

## חומר רקע לסיור גיאוהידרולוגי באזור הכרמל

### מדריך: יוסי גוטמן חברת מקורות

#### תחנה מס' 1

##### מפעל ההחדרה בנחלי מנשה :

מפעל נחלי מנשה הוקם בשנת 1967 במטרה לתפוס את מי הנגר הזורמים בחודשים הגשומים בנחלים סנונית (תנינים), עדה, ברקן ומשמרות ולהחדירם לאקוויפר. מי הנחלים מוטים בגרביטציה לתעלה המובילה דרומה, למאגר שיקוע ומשם להחדרה לאקוויפר בשלוש שדות החלחול בחולות קיסריה.

מאגר השיקוע (תחנה מס' 1) נבנה על שטח של 510 דונם ובעל קיבולת של 2.8 מלמ"ק. מאגר השיקוע מקבל את המים העכורים, המוטים מהנחלים בתחילת כל עונה גשומה ובעת גיאוויות, לשם שקיעת המרחפים, בטרם הולכת המים אל שדות ההחדרה. שדות חלחול מורכבים מ-3 שדות על פני שטח כולל של כ- 450 דונם. המים מופקים באמצעות סדרה של כ-33 קדוחים שמקיפה את השדות.

כמויות המים **הממוצעות** המוחדרות במפעל מאז הקמתו מגיעות לכ- 12 מלמ"ש. בשנים גשומות כמויות המים המוחדרות במפעל גבוהות מהממוצע. השיא היה בשנת 1992 אז החדירו כמות של כ- 27 מלמ"ש. בחורף הנוכחי 2012/13 הכמות שהוחדרה מתקרבת לכ-10 מלמ"ק.

מתקן התפלה חדרה מחובר ע"י צינור המחבר בין קו הסניקה של תחנת חדרה למפא"ר לבין התעלה הצפונית המובילה לשדות החלחול בנחלי מנשה. זה מאפשר להחדיר מים מותפלים בשדות החלחול של נחלי מנשה במקרה של תקלות במתקן ובמצבי תפעול שונים (כמו סגירת המוביל הארצי לטיפול ואחזקה).

#### תחנה מס' 2

##### תחנת שאיבה חוף כרמל (מול הפנייה לג'יסאר א-זרקא).

##### תצפית לעבר חוטם הכרמל ויינתן הסבר על מערכת הזרימה לעבר מעיינות התנינים וממצאי קדוחי הניטור העמוקים שנקדחו בצפון האגן.

אזור הכרמל הדרומי מהווה נקודת מפגש של מספר מקורות מים. הגדול והחשוב, הם מעיינות התנינים המהווים את המוצא הצפוני של אגן ירקון תנינים. מקור המים של מעיינות התנינים הוא מגשם היורד על מחשופי האקוויפר במורדות המערבים של הרי השומרון. המליחות הנוכחית במעיינות נעה בתחום שבין 1500-2000 מגכ"ל. על פי מספר מחקרים הידרולוגיים וגיאוכימיים, המליחות הגבוהה במעיינות התנינים היא תוצאה של ערבוב של המים השפירים המגיעים מהרי השומרון עם גוף מים מלוח המצוי בחלק המערבי של האקוויפר ואשר אותם במספר קדוחי ניטור עמוקים שנקדחו לפני מספר שנים במימון רשות המים.

השאיבה של מים שפירים במעלה מעיינות התנינים, הקטינה את המרכיב המתוק המתוק המתנקז למעיינות והעלתה את התרומה היחסית של המרכיב המלוח. מתברר כי מליחות המים עולה באופן חד דווקא בשנים בהם כמויות המים המתנקזות למעיינות היא גדולה. תופעה המרמזת על מנגנון של סחיפת המים המלוחים ע"י רכיב המים המתוק הזורם מעל לאותו גוף המלוח. שכבות האקוויפר (דולומיט זכרון) שדרכם זורמים מי אקוויפר חבורת יהודה, אינן נחשפות על פני השטח בנקודת הנביעה. מעל לגג התצורה ישנו חתך של כ-20 מ' של שכבות חול השייכות הידרולוגית לאקוויפר הפלייסטוקן. המעיינות נובעים על פני השטח דרך שכבות החול.

