

חופי הים-התיכון

מאת יעקב ניר

אחרונה גלגל -

בדרכו

יציאתו

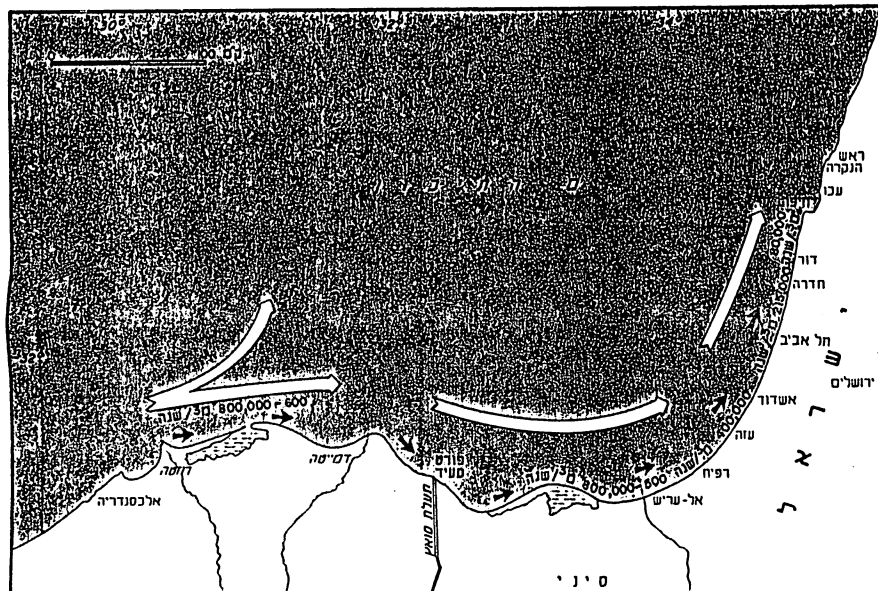
יעקב ניר יליד נס ציונה (1933) למד
גיאולוגיה ימית, בוגר הפקולטה
למדעי הטבע באוניברסיטה העברית,
ובעל תואר Ph.D בגיאולוגיה ימית
באוניברסיטת גטבורג - שוודיה. עובד
במחלקה לגיאולוגיה ימית, מיפוי
וטקטוניקה במכון הגיאולוגי, עוסק
בבעיות שונות הקשורות בחוף הים,
ובסדימנטולוגיה.

במפרץ-חיפה, ומעכו וצפונה שוב נעשית השפלה צרה, עד פגישתה ברכס ראש-הנקרה. במרכז הארץ מאופיין החוף לרוב אורכו במצוק הנמצא בעורפו (תמונה 3). המצוק מורכב ממיכלול סלעי-כורכר. רכסי-כורכר אחדים, המקבילים לקו החוף, נמצאים ממזרח לרכס החופי במישור-החוף וכן ממערב לחוף, בים, בעומקים שונים. הרכסיים החתימיים נמצאים עפ"י מתחת למעטה הסדימנטים החוליים והבוציים ובמיספר מקומות הם בולטים מתוכם.

מיפרצונים קטנים, שכמה מהם שימשו כעבר כמעגנות טבעיות, נמצאים בעיקר באזור החופים הסלעיים — בין דור לעתלית (תמונה 4), וכן באזור אכזיב-נהריה. איים קטנים, שהם שאריות רכסי-כורכר שנהרסו ע"י גורמי טבע ואנוש, נמצאים אל-מול החופים הסלעיים (תמונה 5).

חוף הים-התיכון של ישראל הוא קטע מהאזור הדרום-מזרחי של השקע הלבנטי באגן המזרחי של הים התיכון. אורכו של החוף, מראש-הנקרה ועד רפיח, כ-230 ק"מ (תמונה 1). חופי צפון-סיני, שכיונם באזור אל-עריש מזרח-מערב, יוצרים כעין קשת באזור ימית-רפיח, המתנשאת בחופי ישראל לכיוון כללי דרום-צפון. הועלתה טענה כי בחלק ניכר מאורכו מושפע אזור-החוף מתנועה (תנור עות?) טקטונית, אשר גרמה להעלאת הצד המזרחי — היבשתי ולהורדת הצד המערבי — הימי. למרות העדויות המרובות התומכות בדיעה זו, האומרת כי אזור החוף אכן איננו יציב וכי חלו באזור שינויים משמעותיים ביותר מהבחינה הטופוגרפית-טקטונית, קימים חילוקי-דיעות וספרי קוץ לא קטנים לגבי קיומו ועוצמתו של העתק חופי זה.

על חוף ים-התיכון של ישראל, על מקור החולות שבו והשפעת סכירת הנילוס על התהליכים המתרחשים בו.



תמונה 1: מפת מיקום המערכת של התא החופי של הנילוס. החיצים הכהים מציגים את הכיוון העיקרי של תנועת החול האורך-חופית וכמויותיה המשוערות. החיצים הבהירים מורים על תנועה כללית של הסדימנט העדין המגיע עד הנילוס

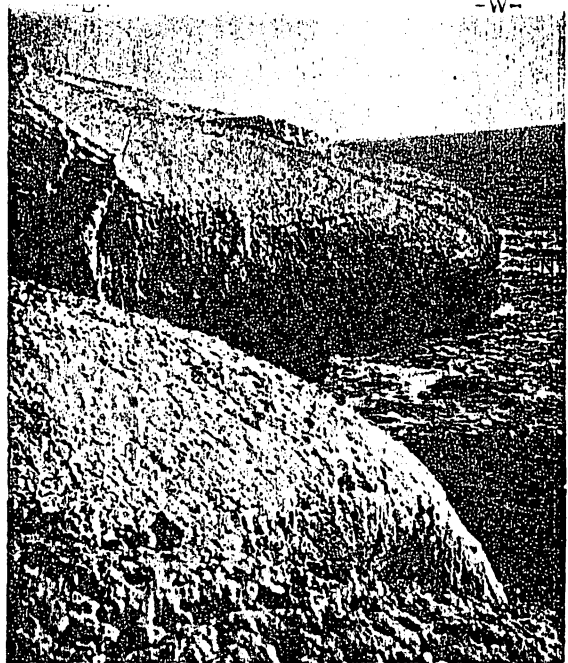
חופי-ישראל שבים לתא החופי-סדימנטרי של הנילוס, שתחילתו ממערב לשפך-הנילוס ברישד (בין רשיד לאלכסנדריה), וקצהו בראש-עכו, מרחק של כ-700 ק"מ. בתא זה קימת תנועת סדימנטים ברורה ממערב למזרח, כלומר מחופי הדלתה לעבר חופי צפון-סיני, ומשם צפונה-מזרחה אל חופי ישראל ולאורכם. המינרל קנרץ הוא המרכיב העיקרי של החולות ברוב החופים, פרט לאזורים אחדים, בהם שלט חול ממקור גירני מקומי, כגון מול הכרמל ובקטע המבודד בין עכו לראש-הנקרה.

