

ניסוי סמנים במעיין עין זיו

האם מקור הזיהום של מי מעיין זיו הוא שפכים המחלחלים בחלקו העליון של נחל כזיב? סיכום ניסוי בו נבדקה אפשרות זו ונמצאה כנכונה

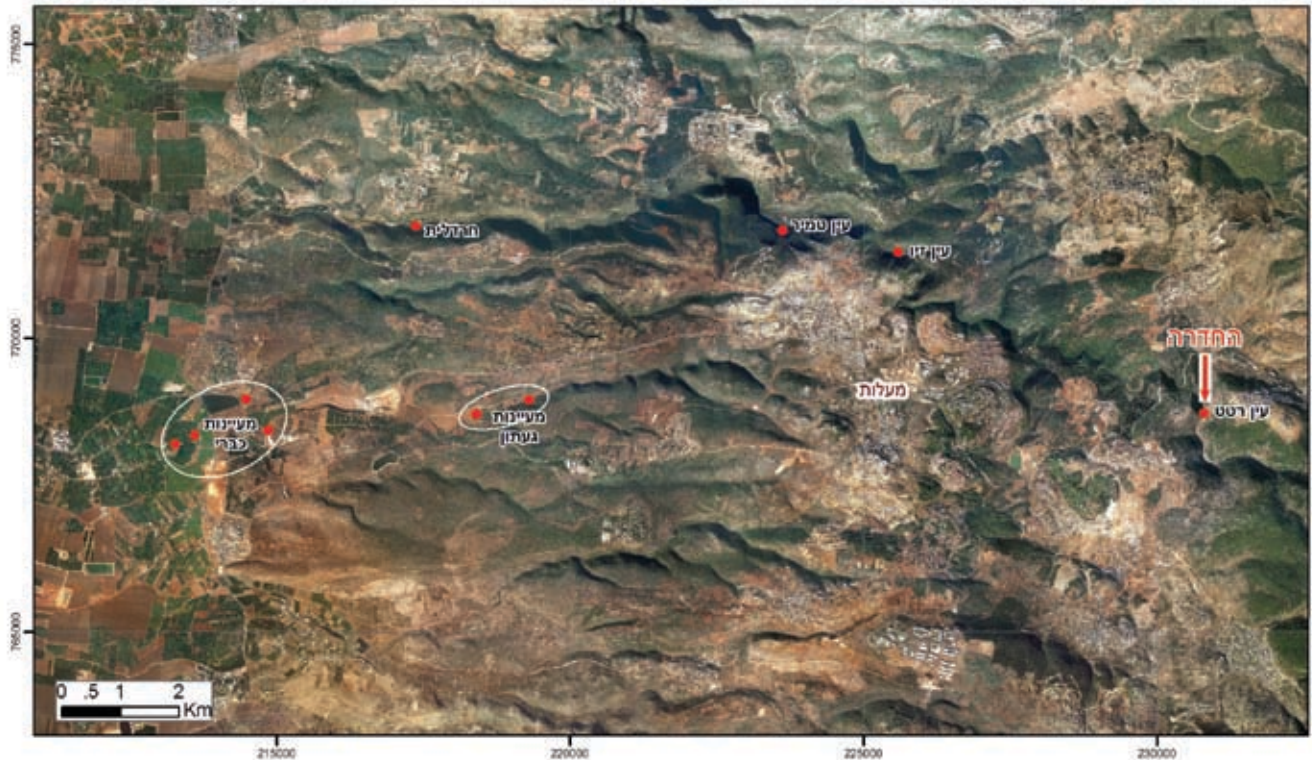
עינת מגלי, יובל ארבל², שרית כספי-אורון³, ד"ר יורם כץ⁴, הלל גלזמן⁵, ד"ר נעם גרינבאום⁶, ד"ר יוסי יחיאלי⁷

המשך זיהום המעינות. באותה שנה נמצאו גלישות ביוב רבות שחלקן נבע מריבוי שפכים הקשורים בתעשיית הזיתים, אשר בשנה זו היתה בפריחה גדולה. בחלק בו מוזרמים שפכים באפיק נחל כזיב, נמצאה בריכה (סמוך לעין רטט) אשר נראה היה כי מימיה מחלחלים לתת-הקרקע. למרות הריחוק הגיאוגרפי של הבריכה מעין זיו (כ-7 ק"מ), התעורר החשד כי זהו אחד ממקורות הזיהום שלו.

