

אופיים של תהליכי העיצוב של טבלאות הסלע בחופי הכרמל והגליל

אברהם זהבי¹

תקציר

חופי הכרמל והגליל העליון המערבי הם חופים סלעיים. החופים מאופיינים במצוקון כורכר ובחזיתם טבלת סלע המכונה גם טבלת הוורמטידים או טבלאות גידוד. במספר מקומות מעל פני המים במרחק מה החוף, מתנשאים שרטונות ואיים קטנים המוקפים במצוקונים וטבלאות סלע. מטרת העבודה לנסות להבין את התהליכים שיצרו את טבלאות הסלע. העבודה מתבססת על הערכת קצב הבלייה של מצוקוני הכורכר בהתבסס על התפתחות צנירים בחציבות ובמתקנים שיצר האדם.

העובדה שטבלאות סלע מצויות בצד מזרח בו עוצמת מפץ הגלים נמוכה, והחוזק המכני הגבוה יחסית של סלעי הכורכר, מעידים שעיצוב החוף הסלעי מושפע ברובו מתהליכי בלייה מכניים פיסיקליים בהשפעת גידול גבישי מלח. במתקנים ובבריכות סמוכים לחוף, שנחצבו בתקופות קדומות בסלעי הכורכר המתמלאים מי ים, לא קיימת פעילות גלים אך גובה המים בהם משתנה. במתקנים אלה נוצרו צנירים. לצורך הבנת התהליכים הפועלים וקצבם בבדיקת מתקנים שנחצבו בתקופות שונות נמצא שקצב היווצרות הצנירים עומד על כ-10 ס"מ לאלף שנים. קצב זה אינו מספק על מנת להסביר את התפתחות טבלאות הסלע המגיעות לעשרות מטרים.

חתכים טופוגרפיים בטבלאות הסלע מראים שקיימים לרוחבן הבדלי גובה, מעין מדרגות שגובהן מגיע ל-10 ס"מ. במקומות אחרים נראים סימני חציבה ברורים. המסקנה היא, שהטבלאות עשויות להיות תוצר של חציבות סלעי הכורכר ששימשו לצורך בניה של אתרים לאורך מישור החוף.

The Nature and the Process of Notch Formation Along the Carmel and Galilee Coast, Israel

Abraham Zahavi¹

Abstract

Stretches of Israel's northern Mediterranean coast are rocky shores characterized by a steep escarpment of several meters and a horizontal seaward platform. The escarpment and its associated platform are cut into a calcareous aeolian sandstone (kurkar). On the land side of the platform, an evident basal notch typically occurs in the cliff. Whereas wave direction is westerly, basal notches are also found in the eastern side of small kurkar islands along the coast. The objective of this study is to understand the processes shaping this landform.

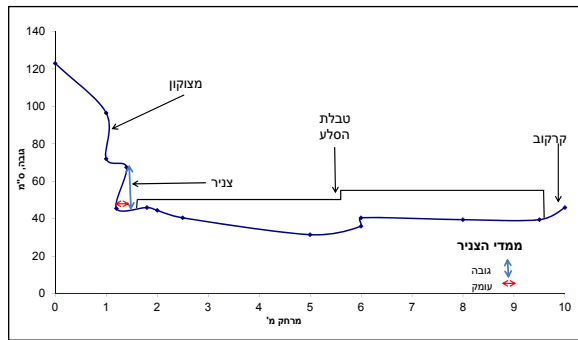
This study utilizes man-made rock-cut structures in the proximity of the coast to show that notch development is a product of subaerial weathering processes induced by wetting and drying on an intertidal shore. Weathering rate is about 10 cm per millennia. Since platform width is of the order of tens of meters, these weathering processes do not appear to be the dominant process in the formation of the rock platforms. The rock platforms are probably a product of ashlar quarries where kurkar stones were quarried as ashlar down to sea level, leaving behind a nearly flat platform.

¹ מרצה לגיאוגרפיה במכללה האקדמית בית ברל. השלים את לימודי התואר השלישי בגיאוגרפיה באוניברסיטת קלארק, ארה"ב.

A lecturer in the geography department, Beit Berl Academic College. Graduated from Clark University, USA.

מבוא

חופי הכרמל והגליל העליון המערבי הם חופים סלעיים. המסלע הבונה אותם הוא סלעי כורכר. כורכר הוא סלע המורכב מגרגרי קוורץ מלוכד בתלכיד קלציט (אלמגור, 2002).



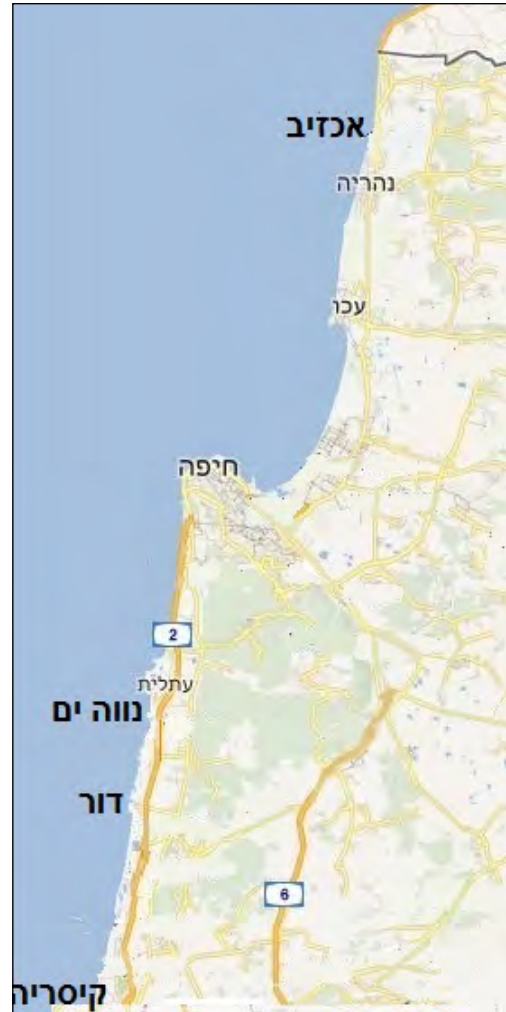
איור 2: חתך בטבלת סלע - מושגים



איור 3 : מבט מחוף דור לכיוון האיון הצפוני. בצילום נראים טבלאות הסלע וצנירים למרגלות המצוקונים

במאמר שכתרתו "Shore platforms: a neglected coastal feature", מציין המחבר (Trenhaile, 1980) את מיעוט הידע שנרכש על תהליכים היוצרים את טבלאות הסלע. ניתן להבחין באינטראקציה של שלושה תהליכים עם סלעי החוף. התהליכים הם תהליכים מכניים בהשפעת הגלים, בלייה ופעילות ביוגנית. קצב הפעילות של תהליכים אלה תלוי בתכונות המכניות והכימיות של הסלעים, בעוצמת הגלים, בתנודות מפלס מי הים כתוצאה מהגאות והשפל, טמפרטורת המים ופעילות ביולוגית.

במורפולוגיה הקלאסית יחסו את היווצרות טבלאות הסלע והתרחבותן לנסיגת המצוקון בעיקר כתוצאה מפעולת הגלים (Bird, 1969). מחקרים שבחנו את היווצרות הצנירים כתוצאה מפעילות גידוד מראים שהעוצמה המקסימאלית של מפץ הגלים קיימת במקום שהמצוקון הוא אנכי וניצב לגלים (e.g. Sunamura, 1992). חלק מהמחקרים שנערכו בשנים האחרונות במקומות שונים בעולם מסכימים עם מסקנה זו כי הגלים יוצרים צנר בתחתית המצוקון. שיעורי הסחיפה של הצנר נעים במספר מקומות בין 1.5 ל-8.5 ס"מ לשנה (Trenhaile et al., 1998; Trenhaile 2005; Tsujimoto, 1987; Sunamura, 1990, 1991, 1992, 1994). משעומק הצנר עובר ערך סף, יתמוטט גוש הסלע שנותר תלוי. עומק הצנר משתנה בהתאם לסוג הסלע וגובה המצוקון. מדידות שנערכו



איור 1: אזור המחקר

החופים מאופיינים במצוק כורכר קטן (יקרא להלן מצוקון - ראה איור 2) שבחזיתו טבלת סלע. לאורך המצוקון למרגלותיו באזור המגע בינו לבין המים, ניתן להבחין במקומות רבים בגומחה המכונה צנר. טבלאות הסלע הן טבלאות שטוחות יחסית בגובה פני הים. טבלאות הסלע מכונות טבלאות הגידוד או טבלאות הוורמטידים. במספר מקומות מעל פני המים במרחק מה החוף, מתנשאים איים קטנים, גם הם מוקפים במצוקונים וטבלאות סלע שמפלסן הוא כמפלס פני הים.

