הערכה כמותית של השפעת הפעולות לוויסות הנגר ושימור הקרקע במדרונות הר אחים



מחברים: יצחק משה, יורם טורציון, שמואל ארבל

דצמבר 2023

<u>תוכן העניינים</u>

תקציר	3
1. מבוא	4
2. מטרת העבודה	4
3. שיטת העבודה	5
4. רכיבי המודל הקרקעי	6
5. הרצת המודל	16
6. תוצאות	20
7. סיכום ומסקנות	26

תקציר

העבודה מתמקדת בהערכה כמותית של השפעת הפעולות המתוכננות להתבצע במדרונות הר אחים, על וויסות הנגר ושימור הקרקע.
ההערכה הכמותית נערכה באמצעות מודל HEC-RAS המאפשר לבחון השפעה של סופת גשם על על פני שטח ולחזות את הנגר המתפתח.
נבחנו מאפייני זרימת הנגר המתפתח בשימושי הקרקע השונים בתחום האגן ששטחו כ – 3.6 קמ"ר.
מאפייני זרימת הנגר נבחנו בשני מצבים: א. במצב הקיים. ב. במצב המתוכנן.
ממצאי ההערכה הכמותית של השפעת הפעולות לוויסות הנגר מלמדים כי הפעולות המתוכננות מצמצמות את נפחי הנגר וספיקות הזרימה. במהלך סופת גשם אופיינית לאזור ובתנאי קרקע רוויה, הפעולות המתוכננות מצמצמות את נפח הנגר המתפתח והמתנקז לעבר הבקעה. נבחנה השפעת הפעולות המתוכננות באתרים מוגדרים: א. ביטול דרך יער תלולה ע"י איגום והטיית הנגר לפיזור והחדרה בשטח היער. ב. הטיית נגר מהדרך לעבר כרם זית והשפעת בניית הטרסות בכרם על השהיית הנגר.
הפעולות המתוכננות באתרים המוגדרים לעיל מצמצמות את נפחי הזרימה וספיקות השיא בשיעור של עשרות אחוזים.
נבחנה גם השפעת הפעולות המתוכננות בשטחי היער ובדרך הנוף הררית-בקעת בית נטופה על תרומת הנגר וספיקות השיא בכלל האגן. מתברר כי גם במוצא האגן אל הבקעה קיימת הפחתה בשיעור משמעותי על נפחי הנגר וספיקות השיא.
לוויסות זרימת הנגר בהשפעת הפעולות המתוכננות תהייה תרומה בהקטנת נזקי הצפת שטחים חקלאיים בבקעת בית נטופה, צמצום נזקי סחף קרקע בשימושי הקרקע השונים במדרונות הר אחים ותרומה בשימור המים במדרונות. התרומה בשימור המים במדרונות הר אחים עשויה לתמוך במערכות האקולוגיות המאפיינות את המדרונות בהר.

1. מבוא

ביוזמת מדען קק"ל הוכנה תכנית לוויסות הנגר ושימור הקרקע במדרונות הר אחים. התוכנית הוכנה לתתי האגנים שלאורך הדרך מהררית לבקעת בית נטופה. תכנית זו עשויה להוות דגם לטיפול מיטבי בתתי אגנים נוספים המתנקזים לבקעת בית נטופה.

בבסיס התוכנית קיימת הגישה ולפיה הטיפול המיטבי בשימושי הקרקע השונים במדרונות המתנקזים לבקעת בית נטופה, יאפשר: קליטה, השהייה והחדרה מיטביים של נגר וסחף במדרונות. גישה זו עשויה לתרום לוויסות זרימות הנגר ונזקי הסחיפה במדרונות, ולצמצם את נזקי ההצפה בבקעת בית נטופה במורד.

התוכנית לוויסות הנגר ושימור הקרקע במדרונות התייחסה למגוון שימושי הקרקע: בנוי, חקלאי, יער ומערך הדרכים. נקיטת הפעולות לשימור הקרקע והבטחת ממשק מיטבי בשטחי היער עשויה להעצים את השרות האקולוגי של היער בוויסות זרימות הנגר והסחף. ממשק מיטבי בשטחי היער יתבטא בהפחתת ערכי הנגר והסחף המתפתחים בשטחי היער וזורמים לעבר בקעת בית נטופה, ויאפשר קליטת נגר וסחף הנתרמים משימושי הקרקע במעלה היער. ממשק מיטבי בשטחי הבינוי והחקלאות יצמצם את נזקי סחיפת הקרקע בשטחים אלו ובשטחים ובתשתיות במורד.

עדיפות ניתנה לשיקום דרך הנוף, הררית–בקעת בית נטופה. דרך זו משרתת את התושבים המקומיים, מטיילים וחקלאים. דרך הנוף עתירת מפגעי נגר וסחיפה ומחברת את רכס הר אחים עם בקעת בית נטופה. אל דרך הנוף מתחברות דרכי היער והדרכים החקלאיות הפרוסות בשטח.

שימור המים והקרקע במדרונות יסייע לבריאות ושגשוג שטחי היער והחקלאות. שיקום שטחי המדרונות ייטיב עם כלל המשתמשים בשטחי האגן: תושבים מקומיים, מטיילים, חקלאים המעבדים חלקות חקלאיות במדרונות הר אחים ובבקעת בית נטופה, שטחי היער של קק"ל וכלל הנהנים משרותי היער.
התוכנית לוויסות זרימת הנגר שהוכנה למדרונות הר אחים התייחסה למתחמים האחראיים להתפתחות נגר, ומתחמים קולטי נגר במרחב האגן. **המתחמים האחראיים להתפתחות הנגר הינם בעיקר פני שטח מופרים בהם הייתה פגיעה בצומח ובקרקע כתוצאה מפעילות האדם – דרכים, שטחים חקלאיים, אתרי רעייה ופעילות מרעה בלתי מבוקר ביער. האתרים קולטי הנגר הינם שטחי יער ושטחי חקלאות מטופלים.**

התוכנית כוללת מגוון פעולות שימור קרקע וניקוז שתכליתן:
א. מניעת רציפות זרימת הנגר לאורך המדרונות ע"י קיטוע זרימות הנגר. קיטוע זרימות הנגר והארכת קווי הזרימה יתאפשר ע"י הטיית הנגר לפיזור, השהייה והחדרה במתחמים קולטי הנגר.
ב. ביטול גורמי נגר (לדוגמא, ביטול דרכים מגבירות נגר).
ג. שינויי ממשק באמצעות מגוון פעולות אגרוטכניות בשימושי הקרקע השונים שמטרתן, הגדלת אוגר פני השטח לקליטת הנגר והגדלת כושר החידור של פני השטח.

2. מטרת העבודה

העבודה מתמקדת בהערכה כמותית של מידת ההשפעה של מגוון הפעולות הכלולות בתוכנית לוויסות זרימת הנגר בשימושי הקרקע השונים במדרונות הר אחים. ההערכה הכמותית בוחנת את הנפחים וספיקות הנגר המתפתחים במדרונות במצב הקיים, בהשוואה לנפחים ולספיקות הנגר שיתפתחו במדרונות לאחר יישום התוכנית, דהיינו, המצב המתוכנן.
תוצרי העבודה מסייעים בהבנה כמותית של משמעות הפעולות לוויסות הנגר ושימור הקרקע ועשויים לסייע בקבלת החלטה לגבי הרחבת הפעולות לאגנים נוספים במדרונות סביב בקעת בית נטופה. הנתונים הכמותיים יסייעו בהבנה של משמעות הפעולות גם לאזורים נוספים בארץ.

3. שיטת העבודה

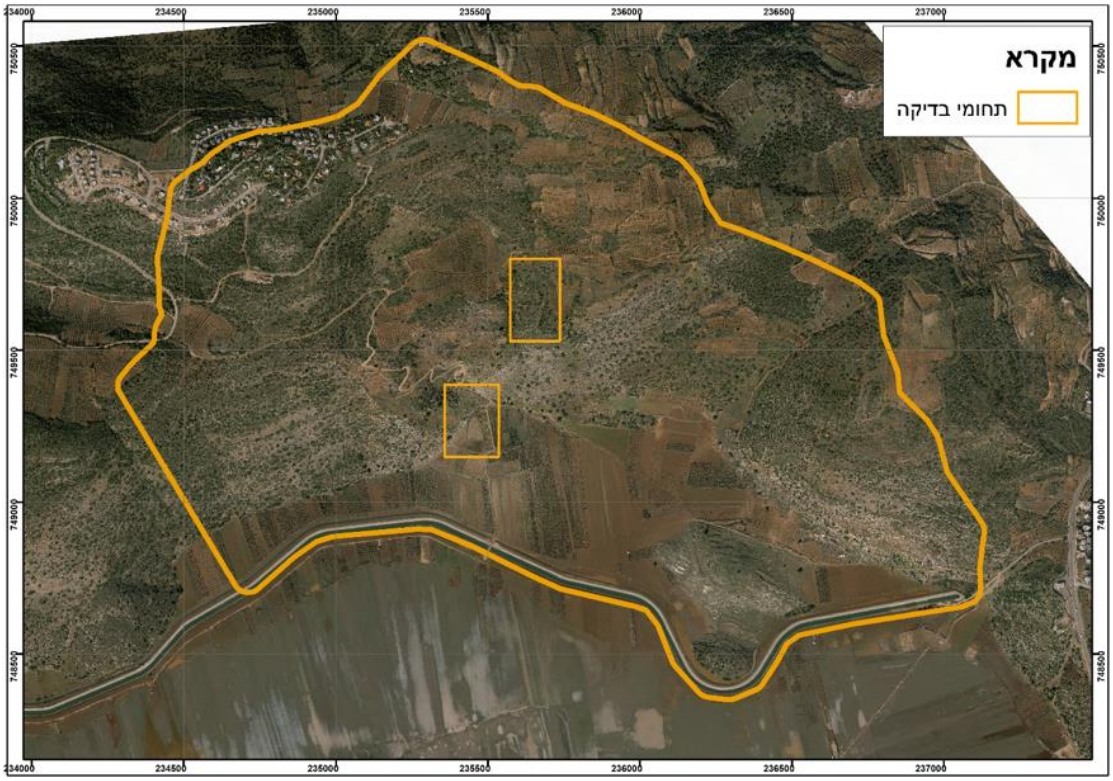
ההערכה הכמותית של השפעת הפעולות לוויסות זרימת הנגר התבססה על שימוש במודל – תכנת HEC-RAS. התוכנה פותחה ע"י הגוף האמריקאי - Army Corps of Engineers, השייך למשרד ההגנה האמריקאי, בשיתוף המרכז להנדסה הידרולוגית - Hydrologic Engineering Center.
התוכנה הינה "נחלת הכלל" (Public Domain) ופתוחה להורדה ולשימוש.
היתרון הקיים בשימוש בתכנת ה -HEC-RAS הינו האפשרות הקיימת לבחון השפעה של סופת גשם על מודל המדמה פני שטח ולחזות את הנגר המתפתח. המודל מאפשר לדמות פני שטח על מגוון המאפיינים (טופוגרפיה, צמחיה, מסלע/קרקע, חידור, ממשק, וכו'). הפיתוחים שנעשו בתוכנה במהלך השנים מאפשרים טיפול בזרימות משטחיות (זרימות רדודות מפוזרות על פני שטח), כמו גם בזרימות מרוכזות המתקיימות בתעלות זרימה ובאפיקים. בתוכנה משולבת הרחבת RAS-Mapper המאפשרת יכולות ממ"ג יעילות.
לצורך הערכה של השפעת הפעולות על תרומת הנגר נבנה מודל קרקעי המדמה את תכונות פני השטח במצב קיים ובמצב מתוכנן והוגדרה סופת גשם. בוצעה "הרצה" של סופת הגשם על המודל הקרקעי במצב הקיים ובמצב המתוכנן. נבחנו ההבדלים בערכי הנגר שהתפתח על פני השטח, במצב הקיים ובהשוואה למצב המתוכנן.

