



**ניהול נגר בשטחי
רמת הנדיב
ביצוע פעולות ממוקדות
לניהול נגר - פרק א**

**מידול מי נגר ברמת
הנדיב בהתבסס
על ידע קיים**

מאי 2022 (עדכון)





צוות התכנון

אורי מורן, אקו-הידרולוג

הידרולוגיה וניקוז

הידרוגיאולוג

ריכוז הפרויקט

ראש צוות התכנון

איתי קיסר

נועם הרלב

לילך גנץ



הקדמה

גני רמת הנדיב שמו לעצמם מטרה להוות מגדלור לניהול אזור רמת הנדיב באופן בר קיימא. אחד מאפיקי היישום וההטמעה שנבחרו בממשק בין פיתוח לבין שמירה על השטחים הפתוחים, הוא ההתייחסות למשאב המים. השאלה העומדת בבסיס עבודה זו היא האם ניתן ע"י ניהול מושכל של משאבי המים ברמת הנדיב (בשטחים המפותחים ובשטח הטבעי) לשמור על האיזון הטבעי המקבל את ביטוי במחזור ההדרולוגי על פני שטח רמת הנדיב. האם ניתן, לדוגמא, לקיים תהליכים של פיתוח (בניית כבישים, מגרשי חניה, מבנים, שבילים ורחבות) ועדיין לשמור על מאזן מים (כולל מי נגר וחילחול) המאפיין את השטח הטבעי. או, לחלופין, להעריך מהי טביעת הרגל האקולוגית המותירה את חותמה בשטח בשל תהליכי הפיתוח. על מנת לענות על שאלות מהותיות אלו, יזם ארגון גני רמת הנדיב עבודת בדיקה, שבעיקרה היא מיפוי של מערכת היחסים בין הגשם היורד על שטח רמת הנדיב לבין הקרקע והמסלע הקולטים את טיפות הגשם. בחינת מערכת יחסים זו המשפיעה באופן ישיר על תפקוד המערכת האקולוגית המגוונת, על המילוי החוזר של עין צור ועל כמות מי הנגר הזורמת הלאה משטח רמת הנדיב, עומדת בבסיס העבודה. הנחת הבסיס לעבודה היא ששקלול סך המרכיבים של המחזור ההידרולוגי ברמת הנדיב יביא לתובנות על אופן ניהול משאב המים ברמת הנדיב.

עבודה זו הינה השלב הראשון בניהול מושכל של משאב המים ברמת הנדיב והיא עוסקת בהבנת מאפייני המשקעים, מאפייני הקרקע והמסלע, שיפוע השטח האידיאלי והדיות. העבודה מתבססת על ידע קיים שהצטבר ברמת הנדיב אותו נדרש לאסוף ולטייב. מכיוון שמושאו של משאב המים ברמת הנדיב היא קודם כל המערכת האקולוגית ותפקודה, נבחרה סופת גשם שכיחה שנבדקה לאורך שנה הידרולוגית ממוצעת, על מנת להבטיח התאמה בין האמצעים שיבחרו בעקבות עבודה זו לניהול הנגר ובין תפקודה של המערכת האקולוגית.



תוכן עניינים

4	1. יעדי העבודה – שלב א'
4	שלבי העבודה
5	2. נתוני רקע
5	2.1 טופוגרפיה
5	2.2 שיפועי הקרקע
9	3. ניתוח המסלע והקרקע
9	3.1 גיאולוגיה
13	3.2 פדולוגיה
17	3.4 יחידות הידראוליות
19	3.4.1 מקדמי מוליכות הידראולית
19	4. ניתוח נתוני גשם
20	4.1 ניתוח משקעים שנתיים
21	4.2 -ניתוח הקשר בין עוצמת הגשם, משך הסופה וההסתברות להתרחשותה (עקומת IDF)
21	4.3 ניתוח סופות תכן שכיחות
22	4.3.1 סופות תרומות נגר
23	4.3.2 הגדרת סופת תכן שכיחה (הזנה למודל)
25	4.3.3 הגדרת משקעים בשנה חציונית עבור המודל
27	5. ניתוח נפחי נגר עילי באגני התנקזות
27	5.1 מודל כללי לשטחי רמת הנדיב, פארק הטבע
35	5.2 מודל ממוקד לשטחי הגנים והאזור המשקי
42	5.3 תרומת נגר מדרכי העפר
44	5.4 תרומת נגר ממחשופי הטוף
46	6. סיכום
48	7. מקורות



1. יעדי העבודה – שלב א'

מיפוי מפורט של התכסית ברמת הנדיב לרבות אפיון תכונות הקרקע, יחסי גשם-נגר ואופי החידור. מיפוי תפרוסת הנגר העילי בפארק הטבע ובשטח הבנוי והמגוון. ניתוח נתוני גשם והגדרת משקעים אפקטיביים לשנה הידרולוגית ממוצעת וסופות תכן בהסתברויות שכיחות. העמדת מודל זרימות עיליות לצורך חיזוי זרימות בתנאי גשם שכיחים בהסתברות גבוהה. ניתוח ספיקות ונפחים של הנגר העילי, במוצאי הניקוז של מגרשי החנייה והאזור המשקי, ולימוד גורמי ההשפעה על עוצמת הספיקה.

שלבי העבודה

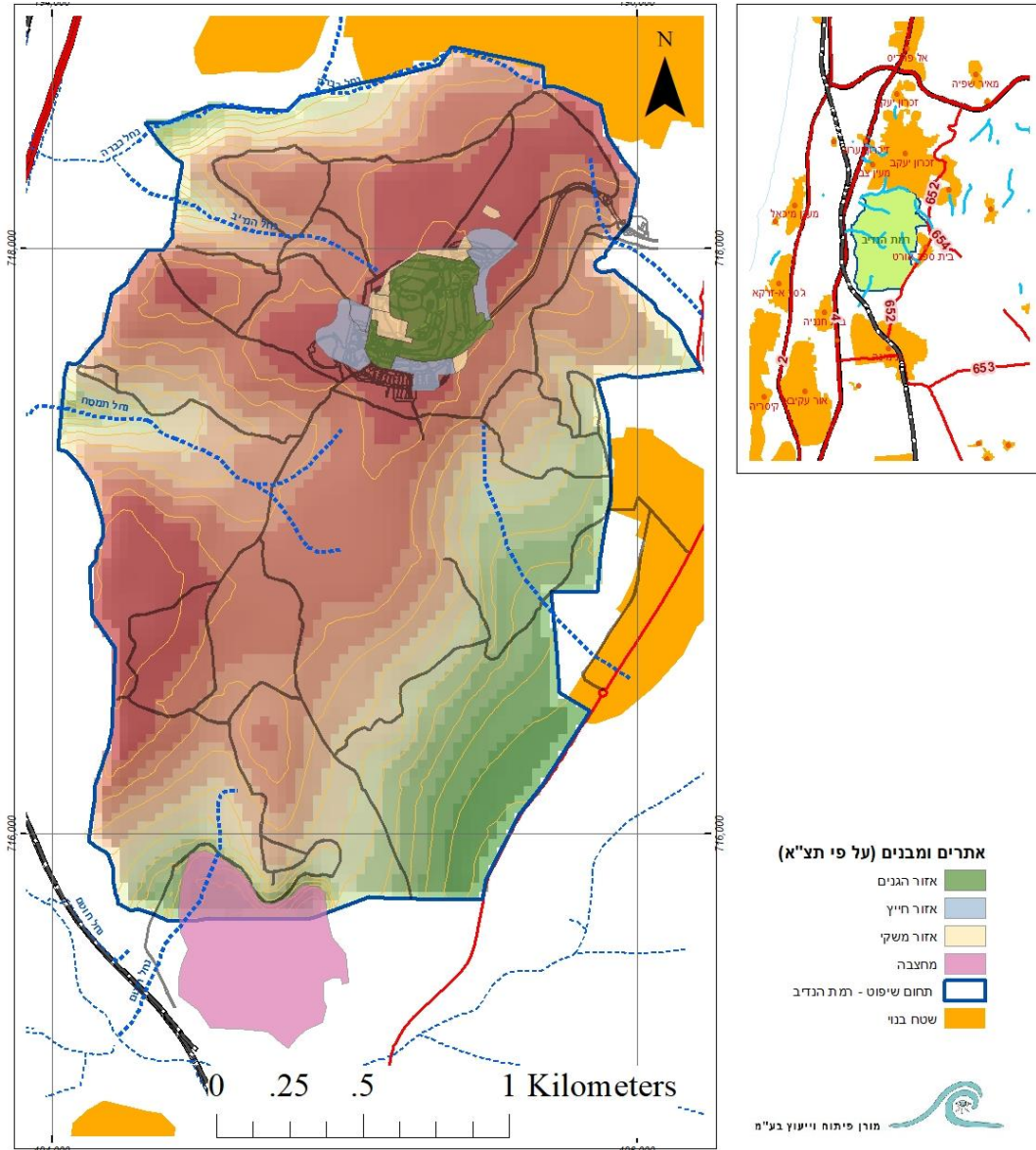
1. טיוב מידע ומיפוי קיימים על בסיס איסוף מידע קיים במאגרי המידע של רמת הנדיב.
2. ניתוח תצ"א וביצוע סיורים ממוקדים בשטח.
3. ניתוח יחסי קרקע וסלע באמצעות סיור בשטח, מידע גיאולוגי קיים ועבודתם של יוסף בר ומרדכי קפלן.
4. ניתוח נתוני גשם בהסתברויות גבוהות, בהתאם ליחידות נוף וקרקע שונות.
5. איפיון טופוגרפיה קרקעות ותכסית, וקביעת מקדמים בהתאם.
6. מיפוי מדויק של תתי אגנים, אפיקים משניים ושלישוניים, בשטח פארק הטבע, בגנים ובאזור המשקי. המיפוי נעשה בעזרת תוכנת PCSWMM
7. מידול לצורך הערכת כמות מי נגר ברמת הנדיב בהתבסס על ניתוח המידע הקיים, והרצת תרחישי גשם שכיחים בהסתברויות גבוהות בעזרת מודל גשם-נגר בתכנת PCSWMM.



2. נתוני רקע

איסוף המידע נעשה מול אנשי המקצוע ברמת הנדיב. התקבל חומר איכותי אשר שימש לצורך הבנה ראשונית של השטח. תצ"א, ליידר, שבבות מידע גיאולוגיות, דוחות קרקע, מיפוי שימושי קרקע, שפיעות מעין עין צור, ומיפוי ראשוני של נקזים.

2.1 טופוגרפיה



איור 1 מפה טופוגרפית

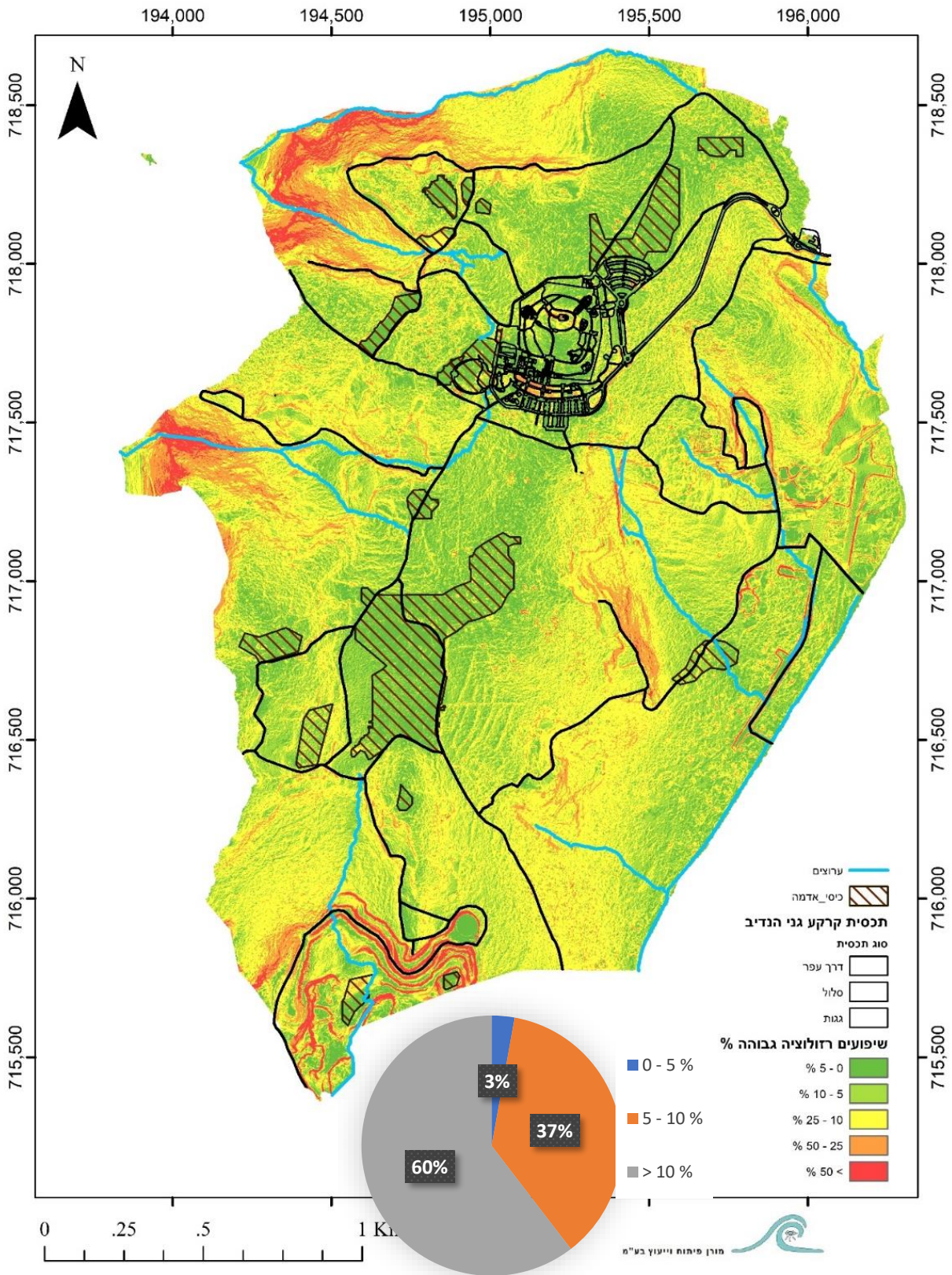
2.2 שיפועי הקרקע

בחינת שיפועי הקרקע נעשתה בהתבסס על נתוני ליידר (מפת גבהים). שטח רמת הנדיב מאופיין לרוב בשיפועים מתונים. 3% מהשטח הוא מישורי ונע בין שיפוע 0%-5%. 37% מהשטח הוא בשיפוע 5%-10%, ושאר השטח



בשיפועים חדים יותר. הנחת עבודה היא שעבור שיפועים נמוכים מ 5% תוצר שכבת קרקע עבה ודומיננטית יותר. על סמך הנחת עבודה זו, סיורים בשטח, וניתוח תצ"א (שדות חקלאיים) נבנתה שכבת כיסי הקרקע, המוצגת במפה להלן.

מפה זאת תשמש בהמשך לקביעת מקדמי החלחול של תאי שטח שונים ואפיון המרכיב הדומיננטי באותו תא שטח (קרקע/מסלע).



איור 2- מפת שיפועים, וכיסי קרקע



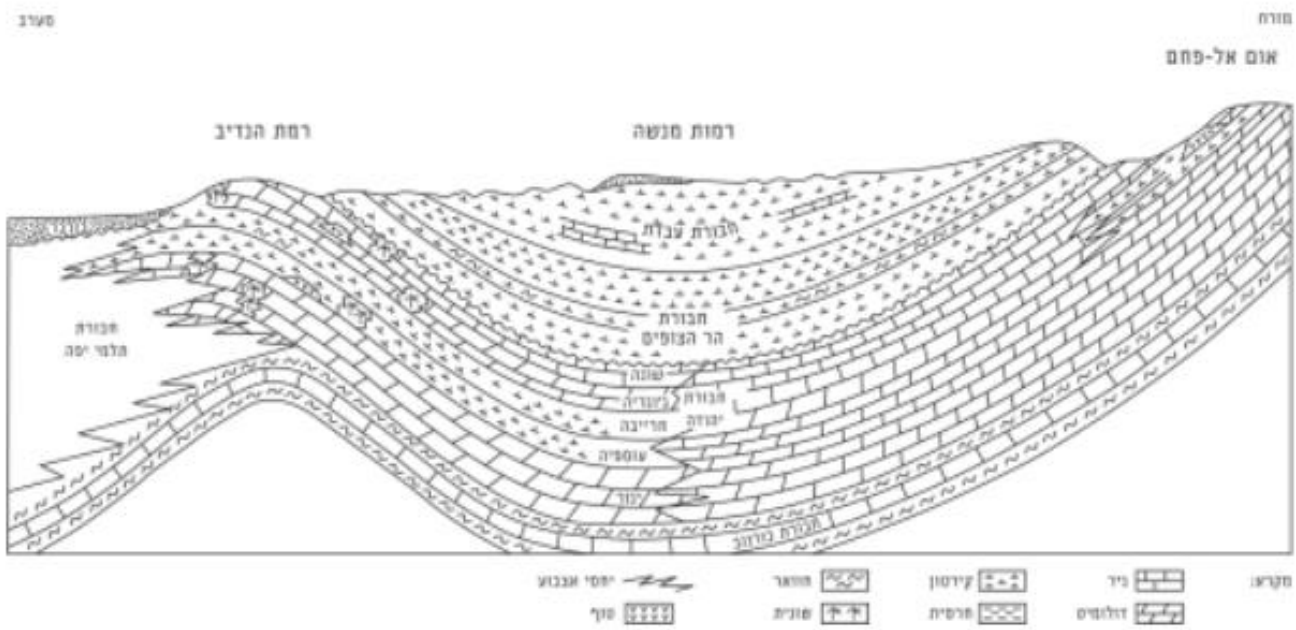
תמונה 1 – שטח אופיני למיפוי של "כיס קרקע"



3. ניתוח המסלע והקרקע

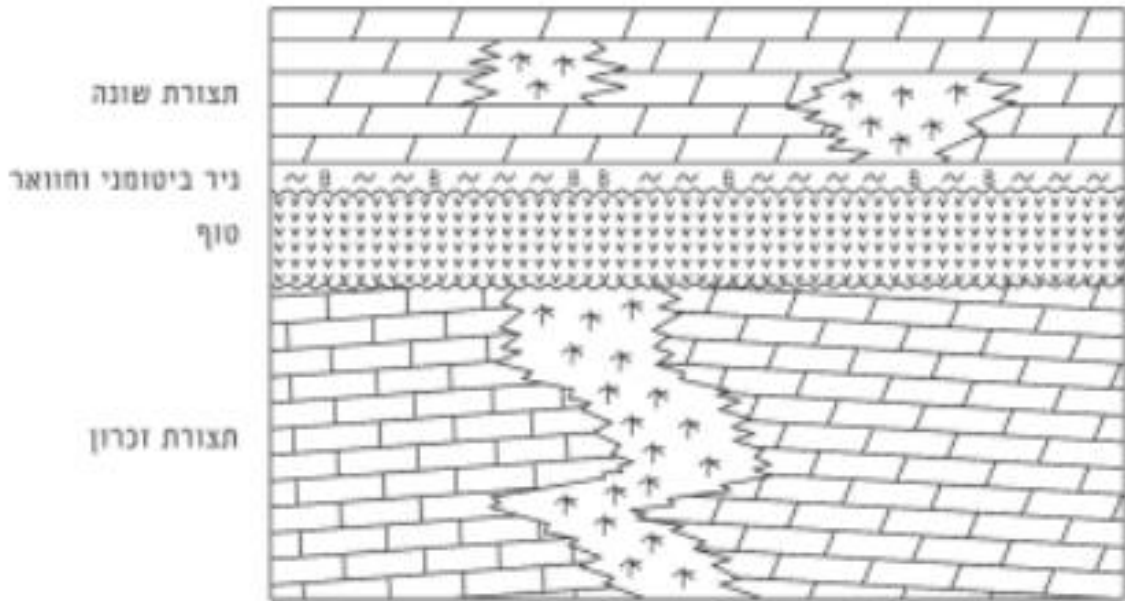
3.1 גיאולוגיה

חוטם הכרמל, הינו קצהו הדרומי של רכס הכרמל. אשור זה מתנשא לגובה של 120 מ' מעל פ"י. מבחינה סטרוקטורלית, חוטם הכרמל הינו אנטיקלינה בעלת ציר אורך באוריינטציה של צפ'דר'. אנטיקלינה זו בנויה על בלוק המוכר בשם גוש זכרון יעקב-עופר. בלוק מורם זה תחום ממזרח ע"י העתק טירלי ומדרום ע"י העתק בנימינה, בשני המקרים מדובר בזריקה אנכית מוערכת של מאות בודדות של מטרים (דפני, 2011). ביטוייה המורפולוגי בנוף של אנטיקלינה זו הוא של רמה נישאת התחומה במצוקים, נמוכים בצידה המזרחי וגבוהים יותר בצדה המערבי הפונה אל הים התיכון (איור).



