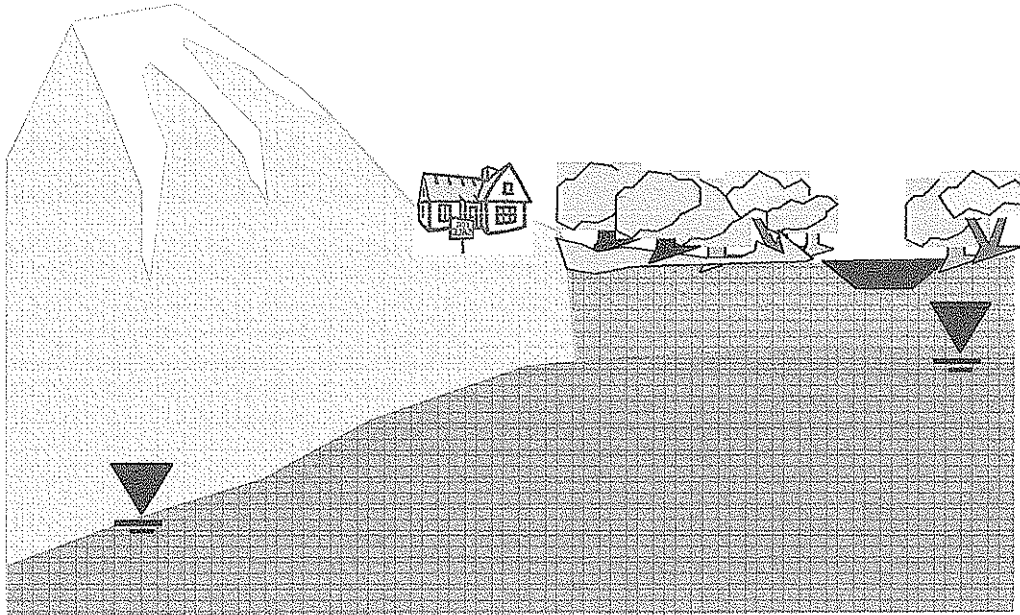


21.8.07 א.ל.ק.ר

סקר סיכונים הידרולוגי לתחנת דלק פסגת החרמון מדרום למגידל שמש



מרץ 2007

אלון רימר

עצמון, משגב

Email: rimmera@netvision.net.il

משרד הפנים מחוז הצפון
חוק התכנון והבניה תשס"ה 1965
אישור תכנית מס' 9107
הועדה המחוזית לתכנון ובניה החליטה
ביום 01/11/07 לאשר את התכנית
המגידל שמש
סמנכ"ל לתכנון יו"ר הוועדה המחוזית

הודעה על אישור תכנית מס' 9107
פורסמה בלוח המרשמים מס' 5735
מיום 8.11.07

הנדון: חוות דעת הבוחנת סיכונים הידרולוגיים לתחנת דלק מדרום למגדל שמס- תכנית ג'9813

אני, הח"מ, דר' אלון רימר נושא ת.ז. 053237822, נותן חוות דעתי זו.

ואלה פרטי השכלתי :

1993-1989 : הטכניון, חיפה, הפקולטה להנדסה חקלאית, D.Sc. במגמת קרקע ומים.

1989-1986 : הטכניון, חיפה, הפקולטה להנדסה חקלאית, M.Sc. במגמת קרקע ומים.

1985-1982 : האוניברסיטה העברית, הפקולטה לחקלאות ברחובות, B.A. מגמת קרקע ומים,

ואלה פרטי נסיוני:

החל ממאי 2001: חוקר מן המניין במעבדה לחקר הכנרת.

החל מינואר 2000: עוסק מורשה עצמאי. הוראה בדרגת מרצה בכיר בטכניון ובמכללות תל חי ורופין.

1998-2000: יודפת מהנדסים (1994) בע"מ

1995-1998: יחידת אגן ההיקוות, חבל ירדן, מקורות.

1995-1993: פוסט-דוקטורט, אוניברסיטת Cornell, ניו-יורק, ארה"ב.

רשימה חלקית של עבודות הידרולוגיות שנעשו על ידי או בהשתתפותי:

1. רימר א. ומ. שאו, 1996-7-8. (3 עבודות לסיכום מאזן הכנרת) מאזני המים, המלח והחום של הכנרת לשנים 1994 עד 1997. יח' אגן ההיקוות, מקורות.
2. רימר א., 1997. מליחות הכנרת- הערכת מאפייני השפיעות המלוחות שאינן נמדדות. יח' אגן ההיקוות, מקורות.
3. רימר א. וש. הורביץ, 1998. מנגנון שפיעת מים ומלח ממעיינות החוף המערבי של הכנרת. יח' אגן ההיקוות, מקורות.
4. רימר א. נ. שכטר וד. שרבן, 1998. תכנית אב לביוב לביר-אל-מכסור. יודפת מהנדסים (1994) בע"מ.
5. רימר א. נ. שכטר וד. שרבן, 1999. משק המים ומערכת הביוב בחצור הגלילית- סקר בעיות תפעול ומימון. יודפת מהנדסים (1994) בע"מ.
6. רימר א., 2000. מקורות זיהום נחלים באגן הכנרת. מוגש לחברה להגנת הטבע.
7. רימר א., 2000. סקר הידרולוגי של אזור מכון טיהור נהריה. הוגש כחלק ממכרז להקמת המכון.
8. רימר א., 2000. חוף כרמל- הפתרון ההנדסי המשולב למערכת מים מחודשת. עבודה משותפת עם יודפת מהנדסים (1994) בע"מ. מוגש ל- "ריסט" תשתיות זורמות.
9. רימר א., 2000. סקר הידרולוגי של אזור צומת וולקן. מוגש למפעל וולקן מצברים.
10. רימר א., 2000. סקר הידרולוגי של אזור נחל געתון. מוגש למרכז לחינוך קהילתי ע"ש ציפורי.
11. רימר א., 2000. חוות דעת הידרולוגית בנושא הקמת מאגר קולחים בבקעת בית צידה. מוגש לחברה להגנת הטבע.
12. רימר א., 2001. סקר ומודל הידרוגיאולוגי של איזור פארק התעשייה קיסריה ומפעל החדרת מי נחלי מנשה. מוגש למנהלת הפארק.
13. רימר א., 2001. תכנית אב לנחל גיבורים-פרק מים והידרולוגיה. הוגש לעיריית חיפה.
14. רימר א., 2001. ההידרולוגיה של קידוחי שומרה ומעיינות כרכרה בנחל בצת. הוגש לקיבוץ אילון.

15. רימר א., ה. אבו וא. שביט, 2003. ניתוח ההבדלים בין מנגנוני ההמלחה של מעיינות טבחה. דו"ח מחקר סופי. הוגש לאגף תכנון בנציבות המים.
16. קסלר א., א. רימר, 2003. השפעת רום מפלס הכנרת על השפיעה המלוחה באיזור פוליה. הוגש לאגף התכנון בנציבות המים.
17. רימר א. 2003. חוות דעת הידרולוגית הבוחנת את ההשפעות הסביבתיות של רפת קיבוץ עין גב. הוגש למשרד לאיכות הסביבה – מחוז צפון.
18. רימר א., וע. פליישר, 2003. פוטנציאל ההפקה מאקוויפר חבורת יהודה מניצנים ועד גבול סיני-מודל הידרולוגי. הוגש לאגף תכנון בנציבות המים.
19. רימר א. וי. סלינגר, 2005. דו"ח פעילות בנושא פיתוח מודל דינמי לחיזוי הסעת מזהמים באגן הירדן העליון בעזרת GIS. מוגש ל – GLOWA, פרויקט בינלאומי בנושא הידרולוגיה של אגנים גדולים.
20. רימר א. 2005. הצפת חלקות חקלאיות ליד ערוץ נחל סמך- חוות דעת הידרולוגית. הוגשה לבית המשפט בתל אביב בדיון בנושא תביעת פיצויים.
21. רימר א. 2005. סקר סיכונים הידרולוגי לתחנת דלק ממזרח לדיר חנא-תכנית 13073\ג. הוגש למשרד לאיכות הסביבה.

