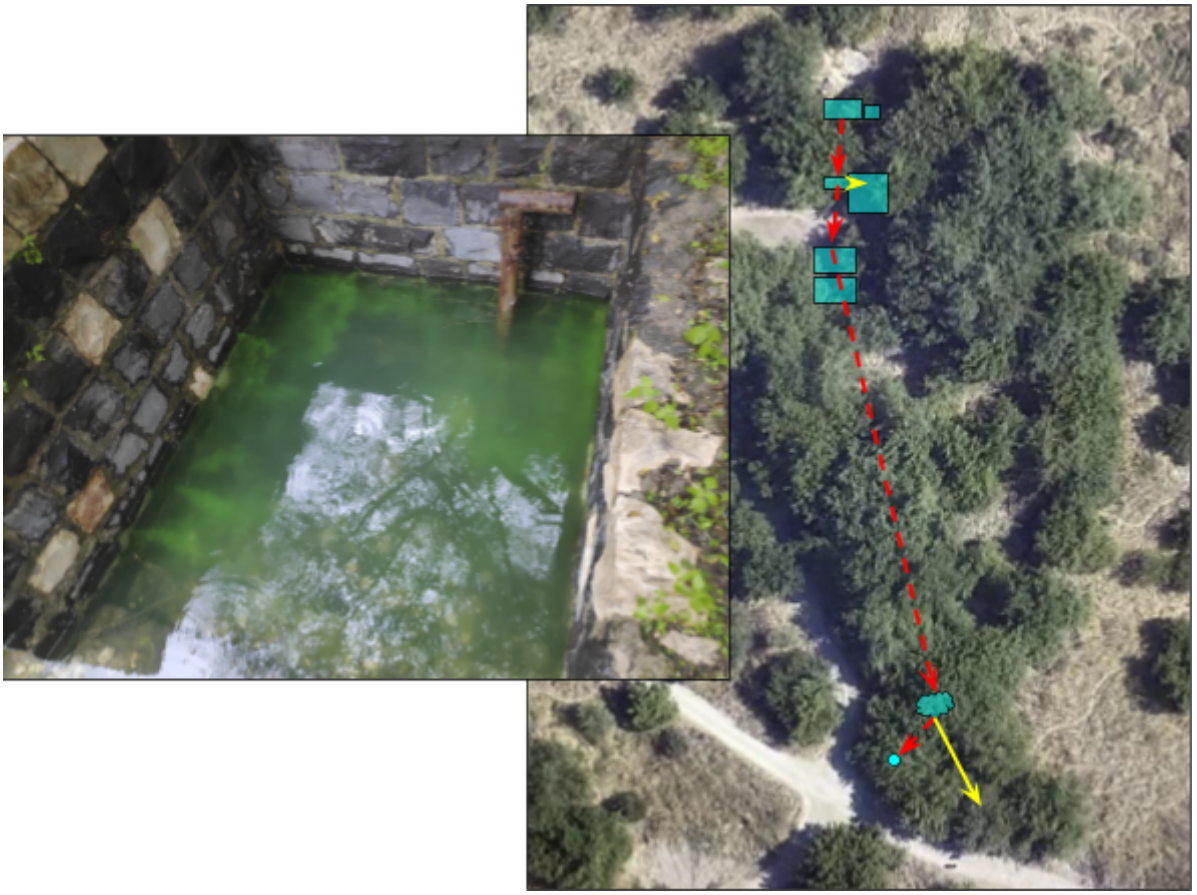
חוות דעת הידרולוגית עין חוקוק



פברואר 2023

תקציר

מסמך זה הוכן ע"י Rainsource עבור קרן קיימת לישראל – יחידת המדען הראשי לבקשת ד"ר אורית סקוטלסקי, לצורך מתן ידע הידרולוגי של אתר חוקוק כחלק מתהליך התכנון של אתר זה. אתר חוקוק נמצא בשלבי תכנון לקראת הסדרתו לאתר קולט קהל. במסגרת הסדרה זו יוקם מבנה, מתחמי חניה ויוסדר השימוש התיירותי באתר.

כשם שהמעיין עין חוקוק נובע בלב גבולות האתר וכלל מוקדי העניין בגבולות האתר מבוססים על קיומו של מעיין זה לאורך ההיסטוריה, כך נושא המים הוא מרכזי לתכנון האתר ומגיע אליו מכיוונים שונים, תרתי משמע.

חוות דעת זו מתייחסת לבעיות וההזדמנויות המרכזיות הקשורות למים באתר:

1. הידרולוגיה עילית - נגר עילי באתר. בעייה משמעותית עקב קליטת נגר רב מתשתיות הסמוכות לאתר.
2. מערכת המים הקדומה - על מתקניה השונים והקשר ביניהם מנקודת המבט של המים. מערכת זו צמודה למעיין, נמצאת בתהליך חפירה ולמידה על ידי רשות העתיקות ועתידה להיות מונגשת לקהל הרחב.
3. שיקום מערכות מים טבעיות - מעיין ונחלים. פוטנציאל משמעותי לשיפור מצב האתר מבחינה אקולוגית.

העבודה מתחלקת לשלושה פרקים:

פרק א - הידרולוגיה עילית
פרק ב - שיקום מערכות מים טבעיות - מעיין ונחלים
פרק ג - מערכת המים הקדומה

בכל פרק:

- רקע רלוונטי
- ממצאי שטח
- מסקנות בנוגע למצב קיים ומתוכנן
- המלצות להטמעה בתכנון

אם חלקים ממסמך זה כתובים בלשון זכר זה מתוך כך היא הצורה שאנחנו נוקטים כשאין לנו צורך להבחין במין – כלומר היא הצורה הסתמית, הלא מסמנת. אין בדבר כוונת ביטול או פניה רק לזכר.

סיכום המלצות

להלן סיכום כל ההמלצות במסמך זה

רכיבי המערכת הקיימים



1- בור (*בדופן הצפון מזרחית שלו הרחבה לבור נוסף בדיפון בלוק בטון מודרני) , 2- בריכה קטנה. 3- בית המעיין .4- בריכת שוקת וצינור .5- חפירה סמוכה 6- אזור בצבוץ. 7- קצה צינור בטון. 8- שוקת שבורה

המלצות פרק א - הידרולוגיה עילית

1. נגר עילי נכנס: מומלץ ביותר להתייחס בכובד ראש לניהול נגר הנכנס ממעלה האגן, בתוך כך נכללות פונקציות כגון: שיכוך אנרגיה בכניסה לאתר וחצייה בטוחה של האתר
2. נגר עילי מהאתר: לאור איכות המים הגבוהה והכמות הנשלטת הצפויה ולאור הפער בין זו לבין הנגר העילי הנכנס לאתר מהמעלה, יש לתת את הדעת על החיבור בין שתי מערכות הנגר ואף לשקול את הפרדתן ככל הניתן.
3. מניעת סחף בעתיקות - תכנון וניהול נכון של התל הארכיאולוגי יכול לצמצם משמעותית את תהליכי הבליה וההסעה הפוקדים רבים מאתרים אלו באופן מוגבר.
4. דרכי עפר ומצעים - ניהול נגר עילי באתר החל מרמת התכנון הכוללני ועד בתכנון המפורט, ימנע או לכל הפחות יפחית משמעותית את הנזקים לדרכים ובמורד מהן. בתוך כך ראוי לשקול מתווה לתכנון ותחזוקת דרכים אלה הכולל שילוב אמצעים ונהלים המתייחסים לסכנות הצפויות להן באתר זה.
5. התייחסות לנגר כמשאב - אתר חוקוק מחד נמצא במקום יובשני יחסית לאקלים הים תיכוני ומאידך ניחן בקרקע בעלת תאחיזת מים טובה. זאת בשילוב למקורות שונים למי נגר עילי: נגר עילי הנכנס אל האתר ונגר עילי הצפוי להיות מיוצר באתר יוצרים הזדמנות המתבקשת למימוש למען קהל המבקרים, החי והצומח במקום ומשק המים בכלל.

המלצות פרק ב - מערכת המים הקדומה

1. שכשוך - לצורך בריכת שכשוך, בית המעיין הוא כנראה הפתרון הטוב ביותר,
2. ההזנת בריכה אקולוגית - למען קבלת זרימה באיכות ובספיקה מקסימלית במורד לחורשת השיזפים, יש לנתב את המים ישירות מהבריכה הקטנה ע"י צינור מעקף חדש. לפני כן מומלץ:
   א. לחפור לקרקעית הבריכה הקטנה.
   ב. לאתר יציאות נוספות, ככל שאלה קיימות, מהבריכה הקטנה.
   ג. לאפיין במדויק את הקישוריות ההידראולית בין הבריכה הקטנה לבריכת השוקת והצינור, כדי לאפשר את המשך הזנתה של השניה.
   ד. לחשוף רכיבי מערכת נוספים ככל שקיימים.
3. המשך חפירות
   א. אם רוצים לשמור את החפירות ריקות ממים נקודת השאיבה או הסתת המים היא מהבריכה הקטנה ולא
   ב. בית המעיין כפי שהומלץ בדו"ח מה16.11.2022.
   ג. פינוי וניקוי הבריכה הקטנה למציאת המוצאים מבריכה זו
   ד. חפירה בין הבור והבריכה הקטנה למציאת החלל
   ה. חפירת הרחבה בין הבריכה הקטנה בית המעיין ובריכת השוקת

המלצות פרק ג - שיקום מערכות מים טבעיות

בתיאום עם המלצות פרק 6 ב מסמך "עין חוקוק – ממצאי סקר אקוהידרולוגי והמלצות לתכנון, שיקום וממשק". ד"ר א. אלרון וחוב'

1. תכנון אתר המקפיד על הפרדה באתר בין האזורים עם זיקה אקולוגית המיועדים לשיקום אקולוגי, לבין אזורים המונגשים למבקרים.
2. ייעוד מי המעיין לשיקום אקולוגי.
3. שימוש ישיר במי המעיין (הישר מהבריכה הקטנה)
4. לחזק את הצד האקולוגי האקווטי באתר חוקוק ע"י יצירה של בתי גידול לחים נוספים וטבעיים יותר.
בהעדפה במורד הצינור שמוביל את מי המעיין אל קצה חורשת השיזפים, ומשם למורד. זהו מקטע שההפרה בו נמוכה והוא מרוחק מאתר ההנגשה הראשי.
5. מוצע להוסיף לחלופה שנבחרה לפיתוח האתר 2-3 בריכות אקולוגיות
6. שיקום אקולוגי של בתי גידול לחים באזור ראש הנביעה ובית המעיין פחות מומלצים בהשוואה לאזור שמוצע במורד החורשה
7. שיקום הידרולוגי ואקולוגי הכולל את תכנון והקמת הבריכות. דורש שלב תכנון מפורט בו שותפים הידרולוג, אקולוג אקווטי ואדריכל
8. טיפול ושיקום הרצף ההידרולוגי, מוצאות 2 חלופות, החלופה המומלצת היא ביטול דרך העפר היורדת לכיוון מאגר ליבנים.
9. טיפול בצומח
10. צמצום השפעת רעיית הבקר

תוכן עניינים

1. מבוא

פרק א. הידרולוגיה עילית
- 2.1 הידרולוגיה עילית - רקע
- 2.2 הידרולוגיה עילית - ממצאי שטח
- 2.3 הידרולוגיה עילית- מסקנות
- 2.4 הידרולוגיה עילית - המלצות לתכנון

פרק ב. מערכת המים הקדומה
- 3.1 עין חוקוק ומערכת המים הקדומה - רקע
- 3.2 מערכת המים הקדומה - ממצאי שטח
- 3.3 מערכת המים הקדומה - מסקנות
- 3.4 מערכת המים הקדומה - המלצות לתכנון

פרק ג. שיקום מערכות מים טבעיות - מעיין ונחלים
- 4.1 שיקום מערכות מים טבעיות - רקע
- 4.2 שיקום מערכות מים טבעיות - ממצאי שטח
- 4.3 שיקום מערכות מים טבעיות - מסקנות
- 4.4 שיקום מערכות מים טבעיות - המלצות לתכנון

5. מקורות ספרות

נספחים
- נספח א: נתוני אקלים
  - משקעים
  - טמפרטורה
- נספח ב: תיעוד מבדיקת הצבען
- נספח ג: עין חוקוק - רקע היסטורי

1. מבוא

1.3 כללי

תאריך: 19/02/23
הוכן ע"י: Rainsouce, אורי שפר וראובן ארביב

דוח זה נכתב על בסיס:

- מצגת חלופות תכנון מספטמבר 2022 של משרד אדריכלים שלמה אהרונסון
- "עין חוקוק – ממצאי סקר אקוהידרולוגי והמלצות לתכנון, שיקום וממשק" מ28.08.22, אלרון וחובריו.
- סיורים באתר בתאריכים 16.11.2022 ו 26.12.2022.

1.4 מטרות

1. עבודה זו באה לסקור ולתאר את תמונת המצב ההידרולוגית הכללית בשטח תכנון אתר חוקוק, בכל היבט שידוע או העולה כי עשוי להשפיע באופן מהותי על תכנון ופיתוח האתר ותפקודו לטווח הארוך.
2. גיבוש עקרונות לתכנון והמלצות תכנוניות ראשוניות על פי תמונת המצב המתגבשת.

1.5 רקע כללי

אתר חוקוק הממוקם במזרח הגליל התחתון בין קיבוץ חוקוק לקיבוץ קדרים, סמוך וממזרח לכביש 65 הוא אתר טבע ומורשת, המכיל נביעה טבעית, זרימה, שטחים פתוחים ועתיקות.

האתר שרוי בשלבי תכנון, אותם מובילה קק"ל, לקראת פיתוחו לאתר קולט קהל. האתר צפוי להכיל מבנים, סככות, דרכים ושאר תשתיות.

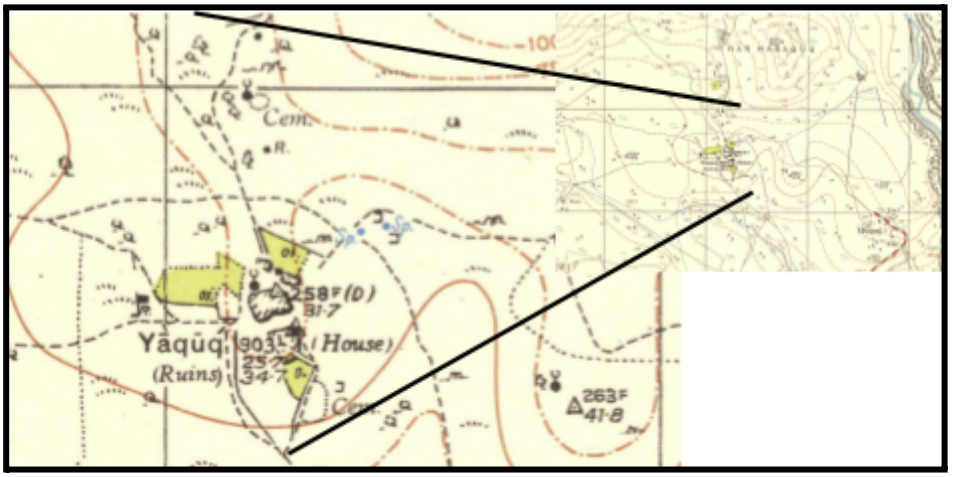
פרק א. הידרולוגיה עילית

2.1 הידרולוגיה עילית - רקע

ההידרולוגיה העילית היא חקר מערכת המים העיליים, כלומר המים הזורמים וניקווים על פני הקרקע (נגר עילי). למען הבנת מערכת באזור מסויים, יש ללמוד על מרכיבי המערכת המשפיעים על מאזן המים העיליים בה, כלומר המרכיבים התורמים או גורעים מים מהמערכת ובנוסף על המרכיבים המשפיעים על מאפייני המים במערכת באותו האזור.

בתת פרק זה מקובצות להלן מפות המספקות מידע בסיסי על המרכיבים הנ"ל למען הרכבת תמונת מצב הידרולוגית כללית לאזור אתר חוקוק.

2.1.2 היסטוריה



במפה מ1941 (עדכון 1956) מסומנות שתי נביעות סמוכות מאד זו לזו באותו מיקום ארכי בתוואי הנחל.
כיום ידוע על נביעה אחת בעין חוקוק.
בשלב זה לא ידוע אם שתי הנביעות המסומנות במפה זו מעידות אכן על נביעה נוספת לזו הידועה לנו כיום, או על העובדה שקיימות מספר בריכות באתר.