איור 3 - חתך גאולוגי מז'מע' המציג את המבנה האנטיקלינלי של דרום הכרמל מתוך בר וקפלן (2005).

מעל תשתית הסלע, בתחתית החתך החשוף שוכנת יחידה מאסיבית של דולומיט תצורת זכרון הקנומנית. מעליה, יחידה קרבונטית מאסיבית נוספת של תצורת סח'נין המרחבית (הוגדרה כיחידה מקומית בשם 'שונה' בעבודות קודמות). בין שתי תצורות הסלע הנ"ל שוכנת יחידה וולקנית פירוקלאסטית בעלת התפרשות נרחבת יחסית ועוביה באזור רמת הנדיב היא עשרות מטרים בודדים, בשם טוף שפיה. מקורה מהר געש ימי שפעל בסוף הקנומן והותיר בשטח מרקר סטרטיגרפי מובחן בלב תקופה ממושכת של משטר השקעה ימי. (בר וקפלן 2005) נוסף על כך, יחידה פירוקלאסטית זו הינה בעלת חשיבות הידרולוגית, שכן סלע הטוף שעבר בליה כימית ארוכת שנים הפך לשכבה אטימה עשירה במינרליים חרסיתיים ומהווה אקוויקלוד מקומי בשטחי הכרמל הדרומי. מבחינה הידרולוגית, תצורת זכרון וסח'נין/שונה הן בעלות מאפיינים דומים: גיר ודולומיט מאסיביים, מערכות סידוק מפותחות ותופעת קארסט. הדבר בא לידי ביטוי בכך שתצורת זכרון הינה בעלת קשר ישיר לקומה התחתונה של אקוויפר ההר.



איור 4 - חתך רוחב עמודי סכמטי ביד הנדיב. (תצורת שונה מוזכרת בחיבור זה בתור תצורת סח'נין).

יתכן ובאזורים מסוימים ברמת הנדיב, היחידה הוולקנית אינה רציפה – דבר אשר יוצר רציפות הידרולוגית בין פני השטח לאקוויפר העמוק. השערה זו אינה מגובה בתצפיות בשל היעדר קידוחי עומק בשטח רמת הנדיב. עין צור הינו עדות לתפקיד ההידרולוגי של 'טוף שפיה' כאקוויקלוד, יחד עם זאת, תופעה מקומית זו עומדת בודדה ולראיה היעדר מעיינות מקומיים הנובעים מיחידה זו. (שגב ושש, 2009; בר וקפלן, 2005). אזור העבודה הוא טרשי ברובו, הדבר נכון בעיקר למקומות משופעים ומכאן שברוב שטחי רמת הנדיב למסלע החשוף על פני השטח תפקיד מרכזי במשק המים הטבעיים. אותו מסלע קרבונטי מאסיבי (דוגמת תצורת סח'נין) (ראה תמונה מס' 1) בעל מערכות הסידוק הענפות וחללים קארסטיים רבים יוצר את הנוף הטרשי ומטבע הדברים מאופיין בתכונות הידראוליות מצויינות. עבודות שונות שנעשו על תכונות הידראוליות של סלעי חבורת יהודה הקארבונטיים מציגות ערכים גבוהים מאוד של מוליכויות הידראוליות אנכיות (ביחידות של מ' לשניה): הערך עבור תצורת כמון (יגור) הדלומיטית נמצא עפ"י מודל להיות $4 * 10^{-5}$ (יחיאלי וחוב', 2015), ע"ס מבחני שאיבה נמצא שהמופע הקארסטי של תצורת עמינדב בהרי ירושלים נושא את הערך של 0.1 (Peleg & Gvirtzman, 2010) ו- $4 * 10^{-4}$ עבור תצורת עספיא באזור עין אלון במדידה אמפירית שנעשתה ע"י גרינבאום וחוב' (2008). היות והאופק הוולקני שפיה העתיק (kuvs) הפך בעקבות תהליכי בליה כימית לאופק בעל תכולה דומיננטית של מינרלי חרסית (טוף חוארי) ניתן להעריך את ערכי המוליכות שלו כאטומים או ככמעט אטומים.

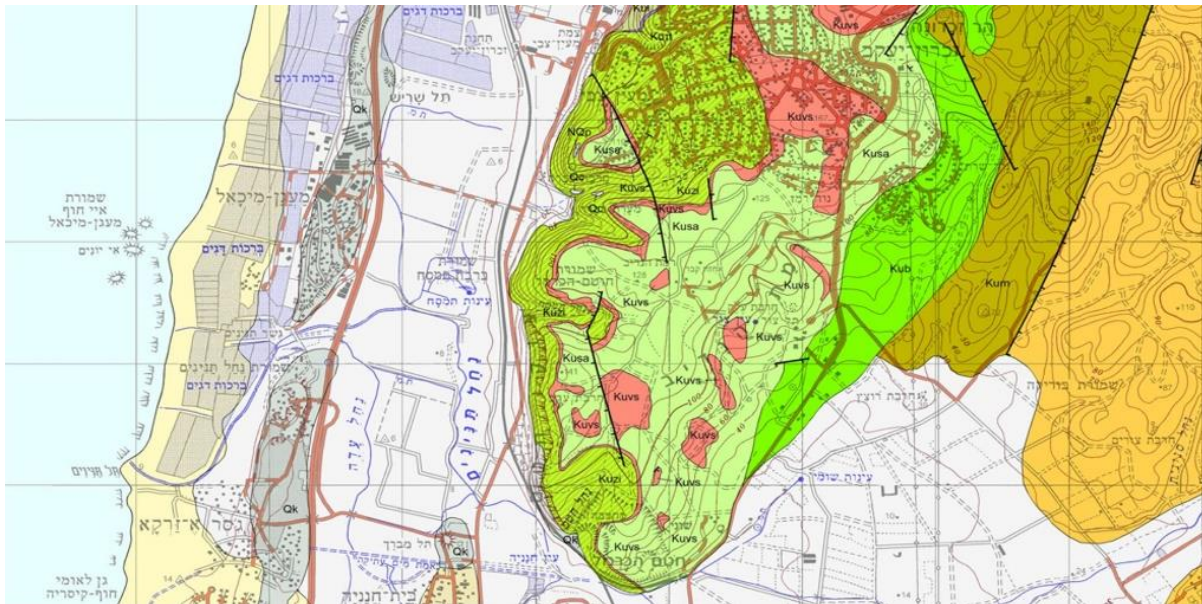


תמונה 2 - מפה נוף טרשים המאפיין את תצורת שונה

בחינת התווך הסלעי באזור העבודה נעשתה בהקשר לתכונות המבניות וההידראוליות של חתך הסלע המכתיבות את המתאר ההידרוגאולוגי של דרום הכרמל ורמת הנדיב בפרט. למשל, נקבוביות הסלע החשוף וכיוון נטיית האופק האטום יקבעו מהם הנפחים הפוטנציאליים של חלחול מים לאקוויפר ואת מוצאם של מים אלו.

מערך זה של סלעי תצורת סח'נין הנקבובים ע"ג אופק הטוף הבלוי הינה של אקוויפר פריאטי רדוד אשר כיוון הזרימה שלו, ממזרח לציר האורך של האנטיקלינה, מוכתב ע"י הסטרוקטורה הכללית לכיוון מזרח-דר' מז'. היות והאירוע הוולקני התרחש ע"י הר הגעש שפיה התת-ימי תוך כדי משטר השקעה ימי של סלע קארבונטי (למרות שקיים שינוי כלשהו במשטר ההשקעה במעבר בין הקנומן לטורון. אולם, תנאי ההשקעה דומים), ניתן להניח ששקיעת הפירוקלסטים המהירה

כסתה באופן לא רציף את המרחב ולא עברה שינויים מורפולוגיים משמעותיים שכן משטר ההשקעה הימי היה בעיצומו וכיסה על היחידה הפירוקלסטית. דבר יכול להסביר רדידות ושטחיות של אגן מי התהום המקומי הנבנה מאופק הטוף. בנוסף לכך, יתכן וקיימים במרחב אזורים בהן לא שקעו הפירוקלסטים כתוצאה מתבליט גבוה של סלעי תצורת זכרון בעת התפרצות הר הגעש. מצב זה יוצר היום קישוריות בין האקוויפר הפראטי לבין אקוויפר ההר העמוק. בלוק זכרון יעקב-עופר הינו מבנה שבור ומועתק בצפיפת גבוה, ישנו מערך של העתקים נורמליים בצדה המזרחי של האנטיקלינה בעלי אוריינטציה של צפ'-דר'. קיומם של העתקים אלו תורם גם הוא לחוסר רגולריות של האקוויפר הרדוד וייתן גם לקישוריות רחבה שלו לאקוויפר הרגינולי העמוק בחלק המערבי.



STRATIGRAPHY סטרטיגרפיה

SYSTEM תוקמה	SERIES - STAGE סדרה - דרגה	SYMBOL סמל	THICK. מ' עובי	LITHOLOGY מוסלע	MAPPING UNITS יחידות מפה	GROUP חבורה
NEOGENE - QUATERNARY נאוגן - קוואטן	HOLOCENE הולסן	Al Qh	3+ 3+	[Lithology symbols for Quaternary and Neogene units]	Alburn, colluvium, fill, dunes, etc. Dunes, etc.	KUSAN קוסאן
	PLISTOCENE פליסטוקן	Qh*	10+		Red sands, loess	
		Qh	20+		Coloursand sandstone	
	Pleistocene פליסטוקן	Qh	10		Be'er Sheva conglomerate	
		Qh*	10		Be'er Sheva Formation	
TERTIARY טרטיארי	MIOCENE מיאסן	UPPER עליון	40	Be'er Sheva	Be'er Sheva Formation	SAGUR סאגור
		LOWER-MIDDLE תחתון-אמצעי	199	Be'er Sheva	Be'er Sheva Formation	AVDAN אבדן
	MIOCENE מיאסן	LOWER-MIDDLE תחתון-אמצעי	158	Be'er Sheva	Adulon Formation	
		UPPER עליון	40	Be'er Sheva	Togye Formation	
	CRETACEOUS קרטיאק	SENONIAN סנסון	Kus	20	Be'er Sheva	Gheriz Formation
Kus*			73	Be'er Sheva	Manafa Formation	
TUROCHIAN טורוכיאן		Kus	70-90	Be'er Sheva	Eilat Formation	MOUNT SCOPUS דר' הוסקין
		Kus*	30-140	Be'er Sheva	Sobrin Formation	
CENOZOIC		CENOZOIC	Kus	80	Be'er Sheva	Shefaya Volcanic Zibion Formation
	Kus*		130	Be'er Sheva	Manafa Formation	
		Kus	80	Be'er Sheva	Manafa Formation	
		Kus*	80	Be'er Sheva	Manafa Formation	

[Symbol]

[Symbol]

[Symbol]

[Symbol]

[Symbol]

[Symbol]

[Symbol]

[Symbol]

[Symbol]

[Symbol]

[Symbol]

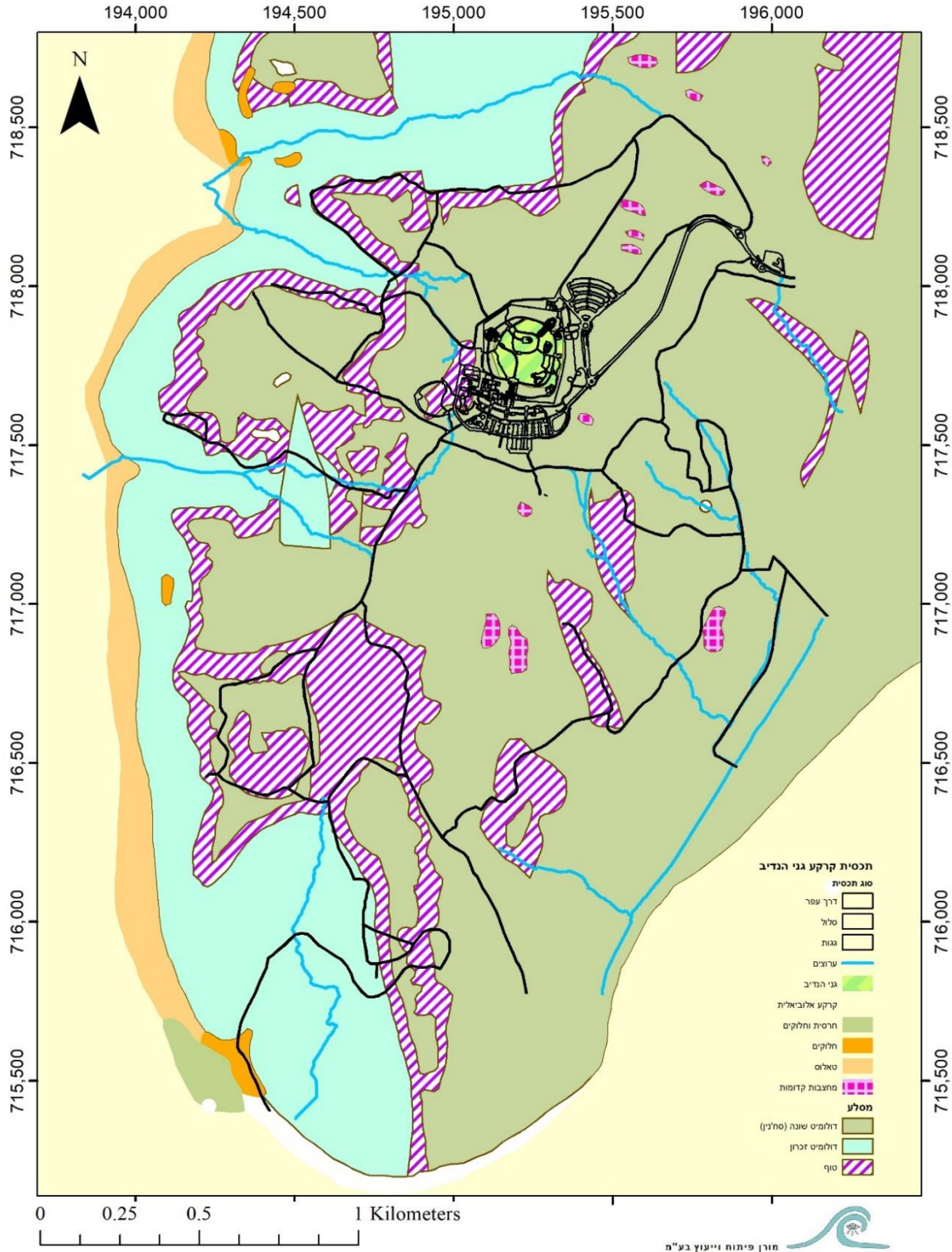
[Symbol]

[Symbol]

[Symbol]

[Symbol]

איור 5 - מפה גאולוגית של אזור רמות מנשה, חוטם הכרמל וחוף הכרמל הדרומי. מתוך Sneh et al. (2016).



