

STATE OF ISRAEL  
THE MINISTRY of ENERGY AND WATER RESOURCES  
Office of the Chief Scientist

מדינת ישראל  
משרד ההו היגרנאמים  
המדען הראשי

**מחקר רעידות אדמה ממדידות במצפה עמוק בשבר ים המלח**  
**STUDY OF EARTHQUAKES AT DEAD SEA FAULT OBSERVATION AT DEPTH**

רמי הופשטטר

המכון הגיאופיסי לישראל

דו"ח בניים

מס' חוזה 212-17-007  
מס' במג"י 022/736/13

יולי 2013

## תקציר

במסגרת המחקר אנו מנצלים קידוח (נטוש) "מצדה 1 עמוק" אשר נמצא בסמיכות רבה להעתק המזרחי של הר מצדה. תצפיות סייסמולוגיות, בעזרת תחנות קבועות וזמניות, באגן ים המלח הראו כי קיימת פעילות של רעידות אדמה לאורך השבר וגם בקרבתו אשר מוכיחות התאמה טובה לסדרה של תצפיות גיאולוגיות שהראו גיל שבירה צעיר ( $<30$  KY). התקנת סייסמומטר בעומק רב של 1,256 מ' מתחת לראש הקידוח מעשירה מאד את בסיס הנתונים הסייסמולוגיים. מדידות בתחנה הראו רגישות גבוהה מאד של הסייסמומטר עם זיהוי של אירועים רבים שלא זוהו ע"י רשת ישראל.

## דו"ח פעולות

### הכנות בקידוח וסביבתו לקראת הפעלת התחנה

בשנת 2012 נקדח הפקק בקידוח מצדה עמוק ובתאריך 12/12/12 הותקן סייסמומטר ייעודי בעומק 798 מ' מתחת לפתח הקידוח. פירוט מלא של כל הפעולות להכנת הקידוח והתקנת הסייסמומטר ניתן בדו"ח מסכם של הופשטטר (2012).

בקרבת הקידוח במרחק של כ- 3 מטרים נבנתה שוחה שבה הותקן ציוד אלקטרוני לרישום של סייסמוגרמות שנקלטות בסייסמומטר אשר נמצא בקידוח. נתוני רישום הסייסמומטר מועברים לשוחה ומשם הם מועברים בשידור טלפון סלולרי למכון הגיאופיסי לישראל. בקרבת השוחה הותקנו מספר תאי שמש לאספקת מתח חשמלי.

### פעילות שבוצעה במחצית הראשונה של שנת 2013

החל מרגע התקנת הסייסמומטר החילונו במדידות סייסמולוגיות. התחנה היא חלק מרשת הסייסמולוגית של ישראל ונתוניה משמשים לאיכון שוטף של רעידות אדמה בישראל, מלבד יתרונה בכך שהיא קרובה להעתק פעיל ומספקת נתונים למחקר מדעי. ז"א היא גם מספקת נתונים של אירועים סייסמיים רחוקים יחסית לטובת הקטלוג הסייסמי שהם לא נושא מחקר.

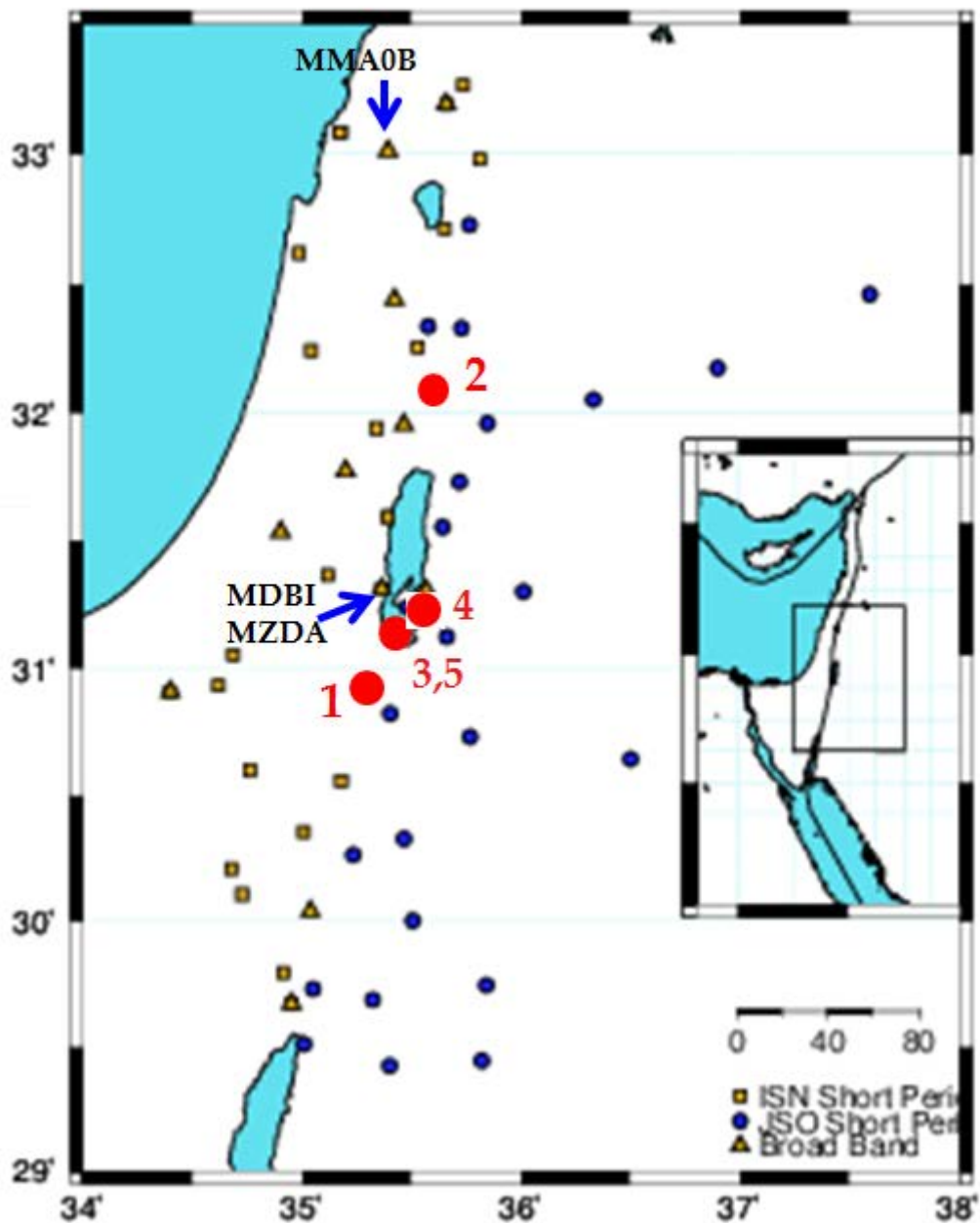
בתחילת 2013 בוצעו מספר פעולות טכניות לשיפור תפעול התחנה:

בקרבת התחנה ומדרום לה ישנה גבעה קטנה אשר מסתירה את השמש מהתחנה בשעות אחה"צ ומפחיתה את יעילות תאי השמש. בחודש ינואר 2013 הורחקו תאי שמש מהתחנה עוד מספר מטרים לקבלת אספקת אנרגית שמש שוטפת במשך מספר שעות רב יותר.

