

שכבות הרס ארכיאולוגיות ותרומתן לארכיאומגנטיזם, ארכיאוסיסמולוגיה וכרונו-סטרטיגרפיה

עבודת גמר לתואר מוסמך במדעי הטבע

מוגשת על ידי:

ארז האסול

בהדרכת:

פרופ' אמוץ עגנון

פרופ' שמואל מרקו



יא' באייר התשע"ה

30 לאפריל 2015

החוג לגיאולוגיה

המכון למדעי כדור הארץ

הפקולטה למדעי הטבע

האוניברסיטה העברית בירושלים

שכבות הרס ארכיאולוגיות ותרומתן לארכיאומגנטיזם, ארכיאוסיסמולוגיה וכרונו-סטרטיגרפיה

עבודת גמר לתואר מוסמך במדעי הטבע

מוגשת על ידי:

ארז האסול

בהדרכת:

פרופ' אמוץ עגנון

פרופ' שמואל מרקו



יא' באייר התשע"ה

30 לאפריל 2015

החוג לגיאולוגיה

המכון למדעי כדור הארץ

הפקולטה למדעי הטבע

האוניברסיטה העברית בירושלים

התנור מוזכר במקורות היהודיים מעל 200 פעמים. אזכורים אלו, המראים את מרכזיות המתקן וחשיבותו במשק הבית, מאפשרים ללמוד על צורת ומבנה מתקנים אלו (משנה, כלים ח', 3; 7; תוספתא, אוהלות ה', 7), בנייתם (תוספתא: אוהלות יג', 1; עדייות א', 9; משנה כלים ד', 5; ה', 1; י', 7) מיקומם (משנה, בבא בתרא ב', 2) והשימוש בהם (משנה, כלים ה', 2; שבת ג', 1; תוספתא, מנחות יא', 1). רוב האזכורים במקורות סובבים סביב דיני טומאה וטהרה שכן תנור טמא יש להרוס (ויקרא יא', 35; תוספתא, עורלה א', 7).

אחד הקונפליקטים הגדולים בתלמוד, סוגיית "תנורו של עכנאי" (תלמוד בבלי, בבא מציעא נט', ב'), מתחיל בוויכוח בין ר' אלעזר לחכמים בראשות ר' יהושע בנוגע לטומאה של תנור העשוי חוליות. בכדי לתמוך בצדקת טיעונו, ר' אלעזר מביא שורה של ניסים הכוללים תזוזה של עץ חרוב, היפוך הזרימה באמת מים, נטיית קירות בית המדרש ובת קול. האם יש כאן עדות לרעידת אדמה קדומה המהדהדת אלינו מהעבר?

בעבודה זו לא אוכל להשיב על שאלה זו אך אנסה להשתמש בתנורים משכבות חורבן (כולל מרעשי אדמה) לשפר את הידע על התפתחות השדה המגנטי של כדור הארץ...

אזור דרום מזרח הלבנט עשיר באתרים ארכיאולוגיים מגוונים מהפרה היסטוריה עד אתמול. רצף התיישבותי זה מאפשר מחקר של היבטים שונים לאורך תקופות של אלפי שנים. מיקומו במפגש היבשות בא לידי ביטוי בתרבות חומרית עשירה מאוד. מקור רבות מההשפעות התרבותיות באימפריות השונות שחלשו על האזור. בהיותו ממוקם על גבי בקע ים המלח ובמפגש תרבויות, אימפריות עתיקות ודתות. הישוב הצפוף שהתפתח במרחב עבר גם זעזועים רבים. אם ברעשי אדמה הרסניים ואם במאבקים צבאיים. זעזועים אלו השאירו חותם באתרים ארכיאולוגיים רבים בדמות שכבות הרס, מפולות ושכבות שריפה ברורות, הניתנות לתיעוד ותיארוך. באזורינו ישנו ריכוז ייחודי בעולם של ממצאים ארכיאולוגיים מכל התקופות יחד עם תיעוד היסטורי מפורט ורציף. בשל כך ניתן, פעמים רבות, לתארך בדיוק רב שכבות חורבן על פי התיאור ההיסטורי, מכיוון שטווח ההשפעה של רעידת אדמה או מסע מלחמה קדום עשוי להגיע למאות קילומטרים, ניתן להשתמש בשכבות הרס אלו כסמנים כרונו-סטרטיגרפיים. בעזרת סמנים אלו ניתן להשוות בין אתרים ארכיאולוגיים שונים ולנצלם כאופקים מנחים מוסכמים ברצף הזמן והמרחב.

שכבות הרס ארכיאולוגיות יכולות לשמר את הווקטור המגנטי המקומי הקיים בזמן החורבן. חומרים ארכיאולוגיים כדוגמת חרסים ולבני בוץ אשר חוממו אל מעל טמפי' קירי בשריפות שפרצו בעקבות הרעידה או הוצתו על ידי צבא כובש, רוכשים וקטור מגנטי מקביל לקיים בזמן השריפה. במקרים בהם שכבת החורבן חתומה על ידי מפולות או שכבות מילוי חומרים אלו נחשפים באתר המקורי ועל כן ניתן לדגום אותם תוך מדידה ותיעוד הכיוונים.

שחזור השינויים בשדה המגנטי בצורה מדייקת ככל הניתן תאפשר יצירת עקומות שינויים סקולאריים. עקומות אלו, מכוילות לאזור דרום הלבנט ובעלות דיוק רב ככל הניתן בציר הזמן יאפשרו, בתורן, לאלץ תיארוכים מסורתיים בעזרת כלי תיארוך עצמאי ומדויק.

אנו מציגים 32 מדידות ארכיאומגנטיות כיווניות חדשות משכבות ארכיאולוגיות מתוארכות היטב בישראל. הדוגמאות נלקחו משכבות מ 3200 השנים האחרונות, עם ריכוז גדול של דוגמאות מתקופת הברזל II. הנתונים מתאימים היטב לצפי ממודלים פלאומגנטיים גלובליים עם כמה הבדלים. בשתי נקודות שונות בזמן, תוצאות מאתרים שונים, קבוצות מחקר שונות ושיטות תיארוך שונות מתאימות בצורה כמעט מושלמת. תוצאות אלו מראות את אמינות השיטה והפוטנציאל הטמון בה לתיארוכים עתידיים.

הבנת ההתנהגות הסייסמית של אזור חיונית להערכת סיכונים סיימסיים באזורים מאוכלסים בצפיפות. דרום מזרח הלבנט מאפשר הזדמנות ייחודית לשחזור ההיסטוריה הסייסמית בשל שרידים ארכיאולוגיים רבים המתוארכים מתחילת ההיסטוריה האנושית ועד ימינו. בשל הקרבה להעתק ים המלח, אתרים ארכיאולוגיים רבים כוללים שכבות חורבן ממקור סייסימי.

ארמונות שנבנו בתקופת החליפות האומיית (661-750 לספירה) בדרום מזרח הלבנט מאפשרות מקרה בוחן ייחודי לבחון את פיזור הנזק הסייסמי ממערכת העתקים מוגדרת היטב, בעיקר העתק נהר הירדן. הבניה של כעשרים אתרים בעלי מידות, תוכנית ותכנון דומים, קודמת למקבץ רעידות

אדמה באמצע המאה השמינית לספירה ולפעילות הסייסמית המוגברת האחרונה במאה האחת עשרה לספירה. מקרה כזה של קבוצת מבנים הומוגנית הפזורים באזור נרחב משני צידי העתק נדיר מאוד.

בעוד המקורות ההיסטוריים המזכירים את הרעידות הנ"ל נחקרו רבות, מחקרים ארכיאויסיסימיים נערכו באתרים בודדים. אנו מתייחסים לשאלות הבאות: מה הקשר בין דרגת הנזק לאתר והמרחק מההעתק? האם פיזור הנזק אחיד משני צידי ההעתק? מה ההשפעה של גורמים מקומיים כמו טופוגרפיה, תשתית גיאולוגית וחומרי בניה על דרגת הנזק?

למרות החוסר בנתונים מצידו המערבי של ההעתק, אנו מציעים שפיזור הנזק אסימטרי. אזור הנזק בצד המזרחי רחב ומגיע לכ 80 ק"מ מהבקע בעוד במערב אזור הנזק משתרע רק עד לכ 50-60 ק"מ מההעתק.

תודות :

למדריכי המסורים פרופ' אמוץ עגנון ופרופ' שמוליק מרקו :

שלימדוני את רזי הגיאולוגיה, גיאוארכיאולוגיה, כתיבה מדעית ועברית תקינה. על השיחות הארוכות, על התמיכה, הרעיונות, ההדרכה, ההתלהבות והייעוץ וההנחיה בלבטים שעלו בכל שלבי המחקר.

תודה לחברי הוועדה המלווה דר' רמי ווינברגר מהמכון הגיאולוגי ופרופ' אברהם סטרינסקי על הייעוץ וההכוונה.

לדר' ג'ון ק. הול על התמיכה האדירה, הדאגה, הייעוץ, הזמינות, שיתוף הידע הרב והאהבה הגדולה.

לדר' קייט רפאל שלימדתני את רזי הארכיאולוגיה, על השיחות הארוכות, הרעיונות החדשניים, והייעוץ.

לדר' רון שער שלימדני את רזי הפלאומגנטיזם, על העזרה עם התוכנות השונות, על שעות הייעוץ הארוכות וההדרכה הרבה.

לדר' אמיר שגיא, שתרגם מניסיונו הרב ומזמנו בשאלת חורבת מנים.

לדר' רותי שחק-גרור, שלימדתני ארכיאולוגיה מדעית, והובילה אותי בין נבכי ההיסטוריה של תל מגידו.

לדר' נורברט נובוצ'ק, דר' רועי גרנות ויעל אברט על העזרה וההכוונה בעבודת המעבדה.

לחברי אסנת ברנע, יניב דרבסי, יוסי שרר, גלח פינקלשטיין, אדם לוי, ערן טרבלסי, אבישי עבו, יועד דביר, אלי רם, רותם גבאי, יוסי לוי-סרי, אלחנן צוקר, ענר פלדור ורן יששכר על העזרה בתחומים השונים, יציאות לשדה, עזרה וייעוץ בכתיבה, הכנת מפות, התלבטויות וכתף תומכת.

לנעמי הול על שתרמה את המחשב האישי שלה לחודשים ארוכים לצורך העבודה שלי.

לקרן הלאומית למדע שתמכה ומימנה מחקר זה.

לבסוף, אחרונים אבל תמיד ראשונים להורי, אחיי וגיסתי שתמיד איתי.

בנוסף לכל אלה אני מבקש לציין שעבודה זו לעולם לא הייתה נעשית ללא שיתוף הפעולה הפורה והסיוע הנדיב שקיבלנו מארכיאולוגים וצוותי חפירה ומחקר רבים מהארץ ומהעולם ועל כך אני רוצה להודות ל:

ד"ר קייט רפאל שהדריכה ייעצה וסייעה לי רבות בכל שלב משלבי העבודה והובילה אותי בנבכי הארכיאולוגיה של ארץ ישראל.

האוניברסיטה העברית: ד"ר קטיה ציטרין-סילברמן (מינייה וטבריה), פרופ' אמנון בן-תור, ד"ר שרון צוקרמן ז"ל, גב' שלומית בכר (חצור), ד"ר רועי פורת (הרודיון).

אוניברסיטת תל אביב: פרופ' ישראל פינקלשטיין (מגידו), פרופ' עודד ליפשיץ (עזקה), ד"ר ארז בן יוסף ויצחק ווסל (תמנע).

אוניברסיטת בר אילן: פרופ' אהרון מאיר (צפית), ד"ר בועז זיסו וד"ר ערן מאיר (חרבת ג'ומג'ום).

אוניברסיטת חיפה: פרופ' מיכאל אייזנברג (סוסיתא).

רשות העתיקות: ד"ר אלי ינאי (יבנה), דורון בן עמי ויאנה צ'חאנוביץ (חניון גבעתי), אלנה קוגן-זהבי (רמת בית שמש), יעל עבדי-רייס (נתיב העשרה).

קמ"ט: בני הר אבן (נבי סמואל).

בנוסף: ד"ר גדעון הדס (עין גדי), פרופ' רמי ערב (בית צידא), פרופ' אן קילברו (עכו), פרופ' דן מאסטר (אשקלון) ופרופ' ג'פרי צ'אדוויץ (צפית).

אני רוצה גם להכיר תודה לכל צוותי החפירה השונים, מנהלי השטחים הרבים וכמובן החופרים שקיבלו אותי בזרועות פתוחות וסייעו כמיטב יכולתם.

1	מבוא	1
1	שכבות הרס וארכיאומגנטיזם	1.1
2	שכבות הרס וארכיאואסימולוגיה	1.2
3	אפיון נזק פרטני	1.2.1
3	חורבת מנים	1.2.1.1
4	נבי סמואל	1.2.1.2
4	אפיון נזק מרחבי	1.2.2
7	שכבות הרס וכרונו-סטריגרפיה	1.3
7	מטרת העבודה	2
8	שיטות	3
8	ארכיאומגנטיזם	3.1
8	היסטוריה מקוצרת של המחקר המגנטי	3.1.1
9	המחקר הארכיאומגנטי	3.1.2
9	תיארוך מגנטי	3.1.3
9	מודלים גלובליים	3.1.4
10	חשיבות המחקר	3.1.5
10	בחירת הדוגמאות	3.1.6
11	טבונים ותנורים	3.1.7
13	עבודת שדה והכנת הדוגמאות למעבדה	3.1.8
15	עבודת מעבדה	3.1.9
17	ארכיאואסימולוגיה	3.2
17	זיהוי נזקים ממקור סיסמי	3.2.1
17	אפיון נזקים בחורבת מנים	3.1.2
25	אפיון נזקים בנבי סמואל	3.1.3
26	אפיון נזק מרחבי	3.1.4
29	סולם הנזק	3.1.5
29	תוצאות	4
29	מגנטיות	4.1
29	היררכיה מגנטית	4.1.1
30	שגיאות נפוצות ברמות השונות	4.1.2
30	סטטיסטיקה	4.1.3
32	תוצאות מגנטיות	4.1.4
49	ארכיאואסימולוגיה	4.2
49	פרטני	4.2.1
49	חורבת מינים	4.2.1.1
52	נבי סמואל	4.2.1.2
53	מרחבי	4.2.2
58	דיון	5
58	ארכיאומגנטיות	5.1
61	עקומות שינוי ראשוניות	5.2
62	תרומה לשאלות ארכיאולוגיות	5.3
62	כרונוסטריגרפיה	5.4
63	מסקנות	6
67	כיווני מחקר מומלצים לעתיד	7
67	נספחים	8
68	נבי סמואל	8.1
77	אתרים מגנטיים	8.2
99	טבלאות אתרים	8.3
105	מקורות	9

איורים :

1.	מפת מיקום של כל האתרים המוזכרים בעבודה	2
2.	מפת הקרעים הקשורים ברעידות היסטוריות אחרונות באזור והארמונות האומיים	6
3.	שכבות התנור	12
4.	דיגום בעזרת מקדחה	13
5.	דיגום בעזרת קופסאות מדידה	14
6.	דיגום בעזרת מדידת דיפ	14
7.	דוגמאות שונות מוכנות למדידה	15
8.	המגנטומטר	16
9.	הצגת תוצאות מגנטיות	16
10.	נזקים סיסמיים אופייניים באתרים ארכיאולוגיים	18
11.	נזקים בחורבת מנים	21
12.	סריקות של חורבת מנים	23
13.	סריקות נבי סמואל	25
14.	דוגמאות לסולם הנזק	26
15.	רעידות האדמה של אוקטובר 2013	49
16.	חתכים סייסמיים בחורבת מנים	50
17.	שחזור של נחל גף	50
18.	סדימנט אלוביאלי מאפיקו של נחל גף	51
19.	האתרים המוזכרים במקורות ההיסטוריים	54
20.	אתרים אומיים על פי דרגת הנזק	55
21.	דרגת הנזק באתרים האומיים על פי מרחק מוחלט מהבקע	56
22.	דרגת הנזק משני צידי הבקע	56
23.	דרגת הנזק על פי המקורות ההיסטוריים משני צידי הבקע	57
24.	מפת האתרים המוזכרים במקורות ההיסטוריים באזור העבודה בלבד	57
25.	עקומות שינויים סקולאריים	64
26.	עקומות שינויים סקולאריים לתקופת הברזל	65
27.	עקומות שינויים סקולאריים לתקופת הברזל לפי אתרים	66
28.	מפה נתוני הרקע	67

איורי נספחים :

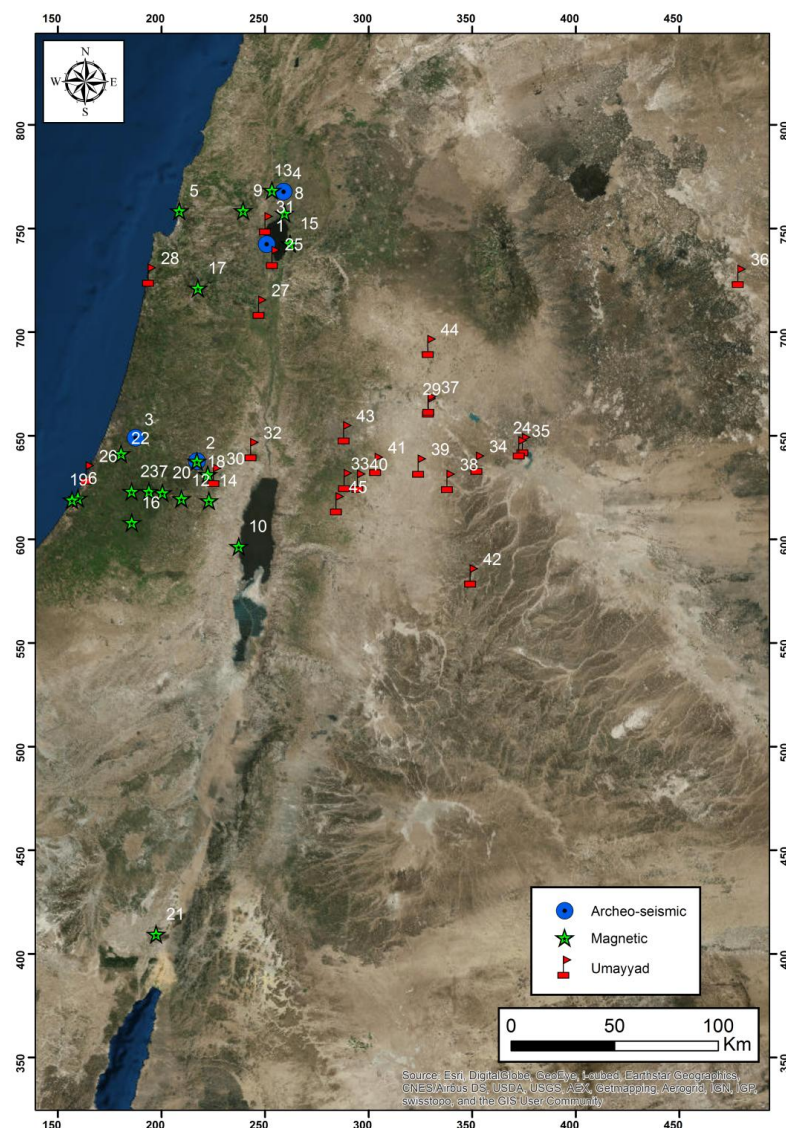
1.	מפת מיקום של האתרים הארכיאולוגיים	78
2.	אשקלון	79
3.	בית ציידא	80
4.	הרודיון	81
5.	חניון גבעתי	82
6.	תל חצור	84
7.	חרבת ג'ומג'ום	85
8.	יבנה	86
9.	כפר חנניה	86
10.	מגידו	87
11.	נתיב העשרה	90
12.	סוסיתא	91
13.	תל עזקה	93
14.	עין גדי	95
15.	עכו	96
16.	רמת בית שמש	97
17.	צפית	98

24.....	1. תוצאות OSL מחורבת מנים.....
55.....	2. ריכוז האתרים האומיים.....
59.....	3. סיכום תוצאות מגנטיות.....
60.....	4. פירוט דוגמאות שהתקבלו מכל אתר.....
100.....	5. ריכוז אתרים ללא עזקה ומגידו.....
101.....	6. ריכוז אתרים מתל מגידו.....
102.....	7. טבלת גילים\ שכבות בתל מגידו ושכבות חורבן משמעותיות.....
102.....	8. ריכוז דוגמאות מתל עזקה.....
102.....	9. ריכוז דוגמאות מבית צידא.....
103.....	10. טבלת גילים שנדגמו.....
103.....	11. נזקים אופייניים לרעידות אדמה באתרים ארכיאולוגיים (EAE).....
104.....	12. טבלת תקופות וחורבנות ידועים.....

אזור דרום מזרח הלבנט עשיר באתרים ארכיאולוגיים מגוונים מהפרה היסטוריה עד אתמול. רצף התיישבותי זה מאפשר מחקר של היבטים שונים לאורך תקופות של אלפי שנים. מיקומו במפגש היבשות בא לידי ביטוי בתרבות חומרית עשירה מאוד. מקור רבות מההשפעות התרבותיות באימפריות השונות שחלשו על האזור. בהיותו ממוקם על גבי בקע ים המלח ובמפגש תרבויות, אימפריות עתיקות ודתות, הישוב הצפוף שהתפתח במרחב עבר גם זעזועים רבים, אם ברעשי אדמה הרסניים ואם במאבקים צבאיים. זעזועים אלו השאירו חותם באתרים ארכיאולוגיים רבים בדמות שכבות הרס, מפולות ושכבות שריפה ברורות, הניתנות לתיעוד ותיארוך. באזורינו ישנו ריכוז ייחודי בעולם של ממצאים ארכיאולוגיים מכל התקופות יחד עם תיעוד היסטורי מפורט ורציף. בשל כך ניתן, פעמים רבות, לתארך בדיוק רב שכבות חורבן על פי התיאור ההיסטורי. מכיוון שטווח ההשפעה של רעידת אדמה או מסע מלחמה קדום עשוי להגיע למאות קילומטרים, ניתן להשתמש בשכבות הרס אלו כסמנים כרונו-סטרטיגרפיים. בעזרת סמנים אלו ניתן להשוות בין אתרים ארכיאולוגיים שונים ולנצלם כאופקים מנחים מוסכמים ברצף הזמן והמרחב. אתרים רבים, בעיקר מתקופת הברונזה והברזל, כוללים מספר שכבות, בהן גם שכבות הרס, המתעדות רצף התיישבות בנקודה מסוימת לאורך זמן (תילים) (Katz and Crouvi, 2007). לפיכך, ניתן להשתמש בשכבות הרס אלו כנקודות מוסכמות להשוואה בין שכבות ההרס הטמונות ברצף הסטרטיגרפי בתילים השונים.

1.1. שכבות הרס וארכיאומגנטיזם :

שכבות הרס ארכיאולוגיות מכילות מידע ארכיאומגנטי רב ובעל ערך המתאים למחקרים מסוג זה. חומרים ארכיאולוגיים רבים כדוגמת חרסים או לבני בוץ שרופות מכילים מינרלים פרומגנטיים. בעת חימום וקירור מחודש אל מתחת לטמפרטורה קירי רוכשים מינרלים אלו סיגנל מגנטי המקביל לווקטור של השדה הגיאומגנטי הקיים בזמן הקירור. אחד המאפיינים של שכבות הרס משמעותיות הוא העובדה שהן נמצאות, במקרים, בצורתן המקורית ללא שינוי מאוחר. זאת בשל קבירת ממצאים ארכיאולוגיים תחת מפולות או נטישת אתרים בעקבות חורבן. בזכות עובדה זו ניתן למצוא את החומרים הארכיאולוגיים בעלי העניין באתרם (In Situ), כלומר במקום המקורי שבהם הם חוממו בפעם האחרונה. עובדה זו יחד עם התיארוך המקובל של זמן ההרס מאפשרים לשחזר את צורת הווקטור המגנטי המקומי בזמן החורבן. לדוגמא, Segal et al. (2003) מצאו את הכיוון של השדה המגנטי מדגימות שנאספו מכבשנים בתל עתרת (Vadum Iacob). אתר זה הינו מבצר צלבני שבנייתו החלה ב 1 באוקטובר 1178 על מעברות הירדן, בסמוך לגשר בנות יעקב המודרני. הבנייה נפסקה באחת עם תחילת המצור של צלאח א-דין ב 24 לאוגוסט 1179. מצור אשר הסתיים כעבור שלושה ימים בכיבוש והרס המבצר וטבח יושביו. סיפור כיבוש המבצר מתואר בפירוט רב על ידי סופרי צלאח א-דין (Barber, 1998). ישנן עדויות כי הכבשנים פעלו בפעם האחרונה במהלך המצור, על כן ניתן לשער בצורה מדויקת מאוד את תאריך החימום האחרון שלהם.



#	Name	Lat	Lon
1	Mt. Berniki	32.776103	35.539301
2	Nabi Samwill	31.832	35.18
3	Ramla	31.933333	34.866667
4	Vadum Iacob	33.004122	35.627288
5	Akko	32.921	35.088
6	Ashkelon	31.669	34.574
7	Azekah	31.7	34.935
8	Bethsaida	32.91	35.631
9	Bit hanania	32.922	35.418
10	Ein Gedi	31.461	35.392
11	GivatiPL	31.774	35.235
12	H. Jumjum	31.669	35.101
13	Hazor	33.01	35.567
14	Herodium	31.66	35.241
15	Hippos	32.778	35.659
16	Lachish	31.564	34.848
17	Megiddo	32.585	35.185
18	Nabi Samwill	31.832	35.18
19	Netiv HaAsara	31.662	34.544
20	Ramat Beit Shemesh	31.69464	35.00422
21	Timna	29.773333	34.976389
22	Yavna	31.864	34.793
23	Zafit	31.7	34.847
24	Ain al Sil	31.894	36.8459
25	al-Sinnabra	32.71856	35.57124
26	Ashdod Yam	31.78	34.621
27	Beth-Shan	32.502	35.502
28	HaBonim	32.642	34.934
29	Hamam al-Sarakh	32.067	36.3664
30	Jerusalem	31.77	35.27
31	Khirbat al-Minya	32.865091	35.536088
32	Khirbat al-Mafjar	31.882	35.459
33	Qasr al-Qastal	31.746	35.935
34	Qasr Amra	31.815	36.61
35	Qasr Azraq	31.88	36.827
36	Qasr Burqu	32.606	37.966
37	Qasr Hallabat	32.075	36.368
38	Qasr Kharana	31.738	36.459
39	Qasr Mushash	31.806	36.313
40	Qasr Mushatta	31.742	36.003
41	Qasr Muwaqqar	31.815	36.094
42	Qasr Tuba	31.325	36.571
43	Qasr Umayyad (Amman)	31.954	35.934
44	Umm al-Jimal	32.326	36.369
45	Umm al-Walid	31.645	35.893

איור 1: מפת מיקום של כל האתרים המוזכרים בעבודה

בנוסף, בדיקות ארכיאולוגיות יכולות לסייע בהבנת שאלות ארכיאולוגיות. ניסויים מסוג זה יכולים לסייע בשחזור של קירות נפולים, קביעת מיקום שריפה של אובייקטים וההתאמה המגנטית בין חומרים ארכיאולוגיים שונים המתגלים בחפירה או בין שכבות ואתרים שונים

1.2. שכבות הרס וארכיאולוגיה:

האם אזור שקט מבחינה סייסמית הוא אכן כזה? יתכן כי פעל בפעם האחרונה לפני הגעת האדם המודרני. על כן, ובכדי להיערך לעתיד, אקסטרפולציות לעתיד חייבות להתבסס על העבר המכשירי אך גם על ההיסטוריה והפרה-היסטוריה. בכדי להגביר את האמינות של חישובים אלו יש לאסוף בסיס נתונים רחב ככל הניתן מעדויות היסטוריות, ארכיאולוגיות וגיאולוגיות (Gutenberg and Richter 1944; Ben-Menahem, 1991; Marco et al., 2003; Begin et al., 2005; Ambraseys, 2006a;b; Marco, 2008; Agnon, 2014).

השאלות שחוקר פלאוסיסמי מתמודד איתן כוללות (Ambraseys 2006a):

מתי ואיפה קרו רעידות גדולות בעבר?

מה היה גודל הרעידות? ועד כמה רחוק הן הורגשו?

מה ניתן להבין מרעידות אלו לגבי ההתנהגות הסייסמית של האזור? גודל הרעידה הצפויה? זמן החזרה של רעידות שונות?

האם ניתן להבדיל בין נזק ממקור סייסמי לנזק ממקור אחר?

חשיבות רבה במיוחד יש לעדויות שניתן לכמת בצורה מספרית למשל קואורדינטות גיאוגרפיות, גודל אזור פגוע ותאוצות קרקע (Ambraseys 2006a). המזרח הקרוב הינו מקרה ייחודי בעולם בו תועדו עדויות היסטוריות לרעידות אדמה בדרך אחת או אחרת על פני טווח זמן של כארבעת אלפים שנים. מקורות המידע כוללים (ע"פ תקופות) 100-3650 לפנה"ס: חפירות ארכיאולוגיות, סטרטיגרפיה וסטרוקטורה גיאולוגית ועדויות תנכיות; 100 לפנה"ס-1900 לספירה: כתובים תלמודיים ומאחרים יותר, מקורות רומאיים, ערבים וימי ביניים, עדויות של עולי רגל, היסטוריונים, נוסעים, עדויות ראה ונזקים למבנים; 1900-היום: תחנות סייסמיות (Ben-Menahem, 1991). הבעיות במקורות ההיסטוריים נובעות מכך שפעמים רבות הם לא שלמים, לא ברורים, מכילים עדויות ממקורות שניוניים ואף שלישוניים או פרשנות דתית, ולעיתים כוללים טעויות העתקה והכפלות של אירועים. בנוסף, טקסטים היסטוריים תלויים רבות בשרידות הטקסט לאורך הדורות, פיזור אוכלוסיה וזיכרון קולקטיבי (Amiran et al., 1994; Karcz, 2004; Salamon, 2010). לעומת העדויות ההיסטוריות, עדויות ארכיאולוגיות, על אף פרשנויות סובייקטיביות, מהוות עדויות עצמאיות בלתי תלויות. יתרון נוסף הוא העובדה שישנם הרבה יותר אתרים ארכיאולוגיים מאשר מקורות היסטוריים בני התקופה. בשל כך, תיעוד אירועי הרס באתרים ארכיאולוגיים יתרום להשלמת הקטלוגים ההיסטוריים של רעידות קדומות ותבניות החזרה שלהן (Austin et al., 2000; Rucker and Niemi, 2010). המשתנים הבולטים ביותר במחקר הארכיאו-סיסמולוגי הם זמן ההרס וטווח השתרעותו. טווח ההרס ועוצמתו יכולים לתרום להבנתנו את עוצמת הרעש, עוצמת רעש מקסימאלי הצפויה באזורנו, מיקום מוקד הרעידה, גודל האזור הצפוי להיפגע במקרה של רעידה בעוצמה דומה ואף את תגובת האתר הייחודית במקומות שונים (Marco, 2008). הבנה זו הכרחית להערכות אוכלוסייה וכוחות חירום לרעידת אדמה באזורים שונים בארץ והיא חיונית גם לקביעת מדיניות ממשלתית ותכנון נכון של פיזור אוכלוסייה ותקני בניה (Ambraseys, 2006b). חלק זה של העבודה כולל שני חלקים: אפיון נזק פרטני לאתר מסוים ואפיון נזק מרחבי למספר אתרים בו-זמניים משני צידי העתק ים המלח.

1.2.1. אפיון נזק פרטני:

אפיון נזק באתר ארכיאולוגי תורם להבנת נזקי רעידת אדמה באזור נתון בדגש על תגובות אתר ייחודיות. מידת הנזק לאתר ארכיאולוגי תלויה בצורת ואיכות הבניה, חומרי הבניה, טופוגרפיה, סטרטיגרפיה גיאולוגית ועוד. על כן הכרחי להגדיר את הנזק בכל אתר פוטנציאלי ולזהות גורמי הגברה או הנחתה סיסמית. לחלק זה של העבודה נבחרו שני אתרים.

1.2.1.1. חורבת מינים (חירבת אל-מיניה, Khirbat al-Minya):

הארמון האומיי בחורבת מינים (Khirbat al-Minya) נמצא בבקעת גינוסר מצפון מערב לכינרת, בסמוך למתקן ספיר ואכסניית "כרי דשא" (איור 1). האתר מציג מספר שכבות ארכיאולוגיות, החשובה ביניהן כוללת ארמון אומיי, מהראשונים שנבנו, אשר בנייתו מיוחסת לאל-ואליד הראשון (Al-

הקנה (Grabar, 1992) (Walid I, R. 705-715 CE). המיקום, לשפת הכנרת ובסמוך לציר תחבורתי ראשי, הקנה לאתר ערך עוד לפני התקופה האומיית. ואכן, סמוכים לארמון מרחצאות ביוזנטיים ומעגן סירות עתיק. הארמון האומי חד קומתי, בעל מראה ביצורי ופאר מלכותי המשתקף בשרידי פסיפס ושיש בדומה לארמונות אומיים אחרים (Cytryn-Silverman, 2009). בפינה הדרום מזרחית של הארמון מסגד עם חיפוי תמוך עמודים מדגם דומה לבן זמנו מטבריה, ולו כניסה מיוחדת בחומה המזרחית אשר הקלה שימוש על ידי עוברים ושבים (Cytryn-Silverman, 2009). מידות הארמון כ- 67X73 מ', היחידה ה"תקנית" בארמונות האומיים. "ארמונות מדבר" אלו פזורים במרחב הלבנט, ובעיקר באזור הבאלקה, בחלקה הצפוני של ירדן (איור 1). הארמונות נבנו בעת התפשטות האימפריה האומיית על אזורי חקלאות נרחבים (Rosen-Ayalon, 1996). באמצע המאה השמינית, לקראת סיום התקופה והקמת סולטנות עבאס שמרכזה בגדד, נפגע האזור בסדרת רעשי אדמה (Ambraseys, 2009 ; 747-749-757).

בתחילת האלף השני הוסב האתר למפעל סוכר וניתן למצוא בו כבשנים, חרסים וכלים הקשורים לתעשייה זו (Cytryn-Silverman, 2009). רוב הכלים מתוארכים לתקופה הממלוכית, המהווה שלב מאוחר של האתר, וחלק מהכלים שונים לחלוטין מאלו המוכרים מאזורנו במאות השתיים עשרה והשלוש עשרה (Peled, 1999; Stern, 2009). האתר ננטש ויושב מחדש מספר פעמים במספר מפלסים וסבל נזק רב שוד עתיקות, שינוי יעוד הבניה והרס טבעי (Grabar, 1992).

1.2.1.2. נבי סמואל (Nabi Samuil) :

בראש גבעה, כשבעה ק"מ צפונית לירושלים (איור 1) התגלו שרידי כפר הליניסטי מתחילת המאה הראשונה לפנה"ס. באתר זה עדויות לאירוע סיסמי גדול אשר חתם את מבני הכפר במפולות גדולות. רעידת האדמה פגעה בשוב זמן מה לאחר שהוא ננטש בצורה מסודרת, בסביבות אמצע המאה הראשונה לפנה"ס, אולי בעקבות פלישת פומפיוס הרומאי (Gnaeus Pompeius Magnus, R. 106-48 BCE) בשנת 63 לפנה"ס. המבנים שהשתמרו תחת המפולות התגלו ריקים לחלוטין, ללא כלים, חפצים או שלדים ורוב הפתחים נחסמו באופן יזום טרם הרעידה. זמן קצר לאחר החורבן הייתה התיישבות חדשה מעל שכבת ההרס, בשוליו, המתוארכת למחצית הראשונה של המאה הראשונה לספירה והיא מהווה חסם עליון לגיל החורבן (Magen and Dadon, 1999; 2003; Har-Even and Raphael, pers. com.). על כן ניתן לשייך בסבירות גבוה את חורבן האתר לרעידה של 31 לפנה"ס המתוארת בכתבי יוסף בן מתתיהו (מלחמות היהודים א', 369 ; קדמוניות היהודים טו', 121-124). העבודה באתר כללה אפיון פרטני של הנזקים הסייסמיים באתר, יצירת מודל תלת מימדי בעזרת סורק לייזר קרקעי (Lidar) למספר מרכיבים באתר ודגימה של טבון לעבודה ארכיאולוגית. ניתן להניח ברמה גבוהה של וודאות שטבון זה חומם בפעם האחרונה בסביבות שנת 63 לפנה"ס.

1.2.2. אפיון נזק מרחבי :

בחינה מרחבית של נזקי רעידות אדמה במגוון אתרים בני אותה תקופה יכולה לתרום להבנתנו את עוצמת הרעידות הקדומות ומיקומן. על מנת להימנע מהטיות והסקת מסקנות מעגליות יש לבחון עוצמות משוערות אלו של רעידות היסטוריות תוך בדיקה זהירה של המקורות ההיסטוריים והאתרים הארכיאולוגיים. במיוחד יש להביא בחשבון חולשת מבנים, גורמי אתר מקומיים, פיזור

מידע לא אחיד בשל פיזור אוכלוסיה במרחב ועוד (Avni et al., 2002; Ambraseys, 2006b; Rucker and Niemi, 2010; Hough and Avni, 2011).

תיעוד אירועי ההרס בחורבת מנים ותיארוכם העלה את ההזדמנות לבחון את הפיזור המרחבי של הרס מאותן רעידות אדמה. זאת בשל הפיזור של ארמונות דומים מהחליפות האיסלמית הראשונה במרחב. השאלות שנשאלו בהקשר זה הן:

עד כמה רחוק השפיעו רעידות האדמה שפגעו באתר זה?

איך דועכת עוצמת הנזק במרחב?

האם פיזור הנזק אחיד משני צידי הבקע?

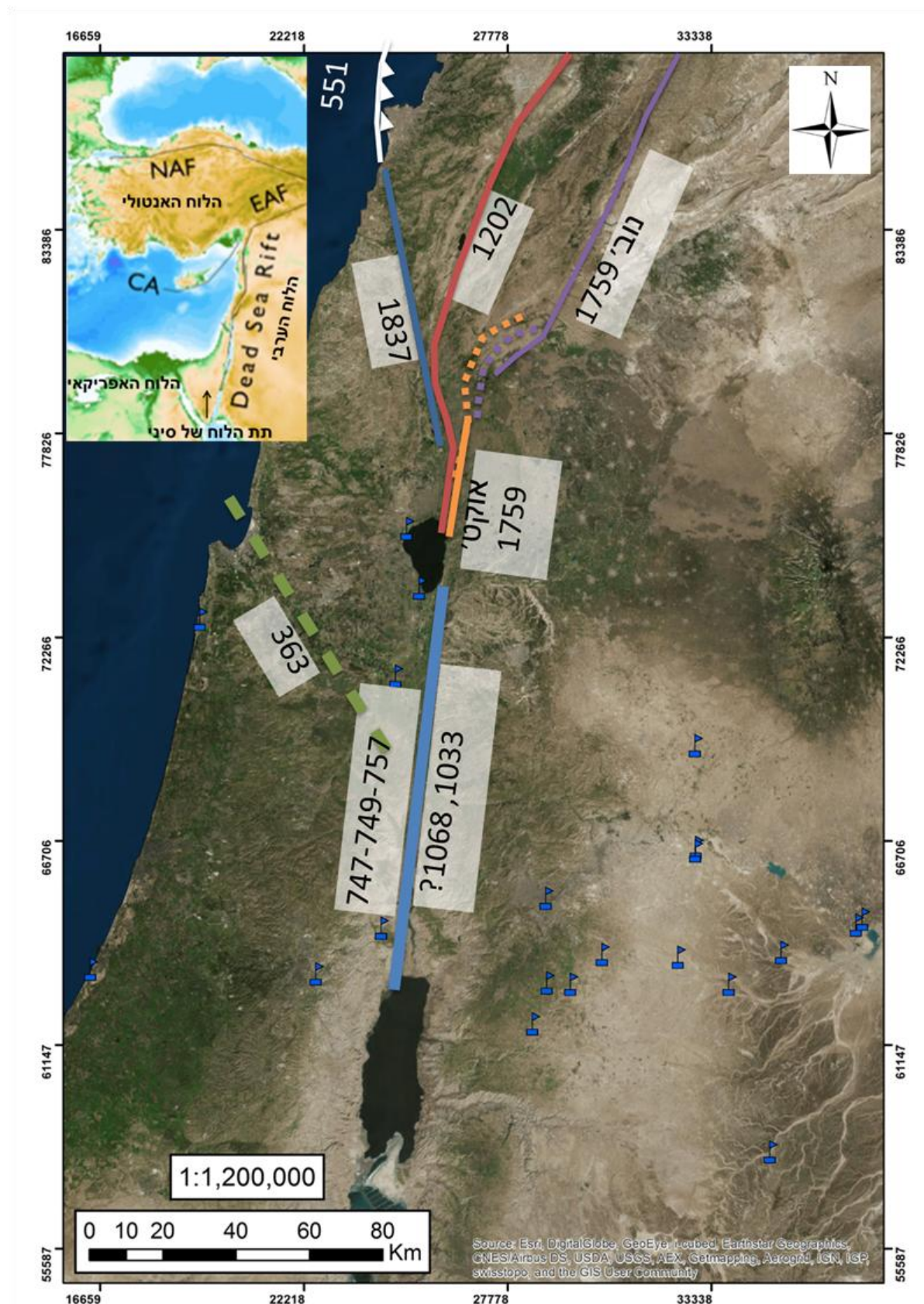
האם עוצמת ההרס תלויה בעיקר במרחק מבקע ים המלח?

עד כמה משמעותיים גורמי אתר שונים לדרגת הנזק באתרים השונים?

הארמונות האומיים נבנו על במהלך שלטון השושלת האומיית (Umayyad, R. 661-750 CE) והם פותחים פתח ייחודי לניסיון לענות על שאלות אלו. השליטים האומיים, אשר בירתם הייתה דמשק, בנו מעל 20 מבנים באזורים הכפריים ובספר. קבוצה גדולה של מבנים אומיים מונומנטאליים נבנתה באזור הבלקה של ירדן. המילה ארמונות מעט מטעה, אלו מבנים קטנים וצנועים למדי. ארמונות אלו נבנו כולם בתקופה קצרה מאוד ובתוכניות ושיטות בניה דומות (King, 1987; Rosen-Ayalon, 1996; Hillenbrand, 2000). בשל מאפיינים אלו קבוצת זו מציעה מקרה בוחן ייחודי ונדיר לפיזור נזקי רעידות אדמה גדולות. בנוסף, סקר מבנים אלו מאפשר לבחון את ההשפעות של המרחק ממוקד הרעידה, טכניקות בניה וגורמי אתר שונים כמו טופוגרפיה ותשתית על הנזק הצפוי.

בקע ים המלח (Dead Sea Transform – DST) הינו גבול טרספורם של לוחות המפריד בין תת הלוח הערבי והלוח האפריקאי. גבול העתקה שמאלי זה, אשר מחולק למקטעים, יכול לייצר רעידות אדמה גדולות (M>7) (Ben-Menahem et al., 1978; Garfunkel et al., 1981; Ambraseys, 2006b; Marco, 2008; Agnon et al., 2010; Ferry et al., 2011; Agnon, 2014; Marco and Klinger, 2014).

בעבודה זו התמקדנו במקטע עמק הירדן (Central Jordan Valley-CJV), מקטע זה, באורך כ-110 ק"מ מחבר את דרום הכינרת וצפון ים המלח (איור 2). חשיבות המחקר בסגמנט זה נובעת מקרבתו לריכוזי אוכלוסיה והעובדה שלא התרחשה עליו רעידה גדולה כבר זמן רב. הרעידות האחרונות על מקטע זה הן מקבץ רעידות באמצע המאה השמינית ועוד אירוע אחד, או שניים, באמצע המאה האחת עשרה (1033 ו 1068). רעידה נוספת, בינונית (M-6.3), התרחשה בשנת 1927 ומוקמה בצפון ים המלח (Avni et al. 2002; Hough and Avni, 2011; Zohar and Marco, 2012). בעוד שהמקורות ההיסטוריים נאספו, נסקרו ונותחו ע"י חוקרים רבים (למשל Amiran et al., 1994; Guidoboni and Comastri, 1994; Marco et al., 2003; Gidobani, 2004; Ambraseys, 2009), מחקר ארכיאולוגיסימי מקיף דיו טרם נעשה. מיפוי הדיווחים על רעידות אדמה ע"פ המקורות מעלה תמונה מעניינת, הישבים המוזכרים בתעודות ממוקמים בעיקר ממערב להעתק (בארץ הקודש); האזור ממזרח לבקע, שהיה יחסית דליל באוכלוסיה, היה כמעט זר להם. השוואה בין המפות של הנזק ע"פ המקורות



איור 2: מפת הקרעים הקשורים ברעידות היסטוריות אחרונות באזור והארמונות האומיים (דגלים כחולים). במסגרת מפת הלוחות האזורית מתוך Agnon, 2014. NAF - ההעתק הצפון אנטולי, EAF - ההעתק המזרח אנטולי, CA - הקשת הקפריסאית.

ההיסטוריים והנזק ע"פ הסקר הארכיאולוגי מראה את היתרון בשילוב שתי השיטות. על מנת לקבל את התמונה המלאה ביותר של הנזק סקרנו 22 אתרים משני צידי הבקע. הסולמות המוכרים לדירוג נזק סייסי בישובים מסתמכים על סטטיסטיקה של נזקים מתוך כלל המבנים ולכן פחות מתאימים להשוואה בין מבנים בודדים. על כן הנזק הסייסי במבנים האומיים דורג על פי סולם ייחודי המותאם למבנים מונומנטאליים דומים. באתרים אשר שומרו או שוחזרו השתמשנו בתצלומים מתחילת המאה הקודמת אשר מקדימים פעולות אלו וחלקם אף קודמים לרעידת האדמה של 1927.

1.3. שכבות הרס וכרונ-סטרטיגרפיה :

זיהוי של שכבות חורבן ארכיאולוגיות תלוי בפרשנות. לא כל שכבת אפר מייצגת חורבן ולא בכל חורבן תימצא שכבת שריפה; לכל שכבת חורבן באתר ארכיאולוגי מאפיינים ייחודיים. על פי Finkelstein (2009) בכדי להגדיר שכבת חורבן יש למצוא לפחות שניים מהמאפיינים הבאים : א. שכבה שחורה של פיח המתארת שריפת קורות ומעליה שכבת אפר עבה; ב. שכבת הצטברות עבה של מפולת, היכולה להגיע לעובי של מטר ויותר; ג. הצטברות של ממצאים ראשוניים המתארת שכבת חיים. אך גם הגדרות אלו לא עונות על כל המקרים, למשל שכבת החורבן של נבי סמואל, כפי שתואר לעיל, מכילה רק את הצטברות המפולת העבה. מצד שני סימני ההרס הברורים והייחודיים באתר בשילוב עם שכבת מפולת זו לא משאירים ספק בדבר סוכן החורבן. לעיתים לא ניתן לשייך שכבת הרס באתר ארכיאולוגי לאירוע היסטורי מתועד. דבר זה עלול להוביל להסקת מסקנות מעגלית שבתורה עלולה לגרום שגיאות בפענוח ההיסטוריה (Avni et al., 2002; Rucker and Niemi, 2010). מכאן החשיבות הגדולה ליכולת ההתאמה בין שכבת הרס מתועדת ומתוארכת היטב באתר אחד לשכבה דומה באתר אחר. אנו מציעים להשתמש בנתונים מגנטיים לצורך השוואה זו (Shaar et al., 2011; Hervé et al., 2013).

2. מטרות העבודה :

מטרת המחקר היא פיתוח עקומות שינויי הכיוון של השדה המגנטי בפרק הזמן של 3200 השנים האחרונות בדרום אזור הלבנט על פי שכבות הרס באתרים ארכיאולוגיים. העקומות יוכנו על בסיס נתונים שנאספו בעבודה זו ותהווה שיטה לתארוך ארכיאומגנטי עתידי בלתי תלוי כהשלמה לשיטות התיארוך הרדיואקטיביות.

במסגרת העבודה נכללים :

1. מידת ההתאמה של חומרים ארכיאולוגיים לבדיקות כיוון ארכיאומגנטיות (צורות הדגימה, תהליכי הכנה ועיבוד ותכנון שלבי הניסוי).

2. השוואה בין נזקים שנגרמו במרחקים שונים ממקור הרעש.

3. השלמת הקטלוגים של רעידות אדמה היסטוריות במידע פיזי.

3. שיטות :

3.1. ארכיאומגנטיזם :

3.1.1. היסטוריה מקוצרת של המחקר המגנטי :

המגנט היה מוכר לפילוסופים היווניים כבר במאה התשיעית לפנה"ס. בסביבות המאה הרביעית לפנה"ס החלו להיבנות בסין מצפנים המבוססים על התכונות הכיווניות של המגנט. הם אף גילו את הסטייה של המחט המגנטית מהצפון האמיתי בעזרת השוואה בין ניווט מצפן לניווט כוכבים, סטייה זו מכונה דקלינציה (Declination) והיא מוגדרת כזווית בין הצפון המגנטי לצפון הגיאוגרפי. המחקר המדעי של התכונות המגנטיות החל בשנת 1296 עם עבודתו של פרגרינוס (Peter Peregrinus of Maricourt) על משיכה מגנטית. בניסוייו על קווי השדה של מגנטים הוא הגדיר את הקטבים של המגנט (Magnetic Poles), כנקודות האנטידיפוליות בהן נפגשים קווי השדה. בשנת 1544 גילה הרטמן (Hartmann) את רכיב האינקלינציה (Inclination) של השדה המגנטי, בעקבות תצפיתו כי מחט, היכולה לנוע במרחב תלת-מימדי, מתייצבת עם נטייה מסוימת ביחס לאופק. רכיב זה מוגדר כזווית הנטייה בין הווקטור המגנטי לאופק המקומי. החיבור הכולל הראשון בנושא מגנטיות, De Magnete, פורסם בשנת 1600 על ידי ויליאם גילברט (William Gilbert, 1544-1603). חיבור זה סיכם את כל הידוע עד אז בנושא וכלל גם את ניסוייו על כדור ממוגנט הומוגנית. הוא היה הראשון להבין שכדור הארץ מתנהג כמו כדור ממוגנט הומוגנית. העובדה כי השדה המגנטי של כדור הארץ (Geo-Magnetic Field - GMF) אינו קבוע ומשתנה עם הזמן, התגלתה לראשונה על ידי גליבראנד (Henry Gellibrand) בשנת 1635. שינויים אלו מכונים כיום "שינויים סקולריים" (Secular Variation). מאז גילוי זה ניסו חוקרים לחזות את השינויים בהתנהגות השדה. למשל בונד (Henry Bond) שבשנת 1648 חזה בהצלחה כי בשנת 1657 יהיה רכיב הדקלינציה באזור לונדון אפס. מעודד מהצלחה זו, הוא ניסה להמשיך ולחזות את התנהגות השדה העתידית בכל שנה עד לשנת 1706. תחזיותיו אכן היו מדויקות לפרקי זמן קצרים, אך הפסיקו לנבא כראוי לאחר מספר שנים. עובדה זו הביאה את החוקרים להבין כי שינויי השדה אינם קבועים ועל כן יש לאסוף תצפיות לאורך זמן ממגוון מקומות. ואכן תיעוד מדידות ישירות של כיוון השדה קיימות מאז המאות השש עשרה והשבע עשרה מנקודות קבועות כמו הערים לונדון וקופנהאגן. בשנת 1835 הצליח לראשונה פרידריך גאוס (Carl Friedrich Gauss, 1777-1855) בשיתוף פעולה עם ויליאם ובר (Wilhelm Eduard Weber, 1804-1891) למדוד בצורה ישירה את עוצמת השדה המגנטי (Intensity). מאז קיימות מדידות ישירות של הווקטור המגנטי המלא, אך כמות הנתונים ואיכותם אינה מספקת (Barracough, 1982; Malin, 1995; Lnos et al., 1999; Gintzburg, 2010). תוספת משמעותית למדידות ההיסטוריות הייתה העבודה של Jonkers et al. (2003) אשר שחזרו את כיוון השדה מאז 1510 עד 1930, מיומני ספינות וארכיונים. השינויים בשדה הגיאומגנטי מתקופות קדומות יותר, או מאזורים בהם חסר מידע, משוחזרים בעזרת חומרים אשר שימרו את כיוון ועוצמת השדה בנקודות ידועות בזמן. חומרים אלו כוללים שפכי בזלת, סדימנטים אגמיים וחומרים ארכיאולוגיים, לכל אחד מאלו יתרונות וחסרונות. למשל יכולת התיארוך של חומרים ארכיאולוגיים ושפכי בזלת טובה יותר מסדימנטים אגמיים מחד, ומאידך חומרים ארכיאולוגיים ושפכי בזלת מייצגים דגימה נקודתית של השדה המגנטי בזמן לעומת סדימנטיים שממצעים תקופה ממושכת ועל כן טובים יותר להבנת מגמות השינוי לאורך זמן.

