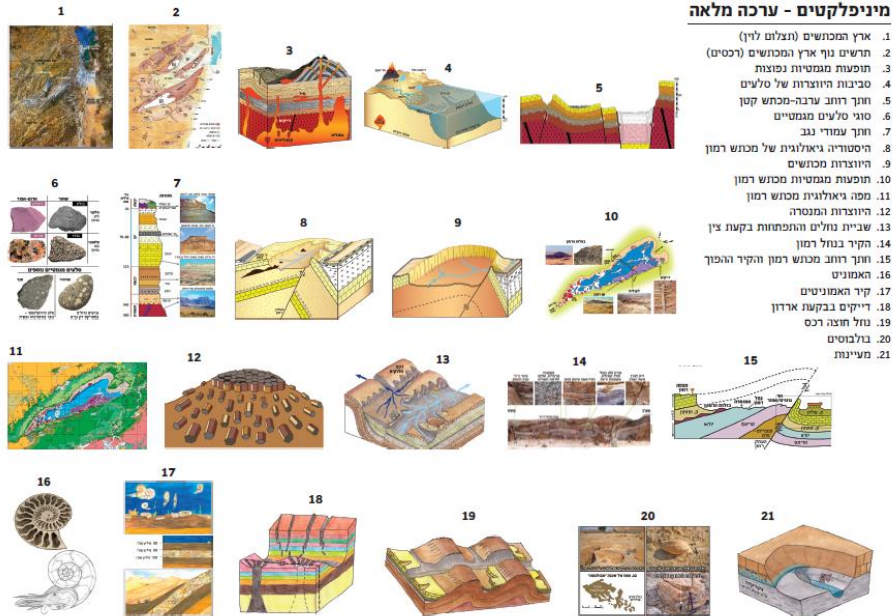


חוברת הסבר

מיניפלקטים ארץ המכתשים



מיניפלקטים - ערכה מלאה

1. ארץ המכתשים (תצלום לוויין)
2. תרשים נוף ארץ המכתשים (רכסים)
3. תופעות מגמטיות נפוצות
4. סביבות היווצרות של סלעים
5. חתך רוחב ערבה-מכתש קטן
6. סוגי סלעים מגמטיים
7. חתך עמודי של הנגב
8. היסטוריה גיאולוגית של מכתש רמון
9. היווצרות מכתשים
10. תופעות מגמטיות מכתש רמון
11. מפה גיאולוגית מכתש רמון
12. היווצרות המנסרה
13. שביית נחלים והתפתחות בקעת צין
14. הקיר בנחל רמון
15. חתך רוחב מכתש רמון והקיר ההפוך
16. האמוניט
17. קיר האמוניטים
18. דייקים בבקעת ארדון
19. נחל חוצה רכס
20. בולבוסיים
21. מעיינות

תוכן עניינים

- 3..... #1 ארץ המכתשים
- 5..... #2 תרשים נוף ארץ המכתשים
- 7..... #3 תופעות מגמטיות נפוצות
- 9..... #4 סביבות היווצרות
- 11..... #5 חתך רוחב ערבה - מכתש קטן
- 13..... #6 סוגי סלעים מגמטיים
- 15..... #7 חתך עמודי של הנגב
- 17..... #8 היסטוריה גיאולוגית של מכתש רמון
- 22..... #9 היווצרות מכתשים בארבעה שלבים
- 25..... #10 תופעות מגמטיות במכתש רמון
- 27..... #11 מפה גיאולוגית מכתש רמון
- 29..... #12 המנסרה
- 31..... #13 שביית נחלים והתפתחות בקעת צין
- 33..... #14 הקיר בנחל רמון
- 35..... #15 חתך רוחב במכתש רמון ו'הקיר ההפוך'
- 37..... #16 אמוניטים
- 38..... #17 קיר האמוניטים
- 39..... #18 דייקים בבקעת ארדון
- 41..... #19 נחל חוצה רכס
- 43..... #20 בולבוסיים
- 45..... #21 עזר מעיינות

חברת הסבר למיניפלקטים של ארץ המכתשים

מאות אתרי טבע ונוף חושפים תופעות גיאולוגיות בחיק הטבע המגוון והייחודי של ישראל. חלק מהמטיילים מבקרים באתרים כאלה באופן עצמאי ואחרים עם מדריך טיולים. למרבה הצער, ישנם מעט מדי אתרים עם שלטי הסבר היכולים לספק מידע ותובנות למטייל, חלק ניכר מהשלטים הקיימים פגומים או מיושנים. חוקרי מרכז מדע ים המלח והערבה הפיקו ומפיצים כיום ערכות של מיניפלקטים שנועדו להנגיש ידע מקצועי-מדעי על תופעות טבע ותהליכים גיאולוגיים היוצרים את הנוף. המיניפלקטים עשויים גליונות A3 ו-A4 צבעוניים ומכילים תיאורים גרפיים של תופעות טבע והסברים תמציתיים המותאמים לקהל רחב (ממטיילים עצמאיים לסיור מדריכים ואפילו לתלמידי גיאולוגיה).

מרכז מדע ים המלח והערבה משקיע מאמץ רב בשיפור רמת המודעות וההערכה לערכי הטבע, לחינוך מדעי ולזיקה עם הסביבה. המיניפלקטים, חוברת זאת וההשתלמויות למדריכים מטרתם להעלות את רמת ההדרכה בשטח ואת הנגישות של ציבור המדריכים והמטיילים למידע מקצועי, אסתטי ונהיר לכל.

תכנים למשתמש ונגישות לתוצרי הפרויקט:

- 1) המיניפלקטים מעוצבים כך שהצד הקדמי מורכב בעיקר מאיורים וכתורות ולכן מתאים להצגה ע"י מדריך בשטח, ואילו הצד האחורי מכיל תיאור מעמיק/משלים של התופעות לטובת המדריך עצמו. תהליכים מורכבים מוצגים בעזרת סדרת מיניפלקטים (למשל, שלבי התפתחות מכתשים). את המיניפלקטים ניתן למצוא באתר מרכז מדע ים המלח והערבה. ערכות מודפסות של פוסטרים מנוילנים ניתן לרכוש ממרכז המדע.
- 2) חוברת ההסבר למיניפלקטים מאפשרת העמקה בנושאים המוצגים ומדגישה את הקשר בין התופעות השונות. בחוברת ישנם הסברים מפורטים של התופעות והתהליכים שעיצבו את נוף ארץ המכתשים. החוברת זמינה להורדה מאתר מרכז מדע ים המלח והערבה.

תודות לשותפים ולתומכי הפרויקט:

פרויקט המיניפלקטים הובל על ידי ד"ר ירון פינצי וד"ר חנן גינת ממרכז מדע ים המלח והערבה בשיתוף עם מדריכי החברה להגנת הטבע, רשות הטבע והגנים וביס"ש שדה בוקר. העיצוב הגרפי נעשה בעזרת סטודיו יטבתה ובהשראה של איורי מדריכים, עזרי הוראה של פרופ' ניר אוריון ממכון וייצמן למדע, מאמרים, ספר 'הגיאולוגיה והתפתחות הנוף בנגב' ועזרים נוספים. תודה מיוחדת מגיעה לאפרת קדם-סילברט על תמיכה כוללת והגהה, לפרח בוקר, עדי ריבלין, נהר שמי וד"ר זאב לוי על איורים, לד"ר שרית אשכנזי-פוליבדה, ד"ר יואב אבני, ד"ר עזרא זילברמן, עדי רפפורט, יואב רמון, אפרת תורן, נעה לביא ושקד אבני על עזרה בכתיבה ועריכה ולגיאולוגים ומדריכים וותיקים שייצעו ועזרו בשיפור המיניפלקטים. מרכז מדע ים המלח והערבה מודה לקרן יק"א, החברה להגנת הטבע ורשות הטבע והגנים על שיתוף פעולה פורה ותמיכה כספית בפרויקט.

#1 ארץ המכתשים

המיניפלקט מראה מצדו האחד תצלום לוויין של אזור שלושת המכתשים המרכזיים בנגב (המכתש הקטן, המכתש הגדול ומכתש רמון) ומצדו השני מפה גיאולוגית של כל ארץ המכתשים. בתצלום האוויר בולטת במיוחד הטופוגרפיה של המכתשים וצורתם שנראית בקלות מהאוויר. בולטים גם רכסי הנגב שבראשם נמצאים מכתשים אלה.

בצד השני נמצאת מפה גיאולוגית שהיא ייצוג של הסלעים השונים החשופים בפני השטח. הצבעים במפה מייצגים סלעים מתקופות גיאולוגיות שונות וייצוג זה הוא אחיד במפות גיאולוגיות בכל העולם. גווי הסגול מייצגים את תקופת הטריאס (לפני 201-250 מיליון שנה, מ"ש), גווי הכחול והתכלת את היורא (לפני 201-145 מ"ש), גווי הירוק-טורקיז את הקרטיקון העליון (לפני 56-100 מ"ש), גווי הכתום את האיאוקן (לפני 35-55 מ"ש), גווי צהוב את המיוקן (לפני 5-22 מ"ש) והגוונים הלבנבנים-בהירים מייצגים סחף יבשתי צעיר. ניתן לראות כי בנגב נמצאים סלעים מגיל היורא רק בתוך המכתשים וסלעים מתור הטריאס רק במכתש רמון ובמכתשי עריף. דבר זה מדגיש את היותם של המכתשים "חלון גיאולוגי" אל תקופות שכמעט ולא מיוצגות מעל פני השטח בשום מקום אחר בנגב.

במיניפלקט מחולק האזור שבמפה הגיאולוגית ובתצלום האוויר לשלושה אזורים משנה:

1. **הר הנגב** – בנוי בעיקר סלעי משקע ימיים מתקופת האיאוקן. הוא מתחיל בגבהים של 500-600 מטר ומגיע בשיאו לגובה של 1037 מטר בהר רמון. בדורמו ניתן לראות את מכתש רמון המהווה חלון גיאולוגי למגוון תצורות סלע עתיקות: אבני חול מתקופות הקרטיקון התחתון והיורא ומגוון סלעי משקע ימיים יבשתיים מתקופת הטריאס.
2. **אזור הנגב הצפון מזרחי** – בנוי מסלעי משקע ימיים כמו גיר, קרטון, צור וחואר. האזור כולל את רכסי חתירה, חצרה וירוחם ואת המכתשים הגדול והקטן, שחושפים גם הם אבני חול עתיקות מתקופת הקרטיקון ותקופת היורא. באזור זה בולטים במיוחד מישור ימין ומישור רותם, המלאים אבן חול מיוקנית שמקור חלקה הוא בתצורת חצבה.
3. **אזור הערבה הצפונית** – אזור הנמצא לאורך טרנספורם ים המלח המהווה גבול בין לוחות טקטוניים ויוצר בקעה טופוגרפית מאורכת ומלאה בסלעים צעירים יחסית. בצפון האזור נמצא חואר הלשון, תוצר השקעה של ימה סגורה שהשתרעה מאזור ים המלח ועד הכינרת בתקופת הפלייסטוקן (מלפני 2.6 מ"ש עד לפני 11,500 שנה). בשולי האזור, קרוב לשני צדי הטרנספורם, נמצאות מניפות סחף הבנויות מסחף נחלים צעיר ומקונגלומרטים מעידן הקרח האחרון. בדרום האזור נחשפות אבני החול האדומות של תצורת חצבה מתקופת המיוקן.

קרדיט:

המפה הגיאולוגית (1:200,000) לקוחה מהמכון הגיאולוגי (סנה וחבריו, 1998), תצלום הלוויין באדיבות ג'והן הול. הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר חנן גינת וד"ר ירון פינצי, מרכז מדע ים המלח והערבה, בעזרת סטודיו יוטבתה.

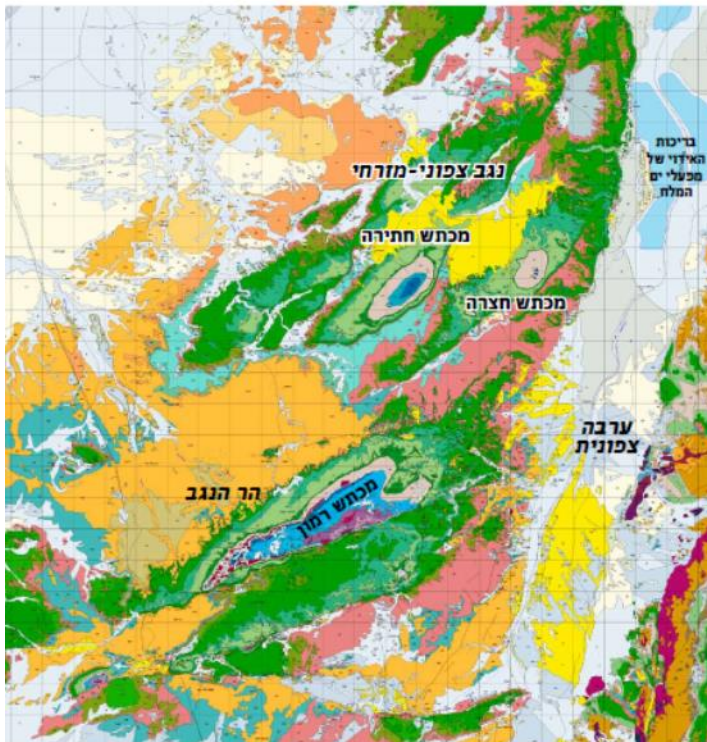
מקורות לקריאה נוספת:

- [תיאור תקופות מסלע וגיאולוגיה בישראל לפי תקופות גיאולוגיות](#) (החברה הגיאולוגית הישראלית)
 - [רעידות אדמה בולטות שאירעו בישראל ע"פ ההיסטוריה](#) (החברה הגיאולוגית הישראלית)
 - [סיורי החברה הגיאולוגית בשנת 2011](#), אזור מצפה רמון (החברה הגיאולוגית הישראלית)
 - ["קווי שבירה במרכז הנגב, מערב רמת עבדת ומבנה הרמון"](#), י. אבני (סיור החברה הגיאולוגית 2005)
 - ["ההיסטוריה של התפתחות המכתשים בנגב והגורמים שהביאו ליצירתם"](#), ע. זילברמן, "מלח הארץ" חוברת מס' 4
 - ספרי גיאולוגיה כלליים:
1. "הגיאולוגיה והתפתחות הנוף בנגב", עמיר אידלמן, עזרא זילברמן, יואב אבני, חנן גינת, 2011
 2. "אתרים גיאולוגיים בישראל", עמיר אידלמן, ליאור אנמר, 2014

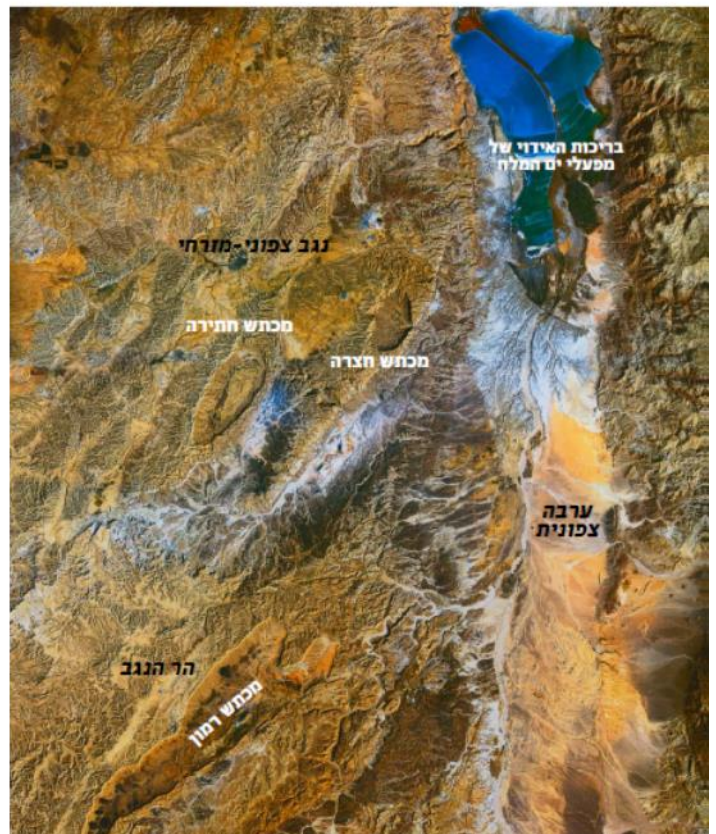
מפה גיאולוגית - ארץ המכתשים

ניתן לחלק את האזור שכתצלום לוויין ובמפה הגיאולוגית לשלושה אזורים משנה:

1. הר הנגב - בנוי סלעי משקע ימיים ובמיוחד גיר. בחלקו הדרומי - החלקן הגיאולוגי העמוק ביותר - מכתש רמון.
2. אזור הנגב הצפוני מזרחי - בנוי מסלעי משקע ימיים ובמיוחד גיר, קרטון, חוואר וגור. בבקעת צין אזור שסיר בסלע פוספוריים. המכתש הקטן (חצרה) והגדול (חתירה) הינם תלונות גיאולוגים בהם נחשפת אבני חול עתיקות.
3. אזור הערבה הצפונית - בחלק הצפוני של האזור חשוף חוואר הלשון, הבנוי מסלעי ארגוניט וחרסית. בשולים מניפות סחף הבנויות בעיקר מקונגלומרטים. באזור הדרומי נחשפת אבני החול הארוסות של תצורת תצבת.



תצלום לוויין: ארץ המכתשים



#2 תרשים נוף ארץ המכתשים

שרטוט סכמטי זה מציג את מבני הנוף העיקריים החשופים בנגב כיום. מבנים אלו הם תולדה של היסטוריה גיאולוגית וגיאומורפולוגית מורכבת וארוכה. כדאי לשים לב למספר מבנים עיקריים:

1. **ארבעת הרכסים העיקריים החוצים את הנגב לרוחבו:** מחמל, חצרה, חתירה וירוחם. הרכסים מורכבים בראשם מסלעי גיר ודולומיט מגיל קרטיקון ובכולם מלבד רכס ירוחם יש מכתש שחושף סלעים עתיקים יותר.
2. **רמת עבדת-** ממערב לרכסי הנגב. הרמה מורכבת סלעים מתקופת האיאוקן. רמת עבדת היא מבנה נופי משארי, שריד לסלעים מתקופת האיאוקן ששקעו בעבר בנגב כולו. משארים נוספים כאלה הם הר כרכום, הר שגיא וכו'.
3. **טרנספורם ים המלח,** 'הבקע', עובר ממזרח לרכסים ולאורכו של הנגב כולו – עמק צר וארוך המורכב מאגנים טקטוניים. השתפלות לאורך גבול הלוח יוצרת בסיס סחיפה נמוך לכל הנחלים הזורמים מזרחה. בשילוב עם התרוממות הנגב גורמים הנחלים להתחתרות עמוקה כמו בנחל נקרות ובנחל צין (הנראים בעזר) ולהרבדה של שכבות עבות של סחף בערבה.

השלבים בהיסטוריה הגיאולוגית של הנגב, הרלוונטיים ליצירת הנוף המתואר בתרשים, מתחילים לאחר יצירת התשתית הפרקמברית והרבדת שכבות מסלע יבשתי בקרטיקון התחתון ומעליהן שכבות משקע ימיות שונות בקרטיקון העליון (ראו עזר החתך העמודי של הנגב). החל מתקופת הקרטיקון העליון, בעקבות התנגשות הלוח האפריקאי והלוח האירו-אסייתי נתון האזור כולו למאמצי לחיצה ובנגב מתחילים להתרומם רכסי 'הקשת הסורית'. האזור כולו עדיין חלק מים הטתיס ולכן ישנה השקעה של משקעים ימיים בקעים שנוצרים בין הרכסים. ראשי הרכסים חשופים לבליה ועוברים גידוע במהלך האוליגוקן (ראה עזר היווצרות מכתש). השלב הדרמטי האחרון הוא היווצרות טרנספורם ים המלח, לפני כ-20 מ"ש. במהלך התנועה והפתיחה של השבר, הוטה הנגב מזרחה ונקבע למעשה קו פרשת המים כפי שאנו רואים אותו היום. תוצאות ההטיה היו שביית נחלים וניקוז שטח נרחב מהנגב מזרחה (החל מלפני 10 מ"ש), כמו למשל התפתחות בקעת צין החל מלפני 2 מ"ש ועד היום. בנוסף גורמת ההטיה לפתיחת המכתשים לפני 5-10 מ"ש.

קרדיט:

ציירה פרח בוקר על בסיס עזר ישן של עמיר אידלמן, עיבוד ע"י ירון פינצי וסטודיו יטבתה.

מקורות לקריאה נוספת:

- ראה מקורות עזר #1
- אבני י., ברטוב י., גרפונקל צ., וגינת ח., (2000) [התפתחות אגן הניקוז של הפארן ויחסו להיסטוריה הפליוקנית-פליסטוקנית של השוליים המערביים של בקע הערבה, ישראל](#). Israel Journal of Earth Sciences 49 (4) 215-238 (באנגלית)

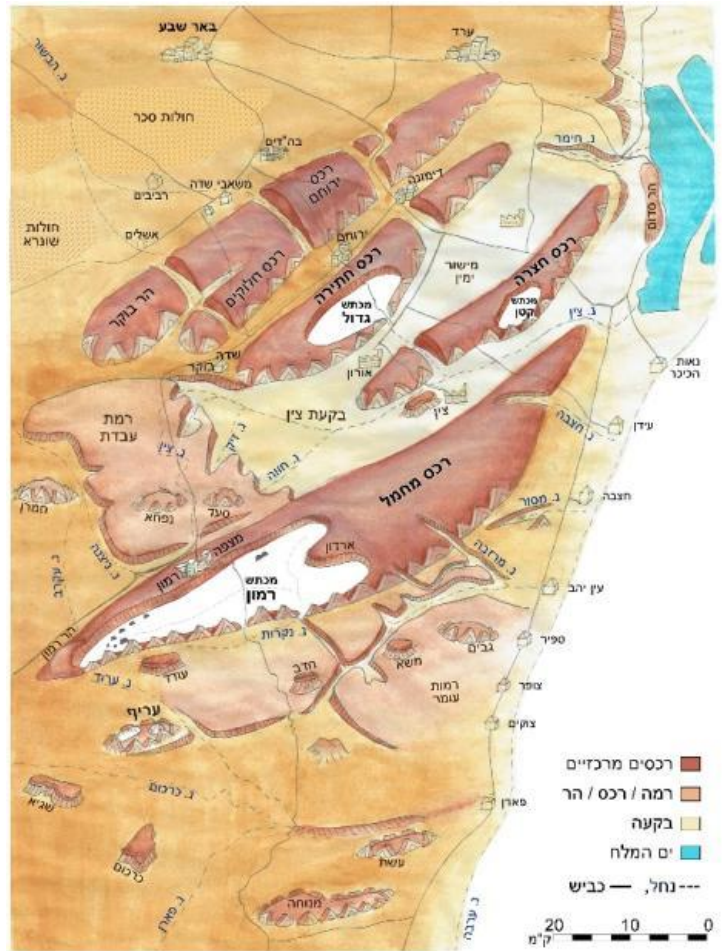
תרשים נוף ארץ המכתשים

מבנה הנגב ונופיו:

1. המבנים הגיאומורפולוגיים הבולטים ביותר בנגב הם ארבעת הרכסים העיקריים החוצים אותו לרוחבו (מחמל, חצרה, חתירה וירוחם). הרכסים מורכבים בראשם מסלעי גיר ודולומיט מגיל קרקטיקון ובכולם מלבד רכס ירוחם יש מכתש שחושף סלעים עתיקים יותר.
2. ממערב לרכסים נישאת רמת עבדת שעשויה מסלעים מתקופת האיאוקן. רמת עבדת היא מבנה נופי משארי שהוא שריד לסלעים מתקופת האיאוקן שפעם שקעו בנגב כולו. משארים נוספים כאלה הם הר כרכום, הר שגיא וכו'.
3. ממזרח לרכסים ולאורכו של כל הנגב עובר ה'בקע' – עמק המורכב מאגנים טקטוניים לאורך טרנספורם ים המלח. השתפלות הבקע יוצרת בסיס סחיפה נמוך לכל הנחלים שזורמים מזרחה שבשילוב עם התרוממות הנגב גורמים להתחתרות עמוקה בנחלים כמו נקרות וצין (הנראים בעזר) ולהרבדה של שכבות עבות של סחף בבקע.