נהוג למיין את טבלאות הסלע החופיות לשתי קבוצות, טבלאות המשתפלות מהיבשה בשיפוע מתון לכיוון הים, וטבלאות שהן טבלאות כמעט אופקיות, המסתיימות בצידן היבשתי במצוקון לכיוון הים (Trenhaile, 1980; Sunamura, 1992). כאלה הן טבלאות הסלע שבחופי הכרמל והגליל (איור 3).

טבלה 1: קצב התפתחות צנירים בצפון הים התיכון

(Laborel et al. 1999) (בעקבות)

משך הזמן הדרוש להתפתחות צניר (שנים)		שעור בלייה ממוצע לשנה מ"מ
צניר בעומק 5 מ'	צניר בעומק 3 מ'	
17,800	10,700	0.28
6,400	3,900	0.78
3,900	2,300	1.28



איור 4: בור עם צניר בפני השטח על רכס הכורכר. קרקעית הבור מוקפת בצניר כמו כן ניתן לראות התגבשות של מלח בתחתית הבור.

מחקרים קודמים בארץ

הטבלאות תוארו במספר מחקרים קודמים (לדוגמה: ספרא, 1962; באומן, 1972; בנימיני וענבר, 1982), אך לא נערך עדיין מחקר מקיף על אופי היווצרותן. כאמור, מטרת עבודה זו היא לבדוק אלו תהליכים גורמים להיווצרות טבלאות הסלע ולנסות להעריך את קצב התפתחותן.

צורות הנוף של טבלאות הסלע אינן תוצאה של תהליכים טקטוניים (Sneh, 2000). ספרא (1962) טען שהטבלאות הן טבלאות גידוד שהיווצרותן היא תוצאה של מפץ הגלים המלווה בשחיקה על ידי גרגרי חול וחלוקים. גלי הים שוחקים את רכס הכורכר הנושק לקו המים ויוצרים בתחתיתו צניר. ספרא מבסס את טענתו על תצפיות שמראות כי הצנירים בצידים המערבי של מצוקוני הכורכר, הניצבים לגלים, מפותחים יותר מצנירים המצויים בכיוונים אחרים.

עבודתו של ספרא היא עבודה תיאורית שאינה מבוססת על מדידות ועל התייחסות לקצב התהליכים. באשר לטענה של תרומתם של גרגרי חול וחלוקים לתהליך הגידוד, הרי שאין בחזית המצוקון נוכחות של גרגרי חול וחלוקים היכולים לגרום לשחיקת הסלע. ספרא מתאר בפרוטרוט את הנוף הכמו קארסטי המעיד על בלייה של הכורכר, אך לטענתו תהליכי בלייה כימית הם בעלי חשיבות משנית בהיווצרות הצנירים. מחקרים אחרים מקבלים את חשיבותה של פעילות הגידוד,

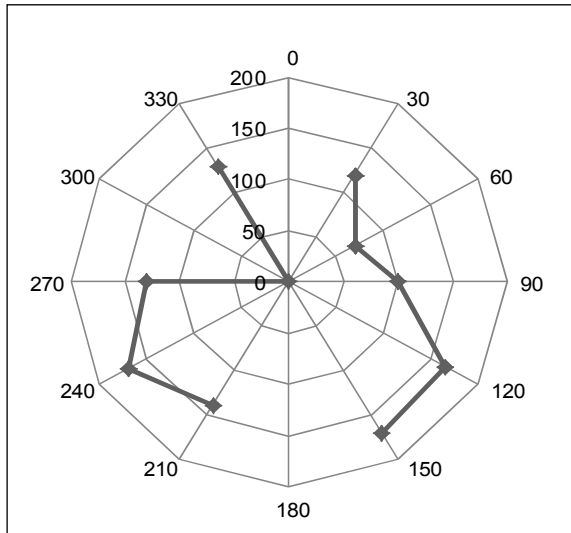
בסלעי גיר מצביעים על גובה מצוקון הנע מ-0.5-0.7 מטר כערך סף לנפילת גוש שצורתו משולש, ל-0.7-0.9 מטר לגוש שצורתו ריבוע (Kogure and Matsukura, 2010). Rust and Kershaw (2000) מציינים שהיווצרות צנירים בתהליכי גידוד יכולה לקרות רק בחופים בהם יש חומר גס חלוקים. לטענתם בחופים אחרים הצנירים יכולים להיווצר רק בתהליכי בלייה.

במחקרים חדשים שנערכו בניו-זילנד נמצא שעוצמת המחץ של הגלים קטנה יותר מהחוזק המכני של הסלעים. החוזק המכני של הסלעים נמדד באמצעות פטיש שמיד ועוצמת מחץ הגלים חושבה בהתאם לגובה ותקופת הגלים. המסקנה היא שמפץ הגלים, ככל הנראה, אינו התהליך הדומיננטי בהיווצרות הצנירים (Stephenson and Kirk., 2000a Stephenson and Kirk., 2000b; Stephenson 2001; Allan et al., 2002).

במחקר באזור לגונרי בו פעילות הגלים היא משנית, נמצא צניר מפותח לאורך מצוקונים של סלעי אבן בוץ (mudstone), שגובהו נמצא בהתאמה להפרשי גובה מפלס פני הים בין הגאות לשפל. מסקנת החוקרים היא שגורם הבלייה המשמעותי להתפתחות הצנירים הוא גידול גבישי מלח. גידול גבישי המלח מתפתח כתוצאה מהתייבשות סלעים בעת ירידת מפלס המים (Stephenson and Kirk 2000b; Stephenson and Kirk, 2001; Allan et al., 2002; Inkpen et al. 2004). נמצא שגבישי המלח נוצרים בתהליך התייבשות הסלע בין ההרטבות. בתהליך גידול הגביש מופעל לחץ העשוי לגרום לבליית הסלע. באזורים מדבריים, בלייה על ידי גידול גבישי מלח ידועה כתהליך משמעותי מאוד (Cooke, 1979; Cooke and Smalley, 1968). נמצא שגם הרטבת הסלע על ידי גאות ושפל היא גורם בלייה משמעותי (Taylor, 2003; Trenhaile, 2004). בחופים סלעיים, במיוחד כאלה הבנויים מאבני חול המחלחלים בשיעור גבוה, תהליך הבלייה עקב גידול גבישי המלח אפקטיבי במיוחד. בין תקופות הרטבה (דהיינו בין תקופות של סערה או בעת שפל בפני הים) הסלע מתייבש ותהליך עליה נימית גורם לרטיבות שבסלע להסיע את המלח אל פני השטח. התאדות המים משאירה את המלח קרוב לפני השטח וגבישי מלח גדלים. גידול גבישי המלח יוצר פעולה של הכנסת טריז בין הגרגרים והתוצאה היא התפוררות הסלע (Gabler et al., 2006: p. 428).

תופעת התגבשות מלח קיימת גם בקרקעיתם של בורות המצויים על פני רכס הכורכר בתחום רסס הגלים. בבורות אלה נוצר בהיקף הבור צניר שגובהו מגיע ל-20-25 ס"מ ועומקו משתנה ומגיע עד לעשרים סנטימטרים (איור 4). ניתן להסיק שצנירים אלה הם תוצאה של תהליכי בלייה שונים, וביניהם תהליכי בלייה בהשפעת גידול גבישי מלח בתוך סלע הכורכר הנקבובי והחדיר. מחקרים שנערכו בחופים הצפוניים של אגן הים התיכון מעריכים את קצב היווצרות הצנירים כפחות 0.01 ס"מ לשנה (Pirazzoli, 2007) או כ-10 ס"מ לאלף שנה. Laborel et al. (1999) מציינים שניתן להעריך את משך הזמן הדרוש להתפתחות צניר בעומק שונה בהתאם לקצב הבלייה (טבלה 1).

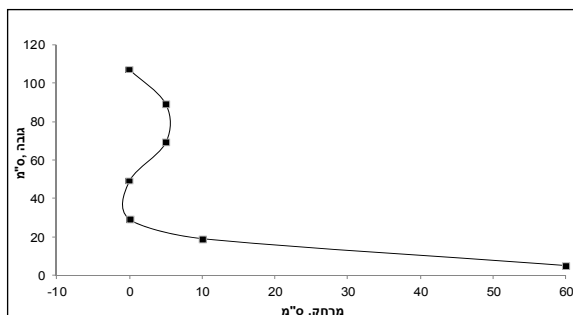
חתך מפנה מערבי: איורים 8 ו-9). המפנים המזרחיים כמוכּן אינם מושפעים ממכות גלים שכן כיוון הגלים הוא מהגזרה המערבית. יתרה מזאת, בחלקים גדולים של המפנה המערבי של האיים אין התפתחות צניר (איורים 8 ו-9). גם מחקרים שנערכו בחופים הצפוניים של אגן הים התיכון מעידים על אתרים רבים בהם התפתחו צנירים גם במפנים הפונים ליבשה (Pirazzoli, 2007).



איור 5: איון חופמי, עומק הצניר הסובב את האיון, בס"מ.