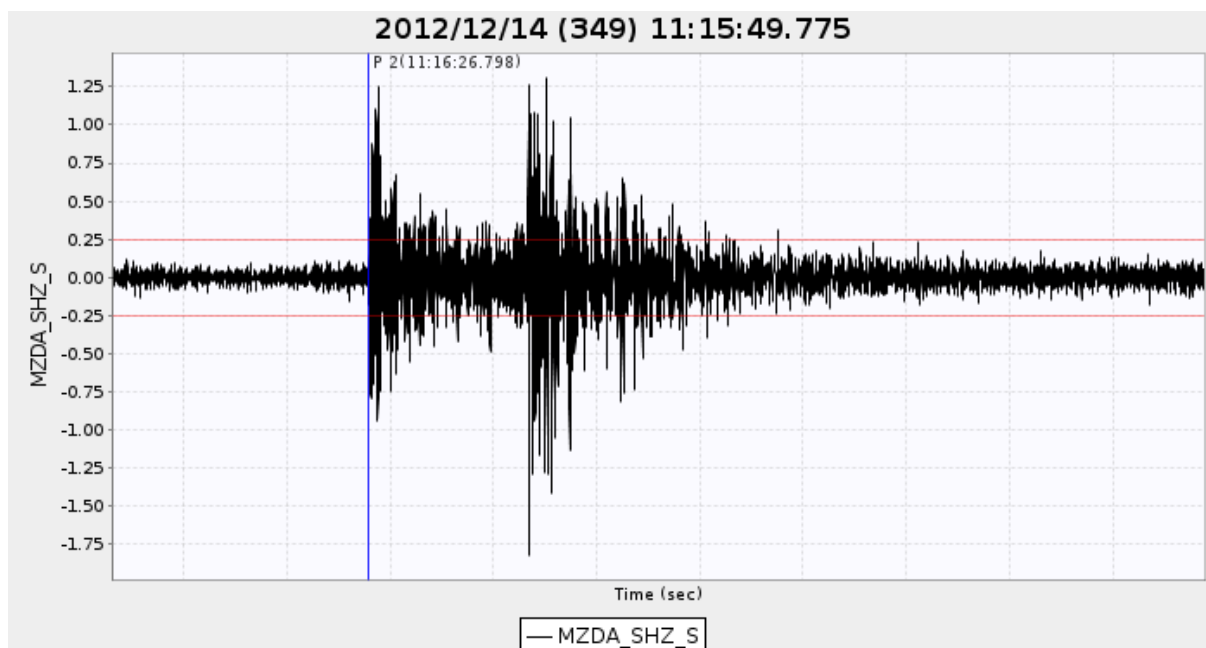
התגלתה הפרעה חשמלית שגרמה לרעש גבוה באות הנרשם שנבעה מהשראה של וסת תא השמש. תקלה זאת זוהתה וטופלה.

נמשכו הניסיונות להורדת הסייסמומטר לעומק רב יותר. מיקום הסייסמומטר בעומק הראשוני של 798 מ' מתחת לפתח הקידוח הוא טוב מאד ולמעשה רעש הרקע נמוך ביותר. הורדה נוספת, שהיא פעולה פשוטה יחסית, גורמת לכך הסייסמומטר ימצא במיקום שקט אף יותר. בתוך הקידוח ישנם קטעים עם מי בוץ סמיכים אשר עוצרים את הסייסמומטר ולמעשה מקשים על הורדה לתחתית הקידוח. ז"א הסייסמומטר נעצר בעומק מסוים ולא מתאפשרת המשך הורדה. הסייסמומטר שוקע מטה באיטיות דרך מי הבוץ הסמיכים ועובר אל אזור של מים עם פחות בוץ ואז ניתן לבצע הורדה נוספת. השקיעה הזאת אורכת מספר ימים, ויתכן אף לאחר מספר שבועות. לכן יש לבצע את הפעולות הללו באופן מודרג. ניתן להוציא את הסייסמומטר החוצה ולבצע שטיפה של הקידוח בעזרת מיכון ייעודי. פעולה זאת דורשת מימון רב יחסית שאינו מתוכנן בתקציב הנוכחי ולשם כך נדרשת תוספת תקציב מיוחדת. בתאריך 30/4/2013 הורד

הסייסמומטר בעוד 440 מ'. בתאריך 22/5/2013 הורד הסייסמומטר בעוד 18 מ'. בתאריך אחרון זה מיקום הסייסמומטר הוא 1,256 מ' מתחת לפתח הקידוח או 1,514 מ' מתחת לפני הים.



ציור מס' 1 - רשת תחנות סייסמיות של ישראל וירדן. תחנות מצדה (MZDA), קידוח מצדה (MDBI) ומערך מירון (MMA0B), להלן נתייחס מטה, מצוינות עם שמות. עגולים אדומים מציינים: 1. פיצוץ מחצבה בתאריך 14/12/2012; 2. רעידת אדמה בתאריך 20/12/2012 במגניטודה 2.5; 3. רעידת אדמה בתאריך 9/1/2013 במגניטודה 1.5; 4. רעידת אדמה בתאריך 3/2/2012; 5. רעידת אדמה בתאריך 15/2/2013.



ציור מס' 2 - פיצוץ מחצבה בתאריך 14/12/2012 (אירוע מס' 1 בציור 1) במרחק 35 ק"מ דרומית לתחנת קידוח מצדה.