שליבים עיקריים בעיצוב הנוף בנגב:

1. קימוט ויצירת רכסים בשל מאמצי לחיצה אזוריים החל מתקופת הקרטיקון העליון (כחלק מהתנגשות אפריקה באירו-אסיה ומהיווצרות הקשת הסורית).
2. גידוע מרחבי של ראשי הרכסים בנגב – בתקופת האוליגוקן.
3. היווצרות טרנספורם ים המלח לפני כ-20 מיליון שנים ובעקבות פעילות טקטונית לאורכו – התרוממות הנגב והטייתו מזרחה (יצירת קו פרשת המים הארצית):
 - ניקוז נחלי הנגב מזרחה אל הערבה וים המלח החל מלפני כ-10 מיליון שנה
 - פתיחת המכתשים החלה לפני 10-5 מיליון שנה
 - התפתחות בקעת צין – תהליך שהחל לפני כ-2 מיליון שנה ונמשך גם כיום.



#3 תופעות מגמטיות נפוצות

המיניפלקט מציג תופעות מגמטיות נפוצות, תוך דגש על אילו שהותירו חותם בנוף ובמגוון הסלעים החשופים בארץ המכתשים. העזר מהווה גם תיאור סכמטי של השכבות המאפיינות את ארץ המכתשים והנגב כולו – מסלעי התשתית בבסיס החתך, דרך אבן החול (רכיב מרכזי מהקמבריום עד הקרטיקון התחתון) ועד שכבות סלעי המשקע כמו גיר צור וקרטון (שמאפיינות את הקרטיקון העליון, הפאליאוקן והאיאוקן).

במיניפלקט ניתן לראות את התופעות הבאות ואת ההבדלים ביניהם:

1. **בתולית** – הבתולית הוא גוף ענק של מגמה החודר את השכבות. מקורן של רבות מהתופעות המפורטות בדף יכול להיות בתולית שכזה אך הן יכולות לקרות גם ממגמה שמקורה במעטפת. שן רמון והגבנונים הם חלקו העליון של הבתולית שנמצא מתחת למכתש רמון ומזין רבות מהתופעות המגמטיות שבתוכו.
 2. **קסנוליטים** - כאשר בתוך מחדר מגמתי נשבים שברי סלע מהשכבות שדרכן המגמה חדרה, הם נקראים **קסנוליטים**. ניתן למצוא קסנוליטים בולטים במיוחד, בסיל בנחל רמון.
 3. **דייקים וסילים** - דייקים וסילים הם מחדרים מגמטיים משטחיים הפורצים מתא מגמה או מצינור וולקני אל תוך סלעי הסביבה. ההבדל בין דייקים לסיילים הוא שדייק חותך את השכבות בעוד סיל עובר בין השכבות. במכתש רמון קיימת תופעה של **דייקים רדיאליים**. כלומר, רבים מין הדייקים זוהו כבעלי מקור אחד, הנמצא מדרום למכתש. ניתן לראות זאת גם במפה הגיאולוגית (אפשר לחבר את רוב הדייקים למעין "מניפה" היוצאת מנקודה אחת) וגם בשטח, במרקם הדייקים ובדוגמאות על השוליים השרופים המעידות על כיוון התקדמות אופקי ממרכז אחד. כאשר סיל חודר בין השכבות, מתנפח ומקבל צורה "עדתית", הוא מקמט את השכבות שמעליו והופך לגוף הנקרא **לקולית**. כפי שמראה העזר, מקור המגמה של הלקולית ברמון אינו הבתולית אלא מקור עמוק יותר.
 4. בעזר מתואר גם תרשים סכמטי של **הר געש** ושל החלקים השונים שלו. הר הגעש בנוי משכבות של **טוף ואפר וולקני**, שבמרכזן **צינור וולקני** המזין את המגמה אל הקלדרה שבראש הר הגעש או אל סדקים שבצדדיו. דוגמא טובה להשתמרות כזאת של צינור וולקני, ניתן לראות בהר ערוד שהוא בעצם צינור וולקני חשוף. גם בגבעת געש ניתן למצוא שאריות של קלדרה קדומה ושל טוף.
- בעוד שרבות מהתופעות הנ"ל הן פלוטוניות (נוצרו מתחת לפני הקרקע), כוחות הבלייה והיווצרות המכתשים גרמו לסלעים להיחשף מעל פני הקרקע.

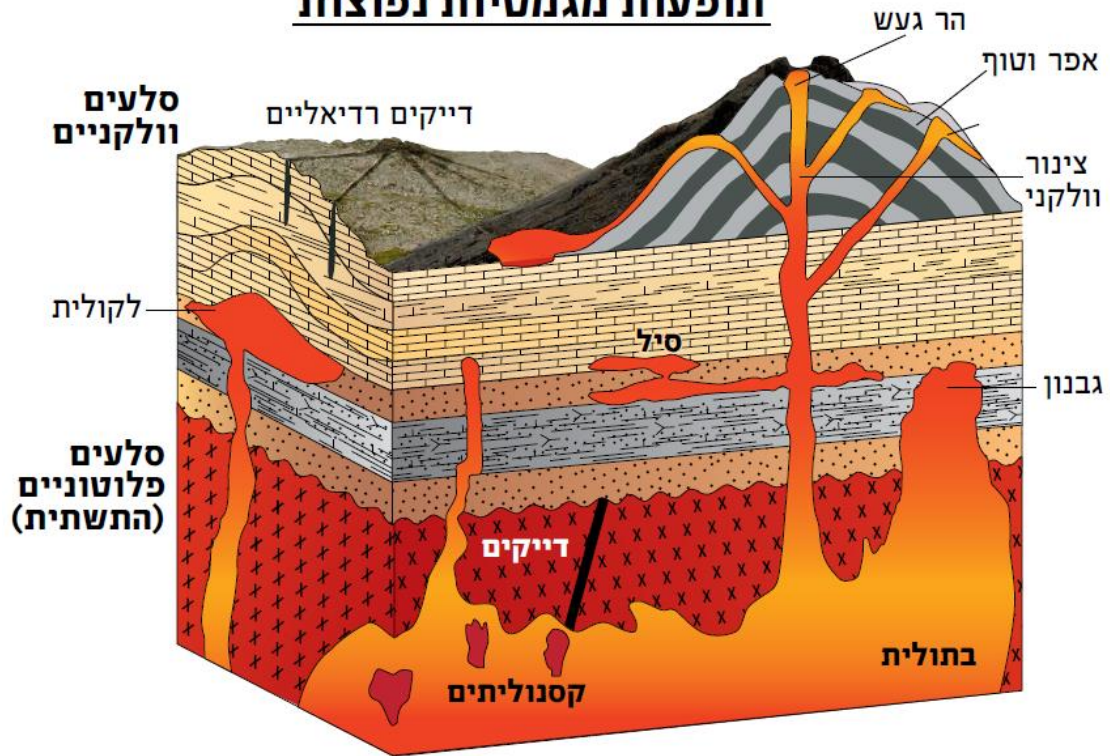
קרדיט:

הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר ירון פינצי, מרכז מדע ים המלח והערבה, ובעזרת סטודיו יוטבתה.

מקורות לקריאה נוספת:

- **"כיווני זרימה בסילים ובדייקים ויצירת קלדרונים במזרח מכתש רמון"**, גידי בר (סיור החברה הגיאולוגית 1987)
- **"לקולית רמון – גוף מגמתי מורכב"**, בנימין רופא, יהודה אייל, משה אייל (סיור החברה הגיאולוגית 1987)
- **"בקעת תמנע כפארק גיאולוגי"**, מיכאל בייט, רן קלבו, 2014 (המכון הגיאולוגי לישראל)
- **"הדגמת סיור גיאולוגי לימודי בקמפוס אילת ונחל שלמה"**, שלמה שובאל, (סיור החברה הגיאולוגית 2001)
- **"איזור אילת כבית ספר שדה לגיאולוגיה"**, בייט, מ., וקלבו, ר., 2015 (כנס החברה הגיאולוגית הישראלית, אילת, 2016)
- Major unconformities in the stratigraphic succession in the Timna-Eilat region and their relation to copper "and manganese mineralization cycles", ע.שגב, 2016 (חוברת סיורים גיאולוגיים. כנס החברה הגיאולוגית, אילת, עמודים e-61e36), אנגלית
- **"גיאולוגיה בפטיש ישראלי"** - עימנאל מזור, האוניברסיטה הפתוחה, 1994
- ספר - "דייקים ברמון", ג. בר, בעקבות כנס הדייקים הבין-לאומי ברמון 1995

תופעות מגמטיות נפוצות



תופעות מגמטיות נפוצות

- **סלעים מגמטיים** נוצרים בהתקררות והתגבשות מגמה.
- **סלעים וולקניים** נוצרים מהתקררות לבה מעל לפני השטח (בשל הקרור המהיר הגבישים הנוצרים הם קטנים).
- **סלעים פלוטוניים** נוצרים מהתקררות מגמה מתחת לפני השטח (הקרור האיטי מאפשר גדילת גבישים גדולים).
- **הבדלים בין דייק/סיל/לקולית:** דייק חוצה שכבות סלע וסיל חודר בין השכבות (הדייק לרוב אנכי והסיל אופקי). לקולית חודר גם הוא בין שכבות אך בשל נפחו הוא מקמט את השכבות מעליו (ולכן הכינוי 'סיל בהריון'). בעת חריטתו לתוך סלע הסביבה, הדייק יכול להתקדם מלמטה למעלה או אופקית מצינור וולקני שבמרכזו **מערכת דייקים רדיאלית** (הדייקים נחל ארון הם דוגמה למערכת דייקים רדיאלית).
- **קסנולית** הינו חתיכת סלע מסביבת חדרה מגמטית אשר ניתק ממקומו ונסחף בתוך החומר המגמטי.
- **בתולית** הינו מחדר פלוטוני גדול שהתקרר והתגבש בעומק.

#4 סביבות היווצרות

המיניפלקט מתאר היכן ובאילו תנאים נוצרו הסלעים הנפוצים בארץ ובעולם. בעזר מודגש ההבדל בין **סלעים מגמטיים** (שמקורם בהתגבשות של מגמה) לבין **סלעי משקע**. סיפורם של הסלעים המגמטיים מוסבר ביתר פירוט בעזר על הסלעים המגמטיים השונים ובעזר המסביר תופעות מגמטיות. לעומת זאת, ניתן לראות בעזר זה, את כל סביבות היווצרות של סלעי המשקע המרכזיים והמוכרים בארץ.

את סלעי המשקע מחלקים ככלל לשלוש קבוצות: **סלעי משקע יבשתיים** (אבן חול וקונגלומרט) השוקעים בסביבות יבשתיות כמו דיונה, נחל או דלתא. **סלעי משקע ימיים** (כמו גיר, דולומיט, חוואר, חרסית, קרטון, פוספוריט וצור) השוקעים בסביבות ימיות מגוונות כמו ים רדוד, ים עמוק, ומדף היבשת. וסלעים **אואופוריטים** (כמו גבס ומלח) השוקעים באגמים ובלגונות בתנאים של התאדות יתר.

ניתן גם לחלק את סלעי המשקע לאלה שמקורם בהתפרקות של סלעים אחרים (כמו אבן חול, קונגלומרט, חרסית וחוואר) ולאלה שמקורם ביוגני. סלעים ביוגניים עשויים ברובם מקלציט שמקורה משלדים של יצורים מיקרוסקופיים ששמשם פורמניפרים וקוקוליטים (ציורים 1 ו-2). היחס בין שני אלה והצפיפות של הסלע הוא שקובע האם הסלע הוא גיר או קירטון. הצור, הוא סלע משקע ביוגני שנוצר משלדים של אצות חד-תאיות הנקראות דיאטומאות. אלה, בונות את שלדן מצורן ולא מסיידן. לכן, אזורים בהם שקע צור, הם אזורים בהם היה רוב גדול של אצות אלה.

את סלעי המשקע היבשתיים ניתן למיין על פי רמת האנרגיה של זרימת המים בסביבות היווצרות השונות – כלומר, על פי יכולת המים לשבור ולהסיע חלקיקי סלע בגדלים שונים. בסביבה עתירת אנרגיה (למשל בנחל תלול), לא ישקעו חלקיקים קטנים כדוגמת חרסיות ולסביבה שקטה (למשל לדלתא ולים) לא יגיעו בולדרים וחלקיקי סלע גדולים.

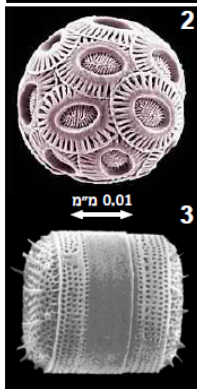
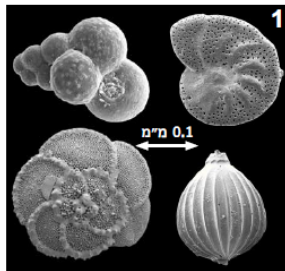
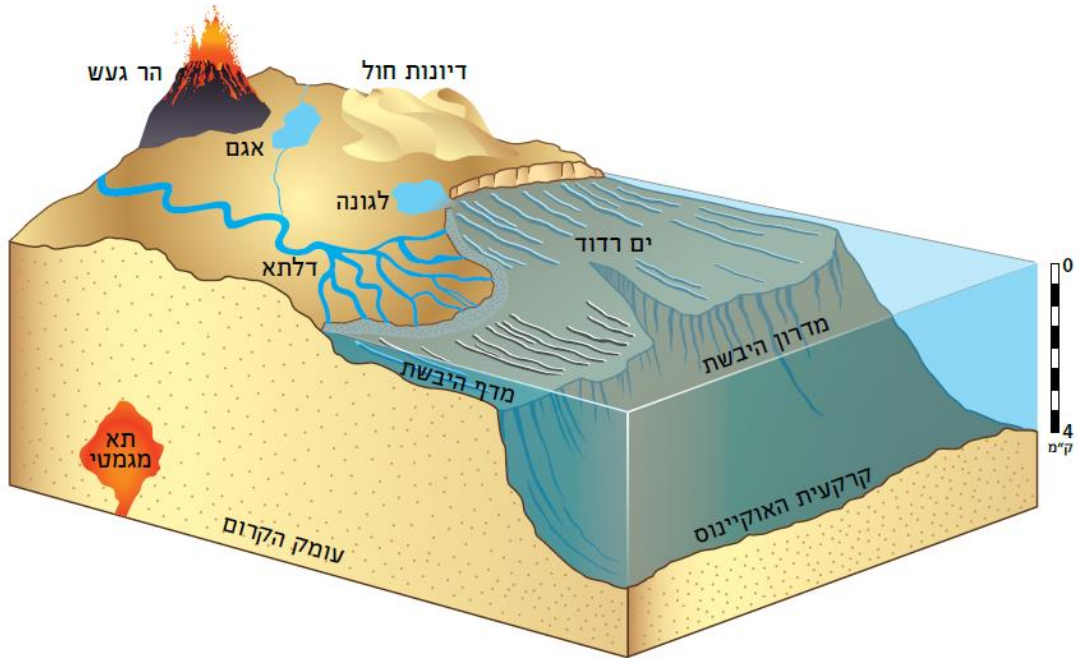
קרדיט:

הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר חנן גינת, ד"ר שרית אשכנזי ו ד"ר ירון פינצי, מרכז מדע ים המלח והערבה ובעזרת סטודיו יוטבתה.

מקורות לקריאה נוספת:

- **"נדבכים בגיאולוגיה של ישראל"** – עימנאל מזור, האוניברסיטה הפתוחה, 1987
- **"גיאולוגיה בפטיש ישראלי"** - עימנאל מזור, האוניברסיטה הפתוחה, 1994
- **"מחזור הסלעים ומערכות כדור הארץ"**, לאור ר., אוריון נ., 2002, בהוצאת מכון וויצמן למדע ומשרד החינוך

סביבות היווצרות של סלעים



סביבות היווצרות של סלעים



סלעים מגמטים ומותמרים בישראל

שם הסלע	תהליך היווצרות והסביבה	מינרלים שכיחים
גזיט	התגבשות איטית במעמקי האדמה	קוורץ, מיקה ופלדספר
בולת	התגבשות מהירה על או קרוב לפני השטח	אוליבין, פירוקסן
טוף	התפרצות של הר געש	
שיסט	התמרה בתנאי לחץ וחום במעמקי האדמה	קוורץ, ביוטיט

סלעי משקע בישראל

שם הסלע	סביבת ההשקעה	מינרלים עיקריים
קונגלומרט	נחל	
אבן חול	נחל, דיונה	קוורץ
גיר	ים רדוד, אגם	קלציט
דולומיט	לגונה או החלפה מאוחרת של סלע גיר	דולומיט
חואר	ים רדוד עם אנרגיה נמוכה	קלציט וחרסית
חרסית	ים עמוק, אגם, נחל עם אנרגיה נמוכה	חרסית
קירטון	ים פתוח עשיר בפורמניפריים ¹ וקוקוליטים ²	קלציט
פוספוריט	ים רדוד עשיר בדגה	
צור	ים עשיר בסיליקה (אצות צורניות = דיאטומיאות ³) או החלפה של גיר	סיליקה (צורן וחמצן)
גבס	לגונה, אגם בתנאי התאדות יתר	גבס
מלח	אגם בתנאי התאדות יתר	הליט

#5 חתך רוחב ערבה – מכתש קטן

המיניפלקט מראה חתך גיאולוגי של כל צפון-מזרח הנגב והערבה הצפונית ומפרט את היחידות הגיאולוגיות העיקריות באזור זה. חתך רוחב הינו עזר מיפוי גיאולוגי, המתאר את המבנה התלת מימדי של שכבות הסלע באופן המדמה חתך אנכי מפני השטח לעומק תת-הקרקע. כך, מראה החתך שכבות ותופעות הנראות בפני הקרקע כמו גם שכבות ותופעות הנראות בעומק. ניתן לראות כי מעל פני השטח בולטים, בעיקר בנגב הצפון-מזרחי, סלעי משקע ימיים (כמו גיר, צור וקרטון) ויוצאי הדופן הם המכתשים (שם נחשפות אבני חול עתיקות) והערבה (המלאה בסלעי משקע יבשתיים צעירים). ניתן לראות כי הסלעים המוקדמים לתקופת היורא לא חשופים בפני השטח באזור זה חוץ מאשר במצוק המזרחי של שולי הערבה.

בחלקו האחורי של המיניפלקט מובא מקרא של סימוני הסלעים. ליד כל אחד מהסימונים מצוינת התקופה בה נוצר הסלע. מעל מקרא זה מפורטים התהליכים המרכזיים בהיווצרות הנוף הנוכחי בנגב הצפון מזרחי ובערבה הצפונית.

כדי להבין את התהליך לעומקו מומלץ להשוות את שלבים 1-5 עם תהליכי התפתחות מכתש רמון (ראה עזר מס' 8) . עזר זה מסביר את דרך היווצרות השכבות המופיעות באזור, את תהליך יצירת הקימוט ואת משמעות הגידוע האזורי.

את שלבים 4-6 אפשר להשוות עם התהליכים הגיאולוגיים שהביאו להיווצרות בקעת צין ולשביית נחל בשור ע"י נחל צין (ראה עזר מס' 13). עזר זה מסביר את ההשפעה של פתיחת בקע הערבה על קו פרשת המים הארצי ועל הטיית הנגב מזרחה ושינוי תוואי הנחלים הגדולים באזורנו.

כמו כן מומלץ לעיין במיניפלקט המציג את החתך העמודי המוכלל ואת טבלת האירועים הגיאולוגיים שהשפיעו על הנגב כולו (ראה עזר מס' 7).

קרדיט:

הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר חנן גינת וד"ר ירון פינצי, מרכז מדע ים המלח והערבה, בעזרת סטודיו יוטבתה.

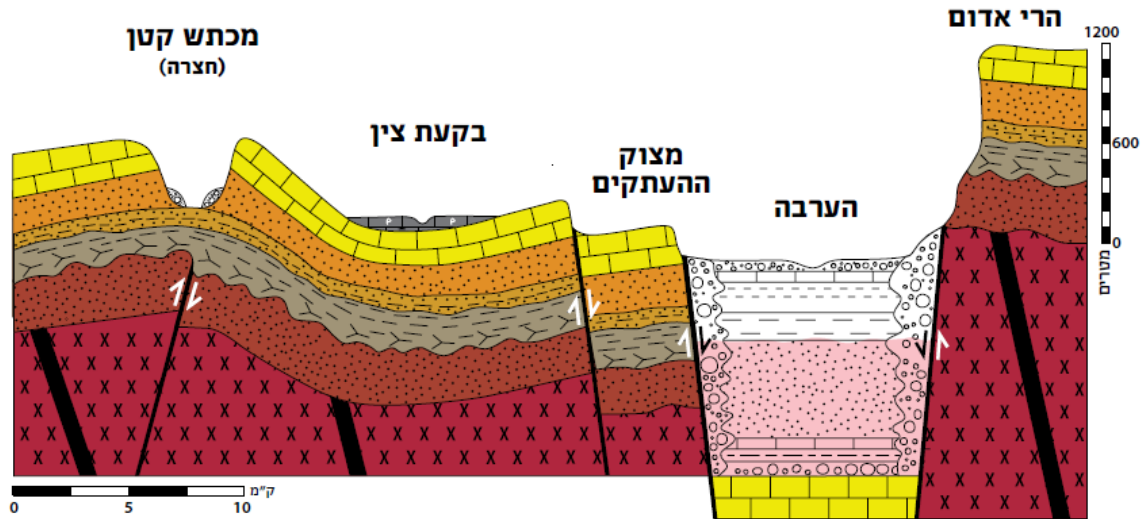
מקורות לקריאה נוספת:

- "גיאולוגיה והתפתחות הנוף בערבה הצפונית", א.רבקין, ח.גינת, י.אבני, 2014
- "מידול קינמטי של אסימטריה בקנה מידה גדול לאורך בקע ים המלח", זילברמן, ע., ווידובינסקי, ס., 1996, Tectonophysics, 226, עמודים 187-201 (באנגלית)

חתך רוחב ערבה-מכתש קטן

מערב

מזרח



שליבים/אירועים בהיווצרות המבנה:

1. היווצרות רוב השכבות המופיעות באזור (תשתית, סלעי היבשה מהטריאס, מהיורא ומהקרטקון התחתון, סלעי משקע ימיים מהטורון והקנומן).
2. קימוט כחלק מרכסי הקשת הסורית (בעיקר בתקופה לפני 80-50 מיליון שנים).
3. גידוע של ראש הקמר עד חשיפת אבני החול (לפני 40-25 מיליון שנה).
4. תחילת פעילות של העתקי ים המלח (לפני כ-14-18 מיליון שנים), היווצרות עמק הערבה ופרשת המים הארצית (לפני 5-10 מיליון שנים).
5. פתיחת מכתש חצרה ע"י בליית אבן החול הרכה שבמרכז המכתש וניקוח שלה לכיוון מזרח (לפני כ-5 מיליון שנה).
6. השקעת סלעי משקע יבשתיים ואגמיים בערבה (חרסיות, חול, חלוקים, חוואר, גיר) (מלפני 25 מיליון שנה ועד היום).