איור 6: צניר במפנה מזרחי בנווה ים (הצילום נעשה מכיוון צפון לדרום)



איור 7: נווה ים, מצוקון עם צניר במפנה מזרחי

אך מציינים גם את תרומתם של תהליכי המסה כימית וביוגנית (באומן 1972). התמוטטות הצנירים משאירה בצידם הפונה לים טבלת סלע שנהוג לכנותה טבלת גידוד. רוחבה של טבלת הגידוד, אם כן, תלוי בקצב נסיגת הצנירים לאחור. מסקנה זו היא המסקנה המקובלת על החוקרים בכל המחקרים שנערכו בחופים הסלעיים של הכרמל והגליל המערבי (ספרא 1962; שטנר, 1970; באומן 1972; סנה וקלין, 1983; אלמגור, 2002).

ספרא (1961) טוען שפני הטבלה ישרים למדי אך מוסיף שמרובות בו צורות המסה זעירות. חתכים טופוגרפיים בטבלאות מראים שקיימים לרוחבן הבדלי גובה, מעין מדרגות שגובהן מגיע ל- 10 ס"מ. פני הטבלה אינם מפולסים. טבלת הסלע היא בעלת טופוגרפיה שטוחה יחסית, אך יש בה בליטות, שחלקן מזדקר מעל פני המים. קיימים גם קטעים נמוכים יותר ואף בורות עמוקים (ראה גם שרטוט 3 אצל בנימיני וענבר, 1982). בורות דומים נמצאים גם על פני רכס הכורכר הנושק לטבלה. בחזית הטבלה קיימת הגבהה, "פאה" אצל ספרא (1962) או כרכוב (Safriel, 1975). הכרכוב מאוכלס על ידי אוכלוסיית חלזונות של צינורן בונה ממשפחת הוורמטידים. מושבות של צינורן בונה, נמצאות גם על פני הטבלה ובמקרים רבים בסמוך לבורות. פני הטבלה מכוסים בתולען משולש, אף הוא ממשפחת הוורמטידים, ובמינים רבים של אצות ובעלי חיים. אוכלוסיה זו של וורמטידים נתנה לטבלאות את שמם "טבלאות הוורמטידים" (Safriel, 1975; בנימיני וענבר, 1982).

רכס הכורכר נתון לתהליכי בלייה אינטנסיביים. עדויות לתהליכי בלייה ברכסי הכורכר בחופי הכרמל והגליל ניתן לראות בנוף הטיטרושונים, הבורות ותעלות המסה המתפתחים על רכס הכורכר. גם על טבלאות הגידוד עצמן ישנן תעלות ובורות (ספרא, 1962; באומן, 1972).

תפרוסת הצנירים וטבלאות הסלע באזור המחקר

כדי להבין את תהליכי היווצרות טבלאות הסלע, יש לעמוד על ממדיהן ותפוצתן ביחס לכיוון הגלים. כיוון המפנה הוגדר כזווית (במעלות) בניצב לחזית מצוקון החוף לכיוון הים. מבדיקת תפרוסת הצנירים באיונים חופמי ונווה ים, מתברר שצנירים מפותחים נמצאים גם במצוקונים המצויים במפנים מזרחיים של האיים. בחופמי נדגמה המורפולוגיה של המצוקון בהתייחס לכיוון המפנה ולרוחב טבלת הגידוד. הנתונים המוצגים בטבלה 2, אינם מצביעים על קשר בין המאפיינים הללו לבין מורפולוגית המצוקון (ראה גם איור 5).

בחוף נווה ים נמדדו חתכים טופוגרפיים במפנים שונים. החתך נמדד באמצעות מאזנת ואמת מדידה. גם כאן, לא נמצא קשר בין מפנה המצוקון להתפתחות צנירים. למעשה, הצנירים המפותחים ביותר נמצאים במפנה המזרחי של האיון (השווה חתך מפנה מזרחי: איור 6 ואיור 7, לעומת

באתרים שנסקרו נערכו מדידות של עומק הצנר. עומק הצנר נמדד על ידי אנך ואמת מדידה מפולסת. בכל אתר נערכו מדידות לאורך סרט מדידה במרחקים קצובים כך שבכל אתר התבצעו לפחות 10 מדידות.

מבנים שנוצרו על ידי האדם

לאורך החוף ובאיים, נמצאות חציבות רבות. העדר עצים מתאימים לבניה, הכריח את תושבי ארץ ישראל לחצוב אבנים לבניה. לאורך החוף, נחצבה אבן באתרים רבים, בסמוך לקו המים ועד לגובה מפלס הים ששרר בזמן החציבה, תוך שימוש ברפסודות או בסירות להעברת האבנים החצובות אל אתר הבניה (רבן, 1981). הכורכר המלוכד היטב נוצל כחומר בניה ביישובים העירוניים לאורך מישור החוף החל מהתקופה הכנענית התיכונה. חלק מהחציבות נועדו לגתות יין, בריכות לגידול ואחסון דגים (או פיסקניות כפי שנקראו על ידי הרומאים), להפקת מלח (סאלינות בלע"ז) או לסחרור מים במפרצים (שפיר, 1993).

במקורם, היו קירות החציבה אנכיים והקרקעית אופקית אך בדיקה של המתקנים בימינו, מראה צנר המלווה את דפנותיהם. המתקנים חצובים בתוך הכורכר. חלק מהמתקנים משיקים למפלס המים העכשווי ומחוברים אליו בתעלות. במתקנים אלה, מתרחשות תנודות במפלס המים עקב הגאות והשפל. מתקנים אחרים מתמלאים מים או מורטבים על ידי הגלים אך אינם מושפעים ממחץ הגלים.

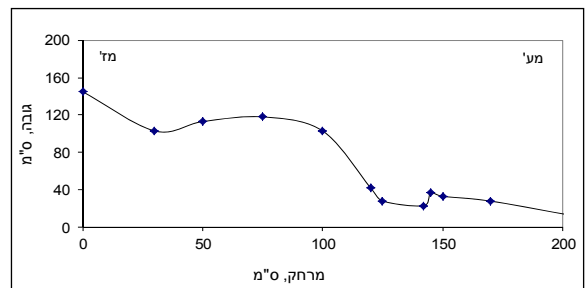
אפיוני אזור המחקר

לצורך המחקר נסקרו מבנים חצובים בחופי הגליל המערבי והכרמל. המבנים שנסקרו הם: בריכת הטרפז באכזיב, המעגן בנווה-ים, המחצבה ואתרים נוספים בחוף הבונים, אתרים שונים בחוף דור ובריכת הארמון המערבי בקיסריה. כל המבנים מוגנים מפעילות הגלים על ידי קירות הגבוהים מפני הים או גבוהים ממפלס הים.

מבחינת אופי הגלים, גובהם בעונת החורף עולה ב-40%-30% מהזמן על גובה של מטר אחד, בעוד שבעונת הקיץ, גובהם הוא 0.5-1.0 מטר (Goldsmith and Sofer, 1983). התפלגות גובה הגלים השנתי מראה שגובהם אינו עולה על מטר אחד ב-50% מהזמן, 1-2 מטרים ב-25% מהזמן, 2-4 מטרים ב-20% מהזמן ורק ב-5% מהשנה גובהם עולה מעל 4 מטרים. תקופת החזרה של סערה שגובהה הגלים בה מגיע ל-6 מטרים הוא סטטיסטית אחת לחמש שנים, ותקופת החזרה של סערה שגובהה הגלים בה הוא 9 מטרים עומד על 100 שנים (Rosen, 1998). מחזור סיגניפיקנטי של הגלים הוא כ-8 שניות לגלים בגובה של 1.25 מ', 10 שניות לגלים בגובה 3 מ' ו-12 שניות לגלים בגובה 4 מ'. איור 10 מדגים את התפלגות כיווני הגלים. כיוון הגלים של 66% מהגלים שגובהם עולה על מטר אחד הוא מע'-צפ'-מע' עד מערב (רוזן, 1999; Rohlricht and Goldsmith, 1983).



איור 8: נווה ים, מפנה מערבי - הצילום מדגים את העדרו של צנר במפנה מערבי.

