

במרכז

קובץ מחקרים
כרך ג'

זמן

עורכים:
גיא ד' שטיבל
עידו קוך
אבנר אקר
אמיר גורזלזני
יותם טפר
עמית שדמן
שלומה דן-גור



במרכז

קובץ מחקרים
כרך ג'

מחקרי הכנס השנתי "במרכז" השלישי
פרי שיתוף פעולה בין מרחב מרכז של רשות העתיקות, החוג לארכיאולוגיה ותרבויות המזרח הקדום
והמכון לארכיאולוגיה ע"ש סוניה ומרקו נדלר של אוניברסיטת תל אביב, והמכון לארכיאולוגיה של אוניברסיטת
בר-אילן, שהתקיים ב-9 יוני, 2022 באוניברסיטת בר-אילן

כריכה: פסל יאנוס, גן הקיץ, סנט פטרסבורג (istock)

מנהלת מחלקת פרסומים: ציפי קופר-בלאו
עוזר מנהלת מחלקת פרסומים: דניאל קליימן
עיצוב גרפי: אילת גזית

© המכון לארכיאולוגיה, אוניברסיטת תל אביב, רשות העתיקות ואוניברסיטת בר-אילן, תשפ"ג

מסת"ב 8-071-266-965-978
הודפס בישראל תשפ"ג

במרכז

קובץ מחקרים

כרך ג'

זמן

עורכים:

גיא ד' שטיבל, עידו קוק, אבנר אקה, אמיר גורזלזני,
יותם טפר, עמית שדמן ושלומה דן-גור

אמרי וקלייר יאס פרסומים בארכאולוגיה
המכון לארכאולוגיה, אוניברסיטת תל אביב

רשימת מחברים ועורכים

גולן, דור
רשות העתיקות
dorg@israntique.org.il

גורזלזני, אמיר
רשות העתיקות
amir@israntique.org.il

גורין-רוזן, יעל
רשות העתיקות
gorin@israntique.org.il

גנדלמן, פטר
רשות העתיקות
petergen@israntique.org.il

דן-גור, שלומה
רשות העתיקות
salomec@israntique.org.il

הדד, אלי
רשות העתיקות
haddad@israntique.org.il

ואן דן ברינק, אדווין
רשות העתיקות
edwincmvandenbrink@gmail.com

זליגמן, יוחנן (ג'ון)
רשות העתיקות
jon@israntique.org.il

טל, גלית
רשות העתיקות
galitta@israntique.org.il

ש' שנדלה, אברהם
רשות העתיקות
avrohomt@israntique.org.il

אנקה, יעקב
אוניברסיטת אריאל ומו"פ מזרח
kobia@ariel.ac.il

אקה, אבנר
אוניברסיטת בר-אילן
avner22@hotmail.com

אקרמן, אורן
אוניברסיטת אריאל
orenac@ariel.ac.il

אשר, יותם
רשות העתיקות
yotama@israntique.org.il

בוארטו, אליזבטה
מכון ויצמן
elisabetta.boaretto@weizmann.ac.il

בן-דב, יונתן
אוניברסיטת תל אביב
jonbendov@tauex.tau.ac.il

בן-מלך, ניצן
אוניברסיטת תל אביב
nitsanbm@gmail.com

בקסטון, ברידג'ט
אוניברסיטת רוד איילנד
babuxton@uri.edu

ברילובסקי-רוכסר, לנה
רשות העתיקות
lenab@israntique.org.il

גדות, יובל
אוניברסיטת תל אביב
gadot@tauex.tau.ac.il

קירזנר, דן
רשות העתיקות
dankir@israntique.org.il

קריספין, שחר
רשות העתיקות
shahark@israntique.org.il

ראוכברגר, ליאור
רשות העתיקות
liorra@israntique.org.il

רגב, יוהנה
מכון ויצמן
johanna.regev@gmail.com

רגב, ליאור
מכון ויצמן
Lior.Regev@weizmann.ac.il

רוט, הלנה
אוניברסיטת תל אביב
helenaroth@mail.tau.ac.il

רוסקין, יואל
אוניברסיטת בר אילן
joel.roskin@biu.ac.il

שדמן, עמית
רשות העתיקות
shadman@israntique.org.il

שטיבל, גיא ד'
אוניברסיטת תל אביב
guystiebel@tauex.tau.ac.il

שרביט, יעקב
רשות העתיקות
koby@israntique.org.il

תלמי, לימור
רשות העתיקות
talmi@israntique.org.il

טפר, יותם
רשות העתיקות
yotam@israntique.org.il

טקסל, איתמר
רשות העתיקות
itamart@israntique.org.il

יקואל, אריולה
רשות העתיקות
eriola@israntique.org.il

לוי, איתן
אוניברסיטת ברן
eythan.levy@gmail.com

מינץ, יבגניה
מכון ויצמן
eugenia.mintz@weizmann.ac.il

מסארווה, דוראר
רשות העתיקות
dorar@israntique.org.il

נגורסקי, אלה
רשות העתיקות
alla@israntique.org.il

נדב-זיו, ליאת
רשות העתיקות
nadavziv@israntique.org.il

עד, עוזי
רשות העתיקות
ad@israntique.org.il

עוזיאל, ג'ו
רשות העתיקות
joshepu@israntique.org.il

קוך, עידו
אוניברסיטת תל אביב
idokoch@tauex.tau.ac.il

קושניר, אורי
המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון
uriku@ac.sce.ac.il

תוכן עניינים

v*, v

רשימת מחברים

ix*, ix

פתח דבר

- 1 **תובנות אודות התרומה של תיארוך רדיומטרי לשחזור עברה של ירושלים: מבט מהישוב של תקופת הברונזה הקדומה**
יוהנה רגב, ג'ו עוזיאל, יובל גדות, הלנה רוט, יבגניה מינץ, ליאור רגב
ואליזבטה בוארטו
1*
- 2 **שעון החול: תיארוך סדימנטים ארכאולוגיים בשיטת ה-OSL**
ניצן בן-מלך
1
- 3 **מודל חישובי לכרונולוגיה מוחלטת בארכאולוגיה**
איתן לוי
17*
- 4 **סודם של הפירים מהתקופה הכלקוליתית – תובנות משיטת הלומיניסנציה הניידת (POSL): אתר ניסים אלוני 2, תל אביב**
אורן אקרמן, אריולה יקואל, אדווין ואן דן ברינק, יעקב אנקה, יותם אשר ויואל רסקין
21
- 5 **מאפיינים גאולוגיים וגאוכימיים, וגילי השקעה יחסיים בעזרת מדידות לומינסנציה של חול קווארצי-קלצי המסייעים לניתוח אתר קבורה הלניסטי ברחוב שערי ניקנור, יפו**
יואל רסקין, ליאור ראוכברגר, גלית טל ויותם אשר
39
- 6 **“יבנה ושדותיה”: עדויות ארכאולוגיות לזמן שעמד מלכת? אלי הדד, ליאת נדב-זיו ויוחנן (ג'ו) זליגמן**
51

79	7	”ההולכים בחושך ראו אור גדול“: מערת כפר ברא בין התקופה הניאוליתית לברונזה הקדומה אברהם ש' טנדלר, לנה בריילובסקי-רוכסר ושחר קריספין
101	8	תל יחם: שרידי ישוב מבוצר מתקופת הברונזה התיכונה, מתקופת הברונזה המאוחרת, ומתקופת הברזל בצפון השרון דור גולן ודוראר מסארווה
115	9	תל קטרה לאור חפירות הצלה: סקירה ראשונית אלה נגורסקי ואיתמר טקסל
129	10	לוחות שנה משרדיים מיהודה בתקופת הברזל השנה הסכמטית של 360 יום יונתן בן-דב
155	11	בור ללא תחתית: עדות לישוב ולתעשיית זכוכית בשלהי התקופה הרומית באם אל-זינאת יעל גורין-רוזן, לימור תלמי ודן קירזנר
35*	12	בין קיסריה מריטימה לקיסריה: העיר בין 640/641 ל-750 לסה”נ פטר גנדלמן ועוזי עד
183	13	קיסריה מבניה להרס: ממצאים חדשים מעונות חפירה וסקר 2015–2022 יעקב שרביט, ברידג'ט בקסטון ואורי קושניר
67*, 207		תקצירים

שעון החול: תיארוך סדימנטים ארכאולוגיים בשיטת ה-OSL

ניצן בן-מלך

מבוא

בבסיס כל מחקר ארכאולוגי עומד תיארוך יחסי ו/או מוחלט של הממצא. שיטות התיארוך הקלאסיות כגון טיפולוגיה של חרס או תיארוך מורפולוגי של הממצא מהוות את הלחם והחמאה של הדיסציפלינה מיום התגבשותה, אך כוללות מגבלות מובנות, ומקשות על מעבר מתיארוך יחסי לתיארוך מוחלט של ממצאים ואתרים מסויימים. לחלל זה נכנסו שיטות תיארוך מתחומי מדעי הטבע, שהשלימו את המידע החסר ותרמו רבות להתקדמות המחקר הארכאולוגי (ראו למשל בוארטו 2007; מרסיה ואחרים 2013; וקנין ואחרים 2022). אחת מן השיטות הללו היא שיטת הלומינסנציה האופטית (Optically Stimulated Luminescence; להלן OSL), המתארכת את החשיפה האחרונה של סדימנט¹ לאור או לחום. השיטה שהחלה דרכה בתחומי הגיאולוגיה הפכה בעשורים האחרונים לאמצעי מקובל לתיארוך זמן השקעה של סדימנטים באתרים ארכאולוגיים (ליריציס ואחרים 2013). במאמר זה אבקש ראשית להסביר כיצד פועל תיארוך ב-OSL. בהמשך אנסה לעמוד על היתרונות והמגבלות של שיטת תיארוך זו, דרך סקירה של השימוש בשיטת ה-OSL בדרום הלבנט בעשורים האחרונים, תוך התמקדות במספר מחקרים שבחנו את השימוש בשיטה בהקשרים ארכאולוגיים שונים.

