

## מים מהסלע – ה"סוד" לקיום החקלאות הקדומה באזורים היובשניים של ארץ ישראל

א' אקרמן

החוג ללימודי ארץ ישראל וארכאולוגיה, אוניברסיטת אריאל

רשמי התקשורת: orenac@ariel.ac.il

ת ק צ י ר

ארץ ישראל ממוקמת במעבר מהאזור האקלימי הלח-למחצה לאזור הצחיח-למחצה והצחיח. באזורים אלו מיעוט המשקעים יוצר תנאים יובשניים, המאופיינים במחסור במים זמינים הן לצומח הטבעי והן לגידולים החקלאיים. למרות התנאים הללו, יש עדויות ארכאולוגיות והיסטוריות לקיומן של תרבויות באזורים היובשניים של ארץ ישראל במשך דורות רבים. נשאלת השאלה כיצד הצליחו תרבויות קדומות אלה לקיים חקלאות משגשגת בתנאי קיצון אלו. באזורים הצחיחים-למחצה פני השטח מורכבים ממשטחי סלע, מסדקים, מכיסי קרקע ומעמקים. משטחי הסלע האטימים משמשים מקור ליצירת נגר. הסדקים, כיסי הקרקע והעמקים משמשים מבלע, הקולט את מי הנגר העילי. במרחבי המבלע זמינות המים גבוהה באופן משמעותי, ולכן ניתן לראות, כי במרחבים אלו נוצרה החקלאות הקדומה: "עציצים" בסדקים, "אדנית" בטרסות קטנות שלמרגלות משטחי סלע ושדות למרגלות מדרונות סלעיים. באזורים הצחיחים הגשם יורד בעוצמה גבוהה בפרק זמן קצר. הגשם פוגש במשטחי סלע אטומים או בפני שטח אבניים חשופים מצומח ורגישים לחבטת טיפת הגשם. מפגש זה גורם להיווצרות קרום פיזיקלי, המקטין את יכולת החידור. יוצא אפוא כי באירועי גשם אלו פני השטח הסלעיים או פני השטח האבניים החשופים מצומח יוצרים נגר עילי. בחינה של תפוצת החקלאות הקדומה מראה כי היא הוקמה באזורים שבהם קיימת תשתית של מסלע מייצרת נגר. החקלאים הקדמונים שיפרו את היווצרות הנגר העילי על ידי סדרת פעולות של פינוי אבנים מפני השטח, לצורך הגדלת אפקט חבטת הטיפה והגברת היווצרות הנגר העילי. נוסף על כך נקטו החקלאים הקדמונים בפעולות של רישות המדרון בתעלות, לצורך הגברת יעילות העברת הנגר אל החלקות החקלאיות שבעמקים. מכאן שהסלע הוא ה"סוד" לקיומה של חקלאות עתיקה באזורים היבשים.

מילות מפתח:  
חקלאות נגר עילי  
קציר נגר  
גאוארכאולוגיה  
חקלאות מדברית

### הקדשה

מאמר זה מוקדש בברכה לעוזי אבנר, שהקדיש את חייו למפעל מחקר של דרום הנגב ובקעת עובדה, מחקר ארכאולוגי רב-תחומי. עוזי הנגיש מידע עצום על אודות התרבויות המדבריות העתיקות, הן לקהילה המדעית והן לציבור הרחב שמחוץ ל"מגדל השן" האקדמי. באופן אישי, עוזי סייע לי באמצעות חומרים רבים בכל פעם שפניתי אליו, ועל כך תודתי לו. נאחל לעוזי עוד שנים רבות ופורות. לסיום, תודה לליאורה הורביץ על היוזמה בהכנת גיליון מיוחד זה, ליואל רסקין על ההערות החשובות ששיפרו את המאמר ולאגם אקרמן על הכנת איור 2.