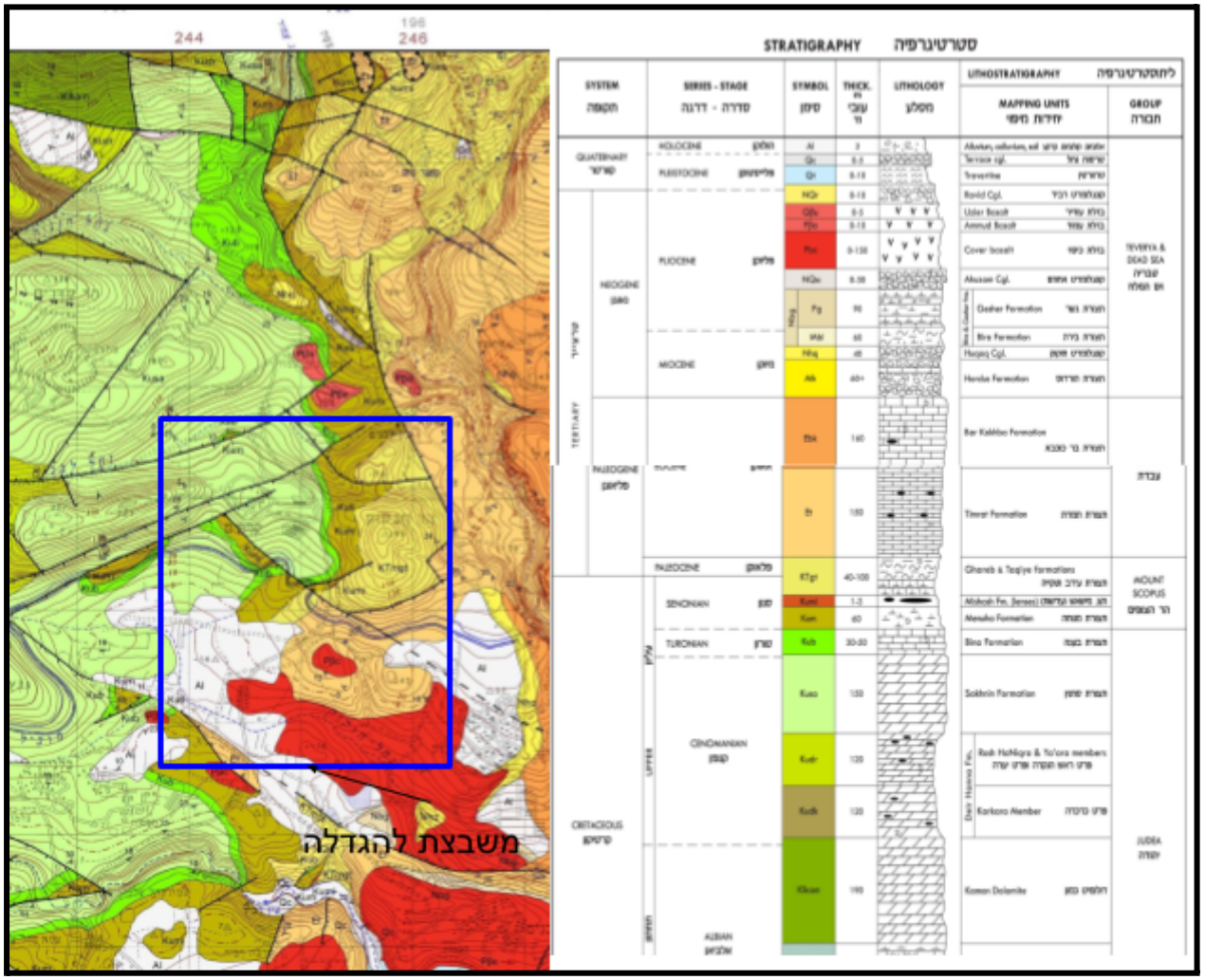
2.1.3 אקלים

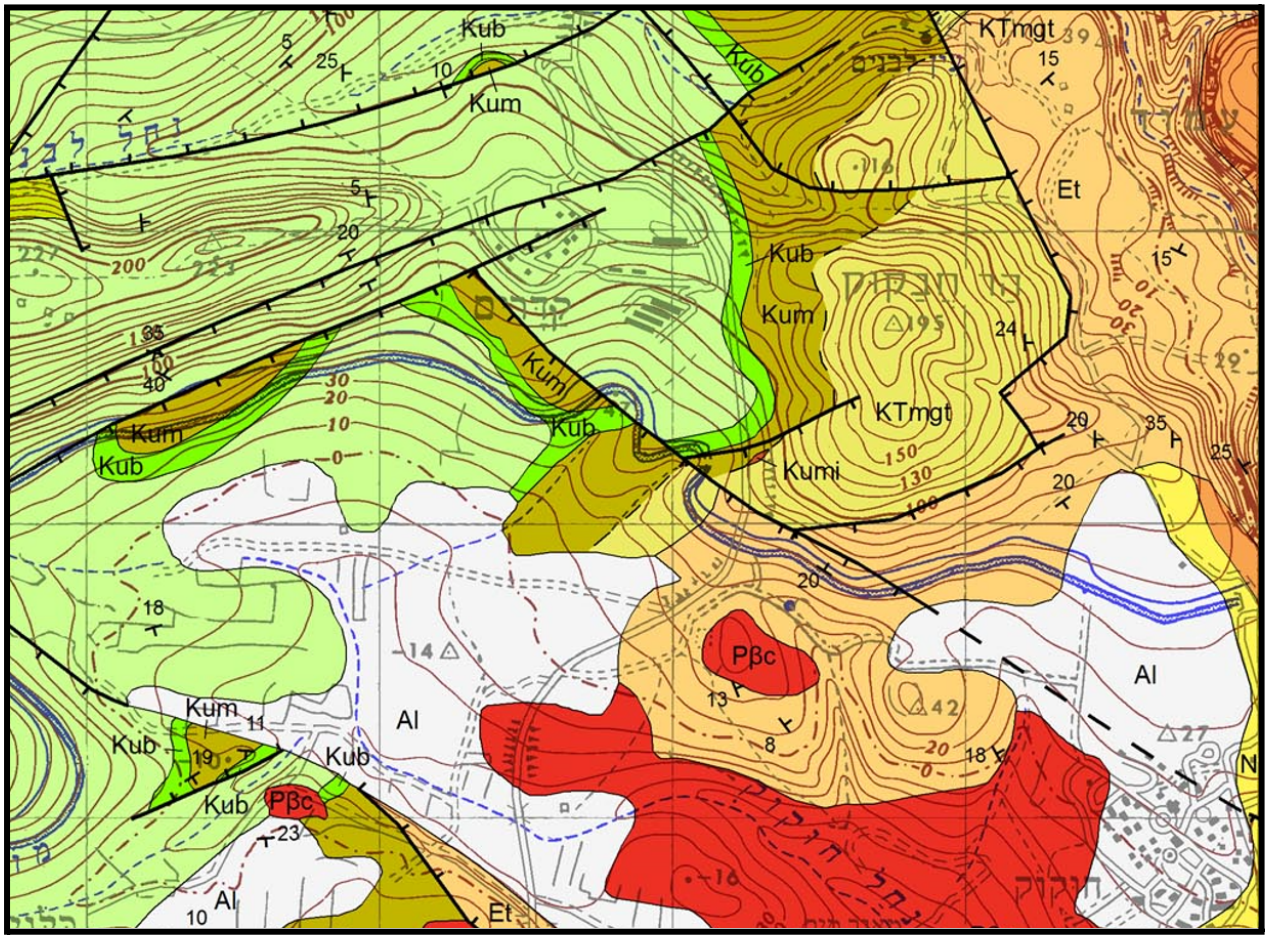
לטבלאות ומפות האקלים ראה נספח א

סיכום מאפייני אקלים

אזור חוקוק נמצא באקלים ים תיכוני, בעל כמות משקעים נמוכה יחסית לאקלים זה (דומה לזו שבאזור גוש דן). כמות ימי הגשם בו אינה גבוהה. זאת בשילוב עם לחות יחסית ממוצעת נמוכה וטמפ' ממוצעת גבוהה מלמדים כי האזור יובשני אף יותר מהסתכלות על כמות המשקעים השנתית לבדה ומאפיין שולי מדבר בצל גשם, המאופיין בין השאר מסטיית תקן משמעותית מממוצע המשקעים הרב שנתי.

2.1.4 גיאולוגיה





מקור: המכון הגיאולוגי, גיליון ארבל מאת ר. בוגוש וע. סנה, יצא לאור בשנת 2008 (עידכון חלקי, 2014; 2021).

בשטח האתר המתכונן שולטת תצורת תמרת (Et) מחבורת עבדת. להלן ציטוט מעבודת הדוקטורט של ניר הר (2008) המתאר את התצורה והקרקעות האפיינוית לה:

> בתצורת עדולם ובחלקה העליון של תצורת מרשה קיימת אחידות יחסית בהשתרעותן המרחבית. תצורת תמרת שקעה תוך כדי תהליך של הצפות ונסיגות, במגמה הכללית של העמקת הים עם הזמן. בים הרדוד במזרח שקעה אבן גיר, ובאזן היבשת ובים הפתוח במערב שקע קרטון. כתוצאה מכך, תצורת תמרת מכילה שכבות אבן גיר וקרטון לסירוגין, כשהשכבות הקרטוניות מתרבות כלפי מערב ועם העלייה למעלה בחתך הסטרטיגרפי *(איור 1.2)*.
>
> תופעה אופיינית נוספת לתצורת תמרת (כמו גם למקבילותיה במרכז ובדרום הארץ) היא גלישות* רבות של קטעי שכבות ושל סדימנטים בלתי מגובשים עדיין ובלתי יציבים, שהתקיימו בבוץ הקרבונטי בחלק העליון של מדרון היבשת בים תוך כדי שלבי התקשות הסלע (בוכבינדר וחוב', 1986; קורנגרין, 1993; חצור וחוב', 1994). מעברי השיכוב המקורי, הגלישות ושברים קטנים רבים שנוצרו לאחר מכן, גורמים למעברים רבים ובלתי רגולריים מאבן גיר לקרטון. למעשה המעברים בשטח הינם רבים מאלה המופיעים במפות.

ד. הקרקעות באזור: תכונות ואפיונים

על אבן גיר של תצורת תמרת נמצאת קרקע טרה רוסה חומה-אדומה (הר, 1998). על קרטון מכוסה נארי הנמצא בקרבת אבן הגיר של תצורת תמרת עשויה להיות רנדזינה חומה-אדומה. על קרטון קשה או קרטון עם נארי של תצורות עדולם, תמרת או מראשה קיימת רנדזינה חומה (דלת גיר חרסיתית). הגורמים המשפיעים על הצבע הם בעיקר מידת הגירניות וכמות החומר האורגני. על קרטון חוואר של תצורת בירה (ראה לעיל) או קונגלומרט המכוסים נארי, נמצאת בדרך כלל רנדזינה חומה (מכילת גיר חרסיתית). על חואר או קרטון חוארי ללא נארי של תצורת טקיה נמצאת רנדזינה בהירה קרטונית או חוואריה.

להלן נתונים של תכונות קרקע שנמדדו באזור המחקר (רביקוביץ, 1992; הר, 1998; Singer, 2007; לעיון נוסף, ראה *נספח A4*):

<u>חרסיתיות</u> - הטרה רוסה והרנדזינה החומה-אדומה הן במרקם של חרסית כבדה *(איור 1.4)*. הרנדזינות החומות דלות הגיר הן במרקם של חרסית כבדה-בינונית, והרנדזינה הבהירה החוואריה היא חרסית בינונית, או חרסית קלה או חרסית חולית.

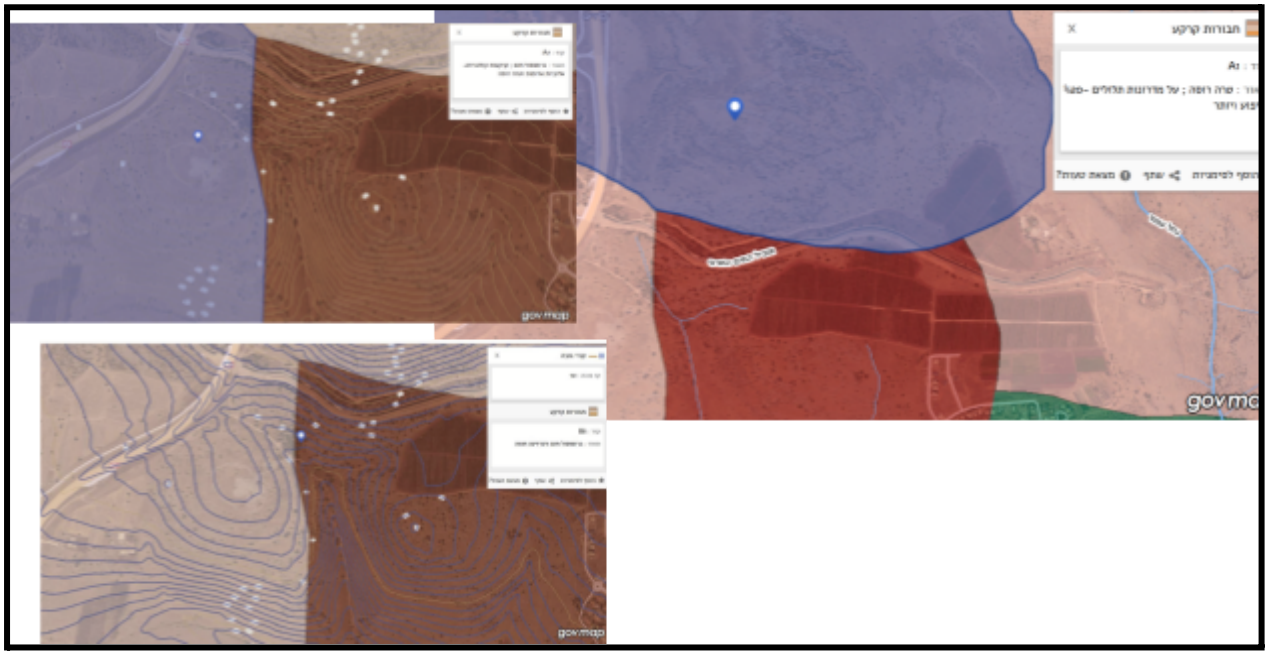
<u>תאחיזת מים</u> - הרטיבות המשקלית ברוויה (כולל על-רוויה במצב תפיחה) היא 0.85-1.02 (תכולת רטיבות מתוך 1.0, חסר מימד). רטיבות משקלית ב- 1/3 בר (קיבול שדה בקירוב) היא 0.32-0.48 והרטיבות המשקלית ב- 15 בר (נקודת כמישה בקירוב) – 0.23-0.28. תחום המים הזמינים* (בין 1/3-15 בר) הוא 0.12-0.18 משקלי.

אין הבדל משמעותי בין כלל קרקעות הטרה רוסה והרנדזינה בטווחי תאחיזת המים. אולם, ברנדזינה חומה-אדומה התאחיזה הינה גבוהה מזו של הטרה רוסה החומה אדומה בכל המתחים; ברנדזינה החומה של חג'גירה (שם נמדדו מדדים של עצים במצב פיסיולוגי המשופר ביותר), תאחיזת המים הינה הגבוהה ביותר; קרקעות רנדזינה חומה מכילת גיר הינן בעלות התאחיזה הנמוכה מבין הרנדזינות החומות. ברנדזינה בהירה תכולת הרטיבות הינה הנמוכה ביותר במצב של מתח מים גבוה.

<u>צפיפות גושית</u> - בטרה רוסה ורנדזינה חומה או חומה אדומה – 1.66-1.82 ג'\סמ"ק; ברנדזינה בהירה 1.36 ג'\סמ"ק.

הר 2008

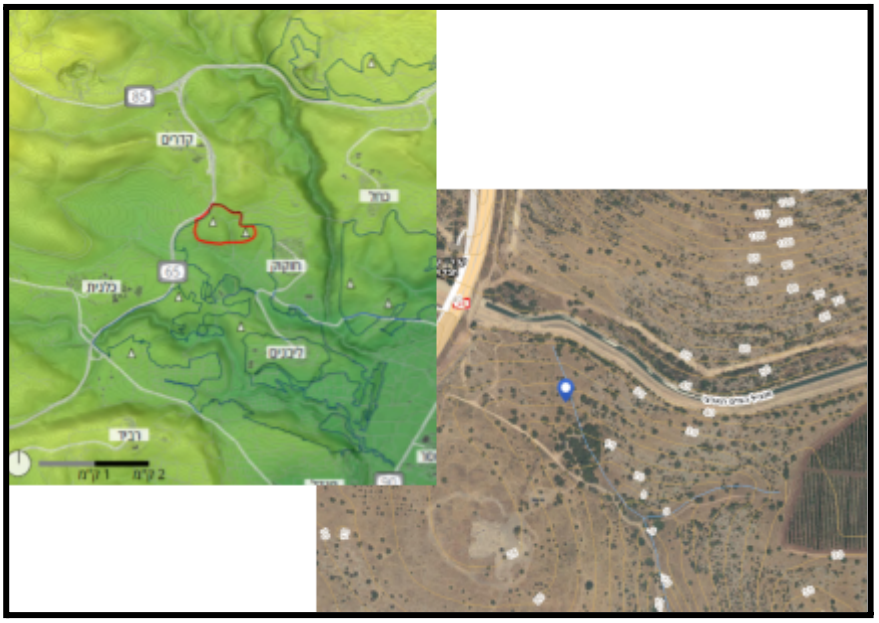
2.1.5 קרקעות



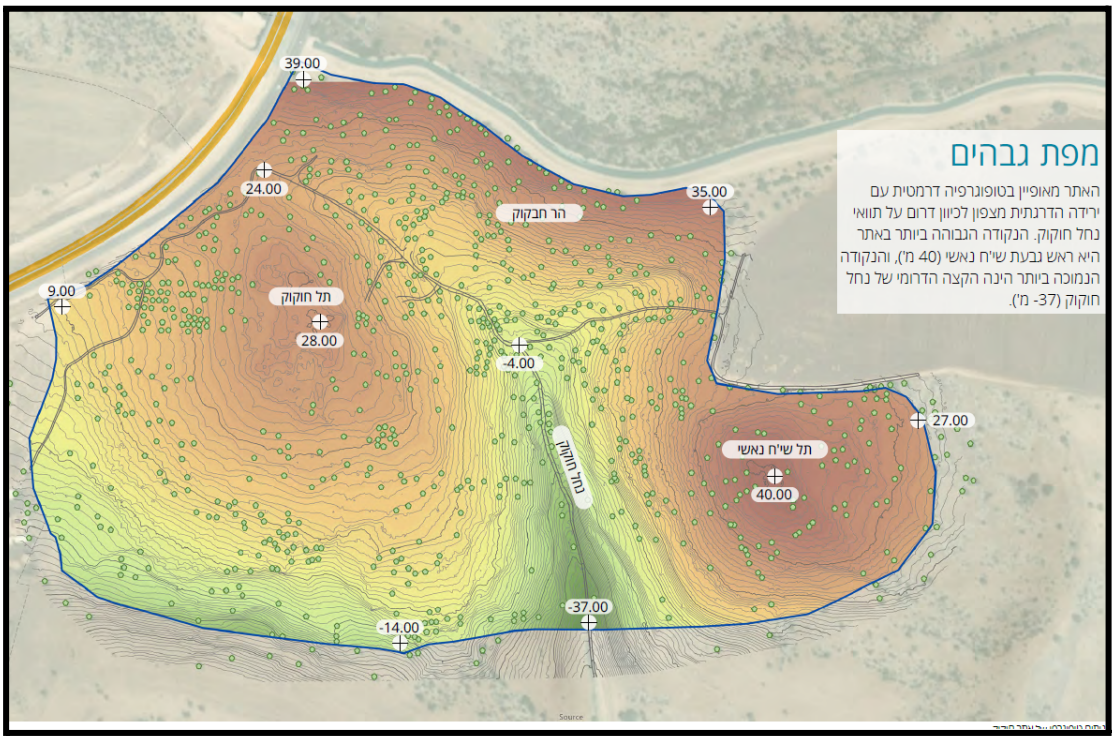
מקור: אתר govmap.gov.il

2.1.6 טופוגרפיה

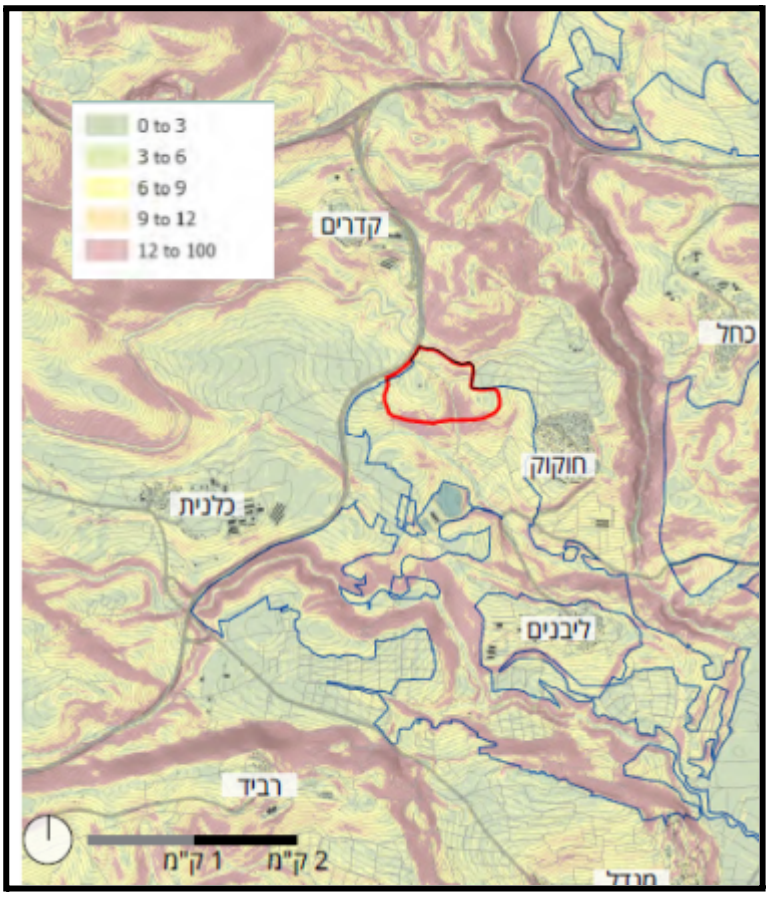
2.1.6.1 גבהים



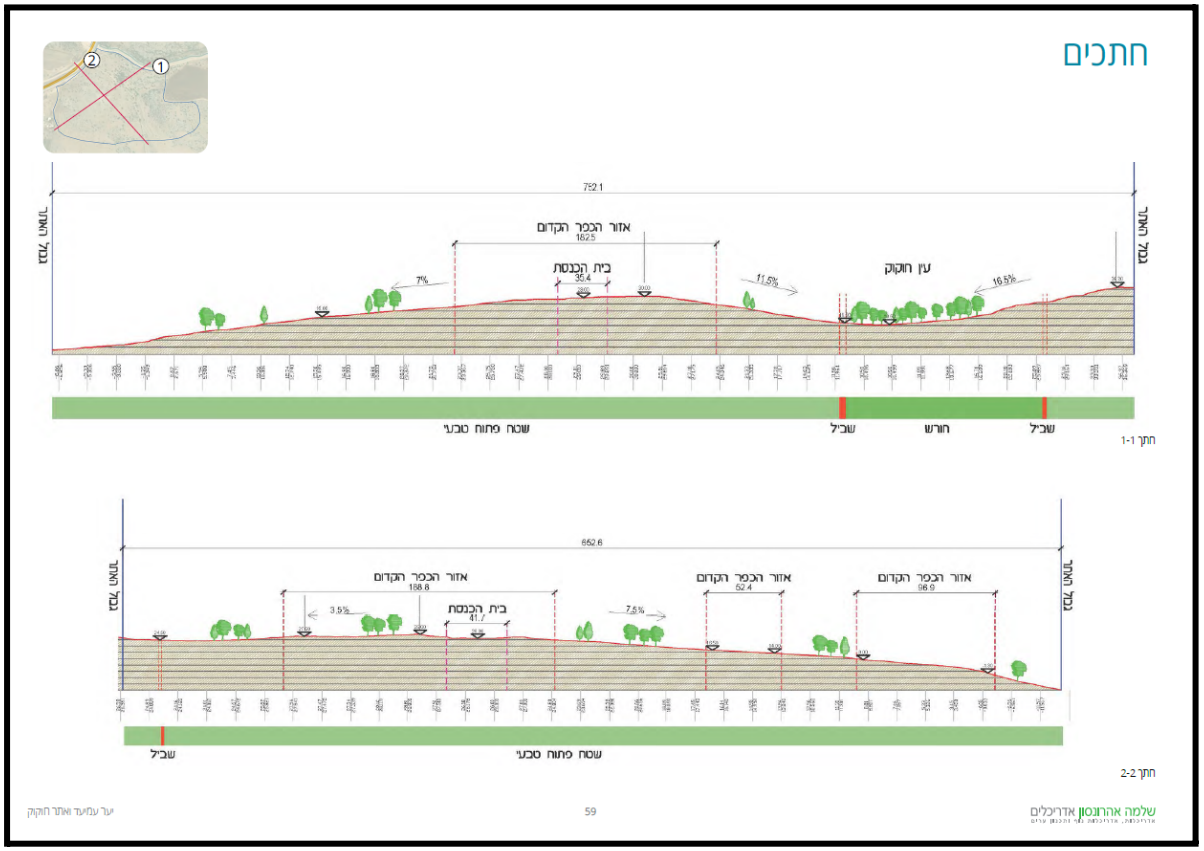
למעלה: מפת קוי גובה מתוך govmap.gov.il ומפה טופוגרפית מתוך: "יער עמיעד ואתר חוקוק, סקר מצב קיים."
שלמה אהרונסון אדריכלים 2021



למעלה: מפת גבהים יחסיים של האתר. מתוך: "יער עמיעד ואתר חוקוק, סקר מצב קיים." שלמה אהרונסון אדריכלים 2021