מתברר, שלא כל המים נובעים על פני השטח, ישנה כמות מסוימת הנאמדת בכמה מיליוני מ"ק שממשיכה לזרום בתוך שכבות החול בכוון מערב ודרום מערב לעבר הים בגזרה שבין מעגן מיכאל לקיסריה. עדות לכך הם המפלסים הגבוהים יחסית שנמדדים באקויפר החוף בקיסריה.

### תחנה מס' 3

גבעת עדן מצפה זיו: תצפית על חוף כרמל הדרומי והסברים על הגיאולוגיה וההידרולוגיה של חבורת יהודה ושל אקויפר הפליסטוקן של חוף הכרמל הדרומי באזור רכס זכרון יעקב ובריכות הדגים.

חוף הכרמל הינו הקטע הצר ביותר של מישור החוף של ישראל. רוחבו 2-3 ק"מ בלבד והוא מתחלק לשלוש יחידות אורך עיקריות שלהם גם משמעויות הידרולוגיות.

החלק המערבי בנוי משלושה רכסי כורכר מקבילים לקו החוף. בריכות הדגים של מעגן מיכאל ומעיין צבי ממוקמים על גבי אותם רכסי כורכר. בין הרכסים ישנם מרזבות צרות מכוסות בשכבות חרסית וחול.

ממזרח לרכסי הכורכר מצויה מרזבה רחבה שמהווה את האזור החקלאי של חוף הכרמל.

הרצועה השלישית היא אזור המגע שבין שכבות חבורת יהודה של הכרמל הדרומי (רכס זכרון יעקב) ושכבות החול והכורכר של אקויפר הפליסטוקן. גם אזור זה מהווה אזור חקלאי והוא המשכו של החלק המזרחי של המרזבה הגדולה.

אקויפר הפליסטוקן הוא האקויפר העיקרי באזור ועוביו נע בין 15-40 מ' (דק במזרח ועבה במערב). המילוי החוזר של רכס זכרון יעקב מתנקז מערבה לעבר חוף הכרמל. המים זורמים לטרלית לשכבות החול והכורכר של אקויפר הפליסטוקן ומנוצלים באמצעות מספר קדוחים הממוקמים לאורך רגלי הכרמל הדרומי בין צומת פרדיס וצומת מעגן מיכאל (צמוד לכביש מס' 4). הקדוחים נמצאים בסמיכות לשוליים המזרחיים של אקויפר הפליסטוקן במקומות שבהם שטחי המילוי החוזר של אקויפר הפליסטוקן הינם קטנים ולא מספיקים כדי להסביר את היציבות במפלסי המים. ההסבר היחידי שנתמך גם בממצאים כימיים ואיזוטופים היא שישנה תרומה של מים משכבות הגיריות של הכרמל הדרומי (רכס זכרון יעקב) לשכבות הפליסטוקן.

במערב, באזור בריכות הדגים, ישנו חלחול מים מבריכות הדגים הבנויות על גבי רכסי הכורכר לאקויפר הפליסטוקן. תהליכי האיזוטיפיים המתרחשים בבריכות הדגים גורמים להכבדה משמעותית בהרכב האיזוטופי של האיזוטופים היציבים ומאפשרים להשתמש בהם כסמן לשם מעקב אחר התפשטות המים המחלחלים מבריכות הדגים. חתכי מליחות והרכב איזוטופי שבוצעו במספר קדוחים בתחומי בריכות הדגים של מעגן מיכאל, הצביעו על תופעה של שכבתיות והבדלים בסוגי המים. בחצי העליון של החתך, המים הם בעיקרם מים שמקורם מחלחול מבריכות הדגים ואילו בחלק התחתון של החתך המים דומים בהרכבם האיזוטופי למי מעיינות התנינים ומייצגים את אותו רכיב מים המתנקז לים דרך שכבות אקויפר הפליסטוקן.