* ניצן בן-מלך: אוניברסיטת תל אביב

1 סדימנט הוא החומר שהושקע באתר, אליו מתייחסים בטעות לעיתים קרובות כאדמה, או קרקע. הסדימנט מורכב מחלקיקים ומינרלים בעלי גדלים משתנים, מאבני חצץ קטנות ועד גרגרי אבק בגודל מיקרוניום בודדים.

מתודולוגיה

שיטת התיארוך ב-OSL הינה שיטה רדיומטרית המבוססת על מדידה של אלקטרונים הנצברים בגביש של מינרלים נפוצים בסדימנט (קוורץ ופלדספר) וניתנים לקריאה כסיגנל (אייטקן 1998 ושם הפניות נוספות). האלקטרונים נצברים בגביש כתוצאה מפגיעה של קרינה רדיואקטיבית המצויה בסביבה הטבעית והם נפלטים מהמינרל בעת חשיפה לאור שמש, אירוע הקורה תכופות בעת תזוזה של הסדימנט. כך, למשל, גרגר חול הנישא ברוח יחשף לאור השמש והסיגנל שבו יתאפס. לאחר האיפוס, עם הרבדת הסדימנט בסביבתו החדשה, מתחילה ההצטברות מחדש והסיגנל במינרל צומח בקצב הקשור לכמות קרינת הרקע הסביבתית. אם נחזור לדוגמה של גרגר החול, הרי שמיד עם שקיעתו בנקודה החדשה וכיסויו, יתחיל הסיגנל להצטבר מחדש. על ידי מדידת עוצמת הסיגנל וכמות הקרינה הסביבתית ניתן לחשב את הזמן שעבר מאז שקע/הורבד הסדימנט באתרו. חשוב לציין שבאזורים רבים בארץ, מקור הקוורץ בקרקעות איננו מהמסלע המקומי, שכן סלעי המשקע הנפוצים בחלקים נרחבים בארץ אינם כוללים בתוכם אלא כמויות מזעריות של קוורץ. מקור הקוורץ בקרקעות אלו הוא בהרבדה של אבק שהגיע בסופות מאזורי המדבריות של אפריקה, בתהליכים גאולוגיים ארוכי טווח (כרובי ואחרים 2008; 2018).

לאור ההסבר שלעיל, עולה ששיטת ה-OSL מתארכת הרבדה מחדש של סדימנט. כיוון שגם האדם וגם כוחות טבע גורמים לתנועה של סדימנטים, כדוגמת בניית סוללה, שטיפה טבעית במדרון או סופות רוח ואבק, השאלה הראשונה שצריכה להתברר היא האם אפשר לקשור בין פעולה אנתרופוגנית לבין מיקום הסדימנט ו/או הטמנתו במקום חשוך. במידה והתשובה היא חיובית, בשלב השני עלינו לנסות ולהבין מהי הפעולה האנושית שאותה אנו מתארכים. האם מדובר במילוי מכוון או בהצטברות הדרגתית? האם הרבדת הסדימנט הייתה בזמן קיום האתר או שמדובר בתהליכי בתר-הרבדה שהובילו להצטברות המילוי? דיגום של מילוי מכוון, למשל תשתית רצפה, יתארך את מועד ההקמה של אותה רצפה. מנגד, דיגום של סדימנט המכסה רצפה עשוי לתארך דווקא את שלב הנטישה ותהליכי בתר ההרבדה באתר. ברור מכך שמבלי לשחזר את הנסיבות בהן הסדימנט הגיע למקום בו הוא התגלה לא ניתן להבין את המשמעות של התוצאות שתתקבלנה. חשוב לציין שלעיתים התהליך הוא הפוך: החופרים משערים מה היה התהליך או האירוע שהביא להתרבדות הסדימנט ובדיקת ה-OSL מאששת או מפריכה השערה זו.

שיטת ה-OSL מתאימה אם כן לשימוש באתרים ובהקשרים בהם הסדימנט מהווה ממצא מרכזי. במקרים כאלה, OSL יהיה השיטה הטובה ביותר לתארך ולהבין את

הסטרטיגרפיה באתר. הדיגום ואיסוף דוגמה מייצגת של הסדימנט נעשה בתנאי אור עמומים – מתחת לכיסוי אטום לאור, וזאת על מנת למנוע חשיפה לאור ואיפוס של הסיגנל בעת איסוף הדוגמה. לרוב נעשה הדיגום מתוך חתך שנוצר במהלך החפירה ומייצג את הסדימנט שכבר נחפר. בשיטה זו ניתן לתארך סדימנטים בני מאות אלפי שנים (כ-500,000 שנים) לפני זמננו ועד התקופה המודרנית, ולתרום למחקרים העוסקים בתקופות ארכאולוגיות שונות. עם זאת טווח השגיאה של התוצאות נע בדרך כלל בין 5%–10%, כלומר באתרים בני אלפי שנים הגיל המתקבל עשוי להתפרש על פני כמה מאות שנים. בכדי להבין ולפרש תוצאות שכאלה יש לתארך מספר רב של דוגמאות ולשלב בין הגילים המתקבלים מ-OSL עם המידע הארכאולוגי הקיים, כגון הממצא החומרי או הסטרטיגרפיה באתר. עם זאת, תיארוך ב-OSL שימש בעשורים האחרונים במגוון מחקרים ארכאולוגיים ותרם לפתרון שאלות מחקר מורכבות באתרים רבים בהם התרבות החומרית או אמצעי תיארוך חיצוניים אחרים, להם טווח שגיאה מצומצם יותר, אינם בנמצא, או שאינם יכולים לתרום להבנת התיארוך מסיבות שונות (וראו בהמשך).

בשל האופי השונה של האתרים והממצאים בהם, והצטברויות הסדימנטים הנפוצות בהם יש להבחין בין תרומת השיטה לארכאולוגיה נופית ובין מחקר באתרי ישוב. תחום הארכאולוגיה הנופית עוסק בשיחזור הפעילות האנושית במרחב, והדרכים בהן עיצבו בני האדם את הנוף והפכו אותו לנוף תרבות (להבדיל מנוף טבעי; ווילקינסון 2003: 3–4). תחום מחקר זה בוחן את הסביבה כמכלול המורכב מאלמנטים שונים, המכונים תווים בנוף (features) ושעיצבו את הנוף כיחידה שלמה, מעשה ידי אדם, שהלכה והתפתחה לאורך השנים. אחת המגבלות המשמעותיות בארכאולוגיה של הנוף היא הקושי לתארך תווים שונים בנוף ובכך לקבוע את הקשרם לאתרי הישוב וזה לזה (גיבסון 2003; ווילקינסון 2003: 44–70). מתקנים תעשייתיים או חקלאיים נמצאים לרוב בשולי או מחוץ לאתרי הישוב. הם אינם מופיעים במערך קבוע ולרוב מופיעים כתווים בדידים בנוף. ככאלה, הם נחשפים ומתועדים לרוב בסקרים (ולאו דווקא בחפירות), דבר המוביל לקושי בתיארוך המתקנים השונים. השימוש בשיטות תיארוך ארכאולוגיות מסורתיות, קרי, תיארוך ממצא חומרי וטיפולוגיה צורנית, היה נפוץ בעבר (ראו למשל גיבסון 2015; אדלשטיין וגיבסון 1982; פרנקל ואיילון 1988). אולם ללא סטרטיגרפיה ברורה, ולאור מיעוט של ממצא חומרי שנחשף בדרך כלל בסביבות המתקנים, הגם שהקשרו של הממצא החומרי לשלבי השימוש במתקן אינו ודאי, ההסתמכות על שיטות אלה נדמית כבעייתית. תיארוך מוחלט נדרש על מנת להבין את המתקנים ואת הקשרם הכרונולוגי המדויק לסביבתם. לאור כל אלה ההתמקדות ב-OSL נראית מתבקשת –

השיטה מתארכת סדימנטים, המהווים ממצא מרכזי באתרים הנופיים, לעיתים כחלק אינטגרלי מהמתקן הארכאולוגי.

