

על מהות החמדה בישראל

מאת

דוד שרון

א • מבוא

בשנת 1955 נערכה באיזור החקלאות העתיקה בנגב סדרת תצפיות וניסויים בקשר לתלוליות (תולילאת אל-ענב) שבו¹. הכוונה היתה בעיקרה בדיקת מבנה התלוליות ופני הקרקע שעליה הן פזורות, כצעד להבהרת מהותן. כבר באותה שנה סוכמו התוצאות של חלק מהניסויים, ותוך הסתמכות עליהן הועלתה, בין השאר, ההשערה בעניין כוֹת־ההתחדשות של החמדה, שבתחומיה מצויות התלוליות². לשם ביסוסה של הנחה זו בוצעו ניסויים לבדיקת התהליך המשוער ולהערכת צדדיו הכמותיים; ובכך עברנו, למעשה, לחקירת המורפור לוגיה של החמדה בארץ. להלן תימסרנה תוצאות הסקר והניסויים, שנערכו בחמדה במשך השנים 1955—1960.

המחקר נערך בשני קטעים של הנגב הצפוני: האחד — בסביבת עבדת, והשני — בשדות שבטה, הנמצאים בתחום האיסיסיה של 100 מ"מ (ממוצע רב־שנתי). למרות התנודות היחסיות הקיצוניות של ערך זה משנה לשנה, לא הגיעה כמות־המשקעים המוחלטת ל־200 מ"מ אלא פעם אחת בלבד במשך שלושים השנים האחרונות — בשנת 1944/5³. כמות זו אינה מחולקת באופן שווה על פני החורף. אלא יורדת, בממוצע, בכ־15 ימי־גשם⁴, שברובם אין הכמות היומית עולה על מ"מ בודדים. כמות־הגשמים השנתית יורדת באיזור זה, למעשה, תוך ימים ספורים ביותר ורק בהם עשוי להתפתח נגר עילי.

פני השטח הם גבעיים, בגובה 300—700 מ' מעל לפני הים, עם גבהים יחסיים, שאינם עולים על 150 מ'. שרידי החקלאות הקדומה מוגבלים בהם

1. י. קדר, בעיית התלוליות או "תולילאת אל-ענב" בחקלאות העתיקה בנגב, ידיעות, כ, תשט"ו, עמ' 31—43.

2. ד. שרון, בחינות פיסיוגראפיות של התלוליות בהר הנגב, ידיעות, כג (מחקרים, א'), תשי"ט, עמ' 194—202.

3. אטלס ישראל, דף 2/IV, ציור 7.

4. אטלס ישראל, דף 2/IV, מפה ג'.

לאפיקי־הנחלים, שבתוכם מצוי חומר אלו־ביאלי. הלחות באפיקים נשמרת זמן רב יחסית, כפי שמעידה הצמחייה המוריקה בהם בחדש־האביב, בניגוד חריף לצחיחות המדרונים הסמוכים.

ב. המורפולוגיה של החמדה

פני הקרקע שמחוץ לנחלים הם כמעט חשופים מצמחייה. רוב שטחם מכוסה בכיסוי צפוף למדי של שברי־סלעים זוויתיים (אנגולאריים), היוצרים ריצוף מדברי, הוא החמדה, המכסה בצורות שונות את עיקר שטחי הנגב⁵ ומדבר־סיני. הרכבו של הריצוף מותנה בסלע שממנו התהווה: בעבדת הוא בנוי מבליט של הסלע הגירי (לוח ו', 1), ואילו בשבטה זהו כיסוי צורי (לוח ז', 3). כל שטח־החמדה באזורנו הם גיריים או צוריים, ומקורם הוא הסלע המקומי; ומן הראוי לציין, שאף־על־פי שעצם הופעת החמדה כאן היא תוצאה של תנאי־האקלים, הרי אפייה המיוחד בכל מקום נקבע בעיקר על־ידי טיב המסלע. צביון הכיסוי תלוי בגודל האבנים, במידת אחידותן ובזוויתיותן, ואלה תלויים בתכונות פיסיקאליות של המסלע, כגון מקדם־ההתפשטות, מידת המוליכות, כוח העמידה במתח (וכנראה קיבול־המים של הסלע) ועוד. הצור, למשל, מתפורר לשברים קטנים ובינוניים, שבדרך־כלל אין קטרם עולה על 10 ס"מ, בעוד שהחמדה הגירית מורכבת באזורנו מאבנים מכל הגדלים, החל בכמה מ"מ ועד ל־40 ס"מ ויותר.

נוסף על כך משפיע על צביון הכיסוי הגורם הטופוגראפי: על פני שטחים בעלי שיפוע קטן וכן באיזור־הצבירה (אקומולאציה) שבצדי המדרונים מצוי, בדרך־כלל, כיסוי חלקלק, שמרכיביו בולטים רק במידה מועטת מעל פני השטח, בעוד שבחלקים הגבוהים והתלולים יותר של המדרונים הכיסוי הוא גס ומורכב ברובו מאבנים גדולות. תופעה זו בולטת בנגב, ועל־פירוב קיים על פני המדרונים גבול ברור בין הצורות השונות, המותנות בגורם הטופוגראפי.