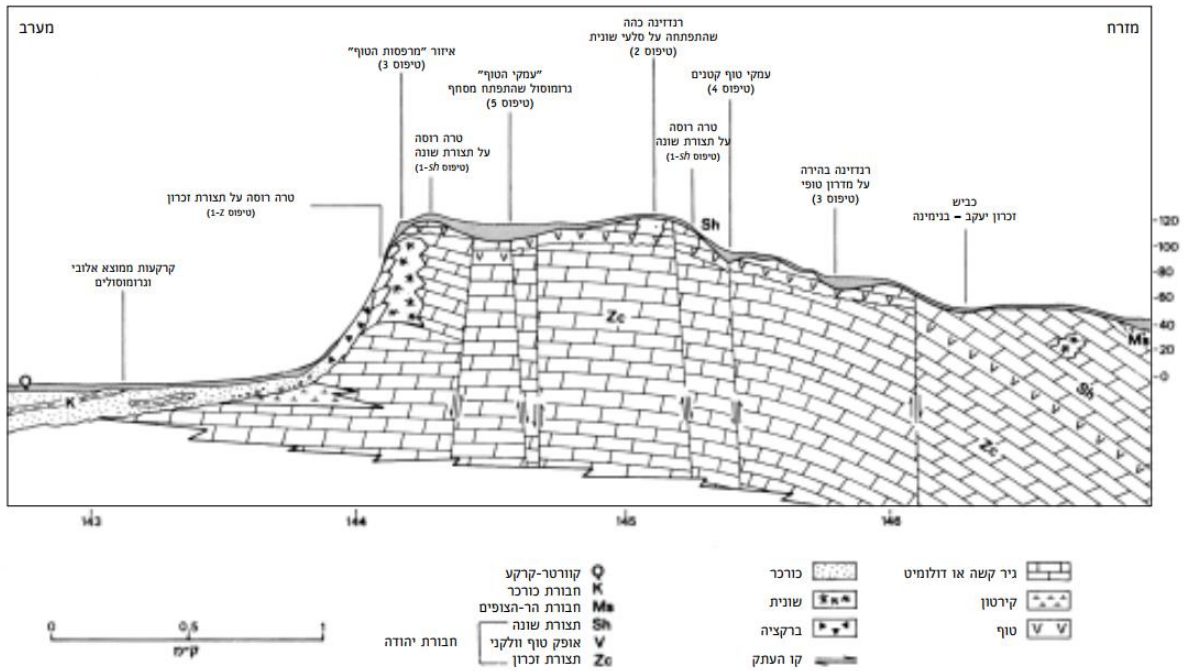
איור 6 – סוגי מסלע (מעובד, מתוך בר וקפלן, 2005)

3.2 פדולוגיה

סקירה זו של קרקעות רמת הנדיב תסקור את טיפוסים הקרקעות הדומיננטיות והרלוונטיות לעניין ההידרולוגיה (המידע מבוסס על עבודת של בר וקפלן 2005). טרה רוסה חומה אדומה היא הקרקע בעלת התפוצה הנרחבת ביותר במרחב.



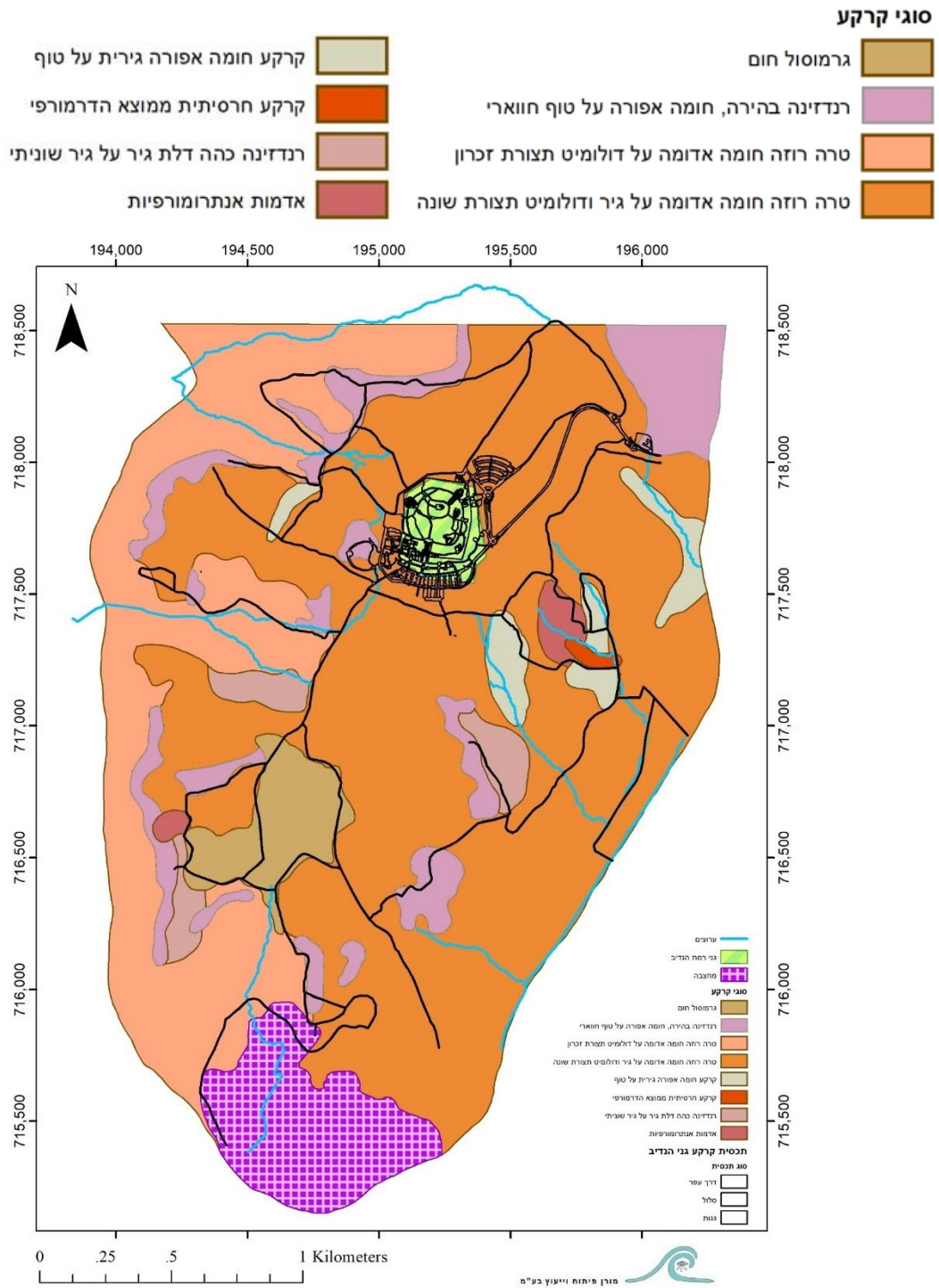
קרקע זו מקורה מהמסלע הקרבונאטי הקנמן-טורוני. מטבעה, קרקע זו הוגדרה כבעלת רכיב קלציטי זניח, זו כתוצאה מתהליכי שטיפה אינטנסיבית במהלך הפדוגנזה של קרקע זו. מטבעה קרקע זו מתפתחת על סלעים קארבונטיים קארסטים בשיפועים גדולים יחסית ומכאן שהיא דקה ולא משמעותית מבחינה הידרולוגית. לעומתה, הרנדזינה הכהה, מתפתחת באזורים המתונים יותר כשסלע המקור הוא שוניתי ומאסיבי, מכילה רכיב קלציטי משמעותי יותר ובעלת עובי רב יותר (איור). רנדזינה בהירה, מקורה ברכיב החרסיתי של יחידת הטוף, שוכנת בשקעים הטופיים. גרומוסול חום, מקורו גם כן מהיחידה הטופית אך מפותח פדולוגית מהרנדזינה הבהירה. מצוי באזורים הנמוכים יותר באגנים אלו.



איור 7 – שרשרת הקרקע השונות ויחסן לפיסיוגרפיה ולחומר האב ברמת הנדיב, מתוך בר וקפלן (2005).



איור 8 מציג את סוגי הקרקעות ברמת הנדיב, לאחר עיבוד של הנתונים מתוך הדוח של בר וקפלן, בחלוקה הבאה



איור 8 – סוגי קרקעות ברמת הנדיב (מעובד מתוך בר וקפלן, 2005)



3.4 יחידות הידראוליות

מבחינה הידרולוגית, פני השטח ברמת הנדיב נחלקים באופן גס לשתי יחידות השונות בערכי החידור ושיעור הנגר העילי בהם:

- א. יחידת הסלעים הקרבונטיים המאופינים בערך חידור גבוה ובמקדם נגר נמוך מאוד.
- ב. יחידת הטוף הוולקני המאופיינת בערכי חידור נמוכים מאוד ובמקדם נגר עילי גבוה.

על מנת לייצר מודל הידרולוגי מוכלל ואמין של אזור העבודה, עלה צורך לאתר את הגורמים בעלי המשמעות ההידרולוגית הדומיננטית בשטח. היות וחלק ניכר מאזור העבודה כולל מדרונות טרשיים של סלעים בעלי תולכות הידראוליות גבוהות מאוד, הוחלט כי באזורים אלו המודל יתחשב בתכונות הסלע כמשפיעות על מנגנון החידור-נגר. הקרקעות באזורים אלו הוזנחו בשל נפחם הקטן ותפקידן השולי מבחינה הידרולוגית מרחבית.

יחידות החידור בשטח פארק הטבע שנבחרו הן:

תצ' סח'נין (שונה) – בעלת תפרוסת גדולה במרחב. מופע טרשי. נושאת שכבת קרקע דקה.

תצ' זכרון – מופיעה בחלקו המערבי של המבנה. בדומה לתצ' סח'נין, המופע הטרשי, הסידוק והקארסט מהווים גורמים דומיננטיים המשפיעים על חידור והיווצרות נגר מועט.

טוף שפיה – יחידה מרחבית, מובחנת משכנותיה בתכולת חרסית גבוהה ומכאן שבעלת מובהקות גבוהה בחידור נמוך מאוד כיחידה נושאת מים.

רנדזינה בהירה – מתפתחת על גבי מדרונות טופיים. בעלת עובי משמעותי במדרונות המתונים. תורמת לסך מקדם הנגר המשוקללת בתת האגן בו היא מצויה.

קרקע אלובית – הידרומורפית בעיקרה. מצויה באזורים הנמוכים של הערוצים. קרקע עבה בעלת מקדם נגר גבוה.

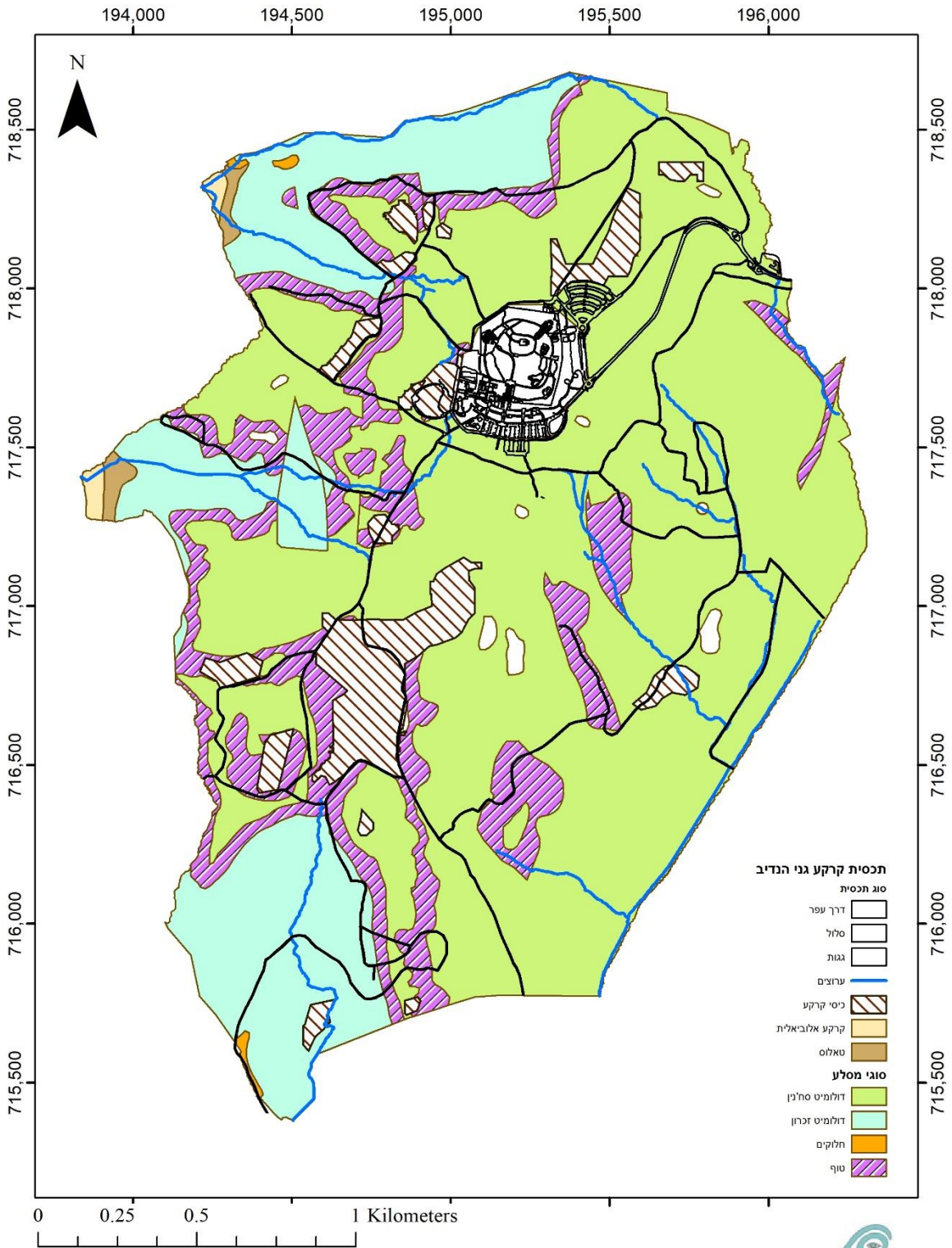
גרומסול חום – קרקע מפותחת יותר מהרנדזינה באזור שקעי הטוף – בעלת מקדם נגר גבוה

בנוסף לכך קיימות עוד שתי יחידות הידראוליות:

א. אזור הגנים והאזור משקי – בעלי תכסית אטומה לחלחול ומקדם נגר גבוה

ב. דרכי העפר - יחידות בעלות תשתית אטומה עם מקדם נגר גבוה

איור 9 מציג את חלוקת שטח ליחידות החידור בהתאם לרכיב הדומיננטי: כיסי קרקע / יחידות מסלע. מפה זאת ביחד עם הערכים המוצגים בטבלה 1 שימשו כקלט למודל ההידרולוגי.



איור 9 – כיסי קרקע וסוגי המסלע



3.4.1 מקדמי מוליכות הידראולית

לאחר ניתוח שכבות הקרקע והסלע הקיימות ובחירת יחידות החידור הוזנו הנתונים המוצגים בטבלה 1 עבור היחידות הנבחרות למודל גשם-נגר לקבלת נפחי נגר ועוביי חידור מתאי שטח שונים.

טבלה 1: מוליכות הידראולית של יחידות החידור השונות, בחלוקה למסלע/קרקע

מוליכות הידראולית (m/s) אופיינית	שם היחידה	חלוקה
1.0E-01	טאלוס	מסלע
4.0E-04	תצורת זכרון (דולומיט)	
9.0E-09	טוף (וולקנים שפיה)	
4.0E-04	תצורת סח'נין (דולומיט)	
1.0E-01	חלוקים	
2.8E-05	רנדזינה בהירה	קרקע
	קרקע אלובית	
1.4E-07	גרומוסול חום	
1.1E-05	טרה רוסה על תצ' סח'נין	
1.1E-05	טרה רוסה על תצ' זכרון	
	אלוביום	



תמונה 3 – מסלע וקרקע

4. ניתוח נתוני גשם

כמות המשקעים השנתית ברמת הנדיב עומדת בשנה חציונית על 600 מ"מ בקירוב לפי ניתוח סטטיסטי של השרות המטוראולגי (IMS). לצורך ניתוח סטטי של אירועי גשם שכיחים נבחרה **תחנת גלעד** (אבן יצחק) כתחנה מייצגת. זוהי



תחנה רושמת בעלת רקורד של 45 שנות תצפית (בהשוואה ל-18 שנות תצפית של תחנת רמת הנדיב) ולכן אמינה יותר
בניתוח סטטיסטי של אירועי גשם. התחנה ממוקמת ברום +180 מ'.

הדגש בעבודה זאת הינו המערכות האקולוגיות ותפקודן בארועי גשם שכיחים ובשנה הידרולוגית חציונית (50% מהשנים
שנסקרו היו בעלי כמות משקעים גדולה ממנה ו 50% מהשנים בעלי כמות קטנה ממנה). בניגוד לניתוח המקובל לנתוני
גשם שנעשה עבור אירועי גשם קיצוניים, לקבלת ספיקות שיא, על פיהם מחושבים מתקני ניקוז לצורך מניעת הצפות -
בעבודה זו נבחנו הספיקות השכיחות המתקבלות בכל שנה או שנתיים. כמו-כן נותחו נתוני הגשם לקבלת סופה מייצגת
שכיחה החוזרת על עצמה מספר פעמים בשנה. ניתוח ספיקות ונפחים אלו הם הבסיס לקיום מערכות אקולוגיות,
ולהעשרת האקוויפר ואזור המילוי החוזר של עין צור.

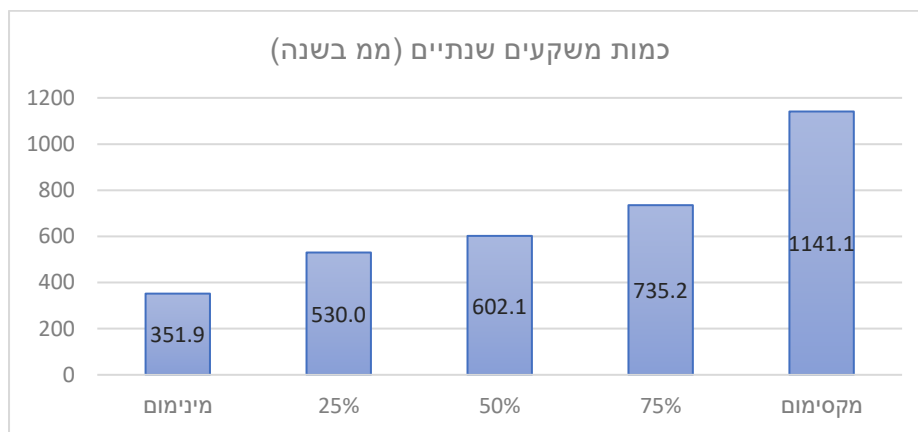
4.1 ניתוח משקעים שנתיים

להלן ניתוח סטטיסטי של המשקעים השנתיים של הרשות המטרולוגית לישראל (IMS), עבור תחנת גלעד. התוצאות
מוצגות בטבלה 2 ובגרפים להלן.