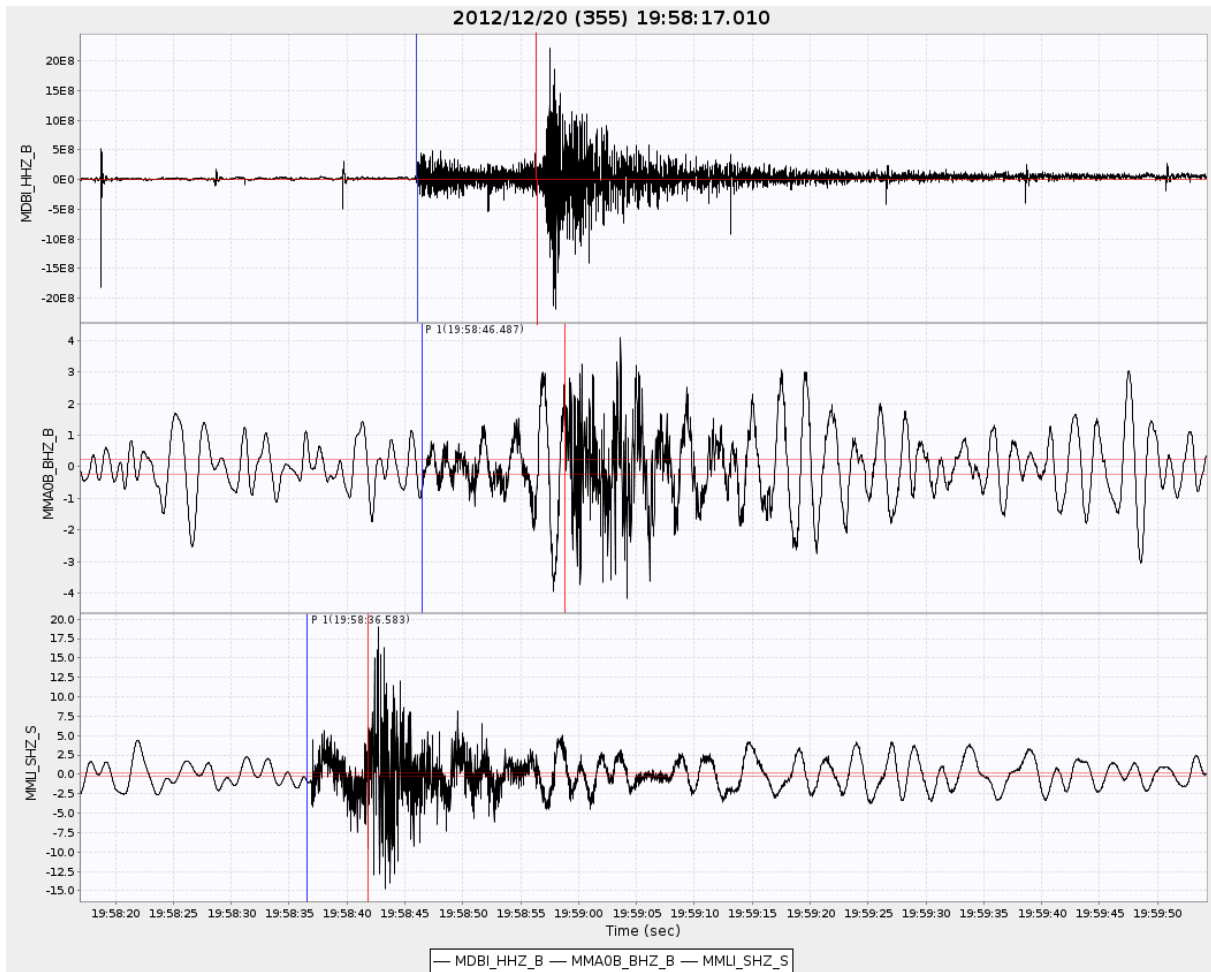
#### תצפיות סייסמולוגיות ואנליזה ראשונית של תוצאות מדידות בקידוח מצדה עמוק

נכתבה תכנה לזיהוי אירועים סייסמיים. במונח זה של אירוע סייסמי אנו מתכוונים לזיהוי של שחרור אנרגיה שהוא בולט באופן ברור מעל רעש הרקע בחלון זמן קצר של מספר שניות בודדות עד מספר עשרות שניות. אירוע יכול להיות טבעי, למשל רעידת אדמה, או מלאכותי מעשה ידי אדם, למשל פיצוץ מחצבה. תכנה זאת מספקת תוצאות מהימנות לזיהוי מספר רב של רעידות אדמה ופיצוצים.

נבחן להלן מספר מקרים של רעידות אדמה ופיצוצים שנקלטו בתחנת קידוח מצדה עמוק (אירועים 1-4 בציור מס' 1). תחנת קידוח מצדה, תחנת מצדה הממוקמת כ- 400 מ' מהקידוח, ומערך מירון מסומנים באותיות MZDA, MDBI ו-MMA0B, בהתאמה.

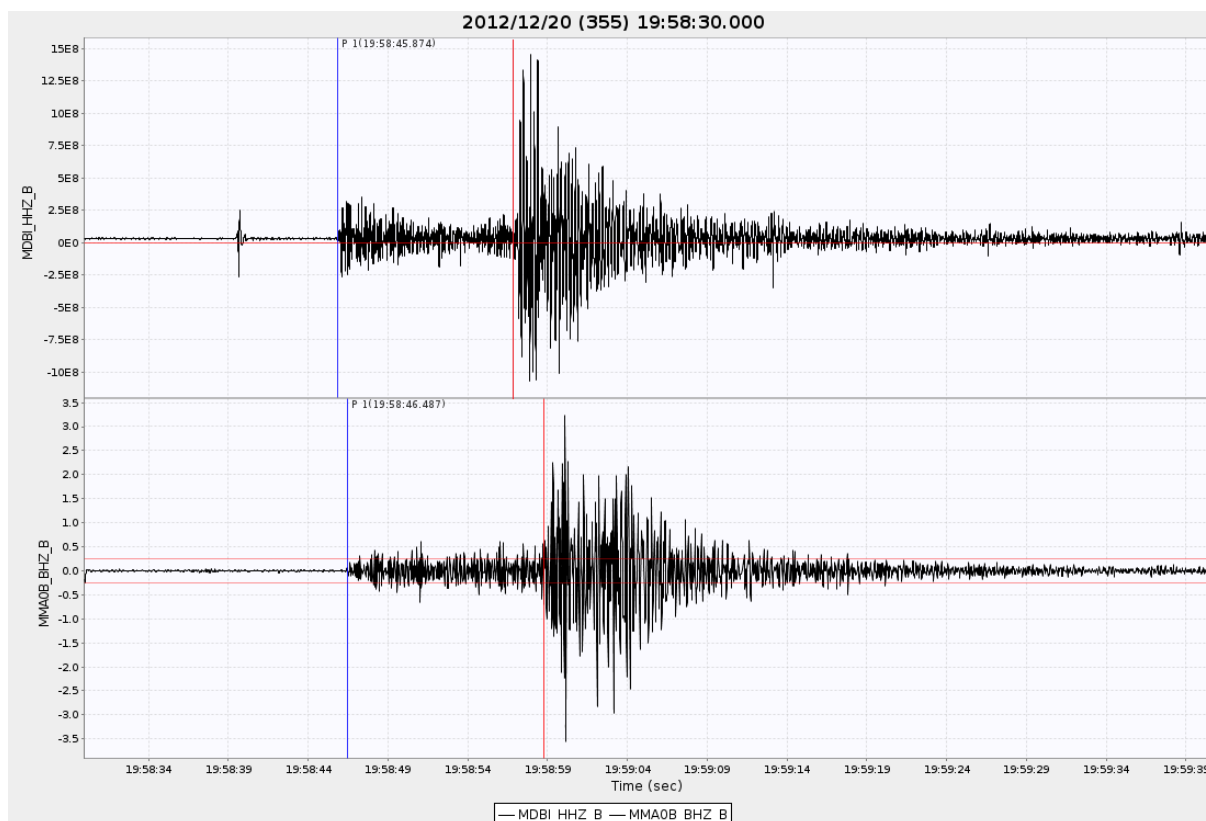
אירוע מס' 1 - פיצוץ מחצבה בתאריך 14/12/2012 בשעה GMT 11:15:49 (שעו ישראל) במרחק 35 ק"מ דרומית לתחנת קידוח מצדה. הפיצוץ נקלט היטב בתחנת קידוח מצדה כמו כן בתחנות של רשת ישראל (ציור 2).