מקרא מורחב:

<p>סלעי משקע יבשתיים יורא (145-201 מיליון שנה) חבורת ערד</p>		<p>סלעי משקע יבשתיים צעירים פליוקן - הוזה (0-5 מיליון שנה) חבורת ים המלח</p>	
<p>סלעי משקע יבשתיים ואגמיים טריאס (201-250 מיליון שנה) חבורת רמון</p>		<p>אבני חול מיוקן מוקדם (16-23 מיליון שנה) חבורת חצבה</p>	
<p>אבני חול אדומות עתיקות קמבריום (490-540 מיליון שנה) חבורת ים סוף</p>		<p>סלע עשיר בפוספט קמפן (72-84 מיליון שנה) חבורת הר הצופים</p>	
<p>סלעים מגמטיים ומותמרים מרה-קמבריום (540-950 מיליון שנה)</p>		<p>סלעי משקע ימיים קנומן-טורון (90-100 מיליון שנה) חבורת יהודה</p>	
<p>העתק</p>		<p>אבני חול קרטיקון תחתון (100-145 מיליון שנה) חבורת קודגוב צעים מאובנים (מכתש גדול) בולות הרמון (מכתש רמון)</p>	

#6 סוגי סלעים מגמטיים

במיניפלקט מתוארים כמה מהסלעים המגמטיים הנפוצים בנגב, יחד עם כללים להבחנה ביניהם והסבר כללי לדרכים האפשריות להיווצרותם. בחלק העליון של המיניפלקט מתוארים ההבדלים בין ארבעה סוגי סלעים (בזלת, גברו, ריוליט וגרניט) על ידי סקאלה בעלת שני צירים:

1. **גודל גביש** – כאשר המגמה מתקררת ומתמצקת היא אינה עושה זאת בבת-אחת. היא עושה זאת בתהליך שנקרא "התגבשות". בתהליך זה מתחילות להתחבר מולקולות על פני גרעין התגבשות בסדר קבוע ומחזורי. כל עוד מסביב לגביש ממשך מעבר של חומר נזלי שעוד לא התקרר והתגבש לגמרי, עוד מולקולות יתחברו לאט לאט והגביש יגדל. לכן, בסלע וולקני (סלע געשי), הנוצר בפני השטח או בקרבה לפני השטח בתנאים המאפשרים קירור מהיר - יוצרו רק גבישים קטנים. זאת מכיוון שהחומר מתקרר במהירות מהמגע עם האוויר, כך שהנוזלים בקושי מצליחים להתערבל וליצור גבישים. בתנאים אלה נוצרים גבישים קטנים עד כדי כך שלעיתים קרובות לא ניתן להבחין בהם ללא זכוכית מגדלת או אפילו מיקרוסקופ. לעומת זאת, בסלע פלוטוני, הנוצר עמוק מתחת לאדמה ומתקרר באיטיות – יוצרו גבישים גדולים יותר.
2. **צבע (הרכב כימי)** – בעומקים שונים של כדור הארץ נמצאת מגמה מסוג שונה עם הרכב כימי שונה. בבסיס הקרום היבשתי נמצאת מגמה שהיא תוצר של התכה מקומית, ובשל הרכבה העשיר בסיליקה (SiO_2) היא צמיגה במיוחד ונוטה להתפרצויות געשיות אלימות יחסית. בנוסף לסיליקה (שצבעו שקוף/לבן) המגמה שמקורה בקרום היבשתי עשירה בקוורץ (צבע לבן/אפור) ובמיקה (בעברית נקרא גם 'נציץ' – מינרל משטחי בצבע שקוף/שחור). לעומת זאת במעטפת, הנמצאת מתחת לקרום, גועשת לה מגמה מסוג אחר. מגמה זאת עשירה במגנזיום וברזל ודלילה בסיליקה ולכן מרקמה נזלי יחסית וההתפרצויות שהיא גורמת להם לא אלימות כל כך. סלעים אלה אפשר למצוא בעיקר בקרום הימי ובהרי הגעש הניזונים ממגמה שמקורה עמוק במעטפת. תופעה זו מתקיימת באזורים בהם עמודת נתך וחום מזרימה מגמה מן העומק אל פני השטח (אזורים אלו נקראים נקודה חמה או "Hot Spot").

מבין הסלעים השחורים ניתן למצוא בנגב את הבזלת (דקת-הגביש) בעיקר בהרי געש מתקופת הקרטיקון ואת הגברו (גס-הגביש) שנמצא בלקולית שבמכתש רמון. מהסלעים האדומים ניתן למצוא את הריוליט והגרניט כמעט ורק בהרי אילת.

בנוסף לאלה מתוארים במיניפלקט עוד שני סוגי סלעים מגמטיים שניתן למצוא בנגב:

1. **סלע טוף** – סלע פירוקלאסטי. כלומר, סלע שנוצא מחיבור של אפר וחלקיקי גבישים שעפו מתוך הר הגעש בהתפרצות. הסלע מתקרר במהירות באוויר ומתמצק בשניות ולכן, הגבישים בו כמעט ולא קיימים והוא מלא בנקבוביות אוויר ולכן גם פריך מאוד. ניתן למצוא טוף במכתש רמון במספר מקומות, אם כי רובו עבר בלייה והוסר בשל רכות הסלע. ניתן למצוא שרידי טוף גם בקלדרות מתקופת הפלייסטוקן בנחל כרכשת ובנחל עשוש.
2. **סלע פורפיר** – הגדרה כללית לסלע עם גבישים גדולים המצויים בתוך מטריקס (תווך) דק-גביש. מרקם זה נוצר כאשר הסלע מתחיל להתקרר ולהתגבש בעומק ומסיבה כלשהי הוא עולה בצורה מהירה יחסית קרוב אל פני השטח. תנועה זו, תגרום להמשך התקררות מהירה הרבה יותר ולכן ששאר הגבישים, שלא הספיקו להתגבש, יהיו קטנים מאוד. ניתן למצוא סלעים בעלי טקסטורה פורפירית בעיקר בסילים בנחל רמון ובהרי אילת.





קריטי:

הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר ירון פינצי וד"ר חנן גינת, מרכז מדע ים המלח והערבה, ובעזרת סטודיו יוטבתה.

מקורות לקריאה נוספת:

ראה עזר #3

סוגי סלעים מגמטיים

אדום-אפור	שחור	וולקני (דק גביש)
ריוליט	בזלת	
		
גרניט	גברו	פלוטוני (גס גביש)
		

סלעים מגמטיים נוספים

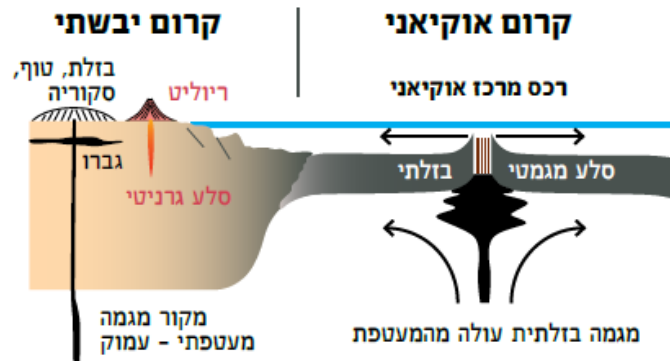
	
טוף	פורפיר
סלע פירווקלאסטי עשוי מאפר וחלקיקים שהתפרצו מהר געש	סלע פלוטוני עם גבישים גדולים במטריקס דק גביש

הסלעים המגמטיים מחולקים על פי הרכב כימי (צבע) וסביבת היווצרות (גודל גביש):

- לסלעים וולקניים יש גבישים קטנים, משום שהתקררו מהר מעל או קרוב לפני השטח. לסלעים פלוטוניים יש גבישים גדולים משום שהתקררו לאט בעומק האדמה.
- הסלעים השחורים עשירים במגנזיום וברזל; הסלעים האדומים-אפורים מורכבים בעיקר מגבישי קוורץ (לבן/אפור), פלדספר (כתום) ומיקה (משטחים שקופים/אפורים).

הרכב הסלעים משקף את מקור החומר המגמטי:

גרניטים מקורם בהתכה של קרום יבשתי (למשל באילת וסיני); בזלות מקורן בנתך מהמעטפת ולכן הן נפוצות ביותר בקרום האוקיאני.



- בסלעים פורפיריים הגבישים הגדולים החלו להתגבש בעומק ואז הוסעו קרוב לפני השטח בתוך מגמה שהתקררה מהר וגיבשה גבישים קטנים. ניתן למצוא פורפיריים בלקולית של הרמון ובסילים בנחל רמון.
- בסלעי טוף יש חללים כלאוים בין החלקיקים שהתלכדו והתקררו תוך כדי "מעוף" (לכן הם קלים יחסית). הטוף ברמון הינו בזלתי (שחור).

#7 חתך עמודי של הנגב

להבדיל מהמפה הגיאולוגית, המראה רק את הסלעים החשופים על פני השטח, הנראים ממעוף הציפור, תפקידו של החתך העמודי הוא להראות את כל עמודת הסלעים הניצבת באזור, גם אם סלעים מסוימים קיימים רק בעומק האדמה.

לחתך העמודי שני צירים: הציר האנכי מבטא את הזמן בו הורבד הסלע והציר האופקי מבטא את קושי/חוזק השכבה ואת הצורה שבה השכבה מתבטאת בנוף מצוקי. כלומר, אם נסתכל לרגע על שכבת "צור משאש", המופיעה בשחור, נראה בציר האנכי כי היא מלפני 70-80 מיליון שנה וכי היא בולטת בנוף יחסית לשכבה שמתחתיה. ניתן לראות זאת יפה מאוד בתמונה ליד, המראה את הר קטום המורכב משכבת בסיס רכה (קירטון מנוחה) ובראשו שכבה קשה של צור משאש.

לצד החתך העמודי ישנה קטגוריה נוספת והיא "חבורות". החבורות הן דרך לקטלג שכבות סלע שונות מאותה תקופת זמן ועם סיפור השקעה דומה פחות או יותר. את החבורות מחלקים לתצורות ואת התצורות מחלקים לפרטים.

החתך העמודי עוזר להמחיש עד כמה קל לזכור את הגרסה המופשטת של הסיפור הגיאולוגי בנגב. למעשה, לאחר היווצרות סלעי היסוד, מגיעה תקופה ארוכה שבה הורבדו סלעי משקע יבשתיים (אבן חול, קונגלומרט וכדומה), לאחר מכן תקופה בה הורבדו סלעי משקע ימיים (כמו גיר, קרטון וחואר) ולבסוף עוד תקופה קצרה יחסית ומאוד קרובה להווה, בה הושקעו שוב סלעי משקע יבשתיים.

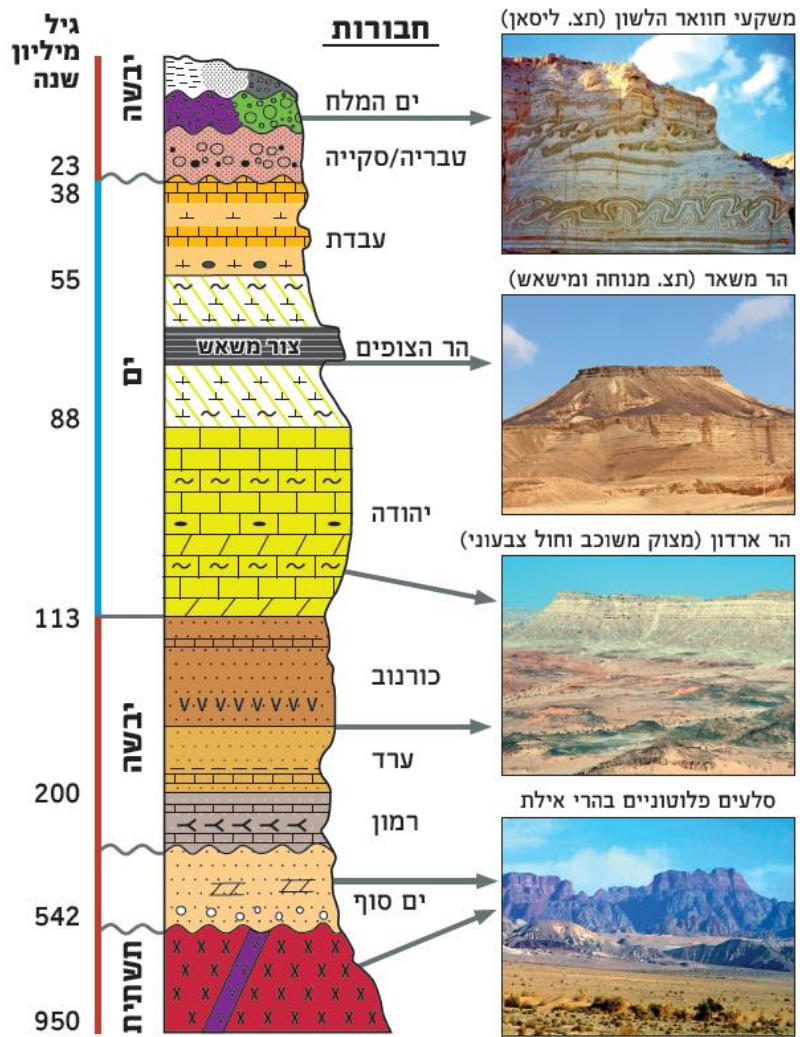
בחלק האחורי של העזר מסופר הסיפור המפורט יותר של הגיאולוגיה בנגב, יחד עם כמה אירועי מפתח, על ציר הזמן. חשוב לשים לב כי קנה המידה בציר הזמן אינו אחיד (כלומר אורך הציר לא פרופורציונאלי למשך התקופה).

בציר הזמן מצוינות החבורות השונות, התקופות בהן הושקעו והאירועים המשמעותיים שהתרחשו באותה תקופה: אירועים טקטוניים (כמו קימוט הקשת הסורית), אירועי בלייה משמעותיים (כמו הגידוע האוליגוקני) ואירועים אחרים כמו שביית הצין. על רוב האירועים המצוינים במיניפלקט זה, ניתן לקרוא גם בעזרים אחרים.

קרייט:

הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר ירון פינצי וד"ר חנן גינת ממרכז מדע ים המלח והערבה ובעזרת סטודיו יוטבתה.

חתך עמודי - נגב



#8 היסטוריה גיאולוגית של מכתש רמון

היווצרות מכתש רמון בשמונה שלבים:

מכתש רמון הינו תופעה גאולוגית מקומית וייחודית. היווצרותו קשורה הן בתהליכים גאולוגיים גדולים שהתרחשו בכל המרחב של א"י לאורך ההיסטוריה הגאולוגית והן בתנאים ייחודיים שאפיינו את אזור הרמון במהלך התפתחות המכתש.

1. לפני 110-145 מיליון שנה: הרבדת אבני חול בנהרות ובאגמים:

תקופת הקרטיקון התחתון

בתחילת הקרטיקון התחתון מורבדים סלעים קלאסטיים (סלעי משקע יבשתי) באי התאמה על סלעי משקע ימיים מתקופת היורא (145-201 מ"ש). שינוי ליתולוגי זה מעיד על התרוממות של הנגב (בשולי יבשת אפריקה) ועל בליה וסחיפה של המסלע בפני השטח הקדומים. בתחילת התקופה מתרחשת גם פעילות וולקנית שבמהלכה נוצרים הרי הגעש ובזלות הרמון, חדירת שן רמון, הגבנונים, הדייקים והסילים. בהמשך התקופה הנגב עובר השתפלות ומעבר מהרבדת קונגלומרט לסלעים המכילים פרגמנטים דקים יותר כמו חול וסילט. תצורת 'חתירה' מתקופה זאת מכילה אבני חול, תלכידי נחלים ומאובני צמחים המעידים על סביבה יבשתית הכוללת נהרות ואגמים שהתפתחו בקרבת הים הרדוד. הימצאותן של אבני החול הרכות מהווה תנאי הכרחי (ראשון) להיווצרות המכתש.

2. לפני 90-100 מיליון שנה: ים תטיס מציף את הנגב:

תחילת הקרטיקון העליון - קנומן, טורון

השתפלות מרחבית של שולי יבשת אפריקה הופכת את הנגב והאזור כולו למדף יבשת נרחב מוצף בים רדוד ועשיר בבעלי חיים, על כך מעיד חתך עבה (כ-500 מ') של סלעי משקע ימיים (גיר ודולומיט) הכלולים בחבורת יהודה. חתך זה שקע על גבי אבני החול (והוא יוצר את חיפוי הסלעים הקשים בראשי הקמרים בכל ארץ ישראל). על מדף היבשת נוצרים אגנים מקומיים עם תנאי זרימה ומליחות שונים: בסביבה עם זרימה מוגבלת ומליחות גבוהה יחסית לים – שוקע דולומיט; בסביבה עם תנאי ים פתוח – שוקעים גיר (בים רדוד) וקרטון. הימצאות סלע קשה (מעל החול הרך) הכרחית להיווצרות מכתש.

3. החל מלפני כ-80 מיליון שנה: קימוט ויצירת קמר א-סימטרי:

תקופות הסנטון והקמפן

בתקופה זאת אפריקה מתנגשת באירופה ומאמצי הלחיצה הטקטוניים יוצרים מערכת קמרים מאורכים ("הקשת הסורית") המשתרעת מהרי הפלמרידים בסוריה דרך הגליל, שדרת ההר, קמרי הנגב ועד לצפון חצי האי סיני. התרוממות הרכסים לאורך מדף היבשת יוצרת אגנים מקומיים ואיים שמצפון להם ים פתוח עם זרמי עומק המביאים אל פני הים נוטריינטיים (חומרי מזון המגיעים מהיבשה דרך נהרות ומומסים בים), מעשירים את שרשרת המזון וגורמים לפריחת אצות ולהשקעת צור.

בתקופה זו שקעו שכבות של קרטון, חוואר, צור ופוספוריט – במיוחד בקערם (תצורות מנוחה ומשאש).

העתק רמון מסייע להרמת הרכס מעל פני הים וליצירת "אי רמון".

סלעי הקרטון הנכללים בתצורת מנוחה הושקעו באי התאמה זוויתית על גבי חתך נטוי של חבורת יהודה. יחסי שדה אלה מלמדים על יצירת קמר רמון החל מן הסנטון המוקדם. קונגלומרט שנמצא בגג תצורת מנוחה באגפי הקמר מעיד על הרמת המבנה אל מעל לקו המים ועל גידוע ארוזיבי של ראש הקמר שבלט כאי.

קימוט ויצירת קמר עם 'ליבה' של סלע רך הם תנאים להיווצרות מכתש.

4. לפני כ-60-70 מיליון שנה: בליה בשיא הקמר - יצירת מכתש קדום:

תקופת המאסטריות והפאליאוקן

קמר רמון ממשיך להתרומם לאורך העתק רמון. על כך מעידים סלעים מתצורת משאש וע'רב שהושקעו באי התאמה זוויתית על גבי החתך הקודם.

היווצרות מכתש קדום - בליה בראש "אי רמון" חושפת את אבני החול הרכות שנסחפות דרך מפער במצוקים של סלעי גיר ודולומיט. בשלב זה התפתח מכתש ראשוני או בקעה חולית מוקפת מצוקים בחלקו המערבי של הקמר.

בתקופה זו, לפני כ-65 מ"ש, התרחשה הכחדה גדולה של רבים ממיני החי והצומח בעולם כולל הדינוזאורים והאמוניטים.

סחיפת אבני החול מליבת הקמר הנה השלב הסופי ביצירת מכתש.

5. לפני 40-50 מיליון שנה: ים תטיס מציף שוב את הנגב:

תקופת האיאווקן

השתפלות נרחבת של שולי יבשת אפריקה גוררת הצפה נרחבת של המזרח התיכון כולו. הנגב מכוסה ים עמוק-פתוח שבו שוקעים גיר, קרטון ומעט צור (חבורת עבדת). המכתש הקדום נקבר. על כך מעידים מחשופים של סלעי גיר מאסיביים השייכים לחבורת עבדת בחלקו המערבי של קמר רמון.

בתקופה זאת מתפתחים יונקים ימיים (למשל לווייתנים ופרות ים).

6. לפני כ-30 מיליון שנה: הרמה מרחבית וגידוע עמוק בנגב:

תקופת האוליגוקן

הרמה של צפון יבשת אפריקה וערב חושפת את האזור לבלייה וגוררת גידוע נרחב של המזרח התיכון כולו.

בתקופה זו, אין בנגב הרבדה של סדימנטים – רק הסרה. פסגות גדועות ושטוחות לאורך כל רכסי הנגב מעידות על התפתחות מישור גידוע נרחב באזור. קמר רמון נגדע עמוקות, ובמרכזו נחשף מחשוף גדול של אבני חול שהושקעו בשלבים הקודמים (תקופת הקרטיקון התחתון).

7. לפני כ-10-20 מיליון שנה: התפתחות נהרות במישור שולי היבשת:

תקופת המיוקן

בתקופה זו מתפתחת מערכת של נהרות ענק הזורמים מאפריקה/ערב דרך הנגב לכיוון הים התיכון. חול וחלוקים שמקורם מאזור ערב הסעודית מורבדים בנגב ויוצרים את תצורת חצבה. נוצרים גם אגני ניקוז ואגמים מקומיים בהם שוקעים קונגלומרטים מקומיים וגיר אגמי גם הם מרכיבים את תצורת חצבה.

שרידי אבני חול ותלכידי חלוקים שנמצאו על גבי מישור הגידוע מעידים על השקעת סלעי משקע יבשתיים ומשקעי נהרות הכלולים בתצורת חצבה על גבי קמר רמון הגדוע. הגובה הטופוגרפי של האזור לא עלה על מספר עשרות מטרים מעל לים המיוקני.

8. מכתש רמון:

תהליכים עיקריים מאז המיוקן ותאור המבנה:

פתיחת ים סוף, היווצרות טרנספורם ים המלח והשתפלות הערבה, הם הגורמים אשר הביאו להרמה טקטונית ניכרת של רכס רמון (פסגות האזור מגיעות לגובה טופוגרפי של יותר מ-1000 מ') ולהטיה מזרחה שיצרה הפרש גבהים משמעותי והטיה ושבייה של נחלים אשר גרמו להתחתרות נמרצת בשכבות אבן-החול ולסחיפתן מהרמון לערבה. התחתרות זו הביאה להתפתחות המכתש הנוכחי.

קרדיט:

הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר ירון פינצי וד"ר חנן גינת, מרכז מדע ים המלח והערבה, ובעזרת סטודיו יוטבתה.

מקורות לקריאה נוספת:

- אבני, י., 1990, התפתחות מכתש רמון, מדריכי סיור לכנס החברה להגנת הטבע, כנס הר הנגב
- אבני, י., 1993, המבנה והתפתחות הנוף של מערב קמר רמון. Israel journal of earth science, 42, עמודים 177-188, (באנגלית).
- זילברמן, ע., 2000, היווצרות המכתשים - קירקס אירוז'יב יחודי בנגב, דרום ישראל, Israel journal of earth science, 49, עמודים 127-141 (באנגלית)

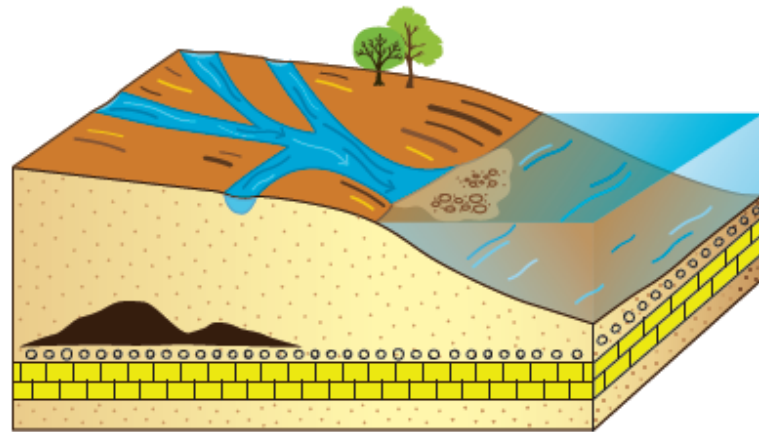
SYSTEM		SERIES - STAGE	SYMBOL	THICK. מ' עובי	LITHOLOGY	LITHOSTRATIGRAPHY		
תקופה		סדרה - דרגה	סימן	מ' עובי	מסלע	מפות מיפוי יחידות מיפוי	חברה	
QUATERNARY	קוורטרי	HOLOCENE	Al	0-10		Alluvium	אלוביום	
		PLIO-PLEISTOCENE	Q1	10-20		Conglomerate	סלס	
			Q2	10-20		Wadi terraces	סדרות טל	
TERTIARY	NEOGENE	MIOCENE	Nb	65-105		Aluzam Fm.	תב. אלוזם	
			UPPER	Eq + Eha	0-20		Hazeva Formation	תצורת חצבה
				Eq	30		Har Agrav Formation	תצורת הר אגראב
		MIDDLE	Emt	20-60		Nahal Yeter Fm.	תב. נחל יטר	
			Em	10-50		Hersha Fm.	תב. חרשה	
			En	30-40		Nizzana Formation	תצורת ניצנה	
	PALEOGENE	PALEOCENE	Th	0-40		Mor Formation	תצורת מור	
			Kug	0-60		Tagiye Formation	תצורת טג'יה	
			Kun	0-20		Ghareb Formation	תצורת ערב	
		UPPER	Kug + Kug + Th	28-75		Mishash Formation	תצורת מישאש	
			Kug + Kug	30-40		Menaha Formation	תצורת מנחה	
			Kug	50-80		Gerofit Formation	תצורת גרופית	
CRETACEOUS	UPPER	SENONIAN	Kuo	0-30	Ora Formation	תצורת אורה		
		TURONIAN	Kuo	30-40	Tamar Formation	תצורת תמר		
			Kuo	40	Avnon Formation	תצורת אבנון		
	LOWER	CENOMANIAN	Kuo	30-50	Zafit Formation	תצורת צפית		
		ALBIAN	Kuo	13-18	En Yorq' am	תצורת עין יורקעם		
			Kuh	124-131	Hevion Formation	תצורת חביון		
LOWER	APTIAN	Kh	200-318	Hatira Formation	תצורת חתירה			
	BARREMIAN	Kb	2-10	Ramon Volcanics	הקלקי רמון 109-116 Ma			

תקופת הקרטיקון התחתון



1. לפני 110-145 מיליון שנה: הרבדת אבני חול בנהרות ובאגמים

- סלעי הקרטיקון התחתון מורבדים באי התאמה על סלעי יורא (145-201 מ"ש), באופן שמעיד על התרוממות של הנגב (בשולי יבשת אפריקה) ועל בליה וסחיפה של המסלע בכני השטח הקדומים.
- בתחילת התקופה מתרחשת פעילות וולקנית (היווצרות הרי הגעש ובזלות הרמון, חדירת שן רמון הגונונים, הדייקים והסילים).
- במשך התקופה הנגב עובר השתפלות ומעבר מהרדת קונגלומרט לחול וסילט.