תשתית סלעית ודינמו

תשתית-החוף נמצאת כמה עשרות ס"מ עד כמה מטרים מתחת לפני השטח, היא בדרך-כלל סלעית, ובנויה שאריות גידוד של כורכר ולעתים גם סלעי-חוף (תמונה 6). לעתים מתגלה התשתית כתוצאה מהסרה של החול, בעת סעורות-החוף החזקות.

הכרמל שולט

שני רכסים סלעיים מגיעים עד לים: האחד הוא הרכס הקירטוני של ראש-הנקרה (תמונה 2), שמבחינה גיאולוגית הוא חלקו הדרומי של אזור החוף הלבנוני, הסלעי ברובו; והשני הוא המשכו של רכס-הכרמל, היורד אל החוף ומתמשך ימה מיספר קילומטרים בשכבותיו הסלעיות. לראש-הכרמל השפעה עיקרית על יצירת שפלת-החוף של ישראל ועל רוחבה. חדירתו של הכרמל וכליטתו מהשלד ההררי של ישראל לעבר צפון-מערב היא שחסמה את הסדימנט הנע צפונה מהנילוס וגרמה להרברתו, באזור מרגלות-ההרים במישור-החוף, בשפלה שהלכה והתפשטה ממזרח למערב. שפלה זו רחבה מאוד באזור פלשת, הקרוב יותר למקור הסדימנטים, היא נעשית צרה-יותר בשרון, ובחוף הכרמל מגיע רוחבה לכמה מאות מטרים בלבד. מחיפה וצפונה חוזרת שפלת-החוף ומתרחבת, בעיקר



תמונה 2: צוקי קירטון ונקרות בחופים הסלעיים של ראש-הנקרה



תמונה 3: מצוק הכורכר החופי מדרום לנתניה בעת סערה. גליהים קציפים את כל שטח החוף, מגיעים לבסיס המצוק ואף נוגסים בו.

מונחים

כיוונית, תקופה — תחילתה עם סיום התקופה הרומית בתחילת המאה ה-4 לסיומה עם הכיבוש הערבי של הארץ, (בין השנים 326-640).
הולוקן (Holocene) — תקופת ההווה. החלה לפני כ-10,000 שנה — עם סיום תקופת הוורם וירם (Würm) — השלב האחרון של תקופת הקרח (אחת מתוך 4 שהיו בפליסטוקן). עם סיומה, לפני כ-10,000 שנה, החל ההולוקן.
חול — סוגים — החול מחמץ ע"פ גדלו (גדלים שנקבעו שרירותית, למטרות סטטיסטיות).
חול עדין גרגר — חול עדין ביותר, גודלו מ-62-250 מיקרון.
טיין (silt) — גרגרים שגודלם בין 62 ל-4 מיקרון.
חרסית (clay) — גרגרים שגודלם מ-4 מיקרון ומטה, מכילים עפי"ר מינרלי-חרסית.
חול קרבונטי — סדימנט שגרגריו בגודל חול (62-2000 מיקרון) והרכבו גירני.
שכבת קלקאריט — חול גירני, עפי"ר גס גרגר, שהפך ע"י מילוט (צמנטציה), לשכבת סלע גירני.
מדרף היבשת (continental shelf) — המישטחים או הטרסות הימיות הרדודות המתמשכים מהיבשה לעבר הים מכונים בשם זה. עפי"ר בקצות המדרף משחנה השיפוע והאיזור נקרא בשם "קצה המדרף" או המעבר למידרון היבשתי.
סדימנטים — מונח המכוון בדרך כלל לחומר הנמצא בתרחיף במים ומושקע ממי נהרות, אגמים או ימים, וכן משקעים השוקעים באמצעות הרוח והקרח. רוב סלעי ישראל מקורם סדימנטרי.
פליסטוקן (Pleistocene) — תקופה גיאולוגית המכסה את רוב תור הרכיעון. החלה לפני כ-1.8 מיליון שנה והסתיימה עם תחילת ההולוקן.

החול החופי קשור לרצועה החולית הנמצאת ומתפשטת מהחוף אל הים המתעמק בהדרגה במדרף-היבשת, ומגיעה למרחק של 2-3 ק"מ מהחוף. כללית, קטן גודל הגרגר והולך עם התעמקות המים והמרחק מקו-החוף. מקצה הרצועה החולית, ומעברה בעומקים גדולים יותר, קטן גודל הגרגר והופך לחולי-עדין, טיני וחרסיתי. עובי שיכבת החול התתימי אינו גדול, והוא בדרך-כלל מטרים ספורים, אולם יש שהוא מגיע עד 20 ואף 30 מ'.
 במאמר שכתבתי ב-1982 חילקתי את חופי צפון-סיני וישראל לשבעה אזורים, על-פי מאפיינים סדימנטריים-מורפולוגיים: מפרץ א-טינה, חופי ימת ברדייל, חופי צפון-סיני מברדייל לרפיח, חופים של מצוקי-הכורכר בין רפיח לחדרה, חופי-הכרמל, חופי מפרץ חיפה וחופי צפון-ישראל, בין עכו לנהריה. בקלר וחבריו (1980) חילקו את חופי-ישראל לחלוקה פיסיוגרפית מפורטת יותר, המורכבת מתשעה איזורים בחופי-ישראל כלכד.