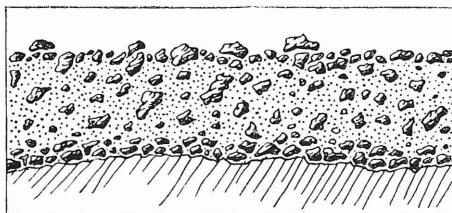
מבנה החמדה

בשעת עריכת הסקר הובחנו בתוך החמדה שני רבדים (לוחות ו', 1; ז', 3): (א) האחד בנוי מאבנים מכל הגדלים שבאיזור, המשובצות בפני הקרקע

5. אטלס ישראל, דף 7/11, מפה ג'.

ובולטות מהם רק מעט; ומאחר שהן שקועות בחלקן מתחת לפני הקרקע, יוצרות הן כעין פסיפס צפוף וחלקלק, המכסה ברציפות את פני השטח. להלן יכונה רובד זה בשם "הרובד הבסיסי". (ב) השני, שיכונה להלן "הרובד החפשי", מורכב בעיקר מאבנים בינוניות וגדולות, שאפיינית להן הימצאותן ברוב נפתן מעל פני הרובד הראשון, או היותן מונחות עליו באופן חפשי לגמרי.

הרובד הבסיסי, התחתון, הוא בעצם המרכיב היסודי של החמדה. הסקר הראה, שהוא בנוי בצורת שכבה רצופה אחת של אבנים, שמתחתיה נמצאת קרקע בעומק שונה (ציור 1). בניגוד להשערת כמה מחברים⁶, אין כאן מצבר רצוף של אבנים, המונחות האחת על גבי רעותה עד לעומק רב, אלא אבני-הכיסוי נמצאות במגע ישיר עם הקרקע שמתחתיהן. אמנם בכמה מקומות באזור-עבדת אפשר למצוא אבנים פזורות על פני סלע-האם עצמו (למשל, על במת-ההר), אך צורה זו מיוחדת לטלאים המבודדים, שאינם אפייניים לתופעה בכללה; בפרופיל הטיפוסי מפרידה שכבת-קרקע בין הכיסוי העליון לבין סלע-האם.



ציור 1

חתך סכימאטי של כיסוי-חמדה ושל הקרקע שמתחתיו

בהבדל מהרובד הבסיסי הנ"ל, אין הרובד החפשי, העליון, אחיד על פני השטח, לא מבחינת גודל האבנים ולא מבחינת צפיפותן. לעתים הוא נעדר לגמרי, למשל, במדרונים מתונים ובצדי-מדרונים, כאמור למעלה. במקומות אלה שולט הרובד הבסיסי, בעל המראה החלקלק, ואילו לחמדה, שהרובד החפשי שלה הוא מפותח, מראה מחוספס.

6. P. Mayerson, *Ancient Agricultural Remains in the Central Negev*, כגון: *The Tleilat-el-'Enab*, *Bull. Am. Sch. for Oriental Research*, 153, 1959, pp. 19—31, esp. p. 25

בהתאם לתיאורנו ולמינוח שהיה מקובל, מן הראוי היה לסווג את הכיסוי באזורנו כסריר, שכן המונח חמדה מציין בספרות הקלאסית צורת נוף, המותנית בעיקר סטרוקטוראלית⁷. אנו ננהג כרוב המחברים הישראליים, הנקטים, בעקבות ערביי האזור, במונח חמדה⁸. גישה זו מוצדקת אפילו מנקודת-הראות הכללית ביותר, השלטת בפרסומים של השנים האחרונות⁹, שלפיה אפייניים הם לסריר גודל האבנים המרכיבות אותו (עד 6 ס"מ) והתעגלותן אגב הסעה. שתי תכונות אלו אינן קיימות בחמדה שלנו.

ה ק ר ק ע

לקרקע שמתחת לכיסוי נתייחד תפקיד חשוב ביצירת החמדה. באזורנו קרקע זו חסרת-פרופיל ומעורבת לכל עמקה בשברים של סלע-האם. עמקה אינו אחיד, והוא מגיע, בדרך-כלל, לכמה עשרות ס"מ (על-פני המדרונים). היא גירית מאוד, וכמות החמרים המסיסים בה גדולה, אך לעומת זה אין בה כלל חומר אורגאני. לקרקעות המדבר בכלל אפיינית היא התופעה של היווצרות קרום קשה בחלקן העליון, בעקבות מחזורי-הרטבה, היינו, בהשפעת האפקט המיכאני של טיפות-הגשם, הנופלות על פני הקרקע, ומי הנגר העילי, הזורמים עליהם¹⁰. בעבר הניחו, שהקרום נתהווה על-ידי תהליך של עלייה נימית של תמיסות אל פני הקרקע, תוך כדי התייבשותה, והעלאת ריכוז המלחים בשכבתה העליונה לרגל התאדות המים. השערה זו נדחתה¹¹ לגבי קרקעות מדבריים, והיום תולים את היווצרות הקרום בקרקעות אלו בגורמים חיצוניים בלבד. מכאן מסתבר, שהתהליך מגיע למלוא התפתחותו על פני