חתימה:

• תאריך: 01/03/2007

1. הקדמה- תכנית ג'9813-אזור תעשייה ומסחר, מגדל שמש

התכנית עוסקת בשינוי יעוד קרקע חקלאית לשטח מסחרי שיכלול גם קניון ותחנת דלק (קיימת). במסגרת זו התבקשתי ע"י האדריכל מחמוד בריק להכין מסמך הידרולוגי המציג את מיקום התחנה ביחס למקורות המים הטבעיים באזור, ולערך סקר סיכונים. מיקום התחנה הוא ממזרח לכביש היורד ממגדל שמש למסעדה, בקואורדינטות מזרח-מערב 221.7 ודרום-צפון 295.6, לפי קואורדינטות ישראל (ישנות). תכנית ג'9813 מתייחסת לשטח בשולי המדרון הדרום מזרחי של רכס החרמון, מעל תחום הנחשב לאזור העשרה של האקוויפר המקומי שנחשף כ- 2 ק"מ דרומה משם בברכת רם.

מטרת עבודה זו היא לסקור את התנאים ההידרולוגיים של סביבת התחנה, ולחוות דעה בנושא סיכונים הידרולוגיים, כפי שנדרשו במכתבה של ג'נין בליש מה- 15 לפברואר 2007. ע"פ דרישות המשרד לאיכות הסביבה יש להציג את זמן ההגעה של דלק שדלף ממיכל דרך תת הקרקע אל הנחל הקרוב, ולאזן לאזור התפיסה של קידוח קיים במורד הזרם, כאשר החישוב יעשה בכפוף להנחות המחמירות ביותר.

במסגרת ההכנות לעבודה זו ערכתי סיור בשטח המיועד לתחנת הדלק לצורך הכרת המקום, ונפגשתי עם האדריכל מחמוד בריק במשרדו בתאריך 20.2.2007.

חוות הדעת תכלול את הנושאים הבאים:

♣ תאור אגן היקוות הנגר העילי הרלוונטי.

♣ בארות שואבות ומפעלי מים בצפון רמת הגולן נחל סער וברכת רם.

♣ תאור אגן מי התהום שמעליו מיועדת התחנה להיבנות, חתך גיאולוגי משוער ותכונות המסלע המאפיין את אזור דרום מזרח החרמון, כולל מחשופים ואזורי העשרה.

♣ על סמך החומר שמוצג בארבעת הסעיפים לעיל נרשמו החלקים הבאים הכוללים:

♣ ניתוח הידרולוגי והשגות בנושא סיכונים הידרולוגיים.

♣ סיכום והמלצות.

כמו כן מצאתי לנכון להוסיף כנספח לעבודה ניתוח בסיסי של גשם בצפון רמת הגולן, והסברים על מספר מושגי יסוד והגדרות בנושא מי תהום.

2. גיאורפיה ומים עיליים

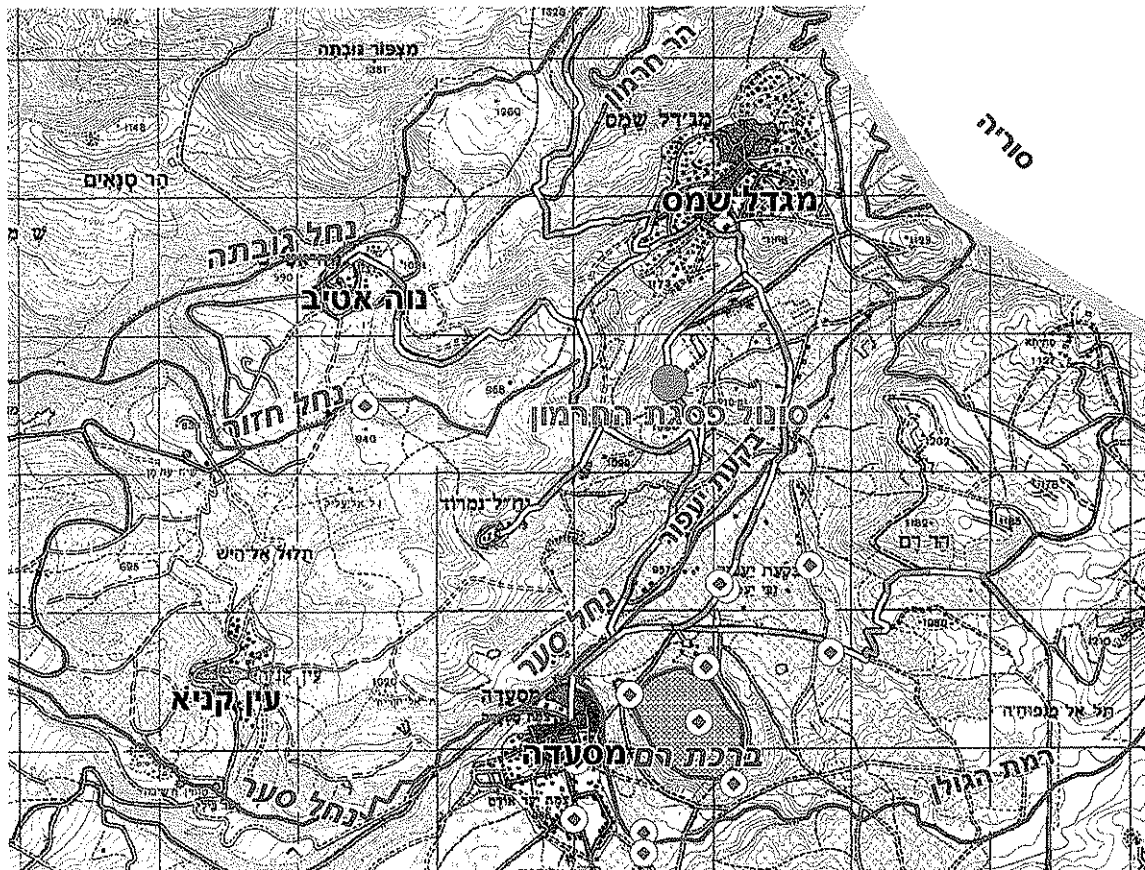
אגן הניקוז של הירדן העליון כולל כ- 1,700 קמ"ר, שמתוכם כ- 920 קמ"ר בשטח ישראל והשאר בשטחן של סוריה ולבנון. מקורות הירדן נמצאים בדרום רכס החרמון - רכס מאורך הבנוי בעיקרו משכבת אבן גיר קרסטית מתקופת היורה, שעובייה גדול מ- 2,000 מ'. אורכו של הרכס כ- 55 ק"מ ורחבו כ- 25 ק"מ, והוא מהווה בחלקו את רכס ההרים הגבוה ביותר בישראל. רק 7% משטח ההר מצוי בשטח ישראל והשאר מחולק בין סוריה ללבנון. הפסגה ברום 2,814 מ' נמצאת בשטח סוריה. האזורים הגבוהים של ההר (1,000 מ' מעל פני הים ומעלה) הם עשירי המשקעים ביותר בישראל (מעל 1,300 מ"מ בממוצע שנתי), ואלה מוגבלים לתקופת הגשמים שבין אוקטובר לאפריל. שלג יורד על הר חרמון בד"כ בין דצמבר למרץ, ונותר בפסגתו (<1400 מ') עד מאי - יוני, כתלות במזג האוויר של אותה שנה. הגשם והשלג על ההר מזינים את שלושת מקורות המים הראשיים של הירדן, נחל דן (255 מליון מ"ק - מלמ"ק - ממוצע שנתי), נחל שניר (חצבני, 118 מלמ"ק), ונחל חרמון (בניאס 107 מלמ"ק).