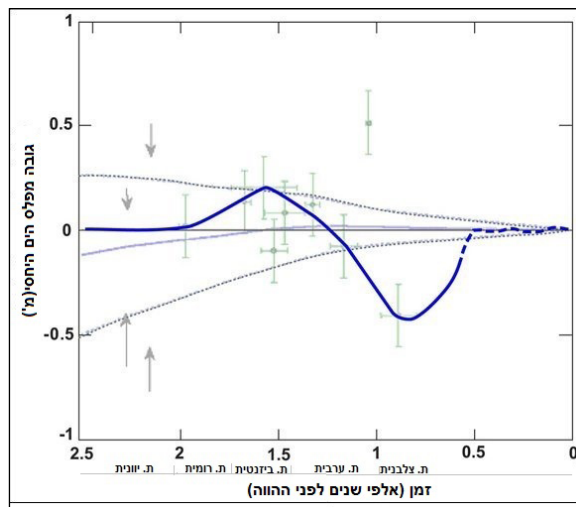


איור 9: נווה ים, מפנה מערבי

שיטת המחקר

בהתבסס על המחקרים שנערכו בניו-זילנד (Stephenson and Kirk, 2000b; Allan et al., 2002), הנחת היסוד שטעונה בדיקה היא שתהליכי בלייה הם התהליכים הדומיננטיים בעיצוב המצוקון. לבדיקת האפקטיביות והקצב של תהליכי הבלייה המעצבים את החוף הסלעי, נבחרו אתרים בהם פעילות הגלים אינה משמעותית, וידוע זמן תחילת חשיפת הסלע. לשם כך, נבדקו צנירים שנוצרו באתרים בהם נחצבו או נבנו מתקנים על ידי האדם. המתקנים שנבחרו אינם חשופים לפעילות הגלים אלא רק לשינויי מפלס פני הים ומכאן לפעילות בלייה של גידול גבישי מלח עקב הרטבה והתייבשות. נבחרו מתקנים שנבנו בתקופות שונות ובמפלסים שונים יחסית למפלס הים הנוכחי. שימוש במתקנים שנחצבו על ידי האדם כמקור למחקר במדעי כדור הארץ נפוץ בעולם. בארץ נעשה שימוש במתקנים אלה לצורך מחקר תופעות גיאולוגיות (לדוגמה: Nir Y., 1997; Sivan and Galilee, 1999; Sivan et al., 2004a).

מתקנים עתיקים שתפקודם היה קשור למי הים ולמפלסו, יכולים לשמש למחקרים גיאולוגיים וגיאומורפולוגיים. מחקרים העוקבים אחרי שינויים במפלס הים ופעילות טקטונית צעירה עושים שימוש במתקנים אלה (לדוגמה: Nir and Klein, 1984; 1986; סנה וקליין, 1984; 1984; Sneh and Klein, 1984; 1986; Sivan et al., 2001).



איור 11: מקסימום תנודת מפלס הים בפרק הזמן שבין 2000 שנה לפני זמנינו לבין 700 שנה לפני זמנינו (קו כחול) – השוואת מפלס הים בין ערכים צפויים (קו אפור רצוף מתבסס על מודל של Lambeck, 2001) לערכים מדודים (קו אפור מקווקו עם עמודות טווח שגיאה) מנתוני בארות בקיסריה, (מתוך סיוון, 2006 בעקבות Sivan et al., 2004b).

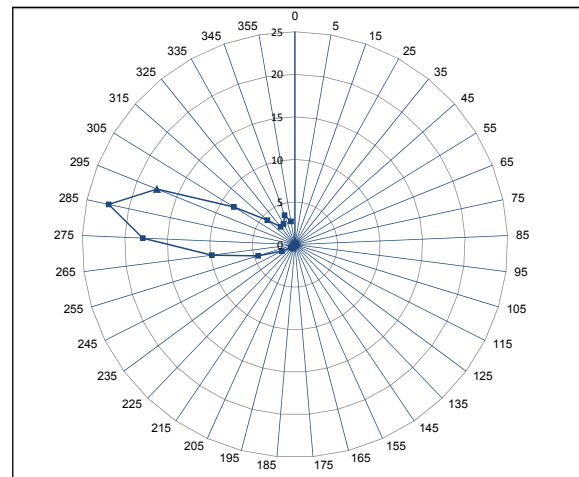
תוצאות

להלן פרוט תוצאות מדידת מאפייני הצנירים שהתפתחו במתקנים חופיים באתרים ארכיאולוגיים שנחצבו או נבנו בתקופות שונות.

אכזיב

באזור אכזיב מספר רב של אתרים חצובים לאורך החוף ובאיונים הסמוכים. באי שגביון קיימת בריכה פנימית חצובה. מתצפית שנערכה באי נראה בבירור צניר מפותח בדפנות הבריכה. לחוף הים מצויה בריכה הידועה כבריכת הטרפז. מפלס המים בבריכה משתנה בהתאם לגאות ולשפל. הבריכה שימשה לגידול ושמירת דגים. ממראה בסיסי הקירות החצובים ניתן להסיק שהכישורים הטכנולוגיים של החוצבים היו גבוהים מאוד (רבן, 1986; שפיר, 1993; פרנקל וגצוב, 1997). עד היום ניתן לראות ששטחי הפנים החצובים של בסיסי המחיצות, חלקים מאוד זוויתיים הפינות היא זווית ישרה. המופע החלק של בסיסי המחיצות המוצפים עומד בניגוד למופע המחוספס של פני הסלע החשופים בסביבתה. העובדה שבסיסי הקירות מוצפים במים באופן קבוע, מחזקת את ההשערה שתופעות הייבוש וההרטבה אחראיות להתפתחות הצנירים.

מפלס פני הים עקב תופעת הגאות והשפל. מידע זה מצוי בנתוני מרכז הנתונים הימי של ישראל (ISRAMAR) לנתוני אתר חדרה. הנתונים מצביעים על כך ששיעור תנודות המפלס בהשפעת הגאות והשפל, אינו עולה על 50 ס"מ ביום. משרע המפלס השנתי אינו עולה על 75 ס"מ. מפלס פני הים הממוצע בחודשי הקיץ גבוה מהמפלס החורפי. הסיבה העיקרית לתופעה זו היא המיקום היחסי השונה של השמש יחסית לכדור הארץ בחורף ובקיץ (Rosen, 2001).



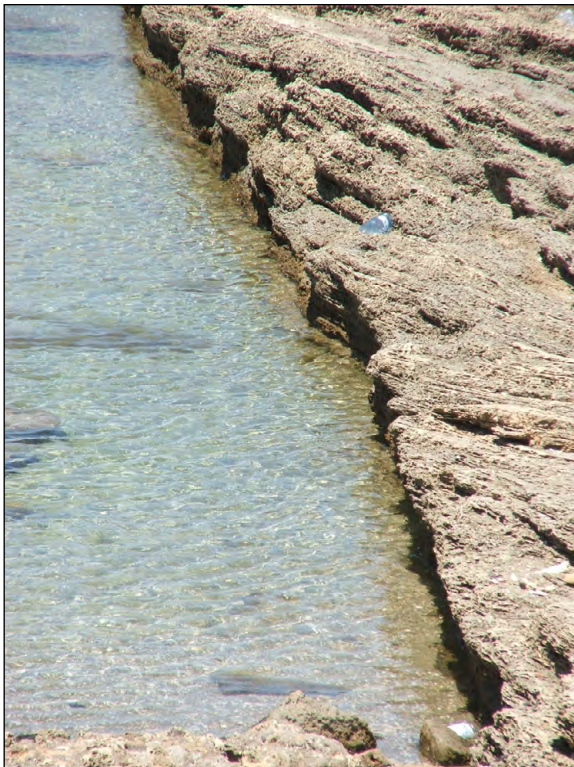
איור 10: התפלגות שנתית של שכיחות גובה הגל המשמעותי בחדרה, עבור כל הגלים (לתקופה 03/98 - 04/92) בעקבות רוזן (1999)

מבחינת חוזק הסלע, במחקר שבוצע בחוף אכזיב נמצא, שהחוזק המכני של הסלעים עומד על כ-50 ק"ג למ"ר (גביש ופולישוק, 1977). עוצמת הלחץ ההידראולי המופעל על ידי גלים בגובה של שישה מטרים עומד על 1.6 ק"ג למ"ר (אלמגור, 2002). מכאן ניתן להסיק, שגם בתנאי המסלע והגלים של חופי הכרמל והגליל, מכת הגלים אינה התהליך העיקרי המשפיע על היווצרות הצנירים.

כדי להבין את קצב התהליכים בחוף, יש להתייחס לגובה פני הים ברביעון. מפלס פני הים נמצא בעליה מתום תקופת הקרחון האחרון (Lambeck and Chappell, 2001). מרבית החוקרים מסכימים שלפני כשלושת אלפים שנה, עמד מפלס הים על גובה של מטר אחד מתחת למפלס העכשווי הממוצע של פני הים. בתקופה הרומאית, היה מפלס הים דומה למפלס הנוכחי. בתקופה הביזנטית, מפלס הים הממוצע היה כ-30-40 ס"מ מעל המפלס הנוכחי, והמפלס נפל אל מתחת למפלס העכשווי בשיעור של כ-20-40 ס"מ בתקופה הצלבנית ואולי אף עמד על מטר אחד מתחת למפלס הנוכחי במאות ה-16 וה-17 (סנה וקלין, 1983; Sivan et al., 1984; Sneh and Klein 2004b). איור 11 מציג את שינויי מפלס הים תוך התייחסות לנתונים הרלבנטיים במיוחד לאזור המחקר.