תיארוך באתרי ישוב נסמך לרוב על הממצא החומרי השכיח. בשונה מאתרי הארכאולוגיה הנופית, הסטרטיגרפיה באתרים אלו מספקת עוגן לפירוש הממצאים וכתוצאה מכך לתיארוך האתר. אנו מניחים שבאתרי הישוב התקיימה פעילות חוזרת לאורך זמן, ואופי השימוש בהם הביא להצטברות של ממצא חומרי באופן שיש בו כדי להעיד על תקופת הקיום בהם, כלומר, הצטברות עקבית ולא ארעית. אולם לעיתים, בדומה לאתרים הנופיים, גם באתרי הישוב הסטרטיגרפיה איננה ברורה. במקרים כאלו ניתן להסתמך על הסדימנטים באתר להבנת תהליכי הצטברות ופענוח הסטרטיגרפיה. תיארוך ההצטברויות בחתכים לצד המידע מהממצא החומרי, יכולים ללמד על שלבי הקמת האתר, משך השימוש בו, והתהליכים לאחר הנטישה. זאת כאמור לצד הממצא החומרי באתר, המנהל מעין דיאלוג עם תוצאות התיארוך של הסדימנטים.

הזיהוי של תהליכי הצטברות של סדימנטים באתרים ובסביבתם, זוכה בשנים האחרונות להתקדמות בעקבות כניסתו לשימוש של קורא לומינסנציה נייד (Portable OSL Reader; להלן POSL). הקורא הנייד מספק מדידות מהירות של ערכי הסיגנל בסדימנטים, מבלי לספק גיל כלשהו (סנדרסון ומרפי 2010). מדידות הסיגנל משמשות להבנת תהליכי הצטברות סדימנטים באתרים והקשרים שונים, ובשילוב עם תיארוך OSL מלא גם לקביעת קצבי הצטברות. הקורא הנייד נמצא בשימוש במשך שנים ספורות ועל כן המחקר בו באזורינו נמצא בתחילת הדרך. עד כה, שימש הקורא הנייד לזיהוי תהליכי הצטברות בסדימנטים אנרופוגניים באתרי ישוב כמו גם באתרים נופיים, למשל סדימנטים בתל בורנה (ג'נובסקי ואחרים 2022), במילויי פירים במישור החוף (ואן דן ברינק ואחרים 2020) ובטרסות בנחל שמואל (פורת ואחרים 2019).

מלבד ההבחנה בין אתרי ארכאולוגיה נופית לאתרי ישוב, חשוב לציין גם את החשיבות של תנאי הסביבה לתהליכי ההצטברות ותנועה של הסדימנטים באתר ומחוצה לו. למשל בסביבה מדברית תהליכי שטיפה וארוזיה של קרקעות מתרחשים מהר בהרבה מאשר בסביבה ים תיכונית, בה הצמחייה הטבעית מונעת סחיפת קרקעות במדרון. לכן הבחנה נוספת שחשוב לעשות באתרים המתוארכים היא על פי אופי הסביבה. לאור זאת אציג מספר מקרי מבחן על פי החלוקות שהוזכרו – ארכאולוגית (תהליכים ארכאולוגיים) וסביבתית. בהצגת מקרי המבחן אבקש להמחיש כיצד הבחירה היכן ומה לדגום מהווה תנאי הכרחי להבנת משמעות התוצאות ולהשגה של תוצאות איכותיות ופריצות דרך במחקר.

מקרי מבחן

תיארוך ב-OSL באזור המדבר

כאמור, הבנת תהליכי היווצרות האתר ותנועות הסדימנט בו הן הבסיס להבנת תוצאות ה-OSL באתרים הארכאולוגיים בין אם מדובר בתהליך טבעי או כתוצאה ישירה של פעילות אנתרופוגנית. מנקודת מבט ארכאולוגית, ניתן לחלק את התהליכים הללו לשלבים שונים בהיווצרות האתר – הרבדת סדימנטים שקדמה להקמת האתר, סדימנטים שהצטברו כתוצאה או במהלך של השימוש באתר, או אירועי בטר הרבדה שהובילו להצטברות סדימנט. סקירת המחקרים שלהלן תתחיל מסוג ההצטברות השכיח ביותר במחקרים – הצטברות כתוצאה מאירועי בטר הרבדה.

אירועי בטר הרבדה

אחד הגורמים המשמעותיים להרבדת סדימנטים בסביבה המדברית הוא סופות חול ואבק שמובילות חומר להרבדה על פני השטח לאורך זמן. באתרים או מתקנים ארכאולוגיים, נוטה האבק להצטבר בסמוך לקירות בנויים. כלומר, הצטברות זו מקורה בתהליכים שאחרי בניית המתקן ונטישתו. עובדה זו לכדה את עיני החוקרים בעבר, ובמספר מחקרים נעשה שימוש בהצטברות שכזו לתיארוך מתקנים.

במחקר שעסק בתיארוך מלכודות נמרים בנגב, תוארכו לראשונה בתיארוך מוחלט שתי מלכודות שונות (פורת ואחרים 2013). בשם "מלכודות נמרים" אנו מתייחסים למתקנים בנויי אבן ששימשו ללכידת טורפים כגון נמרים, צבועים וזאבים כמו גם חיות קטנות יותר דוגמת שועלים או קרקלים. סוג מתקן זה נפוץ במדבריות המזרח התיכון, ובארץ נמצאו במדבר יהודה, בנגב ובערבה (הדס 2011; אבנר ואחרים 2011). כמתקנים הפזורים בנוף המדברי, שאותם פקדו המשתמשים רק בעת הצורך, היעדר ממצא ארכאולוגי מתארך במלכודות או בסביבתן אינו מפתיע. בעבר נהגו לקשר את מלכודות הנמרים לפעילות במאות השנים האחרונות, אך זיהוי זה התבסס ככל הנראה על מסורות שבעל פה (לוי 1976; קרקז ואבו בקר 2006; מאלון 2009). ניסיון לתיארוך המבוסס על ממצאים ארכאולוגיים לא צלח (הדס 2011).

המלכודות בנויות כתאים מלבניים מוארכים, המקורים בלוחות אבן גדולים. דלת המלכודת הייתה קשורה בחבל שחובר בקצהו השני לפיתיון כך שלאחר כניסת החיה לתא ובעת שנגסה בפיתיון נשמטה הדלת ולכדה את החיה בפנים. רצפת המתקן נסמכה על סלע האם או לחילופין רוצפו המלכודות באבן. הנחת החוקרים הייתה שלאחר נטישת המלכודת החלו המשקעים להתאסף על רצפתה, והחלל התמלא לאיטו.

לכן תיארוכם מייצג את פלח הזמן מאז נטישת המלכודת. ארבע דגימות נאספו מכל מלכודת, בעומקים שונים בחתך. התוצאות בשתי המלכודות הצביעו על הצטברות הדרגתית של הסדימנט, כשהדגימות בתחתית כל חתך היו קדומות יותר מהדגימות בראשו. בכך איששו התוצאות את הנחת החוקרים שהמילוי שתוארך מקורו בהרבדה איאולית של אבק. כמו כן במהלך עיבוד תוצאות הדגימות, זוהו בסדימנטים שנדגמו תכונות לומינסנציה שהצביעו אף הן על חומר שעבר הסעה ברוח ואיפוס מלא, כלומר, חיזקו אף הן את הנחת החוקרים בנוגע לדרך הצטברות הסדימנט.

לאור התוצאות ברור שהגיל הקדום ביותר שהתקבל בתחתית כל חתך הוא הקרוב ביותר לזמן השימוש האחרון במלכודת. במלכודת אחת, הגיל הקדום ביותר הצביע על במהלך התקופה הביזנטית (1620 ± 110 שנים לפני היום), ואילו בסיס המילוי ממלכודת נוספת תוארך לכ- 5620 ± 240 שנים לפני היום, במהלך התקופה הכלקוליתית. היות שהתוצאות מייצגות כאמור את ההצטברות שלאחר הנטישה, נראה שהמלכודות קמו והיו בשימוש עוד בתקופה קדומה לגילים שהתקבלו. זו היתה הפעם הראשונה של תיארוך מוחלט של מלכודות טורפים. יתרה מכך, בזכות חקירה של תכונות הלומנסנציה בסדימנטים שנדגמו עלה בידי החוקרים להצביע על אופי ההצטברות עצמה.

