

# מחקרי ארץ יהודה

אסופת מאמרים  
לזכרו של דוד עמית

קובץ ז

עורכים:

יחיאל זלינגר, עמיחי ליפשיץ ונדב פרנקל

הוצאת ספרים 'עציון'  
בית ספר שדה כפר עציון

תשפ"ה (2025)



## ועדת מערכת

פרופ' אסתי אשל | אוניברסיטת בר אילן  
ד"ר ציונה בן גדליה | מו"פ אזורי מזרח, יו"ש ובקעת הירדן  
פרופ' בעז זיסו | אוניברסיטת בר אילן  
ד"ר יחיאל זלינגר | רשות העתיקות  
עמיחי נעם, בנימין טרופר | בית ספר שדה כפר עציון  
עמוס סבח | רשות הטבע והגנים  
פרופ' לילך רוזנברג-פרידמן | אוניברסיטת בר אילן

כתב עת זה יוצא במימון:

המכון לחקר תולדות הציונות ביחידת המדען הראשי בקרן קיימת לישראל  
מרכז יסלזון לחקר תולדות ישראל לאור האפיגרפיה  
המחלקה ללימודי ארץ ישראל על שם מרטיין (זוס) אוניברסיטת בר אילן  
מו"פ מזרח, יו"ש ובקעת הירדן  
רשות הטבע והגנים — מחוז יהודה ושומרון (קמ"ט שמורות טבע ופארקים)  
רשות העתיקות  
עמותת בני גוש עציון



רשות  
העתיקות  
ISRAEL ANTIQUITIES AUTHORITY



מרכז היקלן  
מכון יסלזון לחקר יהודה ושומרון  
Joseph Epigraphic Center of Jewish History



מנהל אזרחי



רשות  
הטבע  
והגנים



קרן קיימת לישראל  
K K L - J N F



מו"פ אזורי מזרח  
יו"ש ובקעת הירדן



האגף  
לחברות  
יהודיות  
הצרים חיבור לנשמה



משרד החינוך



המחלקה ללימודי ארץ  
ישראל והרכיולוגיה  
ע"ש מרטיין (זוס)  
המקומות למדע היהדות  
הארכיאולוגיות ב"אילן

© כל הזכויות שמורות לבית ספר שדה כפר עציון, תשפ"ה (2025)

ISSN 2707-6393

הוצאה לאור: הוצאת ספרים 'עציון', בית ספר שדה כפר עציון

תמונות על העטיפה באדיבות ישיב גלר

עורכים: יחיאל זלינגר, עמיחי ליפשיץ ונדב פרנקל

עריכה לשונית: שירה עבאדי

עיצוב גרפי: סטודיו ולדמן

הדפסה: דפוס העיר החדשה, ירושלים

## תוכן העניינים

5		בפתח הקובץ
7		הקדמת העורכים
9	כתובות מרשה בבחינה חישובית: סטטיסטיקה ומרחב	נועם בר דוד
21	גילוייה של מנהרה החוצה את קו פרשת המים הארצי בתוואי אמת המים העליונה לירושלים ומשמעותה	עזריאל יחזקאל ואירנה זילברבוד
43	חידת האנטוניה - יציאה מהסבך	ארז גירון
65	מבט חדש על סביבות ירושלים בתקופה הרומית התיכונה	יוסף שפיזר, בועז זיסו ויחיאל זלינגר
85	עניין של השקפה - לתולדות האתר נבי יקין, ממזרח לחברון	עמיחי שורץ
109	הרודיון וסביבתו בראשית התקופה העות'מאנית לאור המקורות הכתובים	מיכאל טשרנין
139	יריחו: צליינים, תיירים ויהודים בעיר התמרים משלהי התקופה העות'מאנית ועד סוף המנדט הבריטי בארץ ישראל	ערן גליק
165	ההנצחה הכושלת של סוגת ספרי הזיכרון לחללי חברון בתרפ"ט	דבורה גלעדי
193	מה ל'זקן' בעיר האבות? עלילות גדוד העבודה בהרי חברון	יורם אלמכיאס
213	"מוצלי אש-עציון" - קורות ספרי התורה של גוש עציון בעלייה להתיישבות, במלחמה, בשבי ובתקומה	יוסי שפנייר
235	צמחי הפולחן בגת פלשתים - עדות ממקדשי שפת נחל האלה	סימביקה פרומין, אהרן מאיר, עמית דגן, מריה ינוחינה, אהוד ויס
257	המשבר האקלימי הקודם - התקופה הבין-קרחונית האחרונה בישראל	עמוס פרומקין
273		רשימת משתתפים
5*		תקצירים באנגלית

## בפתח הקובץ

קובץ מחקרים זה יוצא לרגל כנס מחקרי ארץ יהודה התשיעי, ומסכם את דברי שני הכנסים שנערכו בשנתיים האחרונות. אנו שמחים על הכנס ועל כתב העת, שהפכו כבר למסורת, ומציבים לנו רף גבוה של פעולה בשדה המחקר המשלימה את היכרותנו עם ארץ יהודה.

לזכרו של ד"ר דוד עמית ז"ל, ארכיאולוג, מדריך, חוקר ומנהל בית ספר שדה, אנו ממשיכים בעשייה של יצירה מדעית לצד הנחלת המורשת לציבור. בקובץ שאתם אווזים בידיכם כונסו, בעזרת המערכת האקדמית של הכנס, שנים עשר מאמרים שטרם פורסמו, המאירים זוויות נוספות ובלתי ידועות על ארץ יהודה.

הקובץ, כמו גם הכנס, מחולק תמיד לשלוש קטגוריות: ארכיאולוגיה, מדעי הטבע ועת חדשה. החיבור בין המרכיבים השונים של הקובץ מאפשר מבט רחב יותר על תחום ידיעת הארץ. לפיכך, בקובץ אחד תוכלו לקרוא על הצעה חדשה לזיהויה של מצודת האנטוניה, על חידושים בחקר אמות המים לירושלים מימי הבית השני, ולצד זה מאמרים על ספרי התורה של גוש עציון שהובאו עם תושבי הקיבוצים לשבי ועל ספרי הזיכרון שנכתבו ביישוב העברי בארץ ישראל לזכר חללי פרעות תרפ"ט.

זה המקום גם להודות לצוות ההיגוי, אשר משקיע רבות מזמנו כדי לקדם את כתב העת ואת הכנס המלווה אותו: פרופ' אסתי אשל, ד"ר ציונה בן-גדליה, פרופ' בועז זיסו, פרופ' יוסי לשם, עמוס סבח, פרופ' לילך רוזנברג-פרידמן ובנימין טרופר, ולעורכים ד"ר יחיאל זלינגר, עמיחי ליפשיץ וד"ר נדב פרנקל.

הוצאתו של כתב העת תוך כדי מלחמת חרבות ברזל, ותוך כדי גיוסם של חלק מהעורכים ומהכותבים לשירות מילואים ממושך, מעידה על חוסנו של בית ספר שדה ועל חשיבותו של מחקר ולימוד ידיעת הארץ גם בזמנים של סופה וסער, בבחינת 'עם שאינו יודע את עברו, ההווה שלו דל ועתידו לוט בערפל'. אנו מתפללים לשיבת החטופים שעוד מוחזקים ברצועת עזה, ולניצחון מהיר במלחמה בכל החזיתות.