טבלה 2 : כמות משקעים שנתיים וחודשית (מ"מ) ניתוח IMS

שנתי	מאי	אפריל	מרץ	פברואר	ינואר	דצמבר	נובמבר	אוקטובר	ספטמבר	ניתוח שנתי
351.9	0	0	4.1	11.5	16.7	13.4	0	0	0	מינימום
530.0	0.0	4.0	24.3	71.9	127.0	72.2	18.1	5.1	0.0	25%
602.1	3.3	14.6	48.7	103.7	167.4	149.5	51.1	13.8	0.6	50%
735.2	10.2	40.8	106.7	144.6	227.2	218.8	104.4	31.0	2.8	75%
1141.1	22.2	92.3	186.4	341.4	373.7	306.9	334.4	106	18.1	מקסימום

איור 10 מציג את כמות המשקעים השנתית במ"מ. ניתן לראות ששנה חציונית היא בעלת 602 מ"מ משקעים לשנה.

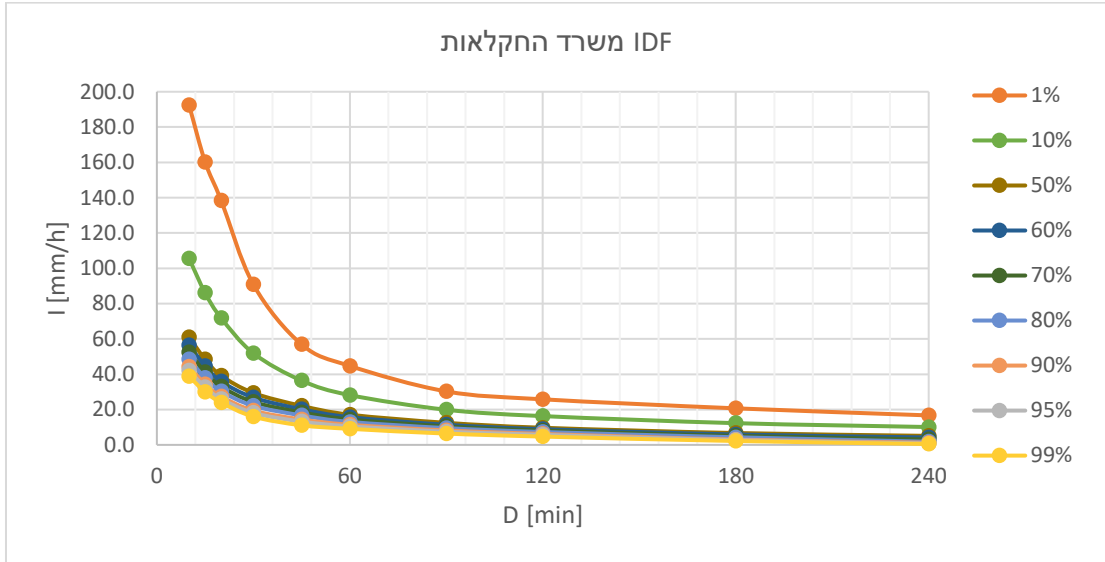


איור 10 כמות משקעים שנתיים (מ"מ)



4.2- ניתוח הקשר בין עוצמת הגשם, משך הסופה וההסתברות להתרחשותה (עקומת IDF)

משרד החקלאות מבצע ניטור של תחנות גשם, וניתוח רציף שלהן, הכולל מנעד הסתברויות רחב החל מסופות נדירות (הסתברות של 1%), ועד סופות שכיחות של 99% (אירוע החוזר אחת לשנה). להלן עקומי IDF (משך-עוצמה-הסתברות) לפי ניתוח של משרד החקלאות עבור תחנת גלעד.

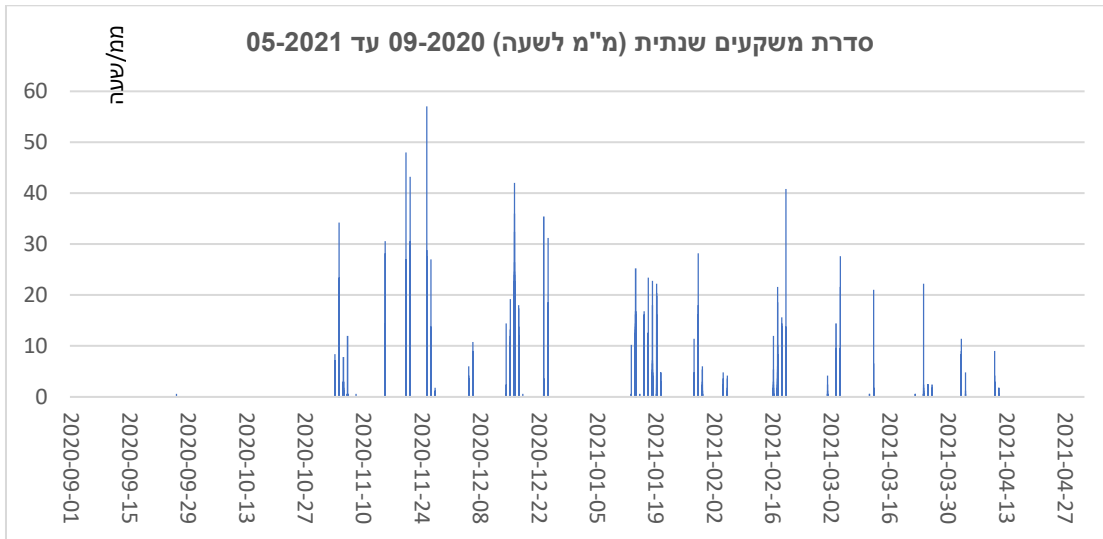


איור 11 עקומי IDF משרד החקלאות תחנת גלעד

מתוך נתונים אלו נגזרו להמשך העבודה סופות תכן בהסתברויות של 20%, 50%, 99% (אחת לחמש שנים, עד אחת לשנה) להכנסה למודל גשם-נגר ולקבלת נפחי נגר המתקבלים עבור אירועים אלו בנקודות ריכוז משמעותיות.

4.3 ניתוח סופות תכן שכיחות

מכיוון שהניתוח הנדרש עבור המאפיינים ההידרולוגים בשטח רמת הנדיב הוא עבור כל השנה ההידרולוגית, לא ניתן להסתפק בניתוח של סופה אחת. יש צורך להעריך את עוצמות הגשמים תורמות הנגר והפילוג שלהם לאורך שנה בודדת. נעשה ניתוח סטטיסטי לפי נתוני תחנת גלעד בה נבדקו סדרות זמן עשר דקותיות בין השנים 2016-2021. איור 12 מציג דוגמה לסדרת גשם עשר דקותית עבור השנה ההידרולוגית 2020, כפי שהורדה ממאגר הנתונים של השרות המטרולוגי.



איור 12 פילוג סדרת משקעים שנתית לשנה הידרולוגית 2020, תחנת גלעד (מקור IMS)

4.3.1 סופות תורמות נגר

תרומת הנגר שונה בין היחידות ההידראוליות (סעיף 3.4 לעיל). סף התפתחות הנגר העילי שונה בכל יחידה בהתאם למאפייניה. הנחת העבודה היא שבאזור פארק הטבע, השטח הפתוח, מתפתח נגר על פני המסלע הקרבונטי וקרקע טרה רוסה רק מעל עוצמה של 7 מ"מ/שעה. לכן אירועי הגשם מתחת לעוצמה של 7 מ"מ נוכו מסדרות הזמן בשל אובדנים תחיליים הנובעים מהרטבת הקרקע, לחלול ושקעים מקומיים. (באירועים אלו קיימת תרומה להעשרת מי תהום).

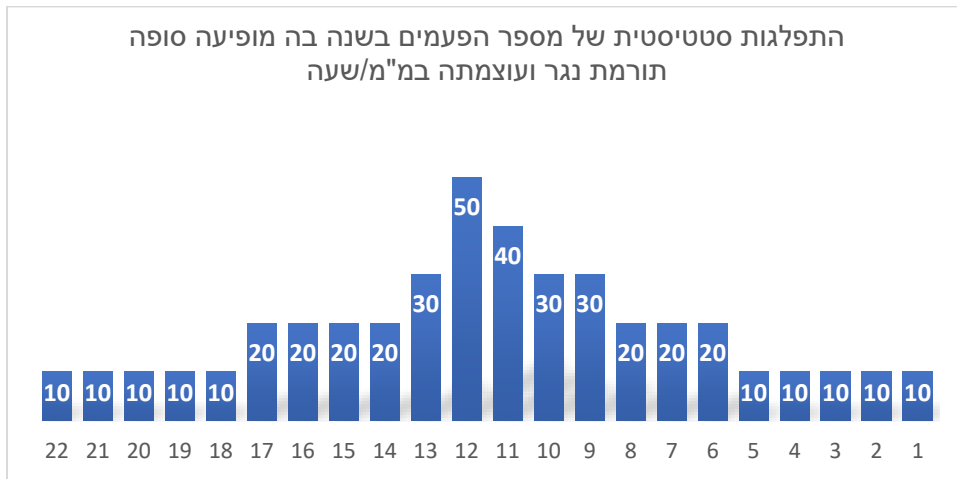
נעשו מספר הנחות דומות בהתאם למאפייני תכסית הקרקע ואטימותה: בדרכי העפר וביחידות הטוף מתפתח נגר בעוצמות מעל 3 מ"מ/שעה. בשטח הגנים ובאזור משקי מתפתח נגר בעוצמה של מעל 1 מ"מ/שעה. טבלה 3 מציגה כמות משקעים עבור 5 השנים האחרונות (2016-2021), ואת כמות המשקעים המשמעותית להיווצרות נגר (המתקבלת מאירועי גשם בעוצמה של מעל 7 מ"מ/שעה).

טבלה 3 : כמות משקעים שנתית משמעותית לנגר (מ"מ), וחזרתיות האירועים.

מספר אירועי גשם בשנה						כמות משקעים באירוע גשם משמעותי לנגר	כמות משקעים	שנה הידרולוגית
>10 mm/h	>20 mm/h	>30 mm/h	>40 mm/h	>50 mm/h	I_max	D mm	D mm	Year
17	4	2	1	1	62.4	228	479	2016-17
23	13	6	3	1	50.4	371.2	726.4	2017-18
24	14	4	1	0	40.2	361.3	771.6	2018-19
26	14	4	3	2	63	467.7	870.9	2019-20
21	15	7	4	1	57	436.7	712.7	2020-21
22	12	5	2	1	55	373	712	AVG



ניתן לראות מהטבלה שממוצע גשמים שנתי בחמש שנים אחרונות הוא כ 712 מ"מ, אך בניכוי סופות בעוצמות נמוכות מ 7 מ"מ לשעה, נשארים עם ממוצע של 373 מ"מ גשם אפקטיבי ליצירת נגר, שזה סך 52% מהגשם היורד. לרוב ישנה סופה אחת משמעותית בשנה שעוצמתה גדולה מ 50 מ"מ לשעה, כ 2 סופות שעוצמתן גדולה מ 40 מ"מ לשעה וכן הלאה. סה"כ אירועי גשם משמעותיים תורמי נגר בשנה עומד בממוצע בחמש שנים על כ 22 אירועים. התפלגות סטטיסטית מוצגת באיור 13 להלן:



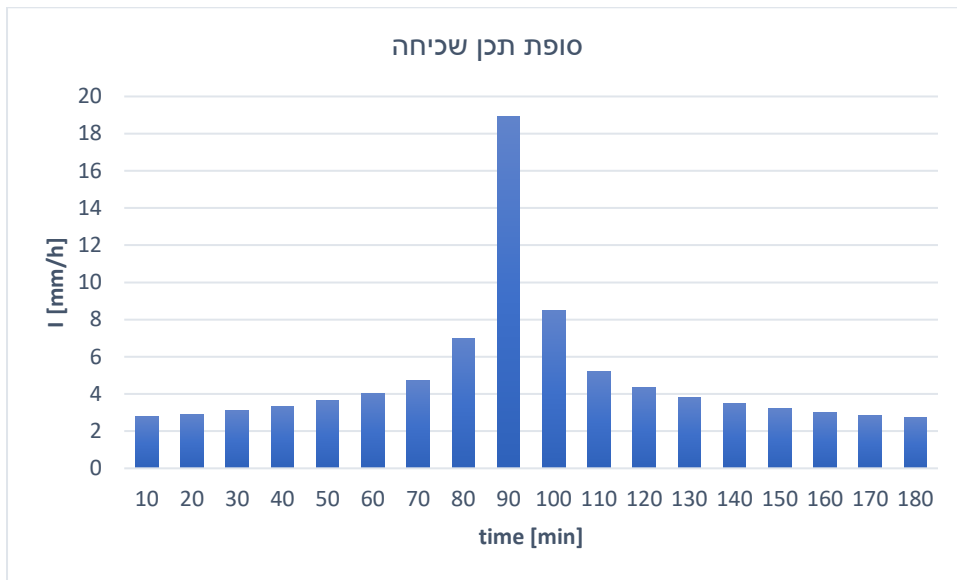
איור 13 התפלגות סופה שנתית תורמת נגר לפי נתונים 10 דקתיים

4.3.2 הגדרת סופת תכן שכיחה (הזנה למודל)

בניית סופת תכן שכיחה

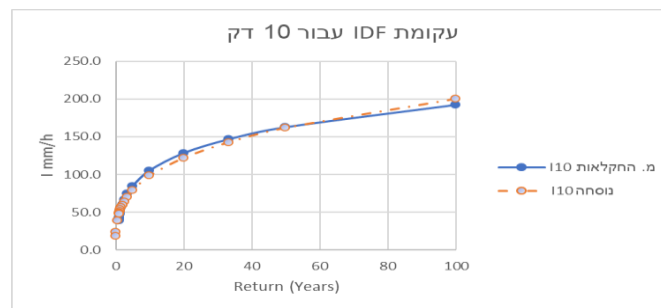
על סמך הניתוח הסטטיסטי שערכנו, נקבעה סופת תכן מייצגת מבחינת עוצמה מקסימלית, משך ובמות מ"מ, אשר חוזרת על עצמה 22 פעמים בשנה (תקופת חזרה 0.045 שנים, הסתברות 2200%). כלומר, אם נכפיל סופה זאת 22 פעמים נקבל את סך המשקעים תורמי הנגר בשנה חציונית. לסופה זאת חשיבות לתכנון וניהול הנגר עבור המערכות האקולוגיות.

ניתן לראות באיור 14 את התפלגות סופת התכן השכיחה (עוצמה ומשך) לאחר התאמה לממוצע משקעים שנתי בשנה חציונית (315 מ"מ, לאחר הפחתת אירועי גשם שאינם תורמים נגר). העוצמה המקסימלית הינה כ 19 מ"מ/שעה. משך הסופה 3 שעות. סה"כ משקעים 14.6 מ"מ.



איור 14 סופת תכן שכיחה להסתברויות נמוכות

לצורך השוואה – בוצעה אקסטרפולציה עבור סדרת IDF 10 דקות של משרד החקלאות מתחנת גלעד. ניתן לראות התאמה טובה בין הנוסחה ששימשה לאקסטרפולציה לבין הממוצע שהתקבל מהניתוח הסטטיסטי שערכנו.



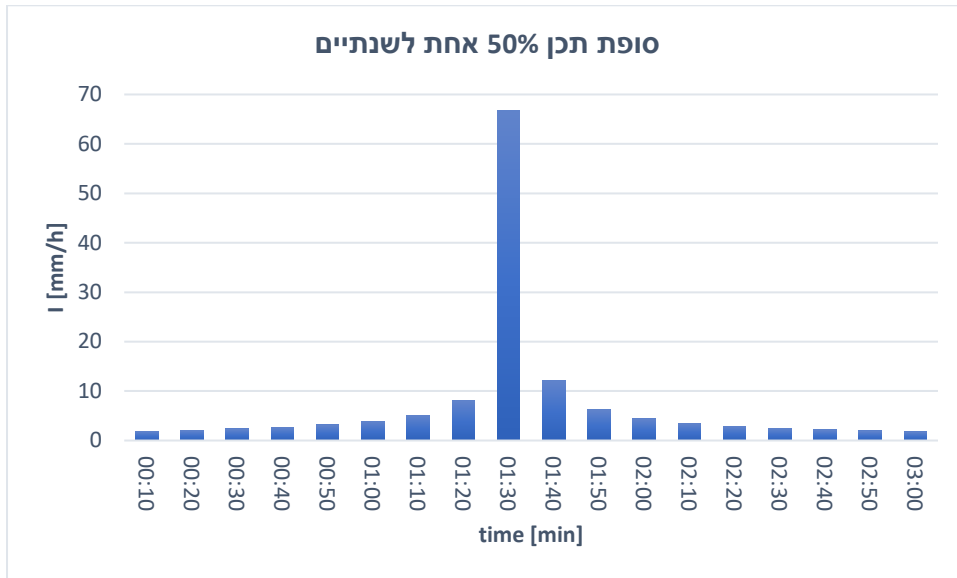
איור 15 השוואת עקומות IDF, משרד החקלאות אל מול הניתוח הסטטיסטי שערכנו.

סופות תכן נוספות

סופות תכן בהסתברויות של 20%, 50%, 99% (אחת לחמש שנים, עד אחת לשנה) נלקחו בהתאם לנתוני משרד החקלאות המוצגים בסעיף 4.2. מתוך עקומי IDF נבנו סופות תכן בעזרת שיטת Alternate Block Method. טבלה 4 מרכזת את סופות התכן שנכנסו למודל. איור 16 מציג דוגמא לסופת תכן בהסתברות של 50% (פעם בשנתיים)

טבלה 4 : סופות תכן בהסתברויות שונות. הזנה למודל

שם סופה	RP05	RP02	RP01	DS2200
הסתברות	20%	50%	99%	2200%
תקופת חזרה	פעם ב-5 שנים	פעם בשנתיים	כל שנה	22 פעמים בשנה
עובי גשם אפקטיבי [מ"מ]	49.5	35	11.6	14.5
עוצמה מקסימלית [מ"מ/שעה]	92.5	66	49	18.9



איור 16 – סופת תכן בהסתברות 50%

4.3.3 הגדרת משקעים בשנה חציונית עבור המודל

בוצעו הרצות עבור שנה הידרולוגית חציונית. נלקחה שנה חציונית לאחר ניכוי אובדנים של איזוי ודיות לפי הנחות העבודה:

- (1) בשטחים פתוחים של רמת הנדיב יש "לנכות" נתוני עוצמות הקטנות מ 7 מ"מ/שעה.
- (2) עבור אזור הגנים נוכו נתוני עוצמות הקטנות מ 1 מ"מ/שעה בגלל התכסית האטימה יחסית הגורמת לנגר להתהוות יותר מהר.

טבלה 5 מציגה את נתוני הגשם המדודים, ואת נתוני הגשם האפקטיבי עבור היווצרות נגר תחת הנחות אלו.

