצוף מנקז שאינו כולל יריעת איטום, ולכן מאפשר חלחול נגר.

ב. שילוב בתכנית

ניתן לשימוש בחיפוי משטחים גדולים בהם ניתן להשהות מים לפרקי זמן קצרים, כגון מגרשי חנייה או ברצועות חנייה ברחובות.

כתלות ביכולת החלחול של הקרקע, ניתן להשתמש בריצוף מחלחל, על מנת להוביל את הנגר הנצבר ישירות לקרקע.

מומלץ לשימוש בריצוף משולב נטיעות, כל שיתרמו ללכידת אבק ובכך למנוע סתימת הפוגות בריצוף.

ג. יתרונות

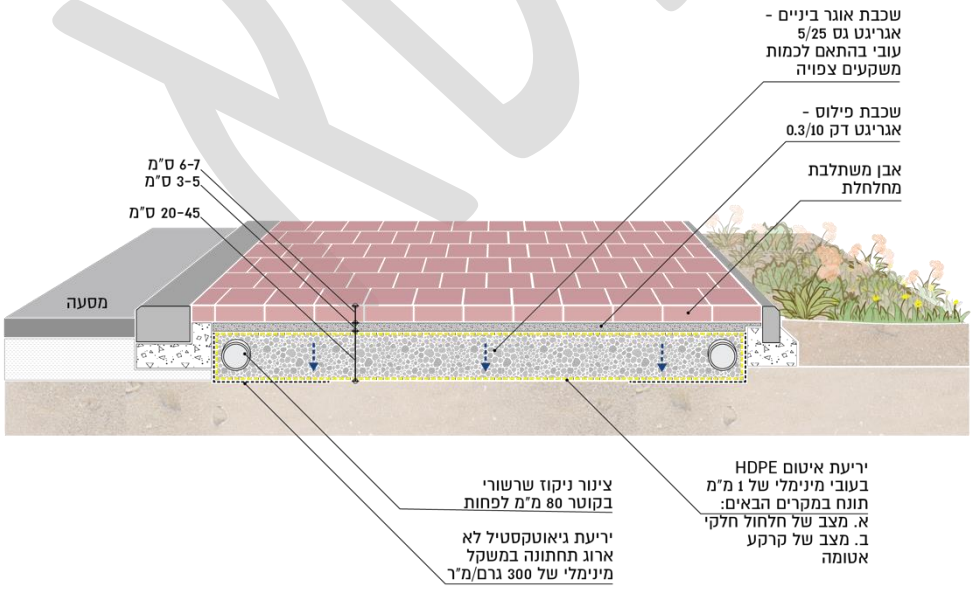
ניצול שטחים עירוניים האטומים בד"כ, לטובת ניהול נגר.

ד. חסרונות

כמות אבק ומיעוט גשמים בישראל מגדיל את הסיכון לסתימת המרווחים בין המרצפות.

תפקוד הריצוף המנקז תלוי באופן הנחת שכבות המצעים (שכבת חומר אנרטי),כך שבנייה לא נכונה מסכנת את תפקוד הריצוף, ועלולה להפוך אותו למפגע.

ישנה תפישה מוטעית לגבי הצורך בתדירות תחזוקה תכופה, הנובעת מיישום שגוי של האמצעי שנעשה בעבר בישראל, שמקורו בשימוש במצעים במקום אגרגטים, שאטמו את הקרקע.



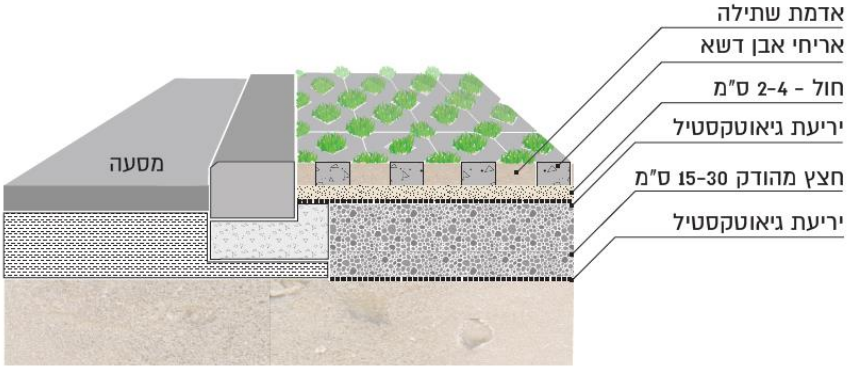
איור 63 | חלחול לתוך הבלתי רווי באמצעות ריצוף מנקז

7.3.3.1. אבן דשא

אריחי דשא הינם אריחים מחוררים, הבנויים בצורת 'כוורת' או בצורה אחרת המאפשרת לשתול דשא בחריצים או למלאם בחיפוי קרקע גרנולרי. פתרון זה מאפשר חלחול מים לקרקע. ניתן להשתמש באריחים לריצוף שבילים וחניות לרכב קל וכתשתית גישה יציבה בחרום למשאית כיבוי אש, (לכל אחד מהיישומים נדרש ביסוס שונה).

לאריחים יתרון בכך שהם פחות נוטים להיסתם מהריצוף המנקז.

החסרונות נובעים מהאקלים המקומי שעלול ליצור סתימות של החריצים באבק. כמו כן, האריחים אינם מתאימים לריצוף שבילים הדורשים נגישות לכיסאות גלגלים או עגלות, ובקיץ הם עלולים להיראות פחות טוב ללא השקייה.



איור 64 | חלחול לתוך הבלתי רווי באמצעות אבן דשא

איור 65 | דוגמא לאבן דשא המשמשת לחניה

7.3.4. גן גשם (Rain Garden)

א. הסבר כללי

פיתוח נופי המשלב שקעים רדודים בקרקע טבעית, במקומות הנמוכים בגן, בהם שתולה צמחייה. אזורים אלה מווסתים את זרימת הנגר אוגמים את הנגר ומאפשרים חלחול לקרקע. הגן מתוכנן באופן הדומה לשטח פתוח טבעי, בכך שהינו יבש בקיץ ואילו בעונות גשומות, מי הנגר משקים את הקרקע ותורמים להתפתחות הצמחייה.

ב. שילוב בתכנית

גן גשם יכול להיות משולב בנקודות הנמוכות בשטחים פתוחים מגוונים, כגון שטחים ציבוריים פתוחים, כיכר עירונית, גינות פרטיות.

ניתן לאזן בתכנון בין שילוב קרקע בעלת כושר חלחול נמוך, אשר תשהה את המים למשך זמן ארוך יותר, תיצור מופע מים בגן ותתרום להעשרת הצמחייה, לבין שילוב בור חלחול לשיפור החלחול לקרקע.

יש למקם פתח יציאה נוסף לנגר העודף (OVERFLOW), על מנת למנוע הצפה של אזורים סמוכים באירועי קיצון.

ג. יתרונות

מיחזור מי הנגר, באמצעות אספקת השקיה טבעית לצמחייה, מהווה ערך מוסף להחדרתם לקרקע. עלות הקמה נמוכה, יכול להכיל מגוון שימושים, משפר את איכות האוויר ותורם ליצירת בתי גידול לחי ולצומח התורמים למגוון הביולוגי.

ד. חסרונות

פיתוח אקסטנסיבי לעיתים פחות מתאים לגינות עירוניות בשטחים מצומצמים. מצריך תחזוקה הכוללת הסרת עשבייה לא רצויה ואפשרות להשקיה בקיץ.

איור 66 | גן גשם ב-California State University, סקרמנטו, קליפורניה, ארה"ב

7.3.5. בריכת בקלאש

א. הסבר כללי

אגן ראשוני המשמש לקליטה והשהיית נגר ולשיקוע סחף קרקע ופסולת. האגן מכוסה שברי אבן (בקאלש וחצץ), המאפשר השהיית נגר בין החללים, ומעבר הנגר לחלחול לקרקע, (כתלות בסוג הקרקע). האגן יכול להיות בנוי כציר או כמתחם דקורטיבי, ועודפי הנגר ממנו יכולים להיות מוזרמים לאמצעי ניהול נגר אחר.

ב. שילוב בתכנית

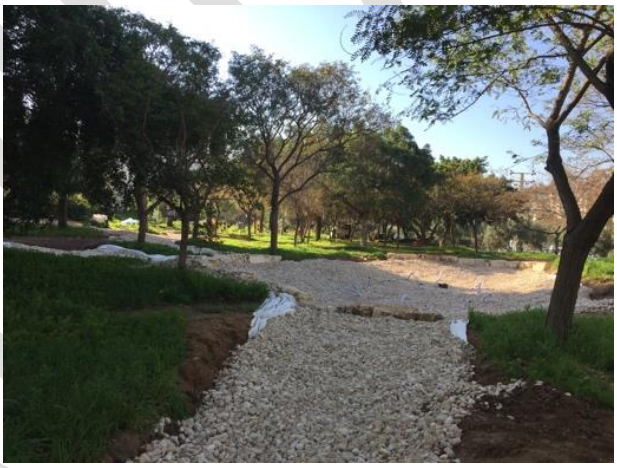
ניתן לשלב בגן רובעי, עירוני או בשטחים הפתוחים. יש לוודא את מקורות הנגר כולל אפשרויות של גלישת ביוב למניעת זיהום תת-הקרקע. בהתחשב באיכות המים ניתן לשלב קידוח, ובכך לאפשר גם החדרה לתווך הרווי.

ג. יתרונות

עלות הקמה ותחזוקה נמוכים, בנוי מחומרים טבעיים שיכולים להיות גם מקומיים.
ספיגת הנגר בתת-הקרקע יכולה לשמש להשקיית עצים וצמחים מעמיקי שורש לאורך השנה.

ד. חסרונות

מתאים כתלות באיכות מים טובה ונקיה מזיהומים.



איור 67 | חורשת בויאר, תל אביב (טרם שתילת הצמחייה). תכנון וצילום: ליאב שלם

7.3.6. קידוח החדרה לתווך הבלתי רווי

א. הסבר כללי

מערכת המאפשרת חלחול מי גשם או עודפי נגר אל התווך הבלתי רווי.[147] השימוש במערכת הוא למקרים בהם מי התהום עמוקים או שנמצאים באזור אקוויפר ההר, ולכן קידוח החדרה לתווך הרווי עלול להיות מורכב ויקר. וגם במקרים בהם הנגר אינו נקי, לדוגמא נגר שמקורו בגינות, רחובות, מגרשי חנייה ועוד, (בשונה מגגות), ולא ניתן להחדירו ישירות למי תהום. ככל שמדובר בנגר נקי, ישנה עדיפות להחדירו ישירות למי תהום, (ראו הסבר בסעיף 7.4).

המערכת בנויה על איסוף נגר מפני הקרקע לנקודה נמוכה, בה ממוקם הקידוח, ומשם הובלת הנגר באמצעות צינור שרשורי (צינור מחורר), לתת הקרקע. לפני כניסת הנגר לקידוח, יש לשלב מתקן ויסות, שתפקידו להוריד את ספיקת הנגר, והוא חשוב במיוחד בהחדרה לתווך הבלתי רווי, כיוון שקצב ההחדרה בו נמוך ביחס לתווך הרווי. בנוסף, יש לשלב שוחת סינון / שיקוע, לטובת שיפור איכות הנגר המוחדר, והארכת חיי הקידוח, שתתאפשר ע"י מניעה של כניסת מוצקים, פסולת וסחופת לקידוח, הגורמים לסתימות ולבלאי. השוחה תיבנה בהתאם למתואר בסעיף 7.5.1 להלן.

ב. שילוב בתכנית

קידוח החדרה לתווך הבלתי רווי משמש כפתרון למצבים בהם החדרה ישירה לתווך הרווי אינה עדיפה מבחינת מרחק ממי התהום או מקור הנגר ומצב הקרקע המשפיעים על איכות הנגר. הקידוח הוא אמצעי נקודתי, הממוקם במקומות הנמוכים, ומתאים לסיטואציות מגוונות, דוגמת ניקוז גינות ציבוריות ופרטיות ומגרשי חניה. כמו כן, במקומות בהם קיימת שכבה מחלחלת הנמצאת מתחת לשכבת קרקע אטימה, קידוח החדרה משמש כאמצעי להעביר את המים לשכבה המחלחלת, ויכול להיות משולב בתחתית אמצעי אחר לניהול נגר, על מנת להגדיל את נפח ספיקת הנגר המנוהל, ע"י הגדלת נפח וקצב החלחול .

הבחירה להתקין את הבור, צריכה להיות בהתאם לתנאי ומאפייני השטח - סוג הקרקע, מרחק ממי התהום, מרחק מיסודות המבנה וממערכת התיעול, לפיהם יקבע מיקום ועומק הבור.

יש לתת תשומת לב מיוחדת למניעת סתימה של הקידוח, ע״י תחזוקה שוטפת של שוחת השיקוע הצמודה לקידוח. כמו כן, בעת ביצוע עבודות הפיתוח, סתימה של הקידוח יכולה להיווצר מאדמת המגרשים שעוד לא מיוצבת, חומרי בנייה וכדומה. הגנה על הקידוח יכולה להיות באמצעות כיסוי זמני בשלב העבודות או בהתקנת הבור בסיומן.

ג. יתרונות

קומפקטי, יכול להיטמע בשטחי גינון בצורה טובה.

מאפשר חלחול נגר עילי ממקורות מגוונים.

מאפשר החדרת מי גגות במגרש הפרטי והציבורי מעל אקוויפר ההר ובאזורים באקוויפר החוף בהם התווך הרווי עמוק.

ד. חסרונות

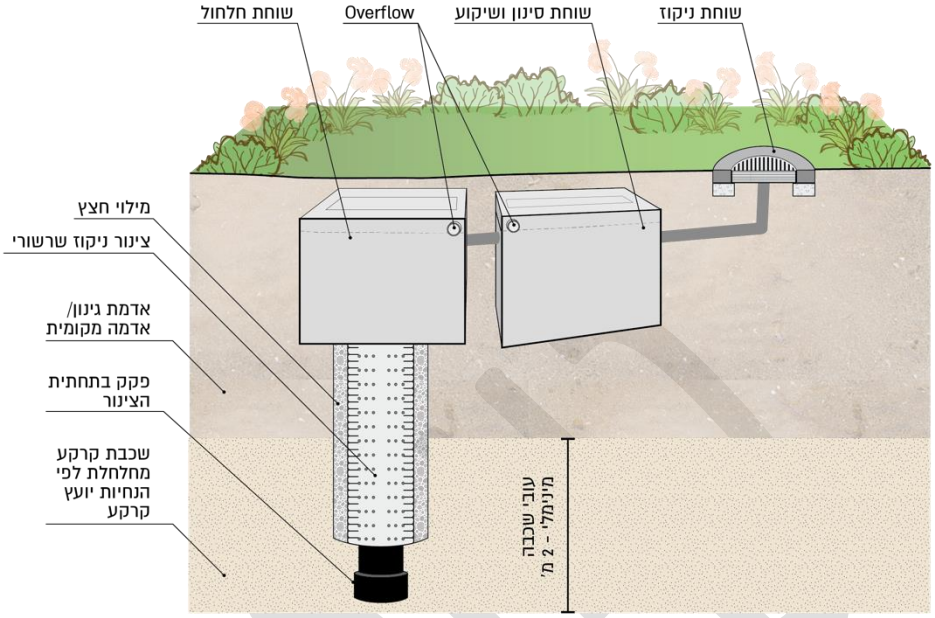
החלטה על מיקום ועומק הקידוח צריכה להיעשות בשיתוף עם יועץ קרקע, בהתייחס להשפעה על יסודות המבנה.

מצריך ניקוי שוחת הסינון / השיקוע ברמה עונתית או אחרי אירוע גשם. בנוסף, אחת לשנה, לקראת הגשמים, נדרש ניקוי בשטיפה של הקידוח עצמו, לחילופין, ניתן לוודא את פעילות הקידוח ע"י מעקב רציף אחר קצב ההחדרה.

---

[147] האזורים בתת הקרקע שאינם רוויים במי תהום, ונמצאים במרחק של שני מטר מעל מפלס מי התהום בעונת האביב.

במצב של תחזוקה נמוכה, הקידוח וסביבתו עשויים להתמלא במים עומדים, בשל סתימת הקידוח ועליית המים על גדותיו.



איור 68 | חלחול לתוך הבלתי רווי באמצעות קידוח החדרה

7.4. החדרה לתווך הרווי

הזרמה מלאכותית של נגר מפני הקרקע ישירות אל התווך הרווי[148] באמצעות קידוח. היתרון של החדרה לתווך הרווי על פני התווך הלא רווי, הוא שקצב ההחדרה גבוה יותר, (עקב מקדם החיכוך הנמוך), וכן, שהקידוחים לתווך הרווי נוטים פחות להיסתם. החיסרון הוא שהחדרה לתווך הרווי רגישה יותר לזיהומים, ולכן החדרת נגר ישירות למי התהום יכולה להתקיים רק במקרים בהם הנגר נקי, ונכון להיום המשמעות היא שמקור הנגר הוא מגגות בלבד.[149]

ככל שנמצאה סכנה לזיהום מי התהום, מסיבת איכות הנגר או זיהום בקרקע, יש להימנע משימוש בקידוחי החדרה, או לבחון פתרונות לטיהור המים, שיהיו בהתייעצות עם רשות המים והמשרד להגנת הסביבה. כמו כן, חוק המים, תשי"ט, 1959, קובע את הצורך בקבלת רישיון החדרה מרשות המים, לטובת ביצוע קידוחים.

