

סטרטיגרפיה של מצוק חוף השרון, סביבות השקעה ותיארוך בשיטות הלומינסנציה

מיכל ריטה



© הוצאה לאור ע"י המכון הגיאולוגי,
רח' מלכי ישראל 30, ירושלים 95501

עיצוב עטיפה: בת-שבע כהן

שער קדמי:

מצוק חוף השרון באזור המחקר בגעש.
היחידות הסטרטיגרפיות הנחשפות במצוק הן:
בסיס החתך, כורכר רמת גן (בהיר עם ריזוליטים), נחשולים (חום בהיר)
דור (שכוב צולב), חמרת נתניה (אדמדם), כורכר ת"א (בונה את גג המצוק),
חולות תערוכה (צד ימין, מכוסה צמחיה)

שער אחורי:

תמונה עליונה: שיכוב צולב בכורכר רמת גן, בבסיס מצוק החוף.
תמונה תחתונה: פורמיניפרה בשקף טיפוסי מכורכר רמת גן.
רוחב שדה 3.5 מ"מ, מקטבים צלובים.

הפקה: סופרגרף בע"מ טל: 02-5388858



משרד התשתיות הלאומיות
המכון הגיאולוגי

סטרטיגרפיה של מצוק חוף השרון, סביבות השקעה ותיארוך בשיטות הלומינסנציה

מיכל ריטה

עבודה זו הוגשה כחיבור לקבלת תואר "מוסמך במדעי החברה" במחלקה לגיאוגרפיה,
אוניברסיטת בר-אילן, רמת גן.

העבודה נעשתה בהדרכתם של: ד"ר נעמי פורת, המכון הגיאולוגי, ירושלים
ופרופ' גדליה גבירצמן, אוניברסיטת בר-אילן, רמת גן.

הכרת תודה

תודות מעומק הלב:

למנחים שהלכו עימי לאורך כל הדרך - פרופ' גדליה גבירצמן מאוניברסיטת בר אילן וד"ר נעמי פורת מהמכון הגיאולוגי.

לד"ר משה וידר על הסיוע באנליזה הפטרוגרפית.

לצוות המעבדה לגיאומורפולוגיה וקרקעות באוניברסיטת בר אילן בניהולו של פרופ' חנוך לביא על הסיוע ורשות השימוש במחשב ובמכשירים לביצוע האנליזה הגרנולומטרית, ובייחוד לד"ר נתן פראגין, על עזרה באנליזה הגרנולומטרית ולד"ר ילנה זבלב על הסיוע בעבודת מחשב.

למחלקה לגיאוגרפיה באוניברסיטת בר אילן שהיתה לי כבית.

למכון הגיאולוגי וכל עובדיו ובייחוד ל:

רמי מדמון, על הסיוע בעבודת השדה.

רותי בינשטוק, על עזרה באנליזה הגרנולומטרית.

אולגה יפה ודינה שטיבר, על האנליזות הכימיות.

בת שבע כהן ונחמה שרגאי, על השירטוטים.

ורדה ארד מהספריה.

תודה אישית לחברים אמיתיים שעזרו בדיוק בזמן ובמקום הנכונים ובמיוחד לגדעון אלטמן, להדס כרסנטי, שרון ברנס ולניר נפתלי.

תודה למשרד התשתיות הלאומיות על מימון המחקר.

תוכן עניינים

1	מבוא	1
1	1.1 מישור החוף - רקע	1
2	1.1.1 אקלים	2
2	1.1.2 תהליכי השקעה	2
4	1.2 מטרת העבודה	4
5	1.3 אזור המחקר	5
11	2. שיטות	11
11	2.1 עבודת השדה	11
11	2.2 גרנולומטריה	11
12	2.3 פטרוגרפיה	12
12	2.4 בדיקת ריכוז CaCO_3	12
13	2.5 תיארוך	13
16	2.5.1 הטיפול בדוגמאות	16
20	3. תוצאות	20
20	3.1 כורכר רמת גן	20
21	3.2 נחשולים	21
22	3.3 כורכר דור	22
23	3.4 חמרת נתניה	23
25	3.5 כורכר תל אביב	25
26	3.6 חולות תערוכה	26
26	3.7 תוצאות בדיקות נוספות	26
58	4. דיון	58
58	4.1 סביבות השקעה	58
59	4.1.1 יחידות הכורכר	59
60	4.1.2 קרקעות	60
61	4.2 תיארוך	61
67	5. סיכום מסקנות	67
69	6. רשימת ספרות	69

נספח

רשימת איורים

- איור 1: גרף שינויי אקלים ב - 300 אלף השנה האחרונות (נצר, 1995)..... 3
- איור 2: מפת מיקום של אזור המחקר 6
- איור 3: מפת סביבה של אזור המחקר 7
- איור 4: חתך עמודי של מצוק החוף 9
- איורים 5a, 5b ו - 5c: גרף DRC לפני תיקון, אחרי תיקון ועקום דעיכה לדוגמא..... 15
- איור 6: תוצאות תכולת CaCO_3 , האנליזות הגרנולומטריות והתיארוך בחתך מצוק החוף 30
- איור 7: תוצאות התיארוך על גבי החתך העמודי של מצוק החוף 31
- איור 8א': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של כורכר רמת גן 32
- איור 8ב': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של כורכר רמת גן בגרף מצטבר 33
- איור 9א': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של פרט נחשולים 34
- איור 9ב': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של פרט נחשולים בגרף מצטבר 35
- איור 10א': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של כורכר דור 36
- איור 10ב': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של כורכר דור בגרף מצטבר 37
- איור 11א': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של חמרת נתניה 38
- איור 11ב': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של חמרת נתניה בגרף מצטבר 39
- איור 12א': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של כורכר תל אביב 40
- איור 12ב': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של כורכר תל אביב בגרף מצטבר 41
- איור 13א': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של חולות תערוכה 42
- איור 13ב': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של חולות תערוכה בגרף מצטבר 43
- איור 14: תוצאות האנליזה הגרנולומטרית במשולש הרכבים 44
- איור 15: תוצאות תיארוך ראשוני של מצוק החוף (Porat & Wintle, 1994) 62
- איור 16: השתנות מפלס פני הים ב - 140 אלף השנה האחרונות 65
- איורים 17-24: נספח - איורים של תוצאות האנליזה הגרנולומטרית שבוצעה באמצעות מכשיר

ה - Microscan.

רשימת טבלאות

- טבלה 1: שמות היחידות הסטרטיגרפיות הנחשפות במצוק חוף השרון 8
- טבלה 2: תוצאות האנליזה הגרנולומטרית 27
- טבלה 3: תוצאות מדידות שונות לצורך חישוב גיל 28
- טבלה 4: שטפי קרינה וגילאי כל הדוגמאות 29
- טבלה 5: נספח - תוצאות האנליזה הגרנולומטרית שבוצעה באמצעות מכשיר ה - Microscan.

רשימת תמונות

עמוד

1. מצוק החוף באזור המחקר בגעש.....לוח 1 47
2. החלק העליון של מצוק החוף - כורכר דור, חמרת נתניה וכורכר תל אביב.....לוח 1 47
3. בסיס מצוק החוף - כורכר רמת גן, פרט נחשולים וכורכר דור.....לוח 1 47
4. כורכר רמת גן.....לוח 2 49
5. שכבת מעבר בין כורכר רמת גן לפרט נחשולים.....לוח 2 49
6. ריזוליט מכורכר רמת גן.....לוח 2 49
7. ריזוליט מכורכר מרמת גן.....לוח 2 49
8. פרט נחשולים.....לוח 3 51
9. כורכר דור.....לוח 3 51
10. חמרת נתניה וכורכר תל אביב בגג המצוק.....לוח 3 51
11. חמרת נתניה.....לוח 3 51
12. חמרת נתניה, שכבה צהובה.....לוח 4 53
13. כורכר תל אביב.....לוח 4 53
14. חולות תערוכה.....לוח 4 53
15. שקף מכורכר רמת גן.....לוח 5 55
16. שקף מכורכר רמת גן.....לוח 5 55
17. שקף מפרט נחשולים.....לוח 5 55
18. שקף מפרט נחשולים.....לוח 5 55
19. שקף מפרט נחשולים.....לוח 6 57
20. שקף מכורכר דור.....לוח 6 57
21. שקף מחמרת נתניה.....לוח 6 57
22. שקף מכורכר תל אביב.....לוח 6 57

תקציר

מחקר זה עוסק ברצף הסטרטיגרפי של הרביעון המאוחר שנחשף במצוק חוף השרון, הכולל חילופי כורכר (איאוליניט), קרקעות פוסיליות (חמרה), וחולות איאוליים בלתי מלוכדים. המטרות היו להתחקות אחר תהליכי ההסעה, ההשקעה והדיאגנזה של היחידות הסטרטיגרפיות השונות בשיטות פטרוגרפיות וסדימנטולוגיות, תיארוך היחידות בשיטת הלומינסנציה וקשירה בין אירועי השקעת היחידות לאירועים רגיונליים וגלובליים. האתר הנבחר כחתך טיפוסי מייצג, בו מופיעות כל היחידות הסטרטיגרפיות בדרגת השתמרות טובה, ממוקם צפונית לגעש בנצ' 1837-1337. היחידות הסטרטיגרפיות בתוך הן: כורכר רמת גן בבסיס המצוק, נחשולים, כורכר דור, חמרת נתניה, כורכר תל אביב וחולות תערוכה בג המצוק. במעבדה בוצעה אנליזה גרנולומטרית לדוגמאות השונות. באמצעות מיקרוסקופ אופטי מקטב בוצעה אנליזה פטרוגרפית לשקפים מתוך הדוגמאות. היחידות השונות תוארכו בשיטת הלומינסנציה במעבדה לתיארוך. בשדה, ביחידות הכורכר ניכר השיכוב הצולב האופייני לסלע שמקורו בדיונה וההבדלים ביניהן הם בעיקר ברמת הליכוד. כורכר רמת גן ודור פריכים יחסית לכורכר תל אביב המסיבי. יחידות הקרקע נבדלות זו מזו בדרגת התהליכים הפדוגניים שעברו, המתבטאים בצבע ובמסיביות. חמרת נתניה הינה קרקע מפותחת מאסיבית וקשה בצבע אדום. הגרגרים בה מלוכדים היטב על ידי חרסיות. השכבה התחתונה של חמרת נתניה בעלת אופי דיונרי, בצבע צהוב, מהווה כנראה את חומר האב של החמרה. נחשולים, שעברה פדוגנזה חלשה, מאופינת בצבע חום בהיר ופריכות יחסית ואילו חולות תערוכה, שעברו פדוגנזה התחלתית, מאופיינים בצבע חום צהוב וכמעט אינם מלוכדים. תוצאות האנליזה הגרנולומטרית מצביעות על חומר אב דומה בכל היחידות. בכל היחידות נמצאו שלש אוכלוסיות (למעט השכבה הצהובה של חמרת נתניה). האוכלוסיה השלטת היא אוכלוסית ה- Saltation והשכיח החולי נע בין 150 ל- 200 μm . ניכרת עליה בגודל הגרגר השכיח ככל שהיחידה צעירה יותר. ההתפלגות נורמלית והמיון של החול טוב מאד בכל היחידות. ממצאים אלה מצביעים על המקור הדיונרי של כל היחידות. ביחידות הקרקע יש תוספת משמעותית של סילט וחרסית שאפשרה התפתחות של תהליכים פדוגניים, אם בצורה מפותחת כמו בנתניה ואם בצורה חלקית או התחלתית כמו בנחשולים ובתערוכה. תוצאות האנליזה הפטרוגרפית מצביעות על תהליכי הליכוד שעברו יחידות הכורכר השונות ועל הרכבו של חומר האב - בעיקר גרגרי קוורץ וכמות משמעותית של גרגרים ביוקלסטיים בדרגות השתמרות שונות. ניכר הבדל בכורכרים בדרגות הליכוד והשתמרות הביוקלסטים שלהם באופן שהעתיקים יותר עברו המסה, החלפה והשקעה משנית בצורה אינטנסיבית יותר מאשר הצעירים. בקרקעות ניתן היה לראות את הביטוי לתהליכים הפדוגניים. תוצאות תיארוך היחידות, מראות כי היחידות הסטרטיגרפיות שמתחת לחמרת נתניה, בעובי מצטבר של 25 מטר, הצטברו במהלך 10000 שנה לערך, בין 58 ל- 48 אלף שנה לפני ההווה. חמרת נתניה היתה קרקע פעילה במשך כ- 44 אלף שנה, בין 57 ל- 13 אלף שנה לפני ההווה. גיל כורכר תל אביב הוא כ- 5000 שנה. הגיל שהתקבל לחולות התערוכה, 2000 שנה בערך, אינו מתיישב עם ממצאים ארכאולוגים קודמים. כנראה שביחידה זו מתרחשים תהליכים פדוגניים במידה מסוימת גם היום ואלו משפיעים על תוצאות התיארוך.

1. מבוא

1.1 מישור החוף - רקע

מצוק חוף השרון מהווה חלק חשוב של הרצף התת קרקעי של חבורת הכורכר מגיל הפליוקן והפלייסטוקן. חופי ישראל בכלל, ובתוכם מצוק חוף השרון, בנויים בעיקרם מחול שנפלט לים על ידי הנילוס. הנילוס מספק סדימנטים לכל מערכת הדלתא שלו, חופי דרום מזרח הים התיכון וחלק מהאגן הלבנטיני לפחות מאז הפלייסטוקן התיכון. לפני כ - 6500 שנה, עם עליית פני הים והתייצבות המפלס, החלה הדלתא להתרחב צפונה כשהיא מוזנת על ידי הסדימנטים מהנילוס המורבדים בה ובחופיה (ניר, 1989). החול מוסע לחופי ישראל על ידי הזרם הים תיכוני הכללי שכוונו בחופי ישראל הוא מדרום מערב לצפון מזרח וכן על ידי כיווני הגלים המשתנים ממקום למקום (Emery and Neev, 1960; ניר, 1989). החול שנזרק לחוף והתייבש חודר ליבשה על ידי הסעה איאלית. החול מורכב בעיקרו מקוורץ, שמקורו בטענות הנילוס, בתוספת כמויות קטנות של שברי רכיכות וכמויות משתנות של חומר גירי ומינרלים כבדים (גביש ובקלר, 1990). כמות הגיר שמקורה מהנילוס נמוכה מאד ונעה בין 1% ל - 3%. המקור העיקרי של הגיר בחול המושקע בחופי הארץ הוא ביוגני מקומי, ימי ויבשתי. עיקר החומר הביוגני הוא שברי מולוסקות מקומיות (ניר, 1989). תרומת החול של נחלי ישראל למערכת החופית דלה ביותר. מקור נוסף לקרבונט הוא שברי כורכר שחזרו למערכת הסדימנטרית החופית כתוצאה מהרס המצוק החופי (ניר, 1989). אחוז הקרבונט עולה ככל שמצפינים בחופי הארץ. בצפון הארץ תרומת הקרבונט על ידי הנחלים משמעותית הרבה יותר מאחר והשיפוע של אפיקי הנחלים גדול יותר וכך מתאפשרת הסעה של חלקי גיר מההרים. הגרגרים מתפרקים עם הזמן והופכים לגרגרי חול קרבונטי. גודל הגרגר של החול המרכיב את חופי הארץ משתנה אף הוא מצפון לדרום באופן שככל שהמרכיב הקרבונטי גדול יותר כך גודל הגרגר השכיח המאפיין את החול גדול יותר (ניר, 1989; Emery and Neev, 1960).

במישור החוף, באזור השרון, התגלו שישה רכסי כורכר מקבילים לחוף, שלושה על היבשה שביניהם משתרעות מרזבות, ושלושה מתחת למים. רכסי הכורכר ביבשה בנויים מחילופין של סלע כורכר וחולות לא מלוכדים שעברו תהליכים פדוגניים במידה כזו או אחרת. החלק הפעיל ביותר במישור החוף היום הוא לאורך חוף הים. באזור זה מתרחשת בניה של גבעות החול הנודד על ידי הרוח ובמקביל הרס של רכס הכורכר המערבי על ידי הגלים ויצירת מצוק. מצוק החוף נוצר על ידי פעולת הגלים המכים בתחתית רכס הכורכר המערבי וגורמים להתמוטטותו ולנסיגתו (רון, 1989). דיעה נוספת לגבי הווצרות מצוק חוף שרון גורסת בקיומו של קו שבר אנכי פעיל לאורך חופי הארץ שצידו היבשתי התרומם ויצר את המצוק (גביש ובקלר, 1990; Neev and Bakler, 1978). מעבר לפעילות הגיאומורפולוגית התמידית באזור המצוק קיימת גם פעילות אנושית מסיבית כגון בניה, חציבה ופעילות ספורטיבית שכוללת דאיה, רחיפה ונסיעה בכלי רכב המותאמים לשטח. לפעילות אנושית זו השפעה על קצב נסיגת המצוק. בניה וחציבה מזרזים את קצב הנסיגה ואילו בניית מבנים ימיים וקירות תמך מאיטים אותו.

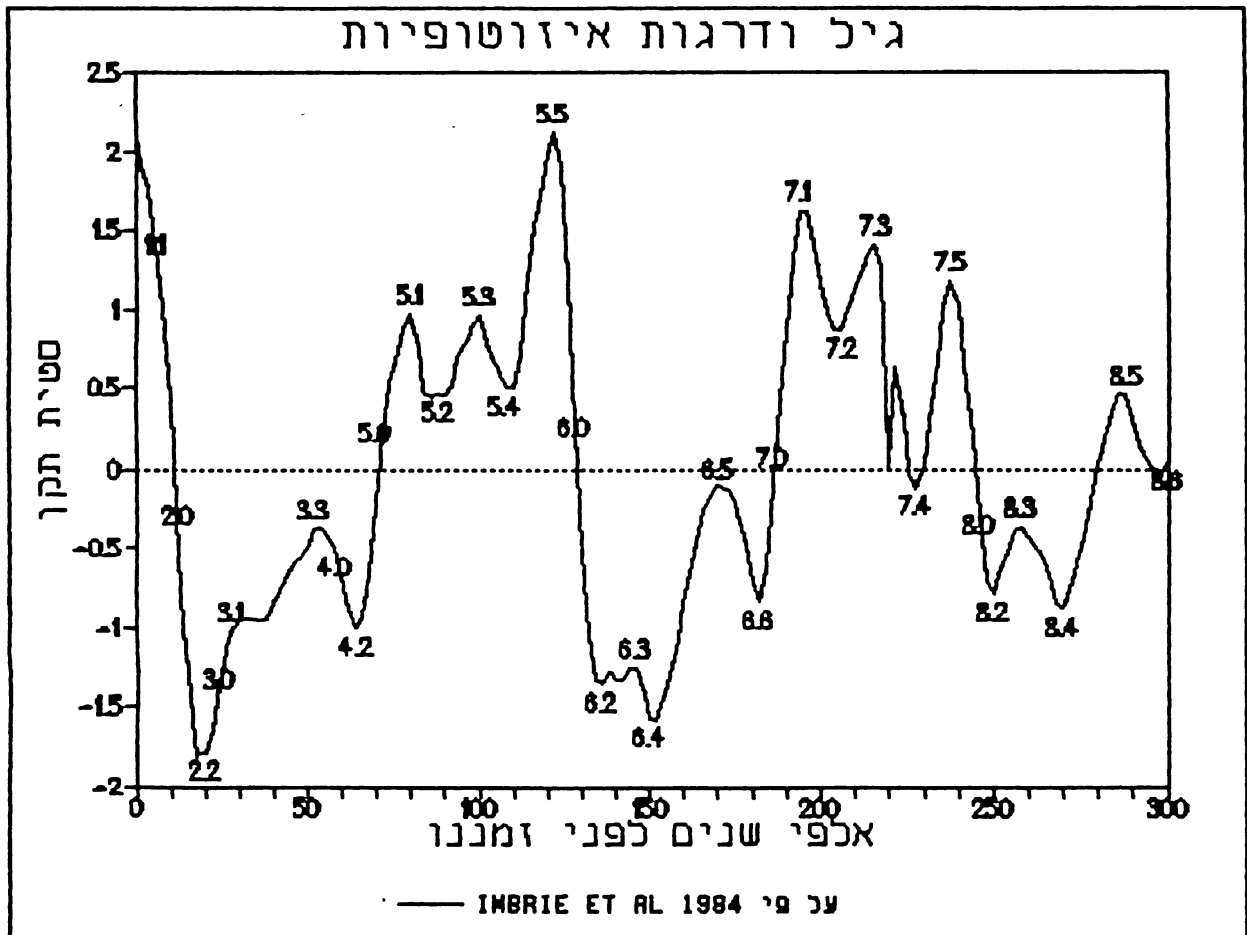
גורמי ההסעה וההשקעה של החול הנם "תלויי אקלים" (Proxi - Climatic). שינויי אקלים יכולים לגרום לשינוי בכיוון ובעצמת הזרמים והרוחות. לשינויים הללו השפעה מכרעת על הטופוגרפיה שתוצר, סוג הסלע, הרכבו ועל ההרכב הגרנולומטרי של החול (נצר, 1995).

1.1.1 אקלים

האקלים בארץ ישראל מושפע משתי רצועות אקלים עולמיות - אקלים צחיח ואקלים ים תיכוני. שינויי אקלים גלובליים יכולים לשנות את מיקומם ותפוצתם של רצועות אקלים אלו ולהשפיע על האקלים בארץ. השינויים האקלימיים הגלובליים נובעים משינויים אורביטליים של כדור הארץ סביב השמש. השינויים הללו מחזוריים והם תוצאה של שלושה גורמים: השתנות צירי האליפסה (אקסנטריות) במחזוריות של 100 אלף שנה בערך, השתנות נטית ציר כדור הארץ במחזוריות של 41 אלף שנה בערך והנקיפה (פרסציה) במחזוריות של 19 ו- 23 אלף שנה. השינויים הללו גורמים לשינוי בכמות קרינת השמש הנקלטת בכדור הארץ ובאים לידי ביטוי במחזוריים של שינויים אקלימיים, דהיינו תקופות קרחוניות ותקופות בין קרחוניות לסירוגין. בתקופות הקרח יכולה לרדת הטמפרטורה הממוצעת עד 10°C ושטחי הקרחונים מתרחבים. מפלס הים יורד בתקופות הקרח וכן משתנים יחסי איזוטופים של חמצן באוקינוסים. זמניהן של התקופות הללו ידועים היום על פי קורלאציה שנעשתה בין גרף השינויים האורביטליים שגורמים לשינויי האקלים (Milankovitz, 1941) ובין גרף איזוטופים של חמצן (Emiliani, 1966; Imbrie and Imbrie, 1980). לגבי 800 אלף השנה האחרונות זוהו 21 דרגות איזוטופיות כשחלקן מחולקות לדרגות משנה (Imbrie et al, 1984) (איור 1). דרגות המשנה של תקופת הקרח האחרונה (דרגות 2-4) הן המעניינות לגבי עבודה זו, שעוסקת ביחידות סטרטגרפיות שנוצרו ושקעו ב-60 אלף השנה האחרונות (Porat & Wintle, 1994), תקופה הכוללת את שיא תקופת הקרח האחרונה, המעבר להולוקן והאופטימום האקלימי של ההולוקן (Gvirtzman, 1994).

1.1.2 תהליכי השקעה

בהתאם למספר רכסי הכורכר ולשינויי מפלס הים עקב שינויי אקלים ברביעון מנה איסר (1961) שישה מחזורי השקעה שהאחרון שבהם הוא כיסוי מישור החוף בחולות נודדים צעירים - חולות חדרה. הוא הציע כי רצף של כורכר וחול (או חמרה) מסמן מחזור סדינמטרי של הצפה ונסיגה, דהיינו, מעבר מסביבה ימית לסביבה ימית רדודה (כורכר ימי), לסביבה חופית (כורכר יבשתי), לסביבה יבשתית ולבסוף לסביבה שבה מתרחשים תהליכים פדוגנים (חמרה). בניגוד לגישה שהייתה מקובלת זמן רב, (Gvirtzman, 1984), התגלה בעבודות שנעשו לאחרונה, (קצב 1994; נצר, 1995) ששלושת רכסי הכורכר הנמצאים על היבשה לא נוצרו בשלוש תקופות שונות של הצפה ונסיגה, אלא שני רכסי הכורכר המערביים נוצרו בו זמנית ויש הקבלה בין היחידות הסטרטיגרפיות השונות הנמצאות בשני הרכסים הללו. ממצא זה אושר גם בחוף הגליל (סיון, 1996).



איור 1: גרף שינויי אקלים ב - 300 אלף השנה האחרונות. מתוך נצר (1995), על פי נתונים של (Imbrie et al, 1984)

מצוק החוף, כאמור, מורכב מחילופין של כורכר וחולות מלוכדים במידה כזו או אחרת. מקורם של יחידות הכורכר ויחידות הקרקע הוא בדיונות חול שהוסעו על ידי רוח. דיונות החול נמצאות לאורך רוב התא החופי של הנילוס. שטחן בישראל מגיע ל - 340 קמ"ר והן חדרו בארץ עד לגבול הצפוני של התא הליטורלי של הנילוס, מפרץ חיפה. דיונות חופיות מאופיינות על ידי מיון טוב מאוד ועל ידי תת אוכלוסייה עיקרית - saltation - שמהווה 98% מכלל האוכלוסייה. בדרך כלל האחוזים הנותנים שייכים לגודל הגס יותר. תהליך התייצבות הדיונה ניכר בתוספת סילט וחרסית שמקורם באבק איאולי ובהתבלות גרגרי החול.

כורכר - הכורכר היבשתי מוגדר כ- "איאוליניטי" - סלע שנוצר על ידי רוח. סלע הכורכר המרכיב את מצוק החוף נוצר מדיונות חול שהתקשו על ידי המסה, שקיעה מחדש ומילוט של גיר. (גבירצמן, 1990; Yaalon, 1967). מקורו של הגיר הוא בגרגרים בגודל חול ממקור ביוקלאסטי (ימי או יבשתי) שהוסעו על ידי הרוח. הגיר המומס על ידי מי הגשמים מושקע מחדש כקלציט וגורם לליכוד החול ולהפיכתו מדיונה בלתי מלוכדת לכורכר. האבחנה בין סלע כורכר שנוצר ביבשה, על ידי התגבשות הדיונות, ובין סלע כורכר שנוצר בים אינה פשוטה. כלים לאבחנה זו מצאה סיון (1996) בעבודתה העוסקת בחוף הגליל. האבחנה נשענת על שילוב קריטריונים שכוללים את הופעת היחידה בשדה, ההרכב הגרנולומטרי, וניתוח פטרוגרפי של היחידה. הכורכרים המרכיבים את מצוק חוף השרון הם כולם ממקור יבשתי. ניתן לפסוק כך על פי השייכות הצולב הבולט בהן המעיד על מקור דיוני וכך על פי המיון הטוב של הגרגרים והרכבם.

קרקעות - גם מקור הקרקעות והחולות המרכיבים את המצוק הוא, כאמור, דיוני. תהליך פדוגני מתחיל להתפתח בדיונה בתוספת של סדימנטים איאוליים (וידר ויעלון, 1983). תנאי נוסף להתפתחות קרקע הוא שטיפה חזקה של גיר (דן ויעלון, 1990), אם היה קיים בחומר האב הדיוני. כדי שתתפתח חמרה אופינית דרושה תוספת של חרסית הנשטפת ברובה לאופק התיכון. התהליך הוא איטי ובסופו נוצר חתך אופייני של חמרה הבנויה מאופק עליון חולי מאסיבי חום, אופק תיכון אדום סייני חולי או סייני חרסיתי חולי מאסיבי ואופק תחתון חולי צהוב (דן ויעלון, 1990). החולות הבלתי מלוכדים הנם חולות שכמות החומר הביוקלאסטי המקורי בהם לא הספיקה על מנת להקשותם (Yaalon and Dan, 1967). ביחידות שעברו תהליך פדוגני כזה או אחר, נשטף הגיר, אם לחלוטין כמו בחמרת נתניה ואם במידה חלקית כמו בפרט נחשולים, כפי שיפורט בהמשך.

1.2 מטרת העבודה

מטרת העבודה היתה חקירת הרצף הסטרוטגריפי של הרביעון המאוחר הנחשף במצוק חוף השרון הכולל חילופין של כורכר, קרקע וחולות בלתי מלוכדים. המחקר התמקד במישורים הבאים:

1. פיענוח תהליכי ההשקעה של היחידות הסטרוטגרפיות השונות.
2. תיארוך גיל השקעת היחידות בשיטות הלומינסנציה.
3. קשירת האירועים המיוצגים ברצף הסטרוטגריפי לאירועים רגיונליים וגלובליים.

בעבודה זו התבצע שילוב של מספר בדיקות על חתך חשוף ומלא של מצוק חוף השרון, שמשלים, ומאמת את הידע הקיים הרב שהצטבר. עבודת שדה, אנליזות גרנולומטריות ופטרורגרפיות ותיארוך הן שיטות העבודה בהן נעשה שימוש על מנת להשיג את מטרות העבודה.

אופן התפלגות גודלי הגרגר קשור לזמינות הגדלים הללו בחומר האב והוא יכול להצביע על מקור הגרגרים הללו, כמו גם על תהליכי הובלת החומרים הללו על ידי רוח או מים. בדרך זו ניתן על פי ניתוח ההתפלגות הגרנולומטרית, לשחזר את תהליכי ההשקעה. שני הפרמטרים החשובים ביותר בהקשר הזה הם דרגת המיון והאחוז היחסי של כל קבוצת גודל. את דרגת המיון ניתן לאמוד על פי מבנה עקומת השכיחויות, תלילות הגרף המצטבר או חישוב סטיית התקן (Friedman and Sanders, 1978). ההנחה היתה שנמצא מאפיינים כאלה ביחידות הנחקרות ואז נוכל להסיק לגבי תהליכי ההשקעה, ההתיצבות וההתגבשות שלהן. מההבדלים בהרכב הגרנולומטרי של היחידות השונות נוכל ללמוד על ההבדלים בתהליכים שעברו על כל יחידה ושמקורם אולי, בתקופות אקלים שונות ששררו בזמן התרחשות תהליכים אלו. עבודות קודמות שעסקו באנליזה גרנולומטרית של מצוק החוף בוצעו על ידי Bakler et al. (1972) ובקלר (1977) במטרה לנסות ולהבדיל בין כורכר ימי ליבשתי ועל ידי Gilfford and Rapp (1989).

האנליזה הפטרורגרפית מאפשרת לעמוד על ההבדלים בהרכב המינרלוגי של חומר האב בין היחידות ועל ההבדלים בתהליכים הדיאגנטיים שעברו הכורכרים כגון בליה, המסה וליכוד. בקרקעות ניתן לעמוד על מידת הפדוגנזה שעברה היחידה. עבודות פטרורגרפיות קודמות בוצעו על ידי Yaalon and Dan (1967), Yaalon (1971), ו- Karmeli et al. (1968) שתרמו להבנת תהליכי יצירת קרקעות החמרה בשרון.

תיארוך היחידות לאורך כל החתך החשוף בשיטת הלומינסנציה יסייע לתת תשובה לשאלה האם ניתן לקשור את תקופות ההשקעה של היחידות השונות לאירועים אקלימיים גלובליים ולהבין על ידי כך את ההבדלים ביניהן. תיארוך שיטתי לאורך כל החתך יוכל אף לשפוך אור על הזמן הדרוש לתהליכי ההשקעה, ההסעה והפדוגנזה מהסוג שעברו היחידות המרכיבות את מצוק חוף השרון. עבודה ראשונית של תיארוך בשיטת הלומינסנציה בוצעה על ידי Porat and Wintle (1994).

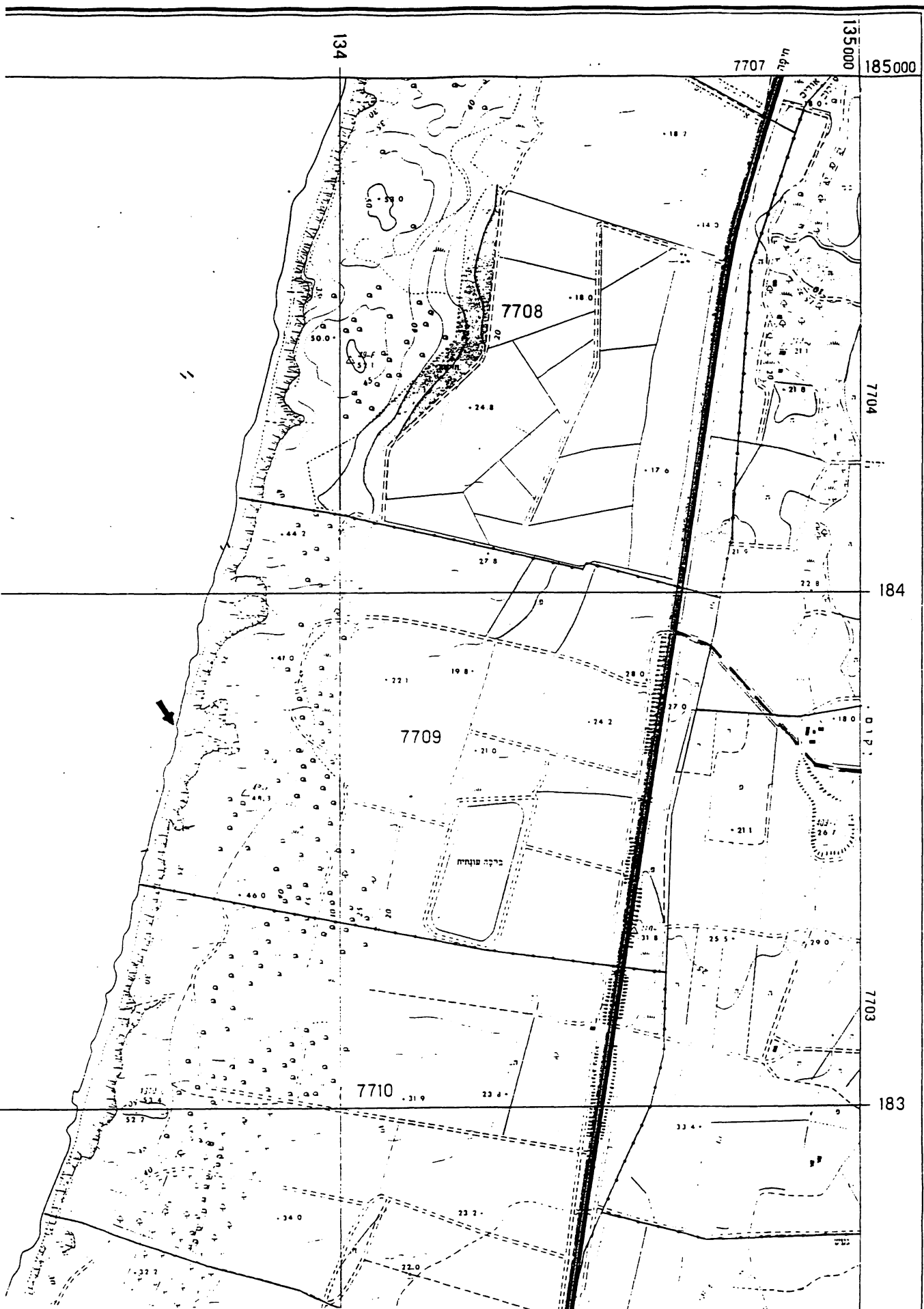
החידוש בעבודה זו שבפעם הראשונה מבוצע תיארוך שיטתי אחיד לכל היחידות המרכיבות את החתך שאת תוצאותיו ניתן יהיה לקשור עם בדיקות אחרות שבוצעו על אותן דוגמאות ממש.