3.1.2. המחקר הארכיאומגנטי :

המחקר הארכיאומגנטי החל בצרפת עם עבודותיו של תליה (Thellier) בשנת 1938, מאז התמקדו עבודות רבות במטרה לשחזר את שינויי שלושת הרכיבים של השדה המגנטי. מכיוון שהשדה המגנטי משתנה בין אזורים שונים בעולם, עבודות אלו יצרו עקומות שינוי (Secular Variation Curves - SVC) לאומיות מחומרים ארכיאולוגיים שנאספו בתחומי המדינה למשל: אנגליה (Cook and Belsh'e, 1958; Clark et al., 1988; Batt, 1997; Zananiri et al., 2007; Thellier, 1981; Bucur, 1994; Gallet et al., 2002), בולגריה (Kovacheva, 1997; Kovachava et al., 1998), דרום מזרח ארה"ב (Labelle and Eighmy, 1997), הונגריה (Ma'rtón, 2003; Ma'rtón and Ferencz, 2006), גרמניה (Schnepp and Lanos, 2005), איטליה (Tema et al., 2006) ויוון (De Marco et al. 2008; De Marco et al. 2013). עקומה ראשונית נוספת, לאוסטריה, הוכנה על ידי Schnepp and Lanos (2006) מנתונים שנאספו במדינות הסובבות במרחק של עד 500 ק"מ מ Radstadt, במרכז אוסטריה. בעבודות החדשות יותר ישנה נטייה להתעלם מגבולות פוליטיים, שהרי השדה המגנטי אינו מכיר בהן, לשם יצירת עקומות SVC אזוריות. כאלו למשל העקומות של מערב אירופה (Gallet et al., 2002), חצי האי האיברי (Go'mez-Paccard et al., 2006) ואזור הבלקן (Tema and Kondopoulou, 2011). עקומות נוספות, הכוללות רק את העוצמה פורסמו לגיאורגיה (Shaar et al., 2013) ולאזור המזרח התיכון (Genevey et al., 2003; Gallet et al., 2008; Ben-Yosef et al., 2008; Shaar et al., 2011).

3.1.3. תיארוך מגנטי :

העובדה כי שלושת הרכיבים של השדה המגנטי משתנים בזמן משמשת כבסיס לתיארוך מגנטי. זאת בשל ההנחה כי דוגמא מגיל לא ידוע תתאים, באופן אידיאלי, לשלושת הרכיבים השונים רק בנקודת זמן אחת. כך, באזורים בהם קיימות עקומות שינוי מפורטות ורציפות, ניתן להשתמש בהן ככלי תיארוך עצמאי ובלתי תלוי. רמת הדיוק האפשרית בשיטה זו תלויה באיכות העקומות (Lanos et al. 2011; Herv'e et al. 1999). Bucur (1994) הראתה כי ניתן לתארך חומרים ארכיאולוגיים בעזרת העקומות המגנטיות של צרפת ברמת דיוק של כ-25 שנים. Schnepp and Lanos (2005) הצליחו לתארך, בעזרת העקומות הראשוניות של גרמניה, ברמת דיוק של כ-50 שנים. לטענתם הדיוק יגדל לכ-25 שנים כאשר יתווספו לעקומות נתונים נוספים. לעומתם, Hus and Geeraerts (1998) ניסו לתארך חומרים מבולגריה על פי העקומות של אנגליה ושל ספרד ללא הצלחה. מכאן החשיבות הגדולה של איסוף מערכת נתונים מקומית, גדולה, מפורטת ומדויקת ככל הניתן.

3.1.4. מודלים גלובליים :

נתונים מקומיים שנאספו ברחבי העולם אפשרו יצירת מודלים מתמטיים גלובליים. אלו, מנסים לשחזר את התנהגות השדה המגנטי בעבר במקומות שונים בעולם בעזרת נוסחאות של הרמוניות ספריות (למשל Korte and Constable, 2003; Korte et al., 2005; Genevey et al., 2008; Donadini et al., 2009). המודלים השונים מציגים תוצאות שונות, זאת בשל טווחי שגיאה גדולים של הדוגמאות, עבודה על פי פרוטוקולים שונים, חומרים בעלי אמינות שונה ופיזור לא שווה של הנקודות במרחב הגיאוגרפי ובזמן (Ben-Yosef et al., 2008; Herv'e et al., 2014). בנוסף לכך, מודלים אלו סובלים מהטיה חזקה לחצי הכדור הצפוני בכלל ולאירופה בפרט בשל ריבוי הנתונים מאזור זה. בשל כל

אלו, האתגר העומד בפני המחקר הארכיאולוגי-מגנטי הוא איסוף נתונים בצפיפות גיאוגרפית גבוהה, המתעדים את כיוון ועוצמת השדה בצורה טובה ובעלי תיארוך מדויק ככל הניתן (Tauxe, 2003).

3.1.5. חשיבות המחקר :

השינויים בעוצמת ה GMF באזורנו נחקרו רבות (לדוגמא: Walton et al. 1990; Genevey et al., 2003a,b; Ben Yosef et al., 2008 a,b; Ben Yosef, 2009; Shaar et al., 2010; Shaar et al., 2011; Ertepinar et al., 2012), אך, מעט עבודות חקרו את שינויי הכיוון. להבנת ההתנהגות הקדומה של השדה הגיאומגנטי תרומה חיונית למספר תחומים :

1. הבנת השינויים הגלובליים בשדה המגנטי יתרמו להבנתנו השדה המגנטי, שינויים, גורמי השפעה והעתיד לקרות (Elsasser, 1946; Ben-Yosef et al., 2008b).

2. עקומות שינויים סקולריים מקומיות יהיו כלי תיארוך עצמאי ומדויק (Casas et al., 2007; Hervé et al., 2011).

3. לשדה המגנטי השפעה רבה על האוכלוסייה האנושית, בייחוד בעת המודרנית (Trivedi et al., 2005) אך גם בעבר. השדה המגנטי משפיע על רכבי חלל ולוויינים (Pinto et al., 1992; Heitzler, 2002), תיתכן השפעה גם על אורך היום (Mandea et al., 2000) והאקלים (Gallet et al., 2005). לאקלים השפעה מכרעת על האוכלוסייה האנושית, יצירת אוכלוסיות מורכבות וקריסה שלהן מיוחסות לשינויים אקלימיים קצרי טווח (Enzel et al., 2003; Dimond, 2005; Brooks, 2006; Ellenblum, 2012) ויש המייחסים לשינויים אלו את העלמות הנאנדרתלים (Tzedakis et al., 2007). בשל כך יש המציעים כי שינויים בשדה המגנטי שינו את מהלך ההיסטוריה של החברה האנושית (Gallet et al., 2006).

3.1.6. בחירת הדוגמאות :

העבודה מתבססת על איסוף דוגמאות מכוונות משכבות הרס ארכיאולוגיות, או שכבות אחרות, המתוארכות היטב, ברחבי הארץ. האתרים נבחרים על פי אמות המידה הבאות: א. איכות התיארוך הארכיאולוגי והרדיומטרי, במידת האפשר, על סמך זיהוי אירועים היסטוריים. ב. חשיבות לתקופות בהן ה GMF משתנה במהירות, אינו ידוע או נתון למחלוקת. ג. ריבוי אתרים הנתונים לכאורה לאותו אירוע הרס. ד. סוג הממצא הארכיאולוגי בר הדיגום ואיכותו. ה. חשיבות שימור האתר ופתיחתו לקהל. ו. איסוף הדוגמאות תלוי בממצאים אשר נחשפים בחפירות השונות או קיימים באתרים השונים. על החומר הארכיאולוגי להכיל אלמנטים מגנטיים ולהימצא באתרו, In Situ, על מנת שיהיה בר דיגום בצורה מכוונת. בעבודה נדגמו מספר אתרים (פירוט בפרק האתרים המגנטיים). הדוגמאות כוללות בין היתר תנורי אפיה ביתיים (תנורים/טבונים), כבשנים, חרסים שנשרפו באתרם באוריינטציה לשכבת הרס, לבני בוץ שרופות, לבני בזלת שרופות, סיגי נחושת, סדימנטים המכילים קשקשי מתכת ואף אפר של קורת עץ שרופה.

מתקני בישול נפוצים מאוד באתרים ארכיאולוגיים, בעיקר מתקופות הברונזה והברזל. הם החלו להופיע באזורנו בתקופה הניאוליתית הקדם קיראמית B, לפני כשבעת אלפי שנים (Lyons and D'Andrea, 2003). אנו משתמשים במינוח הכללי "טבון" (Tabune) בכדי לתאר מתקן בישול ביתי, אך מונח זה אינו מדויק. מתקני בישול ביתיים אלו נחלקים בצורה גסה לשניים *Ovens* ו *Hearths* כאשר *Hearths* או *Pebble Hearths* מתארים משטחי חלוקים אשר שימשו להבערת אש. מתקנים אלו החלו להופיע באזורנו בקורלציה עם הופעת "גויי היס" הפלשתים במאה השתים עשרה לפנה"ס (Hitchcock and Maeir, 2011). המונח *Ovens* מיוחס למתקנים צילנדריים הבנויים מבוץ. גם משפחת מתקנים זו נחלקת לשניים, תנורים (Tannurs) וטבונים (Tabuns). שני מתקנים אלו דומים מאוד בצורתם, הם בנויים כקונוסים, בדרך כלל לגובה של כ-70-80 ס"מ ובבסיסם חלוקים. השוני בין מתקנים אלו הוא בצורת הפעלתם, בעוד בתנורים חומר הדלק הונח בתוך התנור ונשרף, הטבונים חוממו בעזרת עירום של חומרי דלק מסביב למתקן והבערתם. תנורים בנויים בדרך כלל משלוש שכבות עיקריות, הפנימית בנויה משכבת אדמה עבה ומוחלקת. לאחר החימום שכבה זו נראית כמו חרס אך הרכבה קרוב יותר ללבני בוץ, חומר זה מוכר כ"חומר טבון". סביב שכבה זו, שכבה עבה של אדמה מהודקת לא שרופה, ככל הנראה להגברת הבידוד. שכבה זו מיוצבת בדרך כלל בעזרת שכבה נוספת של שברי חרס גדולים (איור 3). פעמים רבות נמצאות בתוך התנור שכבות נוספות של חומר טבון המייצגות שלבי שימוש מאוחרים שלו, שיפוצים או תיקונים, השכבה הפנימית ביותר היא השכבה המאוחרת ביותר ומייצגת את נטישת המתקן. פתחו של תנור בדרך כלל כלפי מעלה ומכונה "פי התנור" פתח זה משמש להכנסת חומר בערה וכלים לתוך המתקן (משנה, כלים ח', 3). פעמים רבות ישנו פתח נוסף, כ-10-12 ס"מ קוטר, קרוב לתחתית התנור. פתח זה מכונה "עין התנור" והוא משמש לאוורור והזנת הגחלים (משנה, כלים ח', 7; תוספתא, אוהלות ה', 7). בישול בתנור מתחיל בהבערת אש חזקה בתוכו, טמפי השרפה הראשונית יכולה להגיע אל מעל 500°C ולעיתים עד 900°C (Gur-Arieh et al., 2013), כאשר האש דועכת ונותרים הגחלים, מוכנסים גושי הבצק ומודבקים לדפנות התנור הפנימיות כמו שמתואר "לישתן ועריכתן בחוץ ואפיתם בפנים" (תוספתא, מנחות יא', 1). פעמים רבות, נמצאים מספר תנורים במקביל, אם זה ליד זה ולעיתים תנור מחודש בתוך או על שולי תנור קודם. תופעה זו, מוכרת גם במשנה (כלים י', 7) והיא נובעת מחולשת המתקן. יתכן שתופעה זו גם מעידה על הקפדת היהודים על דיני טומאה וטהרה שכן יש להרוס תנור שנטמא (למשל על ידי נפילת שרץ פנימה) (ויקרא יא', 35; תוספתא, עורלה א', 7). לעומת התנור, הטבון הינו מתקן קוני סגור עם פתח צדדי, בהפעלתו נערם חומר הדלק סביבו מצידו החיצוני. מתקן נוסף נפוץ באזור הינו ה"כיריים". מתקן מלבני נמוך זה כולל בדרך כלל שני פתחים עגולים בראשו ועוד פתח אוורור קטן בחזיתו. גם הוא נבנה מאדמה ושימש לבישול קל בכלי חרס כמתואר במשנה (כלים ה', 2) (Hadas, 2011). חומר הדלק העיקרי במרחב היה עץ, עם דונג בע"ח כחומר בערה משלים. הבחנה זו חוצה תרבויות, תקופות ומחוזות גיאוגרפיים ואקלימיים במרחב הקרוב (Gur-Arieh et al., 2014).

חתך סכמתי של תנור

בין התנור

שכבה פנימית של חומר טבון

שכבה תיכונה של אדמה מהודקת

שכבה חיצונית של שברי חרסים



12

3.1.8. עבודת שדה והכנה לעבודת מעבדה :

ישנן מספר דרכים לדגום בצורה מכוונת כאשר הבחירה בצורת הדגימה תלויה בסוג ומצב החומר הארכיאולוגי, קשיותו, רגישות האתר הארכיאולוגי והיכולת המעשית למדוד אוריינטציה ולדגום בצורה מכוונת. בחירת הדוגמאות וטכניקת הדגימה חשובה רבות להצלחת הניסוי ולקבלת נתונים אמניים (Lnos et al., 1999; Tauxe, 2003). בעבודה זו השתמשנו בשלוש שיטות מקובלות :

1. קדיחת גלעינים מכוונים : בשיטה זו נקדחים גלעינים מתוך דוגמאות מסיביות בעזרת מקדח Pomeroy EZ Core Drill model D261-C (איור 4א). מקדח זה, בעל מנוע בנזין ומערכת קירור מים מותאם לעבודה עם חומרים קשים במיוחד כמו בזלת. בכדי לייעל את העבודה ולהקטין את הפגיעה באתרים הנדגמים נרכשה מקדחה ידנית מופעלת חשמל ומקוררת מים המאפשרת לקדוח גלעינים מכוונים בקוטר של 0.5" (איור 4ב). את האוריינטציה של הקידוח ניתן למדוד בעזרת Core Orienting Fixture של חברת ASC Scientific (איור 4ג). מתקן זה כולל בין היתר מצפן-צל שמש על מנת לבטל את השפעת הקרקע או שדה בזלת על הכיוון הנמדד במצפן המגנטי. הגלעינים שנקדחו בשדה בקוטר 1" מנוסרים לאורך של כ 2.5 ס"מ במסור Dual Blade Rock Saw של חברת ASC Scientific כדי שיתאימו למכשירי המדידה.



איור 4: דיגום בעזרת מקדחה; א. מקדחה פלאומגנטית מקוררת מים ומופעלת בנזין, ראש הקידוח המורכב בקוטר 1" (צילום: סרגיי ויקנוב); ב. מקדחה פלאומגנטית מקוררת מים חשמלית, ראש הקידוח המורכב בקוטר 0.5" (צילום: סרגיי מיקנוב); ג. Core Orienting Fixture עם מצפן צל שמש למדידת אוריינטציה של קידוח.

יתרונה של שיטה זו באפשרות לאסוף בקלות יחסית דגימות רבות ומכוונות המתאימות למכשירי המדידה ואינן מצריכות עיבוד נוסף. חסרונותיה בכך שהיא מתאימה רק לחומרים מאסיביים, כמו סלעי בזלת או לבני בוץ שרופות היטב, ומשאירה סימנים רבים בשטח העבודה ועל כן בעייתית באתרים המיועדים לשימור.

2. דיגום בעזרת קופסאות מדידה : שיטה זו מתאימה לחומר רך כמו אפר שריפה, חומרים סדימנטריים או חומר ארכיאולוגי מתפורר. בשיטה זו נעשה שימוש בקופסאות פלסטיק במידות פנימיות של 2*2*2 ס"מ של חברת ASC Scientific. קופסאות אלו נדחפות לתוך החומר הנדגם ועליהן נמדדת האוריינטציה בעזרת מצפן גיאולוגי (איור 5).

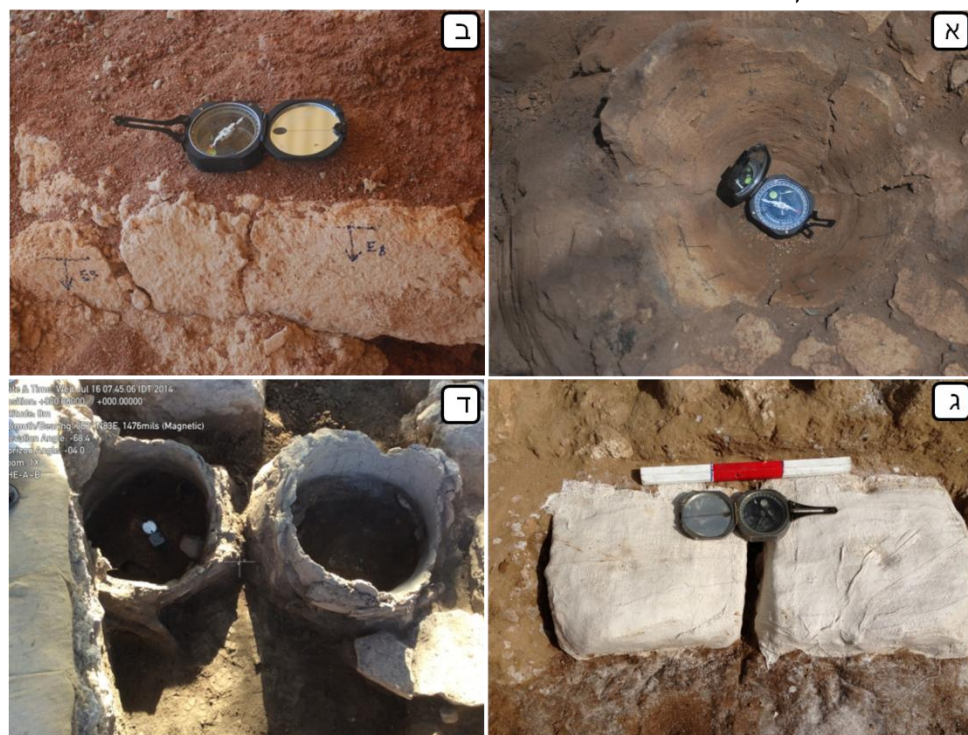
יתרונותיה של שיטת דיגום זו ביכולת לדגום מגוון רחב של חומרים ובאפשרות לקחת את הקופסאות ישירות למכשיר המדידה במעבדה, ללא צורך בעיבוד נוסף. חסרונותיה בכך שבחומר מתפורר קשה למדוד אוריינטציה. כמו כן, קשה לשמר את החומר במצבו המקורי, ללא תזוזה.



איור 5: דיגום בעזרת קופסאות מדידה; א. סדימנט עם קשקשי מתכת (Scales) מתל צפית; ב. שכבות אפר מתל מגידו, נדגמו מהבנקט.

3. השיטה השלישית והמועדפת מאפשרת לדגום כמעט כל חומר ארכיאולוגי מכוון, אך היא מצריכה עבודת עיבוד והכנה רבה. בשיטה זו אוריינטציית החומר הארכיאולוגי נמדדת באתר הדגימה (איור 6). במידה והדוגמאות לא יציבות מספיק או קיים חשש שיתפוררו במהלך הדגימה, ניתן לייצבן בעזרת גבס או דבק. בשלב הבא, הדוגמאות נלקחות למעבדה ומודבקות בעזרת דבק אפוקסי EP-520 בכדי למנוע התפוררות. בהמשך, הדוגמאות מנוסרות במסור מקורר מים לגודל של כ-2*2*2 ס"מ. לאחר הניסור קצוות הדוגמא משויפות בנייר זכוכית, זאת בכדי לשלול חדירת פרגמנטים מתכתיים מהמסור שעלולים להשפיע על תוצאות הניסוי. הדוגמאות מוכנסות לקופסאות מדידה של חברת ASC Scientific, שם הן מודבקות בשנית על מנת למנוע תזוזה של הפרגמנט במהלך הניסוי (איור 7).

איור 6: דיגום בעזרת מדידת דיפ. א. פיטס משכבת חורבן בתל חצור; ב. לבני בוץ שרופות מהארמון בראש תל חצור; ג. לבנות בוץ מתפוררות משכבת החורבן בתל אשקלון; ד. טבונים מתל מגידו.



היתרונות בשיטה זו רבים והם כוללים את האפשרות לעבוד עם סוגים רבים של חומרים וגדלי דגימה מגוונים. במקרה של דגימות קטנות מאוד, ניתן לעטוף אותן בדבק ואז לנסר לגודל הרצוי. דוגמאות מתפוררות ניתן להדביק בעזרת דבק מדולל בתנאי וואקום, כאשר הדבק חודר לחללים הפנימיים של הדוגמא וממלא אותם. חסרונותיה העיקריים הם בצורך בעבודת עיבוד והכנה רבה לכל דוגמא ובהיותה הרסנית לחומר ארכיאולוגי. על כן, שיטה זו מתאימה במיוחד לחומרים ששימורם חסר חשיבות לקהילה הארכיאולוגית, כמו חרסים או טבונים אותם ניתן לקחת בשלמותם מהשטח ולעבד בשלב מאוחר יותר. חיסרון נוסף של צורת עבודה זו הוא השגיאה היחסית הגדולה של כל פרגמנט הנובע מתהליכי העבודה הרבים. שגיאה זו ניתנת להקטנה בעזרת עיבוד כמות גדולה של פרגמנטים ומבחנים סטטיסטיים.



איור 7: דוגמאות שונות מוכנות למדידה.

3.1.9. עבודת מעבדה :

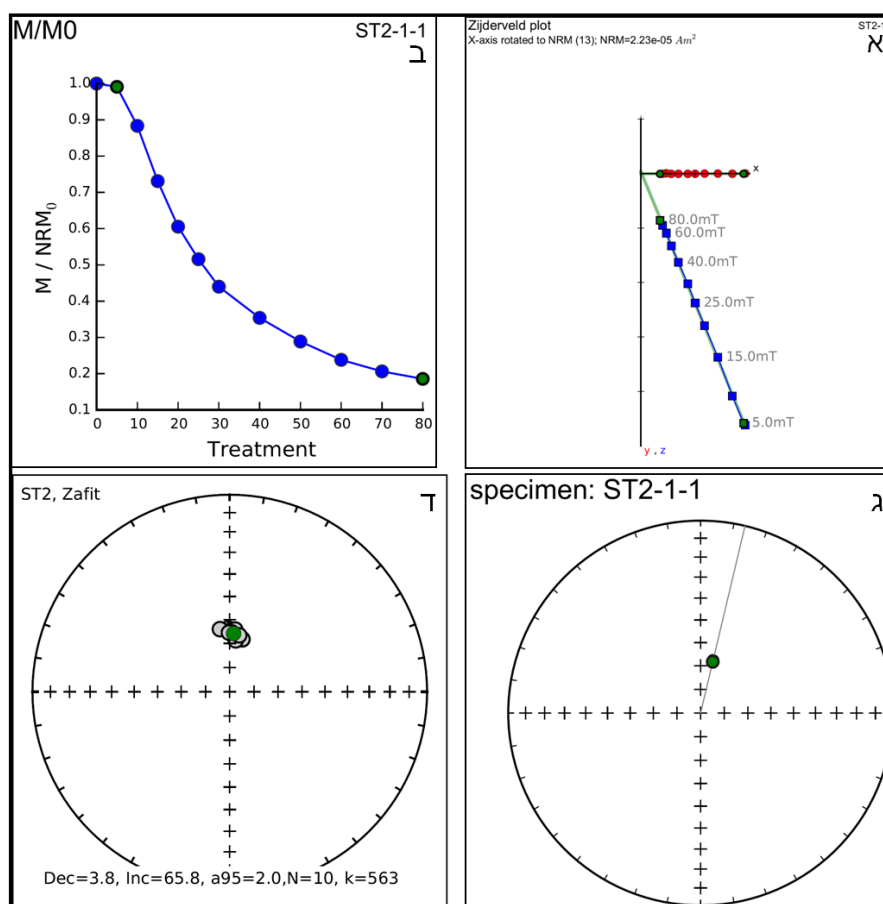
הווקטור המגנטי הטבעי של דוגמא, Natural Remanence Magnetization (NRM), כולל רכיבים רבים. מטרת הניסוי הארכיאומגנטי היא להפריד רכיבים אלו, בכדי לאפיין את סביבת ההיווצרות, גילם ויציבות רכיבים אלו (Kirschvink, 1980).

הניסויים נערכו במגנטומטר אוטומטי, במעבדה הפלאומגנטית על שם פרופ' חגי רון ז"ל באוניברסיטה העברית (איור 8). הדוגמא מוכנסת למכשיר באוריינטציה לכיוון שנמדד בשדה בתוך המכשיר ישנו סליל המסתובב סביב הדוגמא במהירות ובכך הוא יוצר Fluctuating Electromotive Force (EMF). ה EMF פרופורציוני למגנט של הדוגמא וניתן לקבוע אותו ביחס לשלושת הצירים של הדוגמא X1, X2, X3. בתום הניסוי, מתקבל הכיוון של הווקטור המגנטי הטבעי, NRM, של הדוגמא. הרכיבים הגיאוגרפיים של הווקטור המגנטי של מיוצגים על הגרפים השונים, רכיבי הכיוון על דיאגרמת זיידרפלד (Zijderveld) (איור 9א) אינקלינציה בנקודות כחולות ודקלינציה באדומות) והעוצמה על עקומת M/M0 (איור 9ב). מכיוון שמדידת עוצמה מורכבת מאוד יש להתייחס למדידה ראשונית זו כעוצמה יחסית בלבד. דרך נוספת להציג את תוצאות הכיוון היא בעזרת סטריאוגרמה משמרת שטח (איור 9ג). הזווית נקודה-מרכז-צפון בסטריאוגרמה מייצגת את הדקלינציה ומרחקה מהמרכז מייצגת את האינקלינציה. על שפת הסטריאוגרמה האינקלינציה תהיה 0 ובראשית הצירים היא תהיה 90°. לאחר המדידה הראשונה, הדוגמא עוברת תהליך דה-מגנטיזציה (Demagnetization - מחיקה חלקית של הסיגנל המגנטי), ונמדדת שוב, אנו עבדנו בשיטת שדה מגנטי מתחלף (Alternating Field - AF). התהליך חוזר על עצמו תוך הגדלת צעדי המחיקה עד למחיקה של כ 90% מהסיגנל המגנטי המקורי או הגעה לעוצמת מחיקה של 120mT

(בערך פי שלוש מעוצמת השדה הקיימת כיום באזורנו) שזוהי מגבלת המכשיר. בשלב הבא מחושב הרכיב העיקרי של הדוגמא (הקווים והנקודות הירוקות בגרפים). זאת על ידי העברת קו בין מדידות הכיוון לראשית הצירים. בסוף העבודה על הדוגמא הבודדת, מחושב ממוצע ווקטורי של פישר (Fisher, 1953) על כל הרכיבים העיקריים של כל הדוגמאות מאותו אתר (איור 9) (Watson and Irving, 1957; Kirschvink, 1980). אתר מגנטי מוגדר כנפח של חומר אשר עבר תהליך מגנוט באותו הזמן (Tarling, 1983).



איור 8: המגנטומטר במעבדה הפלאו-מגנטית על שם פרופ' חגי רון ז"ל.



איור 9: הצגת תוצאות מגנטיות; א. דיאגרמת זידרפלד (Zijderveld) לדוגמא ST2-1-1, אינקלינציה בכחול, דקלינציה באדום, הרכיב העיקרי מסומן בירוק; ב. עקומת M/M_0 לדוגמא ST2-1-1; ג. סטריאוגרמה משמרת שטח לדוגמא ST2-1-1; ד. ממוצע פישר לאתר ST2 מתל צפית עם התוצאות הסטטיסטיות.

3.2. ארכיאואיסטמולוגיה :

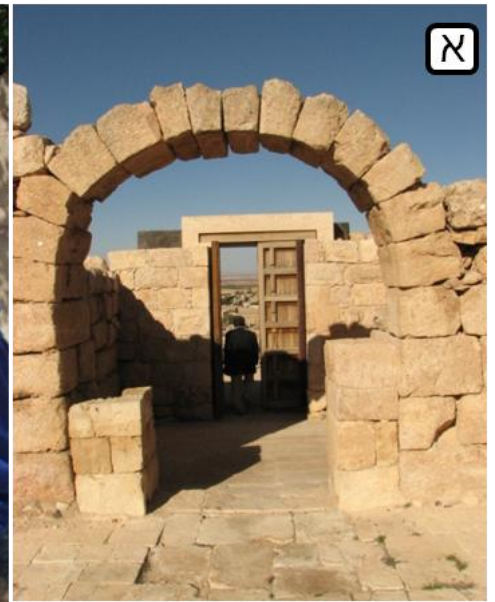
3.2.1. זיהוי נזקים ממקור סיסמי :

אחד האתגרים במחקר הארכיאואיסטמולוגי הוא זיהוי נזקים ממקור סיסמי והבחנה בין לבין נזקים ממקורות אחרים. מכאן החשיבות להגדרה של נזקים מסוג זה באתרים ארכיאולוגיים. נזקים אלו (Earthquake Archaeological Effects - EAE) נחלקים לשלוש קבוצות עיקריות (Rodríguez-Pascua et al., 2011): א. נזקים למבנים הבנויים על העתק פעיל (On Fault), כולל תזוזה של חלקי קירות ומבנים ביחס לחלקם האחר. דוגמא מרשימה לנזק מסוג זה נחשף במיצד עתרת (Marco et al., 1997; Ellenblum et al., 1998). ב. נזקים ישירים המתאימים לרעידה של מבנים (Off Fault), הכוללים פינוק קטומות של אבני גזית, שבירה של היקף בסיס עמודים או בשולי חוליות של עמודים, סדקים החוצים מספר נדבכים של אבני גזית, קירות נטויים, דפורמציה של קירות ורצפות, בליטה או נפילה של מספר אבנים מתוך קיר, שקיעה של אבני גזית בקמרונות או קשתות (בדרך כלל אבן הראשה), רוטציה של בלוקים או מבנים, מרצפות שבורות בשל נפילת אובייקטים, סימני התנזלות, מזרקות בוך ונפילה של קירות, בניינים ועמודים. ג. עדויות תומכות לנזק סיסמי (Indirect Effects) כוללות קבורה של ממצאים ראשוניים המייצגים שכבת חיים, חפצי ערך כמו מטבעות, פסלים ופסיפסים ושלדים אנושיים או של בעלי חיים תחת המפולות. סימני שריפה נרחבים, שיפוץ מבנים, מיחזור חומרים הרוסים, סימני צונאמי, עדויות לבניה אנטי-סיסמית ונטישה לא מוסברת של ישובים או הפסקה אחרת ברצף הארכיאולוגי מהווים גם הם עדות עקיפה לנזק סיסמי (Ferrari and Guidoboni, 2000; Ambraseys, 2006a,b; Marco, 2008; Rucker and Niemi, 2010; Rodríguez-Pascua et al., 2011).

3.2.2. אפיון נזקים בחורבת מנים :

בארמון נפוצים סימנים לנזקים ממקור סיסמי. נטייה של קירות ורצפות, סדקים רחבים החוצים אבני גזית ופינוק קטומות מעידים ישירות על נזק סיסמי. שלדים קבורים, סימני שריפה ושימור של חפצי ערך, כמו פסיפסים, תחת המפולות מהווים עדות עקיפה לנזק זה (איור 11) (Cytryn-Silverman, pers. com.). מרבית העדויות הישירות מרוכזות ברצועה צרה, ברוחב ~15 מטר, בכיוון צפון-דרום לאורך החלק המזרחי של האתר. תצפית זו העלתה את ההשערה שהעתק בכיוון צפון-דרום קבור בתת הקרקע וגורם לריכוז נזק זה.

ניתן לזהות לפחות שני אירועי הרס אשר פגעו במבנה. הראשון, אשר פגע במפלס המקור מתאים לאירוע סיסמי מאמצע המאה השמינית (Cytryn-Silverman, pers. com.). אירוע שני ניתן לזהות בשכבת שריפה דיסקרטית הנראית בערמת העפר הלא חפורה במרכז האתר, בגובה של כמטר מעל הרצפה המקורית. סימני שריפה בגובה דומה נראים על מרבית הקירות החשופים של המבנה. בנוסף, בשכבה זו נמצאו מפולות ושלדים הקבורים תחתם, אלו מהווים עדות תומכת למקור סיסמי לנזק.





ח



ז



ו



ט



יב



יא



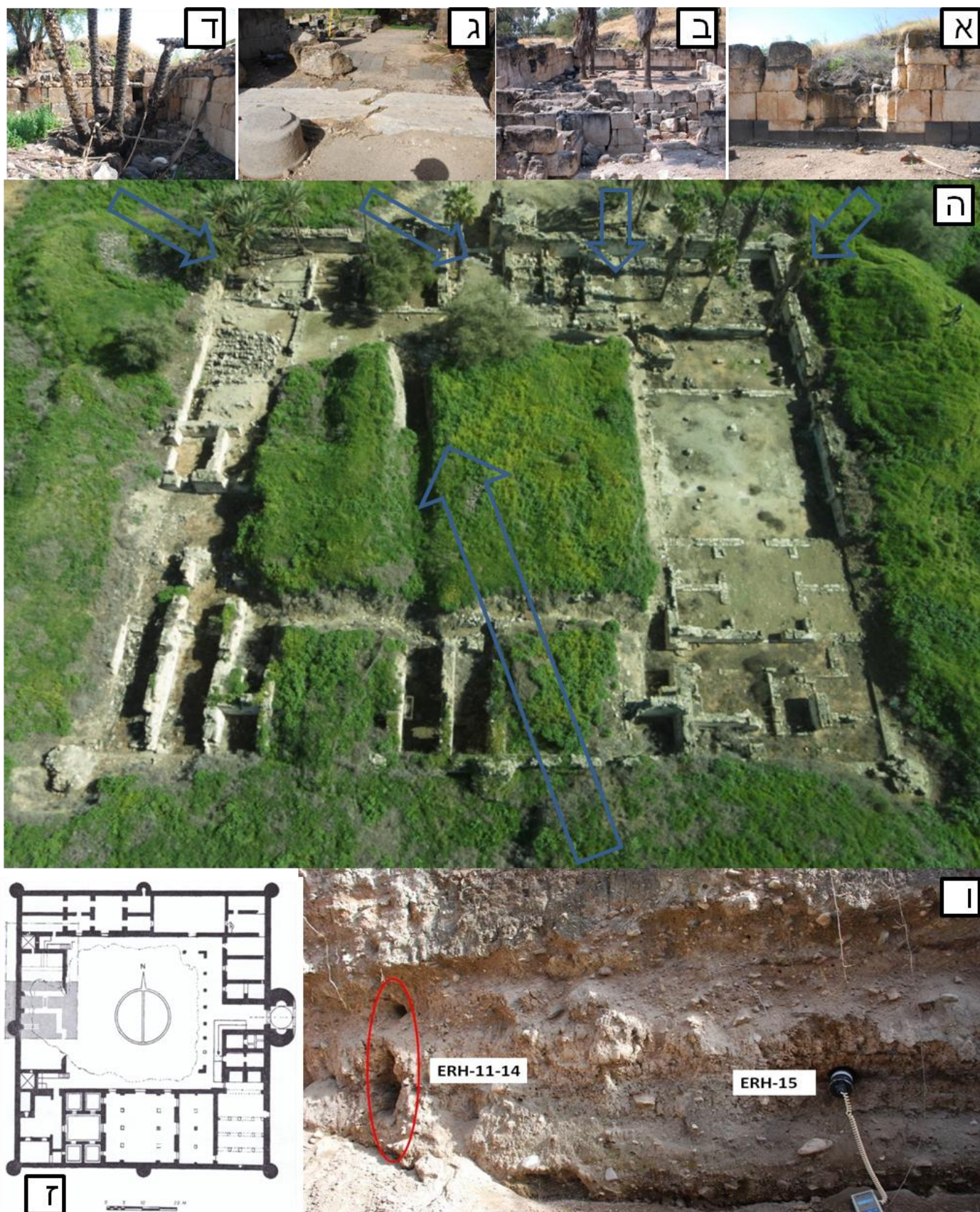
יד



יג



איור 10: נזקים סיסמיים אופייניים באתרים ארכיאולוגיים. א. אבן ראשה שקועה בקשת, קאסר חאלבט. ב. בלוק מסותת בולט ממקומו קאסר קסטל. ג. בלוקים מוזזים בצורת מספרים, קאסר קסטל. ד. פסיפס שנשמר תחת המפלות, נראות דפורמציות ברצפה, קאסר חאלבט. ה. סדק גדול החוצה נדבכים רבים של אבני גזית עם לבנה חסרה, קאסר חאלבט. ו. מפולות נרחבות באום אל-ג'ימל. ז. "בטן" בתוך קיר, קאסר חאלבט. ח. קיר מרוסק ונפול, קאסר טובה. ט. קיר נוטה בקאסר עזרק. י. קיר שהתעוות למתאר גלי, אום אל-וואליד. יא. שורת קירות נפולים, קאסר טובה. יב. לבנה עם פינות קטומות, קאסר חאלבט. יג. סדקים רחבים במחרב, חורבת מניס. יד. עמודים נפולים בכיוונים שונים, בית שאן. טו. תזוזה של חלק מקיר קאסר בורקו. טז. בסיס עמוד עם שוליים מרוסקים, אום אל-וואליד. יז. סדק רחב החוצה מספר נדבכים של אבני גזית, קאסר עזרק. יח. תזוזה של חלק מקיר, אום אל-וואליד. יט. שורת עמודים שנפלו לאותו כיוון, סוסיתא. כ. סדק רחב החוצה מספר נדבכים של אבני גזית, קאסר חאלבט.

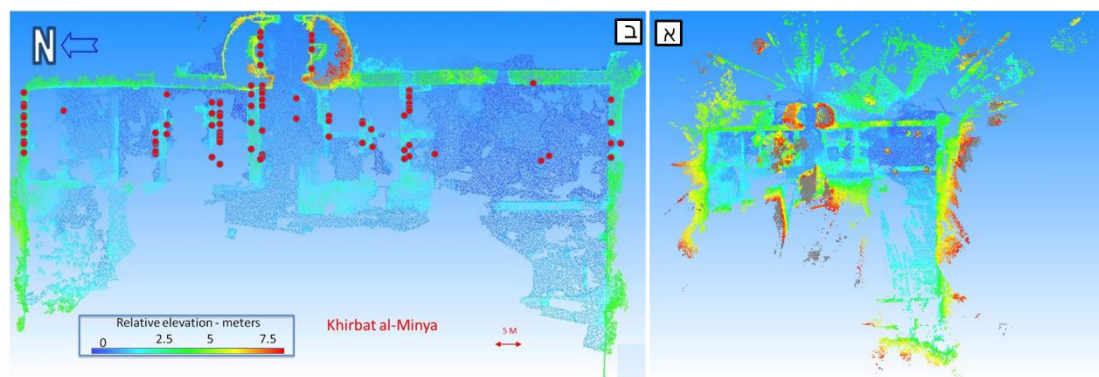


איור 11: נזקים בחורבת מנים; א. הסדקים הרחבים במחרב; ב. החדרים מצפון למסגד מבט דרומה; ג. השבר במדרגת הכניסה לארמון; ד. בלוקים חסרים בקיר הצפוני; ה. צילום אוויר של הארמון במבט מזרחה (צילום: יניב דרבסי); ו. דגימות ה OSL מהעמודה הסטריטיגרפית בערמת העפר במרכז המבנה; ז. מפת האתר, מתוך Grabar, et al., (1960).

העבודה באתר כללה סקירת שטח בשדה, ממפות ומתצלומי אוויר, מיפוי פרטני של הנזקים הגדולים בחלקו המזרחי של המבנה, יצירת מודל תלת ממדי בעזרת סורק לייזר קרקעי (Lidar) של חלק זה, תיארוך שכבת החורבן המאוחרת בשיטת OSL וסקר סייסמי מצפון לאתר במטרה לזהות גורמי ריכוז נזק אפשריים בתת הקרקע.

על מנת לאפיין את הנזק באתר, הוכן מודל מבוסס סריקות לייזר בהפרדה גבוהה, המתעד את הגיאומטריה התלת מימדית של המבנה. מודלים תלת מימדים באתרים ארכיאולוגיים יכול לתרום לתיעוד ואפיון הנזקים למבנה מסוים. תיעוד זה יכול לאפשר יצירת מודל תיאורטי של האתר לפני ההרס. השוואה אשר יכולה לעזור בהבנת מאפייני האירוע הסיסמי או שלילת גורמי נזק אחרים למשל אם ניתן למתוח קו דיסקרטי וישר ביניהם ניתן להניח כי ישנו העתק קבור תחת המבנה. (Marco et al., 1997; Hinzen et al., 2011; Caputo et al., 2011; Hinzen et al., 2012; Schreiber et al., 2012). חשיבות נוספת למודלים אלו היא תרומתם לשימור ותיעוד של האתרים לדורות הבאים. החשיפה של אתרים אלו לעיני החוקרים והקהל הרחב חושפת אותם גם לפגעי מזג האוויר, נזקים טבעיים ואף אפשרות של פגיעה מכוונת על ידי בני אדם. מודלים תלת ממדיים מאפשרים שימור של המידע המקורי לצורך מחקרים עתידיים, יכולות שחזור והצגה מתקדמות ואף לצורכי תיירות וירטואלית (Remondino and Rizzi, 2009; Ene and Radvan, 2010; Remondino, 2011). בין העבודות בתחום ראוייה לציון העבודה של Guidi et al. (2008) שיצרו מודל תלת ממדי כולל לפרום של פומפי, איטליה, תוך שימוש במגוון רחב של טכניקות למידול תלת ממדי ביניהן צילומי אוויר, סריקות לייזר וצילומי סטריאו.

אנו השתמשנו במכשיר Leica-ScanStation קרקעי (איור 11). מכשיר זה מתבסס על טכניקה של קרן לייזר חוזרת. בשיטה זו נשלחת מהמכשיר קרן לייזר, כאשר הקרן פוגעת במשטח מחזיר היא שבה אל המכשיר אשר מודד את זמן ההחזרה ומחשב מתוך כך את מרחק הנקודה מהמכשיר. בצורה זו, כל נקודה במרחב מוגדרת בעזרת מרחק וזווית מהמכשיר. ענן הנקודות המתקבל יוצר תמונה תלת מימדית בהפרדה מוגדרת מראש. על מנת לקבל תמונה מלאה, האתר המבוקש נסרק ממספר כיוונים וזוויות שונות וענני הנקודות מחוברים לענן כולל (איור 12) (Yerli et al., 2010). בשלב הבא, הענן מנוקה מגופים לא רלוונטיים כמו צמחיה, שלטים וכו'. כך מתקבל מודל תלת מימדי נקי של האתר בעל העניין (איור 12). על מודל זה ניתן לזהות ולחשב זוויות נטייה של קירות, תזוזה יחסית של גופים ואף להשוות למודל תיאורטי של המבנה. הסריקות חוברו ועובדו בתוכנת Leica-Cyclone ובהמשך ב-3D-Reshaper 7.1 של חברת TECHNODIGIT בהשגחתו של דר' אמיר שגיא מהמכון הגיאולוגי. המודל של חלקו המזרחי של הארמון מתעד את הנזקים העיקריים בחלק זה של המבנה. בנוסף, תיעוד ידני של הסדקים הגדולים בחלק זה אפשר מיפוי על גבי המודל. בכדי למפות את תת הקרקע באזור נערכו שני סקרים סייסמיים מצפון לארמון בעזרת פרופ' משה רשף, דר' נטע וקסלר וצוותם מאוניברסיטת תל אביב. בכדי לקבוע את זמן ההרס תוארכה שכבת ההרס המאוחרת והעמודה הסטריגרפיה בשיטת OSL בעזרת גב' גלה פינקלשטיין ממעבדת ה-OSL של המכון הגיאולוגי ובהדרכת דר' נעמי פורת.



איור 12: סריקות של חורבת מניס. א. ענן הנקודות לפני ניקוי. ב. המודל אחרי ניקוי, בנקודות האדומות מיפוי ידני של הנזקים הגדולים.

תיארוך בתרמולומיניסנציה (Optical Stimulated Luminescence - OSL): בשיטה זו נמדדת כמות הקרינה אשר נאגרה בגרגירי קוורץ ומשוות לקרינת הרקע השנתית באתר. בזמן חשיפה של גרגר קוורץ לשמש מתאפסת האנרגיה האגורה בו, ובזמן קבורה סופג גרגיר הקוורץ קרינה מהסביבה. אלקטרונים חופשיים בתוך הגביש סופגים אנרגיה זו, אשר מאפשרת להם לנוע לרמת אנרגיה גבוהה יותר, עד להגעה לעיוות בשריג המשמש כ"מלכודת אלקטרונים". בזמן חשיפה מחודשת לאור משחררים אלקטרונים אלו את הקרינה האגורה בהם בצורת אור - לומינסנציה (זהירה). על כן כמות האור הנפלטת מגרגר קוורץ בזמן איפוס הסיגנל מייצגת את כמות הקרינה שנאגרה. אספנו חמש דגימות מהעמודה הסטרטיגרפית של האתר (איור 11). דגימות לניסויים מסוג זה נאספות ומטופלות בחשיכה מוחלטת. כל דגימה עברה סינון וניקוי במגוון דרכים על מנת להפריד את גרגרי הקוורץ הרצויים וחלוקה ל-20-22 דיסקיות דוגמית (טבלה 1). בזמן הניסוי דוגמיות מוקרנות והאור המשתחרר מהן נמדד, וכך מחושבת כמות הקרינה האגורה בדוגמית. קרינת הרקע השנתית מחושבת בעזרת חיבור של מדידת הקרינה הקוסמית באתר, אחוז היסודות הרדיואקטיביים וכמות המים בכל דוגמא. זמן הקבורה, בשנים, מחושב על ידי חלוקת כמות הקרינה האגורה בדוגמית חלקי כמות הקרינה השנתית (Huntley et al., 1985; Aitken, 1998).

סקר רפלקציה סייסמית: סקר מסוג זה מתבסס על מקור אנרגיה (במקרה זה, סטודנט עם פטיש והרבה כוח רצון), המעורר גלים סייסמיים בפני השטח. הקרניים מתפשטות בתת הקרקע ובהגיען לאזורי מעבר נוטות לשנות את כיווןן. אזורי מעבר אלו, בהם משתנה מקדם השבירה של התווך, מאפיינים שינויים ליתולוגיים בתת הקרקע כמו מעבר בין יחידות סלע שונות. שינוי הכיוון של הגלים הסיסמיים מוביל להחזרה חלקית שלהם אל פני השטח, שם הם נקלטים על ידי מערך קולטנים (גיאופונים). חישוב זמני ההגעה של הגלים הסיסמיים מהמקור, דרך תת הקרקע אל מערך הקולטנים הפרוס על פני השטח, מאפשר קבלת מידע על מבנה תת הקרקע. בזמן איסוף הנתונים נפרשת שורת הקולטנים בקו ישר לאורך קו הסקר ובמרווחים אחידים. הגלים הסיסמיים מעוררים בעזרת מכות פטיש על משטח מתכת במרחקים קבועים לאורך קו הסקר (תחנות). בזמן המגע בין הפטיש למשטח נסגר מעגל הפעלה, המאותת למערכת להתחיל להקליט את הגלים המגיעים לקולטנים השונים. הגלים החוזרים מוקלטים על ידי הקולטנים כגל חיובי או שלילי בהתאם לכיוון הגעתם. הקלטה זו מכל קולטן, מכונה ערוץ. עוצמת הגלים המעוררים, אשר נקבעת על פי גודל הפטיש, זמן ההקלטה, כמות החזרות בכל תחנה והמרחקים ביניהם נקבעים על פי תנאי השטח ובהתאם ליכולת ההפרדה הרצויה בעומקים השונים. הנתונים הגולמיים

Khirbat al-Minya OSL results 2013

Sample	Depth (cm)	Water contents (%)	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Ext. α ($\mu\text{Gy/a}$)	Ext. β ($\mu\text{Gy/a}$)	Ext. γ + cosmic ($\mu\text{Gy/a}$)	Total dose ($\mu\text{Gy/a}$)	Aliquots used	De (Gy)	Age b. (years b. 2013)	OD (%)
ERH-11	411	19	1.74	1.7	1.2	4	1196	484	1684 $\pm$ 71	22/22	1.59 $\pm$ 0.03	940$\pm$40	7
ERH-12	400	19	1.99	0.9	1.3	3	1255	571	1829 $\pm$ 76	22/22	1.51 $\pm$ 0.03	830$\pm$40	5
ERH-13	383	27	1.49	0.9	1.9	3	909	498	1541 $\pm$ 55	20/21	1.41 $\pm$ 0.03	910$\pm$40	9
ERH-14	348	16	1.41	1.1	2.3	4	996	510	1510 $\pm$ 61	21/22	1.40 $\pm$ 0.03	930$\pm$40	7
ERH-15	400	24	1.66	1.0	2.6	3	1050	571	1625 $\pm$ 61	22/22	1.50 $\pm$ 0.03	910$\pm$40	5

74-150 μm quartz was purified by sieving to the selected grain size, dissolving carbonates by 10% HCl, removing heavy minerals and most feldspars by magnetic separation, oxidation of organic matter by 17% H₂O₂, and dissolving the remaining feldspars and etching the quartz with 42% HF (for 40 min), followed by soaking in 16% HCl to dissolve any fluorides which may have precipitated. De was measured on 2 mm aliquots using a modified single aliquot regenerative (SAR) protocol. Dose recovery tests over a range of preheats showed that a recovery of 95% can be obtained using a preheat of 10s @ 260°C, a test dose of ~4.5 Gy and a test dose preheat of 5 s @ 220°C. All samples show good recycling ratios within 6% of 1.0 and negligible IR signals. Alpha and beta dose rates were calculated from the radioactive elements measured by ICP MS (U&Th) or ICP-AES (K). Gamma+cosmic dose rates was measured in the field using portable gamma scintillator. Gamma+cosmic was not measured for sample ERH-12, and was assumed to be as of sample ERH-15 which is from the same layer. Aliquots used – the number of aliquots used for the average De out of the aliquots measured. OD – Overdispersion. De averages and errors were calculated using the central age model.

טבלה 1: תוצאות OSL מחורבת מינים.

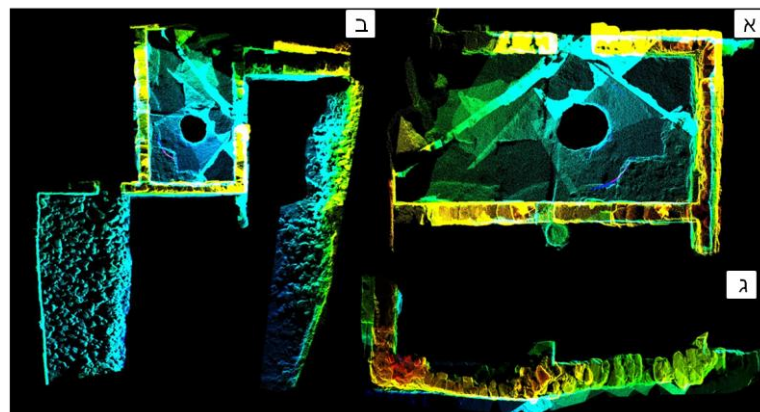
מוקלטים בזמן חזרה כפול (Two Way Time - TWT) המייצג את זמן התנועה של הגל אל המחזירקול (Reflector) ובחזרה אל הגיאופון. על כן, מתייחסים רק למחצית הזמן, המייצג את תנועת הגל הסייסמי עד הגעתו למחזירקול. בכדי להדגיש את האות העיקרי, מתוך כל הקריאות המתקבלות, נעשית פעולת "עירוס" של מספר נתונים מאותו ערוץ. כל עירור גלים סייסמיים (שחרור אנרגיה), נעשה מספר פעמים והקריאות מאוחדות לשם הגברת האות הנמדד מול רעשי הרקע. עוצמת הגל דועכת עם המרחק מקור-חישן, על כן פיזור הגיאופונים במרחב, לעומת שחרור האנרגיה הנקודתי, יוצר עיוות של הנתונים. משמע, גיאופון רחוק יקלוט את הגל הסייסמי באיחור בהשוואה לגיאופון הקרוב למקור האנרגיה. לפיכך, הקריאות מתוקנות ומיושרות ביחס למרחק הגיאופון ממקור האנרגיה על פי הגאומטריה הידועה של המערכת. לאחר עיבוד הנתונים, מתקבל חתך דו מימדי של מרחק בציר האופקי (מטרים) כפונקציה של הזמן, בציר האנכי (mSec). בחתך זה מופיעים מחזירים חיוביים ושליילים בצבעים שונים. בתמונה כזו מאפיינים רציפות של מחזירים, שבירה או הסטה שלהם. על פי הרציפות או אי הרציפות של סמנים אלו, ניתן להעריך את מבנה השכבות בתת הקרקע. באמצעות מידע זה ניתן לזהות שכבות מועתקות אנכית, העתקים הקוטעים את רציפות המחזירים, גלישות וכדומה. בכדי לקבל מידע מדויק מסקר כזה יש להמיר את התמונה המתקבלת במימד זמן למימד של עומק. לצורך כך יש לדעת את מהירות הגלים בשכבות השונות בעזרת מודל מהירויות, הלה מתקבל מנתוני ליתולוגיה (מקידוח) או מסקר רפרקציה סייסמית. בסקר כזה מהירות השכבות השונות מחושבת על פי הצגת זמן ההגעה הראשון לגיאופונים השונים מול מרחקם ממוקד האנרגיה, השיפוע של גרף זה מייצג את מהירות השכבה.

עובי שכבה מחושב בעזרת הנוסחה הבאה :

$$\frac{\text{time}}{2} * \text{velocity} = \text{layer thickness} \quad (1)$$

3.2.3. אפיון נזקים בנבי סמואל :

בכדי לשלול הרס ממקור אנתרופוגני או לכל הפחות לא סייסמי, יצרנו מודלים סרוקים למספר אתרים בכפר ביניהם : בית, שפך דרדרת לא מופרע, שפך דרדרת חשוף וקיר שהתעוות למתאר גלי (איור 13). בנוסף, תיעדנו בצורה ידנית את ההרס הסייסמי באתר.



איור 13: סריקות נבי סמואל. א. "החדר הסרוק", בתחתית התמונה, טבון NSTA שדגם לעבודה המגנטית; ב. החדר הסרוק עם גלי המפולות סביבו; ג. קיר שהתעוות למתאר גלי.