7. E. de Martonne, *Traité de géographie physique*, II, 8me édition, : כגון

Paris 1948, p. 947

8. אטלס ישראל, דף 7/11, מפה ג'; מ. זהרי, גיאובוטניקה, מרחביה 1955, עמ' 273 ;

A. Reifenberg, *The Soils of Palestine*, London 1947, p. 30

9. W. Meckelein, *Forschungen in der Zentralen Sahara: Klimageomorphologie*, Berlin 1959, S. 52--53; P. Vageler, *Zur Bodengeographie Algiers*,

Petermann's Geog. Mitt., 1955, Erg.-Heft, 258, S. 30

M. B. Russel, Physical Properties (of soil), Soil, *The Yearbook of* .10

Agriculture, U.S. Dept. of Agr., Washington 1957, pp. 37--38

N. Mortensen, *Die Wüstenböden*, *Blanck's Handb. d. Bodenlehre*, .11

Bd. III, Berlin 1930, S. 451, 484

קרקע חשופה, בעוד שכל כיסוי, הן של צמחים והן של אבנים, המעכב את פעילותם החפשית של המים על הקרקע, מעכב גם את היווצרות הקרום. בסקר שלנו לא היה עדיין סיפק בידנו להתרכז בחקר הקרום עצמו, אך נעשה נסיון לעמוד על תכונותיו. התברר, בין השאר, שעם חשיפת פני הקרקע באיזור זה, למשל על-ידי הסרת כיסוי החמדה מעליה, מתפתח הקרום באופן הדרגתי, במשך מחזורי הרטבה והתייבשות חוזרים ונשנים; ולאחר מחזור אחד או שניים מגיע הקרום לדרגת-התפתחות, שבה אוטם הוא בעצם את הקרקע בפני פעולת הרוח. הודות לכך עשוי הקרום לייצב במידה מרובה את פני הקרקע בשלבים הראשונים שלאחר היפגעותם, בעקבות הסרת הכיסוי. בשלבי-התפתחות מאוחרים יותר מעכב, כנראה, הקרום במידת-מה את הסתחפות הקרקע באופן כללי (לא רק בהשפעת הרוח), ויש סבורים, שהוא חותם לגמרי את פני הקרקע¹². דעה זו אינה עומדת במבחן הנסיון לגבי הקרקעות, שהוסר מעליהן כיסוי-החמדה (ראה להלן).

ג. התחדשות החמדה

מתוך ידיעותינו אלו על הבחינה הסטאטית של פני השטח נוכל להסיק, שהחמדה בצורתה המפותחת מציינת מצב של שיווי-משקל ארוסיבי, שבו נתונים פני-הקרקע במדרונים בתנאי-המדבר השוררים באזורנו. מעטה-החמדה חותם את פני הקרקע בפני פעולת הגורמים החיצוניים, וכך יורדת השפעת תהליכי-הגריפה עליהם עד למינימום. בדרך זו מייצבת החמדה את פני המדרונים ומסייעת לשמירת הקרקע המתהווה מתחתיה¹³. מתוך האמור ניתן גם להסיק מסקנות לגבי הבחינה הדינאמית של תולדות צורת-נוף זו. נוכל לשער, מה היו שלבי-ההתפתחות של החמדה, בהסתמך על ידיעותינו על תהליכי-התפוררות של הסלע ויצירת קרקע ממנו ובהתחשב בתנאי האקלים והצמחייה המדבריים. השערות אלו משמשות רקע ובסיס לתכנון ניסויים, לשם בירור בעיות המתעוררות בקשר להן.

12. N. Tadmor, M. Evenary, L. Shanan & D. Hillel, The Ancient Agriculture in the Negev: Gravel Mounds and Gravel Strips near Shivta, *Ketavim*, 8, 1957, pp. 132, 134
13. N. Mortensen, *op. cit.*, p. 458

תהליך התחדשותה של החמדה

כבר בשלב מוקדם הועמדו לרשותנו ידיעות חלקיות על תהליך היווצרותה של החמדה, שכן הוכח, שאין התהליך תופעה חד-פעמית. התברר¹⁴, שתהליך זה התרחש לפחות פמעיים בחלקים מסוימים של האיזור, המכוסים היום בתלוליות, וכי כיסוי-החמדה, המצוי עכשיו בחלקים אלה, הוא צעיר יחסית. כיסוי זה נוצר לאחר הסרת החמדה העתיקה בשלמותה על-ידי האדם, לפני למעלה מאלף שנים. כן התברר, שהחמדה, שעברה בדרך זו מחזור-התחדשות מלא, אינה שונה בתכונותיה מהחמדה שלא נפגעה מעולם.

מכאן למידים אנו, שאחרי הריסת החמדה הופעלו תהליכים שבנו אותה מחדש; לפנינו מעין תהליך מחזורי, המגיע לכלל ייצוב בעקבות התהוותו של מעטה-חמדה חדש והמופעל שוב לרגל הריסתה. לגבי תהליך זה יש להניח, שהואיל והוא שואף להחזרת שיווי משקל טבעי, שהופרע פתאום, הרי שלביו הראשונים הם קצרים ועצמת-הפעילות בהם מאכסימאלית. לאחר-מכן פוחתת העצמה, תחילה בקצב מהיר ובמרוצת-הזמן בקצב אטי. שלביו האחרונים של התהליך הם הארוכים ביותר והפעילות בהם אפסית. בהצגה גראפית כפונקציה, יורדת העצמה ירידה היפרבולית עם הזמן.