קשר כזה אפשרי בשל האופי הקארסטי של המסלע, אשר יכול לאפשר זרימה מהירה מתועלת בתת-הקרקע. בעקבות זאת הוחלט לבחון את הקשר ההידרולוגי בין הבריכה למעיין זה על ידי ניסוי שבו יסומנו מי הבריכה המחלחלים בנחל כזיב ויעשה מעקב אחר הסמנים בעין זיו.

בנובמבר 2006 זוהמו בביוב מעיינות כברי, געתון ועין זיו המשמשים מקור מים חשוב לתושבי הגליל המערבי (איור 1). התקדמות הזיהום במי המעינות כפי שהוא מיוצג על ידי ערכי ה-UV מוצגת באיור 2, המעיין האחרון שזוהם היה עין זיו. בכל המעינות התאפיין הזיהום בריכוזים גבוהים במיוחד של חומרים אורגניים ומתכות, ספירות חיידקים גבוהות והיעלמות של החמצן המומס והניטראט. בשיא הזיהום היו מי המעינות בעלי תכונות רבות של ביוב מבחינת הריח, הצבע החום-שחור והופעה של קצף.

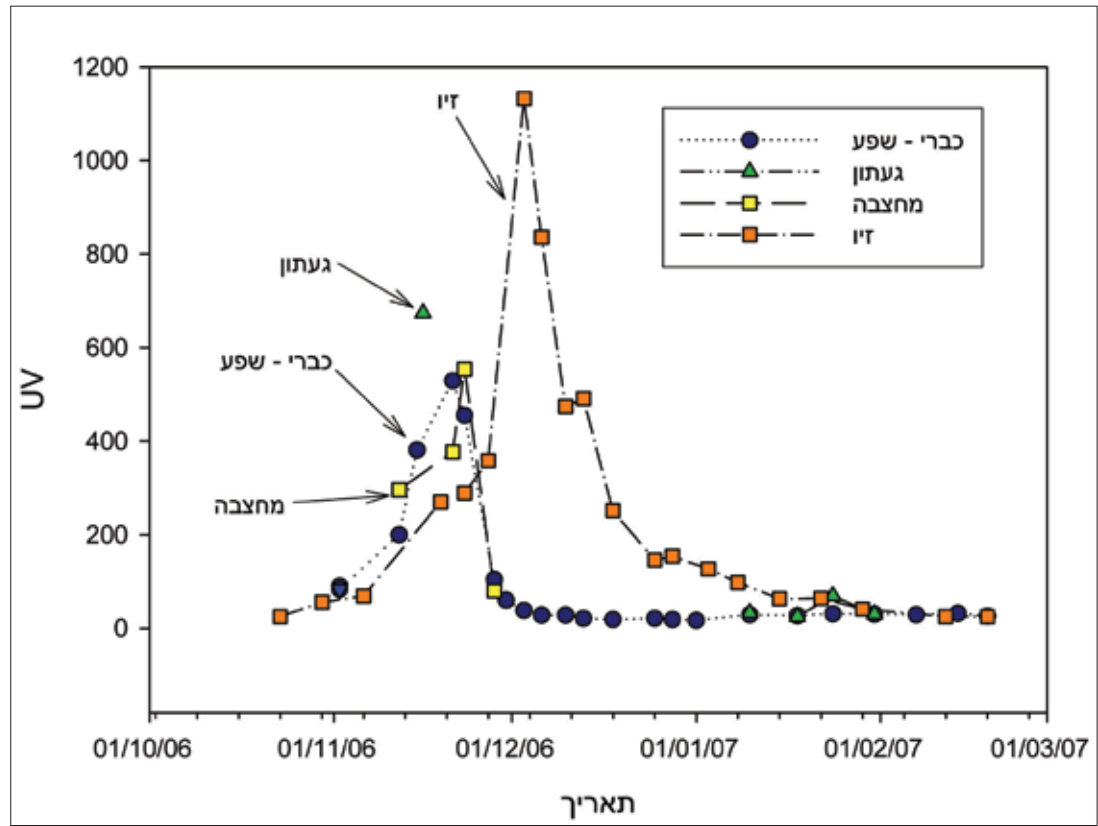
עובדה זו גרמה להשבתת אספקת המים לשתייה מן המעינות ולאובדן של כ-9 מלמ"ק למשק המים בחורף 2006-7 בלבד. בזמן שהמעינות זוהמו, נערכו סיורים באגן ההיקוות של המעינות, על מנת לאתר את מקורות הזיהום ולמנוע את