אירוע מס' 2 - רעידת אדמה בתאריך 20/12/2012 בשעה GMT 19:58:17 (21:58:17 שעון ישראל) במגניטודה Md 2.5 במרחק 65 ק"מ צפונית לתחנת קידוח מצדה. האירוע נקלט גם ברשת ישראל (ציורים 3-4). הרעידה התרחשה במרחק קצר מדרום תחנת מלכישוע ובערך באמצע המרחק בין תחנת קידוח מצדה ומערך מירון. ניתן לראות זאת גם מזמני פאזות P ו-S דומים מאד בשתי התחנות. תחנת BB במערך מירון ממוקמת בקידוח בעומק של 100 מ'. בציור 3 ניתן לראות הרבה אנרגיה בתדר נמוך יחסית של בערך 0.5 הרץ אבל יש גם אנרגיה בתדר גבוה. בתחנת מלכישוע נקבל מצב דומה. שם הסייסמומטר נמצא בעומק של 4 מ' מתחת לפני השטח. האות בתחנת קידוח מצדה ברור מאד. ציור 4 מראה את האות הסייסמי של מצדה ומירון לאחר סינון בתחום תדרים מ-3 עד 15 הרץ. בשתי התחנות יש אות סייסמי ברור מאד.



ציור מס' 3 - רעידת אדמה שהתרחשה בתאריך 20/12/2012 (אירוע מס' 2 בציור 1) במרחק של 65 ק"מ צפונית לתחנת קידוח מצדה ובמרחק דומה דרומית למערך מירון. קוים כחולים ואדומים מציגים פאזות P ו-S בתחנת קידוח מצדה, מערך מירון ותחנת מצדה, בהתאמה.

אירוע מס' 3 - רעידת אדמה שהתרחשה בתאריך 9/1/2013 בשעה GMT 14: 27: 27 (16: 27: 27 שעות ישראל) במרחק של 16 ק"מ מתחנת קידוח מצדה. בציור 5 סייסמוגרמות של תחנת מצדה (3 ערוצים: מזרח-מערב, צפון-דרום ואנכי שהם ראשון, שני ושלישי מלמעלה, בהתאמה) ותחנת קידוח מצדה (3 ערוצים: מזרח-מערב, צפון-דרום שני ואנכי שהם רביעי, חמישי, שישי מלמעלה, בהתאמה). תחנות קידוח מצדה ומצדה נמצאות במרחק של 400 מ' על פי השטח כאשר הראשונה ממוקמת בעומק של 798 מ' (בזמן הרישום של הרעידה). בציור 5 לא בוצע סינון בסייסמוגרמות של התחנות ובציור 6 לאחר סינון של תחנת מצדה בתחום תדרים מ-3 עד 15 הרץ. פאזות P ו-S מסומנות בתחנת קידוח מצדה והפרש זמן של 2 שניות בערך. הסייסמומטר בתחנת קידוח מצדה הוא בעל תדר עצמי של 2.5 הרץ ובתחנת מצדה הוא 1 הרץ. דהיינו שני הסייסמומטרים קרובים יחסית באופי שלהם ובתכונות שלהם. תחנת קידוח מצדה מציגה אות סייסמי משופר לאין ערוך לעומת זה של תחנת מצדה לפני הסינון וגם לאחר הסינון (ציורים 5-6). זאת אומרת כי למיקום שקט יש חשיבות עצומה בשיפור יכולת הגילוי וזיהוי של תחנה ובנוסף למדידת משופרות של רעידות אדמה חזקות ובוודאי קטנות.