# Water from rock: The "secret" of the existence of ancient agriculture in the dry region of Israel

O. Ackerman

The Department of Land of Israel Studies and Archaeology, Ariel University, Israel

Correspondence: orenac@ariel.ac.il

## ABSTRACT

### Keywords:

Runoff Agriculture  
Runoff Harvesting  
Geoarchaeology  
Desert Agriculture

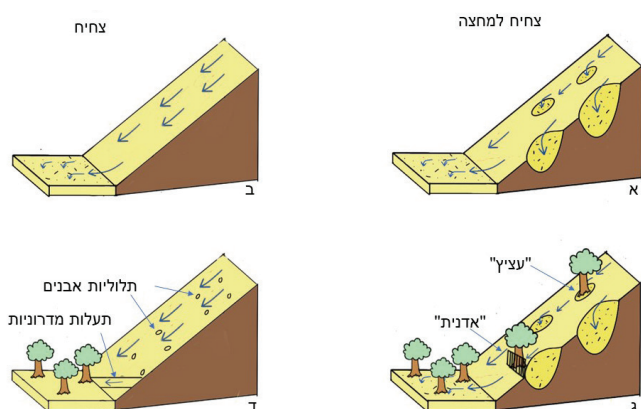
Israel is located in the transition between the sub-humid climatic zone to the semi-arid and arid zones. In these areas, the low amount of precipitation creates dry conditions characterized by a shortage of water availability for natural vegetation and for agricultural crops. Despite these conditions, there is archaeological and historical evidence for extensive human occupation of these dry regions, over many generations and centuries. This raises the question of how these ancient communities established and maintained flourishing agriculture in such extreme and harsh conditions. In semi-arid areas, the surface consists of impermeable rock outcrops that act as a source of runoff, while cracks, soil pockets and valleys act as sinks that absorb the runoff. Therefore, in the sink areas, water availability is significantly enhanced and this enabled ancient agriculture to be established in cracks that acted as "pots", on small terraces that acted as "planters" at the foot of small rock outcrops, and in the fields at the foot of the slopes. In arid areas, rain is characterized by high intensity and falls during a short period of time. The rain meets the surface of impermeable rock or stony surfaces where vegetation that is sensitive to the impact of the rainfall is exposed. The rainfall creates a physical crust that creates runoff. An examination of the spatial distribution of ancient agriculture shows that it was established in areas with surfaces that produce runoff. Ancient farmers knew how to enhance the generation of runoff by a series of actions that included removing stones from the surface to increase the impact of the rainfall, and by constructing a network of low conduits on the slopes to increase the efficiency of transferring the runoff to the agricultural plots in the valleys below. In sum, the rock is the "secret" to the existence of ancient agriculture in dry areas.

## 1. מבוא

מעניין כי למרות התנאים הקשים של מיעוט מים זמינים לחקלאות, תרבויות אנושיות רבות התקיימו במרחב (Ben-Yosef, 2021), והקימו מערכות חקלאיות משגשגות שכללו שדות חקלאיים, בורות מים (Junge et al., 2021) ובארות (Avner, 2002; Avner and Magness, 1998). עדויות למערכות אלו ניתן לראות במרחב הצחיח-למחצה בדרום שפלת יהודה ובדרום הר חברון (שוקרון ואחרים, 2019; Ackermann, 2007; Ackermann et al., 2008; Ackermann Haiman et al., 2019), במרחב הצחיח של בקעת באר שבע (et al., 2019), באזור הצחיח של הר הנגב (Ashkenazi et al., 2015; Bruins, 1986; Bruins, 1990; Bruins, 2012; Bruins and Ore, 1997; Evenari et al., 1982; Lavee et al., 2009), ואפילו במרחב הצחיח הקיצוני של הנגב הדרומי (אבנר, תשס"ו; Stavi et al., 2018), עדויות אלה מעלות את השאלה, כיצד הצליחו הקדמונים להתקיים ולפתח חקלאות בתנאי אקלים קיצוניים אלו (Bruins et al., 2019). מאמר זה סוקר סוגים שונים של מערכות חקלאיות תלויות נגר, שהתפתחו בעיקר בהתאם לתנאים הסביבתיים – המסלע והאקלים.