במחקר אחר התמקדו החוקרים במתחמים מגודרים מאזור מדבר יהודה, ונדגמו ל-OSL שלושה מתחמים באתרים שונים (נחל משמר, נחל צפצפה והר צרויה; דוידוביץ' ואחרים 2014). מתחמים אלה מופיעים במדבריות באזור הלבנט (דוידוביץ' ואחרים 2014: 879 ושם מקורות נוספים). מדובר במכשול הבנוי מאבני שדה בבניה יבשה, שבבסיסו שורת אבנים שעליה נערמו אבנים נוספות כך שהתקבל מעין קיר נמוך. צורת המתחמים המגודרים אינה סדירה, אלא הם מופיעים במגוון צורות ובמימדים שונים. לעיתים נכללו בתוך המתחם המגודר מתקנים נוספים או חדרים בנויים. מתחמים אלה נסקרו ונחקרו בעבר (בר-אדון 1971: 12–13; בר-אדון 1972) והסברה הרווחת הייתה שמדובר במתקנים מהתקופה הכלקוליתית, סברה שנשענה בין השאר על סמיכותם לאתרים ידועים מהתקופה הכלקוליתית באזור, דוגמת נחל משמר.

בשלושת המתחמים שנחקרו נחפרו חתכים בסמוך לקירות הבנויים. דגימות OSL נלקטו במילויים הסמוכים לאבני הקיר וכן מתחתיהן. ההנחה בעת הדיגום הייתה שלאחר בנייתם, שימשו הקירות כמלכודות לאבק שהגיע עם הרוח, ולכן תיארוך הדגימות הסמוכות לאבנים יספק גיל מינימלי של הקירות, קרי, גיל הקירות הוא לפחות כגיל ההצטברות או קדום להן.

התוצאות שהתקבלו הצביעו על אחידות הגילים באתרים עצמם, גילי ה-OSL בדגימות שונות מכל אתר היו קרובים כך שנראה שהצטברו באותו הזמן; למשל בנחל משמר תוארכו שתי דגימות נפרדות ל-4700 ו-4600 שנים לפני זמננו. האחידות בתוצאות חיזקה את ההשערה הראשונית של בחירת מיקום הדגימות, כמייצגות של תהליך תחילת ההצטברות של הסדימנט. יחד עם זאת, בחינת התוצאות מכל אתר בנפרד העלתה שכל אתר מתוארך לתקופה אחרת. הדגימות בנחל צפצפה תוארכו לכ-5800 שנים לפני זמננו, כאלף שנים קודם לבניית המתחם בנחל משמר, ובהר צרויה תוארכו שתי דגימות שונות ל-2700 שנים. על כן אין לקשור את האתרים לפעילות אחת, לא כל שכן לתקופה הכלקוליתית. כך, שימוש תוצאות ה-OSL לשינוי הפרדיגמה המקובלת באמצעות תיארוך ישיר ומוחלט של הממצא הארכאולוגי. באופן דומה למתחמים המדבריים, תוארכו עפיפוני מדבר בדרום הנגב (הולצר ואחרים 2010). עפיפוני המדבר המוכרים ממדבריות במזרח התיכון ובאזור הלבנט בפרט, אינם שונים במהותם מהמתחמים שתוארו לעיל. בשני המקרים קירות אבן נמוכים, שנבנו בבניה יבשה ישירות על פני השטח המדבריים, יוצרים מתחם מגודר על פני השטח. כמו כן, לאחר בנייתם ונטישתם של המתקנים, שימשו הקירות כמלכודות לאבק שנסחף ברוח והצטבר בסמוך להם. לכן, גישת הדיגום במחקר העפיפונים הייתה דומה לאופן הדיגום במתחמים המגודרים – דגימה בסדימנט מתחת לאבני הקיר, כמייצגת את השלב שלאחר הנטישה. כך הצליחו החוקרים לקבל גיל מינימלי ומקסימלי לעפיפונים שנדגמו. יש לציין שבמקרה זה, בחרו החוקרים למדוד את המינרל פלדספר ואת סיגנל ה-IRSL; כלומר לומינסנציה באינפרה אדום, וזאת בשל אופי הסדימנט שהתאים יותר לתיארוך באופן זה. לצד תיארוך הסדימנטים נעשה שימוש במחקר זה בתיארוך של חומר אורגני בפחמן 14. התוצאות מהשיטות השונות הושו והחפיפה ביניהן חיזקה ואישרה את התוצאות שהתקבלו. הצטברויות הסדימנטים המאוחרות, שנלקטו בסמוך לקיר באחד האתרים תוארכו ב-OSL לכ-4600 שנים לפני זמננו, ואם כך, המתקן חייב להיות כגיל זה או קדום לכך. באתר השני שנדגם, תוארכו סדימנטים מהצטברות הסמוכה לקיר מאוחר, שחתם את המתקן וביטל אותו. הדגימה תוארכה לכ-3000 שנים לפני זמננו. תוצאות פחמן 14 מאותו אתר היו אף קדומות יותר. שילוב התוצאות איפשר לתארך את יציאתו משימוש של המתקן לאמצע האלף השני לפסה"נ. ניתן לראות כיצד השילוב של תיארוך סדימנטים עם ממצאים אחרים מחזקים אחד את השני.

לצד התרומה להבנת האתרים הנופיים, במחקר שעסק בהתיישבות בנגב בתקופת הברונזה הביניימית, שימש התארוך ב-OSL לאפיון הצטברויות בתוך מבנים באתר (יונגה ואחרים 2016). במחקר זה ביקשו החוקרים לבחון את התיארוך של מבנים בשני אתרים סמוכים. המבנים תוארכו בעזרת ממצא קרמי לתקופת הברונזה הביניימית. אולם ממצא חרס ברזלי באחד האתרים עמד כנגד התיארוך המקובל. בחתכים נראו הצטברויות סדימנט לצד אבנים שזוהו על ידי החוקרים כשרידי קירות שלא השתמרו כראוי. החוקרים קיוו שאבני המבנים שימשו כמלכודות לאבק שהצטבר לאחר הקמת הקירות, אם במהלך השימוש באתר או לאחר נטישתו. לשם כך נלקטו שש דגימות בחתך באתר הראשון, ושלוש בחתך באתר הנוסף, בעומקים שונים.

התוצאות מהחתך הראשון הראו הצטברות הדרגתית בעיקר במהלך תקופת הברונזה הביניימית. דגימות שונות שנלקטו בסמוך לסלע האם שעליו נסמכו הקירות, תוארכו כל אחת בנפרד לכ-3700 שנים לפני היום, כך שתוצאה אחת מחזקת את רעותה. לאור התוצאות קבעו החוקרים שהשימוש באתר היה לכל הפחות בתקופת הברונזה הביניימית, ועם נטישתו התכסה האתר בסדימנטים כתוצאה מהרבת אבק, בתהליך של עשרות עד מאות בודדות של שנים. באתר זה המידע שהתקבל מהממצא החומרי תאם לתוצאות התיארוך ועל כן ניתן לסכם שתוצאות ה-OSL חיזקו את התיארוך המוצע של האתר, ושפכו אור על תהליכי הצטברות הסדימנטים במקום.

באתר הסמוך, תוארכו הדגימות לתקופת הברזל, בין 2500–2700 שנים לפני זמננו. דווקא באתר זה, הסתבר שהתיארוך התאים לממצא של חרס בודד מתקופת הברזל, על אף שפע של ממצא חומרי מתקופת הברונזה הביניימית. החוקרים הסיקו שהאתר היה בשימוש הן בתקופת הברונזה הביניימית והן בתקופת הברזל, שלאחריה התכסה באבק. התוצאות באתר השני הראו את התרומה של תהליכי הצטברות לתיארוך מדויק, שבהיעדר סטריטיגרפיה ברורה לא ניתן היה להסתמך רק על הממצא הקרמי.

ככלל, התוצאות ממחקר זה מדגימות את האפשרויות שבשילוב תיארוך מוחלט של סדימנטים ב-OSL עם ממצא חומרי מתארך באתר. לצד זאת, בחינת האפשרויות לתהליכי הצטברות השונים כפי שעשו החוקרים, תוך שימוש באפיון מיקרומורפולוגי של החתכים, מצביעה על החשיבות שבהבנת תנאי האתר והסביבה לצורך שקלול התוצאות.

שלב קיום האתר

הצטברות סדימנטים כחלק מפעילות אנושית, או כתוצאה ממנה, קשורה לתפקיד שיש לסדימנט במתקן. המפתח לתיארוך סדימנטים כאלו הוא בזיהוי נכון של התפקיד או

המשמעות של הסדימנט באתר. בהקשר זה אפשר לציין מילויים מכוונים שהצטברו כתוצאה מאירוע חד פעמי – למשל תשתית רצפה, או לחילופין, סדימנטים שהצטברו לאורך זמן כתוצאה מפעילות של שינוע סדימנטים מכוון – למשל פעולת פינוי וניקיון של מתקן שמובילה להצטברות סדימנט בנקודת הפינוי. דוגמה נוספת היא הצטברות כתוצאה מתהליך טבעי, שמושפע על ידי הפעילות האנושית.