1.3 אזור המחקר

המחקר, כאמור, מתרכז במצוק חוף השרון. האתר הנבחר כחתך מייצג בו מופיעות כל היחידות במצב השתמרות טוב הוא מצוק החוף צפונית לגעש נ.צ. 1337-1837 (איור 2 ו- 3). באזור זה גובה המצוק הוא 40 - 45 מטר וזו אחת הנקודות הגבוהות ביותר של המצוק. פעילות אנושית מסיבית באזור המחקר, שכוללת בעיקר ספורט ונסיעה, גורמת להפרעה בהופעה הטבעית של היחידות הסטרטיגרפיות. בעבודות סטרטיגרפיות קודמות תואר החתך החשוף וחולק לתצורות. לכן קיימים בספרות שמות שונים ליחידות (טבלה 1). בעבודה זו נעשה שימוש בטרמינולוגיה של גבירצמן (Gvirtzman et al, 1984).



איור 2: מפת מיקום של אזור המחקר.



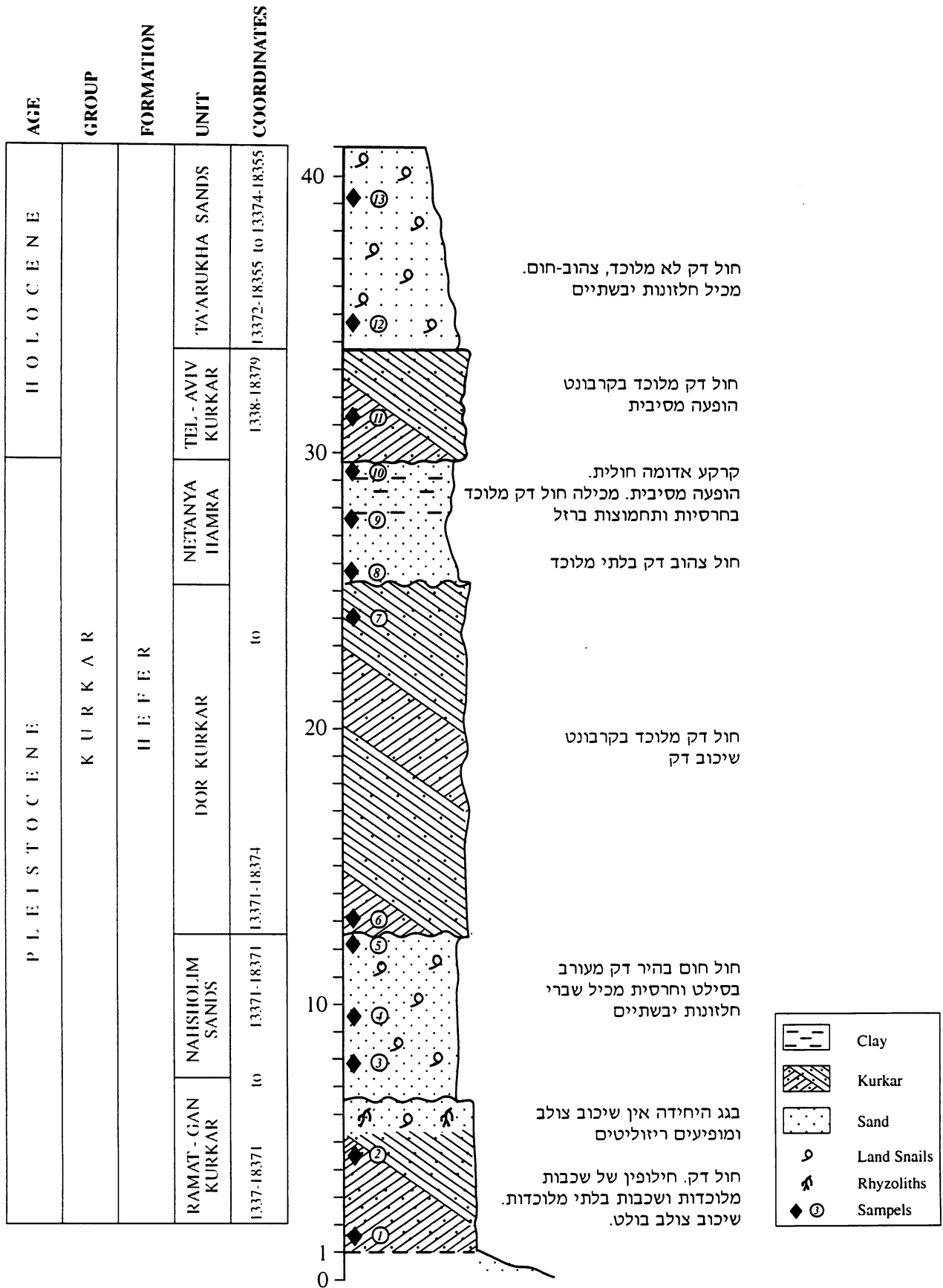
Gvirtzman et al, 1984	ניב ובקלר, 1978	Bakler, Denekamp & Rohrlich,1972	Avnimelech, 1962
חולות חדרה	חולות ראשון לציון	חול דיונות	שכבות רצנטיות
חולות התערוכה	חולות נוף ים	חול דיונות	שכבות רצנטיות
כורכר תל אביב	כורכר בית ינאי (פלטה)	אבן חול ביוקלסטית	
חמרת נתניה	חמרת נתניה	חמרה אדומה (חול חרסיתי)	חמרת נתניה
כורכר דור	כורכר וינגייט	אבן חול קרבונטית פריכה	כורכר קדם-נתניה עליון
פרט נחשולים	חמרת געש	חמרה אפורה (חול סילטי-חרסיתי)	חמרה מוסטרית (cafe au lait)
כורכר רמת גן	כורכר גבעת אולגה	אבן חול קרבונטית מלוכדת	כורכר תחתון

טבלה 1: שמות היחידות הסטרטיגרפיות הנחשפות במצוק חוף השרון.

להלן פירוט ותיאור ראשוני של היחידות הסטרטיגרפיות החשופות המרכיבות את מצוק חוף השרון על פי המתואר בעבודות קודמות (Gvirtzman et al, 1989; קצב, 1994; גביש ובקלר, 1990; פרת ואלמגור, 1996) (איור 4):

כורכר רמת גן - היחידה התחתונה. בנויה אבן חול גירית, מלוכדת היטב אשר נראה בה בבירור השיכוב הצולב האופייני לכורכר שנוצר מדיונות חול אורכיות. בסיס השכבה לא תמיד חשוף. עוביו של החלק החשוף נע בין 5-10 מ'. הדיונה במקורה מכילה כמויות ניכרות של גרגרים ביוקלסטיים שהפכו לצמנט שליכד את החול והפך אותו לאיאוליניט קשה (גבירצמן וחבריו, 1995), אם כי ניכר היטב המטריקס של החול השפיך שלא לוכד.

פרט נחשולים - מורכב מחול דק, לא מלוכד, צבע חום בהיר עד אפרפר. ידוע בספרות בכינוי "קפה בחלב" (Avnimelech, 1952) בשל צבעו. עוביו משתנה בין סנטימטרים ספורים עד ל-1.5 מ'. נוצר מדיונות מטיפוס "שדות חול" Sheet Sand (גבירצמן וחבריו, 1995). כורכר רמת גן יוצר תבליט של גלים ופרט נחשולים עוקב אחריו. שתי היחידות משמרות את תבליט הדיונות המקוריות (קצב, 1994).



איור 4: חתך עמודי של מצוק החוף.
היהלומים מציינים את נקודות הדגימה לתיארוך.

כורכר דור - אבן חול מלוכדת עם שיכוב צולב. מאופיינת בפריכות יחסית לכורכר רמת-גן. עובי השכבה נע בין סנטימטרים ספורים ל - 30 מטר. גג השכבה אינו מתאים לטופוגרפיה "הגלית" של נחשולים ורמת-גן ומצביע על התחדשות דיונה לאורך החוף (קצב, 1994).

שלוש השכבות הללו, כשהן מופיעות בתת הקרקע, מכונות "גבעת אולגה" ללא הבחנה בין יחידות המשנה (Gvirtzman et al, 1984).

חמרת נתניה - חמרה חומה אדומה כהה, עובייה 1-2 מטר ויותר. גג חמרת נתניה שטוח ויוצר משטח מתון. במספר מקומות נוצר צנור בגג חמרת נתניה. החלק העליון במחשופים מסוימים של החמרה מאופיין בצבע בהיר וטרם ניתן הסבר לתופעה זו. באתרים אחדים מאופיין החלק התחתון של חמרת נתניה בחול שפיד בצבע צהוב ובהופעה דיונרית. בתוך החמרה מפוזרים נתזים וכלים של התרבות האפיליאליתית.

כורכר תל-אביב - כורכר קשה היוצר מדרגה בולטת בנוף מעל הצנור של חמרת נתניה. ניכר בו שיכוב צולב בולט. עובי השכבה נע בין 1-2 מ' ולעתים יותר. כורכר תל-אביב מונח ברציפות על גבי חמרת נתניה ומתאים את עצמו לתבליט פרצות הנחלים. אופי זה מצביע על כך ששקע כ"שדות חול". כורכר תל אביב שומר על המצוק מפני נסיגה מהירה (קצב, 1994).

חולות תערוכה - חול איאולי מיוצב בצבע חום בהיר, מאופיין בצמחיה רבה ובעושר בשבוללים. השכבה מופרת בהרבה מקומות בגלל פעילות מסיבית של האדם. עובי השכבה נע בין 1-8 מטר. החולות מכילים שרידים של חרסים גסים ואבני מוקד מתקופת הברונזה הקדומה I (גופנא, 1990).

חולות חדרה - חולות צהובים כנראה עדיין פעילים בחלקם. מורכבים מקוורץ נקי, כמעט ללא צומח. יחידה זו חסרה באזור המחקר. כמו כורכר תל-אביב ונחשולים גם חולות אלה שקעו כ"שדות חול". החולות עוברים היום תהליכי קיבוע ופדוגנזה. החולות מכסים שרידים ארכאולוגים שהצעירים שבהם הם מהתקופה הביזנטית.

2. שיטות

2.1. עבודת השדה

עבודת השדה כללה בחירת אתר לחתך מייצג שבו נחשפות כל השכבות בצורה אופטימלית. בוצע זיהוי, אפיון ותיאור מפורט של היחידות הסטרטיגרפיות. תוארה צורת הופעת היחידות בשטח, צבע ומרקם היחידות כפי שהוא נראה בעין בלתי מזויינת ותחת זכוכית מגדלת. דיגום שיטתי לאנליזה גרנולומטרית בוצע באופן שהדגימות נלקחו כל 1.5 מטר לערך, לגובה, או עם כל שינוי בהופעה של היחידה בשטח. מקצת דוגמאות מייצגות נלקחו עבור אנליזה פטרוגרפית בשקפים. דיגום לתיארוך בוצע בשלב מאוחר יותר באופן שיפורט בהמשך.

2.2. גרנולומטריה

לרוב משמשות שתי שיטות לאנליזה גרנולומטרית. להפרדת מקטעי הגודל של החומר הגס מ - $63\mu\text{m}$ משתמשים בדרך כלל בשיטת הניפוי. עבור החומר הדק מ - $63\mu\text{m}$ קיימות מספר טכניקות המפרידות בין מקטעי הגודל של החרסית, הסילט הדק, הסילט הגס והחול. בעבודה זו עמד לרשותי מכשיר מטיפוס Mastersizer המבחין באמצעות קרני לייזר בכמויות של מקטעי הגודל הקטנים מ - $500\mu\text{m}$ על פי קוטר הגרגירים. עיבוד הנתונים במכשיר זה איפשר לזהות ביחידות הנחקרות אוכלוסיות דקות גרגר גם אם משקלם באחוזים מועט ביותר. מטרת האנליזה היתה לזהות את חומר האב ולהפריד בינו ובין חומרים שנתוספו בתהליכים מאוחרים יותר. לאחר שורה של ניסיונות שמטרתם היתה לבדוק אם יש משמעות להוספת חומר מפזר (קלגון), לבחון את עוצמת האולטראסאונד הדרושה ולבדוק האם להשתמש בתמיסה מהדוגמא או בדוגמא יבשה הוחלט על דרך הטיפול הבאה:

1. פירור הדוגמאות על ידי כתישה זהירה.

2. ניפוי בנפה גסה במידת הצורך אם קימים שורשים או שברי שבלולים וצדפות (יותר

מ - $500\mu\text{m}$)

3. הרצה במכשיר של גרמים ספורים מהדוגמא (מדוגמאות שבהן אחוז החומר הדק נמוך, נדרשה כמות גדולה יותר של חומר מהדוגמאות האחרות בעלות אחוז גבוה יותר של אוכלוסיה דקת גרגר). הדוגמאות הוכנסו למכשיר יבשות. ההרצה במכשיר כללה פיזור על ידי מחולל גלים אולטרא סוני במשך חצי דקה.

החומר הגס מ - $500\mu\text{m}$ כלל בעיקר שברי כורכר ושברי צדפות ושבוללים. ההנחה היתה שהתפלגות הגרגרים בתלכידי הכורכר שווה להתפלגות הגרגרים בדוגמא. שברי הצדפות אינם מייצגים את חומר האב המקורי ולכן הפרקציה הגסה מ - $500\mu\text{m}$ לא נמדדה. שתי דוגמאות מכורכר תל אביב הכילו תלכידי סלע והיה צורך לפוררם בשנית. הפירור הנוסף גרם לעליה משמעותית בכמות האוכלוסיה דקת הגרגר ולפלוקולציה מהירה מאד ברגע הכנסת הדוגמאות לבדיקה שמבוצעת במים. לכן עברו הדוגמאות הללו פיזור על ידי קלגון ואולטראסאונד בעוצמה גדולה יותר למשך דקה.

עיבוד התוצאות בוצע על פי חלוקה לפי גבולות סטנדרטים של חול, סילט וחרסית (Friedman and Sanders, 1978) ובנוסף בוצעה חלוקה לאוכלוסיות לפי גבולות פרקטיים שנמצאו בכל יחידה ואינם חופפים בהכרח לגבולות המקובלים.

יש לציין שקודם לשימוש ב- Mastersizer, בוצעה אנליזה גרנולומטרית לכל הדוגמאות על ידי ניפוי ושימוש במכשיר Microscan במעבדות בר אילן. השיטות הללו היו מסורבלות וכן עיבוד הנתונים. התוצאות שהתקבלו ממכשיר ה- Microscan היו שגויות בחלקן ולא הגיוניות ולכן תוצאותיהם והפירוט לגבי הליך העבודה נכללים בנספח המצורף לעבודה זו. התוצאות, עם זאת אפשרו השוואה ומידה מסוימת של אימות לגבי איכות האנליזה הגרנולומטרית.

2.3. פטרוגרפיה

מחלק מהדוגמאות שנלקחו עבור גרנולומטריה הוכנו שקפים בהקשיה. האנליזה הפטרוגרפית של השקפים נעשתה באמצעות מיקרוסקופ אופטי מקטב מסוג Nikon.

הניתוח הפטרוגרפי של יחידות הכורכר התמקד בגרגרים ובצמנט. בגרגרים בוצע זיהוי מינרלוגי על פי תכונות אופטיות, נבדקה התפלגות גודל הגרגרים ודרגת המיון וכן מידת הכדוריות והעיגוליות. הפרמטרים הללו הוערכו בצורה חצי כמותית על ידי השוואה ויזואלית בין השקף לבין איורים מתוך Swanson (1981). כמו כן בוצעה הערכה לגבי מידת השתמרותם של הגרגרים הביוקלסטיים. בצמנט נבחנה המינרלוגיה והסטרוקטורה. נבדקו שרידי סטרוקטורות ראשוניות, דורות של צמנטציה ומידת מילוי החללים.

ביחידות הקרקע בוצע ניתוח על פי פרמטרים מיקרומורפולוגיים של הקרקע. נבדקו:

- השלד (Skeleton): זיהוי מינרלוגי, התפלגות גודל גרגר ודרגת מיון, מידת עיגוליות וכדוריות ומגע בין הגרגרים. גם כאן ההערכות בוצעו בצורה חצי כמותית.
- פלסמה: צבע, מבנה, הרכב מינרלוגי והמצאות תצבירים.
- החללים: צורה, מגע ומבנה.

כמו כן, הוערכו היחסים בין גרגרי השלד, הפלסמה והחללים. הניתוח המיקרומורפולוגי של הקרקעות נעשה על פי Brewer (1964) ו- Bullock et al (1985).

2.4. בדיקת ריכוז CaCO_3

בדיקת אחוז CaCO_3 בוצעה בדוגמאות שנאספו לצורך תיארוך. בדוגמאות נבדק אחוז ה- Ca ומתוך התוצאות חושבו ערכי הקרבונט. הדוגמאות נטחנו והומסו בחומצה HCl בריכוז 7% על מנת לוודא שמקור ה- Ca הוא מהקלציום קרבונט בלבד.

2.5. תיארוך

תיארוך היחידות נעשה בשיטת הלומינסנציה. התיארוך בשיטה זו (Aitken, 1990) מתבסס על תופעה הניצפית במינרלים מסוימים כגון קוורץ ופלדספריס. במינרלים הללו מצטברים אלקטרונים בפגמים במבנה הגביש כתוצאה מחשיפתם לקרינה מיננת הניפלטת מיסודות רדיואקטיביים הנמצאים בכמויות זעירות בסביבה. כתוצאה מחימום או חשיפה לאור חוזרים האלקטרונים הלכודים למצבם המקורי בגביש, תוך כדי פליטה של קרינה באור הנראה הניתנת למדידה במעבדה. הקרינה הניפלטת כתוצאה מחזרת האלקטרונים למצבם המקורי קרויה סיגנל TL או OSL כפי שיפורט בהמשך. הסיגנל מתאפס באופן טבעי כתוצאה משריפה או חשיפה לאור שמש ומצטבר החל מהאיפוס. עוצמת הסיגנל פרופורציונלית לזמן שחלף מאז האיפוס הטבעי ולשטף הקרינה הרדיואקטיבית בסביבת הדוגמא. כשמדובר בסדימנטים, עוצמת הסיגנל מתעדת בעצם את גיל קבורתם. במעבדה ניתן כאמור למדוד את עוצמת הסיגנל ולחשב את הזמן שעבר מאז האיפוס הטבעי של המינרל שנבדק. מדידת עוצמת הסיגנל נעשית על ידי עירור (Stimulation) המינרל הניבדק. בעירור בחום הסיגנל הנמדד הוא סיגנל TL (Thermoluminescence), ובעירור באור הסיגנל הנמדד הוא סיגנל OSL (Optically Stimulated Luminescence) (Wintle, 1993). TL היא השיטה שפותחה ראשונה ולכן עד היום נעשה בה שימוש רב יותר (Singhvi et al, 1982). סיגנל ה - TL מתאפס כתוצאה מחימום וכתוצאה מחשיפה לאור שמש אך דרושות לו שעות חשיפה רבות לשמש על מנת להתאפס וגם לאחר מכן נשאר סיגנל שאריתי בעוצמה המשתנה מדוגמא לדוגמא, שאינו מתאפס. שיטת ה - OSL פותחה בשנים האחרונות. בשיטה זו, במקום לחמם את הדוגמא, מאירים עליה אור בעוצמה גדולה ובאורך גל (צבע) מוגדר (Aitken, 1994). כל מינרל מעורר באורך גל מסוים ופולט קרינה באורך גל אחר. יתרונותיה של שיטה זו הן בכך שהסיגנל מתאפס בשמש תוך מספר דקות ולא נישאר סיגנל שאריתי. כך ניתן לתארך סדימנטים שנחשפו לשמש לזמן קצר והגיל המינימלי למדידה ירד לאלפי שנה בודדים. קביעת הגיל מתבצעת על פי אותו העיקרון בשתי השיטות - TL ו - OSL. בבדיקה במעבדה מקרינים על הדוגמא קרינה מייננת ממקור β או γ במנות שונות ידועות. לאחר ההקרנה מודדים את עוצמת הסיגנל שנוצר כתוצאה מההקרנה. עוצמות הסיגנל השונות שנוצרו מההקרנות השונות יוצרות את ה - DRC - Dose Response Curve.

לקביעת הגיל דרושים שני נתונים: 1. כמות הקרינה המצטברת (De - Equivalent dose). ה - De מחושב על ידי אקסטרפולציה של ה - DRC.

2. שטף הקרינה הסביבתי (d) שמקורו בקרינה רדיואקטיבית הנפלטת מהיסודות U, Th ו - K תוך כדי דעיכתם, בתוספת קרינה קוסמית.

הגיל נקבע על ידי היחס בין שני הנתונים הללו.

השיטה הרווחת למדידת סיגל ה-TL היא Multiple disk. בשיטה זו מכינים מספר רב של דיסקיות הנושאות מספר מיליגרמים מכל דוגמא ומקרינים עליהן קרינה מייננת ממקור מלאכותי במנות שונות. לאחר ההקרנה נמדדת ונרשמת עוצמתו של סיגל ה-TL. מתוך התוצאות נוצר ה-DRC (איור 5). סיגל שאריתי עבור מדידות ה-TL (Residual) מתקבל כתוצאה מחשיפת הדוגמא לשמש ל-8 שעות לפחות. ה-De מחושב על ידי אקסטרפולציה של גרף ה-DRC לאחר הפחתת הסיגל השאריתי. חסרונות שיטת ה-Multiple disk הן שפיזור התוצאות גדול מאחר וכל הקרנה ומדידה נעשית לדיסקית שונה, ולכן, נדרש לנרמל את התוצאות. בעיה זו מחמירה ככל שהדוגמא הנמדדת פחות הומוגנית. לצורך מדידות בשיטה הזו נדרשות כמויות רבות של חומר מהדוגמא.

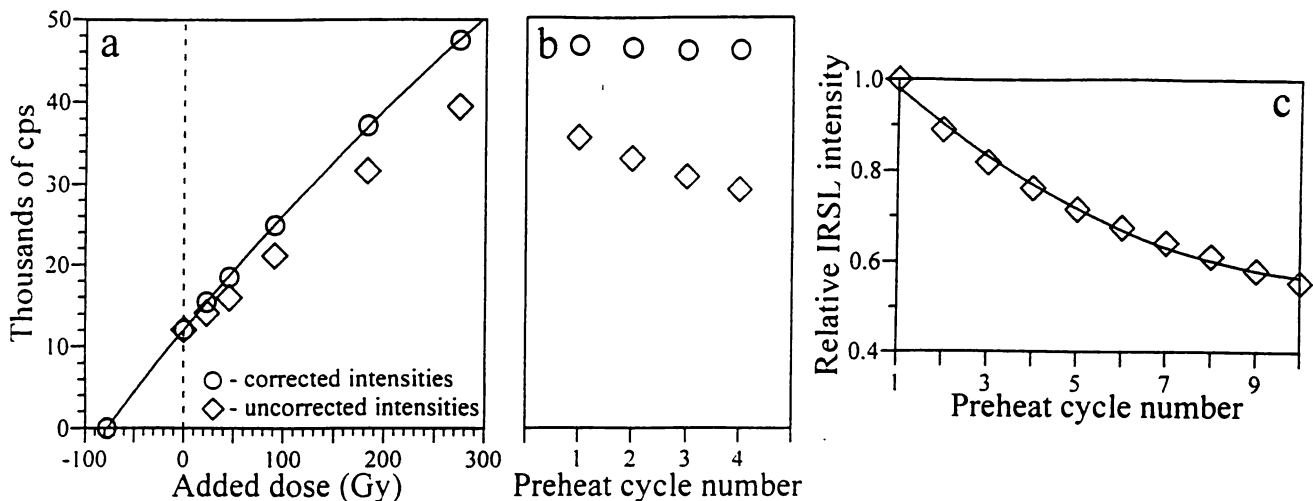
עם גילוי סיגל ה-OSL (Huntley et al, 1985) התאפשר ביצוע של כל המדידות על אותה דיסקית כיון שהמדידה לזמן הקצר אינה פוגעת כמעט בסיגל הנמדד, שלא כמו במדידת ה-TL בה החימום מאפס את הסיגל תוך כדי מדידה. כך התאפשר פיתוח שיטת ה-Single disk - ביצוע מדידות רבות על אותה דיסקית הנושאת את הדוגמא ומשמשת למדידה (שיטה זו תפורט בהמשך). גם הדיוק בקביעת ה-De רב יותר.

בעבודה זו נעשה שימוש בשיטה הזו כשהסיגל שנמדד הוא סיגל ה-IR (Infrared). סיגל זה נגרם כתוצאה מעירור פלדספרים בדוגמאות בקרינת IR באורך גל 880 nm. מדידה זו המכונה IRSL (Infrared Stimulated luminescence), יעילה רק לגבי פלדספרים. שאר המינרלים אינם מגיבים לקרינת IR. מדידת קצרה של סיגל ה-IRSL אינה מאפסת את סיגל ה-TL וכך ניתן לבצע מדידות TL על אותן דוגמאות שנימדדו בהן סיגל IRSL. כמו כן זמן המדידה קצר מאד, 0.5 שניה, בלא שיגרע יותר מאחוז אחד מהסיגל בזמן מדידה אחת. יתרונותיה של שיטה זו הינם (Duller, 1991, 1994):

- א. לא צריך לבצע נירמול בין הדיסקיות שכן כל המדידות מתבצעות על אותה דיסקית.
- ב. צמצום ההבדלים ב-De בין הדיסקיות השונות הנובעים מחוסר הומוגניות בדוגמא.
- ג. מעט חומר הדרוש למדידה.

בפרוצדורה זו, ה-DRC נוצר בנפרד עבור כל דיסקית שמקבלת מנות קרינה שונות ההולכות וגדלות (Added Dose). בדרך כלל מכינים 6 דיסקיות וה-De הנקבע הוא ממוצע ביניהן. לפני כל מדידה הדוגמא עוברת Preheat, חימום של 10 דקות ב-220°C, על מנת להבטיח שרק סיגל יציב ימדד. לאחר כל הקרנה וחימום סיגל ה-IRSL נמדד. מתבצעות לפחות שש מדידות ועוד ארבע נקודות תיקון בהן לא מוגדלת כמות הקרינה. כתוצאה מהקרנת הדוגמאות בעת המדידות וכן כתוצאה מה-Preheat בין המדידות, אובד חלק מהסיגל היציב, לכן חיוני לתקן את התוצאות. אבדן זה ניתן לחישוב (Duller, 1991). התיקון נעשה על ידי ביצוע Preheat Calibration בשש דיסקיות נוספות שמכינים מהדוגמא הנמדדת. בדיסקיות אלו לא מתבצעת הקרנה בקרינה רדיואקטיבית אלא רק Preheat. לאחר כל Preheat מתבצעת מדידה של הסיגל כאשר חוזרים על שלבים אלה עשר פעמים. מתקבלים ששה עקומי דעיכה שהממוצע ביניהם משמש

לחישוב אבדן הסיגנל שהוזכר לעיל. שתי אינדיקציות מצביעות על יעילות התיקון. האחת היא צורת עקום הדעיכה ומידת הפיזור של ששת הגרפים זה מזה. השניה היא מידת הקירבה של עוצמת הסיגנלים בארבע נקודות התיקון על גבי גרף ה- DRC (ארבע הנקודות האחרונות על גרף ה- DRC שבהן לא היתה תוספת קרינה). ארבע הנקודות הללו אמורות להיות קרובות מאד זו לזו לאחר התיקון. באיורים 5א, 5ב ו- 5ג מופיעים גרף תיקון וה- DRC לפני תיקון ואחרי התיקון.



איור 5: DRC לפני תיקון ואחרי תיקון ועקום דעיכה לדוגמא ml-d-1. a. DRC מקורי ומתוקן של דיסקית אחת עם שש נקודות של מנות קרינה שונות. התיקון נעשה על ידי הוספת עוצמות הקרינה המתאימות לכל נקודה לפי עקום הדעיכה (c). ה- De נקבע על ידי אקסטרפולציה של ה- DRC לאחר תיקון לציר ה- X. $(78.3 \pm 2 \text{ Gy} = De)$. b. 4 נקודות בהן בוצעה מדידת סיגנל IRSL ללא תוספת קרינה, לפני ואחרי תיקון. c. עקום דעיכה המשמש לתיקון. עקום הדעיכה מתקבל כתוצאה ממדידת סיגנל IRSL עשר פעמים בשש דיסקיות שלא מוקרנות במנות שונות אלא עוברות רק Preheat. כך ניתן לקבל את אובדן הקרינה הנגרם כתוצאה מה- Preheat ומהמדידות. את ממוצע אובדן הקרינה משש הדיסקיות בכל נקודה יש להוסיף לכל נקודה בהתאמה ב- DRC. לאחר התיקון, ל- 4 הנקודות האחרונות (b) תהיה עוצמת סיגנל קרובה לנקודה האחרונה באיור a.

2.5.1. הטיפול בדוגמאות

הסיגנלים שנמדדו במעבדה הם TL ו- IRSL שמתאפסים באור שמש ולכן כל הטיפול

בדוגמאות נעשה באור כתום עמום.

דגימה בשדה - מכל יחידה נלקחו מספר דגימות. (איור 4). מכל דוגמא נלקחו כחצי קילוגרם חומר לשקית אטומה לתיארוך וכחצי קילוגרם חומר לשקית שקופה לאנליזות כימיות ומדידת לחות. השקיות נאטמו היטב. הדגימה בוצעה על ידי קידוח או חפירה בתוך היחידה לעומק של 1-1/2 מטר. הקידוח ואיסוף החומר בוצעו מתחת ליריעת פלסטיק שחורה על מנת לצמצם ככל האפשר את חשיפת הדוגמא לאור. בשדה בוצעה גם מדידת קרינת γ על ידי מונה γ מסוג "Rotem 11" כפי שיפורט בהמשך.

הכנת הדוגמאות לתיארוך - כל הדוגמאות עברו ניפוי דרך נפה בקוטר $250\mu\text{m}$ ודרך נפה בקוטר $125\mu\text{m}$ כך שהמשך העבודה היה על חומר שגודלו הוא בין $125\mu\text{m}$ ל- $250\mu\text{m}$. כל הדוגמאות עברו השרייה ללילה ב- HCl בריכוז 9% על מנת להמיס את הקרבונט ולאחר מכן השרייה במי חמצן H_2O_2 בריכוז 32% וחימום על מנת לחמצן את החומר האורגני. לאחר שטיפה וייבוש עברו הדוגמאות ניפוי נוסף בסט נפות $125-250\mu\text{m}$ במרווחים של $1/4\phi$. המשך העבודה מכאן התבצע בפרקציה, $177-210\mu\text{m}$, שזוהי הפרקציה השכיחה ברב הדוגמאות. נעשה בה שימוש בכל הדוגמאות על מנת לשמור על אחידות. הפרקציה הנבחרת עברה שוב השרייה ב- HCl בריכוז של 1:2 וחימום על פלטה במשך 30 דקות על מנת להסיר תחמוצות ברזל. 40 גרם מכל דוגמא עברו הפרדה בנוזל כבד Sodium Polytungstate על מנת להפריד את הפלדספרים ששימשו במדידות, מהקוורץ. בשלב ראשון הופרדו הקוורץ והפלגיוקלו הקלצי משאר הפלדספרים בנוזל שצפיפותו 2.62 גרם/סמ"ק. בשלב השני הופרדו הפלדספרים האשלגניים מיתר הפלדספרים בנוזל שצפיפותו 2.58 גרם/סמ"ק. המשך העבודה מכאן התבצע על מינרלי האלקלי פלדספר שצפיפותם פחות מ- 2.58 גרם/סמ"ק.

מכל דוגמא הוכנו 12 דיסקיות אלומיניום נושאות שכבה דקה בעלת עובי של גרגר אחד. הצמדת הגרגרים לדיסקית נעשתה בעזרת Silcospray.

