

אנרגיה גיאותרמית יישום אפשרי בגולן

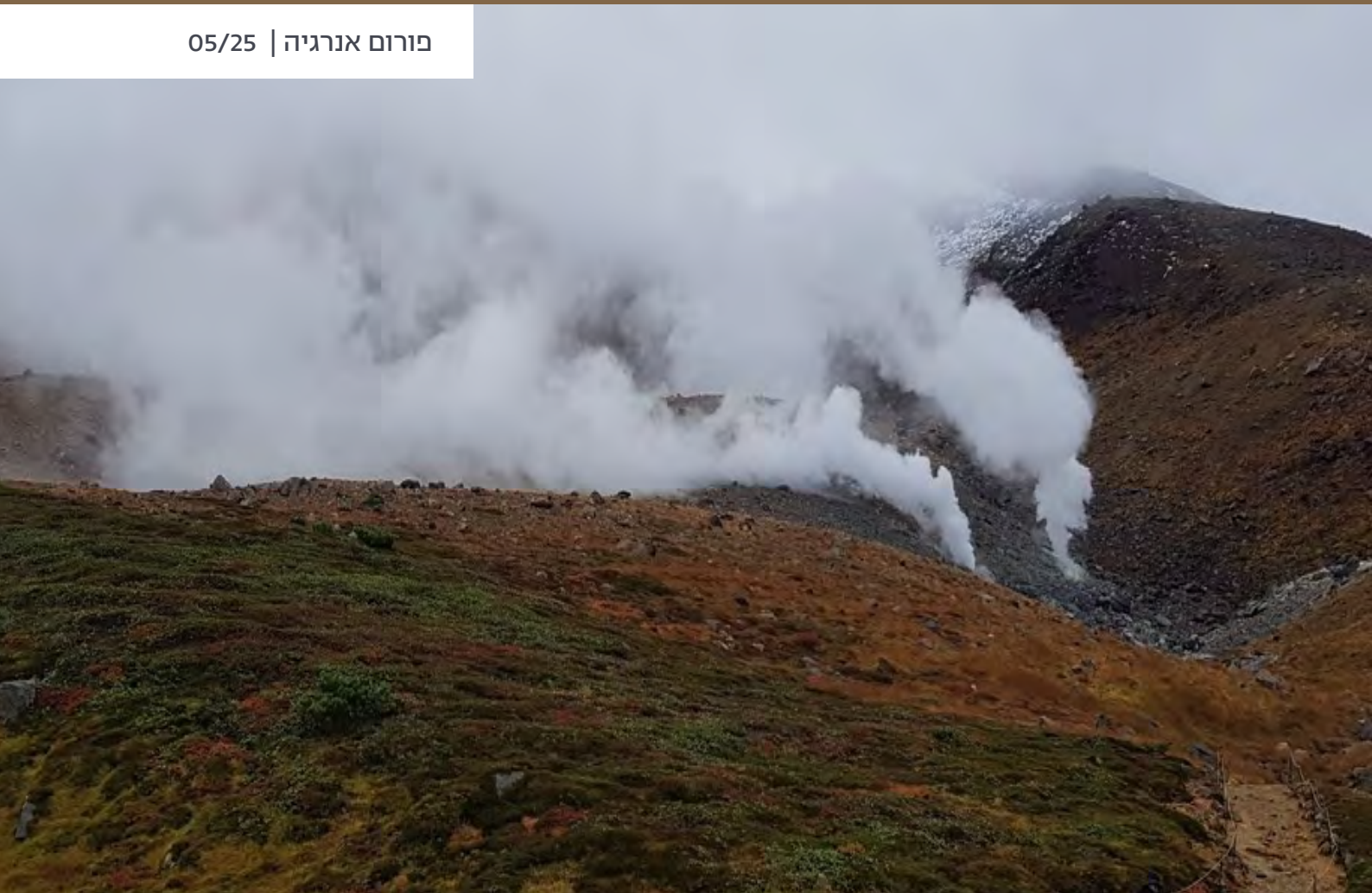
פורום אנרגיה 56

ד"ר אורנה רביב
פרופ' אופירה אילון

הפורום נערך בהוקרה לפרופ' גרשון גרוסמן
על פועלו לקידום שיח והתוויית מדיניות בנושאים משמעותיים
בתחום האנרגיה במוסד שמואל נאמן בשנים 2004-2025

מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית

פורום אנרגיה | 05/25





אנרגיה גיאותרמית

פורום בנושא יישום אפשרי בגולן

ד"ר אורנה רביב
פרופ' אופירה אילון

מאי 2025

הפורום נערך בהוקרה לפרופ' גרשון גרוסמן על פועלו לקידום שיח והתוויית מדיניות בנושאים רבים בתחום האנרגיה במוסד שמואל נאמן בשנים 2004-2025

מטרת פורום האנרגיה היא ליצור תשתית מקצועית בתחומי האנרגיה בישראל, ולקיים מפגשים, רב-שיח ודיונים המעודדים קידום פרויקטים בנושאים כגון אנרגיות מתחדשות, היסכון ושימור האנרגיה. הפורום מגבש עמדות מקצועיות והמלצות ישימות, המוסכמות על דעת מומחים ובעלי עניין בתחום, ומוגשות למקבלי ההחלטות במשרדי הממשלה השונים למען קידום הנושא.

דוחות נוספים של פורום האנרגיה זמינים [באתר מוסד שמואל נאמן](#)

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור.

הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחבר.ת ואינן משקפות בהכרח את דעת מוסד שמואל נאמן

תקציר

התחזיות להפקת תועלת מאנרגיה גאותרמית בעולם הן אופטימיות ולפיהן קיימת התכנות טכנולוגית בטווח הקצר להפקת תועלת משפיעות חום בדרום הגולן, ובטווח הארוך גם באזורים רבים בישראל.

לשם הבנת האפשרות להפקת תועלת מהאנרגיה הגאותרמית בגולן, מוסד שמואל נאמן כינס פורום של בעלי עניין לדון בפוטנציאל הגיאו-פיזי, ביישומים האפשריים, במדיניות הנדרשת ובהשפעות הסביבתיות שיש לקחת בחשבון במידה ותופק אנרגיה גאותרמית בגולן. המשתתפים בדיון כללו נציגים מהמכון הגיאולוגי, משרד האנרגיה, רשות המים, מועצה אזורית רמת הגולן, וחברות בישראל שהיישומים שלהם מתבססים על אנרגיית-חום, כדוגמת אורמת, אינוגיה, OASIX, ועוד.

בדיון נסקרו אתרים בעלי שפיעות חום בגולן לצד טכנולוגיות ותהליכים שנדרשים במטרה להגיע לכדאיות כלכלית בהפקת תועלת משפיעות החום. חדשנות בתחום היישומים לאנרגיה גאותרמית מאפשרת צמיחה ביישומים מבוססי חום גאותרמי לייצור חשמל גם בטמפרטורות נמוכות מהידוע כיום, והכדאיות תלויה בעיקר בקצב ההתייעלות בניצול החום ובעומק הקידוח הנדרש. לפיכך, יישומים לייצור חשמל שקיימת להם התכנות טכנונית בטווח הקצר בדרום הגולן, יהיו רלוונטיים בטווח הארוך גם באזורים נוספים בארץ.

בנוסף לכך, ניתן לשלב יישומים אחרים בהתאם לביקוש בכל אזור ולכלול אגירה תרמית ויישומים להפקת תועלת מחום גאותרמי בייצור מזון, בחקלאות חממות ודגים, בתהליכים שדורשים חום בתעשייה, בחימום מבנים, בתיירות וספא ובשימושים אחרים, כחלק מתכנון של מיקרו-גריד אזורי.

מבחינת האתגרים, במתקן לייצור חשמל וכשמדובר ביישום מבוסס מים – חשוב שלא לפגוע במקורות המים ולקיים סדרה נרחבת של בדיקות גיאו-פיזיות וגיא-כימיות טרם ההחלטה על הכדאיות. ספיקות צפויות בהתאם לקידוחים קיימים הן 500-600 מק"ש בקידוח אחד, והן תלויות גם בקוטר הקידוח ובעומקו. כמו כן, שאיבה מאסיבית של מים או שימוש בסידוק הידראולי עלולים להגביר תגובה סיסמית באתר ולכן חשוב לוודא שיישומים גאותרמיים לא מגדילים את הסיכון לרעידות אדמה באזור.

לפיכך, ההמלצות לצעדים בהמשך הן –

- התוויית מדיניות ורגולציה - בישראל עדיין אין רגולציה ייחודית לתחום הגאותרמי. עם זאת, משרד האנרגיה החל בעבודה ושיתוף פעולה עם משרדים אחרים, במטרה לפתח מסמכים רגולטוריים לגבי תקינה וסטטוטוריקה כפי שיידרש. משרד האנרגיה מעודד שילוב של מקורות אנרגיה שונים ויישומים שונים כדי לקדם את זה והמדען הראשי הוא הכתובת לפניות בתחום. כמו כן, נדרש תיאום מול רשות המים שאחראית כיום על מתן אישורי הקידוח.
- מיקוד בתרומה לאזור - בגולן הביעו עניין בשילוב מקורות אנרגיה מגוונים באופן שההפקה וההולכה לא יפגעו במגוון הביולוגי באזור. נדרשת בחינה משותפת של המטרות ואופן יישומן.
- הסרת חסמים ברשת החשמל - בהסתמך על ניסיון העבר ודחייה של חיבור יישומים לרשת עקב עומס בקווי ההולכה, רצוי שכל פרויקט יתחיל מתכנון של רשת הולכה וחלוקה, כולל מיקרו-גריד מקומי, באופן שמתחשב בצרכי האזור. לאחר מכן ניתן יהיה להוסיף ייצור מקומי.
- הרחבת בעלי העניין והשותפים לדרך - חשוב שהמשרד להגנת הסביבה והרשויות המקומיות יהיו מעורבים בתהליכי השינוי. כך לדוגמא, יתאפשר פיתוח של קישוריות מקומית לחדשנות וקידום יצרנות מקומית שתשלב את הפריפריה בתהליך ההתפתחות. בנוסף, שיתוף בעלי עניין בתחום האנרגיה יעשה באמצעות אנרג'יקום החל מיולי 2025, כדי לקדם שיתוף ידע ויוזמות לחדשנות.