בברכת קיץ טוב,

עובד גמלא ועמיחי נעם, בית ספר שדה כפר עציון

אייר תשפ"ה (2025)

## הקדמת העורכים

הקובץ 'מחקרי ארץ יהודה' יוצא לאור זו הפעם השביעית, לאחר הפסקה בת שנה בשל מלחמת חרבות ברזל, וגיוסם של חלק מהכותבים והעורכים לשירות מילואים. בקובץ מוגשים מחקרים חדשים העוסקים בארץ יהודה מתחומי מחקר שונים: ארכיאולוגיה, גיאוגרפיה היסטורית, היסטוריה, ומדעי הטבע. רוב המאמרים מבוססים על הרצאות שניתנו בכנסים שנערכו בבית ספר שדה כפר עציון בשנים תשפ"ג-תשפ"ה, ולצידם מאמר עצמאי.

שנים עשר המאמרים המופיעים בקובץ עברו שיפוט בידי קוראים חיצוניים ועריכת לשון מוקפדת, כמקובל בכתבי עת מדעיים. הם מסודרים בחלוקה לשלושה תחומי מחקר, ברצף כרונולוגי: שישה מאמרים עוסקים בארכיאולוגיה ובגיאוגרפיה היסטורית; ארבעה דנים בעת החדשה; ושניים בעולם הטבע.

המאמר הראשון בשער הארכיאולוגיה מציע ניתוח מחודש לממצאים ישנים. במאמר בוחן נועם בר דוד את הכתובות שהתגלו במרשה שבשפלת יהודה בכלים חישוביים. השימוש במתודה המתקדמת שופך אור על המבנה החברתי ועל החיים העירוניים בעיר בתקופה ההלניסטית. המאמר השני עוסק במשמעות גילוי מנהרה חצובה בתוואי אמת המים העליונה לירושלים. המחקר, שנערך בידי עזריאל יחזקאל ואירנה זילברבוד, תורם נדבך של ידע נוסף לנושא, שהיה אחד מתחומי המחקר הראשונים שבהם עסקו מדריכי בית ספר שדה כפר עציון לאחר הקמתו. יעדה של מערכת האמות – ירושלים – הוא נושא המאמר השלישי. במאמר מציע ארז גירון פתרון חדש לשאלה מרכזית הקשורה לטופוגרפיה העירונית של ירושלים בשלהי ימי בית שני, מיקומה של מצודת האנטוניה. מליבה של ירושלים בתפארתה מוביל המאמר הרביעי אל הפריפריה העירונית לאחר חורבן הבית השני. במחקר המקיף, המבוסס על ניתוח מרחבי, בוחנים יוסף שפיזר, בועז זיסו ויחיאל זלינגר את המערך היישובי בסביבות ירושלים בתקופה הרומית התיכונה ואת השינויים שעבר בעקבות המרד הגדול.

שני מאמרים הוקדשו למחקרים גיאוגרפיים-היסטוריים מימי הביניים, הבוחנים אתרים בנופי הספר של ארץ יהודה. המאמר הראשון מוקדש לאתר נבי יקין, מדרום מזרח לחברון. במאמר מציע עמיחי שוורץ סקירה היסטורית מקיפה של תולדות האתר, והתפתחות המסורות הקשורות אליו, בהקשר למיקומו במרחב. המאמר השני מוקדש להרודיון וסביבתו בראשית התקופה העות'מאנית. המחקר, הכולל סקירה היסטורית של מגוון מקורות כתובים מסוגות שונות, מאיר תקופה עלומה שבמהלכה עברה סביבה זו שינוי ניכר.

היבטים שונים בהיסטוריה של ארץ יהודה בעת החדשה מוצגים בארבעה מאמרים, העוסקים בתובנות חדשות על אירועים מהמאה הקודמת. המאמר הראשון עוסק בתיירות ליריחו ובהשפעותיה החברתיות והכלכליות על המרחב. במאמר בוחן ערן גליק את המבקרים השונים בעיר בין שלהי התקופה העות'מאנית לסוף המנדט הבריטי, תקופה שכמעט לא נחקרה בתולדות העיר החשובה. יריחו היא אבן בוחן להתפתחות התיירות בארץ ישראל כולה עם ראשיתה של העת החדשה, על היבטיה הלאומיים, הדתיים והכלכליים.

במאמר השני בוחנת דבורה גלעדי את הנצחת חללי פרעות תרפ"ט בעיר חברון באמצעות סקירת ארבעה ספרי זיכרון שראו אור סמוך לטבח, כאשר כל ספר הדגיש זווית אחרת בפרעות ובזיכרון הנרצחים. ספרים אלו לא זכו להצלחה, ובמחקרה מציעה גלעדי סיבות לכישלון דרכו היא לומדת על ניסיונם של היישוב היהודי בארץ ומוסדותיו להפיק לקחים מהפרעות. מאמר נוסף מוקדש גם הוא לעיר האבות חברון, ובו דן יורם אלמכיאס במפגש בין חדש וישן, בין חברי גדוד העבודה והקהילה היהודית בעיר. במאמר הוא מצביע על החותם המשמעותי, אך הסמוי, שהותיר המפגש בליבם של חברי גדוד העבודה. המאמר הרביעי בשער זה מוקדש לקורות ספרי התורה שהשתייכו לקיבוצי גוש עציון לפני מלחמת העצמאות. הסקירה מעניקה מבט מזווית לא שגרתית על ההיסטוריה ההתיישבותית של גוש עציון משלבי הקמתו ועד לאחר מלחמת העצמאות, ומדגישה את הסמליות שייחסו קהילות קיבוצי הגוש לספרי התורה בימי השבי והחורבן, ואף בזמן החזרה למדינת ישראל בתום תקופת השבי.

שני מחקרים הוקדשו לתחומי מדעי הטבע. הראשון מסכם מחקר ארכיאולוגי-בוטני שנערך בידי סימביקה פרומין, אהרן מאיר, עמית דגן, מרינה ינוחנה ואהוד ויס, שבו נבחנו שרידים בוטניים שנמצאו במקדשי העיר התחתית של תל צפית, המזוהה כגת פלשתים. המחקר מאיר את מנהגי הפולחן של התרבות הפלשתית בתקופת הברזל, היבט משמעותי בחייהם של בני הזמן, אשר הידע הקיים על אודותיו מועט. במאמר השני מוצג שחזור אקלימי של התקופה הבינ־קרחונית האחרונה (116,000–131,000 שנה לפני זמננו), שבוצע בידי עמוס פרומקין. הוא כולל ניתוח איזוטופי של משקעי מערות ומחוננים נוספים, והשלכותיו משמעותיות גם להתמודדות עם שינויי אקלים הצפויים בעתיד.

ברצוננו להודות לכותבי המאמרים שנרתמו למלאכה, העלו על הכתב את חידושיהם, והעמידו לרשותנו את מחקריהם החשובים. תודתנו שלוחה גם לקוראים החיצוניים שקראו והעירו את הערותיהם. לרשות העתיקות, לקרן קיימת לישראל, למרכז יסלזון לחקר תולדות ישראל לאור האפיגרפיה, לקמ"ט שמורות טבע ופארקים במנהל האזרחי, לרשות הטבע והגנים, למו"פ מזרח, למחלקה ללימודי ארץ ישראל באוניברסיטת בר אילן על שם מרטין (זוס) ולאגף לתרבות יהודית על תמיכתם, שסייעה בהוצאת קובץ זה. תודה גדולה נתונה לשירה עבאדי על עריכה לשונית מוקפדת ולסטודיו ולדמן על עבודת העיצוב, העימוד וההבאה לדפוס. תודה אחרונה להנהלת בית ספר שדה כפר עציון, לעובד גמלא המנכ"ל ולעמיחי נעם הסמנכ"ל, על תמיכה, סיוע, והצבת רף גבוה למחקר ולהיכרות מעמיקה עם ארץ יהודה גם בעת מלחמה. אנו מקווים ומתפללים כי כאשר קובץ זה יראה אור יהיו החטופים בחיק משפחותיהם.