ארץ ישראל ממוקמת במזרח אגן הים התיכון, במעבר שבין האזור הים תיכוני הלח-למחצה מצפון לבין האזור המדברי הצחיח והצחיח-קיצוני במזרח ובדרום (קאפלה וברוינס, 2010). מרחב זה נתון תחת תנאי משק מים מצומצמים. ערכי הגשם באזור הצחיח-למחצה נעים בין 301 ל-400 מ"מ בממוצע רב-שנתי. באזורים הצחיחים ערכי הגשם נמוכים יותר, ועומדים על כ-100 מ"מ בממוצע רב-שנתי. באזורים הצחיחים באופן קיצוני, ערכי הגשם השנתי נמוכים יותר מ-100 מ"מ בממוצע רב-שנתי (איור 1). אירועי הגשם מאופיינים בשוני גדול בפיוזר מבחינה מרחבית, עונתית, כולל מחזוריים של שנות בצורת (גבירצמן, 2019; Fuks et al., 2017). אירועי הגשם העיקריים מתרחשים בחודשים נובמבר עד מרץ, והם מאופיינים בעוצמה חזקה בפרק זמן קצר (Goldreich, 2003). באזורים המזרחיים והדרומיים יותר של הארץ, בחודשי המעבר בין העונות – אוקטובר, אפריל ומאי – מתרחשים אירועי גשם מקומיים, קצרים ובעלי עוצמה חזקה. הם נוצרים כתוצאה מאפיק ים סוף, היוצר תאי גשם קונבקטיביים מלווים בשיטפונות בזק (Dayan et al., 2021; Greenbaum et al., 1998).

השטח מורכבים מקרקע אבנית (ליתוסול), אנרגיית חבטת טיפות הגשם מייצרת קרום פיזיקלי (איור 3), המצמצם את יכולת החידור של הקרקע ומגביר את ספיקות הנגר העילי. בפני שטח בעלי משטחי סלע, הנגר העילי מתחיל להיווצר לאחר כ-1-3 מ"מ גשם (Yair, 1983). ככל שאירוע הגשם מתמשך וככל שהשטח הסלעי גדול יותר, כך רציפות הנגר והשטח התורם נגר מהמדרון יהיו גדולים יותר (Yair and Lavee, 1976; Wieler et al., 2017). בפני שטח ללא משטחי סלע רציפים, המורכבים מלס לדוגמה, הנגר העילי יתחיל להיווצר לאחר 4 מ"מ של גשם, ועוצמתו תהיה נמוכה באופן משמעותי (Yair and Kossovsky, 2002).

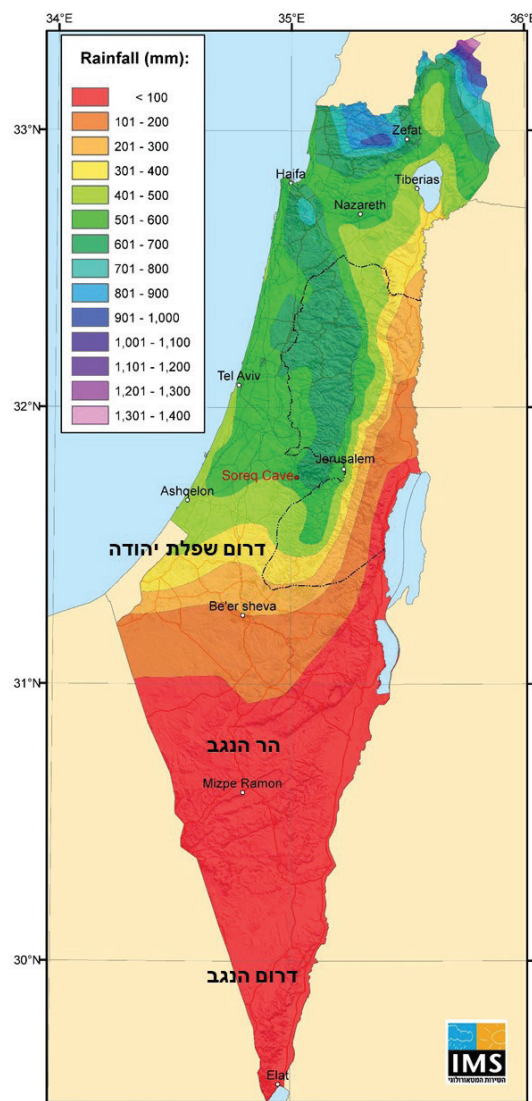


**איור 2:** א – פני שטח באזור צחיח-למחצה, מורכבים משטחים מייצרי נגר (מקור) וכיסי קרקע קולטי נגר (מבלע), ב – אזור צחיח, כל שטח המדרון מייצר נגר, ג – באזור צחיח-למחצה החקלאות תתבסס בכיסי קרקע ("עציץ"), טרסות קטנות ("אדנית") וטרסות בעמק, ד – באזור הצחיח תלוליות אבן ישפרו את היווצרות הנגר העילי, תעלות מדרוניות ישפרו את רציפות הזרימה אל העמק, שם תתקיים החקלאות