תוכן העניינים

משתתפי הדיון.....	6
מבוא.....	7
1. נתונים גיאוגרפיים.....	8
1.1 פוטנציאל האנרגיה הגיאותרמית בדרום הגולן.....	8
1.2 שפיעות חום והיסטוריה תרמלית בדרום רמת הגולן.....	10
1.3 הסיכון בעירור רעידות אדמה עקב קידוח גאותרמי בסמוך לשבר.....	11
2. מדיניות ורגולציה.....	12
2.1 קידום אנרגיה גיאותרמית בישראל - פעילות משרד האנרגיה.....	12
2.2 מחקר ושת"פ לקידום יישומים מבוססי אנרגיה גיאותרמית בישראל.....	15
2.3 קידוחי מים חמים שמבצעת מקורות בגולן.....	16
2.4 חוק פיקוח על קידוחי מים.....	17
3. יישומים אפשריים.....	18
3.1 ניצול משאבי טבע ברמת הגולן ליצירת יציבות אנרגטית.....	18
3.2 ייצור חשמל במתקן גאותרמי: איכות-המשאב ויעילות ההפקה.....	20
4. דיון ומסקנות.....	22

רשימת איורים

- איור 1: הקידוחים הקיימים לאורך הירמוך ובדרום רמת הגולן.....9
- איור 2: הטמפרטורה בשכבות תת-הקרקע על פי המרחק מחתך האורך מהחרמון לזרקא, ומוצא המים בחמת גדר.....9
- איור 3: מפת שפיעת החום בדרום רמת הגולן, בעבר וכיום [מילי-ואט למ"ר].....10
- איור 4: תדירות האירועים של רעידות אדמה בכנרת עקב שאיבה מסיבית מקידוחי המים בגולן [לא קידוח גיאותרמי].....12
- איור 5: מערכת לייצור חשמל שנפוצה בעולם - תחנת כוח מבוססת מעגל בינארי (כפול) בקידוח גיאותרמי.....13
- איור 6: טמפרטורות צפויות בעומק של 4, 6 ו-8 ק"מ ברחבי ישראל, בהתאם לנתונים מקידוחים קיימים.....14
- איור 7: קידוחי מים בגולן, חתך מהחרמון דרומה.....16
- איור 8: שלבים לאישור קידוחי מים בישראל.....18
- איור 9: דוגמא לדו"ח קידוח והנתונים הנדרשים בתהליך האישור.....18
- איור 10: יישומים שונים לתועלת מאנרגיית חום גיאותרמית.....19
- איור 11: שלבי ניתוח המשתנים השונים לקראת החלטה על קידוח ויישום גיאותרמי - אורמת.....20
- איור 12: חשיבות נתוני החום, הלחץ ויציבות האספקה בהחלטה על ייצור חשמל גיאותרמי - אורמת.....21
- איור 13: המשתנים שמזינים את המודל הקונספטואלי להקמת הקידוח במיקום הנדרש - אורמת.....21
- איור 14: חשיבות החום ועומק הקידוח לקבלת ההחלטה - אורמת.....22

משתתפי הדיון

- **המכון הגיאולוגי**
 - ד"ר אייל שלו
 - ד"ר איתי רזניק
- **האוניברסיטה העברית, מדעי כדור הארץ**
 - פרופ' עינת אהרנוב
- **משרד האנרגיה, המדען הראשי**
 - ד"ר אולגה זלטקין
 - אבישי קרט
- **רשות המים**
 - יעקב ליבשיץ - ראש אגף הידרו-גיאולוגיה בשירות ההידרולוגי
 - גרישה ברנשטיין - ראש אגף רישוי ויו"ר וועדת קידוחים
- **מועצה אזורית רמת הגולן**
 - יאיר גרשוני - רכז תחום אנרגיה מתחדשת
 - אלאור לוי - מנהל יחידה סביבתית גולן
 - איתי שפירא - פרויקטור לפיתוח הכלכלה לעשור הקרוב
- **חברות בישראל עם יישומים מבוססי אנרגיית-חום**
 - אינוגיה – גד שושן, יועץ [בעבר מאורמת]
 - אורמת – דן בטשה, איתן ברגר, Simon Webbison
 - OASIX – פרופ' משה תשובה
 - אגם מערכות - עפר ספוטהיים ומשה מרקו
 - PHOEBUS - אייל גוטנטג *
 - ברנמילר – ניר ברנמילר, אגירת חום *
 - [* לא הצליחו להצטרף לדיון אך שלחו מידע]
- **משתתפים נוספים**
 - פרופ' אישי טלמון – יו"ר מוסד נאמן
 - פרופ' גרשון גרוסמן – ראש פורום האנרגיה במוסד נאמן
 - פרופ' דני וייס – בעבר יו"ר מוסד נאמן והמדען הראשי במשרד המדע, ביקש לבחון את הנושא
 - ד"ר יעל בראש-הרמן – מדען ראשי משרד האנרגיה, מנהלת אגף א' (מחקר ופיתוח)
 - ד"ר אינג' משה גרציאני - אורמת לשעבר
 - עדו נגב - מקורות
 - עמוס לסקר ודניאל ברון - נציגי אנרג'יקום
 - יוסי ווירצבורגר - רציו קידוחי נפט בים

מבוא

בעולם ובישראל קיימת מגמה של מעבר לשימוש באנרגיה מקיימת, שיש לה השפעה פחותה על הסביבה בהשוואה לאנרגיה ממקור מחצבי כדוגמת נפט וגז. ישראל שמה לה למטרה בשנת 2030 לייצר כ-30% מהחשמל באמצעות מקורות אנרגיה מתחדשים, כדוגמת השמש והרוח [1].

מלבד מקורות האנרגיה המתחדשים, שהאספקה שלהם לא רציפה ומאוד תנודתית, נדרש ברשת החשמל גם מקור אנרגיה יציב שיבטיח אינרציה ותדר קבוע, שהם הבסיס לרשת חשמל אמינה. כיום, הבסיס היציב מתאפשר באמצעות טורבינות מבוססות גז, שאחראיות לפליטה של מירב גזי החממה בישראל [2].

התוכנית לאספקת אנרגיה מקיימת בשנת 2050 כוללת מקורות חלופיים של אנרגיה מקיימת, כדוגמת האנרגיה הגיאותרמית, שתרומתן האפשרית תבחן בטווח הקצר. גיאותרמיקה עמוקה מאפשרת גישה לחום של תת הקרקע בכל אתר בעולם בקידוח לעומק של מספר ק"מ, ובאמצעות החום התת קרקעי והנביעות של המים החמים להפיק אנרגיה בלתי מוגבלת, נשלטת, ונקייה מכל מזהמים. בהשוואה לחלופות אחרות כדוגמת האנרגיה הגרעינית, אנרגיה גיאותרמית כדאית יותר בהתייחס לרמות ההספק, יעילות ומחיר-הפיקה, זמינות המשאב והעלות הסביבתית – בעיקר בהיבטים של שימוש בקרקע ובטיפול בפסולת [3, 4]. לשם כך משרד האנרגיה מעודד מחקר בתחומי הקידוח והיישומים האפשריים לשימוש באנרגיה גיאותרמית.

דרום רמת הגולן הוא האתר שבו קיים הפוטנציאל הגבוה ביותר בישראל להפקת אנרגיה גיאותרמית. מחקרים של המכון הגיאולוגי מראים שהפוטנציאל לאורך הירמון ובדרום הגולן יאפשר הפקת תועלת מאנרגיה גיאותרמית בטווח תכנוני קצר, והתקווה היא בטווח הארוך להפיק תועלת ברוב האזורים בישראל [5, 6]. בגולן קיימים כיום קידוחי מים-חמים שמפוקחים בוועדות התכנון ומבוצעים על ידי רשות המים ומקורות [7]. אחד מהם הוא קידוח שמיר שמימיו משמשים להשקיית שדות חקלאיים.

היישומים הגיאותרמיים בעולם מבוססים כיום בעיקר על חימום מבנים וייצור חשמל מהחום הגיאותרמי. החדשנות בתחום מקדמת התייעלות בניצול החום, בקידוח ובגיוון השימושים השונים בחום המופק [8]. כך לדוגמה, חברת אורמת הישראלית מקימה מפעלים רבים בעולם לייצור חשמל ממקור גיאותרמי, בהתאם לתנאים הגיאופיזיים והכדאיות הכלכלית [9]. שימושים אחרים עם תועלת כלכלית פחותה (בהשוואה לייצור חשמל) כוללים יישומים של קירור וחימום, משאבות חום, שימוש במים החמים בחממות, אגירה תרמית, ועוד [10].

לשם הבנת האפשרות להפקת תועלת מהאנרגיה הגיאותרמית בגולן, מוסד שמואל נאמן כינס פורום של בעלי עניין מתחומים שונים לדון בפוטנציאל הגיאופיזי, ביישומים האפשריים ובהשפעות הסביבתיות שיש לקחת בחשבון במידה ותופק אנרגיה גיאותרמית בגולן. כך לדוגמה ההשפעה על הסיכון ברעידות אדמה, על שימושים אחרים במים, וכדומה [11].

המשתתפים בדיון כללו נציגים מהמכון הגיאולוגי, משרד האנרגיה, רשות המים, מועצה אזורית רמת הגולן, וחברות בישראל שהיישומים שלהם מתבססים על אנרגיית-חום, כדוגמת אורמת, אינוגיה, OASIX, ועוד.

הפרקים הבאים יפרטו את נושאי הדיון, הדוברים, המידע ששותף והמסקנות לגבי תועלת אפשרית מיישומים של אנרגיה גיאותרמית בגולן, וכן הצעדים הנדרשים כדי לממש זאת.

1. נתונים גיאוגרפיים

1.1 פוטנציאל האנרגיה הגיאותרמית בדרום הגולן

ד"ר איל שלו – המכון הגיאולוגי

בכדור הארץ, ככל שמעמיקים, הטמפרטורה עולה משתי סיבות; האחת - מאז היווצרותו כדור הארץ, לפני ארבעה וחצי מיליארד שנה הכדור מתקרר אבל עדיין יוצא חום מתוך כדור הארץ. והשנייה – קיימת התפרקות רדיואקטיבית של אלמנטים כדוגמת אורניום ואשלגן, שמייצרת אנרגיה.

לכן, ככל שניכנס לתוך כדור הארץ, הטמפרטורה עולה בממוצע בעולם בכעשרים מעלות לקילומטר. תת החום ליחידת שטח תלוי בשני פרמטרים עיקריים; במפל הטמפרטורה - בכמה הטמפרטורה עולה ככל שיוורדים לעומק הקרקע, ובמוליכות הטרמלית של התווך בתת הקרקע - שיכול להתקיים באמצעות המוליכות של שכבת-הסלע או באמצעות מי-תהום שזורמים בתת הקרקע.

מפל הטמפרטורה והמוליכות נמדדים בדרך כלל בקידוחים, ויש בארץ הרבה קידוחים עמוקים, מקידוחי נפט שונים. חלק מהמדידות נעשו בעומק של עד שישה קילומטר, בטמפרטורות גבוהות, ובקידוח בחלץ הגיעו גם ל-150 מעלות. עם שני הפרמטרים האלה, ובהנחה שידוע סוג הסלע ומוליכות-החום שלו, ניתן לחשב בכל נקודה את השטף שנפלט מתת הקרקע. המדידות ומפת שטף החום מאפשרים לייצר הדמיה של שכבות תת הקרקע עם הטמפרטורה בעומקים שונים.

בארץ, ברוב האזורים הטמפרטורות פחותות מהממוצע בעולם, מלבד אזור דרום רמת הגולן שבו קיימות טמפרטורות מעל הממוצע בעולם ואנרגיה מאוד יציבה. במכון הגאולוגי עובדים כבר עשרות שנים על אזור דרום רמת הגולן בהיבט הידרולוגי גיאולוגי.

בדרום רמת הגולן הקידוחים יצרו נביעות של מים (איור 1) ועקב לחץ גבוה המים עולים לבד (באר ארטזית, אין צורך לשאוב את המים ממנה). בקידוחים בישראל חברת מקורות אוספת את המים מהקידוחים הארטזיים מיצר-1 ומיצר-2, ומעלה אותם לרמת הגולן להשקיה בחקלאות. המים יוצאים חמים מדי למטרות ההשקיה, ולכן מקררים אותם לפני השימוש בחקלאות. הקידוח במיצר-1 בשנת 1981 היה לעומק של 1,200 מטר והטמפרטורה בזמן הקידוח הייתה 79 מעלות, ובמיצר-2, בקידוח עד 800 מטר, היו 70 מעלות צלסיוס.