בניית המודל הקרקעי כללה את רכיבי השטח המשפיעים על התפתחות הנגר:
א. הגדרת תחום אגן ההיקוות לבדיקה.
ב. תבליט (מודל גיאומטרי תלת ממדי – שיפועים, פנות, וכד').
ג. חיספוס פני השטח.
ד. רמת אטימות פני השטח.
ה. תכונות קרקעיות המשפיעות על היווצרות נגר (SCS).
ו. כושר חידור (Infiltration).

4. רכיבי המודל הקרקעי

תחום

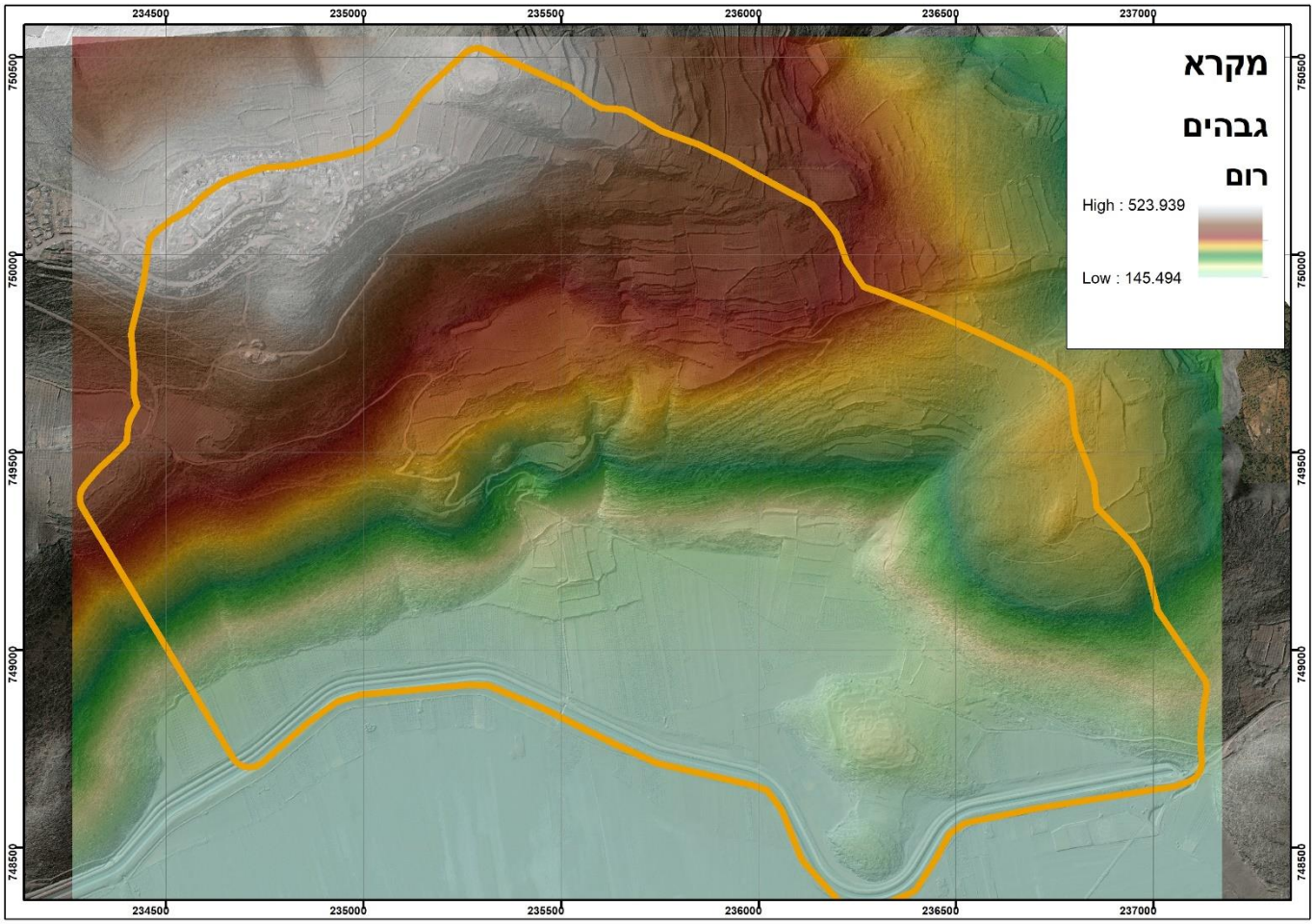
הוגדר תחום כללי התואם את גבולות התוכנית שהוכנה למדרונות הר אחים על שטח בגודל 3,680 דונם. לבחינה פרטנית של השפעת הפעולות נבחרו שני תחומי שטח מוגדרים המאפיינים את שימושי הקרקע העיקריים בהם נדרשות הפעולות לוויסות זרימת הנגר: א. ביטול דרך ע"י איגום והטיית הנגר לשטח יער לצורך שיקום שטח היער. ב. הטיית נגר מדרך להשהיה בשטח טרסות חקלאיות.(איור 1).



איור 1. התחום הכללי של השטח ושתי יחידות שטח מוגדרות לבחינה פרטנית: ביטול דרך לשיקום שטח יער - מלבן עליון, הטיית נגר מדרך להשהיה בכרם זיתים באמצעות טרסות אבן - מלבן תחתון.

<u>תבליט פני השטח (טופוגרפיה)</u> (איור 2)

לבניית תבליט פני השטח נעשה שימוש בנתוני LIDAR של רשות הניקוז ונחלים קישון. פירוט הנתונים נעשה בשיטת ה - DEM (Digital Evaluation Model) אשר כלל סריקה של 4 נקודות לכל 1 מ"ר.
הסריקה מתורגמת לשריג גבהים, המייצג רום של כל 1 מ"ר.
יתרונות השיטה הינן בפירוט ובדיוק הגבוה יחסית של פני השטח.

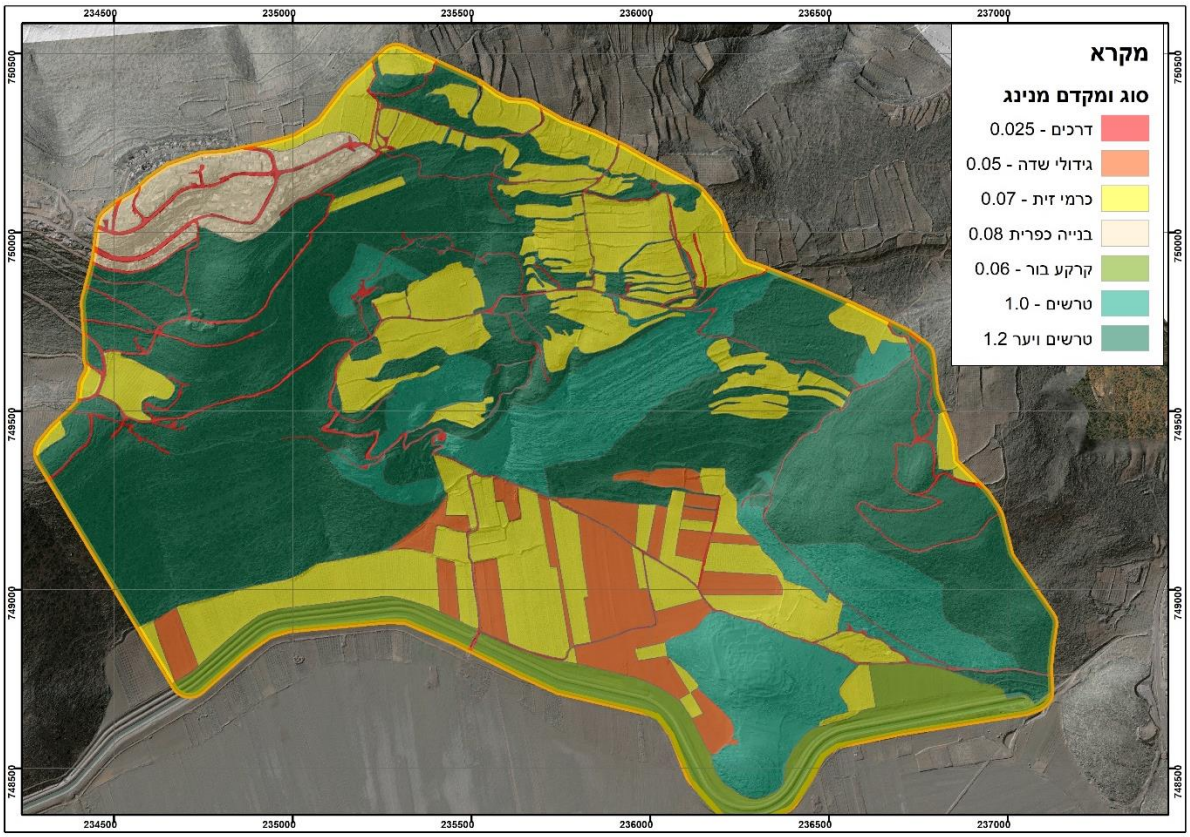


איור 2. תבליט פני השטח בהתבסס על נתוני LIDAR. (מקור נתוני ה LIDAR - רשות ניקוז ונחלים קישון).

<u>חיספוס פני השטח – מקדם בנוסחת מנינג (n)</u>

נוסחת מנינג מתארת את הקשר שבין מהירות זרימת מי הנגר לשיפוע הזרימה, מאפייני חתך הזרימה וחיספוס פני השטח. חיספוס פני השטח מבוטא בנוסחת מנינג באמצעות מקדם החיספוס (n). מקדם החיספוס המשפיע על זרימת הנגר נקבע בעיקר ע"י, התכסית, שימושי השטח, וממשק עיבודי השטח (דוגמא לממשק עיבודי השטח - מטע זיתים בעיבוד אינטנסיבי בכיווני שתי וערב, לעומת כרם זיתים בממשק אי פליחה והשארת צמחי חיפוי הממתנים ומשהים את הזרימה). מקדם החיספוס נקבע בהתאם לשימושי השטח ודרגת השפעתם על הזרימה.