טבלה 5: גשם כולל וגשם אפקטיבי (D eff) ליצירת נגר – עבור שטח כולל רמת הנדיב, ועבור אזור הגנים.

כמות משקעים שנתיים (מ"מ) התורמת נגר בשטחי הגנים והאזור המשקי		כמות משקעים שנתיים (מ"מ) התורמת נגר בשטח פארק הטבע ברמת הנדיב		כמות משקעים שנתיים (מ"מ)	שנה הידרולוגית
% D eff	D eff mm	% D eff	D eff mm	D mm	
93%	446.4	48%	228	479	2016-17
95%	687.4	51%	371.2	726.4	2017-18
93%	719.1	47%	361.3	771.6	2018-19
94%	819.7	54%	467.7	870.9	2019-20
95%	674.7	61%	436.7	712.7	2020-21
94%	669	52%	373	712	ממוצע
1%	18%	10%	22%	18%	סטיית תקן

הזנת שנה חציונית למודל

עבור מודל רמת הנדיב בשנה חציונית של 602 מ"מ נלקח רק כ-52% מסך המשקעים כגשם אפקטיבי ליצירת נגר, ואילו 48% לפחות לא מייצרים נגר. זה משאיר גשם אפקטיבי של 315 מ"מ.
עבור מודל הגנים הכולל את האזור המשקי, נלקח 94% מסך הגשם, כ-565 מ"מ, כגשם אפקטיבי ליצירת נגר.



תמונה 4 – השטח לאחר אירוע תורם נגר



5. ניתוח נפחי נגר עילי באגני התנקזות

ניתוח כמויות הנגר נעשה בעזרת תוכנה למידול הידרולוגי PCSWMM. נתוני התכן שהוזנו לצורך המודל פורטו בפרקים הקודמים, וכוללים: טופוגרפיה, תכסית, מקדמי חידור, וניתוח נתוני גשם כקלט למודל. בניית המודל מתבססת על מידע שהתקבל, מידע שנאסף מסיורים בשטח, ומניתוח כפי שהוצג בפרקים הקודמים. סוגי הקרקע והמסלע מהווים פסיפס מעניין של אזורים בעלי מוליכות הידראולית גבוהה ביותר אשר בפועל כמעט ואינם מייצרים נגר (כמו השטחים הפתוחים על גבי מסלע גיר קשה ודולומיט), לעומת אזורים אשר בהם הנגר יכול להיווצר, כמו מרבצי טוף (שקצבי החלחול דרכם קטנים עד זניחים), תכסית משטחים בנויים כמו ריצוף, גגות, כבישים ותכסית של דרכי עפר המאפיינים את אזור גני הנדיב. כיוון שמלאכת המידול היא מורכבת, ותלויה רחוקה חולק השטח לשני מודלים ברזולוציה שונה. המודל הראשון כולל את מכלול רמת הנדיב ופארק הטבע, ואילו המודל השני מתמקד בשטחי הגנים והאזור המשקי. כמו-כן נבחנו בנפרד נפחי הנגר המתהווה מדרכי העפר, ונגר או נפחי מים המתקבלים ממרבצי הטוף.

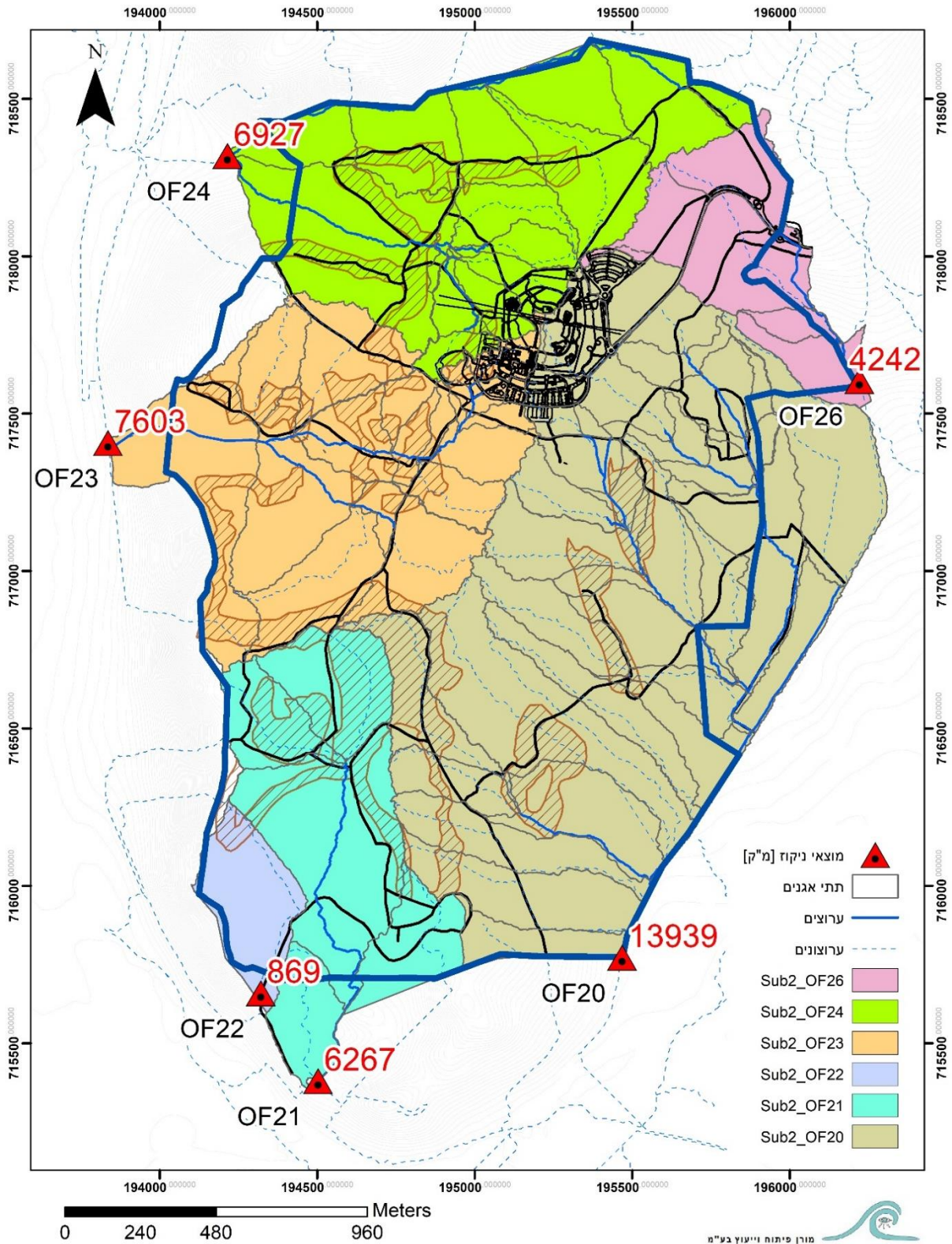
5.1 מודל כללי לשטחי רמת הנדיב, פארק הטבע

סך השטח חולק לאגנים ותתי אגנים, ערוצי זרימה. חושבו ספיקות ונפחים תוך שיקלול נתוני קרקע, מוליכות הדראולית, חידור וכו'. איור 17 בהמשך מראה את החלוקה לאגנים, תתי אגנים, נפחים [מ"ק] ומוצאי הניקוז. ברקע ניתן לראות את מרבצי הטוף.

שטח גני הנדיב נמצא על רכס המתפצל לכמה אגנים, וזורם לכיוונים שונים: חלקו מערבה לנחל הנדיב, חלקו צפונה לנחל כבארה, חלקו דרום מזרח לכיוון עין צור ולתעלת כביש 652 וחלקו דרום מערב לעבר נחל תמסח המתחבר בהמשך לנחל תנינים. (התייחסות נוספת בהמשך במודל המפורט של שטח הגנים). טבלה 6 מציגה את השטחים התורמים, ואת נפחי הנגר בשנה חציונית במוצאים השונים.

טבלה 6: מוצאי הניקוז השונים, שטח אגנים מתנקז ונפחי נגר המגיעים למוצא בשנה חציונית.

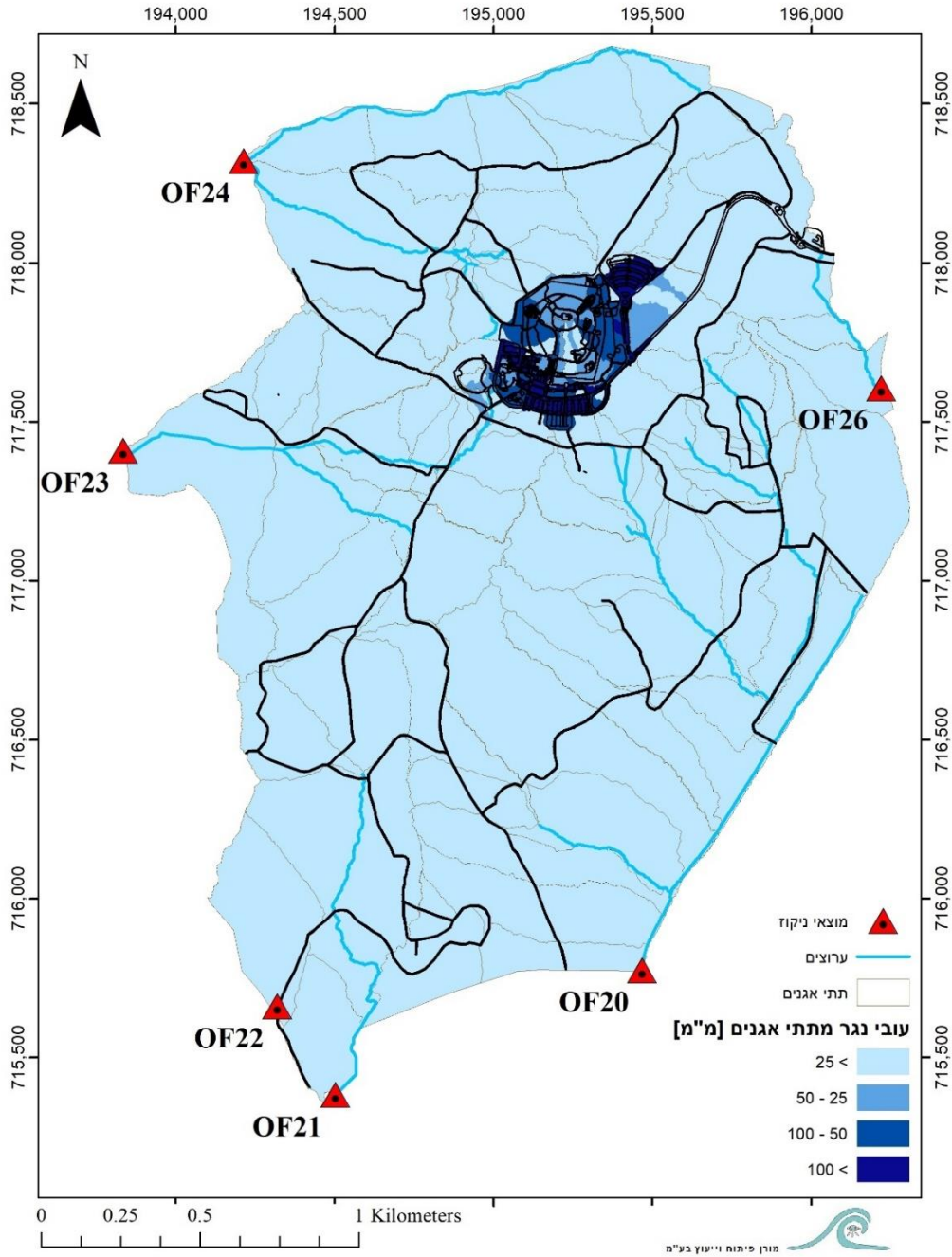
מוצא	תיאור	שטח תורם [ד']	נפח נגר [מ"ק]	עובי נגר [מ"מ]
OF20	לתעלת כביש 652	2140	13939	6.5
OF21	נחל חוטם	603	6267	10.4
OF22	דרום מערב	125	869	7.0
OF23	תמסח	956	7603	8.0
OF24	כבארה	986	6927	7.0
OF26	למעביר מתחת לכביש 652	316	4242	13.4



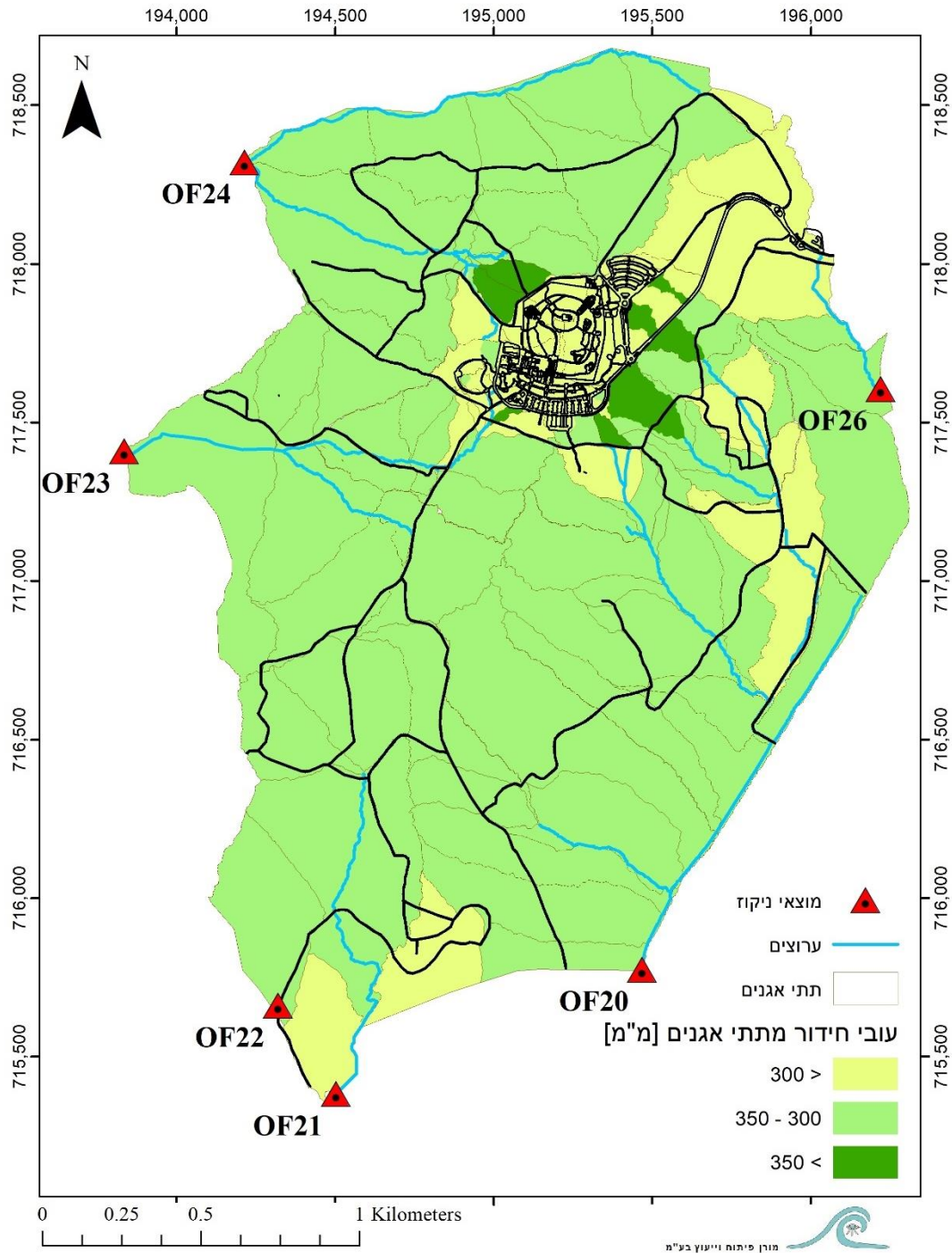
איור 17 – שטחי פארק הטבע רמת הנדיב אגני ניקוז ונפח גגר [מ"ק] במוצאים ראשיים.



נפח סגולי ועובי נגר שנתי מתתי האגנים



איור 18 - נפחי נגר סגוליים (מ"מ/שנה) מתתי אגנים בשנה חציונית.



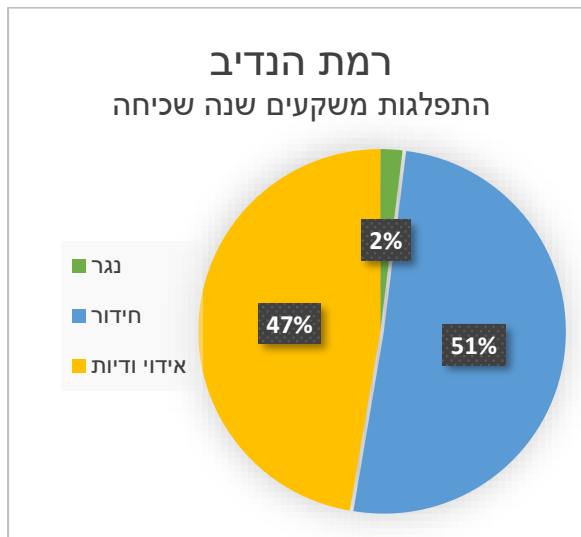
איור 19 - עובי חידור (מ"מ/שנה) מתתי אגנים בשנה חציונית

נפח סגולי עוזר בהבנת איכותו של אגן בודד כתורם נגר. איור 18 מציג את מפת הנפחים הסגוליים. ניתן לראות את תרומת הנגר הגדולה יחסית מאזור הגנים והאזור המשקי ביחס לשאר השטח, שכמעט ואינו תורם נגר. עבור שנה חציונית אפקטיבית ליצירת נגר הופחתו אירועי גשם בעלי עוצמות פחותות מ 7 מ"מ לשעה, אשר מחושבים כהפסדי אידיו ודיות. שאר המשקעים הופכים לחידור אל תת הקרקע ולהעשרה פוטציאלית של מי התהום. באיור 19 בהמשך ניתן לראות מפה של עובי החידור מתתי האגנים השונים, שהיא למעשה תמונת ראי של עובי הנגר.