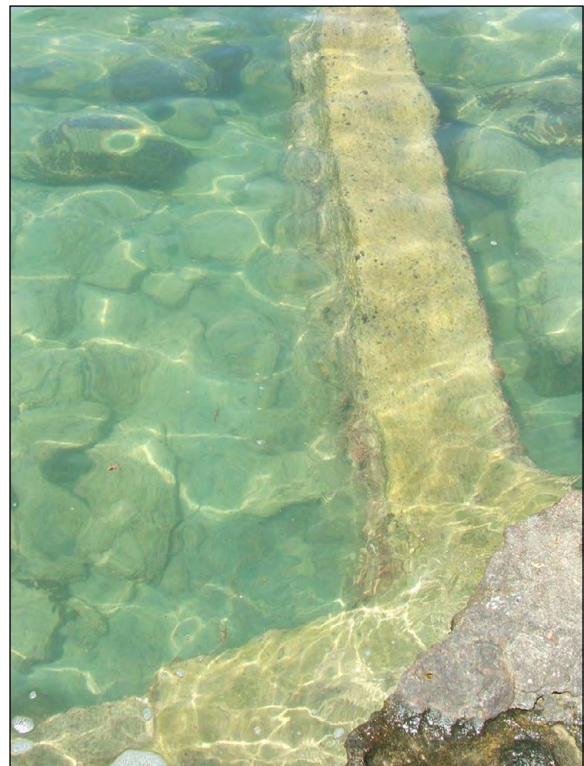
קיסריה

בדרומו של האתר, ממערב לתיאטרון, ניבנה ארמון גדול. הארמון ההרודיאני נבנה בשנים 10-2 לפנה"ס. בצמוד לארמון נבנתה, בתוך מבנה מקורה, בריכת שחיה למים מתוקים.



איור 14: א (למעלה) - הבריכה בארמון הדרומי, קיסריה. ב (למטה) - צנר בקיר הצפוני של הבריכה בארמון השוני, קיסריה

ממדי הבריכה הם 18X35 מטרים ועומקה 85 ס"מ (איור 14 א). בזמן בנייתה, היה עומקה של הבריכה 120 ס"מ על פי Flinder (1976) או כשני מטרים על פי Netzer (1996) ועל כך מעידים שרידי קירות הבנויים מסביבה. הבריכה טוחה בטיח הידראולי, דבר המוכיח שהיא מולאה במים



איור 12: א (למעלה) - צנר בבריכת הטרפז באכזיב. ב (למטה) - המחיצה בבריכת הטרפז



איור 13: צנר בבריכה חצובה בסמוך לאנדרטת יד ליד

למפלס פני הים כיום.



איור 15: התעלה הגבוהה במפרץ המעגן, דור. א (למעלה) - מבט כללי. ב (למטה) - מבט מקרוב על הצנר.



איור 16: חוף דור - בריכה חצובה באי הצפוני, מבט לכיוון צפון

שפירים שכן טיח הידראולי אינו עמיד בפני מים מלוחים (Flinder 1976; Netzer, 1996, 2008). הבריכה אמנם עברה שינויים במשך הזמן ואורכה קוצר, אך היא המשיכה לתפקד גם בתקופה הביזנטית (Netzer, 2008). כ-600 שנים לאחר בנייתה, כנראה בצונאמי שאירע בשנת 551 לספירה (Mart and Perecman, 1996; Dey and Goodman-Tchernov, 2010), נהרס אגף הארמון בו נחצבה הבריכה. בשלב מאוחר יותר, שינתה הבריכה את יעודה והפכה לבריכה לאכסון או גידול דגים. לצורך זה, נפרצו בדפנות הבריכה שתי תעלות, כדי לאפשר כניסת מי ים טריים. תעלה אחת נפרצה בצידה הצפוני והשנייה בצידה הדרומי. הרס הבריכה ארע בתקופה בה חלה עליה במפלס פני הים (Flinder, 1976). פלינדר מציין, שגם היום, ניתן להפעיל את הבריכה מחדש לצורך אכסון או גידול דגים, על ידי פעולת ניקוי ותחזוקה מינימלית. מתצפית על הבריכה וסביבתה, נראה שפני הסלע מחוספסים מאוד כתוצאה מתהליכי בלייה אינטנסיביים. בדפנות הבריכה נראה בברור צנר מפותח. דפנות הבריכה בצידה הדרומי והצפוני אינן רצופות לכל אורכן, שכן נפרצו בהן פרצות ליצירת תעלות לסחרור מים טריים.

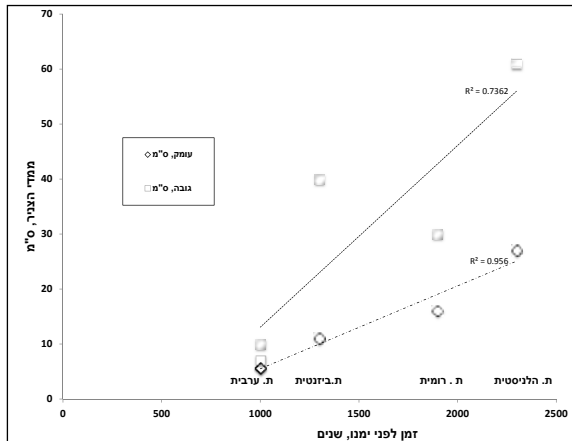
מצפון לאנדרטת יד ליד, כרויה מחצבה על גבי הפלטפורמה (איור 13). בתוך המחצבה קיימים קטעים בהם ניתן לראות עדויות לחציבת אבני גזית. החציבה יצרה מספר קטעים הנראים כבריכות רדודות. בדפנות הבריכות התפתח צנר.

דור

בדור נסקרו שלושה מתקנים חצובים:

- במפרץ המעגן נחצבו שלוש תעלות למטרת סחרור מים כדי להקטין את השקעת החול במעגן במפלסים שונים. התעלה הגבוהה חצובה בגובה של 50 ס"מ מעל פני הים (ראה איור 15). תעלה זו נחצבה בתקופה הביזנטית בה היה מפלס הים גבוה (סנה, 1981). בתעלה זו, ההרטבה מתרחשת רק בזמן שהים גלי. כאשר הים שקט, דפנות התעלה מתייבשות. לאורך התעלה התפתח צנר.
- באי הצפוני שבמפרץ המעגן חצובות בריכות שמפלסן גבוה ממפלס הים (ראה איור 16). בדופן הבריכה הצפונית קיים חריץ ניקוז ברוחב של כ-5 ס"מ הפונה לצפון ובסיסו כ-45 ס"מ מעל פני הים הממוצעים. בעיתות סערה, חודר נתז הגלים וממלא את הבריכה והמים מתנקזים באיטיות דרך החריץ שבדופן כך שקרקעיתה מכוסה במים בעומק שאינו עולה על 5 ס"מ. לאורך דפנות הבריכה ישנו צנר.
- כולא הגלים שבמערב התל (איור 17 א' וב'): באזור האקרופוליס של העיר חצובה תעלה רחבה החוצה את ראש הכף מצפון לדרום במפולש. תעלה זו קרויה כולא הגלים. זהו מתקן שיעודו להקטין את אנרגיית הגלים בשעת סערה כהגנה מפני רסס המבנים ושטיפתם. בדופן החציבה ניתן להבחין בארבעה קווים אופקיים של צנירי המסה (רבן, 1991). נבדק הצנר שבסיסו מותאם

הצנירים בבריכות הטרפו שבאכזיב ובקיסריה דומים לשיעור ההפרש הממוצע שבין הגאות לשפל. לעומת זאת, גובה הצניר ככולא הגלים שבדור גבוה יותר. מתקן זה הוא כנראה המתקן הקדום ביותר, ויתכן שהוא גם תוצר של פעילות בלייה במפלס הים הגבוה של התקופה הביזנטית.



איור 18: היחס בין עומק הצניר הממוצע לזמן חציבת המשוער של המתקן.

ניתן לטעון שבחלק מהתקופה, היה מפלס הים נמוך יותר והמתקנים לא היו בתחום ההרטבה, או בתקופה אחרת היה המפלס גבוה יותר ואז המתקנים היו מכוסים באופן רצוף ולכן התפתחות הצניר הופסקה (ראה איור 12 ב, מחיצה בבריכת הטרפו המכוסה במים בה לא נראים סימני בלייה). לעומתם, בחופים עצמם, יתכן שגם בתקופות אלה הייתה בלייה בשיעור כלשהו. גם אם נקבל טענה זו ונעריך שמשך הזמן בו התקיימו תהליכי הבלייה היה רק כמחצית הזמן מאז נחצבו, הרי שקצב הבלייה עומד על לא יותר מ-20 ס"מ לאלף שנים.