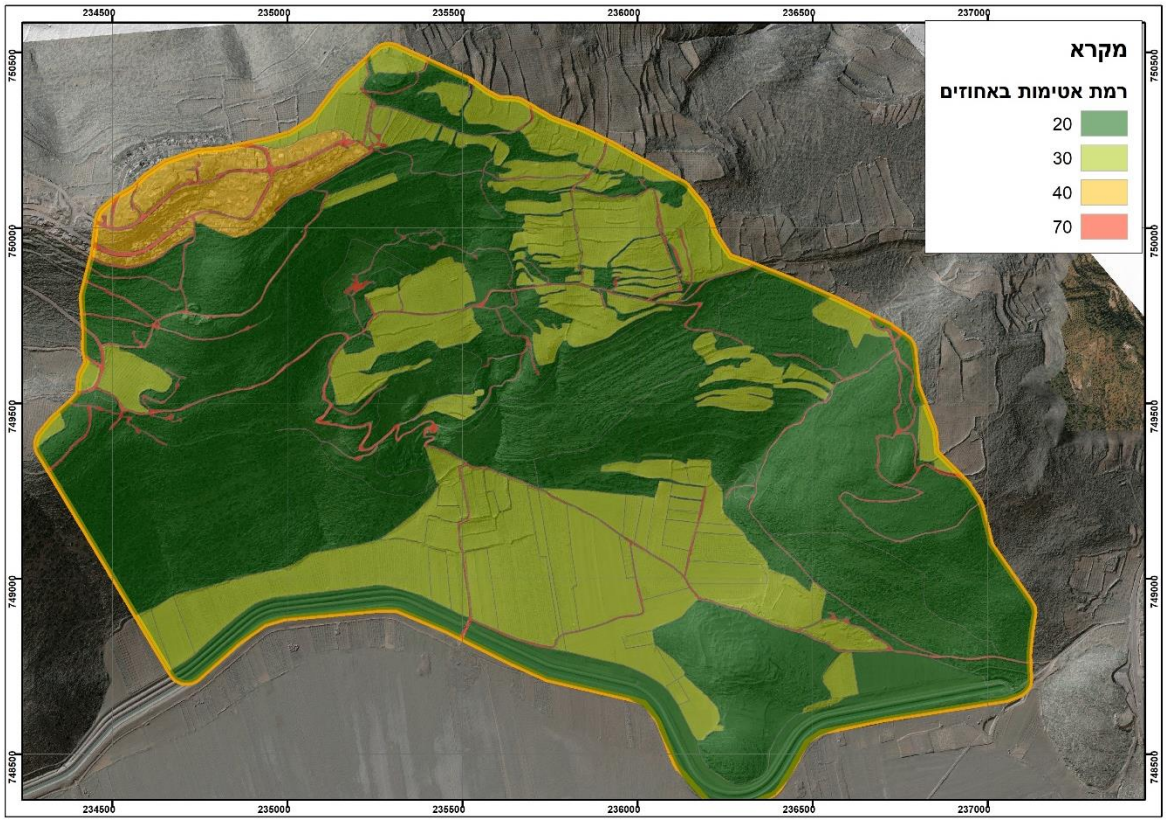
שימושי השטח (איור 3):
דרכים ושטחים מהודקים – מגרשי חניה, ריכוזי מרעה, כבישים ודרכים.
גידולי שדה וירקות בממשק קונבנציונאלי.
כרמי זית בממשק קונבנציונלי של פליחת הקרקע.
בנייה כפרית של הישובים בתחום.
קרקע בור.
טרשים.
טרשים ויער.



איור 3. מפת שימושי השטח ומקדם החיספוס בנוסחת מנינג לשימושי השטח למיניהם.

<u>אטימות פני השטח</u>

אטימות פני השטח נקבעת מהשילוב של שימושי השטח עם תכונות השטח.
דוגמאות לשימושי שטח - דרכים וכבישים, שטחים בנויים, שטחי יער, וכו'.
תכונות השטח: הכוונה לסוג הקרקע או התשתית הגיאולוגית. דוגמא לתכונות קרקע - קרקע חרסיתית התופחת ונאטמת. דוגמא לתשתית גיאולוגית – סלע סדוק לעומת סלע חוואר/קרטוני שהינו אטים, וכד'. רמת האטימות מבוטאת באחוזים. (איור 4).



איור 4. רמת האטימות של יחידות השטח, בהתאם לשימושים וסוגי הקרקע/סלע.

<u>חידור המים לקרקע (Infiltration)</u>

ערכי החידור של יחידות השטח השונות מהווים רכיב חשוב בוויסות הנגר. הפניית הנגר משטחים תורמי נגר לשטחים "קולטי נגר" המתאפיינים בערכי חידור גבוהים, מקטינה את נפחי הנגר ואת גל הגאות היוצאים מהאגן ומתנקזים לשטחים במורד.
דרך רכיב RAS Mapper ישנה אפשרות לשלב בין שכבות הקרקע והשימושים לצורך בניית שכבת ערכי החידור.
בניית השכבה נעשתה בשיטת SCS Curve Number אשר פותחה למטרות שימור קרקע. השיטה מאפשרת הערכת עוצמות הנגר מאירועי סופות גשם לפי אפיון תכונות הסופה ואפיון תכונות קרקעיות. התאמת הנתונים להרצה בפרויקט זה תהיה לפי הגדרות סוגי הקרקע לפי טבלאות 1 , 2.

הפרמטרים הקובעים את הערך בעקומה (CN) SCS – Curve Number :
א. שימושי הקרקע, כגון – שטח יער, שטח מרעה, צמחייה צפופה, גידולי שדה, ועוד.
ב. שיטות טיפול בקרקע ביחס לתנאים ההידרולוגיים, כגון עיבוד לפי קווי גובה, שיחים וטרסות, ניהול רעייה, מחזורי גידול, ועוד.
ג. תכונות "הידרולוגיות" המאופיינות בחידור ברוויה- A, B, C, D מחידור גבוה (A) בקרקעות חוליות וחצצים, ועד חידור נמוך (D) בקרקעות חרסיתיות הנאטמות עם ההרטבה, או קרקעות רדודות על תשתית גיאולוגית אטומה.
ד. דרגת רטיבות קודמת בקרקע (AMC) – 1. קרקע יבשה (נקודת כמישה). 2. דרגה ממוצעת - מצב ביניים. 3. קרקע רוויה מגשמים מצטברים. (קיבול שדה).

ערך החידור מורכב ממספר משתנים "המוצמדים" לשכבה כאשר מקור התכונות הינו השימושים ושכבת הקרקע - Land cover layer and the Soils layer.
שכבת הקרקע מאחדת תכונות של הקרקע עצמה ותכונות התשתית הגיאולוגית. (מצורפות בהמשך טבלאות לקביעת פרמטר CN).
נוסחאות שיטת ה SCS :
$Q = (P-I_a)^2/(P-I_a+S)$
כאשר:
Q– עובי נגר סופתי/יומי (מ"מ)
P– עובי גשם סופתי/יומי (מ"מ)
Ia – קליטה ופיזור המים בתווך הקרקע עצמה (Abstraction Ratio), איבוד מים פנימי: כמות הגשם הנדרשת למילוי אוגר השקעוריות בפני השטח, לכידה על ידי צמחייה, הצמדות לחלקיקי הקרקע, אידוי, וכד'.
S - השהיית מים פוטנציאלית מכסימלית.
הנחה אמפירית:
$I_a = 0.2\ S$
$Q = (P - 0.2\ S)^2 / (P + 0.8\ S)$
כאשר $0.2S < P$ מתחיל הנגר.
יחס CN ל – S
$CN = 25400/(254+S)$
קצב חידור מינימלי – ערך התלוי בתכונות שכבות הקרקע והתשתית הגיאולוגית. הגורם המגביל יכול להיות תכונות הקרקע כגון, שכבות חרסיתיות עבות המעכבות את תנועת המים, ולעיתים הגורם המגביל הינו תשתית הסלע כגון, סלע קירטוני רציף.

השכבות "המשתתפות" בהגדרת החידור והקובעות את המשתנים: ערך CN, קצב חידור מינימלי וערך פיזור המים (I_a) הן: (טבלאות 1, 2, איור 5, טבלה 3 איורים 6, 7, 8,)
שכבת שימושי הקרקע
שכבת מסלע (רקע גיאולוגי)
שכבת חבורות הקרקע
שכבה ויזואלית משוקללת של שימושים, חבורות הקרקע ומספר CN

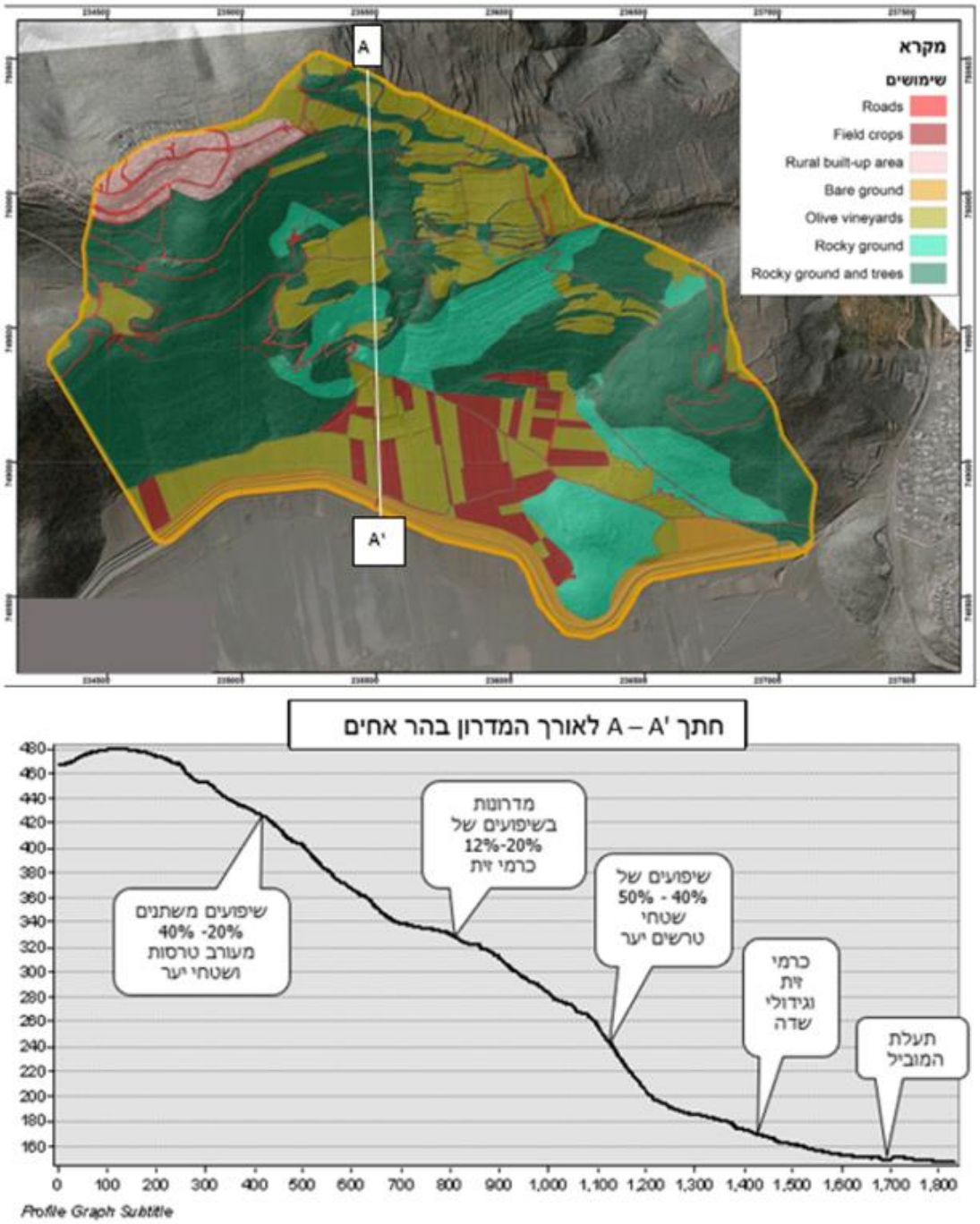
Table 4.2 Curve Numbers for Hydrological Soil-Cover Complexes for Antecedent Moisture Condition Class II and $I_a = 0.2\,S$ (after Soil Conservation Service 1972)

Land use or cover	Treatment or practice	Hydrological condition	Hydrological soil group			
			A	B	C	D
Fallow	Straight row	Poor	77	86	91	94
Row crops	Straight row	Poor	72	81	88	91
	Straight row	Good	67	78	85	89
	Contoured	Poor	70	79	81	88
	Contoured	Good	65	75	82	86
	Contoured/terraced	Poor	66	74	80	82
	Contoured/terraced	Good	62	71	78	81
Small grain	Straight row	Poor	65	76	84	88
	Straight row	Good	63	75	83	87
	Contoured	Poor	63	74	82	85
	Contoured	Good	61	73	81	84
	Contoured/terraced	Poor	61	72	79	82
	Contoured/terraced	Good	59	70	78	81
Close-seeded legumes or rotational meadow	Straight row	Poor	66	77	85	89
	Straight row	Good	58	72	81	85
	Contoured	Poor	64	75	83	85
	Contoured	Good	55	69	78	83
	Contoured/terraced	Poor	63	73	80	83
	Contoured/terraced	Good	51	67	76	80
Pasture range		Poor	68	79	86	89
		Fair	49	69	79	84
		Good	39	61	74	80
	Contoured	Poor	47	67	81	88
	Contoured	Fair	25	59	75	83
	Contoured	Good	6	35	70	79
Meadow (permanent)		Good	30	58	71	78
Woodlands (farm woodlots)		Poor	45	66	77	83
		Fair	36	60	73	79
		Good	25	55	70	77
Farmsteads			59	74	82	86
Roads, dirt			72	82	87	89
Roads, hard-surface			74	84	90	92

טבלה 1. ערכי CN (ע"פ האגף לשימור קרקע, משרד חקלאות אמריקאי).