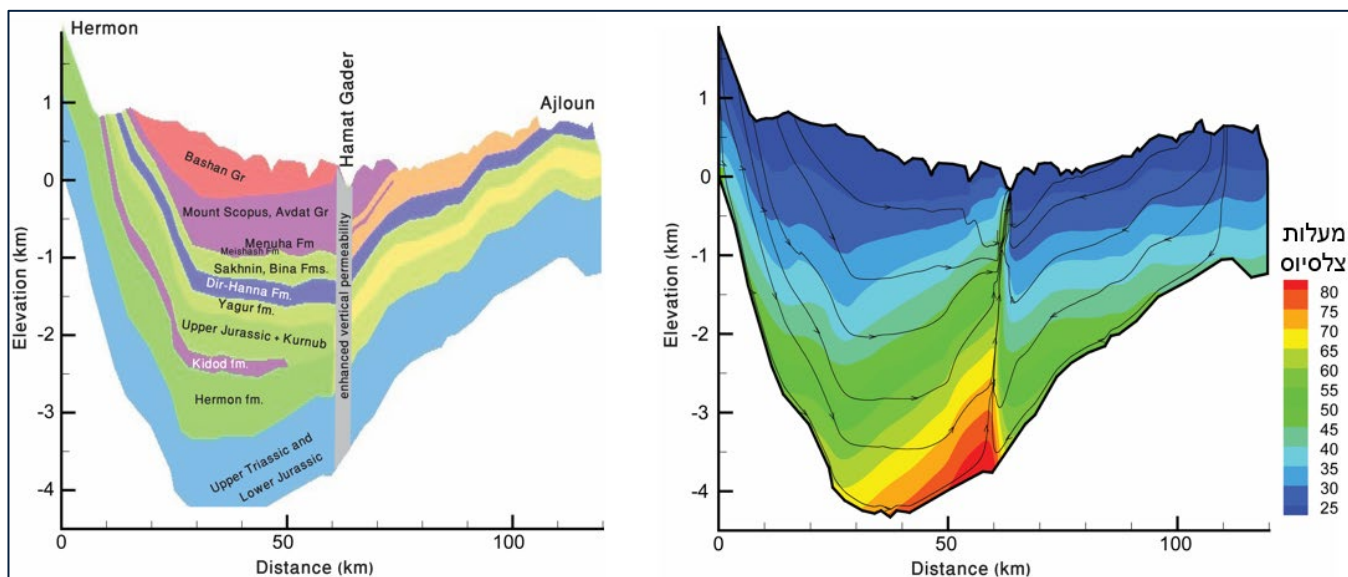
כיום יש קידוחים גם במדינת ירדן ששואבים מאותו אקוויפר של הקידוחים בגולן ובעצם קיימת השפעה הדדית בין קידוחים ירדנים לקידוח בישראל, עד כדי כך שקידוח מאסיבי בירדן ייתכן וייבש נביעה בישראל. המים מקידוחים ירדניים זורמים לירמוך ובחלקם מגיעים לנהר-הירדן ולכנרת.

בגולן קיימת אנומליה גיאותרמלית, ולפיה באזור הירדן והירמוך ועד חמת גדר זהו טמפרטורות גבוהות בתת הקרקע, אבל לא ניתן לזהות טמפרטורות דומות צפונה משם, והסיבות לכך עדיין נחקרות.

מודל הידרולוגי שמדמה חתך בתת הקרקע מהחרמון עד זרקא בדרום, עם חמת גדר באמצע, מראה שזרימה תת קרקעית של מים מהחרמון עברה דרך שכבות סלע והגיעה דרומה. המים יוצאים בחמת גדר, כי אין להם מוצא אחר, מסיעים את החום אל הנביעה וזה יוצר את האנומליה (איור 2).



איור 1: הקידוחים הקיימים לאורך הירמון ובדרום רמת הגולן



איור 2: הטמפרטורה בשכבות תת-הקרקע על פי המרחק מחתך האורך מהחרמון לזרקא, ומוצא המים בחמת גדר מקור: [12]

הקידוחים עד היום הגיעו לעומק של בערך קילומטר אבל בעומק גדול יותר הטמפרטורות צפויות לעלות. לגבי כמויות המים - הן סופיות ותלויות בקוטר הקידוח ובמספר הקידוחים¹. לחץ של שלוש אטמוספרות יאפשר נביעה טבעית. כדי לא לפגוע בשכבת האקוויפר ניתן לשאוב רק את כמות הגשם שיוורדת בכל

¹ עם זאת, להפקת אנרגיה מהחום בתת הקרקע לא חייבים להשתמש במים הנובעים, אלא להזרים נוזלים או אוויר, כפי שיפורט בהמשך.

שנה. איכות המים היא עם רמת חומציות (PH) מעט גבוהה ונתוני המים בקידוחים העתידיים צפויים להיות דומים למאפייני המים בקידוח הקיים בשמיר.

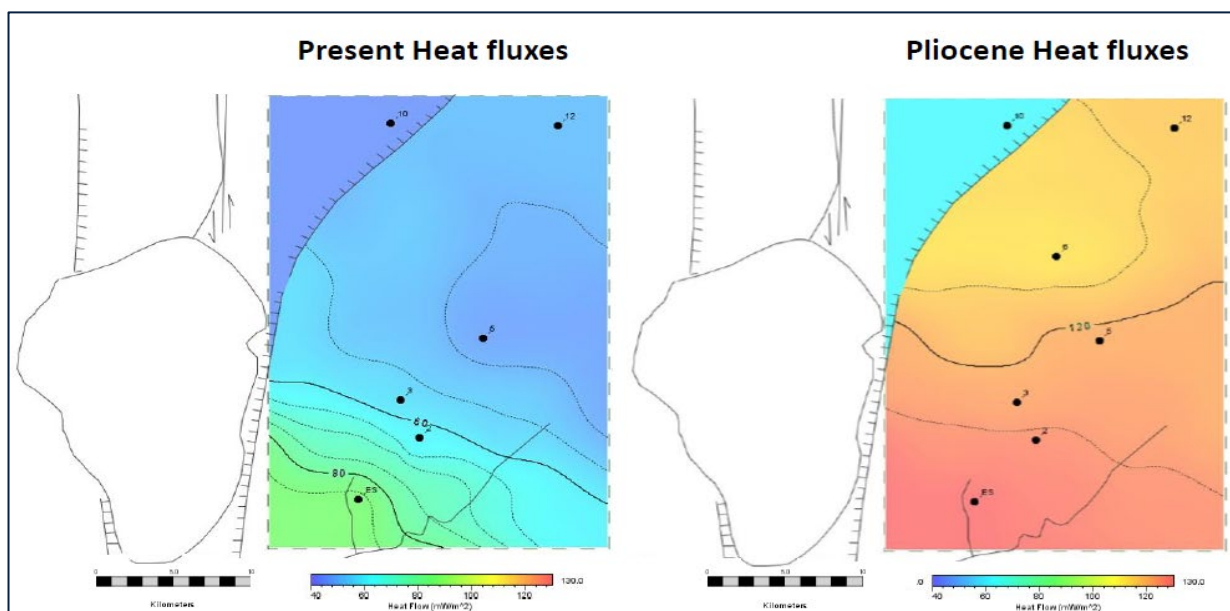
לסיכום, כדי להבין טוב יותר את הפוטנציאל של האנרגיה הגיאותרמית בדרום הגולן, ההמלצה היא לבצע קידוח לעומק של עד שני קילומטר, שבו, על סמך הנתונים הקיימים, צפויה טמפרטורה של כמאה ועשרים מעלות, ובעומק של שלושה קילומטרים גם טמפרטורה של 150 מעלות. המים בקידוח יצאו בלחץ ולא תידרש השקעה גבוהה לשאיבה. הקידוח יוכל לאשש את ההנחה שאפשר לייצר בגולן שדה עם כדאיות ליישומים של אנרגיה גיאותרמית.

1.2 שפיעות חום והיסטוריה תרמלית בדרום רמת הגולן

ד"ר איתי רזניק – המכון הגיאולוגי

הנתונים הקיימים כיום הודות לקידוחים בשכבות הקרקע העמוקות מאפשרים הערכה של שפיעת החום ההיסטורית והעכשווית בדרום רמת הגולן. בהתאם לכך ניתן להראות מגמה ולהבין האם האזור שלנו מתקרר ומה הפוטנציאל בשנים הבאות [5].

הנתונים מראים שקיימת דעיכה בשפיעת החום ככל שמתרחקים מהאזור החם בעין סעיד שעל הירמון. גם בהסתכלות היסטורית ניתן לראות את שיעור ההבשלה של החומר האורגני בסלעים השונים בהתאם לירידה לעומק הקרקע. הקידוח של עין סעיד בדרום מראה הבשלה בטמפרטורות בעומקים הרדודים, כמו גם שאר הקידוחים שבאזור הדרומי של רמת הגולן שמבשילים בערך באותה הצורה. לעומת זאת, צפונית לשבר שיח-עלי אנחנו מקבלים הבשלה מאוד חלקית.



איור 3: מפת שפיעת החום בדרום רמת הגולן, בעבר וכיום [מילי-ואט למ"ר]
מקור: [5]

במיצר-1 קיים מפל חום של 5 מעלות לכל מאה מטר וצפונה ממנו קיימת התקררות. בקידוח מיצר-1 קיימת שפיעת חום של 85 מילי-ואט למ"ר, ושפיעת החום מגיעה גם עד 12 ק"מ צפונה מהירמון. עם

זאת, ככל שמתרחקים לכיוון צפון, שפיעת החום יורדת לרמה של 40 מילי-וואט למטר-מרובע, בפרט באזור שמצפון לשבר שיח'-עלי, שם השבר כנראה מהווה חסם.

האנומליה הגיאומטרית-משתרעת עד כ-12 ק"מ מצפון לירמוך ולכן משייכים אותה להבשלה שמקורה בחום קדום, המתבסס על שלוש התפרצויות וולקניות שיצרו את שכבות הבזלת שרואים היום. האחת - לפני כחמש עשרה מיליון שנה, השנייה - בדרום רמת הגולן לפני שלושה עד חמישה מיליון שנה, והשלישית - בזלת צעירה יותר בצפון רמת הגולן וגם באזור הירמוך, שמתוארכת לתקופה שבין לפני 1.7 מיליון שנה ועד התפרצויות מלפני עשרות אלפי שנה, שהן ההתפרצויות האחרונות. עם זאת, ייתכן גם שקיימת השפעה משכבות וולקניות מזרחיות לשבר הסורי-אפריקאי, מאזור סוריה.

במודל, המצב כיום כויל על פי נתוני העבר והפלט של המודל מייצר מפות הערכה של שפיעות חום לפי תקופה (איור 3). על-פי המודל ההידרולוגי, **קיים קירור של השכבות שמגיע מכיוון צפון, שהשפיע ושמשפיע עד היום על שפיעת החום.**

יש צורך במחקר נוסף כדי לקבוע האם ניתן להתייחס לאנומליות התרמיות הנוכחיות כאירועים נפרדים עם מקורות חום פוטנציאליים שונים, או שמא אירועים אלה קשורים גנטית.

1.3 הסיכון בעירור רעידות אדמה עקב קידוח גאותרמי בסמוך לשבר

פרופ' עינת אהרנוב - מדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית

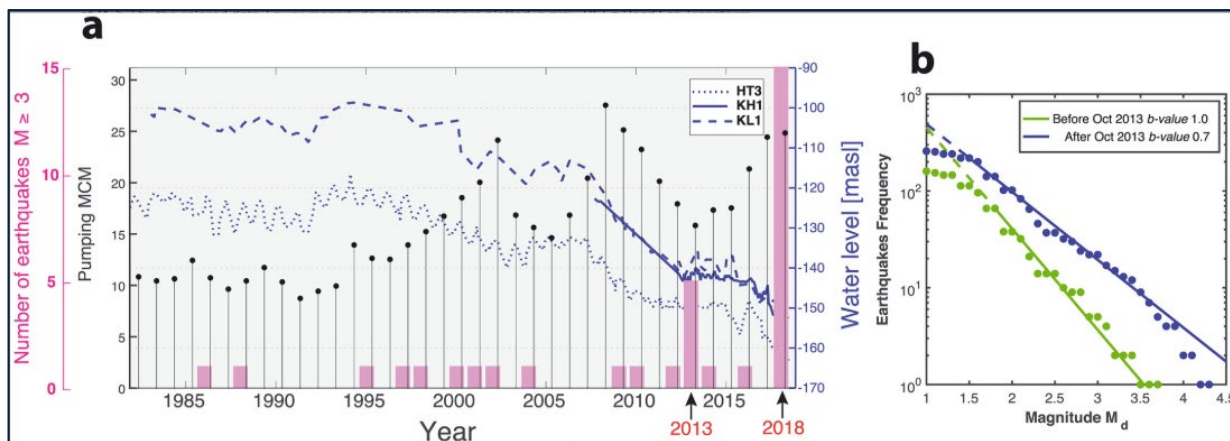
ישנן דרכים שונות לקידוח במטרה להפיק תועלת מאנרגיה גיאותרמית, בחלקן מוציאים או מזרימים מים לתת הקרקע. כיום בגולן יש כמה בארות ארטזיות שבהן המים שזורמים בתת הקרקע פורצים לפני הקרקע עקב קידוח ולחץ. שיטות נוספות להפקת תועלת מאנרגיה בתת הקרקע כוללות הזרמת אויר ונוזלים שאינם מים דרך תוואי הקידוח אל תת הקרקע כדי לאסוף את החום במעברים שנוצרו בו.