חלק מהקדוחים הרדודים שלרגלי רכס הכרמל הדרומי ממוקמים בתוך מטעי בנות. מפלס המים נמצא מטרים ספורים מתחת לפני השטח ועודפי הדישון יכולים להגיע במהירות רבה למי התהום. בשנים גשומות במיוחד, ישנה שטיפה מהירה של החנקות שהצטברו בתווך הבלתי רווי למי התהום והתוצאה עליה חדה בריכוז החנקות שלאחר זמן מה נעלמת וחוזרת לרמת הרקע.

## תחנה מס' 4

בת שלמה דרום : תצפית לקדוח תות 1. הסבר על הגיאולוגיה וההידרולוגיה של קדוחי תות

קידוחי תות ממוקמים בשוליים המערביים של סיקנלינת מנשה והמורדות הדרומיים של הכרמל. קדוח תות 1 הינו קדוח מוצלח עם נתונים מעולים (980 מק"ש עם כ- 10 מ' נפילה בלבד). בעקבות הצלחתו ובהנחה כי קיימת המשכיות של אקויפר חבורת יהודה שנמצא בקדוח תות 1, מערבה לעבר אזור קדוחי שוני- טירלי (מרחק אווירי של כ- 3 ק"מ), הוחלט עוד בשנות השבעים של המאה הקודמת, לקדוח את קדוח תות 3 כ- 0.5 ק"מ ממערב לתות 1 ואת קדוח טירלי 7 כ- 1 ק"מ ממערב לקדוח תות 1. במהלך קדיחת קדוחי תות 3 וטירלי 7 התברר כי בעומקים שבהם צפויות היו להיות שכבות דולומיט נקבובי (כפי שנמצא בקדוח תות 1), נתקבלו שכבות חוואריות וקרטוניות בעלות מוליכות הידראולית נמוכה מאד. שכבות הדולומיט נמצאו בקדוחים אלו בעומק רב מהצפוי והכילו מים מלוחים. החתך הקרטוני- חווארי שנמצא הינו מגיל טורון והוגדר כחוואר דליה. להערכתנו ישנם שני מודלים היכולים להסביר את הופעת חוואר דליה בקדוחי תות 3 וטירלי 7. מודל ראשון- תעלה בגג הטורון קנומן העליון ומודל שני - שינויים פציאליים.

קדוח תות 1 שימש במשך שנים רבות כקדוח דו תכליתי. בחודשי הקיץ שאבו ממנו מי שתיה בספיקה שעתית של כ- 1100 מק"ש ובחודשי החורף החדירו בו מי שיטפונות מנחל תות. בשנים האחרונות, הופסקה ההחדרה עקב זיהום שמתרחש כאשר ישנה זרימה בנחלי דליה ותות והקדוח עובד רק בחודשי הקיץ, כאשר אין זרימות בשני הנחלים.

בשנת 1998 נקדח קדוח תות 4 במרחק של כ- 1.6 ק"מ ממזרח לקדוח תות 1. הקדיחה הסתיימה בעומק של 812 מ' בתצורת דיר חנא, כאשר בעומק 555 מ' נכנסו לגג חבורת יהודה. בתוך תצורת סכנין נמצא מעבר ממים שפירים למלוחים (כ-14,000 מגכ"ל). הקטע המלוח נסתם והקדוח שואב משכבות הטורון מים במליחות של כ-160 מגכ"ל. הקדוח שואב בין 2-3 מלמ"ק/שנה.

קדוח תות 3 היה נטוש במשך עשרות שנים. בשנת 2000 בוצעה שאיבה חוזרת והמליחות עלתה במהלך השאיבה. בחתך מוליכות חשמלית נמצא גבול ברור בין המים השפירים לתמלחת.

ממצאי קדוחי תות מראים כי בחלק העליון של חתך חבורת יהודה ישנם מים שפירים ומתחתם גוף מים מלוח הדומה למה שאותר בקדוחי הניטור גן שמואל, פרדס חנה ומנשה ת/3. המים המלוחים שאותרו בכל הקדוחים שהוזכרו הם בעלי אפיון כימי ואיזוטופי דומה. יציאת המים המלוחים והמים השפירים שמעליהם היא במעיינות התנינים.