Land use description		Hydrologic soil group			
		A	B	C	D
Cultivated land:[a]					
Without conservation treatment		72	81	88	91
With conservation treatment		62	71	78	81
Pasture or range land:					
Poor condition		68	79	86	89
Good condition		39	61	74	80
Meadow: good condition		30	58	71	78
Wood or forest land:					
Thin stand, poor cover, no mulch		45	66	77	83
Good cover[b]		25	55	70	77
Open spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.:					
Good condition: Grass cover on 75% or more of the area		39	61	74	80
Fair condition: grass cover on 50% to 75% of the area		49	69	79	84
Commercial and business areas (85% impervious)		89	92	94	95
Industrial districts (72% impervious)		81	88	91	93
Residential:[c]					
Average lot size	Average % Impervious [d]				
0.05 hectare (1/8 acre) or less	65	77	85	90	92
0.10 hectare (1/4 acre)	38	61	75	83	87
0.13 hectare (1/3 acre)	30	57	72	81	86
0.20 hectare (1/2 acre)	25	54	70	80	85
0.90 hectare (1 acre)	20	51	68	79	84
Paved parking lots, roofs, driveways, etc.[e]		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved with curbs and storm sewers[e]		98	98	98	98
Gravel		76	85	89	91
Dirt		72	82	87	89

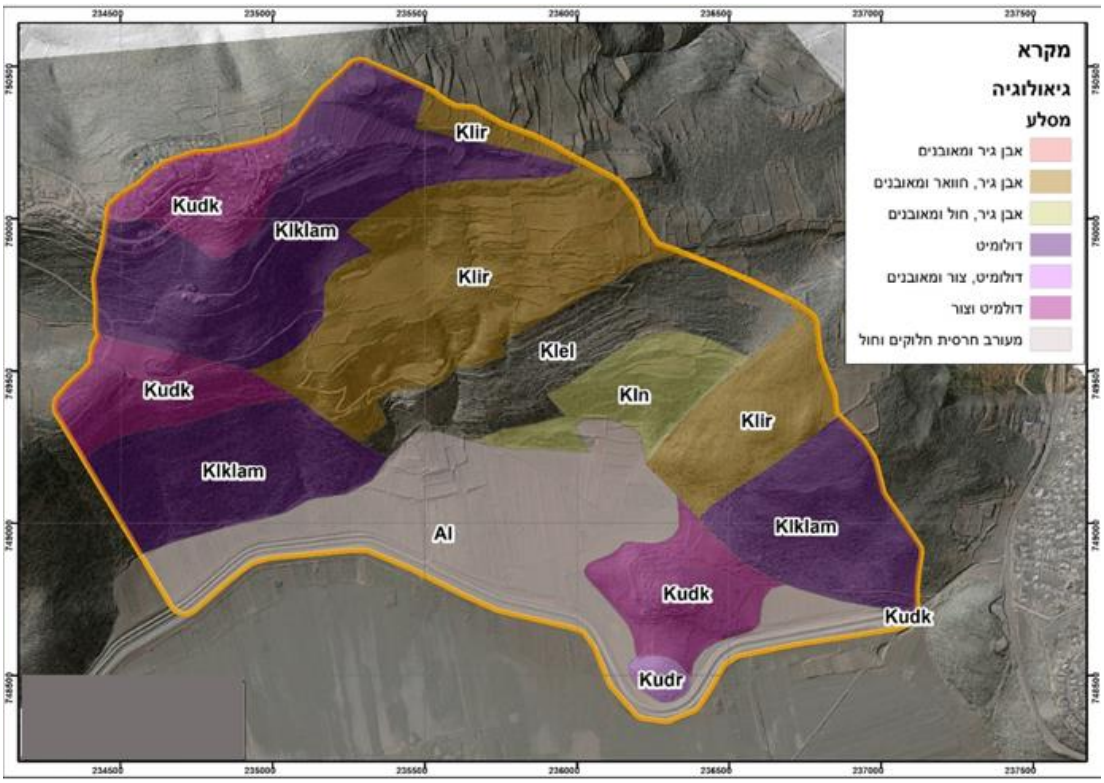
טבלה 2. ערכי CN (ע"פ האגף לשימור קרקע, משרד חקלאות אמריקאי).



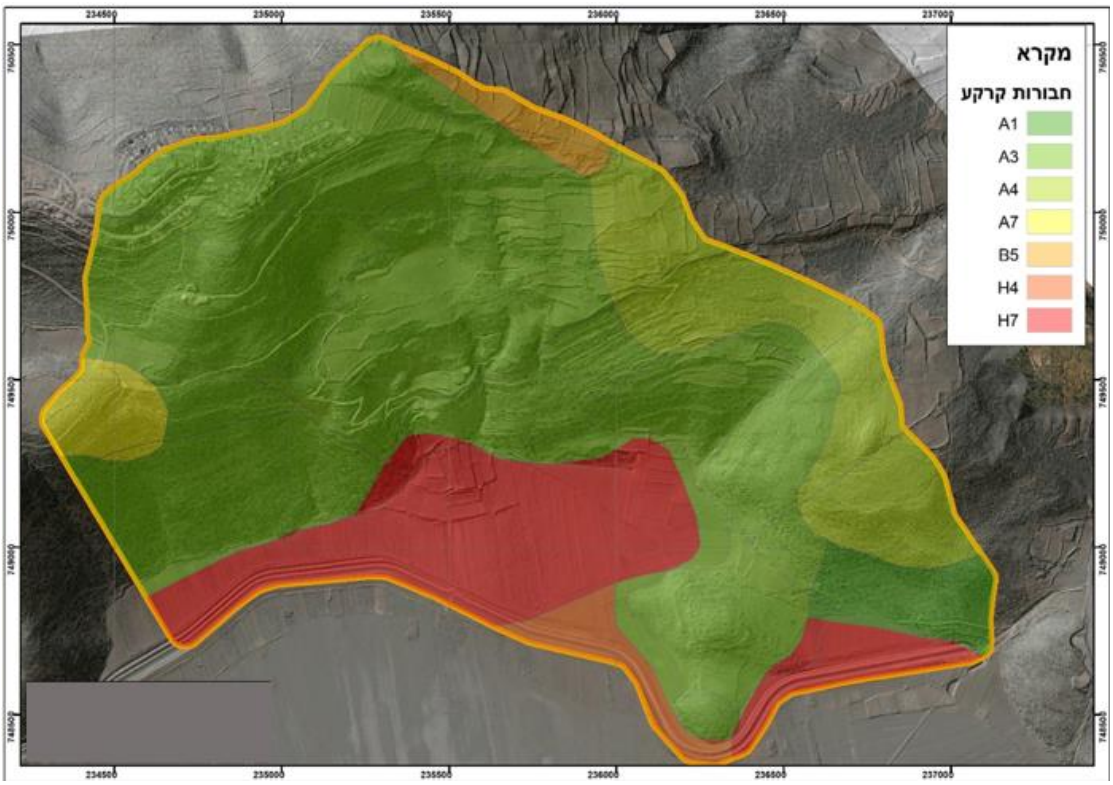
איור 5. שכבת שימושי השטח ומיקום חתך A – A' לאורך המדרון בהר אחים. (למעלה).
שיפועי המדרון ושימושי השטח לאורך חתך A – A' במדרון בהר אחים (למטה). ניתן להבחין בחתך כי השטחים החקלאיים מתרכזים בעיקר בשיפועי המדרון המתונים יחסית ולמרגלות המדרון, שטחים בהם הצטברה קרקע. שטחי המדרון התלולים הינם שטחי יער וטרשים.

שימושים	שטח (דונם)	אחוז
דרכים	121	3
גידולי שדה וירקות	221	6
כרמי זית	847	23
בנייה כפרית	132	4
קרקע בור	224	6
שטח סלעי	532	14
שטח סלעי ויער	1,601	43
סה"כ	3,680	100

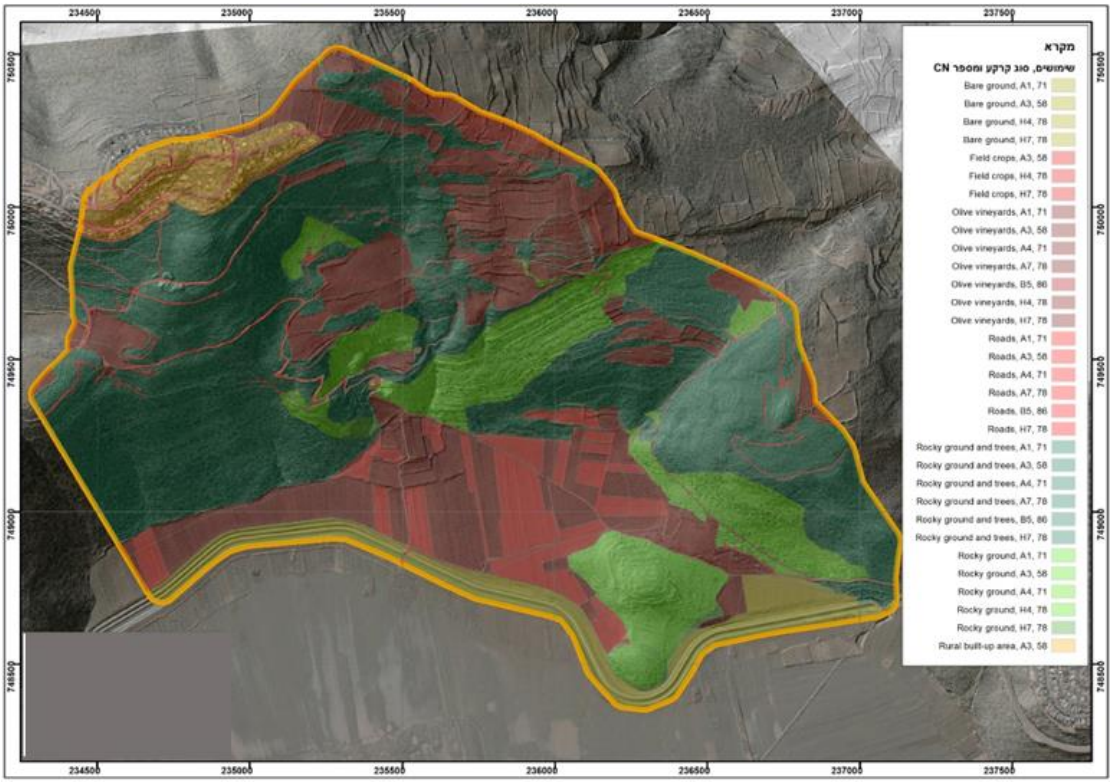
טבלה 3. שימושי השטח באגן הניקוז וגודלם היחסי.