חישוב כללי של נפח הנגר, נפח החידור והאובדנים בגין אידי ודיות, מראה שבשנה חציונית, מתקבלת כמות של 60 אלף מ"ק מים נגר בכל מוצאי רמת הנדיב. מיליון וחצי מ"ק חודרים לאקוות ולעין צור, וכמות דומה אובדת באידי ודיות (ראה טבלה 7)

טבלה 7: נפחים שנתיים בשטח רמת הנדיב בשנה חציונית (מודל רחב)

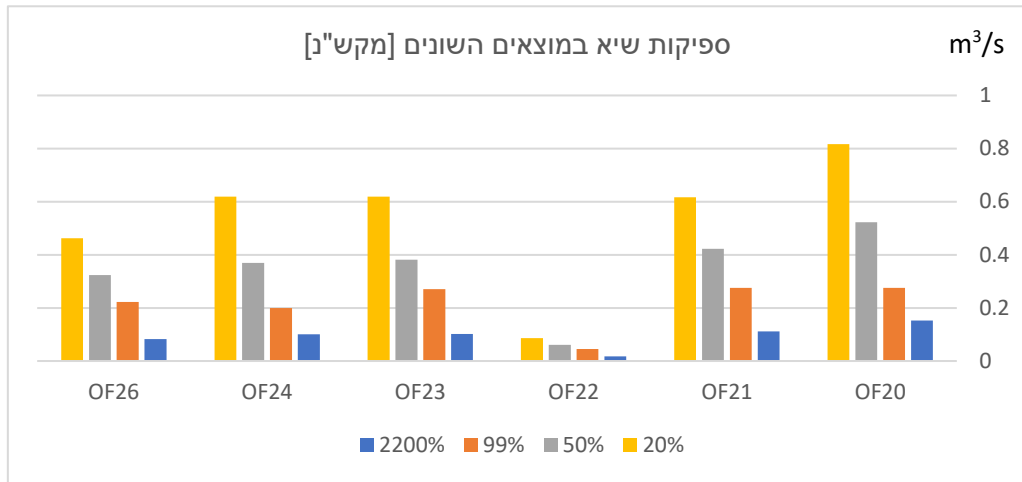
נפחים שנתיים [מ"ק]				
אידי ודיות	חידור	נגר	תקופת חזרה	סופה
65,010	73,010	3,000	22 פעמים בשנה	DS2200
53,920	58,270	2,310	פעם בשנה	RP01
162,270	175,640	7,550	פעם בשנתיים	RP02
229,370	248,290	10,950	פעם ב5 שנים	RP05
1,461,440	1,566,510	60,500	שנה שכיחה	



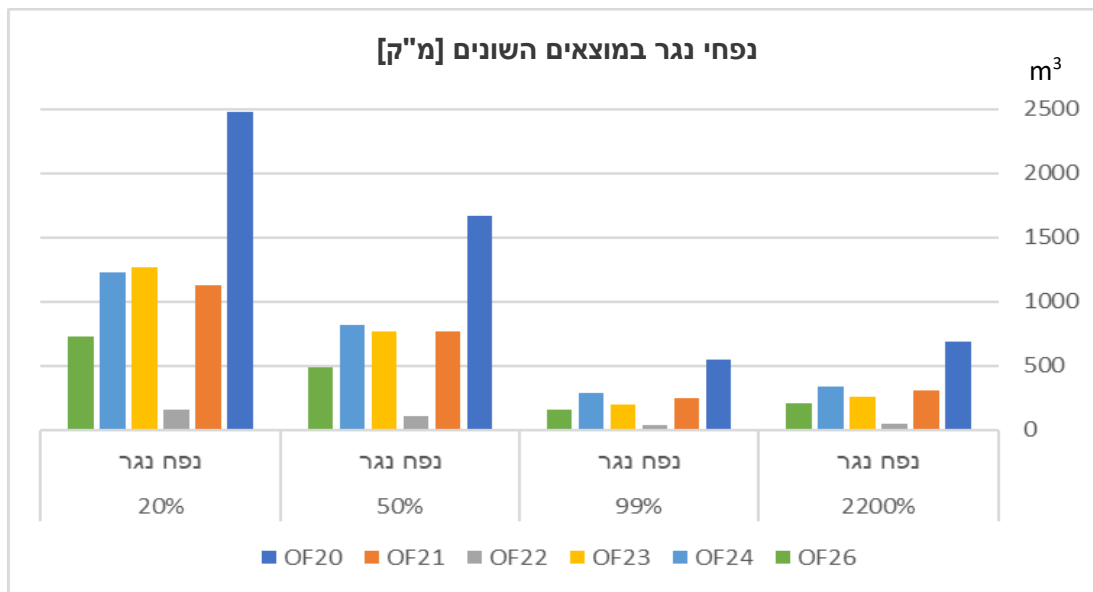
איור 20 התפלגות המשקעים בשנה שכיחה בכל שטח רמת הנדיב

נפחים וספיקות במוצאי הניקוז עבור סופות תכן שונות

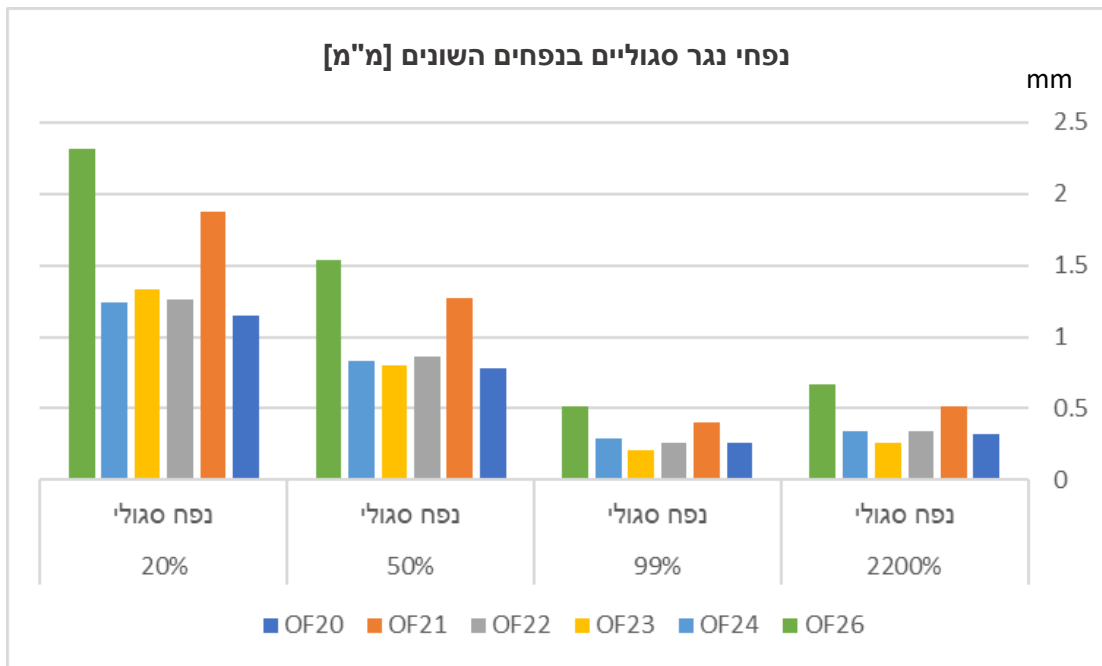
להלן גרפים המראים את ספיקות השיא ונפחי הנגר המתקבלים במוצאי הניקוז, עבור סופות התכן השונות



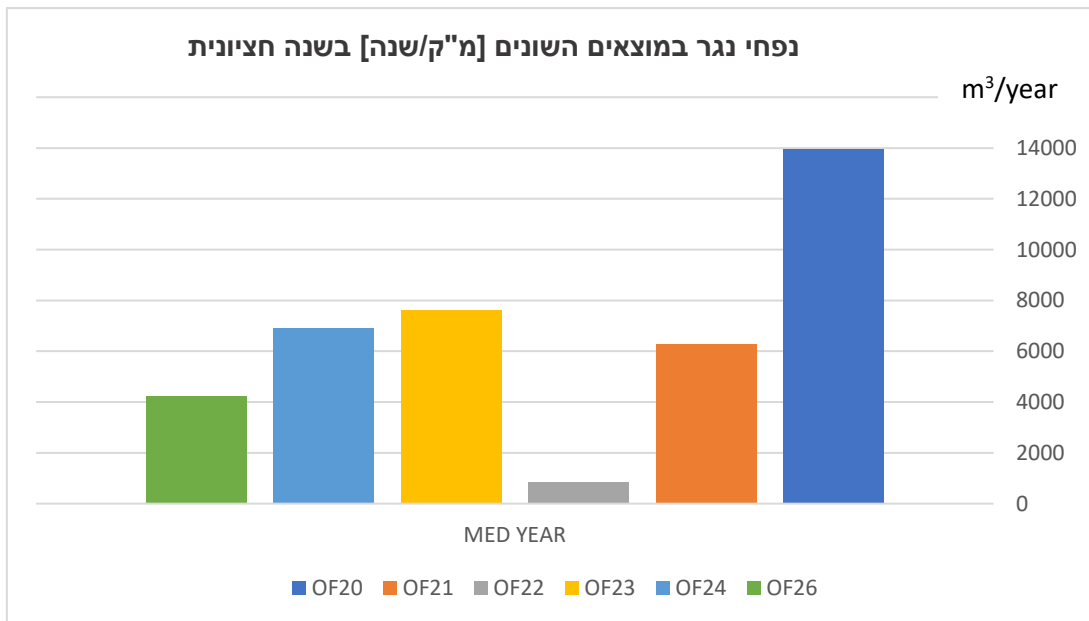
איור 21 – ספיקות שיא במוצאים השונים בסופות תכן בהסתברויות שונות



איור 22 – נפחי נגר במוצאי הניקוז בסופות תכן בהסתברויות שונות



איור 23 – נפח נגר סגולי במוצאי הניקוז בסופות תכן בהסתברויות שונות



איור 24 – נפח נגר שנה חציובנית במוצאים השונים בהסתברויות גשם שונות.

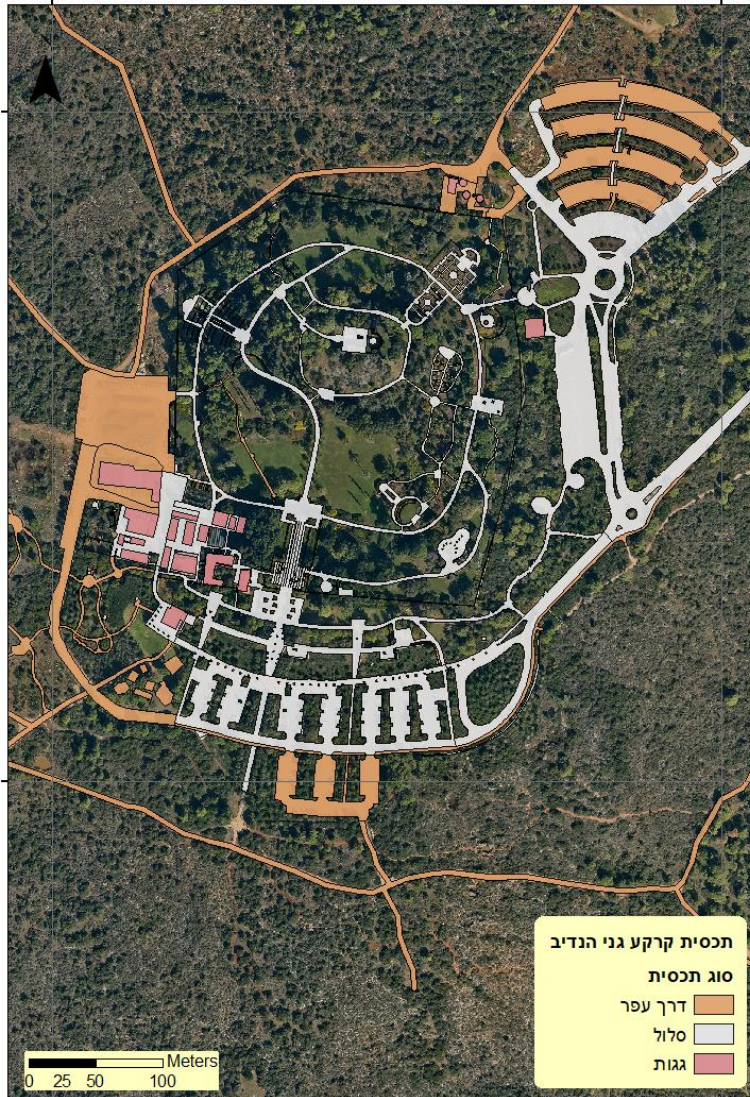


תמונה 5 – נגר ממוצא ראשי מגיע אל בריכה



5.2 מודל ממוקד לשטחי הגנים והאזור המשקי

מודל זה מתרכז בשטח הגנים כולל השטח התפעולי והמשקי. הוא כולל את רשת הניקוז כפי שקיבלנו מאנשי המקצוע ברמת הנדיב, ומתצפיות בשטח. עבור מודל זה נלקח סוג קרקע טרה רזה חומה המאפיינת את רוב שטח אזור הגנים. בגלל אופי התכנית בשטח הגנים, השונה משאר שטחי רמת הנדיב – הנחת העבודה היא שנגר יוצר החל מעוצמה של 1 מ"מ לשעה בלבד. בהתאם להנחה זו סך הגשם האפקטיבי בשנה חציונית עומד על 566 מ"מ. תכנית הקרקע כפי שהוכנסה למודל מוצגת באיור 25.

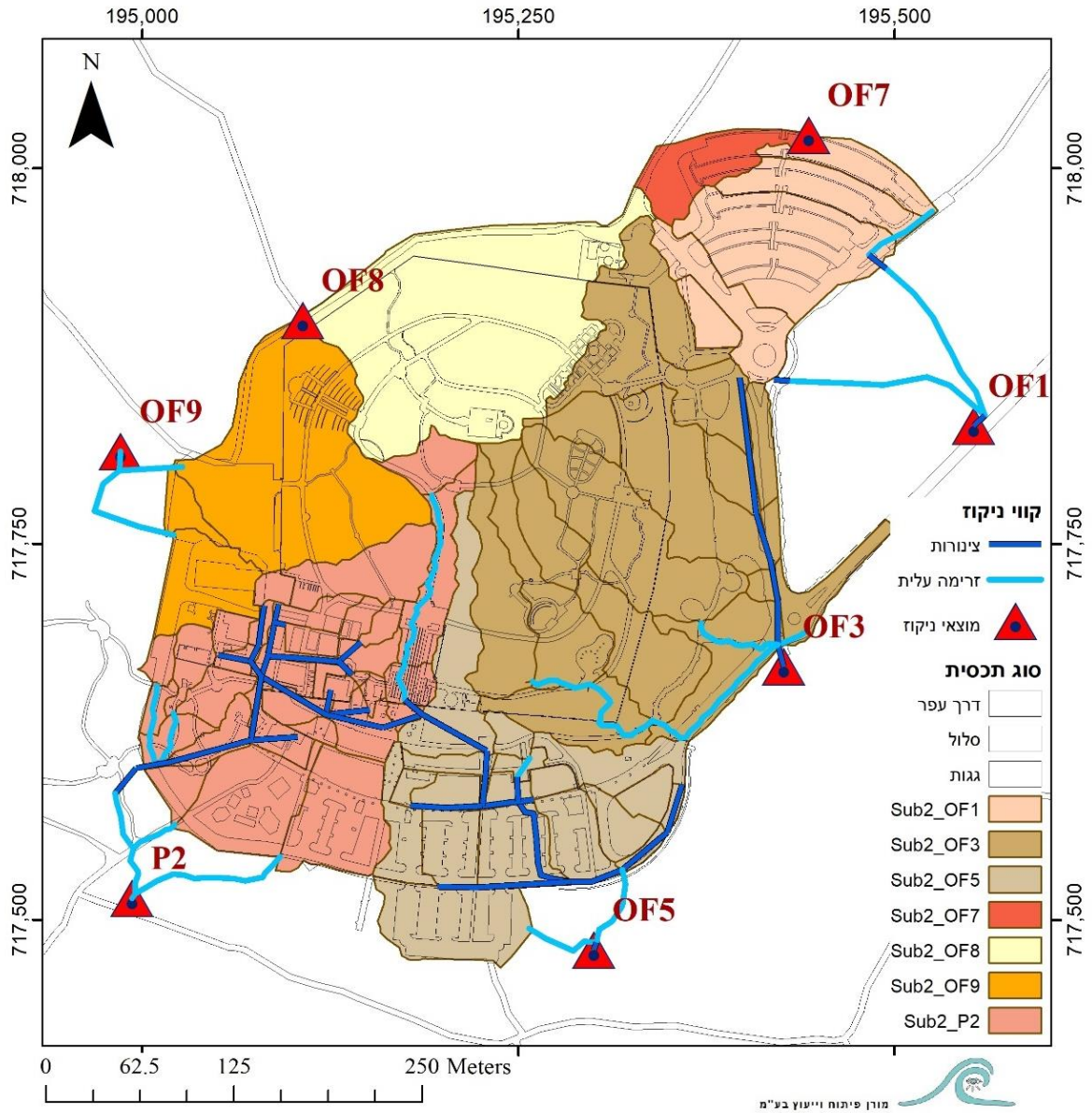


איור 25 – תכנית (שימושי קרקע) בשטח הגנים והאזור המשקי

עבור סוגי התכנית הוגדרו מקדמי נגר להלן: דרך עפר 0.7, דרך סלולה 0.9, גגות מבנים 0.95. המודל מבצע שקלול של ערכים אלו לאפיון תתי אגנים.



סך השטח חולק לאגנים, תתי אגנים, וערוצי זרימה. חושבו ספיקות ונפחים תוך שיקלול נתוני קרקע, מוליכות, חידור וכו'. התוצאות מוצגות באיור 26 ובטבלה 8. איור 26 מראה את החלוקה לאגנים, תתי אגנים ומוצאי הניקוז (OF).