תחנת הדלק "פסגת החרמון" (שתכונה להלן "התחנה") נמצאת בתחום אגן ההיקוות של נחל חרמון ששטחו כ- 158 קמ"ר. זרימתו של הנחל מתחילה ממעיין סער (6 מלמ"ק) על גבול ישראל-סוריה; הוא מקבל את מרבית מימיו ממעיין הבניאס (כ- 67 מלמ"ק) במורד נחל סער; בהמשך ממעינות קרסטיים באגן נחל שיאון, ולבסוף מבריכת הקצינים (23 מלמ"ק (Gur et al. 2003)). התחנה נמצאת ברום כ- 1030 מ' מעל פני הים בשוליים הצפון מערביים של בקעת יעפור, במורדות הצפון מזרחיים של נחל סער (תרשים 1). התחנה ממוקמת כקילומטר מצפון מערב לערוץ הנחל, וכ- 30 מ' מעליו. נגר עילי מאזור התחנה מתנקז לנחל בשיפוע ממוצע של כ- 3%. האזור נכלל בתחום a1 - אגן ההיקוות של הכנרת, על פי הגדרות נציבות המים מ- 1992.

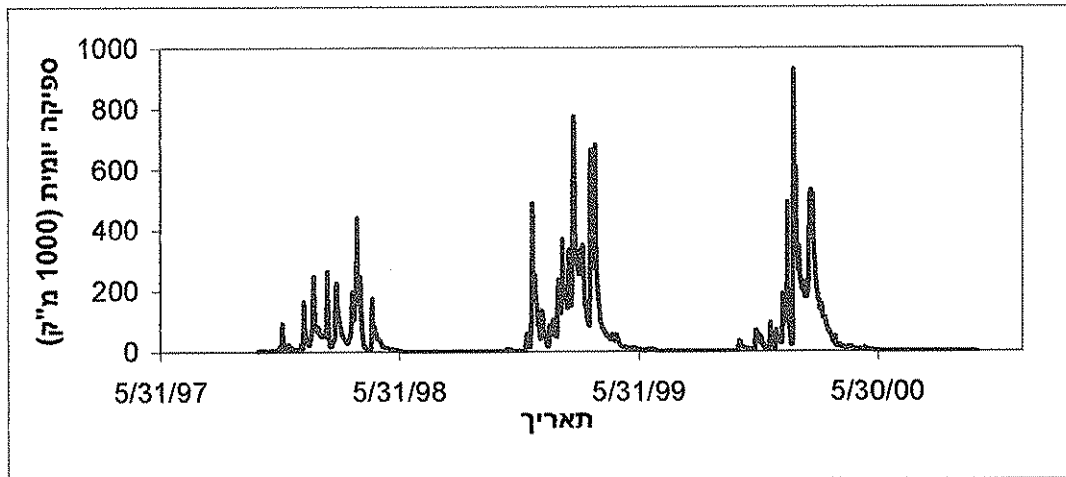
ערוץ נחל סער זורם בשיפוע קטן בכיוון דרום מערב דרך בקעת יעפור בואך מסעדה, ומשם בכיוון מערב וצפון מערב בשיפוע גדול דרך מפלי מים גבוהים עד רום כ- 350 מ' שבו מצטרף מעיין הבניאס. במורד אזור התחנה, נחל סער יבש במרבית חודשי השנה, אך במהלך החורף מתקיימת בו זרימה ממוצעת של כ- 10 עד 20 מלמ"ק לשנה (תרשים 2) כתלות בכמות המשקעים.

3. בארות והפקה

משאבי המים המקומיים באזור התחנה מחייבים התייחסות לנושא הנגר העילי כפי שיוסבר להלן. באזור ברכת רם ומסעדה, מרחק שני ק"מ מאתר התחנה קיימים שני אתרי שאיבת מים של מקורות. האחד, "תחנת נחל סער" (טבלה 1) על ערוץ הנחל ממערב למסעדה, שואב כ- 4 מלמ"ק לשנה (תרשים 3) ממי הנחל בעונת החורף, ומעביר אותם למאגרי צפון רמת הגולן. פעולה זו נועדה לאגור חלק מהמים לשימוש מקומי באזור שבו ישמשו בחודשי הקיץ. המתקן השני, "תחנת ברכת רם" שואב כ- 5 מלמ"ק בממוצע מברכת רם בחודשי הקיץ (תרשים 3), שמיועדים לשימוש ביתי וחקלאי במערכת הצריכה של צפון רמת הגולן. ברכת רם, מאגר טבעי בנפח של כ- 6 מלמ"ק, הוא למעשה "חלון" לאקוויפר מי התהום האזורי, ותנודות הנפח העונתיות שלו (תרשים 3) מייצגות למעשה את השתנות מפלס מי התהום האזורי. מאליו מובן שזיהום פני הקרקע בדלק באזור התחנה יזרום במהירות במורד נחל סער ויזהם הן את מקורות המים המקומיים שתוארו לעיל, והן את מי הירדן, במורד נחל סער ונחל חרמון שבהמשכו.



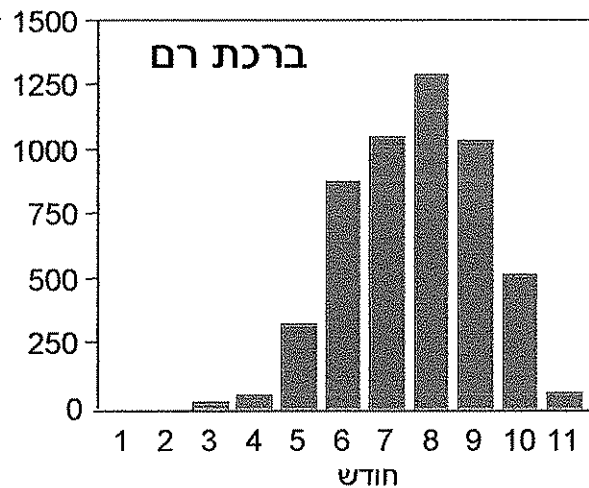
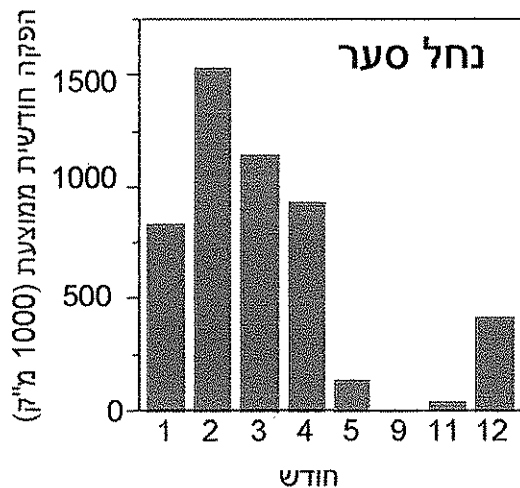
תרשים 1. תחנת הדלק סונול פסגת החרמון ואזור אגן נחל סער ובקעת יעפור. בתרשים הודגשו הישובים, הכבישים הראשיים, הנחלים העיקריים, ברכת רם, בארות תצפית ובארות שואבות.



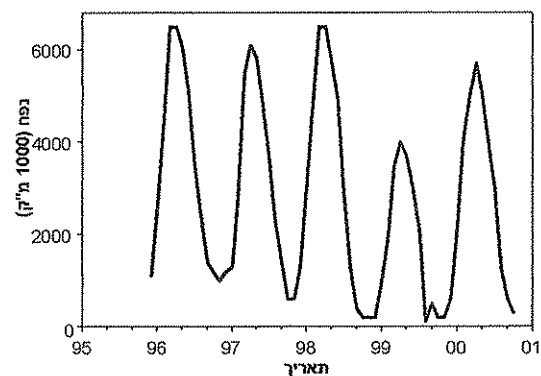
תרשים 2. דוגמא לספיקות יומיות כפי שנמדדו ע"י השרות ההידרולוגי בערוץ נחל סער (תחנה מס. 30124, סער-מסעדה מצפון לברכת רם) בין השנים 1997 – 2000.