רוחב טבלאות הסלע

ההסבר המקובל להתפתחות טבלאות הסלע הוא שתהליכי הגידוד והבלייה גורמים להתפתחות הצנירים. נסיגת הצניר משאירה בחזית המצוקון משטח סלעי. ניתן להניח, שרוחב טבלת הסלע הוא לפחות כעומק הצניר. יש אם כן, לבחון את רוחבן של טבלאות הסלע לאורך החוף בארץ. טבלה 3 מציגה נתונים של רוחב טבלאות הסלע כפי שנמדדו בארבעה אתרים בחוף הכרמל. המדידות נעשו במסגרת סדרת מחקרים של אוכלוסיית האצות והחלזונות המתפתחים על טבלאות הגידוד והמוקף בשיתוף עם גיל עינב ושרון (Einav, Sharon and Zahavi, 1995; Zahavi, 1998; Gil, Zehavi and Einav, 2008). האתרים הם איונים המוקפים מים, דבר המאפשר בחינת רוחב הטבלאות בכל הכיוונים. המדידות מאפשרות להבין את סדר הגודל של טבלאות הסלע בחופי הכרמל. מהמדידות עולה שרוחבן הממוצע של הטבלאות הוא כ-9



איור 17: חוף דור, כולא הגלים באזור המקדש א (למעלה) - מבט כללי מאזור המקדש. ב (למטה) - קטע מהצניר

סיכום קצב נסיגת הצנירים

במתקנים ובבריכות שנבדקו לא קיימת פעילות גלים אך גובה המים בהם משתנה. מכאן שהתהליכים הגורמים להיווצרות הצנירים הם תהליכי בלייה שאינם קשורים ישירות לעוצמת מפץ הגלים. גובה הצנירים מושפע מגובה ההרטבה והייבוש. במפנה מזרחי, או בבריכות סגורות, גובה ההרטבה הוא כגובה הפרשי הגאות והשפל או הפרשי המפלס שבין מילוי הבריכה בעיתות סערה לבין תקופות שקטות. בחלוף הסערה מתנקזים המים ומתאדים והמפלס יורד.

אומנם מספר האתרים שנדגמו קטן, אך ניתן בוהירות רבה להבחין בקשר שבין גיל המתקן לעומק הצניר ולקבל הערכה כללית לגבי קצב תהליכי הבלייה (טבלה 2). באופן כללי ניתן לראות, שבמתקנים עתיקים עומק הצניר גדול יותר מזה שבמתקנים מאוחרים. קצב הבלייה עומד על כ-10 ס"מ לאלף שנים. גם גובה הצניר הממוצע מצביע על צנירים גבוהים יותר במתקנים העתיקים יחסית למאוחרים (איור 18). המתקנים של דור – התעלה והבריכה, גבוהים ממפלס פני הים הנוכחי. כך גם המחצבה באכזיב. גובה הצניר בהם הוא כ-10 ס"מ בלבד. שאר המתקנים נמצאים בגובה פני הים הנוכחי. גובה

טבלה 2: סיכום מדידת צנירים במתקנים חצובים

אתר	אורך קטע המדידה	מספר מדידות	עומק צניר	סטית תקן בעומק הצניר	ממוצע הצניר	תקופת משוערת לחציבת/ הפעלת המתקן	זמן משוער
יחידות	מ'		ס"מ	ס"מ	ס"מ		שנים
דור - כולא הגלים	15	27	27	10.0	61	הלניסטית	2300
אכזיב - בריכת הטרפז	2	10	16	3.1	30	רומית	1900
קיסריה	47	47	11	6.7	40	נבנה ע"י הורדוס, שינה יעוד בתקופה הערבית	1300
דור - תעלה	3	14	5.7	1.3	10	ביזנטית	1000
דור - בריכה	3	14	5.5	0.4	7	ביזנטית	1000
אכזיב מחצבה סמוך לאנדרטה	2	10	18.5	2.5	10		?
	2	10	13.9	2.9			

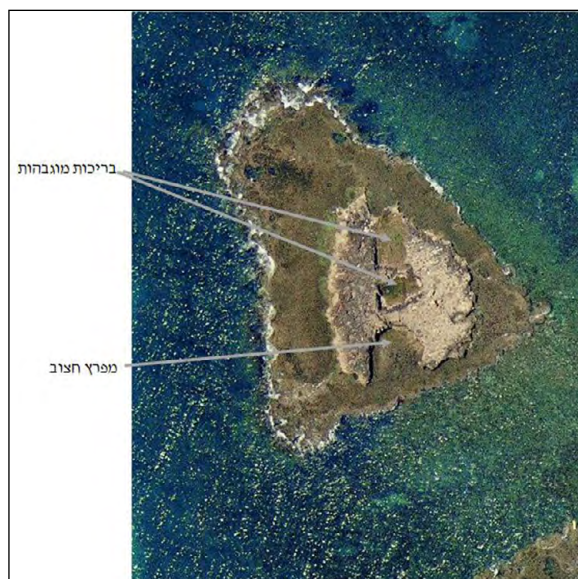
טבלה 3: רוחב טבלאות הסלע באתרים שונים בחוף הכרמל

מעגן מיכאל, אי היונים		דור, איון חופמי		דור, חצי אי בחוף הרחצה		דור, אי צפוני	
רוחב טבלת הסלע	כיוון	רוחב טבלת הסלע	כיוון	רוחב טבלת הסלע	כיוון	רוחב טבלת הסלע	כיוון
מ'	מעלות	מ'	מעלות	מ'	מעלות	מ'	מעלות
3.1	44	2.9	30	13.0	3	13.0	3
4.8	51	7.9	60	8.9	18	8.9	20
6.9	54	9.1	90	7.9	22	7.9	50
8.4	67	1.1	120	5.45	44	6.3	65
6.8	69	3.6	150	6.3	54	6.6	70
5.4	86	1.1	180	6.6	70	8.4	80
3.7	87	6.6	210	8.4	84	5.5	90
4.2	110	1.3	240	8.2	100	8.2	95
4.2	113	32.1	270	5.1	106	5.1	100
6.9	184	6.3	300	4.4	116	4.4	116
2.4	186	8.3	330	15.5	120	6.5	180
5.1	195	1.2	360	4.5	130	15.4	180
3.0	200			6.5	170	4.5	180
7.9	239			9.1	192	9.1	185
8.4	242			14.8	224	14.6	265
10.8	248			14.6	248	14.3	270
12.3	254			14.2	282	14.2	270
14.8	278			14.3	308	14.8	270
6.2	311			13.9	323	13.9	280
4.4	331			18.3	338	18.3	338
5.0	339			14.3	350	14.3	340
				9.6	359	9.6	359

סימני חציבה בטבלאות הסלע

תצפיות לאורך החוף מגלות אתרים רבים בהם התקיימה חציבה של הסלעים. רבן (1986) מדווח על מתקנים חצובים רבים לאורך חוף הגליל המערבי, וביניהן הבריכה באי שגביון שהוזכרה לעיל ושובר הגלים בחרבת נמל אכזיב נ.צ.מ. 27141516 (ראה גם פרנקל וגצוב, 1997). בטבלאות הגידוד המצויות בסמוך למצבת יד-ליד וביה"ס שדה אכזיב נראים בברור סימני חציבה שיצרו את פני הטבלה (איור 13).

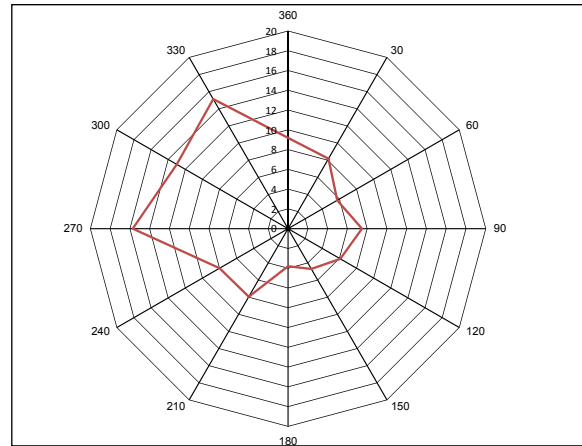
בחוף הכרמל, האיון של נווה-ים הוא תוצאה של חציבה שהרחיבה מעגן קטן והשאירה את האי כשובר גלים. בדור, קיימים אתרים רבים של חציבה. המעניינת ביותר לעניינינו היא החציבה באי הצפוני. בחלקו הדרומי של האי קיים מעין מפרץ, שקרקעיתו היא המשך הטבלה המקיפה את האי (איור 20). המפרץ פונה לדרום ואינו חשוף לפעילות הגלים, אך צנר מפותח מקיף אותו (איור 21). גם בנווה-ים ניכרים סימני חציבה במשטחי סלע הנושקים לים. אתרים אלה הם רק מקצת אתרי החציבה הקיימים בחופי הגליל המערבי והכרמל. לאור הממצאים על מספרן הגדול של מחצבות בחוף הכרמל והגליל, ניתן להניח, שלפחות חלק מטבלאות הגידוד הם מעשה ידי האדם.