בקידוחי החדרה באזורים בנויים, יש לבחון פתרון לעודפי הנגר (overflow), בעדיפות להפנייתם לשטח מחלחל או ישירות למערכת התיעול. גם בקידוחים לתווך הרווי יש צורך בוויסות ספיקה וסינון מקדים. כאשר מדובר במי גגות, מתקן הוויסות יכול להיות בצורת גג כחול (לא ירוק), או כשוחה ייעודית בעלת נפח.

[148] התווך הרווי הם אותם אזורים בתת הקרקע שהינם רוויים במי תהום וגבולם העליון מהווה את שפת מי התהום.

[149] לעניין זה, גגות ירוקים וכחולים, הכוללים מצע גינון המטופל בחומרי דישון אסורים.

7.4.1. קידוחי החדרה

א. הסבר כללי

קידוח החדרה הוא מתקן גלילי הממוקם בתת הקרקע, שמטרתו לקלוט נגר ולהעבירו ישירות לשכבת מי התהום.

ב. שילוב בתכנית

קידוח החדרה הוא פתרון יעיל לניהול נגר, חסכוני בשטח ותומך ומעשיר את מי התהום. במקומות ובביצוע נכונים, קידוח החדרה בודד, יכול לתת מענה ליעד ניהול נגר של מגרש שלם.

בהתאם לפרק המים בתמ"א 1,[150] את קידוחי החדרה יש לשלב באזורי עדיפות להעשרת מי תהום, כפי שמופיעים במפת 'אזורים להעשרת מי תהום'.[151] בנוסף, קידוחי ההחדרה נותנים מענה לניהול נפחי נגר משמעותיים גם במקומות עירוניים צפופים החסרים בשטחים פתוחים.

מיקום קידוח ההחדרה יהיה בהתייחס לשכבות הקרקע, בין היתר, על מנת להימנע מהחדרת מים לשכבות קרקע אטומות. בנוסף, הקידוח ימוקם במרחק מקירות דיפון. קידוח ההחדרה הינו אמצעי רגיש, ועל מנת לשמר את פעילותו לאורך זמן, יש לדאוג שלא יוצרו סתימות. לצורך כך, נדרש להקצות לצד כל קידוח, שטח לשוחת סינון ושיקוע, לפתרון לעודפי הנגר.

ג. יתרונות

טיפול בכמויות גדולות של נגר בשטח קטן; מתן מענה לניהול נגר באזורים עירונים אינטנסיביים; העשרת מי התהום.

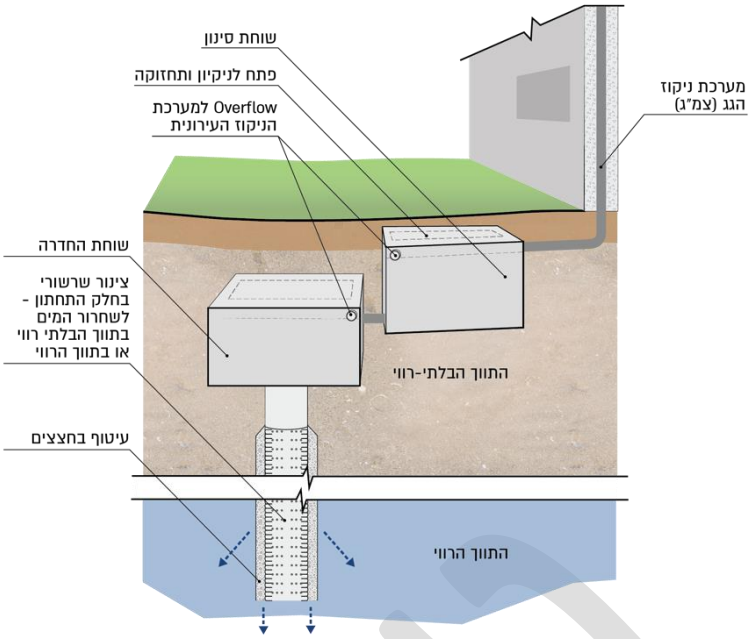
ד. חסרונות

עלויות הקמה גבוהות יחסית, בהתחשב בכך שקידוח אחד יכול לנהל נגר משטח של דונמים ספורים לכל היותר. אמצעי רגיש שתפקודו תלוי בתחזוקה שוטפת.
לא ניתן לשלב קידוח החדרה בשטחים מבונים בתת הקרקע, בשל החשש מעלייה והצטברות של מים מהקידוח בחלל התת קרקעי, באופן שיסכן את משתמשים.

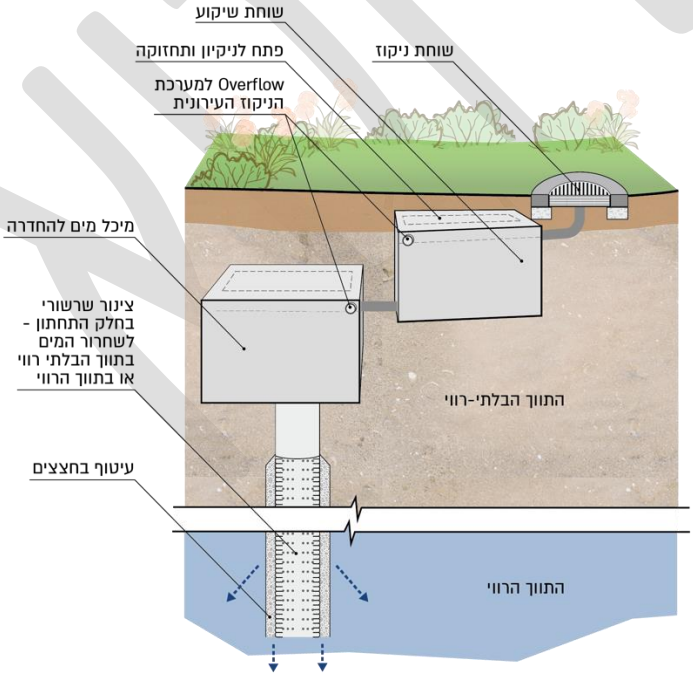
---

[150] ראו סעיף 7.1.8.

[151] כפי שהיא מפורסמת על ידי רשות המים באתר data.gov, בקישור הבא .



איור 69 | העשרת מי תהום באמצעות קידוח החדרה מצמ"גים



איור 71 | העשרת מי תהום באמצעות קידוח החדרה בשטחים הפתוחים

7.5.טיוב איכות הנגר (Treatment)

נגר הזורם על פני השטח עלול לספוח אליו חומרים מזהמים (מוצקים, נוטריינטים, מתכות כבדות ופתוגנים), המצויים בסביבה העירונית בכמויות ובריכוזים גבוהים, ובכך להביא לזיהום של הקרקע ומי התהום.

השימוש בקרקע ממנה מגיע הנגר, משפיע על סוג וריכוז המזהמים שנושא הנגר. טיהור הנגר הינו אמצעי משלים לפתרונות ניהול נגר, ומאפשר לפרק ולהרחיק את המזהמים טרם העברתם לאמצעי ניהול נגר אחרים.

עיקר המזהמים מגיעים בגל הראשון של הנגר (First Flush), שלאחריו מי הנגר לרוב נקיים יותר. במדינות בהן הגשם מתפרש על פני כל השנה, הגל הראשון של הגשם, קורה רק בתחילת עונת הגשמים ולפעמים גם זה לא. בישראל, בה גם באמצע החורף ישנם שבועות וחודשים ללא גשם, זיהום מהגל הראשון עלול להתרחש כמה פעמים בעונה.

7.5.1. שוחת שיקוע

א. הסבר כללי

שוחת שיקוע הוא מתקן תת קרקעי קטן, שנפחו לרוב אינו עולה על מ"ק אחד, שתפקידו לשפר את איכות הנגר באמצעות שיקוע מוצקים, פסולת וסחופת, ולעיתים גם ע"י תפיסת פסולת צפה כגון שמנים, ופלסטיק. פרט שוחת שיקוע סטנדרטי (ראן איור מס' 46), משקע את המזהמים בתא הראשון, לוכד שמנים ושומנים צפים בתא השני ומזרים הלאה מים נקיים יותר. ישנם גם מוצרים מסחריים המבוססים על הפרדת מזהמים באמצעות מערבולות (Vortex).

ב. שילוב בתכנית

שוחות שיקוע משולבות לרוב כמתקן מקדים לאמצעי ניהול נגר, על מנת לשמור על איכות מי הנגר המחלחלים/מוחדרים אל הקרקע/מי התהום. שוחת השיקוע צוברת מזהמים בעת אירוע הגשם ולאחר האירוע, (או לאחר מספר אירועים או אף בתום החורף, תלוי במקרה), לכן חשוב לתכנן את המתקן כך שיחזיק את המזהמים גם בשיא האירוע. את המזהמים הנותרים יש לנקות ע"י שאיבה למערכת הביוב, בריקון למתקן פסולת או באמצעי אחר.

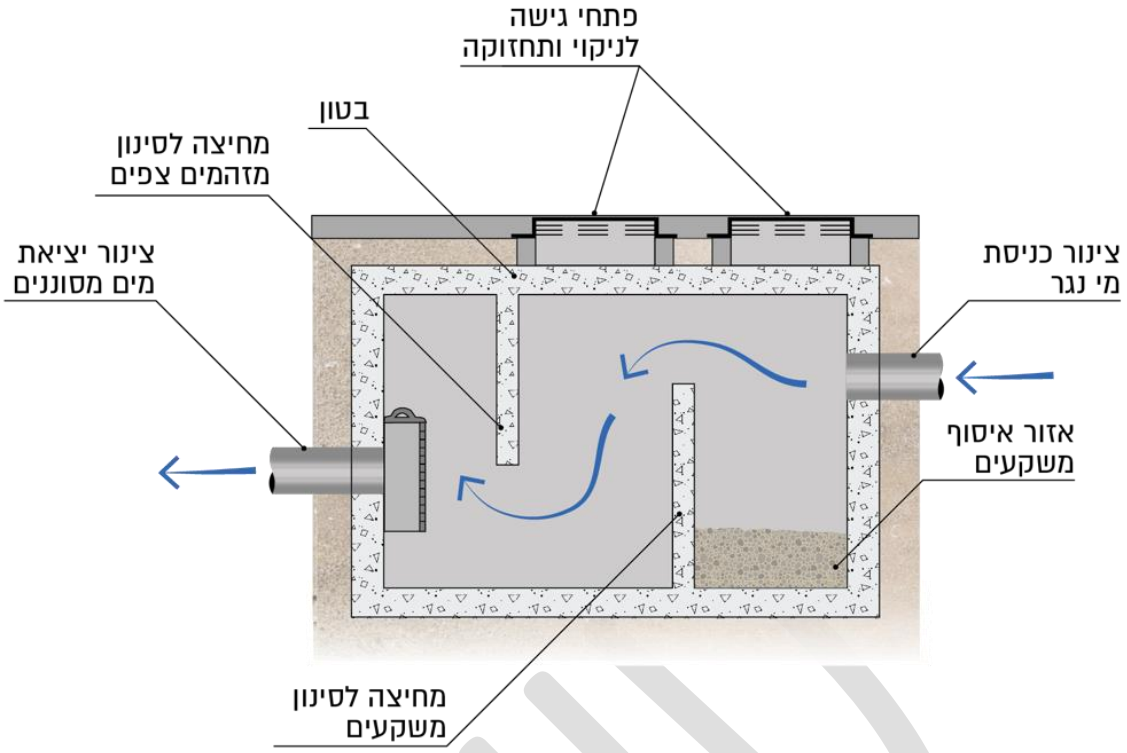
שוחת שיקוע יכולה לטפל בספיקה גבוהה יחסית ולכן מתאימה גם לשימוש בשטחים ציבוריים המנקזים שטח גדול.

ג. יתרונות

שיפור איכות מי הנגר לשם הגנה על מתקנים אחרים לניהול נגר, מניעת סתימות וצמצום תחזוקתם וכן שמירה על איכות מי התהום והקרקע. שוחת שיקוע יכולה לטפל בספיקות גבוהות, להבדיל מאמצעים אחרים לטיוב איכות נגר.

ד. חסרונות

השוחה בפני עצמה אינה תורמת כמעט לנפח ניהול הנגר, אלא באה בנוסף למתקן המנהל את הנגר. השוחה דורשת ריקון של מזהמים, אחרת היא עלולה להיסתם בעצמה ולגרום להצפות. שוחה, אף אם היא מתוכננת טוב, תסיר את רוב המוצקים המרחפים, אך לא את כולם. לכן יש לנקוט במשנה זהירות בעת יישום לפני אמצעים שרגישים לסתימות כגון קידוח החדרה.



איור 71 | טיוב איכות מי הנגר בשטחים פתוחים באמצעות שוחת שיקוע

7.5.2. שוחת סינון ושוחת שיקוע

א. הסבר כללי

בדומה לשוחת השיקוע, מטרת שוחת סינון היא ללכוד את המזהמים בנגר, והיא משמשת כאמצעי מקדים בכך שהיא מטייבת את איכות הנגר. שוחת השיקוע היא קופסה לא גדולה, שיכולה להיות על הקרקע או בתת הקרקע. הסינון בשוחה מתבצע באמצעות מערך של מסננים עם צפיפות רשת הולכת וגדלה, כאשר המסנן האחרון הוא בד גיאוטכני (איור 72).

ב. שילוב בתכנית

מטרת שוחת הסינון היא ניקוי הנגר, טרם כניסתו לקידוח החדרה. מאחר שהמסננות מגבילות את כושר הולכת השוחה, יש להתקין לפני השוחה מתקן ויסות, שיפחית את הספיקה הנכנסת. על מנת למנוע סתימות תכופות של השוחה, עדיף גם שהנגר יהיה נקי יחסית (מי גגות). בהתאם לכך, שוחת הסינון מתאימה בעיקר כאמצעי מקדים לקידוח החדרה לתוך הרווי במגרשים פרטיים (או שב"צים), ופחות לשטחים ציבוריים בהם הספיקה גבוהה והנגר מלוכלך יותר.

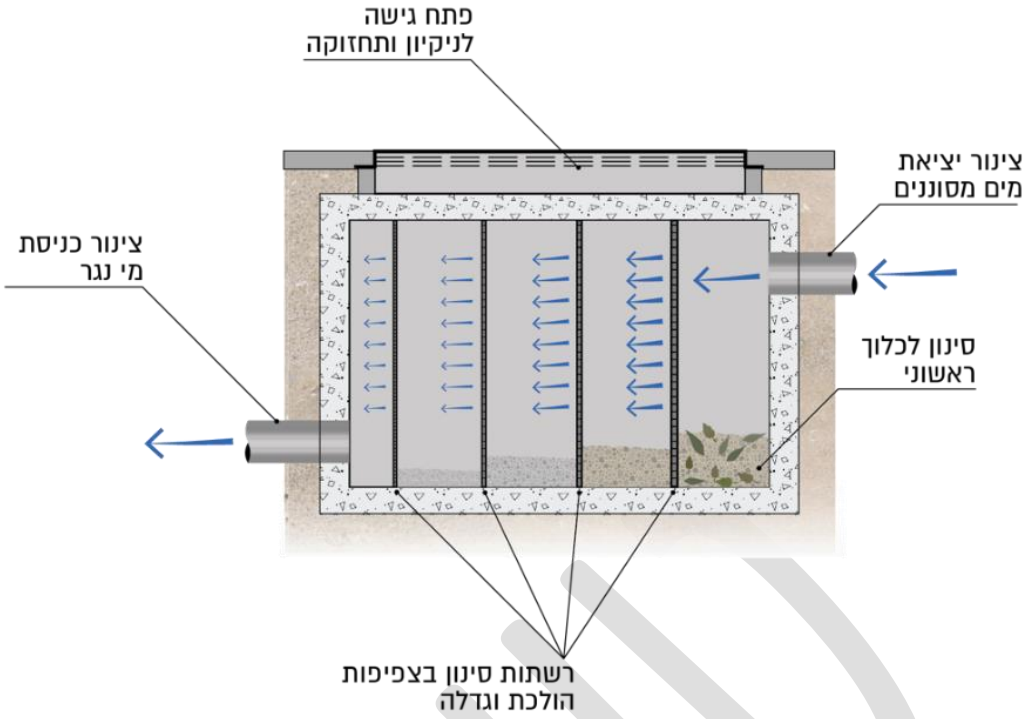
ג. יתרונות

אמצעי פשוט להתקנה בעל שטח קטן, שמונע סתימות בקידוחים.

ד. חסרונות

אינו תורם לניהול הנגר לכשעצמו ואינו מתאים לשטחים ציבוריים.
השוחה דורשת תחזוקה מינימלית של ניקוי תקופתי של מסננים שהינה פעולה מכאנית ופשוטה למדי. שוחה שלא תתוחזק עלולה להיסתם וליצור הצפות סביבה.

איור 73 | שוחת שיקוע במכון הוולקני בבית דגן, מתוך מחקר של רשות המים. סדרת מסננים בצפיפות הולכת וגדלה שלאחריהם הנגר מוזרם ישירות לקידוח ההחדרה (אין כוונה לשילוב שוחה מעל לפני קרקע, אלא כפי שמופיע בפרט, באיור הבא (74).