3.2.4. אפיון נזק מרחבי :

האתגר הגדול בהסתמכות בלעדית על מקורות היסטוריים להערכת פיזור נזק מרעידות היסטוריות הוא החוסר במידע. המידע ההיסטורי שברשותנו תלוי בגורמים רבים ביניהם: פיזור אוכלוסיה בזמנים עברו, למשל מיעוט המידע ממזרח לירדן. אזור זה היה מאוכלס בעיקר באוכלוסיה נוודית, על כן ישנה הטיה חזקה של העדויות למערב הירדן. אמינות העדויות, רבות מהעדויות כוללות מידע אניגמטי ממקור שינוני ואף שלישוני, הכפלות או איחוד אירועים, התעלמות מאירועים קטנים, תיאורים היסטוריוסופים כמו "יום האלוהים" (עמוס ה', 18 ; 20), ושרידות טקסטים (Amiran et al. 1994; Ben-Menahem, 1991; Avni et al., 2002; Marco et al., 2003; Salamon, 2010). התייחסות חלקית, רוב המקורות כוללים מידע נקודתי ולא כולל למשל מקורות נוצריים נוטים לדווח על נזקים לכנסיות, יהודיים על נזקים לבתי כנסת ומוסלמים על נזקים למסגדים. התיעוד הטוב ביותר מגיע משילוב של מקורות כאלו, למשל בתקופה הצלבנית יש עדויות היסטוריות משני צדדי המתרס ועל כן ניתן להשוות ביניהם. מצד שני, לא ניתן להתעלם ממידע היסטורי זה. תיעודים היסטוריים, לנזקי רעידות אדמה, ניתן לכמת בצורה של סולמות עוצמה (Intensity), אלו מתארים את השפעת הרעידה על בני האדם. מהות המחקר הסייסמי היא אפיון השפעת רעידות אדמה על בני אדם על מנת לצמצם בעתיד ועל כן לתיאורים היסטוריים אלו תפקיד ייחודי (Bakun and Wentworth, 1997). הסתמכות על מקורות גיאולוגיים בלבד מעלה אתגרים אחרים למשל איזה רעידות תועדו, האם מדובר ברעידות גדולות ורחוקות או קטנות וקרובות? (Husein and Fahmi, 1996; Marco et al., 1996; Migowski et al., 2004; Agnon, 2014) על כן, למקור מידע בלתי תלוי חשיבות רבה להשלמת הקטלוגים הקיימים והבנת מאפייני הרעידות הקדומות (Marco et al., 1997; Ambaseys, 2006a;b; Austin et al., 2000; Marco, 2008; Rucker and Niemi, 2011; Rodríguez-Pascua et al., 2010; Ferry et al., 2011). אך גם אסטרטגיה זו טומנת בחובה אתגרים, שיטות הבניה שונות ששימשו באזורים ובתקופות שונות יוצרות עמידות שונה למבנים שונים (Spence et al., 1992). אנו מציעים לבחון קבוצה מוגדרת היטב של מבנים ארכיאולוגיים הדומים במאפייניהם, בו זמניים ובנויים משני צידי הבקע.

בזמן רעידת אדמה האנרגיה משתחררת ממקור נקודתי על משטח דו מימדי, במקרה של העתק אנכי ההיטל שלו על המפה קווי. נקודת ההנחה היא שהאנרגיה מתפשטת במרחב בצורה אחידה בקירוב, כמו אדווה בשלולית, ודועכת בזמן המעבר דרך שכבות הסלע. על כן ניתן להתאים משוואות לדעיכת האנרגיה הסייסמית (אטנואציה) וכך לקבוע את דרגת הנזק הצפויה לאתרים במרחקים שונים ממקור הרעידה. משוואות אלו מנוסחות על ידי איסוף מערכת נתונים גדולה לכל רעידה ידועה ותיאור דעיכת הנזק הממוצעת.

חישוב עוצמת רעידה בסולם MMI, בנקודה מסוימת על פי מרחק [d] וגודל הרעידה [M]

$$MMI(M, d) = C_0 + C_1 M + C_2 d + C_3 \log d \quad (2)$$

כאשר C_0, C_1 הינם מקדמים המנרמלים את MMI ל M ; C_2 הינו מקדם הדעיכה ; C_3 הינו מקדם ההתפשטות הגיאומטרית (Hough and Avni, 2011).

נתון נוסף הניתן לחישוב באתרים ארכיאולוגיים הינו תאוצת הקרקע המכסימלית (Peak Ground Acceleration-PGA). במקרה של מבנים נפולים, ניתן לחשב את תאוצת הקרקע המינימלית שתגרום לנפילת המבנה ובמקרים של דפורמציה למבנים ניתן לחשב את תאוצת הקרקע המכסימלית אשר תגרום לדפורמציה מבלי לגרום לקריסת המבנה (Hinzen et al., 2011). גם ל PGA משוואת דעיכה משלו, למשל משוואה 2 (המקדמים במשוואה זו שונים מהמקדמים במשוואה 1)

חישוב תאוצת קרקע מכסימלית [PGA] בנקודה מסוימת על פי מרחק [d] וגודל הרעידה [M] (Husein and Fahmi, 1996) מתבסס על המשוואה

$$PGA(M, d) = C_1 e^{(C_2 M)} (d + C_5)^{-C_3} \quad (3)$$

ניתן להמיר את הנתון המתקבל לעוצמה על פי משוואה 3

המרת PGA לעוצמה בסולם MMI (Murphy and O'Brien, 1977)

$$MMI = \frac{\log PGA - 0.25}{0.25} \quad (4)$$

(פיתוחים למשוואות אלו במקורות). המקדמים במשוואות 1 ו 2 יחודיים לכל גודל רעידה וכל אזור בעולם. הם נקבעים על ידי איסוף נתוני עוצמה רבים מרעידות שונות ומרחקים שונים מהמוקד והתאמה שלהם לדעיכת העוצמה הנמדדת. לאזורנו קיימות מספר מערכות של מקדמים אלו (למשל: Ben Menahem, 1981; Husein and Fahumi, 1996).

משוואות דעיכה הינן משוואות אידיאליות המפשטות מציאות מורכבת ומיחסות את עוצמת הרעש, על סלע קרומי, לגודל ומרחק בלבד. ייצוג זה מאפשר הבנה כללית של פיזור הנזק צפוי מרעידה אך הוא אינו מדויק למקרה הפרטי, זאת בשל גורמי אתר (Site Effects) המשפיעים על הנזק המקומי בכל אתר ואתר. גורמים אלו כוללים: כיסוי קרקע, תשתית גיאולוגית, סטנדרטים וחומרי בניה, טופוגרפיה מקומית, אחוז מים בקרקע ועוד (Bakun and Wentworth, 1997). בשל כך, ולשם יצירת הערכות סיכונים מבוססות, נדרש אפיון תגובות אתר חריגות באזור העניין (Spence et al., 1992; Katz and Crouvi 2007; Marco, 2008). בארץ קיימות מספר מפות סיכונים כלליות בהוצאת המכון הגיאולוגי, למשל: מפת האזורים החשודים בהגברות תשתית חריגות (Gvirtzman and Zaslavsky, 2009), מפת האזורים בהם קיימת סכנה לגלישת מדרונות (Katz et al., 2008) ועוד. מפות אלו לוקחות בחשבון גורמי אתר מקומיים שונים וכוללות אותן בהערכות הסיכונים.

לחלק זה של העבודה נבחרו ונבחנו 21 אתרים אומיים, בדגש על ארמונות הדומים לארמון בחורבת מנים. בכל אתר נבחנו ותועדו הנזקים שניתן לשייכם לאירוע סייסמי על פי ההגדרות של (Rodrigues-Pascua et al. 2011) ו (Marco 2008). במקומות בהם נעשה שיפוץ מאוחר, שוד מאסיבי או שלא ניתן היה לזהות את מצב המבנה המקורי השונו לצילומים מקוריים מתחילת המאה, לדוחות ארכיאולוגיים או עדויות מבקרים, חלקם אף קודמים לרעידת האדמה של 1927. הסולמות הסייסמיים הקיימים לדירוג עוצמות נזקים סייסמיים מבוססים על אחוזי מבנים שנפגעו ברעש מתוך עיר או ישוב ועל כן אינם מתאימים להשוואה בין מבנים מונומנטאליים בודדים באתרם. בשל כך, ועל מנת ליצור אחידות בדירוג הנזק יצרנו סולם נזק ייחודי, בן חמש דרגות. הסולם מבוסס על דרגת הנזק המקורית הנאמדת באתר, לפני שחזורים וניקוי מפולות.



איור 14: דוגמאות לסולם הנזק. דרגת נזק 1: א. קאסר עמרה; ב. קאסר חארנה; ג. קאסר עמרה. דרגת נזק 2: ד. קאסר טובה, קירות קרוסים בצידי המבנה המקורה בקמרון שלם. דרגת נזק 3: ה. אוס אל ג'ימל; דרגת נזק 4: ו. קאסר בורקו; ז. החצר הפנימית בקאסר חלאבט; ח. מגדל פינה בקאסר חלאבט; דרגת נזק 5: ט. אוס אל וואלד; י. קאסר מישאש (ההבדל בין ט' ל-י' בעובדה כי ב-ט' פונו המפולות).

3.2.5. סולם הנזק :

סולם זה מתבסס על ההנחה שהמבנים נבנו באותה תקופה, בטכניקת בניה דומה, ועל פי אותה תוכנית אדריכלית כללית. ניתן להניח שסטנדרטי בניית הפאר בכל האתרים היה גבוה ואחיד בקירוב. צוינו מקרים בהם מאפייני האתר, גיאולוגיה, טופוגרפיה או חומרי בניה, היו שונים

באופן בולט. בשלב הראשון האתרים דורגו על פי דרגת הנזק היחסית שלהם ביחס לאתרים האחרים; בשלב הבא אתרים שסבלו מדרגת נזק דומה אוחדו לקטגוריית נזק. הסולם המספרי כולל 5 דרגות מהנמוך לגבוה:

1- אין נזק משמעותי: אין סימני רעידה כלל או נזק מינורי ביותר הכולל סדקים בטיח ומעט סדקים ופינות קטומות באבני גזית. המבנה עומד במצבו וגובהו המקורי ואין עדות לשיפוצים מאוחרים נרחבים. מבנים אשר חרבו, אך לא ממקור סייסימי נכללים בקטגוריה זו אם בשרידיהם לא נמצאו EAE (איור 14-א-ג).

2- נזק מינורי: יש נזק מרעידת אדמה, אך הנזק בר תיקון. נזק זה כולל סדקים גדולים חוצי נדבכים, בעיקר במגדלים, קריסות קירות מעטות, דפורמציות בקירות אבני גזית ופינות קטומות. רוב הקירות עדיין עומדים למלוא גובהם, רוב הקמרונות, קשתות וכיפות עומדות במקומן המקורי (איור 14-ד).

3- נזק משמעותי: הנזק כולל קריסה של רוב הקמרונות, הכיפות וחלק ניכר מהקירות. אך עדיין קירות רבים עומדים לגובה רב, ביחס לגובהם המקורי (איור 14-ה).

4- נזק נרחב: רוב האתר נפגע משמעותית, אין כיפות או קמרונות עומדים, מפולות נרחבות, מיעוט של הקירות נשמרו לגובה משמעותי (איור 14-ו-ח).

5- הרס מוחלט: האתר חרב לחלוטין, הקירות המקוריים עומדים רק לגובה המפולות ששמרו עליהן (איור 14-ט-י).

4. תוצאות :

4.1. מגנטיות :

4.1.1. היררכיה מגנטית :

המטרה בעבודה ארכיאומגנטית היא לשחזר, בדיוק רב ככל הניתן, את כיוון הווקטור המגנטי בנקודת זמן בודדת במהלך ההיסטוריה. הגבולות המוחלטים של הדיוק הם מעלה בודדת לשנה בודדת; לדוגמאות הנאספות טווח גיל היכול להגיע למאות שנים והנתונים המתקבלים במדידה הם בעלי שגיאה של מספר מעלות. בשל כך נדרשים ניתוח והערכה סטטיסטית לכל נתון שנאסף בטרם הסקת מסקנות. הנתונים נאספים ומנותחים בצורה היררכית, בכדי לוודא את איכות הנתונים, ולאפשר סטטיסטיקה בכל שלב. זאת על מנת לזהות שגיאות או מדידות בלתי אמינות בשלב מוקדם ככל הניתן. הדוגמאות נאספות ממוקום (Location), המוגדר כשטח גיאוגרפי נתון שניתן להניח כי השדה המגנטי בכולו אחיד, במקרה שלנו אתר ארכיאולוגי. בכל מיקום ישנם אתרים (Site), אלו מוגדרים כנפח של חומר שעבר תהליך מיגנוט בזמן אחיד (Tarling, 1983), למשל

שפך בזלת. במקרה שלנו אתר יהיה טבון, קיר לבנים, טיח ממתקן ארכיאולוגי, סיג נחושת או אף שכבת סדימנט. מכל אתר נאספות דוגמאות (Sample), כל מדידת אוריינטציה בשדה תחשב כדוגמא עצמאית, בין אם זו מדידה ידנית או מדידה של קידוח. לעיתים דוגמא תחולק למספר דוגמיות (Specimen), זאת על מנת להגדיל את מדגם המדידות, דוגמית מוגדרת כחלק מתוך דוגמא שנמדדה בשדה ולה אותם נתוני אוריינטציה.

בכל שלב של איסוף הדוגמאות יתכנו הפרעות ושגיאות. חוקרים שונים אוספים דוגמאות בצורות שונות, תהליכי עבודה שונים ובעזרת כלי מדידה שונים, דבר זה מוביל לתוצאות שונות. על מנת לצמצם את השגיאות ולהגביר את אמינות הנתונים המפורסמים נדרש ניתוח סטטיסטי בכל שלב של העבודה.

4.1.2. שגיאות נפוצות ברמות השונות:

דוגמית\דוגמא: שגיאה בהכנסת הדוגמית למכשיר, בעיה במכשיר עצמו, שגיאה ברישום הנתונים, שגיאה בהכנת הדוגמא כמו ניסור והחלפה בין צירי הדוגמא, למשל בזמן שחזור סימון שנמחק.

אתר: שגיאה בהבנת היסטורית האתר\ תאריך החימום האחרון, תהליכי בליה וקבורה, שקיעת אדמה או רצפה אשר עלולה להטות חלק מהאתר או את כולו. נטייה של שכבות גיאולוגיות אשר גורמת לנטייה של כל האתר. הפרעות חיצוניות בזמן המדידה היוצרות השפעה מקומית על השדה הנמדד, למשל קווי מתח גבוה, שדה בזלת או מרבץ ברזל. מכשירים המפריעים למצפון בזמן המדידה כמו טלפונים או גלאי מתכות. בנוסף, חוסר הומוגניות של החומר בתוך האתר יכול להוביל לתוצאות שונות מדוגמאות באותו אתר (Lanos et al., 2005). כך גם שינויים תלויי זמן בשדה החיצוני.

לאחר המגנוט הראשוני של חומר, לצורך העניין השריפה המשמעותית האחרונה של טבון, החומר נתון להשפעות של השדה המגנטי המשתנה עם הזמן. במהלך ההיסטוריה עלולים להתרחש תהליכים פיזיקליים\כימיים אשר ישנו את הסיגנל המגנטי החלקי או אף המלא של האתר. סיגנל חדש זה, המקביל לווקטור המגנטי השורר בזמן היווצרותו, ייצור חיבור ווקטורי עם הווקטור הקדום (Kirschvink, 1980).

4.1.3. סטטיסטיקה:

בכדי לזהות ולהפריד בין רכיבים שונים בווקטור המגנטי של הדוגמא, הניתוח הסטטיסטי נערך מרמת הדוגמית או הדוגמא הנמדדת לרמת האתר.

דוגמית\דוגמא: במהלך הניסוי הסיגנל המגנטי הטבעי של הדוגמא נהרס בצעדים קטנים במטרה לשחזר את היווצרותו בטבע. כך ניתן לזהות ולהפריד בין רכיבים שונים של הווקטור. נקודת מדידה המושלכת על מערכת צירים תלת ממדית מייצגת ווקטור הנמשך מראשית הצירים לנקודה זו. בכדי לייצג בצורה המיטבית את הכיוון המגנטי של דוגמא מחושב הרכיב העיקרי של הדוגמא (Principal Component Analysis- PCA). ה-PCA הינו טרנספורמציה ליניארית של מערכת צירים אורתוגונלית למערכת ייחוס, חדשה אשר מביאה בחשבון את הגיאומטריה של המערכת. ראשית הצירים, של מערכת הייחוס, נבחרת לנקודת מרכז המסה של התוצאות והצירים נבחרים בכדי

להתאים לנתונים בצורה הטובה ביותר, כאשר לכל ציר מחושבת השונות (σ^2). קבוצת נקודות היוצרת מקטע ישר, בהשלכה האורתוגונאלית בדיאגרמת זיידרפלד (Zijderveld) (איור 9א), או מקבץ נקודות קצה בסטריאוגרמה יוצרות "קווים" (איור 9ג). בכדי להעריך את אמינות הקו שחושב כ-PCA ניתן לחשב את זווית מקסימום הסטייה (Maximum Anguler Deviation - MAD). ה-MAD מחושב על ידי הסטת מערכת הצירים ביחידת אחת של סטיית תקן (σ) לכל כיוון (Kirschvink, 1980).

אתר: המדידות מדוגמאות שונות מאותו אתר כמעט לעולם לא תואמות בצורה מושלמת, זאת בשל שגיאות מדידה ועבודה שפורטו לעיל. לרוב התוצאות מפוזרות סביב ממוצע, על כן יש לנתח את הסטטיסטיקה של נתונים אלו (Watson and Irving, 1957). ה-PCA של כל דוגמא, מוצג על סטריאוגרמה, זו מתארת שטח של כדור יחידה. כדור זה מייצג את מרחב התצפיות האפשריות וצפיפות הנקודות עליו, שכל אחת מייצגת קצה של ווקטור, פרופורציונאלית ל $e^{k \cos \theta}$. כאשר θ מייצגת את זווית הסטייה מהמרכז האמיתי ($\theta = 0$) ו k הינו פרמטר הדיוק (Precision parameter). כאשר k גבוה, פיזור התוצאות מוגבל לשטח קטן של כדור היחידה סביב הערך האמיתי. כאשר $k=0$ פיזור הנקודות אחיד על גבי פני הכדור. על מנת לחשב את k יש צורך בשני פרמטרים, N (מספר הווקטורים הנכללים בחישוב) ו R (אורך ווקטור התוצאה) המתקבל מחיבור של כל וקטורי היחידה. סכום הווקטורים מחושב בצורה הבאה:

הרכיב הצפוני מחושב על ידי הנוסחה

$$x_G = \cos(D) \cos(I) \quad (5)$$

הרכיב המזרחי מחושב על ידי הנוסחה

$$y_G = \sin(D) \cos(I) \quad (6)$$

הרכיב האנכי מחושב על ידי הנוסחה

$$Z_G = \sin(I) \quad (7)$$

כאשר D הינו רכיב הדקלינציה ו I הינו רכיב האינקלינציה.

ווקטור התוצאה מחושב על ידי הנוסחה:

$$R = \sqrt{(\sum x_G)^2 + (\sum y_G)^2 + (\sum z_G)^2} \quad (8)$$

רכיבי הווקטור הממוצע במערכת קרטזית נתונים על ידי

$$\bar{X} = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^N x_G, \quad \bar{Y} = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^N y_G, \quad \bar{Z} = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^N z_G \quad (9)$$

ובמערכת קואורדינאטות ספרית

$$\bar{D} = \tan^{-1} \left(\frac{\bar{Y}}{\bar{X}} \right), \quad \bar{I} = \tan^{-1} \left(\frac{\bar{Z}}{\bar{Y}} \right), \quad \text{with } \bar{H} = \sqrt{\bar{X}^2 + \bar{Y}^2} \quad (10)$$

כעת ניתן לחשב את פרמטר הדיוק k –

$$k = \frac{N-1}{N-R} \quad (11)$$

על מנת לנתח את אמינות הכיוון הממוצע המתקבל, מחושב הפרמטר α . פרמטר זה הינו חצי זווית של חרוט אמינות (cone of confidence) סביב הממוצע המחושב. עבור הסתברות של 0.05% נגדיר פרמטר זה כ α_{95} . במילים אחרות, ישנה הסתברות של 95% שהתוצאה האמיתית נמצאת בתוך חרוט שסביב הממוצע המחושב. ערך זה מחושב בעזרת הנוסחה הבאה

$$\alpha_{95} = \frac{140}{\sqrt{KN}} \quad (12)$$

ככל שערכי α_{95} נמוכים יותר כך אמינות המדידה גבוהה יותר (אחרי Fisher, 1953).

לעיתים מקבלות מאותו אתר שתי אוכלוסיות שונות של נתונים המתכנסים לשני ממוצעים שונים, דבר זה עלול להעיד על שינויים מאוחרים באתר, למשל שריפה חלקית מאוחרת או שקיעה של חלק מהאתר. McFadden and Lowes (1981) מציעים דרך סטטיסטית חישובית להכרעה אם לשתי האוכלוסיות ממוצע משותף. פעמים רבות מתקבלת תוצאה חריגה מתוך כלל המדידות, McFadden (1982), מציע נוסחא להגדרת תוצאה חריגה וממליץ לבחון את הסיבה לחריגה זו.

במידה והאתר כולל מספר חלקים הניתנים להפרדה, למשל קיר לבנים. נתייחס ראשית לכל לבנה כאתר בפני עצמה - "מבחן הבלוק". באם הדוגמאות מהלבנה הבודדת מתכנסות לממוצע מובהק נחשב ממוצע על כל הבלוקים יחד - "מבחן הקונגלומרט". באם התוצאות מתכנסות ניתן להתייחס לקיר זה כאתר מגנטי. בדיקה זו חשובה לשם קביעת מיקום וזמן השריפה של הלבנים, אם התוצאות מתלכדות במבחן הקונגלומרט, הרי שכל הלבנים נשרפו יחדיו באתר, אם לאו ניתן להניח כי לפחות חלק מהלבנים נשרפו במקום אחר, אולי מפעל, והורכבו לאחר השריפה.

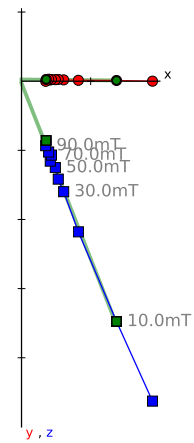
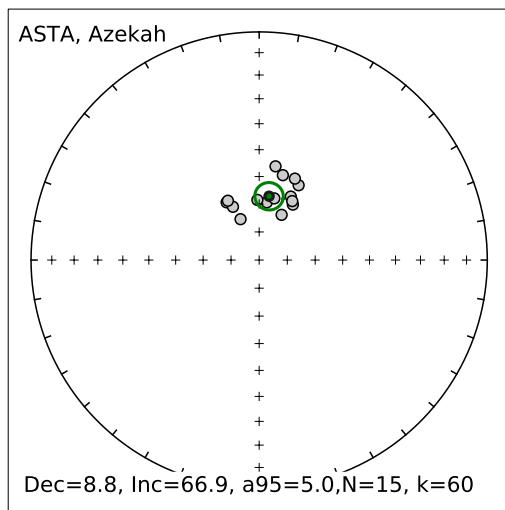
הממוצע של כל אתר אשר עבר את תנאי הקבלה המוגדרים מראש (N ו k גבוהים מספיק, α_{95} וטווח גיל נמוכים מספיק) מיוצג בעקומות השינויים הסקולאריים. מכיוון שהעקומות מורכבות מנקודות בודדות, המייצגות נקודות זמן במרחב עם אינטרוול גיל, הן אינן רציפות. עקומות אלו כוללות אי התאמה בין אתרים בו זמניים שונים, פרקי זמן עם צפיפות נתונים גבוהה ולעומתן פרקי זמן עם צפיפות נתונים נמוכה. בשל סיבות אלו, ובמטרה לייצר עקומה רציפה, יש צורך בגישה סטטיסטית לשם יצירת עקומה רציפה ואמינה. בעבר היה נהוג לצייר עקומות אלו ביד חופשית אך שיטה זו אינה אובייקטיבית מספיק (Batt, 1997). כיום (Lanos et al. 2005) מציעים גישות סטטיסטיות היררכיות ליצירת עקומות אלו. גישות סטטיסטיות אלו מאפשרות לנקודה "לנוע" בתוך טווח אי הוודאות של הנתונים והזמן בכדי לייצר את ההתאמה הטובה ביותר לעקומה ולנקודות השכנות אליה.

4.1.4. תוצאות מגנטיות :

בצד שמאל סטטיסטיקת פישר לרכיבים העיקרים של הדוגמאות מכל אתר ואתר. בצד ימין דיאגרמת זיידרפלד לדוגמא ייצוגית מכל אתר.

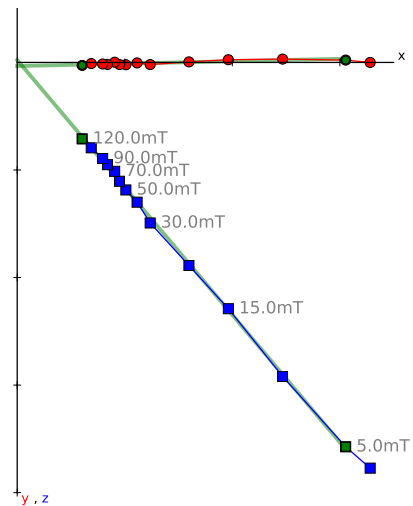
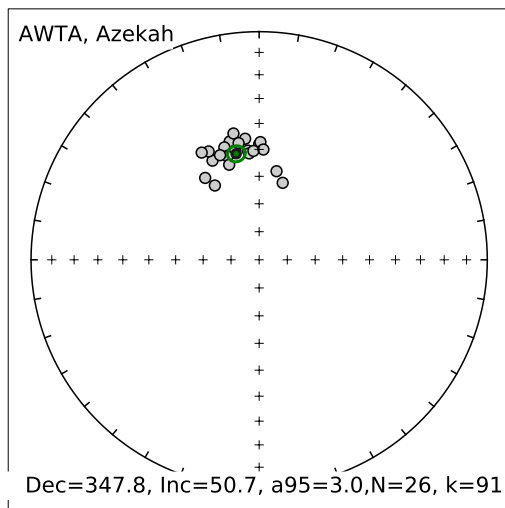
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (358); NRM=3.80e-06 $A m^2$

ASTA-13



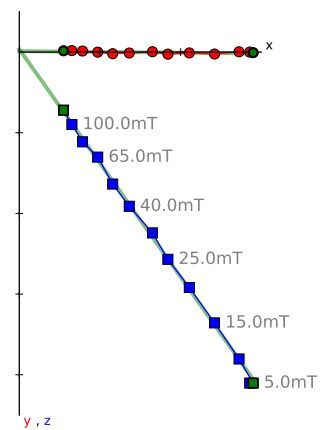
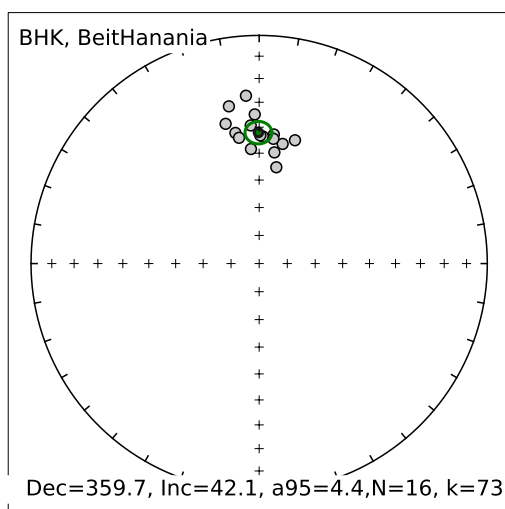
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (348); NRM=5.52e-06 $A m^2$

AWTA-16



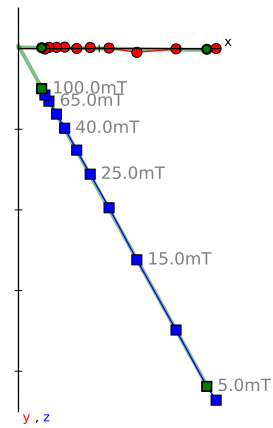
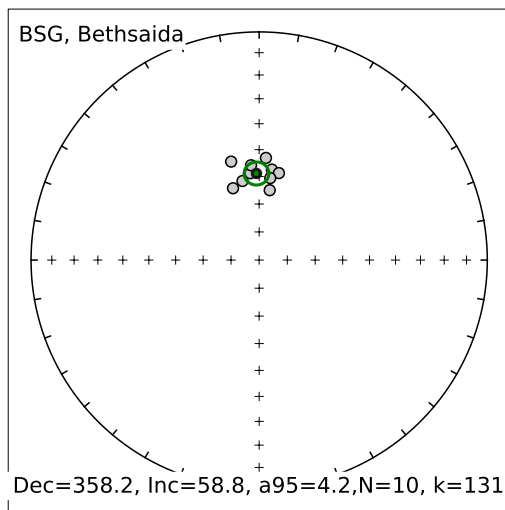
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (10); NRM=6.99e-06 $A m^2$

BHK-10-1



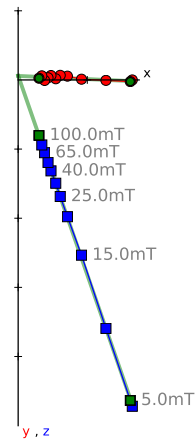
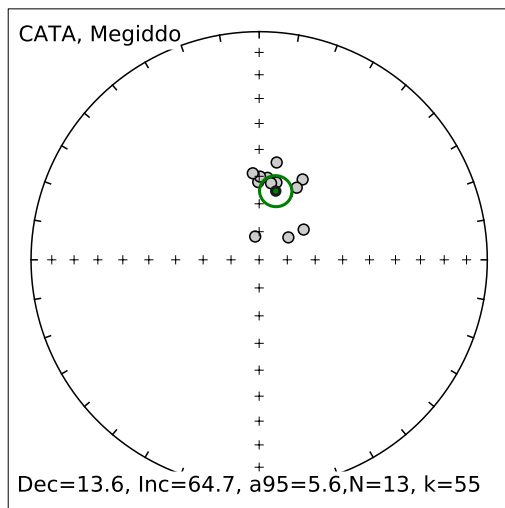
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (347); NRM=9.92e-06 $A m^2$

BSG-K3



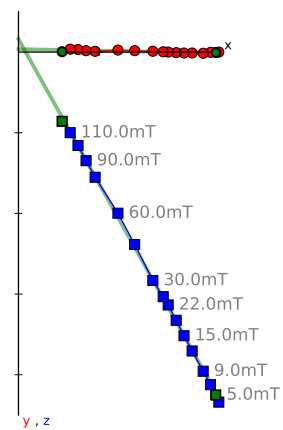
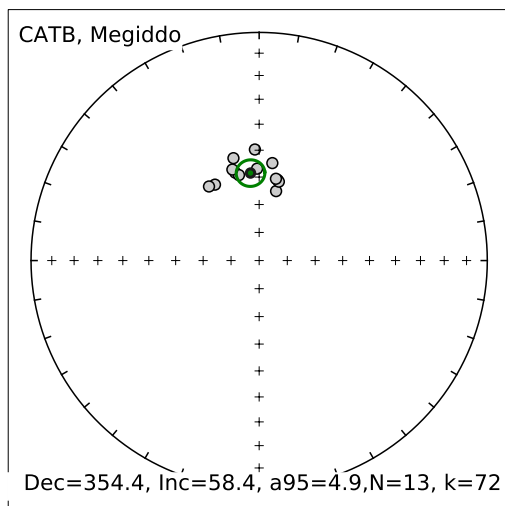
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (53); NRM=3.34e-06 $A m^2$

CATA-6



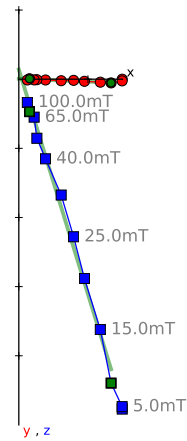
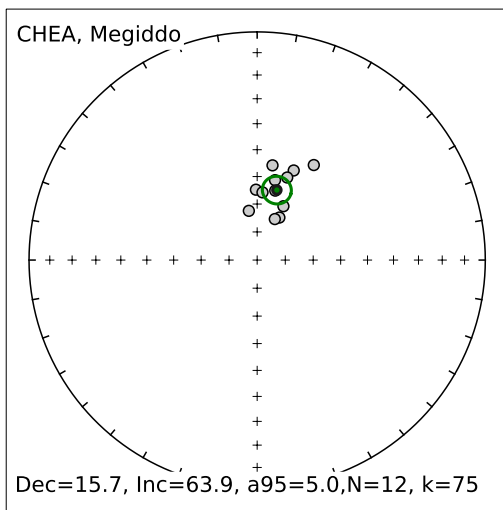
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (13); NRM=2.10e-07 $A m^2$

CATB-12



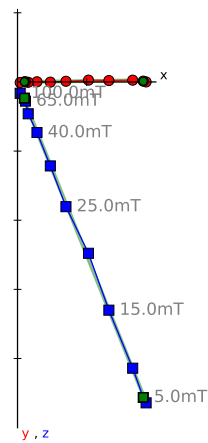
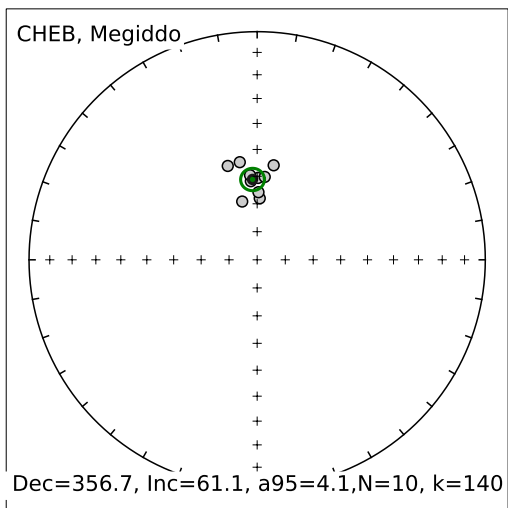
Zijdeveld plot
X-axis rotated to NRM (25); NRM=6.70e-06 Am^2

CHEA-18-1



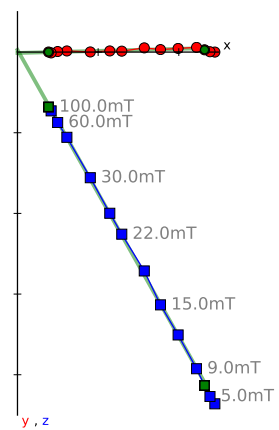
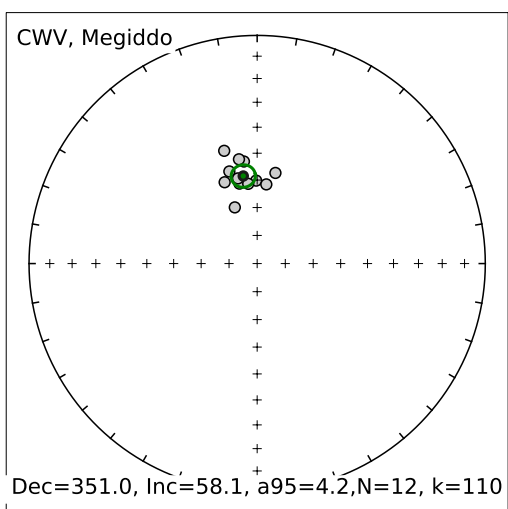
Zijdeveld plot
X-axis rotated to NRM (3); NRM=6.49e-06 Am^2

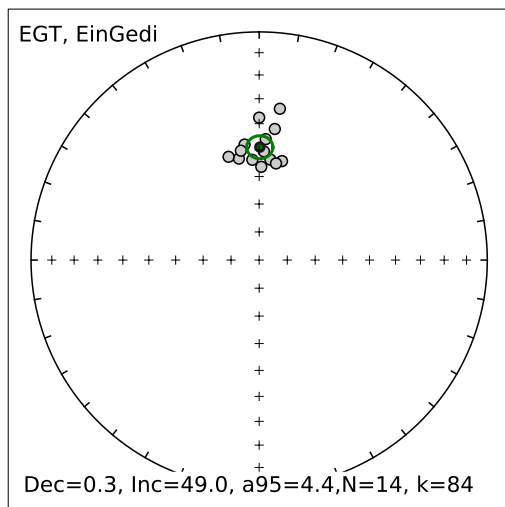
CHEB-13-1



Zijdeveld plot
X-axis rotated to NRM (349); NRM=7.86e-06 Am^2

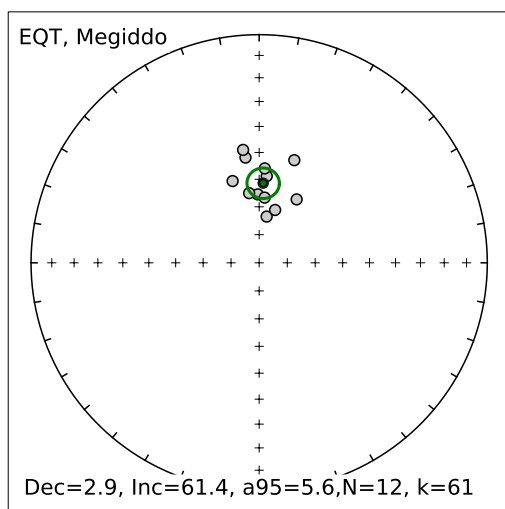
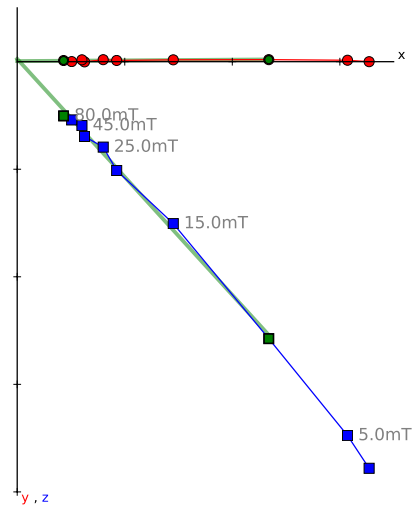
CWV-1





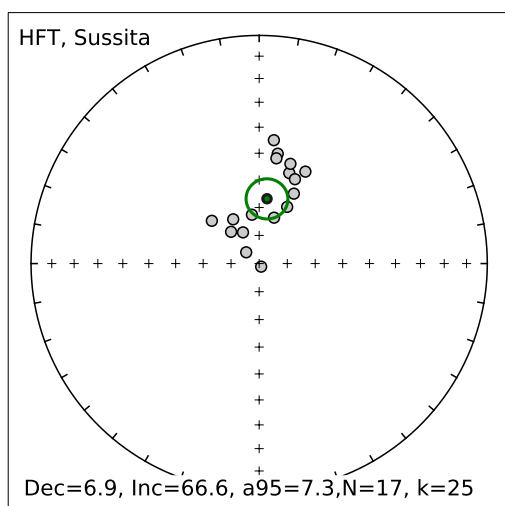
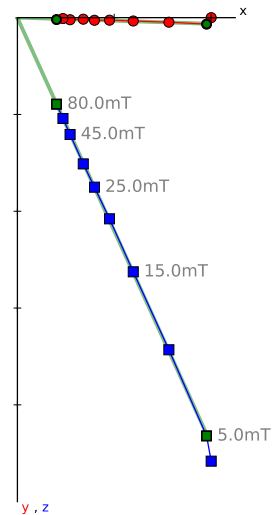
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (353); NRM=2.63e-06 $A m^2$

EGT-4



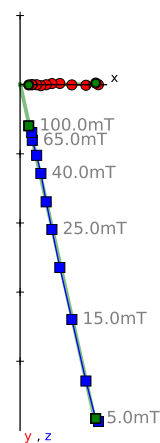
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (357); NRM=5.25e-06 $A m^2$

EQT-1



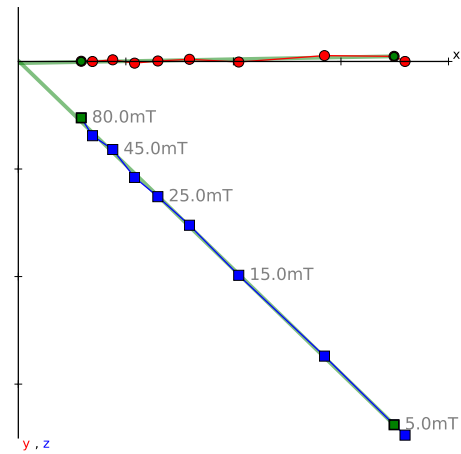
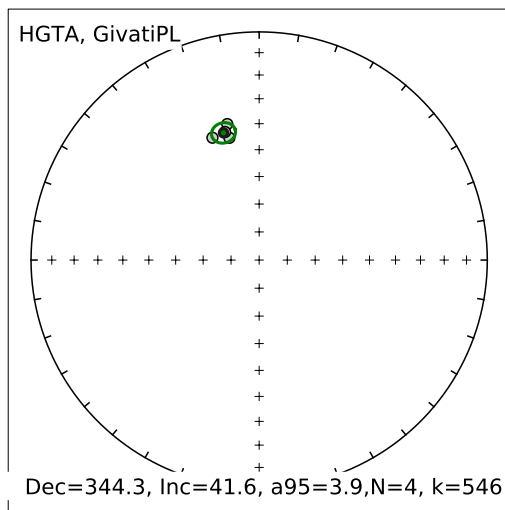
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (333); NRM=8.52e-06 $A m^2$

HFT-1



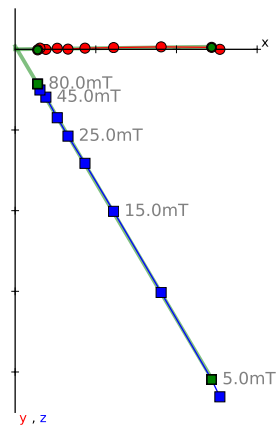
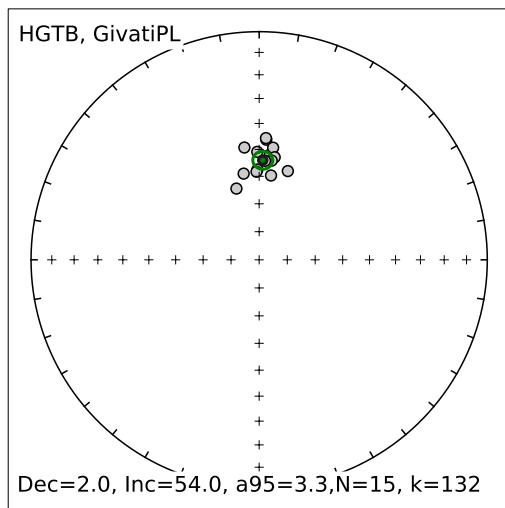
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (347); NRM=4.29e-06 $A m^2$

HGTA-7



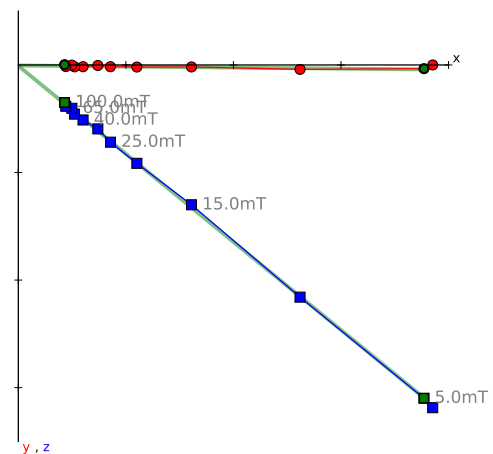
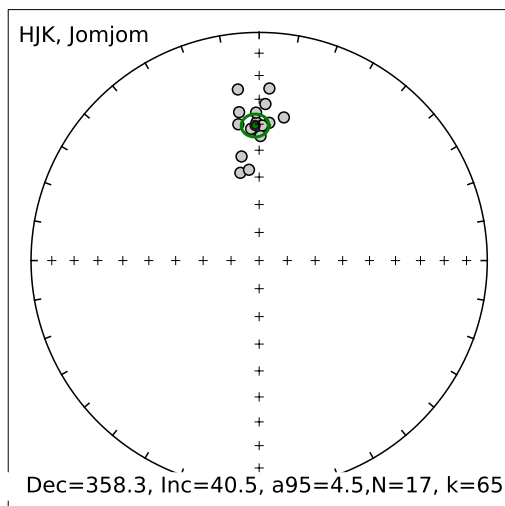
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (9); NRM=1.27e-05 $A m^2$

HGTB-10



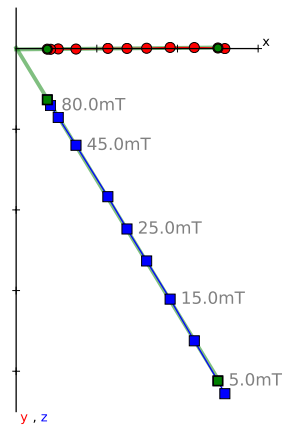
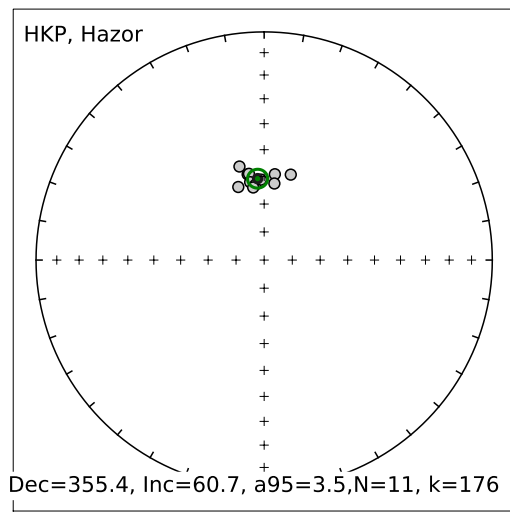
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (4); NRM=2.44e-06 $A m^2$

HJK-1-1



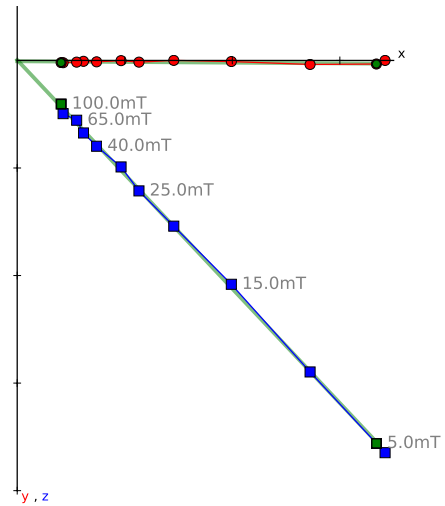
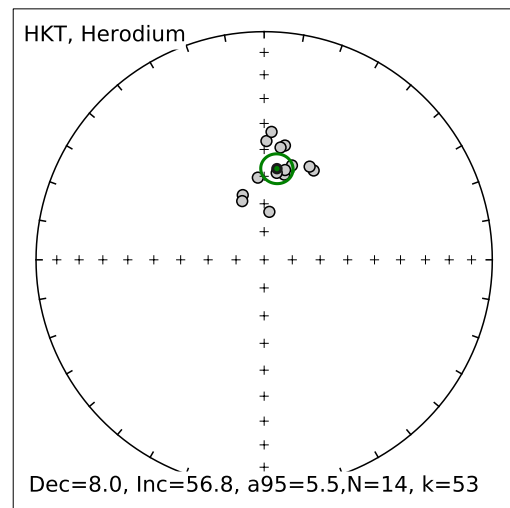
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (350); NRM=7.20e-07 Am^2

HKP-11



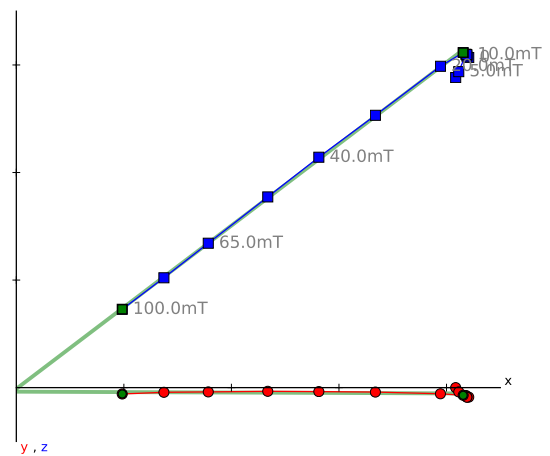
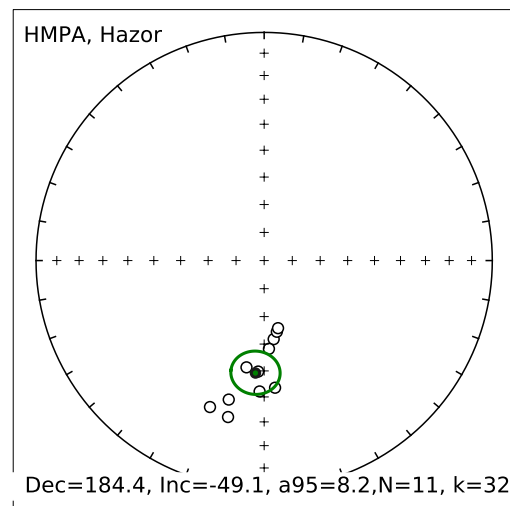
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (1); NRM=6.05e-06 Am^2

HKT-10



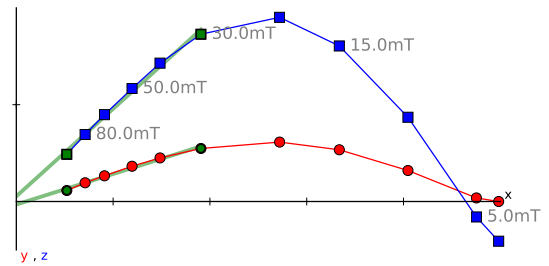
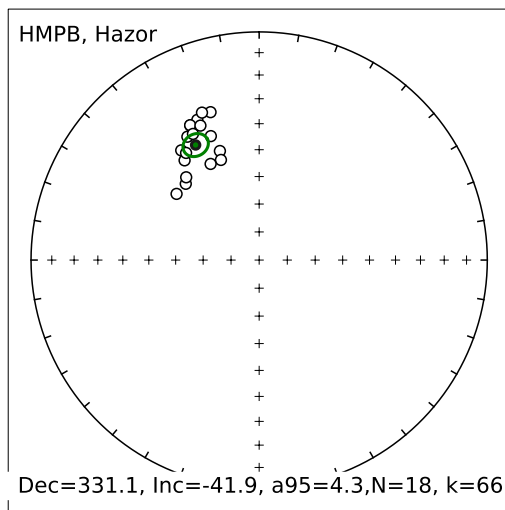
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (194); NRM=6.60e-07 Am^2

HMPA-11



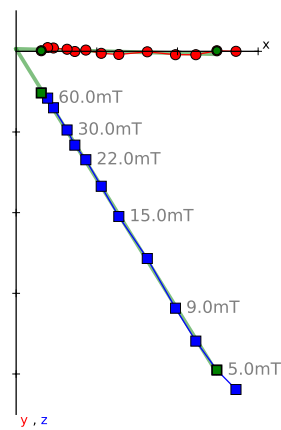
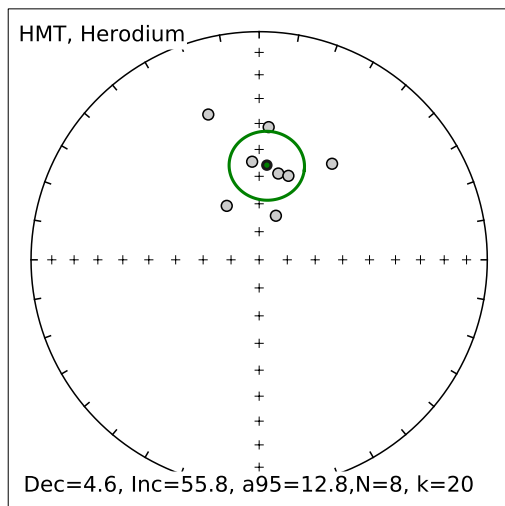
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (342); NRM=1.76e-06 $A m^2$

HMPB-11



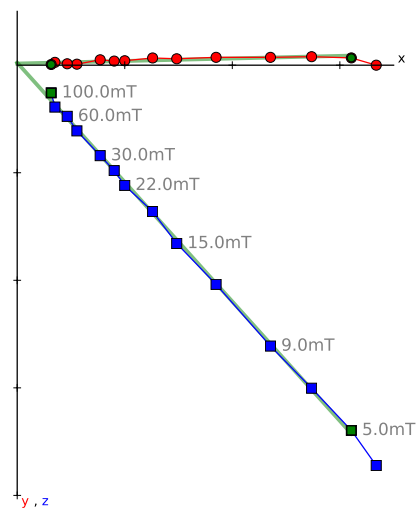
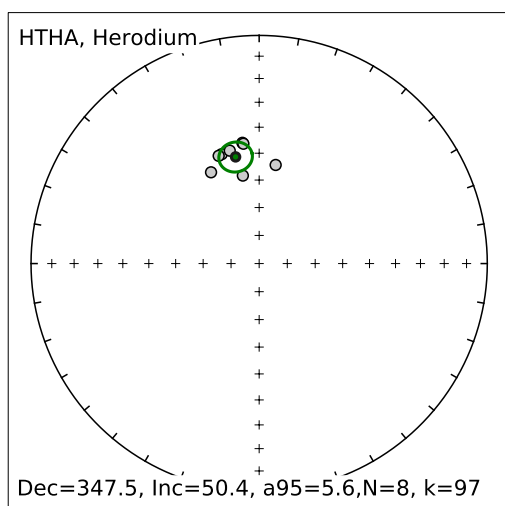
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (11); NRM=3.72e-06 $A m^2$