איור 20: האי הצפוני בחוף דור

הקדמונים חצבו את הסלעים עד למפלס פני הים, העמיסו אותם קרוב לוודאי על סירות או רפסודות, והובילו אותם לאתרי בניה (רבן, 1986). לגבי החציבה באיונים, קיימת העדפה ברורה לחציבה במפנה המערבי, שכן בצידם המזרחי של האיונים קיימת השקעת חול (ואפילו יצירת שרטון) הגורמת להקטנת עומק המים ועקב כך להקטנת כושר ההעמסה של הסירות. מסיבה זו כנראה, טבלאות הסלע בגזרה המערבית רחבות יותר מאלה שבגזרה המזרחית כפי שניתן לראות מהנתונים בטבלה 3.

מטרים, והמשרע שלהן נע בין 1.0 ועד למעלה מ-30 מטרים. באופן כללי ניתן לראות שרוחב הטבלאות גדול בכיוון 270 - 330 מעלות (ראה איור 19).



איור 19: התפלגות רוחב טבלאות הגידוד במטרים, ביחס לכיוון באיונים שבחוף הכרמל.

דיון

כמו במחקרם של Rust and Kershaw (2000), צנירי גידוד אינם אמורים להתפתח בחופי הכרמל והגליל עקב העדר זמינותו של חומר גס לשחיקת הסלעים. צנירי גידוד בארץ יכולים להתפתח בחופי השרון או באתרים בודדים בחופי יהודה ופלשת. בחופים אלה אכן מתפתחים צנירי גידוד בבסיס מצוק הכורכר, אך אין היווצרות של טבלאות גידוד בשל היות הכורכר באזור זה בעל חוזק מכני קטן יותר שאינו יוצר משטח סלע בבסיס המצוק.

ממחקר זה עולה שקצב הבלייה כפי שהוא מתבטא בעומק הצנירים באתרים ארכיאולוגיים בארץ, עומד על כ-10-20 ס"מ ל-1000 שנים, קצב מתאים לקצב הבלייה המדווח מרחבי אגן הים התיכון. מפלס הים נמצא במפלסו הנוכחי כ-4,000 שנה בלבד. אילו היו טבלאות הסלע תוצר של התפתחות צניר, התעמקותו ונסיגת המצוק, היה רוחב טבלאות הסלע מוגבל לעשרות סנטימטרים בלבד. ניתן אם כן להסיק שקצב הבלייה אינו מספיק ליצירת טבלאות גידוד שרוחבן מגיע עד כדי 30 מטרים.

ניתן לטעון שתהליכי הבלייה אינם הגורם היחיד המשפיע על נסיגת המצוק, ושיש לקחת בחשבון גם תהליכי גידוד בהשפעת מפץ הגלים (Blanco-Chao et al., 2007). כדי לבדוק אפשרות זו, ניתן לבחון את רוחב טבלאות הסלע מסביב לאיונים (איור 19). בדיקת נתוני רוחב הטבלאות מראה שגם במפנים מזרחיים, בהם מפץ הגלים אינו משמעותי, רוחב הטבלאות נע בין כ-4-11.5 מ', שיעור גבוה בהרבה משיעור קצב תהליכי הבלייה האפשריים באזור. נדרש, אם כן, הסבר שונה להיווצרות טבלאות הסלע הנושקות לחופי הכרמל והגליל.

תודות

המחבר מבקש להודות לפרופ' דן באומן ולד"ר עמית מושקין על הערותיהם המועילות לשיפור המאמר. תודה גם לד"ר רחלי עינב ולמר רן גיל על עזרתם באיסוף נתונים ובהבנת העולם הביזי של טבלאות הסלע.

מקורות

אלמגור ג. 2002. חוף הים התיכון של ישראל. המכון הגיאולוגי, ירושלים, דו"ח מס' GSI/13/02.

באומן ד. 1972. אכזיב - ראש הנקרה: מורפולוגיה וסדימנטים של רצועת החוף. במערבו של הגליל, החוג האזורי לידיעת הארץ של המועצות "סולם צור" ו"געתון".

בנימיני ר. וענבר מ. 1982. החוף הסלעי - הגורמים המשפיעים עליו. אופקים בגיאוגרפיה, 6: 17 - 25.

גביש א. ופולישוק ב. 1977. סלעי החוף והכורכר בגליל המערבי - השפעת רסס הים ותכונות הגרגר על תהליכי ליכודם. נופים בגליל המערבי, קובץ מחקרים גיאוגרפיים בהוצאת החוג לידיעת הארץ של המועצה האזורית סולם צור געתון ואוניברסיטת תל אביב, החוג לגיאוגרפיה. עמ' 22-9.

ניר י. ואלדר א. 1986. מפלס מי תהום בבארות עתיקות כמציין למפלסי ים קדומים. המכון הגאולוגי, ירושלים, דו"ח מס' 34/86.

סיוון ד. 2006. שינויי מפלס הים התיכון ב-20,000 השנים האחרונות. הרצאה במסגרת יום כדור הארץ, מכון דוידסון לחינוך מדעי ליד מכון ויצמן למדע, רחובות. החברה הגיאולוגית הישראלית. http://stwww.weizmann.ac.il/g-earth/eart_day_2006/2006/3.ppt

סנה י. 1981. הפאליאוגיאוגרפיה וההיסטוריה של חופי דור בהולוקן. עבודת מוסמך, החוג לציוויליזציות ימיות, אוניברסיטת חיפה.

סנה י. וקלין מ. 1983. שינויים במפלס הים בחופי דור בהולוקן. אופקים בגיאוגרפיה, 8: 3-11.

ספרא ד. 1962. צורות המסה בטבלת הגידוד ובמזקף החופי של חוף הכרמל הדרומי. מחקרים בגיאוגרפיה של ארץ ישראל, 3: 15-30.

פרנקל ר. וגצוב נ. 1997. מפת אכזיב ומפת חניתה, רשות העתיקות.

רוזן ד. ס. 1999. בחינת מיקום מיטבי להצבת כלובי דגים במימי החופים של ישראל בים התיכון. דו"ח חיא"ל מס' H37/98.



איור 21: מפרץ חצוב באי הצפוני בחוף דור

יתכן, אם כן, שחלק מטבלאות הסלע המכונות טבלאות גידוד, הן טבלאות שנוצרו בזמן החציבה. לאחר שהסתיימה החציבה, ונותרה טבלת סלע, מתפתחת במקום אוכלוסייה מגוונת של אצות ובעלי חיים. זמן קצר לאחר שנוצרת הטבלה מתפתחת מושבה של צינורן בונה (Dendropoma petraeum) ממשפחת הוורמטידים. הצינורנים יוצרים כרכוב בחזית הפונה לים (Safriel, 1975). כתוצאה מכך, נוצרת על פני משטח הטבלה מעין בריכה המכוסה במים. כיסוי זה קיים גם בים שקט וגם בשעת שפל. ניתן לשער ששמירת הטבלה במצב של הצפה מדכאת אפשרות בלייה כתוצאה מהתייבשות וגידול גבישי מלח. עובדה זו נראית בברור במחיצות החצובות בבריכת הדגים הצפונית ובבריכת הטרפז שבאכזיב (צילום ב4). המשך התפתחות הטבלאות על ידי בלייה של מזקוף הכורכר איטית מאוד ואינן עולה על עשרות סנטימטרים מאז היווצרותן. הטבלה המוצפת מאפשרת התפתחות אוכלוסייה של תולען משולש (Vermetus triquetrus) המצפה בצורה צפופה את פני הטבלה ויוצרת קרום (Safriel, 1975). הקרום מצפה את פני הטבלה ומשטש את אופייה המקורי.

סיכום

התצפיות שנערכו באתרים ארכיאולוגיים חצובים בסלעי הכורכר, מצביעים על קשר חיובי בין עומק הצנר לזמן חציבה. יחד עם זאת עולה מתצפיות ומדידות, שהתהליכים הגיאומורפולוגיים הקשורים ישירות למפץ הגלים או לתהליכי בלייה, אינם יכולים להסביר את רוחב הטבלאות באזור. ההסבר לכך הוא, שיש הבדל של סדר גודל בין עומק צנרי הבלייה לרוחב טבלאות הסלע. דבר זה מבסס את ההשערה שחלק מטבלאות הסלע באזור זה הן תוצר של חציבת אבני גזית לצורך בניית הישובים שלאורך החוף.