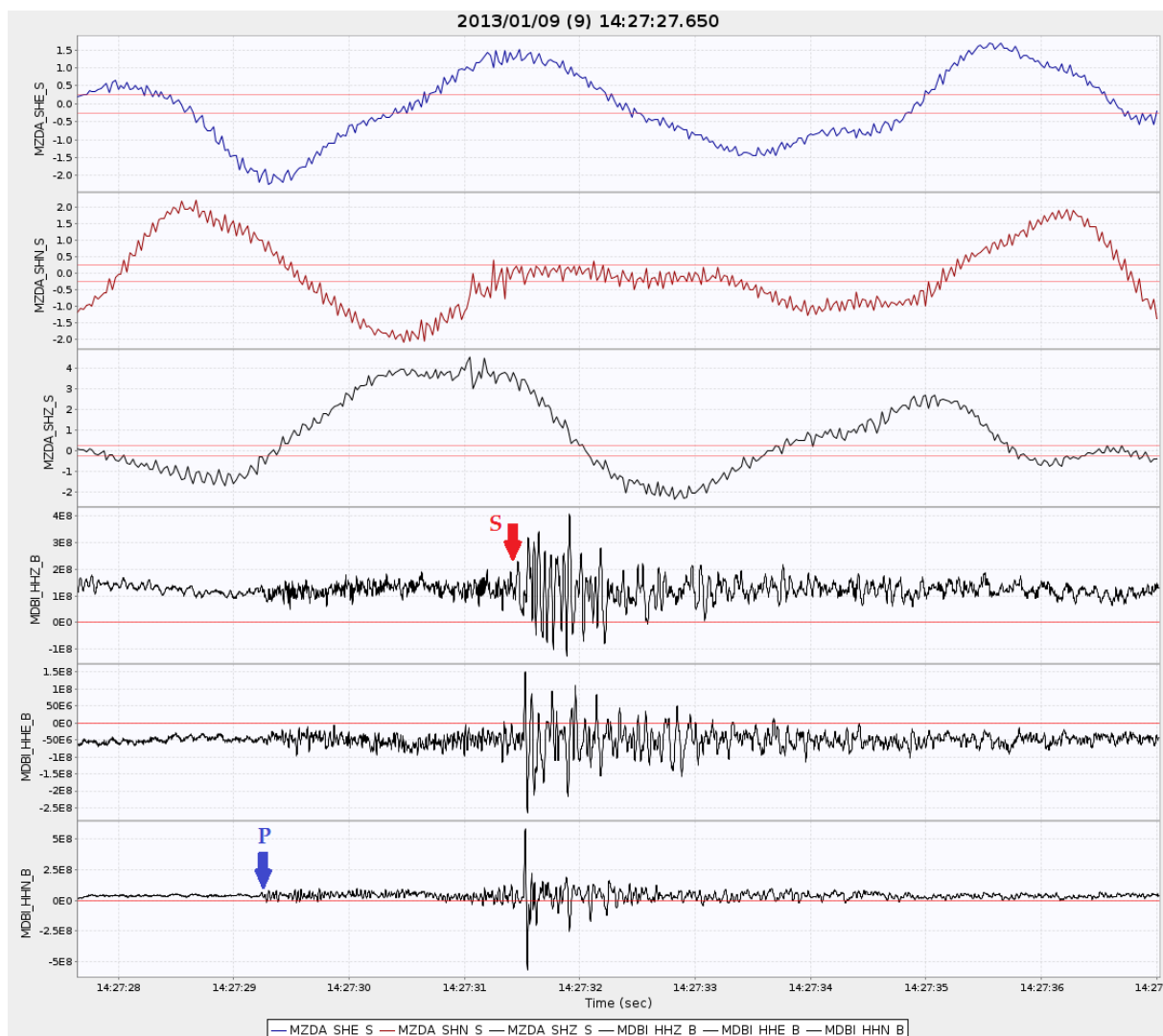


ציור מס' 4 - רעידת אדמה שהתרחשה בתאריך 20/12/2012 כמו בציור 3 אבל לאחר סינון בתחום תדרים 3 עד 15 הרץ.

אירוע מס' 4 - רעידת אדמה חלשה שהתרחשה בתאריך 3/2/2013 בשעה 22:23:17 GMT (תאריך 4/2/2013 שעה 00:23:17 שעות ישראל) שנקלטה רק בתחנת קידוח מצדה ולא ברשת ישראל (ציורים 1 ו-7). פאזות P ו-S מסומנות עם הפרש זמן של 1.2 שניות בערך השקול למרחק של 10 ק"מ בערך.

אירוע מס' 5 - רעידת אדמה חלשה שהתרחשה בתאריך 15/2/2013 בשעה 23:09:59 GMT (בתאריך 16/2/2012 בשעה 01:09:59 שעות ישראל) במרחק של 16 ק"מ דרומית לתחנת קידוח מצדה (ציורים 1 ו-8). הרעידה נקלטה ע"י תחנת קידוח מצדה ורשת ישראל.

בתקופה של 6 חודשים נמדדו 441 אירועים הכוללים רעידות אדמה ופיצוצי מחצבה. מתוכם 173 רעידות אדמה ופיצוצים נקלטו ע"י ISN בלבד (40%); רב אירועים אלה רחוקים ( $100 > \text{ק"מ}$ ) ובעלי מגניטודה נמוכה ( $< 2.0$ ). מספר הרעידות ופיצוצים אשר נקלטו ע"י ISN + MDBI 123 (27%). 145 רעידות ופיצוצים נקלטו ע"י MDBI בלבד (33%). ז"א תחנת MDBI קלטה  $268 = 123 + 145$  אירועים מתוך כלל 441 אירועים שהתרחשו באותה תקופה (בערך 60%).



ציור מס' 5 - רעידת אדמה 3 (אירוע 3 בציור 1) שהתרחשה בתאריך 9/1/2013 בשעה 14:27:27 GMT במרחק של 16 ק"מ מתחנת קידוח מצדה. סייסמוגרמות של תחנת מצדה (3 ערוצים: מזרח-מערב, צפון-דרום שני ואנכי שהם ראשון, שני ושלישי מלמעלה, בהתאמה) ותחנת קידוח מצדה (3 ערוצים: מזרח-מערב, צפון-דרום שני ואנכי שהם רביעי, חמישי, שישי מלמעלה, בהתאמה). לא בוצע סינון בסייסמוגרמות של התחנות. פאזות P ו-S מסומנות בתחנת קידוח מצדה והפרש זמן של 2 שניות בערך.

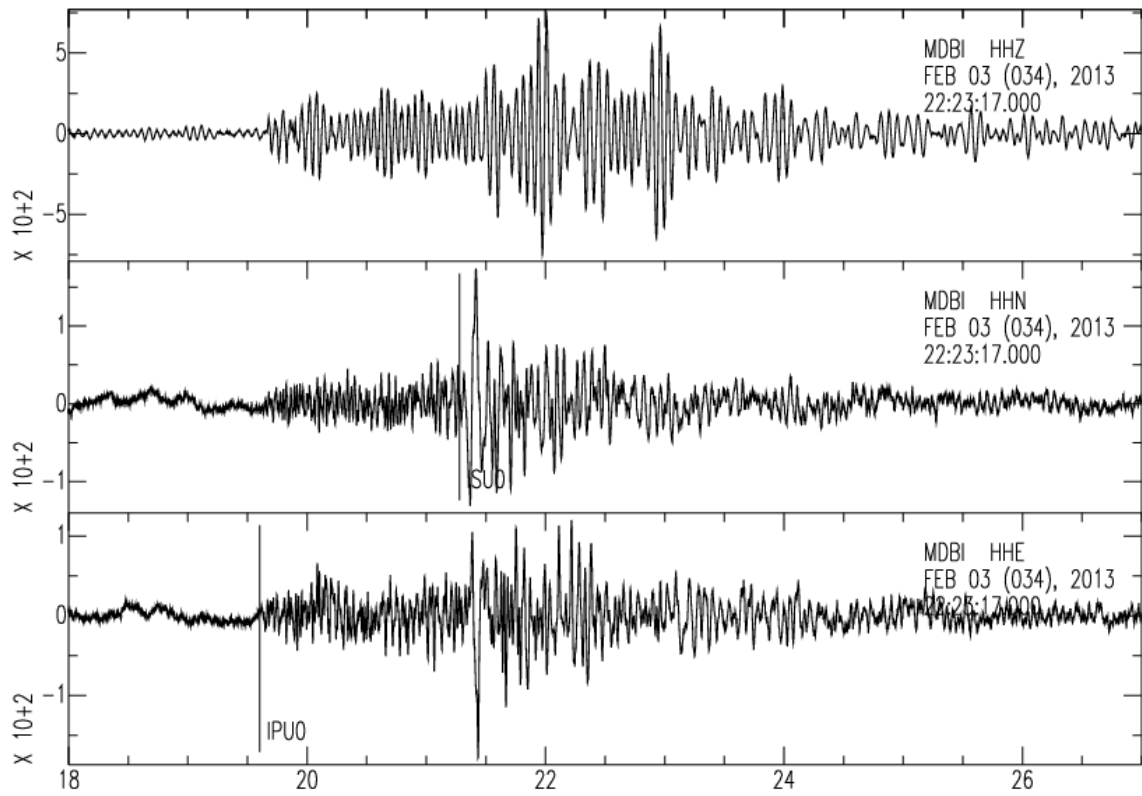
ציור 9 מציג מגניטודה כנגד מרחק (ק"מ) עבור אירועים שנמדדו ע"י תחנת קידוח מצדה ורשת ישראל עד מרחק של 400 ק"מ. מיקום התחנה הוא בחלק המזרחי של קו הרוחב שעובר בערך באמצע ישראל. אורך ישראל הוא בערך 400 ק"מ. ז"א התחנה מזהה אירועים וחלקם ממוקם הרבה מעבר לגבולותיה של ישראל. קו ירוק מקווקו מציין מגניטודה מינימלית כפונקציה של מרחק מהתחנה. ז:א במרחק של בערך 100 ק"מ מגניטודה נמוכה ביותר שתזוהה היא 0 ובמרחק של 50 ק"מ נזהה מגניטודה הקרובה ל-1. ובדה זאת מראה על רגישות גבוהה יותר מרשת ישראל. ציור 10 מראה כמו ציור 9 עד מרחק של 1,100 ק"מ מתחנת קידוח מצדה. ז"א יש לתחנה גם יכולת זיהוי של אירועים רחוקים למרות שהמטרה העיקרית של הפעלת תחנה כזאת היא מדידה של רעידות חלשות וקרובות.