כזאת היא ההצטברות של סחף בטרסות ערוץ. טרסות אלו שימשו כבסיס למערכות חקלאיות נפוצות במדבריות האזור, דוגמת הנגב ודרום ירדן. הטרסות נבנו כמעין סכר בתוך ערוצים טבעיים ויצרו מכשול שמאחוריו הצטברו סדימנטים אלוביאליים כתוצאה מהסחף, שיצרו חלקות נוחות לעיבוד חקלאי. כבמתקנים נופיים אחרים, תיארוך הסתמך בעבר על קרבתן לאתרי ישוב, מה שהוביל להצעות שונות בין תקופת הברזל, התקופה הנבטית, הביזנטית או המוסלמית הקדומה וכדומה. אולם לצד הקושי בקבלת התיארוך המוצע ללא עדויות ארכאולוגיות חותכות, תיארוכים מסוג זה לא סיפקו מידע הנוגע למשך השימוש ובחלקות החקלאיות ובטרסות עצמן. במחקרים שנערכו על טרסות ערוץ בנגב (אבני, אבני ופורת 2009) ובדרום ירדן (בקרס ואחרים 2013), התמקדו החוקרים בהצטברות הסדימנטים שמאחורי הקירות, כמייצגים של מסגרת הזמן שבה היו המערכות בשימוש, החל בתחילת ההצטברות בתחתית הקיר ועד לשלבים המאוחרים יותר בראש החתך. כך תוארך השימוש במערכות הטרסות בנגב בין המאה השנייה למאה האחת עשרה לסה"נ, ובפטרה תוארך השימוש העיקרי במערכות בין המאה הראשונה למאה התשיעית לסה"נ.

הצטברות קדומה לאתר

הקשר בין חומר ארכאולוגי לבין חומר שקדם לאתר הוא לכאורה מועט. היות שהמחקר הארכאולוגי מתמקד בפעילות האנושית, בדרך כלל נבקש להרחיק את החומר הקדום לה ולהישאר עם ממצאים ברורים. אולם הממצא הקדום יכול לשמש כעוגן לתיארוך. בשניים מהמחקרים שהוזכרו לעיל בחנו החוקרים גם את הסדימנט שקדם לאתר, האחד שעסק בתיארוך מתחמים מגודרים (דוידוביץ' ואחרים 2014) והשני בתיארוך עפיפוני מדבר (הולצר ואחרים 2010). המתקנים שתוארכו דומים כאמור במאפייניהם ומורכבים מקירות נמוכים בבנייה יבשה על פני השטח. דגימות נאספו בשני המחקרים מנקודות שנמצאו מתחת לאבני הקירות. הנחת המוצא של החוקרים הייתה שתיארוך סדימנטים הקדומים למתקן יספק גיל שרק לאחריו נבנה המתקן.

בתוך מחקר המתחמים במדבר יהודה, נאספו דגימות מתחת לאבני הקיר בכל אחד מהאתרים (דוידוביץ' ואחרים 2014: 892). תוצאות התיארוך בכל אתר היו קדומות

לגילים שהתקבלו מהצטברויות הסדימנט שהורבדו לאחר בניית הקירות (ראו לעיל), וחיזקו את הפרשנות של החוקרים אודות שלבי התפתחות האתר. עם זאת, היות שהגילים מתחת לקירות היו קדומים בהרבה מהגילים המאוחרים לאתר – למשל כ-16000 שנים מתחת לקירות בנחל משמר, לעומת 4700–4600 שנים לפני זמננו להצטברויות המאוחרות – קבעו החוקרים שקשה להסתמך על ההצטברויות הקדומות לתיארוך האתר.

בתיארוך עיפוני מדבר הטווח בין הגילים מתחת לאבני המתקן ובהצטברויות המאוחרות היה מצומצם יותר, כ-400 שנים באתר אחד (5000 שנים לפני זמננו מתחת לקיר, 4600 שנים בהצטברות המאוחרת) וכ-700 שנים באתר השני (3700 שנים מתחת לקיר ו-3000 שנים בהצטברות המאוחרת). כלומר באתרים אלה, תוצאות ה-OSL מגדירות טווח מינימלי ומקסימלי יותר ברור לקיום המתקנים. אולם בבחינה כוללת של התוצאות, נראה שבדרך כלל גילים מהצטברויות הקדומות לאתר אינם יכולים לבדם לשמש לתיארוך האתרים, אלא לשמש כאסמכתא לתהליכי ההצטברות ולהבנת האתר. במחקר עיפוני המדבר, שולבו כאמור תוצאות ה-OSL עם תיארוכי פחמן 14, והתיארוך הסופי של האתרים שקלל את כלל התוצאות.

תיארוך ב-OSL בחבל ההר הים תיכוני

דפוסי הפעילות האנושית בחבלי הארץ השונים רצופים הבדלים, הנובעים בין השאר מתנאי השטח והסביבה. ההבדלים בין אזור המדבר וחבל הים התיכוני כוללים בין השאר את כמויות המשקעים, הטמפרטורה והצמחיה. לצד דפוסי הפעילות האנושית השונים, גם התנאים הסביבתיים משפיעים על תהליכי הרבדת הסדימנטים. שלבי היווצרות האתר שנוגעים לסדימנטים כפי שתיארנו לעיל (אירועי קדם הרבדה, תקופת קיום האתר ואירועי בתר-הרבדה) מתקיימים גם אם באופן שונה מבאזור המדברי. בשל מאפייני ההתיישבות עצמה, ההבדלים בין הצטברויות באתרים נופיים לעומת אתרי ישוב חדים ומשמעותיים יותר באזור הים תיכוני.

אירועי בתר הרבדה

במחקר שתיארך מגוון מתקנים בצפון-מערב ירושלים תוארכה בין השאר גת חצובה בסלע (גדות ואחרים 2018). הגת כוללת משטח דריכה ובור איגום לאיסוף הנוזלים, ובקיר החצוב בחלקו האחורי של משטח הדריכה נחצבו גומחות מלבניות, ששימשו ככל הנראה לעיגון קורה שהתווספה למתקן. טיפוס גת זה, המוכר בהרי יהודה, תוארך

בעבר לתקופת הברזל ב' (עמית ויזרסקי 2001), אולם השערה זו מתבססת על ההקשר הארכאולוגי בו התגלו הגתות ועדיין חסרה הוכחה פוזיטיבית שנשמנת על תארוך ישיר ועצמאי. היות שמדובר במתקן חצוב לא ניתן לקבוע את מועד החציבה ותחילת השימוש. אולם במקרים רבים, כמו גם במחקר הנדון, הגת שנחשפה כוסתה חלקית בסדימנטים, מן הסתם לאחר יציאתה משימוש. לצורך תיארוך הסדימנטים, נחפר חתך בתוך משטח הדריכה, וכן במילוי בבור האיגום. ההצטרות במשטח הדריכה נדגמה בתחתית החתך ותוארכה בין המאות ה-7-8 לסה"נ (1340 ± 80 שנים לפני זמננו). מילוי בור האיגום נדגם בשתי נקודות, כולל בנקודה העמוקה ביותר שזוהתה, הסמוכה ככל הניתן לתחתית הבור. גיל המילוי העמוק יותר שנדגם תוארך למאות 12-13 לסה"נ (850 ± 40 שנים לפני זמננו). הדגימה הרדודה יותר שנדגמה במילוי תוארכה למאות 14-15 לסה"נ (620 ± 30 שנים לפני זמננו). התוצאות ממילוי בור האיגום התאימו לסטרטיגרפיה באתר וייצגו תהליך הצטרות הדרגתי. עם זאת, התאריך הקדום יותר שנמדד במשטח הדריכה מעיד שהגת ננטשה עוד קודם לכן. לפי תנאי הסביבה, נראה שהגת שנמצאת במדרון התכסתה בסדימנט בסמוך למועד נטישתה, ככל הנראה כתוצאה מסחף על פני השטח. לכן התארוך הסביר ליציאת הגת משימוש הוא בסביבות המאה ה-7-8 לסה"נ. על תוצאות התיארוך יש לתת את הדעת שניתן לתארך רק את אירוע ההצטרות האחרון במתקן. משמעות הדבר היא שבמידה ואירעו מספר אירועי נטישה וחזרה לשימוש שכללו פינוי הסדימנטים וחשיפה מחדש של הגת, לא ניתן יהיה לזהות אלא את אירוע הכיסוי האחרון.