דיונות-חול נמצאות לאורך החופים: באזורים די נרחבים בצפונה של הדלתה; שטחים ענקיים נוספים משתרעים בצפון סיני ולאורך החופים שם ובישראל. הדיונות שלאורך חופי הים-התיכון של ישראל שטחן כ-340 ק"מ² והן המשכם הברור של שטחי הדיונות הענקיים של צפון-סיני, הנאמדים ב-9,000 ק"מ². הדיונות של ישראל מופיעות אונות אונות, הקשורות בדרך-כלל לאיזור החופי באמצעות פתחי הנחלים. השטחים נרחבים יותר בדרום-הארץ והם מצטמצמים והולכים עם המרחק מהמקור — כלפי-צפון. במפרץ חיפה נמצא שטח הדיונות הצפוני ביותר, והוא אשר קלט בעבר את עורפי החול שהגיעו לאורך החופים ובים הרדוד לאיזור קצה התא החופי של הנילוס. מצוקי הכורכר הגבוהים גורמים לניתוק מלא של אזורי הדיונות מהאיזור החופי, והאפשרות לקשר בין גופי-החול

השונים שבחוף וביבשה קימת רק בקטעים בהם המצוק אינו קים, דוגמת פתחי-הנחלים. על-פי נתוני המפה נראה כי חלק ניכר מהנחלים היורדים מהאיזור ההררי אל שפלת-החוף הוסטו מיספר ק"מ ע"י הדיונות החודרות ומתפשטות לפני הישפכנ לים צפונה — דוגמת נחל-שורק או נחל-לכיש.
 במצב טבעי נקבעות תכונות-החוף ע"י היחסים בין המקורות המספקים סדימנט לחוף לבין מרכיבי-כוחות הסדימנטים הלא-מלוכדים וטיבם, אלה שביבשה ובים הסמוך, קביעות מקור-האספקה, עוצמת הגלים והזרמים, הימצאות סלעים באיזור הימי והיבשתי של החוף — לכל אלה השפעה מכרעת על עיצובו הטבעי של האיזור החופי. התערבות האדם בתהליכים החופיים, למשל פעולת סילוק-חול מהמערכת ע"י כריה, חסימת מקורות חול באמצעות סכירה ואיגום-נחלים, או הקמת מיבנים מלאכותיים בחוף דוגמת שוברי-גלים ונמלים, גורמת לרוב להיפגעות מאזנים שליליים קצרים או ארוכי-טווח, ולהרס החוף וסביבתו. בחופי הים התיכון של ישראל נעשתה עד היום פעילות באזור רים רבים, שכתוצאה ממנה נגרמו בהם הרס ונוקים.

השפעת סכרי-אסואן

הנילוס הוא ספק הסדימנטים לכל מערכת הדלתה וחופי דר"מ הים-התיכון, לפחות מאז הפליסטוקן התיכון. בתקופת ההתקרחות של הוורם (Würm) חלה ירידה ניכרת במיפלס האוקיאנוסים ולכן גם של בסיס-הניקוז. במשך תקופה ארוכה שפך הנילוס מימיו הרחק בים מצפון לקו-החוף העכשווי, לאיזור המכונה כיום ה"חרות של הנילוס".

עם התייצבות מיפלס-הים, נמצא חוף הדלתה באופן כללי מדרום לחוף הנוכחי. מאז אותה תקופה, שהחלה לפני כ-6,500 שנה בערך, גדלה



תמונה 5: שרידי רכס כורכרי במרחק לא רב מהחוף, חלקם יוצרים איים קטנים, ואחרים מגיעים עד למיפלים הים כטבלות גידוד.



תמונה 4: חופים סלעיים וטבלות גידוד באיזור המיפוצונים של דור

התערב האדם במערכת הנילוס ע"י בניית סכרים, ובעיקר אלה שבאסואן, היה הנילוס מאבד כ-20% ממימיו בהצפה ובאיוריו במצרים, לאורך עמק הנילוס ובדלתה. לפני הקמת הסכר הגבוה באסואן ("סד אל עאלי"), היו פותחים מדי שנה, בתקופת השטפונות של סוף הקיץ, את ששת סכרי הנילוס במצרים, וכך "מאןררים" ומנקים את כל מערכת המים. מאז שנת 1964 נסכר הנילוס סופית והתהווה "אגם נאצר", ששטחו כ-6,500 ק"מ². רוב הסדרי מנטים המגיעים לאגם מושקעים בדלתה חת-אגמית גדולה, המשתרעת צפונה, כדי 40 ק"מ ממקום כניסת הנהר. כיום עוברת בסכרי אסואן ומוורמת

טוען כי התקדמות קרי-החוף של הדלתה היתה לפני סכירת-הנילוס, בסדר-גודל ממוצע של כ-15 מ' בשנה, כלומר צמיחה של כ-100 ק"מ מאז סוף ההצפה של הטרנסגרסיה הפוסט-יורמית, שהחלה לפני כ-6,500 שנה, ערכים הנראים כמוגדר מים ביותר. ססטיני (Sestini, 1976) קובע כי שלור-חות הנילוס בפתחי דמיטה ורוזטה גדלו בכ-5 עד 8 ק"מ בין השנים 1,800 ל-1,900, עת החל הרס החופים בעקבות סכירת הנילוס באסואן.

שטחה של הדלתה היבשתית של הנילוס כ-22,000 ק"מ², ושיפועו של הנילוס בה הוא מיזערי, 1:12,300 בלבד. בחחילת המאה הנוכחית, בטרם

הדלתה והתפשטה צפונה כשהיא מוזנת ע"י הסדרי מנטים המוכאים ע"י הנילוס ומורכדים בה ובחור-פיה. מאחר שמיספר זרועות-הנהר — טבעיות ומלאכותיות כאחת — הגיע בעבר לכדי 7 ואפילו 9 (כפי שצין בשעתו הרודוטוס) היתה התקדמות קרי-החוף בצורה מעגלית-יותר מאשר כיום, עת הסדרי מנטים מגיעים לים בשני שפכים בלבד: המזרחי, באיזור דומיט (דמיטה), והמערבי, באיזור רשיד (רוזטה) (ראה תמונה 7).

טוסו (Tousson, 1925) צין קרי-חוף עתיקים משוערים של הדלתה, בהסתמכו על עדויות גיאולוגיות וארכיאולוגיות-היסטוריות. אלים (Aleem,

תמונה 7: בורג אל רשיד, חוף הצד המערבי של השלוחה היבשתית של זרוע רשיד (רוזטה). שלוחה זו נהרסת בקצב מהיר מאוד; המגדלור הנראה משמאל היה לפני כ-100 שנה וכיום נמצא כק"מ בים.