← הרבדת אבני החול הפריכות מהווה תנאי (ראשון) להיווצרות המכתש.

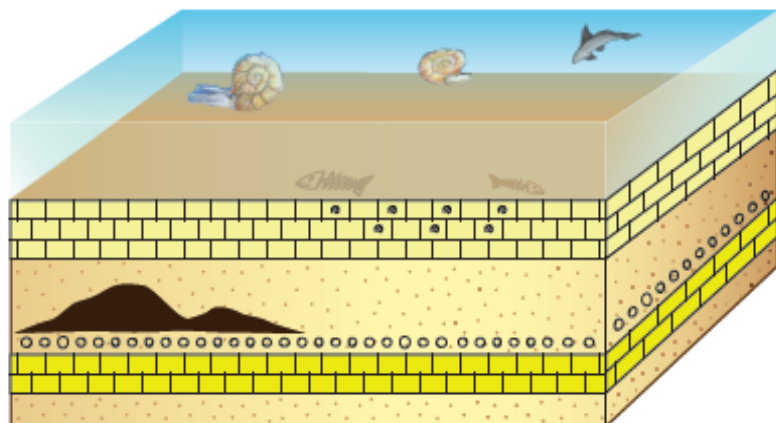


צייר: ד"ר זאב לוי

2. לפני 90-100 מיליון שנה: ים שטים מציף את הנגב

- השתפלות שולי יבשת אפריקה הופכת את הנגב והאזור כולו למדף יבשת נרחב מוצף בים רדוד ועשיר בבעלי חיים.
- על מדף היבשת נוצרים אגנים מקומיים עם תנאי זרימה ומליחות שונים: בסביבה עם זרימה מוגבלת ומליחות גבוהה יחסית לים - שוקע דולומיט; בסביבה עם תנאי ים פתוח - שוקעים גיר וקרטון.

← השקעת סלע משקע קשה (מעל החול הרך) הכרחית להיווצרות מכתש.



צייר: ד"ר זאב לוי



תקופות הסנטון והקמפאן

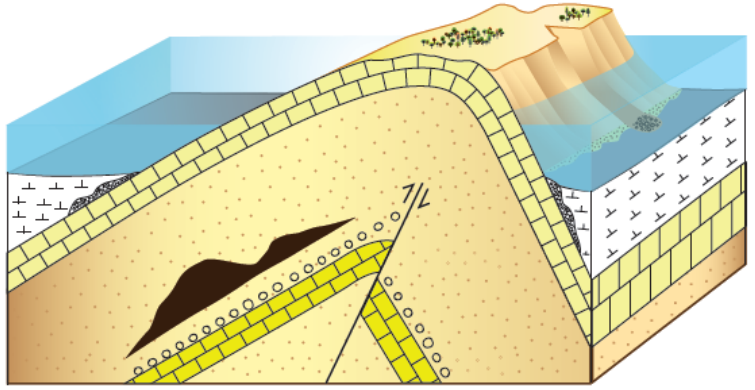


- בשל מאמצי לחיצה טקטוניים - מתפתחת סדרת קמרים מאורכים (הקשת הסורית) שרכסי הנגב משתייכים לה. העתק רמון מסייע להרמת הרכס מעל פני הים וליצירת "אי רמון".
 - התרוממות רכסים והמשך השתפלות מדף היבשת יוצרים אגנים מקומיים ואיים שמצפון להם ים פתוח עם זרמי עומק שמביאים אל פני הים נוטרייטים, מעשירים את שרשרת המזון וגורמים לפריחת אצות ולהשקעת צור.
 - בתקופה זאת השקעה של קרטון, חוואר, צור (מישאש) ופוספוריט - במיוחד בקערים.
- ← קימוט ויצירת קמר עם 'ליבה' של סלע רך הם תנאים להיווצרות מכתש.



ציור: נר שמי / ציור: ד"ר זאב לוי

3. החל מלפני כ-80 מיליון שנה: קימוט ויצירת קמר א-סימטרי

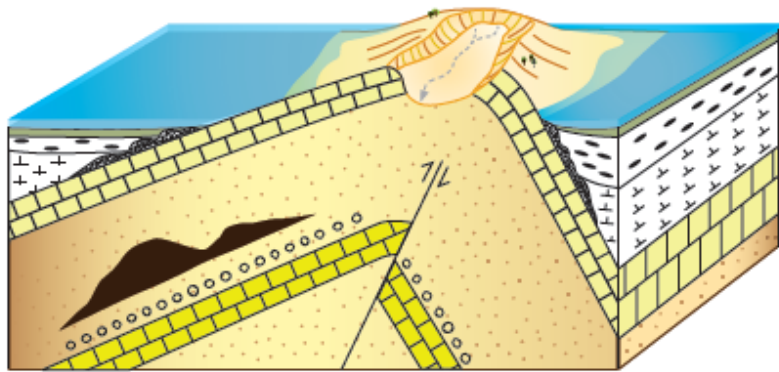


תקופות המאסטריכט והפאליאוקן



- המשך התרוממות קמר רמון לאורך העתק רמון.
 - היווצרות מכתש קדום - בליה בראש "אי רמון" חושפת את אבני החול הרכות שנשכחות דרך מפער במצוקים של סלעי גיר ודולומיט.
 - בתקופה זאת, לפני כ-65 מ"ש, התרחשה הכחדה גדולה של רבים ממיני החי והצומח בעולם כולל הדינוזאורים והאמוניטים.
- ← סחיפת אבני החול מליבת הקמר הנה השלב הסופי ביצירת מכתש.

4. לפני כ-60-70 מיליון שנה: בליה בשיא הקמר - יצירת מכתש קדום



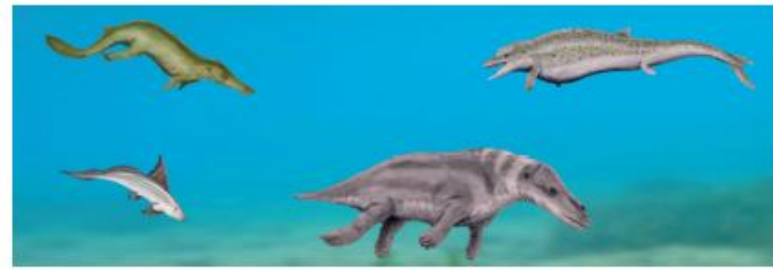
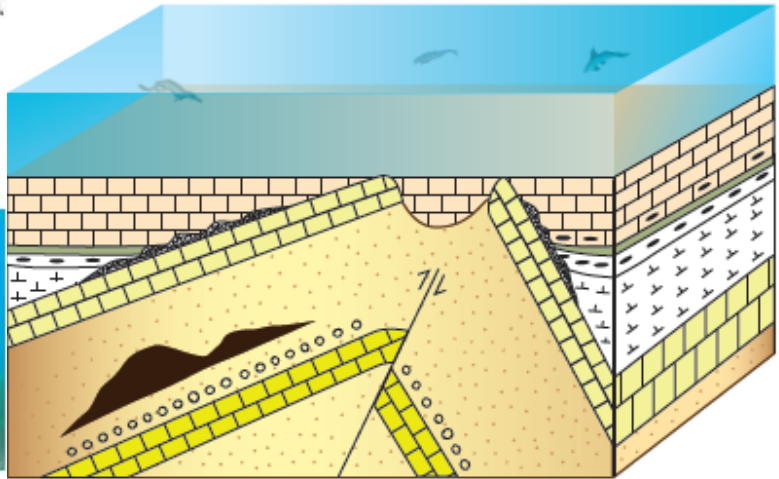
ציור: נר שמי

תקופת האיאוקן



- השתפלות נרחבת של שולי יבשת אפריקה גוררת הצפה נרחבת של המזרח התיכון כולו.
- הנגב מכוסה ים עמוק-פתוח שבו שוקעים גיר, קרטון ומעט צור. המכתש הקדום נקבר.
- בתקופה זאת מתפתחים יונקים ימיים (למשל לווייתנים ופרות ים).

5. לפני כ-40-50 מיליון שנה: ים טתיס מצויף שוב את הנגב

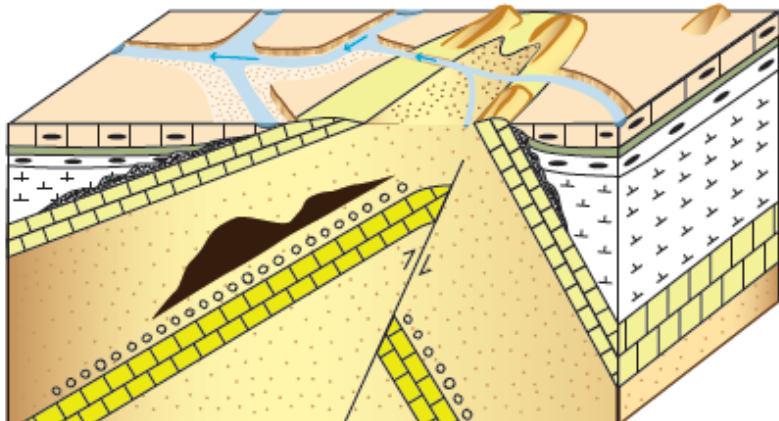


6. לפני כ-30 מיליון שנה: הרמה מרחיבת וגידוע התבליט בנגב

תקופת האוליגוקן

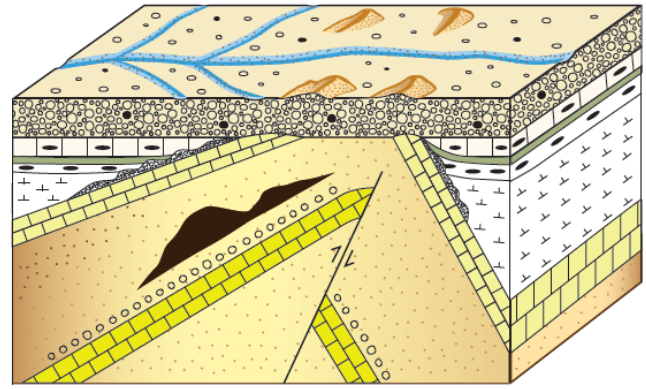


- הרמה של צפון יבשת אפריקה וערב חושפת את האזור לבלייה וגוררת גידוע נרחב של המזרח התיכון כולו.
- בתקופה זאת אין בנגב הרבה של סדימנטים - רק הסרה.
- שכבות החול שבלב קמר רמון נחשפות שוב.



תקופת המיוקן

- נהרות ענק זורמים מהנגב ומאפריקה/ערב לכיוון הים התיכון.
- חול וחלוקים שמקורם מאזור ערב הסעודית מורבדים בנגב (תצורת חצבה).

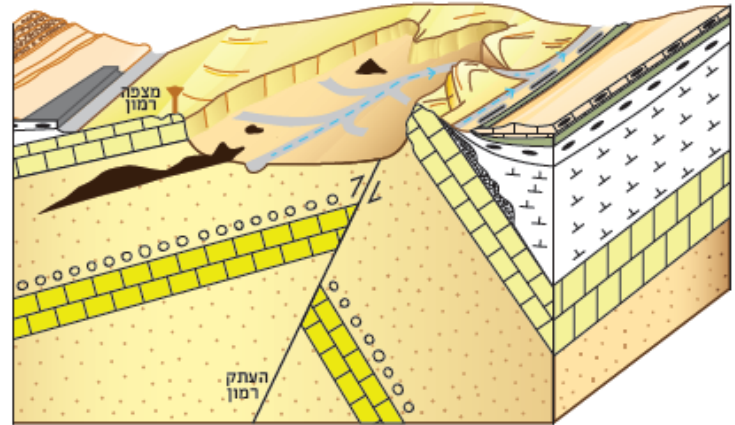


תהליכים עיקריים מאז המיוקן ותאור המבנה:

- הרמה ניכרת של רכס רמון מלווה בהטייה מזרחה
- התפתחות טרנספורם ים-המלח והשתפלות הערבה
- הפרש הגבהים והטיית הרכס גרמו להתחזרות נמצת בשכבות אבן-החול ולסחיפתן מהרמון לערבה



8. מכתש רמון



#9 היווצרות מכתשים בארבעה שלבים

עזר היווצרות המכתשים נותן הסבר כללי לתופעת המכתשים והינו רלוונטי במידה שווה לששת מכתשי הנגב (רמון, גדול, קטן, צמד מכתשי עריף והמכתש הקטנטן בכיפת עשת). העזר מסביר בפשטות איך נוצר מכתש סחיפה. ניתן לראות אותו מתבטא בשטח בצורה הטובה ביותר במכתש הקטן. בעזר מפורטים שלבי היווצרות המכתשים בצד הקדמי של המיניפלקט, כמו גם הסברים על התקופות השונות ועל סביבות ההשקעה של הסלעים השונים בצד האחורי.

שלב א:

התנאי הראשון ליצירת מכתש סחיפה הינו השקעת שכבת סלע פריך (מתפורר) ומעליו שכבה קשה יותר. ברחבי הנגב מורבדת בתקופת הקרטיקון התחתון (לפני כ-145 עד 110 מיליון שנה), תצורת חתירה המורכבת מסלעי משקע יבשתיים (בעיקר מאבן חול פריכה). התצורה מייצגת תקופה בה זרמו בנגב נחלי ענק שהסיעו והרבידו שכבות של חלוקים, חול וחרסיות (בעיקר גרגרי קוורץ המרכיבים את אבן החול שאנו רואים בשטח). בשלב זה, נמצאת ארץ ישראל על "נקודה חמה" ("Hot spot") מגמטית שגורמת לתופעות וולקניות רבות ברחבי הנגב. בין השאר ניתן למנות בתופעות אלה את גבעת געש ואת הר ערוד החשופים כיום במכתש רמון. "hotspot", הינה תופעה מוכרת בעולם, שבה חום ומגמה ממעטפת כדור"א עולים לפני השטח (לדוגמא: היווצרות איי הוואי).

בתקופת הקרטיקון העליון (לפני כ-110 עד 85 מ"ש) מוצפת כל ארץ ישראל בים רדוד המשקיע גיר, דולומיט וחוארים (חבורת יהודה). בסלעים אלו, שנוצרו בסביבה ימית, ניתן למצוא מאובנים המעידים על סביבה זאת ועל החיים שהיו בה. בין השאר ניתן לראות בשכבות אלה את תצורת עין ירקעם, העשירה במאובנים ואת השכבות של קיר האמוניטים. סלעי המשקע מחבורת יהודה, קשים ועמידים לבלייה יותר מאבן החול של תצורת חתירה ולכן הם שיוצרים את המצוקים הבולטים של המכתש מצפון ואת המצלעות הברורות מדרום.

שלב ב:

בסוף הקרטיקון העליון (לפני כ-85 עד 65 מ"ש), מתנגש הלוח האפריקאי בלוח האירו-אסיאתי ויוצר סדרת קמרים בנגב המהווים חלק מתופעת לחיצה וקימוט מרחבית הנקראת "הקשת הסורית". מבני הקימוט, נוצרים על בסיס שברים קדומים אשר חלק מהם מתבטאים בשטח (כמו בקמר הרמון) וחלק מהם רק בתת-הקרקע (כמו בקמר חצרה). רכסי הנגב באותה תקופה יצרו נוף של איים ואגנים מקומיים, שמצפון להם ים פתוח ומדרום להם לגונות ומפרצים סגורים למחצה. בתקופה זו, שוקעים סלעים בעיקר בקערים שבין הרכסים. סלעים אלה כוללים צור (המורכב מאצות "דיאטומאות" המעידות על ים עשיר ומשגשג), קרטון (סלע משקע של ים עמוק/פתוח), חואר ופוספוריט (המראה גם הוא על ים עשיר בחומר ניוטריאנטי ובחיים) המהווים ביחד את חבורת הר-הצופים. בעולם כולו, מתרחשת בסוף תקופה זו ההכחדה החמישית הגדולה ובה נעלמים רוב בעלי החיים הגדולים עלי האדמות ובכללם הדינוזאורים והאמוניטים. הכחדה זו סימנה גם את המעבר מעולם שבו צורת החיים הגדולה ביותר שייכת לקבוצת הזוחלים, לעולם שבו צורת החיים הגדולה ביותר, היא מקבוצת היונקים (שעד להכחדה זו כללה בעיקר חיות קטנות).

שלב ג:

בתקופת האוליגוקן (לפני כ-34 עד 23 מ"ש), מורם חלקה הצפוני של יבשת אפריקה וכל האזור שהיה מוצף בקרטיקון העליון נחשף לבלייה. באוליגוקן, אין בנגב הרבדה של חומר, אלא רק הסרה שלו ולכן אין ייצוג של שכבות מתקופה זו בחתך העמודי (כלומר ברצף השכבות הקיים באזורנו). בתקופה זו, בלייה נרחבת גודעת את התבליט והנוף הופך למישורי ברובו. לתופעה זו קוראים "פנפליין" (Penepline – כלומר: pene – כמעט ו-Plain – מישור) באוליגוקן, נחשפת אבן החול לפני השטח בפעם הראשונה מאז הקרטיקון התחתון ולכן גם היא נחשפת לבלייה.

קצב העמקת המכתש תלוי במאזן בין קצב בליית/הסרת אבן החול, לבין קצב כיסוי האזור ע"י משקעי נחלים. בתקופת המיוקן (לפני כ-23 עד 10 מ"ש), הסרת החול מתוך המכתש נבלמת בשל הרבדה מרחבית (על גבי הנגב כולו) של שכבות עבות של חלוקי נחל ושל אבן חול (תצורת חצבה). היווצרות המכתשים בנגב התעכבה כל עוד מערכת הנחלים שהגיעה ממזרח המשיכה לספק כמות גדול של חומרי משקע לנגב.

שלב ד:

רק בסוף המיוקן (לפני כ-10 עד 5 מ"ש), התהווה לאורך הערבה הבקע המורפולוגי, אשר שינה את משטר הזרימה האזורי וקטע את אספקת החול לנגב (ממזרח). כתוצאה מכך, גברה הבלייה בנגב, הוסרה אבן החול מראשי הקמרים ושוב נחשפו אבני החול העתיקות שבתוך המכתשים. ההבדלים בדרגת הקושי בין אבן החול לבין הגיר- הם הכרחיים להיווצרות מכתש. בליית אבן החול וסילוקה דרך פתח יציאה יחיד, העמיקה את המכתש וגרמה לקריסת שכבות הגיר הקשות מעליה. צורת בלייה זו, היא שיוצרת את המכתש על קירותיו הגירניים העומדים מסביבו. הטיה מרחבית של הנגב לכיוון מזרח חיזקה את יכולת נחלי האזור להתחתר, לסחוף ולנקז את שכבות החול הרך מליבות הרכסים ובכך סייעה להעמקת המכתשים ולעיצובם כפי שהם היום.

בארץ נמצאים שישה מכתשים בולטים: המכתש הקטן בראש קמר חצרה, המכתש הגדול בראש קמר חתירה, מכתש רמון בראש קמר מחמל, צמד מכתשי עריף בראש הר עריף ומכתש, ללא שם, בראש קמר מנוחה. למעשה שלושת המכתשים הראשונים הם מכתשי הסחיפה המוכרים והבולטים ביותר בעולם והם נחשבים לתופעה גיאולוגית ייחודית בקנה מידה בינלאומי.

קרייט:

ציור המיניפלקט נעשה ע"י עדי ריבלין בהשראת עזרים קודמים (אבני). הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר ירון פינצי ו ד"ר חנן גינת, מרכז מדע ים המלח והערבה, ובעזרת סטודיו יוטבתה.

ב. לפני כ-85-110 מ"ש: השקעת סלע משקע קשה (מעל החול הרך) הכרחית להיווצרות מכתש



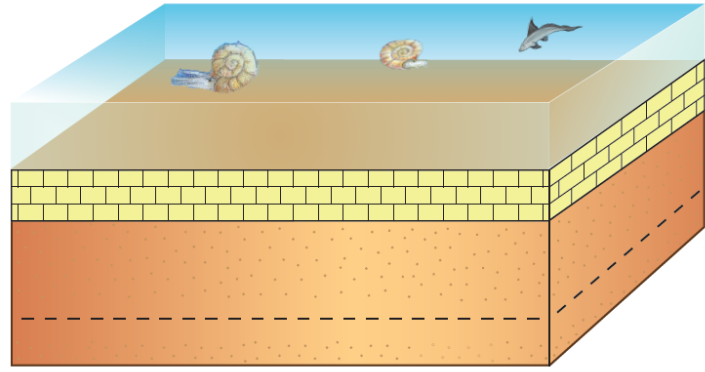
סלע גירני קשה (קרטיקון עליון)

א. לפני כ-110-145 מ"ש: הרבדת אבני החול הרכות מהווה תנאי (ראשון) להיווצרות המכתש



אבן חול רכה (קרטיקון תחתון)

ציור: ד"ר זאב לוי

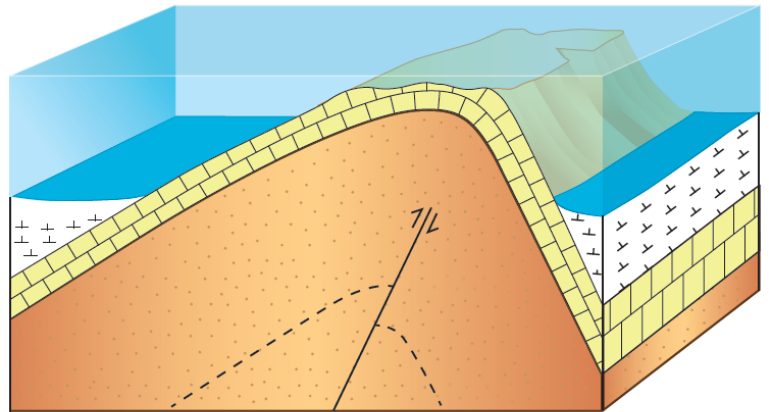


1. השקעת סלע משקע קשה מעל אבן חול רכה

סוף הקרטיקון העליון

ג. לפני כ-65-85 מ"ש: קימוט ויצירת קמר עם 'ליבה' של סלע רך הם תנאים להיווצרות מכתש.