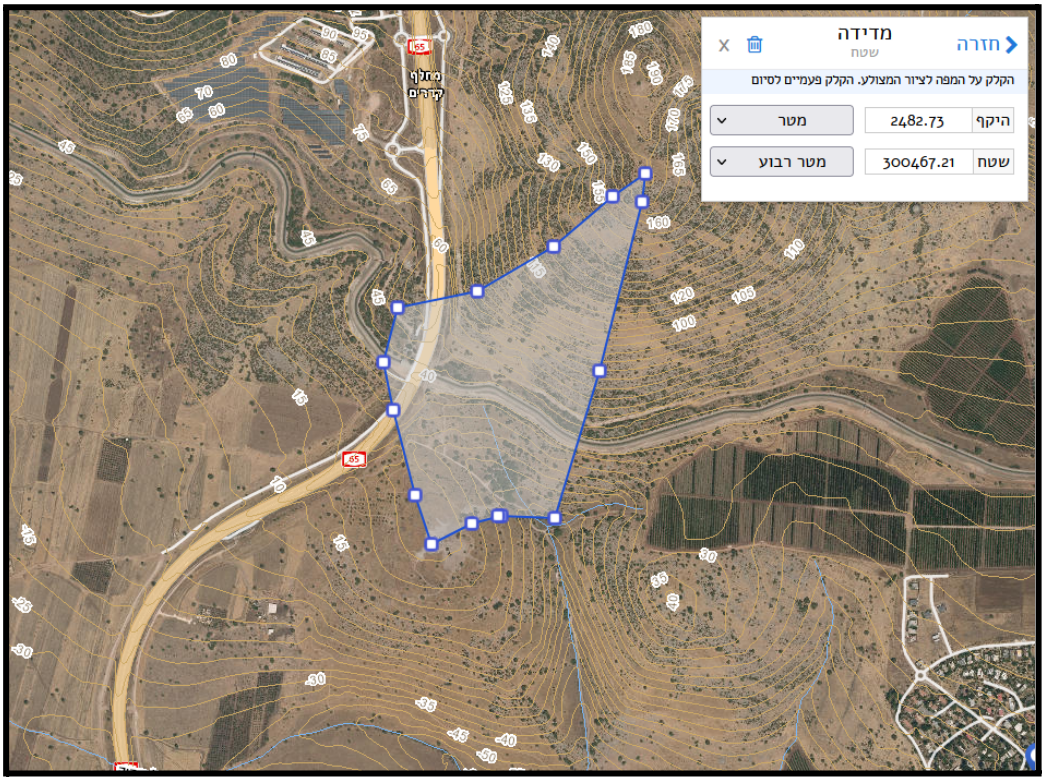


למעלה: מפת שיפועים של אזור האתר מתוך: "יער עמיעד ואתר חוקוק, סקר מצב קיים." שלמה אהרונסון אדריכלים 2021



למעלה: חתכי טופוגרפיית אתר חוקוק.. מתוך: "יער עמיעד ואתר חוקוק, סקר מצב קיים." שלמה אהרונסון אדריכלים 2021

2.1.6.3 אגן ניקוז טבעי



למעלה: התוויית אגן הניקוז הטבעי, על פי תצ"א ושכבת קוי גובה. מקור: אתר govmap.gov.il

2.1.7 תכסית



תצלום אויר של אזור אתר חוקוק מלמד כי בכלל האתר השטחים הם פתוחים, מכוסים בעיקר בצמחיה עשבונית עונתית בליווי דליל של שיחים ועצים קטנים, כאשר לשם השוואת גדלים ניתן להעזר בכתמי העצים הגדולים שבאזור המעיין. עוד ניתן להבחין במחשופי סלע במדרונות ובקרקע חשופה סביב אזור הפסיפס והחפירות.

על פי הטופוגרפיה הטבעית גודלו הטבעי של אגן זה הוא 300 דונמים בקירוב

2.1.8 אפיון הידרולוגי כללי של אתר חוקוק

בשטח אתר חוקוק קרקעות הר ועמק חרסיתיות אך המאפשרות חידור וחלחול אל הקרקע בקצבים בינוניים. מצפון לאתר ובמעלה לו, מעבר למוביל הארצי אך בתוך אגן הניקוז הפוטנציאלי (ראה להלן), קרקע טרה רוסה בעלת מאפיינים דומים אך בעלת קצבי חידור גבוהים יותר.
השיפועים באתר עד אזור הנביעה מתונים ברובם. השיפועים במעלה אגן הניקוז הפוטנציאלי גבוהים יותר ועוברים את ה 20%.

מלבד המוביל הארצי וכביש 65 הסמוכים, שטח האגן התורם הטבעי מורכב משטחים פתוחים לא מעובדים, בהם צורת הצומח השלטת היא יער פארק (אלרון וחובריו, 2022, ראה הרחבה בנושא שם), המאופיין בכיסוי קרקע לאורך כל השנה: עשבי בר בחורף ואביב והשלף לאורך הקיץ והסתיו, כל עוד לא הופר על ידי רעיית יתר, שריפה או הפרות אנתרופוגניות אחרות.

מתוך שילוב של סוגי הקרקע, השיפועים, שימושי הקרקע והצומח ניתן להסיק כי באופן טבעי מקדמי הנגר הם נמוכים אך זרימות עונתיות הן שכיחות הודות לשיפועים הניכרים, מחשופי הסלע והבסיס החרסיתי של הקרקע אשר

- בתחילת העונה הגשומה נוטה להיות הידרופובי
- בפרקי גשם משמעותיים נוטה להגיע לרוויה
- באירועי גשם עוצמתי אינו מאפשר חידור מהיר דיו לספיגת כל הגשם, לכדי קבלת זרימה (הורטונית).

למרות כושר החלחול הסביר של הקרקע, התרומה הפוטנציאלית של השטח למי התיהום צפויה להיות נמוכה עקב האופי האטים של המסלע המהווה את התשתית שלה. מסלע זה המורכב ברובו קירטון בחילופים תדירים לאבן גיר, הוא בעל יכולת נמוכה מאד להעברת מים דרכו,אך הוא יכול לספוג לתוכו רטיבות במידה והיא מתמשכת בקרקע שמעליו. כמו כן המרחק בין תבליט פני המסלע לבין פני הקרקע משתנה, כאשר פעם נוצרים מחשופי סלע אשר תרומת הנגר מהם גבוהה אל סביבתם והם אינן מאפשרים חידור של נגר עילי אל תת הקרקע ופעם פני הסלע מעמיקים יוצרים כיסי קרקע הקולטים נגר עילי (אם כי באופן מוגבל ביותר) המהווים נישות איכותיות לצומח מעוצה כגון עצים ושיחים גדולים.

סביר שעודפי לחות בקרקע שאינם נספגים על ידי הקירטון, יתנקזו באופן תת שטחי על פני הסלע. הנחה זו בשילוב עומקי קרקע משמעותיים בני מעל חצי מטר ויכולת תאיזת המים הטובה של הקרקעות באזור, מרכיבים יחד מנגנון איכותי למדי לאגירת לחות בקרקע מהעונה הרטובה לעונה היבשה.

2.2 הידרולוגיה עילית - ממצאי שטח

2.2.1 מערך ניקוז כביש 65 והשפעתו על אגן הניקוז ותרומת הנגר לאתר

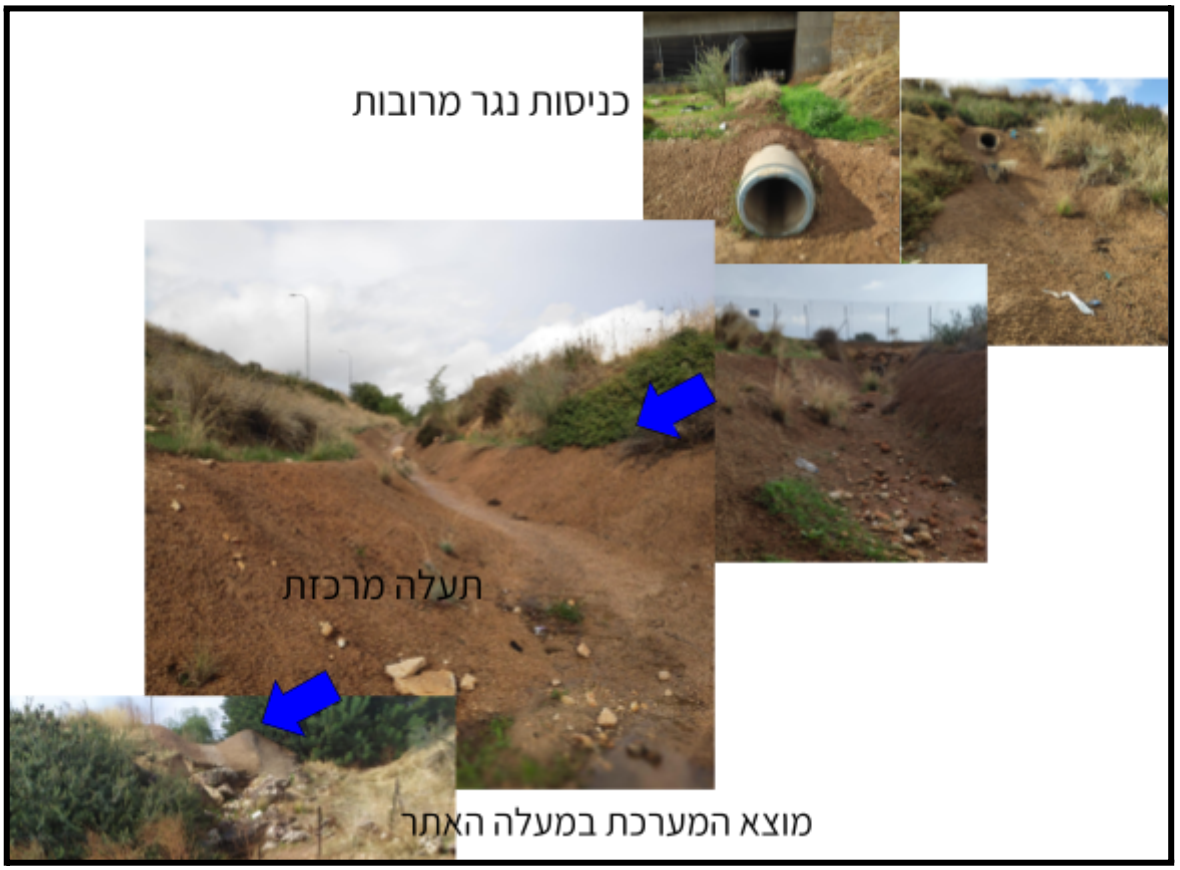
במהלך סיור בשטח, נמצא כי במעלה אתר חוקוק ממוקם מוצא ניקוזי של תעלת ניקוז שאורכה כמה מאות מטרים ואשר מזינים אותה אותה מספר צינורות, המהווים חלק ממערך הניקוז של מקטע כביש 65 אשר במעלה האגן, עד מחלף קדרים בו קיים היפוך מדרון הכביש לכיוון צפון (פרשת מים). בנוסף תעלה זו גם מוזנת על ידי צינור המגיע ממזרח, ממתחם המוביל הארצי.
חתך התעלה ושיפועה מעידים על כך שהיא תוכננה להעביר ספיקה בת מספר מטרים מעוקבים בשניה.

ממצא זה מלמד כי אגן הניקוז אליו משתייך בפועל כיום, אתר חוקוק, גדול במידה משמעותית מאגן הניקוז הטבעי שלו. זאת משום שמערך הניקוז המשולב של מקטעי כביש 65 והמוביל הארצי הסמוכים לאתר, מרכז אליו שטחים החורגים מגבולות האגן הטבעי, בין על ידי שינויי טופוגרפיה ובין על ידי מובלי מים למיניהם.

בהיעדר נתונים טופוגרפיים מדוייקים יותר השקולים לתכניות AS MADE של מתקנים אלה, לא ניתן לקבוע בדיוק מהו גודל השטח התורם נגר העילי לאזור אתר חוקוק.
סיורים בשטח ושימוש במאגרי המידע הזמינים מאפשרים הערכת גבולות וגודלו של אגן תורם פוטנציאלי. ניתוח ותיאור אגן זה להלן.



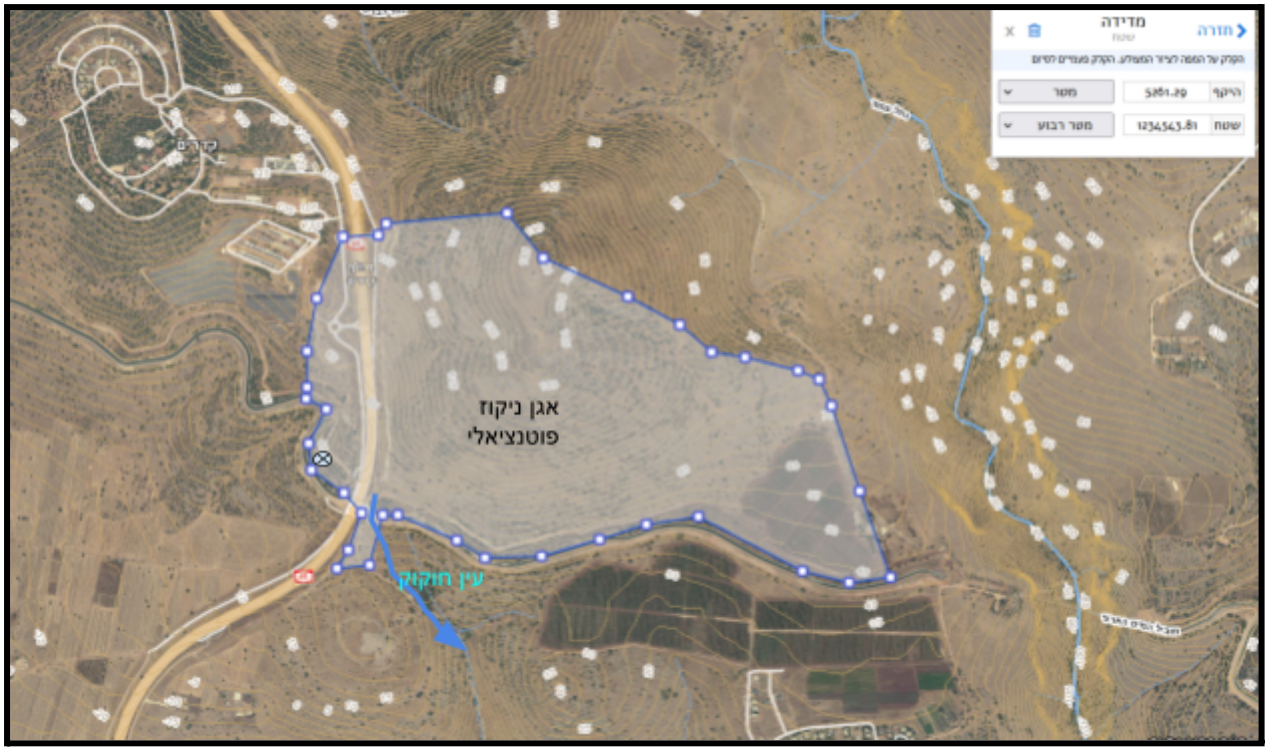
סיור לאורך התעלה המרכזת, מלמד כי בקרבת המוביל הארצי, אשר במעלה לשטח התכנון, נעשתה פעולה מכוונת ובמאמצים רבים למנוע מנגר עילי להכנס אל המוביל עצמו. כראייה לכך, למען חציית התעלה המרכזת את המוביל הארצי, הוקם גשר במיוחד לתעלה זו





למעלה: התעלה המרכזת חוצה את המוביל הארצי על גבי גשר יעודי. בסמוך אליו (משמאל למעלה) גשר כביש 65 מעל המוביל הארצי.

סביר להניח שהשקעת המשאבים במניעת כניסת נגר עילי מרוכז מהתעלה והכביש אל המוביל הארצי, אינה מייצגת עבור נגר עילי משטחים פתוחים הסמוכים למוביל, מכיוון שנגר זה מועט ונקי הרבה יותר.
עם זאת בהנחה שמרנית שאכן אמצעי מניעת כניסת הנגר העילי אל תוך המוביל , קיימים לכל ארכו, אפשר להניח כי אגן הניקוז התורם ככל הנראה גדול מ 1 קמ"ר. פוליגון סכמטי המבוסס על הנחה זו ניתן לראות בתמונה הבאה, נקרא לו "אגן הניקוז הפוטנציאלי".



למעלה: אגן הניקוז התורם הפוטנציאלי וכיוון הזרימה במוצא ממנו, אל תוך אתר חוקוק.
עיקר אגן הניקוז הפוטנציאלי מורכב משטחים פתוחים בעלי שיפועים גדולים. מיעוט האגן מורכב משטח אטים ומשופע - חלק מכביש 65, אשר למרות חלקו היחסי הקטן באגן, עקב מקדמי הנגר והשיפועים הגבוהים שלו, תרומת הנגר שלו צפויה משמעותית: בעלת תדירות גבוהה וספיקות גבוהות.

זאת אומרת שמבחינה תפקודית, גם במקרה שנגר משטחים פתוחים הסמוכים למוביל הארצי אינם מוטים לכיוון התעלה המרכזת, ולפיכך אגן הניקוז הפוטנציאלי הוא קטן משמעותית מזה הנגזר מההנחה השמרנית הנ"ל, עדין מבחינת תרומת הנגר, אגן הניקוז של אתר חוקוק עבר שינוי משמעותי ממצבו הטבעי.

2.2.2 זרימה

בתאריך 26/12/2022 בין השעות 08:30 -13:30, בוצע סיור בשטח. במשל שלוש השעות הראשונות ירדו כ 7מ"מ באזור. נצפתה זרימה גדולה משמעותית מזו לה ניתן היה לצפות מהחלק התורם של אגן הניקוז הטבעי של אתר חוקוק.

נצפתה זרימה חזקה ומהירה במקביל לירידת הגשמים. זמן קצר לאחר הפסקת הגשם, הזרימה נחלשה משמעותית, אך המשיכה במשך כשעתים נוספות, עד שגוועה.

זרימה זו מגיעה אל מעלה שטח התכנון ממוצא תעלת הניקוז המרכזת, דרך שטח התכנון עצמו, על פני ולאורך דרכי המצעים הקיימות בו כיום וממשיכה עד נחל חוקוק, בעיקר על פני דרך העפר המובילה משטח התכנון אל נחל חוקוק והמט"ש, כאשר בשלב זה חוברת אליה זרימת הבסיס, מעין חוקוק.

על פני דרכי המצעים הזרימה היא בתוך ערוצי ההתחתרות.

יש לציין כי בתבליט הקיימת זרימת נגר עילי זו אינה מגיעה אל אזור מערכת המים של המעין, אך שינויי תבליט בלתי מוקפדים וקטנים למדי, עלולים להביא לכך שנגר עילי זה אכן יגיע לשם.



למעלה: זרימה על גבי דרך המצעים בסמוך לבריכות המעיין.

2.2.3 התחתרויות

במהלך סיורים בשטח אתר חוקוק, התגלו מפגעי סחף קרקע האופיינים לזרימה מהירה ומרוכזת, רובם ככולם בדמות ערוצי התחתרות.

ערוצי התחתרות נוצרים כאשר זרימה מרוכזת (Concentrated Flow) ומהירה סוחפת עימה קרקע ואבן אל מורד הזרם. הדבר מתבטא בירידה מהירה וחדה במפלס קרקעית הזרימה באזור הסחוף, אשר מעידים על כך גדות תלולות ובלתי יציבות או במילים אחרות ערוץ עמוק וצר, אשר לרב מוזנים על ידי ערוצי התחתרות משניים.

ערוצי ההתחתרות באתר חוקוק מתחילים בקצה המוצא הניקוזי של מערך הניקוז של כביש 65 ונמשכים לאורך תוואי הזרימה באתר, אשר במקרה זה חופף לרוב את הדרכים החוצות אותו.

בחלק העליון של האתר, עומקם של ערוצי ההתחתרות מגיע למספר מטרים.



למעלה: ערוץ התחתרות במעלה האתר ובמורד למוצא מערך הניקוז של מקטע כביש 65 הסמוך. גדר הבר מימין יכולה לשמש להערכת עומק הערוץ.

2.2.4 מדרון התל הארכיאולוגי

כנהוג באתרים ארכיאולוגים רבים בישראל וכפי שמלמד תצלום האוויר (ראו פרק 2.1.7 תכסית) , גם התל הארכיאולוגי באתר חוקוק סובל מקרקע חשופה

2.2.5 תכסית

סיורי השטח מלמדים כי תכסית האתר עונה על זו המתוארת בתת פרק הרקע להידרולוגיה עילית.

2.2.6 הפרות

בשטח קיימת עדות ישירה לרעיית בקר בדמות עקבות הדריכה וגללים בנוסף לעדות עקיפה כגון צמחייה ניטרופילית.