העורכים,

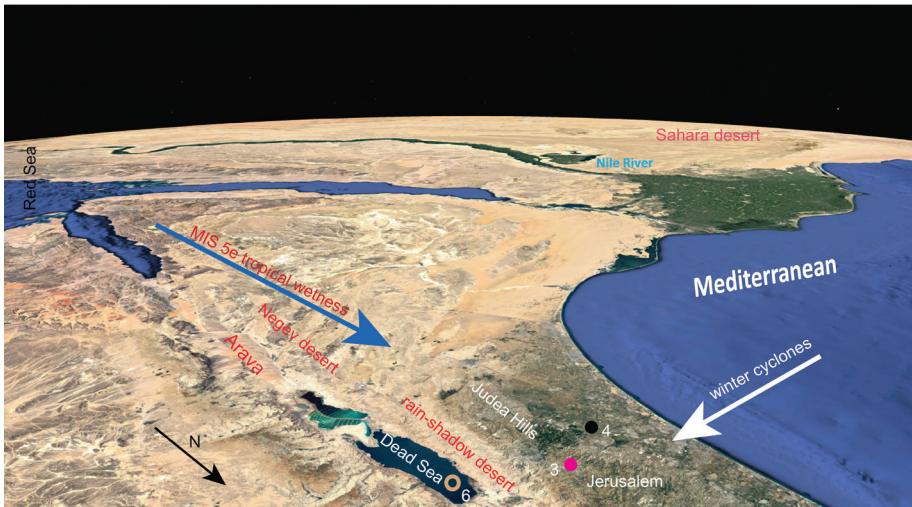
ד"ר יחיאל זלינגר, עמיחי ליפשיץ, ד"ר נדב פרנקל

# המשבר האקלימי הקודם – התקופה הבין־קרחונית האחרונה בישראל

עמוס פרומקין

## מבוא

מודלים אקלימיים מתייחסים לאזור הים התיכון כנקודה חמה של השפעות התחממות האקלים (למשל Kelley et al. 2012; 2015). אזור ארץ ישראל (איור 1), הממוקם באזור האקלים הסובטרופי בשולי חגורת המדבר הסהר־ערבי, פגיע במיוחד לשינויי אקלים, והתחממות מוגברת עלולה לגרום לבצורות ולהתרחבות חגורת המדבר (למשל Held and Soden 2006). תזוזה צפונה של חגורות האקלים עשויה לגרום לשינויים בדפוסי המשקעים והסביבה. קצב ההתרחבות הנוכחי של המדבר אף גדול יותר מתחזיות מודלים אקלימיים (Seidel et al. 2008). לפיכך, שחזור משטר ההידרו־אקלים של אזורנו בתקופות חמות קודמות עשוי להיות בעל השלכות חשובות להערכת תרחישים שונים של השפעות ההתחממות הגלובלית על תנאים סביבתיים־הידרולוגיים אזוריים (למשל Kiro et al. 2020). מחקר האקלים הקדום מלמד כי למערכת כדור הארץ יש נקודות מפנה שבהן שינויים קטנים גורמים לשינויים סביבתיים מהותיים, פתאומיים ולא לינאריים, במערכת האקלים. עדויות מצטברות מצביעות על כך שלנקודות מפנה אקלימיות כאלה יכולה להיות



**איור 1:** מבט אלכסוני להרי יהודה ולכיוון דרום־מזרח (Google Earth). החץ הלבן מראה את כיוון מערכות מזג האוויר הנפוצות כיום, והחץ הכחול מראה את כיוון החדירה של לחות נוספת מאפריקה בתקופה הבין־קרחונית MIS 5e. נקודות ממוספרות מציינות אתרי מחקר עיקריים. לפירוט ראו איור 2.

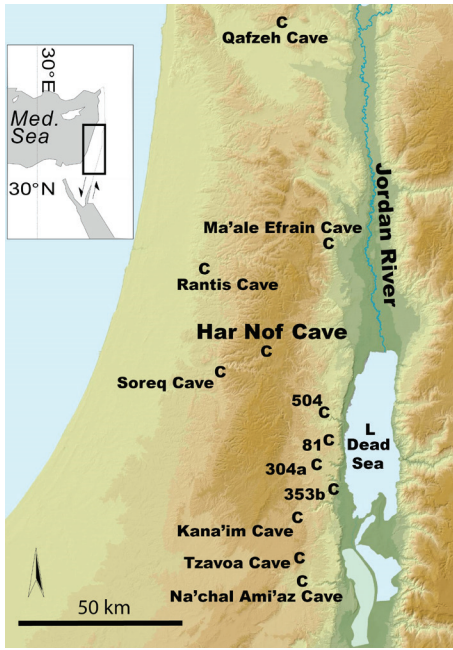
השפעה בלתי הפיכה על המערכת האקולוגית ועל החברה. השינויים האלה מתרחשים אולי כבר כיום, כמו התגברות שריפות ושיטפונות (Lenton et al. 2019; Williams et al. 2021). נתונים מתחילת תקופות בין־קרחוניות קודמות מראות כי אירועי התחממות אלה יכולים להיות קשורים לשינויים פתאומיים במפלסי האגמים, לעוצמת השריפות ולכיסוי הצמחייה (למשל 2020 Bush). הבנת המאפיינים של נקודות מפנה כאלה באירועי התחממות קודמים ובעיתוי שלהם חשובה, במיוחד להתמודדות עם שינויי האקלים העתידיים (Thomas et al. 2020; Ritchie et al. 2021).

במחקר זה אנו מתמקדים בשחזור תנאי ההידרו־אקלים בדרום הלבנט במהלך התקופה הבין־קרחונית האחרונה (בהתאם לחלוקה המקובלת המבוססת על המידע מגלעיני קידוח ימיים. MIS 5e - Marine Isotope Stage 5e [לפני כ־131,000–116,000 שנה], Tzedakis et al. 2007; Brauer et al. 2003). הכרת האופי של פרק זמן זה שימושית למודלים אקלימיים, לתחזיות עתידיות ולפרשנות של הגירות אנושיות בעבר (Vaks et al. 2007; Frumkin et al. 2015; Jennings et al. 2011).