## תחנה מס' 5

בית הקברות של יקנעם : שדה קדוחי יקנעם, הגבול המזרחי עם עמק יזרעאל, רגישות סביבתית

קידוחי יקנעם ממוקמים בדרום מזרח הכרמל. בשדה ישנם כיום 4 קדוחים פעילים. קדוח יקנעם 2 ממוקם בצמוד להעתק יגור ואילו שאר הקדוחים ממוקמים במרחק של 1-2 ק"מ ממערב להעתק. הקדוחים מפיקים מהחלק העליון של חבורת יהודה ומתאפיינים במליחות נמוכה ויציבה לאורך עשרות שנות שאיבה. המילוי החוזר לשדה קדוחי יקנעם מוערך בכ- 7 מלמ"ק/שנה.

בשנים האחרונות התעורר ויכוח מקצועי בקשר לגבול המזרחי של שדה יקנעם. תיאוריה אחת טוענת שהעתק יגור שזריקתו באזור יקנעם נאמדת בכ- 1200 מ', מהווה גבול אטום ולכן יש לשייך את שדה קדוחי יקנעם לאגן ירקון תנינים. כלומר, זרימת מי התהום משדה קדוחי יקנעם היא בכוון דרום מערב לעבר מעיינות התנינים. תיאוריה שנייה מדברת על כך שהעתק

יגור הוא גבול פתוח ושדה קדוחי יקנעם שייך לאגן הכרמל המזרחי. כלומר, זרימת מי התהום היא מזרחה. חיזוק לתיאוריה השנייה, היא העובדה שאין כל תלות בין ההפקה ותנודות המפלס- תופעה האופיינית ל"אגן פתוח" כאשר מי תהום אשר אינם מנוצלים זורמים מזרחה (מחוץ לגבולות האגן) ואובדים. זיהום שנתגלה בקדוח יקנעם 2 בשנת 2008 כתוצאה מגלישת שפכים תעשייתיים ממפעל סולתם שממוקם בצד הירוד של ההעתק מחזק את התיאוריה שהגבול המזרחי של שדה קדוחי יקנעם הוא גבול פתוח.

קדוחי יקנעם נקדחו לפני עשרות שנים ("העתיק" ביותר הוא יקנעם 2 שנקדח בשנת 1935 "והצעיר" הוא יקנעם 6 שנקדח בשנת 1954). מדובר בקדוחים רדודים, הפעילים כבר עשרות שנים וסביבם מפעלי תעשייה רבים ולכן הם רגישים לזיהומים מפני השטח. לשמחתנו עד היום לא נצפתה הרעה כלשהי באיכות המים. בתקופה הקרובה מתוכנן להיחפר מנהרה של כביש 6 שתעבור כ- 200 מ' ממערב לקדוח יקנעם 2. אמנם המנהרה תיחצב מעל למפלס המים האזורי אבל יתכן והיא תיצור בעיות של עכירות במים.

## תחנה מס' 6

**פארק הכרמל ליד צומת אליקים : הסבר על ממצאי קדוח יקנעם 7 והגבול בין הכרמל ורמות מנשה. הפסקת צהרים**

קדוח יקנעם 7 שממוקם מצפון לצומת אליקים נועד לתגבור ופתרון למצוקת המים באזור. הקדוח נקדח לתצורת יגור לעומק של 480 מ'. בדיגום שבוצע בסיום הקדיחה נמדדה בתחתית הקדוח מליחות של כ- 17,500 מגכ"ל. המים המלוחים בקדוח יקנעם 7 נמצאים ברום של כ- 150 מ'. רום הגבוה במאות מטרים מרום המים המלוחים שנמצאו בקדוחי תות 3,4 ונראה שאין קשר ביניהם. ההרכב הכימי של המים המלוחים מצביע על מקור ימי, ככל הנראה שריד להצפה קדומה מכיוון עמק יזרעאל או ישירות דרך יחידות האקוויפר התחתון החשופות לים באזור ראש כרמל.