איור 74 | טיוב איכות מי הנגר מצמ"גים באמצעות שוחת סינון

7.6. השוואת עלויות אמצעי ניהול הנגר

הערכה מדויקת של עלויות אמצעי ניהול הנגר יכולה להיעשות רק בהליך תכנון, תוך התאמה לתנאי השטח. עם זאת, על מנת להציע כלי עבודה ראשוני שיאפשר למפות את האמצעים מבחינה כלכלית, נערכה הטבלה הבאה. מטרת הטבלה היא לשקף אומדן יחסי של עלויות פיתוח אמצעי ניהול הנגר המוצגים בפרק זה. הערכת עלות הפיתוח של כל אמצעי נעשתה ביחס לעלות פיתוח סטנדרטית, שאינה כוללת את אמצעי ניהול הנגר ככל שהיה ניתן, כלומר, האמצעים אינם בהשוואה האחד לשני. לדוגמא: עלות התקנה של מ"ר ריצוף מנקז הוערכה ביחס לעלות התקנה של מ"ר ריצוף סטנדרטי. החלוקה בטבלה נעשתה לפי סוגי פיתוח שונים, במטרה להבדיל בין הצרכים וסדרי הגודל המאפיינים אותם, ולכן יצא שאמצעים מסוימים מופיעים מספר פעמים בטבלה. חשוב לציין, כי טבלה זו מתייחסת להיבט הכלכלי בלבד, ואין בה התייחסות ליעילות האמצעי ביחס לכמות המים שמנהל או לתועלות וערכים נוספים, כמו העשרת מי תהום, תמיכה בערכים אקולוגיים וכדומה. להרחבה על היבטים כלכלים של הטמעת אמצעי ניהול הנגר, ראו פרק 5.

רחובות	ללא עלות נוספת (תכנון מיטבי) / עלות נמוכה	עלות בינונית	עלות גבוהה	רקע להערכת העלויות
רחובות הולכת נגר		אי תנועה מנקז		בהשוואה לפיתוח אי תנועה סטנדרטי, העלות הנוספת נובעת מהנמכת הקרקע ומיצירת תשתית מחלחלת
	ניקוז במרכז המיסעה			מיקום פתחי הניקוז במרכז המיסעה במקום בסמוך לאבן השפה, אינו דורש עלות נוספת
	אבן תעלה			שילוב אבן תעלה בשביל או מדרחוב דומה לעלות ריצוף סטנדרטי
תעלת חלחול	תעלת חלחול			בהשוואה לערוגה מגוננת, העלות הנוספת נובעת מהנמכת הקרקע ומיצירתה תשתית מחלחלת
מדרכות צפות		אדמת מבנה		בהשוואה למדרכה סטנדרטית, העלות הנוספת נובעת מחפירה ומילוי באדמת מבנה
			מערכת מודולרית לתמיכה בריצוף מרחף	בהשוואה למדרכה סטנדרטית, העלות הנוספת נובעת מעלות המערכת ומההתקנה
תעלות וערוגות עצים	תעלות וערוגות עצים			בהשוואה למדרכה סטנדרטית עם מיעוט פתחי נטיעה, העלות הנוספת נובעת משילוב ערוגות מגוננות לינאריות
חלחול במעגלי תנועה		חלחול במעגלי תנועה		בהשוואה למעגל תנועה סטנדרטי, העלות הנוספת נובעת ביצירת פתחי ניקוז מכיוון המיסעה, הנמכת הקרקע ויצירת תשתית מחלחלת
ריצוף מנקז		ריצוף מנקז		בהשוואה לריצוף סטנדרטי עם תשתית מצעים, העלות הנוספת נובעת מיצירת תשתית מחלחלת
	אבן דשא			

הולכת נגר	השהייה ואיגום	חלחול	החדרה	טיוב איכות הנגר

שצ"פים / כיכרות עירוניות	ללא עלות נוספת (תכנון מיטבי) / עלות נמוכה	עלות בינונית	עלות גבוהה	רקע להערכת העלויות
עיצוב טופוגרפיה ושיפועים	עבודות עפר בלבד			מבוסס תכנון נכון הכולל הכנסת שיקולי ניהול הנגר בשלב התכנון המוקדם, ועל כן אין עלויות פיתוח נוספות
		לימנים		העלות נובעת מעבודות עפר נקודתיות וייצוב מדרונות מתונים באמצעים "רכים", לעיתים במקומות שלא כללו פיתוח נופי, ולא הוגדרה בהם מטרת ניהול נגר
			טרסות	בהשוואה להסדרת טופוגרפיה באמצעות עבודות עפר וצמחייה בלבד, העלות הנוספת נובעת מבניית קירות תמך
רחובות הולכת נגר	אבן תעלה			שילוב אבן תעלה בשביל או מדרחוב דומה לעלות ריצוף סטנדרטי
תעלת חלחול		תעלת חלחול		בהשוואה לערוגה מגוננת, העלות הנוספת נובעת מהנמכת הקרקע ויצירת תשתית מחלחלת
		תעלה צרפתית		בהשוואה לערוגה מגוננת, העלות הנוספת דומה לתעלת חלחול בתוספת צינור שרשורי לניקוז
אפיקי נחלים וערוצי זרימה			הרחבת ערוצי זרימה	העלות נובעת מהקצאת שטחים להרחבת גדות הערוץ, עבודות עפר ושיקום צמחי לייצוב הגדות
			שימור ושחזור ערוצי זרימה	העלות נובעת מהקצאת שטחים לשחזור הערוץ המקורי, עבודות עפר ושיקום צמחי לייצוב הגדות
			מתקן לשיכוך אנרגיה	העלות נובעת מהקצאת שטח, חפירה ומילוי באגרגטים
מדרכות צפות		אדמת מבנה		בהשוואה למדרכה סטנדרטית, העלות הנוספת נובעת מחפירה ומילוי באדמת מבנה
			ריצוף צף/דק	בהשוואה לריצוף באבן משתלבת, העלות הנוספת נובעת מעלות החומר וההתקנה
כיכרות מים		כיכרות מים		העלות הנוספת נובעת מהנמכת הקרקע, יצירה של תשתית מחלחלת ופיתוח עמיד להצפה
מאגר ויסות תת קרקעי		מאגר ויסות קטלוגי (Drainbox)		העלות הנוספת נובעת מעלות תשתית המאגר כולל התקנה
			מאגר ויסות בנוי	העלות הנוספת נובעת מעלויות תכנון ויציקת חלל מבטון וזאת בהתאם לסוג וגודל המאגרים
השהייה במעלה			השהייה במעלה	העלות משתנה בין אמצעי השהייה שונים במעלה ויכולה להיות מבוססת תכנון נכון ועד לאמצעי בעלויות גבוהות יותר
פשט הצפה			פשט הצפה	**העלות משתנה בין פשט הצפה במקומות שונים ויכולה להיות מבוססת תכנון נכון ועד עלויות גבוהות יותר באזורים בהם הפיתוח צריך להיות עמיד להצפה**

שצ"פים / כיכרות עירוניות	ללא עלות נוספת (תכנון מיטבי / עלות נמוכה	עלות בינונית	עלות גבוהה	רקע להערכת העלויות
ריצוף מנקז	ריצוף מנקז			בהשוואה לריצוף סטנדרטי עם תשתית מצעים, העלות הנוספת נובעת מיצירת תשתית מחלחלת
	אבן דשא			
גן גשם	גן גשם			בהשוואה לערוגה מגוננת, העלות הנוספת נובעת מהנמכת הקרקע, מיצירת תשתית מחלחלת ומהתאמת הצומח
בריכת בקלאש		בריכת בקלאש		העלות הנוספת תלויה בין חפירה ומילוי באגרגטים בלבד, לפיתוח הכולל החלפת קרקע וקידוחי החדרה. וכן, האמצעי מצריך הסבת חלק משטח השצ"פ לצורך הבריכה
קידוח החדרה		קידוח החדרה		העלות הנוספת נובעת מקידוח קרקע (בעומק משתנה וקרקעות שונה), התשתית ומילוי באגרגטים
שוחת שיקוע	שוחת שיקוע			העלות הנוספת נובעת מחפירה והתקנה והשוני בעלות תלוי בגודל השוחה ונפחה נגר המנוהל

הולכת נגר	השהייה ואיגום	חלחול	החדרה	טיוב איכות הנגר

שטחים פתוחים[152]	ללא עלות נוספת (תכנון מיטבי) / עלות נמוכה	עלות בינונית	עלות גבוהה	רקע להערכת העלויות
עיצוב טופוגרפיה ושיפועים	עבודות עפר בלבד			מבוסס תכנון נכון הכולל הכנסת שיקולי ניהול הנגר בשלב התכנון המוקדם, ועל כן אין עלויות פיתוח נוספות
	לימנים			העלות נובעת מעבודות עפר נקודתיות וייצוב מדרונות מתונים באמצעים "רכים", לעיתים במקומות שלא כללו פיתוח נופי, ולא הוגדרה בהם מטרת ניהול נגר
			טרסות	עבודות עפר נקודתיות ועלויות הקמה גבוהות ללא תלות בבחירה של טכניקת הבניה
אפיקי נחלים וערוצי זרימה			הרחבת רצועת הנחל	עבודות עפר ושיקום צמחי לייצוב הגדות, ייתכנו עלויות של הקצאת קרקעות להרחבת רצועת הנחל
			הסרת סכרים ומחסומים	עלויות עבודות הפירוק, עבודות עפר ושיקום צמחי לייצוב הגדות במורד
			שימור ושחזור ערוצי זרימה	הקצאת שטחים לשחזור הערוץ המקורי, עבודות עפר ושיקום צמחי לייצוב הגדות
		מתקן לשיכוך אנרגיה		חפירה ומילוי באגרגטים
בריכת חורף		בריכת חורף		עלויות תכנון ליצירת התפקוד האקו-הידרולוגי של הבריכה, עבודות עפר ושיקום צומח
השהייה במעלה		השהייה במעלה		**העלות משתנה בין אמצעי השהייה שונים במעלה ויכולה להיות מבוססת תכנון נכון ועד לאמצעי בעלויות גבוהות יותר**
מאגרי צד			איגום	העלות נובעת מעלויות תכנון, חפירה וייצוב ושיקום המדרונות. כולל פיתוח ערוץ הזרימה המוביל אל המאגר והקצאת השטחים הנדרשת
		הפניה מחצבה		נובעת מעלויות תכנון, ייצוב ושיקום המדרונות. ייתכן צורך בעבודות עפר נקודתיות. כולל פיתוח ערוץ הזרימה המוביל אל המאגר והקצאת שטח הנדרש
		הצפת התוואי הקדום		נובעת מעלויות תכנון, ייצוב ושיקום המדרונות. ייתכן צורך בעבודות עפר נקודתיות. כולל פיתוח ערוץ הזרימה המוביל אל המאגר והקצאת שטח הנדרש
פשט הצפה	פשט הצפה			משתנה בין פשט הצפה במקומות שונים ויכולה להיות מבוססת תכנון נכון ועד עלויות גבוהות יותר באזורים בהם הפיתוח צריך להיות עמיד להצפה

הולכת נגר	השהייה ואיגום	חלחול	החדרה	טיוב איכות הנגר

[152] הכוונה ב'שטחים פתוחים' היא לשטחים נרחבים בשטח העירוני של רשות מקומית, באופן טיפוסי לרוב בפאתי העיר, באזורי טבע עירוני, ולאורך ערוצי זרימה.

רמת המגרש[153]	ללא עלות נוספת (תכנון מיטבי) / עלות נמוכה	עלות בינונית	עלות גבוהה	רקע להערכת העלויות
עיצוב טופוגרפיה ושיפועים	עבודות עפר בלבד			מבוסס תכנון נכון הכולל הכנסת שיקולי ניהול הנגר בשלב התכנון המוקדם, ועל כן אין עלויות פיתוח נוספות
			טרסות	בהשוואה להסדרת טופוגרפיה באמצעות עבודות עפר וצמחייה בלבד, העלות הנוספת נובעת מבניית קירות תמך
מדרכות צפות		אדמת מבנה		בהשוואה למדרכה סטנדרטית, העלות הנוספת נובעת מחפירה ומילוי באדמת מבנה
			מערכת מודולרית לתמיכה בריצוף מרחף	בהשוואה למדרכה סטנדרטית, העלות הנוספת נובעת מעלות המערכת וההתקנה
			ריצוף צף/דק	בהשוואה לריצוף באבן משתלבת, העלות הנוספת נובעת מעלות החומר וההתקנה
גג סופג		גג כחול		בהשוואה לפיתוח גג ללא מערכת השהיית נגר, העלות הנוספת נובעת מהנחת תשתית סופגת ומאיטום
		גג ירוק		בהשוואה לפיתוח גג ללא מערכת השהיית נגר, העלות הנוספת נובעת מהנחת תשתית סופגת, גינון ואיטום
קיר ירוק			קיר ירוק	בהשוואה לבניית קיר סטנדרטי, העלות הנוספת נובעת מהנחת תשתית ורטיקלית לשתילה וצמחייה
מאגר ויסות תת קרקעי		מאגר ויסות קטלוגי (Drainbox)		העלות נובעת מעלות תשתית המאגר כולל התקנה
		מאגר ויסות בנוי		העלות נובעת מעלויות תכנון ויציקת חלל מבטון וזאת בהתאם לסוג וגודל המאגרים
ריצוף מנקז		ריצוף מנקז		בהשוואה לריצוף סטנדרטי עם תשתית מצעים, העלות הנוספת מיצירת תשתית מחלחלת
	אבן דשא			בהשוואה לריצוף סטנדרטי עם תשתית מצעים, העלות הנוספת מיצירת תשתית מחלחלת
גן גשם	גן גשם			בהשוואה לערוגה מגוננת, הכלות הנוספת העלויות הנמכת הקרקע, יצירת תשתית מחלחלת והתאמת הצומח
קידוח החדרה		קידוח החדרה		העלות נובעת מקידוח קרקע (בעומק משתנה וקרקעות שונה), התשתית ומילוי באגרגטים
שוחת סינון		שוחת סינון		העלות נובעת מחפירה והתקנה והשוני בעלות הינו כתלות בגודל השוחה וכמות המשקעים הדורשים טיפול

הולכת נגר	השהייה ואיגום	חלחול	החדרה	טיוב איכות הנגר

[153] הכוונה ב'רמת המגרש' היא למגרשים בשימושי מגורים, מסחר, תעסוקה, מבני ציבור וכדומה.

8. אמצעים משלימים לקידום ניהול נגר בישראל[154]

8.1. השלמת תכנון אגני ומקומי

ניהול נגר חייב להתחיל מלמעלה, ולהכתיב את התפישה והמסגרת העקרונית והכמותית לתכנון המרחב, שממנה ייגזר התכנון המקומי, התכנון המפורט והיתר הבניה. בהתאם לכך, על מנת לנהל נגר באופן מדויק ויעיל, נדרש לקדם ראשית את בסיסי התכנון - **תכניות האב האגניות,**[155] ע"י רשויות הניקוז. לאור התכנון האגני, יש לקדם **את תכניות האב המקומיות,**[156] ע"י הרשויות המקומיות, בשיתוף ותיאום עם רשויות הניקוז. לאחר מכן, ומתוך המסגרת, המדיניות והכללים, יערכו התכניות המפורטות והיתרי הבניה, שתפישת ניהול הנגר המקומית והאגנית תשולב בהם באופן קוהרנטי. לפיכך, האמצעים המשלימים המהותיים ביותר לקידום נושא ניהול נגר בישראל הוא קידום התכנון האגני והמקומי. וככל שאלו לא יקודמו בסדר זה, או לא יושלמו באופן אחיד מבחינה מרחבית, יש למצות באופן הטוב ביותר את ניהול הנגר, אם ברמה המקומית ואם ברמת התכנית מפורטת, דרך עריכת נספח ניהול הנגר.

8.2. אימוץ תכניות האב האגניות והמקומיות ע"י מוסדות התכנון

ככל שתכנית אב לניהול נגר, אגנית או מקומית לא תהיה מוכרת למוסד התכנון, המחוזי או המקומי, היא לא תבוא לידי ביטוי בקבלת החלטות בתכניות ובהיתרי בניה. כמו כן, ייתכן שתכניות האב אינן מתיישבת עם מדיניות התכנון המחוזית או המקומית או עם התכנון המאושר. על כן, כבר בשלב עריכת תכניות האב יש לערב את מוסדות התכנון, ועם גיבושה, יש לדון בה בוועדת התכנון לצורך אימוצה.

8.3. קידום תמ"א משלימה לניהול סיכוני שיטפונות בשטחים הפתוחים

כחלק ממערך תכנון ניהול נגר ברמה האגנית, נדרשים פתרונות לוויסות וריסון שיטפונות הנוצרים בנחלים בשטח הפתוח, על מנת לצמצם את ההשפעה על השטחים העירונים. קודמה הצעה בשיתוף משרד החקלאות ורשויות הניקוז, לקידום תמ"א שמטרתה לתת מענה לניהול סיכוני שיטפונות ברמה האגנית, תוך התחשבות בצפי גידול האוכלוסייה, יעדי התכנית האסטרטגית לדיור ושינויי האקלים. ניתנה הוראה לעריכת התמ"א כאמור, בישיבת המועצה ביום 1.12.2020.