כיום דרום הלבנט מקבל בעיקר גשמי חורף, הקשורים לשקעים אטמוספריים ים־תיכוניים, שבמהלכם נישא גם אבק מדברי מצפון הסהרה (למשל Dayan 1986; Palchan et al. 2018 והמקורות שם). המערכות הסינופטיות ששלטו בדרום הלבנט במהלך MIS 5e עדיין שנויות במחלוקת. הדעות חלוקות בין גשם שמקורו, בדומה להיום, הוא בים התיכון, ובין תרומה נוספת של סופות דרומיות החודרות לאזורנו. וקס ואחרים (Vaks et al. 2007) גילו כי נטיפים הושקעו בנגב המרכזי ובנגב הדרומי בעיקר בשיאי תקופות בין־קרחוניות. הם טענו לטובת מקורות גשם ים־תיכוניים כמקורות העיקריים להשקעת נטיפים במדבר הנגב הדרומי, כיוון שעובי הנטיפים פוחת כלפי דרום. מאוחר יותר הועלתה השערה כי מקורות לחות נוספים הגיעו מהדרום, בהתבסס על מודלים אקלימיים (Herold et al. 2014; Batisti et al. 2009; Lohmann and) ועל ממצאים גיאולוגיים יבשתיים, כמו משקעי טופה עבים שהושקעו במעיינות בערבה ובנגב הדרומי (Waldmann et al. 2010), אלמוגים ממפרץ אילת ששלדיהם הוחלפו מארגוניט לקלציט באמצעות מי תהום מתוקים (Lazar et al. 2011; Stein and), ועדויות למקורות דרומיים של מי נגר שזרמו לים המלח (Kiro et al. 2020). תצפיות אלה יוחסו לתנאים גשומים הנובעים מקרינה מוגברת, שהובילה לתזוזה צפונה של המערכות הטרופיות האפריקאיות (Herold and Lohmann 2009; Waldmann et al. 2010). כלומר, חדירה של מערכות גשם מרוחב נמוך או טרופי אל דרום הלבנט במהלך תקופות בין־קרחוניות קודמות, כאשר התרחשו אירועי ספרופל (sapropel) במזרח הים התיכון. המונח ספרופל מתייחס לשכבה עשירה בחומר אורגני המשקפת ים־תיכון עמוק אנוקסי (חסר חמצן), הנגרם משכבת מים רדודה מתוקה הקשורה לזרימה מוגברת של נהר הנילוס (Rohling et al. 2002).

מטרנו כאן היא לשחזר את התנאים הסביבתיים, דהיינו, מקורות הלחות, היווצרות קרקעות וסוג הצמחייה שאפיינו את אזור הרי יהודה ואזור דרום הלבנט במהלך MIS 5e. שחזור הסובב והאקלים במרכז ארץ ישראל יאפשר התמודדות טובה יותר עם השינויים הסביבתיים הצפויים בעתיד. אנו משתמשים בנתונים סביבתיים אזוריים שבעיקרם נאספו במערות (אזור 2), וכן מן הקידוח העמוק בקרקעית ים המלח (Torfstein et al. 2015; Chen), וכן מן הקידוח העמוק בקרקעית ים המלח (Litt 2018; Kiro et al. 2020; Stein and Goldstein 2020). האגמים באגן הטקטוני של





**איור 2:** מיקום אתרי המחקר. רובם במערות שמשמשות 'קפסולת זמן' ואתר אחד בים המלח – הקידוח העמוק באגן צפוני זה (Lisker et al. 2010; Vaks et al. 2003; Frumkin and Comay 2006; Bar Matthews et al. 2017; Frumkin et al. 2021).

ים המלח קיבלו מים וסדימנטים מאגן ניקוז גדול הכולל הן את חגורת המדבר, הן את אזור האקלים הסובטרופי הים תיכוני (Stein 2014). דיון ממצה, לרבות שיטות המחקר ותוצאות מפורטות, ניתן למצוא בפרסומים מדעיים של המחבר (Frumkin and Comay 2021; Frumkin et al. 2022).

### זקיף AF12 וסביבתו

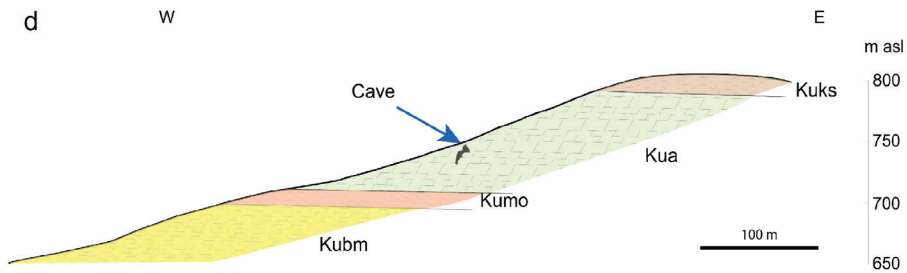
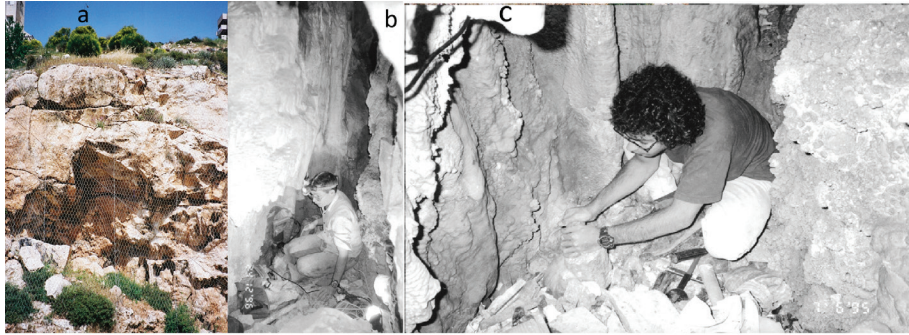
מערות הן 'קפסולת זמן' השומרות בתוכן עדויות לסובב הקדום, למשל במשקעי קלציט (ספלאותמים כמו נטיפים וזקיפים), וכן במרבצים ארכיאולוגיים וארכיאוזואולוגיים.

הזקיף שנחקר כאן, שמספרו AF12, נאסף כ־8 מ' מתחת לפני השטח, במרכז מערת הר נוף (8 מ' עומק, 5 מ' רוחב  $35.173748^\circ\text{E}$ ,  $31.783612^\circ\text{N}$ ), המערה התגלתה בשנת 1981 בעודה מטפטפת, במהלך חציבת חתך הכביש (איור 3) ברחוב פרנס, שכונת הר נוף בירושלים. הרחוב ממוקם על מדרון סלע דלומיטי

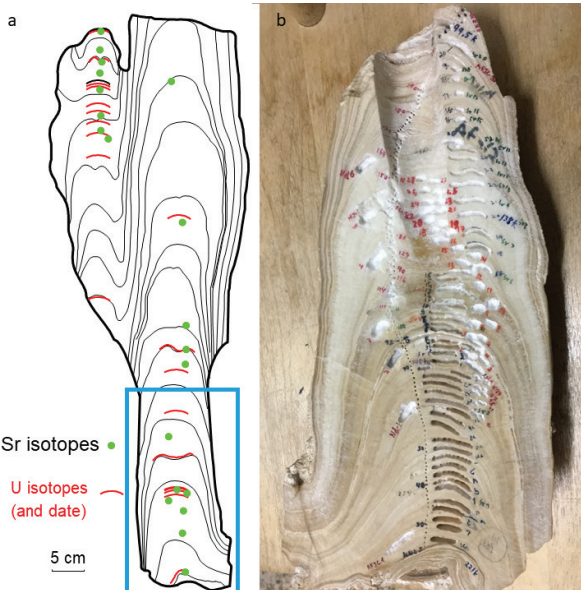
מתצורת עמינדב (גיל 95~ מיליון שנה) שבאגן נחל שורק, הזורם לים התיכון. המערה נפגעה קשות במהלך פיצוצים ששברו את משקעי המערות שבה. המדרון פונה מערבה, ולכן חופשי יחסית מההשפעות המקומיות של קרינת שמש נמוכה וגבוהה על המפנה הצפוני והדרומי בהתאמה. המערה אינה מקבלת זרימת מים נוספת, מלבד מי טפטוף שמקורם במדרון שמעליה. הזקיף נדגם תחילה לניתוח כימי ואיזוטופי ברזולוציה נמוכה של חמצן, פחמן, אורניום וסטרונציום, ותוארך באמצעות אורניום-תוריום (Frumkin et al. 1999; Frumkin and Stein 2004; 2000). הזקיף נבחר מתוך שורה של משקעי מערות אחרים בגלל איכותו ואיכות המערה שבה שקע (לפרטים נוספים ראו Frumkin et al. 1994). הזקיף נדגם עבור המחקר הנוכחי ברזולוציה של ~2 מ"מ קרוב לציר הצמיחה (איור 4).