החלק העליון של הקדוח מכיל מים שפירים בעובי של כ-110 מ'. הירידות במליחות שהתקבלו בעת סתימות מלט שבוצעו בקטע התחתון של הקדוח, מצביעות על כך שלגוף המים המתוקים פוטנציאל גבוה מהמים המלוחים. הערכה שמליחות המים בגוף המתוק היא בסביבות 100 מגכ"ל.

קדוח עין העמק 1 שממוקם מדרום ליקנעם 7 שואב מהאקוויפר העליון מחתך שנמצא ברום שבין 110 ל- 210 מ' שהוא הרום שבו נמצאו המים המלוחים בקדוח יקנעם 7. המליחות בקדוח עין העמק 1 היא כ- 50 מגכ"ל. **כלומר בין קדוח יקנעם 7 לעין העמק 1 ישנו גבול הידרולוגי שמונע את מעבר המים המלוחים דרומה.** הגבול ההידרולוגי לאורך אזור המגע בין דרום הכרמל ורמות מנשה משמעותו שאקוויפר חבורת יהודה בדרום הכרמל אינו שייך לאגן ירקון תנינים והוא מופרד הידרולוגית מאקוויפר חבורת יהודה שבתחומי רמות מנשה. המוצא היחידי של אקוויפר חבורת יהודה בדרום הכרמל (קדוחי יקנעם) הוא מזרחה. זה מחייב שהגבול המזרחי של שדה יקנעם יהיה גבול פתוח (ראה גם הסברים בתחנה הקודמת).

## תחנה מס' 7

**קדוחי אל מזר 1 וחוף כרמל 6 :** הסבר על הקדוחים לחבורת יהודה שלרגלי הכרמל המערבי. תוכנית ההפקה ותוכניות ההתפלה.

לאורך רגלי הכרמל המערבי מפיקים מים מאקוויפר חבורת יהודה לצורך אספקת מי שתיה לעיר חיפה והסביבה. מדובר בסדרת קדוחים המתפרסת גיאוגרפית מטירת הכרמל בצפון ועד לפרדיס בדרום. במהלך השנים עלתה מליחות המים של חלק מהקדוחים וזאת כתוצאה

ממשיכת מים מלוחים מכוון אקויפר הפלייסטוקן הממוקם ממערב לאקויפר חבורת יהודה והנמצא בקשר הידראולי עמו.

ברוב הקדוחים מבחינים בתופעה של עליה עונתית במליחות המים במקביל לשינויים בהפקה החודשית. תופעה האופיינית לקדוחים המפיקים מים שפירים בסמיכות לגוף מים מלוח. הקטנת ההפקה השנתית לא הביאה לצמצום התופעה אלא רק לניצול מופחת של פוטנציאל המים האזורי.

המילוי החוזר הממוצע לאגני הכרמל המערבי שנערך לפני כ-40 שנה דיבר על מילוי חוזר של כ-14.2 מלמ"ק/שנה. ההפקה הממוצעת בשנות הבצורת האחרונות היתה בין 5-6.5 מלמ"ק (כלומר, ההפקה נמוכה ביותר מ-50% משיעור המילוי החוזר הממוצע). בשנת 2012 ההפקה היתה עוד יותר קטנה ועמדה על כ-2.7 מלמ"ק בלבד. כל המים שאינם נשאבים ע"י הקדוחים שלרגלי הכרמל זורמים מערבה לאקויפר הפלייסטוקן וממליחים. לכן, הוצע לפני מספר שנים להקים מפעל התפלה שיתפיל את המים המליחים. מפעל כזה יאפשר ניצול כמות גדולה יותר מהפוטנציאל השנתי ויספק מי שתייה במליחות נמוכה מזו המסופקת כיום. בהערכה זעירה ניתן יהיה להפיק מכל הקדוחים הקיימים סדר גודל שבין 10-15 מלמ"ק לשנה.