8.4. חקיקה משלימה

השלב התכנוני האחרון והקרוב ביותר לשטח, הוא היתר הבניה. היתר הבניה הוא שיכתיב ויבטיח את השילוב והביצוע של אמצעי ניהול הנגר. בהתאם לכך, יש לתת את הדעת על ביטוי תפישת ניהול הנגר והאמצעים שלבים הבאים: בתכנית, בהיתר הבניה, בבניה בפועל, בגמר הבניה ובתחזוקה השוטפת. לשם כך, במקביל לעבודה מוצע לקידום תיקונים לתקנות הבאות:

1. תיקון 'תקנות התכנון והבנייה (הקמת מכון בקרה ודרכי עבודתו), תשע"ח-2018', שעניינו בהנחיות להכנת נספח ניקוז בהיתר (סעיף 8, 'נספח ניקוז', התוספת הראשונה), ולפרק ט', 'תחומי הבקרה', העוסק בתחומי בקרת התכן ובקרת ביצוע. בנוסף, יקודמו מפרטי עבודה לבקרת הבניה של אמצעי ניהול הנגר השונים.
2. תיקון 'תקנות התכנון והבניה' - תכן הבניה (תברואה) - 2019, הקובעות, בין היתר, את סילוק הנגר ממקור הגגות והמרפסות במגרש הפרטי לרחוב, והפניית העודפים לביוב. מטרת התיקון הוא לעודד את שימור הנגר ולמנוע הזרמתו למערכת השפכים.
3. קידום תקנות חדשות לחיוב ביצוע החדרה לנגר ממי גגות ומרפסות, בבניינים רבי קומות.

---

[154] אמצעים משלימים נוספים ניתן למצוא בפרק מס' 5 - בחינה כלכלית .

[155] כפי שמפורט בסעיף 4.3.3.1.

[156] שם.

9. מילון מונחים

המונח	הסבר
אגן ניקוז	אזור גיאוגרפי שהמשקעים היורדים בו מתנקזים למוצא משותף אחד
אירוע גשם	רצף גשם בעל מאפיינים מסוימים
איגום נגר	מניעה מכוונת של זרימת נגר בכלי המשתמש בנפח אגירה (עם או בלי מוצא) כגון מאגר, מיכל ייעודי ועוד
אזור גשם	יחידת שטח בעלת מאפייני גשם ייחודיים, שלפיה נקבעות עוצמות הגשם לתכנון
אמצעי ניהול נגר	אלמנט המאפשר איגום; ויסות; חלחול; החדרה, ובכלל זה השהיית הנגר לפרק זמן קצוב, ועל ידי כך מקטין את ספיקת הנגר היוצאת
אקוויפר	שכבת קרקע, המהווה מאגר מים תת קרקעי.
אקוויפר ההר	אקוויפר המתאפיין בקרקע סלעית וסדוקה (אקוויפר סדוק), ובמאגרי מים עמוקים, בשל כך יכולת החלחול והחדרת הנגר למי התהום בתחומו מוגבלת, ותלויה באופי המסלע, גודל הסדקים שלו ועומק מי התהום
אקוויפר החוף	אקוויפר המתאפיין בקרקע חולית (אקוויפר נקבובי) ובמאגרי מים גבוהים יותר ועל כן, לרוב, נגישים להחדרה
גשם אפקטיבי	החלק בגשם שיוצר נגר, שהינו פחות מכלל הגשם שיורד עקב תהליכים של תפיסה, חלחול, התאדות וכו'
החדרת נגר	פעולה מלאכותית להחדרת נגר לתת הקרקע לשכבות רוויות הנעשית בדר"כ ע"י קידוח
השהיית נגר	איגום זמני של נגר לטובת מיתון ודחיית ספיקת השיא, טיפול בו ו/או העברתו למקום אחר. ההשהיה מהווה מקרה פרטי של איגום זמני
זמן הריכוז	משך הזמן הנדרש לנגר עילי לזרום מהנקודה המרוחקת ביותר באגן עד למוצא האגן
חלחול נגר	פעולה טבעית של חלחול נגר בקרקע חשופה לתווך הבלתי רווי. ניתן להאיץ את החלחול באמצעים מלאכותיים לניהול נגר
יעד ניהול נגר	יעד כמותי של נפח נגר לניהול בתכנית, המחושב ע"י מחשבון ייעודי לפי פרמטרים של גודל תכנית, אזור הגשם, שטח אטום, סוג הקרקע/ מקדם הנגר.
כושר חידור	תכונה פיזיקלית של הקרקע, המתארת את קצב החלחול של מים בקרקע. כושר החידור משליך על כמות הנגר שניתן לחלחל לקרקע ולמי התהום, ועל כמות הנגר שנוצרת בשטח פתוח. מכונה גם מוליכות הידראולית, ונמדד ביחידות של עובי לזמן, כגון מ"מ לשעה
מעלה / מורד	מיקום טופוגרפי - גבוה או נמוך, המכתיב את זרימת הנגר. המורד הוא שבד"כ נפגע מהנגר, ואילו במעלה ניתן למנוע את הפגיעה במורד, בין היתר, ע"י יישום אמצעי ניהול נגר
מקדם נגר	יחס הנגר הנוצר מתוך כלל הגשם היורד בשטח מסוים. מקדם הנגר תלוי בעיקר בתכסית ובכושר החידור של הקרקע
נגר, נגר עילי	הצטברות וזרימת מים על פני השטח, עקב ירידת גשמים, לאחר האידוי לאטמוספירה וחידור לקרקע
נפח נגר	יחידת מידה כמותית לחישוב נגר, לרוב משתמשים במטר קוב.
TOP SOIL	שכבת הקרקע העליונה המכתיבה את יכולת חלחול הקרקע ואת מקדם הנגר
ספיקה	כמות נגר הזורם בתוואי נתון ליחידת זמן. מחושבת לרוב במטר קוב לשניה.
ספיקת תכן	למונח שתי משמעויות, והן תלויות בהקשר, להלן: א) מונח הידרולוגי/סטטיסטי המתאר את הספיקה האמורה להיווצר בנקודה מסוימת לתקופת חזרה נדונה ב) מונח הנדסי המתאר את הספיקה שתעלה/צינור מסוגלים להעביר (Design Capacity)
עוצמת גשם	עובי הגשם שיורד ליחידת זמן. למשל מ"מ לשעה
ערוץ זרימה היסטורי במצב הטבעי	תוואי הזרימה במצב הטבעי של השטח, טרם התערבות אנושית. הסיבה להתייחסות זו היא נטיית המים, לחזור לזרימתם הטבעית. בישראל לרוב מדובר בתוואי הזרימה כפי שמופו בתקופת המנדט הבריטי
הפן הבייני	אזור מגע בין מי תהום מתוקים למי הים החודרים לתת הקרקע, בסמוך לאזור החוף. מדובר בשכבה בעובי של מספר מטרים , בה הפרשי המליחות יורדים בהדרגה. באזור הפן הבייני רצוי שלא להחדיר נגר על מנת שלא לדחוק את השכבה המלוחה מזרחה ולהמליח מי התהום מתוקים
ספיקת שיא	הספיקה הגבוהה ביותר באירוע גשם מסוים. מערכות תיעול מתוכננות על מנת להתמודד עם ספיקות שיא
אזור עדיפות להעשרת מי תהום	אזור עם עדיפות להחדרת נגר, עקב נגישות שכבות מי התהום, נקבע לפי המפה של רשות המים
התווך הרווי	אזורים בתת הקרקע הרוויים במי תהום, שגבולם העליון מהווה את שפת מי התהום
התווך הבלתי רווי	האזורים בתת הקרקע הנמצאים בין פני הקרקע למי התהום ואינם רווי במים
תקופת חזרה	שכיחות סטטיסטית לחזרת אירוע מסוים (גשם, ספיקה או כל אירוע אחר) . המשמעות של תק' חזרה של 1:50 שנים, היא היתכנות סטטיסטית להתרחשות האירוע אחת ל 50 שנים. לעיתים נהוג לציין תקופות חזרה כהסתברות. כך, אירוע של 1:50 שנה יצוין כאירוע בעל הסתברות של 2%.

10. נספחים

נספחים לפרק הכלכלי

10.1. נספח מס' 1 פירוט עלויות חלופות מערכות הניקוז

10.1.1. חלופה מס' 1

א. תשתית תיעול

טבלה 20: עלויות כוללת לתשתיות התיעול במלש"ח

אזור	קווי תיעול	מובלי תיעול	תוספת תכנון (10%)	תוספת בצ"מ (10%)	עלות השקעה כוללת
חוף	13.35	16.22	2.95	2.95	35.48
הר	14.61	18.36	3.3	3.3	39.56

טבלה 21: מצאי קווי תיעול ועלותם

קוטר (ס"מ)	עלות למטר **(חוף)** (₪)	עלות למטר (הר) (₪)	אורך (מטר)	עלות כוללת **(חוף)** (מלש"ח)	עלות כוללת **(הר)** (מלש"ח)
50	1,023	1,116	4,674	4.78	5.22
60	1,213	1,318	1,779	2.16	2.34
70	1,388	1,528	516	0.72	0.79
80	1,562	1,711	636	0.99	1.09
100	1,885	2,074	813	1.53	1.69
125	2,402	2,648	548	1.32	1.45
150	2,833	3,103	526	1.49	1.63
180	3,429	3,746	107	0.37	0.40
סה"כ				13.35	14.61

טבלה 22: מצאי מובלי תיעול ועלותם

רוחב (ס"מ)	**גובה** (ס"מ)	**עלות למ' (חוף)** (₪)	**עלות למ' (הר)** (₪)	**אורך** (מטר)	**עלות כוללת (חוף)** (מלש"ח)	**עלות כוללת (הר)** (מלש"ח)
150	150	4,026	4,592	699	**2.82**	**3.21**
200	150	5,079	5,770	194	**0.99**	**1.12**
250	150	6,211	7,000	609	**3.78**	**4.26**
300	150	6,860	7,863	109	**0.75**	**0.86**
320	150	8,440	9,570	31	**0.26**	**0.29**
350	150	8,914	10,090	358	**3.19**	**3.61**
400	150	9,292	10,479	477	**4.43**	**5.00**
סה"כ				**2477.9**	**16.22**	**18.36**

טבלה 23: **עלות יחידה לתשתיות תיעול תת קרקעיות - צינורות עגולים, סביבת חוף**

קוטר (ס"מ)	**עלות צינור** (₪ למטר)	**עלות חפירה** (₪ למטר)	**צפיפות שוחה** (מ')	**עלות שוחה** (₪)	**קולטני מי גשם** (₪)	**חיבורי קולטנים** (₪ למטר)	**עלות כוללת** (₪ למטר)	**אורך בתכנית** (מטר)	**עלות תשתיות ניקוז** (מלש"ח)
50	**294**	**267**	**30**	**4,679**	**2,139**	**7,018**	**1,023**	**4,674**	**4.78**
60	**387**	**298**	**30**	**5,657**	**2,382**	**7,816**	**1,213**	**1,779**	**2.16**
70	**481**	**401**	**40**	**6,418**	**2,567**	**8,423**	**1,388**	**516**	**0.72**
80	**594**	**425**	**40**	**7,132**	**2,717**	**8,916**	**1,562**	**636**	**0.99**
100	**812**	**541**	**50**	**7,937**	**2,886**	**9,470**	**1,885**	**813**	**1.53**
125	**1,064**	**702**	**50**	**9,787**	**3,404**	**11,170**	**2,402**	**548**	**1.32**
150	**1,359**	**773**	**50**	**10,778**	**3,749**	**12,301**	**2,833**	**526**	**1.49**
180	**1,702**	**906**	**50**	**12,628**	**4,392**	**14,413**	**3,429**	**107**	**0.37**
								סה"כ עלות	**13.35**

טבלה 24: עלות יחידה לתשתיות תיעול תת קרקעיות - צינורות עגולים, סביבת הר

קוטר (ס"מ)	עלות צינור (₪ למטר)	עלות חפירה (₪ למטר)	צפיפות שוחה (מ')	עלות שוחה (₪)	קולטני מי גשם (₪)	חיבורי קולטנים (₪ למטר)	עלות כוללת (₪ למטר)	אורך בתכנית (מטר)	עלות תשתיות ניקוז (מלש"ח)
50	**294**	**361**	**30**	**4,679**	**2,139**	**7,018**	**1,116**	**4,674**	**5.22**
60	**387**	**402**	**30**	**5,657**	**2,382**	**7,816**	**1,318**	**1,779**	**2.34**
70	**481**	**541**	**40**	**6,418**	**2,567**	**8,423**	**1,528**	**516**	**0.79**
80	**594**	**573**	**40**	**7,132**	**2,717**	**8,916**	**1,711**	**636**	**1.09**
100	**812**	**731**	**50**	**7,937**	**2,886**	**9,470**	**2,074**	**813**	**1.69**
125	**1,064**	**948**	**50**	**9,787**	**3,404**	**11,170**	**2,648**	**548**	**1.45**
150	**1,359**	**1,044**	**50**	**10,778**	**3,749**	**12,301**	**3,103**	**526**	**1.63**
180	**1,702**	**1,223**	**50**	**12,628**	**4,392**	**14,413**	**3,746**	**107**	**0.40**
							סה"כ עלות		**14.61**

טבלה 25: עלות יחידה לתשתיות תיעול תת קרקעיות - מובלים מלבניים, סביבת חוף

רוחב (ס"מ)	גובה (ס"מ)	עלות מובל (₪ למטר)	עלות חפירה (₪ למטר)	צפיפות שוחה (מ')	עלות שוחה (₪)	קולטני מי גשם (₪)	חיבורי קולטנים (₪ למטר)	עלות כוללת (₪ למטר)	אורך בתכנית (מטר)	עלות תשתיות ניקוז (מלש"ח)
150	**150**	**2,446**	1,957	**50**	**4,000**	**1,600**	**7,088**	**4,871**	**699.43**	**3.41**
200	**150**	**3,185**	2,389	**50**	**4,000**	**1,600**	**7,088**	**6,146**	**194.26**	**1.19**
250	**150**	**4,091**	2,727	**50**	**5,000**	**1,600**	**7,088**	**7,515**	**608.85**	**4.58**
300	**150**	**4,240**	3,469	**50**	**5,000**	**1,600**	**7,088**	**8,301**	**109.42**	**0.91**
320	**150**	**5,641**	3,905	**50**	**5,000**	**1,600**	**7,088**	**10,213**	**30.63**	**0.31**
350	**150**	**6,097**	4,065	**50**	**5,000**	**1,600**	**7,088**	**10,786**	**358.19**	**3.86**
400	**150**	**6,529**	4,104	**50**	**6,000**	**1,600**	**7,088**	**11,243**	**477.15**	**5.36**
								סה"כ עלות		**19.63**

טבלה 26: עלות יחידה לתשתיות תיעול תת קרקעיות - מובלים מלבניים, סביבת הר

רוחב (ס"מ)	גובה (ס"מ)	עלות מובל (₪ למטר)	עלות חפירה (₪ למטר)	צפיפות שוחה (מ')	עלות שוחה (₪)	קולטני מי גשם (₪)	חיבורי קולטנים (₪ למטר)	עלות כוללת (₪ למטר)	אורך בתכנית (מטר)	עלות תשתיות ניקוז (מלש"ח)
150	150	2,446	2,642	50	4,000	1,600	7,088	5,436	699.43	3.80
200	150	3,185	3,225	50	4,000	1,600	7,088	6,759	194.26	1.31
250	150	4,091	3,682	50	5,000	1,600	7,088	8,140	608.85	4.96
300	150	4,240	4,683	50	5,000	1,600	7,088	9,291	109.42	1.02
320	150	5,641	5,272	50	5,000	1,600	7,088	11,282	30.63	0.35
350	150	6,097	5,488	50	5,000	1,600	7,088	11,953	358.19	4.28
400	150	6,529	5,540	50	6,000	1,600	7,088	12,458	477.15	5.94
								סה"כ עלות		21.66

10.1.2. חלופה מס' 2

טבלה 27: חישוב עלויות ההשקעה (במלש"ח) למערכת ניקוז כוללת בחלופה מס' 2

אזור	תשתית תיעול	מערכות ניהול נגר		סה"כ מערכת ניקוז	תוספת תכנון[157]	תוספת בצ"מ[158]	עלות כוללת מערכת ניקוז
		שצ"פים	מגרשי מגורים				
חוף	**11.38**	**2.6**	**9.98**	**23.96**	**2.4**	**3.65**	**30.01**
הר	**12.51**	**2.66**	**13.34**	**28.61**	**2.86**	**4.47**	**35.94**

א. תשתית תיעול

טבלה 28: מצאי קווי התיעול ועלותם

קוטר (ס"מ)	עלות למטר (חוף) (₪)	עלות למטר (הר) (₪)	אורך (מטר)	עלות כוללת (חוף) (מלש"ח)	עלות כוללת (הר) (מלש"ח)
50	1,023	**1,116**	**3,187**	**3.26**	**3.56**
60	1,213	**1,318**	**1,334**	**1.62**	**1.76**
70	1,388	**1,528**	**861**	**1.20**	**1.32**
80	1,562	**1,711**	**522**	**0.82**	**0.89**
100	1,885	**2,074**	**1,276**	**2.41**	**2.65**
150	2,833	**3,103**	**107**	**0.30**	**0.33**
סה"כ				**9.6**	**10.5**