מדידות - המדידות בוצעו במכשיר מסוג Risø DA-12 וההקרנה עם מקור ^{90}Sr . כיול המכשיר נעשה על ידי שימוש בסטנדרטים שהוקרנו במנות קרינה ממקור מכויל בדנמרק (Porat and Halicz, 1996).

הפילטרים בהם נעשה שימוש במדידות היו BG-39 בעובי 2 מילימטר מתוצרת Schott ו- 7-59, בעובי 3 מילימטר מתוצרת Corning. שש מהדיסקיות שהוכנו שמשו לביצוע מדידות בשיטת ה- Single disc ושש לביצוע Preheat calibration. מכל דוגמא הוכנה דיסקית אחת נוספת לביצוע מדידה ראשונית של סיגנל ה- TL וה- IRSL על מנת לבדוק שהדוגמא מתנהגת בסדר באופן כללי, להעריך אילו מנות קרינה יש להקרין במהלך המדידות ולבחון אם יהיה צורך בפילטר Neutral density. הרצת הבדיקה נעשת בתוכנת TOL613 שנכתבה בידי G.Duller.

מאחר ובדוגמאות היה מספיק אלקלי פלדספר והן צעירות יחסית, השתמשנו בשיטת ה - Single disc Added dose שהיא כאמור מהירה ומדויקת יותר. התוכנה שמשמשת למדידה הינה תוכנת SINGLE שנכתבה בידי G.Duller.

- עוצמת הקרינה שנתנה לדוגמאות היתה בערך פי 3 מה - De הצפוי על פי עבודות קודמות (Porat and Wintle, 1994) על מנת לקבל אקסטרפולציה טובה ב - DRC.
- עיבוד הנתונים נעשה בתוכנות: 1. QuatroPro - תוכנת גיליון נתונים ששימשה לעיבוד תוצאות ה - Preheat calibration ויצירת עקומי דעיכת הסיגנל. עיבוד הנתונים בשלב זה מתבצע על מנת לבדוק את איכות התיקון.
2. CLEANUP - תוכנה ביתית שמיצרת את קובץ התיקון הדרוש לתיקון ה - DRC. מתוך תוצאות ה - Preheat calibration נוצר קובץ המשמש לתיקון קבצי ה - Added dose. התוכנה נכתבה בידי G.Duller.
3. FIT-SIM - תוכנה ביתית היוצרת את ה - DRC ומחשבת את ה - De לאחר התיקון. נכתבה בידי R. Grun.

שטפי הקרינה:

שטפי קרינת γ + קרינה קוסמית נמדדו בשדה על ידי מונה γ מסוג "Rotem 11". המונה כויל בקיץ 1995 ומידי פעם מבוצעת בדיקה בבולק כויל במכון הגיאולוגי על מנת לעקוב אחר יציבות הגביש ולבדוק שלא חלו שינויים משמעותיים מהמדידה בבדיקה הקודמת (Porat and Halicz, 1996) קריאת ה - γ מהשדה תורגמה ליחידות של שטפי קרינה.

שטפי קרינת α ו - β חושבו מתוך מדידת ריכוזי U, Th, ו - K בסדימנטים שנדגמו לאנליזות כימיות יובשו ונטחנו. כמו כן נמדד ריכוז K מתוך פרקצית ה - אלקלי פלדספר שהופרדה לצורך תיארוך. ריכוז ה - K נמדד במכשיר Atomic Absorption Spectrometry (AAS) במכון הגיאולוגי. ריכוזי U ו - Th נמדדו אף הם במכון הגיאולוגי במכשיר מסוג - Inductivity Coupled Plasms Mass Spectrometer (ICP-MS) Perkin Elmer Scier 400 המכשירים כוילו על ידי הרצת סטנדרטים בינלאומיים (Porat and Halicz, 1996).

תכולת מים בסדימנט נמדדה באחוזים (משקל מים/משקל סדימנט רטוב). הדגימה בוצעה בתחילת חודש מרץ והדוגמאות היו לחות מהגשמים. ההנחה היא שמידת הלחות הזו מייצגת למדי את הלחות במשך רב זמן הקבורה הגיאולוגי, בעומק שבו מבוצעת הדגימה. השפעת הבדלים בלחות הקרקע בערכים שבין 2% ל - 15% על שטף הקרינה הסביבתי השנתי ועל הגיל המתקבל, היא 10% לערך.

מדידות קרינת ה - γ בוצעה כאמור בשדה והיא כללה מרכיב של קרינה קוסמית המתאים לעומק ממנה נלקחה הדוגמא. אך היה צורך להביא בחשבון שעומק הקבורה בזמן המדידה אינו שווה לעומק הקבורה הגיאולוגי של הדוגמא. המצוק חשוף לאירוזיה תמידית והשיפוע שלו מתמתן כל הזמן כך שבדוגמאות העתיקות ההפרש בין עומק הקבורה הגיאולוגי לעומק הקבורה בזמן

המדידה הגיע ל - 15 מטר ויותר. לכן היה צורך לתקן את ערכי הקרינה הקוסמית על פי הנוסחה
 אצל Prescott and Hutton (1988) ולהביא בחשבון את עומק הקבורה שהיה במשך רב הזמן
 הגיאולוגי. הערכים המדודים מהשדה תוקנו על ידי חיסור ההפרש בין הקרינה הקוסמית על פי
 עומק הקבורה היום לבין הקרינה הקוסמית על פי עומק הקבורה הגיאולוגי. הערכים המתוקנים,
 המדודים מהשדה, הושו עם ערכים שהתקבלו מחישוב שטפי ה - γ מריכוז היסודות
 הרדיואקטיביים + ערכי הקרינה הקוסמית שחושבה על פי עומק הקבורה הגיאולוגי. ההשוואה
 מראה הבדלים גדולים יותר בין שני הערכים הללו ביחידות בג המצוק. גיל היחידות חושב גם על
 ידי ערכי הקרינה שנמדדה בשדה וגם על ידי ערכי הקרינה שחושבה מתוך ריכוז היסודות
 הרדיואקטיביים. ההפרש בין הגילים שהתקבלו בשתי שיטות החישוב השונות לא עלה על 10%
 באף אחת מהיחידות הסטרטיגרפיות. הגיל המוצג בעבודה זו כתוצאה סופית, הינו על פי הערכים
 המחושבים מתוך היסודות הרדיואקטיביים וקרינה קוסמית על פי זמן קבורה גיאולוגי.
מדידות וניסויים נוספים שבוצעו:

א. Multiple disk - בדוגמאות עתיקות כאשר גרף ה - DRC כבר אינו לינארי, קיימים ספקות לגבי
 יעילות התיקונים של ה - Preheat calibration. לכן מבוצעת מדידה זו על מנת לבדוק את
 אמינות תוצאות שיטת ה - Single disk. בשיטת ה - Multiple disk נעשה שימוש רב יותר בעבר
 והיא נחשבת לאמינה. הליך זה בוצע רק בדוגמא העתיקה ביותר, ml-d-1, מבסיס כורכר רמת -
 גן.

מהלך העבודה:

1. הוכנו 48 דיסקיות. (בשש דיסקיות לא בוצע שום טיפול והן הוכנו למקרה הצורך בלבד).
 2. לכל הדיסקיות בוצע Shortshine - מדידת הסיגנל האופטי 0.1 שניה ב - 50°C . סיגנל זה
 שימש לנירמול סיגנל ה - IRSL.
 3. 30 דיסקיות הוקרנו במנות קרינה שונות, לכל 6 דיסקיות אותה מנת קרינה. מנת קרינה
 המקסימלית היתה 12000 שניות שהם 274 Gy. 8 דיסקיות טבעיות לא הוקרנו.
 4. 4 דיסקיות נחשפו לשמש ל- 8 שעות.
 5. Preheat - כל הדיסקיות עברו חימום ב - 220°C ל - 10 דקות.
 6. סיגנל ה - TL + IRSL נמדד.
 7. Second glow - הדיסקיות הוקרנו לזמן קצר (7 Gy) ונמדד הסיגנל שנוצר ששימש
 לנירמול עבור סיגנל TL.
- בין השלבים השונים עברו לפחות 24 שעות. עיבוד הנתונים נעשה בתוכנת ANALYSE שנכתבה בידי
 G.Duller.
- ב. נסויים של איפוס הסיגנל על ידי חשיפה לאור שמש - Bleaching - מדידה זו מיועדת לבדוק את
 קצב דעיכת הסיגנל באור השמש. הדוגמא ששימשה למדידה זו היתה ml-d-1 מכורכר רמת גן.
 הוכנו 24 דיסקיות וכל 3 דיסקיות נחשפו לשמש בזמנים שונים באופן מצטבר מדקה ועד 8 שעות.
 3 דיסקיות שימשו כקבוצת ביקורת ללא חשיפה לשמש. לפני החשיפה לשמש עברו כל הדיסקיות

Shortshine - מדידה של 0.1 שניה ב- 50°C חשיפה לקרינת IR. לאחר החשיפה לשמש נמדדו סיגנל IRSL ל- 0.5 שניות ולאחר מכן סיגנל ה-TL.

ג. Anomalous Fading - בדיקה נוספת שמטרתה למדוד את מידת יציבותו של סיגנל מלאכותי המתקבל במעבדה כתוצאה מהקרנות בקרינת β לעומת סיגנל טבעי. הבדיקה בוצעה אף היא לדוגמא ml-d-1 מכורכר רמת גן. הוכנו 8 דיסקיות כאשר 4 שימשו לביקורת ו- 4 דיסקיות נחשפו לשמש ל- 8 שעות. לאחר 24 שעות הוקרנו הדיסקיות שנחשפו לשמש במנת קרינה בעוצמה דומה ל- De שהתקבל בדוגמא זו - 78.8Gy. לאחר 24 שעות נוספות בוצע preheat ל- 10 דקות ב- 220°C לכל הדיסקיות ומיד לאחר מכן נמדד סיגנל IRSL 0.1 שניה ב- 50°C . מדידות נוספות של הסיגנל בוצעו לאחר עוד 10 ימים, לאחר עוד 20 יום ולאחר שבוע נוסף. כל דיסקית נורמלה לעוצמה של ה- Shortshine. ממוצע חושב עבור נקודות הבקרה. כמות הסיגנל (ב- %), שאבדה בדיסקיות הבקרה כתוצאה מהמדידה, הוספה לדיסקיות הנבדקות כאשר בכל נקודת זמן הוספה הכמות המצטברת של הסיגנל החסר בקבוצת הביקורת.

ד. מדידת הסיגנל השאירתי הטבעי - דוגמאות ml-d-1, העתיקה ביותר, ו- ml-d-13, הצעירה ביותר, נחשפו לשמש ל- 8 שעות ולאחר מכן נמדד סיגנל ה- IRSL על מנת לבדוק את מידת איפוס הסיגנל באור שמש. התוצאה שהתקבלה מהווה את גיל האפס לצורך השוואה ותיקון (במידת הצורך) את תוצאות התיארוך.

ה. שתי דוגמאות רצנטיות שהיו חשופות לשמש נלקחו עבור השוואה ומדידת "גיל ההווה". ml-d-a נלקחה מהחול החשוף על שפת הים בתחתית המצוק באזור הדגימה בגעש. ml-d-b נלקחה מחולות דיונה פעילה באזור התעשייה בראשון לציון. הטיפול שעברו הדוגמאות היה זהה לזה של הדוגמאות העתיקות.

3. תוצאות

מאפייני היחידות הסטרטיגרפיות בשדה, תוצאות האנליזה הגרנולומטרית, התיארוך, האנליזה הפטרוגרפית ובדיקת אחוז הקרבונט מובאות להלן על פי סדר הופעת היחידות בחתך (איור 4) וכן מוצגות באיור 6 על פי הסדר הסטרטיגרפי של היחידה בחתך. האתר הנבחר כחתך מייצג בו מופיעות כל היחידות במצב השתמרות מניח את הדעת הוא מצוק החוף צפונית לגעש נ.צ. 1337-1837 (איור 3). נקודות הציון המצוינות בחלק מן היחידות (איור 4) תוחמות את האתרים המדויקים מהם נלקחו הדוגמאות לצורך בדיקה במעבדה. היהלומים מציינים את מיקום הדגימות לתיארוך בחתך. כפי שתואר בהקדמה, עובי היחידות משתנה ממקום למקום והעובי המצוין בחתך לגבי כל יחידה, מתייחס לעובי באזור הדגימה בלבד. צבע היחידות הוגדר בעזרת טבלת הצבעים של Monsell בדוגמאות יבשות מהשדה. תוצאות הגרנולומטריה, (טבלה 2), מובאות לפי קריטריונים סטנדרטיים - חול $< 63\mu\text{m}$, סילט $63\mu\text{m} - 2\mu\text{m}$, חרסית $> 2\mu\text{m}$. כמו כן מוצג השכיח של כל מקטעי הגודל הללו ומפורטות אוכלוסיות שנמצאו ביחידות שגבולותיהן אינם לפי הסטנדרטים שמצויים בספרות. תוצאות הגילים מובאות באיור 7. כל תוצאה היא ממוצע של מספר מדידות. השגיאה נובעת מכל השגיאות של כל הפרמטרים הנכנסים לחישוב הגיל כגון תכולת מים וריכוזי יסודות רדיואקטיביים וכן נותנים ביטוי להטרוגניות של הדוגמא. האיורים והתמונות מובאים ברצף בסוף פרק תוצאות.

3.1 כורכר רמת גן

נ.צ. 13370-18371.

מאפייני היחידה בשדה - (תמונות 3-5), עובי - 7 מטרים. (משתנה מאד באזור החתך ממטר אחד ליותר מעשרה מטרים. העובי המצוין כאן הוא מאזור הדגימה בלבד). גובה - 1-7 מטרים מעל פני הים. חול דק ממין. היחידה מאופינת בחילופין של שכבות מלוכדות ובלתי מלוכדות. ביחידה נראה שיכוב צולב בולט (תמונה 4). עוביין של הפלטות המלוכדות נע בין 2 ל - 5 סנטימטרים. בגג היחידה מצויה שיכבת מעבר בין כורכר רמת גן לנחשולים (תמונה 5) המאופינת בריבוי ריזוליטים (תמונות 5-7), שברי חלזונות ותרכיזי גיר במטריקס של חול. ואין בה שיכוב צולב. שיכבת המעבר יוצרת דרגש בולט בנוף ועוביה כ - 2 מטרים.

פטרורפיה - (תמונות 15-16), גרגרי השלד מהווים כ - 50% מהשלד. הגרגרים רחוקים יחסית זה מזה ואין מגע ביניהם. בין 70% ל - 80% מגרגרי השלד הינם גרגרי קוורץ בגודל $150-300\mu\text{m}$ ממוינים היטב, בדרגת עיגוליות וכדוריות בינונית. שאר המינרלים הם הורנבלנדה, גלאוקוניט, פלדספרים ומינרלים כבדים. כמותו היחסית של כל אחד מהם פחות מ - 5%. גרגרי קלציט וביוקלסטים נמצאים בכמויות שבין 5% ל - יותר מ - 10%. רב הביוקלסטים בדרגת השתמרות גרועה וקשה לזהות את צורתם המקורית. גרגרי הקלציט והביוקלסטים הם בגודל שנע בין 500 ל - $1000\mu\text{m}$ מקצתם אף יותר. דרגת העיגוליות והכדוריות שלהם גבוהה משל הקוורץ, למרות שניתן גם למצוא ביוקלסטים מאורכים בעיקר בגג היחידה. בין הביוקלסטים הימיים ניתן לזהות,

למרות ההמסה החלקית שעברו, שרידי קיפודי ים, מלילידיים ואצות. כמו כן מצויים ביחידה שרידי שורשים.

חללים - בחלק התחתון והאמצעי של היחידה מוצאים מעט חללים, לרובם צורה גטיבית של גרגרים ואין קשר ביניהם. בגג היחידה יש יותר חללים, עד 30%. צמנט - ספארי בעיקרו, ממלא את החללים בין הגרגרים בעיקר בחלק התחתון של היחידה אך קיים גם צמנט מיקריטי שמצפה גרגרים. ניתן גם למצוא צמנט מיקריטי שמצפה חללים ומעיד על נוכחות של שורשים בעבר. הצמנט הדק גרגר בגג היחידה מעיד על ניאומורפיזם ואופיני למעבר בין סלע לקרקע.

גרנולומטריה - (איורים 8א', ו - 8ב'). התפלגות הגרגרים לפי קריטריונים סטנדרטיים היא כדלהלן:

חול - 91%, שכיח - $155\mu\text{m}$

סילט - 7%, שכיח - $20\mu\text{m}$

חרסית - 2%, שכיח - $0.45\mu\text{m}$

ארבע אוכלוסיות זוהו ביחידה זו: $0.1-1\mu\text{m}$, $1-8\mu\text{m}$, $8-40\mu\text{m}$, $40-400\mu\text{m}$

אחוז CaCO_3 - $19.45\% \pm 1.0\%$

גיל - (איור 7) שני גילים התקבלו מיחידה זו - בסיס - 57800 ± 2600 שנה.

גג - 57100 ± 2900 שנה.

3.2 נחשולים

נצ בגג היחידה - 13371-18371.

מאפני היחידה בשדה - (תמונות 3 ו - 8), עובי כ - 5 מטרים. גובה - 7-12 מטר מעל פני הים.

צבע - Brown - Dull Yellowish Brown 7.5 YR 4/4 - 7.5 YR 5/3.

חול דק ממוין היטב מלוכד בסילט וחרסית. ביחידה נמצאו שברי חלזונות, שרידי עצמות יונקים, תרכיזי גיר ומעט ריזוליטים.

פטרוגרפיה - (תמונה 17-19), שלד - הגרגרים מהווים כ - 50% ולעיתים פחות. 85% מהגרגרים הם גרגרי קוורץ בגדלים שבין 100 ל - $250\mu\text{m}$ ממוינים היטב בדרגת עיגוליות בינונית עד נמוכה ודרגת כדוריות נמוכה. המינרלים הנוספים הם פלדספרים, גלאוקוניט ומינרלים כבדים הנמצאים בכמויות קטנות. הורנבלנדה מצוי ביחידה זו בכמות רבה יותר מהנצפה ביחידות האחרות המרכיבות את החתך. ביוקלסטים יבשתיים וימיים בכמות לא רבה - 5-10%. רב הביוקלסטים הם ממקור יבשתי וחלקם לא עברו החלפה והם עדיין ארגוניטים. מוצאים בין הביוקלסטים היבשתיים שבלולים, ובין הימיים, שברי קונכיות, פורמינפרה ואצות. הביוקלסטים גדולים יחסית וחלקם מגיע למספר מילימטרים.

הגרגרים קרובים זה לזה לעיתים עד כדי מגע. בגג היחידה הגרגרים רחוקים יותר זה מזה, יש פחות חללים ואין קשר בין החללים. הגרגרים עטופים על ידי ציפוי חרסית, שמאפיין התפתחות קרקע.

פלסמה - חומה צהובה מכילה מינרלי חרסית נקיים ומיקרוקלציטים ביחס של 1:1 בערך. המבנה הוא Calciaccepic שמשמעותו הימצאות גבישי גיר קטנטנים שמעורבים עם גרגרי חרסית ויוצרים מסה הומוגנית שמהווה את הפלסמה. מבנה זה אופיני לקרקעות שבנויות מחומר אב סילטי או חולי סילטי. הפלסמה עוטפת את הגרגרים ויוצרת "גשרים" ביניהם. המיקרוקלציטים מעידים על קלציט ממקור איאולי ביחידה, אחרת הם היו מצטברים כמיקרוספארים. ניתן למצוא בשקפים תצבירים גיריים ששקעו (Orthic Carbonate Nodule) Insitu ורואים זאת על ידי המעבר ההדרגתי ביניהם לבין הפלסמה וכן על ידי זיהוי מרכיבי השלד בתצביר. כלומר, מרכיבי הפלסמה, המיקרוקלציטים, זהים בגודלם ובסוגיהם למרכיבי התצבירים הגיריים. תופעה זו הינה עדות לתהליך פדוגני. כמו כן מוצאים גם הצטברויות גיר בצורת מחטים וסיבים. אופן הציפוי - Coating - סביב הגרגרים מעיד על אילוביציה בולטת.

חללים - החללים הם בצורת גרגרים ומצויים בין גרגרי החול - (Packing Voids) בשילוב עם חללים בעלי צורת גרגרים אך מחוברים ביניהם (Interconnected Voids). ניתן גם למצוא בשקפים ציפוי חרסיתי סביב חללים - אריזה הקרויה - Vosepic. הסידור היחסי הוא כזה שהגרגרים עטופים על ידי ציפוי חרסיתי היוצר גם גשרים ביניהם ובין הגרגרים מצויים החללים. מבנה כזה מכונה Intertextic Fabric. אחוז החללים נע בין 10% ל- 50% בחלקים מסוימים של חלק מהשקפים.

גרנולומטריה - (איורים 9א, ו - 9ב). התפלגות הגרגרים לפי קריטריונים סטנדרטיים היא כדלהלן:

חול - 78%, שכיח - $155\mu\text{m}$

סילט - 19%, שכיח סילט גס - $20\mu\text{m}$, שכיח סילט דק - $5\mu\text{m}$

חרסית - 3%, שכיח - $0.45\mu\text{m}$

שלוש אוכלוסיות זוהו ביחידה זו: $0.1-1\mu\text{m}$, $1-45\mu\text{m}$, $45-350\mu\text{m}$

אחוז CaCO_3 - $16.7\% \pm 6.4\%$

גיל - (איור 7) שלושה גילים התקבלו מיחידה זו - בסיס - 57400 ± 2800 שנה.

אמצע - 53100 ± 3800 שנה.

גג - 49700 ± 2500 שנה.

3.3 כורכר דור

נצ בסיס היחידה - 13371-18374.

מאפייני היחידה בשדה - (תמונה 3, ו - 9) עובי - כ - 13 מטרים. גובה - 12-25 מטר מעל פני הים.

צבע - Dull Yellow Orange - 10YR8/3 Light Yellow Orange - 10YR4/4.

היחידה מורכבת מחול דק מלוכד בקרבוט ומאופינת בשיכוב דק (תמונה 9). הפלטות המלוכדות הן בעובי של מילימטרים ספורים עד סנטימטרים בודדים במטריקס של חול לא מלוכד. בחלקה העליון של היחידה נמצאו ריזוליטים.

פטרורגריה - (תמונה 20), גרגרי השלד מהווים כ 40% - 30% מהסלע. כ - 85% מהגרגרים הינם גרגרי קוורץ. גודלם של מרבית גרגרי הקוורץ נע בין 100 ל - $250\mu\text{m}$, עם עיגוליות נמוכה עד בינונית וכדוריות נמוכה. מינרלים אחרים המרכיבים את גרגרי השלד הם הורנבלנדה, פלדספריס וגלאוקוניט שכמות כל אחד מהם היא פחות מ - 5%, ומינרלים כבדים שגודלם קטן מאד והם מצויים בכמות קטנה מאד. ביוקלסטים בדרגות השתמרות שונות מצויים בכמויות משתנות שנעות בין פחות מ - 5% בתחתית היחידה ליותר מ - 10% בחלקה העליון של היחידה. בין הביוקלסטים נמצאו שרידי אצות קורליניות, שרידי פורמינפרה ומילולידיים אחרים. בגג היחידה הביוקלסטים בדרגות השתמרות גבוהה יותר מאשר בתחתית. בתחתית היחידה גרגרי השלד אינם קרובים זה לזה ואין מגע ביניהם. בגג היחידה הגרגרים קרובים הרבה יותר עד כדי מגע לעיתים. הצמנט הוא קלציטי ספארי ומיקרוספארי שממלא חללים. בבסיס היחידה הוא מהווה כ - 50% - 40% מהסלע. בגג היחידה מוצאים פחות צמנט ויותר חללים. בתחתית היחידה אין כמעט חללים, 20% - 10%, ואין קשרים ביניהם. בגג היחידה יש הרבה יותר חללים, 40% - 30%, ויש קשר בין החללים.

גרנולומטריה - (איורים 10' ו - 10'ב'). התפלגות הגרגרים לפי קריטריונים סטנדרטיים היא כדלהלן:

חול - 94.5%, שכיח - $187\mu\text{m}$

סילט - 4%, שכיח סילט גס - $22\mu\text{m}$, שכיח סילט דק - $5\mu\text{m}$

חרסית - 1.5%, שכיח - $0.5\mu\text{m}$

ארבע אוכלוסיות זוהו ביחידה זו: $0.2-2\mu\text{m}$, $2-8\mu\text{m}$, $8-45\mu\text{m}$, $45-450\mu\text{m}$

אחוז CaCO_3 - $13.6\% \pm 0.6\%$

גיל - (איור 7) שני גילים התקבלו מיחידה זו - בסיס - 51800 ± 3200 שנה.

גג - 48500 ± 400 שנה.

3.4 חמרת נתניה

מורכבת משתי יחידות - התחתונה מכונה השכבה הצהובה והעליונה מכונה השכבה האדומה.

שכבה צהובה - מאפיני היחידה בשדה - (תמונה 2, 10-12), עובי - כ - 2.5 מטרים.

גובה - 25-27.5 מטר מעל פני הים.

צבע - 10YR 6/6 Bright Yellowish Brown.

חול דק עד בינוני בלתי מלוכד וממוין היטב. היחידה אינה מכילה חומר אורגני, צמחיה ותחמוצות ברזל. לא נמצאו שברים ביוגניים כלשהם והחומר החולי אינו תוסס בחומצה.

פטרורגריה - בשקפים ניתן לראות שמאפיני השלד דומים מאד לשכבה האדומה של חמרת נתניה אך הגרגרים מחוברים זה לזה רק על ידי חומר ההקשיה של השקף. הגרגרים הם בעיקר קוורץ בגודל שנע סביב ה - $200\mu\text{m}$ ממוינים היטב. לא נראים גרגרים בגודל סילט. ההרכב המינרלוגי של החול הוא כמו בשכבה האדומה. בחלקה העליון של השכבה ניתן למצוא ציפוי חרסיתי דק על הגרגרים.

גרנולומטריה - (איורים 11א' ו - 11ב'). התפלגות הגרגרים לפי קריטריונים סטנדרטיים היא כדלהלן:

חול - 97%, שכית - $195\mu\text{m}$

סילט - 3%, שכית - $15\mu\text{m}$

שתי אוכלוסיות זוהו ביחידה זו: $8.5-45\mu\text{m}$, $45-450\mu\text{m}$

אחוז CaCO_3 - 2.1%

גיל - (איור 7) 56000 ± 5000 שנה.

השכבה האדומה - מאפייני היחידה בשדה - (תמונה 2 ו - 11-10), עובי - 2-3 מטרים.

גובה - 27-30 מטר מעל פני הים.

צבע - 5YR 4/4 - 7.5YR 7/6 Bright Brown - Dull Reddish Brown.

קרקע חולית, מאופינת בהופעה מסיבית ויוצרת דרגש קשה בנוף. היחידה מכילה חול דק עד בינוני

מלוכד בחרסיות ובתחמוצות ברזל. לא נראה גיר ביחידה והחומר החולי אינו תוסס בחומצה.

פטרואגרפיה - (תמונה 21), קרקע במרקם סיין חרסיתי חולי. בשקף ניתן לראות מבנה טיפוסי של

חמרה ושרידים לתהליכים שהתרחשו בהתפתחות הקרקע.

שלד - רב הגרגרים שמרכיבים את השלד הם גרגרי קוורץ בגודל שנע סביב ה - $200\mu\text{m}$ ממוינים

היטב, בדרגות עיגוליות וכדוריות בינוניות עד תת בינוניות. גם גרגרי קוורץ בגודל סילט מצויים

בכמות משמעותית. מינרלים נוספים שמצויים בכמויות קטנות הם הורנבלנדה, אאוגיט,

גלאוקוניט, פלגיוקלז (נדיר מאד), ומינרלים כבדים קטנים מאד. ביוקלסטים אין בכלל.

פלסמה - חומה אדומה חרסיתית. לגרגרי החרסית המרכיבים את הפלסמה יש אורינטציה

חלקית. חלקם נראים בצורה של מוזאיקה - שילוב של חלקיקים עם אורינטציה ברורה וחלקיקים

ללא אורינטציה (Mosepic), בחלקם מזהים אורינטציה ברורה רק מסביב לגרגרי השלד

(Scallsepic) ומקצתם מסודרים בצורת רצועות עם אורינטציה ברורה (Masepic). הפלסמה

עוטפת את הגרגרים הגדולים, מתברת ביניהם וממלאת את כל החללים בין גרגרי הסילט. המבנה

הזה אופייני מאד לקרקעות חוליות. אין עקבות אילוביציה. מוצאים בפלסמה אינקלוזיות של

ברזל.

חללים - מיעוטם בעלי צורה אירגולרית ומישורים מזוותים (Voghs). רובם המכריע צרים וקצרים

בעלי מישורים חלקים (Narrow Plane), המעידים על לחצים חזקים מאד. הסדקים הללו נוצרים

בין הגרגרים הגדולים, שלהם כח התנגדות רב, בתקופת יובש ארוכה שבאה אחרי תקופה גשומה.

הסדקים אינם מחוברים זה לזה ואינם מעבירים מים. הסידור היחסי הוא כזה שכל השלד

(גרגרים וחללים) עטופים על ידי הפלסמה בצורה מוחלטת - מבנה המכונה Porfirotextic.

גרנולומטריה - (איורים 11א' ו - 11ב'). התפלגות הגרגרים לפי קריטריונים סטנדרטיים היא

כדלהלן:

חול - 50%, שכית - $195\mu\text{m}$

סילט - 40%, שכית - $18\mu\text{m}$

חרסית - 10%, שכית - $0.3\mu\text{m}$

שלוש אוכלוסיות זוהו ביחידה זו: $0.06-0.7\mu\text{m}$, $0.7-55\mu\text{m}$, $55-400\mu\text{m}$

אחוז CaCO_3 - $2\% \pm 0.2\%$

גיל - (איור 7) שני גילים התקבלו מהשכבה האדומה - בסיס - 39500 ± 1900 שנה.

גג - 12900 ± 1300 שנה.

3.5 כורכר תל אביב

נ.צ. - 13380-18379.

מאפייני היחידה בשדה - (תמונה 13,10,2), עובי - כ - 4 מטרים. גובה - 34-30 מטר מעל פני הים.

צבע - 10YR 7/4 Dull Yellow orange.

היחידה מורכבת מחול דק עד בינוני מלוכד בקרבונט ומאופינת על ידי שיכוב צולב בולט והופעה מסיבית המתבטאת ביצירת דרגש נוקשה בג המצוק. ביחידה נמצאו מעט שברי חלזונות יבשתיים וצדפות ולא נמצאו כלל ריזוליטים. עובין של הפלטות המלוכדות המרכיבות את היחידה עד סנטימטר אחד. הפלטות צמודות זו לזו ואין כמעט חול שפיד.

פטרוגרפיה - (תמונה 22) היחידה היא אבן חול עשירה בגיר ומאד נקבובית.

כ - 80% מגרגרי השלד הם קוורץ בגודל $100-300\mu\text{m}$ ממוינים טוב בדרגות עיגוליות וכדוריות בינוניות עד נמוכות. שאר הגרגרים הם בעיקר גרגרי קלציט וביוקלסטיים בדרגות השתמרות שונות, טובות בדרך כלל (ברב הגרגרים ניתן לזהות את הצורה המקורית). ביו השברים ניתן היה לזהות שברי אצות, שברי קונכיות ושרידי פורמיניפרה. גודלם של רב הביוקלסטים הללו הוא $500-1000\mu\text{m}$, מקצתם גדולים יותר ונמצאו אף שברי אצה בגודל 2 מילימטר. מינרלים נוספים המצויים בכמויות קטנות בשלד הם הורנבלנדה, פלדספרים, פלגיוקלזים, גלאוקוניט ומינרלים כבדים. גרגרי השלד קרובים מאד זה לזה אך אין מגע ביניהם בדרך כלל.

החללים מהווים יותר מ - 50% מהסלע.

הצמנט העוטף את הגרגרים הוא ספארי ברובו. ניתן גם לראות צמנט מיקרוספארי שממלא את החללים.

גרנולומטריה - (איורים 12א' ו - 12ב'). בכורכר תל אביב התעוררה בעיה בדוגמאות שהכילו שברי סלע בגודל שמעל $500\mu\text{m}$. מכשיר ה - Mastersizer לא מסוגל לקרוא אותם. את הדוגמאות הללו היה צורך לפזר בשנית ולפזר בקלגון על מנת שלא תתרחש אגרגציה מחדש. התוצאות שהתקבלו בדוגמאות הללו הראו עליה בדקים על חשבון הגסים. התמונה שמשקפת נכון יותר את חומר המקור היא כנראה זו שהתקבלה מהדוגמאות בהן לא היה צורך בכתישה שנית של הדוגמאות. ביחידה זו לא זוהו אוכלוסיות דקות בעלות התפלגות נורמלית לגמרי ובכל זאת ניתן לזהות שתי אוכלוסיות דקות בגרפים מלבד האוכלוסיה שבגודל $50-500\mu\text{m}$, האחת בגודל $0.2-1\mu\text{m}$ והשניה בגודל $3-50\mu\text{m}$.

התפלגות הגרגרים לפי קריטריונים סטנדרטיים היא כדלהלן:

חול - 86%, שכית - $200\mu\text{m}$

סילט - 11%, שכיח - $34\mu\text{m}$

חרסית - 3%, שכיח - $0.5\mu\text{m}$

אחוז CaCO_3 - 30.5%

גיל - (איור 7) 5300 ± 300

3.6 חולות תערוכה

נ.צ. בסיס - 18355-13372, גג - 18355-13374.

מאפייני היחידה בשדה - (תמונה 14), עובי - כ - 7 מטרים. גובה - 41-34 מטר מעל פני הים.