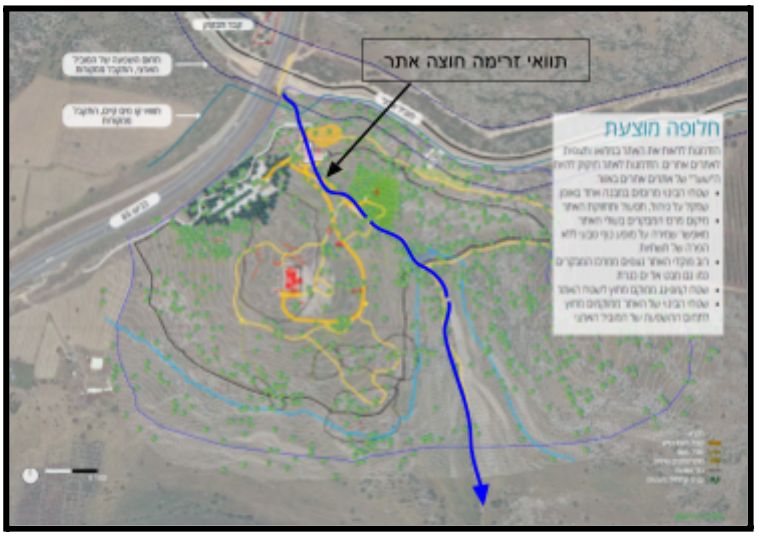
2.3 הידרולוגיה עילית- מסקנות

2.3.1 אופי הזרימה

א. הידרוגרף: לאור מבנה והרכב אגן הניקוז הפוטנציאלי: בהנחה ששטחו דומה לזה המוערך בתת הפרק הקודם, חלקו של אגן זה המנקז את כביש 65 וסביבתו, כלומר חלקו האטום והמשופע, נמצא בסמיכות לשטח התכנון ואילו החלק הגדול יחסית הוא שטח פתוח ומרוחק יותר. מבנה אגן כזה, כפי שאכן הראו התצפיות, מייצר ספיקת מוצא המאופיינת בהידרוגרף בעל עליה מהירה ושיא שמשכו כמשך אירוע הגשם ולאחריו דעיכה הנמשכת שעות בודדות.
ב. תדירות זרימה: עוד אפשר להסיק על סמך מבנה והרכב האגן ועל סמך ממצאי ההתחתרות העמוקה ותצפיות הזרימה בשטח, כי זרימות הן תדירות מאד והן תוצאה של רוב מכריע מאירועי הגשם, כולל קטנים.
ג. כושר הסחיפה: לאור התכסית האטימה והתלולה מי הנגר מהכביש "רעבים" כלומר עניים בסחופת וזורמים במהירות ולפיכך בעלי כושר סחיפה גבוה ביותר.
שיפועים תלולים במקומות רבים באתר משמרים ואף מגבירים כושר סחיפה זה.

2.3.2 נגר חוצה אתר באופן בלתי מוסדר

- הזרימה הנכנסת חוצה את שטח האתר מגבולו המערבי העליון ועד גבולו המזרחי התחתון.
- רובה ככולה במצב הנתון אינה מוסדרת.
- זרימה תדירה וחזקה בעלת כושר סחיפה גבוה אשר אינה מוסדרת, מקבלת הזדמנויות רבות לגרום לנזקים.
- המבנה המתוכנן באתר נמצא בתוואי הזרימה הקיים.

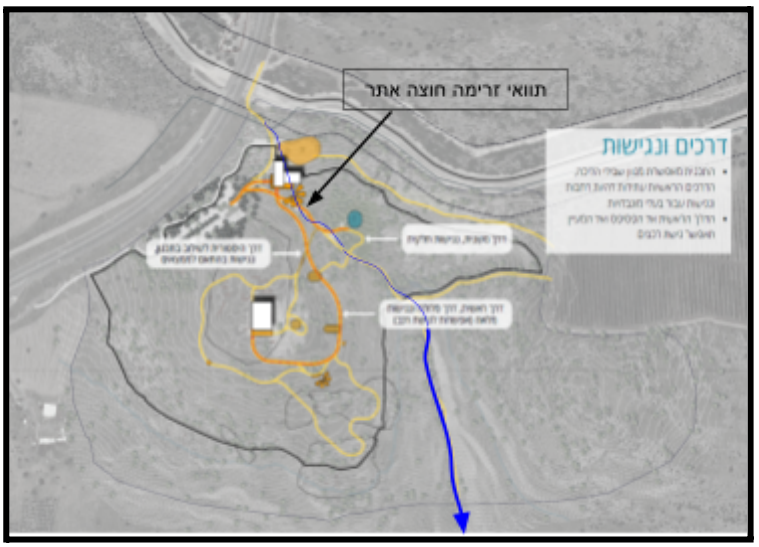


2.3.2 סכנות לנזקי סחיפה עקב הנגר הנכנס לאתר מבחוץ:

להלן סכנות סחיפה קיימות ואפשריות שהזרימה הנכנסת מעמידה בפניהן את אתר אין חוקוק:

- נזק לשטחים פתוחים: כפי שכבר ניתן לראות בשטחים הפתוחים שבמעלה האתר, נגר הנכנס בעוצמה וללא כל התייחסות, מביא לסחיפת קרקע משטחים הפתוחים אל המורד.
  סחיפת קרקע זו מביאה לשלל תופעות בלתי רצויות וביניהן:
  - "מידבור" השטח, עקב פגיעה ביכולתו להחזיק מים וצמחיה במדיום של הקרקע המידלדלת.
  - פגיעה בעבירות להולכי רגל ורכבים ואף לבעלי חיים.
  - זרימה לכיוונים בלתי צפויים: עקב שינוי טופוגרפיה בלתי מבוקרים.
  - מים עומדים ושלוליות - על פני משטחי סלע חשופים שנסחפה מהם הקרקע.

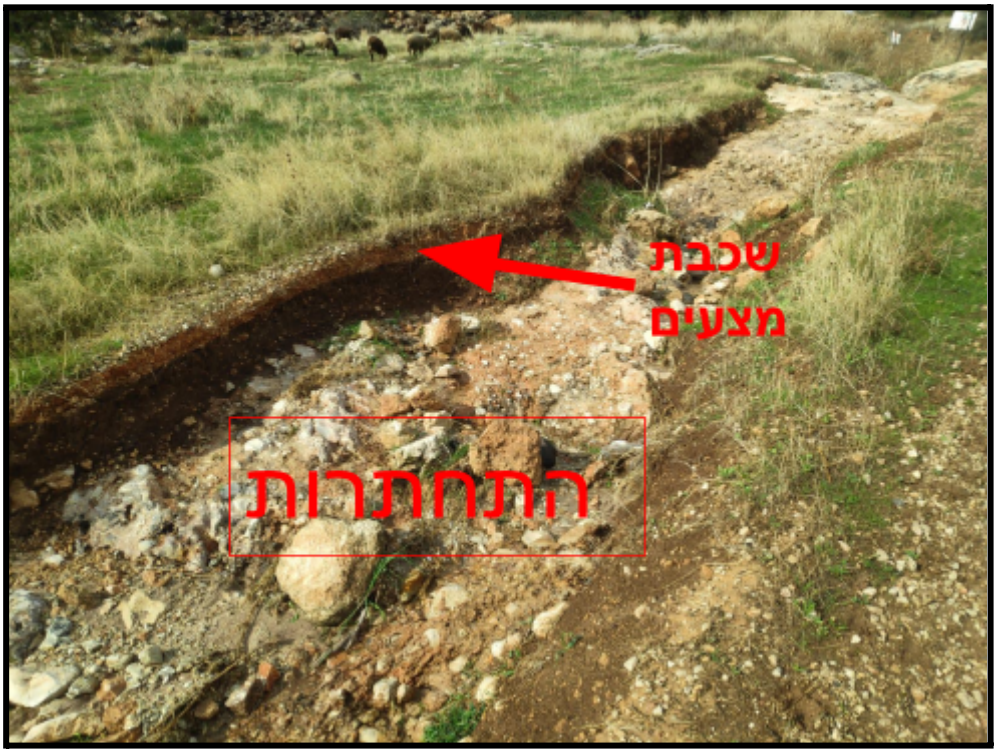
- נזק לדרכי עפר ומצעים. תופעה זו משמעותית באתר חוקוק היות וחלק ניכר מהדרכים הקיימנת והמתוכננות נמצאות בנתיב הזרימה.



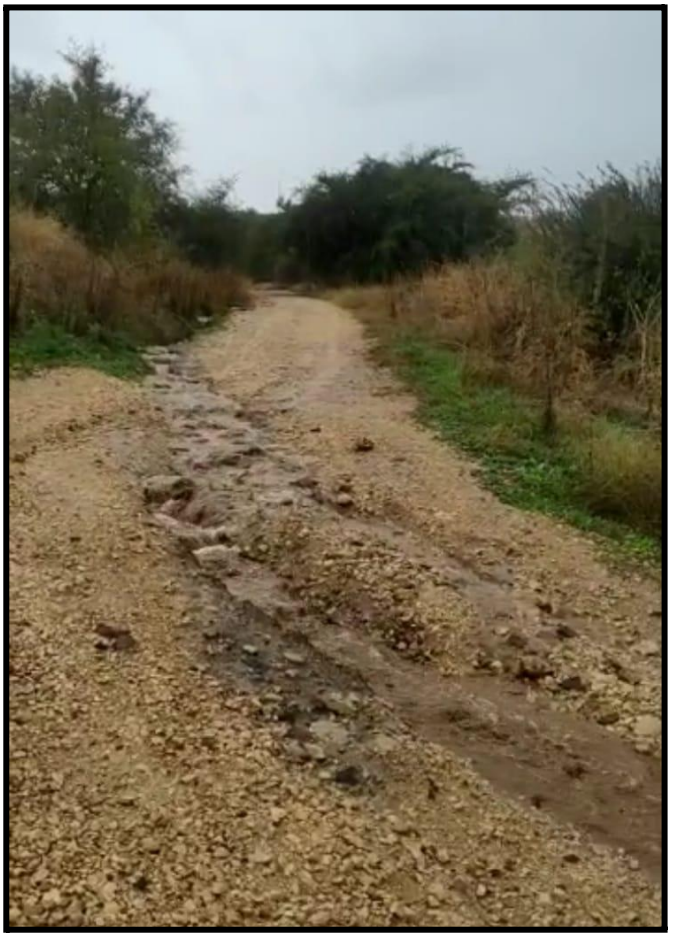
דרכי עפר ומצעים, בעיקר במקטעים משופעים, מועדות להתחתרות תשתית ושתית הדרך. התחתרות זו פוגעת בעבירות הדרך ודורשת תחזוקה מתמדת אשר בהעדרה קיימת הידרדרות מתמדת.



למעלה: קטעי דרך מועדים לסחיפה

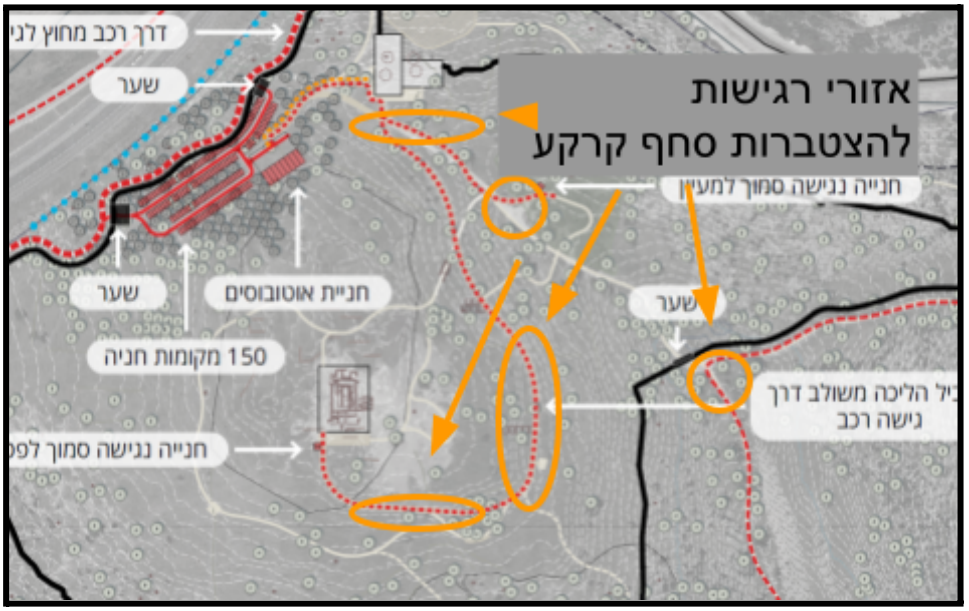


למעלה: דוגמה לערוץ התחתרות בדרך מצעים במעלה אתר חוקוק



תמונה 4: זרימה על דרך מצעים באתר

- נזק לתשתיות: סחיפת קרקע עלולה לחשוף קווי תשתית קבורים ואף להביא לנזק ישיר להם. גם תשתית עילית כגון עמודים, דרכים, נוי ומשטחים שונים עשויים להנזק.
- הצטברות סחף
  - סחף הנגרע ממקום מסויים במעלה האתר, עלול להצטבר במקום אחר במורד, באופן בלתי מבוקר.
  - בכלל זה קיימת האפשרות לסתימות, למשל של שרוולים, שוחות, ותשתית ניקוז מקומית.
  - הצפות - בעקבות סתימת תשתית ניקוז מקומית ו/או הטיית הזרימה הנכנסת למקומות בלתי צפויים.

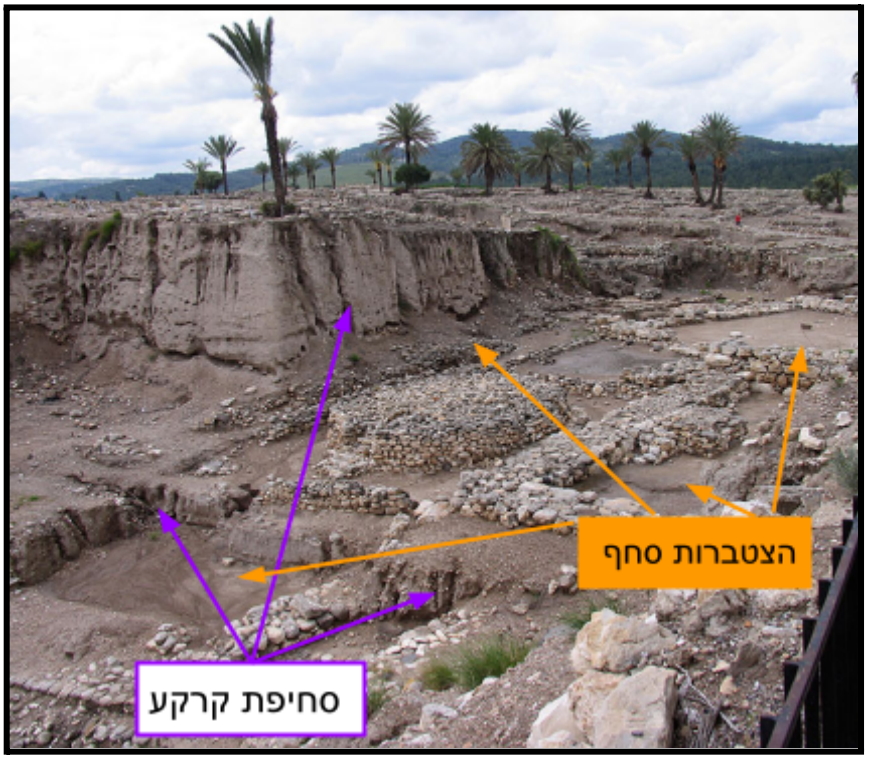


למעלה: אזורים מועדים להצטברות סחף קרקע

1. סכנות ובעיות נוספות עקב הנגר הנכנס לאתר מבחוץ
   - הצפת אזורים נמוכים וקשי ניקוז באתר
   - הכנסת זיהומים ואשפה ממעלה האגן ובעיקר מסביבת הכביש אל תוך האתר
   - הכבדה על ניהול הנגר באתר

2. סכנות לעתיקות ולסביבת התל ארכיאולוגי

לרוב באתרי ארכיאולוגיה מוסדרים נגר עילי נוצר באופן מוגבר. מקור הנגר הינו גגות ושטח חשוף ומהודק (למשל עקב הדברת עשבייה ורמיסה או מרעה יתר ע"י בע"ח). באתרים ארכיאולוגים תופעה זו מביאה לסחיפת תשתית האתר באופן החושף והמערער את יסודות העתיקות עד לכדי קריסתם במקרים מסויימים. גם תשתיות תיירותיות ואחרות באתר וסביבתו נפגעות מסחיפת הקרקע ושקיעת הסחף.
גם בתל הארכיאולוגי באתר חוקוק סכנות אלו עומדות על הפרק שכן ברובו של התל הקרקע כבר חשופה ומהודקת.
להלן דוגמא מתל מגידו, בו כמו בפיתוח אתרים ארכיאולוגים רבים אחרים, לא ניתנה התייחסות מספקת לנושא.



למעלה: נזקי סחיפה וסחף בתל מגידו. תמונה: Netzah.org



למעלה: אזורים בתל חוקוק המועדים לסחיפת קרקע. ההבדל במידת הרגישות בין האזור צפוני/ימני לדרומי/שמאלי הוא מידת הפרת הקרקע וכיסוי הצומח, על פי רקע התצ"א.

2.4 הידרולוגיה עילית - המלצות לתכנון

1. נגר עילי נכנס: מומלץ ביותר להתייחס בכובד ראש לניהול נגר הנכנס ממעלה האגן, בתוך כך נכללות פונקציות כגון:
   א. שיכוך אנרגיה בכניסה לאתר
   ב. חצייה בטוחה של האתר
2. נגר עילי מהאתר: לאור איכות המים הגבוהה והכמות הנשלטת הצפויה ולאור הפער בין זו לבין הנגר העילי הנכנס לאתר מהמעלה, יש לתת את הדעת על החיבור בין שתי מערכות הנגר ואף לשקול את הפרדתן ככל הניתן.
3. מניעת סחף בעתיקות - תכנון וניהול נכון של התל הארכיאולוגי יכול לצמצם משמעותית את תהליכי הבליה וההסעה הפוקדים רבים מאתרים אלו באופן מוגבר.
4. דרכי עפר ומצעים - ניהול נגר עילי באתר החל מרמת התכנון הכוללני ועד בתכנון המפורט, ימנע או לכל הפחות יפחית משמעותית את הנזקים לדרכים ובמורד מהן. בתוך כך ראוי לשקול מתווה לתכנון ותחזוקת דרכים אלה הכולל שילוב אמצעים ונהלים המתייחסים לסכנות הצפויות להן באתר זה.
5. התייחסות לנגר כמשאב - אתר חוקוק מחד נמצא במקום יובשני יחסית לאקלים הים תיכוני ומאידך ניחן בקרקע בעלת תאחיזת מים טובה. זאת בשילוב למקורות שונים למי נגר עילי: נגר עילי הנכנס אל האתר ונגר עילי הצפוי להיות מיוצר באתר יוצרים הזדמנות המתבקשת למימוש למען קהל המבקרים, החי והצומח במקום ומשק המים בכלל.

קיימת הזדמנות היא שימוש במי הנגר העילי כמשאב להשקיית נוי אקסטנסיבי: סביב מבנים, סככות, חניונים, דרכים וכו'. ראוי לתכנן את האתר כך, שנגר משטחים תורמי נגר ישמש לנוי (קיים או מתוכנן), מבוסס צמחייה מותאמת אקלימית, שתוכל להינות מצימוח חזק ועמידות בבצורת ללא תוספת השקייה לאחר הביסוס. כמובן שלנוי זה תועלות רבות לאתר כגון: הצללה, אסתטיקה, בתי גידול ועוד.



למעלה: נוי ללא השקייה באקלים צחיח בטוסון אריזונה. מקור: Brad Lancaster

כמו שיקום אקו-הידרולוגי של תוואי הזרימה והנחל יכול לסייע בניהול הנגר באתר (ראו המלצות פרק ג).