טבלה 1. שני מתקני השאיבה העיקריים באזור ברכת רם, כ- 2 ק"מ מדרום לתחנה.

צרכן	שם מתקן (1)	שם מתקן (2)	# הפקה	# מקורות	x	y
מקורות	ברכת רם תחנה	מקורות אגן 6 תא 673	8519	1555003	221.9	292.7
מקורות	נחל סער תחנה	מקורות אגן 6 תא 673	8522	1555016	221	293.65

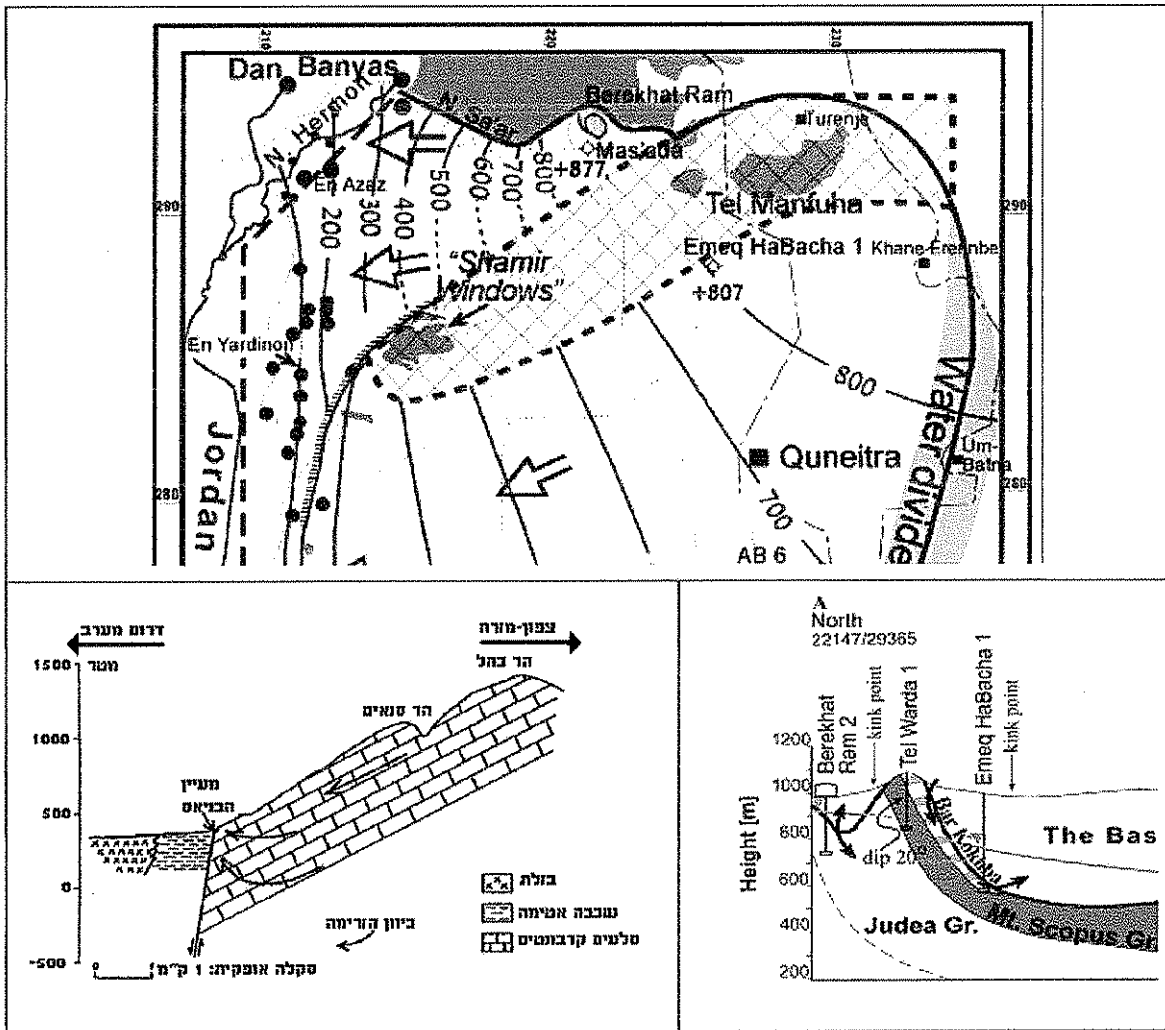


תרשים 3. שאיבה חודשית ממוצעת בשני אתרי שאיבת מים של מקורות: "תחנת נחל סער" ו"תחנת ברכת רם". מימין: נפח חדשי בברכת רם בשנים 1996-2001.