צבע - 10YR 5/4 - 10YR 4/4 Brown - Dull Yellowish Brown.

היחידה מורכבת מחול דק עד בינוני ממוין, לא מלוכד ומאופינת בצמחיה עשירה, ריבוי חלזונות ושברי צדפות. היחידה מופרת במקומות רבים על ידי פעילות אדם. החומר החולי תוסס בחומצה.

אנליזה פטרוגרפית לא בוצעה ביחידה זו כיוון שלא ניתן היה לקחת דוגמא בלתי מתפוררת.

גרנולומטריה - (איורים 13 א' ו - 13 ב') - התפלגות הגרגרים לפי קריטריונים סטנדרטיים היא כדלהלן:

חול - 95.5%, שכיח - $195\mu\text{m}$

סילט - 3.5%, שכיח סילט גס - $23\mu\text{m}$, שכיח סילט דק - $5.5\mu\text{m}$

חרסית - 1%, שכיח - $0.5\mu\text{m}$

ארבע אוכלוסיות זוהו ביחידה זו ולכולן התפלגות נורמלית. משקלן היחסי של שלוש האוכלוסיות

דקות הגרגר הוא מועט ביותר. האוכלוסיות שזוהו: $0.1-1\mu\text{m}$, $1-8\mu\text{m}$, $8-40\mu\text{m}$, $40-400\mu\text{m}$

אחוז CaCO_3 - $10.6\% \pm 1.6\%$

גיל - (איור 7) שני גילים התקבלו מיחידה זו - בסיס היחידה - 2000 ± 200 שנה.

גג היחידה - 160 ± 20 שנה.

3.7 תוצאות בדיקות נוספות

א. Multiple disk - ה - De מדוגמא ml-d-1 היה 75.6 ± 0.3 Gy. תוצאה זו נופלת בתחום השגיאה

של תוצאות ה - IRSL (78.3 ± 2.0) ומהווה אישור נוסף למהימנות התוצאות והטכניקה בה נעשה שימוש במחקר זה.

ב. Anomalous Fading - בעיבוד תוצאות הבדיקה הזו לא נמצא Anomalous Fading, כלומר לא התגלתה דעיכה כתוצאה מאי יציבותו של הסיגנל המלאכותי לעומת הטבעי.

ג. ה - De מדוגמא ml-d-1 שהתקבל לאחר 8 שעות חשיפה לשמש היה 0.4 ± 0.02 Gy. ה - De

מדוגמא ml-d-13 היה 0.06 ± 0.005 Gy. תוצאות אלו מוכיחות איפוס מקסימלי לאחר 8 שעות חשיפה לשמש.

ד. דוגמאות רצנטיות - בשתי הדוגמאות שנלקחו מחול חשוף לא בוצעו מדידות היסודות הרדיואקטיביים. תוצאות הגיל המובאות להלן חושבו על ידי חילוק ה - De שהתקבל לכל אחת מהן (טבלה 4), בשטף הקרינה השנתי הממוצע משאר הדוגמאות. גיל דוגמא ml-d-a, משפת הים בגעש היה כ - 70 שנה, גיל דוגמא ml-d-b, מהדיונות בראשון לציון היה כ - 56 שנה. גיל זה מהווה את גיל ההווה.

יחידה	חול	סילט	חרסית	
כמות (%)	שכיח (μm)	כמות (%)	שכיח (μm)	כמות (%)
רמת גן	91	155	7	20
נחשולים	78	155	19	20 ו - 5
דור	94.5	187	4	22 ו - 5
נתניה צהוב	97	195	3	15
אדום	50	195	40	34
תל אביב	86	200	11	34
תערוכה	95.5	195	3.5	23 ו - 5.5

טבלה 2 : סיכום תוצאות גרנולומטריה.

התוצאות המוצגות בטבלה הן על פי גבולות סטנדרטיים של חול סילט וחרסית

(Friedman and Sanders, 1978)

Sample	K Sediment (%)	Th (p.p.m)	U (p.p.m)	K KF (%)	Ext γ ($\mu\text{Gy/a}$)	Moisture contents (%)	Depth from surface (m)
ml-d-1	0.68	0.95	0.56	9.6	412	4.8	11.0
ml-d-2	0.69	0.79	0.51	10.3	401	3.8	8.0
ml-d-3	0.68	1.45	0.80	10.0	464	10.0	2.0
ml-d-4	0.65	1.52	0.83	9.8	519	5.0	1.5
ml-d-5	0.70	2.42	0.80	10.0	609	9.8	1.0
ml-d-6	0.40	1.15	0.52	11.5	338	4.4	0.6
ml-d-7	0.45	1.21	0.46	11.8	371	2.3	0.8
ml-d-8	0.57	1.13	0.42	11.0	442	4.1	4.0
ml-d-9	0.66	1.87	0.59	11.4	566	5.1	2.0
ml-d-10	0.76	3.39	0.98	12.1	656	13	0.5
ml-d-11	0.31	0.76	0.61	11.6	258	3.8	2.0
ml-d-12	0.42	1.16	0.43	11.5	396	4.6	3.5
ml-d-13	0.39	1.01	0.45	11.0	338	4.0	1.0

טבלה 3: תוצאות מדידות שונות לצורך חישובי גיל.

* גודל הגרגר היה אחיד לכל הדוגמאות - 149-177 מיקרון.

* תכולת K שנמדדה בדוגמאות של הסדימנט.

* תכולת Th נמדדה בדוגמאות של הסדימנט.

* תכולת U נמדדה בדוגמאות של הסדימנט.

* תכולת K שנמדדה בפרקציית ה - KF לאחר הפרדת המינרלים.

* Ext γ - שטף קרינת γ נמדדה בשדה על ידי מונה γ וכולל גם קרינה קוסמית.

* עומק הקבורה המובא בטבלה הינו עומק הקבורה של הדוגמא היום.

Sample	Ext γ + Cosmic ($\mu\text{Gy/a}$)	Ext β ($\mu\text{Gy/a}$)	Ext α ($\mu\text{Gy/a}$)	Int β ($\mu\text{Gy/a}$)	Total annual dose ($\mu\text{Gy/a}$)	De (Gy)	age(Ka)
ml-d-1	273 $\pm$ 11	580 $\pm$ 28	59 $\pm$ 16	441 $\pm$ 38	1353 $\pm$ 51	78.3 $\pm$ 2	57.8 $\pm$ 2.6
ml-d-2	265 $\pm$ 9	585 $\pm$ 26	54 $\pm$ 14	472 $\pm$ 40	1376 $\pm$ 51	78.6 $\pm$ 2.8	57.1 $\pm$ 2.9
ml-d-3	304 $\pm$ 10	579 $\pm$ 28	81 $\pm$ 22	458 $\pm$ 39	1422 $\pm$ 54	81.7 $\pm$ 2.6	57.4 $\pm$ 2.8
ml-d-4	322 $\pm$ 12	602 $\pm$ 28	91 $\pm$ 24	449 $\pm$ 39	1464 $\pm$ 55	77.8 $\pm$ 4.7	53.1 $\pm$ 3.8
ml-d-5	356 $\pm$ 21	621 $\pm$ 41	100 $\pm$ 27	458 $\pm$ 39	1535 $\pm$ 66	76.4 $\pm$ 2.1	49.7 $\pm$ 2.5
ml-d-6	222 $\pm$ 16	381 $\pm$ 13	63 $\pm$ 17	525 $\pm$ 45	1191 $\pm$ 50	61.7 $\pm$ 2.8	51.8 $\pm$ 3.2
ml-d-7	308 $\pm$ 11	451 $\pm$ 24	61 $\pm$ 16	543 $\pm$ 46	1363 $\pm$ 55	66.1 $\pm$ 4.7	48.5 $\pm$ 4.0
ml-d-8	323 $\pm$ 14	492 $\pm$ 25	54 $\pm$ 14	504 $\pm$ 43	1373 $\pm$ 53	76.9 $\pm$ 6.2	56 $\pm$ 5.0
ml-d-9	466 $\pm$ 19	588 $\pm$ 29	81 $\pm$ 22	522 $\pm$ 45	1657 $\pm$ 61	65.4 $\pm$ 2.0	39.5 $\pm$ 1.9
ml-d-10	613 $\pm$ 40	666 $\pm$ 63	125 $\pm$ 35	555 $\pm$ 47	1959 $\pm$ 95	25.4 $\pm$ 2.3	12.9 $\pm$ 1.3
ml-d-11	336 $\pm$ 18	319 $\pm$ 23	60 $\pm$ 16	532 $\pm$ 45	1247 $\pm$ 56	6.6 $\pm$ 0.2	5.3 $\pm$ 0.3
ml-d-12	294 $\pm$ 13	377 $\pm$ 24	46 $\pm$ 12	527 $\pm$ 45	1244 $\pm$ 54	2.47 $\pm$ 0.3	2 $\pm$ 0.2
ml-d-13	369 $\pm$ 20	358 $\pm$ 24	45 $\pm$ 12	504 $\pm$ 43	1276 $\pm$ 54	0.2 $\pm$ 0.02	0.16
ml-d-a						0.1 $\pm$ 0.02	*0.07
ml-d-b						0.08	*0.06

טבלה 4: שטפי קרינה וגילאי כל הדוגמאות.

מספרי הדוגמאות על פי סדר הדגימה בחתך החל בבסיס המצוק (איור 7).

Ext γ + Cosmic - שטף קרינת γ חושבו מתוך ריכוזי היסודות הרדיואקטיביים ולחות הקרקע

(טבלה 3). שטף הקרינה הקוסמית חושב על פי עומק הקבורה הגיאולוגי מתוך Prescott and

Hutton (1988).

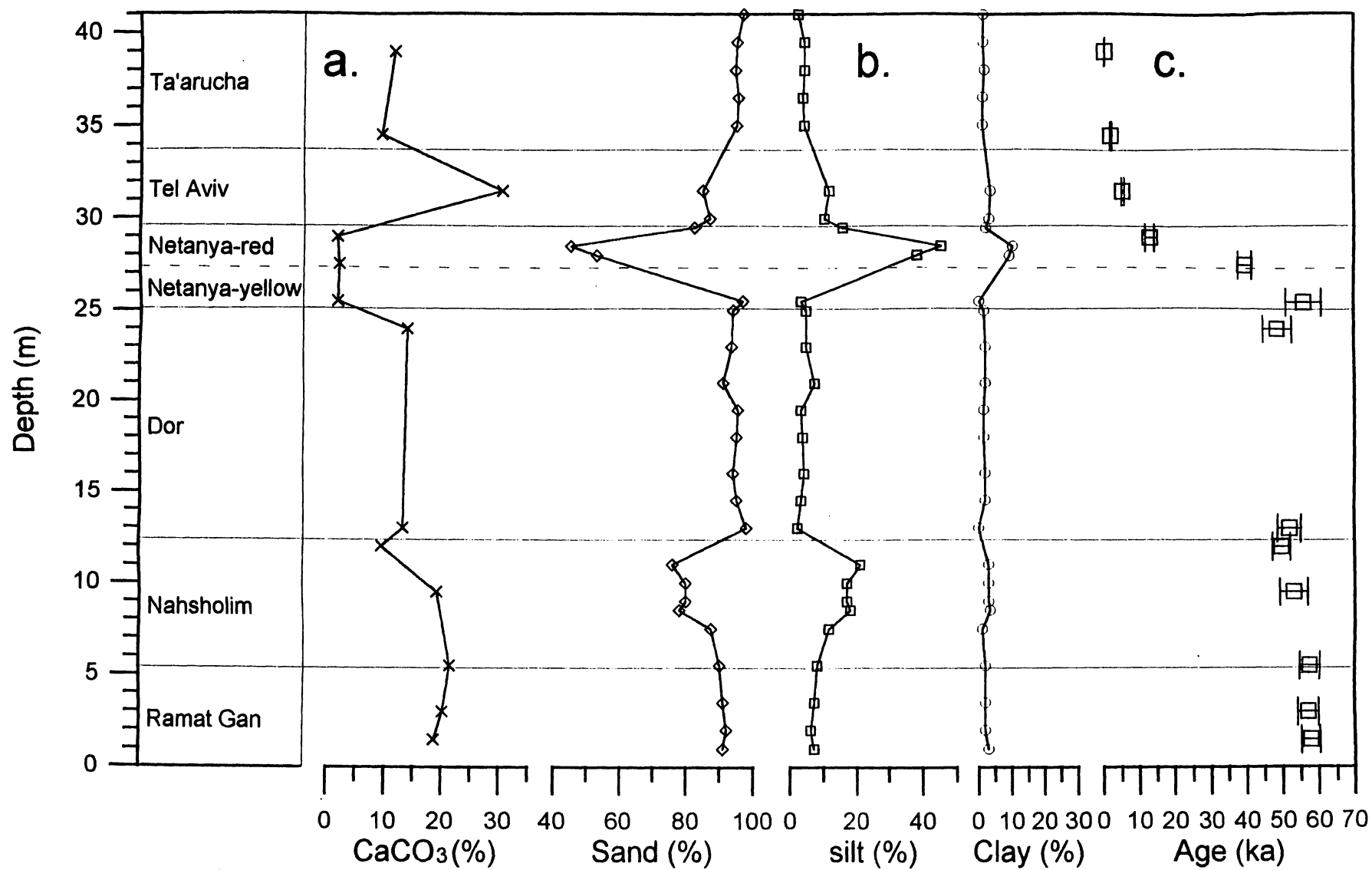
Ext α , Ext β - שטפי קרינת α ו β חושבו מתוך ריכוזי היסודות הרדיואקטיביים, גודל הגרגר ולחות הקרקע (טבלה 3).

De - מחושב מתוך מדידות ה - IRSL.

* בדוגמאות הרצנטיות לא בוצעו מדידות מעבר למדידת סיגנל ה - IRSL. גיל הדוגמאות חושב על

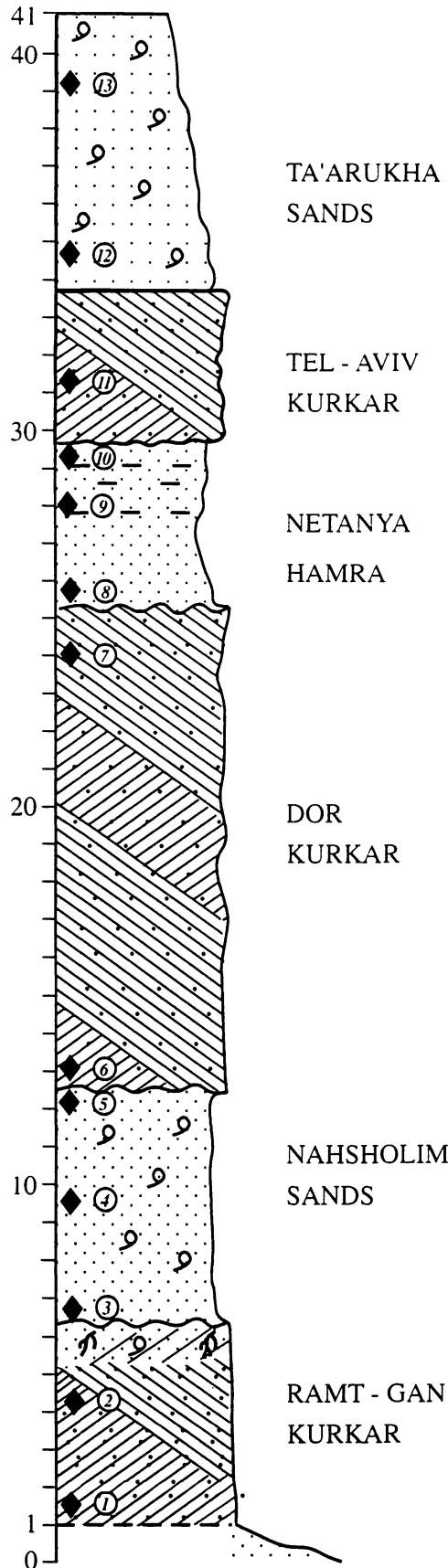
ידי חילוק ה - De בכמות הקרינה השנתית הממוצעת של שאר הדוגמאות. שגיאות שערכיהן היה

פחות מ - 0.01 לא צוינו בטבלה.

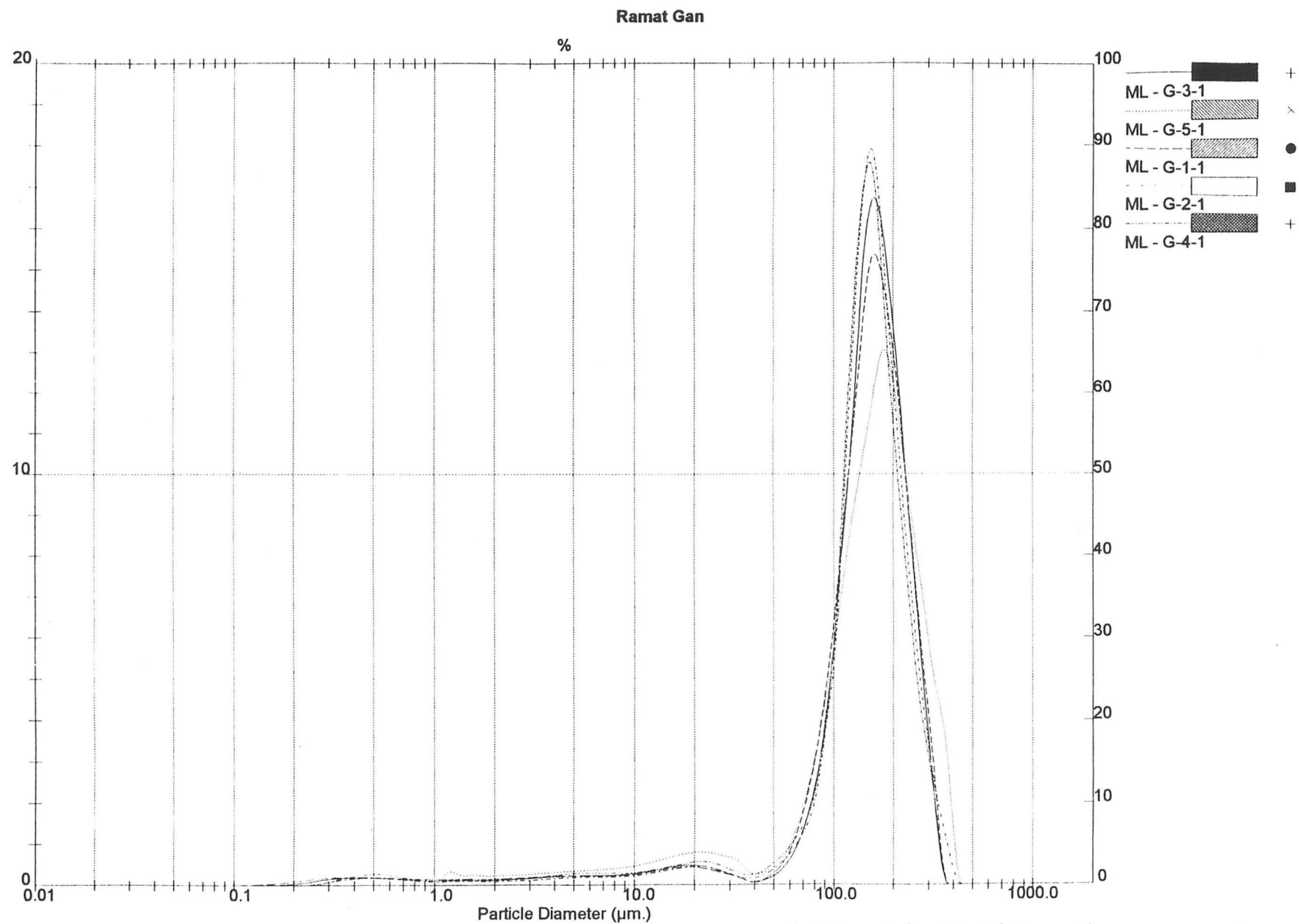


איור 6: תוצאות תכולת הקלציום קרבונט, האנליזות הגרנולומטריות והתיארוך בחתך געש

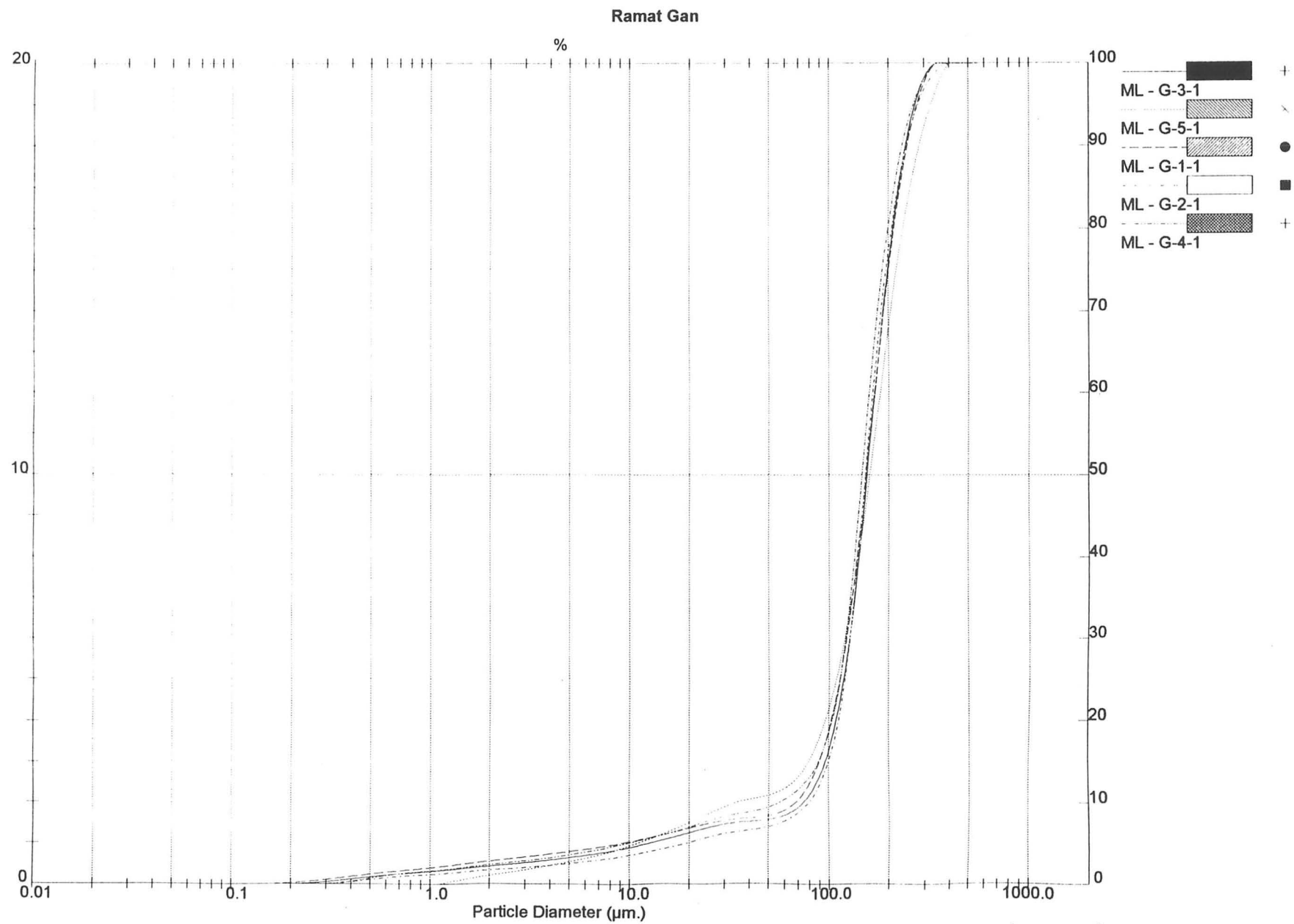
I.R.S.L age (Ka)

 0.16 ± 0.02
 2.0 ± 0.2
 5.3 ± 0.3
 12.9 ± 1.3
 39.5 ± 1.9
 56.0 ± 5.0
 48.5 ± 4.0
 51.8 ± 3.2
 49.7 ± 2.5
 53.1 ± 3.8
 57.4 ± 2.8
 57.1 ± 2.9
 57.8 ± 2.6


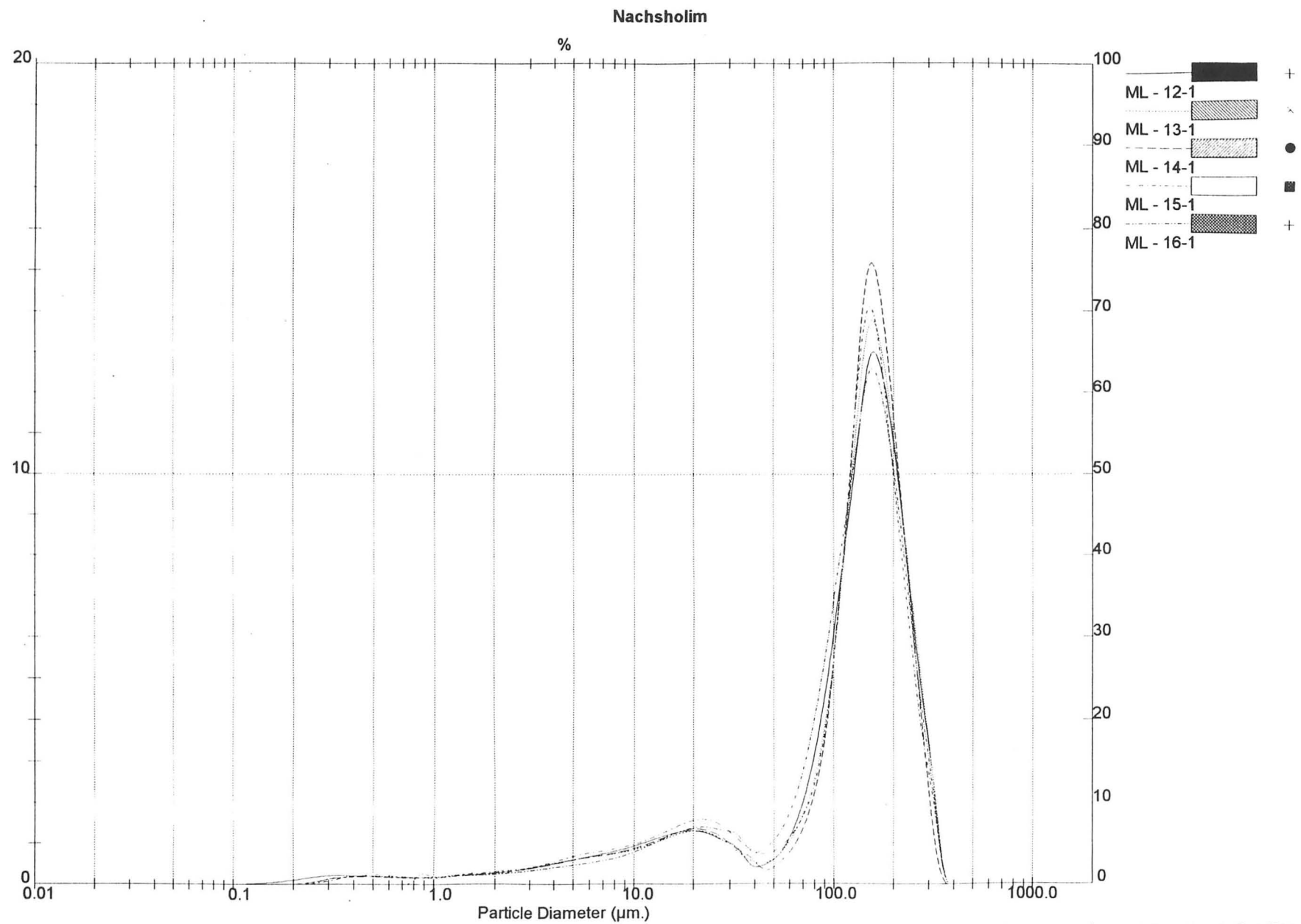
איור 7: תוצאות התיארוך על גבי חתך עמודי של מצוק החוף.
היהלומים מציינים את נקודות הדגימה לתיארוך.



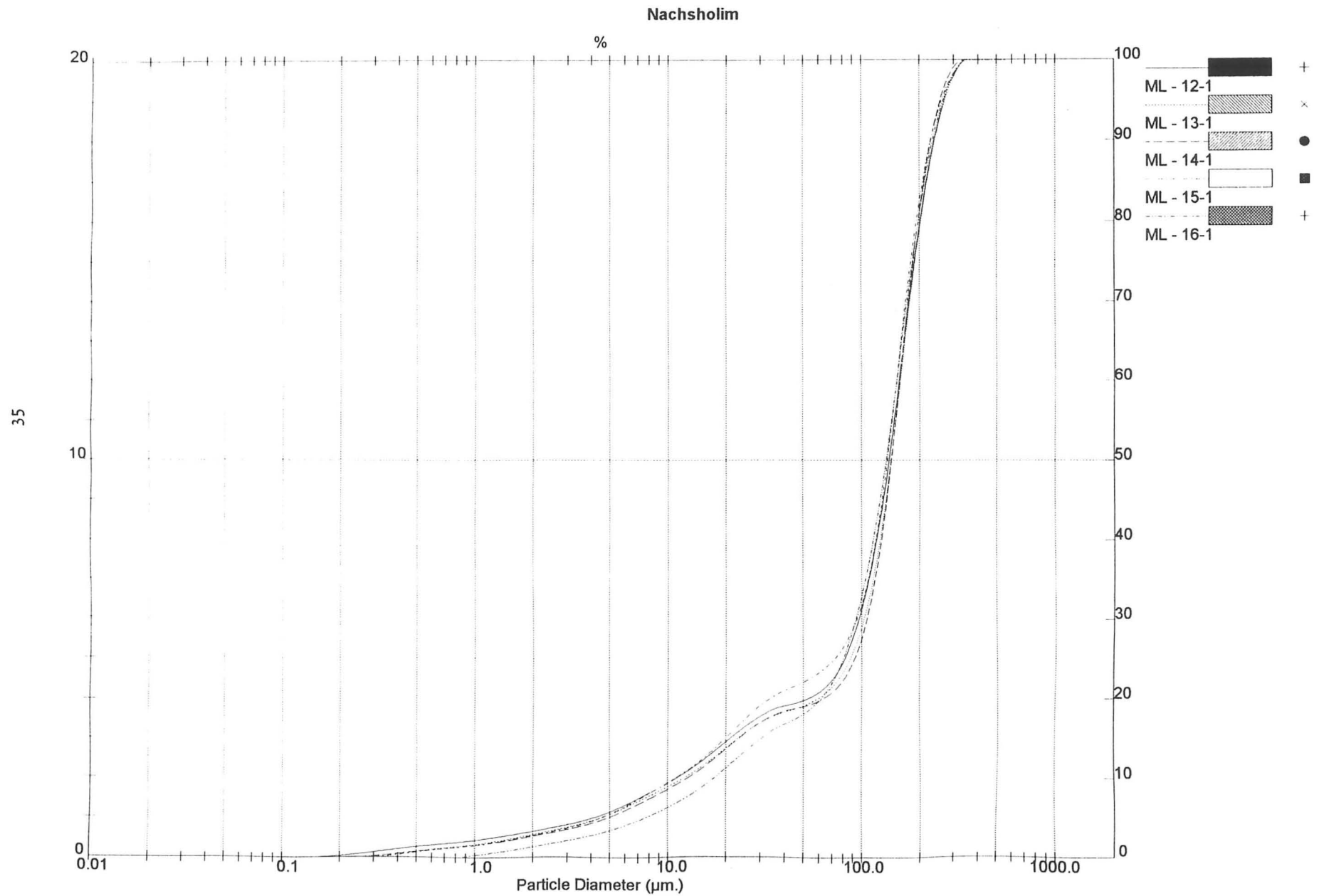
איור 8א': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של כורכר רמת גן.



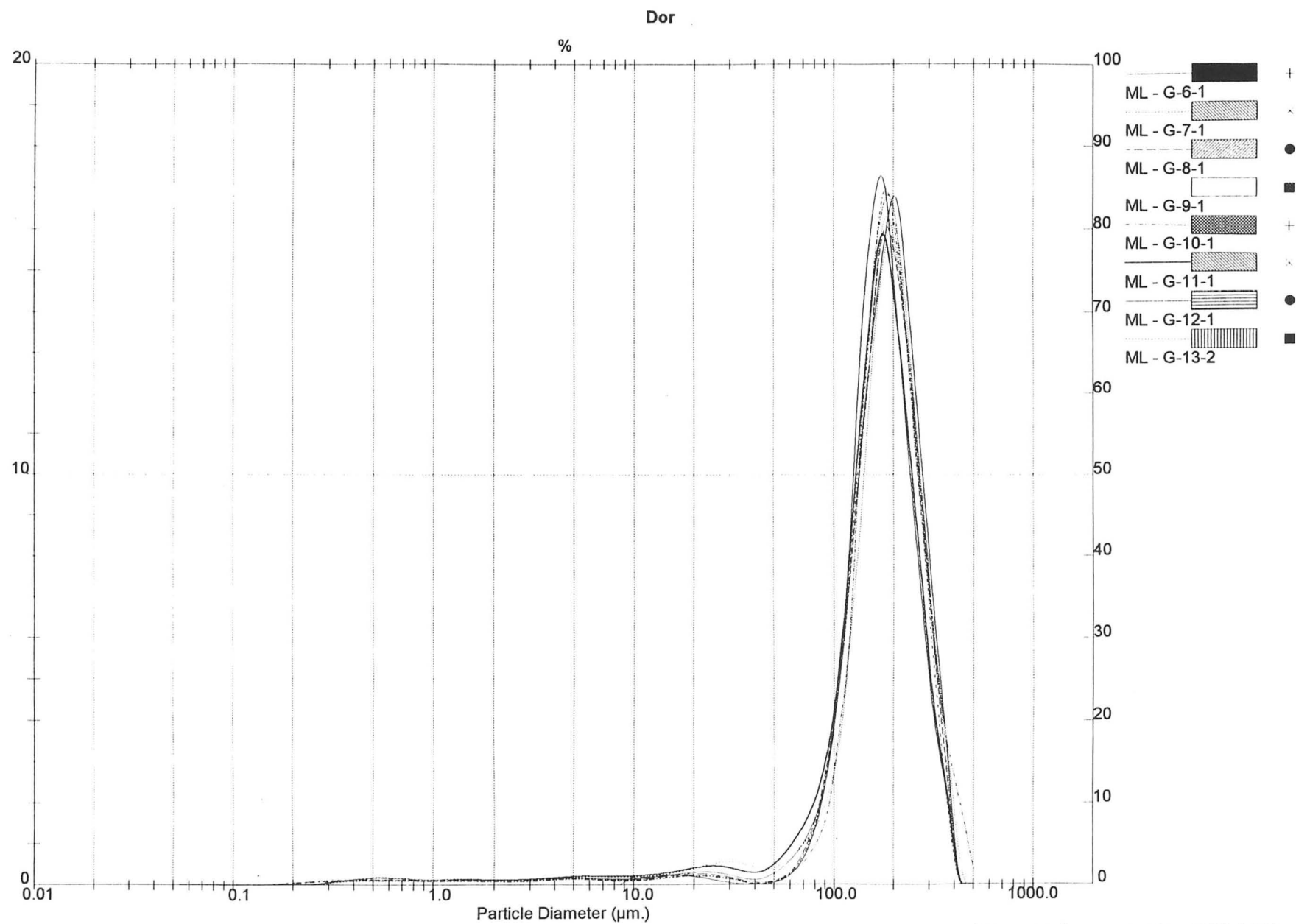
איור 8ב': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של כורכר רמת גן בגרף מצטבר.