טבלה 29: מצאי מובלי התיעול ועלותם

רוחב (ס"מ)	גובה (ס"מ)	עלות למ' **(חוף)** (₪)	עלות למ' (הר) (₪)	אורך (מטר)	עלות כוללת (חוף) (מלש"ח)	עלות כוללת (הר) (מלש"ח)
250	150	**6,211**	**7,000**	**222**	**1.38**	**1.56**
350	150	**8,914**	**10,090**	**45**	**0.40**	**0.46**
סה"כ					**1.78**	**2.01**

[157] לפי 10%

[158] לפי 10% לתשתית תיעול ו- 20% למערכות ניהול נגר

ב. מערכות ניהול נגר

- **מערכות ניהול נגר בשצ"פים**

טבלה 30: עלות מערכת ניהול נגר בשצ"פים

אזור	תעלות (₪)	איגום עילי (₪)	שכבת בקלאש[159] (₪)	בדים גיאוטכנים (₪)	מתקנים	עלות כוללת (מלש"ח)
חוף	311,244	434,160	738,582	342,369	770,000	2.60
הר	420,180	586,116	886,299	0	770,000	2.66

- **מערכות ניהול הנגר במגרשי המגורים**

ניהול הנגר במגרשי המגורים חושב לפי ממוצע עלויות לדונם ביישום אמצעי ניהול נגר, במגרשי מגורים בגדלים שונים (1.5, 5, 10 דונם), ולפי צפיפות של 25 יח"ד לדונם נטו. התכנון כלל תמהיל אמצעי ניהול נגר שהותאמו לאזור החוף וההר, לאור פוטנציאל החלחול וההחדרה המוגבל באזור ההר. כך שבאזור החוף נכללו קידוחי החדרה בשילוב אמצעי שיהוי וויסות. ובסביבת הר, לאור עלויות הקידוח הגבוהות ויעילות ההחדרה המוגבלת, עקב הרכב המסלע ומרחק ממי התהום, האמצעים שנבחרו התבססו על וויסות ושיהוי. להלן רשימת אמצעי ניהול הנגר, שמתוכה נבחר לכל סביבה, תמהיל האמצעים המתאים ביותר:

- קידוחי החדרה: קידוחי החדרה למי תהום, נכלל בעיקר באזור החוף
- מאגר ויסות: בורות לאיגום מים, הכוללים חלחול וקידוחי החדרה
- גגות סופגים: גג ירוק / כחול / חי (כולל גינון מעל קומת מרתף)

[159] בקלאש הוא אבן גרוסה/ חצץ

טבלה 31: מצאי ועלויות רכיבי ניהול נגר במגרשי מגורים בסביבת החוף

שטח מגרש	**כמות**	**קידוחים**[160] (אלש"ח ליח')	**נפח בור איגום** (מ"ק)	**בור איגום** (אלש"ח ליח')	**כמות**	**אמצעי לשאיבה** (אלש"ח)	**מס'**	**גג סופג מעך קומת מרתף** (אלש"ח)	**כמות**	**מערכת מי גשם** (אלש"ח למ"ר)	**סה"כ עלות** (אלש"ח)	**ממוצע עלות יישום אמצעים לדונם**[161] (אלש"ח)
1.5	1	20	20	9.5	1	35	1	8	1	10	82.5	41.25
5	3	26	50	18.5	1	39.4	3	8	4	12	207.9	20.79
10	5	32	70	16.8	1	43.7	5	8	5	15	335.5	16.79
ממוצע עלות יישום אמצעי ניהול נגר לדונם בסביבת החוף												**26.27**

טבלה 32: מצאי ועלויות רכיבי ניהול נגר במגרשי מגורים בסביבת ההר

שטח מגרש	**מס'**	**קידוחים** (אלש"ח ליח')	**נפח בור איגום** (מ"ק)	**בור איגום** (אלש"ח ליח')	**מס'**	**אמצעי לשאיבה** (אלש"ח)	**מ"ר גג**	**עלות למ"ר גג**[162] (ש"ח)	**מס'**	**מערכת מי גשם** (אלש"ח למ"ר)	**ממוצע עלות יישום אמצעים לדונם** (אלש"ח)
1.5	0	45	35	12.5	1	43.7	60	288	1	10	41.76
5	1	75	70	25	1	43.7	500	320	4	12	35.18
10	1	75	150	27.9	1	43.7	800	450	5	15	29.08
ממוצע עלות יישום אמצעי ניהול נגר לדונם בסביבת ההר											**35.34**

[160] עלות הקידוח חושבה ביחס לעומק וקוטר הקידוח

[161] ממוצע העלות חושב על בסיס העלות המינימלית והמקסימלית של תמהילי אמצעים שונים לניהול נגר, (מתוך הרשימה), שיש בהם לעמוד יחד ביעד נפח הנגר הרלוונטי למגרש

[162] השוני בעלות היחסית למ"ר נגזר מעומק הגג המוצע

10.1.3. חלופה מספר 3

טבלה 33 חישוב עלויות (מלש"ח) מערכת ניקוז כוללת בחלופה מס' 3

אזור	תשתית תיעול	מערכות ניהול נגר			סה"כ מערכת ניקוז	תוספת תכנון[163]	תוספת בצ"מ[164]	עלות כוללת מערכת ניקוז
		שצ"פים	מגרשי מגורים	מסחר ותעסוקה				
חוף	**11.38**	**2.6**	**7.01**	**2.97**	**23.96**	**2.4**	**3.65**	**30.1**
הר	**12.51**	**2.66**	**9.44**	**3.99**	**28.61**	**2.86**	**4.47**	**35.94**

א. תשתית תיעול

תכנון תשתית התיעול ועלותה זהים לחלופה מס' 2.

ב. מערכות ניהול נגר

- **מערכות ניהול נגר בשצ"פים**

תכנון ועלות מערכת ניהול הנגר בשצ"פים זהה לחלופה מס' 2.

טבלה 34: עלות כוללת של מערכות ניהול נגר בשצ"פים

חוף	הר
2.6	**2.66**

- **מערכות ניהול הנגר במגרשי המגורים**

תכנון ועלות מערכת ניהול הנגר במגרשי המגורים היוו 70% ממערכת ניהול הנגר במגרשי מגורים בחלופה מס' 3, בהתאם ליחס השטחים בניהם.

טבלה 35: עלות כוללת של מערכות ניהול נגר במגרשי המגורים

חוף	הר
7.01	**9.44**

טבלה 36: עלות בש"ח של יישום אמצעי ניהול נגר במגרשי המגורים, לפי יח"ד ומ"ר, בכל אזור

עלות יישום אמצעי ניהול נגר	סביבת חוף (₪)	סביבת הר (₪)
יח"ד[165]	738	993
מ"ר[166]	7.03	9.46

- **מערכות ניהול נגר במגרשי המסחר והתעסוקה**

[163] לפי 10%
[164] לפי 10% לתשתית תיעול ו- 20% למערכות ניהול נגר
[165] לפי צפיפות של 25 יח"ד לדונם נטו
[166] לפי ממוצע שטח יח"ד של 105 מ"ר

תכנון ועלות מערכת ניהול הנגר במגרשי המסחר והתעסוקה היוו 30% ממערכת ניהול הנגר במגרשי מגורים בחלופה מס' 3, בהתאם ליחס השטחים בניהם.

עלות יישום אמצעי ניהול נגר	סביבת חוף (₪)	סביבת הר (₪)
מ"ר[167]	8.58	11.54

10.1.4. חלופה מס' 4

טבלה 37 חישוב עלויות (מלש"ח) מערכת ניקוז כוללת בחלופה מס' 4

אזור	תשתית תיעול	מערכות ניהול נגר				סה"כ מערכת ניקוז	תוספת תכנון[168]	תוספת בצ"מ[169]	עלות כוללת מערכת ניקוז
		שצ"פים	מגרשי מגורים	מסחר ותעסוקה	מבני ציבור				
חוף	**11.38**	**2.6**	**7.01**	**2.04**	3.13	**23.96**	**2.4**	**3.65**	**30.01**
הר	**12.51**	**2.66**	**9.44**	**2.74**	**4.21**	**28.61**	**2.86**	**4.47**	**35.94**

עקרונות לתכנון: מערכת הניקוז מבוססת על תשתית תיעול מצומצמת כתוצאה מניהול נגר. ניהול נגר בשטחי השצ"פים (המרחב הציבורי), במגרשי המגורים ובמגרשי המסחר והתעסוקה (המרחב הפרטי) ובמגרשי מבני הציבור (מרחב ציבורי מיוחד).

ניהול הנגר: ניהול יעד הנגר בתכנית נחלק באופן הבא: 70% נעשה בתחום השצ"פים ו- 15% במגרשי המגורים' 6% במגרשי המסחר והתעסוקה, ו- 9% במגרשי מבניה ציבור. היחס נקבע לפי מקסימום פוטנציאל ניהול הנגר בשצ"פ, שעמד על 70%, וחלוקת השארית (30%), לפי יחס השטחים של שימושי המגורים, המסחר והתעסוקה ומבני הציבור שעמד על 31%-21%-48%, בהתאמה.

א. תשתית תיעול

תכנון תשתית התיעול ועלותה זהים לחלופה מס' 3.

טבלה 38: סיכום עלות כוללת במלש"ח של תשתית התיעול, לפי אזור

חוף	הר
11.38	**12.51**

ב. מערכות ניהול נגר

- **מערכות ניהול נגר בשצ"פים:**

תכנון ועלות מערכת ניהול הנגר בשצ"פים זהה לחלופה מס' 3.

טבלה 39: עלות כוללת במלש"ח של מערכות ניהול נגר בשצ"פים

חוף	הר
2.6	**2.66**

- **מערכות ניהול הנגר במגרשי המגורים:**

[167] לפי סה"כ זכויות בניה בהיקף – 346,061 מ"ר
[168] לפי 10%
[169] לפי 10% תשתית תיעול ו- 20% מערכות ניהול נגר

תכנון ועלות מערכת ניהול הנגר במגרשי המגורים היוו 48.3% ממערכת ניהול הנגר במגרשי מגורים בחלופה מס' 3, בהתאם ליחס השטחים בין השימושים שחלקו את נטל ניהול הנגר בחלופה זו.

טבלה 40: עלות כוללת במלש"ח של מערכות ניהול נגר במגרשי המגורים

חוף	הר
4.82	**6.48**

טבלה 41: עלות בש"ח של יישום אמצעי ניהול נגר במגרשי המגורים, ליח"ד ולמ"ר, בכל אזור

עלות יישום אמצעי ניהול נגר	סביבת חוף (₪)	סביבת הר (₪)
יח"ד[170]	507	682
מ"ר[171]	4.83	6.5

- **מערכות ניהול נגר במגרשי המסחר והתעסוקה:**

תכנון ועלות מערכת ניהול הנגר במגרשי המסחר והתעסוקה היוו 20.4% ממערכת ניהול הנגר במגרשי מגורים בחלופה מס' 3, בהתאם ליחס השטחים בניהם.

טבלה 42: עלות כוללת במלש"ח של מערכות ניהול נגר במגרשי המסחר והתעסוקה

חוף	הר
2.04	**2.74**

טבלה 43: עלות בש"ח של יישום אמצעי ניהול נגר במגרשי המסחר והתעסוקה לדונם ולמ"ר, בכל אזור

עלות יישום אמצעי ניהול נגר	סביבת חוף (₪)	סביבת הר (₪)
דונם	5,364	7,216
מ"ר[172]	5.89	7.92

- **מערכות ניהול נגר במגרשי מבני הציבור**

תכנון ועלות מערכת ניהול הנגר במגרשי המסחר והתעסוקה היוו 31.3% ממערכת ניהול הנגר במגרשי מגורים בחלופה מס' 3, בהתאם ליחס השטחים בניהם.

טבלה 44: עלות כוללת של מערכות ניהול נגר במגרשי המסחר והתעסוקה

חוף	הר
3.13	**4.21**

טבלה 45: עלות בש"ח של יישום אמצעי ניהול נגר במגרשי המסחר והתעסוקה למ"ר, בכל אזור

[170] לפי צפיפות של 25 יח"ד לדונם נטו
[171] לפי ממוצע שטח יח"ד של 105 מ"ר
[172] לפי סה"כ זכויות בניה בהיקף - 346,061 מ"ר

עלות יישום אמצעי ניהול נגר	סביבת חוף (₪)	סביבת הר (₪)
מ"ר[173]	9.19	12.37

[173] לפי סה"כ זכויות בניה בהיקף - 340,216 מ"ר

10.2. נספח מס' 2: בסיס נתוני עוצמות גשם לתכנון בישראל

נספח זה מתאר את המתודולוגיה ששימשה לבניית בסיס הנתונים של עוצמות הגשם.

1. רקע

הנתונים עליהם מתבססת העבודה נלקחו ממאגר נתוני השירות המטאורולוגי (שמ"ט). יש לציין כי, סדרות הזמן של רוב התחנות בישראל הן קצרות, וכן, ישנם אזורים בארץ בהם קיימות תחנות חדשות בלבד, שעדיין לא ניתן להשתמש באורך תקופת הנתונים שלהן לחישוב סטטיסטי. בהתאם לכך, ייתכן שעוצמות הגשם ואזורי הגשם יעודכנו בעתיד, לאור חישובים חדשים.

הפרק יחלוק לפי שלבי העבודה, להלן:

א. בניית סדרות זמן שנתיות
ב. חישוב סטטיסטי של עוצמות גשם
ג. חלוקת הארץ לאזורי גשם
ד. חישוב עוביי גשם יממתיים
ה. פרישת עוביי הגשם היממתיים לאירועי גשם

2. בניית סדרות זמן שנתיות של נתונים רציפים

נתוני הגשם התקבלו עבור אלפי תחנות, חלקן פעילות וחלקן אינן פעילות, המייצגות בפועל מספר מצומצם יותר של נקודות במרחב (בנקודה אחת יכולות להיות מספר תחנות לאורך השנים). לצורך חישוב סטטיסטי של נתוני גשם, יש תחילה לייצר סדרה שנתית אחת עבור כל נקודה במרחב.

צורת רישום הנתונים ההיסטוריים הכתיבה את צורת העבודה. עד שנת 2005 כולל, נתוני הגשם שהתקבלו רשומים כאירועי גשם, כאשר לכל אירוע שורה אחת בה מפורטים עוצמות הגשם המרביות לפרקי זמן של 5 עד 240 דקות (5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60 ,90 120, 180,ו-240 דקות). לשם שימוש בנתונים ההיסטוריים, טבלאות עוצמות הגשם נבנו בפורמט זהה. השלב הראשון היה בניית סדרת מקסימום שנתית לכל משך זמן מתוך סדרות האירועים. בבירור עם השמ"ט, הסתבר כי הנתונים ההיסטוריים ה-5 דקתיים הינם באמינות נמוכה, לכן הוחלט להשמיטם. מכאן שבסיס הנתונים של הגשם הרציף הוא בטווח של 10 עד 240 דקות.

משנת 2006 ואילך התקבלו נתונים של מדי גשם דיגיטליים המייצרים סדרת זמן לא סדירה ברזולוציה של דקה אחת. מדידות אלה תוקנו ע"פ הוראות היצרן של מדי הגשם Lambrecht Meteo, בהתאם לרשום בטבלה 46. בחלק מהתחנות בין השנים 2006-2011 התקבלו נתונים 10 דקתיים בלבד. נמצא כי לא ניתן לתקן נתונים אלה בהתאם לטבלה 47, וכי תוצאתם נמוכה באופן שיטתי מהנתונים הדקתיים ולכן הוחלט לא להשתמש בנתונים 10 דקתיים. לאחר בחירת הנתונים הדיגיטליים ותיקונם, נבנו סדרות שנתיות[174] למשכי זמן בין 10 ל-240 דקות (כמו הנתונים ההיסטוריים).

בנוסף לחלוקה בין נתונים היסטוריים ונתונים דיגיטליים, תחנות הגשם בישראל נוטות להתחלף מעת לעת ואף לזוז במקום. כך יצא שהתקבלו מספר סדרות לכל נקודה במרחב, לעיתים עם שנים חופפות בין הסדרות. לכן נדרש לזהות סדרות שמייצגות את אותה הנקודה ולייצר מהן סדרה אחת ארוכה ככל האפשר. הכלל לאיחוד סדרות היה שהמרחק לא יעלה על 1 ק"מ והרום של התחנה יהיה דומה. במקרים של סתירות בנתונים בין הסדרות בשנים חופפות, נבחרה העוצמה הגבוהה ביותר.