איור 26 – אגני ניקוז ומוצאים בשטח האזור המשקי

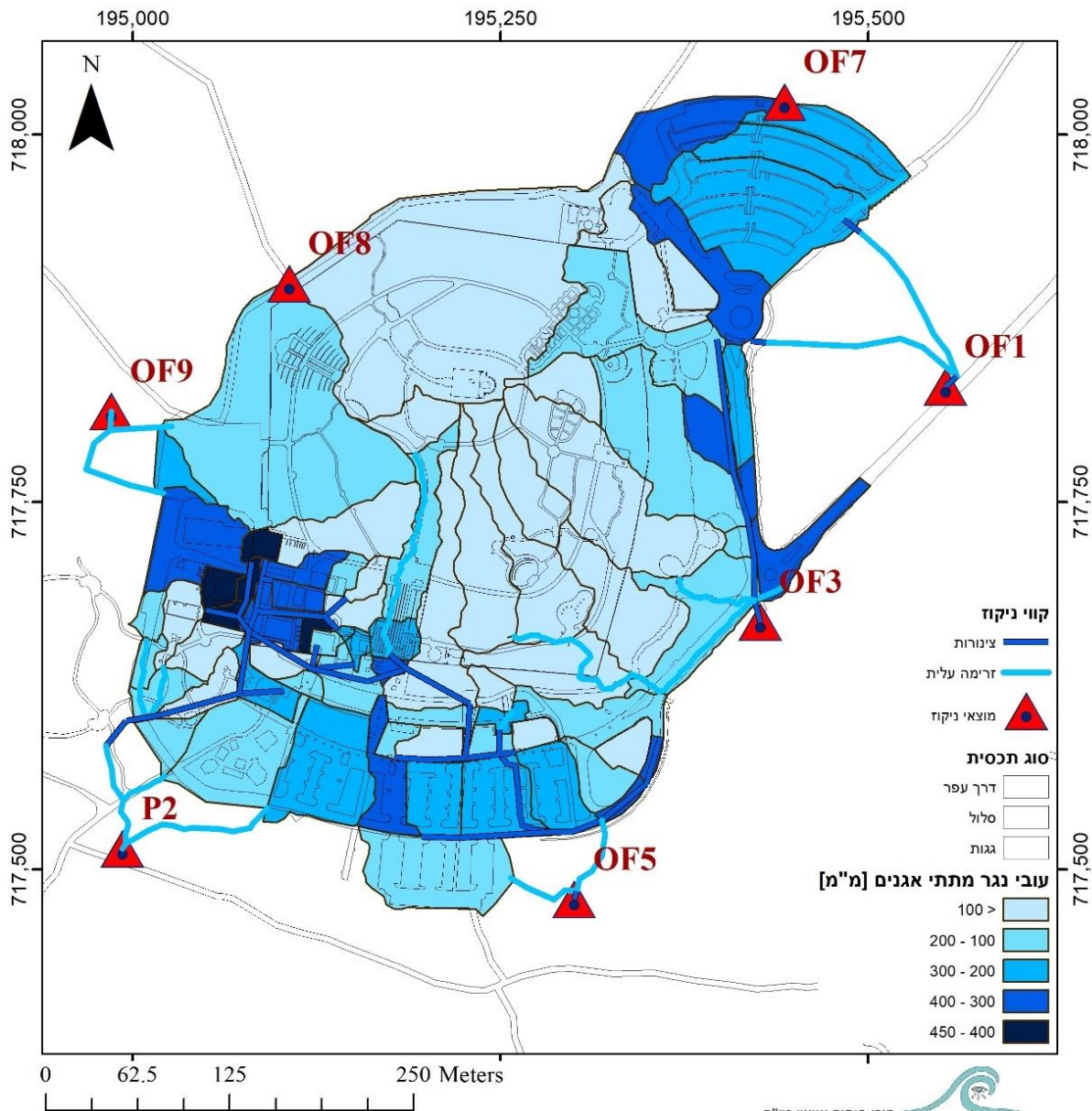
טבלה 8: מוצאי הניקוז השונים, שטח אגנים מתנקז ונפחי נגר המגיעים למוצא בשנה חציונית.

מוצא	תיאור	שטח תורם [ד']	נפח נגר [מ"ק]	נפח סגולי [מ"מ]
OF3	מגרשי חניה וחלק מזרחי	52	5843	112
P2	מערבי לבריכת חורף	35	4935	141
OF5	מרכזי דרומי	32	5588	174
OF8	צפון מערבי לכיוון נחל הנדיב	23	1931	85
OF9	מערבי לכיוון נחל הנדיב	20	2923	148
OF1	מגרשי חניה צפון	17	3392	201
OF7	לכיוון צפון	3	1322	397

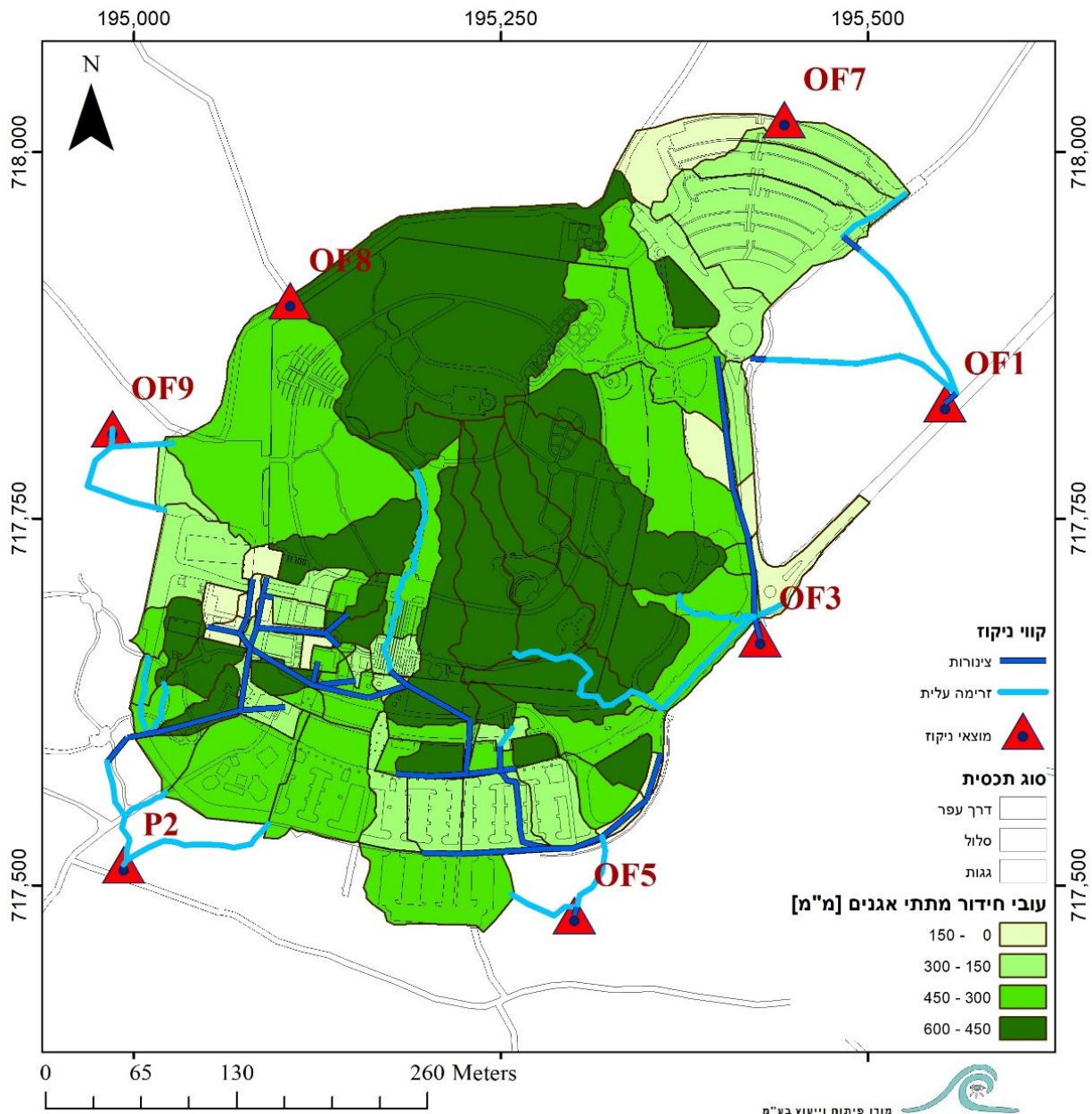


נפח סגולי ועובי נגר שנתי מתתי האגנים

איור 27 מציג את מפת הנפחים הסגוליים. ניתן לראות את תרומת הנגר הגדולה יחסית מאזור החנייה והמשרדים ביחס לשאר השטח. עבור שנה חציונית אפקטיבית ליצירת נגר הופחתו אירועי גשם בעלי עוצמות פחותות מ 1 מ"מ לשעה, אשר מחושבים כהפסדי אידי ודיות. באיור 28 בהמשך ניתן לראות מפה של עובי החידור מתתי האגנים השונים, שהיא למעשה תמונת ראי של עובי הנגר.



איור 27 – נפחי נגר סגוליים (מ"מ/שנה) מתתי אגנים בשנה חציונית בשטח האזור והאזור המשקי



איור 28 – עובי חידור (מ"מ/שנה) מתתי אגנים בשנה חציונית בשטח הגנים והאזור המשקי

טבלה 9 מרכזת את נפחי הנגר, החידור, אידי ודיות. איור 29 מציג את הנתונים עבור שנה חציונית.

טבלה 9: נפחים סופתיים ושנתיים בשנה חציונית בשטחי הגנים והאזור המשקי

עובי גשם [מ"מ]		נפחים [מ"ק]			סופה
אפקטיבי	סה"כ	אידי ודיות	חידור	נגר	
14.5	27.5	2,350	1,730	750	DS2200
11.6	21.7	700	1,380	90	RP01
35	65.5	510	4,170	1,880	RP02
49.5	92.6	670	5,880	2,720	RP05
566.0	602.3	11,040	67,280	27,740	שנה חציונית

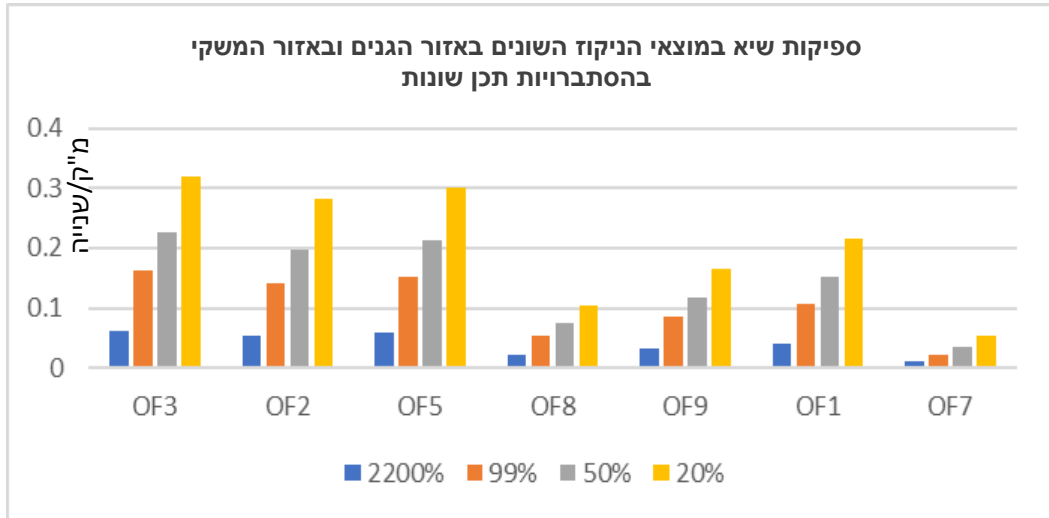


איור 29 - התפלגות משקעים בשנה חציונית בשטחי הגנים

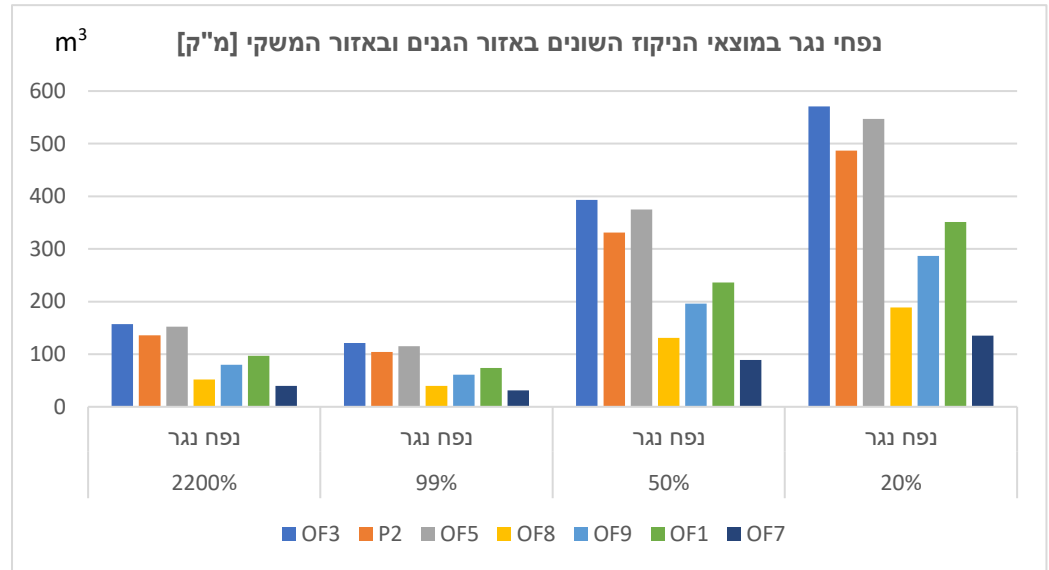
מגרף זה נראה שמקדם הנגר לגני הנדיב ולאזור המשקי עומד על 26% בהשוואה למקדם הנגר הכללי של רמת הנדיב שעומד על 1.5% בלבד. ההבדל נובע מתכסית הקרקע האטימה יחסית לשאר השטח.

נפחים וספיקות במוצאי הניקוז בספיקות תכן שונות

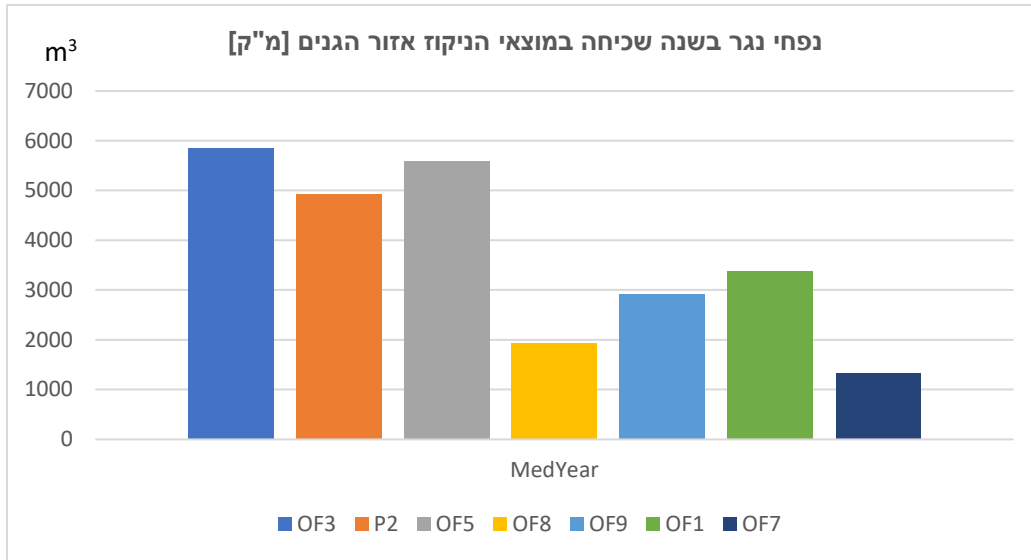
להלן גרפים המראים את ספיקות השיא ונפחי הנגר המתקבלים במוצאי הניקוז, עבור סופות התכן השונות



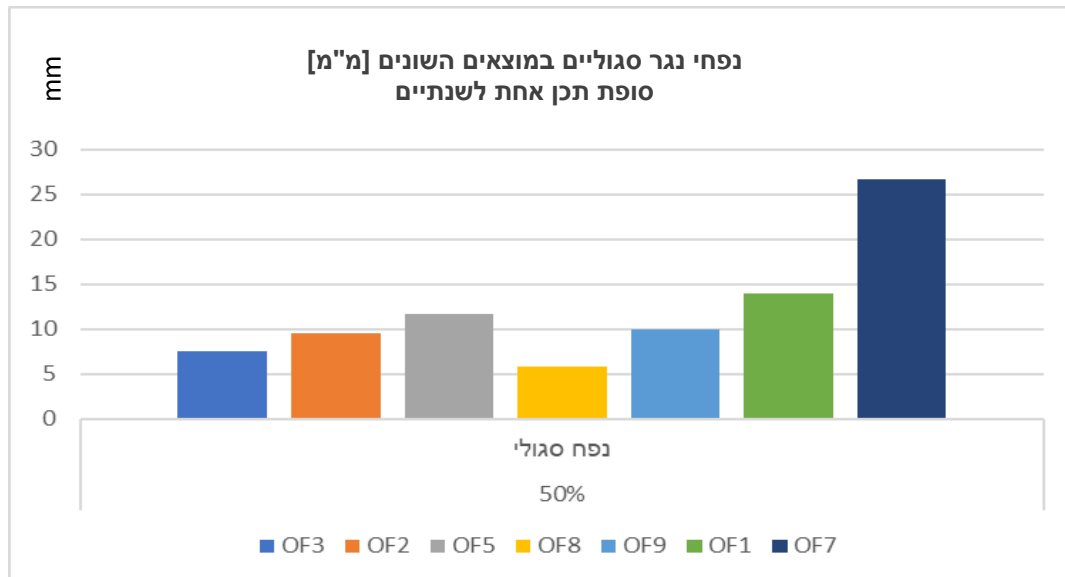
איור 30 – ספיקות שיא [מ"ק/שנייה] במוצאי הניקוז בסופות תכן בהסתברויות שונות



איור 31 – נפחי נגר במוצאי הניקוז בסופות תכן בהסתברויות שונות



איור 32 – נפחי נגר במוצאי הניקוז בשנה שכיחה באזור הגנים והמשקי



איור 33 – נפחי נגר סגוליים במוצאי הניקוז בסופת תכן 50% באזור הגנים והמשקי

הערות:

- OF1 מנקז 2 יציאות ממגרש החניה ליד מעביר מים מתחת לכביש הגישה לגנים. בגלל שבדרך יש מעבר דרך שטח פתוח ישנו איבוד של נפח נגר המתבטא בנפח סגולי נמוך יותר.
- OF7 מנקז חלק ממגרש החניה ממחיש את נפח הנגר הסגולי הגבוה המתקבל מיד במוצא.