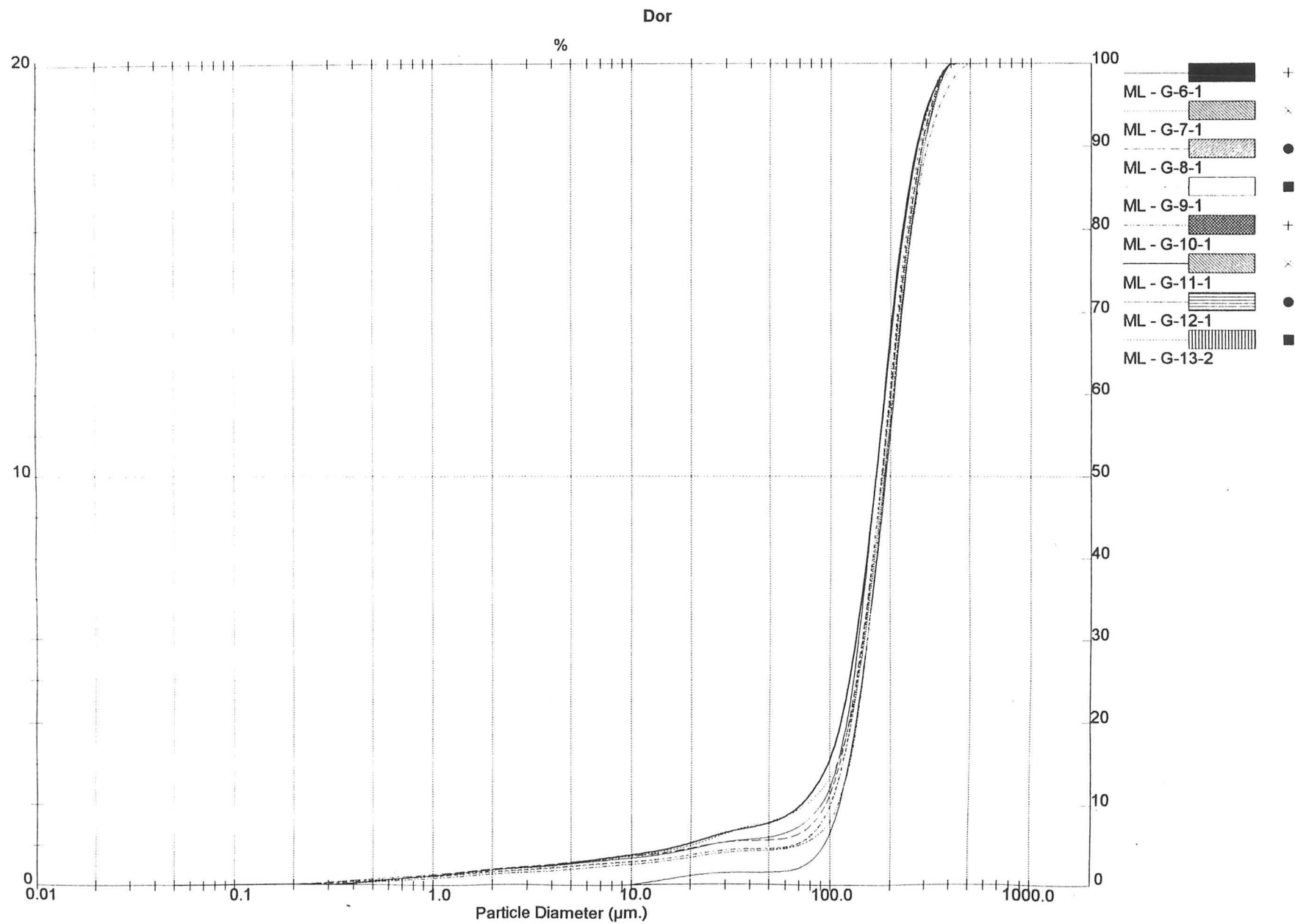
איור 9א': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של פרט נחשולים.



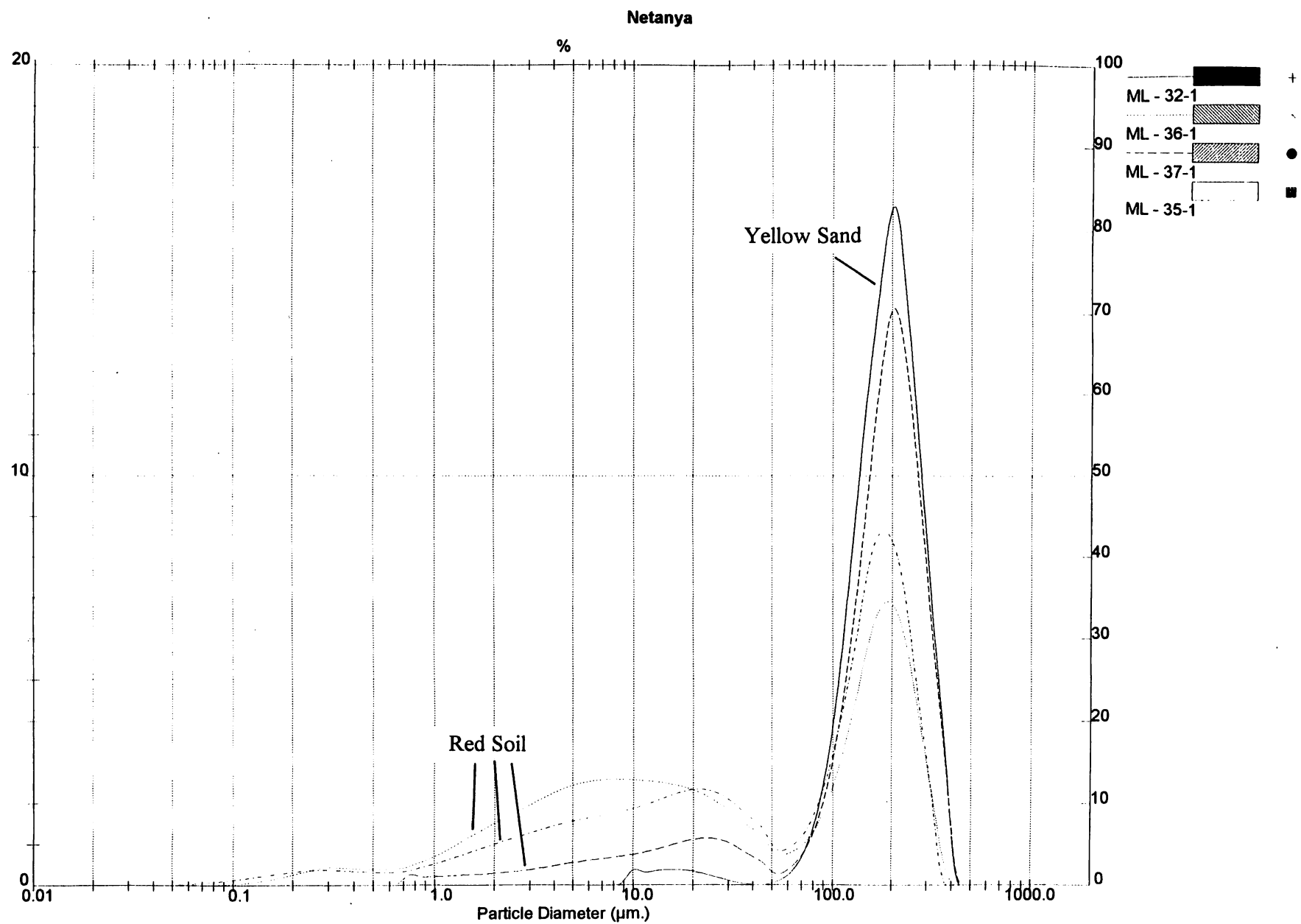
איור 9: תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של פרט נחשולים בגרף מצטבר.



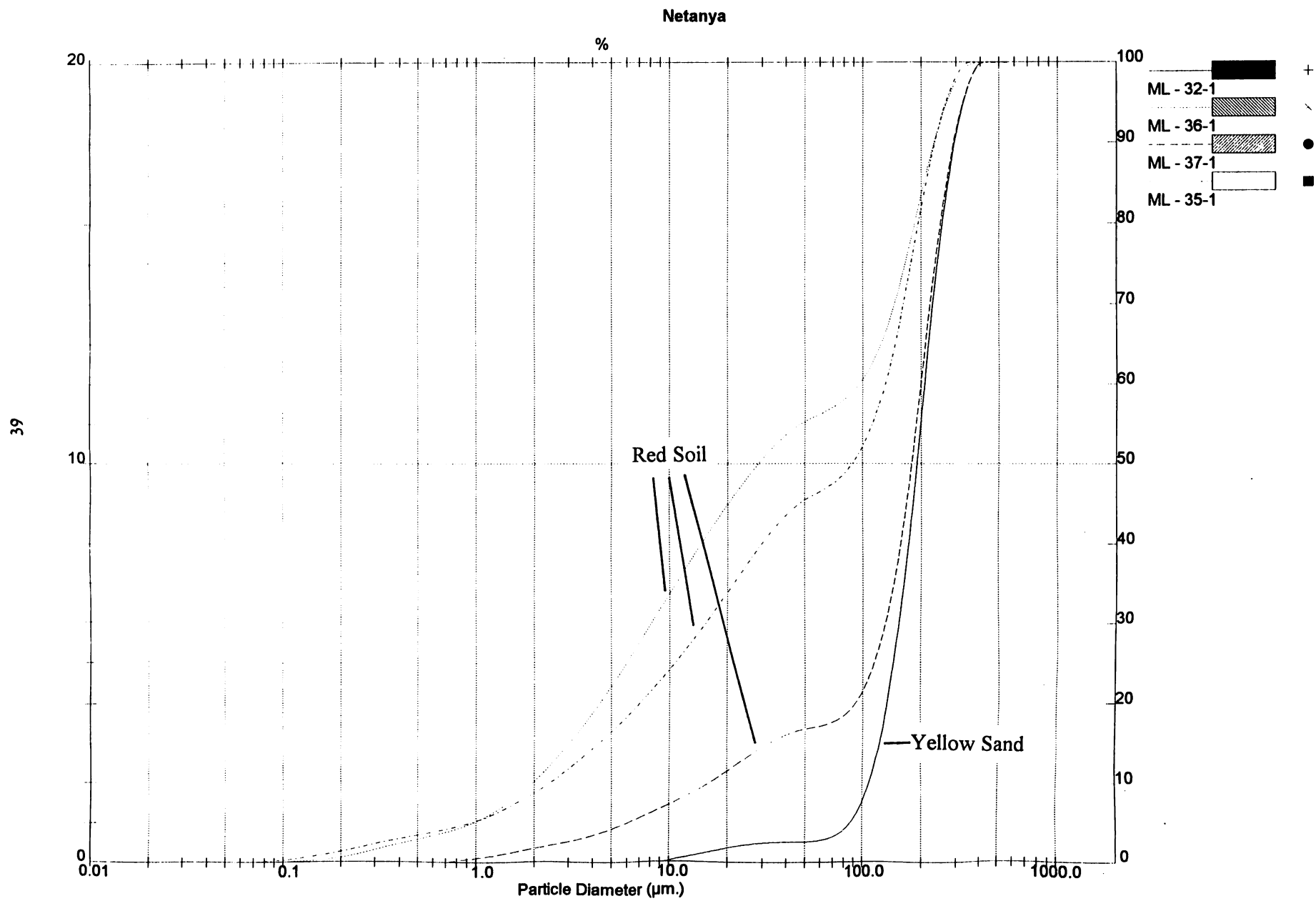
איור 10א': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של כורכר דור.



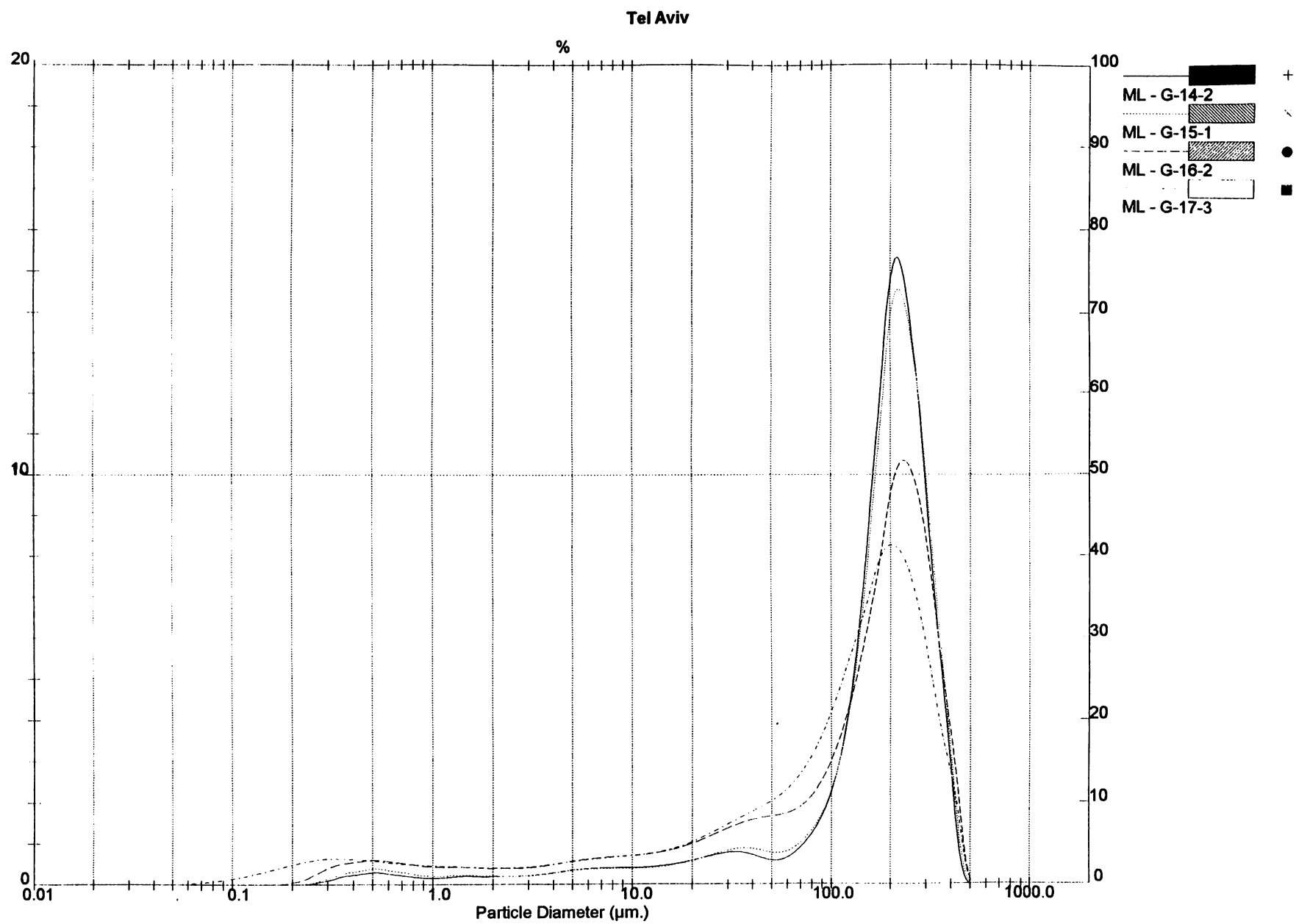
איור 10ב': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של כורכר דור בגרף מצטבר.



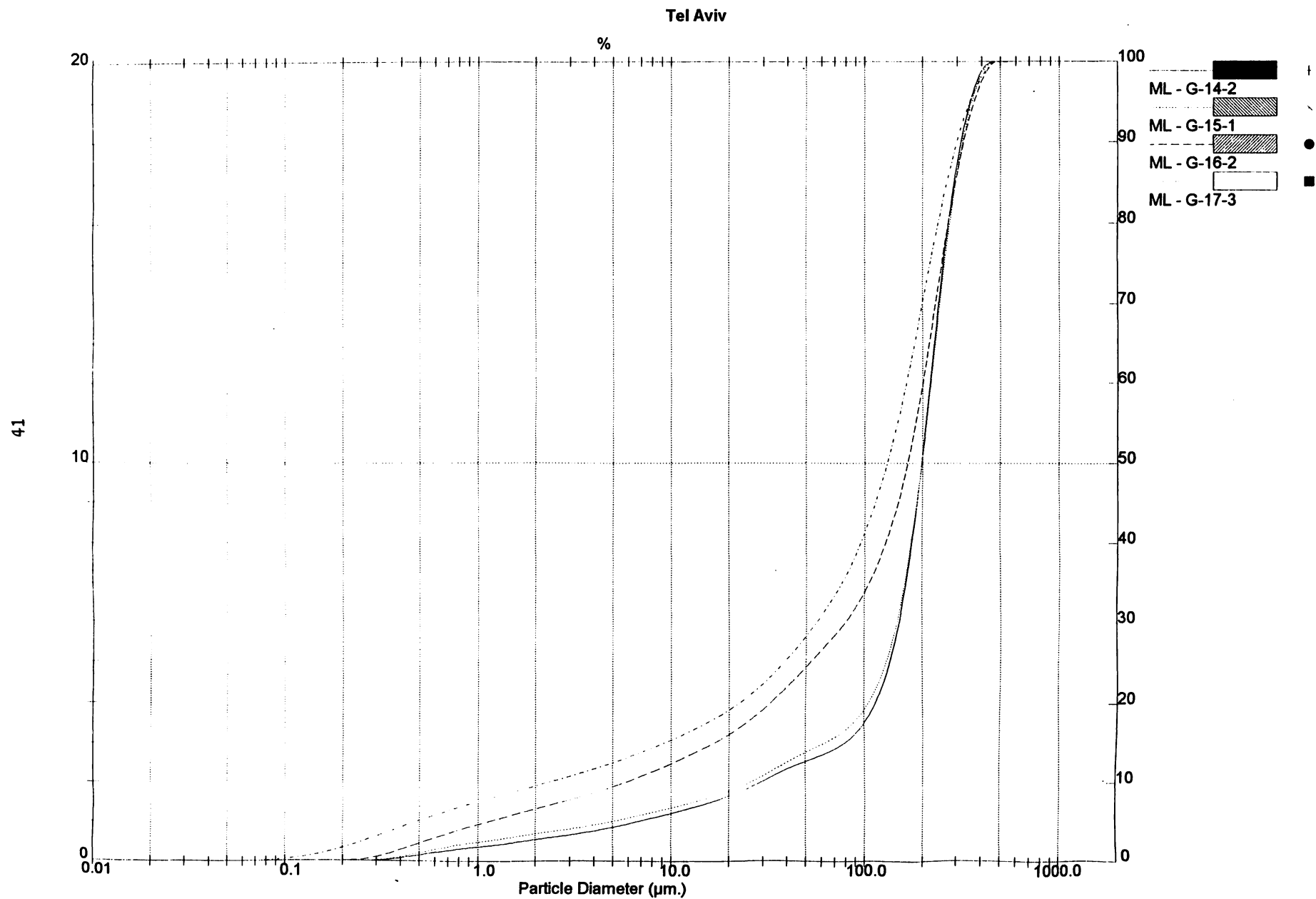
איור 11א': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של חמרת נתניה.



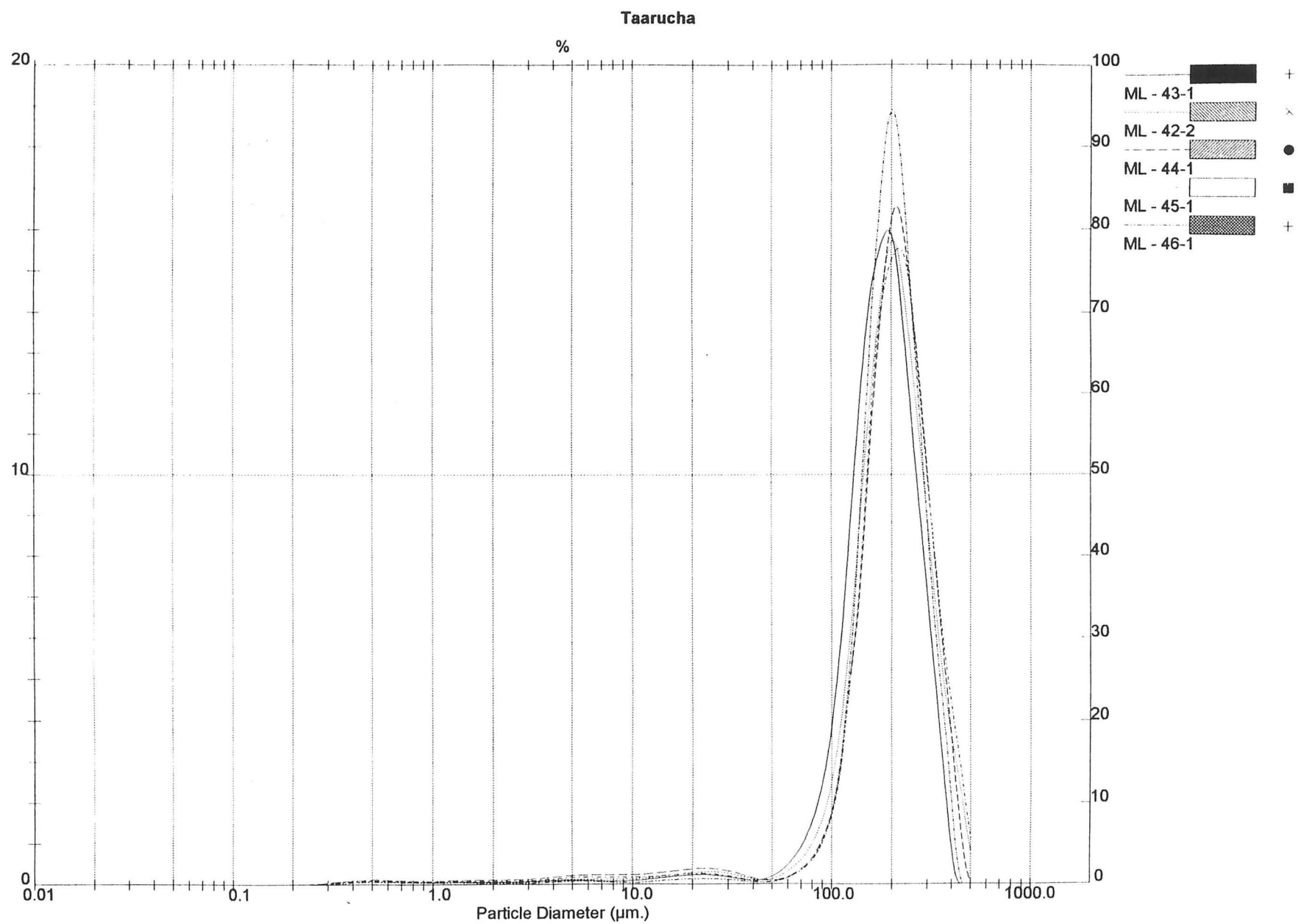
איור 111: תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של חמרת נתניה בגרף מצטבר.



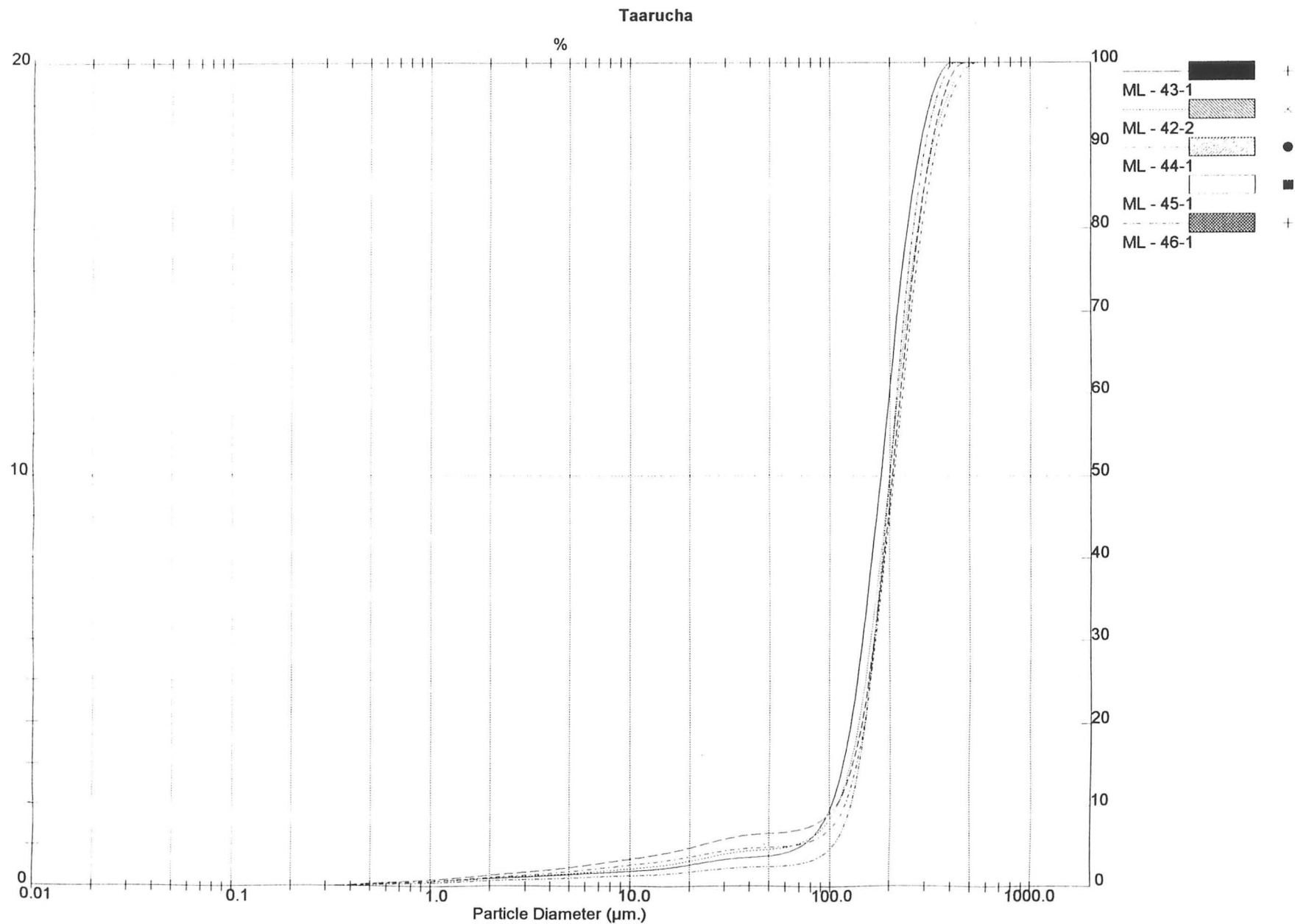
איור 12א': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של כורכר תל אביב.



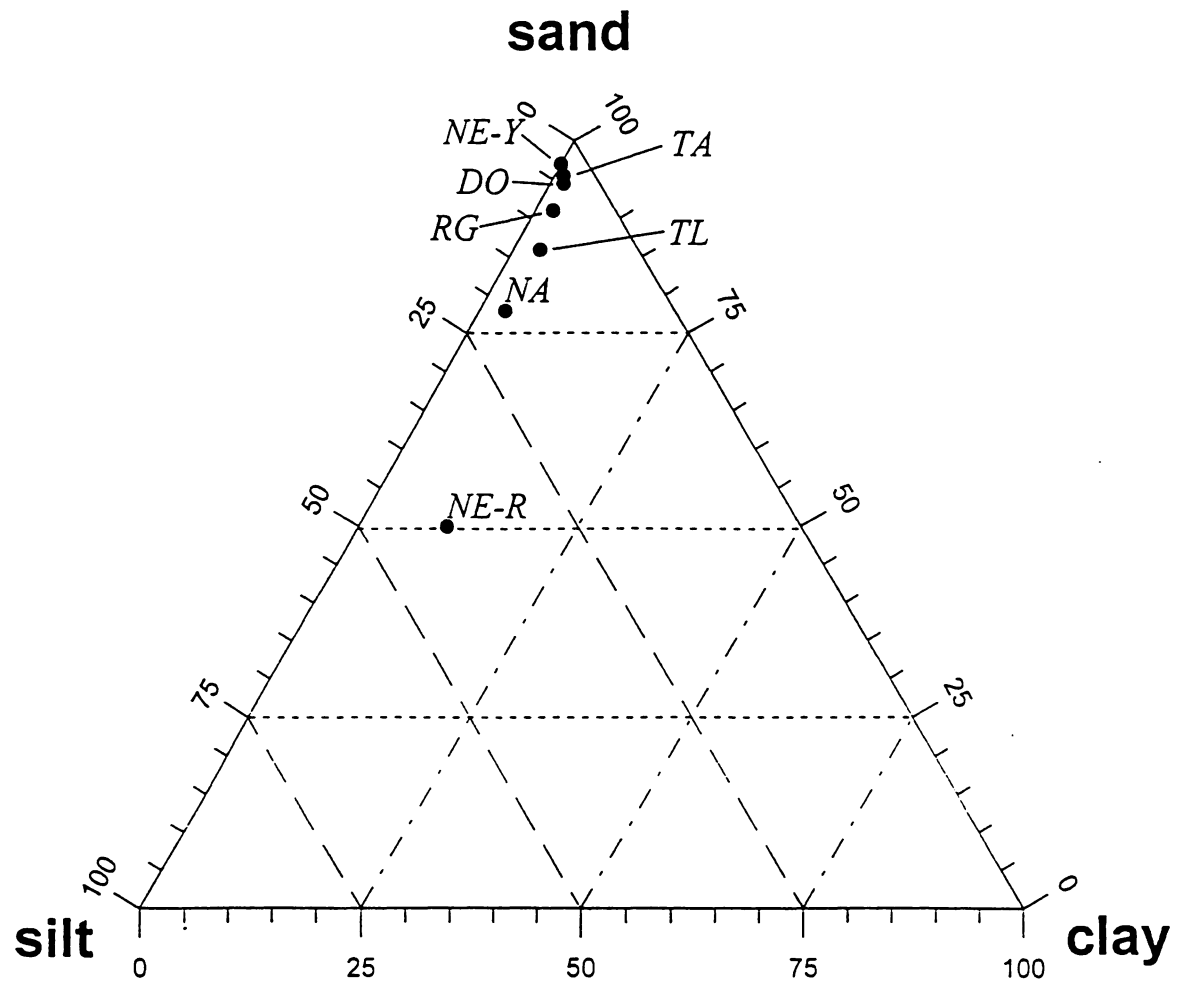
איור 12ב': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של כורכר תל אביב בגרף מצטבר.



איור 13א': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של חולות תערוכה.



איור 13ב': תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של חולות תערוכה בגרף מצטבר.



איור 14: תוצאות האנליזה הגרנולומטרית במשולש הרכבים.
 TA - תערובה, TL - תל אביב, NE-R - נתניה (שכבה אדומה),
 NE-Y - נתניה (שכבה צהובה), DO - דור, NA - נחשולים,
 RG - רמת גן.
 כל נקודה היא ממוצע של מספר דוגמאות.
 התוצאות הן על פי גבולות סטנדרטיים של חול, סילט וחרסית.

רשימת תמונות

לוחות 1 - 6

רשימת תמונות - לוח 1

תמונה 1 : מצוק החוף באזור המחקר בגעש.

תמונה 2 : החלק העליון של מצוק החוף - כורכר דור, חמרת נתניה וכורכר תל אביב.

תמונה 3 : בסיס מצוק החוף - כורכר רמת גן, פרט נחשולים וכורכר דור.