[174] כלומר, סדרות זמן בהן לכל שנה מצוין הערך המרבי שנמדד בשנה זו

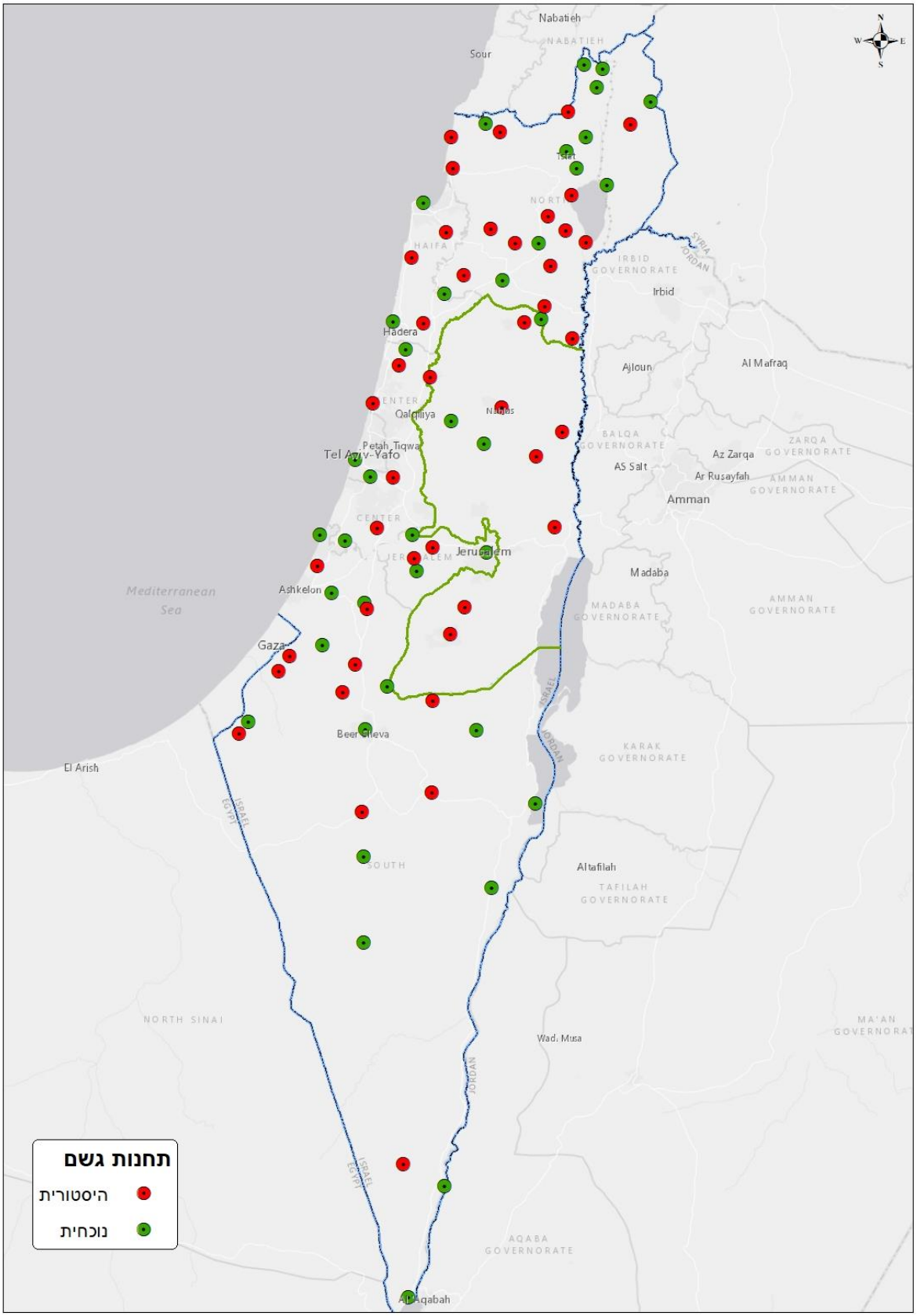
טבלה 48: טבלת תיקון עוצמות גשם לתחנות גשם רושמות -Lambrecht Meteo

דיווח עוצמות גשם (מ'''מ\דקה)	הגשם בפועל (מ"מ\דקה)	דיווח עוצמות גשם (מ'''מ\דקה)	הגשם בפועל (מ"מ\דקה)	דיווח עוצמות גשם (מ'''מ\דקה)	הגשם בפועל (מ"מ\דקה)
0	0	2.4	2.73	4.8	6.3
0.1	0.1	2.5	2.86	4.9	6.46
0.2	0.2	2.6	2.99	5	6.63
0.3	0.3	2.7	3.13	5.1	6.79
0.4	0.4	2.8	3.26	5.2	6.96
0.5	0.5	2.9	3.4	5.3	7.13
0.6	0.6	3	3.54	5.4	7.3
0.7	0.71	3.1	3.68	5.5	7.48
0.8	0.81	3.2	3.82	5.6	7.65
0.9	0.92	3.3	3.97	5.7	7.82
1	1.03	3.4	4.11	5.8	8
1.1	1.14	3.5	4.26	5.9	8.18
1.2	1.26	3.6	4.41	6	8.35
1.3	1.37	3.7	4.56	6.1	8.53
1.4	1.49	3.8	4.71	6.2	8.71
1.5	1.6	3.9	4.86	6.3	8.89
1.6	1.72	4	5.02	6.4	9.07
1.7	1.84	4.1	5.17	6.5	9.25
1.8	1.96	4.2	5.33	6.6	9.43
1.9	2.09	4.3	5.49	6.7	9.61
2	2.21	4.4	5.65	6.8	9.8
2.1	2.34	4.5	5.81	6.9	9.98
2.2	2.47	4.6	5.97	7	10.08
2.3	2.59	4.7	6.13		

הוחלט שחישוב עוצמות הגשם יבוצע רק עבור תחנות שיש להן יותר מ-10 שנות נתונים. יצוין כי בעולם מקובל להשתמש בסדרות נתונים של 30 שנה ומעלה, אך בישראל סדרות הנתונים הן קצרות יותר וסף של 30 שנים היה משאיר חורים גדולים מידי בכיסוי המרחבי של המדידות. גם הסף של 10 שנים הותיר תחנות פעילות רבות מחוץ למשחק. בכדי לקבל סדרות נתונים ארוכות ככל האפשר, הוחלט לאחד נתוני תחנות שונות, אשר הן סמוכות גיאוגרפית ונמצאות ברום דומה. התחנות שאוחדו הן:

- חוות בשור וניר יצחק
- עין כרמל וגבע כרמל
- גת ושדה משה
- גלגל ויריחו
- כפר נחום וגינוסר
- נאות סמדר ושדה תעופה עובדה
- ניצן וניצנים
- שדה אליהו וטירת צבי
- צמח ודגניה א'
- צומת הנגב ומשאבי שדה

- חיפה נמל וחיפה בז"ן



איור 70| מיקום תחנות הגשם ההיסטוריות והעכשוויות שלהן חושבו עוצמות גשם

עיבוד הנתונים נעשה לרוב בכלים אוטומטיים שתוכנתו באקסל, אולם נעשתה גם עבודה ידנית, בעיקר בכדי לפסול שנים שנמדדו חלקית, או לבחון ספציפית נתונים חריגים מאוד. כמו כן נפסלו תחנות שבהן מס' האירועים לשנה היה נמוך מאוד בהשוואה לתחנות סמוכות, או שהתגלו הפסקות גדולות ופערים בין המדידות.

סה"כ התקבלו 81 סדרות נתונים שנתיות עם יותר מ-10 שנים, מתוכן 38 תחנות גשם פעילות ו-43 תחנות היסטוריות, איתן הוחלט להמשיך לחישוב עוצמות הגשם. תחנות אלה מוצגות במפה שבאיור 70. תחנות בירוק הן פעילות ובאדום הן היסטוריות.

3. חישוב סטטיסטי של עוצמות גשם

השלב הבא, לאחר יצירת סדרות שנתיות, הוא חישוב עוצמות קיצון באמצעות פונקציות פירוס סטטיסטיות. עוצמות הקיצון משמשות לבניית עקומי עוצמה-משך-הסתברות (IDF Curves). נבחנו פונקציות פירוס הנתונים הבאות:[175]

- Log-Pearson III(LP3)[176]
- Log- Normal (LN)
- Generalized Extreme Value (GEV)

הפונקציות נבחנו בצורה גרפית אל מול התפלגות נורמלית עבור עשר תחנות שונות ברחבי הארץ (איילת השחר, אריאל, אשדוד נמל, אילת, אילון, בית ג'ימל, בית דגן, באר שבע, תל אביב, צפת וגלעד) עבור משכי זמן של 5 ו-60 דקות. איור 71 מציג בחינה של 3 מהתחנות. המשולשים האדומים הם ערכי הסדרות פרוסים בהתפלגות נורמלית N/1 (כלומר, בסדרה בת 100 נתונים, הנתון הקיצוני ביותר יהיה על 0.01). ל-LP3 יש שני קווים כיוון שנבחנו מספר מקדמי הטיה MSE לפונקציה.

נמצא כי פונקציית LP3 בעלת מקדם הטיה MSE=0.35 היא המתאימה ביותר[177], גם כי לרוב היא הייתה הקרובה ביותר להתפלגות הנורמלית, אך בעיקר כיוון שבתחנות שנבחנו היא כמעט לא פספסה כלפי מטה (אם כי פספסה לעיתים כלפי מעלה, כמו בעקום של תל-אביב ה-5 דקתי). שאר הפונקציות כן פספסו לעיתים כלפי מטה.

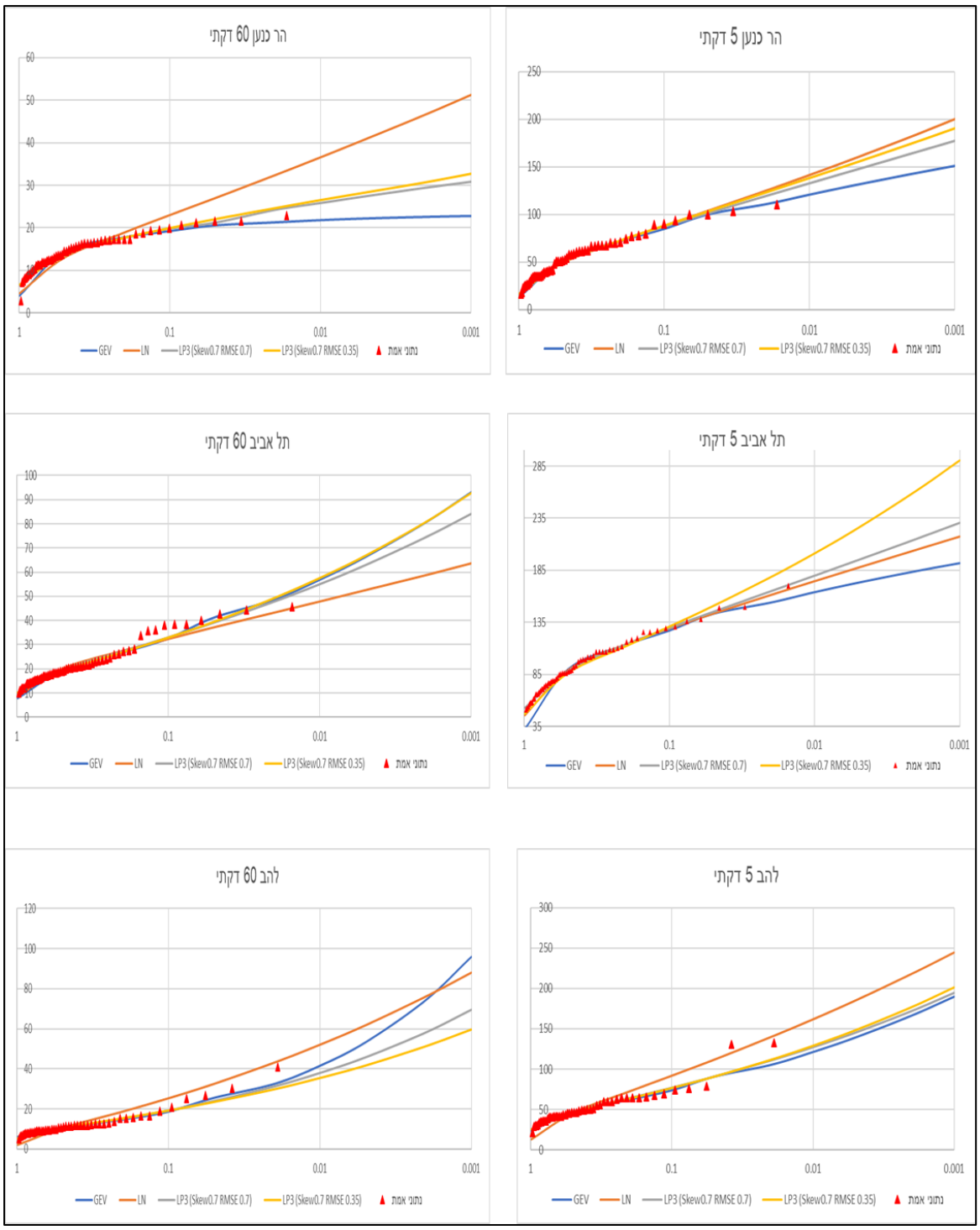
לאחר בחירת הפונקציה, חושב עקום IDF לכל 81 התחנות שנבחרו. התוצר של פונקציית LP3 הינו סדרת נתונים ממנה ניתן לשרטט עקום IDF, כמודגם באיור 72. כל קו בעקום מייצג הסתברות שונה החל מ-50% (1:2) עד ל-0.1% (1:1,000). ציר ה-X הוא משך האירוע בדקות וציר ה-Y הוא עוצמת הגשם במ"מ לשעה. בנוסף, מוצג קו מגמה מעריכי להסתברות 1%.

---

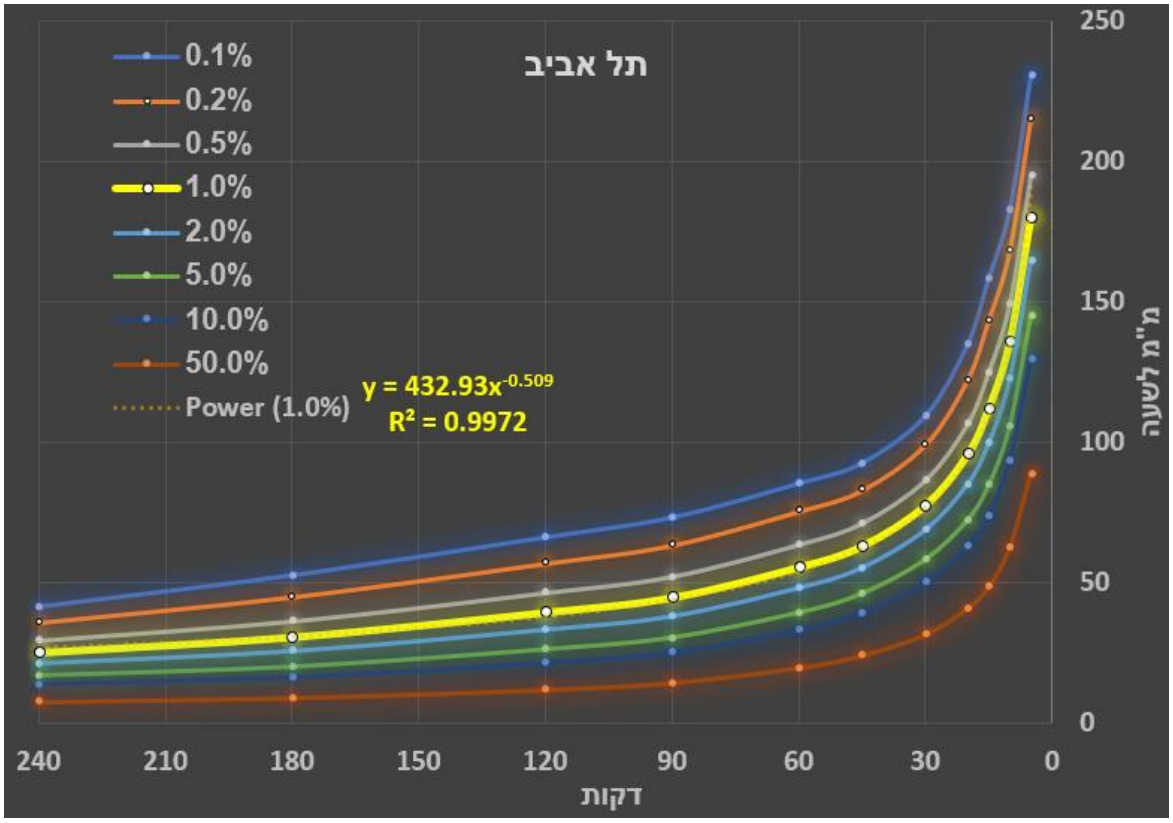
[175] נבחנה גם פונקציית GP (General Pareto) העובדת על סדרות אירועים מלאות (להבדיל מסדרות שנתיות), אולם היא נפסלה כיוון שהתגלה שתיעוד האירועים ההיסטוריים אינו מלא

[176] מקדם ההטיה שנבחרו לפונקציית LP3 הוא G=0.7 בהתאם להמלצת Bulletain B17 לאזורים יובשניים עם סדרות קצרות

[177] עבודות קודמות שנעשו בישראל בנושא מצאו גם הן ש-LP3 היא הפונקציה המתאימה ביותר. ראה, הנחיות לתכנון ניקוז והידרולוגיה, נתיבי ישראל, יולי 2015



איור 71| ייוצג גרפי לעוצמות גשם חזויות בהסתברויות שונות על בסיס הפונקציות LN, LP3, ו-GEV



איור 72 | עקום IDF (עוצמה-משך-הסתברות) לתל אביב

4. חלוקת הארץ לאזורי גשם

עוצמות הגשם שחושבו הן נקודתיות, אולם נחוץ לפרוס אותן ברחבי הארץ על מנת שיהיו שימושיות למתכננים. חלוקת הארץ לאזורי גשם נעשתה במספר שלבים. ראשית, חולקה המדינה ל-81 אזורים לפי שיטת פוליגוני טיסן (Theissen) על בסיס 81 תחנות הגשם להם הוכנו עקומי IDF.