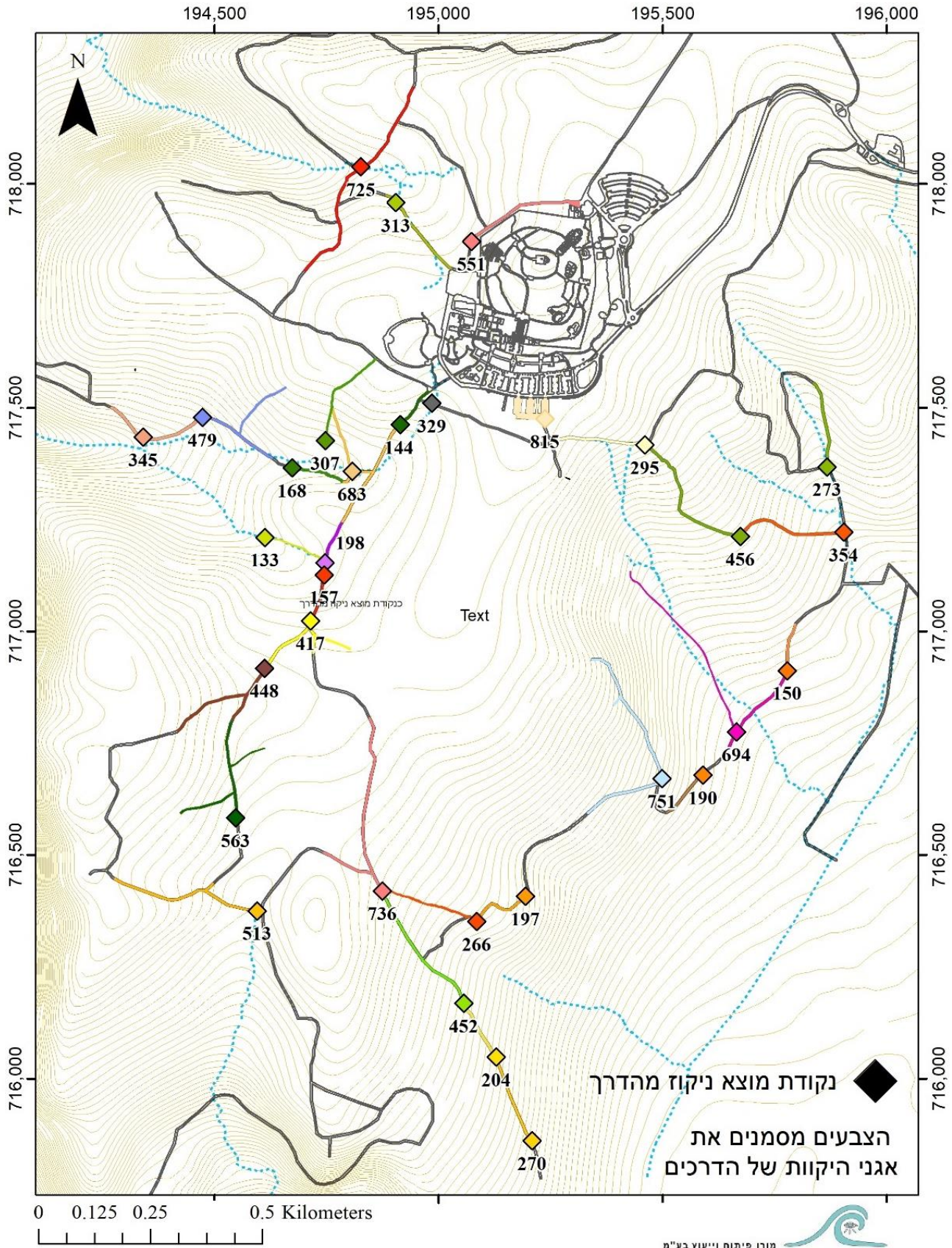


5.3 תרומת נגר מדרכי העפר

לדרכי העפר חשיבות רבה בניהול מושכל של הנגר העילי. מכיוון שדרכי העפר כבושות ומהודקות, מקדם הנגר בהם גבוה להבדיל ממרבית שטח הפארק שמירב הגשם מחלחל לקרקע ואל האקוות המקומיות, במהלך סיור בשטח ובעזרת מפה טופוגרפית חולקו הדרכים למקטעים. עבור כל מקטע חושב השטח והנגר משטח זה ועד לנקודת הריכוז. איור 34 בעמוד הבא מראה את תרומת הנגר בנקודות הריכוז מדרכי העפר. נקודות ריכוז אלו יכולות לשמש בהמשך לניהול הנגר ולהטייתו לנקודות עניין.



תמונה 6 – דרכי עפר כתורמות נגר



איור 34 – תרומת נפח נגר בשנה חציונית בנקודות הריכוז בצד דרכי העפר



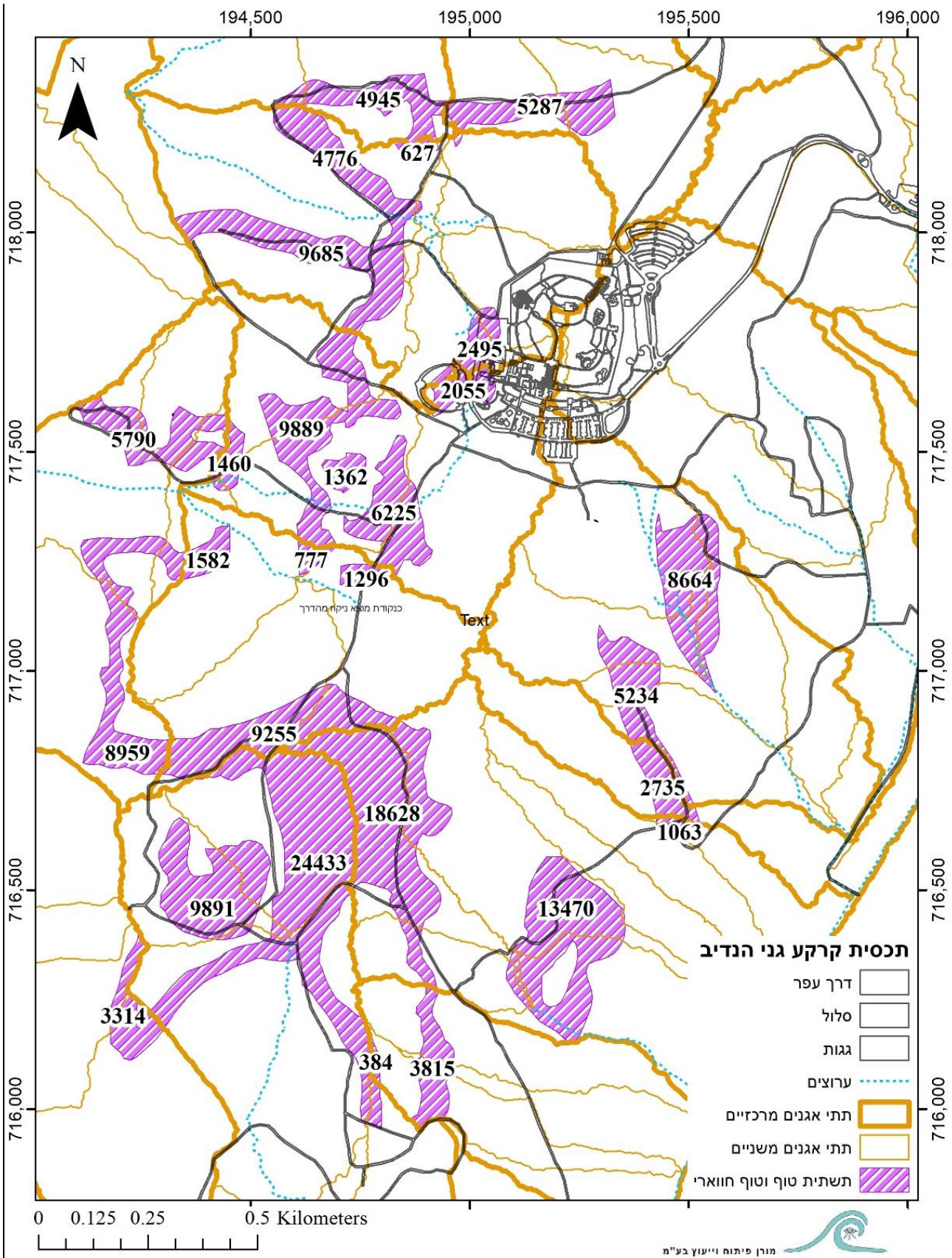
5.4 תרומת נגר ממחשופי הטוף

תצורת הטוף הוולקני שפיה היא רבת משמעות למשק המים ברמת הנדיב. תצורת זו נחשפת על פני השטח ומתחת לפני השטח (ראה איור מס' 7) כחלק מאופק הנמצא מתחת לכל שטח רמת נדיב קרוב יחסית לפני השטח. היות והאופק הוולקני שפיה העתיק (kuvs) הפך בעקבות תהליכי בליה כימית לאופק בעל תכולה דומיננטית של מינרלי חרסית (טוף חווארי) ניתן להעריך את ערכי המוליכות שלו כאטומים או ככמעט אטומים (בר וקפלן 2005).

מחשופי הטוף הינם הופכיים מבחינת ערכי החידור ומקדמי הנגר לשאר פני השטח עם אדמת הטרסה רוזה ומחשופי הסלע הקרבונטי הסדוק. בחישוב נפי הנגר נלקח בחשבון מקדם נגר גבוה (0.95), הופחתו אחוזי איוד ודיות (33%), והופחתו אירועי גשם בעלי עוצמה נמוכה מ- 4 מ"מ/שעה. להלן מפה עם נפחי נגר פוטנציאליים, שניתן לנצל חלק מהם ולנהל אותם בהמשך לטובת איגומים/השהיות (כדוגמת הבריכות שנבנו לאחרונה). איור 35 בעמוד הבא מציג את יבול הנגר [מ"ק] בשנה חציונית, המתהווה מעל אזורים עם תשתית טוף, ותשתית טוף חווארי.



תמונה 7 – נגר על משטחי הטוף



איור 35 יבול גגר [מ"ק] בשנה חציונית



6. סיכום

רכס רמת הנדיב שעל שטחו נמצאים גני רמת הנדיב מהווה יחידה נופית והדרולוגית מגוונת. השילוב בין מסלע גירני ודולומיטי סדוק וחדיר (75% מהשטח) לבין אופק טוף (14% מהשטח) חווארי אטום קובע את המשטר ההדרולוגי ברמת הנדיב. השילוב בין שטח בעלי מאפייני שיפוע מתון עד תלול וערוצים החותרים בתוכו יוצר מגוון מהירויות זרימה ומגוון צורות השקעה שונות של סחף קרקע.

ככלל שיעור הנגר העילי הזורם אל מחוץ לשטח רמת הנדיב הוא קטן יחסית (1.5% בשנה חציונית), כלומר מרבית הנגר מחלחל וחודר את שכבות הקרקע והסלע ומעשיר את האקוויפר האזורי והאת אזור המילוי החוזר של עין צור. זרימות הנגר המשמעותיות ביותר בשטח מגיעות משטח הגנים, האזור המשקי, ממחשופי הטוף, מדרכי העפר ומשכונת השמורה בזכרון יעקב.

מרבית הגשם האפקטיבי, היוצר אירועי זרימת נגר (94% או 66% מסך המשקעים השנתי) נטמע בקרקע ומחלחל בקרקע ובמסלע הסדוק אל האקוויפר. תהליכי איוד ודיות בקרקע העליונה כוללים כ- 33% מהגשם השנתי.

ניתוח המרכיבים ההידרולוגיים וההידראולים הביא בחשבון נתונים עבור שנה חציונית ועבור סופת תכן שכיחה. המיפוי שנוצר מראה את פרישת הנגר העילי והחידור לתת הקרקע על פני רשת של תתי אגנים. נקודות הריכוז של הנגר ואזורי החידור מהווים בסיס מידע להמשך ניהול הגר העילי והחידור בכל שטח רמת הנדיב.

מתוך כ- 3090 אלף קוב משקעים שיוורדים על 5126 דונם בשנה חציונית, כ- 60 אלף קוב של נגר מתהווים בתתי האגנים אך פחות מ- 40 אלף מגיעים אל מוצאי הניקוז. רוב הנגר מצידה המזרחי של רמה מגיע ונאסף ע"י תעלת כביש 652 (OF21). מוצאים OF21, OF23, OF24 מנקדים ואדיות ונחלים מקומיים (נחל חוטם, נחל תמסח ונחל כבארה בהתאמה) ומתחברים בהמשך עם נחל תנינים. נחל חוטם נשבר וזורם אל מחצבת בנימינה הישנה, שמהווה מדד למפלס מי התהום המקומיים בקרבת הנחל. ספיקות השיא גם הן אינן גבוהות ועומדות על 0.6 – 0.8 מקש"נ עבור סופה של אחת לחמש שנים.

טביעת הרגל האקולוגית של גני הנדיב

הניתוח ההידרולוגי ותוצאות המודל הממוקד לשטח הגנים מראים בבירור את השפעת בניית גני הנדיב על נפחי הנגר המתקבלים מהשטח. בניית הכבישים, מדרכות, מבנים ודרכי עפר הגדילו את תכסית הקרקע האטומה ואת נפחי הנגר המתקבלים בהתאמה. גם לשטחי הגן ישנה השפעה עקב אדמות הגן שהובאו לשם, אשר להן מקדמי אגירה וחלחול שונים מאשר לשטח הטבעי. האזור המשקי והקומפוסט יכולים להוות מקור לזיהום ממקור אורגני של הנגר הנשטף מהם אל הסביבה לכיוון נחל הנדיב. גם לכבישים ישנה השפעה מזהמת על הנגר הנשטף מהם אל העמק והמורדות המזרחיים.



מקדם הנגר הממוצע לכל שטח הרמה עומד על 1.5% ואילו לגני הנדיב ולדרכי העפר מקדם נגר של 26.4%.

עבור שטח של 176 דונם, עודף הנגר המתקבל עבור שנה חציונית הינו בחישוב גס:

$$\Delta V_{runoff} = D_{mm} \cdot A_{dunam} \cdot \Delta C_{runoff} = 602 \cdot 176 \cdot \frac{26.4 - 1.5}{100} = 26,382 \text{ m}^3$$

כלומר עודף נגר של כ 26 אלף קוב בשנה, ביחס למצבו הטבעי והלא מופר של השטח.

עבור דרכי העפר בשטחי הפארק של הרמה, נמדד אורך כולל של 53.5 ק"מ של דרכי עפר. בהנחת רוחב ממוצע של 4 מטר מתקבל שטח של 214 דונם של דרכי עפר כבושות בעלות מקדם נגר של 70%. בחישוב דומה עבור דרכי העפר מתקבל הפרש נגר של 75 אלף קוב בשנה ביחס למצבו הטבעי והלא מופר של השטח. אותם עודפי נגר אמנם יוצאים אל הסביבה הקרובה דרך מוצאי הניקוז. חלקם נטמעים בקרקע וחלקם מזינים ערוצי זרימה טבעיים. סביר להניח שלמיקום המוצאים והמשך הזרימה מהם ישנה השפעה סביבתית המתבטאת בהגדלת ספיקות הנגר ובנפחי המילוי החוזר. לדוגמא, אותו עובי נגר עודף נגרע בחלקו מעובי החלחול בשטח המילוי החוזר אל עין צור, שעדיין יש לאמוד את שטחו וצורתו ביתר דיוק. מוצאי הניקוז יכולים להיות מתועלים בצורה חכמה, מתוך הסתכלות רחבה על הסביבה והבנה של תהליכי הזרימה של הנגר העלי וזרימת המים בתת הקרקע. הניתוח והמודל תורמים להבנה ולכימות כמויות הנגר השנתיות והסופתיות המתקבלות בנקודות ריכוז והטיה. מתוך ניתוח זה של המצב הקיים ניתן בהמשך לתכנן את ניהול הנגר בתוך ומחוץ לשטח הגנים ובכך להיטיב עם המערכת האקולוגית ולצמצם את טביעת הרגל האקולוגית של גני הנדיב.

דרכי פעולה אפשריות להמשך העבודה

1. הצבת שתי תחנות הדרומטריות במוצא מגרש החניה והאזור המשקי, בכדאי לאפשר את וכיול המודל ההדרולוגי לנתונים מודדים (הצבת שתי תחנות מדידה במוצאי הניקוזים).
2. המשך חקירה לצורך הבנת הקשר בין ספיקות הנגר באזור המילוי החוזר של עין צור, לבין שפיעת המעיין.
3. תכנון ניהול הנגר מאזור הגנים והאזור המישקי, בהתאם למסקנות שלב א' - על מנת להגדיל את נפח הנגר המופנה למילוי חוזר של עין צור.
4. עבודות איתור אזורי השהייה נוספים, בהם ניתן לבצע חפירת ממוקדות ובכך להגדיל את כמות המים המחלחלות.
5. איתור אזורי איגום נוספים לצורך יצירת בתי גידול מימיים מגוונים
6. שדרוג אקוהדרולוגי של גופי מים קיימים



7. מקורות

- בר, י. קפלן, מ. (2005). הגאולוגיה והקרקות של רמת הנדיב. *יד הנדיב*.
- גרינבאום, נ., ארבל, י., ויטנברג, ל., Lange, J., Winter, F. & Kohn, I. (2008). נפחי גשם, נפחי נגר ואיבודי תמסורת בנחלי הכרמל ותרומתם למילוי החוזר של אקוויפר הקנומן-טורון בכרמל. *דו"ח עבור רשות המים. החוג לגיאוגרפיה ולימודי סביבה, אוניברסיטת חיפה*.
- דפני, א. 2011. שדה הזרימה של מי התהום השפירים והמלוחים באגן ירקון-תנינים, ישראל. *דו"ח המכון הגאולוגי לישראל*.
- יחיאלי, י., שליב, ג., וולמן, ס. (2015). ניתוח הידרוגיאולוגי של אגן שמרון-נטופה. *דוח המכון הגאולוגי לישראל*.
- פלג, נ. (2009). מודלים הידרולוגיים למעיינות שעונים בהרי יהודה ושומרון. *עבודת גמר לתואר מוסמך במדעי הטבע. האוניברסיטה העברית בירושלים*.
- שגב, ע., שש א. (2009). הגיאולוגיה של הכרמל מחזורים וולקן-סדימנטריים על הקצה הצפון-מערבי של הפלטפורמה הערבית בתקופת האלביאן-טורון. *דוח המכון הגאולוגי לישראל*.
- Sneh, A., Sass, E., Bein, A., Arad, A., & Rosensaft, M. (2016). Geological Map of Israel 1: 50,000, Hadera Sheet 5-I. *Geol. Surv. Israel, Jerusalem*.