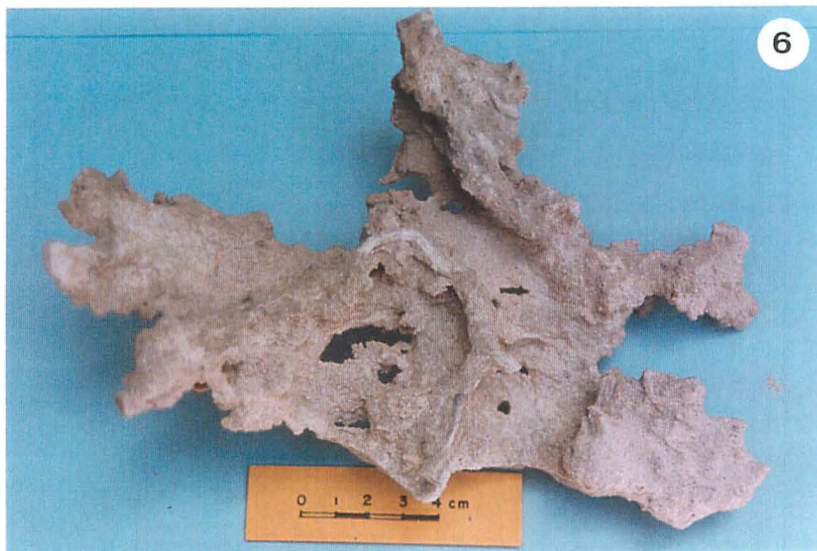
לוח 2

תמונה 4: שכבת מעבר עם ריבוי של ריזוליטים בין כורכר רמת גן לפרט נחשולים.

תמונה 5: שיכוב צולב בכורכר רמת גן.

תמונה 6: ריזוליט בתוך פיסת כורכר מרמת גן.

תמונה 7: כורכר רמת גן - ריזוליטים משכבת המעבר.



לוח 3

תמונה 8 : פרט נחשולים - נקודות הדגימה לתיארוך.

תמונה 9 : כורכר דור - פלטות דקות במטריקס של חול בלתי מלוכד.

תמונה 10 : חמרת נתניה וכורכר תל אביב בגג המצוק.

תמונה 11 : חמרת נתניה. שכבה צהובה בבסיס היחידה ומעליה שכבה אדומה.



לוח 4

תמונה 12 : חמרת נתניה, שכבה צהובה - נקודות הדגימה לתיארוך.

תמונה 13 : כורכר תל אביב.

תמונה 14 : חולות תערוכה.



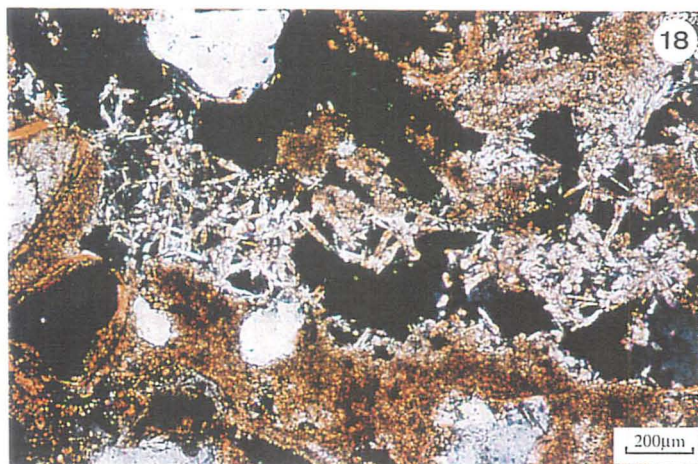
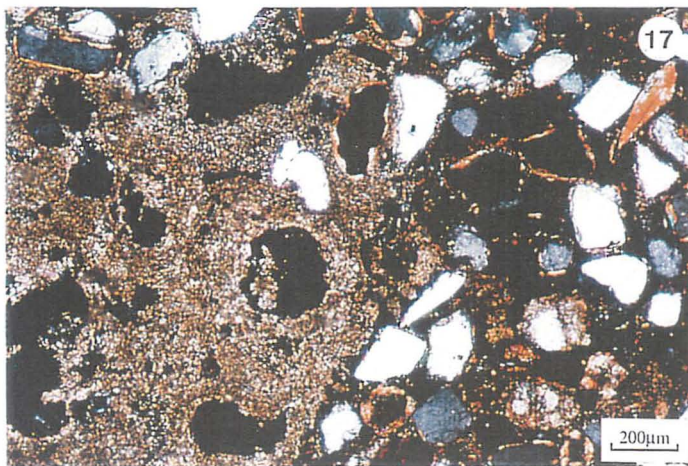
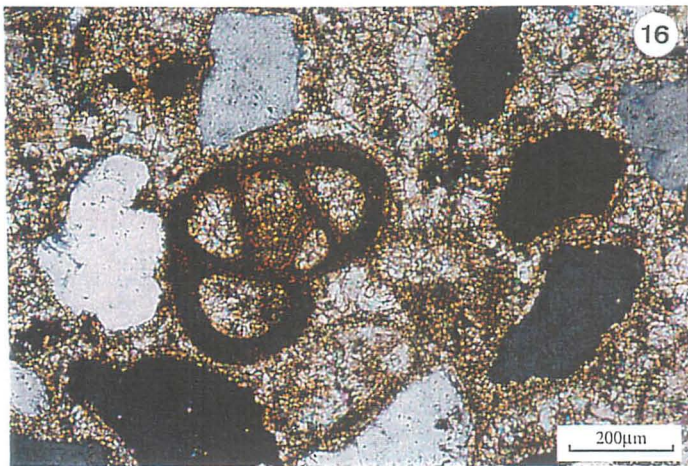
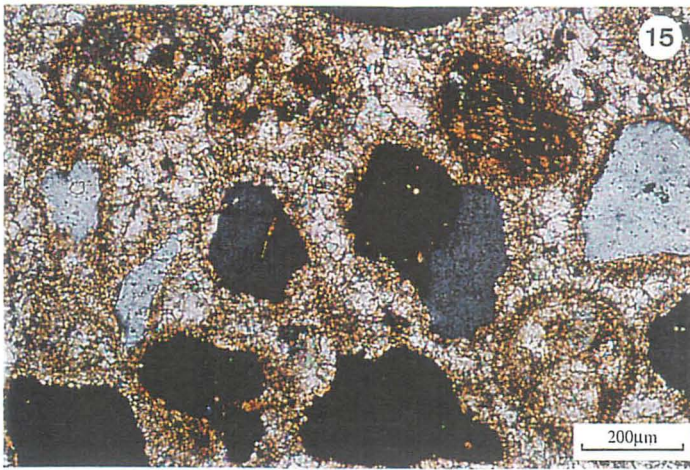
לוח 5

תמונה 15 : כורכר רמת גן - שקף טיפוס. שברים ביוקלסטיים שעברו המסה חלקית וצמנט ספארי ומיקרו ספארי שממלא חללים. הגדלה פי 100 עם מקטב עליון.

תמונה 16 : פורמינפרה בשקף מכורכר רמת גן. הגדלה פי 100 עם מקטב עליון.

תמונה 17 : פרט נחשולים - תצביר גיר בשקף. הגדלה פי 40 עם מקטב עליון.

תמונה 18 : פרט נחשולים - קלציט בצורת מחטים. הגדלה פי 40 עם מקטב עליון.



לוח 6

תמונה 19 : פרט נחשולים - תצביר גיר וציפוי חרסיתי סביב הגרגרים. הגדלה פי 40

עם מקטב עליון.

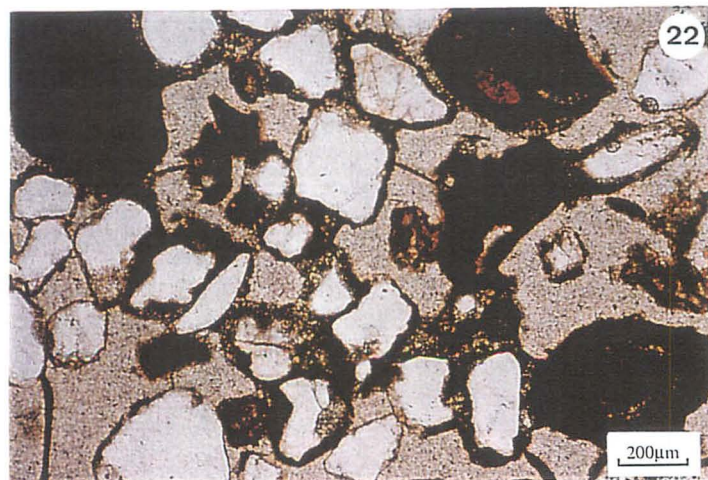
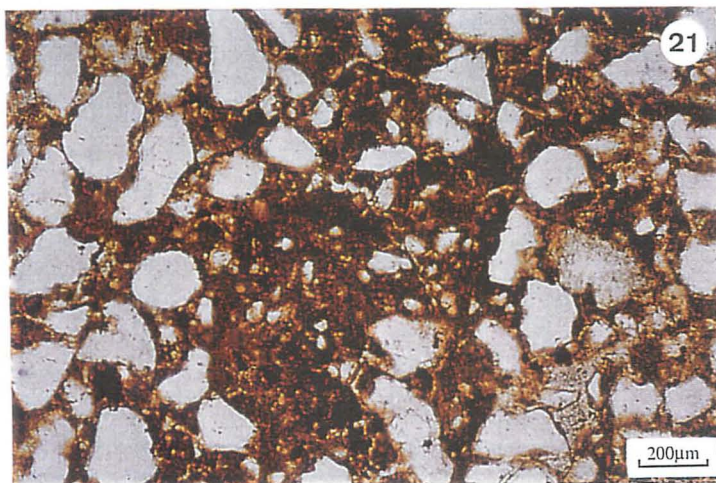
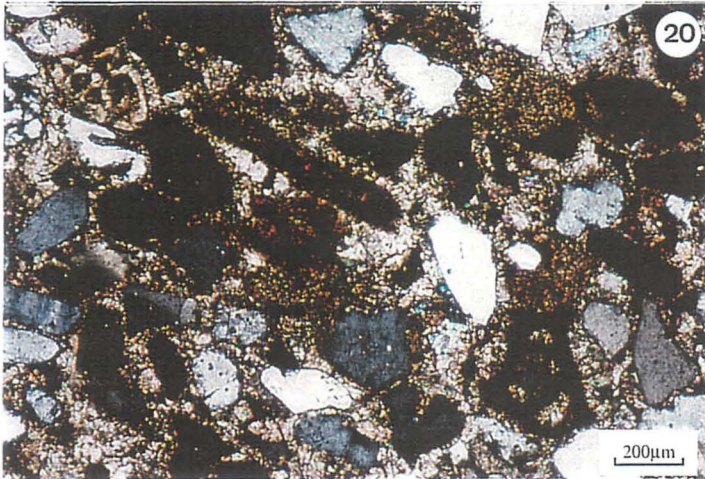
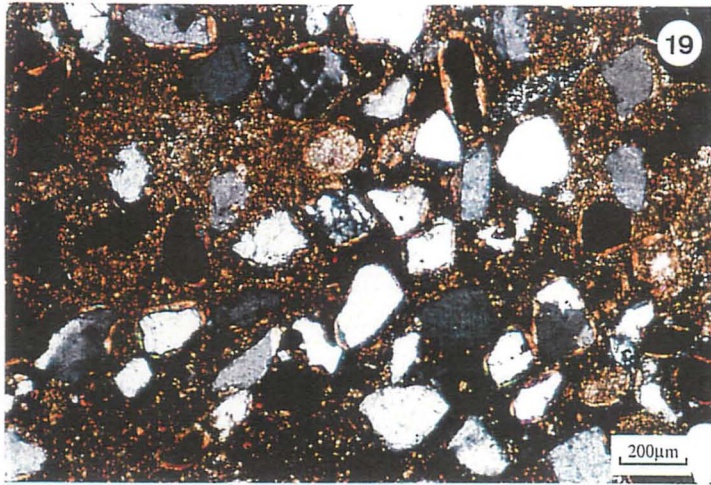
תמונה 20 : כורכר דור - שקף טיפוזי. ביוקלסטיים שעברו המסה, צמנט ספארי

וחללים. הגדלה פי 40 עם מקטב עליון.

תמונה 21 : חמרת נתניה - פלסמה חרסיתית אדומה מצפה גרגרים וממלאה חללים.

גרגרים בגודל חול ובגודל סילט. הגדלה פי 40 ללא מקטב עליון.

תמונה 22 : כורכר תל אביב . הגדלה פי 40 ללא מקטב עליון.



4. דיון

מתוצאות האנליזות השונות ניתן ללמוד על דמיון מסוים בין היחידות הסטרטיגרפיות השונות בעיקר בחומר האב שלהן ועל הבדלים שמקורם בתהליכים השונים שעברה כל יחידה. באנליזה הפטרוגרפית ניתן היה לראות את ההרכב המינרלוגי הדומה בכל היחידות - קוורץ בעיקר, ביוקלסטים וכמויות קטנות של הורנבלנדה, גלאוקוניט, פלדספרים ומינרלים כבדים. גם דרגות העיגוליות והכדוריות הבינוניות היו דומות בכל היחידות. היחידות נבדלו זו מזו בכמות הביוקלסטים ובדרגות ההשתמרות שלהן, וכן בדרגות הצמנטציה ביחידות הכורכר, ובמידת הפדוגנזה ביחידות הקרקע. ביחידות הכורכר נמצאו ביוקלסטים ממקור ימי באחוז גבוה יחסית, יותר מ- 10%, כשדרגת ההשתמרות שלהן טובה יותר ככל שהיחידה צעירה יותר. ביחידות הקרקע כמות הביוקלסטים, בעיקר ממקור ימי, היתה קטנה יותר. בחמרת נתניה לא נמצאו ביוקלסטים כלל. ככל שהכורכר עתיק יותר, ניכרים תהליכי צמנטציה אינטנסיביים יותר הבאים לידי ביטוי בצמנט שמצפה גרגרים וממלא חללים. חמרת נתניה נבדלת מפרט נחשולים בכך שלא נמצא בה גיר כלל והפלסמה חרסיתית, מצפה גרגרים וממלא את החללים. הפלסמה בפרט נחשולים, חציה חרסיתית וחציה מיקריטית.

באנליזה הגרנולומטרית ניכרת אוכלוסית ה- Saltation הדומיננטית בכל היחידות. בכל היחידות (למעט שכבה צהובה של נתניה) נמצאו גם אוכלוסיות סילט וחרסית. ההבדלים בין היחידות הם במשקל היחסי של אוכלוסיות החול הסילט והחרסית (איור 14). בכורכרים תכולת הסילט והחרסית קטנה יחסית - פחות מ- 10% סילט ופחות מ- 5% חרסית (טבלה 2). בחמרת נתניה ופרט נחשולים אוכלוסית הסילט גדולה הרבה יותר - בנתניה 40%, ובנחשולים קרוב ל- 20% (טבלה 2). בחמרת נתניה ניכרת גם אוכלוסית חרסית משמעותית - 10%. השכיח החולי דומה אף הוא בכל היחידות - $150-200\mu m$, אם כי ניכרת עליה בגודל הגרגר השכיח ככל שהיחידה צעירה יותר.

4.1. סביבות השקעה

מטרת המחקר הראשונית היתה פיענוח סביבות ההשקעה של היחידות הסטרטיגרפיות המרכיבות את מצוק חוף השרון. התהליך הראשוני הוא הסעה על ידי רוח של חומר שהובא על ידי זירמי ים מהדלתא של הנילוס ונפלט לחוף (ניר, 1989). כל עוד החומר נערם והדיונה פעילה, אין התפתחות נוספת במקביל. החל מהתיצבות הדיונה, קיימים שני מסלולים דיאגנטיים עיקריים: האחד - המסת ביוקלסטים וחלקיקי קרבונט בדיונה וצמנטציה של הדיונה על ידי החומר הגירי המומס. במסלול זה נוצר הכורכר. על מנת שתהליך זה יתרחש, דרושה כמות מינימלית של $CaCO_3$ 8%, בתנאים הסביבתיים של אזור השרון (Yaalon, 1967). כמות המשקעים אינה משמעותית להתפתחות הזו. האבחנה בין כורכר יבשתי לכורכר ימי קשה במיוחד כשמדובר בחומר שנאסף מקידוחים והיחידה לא נחשפת על פני הקרקע. סיוון (1996), מצאה שהאבחנה הטובה ביותר בין כורכר יבשתי, איאולי, לכורכר ימי מתבצעת על ידי שילוב של קריטריונים -

הופעת היחידה בשדה, מאפיינים גרנולומטריים ומאפיינים פטרוגרפיים. במחשופים, קיימים מספר מאפיינים שלא מותירים מקום לספק, הופעת שיכוב צולב למשל, מעידה על מקור איאולי. המסלול השני הוא התפתחות פדוגנית בתוספת של אבק איאולי בגודל סילט וחרסית (וידר ויעלון, 1983). תנאי נוסף להתפתחות פדוגנית הוא כמות מספיקה של משקעים, על מנת לשטוף את כל הגיר (דן ויעלון, 1990). בסופו של התהליך הזה נוצרת קרקע. אם השטיפה מספיק חזקה תיווצר חמרה אדומה ואם לא, תיווצר קרקע בדרגת התפתחות מסוימת שהתהליך הפדוגני בה לא התפתח.

על פי שלוב הקריטריונים (סיון, 1996), סביבת ההשקעה של כל היחידות הסטרטיגרפיות הנחקרות בעבודה זו היא יבשתית ותהליך ההסעה בכולן היה על ידי רוח. הכורכים הנחשפים במצוק חוף השרון מאופיינים כולם בשיכוב צולב המעיד על המקור הדיוני שלם. המאפיינים הגרנולומטריים, אוכלוסית Saltation עיקרית עם התפלגות נורמלית ומיון טוב מאד בכל היחידות, מצביעים אף הם על חומר אב ממקור דיוני. השכיח החולי הדומה, כאמור, בכל היחידות, הנע בין $150 \mu\text{m}$ ל- $200 \mu\text{m}$, מאפיין דיונות. בכורכים ימיים המיון בדרך כלל גרוע. תהליך התייצבות הדיונה מאופיין בתוספת של אוכלוסית Suspension - גרגרים בגודל סילט וחרסית. האחוז היחסי של אוכלוסיה זו בדיונה יכול לשמש מדד לאבחנה בין דיונות צעירות לדיונות פוסיליות מיוצבות. הימצאות שתי אוכלוסיות נוספות לפחות של סילט וחרסית מלבד אוכלוסית החול, בכל היחידות, מצביעה על כך שגם ביחידות שלא עברו תהליך פדוגני היתה חדירה מסוימת של אבק איאולי שגרמה להתייצבות הדיונה. המאפיינים המינרלוגיים - יחסי קוורץ-קרבונט - מעידים על מקור הסעה איאולי. הקוורץ באיאווליניטים מצוי בריכוז גבוה יחסית לביוקלסטים כיוון שההסעה הרוחית מעדיפה את גודלי הגרגר של הקוורץ לעומת הביוקלסטים הגדולים יותר. ביחידות הנחקרות מהווים הגרגרים הביוקלסטים 10% לכל היותר. הקוורץ, לעומת זאת, מהווה בין 80 ל- 90% מגרגרי השלד. ההבדלים העיקריים בין היחידות, הן בהופעתן בשדה והן במאפיינים הגרנולומטריים והפטרוגרפיים נובעים בעיקר מתהליכים דיאגנטיים שונים שהן עברו.

4.1.1 יחידות הכורכר

גרנולומטריה - ההבדל העיקרי הוא בין כורכר תל אביב המאופיין בכמות סילט גדולה יותר מזו של דור ורמת גן. בכורכר תל אביב מוצאים 11% סילט וברמת גן 7% אולם חלק נכבד מאוכלוסיה זו מקורו בכתישת הצמנט הקרבונטי תוך כדי הכנת הדוגמא למדידה ולא בחומר האב האיאולי.

פטרוגרפיה - הכורכים נבדלים זה מזה בעיקר בדרגת הצמנטציה, כמות החללים ודרגות השתמרות הביוקלסטים. השאלה היא האם הבדלים אלה נובעים מתנאים סביבתיים שונים שחלו בתקופות ההסעה, ההשקעה וליכוד היחידות השונות לכורכר או שהם פונקציה של הזמן שחלף מאז הצטברו החולות הללו. יתכן שגם למיקום היחידה בחתך השפעה על הפרמטרים שנבדקו. בעבודות קודמות הובדלו האיאווליניטים הצעירים מהעתיקים על פי יחסי הקרבונטיים הלא יציבים לקלציט בגרגרים הביוגנים. על פי החוקרים, בשלב הראשון מוחלף הקלציט עשיר המגנזיום לקלציט דל מגנזיום ובשלב השני מומס הארגוניט. כלי זה, בנוסף לדרגת מילוי החללים

על ידי הצמנט ודרגת ההמסה ממקמים את האיאלוניטים על ציר זמן (Gavish and, 1969) Friedman). ההבדלים הנצפים בשקפים בין הכורכרים שנחקרו בעבודה זו נובעים בעיקר מהזמן שחלף מאז החלו התהליכים הדיאגנטיים ביחידות הללו. כורכר תל אביב הצעיר ניכר בכמות רבה יותר של חללים (יותר מ - 50%) ובביוקלסטים בדרגת השתמרות טובה הרבה יותר מאשר בכורכר דור וברמת גן. ייתכן, עם זאת שגם לריכוז ה- CaCO_3 השפעה על ההבדלים בין היחידות. בכורכר תל אביב מוצאים כמות גדולה יותר של CaCO_3 (30%) מאשר ברמת גן ובדור (15-20%). חדירה מאסיבית יותר של ביוקלסטים בכורכר תל אביב גרמה כנראה לליכוד מהיר ואינטנסיבי יותר ביחידה זו ולהופעה קשה ומסיבית יותר בשדה.

4.1.2 קרקעות

גרנולומטריה - ההבדל העיקרי בין היחידות השונות הוא באחוזי אוכלוסית האבק האיאלולי - סילט וחרסית. בכל היחידות, כאמור, (למעט שכבה צהובה של חמרת נתניה) נמצאו האוכלוסיות הללו אולם לא בכמויות זהות. ניתן להסיק מכך שהאבק האיאלולי דרוש על מנת לייצב את הדיונות אך כנראה שעל מנת שתהליך פדוגני יתחיל להתפתח דרוש ערך סף מסוים. ביחידות הקרקע אנו מוצאים סילט בכמויות הקרובות ל - 20% ויותר (בחמרת נתניה מגיעה כמות הסילט ליותר מ - 40%) בעוד שביחידות האחרות הסילט מהווה פחות מ - 5%. אין באפשרותי, לאור התוצאות הגרנולומטריות במחקר זה, לסמן את ערך הסף הדרוש לתהליך פדוגני להתפתח אך ניתן בהחלט לומר שדרושה כמות רבה יותר של אבק איאלולי מזו שנמצאה בכורכרים על מנת שתהליכים פדוגניים יחלו להתרחש ולא תתרחש התפתחות כורכר.

ריכוז CaCO_3 - הכורכרים מאופיינים ב - 20% ומעלה של CaCO_3 בעוד שבחמרת נתניה, שהינה קרקע מפותחת, הריכוז נמוך בהרבה (2%). בנחשולים ובתערוכה נע ריכוז ה- CaCO_3 בין 10% ל - 20%. מרכיב זה הינו חשוב בהתפתחות הדיאגנטיים של היחידות. כשקיימת אספקה של קרבונט לא יציב - ארגוניט או קלציט מגנזי ממקור ימי, בכמות גדולה, יתפתח תהליך צמנטציה ויווצר כורכר (Yaalon, 1967). על מנת שתוצר קרקע מפותחת דרושה מלכתחילה כמות קטנה של קרבונט וכמות גדולה של מי גשמים שתשטוף את כולו. כנראה שלא היה בחמרת נתניה ריכוז גבוה של גיר מלכתחילה, כפי שמעיד הריכוז הנמוך שלו בשכבה הצהובה, ועם זאת, בהכרת, היו תנאי לחות שאפשרו שטיפה אינטנסיבית של כל הגיר. עוד ייתכן ששטיפת הגיר מחמרת נתניה תרמה אף גיר ליחידות מתחתיה ואיפשרה את המשך הצמנטציה והפיכתן של דור ורמת גן לכורכר. בפרט נחשולים קיים ריכוז גבוה יחסית של CaCO_3 , כ - 15% בממוצע, כנראה שבזמן ההתפתחות הפדוגנית שררו תנאי לחות שלא איפשרו את שטיפת כל הגיר וזו אחת הסיבות לכך שנחשולים לא הפכה לקרקע מפותחת. חלק מהגיר נשטף בנחשולים וניתן לראות זאת בהבדל בריכוז ה- CaCO_3 בין גג היחידה לבסיס היחידה - פחות מ - 10% בגג, ומעל 20% בבסיס (איור 6).

פטרוגרפיה - למרות כל האמור לעיל אין ספק שבפרט נחשולים התרחשו תהליכים פדוגניים. על כך מעידים המאפיינים הפטרוגרפיים של היחידה: הציפוי החרסיתי העוטף את הגרגרים ואת

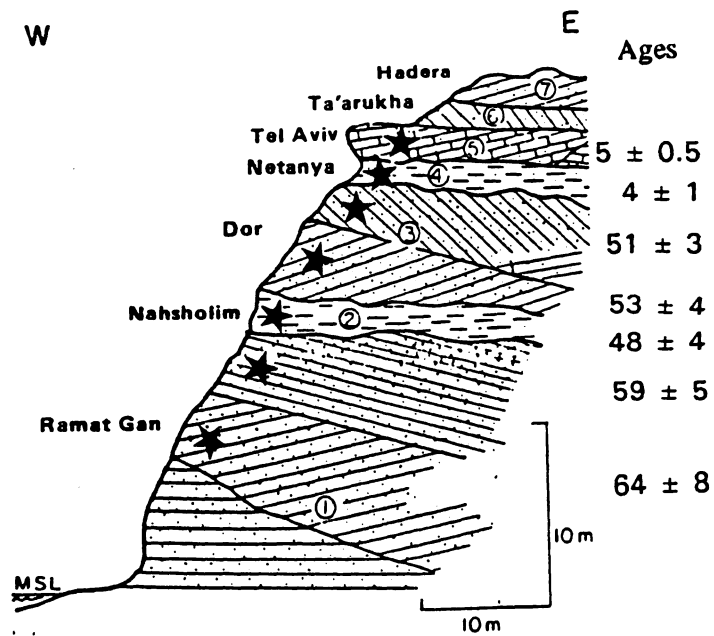
החללים ויוצר גשרים ביניהם, תצבירי הגיר ששקעו Insitu והמעבר ההדרגתי בינם לפלסמה ואופן הציפוי, Coating, המעיד על אילוביציה בולטת שגם היא עדות לתהליכים פדוגניים (תמונות 17-19).

חמרת נתניה הינה חמרה מפותחת וההבדל בעוצמת הפדוגנזה בינה לבין נחשולים ניכרת היטב. חמרת נתניה מאופינת בפלסמה חרסיתית אדומה שעוטפת את כל הגרגרים וממלאה חללים. ניתן לראות בבירור את גרגרי הקוורץ בגודל סילט בכמות משמעותית (תמונה 21). לא נמצאו גרגרים קרבונטים כלל וגם לא תצבירי גיר. הגיר נשטף כולו. קיימות עדויות לתהליכי תפיחה והתכווצות המתבטאים בסדקים צרים וקצרים, Narrow Plane, הנוצרים בתקופות יובש שבאות לאחר תקופות גשומות. מה שאפשר את התפתחותה היה כנראה שילוב של תנאים: חדירת אבק איאולי בגודל סילט בכמות רבה יותר (40% סילט בממוצע), הפסקה באספקה האיאולית ובהוצרות הדיונות שאיפשרה ליחידה להיות חשופה על פני השטח או להצטבר באיטיות כ - 45 אלף שנה, כפי שיפורט בהמשך, ולתהליכים הפדוגניים להתפתח, וכנראה תנאים לחים במיוחד שאפשרו שטיפה אינטנסיבית של כל הגיר. חולות התערוכה מייצגים דיונה מיוצבת שנמצאת בתחילתו של תהליך פדוגני אולם קשה בשלב זה לראות עדויות לכך בבדיקות שנערכו. ריכוז ה- CaCO_3 ביחידה זו עומד על 10% ואחוז הסילט קטן מאד - 3.5%. קשה לצפות כיצד יתפתח התהליך הפדוגני.

4.2. תיארוך

היחידות הסטרטיגרפיות - רמת גן, דור ונחשולים בבסיס המצוק, הצטברו במשך כ - 10000 שנה, בין 60000 ל - 50000 שנה לערך לפני ההווה (איור 7). לא ניתן להגיע לדיוק רב יותר כי הגילים קרובים מאד זה לזה והשגיאות שלהם חופפות (איור 6). חמרת נתניה התפתחה במשך כ - 45000 שנה, מ - 56 אלף שנה עד 13 אלף שנה לפני הווה. גילו של כורכר תל אביב הוא כ - 5000 שנה וגיל חולות התערוכה, לפי תוצאות התיארוך, בין 2000 שנה לבין הווה. הגילים שהתקבלו נתמכים על ידי בדיקות נוספות שנערכו וממצאים מעבודות אחרות. תוצאות מדידת Multiphen disk - הראו תוצאה דומה לזו שהתקבלה בשיטת ה - Single disk (ראה פרק תוצאות). בבדיקת יציבות הסיגנל המלאכותי ונסיונות האיפוס התקבלו תוצאות שהצביעו על מהימנות השיטה (פרק תוצאות). התוצאות עומדות בהתאמה לתוצאות התיארוך שבוצע על ידי Porat & Wintle (1994) (איור 15). כורכר רמת גן, נחשולים ודור שקעו, לפי עבודתן של פורת ווינטל, בין 64000 שנה עד 51000 שנה לפני ההווה. חמרת נתניה החלה להתפתח לפני כ - 50000 שנה. גיל כורכר תל אביב כ - 5000 שנה. יש לציין כי העבודות בוצעו במעבדות שונות ומדידת שטפי הקרינה בוצעה בשיטה שונה. הגילים שהתקבלו מציינים את זמן התייצבות הדיונות, הזמן שבו הגרגר נקבר ולא נחשף לאור כתוצאה מתזוזות. לגילאי היחידות משמעות בכמה משוררים:

א. תהליכי ליכוד הדיונה לכורכר ותהליכי פדוגנזה - על פי התוצאות, שלוש היחידות בבסיס המצוק - רמת גן, דור ונחשולים, בעובי מצטבר של כ - 25 מטר, הצטברו במהלך כ - 10000 שנה.



איור 15: תוצאות תיארוך ראשוני של מצוק החוף (Porat & Wintle, 1994).

חמרת נתניה, בעובי של 4 מטר לערך, התפתחה במשך כ- 45000 שנה. ממצאים אלה מוכיחים שתהליך הפיכת הדיונה לכורכר קצר בהרבה מתהליך פדוגני. סביר להניח שתהליכי המסה והשקעה משנית בכורכרים ממשיכים להתרחש גם אחר כך. עדויות לכך שהזמן הוא גורם חשוב, מוצאים בבירור בשינויים הדרגתיים עקביים מלמעלה למטה במאפיינים הפטרוגרפיים של הכורכרים השונים המרכיבים את המצוק. ייתכן אפילו שתהליכי ההשקעה המשנית של הגיר (שעדויות לו מוצאים בצמנט דק הגרגר הנראה בשקפים) והצמנטציה הושפעו והוזנו משטיפת הגיר מחמרת נתניה. עם זאת, אין מדובר בתהליך ארוך כמו תהליך פדוגני. למסקנה זו ניתן להגיע מגילו הצעיר של כורכר תל אביב - 5000 שנה. כורכר מלוכד וצעיר זה מעיד על כך שתהליך הפיכת הדיונה לכורכר מרגע שהתייצבה אינו כה ארוך.

לעומת תהליך ליכוד הדיונה לכורכר, התהליך הפדוגני ממושך מאד. על מנת שתיווצר חמרה מפותחת, דרוש כנראה זמן רב שבו היחידה תהיה חשופה על פני השטח בתנאים שיאפשרו את התפתחותו של התהליך הפדוגני, דהיינו תנאי שטיפה טובים והפסקה באספקה האיאלית. פרט נחשולים לא התפתח לקרקע מפותחת, כנראה מפני שלא היה מספיק זמן חשוף על פני השטח. לפי תוצאות התיארוך לא ניתן לתחום את התקופה שבה היה פרט נחשולים חשוף על פני השטח לפני שנקבר תחת היחידה שמהווה היום את כורכר דור, אך ניתן לומר שתקופה זו ארכה בין 3000 ל- 8000 שנה (איור 7). כנראה שבתקופה קצרה זו, או שלא היה מספיק גשם על מנת שתהליכי השטיפה יפעלו במלוא עוצמתם, ישטפו את כל הגיר ויאפשרו המשך תהליכים פדוגניים או שפשוט לא היה לכך מספיק זמן.