- Goldsmith V. and Sofer S., 1983. Wave climatology of the southern Mediterranean: An integrated approach. *Israel Journal of Earth Science*, 32: 1-51.
- Inkpen R.J., Twigg L., and Stephenson W.J., 2004. The use of multilevel modeling in evaluating controls on erosion rates on inter-tidal shore platforms, Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. *Geomorphology*, 57: 29- 39.
- Israeli Antiquities Authority Underwater Archaeology, *Rock Cut Installations for Producing Salt*. <http://goo.gl/OG7lvF>
- Kogure T. and Matsukura Y., 2010. Critical notch depths for failure of coastal limestone cliffs: Case study at Kuro-shima Island, Okinawa, Japan. *Earth Surface Process and Landforms*, 35: 1044–1056.
- Laborel J., Morhange C., Collina-Girard J., and Laborel-Deguen F., 1999. Lithoral bioerosion: A tool for the study of sea level variation during Holocene. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 45: 164-168.
- Lambeck K. and Chappell J., 2001. Sea level change through the last glacial cycle. *Science*, 292: 679–686.
- Mart Y. and Perecman I., 1996. Caesarea: Unique evidence for faulting patterns and sea level fluctuations in the late Holocene. In A. Raban and K. G. Holum (eds.) *Caesarea Maritima: A Retrospective after Two Millennia*. Brill: Leiden, New York, and Koln, pp. 1-24.
- Netzer E., 1996. The Promontory palace. In Raban A. and Holum K. G. (ed.) *Caesarea Maritima: A Retrospective after Two Millennia*. Brill: Leiden, New York, and Koln, pp. 193- 207.
- Netzer E., 2008. *Herod the Great Builder*. Mohr Siebeck Publ. Tübingen, Germany.
- Nir Y., 1997. Middle and late holocene sea-levels along the Israel Mediterranean coast - evidence from ancient water wells. *Journal of Quaternary Science*, 12: 143- 151.
- Pirazzoli P.A., 2007. Sea level studies: Geomorphological indicators. In Elias, S.A., (ed.), *Encyclopedia of Quaternary Science*, Amsterdam: Elsevier, pp. 2974–2983.
- Rosen D.S., 1998. Characterization of meteorological climate in the study sector. Progress report 4. Assessment of marine environment impact due to construction of artificial islands on the coast of Israel. *Israel Oceanographic and Limnological Research*, Report H17/98.
- Rosen D.S., 2001. A Review of sea level monitoring status in Israel: http://www.gloss-sealevel.org/publications/documents/israel_2001.pdf
- רבן א. 1981. מתקנים ימיים ושרידי אניות טבועות. ספונים, 6: 13-22.
- רבן א. 1986. מתקנים חצובים לאורך חופו של הגליל המערבי. בתוך מ. ידעיה (עורך), *קדמוניות הגליל המערבי. משרד הביטחון - ההוצאה לאור, המועצה המקומית מטה אשר, החוג לידיעת הארץ, עמ' 209-234*.
- רבן א. 1991. עדויות לשוניים אנכיים ביחסי ים-יבשה מאתרים ארכאולוגיים. א. הוניגשטיין, (עורך), *מדריך סוירים לכנס השנתי של החברה הגאולוגית הישראלית, עכו, עמ' 117-137*.
- שטנר י. 1970: *גיאומורפולוגיה, הוצ. קרית ספר ירושלים*
- שפיר ו. 1993. שיטות איכסון וגידול דגי ים בבריכות (פיסקנות) ובמתקנים אחרים בקו החוף הישראלי ובאיטליה בתקופה הרומית-ביזנטית. עבודת מוסמך, החוג לציוויליזציות ימיות, אוניברסיטת חיפה.
- Allan J.C., Stephenson W.J., Kirk, R.M., and Taylor A., 2002. Lacustrine shore platforms at Lake Waikaremoana, North Island, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27: 207–20.
- Bird E. C. F., 1969. *Coasts*. The M.I.T. press
- Blanco-Chao R., Pérez-Alberti A., Trenhaile A. S., Costa-Casais M., and Valcárcel-Díaz M., 2007. Shore platform abrasion in a para-periglacial environment, Galicia, northwestern Spain. *Geomorphology*, 83: 136-151.
- Cooke R. U., 1979. Laboratory simulation of salt weathering processes in arid environment. *Earth Surface Processes*, 4: 347-359.
- Cooke R. U. and Smalley I. J., 1968. Salt weathering in deserts. *Nature*, 220: 1226 – 1227.
- Dey H. and Goodman-Tchernov B., 2010. Tsunami and the port of Caesarea Maritima over *longue duree*: a geoarchaeological perspective. *Journal of Roman Archaeology*, 23: 265 – 284.
- Einav R., Sharon Y., and Zahavi A., 1995. The relationship between wave energy and botanical population (macroalga and terrestrials plants) on the Pigion island, The Mediterranean Sea, Israel. *Sixth International Conference of the Israeli Society of Ecology and Environmental Quality Sciences*. Jerusalem, B: 532-537.
- Flinder A., 1976. Picina at Caesarea –A preliminary survey. *Israel Exploration Journal*, 26: 77-80.
- Gabler R E., Petersen J. F., and Trapasso L. M., 2006. *Essentials of Physical Geography*. Thomson Higher Education, Belmont CA, USA.
- Gil R., Zehavi A., and Einav R., 2008. Seaweed communities on abrasion platforms along the Newe Yam Island, in the North of Israel. *Israel Journal of Plant Sciences*, 56: 103-109.

- Stephenson W.J., 2001. Shore platform width – a fundamental problem. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 45: 511–27.
- Stephenson W.J. and Kirk R.M., 2001. Surface swelling of coastal bedrock on inter-tidal shore platforms, Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. *Geomorphology*, 41: 5-21.
- Sunamura T., 1990. A wave-flume study on the evolution of shore platform. *Annals Reports, Institute of Geosciences University of Tsukuba*, 16: 36-38.
- Sunamura T., 1991. Evolution of shore platform: A laboratory approach to the unsolved problem, *Journal of Geology*, 99: 761-766.
- Sunamura T., 1992. *Geomorphology of Rocky Coast*. Wiley, NY.
- Sunamura T., 1994. Rock control in coastal geomorphic processes. *Transaction Japanese Geomorphological Union*, 15: 253-272
- Taylor A.J., 2003. *Change and processes of change on shore platforms*. Unpublished PhD thesis, University of Canterbury.
- Trenhaile A.S., 1980. Shore platform: A neglected coastal feature. *Progress in Physical Geography*, 4: 1-23.
- Trenhaile A. S., Pepper D. A., Trenhaile R. W., and Dalimonte M., 1998. Stack and notch development, Hopewell Rocks, New Brunswick, *Canadian Geographer*, 42: 94-99
- Trenhaile A. S., 2004. Modeling the effect of tidal wetting and drying on shore platform development. *Journal of Coastal Research*, 20: 1049-1060.
- Trenhaile A. S., 2005. Modeling the effect of waves, weathering and beach development on shore platform development. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30: 613 – 634.
- Tsujimoto H., 1987. Dynamic conditions for shore platform initiation. *Science Report of the Institute of Geosciences University of Tsukuba A*, 8: 45-93
- Zahavi A., 1998. The relationship between wave energy and the geomorphological and botanical parameters (macroalgae and terrestrials plants) in two small islands along the Mediterranean coast, Israel. *International Geographical Union Regional Conference, Lisbon, Portugal 1998*. Abstract T5.
- Rohrlicht V. and Goldsmith V., 1984. Sediment transport along the Southeast Mediterranean – A geological perspective. *Geo-Marine Letters*, 4: 99-103.
- Rust D. and Kershaw S., 2000. Holocene tectonic uplift patterns in northeastern Sicily: Evidence from marine notches in coastal outcrops. *Marine Geology*, 167: 105–126.
- Safriel U. N., 1975. The role of Vermetid gastropods in the formation of Mediterranean and Atlantic reef. *Oecologia*, 20: 85-101.
- Sivan D. and Galilee E., 1999. *Holocene tectonic activity in the Galilee coast and shallow shelf, Israel: A geological and archaeological study*. *Israel Journal of Earth Sciences*, 48: 47-61.
- Sivan D, Wdowinski S., Lambeck, K., Galili E., and Raban A., 2001. Holocene sea-level changes along the Mediterranean coast of Israel, based on archaeological observations and numerical model. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 167: 101-117.
- Sivan D, Eliyahu D., and Raban A., 2004a. Late Pleistocene to Holocene wetlands now covered by sand along the Carmel coast, Israel, and their relation to human settlement: An example from Dor. *Journal of Coastal Research*, 20: 1035–1048.
- Sivan D, Lambeck K., Toueg R., Raban A., Porath Y., and Shirman B., 2004b. Ancient coastal wells of Caesarea Maritima, Israel: An indicator for relative sea level changes during the last 2000 years. *Earth and Planetary Science Letters*, 222: 315-330.
- Sneh Y. and Klein M., 1984. Holocene sea level changes at the coast of Dor, Southeast Mediterranean. *Science*, 226: 831-832.
- Sneh A., 2000. Faulting in the coastal plain of Israel during the late quaternary reexamined. *Israel journal of Earth Sciences*, 49: 21-29.
- Stephenson W.J. and Kirk R.M., 2000a. Development of shore platform on Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. Part one: The role of waves. *Geomorphology*, 32: 21-41.
- Stephenson W.J. and Kirk R.M., 2000b. Development of shore platform on Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand: The role of subaerial weathering. *Geomorphology*, 32: 43-56.