ברוג'ום אל-הירי, אתר מגליתי בגולן שתאריכו עמד במרכז דיונים רבים במחקר (פרייקמן 2012 ושם מקורות נוספים), נעשה שימוש ב-OSL לתיארוך הצטרותיות בסמוך לאבני הרוג'ום (פרייקמן ופורת 2017). במסגרת מחקר זה, נאספו דגימות סדימנט ממגוון הקשרים ארכאולוגיים בניסיון לאפיין את פוטנציאל השימוש בשיטה באזור. רוב הדגימות שנאספו במחקר (6/11) נפסלו בשל תוצאות לא ברורות. לאור התוצאות שהתקבלו סברו החוקרים שתנאי השטח הובילו לאיפוס חוזר ונשנה של סיגל ה-OSL ולערבוב סדימנטים, באופן שקטע את הקשר בין הממצא הארכאולוגי והצטרותיות הסדימנט באתר. אולם לפחות במוקד דגימות אחד קיבלו החוקרים את התוצאות שהתקבלו – דגימות בהצטרות שבין אבני הקירות בתא המרכזי שתוארכו בין 5700 שנים (דגימה אחת, 5720 ± 170 שנים לפני זמננו) ל-4800 שנים לפני זמננו (שתי דגימות נוספות). לדעת החוקרים מדובר בסדימנטים ששקעו במקום לאחר הקמתו ויציאתו משימוש. הדגימה העתיקה יותר נלקחה מעומק ההצטרות שמתחת

לאחת הדגימות הצעירות ולכן התוצאות מייצגות סטרטיגרפיה תקינה. לדידם של החוקרים, הפרעות שמקורן בתנאי הסביבה השפיעו פחות על ההצטברות בחלל זה, משום שהיה מוגן על ידי קירות התא. על פי תוצאות התיארוך, גיל הקירות המקושרים להצטברות חייב להיות קדום ל-5700 שנים לפני זמננו (בין 3540–3880 לפסה"נ), כלומר בשלהי התקופה הכלקוליתית ותחילת תקופת הברונזה הקדומה א'. תוצאות אלה קדומות לתיארוכים שהציעו חוקרים שונים לאתר זה, אולם הן תומכות בהצעתו של פרייקמן לתיארוך האתר (פרייקמן 2012; פרייקמן ופורת 2017: 26–27). כלל התוצאות באתר רוג'ום אל הירי מעלות שאלות אודות השימוש בשיטה בתנאי השטח באיזור הגולן, וקוראות להתעמקות ולהמשך המחקר.

שלב קיום האתר

מחקר מקיף שנערך בישראל בעשור האחרון עסק בתיארוך קירות טרסה בשיטת ה-OSL (גדות ואחרים 2018 ושם הפניות נוספות). מחקר זה נערך במספר מוקדים בחבל ההר של ירושלים במטרה לעמוד על ראשית בניית הטרסות לחקלאות בעל ועל המוטיבציה שהובילה את תושבי חבל ההר לבנות טרסות, המהוות את המרכיב השכיח ביותר בנוף ההררי הסובב את הים התיכון בכלל, ובנוף המאפיין את הרי ירושלים בפרט (בוון וקונולי 2011; גיבסון ואדלשטיין 1985; רון 1966). מבחינות רבות, ראשית חקלאות הטרסות, הכרוכה בהסבה של מדרונות טבעיים לסדרות שלחים מדרגות, היוותה נקודת אל-חזור ביחסי האדם והסביבה. עד לשימוש ב-OSL נהוג היה לקשור בין בניית טרסות לבין לחץ דמוגרפי וצורך להתיישב באזורים הרריים. בישראל נהוג היה לקשור בין הטרסות לבין התיישבות של שבטי ישראל המוזכרת בתנ"ך (גדות ואחרים 2016א).

במסגרת המחקר התמקדו החוקרים בסדימנט הממלא את שלח הטרסות המהווה חלק אינטגרלי במתקן. תהליך ההקמה של טרסה כולל בניית קיר במדרון ומילוי אדמה לצורך יצירת מפלס עיבוד מישורי, ולכן תיארוך המילוי אמור להתייחס לבניית הטרסה.

ראשית תוארכו טרסות במדרונות רמת רחל, נחל רפאים והר איתן (גדות ואחרים 2016א; 2016ב; דוידוביץ' ואחרים 2012). חתכים צרים נחפרו במילויי הטרסות, בסמוך לחלק הפנימי של הקירות, ומספר דגימות נלקטו מעומקים שונים בכל חתך. הגילום שהתקבלו אפשרו לזהות את שכבת הסדימנט המיוחסת למועד הקמת הטרסות בתחתית הטרסות, וכמו כן איפשרו לזהות שלבים נוספים של עיבוד או הוספה של

המילוי שהתבטאו בגילים מאוחרים יותר באופקים הגבוהים יותר של חתכי הטרסות. התוצאות הראו שראשית בניית הטרסות מתוארכת לחלק השני של האלף הראשון לפנה"ס, ושמרבית הטרסות הבנויות הנראות כיום בנוף נבנו במהלך 700 השנים האחרונות, בעיקר בתקופה העות'מנית.

בכדי לעמוד על משמעות התוצאות ומהימנותן המחקר התמקד במערכות טרסות נוספות, הפעם לאורכו של נחל שורק (גדות ואחרים 2018). בשלב זה, נבחנה האפשרות שהתוצאות הושפעו מתהליכים שונים שיש לקחת בחשבון, כגון התפרקות הטרסות וסחיפת הקרקעות או לחילופין מחזור קרקעות. ההשפעה של סחיפת הקרקעות נבחנה במחקר שהתנהל במדרון המערבי של נחל שמואל (יובל של נחל שורק, פורת ואחרים 2019). במחקר זה נעשה שימוש בקורא לומינסנציה נייד להערכת תהליכי הסדימנטציה. החוקרים ניגשו אל מילויי טרסות מאחורי קירות שהתפרקו ומדדו את ערכי הסיגנל בעומק המילוי. התוצאות הראו ערכי סיגנל שהצטברו במספר אירועים, שתאמו למילוי ושיפוץ של טרסות. לצד זאת, המחקר העריך את סחיפת הקרקעות בכ- 35%, כלומר 65% מהקרקעות שהוחזקו על ידי קירות הטרסה נותרו במקום גם לאחר התמוטטות הקיר, ככל הנראה כתוצאה מכיסוי הצמחיה הטבעית שגדלה בשטחים שננטשו ומכסה אותם (אקרמן ואחרים 2004; 2013).

בעת מיחזור קרקעות ובניית טרסות מחדש, אפשר שבמהלך מילוי או שיפוץ הטרסות, הסדימנטים לא נחשפו לשמש ולא עברו איפוס מלא בעת ההרבדה, ועל כן גילי ה-OSL עשויים להיות יותר עתיקים ולייצג פעילות אנושית קודמת או תהליכים טבעיים. סברה זו נבחנה בקרקעות הר איתן. הדגימות עברו תהליכי בחינה לתכונות הלומינסנציה והראו שהתוצאות שמתקבלות מגיעות מסיגנל שאופס בצורה מספקת בעת פעילות חקלאית, ורק לעיתים נדירות נשאר שריד של גרגרים עתיקים ולא מאופסים (גדות ואחרים 2016ב: 409).

שני המחקרים המתודולוגיים הללו תרמו אם כך להבנת תהליכי ההצטברות והסחיפה בטרסות, וחיזקו את המסקנות שהתקבלו מהגילים הרבים שהופקו במחקר בכללותו. היקף המחקר הגדול תרם להבהרת התמונה אודות חקלאות הטרסות במרחב, למשל כאשר התברר שבנחל שורק בניית טרסות הייתה קשורה במדיניות כלכלית-חקלאית שיצרה שטחים רחבים מאוגדים, ולא בלחצים דמוגרפיים (אלגרט-שרון, פורת וגדות 2020).

אולם מעבר להרחבת הידע אודות חקלאות הטרסות, המחקר שלעיל תרם אף בביסוס המתודולוגיה לתיארוך מילויים באתרים ארכאולוגיים. כך, תוארכה תשתית

דרך שנסללה בנחל שמואל, יובל של נחל שורק בצפון מערב ירושלים (גדות ואחרים 2018). בדרכים סלולות, בדומה לטרסות, הסדימנט מהווה חלק אינטגרלי מהמתקן. בניית הדרך כללה חשיפה של התוואי והנחה של תשתית אבנים ועפר ומעליהן לפעמים גם אבני ריצוף.

הסדימנט שבתשתית נחשף ככל הנראה לאור בזמן השינוע והמילוי של הדרך, ולכן תיארוך ב-OSL יתייחס להנחת התשתית, כלומר שלב הבנייה של הדרך. בנחל שמואל זוהתה דרך שנבנתה תוך יצירת קיר תמך – מעין טרסה – ומילוי האזורים הנדרשים לצורך יצירת משטח מפולס. המילוי שזוהה נחפר עד לסלע ונדגם ל-OSL. בתחתית החתך זוהתה שכבה של קרקע טבעית, ומעליה שכבת מילוי שתוארכה לכ- 100 ± 2060 שנים לפני זמננו. יש לציין שבדומה למקרים רבים באתרים הנופיים, במילוי הדרך לא נחשף אלא ממצא חומרי דל ושחוק שלא איפשר קביעת תיארוך, ולכן התיארוך המוחלט ב-OSL היווה את האפשרות היחידה לתיארוך.