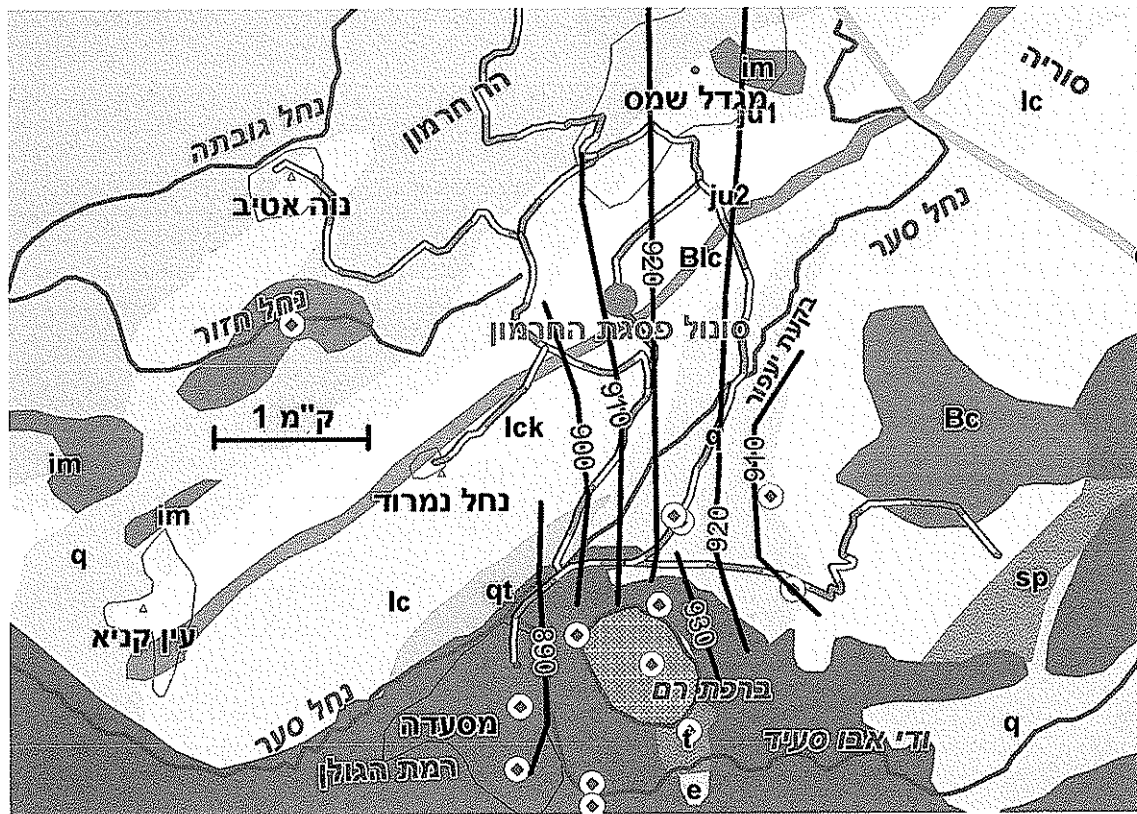
4. מי תהום

תאור המחסופים והחתכים הגיאולוגיים מובא כאן על מנת להסביר את מיקום התחנה ביחס למערכות מי התהום של דרום מזרח החרמון, נחל סער וצפון רמת הגולן. המקורות שבהם השתמשתי לצורך הצגת הגיאולוגיה וההידרולוגיה של מי התהום באזור הם: Gur et al. 2003; Dafny et al. 2003; מיכלסון 1975-1979; מורין וחובריו 1979; גלעד ושוורץ 1978 ו- Gilad and Bonne 1990. האזור הדרום-מזרחי של רכס החרמון, (שעליו יושבת התחנה) מורכב בעיקרו מסלעים דולומיטיים מתקופת היורה. מספר מאות מטרים דרום מזרחה לשם מצויה בקעת יעפור שבה הקרקעות הן תוצר של שכבות מילוי צעירות, ובהמשך, לכיוון דרום מזרח מעבר לאפיק נחל סער מתחילים מסלעי הבזלת של רמת הגולן (תרשימים 4 ו-5). מתרשים 4 ניתן להבחין בשלוש מערכות אקוויפריות שונות בקרבה למיקום התחנה. 1. האקוויפר הקרסטי שמזין את מעיין הבניאס. 2. אקוויפר חבורת יהודה שבחלקו המזרחי נמצאת ברכת רם. 3. אקוויפר הבזלת של רמת הגולן.

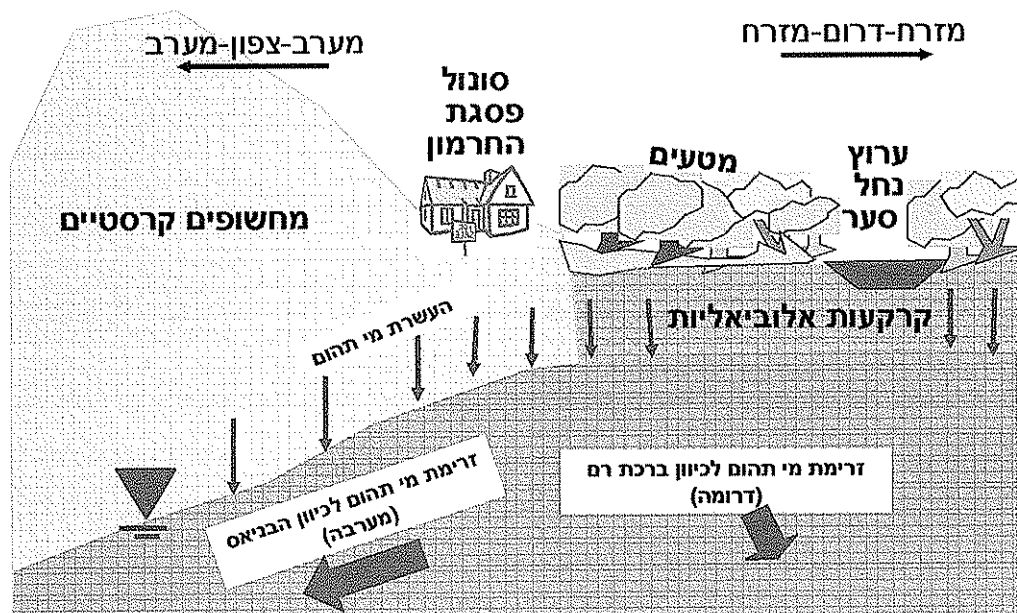


תרשים 4. תאור סכמטי של האקוויפרים וכיווני זרימת מי התהום באזור דרום- מזרח החרמון, בקעת יעפור ונחל סער. למעלה: מפת מפלסי מי תהום וכיווני זרימה מאזור ברכת רם מערבה (ע"פ Dafny et al. 2003). ימין למטה: חתך אנכי של צפון רמת הגולן מצפון לדרום מראה את החלוקה לאקוויפר חב' יהודה באזור ברכת רם, ואקוויפר הבזלת ברמת הגולן (ע"פ Dafny et al. 2003). שמאל למטה: חתך אנכי סכמטי מצפון מזרח (הר כחל) לדרום מערב (בניאס) מתאר את כיווני הזרימה באקוויפר הקרסטי (ע"פ גלעד ושוורץ 1978)

בעזרת אינטרפולציה של רום מי תהום במספר בארות שאיבה ובארות תצפית ליד ברכת רם, ובאר אחת על רכס החרמון (מצפון למג'דל שמש) ניתן לקבל מפת מפלסים מייצגת של מי תהום באזור (תרשים 5). המפלסים מייצגים את רום פני המים באזור מצומצם שבין מג'דל שמש לברכת רם מדרום מזרח לרכס החרמון. ניתן לראות כי רום פני מי התהום באזור התחנה הוא כ-890 עד 930 מ' מעל פני הים, כ-100 מ' בקירוב מתחת לרום התחנה (כאמור 1030 מ' מעל פני הים). מתוך חישוב המפלסים המקומי ברור כי קיים גרדיאנט זרימה ניכר לכיוון מערב (למעיינות הבניאס, תרשים 6) אך לא ניתן לשלול אפשרות קלושה שמכיוון התחנה קיים גרדיאנט מקומי מתון המחייב זרימה לכיוון מזרח (בקעת יעפור) דווקא, והעשרתו של אקוויפר חבורת יהודה. הנתונים שבידי אינם מאפשרים קביעה מובהקת של כיווני הזרימה המקומיים בכל מצב.



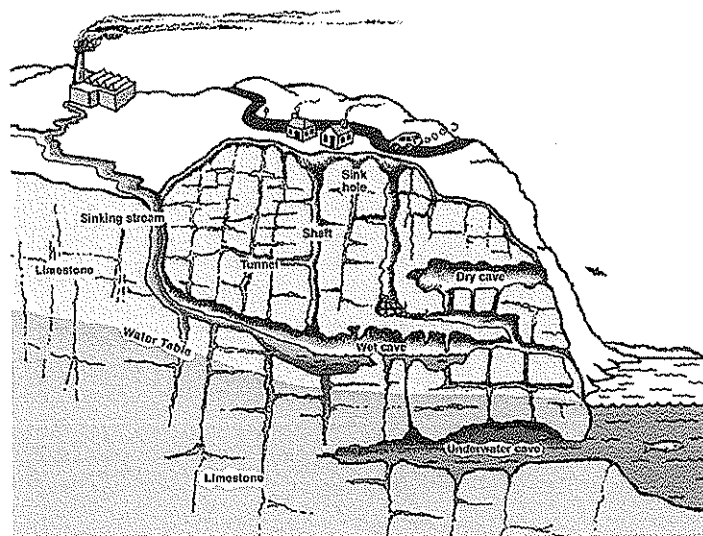
תרשים 5. תחנת דלק סונול פסגת החרמון, ישובים, כבישים ראשיים, נחלים, ובארות תצפית ושאיבה על רקע מפה גיאולוגית של דרום מזרח החרמון קיים שוי עומד פיאזומטרי (890 עד 930 מ') מאפיינים את רום מפלס מי התהום האזורי.



תרשים 6. חתך הידרולוגי מקומי משוער. מזהם שיגיע מהתחנה יזרום ככל הנראה מערבה לכיוון הבניאס. תתכן גם אפשרות קלושה לזרימה מזרחה לכיוון בקעת יעפור ואז דרומה לברכת רם.

תוצאות אלה מצביעות על כך שזיהום דלק פוטנציאלי באזור התחנה צריך לנדוד אנכית כ-100 מ' בקירוב לפני הגעתו למי התהום, ולאחר מכן סביר מאד להניח שיזרום מערבה, לכיוון מעיין הבניאס. במסלעים שונים (בעיקר בשכבות מילוי צעירות) שכבת מעבר אנכית שעביה 100 מטר עשויה להיות שכבת מגן מספקת, אך לא כך הוא באזור אגני רכס החרמון.