פרטים אלה אינם מצטרפים עדיין לתמונה שלמה על התחדשות הכיסוי. בעצם ידוע לנו רק סופו של התהליך, כלומר, צורתו הסופית של כיסוי, שעבר מחזור-התחדשות שלם. כן יש ברשותנו כמה השערות לגבי מהלכו של המחזור, אך אין ידיעות ברורות ומהימנות על הגורמים השותפים ביצירת התופעה ועל גורם הזמן.

הכנת הניסוי

לשם בירור בעיות אלו ולשם בדיקת הנחותינו בעניין היווצרות החמדה תוכנן ובוצע הניסוי הבא, שעיקרו — הפרעת שיווי-המשקל של שטח-חמדה ותצפית על המתרחש בעקבותיה. הניסוי נערך במקביל באזורי שבטה ועבדת. בשניהם סומנה חלקה על פני המדרון, הוסר מעל פניה מעטה-החמדה והופעלו אמצעים פשוטים למדידת השינויים שחלו בה. חלקות-הניסוי נבחרו בשטחי-חמדה אפייניים, שאינם מצטיינים בתכונות מיוחדות, ועל פני מדרונים בעלי זווית-שיפוע בינונית כלפי סביבתם. שיפוע החלקה בשבטה הוא כ־5 מעלות

14. ד. שרון, בחינות פיסיוגראפיות של התלוליות בהר הנגב, עמ' 195—197.

כלפי צפון-מערב (שטחה 150 מ"ר); ואילו זה של החלקה בעבדת — 17 מעלות בכיוון צפון-מזרחי (120 מ"ר). בשעת הסרת אבני-הכיסוי נעשה מאמץ שלא לפגוע בקרקע עצמה אלא במידה ההכרחית לביצוע החישוף. מאותה סיבה לא נעקרו, למשל, אבנים גדולות, שהיו תקועות היטב באדמה. פעולה זו עלתה יפה, בעיקר בשבטה, שבה כיסוי-האבנים הוא אחיד יותר ומבנהו החד-שכבתי בולט יותר. כן הותקנה בשבטה סוללה קטנה מאבנים ומקרקע לאורך הצלע הנמוכה של החלקה, בגובה של כ-20 ס"מ, שתפקידה היה לחסום את הגריפה מעל פני החלקה ולגרום להשקעת חומרי-הסחף המוצק מאחוריה. לשם יצירת אפשרות מדידת סחף-הקרקע המצטבר, סומן המפלס ההתחלתי של פני הקרקע ליד הסוללה באבן שטוחה (רעף צבעוני), שנקבעה בנקודה מסוימת. בתחילת הניסוי צולם פעמים רבות מצבן של החלקות, ונסיון השנים הראשונות לקיומן של אלו הוכיח, שהתצלומים הם האמצעי היעיל היחיד להשוואת מצבי החלקה בתקופות שונות, שכן אמצעי-מדידה, ולו גם הצנועים ביותר, שהתקנו (כגון עמודים) נחבלו תוך זמן קצר, למרות ריחוקן הניכר של החלקות מדרכים. עם הסרת כיסוי האבנים נהפכו פני-החלקה למשטח-קרקע חשוף (לוחות ו', 2; ז', 1). בעקבות העבודה נתפוררה במקצת שכבת-הקרקע העליונה, אך בעומק קטן בלבד. האבנים הבודדות, שנשארו על פני המשטח, היו בעיקרן מאלו התקועות בקרקע, שאינן תופסות למעלה מ-5% עד 10% של פני השטח. חלק מאותן אבנים סומן כנקודות-מדידה לשינויים שיחולו בגובה פני-הקרקע. במצב זה הושארו חלקות-הניסוי בפברואר 1955 להשפעת הגורמים החיצוניים.

הכיסוי החדש

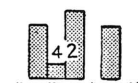
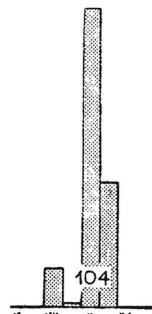
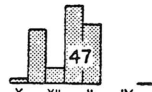
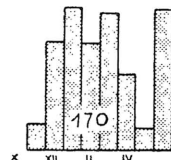
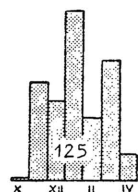
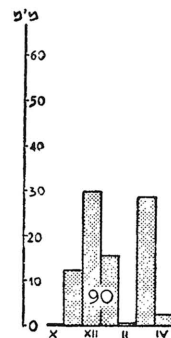
סקירת החלקות בפברואר 1960 גילתה כמה שינויים, שחלו בפני הקרקע, שהבולט בהם הוא הופעתו של כיסוי-אבנים חדש בשלב-התפתחות בינוני (לוחות ו', 3; ז', 2). על פני הקרקע, שהיו חשופים בתחילת הניסוי בשיעור של 90%, לפחות, כאמור, התפתח כיסוי צעיר, המשתרע בטלאים על 60%—80% מפני החלקות. הכיסוי החדש בנוי בעיקר ממרכיבים קטנים, אך לאורך קווים מסוימים אפשר להבחין גם באבנים מגודל בינוני (2—6 ס"מ). המרכיבים הקטנים הם בחלקם אבנים קטנות, החשופות ברוב נפחן, ואילו השאר הם חלקיהן העליונים של אבנים גדולות יותר, התקועות עדיין ברוב נפחן באדמה. הכיסוי עדיין איננו אחיד על פני השטח, ובין הטלאים של הכיסוי הצפוף נמצאים עדיין כתמי קרקע חשופה, שעליה התהווה הקרום האפייני.