HMT-1



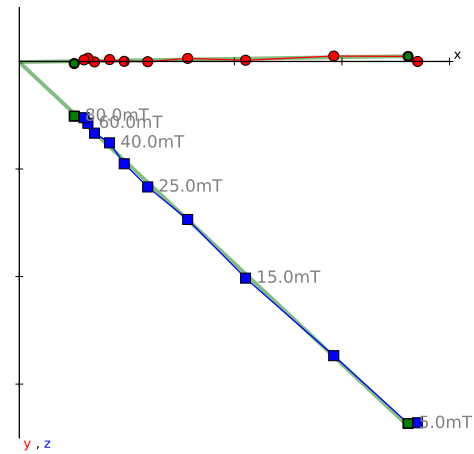
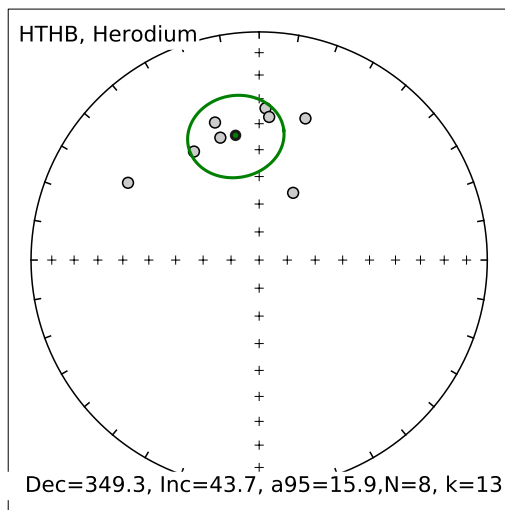
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (342); NRM=3.83e-06 $A m^2$

HTHA-1



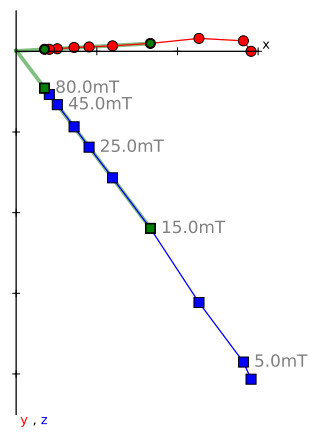
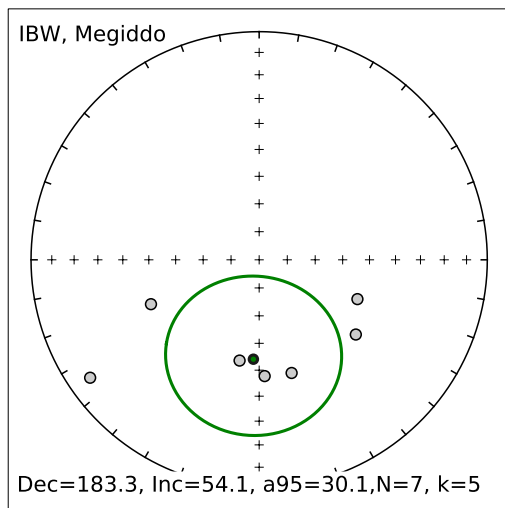
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (343); NRM=4.40e-06 $A m^2$

HTHB-4



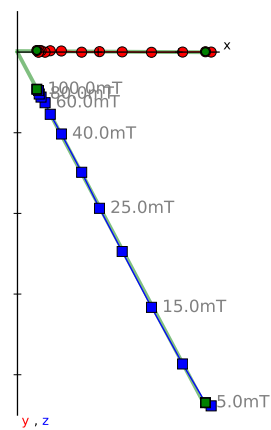
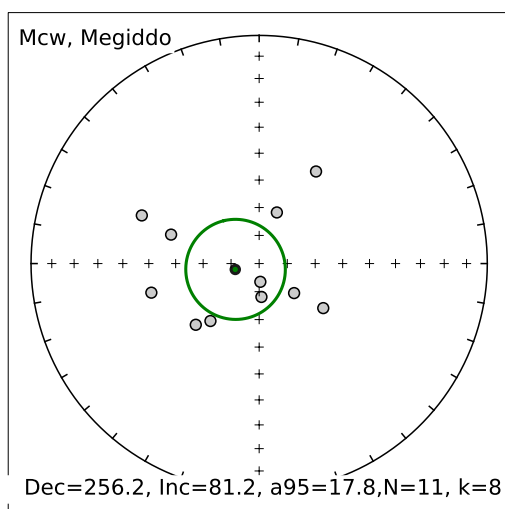
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (194); NRM=3.32e-06 $A m^2$

IBW-A-1



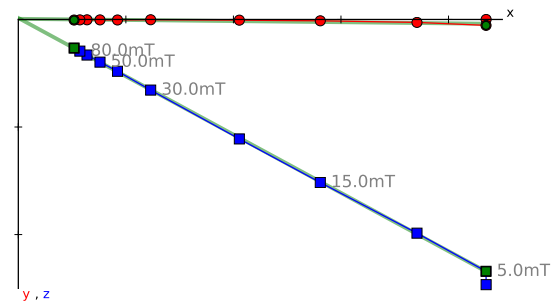
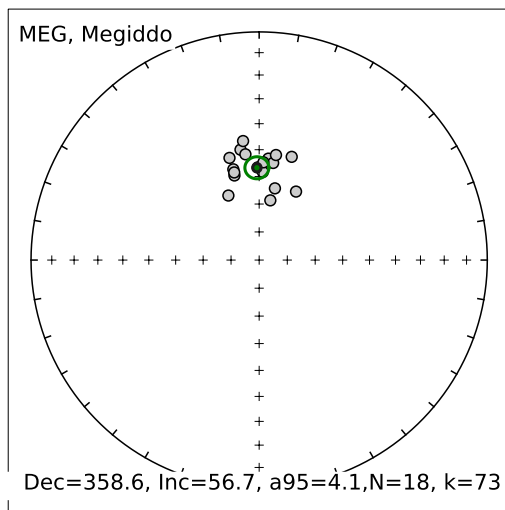
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (124); NRM=5.12e-06 $A m^2$

Mcw-1



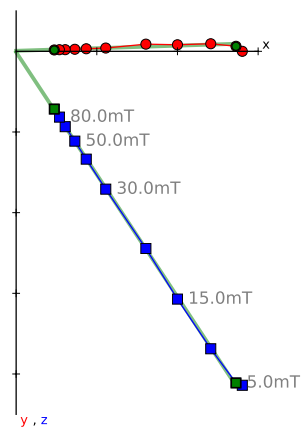
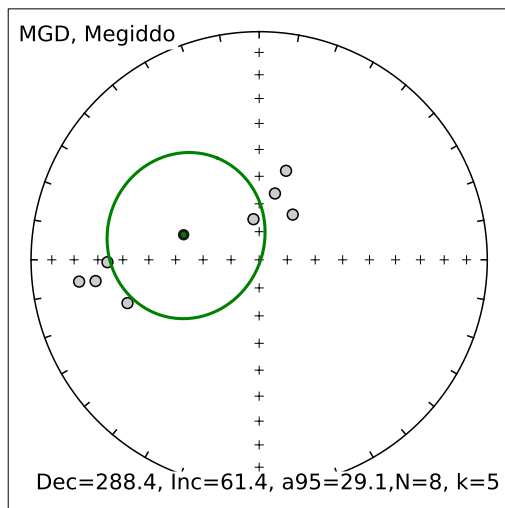
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (262); NRM= $2.81e-07 \text{ Am}^2$

MEGG-3



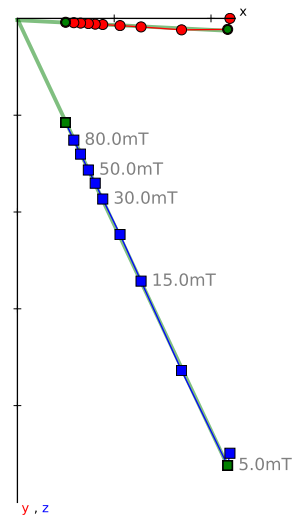
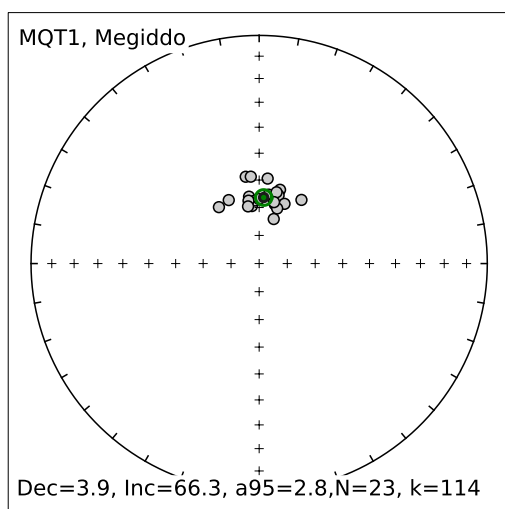
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (1); NRM= $4.24e-07 \text{ Am}^2$

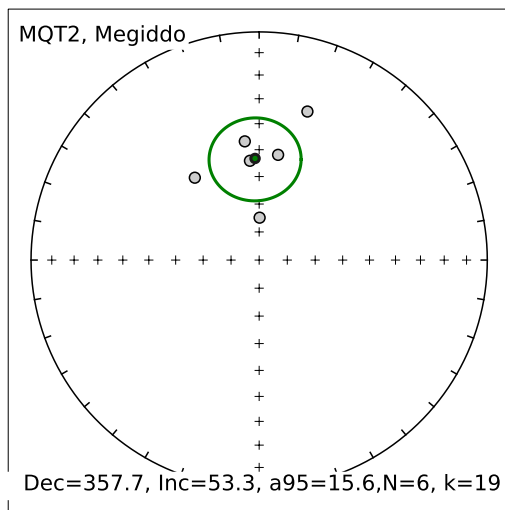
MEGH-3



Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (332); NRM= $1.48e-07 \text{ Am}^2$

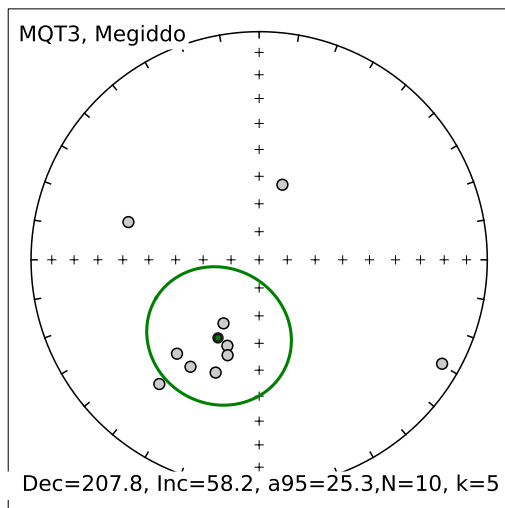
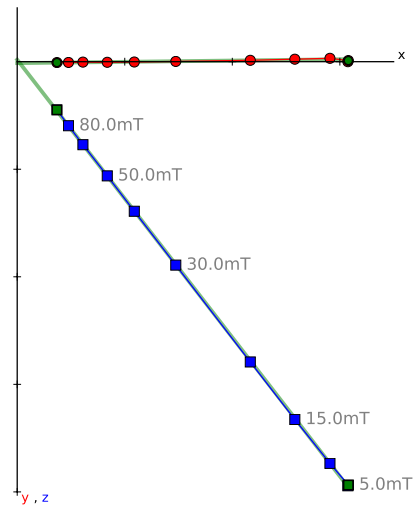
MQT1-K





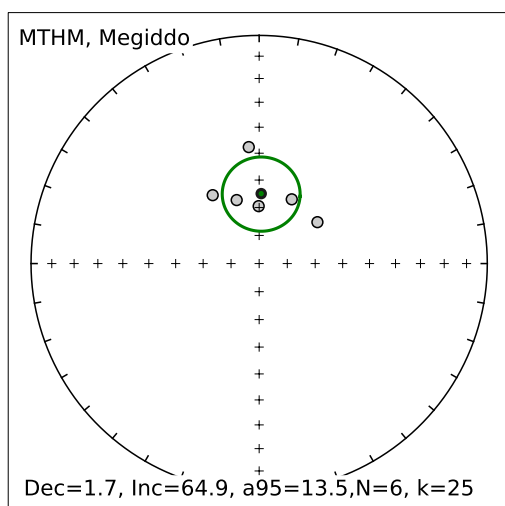
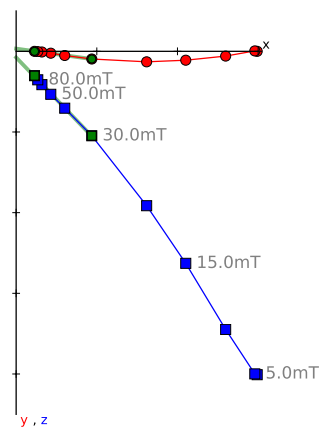
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (323); NRM=1.99e-06 $A m^2$

MQT2-H



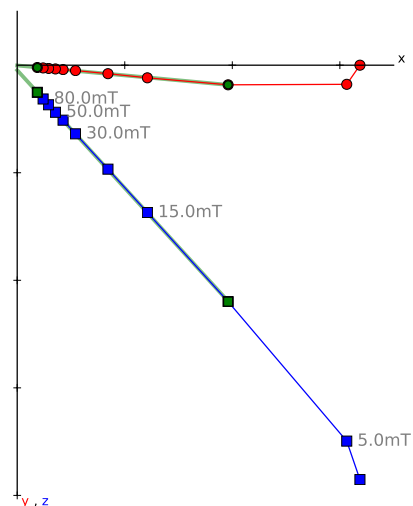
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (-6); NRM=1.17e-06 $A m^2$

MQT3-C



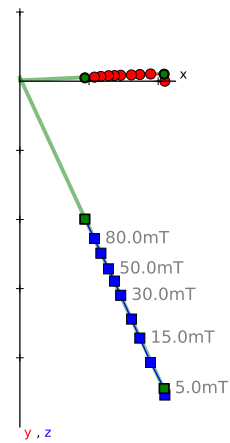
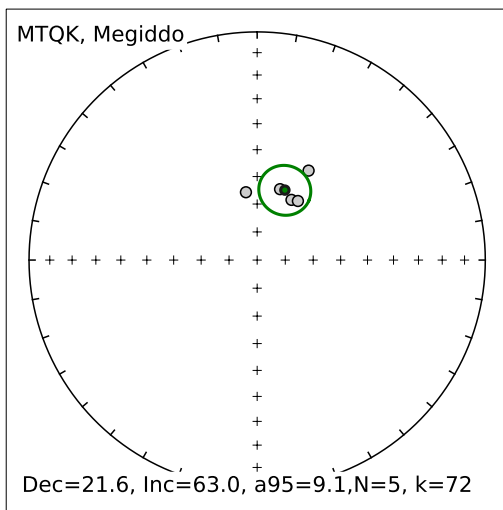
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (350); NRM=2.35e-06 $A m^2$

MTHM-2



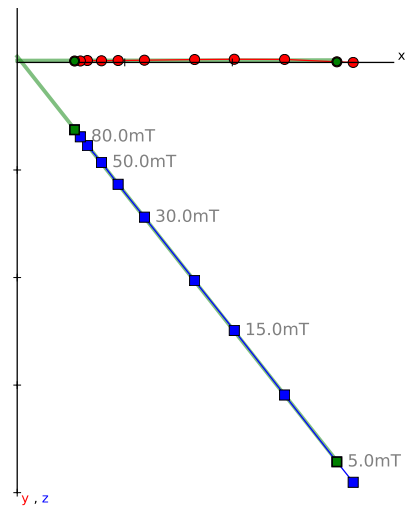
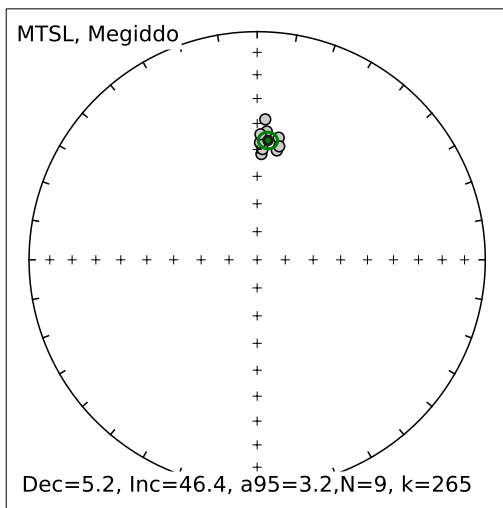
Zijdeveld plot
X-axis rotated to NRM (32); NRM=7.64e-08 Am^2

MTQK-1



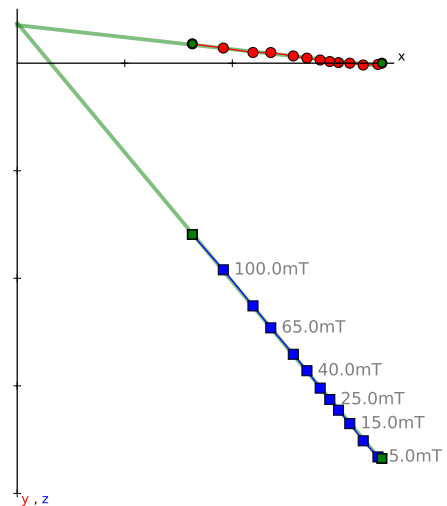
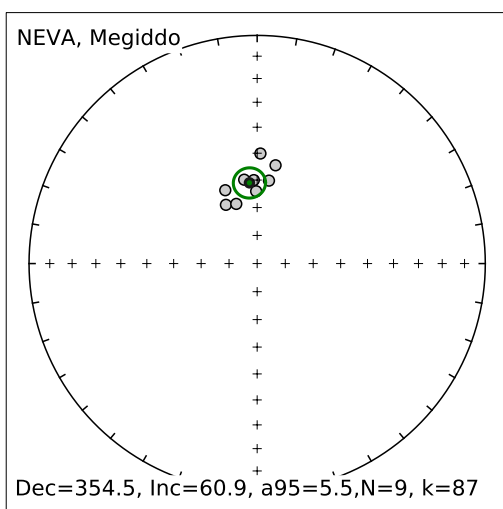
Zijdeveld plot
X-axis rotated to NRM (2); NRM=9.20e-07 Am^2

MTSL-1



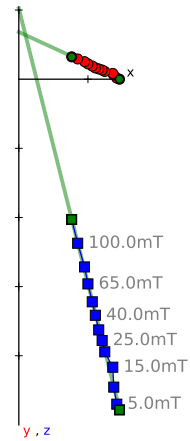
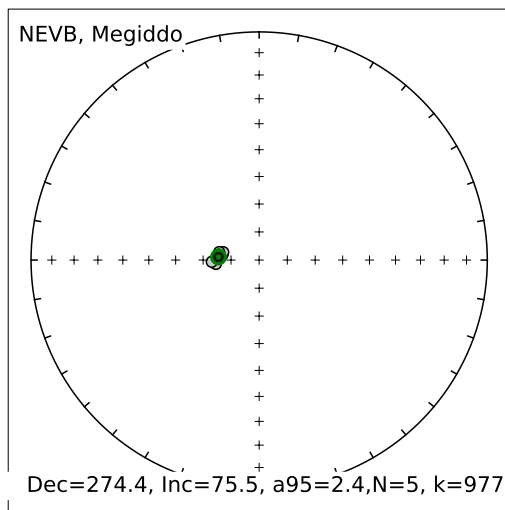
Zijdeveld plot
X-axis rotated to NRM (355); NRM=8.51e-07 Am^2

NEVA-5-1



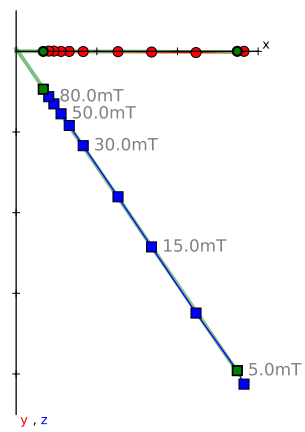
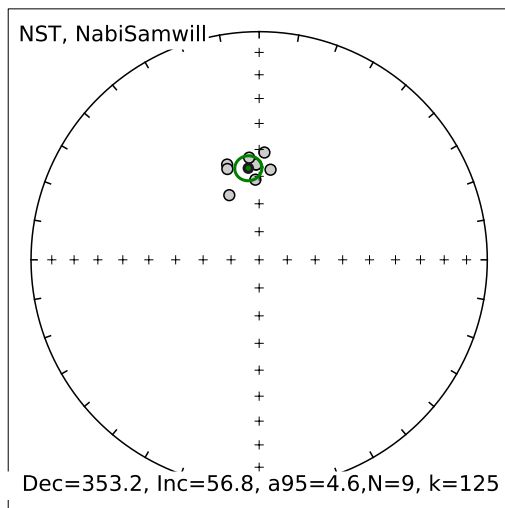
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (240); NRM=7.77e-07 $A m^2$

NEVB-30



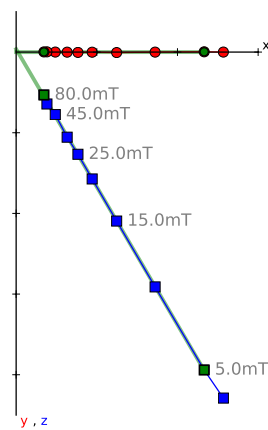
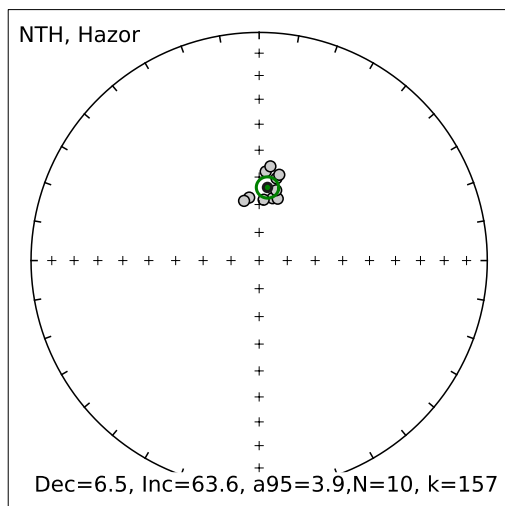
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (358); NRM=2.84e-07 $A m^2$

NST-A-11



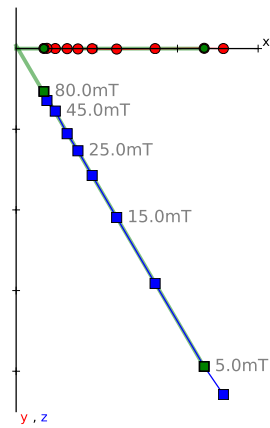
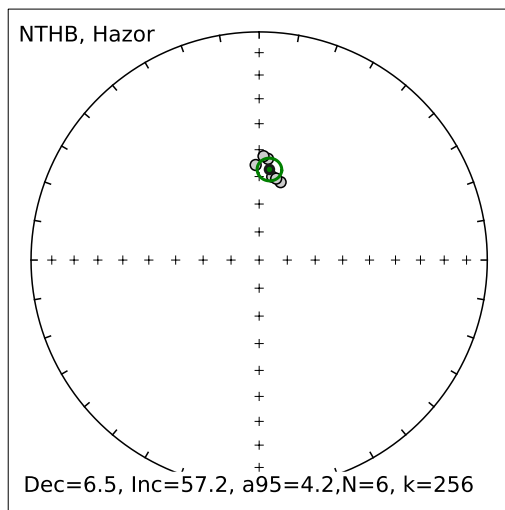
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (9); NRM=4.39e-06 $A m^2$

NTHB-2-1



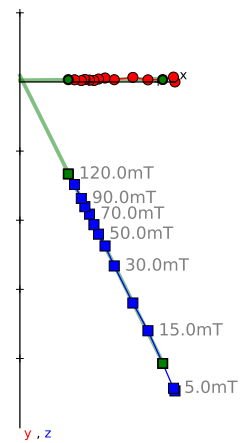
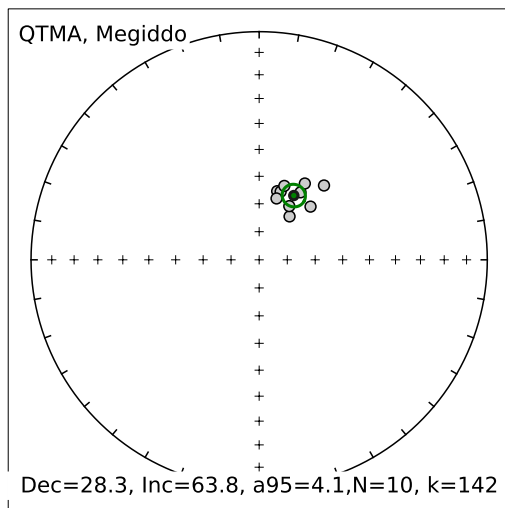
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (9); NRM=4.39e-06 Am^2

NTHB-2-1



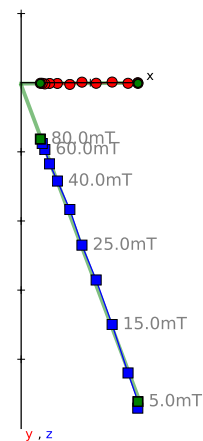
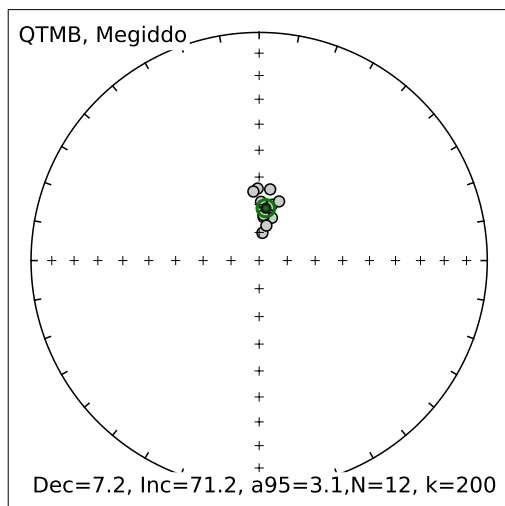
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (45); NRM=1.15e-06 Am^2

QTMA-6-1



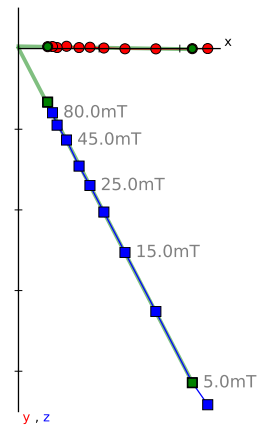
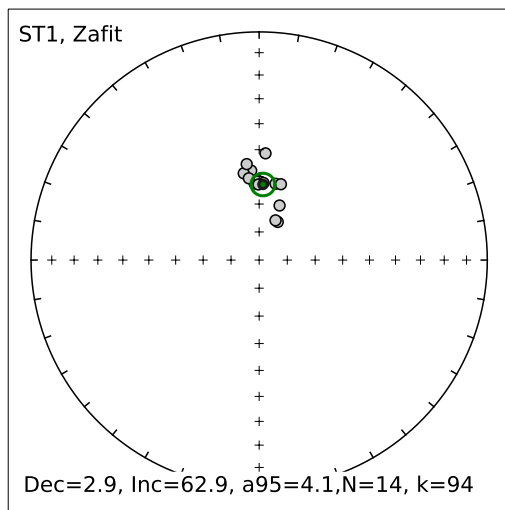
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (13); NRM=2.85e-06 Am^2

QTMB-2



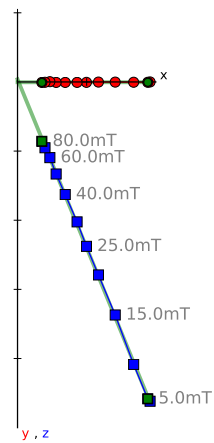
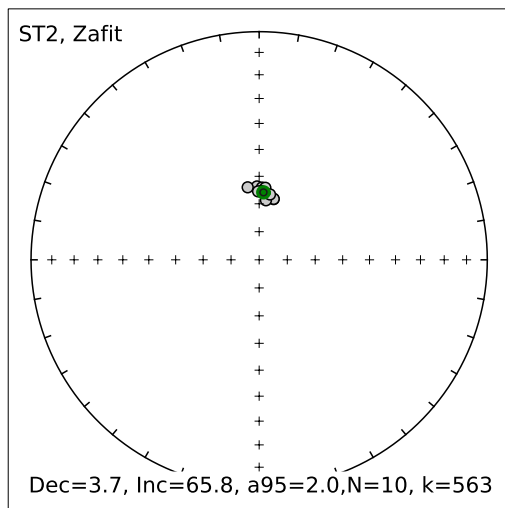
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (356); NRM=3.63e-06 $A m^2$

ST1-1



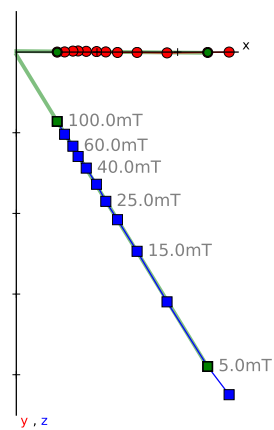
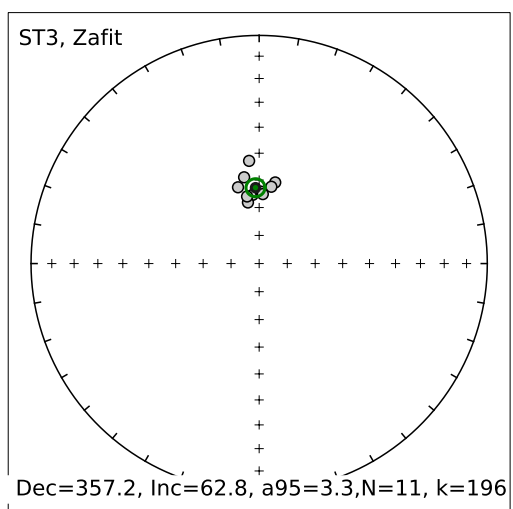
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (13); NRM=2.23e-05 $A m^2$

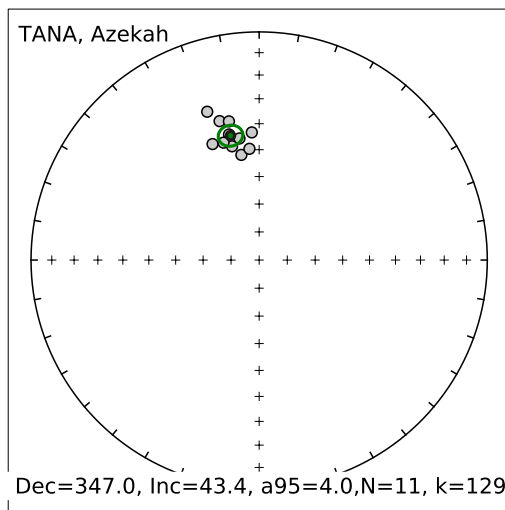
ST2-1-1



Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (350); NRM=2.06e-06 $A m^2$

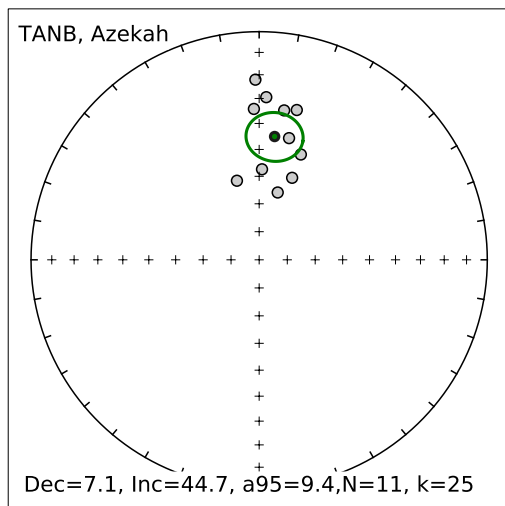
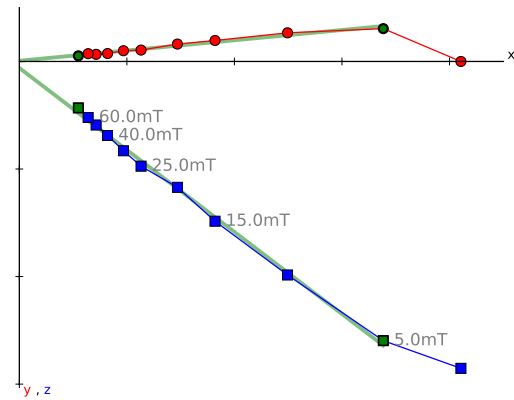
ST3-1





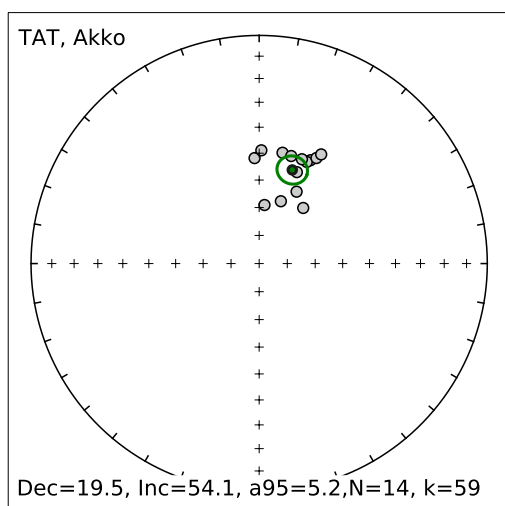
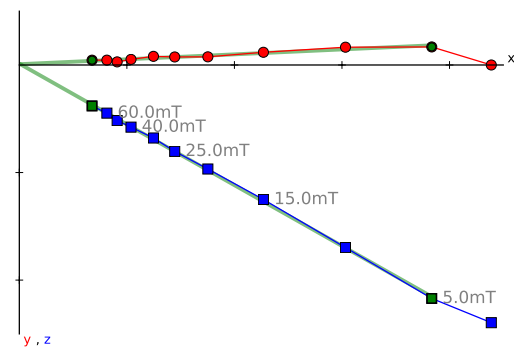
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (1); NRM=2.97e-06 $A m^2$

TANA-21



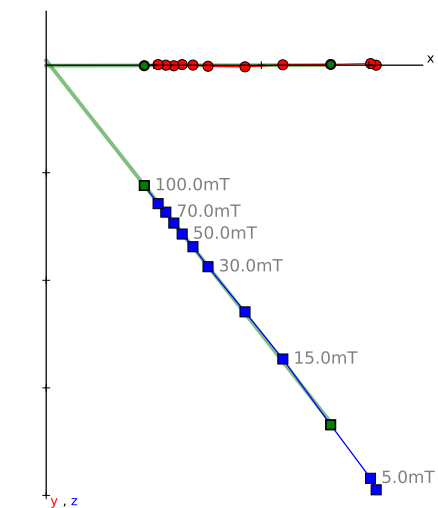
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (5); NRM=5.59e-06 $A m^2$

TANB-1



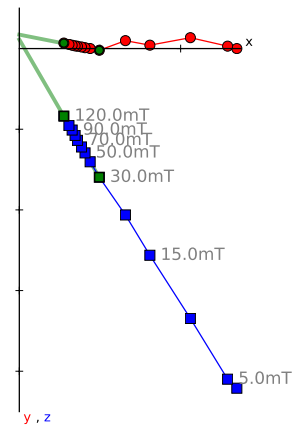
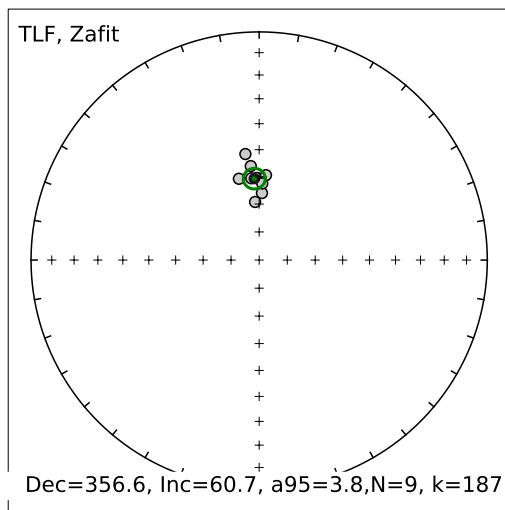
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (358); NRM=2.58e-06 $A m^2$

TAT-14-1



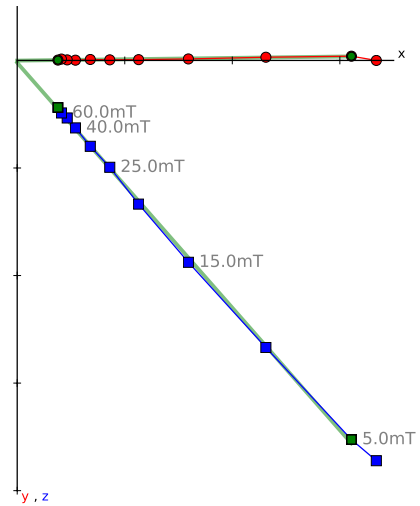
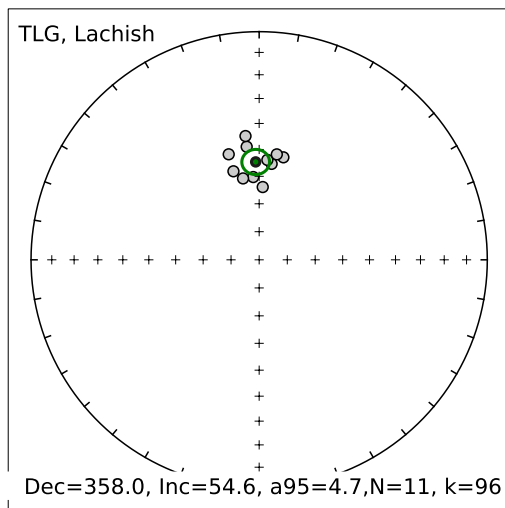
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (353); NRM=1.93e-06 $A m^2$

TLF-5-1



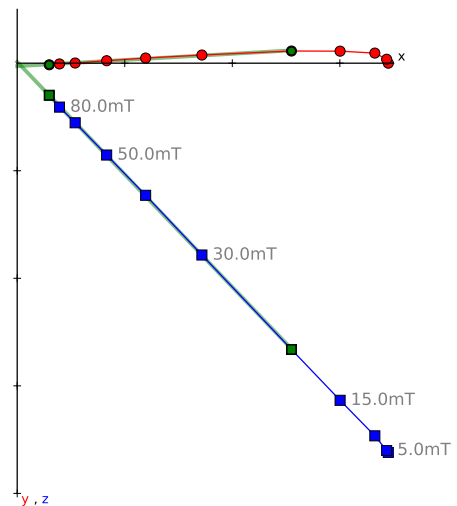
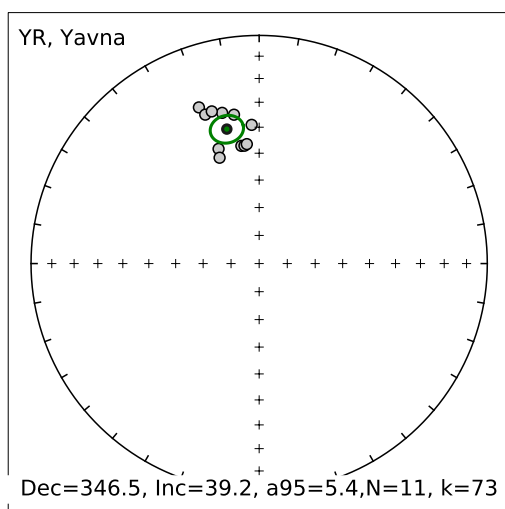
Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (354); NRM=1.33e-05 $A m^2$

TLG-2



Zijderveld plot
X-axis rotated to NRM (357); NRM=5.67e-07 $A m^2$

YR-4-B2



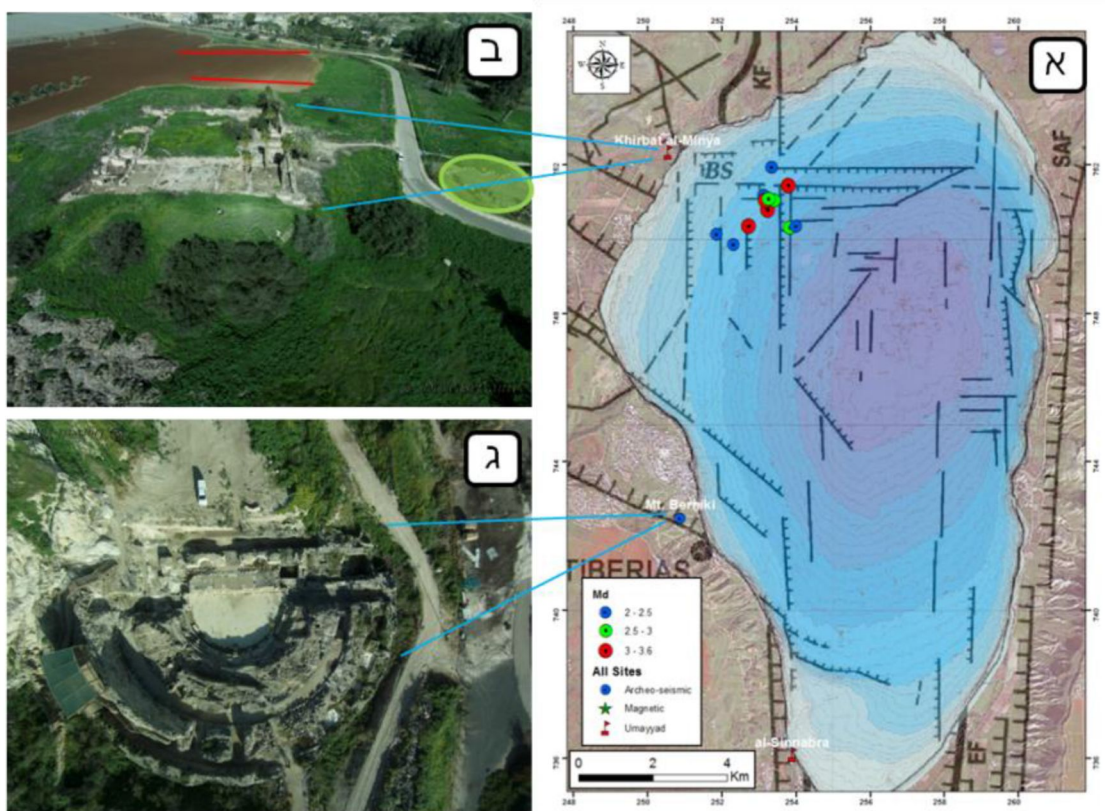
4.2. ארכיאוסיסמולוגיה :

4.2.1. פרטני

4.2.1.1. חורבת מנים :

אפיון הנזק באתר זה העלה את השאלות לגבי פיזור הנזק במרחב והשפעות המרחק ממוקד הרעידה ותנאי האתר למידת הנזק. בפרק זה מפורטת הערכת הנזק בחורבת מנים והניסיון לאתר את הגורמים לו.

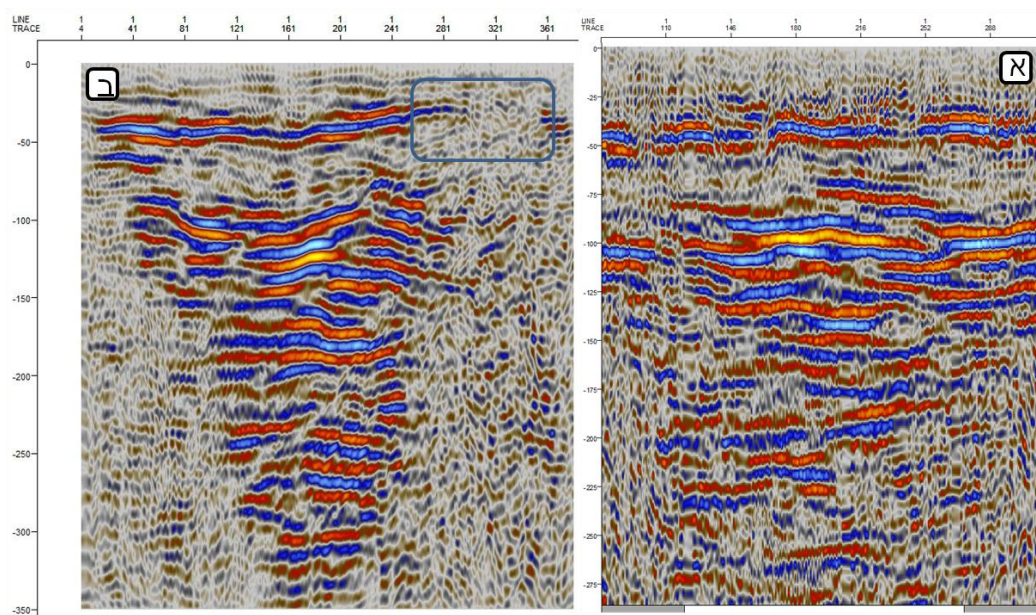
הגילים שהתקבלו בתיארוך ה OSL מתאימים בקירוב לרעשי האדמה של 1033 ו 1068 (טבלה 1). תוצאות אלו מתיישבות עם הממצא החומרי שהתגלה בחפירת האתר ועם שכבות ההרס מטבריה הסמוכה. עם זאת התיארוך הקדים את ההנחה המקובלת לתאריך ההרס בכ 200 שנים (Cytryn-Silverman, pers. com.).



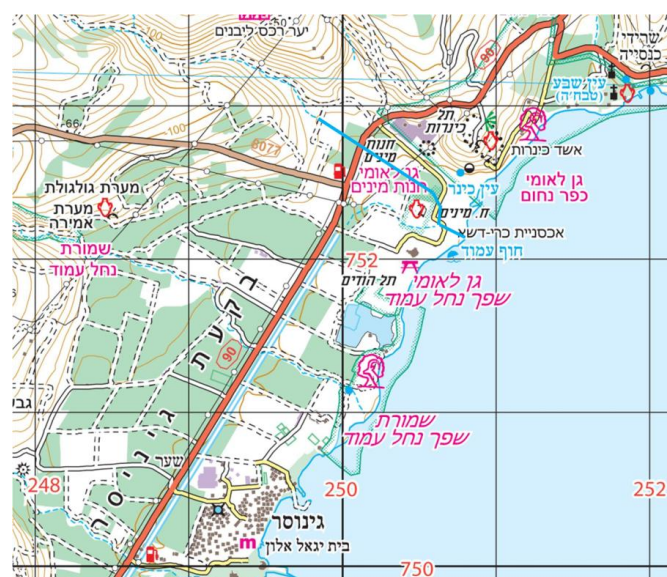
איור 15: רעידות האדמה של אוקטובר 2013. א. אפיצנטרים של המיקרו-רעשים על פי המכון הגיאופיזי (Gii.co.il), תבליט מוצלל ובתימטריה (Sade et al., 2009) והעתקים וליניאמנטים (Belitzky and Ben-Avraham, 2004); ב. חורבת מנים ומיקום התחכים הסיסמיים (באדום), מסומן בירוק איזור חפירת ההצלה בניהול גלעד צינמון (Cinamon, 2012); ג. התיאטרון הרומי בהר ברניקי (צילומי רחפן באדיבות ניב דרבסי).

במודל התלת מימדי, של חלקו המזרחי של הארמון (איור 12ב), לא נראים סימנים של תנועה יחסית בין חלקי המבנה השונים. גם מיפוי הסדקים והנזקים הגדולים לא מאפשר למתוח קו דיסקרטי ברור בין מיקום הנזקים השונים. תוצאות אלו מעידות כי ככל הנראה גורם הנזק אינו העתק פעיל הקבור תחת המבנה. באוקטובר 2013 התרחשו באזור זה עשר רעידות אדמה חלשות בדרגות 2 ו 3 (איור 15א). מיקום הרעידות, כפי שנקבע על ידי המכון הגיאופיזי הישראלי, בתוך הכינרת תואם את מיקום ההעתק כפי שהוצע על ידי Belitzky and Ben-Avraham (2004) (איור 15א).

כיוון שאין עדות בלתי תלויה להעתק מתחת לאתר, יש לחפש הסבר אחר לנוק. בכדי למפות את תת הקרקע באזור הארמון ערכנו שני סקרים סיסמיים מצפון לאתר, האחד במרחק של כ 20 מטר מהחומה הצפונית של האתר והשני במרחק של כמאה מטר מצפון לו (איור 15). הסקר הצפוני (איור 16א) לא מראה הפרעות משמעותיות בתת הקרקע הרדוד. לעומתו, הסקר הדרומי מראה הפרעה גדולה ברציפות המחזירים הסיסמיים בעומק של כ 20-30 mSec, זמן חזרה כפול (Two Way Time - TWT) (איור 16ב). הפרעה זו נמצאת בחלקו המזרחי של החתך וחופפת חלקית לרצועת ההרס. הפרעה מסוג זה יכולה להעיד על אפיק נחל הקבור בתת הקרקע, מסלול של נחל כזה יכול להיקבע על ידי העתק פעיל בכיוון צפון דרום, משני ומקביל להעתקים שמופו על ידי (Belitzky and Ben-Avraham 2004) ואחרים, אך אין בידינו עדות לכך.



איור 16: חתכים סייסמיים בחורבת מנים. א. חתך צפוני בזמן חזרה כפול (TWT); ב. חתך דרומי בזמן חזרה כפול (TWT), אזור ההפרעה מסומן בריבוע כחול.



איור 17: שחזור של נחל גף על גבי מפה טופוגרפית 1:50000 (govmap.gov.il).

האתר ממוקם על גדות נחלים מצפון ומדרום לו, אלו נפגשים ממזרח לאתר בסמוך לשער (איור 17): נחל מינים אשר מגיע מדרום ופונה מזרחה דרומית לאתר ונחל גף המגיע מצפון, זורם בסמוך לקירות הצפוניים של האתר ופונה דרומה ממזרח לו על מנת להיפגש עם נחל מינים. ניתן אם כך להניח כי מפגש הנחלים ממזרח לאתר יוצר אזור של סדימנט אלוביאלי בעל יציבות מבנית נמוכה מהסביבה. דבר זה מתיישב עם ממצאי החפירה של Cinamon (2012) ממזרח לארמון (איור 15ב). בחפירה זו נחשף סחף של חלוקי נחל מעומק של 0.5 מ' עד לעומק של 3.5 מ' (איור 18), הצטברות אשר מעידה על תוואי מסלולו של נחל גף (Cinamon, 2012).



איור 18: סדימנט אלוביאלי מאפיקו של נחל גף כפי שנחשף בחפירת ההצלה ממזרח לשער הארמון (Cinamon, 2012).

האם יתכן שהאומיים בחרו בכוונה בנקודה זו לבניית ארמון?

שניים מהמאפיינים הבולטים במקבץ הארמונות האומיים הם מראם הביצורי ומיקומם בסמיכות למקורות מים ובמקומות בעלי משמעות אסתטית. בניה בנקודה בולטת בעמק מעל מפגש נחלים יכולה לשרת את שתי המטרות הללו. בירדן ראינו עוד לפחות שני ארמונות כאלו שנבנו ממש על שפת נחל, משאש וטובה. אתר צינברא, אשר בנוי בראש תל בית ירח, היה בתקופה זו חצי אי הבולט לתוך הכינרת וערוץ הירדן עבר ממערב לו (גשר צינברא). בזמנים בהם מפלס הירדן היה גבוה נותק חצי האי מהיבשה על ידי הצפות. שלושת אתרים אלו סבלו מנזק גבוה לעומת האתרים הסמוכים אליהם.

באוקטובר 2013 נקלטו באזור זה עשר רעידות אדמה חלשות בדרגות 2 ו 3, מיקום הרעידות, כפי שנקבע על ידי המכון הגיאופיזי הישראלי, בתוך הכנרת, 2-3 ק"מ ממזרח לאתר תואם את מיקום ההעתק העיקרי אשר מופה על ידי Belitzky and Ben-Avraham (2004) לפי גיאומורפולוגיה תת-מימית (איור 15א). Belitzky and Ben-Avraham (2004) מיפו ליניאמנט נוסף, מערבי יותר, אשר עובר קרוב לחורבת מינים. Ferrario et al., (2014) סקרו תיאטרון רומאי בהר ברניקי (32.773611/35.544167) אשר נפגע מאותן רעידות (אמצע המאה השמינית והמאה האחת עשרה) (איור 15ב). בתיאטרון נזקים ישירים לרעידת אדמה הנופלים על קו ישר, אזימוט 320° , קו זה מקביל למצוקים שמצפון לאתר. קו ישר, באזימוט 0° , החופף בקירוב לליניאמנט המערבי עובר

בין אזור הנזק של התיאטרון ובקרבה לחורבת מינים. על קו זה, בקירוב, נובעים גם המעיינות המלוחים של חמי טבריה (מדרום) וטבחה (בצפון). עדויות אלו תומכות במסקנות כי חורבת מינים אינה יושבת על העתק פעיל אך בקרבה גדולה לאחד.

4.2.1.2. נבי סמואל :

אתרים ארכיאולוגיים יכולים לתרום לשחזור ההיסטוריה הסייסמית של אזור. בכך, הם יכולים לתרום ליצירת הערכות סיכונים, גדלי רעידה צפויים, מיקום הרעידות, האזור המושפע מהן וזמני החזרה הצפויים של רעידות מגודל מסוים. דרום מזרח הלבנט הוא אחד האזורים הבודדים בעולם עם תיעוד היסטורי-סייסמי ארוך ורציף של כאלפיים שנים ותיעודים בודדים קדומים אף יותר. עדויות אלו, ממגוון מקורות, מאפשרים יצירת קטלוגים רציפים של רעידות אדמה היסטוריות. גדלי הרעידות, עצמת ההרס וגודל האזור המושפע מהן מוערכות ממקורות היסטוריים, אתרים ארכיאולוגיים ועדויות גיאולוגיות. בניגוד לרעידות הגדולות ($M > 7$) שתועדו במספר מקורות הרעידות הבינוניות ($6 < M < 7$) תועדו לעיתים במקורות בודדים אשר מביאים עדויות לא ברורות, מרומזות, או ממקורות שניוניים ואף שלישוניים.