רכס החרמון מצטיין במבנה קרסטי מובהק. סביבה קרסטית מתאפיינת בד"כ במיעוט יחסי של נגר עילי, וניקוז מהיר של מים מפני הקרקע אל מי התהום. סביבה קרסטית נוצרת כתוצאה מהמסה של סלעי משקע כגון גיר, דולומיט וגבס. היא מתאפיינת ברשת של חללים גדולים, מערות ונקזים תת-קרקעיים גדולים (תרשים 7). מרבית החללים נוצרים ע"י ניקוז פנימי, המסה, שקיעה והתמוטטויות. היווצרות הקרסט מתוארת בד"כ כתהליך המסה של סדקים בסלע, שגורם לסדקים להמשיך ולהתרחב, ולנקז במהירות כמויות גדולות של מים.



תרשים 7. תאור חתך מאפייני של סביבה הררית קרסטית המצטיינת בסדקים, מערות, ונתיבי זרימה גדולים

כתוצאה ממבנה גיאוידרולוגי זה השערתי היא כי העשרת מי התהום באיזור (הגעת מים מפני הקרקע למשטח הפריאטי) נעשית בשני תהליכים עיקריים – איטי ומהיר (2006 Rimmer and Salinger). התהליך האיטי מתרחש כאשר שכבת פני הקרקע (לעתים, באזורים קארסטיים היא נקראת אפיקרסט) מועשרת ע"י משקעים (גשם ושלג), ומנוקזת בחלקה ע"י נגר עילי, התאדות, וחלחול איטי כלפי מטה לשכבות עמוקות. תהליך זה הוא היחיד שמתקיים כל עוד שכבת פני הקרקע העליונה איננה רוויה. בתנאים אלה נדידת המים כלפי מטה היא איטית יחסית, ועשויה להמשך חודשים ושנים. הרכיב המהיר בא לידי ביטוי כאשר פני הקרקע במצב רוויה. רוויה נוצרת בעקבות כמות גדולה ומצטברת של גשמים, (בד"כ דרושה כמות מצטברת של כ-300 מ"מ לפני שפני הקרקע מגיעים לרוויה). במצב זה בא לידי ביטוי רכיב של זרימה מעדיפה (preferential flow) שבו הסדקים הגדולים של הסביבה הקרסטית מתמלאים במים, ומתחיל תהליך מהיר מאד של חלחול ספיקות גדולות כלפי מטה. רכיב זה פעיל כאמור רק בחלוף מספר שבועות של גשמי חורף, והוא מסוגל להעביר מים מפני הקרקע לאקוויפר תוך ימים ספורים, ואף שעות.

התצורות השונות הנחשפות בפני הקרקע (תרשים 5) מייצגות במידה רבה את מבנה האקוויפרים של האזור. מחשופי תצורות היורה (סימול $Ju1$, $Ju2$, Jm) מציינים את מיקומו של האקוויפר הקרסטי, שבו זרימת המים היא באופן כללי מערבה ודרום מערבה. מתחת למחשופי תצורות שכבות המילוי הצעירות (q) בבבקעת יעפור, נמצא האזור הצפון מזרחי ביותר של אקוויפר חבורת יהודה, שבחלקו מתנקז ל"מעיינות הדופן" שבין קבוץ שמיר לנחל חרמון (ראה גם תרשים 4), ובחלקו משתרע מתחת לאקוויפר הבזלת של רמת הגולן. שכבות אופייניות לאקוויפר חבורת יהודה (Ct קנומן טורון ו- lc קרטיקון תחתון) נחשפות באזור ערוץ נחל סער, בין המחשופים הקרסטיים של החרמון לבין מחשופי הבזלת (BC) של אזור רמת הגולן. חלקו הצפוני של אקוויפר הבזלת של רמת הגולן מתחיל מספר קילומטרים מדרום לברכת רם באזור עמק הבכא.

5. ניתוח הידרולוגי

לצורך חישוב זמני הסעה של חומרים באקוויפר דרוש מידע על תכונות האקוויפר, כמו למשל נקבוביות, מוליכות הידראולית ואגירות. אקוויפר היורה, האקוויפר המרכזי במערכת האקוויפרים הרלוונטית לחוות הדעת הנוכחית, נחשב למערכת קארסטית של אבן גיר ודולומיט. הזרימה באקוויפרים קרבונטיים מתוארת כאמור כזרימה במערכת סדוקה. לעיתים קרובות סדקים ונתיבי הולכה הנוצרים בפעילות הקארסטית מהווים את הנתיבים העיקריים של הזרימה.

הערכה של פרמטרים הידראוליים יכולה להעשות בשיטות שונות המייצגות סדרי גודל שונים של האזור הנבדק. לדוגמא – מבחני שאיבה שנעשים בבארות באזור אחד אינם משקפים את הנעשה באקוויפר באזור אחר. באזור החרמון כמעט ואין בנמצא הערכות של פרמטרים הידראוליים מתוך מבחני שאיבה מאחר ואין בארות ששואבות מאקוויפר היורה. ההערכות שנבצע להלן תהיינה מבוססות על ההנחה שתכונות אקוויפר היורה דומות לאלה של אקוויפר חבורת יהודה, אף הוא קרסטי, ומאפייניו ידועים במידה רבה בזכות מחקרים רבים באזור הכנרת ואקוויפר ההר.

נקבוביות: בספרות מוצעת רשימת פרמטרים אופיינית למודלים נומריים של זרימה ותנועת מומסים (רשימה כללית, לא מסווגת לפי סוגי מסלע), ביניהם ערך נקבוביות של 0.15. בנתונים של מספר גדול של ניסויי שדה. ניתן למצוא ערכי נקבוביות של 0.18-0.35 באקוויפר דולומיטי סדוק, 0.12-0.35 באקוויפר של אבן גיר, ו- 0.14-0.25 באקוויפר של אבן חול המכיל חרסית וסילט. נעריך את הנקבוביות הממוצעת באקוויפר קרסטי ב-0.1.

תולכה ומוליכות הידראולית: ערכי תולכה של אקוויפרים סדוקים חושבו דרך ניתוח מבחני שאיבה בקידוחים הן באזור הכנרת והן באקוויפר ההר. המוליכות הידראולית האופקית הוערכה במספר עשרות מטרים ליום.

חוק דרסי לאזור הקרסטי של החרמון: חוק דרסי החד מימדי בכיוון x מתאר את התלות של השטף במצע נקבובי בהפרשי עומד הידראולי.

$$q = -K \frac{(H|_{x2} - H|_{x1})}{(x_2 - x_1)}$$

מהירות המים, v , תחושב ע"י חלוקת השטף בתכולת הרטיבות ברוויה: $v = q/n$.

נבחן להלן את המערכת המופיעה בתרשים 4 לעיל ומתארת זרימה לכיוון הבניאס. נניח ע"פ הנאמר לעיל כי הפרמטרים המתאימים לזרימה באקוויפר הקרסטי הם מוליכות הידראולית $K=100$ מ'יום ונקבוביות ממוצעת בשעור $n=0.1$. הגרדיאנט המשוער לזרימה (תרשים 4) הוא כ- $0.083=500/6000$. ומכאן:

$$q = K \frac{(H|_{x_2} - H|_{x_1})}{(x_2 - x_1)} = 100 \times 0.083 = 8.3 \frac{\text{m}}{\text{day}}$$

$$v = \frac{q}{n} = \frac{8.3 \frac{\text{m}}{\text{day}}}{0.1} = 83 \frac{\text{m}}{\text{day}}$$

לאחר שחדר לאקוויפר, זמן ההגעה של מזהם מומס כלשהו מנקודת התחנה ועד למעיין הבניאס, כששה ק"מ במורד האקוויפר, יהיה אם כן כ- 72 יום בלבד ($6000/83$). לזמן זה יש להוסיף עוד פרק זמן של מספר ימים המייצג זמן הגעה של דלק מפני הקרקע לאקוויפר בעומק 100 מטר. קשה מאד להעריך את מידת הדיוק של החישוב לעיל. עם זאת ידוע כי מערכת זרימת מי התהום, ומעיין הבניאס בכלל זה, היא מערכת מהירה מאד, שמגיבה במהירות רבה אחרי גשמים, ומתרוקנת תוך פרק זמן של כ- 70 יום בלבד.