איור 6. תצורות גיאולוגיות ומסלע.



איור 7. שכבת חבורות הקרקע.



איור 8. שילוב השכבות: שימושי השטח, חבורות קרקע וערכי CN

5. הרצת המודל

להלן סיכום הרכיבים והמשתנים המתאימים למצב הקיים ואלו המתאימים למצב המתוכנן:

א. סיכום הרכיבים והמשתנים המתאימים למצב הקיים:

תבליט פני השטח - נעשה שימוש בנתוני LIDAR של רשות הניקוז ונחלים קישון. פירוט הנתונים נעשה בשיטת ה - DEM כמתואר בעמוד מס' 7.

נתוני שכבות תכונות הקרקע – שימושים (Land Cover) לפי ההגדרות למקדם מנינג ואחוז האיטום כמפורט בטבלה 4 להלן:

Type	Impervious	Manning
Rocky ground and trees	20	1.200
Rural built-up area	40	0.080
Olive vineyards Downward	20	0.070
Olive vineyards Upward	30	0.070
Roads	70	0.025
Rocky ground	20	1.000
Field crops	30	0.050
Bare ground	20	0.100

טבלה 4.

שכבת החידור - ערכי CN, מספרי Ia וקצב חידור מינימלי ברוויה כמפורט בטבלה מס' 5 להלן:

Type	Minimal penetration	Abstraction Ratio	CN
Rocky ground and trees : A	7	0.2	55
Rocky ground and trees : H	2	0.2	61
Rocky ground and trees : B	7	0.2	55
Rural built-up area : A	4	0.2	65
Rural built-up area : H	1	0.1	69
Rural built-up area : B	4	0.2	65
Olive vineyards : A	4	0.2	72
Olive vineyards : H	2	0.1	72
Olive vineyards : B	4	0.2	72
Roads : A	0.12	0.1	88
Roads : H	0.12	0.1	90
Roads : B	0.12	0.1	88
Rocky ground : A	6	0.2	61
Rocky ground : H	4	0.1	61
Rocky ground : B	6	0.2	61
Field crops : A	3	0.2	72
Field crops : H	1	0.1	81
Field crops : B	3	0.2	72
Bare ground : A	5	0.2	61
Bare ground : H	3	0.2	71
Bare ground : B	5	0.2	61
Bare ground : H	3	0.2	71
Bare ground : A	5	0.2	61

טבלה 5.

ב. סיכום הרכיבים והמשתנים המתאימים למצב המתוכנן:

תבליט - הטמעת השינויים הגיאומטריים במודל הקרקעי של פני השטח כתוצאה מפעולות שימור הקרקע:

הפניות נגר - עיקר השינויים הגיאומטריים בתוכנית מהווים הפניות הנגר המתפתח לאורך צירי הדרכים לעבר שטחים קולטי נגר. ממחקרים ברחבי העולם מתברר כי הדרכים נחשבות לתורם הנגר העיקרי והשפעתן על ממדי הסחיפה הינה משמעותית, אף כי הן מהוות חלק קטן משטח האגן.

היישום בשטח הינו באמצעות באמפרים ומעבירי מים (מעבירם איריים, מעבירי צינור, וכד') המטים את הנגר אל עבר השטחים קולטי הנגר העיקריים - שטחי היער, הטרשים (סלע סדוק) והבור. היישום במודל מתבצע באמצעות בניית חסימות מוגבהות כקווי אי רציפות המוגבהים מפני השטח ומפנים את הזרימה לשטחים קולטי הנגר. הפניות נגר יהיו גם לאורך דרכים לביטול - דרכים בשיפוע אורכי תלול שנפרצו ללא תיאום עם היערן וגורמים לנזקי נגר וסחף.

טרסות - מרכיב הטרסות להשהיית נגר יהיה בגבולות חלקות, ועל טרסות קיימות בניצב לשיפוע המדרון. כתוצאה משיפועי השטח החקלאי והמבנה הגלי של המדרון נפח ההשהיה הינו מוגבל. לטרסות תפקיד חשוב בעצירת רציפות זרימת הנגר ובמניעת סחיפה. יתרון נוסף של שיקום הטרסות טמון בטיפול בדרכים תלולות, בניתוק רציפות זרימה, הארכת קווי זרימה, פיזור והשהיית הנגר בשטח החקלאי ובאתרי פיזור ביער. היישום במודל התבצע כמו בהטמעת הבאמפרים, אך בקווים מאורכים יותר לפי תוואי השטח.

נתוני שכבת תכונות הקרקע – פוטנציאל קליטת הנגר המירבי הקיים בשטח הינו באמצעות שינוי בממשק הגידול בכרמי הזית. השינוי בממשק הגידול יתבטא בין השאר באמצעות מעבר מממשק עיבודי פליחה לממשק עיבוד משמר ללא פליחה ועם צמחי חיפוי.

שימושים (Land Cover) לפי ההגדרות למקדם מנינג ואחוז האיטום – ללא שינוי (כמו במצב הקיים).

שכבת החידור - מספרי CN, מספרי Ia וקצב חידור מינימלי ברוויה:

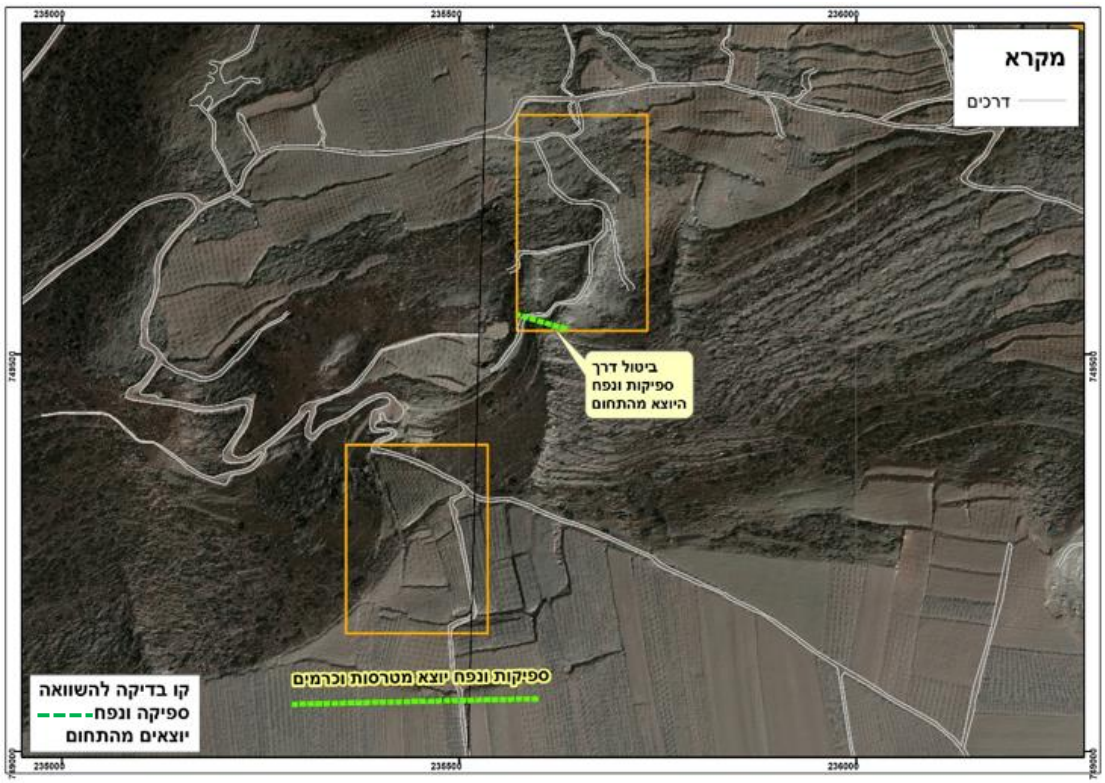
כרמי הזית מהווים 23% מכלל שטח האגן ומהווים פוטנציאל תרומה/קליטה משמעותי של מי נגר, בתלות בממשק העיבוד. במצב המתוכנן יתבצע שינוי בערך ה CN בכרמי הזית מ 72 ל 61. משמעות השינוי מהווה למעשה השוואת מאפייני החידור בכרמי הזית לשטחי היער והטרשים ויתבטא בתוספת 2 מ"מ לשעה בערך קצב החידור המינימלי. השטח הבנוי בהררית מהווה 4% בלבד משטח האגן. בתצפיות שנערכו בהררית לא נמצאו סימני זרימת נגר המתנקז מהישוב לעבר המורד. בתקנון תוכנית המתאר המאושרת להרחבת הררית כלולות הנחיות מחייבות לשמירת הנגר בתחום הישוב. מסיבות אלו נחשב שטח הבניה הכפרית בהררית כשטח יער.

הרצת המודל התמקדה בהבנת ערכי הספיקה והנפח של הנגר המתנקז מאגן ההיקוות. בחינת ערכי הספיקה ונפח הנגר המתנקז מאגן ההיקוות נערכה בשלושה תחומים עיקריים (איורים 9, 10, 11, 12):

א. אתר מוגדר ביער – ביטול דרך יער ע"י חסימות, איסוף נגר והטיית עודפי הנגר לשטחים קולטי נגר ביער.

ב. אתר מוגדר בכרם זיתים - ביצוע טרסות בכרם זית להשהיית הנגר המתפתח בכרם וקליטת הנגר המופנה לכרם מהדרך העוברת בגבול הכרם.

ג. נגר מכל תחום האגן – נגר המתנקז מכל תחום האגן לעבר המוביל (תעלת מוביל המים הארצי), ונבחן לאורך קו התייחסות באורך 2,500 מ' המקביל למוביל. בחינת הנגר מכל תחום האגן כללה את הטיפולים המתוכננים לניקוז ושימור קרקע לאורך דרך הנוף הררית-בקעת בית נטופה, וכן את עיקר הטיפולים בדרכי היער.