- בשל מאמצי לחיצה טקטוניים - מתפתחת סדרת קמרים מאורכים (הקשת הסורית) שרכסי הגנג הם חלק ממנה.
- התרוממות רכסים והמשך השתפלות מדף היבשת יוצרים אגנים מקומיים ואיים שמצפון להם ים פתוח עם זרמי עומק המביאים אל פני הים נוטרייטים, מעשרים את שרשרת המזון וגורמים לפריחת אצות צורניות (דיאטומיות) ולהשקעת צור.
- בתקופה זאת השקעה של קרטון, חוואר, צור (מישאש) ופוספריט - במיוחד בקערים.
- בסוף תקופה זו, לפני כ-65 מ"ש, התרחשה הכחדה גדולה של רבים ממיני החי והצומח בעולם, כולל הדינוזאורים והאמוניטים.



2. קימוט ויצירת קמר עם 'ליבה' של סלע רך



ציור: ד"ר זאב לוי

ציור: נהר שמי

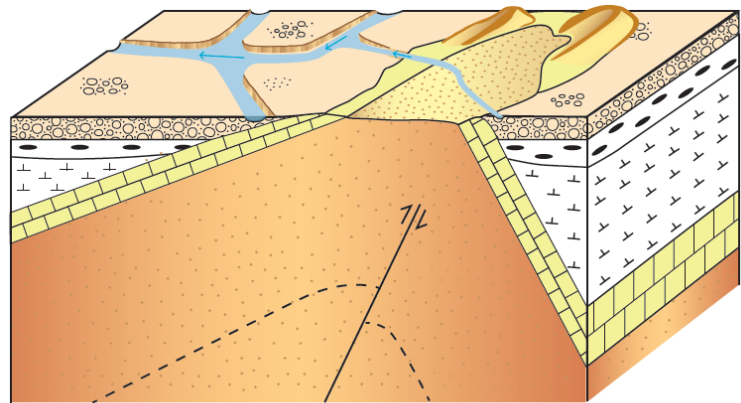
תקופת האוליגוקן

ד. לפני כ-23-34 מ"ש: חשיפת אבני החול שבתוך הקמר הינה התנאי האחרון ליצירת מכתש.

- הרמה של צפון יבשת אפריקה וערב חושפת את האזור לבליה וגוררת גידוע נרחב של המזרח התיכון כולו.
- בתקופה זאת אין בנגב הרבדה של סדימנטים - רק הסרה.
- שכבות החול שבלב קמרי הגנג נחשפות לבליה בפני השטח.

תקופת המיוקן

- במשך תקופה ארוכה (לפני כ-5-23 מ"ש) הורבדו על גבי הקמרים הגדועים שכבות חול וחלוקי נחל (תצורת חצבה).
- כאשר תנאי הסביבה השתנו ועודדו בליה והסרה של תצורת חצבה, נחשף שוב החול הרך שבקמרי הגנג, והתאפשרה סחיפתו (לפני כ-5-10 מ"ש).



3. בליה - גידוע ראש הקמר ע"י נחלים וחשיפת אבן החול הרכה

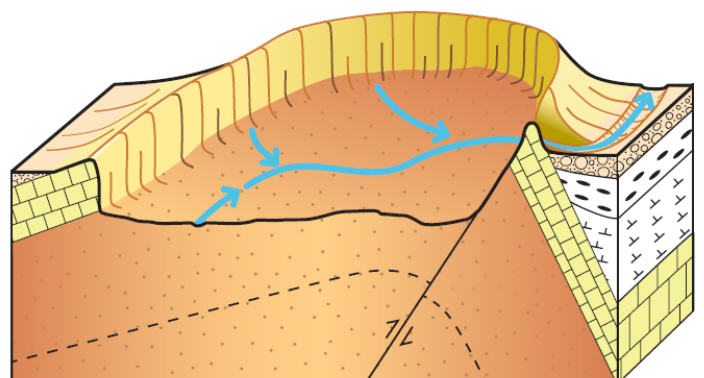
היווצרות המכתש

מכתש נוצר כאשר החול הרך נסחף מתוך הקמר ושכבת הגיר הקשה יוצרת מצוקים היקיפיים

- התנאים ההכרחיים להיווצרות מכתשים (באופן כללי ביותר) הם:
- הרבדת סלע רך.
 - הרבדת סלע קשה (מעל הסלע הרך).
 - קימוט ויצירה של קמר עם 'ליבה' רכה ו'קרום' קשה.
 - בליית ראש הקמר וחשיפת הסלע הרך לכוחות בליה.
- קיום תנאים אלו מאפשר סחיפה של הסלע הרך מתוך ליבת הקמר, ויצירת מצוקים מהסלע הקשה בשולי הקמר - כלומר תנאים אלו מאפשרים יצירת מכתש.

בכל מכתשי הגנג:

הסלע הרך הוא חול מהקרטיקון התחתון, והקשה גיר/דולומיט מהקרטיקון העליון. הקימוט התבצע החל מהסנטון חלק מהיווצרות הקשת הסורית, וחשיפת הליבה הרכה של הקמרים התאפשרה בזכות הגידוע האוליגוקני. מכך יוצא שהיווצרות מכתשי הגנג הייתה אפשרית בסוף האוליגוקן, אך 'התעכבה' בשל תנאי הסביבה במיוקן, שגררו הרבדה נרחבת של חול וחלוקים (תנאי הסביבה נגודו ממיקומט על מדף יבשת עם נוף שטוח קרוב למוצא נחלים גדולים). ליבות הרכסים נחשפו שוב בסוף המיוקן, בתנאים שמאפשרים בליה וסחיפה של החול הרך במרכוזם.



4. סחיפת אבני החול מתוך הקמר הינה השלב הסופי ביצירת מכתש

במכתש רמון ישנן עדויות לכך שכבר בתקופת המאסטיכט (לפני כ-66-72 מ"ש), נחשפו והוסרו סלעי חול רכים דרך מפער במצוקים הקשים שבראש 'אי-רמון', וכך נוצר מכתש ראשוני שלאחר מכן נקבר.

#10 תופעות מגמטיות במכתש רמון

בתקופת הקרטיקון התחתון (לפני כ-145 עד 110 מיליון שנה) נמצאה ארץ ישראל על "נקודה חמה" (Hot spot). "נקודה חמה" הינה תופעה מוכרת בעולם, שבה חום ומגמה ממעטפת כדה"א עולים לפני השטח ויוצרים בו מגוון תופעות מגמטיות (לדוגמא: היווצרות איי הוואי). מכתש רמון מהווה "חלון גיאולוגי" אל תקופה קדומה זו ודרכו אנו יכולים לראות את התופעות השונות שנוצרו עקב חדירת סוגים שונים של מגמה אל שכבות הסלע והתפרצות של חלקם אל פני השטח. העזר משמש גם כמפה גיאולוגית מופשטת אשר מוצגות בה יחידות הסלע השונות בתוך המכתש בצבעים שונים לפי הזמנים שבהן הורבדו. סלעים מתקופת הקרטיקון התחתון בצבע בז', סלעים מתקופת היורא בצבע כחול וסלעים מתקופת הטריאס בצבע סגול. העזר גם מבחין בין תופעות פלוטוניות (המתרחשות בעומק הקרקע) המסומנות בכתום, לבין תופעות וולקניות (המתרחשות מעל פני הקרקע או בקרבה רבה לה) המסומנות באדום. העזר מדגיש את עושר התופעות המגמטיות במכתש רמון:

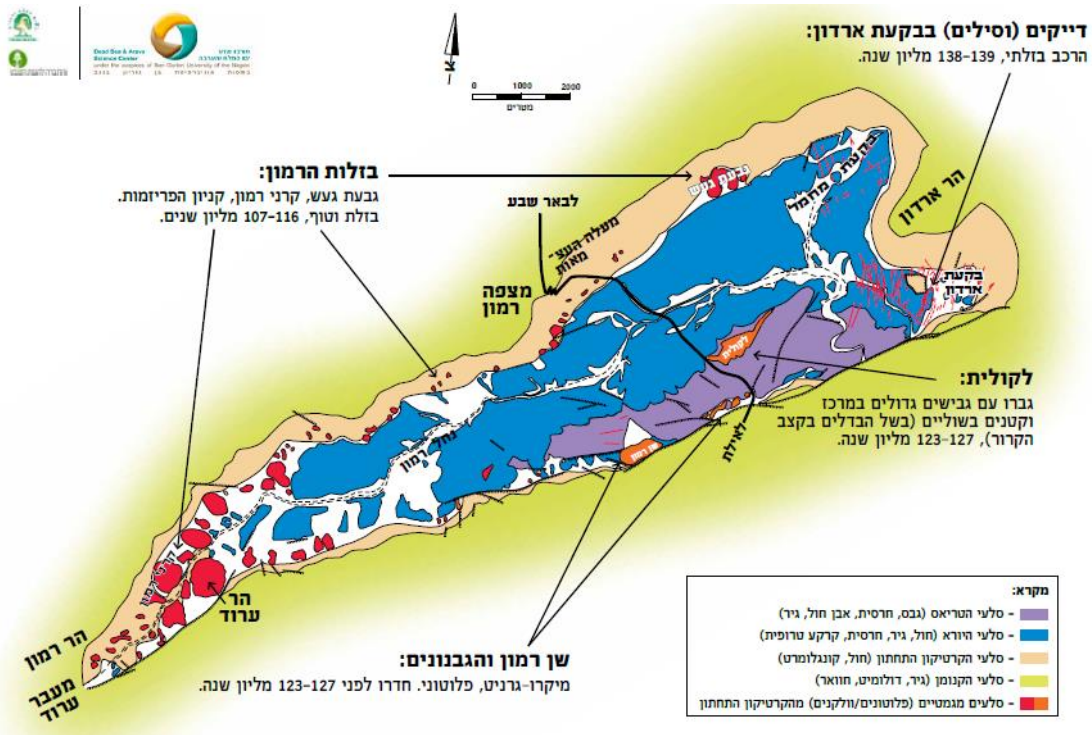
- 1. שן רמון והגבנונים (נוצרו לפני כ-127 עד 123 מיליון שנה) – סלע מיקרו-גרניט, גבישיו גדולים יחסית ומעידים על כך שסלע זה נוצר בקירור איטי בעומק האדמה (סלע פלוטוני). שן רמון והגבנונים הם למעשה החלק העליון של גוף מגמתי שהיה מתחת למכתש רמון בתקופת הקרטיקון התחתון.**
- 2. הלקולית (נוצר לפני כ-127 עד 123 מ"ש) – הלקולית הוא סלע פלוטוני מסוג גברו. כלומר, הרכב המינרלים שלו שונה מזה של שן רמון והגבנונים ולכן גם מקור המגמה שלו שונה. להבדיל מסיל (ראה הגדרה בהמשך), הלקולית בנוי בצורה "עדשתית" ושמןמנה והוא מקמט את השכבות שמעליו ולא רק חודר אותן כמו בשן רמון והגבנונים. ניתן לראות הבדלים בגודל הגבישים בין שולי הלקולית, שם הגבישים קטנים יחסית (מה שמעיד על התקררות מהירה), לבין מרכז הלקולית, אשר בו נוצרים גבישים גדולים (המעידים על התקררות איטית). השוליים דקי הגביש עמידים יותר לבלייה לעומת הסלע הנמצא במרכז הלקולית, וכך נוצרו עמק וערוצי התחתרות במרכז הלקולית.**
- 3. דייקים וסילים (נוצרו לפני כ-139 עד 138 מ"ש) – דייקים וסילים הם מחדרים מגמטיים משטחיים הפורצים מגוף המגמה. ההבדל ביניהם הוא שדייק חותך את השכבות בעוד הסיל עובר בין השכבות ובמקביל להן. במכתש רמון רבים מין הדייקים זהו כבעלי מקור אחד הנמצא מדרום למכתש. ניתן לראות זאת גם במפה (אפשר לחבר את רוב הדייקים למעין "מניפה" היוצאת מנקודה אחת) וגם בשטח במרקם הדייקים ובדוגמאות על השוליים השרופים המעידות על כיוון התקדמות אופקי ממרכז אחד. ניתן לראות היום, כי החלק החיצוני של הדייקים עשוי מחומר חרסיתי ולא מחומר מגמתי. זאת מכיוון ששולי הדייקים נחשפו למעבר של מי תהום לאחר ההתקררות שלהם. מעבר זה יוצר החלפה של מינרלים מסויימים (אלה המסיסים ביותר) במינרלים אחרים שהיו בתוך מי התהום שזרמו בסמוך לדייק. את הדייקים ניתן לראות בחלקים רבים של המכתש אך הם בולטים במיוחד באזור נחל ארדון ובקעת ארדון. בשולי לקולית הרמון מספר סילים המקושרים אליו – מאין זרועות אופקיות שפרצו ממנו לתוך סלעי הסביבה.**
- 4. תופעות געשיות (נוצרו לפני כ-116 עד 107 מ"ש) – התופעות הגעשיות הן פרצי לבה שיצאו אל פני השטח בתקופת הקרטיקון התחתון. הטוף, שהוא סלע רך מאוד, התבלה ברוב המקומות ונשאר רק במחשופים מועטים ולעומת זאת הבזלת, שהיא סלע קשה יחסית, נשארה בשטח והיא בולטת בנוף. במכתש רמון נמצאות תופעות געשיות רבות כמו זרמי הבזלת שיוצרים את הפריזמות, קלדרות (שהן לוע הר הגעש) ואף צינור הזנה של הר געש קדום היוצר את הר ערוד.**

קרדיט:

הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר ירון פינצי וד"ר חנן גינת, מרכז מדע ים המלח והערבה, בעזרת סטודיו יוטבתה.

- "כיווני זרימה בסילים ובדייקים ויצירת קלדרונים במזרח מכתש רמון", גידי בר (סיור החברה הגיאולוגית 1987)
- "לקולית רמון – גוף מגמתי מורכב", בנימין רופא, יהודה אייל, משה אייל (סיור החברה הגיאולוגית 1987)
- "תופעות מינרליזציה רב מתכתית ופעילות מגמתית בדרום מכתש רמון", א. איתמר, ג. בר (סיור החברה הגיאולוגית 1987)
- "הגופים המאגמתיים החמוצים בדרום מכתש רמון", א. איתמר (סיור החברה הגיאולוגית 1998), באנגלית
- ספר - "דייקים ברמון", ג. בר, בעקבות כנס הדייקים הבינ-לאומי ברמון 1995

תופעות מגמטיות במכתש רמון



#11 מפה גיאולוגית מכתש רמון

המפה הגיאולוגית מציגה את הסלעים השונים החשופים בפני השטח – ומפרטת את התקופות השונות שבהן הושקעו הסלעים. המפה לא מתייחסת לטופוגרפיה ולחתיכים במצוקים כי אם רק למה שנראה ממעוף הציפור. הצבעים הם אוניברסליים ומייצגים בכל העולם את אותן התקופות. גווי הסגול מייצגים את הטריאס (לפני 201-250 מ"ש), גווי הכחול והתכלת את היורא (לפני 145-201 מ"ש), גווי הבז'אפור את הקרטיקון התחתון (לפני 100-145 מ"ש), גווי הירוק-טורקיז את הקרטיקון העליון (לפני 56-100 מיליון שנה), גווי הכתום את האיאוקן (לפני 35-55 מ"ש), גווי צהוב את המיוקן (לפני 5-22 מיליון שנה) והגווי הלבנבנים-בהירים מייצגים סחף יבשתי צעיר. ניתן לראות כי באזור מכתש רמון נחשפים סלעים מכל אותן התקופות וזה יחודו של המכתש כ"חלון גיאולוגי" אל העבר הרחוק שלפני 250 מיליון שנה. המכתש גם מייצג מגוון רב של סלעים שונים. המכתש מלא בעיקר באבני חול פריכות ומתפוררות שבזכותן נוצר המכתש. אבני חול אלו, הן ממגוון תקופות מהטריאס, דרך היורא ועד הקרטיקון התחתון. במכתש ובמפה ניתן בנוסף לראות מגוון תופעות מגמטיות המופיעות באזור:

1. הפסים האדומים הדקים הם הדייקים, מחדרים קוויים החודרים בתוך אבן החול הרכה. במכתש רמון רבים מין הדייקים זהו כיוצאים ממקור אחד הנמצא מדרום למכתש. ניתן לראות זאת גם במפה (אפשר לחבר את רוב הדייקים למעין "מניפה" היוצאת מנקודה אחת) וגם בשטח במרקם הדייקים ובדוגמאות על השוליים השרופים המעידות על כיוון התקדמות אופקי ממרכז אחד.
2. הכתמים הסגלגלים המסומנים באותיות β IC הם הרי הגעש הקדומים שפעלו באזור בתקופת הקרטיקון התחתון.
3. באותיות im וגם בגוון אדמדם מופיעים המחדרים הפלוטוניים כמו שן רמון, הגבנונים והלקולית.

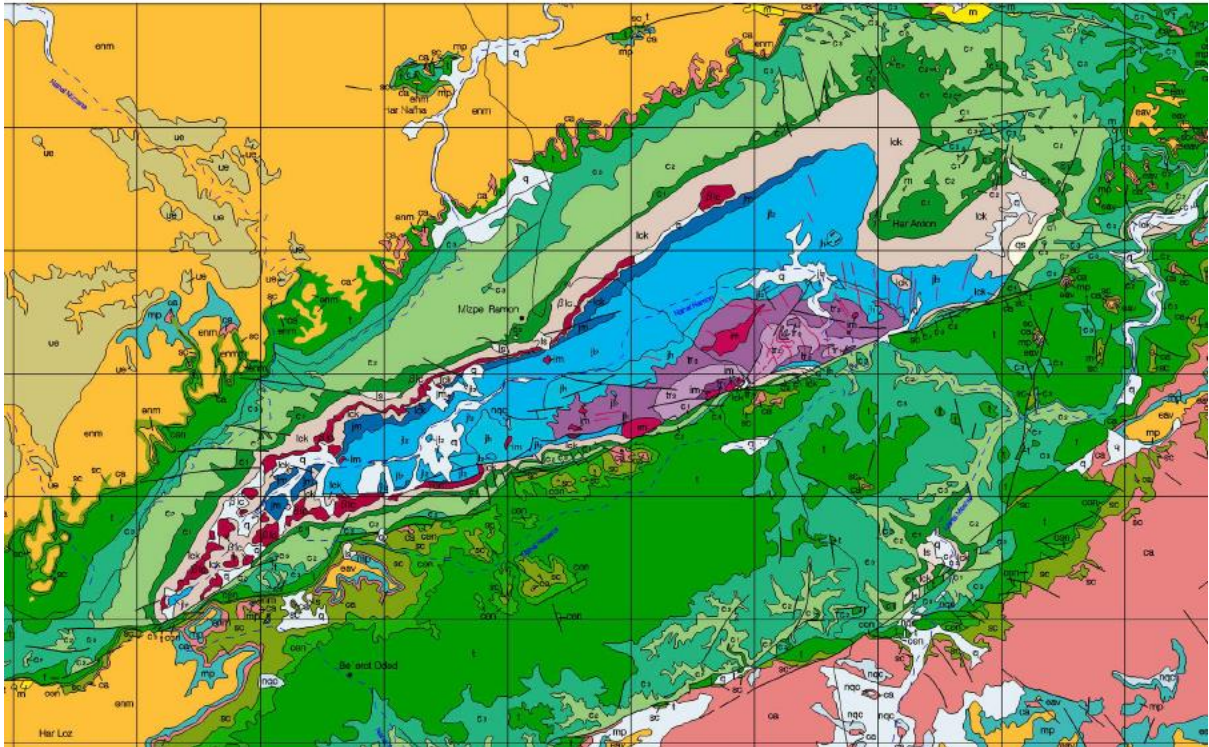
(הסברים מפורטים ניתן למצוא בעזר מס' 10 - התופעות המגמטיות ברמון)

בנוסף לכל אלה מסומנים במפה בקו שחור בולט וישר העתקים (שברים שלאורכם התקיימה הסטה-העתקה). ניתן לראות בצורה הטובה ביותר את פעולתו של העתק הרמון לאורך הדופן הדרומית של המכתש, שם נשענים סלעים מהקנומן (לפני כ-100 מיליון שנה) ישירות על סלעים מהטריאס (לפני כ-250 מיליון שנה).

קדיט:

המפה הגיאולוגית על בסיס מפת 1:100,000 של המכון הגיאולוגי (סנה וחבריו, 1997). הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר חנן גינת וד"ר ירון פינצי, מרכז מדעים המלח והערבה, בעזרת סטודיו יוטבתה.

מפה גיאולוגית מכתש רמון



מכתש רמון על פי המפה הגיאולוגית

מכתש רמון הוא בקעה שנוצרה כתוצאה מפעילות מגוונת של תהליכים גיאולוגיים שנמשכו מיליוני שנים, והובילו ליצירת תופעות טבע ונוף ייחודיות. המכתש הוא מעין "חלון גיאולוגי" שדרכו ניתן ללמוד על התהליכים שהביאו להיווצרותו. אורך המכתש כ-40 ק"מ, רוחבו המרבי כ-9 ק"מ, ונמוקו היחסי כ-400 מטר. במכתש מגוון מאוד גדול של יחידות סלע אותן ניתן לחלק לארבע קבוצות עיקריות:

אבני חול - סלעים הבנויים מגרגרים שרובם עשויים מקוורץ - אחד המינרלים העמידים ביותר לבלייה. כל אחד מהגרגרים היה בעבר גביש בסלע אחר שנשחק בתהליכי בלייה, התפורר ונסחף לרוב ע"י נחלים. הגרגרים שנסחפים שוקעים ומתלכדים לסלע גרעי - אבן החול. במפה הגיאולוגית אבני החול מופיעות בצבעי סגול (טריאס, 201-250 מ"ש), כחול, תכלת (יורה, 145-201 מ"ש), וחום בהיר (קרטיקון תחתון, 100-145 מ"ש).

סלעים מגמטיים - במכתש נחשפים גופי מחדר (לקולית, דייקמים וסילים) וכן גבעת געש ומערה ממה רצף של מחשופי בולת שמקורם בזרמי לבה שורמו על אבני החול. רוב הדייקמים מופיעים במפה בצורת מניפה. צבעם של הסלעים המגמטיים במפה הוא אדום (107-139 מ"ש).

סלעי משקע ימיים - בונים את המצוק התוחם את מכתש רמון מצפון ואת מכלול הרכסים התוחמים את המכתש מכל הכיוונים. סלעים אלו מופיעים בשכבות והשכיח בניהם הוא סלע הגיר. כמו כן מצויים סלעי דולומיט, צור, קרטון וחואור סביב המכתש. מגוון הצבעים הירוקים במפה מייצג יחידות סלע שונות (תצורות) המצויות סביב המכתש (קרטיקון עליון ופליאוקן, 56-100 מ"ש). הצבע הכתום באזור הדרומי הוא של תצורת מישאש הבנויה בעיקר מצור (קמפן, 72-84 מ"ש).

סחף יבשתי צעיר - מצוי לאורך הנחלים הזורמים במכתש. בנוי מחלוקים שהמאסף שלהם מוכתב ע"י הסלעים החשופים באגן הניקוז. הגוון במפה הוא בהיר.

q	Alluvium - (Quaternary)	m	Mazar Fm. - (Pliocene)	sc	Manucha Fm. - (Santonian-Campanian)	jm	Machmal Fm. - (Middle Jurassic)
la	Landslide	mi	Hazeva Fm. - (Miocene)	oof	Zhor Fm. - (Oligocene)	jl	Intrar Fm. - (Lower Jurassic)
qt	Travertine - (Quaternary)	ue	Qutziel and Har Agrab fms. - (Upper Eocene)	l	Demotim, Shlita, Nezer, Ora* and Geroliti* fms. - (Tertiary)	pl	Mishor and Andon fms. - (Lower Jurassic)
qs	Sand dunes - (Quaternary)	edv	Avdat Group - (Lower Eocene - Middle Eocene)	ca	Tamar Fm. - (Cenomanian)	tr	Mohilla Fm. - (Upper Triassic)
ql	Lisan Fm. - (Quaternary)	nm	Nizzana, Horsha, Matred and Nachal Yelzer fms. - (Low - Mid. Eocene)	ca	En Yotegam, Zaitz and Avnon fms. - (Cenomanian)	tr	Sharoneim Fm. - (Middle Triassic)
nkq	Conglomerate units, undivided - (Neogene-Quaternary)	es	Adulam or Mor fms. - (Lower Eocene)	cc	Havilon Fm. - (Lower Cretaceous-Cenomanian)	tr	Gevaninim Fm. - (Middle Triassic)
na	Arava Conglomerate - (Plio-Pleistocene)	mp	Ghureb and Taglye fms., undivided - (Maastrichtian-Paleocene)	lck	Kurnub Group - (Lower Cretaceous)	trf	Rafaf Fm. - (Middle Triassic)
va	Volcanic - units, undivided - (Neogene)	ca	Mishash Fm. - (Campanian)	in	Mesozoic intrusions		
vi	Neogene intrusions	ca	Trace of Mishash Fm. - (Campanian)	lc	Lower Cretaceous flows		

#12 המנסרה

המנסרה היא גבעה שחלקה העליון בנוי מעמודים העשויים מסלע קוורציט (אבן חול שהותמרה) ובנויים בצורת משושים ומחומשים. עמודי סלע אלה בולטים בשטח בצבעם השחור. ייחודיותה של המנסרה היא גם בכך שהיא קרובה מאוד לכביש ונגישה גם למטיילים שלא רוצים ללכת מרחקים ארוכים.