איור 1: מפת מיקום - אתר ההחדרה של הסמנים למי הבריכה המחלחלת בנחל כזיב נמצא סמוך לעין רטט. המעינות שנדגמו: מעיינות זיו, טמיר וחרדלית בערוץ נחל כזיב ומעינות כברי וגעתון בערוץ הגעתון.

¹ עינת מגלי, הידרו-גיאולוגית, המכון הגיאולוגי, כתובת נוכחית: לשכת המדען הראשי, משרד התשתיות; ² יובל ארבל, דוקטורנט, המחלקה לגיאוגרפיה, אוניברסיטת חיפה; ³ שרית כספי-אורון, מהנדסת איכות מים, אגף צפון, מקורות; ⁴ ד"ר יורם כץ, הידרולוג, מקורות; ⁵ הלל גלזמן, רשות הטבע והגנים; ⁶ ד"ר נעם גרינבאום, חוקר, המחלקה לגיאוגרפיה, אוניברסיטת חיפה; ⁷ ד"ר יוסי יחיאלי, חוקר, המכון הגיאולוגי

איור 2: התפתחות אירוע הזיהום במעיינות הגליל המערבי בחורף 2006-2007 על פי נתוני UV



2. **ליתיום Li** - יסוד כימי בעל רעילות נמוכה ויכולת מדידה מעבדתית בריכוזים נמוכים. לליתיום ריכוז רקע נמוך במים טבעיים (<0.5ppb) אך גבוה יותר במים מזוהמים (4ppb) במי מעיין זיו בשעה שהיה מזוהם).