שאיבת נוזלים מתת הקרקע או הזרקת נוזלים ואוויר לתת-קרקע, לצורך הפקת תועלת מהקידוח, עלולה להגביר את הסיכון לרעידות אדמה, ויש לזה דוגמאות שונות מהעולם. ההזרקה לקרקע, בפרט, גורמת לסיסמיקה (חוסר איזון, גלים ורעידות עקב לחץ בסלע) ועם הזמן ככל שהלחץ בתת הקרקע מתפשט רואים שגם הסיסמיקה הולכת ומתפשטת לאזורים יותר ויותר נרחבים. כך לדוגמה בבאזל היו רעידות בדרגה 3 ובקוריא ובאוקלהומה בדרגה 5 בסולם ריכטר.

הסיכון לכך קיים גם בישראל, מאחר והקידוח נעשה בקרבה להעתק בשבר הסורי אפריקאי, שנמצא לאורכה של ישראל [11].

כך לדוגמה, עקב שאיבה מאסיבית לאורך כשלושים שנה מבארות באזור גינוסר שבכנרת (שמקורן אינו בקידוח גיאותרמי) נוצרו ירידות של כ-100 מטר במפלס מי התהום ושינויים בלחצים ובמאמצים בתת הקרקע שהביאו בשנים 2013 ו-2018 לרעידת אדמה בכנרת, בעוצמה של 4.2 ו-4.3 בסולם ריכטר (איור 4).

שינוי בלחץ הנוזלים בתת הקרקע יוצר שינויים במאזן הלחץ והמאמץ בנקבים רבים בתת הקרקע, ומערער את שיווי המשקל בין הלחץ מההעתק וההתנגדות של השכבות בתת הקרקע (מוריד את המאמץ הנורמלי האפקטיבי על ההעתק ומפחית את היכולת להתנגד להשפעה של ההעתק, שמתבטאת ברעידות).



איור 4: תדירות האירועים של רעידות אדמה בכנרת עקב שאיבה מסיבית מקידוחי המים בגולן [לא קידוח גיאותרמי] מקור: [11]

לסיכום, עם הכוונה לבצע קידוחים להפקת תועלת גיאותרמית בגולן, חשוב לוודא שלא גדל הסיכון לרעידות אדמה עקב קידוח עתידי בגולן. אמנם הסיכון קטן יותר בבאר ארסזית, אך נדרש מחקר ממוקד בגולן שיבדוק את רמת הסיכון לרעידת אדמה בהתאם לשינוי שיבוצע בכל קידוח. בהתאם לאופי הקידוח, השאיבה והזרמת הנוזלים והאוויר הצפויה בגולן, ניתן יהיה לנתח במודל מתאים האם ואיך נוצר שינוי בלחצים ובמאמץ בתת הקרקע ולהבין מה עלולה להיות ההשפעה על הסיכון לרעידות אדמה בישראל.

2. מדיניות ורגולציה

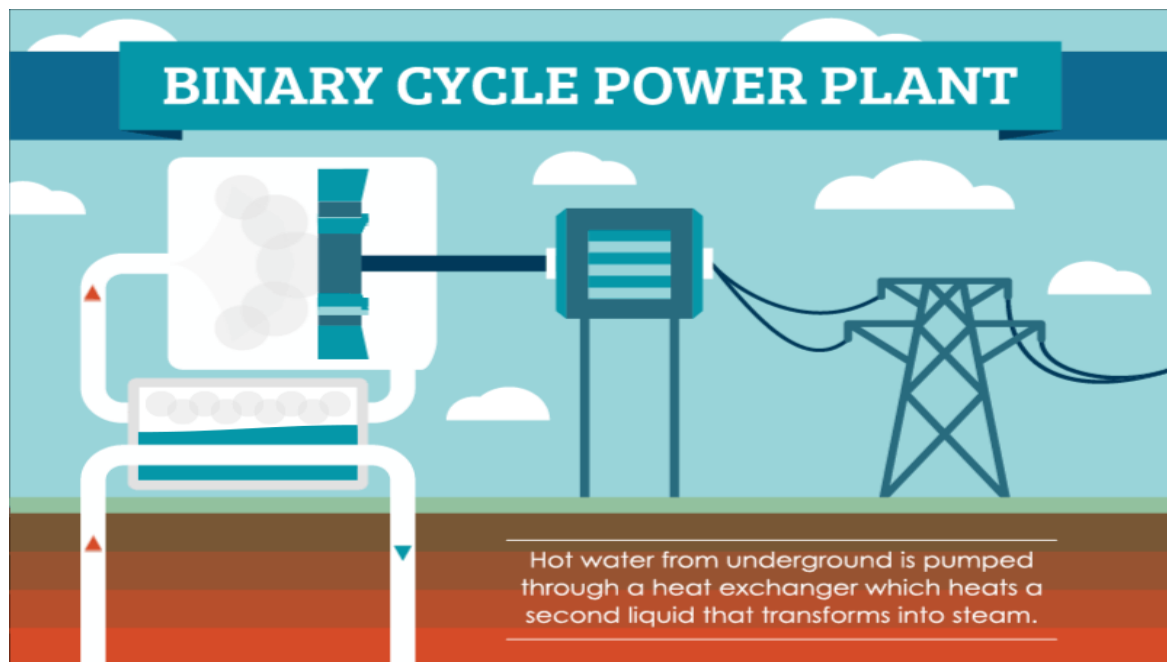
2.1 קידום אנרגיה גיאותרמית בישראל - פעילות משרד האנרגיה

ד"ר אולגה זלטקין - משרד האנרגיה, המדען הראשי

בעולם אנרגיה גיאותרמית נחשבת אנרגיה מתחדשת ונקיה עם טביעת רגל סביבתית קטנה (חסכונית בתפיסת קרקע ופליטות), יציבה (baseload), לא תלויה במזג אוויר, ולא דורשת מערך אגירה. מקדם היעילות (capacity factor) שלה גדול מ-75%, קרוב לזה של תחנות גרעיניות. בטכנולוגיה הקיימת, הכדאיות הכלכלית תלויה בעומק קידוח של עד-קילומטר ובטמפרטורות של כ-200 מעלות בתחנה מבוססת קיטור, או 150 מעלות במעגל כפול (בינארי) ובקידוח של עד שני קילומטר, כדוגמת מה שנעשה בחברת אורמת (איור 5). ככל שהקידוח עמוק יותר והטמפרטורה נמוכה יותר – הכדאיות הכלכלית יורדת. השילוב של טמפרטורות ועומק-קידוח שהוא כדאי כלכלית, בטכנולוגיות הקיימות, מאפשר יישום רק במספר מקומות בעולם [13].

בשנים האחרונות קיימת חדשנות והתייעלות באופן הפקת התועלת מאנרגיה גיאותרמית בעולם, שמאפשרות יישום והתכנות כלכלית בפריסה גיאוגרפית רחבה. זאת, הודות לשיטות חדשות לקידוח-עמוק ויעיל יותר לעומק של 5-6 ק"מ, הפקת תועלת מטמפרטורות נמוכות יותר, לדוגמה - עם השימוש בנוזל חלופי למים עם טמפרטורת אידיאלי נמוכה יותר, או במערכת שמשלבת שני קידוחים קרובים עם תווך מחמם ביניהם.

חלק מהטכנולוגיות הקיימות מחייבות שימוש בסידוק הידראולי עלול להגביר תגובה סיסמית והגדיל את הסיכון לרעידות אדמה, ולכן הרצון הוא ליצור מערכות שלא מגבירות את התגובה הסיסמית.



איור 5: מערכת לייצור חשמל שנפוצה בעולם - תחנת כוח מבוססת מעגל בינארי (כפול) בקידוח גיאותרמי מקור: [13]

כך לדוגמא, מערכת מורכבת להחדרה וחימום של מים בעומק של 4-5 ק"מ בתווך סדוק הידראולית (EGS), וייצור חשמל בתחנת מעגל כפול; שילוב של ייצור חשמל ואגירת חום במנועים יעילים יותר; סחרור נזל עבודה במעגל סגור שמשלב קידוח אופקי בעומק רב; וכן סחרור וחימום נזל-עבודה או CO_2 מונזל בתת-הקרקע והפקת חום - בקידוח אנכי בודד [13].

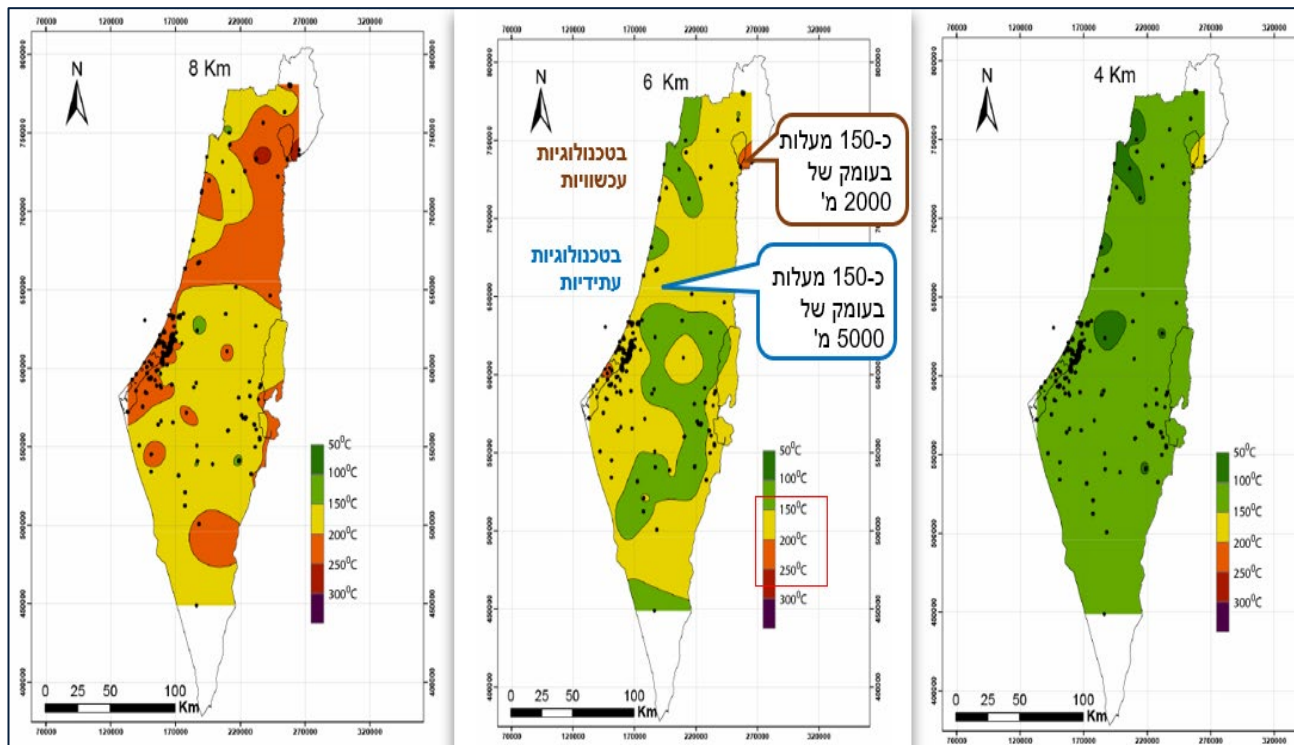
כמו כן חלק מהפרויקטים שנמצאים בשלבים התחלתיים של הפיתוח כוללים - טכנולוגיית קידוח מתקדמת (ג'יורותרון); מערכות מודולריות קטנות להקמה מהירה של מתקן הפקת אנרגיה; ייצור חשמל בטמפרטורות נמוכות מ-100 מעלות; מערכות היברידיים המשלבות מקורות מתחדשים (ביומסה, שמש), או שילוב גיאותרמי עם תעשיית הנפט, או עם הפקת תמלחות ליתיום.