6. סיכום, מסקנות והמלצות

- ✓ בגלל מיקום התחנה, דלק שדולף וזורם על פני הקרקע בחודשי החורף עלול להשטף במהירות (שעות עד ימים), עם הנגר העלי לנחל סער. מנחל סער הוא עלול להשאב ע"י מתקני "מקורות" למאגרי רמת הגולן, או להמשיך ולזרום לירדן ולכנרת.
- ✓ התחנה מהווה סכנה מסוימת לזיהום מי התהום לאור העובדה שהיא ממוקמת מעל אזור העשרה מובהק של אקוויפרים המזינים את מקורות הירדן.
- ✓ המרחק הרב (כ-6 ק"מ בקו אוירי) ממעיין הבניאס מקטין את עצמת הסיכון לאיכות המים במעיין.
- ✓ בצפון אצבע הגליל קיימות זה שנים רבות תחנות דלק שחלקן קרובות למעיינות הירדן יותר מתחנת סונול פסגת החרמון.
- ✓ עומק פני מי התהום באזור (כ-100 מטר) הוא בינוני, ואף הוא גורם לכך שדליפת דלק קטנה, אקראית ולא רציפה איננה מהווה סכנה למי התהום.
- ✓ מיקום התחנה באזור ההזנה של מקורות הירדן, ובקרבה יתרה לערוץ נחל סער, מחייבים להתייחס למפרט בניית התחנה כאל מפרט שמוגדר ע"י המשרד לאיכות הסביבה עבור "אזורי סיכון למקורות מים". מפרט זה כולל מאצרה תת קרקעית עם פיאזומטר, ואמצעי ביטחון אחרים המפורטים במסמך "דרישות המשרד לאיכות הסביבה להקמה של תחנות דלק חדשות" ו-"טיוטת הנחיות המשרד לאיכות הסביבה להקמת תחנות תדלוק" משנת 2003 (מסמכים ושרטוט מצורפים).

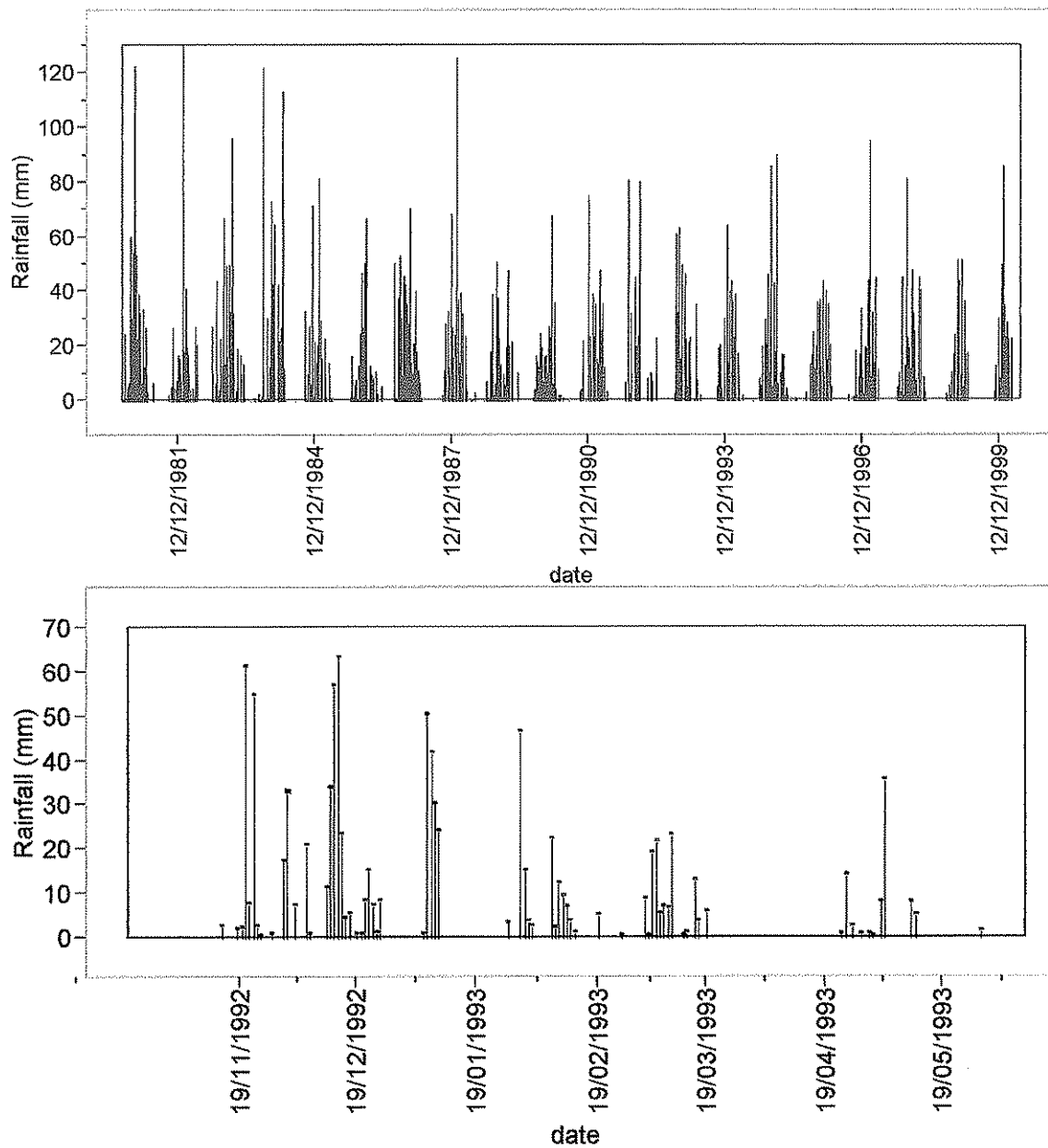
7. ספרות

המכון הגיאולוגי 1998, מפה גיאולוגית של ישראל.

- Dafny, E., Gvirtzman, H., Burg, A., Fleischer, L. 2003. The hydrogeology of the Golan basalt aquifer, Israel. *Isr. J. Earth Sci.* 52: 139–153.
- Gilad, D. and J. Bonne 1990. Snowmelt of Mt. Hermon and its contribution to the sources of the Jordan River. *Journal of Hydrology* 114, (1/2), 1-15
- Gilad, D. and Schwartz, S., 1978. Hydrogeology of the Jordan sources aquifers. *Isr. Hydrol. Serv. Rep. Hydro/5/78* 58 pp. (in Hebrew).
- Gur, D., Bar-Matthews, M., Sass, E. 2003. Hydrochemistry of the main Jordan River sources: Dan, Banias, and Kezinim springs, north Hula Valley, Israel. *Isr. J. Earth Sci.* 52: 155–178.
- Michelson, H., 1975. Geohydrology of the enclave and the southeastern flanks of Mount Hermon. *TAHAL 01/75/05* (in Hebrew).
- Michelson, H., 1979. The geology and paleogeography of the Golan Heights. Ph.D. thesis, Tel Aviv Univ., 163 pp. (in Hebrew, English abstr.).
- Morin, Y., A. Michaeli, M. Agassi, B. Atzmon, and D. Rozentzveig. 1979. The Rainfall-Runoff-Erosion relations in the Lake Kinneret Basin. Research report R-42, the Erosion Research Station in Rupin Collage (Israel) (in Hebrew).
- Rimmer A., Y. Salingar, 2005. Developing a dynamic river basin model for contaminants transport in the UCJR using GIS. Final researches report Submitted to BMBF-MOS Cooperation in environmental research- GLOWA. IOLR report T22/2005.
- Rimmer A., Y. Salingar, 2006. Modelling precipitation-streamflow processes in Karst basin: The case of the Jordan River sources, Israel. *Journal of Hydrology*.