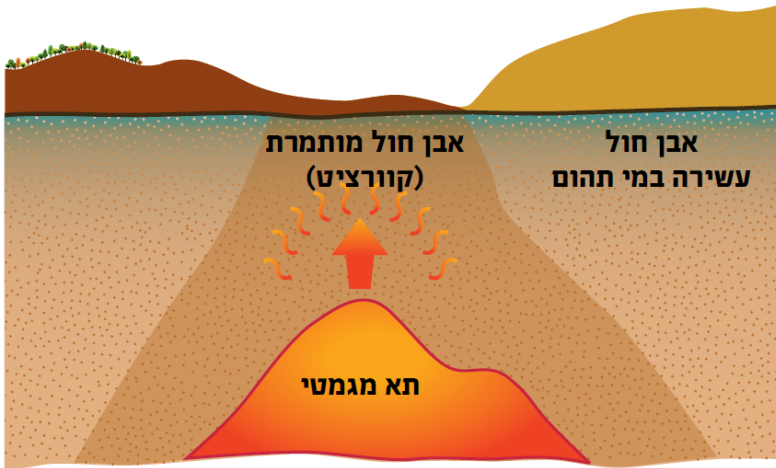
את סיפורה של המנסרה מקובל להסביר בארבעה שלבים המצוירים משני צדי המיניפלוקט:

1. בתקופת היורא (לפני כ-201 עד 145 מיליון שנה) מורבדת בכל הנגב אבן חול בסביבה עשירה במים. מכיוון שאבן החול היא נקבובית מאוד ויש רווחים רבים בין גרגרי החול קל למים לחלחל אל תוך השכבה, לנוע בתוכה ולהישאר בתוכה כמי תהום.
 2. לפני כ-125 מיליון שנה, חדר אל תוך אבן החול מחדר מגמטי שחיים מאוד את סביבתו. החום עבר בקלות בתוך אבן החול בזכות מי התהום שזרמו בתוכה. כמו כן המים היו שמורים בלחץ גבוה ולכן הם לא התאדו גם כשהחום במנסרה עלה לטמפרטורה של יותר מ-250 מעלות. החימום מעל לטמפרטורה זו גרם להתמרה (מטמורפוזת) של אבן החול לקוורציט. בתהליך ההתמרה הולחמו יחד גרגרי החול ונוצר סלע חדש החזק מסלע המקור. בתהליך החימום וההתמרה גדל נפח הסלע.
 3. לאחר שהגוף המגמטי התקרר והתגבש, הקוורציט שהייתה קרובה יחסית לפני הקרקע התקררה ונוצרו בה סדקי קירור (המעידים על קירור מהיר והקטנת הנפח). סדקי הקירור נוצרו בצורת משושים ומחומשים המאפשרים קירור יעיל ביותר ע"י מעבר חום ונוזלים מנפח הסלע אל פני השטח של הסדק תוך השקעה מינימלית של אנרגיה ביצירת פני שטח. כלומר, צורות אלו מאפשרות קירור מהיר של הסלע ע"י יצירת עמודי סלע ללא רווחים או חללים ביניהם.
 4. לאחר היווצרות המכתש (לפני כ-5 מ"ש) נחשפה המנסרה לפני השטח ובשל העובדה שאבן החול שמסביב למנסרה התבלתה מהר יותר מאשר הקוורציט הקשה, הפכה המנסרה לגבעה אשר בראשה סלע קוורציט. כוחות הבלייה הדגישו את הסדקים שבין המנסרות והפרידו אותן. ניתן למצוא עדיין בראש המנסרה מנסרות לא מופרדות.
- לאחר מכן, הסלעים החשופים בפני השטח צופו בפאטינה- קרום מדברי (Desert Varnish) עשיר בתחמוצות ברזל ומגנזיום שנתן למנסרות את צבען החיצוני השחור.

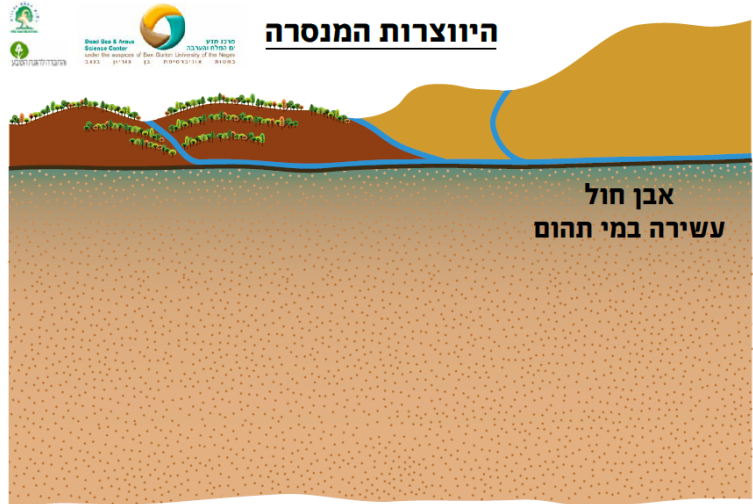
ישנה סברה מדעית אחרת הגורסת שהמחדר המגמטי לא היה אלא נקודת מפגש של סיל ודייק. למען האמת, לא נעשתה עבודת מיפוי של תת-הקרקע באזור ולכן גם לא ניתן להצביע באופן מוחלט על סוג המחדר המגמטי שגרם להתמרת אבן החול. באזור ניתן למצוא עדויות לסילים ודייקים – כולל דייק בבסיס המנסרה, אך אין עדות לקיומו של סיל במנסרה ולרוב התמרה בצדי דייק או סיל מוגבלת למרחק של סנטימטרים בודדים, ולכן הסברה שהמחדר הינו מחדר נקודתי (כמו גבנון) נחשבת ליותר סבירה. תפקיד מי התהום גם הוא לא נחקר לעומק – ככל הנראה מי התהום אפשרו הסעה יעילה של חום בסלע וכך סייעו בהתמרה ולאחריה גם בקירור המהיר של הקוורציט. נוכחות של מי תהום יכולה גם לאפשר את תהליך ההתמרה בטמפרטורה יחסית נמוכה (250 מעלות צלסיוס).

קרדיט:

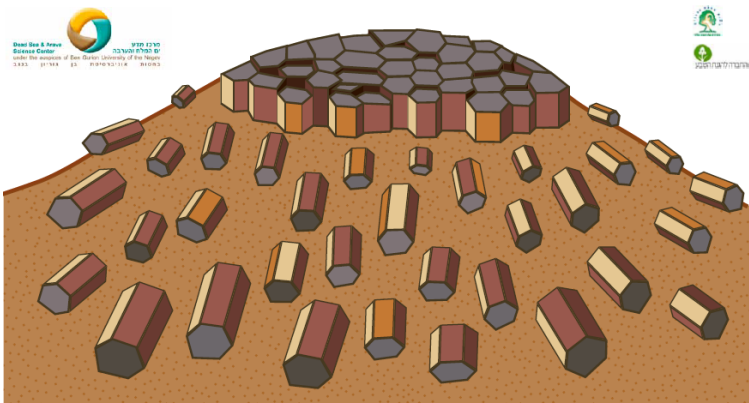
ציור המיניפלוקט נעשה ע"י עדי ריבלין. הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר ירון פינצי ו ד"ר חנן גינת, מרכז מדע ים המלח והערבה, ובעזרת סטודיו יוטבתה.



ב. תא מגמטי חדר אל הקרקע לפני כ-125 מ"ש (בקרטיקון התחתון). חימום הסלע והמים אל מעל 250° הביא להתמרה של אבן החול והפיכתה לקוורציט קשה.



א. לפני כ-150 מיליון שנה, נחלים זרמו באזורנו והשקיעו שכבות עבות של חול



ה. גבעת המנסרה היום

- סדקים משושים/מחומשים מאפשרים קירור והתכווצות תוך שמירה על התאמה מרבית בין עמודי הסלע (כמו סדקי התייבשות בבוצ).
- על הסלעים שנחשפו הצטבר קרום כהה עשיר בתחמוצות ברזל ומגנזיום (פאטינה).



- ג. סידוק סלעי הקוורציט התרחש בשל קירור מהיר בתת-הקרקע, קרוב לפני השטח.
- ד. המנסרה נחשפה והפכה לגבעה מיליוני שנים מאוחר יותר (אחרי היווצרות מכתש רמון).

#13 שביית נחלים והתפתחות בקעת צין

המיניפלקט מציג את השתנות משטר זרימת הנחלים באזור במהלך 5 מיליון השנים האחרונות, כיצד שבה נחל צין את חלקו העליון של נחל הבשור העתיק וכיצד נוצרה בקעת צין. העזר גם מציג חתך גיאולוגי מפורט של סביבות בקעת צין – שדה בוקר, מצוק הצינים ורכסי חתירה וחלוקים. השלבים המוצגים בעזר הם:

1. נחל בשור העתיק (לפני כ- 5 מ"ש) ניקז נחלים מדרום הר הנגב (כולל מאזור רמת עובדת ורכס רמון). הנחל זרם בתוואי חוצה רכס חלוקים לכיוון צפון מערב ושם נשפך לים התיכון. בשלב זה נחל צין מנקז אזור מצומצם מדרום-מזרח רכס חתירה לכיוון הערבה וים המלח.
2. לפני כ- 2 מ"ש השתנה קו פרשת המים הארצי וגרם לשינוי מהותי בזרימת הנחלים באזור. השינוי נבע מהתרוממות מרחבית של הר הנגב והטיה שלו לכיוון מזרח כמו גם מפעילות העתקה לאורך העתק צין אשר גרמה להטיה מקומית לכיוון דרום מזרח. קו פרשת המים המקומי עבר במקביל לתוואי העתק צין כך שנחלים שמוצאם מדרום הוסטו מזרחה והתנקזו לאגן הניקוז של נחל צין. ההטיה מזרחה והגדלת אגן הניקוז של נחל צין הגבירה את התחתרותו. בשלב זה נחל צין היה כבר נחל עמוק שכמויות המים הגדולות שעברו בו גרמו לאי יציבות של המדרונות והמפלים לאורכו, וכך הצין התחתר בכיוון מעלה הנחל. לתהליך זה קוראים התחתרות לאחור. בעת התחתרותו לאחור שבה נחל צין אזורים נוספים שהיו בעבר חלק מאגן הניקוז של נחל הבשור.
3. לאורך שני מיליון השנים האחרונות, התחתרות נחל צין גורמת לבליה והסרה נרחבת של שכבות חוואר וחרסית רכות (תצורות ע'רב וטקיייה), וכך ההתחתרות יוצרת את בקעת צין הרחבה והעמוקה המוכרת לנו כיום. הבקעה תחומה כיום בין שדה צין מצפון-מערב (קונגלומרטים), רכס חתירה מצפון (סלעי משקע קשים, למשל - צור מישאש), ומצוק הצינים מדרום (הבנוי מתצורות מור וניצנה המורכבות מגיר, קרטון וצור קשים מתקופת האיאוקן).

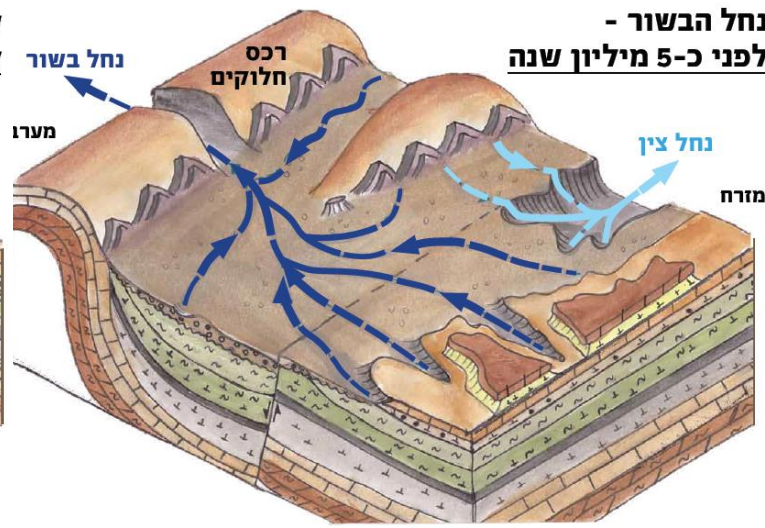
קרדיט:

ציור המיניפלקט נעשה ע"י פרץ בוקר על בסיס איורים ממאמר אבני וזילברמן (2007). הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר ירון פינצי, מרכז מדע ים המלח והערבה, עם ייעוץ של ד"ר חנן גינת ו ד"ר יואב אבני (המכון הגיאולוגי), ובעזרת סטודיו יוטבתה.

מקורות לקריאה נוספת:

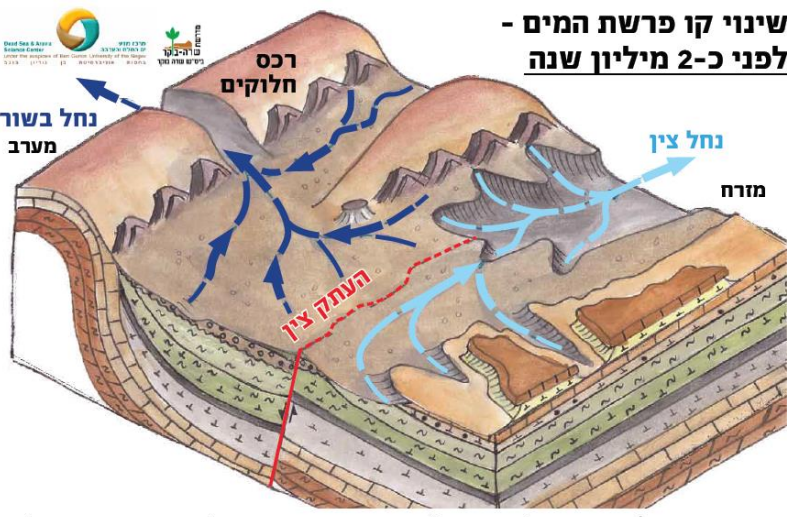
- אבני, י., וזילברמן ע., 2006, [התפתחות הנוף בעקבות טקטוניקה צעירה באזור שדה צין, נגב מרכזי, ישראל](#). Israel journal of earth science, 55 (4) עמודים 189-208 (אנגלית)

נחל הבשור - לפני כ-5 מיליון שנה



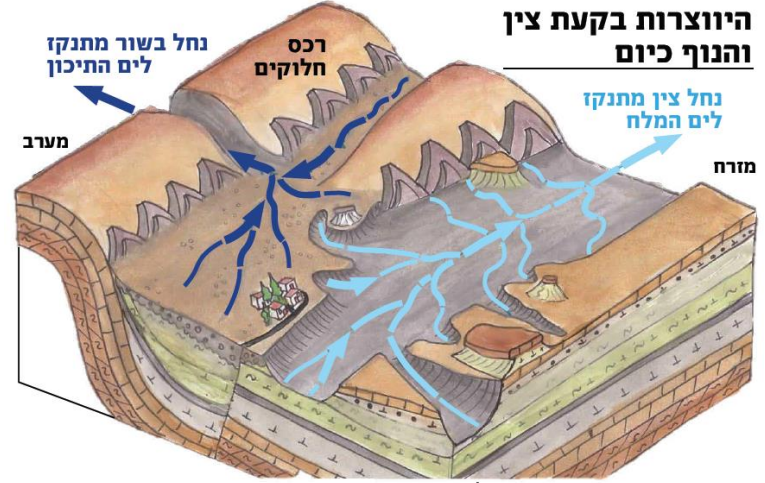
בעבר הרחוק ניקז נחל הבשור נחלים מהר הנגב דרך רכס חלוקים לכיוון ים התיכון

שינוי קו פרשת המים - לפני כ-2 מיליון שנה



הטיה מקומית לדרום מזרח (העתק צין) והטיה מרחבית מזרחה (התרוממות הר הנגב) יצרו קו פרשת מים בשדה צין. נחלים מדרום החלו להתנקז מזרחה לנחל צין ולערבה

היווצרות בקעת צין והנוף כיום

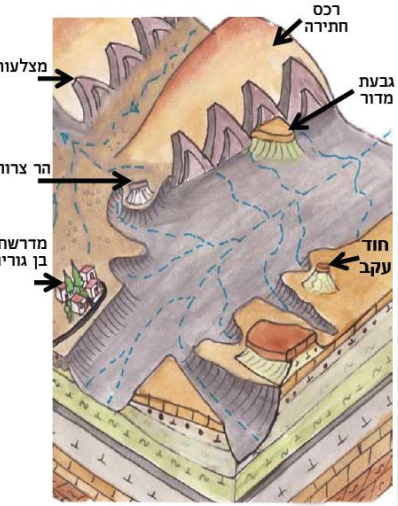


החוזרים והחרסיות הרכות של תצורת עירב וטקיה איפשרו התחתרות בקעת צין. מצוק הצינים מדרום לבקעה בנוי מגיר, קרטון וצור קשים (תצורת מור וניצנה)

מקרא מורחב

רשימת תצורות וגילאים:

- חורשה, מטרד (איאוקן תיכון 40-48 מ"ש)
- מור, ניצנה (איאוקן תחתון 48-56 מ"ש)
- עירב, טקיה (מאסטריכט, פאליאוקן 56-72 מ"ש)
- מנוחה, מישאש (סנטון, קמפן 72-86 מ"ש)
- דרורים, שבעה, נצר (טורון, 90-94 מ"ש)



צור ●● קרטון ⊥ חוואר ~ דולומיט ⊞ גיר ⊞



#14 הקיר בנחל רמון

הקיר בנחל רמון הוא אחד ממחשופי הסלע המגוונים והעשירים ביותר בארץ המכתשים בכלל ובמכתש רמון בפרט. הקיר נמצא בסמוך לחציית נחל רמון את כביש 40 (מצד מערב). כבר בנחל עצמו ניתן למצוא מגוון רב של חלוקי נחל מסוגי סלעים שונים המראים את העושר הרב של הסלעים במכתש רמון ומזכירים לנו את העובדה שנחל רמון מנקז כמעט את המכתש כולו. ככלל, הקיר ברובו (למעט הקונגלומרט שבראשו והמחדרים המגמטיים שבו) מורכב מחרסיות ואבני חול מתקופת היורא (לפני 145-201 מ"ש).

בעזר מוצג סיפור גיאולוגי מורכב, הבנתו דורשת זמן, מרכיבים ומעקב אחר מספר אירועים. כדי להבין סיפור זה עלינו להכיר כמה מהתופעות שקורות בו:

1. **הסיל** מתקופת הקרטיקון התחתון (לפני כ-138 עד 139 מ"ש) – הסיל הוא מחדר משטחי החודר בין שכבות הסלע. הסיל נראה כמשנה את מיקומו בחתך וזאת מכיוון שכדי להתקדם בתוך הסלע הוא צריך סדקים שיעזרו לו לעשות זאת. מיקומם של הסדקים הוא זה שקובע את אופן התקדמות הסיל ולכן, בגלל אופיים הלא-אחיד של הסדקים, גם התקדמות הסיל לא אחידה. לאחר שהסיל התקרר והתגבש בטקסטורה הנוכחית שלו (טקסטורה פורפירית – גבישים גדולים, הנראה כמלבנים לבנים, בתוך תווך (מטריקס) דק-גביש) הוא נשטף על ידי תמיסות חמות בתת-ההקרקע והגבישים הוחלפו בחומרים חרסיתיים ובין השאר בקאולין. בתוך הסיל עצמו בולטות כמה תופעות הקשורות להתקדמות הסיל. במקרים רבים ההתקדמות של המגמה בתוך הסלע דורשת כח רב ועל כן היא אלימה מאוד. במקרים כאלה נקרעים חלקים מהסלע שבתוכו הסיל עובר ומתערבבים בתוך המגמה. חלקים אלה נקראים **קסנוליטים** ולעיתים ניתן לראות מסביבם את הטקסטורה של זרימת הלבנה. כמו כן, בשולי הסיל ניתן לראות סלע קוורציט קשה וכהה. סלע זה הוא תוצר של **אפיית אבן חול** בשולי הסיל, בשל החום הרב שבו הייתה שרויה המגמה.
2. בחתך בנחל רמון מופיעים גם כמה **שברים** המשקפים כולם מאמצי מתיחה. בחלק מההעתקים הקטנים אין כמעט הסטה אך על חלקם נראית הסטה ניכרת כמו על ההעתק השני, הכי מערבי, שעוצמת ההעתקה שלו היא לפחות 6 מטר. ההעתקים לא חותכים את הקונגלומרט שבראש החתך ולכן אפשר להגיד בבירור שהם מוקדמים לקונגלומרט זה. אחד מההעתקים מתפצל ודועך, תופעה שכנראה נוצרה מכך שכח ההעתקה נבלע בתוך הסלעים הרכים יחסית שההעתק מגיע אליהם. אזור ההעתקים יוצר נקודת חולשה של הסלע שנותנת למגוון חומרים לעבור בתוכה. בהעתק המזרחי ביותר בקיר ניתן לראות **ציפוי ברזלי** בצבע חום-אדמדם שהוא תוצר של תמיסות שעלו בתוך ההעתק. במקום נוסף, במערב הקיר, חדר **דייק** מסלע הקרוי טרכית לאורך מישור החולשה שיצר העתק.
3. תופעה אחרונה ובולטת היא **התעלה הארוזיבית** בחלקו המערבי של הקיר (מעל הדייק וההעתק). הקיר חושף חתך פנימי של ערוץ נחל קדום שזרם בתוואי שחוצה את נחל רמון היום. התעלה מלאה באבן חול שהורבדה בנחל הקדום.

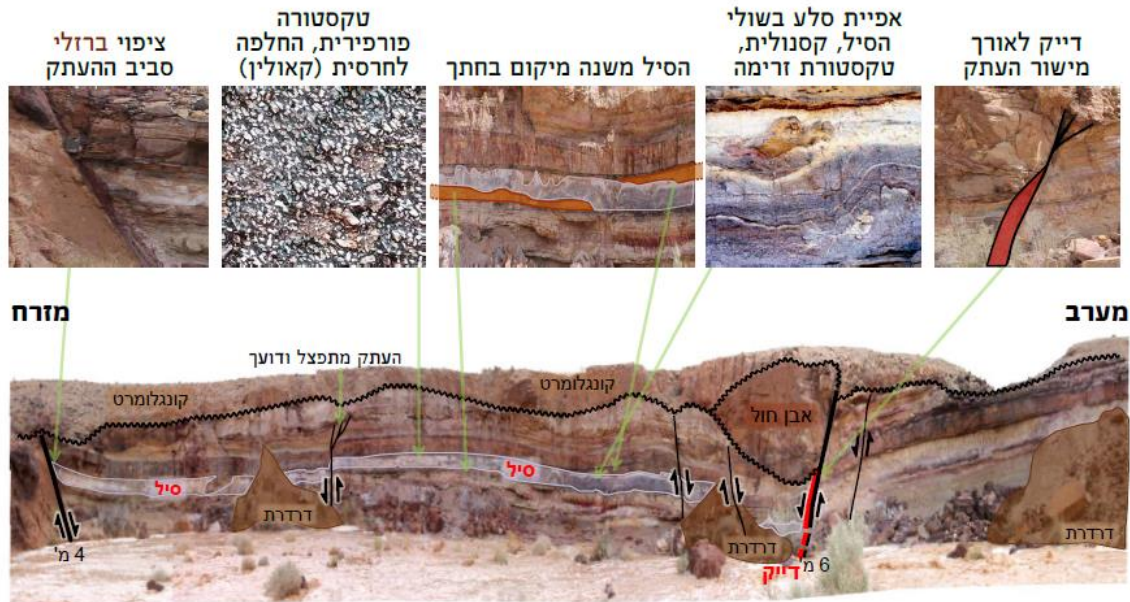
קרדיט:

הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר ירון פינצי וד"ר חנן גינת, מרכז מדע ים המלח והערבה, בהתייעצות עם ד"ר יואב אבני מהמכון הגיאולוגי ובעזרת סטודיו יוטבתה.