השוואת הכיסוי החדש עם הכיסוי הבלתי־מופרע על פני אותו מדרון (במרחק של 5 מ') מלמדת, שההבדל היסודי ביניהם הוא העדרו של הרובד החפשי בכיסוי החדש, בעוד שמבחינת הרובד הבסיסי הגיע הכיסוי החדש בכמה קטעים לגיבוש מלא (לוח ז', 3, 4). בחמדה הצורית של שבטה מתבלט לעתים ההבדל בצבע בין הכיסוי החדש שעל פני החלקה לבין הישן שמחוצה לה, שנגרם על־ידי הציפוי המדברי הכהה, המכסה, בדרך־כלל, את פניהן הגלויים של אבני־הכיסוי, ושלא הספיק להתהוות על פני אבני הכיסוי הצעיר. מתוך השוואת מערך האבנים הבודדות, ששרדו על־פני החלקה בתום מלאכת־החישוף, עם מערכן כיום מתברר, שמקום האבנים לא נשתנה במידה ניכרת. תופעה זו היא טבעית לגבי אבנים, שהיו תקועות מלכתחילה באדמה, אך מעניין לציין, שהיא נקבעה גם לגבי אבנים, המונחות עכשיו באופן חפשי על פני הקרקע. השוואה כזאת, שנערכה במספר נקודות על פני החלקות, מעידה על צמידותו של החומר למקומו. מובן מאליו, שאין להוציא מכלל אפשרות תנועה מסוימת של אבנים עם תנועת החומר הכללית במדרון, אך אין יסוד להנחה, שאבני־הכיסוי מובאות לחלקה מחוץ לתחומיה.

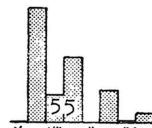
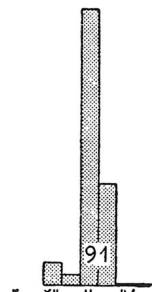
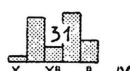
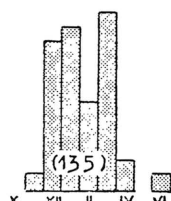
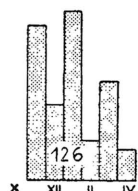
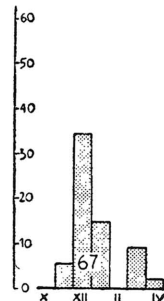
לאור נסיוננו הקודם על החמדה אין משום הפתעה בעצם הופעתו של הכיסוי החדש; יתר־על־כן: התפתחות כזאת היתה צפויה, והיא משמשת אישור להשערתנו בעניין התחדשות החמדה. בהתאם לכך יש לראות בכיסוי החדש את השלב הראשון בתהליך־ההתחדשות, שתוצאתו הסופית ידועה לנו מן הסקר של 1955: זהו כיסוי־חמדה מהסוג המצוי כיום על פני מדרונים, שנחשפו ללא ספק על־ידי הקדמונים.

הופעת הכיסוי היא השינוי הבולט ביותר שחל בחלקות, אך אין היא התוצאה היחידה של ניסויינו; חשובה ממנה העובדה, שהתפתחות זו נתרששה תוך זמן קצוב וידוע ובתנאים מסוימים. לגבי הכיסוי הישן לא נהירים לנו תנאי־האקלים שבהם התהווה, ולא ידוע משך זמן ההתהוות. ואילו בניסוי שלפנינו ידועים משך־הזמן (חמש שנים) ותנאי־האקלים, ובעיקר המשקעים והתחלקותם. הדיאגרמה (ציור 2) מעמידה אותנו על העובדה, שחמש שנות־הניסוי לא נתברכו בגשמים מרובים מן הרגיל: בשדה־בוקר ירדו בתקופה זו 88 מ"מ לשנה, במוצע (ובסך־הכל 440.3 מ"מ), ובמשאבי־שדה 101.7 מ"מ לשנה, במוצע (בסך־הכל 508.3 מ"מ). גם באיזור זה בולטת תקופת־החורב בת השנתיים, שהתחילה בסוף חורף 1956/7 והסתיימה בפברואר 1959. גשמי ששת השבועות הבאים היו אינטנסיביים יחסית וכללו כמחצית הכמות הכללית,

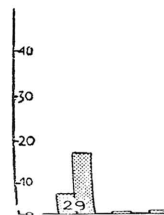
משאבי שדה



שדה בוקר



מצפודמון



אין נתונים



שירדה במשך שלוש השנים הקודמות, אך השנה האחרונה היתה שוב שחונה ביותר. כמו־כן מעידה הדיאגראמה על אי־הסדירות האפיינית למהלך־המשקעים השנתי באיזור זה.