פרק ב. מערכת המים הקדומה

3.1 עין חוקוק ומערכת המים הקדומה - רקע

3.1.1 רקע היסטורי

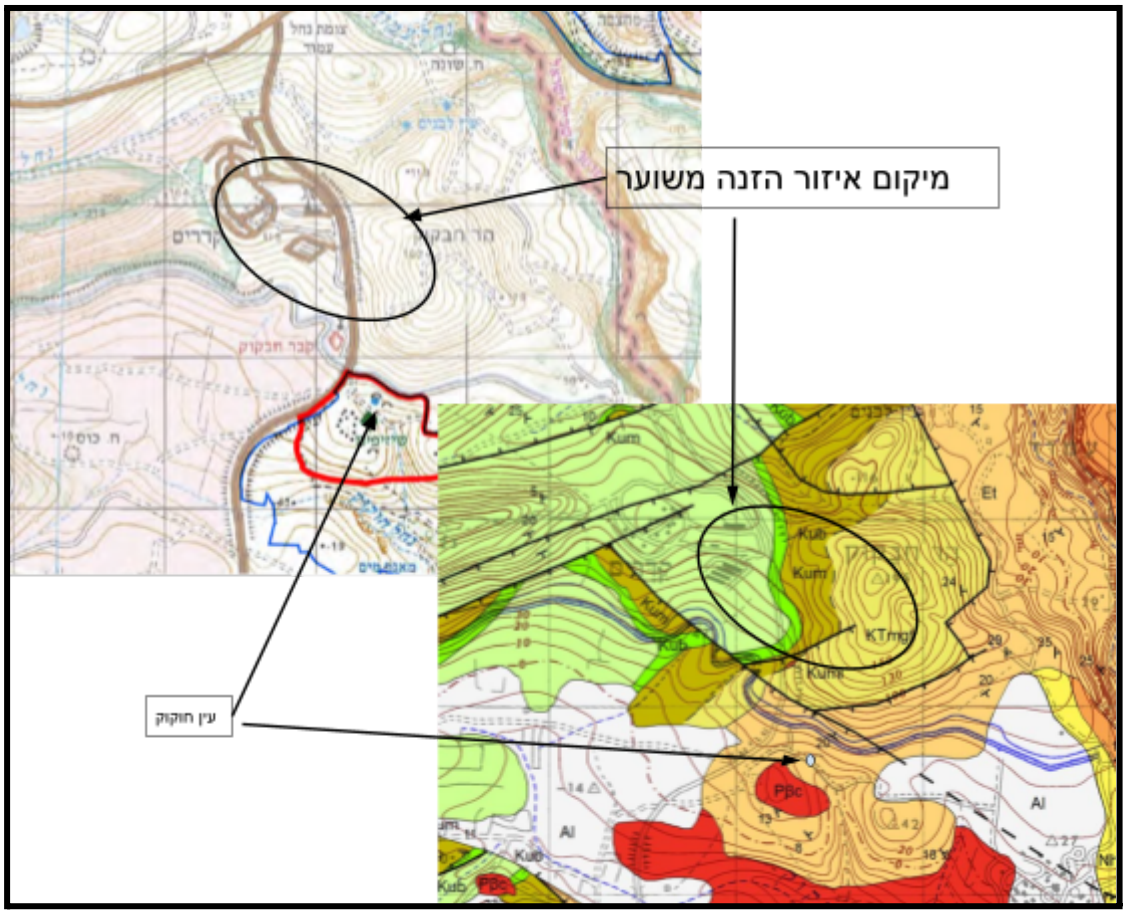
ראה פרק 2: 'רקע כללי'. (אלרון, כהן וקורן, 2022) שהוכן עבור קק"ל, יחידת המדען הראשי.
או בנספח ג שם מובאים חלקים מפרק זה.

3.1.2 תשתית גיאוהידרולוגית

מנגנון ההזנה: בשלב זה הבהירות לגבי טיב מנגנון ההזנה של המעיין היא חלקית.
לאור ההשתנות המהירה למדי בספיקות, ניתן להניח כי מדובר בניקוז אקויפר בעל אוגר יחסית קטן. פני השטח בקרבת המעיין משופעים והתשתית הסלעית אטימה. (ראה "הידרולוגיה עילית -רקע" במעלה מסמך זה).

גם כותבי ממצאי הסקר האקוהידרולוגי לעין חוקוק (2022) הגיעו למסקנה זו.

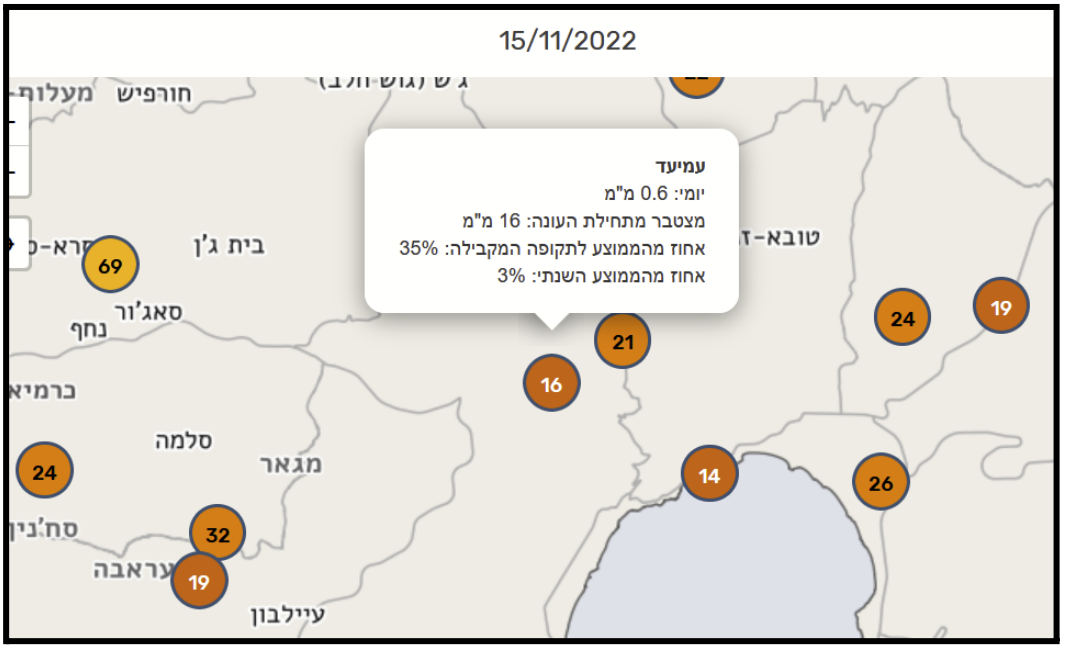
הערכת כותבי המסמך היא כי עין חוקוק הוא תוצאה של ניקוז אקויפר שעון קטן, הממוקם תחת אזור ההזנה שלו, הנמצא ככל הנראה - בקרבת הר חבקוק או קיבוץ קדרים, גבוה מהמעין.
לאור המסלע הקירטוני האטים המאפיין את סביבת המעיין, סביר כי קיימת כברת דרך בין אותו אקויפר המזין את המעיין לבין הנביעה עצמה, אשר ככל הנראה נמצאת על תוואי הולכה תת קרקעי.



למעלה: מיקום אזור ההזנה המשוער של המעיין על גבי מפת קוי גובה (משמאל) ומפה גיאולוגית (מימין)

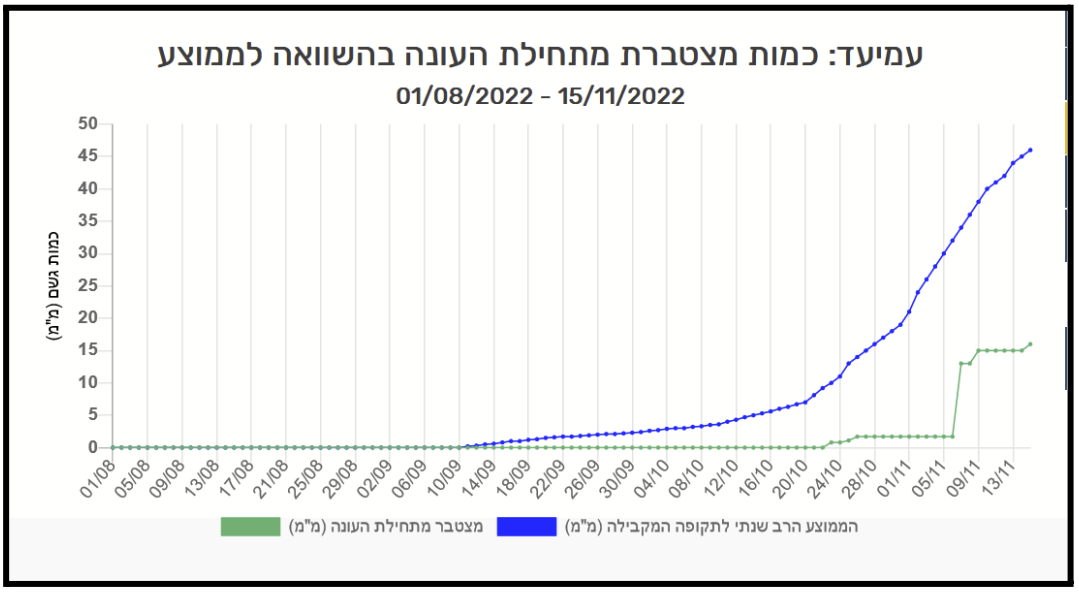
3.1.3 עבודות חפירה

בסתיו 2022 חלו עיכובים בעבודת החפירה הארכיאולוגית של מערכת המים הקדומה, עקב מפלסי מים גבוהים מאד בבריכות, אשר היו למעשה מלאות לגמרי.
חשוב לציין כי לא רק שמדובר בתקופה בה השפיעה נמוכה (בשפל השנתי או מעט אחריו) אלא גם כמות הגשמים באזור באותה עונת סתיו, היתה נמוכה מהממוצע הרב שנתי באופן משמעותי.



למעלה, מפת משקעים מתחילת העונה לאמצע נובמבר 2022, עת בה בריכות מערכת המים היו מלאות.

אירועי גשם מתחילת העונה (תחנת עמיעד):



מקור: השירות המטרולוגי https://ims.gov.il/he/AccumulatedRain

3.1.4 רכיבי המערכת

להלן מפה המראה את מיקום רכיבי מערכת המים הידועים בעת כתיבת מסמך זה



1- בור (*בדופן הצפון מזרחית שלו הרחבה לבור נוסף בדיפון בלוק בטון מודרני) , 2- בריכה קטנה. 3- בית המעיין .4- בריכת שוקת וצינור .5- חפירה סמוכה 6- אזור בצבוץ. 7- קצה צינור בטון. 8- שוקת שבורה

3.2 מערכת המים הקדומה - ממצאי שטח

ממצאי השטח גובשו מסקר שטח המבוסס על סיורי שטח בסתיו 2022, בתאריכים 16/11 ו 26/12.

3.2.1 כניסות ויציאות

בור (1)

הסלע חשוף במיוחד בקיר המערבי- סלע קירטון לבן, פריך ולח.
בשני הסיורים נצפו אותן שתי כניסות מים (לא מוסדרות) מתוך הסלע, מחורים עמוקים בקיר מערבי ודרומי.
בשני הסיורים לא ניתן היה לאתר יציאה מובהקת כלשהי של מים מתוך הבור.



למעלה: כניסות המים אל הבור

בריכה קטנה (2)

- לא נמצאה כניסה או יציאה ברורה של מים זורמים מהמתקן.
- קיימת יציאת/פתח צינור מתכת בקוטר 8ס"מ אל הבריכה מהקיר המערבי שלה (לכיוון הבור).
- קיים צינור מתכת נוסף בין כ 3 צול המחבר בינו לבין בית המעיין. בתוכו נמצא מונח צינור PVC שני צול מודרני.
- חסימת פתח הצינור המקשר ל 30 שניות לא הביאה לשינוי במפלס המים.

בית המעיין (3)

- כאמור, קיים צינור המעביר מים מהבריכה הקטנה, דרך הקיר שבין שתי הבריכות.
- לא נמצאה יציאה ברורה של מים זורמים מהמתקן. למרות חיפוש (באמצעות מישוש/מגע), בעיקר בקיר המזרחי.
- לא היתה זרימה או לחץ מורגש פיסית בחיבור לבריכה הקטנה.
- שימוש בצבען פלוריסנטי לא הצביע על מיקום ניקוז ברור של הבריכה.

בריכה עם שוקת וצינור (4)

- בתחתית הקיר המזרחי, בפינה הצפון מזרחית של הבריכה, בפינת השוקת, קיימת שבכת מתכת, המהווה ככל הנראה פתח לניקוז הבריכה. עקב תנאי השטח (מפלס מים גבוה ועכירות), פתח זה לא נראה בעין ולא צולם במהלך סקרי השטח, אלא הורגש במישוש ידני. גובהו כ 13 ס"מ.
  מעבר לשבכה זו נצפה בעבר על ידי הארכיאולוג אורי ברגר פתח צינור (מידע בע"פ). קוטר הצינור כנראה 3-4 צול, לפי גודל השבכה.
  בבדיקה ידנית בשעה שהבריכה מלאה, לא הורגשה יניקה בקרבת השבכה, או בכל נקודה אחרת בבריכה.



למעלה: בריכת השוקת והצינור ב 16/01/2023. בבריכה מעט מאד מים וגם כניסת מים דרך הקירות, שנצפתה במועדים אחרים כמעט ואינה קיימת. צילום: אורי ברגר, רע"ת.

- בשלב הסקר, נראה כי הצינור שבבריכה אינו מתפקד מבחינה הידראולית. מאחר ו הושם דגש על בחינת מערכת המים, על תפקודה ההידראולי בפועל, הצינור על מאפייניו השונים לא נחקר בשלב זה.
- שימוש בצבען פלוריסנטי לא הצביע על מיקום ניקוז ברור של הבריכה.

חפירה סמוכה לבריכת שוקת וצינור (5)

- לא נמצאה כניסה או יציאה ברורה של מים זורמים מהמתקן.
- ב11/16/22 נצפו שני צמחי יבשה (לא צמחי מים) צעירים בתחתית/קרקעית החפירה, מוצפים במים, ככל הנראה מחלחול תת שטחי שהתבצע לאחרונה אל תוך החפירה ומילא אותה, לאחר נביטתם של הצמחים עקב גשמי הסתיו מהחודש האחרון.

אזור בצבוץ (6)

- באזור זה שלוליות רבות, ועקבות בקר רבות.

- סביר שהסיבה לבצבוץ היא שבר/ים בצינור הבטון הישן. העובדה שבקר פוקד תדיר את הנקודה ושהבוץ הרך אינו מהווה הגנה משמעותית על הצינור, מגביר סברה זו.

קצה צינור בטון (7)

- נקודה זו היא היחידה בה יש עדות לצינור זה, אשר ככל הנראה תפקידו המקורי היה מובל ניקוז ממערכת הבריכות אל המורד.
- הצינור חסר זיון והוא סדוק ופריך (ניתן לשבור חלקים ממנו ידנית).
- קוטר הצינור 10 ס"מ (פנימי).

3.2.2 לחות הקרקע בסביבת הבריכות

- הקרקע בין הבריכות וזו הסמוכה מצפון ומדרום לציר הבריכות לא הראתה סימנים של רוויה וביצבוץ מי תיהום אל פני השטח.

- בין הבריכה עם השוקת והצינור והחפירה המוצפת הסמוכה אליה הקרקע היתה לחה למדי ויותר לחה מסביבתה, אך לא היתה בוצית ובוודאי שלא רוויה. גם הצמחייה הגדלה במיקום זה אינה מפותחת באופן ניכר משאר הצמחייה באיזור.

3.2.3 מפלסים

3.2.3.1 מפלסי 16/11/2022

במהלך סיור בשטח בתאריך 16/11/2022 נצפו מפלסים גבוהים מאד בכלל מרכיבי מערכת המים.
מועד זה ממוקם בתחילת עונת גשמים שחונה (35% מהממוצע לתקופה מקבילה), לכן לא צפוייה שפיעה גבוהה יותר ביחס לזמנים אחרים בשנה.

- מפלס המים בבית המעיין גבוה מהמפלס המתועד בסקר האקוהידרולוגי ב 12.04.22 ובכלל מהנצפה בבית המעיין לאורך שנים על בסיס עדות בני המקום.
- בית המעיין והבריכה הקטנה מלאים לגמרי ועם זאת לא נצפיתה כל גלישה על פני השטח, כלומר זרימה היוצאת מהם בזרימה עילית.
- מפלס בריכת השוקת והצינור גבוה מאד, כ 20 ס"מ מתחת למפלס גלישה עילית.
- חפירה חדשה סמוכה לבריכת השוקת והצינור מלאה במים, במפלס זהה לזה של הבריכה.

מפלס מים יציב לאורך זמן מתקבל כאשר הספיקה הנכנסת לאותו המתקן שווה לספיקה היוצאת ממנו (ניקוזו). הספיקה היוצאת ממתקן צפויה לעלות ככל שמפלס המים בו גבוה יותר. ההסבר לכך כאשר מדובר בזרימה דרך צינור למשל, הוא עלייה בשטח חתך הזרימה ועומד המים הדוחפים. כאשר מדובר בזרימה דרך תווך הקרקע באופן לא מוסדר, ההסבר לכך הוא דומה: עליה בשטח חתך הזרימה בסדקים או בחלחול וגם עליה בעומד המים הדוחפים. ככל שכושר ההולכה של ניקוז בריכה נמוך יותר, כמו למשל כושר ההולכה דרך תווך הקרקע לעומת צינור, כך מפלס המים במתקן הנדרש לקבלת שיווי משקל ומפלס מים יציב הוא גבוה יותר.

3.2.3.2 מפלסי 26/12/2022

כלל מפלסי המערכת בתאריך זה נמוכים מאלה שתועדו ב 16/11/22 כמתועד בטבלה הבאה

פירוט המפלסים ב 16/11/22 ו ב 26/12/22

	בור		בריכה קטנה		בית המעיין		בריכת שוקת וצינור		חפירה סמוכה לבריכת ש'+צ'	
תאריך	16.11	26.12	16.11	26.12	16.11	26.12	16.11	26.12	16.11	26.12
עומק המים [ס"מ]	כ 70	כ 50	כ 60 מהקרקעית הסחף	כ 60 מהקרקעית הסחף	כ 250	כ 150	כ 160	כ 90	כ 100	ריקה
מפלס פני המים יחסי	הגבוהה ביותר		נמוך מעט מהבור		זהה לבריכה קטנה, כ 10 ס"מ מעל אבן הריחיים.		כ 20 ס"מ תחת הסף. נמוך מעט מבית המעיין		כ 30 ס"מ תחת סף החפירה. זהה לסמוכה	
צלילות	בוהה	גבוהה	גבוהה	?	גבוהה	נמוכה	גבוהה	נמוכה	גבוהה	





בתמונות למעלה מ 16.11.22 ניתן לראות את בריכת השוקת וצינור כמעט מלאה לגמרי והחפירה הסמוכה לה מלאה אף היא במים עד לאותו המפלס. בריכת בית המעיין והבריכה הקטנה מלאות לגמרי אם כי מים לא גולשים מהם הלאה.

3.2.4 ספיקות

3.2.4.1 שיטת העבודה

לצורך השוואת הספיקה בין מועדים שונים, זו נמדדה במורד הזרם מאזור הנביעה ומערכת המים הקדומה. נקודת המדידה היתה תעלת הניקוז המאספת בצד הדרך, מיד במורד לשוקת השבורה ולחורשת השיזפים - נקודה 8.
הספיקה נמדדה על ידי סכירת המים בתעלה ותיעולם אל תוך דלי בעל נפח ידוע. חלוקת נפח המילוי בזמן המילוי נותנת את הספיקה. כמובן שמדובר בחישוב גס אך מספק לצורך הבנת השינויים ביחס לנקודה אחת מסויימת ברצף מערכת המים.

3.2.4.2 ספיקות מדודות בנקודה 8

	16.11	26.12
ספיקה [ליטר/שעה]	1400	350

3.2.4.3 ספיקות מדודות בנקודות שונות ב 26/12/22

- כניסה בית המעיין (3) - 290 ליטר\שעה
- כניסה לבריכה קטנה (2) - 1300 ליטר\שעה
- מתחת לשוקת השבורה - 350 ליטר\שעה

3.2.4.4 ספיקות מדודות בכניסה אל הבריכה הקטנה (2) ובית המעיין (4)

במהלך הסיור הראשון, הונח כי הספיקה הנכנסת אל הבריכה הקטנה זהה לספיקה היוצאת ממנה אל בית המעיין. בית המעיין היה מלא לגמרי ולא התאפשרה מדידת הספיקה הנכנסת אליו מכיוון הבריכה הקטנה.

בסיור השני, ב 26/12, נמדדה הספיקה הנכנסת אל הבריכה הקטנה והספיקה היוצאת ממנה אל בית המעיין הסמוך.
נמצא בין שתי הספיקות פער משמעותי, שהעיד על כך שהבריכה הקטנה מנוקזת גם דרך מוצא/ים נוספ/ים.

3.2.4.5 הצלבת נתוני ספיקה בין הסקרים

השוואה בין הספיקות המדודות במסגרת עבודה זו לבין אלו שנמדדו במהלך הסקר האקוהידרולוגי (2022) אינה רלוונטית משום שהמדידות בוצעו במיקום שונה בכל סקר.
בסקר האקוהידרולוגי, הספיקה שנמדדה היתה של הזרימה שיצאה מקירות בריכת השוקת והצינור (אריאל כהן, רט"ג, מידע בע"פ) ובסקר זה , כאמור נמדדה ספיקת הזרימה שבמורד למערכת המים.

ממצאי הספיקה על פי הסקר האקוהידרולוגי 2022:

טבלה 2. נתוני מדידות ספיקה בעין חוקוק

תאריך	ליטר / שניה	מ"ק / שעה
מרץ 2015	0.158	0.568
יוני 2019	0.25	0.9
נובמבר 2021	0.133	0.48
מאי 2022	1.97	7.1

3.2.5 עומק קרקעית בריכה קטנה

במהלך הסיור השני שבמסגרת עבודה זו, נמצא כאמור פער משמעותי בין הספיקה הנכנסת אל הבריכה הקטנה, לבין זו המנוקזת ממנה הלאה אל בית המעיין. הדבר הוביל למסקנה המיידית כי עיקר ספיקת הניקוז של אותה בריכה קטנה, מופנה למקום אחר. בהתאם לזאת ובאישור הארכיאולוג אורי ברגר שליווה את הבדיקות, נערכה חפירת גישוש ראשונית בקרקעית הבריכה הקטנה. חפירה זו התבצעה לעומק של כ 30 ס"מ נוספים, מבלי לפגוש את קרקעית המקור של אותה הבריכה ומבלי לפגוש פתח נוסף המאפשר את ניקוזה. החומר שנחפר החוצה מהבריכה היה סחופת דקת וגסת גרגר, כולל אבנים בגודל עשרות סנטימטרים אחדים.