### תוצאות ודיון

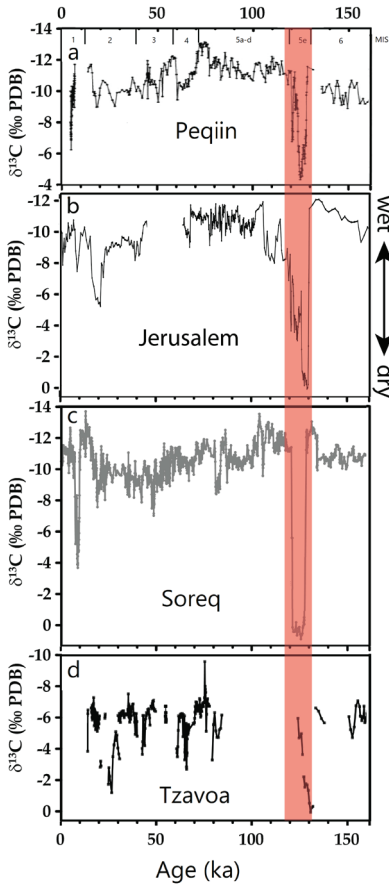
כפי שיוצג להלן, השינויים האיזוטופיים לאורך הזמן בזקיף הר נוף AF12 הם גדולים, ומצביעים על שינויי סביבה. שינויים גדולים דומים נצפים בדרך כלל בכל משקעי המערות בני אותו זמן, בכמה מערות ברחבי דרום הלבנט (Vaks et al. 2006; Bar-Matthews et al.).



**איור 3:** מערת הר נוף פרנס בירושלים. a – מבט על קיר הסלע החצוב שבתחתיתו פתח המערה. קרקע רדודה עם צומח C3 מכסה סלע דולומיטי שעוביו כ-8 מ' מעל המערה. המים המחלחלים למערה נושאים איתם מידע איזוטופי על האקלים, הקרקע והצומח, ומשקיעים ספלאותמים המתעדים את התנאים האלה. b – מבט כללי למערה שהמבנה שלה הוא קמין אנכי לאורך סדק מורחב. c – מבט מקרוב על נקודת הדיגום של זקיף AF12. d. חתך גיאולוגי (מזרח-מערב) ברכס שבפסגתו כפר שאול ובמדרונו הר נוף, עם מיקום המערה. תצורות הסלע הנחשפות הן מגיל קנומן, מלמטה למעלה: Kubm – בית מאיר; Kumo – מוצא; Kua – עמינדב; Kuks – כפר שאול. מימין – גובה מעל פני הים.



**איור 4:** חתך אנכי בזקיף AF12 שנותק באמצעות פיצוצים במהלך חציבת תוואי רח' פרנס בהר נוף. a – שרטוט הזקיף עם שכבות הגידול, המדגים את המחקר הראשוני. נקודות התיארוך באורניום תוריום (באדום), ונקודות הדיגום הראשוני של איזוטופים של סטרונציום. מאות דגימות לאורך כל החתך נבדקו לאיזוטופים של פחמן וחמצן (Frumkin et al. 1994; Frumkin et al. 1999; Frumkin et al. 2004). b – צילום של קטע הזקיף שבמלבן הכחול, הכולל את התקופה הבינ-קרחונית MIS 5e עם נקודות הדיגום המפורט (Frumkin et al. 2022).



**איור 5:** השוואת השינויים בהרכב האיזוטופי של פחמן במשך 160,000 השנים האחרונות (ציר אופקי באלפי שנים), בארבע מערות לאורך ישראל (ציר אנכי באלפי שנים) (Frumkin and Comay 2021). בכל המערות ניכרת פעימה חריגה בתקופה הבינ־קרחונית MIS 5e (מלבן אדום): a – מערת פקיעין ('הכלכליתית') בגליל העליון (Bar Matthews et al. 2003). b – מערת הר נוף, רח' פרנס בירושלים. c – מערת שורק בהרי יהודה (Bar Matthews et al. 2003). d – מערת צבוע בדרום מדבר יהודה, עם השקעה מקוטעת בגלל האקלים המדברי (Vaks et al. 2006).

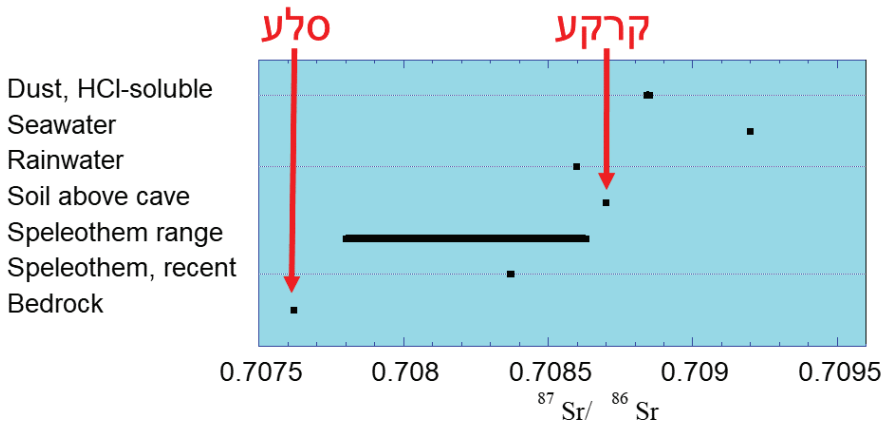
(2017), מה שמצביע על כך שהשינויים אינם נובעים מתנאים מקומיים. עם זאת, הבדלים קטנים יותר בין הספלאותמים השונים אפשר לייחס להשפעות מקומיות וקינטיות.

בתקופה הבינ־קרחונית MIS 5e התרחשה קפיצה גבוהה במיוחד בהרכב האיזוטופי (<sup>13</sup>C) של הפחמן (איור 5), הן בשאר חלקי הארץ. זה מצביע על שינוי סביבתי משמעותי בדרום הלבנט במהלך MIS 5e. משום שהערכים האיזוטופיים של הפחמן מעידים על סוג הצמחייה בפני השטח, מעל מקור הטפטוף, הרי שעם גילוי האנומליה התקיים דיון על אודות הגורמים שיכולים להסביר אותה. פרומקין ואחרים הציעו יובש חמור (Frumkin et al. 2000), בעוד שבר־מתיס ואחרים הציעו שיטפונות קיצוניים שהסירו את הקרקעות (Bar Matthews et al. 2003). המחקרים האחרונים של משקעי ים המלח הראו כי על רקע של יובש כללי התרחשו גם אירועי שיטפונות לסירוגין וסחיפת קרקע במהלך MIS 5e (Kiro et al. 2020; Palchan et al. 2018). הכבדת ההרכב האיזוטופי של הפחמן בזקיף הראתה כי הצמחייה הים תיכונית (בעלת מסלול פוטוסינטטי C3; התהליך הכימי של הפוטוסינתזה קשור לתנאי הסביבה ומשפיע על ההרכב האיזוטופי, ולכן הרכב זה מאפשר שחזור של אופי הצומח) נעלמה למעשה, ושיפועי המדרונות היו תלולים מספיק כדי לאפשר סחיפה מלאה של הקרקע במהלך סערות חמורות.