טיפוס מתקן נוסף שתוארך בעזרת OSL הוא כבשני סיד (בן-מלך ואחרים בהכנה). מתקן זה נמצא בדרך כלל מחוץ לאתרי ישוב, ללא הקשר סטרטיגרפי ועם מורפולוגיה די קבועה – תא בעירה, תעלות לאוורור, וערימות שפכים שסובבות את הכבשן. בעבר תוארכו כבשני הסיד בהסתמך על הממצא החומרי המועט שעלה בחפירות (ראו למשל גיבסון 1984; סטורצ'ן 2011). אולם תיארוכים אלה נתקלו בקושי לקשר בין הממצא החומרי לשימוש במתקן עצמו, היות שבעת השימוש עבר הכבשן ניקוי ופינוי עם כל הפעלה. ניקוי הכבשן תרם ליצירת ערימות השפכים הסמוכות, שהתגבשו בשכבות של אפר וסדימנטים. לכן דווקא תיארוך ערימות השפכים שהצטברו במקביל לפעילות מאפשר לתארך את טווח השימוש במתקן. במחקר תוארכו ערימות השפכים בשני אתרים שונים. חתכי הערימות נדגמו בתחתיתן ובראשן, והתוצאות תיארכו את שני הכבשנים לתקופה העות'מנית, בין 180–400 שנים לפני זמננו בנחל שמואל, ובין 150–190 שנים לפני זמננו ברמת בית שמש. במקביל תוארכו במחקר זה גם מילויי סדימנטים בתוך תא הבעירה של כבשנים, המייצגים תהליכי בתר-הרבדה באתר – כיסוי של הכבשנים לאחר יציאתם משימוש. התברר שבנקודת דיגום זו ישנן השפעות של ערבוב סדימנטים שמקשות על הבנת התוצאות, למרות שההלימה שהתקבלה בין גילי הסדימנטים המאוחרים לבין התוצאות האחרות (למשל כיסוי בן ~120 שנים בנחל שמואל, כלומר חתימה של הכבשן מעט לאחר שיצא משימוש וחדלה ההצטברות בערימות השפכים) הובילה לקבלתם של הגילים כאמינים.

הצטברות קדומה לאתר

סדימנטים המקושרים לאירועים שקדמו לאתרים או למתקנים שתוארכו, נמצאו לא אחת בתחתית של טרסות, שם זוהו ככיסי קרקע טבעית. לצד זאת, אחת התופעות בהן נתקלו החוקרים במחקר הטרסות בהרי ירושלים, היא התופעה של קירות חלקה מאוחרים לטרסות, שנבנו על גבי המילוי הקיים וחילקו את השטח המעובד. היות שהסדימנטים במילוי הטרסה היו קדומים בוודאות לבניית הקירות, גיל הדגימות מתחת לקירות מהווה גיל מקסימלי לבנייתם. קירות חלקה שכאלה תוארכו בנחל חלילים ובנחל שמואל, שני יובלים שונים של נחל שורק בצפון מערב ירושלים (גדות ואחרים 2018).

סיכום

הממצא הארכאולוגי מופיע תמיד בהקשרים לסדימנטים שסביבו. עד היום נהגנו להסיר את הסדימנט בכדי להטיב להבין את הממצא באתר ובכדי לתעדו בצורה מלאה. אולם השימוש בשיטת ה-OSL במחקר הארכאולוגי מצביע שהסדימנט עצמו עשוי לגלות רבדים נוספים אודות האתרים והמתקנים הארכאולוגיים. השימוש ב-OSL במחקר הארכאולוגי מתאים במיוחד במקרים בהם לא ניתן להסתמך על ממצאים אחרים לתיארוך (אם בשל מיעוט ממצאים או בגלל הקשרם לאתר). במקרים הללו (ואף בהקשרים אחרים) מספק ה-OSL תיארוך מוחלט לממצא. בהקשרים אחרים, דוגמת אתרים בהם קיים ממצא מתארך אחר, השימוש בשיטה תורם להבנת תהליכי ההצטברות של הסדימנטים והבנת התפתחות האתר כתוצאה מכך. להבנת תהליכי ההצטברות תורם אף השימוש בקורא הלומינסנציה הנייד. בחירת שאלות המחקר בעת השימוש בשיטה, דורשת התחשבות בטווח השגיאה הרחב יחסית של התוצאות. בהתחשב בנתון זה יש למקד את שאלות המחקר בהתאם – במחקר רחב של מתקן מסוים ניתן לתארך דגימות רבות ולזהות מגמות ברורות – כפי שנעשה למשל במחקר הטרסות בהרי ירושלים. מאידך, במחקר על אתר או מתקן יחיד כדאי למקד את השאלות לפי תנאי האתר. למשל, תיארוך גיל הממצא ולאיזה שלב בקיום האתר הוא מתייחס, האם ניתן לזהות עדויות לשימוש לאורך זמן או לחזרה לאתר, או זיהוי של תהליכי נטישה ובתור הרבדה.

לבסוף חשוב לשוב ולהדגיש – השימוש בשיטה מסתמך על הופעת הסדימנטים בהקשר לממצא, ולכן ישנה חשיבות גדולה לשמירה על חתכים בזמן החפירה. היות ונקודות דיגום שונות עשויות לספק מענה מגוון אודות שלבים שונים בהתפתחות האתר, מתחדדת החשיבות לשמירה על חתכי סדימנט בהקשרים שונים.

ביבליוגרפיה

- אבני, ג', אבני, ג' ופורת, נ'. 2009. החקלאות הקדומה בהר הנגב – בחינה מחודשת. **קתדרה** 133: 13–44.
- אבנר ואחרים 2011
Avner, U., Shalmon, B., Hadas, G., Porat, R. and Horwitz, L.K. 2011. Carnivore Traps in the Negev and Judaeen Deserts (Israel): Function, Location and Chronology. In: Brugal, J., Gardeisen, A. and Zucker, A., eds. *Prédateurs dans tous leurs états: évolution, biodiversité, interactions, mythes, symboles*. Antibes: 253–268.
- אדלשטיין וגיבסון 1982
Edelstein, G. and Gibson, S. 1982. Ancient Jerusalem's Rural Food Basket. *Biblical Archaeology Review* 8: 46–54.
- אייטקן 1998
Aitken, M.J. 1998. *Introduction to Optical Dating: The Dating of Quaternary Sediments by the Use of Photon-Stimulated Luminescence*. Oxford.
- אלגרט-שרון, פורת וגדות 2020
Elgart-Sharon, Y., Porat, N. and Gadot, Y. 2020. Land Management and the Construction of Terraces for Dry Farming: The Case of the Soreq Catchment, Israel. *Oxford Journal of Archaeology* 39: 274–289.
- אקרמן ואחרים 2004
Ackermann, O., Maeir, A.M. and Bruins, H.J. 2004. Unique Human-Made Catenary Changes and Their Effect on Soil and Vegetation in the Semi-Arid Mediterranean Zone: A Case Study on *Sarcopoterium Spinosum* Distribution Near Tell es-Sâfi/Gath, Israel. *Catena* 57: 309–330.
- אקרמן ואחרים 2013
Ackermann, O., Zhevelev, H.M. and Svoray, T. 2013. *Sarcopoterium Spinosum* from Mosaic Structure to Matrix Structure: Impact of Calcrete (Nari) on Vegetation in a Mediterranean Semi-Arid Landscape. *Catena* 101: 79–91.
- בוארטו 2007
Boaretto, E. 2007. Determining the Chronology of an Archaeological Site Using Radiocarbon: Minimizing Uncertainty. *Israel Journal of Earth Sciences* 56: 207–216.
- בוון וקונולי 2011
Bevan, A. and Conolly, J. 2011. Terraced Fields and Mediterranean Landscape Structure: An Analytical Case Study from Antikythera, Greece. *Ecological Modelling* 222: 1303–1314.
- בן-מלך ואחרים, בהכנה
Ben-Melech, N., Ben-Yosef, E., Porat, N., Ben-Ari, N., Shalev, O., Radashkovsky, Y. and Gadot, Y. In preparation. The Use of OSL for Dating Lime Kilns in the Judean Mountains and Shephela.

בקרים ואחרים 2013

Beckers, B., Schütt, B., Tsukamoto, S. and Frechen, M. 2013. Age Determination of Petra's Engineered Landscape—Optically Stimulated Luminescence (OSL) and Radiocarbon Ages of Runoff Terrace Systems in the Eastern Highlands of Jordan. *Journal of Archaeological Science* 40: 333–348.

בר-אדון 1971

בר-אדון, פ'. 1971. מערת המטמון: ממצאים ממערות נחל-משמר. ירושלים.

בר-אדון 1972

בר-אדון, פ'. 1972. הסקר במדבר יהודה ובקעת יריחו. בתוך: כוכבי, מ', עורך. יהודה שומרון וגולן: סקר ארכיאולוגי בשנת תשכ"ח (פרסומי האגודה לסקר ארכיאולוגי של ישראל 1). ירושלים: 92–149.

גדות ואחרים 2016א

Gadot, Y., Davidovich, U., Avni, Y., Avni, G. and Porat, N. 2016. The Formation of Terraced Landscapes in the Judean Highlands in Israel, and Its Implications for Biblical Agricultural History. *Hebrew Bible and Ancient Israel* 5: 437–455.