פוליגוני טיסן נבנים אך ורק לפי המרחקים בין הנקודות ומתעלמים משיקולים אחרים כגון טופוגרפיה. בשלב השני תוקנו הפוליגונים ידנית לפי שיקולים של טופוגרפיה, מרחק מהים וקו רוחב. למשל, הקו המפריד בין בקעת הירדן לפוליגונים ממערב לבקעה הוזז למצוק ההעתקים. לאחר מכן, היכן שניתן היה, הוזזו גבולות הפוליגונים כך שיחפפו לגבולות המוניציפאליים בעדיפות ראשונה, או לכבישים ראשיים בעדיפות שניה.

השלב הבא היה לאחד פוליגונים של תחנות סמוכות המייצגים אזורים דומים מבחינה גיאוגרפית. לכל אזור נבחרה תחנה אחת המייצגת אותו, כאשר עדיפות ניתנה לתחנות פעילות בעלות סדרות זמן ארוכות ועוצמות גשם גבוהות יותר. אזור "חוף גליל מערבי" למשל, מכיל את תחנות עכו ונהריה. לתחנת נהריה 22 שנות פעילות, כאשר האחרונה שבהן היא 1984 ולעומתה לתחנת עכו (שאוחדה עם שבי ציון לצורך העניין) 44 שנות פעילות והיא עדיין פעילה. מכאן שתחנת עכו נבחרה כמייצגת אזור זה.

לרוב נבחרה התחנה הפעילה כמייצגת אולם במספר מקרים בודדים, נבחרה דווקא תחנה היסטורית. באזור חוף השרון וחוף כרמל למשל, ישנן שלוש תחנות להן חושבו עוצמות גשם: גבע כרמל, געש וחדרה תחנת כוח. ברור שמדובר באזור גיאוגרפי דומה מבחינת הגשם ולכן הוחלט לאחדו. חדרה היא התחנה היחידה שפעילה באזור, אולם יש לה רק 12 שנות נתונים. לעומתה געש הפסיקה לפעול ב-1997, אך יש לה 37 שנות נתונים. בנוסף, עוצמות הגשם בגעש גבוהות מבחדרה. לכן נבחרה תחנת געש כמייצגת אזור זה, למרות שאינה פעילה.

אזור כרמל (מס' 14) הוא ייחודי מכיוון שאינו מתבסס על תחנה משלו, אלא על נתוני תחנת חיפה נמל וחיפה בז''ן עם פקטור של 1.1. הסיבה היא שהתחנות הפעילות בכרמל קיימות פחות מ-10 שנים ולכן הוחלט לא להשתמש בהן. עם זאת, הן מציגות בעקביות עוצמות גבוהות מאלו של קו החוף בחיפה ולכן הוחלט לייצג את הכרמל בפוליגון נפרד החל מקו גובה 250 מטר.

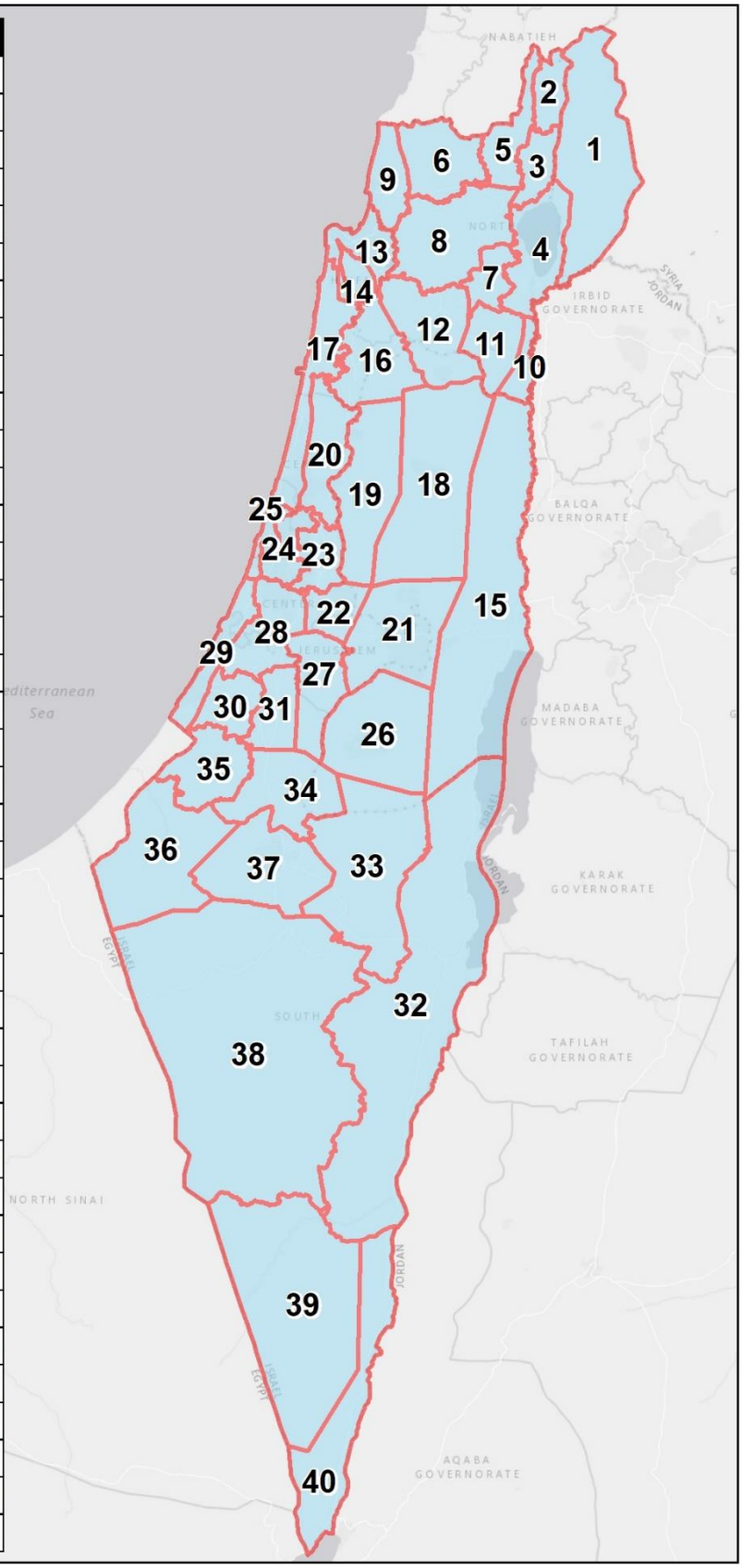
איור 73 להלן מציגים את אזורי הגשם. כפי שניתן לראות, מדובר ב-40 אזורי גשם עם 39 תחנות. ישנו חור בצפון השומרון שם אין תחנות עם סדרת זמן ראויה שניתן לחשב לפיה עוצמות גשם. הטור הראשון הינו המספר המזהה שבמפה. הטור של מספר תחנת גשם מתייחס לתחנה האחרונה בסדרת הנתונים. הטור של מספר תחנה היסטורית מציג את מספרי התחנות הלא פעילות שאוחדו לסדרת הנתונים המייצגת את הנקודה במרחב. הטורים של שנת התחלה, שנת סיום ושנות פעילות מתייחסים לסדרת הנתונים המאוחדת של כל התחנות. בחלק מהסדרות ישנם חורים בנתונים ולכן שנות הפעילות אינן תמיד ההפרש בין שנת ההתחלה לשנת הסיום. בסיס הנתונים המלא מוצג במערכת הממ"ג הממשלתית של אתר govmap.

רוב הגבולות של הפוליגונים חופפים לגבולות המוניציפאליים, אך היו מקומות בהם הדבר לא התאפשר. כך למשל, הגבול בין פוליגון חוף השרון וחוף הכרמל לבין פוליגון צפון השרון נקבע לכביש 4. בדומה, הגבול בין פוליגון תל אביב לפוליגון גוש דן בתחומי ראשון לציון, נקבע בכביש 20. ישנם גם מקומות בהם מתאר הפוליגונים עוקב אחר הטופוגרפיה ועיקרם הוא מצוק ההעתקים בבקעת ים המלח והערבה וחלק מהגבולות של פוליגון סובב כנרת, שעוקבים אחרי קו גובה 50; וכן הגבול בין פוליגונים למישורי פארן שעוקב אחר קו גובה 175.

ישנם עדיין אזורים בארץ שאינם מכוסים היטב (למשל הגליל) ברשת תחנות הגשם. ישנן גם 37 תחנות גשם פעילות עם פחות מ-10 שנות נתונים שלא יוצגו בפרויקט זה. בחלק מהתחנות שכן מיוצגות סדרת הנתונים היא קצרה מ-30 שנה. לפיכך מומלץ לעדכן עבודה זו בעוד מספר שנים, על בסיס נתונים שיתווספו בתחנות המיוצגות והלא מיוצגות. כמו כן, ישנן 4 תחנות היסטוריות בעלות סדרות נתונים ארוכה שפעילותן הופסקה אך אין להן תחליף טוב בדמות תחנה פעילה. מומלץ לחדש פעילותן של התחנות הבאות:

- געש
- נתב"ג
- לביא
- חפציבה-גלבוע

מס"ד	אזור גשם
1	רמת הגולן
2	מקורות הירדן
3	עמק החולה
4	סובב כנרת
5	גליל עליון
6	גליל מערבי
7	גליל מזרחי
8	הרי נצרת וגליל תחתון
9	חוף גליל מערבי
10	צפון בקעת הירדן
11	עמק חרוד וגלבוע
12	עמק יזרעאל
13	חיפה והקריות
14	כרמל
15	בקעת הירדן
16	מנשה
17	חוף השרון וחוף הכרמל
18	הרי השומרון
19	מערב השומרון
20	צפון השרון
21	הרי ירושלים
22	חבל איילון
23	לוד- בקעת אום
24	גוש דן
25	תל אביב
26	דרום הרי יהודה
27	לכיש צפון
28	יישובי גדרות
29	אשדוד ואשקלון
30	פלשת
31	לכיש- גת
32	דרום ים המלח וערבה צפונית
33	ערד דימונה
34	צפון הנגב
35	עוטף עזה צפון
36	עוטף עזה דרום
37	באר שבע
38	רמת הנגב
39	מישורי חיון ופארן
40	ערבה דרומית ואילת



איור 73/ אזורי גשם בישראל

טבלה 49: אזורי הגשם והתחנות המייצגות

מס' אזור גשם	שם אזור גשם	מס' תחנת גשם	שם תחנת גשם	מס' תחנה היסטורית	שנת התחלה	שנת סיום	מספר שנות פעילות
1	מרכז וצפון רמת הגולן	2496028	מרום גולן פיכמן		1978	2016	27
2	מקורות הירדן	310552	כפר בלום	310550; 310551	1967	2016	44
3	עמק החולה	311206	איילת שחר	311204; 311203	1965	1990	44
4	סובב כנרת ודרום רמת הגולן	320500	דגניה א וצמח		1944	2016	60
5	גליל עליון	211890	צפת הר כנען		1948	2016	59
6	גליל מערבי	210753	אילון	210748	1974	2016	42
7	גליל מזרחי	216101	גזית	216101	1960	1999	38
8	הרי נצרת וגליל תחתון	213600	לביא		1965	2004	38
9	חוף גליל מערבי	110695	עכו+שבי ציון	110700	1952	2016	44
10	צפון בקעת הירדן	321850	טירת צבי+שדה אליהו	321803	1959	2016	47
11	עמק חרוד וגלבוע	230650	חפציבה גלבוע		1965	1984	19
12	עמק יזרעאל	221604	עפולה ניר העמק	221350	1941	2016	31
13	חיפה והקריות	120180	חיפה נמל+ בז""ן	120200; 120202	1955	2016	52
14	כרמל						
15	בקעת הירדן	330170	יריחו וגילגל		1967	2016	42
16	מנשה	121852	גלעד	121851; 121850	1956	2016	57
17	חוף השרון וחוף הכרמל	133651	געש		1960	1997	37
18	הרי השומרון	241414	אריאל	241412	1989	1999	22
19	מערב שומרון	241220	קרני שומרון		2006	2016	12
20	צפון השרון	131598	עין החורש	131599;131600; 131601	1950	2016	64
21	הרי ירושלים	244731	ירושלים מרכז	244730	1950	2016	59
22	חבל איילון	243110	נחשון		1952	2016	19

מס' אזור גשם	שם אזור גשם	מס' תחנת גשם	שם תחנת גשם	מס' תחנה היסטורית	שנת התחלה	שנת סיום	מספר פעילות	שנות
23	לוד- בקעת אונו	136900	לוד נמל תעופה		1938	2003		55
24	גוש דן וראשל''צ	136741	בית דגן	136739; 136740	1962	2016		53
25	תל אביב	136320	תל אביב חוף	134940; 134950	1946	2017		63
26	דרום הרי יהודה	247430	ערוב		1969	1990		17
27	לכיש צפון	246551	בית ג'ימל	246550	1959	2016		52
28	יישובי גדרות	140198	קבוצת יבנה		1950	2016		53
29	אשדוד ואשקלון	140025	אשדוד נמל	1400020; 140040	1962	2016		43
30	פלשת	141747	נגבה		2005	2016		11
31	לכיש-גת	142300	גת ושדה משה	142302	1957	2016		24
32	דרום ים המלח וערבה צפונית	337001	סדום		1959	2016		50
33	ערד דימונה	251569	ערד	251571	1964	1998		33
34	צפון הנגב	248396	להב		1959	2016		52
35	עוטף עזה צפון	250156	דורות		1941	2016		11
36	עוטף עזה דרום	144873	חוות בשור וניר יצחק	144,900,144,902	1955	2016		36
37	באר שבע	251691	באר שבע	251850; 251690	1943	2016		60
38	רמת הנגב	255630	מצפה רמון		1958	2016		47
39	מישורי חיון ופארן	259133	עובדה שדה תעופה ונאות סמדר	259270	1982	2016		24
40	ערבה דרומית ואילת	347704	אילת	347700; 347702	1949	2016		45

5. גשם יממתי

נוסף לנתונים הרציפים מהן חושבו עוצמות קיצון למשך של עד 240 דקות, חושבו גם עוצמות קיצון יממתיות (24 שעות). הדבר נחוץ לצורך חישוב נפחי נגר יומיים לתכנון איגומים וכן לצורך בניית אירועי גשם לשימוש במודלים (סעיף 5.1 להלן). איסוף המידע במקרה זה היה קל יותר, כיוון שהמדידות היממתיות החלו לפני המדידות הרציפות וסדרות הזמן שלהן בדר"כ ארוכות יותר. עיבוד הנתונים נעשה באופן דומה למתואר לעיל בנתונים הרציפים.

בעיה אחת שהתגלתה בתחנות היממתיות היא שהנתונים מוטים כלפי מטה (לצורך חישוב עוצמות קיצון). הסיבה היא שהתחנות נמדדות אחת ליממה, תמיד בשמונה בבוקר. עוצמות הקיצון אמורות להיות מחושבות עבור 24 השעות בעלות עובי הגשם הגדול ביותר בכל שנה, אך הגשם אינו מתחשב בשעת המדידה ולרוב 24 השעות הגשומות ביותר אינן מתרחשות בין שמונה לשמונה. כך יוצא שהיממה הגשומה ביותר מתפרשת במדידות על שתי יממות והעובי המחושב מוטה כלפי מטה.

בכדי לאמת זאת, חושב העובי היממתי המרבי לשנה מתוך הנתונים הרציפים שקיימים החל משנת 2006, לכל 39 התחנות הרלוונטיות. עובי זה הושווה לעובי השנתי המרבי שנמדד בתחנות היממתיות. נמצא כי אכן כל התחנות היממתיות מוטות כלפי מטה בהשוואה לנתונים הרציפים.

בכל תחנה הפקטור היה מעט שונה, אך התגלה כי באזור החוף והשפלה, ההטייה נוטה לשיעור ממוצע של 20%. זאת לעומת פנים הארץ והדרום בה ההטייה הממוצעת עומדת על 13%. לכן הוכפלו העוצמות היממתיות שחושבו בפקטורים 1.2 במישור החוף והשפלה ו-1.13 בפנים הארץ, כמוצג באיור 74.