תמונה 6: תשתית סלעית של החוף שהתגלתה כתוצאה מהסרת המעטה הדק של החול אשר כיסה אותה. בתמונה שכבות כורכר שנחשפו מנפון לנמל קצא"א בזיקים.





תמונה 9: חוף חלוקים גיריים – חופי צפון שפלת הכרמל. חלוקים אלה נחשפים בחוף ומתכסים חול בקיץ. זהו אחד החופים היחידים בהם מצויים חלוקים.



תמונה 8: קטע מכביש פורט-סעיד-דומיט. כביש זה הועתק מספר פעמים דרומה מחמת ההרס הניכר שנגרם מגליהים.

ישראל ולאורכם עד עכו. הקטע מראש-עכו לראש-הנקרה מבודד מאספקת החול המגיע כיום מהנילוס. חופי תא זה עניים מאוד בחול, החול שם בעיקר קרבונטי, ממקור מקומי, ימי ויבשתי כאחד. עד שנת 1964 נוצלו גם החולות כאן, כבשאר חופי-הארץ, ניצול כלכלי כ"זיפוזיף" לבניה, ורוב העתודות ניכרו וסולקו מהחוף, שנותר סלעי וכמעט ללא חול לרוב אורכו. תא זה דומה מאוד באופיו לקטעים רבים בחופי דרום-לבנון, המאופיינים ע"י תאים קטנים מאוד, עצמאיים ומבודדים ע"י פנים ורכסים הנושקים בינם.

עיקר המים והסדימנטים שבנילוס מקורם בהרי אתיופיה. עובדה זו קובעת את ההרכב המינרלוגי של החולות, המורכבים בעיקר מהמינרל קורץ ומכמות קטנה של גיר, שברייצדפים ומינרלים כבדים: הורנבלנדה, אפידוט, אוגייט ומיקה. תנועת חולות-החוף הנוכחית פעילה במתכונתה זו לפחות מאז התיצבות מילס-הים לפני כ-6,500 שנה, ויש הוכחות המראות כי גם לפני-כן היה אופיה דומה לנוכחית. וזו בקיץ כלליים תנועת החול החופית:

- (1) תנועת חולות בעזרת זרמי-אורך החוף (longshore-currents), מאיזור פתחי הנילוס מזרחה לעבר צפון-סיני, ומכאן צפונה, לעבר חופי-ישראל עד לראש-עכו.
- (2) תנועה אֵאולית של החולות החופיים לעבר היבשה. חלק מהחולות שהצטברו בחופים הובלו אל תוך היבשה ויצרו שם דינונות לאורך רוב חופי-הדלתה, צפון-סיני וישראל. חדירה זו של החול התאפשרה רק באזורים בהם לא היה מחסום פסי, דוגמת מצוק או ביצה. באזורי המצוק שימשו פתחי-הנחלים כפערים

במרחק של כ-500 מ' דרומה לקר-החוף, נמצאה בשנות החמישים לידו. מיפוי קר-החוף מול המגד-לור של בלטים, שנערך ע"י חברת תעלת-סואץ, הראה על בנית החוף והצטברות חול עד לתחילת שנות-הששים, עת קו החוף היה כ-500 עד 600 מ' צפונה למגדלור. מאז הוקם הסכר הגבוה באסואן החלה נסיגה ניכרת של קו החוף, ובשנת 1981 היה כבר כמה עשרות מטרים צפונה למגדלור, ויש להניח כי בעתיד הקרוב יסכן הים את המיבנה. הכביש בין פורט-סעיד לדומיט, בחלקה הצפון-מזרחי של הדלתה, עבר בשעתו לאורך השרטון החופי בין שפך דומיט לבין פתח תעלת-סואץ. גם כאן חל הרס ניכר בחופים, והשלטונות נאלצו להגן על החוף בקירות-ים, וכשהאחרונים נהרסו (תמונה 8), נאלצו להעתיק את הכביש דרומה, פעמים אחדות, אל-תוך אגם מנולה. באיזור פורט סעיד חלה הצטברות רבה של חול והחופים נבנו והתרחבו, עקב בנית שובר-גלים שאורכו כ-6 ק"מ, המגן על פתחה של התעלה.

אינמן ועמיתיו (Inman, 1976) חישבו את ממדי הנסיגה של חלק מחופי-הדלתה לתקופה של כ-40 שנה, והם בין 7 מ' ל-143 מ' בשנה. כנגד זה במיפרצים הרחבים של הדלתה אירעה בדרך-כלל הצטברות של חול.

מאזן החולות

חופי הים-התיכון של ישראל מהנים את חלקו הסופי של התא החופי-סדימנטרי של הנילוס, שחילתו בין רשיד לאלכסנדריה, וקצהו בראש-עכו. בתא סדימנטרי זה קימת תנועת סדימנטים נטו ממערב למזרח, כלומר מחופי הדלתה לעבר חופי-צפון-סיני, ולאחר מכן צפונה-מזרחה, לעבר חופי-

לים כמות סדימנטים מיזערית של כ-2 מיליון טון, מתוך כמות שנתיית ממוצעת של 110 מיליוני טונות המגיעה לאגם-נאצר וכאמור שוקעת שם.

עם החסימה המוחלטת של הסדימנטים באגם נאצר והזרמת מים עניים בסדימנט בנילוס, מהאגם ועד לים, חלו תהליכי הרס גם בגדות-הנילוס וגם בחופי הדלתה. הדו"ח המצרי (1981), מצין אזורי-הרס ולעומתם אזורי-השקעה לאורך חופי-הדלתה. עיקר ההרס הוא בשלושה אזורים: במערב הדלתה, בקצה הצפוני הקמור של הדלתה באיזור בלטים, ובאיזור שבין דומיט לפורט סעיד.