**איור 3:** קרום פיזיקלי

דגם פיזור הצומח באזורים הצחיחים-למחצה והצחיחים מתארגן בהתאם לתנאי משק המים שנוכרו לעיל. באזורים הצחיחים-למחצה הצומח מתרכז בסדקים ובכיסי הקרקע (איור 4). משטחי הסלע משפרים באופן משמעותי את משק המים המצוי בסדקי הסלע ובכיסי הקרקע, שבהם



**איור 1:** ישראל, גשם בממוצע רב-שנתי, בין השנים 1960–1990 (באדיבות השירות המטאורולוגי)

**2. פני השטח, נגר עילי ודגם פיזור הצומח**

פני השטח באזור הצחיח-למחצה, דרום שפלת יהודה, מורכבים מחילופין של משטחי סלע חשופים של קלקריט (נארי), כיסי קרקע וסדקים. משטחי הסלע מהווים פיסות מקור (source) ליצירת נגר עילי. כיסי הקרקע והסדקים מהווים פיסות מבלע (sink) קולטות נגר עילי (איור 2א'). מכאן, שבמרחבי המבלע יש תנאי משק מים משופרים יותר (Lavee et al., 1998).

באזורים הצחיחים, במדבר יהודה ובנגב, פני השטח מורכבים ממשטחי סלע סדוקים או מקרקע חשופה מצומח ועשירה באבניות. השילוב של פני שטח חשופים ושל גשמים קצרים ובעלי עוצמה חזקה באזורים הנידונים, מייצר זרימות נגר עילי על פני השטח בשל אטימות משטחי הסלע (Yair and Kossovsky, 2002). במקרים שבהם פני









א



ב

**איור 8:** א – תולילת אל-ענב בחוות הבור, ב – חלקת הניסוי מצפון לשדה בוקר. משמאל, חלקה עם תולוליות שנבנו לצורך הניסוי. מימין, המדרון במצב האבנים הטבעי

לביא ואחרים (Lavee et al., 1997) הראו כי פינוי האבנים מפני השטח בוצע באופן סלקטיבי. התולוליות נבנו מאבנים הנמצאות על פני השטח (on top) (איורים 9א' ו-9ב'), ואילו אבנים שהיו שקועות (embedded) לא נאספו, שכן הוצאתן הייתה גורמת ליצירת שקעים בפני השטח (איור 9ג'). שקעים אלה היו מקטינים באופן משמעותי את עוצמת היווצרות הנגר העילי. מהאמור עולה, כי איסוף האבנים מפני השטח היה מתוחכם מכפי שנחשב תחילה, וכי לאופן תנוחת האבן הבודדת יש השפעה משמעותית על היווצרות הנגר העילי.

של מדרונות אבניים, החקלאים הקדמונים שיפרו את משק המים הזמין למרגלות המדרונות על ידי סדרה של טיפולים בפני השטח. עדות לטיפולים אלו ניתן לראות במערכת התעלות המדרוניות, הנמתחות מראש המדרון ועד לתחתיתו, תעלות שנועדו לשפר ולייעל את רציפות זרימת הנגר מהמדרון אל החלקות החקלאיות שבעמק (איור 7).



**איור 7:** חוות הבור בהר הנגב. החיצים מצביעים על התעלות המדרוניות, המשפרות את זרימת הנגר העילי מהמדרונות אל החלקות החקלאיות בעמק. ניתן לראות את פסי החד-שנתיים הגדלים לאורך תעלות אלו