תמיכה להסבר סחיפה ואובדן

הקרקע שמעל המערה ניתנה ממדידה של יחסי היסוד סטרונציום בזקיף. בקרקע מסוג טרה רוסה היחס האיזוטופי של סטרונציום (~0.7087) גבוה בהרבה מזה של סלע הדולומיט המקומי (~0.7076). לפיכך, קיומה של קרקע מעל המערה מכביד את ערכי האיזוטופים של

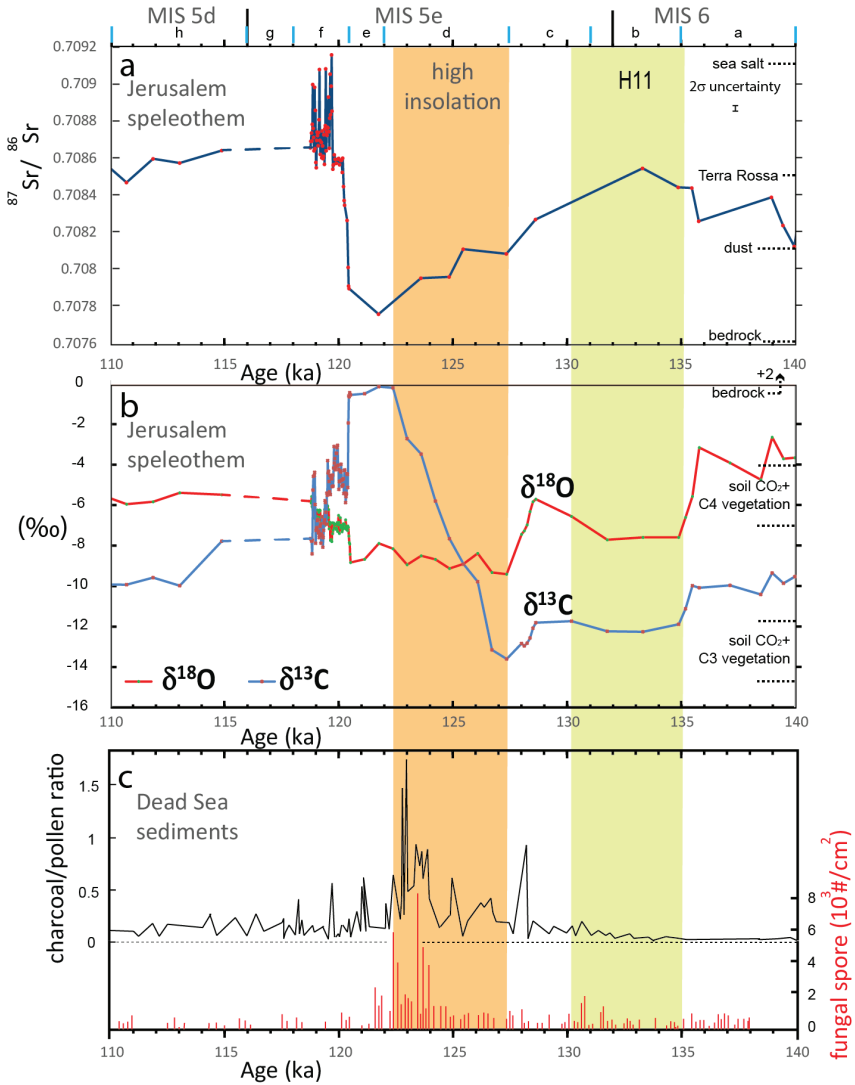
סטרונוציום במשקעי המערות (Frumkin et al. 2022; איור 6). בתקופה הבין־קרחונית MIS 5e התרחשה ירידה דרמטית ביחס האיזוטופי של סטרונוציום בזקיף (איור 7a), המוסברת באובדן הקרקע שמעל המערה בגלל סחיפת הקרקע במדרון על רקע היעלמות הצמחייה הים תיכונית ואירועי גשם חזקים ונדירים.



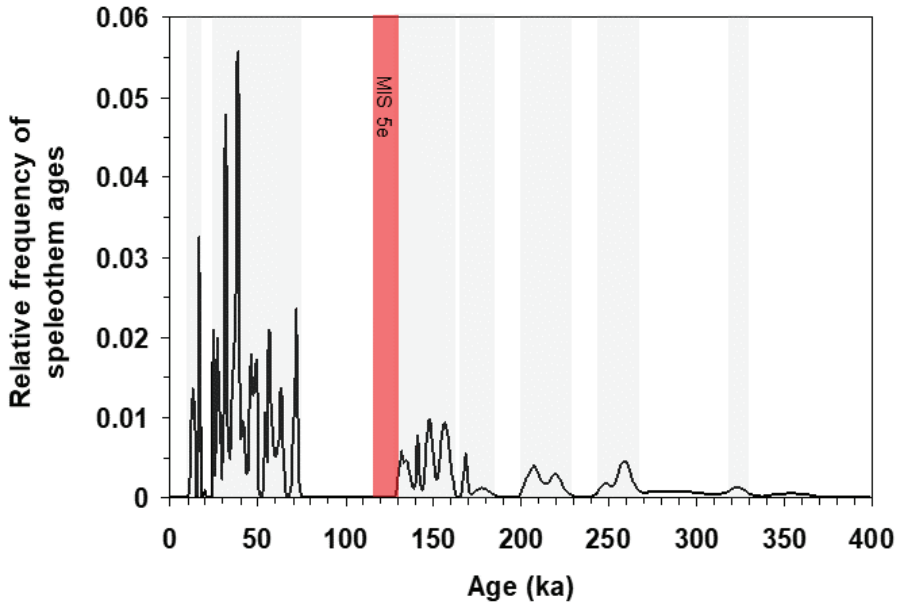
**איור 6:** ערכי איזוטופים של סטרונוציום בסובב הרי יהודה. ההפרש הגדול בין ערכי הקרקע לסלע מאפשר לעקוב אחרי שינויים בתכנית הקרקע בעזרת ספלאותמים שרושמים את ההרכב האיזוטופי.

למרות אירועי השיטפונות הנדירים, קידוח ים המלח מצביע על כך שתחילת MIS 5e הייתה האירוע היבש ביותר ב־160 אלף השנים האחרונות. קירו ואחרים (Kiro et al. 2017) העריכו כי הנגר של מים מתוקים ירד ל־40% מהערך המודרני, ערך נמוך מאוד המשקף בצורת חמורה עם משקעים שנתיים במרכז הארץ של 350 מ"מ/שנה, בהשוואה ל־600 מ"מ/שנה כיום. בתנאים ביין־קרחוניים חמים כאלה, עם משקעים של 350 מ"מ/שנה, המים באזור הבלתי רווי עדיין אפשרו השקעת ספלאותמים בהרי יהודה (Frumkin et al. 2006; Bar Matthews et al. 2017; Vaks et al. 2006). העדר השקעת ספלאותמים ב־MIS 5e במדבר צל הגשם במזרח הרי יהודה (איורים 2, 8; מערות נחל עמיעז, קנאים, 304a, 353b, 504, 81, מעלה אפרים) מצביע על כך שזו אכן הייתה התקופה היבשה ביותר במרכז הארץ, בהשוואה להשקעה אינטנסיבית ביותר בתקופות הקרח (Lisker et al. 2003; Vaks et al. 2010). העדר השקעת הספלאותמים נמשך גם לשלבים הבאים של MIS 5e, ומעיד על המשך מגמת היובש. המערה היחידה בדרום מדבר יהודה שהשקיעה מעט ספלאותמים ב־MIS 5e היא מערת צבוע (Vaks et al. 2006) שמדרום־מזרח לערד (איור 5d). לפי ההרכב האיזוטופי במערת צבוע, מדובר בחדירת גשמים מדרום (להלן).