הרס מרשים בממדיו חל באותן שלוחות יבש-תיות אשר ליוו את פתחי הנילוס באיזורי דומיט ורשיד. הנילוס הביא חומרי-סחף שהורבדו ליד פתחיו והאריכו במהירות את השלוחות, אשר פתחיהן שימשו כשערי-כניסה ימיים למצרים, ועליהן הוקמו במאה ה-19 מיבצרים ומיבנים אחרים. כיום, לאחר ההרס הניכר בשלוחות שבפתחי-הנהר, נמצאות שאריות אותם מיבנים במרחק רב ביים. נילסן (Nielsen, 1973) מביא את פתח הזרוע המערבית, זו של רשיד, כדוגמה להרס ולנסיגת-החוף. בשנת 1898 היה המגדלור של רשיד במרחק של כ-950 מ' דרומה ביבשה מקצה השלוחה המערבית של איזור השפך; עד שנת 1926 נסוג קר-החוף ועבר כבר לידו, ובשנת 1942 הוצף המגדלור במי-הים. לכן נבנה בשנת 1954 מגדלור חדש, כ-2.4 ק"מ דרומה לישן, שהושמד. כיום, לאחר נסיגה משמעותית נוספת של קר-החוף, נמצא המגדלור החדש כק"מ אחד בים (תמונה 7). סעיד (Said, 1958) מדווח כי בבורג-אל כורלוס, הנמצא ליד בלטים, גרמה נסיגת-החוף להזזת מיבני הכפ-ריים שלוש פעמים בתוך 70 שנה. מצודה תורפית אחת מני-רבות לאורך חופי הדלתה, שהיתה באיזור



תמונה 10: מצוקי הכורכר הגבוהים והתלולים של חופי השרון באזור נתניה. מימין: בגג המצוק מובלטות שכבות קשות (ה"פלאטה"), היוצרות גושים המידרדרים לחוף. למעלה: מדרון משופע "רך" של מצוקי הכורכר; שיכבת חול כהה יוצרת קשת קעורה הבולטת מאוד בחתך ומדגישה את המקור הדיוני של כורכר זה.



קטעים בחופי-אכזיב קימים ריכוזי חלוקים גירניים (תמונה 9), בעוד שבחופי השרון החלוקים הנם גירניים שטוחים.



כמויות החול הנמצאות כיום בחופי הדלתה של הנילוס, צפון-סיני וישראל, ובאזורים הסמוכים להם בים וביבשה, הן גדולות ביותר. חישובי כמויות החול המוצגים להלן הם מדויקים ככל האפשר ומסתמכים על חתכים גיאופיסיים תתי-ימיים, מפות ימיות ויבשתיות, וכן על מיספר קידוחים ימיים. חומר גיאופיסי מפורט קים רק לגבי מדף-היבשה של ישראל וחלקים מהמדף של צפון-סיני, והוא אשר שימש כבסיס לחישובי עתודות החול במדף זה. בדלתה ובחלקים ניכרים בצפון-סיני נמדדו רק שטחי החול שבמדף ולא ניתנת לגביהם כל הערכה כמותית, בגלל מידע חסר.

מפות האדמירלות הבריטית (1951), ועבודותיהם של אל וקיל (1971, El Wakeel) ושל מיס-דורפ ורססטיני (1976, Misdorp & Sestini), מראות כי בחופי צפון-סיני ובחופי הדלתה וסמוך להם, ובעיקר בעמקי מים גדולים, נמצאות כמויות חול גדולות מאוד בשטחים המגיעים לכדי 1,700 ק"מ².

כמויות-החול הנמצאות במדף-היבשה של ישראל, ברצועה החולית הצרה הסמוכה לחוף, ובמים העמוקים-יותר (מתחת למעטה סדימנטים דקי-גרגר המכונים Nile Lutite), חושבו על-ידי (1973 ו-1983). שטחי הרצועה החולית הסמוכה לחוף, שרוחבה הממוצע מגיע כאמור ל-3 ק"מ הם כ-720 ק"מ²; ועובין הממוצע של השכבות המכילות חול במדף-היבשה מגיע לכדי 12 מ'. כמות

מרוכים יותר מאשר היום, היתה ורימה חזקה בוא-דיות של מידבריות מצרים וסודן, ואז עלתה החשיבות היחסית של המקורות המקומיים בהספקת כמויות די נכבדות של חולות לנילוס ובעקיפין למערכת הכללית של התא החופי שלו. אף ייתכן כי "גלי" אספקת-החול למערכת החופים והדיונות החופיות הושפעו מאוד מן השינויים בורימת הנחלים במידבריות אלה.

עיקר הסדימנט המגיע עם הנילוס הוא עדין-גרגר בתחומי הטינים (Silt) והחרסיות (Clay). ישנם חילוקי-דעות לגבי אחוז החול בטענות, והפירסומים מסתמכים על מדידות באיזור הסכרים שמצפון לקהיר. באחרונה פירסם חגאג (Haggag, 1977) נתונים גרנולומטריים אודות הרכב טענות מי-הנילוס כדלקמן: חול, 27%; טין, 40%; וחרסית 33%; אולם יש לפקפק במידת-מה בהגדרת גודל גרגרי ה"חול", הכולל אצלו גם חלק מהגדלים המשתתכים לטיין.

תרומת נחלי ישראל למערכת החופית היא מיוע-רית בלבד, מאחר שהסדימנט העיקרי המגיע לים מקורו בקרקעות החרסיות, המכילות אחוז נמוך ביותר של חול. לעומת-זאת, הרס צוקי-הכורכר בחופי פלשת והשרון תורם במידת-מה גם למרכיב החולי של החוף.

מרכיב הקרבוט בחולות החוף הוא נמוך ביותר, פרט לאזורי חוף-הכרמל וחופי עכו-ראש-הנקרה. החול שמקורו בנילוס עני מאוד בקרבוט, וזאת כתוצאה מהרכב הסלעים באיזור מוצא הנהר וני-קרוז: אבני-חול נוביות וכולות. המיקטע הקרבוטני אינו עולה ברוב חופי הארץ על 10% ומורכב ברובו שברי צדפים מקומיים: Arca, ו-Cardium כצפון-סיני, ו-Glycymeris, שהוא הצדף הנפוץ ביותר לאורך חופי-ישראל. בחופי שפלת-הכרמל ובמיספר

לחדירת חול. שטחי הביצות יצרו אף-הם מחסום, אולם במידה פחותה ממצוקי-הכורכר. על-פי הממצאים הגיאולוגיים, ובעיקר בהסתמך על עדויות ארכיאולוגיות, נראה כי קצב יבוא החול לא היה אחיד, והוא הגיע בגלי-אספקה בתקופות שונות. אחד הגלים החשובים היה בתקופה הפוסט-כינוסית, שרידי ישובים מגיל זה מכוסים חול, ללא מימצאים ארכיאולוגיים.