ד. תהליכי־הגריפה

פרטי צורתו ומבנהו של הכיסוי החדש מעידים על כך, שהאבנים המרכיבות אותו התגלו על פני השטח בתהליך של גריפה דיפרנציאלית, שבו נסחפה הקרקע מעל פני האבנים, שהיו קבורות תחילה מתחת לפני הקרקע, ומביניהן. פירוש הדבר, שהתהוותו של הכיסוי החדש היתה כרוכה בהנמכה מסוימת של פני השטח. שיעור ההנמכה בשלב זה של הניסוי (1960) נמדד בנקודות שונות בשתי החלקות, ונתברר, שההנמכה היא כללית, אם־כי אינה אחידה על פני השטח. המידות שהתקבלו נעות בין 5—30 מ"מ, ובנקודות בודדות אף 40—45 מ"מ. בערכים 15—20 מ"מ יש לראות את מידת־ההנמכה הממוצעת לחלקוֹן; בכללן. מעניין לציין, שאין הבדל מהותי בין מידות־ההנמכה בחלקות בשבט־ובעבדת, למרות ההבדלים הניכרים ביניהן, הן מבחינת המסלע והן מבחינת הטופוגרפיה.

בבדיקות מסוג אחר, שנערכו במסגרת הסקר, ניתנה אפשרות להעריך את ההנמכה הכללית, הכרוכה בהתחדשותה המלאה של החמדה. הכוונה היא למידה, שבה הונמכו פני הקרקע במקומות שבהם הגיע תהליך־ההתחדשות להשלמתו, כלומר, באיזור התלוליות. מדידת גודל זה נתאפשרה לאחר שנתברר, שמתחת לתלוליות עצמן, שבתוכן צבורות אבני הכיסוי המקורי שהוסרו על־ידי הקדמונים, היו פני הקרקע מוגנים בפני פעולת־הגריפה. בשעה שהגריפה פעלה להתחדשות הכיסוי בשטח שנחשף מאבנים — נותרו פני הקרקע שמתחת לתלוליות במצבם המקורי. הפרשי־הגבהים של פני הקרקע מתחת לתלוליות ובסמוך להן נתנו את מידת ההנמכה הכללית המבוקשת, וידעת גודל השטח אפשרה גם את חישוב כמות־הקרקע שנגרפה. מדידות הפרשי־הגבהים נערכו עד כה רק ליד חלקות־הניסוי, ונקבע, ששהנמכה

ביאור לציור 2

כמויות־המשקעים החדשיות בתחנות נבחרות באזורי־הניסוי בשנים 1954/5—1959/60 המספרים בגוף הדיאגראמה מציינים כמויות־משקעים שנתיות במ"מ¹⁵

15. לפי השירות המטאורולוגי, משרד־התחבורה, תל־אביב.

הכללית קרובה ל-10 ס"מ. הרחבת איזור-הסקר כרוכה במאמץ ובהרס תלוליות, אך בדרך זו אפשר לקבל נתונים מדויקים על נפח הקרקע, שנגרפה והוסעה אל האפיקים המעובדים.

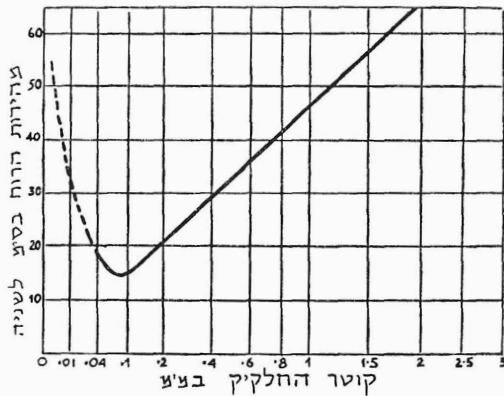
גריפת-הרוח

תוך דיון בתהליכי-הגריפה, המשתתפים ביצירת התופעה שלפנינו, מתברר, שפעולת-הרוח על השטח שנחשף מתחילה עם הסרת כיסוי-האבנים, ועל-כן קודמת היא לגריפת-המים. העבודה על פני הקרקע הנחשפת והולכת והדריכה על פני קרקע מפוררת גרמו בניסוי שלנו להסרה נראית-לעין של כמויות אבק על-ידי הרוח. בתהליך זה מותקפים בראש וראשונה ההדורים שבפני הקרקע, כלומר, אותן גבשושיות ובליטות קטנות, הנוצרות במהלך גירוד הקרקע ופירורה. באופן זה מסייעת הרוח ליישור פני-השטח ולהחלקתם על-ידי הסרת חומר ההדורים ומילוי השקערוריות ביניהם. בתום העבודה בחלקה יורדת כמות החומר המועף במהירות, אך תהליך-היישור נמשך באותה מגמה, אם-כי בעצמה קטנה והולכת בהתמדה.