תיאור הניסוי

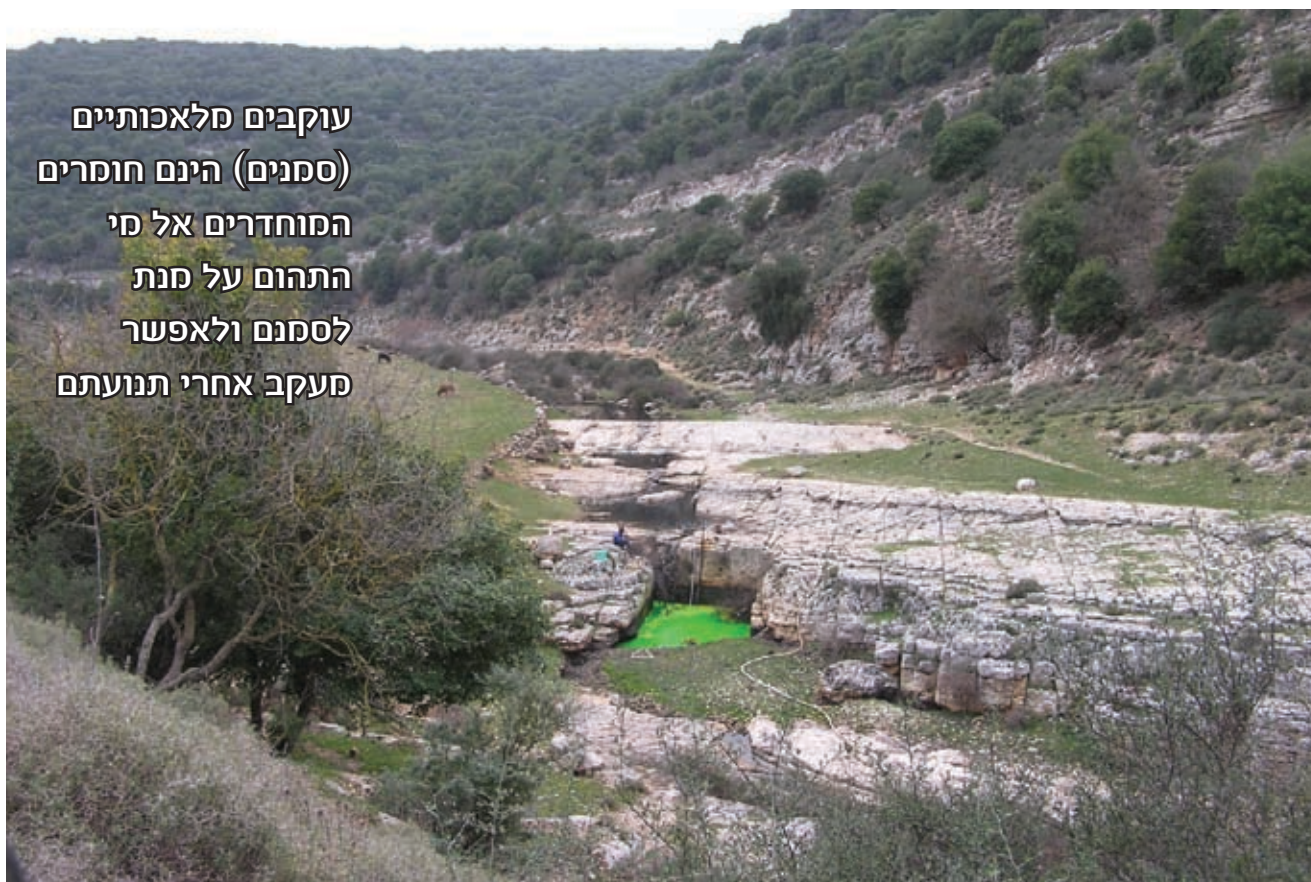
אל מי הברכה בחלק העליון של נחל כזיב הוכנסו תמיסות מרוכזות של אורנין וליתיום בתאריך 28/1/07 (איור 3). קודם לכן, הופעלו משאבות שמנעו כניסת מי שפכים נוספים לברכה מערוץ הנחל והורידו את מפלס המים בברכה המחלחלת. עם הכנסת הסמנים למי הברכה שימשו המשאבות לצורך ערבוב יעיל של הסמנים. הסמנים חלחלו אל תת-הקרקע במשך כ-10 שעות. עם ירידת הלילה הופסקה הטיית מי השפכים המגיעים מערוץ נחל כזיב אל מחוץ לברכה והחל לרדת גשם. כתוצאה מכך, העוקבים שנותרו בברכה נשטפו החוצה על ידי המים הזורמים בערוץ הנחל. על פי הערכה גסה, כרבע מכמות העוקבים שהוכנסה אל מי הברכה נשטפה החוצה. מים אלה כנראה חלחלו במורד הערוץ כ-1 ק"מ ממקום ההחדרה. בכל מקרה, במהלך כל הניסוי לא היה קשר עילי בין הברכה המחלחלת למעיין זיו. תיאור מפורט יותר של הניסוי מופיע אצל מגל וח' (2007).