ציור 11 מציג פיזור אזימוטלי כנגד מרחק (ק"מ) עבור אירועים שנמדדו ע"י תחנת קידוח מצדה ורשת ישראל עד מרחק של 400 ק"מ. ציור 12 מראה כמו ציור 10 עד מרחק של 1,100 ק"מ מתחנת קידוח מצדה. משני הציורים האלה ברור כי התחנה מזהה אירועים מכיוונים שונים וחלקם ממוקם הרבה מעבר לגבולותיה של ישראל.

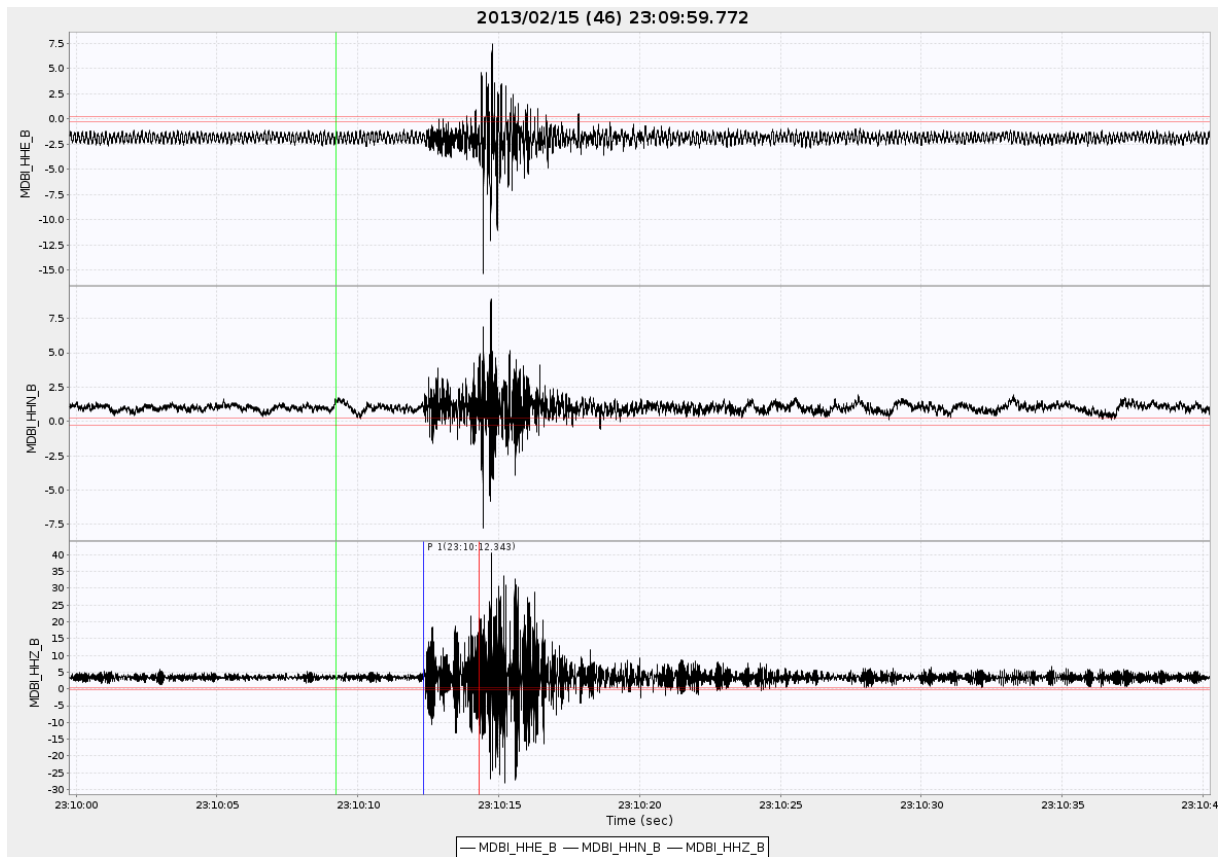


ציור מס' 6 - כמו ציור מס' 5 אבל לאחר סינון של הסייסמוגרמות בתדרים 4 עד 15 הרץ.