ממערות צבוע ודרומה, בנגב וברצועת המדבר הסהר־ערבי, שכבות דקות של נטיפים המתוארכות ל־MIS 5e (Vaks et al. 2010), משקעי מעיינות מוגברים בערבה (Waldmann et al. 2010), ההרכב האיזוטופי של החמצן במשקעי המערות ומודלים (Frumkin et al. 2022) מצביעים על כך שגשם הגיע מהדרום, מאזור גשמי המונסון. הוא סיפק מספיק לחות



**איור 7:** התקופות שסביב התקופה הבינ־קרחונית MIS 5e מראות בזקיף שינויים דרמטיים בהרכב האיזוטופי של: a – סטרונציום, b – פחמן וחמצן, מול: c – פעימות חזקות של חלקיקי פחם ונבגים של פטריות (fungi) במשקעי ים המלח (Frumkin et al. 2022; Chen and Litt 2018). המלבנים הצבעוניים מציינים גורמים אפשריים לחוסר היציבות הסביבתית: הכתום מציינ את תקופת קרינת השמש הגבוהה ביותר בחצי הכדור הצפוני. המלבן הצהוב מציינ את אירוע היינריך 11, שבו חדרה כמות מים מתוקים גדולה לצפון האוקיינוס האטלנטי כתוצאה מהפשרת כיפת הקרח בצפון אמריקה.



**איור 8:** תדירות יחסית של השקעת ספלאותמים במדבר צל הגשם ביהודה במשך מאות אלפי השנים האחרונות. השקעה אינטנסיבית (פעילות גבוהות) מציינת אקלים לח, ואילו העדר השקעה, כמו התקופה הבינ־קרחונית MIS 5e (מלבן אדום), מציינת תקופה יבשה ביהודה. מעובד לפי Lisker et al. 2010.

לסירוגין לתווך הבלתי רווי, כדי לאפשר השקעה (El-Shenawy et al. 2018; Fleitmann et al. 2003), בעוד שתקופות אחרות ב־160 אלף השנים האחרונות היו ברובן צחיחות, ללא השקעת ספלאותמים בנגב. החדירה של אירוע קיצוני זה לדרום הלבנט הייתה ייחודית, ולא התרחשה בעוצמה כזו קודם לכן או מאוחר יותר ב־160 אלף השנים האחרונות, כולל בסוף הפלייסטוקן (לפני למעלה מ־11,700 שנה) – הולוקן (11,700 שנים אחרונות), אם כי תנודות בעלות אמפליטודה ומשך קטנים יותר נרשמו גם בתקופה הניאוליתית, בראשית ההולוקן. החדירה הנראית לעין של גשמים ממקור דרומי לדרום הלבנט במהלך MIS 5e צריכה להידון גם במונחים של עונתיות המשקעים, שכן גשמי המונסון מרוכזים בקיץ. תחת משטר גשמי קיץ, הטמפרטורות הגבוהות בעונת הצמיחה סיפקו יתרון ברור לדגניים בעלי מסלול פוטוסינטטי C4 (השכיח בסוואנות ובמדבריות) על פני C3 (השכיח באזור הים תיכוני) (Vogel et al. 1978; 1986; Ehleringer et al. 1997; Keeley and Rundel, 2003). לכן צמחים חד שנתיים C4 הם מרכיב בולט בצמחיית הקיץ של אזורים מדבריים עם גשמי קיץ (Mulroy and Rundel, 1977). מגמה זו נצפית ביבשות שונות. לדוגמה, מחקרים צפון אמריקאיים מראים שעשבי C3 שולטים בעונת הגידול באביב, בעוד שעשבי C4 שולטים במהלך עונת הגידול בקיץ במדבר סוונורה (Mulroy and Rundel, 1977) ובמישורים הגדולים (Ode et al. 1980; Barnes et al. 1983; Monson et al. 1983; Boryslawski and Bentley 1985; Parnell and Lauenroth 1996; Tieszen et al. 1997). באוסטרליה צמחי C4 הם השכיחים ביותר באזורים שבהם הקיץ חם וגשום, ואילו צמחי C3 משגשגים באזורים

שבהם האביב גשום (Hattersley, 1983). מגמה דומה נצפתה לאורך החוף הדרומי של דרום אפריקה, שם עונתיות הגשמים משתנה ממזרח למערב (Vogel et al. 1978; Cowling 1983; Braun et al. 2018).

עלייה בחלק היחסי של גשמי הקיץ בישראל תגדיל אפוא את חלקם של עשבי C4 בצמחייה, מה שיגדיל את הערך האיזוטופי של פחמן בנטיפים. גשמי חורף המאפיינים אקלים ים תיכוני קשורים בדרך כלל לשפע של צמחי C3. חדירה של גשמי קיץ לדרום הלבנט הוצעה בעבר, אם כי על סמך ראיות מוגבלות (למשל Horowitz and Gat 1984). על סמך הראיות המוצגות כאן, של עלייה זמנית חדה בערכים האיזוטופיים של פחמן (איור 5) בשילוב חדירת גשמים טרופיים, אנו יכולים להציע שבמהלך MIS 5e חווה דרום הלבנט גם גשמי קיץ הקשורים למערכות מונסון.

תרחיש זה מודגש עוד יותר באמצעות עלייה של מספר סדרי גודל בריכוז של נבגי פטריות וחלקיקי פחם באגן ים המלח במהלך התקופה הבינ־קרחונית MIS 5e (איור 7c). חלקיקי הפחם מלמדים על שריפות תכופות ועזות. קפיצות של נבגי פטריות מצביעות על התפשטות נפיצה של אורגניזמים אלה, העמידים בפני עקה ומינים אפורטוניסטיים (Mudie et al. 2011; Rampino and Eshet 2018). אלה קשורים להיעלמות הצומח, לסחיפת קרקע חמורה ולהובלה של שאריותיה לאגני הצטברות. פטריות הן בין המתיישבים הראשונים לאחר הרס יערות בשריפות חמורות ובאירועים הרסניים אחרים (Claridge et al. 2009), ואכן הקפיצה העיקרית של נבגי פטריות היא בת זמנה של הקפיצה של פחם (Chen and Litt 2018) (איור 7c).

מערכות אקולוגיות של עשב בנות זמננו נשלטות בידי אקלים, אש ורעייה (Keeley and Rundel 2003). סוואנות טרופיות שומרות על שטחי העשב הפתוחים שלהן באמצעות גשמי קיץ ושריפות (Ehleringer et al. 1997; Bond and Wilgen 1996). שריפות מוגברות מפחיתות את הביומסה; צורות צמיחה מעוצות מוחלפות בשטחי עשב (Knapp and Medina, 1999). סערות קונבקטיביות של מערכות מונסון הן עתירות ברקים, ולכן גורמות לשריפות. כאשר הצתות הברק מתרחשות בסוף עונה יבשה ארוכה השריפות נרחבות במיוחד, בגלל הביומסה היבשה ברובה (Keeley and Bond 2001). לאחר הרס הצמחייה בידי האש במהלך עונת השריפות, הביומסה שהייתה לפני השריפה תשוחזר תוך כמה חודשים לחים יותר. בתנאים כאלה למטבוליזם של צמחי C4 היה יתרון נוסף, בשל העדפה לצמיחה מהירה (Keeley and Rundel 2003). הדבר ידוע היטב באזורים שונים, כמו אינדונזיה ודרום אמריקה (Haberle and Ledru 2001). השריפות מעכבות את התפשטות היער בתנאים כאלה.