כלי העבודה: סמנים מלאכותיים

עוקבים מלאכותיים (סמנים) הינם חומרים המוחדרים אל מי התהום על מנת לסמנם ולאפשר מעקב אחרי תנועתם. עוקבים מלאכותיים צריכים להיות מקור ידוע ומוגדר היטב, אשר ניתן לעקוב אחריו לאורך זמן ומרחק גדולים. עוקבים אידיאליים למעקב אחר תנועת מי התהום הינם בעלי התנהגות קונסרבטיבית באקוויפר, כלומר יציבים במי התהום, אינם מתפרקים או נצרכים בתת-הקרקע ובעלי נטייה נמוכה לספיחה לאקוויפר. התהליך היחיד שצפוי להשפיע עליהם בעת התנועה במי התהום הוא מיהול.

עוקב טוב צריך להיות קל לניטור, בעל ריכוז רקע נמוך במים הטבעיים, סף מדידה אנליטי נמוך ורעילות נמוכה. בניסוי הנוכחי נעשה שימוש בעוקבים משני סוגים:

1. **הצבע הפלואורסנטי אורנין (Uranine)** - חומר אורגני שגונו ירוק, הנפוץ מאוד בשימוש במחקר ההידרולוגי בשל תכונותיו הייחודיות: יכולת מדידה מעבדתית מדויקת, פשוטה וזולה, יכולת ניטור על ידי גלאי בתנאי שדה, רעילות נמוכה ועלות נמוכה. יתרון נוסף של האורנין הוא היכולת להציב מסננים עם גרגרי פחם פעיל הממצים אותו מן המים ומאפשרים זיהוי של הסמן גם בריכוזים נמוכים מאוד.



עוקבים סלאכותיים
(סמנים) הינם חומרים
המוחדרים אל סי
התהום על סנת
לסמנם ולאפשר
מעקב אחרי תנועתם

איור 3: הברכה המחלחלת בנחל כזיב בזמן החדרת הסמנים לתת הקרקע

תוצאות

מעין זיו

מעט פחות משלוש יממות לאחר הכנסת הסמנים למי הברכה המחלחלת נמצאו הסמנים בעין זיו (איורים 4 ו-5). הפריצה של האורנין התחילה בצורה חדה, ריכוז האורנין הגיע לשיא ולאחר מכן ירד בצורה חדה. העובדה שהעקום הראה שיא בודד העידה על זרימה דרך נתיב זרימה מועדף אחד ולא דרך מספר נתיבים. בנוסף לכך, צורת העקום מאפיינת פיזור עוקב בתנאים של ספיחה מועטה. בהתאם לתוצאות הוערכה מהירות הזרימה בתת-הקרקע ב-1.9 ק"מ ליום. ערך דומה לזה שחושב בניסוי סמנים שנערך באזור החרמון על ידי ד. גלעד בשנת 1967. כשישה ימים לאחר החדרת הסמנים (3/2/07) ניכרה עליה קלה בריכוז האורנין במי המעיין (איור 5), עליה זו היתה בו זמנית לסופת גשמים אשר הביאה לעליה משמעותית בספיקה של המעיין. על פי הערכתנו, הזרימות החזקות שטפו את נתיב הזרימה וגרמו ליציאה נוספת של האורנין. כמות האורנין שיצאה מן המעיין חושבה על פי עקום הפריצה והספיקה המשתנה של המעיין. נמצא כי כ-5 ק"ג של אורנין יצאו מן המעיין והם שווים ל-60% בקירוב מן הכמות שהוכנסה אל הברכה המחלחלת סמוך לעין רטט. ערך זה גבוה ביותר ומחזק