בישראל קיימות אסדרות כלליות לאנרגיה מתחדשת ונקיה. אנרגיה גיאותרמית מוגדרת כמקור אנרגיה מוכר לפי "חוק מקורות האנרגיה", אך טרם עוצבה אסדרה בתחום זה בישראל. משרד האנרגיה מכיר בחשיבות של גיוון וביזור מקורות אנרגיה בישראל בהקשר ליעד איפוס הפליטות, בדגש על איזון אנרגיות מתחדשות ממקורות נוספים לשמש. המשרד מכיר בהערכות הבינלאומיות האופטימיות של סוכנות האנרגיה העולמית (The International Energy Agency - IEA) לקידום והרחבת התחום והיישום עד 2050 [3];

נושאי אסדרה, תקינה וסטטוטוריקה בתחום האנרגיה הגיאותרמית נמצאים במשרד האנרגיה בתהליכי בחינה וגיבוש. במקביל המשרד מעודד מחקר לקדם התייעלות בהפקת התועלת מהמשאב הגיאותרמי.

כך לדוגמא קיים מחקר פעיל באוניברסיטת אריאל במימון משרד האנרגיה לפיתוח טכנולוגיה לקידוח מבוססת גלי מיקרו המופקים מג'ירותרון, שיעילה גם בשכבות בזלת ותוזיל את עלויות הקידוח [14], פרויקט הג'ירותרון מפותח גם בארה"ב.

המטרה בקידום החדשנות היא הבשלת טכנולוגיה, שתאפשר הפקת תועלת מאנרגיה גיאותרמית בכל ישראל, ולא רק בגולן, בעומקי קידוח של 5-8 ק"מ (איור 6). כרגע זה לא כלול באופן מכומת בתוכניות תמהיל האנרגיה לשנת 2050, אבל נבדקות מספר חלופות והתוכנית תעודכן בהתאם להתפתחויות.



איור 6: טמפרטורות צפויות בעומק של 4, 6 ו-8 ק"מ ברחבי ישראל, בהתאם לנתונים מקידוחים קיימים מקור: [6]

הערה [גד שושן]: בעולם יש הרשאות שונות לקידוח ולייצור בהתאם לאופי הקידוח ומטרתו. בישראל תהיה יחידה מקצועית שתארגן מתן רישיונות בהתאם לאופי הקידוח ובהתאם להתפתחות הטכנולוגית-סביבתית-כלכלית. אנרגיה היא גם חשמל וגם מקור אנרגיה לחום, שבתוכניות של משרד האנרגיה נחשב כחלק מהתייעלות אנרגטית. זיכיונות להפקת אנרגיה הם חלק מהמנגנון הרגולטיבי שכרגע נמצא בבחינה והתוויית הרגולציה תיעשה בשיתוף פעולה בין כמה משרדי ממשלה.

לסיכום, ייצור חשמל מאנרגיה גיאותרמית בישראל דורש חדשנות שתוביל ליעילות, כדאיות כלכלית והפחתת סיכונים, במטרה להפיק תועלת מהחום בטמפרטורות נמוכות או בעומק גדול יותר.

2.2 מחקר ושת"פ לקידום יישומים מבוססי אנרגיה גיאותרמית בישראל

אבישי קרט – משרד האנרגיה

אנרגיה גיאותרמית מוכרת כמקור אנרגיה כחלק מהאסדרה הכוללת ב"חוק מקורות אנרגיה", אך טרם הוגדרו אסדרות ייחודיות לתחום הגיאותרמי. משרד האנרגיה רואה חשיבות לגיוון וביזור מקורות האנרגיה ואיזון התמהיל עם מקורות נוספים מתחדשים בנוסף לשמש. כמו כן לומדים את התחזיות להתפתחות התחום הגיאותרמי כ-baseload. התקינה והאסדרה עדיין בתהליכי בחינה וגיבוש. תחומי המחקר והפיתוח הטכנולוגי לקידום היישום בישראל נמצאים בטיפול של יחידת המדען הראשי במשרד האנרגיה.

תחומי המחקר והפיתוח כוללים -

- יצירת מוקד ידע ומוקד תיאום מערכתי לקידום התחום;
 - ביצוע סקרים והערכות לשפיעת-חום, בשיתוף המכון הגיאולוגי והמכון הגיאופיזי. הסקרים שבוצעו יפורסמו בקרוב
 - מיפוי בעלי העניין ליצירת אקוסיסטם, שמשלב את המגזר העסקי ואנשי המחקר והפיתוח
 - תמיכה במחקרים והשקעה במו"פ תעשייתי – בקרוב יפורסמו קולות קוראים של המדען הראשי בנושא
- כרגע לא קיים יעד מוגדר לתחום הגיאותרמי בתוכניות ל-2050, מאחר וזה תלוי גם בנכונות של המגזר העסקי לקחת חלק בהשקעה וגם בנתוני ההיתכנות והכדאיות שעדיין בבדיקה. כמו כן נבדקות חלופות אחרות בתחומי הגרעין והמימן – והתוצאות ישפיעו על היקף המימון והגדרת תחום הפיתוח בתוכניות לקראת 2050.
- אין כרגע רגולציה להפקת רישיונות קידוח. קיימת עבודה מערכתית משותפת לכמה גורמים במשרדי הממשלה כדי לקדם מסגרת מתאימה לישראל. כרגע יחידת המדען הראשי במשרד האנרגיה היא הכתובת לכל בקשה, עד שתפותח מסגרת רגולציה רשמית, שתיקח בחשבון טכנולוגיות חדשניות שיוכחו ככדאיות, לטווח הארוך.

דוגמא לשת"פ בקהילת אנרג'יקום

אחת מהיוזמות ליצירה וחיזוק של שיתופי הפעולה בין התחום העסקי ואנשי מחקר ופיתוח מתארגנת באמצעות קבוצת [אנרג'יקום](#)² ובתיאום עם משרד האנרגיה.

בקהילת החדשנות יש כ-5000 חברים שלא כולם מודעים לתחום הגיאותרמי, ויש חשיבות לחשוף אותם לתחום הזה.

הכוונה היא להקים צוות על בסיס התנדבותי שירכיב רשימה של ארגונים וחברות שיש להם נגיעה לתחום הפקת התועלת מאנרגיה גיאותרמית, וייקדם שיתוף פעולה במחקר יישומים מבוססי אנרגיה גיאותרמית. כנס ההתנעה ייערך ביולי 2025.

המטרה היא להבין מה קורה בעולם, ומה נדרש בישראל כדי לקדם את התחום ושיתופי הפעולה.

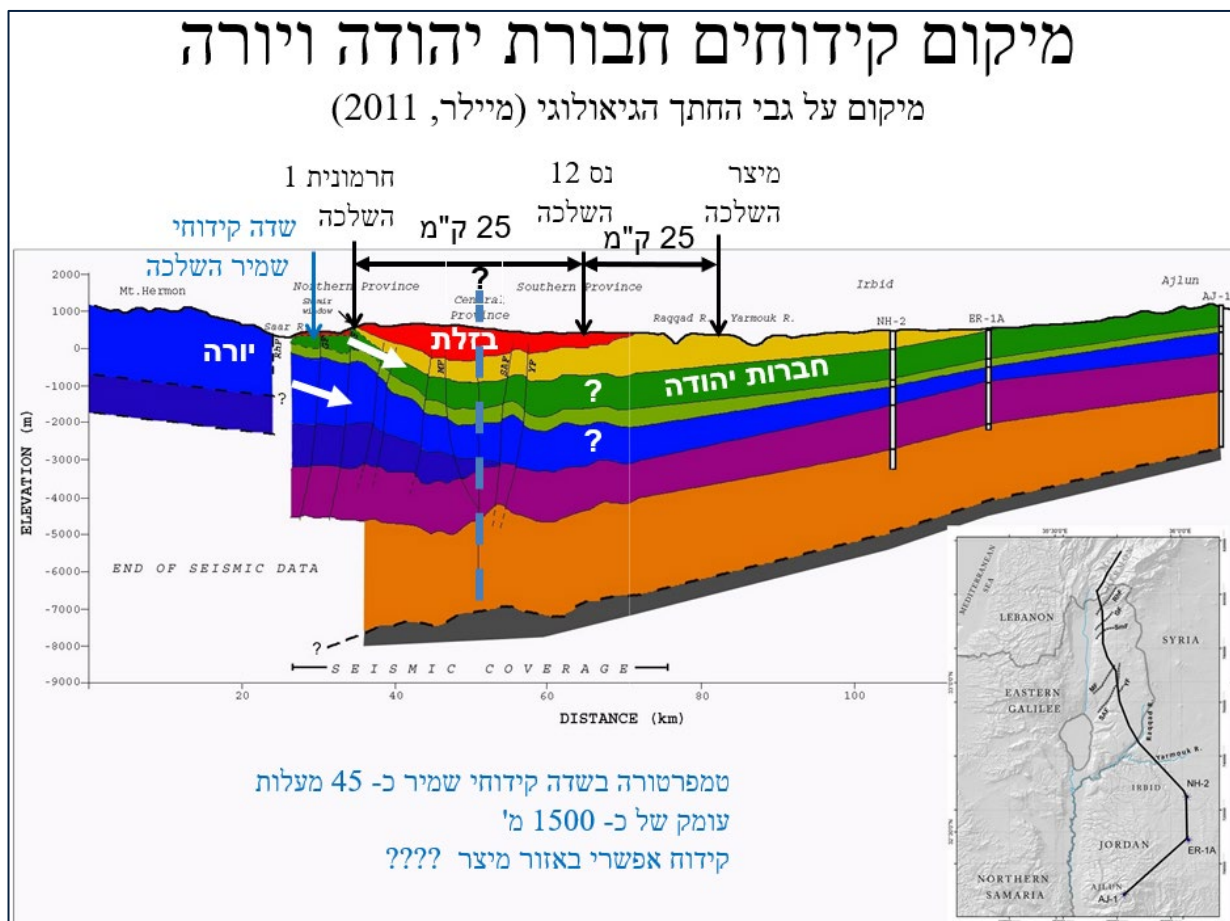
להצטרפות לצוות שיתופי הפעולה בתחום הגיאותרמי – ניתן לפנות [לעמנוס ודניאל באנרג'יקום](#).

² אתר אנרג'יקום - <https://energycom.org.il/%d7%90%d7%95%d7%93%d7%95%d7%aa%d7%99%d7%a0%d7%95>

2.3 קידוחי מים חמים שמבצעת מקורות בגולן

ד"ר יעקב ליבשיץ - ראש אגף הידרו-גיאולוגיה בשרות ההידרולוגי

הקידוחים הקיימים כיום ברמת הגולן הם קידוחי מים שמבצעים על ידי רשות המים ומקורות. מאחר וכל קידוח עלול לפגוע במקורות מים, גם בעומק 4 ק"מ, נדרש תיאום והרשאה מרשות המים.