מקורות לקריאה נוספת:

- ["מכתש רמון כמוזיאון גיאולוגי בגודל טבעי"](#), עמנואל מזור (סיור החברה הגיאולוגית 1987)
- מזור, ע., 1993. הכרות עם הפארק הגיאולוגי הלאומי ברמון. Israel journal of earth science, (אנגלית)
- ["גיאולוגיה בפטיש ישראלי"](#) - עימנואל מזור, האוניברסיטה הפתוחה, 1994
- "אתרים גיאולוגיים בישראל", עמיר אידלמן, ליאור אנמר, 2014

הקיר בנחל רמון



המצוק חושף שכבות אבן וחרסיות מתקופת היורא (תצורת אינמר) שבתוכן סיל ודייק מהקרטיקון התחתון

תופעות גיאולוגיות החשופות בקיר בנחל רמון

- **סיל** - מחדר אופקי בין שכבות הסלע. הסיל אינו רציף ונראה כמשנה מיקומו בחתך - זאת משום שתוואי חדירתו ניצל מישורי סידוק וחולשה שהיו בסלעים שביניהם חדר. לאחר היווצרותו עבר הסיל תהליכי בלייה בנוכחות תמיסות חמות בתת-הקרקע, גבישי מינרלים בסיל הוחלפו לחרסיות תוך שמירה על מבנהו המקורי (**מרקם פורפירי** - גבישים גדולים בתוך תווך דק גביש). הגבישים המרובעים הפכו למינרל **קאולין**.
- **קסנוולית וטקסטורת זרימה** - במהלך חדירתה "קרעה" המגמה חתיכות של אבני חול ואפתה אותם. כיום הם נחשפים כקסנוולית בתוך הסיל. מסביב לקסנוולית גדולים ניתן לעתים לראות קווי זרימה של מגמה לאורך הסיל.
- **אפיית סלע (התמרה) בשולי הסיל** - באה לירי ביטוי באבני חול עשירות מאוד בתחמוצת ברזל. האפייה מעניקה לסלע דרגת קושי גבוהה וצבע סגול כהה.
- **דייק והעתק** - בצידו הימני (מערב) של הקיר קו שבר שעוצמת ההעתקה עליו היא לפחות 6 מטר והוא משקף מאמצי מתיחה (העתק נורמלי). לאורך ההעתק ישנו דייק הבנוי מסלע וולקני בהיר שהוא טרכית. כנראה שהדייק מנצל את מישור החולשה של ההעתק וחודר לאורכו.
- **העתק מתפצל ודועך** - במרכז הקיר העתק שמידת ההסטה עליו דועכת כלפי מעלה. דעיכת ההעתק קשורה כנראה בבליעת חלק מהמעוות בסלעים הרכים המצויים בחתך וכן בגלל הפיצול של ההעתק בחלקו העליון.
- **תעלה אירוזיבית** - ליד הקצה המערבי של הקיר נראית יחידת אבן חול מאסיבית שהורבדה באפיק נחל קדום אותו מילאה. צידה המערבי תחום ע"י קו העתק.
- **ציפוי ברזלי בסביבת העתק** - אזור רסק ההעתק שבקצה המזרחי של הקיר נצבע בחום-אדום מתמיסות עשירות ברזל שזרמו בתוכו.

#15 חתך רוחב במכתש רמון ו'הקיר הפוך'

המיניפלקט מציג חתכי רוחב המתארים באופן סכמתי את המבנה והיחידות העיקריות במכתש רמון ואת 'הקיר הפוך' שניתן לראותו בברור מכביש 40 (ממזרח למוצא הדרומי של הכביש מהמכתש). חתך רוחב הינו עזר מיפוי גיאולוגי המתאר את המבנה התלת מימדי של שכבות הסלע באופן שמדמה חתך אנכי מפני השטח לעומק תת-הקרקע. בחתך הרוחב ניתן לראות סלעים מתקופות שונות כאשר הצבעים השונים מייצגים את התקופות הללו. הצבעים הם אוניברסליים ומייצגים בכל העולם את אותן התקופות. הצבע הסגול מייצג את הטריאס (לפני 201-250 מ"ש), התכלת את היורא (לפני 145-201 מ"ש), הבז' אפור את הקרטיקון התחתון (לפני 100-145 מ"ש), וגווי הירוק-טורקיז-כתום את הקרטיקון העליון (לפני 56-100 מ"ש). כמו כן, ניתן לראות במיניפלקט את החשיפה של בזלות הרמון הכוללות הרי געש (גבעת געש והר ערוד), שפכי בזלת וגופים מגמטיים שחדרו לסביבה בתחילת הקרטיקון התחתון. בעזר ניתן לראות את קמר הרמון כפי שהיה נראה לולא נגדע ע"י בלייה ואת המשכו התיאורטי של העתק הרמון, אחד מהעתקי הרוחב החוצים את הנגב, מעל לפני השטח העכשוויים (מסומן באיור בקו מקווקו). מאמצי לחיצה כתוצאה מהתנגשות אפריקה באסיה (החל מפני 85 מ"ש) הביאו לקימוט שכבות הסלע וליצירת קמר הרמון. ההסטה לאורך העתק רמון חידדה את הקימוט ואת נטיית השכבות לאורך קירותיו הדרומיים של הקמר. להעמקה בהיסטוריה הגיאולוגית ובתהליכים שהביאו ליצירת מכתש רמון מומלץ לעיין בעזר היווצרות מכתש רמון (מס' 8).

בצד השני של המיניפלקט נמצא תקריב של אזור 'הקיר הפוך' (בקיר הדרומי של המכתש, ממזרח למוצא כביש 40 מהמכתש). באזור זה היו מאמצי הלחיצה על השכבות מגיל קרטיקון עליון כל כך חזקות עד שהטיית השכבות עלתה על 90° . הטייה זו היא שגורמת במבט מהצד לקיר להיראות 'הפוך'. הגדרת הקיר כהפוך באה להדגיש שהנטייה הגבוהה מ- 90° מעמידה את בסיס השכבות מעל לגג שלהן, כלומר מציבה את השכבות הצעירות מתחת לעתיקות. יש האומרים כי ניתן לראות סימני קימוט גם בשכבת הצור שבהר המשאר אשר על ליד הקיר הפוך.

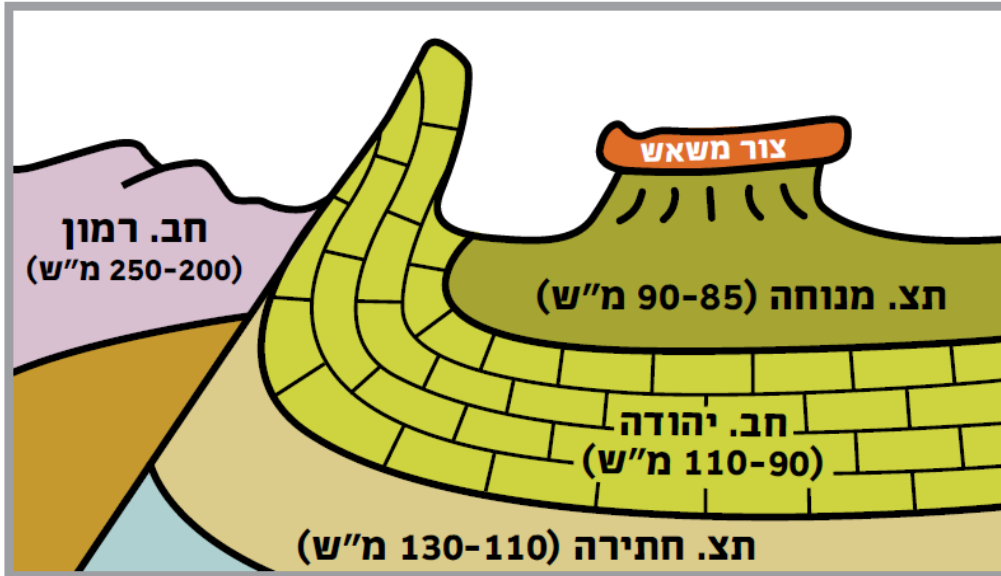
קרדיט:

הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר ירון פינצי וד"ר חנן גינת, מרכז מדע ים המלח והערבה, ובעזרת סטודיו יוטבתה.

מקורות לקריאה נוספת:

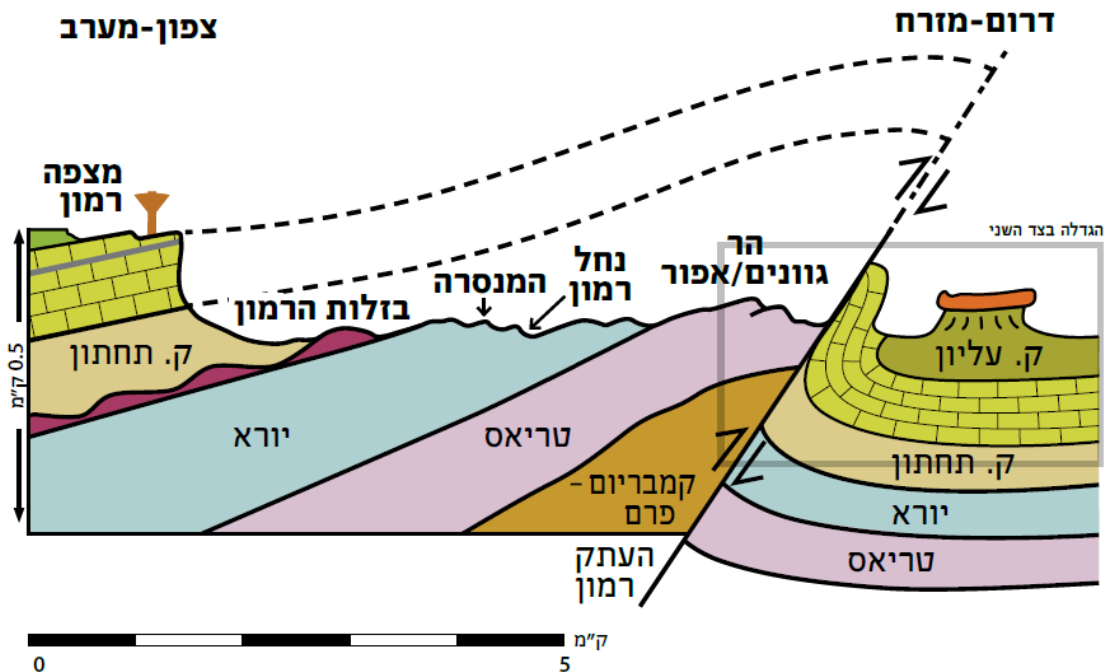
- " מסלול גיאולוגי משולט מכתש רמון", עמנואל מזור, 1979, חוברת בהוצאת האוניברסיטה הפתוחה

חתך רוחב קיר הפוך



- חבורת יהודה כוללת את תצורות: חביון, עין-ירקעם, צפית, אבנון, תמר, אורה וגרופית.
- חבורת רמון כוללת את תצורות: גוונים, סהרונים ומוחילה.

חתך רוחב חוצה מכתש רמון



#16 אמוניטים

האמוניטים הינם יצורים ימיים קדומים, חסרי חוליות ממחלקה הנקראת צפלופודה (ראש-רגל) במערכת הרכיכות.

האמוניטים חיו בכל רחבי העולם בתקופות הטריאס, היורה והקרטיקון, מלפני 240 מיליון שנים ועד לפני 65 מיליון שנה. האמוניטים נכחדו יחד עם הדינוזאורים בהכחדה הגדולה בגבול ה-K-T (קרטיקון-שלישון).

היו להם קונכיות מפותלות לסליל שטוח שקוטרו הגיע עד לשני מטרים. הקונכיה הייתה בנויה מכמה תאים, ובעל החיים המשיך לבנות תא חדש בכל שנה. את התאים חיבר צינור הנקרא סיפון, בעזרת הסיפון יכול היה האמוניט למלא את התאים הפנימיים במים בכדאי לשקוע או בגז חנקן שפלט בכדאי לצוף. כמו כן, יכל האמוניט להשפירץ זרם סילוני חזק מהסיפון ולנוע במישור האופקי. בעל החיים עצמו שכן בתא האחרון ושלה זרועות טרף החוצה.

האמוניט חי בים עמוק ופתוח וניזון מפלנקטון ובע"ח קטנים אשר מצויים בים העמוק. הוא צד אותם בעזרת הזרועות שלו (שש במספר) אשר נשלחות החוצה מפתח הקונכיה ותופסות את הטרף. לרכיכה אין ראש אלא רק איברי עיכול והיא מזכירה את הדינונונים של ימינו.

במיני פלקט מוצג מאובן של אמוניט אשר נחצה לשניים. ניתן לראות את החדרים והמבנה הספירלי. בשרטוט המצורף מוצגת שוב הקונכיה וגם בעל החיים עצמו. השרטוט הוא של נאוטילוס, יצור ימי בן ימינו הדומה מאוד לאמוניטים הקדומים.

במהלך האבולוציה שלהם עברו האמוניטים שינויים רבים והתאמות לסביבתם. אחת הדרכים הקלות להבדיל בין המינים השונים היא החלוקה על פי סוגי ה"תפרים", חיבורים בין החדרים. האמוניטים הקדומים הם בעלי תפרים פשוטים אשר הולכים והופכים למורכבים יותר עם הזמן.

אבולוציה מהירה של המינים השונים, שונות גדולה בצורות השלד ותפוצה עולמית נרחבת במגוון סביבות השקעה, הפכו את קבוצת האמוניטים לשימושית מאוד במחקרים גיאולוגיים שעיקרם הגדרת גילאי סלעים. אחרי שנים ארוכות של מחקר, כיום ידוע תאריך ה"לידה" וה"פטירה" של הרבה מאוד מיני אמוניטים ולפיכך אפשר לקבוע את הזמן הגיאולוגי בדיוק רב. כך שלמשל האמוניטים של "קיר האמוניטים" חיו בתקופת הטורן תחתון, שלפי לוח הזמנים המוחלט נמשכה בין 93.5 ל 91.88 מיליון שנה.

קריטי:

עריכה ועיצוב ד"ר שרית אשכנזי-פוליבובה, ד"ר ירון פינצי ועדי רפפורט.

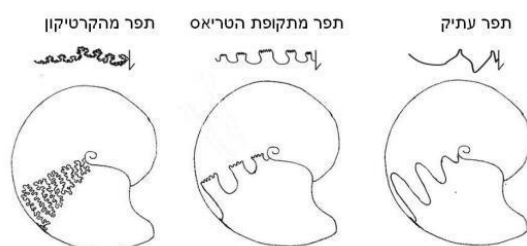
מקורות לקריאה נוספת:

- [מגדיר המאובנים של ישראל](#)



האמוניט

האמוניטים הינם יצורים ימיים קדומים, אשר חיו בכל רחבי העולם מלפני 420 מ"ש ועד לפני 65 מ"ש כאשר נכחדו בהכחדה של סוף הקרטיקון. הקונכיה בנויה מחדרים רבים הנבנים במהלך חי האמוניט. הרכיכה חיה בחדר האחרון (הגדול ביותר) ושאר החדרים משמשים כתאי ציפה המתמלאים בגז חנקן כאשר האמוניט רוצה לצוף ובמים כדי לצלול. האמוניטים איכלסו כמעט את כול הסביבות הימיות (רדודות ועמוקות) וצדו פלנקטון ובע"ח קטנים בעזרת זרועות ציד. גודל הקונכיה משתנה מ-30 ס"מ ועד 2 מטר. אבולוציה מהירה, שונות גדולה בצורת השלד ותפוצה עולמית, הפכו את האמוניטים לשימושיים מאוד בהגדרת גיל הסלעים. השונות מתבטאת בעיקר בצורת קווי החיבור בין החדרים (התפרים) אשר נעשית מורכבת עם הזמן, מתפרים פשוטים אצל האמוניטים העתיקים ביותר ועד לתפרים מאוד מורכבים אצל האמוניטים הקרטיקוניים, הצעירים יחסית:



בדומה לאמוניט, הנאוטיליד הוא רכיכה ממחלקת הסילוניות (צפלופוד או 'ראש-רגל'). אך בשונה מהאמוניט, הנאוטיליד חי גם כיום ויש לו תפרים חלקים ופשוטים. בנוסף, סיפון האמוניט קרוב לשפת הקונכיה ואילו אצל הנאוטיליד עובר הסיפון במרכז חדרי הציפה.

האמוניט

חתך באמוניט מאובן



מבנה האמוניט



#17 קיר האמוניטים

קיר האמוניטים הוא שכבת סלע גיר מגיל קרטיקון (100-90 מ"ש) המכילה ריכוז גדול מאוד של מאובני אמוניטים גדולים. הקיר הינו שכבה נטויה הנמצאת בצדו החיצוני הדרומי של מכתש רמון וסמוך לכביש 40.

על פי התאוריה המקובלת ישנם שלושה שלבים חשובים בהיווצרות הקיר:

1. לפני 100 מ"ש, בתקופת הקרטיקון, שרר באזור ים אוליגורופי (עני בחומרי מזון ובו סדימנטציה מועטה), פני השטח היו אופקיים. בים זה חיו האמוניטים ובמשך תקופה ארוכה האזור היה תחת "הרעבה סדימנטרית", כלומר, קצב הצטברות החלקיקים בקרקעית הים היה איטי מאוד.
2. עם הזמן נערמו בקרקעית שלדי בע"ח, אך ללא חלקיקי סלע בניהם ולכן התקבלה שכבה עשירה במאובנים. השכבה נקברה תחת שכבות נוספות והקונכיות עברו תהליך התאבנות.
3. כחלק מהפעילות הטקטונית שיצרה את רכסי הנגב לפני 80-50 מ"ש (היווצרות "הקשת הסורית") האזור עבר הרמה והטיה עד לזווית בה נמצאות השכבות היום. מאז (סוף האיאוקן לפני 50 מ"ש), נתון האזור תחת תהליכי בליה שלבסוף חשפו את שכבת המאובנים.

סברה נוספת להיווצרות השכבה העשירה באמוניטים:

על פי סברה זו האמוניטים חיו בים פתוח ועשיר ולאחר מותם נסחפו הקונכיות לאזור הרדוד. סברה זאת מתבססת על כך שבמות האמוניט רקמת גופו הרכה נרקבת וממלאת את תאי הציפה של האמוניט בגזים. קונכיות האמוניטים מאזור ימי נרחב אז צפו בזרם עד לחוף בו הם יצרו מאסף מרוכז שנקבר ובסופו של תהליך התאבן.

קריטיקה:

העזר צויר ע"י נהר שמי והופק ע"י עדי רפפורט, ד"ר ירון פינצי, ד"ר שרית אשכנזי וד"ר חנן גינת, מרכז מדע ים המלח והערבה, בעזרת סטודיו יוטבתה.

מקורות לקריאה נוספת:

- "מסלול גיאולוגי משולט מכתש רמון", עמנואל מזור, 1979, חוברת בהוצאת האוניברסיטה הפתוחה
- "נדבכים בגיאולוגיה של ישראל" – עמנואל מזור, האוניברסיטה הפתוחה, 1987
- "[גיאולוגיה בפטיש ישראלי](#)" - עמנואל מזור, האוניברסיטה הפתוחה, 1994

קיר האמוניטים

קיר האמוניטים הוא שכבת סלע גיר מגיל קרטיקון (100-90 מ"ש) המכילה ריכוז גדול מאוד של מאובני אמוניטים גדולים.

סברה אחת להיווצרות קיר האמוניטים היא:

1. לפני 100 מ"ש שרר באזור ים אוליגורופי (עני בחומרי מזון ובו סדימנטציה מועטה), פני שטח היו אופקיים. בים זה חיו האמוניטים ובמשך תקופה ארוכה האזור היה תחת "הרעבה סדימנטרית", כלומר קצב הצטברות של חלקיקים בקרקעית הים היה איטי מאוד.
2. עם הזמן נערמו בקרקעית שלדי בע"ח אך ללא חלקיקי סלע בניהם ולכן התקבלה שכבה עשירה במאובנים.
3. כחלק מהפעילות הטקטונית שיצרה את רכסי הנגב לפני 80-50 מ"ש האזור עבר הרמה והטיה עד לזווית בה נמצאות השכבות היום. מאז נתון האזור תחת תהליכי בליה שלבסוף חשפו את שכבת המאובנים.

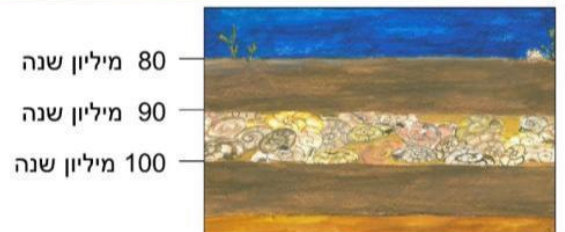
סברה נוספת להיווצרות השכבה העשירה באמוניטים:

על פי סברה זו האמוניטים חיו בים פתוח ועשיר ולאחר מותם נסחפו הקונכיות לאזור הרדוד. סברה זאת מתבססת על כך שבמות האמוניט רקמת גופו הרכה נרקבת וממלאת את תאי הציפה של האמוניט בגזים. קונכיות האמוניטים מאזור ימי נרחב אז צפו בזרם עד לחוף בו הם יצרו מאסף מרוכז שנקבר ובסופו של תהליך התאבן.

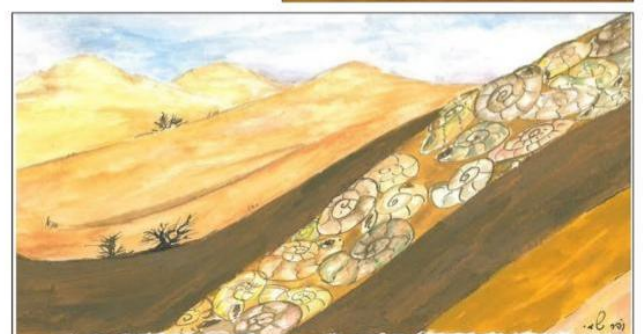
קיר האמוניטים



1



2



3

#18 דייקים בבקעת ארדון

בעזר זה ניתן לראות הסבר לתופעת הדייקים הרדיאליים במזרח מכתש רמון.

מכתש רמון בנוי בעקרו מסלעי משקע (אבני-חול, חרסיות, גיר, דולומיט וגבס) מגילאי טריאס, יורא וקרטיקון. אל שכבות הסלעים הללו חדרו לפני כ- 138 מיליון שנה, יותר מ- 200 'דייקים'. הדייקים הינם לוחות סלע ענקיים שאינם מקבילים לשכבות ומורכבים מחומר מגמטי. הם נוצרים כאשר מאגמה (נתך סלעים) חודרת אל תוך סדקים בסלע. בסדקים מתקררת המגמה ומתגבשת לסלע מוצק.

מגמה יכולה להגיע ממאגר בעומק הקרקע בעלייה אנכית או לזרום בצורה אופקית.

במכתש רמון מסודרים רוב הדייקים כמניפה (ניתן להבחין בכך במפה המופיעה בעזר). אם נמתח קווים בכיוון המשכם של הדייקים דרומה, נגלה שהם מתכנסים לאזור מצומצם, הנמצא מעט דרומה למכתש. שם, ככל הנראה, נמצא מקור המגמה של הדייקים בבקעת ארדון.