5.1. פרישת הגשם לאירוע יממתי

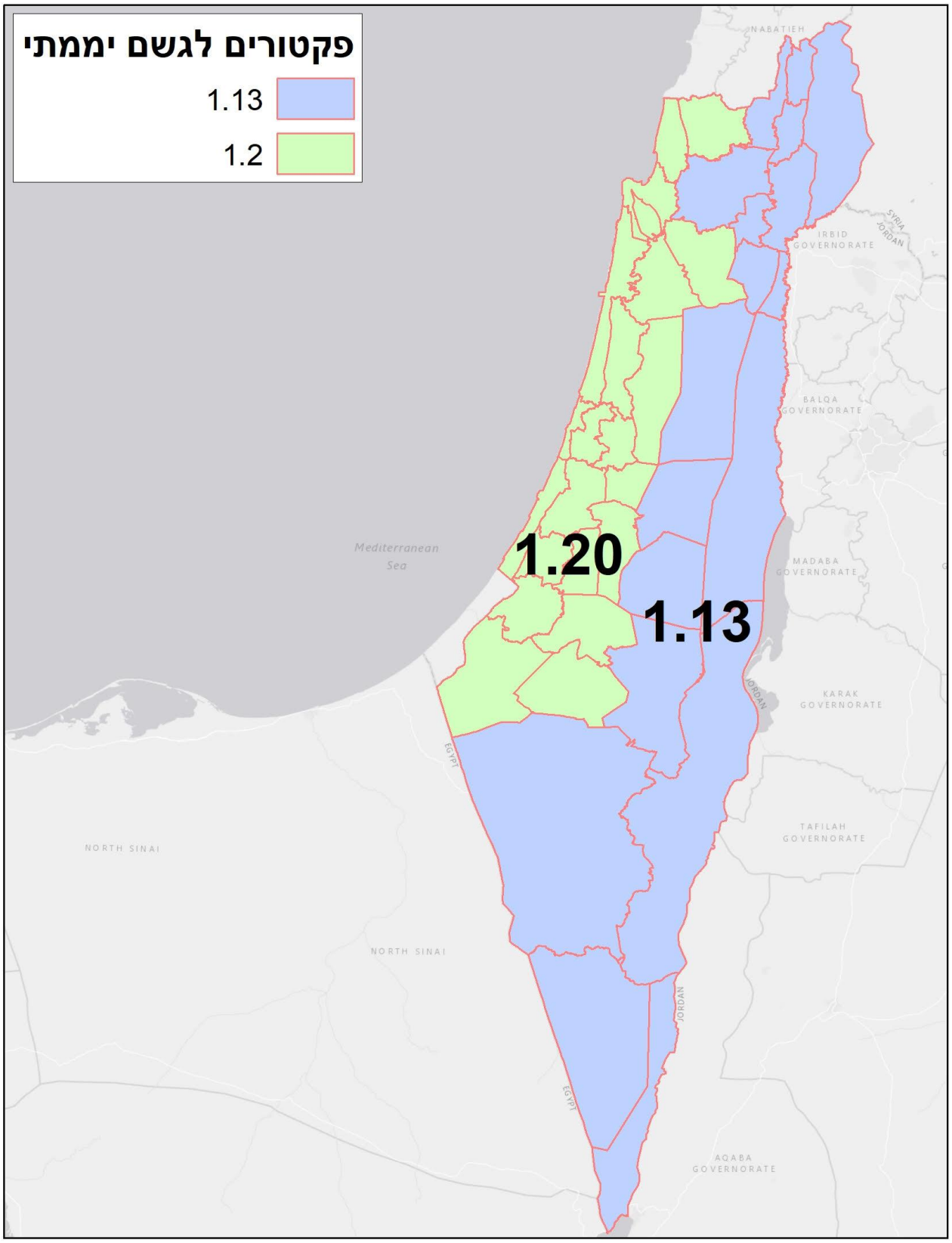
עד עתה דובר על עוצמות ועוביי גשם. בכדי להשתמש בגשם כקלט למודל גשם-נגר, יש צורך לפרוש אותו על פני היממה וליצור אירוע גשם (הייטוגרף או Hyetograph).

ישנן שיטות מקובלות בעולם, כאשר כל שיטה מותאמת לאזור ספציפי, כיוון שאופי הגשם שונה ממקום למקום. נבחנו 3 שיטות מקובלות לפרישת גשם והן SCS,[178] NOAA,[179] ו-NRCC.[180] לכל אחת מהשיטות ישנן 4 התפלגויות שונות המתאימות לאזורים שונים בארה"ב, כלומר סה"כ 12 התפלגויות. הקלט בשיטות אלה הוא עובי גשם יממתי, והפלט הוא תפרוסת הגשם על פני היממה בהתאם להתפלגות הנדונה.

[178] https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H%26H/rainDist/SCSrainfallDistTimeTransformations.xlsx

[179] https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/rainDist/FIHMC_2015_Rainfall_Distribution_NOAA_14_Merkel.pdf

[180] https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/WinTR20/ppts/Mod%2010aNRCCRainDist_V310.pptx



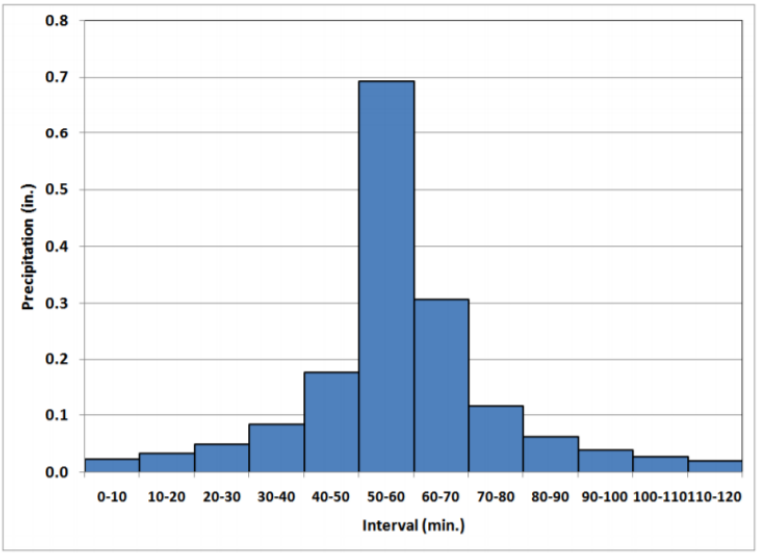
איור 74 | מפת אזורי הגשם והפקטורים בהם הוכפל הגשם היממתי

לכל אחת מ-39 התחנות הרלוונטיות חושבו 12 ההתפלגויות לתקופת חזרה של 1:100. התקווה הייתה למצוא התפלגות אחת שמתאימה לרוב התחנות, או לפחות למצוא מספר התפלגויות קטן המתאימות לאזורים שונים. בדיקת ההתאמה נעשתה לעוצמה המחושבת הגבוהה ביותר בהתפלגות אל מול העוצמה ה-5 דקתית שחושבה לתחנה, (למרות שלאחר מכן, הנתונים ה-5 דקתיים הושמטו מבסיס הנתונים). נמצא כי אין התפלגות אחת שמתאימה לרוב הפוליגונים בישראל ולא נמצאה חוקיות בהתאמה. יתרה מכך, עוצמות הגשם בחלקים מישראל, בעיקר בדרום, הינן גבוהות בהרבה מכל ההתפלגויות שנבדקו ואין אף התפלגות שמתאימה להן.

לכן הוחלט לפתח התפלגויות לפירוש גשם במיוחד לישראל, בשיטת Alternating Block Method.[181] בשיטה זו מחשבים את עוצמת הגשם לכל אינטרוול זמן (במקרה הנדון, כל 10 דקות) ע"פ עקום ה-IDF ולאחר מכן מסדרים את הבלוקים המחושבים כך שהעוצמה הגבוהה ביותר במרכז; ומסביבה בסדר יורד שאר הבלוקים, בצורה שיתקבל שיא גשם אחד באירוע כמוצג באיור 75.

Duration (min)	Intensity (in/hr)	Cumulative Depth (in)	Incremental Depth (in)
10	4.158	0.693	0.693
20	3.002	1.001	0.308
30	2.357	1.179	0.178
40	1.943	1.295	0.117
50	1.655	1.379	0.084
60	1.443	1.443	0.064
70	1.279	1.492	0.049
80	1.149	1.532	0.040
90	1.044	1.566	0.034
100	0.956	1.593	0.027
110	0.883	1.619	0.026
120	0.82	1.640	0.021

No.	Time (min)	Precip. (in)	No.
1	0-10	0.024	11
2	10-20	0.033	9
3	20-30	0.050	7
4	30-40	0.084	5
5	40-50	0.178	3
6	50-60	0.693	1
7	60-70	0.308	2
8	70-80	0.117	4
9	80-90	0.063	6
19	90-100	0.040	8
11	100-110	0.028	10
12	110-120	0.021	12



איור 75 | דוגמא ל-Alternating block method

יש לציין כי נתוני הגשם בישראל הם בעייתיים לצורך פרישה משלוש סיבות:

1. סדרות הזמן הקצרות גורמות לכך שלעיתים, במיוחד בהסתברויות הנדירות, עקום ה-IDF הינו קצת מעוות ולא עוקב אחר התצורה הקלאסית של עקום מעריכי חלק.
2. עוצמות הגשם מחושבות מ-5 ועד ל-240 דקות ואז יש קפיצה גדולה ל-1,440 דקות (יממה) וזאת עקב מגבלת הנתונים ההיסטוריים עד שנת 2006 (ראה הסבר בסעיף לעיל).
3. עוצמות הגשם עד 240 דקות מחושבות מנתונים רציפים בעוד העובי היממתי מחושב מנתונים יממתיים עם פקטור. מדובר בשני בסיסי נתונים שונים שעלולה להיות ביניהם אי התאמה.

הבעיות לעיל גורמות לכך שפרישת הנתונים מתוך עוצמות הגשם יוצרת לעיתים קפיצות לא הגיוניות וערכים שליליים ולכן לא ניתן להשתמש בעוצמות כמו שהן. לפיכך הוחלט להשתמש בקו המגמה המעריכי של עוצמות הגשם לצורך חישוב פרישת הגשם.

ההתאמה של קווי המגמה המעריכיים לעוצמות הגשם היא לרוב גבוהה מאוד (R^2>0.99), אך למרות זאת ישנן לפעמים סטיות קלות. לעיתים ישנה גם אי התאמה בין הנתונים הרציפים ליומיים. לכן פירוס הגשם על

[181] http://www.ce.utexas.edu/prof/mckinney/ce374k/Overheads/21-HydrologicDesign.pdf

פני היממה לפי קו מגמה חייב לפספס את העוצמות המחושבות, או בשיא או בעובי היממתי של האירוע המחושב. מסיבה זו העובי הכולל ועוצמות הגשם של האירוע המחושב עלולים להיות מעט שונים מטבלת עוצמות הגשם.

6. בסיס הנתונים של עוצמות הגשם בישראל

לאחר ביצוע החישובים נמצא כי הגשם בישראל הינו הטרוגני באופיו ולא ניתן לאפיינו באמצעות מספר קטן של התפלגויות. יתרה מכך, ההתפלגויות משתנות בהתאם להסתברות עבור אותו פוליגון. לכן, במקום לציין התפלגות, נבנה בסיס נתונים של עוצמות הגשם בישראל בקובץ אקסל בעל שני גיליונות:[182]

1. גיליון ראשון המציג את קטלוג תחנות הגשם ואזורי הגשם בישראל.
2. גיליון שני בו ניתן לבחור אזור גשם ולקבל את טבלת עוצמות הגשם ועקום ה-IDF הרלוונטי וכן לבחור תקופת חזרה ולקבל אירוע גשם יממתי המחושב אוטומטית ב- Alternating Block Method כמתואר לעיל.

[182] בסיס הנתונים ניתן להורדה בכתובת https://www.gov.il/he/departments/general/upper_runoff

11.ביבליוגרפיה

CFRC. (2006). Hydraulic Reference - Manning's Equation, Corvallis Forestry Research Community

Chow, V'. Maidment, D. R. & Mays, L. W. (1988). Applied Hydrology International Edition, McGraw-Hill.

Clark, C' O'. (1945). Storage and the unit hydrograp.

Colorado. (August 2018). Urban Storm Drainage Criteria Manual Volume 1, Mile High Flood District

EPFL. (9 March 2006). CHAPTER 10 - URBAN HYDROLOGY. (École Polytechnique Fédérale de Lausanne), Virtual campus in hydrology and water ressources

Grimaldi, S'. Petroselli, A'. Tauro, F'. & Porfiri, M'. (2012). Time of concentration: a paradox in modern hydrology. Hydrological Sciences Journal, 57(2), 217–228

Gunawardena, A' Z'. (2017). Review of non-market values of water sensitive systems and practices: An update. Melbourne, Australia: Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities

LA County. (January 2006) .D. L. Wolfe ,Los Angeles County Department of Public Works

Lausanne, É P'. (9 march 2006). Virtual campus in hydrology and water, CHAPTER 10 - URBAN HYDROLOGY .École Polytechnique Fédérale de Lausanne

NRCS. (May 2010). Part 630 Hydrology - National Engineering Handbook, Chapter 15 - Time of Concentration, United States Department of Agriculture

NOAA. (12 Oct 2005). Unit Hydrograph (UHG) Technical Manual. (National Weather Service - Office of Hydrology - Hydrologic Research Laboratory & National Operational Hydrologic Remote Sensing Center,) National Weather Service

NRCS. (1988). Module 206D - Peak Discharge (Other Methods), Hydrology Training Series

NRCS. (May 2010). Part 630 Hydrology - National Engineering Handbook, Chapter 16 - Hydrographs, United States Department of Agriculture

NRCS. (Dec 2019). Natural Resources Conservation Service, Unit Hydrograph Transformer

Ponce, V' M'. & Nuccitelli, N. R. (October 2013). Comparison of two types of Clark unit hydrographs

Queensland Government, (2013). Queensland Urban Drainage Manual, Third edition, Brisbane: Department of Energy and Water Supply.

Raghunath, H' M'. (2006). Hydrology: principles, analysis and design

Rawls, W' J'. Brakensiek, D' L'. & Miller, N'. (1983). Green-ampt Infiltration Parameters from Soils Data, Journal of Hydraulic Engineering.

Synder, F' F'. (1938). 'Synthetic unit hydrographs. Trans., Am. Geophys. Union, 19, 447-454..

Thompson, D' B'. (2006). The Rational Method. Texas Tech University, Civil Engineering Department

Vladimirescu, I'. (1984). Engineering Hydrology (In Romanian). Bucurest

גבירצמן, ח'. (2002). משאבי המים בישראל. יד בן צבי

גוטמן, ד' ג'. (2018). ניהול אגני היקוות בגישה אינטגרטיבית - לקראת גיבוש מדיניות סקירה מושגית | מאפייני הגישה | דוגמאות לארגז כלים | מקרי בוחן . האגף לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות ופיתוח הכפר

גוטמן, ד' ג'. (2019). גישה אגנית משלבת לניהול אגני היקוות - נייר מדיניות ומפת דרכים להטמעת עקרונות הגישה בישראל. משרד החקלאות ופיתוח הכפר

הלוי, ר' א'. (2016). עדכון בסיס נתוני עוצמות הגשם בישראל וקביעת עוצמת גשם תכן כפרמטר בסיסי לתכנון ניקוז מערכות תחבורה

הלוי, ר', & ארבל, ש'. (2016). עדכון בסיס נתוני עוצמות הגשם בישראל וקביעת עוצמת גשם תכן כפרמטר בסיסי לתכנון ניקוז מערכות תחבורה. נתיבי ישראל.

המשרד להגנת הסביבה. (דצמבר, 2017). היערכות ישראל להסתגלות לשינויי אקלים: המלצות לממשלה לאסטרטגיה ותכנית פעולה לאומית

השירות ההידרולוגי. מודל לספיקות שיא. רשות המים.

השירות ההידרולוגי. ספיקות ונפחי זרימה בנחלים. נתונים ומידע מקצועי מתוך אתר רשות המים

השירות המטאורולוגי. (נובמבר, 2019). שינוי האקלים בישראל מגמות עבר ומגמות חזויות במשטר בטמפרטורות והמשקעים

טל-ברזילי, ר', במברגר, א', & פולק, ש'. (2018). סקירת שיטות עדכניות לחישוב ספיקות בישראל

ליבשיץ, י' י'. (2018). מסמך עקרונות ניהול ושימור נגר. השירות ההידרולוגי, רשות המים

מינהל התכנון. (2012). מדריך הנחיות לתכנון חנייה. מינהל התכנון - משרד הפנים

משרד הבינוי והשיכון. (2004). מדריך לתכנון ובניה משמרת נגר עילי. משרד הבינוי והשיכון

משרד הבינוי והשיכון, המועצה לישראל ירוקה. (יוני 2019). שכונה 360° מדדים לתכנון ופיתוח שכונות מגורים

אודיש, י' פ'. (2006). השפעת הנוף על שוויין של דירות מגורים: בדיקה אמפירית של השפעת סוגי נופים שונים באחת עשרה ערים בארץ. משרד המשפטים, אגף שומת מקרקעין, מחלקת המחקר והמידע במקרקעין

נוימן, א' ד'. (2019). תכניות אב ברשויות ניקוז ונחלים, סקירה היסטורית בראי העקרונות של דירקטיבת השיטפונות האירופית. משרד החקלאות ופיתוח הכפר

נתניהו, ס' א'. (2007). כדאיות כלכלית של שימור מי נגר בדגמים עירוניים ברצועת החוף של ישראל - דו"ח מס' 1 . נציבות המים במשרד התש"ל, אגף המחקרים

נתניהו, ס' א'. (2008). כדאיות כלכלית של שימור מי נגר בערים ראשון לציון והרצליה – דו"ח מס' 2. נציבות המים במשרד התש"ל, אגף המחקרים

עמיעז, י' ר'. (2018). הנחיות להחדרה מים במסגרת בנייה משמרת מים בשטחים עירוניים (ברמת המגרש) הנמצאים מעל האקוויפר בעל תווך נקבובי, (אקוויפר החוף). רשות המים

עמיר, ד' ש'. (2015). מדריך לתכנון סביבתי, הטמעת היבטים סביבתיים בהליכי התכנון. המשרד להגנת הסביבה

צלול. (2015). דרכים למניעת נזקי הנגר העירוני לנחלים ולים - דוח מצב הים. צלול

שמיר, א' כ'. (2007). תר"מ - תכנון רגיש למים. משרד הבינוי והשיכון