מרכיב נוסף בחלק ממערכות אלו הוא תולוליות האבן, המכונות גם "תולילת אל-ענב". הן מצויות בין התעלות המדרוניות בסידור גאומטרי קבוע (איורים 2ד' ו-8). תולוליות אלו תוארכו לאחרונה באמצעות OSL לתקופות הרומית והביזנטית, מאות 1 עד 6 לספירה (Tepper et al., 2020). תולוליות אלו הן חידה זה שנים רבות. קידר (תשט"ז) הציע, כי פינוי האבנים מפני השטח מגדיל את אפקט חבטת הטיפה ואת היווצרות הקרום הפיזיקלי בפני השטח. דבר זה מגביר את היווצרות הנגר העילי המדרוני ואת סחף הסדימנטים מהמדרון אל העמק, ובכך גורם להצטברות קרקע בעמקים, מה שאפשר את קיום החקלאות באזורים אלו. מחקרים אחרים מראים, כי הקרקע בעמקים הצטברה עשרות אלפי שנים קודם להצבת החלקות החקלאיות הללו (אבני ואחרים, תש"ע). קידר (תשט"ז) ואבן ארי ואחרים (1980) סברו, כי היווצרות התולוליות היא תוצר לוואי של פינוי האבנים מפני השטח לצורך הגברת הנגר העילי מ-5% מהגשם הישיר ל-15%-20% ממנו.



עם ערכי גשם נמוכים של כ-50 מ"מ בממוצע רב-שנתי. פני שטח הבקעה הם בעלי שיפוע מתון ביותר (פחות מ-1%). החתך הסדימנטרי של הבקעה מורכב משכבה של סייך חולי (sandy loam) בעובי של 120 ס"מ, עם תכולת חול של 50%–70%, ומתחתיה שכבה חולית עשירה בחרסית (כ-23%). לבקעה יש אגן ניקוז, המורכב בעיקר ממשטחי סלע חשופים המייצרים כמויות נגר עילי גבוהות. שילוב התנאים הפיזיים של בקעת עובדה עם אגן הניקוז מאפשר קיום משק מים זמין לחקלאות גם בימי הקיץ. אגן הניקוז מייצר נגר עילי שיטפוני, פני השטח החוליים והמישוריים מאפשרים חידור מים גבוה, והשכבה החרסיתית האטימה מאפשרת את אגירת מי התהום בעומק של כ-120 ס"מ. נוסף על כך עומק זה מצמצם את ההשפעה הישירה של השמש על אידוי המים, גורם נוסף המשפר את זמינות המים בתקופות היובש הארוכות. החקלאים הקדמונים הגבירו באופן מלאכותי את קליטת הנגר העילי על ידי בניית חלקות משנה, שהיו מוקפות בסוללות עפר.



איור 10: שיטפון בבקעת עובדה (באדיבות עוזי אבנר)



איור 11: פריחה בבקעת עובדה (באדיבות עוזי אבנר)

איור 9: א – פני השטח האבניים. חלק מהאבנים מונחות על פני השטח וחלק שקועות, ב – פינני האבנים מפני השטח מגדיל את השטח החשוף לאפקט חבטת הטיפה, ג – פינני האבנים השקועות בתוך פני השטח, ייצור שקעים, דבר המגדיל את אוגר השקערוריות ומקטין את כמות הנגר העילי

### 3.3 דרום הנגב

מדרום למכתש רמון הפעילות האנושית הייתה בעבר מצומצמת ביותר בהיקפה (Bruins, 2012). מערכות חקלאיות קטנות (0.03–23 הקטאר) נמצאו בשולי הערוצים (Stavi et al., 2018; Stavi et al., 2021). יוצאת דופן היא התופעה של בקעת עובדה (אזורים 10 ו-11) בדרום הנגב, אשר נחקרה באופן מקיף על ידי אבנר (תשס"ז; Avner,



גבירצמן, ח', 2019. משאבי המים בישראל: מהדורה מורחבת ומעודכנת. יד בן צבי. ירושלים.

דנין, א', 1984. הצומח והצמחייה של המדבר. בתוך: ויזל, י' (עורך), החי והצומח של ארץ-ישראל: אנציקלופדיה שימושית מאוירת, כרך 8. הצומח של ארץ ישראל. משרד הביטחון ההוצאה לאור. רעננה. עמ' 206–210.

קאפלה, ה"ח, ברוינס, ה', 2010. מגמות אקלימיות בישראל 1970–2002: הם וצחיח יותר בפנים הארץ, אקולוגיה וסביבה, 1, 16–22.