בעיה זו מודגשת במיוחד במקרה הרעידה של 31 לפנה"ס, אשר מתוארת בספריו של יוסף בן מתתיהו. רעידה זו נתונה למחלוקות רבות באשר לגודלה, רמת הנזק שהיא יצרה ואף הועלתה השאלה אם בכלל קרתה. מתתיהו, אשר נולד בירושלים ב 37/38 לספירה מביא בספרו מלחמות היהודים את התיאור הבא: "אבל בעוד הוא [הורדוס] מעניש את אויביו התרגשה ובאה עליו פורענות חדשה, מעשה אלוקים שאירע בשנת השבע למלכותו [31 לפנה"ס], בעיצומה של מלחמת אקטיום. בתחילת האביב הרס רעש אדמה בהמות לאין מספר ושלושים אלף נפש: אבל הצבא שחנה בחוץ נמלט מפגע" (יוסף בן מתתיהו, מלחמות היהודים, תרגום: שמואל חגי, עמ' 60). מתתיהו חוזר על תיאור דומה בספרו קדמוניות היהודים (א', 369) עם התוספת כי הרעידה הייתה "כזו שלא הייתה לפניו". תיאור זה נתון במחלוקת בין החוקרים ממספר סיבות: 1. מספר ההרוגים הגבוה; 2. חוסר הפירוט של הישובים שנפגעו העומד בניגוד לפירוט הרב לגבי תאריך הרעידה (בזמן קרב אקטיום, בשנה השביעית לשלטון הורדוס, בזמן המלחמה עם הערבים, בזמן האביב); 3. העובדה שרעידה זו לא תועדה בצורה ברורה בשום מקור אחר בן הזמן (Karcz, 2004). נזקים באתרים ארכיאולוגיים ששויכו לרעידה זו בעבר, בקומראן, מצדה ויריחו, נדחו על ידי חוקרים והוסברו כנזקים טבעיים (Karcz, 2004). לעומת זאת מחקרים על סייסמיתים בים המלח זיהו עדויות לרעידה זו (Migowski et al., 2004; Kagan et al., 2011).

בחפירה הארכיאולוגית במדרון הצפוני של גבעת נבי סמואל, בניהול מגן (1992-2003) והר-אבן (2007-2014), נחשפו חורבות שכונה הלניסטית אשר נבנתה במאה השנייה לפנה"ס. בשכונה שרידים מרשימים של מבנים שהשתמרו, תחת מפולת אחידה, לגובה של מעל שני מטרים. המבנים, משני צידי רחוב שהשתמר, בנויים בבניה יבשה מאבני שדה מסותתות חלקית. הם נמצאו ריקים לחלוטין ורוב הפתחים חסומים באופן יזום. בכפר סימנים רבים לנזק ממקור סייסימי, ביניהם: מפולות גדולות שכיסו את השכונה כולה, סדקים גדולים, דפורמציה לקירות ועוד. בחפירות לא נמצאו שום ממצאים היכולים להעיד על חורבן ממלחמה ובכל מקרה, חורבן

אנושי לא יכול לייצר מפולת אחידה כל כך על פני שטח נרחב כל כך. על פי החרסים שנמצאו בחפירה מתארכים החוקרים את נטישת הכפר למחצית השנייה של המאה הראשונה לפנה"ס.

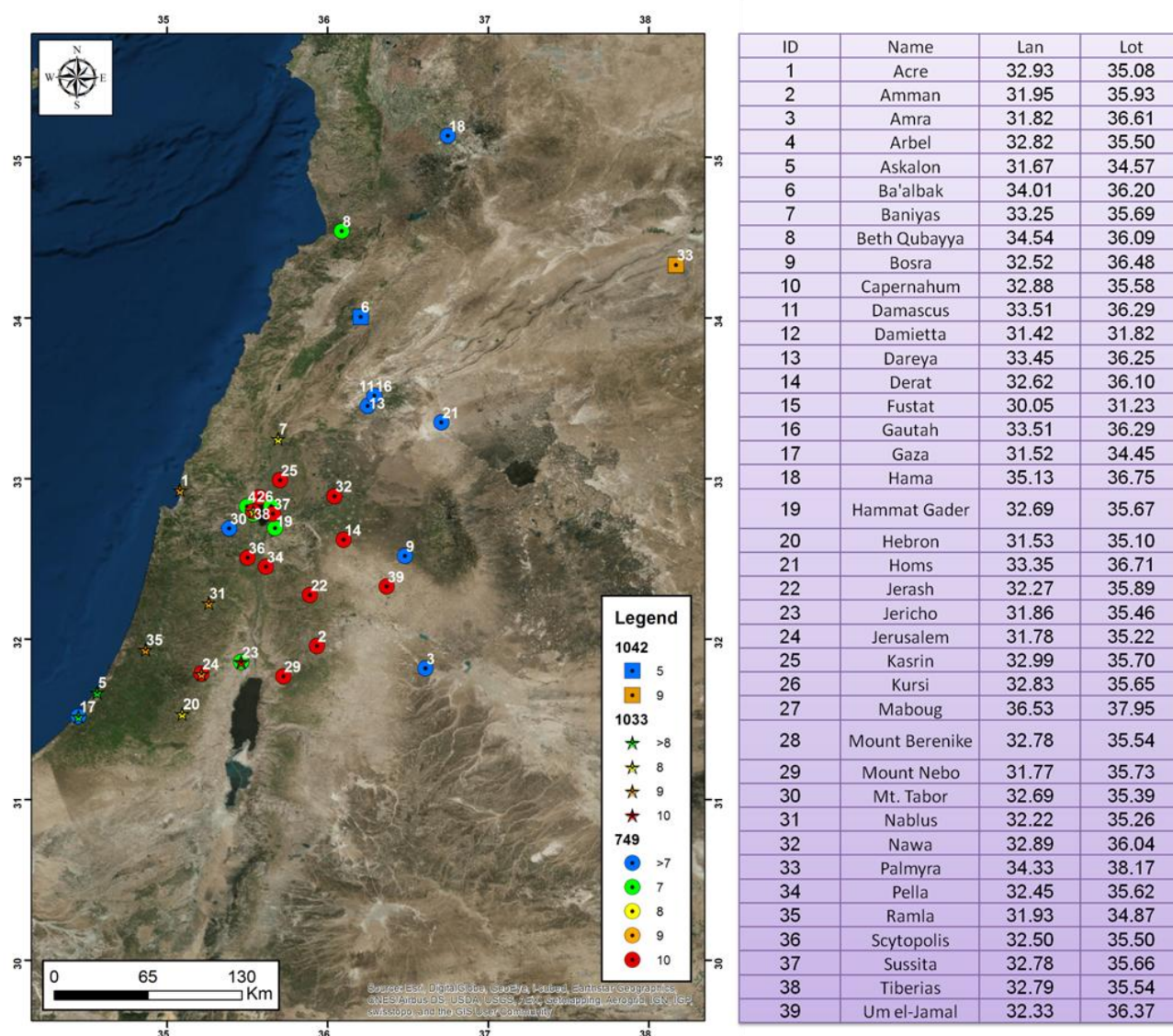
שלב ההתיישבות הבאה באתר כולל שכונה מהמחצית הראשונה של המאה הראשונה לספירה. שכונה זו נבנתה בקצה הדרומי של השכונה ההלניסטית, מעל שכבת החורבן. בהתיישבות זו אין סימנים לנזקים סייסמיים כלל ועל כן בנייתה מהווה תאריך מקסימום לרעידת החורבן. נראה אם כך כי הכפר ההלניסטי בנבי סמואל חרב בין אמצע המאה הראשונה לפנה"ס לתחילת המאה הראשונה לספירה. הרעידה של 31 לפנה"ס היא המועמד הידוע היחיד שמתאים לחלון זמן זה. אך הרעידה החרובה כפר שומם, נראה כי התושבים נטשו את בתיהם בצורה מסודרת מבעוד מועד. דבר זה יכול להיות מוסבר על ידי נטישה בשל איום פוליטי או מלחמתי, אולי פלישת פומפיוס הרומאי ליהודה בשנת 63 לפנה"ס.

אם כך נשאלת השאלה למה החורבן בנבי סמואל כל כך נרחב מחד ומאידך ה עדויות שנמצאו לחורבן דומה באתרים ארכיאולוגיים אחרים נתונות למחלוקת (Karcz, 2004). התשובה לכך תמונה ככל הנראה בגורמי האתר הייחודיים של השכונה ההלניסטית בנבי סמואל. המדרון התלול עליו נבנתה השכונה, הבניה הגבוהה (שתיים ואף שלוש קומות) והיבשה והעובדה כי הבתים נבנו צמודים האחד לשני תרמו לנזק הנרחב באתר, נזק שלא נמצא באתרים אחרים.

אתר נוסף שמראה נזק ממקור סייסמי היכול להתאים לרעידה זו הינו קיפרוס. האתר בנוי בראש תל אל עקבה מדרום לוואדי קלט ובסמוך למפגש של הוואדי עם עמק הירדן. האתר נחפר בשנת 1974 על ידי נצר ודמתי שזיהו נזקים סייסמיים בבית המרחץ הבנוי בראש התל ומתוארך לתקופה הרומית המוקדמת, כשהמטבע המאוחר ביותר שנמצא מתוארך לשלטונו של אגריפה I (Agripa I, 10-144 BCE). כמו נבי סמואל, גם אתר זה בנוי על מדרון תלול מאוד דבר שיכול להסביר את הנזק הנרחב (Netzer and Damati, 1975; Netzer 1992).

4.2.2. אפיון נזק מרחבי :

באזור 19 מוצגים כל האתרים שמוזכרים במקורות ההיסטוריים ככאלו שהרגישו את הרעידות במאה השמינית (Marco et al., 2003) ובמחצית הראשונה של המאה האחת-עשרה (Guidoboni and Comastri, 2005). פיזור האתרים אינו אחיד משני צידי הבקע, במיוחד במאה האחת עשרה בה אין כמעט אזכור לאתרים פגועים ממזרח לירדן. על כן, בחינת נזקים באתרים ארכיאולוגיים נדרשת להשלמת תמונת פיזור הנזק ודעיכת הגלים.

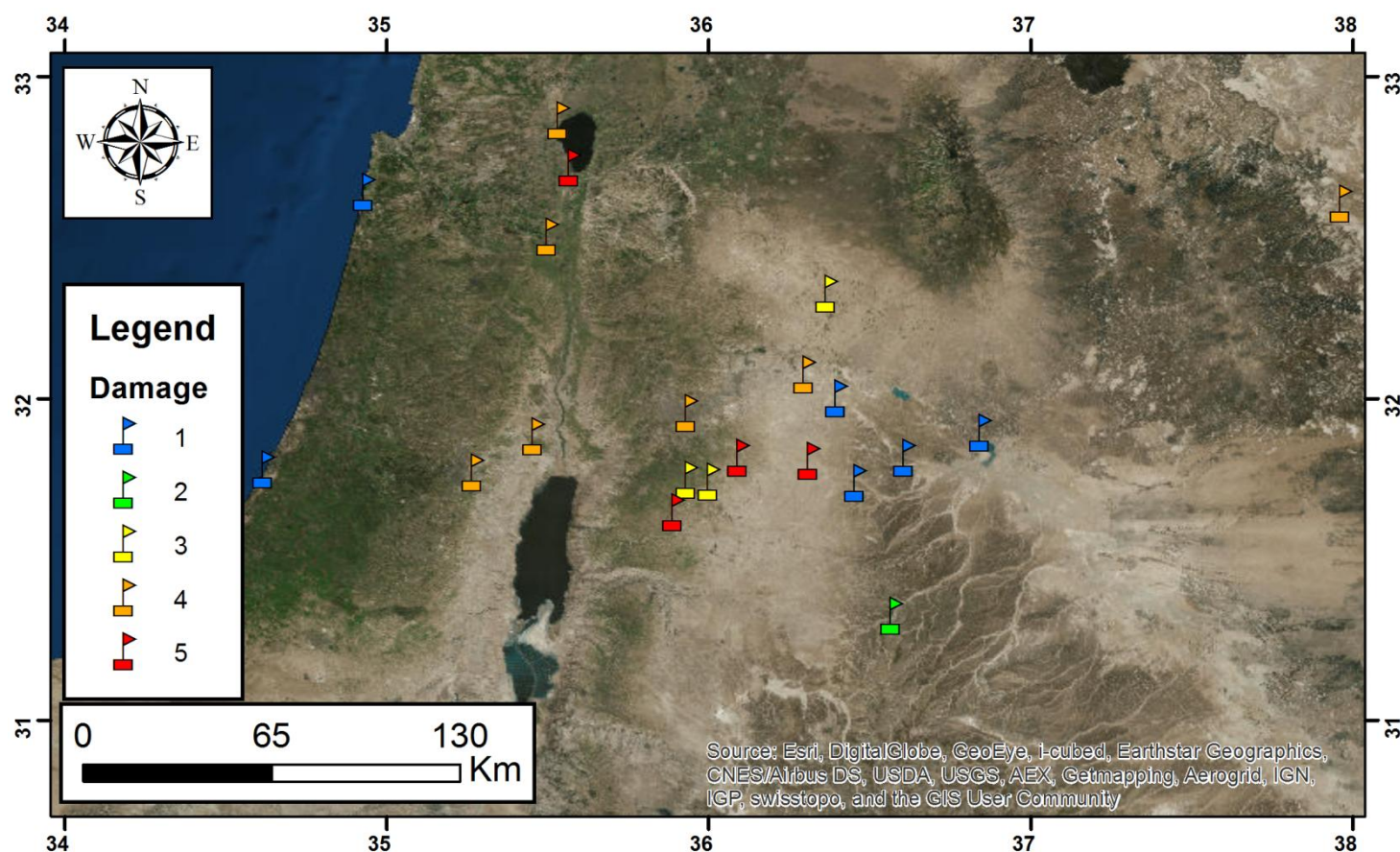


איור 19: האתרים המוזכרים במקורות ההיסטוריים ככאלו שהרגישו את הרעידות ההיסטוריות. 749 מתוך Marco et al. 2003, 1033 ו 1042 מתוך Guidoboni and Comastri, 2005

בטבלה 2 ואיור 20 מרוכזת סקירת 21 האתרים האומיים משני צידי הירדן. כל אתר דורג על פי סולם הנזק שהוגדר, טופוגרפיה מקומית וחומרי בניה. גם תשתית גיאולוגית וסטרטיגרפיה גיאולוגית בתת הקרקע נבחנו לשם הערכות של גורמי הגברה או הנחתה סייסמיים מקומיים. ניתוח מאפייני פיזור הנזק מראה שהגורם המשמעותי ביותר לפגיעות אתר הוא מרחקו מהבקע (איור 21). אתרים המרוחקים מעל כ-80 ק"מ ממזרח לבקע לא מראים סימני נזק משמעותי מלבד קאסר בורקו, כ-230 ק"מ ממזרח לבקע. נראה שאתר זה נפגע מרעידות צפון מזרחיות יותר, אולי ממערכת העתקי פלמירה. מועמדת אפשרית לנזק זה היא הרעידה שהחריבה את העיר פלמירה והורגשה בבעל-בק בשנת 1042 (Guidoboni and Comastri, 2005). לפיכך, אתר זה אינו רלוונטי לדיון בהעתק עמק הירדן.

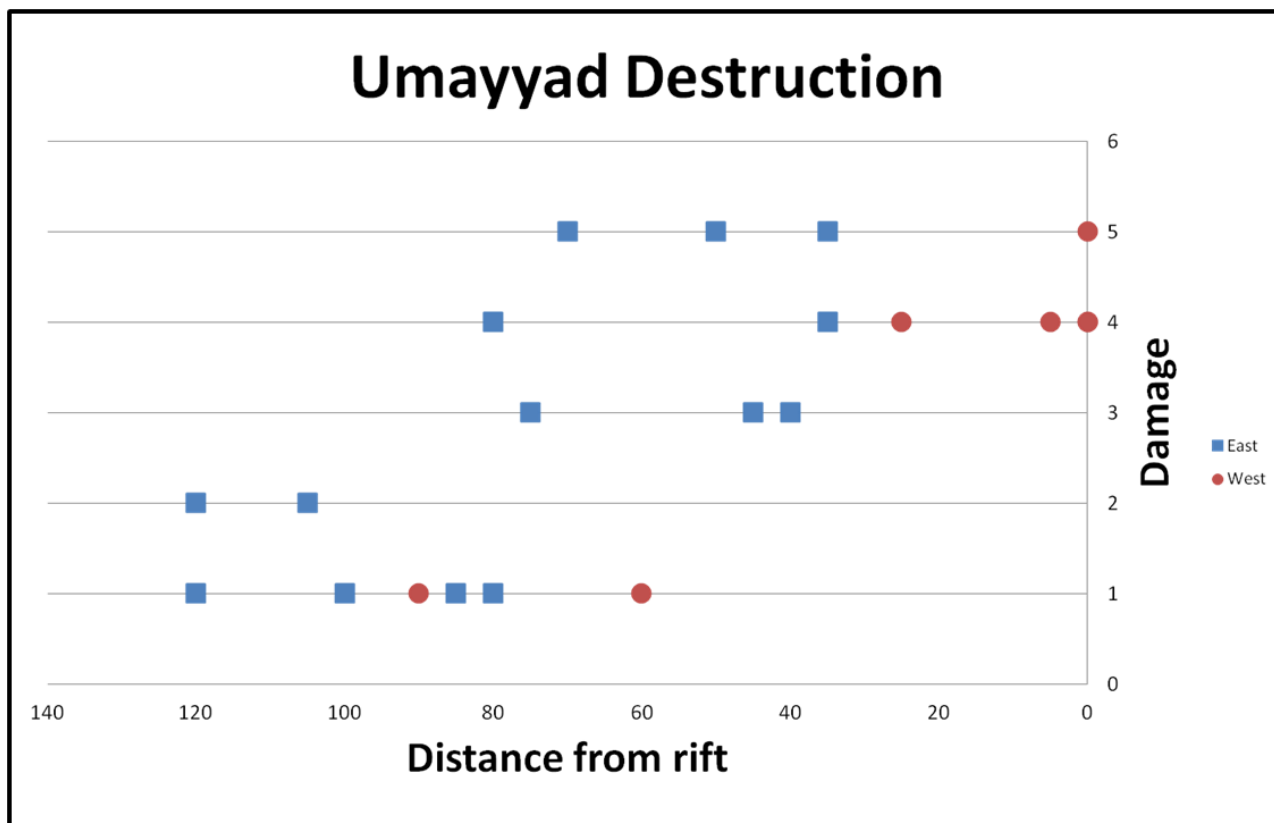
ID	Name	Lat	Lon	Damage	Distance to rift (Km)	Topography	Building Materials
1	Qasr Burqu	32.606	37.966	4	225	Plain	Local basalt
2	Ain al Sil	31.894	36.846	1	120	Alluvial plain	Local basalt
3	Qasr Amra	31.815	36.610	1	100	Alluvial plain	Local limestone
4	Qasr Kharana	31.738	36.459	1	85	Alluvial plain	Mud bricks
5	Qasr Tuba	31.325	36.571	2	105	Alluvial plain	Mud bricks
6	Umm al-Jimal	32.326	36.369	3	75	Basalt plain	Local basalt
7	Qasr Hallabat	32.075	36.368	4	80	Lime knoll	Local basalt and limestone
8	Hamam al-Sarakh	32.067	36.366	1	80	Alluvial plain	Local limestone
9	Qasr Mushash	31.806	36.313	5	70	Alluvial wadi bank	Local limestone
10	Qasr Muwaqqar	31.815	36.094	5	50	Low limestone hill	Local limestone
11	Qasr Mushatta	31.742	36.003	3	45	Alluvial plain	Mud bricks
12	Qasr Umayyad (Amman)	31.954	35.934	4	35	Steep limestone hill	Local limestone
13	Qasr al-Qastal	31.746	35.935	3	40	Moderate limestone hill	Local limestone
14	Umm al-Walid	31.645	35.893	5	35	Steep limestone hill top	Local limestone
15	Khirbet al-Miniya	32.865	35.536	4	0	Alluvial valley	Local basalt and limestone
16	al-Sinnabra	32.719	35.571	5	0	Alluvial Mound/tell	Local basalt and limestone
17	Beth-Shan	32.502	35.502	4	5	Alluvial Valley	Local basalt and limestone
18	Khirbet al-Mafjar	31.882	35.459	4	0	Alluvial plain	Local limestone
19	Jerusalem	31.770	35.270	4	25	Moderate mountain slope	Local limestone
20	HaBonim	32.642	34.934	1	60	"Kurkar" ridge	calcarene rock
21	Ashdod Yam	31.780	34.621	1	90	Sea shore	calcarene rock

איור 2: פירוט האתרים האומיים.

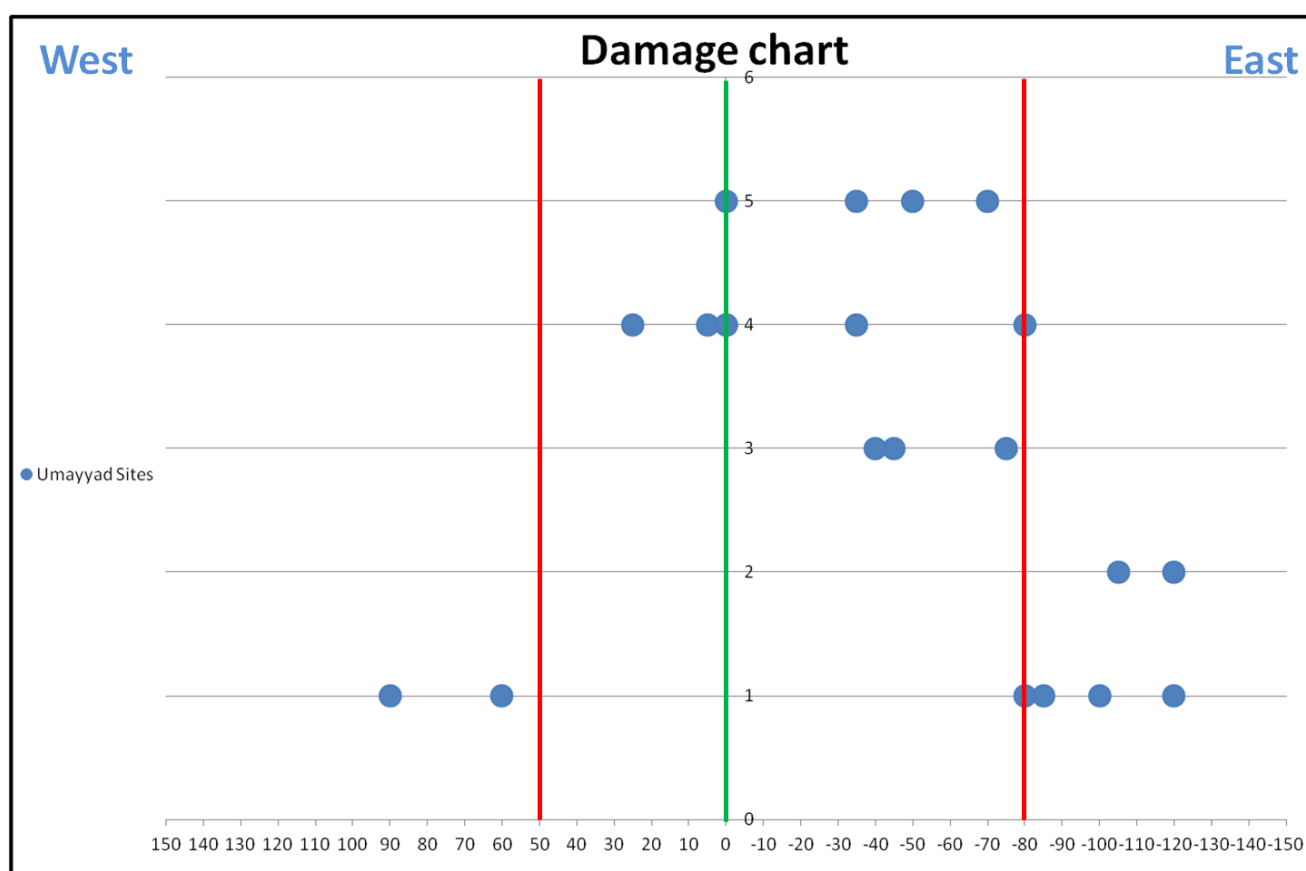


איור 20: אתרים אומיים על פי דרגת הנזק.

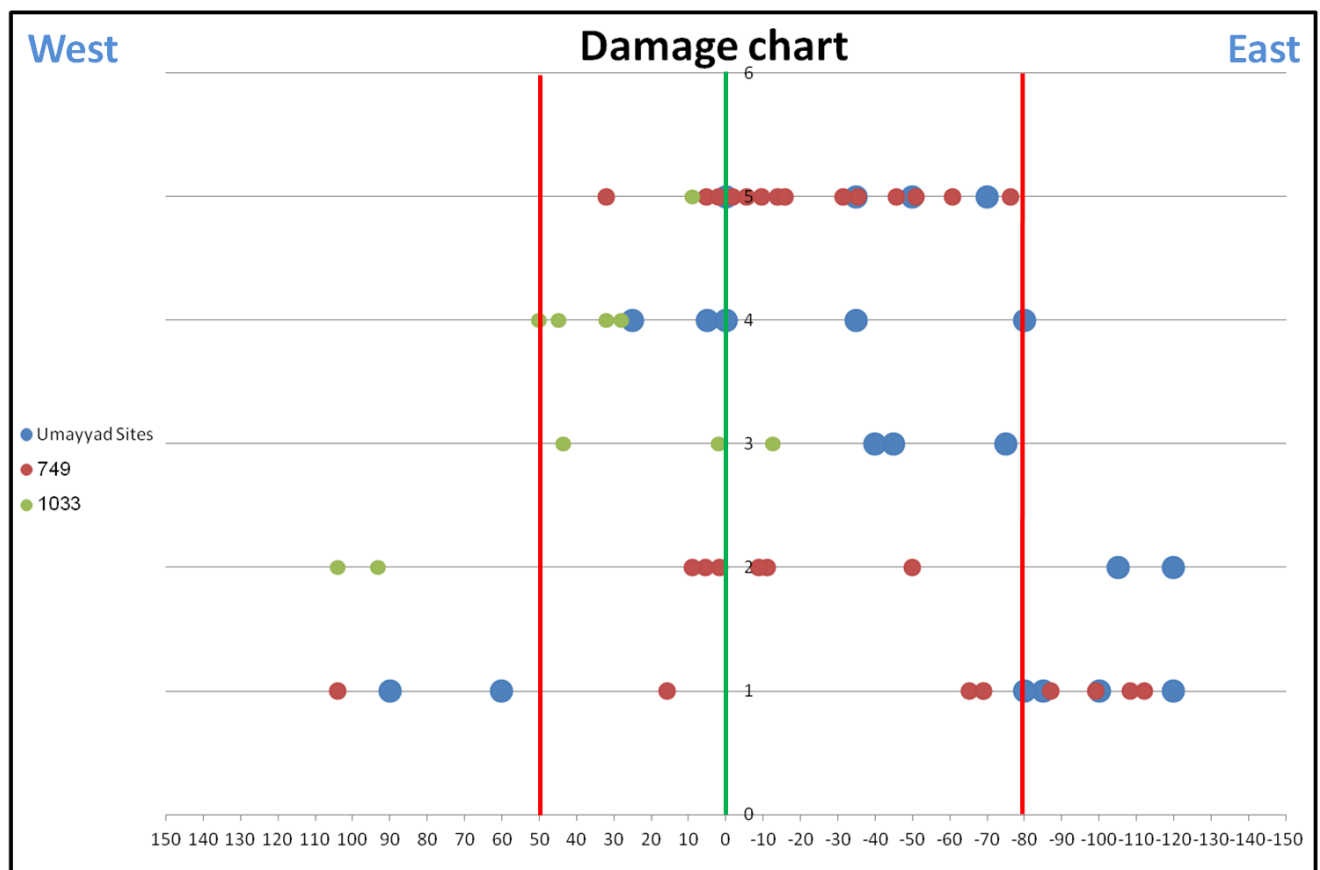
בעוד המרחק מהבקע מסביר את התמונה הכללית הוא אינו מסביר את המקרה הפרטי, זאת בשל תגובות אתר. מבחינת התשתית הגיאולוגית מבנים שנבנו על תשתית אלוביאלית (מאשטה, טובה) גדות נחלים (מינה), מילויים מעשי ידי אדם (צינברה) או טופוגרפיה בולטת (חאלבט, מוואקר, עמאן, קאסטל, אום אל וואלד) הראו הגברה של הנזק הצפוי. בעוד אתרים שנבנו בעמקים (חמאם אל סארה, קאסר עמרה, משאטה) נפגעו פחות.



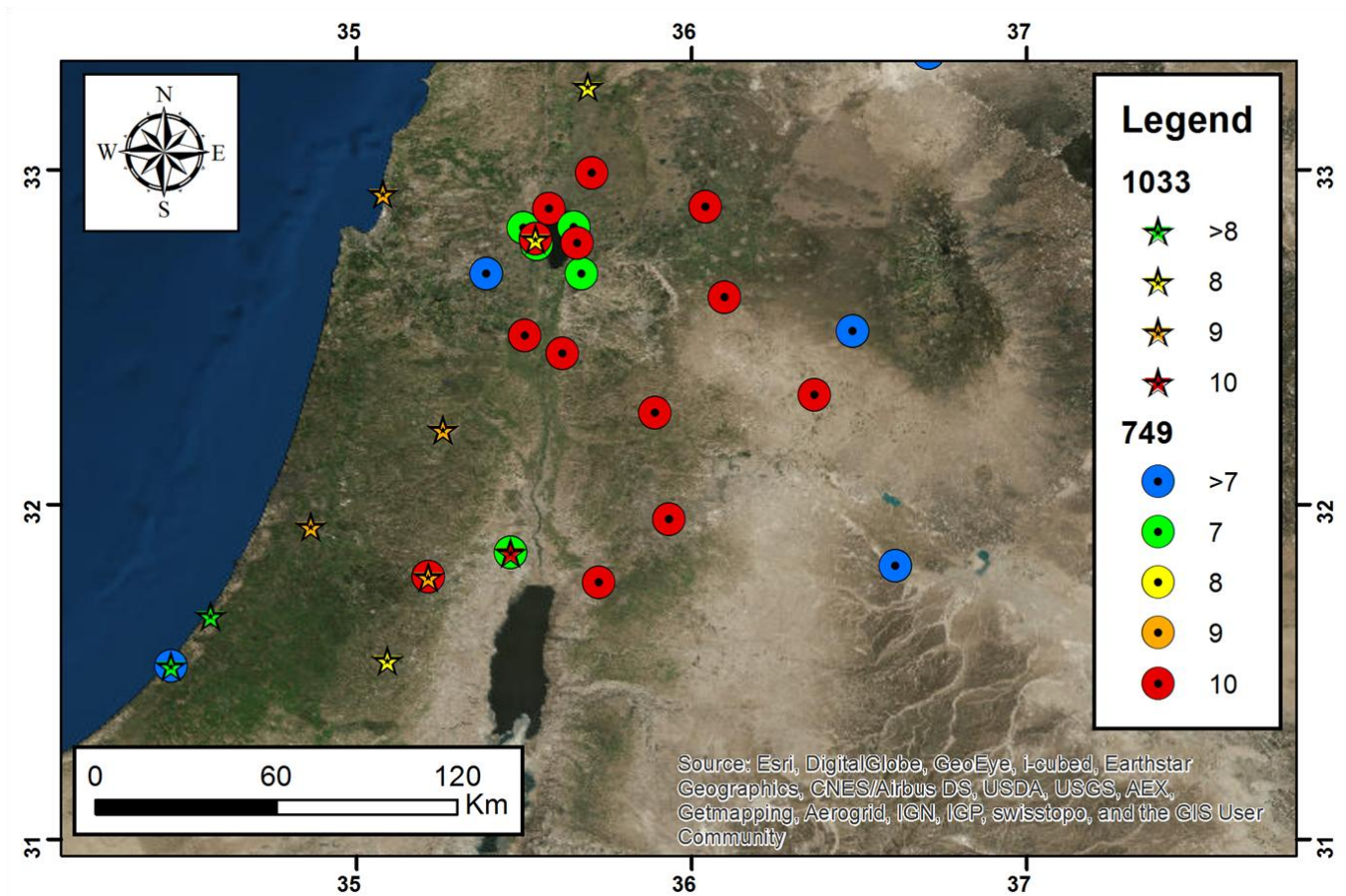
איור 21: דרגת הנזק באתרים האומיים על פי מרחק מוחלט מהבקע.



איור 22: דרגת הנזק משני צידי הבקע, אתרים אומיים בלבד. ההעתק מסומן בירוק, גבולות הנזק מסומנים באדום.



איור 22: דרגת הנזק משני צידי הבקע. השוואה למקורות ההיסטוריים. ההעתק מסומן בירוק, גבולות הנזק מסומנים באדום. 749 מתוך Marco et al. 1033, 2003 מתוך Guidoboni and Comastri, 2005



מבחינת חומרי הבניה נראה כי מבנים הבנויים מלבני בוך (משאטה, חארנה, טובה) נפגעו פחות ממבנים הבנויים מאבנים מסותתות. יתכן כי הגמישות היחסית של לבני הבוך מאפשרת למבנה מידת מה של עמידות בפני הגלים הסייסמיים.

מבחינת המרחק מהבקע בולט ההבדל בין שני צידי הבקע כאשר בצד המזרחי אתרים נפגעים משמעותית (דרגה 3 ומעלה) במרחק של עד כ-80 ק"מ מהבקע ואילו בצד המערבי רק עד כ-50 ק"מ מהבקע (22). בעוד בצד המזרחי ניתן לאפיין את קצה אזור הנזק בצורה מדויקת, בשל ריכוז האתרים הגדול. בצד המערבי נדירות האתרים מקשה על קביעת גבול הנזק, קו ה-50 ק"מ נקבע על פי רמלה. רמלה חרבה בשני האירועים הסייסמיים של המאה האחת עשרה (Gorzalczani, 2008), ברור שהתשתית הגיאולוגית של רמלה מייצרת הגברה של הנזק ומצד שני אין מבנה אומי בר השוואה למבנים בסקר זה. בכדי לבחון תיאוריה זו נערכה השוואה למקורות ההיסטוריים, השוואה אשר תומכת בתצפית שלנו (איורים 23 ו 24).

5. דיון :

5.1. ארכיאומגנטיות :

בעבודה זו נמדדו ~630 דוגמיות של קרמיקה ובוץ צרוף (לבנים וטיח) מ 48 אתרים, כ 70% מהאתרים שנאספו במהלך המחקר (טבלאות 3-4). שלושים ושניים אתרים עברו את הקריטריונים של $\sigma < 100y$ and $N > 6$, $k > 50$, $\alpha_{95} < 6$, כ 65% מסך האתרים שנבדקו. אתר אחד, כ- 2% מכלל האתרים שנמדדו, עבר קריטריונים אלו אך נפסל בשל אי וודאות גדולה על גילו (TANA). חמישה אתרים, כ-10%, נפסלו מכיוון שהדוגמאות לא היו במקום הצריפה המקורי שלהן. עשרה אתרים, כ-20%, נפסלו בשל $N < 6$ / $k < 50$ / $\alpha_{95} > 6$.

האתר בעל אי הוודאות על גילו מתל עזקה (TANA) נדגם במהלך חפירה פעילה, על כן הגיל המצוין הוא הערכה ראשונית בלבד ; יתכן שעם פרסום דוחות החפירה הסופיים תצטמצם אי וודאות זו. שניים מתוך האתרים שלא היו במקומם בתל מגידו (IBW, MED) הם קירות נפולים שנדגמו על מנת לענות על שאלות ארכיאולוגיות ולכן אין זה מפתיע שהם אינם במקומם. שניים נוספים (HMPA, HMPB) הינם פיטסים אשר נדגמו מתוך שכבת החורבן של תל חצור. התוצאות מראות כי החום של שריפת החורבן לא גרם לשינוי משמעותי של הסיגנל המקורי (מומן היצירה) של כלים אלו. בנוסף, כלים אלו נדגמו, מצידם הפנימי - כמו שדוגמים טבון (בו הבערה מתרחשת בפנים) אך במהלך החורבן הכלים נשרפו מבחוץ. Gur-Arieh et al. (2013) הראו שגם בטמפ' גבוהות החום לא חודר את החרס לעומק של יותר ממספר מילימטרים ועל כן הדוגמאות בקושי הושפעו משריפת החורבן. דיגום עתידי של כלים מסוג זה, מצידם הפנימי עשוי לתת תוצאות טובות יותר. התוצאה של אתר HFT אניגמטית הרבה יותר. שני חלקים מטבון זה, שנמצא בשכבת החורבן מהמאה השמינית בסוסיתא, מראים תוצאות נפרדות. שתי התוצאות שהתקבלו לא מתאימות לאתרים האחרים או למודלים המגנטיים השונים. נראה כי במהלך הקבורה, מאז הצריפה האחרונה בסמוך לזמן החורבן, הטבון זו ממקומו או סבל מהשפעה חיצונית אחרת אשר שינתה את הכיוון של הווקטור המגנטי במחצית האתר בכיוון אחד ובמחצית השנייה בכיוון השני בשל כך נפסל האתר.

ריכוז תוצאות מגנטיות												
#	name	location	lat	lon	dec	inc	age	a95	k	n	r	q
1	ASTA	Azekah	31.7	34.93	8.8	66.9	750-	5	60	15	14.7684	1
2	AWTA	Azekah	31.7	34.93	347.8	50.7	350-	3	91	26	25.7268	1
3	BHK	BeitHanania	32.922	35.418	359.7	42.1	350	4.4	73	16	15.7934	2
4	BSG	Bethsaida	32.91	35.631	358.2	58.8	732-	4.2	131	10	9.9312	4
5	CATA	Megiddo	32.584	35.184	13.6	64.7	800-	5.6	55	13	12.7826	3
6	CATB	Megiddo	32.584	35.184	354.4	58.4	800-	4.9	72	13	12.8344	3
7	CHEA	Megiddo	32.584	35.184	15.7	63.9	850-	5	75	12	11.854	3
8	CHEB	Megiddo	32.584	35.184	356.7	61.1	850-	4.1	140	10	9.9358	3
9	CWV	Megiddo	32.584	35.184	351	58.1	1070-	4.2	110	12	11.9003	4
10	EGT	EinGedi	31.4618	35.3924	0.3	49	550	4.4	84	14	13.846	3
11	EQT	Megiddo	32.584	35.184	2.9	61.4	900-	5.6	61	12	11.8209	4
12	HFT	Sussita	32.778	35.659	6.9	66.6	750	7.3	25	17	16.3585	6
13	HGTA	GivatiPL	31.774	35.235	344.3	41.6	363	3.9	546	4	3.9945	6
14	HGTB	GivatiPL	31.774	35.235	2	54	850	3.3	132	15	14.8939	2
15	HJK	Jomjom	31.669	35.101	358.3	40.5	350	4.5	65	17	16.7524	3
16	HKP	Hazor	33.0167	35.5669	355.4	60.7	1250-	3.5	176	11	10.9431	3
17	HKT	Herodium	31.66	35.241	8	56.8	10-	5.5	53	14	13.7546	4
18	HMPA	Hazor	33.0167	35.5669	184.4	49.1-	1250-	8.2	32	11	10.6861	6
19	HMPB	Hazor	33.0167	35.5669	331.1	41.9-	1250-	4.3	66	18	17.7443	6
20	HMT	Herodium	31.66	35.241	4.6	55.8	72	12.8	20	8	7.6426	4
21	HTHA	Herodium	31.66	35.241	347.5	50.4	10-	5.6	97	8	7.9282	4
22	HTHB	Herodium	31.66	35.241	349.3	43.7	10-	15.9	13	8	7.467	4
23	IBW	Megiddo	32.584	35.184	183.3	54.1	1070-	30.1	5	7	5.7934	6
24	MEG	Megiddo	32.584	35.184	358.6	56.7	1000-	4.1	73	18	17.7658	4
25	MGD	Megiddo	32.584	35.184	288.4	61.4	1000-	29.1	5	8	6.4726	6
26	MQT1	Megiddo	32.584	35.184	3.9	66.3	900-	2.8	114	23	22.8072	1
27	MQT2	Megiddo	32.584	35.184	357.7	53.3	1050-	15.6	19	6	5.7431	6
28	MQT3	Megiddo	32.584	35.184	207.8	58.2	750-	25.3	5	10	8.0439	6
29	MTHM	Megiddo	32.584	35.184	1.7	64.9	1100-	13.5	25	6	5.8035	6
30	MTQK	Megiddo	32.584	35.184	21.6	63	1000-	9.1	72	5	4.9448	5
31	MTSL	Megiddo	32.584	35.184	5.2	46.4	1650-	3.2	265	9	8.9698	2
32	Mcv	Megiddo	32.584	35.184	256.2	81.2	1070-	17.8	8	11	9.6741	3
33	NEVA	Megiddo	32.584	35.184	354.5	60.9	750-	5.5	87	9	8.9082	3
34	NEVB	Megiddo	32.584	35.184	274.4	75.5	750-	2.4	977	5	4.9959	5
35	NST	NabiSamwill	31.832	35.18	353.2	56.8	50-	4.6	125	9	8.936	4
36	NTH	Hazor	33.0167	35.5669	6.5	63.6	750-	3.9	157	10	9.9425	1
37	NTHB	Hazor	33.0167	35.5669	6.5	57.2	750-	4.2	256	6	5.9805	3
38	QTMA	Megiddo	32.584	35.184	28.3	63.8	850-	4.1	142	10	9.9366	3
39	QTMB	Megiddo	32.584	35.184	7.2	71.2	850-	3.1	200	12	11.9449	1
40	ST1	Zafit	31.7	34.847	2.9	62.9	900-	4.1	94	14	13.8616	1
41	ST2	Zafit	31.7	34.847	3.7	65.8	820-	2	563	10	9.984	1
42	ST3	Zafit	31.7	34.847	357.2	62.8	800-	3.3	196	11	10.9489	1
43	TANA	Azekah	31.7	34.93	347	43.4	0	4	129	11	10.9226	5
44	TANB	Azekah	31.7	34.93	7.1	44.7	0	9.4	25	11	10.5933	6
45	TAT	Akko	32.9211	35.0883	19.5	54.1	700-	5.2	59	14	13.7803	4
46	TLF	Zafit	31.7	34.847	356.6	60.7	1250-	3.8	187	9	8.9572	1
47	TLG	Lachish	31.565	34.848	358	54.6	586-	4.7	96	11	10.8956	3
48	YR	Yavna	31.846	34.793	346.5	39.2	660	5.4	73	11	10.8624	4

טבלה 3: סיכום תוצאות מגנטיות. ירוק: אתרים שעברו את הקריטריונים. כתום: אתרים שלא באתרם. סגול: אתרים שנפסלו בשל מיעוט דוגמאות. אדום: אתרים שלא עברו את הקריטריונים. צהוב: אתר שנפסל בשל אי-וודאות על גילו.

חמישה אתרים נפסלו בשל מיעוט הדוגמיות אשר נאספו (HGTA, MQT2, MTHM, MTQK, NEVB). מיעוט הדוגמיות נובע ממיעוט החומר שנמצא בחפירה, או מהתפוררות הדוגמאות בתהליך ההכנה. מסיבה זו התחלנו לבחור אתרים בצורה קפדנית יותר, לעטוף דוגמאות בחומרי אריזה עוד בשטח החפירה ולהקשותן באמצעות דבק טרם הניסור במעבדה.

חמישה אתרים נוספים (HMT, HTHB, MQT3, MCW, TANB) נפסלו כי לא עברו את קריטריוני הקבלה האחרים, $\alpha_{95} > 6 / k < 50$, לכל אתרים אלו פחות מ-12 דוגמאות. בשל כך, באתרים שנדגמו בשלבים מאוחרים יותר נלקחו מעל 20, בעדיפות 30, דוגמאות מאתר.

מתוך סוגי החומרים השונים שנדגמו, טבונים הראו את התוצאות הטובות ביותר. רוב הדוגמאות הראו התנהגות אידיאלית ונמצא כי הן הכי מתאימות לסוג זה של עבודה. במקרה אידיאלי רצוי לדגום את כל היקף הטבון ובקרבה לתחתיתו, שם החום הגבוה ביותר. "טבוני פועלים" או מתקנים אחרים באיכות בניה ירודה לא עברו, לרוב, את קריטריוני הסף ועל כן מומלץ לא לדגום אתרים כאלו. לבני הבוץ (TLG, CWV, MEG) הראו גם הן תוצאות טובות אך פחות מרוב הטבונים ($\alpha_{95} = 4.7^0, 4.2^0, 4.1^0$ בהתאמה). בנוסף, אחוז הדוגמאות שנפסלו מלבני הבוץ גדולה משמעותית מאשר דוגמאות טבון. יוצא מהכלל הוא האתר של הארמון בראש תל חצור (HKP) שם הלבנים הראו התנהגות אידיאלית והתקבצות מובהקת של התוצאות ($\alpha_{95} = 3.5^0$). זאת בהתאמה לטמפרטורת צריפה גבוהה במיוחד כשמשתקף מייצירת קלינקר (א. בן תור, בע"פ). על מנת לקבל תוצאות אמינות מומלץ לאסוף מספר דוגמאות מכל לבנה וממספר לבנים שונות באתר, זאת על מנת לאפשר את מבחני הבלוק והקונגלומרט.

דגימות הכבשנים (BHK, HJK) נתנו תוצאות טובות, לעומתם טיח הבוץ הצרוף מבית ציידא (BSG) הראה התנהגות מגנטית בעייתית ורוב הדוגמאות נפסלו כבר בשלב הדוגמא.

5.2. עקומות שינוי ראשוניות :

שלושים ושניים האתרים שעברו את קריטריוני הסף מוצגים בעקומות ה SVC הראשוניות (איורים 25-27) ביחס לנתונים מתוך מאגר הנתונים Geomagia (<http://geomagia.ucsd.edu/>) ממזרח אגן הים התיכון (איור 28) וביחס למודלים הגלובליים. ARCH3K הינו מודל המשחזר את התנהגות השדה הגיאומגנטי בשלושת אלפי השנים האחרונות מנתונים שנאספו מחומרים ארכיאולוגיים בלבד. CALS3K הינו מודל הכולל נתונים ארכיאולוגיים, בזלות וסדימנטים אגמיים משלושת אלפי השנים האחרונות ו CALS10K הכולל נתונים ארכיאולוגיים, בזלות וסדימנטים אגמיים מעשרת אלפי השנים האחרונות. שני האחרונים מרככים וממצעים את השינויים קצרי הטווח בהתנהגות השדה אך מראים טרנדים ארוכים יותר. יש התאמה טובה בין הנתונים שנמדדו לבין מודל ה ARCH3K ובין הנתונים לעצמם, מלבד תקופת הברזל ואתר HKT מההרודיון.

העקומות באיורים 25-27 מראות טווח תוצאות נרחב בתקופת הברזל (586-1200 לפנה"ס) ובייחוד בתקופת הברזל II (700-1000 לפנה"ס). האינקלינציה לאורך תקופת הברזל II משתנה בין כ- 70^0 ל- 50^0 והדקלינציה בין כ- 025^0 ל- 350^0 . חלק משונות זו נובע מחוסר הסכמה בין החוקרים לגבי הכרונולוגיה בתקופה זו. בשל חוסר הסכמה זה, ובשל שינויים חדים ומהירים בעצמת השדה המגנטי כפי שתועד על ידי Ben-Yosef et al. (2009), (2008a,b), Shaar et al. (2011) ואחרים, אספנו דוגמאות רבות

מתקופה זו משישה אתרים שונים (בית ציידא, חצור, מגידו, לכיש, עזקה, צפית). אתרים אלו נחקרים על ידי חוקרים שונים, שיטות חפירה ותיארוך שונות ודבר זה תורם גם הוא לשונות בתוצאות. המשרעת הגדולה של התוצאות מתקופה זו, 35° דקלינציה ו 20° אינקלינציה, תואמת לשינויים הגדולים והמהירים בעוצמת השדה המגנטי כפי שתועדו על ידי Ben-Yosef et al. (2008a,b; Shaar et al. (2011) ואחרים. חוסר ההסכמה בתיארוך הארכיאולוגי בולט בהשוואה בין ST2 (inc-3.7, dec-65.8) מתל צפית ו MQT1 (inc-3.9, dec-66.3) מתל מגידו. למרות ההתאמה הטובה בין תוצאות שני טבונים אלו יש הבדל של כ 80 שנים בתיארוך כפי שנקבע על ידי הארכיאולוגים (900BCE, 820BCE) בהתאמה). הסטה של הדוגמאות על ציר הזמן לפי אי הוודאות שנקבעה על ידי החוקרים מאפשרת התאמה טובה הרבה יותר ויצירת עקומת שינוי רציפה בין הדוגמאות.

ההשוואה לנתוני הרקע בעקומות הראשוניות (איורים 25-27) מדגישה מספר נקודות. 1. הריכוז הגדול של הנתונים מתקופת הברזל מכסה תקופה בה יש מיעוט מובהק של נתונים מהאזור. 2. טווח אי הוודאות של גיל האתרים בעבודה זו קטן במובהק ביחס לנתוני הרקע (פחות ממאתיים שנה אצלנו לעומת אינטרוול של מאות שנים בחלק מנתוני הרקע), עדות לפוטנציאל הגלום באסטרטגית הדגימה של שכבות חורבן מתוארכות היטב. 3. ההשוואה למפת האתרים האזורית (איור 28) מדגישה את חוסר הנתונים ממזרח אגן הים התיכון, דבר שיוצר הטיה של המודלים הגלובליים לאירופה, משם הגיעו מרבית הנתונים.

5.3. תרומה לשאלות ארכיאולוגיות:

מדידת כיוון הווקטור המגנטי מזמן הצריפה האחרונה של חומר ארכיאולוגי יכולה לתרום להבנת מאפייני שריפה וחורבן באתרים ארכיאולוגיים או שחזור של אובייקטים ארכיאולוגיים שבורים או נפולים. בעבודה זו נבדקו מספר קירות לבני בוץ מתוך שכבת החורבן של מגידו VIA בניסיון לקבוע אם נשרפו במקומם, התוצאות הראשוניות מקיר הלבנים MEG-A-E ומהלבנים הנפולות MEG-H,I תואמות ומכאן שכל הלבנים הללו התקררו במקומם. בניגוד אליהם הלבנים J, MEG-G (MED בטבלה) שנדגמו מתוך המפולת באותה שכבה זזו מאז קירורם האחרון. תוצאות אלו מראות את הפוטנציאל הגלום בשיטת עבודה זו לקביעת מאפייני שריפה וחורבן באתרים ארכיאולוגיים.