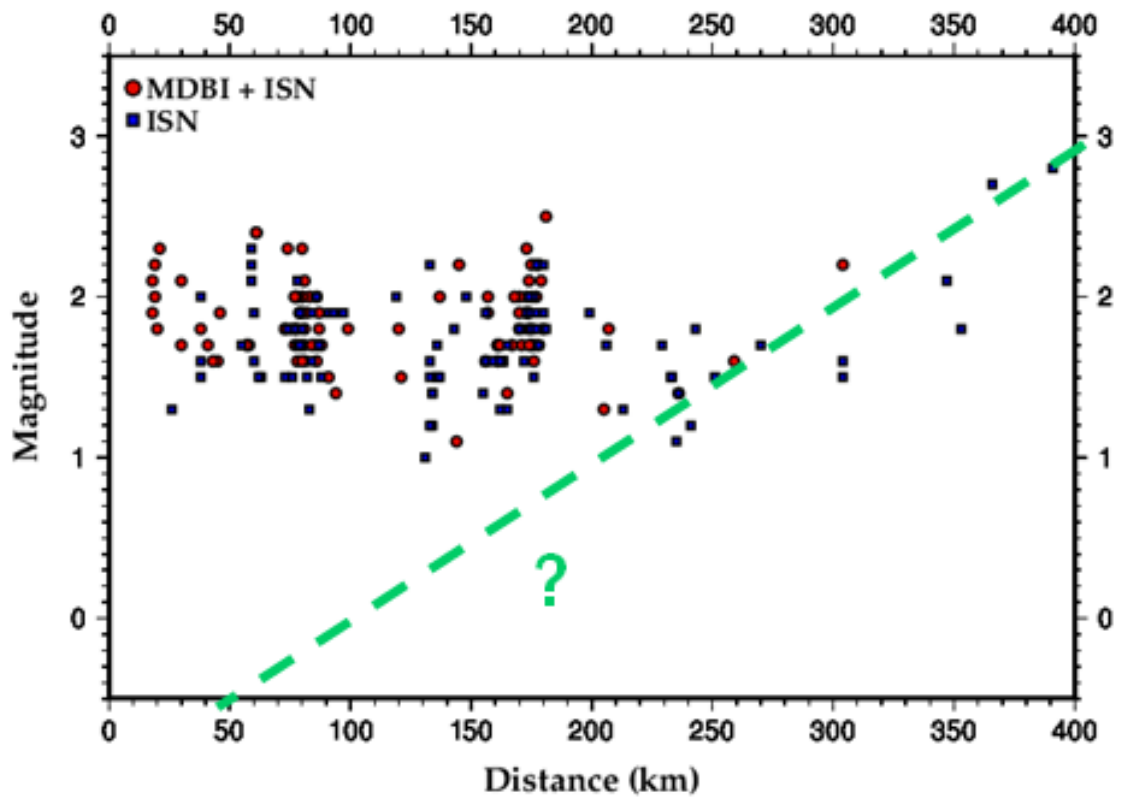




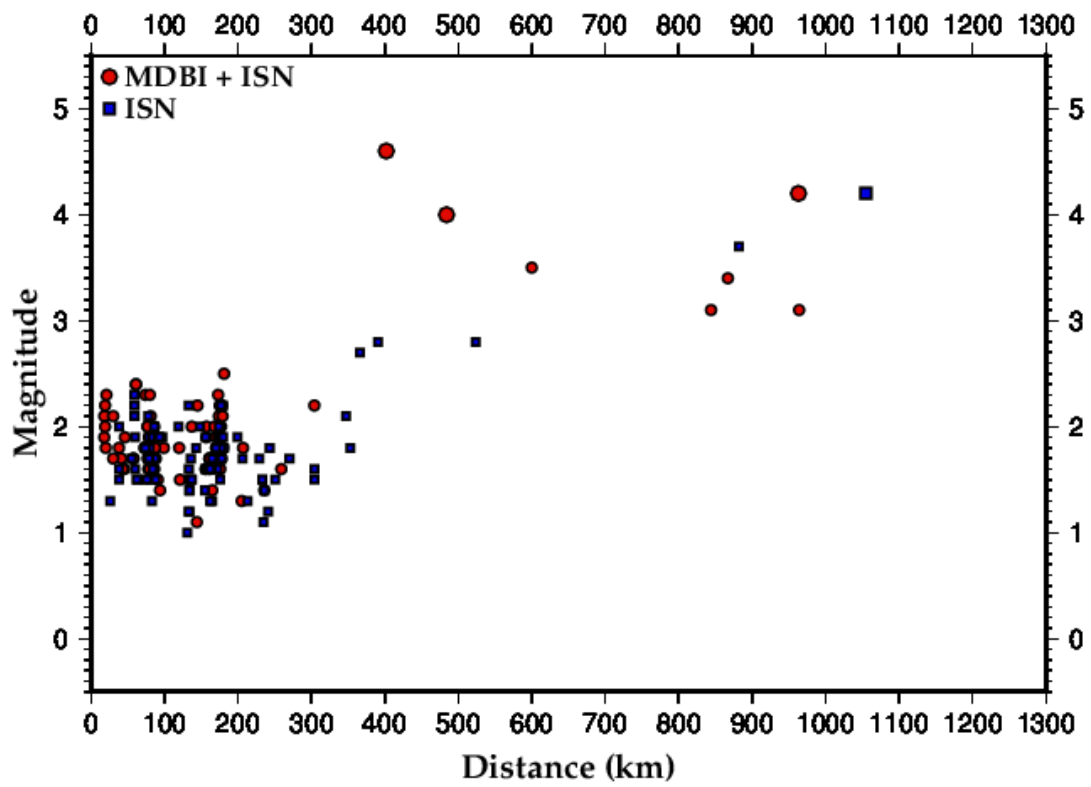
ציור 7 - רעידת אדמה חלשה שהתרחשה בתאריך 3/2/2013 בשעה 22:23:17 GMT (תאריך 4/2/2013 שעה 00:23:17 שעון ישראל) שנקלטה רק בתחנת קידוח מצדה ולא ברשת ישראל. פאזות P ו-S מסומנות עם הפרש זמן של 1.2 שניות בערך השקול למרחק של 10 ק"מ בערך.