קידר, י', תשט"ז. בעיית התלוליות או תולילת אל ענב בחקלאות העתיקה בנגב. ידיעות החברה לחקירת ארץ ישראל ועתיקותיה כ', 31–43.

שוקרון, מ', אקרמן, א', זיסו, ב', 2019. גתות ביונטיות בין מזרע לשימון, מדרום הר חברון למישור החוף הדרומי. מחקרי יהודה ושומרון כ"ח, 117–137.

Ackermann, O., 2007. Reading the field: Geoarchaeological codes in the Israeli landscape. *Israel Journal of Earth Sciences* 56, 87–106.

Ackermann, O., Svoray, T., Haiman, M., 2008. Nari (calcrete) outcrop contribution to ancient agricultural terraces in the Southern Shephelah, Israel: Insights from digital terrain analysis and a geoarchaeological field survey. *Journal of Archaeological Science* 35, 930–941.

Ackermann, O., Zhevelev, H. M., Svoray, T., 2013. *Sarcopoterium Spinosum* from mosaic structure to matrix: Impact of calcrete (Nari) on vegetation in a semi-arid landscape. *Catena* 101, 79–91.

Ackermann, O., Zhevelev, H. M., Svoray, T., 2019. Agricultural systems and terrace pattern distribution and preservation along climatic gradient: From sub-humid Mediterranean to arid conditions. *Quaternary International* 502, 319–326.

Ackermann, O., Zhevelev, H. M., Svoray, T., 2021. The physical pattern structure and vegetation component distribution in a sub-humid ecohydrological system. *Negev, Dead Sea and Arava Studies* 13 (2), 54–61.

Ashkenazi, E., Chen, Y., Avni, Y., Lavee, S., 2015. Fruit trees survival ability in an arid desert environment without irrigation in the Negev Highlands of Southern Israel. *Israel Journal of Plant Sciences* 62 (1–2), 5–16.

Avner, U., 1998. Settlement, agriculture, and paleoclimate in 'Uvda Valley, Southern Negev Desert, 6<sup>th</sup>–3<sup>rd</sup> Millennia B. C. In: Issar, A., Brown, N. (Eds.), *Water, environment and society in times of climate change* (pp. 147–202). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.

#### 4. המערכות החקלאיות בתנאים של שינויי אקלים והתחממות גלובלית

שאלה מעניינת עולה לגבי עמידותן של מערכות חקלאיות אלו בתנאים של שינויי אקלים. סתוי ואחרים (Stavi et al., 2017) מראים באמצעות חישוב, כי ירידה משמעותית בתנאי משק המים באזור הצחיח הקיצוני של בקעת עובדה מקטינה את כמות היבול באופן משמעותי, כך שבשנתיים בלבד מתוך כל 17 שנה כמות הגשם מספיקה לקיום חקלאות. לעומת זאת באזורים הצחיחים שבאזור הר הנגב בתנאי גשם של 100 מ"מ בממוצע רב-שנתי, ברוינס ואחרים (Bruins et al., 2019) הראו, כי גם בתנאי בצורת כמות הנגר העילי המתקבלת מספיקה כדי לקיים את החקלאות באזור.

תרחיש אחר של שינויי אקלים הוא שכמות הגשם השנתית תישאר דומה לזו הקיימת היום, ורק פיזור הגשמים ישתנה, כלומר אירועי גשם קצרים יותר בעוצמה גבוהה יותר. נראה כי בתרחיש זה הנגר שיייווצר ייקלט בתוך מרחבי המבלע (סדקים, כיסי קרקע, שדות חקלאיים), ולכן סביר להניח כי משק המים הזמין עשוי בשנים מסוימות להתגבר. זאת מכיוון שבאירועים הקצרים של הגשם יסייע הנגר על פני שטח חשוף מצומח להגברת היווצרות הקרום הפיזיקלי, וכן מכיוון שמשטחי הסלע החשופים מקרקע יהיו בעלי שטח גדול יותר ורציף יותר. לסיכום ניתן לראות, כי לסלע ולאבניות יש השפעה גדולה על מיקום הפעילות האנושית באזורים הצחיחים והצחיחים-למחצה. למעשה הסלע הוא "סם החיים" באזור המדברי (Avni et al., 2006; Wieler et al., 2016). במקרה של שינויי אקלים, השפעת הסלע משמעותית עוד יותר, ואף עשויה להגביר את משאב המים.