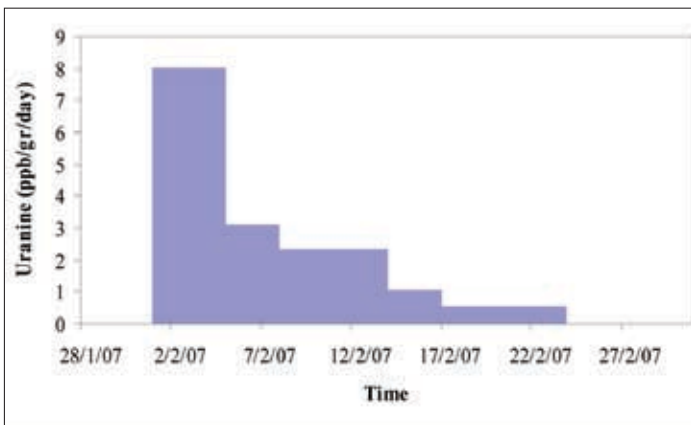
את ההנחה שהביוב שזורם בחלקו העליון של נחל כזיב הוא אחד ממקורות הזיהום הגדולים של המעיין. עקום הפריצה של הליתיום עלה וירד בצורה מתונה מזו של האורנין, תוך יצירת "זנב" ארוך (איור 5). צורת העקום אופיינית לעוקבים העוברים תהליכי עיכוב בתת-הקרקע, בשל ספיחה ושיחלוף יונים. הליתיום ידוע כעוקב שהתנהגותו במי התהום איננה קונסרבטיבית לחלוטין.

מעין חרדלית

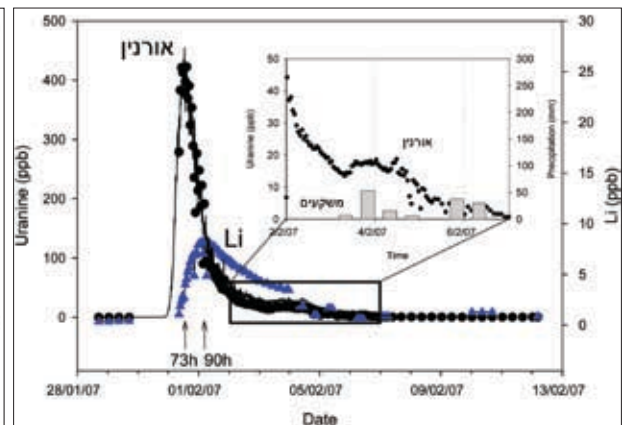
מעין חרדלית נמצא במורד נחל כזיב, באזור בו ערוץ הנחל נשטף במים מסומנים אשר זרמו ממעיין זיו. במי המעיין נמצאו ריכוזים נמוכים של הסמן אורנין אשר נספחו על גבי מסנני הפחם הפעיל החל מתאריך 1/2/07 (איור 6). קיימים שני מקורות אפשריים לסמן במעיין חרדלית: כניסה ישירה דרך מערכות הזרימה הקרסטיות בתת-הקרקע בדומה לעין זיו או דרך ערוץ הנחל של המים שנבעו מעין זיו. על כן לא ניתן לקבוע בוודאות את מקור הסמן במי המעיין. מהירות הזרימה הממוצעת של הסמן בתת-הקרקע היתה דומה לזו בעין זיו ועמדה על 2-4 ק"מ ליום (על פי טווח הזמן בו שהה הפחם במעיין).



איור 4: מעיין זיו בזמן הפריצה של הסמנים



איור 6: אורנין במי מעיין חרדלית מיצוי ממסגני פחם פעיל



איור 5: ריכוזי הסמנים במי מעיין זיו


סיכום ומסקנות

1. ניסוי הסמנים הוכיח, כי אחד ממקורות הזיהום של עין זיו הוא השפכים המוזרמים בחלקו העליון של נחל כזיב ואשר מחלחלים במהירות לתת-הקרקע דרך בריכה המצויה במעלה הנחל. מהירות הזרימה של המים בתת-הקרקע גבוהה ועומדת על 1.9 ק"מ ליום.

מעיינות געתון וכברי

מי מעיינות געתון וכברי נדגמו במשך מספר חודשים אך לא נמצאו בהם העוקבים. מקור הזיהום העיקרי של מעיינות אלה הוערך כחלחול ביוב בערוץ נחל אשכר בקרבת הישוב חוסן. הנושא נבדק והוכח בניסוי סמנים נוסף שנערך שנה מאוחר יותר (מגל וח' 2008).