3.2.6 קישוריות הידראולית

3.2.6.1 רקע

לאור זאת שלא נצפיתה זרימה עילית בין הבריכות השונות, עלתה שאלת הקישוריות ההידראולית של מערכת המים, כלומר מהו רצף זרימת המים בין גופי המים, מהו נתיב המים ובאילו אמצעים המים זורמים מגוף אחד למשנהו כלומר האם באמצעות מובל ואז ניתן יהיה להניח למשל כי מדובר בתיעול מכוון או האם דרך סדקים בקרקע ואז הנחה שכזו תהיה פחות ודאית.

הוחלט על ביצוע בדיקת צבען פלוריסנטי במטרה לשפוך אור על השאלות הנ"ל.

3.2.6.2 בדיקת צבען

מטרה: בחינת הקישוריות ההידראולית
מתודה: בדיקה איכותנית מסוג dye flow tracing ע"י שימוש בצבען מסוג Fluorescein. חומר זה מקובל לשימוש בבחינות מסוג זה עקב היותו בעל צבע זרחני בולט אך בעל רעילות נמוכה. דועך ונעלם כליל ממערכת המים לאחר מספר שעות. לתמונות ראה נספח ב.

הצבען הוצג למערכת המים בנקודה 1 ובוצע מעקב אחר התקדמות החומר במורד המערכת.

תוצאות:

מיקום (נקודה)	שעה	פעולה	זמן מיישום
1	9:48	יישום של צבען ב1	0
2	10:02	הגעה של צבען ל2	0:14:00
4	10:15	הגעה של צבען ל4 דרך קירות החפיר	0:27:00
3	10:17	צבען מכסה כ1/4 משטח הפנים של 3	0:29:00
6	10:28	יציאה של צבען ב6	0:40:00
7	10:29	יציאה של צבען ב7	0:41:00

3.3 מערכת המים הקדומה - מסקנות

3.3.1 מסקנות סיור 16/11/22

1. לאור העובדה שכל מתקני המים היו מלאים ושלא נצפה מעבר עילי של מים ממתקן למתקן, הוסק כי הקישוריות ההידראולית בכלל מערכת המים של עין חוקוק מהבור ועד אזור שוקת הבטון שבמורד וממזרח לחורשת השיזפים, היא תת שטחית, כלומר כל מתקן / בריכה מוזן תחת פני השטח ומנוקז תחת פני השטח, כאשר רק לבית המעיין והבריכה הקטנה, כניסות מים ברורות של מובלים גלויים (צינורות).

2. העובדה כי הקרקע אינה רוויה (בוצית) בין המתקנים השונים, מעידה על כך שנתיבי הזרימה בתת הקרקע, בין אם מוסדרים או לא, הם יעילים למדי, כלומר בעלי כושר הולכה מספק לספיקות ולחצים המבקשים לעבור דרכן. אילולא כן סביר היה שמים היו פורצים מעלה אל פני השטח או קרבתם והדבר היה מתבטא בבוץ ושלוליות.

3.3.2 מסקנות והשערות מניסוי הצבען ב26/12/22

1. ניתן לראות כי למרות המרחק הקצר בן מטרים ספורים שבין הבור(1) לבריכה הקטנה (2) ובין הבריכה הקטנה (2) לבריכת השוקת והצינור (4), משך הזרימה בין הרכיבים הוא 14 ו13 דקות בהתאמה. הסבר סביר לעיכוב הגעת הצבען מהבור לבריכה הקטנה הוא קיום של נפח או חלל בין המתקנים. חלל זה יכול להיות מתקן מלאכותי תת קרקעי או חלל טבעי, אשר יכול להיות גם מורכב מחללים קטנים רבים, כגון סדקים או אף נקבוביות של סלע או קרקע. המים אינם בהכרח עוברים את כל הדרך בין המתקנים בצורה מוסדרת ע"י מובל כלשהו כגון צינור או שלחילופין קיין מובל אך הוא סתום/שבור.

2. אמנם קיים צינור המזין את הבריכה הקטנה, אך לא אותר כל פתח יציאה מוסדר מהבור.
הסבר אפשרי אחר הוא דרך פתלתלה ועקיפה ביותר בין הבור לבבריכה הקטנה. דבר שאינו סביר.

3. מהמים המגיעים לבריכה הקטנה (1300 ל\שעה) רק כחמישית עוברים לבית המעיין והשאר מתנקזים באופן תת קרקעי לכיוון/ים אחר /ים.

4. בית המעיין ניזון מהבריכה הקטנה אך הינו בריכה צדדית של המערכת, לא ברור מה מוצא המים של בית המעיין (בפועל ככל הנראה חלחול דרך הקירות ורצפה).

5. כניסת מים אל בריכת השוקת והצינור:
נראה שהזנת הבריכה בפועל אינה מוסדרת ומתבצעת רק דרך הקירות. מאחר והקרקע סביב הבריכה אינה רוויה כנראה שמדובר בזרימה תת שטחית בסדקים/נתיבי זרימה טבעיים למיניהם, המתנזקת אל תוך הבריכה דרך פתחים בקיר.

6. בתחתית בריכת השוקת בקצה הצפון מזרחי שלה ניתן היה להרגיש (לא היה אפשר לראות בגלל המים העכורים/צבועים) שבכת מתכת אנכית כחלק ממישור הקיר המזרחי. שבכה זו בגובה כ 12 ס"מ לפחות. מאחר ולמרות עומד מים של כ 1 מטר בבריכה לא ניתן היה לחוש יניקה אל תוך השבכה או לראות כיוון זרימה ברור לתוכה באמצעות הצבען, סביר שהספיקה הנכנסת לפתח צינור זה היא קטנה ואינה משקפת זרימה במצב בו צינור בקוטר כזה, בשיפוע מינימלי ככל שיהיה, זורמת באין מפרע.

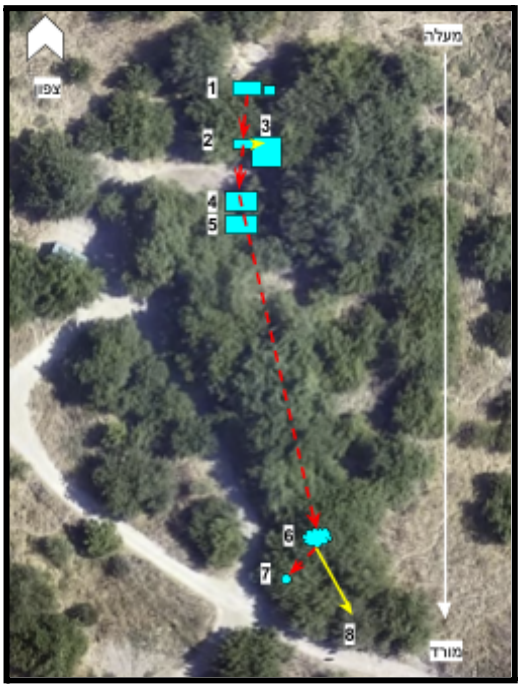
7. יתכן כי קיימת כניסה נוספת לצינור מהבריכה הקטנה, אך יש לרוקן את המשקעים ממנה, כדי להעמיק את הבירור בנושא.

8. צינור הבטון
מקור המים לצינור: מהקצה התחתון שלו (נק' 7) יוצאים מים אשר מגיעים מאזור הנביעה, כנראה ממערך הבריכות העליונות. בשלב זה אין וודאות לגבי מקור המים המדוייק המזין את הצינור, אך סביר שמדובר בבריכה הקטנה או בריכת השוקת כיוון שבריכות אלה הן גופי המים המנוקזים כנראה על ידי צינור והספיקות העוברות בהן גדולות דיין.

9. מהלך הצינור: צינור זה ככל הנראה שבור מתחת לאדמה באזור נקודה 6, לפחות, אך עדיין מחובר לפחות חלקית וזרימה יוצאת ממנו גם בנקודה 7.

10. בהשוואת הספיקה הנכנסת לבריכה הקטנה וזו שבמורד המערכת מתחת לשוקת השבורה (נק. 8) ניכר אובדן של כ64% מהמים (מלבד המים הזורמים לבית המעיין). כנראה האבדן נובע מחלחול לתת הקרקע.

11. לאור העובדה שמים צבועים יצאו קודם בנקודה 6 ורק לאחר מכן בנקודה 7, ניתן להסיק כי בנקודה 6 קיים נתק /שבר מלא בצינור, אשר מאפשר את בצבוץ המים לפני השטח בנקודה זו. המים ממשיכים במורד שבר הצינור באופן איטי וחלקי לאחר שנבנה לחץ מספק באזור השבר, אותו למעשה מנקז חלק הצינור השבור. הסבר זה דומה מאד להשערה שבסעיף 1 הנ"ל, הדן בעיכוב כניסת המים אל הבירכה הקטנה ובריכת השוקת והצינור- במידה ופתח הצינור נמצא במעלה למתקן , למשל בבריכה הקטנה (אם מדברים על בריכת השוקת והצינור) והצינור שבור בין שתי הבריכות, כך שמים הנכנסים לצינור בבריכה הקטנה, יוצאים דרך שבר בצינור אל תת הקרקע, חלקם זורם בסדקים אל בריכת השוקת והצינור וחלקם ממשיך במורד הצינור.



סכמת המים המשוערת. צהוב זרימה עילית באדום זרימה תת"ק

3.3.3 מסקנות לגבי שינויי המפלסים

1. ירידת המפלסים בסוף חודש דצמבר ביחס לאמצע נובמבר היא כנראה עקב שני גורמים:
   א. הסרה של חלק מההפרעה לזרימה. מאחר והזרימה החוצה מכל גוף מים והזרימה בין גופי המים היא תת שטחית, לא ניתן לראות או לדעת בודאות מהי ההפרעה שהוסרה.
   ב. שפיעה כללית נמוכה יותר של המעיין. בהסתמך על מדידות הספיקה במורד מהמערכת, ניתן להסיק כי שפיעת המים ירדה בכ 70%. על כן לקבלת מפלס מים יציב בבריכה מסויימת, הספיקה היוצאת צריכה כעת להיות נמוכה יותר גם היא ובהתאם לכך עומד המים (סטאטי) הנדרש בגוף מים על מנת לייצר זרימה יוצאת כדי לשמור על מפלס יציב זה, צריך להיות נמוך יותר.
2. ירידת המפלסים באמצע ינואר 2023 ביחס לדצמבר 2022 נבעה כנראה מסיבות דומות. במקרה זה גורם א' ידוע: במהלך הבדיקה ב 26/12/22 הוסר שק חול מכוסה אבנים גדולות מפתח שבכת המתכת שבתחתית בריכת השוקת והצינור.
3. כלל המפלסים במערכת המים נמצאו קשורים זה לזה ברמה האיכותית, כלומר כמגמה בכולם נמצאו מפלסים גבוהים או שבכולם מפלסים נמוכים באופן יחסי לתקופות אחרות. הדבר מעיד על קיום הקישוריות ההידראולית בין המתקנים. מאחר ומפלס המים קשור ליעילות הניקוז של המתקן, ניתן להסיק כי מידת יעילות הניקוז במורד המערכת היא גורם משמעותי ביותר מבחינת מפלסי המים במתקני המערכת. סעיף 2 הנ"ל מחזק טענה זו.

3.4 מערכת המים הקדומה - המלצות לתכנון

3.4.1 שכשוך

לצורך בריכת שכשוך, בית המעיין הוא כנראה הפתרון הטוב ביותר, מכיוון שחלק קטן יחסית ממי המערכת עובר דרכו.
בנוסף החלק שכן עובר דרכו מנוקז ממנו ככל הנראה באמצעות חלחול, המאפשר סינון מסויים של המים.

על כן מפגעים לאיכות המים כגון זיהומים נקודתיים בדרגה נמוכה, העלולים להגרם כתוצאה מאפשור שכשוך לקהל הרחב, ככל הנראה ישפיעו פחות על איכות המים במורד המערכת מנקודה זו, מאשר בבריכת השוקת והצינור.

3.4.2 הזנת בריכה אקולוגית

לפי המידע הקיים בשלב זה, למען קבלת זרימה באיכות ובספיקה מקסימלית במורד לחורשת השיזפים, יש לנתב את המים מהבריכה הקטנה.

לשם כך מומלץ לפני כן:
א. לחפור לקרקעית הבריכה הקטנה.
ב. לאתר יציאות נוספות, ככל שאלה קיימות, מהבריכה הקטנה.
ג. לאפיין במדויק את הקישוריות ההידראולית בין הבריכה הקטנה לבריכת השוקת והצינור, כדי לאפשר את

המשך הזנתה של השניה.
ד. לחשוף רכיבי מערכת נוספים ככל שקיימים.

למען ניתוב זה ראוי לבצע מעקף למובל/צינור הקיים, על ידי ניתוקו המלא, ושימוש בקו צינור חלופי חדש, היישר מהבריכה הקטנה.

3.4.3 המשך חפירות

1. אם רוצים לשמור את החפירות ריקות ממים נקודת השאיבה או הסתת המים היא מהבריכה הקטנה ולא בית המעיין כפי שהומלץ בדו"ח מה16.11.2022.
2. פינוי וניקוי הבריכה הקטנה למציאת המוצאים מבריכה זו
3. חפירה בין הבור והבריכה הקטנה למציאת החלל
4. חפירת הרחבה בין הבריכה הקטנה בית המעיין ובריכת השוקת

פרק ג. שיקום מערכות מים טבעיות - מעיין ונחלים

על פי המלצות הסקר האקוהידרולוגי

4.1 שיקום מערכות מים טבעיות - רקע

עין חוקוק הוא מעיין במעלה יובל של נחל חוקוק. נביעה זו מספקת זרימת בסיס, קטנה אמנם, אך לאורך כל השנה ובאיכות יציבה וטובה (אלרון וחובריו 2022) וביובל הנחל קיימת זרימה שטפונית משטחים פתוחים וכבישים ועל כן ניתן להניח כי היא באיכות סבירה.

מעיינות הם מקורות המים האיכותיים ביותר בישראל ובתי הגידול הלחים המעטים שנותרו, הולכים ומתמעטים ונמצאים תחת איומים ולחצים רבים אשר הולכים וגדלים.
במסגרת תוכנית האב למשק המים (2002-2010) הוגדר הטבע בפעם הראשונה צרכן מים שווה בחשיבותו לשאר הצרכנים. למען אפיון והגדרת דרישות המים לטבע של כל צרכן (שמורות טבע, נחלים, בתי גידול לחים ואחרים), הוכנה תכנית האב למים לטבע ב2014, על ידי המשרד להגנת הסביבה, רשות מים ורשות הטבע והגנים.
במקרים רבים ברחבי המדינה בכלל והשטחים הפתוחים בפרט, שעבורם תכניות אלה באות לעזר, מקורות מים טבעיים נתפסו לצרכי האדם. במקרים אלה, פעולות הבאות להחזיר הדרה ליושנה ולקדם לשיקום בתי הגידול המקוריים, לפחות באופן חלקי, דורשות קידום תהליכים בירוקרטיים, לוגיסטים וטכנים מורכבים ויקרים.

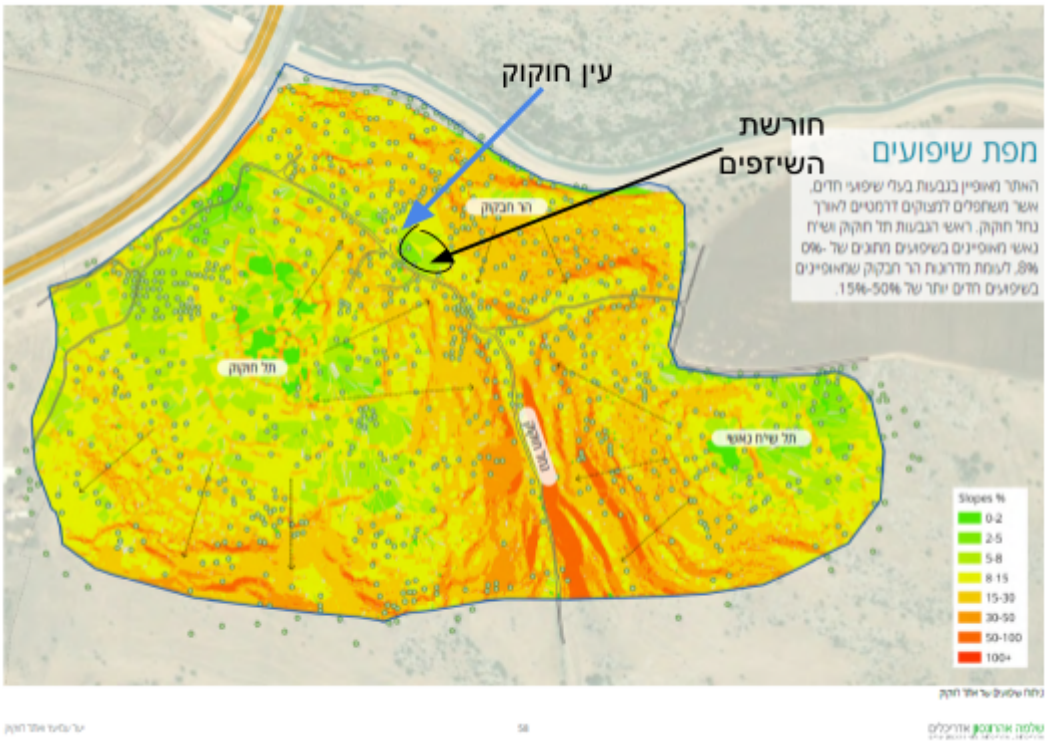
עין חוקוק וסביבתו מהווים לפיכך הזדמנות נדירה בנוף הישראלי: מקור מים איתן באיכות גבוהה בלב חבל ארץ טבעי ויפה בעל ערכיות גבוהה (מכון דש"א), בתוך גבולות יער עמיעד (תמ"א 35) ובסמיכות לאזורי יער מוצעים (תמ"א 22).
ההזדמנות היא זכות מימוש מקור המים לקיום בתי הגידול הטבעיים הנסמכים עליו, הלא הם בתי הגידול הלחים, באופן יחסית פשוט וזול.

הפרק הזה דן בהיבטים הידרולוגים/הידראולים/גיאומורפולוגים המתקשרים לשיקום מערכות המים הטבעיות.

להרחבה וכרקע נוסף לפרק זה , המכיל גם היבטים אקולוגים/ביולוגים למיניהם, יש לפנות ל"עין חוקוק- ממצאי סקר אקוהידרולוגי והמלצות לתכנון, שיקום וממשק", אלרון, כהן וקורן 2022.

להרחבה בדבר נתוני קרקע, מסלע ועוד של האתר הרלוונטיים גם הם לפרק זה, ראה פרק הידרולוגיה עילית למעלה.

4.1.1 שיפועים



למעלה: מפת שיפועי אתר חוקוק שהופקה על ידי שלמה אהרונסון אדריכלים עבור קק"ל.

ממפת השיפועים ניתן לראות כי השטח מיידית ממורד למעיין הוא מישורי למדי (בעל שיפועים נמוכים עד אפסיים) ואילו בהמשך, כלומר במורד הזרם, השיפועים הם כבר גבוהים למדי עד גבול המיפוי.
השטח המישורי הוא חורשת השיזפים.

4.1.2 קישוריות הידרולוגית

כפי שמעיד מסמך ממצאי הסקר האקוהידרולוגי, בשפיעה גבוהה, ישנו רצף הידרולוגי עם נחל עמוד, דרך נחל חוקוק. הדבר נכון גם במהלכי גאות ביובל בהם הספיקות מגיעות לשיאן לאורך השנה.