#### 5. סיכום

ניתן לראות את חשיבות המסלע בהגברת הנגר העילי בעת ירידת גשמים באזורים המדבריים, דבר המאפשר הן למערכות הטבעיות והן למערכות האנושיות להתקיים. צמחים מתקיימים בסדקים שבין הסלעים, בכיסי קרקע למרגלות הסלעים ובעמקי נחלים למרגלות מדרונות סלעיים. באופן דומה המערכות החקלאיות מתקיימות בתוך כיסי קרקע ולמרגלות משטחי סלע, כאשר הסלע משמש מקור לנגר עילי, והשדה החקלאי או החלקה החקלאית הקטנה ("עציץ", "אדנית") משמשים מקום של מבלע. לסיכום, ניתן לראות כי הסלע הוא ה"סוד" לקיום חקלאות באזורים היבשניים.

#### מקורות

אבן-ארי, ש', שנון, ל', תדמור, נ', 1980. הנגב: מלחמת קיום במדבר. מוסד ביאליק. ירושלים.

אבני, ג', אבני, י', פורת, נ', תש"ע. החקלאות הקדומה בהר הנגב: בחינה מחודשת. קתדרה 133, 13–44.

אבנר, ע', תשס"ז. התיישבות חקלאית קדומה בבקעת עובדה. ירושלים וארץ ישראל 4–5, 11–40.

ברוינס, ה', 2003. אדם ונוף בהר הנגב: מערכות מי נגר. אופקים בגאוגרפיה 57–58, 146–158.

- Avner, U., 2001–2002. Ancient water management in the Southern Negev. *Aram* 14, 403–421.
- Avner, U., 2002. Studies in the Material and Spiritual Culture of the Negev and Sinai Populations, during the 6<sup>th</sup>–3<sup>rd</sup> millennia B. C. Unpublished doctoral dissertation. The Hebrew University in Jerusalem.
- Avner, U., Magness, J., 1998. Early Islamic settlement in the southern Negev. *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* 310 (1), 39–57.
- Avni, Y., Porat, N., Plakht, J., Avni, G., 2006. Geomorphic changes leading to natural desertification versus anthropogenic land conservation in an arid environment, the Negev Highlands, Israel. *Geomorphology* 82 (3–4), 177–200.
- Avni, G., Porat, N., Avni, Y., 2013. Byzantine-Early Islamic agricultural systems in the Negev Highlands: Stages of development as interpreted through OSL dating. *Journal of Field Archaeology* 38 (4), 332–346.
- Ben-Yosef, E., 2021. Rethinking the social complexity of Early Iron Age Nomads. *Archaeology* 1, 155–179.
- Bruins, H. J., 1986. Desert environment and agriculture in the Central Negev and Kadesh-Barnea during historical times. Midbar Foundation. Nijkerk.
- Bruins, H. J., 1990. Ancient agricultural terraces at Nahal Mitnan. *Atiqot* 10, 127–128. [Hebrew] 22\*–8\*. [English]
- Bruins, H. J., 2012. Ancient desert agriculture in the Negev and climate-zone boundary changes during average, wet and drought years. *Journal of Arid Environments* 86, 28–42.
- Bruins, H. J., Bithan-Guedj, H., Svoray, T., 2019. GIS-based hydrological modelling to assess runoff yields in ancient-agricultural terraced wadi fields (central Negev desert). *Journal of Arid Environments* 166, 91–107.
- Bruins, H. J., Ore, G., 2009. Runoff from loess or bedrock? Hillslope geoarchaeology of ancient runoff farming systems at Horvat Haluqim and Har Eldad in the central Negev Desert. *Israel Journal of Earth Sciences* 57 (3–4), 231–247.
- Bruins, H. J., van der Plicht, J., 2007. Radiocarbon dating the "Wilderness of Zin". *Radiocarbon* 49 (2), 481–497.
- Dayan, U., Lensky, I. M., Ziv, B., Khain, P., 2021. Atmospheric conditions leading to an exceptional fatal flash flood in the Negev Desert, Israel. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 21 (5), 1583–1597.
- Evenari, M., Shanan, L., Tadmor, N., 1982. *The Negev: The challenge of a desert* Harvard University Press. Cambridge.
- Fuks, D., Ackermann, O., Ayalon, A., Bar-Matthews, M., Bar-Oz, G., Levi, Y., Maeir, A. M., Weiss, E., Zilberman, T., Safrai, Z., 2017. Dust clouds, climate change and coins: Consiliences of palaeoclimate and economy in the Late Antique southern Levant. *Levant* 49 (2), 205–223. <https://doi.org/10.1080/00758914.2017.1379181>
- Goldreich, Y., 2003. *The climate of Israel: Observation, research and application* (p. 298). Kluwer Academic, Plenum Publishers. New York.
- Greenbaum, N., Margalit, A., Schick, A. P., Sharon, D., Baker, V. R., 1998. A high magnitude storm and flood in a hyperarid catchment, Nahal Zin, Negev Desert, Israel. *Hydrological Processes* 12 (1), 1–23.
- Haiman, M., 1995a. An early Islamic period farm at Nahal Mitnan in the Negev Highlands, *Atiqot* 36, 1–13.
- Haiman, M., 1995b. Agriculture and nomad-state relations in the Negev Desert in the Byzantine and Islamic periods. *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* 297, 29–53.
- Haiman, M., Argaman, E., Stavi, I., 2020. Ancient runoff harvesting agriculture in the arid Beer Sheva Valley, Israel: An interdisciplinary study. *The Holocene* 30 (8), 1196–1204.
- Junge, A., Dunseth, Z. C., Shahack-Gross, R., Finkelstein, I., Fuchs, M., 2021. Construction and use of rock-cut cisterns: A chronological OSL approach in the arid Negev Highlands, Israel. *Archaeological and Anthropological Sciences* 13 (9), 1–21.
- Lavee, H., Imeson, A. C., Sarah, P., 1998. The impact of climate change on geomorphology and desertification along a Mediterranean-arid transect. *Land Degradation & Development* 9 (5), 407–422.
- Lavee, H., Poesen, J., Yair, A., 1997. Evidence of high efficiency water-harvesting by ancient farmers in the Negev Desert. *Journal of Arid Environments* 35, 341–348.
- Stavi, I., Ragolsky, G., Haiman, M., Porat, N., 2021. Ancient to recent-past runoff harvesting agriculture in the hyper-arid Arava Valley: OSL dating and insights. *The Holocene* 31 (6), 1047–1054.
- Stavi, I., Ragolsky, G., Shem-Tov, R., Shlomi, Y., Ackermann, O., Rueff, H., Lekach, J., 2018. Ancient through mid-twentieth century runoff harvesting agriculture in the hyper-arid Arava Valley of Israel. *Catena* 162, 80–87.