מקור מקומי לחול בחופי-הארץ הם מצוקי הכורכר. כתוצאה מהרס הרכס החופי, שהחל מיד עם הגיע מיפסל הים לזה הנוכחי, נוספו למערכת בחוף הישראלי כמות חול וסדימנט-עדין יותר בכמ-ויות ניכרות-יחסית.

כמות הספיקה השנתית של הנילוס מגיעה לממוצע של כ-84 מיליארד מ³/שנה. במשך שלושה עד ארבעה חודשי-השטפונות, בסוף הקיץ, זורמת בנילוס בממוצע כל הכמות המגיעה מאחיופיה באמצעות האפאי, הוא הנילוס הכחול, המספק כ-80% מכלל ספיקת המים, וכן את רוב הסדימנט. מתוך כמות זו הגיעו לים רק 70 מיליארד מ³ בלבד; השאר שימשו להשקיה וכן התאידו במצ-רים. גם כמות הסדימנט המגיעה לים פחותה מזו שהיתה מגיעה לדרום-מצרים: מתוך כמות ממוצעת של כ-120 מיליון טון, היו מושקעים כל שנה כ-24 מיליון עם מיה-הצפה והשטפונות במצרים; כשני-שלישים מכמות המים והסדימנט היו נשפכים לים בפתח המערבי של הנילוס ברשיד, בעוד ששאר הכמות נשפכה דרך שפך דומיט. כיום הנילוס הוא למעשה מעין תעלת-ניקוז והורמת-מים לצרכי האדם והחקלאות, ובשני פתחיו כמעט שאין כל ורימה לים ולכן הם רדודים ביותר וסתומים למחצה. אין-ספק כי בתקופות בהן היו המישקעים

מיליוני-טון בלבד (או כ-13 מיליוני מ'). כמות זו עולה לעין-ערוך על הכמות המגיעה לחופי ישראל, והיתה מושקעת ברובה לאורך חופי הדלתה. סוף תקופת הירס, הגיעה על פי אותה הערכה כמות של כ-260 מיליארד מ' חול למערכת החופית. רובו של חול זה הגיע ל"ים" הדיונות של צפון-סיני, אשר כאמור הוערכה בהם כמות של כ-180 מיליארד מ' חול ולאחר 1,700 ק"מ של שטח-חול בים, אשר כמות החול שבהם אינה ידועה. קימת מובן גם אפשרות כי הערכות אלו שגויות.

מצוק הכורכר החופי

לאורך חלק ניכר מחופי הים-התיכון של ישראל, בעיקר בצפון-פלשתי ובחוף-השרון, בין ראשון לציון לחדרה, קים בעורפו של החוף מצוק-כורכר. מצוק זה די תלול וגבוהה עולה לעתים על 50 מ' (תמונה 10). מבחינה סטריגרפית מורכב הכורכר משכבות מתחלפות של חול-קורץ שהתקשה לאבן-חול, בדרגות-ליבוד וקושי שונות, ואשר לרוב יש בה "שיכוב צולב" (והוא ה"כורכר"); שכבות חול מלוכד-למחצה או שאינו מלוכד ושצבעיו בהירים, חמרה בגוני אדום שונים, קלה וכבדה, וכן חרסיות שחורות. באזורים אלה קימת גם שיכבה קלקרניתית קשה — הנקראת "פלאטה" — והיוצרת את גג-המצוק.

רצועת-החוף הסמוכה למצוקים — ובמיוחד באזור השרון — היא צרה מאוד, וכתוצאה מכך רב הוא ההרס הימי בבסיס-המצוק; הרס זה גורם להתמוטטויות של גושים גדולים אל רצועת-החוף ומאין אותן. אלה מסכנים חיי-אדם ופוגעים ברכוש (תמונה 11). הגשם והרוח מוסיפים אף-הם להרס מצוק הכורכר, ע"י ערוץ פני השטח וסילוק חומר מפני המצוק אל חוף-הים. כאמור, בים חל מיון, כשגר-החול מצטברים ונכנסים למערכת החר-פית, בעוד החלקיקים העדינים מגיעים למים העמוקים-יותר ושם מורבדים יחד עם הסדימנטים הבוציים שמקורם בנילוס.

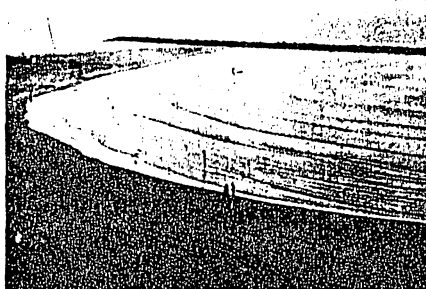
שרידי התתימיים של רכס-הכורכר, היוצר את המצוק, ורכס או שניים נוספים, ניכרים היטב בקרקעית-הים כשאריות-סלעים, עד למרחקים של 500 ו-600 מטר מקר-החוף הנוכחי. לעתים ניתן לזהות באותן שאריות-סלעים קני-צורה של רכסי הכורכר המקוריים שנהרסו וכן של הוודיות אשר חרצו בהם.

מיכנים מלאכותיים והשפעתם

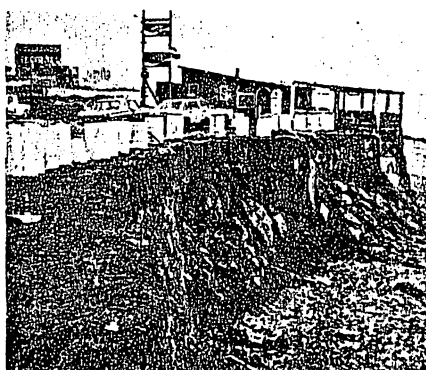
מיכנים מלאכותיים המוקמים באזור-החוף או בשטח המים הרדודים נבנים בדרך-כלל למטרות נופש — מרינות ושוברי-גלים מנוחקים, או למט-רות כלכליות — נמלים, בריכות מיי-קרוז לתחנות כוח, קירות-ים וכד'. כעיקרון, מיכנים כאלה עוצ-רים את תנועת החול לאורך החוף וגורמים להר-דתו ולצבירתו בצד "מעלה" ורס-החול. השפעתם



תמונה 11: הרס ניכר בחופי הפארק הלאומי באשקלון. ההרס כאן הוא לאחר הקמת הנמל בזיקים.