5.4. כרונוסטרטיגרפיה:

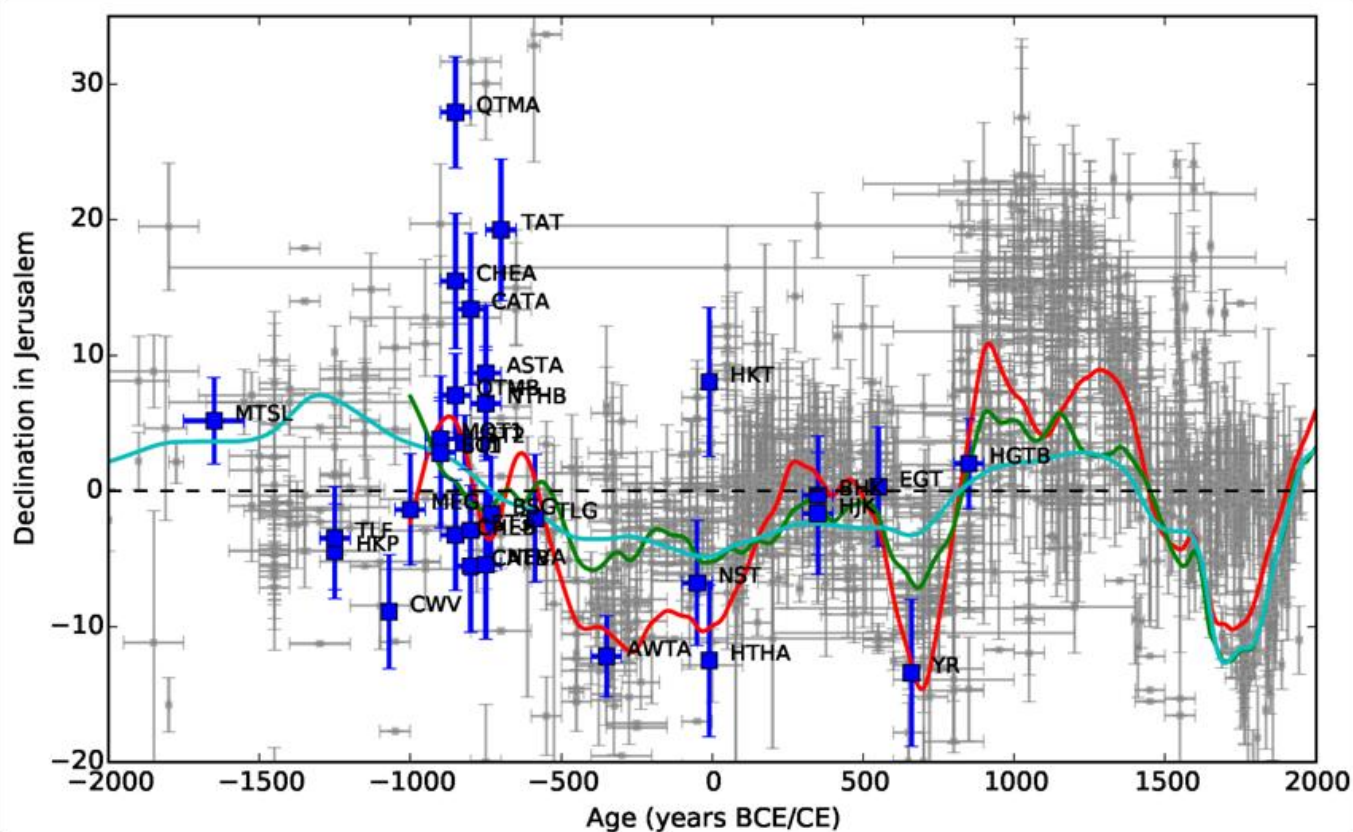
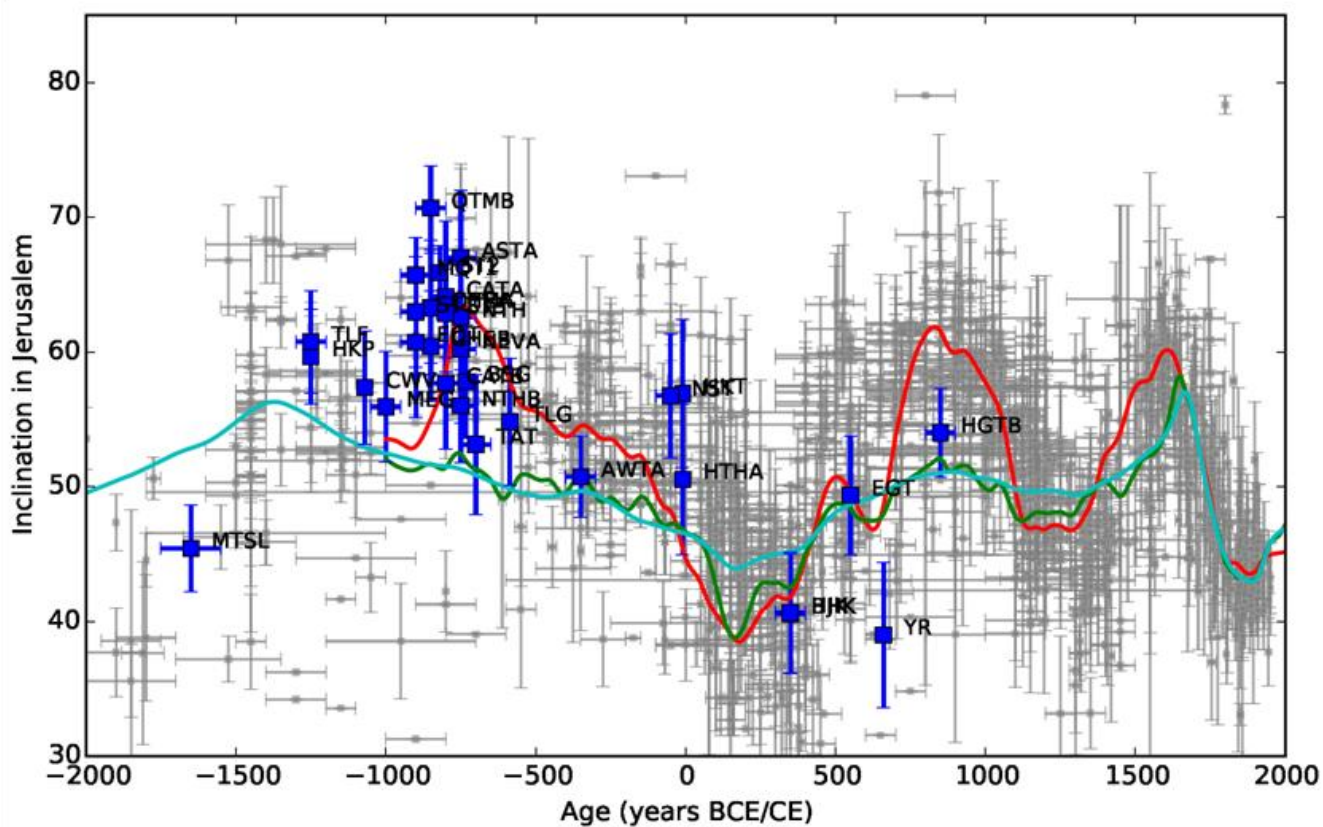
בשני מקרים שונים, סוף תקופת הברונזה ואמצע המאה הרביעית לספירה, נדגמו שני אתרים שונים בו זמניים. דוגמאות מסוף תקופת הברונזה נאספו מלבני בוץ מהארמון בראש תל חצור ומחצי טבון משטח F בתל צפית. מאמצע המאה הרביעית נאספו דוגמאות מהכבשן בצומת חלפתא (בית חנניה) שחורבנו מתוארך לאמצע המאה הרביעית, כנראה הרעידה של 363, על פי מטבעות (Adan-Bayewitz, 1991) ומהכבשן בחורבת ג'ומג'ום, שבגוש עציון, אשר חורבנו מתוארך למאה הרביעית על פי חרסים (Meir et al., 2013). אתרים אלו, ממוקמים ארכיאולוגים שונים ומרוחקים, קבוצות מחקר ותיארוך שונות הציגו תוצאות דומות עד כמעט זהות. דבר זה מעיד על אמינות השיטה והפוטנציאל העתידי שלה ככלי תיארוך, בתחילה יחסי ובעתיד מוחלט.

הדיון בממצאים מדגיש את הפוטנציאל הרב בשילוב בין מחקרי הארכיאולוגיה והגיאולוגיה. שיטות התיארוך הארכיאולוגיות מאפשרות, לעיתים, הפרדה גבוהה בין אירועים היסטוריים שונים, הפרדה אשר אינה אפשרית בשיטות תיארוך רדיומטריות, למשל יכולת ההפרדה בין שני שכבות החורבן של המאה האחת עשרה ברמלה (Gorzalczani, 2008). שכבות חורבן מאפשרות, במקרים, דקירה מדויקת של נקודת זמן בודדת בהיסטוריה, לעיתים אף יום ושעה. השימוש בתיארוכים אלו במחקרי ארכיאומגנטיזם מאפשר איסוף נתונים בעלי אינטרוול גיל קטן ובכך תורם ליצירת עקומות שינוי מדייקות בעלות יכולת הפרדה גדולה בציר הזמן. התוצאות שהתקבלו בעבודה זו תומכות בשינויים החדים והמהירים בעוצמת השדה המגנטי בתקופת הברזל II כפי שתועד על ידי Ben-Yosef et al. (2009; 2008a,b), Shaar et al. (2011). התוצאות שהתקבלו מהטבונים מראות על יתרון הבולט ביחס לחומרים אחרים.

השילוב של יכולת התיארוך המרשימה של שכבות חורבן כמו גם תילים בעלי סטרטיגרפיה ידועה, כמות האתרים, ייצוג התקופות ההיסטוריות בזמן, המספר הרב של חפירות פעילות ושיתופי הפעולה שיצרנו עם קבוצות מחקר שונות מאפשרות מחקר ארכיאומגנטי פורה ומבטיח בישראל. מחקר זה יכול וצריך להניב מערכת עקומות SVC שימושיות, מפורטות ומדויקות, אולי המדויקות בעולם. מערכת עקומות זו תשמש כלי תיארוך עצמאי לקהילה הארכיאולוגית והסביבתית המקומית אך גם תתרום מידע רב למודלים הגלובליים החסרים נתוני כיוון מאזור זה של העולם.

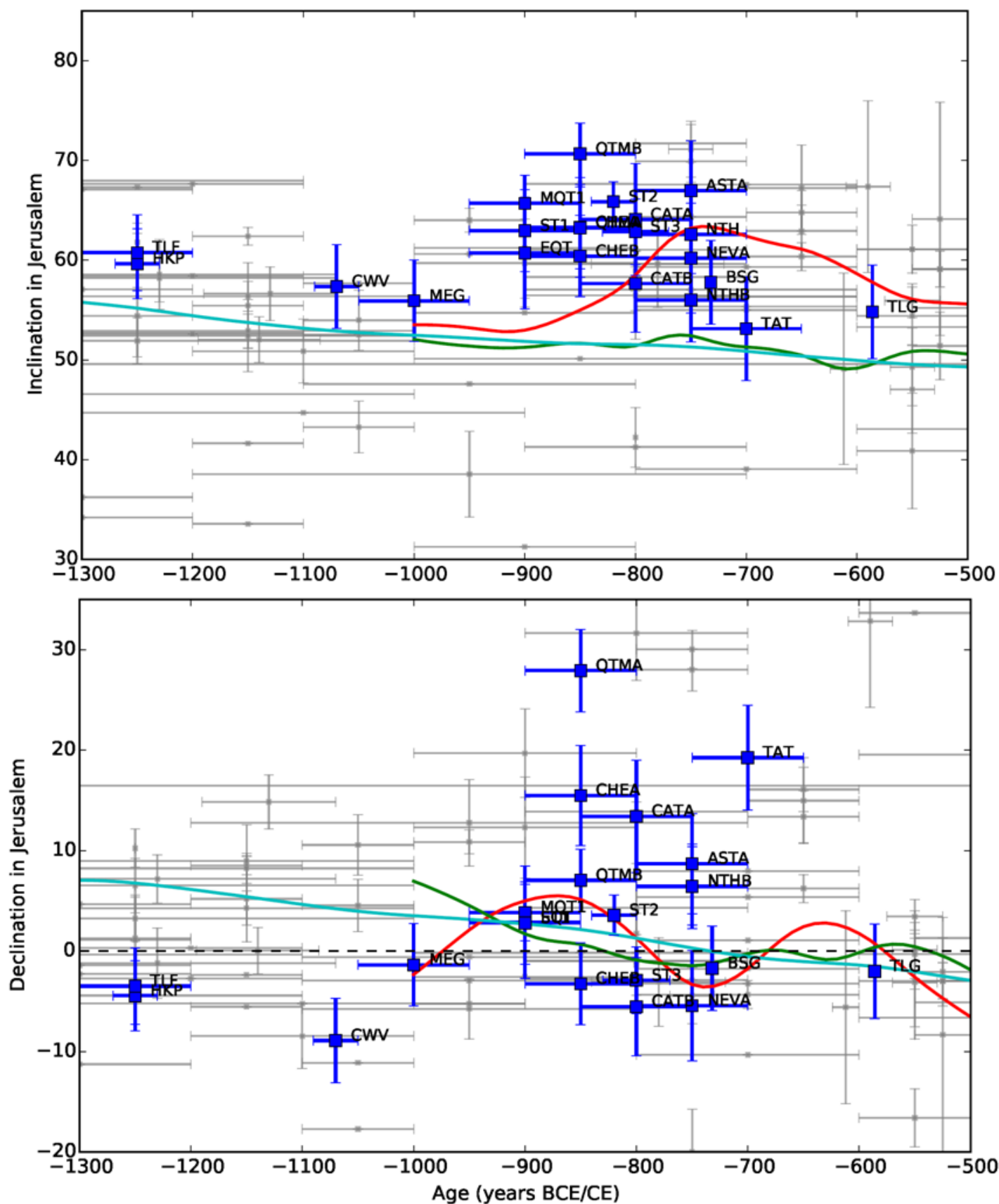
התוצאות מחורבת מנים מראות כי האתר נפגע לכל הפחות בשני אירועים סייסמיים שונים, ככל הנראה שלוש (אמצע המאה השביעית ושני אירועים במאה האחת עשרה). התוצאות מראות כי אין העתק קבור תחת חלקו המזרחי של האתר אלא הוא בנוי על תשתית אלוביאלית של תוואי נחל קדום. דבר זה גורם לנזק הגדול יותר בחלק זה של הארמון.

זיהוי EAE בשרידים ארכיאולוגים מתוארכים מאפשר להרחיב את הידע לגבי עוצמות נזקי רעידות קדומות ותפרוסתן ובכך תורם לעיבוי הקטלוגים הקיימים ויצירת הערכות סיכונים מבוססות יותר. הארמונות האומיים מאפשרים מקרה בוחן ראשון בעולם להשוואת נזק למבנים מונומנטאליים דומים ממרחקים שונים ממוקד הרעידה הקדומה והצצה למידת השפעתם של גורמי אתר שונים. התוצאות שהוצגו בעבודה זו מראות כי ישנו הבדל משמעותי בדעיכת הנזק משני צידי העתק עמק הירדן, כאשר דעיכת הנזק גדולה יותר במערב מאשר במזרח. סולם הנזק הייחודי שמוצע בעבודה זו מתאים בצורה טובה לסולמות עוצמת הנזק המקובלים אך הוא פחות סובייקטיבי ומבוסס יותר על ממצאים חומריים. בנוסף סולם זה מאפשר השוואה טובה בין מבנים מונומנטליים בודדים מתוך קבוצה מוגדרת היטב.



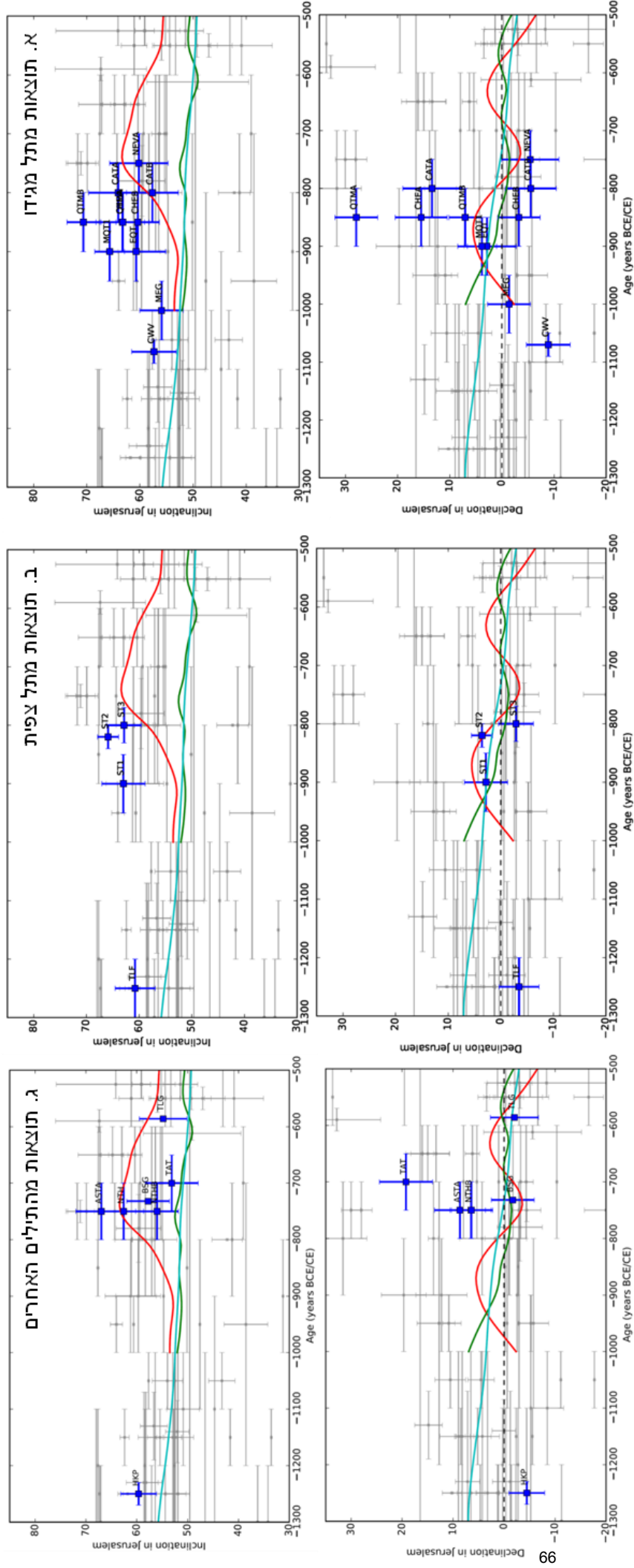
איור 25: עקומות שינויים סקולאריים באזור ירושלים. בכחול – נתונים שנאספו בעבודה זו; באפור – נתוני רקע מהאזור הקרוב ממאגר הנתונים Geomagia (<http://geomagia.ucsd.edu/>); הקווים הצבעוניים הינם מודלים מתמטיים המנסים לשחזר את התנהגות השדה המגנטי בעבר.

ARCH3K
CALS3K
CALS10K

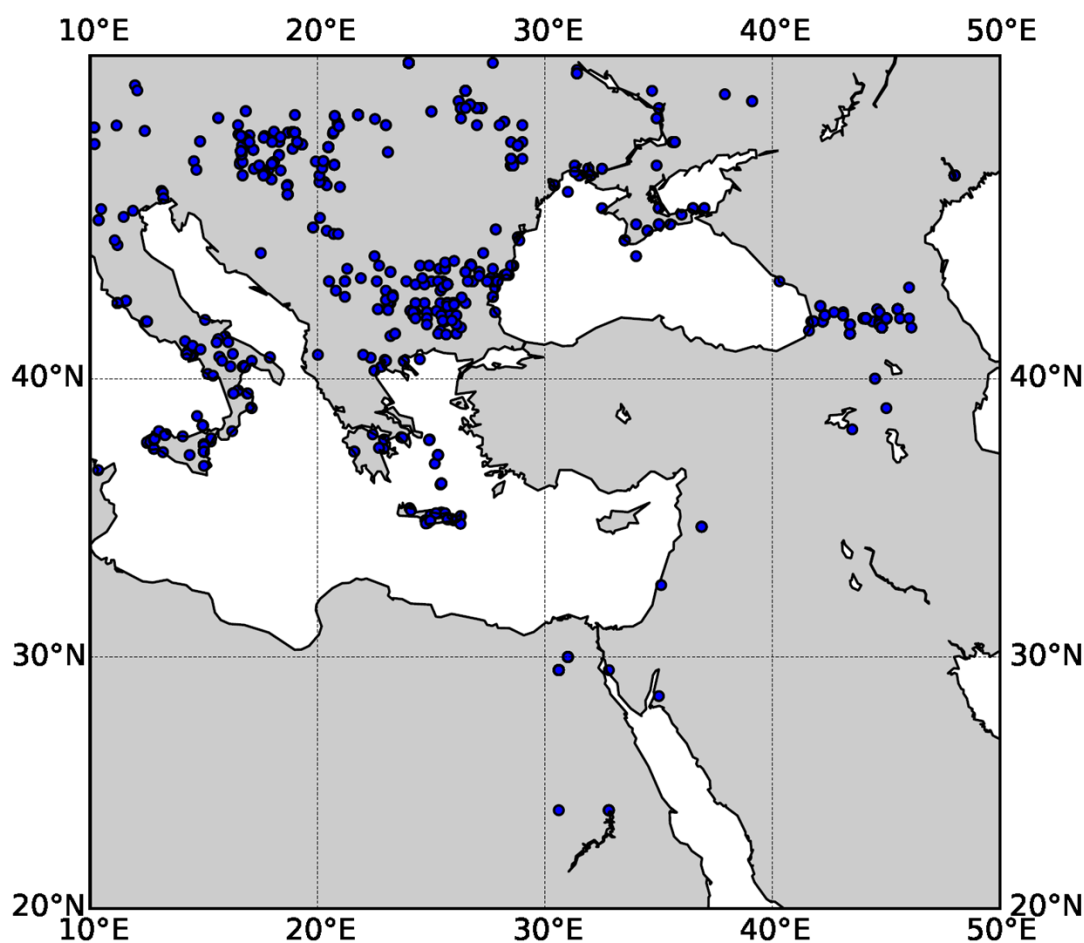


איור 26: עקומות שינויים סקולאריים לתקופת הברזל באזור ירושלים. בכחול – נתונים שנאספו בעבודה זו; באפור – נתוני רקע מהאזור הקרוב ממאגר הנתונים Geomagia (<http://geomagia.ucsd.edu/>); הקווים הצבעוניים הינם מודלים מתמטיים המנסים לשחזר את התנהגות השדה המגנטי בעבר.

ARCH3K —
 CALS3K —
 CALS10K —



איור 27: עקומות שינויים סקולאריים לתקופת הברזל באזור ירושלים. בכחול – נתונים שנאספו בעבודה זו; באפור – נתוני רקע מהאזור הקרוב ממאגר הנתונים Geomagia (<http://geomagia.ucsd.edu/>); הקווים הצבעוניים הינם מודלים מתמטיים המנסים לשחזר את התנהגות השדה המגנטי בעבר. א. נתונים מתל מגידו בלבד; ב. נתונים מוצל צפית בלבד; ג. נתונים משאר האתרים של תקופת הברזל (תל חצור, תל עכו, תל לכיש, תל בית ציידא ותל עזקה).



איור 28: מפת נתוני הרקע

7. כיווני מחקר מומלצים לעתיד :

- סיום מדידת הנתונים שנאספו בעבודה זו. עד עתה נמדדו רק כ 70% מהאתרים שנדגמו.
- מדידת רכיב עוצמת השדה של הדוגמאות שנאספו בעבודה זו.
- המשך איסוף נתונים ומדידתם תוך שימוש בסכמת "פס-יצור" אשר תאפשר עיבוד ומדידה של כמות דוגמאות גדולה. במטרה ליצור מאגר נתונים גדול, אחיד ורציף בעל אמינות גבוהה המכסה טווח זמן רחב ככל הניתן.
- הגברת שיתוף הפעולה עם מוסדות מחקר ארכיאולוגיים החופרים בארץ ועם רשות העתיקות בזמן החפירה הפעילה ובטרם פירוק המתקנים הפירוטכנולוגיים.

8. נספחים :

8.1. נבי סמואל :

8.2. אתרים שנדגמו :

9. מקורות :



נספח 1: נבי סמואל

Hard Evidence for the 31 BCE earthquake at Nebi Samwil, Jerusalem

Raphael, K.¹, Har Even, B.² and Hassul, E.¹

1. Institute of Earth Sciences, The Hebrew University of Jerusalem, Israel

2. Staff officer for archaeology

Archeoseismological research is important in reconstructing the seismic history of a region, and assessing future seismological hazards. Evaluations of the expected magnitude, location, estimated time of re-occurrence and size of the affected area can help populations, planning authorities and emergency services to prepare in advance. This preparation is crucial in densely populated areas.

The south-east Levant is one of the few regions with a detailed and continuous historical seismic record. In the past 2,000 years, a few strong earthquakes struck the region of what is modern day Israel, the Palestinian Authority and Jordan (Agnon, 2014; Ambraseys, 2006b; Guidoboni et al., 1994; Ben-Menahem, 1991; Ben-Menahem, 1979). The assessment of the strength and the size of the region that was struck by each earthquake is derived from historical, archeological and geological sources.

While the very big events were often recorded by historians and left their mark in several archaeological sites, smaller earthquakes ($M < 7$) are difficult to reconstruct (Ambraseys, 2006b; Amiran et al., 1994). Although some of these events are recorded in one or more written sources, the evidence is often based on secondary or even tertiary accounts and is not always clear cut. Archaeological evidence of smaller earthquakes is often elusive and disputed. Despite these difficulties, it is important to include these events in the region's seismic history.

This difficulty is clearly presented in the 31 BCE earthquake that struck Herod's Kingdom. Although it is briefly mentioned in a written source it was probably of a relatively moderate magnitude. The seismic event described by Josephus Flavius, ascribed to the year 31 BCE, has been much debated. Concerns are raised as to whether the description of the event is accurate and, indeed, whether it actually occurred. Flavius, who was born in Jerusalem (37 or 38 CE) describes in his books, *The Jewish Wars* and *Jewish Antiquities*, an earthquake in the seventh year of King Herod's reign (37-4 BCE),

at the time of the battle of Actium.

"[Herod] subsequently took revenge on the Arabs by continually raiding their territory, so that they often had occasion to regret their one victory. While he was punishing his enemies, however, another disaster struck in the seventh year of his reign, when the war of Actium was at its height. For in the early spring, an earthquake shock killed an infinite number of cattle and thirty thousand people; but the army was not harmed because it was camped in the open." (Josephus Flavius, *The Jewish Wars* I. 369)

Flavius repeats this description once again in his book *Jewish Antiquities* where he adds that the earthquake was "such as had not occurred before" (*Jewish Antiquities* 15:121-124).

According to his testimony, this event caused 30,000 deaths and the loss of countless stock. This account is controversial among scholars for the following reasons: 1. the high death toll; 2. the lack of details such as the names of the affected towns and villages; and 3. the lack of evidence from additional historical accounts (Ambraseys, 2006; Karcz, 2004: 774-776). Earthquake damage to archeological sites in the Jerusalem and the Dead Sea regions that has been assigned to this earthquake is often elusive and has been rejected by some scholars (Karcz, 2004). While the archaeological and historical evidence are much debated, recent geological research on the sediment outcrops along the Dead Sea and the Ein Gedi Core has revealed significant well-dated evidence for the 31 BCE earthquake (Kagan et al., 2011; Migowski et al., 2004).

The present research, presents strong evidence of earthquake damage from the second half of the first century BCE at the excavation of Nebi Samwil, located near Jerusalem. The finds there provide a well-controlled date, and the stratigraphy of the site rule out other possible known seismic events.

The archaeological evidence: mass destruction and unique preservation

The site of Nebi Samwil is located northwest of Jerusalem (see map); it crowns a hill that rises steeply above its surroundings (908 m asl). The mosque, built above the tomb of the prophet Samuel, dominates the site that is sacred to Jews, Muslims and Christians, who still frequently visit, pray and perform rituals outside the tomb. The excavations

conducted by Magen (1992-2003) and in recent years by Har-Even (2007-2013) have revealed evidence of settlement from the Iron Age to the Ottoman period.

One of the most extraordinary discoveries was that of a large neighborhood constructed on almost an acre stretching along the southern slopes. Three-storied houses measuring 20x24 m line a long street. In some, the ground floor is partially hewn from the rock. Some dwellings had a central courtyard. The houses are built of roughly-dressed local limestone building blocks. The foundations are laid directly on the bedrock. The use of cementing material is rare and it seems the walls are dry built and were coated with thick plaster inside and outside.

The construction of the neighborhood was dated to the 2nd century BCE. Magen concluded that the site was abandoned during the reign of Alexander Jannaeus (103-76 BCE) (Magen and Dadon, 2003:128).

Both excavations revealed entire rooms with their doors, windows, basements, water cisterns, ovens (tabuns), and animal sheds, found in a remarkable state of preservation, buried beneath a thick layer of debris that sealed the whole neighborhood. The empty houses and sealed doorways (meant to prevent plundering) clearly show the families did not leave in haste minutes before the earthquake struck. It appears that what drove them away was fear of a different nature. They fled as a group in search of a safer place due to political upheaval, but they knew or hoped they would return shortly to their homes.

The excavation of the northeastern houses in the Hellenistic neighborhood was later continued by Benjamin Har-Even. Evidence of severe earthquake destruction was revealed. A thick and homogeneous layer of debris measuring over 2 m was unearthed, neatly spread throughout the excavated area. The debris was composed of roughly hewn stone blocks from the houses' upper floors.

The piles of debris that filled and tightly packed the ground rooms are the sole reason for the unique state of preservation of the site. In almost every house that was excavated, the walls, doors, windows and domestic installations of the ground floors are preserved to a height of over 2m. The debris dips with the steep slope. Warped and tilted walls and long deep cracks that run across several courses can be seen throughout the site, attesting to earthquake damage (Rodrigues-Pascua et al., 2011; Marco, 2008).

Although a number of violent military events occurred during this period, there is no archaeological evidence to support destruction by military forces. There are no signs of conflagration and no weapons such as arrowheads or catapult stones were found in the debris. Military activity rarely leaves a uniform layer of destruction.

Examination of the pottery found in the new excavations, directly below the debris and above the courtyard floor, reveals bag-shaped jars, globular juglets, unguentarium, flasks, cooking pots and folded or pinched oil lamps that date to the second half of the 1st century BCE. Other than the cooking pots that continue into the next century with little change in form and size, most of these vessels' shapes change towards the end of the 1st century CE.

The next phase in the site, which dates to the first half of the 1st century CE, was constructed at the southeastern edge of the damaged neighborhood; no signs of earthquake destruction were discovered. Thus the earthquake that destroyed the Hellenistic neighborhood must have occurred in the second half of the 1st century BCE.

In recent years there have been some disagreements concerning the written, archaeological and paleoseismic research regarding the 1st century CE earthquake. While the prominent earthquake catalogues list and analyze the written sources (Ambraseys, 2009; Amiran et al., 1994; Guidoboni et al., 1994), the archaeological data remained meager. Earthquake evidence at Khirbet Qumran, Massada and Jericho was not conclusive. However, a site that may relate to the 31 BC earthquake is Cypros, 15m (asl); situated at the summit of Tel el-Aqaba south of Wadi Qelt near the point where Wadi Qelt joins the Jericho Valley. This site was excavated in 1974 by Netzer and Damati. Earthquake damage was identified by Netzer at the bathhouse (45x40m) built at the summit of the tel. The building was dated to the early Roman period, with the latest coin dated to the reign of Agrippa I (r. 44-10 BCE).

Karcz (2004), who carefully examined the historical and the archaeological evidence, wrote: "It appears that the textual evidence reflects a relatively modest earthquake with magnitude in the range of 6-6.5, rather than a major catastrophe. The earthquake motives found in assorted texts and tentatively attributed to the 31 B.C. earthquake are non-indicative and may represent literary metaphors, or echoes of any real events preserved in

the collective memory at the time of writing. While there is no doubt that this area was repeatedly shaken by earthquakes, in itself the archaeological evidence found at Qumran is equivocal and the signs of alleged seismic damage may reflect static and geotechnical damage, or destruction and damage inflicted by man” (p. 778).

Topography, planning and building materials

"There is an old saying among geologists and engineers that earthquakes do not kill but buildings do. Shaking ground may make people fall down, but falls don't kill. However, shaking ground can make buildings collapse and collapsing buildings can defiantly kill" (Skinner and Porter, 1992:405).

In general, buildings constructed on rock suffer less damage (Milne, 1939: 40-41). However, the steep slope (Tiedemann, 1992: 62-63, 140), the layout of the neighborhood, with its crowded stone houses, increased the earthquake damage at Nebi Samwil.

In this particular case there was no need for a strong earthquake. According to Bolt, for significant damage to occur during shallow earthquakes a 5.5 M magnitude earthquake is needed (1992: 122).

The strength of a structure partially depends on the flexibility of the building materials; stone buildings generally lack elasticity and will crack and break (Gye, 1988:130-131). The limestone at Nebi Samwil is of a high degree of stiffness and was overcome by the earthquake force. The layout of the neighborhood is such that the houses along the narrow lane do not stand independently, each house shares its external walls with the neighboring house. In addition the relative high buildings (two and perhaps three stories) did not add to the stability of the houses.

Summary and conclusions

The neighborhood built during the 2nd century BCE at Nebi Samwil was destroyed by an earthquake which took place during the second half of the 1st century BCE. The extensive damage and its uniformity, as well as other seismic evidence, clearly attest to earthquake destruction. The 31 BCE earthquake was of a moderate magnitude, estimated

by Karcz 6- 6.5M (2004). The slope on which the settlement was built, the layout of the houses, the stiff construction material and simple building techniques played a significant role and amplified the damage. Thus a moderate earthquake in this particular site led to devastating destruction. Luckily, the inhabitants of Nebi Samwil were not at home at the time of the earthquake, apparently having evacuated due to the military and political unrest of the time.

Acknowledgements

We would like to thank Prof. Agnon (Institute of Earth Sciences, The Hebrew University of Jerusalem, Israel) for his help and advice. The funding for this research was provided by Helmholtz Virtual Institutes, The GFZ German Research Centre for Geosciences who operates the Virtual Institutes “Dead Sea Research Venue – DESERVE” granted to Prof. Agnon. We would like to extend our gratitude to Amos the director of the National Park of Nebi Samuel and his staff.

References

Agnon; A.

2014

Ambraseys, N. N.

2006a Earthquake and Archaeology. *Journal of Archaeological Science* 33: 1008-1016.

Ambraseys, N. N.

2006b Comparison of Frequency of occurrence of earthquakes with slip rates from long-term seismicity data: the case of the Gulf of Corinth, Sea of Marmara and Dead Sea Fault Zone. *Geophysical Journal International* 165 2 516-526.

Ambraseys, N. N.

2009 *Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: A Multidisciplinary Study of Seismicity up to 1900*. Cambridge: Cambridge University Press.

Amiran, D.H. Arie, E. Turotte, T. Earthquakes in Israel and adjacent areas. Macro seismic observations since 100 B.C.E. . Israel Exploration Journal 44: 260-305.

1994

Ben-Menahem, A.

1979 Earthquake catalogue for the Middle East 92 B.C.-1980 A.D. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata 21 84: 245-310.

Ben-Menahem, A.

1991 Four thousand years of seismicity along the Dead Sea rift. Journal of Geophysical Research 96: 20195–20216.

Bolt, B. A.

1992 *Earthquakes*, 3rd edition (New-York)

Guidoboni E., Comastri, A., and Traina, G.

1994 Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th century. Rome: Istituto nazionale di geofisica.

Gye, D. H.

1988 Arches and domes in Iranian Islamic buildings: An engineer's perspective. *Journal of Persian Studies* 26:129-144.

Kagan, E., Stein, M., Agnon, A., and Neumann, F.

2011 Intrabasin paleoearthquake and quiescence correlation of the Late Holocene Dead Sea. Journal of Geophysical Research 116: 1-27.

Iakov Karcz, "Implications of some early Jewish sources for estimates of earthquake hazard in the Holy Land" in *Annals of Geophysics*, vol. 47 2/3 April/June 2004: 759-792.

Magen, Y. 2008. Nebi Samwil Pp. 1972-1976 in The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land, Vol. 5, ed. E. Stern. Jerusalem: Israel Exploration Society.

Magen, Y. and Dadon, M. 2003. Nebi Samwil (Monjoie) Pp 123-138. In One Land, Many Cultures: Archaeological Studies in Honour of S. Loffreda OFM. Eds. G. C. Bottini, L. Di Segni and L.D. Chrupcala (Jerusalem).

Marco S. 2008. Recognition of Earthquake-related Damage in Archaeological Sites: Examples from the Dead Sea Fault Zone. *Tectonophysics* 453:148–156.

Migowski, C., Agnon, A., Bookman, R., Negendank, J.F.W., and Stein, M.
2004 Recurrence pattern of Holocene earthquakes along the Dead Sea Transform revealed by varve-counting and radiocarbon dating Lacustrine sediments. *Earth and Planetary Science Letters* 222: 301-314.

Milne, J.
1939 *Earthquakes*. 7th edition (London)

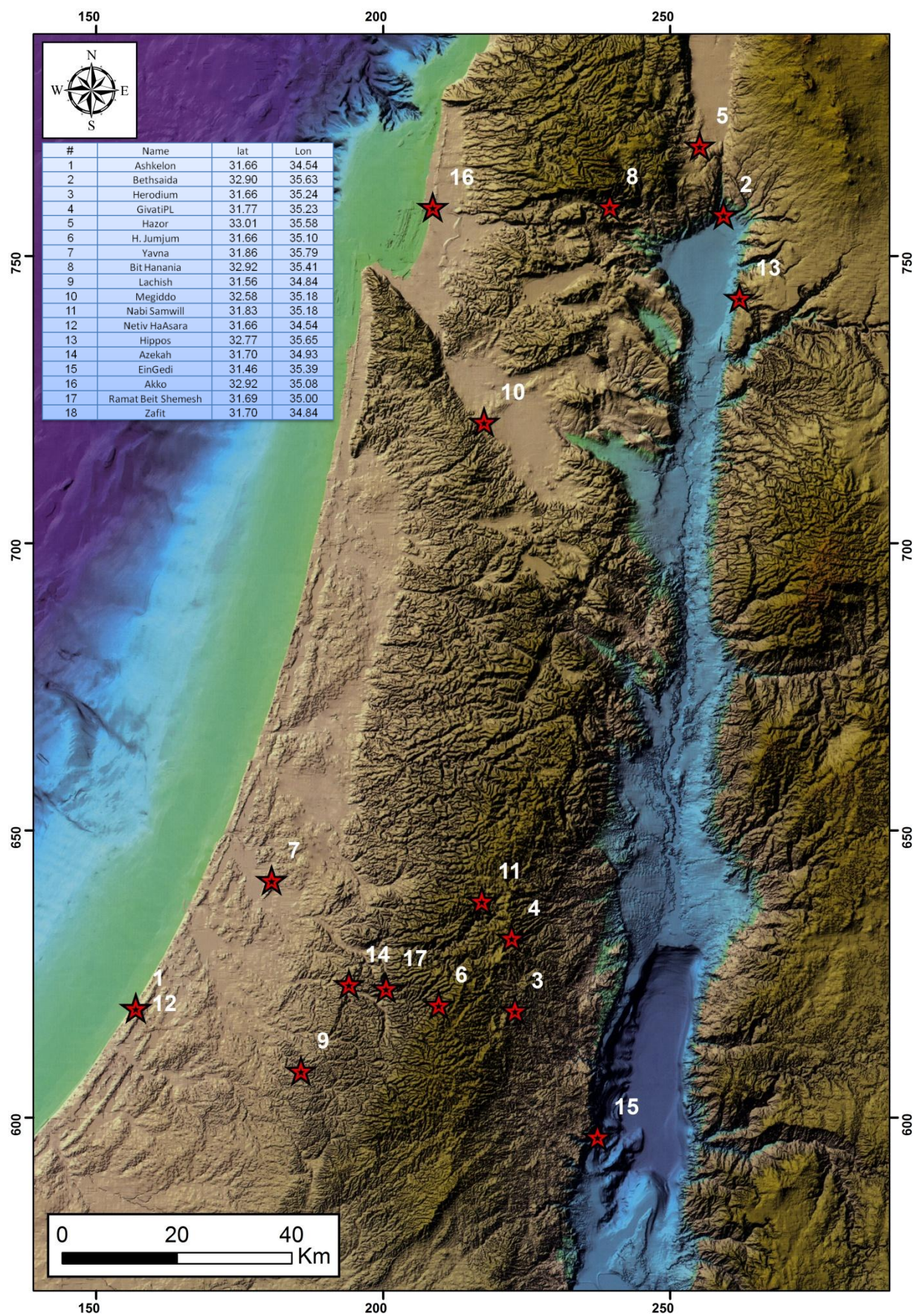
Rodríguez-Pascua M.A., Pérez-López R., Giner-Robles J.L., Silva P.G., Garduño-Monroy V.H. and Reicherter K. 2011. A comprehensive Classification of Earthquake Archaeological Effects (EAE) in Archaeoseismology: Application to Ancient Remains of Roman and Mesoamerican Cultures. *Quaternary International* 242: 20-30.

Skinner B. J. and Porter S. C.
1992 *The Dynamic Earth*. 2nd edition (New York)

Tiedemann, H.
1992 *Earthquakes and Volcanic Eruptions*. Zurich: Swiss Reinsurance Company.



נספח 2: אתרים מגנטיים



איור 1: מפת מיקום של האתרים הארכיאולוגיים שנדגמו בעבודה זו. מפת רקע Hall and Calvo, 2005.

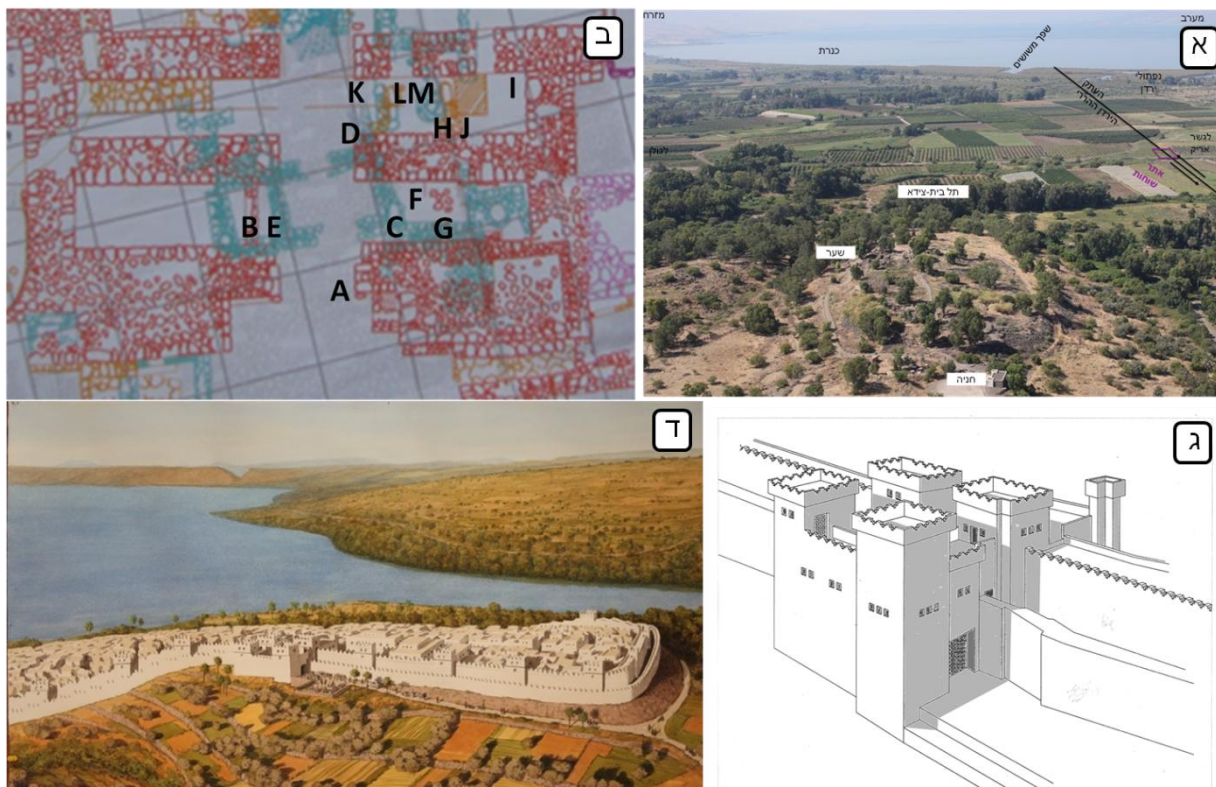
אשקלון (31.66237/34.54467): העיר העתיקה שוכנת לחוף הים התיכון על הדרך הראשית הקדומה, כ-63 ק"מ מדרום לתל אביב וכ-16 ק"מ מצפון לעזה (איור 1). מקורות המים הזמינים, האדמות הפוריות והנמל הטבעי הנוח אפשרו לישב לגדול ולשגשג. אשקלון מוזכרת בתנ"ך לראשונה בספר שופטים (א', 18) כאחת הערים החשובות של הפלישתים. היא מוזכרת שוב בקינת דוד "אל תגידו בגת ואל תבשרו בחוצות אשקלון פן תשמחנה בנות פלישתים פן תעלוזנה בנות ערלים" (שמואל ב', א', 20), תיאור המזכיר את היותה של אשקלון עיר מסחר בולטת. האתר היה מיושב מהתקופה הנאוליתית ועד התקופה הערבית צלבנית עת העיר חרבה ונטשה סופית כחלק מההסכם בין ריצ'רד לב הארי לצלאח-א-דין. ניסיון צלבני נוסף, בשנת 1240, לבנות מצודה באתר נגדע בידי הסולטאן הממלוכי ביברס בשנת 1270. במהלך התקופה הממלוכית הישוב הצטמצם ומרכז הכובד עבר לעיר עזה. חפירה מדעית ראשונה באתר יצאה לפועל בשנים 1921-1922 בניהולם של ג' גרסטנג וו"ג פיתאן-אדאמס, מאז האתר נחפר על ידי משלחות שונות. מ-1985 חופרת באתר המשלחת על שם ליאון לוי בראשות אוניברסיטת הרווארד ובניהול ד' מאסטר מקולג' וויטון (Wheaton College). הממצאים מהתקופה הפלישתית כוללים ביצורים מסיביים וכן שכבת חורבן אדירה מתחילת המאה השביעית לפנה"ס. שכבה זו כוללת שריפה גדולה, לבני בוץ שהותכו לקלינקר ושלדים הקבורים תחת המפולות. החוקרים מייחסים חורבן זה למסעו של נבוכדנצר II מלך בבל, בחורף שנת 604 לפנה"ס (בחודש כסלו/נובמבר - דצמבר). התיארוך המדויק של זמן ההרס נתמך על ידי מספר מקורות. במקורות הבבלים מתואר כיצד נבוכדנצר עלה על העיר אשקלון, לכד את מלכה, בזז אותה והפכה לעיי חורבות, בחודש כסלו. חורבן זה מוזכר גם בירמיהו (לז', 8) ואצל המשורר היווני Alcaeus (2008, Stager). בחפירות החדשות נחשפה שכבת חורבן זו באזור השוק, ריבועים 51 ו-50. מבין הממצאים בריבוע 51 נאספו דוגמאות משתי לבנות בוץ שרופות בעזרת גבס.



איור 2: לבנות הבוץ שנדגמו בתל אשקלון

בית צידא (32.909/35.630): תל בית צידא שוכן כ-1.5 ק"מ צפון מזרח לחוף הכינרת וממזרח לנהר הירדן (איור 1). התל נחפר מאז 1987 ע"י ר' ערב, בעונות החפירה 1987-1990 מטעם אוניברסיטת חיפה ומ-1991 מטעם פרויקט חפירות בית צידא. פרויקט זה כולל 24 אוניברסיטאות וקולגיים אמריקאים שבראשן אוניברסיטת אומהה, נברסקה. בתל ממצאים מתקופת הברזל IIA (מאה עשירית לפנה"ס) ועד התקופה הממלוכית. שער העיר של תקופת הברזל בנוי ארבעה תאים מאבני בזלת. ערמות החיטה והשעורה השרופות מעידות כי תאי השער שימשו כאסם. שרידי טיח לבן על

אבני השער והחומות מעידים כי הביצורים טוּחוּ בבוץ ונצבעו מהמסד עד הטפחות. השער הבנוי התנשא לגובה שתי קומות (מעל 15 מ'). בעת חורבנו קרסה הקומה העליונה על התחתונה וקברה תחתיה ממצאים רבים. בחדרים נחשפה שכבת חורבן מרשימה שכללה שכבה עבה של אפר, מפולת לבני בוץ ואבני בזלת ופיטסים שרופים ומעוכים מלאי תבואה. העוצמה החריגה של השריפה באה לידי ביטוי בלבני הבוץ שהותכו לקלינקר. ראשי החץ הרבים והכלים המנופצים מצביעים על חורבן כתוצאה ממלחמה. מאסף החרסים, יחד עם תיארוכי C^{14} מתאימים למסע המלחמה של המלך האשורי תיגלת פילאסר III בשנת 732 לפנה"ס (Arav, 2008). דוגמאות נאספו בשלושה שלבים (תרשים). בשלב הראשון ב- 24.06.13 נקדחו גלעינים בקוטר של 1" בארבעה בלוקים שונים של בזלות. דיגום שני נערך בתאריך 11.06.14. בדיגום זה נאספו גלעיני קידוח בקוטר 0.5" וחתיכות טיח בוץ שרוף מהקירות, פירוט הדגימות בטבלה המצורפת.



אִיּוֹר נֹס: תַּל בֵּית צִיִּידָא. א. תַּצְלוֹם אוֹיִר אַלכְסוֹנִי שֶׁל תַּל בֵּית צִיִּידָא וְהַעֲמַק שֶׁלמִרְגְּלוֹתָיו (צִילום: דוד סִילְבֶּרמָן); ב. מִיקוֹם דִּימוֹת מִכוֹנוֹת לַפִּלֹאמֶנְטִיזם בְּשַׁעַר הָעִיר מִתְקוֹפַת הַבְּרֹזל. ג. צִיּוֹר אִיזוֹמֶטְרִי שֶׁל שַׁעַר הָעִיר (קְרִיסְטִינָה אַצְטֶרוד). ד. שַׁחזוֹר בֵּית צִיִּידָא בַּתְּקוּפָה הָרוֹמִית בַּמִּבְטָל לְדֶרוֹם מִעֶרֶב (בֹּאֲלָג' בֹּאֲלָה). כָּל הַתְּמוֹנוֹת וְהָאִיּוֹרִים בִּאֲדִיבוֹת רַמִּי עֶרֶב וּפְרוֹוִיקֶט סְפִירוֹת בֵּית צִיִּידָא.

הרודיון (31.66/35.241): האתר ממוקם כ-12 ק"מ דרומית לירושלים. המצודה בנויה על גבעה טבעית, שהוגבהה במהלך מפעל הבנייה של הורדוס, לגובה של 758 מ' מעל פני הים (איור 1). המצודה מתוארת בפירוט רב בכתביו של יוסף בן מתתיהו (קדמוניות יד', 359-360; מלחמות היהודים א' יג', 7-8). בניית המבצורארמון החלה לכל המוקדם בסביבות שנת 30 לפנה"ס והסתיימה לכל המאוחר בשנת 15 לפנה"ס עת ביקר במקום מרקוס אגריפס (קדמוניות טו', 323; טז', 12-13). בהמשך שינה המקום את ייעודו והפך למתחם קבורה מפואר להורדוס, שנפטר בשנת 4 לפנה"ס. מסע ההלוויה המלכותי מתואר בכתבי יוסף בן מתתיהו (מלחמות היהודים א' לג', 8; קדמוניות יז', 196-199). האתר נחפר בין השנים 1962-1967 על ידי ו' קורבו מטעם בית הספר

הפרנסיסקני למקרא ומשנת 1970 על ידי משלחת מהאוניברסיטה העברית בראשות א' נצר, ר' פורת ואחרים. החפירות חשפו מספר שלבים של האתר מימי הורדוס ועד ימי המרידות ברומאים ואישרו את זיהויו של התל כמצודת ההרודיון. בחפירות נחשפו מבנים רבים שנקברו תחת סוללת העפר המלאכותית כחלק משינוי יעוד האתר, מארמון למוזוליאון. מבנה התיאטרון, שיצא מפעילות בסביבות 10 לפנה"ס, הוא אחד המבנים שכוסו. בזמן הקמת המוזוליאון וטרם שפיכת סוללת העפר הוקם בתיאטרון מחנה פועלים מאולתר. מחנה זה כלל מבנים דלים, מתקני בישול ואפיה ואף כתובות גרפיטי של הפועלים. ממצאים מאוחרים יותר מעידים כי במשך השנים התיישבו בחורבות האתר קבוצות שונות ביניהם מורדים יהודים (המרד הגדול 66-71 לספירה ומרד בר כוכבא 132-136 לספירה). אלו התבצרו באתר, חפרו בו מנהרות והקימו מתקנים שונים. בעיקר קירות דלים, תנורים רבים, בעיקר לבישול אך גם ליצירת כלי נשק, ואף בית כנסת ומקווה טהרה. הריסת מתחם הקבר וניתוח הסרקופגים שנמצאו בו מיוחסים למורדי המרד הגדול. בין הממצאים שהשאירו אחריהם המורדים ניתן למנות מטבעות, חרסים, ראשי חץ, אבני בליסטראות ומערכות מסתור תת קרקעיות (Netzer, 1992; Foerster, 1992; Netzer, 2008; Netzer et al., 2009; Kalman et al., 2012; Porat et al., 2013, herodium.org/).



איור 4: אתרים במצודת ההרודיון. א. תצלום אוויר של המצודה, התיאטרון (ב), האולם המלכותי (ג) והמוזיליאון (ד) (צילום: "תצפית"). ב. צילום אוויר של המדרון המערבי, טבונים HTHA (ה) ו HKT (ו) מסומנים בעיגולים הכחולים (צילום: "פסקל"). ג. האולם המלכותי, טבון HTHB מסומן בעיגול הכחול. ד. במת המוזיליאון, טבון HMT מסומן בעיגול. התמונות באדיבות המשלחת לחקר הרודיון ודר' רועי פורת. ה. טבון HTHA. ו. טבון HKT.

באתר נדגמו ארבעה טבונים על פי הפירוט הבא :

HTH-A : "טבון פועלים" גלילי בעומק כחצי מטר, רמת בנייתו גרועה ובוץ הדפנות התפורר בקלות רבה. הטבון נמצא דרום מערבית לתיאטרון (איור נ4).

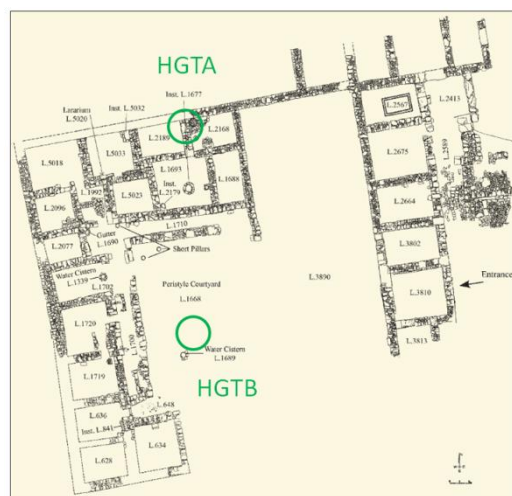
HTH-B : טבון בנוי היטב במצב שימור טוב ומוקף באבנים. הטבון ממוקם בתוך האולם המלכותי (מעל התיאטרון) המפואר שעוטר בציורי קיר (איור נ4ג).

HKT : טבון גדול ומרשים במצב שימור מעולה, בנוי מחומר וורדרד ברמת גימור טובה מאוד. ממקום מדרום למוזוליאון צמוד לשביל ליד האולם המלכותי המעוטר (איור נ4ה).

שלושת הטבונים האלו נמצאו במתחם הפועלים שבאזור התיאטרון. עובדה זו אפשרה לחופרים לתארך אותם ל 15-4 לפנה"ס.

HMT : טבון קטן מאוד, כ 20 ס"מ קוטרו, בנוי בוץ רך מאוד ומתפורר. חפור לתוך קיר העפר מאחורי במת המוזוליאון. נבנה ככל הנראה על ידי מורדי המרד הגדול 71-74 לספירה (איור נ4ד).

חניון גבעתי (31.774/35.235): חניון גבעתי שוכן על הצלע הצפון מערבית של גבעת עיר דוד דרומית להר הבית, ירושלים (איור נ1). בחפירות האתר מטעם רשות העתיקות בהובלת ד' בן עמי וי צ'חנוביץ בשטח M1 נחשפו חלקים מווילה רומית המשתרעת, על פי הערכות החופרים, על כ 200 מ"ר. על פי הממצאים שהתגלו בתוך הקירות והיסודות, ביניהם מטבעות, הווילה נבנתה בסוף המאה השלישית לספירה. ווילה זו נהרסה בחורבן אלים המתאים לרעידת אדמה. גלי המפולות הגדולים שהתגלו על רצפת המבנה קברו תחתיהם ממצאים רבים. המאסף הקראמי יחד עם מטבעות שנתגלו תחת המפולות (האחרון משנת 361) מתארכים את רעידת האדמה לאמצע המאה הרביעית לספירה (Ben-Ami and Tchekhanovets 2010a;b; 2013;). תיארוך זה מתאים לרעידות שהתרחשו בלילה שבין 18-19 במאי 363 וזרעו הרס נרחב בכל האזור וגם בירושלים (Ambraseys, 2009).