4.1.3 שפיעת בסיס

מסגרת סקר ההכנה לדו"ח זה אינה מקפת דיה לקבלת הערכה טובה בדבר ספיקות הבסיס. כהתייחסות בסיסית לטווח הספיקות נסתמך כאן על מסמך הסקר האקוהידרולוגי (אלרון וחובריו, 2022) שבטווח של כ 7 שנים ביצע 4 מדידות המצביעות למעשה על שפיעה בת מאות ליטרים בודדים לשעה בשפל השפיעה שבשלהי הסתיו ומספר מ"ק לשעה באביב של שנה מעט טובה מהממוצע:

טבלה 2. נתוני מדידות ספיקה בעין חוקוק

תאריך	ליטר / שניה	מ"ק / שעה
מרץ 2015	0.158	0.568
יוני 2019	0.25	0.9
נובמבר 2021	0.133	0.48
מאי 2022	1.97	7.1

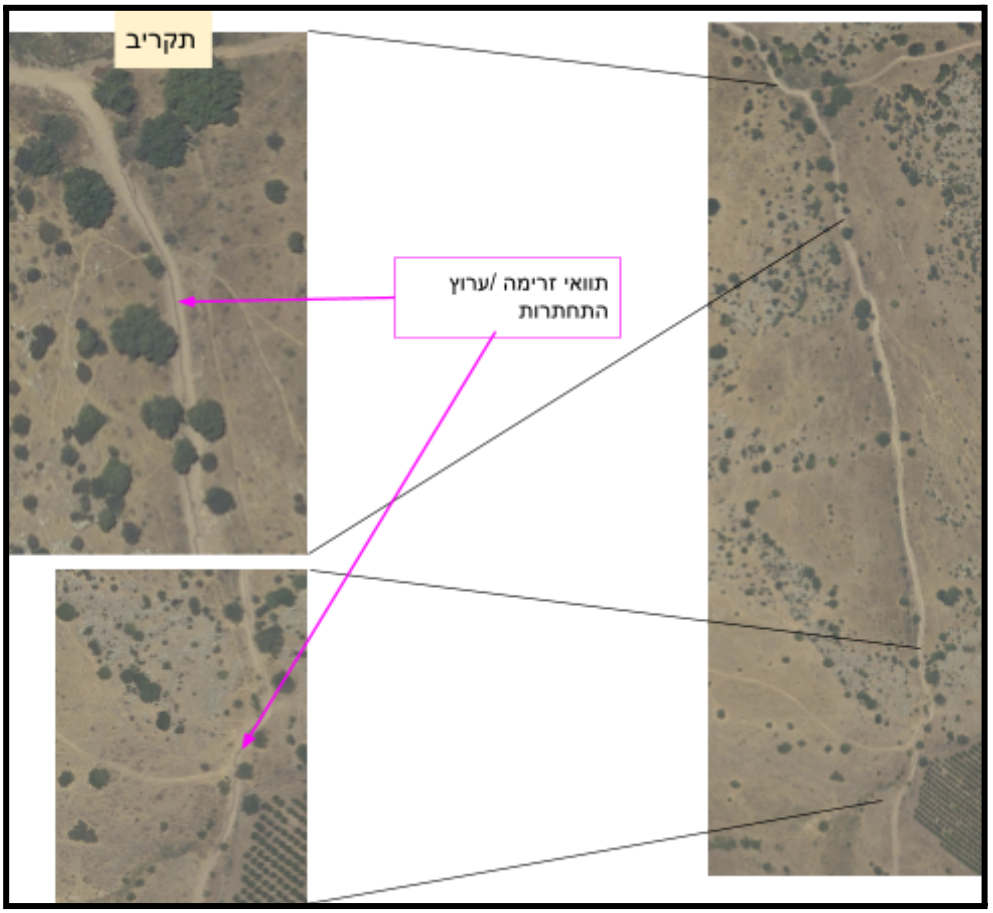
4.2 שיקום מערכות מים טבעיות - ממצאי שטח

4.2.1 תבליט

שיפועים: לאחר יציאת המים את מערכת המים הקדומה, בנקודה 8, תוואי השטח בו הם עוברים הוא בכללותו בעל שיפועים משמעותיים בין 8-20.

שקעים: בבחינה פיסית של תוואי הזרימה מקרוב, קיימים מעט שקעים טופוגרפיים קטנים לאורך התוואי, המייצרים או יכולים לייצר גופי מים קטנים מאד בעלי עומק גדול משאר התוואי, אך עדיין רדוד למדי.

חתך רוב של הנחל: לאורך רובו המכריע של היובל, דרך העפר המקשרת בין עין חוקוק למאגר לבנים, נמצאת בחלק הנמוך ביותר של חתך הנחל. הדרך בעלת חתך רוחב אחיד למדי ובעלת שיפועי צד שנוצרו ככל הנראה באופן בלתי מוסדר, כלפי צפון מערב (ימינה במבט למורד). ערוץ התחתרות רדוד מלווה את הדרך לארכה בעיקר בצידה הימני במבט למורד.

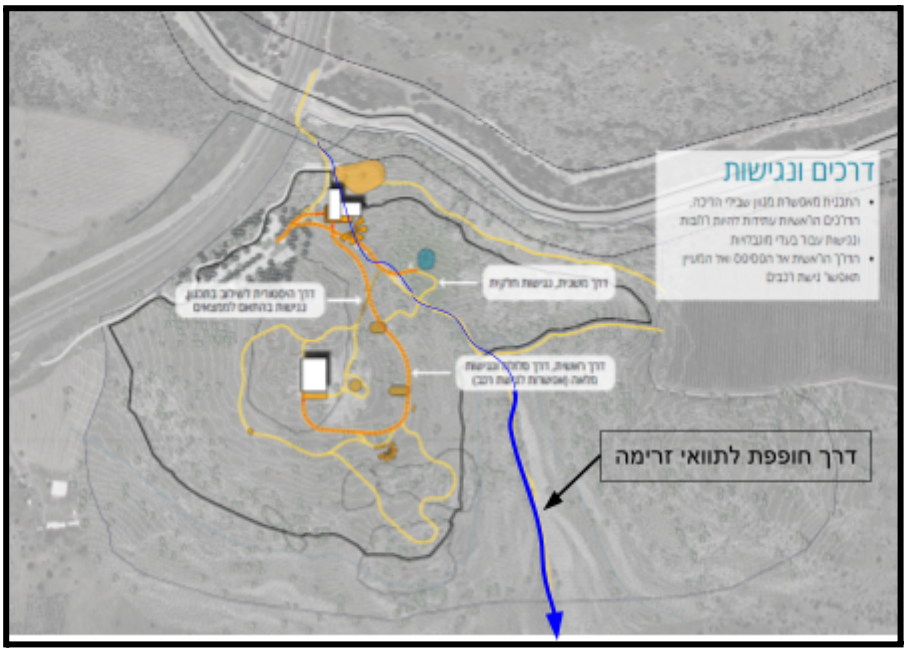


למעלה: ניתן לראות בתצ"א את תוואי הזרימה/ערוץ ההתחתרות לרוב אורך הדרך. מקור: govmap.gov.il

4.2.2 תכסית

את רובו ככולו של תוואי הזרימה הטבעי של הנחל אשר בו זורמים מי עין חוקוק , תופסת דרך עפר המקשרת בין עין חוקוק למאגר לבנים. דרך העפר:

- ישרה לאורכה
- מהודקת
- חשופה מצומח
- עוברת הפרעה תמידית: הידוק וסחיפת הקרקע על ידי רכבים והזרימה עצמה.



למעלה: הדגמת חפיפת תוואי הזרימה עם הדרך מאתר חוקוק למאגר ליבנים

4.2.3 זרימה

לאור השיפועים לאורך כלל תוואי הזרימה ולאור העובדה שהזרימה מתבצעת ברובה על גבי תכסית מופרעת ומיושרת ובעלת התנגדות מועטה כתוצאה מהעדר צמחייה ומורכבות, הנטייה הכללית מבחינה הידראולית היא לזרימה רציפה ועל קריטית במהירויות הגדלות ככל שעולה הספיקה.
בחלקים מעטים מיובל הנחל, הזרימה עוברת אל מעבר לשולי הדרך שם היא פוגשת צמחייה מקומית.



למעלה: זרימה שטפונית על גבי הדרך לקראת המפגש עם נחל חוקוק, לאחר אירוע גשם קטן. 26/12/22



למעלה: זרימת בסיס על פני הדרך 16/11/22

4.2.4 עבירות הדרך היורדת מאתר חוקוק למאגר ליבנים

בסיורי השטח במסגרת עבודה זו, עבירות הדרך לרכב פרטי היא נמוכה מאד, לאור השיפועים, הזרימה, ההתחתרות והבוץ.

4.3 שיקום מערכות מים טבעיות - מסקנות

1. המאפיינים ההידרולוגים , הגיאומורפולוגים, ההידראולים והמטאורולוגים של האתר בכלל ושל המעיין בכלל, מאפשרים קיום של גופי מים קטנים לאורך השנה וזרימות המאפשרות קישוריות הידרולוגית עם גופי המים האזוריים, במהלך זרימות עונתיות.
אמנם שפיעת השפל של המעיין אינה גבוהה, אך מיקום נכון וקרוב של גופי מים לא גדולים והעובדה כי סלע התשתית באזור הוא אטים למדי, יכולים לאפשר בהחלט קיומם של גופים אלה לאורך השנה.
2. עבירות הדרך ירודה לאורך מרבית מהשנה גם לרכבי שטח. סביר שבעת זרימה שטפונית משמעותית, כמו במהלך סופה או זמן קצר אחרי אירוע גשם עוצמתי, השימוש בדרך זו הוא מסוכן לאור זרימה חזקה וסוחפת.
3. המשך השימוש בדרך בין עין חוקוק למאגר ליבנים ובעיקר הגברת השימוש בה, כצפוי לאחר פתיחת האתר, צפוי להביא להגברה משמעותית בעוצמת הבלייה ובקצבי הבלייה של הדרך. דבר שיביא להתדרדרות משמעותית בעבירות הדרך ויגרור עלויות אחזקה גבוהות.
התחתרויות בדרך מסוג זה בעומקים הקרובים ל 1 מטר הן שכיחות בישראל.
דרכים כאלה לרוב מהוות מוקד משיכה לרוכבי אקסטרים ואינן מהוות תשתית לטיילות משפחות ותיירים.
4. המשך השימוש בדרך צפוי להביא בסופו של דבר לשחיקתה עד לסלע האם, באופן שכיח בדרכים מסוג אלה משופעות שבהן קיים ערוץ זרימה של נחל וכמודגם במעלה האתר :



למעלה: דרך עפר שככל הנראה ננטשה עקב הידרדרות מתמדת בעבירות שלה והיסחפותה עד לסלע האם.

5. ככל שהעבירות בדרך קשה יותר, כך כל נסיעה בה מביאה לפגיעה נוספת קשה יותר בתשתית שלה, כולל להיווצרות סחף המגיע למורד הזרם ולזיהומים הנובעים מבליית רכב ודליפות המתגברים ככל שעולה דרגת המאמץ במעבר ועושים כגם אלה את דרכם אל מורד הזרם ומהווים מפגע סביבתי.

4.4 שיקום מערכות מים טבעיות - המלצות לתכנון

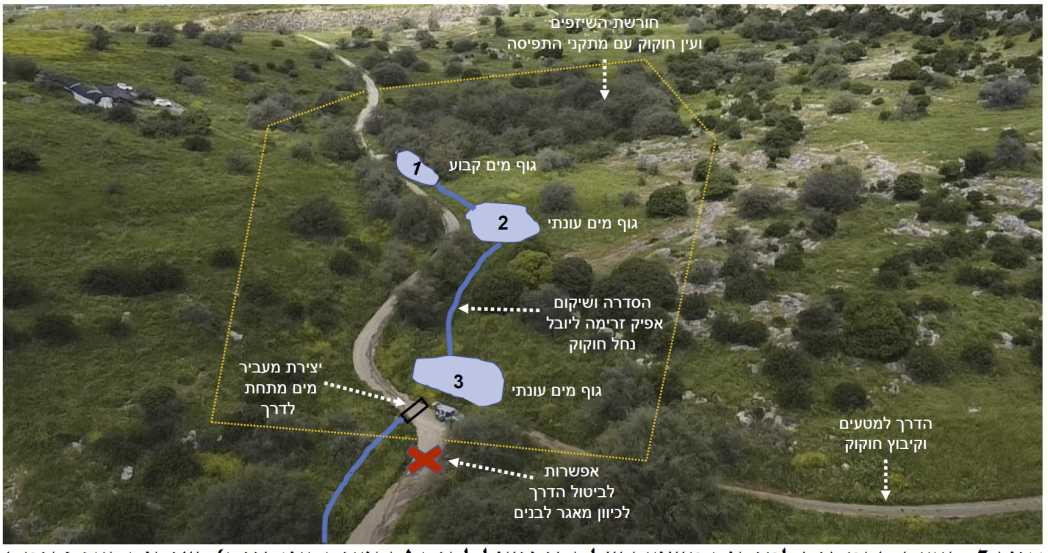
כאמור עין חוקוק מהווה הזדמנות לשימוש במי המעיין ובשטחים הפתוחים שבמורדם לשיקום בתי הגידול הטבעיים הלחים ועבודה זו מחזקת את כלל ההמלצות המובאות בפרק 6 ב מסמך "עין חוקוק – ממצאי סקר אקוהידרולוגי והמלצות לתכנון, שיקום וממשק". ההמלצות הן (כאן ברמת הכותרות):

1. תכנון אתר המקפיד על הפרדה באתר בין האזורים עם זיקה אקולוגית המיועדים לשיקום אקולוגי, לבין אזורים המונגשים למבקרים.
2. ייעוד מי המעיין לשיקום אקולוגי.
3. שימוש ישיר במי המעיין לבתי הגידול הלחים שישוקמו.

המלצות אלו בהלימה עם מסקנות חוד זו. מומלץ שהמים הללו ילקחו הישר מהבריכה הקטנה שבמערכת המים הקדומה וכי שכשוך אפשרי בבריכת בית המעיין (ראה מסקנות פרקים קודמים).

4. מומלץ לחזק את הצד האקולוגי האקווטי באתר חוקוק ע"י יצירה של בתי גידול לחים נוספים וטבעיים יותר, במורד הצינור שמוביל את מי המעיין אל קצה חורשת השיזפים, ומשם למורד. זהו מקטע שההפרה בו נמוכה והוא מרוחק מאתר ההנגשה הראשי.

5. בהמשך לסעיף הקודם, מוצע להוסיף לחלופה שנבחרה לפיתוח האתר 3-2 בריכות אקולוגיות



איור 5. הצעה סכמתית למיקום משוער של בתי גידול לחים (קבועים/עונתיים), שיקום רצף זרימת המים באפיק יובל נחל חוקוק במורד חורשת השיזפים ובין הבריכות, ביטול הדרך לנחל חוקוק ומאגר לבנים ואזור מגודר למניעת כניסת בקר (כתום מקווקו).

מקור: ממצאי סקר אקוהידרולוגי של ד"ר א. אלרון וחוב'

6. שיקום אקולוגי של בתי גידול לחים באזור ראש הנביעה ובית המעיין פחות מומלצים

בהשוואה לאזור שמוצע במורד החורשה (כמפורט בסעיף קודם).

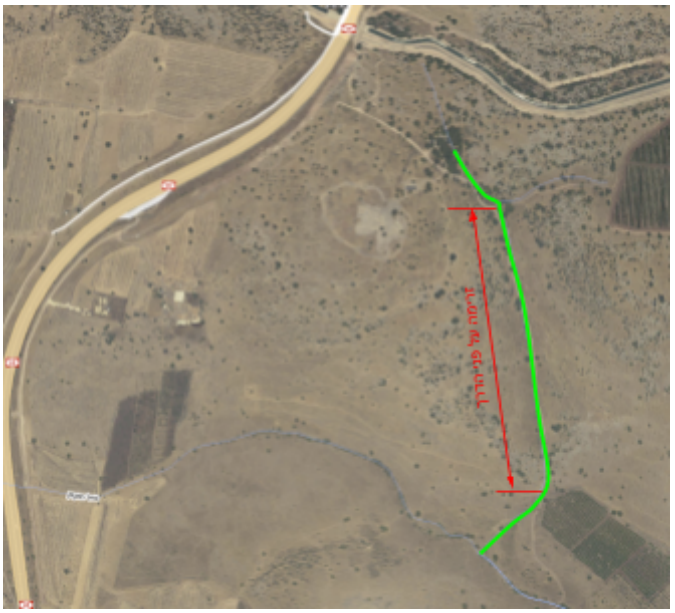
7. שיקום הידרולוגי ואקולוגי הכולל את תכנון והקמת הבריכות. דורש שלב תכנון מפורט בו שותפים הידרולוג, אקולוג אקווטי ואדריכל

8. טיפול ושיקום הרצף ההידרולוגי:
במסמך ממצאי הסקר האאקוהידרולוגי, מפורקת המלצה זו ל2 חלופות:
בחלופה א' מדובר על שיפור רצף זרימת המים של יובל נחל חוקוק, במקביל לדרך העפר.
בחלופה ב' מדובר על ביטול דרך עפר זו.

כותבי מסמך זה סבורים כי יש להתמקד בחלופה ב' בלבד, כלומר ההמלצה כאן היא ביטול דרך העפר היורדת לכיוון מאגר ליבנים.

מהסיבות הבאות:

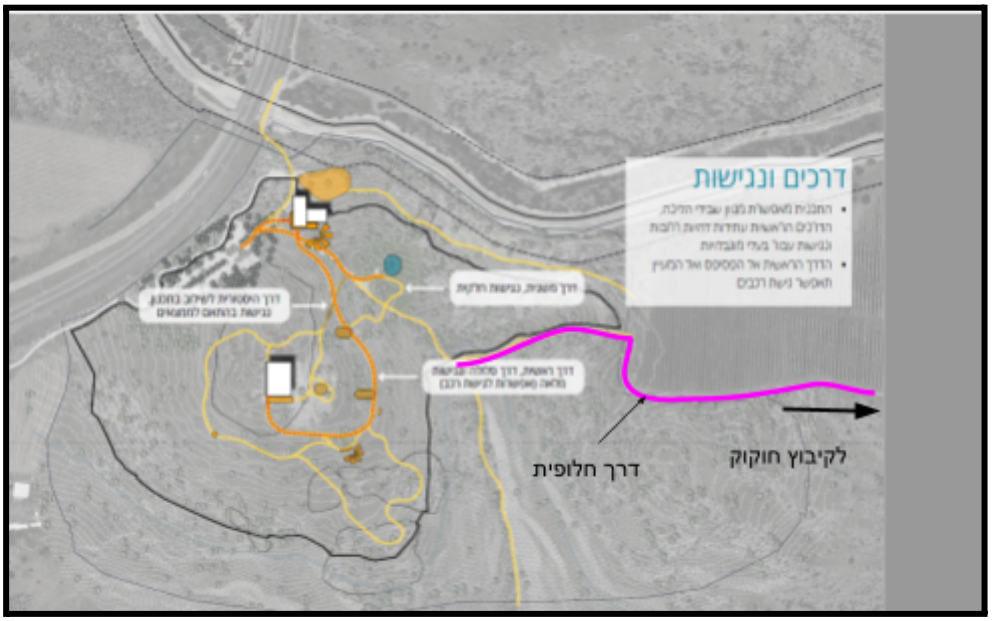
- הזרימה לאורך הדרך משמעה פגיעה בפוטנציאל האקולוגי של ניצול השטח והמים כבית גידול אקווטי איכותי ובמילים אחרות: או בית גידול נדיר ואיכותי או דרך עפר משובשת ומיותרת - כמוסבר להלן.
לנחל אין מקום במצב הקיים ולכן לא התפתח לארכו בית גידול לח / נחלי אפייני. בד בבד הדרך עצמה סובלת מעבירות ירודה ודורשת תחזוקה מוגברת.



למעלה: יובל הנחל בירוק - מקטע נחל פוטנציאלי לשיקום (כ 1 ק"מ) , באדום - מקטע זרימה על פני הדרך (כ600 מ'). govmap.gov.il

- תוואי זרימת היובל הוא ברובו המכריע על פני הדרך. אילו היה מדובר בחלק מצומצם מהתוואי אז היה ראוי לשקול רק הסדרתו ושיקומו של חלק זה.
- הזרימה על פני הדרך מזיקה ומשבשת את הדרך והופכת את הנסיעה על גביה לקשה, פחות בטוחה ולא אפשרית לרכבים רגילים.

- תחזוקת דרך כזו נדרשת לעיתים קרובות.
- קיימת דרך חלופית לדרך זו, אשר אינה סובלת מזרימות מים, בין קיבוץ חוקוק לאתר חוקוק



- ככל שמדובר בגישה למאגר ליבנים: אין צורך בדרך זו כיוון שקיימת דרך מוסדרת וטובה בין קיבוץ חוקוק למאגר ליבנים ובנוסף אליה גם מספר דרכי עפר מהמאגר לכביש 65 (מזרחה).



למעלה: המחשה ויזואלית לפוטנציאל יובל הנחל

9. טיפול בצומח
10. צמצום השפעת רעיית הבקר

5. מקורות ספרות

אלרון, כהן וקורן (2022). עין חוקוק – ממצאי סקר אקוהידרולוגי והמלצות לתכנון, שיקום וממשק.

שלמה אהרונוסון אדריכלים (2022). יער עמיעד ואתר חוקוק, חלופות תכנון.

שלמה אהרונוסון אדריכלים (2021). יער עמיעד ואתר חוקוק, סקר מצב קיים.