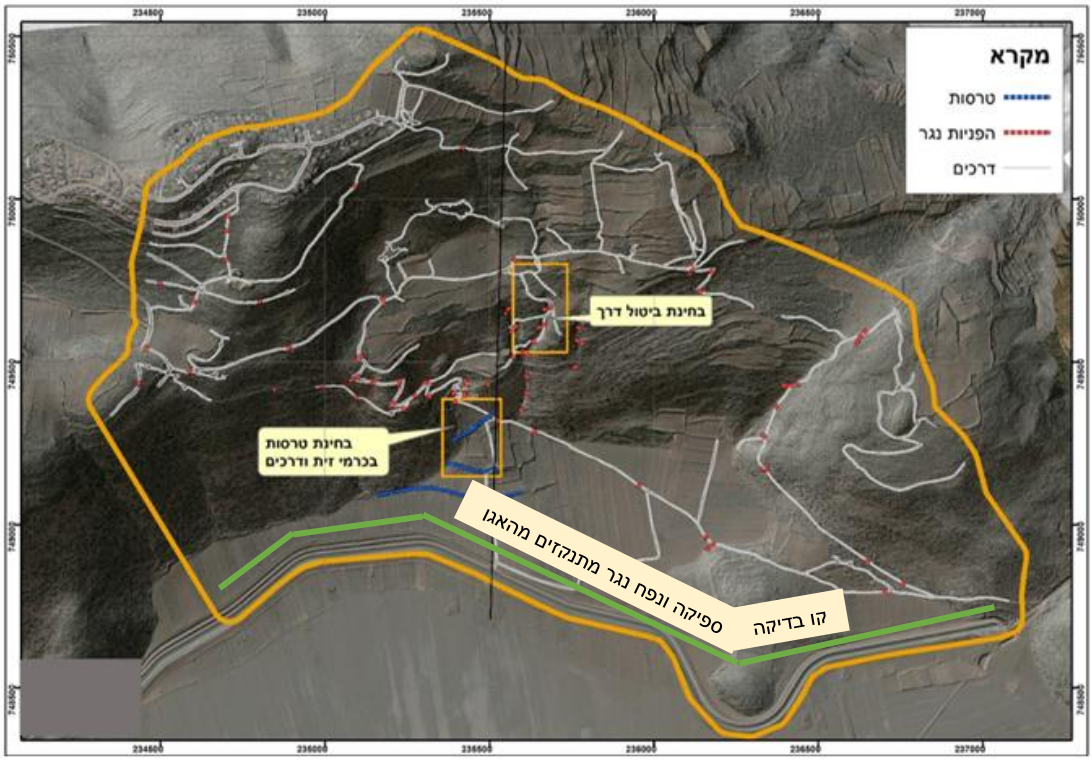
איור 9. מיקום האתרים המוגדרים בהם נבחנו פעולות לשימור מים וקרקע: א. ביטול דרך יער על ידי חסימות וקליטת נגר והפניית עודפי הנגר לשטחים קולטי נגר ביער. ב. בחינת משמעות ביצוע טרסות בכרם זית להשהיית הנגר המתפתח בכרם וקליטת הנגר המופנה לכרם מדרך העוברת בגבול הכרם.



איור 10. מבט מהשטח של הדרך התלולה שנפרצה ביער לאורך ובסמוך לתוואי האפיק. (מלבן עליון באיור 9). הדרך תבוטל ע"י פעולות לחסימה, השהיית נגר והפניית עודפי הנגר לעבר היער.



איור 11. מבט מהשטח של הדרך וכרמי הזית בשולי הכרם. (מלבן תחתון באיור 9). כיום הנגר זורם על הדרך לעבר בקעת בית נטופה. הטיפול בהתאם לתכנון כולל הפניית הנגר מהדרך לעבר הכרם. בכרם יבוצעו טרסות אבן להשהיית הנגר והסחף.



איור 12. מיקום האתרים המוגדרים בהם נבחנו פעולות לשימור מים וקרקע: א. ביטול דרך יער על ידי חסימות וקליטת נגר והפניית עודפי הנגר לשטחים קולטי נגר ביער. ב. בחינת משמעות ביצוע טרסות בכרם זית להשהיית הנגר המתפתח בכרם וקליטת הנגר המופנה לכרם מהדרך העוברת בגבול הכרם. ג. בחינת ספיקה ונפח הנגר המתנקזים מהאגן לעבר קו הבדיקה המקביל למוביל המים הארצי.

ג. סופת הגשם:
ניתן להניח כי פעולות שימור קרקע וויסות נגר, בתנאי הקרקע ושיפועי המדרונות, לא תהיינה משמעותיות באירועי קיצון המתרחשים לעיתים רחוקות. בשנים אלו הבקעה מוצפת, כפי שהיה לדוגמה בשנים 1968/1969 ו – 1991/1992.
במטרה לבחון את השפעת הפעולות המתוכננות על וויסות הנגר נבחרה סופת גשם בעלת עוצמות גשם שאינן חריגות. נעשה שימוש במידע סטטיסטי המתבסס על מדידות הגשם בתחנת יודפת הסמוכה, מדידות שהחלו בשנת 1961.
בהרצת המודל נבחרה סופת גשם במהלכה ירדו 45 מ"מ שמשכה 6 שעות שהסתברותה כ – 30%.
הנחה מחמירה – סופת המודל מתרחשת לאחר מספר סופות גשם, בתנאי קרקע רוויה.

הרצת המודל בוצעה בנפרד לגבי נתוני מצב קיים ולנתוני מצב מתוכנן.
ההרצה בוצעה באינטרוול של 0.5 שניות בכדי "להחליק" את המודל ולצמצם אפשרות להתבדרות התוצאות (קפיצות בזרימה).
במצב מתוכנן המודל מורכב יותר עקב השינויים הגיאומטריים הנדרשים להטמעה במודל הקרקעי לצורך יישום הטיפולים המתוכננים בנושאי שימור המים והקרקע.

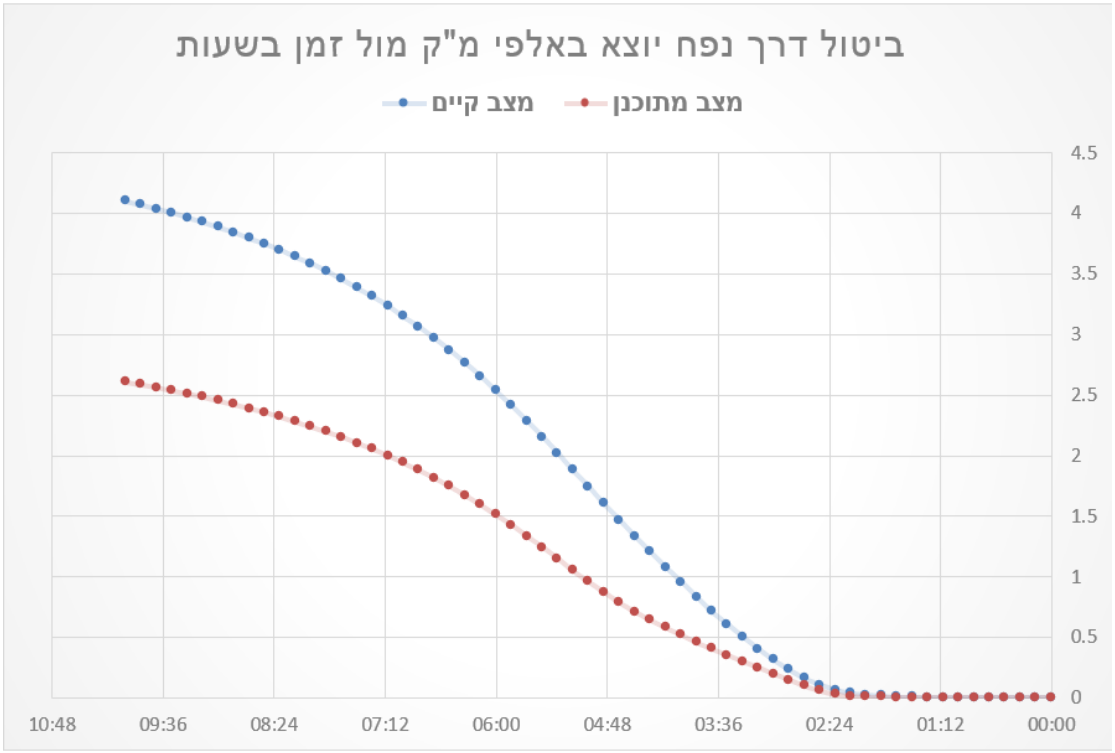
6. תוצאות

בהרצת המודל שבוצעה עבור סופת גשם בת 6 שעות, הזרימה נמשכה 4 שעות נוספות לאחר הפסקת הגשם.

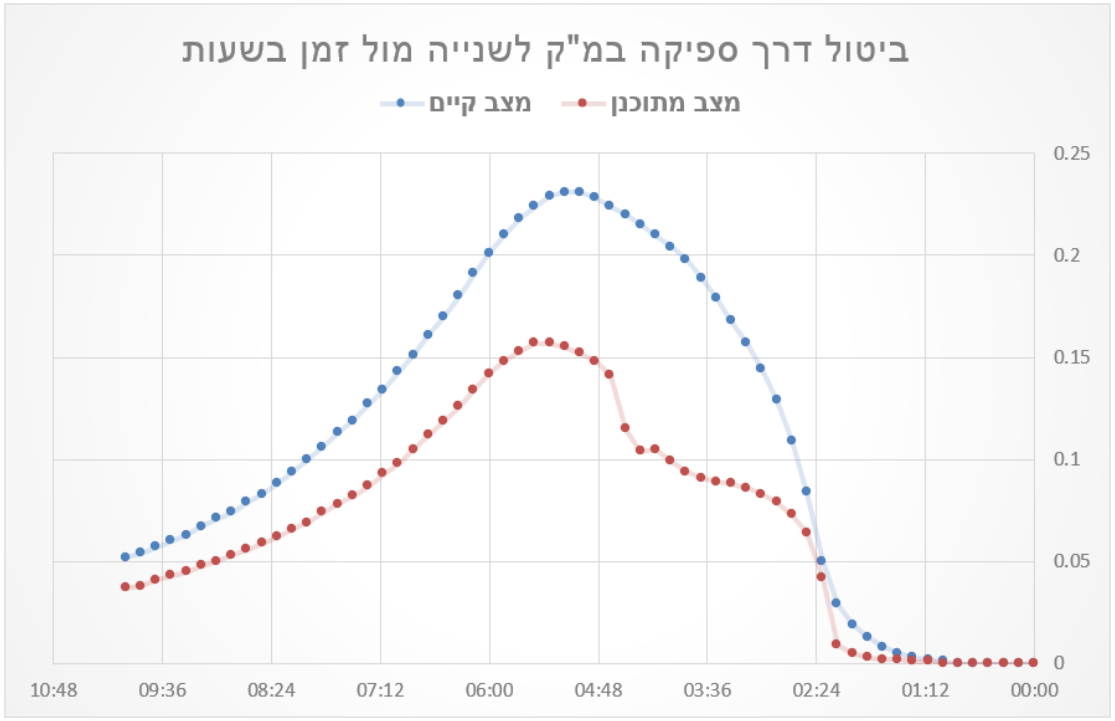
6.1 השוואת הממצאים בין המצב הקיים למצב המתוכנן – טיפול באתרים המוגדרים: א. יער. ב. כרם זיתים. (איורים 13, 14, 15, 16).

התוכנית שהוכנה למדרונות הר אחים כוללת מגוון טיפולים במגוון שימושי קרקע.
לצורך הערכת השפעת הטיפולים בשימושי הקרקע העיקריים בשטח התוכנית – יער וכרם זיתים, נבחנו במודל השפעת הטיפולים המתוכננים ב 2 אתרים מוגדרים:
א. יער - ביטול דרך יער תלולה על ידי חסימות והפניית עודפי הנגר לשטחים קולטי נגר ביער.
הממצאים מלמדים כי הטיפול בדרך היער מסייע בהפחתה בנפח ובספיקות הנגר המתנקז מתחום הבדיקה. במצב הקיים נפח הנגר היוצא מתחום השטח המוגדר ומתנקז לעבר המורד, הינו – 4,100 מ"ק. במצב המתוכנן נפח הנגר הינו - 2,600 מ"ק. למעשה במצב המתוכנן קיימת הפחתה בנפח הנגר המתנקז למורד בשיעור 1,500 מ"ק המהווים הפחתה בנפח הנגר של כ - **40%.**
ספיקת השיא של זרימת הנגר המתנקז מתחום הבדיקה במצב הקיים, הינה 0.23 מ"ק/שניה. במצב המתוכנן ספיקת השיא של זרימת הנגר הינה - 0.16 מ"ק/שניה המהווה ירידה של **30%** בספיקת השיא.