גדות ואחרים 2016ב

Gadot, Y., Davidovich, U., Avni, G., Avni, Y., Piasetzky, M., Faershtein, G., Golan, D. and Porat, N. 2016. The Formation of a Mediterranean Terraced Landscape: Mount Eitan, Judean Highlands, Israel. *Journal of Archaeological Science: Reports* 6: 397–417.

גדות ואחרים 2018

Gadot, Y., Elgart-Sharon, Y., Ben-Melech, N., Davidovich, U., Avni, G., Avni, Y. and Porat, N. 2018. OSL Dating of Pre-Terraced and Terraced Landscape: Land Transformation in Jerusalem's Rural Hinterland. *Journal of Archaeological Science: Reports* 21: 575–583.

גיבסון 1984

Gibson, S. 1984. Lime Kilns in North-East Jerusalem. *Palestine Exploration Quarterly* 116: 94–102.

גיבסון 2003

Gibson, S. 2003. *From Wildscape to Landscape: Landscape Archaeology in the Southern Levant—Methods and Practice* (British Archaeological Reports International Series 1121). Oxford: 1–26.

גיבסון 2015

Gibson, S. 2015. The Archaeology of Agricultural Terraces in the Mediterranean Zone of the Southern Levant and the Use of the Optically Stimulated Luminescence (OSL) Dating Method. In: Lucke, B., Bäumler, R. and Schmidt, M., eds. *Soils and Sediments as Archives of Landscape Change: Geoarchaeology and Landscape Change in the Subtropics and Tropics* (Erlanger Geographische Arbeiten 42). Erlanger: 295–314.

גיבסון ואדלשטיין 1985

Gibson, S. and Edelstein, G. 1985. Investigating Jerusalem's Rural Landscape. *Levant* 17: 139–156.

ג'נובסקי ואחרים 2022

Janovský, M.P., Horák, J., Ackermann, O., Tavger, A., Cassuto, D., Šmejda, L., Hejzman, M., Anker, Y. and Shai, I. 2022. The Contribution of POSL and PXRF to the Discussion on Sedimentary and Site Formation Processes in Archaeological Contexts of the Southern Levant and the Interpretation of Biblical Strata at Tel Burna. *Quaternary International* 618: 24–34.

דוידוביץ' ואחרים 2012

Davidovich, U., Porat, N., Gadot, Y., Avni, Y. and Lipschits, O. 2012. Archaeological Investigations and OSL Dating of Terraces at Ramat Rahel, Israel. *Journal of Field Archaeology* 37: 192–208.

דוידוביץ' ואחרים 2014

Davidovich, U., Goldsmith, Y., Porat, R. and Porat, N. 2014. Dating and Interpreting Desert Structures: The Enclosures of the Judean Desert, Southern Levant, Re-Evaluated. *Archaeometry* 56: 878–897.

הדס 2011

Hadas, G. 2011. Hunting Traps Around the Oasis of 'En Gedi. *Israel Exploration Journal* 61: 2–11.

הולצר ואחרים 2010

Holzer, A., Avner, U., Porat, N. and Horwitz, L.K. 2010. Desert Kites in the Negev Desert and Northeast Sinai: Their Function, Chronology and Ecology. *Journal of Arid Environments* 74: 806–817.

ווילקינסון 2003

Wilkinson, T.J. 2003. *Archaeological Landscapes of the Near East*. Tucson.

ואן דן ברינק ואחרים 2020

van den Brink, E.C.M., Ackermann, O., Anker, Y., Dray, Y., Itach, G., Jakoel, E., Kapul, R., Roskin, J. and Weiner, S. 2020. Chalcolithic Groundwater Mining in the Southern Levant: Open, Vertical Shafts in the Late Chalcolithic Central Coastal Plain Settlement Landscape of Israel. *Levant* 51: 236–270.

וקנין ואחרים 2022

Vaknin, Y., Shaar, R., Lipschits, O., Mazar, A., Maeir, A.M., Garfinkel, Y., Freud, L., Faust, A., Tappy, R.E., Kreimerman, I., Ganor, S., Covello-Paran, K., Sergi, O., Herzog, Z., Arav, R., Lederman, Z., Münger, S., Fantalkin, A., Gitin, S. and Ben-Yosef, E. 2022. Reconstructing Biblical Military Campaigns Using Geomagnetic Field Data. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2209117119>.

יונגה ואחרים 2016

Junge, A., Lomax, J., Shahack-Gross, R., Dunseth, Z.C., Finkelstein, I. and Fuchs, M. 2016. OSL Age Determination of Archaeological Stone Structures Using Trapped Aeolian Sediments: A Case Study from the Negev Highlands, Israel. *Geoarchaeology* 31: 550–563.

כרובי ואחרים 2008

Crouvi, O., Amit, R., Enzel, Y., Porat, N. and Sandler, A. 2008. Sand Dunes as a Major Proximal Dust Source for Late Pleistocene Loess in the Negev Desert, Israel. *Quaternary Research* 70: 275–282.

כרובי ואחרים 2018

Crouvi, O., Barzilai, O., Goldsmith, Y., Amit, R., Matskevich, Z., Porat, N. and Enzel, Y. 2018. Middle to Late Pleistocene Shift in Eolian Silts Contribution into Mediterranean Soils at the Fringe of the Negev Loess, Israel. *Quaternary Science Reviews* 191: 101–117.

לוי 1976

לוי, ש'. 1976. נמרי סיני – סיפורה של הכחדה. **טבע וארץ** 19: 8–14.

ליריזיס ואחרים 2013

Liritzis, I., Singhvi, A.K., Feathers, J.K., Wagner, G.A., Kadereit, A., Zacharias, N. and Li, S.H. 2013. Luminescence Dating of Archaeological Materials. In: Liritzis, I., Singhvi, A.K., Feathers, J.K., Wagner, G.A., Kadereit, A., Zacharias, N. and Li, S.H., eds. *Luminescence Dating in Archaeology, Anthropology, and Geoarchaeology*. Heidelberg: 25–40.

מאלון 2009

Mallon, D. 2009. Assessment of the Situation of the Arabian Leopard and Initiation Capacity --Building Programme in the Republic of Yemen (unpublished technical report to Sir Peter Scott Fund). Sana'a: 1–20.

מרסייה ואחרים 2013

Mercier, N., Valladas, H., Falguères, C., Shao, Q., Gopher, A., Barkai, R. and Reyss, J.L. 2013. New Datings of Amudian Layers at Qesem Cave (Israel): Results of TL Applied to Burnt Flints and ESR/U-Series to Teeth. *Journal of Archaeological Science* 40: 3011–3020.

סטורצ'ן 2011

סטורצ'ן, ב'. 2011. בית שמש, רמת בית שמש. **חדשות ארכיאולוגיות** 123.
https://www.hadashot-esi.org.il/report_detail.aspx?id=1782&mag_id=118

סנדרסון ומרפי 2010

Sanderson, D.C. and Murphy, S. 2010. Using Simple Portable OSL Measurements and Laboratory Characterization to Help Understand Complex and Heterogeneous Sediment Sequences for Luminescence Dating. *Quaternary Geochronology* 5: 299–305.

עמית ויזרסקי 2001

Amit, D. and Yezerski, I. 2001. An Iron Age II Cemetery and Wine Presses at an-Nabi Danyal. *Israel Exploration Journal* 51: 171–193.

פורת ואחרים 2013

Porat, N., Avner, U., Holzer, A., Shemtov, R. and Horwitz, L.K. 2013. Fourth-Millennium-BC "Leopard Traps" from the Negev Desert (Israel). *Antiquity* 87: 714–727.

פורת ואחרים 2019

Porat, N., Lopez, G.I., Lensky, N., Elinson, R., Avni, Y., Elgart-Sharon, Y., Faershtein, G. and Gadot, Y. 2019. Using Portable OSL Reader to Obtain a Time Scale for Soil Accumulation and Erosion in Archaeological Terraces, the Judean Highlands, Israel. *Quaternary Geochronology* 49: 65–70.

פרייקמן 2012

Freikman, M. 2012. A Near Eastern Megalithic Monument in Context. In: Bebermeier, W., Hebenstreit, R., Kaiser, E. and Krause, J., eds. *Landscape Archaeology. Proceedings of the International Conference Held in Berlin, 6th–8th June 2012* (eTopoi, Journal for Ancient Studies, Special Volume 3). Berlin: 143–147.

פרייקמן ופורת 2017

Freikman, M. and Porat, N. 2017. Rujm El-Hiri: The Monument in the Landscape. *Tel Aviv* 44: 14–39.

פרנקל ואיילון 1988

פרנקל, ר' ואיילון, א'. 1988. גפן, גתות ויין בעת העתיקה. תל אביב.

קרקז ואבו בקר 2006

Qarqaz, M. and Abu Baker, M. 2006. The Leopard in Jordan. *Cat News* 1: 9–10.

רון 1966

Ron, Z. 1966. Agricultural Terraces in the Judean Mountains. *Israel Exploration Journal* 16: 33–49.