- Stavi, I., Shem-Tov, R., Ragolsky, G., Lekach, J., 2017. Ancient runoff harvesting agriculture in the hyper-arid 'Uvda Valley of Israel: An agro-hydrological assessment. *Land Degradation & Development* 28 (7), 2155–2165.
- Tepper, Y., Porat, N., Bar-Oz, G., 2020. Sustainable farming in the Roman-Byzantine period: Dating an advanced agriculture system near the site of Shivta, Negev Desert, Israel. *Journal of Arid Environments* 177, 104–134.
- Wieler, N., Avni, Y., Rosensaft, M., Olsvig-Whittaker, L., 2017. Variations in hillslope runoff as detected using geological strata coupled with vegetation patterns-implications on spatially distributed desert runoff agriculture. *Journal of Landscape Ecology* 10 (3), 189–212.
- Wieler, N., Avni, Y., Rosensaft, M., 2016. The significance of the geological strata on desert runoff agriculture: Indications for stable desert environment over the last 1,600 years in southern Israel. *Journal of Arid Environments* 135, 147–163.
- Yair, A., 1983. Hillslope hydrology water harvesting and aerial distribution of some ancient agricultural systems, Northern Negev, Israel. *Journal of Arid Environments* 6, 283–301.
- Yair, A., Kossovsky, A., 2002. Climate and surface properties: Hydrological response of small arid and semi-arid watersheds. *Geomorphology* 42 (1–2), 43–57.
- Yair, A., Lavee, H., 1976. Runoff generative processes and runoff yield from arid talus mantled slopes. *Earth Surface Processes* 1, 235–247.