HGT-A: טבון שנמצא תחת שכבת החורבן בחדר L. 2168. רוב הטבון הוסר על ידי החופרים אך נדגמו כמה חתיכות שנמצאו במקום. נאספו תשע דוגמאות, ארבע (צמודות) מקיר הטבון וחמש מפיסה אחת מתחתיתו. לגבי פיסה זו קיים חשש כי נפלה מקיר המתקן לאחר קירורו האחרון.

HGT-B: טבון במצב שימור מצוין אשר נחשף בשכבות המאחרות יותר של האתר ומשויך לרצפה עבאסית מהמאה התשיעית לספירה, נאספו 14 דוגמאות מכל ההיקף.

חצור, תל (33.017/35.586): ממוקמת כ-14 ק"מ מצפון לכינרת וכ-8 ק"מ מדרום מערב לעמק החולה. כיום שוכן למרגלות התל קיבוץ אילת השחר (איור 1). חצור הייתה אחת הערים הכנעניות והישראליות החשובות והגדולות ביותר. היא נזכרת בכתבי המאורות המצריים מהמאות ה-18-19 לפנה"ס דבר המעיד על חשיבות העיר הכנענית ומעמדה של מלכה. חצור גם מוזכרת מספר פעמים במקרא, לראשונה בספר יהושע. שם מתואר יבין מלך חצור כמוביל ברית של ערים כנעניות אשר נלחמו ביהושע בקרב מי-מרום "וילכד את חצור ואת מלכה היכה בחרב כי חצור לפניו היא ראש כל הממלכות האלה... ואת חצור שרף באש... רק כל הערים העומדות על תילם לא שרפם ישראל זולתי את חצור לבדה שרף יהושע" (יהושע יא', 10-13). בתיאור זה באים לידי ביטוי חשיבותה הגדולה של חצור הכנענית וגם שריפת העיר בידי יהושע, תיאור אשר נתון במחלוקת בין החוקרים כיום. בהמשך מתואר כי שלמה ביצר את חצור יחד עם מגידו וגזר (מלכים א' ט', 15), אך העיר נפלה בידי תיגלת פלאסר III בשנת 732 לפנה"ס יחד עם מרבית ערי הצפון (מלכים ב' טו', 29). האתר זוהה לראשונה על ידי ג'ל פורסטר בשנת 1875, זיהוי זה הוצע מחדש על ידי ג' גרסטנג בשנת 1926 שאף חפר מספר חפירות בדיקה בשנת 1928. בשנים 1955-1958 ו 1968-1969 נחפר האתר בידי משלחת על שם ג'ימס דה רוטשילד מטעם האוניברסיטה העברית בראשות י' ידין. מאז 1990 חופרת באתר משלחת מטעם האוניברסיטה העברית בניהול א' בן-תור, ש' צוקרמן (ז"ל) וש' בכר. באתר נחשפו ממצאים רבים מתקופת הברונזה ועד התקופה העותמנית עם שכבת חורבן אלימה בסוף תקופת הברונזה. שכבה זו מאופיינת בשריפה אדירה שהתיכה לבני בוץ, פוצצה לבני בזלת והחריבה את העיר כולה. שכבה זו מתוארכת היטב בעזרת חרסים וכתובות לאמצע המאה ה-13 לפנה"ס אך זהות מחריבי העיר עדיין נתונה במחלוקת. לאחר חורבן זה הייתה העיר נטושה לזמן מה בטרם יושבה מחדש על ידי בני ישראל. עיר זו הגיעה לשיאה במאה התשיעית בטרם חרבה סופית בידי תיגלת פלאסר III. חורבן זה נראה היטב בכל האתר, אחריו העיר ננטשה ולא חזרה עוד לתפארתה (Ben-Tor, 1992; 2008).

דוגמאות נאספו ממספר אתרים בתל על פי הפירוט הבא:

הארמון בראש התל:

HKP: לבני בוץ שרופות מחורבן סוף תקופת הברונזה, 1250 ± 20 לפנה"ס, מהארמון שבראש התל.

HKD-A-D: גלעינים בקוטר 0.5" אשר נקדחו מארבע גושי קלינקר בשער הארמון ומתוארכים לחורבן סוף הברונזה, 1250 ± 20 לפנה"ס.



איור 6: אתרים בתל חצור. א. תצלום אוויר של התל (מתוך Zuckerman, 2010). ב. הפיטסיס משכבת החורבן בשטח M. ג. לבני הבזק מהארמון בראש התל. ד. טבון NTH משטח M.

שטח M בשיפולי התל:

HMP-A+B: שני פיטסיס שרופים אשר נמצאו בתוך שכבת החורבן של סוף תקופת הברונזה (1250±20 BCE). הפיטסיס נמצאו בחדר אכסון אשר נשרף לטמפרטורות מאוד גבוהות במהלך החורבן (Area M Locos 13/312 Basket No. 78375/78376).

NTH-A: טבון כמעט שלם שנחשף בשטח M ומתוארך למאה השמינית לפנה"ס (Area M, Locos 14/527).

NTH-B: מקטע קטן של קיר טבון אשר נמצא בסמוך לקודם ומתוארך לאותה תקופה.

ג'ומג'ים, חרבת (31.669/35.101): חרבת ג'ומג'ים ממוקמת במערב גוש עציון בקצה שלוחת משואות יצחק (איור 10). הישוב הקדום נבנה על גבעה מצוקית המוקפת גאיות תלולים משלושת צדדיה. האתר נחפר בשתי עונות 2005 ו-2008 בניהולם של ע' מאיר וב' זיסו. על הגבעה עצמה התגלו שרידי ישוב עתיק מתוכנן ואף מבני ציבור אך אלו טרם נחפרו. באוכף שבדרום מזרח הגבעה התגלה כבשן יוצר של כלי חרס אשר פעל בתקופה הרומית המאוחרת, מאות שלישית רביעית לספירה.

(Meir et al., 2013). הכבשן חצוב למחצה בסלע הגיר בעומק של כמטר ומטויח בבוץ. הדוגמאות נאספו מהטיח בעזרת גבס.



איור 7: הכבשן באוכף חרבת ג'ומג'ום, צילום: בועז זיסו. התמונה באדיבות ערן מאיר ובוזו זיסו, המחלקה ללימודי א"י וארכיאולוגיה, אוניברסיטת בר אילן.

יבנה (31.864/34.793): בשנים 2010-2011 נערכה חפירת הצלה מטעם רשות העתיקות בניהולו א' ינאי למרגלות תל יבנה ובסמוך לתחנת הרכבת של יבנה (איור 10). בחפירות, שטח C, נחשף מכלול גדול של כבשני יוצר שיצרו קנקנים מטיפוס "קנקני עזה". קנקנים אלו, אשר נמצאו בכל אגן הים התיכון כולל בספרד, צרפת וצפון אפריקה, היוו מעין סמל מסחרי של מישור החוף הדרומי בארץ. נראה שיצורם נוהל בידי גוף אזורי או אף ארצי שגם ניהל את הפקת השמן והיין האזורי ותהליך היצוא שלו למרחב אגן הים התיכון. יצורם של קנקנים מטיפוס זה החל ככל הנראה בשלהי התקופה הרומית והתפשט מאוד במאות השישית ותחילת המאה השביעית לספירה. במחצית השנייה של המאה השביעית פוחתת משמעותית תפוצת הקנקנים מטיפוס זה, יתכן שבשל הכיבוש המוסלמי או לחילופין בעקבות רעידות אדמה אשר פגעה במישור החוף הדרומי של ארץ ישראל ובמפעלי היצור. הקנקנים שנמצאו בבית היוצר ביבנה מתאימים לתחילת המאה השביעית בלבד ועל כן ניתן להניח כי בית היוצר פעל תקופה קצרה בטרם חרב ברעידת אדמה באמצע המאה השביעית לספירה. במאה זו ידועות שתי רעידות אדמה הרסניות 634/5 ו 659/60. בדיקה פלינולוגית, על ידי ד' לנגוט, קבעה את עונת החורבן ועל ידי כך תיארכה את הרעידה לזו של 659/60 (Yannai, 2014; Langgut et al., in prep). דוגמאות נאספו ממספר רב של חרסים שנמצאו במקומם בתוך הכבשן וכן שני לבני בוץ אשר נעטפו בגבס ונלקחו בשלמותם.



איור 8: מכלול הכבשנים ביבנה, צילום מתוך: Yannai, 2014.

כפר חנניה (32.922105/35.418248): בסמוך לצומת חלפתא, בשיפולי הגבעה של כפר חנניה הקדומה התגלה כבשן כלי חרס. הכבשן מתוארך לסוף התקופה הרומית (מאות שליטת - רביעית לספירה) ויתכן שהוא נחרב ברעידת האדמה של 363 (Adan-Bayewitz, 1991). הכבשן בנוי בתוך תעלה חפורה בסלע האס, מאבנים מהוקצעות. קוטרו הפנימי כ-3 מטרים ובמרכזו עמוד. בשל הצמחייה העבותה שהשתלטה על המבנה נאספו דוגמאות בעיקר מהעמוד שבמרכז הכבשן.

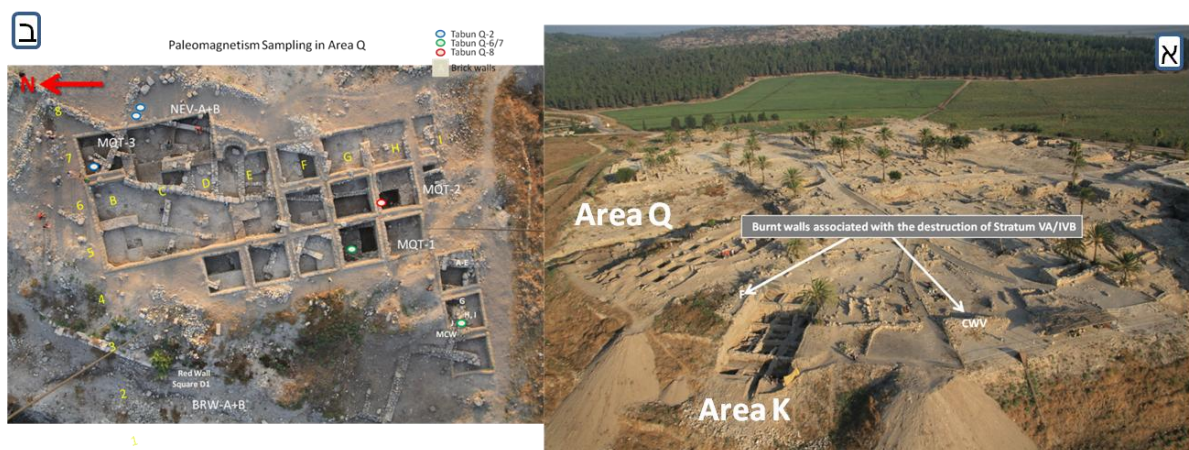


איור 9: הכבשן בצומת חלפתא, מתוך: Adan-Bayewitz, 1991.

לכיש, תל (31.565/34.848): ממוקמת בשולי נחל לכיש ועל אם הדרך הראשית העתיקה ממישור החוף להרי חברון (איור 10). מיקומה בסמיכות לדרך ראשית, מקורות המים הזמינים והקרקע החקלאית באזור אפשרו שגשוגה של עיר מרכזית חשובה. האתר נחפר לראשונה בשנת 1932 בידי משלחת בריטית בניהולו של ג'יל סטרקי. בשנים 1966 ו 1968 חפרה באתר משלחת מטעם האוניברסיטה העברית בניהולו של י' אהרונ' ובין 1973-1987 נחפר האתר בצורה שיטתית על ידי משלחת מאוניברסיטת תל אביב בניהולו של ד' אוסישקין. כיום האתר נחפר בידי משלחת מהאוניברסיטה העברית בניהולו של י' גרפינקל. באתר ממצאים מהתקופה הניאוליתית

הקראמית ועד התקופה ההלניסטית הכוללים לפחות שמונה שכבות ישוב ושש שכבות חורבן משמעותיות ומתוארכות היטב. התקופה הישראלית כוללת ארבע שכבות ישוב ושלוש שכבות חורבן. שכבות החורבן החשובות הן החורבן האשורי בידי צבא סנחריב בשנת 701 לפנה"ס המתואר היטב בתנ"ך (מלכים ב' יח', 13; 17; ישעיהו לו', 2; לז', 8; דברי הימים ב', לב', 9) ובסדרת תבליטי אבן שנמצאו בארמון סנחריב בנינווה. חורבן נוסף הוא החורבן הבבלי של סוף תקופת מלכות יהודה ב-586 לפנה"ס (לכיש II). חורבן זה, המתואר בירמיהו (לד', 7) מתוארך בעזרת "מכתבי לכיש" אשר התגלו, בשכבה חתומה על ידי שכבת החורבן, בשער העיר ובעזרת הממצא החומרי. שער העיר של שכבה II נבנה מעל שרידי השערים הקדומים (שכבות III ו-IV) אך היה קטן וחלש יותר מקודמיו. הבנאים הסתמכו על יסודות השערים הקדומים והשתמשו בחומרים משכבות חורבן קודמות למילויי הקירות החדשים. השער החיצוני המאסיבי כלל מגדלי שמירה מבוצרים בני שתי קומות בנויים אבנים מאסיביות. השער הפנימי כלל שישה חדרים והיה מוגן על ידי שני מגדלים בנויים לבני בוץ. ארבעת המגדלים האלו יצרו חצר פנימית גדולה ומוגנת, מוקפת חדרים, אשר שימשה כמקום מפגש ציבורי. "מכתבי לכיש", אוסף אוסטרקונים אשר התגלו באחד החדרים הסמוכים לשער החיצוני מעידים כי שם שכנה המפקדה הצבאית של העיר העיר (Ussishkin, 1977; 1983; 1990; 1992). דוגמאות נאספו מארבע לבני בוץ צרופות משכבת השער של לכיש II.

מגידו, תל (32.584/35.184): חולש על מוצא נחל עירון (וואדי ערה) לעמק יזרעאל ובגובה כ-40-60 מטר מעל סביבתו, תל מגידו הוא אחד התילים הגדולים והחשובים בארץ. העיר מגידו מופיעה במקורות מהמאה ה-15 לפנה"ס. אזכורה הראשון, במקורות מצריים, מתאר את מסעו של תחומס השלישי במלחמה נגד מלכי כנען. במהלך מלחמה זו הטיל הצבא המצרי מצור בן שבעה חודשים שהביא בסוף לכיבוש העיר. אזכורים של מגידו בתנ"ך, כעיר כנענית חזקה, מופיעים בספר יהושע (יז', 11-13), שופטים (א', 27-28) ובשירת דבורה (שופטים ה', 19). לא ידוע עדיין מתי העיר נכבשה בידי בני ישראל אך בספר יהושע (יב', 21) ודברי הימים (ז', 29) היא כבר מוזכרת כעיר בנחלת מנשה. בתקופת המלוכה העיר נמנית עם ערי נציבותו החמישית של שלמה (מלכים א' ד', 12), שאף ביצר אותה יחד עם חצור וגזר (מלכים א' ט', 15). העיר, חרבה שוב בתחילת המאה השמינית בידי תיגלת פלאסר III, יחד עם שאר ממלכת ישראל הצפונית. נראה שהעיר חזרה לשליטת ממלכת יהודה לתקופה קצרה לאחר מכן. זאת על פי תיאור הקרב בין יאשיהו לפרעה נכו





איור 10: מגידו. א. צילום אווירי של התל, מבט מזרחה; ב. שטח Q, חלוקה לריבועים, מיקום חלק מהדוגמאות מסומן (תמונות באדיבות דר' רותי שחק ופרויקט חפירות מגידו); ג. קיר הלבנים Dril-A-E; ד. קיר הלבנים K; ה. מפולת הלבנים ומיקום הדוגמאות בריבוע I2; ו. לבני הבוץ MEG-I-H; ז. שני הטבונים NEVA (משמאל) ו NEVB (מימין); ח. טבון NEVA; ט. טבון NEVB; י. שני הטבונים CHEA (מימין) ו CHEB (משמאל); יא. טבון CHEA; יב. טבון QTMA; יג. טבון QTMB שנדגם מתוך החתך; יד. טבון CATA; טו. טבון QTM1; טז. סדימנט עם קשקשים מריבוע C8; יז. "הקיר האדום" BRW שנחשף בתוך התעלה של שומכר; יח. קיר הלבנים הקרוס MCW.

בשנת 609 לפנה"ס. קרב זה, אשר התרחש בבקעת מגידו עלה בחייו של המלך היהודאי (מלכים ב' כג', 29-30; דברי הימים ב' לה', 22). אחרי קרב זה ירדה מגידו מגדולתה, אך חשיבותה הצבאית ומיקומה האסטרטגי משתקפות עד היום בתיאור האפוקליפסה הנוצרית. בתיאור זה מופיע הר מגידו כשדה הקרב האולטימטיבי בו ילחמו כוחות האור בכוחות החושך באחרית הימים (הארמגדון) (חזון יוחנן טז', 12 ואילך). התל זוהה לראשונה על ידי אשתורי הפרחי, בספרו "כפתור ופרח" משנת 1322, וא' רובינסון והממצאים מהחפירות איששו זיהוי זה. התל נחפר לראשונה, בשנים 1903-1905, על ידי משלחת מטעם החברה הגרמנית לחקר המזרח בראשותו של ג' שומכר. משלחת זו חפרה שוחה עמוקה ברוחב כ-25 מטר לכל אורך התל שבמקומות הגיעה עד לסלע האס. החפירות חודשו בשנים 1925-1939 בידי משלחת מטעם המכון לחקר המזרח של אוניברסיטת שיקגו בניהול של ברסטד ובהמשך פישר, גאי ולאוד. משלחת זו התכוונה לחפור את כל התל שכבה אחר שכבה עד להגעה לסלע האס, אך שאיפתם לא הושלמה. החפירה באתר חודשה בשנים 1960-1971, על ידי משלחת מטעם האוניברסיטה העברית בניהולו של י' ידן שחפרה לפרקים. משנת 1992 ואילך האתר נחפר ברציפות על ידי "משלחת מגידו" (The Megiddo Expedition) בהובלת אוניברסיטת תל אביב ואוניברסיטת פנסלביה בניהולו של י' פינקלשטיין וד' אוסישקין. החפירות השונות חשפו רצף שכבות ישוב עירוניות מתקופות הברונזה והברזל וביניהן לפחות ארבע שכבות חורבן משמעותיות. בין שכבות חורבן אלו, חורבן העיר הכנענית באמצע המאה העשירית לפנה"ס. שכבת חורבן אדירה זו כוללת התמוטטות של כל המבנים בעיר, מבני ציבור ומגורי עניים כאחד ושכבת שריפה אדירה. הגורם לחורבן זה נתון עדיין במחלוקת בין החוקרים. יש המציעים רעידת אדמה, כיבוש בידי המלך דוד, כיבוש על ידי שישק I המצרי או כיבוש וחורבן העיר בידי בני ישראל. הממצאים מעונות החפירה האחרונות ותיארוכי ¹⁴C תומכים באפשרות האחרונה (Shiloh, 1992; Finkelstein et al., 2008; Finkelstein, 2009). רצף השכבות-גיליים, רשימת שכבות ההרס המשמעותיות ורשימת הדוגמאות שנאספו בטבלאות המצורפות.

נבי סמואל (31.832/35.180): ממוקמת על גבעה תלולה כשבעה ק"מ צפון מזרח מירושלים בגובה של כ-908 מטר מעל פני הים. האתר נחפר מאז תחילת שנות ה-90 מטעם קצין המטה לארכיאולוגיה במנהל האזרחי, בהובלת י' מגן ומ' דדון. מ-2007 האתר נחפר על ידי ב' הר-אבן. באתר נמצאו שכבות ישוב מתקופת הברזל ועד התקופה העותמנית. בין הממצאים השונים באתר שרידי כפר הלניסטי מתחילת המאה הראשונה לפנה"ס. כפר זה חרב באירוע סיסמי, אשר הביא להתמוטטות חלקם העליון של המבנים. מפולות אלו חתמו את חלקם התחתון של המבנים והביאו להשתמרות מרשימה של קירות ומתקנים תחת המפולות האדירה. רעידת האדמה פגעה בשוב זמן קצר לאחר שהוא ננטש בצורה מסודרת. המבנים שהשתמרו תחת המפולות התגלו ריקים לחלוטין, ללא כלים, חפצים או שלדים ורוב הפתחים נחסמו באופן יזום טרם הרעידה. עדויות אלו מעידות כי יתכן שתושבי הכפר עזבו את ביתם בשל איום חיצוני, אולי פלישת פומפיוס בשנת 63 לפנה"ס. יתכן שדווקא נטישה זו הצילה את חייהם מחורבן הרעידה. זמן קצר לאחר החורבן הישוב חודש מעל שכבת המפולת. ישוב זה, אשר תחילת בנייתו מתוארכת למחצית הראשונה של המאה

הראשונה לספירה מהווה חסם עליון לגיל החורבן (Magen and Dadon, 2003; Magen, 2008). על כן ניתן להניח בסבירות גבוהה כי הישוב חרב ברעידה של 31 לפנה"ס המתוארת בכתבי יוסף בן מתתיהו (מלחמות היהודים א', 369; קדמוניות היהודים טו', 124-121). דגימות נאספו מטבון שנחשף תחת שכבת החורבן. הטבון הביתי בגובה של כ-30 ס"מ, מוקף אבנים ובמצב שימור מעולה. הטבון צמוד ל"חדר הסרוק" ומופיע בסריקת התלת מימד, חומם בפעם האחרונה ככל הנראה בסמוך לזמן הנטישה של הכפר בסביבות שנת 63 לפנה"ס.

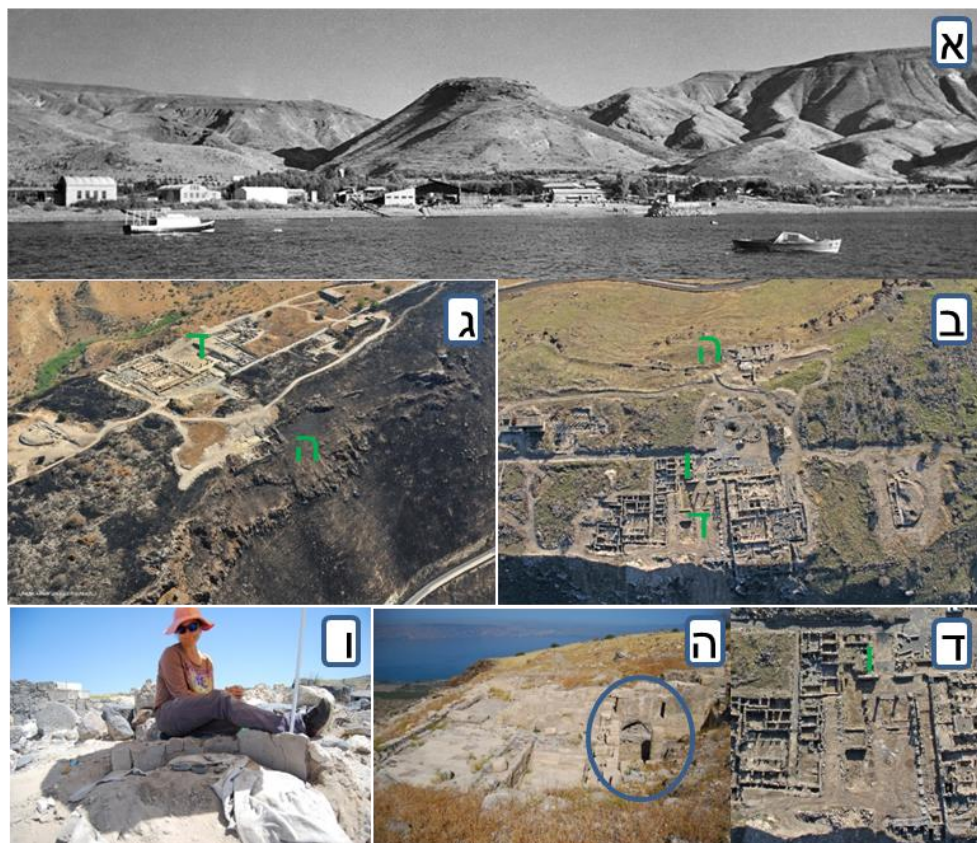
נתיב העשרה (31.662/34.544): בסתיו 2014 נעשתה חפירת הצלה של רשות העתיקות בהנהלת י' עבאדי-רייס בקיבוץ נתיב העשרה. בחפירה זו התגלה מתחם צבאי גדול אשר חרב בצורה אלימה, ככל הנראה בפשיטה צבאית בסביבות 400-600 לפנה"ס. בתוך המתחם נמצאו שלוש טביעות טבונים סמוכים ולידם מתקן חימום מבוך שרוף בעל צורה ריבועית. הדוגמאות נאספו מחצי הטבון היחיד שנותר בשטח (Locos- 219) (Abadi-Reiss, pers. com.).



איור 11: מקטע הטבון שנדגם בנתיב העשרה.

סוסיטא (היפוס) (32.778/35.659): ממוקמת כשני קילומטר ממזרח לכינרת, כ-350 מטר מעל קיבוץ עין גב (בגובה של 144 מטר מעל פני הים בנקודה הגבוהה ביותר). העיר הראשונה במקום Antiochia Hippos הוקמה במאה השניה לפנה"ס על ידי הסלווקים, יתכן שעל שרידי ישוב קדום יותר מהמאה השלישית לפנה"ס. העיר נזכרת לראשונה, בכתבי יוסף בן מתתיהו, בתיאור מסע כיבושיו של המלך החשמונאי אלכסנדר ינאי (Alexander Jannaeus, R. 103-76 BCE) בעבר הירדן, בסביבות 80-83 לפנה"ס (קדמוניות היהודים יג', 394-397). עם כיבוש האזור בידי פומפיוס בשנת 63 לפנה"ס, חודשו

הערים המיווונות, ערי הדקפוליס (Decapolis), ונכללו בתחום הפרובינציה סוריה (קדמוניות היהודים יד', 74-75). ערי הדקפוליס מוזכרות בכתבי יוסף בן מתתיהו, פליניוס הזקן ואף בברית החדשה "בתוך עשר הערים" (מרכוס 7, 31). גוש ישובי זה כלל כעשר ערים מיווונות, יתכן שאף יותר, שהשתרע בין פילדלפיה (רבת עמון) בדרום, סוסיטא בצפון, קנתא (קנוואת, בסוריה של היום) במזרח ובית שאן במערב. ערים אלו, נוהלו על ידי עקרונות הפוליס והיוו טריז תרבותי יווני במרחב השמי סביבן, על כן הן זכו למעמד עצמאי יחסית תחת השלטון הרומי. על פי התיאור של יוסף בן מתתיהו הותקפה העיר בזמן המרד הגדול בידי יהודים מהסביבה, חלק מתושבי העיר היהודים השתתפו בהגנה עליה (מלחמות היהודים ב', 459; 478; ג', 542). בהמשך, עברה העיר לשליטתו של הורדוס, בניגוד לרצון תושביה, כחלק מהרחבת ממלכתו בידי הקיסר אוגוסטוס (Augustus, R. 27 BCE - 14 CE). ואכן, עם מותו של הורדוס, חזרה העיר לתחום הפרובינציה סוריה (קדמוניות טז', 217; יז' 320; מלחמות היהודים, א', 396; ב', 97). העיר מוזכרת מספר פעמים במקורות היהודיים, מהם ניתן ללמוד על מעמדה של העיר, אוכלוסייתה, תחומה וקשריה עם ערי הסביבה. בגמרא מובאת סוסיטא כדוגמא לעיר נכרית בעלת מיעוט יהודי (ירושלמי, כתובות יב', ד'; בבלי, ראש השנה ב', א'). תחום העיר הגיע עד לחוף הכינרת ונכללו בו מספר כפרים יהודיים, כנף ואום אל קנטיר, בהם נמצאו בתי כנסת, מוזכרים בין כפרים אלו. העיר שגשגה והתפתחה בזמן השלום הרומי במאות השנייה והשלישית לספירה, היא הייתה בקשרי מסחר ותחרות עם טבריה היהודית מעברה השני של הכינרת ואף זכתה בשל כך לכינוי "צרתה של טבריה" (איכה רבה מו', 71). נראה כי העיר לא נפגעה בכיבוש המוסלמי של האזור במאה השביעית לספירה. אך מזל זה לא עמד אל מול פגעי הטבע העיר נפגעה קשה ברעידות האדמה של אמצע המאה הרביעית ואמצע המאה השמינית לספירה. הרעידה האחרונה הנחיתה מכת מוות לעיר, שלא הצליחה



איור 12: סוסיטא. א. צילום מסירה בכינרת, 1943 (צילום מארכיון עין גב). ב. תצלום אוויר של האתר, מבט דרומה. ג. צילום אוויר של האתר מבט צפון מזרח. ד. צילום אוויר אנכי של הבזיליקה. תמונות א-ד באדיבות פרופ' מיכאל אייזנברג ומשלחת חפירות סוסיטא. ה. בית המרחץ הדרומי והכבשן שנדגם (HSB), מסומן בעיגול כחול. ו. הטבון שנדגם (HFT) על יד הבזיליקה.

להתאושש עוד ונטשה. האתר נסקר לראשונה על ידי ג' שומכר הגרמני בשנת 1885. הוא שרטט תוכנית סכמתית טובה הכוללת את הקארדו של העיר, שרידי החומה והמגדלים ואף את המבנה המונומנטאלי במרכז העיר. עם יסוד קיבוץ עין גב ב-1937, חודשו הסקרים באתר על ידי חברי הקיבוץ וביניהם מ' נון שזיהה את שני המעגנים של העיר, בסמוך לשפך נחל סוסיתא לכינרת. חפירות הצלה, בשל עבודות בניה וביצור של צה"ל, יצאו לפועל בשנים 1950-1952 בהובלת ק' אפשטיין, מ' אבי יונה, א' שולמיר וע' אנטבי. משלחת מדעית ישראלית גרמנית בהשתתפות ז' משל עשתה מספר סקרים וחפירות בדיקה במטרה לחקור את מערכת אמות המים של העיר בתחילת שנות ה-90. החפירות המחודשות באתר החלו בשנת 1999 על ידי משלחת מאוניברסיטת חיפה בראשות א' סגל ומ' איזנברג. (Epstein, 1992; Segal and Eisenberg, 2005; Segal, 2008; Segal et al., 2010). שני אתרים נדגמו בסוסיתא :

HSB: כבשן בצפון בית המרחץ הדרומי, בתוך תעלה בעומק של כ-180 ס"מ הבנויה לבני בוץ שרופות ולבני בזלת. 12 גלעינים בקוטר 0.5" נקדחו בתעלה ושתי לבנים נלקחו למעבדה. בית המרחץ הדרומי הפסיק לפעול בסביבות אמצע המאה הרביעית, יתכן שבעקבות רעידת האדמה של 363.

HFT: טבון גדול ושמור היטב ממזרח לכניסה הראשית לבזיליקה הגדולה. מתוארך לחורבן העיר ברעידת אדמה באמצע המאה השמינית, 17 דוגמאות נאספו.

עזקה, תל (31.700979/34.935672): האתר מזוהה כיום עם תל זכריה השוכן על גבעה גבוהה בקצה הצפוני של רכס גבעות, כ-9 ק"מ מצפון מזרח לבית גוברין כ-8 ק"מ ממזרח לתל צפית וכ-17 ק"מ צפונית לתל לכיש (איור 1). גובהו של התל כ-400 מטר מעל פני הים והוא מתרומם כ-117 מ' מעל לנחל האלה המקיף את התל משלושה כיוונים. ביצורו הטבעי של התל, מיקומו האסטרטגי השולט על צומת הדרכים העתיקות שלמרגלותיו ועל הכניסה לעמק האלה הקנו לעיר חשיבות. לא מקרה אם כך שרכס גבעות נקבע כגבול פוליטי טבעי של ממלכת יהודה. העיר עזקה מוזכרת שבע פעמים בתנ"ך, לראשונה בספר יהושע. שם העיר מוזכרת כמקום אליו ברחו מלכי האמורי במהלך קרב גבעון (יהושע י', 10-11). בהמשך הפכה העיר לישראלית ונכללה בנחלת יהודה (יהושע טו', 35). הקרב בין דוד וגוליית התרחש בעמק האלה לרגלי התל כאשר הצבא הפלישתי חונה "בין שוכה ובין עזאקה" (שמואל א' יז', 1). עזקה המשיכה להיות עיר חשובה בתקופת רחבעם אשר ביצר אותה יחד עם אדוריים ולכיש (דברי הימים ב' יא', 9). על פי מקורות אשורים (כתובת עזקה) העיר חרבה בידי סנחריב מלך אשור במסע המלחמה של 701 לפנה"ס. בכתובת זו עזקה מתוארת כמבצר השוכן על גבי רכס הרים בגבול ממלכת יהודה, תיאור שמתאים לטקסט המקראי ולממצאים הארכיאולוגיים. חורבן נוסף, המוזכר בתנ"ך, בא על העיר מידי נבוכדנאצר מלך בבל יחד עם ירושלים וערי יהודה הבצורות האחרונות בשנת 586 לפנה"ס (ירמיהו לד', 7). עדות נוספת לחורבן זה נמצאה ב"מכתבי לכיש" שם מתואר "כי אל משואות לכיש נחנו שומרים, ככל האותות אשר נתן אדוני, כי לא נראה את עזקה" (אוסטרקון מס' 4). מיקום העיר הוצע כבר בשנת 1322 על ידי אשתורי הפרחי בספרו "כפתור ופרח". הזיהוי הראשון של העיר המקראית עם תל זכריה הוצע על ידי י' שווארץ בשנת 1845. התל נחפר לראשונה בשנים 1898-1899 על ידי הקרן הבריטית לחפירות ארץ ישראל (P.E.F) בניהולם של פ"ג בליס ורא"ס מקליסטר. הם הציעו לזהות את התל דווקא עם העיר המקראית שוכה. בשנת 1924 קבע אולברייט את זיהויה של תל עזקה עם תל זכריה ואת

שוכה עם חרבת שוויכה (כשישה ק"מ מזרחה מתל זכריה) זיהוי אשר התקבל על דעת רוב החוקרים. מאז 2009 האתר נחפר על ידי משלחת הכוללת מספר אוניברסיטאות (The Lautenschläger Azekah Expedition) שבראשם אוניברסיטת תל אביב בניהולו של ע' ליפשיץ. החפירות חשפו ממצאים מתקופת הברונזה ועד התקופה הרומית כאשר העיר הגיעה לשיאה בתקופת הברונזה המאוחרת ושיא נוסף בתקופת הברזל IIB. נראה שהעיר ננטשה בסוף תקופת הברונזה, כמו רוב התילים בני התקופה. הישוב היהודאי בתל החל בתקופת הברזל IIA, לאחר נפילת גת בידי חזאל מלך ארם והתבססות ממלכת יהודה. ישוב זה הגיע לשיאו בתקופת הברזל IIB, דבר המתיישב עם התיאורים במקורות, והגיע לקיצו עם חורבן יהודה בידי הבבלים. ההתיישבות בתל חודשה בתקופה ההלניסטית והרומית, כולל בניית מצודה בראש התל. בתקופה הרומית אף נחפרו בתל מערכות מסתור כהכנה למרד בר-כוכבא. לאחר המרד ונטישת הישוב, עבר מוקד ההתיישבות למיקום חדש לרגלי התל על גדתו הצפונית של נחל האלה. בחפירות האתר התגלתה שכבת חורבן נוספת הכוללת שריפה, קריסת קירות וגגות וחפצי ערך ושרידי אדם הקבורים תחת המפולות. שכבה זו נחשפה ברוב שטחי החפירה ותוארכה לסוף תקופת הברונזה, יתכן כי מקור חורבן זה ברעידת אדמה (Stern, 1992; Emmanuilov, 2012; Lipschits, 2012). דוגמאות נאספו ממספר אתרים בתל:

שטח N:

TAN-A: חצי טבון בקוטר כ-50 ס"מ, מצב שימור גרוע. הדבקה ראשונית נעשתה בשטח על מנת לייצב את הפרגמנטים לפני הדגימה. תיארוך לא ידוע, נאספו 21 דוגמאות.

TAN-B: מקטע קטן של טבון בתוך חתך של מילוי חתום ברצפה / קיר לבנים. מצב שימור גרוע, סדוק מאוד, שבור לחתיכות בגודל של מספר ס"מ בודדים. תיארוך לא ידוע, נאספו 13 דוגמאות.



איור 13: אתרים מתל עזקה. א. טבון AST-A; ב. טבון AWT-A; ג. מקטע הטבון AWT-B כפי שהוא נחשף בחתך; ד. מקטע הטבון AWT-B לאחר חשיפה וניקוי; ה. טבון TAN-A; ו. מקטע טבון TAN-B; ז. ATK-B+C פיסות בוך שרוף ממתקן תעשייתי בשטח T; ח. מיקום דגימות הפולן של דר' ד' לנגוט מטבון AST-A.

שטח S :

AST-A : טבון גדול ושמור להפליא, בנוי חומר איכותי, קוטר כ-60 ס"מ, גובה כ-30 ס"מ. חלקו העליון כנראה קרס בחורבן. מתוארך לסוף תקופת הברזל IIA 750 ± 50 לפנה"ס. נאספו 24 דוגמאות, מטבון זה גם נאספו דוגמאות פולן על ידי ד' לנגוט.

שטח T :

ATK-A : קידוחי גלעינים מתוך לבנת בוץ שהותכה לקלינקר בחורבן סוף הברונזה III, "הבית השרוף". החורבן, יתכן שרעידת אדמה, תוארך ל 1150 ± 25 לפנה"ס.

ATK-B+C : שתי פיסות ממתקן תעשייתי בנוי בוץ שרוף אשר חרב גם הוא בחורבן. נמצאות בצמוד לבית השרוף. נאספו 13 גלעינים בסך הכל.

שטח W :

AWT-A : טבון במצב שימור גרוע. מתוארך על ידי החופרים לסוף התקופה הפרסית 400 ± 100 לפנה"ס. נאספו 21 דוגמאות.

AWT-B : חלק קטן של טבון, שנחשף בתוך החתך. לא ברור אם הוא שייך לטבון הקודם או לא. נאספו 13 דוגמאות, מתוארך לאותו חורבן. תוצאות המדידות המגנטיות הראו כי חלק זה שייך לטבון הקודם.

עין גדי (31.46181/35.39240) : נווה המדבר של עין גדי ממוקם לחופו המערבי של ים המלח כ-50 ק"מ מירושלים וכ-16 ק"מ ממצדה. ארבעת המעיינות האיתנים של נווה המדבר (עין דוד, עין ערוגות, עין גדי ועין שולמית) בשילוב עם התנאים האקלימיים הייחודיים, מאפשרים את שגשוגם של מגוון גדול של מיני צמחים ובעלי חיים. המיקום של נווה המדבר על אם הדרך הראשית ולחוף הים הקנו לכפר חשיבות מסחרית וישנן גם עדויות לקיומו של נמל. אלו אפשרו את שגשוגה של חברה חקלאית הנסמכת בעיקר על גידולי תמרים ועל ייצור בושם האפרסמון, כפי שמתואר בכתבי יוסף בן מתתיהו (קדמוניות היהודים ט', 7). בנוסף עסקו התושבים באיסוף ושיווק של אספלט מהאזור. בימי הורדוס הפכה עין גדי, למרכז המחוז הדרומי, מקבילה ליריחו במחוז הצפוני. במהלך המרד הגדול, הישוב הותקף בידי הסיקריקים (Sicarii) שטבחו ביושביו והחריבו אותו (יוסף בן מתתיהו ; מלחמות היהודים ד', 103). ההיסטוריון והמצביא הרומאי פליניוס הזקן (Gaius Plinius Secundus; 23-79 CE) מתאר את עיי החורבות של הכפר לאחר המרד. למרות הטרגדיה, הישוב התחדש במהרה והספיק לשוב ולשגשג עד לנטישה מחודשת בעקבות הדיכוי האכזרי של מרד בר כוכבא בידי הרומאים. אך הישוב לא ננטש סופית, הנוכחות באזור חודשה במהרה, ככל הנראה על ידי תושבים שחזרו אחרי המרד. הישוב החדש, גדל להיות אחד הגדולים והעשירים באזור והוקמו בו בית כנסת מפואר, מקווה ויתכן שאף בית מרחץ. ישוב זה חרב סופית באירוע אלים באמצע המאה השישית לספירה. בחורבן זה, כנראה תוצאה של פשיטת שבטים נודדים, נהרסו כל המבנים בשריפה אדירה והישוב ננטש סופית. בתקופה זו, גם נפסקות העדויות לגידול האפרסמון המסתורי וייצור בושמו המפורסם, נראה כי סודות האפרסמון נעלמו מעל במת ההיסטוריה יחד עם תושבי עין גדי (Hirschfeld, 2004; Hadas, 2008; 2011). החפירות באזור הכפר הרומי

ביזנטי בעין גדי חודשו בשנת 1996 בהובלת י' הירשפלד מהאוניברסיטה העברית וג' הדס מקיבוץ עין גדי, חפירות אלו חשפו את עושרה של העיר בעבר ואת סופה הדרמטי. דוגמאות נאספו מטבון שנמצא בשכבת החורבן של המאה השישית, צמוד לקיר הדרומי של "בית בן חלפיי", צפונית לבית הכנסת ול"בית חלפיי". הטבון שמור היטב בגובה של כ-20 ס"מ ובקוטר של כ-70 ס"מ. הדגימות נאספו מחלקו העליון שנחשף במיוחד על ידי ג' הדס לצורך הדגימה.



איור 14: עין גדי. א. תוכנית החפירות באתר; ב. צילום של השכונה הרומית מצפון לבית הכנסת, מבט דרומה, מיקום הטבון מסומן בירוק (איורים מתוך Hadas, 2008).

עכו, תל (גבעת נפוליאון) (32.92111/35.088333): שוכן לגדת נחל נעמן על גבעה טבעית בגובה כ-15 מטר מעל פני הים ובמרחק כ-700 מטר מקו החוף. מיקום העיר ליד נמל טבעי, בשפך נחל נעמן, בצומת של דרכים עתיקות חשובות ובקרבה לאדמות פוריות ומקורות מים טבעיים אפשרו הקמת עיר משגשגת. עכו מוזכרת במקורות רבים מתקופת הברונזה כעיר מסחר ושלטון חשובה. חשיבות זו באה גם לידי ביטוי במאמציהם של שליטים רבים מהעת העתיקה ועד לזמן המודרני לשלוט בעיר ובנמלה האסטרטגית. בתקופת הברונזה המאוחרת II ו I עכו מוזכרת בתיאורי כיבוש מצריים, היא גם מוזכרת 13 פעמים בכתבי עמרנה, אזכורים אשר מאירים את היחס האמביוולנטי בין שליטי העיר לאימפריה המצרית מחד ואת חשיבותה הכלכלית מסחרית של העיר מאידך. בסוף תקופת הברונזה העיר עברה שינוי הדרגתי ונראה כי המעבר לתקופת הברזל לא לווה בחורבן. על פי ספר שופטים העיר, אשר נכללה בנחלת אשר, לא נכבשה על ידי בני ישראל (שופטים א', 31). נראה כי עכו נכללה בין ערי הגליל אשר שלמה המלך נתן לחירם מלך צור לאות תודה על עזרתו בבניית בית המקדש (שופטים א' ט', 12-13). בתקופה זו המשיכה העיר לשמור על מעמדה החשוב בתוך מסגרת הערים הפניקיות. עכו מוזכרת במקורות אשוריים מתקופת סנחריב (681-704 BCE) (Sennacherib, R. 669-680 BCE) ואסרחדון (Esarhaddon, R. 669-680 BCE) ואף נכבשה על ידי האחרון. עם החלשות האיחוד האשורית העיר שוקמה, אך לא לזמן רב, היא נפלה בשנית בידי המלך האשורי אשורבניפל (Ashurbanipal, R. 668-627 BCE). הלה אף מתאר ברברבנות את הזוועות שנעשו לתושבי העיר הכבושה ואת הגליית תושביה. בתקופה הפרסית שימשה עכו כבסיס ימי חשוב במלחמתו של השליט האחמני כנבוזי השני (Cambyses II, R. 528-523 BCE) במאבקו על השליטה במצרים. בשנת 332 לפנה"ס נכנעה העיר לאלכסנדר מוקדון, ככל הנראה ללא קרב. מזלה לא האיר פנים בהמשך, היא נכבשה ונהרסה בידי תלמי הראשון בשנת 312 לפנה"ס, כחלק ממאבק הירושה בין התלמיים

לסלוקים לאחר מותו של מוקדון והתפרקות האימפריה שהקים. עם ביסוס שלטונו, בנה תלמי הראשון את העיר מחדש, זו נשארה בשליטת בית תלמי כמאה שנה. בתקופת יורשו, תלמי השני (שלטון 246-285 לפנה"ס), החל מרכז הכובד של העיר לעבור מאזור התל לאזור הנמל. בשנת 200 לפנה"ס, עברה העיר לשליטת אנטיוכוס III (שלטון 187-223 לפנה"ס) והפכה למרכז שלטון סלווקי. בתקופה החשמונאית, עמדה עכו בהצלחה מול מספר ניסיונות חשמונאים להשתלט עליה ולהמיר את תושביה. נראה שבסוף התקופה ההלניסטית עברה העיר סופית לאזור הנמל והתל איבד את חשיבותו. החפירות המדעיות באתר החלו בין השנים 1973-1989 ידי משלחת מאוניברסיטת חיפה בניהולו של מ' דותן. מאז 2010 חופרת באתר משלחת מאוניברסיטת פנסלביה בניהולה של א' קילברו ובשיתוף עם מ' ארצי מאוניברסיטת חיפה. החפירות חשפו שכבות ישוב מתקופת הברונזה ועד התקופה ההלניסטית. הממצאים מהתקופה ההלניסטית מראים כי בתקופה זו התל היה מאוכלס בצפיפות במבני מגורים מפוארים של אוכלוסיות עשירות המיצגים את שגשוגה ועושרה של העיר בזמן זה. (Goldman, 1992; Artzy and Beeri, 2010; Olson et al., 2013). דוגמאות נאספו ממספר אתרים בתל:

TAT – טבון מסוף תקופת הברזל, שכבות 6-7 (מאות שישית-שביעית לפנה"ס). הטבון במצב שימור סביר, קירות בגובה כ-15 ס"מ ובהיקף מלא. נאספו כ-18 דוגמאות מכל ההיקף (Area A/ Locos 2293/). (Basket 22872).

TAS – סיגים מהתקופה הפרסית הקדומה, שכבה 5 (מאות חמישית-שישית לפנה"ס). נאספו 5 סיגים (Area A/ Locos 2562/ Basket 22854).

TAS-B – עוגת סיג שלמה מהתקופה הפרסית המאוחרת שכבה 4 (מאות רביעית-חמישית לפנה"ס) (Area A/ Locos 2648/ Basket 22865).



איור 15: דוגמאות מתל עכו. א. טבון TAT; ב. סיגים משכבה 5 TAS; ג. עוגת הסיג משכבה 4 TAS-B.

רמת בית שמש (31.69464/35.00422): בדצמבר 2014 נעשתה חפירת הצלה מטעם רשות העתיקות בהנהלת א' קוגן-זהבי באזור רמת בית שמש. החפירות התמקדו במדרון הדרום מזרחי של גבעת חרבת בית נטיף (נ.צ. 31.694/35.004). בחפירות אלו נחשף בית חווה מהתקופה הרומית אשר היה חלק מהעורף החקלאי סביב העיר הרומית בית נטיף. מאסף החרסים כמו גם מעל 50 מטבעות שנמצאו באתר הביאו את החוקרים לקבוע כי בית החווה ננטש לקראת סוף המרד הגדול, שנת 70 לספירה (Kogan-Zehavi, pers. com.). בתוך אחד החדרים (Square W-28, Locos 229) נמצא טבון (Locos 230) שמור היטב בקוטר כחצי מטר ובעומק של כ-30 ס"מ, מטבון זה נאספו 30 דוגמאות.



איור 161: טבון RBS מרמת בית שמש.

צפית, תל (31.702054/34.848026): ממוקם על גדתו הדרומית של נחל האלה במקום כניסת הנחל לשפלה. התל בנוי על גבעה טבעית המאופיינת במצוקים לבנים תלולים, שאף נתנו לתל את שמו, בגובה כ-232 מטרים מעל לפני הים. המקום זוהה עם גת המקראית, מקום הולדתו של גולית הפלישתי (שמואל א' יז', 4), על ידי ג'ל פורסטר בשנת 1887, זיהוי אשר נתמך על ידי הממצאים שהתגלו בחפירות. החפירה הראשונה בתל, בשנת 1899, נעשתה מטעם הקרן הבריטית לחקירות א"י (P.E.F) בניהולם של בליס ומקליסטר. חפירה זו התמקדה במספר נקודות קטנות בתוך התל ובעיקר בסביבותיו, כולל התילים הקרובים. החפירות המודרניות באתר החלו בשנת 1996 על ידי משלחת מאוניברסיטת בר אילן בניהולו של א' מאיר. הממצאים שנחשפו מעידים כי האתר היה מיושב ברציפות מהתקופה הכלקוליתית עד ימינו עם מספר שכבות חורבן משמעותיות. נראה שהמעבר לתקופת הברזל ~1200 לפנה"ס, עבר בצורה חלקה יחסית כאשר הפלשתים התיישבו בעיר. ממצא ייחודי שהתגלה בחפירות היא תעלה אדירה המקיפה את רוב התל. התעלה, בעומק כחמישה מטרים וברוחב כארבעה מטרים, נחפרה באופן ידני בסוף תקופת הברזל IIA. העפר שנחפר מהתעלה נערם בצד התעלה המרוחק מהתל. מידות התעלה, צורתה ותאריך חפירתה הביאו את החוקרים לקבוע כי זהו חלק ממערכת מצור שנבנתה סביב העיר על ידי צבאו של חזאל מלך ארם (שלטון 805-842 לפנה"ס) המוזכר בספר מלכים ב' (יב', 18-19). חורבן זה מסוף תקופת הברזל IIA (המחצית השנייה של המאה השמינית לפנה"ס) מאופיין בהרס מוחלט של העיר ושריפה אדירה. לאחר חורבן זה גת אינה מוזכרת יותר במקורות מהתקופה (התנ"ך ומקורות חוץ תנכיים). (Stern, 1992; Maeir, 2008; Maeir et al., 2012; 2013). דוגמאות נאספו ממספר אתרים בתל:

שטח D, מצפון לתל:

SAF-D-T1: טבון גדול, במצב שימור מעולה, מתוארך לסוף המאה העשירית/תחילת המאה התשיעית לפנה"ס (Area D/ Stratum D4/ Locos 16D04C03).

SAF-D-T2: מתקן חימום, טבון או פיטס שהוסב למתקן חימום. מצב שימור מעולה. מתוארך לחורבן חזאל, המחצית השנייה של המאה השמינית לפנה"ס (Area D/ Stratum D3/ Locos 15DBT02).

SAF-D-T3: טבון במצב שימור גרוע מאוד. נדגם בעזרת גבס מקטע של כ-30°. מתוארך לסוף המאה התשיעית לפנה"ס, לאחר חורבן חזאל (Area D/ Stratum D2/ Locs 16D94D11).

SAF-D15: סדימנט עם קשקשי מתכת, נדגם בעזרת קופסאות (Area D/ Stratum D2/ Locs 17D95C07/) (Basket 17D95C107-114).

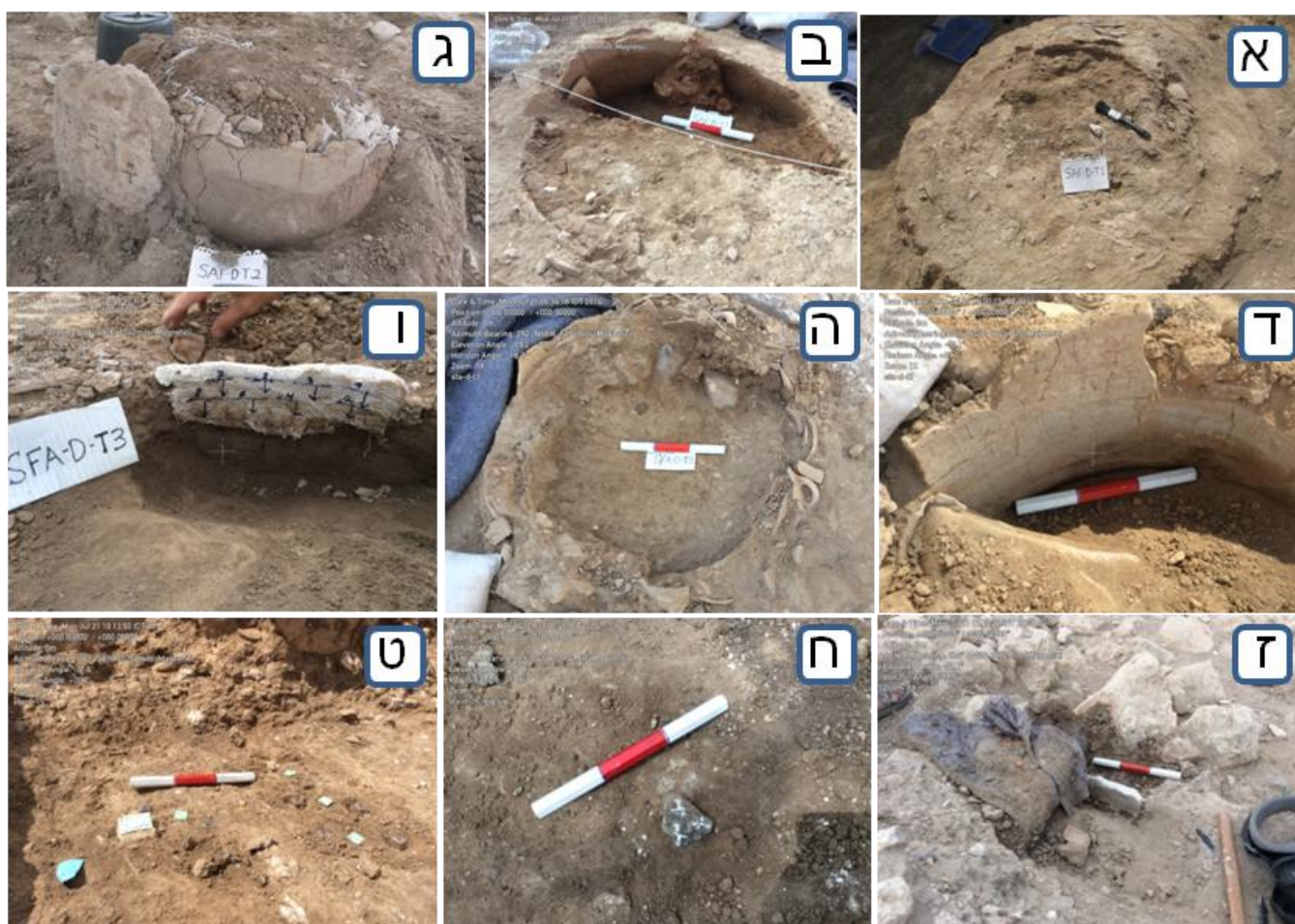
SAF-D16 : סיג גדול (Area D/ Locs 17D95C120).