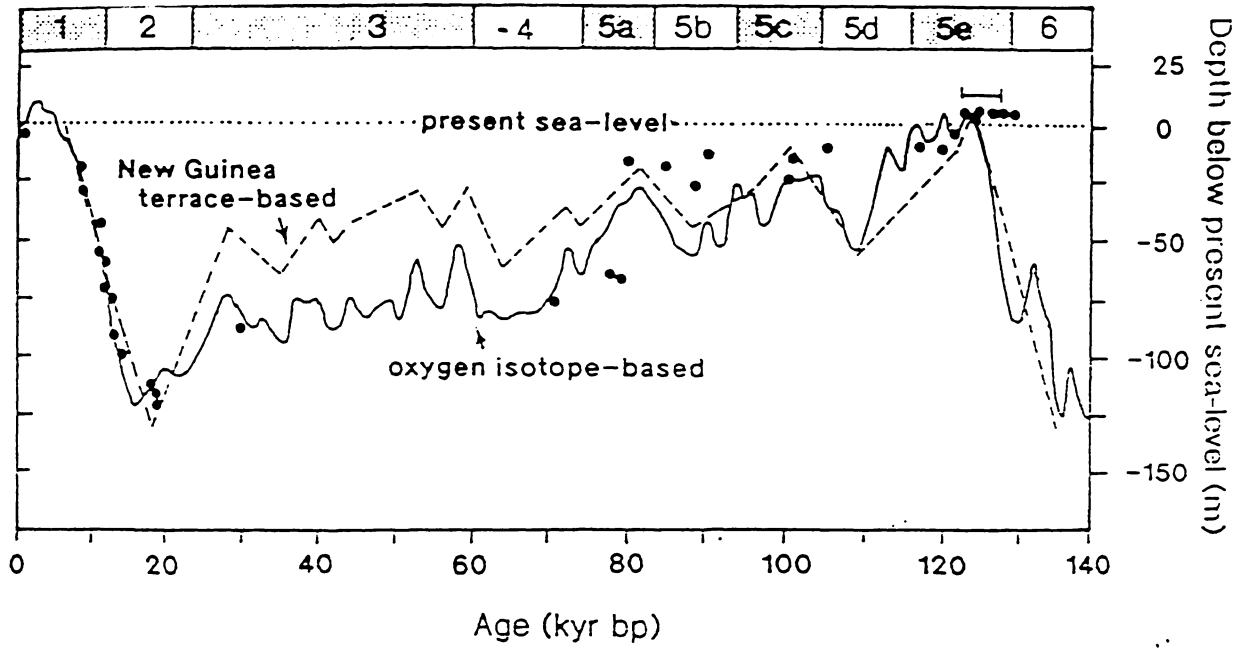
גיל חולות התערוכה שהתקבל במחקר זה אינו מתאים לממצאים ארכיאולוגיים שנמצאו ביחידה זו ולגילאי פחמן 14 משבוללי יבשה שנמצאו ביחידה. בסקרים ארכיאולוגיים נמצאו שרידים מתקופת ברונוזה קדומה I (גופנא, 1990) וגילאי השבוללים שנאספו מיחידה זו נעים בין 4000 ל- 5500 שנה (נצר, 1995). הגיל שהתקבל בעבודה זו הוא בין 2000 שנה לערך עד זמנינו. תוצאה זו מוסברת על ידי כך שחולות התערוכה הם בעצם קרקע פעילה שמתרחשים בה תהליכים פדוגניים ופעילות ביולוגית של צמחים ובעלי חיים בהווה. פעילות זו גורמת לעירבול הגרגרים בתוך הקרקע וחשיפתם לאור. במקרה כזה מתקבל גיל צעיר יותר מהאמיתי. פעילות מסיבית של האדם, בניה, נסיעה וספורט באזור המחקר גורמת אף היא להפרה של המצב הטבעי של היחידה. ייתכן שגם לכך השפעה על הגיל שהתקבל למרות שבאזור הדגימה היחידה היתה נראית במצב השתמרות טוב וטבעי. בכל מקרה, בין אם הגיל שהתקבל לחולות תערוכה הינו צעיר מהאמיתי ובין אם הוא משקף את האמת נכונה, חולות התערוכה הינם חולות צעירים יחסית ותהליך פדוגני גם אם החל, טרם הספיק להתפתח. עדויות לכך מוצאים בהרכב הגרנולומטרי של היחידה העניה באוכלוסיות סילט וחרסית ובתכולת CaCO_3 גבוהה יחסית - מעל 10%.

ב. מפלס הים - בין החוקרים אין הסכמה באשר לסביבת הווצרותו של רכס הכורכר. גם חוקרים שמציניים את חילופי הכורכר והחמרה כרצף יבשתי, דוגלים בתפיסה שרכס הכורכר מציין הצפה (Horowitz, 1979; Gavish and Friedman, 1969). לעומתם חוקרים אחרים מייחסים את רכס הכורכר לתקופות של נסיגה ימית (Farrand and Ronen, 1974). רב המחקרים מאזורים שונים בעולם היגיעו למסקנה שדיונות חוף אורכיות שהתלכדו לאיאווליניטים מציניים פרקי זמן של מפלס ים נמוך. (Copper and Flores, 1991; Muhs, 1983). גם הגישה שרכסי כורכר מייצגים קו

חוף קדום (איסר, 1961, ניר ובר יוסף, 1976), התבררה כגישה מוטעית, הן בחוף השרון (קצב, 1994, נצר, 1995) והן בחוף הגליל (סיון, 1996). במחקרים הללו הוכח שרכסי כורכר מקבילים נוצרו בחלקם בו זמנית. על פי ממצאי התיארוך במחקר זה מתקבלת התמונה ששלוש היחידות הסטרטיגרפיות מתחת לחמרת נתניה (רמת גן, נחשולים ודור) וכן השכבה הצהובה של חמרת נתניה שמהווה את חומר האב שלה, הצטברו במשך כ- 10000 שנה בין 50 ל- 60 אלף שנה לפני ההווה. תקופה זו היא בין דרגה איזוטופית 4 לדרגה 3 (איור 1) שמשמעותה דרגת משנה של תקופה קרחונית עם מפלס ים נמוך. רובו של הרכס המערבי נוצר, אם כן, בתקופה קרחונית. בתקופה זו היה נמוך מפלס הים בכ- 55 מטר מזה של היום (איור 16). על פי מפה בתימטרית הים היה מרוחק בין 10 ל- 15 קילומטר ממצוק החוף. עובדה זו שוללת את הגישה שרכס הכורכר מייצג קו חוף קדום. ניתן לפרש את הצטברות שלוש היחידות בזמן קצר יחסית, בזמניות של חומרי אב כתוצאה מירידת מפלס הים. ייתכן גם שמכאן היתה כמות גדולה של ביוקלסטים שגרמו ליצירת הכורכר. למרות האמור לעיל, בפרק זמן מסוים בתוך תקופת ההצטברות של שלוש היחידות שררו תנאים שאפשרו את תחילת התהליך הפדוגני בפרט נחשולים. ייתכן שמדובר בשינוי במשטר הרוחות שהביאו יותר אבק איאולי ופחות חומר אב ממקור ימי. כורכר תל אביב הצטבר עד לפני כ- 5000 שנה. בתקופה זו מפלס הים דומה לזה של היום. המצוק בתקופה זו הגיע כמעט לגובהו בהווה. הדיונות, בכל זאת, הורבדו בגג המצוק ועברו מחסום יבשתי.

ג. משמעות אקלימית - רב המחקרים מצביעים על תנאים ארידיים בתקופת היווצרות איאוליניטים ותנאים לחים יותר בזמן היווצרות חמרות (Thom et al, 1994; El-Asmar, 1994). אך במקרים רבים אין התאמה בין תנאי האקלים המתקבלים מתחומי מחקר שונים במקומות שונים בעולם העוסקים באותם פרקי זמן (סיון, 1996). עדויות על תנאי האקלים באיזורינו בתקופת הווצרות היחידות הסטרטיגרפיות המרכיבות את מצוק החוף קיימות בעיקר ממחקרים שנעשו באזור ים המלח ועוסקים בימת הלשון (Schramm et al, 1997; Yechieli et al, 1993; Begin, 1985). עבודות נוספות שעוסקות בפאליאואקלים באיזורינו בוצעו על ידי Bar-Mathews et al (1997a,b) במערת שורק. מחקירת יחסי איזוטופים של חמצן ואיזוטופים של פחמן במערת שורק עולה, על פי Bar-Mathews et al (1997a) ו-Bar-Mathews and Ayalon (1997b), שבמהלך התקופה שבין 58 אלף שנה לבין 20 אלף שנה חלה התקררות, שמשמעותה ירידה בטמפרטורה עד כ- 8°C , והתייבשות.

חקר הסדימנטים מימת הלשון מראה על רציפות של סדימנטציה בין 68 אלף שנה לבין 20 אלף שנה לפני הווה (Schramm et al, 1997), בתקופה בה ימת הלשון היתה קיימת ונחשבת לתקופה לחה, אולם במהלך תקופה זו היו שינויים. משינויים ביחסי Sr/Ca ו- U/Ca בסדימנטים היגיעו החוקרים למסקנה שבין 68 אלף שנה ל- 56 אלף שנה לפני הווה ובין 30 אלף שנה ל- 24 אלף שנה שררה תקופה לחה ובין 56 אלף שנה ל- 30 אלף שנה היו תנאים משתנים. במשך רב התקופה הזו מפלס ימת הלשון היה יחסית גבוה (Kaufman et al, 1992) מה שמעיד על תנאי לחות גבוהה יותר



איור 16: השתנות מפלס פני הים ב- 140 אלף השנה האחרונות.
מתוך Van Andel and Tzedakis (1996)

מאשר היום. מפלס ימת הלשון ירד בצורה משמעותית לפני בערך 12500 שנה (Begin, 1985). במהלך התקופה בה היתה קיימת ימת הלשון הצטברו והתפתחו רב היחידות הסטריטיפיות הנחקרות בעבודה זו. כאמור, להוצרות כורכר חשובה כמות הגיר הזמינה ופחות כמות המשקעים אבל להוצרות חמרה דרושה כמות משקעים רבה על מנת לשטוף את כל הגיר. חמרת נתניה התפתחה במהלך תקופת הקרח האחרונה. ממצא זה מתאים לקיומה של ימת הלשון באותו זמן, המחייב גם הוא תקופה לחה. הפעילות הפדוגנית בחמרת נתניה פסקה, על פי הגיל הצעיר שהתקבל בגג היחידה, לפני כ- 13 אלף שנה. בתקופה זו ירד גם מפלס ימת הלשון בצורה משמעותית מאד עד כמעט 700- מתחת למפלס פני הים. תקופה זו ידועה כמעבר לתקופה יבשה Younger Dryas (11.5-12.5 אלף שנה) בכל העולם, סמוך כרונולוגית, למעבר להולוקן.

5. סיכום מסקנות

כל היחידות בחתך שנחקר באיזור געש, הן הכורכרים והן הקרקעות, הצטברו כדיונות חוף יבשתיות. תוספת של סילט וחרסית בנחשולים ובחמרת נתניה גרמה להוצרות תהליכים פדוגניים.

הכורכרים נוצרו כנראה בגלל כמות רבה של גיר, תנאי אקלים שלא אפשרו את שטיפתו, כמות בלתי מספקת של אבק איאולי בגודל סילט שהוא תנאי להתפתחות פדוגנית והצטברות מהירה של דיונות שלא איפשרה לתהליך פדוגני להתפתח.

הכורכרים נבדלים זה מזה בעיקר בדרגות הצמנטציה, דרגות השתמרות הביוקלסטים וכמות החללים. הבדלים אלה הם בעיקר פונקציה של גיל היחידות.

היחידות הסטרטיגרפיות רמת גן, דור ונחשולים, שעוביין המצטבר הוא כ - 25 מטר, הצטברו במשך כ - 10000 שנה, בין 60000 שנה לערך ל - 50000 שנה לערך לפני ההווה. תקופת ההצטברות היתה בתחום תקופת הקרח האחרונה כשמפלס הים היה נמוך ומרוחק מהחוף יחסית להווה. ממצא זה מחייב מספר מסקנות: א. הכורכרים לא נוצרים רק בסביבה חופית. ב. תהליך ליכוד הדיונה לכורכר קצר בהרבה מתהליך פדוגני.

נחשולים וחמרת נתניה נבדלים זהו מזה בדרגות ההתפתחות הפדוגנית. פרט נחשולים עבר תהליך פדוגני שלא התפתח אם בשל הזמן המועט שעבר בין התייצבותו לבין קבורתו על ידי כורכר דור ואם בשל תנאים שלא איפשרו את שטיפת הגיר.

בתקופות ההצטברות של נחשולים וחמרת נתניה שררו תנאים שונים מהיום שאפשרו חדירת אבק איאולי לאזור השרון בכמות רבה יותר מזו המוכרת לנו היום.

חמרת נתניה הינה קרקע מפותחת שהתפתחה בתהליך פדוגני ממושך שארך כ - 45000 שנה במהלך תקופת הקרח האחרונה מ - 56000 שנה עד - 13000 לערך שנה לפני ההווה. התנאים שאפשרו את הוצרות הקרקע הם חדירת אבק איאולי בגודל סילט בצורה משמעותית, תנאי לחות שאפשרו שטיפה של הגיר והצטברות איטית של חולות שאיפשרה חשיפה ארוכה בגג החתך. כמות התחלתית קטנה של גיר מנעה אפשרות של הפיכת הדיונה לכורכר.

לשכבה הצהובה בבסיס חמרת נתניה אותם מאפיינים גרנולומטרים של הפרקציה החולית כמו בשכבה האדומה ואותם מאפיינים מינרלוגים. שכבה זו מהווה כנראה את חומר האב של חמרת נתניה.

חולות התערוכה מצויים כנראה בתחילתו של תהליך פדוגני שאינו מתבטא בכמויות החרסית שנמדדה באנליזה הגרנולומטרית, אך משפיע על גיל היחידה שהתקבל (בין 2000 שנה לערך לבין ההווה) שהוא צעיר כנראה מהגיל האמיתי של היחידה.

כורכר תל אביב הצטבר לפני כ - 5000 שנה, בתקופה בה מפלס הים היה דומה לזה של היום.
ממצא זה מצביע על כך שדיונות החול עברו את המחסום של רכס הכורכר המערבי והורבדו על
גביו.

6. רשימת ספרות

- איסר, א. (1961), הגאולוגיה של מקורות המים התת-קרקעיים באזורי השפלה והשרון. תה"ל והמכון הגאולוגי לישראל, פרסום מספר 307, ירושלים, עמוד 45 וטבלאות.
- בקר, נ. (1977), מחזורי השקעה בסוף הקוורטר לאורך קו החוף במרכז הארץ ומשמעותם הגיאומורפולוגית, הכנס השנתי של האגודה הגאוגרפית הישראלית, באר שבע, עמ' 41-45.
- גבירצמן, ג. (1990), הגיאולוגיה והגיאומורפולוגיה של השרון ומדפו הים תיכוני. בתוך: דגני, א. גרוסמן, ד. ושמואלי, א. (עורכים): "השרון", משרד הבטחון ואוניברסיטת תל אביב, עמ' 19-59.
- גבירצמן, ג. נצר, מ. קצב, א. (1995), חבורת כורכר (רביעון) לאורך מצוק חוף השרון. סיורים, החברה הגיאולוגית הישראלית, הכנס השנתי, זכרון יעקב, 1995, עמ' 13-19.
- גביש, א. ובקר, נ. (1990), רצועת חוף השרון - גורמים ותהליכים גאומורפולוגיים וסדימנטולוגיים, בתוך: דגני, א. גרוסמן, ד. ושמואלי, א. (עורכים): "השרון", משרד הבטחון ואוניברסיטת תל אביב, עמ' 61-81.
- גופנא, ר. (1990), הישוב בשרון בתקופה הכלכליתית ובתקופת הברונזה הקדומה: תהליכים, מערכים ונופים, בתוך: דגני, א. גרוסמן, ד. ושמואלי, א. (עורכים): "השרון", משרד הבטחון ואוניברסיטת תל אביב, עמ' 161-166.
- דן, י. יעלון, ד. (1990), היווצרות הקרקעות בשרון והקשר ביניהן ובין אופי הנוף, בתוך: דגני, א. גרוסמן, ד. ושמואלי, א. (עורכים): "השרון", משרד הבטחון ואוניברסיטת תל אביב, עמ' 83-97.
- וידר, מ. ויעלון, ד. (1983), מיקרומורפולוגיה של קרקעות חמרה. בתוך: גרוסמן, ד. (עורך) "בין ירקון לאילון", הוצאת אוניברסיטת בר-אילן, עמ' 27-34.
- ניר, י. (1989), חופי הים התיכון של ישראל וצפון סיני, היבטים סדימנטולוגיים, המכון הגאולוגי, ישראל, דו"ח GSI / 39/88, ירושלים, 130 ע'.
- ניר, ד. ובר יוסף, ע. (1976), אדם ונוף בארץ ישראל בתקופת הרביעון. החברה להגנת הטבע והחברה לחקירת ארץ ישראל ועתיקותיה.

נצר, מ. (1995), שינויי אקלים בתקופת ההולוקן והשפעתם על עיצוב הנוף בגוש-דן ועל התישבות האדם באזור זה. חיבור לתואר דוקטור לפילוסופיה, המחלקה לגיאוגרפיה, אוניברסיטת בר-אילן, רמת גן, 127 ע' ונספחים.

סיון, ד. (1996), פליאוגיאוגרפיה של חוף הגליל ברביעון, חיבור לשם קבלת תואר דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

פרת, א. ואלמגור, ג. (1996), סיכונים לאורך מצוק השרון. דו"ח מס' GSI /5/96, המכון הגיאולוגי, משרד האנרגיה והתשתית, ירושלים, 80 ע'.

קצב, א. (1994), סטרטיגרפיה של הרביעון בשרון. עבודת גמר לתואר מוסמך, המחלקה לגיאוגרפיה, אוניברסיטת בר אילן, רמת גן, 35 ע'.

רון, צי"ד. (1989), תהליכי גלישות ושיעורי הנסיגה של המצוק החופי בגבעת עליה, יפו. מרחבים, 3, אוניברסיטת תל אביב, עמ' 145-124.

Aitken M.J, (1994), Optical Dating: a non-specialist review. *Geochronology* (Quaternary Science Reviews) 13, pp. 503-508.

Aitken, m.j., (1990), *Science-Based Dating in Archaeology*: Longman House, Harlow, 274 p.

Avnimelech, M., (1952), Late Quaternary Sediments of the Coastal Plain of Israel, *Bull. Res. Counc. Isr.*, 2, pp. 51-57.

Bakler, N., Denekamp, S. and Rohrllich, V., (1972), Sandy units in the Coastal Plain of Israel: Environmental interpretation using statistical analysis of grain size data. *Israel Journal of Earth. Science*, 21, pp.155-178.

Bar-Mathews, M., Ayalon, A. and Kaufman, A., (1997a), Paleoclimate evolution in the Eastern Mediterranean region during the last 58000 YR as derived from stable isotopes of speleothems. (Soreq Cave, Israel), Im press.

- Bar-Mathews, M., and Ayalon, A., (1997b), The Paleoclimate in the Eastern Mediterranean region from Stable isotopes analysis of speleothems at Soreq Cave, Israel. *Quaternary Research* 47, pp.26-39.
- Begin, Z.B., Broecker, W., Buchbinder, B., Druckman, Y., Kaufman, A., Magaritz, M., and Neev, D., (1985), Dead Sea and Lake Lisan Levels in the Last 30,000 Years. A Preliminary Report. Israel Geological Survey, Report GSI/29/85, Jerusalem.
- Brewer, R., (1964), Fabric and Mineral analysis of soil. John woley and sons, New York.
- Bullock, P., Federoff, N., Jongerius, A., Stoops, G., Tursina, T., and Babel, U., (1985), Handbook for soil thin section description. Waine Research, Wolverhampton, U.K. pp. 152.
- Cooper, J.A.G., and Flores, R.M., (1991), Shoreline deposits and diagenesis resulting from two Late Pleistocene highstands near +5 abd +6 meters. Durban, South Africa, *Marine Geology*, v.97, pp.325-343.
- Duller, G.A.T., (1994), Luminescence Dating of sediments using single aliquats: New procedures. *Quaternary Geochronology (Quaternary science Reviews)* 13, pp. 149-156.
- Duller, G.A.T., (1991), Equivalent dose determination using single aliquots. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 18, pp. 371-378.
- El-Asmar, H.M ., (1994), Eolianite Sedimentation along the Northwestern Coast of Egypt: Evidendence for Middle to Late Quaternary aridity: *Quaternary Science Review*, v. 13, pp. 699-708.
- Emery, K.O. and Neev, D., (1960), Mediterranean Beaches of Israel. *Geol. Surv. Isr. Bull.*, 26. pp. 1-23.

Emiliani, C., (1966), Isotopic Temperatures, *Science*, 154 (3751), pp. 851-857.

Farrand, W.R., and Ronen, A., (1974), Observations on the Kurkar-Hamra succession on Carmel Coastal Plain. *Tel Aviv*, v. 1, pp. 45-54.

Friedman, G.M., and Sanders, J.E., (1978), *Principles of sedimentology*. New York, John Wiley and Sons, 792 p.

Gavish, E., and Friedman, G., (1969), Progressive diagenesis in the Quaternary to Late Tertiary carbonate sediments: Sequence and time scale. *Journal of sedimentary petrology*, v. 39, pp. 980-1006.

Gifford JA, Rapp Jr G, Mill CL, (1989), Site geology. In Herzog Z, Rapp Jr G, Negbi, O. (eds.), *Excavations at Tel Michal, Israel*. The University of Minnesota Press, Minneapolis, pp. 209-218.

Gvirtzman, G., (1994), Fluctuation of sea level during the past 400000 years: the record of Sinai, Egypt (Northern Red Sea). *Coral Reefs* 13, pp. 203-214.

Gvirtzman, G., Martinotti, G.M., and Moshkovitz, S., (1989), Stratigraphy of the Plio-Pleistocene sequence of the mediterranean coastal belt of Israel and its implications for the evolution of the Nile cone. *G.S.I. report /49/89*, 40 p.

Gvirtzman, G., Shachnai, E., Bakler, N., and Ilani, S., (1984), Stratigraphy of the Kurkar Group (Quaternary) of the coastal plain of Israel: *GSI, Current Research*, pp. 70-82.

Horowitz, A., (1979), *The Quaternary of Israel*. New York, Academic Press.

Huntley, D.J., Godfrey-Smith, D.I. and Thewalt M.L.W, (1985), Optical Dating of Sediments. *Nature* 313, pp. 105-107.

- Imbrie, J., Hays, J.D., Martinson, D.J., McIntyre, A., Mix, A.C., Morley, J.J., Pisias, N.G., prell, W.L., and Shackleton, N.J., (1984), The orbital theory of Plesistocene climate: support from a revised chronology of the marine ^{18}O record (NATO ASI series ed.). Reidel, The Netherland., v. Part 1.
- Imbrie, J., and Imbrie, Z., (1980), Modeling the climatic response to orbital variations. *Science*, v. 207, pp. 943-953.
- Karmeli, D., Yaalon, DH. and Ravina, I., (1968), Dune sand and soil strata in Quaternary sedimentary cycles of the Sharon Coastal Plain. *Israel Journal of earth science*, 17, pp.45-53.
- Kaufman, A., Yechieli, Y. and Gardosh, M., (1992), Reevaluation of the lake - sediment chronology in the Dead Sea Basin, Israel, based on new $^{230}\text{Th}/\text{U}$ Dates. *Quaternary Reswarch*, v. 38, pp. 292-304.
- Milankovitz, M., (1941), *Kanon der Erdbestrahlung*, Koning. Serb. Akad. Gergr. Dpec. Publ. 132, (English Translation by the Israel Program for Scientific Translations, *Canon of Insulation and the Ice Age Problem*, Jerusalem, 1969).
- Muhs, D., (1983), Quaternary sea level events on Northern San Clemente Island, California. *Quaternary Reswarch*, v. 20, pp. 322-341.
- Neev, D. and Bakler, N., (1978), Sedimentological and eustatic criteria for sub-recent tectonic movements. Abstracts, Tenth International Congress on Sedimentology, Jerusalem, 460 p.
- Porat, N. and Halicz, L., (1996), Calibrating the luminescence dating laboratory at the GSI. *Current Research*, fothcoming.
- Porat, N., and Wintle, A.G., (1994), IRSL Dating of Kurkar and Hamra from the Givat Olga Member in the Sharon Coastal Cliff, Israel. GSI Annual Meeting, Nof Ginosar.

- Prescott, J.R and Hutton, J.T., (1988), Cosmic ray and gamma ray dosimetry for TL and ESR Nuclear Tracks and Radiation Measurements. 14, pp. 223-227.
- Schramm, A., Stein, M., and Goldstein, S.L., (1997), ^{14}C Time-scale Calibration and Relation to Global Paleoclimat: Evidence from U- Series and ^{14}C Dating of Lake Lisan (Paleo-Dead Sea) Sediments. Abstract, 13th JIF meeting, Scientific research and development In Israel Ded Sea, Israel, Terra Nostra, 4/97.
- Singhvi, A.K., Sharma, Y.P. and Agrawal, D.P., (1982), Thermoluminescence dating of sand dunes in Rajasthan, India. Nature, 295, pp. 313-315.
- Swanson, R.G., (1981), Sample examination manual. Methods in exploration series. Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, U.S.A.
- Thom, B., Hesp.P., and Bryant, E., (1994), Last Glacial “Coastal” Dunes in Eastern Australia and implications for landscape stability during the last Glacial Maximum. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology., v. 111, pp. 229-248.
- Wintle, A.G., (1993), Luminescence Dating of Aeolian Sands: an Overview in “The Dynamics and Environmental Context of Aeolian Sedimentary Systems” (K. Pye, Ed.),. Geological Society of London Special Publication 72. pp, 49-58.
- Yaalon, D.H., (1967), Factors affecting the lithification of eolianite and interpretation of its environmental significance in the Coastal Plain of Israel. Journal of sedimentary petrology, v.37 No.4, pp. 1189-1199.
- Yaalon, D.H., (1971), Internal structure in eolianites and paleowinds, Mediterranean Coast, Israel. Journal of sedimentary petrology, 41, pp. 1056-1064.

Yaalon, D.H. and Dan, J., (1967), Factors controlling soil formation and distribution in the Mediterranean Coastal Plain of Israel during the Quaternary. In Morrison, R.B. Wright, H.E (eds), Quaternary soil, Proceedings, 9, pp. 322-338.

Yechieli, Y., Magaritz, M., Levy Y., Weber, U., Kafri, R., Woelfli, W., and Bonani, G., (1993), Late Quaternary geological history of the Dead Sea area. Israel. Quaternary Research 39, pp. 59-67.

נספח

אנליזה גרנולומטרית באמצעות מכשיר Microscan

להלן יובא פירוט מהלך העבודה והתוצאות של אנליזה גרנולומטרית, שבוצעה באמצעות מכשיר Microscan, במעבדה לגיאומורפולוגיה וקרקות באוניברסיטת בר אילן. התוצאות יצאו שגויות בחלקן ולא הגיוניות ולכן לא נכללו בעבודה זו, אולם קיימת חשיבות להציג את התוצאות הן בגלל שהושקעה עבודה רבה בכל שלבי העבודה של האנליזה הגרנולומטרית הזו והן בשל מספר מסקנות שהיה ניתן להסיק מתוך התוצאות גם לגבי מחקר זה וגם לגבי מידת התאמת המכשיר לבדיקת חומר מהסוג של הדוגמאות במחקר הזה.

השיטה

בעבודה זו עמד לרשותי מכשיר מטיפוס Microscan המבחין באמצעות קרני x בכמויות ובמשקלים של מקטעי הגודל הקטנים מ - $300\mu\text{m}$ במרווחים של 10ϕ על פי קוטר הגרגירים. עיבוד הנתונים במכשיר זה איפשר לזהות ביחידות הנחקרות אוכלוסיות דקות גרגר גם אם משקלם באחוזים מועט ביותר. מטרת האנליזה הגרנולומטרית היתה לזהות את חומר האב ולהפריד בינו ובין חומרים שנתווספו בתהליכים מאוחרים יותר. בקרקעות, שעברו תהליכים פדוגניים שגרמו לליכוד גרגרים וליצירת אגרגטים, היה צורך לפזר את האגרגטים על מנת לקבל את התפלגות חומר האב המקורי. היחידות הללו עברו טיפול שונה מיחידות הכורכר.

יחידות הקרקע:

לאחר שורה של ניסיונות הוחלט להשתמש בשתי שיטות שונות, האחת בנפות לטיפול בחומר הגס מ - $125\mu\text{m}$ והשניה באמצעות מכשיר ה-Microscan לטיפול בחומר הדק מ - $125\mu\text{m}$. נקודת החיבור ($125\mu\text{m}$) בין שתי השיטות נקבעה ע"י ניסיונות שתוצאותיהם הצביעו על אמינות טובה של המכשיר מנקודה זו בדוגמאות הספציפיות של המחקר הזה. (בבדיקות שערכנו במכשיר לחומר הגס יותר התקבלו ברב המקרים תוצאות שגויות). הטיפול שעברו הקרקעות היה כדלהלן:

שלב א - חומר גס מ - $125\mu\text{m}$ - 1. כתישה זהירה של כ-15 גרם חומר.

2. פיזור ע"י מחולל גלים אולטרא סוני וחומר מפזר Na_2CO_3

0.05%

3. ניפוי רטוב דרך נפה $125\mu\text{m}$.

4. החומר הגס מ - $125\mu\text{m}$ יובש בתנור.

5. ניפוי יבש של החומר הגס מ - $125\mu\text{m}$ דרך סידרת נפות החל

בגודל $300\mu\text{m}$ במרווחים של $4/1\phi$

שלב ב - חומר דק מ - $125\mu\text{m}$ - 1. כתישה זהירה של כ - 40-15 גרם קרקע בהתאם לסוג הקרקע

(בקרקעות בעלות אחוז גבוה יחסית של חרסית היה מספיק 15

גרם, בקרקע חולית מאד היה צורך ב 40 גרם) .

2. ניפוי יבש דרך נפה של $125\mu\text{m}$.

3. 6 גרם מהחומר הדק מ - $125\text{ }\mu\text{m}$ עבר פיזור מכני וכימי (כמו

בשלב א2 לעיל).

4. בדיקה במכשיר ה-Microscan. כל דוגמא עברה שתי הרצות

על מנת לבדוק את אמינות התוצאות.

שלב ג - חיבור נתונים - התוצאות הגרנולומטריות משני השלבים חוברו לרצף אחד. ההתייחסות לתוצאות משלב א' לגבי החומר הגס מ - $125\text{ }\mu\text{m}$ הייתה באחוזים מוחלטים. התוצאות שהתקבלו בשלב ב' מבדיקת החומר הדק במכשיר ה - Microscan - נורמלו לאחוז החומר הדק מ - $125\text{ }\mu\text{m}$ שהתקבל בשלב א'.

הטיפול בשני השלבים נעשה כמפורט לעיל כיוון שעקב בעיות טכניות לא ניתן היה להעביר את החומר הדק, הרטוב, משלב א' במכשיר וגם אי אפשר היה ליבש אותו בתנור כיוון שבתהליך הייבוש התרחשה אגרגציה מחדש.

יחידות הכורכר :

בטיפול ביחידות הכורכר היה צורך לשים לב שכדי להגיע להתפלגות מקטעי הגודל של חומר האב המקורי יש לפורר גושי סלע ועם זאת לא לכתוש שברי חלזונות וקונכיות כי אלה עלולים להוסיף חומר לפרקציות הדקות ולשבש את התמונה האמיתית. הטיפול שעברו יחידות הכורכר כדלהלן :

שלב א - 1. כתישה זהירה של כ-200 גרם חומר מכל דוגמא.

2. ניפוי יבש דרך סידרה של נפות מ - $350\text{ }\mu\text{m}$ עד $63\text{ }\mu\text{m}$ במרווחים של $1/4\phi$. הניפוי בוצע

בטלטה למשך 10 דק'. החומר הגס מ - $350\text{ }\mu\text{m}$ ושכלל שברי קונכיות וחלזונות וכן

גושי סלע, נזרק ולא נלקח בחשבון בעיבוד הנתונים.

שלב ב - 1. פיזור מכני וכימי (בדומה לקרקעות) ל - 6 גרם חומר דק מ - $125\text{ }\mu\text{m}$.

2. כל דוגמא כזו עברה שתי הרצות במכשיר ה-Microscan.

שלב ג - עיבוד נתונים - נעשה בדומה למפורט לגבי יחידות הקרקע. הניפוי, כאמור, בוצע ביחידות

הכורכר עד גודל $63\text{ }\mu\text{m}$ ולכן בשלב החיבור המתמטי של שתי השיטות סוכם כל התוצאות של

הפרקציות הדקות מ - $125\text{ }\mu\text{m}$ על מנת לנרמל את התוצאות משלב ב' לפי האחוז שהתקבל בשלב

א'. נקודת החיבור, אם כן, היא גם כאן $125\text{ }\mu\text{m}$.

תוצאות

ממוצע התוצאות הגרנולומטריות מכל יחידה מוצג באיור 17 במשולש הרכבים. התוצאות שהתקבלו משני שלבי העבודה חוברו כאמור לרצף אחד והנם מוצגים בגרפים (איורים 18-23). כל איור מייצג יחידה סטרטיגרפית אחרת. כנראה שלמכשיר ה-Microscan יש בעיה בקריאת גדלי גרגר חוליים. במהלך עיבוד הנתונים התעוררה בעיה בנקודת החיבור בין שתי השיטות השונות בהן השתמשנו, כלומר בפרקציה שבין $125\text{ }\mu\text{m}$ - $105\text{ }\mu\text{m}$. בגרפים המצטברים לא נמצא פתרון לבעיה זו ולכן קיימת מדרגה כזו שאינה אמיתית בנקודת החיבור. כמו כן ניתן לראות בגרפים הללו מדרגות נוספות שאינן אמיתיות אלא מקורן בקריאות שגויות של המכשיר, כמו למשל

ערכים שליליים לאחוזים או ירידה בערכים של אחוזים מצטברים. כל השגיאות הללו תוקנו בעיבוד הנתונים לערך 0 של הפרקציה השגויה אולם בגרף המצטבר הן עדיין מיוצגות ע"י מדרגות לא טבעיות. למרות אי הדיוקים המסוימים של המכשיר בקריאות מסוימות הוחלט שלא לוותר על התוצאות הנובעות מהשימוש בו כיוון שעדיין באות לידי ביטוי אוכלוסיות סילט וחרסית דקות גרגר שחוזרות על עצמן והן משמעותיות מאד למסקנות הסדימנטולוגיות. בעיבוד הנתונים חושבו המשקל היחסי והגודל השכיח של אוכלוסיות החול, הסילט והחרסית. סיכום התוצאות מובא בטבלה 1 ומפורט להלן:

1. ניתן לראות שאוכלוסיית החול ממוינת היטב בכל היחידות. השכיח של החול משתנה מבסיס החתך לגג המצוק כשהיחידות בבסיס המצוק מאופיינות בשכיח דק יותר מאשר זה של יחידות גג המצוק.