תמונה 12: גופים מלאכותיים הצוברים חול. בתמונה המפרץ הגדול והטומבולו של שובר הגלים הדרומי בנתניה.



תמונה 13: הרס בחופים הסמוכים לשובר הגלים בתל-ברוך. הרס המצוק נמשך כאן מאז הקמת השובר בשנת 1969.

מזה בכ-40%, אפשריים לכך שני הסברים: (1) כמותי-החול המיובאות כיום קטנות מאלו שהגיעו בעבר; (2) תוך כדי עליית המיפלס והתקד-מות הים אירעו הסעה והשקעה-מחדש של חולות שהיו באזור מדף-היבשת הנוכחי ואשר באותה עת היה חשוף לאטמוספירה, והם שהגדילו את הכמות הכללית. מקור החולות הוא לפיכך כפול: ישיר מהנילוס לאורך החופים, ועקיף — בהשקעה-מחדש של חולות שמקורם הנילוס, אשר כבר היו באזור מתקופות קודמות והוחזרו למערכת. אם אכן כובע מהסדימנט המגיע כיום לנילוס (למעשה זה שהגיע עד סכירתו), הוא בגדלי הגורג של החול, הרי הכמות השנתית שהתוספה לחופים, עד הקמת הסכר הגבוה באסואן, הגיעה לכ-22

החול ברצועה זו (בהערכה שאחזו החול בעמדות הסדימנטים נע בין 50 ל-75), מוערכת בין 4,300 ל-6,500 מיליון מ'. ברצועת הסדימנטים שבמים העמוקים-יותר, זו שבמדף והתחילת המורד לים העמוק — סדימנטים שהורבדו אף-הם בהולוקן ואשר שטחה כ-2,200 ק"מ² — יש אחוז נמוך יותר של חול. הכמות הכללית שם מוערכת בין 2,200 עד 3,300 מיליון מ'. נמצא כי סך-כול, כמות החול ההולוקני המצויה בים מול חופי-ישראל מוערכת בין 6,500 ל-9,800 מיליון מ' חול, שהצטבר מאז החלה הטונסגריסה הפוסט-יורמית. יש לצין כי רוב החול הזה מעורב בסדימנטים עדינים-יותר ונמצא בעומקים-גדולים או קבור מתחת לקרקעית הים הבוצית, ולפיכך אינו נכלל במערכת הפועלת כיום, ואינו יכול להחשב כחול רווי למאן הפעיל בים הרדוד ובחוף.

חישובים המבוססים בעיקרם על נתונים-גלים וכי-וונם איפשרו הערכה כמותית תיאורטית של תנועת החולות לאורך החופים בתא הליטורלי של הנילוס. חוקרים שונים הראו כי כמויות-החול המוסטות מהדלתה לעבר חופי-ישראל אינן אחידות. הכמות השנתית הנעה מזרחה, לאורך חופי-הדלתה, מגיעה לכ-800,000 מ', בחופי ימת-ברדיל יורדת הכמות ל-500,000 מ', היא מגעת ל-250,000 מ' באשדוד, ולכ-170,000 מ' בתל-אביב, ורק כמה עשרות-אלפי מ' בחופי-השרון.

קל יותר לחשב את מאזן-החול הנמצא בדיונות-החול של ישראל, גם בהסתמך על סקרים כלכליים (שילוני ושחר, 1964; שכנאי ואחרים, 1974). רוב שטחי הדיונות נמצאים בדרום-הארץ, לאורך חופי-פלשתי, ושטחיהן הולכים ופוחתים כלפי-צפון. שטחן הכללי בישראל מגיע לכדי 340 ק"מ², אולם הן מנוצלות ניצול כלכלי או מכוסות בשטח-ישוב. את כמות החול שבהן הערכתי (1983) בכ-650 מיליון מ'. החקלאות בדיונות פותחה כבר בימי-קדם (שטחי הדיונות הוכשרו לעיבוד מדרום לקיס-ריה, בדומה לשטחי ה"מאוואצי" שברצועת עזה וצפון-סיני). לעומת-זאת, כמות החול הנמצאת ב"ים-החולות" של צפון-סיני, משוערת בכ-180 מיליארד מ', בהנחה לא-בדוקה של עובי דיונות ממוצע של 20 מ'.

מאגרי החול הנמצאים בחופי ישראל, במדף היבשת ובתחילת המידרון לים העמוק, וכן אלה שבדיונות, מסתכמים בכמות של כ-10 מיליארד מ', שהורבדו באזור מאז תחילת הטונסגריסה הפוסט-יורמית לפני כ-12,000 שנה. כמות זו כוללת גם כ-300 מיליון מ' חול, שנתוספו למערכת עקב הרס מצוקי הכורכר.

אם נסתמך על ההערכות הכמותיות של נדידת-חול לעבר חופי-ישראל, המגיעה מחופי-סיני, בכמות שנתיית ממוצעת של כ-500,000 מ', למשך כל אותה תקופה המתחילה עם הטונסגריסה הפוסט-יורמית, הרי לשם צבירת כמות החול הנמצאת כיום בים וביבשה, נודק לכ-20,000 "שנות-יבוא" מאחר שהתקפה בה אנו דנים קצרה

לקריאה נוספת:

- Arad, A., Ecker, A. and Olshina, A., 1978. The young (Post Lower Pliocene) geological history of the Caesarea structure. *Isr. Jour. Earth Sci.*, vol. 27, pp. 142-146.
- Goldsmith V. and Golik, A. 1980. Sediment transport model of the southeastern Mediterranean coast. *Marine Geol.*, Vol. 37, pp. 147-175.
- Mazor, E., 1974. On the stability of the Mediterranean coast of Israel since Roman times: A discussion. *Israel Jour. Earth Sci.*, vol. 23; pp. 149-150.
- Neev, D., Schachnai, E., Hall, J. K., Bakler, N. and Ben-Avraham, Z., 1978. The young (Post Lower Pliocene) geological history of the Caesarea structure. *Israel Jour. Earth Sci.*, vol. 27; pp. 43-64.
- Sneh, A. and Weissbrod, T., 1973. Nile Delta, the defunct Pelusiac branch identified. *Science*, vol. 180, pp. 59-61.