שטח F בראש התל :

TLF : מקטע חשוף של טבון, רוב הטבון עדיין קבור תחת הבנקט. הטבון נמצא בסמוך לחלקלקה

של העיר ומתוארך לסוף תקופת הברונזה, מאה 13 לפנה"ס (Area F/ Stratum 15B/ Locs 17F15B01/)

.Basket 17F15B002



איור 17: אתרים מתל צפית. א. טבון SAF-D-T1 בזמן חשיפתו; ב. טבון SAF-D-T1 בזמן הדיגום; צידו החיצוני של טבון SAF-D-T2; ד. סימוני המדידות בצידו הפנימי של טבון SAF-D-T2; ה. טבון SAF-D-T3 בזמן חשיפתו; ו. הדוגמאות שנאספו מטבון SAF-D-T3 בעזרת גבס; ז. מקטע טבון TLF שנדגם בעזרת גבס; ח. סיג SAF-D16 משטח D; ט. דיגום סדימנט עם קשקשי מתכת בעזרת קופסאות SAF-D15.

מצורפות הטבלאות הבאות :

- סיכום אתרים (ללא עזקה ומגידו)
- סיכום אתרים מעזקה
- סיכום אתרים מבית ציידא
- סיכום אתרים ממגידו
- סיכום גילים\שכבות ממגידו
- שכבות חורבן בתל מגידו
- טבלת גילים\ תקופות שנדגמו
- סיכום מיקומים וגילים

ריכוז אתרים (ללא עזקה ומגידו)				
אתר	שם	גיל	סוג	מיקום
אשקלון	RGB	604 ^{BCE}	לבני בוץ	השוק - 51 A.
בית ציידא	BSG-A-D	732 ^{BCE}	קידוחי 1" בלבני בזלת	שער העיר
ביית ציידא	BSG-E-I	732 ^{BCE}	קידוחי 0.5" בלבני בזלת	שער העיר
ביית ציידא	BSG-J-L	732 ^{BCE}	טיח בוץ	שער העיר
הרודיון	HTH-A	15-4 ^{BCE}	טבון	מערבית לתיאטרון
הרודיון	HTH-B	15-4 ^{BCE}	טבון	באולם המלכותי
הרודיון	HKT	15-4 ^{BCE}	טבון	צמוד לאולם המלכותי
הרודיון	HMT	71-74 ^{CE}	טבון	מאחורי המוזוליאון
חניון גבעתי	HGT-A	363 ^{CE}	טבון	A. M1, R. L. 2168
חניון גבעתי	HGT-B	9 th C. CE	טבון	
חצור	HKP	1250±20 BCE	לבני בוץ	הארמון בראש התל
חצור	HKD-A-D	1250±20 BCE	קידוחי 0.5" בקלינקר	שער הארמון
חצור	HMP-A-B	1250±20 BCE	פיטסים	A. M, L. 13/312, B. 78375/78376
חצור	NTH-A	8 th C. BCE	טבון	A. M, L. 14/527
חצור	NTH-B	8 th C. BCE	חלק קטן של טבון	A. M
ח. ג'ומג'ום	HJK	3 th -4 th C. CE	כבשן חרס	באוכף - E. A.
יבנה	YR	660 CE	כבשן חרס	A. C
כפר חנניה	BHK	M. 4 th C. CE	כבשן חרס	
לכיש	TLG	586 BCE	לבני בוץ	שער העיר
נבי סמואל	NST-A	M. 1 st C. BCE	טבון	
נתיב העשרה	YLS-A	500±100 BCE	טבון	L. 219
סוסיתא	HSB	363 CE	גלעיני 0.5"	כבשן בית מרחץ
סוסיתא	HFT	749 CE	טבון	צמוד לבזיליקה ממזרח
עין גדי	EGT	550±20	טבון	בית בן חלפי
עכו	TAT	6 th -7 th C. BCE	טבון	A. A, L. 2293, B. 22872
עכו	TAS	5 th -6 th C. BCE	סיגים	A. A, L. 2562, B. 22872
עכו	TAS-B	4 th -5 th C. BCE	עוגת סיג	A. A, L. 2648, B. 22865
רמת בית שמש	RBS	70 CE	טבון	Sq. W-28, L. 230
צפית	SAF-D-T1	9 th /10 th C. BCE	טבון	A. D, St. D4, L. 16D04C03
צפית	SAF-D-T2	9 th /8 th C. BCE	טבון	A. D, St. D3, L. 15D8T02
צפית	SAF-D-T3	End of 9 th C. BCE	טבון	A. D, St. D2, L. 16D94D11
צפית	SAF-D-T15		סדימנט עם קשקשי מתכת	A. D, L. 17D95C07, B. 17D95C107-114
צפית	SAF-D-T16		סיג	A. D, L. 17D95C120
צפית	TLF	13 th C. BCE	טבון	A. F, St. 15B, L. 17F15B01, B. 17F15B002

טבלה 5: ריכוז אתרים ללא עזקה ומגידו.

(A.-Area; B.-Basket; C.-Century; F.-Feature; L.-Locos; M.-Middle; P.-Phase; R.-Room, Sq.-Square; St.-Stratum)

ריכוז אתרים מתל מגידו			
שם	מיקום ארכיאולוגי	שכבה על פי שטח Q / Stratum / Age	סוג האתר ותיאורו
DRIL-A-E	12/Q/204 (Sq I3)	Q-7 or Q-5	קיר לבנים שעדיין עומד במקומו
DRILL-F	12/Q/205	Q-5	קיר לבנים, עומד במקומו מעל שטח A
MEG-G-J	12/Q/184 (Sq I2)	Q-7	לבני בוצ' שרופות מתוך מפולת חורבן
MQT-1	12/Q/127 (Sq G4)	Q-6	טבון שלם וגבוה במצב שימור טוב
MQT-2	12/Q/135 (Sq H5)	Q-8	טבון שלם במצב שימור גרוע מאוד
MTH-M	12/H/20 (Sq F7)	VIIA-VIB Transition	חצי טבון במצב שימור גרוע מאוד
MTS-L	S. A.	M. Bronze IIB	חצי טבון במצב מעולה נדגם מתוך החתך
MTQ-K	12/Q/210 (Sq I2)	Q-7	חצי טבון במצב שימור גרוע
CWV	East of area K	VA/IVB	3 לבנים מתוך חומת העיר 325
MCW	14/Q/056 (NW corner of Sq I2)	Q-7 or Q-5	שלוש לבנים מתוך קיר נפול על צידו
BRW-A-B	14/Q/032 (Sq D1)	Q-7	שני לבנים מתוך קיר אדום שנמצא בתעלה של שומכר
NEV-A	14/Q/024 (Sq C8)	Q-2	טבון גדול מאוד במצב שימור מעולה
NEV-B	14/Q/033 (Sq C8)	Q-2	טבון גדול, צמוד לקודם במצב שימור גרוע
IBW-A-C	14/Q/68 (Sq I2-I3)	Q-7 or Q-5	שלוש בלוקים מתוך קיר נטוי/נפול
QTM-A	14/Q/67 (Sq H3)	Q-4	3/4 טבון גדול במצב טוב
QTM-B	10/Q/ (Sq E4)	Q-4	חלק טבון שנדגם מתוך חתך
EQT	14/Q/075 (Sq E6)	Q-6	טבון גדול, מצב שימור גרוע מאוד, מתפורר
HMB	14/H/055	VIII	טבון גדול במצב שימור גרוע ביותר, מתפורר לחלוטין
CHE-A	14/Q/94 (Sq C8)	Q-4	טבון גדול במצב שימור טוב מאוד
CHE-B	14/Q/118 (S C8)	Q-4	טבון גדול במצב שימור טוב מאוד
MPB-A	14/Q/131 (S C8)	Q-5	סדימנט עם קשקשים, נדגם בקונפסאות
MPB-B	14/Q/141 (S C8)	Q-5	סדימנט משכבת אפר בחתך, נדגם בקונפסאות
CAT-A	14/Q/121 (S C8)	Q-5	חצי טבון במצב שימור טוב
CAT-B	14/Q/126 (S C8)	Q-5	חצי טבון במצב שימור גרוע

טבלה 6: ריכוז אתרים מתל מגידו.

טבלת גיליים/שכבות לתל מגידו			
שכבה ספציפית/שטח	Stratum	גיל יחסי	גיל קלנדרי
Q-2	IVA	Iron IIB	8 th C. BCE
Q-3	Dos not exist		
Q-4	VA/IVB	Late Iron IIA	9 th C. BCE
Q-5	VA/IVB	Middle Iron IIA	9 th C. BCE
Q-6	VB	Early Iron IIA	Late 10 th /early 9 th C. BCE
Q-7	VIA	Late Iron I	Late 11 th -early 10 th C. BCE
Q-8	VIB	Early Iron I	11 th C. BCE
Q-9	VIIA	Late Bronze III	Late 12 th C. BCE
שכבות חורבן בתל מגידו			
גיל וגורם		שכבות חורבן גדולות	
סוף הברונזה ~1130 לפנה"ס		VIIA	
אמצע מאה עשירית לפנה"ס		VIA	
חזאל מלך ארם אמצע מאה תשיעית לפנה"ס		VA-IVB	
תיגלת פלאסר III 732 לפנה"ס		IVA	

טבלה 7: ריכוז גיליים/שכבות ושכבות חורבן משמעותיות בתל מגידו.

ריכוז אתרים מתל עזקה					
Name	Feature	Locos	Area	Phase	Date
TAN-A	F. 531	L. 172	N1	N1-6	Unclear
TAN-B	F. 531	L. 172	N1	N1-6	Unclear
AWT-A	F. 522	L. 232	W2	W2-2	Persian 400±100 BCE
AWT-B	F. 538	L. 279	W2	W2-2	Persian 400±100 BCE
AST-A	F. 576	L. 402	S1	S1-4b	Iron Age IIB 750±50 BCE
ATK-A		L. 197	T2	T2-3a	Late Bronze III 1150±25 BCE
ATK-B-C		L. 353/393	T2	T2-3a	Late Bronze III 1150±25 BCE

טבלה 8: ריכוז דוגמאות מתל עזקה.

ריכוז דוגמאות מבית ציידא (BSG)		
מיקום	סוג דגימה	בלוק
בכניסה לשער מצד ימין (צפון) נדבך שלישי מתחת לשחזור צמוד לרצפה	6 גלעיני 1"	A
בצד המזרחי של התא הדרום מזרחי של השער, צמוד לרצפה	6 גלעיני 1"	B
בלוק בתא הפנימי צפוני ליד מחסן של קנקנים/פיטסים מעוכים	5 גלעיני 1"	C
בפינה דרום מערבית מצפון למעבר ומערב למחסן	2 גלעיני 1"	D
תא דרום מזרחי, צמוד לכניסה במדבר העליון, בלוק אדום מאוד וסדוק כפי הנראה משריפת החורבן	6 גלעיני 0.5"	E
בתא הצפון מזרחי, קרוב לרצפה, בערך באמצע הקיר הדרומי	6 גלעיני 0.5"	F
בלוק אדום, סדוק מדבר אחד מעל הרצפה במרכז הקיר הצפוני של התא הצפון מזרחי	6 גלעיני 0.5"	G
בלוק עם קרום צהוב, כ 30 סמ מעל הרצפה באמצע הקיר המזרחי בתא הצפון מערבי	6 גלעיני 0.5"	H
תא צפון מערבי בקצה המרחק מצד שמאל, בלוק שחור ומסיבי עם פטינה אדומה בחלקו העליון בגובה כמטר וחצי	6 גלעיני 0.5"	I
צמוד לבלוק הצהוב (H) משמאלו	טיח בוך	J
בכניסה לתא הצפון מערבי, בקיר השמאלי, כ 30 סמ מעל הרצפה	טיח בוך	K
בקיר השמאלי של התא, בערך באמצע, צמוד לרצפה	טיח בוך	L
בקיר השמאלי של התא, בערך באמצע, צמוד לרצפה	טיח בוך	M

טבלה 9: ריכוז דוגמאות מבית ציידא.

סיכום מיקומים וגילים של הדוגמאות			
מיקום	אורך	רוחב	גיל
אשקלון	31.66237	34.54467	601 BCE
בית ציידא	32.909	35.630	732 BCE
הרודיון	31.66	35.241	15 BCE-73 CE
חניון גבעתי	31.774	35.235	363 BCE – 9 th C. CE
חצור	33.017	35.586	13 th C. – 8 th C. BCE
חרבת ג'ומג'ום	31.669	35.101	3 rd -4 th C. CE
יבנה	31.864	34.793	7 th C. CE
כפר חנניה	32.922105	35.418248	363 CE
לכיש	31.565	34.848	586 BCE
מגידו	32.584	35.184	12 th – 8 th C. BCE
נבי סמואל	31.832	35.180	1 st C. BCE
נתיב העשרה	31.662	34.544	5 th C. BCE
סוסיתא	32.778	35.659	363-750 CE
עזקה	31.700979	34.935672	12 th – 8 th C. BCE
עין גדי	31.46181	35.39240	660 CE
עכו	32.92111	35.088333	7 th – 4 th C. BCE
רמת בית שמש	31.69464	35.00422	70 CE
צפית	31.702054	34.848026	13 th – 8 th C. BCE

טבלה 10: טבלת מיקומים וגילים שנדגמו.

Earthquake Archaeological Effects – EAE		
נזק' on fault	נזק' off fault	עדויות תומכות
תזוזה של חלק מבנה ביחס לחלקו האחר	פינות קטומות של אבני גזית, בסיסי וחוליות עמודים	קבורה של שכבת חיים
מבנים מוסטים מישור העתק	סדקים חוצי נדבכים קירות נטויים עקומים	קבירה של חפצי ערך קבירה של שלדים
	דפורמציה של קירות ורצפות	סימני שריפה נרחבת
	בליטה או נפילה של אבנים מתוך קירות	סימני שיפוץ נרחב
	רוטציה של בלוקים ומבנים	מחזור חומרים הרוסים
	סימני ניפות ונפילה של חפצים כבדים	סימני צונאמי
	עדויות להתנזלות	עדויות לשינוי בשיטת הבניה לבניה אנטי סייסמית
	מזרקות בוך	הפסקה לא מוסברת ברצף הישובי

טבלה 11: נזקים סייסמיים אופייניים לרעידות אדמה באתרים ארכיאולוגיים (EAE).

טבלת תקופות וחורבנות ידועים				
רעשים	מסעות מלחמה	שנים	תקופה	
	חורבן סוף הברונזה	1300-1200	ברונזה מאוחרת Ⅷ	
		1200-1000	ברזל I	ההתנחלות-שופטים
		1000-900	ברזל II	ממלכה מאוחדת
~760 הרעש מימי עוזיה ועמוס	חזאל מלך ארם ~830 חורבן ישראל, תיגלת פילסר ~732 III מסע סנחריב ~701	900-700	ברזל II	פיצול הממלכה
	חורבן יהודה, 586 נבוכדנצר מלך בבל	700-586	ברזל III	ממלכת יהודה
535, 550		586-332	בבלית-פרסית	
198/9		332-167	הלניסטית מוקדמת	הלניסטית
142-3 64, 92	פלישת פומפיוס 63	167-31	הלניסטית מאוחרת (חשמונאית)	
31 BCE 33 CE	המרד הגדול CE 71-74 בר כוכבא 132-136	37 BCE – 132 CE	רומית מוקדמת	רומית, ביזנטית
115, 130		132-324	רומית מאוחרת	
303, 363, 502, 551		324-638	ביזנטית	
634, 659, 747, 749, 757, 853/4, 1033, 1068	כיבוש מוסלמי 640	638-750 750-942 942-1099	אומיית עבסית פטימית	מוסלמית קדומה
1114, 1157, 1170	מסעי הצלב	1099-1187	צלבנית	
1202, 1212		1187-1250	איובית	מוסלמית מאוחרת
1303, 1312, 1481	ביברס, כיבוש מונגולי	1250-1516	ממלוכית	
1712, 1749, 1759, 1837		1516-1917	עותמנית	

טבלה 12: תקופות וחורבנות ידועים.

- Abrahamsen, N., Jacobson B.H., Koppelt U., De Lasson P., Smekalova T., Voss O., 2003. Archaeomagnetic Investigations of Iron Age Slags in Denmark; *Archaeological Prospection*; 10: 91-100.
- Adan-Bayewitz, D., 1991. Kefar Hananya; *Hadashot Arkheologiyot*; 87: 20-21 [Hebrew].
- Agnon, A. 2014. Pre-Instrumental Earthquakes Along the Dead Sea Rift; in: Garfunkel Z., Ben-Avraham Z. and Kagan E. (Ed.); *Dead Sea Transform Fault System: Reviews*; Springer; 207-261.
- Aitken, M.J., 1998. An introduction to optical dating: the dating of Quaternary sediments by the use of photon-stimulated luminescence; Oxford University Press; New York; 262.
- Alfonsi, L., Cinti F.R., Ventura G., 2013. The Kinematics of the 1033 A.D. Earthquake Revealed by the Damage at Hisham Palace (Jordan Valley, Dead Sea Transform Zone); *Seismological Research Letters*; 84. 6: 997-1003.
- Ambraseys, N. N., 2006. Comparison of frequency of occurrence of earthquakes with slip rates from long-term seismicity data: the cases of Gulf of Corinth, Sea of Marmara and Dead Sea Fault Zone; *Geophysical Journal International*; 165.2: 516-526.
- Ambraseys, N. N., 2006. Earthquakes and archaeology; *Journal of Archaeological Science*; 33.7: 1008–1016.
- Ambraseys, N. N., 2009. Earthquakes in the Mediterranean and Middle East, A Multidisciplinary Study of Seismicity up to 1900; Cambridge University Press; 947.
- Amiran, D.H.K., Ariei E., Turcotte T., 1994. Earthquakes in Israel and Adjacent Areas: Macroseismic Observations Since 100 B.C.E.; *Israel Exploration Journal*; 44.3/4: 260-305.
- Anderson, D.L., Hart, R.S., 1978. Attenuation Models of The Earth; *Physics of the Earth and Planetary Interiors*; 16: 289 - 306.
- Arav, R., 2008. Bethsaida (Et-tell); In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (5), 1611-1615; Jerusalem.
- Artzy, M., Beeri R., 2010. Tel Akko; In: Killebrew, A.E., Raz-Romeo, V. (Ed.); *One thousand nights and days: Akko through the ages*; Paperback; 15-23.
- Austin, S.A., Franz G.W. Frost E.G., 2010. Amos's Earthquake: An Extraordinary Middle East Seismic Event of 750 B.C.; *International Geology Review*; 4.7: 657-671.
- Avni R., Bowman D., Nur A., 2002. Erroneous interpretation of historical documents related to the epicenter of the 1927 Jericho earthquake in the Holy Land; *Journal of Seismology*; 6: 469-476.
- Badhwar, G.D., 1997. Drift rate of the South Atlantic Anomaly; *Journal of Geophysical Research*; 102.A2: 2343- 2349.
- Barber, M., 1998. Frontier warfare in the Latin Kingdom of Jerusalem: the campaign of Jacob's Ford, 1178–9; In: France, J., Zajac, W.G., (Ed); *The Crusades and their sources. Essays presented to Bernard Hamilton*; Ashgate, Aldershot, UK; 9–22.
- Barracclough, D. R., 1982. Historical observations of the geomagnetic field; *Philosophical Transactions; R. Soc. London; Ser. A*; 306.1492: 71–78.
- Begin, Z.B., Steinberg D.M., Ichinose G.A., Marco S., 2005. A 40,000 year unchanging seismic regime in the Dead Sea rift; *Geology*; 33.4: 257-260.
- Belitzky, S., Ben-Avraham Z., 2004. The morphotectonic pattern of Lake Kinneret; *Israel Journal of Earth Science*; 53: 121-130.
- Ben Ami, D., Tchekhanovetz Y. 2010. Jerusalem, Giv'ati Parking Lot, Preliminary Report; *Hadashot Arkheologiyot*; 122.
- Ben Ami, D., Tchekhanovetz Y., 2010. A Domestic Dwelling from the End of the Second Temple Period and a Late Roman Peristyle Structure in the Givati Parking Lot, City of David; *Qadmoniot*; 43.140: 89-95 [Hebrew].
- Ben Ami, D., Tchekhanovetz Y., 2013. A Roman Mansion Found in the City of David; *Israel Exploration Journal*; 63.2: 164-173.
- Ben-Avraham, Z., Nur A., Cello G., 1987. Active transcurrent fault system along the north African passive margin; *Tectonophysics*; 141: 249-260.
- Ben-Menahem, A., 1981. Variation of Slip And Creep Along the Levant Rift Over The Past 4500 Years; *Tectonophysics*; 80: 183-197.
- Ben-Menahem, A., 1991. Four Thousand Years of Seismicity Along the Dead Sea Rift; *Journal of Geophysical Research*; 96.B12: 20195-20216.
- Ben-Tor, A., 1992. Hazor; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (2), 594-606; Jerusalem.

- Ben-Tor, A., 2008. Hazor; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (5), 1769-1775; Jerusalem.
- Ben-Yosef, E., Ron H., Tauxe L., Agnon A., Genevey A., Levy T.E., Avner U., Najjar M., 2008. Application of copper slag in geomagnetic archaeointensity research; *Journal of Geophysical Research*; 113.B8: 1978-2012.
- Ben-Yosef, E., Tauxe L., Levy T. E., Shaar R., Ron H., Najjar M., 2009. Geomagnetic intensity spike recorded in high resolution slag deposit in Southern Jordan; *Earth and Planetary Science Letters*; 287: 529–539.
- Ben-Yosef, E., Tauxe L., Ron H., Agnon A., Avner U., Najjar M., Levy T.E., 2008. A new approach for geomagnetic archaeointensity research: insights on ancient metallurgy in the Southern Levant; *Journal of Archaeological Science*; 35: 2863–2879.
- Bowman, D., King G., Tapponnier P., 2003. Slip Partitioning by Elastoplastic Propagation of Oblique Slip at Depth; *Science*; 300: 1121-1123.
- Caputo, R., Hinz K. G., Liberatore D., Schreiber S., Helly B., Tziafalias A., 2011. Quantitative archaeoseismological investigation of the Great Theatre of Larissa, Greece; *Bulletin of Earthquake Engineering*; 9.2: 347-366.
- Cinamon G.; Huqoq Beach; Hadashot Arkheologyot; 124.
- Cisowski, S., 1981. Interacting vs. non-interacting single domain behavior in natural and synthetic samples; *Physics of the Earth and Planetary Interiors*; 26: 56-62.
- Courtillot, V., Gallet Y., Le Mouél J.L., Fluteau F. Genevey A., 2007. Are there connections between the Earth's magnetic field and climate?; *Earth and Planetary Science Letters*; 253: 328- 339.
- Cytryn-Silverman, K., 2009. The Umayyad Mosque of Tiberias, Muqarnas: 26: 37-61.
- Donadini, F., Korte M., Constable, C.G., 2009. Geomagnetic field for 0–3 ka: 1. New data sets for global modeling; *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*; 10.6: [10.1029/2008GC002295](https://doi.org/10.1029/2008GC002295).
- Ellenblum, R., Marco S., Agnon A., Rockwell T., Boas A., 1998. Crusader castle torn apart by earthquake at dawn, 20 May 1202; *Geology*; 26.4: 303-306.
- Elsasser, W.M., 1946. Induction Effects in Terrestrial Magnetism Part I. Theory; *Physical Review*; 69.3/4: 106-116.
- Emmanuilov, S., 2012. The History of the Settlement at Tel Azekah in light of Archaeological Survey; M.A. Thesis; Tel Aviv University; Tel Aviv [Hebrew].
- Ene, D., Radvan R., 2010. High-Resolution 3D digital models-ch surveyor; *Romanian Reports in Physics*; 62.3: 660-670.
- Enzel, E., Bookman (Ken Tor) R., Sharon D., Gvirtzman H., Dayan U., Ziv B., Stein M., 2003. Late Holocene climates of the Near East deduced from Dead Sea level variations and modern regional winter rainfall; *Quaternary Research*; 60:263–273.
- Epstein C., 1992. Hippos (Sussita); In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (2), 634-636; Jerusalem.
- Ertepinar, P., Langereis C.G., Biggin A.J., Frangipane M., Matney T., Okse T., Engin A., 2012. Archaeomagnetic study of five mounds from Upper Mesopotamia between 2500 and 700 BCE: Further evidence for an extremely strong geomagnetic field ca. 3000 years ago; *Earth and Planetary Science Letters*; 357–358: 84–98.
- Ferrari, G., Guidoboni E., 2000. Seismic scenarios and assessment of intensity: some criteria for the use of the MCS scale; *Annali Di Geofisica*; 43.4: 707- 720.
- Ferrario, F.M., Amit R., Katz O., 2014. Evaluation of earthquake hazard for the city of Tiberias; Geological Survey of Israel, Report; GSI/___/14; 24.
- Ferry, M., Meghraoui M., Abou Karaki N., Al-Taj M., Khalil L., 2011. Episodic Behavior of the Jordan Valley Section of the Dead Sea Fault Inferred from a 14-ka-Long Integrated Catalog of Large Earthquakes; *Bulletin of the Seismological Society of America*; 101.1:39-67; doi:10.1785/0120100097.
- Finkelstein, I., 2009. Destructio: Megiddo as a Case Study; *Exploring the Longue Durée Essays in Honor of Lawrence E. Stager*; Schloen D.J. (Ed.); Winona Lake, Indiana Eisenbrauns; 113-126.
- Finkelstein, I., Ussishkin D., Halperin B., 2008. Zafit, Tel; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (5), 1944-1949; Jerusalem.
- Finlay C. C., Maus S., Beggan C.D., Bondar T. N., Chambodut A., Chernova T. A., Chulliat A., Golovkov V. P., Hamilton B., Hamoudi M., Holme R., Hulot G., Kuang W., Langlais B., Lesur V., Lowes F. J., Lühr H., Macmillan S., Manda M., McLean S., Manoj C.,

Menvielle M., Michaelis I., Olsen N., Rauberg J., Rother M., Sabaka T. J., Tangborn A., Tøffner-Clausen L., Thébault E., Thomson A. W. P., Wardinski I., Wei Z., Zvereva T.I., 2010. International Geomagnetic Reference Field: the eleventh generation; *Geophysical Journal International*; 183:1216-1230; doi:10.1111/j.1365-246X.2010.04804.x.

Foerster, G., 1992. Herodium; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (2), 618-626; Jerusalem.

Fürst, F., Wilms J., Rothschild R.E., Pottschmidt K., Smith D.M., Lingenfelter R., 2009. Temporal variations of strength and location of the South Atlantic Anomaly as measured by RXTE; *Earth and Planetary Science Letters*; 281:125-133.

Gallet, Y., D'Andrea M., Genevey A., Pinnock F., Le Goff M., Matthiae P., 2014. Archaeomagnetism at Ebla (Tell Mardikh, Syria). New data on geomagnetic field intensity variations in the Near East during the Bronze Age; *Journal of Archaeological Science*; 42:295-304.

Gallet, Y., Genevey A., Fluteau F., 2005. Does Earth's magnetic field secular variation control centennial climate change?; *Earth and Planetary Science Letters*; 236:339-347.

Gallet, Y., Genevey A., Le Goff M., Fluteau F., Eshraghi S.A., 2006. Possible impact of the Earth's magnetic field on the history of ancient civilizations; *Earth and Planetary Science Letters*; 246: 17-26.

Garfunkel, Z., 1981. Internal Structure of The Dead Sea Leaky Transform (Rift) in Relation to Plate Kinematics; *Tectonophysics*; 80:81-108.

Garfunkel, Z., Zak I., Freund R., 1981. Active Faulting in the Dead Sea Rift; *Tectonophysics*; 80: 1-26.

Genevey, A. Gallet, Y., 2002; Intensity of the geomagnetic field in western Europe over the past 2000 years: New data from ancient French pottery; *Journal of geophysical research*; 107.B11.

Genevey, A., Gallet Y., Constable C.G., Korte M., Hulot G., 2008. ArcheoInt: An upgraded compilation of geomagnetic field intensity data for the past ten millennia and its application to the recovery of the past dipole moment; *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*; 9.4.

Genevey, A., Gallet, Y., 2003. Eight thousand years of geomagnetic field intensity variations in the eastern Mediterranean; *Journal of Geophysical Research*; 108.B5.

Goldman, Z., 1992. Acco, Tel; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (1), 16-31; Jerusalem.

Gomez, F., Karam G., Khawlie M., McClusky S., Vernant P., Reilinger R., Jaafar R., Tabet C., Khair K., Barazangi M., 2006. Global Positioning System measurements of strain accumulation and slip transfer through the restraining bend along the Dead Sea fault system in Lebanon; *Geophys. J. Int.*; 168:1021-1028; doi: 10.1111/j.1365-246X.2006.03328.x.

Gorzalczeni, A., 2008. Ramla; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (5), 2007-2010; Jerusalem.

Grabar, A., 1992. Minnim, Horvat; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (3), 1050-1051; Jerusalem.

Grabar, O., Perrot J., Ravani B., Rosen M., 1960. Sondages à Khirbet el-Minyeh; *Israel Exploration Journal*; 10.4: 226-243.

Guidi, G., Remondino F., Russo M., Menna F., Rizzi A., 2008; 3D modeling of large and complex site using multi-sensor integration and multi-resolution data; *Proceeding VAST08 Proceedings of the 9th International conference on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*; 85-92.

Guidoboni, E., Comastri A., Traino G., 1994. Catalogue of ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th century; *Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*; 504.

Guidoboni, E., Comastri, A., 2004. Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area from the 11th to the 15th century. Rome: Istituto Nazionale di Geofisica; 1037.

Gur-Arieh, S., Mintz E., Boaretto E., Shahack-Gross R., 2013. An ethnoarchaeological study of cooking installations in rural Uzbekistan: development of a new method for identification of fuel sources; *Journal of Archaeological Science*; 40:4331-4347.

Gur-Arieh, S., Shahack-Gross R., Maeir A.M., Lehmann G., Hitchcock L.A., Boaretto E., 2014. The taphonomy and preservation of wood and dung ashes found in archaeological cooking installations: case studies from Iron Age Israel; *Journal of Archaeological Science*; 46: 50-67.

Gutenberg, B., Richter, C.F., 1944. Frequency of Earthquakes in California; *Bulletin of the Seismological Society of America*; 34:185-188.

Gvirtzman, Z., Zaslavsky, Y., 2009. Map of Zones with Potentially High Ground Motion Amplification: Explanatory Notes; Report GSI/15/2009.

- Hadas, G., 2008. Ein Gedi; In: Stern, E. (Ed.); The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land (5), 1718-1726; Jerusalem.
- Hadas, G., 2011. The Second Temple Period Village at the En-Gedi Oasis; *Qadmoniot*; 44.141: 40-44.
- Hall, J.K., Calvo, R. 2005. Digital Shaded Relief Maps of Israel.
- Heitzler, J.R., 2002. The future of the South Atlantic anomaly and implications for radiation damage in space; *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*; 64:1701-1708.
- Hervé, G., Schnepf E., Chauvin A., Lanos P., Nowaczyk N., 2011. Archaeomagnetic results on three Early Iron Age salt-kilns from Moyenvic (France); *Geophysical Journal International*; 185:144-156. doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.04933.x
- Hervé, G., Chauvin A., Lanos P., 2014. Importance of selecting archaeomagnetic data for geomagnetic modelling: example of the new Western Europe directional and intensity secular variation curves from 1500 BC to 200 AD; *Geophysical Research Abstracts*; 16; EGU2014-2833-1.
- Hervé, G., Chauvin A., Lanos P., 2013. Geomagnetic field variations in Western Europe from 1500 BC to 200 AD. Part I: Directional secular variation curve; *Physics of the Earth and Planetary Interiors*; 218:1-13.
- Hervé, G., Chauvin A., Lanos P., 2013; Geomagnetic field variations in Western Europe from 1500 BC to 200 AD. Part II: New intensity secular variation curve; *Physics of the Earth and Planetary Interiors*; 218:51-65.
- Heynderickx, D., 1996. Comparison Between Methods to Compensate for the Secular Motion of the South Atlantic Anomaly; *Radiation Measurements*; 26.3: 369-373.
- Hillenbrand, R., 2000. Islamic Architecture: Form, Function, and Meaning; Cairo; 664.
- Hinzen, K.G., Fleischer C., Reamer S.K., Schreiber S., Schütte S., Yerli B., 2011. Quantitative methods in archaeoseismology; *Quaternary International*; 242:31-41.
- Hinzen, K.G., Kehmeier H., Schreiber S., Reamer S.K., 2011. A Case study of earthquakes and rockfall - induced damage to a Roman mausoleum in Pinara, SW Turkey; 2nd INQUA-IGCP-567 International Workshop on Active Tectonics, Earthquake Geology, Archaeology and Engineering, Corinth, Greece.
- Hinzen, K.G., Schreiber S., Fleischer C., Reamer S.K., Wiosna I., 2013. Archeoseismic study of damage in Roman and Medieval structures in the center of Cologne, Germany; *Journal of Seismology*; 17.2: 399-424.
- Hirschfeld, Y., 2004. En-Gedi – A large Jewish village; *Qadmoniot*; 37.128:62-87 [Hebrew].
- Hitchcock, L.A., Maeir, A.M., 2011. Absence Makes the "Hearth" Grow Fonder: Searching for the Origins of the Philistine Hearth; *Eretz-Israel (A. Ben-Tor Vol.)*; 30: 46-64.
- Hough, S.E., Avni, R., 2011. The 1170 and 1202 CE Dead Sea Rift earthquakes and long-term magnitude distribution of the Dead Sea Fault Zone; *Israel Journal of Earth Sciences*; 58: 295 – 308; DOI: 10.1560/IJES.58.3-4.295.
- Huntley, D.J., Godfrey-Smith D.I., Thewalt M.L.W., 1985. Optical dating of sediments; *Nature*; 313:105-107.
- Hus, J., Ech-Chakrouni S., Jordanova D., 2002. Origin of magnetic fabric in bricks: its implications in archaeomagnetism; *Physics and Chemistry of the Earth*; 27:1319-1331.
- Husein Malkawi, A.I., Fahmi, K.J., 1996. Locally derived earthquake ground motion attenuation relations for Jordan and conterminous areas; *Quarterly Journal of Engineering Geology*; 29: 309-319.
- Husein, (Malkawi) A.I., Al-Homoud A.S., Batayneh J.S., 1995a. Seismic hazard zonation and dynamic site periods mapping for greater Amman municipality; International conference on seismic zonation No5, Nice, FRANCE (17/10/1995): 374-383.
- Jonkers, A.R.T., Jackson A., Murray A., 2003. Four Centuries of Geomagnetic Data From Historical Records; *Reviews of Geophysics*; 41.2.
- Kalman, Y., Chachy R., Gutfeld O., Porat R., 2012. New Findings at Herodium by the Ehud Netzer's Expedition; *New Studies in the Archaeology of Jerusalem and its Region; Collected Papers*; VI:181-194 [Hebrew].
- Karcz, I., 2004. Implications of some early Jewish sources for estimates of earthquake hazard in the Holy Land; *Annals of Geophysics*; 47.2/3:759-792.
- Karcz, I., Kafri, U., 1978. Evaluation of Supposed Archaeoseismic Damage in Israel; *Journal of Archaeological Science*; 5: 237-253.
- Karcz, I., Kafri, U., 1981. Studies in Archeoseismicity of Israel: Hisham's Palace, Jericho; *Israel Journal of Earth Sciences*; 30:12-23.

- Katz, O., Crouvi, O., 2007. The geotechnical effects of long human habitation (2000<years): Earthquake induced landslide hazard in the city of Zefat, northern Israel; *Engineering Geology*; 95: 57-78; doi:10.1016/j.enggeo.2007.07.008.
- Ken-Tor, R., Agnon A., Enzel Y., Stine M. Marco S. Negendank, J.F., 2001. High-resolution geological record of historic earthquakes in the Dead Sea basin; *Journal of Geophysical Research*; 106.B2: 2221-2234.
- King, G., Bailey G. Sturdy D., 1994. Active tectonics and human survival strategies; *Journal of Geophysical Research*; 99.B10:20,063-20,078.
- King, G.R.D., 1987. The Distribution of Sites and Routes in the Jordanian and Syrian Deserts in the Early Islamic Period; *Proceedings of the Twentieth Seminar for Arabian Studies held at London on 1st-4th July 1986*; 17:91-105.
- Korte, M., Constable, C.G., 2003. Continuous global geomagnetic field models for the past 3000 years; *Physics of the Earth and Planetary Interiors*; 140:73–89.
- Korte, M., Constable, C.G., 2005. The geomagnetic dipole moment over the last 7000 years-new results from a global model; *Earth and Planetary Science Letters*; 236: 348-358.
- Korte, M., Donadini F., Constable C.G., 2009. Geomagnetic field for 0-3 ka: 2. A new series of time-varying global models; *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*; 10.6.
- Korte, M., Genevey A., Constable C.G., Frank U., Schnepf E., 2005. Continuous geomagnetic field models for the past 7 millennia: 1. A new global data compilation; *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*; 6.2.
- Korte, M., Holme, R., 2010. On the persistence of geomagnetic flux lobes in global Holocene field models; *Physics of the Earth and Planetary Interiors*; 182:179-186.
- Korte, M., Muscheler, R., 2012. Geomagnetic field variations on centennial to millennial scales; *Journal of Space Weather and Space Climate*; 2.A08.
- Kurnosova, L.V., Kolobyanina T.N., Logachev V.I., Razorenov L.A., Sirotkin A.I., Frndkin M.I., 1962. Discovery of radiation anomalies above the South Atlantic at heights of 310-340 Km; *Planet. Space Sci.*; 9:513-516.
- Lipschits, O., Gadot Y., Oemin M., 2012. Tel Azekah 113 years after: Preliminary evaluation of the renewed excavations at the site; *Near Eastern Archaeology*; 75.4:196-206.
- Lyons, D., D'andrea, A.C., 2003. Griddles, Ovens, and Agricultural Origins: An Ethnoarchaeological Study of Bread Baking in Highland Ethiopia; *American Anthropologist*; 105.3:515-530.
- Macmillan, S., 1996. A geomagnetic jerk for the early 1990's; *Earth and Planetary Science Letters*; 137: 189-192.
- Maeir, A. M., 2013. Gath. in *The Oxford Encyclopedia of the Bible and Archaeology*, ed. D. M. Master. New York: Oxford; 443–51.
- Maeir, A.M., 2008. Zafit, Tel; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (5), 2079-2081; Jerusalem.
- Maeir, A.M., ed., 2012. Tell es-Safi/Gath I: Report on the 1996–2005 Seasons. *Ägypten und Altes Testament* 69. Wiesbaden: Harrassowitz.
- Magen, Y., 2008. Nebi Samuil; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (5), 1972-1976; Jerusalem.
- Makovsky, Y., Wunch A., Ariely R., Shaked Y., Rivlin A., Shemesh A., Ben-Avraham Z., Agnon A., 2008. Quaternary transform kinematics constrained by sequence stratigraphy and submerged coastline features: The Gulf of Aqaba; *Earth and Planetary Science Letters*; 271:109-122.
- Malin, S.R.C., 1985. On the unpredictability of geomagnetic secular variation; *Physics of the Earth and Planetary Interiors*; 39: 293-296.
- Mandea, M., Bellanger E., Le Mouél J.L., 2000. A geomagnetic jerk for the end of the 20th century?; *Earth and Planetary Science Letters*; 183: 369-373.
- Marco, S., 2008. Recognition of earthquake-related damage in archaeological sites: Examples from the Dead Sea fault zone; *Tectonophysics*; 453:148-156.
- Marco, S., Agnon A., Ellenblum R., Eidelman A., Basson U., Boas A., 1997. 817-year-old walls offset sinistrally 2.1 m by the Dead Sea Transform, Israel; *Journal of Geodynamics*; 24.1-4:11-20.
- Marco, S., Hartal M., Hazan N., Lev L., Stein M., 2003. Archaeology, history, and geology of the A.D. 749 earthquake, Dead Sea transform; *Geology*; 31.8:665-668.

- Marco, S., Klinger, Y., 2014. Review of On-Fault Palaeoseismic Studies Along the Dead Sea Fault in: Garfunkel Z., Ben-Avraham Z. and Kagan E. (Ed.); *Dead Sea Transform Fault System: Reviews*; Springer; 183-206.
- McIntosh, G., Catanzariti, G., 2006. An introduction to archaeomagnetic dating; *Geochronometria*; 25:11-18.
- Meir, E., Kline E., Zissu B., 2013. Archaeological Excavations at Khirbet Jamjum, Gush Etzion; Jerusalem And Eretz-Israel; 8-9:365-394 [Hebrew].
- Migowski, C., Agnon A., Bookman R., Negendank J.F.W., Stein M., 2004. Recurrence pattern of Holocene earthquakes along the Dead Sea transform revealed by varve-counting and radiocarbon dating of lacustrine sediments; *Earth and Planetary Science Letters*; 222:301–314.
- Netzer, E., 1992. Cypros; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (1), 315-317; Jerusalem.
- Netzer, E., 1992. Lower Herodium; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (2), 618-626; Jerusalem.
- Netzer, E., 2008. Herodium; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (5), 1778-1780; Jerusalem.
- Netzer, E., Damati, E., 1975. Excavations at Cypros; *Hadashot Arkheologyot*; 55: 24-25.
- Netzer, E., Kalman Y., Porat R., Chachi-Laureys R., 2009. Herod's Tomb and Royal Theater on the Slopes of Herodium; *Qadmoniot*; 42:138:104-118 [Hebrew].
- Olsen, N., Manda M., 2007. Investigation of a secular variation impulse using satellite data: The 2003 geomagnetic jerk; *Earth and Planetary Science Letters*; 255: 94–105.
- Olson, B.R., Placchetti R.A., Quartermaine J., Killebrew A.E., 2013. The Tel Akko Total Archaeology Project (Akko, Israel): Assessing the suitability of multi-scale 3D field recording in archaeology; *Journal of Field Archaeology*; 38.3:244-262.
- Peled, A., 2009. Sugar in the Kingdom of Jerusalem A Crusader Technology between East and West; *Yad Ben-Zvi*, Jerusalem; 314.
- Pinto Jr, O., Gonzalez W.D., Pinto I.R.C.A., Gonzalez A.L.C., Mendes Jr O., 1992. The South Atlantic Magnetic Anomaly: three decades of research; *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*; 54.9: 1129-1134.
- Porat, R., Kalman Y., Chachy R., 2013. Herod's Tomb and the Memorial Complex at Herodium; *New Studies in the Archaeology of Jerusalem and its Region*; *Collected Papers*; VII:257-287 [Hebrew].
- Reches, Z., Hoexter D.F., 1981. Holocene seismic and tectonic activity in the Dead Sea area; *Tectonophysics*; 80: 235-254.
- Remondino, F., Rizzi, A., 2009. Reality-Based 3D Documentation of World Heritage Sites: Methodologies, Problems and Examples; 22nd CIPA Symposium, October 11-15, Kyoto, Japan.
- Remondino, F., 2011; *Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning*; *Remote Sensing*; 3.6:1104-1138.
- Rodríguez-Pascua, M.A., Pérez-López R., Giner-Robles J.L., Silva P.G., Garduño-Monroy V.H., Reicherter K., 2011. A comprehensive classification of Earthquake Archaeological Effects (EAE) in archaeoseismology: Application to ancient remains of Roman and Mesoamerican cultures; *Quaternary International*; 242:20-30.
- Rosen-Ayalon, M., 1996. The Umayyad Palaces in Jordan; *Qadmoniot*; 28:119-128.
- Rucker, J.D., Niemi, T.M., 2010. Historical earthquake catalogues and archaeological data: Achieving synthesis without circular reasoning; *Geological Society of America Special Papers*; 471:97-106; doi:10.1130/2010.2471(09).
- Sada, A.R., Tibor G., Hall J.K., Diamant M., Sada H., Hartman G., Amit G., Schule B., Zohary T. Markel D., 2009. Multibeam Bathymetry of the Sea of Galilee (Lake Kinneret); GSI Report GSI/05/2009; IOLR Report H\16\2009.
- Sagy, A., Sneh A., Rosensaft M., Bartov Y., 2013. Map of 'Active' and 'Potentially Active' Faults that Rupture the Surface in Israel. Updates 2013 for Israel Standard 413: Definitions, comments and clarifications; *Geological Survey of Israel Report*.
- Salamon, A., 2010. Patterns of seismic sequences in the Levant-interpretation of historical seismicity; *Journal of Seismology*; 14.2: 339-367; DOI 10.1007/s10950-009-9168-9.
- Schnepp, E., Lanos, P., 2005. Archaeomagnetic secular variation in Germany during the past 2500 years; *Geophysical Journal International*; 163.2:479-490.

- Schreiber, S., Hinzen K.G., Fleischer C., Schulte S., 2012. Excavation-Parallel Laser Scanning of a Medieval Cesspit in the Archaeological Zone Cologne, Germany; *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*; 5.3.
- Segal, A., 2008. Hippos (Sussita); In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (5), 1782-1787; Jerusalem.
- Segal, A., Eisenberg, M., 2005; Hippos-Sussita of the Decapolis-First Five Years of Excavation; *Qadmoniot*; 129:15-29.
- Segal, A., Schuler M., Eisenberg, M., 2010. Hippos (Sussita), Eleventh Season of Excavations (July 2010), Haifa, Israel.
- Segal, Y., Marco S., Ellenblum R., 2003. Intensity and direction of the geomagnetic field on 24 August 1179 measured at Vadum Iacob (Ateret) Crusader fortress, northern Israel; *Israel Journal of Earth Science*; 52:203-208.
- Shaar, R., Ben-Yosef E., Ron H., Tauxe L., Agnon A., Kessel R., 2011. Geomagnetic field intensity: How high can it get? How fast can it change? Constraints from Iron Age copper slag; *Earth and Planetary Science Letters*; 301:297–306.
- Shaar, R., Ron H., Tauxe L., Kessel R., Agnon A., Ben-Yosef E., Feinberg J.M., 2010. Testing the accuracy of absolute intensity estimates of the ancient geomagnetic field using copper slag material; *Earth and Planetary Science Letters*; 290: 201-213.
- Shiloh, Y., 1992. Megiddo, Tel; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (3), 1003-1024; Jerusalem.
- Stager, L.E., 2008. Ashkelon, Tel; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (5), 1578-1585; Jerusalem.
- Stern, E., 1992. Azekah, Tel; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (1), 123-124; Jerusalem.
- Stern, E., 1992. Zafit, Tel; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (4), 1522-1524; Jerusalem.
- Stern, E., 1999. The Sugar industry in Ancient Israel during the Crusader, Ayyubid and Mamluk Periods in the light of Archaeological excavations; MA Thesis; The Hebrew University of Jerusalem; Jerusalem; Unpublished [Hebrew].
- Tauxe, L., 2003. *Paleomagnetic Principles and Practice*; Kluwer Academic Publishers; New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow; 314.
- Tema, E., Gómez-Paccard M., Kondopoulou D., Almar Y., 2012. Intensity of the Earth's magnetic field in Greece during the last five millennia: New data from Greek pottery; *Physics of the Earth and Planetary Interiors*; 202–203:14–26.
- Thellier, E., 1981. Sur la direction du champ magnétique terrestre en France durant les deux derniers millénaires; *Physics of the Earth and Planetary Interiors*; 24: 89-132.
- Trivedi, N.B., Pathan B.M., Schuch N.J., Barreto M., Dutra L.G., 2005. Geomagnetic phenomena in the South Atlantic anomaly region in Brazil; *Advances in Space Research*; 36: 2021–2024.
- Tzedakis, P.C., Hughen K.A., Cacho I., Harvati K., 2007. Placing late Neanderthals in a climatic context; *Nature*; 449:206-208.
- Ussishkin, D., 1977. The Destruction of Lachish by Sennacherib and the Dating of the Royal Judean Storage Jars; *Tel Aviv*; 4:28-60.
- Ussishkin, D., 1983. Excavations at Tel Lachish 1978-1983: Second Preliminary Report; *Tel Aviv*; 10:97-175.
- Ussishkin, D., 1990. The assyrian attack on Lachish: the archaeological evidence from the southwest corner of the site; *Tel Aviv*; 17:53-86.
- Ussishkin, D., 1992. Lachish, Tel; In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land* (3), 897-910; Jerusalem.
- Yannai, E., 2014. Excavations at Yavneh; *Hadashot Arkheologyot*; 126.
- Zohar, M., Marco, S., 2012. Re-estimating the epicenter of the 1927 Jericho earthquake using spatial distribution of intensity data; *Journal of Applied Geophysics*; 82:19–29.
- Zuckerman, S., 2007. Anatomy of a Destruction: Crisis Architecture, Termination Rituals and the Fall of Canaanite Hazor; *Journal of Mediterranean Archaeology*; 20.1: 3-32.
- Zuckerman, S., 2010. "The City, Its Gods Will Return There ...": Toward an Alternative Interpretation of Hazor's Acropolis in the Late Bronze Age; *Journal of Near Eastern Studies*; 69.2: 163-178.

Understanding the seismic history of a region is essential for assessing seismic risk in heavily populated areas. The southern Levant offers ample opportunities to reconstruct seismic history with numerous ruins dating from the dawn of human history to modern times. Due to proximity to the Dead Sea Rift, archaeological sites in the southern Levant commonly display destruction layers, apparently caused by seismic activity.

A set of palaces constructed during the Umayyad regime (r. 661-750 CE) in the southern Levant provides a unique opportunity to examine the distribution of seismic damage from a well defined fault system, namely the Central Jordan Valley (CJV) fault. The construction of circa twenty monuments with a similar size, plan, and design, preceded the earthquake cluster in the mid-8th century CE and the ultimate strong activity during the 11th century CE. One seldom finds a well dated, homogeneous group of buildings, distributed in a broad region that straddles a plate boundary.

While historical sources, describing the above events have been thoroughly studied, archeoseismological research is limited to a few sites. We address the following questions: What is the relation between damage and distance from the CJV? Is damage symmetric across the plate boundary? What are the roles of local conditions such as topography, geological infrastructure, and building materials.

Damage distribution across the CJV is apparently asymmetric: the destruction zone is considerably wider on the eastern side reaching 80 km from the fault in contrast to 50-60 km on the west. This result hinges on joint analysis of our archaeoseismic data with reassessed historical macroseismic data.

Abstract:

Astride the Dead Sea Fault and situated at the crossroads of empires, religions and cultures, the Levant is dotted by countless ancient archaeological sites dating from before the dawn of history to modern times. A multitude of sites contain destruction layers perhaps caused by earthquakes or conquests. These layers, often dated with the aid of history to annual resolution, can serve as chronostratigraphic markers bearing valuable seismic and geo-magnetic data. These data can then be used for constraining dates of other sites or for testing correlations between stratigraphic layers.

Archaeological destruction layers can store the direction (inclination and declination) and the intensity of the geo-magnetic field prevalent at the destruction date. Archaeological materials such as pottery artifacts and clay bricks heated above the Curie temperature by fires, triggered by an earthquake or set by a conquering army, gain (upon cooling) a magnetic vector parallel to the ambient at that time. If the destruction layer was sealed by debris or covering layers, artifacts can be found in situ and sampled as oriented, preserving the direction of the magnetic vector.

Knowing the changes in the direction and intensity of the archeo-magnetic field in adequate resolutions may enable the creation of secular variation curves (SVC). These curves, calibrated for the southern Levant and with minimum age uncertainty will, in turn, serve future archeological and environmental studies to constrain conventional dating by an independent and accurate measurement.

We present 32 new directional archeo-magnetic results from well dated archaeological contexts in Israel that span over the past 3200 years, with a special focus on data from the Iron Age II. The data fit well with the expected from global models with some differences. At two different time points, results from different sites, different researchers and dating methods fit almost perfectly. These examples corroborate the validity and show the potential of the method.

Archaeological destruction layers – a key to high accuracy Archaeo-magnetics, Archeo- seismic and chronostratigraphy Studies

Thesis for the Degree of Master of Science

submitted by:

Erez Hassul

Under the supervision of:

Prof. Amotz Agnon

Prof. Shmuel Marco



April, 2015

Department of Geology

Institute of Earth Sciences

Faculty of Mathematics and Natural Sciences

The Hebrew University of Jerusalem

Archaeological destruction layers – a key to high accuracy Archaeo-magnetics, Archeo-seismic and chronostratigraphy Studies

Thesis for the Degree of Master of Science

submitted by:

Erez Hassul

Under the supervision of:

Prof. Amotz Agnon

Prof. Shmuel Marco



April, 2015

Department of Geology

Institute of Earth Sciences

Faculty of Mathematics and Natural Sciences

The Hebrew University of Jerusalem