2. כפי שציינתי, באמצעות מכשיר ה-Microscan ניתן היה לזהות כמויות קטנות מאד של אוכלוסיות דקות גרגר. הדבר נעשה ע"י הצגת תוצאות בהיסטוגרמה שבה ציר ה- y מבטא $\Delta\%$ ולא אחוזים מוחלטים כלומר הפרקציה השכיחה מופיעה כ- 100% ושאר הפרקציות מופיעות באחוזים ביחס אליה. כך ניתן היה לזהות אוכלוסיות סילט בכמויות קטנות מאד ברב היחידות. דוגמא להיסטוגרמת אחוזים יחסיים מופיעה באיור - 24.

בנחשולים קיימת כמות ניכרת (כ- 20%) של אכלוסיה בגודל $5-40\mu m$. גם בחמרת נתניה קיימת כמות משמעותית של אוכלוסית סילט, כ- 10%.

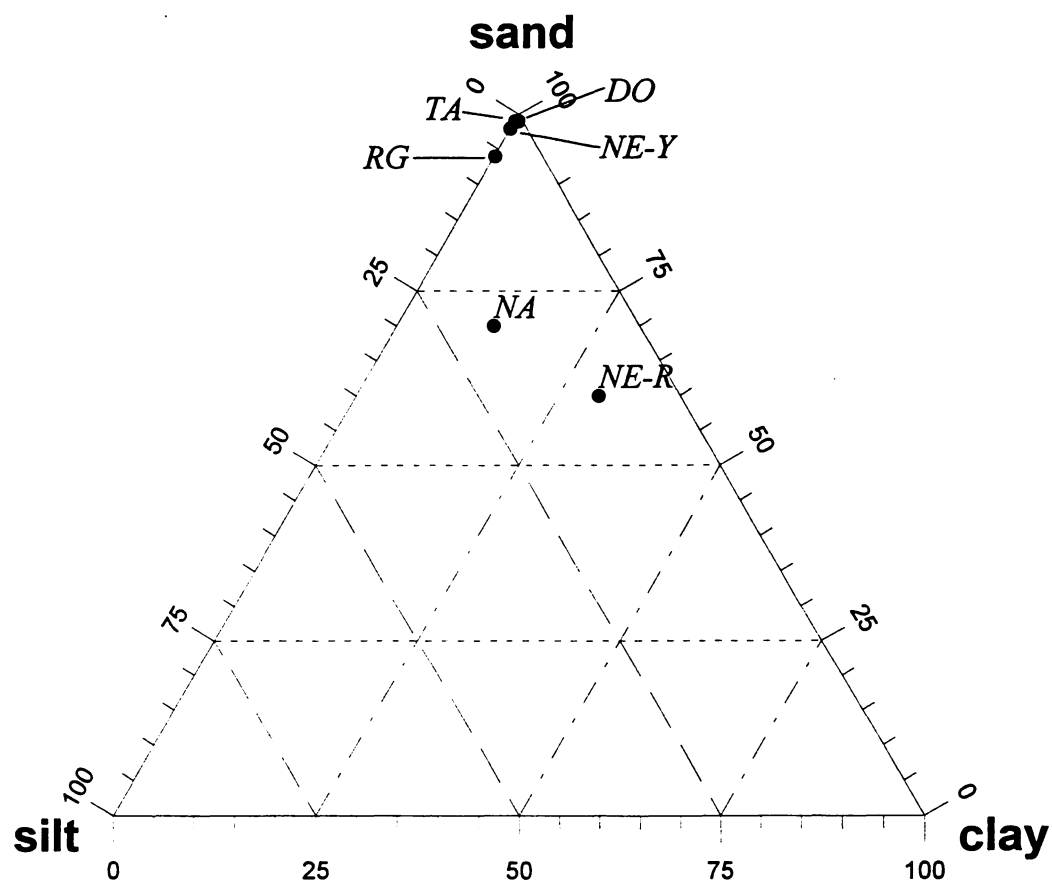
3. אוכלוסיות חרסית מופיעות בכמויות מזעריות בכל היחידות מלבד בחלקה האדום העליון של חמרת נתניה שבה אוכלוסיית החרסית מגיעה ל- 30%, ובנחשולים בכמות מועטה יותר, 18%, אך משמעותית.

4. ביחידות הכורכר (רמת גן, דור ותל אביב) נמצא אחוז גבוה מהמצופה בפרקציה הגסה מ- $300\mu m$. הפרקציה הזו מורכבת בעיקר משברי כורכר שלא רוסקו בכתישה הזהירה שעברו הדוגמאות. ההנחה היא שלו היו מפוררים, ההתפלגות הגרנולומטרית שלהם הייתה בהתאם להתפלגות של החומר הדק מ- $300\mu m$. הנחה זו אוששה ע"י צפייה בשברים הללו בבינקולאר.

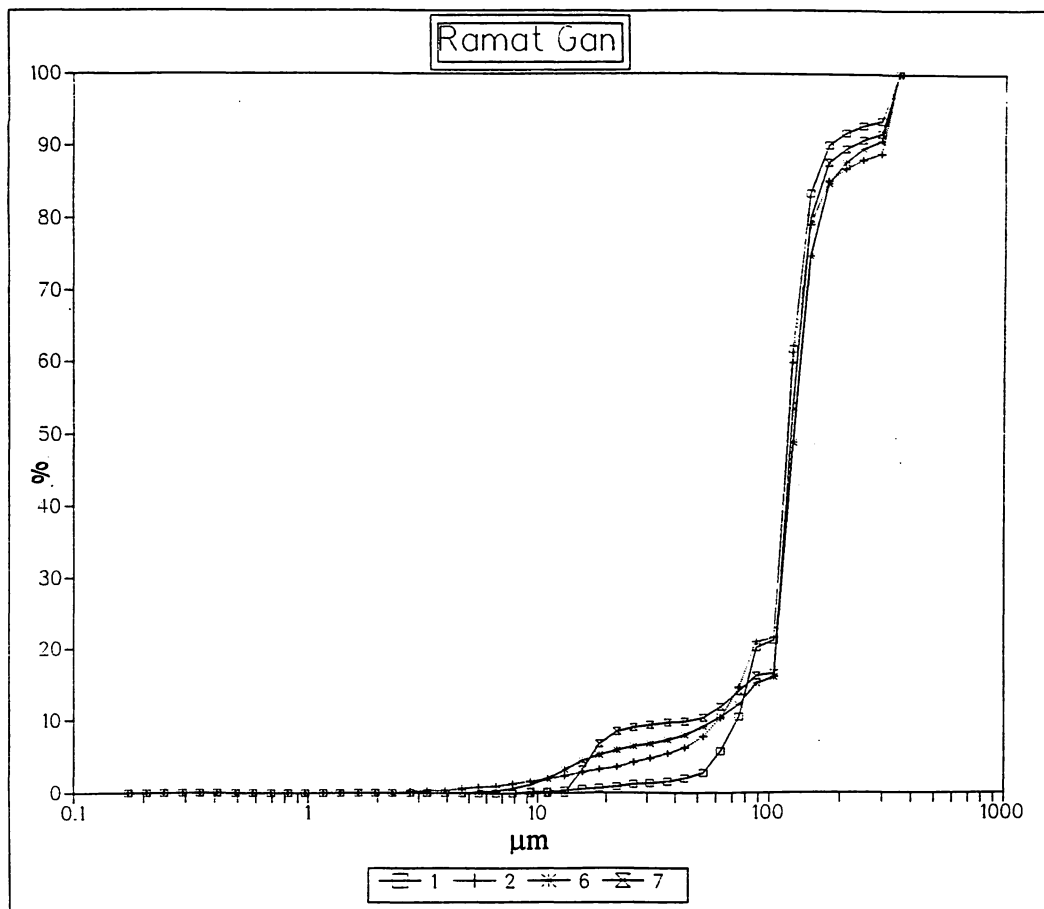
חול		סילט		חרסית		יחידות
שכיח (µm)	כמות (%)	שכיח (µm)	כמות (%)	שכיח (µm)	כמות (%)	
177-210	99	15	0.9		0.1	תערוכה
177-210	96		3		1	תל אביב
149-177	60		10	0.1-0.2	30	נתניה
149-177	98	15	2		0	אדום צהוב
149-177	99		0.5		0.5	דור
125-149	70	10-25	18		12	נחשולים
125-149	94	15-25	5.8		0.2	רמת גן

טבלה 5 : סיכום התוצאות הגרנולומטריות.

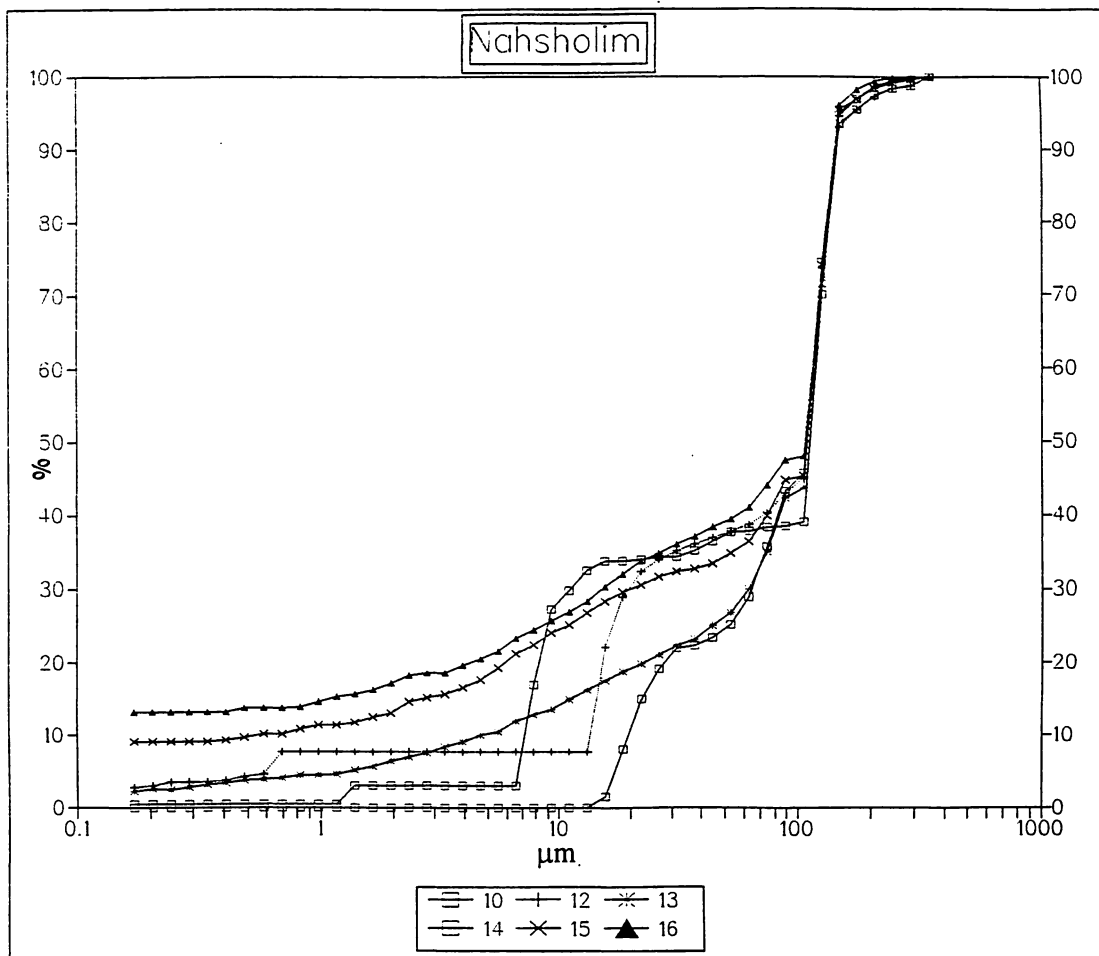
מספר ערכים חסרים בטבלה משום שלא היו מספיק נתונים על מנת לקבוע שכיח, או שההתפלגות גודלי הגרגר באוכלוסיה היתה אחידה.



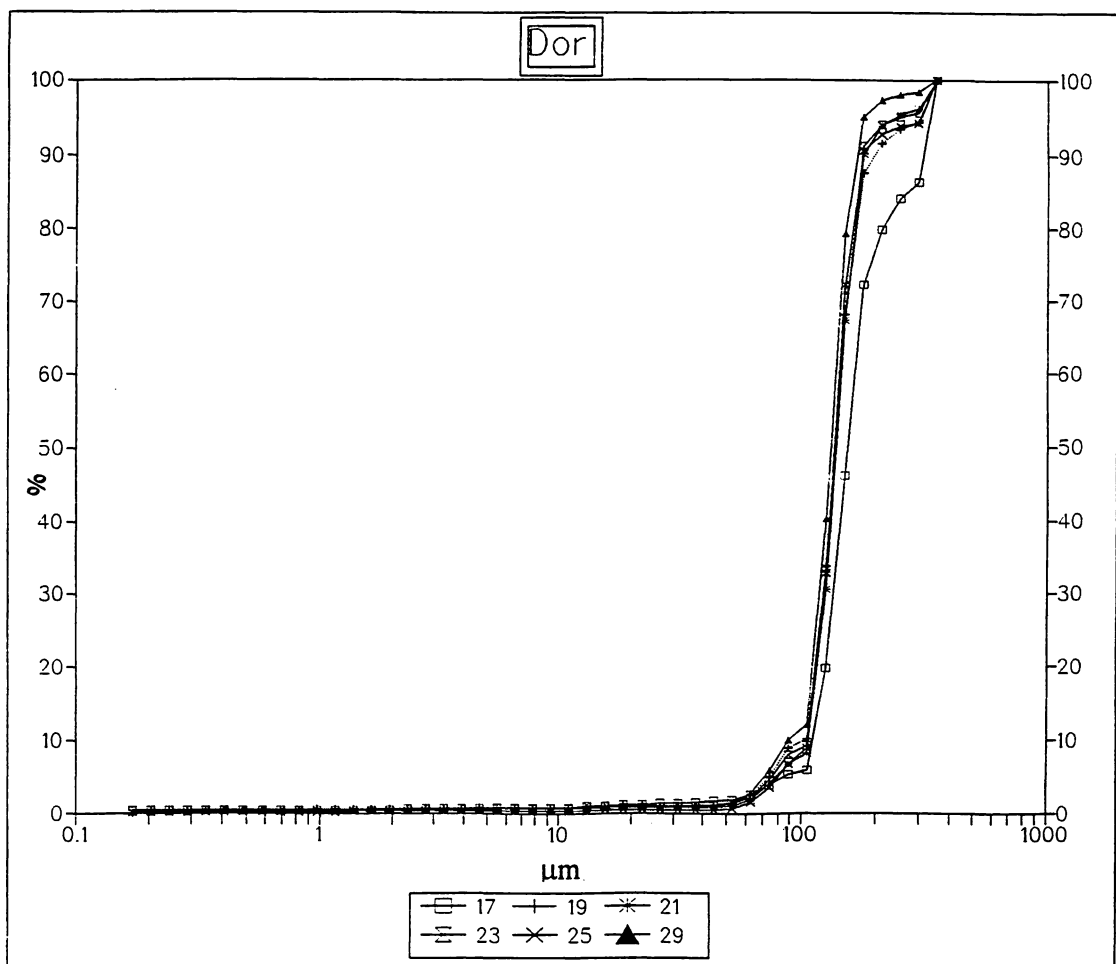
איור 17 : תוצאות האנליזה הגרנולומטרית במשולש הרכבים.
 TA - תערוכה, TL - תל אביב, NE-R - נתניה (שכבה אדומה),
 NE-Y - נתניה (שכבה צהובה), DO - דור, NA - נחשולים,
 RG - רמת גן.
 כל נקודה היא ממוצע של מספר דוגמאות.
 התוצאות הן על פי גבולות סטנדרטיים של חול, סילט וחרסית.



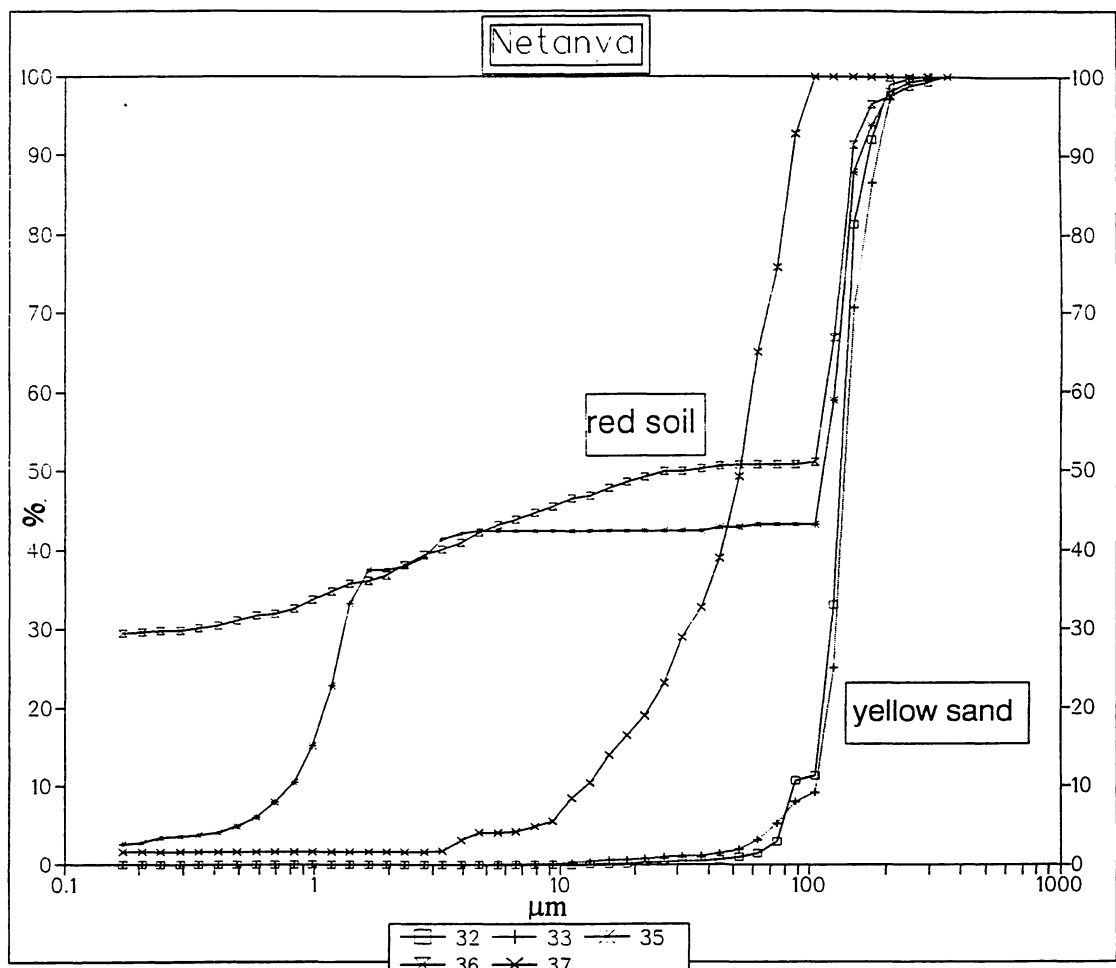
איור 18: תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של כורכר רמת גן בגרף מצטבר.



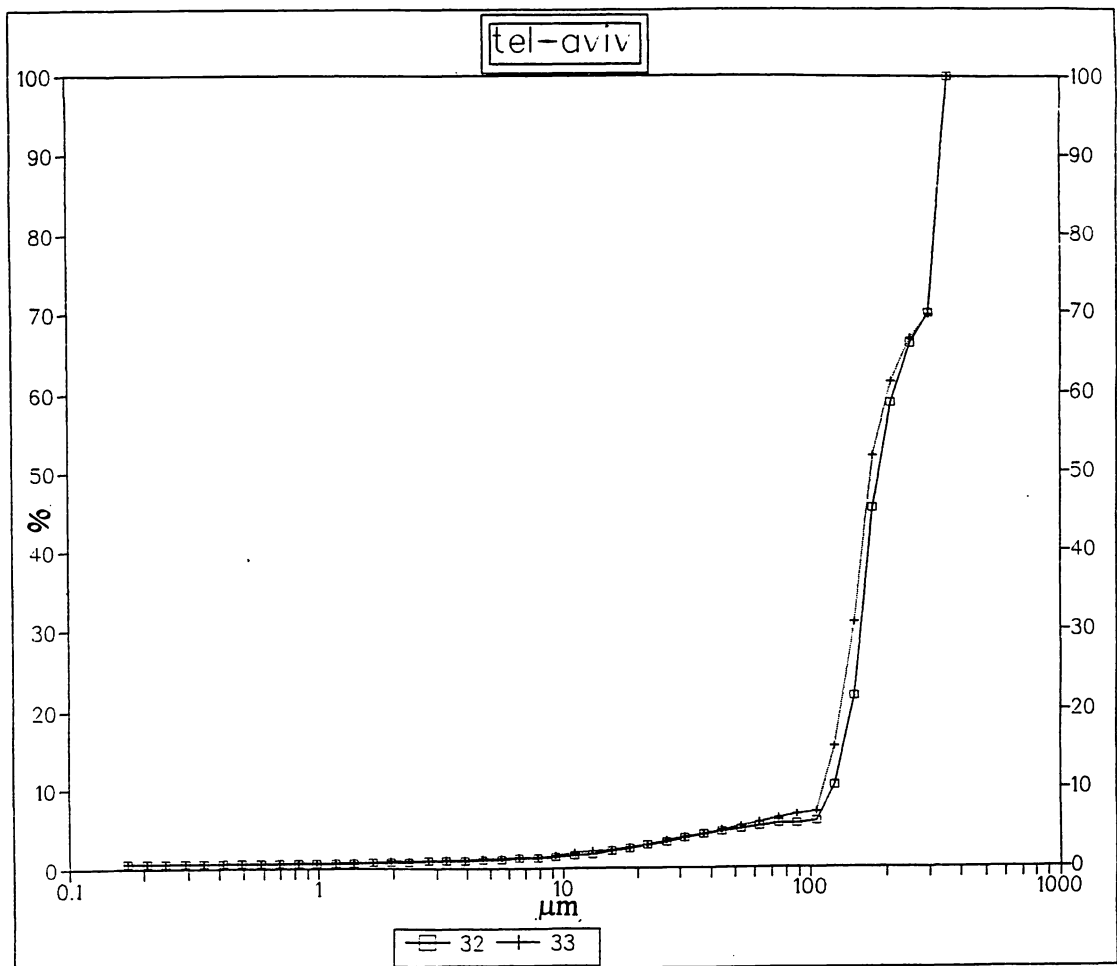
איור 19: תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של פרט נחשולים בגרף מצטבר.



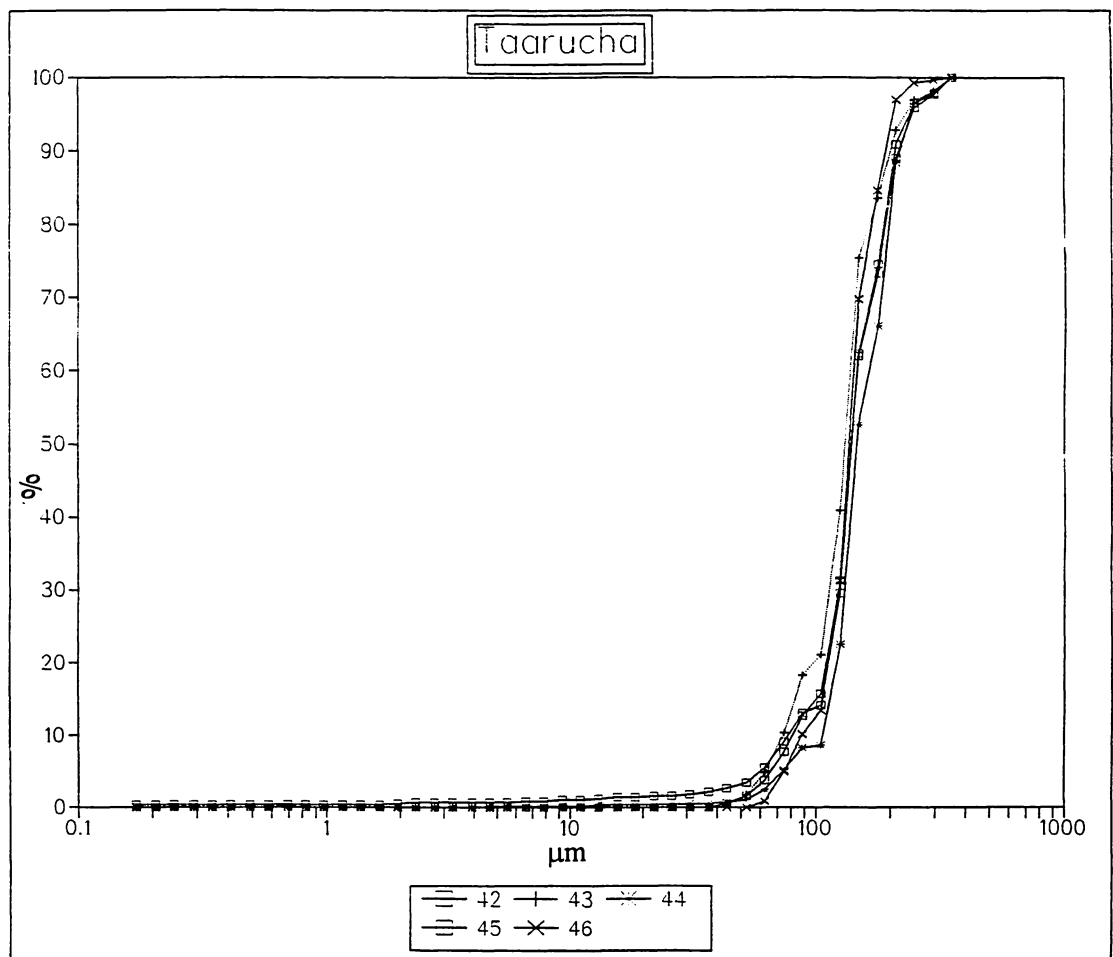
איור 20 : תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של כורכר דור בגרף מצטבר.



איור 21 : תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של חמרת נתניה בגרף מצטבר.



איור 22 : תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של כורכר תל אביב בגרף מצטבר.

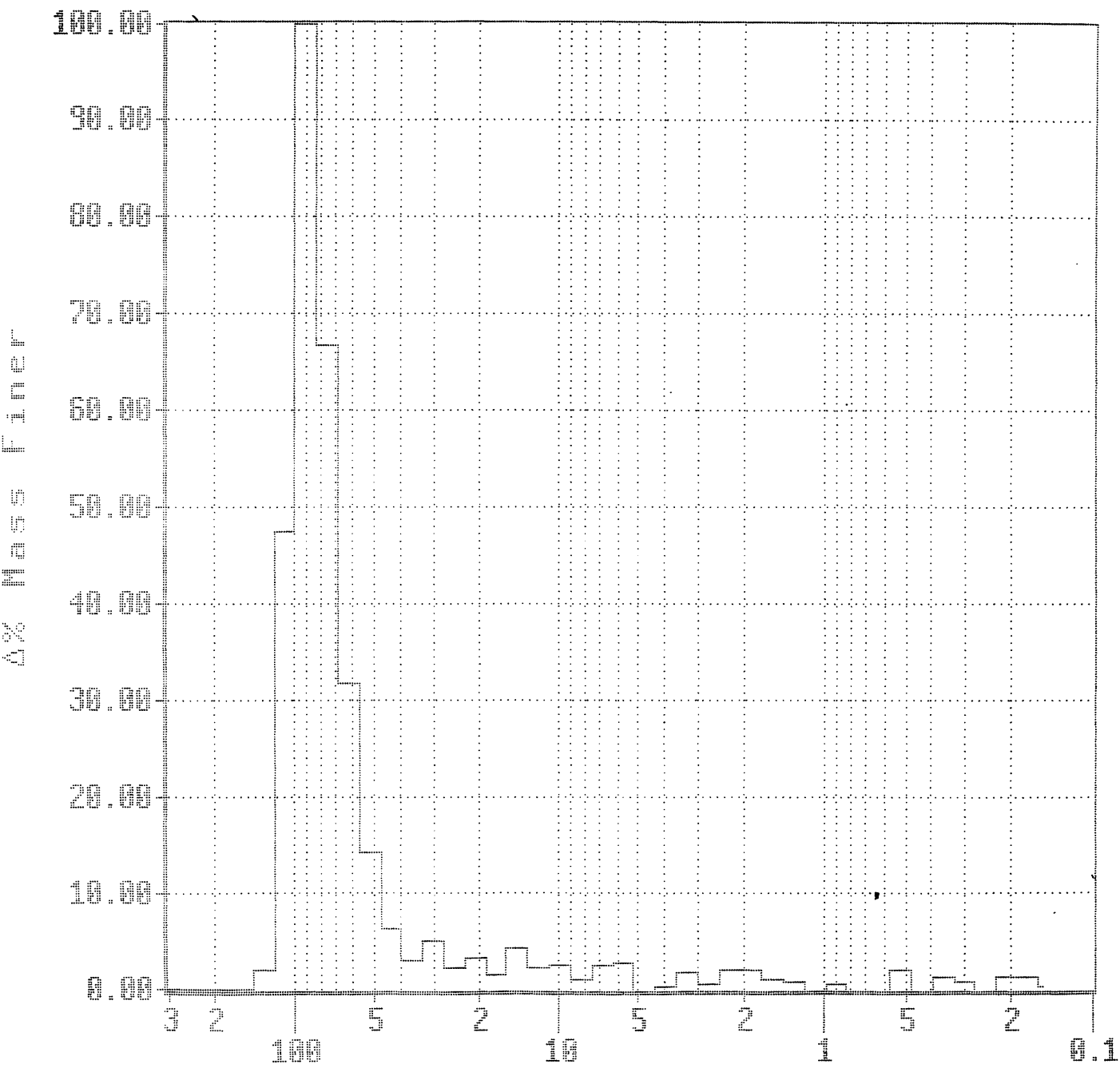


איור 23 : תוצאות האנליזה הגרנולומטרית של חולות תערוכה בגרף מצטבר.

Quantachrome Corporation
Quantachrome Microscan Particle Size Analyzer Data Report
Version 1.10

File Name.....	SA5C2701.MRD	Data Type.....	Raw
Operator.....	michal	Moving Point Avg....	5
Sample ID.....	SA5C2701	Sample Density.....	2.650000 g/cc
Sample Description..	ml-45		

Mass Histogram



איור 24: תוצאות אנליזה גרנולומטרית של דוגמא מתוך חולות תערוכה, כפי שעובדו על ידי מכשיר ה- Microscan, בהיסטוגרמה של אחוזים יחסיים. הפרקציה השכיחה מהווה 100% ושאר הפרקציות הן יחסיות.

ABSTRACT

The Late Quaternary sequence, exposed along the coastal cliff of the Sharon, is composed of alternations of Kurkar (eolianites), paleosols (hamra) and uncemented sands. The project aims to define the depositional environments of the stratigraphic units using petrographic and sedimentologic methods and to date the units by the luminescence methods. The stratigraphic sequence was correlated to regional and global events. The type section selected is north of Ga'ash (coord. 1337-1837). The stratigraphic units that exposed in the coastal cliff of the Sharon are: Ramat-Gan Kurkar at the base of the cliff, Nahsholim Sands, Dor Kurkar, Netanya Hamra, Tel-Aviv kurkar and Ta'arukha sands at the top of the cliff. From the samples collected, granulometric and thin section analysis were performed. Thirteen samples were dated by the IRSL method in the luminescence laboratory at the Geological Survey of Israel. The kurkar units are cross-bedded, indicating their dunal origin. There are some minor differences between the units in their rate of cementation. The Ramat-Gan and the Dor units are friable whereas the Tel-Aviv kurkar is hard and well cemented. The paleosol units show different rates of pedogenic intensity, by their different colors. The Netanya hamra, a massive, well developed red soil, is composed of quartz grains indurated in a red clayey matrix. The lower part of the Netanya Hamra, composed of yellow dunal sand, is probably the parent material from which the soil had developed. The Nahsholim Sands, friable and light brown, underwent only partial pedogenesis. The Ta'arukha sands, yellowish-brown, almost loose, was less pedogenized.

The granulometric population which was identified in all units is dominated by dune sand fraction and minor fractions of eolian dust of silt and of clay. In all units the sand is well sorted, with a normal distribution pattern and with a mode of 150-200 μm . This findings indicate a dunal origin of all units. Silt and clay contents in the Nahsholim and Netanya Hamra are substantial and indicate pedogenic processes. The Ta'arukha sands show signs of pedogenic but clay content is low. Petrographic analyses show that most of the units are composed of quartz and biogenic grains and differ from each other by their preservation. The ancient units contains more cement and less voids and their biogenic origin is hardly seen. The paleosols in thin sections show evidences of different rate of pedogenic processes in the units. The luminescence dating results show that the 25m of the three units below the Netanya Hamra were deposited in about 10 ky, between 58 ka to 48 ka. Netanya Hamra was developed in about 44 ky, between 57 ka to 13 ka. The age of Tel-Aviv is about 5 ka. The age of the Ta'arukha, 2 ka, does not fit archeological evidences found in this unit. The reason is probably, due to recent biogenic activity and of pedogenic processes, that affect the dating results.