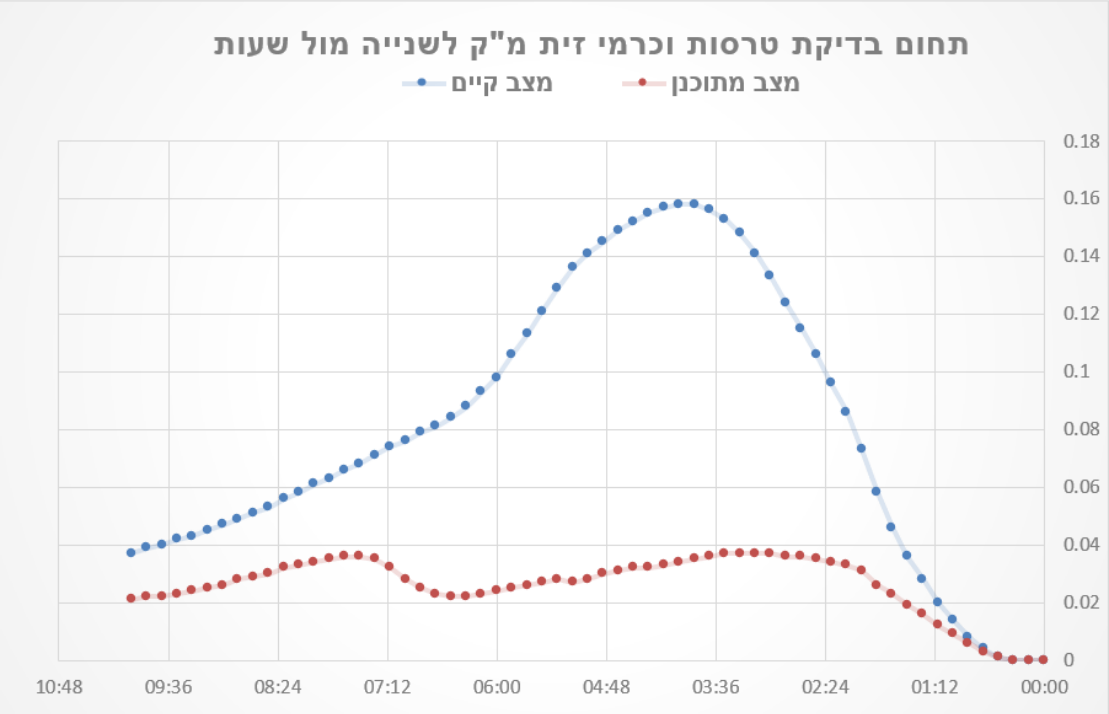
ב. כרם זיתים - הנגר המופנה לכרם מהדרך העוברת בגבול הכרם. הממצאים מלמדים כי נפח הנגר המתנקז מכרם הזיתים והדרכים החקלאיות, במצב הקיים, הינו – 3,000 מ"ק. במצב המתוכנן נפח הנגר היוצא מתחום השטח המוגדר הינו כ- 1,000 מ"ק. כלומר במצב המתוכנן ההפחתה בנפח הנגר הינה בשיעור 2000 מ"ק, המהווה הפחתה של כ – **65%.** הנגר הנותר בשטח, מזין את השטח החקלאי. עודפי הנגר זורמים לשטחי היער והטרשים, תוך כדי הארכת קווי הזרימה וזמן החידור ונקלטים בשטח היער. ספיקת השיא פחתה מ 0.15 מ"ק/שניה ל 0.04 מ"ק/שניה המהווה הפחתה בשיעור של 80%.



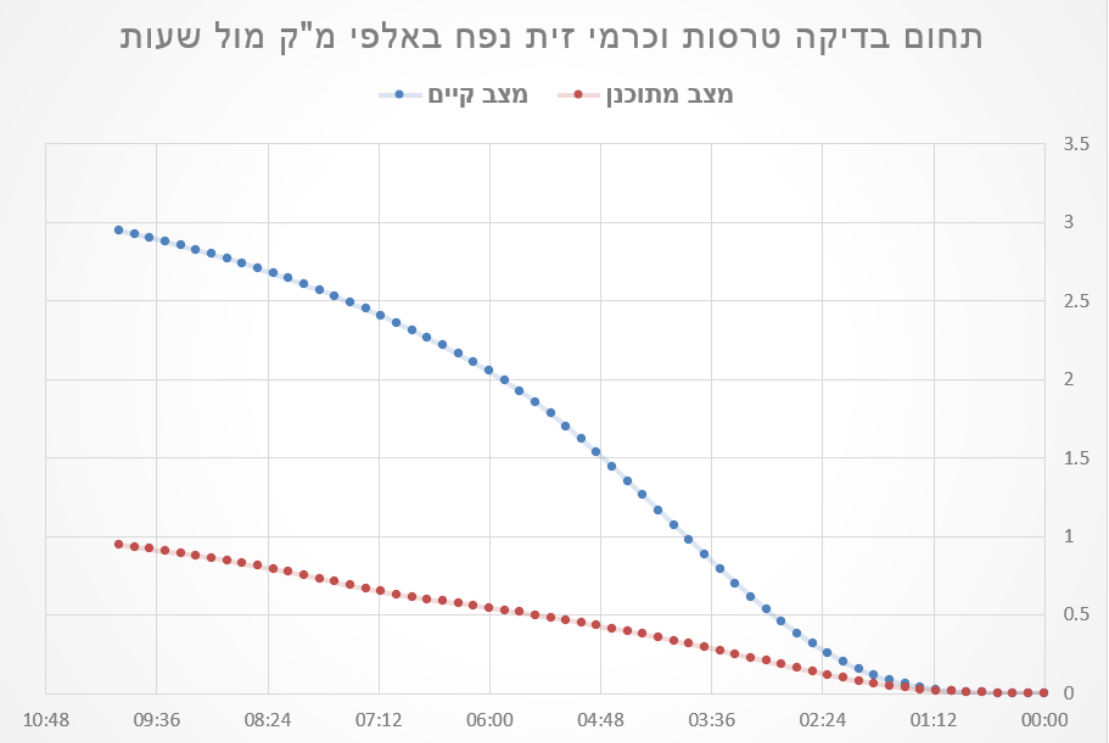
איור 13. נפחי הזרימה המתנקזים מתחום הבדיקה באתר דרך היער, השוואה בין מצב קיים למצב מתוכנן.



איור 14. ספיקות הזרימה המתנקזות מדרך יער במהלך גל גיאות. השוואה בין מצב קיים למצב מתוכנן.



איור 15. ספיקות הזרימה המתנקזות מחלקת כרם אליה הופנה נגר מדרך. בחלקת הכרם בוצעו טרסות להשהיית נגר. השוואה בין מצב קיים למצב מתוכנן.

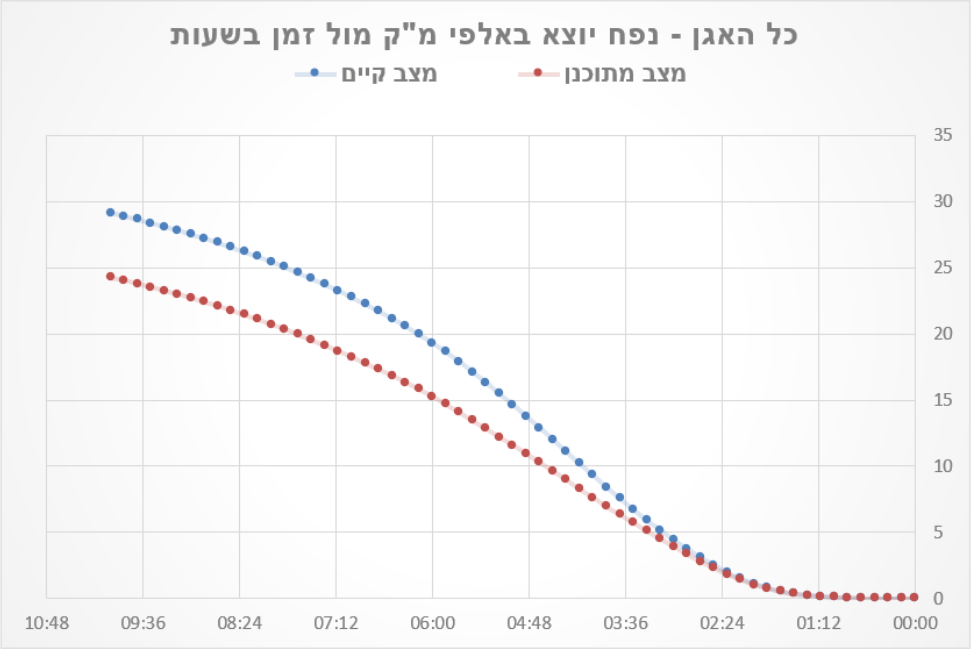


איור 16. נפחי הזרימה המתנקזים מחלקת כרם אליה הופנה נגר מדרך. בחלקת הכרם בוצעו טרסות להשהיית נגר. השוואה בין מצב קיים למצב מתוכנן.

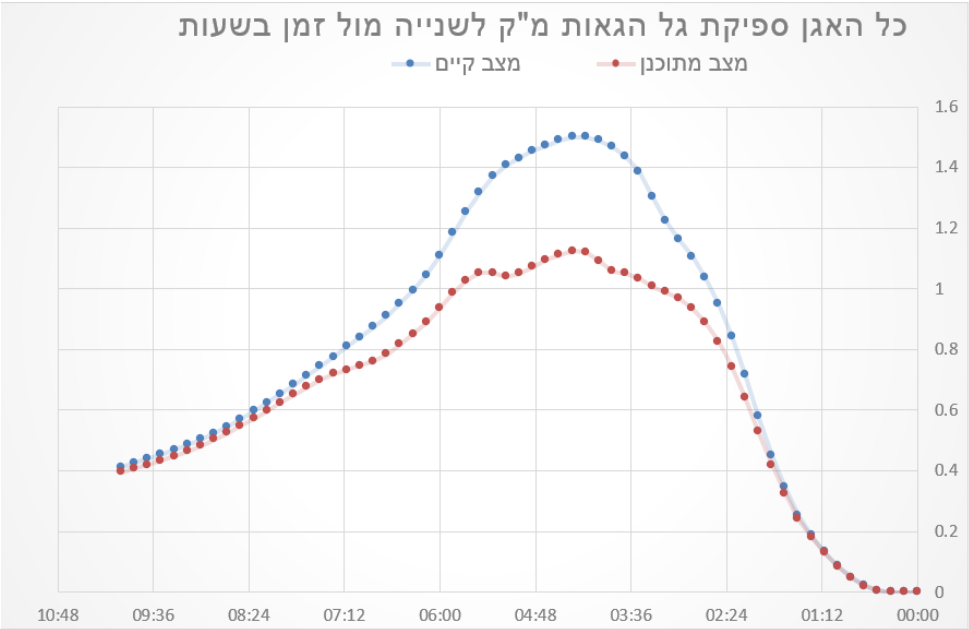
6.2 <u>השוואת הממצאים בין המצב הקיים למצב המתוכנן – נפח וספיקות הנגר מכל תחום האגן.</u>
(איורים 17, 18, 19, 20).