## תחנה מס' 8

### **חוף דור – הערכת זרימת מי תהום לים (הדרכה על ידי יוסי יחיאלי)**

יוסי יחיאלי<sup>1</sup>, יהודה שלם<sup>1,2</sup>, עדי טל<sup>2,3</sup> וישי ויינשטיין<sup>2</sup>

1 – המכון הגיאולוגי, ירושלים, 2 – אוניברסיטת בר אילן, רמת גן, 3 – השירות ההידרולוגי, ירושלים

רקע כללי – בחוף דור ניתן לראות את סלעי אקויפר חוף הכרמל נמצאים במגע עם הים. האקויפר באזור זה מורכב משלושה תת אקויפרים, העליון בנוי מחול ושני התחתונים בנויים בעיקר מסלעי כורכר. תת האקויפרים מופרדים ביניהם על ידי שכבות חרסית בעובי משתנה. באזור הסיור יש מפרץ רדוד בים שרוחבו ואורכו כ-100 מטר ובו נמדדו שפיעות של מי תהום לים. במקביל נדגמו מי התהום בתוך המפרץ, יחד עם מי תהום בקידוחים בחוף, לאנליזות כימיות (כולל נוטריאנטים) ואיזוטופיות (כולל איזוטופים של רדיום ורדון). הערכים הכימיים והאיזוטופיים אפשרו קביעה של כמות המים שמגיעה מהאקוויפרים הכלואים אל הים.

המדידות הראשוניות הראו כי ישנה כמות משמעותית של מי תהום מתוקים שיוצאת אל הים מתת האקוויפרים הכלואים (סדר גודל של כמיליון קוב בשנה לאורך רצועה של קילומטר אחד), בעוד שהאקוויפר הפריאטי כמעט ואינו תורם מים מתוקים לים. האנליזות הכימיות הראו כי יש תרומה של נוטריאנטים לים הרדוד, שהיא חשובה במיוחד בגלל שבאופן כללי מזרח הים התיכון מאופיין בריכוזי נוטריאנטים מאוד נמוכים.

מדידות רציפות של מפלס מי תהום בתת האקויפרים השונים הראו קשר ברור לים ותגובה לשינויים של גאות ושפל. נתונים אלו הושוו לתוצאות של סימולציות הידרולוגיות כדי להעריך את התכונות ההידראוליות של תת האקויפרים השונים. הסימולציות הראו כי קיים קשר קרוב יחסית בין תת האקויפר האמצעי (הכלוא) לבין הים. קשר עם הים מתקיים גם בתת האקוויפר העמוק, מה שבא לידי ביטוי בשינויי מפלס טיידליים ניכרים ובקיומו של פן ביני, אך טיב ומיקום הקשר (מרחק מהחוף) עדיין לא הובהרו.

במקביל לעבודה בחוף דור, נעשית עבודה בחוף של מעגן מיכאל לקביעה של כמות מי התהום שיוצאת לים באזור המושפע על ידי מציאות בריכות הדגים

**סיור - בתחנה זו נראה מספר דברים שמלמדים על הקשר של המערכת האקויפר החופי הרב שכבתי עם הים :**

באר עתיקה – הבאר נמצאת באזור הגיאות ושפל רוב הזמן מכוסה על ידי מי הים. המים בבאר משתנים במליחותם מערך של כ- 10 אחוז מי ים בזמן השפל עד לקרוב למי ים בזמן הגיאות.

מקבץ של שלושה קידוחים לתת האקויפרים השונים - בקידוחים אלו, הנמצאים במרחק של כ- 40 מטר מקו החוף, נמצא פן ביני שבו החלק התחתון בשני תת אקויפרים התחתונים מתקרב במליחותו לערך של מי ים. במסגרת הסיור נבצע פרופיל של מוליכות חשמלית להערכה של מיקום הפן הביני. המפלס ביחידות הכלואות משתנה טיידלית בפאזה עם מי הים עד למרחק של לפחות 40 מטר מהים.

במסגרת הסיור תיעשה הצגה של הציוד המשמש למדידת כמות מי התהום שנכנסת באופן ישיר למי הים במפרץ בעזרת מדי חלחול וכן מדידות רדון שמאפשרות הערכה כמותית יותר של תרומת מי התהום במפרץ.



**איור 1. מפת מיקום תחנות הסיור**