בדיקת ההרכב הפיסי של דוגמות-קרקע מאזורי-הניסוי בשבטה, שנלקחו מן הקרקע שמתחת לכיסוי-החמדה, הוכיחה, ששולטים בה המקטעים הדקים בעוד שחלקו של החול הוא דל מאוד. יש להניח, שהרכב זה אפייני לחלקים ניכרים של אזורנו, בעיקר בשבטה, שבהם סלע-האם הוא קרטון. בגנולד הראה, שבעקבות תהליך יישורה של קרקע בעלת הרכב זה מצטמצמת השפעת הרוח עליה, ובהעדר החול אף נעלמת לחלוטין¹⁶. הסיבה לכך נעוצה בעובדה, שעצמת הרוח הדרושה להרמת חלקיקי-קרקע (fluid threshold), שממדיהם קטנים מ-0.10 מ"מ, בקירוב, עולה בתלילות, בד-בבד עם התקטנות ממדי הגרגירים (ציור 3). למשל, עצמת-הרוח, הדרושה להרמת גרגירים בגודל של 0.10 מ"מ מעל פני שטח ישר, היא 15 ס"מ בשנייה, אך העצמה הדרושה להרמת גרגירים בגודל של 0.01 מ"מ בתנאים אלה היא למעלה מ-30 ס"מ בשנייה, והיא זהה לעצמה הדרושה להרמת גרגירים בגודל של 0.50 מ"מ. לפיכך מצטמצמת במרוצת הזמן פעולת-הגריפה על-ידי הרוח למקטע החולי של הקרקע ורק לאותו חלק

R. A. Bagnold, *The Physics of Blown Sand & Desert Dunes*, London 1953, pp. 90—95

של המקטעים הדקים, המועף אגב תהליך הסאלטאציה של גרגירי-החול¹⁸, אמנם חלקיקי-האבק הקטנים מ"מ 0.05 מ"מ נישאים ברוח ביתר קלות, הואיל ומעטפת-האוויר העוטה אותם מורידה במידה מספקת ממשקלו הסגולי של החלקיק העטוי¹⁹, אך אין הדברים אמורים לגבי הרמת החלקיקים מעל פני-קרקע חלקים, אלא לגבי הסעת האבק לאחר שהורם.



ציור 3

מהירות-הרוח הדרושה להרמת חלקיקים בקוטר 0—2 מ"מ¹⁷

גורם שני, המעכב את פעולת הרוח על הקרקע החשופה בכל האיזור וביתר יעילות, הוא הופעת הקרום העליון בקרקע, הנוצר לאחר הרטבה והתייבשות, כאמור. התהוות הקרום מציינת, כנראה, את סופה של השפעת הרוח על הקרקע (בתנאי, שאין הקרום מופרע שנית); ועניין זה אינו מוגבל לחלק של אזורנו בלבד, כגורם הראשון שנוכח למעלה, אלא הוא פועל בכל האיזור כולו. אם נביא בחשבון את העובדה, שהקרום נוצר עם רדת הגשמים הראשונים, כלומר, תוך תקופה של חדשים אחדים, לכל היותר, לאחר חישוף הקרקע, הרי נגיע לכלל מסקנה, שמשך פועלתה של הרוח על הקרקע הנפגעת הוא קצר.

Idem, *op. cit.*, Fig. 28, p. 88 .17

W. S. Chepil, Erosion of Soil by Wind, Soil, *The Yearbook of Agriculture*, U.S. Dept. of Agr., Washington 1957, p. 312 .18

P. Vageler, *op. cit.*, pp. 30—31 .19

בקעבות התהוות החמדה החדשה תוך שנים מספר, פוחתת השפעת הרוח עד שהיא נפסקת לדידה לגמרי.

גריפת־המים

גריפת־המים מתחילה על פני הקרקע החשופה לאחר זו של הרוח, עם התפתחותו של נגר עילי על פני המדרון. בחלקת־הניסוי שבשבטה הצטבר חלק מסחף־הקרקע, שנגרף מעל פני החלקה, מאחורי סוללה קטנה, שהוכנה בחלקה הנמוך של החלקה (לוח ח', 8, 9, 10). אמנם התברר, שלא כל הקרקע שנגרפה נאגרה מאחורי הסוללה וכי על פני קטע ניכר של המדרון שמעבר לסוללה נמצאים כתמי סחף טרי. שלא היו שם בתחילת הניסוי. הסיבה לכך נעוצה בעובדה, שהסוללה שהוכנה היתה קטנה מכדי לגרום להשקעה שלמה של החומר המוצק, המוסע עם הנגר העילי. ושחלק ניכר מחומר זה גלש בשעת הזרימה יחד עם המים אל מעבר לסוללה. באופן כזה התקבל רק גבול תחתון לכמות־הקרקע שנגרפה במשך חמש השנים, וגבול זה מתאים לערכים שהתקבלו לגבי ההנמכה על־ידי מדידה ישירה, כפי שצוין למעלה.