איור 7: קידוחי מים בגולן, חתך מהחרמון דרומה
מקור: [15]

הקידוחים שקיימים היום בדרום הגולן בחבורת יהודה ויורה כוללים את –

- 1) קידוח שמיר – קידוח יורה
כ- 45 מעלות בעומק של 1.5 ק"מ, שדה חשוב שמספק כמויות מים גדולות לחקלאות ברמת הגולן.
- 2) חרמונית 1 – קידוח צפוני בחבורת יהודה -
עומק קדיחה כ- 960 מ', רום מי התהום כ- 650 מ' (עומק כ- 425 מ'), המים "קרים" ו"קלים"
במליחות נמוכה כ- 20 מ"ג/לליטר כלוריד, המים מגיעים כנראה מכיוון סוריה
- 3) קידוחי מיצר – קידוח בחבורת יהודה
עומק קדיחה: מיצר-1 - כ- 1.2 ק"מ, מיצר-2 - כ- 800 מ'. רום פני המים יורד ממינוס 10 מ' בשנות
השמונים עד מינוס 80-100 מ' בשנת 2025. הירידה בעומק כתוצאה מקידוח בצד הירדני.

מים חמים עד 70 מעלות, מליחות בין 100 ל-400 מ"ג/לליטר כלוריד. עומד המים בקידוח מיצר-1 (צפוני) גבוה בכ-1 מטר ממיצר 2 (דרומי).

עקב ההשפעה של ההפקה הירדנית מדרום על קידוחי מיצר, ממעטים בהפקת מים באזור זה, כדי לא לפגוע במי תהום ובמקורות המים של הירדנים.

בעתיד, ייתכן שקידוח לעומק של 2 ק"מ יגלה מים חמים יותר. עלות של קידוח כזה צפויה להיות כ-30 מיליון שקל.

(4) קידוח נס – במקור היה למטרות חיפוש נפט והועמק ל-1850 מ' כדי לחפש מים.

רום פני המים ירד מ-42 + מ' בשנת 2020 עד 37 + מ' במרץ 2025.

עומק עד פני המים כ-600 מ' מים חמים, כ-70 מעלות, מליחות כ-100 מ"ג/לליטר כלוריד.

נראה שקיים קשר בין קידוחי מיצר לקידוחי נס, עם קיטוע בין החלק הצפוני לדרומי.

כיום ההערכה היא שלא כדאי להעלות מים מעומק של 600 מ', זה נמוך מדי.

לסיכום, ייתכן שיש מקום לשלב את האינטרס של הפקת מים עם הפקת אנרגיה ולקדוח בשכבות היורה. זה דורש דיון ובדיקה, בפרט במיקוד במנגנון המימון.

מאחר ולאחרונה חסרות כמויות רציניות של מים בכנרת ייתכן שתתקבל החלטה לשאוב ולבצע השקעה נוספת במים בגולן. במקרה כזה ניתן יהיה לשלב מאמצים של הזרמת מים לכנרת עם הפקת אנרגיה גיאותרמית.

2.4 חוק פיקוח על קידוחי מים

גרישה ברנשטיין – ראש אגף רישוי ויו"ר ועדת קידוחים ברשות המים

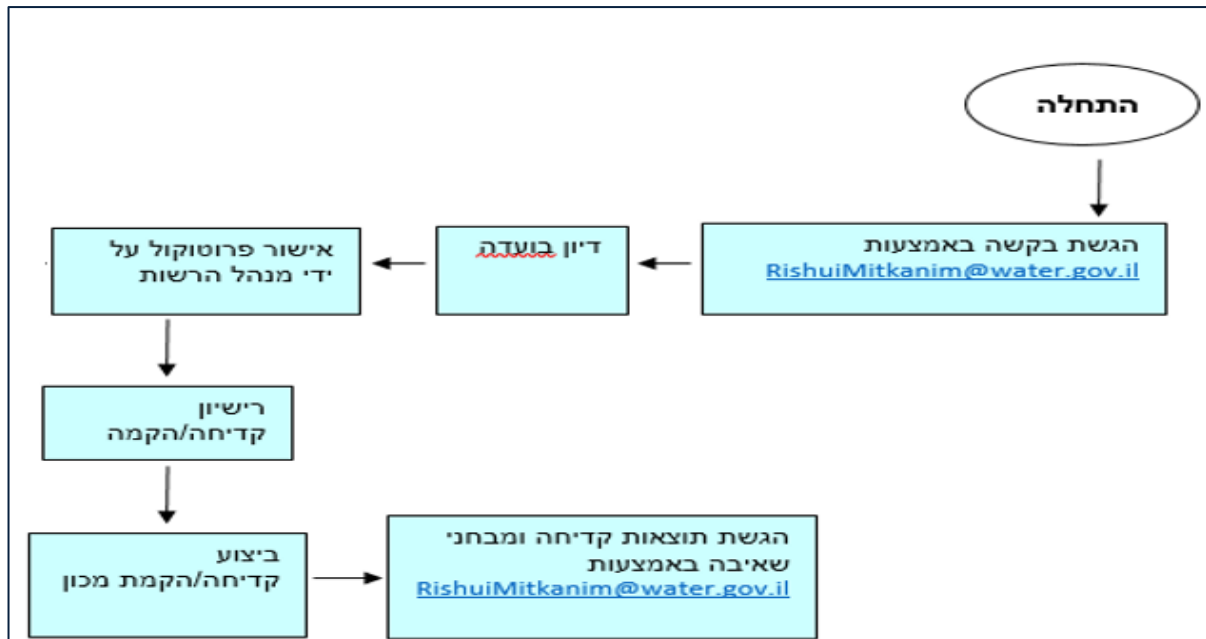
קידוח והחדרה של נוזלים בקרקע דורש עיון בחוק המים. הפיקוח על פי החוק מתייחס למסגרת הרגולטורית והאישורים לתהליכים של קידוח, הפקה והחדרה של מים לתת הקרקע. קידוחי הנפט פועלים אמנם לפי חוק הנפט, אבל נדרשים לאישור של רשות המים, שמלווה כל קידוח במטרה לוודא שאין פגיעה במקורות המים.

וועדת הקידוחים פועלת בהתאם למנהל רשות המים וזנה בבקשה לקידוח. הוועדה מייעצת לרשות המים ולפיה מתקבלת החלטה. בדרך כלל חברי מקורות מגיעים לאישור בקשות קידוח בוועדה.

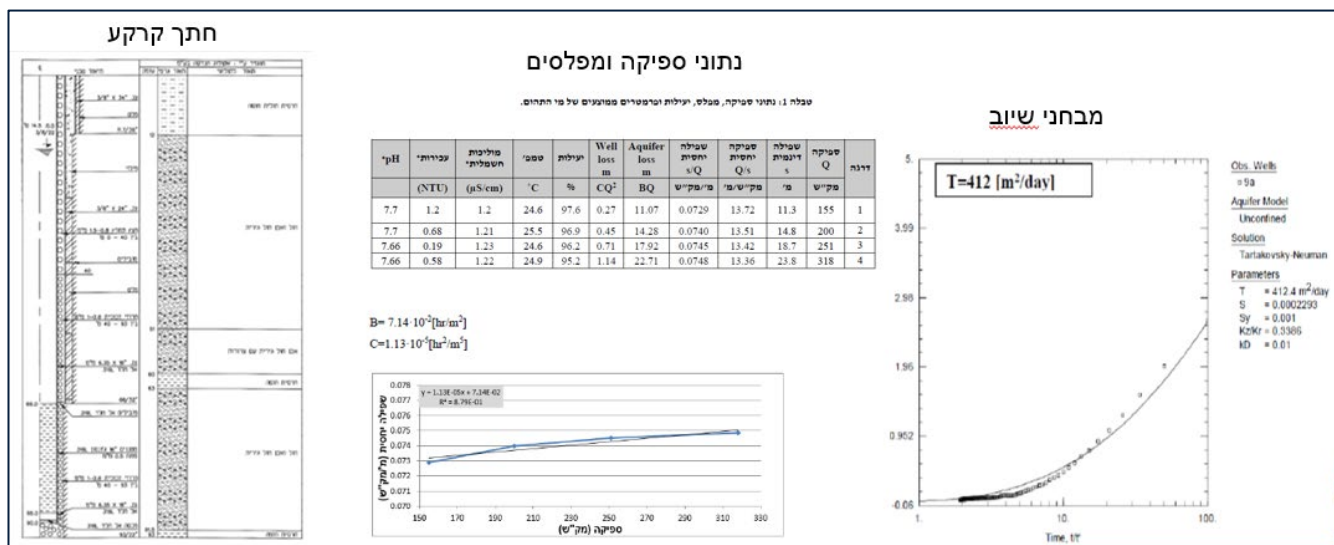
יזם שרוצה רישיון קידוח נדרש לעמוד בחוק קידוחי המים, שרלוונטי לכל סוג של קידוח. בפניה לוועדה נדרשת הצגה של סקר הידרולוגי, סקר סיכונים וסקר תברואתי, וכן התחייבות לשיתוף פעולה בתהליך האישור. לאחר הקידוח הראשוני מחויב היזם לערוך בדיקות ניסיון ולהגיע לדיון חוזר בוועדת קידוחים, שלאחריה מתקבלת ההחלטה על אישור הקידוח באופן קבוע.

הערה [גדי שושן]: בעולם קידוח עד 100 מטר לרוב לא דורש אישור מלא, אלא רק הצהרה, ראשונית, בהתאם לעומק ומטרת הקידוח. בחוק קיימת גם התייחסות לזיהום של המים והסביבה.

הערה [יעקב ליבשיץ]: בישראל המים הם קניין הציבור, שלא כמו בכל העולם, ולכן יש כאן רגולציה מיוחדת.



איור 8: שלבים לאישור קידוחי מים בישראל



איור 9: דוגמא לדו"ח קידוח והנתונים הנדרשים בתהליך האישור

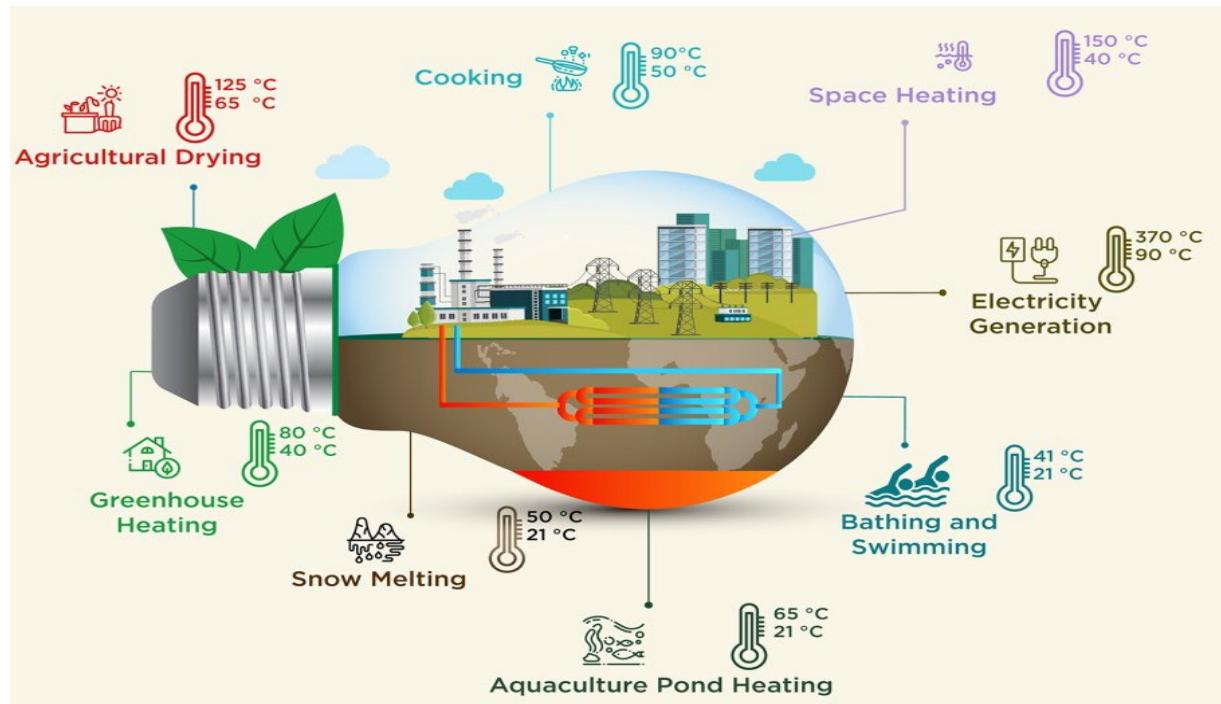
3. יישומים אפשריים

3.1 ניצול משאבי טבע ברמת הגולן ליצירת יציבות אנרגטית

גד שושן – יועץ לאינוגיה [לשעבר מאורמת]

תוכנית ליישומים גיאותרמיים בגולן חשוב שתתמקד ביציבות אנרגטית באזור, לכלול סוגים שונים של יישומי-אנרגיה, בנוסף לייצור חשמל, ובדגש על ניצול חום (איור 10).