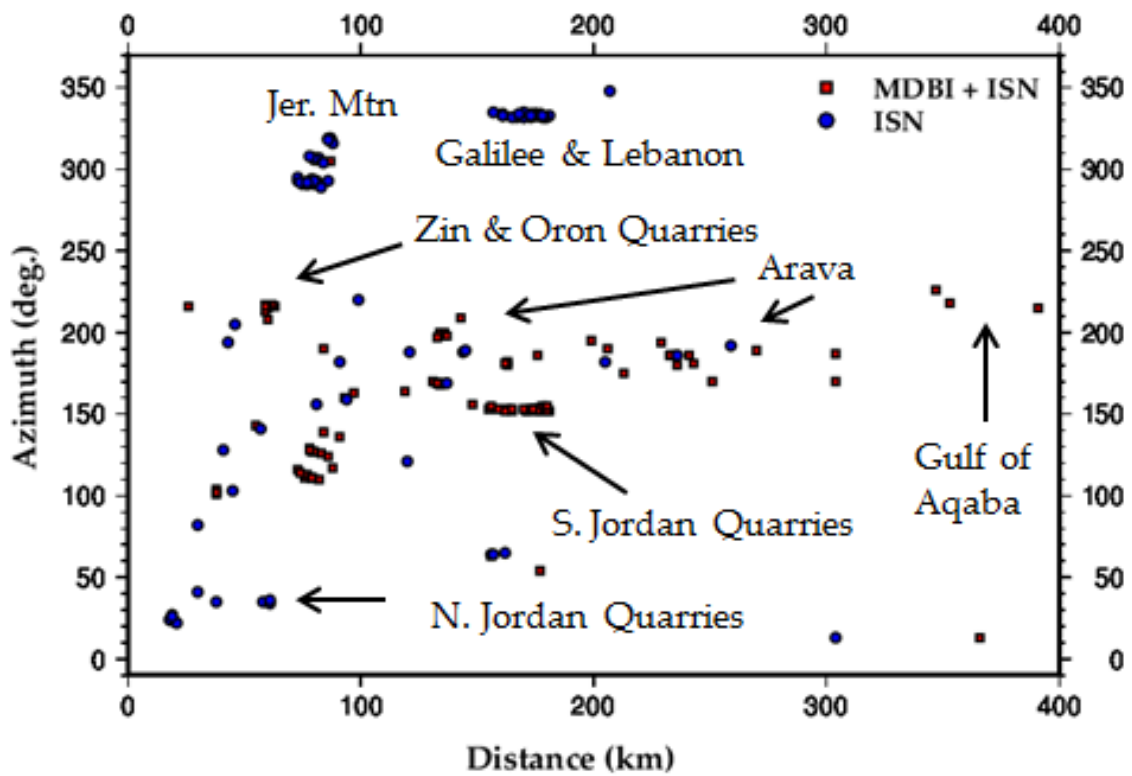
ציור מס' 8 - רעידת אדמה שהתרחשה בתאריך 15/2/2013 בשעה 23:09:59 GMT במרחק של 16 ק"מ דרומית לתחנת קידוח מצדה (אירוע מס' 4 בציור 1).



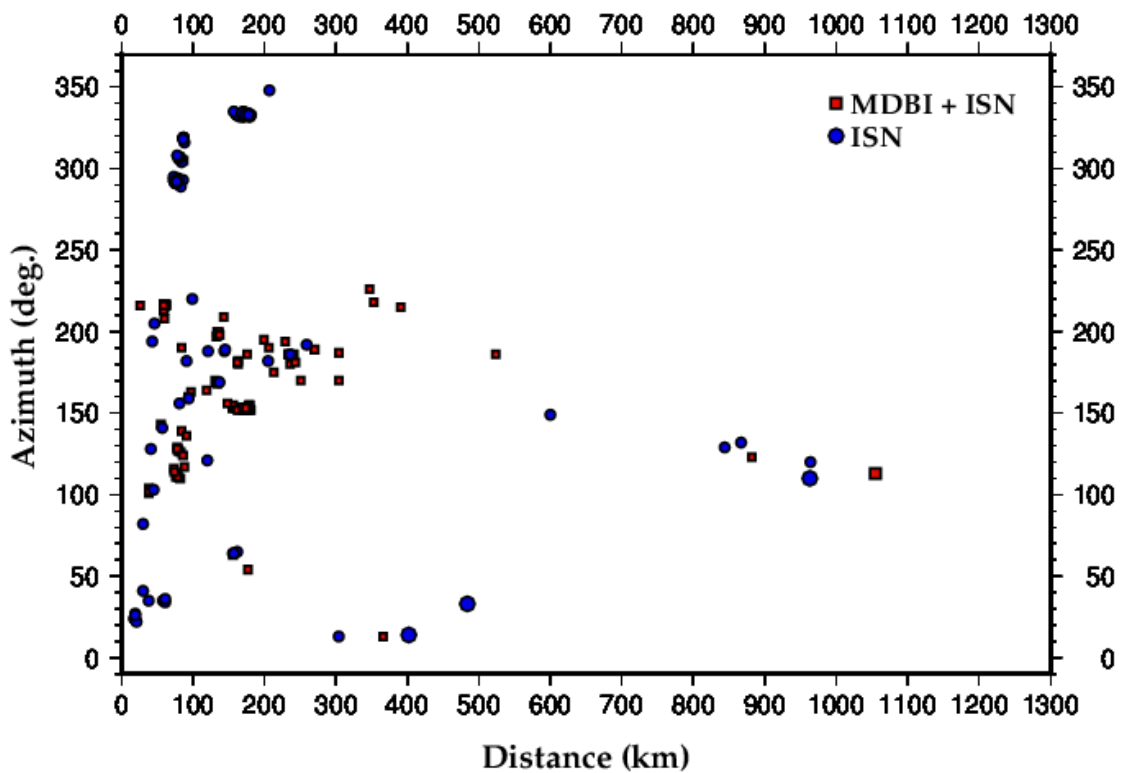
ציור 9 - מגניטודה כנגד מרחק (ק"מ) עבור אירועים שנמדדו ע"י תחנת קידוח מצדה ורשת ישראל עד מרחק של 400 ק"מ. גודל הסמל (עגול או ריבוע) יחסי למגניטודה של האירוע. קו ירוק מקווקו מציין מגניטודה מינימלית כפונקציה של מרחק מהתחנה.



ציור 10 - כמו ציור 9 אבל כולל את כל האירועים הרחוקים עד מרחק של 1,100 ק"מ שנמדדו ע"י תחנת קידוח מצדה.



ציור 11 - פיזור אזימוטלי של אירועים סייסמים כפונקציה של מרחק עד 400 ק"מ.



ציור 12 - כמו ציור 11 עם אירועים במרחק עד 1,100 ק"מ.

## **סיכום**

במחקר זה אנו מנצלים קידוח (נטוש) "מצדה 1 עמוק" אשר נמצא בסמיכות רבה להעתק המזרחי של הר מצדה. תצפיות סייסמולוגיות, בעזרת תחנות קבועות וזמניות, באגן ים המלח הראו כי קיימת פעילות של רעידות אדמה לאורך השבר וגם בקרבתו אשר מוכיחות התאמה טובה לסדרה של תצפיות גיאולוגיות שהראו גיל שבירה צעיר ( $<30$  KY). התקנת סייסמומטר בעומק רב של 1,256 מ' מתחת לראש הקידוח מעשירה מאד את בסיס הנתונים הסייסמולוגי. היתרון במיקום כזה של קידוח בקרבה רבה ליד העתק, כפי שאנו רואים כבר במדידות במשך 6 חודשים ראשונים בשנת 2013, הוא במדידת רעידות חלשות שאינן נמדדות ברשת ישראל.

## **מובאות**

הופשטטר, ר., 2012. מצפה עמוק בשבר ים המלח - מעשי"ם, דו"ח מכון גיאופיסי לישראל, מס' 10-2012-ES.