גם גריפת־המים איננה פועלת בעצמה אחידה במשך תקופה ארוכה, ואף כאן יורדת העצמה במידה ניכרת עם התהוותו של קרום־הקרקע (עצמת הנגר העילי עולה כתוצאה מכך, אך הקרקע מושפעת מנגר זה במידה פוחתת והולכת). כן מתברר, שהזרימה הראשונה, המתפתחת על פני המדרון בסמוך להשלמת החישוף, היא אף הזעילה ביותר מבחינת כמות־הסחף שהיא גורפת ומסיעה. אמנם אין להניח, שכל החומר המצוי כיום (1960) ליד הסוללה הצטבר ביום אחד, שבו אירעה אותה זרימה, אלא שהשקעת הסחף מאחורי הסוללה נמשכה בכל תקופת־הזרימה, אם־כי בעצמה פוחתת והולכת. מתוך מראה החלקות יש להסיק, שבהמשך הניסוי בעתיד תושקע מאחורי הסוללה כמות נוספת של סחף־קרקע, במקביל להשלמת יצירתו של הכיסוי החדש.

ואולם הגורם העיקרי להאטת תהליכי־הגריפה ולמניעת הסתחפות כל הקרקע שעל פני המדרון הוא ללא ספק כיסוי־החמדה החדש, המתהווה על פני הקרקע. הכיסוי ממלא את תפקידו זה על־ידי בידוד גובר והולך של הקרקע שמתחתיו בפני השפעת המים הנעים (בזרימה, כנגר עילי, או בנפילה חפשית, כטיפות־גשם) ועל־ידי עצירת התאוצה של מי הנגר העילי בתנועתם לאורך המדרון. כתוצאה מכך אין לייחס את קצב־הגריפה בשלבי־ההליך הראשונים

לתקופה ארוכה של מאות שנים²⁰; אדרבא, עם השלמת הרובד הבסיסי (התחתון) של החמדה, יורדת עצמת-הגריפה מאוד, ועל-כן אטיים וממושכים הם שלביו הבאים של תהליך-ההתחדשות של החמדה. בשלבים אלה ובמאחרים מתהווה והולך הרובד החפשי על פני המדרונים בעלי השיפוע הניכר, הודות לעצמת-הגריפה הגדולה יותר בהם. מתוך כך מתברר, שגריפת-המים נמשכת בחלקים גדולים של האיזור גם לאחר התהוות הרובד הבסיסי עליהם וכן שפעולת המים על פני הקרקע היא ממושכת מאוד ועולה בכך לאין-שיעור על זו של הרוח.

ה. סיכום

1. החמדה נוצרת בתהליך בעל אופי אלוביאלי (eluvial), שבו מוגבלת ביותר תנועת אבני-החמדה עצמן.
2. החמדה הנדונה מייצגת מצב של שיווי-משקל של מדרונים, המצטיין במידה גבוהה של יציבות. הפרתו באופן מלאכותי אינה יוצרת מצב חדש, בעל כיוון של התפתחות מורפולוגית משלו, אלא גורמת לתהליך מהיר של החזרת המצב לקדמותו. אמנם הפגיעה בחמדה מגבירה את תהליכי-הגריפה באופן זמני, אבל עם זאת מהווה היא כעין "פעולת-הדק" להפעלתו המחודשת של תהליך היווצרות החמדה ולהחזרת שיווי-המשקל.
3. אין עדיין בידנו לקבוע את משך-הזמן הדרוש להשלמת תהליך-ההתחדשות של החמדה, אך יש סימנים לכך, שהתהליך הוא מהיר יחסית, בעיקר בשלבים הראשונים. במשך חמש שנות-הניסוי התפתח הרובד הבסיסי של החמדה על פני כ-75% משטח החלקות וכן התגלו סימני הראשונים של הרובד החפשי.
4. בשלב זה של הניסוי לא ניתן למדוד את חלקם של המים בגריפת הקרקע על פני החלקות, אך אין ספק, שהוא עולה על זה של הרוח בהסעת חומר מן הקרקע שנחשפה. קביעה זו היא נכונה לגבי התקופה של חמש השנים הראשונות של הניסוי, ועל אחת כמה וכמה לגבי התקופה העתידה, הארוכה יותר, עד להשלמתו של מחזור-ההתחדשות של החמדה²¹. תוצאה זו

20. N. Tadmor etc., *op. cit.*, p. 133

21. W. Meckelein, *op. cit.*, ch. on Hamada

עומדת בהתאמה להשקפה על תפקידה המשני של הרוח בעיצוב נוף המדבר²² ובניגוד לסברה, שהיתה מקובלת במורפולוגיה קודם-לכן²³.

5. כמות-הקרקע, שנגרפה במסגרת הניסוי במשך חמש שנים מעל פני החלקות, מתאימה לעצמה של כ־15—20 מ"מ. בשנים הבאות יש לצפות להמשך תהליך-הגריפה, במקביל להשלמת התפתחותה של החמדה החדשה, אך במהירות פוחתת והולכת. כמות-קרקע זו היא בעלת סדר גודל דומה לזה של הערך, שנקבע על-ידי קדר (32 מ"מ ב־10 שנים) ושאליו הגיע על-פי שיקולים תיאורטיים אחרים²⁴.

J. Büdel, Sinai, die Wüste der Gesetzgebung, *Abh. d. Akad. f. Raumforsch. & Landesplan*, Bd. 28 (Mortensen-Festschr.), Bremen 1954, S. 65—67

J. Walther, *Das Gesetz der Wüstenbildung*, Leipzig 1912

24. י. קדר, בעית התלוליות בחקלאות העתיקה בנגב, עמ' 41.