תהל מהנדסים יועצים בע"מ (2014) תוכנית אב לאספקת מים לטבע. דו"ח מסכם לאספקת מים לטבע

המרכז למיפוי ישראל govmap.gov.il

Dye Tracer Measurements, Operating Procedure, U.S Environmental Protection Agency, Science and Ecosystem Support Devision, Athens,Georgia, July 27-2017

Leif L. Marking (1969) Toxicity of Rhodamine B and Fluorescein Sodium to Fish and their Compatibility with Antimycin A. https://doi.org/10.1577/1548-8640(1969)31[139:TORBAF]2.0.CO;2

נספחים

נספח א: נתוני אקלים

מקור טבלאות ומפות האקלים: השירות המטאורולוגי ims.gov.il

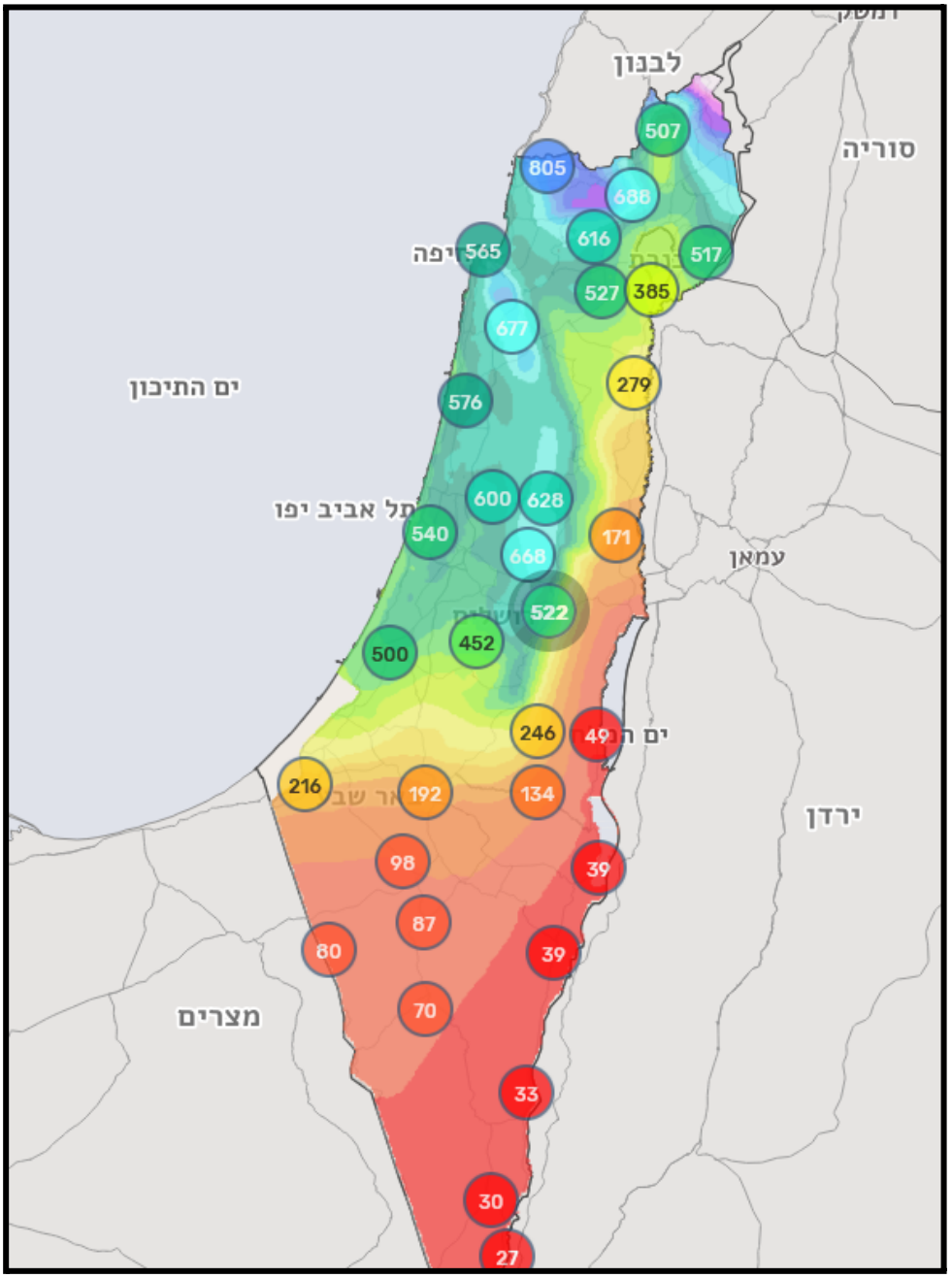
משקעים

חוקוק: נתוני משקעים חודשיים, שנתיים ועונתיים (מ"מ) לתקופה 2019/20-1990/91

	ספטמבר	אוקטובר	נובמבר	דצמבר	ינואר	פברואר	מרץ	אפריל	מאי	יוני	שנתי	סתיו	חורף	אביב
כמות גשם ממוצעת	1.2	17	49	110	139	100	57	25	9.4	0.2	508	67	349	92
כמות גשם מינימלית	0	0	0	12	28	12	0	0	0	0	283	0	200	0
כמות גשם מקסימלית	14.3	69	229	290	285	287	156	101	57.9	5	931	241	758	238
האחוזון ה-25 של כמות הגשם	0	4	11	53	88	51	16	4	0	0	414	26	283	54
החציון של כמות הגשם	0	14	36	107	125	87	47	19	1.6	0	493	59	313	76
האחוזון ה-75 של כמות הגשם	0	21	70	142	197	126	86	40	11	0	572	241	758	238

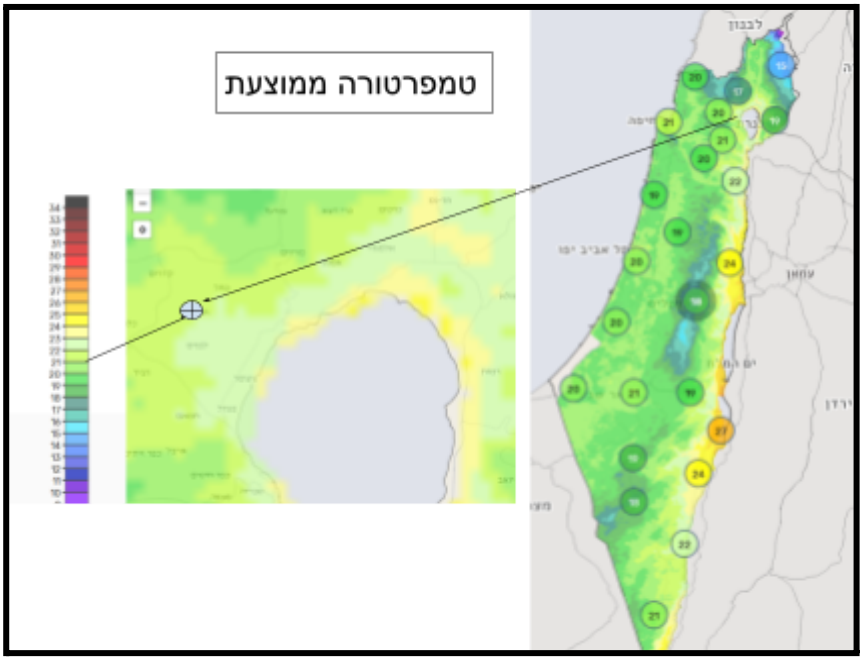
חוקוק: מספר ממוצע של ימי גשם לפי ספים לשנים 2019/20-1990/91

	ספטמבר	אוקטובר	נובמבר	דצמבר	ינואר	פברואר	מרץ	אפריל	מאי	יוני	שנתי
מספר ממוצע של ימי הגשם מסף של 0.1 מ"מ ומעלה	0.2	3.2	5.6	10.2	11.7	10.1	7.5	4	1.4	0.1	54
מספר ממוצע של ימי הגשם מסף של 1 מ"מ ומעלה	0.1	2.2	4.5	8.4	10.3	8.7	6.3	3	1	0.1	44.6
מספר ממוצע של ימי הגשם מסף של 5 מ"מ ומעלה	0.1	1.2	2.7	5.4	7.2	5.3	3.6	1.5	0.5	0	27.5
מספר ממוצע של ימי הגשם מסף של 10 מ"מ ומעלה	R	0.7	1.6	3.7	5.1	3.5	1.8	0.8	0.3	0	17.5
מספר ממוצע של ימי הגשם מסף של 25 מ"מ ומעלה	0	0.1	0.4	1.1	1.8	1.1	0.4	0.2	0.1	0	5.2
מספר ממוצע של ימי הגשם מסף של 50 מ"מ ומעלה	0	0	R	0.3	0.1	0.1	0.1	0	R	0	0.6

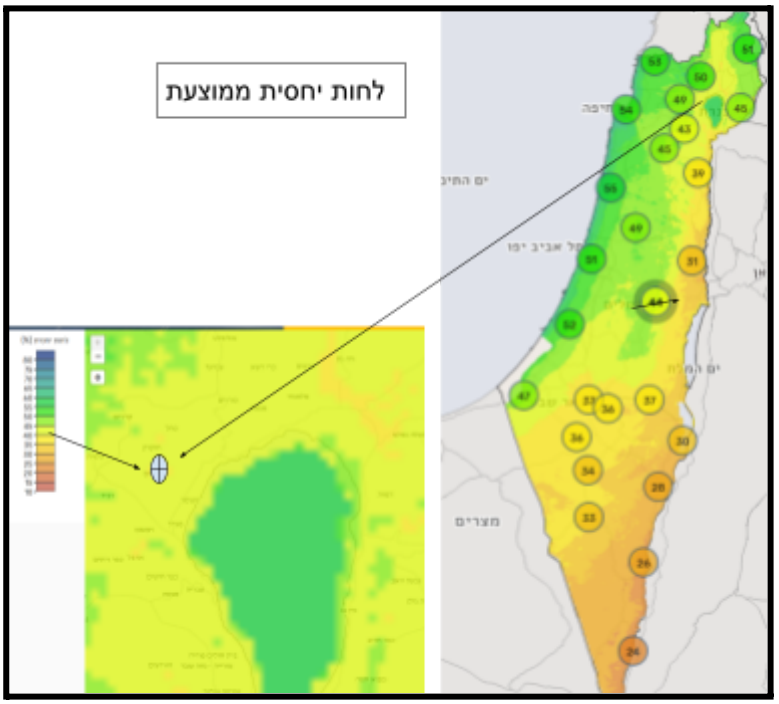


למעלה: מפת ממוצע משקעים ארצית

טמפרטורה



לחות יחסית:



נספח ב: תיעוד מבדיקת הצבען

הגעה של צבען ל 2



10:15 הגעה של צבען ל 4 דרך הקירות



10:17 כיסוי כ1/4 משטח הפנים של 3



10:28 הגעה של צבע ל 6



10:29 הגעה של צבע ל 7



נספח ג: עין חוקוק - רקע היסטורי

להלן מובאים חלקים מתוך מסמך: "עין חוקוק –ממצאי סקר אקוהידרולוגי והמלצות לתכנון, שיקום וממשק", פרק 2: 'רקע כללי'. (אלרון, כהן וקורן, 2022) שהוכן עבור קק"ל, יחידת המדען הראשי.

2 עין חוקוק – רקע כללי

עין חוקוק (נקרא גם עין יאקוק[1] או עין חבקוק[2]) הוא מעיין שנובע בגליל התחתון במעלה יובל של נחל חוקוק. הנביעה נמצאת בחלק המערבי של יער עמיעד, צפון-מערבית לקיבוץ חוקוק וממזרח לכביש 65. המעיין שימש בתקופות קדומות את היישוב היהודי חוקוק שהתקיים בימי בית שני ותקופת המשנה והתלמוד, ושכן דרום-מערבית למעיין על גבעה סמוכה. מהממצאים הארכאולוגיים עולה שההתיישבות במקום התקיימה מהתקופה ההלניסטית ועד לתקופה העות'מאנית. על חלק מהשרידים הארכאולוגים ישב עד שנת 1948 כפר ערבי בשם יאקוק ששימר את שם הישוב העתיק. המעיין שימש את תושבי הכפר כמקור המים המרכזי והחשוב ביותר.

בסקר ארץ ישראל המערבית שבוצע במחצית השנייה של המאה ה-19 ומומן ע"י הקרן לחקר ארץ ישראל (Palestine Exploration Fund) תואר יאקוק כ"כפר בנוי בתי אבן, ובו כ-200 תושבים מוסלמים, מוקף באדמה ראויה לעיבוד וממוקם למרגלות גבעה. ליד ישנו מעיין עם מים באיכות טובה ובכפר בורות מים רבים" (Conder and Kichener, 1881). באותו סקר המעיין סומן במפת הקרן לחקר ארץ ישראל מצפון-מזרח לכפר בשם Ein el-Tina ("מעיין התאנה") (איור 1). לא ברור

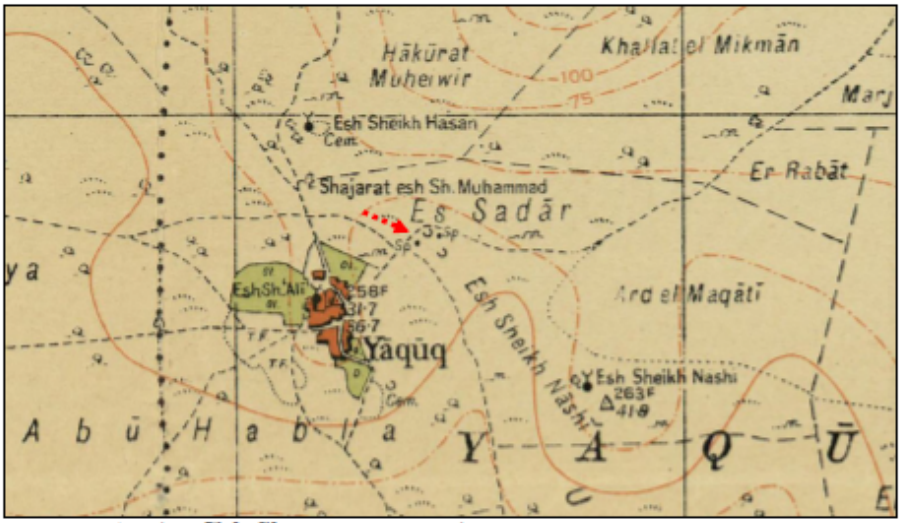
[1] על שם הכפר הערבי ששכן סמוך למעיין עד 1948. השם יאקוק (Yaquq) צוין לראשונה בכתובים באמצע המאה ה-11.
[2] על שם מבנה קבר שמיוחס על פי המסורת לנביא חבקוק ושוכן בקרבת מקום.

6

מהו מקור השם, אך הוא לא נשמר לאורך השנים. במפה מנדטורית מיולי 1942 מסומנים במקום שני מעיינות ולא מעיין אחד. ליד אף אחד מהם לא צוין שם (איור 2). השם השגור כיום "עין חוקוק" אינו מצוין באתר המפות הרשמי של מדינת ישראל (https://www.govmap.gov.il/), וגם במסמך "רשימון הידרוגרפי של מפת ישראל, חלק שני: מעיינות" משנת 1959, שעוסק במתן שמות עבריים למעיינות ע"י ועדת השמות הממשלתית לא נרשם מעיין בשם זה. עם זאת, הגיוני ששם המעיין שהשתרש בעברית לאחר קום המדינה יהיה כשם הישוב העברי הקדום – עין חוקוק (חוּקֹק או חֻקֹק כמצוין במקרא).



איור 1. הכפר יאקוק (Yakuk) והמעיין הסמוך (Ain et Tineh) במפת הקרן לחקר ארץ ישראל (PEF). להקל על הזיהוי מיקום המעיין סומן בחץ צהוב מקווקו. בחלקה הימני של המפה מסומן נחל עמוד כערוץ עם זרימה איתנה (נחל חוקוק הוא יובל של נחל עמוד).



איור 2. אזור עין חוקוק במפה מנדטורית מיולי 1942 (מפת Esh Shuna, גיליון 19-25, קנ"מ 1:20,000). להקל על הזיהוי שני המעיינות סומן המיקום בחץ אדום מקווקו.

מהמידע שנאסף לאחר שנתיים של חפירות ארכאולוגיות בעין חוקוק עדיין לא ידוע מה היה מראה המעיין בתקופות קדומות ובאיזה אופן נעשה השימוש במי הנביעה. עונת חפירה נוספת מתוכננת באתר בשנה הקרובה (אורי ברגר, ארכיאולוג נפה גליל מזרחי עליון, רשות העתיקות - מידע בע"פ).

המבנים שאנו רואים היום, הגלויים ואלו שנחשפו החפירה, נבנו בשלהי התקופה העותימאנית או בימי המנדט הבריטי (1917-1948), אם כי ברור שבתקופת המנדט הם עברו לכל הפחות שיפוץ משמעותי. ידוע שהשלטון הבריטי השקיע רבות בבניית מערכות אספקת מים בארץ ישראל בערים הגדולות ובישובים קטנים בפריפריה, ובמעיינות רבים נותרו מבנים מפעילות זו שעד היום ניתן לראות ברחבי הארץ.

מחקירה של מערכת המים בעין חוקוק עולה שהנביעה נמצאת במדרון בתוך מבנה תת קרקעי (בור) שעומקו כשלושה מטרים ואליו אפשר לרדת בטיפוס (תמונות 1 ו-2). בבור ישנה תעלה ובריכה רדודה שמתמלאת ע"י הנביעה. מהבריכה המים זורמים בצינור מתכת לבריכה קטנה מחוץ לבור (ממדים: 1.2x2.1 מ', עומק עמודת המים: סתיו 2021 - 10 ס"מ, אביב 2022 - 50 ס"מ; תמונה 3), שמזינה בריכה נוספת במבנה אבן הרוס ("בית המעיין") סמוך שבנוי מאבני בזלת מסותתות ונבנה בתקופת המנדט הבריטי (תמונה 4). זוהי בריכת איגום שמקבלת את מי הנביעה ומאפשרת גישה נוחה למים באמצעות מדרגות (ממדי הבריכה במבנה: 2.7x3.9 מ', עומק עמודת המים: סתיו 2021 - 1.13 מ', אביב 2022 - 1.70 מ'; תמונות 3 ו-5). בתקופת המנדט היה בנוי מעל מבנה האבן מבנה מעץ ובחזית נצבה שורה של שקתות להשקיית העדרים ומתקני כביסה (טפר ועמיתיו, 2000). לאחר שהכפר נעזב בשנת 1948, מבנה העליון מעץ נעלם וחלק ממבנה האבן נשבר ונהרס לאורך השנים (תמונה 2).



תמונות 1 ו-2. מימין – הכניסה למבנה הנביעה התת קרקעי מכוסה בלוח פח (02.11.22, צילם: אלדד אלרון), משמאל – מבט למעלה מתוך המבנה התת קרקעי (בור) אל פתח הכניסה (צילם: אריאל כהן).

חלק נוסף במערכת המים של המעיין נחשף בשנתיים האחרונות (2020-2021) בחפירה הארכיאולוגית שביצעה רשות העתיקות בעין חוקוק - מעט דרומה ובמרחק קצר מבית המעיין, נחשף מבנה נוסף, ללא גג, בנוי גם הוא מאבני בזלת מסותתות (תמונות 6 ו-7), הכולל גֶּרֶם מדרגות היורד לרחבה מרוצפת, שבקצה שלה בריכה קטנה (ממדים: 1.7x2.1 מ', עומק עמודת המים באביב: 52 ס"מ). בצד הבריכה שוקת בטון קטנה שנראית חדשה יותר. מעל מפלס הבריכה צינור מתכת

מסועף מתקופת המנדט (תמונות 6 ו-7). הצינור כפי הנראה הביא מים מבריכת האגירה בבית המעיין אל הבריכה במבנה הפתוח. במהלך הדיגום באביב זרמו מים לבריכה גם מקירות המבנה עצמו (תמונה 7), ככל הנראה מכיוון שלאורך צינורות המתכת הישנים של מערכת המים יש שבר אחד או יותר, ובזמן ספיקה חזקה המים בורחים מהצנרת וזורמים למקום הנמוך דרך סדקים בקרקע, היכן שיש להם נתיב נוח.



תמונה 3. הבריכה הקטנה מסומנת בחץ אדום מקווקו. לידה מימין מבנה הרוס מאבני בזלת מסותתות ("בית המעיין") ובו הבריכה הגדולה יותר (12.04.22, צילם: אלדד אלרון).

מהתבוננות בתמונה של בית המעיין שצולמה לפני קום המדינה (תמונה 4) ניתן לראות בקדמת הצילום פינת מבנה עם אבנים מסותתות, שמצביע על כך שהמבנה הפתוח שנחשף בחפירה הארכאולוגית היה פעיל באותה תקופה. גם הממצאים שנמצאו בחפירה של מבנה זה מצביעים על כך ששימש חלק ממערכת אספקת המים של עין חוקוק לפני 1948. המבנה כוסה כמעט כולו בעפר במהלך השנים לאחר שהכפר נעזב (**אורי ברגר, רשות העתיקות - מידע בע"פ**).

בפינה של הבריכה ישנו פתח ניקוז לצינור שאורכו כ-40 מ' לערך וקצהו נמצא בשוליים הדרומיים של חורשת השיזפים. מפתח הצינור המים נשפכים למורד לבריכה קטנה ורדודה שמופרת ע"י שכשוך פרות. ממנה הם זורמים סמוך לשוקת בטון שבורה (תמונה 8), וממשיכים לצד ועל גבי דרך העפר לרכבים, בצורה לא מוסדרת, עד לערוץ המתחבר במורד לנחל חוקוק. הזרימה על גבי הדרך פוגעת בניצול מיטבי של המים ליצירת בית גידול אקווטיים איכותיים (תמונה 9).

זרימת המים למורד מושפעת מאד מהספיקה העונתית. באביב 2022 הספיקה הייתה חזקה ומי המעיין זרמו לצד ועל גבי דרך העפר שמובילה לאתר – לאורך מאות מטרים, עד למפגש עם האפיק המרכזי של נחל חוקוק. בסתיו 2021, לעומת זאת, ספיקת המים הייתה נמוכה, ומי המעיין זרמו מהצינור רק עד הבריכה הקטנה שמופרת ע"י הבקר בשולי חורשת השיזפים.



תמונה 4. בית המעיין של עין יאקוק (חוקוק) לפני שנהרס בחלקו (מקור: הערך "עין חוקוק" באתר ויקיפדיה). התמונה צולמה לפני קום המדינה אולם אין תאריך מדויק.



תמונה 5. בית המעיין של עין חוקוק במצבו הנוכחי. חלק מהגג והקירות שבורים (12.04.22, צילם: אלדד אלרון).