עוקבים אידיאליים הינם בעלי התנהגות קונסרבטיבית באקוויפר, כלומר יציבים במי התהום, אינם מתפרקים בתת-הקרקע ובעלי נטייה נמוכה לספיחה לאקוויפר

מגל, ע., ארבל, י., כספי, ש., כץ, י., גלזמן, ה., גרינבאום, נ., יחיאלי, י., 2008. ניסוי סמנים במעיינות געתון וכברי, דו"ח המכון הגיאולוגי מס' GSI/10/08, 22 עמ'. 

2. סכנת הזיהום כתוצאה מקשרים הידרולוגים מהירים בין מקורות זיהום על פני השטח והמעיינות השונים יכולה להיבדק בקלות יחסית על ידי ניסוי סמנים. גם בסביבות בהן ישנם מקורות זיהום פוטנציאליים מגוונים ניתן לאפיינם בקלות על ידי שימוש במספר סמנים במקביל.
3. על מנת לשמר מים באיכות גבוהה, כפי שנדרש ממי שתייה, יש למנוע המשך הזרמת השפכים בנחל כזיב. כמו כן, יש לחפש מקורות זיהום נוספים באזור הגליל.

תודות

לנציבות המים ולשרה אלחנני בפרט על מימון העבודה ועל הייעוץ והסיוע במהלכה; לאנשי "מקורות" ממרחב הצפון ובעיקר ליעקב זריהן ולעמי שטרן על העזרה הלוגיסטית הרבה; לאיתן עציון מקיבוץ כברי וברוך קטלב מקיבוץ געתון על ההתגייסות לדיגום מי המעיינות; לאנשי המכון הגיאולוגי ובעיקר לקמי לוסקי ואריאל בלמס, אשר ללא הסיוע שלהם, לא ניתן היה לקיים את הניסוי תוך זמן קצר כל כך; לחיים חמו ורמי מדמון מן המכון הגיאולוגי על הסיוע הטכני; לזאב לוי ולאבי בורג על ההגהה המחכימה.

רשימת ספרות

גלעד, ד., 1967. מחקר הידרולוגי בחרמון בשיטת הנותבים, דו"ח השירות ההידרולוגי הידרו/5/1976, ירושלים, 12 עמ' + נספחים.
מגל, ע., ארבל, י., כספי, ש., כץ, י., גלזמן, ה., יחיאלי, י., גרינבאום, נ., 2007. ניסוי סמנים בעין זיו, דו"ח המכון הגיאולוגי, GSI/10/2007, 19 עמ' + נספחים.



תוכנית הסיווריס המקצועיים של ארגון עובדי המים לשנת 2010 - 2011

- | | |
|---|--|
| <p>24.03.2011
מיס בצפון ישראל
סוגיית המים ביחסי ישראל סוריה לבנון בהדרכת איתן ישראלי</p> <p>14.04.2011
בקעת הירדן
מאגר תרצה
מפעל חיבור קולחי ירושלים</p> <p>05.05.2011
מיס בגולן
אספקת מים מקדוחים
מאגרי שטפונות
פיתוח שדה קידוחי שמיר</p> | <p>16.12.2010
מיס לפרויקט הכבול בצמק החולה
מגמות תפעול ופיתוח בשילוב מפעל זמר של מקורות</p> <p>13.01.2011
טיפול במיס ושפכים בתעשייה
מפעל מכתשים
מפעל הברום</p> <p>03.02.2011
טיפול במיס ושפכים
• אינטל
• מט"ש להב - טיפול בשפכים באמצעות אגנים ירוקים</p> <p>03.03.2011
מיס במרכז
• שפד"ן - תחנת שאיבה שמחה (מקורות)
• סויר במאגרי ניר</p> |
|---|--|

לקראת כל סויר תצא הודעה מפורטת • יתכנו שיוניים בתוכנית הסיווריס