בדייקים בבקעת ארדון, ניתן לראות עדויות לזרימה אופקית ממרכז אחד. העדויות כוללות מרקם כיווניות זרימה בתוך הדייקים ודוגמאות על השוליים השרופים המעידות על כיוון ההתקדמות (אלו הן ה'אצבעות' המגמטיות הנראות על אבן החול האפייה, הקוורציט, שבשולי הדייקים).

החלק החיצוני של מרבית מהדייקים עשוי כיום מחומר חרסיתי ולא מחומר מגמטי, זאת מכיוון ששולי הדייקים נחשפו למעבר של מי תהום ועברו בלייה כימית מוגברת בה הוחלפו מינרלים מסוימים בחומר המגמטי (אלה המסיסים יותר) במינרלים אחרים שהיו בתוך מי התהום שזרמו בסמוך לדייק. החרסיות, תוצרי בלייה זאת, חלשות ומתפוררות בקלות ולכן רבים מהדייקים מופיעים כשקעים ותעלות ('דייק שלילי').

מקור המאגמה של הדייקים, הסדן, התגלה דרומה ממכתש רמון – מוסט כ- 3 ק"מ מערבה מכיוון התכנסות הדייקים בשל הסטה אופקית על גבי העתק הרמון (שעובר בין הסדן והמכתש). הסדן, אשר קבור תחת שכבות סלע צעירות, התגלה ע"י מכשירי מדידה שזיהו שינויים מקומיים בשדה המגנטי, שינויים המעידים על קיום סלעים מגמטיים (בזלות) המכילים מינרלים עשירי ברזל.

גיאודות סלסטין בקרבת הדייקים בנחל ארדון:

בקירות נחל ארדון הבנויים סלעים מגיל יורא, בקרבת הדייקים החוצים את קירות הנחל, ניתן למצוא גאודות (תרכיזים) של מינרלים אשר מילאו חלל וגדלו לתוכו מהשוליים כלפי פנים) אשר מכילות מינרל שנקרא סלסטין, וכן קוורץ וקלציט. גאודות אלו מוכרות רק בקרבת הדייקים של נחל ארדון ולא נמצאות בסלעי היורא באזורים אחרים במכתש. הרחק מאזור חדירת הדייקים השכבות מגיל יורא לא מכילות גיאודות סלסטין, אלא תרכיזי גבס ואנהדריט.

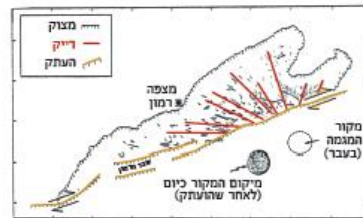
מתוך ניתוח האינקלוזיות (בועיות בתוך המינרל אשר מכילות נוזלים וגזים שנלכדו בזמן גידול הגביש) בתוך הסלסטין, ניתן לקבל אינפורמציה רבה על מקור המינרל: אינקלוזיות עשירות בגזים בחלק הפנימי של גביש הסלסטין מעידות על השקעה על ידי מים מתוקים בטמפרטורות גבוהות של יותר מ- 200 מעלות. הסבר אפשרי לטמפרטורות אלו הוא פעילות הידרותרמלית- מים מתוקים שהתחממו בעקבות חדירת הדייקים. הדייקים שחדרו לתוך סלעי היורא בזמן הקרטיקון התחתון שימשו כמקור חום וכנתיב מעבר למי הגשם שהתחממו ונעו באופן אופקי מהדייקים החוצה. המים שספגו מינרלים מהסביבה, המיסו את תרכיזי הגבס המסיס והשקיעו בחלל שנוצר סלסטין. בשלב מאוחר יותר אירוע גיאותרמי נוסף בקרטיקון העליון גרם להחלפה של הדייקים לחרסיות והפך את הסלסטין בחלקו לקוורץ ולקלציט.

קרייט:

העזר צויר ע"י עדי ריבלין והופק ע"י ד"ר ירון פינצי, ד"ר חנן גינת מרכז מדע ים המלח והערבה, בעזרת סטודיו יוטבתה ובעזרתו של ד"ר גידי בר.

מקורות לקריאה נוספת:

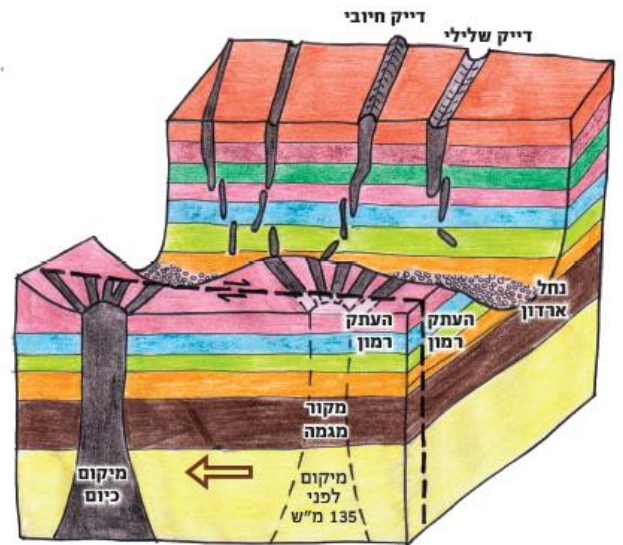
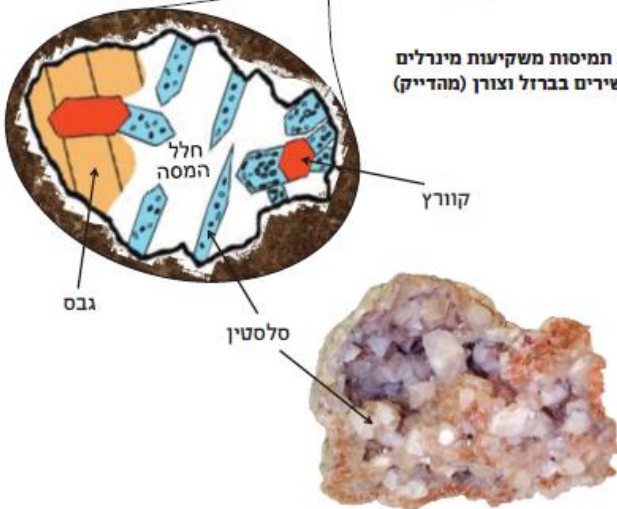
- "כיווני זרימה בסילים ובדייקים ויצירת קלדרונים במזרח מכתש רמון", גידי בר (סיור החברה הגיאולוגית 1987)
- אנגורג, מ., ביליק, א.מ., ופניק, י., קפמן, ה., אנטלר, ג., קציר, י., ואחרים, 2013. המקור של גאודות הסלסטין- קוורץ-קלציט המקושרות עם דייקים בזלתיים, מכתש רמון, ישראל. Geologica Magazine, 15 (5) עמודים 798-815. (באנגלית).



1. תמיסות חמות ממיסות כיסי גבס



2. תמיסות משקיעות מינרלים עשירים בברזל וצורן (מהדייק)



#19 נחל חוצה רכס

בנגב קיימים מספר נחלים שתוואי הזרימה הנוכחי שלהם חוצה רכס אחד או יותר, כמו נחל הרועה או נחל צפית. למרות שכיוון זרימת מים נקבעת על ידי הטופוגרפיה העכשווית, תוואי נחל יכול לחצות לפעמים רכסים כתוצאה ממשטר הזרימה והטופוגרפיה בשלבי התפתחותו הראשונים. היווצרות תוואי נחל שחוצה רכסים מוסברת ע"י תהליך בן 4 שלבים:

1. הרכסים הקדומים נקברו בשכבות של סלע (איור 1).
2. בזמן שהרכסים קבורים לפני השטח מתונים, יכול נחל להתחתר וליצור תוואי זרימה שאינו מושפע מהרכסים הקדומים (איור 2).
3. כאשר הנחל מתחתר עד לעומק בו קבורים הרכסים, ערוץ הנחל כבר מקובע בנתיבו וכוחות הבלייה לאורך הנחל חוצבים ברכסים הקבורים. כבר בשלב זה נוצר נחל חוצה רכס, אם כי הרכס עודנו קבור (איור 3).
4. בלייה ממושכת הסירה את שכבות הסלע אשר קברו את הרכסים הקדומים. כיום הרכסים בולטים בהרבה מעל פני הקרקע והנחלים ממשיכים לזרום בתוואי שנוצר לפני חשיפת הרכסים – נחל חוצה רכס (איור 4).

בתחתית הדף מוצגת גם אפשרות חליפית – על פיה נחל חוצה רכס יכול להיווצר כאשר התחתרות הנחל מתרחשת בו זמנית להתרוממות הקמר (בתנאי שקצב ההתחתרות לא נופל מקצב ההתרוממות).

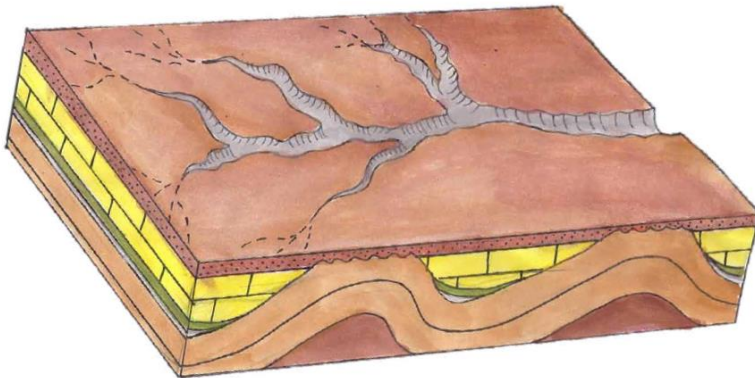
קרדיט:

האיורים צוירו על ידי פרח בוקר. הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר ירון פינצי ו ד"ר חנן גינת, מרכז מדע ים המלח והערבה ובעזרת סטודיו יוטבתה.

מקורות לקריאה נוספת:

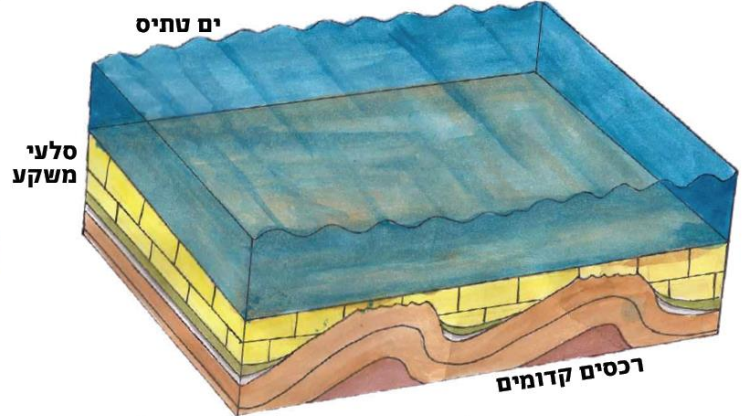
- "הגיאולוגיה והתפתחות הנוף בנגב", עמיר אידלמן, עזרא זילברמן, יואב אבני, חנן גינת, 2011

2. גידוע והתחתרות



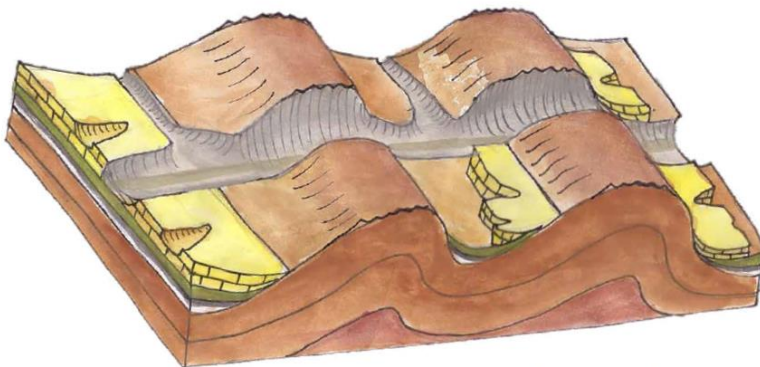
גידוע נרחב והרבה נרחבת של משקעים יבשתיים יוצרים נוף מתון של נחלים גדולים.

1. נחל חוצה רכס - 1. קבורת רכסים קדומים



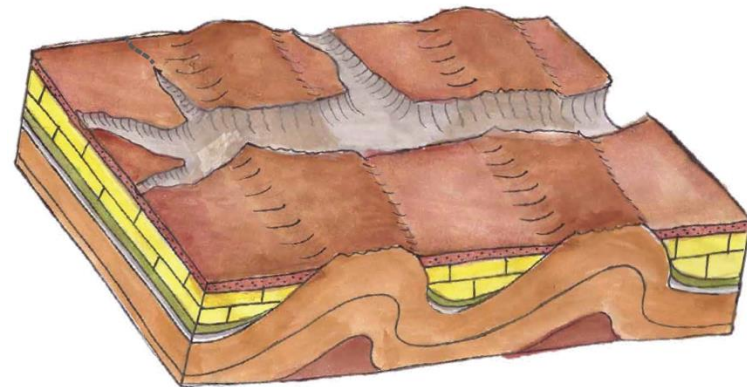
לאחר יצירת קמטי הנגב (כחלק מהיווצרות 'הקשת הסורית'), ולאחר גידוע ראשי הרכסים הקדומים, שכבות שלעי משקע כיסו את מרחבי הנגב הצפוני.

4. נחל חוצה רכס - כיום



- תוואי הנחל נשמר גם לאחר חשיפת הרכסים.
- נחל חוצה רכס יכול גם להיווצר מהתחתרות נחל תוך כדי התפתחות קמר, כל עוד קצב ההתחתרות לא נופל מקצב התרוממות הקמר.

3. המשך התחתרות



התחתרות נחלים מקבעת את אפיקיהם בנתיב חוצה רכסים עוד לפני שאלו נחשפים.

#20 בולבוסים

הבולבוסים הם גופי סלע קשים ועגלגלים העשויים גיר, צור או דולומיט. גודל הבולבוסים נע בין שני סנטימטרים ועד שישה מטרים. בישראל מצויים הבולבוסים בשש יחידות סלע מתקופות שונות (למשל בתצורות ניצנה, מנוחה, משאש) ואלפי בולבוסים חשופים באזורים רבים בארץ. במיוחד בולטים הבולבוסים הרבים בתצורת מנוחה ושדה הבולבוסים ליד הר צין (הר ההר).

את קיום הבולבוסים ניתן להסביר בשתי דרכים עיקריות המוצגות בצדו הקדמי של המיניפלקט:

1. שתי התמונות בצד ימין (א1, ב1) מציגות את הסברה שלפיה בולבוסים נוצרים כתוצאה מהתגבשות משקעים סביב חומר אורגני. כעדות לכך ניתן לראות את המבנה העגלגל יחסית של הבולבוס ואת העובדה שניתן למצוא ברבים מהמקרים בתוך הבולבוס עדויות לחומר אורגני (כמו בתמונה ב1). בנוסף לכך, אנחנו יודעים שרוב הבולבוסים נמצאים בסלעים מתצורות מנוחה ומשאש שמסמנות ים עשיר בניוטריאנטים ובחיים, כמו כן, אנחנו מוצאים על רבים מהבולבוסים עדויות לנבירות של בעלי חיים. הגיוני שבים זה ייווצר חומר אורגני רב שהרבה ממנו ישמר ושסביבו יוכלו להיווצר הבולבוסים.
2. שתי התמונות משמאל (א2, ב2) מציגות סברה על פיה בקרקעית הים ישנו פיזור לא אחיד של חומר אורגני. פיזור זה גורם לכך שבעת חשיפת הסלע לכוחות הבלויה בהווה הסלעים שעניים בחומר אורגני מתפרקים ביתר קלות בעוד הסלעים העשירים בחומר אורגני עמידים יותר להמסה. כעדות לתיאוריה זו, ניתן לראות שלא תמיד אנו מוצאים את הבולבוסים ביחידים אלא כחלק משכבה "מבולבסת" (שבה מעבר רציף בין בולבוסים מופרדים לכאלו שמחוברים יחדיו), כפי שניתן לראות בתמונה א2.

קרדיט:

הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר חנן גינת וד"ר ירון פינצי, מרכז מדע ים המלח והערבה, בעזרת סטודיו יוטבתה.

מקורות לקריאה נוספת:

- גינת, ח., רבינוביץ, ר., אבני י., אשכנזי, ש., ורוגולסקי, ג., 2013, [שחזור פלאוגיאוגרפי של שולי ים טטיס בתקופת הסנטון על פי זוחלים ימיים, בולבוסים ואי התאמות בסלעים של תצורת מנוחה \(בנגב הדרומי\). מרכז מדע ים המלח ערבה-דו"ח למשרד התשתיות הלאומיות.](#)

שני הסברים להיווצרות הבולבוסים



א2. המסה חלקית של שכבה "מבולבסת"



א1. התגבשות סביב מרכז גיבוש ביוגני



ב2. מפה של שכבה "מבולבסת"



ב1. עדות לחומר אורגני בפולבוס

מאפייני הבולבוסים

- א. הבולבוסים הינם גופי סלע קשים ומעוגלים הבנויים לרוב מגיר ולעיתים מצור או דולומיט, והם מצויים בגדלים שונים החל מסנטימטרים בודדים ועד שישה מטר.
- ב. הבולבוסים מופיעים לעיתים כבודדים ולעיתים מחוברים כחלק משכבה רצופה של בולבוסים (איורים א2, א2).
- ג. על גבי הבולבוסים יש עדויות לנבירות של בעלי חיים.
- ד. פעמים רבות מעוות השכבות בהן נמצאים בולבוסים מושפע מצורתם.
- ה. בחלק מהבולבוסים ישנן עדויות לנוכחות חומר אורגני בעבר (איור ב1).
- ו. בישראל מצויים הבולבוסים בשש יחידות סלע שונות מבין סלעי המשקע הימיים (בעיקר בתצורת מנוחה). על פני השטח חשופים עשרות אלפי בולבוסים.

כיצד נוצרים הבולבוסים?

ניתן לקבוע בוודאות שהבולבוסים נוצרים על קרקעית ים רדוד בתהליכים המתרחשים בסדימנט הבוצי לאחר ההשקעה. קיימות שתי השערות המסבירות את היווצרותם:

- א. הבולבוסים נוצרים מהתגבשות בקרקעית הים סביב ריכוזים של חומר ביוגני. התהליך מתרחש כאשר הסדימנט בקרקעית הים עדיין רך.
- ב. כאשר הפיזור של החומר הביוגני בבוץ שעל קרקעית הים אינו אחיד ישנה המסה לא אחידה של המשקע במיוחד במקומות העשירים פחות בחומר אורגני. הסדימנט שנתר התקשה וכך נוצרות שכבות סלע "מבולבוסות" ובולבוסים. בעקבות נסיגת הים נחשפים סלעים אלו לפני השטח בתהליכי בליה.

#21 עזר מעיינות

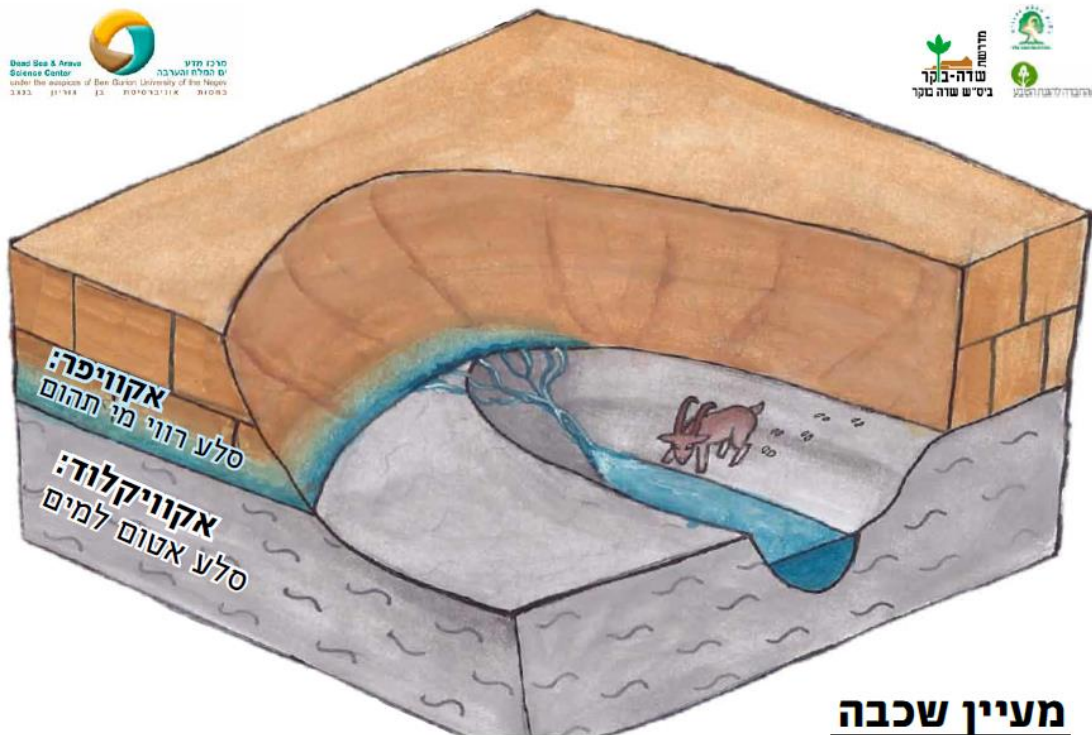
העזר מתאר ומסביר שני סוגים של מעיינות, מעיין שכבה ומעיין שעון על העתק. המעיינות הם בסיס החיים במדבר - גם של האדם וגם של חיות הבר והצומח ומכאן החשיבות בהבנת אופן יצירתם. מעיין הוא נביעה של מי תהום הנמצאים בתת-הקרקע בתוך חללים וסדקים בסלע המארח אותם (מי התהום לא מהווים שכבה בפני עצמה). השכבה בתוכה נמצאים מי התהום נקראת 'אקוויפר'. בנגב, רוב השכבות המכילות את מי התהום הן שכבות גיר ודולומיט. מי התהום מחלחלים מפני השטח מטה עד אשר יגיעו לשכבה הנקראת 'אקוויקלוד'. שכבה זו, המורכבת לרוב מקרטון, חווארים או חרסיות, נאטמת במגע עם מים ולא מאפשרת חלחול רב. שכבה זאת מאפשרת למי התהום להיקוות בשכבת האקוויפר ולמלא אותה. מי התהום יישארו במקומם בתת הקרקע אלא אם כן תפתח להם דרך החוצה באחת משתי הדרכים הבאות:

א. **מעיין שכבה** – במעיין זה נחשף המגע בין שכבת האקוויקלוד לשכבת האקוויפר מעל פני השטח. המים זורמים עם נטיית השכבות אל פני השטח ושם הם נובעים ויוצרים מעיין. מסוג מעיינות זה בולטים במיוחד המעיינות של מצוק הצינים וביניהם עין עבדת, עין עקב תחתון, עין שביב וכו.

ב. **מעיין שעון על העתק** – הסתה של שכבת האקוויקלוד על פני העתק, חוסמת את זרימת מי התהום באקוויפר ומסיטה את זרימתם מעלה אל פני השטח. הכוח המניע את עליית המים, הוא חוק הכלים השלובים. למעשה, המים בשכבת האקוויפר לוחצים על המים הסמוכים להעתק להשתוות ולהיות באותו גובה איתם – מה שגורם להם לעלות בתוואי ההעתק ואזור הרסק שסביבו אל פני השטח. מסוג מעיינות זה בולטים במיוחד עין גלד ועין עקב עליון.

קריטי:

ציור המיניפלקט נעשה ע"י פרח בוקר. הפקת העזר נעשתה ע"י ד"ר ירון פינצי וד"ר חנן גינת, מרכז מדע ים המלח והערבה, ובעזרת סטודיו יוטבתה.



מעין שכבה

מי תהום זורמים במורד נטיית השכבות עד שהם נחשפים לפני השטח ונובעים כמעין

מעין שעון על העתק



מישור ההעתק והסדקים לאורכו מאפשרים זרימת מים לפני השטח. עין עקב עליון הוא מעין שעון על העתק.