לשם כך יש לערוך מיפוי של צרכי הקהילה ויצירת פרופיל לקהילות השונות - מיפוי יכולות ההפקה של כל סוגי האנרגיה, בניית תוכנית טכנית ועסקית ליישום ההפקה בהתחשב בצרכים, ייזום פרויקטים באמצעות מכרזים, בתיאום ושילוב של כל בעלי העניין - גופים ממשלתיים, שלטון מקומי וח"י, וכמובן מעורבות ושילוב של הקהילה.



איור 10: יישומים שונים לתועלת מאנרגיית חום גיאותרמית
מקור: [16]

ברמת הגולן, קיימים מספר שימושים אפשריים למקורות גאותרמיים (בהתאם לסדר יורד של טמפרטורות) –

- ייצור חשמל (נכון להיום החל מ 75 מעלות ומעלה) – כרגע מדובר על מקורות רטובים, חשוב לבדוק גם הזרקת אור וטכנולוגיות כדוגמת EGS, שהן ממש בשלבים ראשוניים.
- חימום מבנים (בטווח של 60-90 מעלות) – ניתן להוביל את החום לכל האזור
- התפלת מים מליחים בשיטת MED (60-80 מעלות) – היכן שקיימים
- תהליכי טיפול במזון (50-100 מעלות)
- אגרוטק – למשל חימום חממות (30-70 מעלות)
- מבני בריאות ותיירות SPA (20-40 מעלות) – כדוגמת חמת גדר, משאבי שדה ואשלים

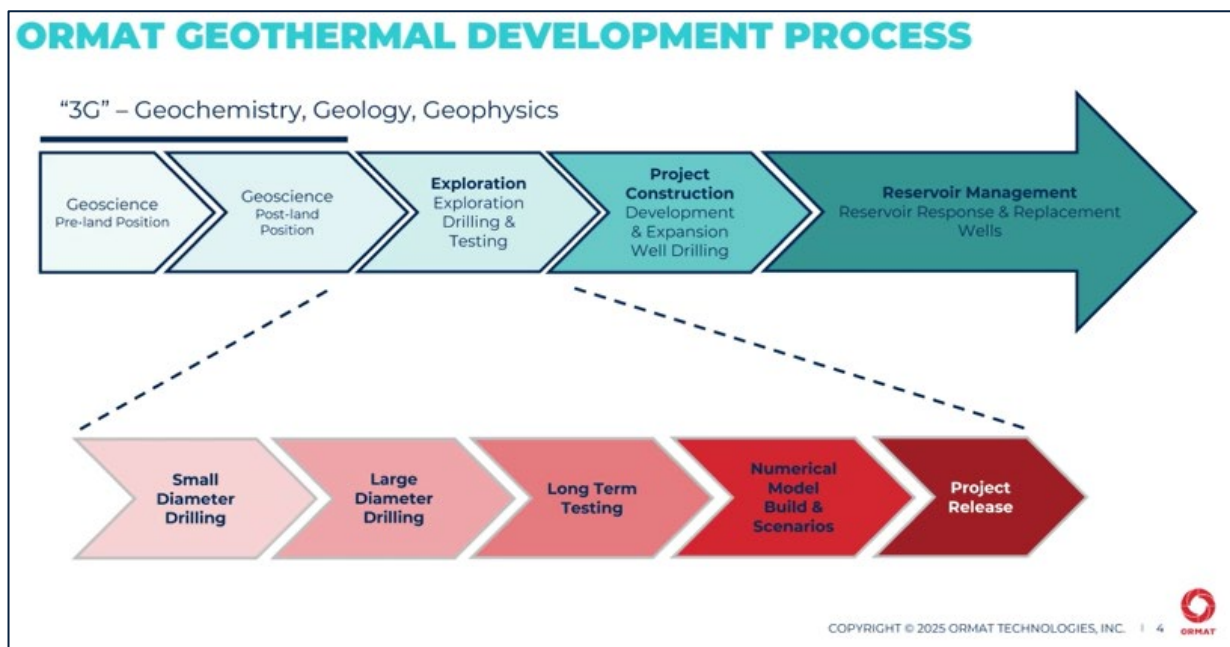
התייעלות אנרגטית יעילה מחייבת שילוב של היישומים השונים בהפקת התועלת מהמקורות הגאותרמיים. לצורך יצירת קהילה אנרגטית יציבה יש למקסם ולאזן את התועלת מהאנרגיה בהתאם לפרופיל הייצור והביקוש המקומי, עם מרכזי אגירה לחשמל ולחום ומערכת ניהול חכמה.

יישום אפשרי בתחום הפקת החשמל כולל מתקן של חברת אינוגיה³ לייצור חשמל בטמפרטורה של 75 מעלות, ומתקנים של אורמת לייצור חשמל בטמפרטורה של 110 מעלות. המערכות מאפשרות מודולריות ביישום, ללא תחנות ענקיות אלא קהילות אנרגיה מבוזרות וקטנות יותר במיקרו-גרید. ברוב המקומות בעולם היום יש חובה להחזיר את המים לאקוויפר לשימוש חוזר והמשכי. אחרי הפקת החשמל אפשר להעביר את המים בטמפרטורות היותר נמוכות ליישומים האחרים.

3.2 ייצור חשמל במתקן גיאותרמי: איכות-המשאב ויעילות ההפקה

סיימון ווביסון – סמנכ"ל זיהוי וניהול משאבים באורמת; דן בטשה – הנדסה.

אתחול של פרויקט גיאותרמי באורמת כולל בחינה של מספר היבטים, שנלקחים בחשבון בבדיקות המקדימות (איור 11). בהתאם לכל הנתונים שנאספים נערך מודל קונספטואלי להפקה במיקום המסוים שנבחר.



איור 11: שלבי ניתוח המשתנים השונים לקראת החלטה על קידוח ויישום גיאותרמי - אורמת

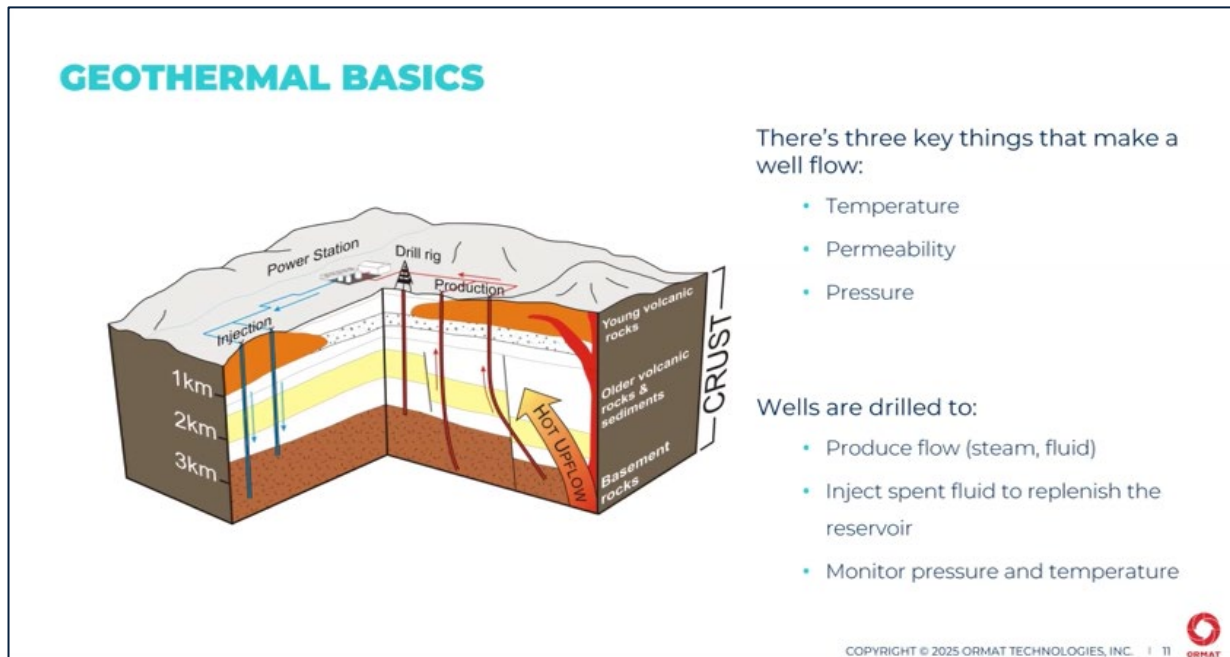
הבדיקות כוללות –

- גיאו-כימית – נדרשת טמפרטורה מעל 130 מעלות ותנאים לא-חומצתיים בהתאם להרכב החומרים בדגימות שנלקחו
- בדיקה גיאולוגית – בחינה של מבנה השכבות וההשקעה של החומרים השונים בשכבות הקרקע (סדימנט), תגובות סיסמיות אפשריות וקוטר הקידוח הנדרש
- גיאו-פיזית – ההספק האפשרי בהפקה ועומק הקידוח הנדרש שמבטיחים הפקה וכדאיות כלכלית.

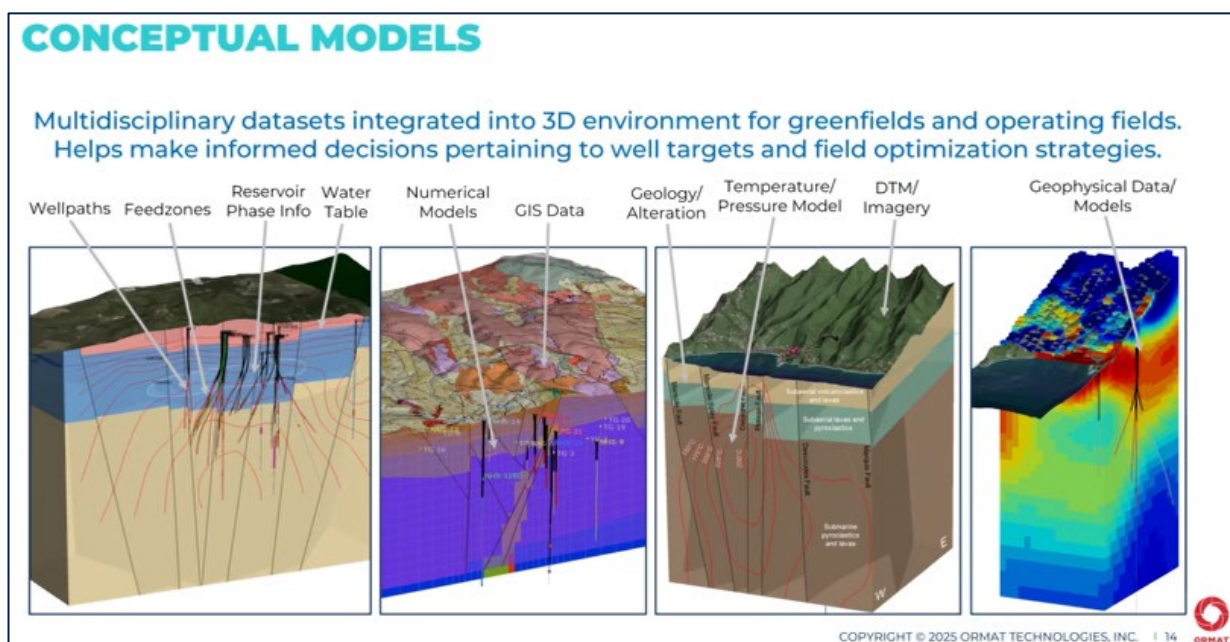
³ גד שושן הוא יועץ לחברת אינוגיה, ובעבר עבד באורמת

כדי להבטיח הפקה כדאית ובטוחה, החשיבות הגבוהה ביותר היא למשתני החום, הלחץ ויציבות האספקה (איור 12).