העיקרי עד שנת 1983 היא די משמעותית והגיעה לכדי 70 מ'. אך תהליך צבירת החול בים, בסמוך לשוברי-הגלים, היה מהיר וכמותי הרבה יותר; כמויות ניכרות של חול הוסטו ממערכת ההסעה צפונה והצטברו — ומצטברות גם כיום — במים עמוקים-יחסית. קרן (Kran, 1980) ופינקלשטיין (1981) הוכיחו הצטברות של כמה מיליוני מ' חול. כן הצטברו כמויות-חול ניכרות גם בגמל עצמו, שניכרו, הוסעו והושלכו במים עמוקים והוצאו ע"י כך מהמערכת החופית. כמות מסוימת, לא גדולה במיוחד, מהחול המגיע לאיזור שוברי-הגלים העיקרי של נמל-אשדוד מצליחה לעוקף ולהגיע מחדש בחופי פלמחים שמצפון. כיום מתוכננת הארכת שוברי-הגלים של נמל אשדוד עד לעומק מים של כ-22 מ'. אין ספק כי הארכה זו של הנמל, ובמידה מסוימת גם בריכת מי הקירור של תחנת-הכוח החשמלית המוקמת בויקים, עלולות להנחית מכה קשה לכל מערכת הסעת החולות לאורך חופי-הארץ מדרום לצפון, למשך תקופה ארוכה ביותר.

*

סכירת הנילוס באסאן וההפסקה המוחלטת של הסעת חול בנילוס אל חופי הדלתה, השפיעו קשות וגרמו להרס רב בחופים שם. גרעון זה בחול טרם הורגש בחופי צפון-סיני או בחופי-ישראל, בשל הימצאות עתודות-חול בצפון-סיני, במדף-היבשת שם.

קשה מאוד להעריך מהו "פסק-הזמן" שניתן, כביכול, לחופי-ישראל ואימתי יתמעט זרם-החול לעבר חופינו. חוקרים אחדים סבורים כי מוצדק זה עדיין רחוק מאוד וכי החולות ימשיכו להגיע לחר-פים כבעבר. יתכן כי הערכות אלו שגויות הן ועלול להינצר מצב של חסרון רב בחול, שכתוצאה ממנו ייהרסו חופי-ישראל כבר בעתיד הקרוב. לפיכך עלינו להיות ערים ולקדם את הרעה. אחת האפשרויות היא להזין באורח קבוע את חופי הדרום בחול, באמצעות זרמי-הים, ממאגרי הדיונות של צפון-סיני. ■

של מיכנים כאלה, בחופים חוליים, מתבטאת בדרך-כלל בתופעות הבאות:

- הצטברות חולות ליד המיבנה, בינו לבין החוף ולעתים גם כתוכו (נמלים); הצטברות זו תלויה בהקף אספקת החול ובגודלו של המיבנה. ההצטברות נגרמת עקב השקטת המים ב"צל" המיבנה.

- הרס באיזור "מורד-הזרם" של תנועת-החול, כתוצאה מחוסר בחול, מהקירבה למיבנה הימי ולשכירת הגלים בו (תמונות 6 ו-13).

עם קום-המדינה היו לאורך החוף מיכנים מעטים בלבד: שלושת הנמלים ביפו, חל-אביב וחיפה, וכן כמה מוחים חסרי-חשיבות, דוגמת חוף כיאט בחיפה, מוח "הגנה" בבית ינאי, או מוח קטן בנהריה. הקמת שוברי-הגלים והמעגנות למטרות נופש החלה בתחילת שנות-השישים, כאשר הוחל גם בהקמתו של נמל-אשדוד. מיד עם בניית שוברי-הגלים המנותקים, אשר נבנו לא-הרחק מהחוף (מרחק ממוצע של כ-200 מטר), חל תהליך שלא נצפה מראש ע"י המתכננים: החלה הצטברות חולות בקטע שבין החוף לבין שוברי-הגלים, ונוצר גוף חולי, דמוי-טרפז, המכונה "טומבולו" (תמונה 12). גוף חולי זה הלך וגדל במהירות והתקשר אל שוברי-הגלים. האיזור הנמצא ב"מורד-הזרם" של

תנועת החול האורך-חופית סבל קשות; מאחר שהחופים שבסביבתו רוקנו וזמנית מעתודות-החול שלהם חלה האצה ניכרת בהרס החופים וכן בעורפם. באזורים כהם עורפו של החוף מצוקי, הוא נהרס במהירות רבה (תמונה 13). איזורי המיבנה הימי מגיע לשיווי-מישקל סדימנטולוגי, כלומר לשלב של "בגרות", בו אין הוא צובר חול ומאפשר לחול הנע לאורך החופים לעקוף את המיבנה בזמן ממוצע שבין 4 ל-6 שנים לאחר ההקמה. אולם ההרס שנעשה אין להשיבו.

כיום בנויים לאורך חופי היס-התיכון של ישראל כ-30 מיתקנים ימיים שונים, אשר הוקמו למטרות-נופש, והם מפירים בעוצמה זו או אחרת את המאזן הסדימנטרי. רבים ממיתקנים אלה טרם הגיעו לשיווי-מישקל.

נמל-אשדוד נבנה בשנת 1963, וחודר ימה כ-200 מ'. הוא נמצא במרכזה של מערכת נדירת החולות החופיים מדרום-הארץ למרכזה ולצפונה. התחזיות שנעשו עם הקמתו צפו עצירת רובו של זרם-החול וצבירתו בסמוך — מדרום לשוברי-הגלים העיקרי. בשנים הראשונות לאחר ההקמה לא חלה כל התרחכות בחופים הדרומיים — כמצופה; אולם זו החלה להיות מורגשת ומשמעותית בשנות-השבעים. הצטברות החול ליד בסיס שוברי-הגלים