<u>מצב קיים:</u>
נפח הגשם היורד במהלך הסופה באגן ששטחו 3,680 דונם, כ - 165,000 מ"ק.
נפח הנגר היוצא מהאגן ומתנקז לעבר קו התייחסות באורך 2,500 מ' בבקעת בית נטופה במקביל לתוואי למוביל המים הארצי כ - 30,000 מ"ק (כ - %**20** נגר מכלל הגשם שירד באגן).
ספיקת השיא של זרימת הנגר כ - 1.5 מ"ק/שנייה.
<u>מצב מתוכנן:</u>
נפח הגשם היורד באגן במהלך הסופה כ - 165,000 מ"ק.
נפח הנגר היוצא מהאגן ומתנקז לעבר קו התייחסות באורך 2,500 מ' במקביל למוביל כ - 24,000 מ"ק (כ – %**15** נגר מכלל הגשם שירד באגן).
ספיקת השיא של זרימת הנגר כ - 1.1 מ"ק.

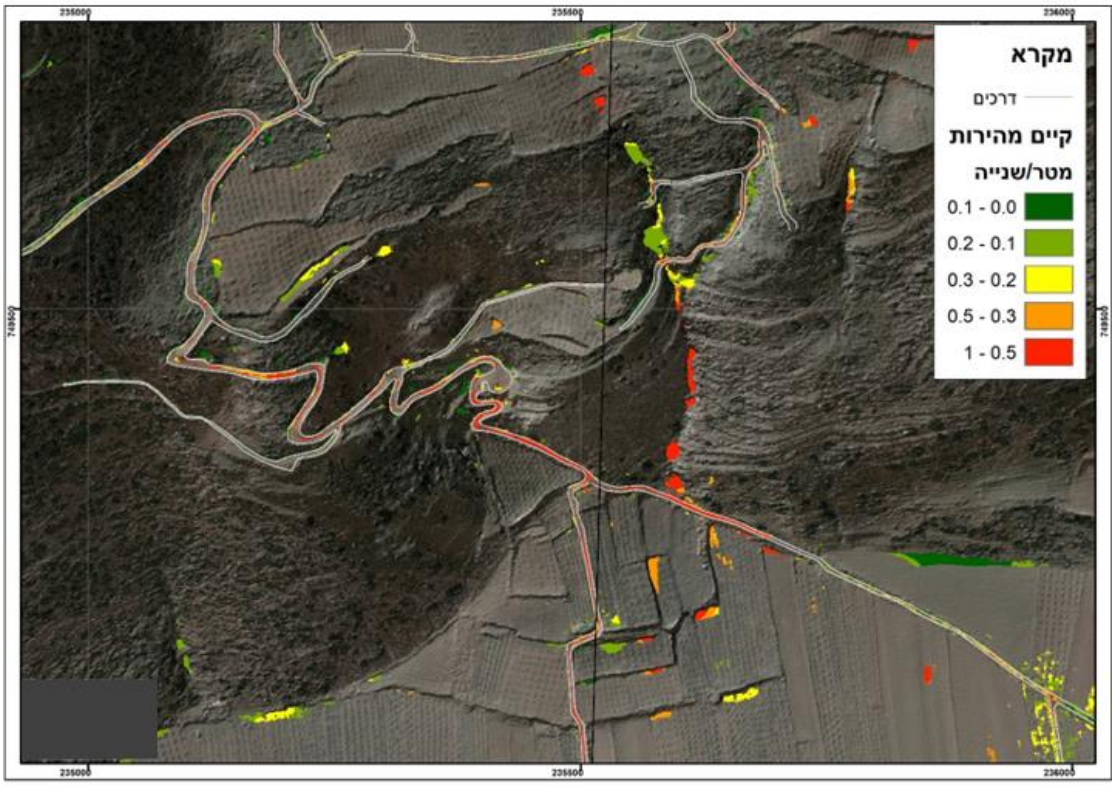
מהירויות הזרימה במצב הקיים גבוהות בהשוואה למצב המתוכנן. תופעה זו ניכרת באתרים שונים באגן ההיקוות, לאורך הדרכים, בשטחים החקלאיים, ובאפיקי הזרימה. הקטנת מהירויות זרימת הנגר במצב המתוכנן מהווה גורם משמעותי בצמצום נזקי סחיפת הקרקע בשימושי הקרקע השונים באגן ההיקוות.



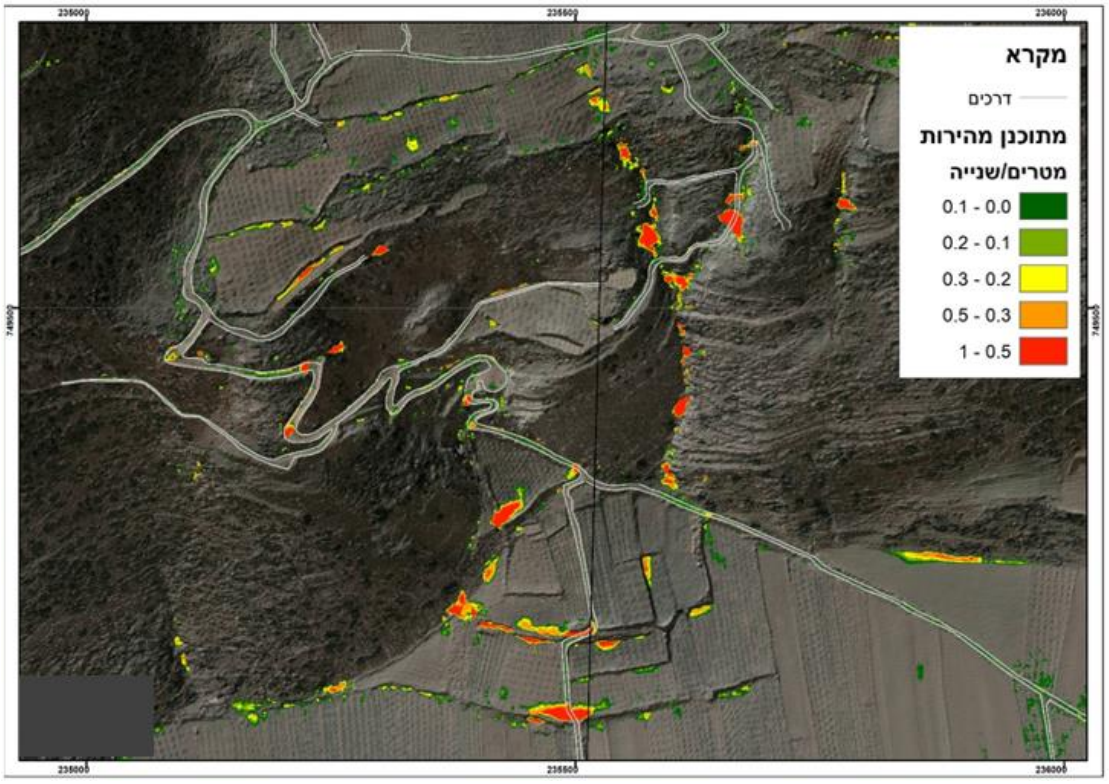
איור 17. נפח הנגר היוצא מכלל שטח האגן ומתנקז לעבר בקעת בית נטופה. השוואה בין מצב קיים למצב מתוכנן.



איור 18. ספיקות הזרימה היוצאות מהאגן ומתנקזות לעבר בקעת בית נטופה במורד. השוואה בין מצב קיים למצב מתוכנן.



איור 19. תוצאת מהירויות זרימת הנגר במצב הקיים.



איור 20. תוצאת מהירויות זרימת הנגר במצב המתוכנן.

7. <u>סיכום ומסקנות</u>

- ההערכה הכמותית מלמדת כי לפעולות המתוכננות לשימור המים והקרקע במגוון שימושי הקרקע, במדרונות הר אחים בשטח שגודלו כ – 3.6 קמ"ר, עשויה להיות השפעה בוויסות הנגר. וויסות הנגר מתבטא בהקטנת נפחי וספיקות הזרימה באתרים ממוקדים שנבחנו בשטח היער ובשטח החקלאי וכן בכלל האגן.
השפעת הטיפולים באה לידי ביטוי במצב המתוכנן גם בהפחתת מהירויות הזרימה במגוון שימושי הקרקע בשטח האגן. הקטנת מהירויות זרימת הנגר עשויה לתרום באופן משמעותי להפחתת תהליכי סחף הקרקע באגן.
- מבחינת הפעולות המתוכננות בשטחים המוגדרים שנבחנו ביער ובכרם זיתים, עולה כי קיימת הפחתה בנפחי הנגר ובספיקות הזרימה. ביער נמצאה הפחתה בנפח הנגר בשיעור של כ – 40% וירדה של 30% בספיקת השיא. בשטח החקלאי נמצאה הפחתה בנפח הנגר בשיעור של כ – 65% וירדה של 80% בספיקת השיא.
- הממצאים מלמדים כי במצב המתוכנן, בתנאי סופת הגשם שנבחנה והקרקע הרוויה, קיימת ירידה בנפח הנגר היוצא מהאגן ומתנקז לעבר הבקעה במהלך הסופה, בשיעור של 20% בהשוואה למצב הקיים. למעשה כ - 6,000 מ"ק מי נגר שהיו מתנקזים מהאגן לעבר בקעת בית נטופה במהלך סופה אופיינית במצב הקיים, צפויים להישאר באגן, במצב המתוכנן.
במצב המתוכנן קיימת ירידה בספיקת שיא הזרימה בשיעור 25%. ירידה בספיקת שיא הזרימה משמעותה, בין השאר, ירידה בשיעורי סחף הקרקע באגן. יש לציין כי במצב המתוכנן נבחנו כל הפעולות שתוכננו להתבצע בדרך הנוף ההררית-בקעת בית נטופה ומרבית הפעולות לוויסות הנגר בשטח היער. ככל שיתפתח שיתוף הפעולה עם החקלאים ויתאפשר לבצע את הפעולות לוויסות הנגר גם בשטח החקלאי יקטנו עוד יותר נפחי הנגר וספיקות השיא שמתנקזים אל הבקעה.
- התוכנית לוויסות זרימות הנגר במדרונות הר אחים התמקדה בוויסות הנגר שהינו תוצר פעולות האדם. תרומת הפעולות המתוכננות לשימור מים וקרקע במדרונות הר אחים עשויה להתבטא במגוון נושאים:
הקטנת נפחי הזרימה המתנקזים לבקעת נטופה וגורמים להצפת שטחים חקלאיים.
הקטנת נזקי הסחיפה הקיימים כיום במגוון שימושי הקרקע במדרונות הר אחים - בדרך הנוף, בשטחי היער ובשטחים המעובדים.
התרומה בשימור המים במדרונות הר אחים עשויה לתמוך במערכות האקולוגיות המאפיינות את המדרונות בהר.
- אורך קו המגע של האגן שנבחן עם בקעת בית נטופה מהווה כ – 10% בלבד מההיקף הכולל של בקעת בית נטופה. תוצאות ומסקנות העבודה שבחנה את וויסות הנגר במדרונות הר אחים, יכולות לשפוך אור על הפוטנציאל הטמון בביצוע פעולות וויסות נגר ושימור הקרקע באגנים נוספים לצמצום ההצפות בבקעת בית נטופה.