המשתנים השונים מוזנים למודל קונספטואלי (איור 13) שמנתח את כל הנתונים ותנאי הסף הנדרשים בכדי להפיק חשמל במיקום שנבחר. המודל מפיק סימולציות שמאפשרות להבין איך רצוי להתכונן להפקת התועלת מהמשאב הגיאותרמי.



איור 12: חשיבות נתוני החום, הלחץ ויציבות האספקה בהחלטה על ייצור חשמל גיאותרמי – אורמת



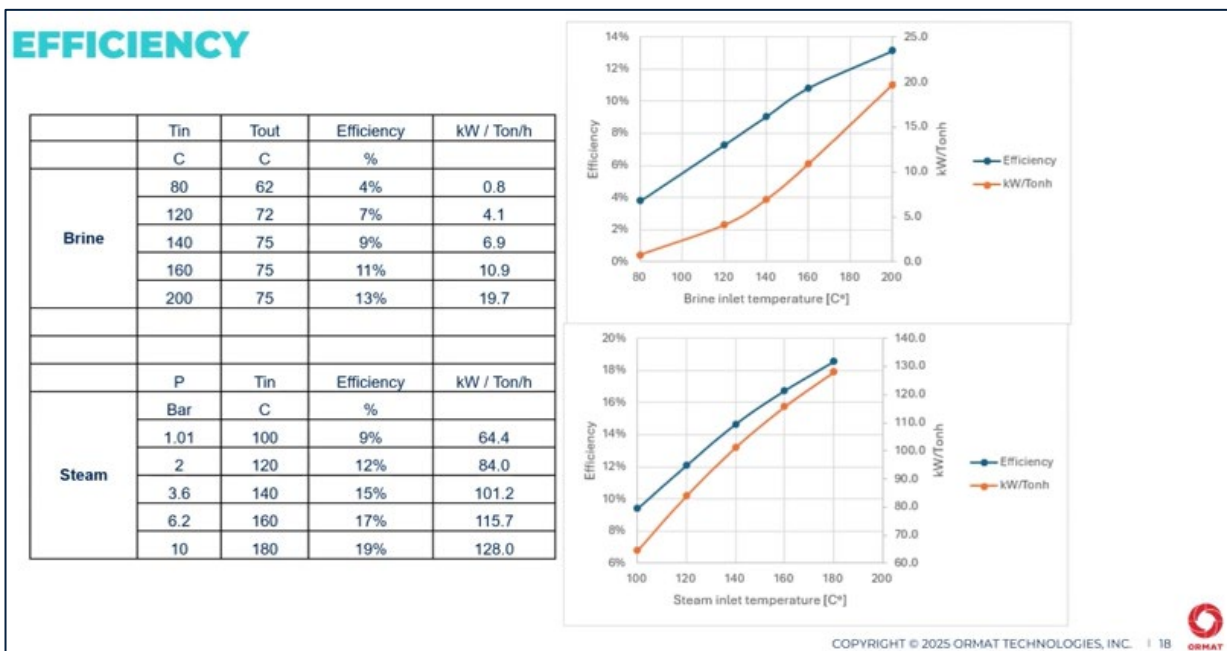
איור 13: המשתנים שמזינים את המודל הקונספטואלי להקמת הקידוח במיקום הנדרש – אורמת

בהתאם לנתונים ולמודל הקונספטואלי נבדקת יעילות ההפקה והכדאיות הכלכלית (איור 14). זאת, בהתחשב גם בהפתעות הצפויות בשלב ההפעלה – חוסר ודאות, ניהול הטמפרטורה, טיפול באיכות המים (קלציט וסיליקה, בפרט בקרבה למי-ים), קורוזיה, הקרבה הפיסית בין נקודת הפקת האנרגיה וההזרקה של החומר בחזרה לקרקע, ניהול רמות הלחץ, רגולציה ואישורים, ושימור המשאב בקרקע.

לפני כ-40 שנה אורמת קיימה בדיקה בקידוח של מקורות לאפשרות לייצור חשמל בדרום הגולן, הטמפרטורות וההספק לא היו כדאיים (40 מעלות לעומת ה-90 מעלות הנדרשות).

כיום, ניתן לבדוק שוב את הכדאיות, בהתאם לפתרונות שמתאימים לטמפרטורות נמוכות, ושילוב פתרונות נוספים, כאשר קיימת ההיתכנות לקידוח ארטי של 120 מעלות בלחץ של 2 בר.

בהתחשב בממצאים האחרונים בישראל ובחדשנות הצפויה בעולם, אורמת תשמח להסתכל על הנתונים הגיאולוגיים מישראל ולחוות דעה.



איור 14: חשיבות החום ועומק הקידוח לקבלת ההחלטה – אורמת

4. דיון ומסקנות

חדשנות בתחום היישומים לאנרגיה גיאותרמית מאפשרת בעולם ובישראל שקלול מחדש של תמהיל האנרגיה והיקף השימוש באנרגיה גיאותרמית כחלק מהתמהיל. ארגון האנרגיה העולמי צופה צמיחה של השימוש במשאב הגיאותרמי לייצור חשמל גם בטמפרטורות נמוכות מהידוע כיום, והכדאיות תלויה בעיקר בקצב ההתייעלות בניצול החום ובעומק הקידוח הנדרש. לכן, שימושים קיימים לייצור חשמל שאפשריים כיום כנראה בדרום הגולן, יהיו רלוונטיים בעתיד הקרוב גם בשאר האזורים הארץ.

מבחינת אופן היישום - ניתן לשלב יישומים נוספים בהתאם לביקוש בכל אזור ולכלול אגירה תרמית⁴ ויישומים נוספים להפקת תועלת מחום גיאותרמי בטמפרטורות נמוכות, כחלק מתכנון של מיקרו-גרید אזורי.

במתקן לייצור חשמל וכשמדובר ביישום מבוסס מים שמקורם בשפיעת חום – חשוב שלא לפגוע במקורות המים. ספיקות צפויות בהתאם לקידוחים קיימים הן 500-600 מ"ש בקידוח אחד, והן תלויות בקוטר הקידוח. עם זאת, החדשנות כוללת טכנולוגיות שלא דורשות שימוש במים כדי להפיק תועלת משפיעות החום. בעבר לא נמצא פרויקט כדאי כלכלית בגולן, אך עם הפיתוחים והחדשנות ניתן להכניס מחליפי כוח משופרים – כמו שיש בכמה פתרונות חדשניים, באופן שישדרג את היעילות והכדאיות.

מבחינת הצעדים להמשך –

- בישראל עדיין אין רגולציה לתחום הגיאותרמי, אבל משרד האנרגיה החל בעבודה ושיתוף פעולה עם משרדים אחרים, במטרה לפתח מסמכים רגולטוריים לגבי תקינה וסטטוטוריקה כפי שיידרש. משרד האנרגיה מבין ומעודד שילוב של מקורות אנרגיה שונים ויישומים שונים כדי לקדם את זה.
- בגולן הביעו עניין בשילוב מקורות אנרגיה מגוונים באופן שההפקה וההולכה לא יפגעו במגוון הביולוגי באזור.
- מבחינת תכנון רשת החשמל – בשנים האחרונות נדחה החיבור של יישומים לרשת עקב עומס בקווי ההולכה. לכן, רצוי שכל פרויקט יתחיל מתכנון רשת ההולכה והחלוקה, כולל מיקרו-גרید מקומי שמתחשב בצרכי האזור. לאחר מכן ניתן יהיה להוסיף ייצור מקומי.
- חשוב שהמשרד להגנת הסביבה והרשויות המקומיות יהיו מעורבים בתהליכי השינוי. כך לדוגמה יתאפשר פיתוח של קישוריות מקומית לחדשנות וקידום יצרנות מקומית שתשלב את הפריפריה בכל תהליך של התפתחות עתידית.

⁴ קיימות שתי דוגמאות לחברות שמשלבות אגירה תרמית בישראל, חברת SAGE (<http://srs.co.il>), שאוגרת חום גאותרמי וחברת ברנמילר (<https://bren-energy.com>), שמתמקדת באצירת חום בסלעים.

מקורות

- [1] משרד האנרגיה, "2050, מתווה לאיפוס פליטות גזי-חממה במשק האנרגיה בישראל עד לשנת", 2025. [מקוון]. Available: <https://www.gov.il/he/pages/public-comments-2050>.
- [2] נגה, "תוכנית הפיתוח האינטגרטיבית לשנת 2033", 2024. [מקוון]. Available: <https://www.noga-iso.co.il/pdt/the-integrated-development-plan/update-of-the-2024-development-plan>.
- [3] IEA, "The Future of Geothermal Energy," 2024.
- [4] Available: NREL, "Geothermal Grid Integration," NREL, 2025. [מקוון]. Available: <https://www.nrel.gov/geothermal/grid-integration>.
- [5] Y. Bartov, "Present Heat Flow and Paleo-Geothermal Anomalies in the Southern I. Reznik, *Earth and Space Science*, Golan Heights, Israel, 8, מס' 2021, EA001299.
- [6] Z. Ben-Avraham, "The thermal structure of Israel I. E. Shalev, V. Lyakhovsky, Y. Weinstein and the Dead Sea Fault", 2013, 602, כרך 69–77, p.
- [7] רשות המים - חטיבת אסדרה, "פרוטוקול מסכם בנושא וועדת קידוחים 03.04.2024", 2024. [מקוון]. Available: <https://www.gov.il/BlobFolder/reports/comittee-summaries/he%20ועדת%20קידוחים%2003.04.2024/pdf.4.3>.
- [8] ה. וינר-שוורץ, "מסע אל בטן האדמה: האם האנרגיה הגיאותרמית תחליף את השמש?", גלובס, 2022. [מקוון]. Available: <https://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001413706>.
- [9] אורמת, "אורמת", 2025. [מקוון]. Available: <https://www.ormat.com/en/home/a/main>.
- [10] Available: EU Commision, "Geothermal," EU, 2025. [מקוון]. Available: https://setis.ec.europa.eu/working-groups/geothermal_en.
- [11] E. Brodsky, I. N. Wetzler, E. Shalev, T. Göbel, F. Amelung, I. Kurzon, V. Lyakhovsky, "Earthquake Swarms Triggered by Groundwater Extraction Near the Dead Sea Fault", *Geophysical research letters*, 46, מס' 14, 2019, pp. 8056-8063.
- [12] D. Katoshevski, "Basal heat-flow and hydrothermal regime at the I. R. Roded, E. Shalev, *Journal of Hydrology*, Golan–Ajloun hydrological basins, 476, כרך 200-211, 2013, pp.

- [13] E. Gobler, "Geothermal Energy - Learn more about geothermal energy with .SaveOnEnergy!," Save Energy, 2021
- [14] י. ישראלי, "ישבור את השיא? המקדח הישראלי שיתרום להפקת אנרגיה ירוקה," YNET, 2024. [מקוון]. Available: <https://www.ynet.co.il/environment-science/article/b1xt9p1yr>
- [15] מ. מיילר, "משאבים גיאותרמיים - חתך גיאולוגי," 2011.
- [16] M. Aljubran, "The Multiple Facets and Versatility of Geothermal | R. Okoroafor, M. Alamooti .Energy," JPT, 2023



neaman.org.il

מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית | קרית הטכניון,
חיפה 3200003 | טל. 04-8292329 | info@neaman.org.il

פורום אנרגיה