8. נספחים

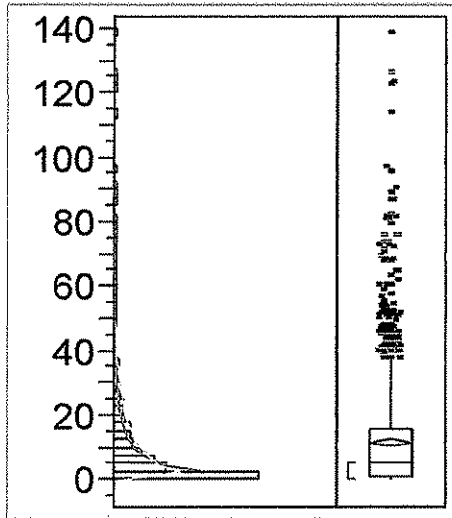
8.1 משקעים יומיים בתחנת נסיונות רמת הגולן



למעלה: גשם יומי בין 1970 ל- 2000 בתחנת נסיונות רמת הגולן. למטה: גשם יומי בעונת

1992-1993 בתחנת נסיונות רמת הגולן

מאפיינים סטטיסטיים של גשם יומי בין 1970 ל- 2000 בתחנת נסיונות רמת הגולן.



Gamma(0.64469,20.0373,0)

LogNormal(1.5217,1.59995)

Quantiles

Quantile Value	Statistic	Percentage
138.40	maximum	100.0%
89.09		99.5%
56.88		97.5%
30.00		90.0%
15.50	quartile	75.0%
5.20	median	50.0%
1.20	quartile	25.0%
0.30		10.0%
0.00		2.5%
0.00		0.5%
0.00	minimum	0.0%

Moments

11.45356	Mean
16.08847	Std Dev
0.38692	Std Err Mean
12.21244	upper 95% Mean
10.69467	lower 95% Mean
1729	N

Fitted LogNormal

Parameter Estimates

Upper 95%	Lower 95%	Estimate	Parameter	Type
1.598677	1.444725	1.521701	Mu	Scale
1.647053	1.555655	1.599946	Sigma	Shape

Fitted Gamma

Parameter Estimates

Estimate	Parameter	Type
0.64469	Alpha	Shape
20.03730	Sigma	Scale
0.00000	Theta	Threshold

8.2 מושגי יסוד והגדרות בנושא מי תהום

מי-תהום (groundwater): מונח כללי הכולל את כל המים הנמצאים מתחת לפני הקרקע. בדרך כלל מתייחס המושג למים הנמצאים באזור הרווי, וניתנים להפקה מבארות, קידוחים, מעיינות וכו'. מי התהום, להבדיל ממקורות מים עיליים, הם מקור מצוין של מים לצורכי הספקה עירונית, ולצרכים תעשייתיים וחקלאיים, מאחר שהגם נקיים מזיהום ואינם מצריכים בד"כ טיפול לפני השימוש.

תווך נקבובי (porous media): מי התהום מצויים מתחת לפני האדמה בתווך המכיל רשת של נקבים בתוך מעטפת מוצקה של סלע (ניתן לדמות זאת לספוג גדול). המבנה הפיזי של התווך הנקבובי (גודל החללים, נוכחות סדקים גדולים, סוג המסלע) משתנה מתצורה גיאולוגית אחת לאחרת, והוא זה שקובע את מהירויות הזרימה בשכבת המסלע ואת הגדרתה כשכבה נושאת מים או אטימה (ראה בהמשך).

חלחול למי תהום: המקור העיקרי למי תהום הם הגשמים היוורדים ע"פ כדור הארץ. משקעים אלה מחלחלים בחלקם אל מי התהום במישרין, או דרך אגמים ונחלים שדפנותיהם חדירות. המים מחלחלים כלפי מטה בהשפעת כח הכובד, עד הגיעם לשכבה אטימה שמעליה הם מצטברים. מים אלה יוצרים את האזור הרווי. מעל האזור הרווי ועד לפני הקרקע קיים פילוג רטיבות בלתי אחיד.

שכבות נושאות ושאינן נושאות מים: מבנה הקרקע אינו הומוגני והשכבות נבדלות זו מזו בהרכבן, במקורן הגיאולוגי, בעביין ובתכונות הולכת המים שלהן. על טיב השכבות אנחנו לומדים ממדגמים המוצאים מן הקרקע בזמן קידוח בארות, או בשיטות גיאופיזיות שונות. את סיכום המידע מרכזים באמצעות מפות וחתכים גיאולוגיים.

תכונות עיקריות של שכבה נושאת מים: נקבוביות (porosity) - היחס בין נפח החללים לבין הנפח הכללי של החומר; מוליכות הידראולית (hydraulic conductivity) - כושר הסביבה הנקבובית להוליך נוזל; תפוקה סגולית (specific yield) - כמות המים (באחוזים מנפח השכבה) המתקבלת מניקוז שכבה רווית מים ע"י כח הכובד בלבד. בהתאם לתכונות אלה נוכל למיין את שכבות הקרקע השונות ולהבחין בין שכבה נושאת מים - **אקוויפר (aquifer)**, לבין שכבה אטימה - **אקוויטרד (aquitard)**, ושכבה שאינה נושאת מים - **אקוויקלוד (aquiclude)**.

אקוויפר פריאטי (phreatic aquifer): אקוויפר המוגבל מלמטה ע"י שכבה אטימה אך אינו מוגבל בה מלמעלה. פני המים של האקוויפר הפריאטי נתונים ללחץ אטמוספרי ונקראים משטח פריאטי (phreatic surface). חלחול ישיר של מים מפני הקרקע מעשיר את האקוויפר.

איזור העשרה (recharge area): איזור מוגדר בפני הקרקע שדרכו מחלחלים המים לעומק, ומעשירים את האקוויפר שבעומק האדמה. מחשופים של שכבות נושאות מים נחשבים באופן טבעי לאיזורי העשרה טובים. איזורים שבהם שיפוע פני האדמה קטן נחשבים לאזורי העשרה טובים יותר מאלה שבהם שיפוע גדול.

אקוויפר כלוא (confined aquifer): אקוויפר המוגבל מלמטה ומלמעלה ע"י שכבות אטימות. ע"י חיבור נקודות פני המים (עומד פיאזומטרי, piazometric head) בבארות תצפית החודרות לאקוויפר הכלוא נוצר משטח דמיוני שנקרא המשטח הפיאזומטרי (piazometric surface). האקוויפר מועשר דרך כניסת מים בשוליו, מאזורי העשרה מרוחקים.

אקוויפר דולף (leaky aquifer): אקוויפר שאחת השכבות המגבילות אותו, או שתיהן גם יחד, הן חדירות למחצה ומאפשרות למים לדלוף ממנו לאקוויפר אחר.

אופק מים תלוי (perched horizon): מופיע כאשר בין שכבות קרקע מחלחלות שמעל לפני המים של המשטח הפריאטי נמצאת שכבה אטימה בעלת שטח מוגבל, שמעליה מצטברים מים היוצרים משטח פריאטי נוסף.

אקוויפרים שעונים- מושג המתייחס להצטברות מקומית של מי-תהום מקומיים הנסמכים ע"י עדשות חרסית.

אקוויפר קרסטי (karst): אקוויפר במסלע גיר או דולומיט, המצטיין ברשת של חללים גדולים, מערות ונקזים תת-קרקעיים גדולים. מרבית החללים נוצרים ע"י ניקוז, המסה, שקיעה והתמוטטויות פנימיות. היווצרות הקרסט מתוארת בד"כ כתהליך המסה של סדקים בסלע, שגורם לסדקים להמשיך ולהתרחב, ולנקז במהירות כמויות גדולות של מים. בד"כ מתאפיינת הזרימה באקוויפר ברכיב זרימה מהיר דרך החללים הגדולים, ורכיב תנועה איטי דרך האזור הנקבובי.