בדרום־מערב ארצות הברית מניעת שריפות בידי אדם המירה את הסוואנות של עשבי C4, שהיו שכיחות במאה ה־15, ליערות של מחטניים. שינויים סביבתיים כאלה משתקפים בשינויים בהרכב האיזוטופי של פחמן של חומר אורגני בקרקע (Kerns et al. 2001), ובעקבות זאת בקרבונטים של הקרקע (Talma and Netterberg 1983) ומשקעי מערות (Bar-Matthews et al. 2017).

אירוע ההכבדה באיזוטופים של פחמן בישראל מתוארך באמצעות U-Th ל־120–130 אלף שנה לפני זמננו (Frumkin et al. 2000; Vaks et al. 2006; Bar-Matthews et al. 2017). משקעי המערות של מערות פקיעין, ירושלים וצבוע (איור 5) מראים ערכי פחמן גבוהים

במיוחד בתקופה זו, ולאחר מכן התאוששות הדרגתית. זה מצביע על כך שהתקופה הבינ־קרחונית MIS 5e החלה בשלב צחיח המעודד סחיפת קרקע. לאחר מכן באה השתפרות אקלימית הדרגתית, הקשורה לגשמי קיץ ולהתחדשות יצירת קרקע, במקביל לחדירת גשמי מונסון אפריקאי וצמחיית C4.

אם כך, השילוב של יובש מוגבר ואחריו מעבר לגשמי קיץ הקשורים לסכנת שריפות מוגברת הם ההסבר הטוב ביותר למכלול הנתונים שנצפו. תרחיש זה תואם מאוד לנתוני אבקת הפרחים (*pollen*) של משקעי ים המלח, המציגים כמות נמוכה במיוחד של אבקת עצים בין 131–123 אלף שנה (Chen and Litt 2018), ואחריה עלייה באבקת עצים בחלק המאוחר יותר של MIS 5e.

תרחיש זה תואם באופן כללי גם להרכב הסדימנטים של ים המלח, המראים שתחילת MIS 5e (~133–128 אלף שנה) הייתה מאופיינת בירידת מפלס האגם לפי שכבה עבה של מלח (הליט). השקעת ההליט לוותה במהלך שיא MIS 5e (~128–122 אלף שנה) במשקעי שיטפונות, שהוצע כי הם מצביעים על חדירת גשמי המונסון (Torfstein et al. 2015).

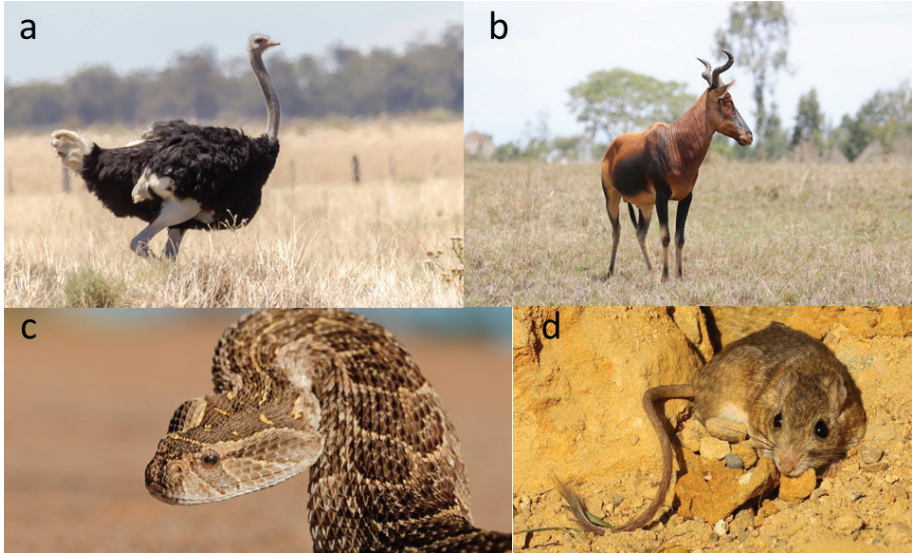
הנתונים הארכיאוזואולוגיים (בעלי חיים קדומים) הייחודיים מחפירות מערות קפזה (שכבות XV–XXV) (Tchernov 1998; Rabinovich and Tchernov 1995) ורנטיס (Marder et al. 2011) תומכים בתרחיש שתואר, מאחר שהם מדגימים את חדירתם של כמה מינים מהדרום ואת היעלמותם של כמה מינים צפוניים (פלארקטיים) במהלך MIS 5e (Frumkin and Comay 2021; Comay and Frumkin 2022; Frumkin et al. 1998). למערכת האקולוגית של דרום הלבנט היו כאמור קווי דמיון לסוואנה האפריקאית. בעוד שמקורות המים והיערות כנראה התמעטו, השטח הפתוח דמוי הסוואנה גדל על חשבון אזורים שהיו מיוערים לפני כן. מצב זה הועיל למיני חיות מותאמי סוואנה, בהשוואה ליערות הצפופים יותר של תקופות הקרח. בני האדם ששהו במערת קפזה צדו בעלי חיים אפריקאיים ואפרו־ערביים, כגון בובאל, יען, גמל ומיני סוסיים (בעיקר *Equus tabeti*). זאת מלבד צבי ארץ ישראלי ויחמור פרסי, שהיו דומיננטיים תמיד בתפריט של האדם הקדמון (Rabinovich and Tchernov 1995; Tchernov 1998). התופעה בולטת גם בבעלי חיים קטנים, כמו המכרסמים *Arvicantis ectos*, *Mastomys batei*, *Gerbillus dasyurus*, *Suncus murimus* וזוהו גם עשרות שרידים של נחש הצפע האפריקאי ביטיס מתנפח (*Bitis arietans*) במערת קפזה (Biton and Bailon 2021).

## סיכום

מחקר זה מציג נתונים סביבתיים על התקופה הבינ־קרחונית האחרונה MIS 5e (בערך 131–116 אלף שנה לפני זמננו) בדרום הלבנט, באמצעות ניתוח איזוטופים של פחמן וסטרוניום בזקיף AF12 ממערת הר נוף בירושלים (איורים 5, 7). נתונים אלה מושווים לנתונים איזוטופיים של חמצן ומשקעי מערות אחרים, ועם נתונים בני אותו זמן של פחם, נבגי פטריות ואבקת פרחים שהתקבלו מהקידוח העמוק של ים המלח (Frumkin et al. 2022).

השינויים הסביבתיים מצביעים על נדידה צפונה של חגורות אקלים מעל דרום הלבנט במהלך MIS 5e, מה שגרם לשינויים סביבתיים דרמטיים ולתנודות אקולוגיות משמעותיות.





**איור 9:** בעלי חיים מקבוצות שונות ממוצא אפריקאי וסהררערבי שהתפשטו על פני ארץ ישראל במהלך התקופה הבינ־קרחונית MIS 5e והגיעו עד מערת קפה בגליל (Tchernov 1998; Frumkin and Comay 2021). a – יען מצוי (*Struthio camelus*). b – בובאל איילי (*Alcelaphus buselaphus*). c – ביטיס מתנפח (Biton and) (*Bitis arietans*). d. (Bailon 2021). גרביל סלעים (*Gerbillus dasyurus*).

הראיות מהמערות וממשקעי ים המלח המוצגות במאמר זה לתקופת MIS 5e מרמזות כי התחממות גלובלית יכולה להיות קשורה לתקופות של חוסר יציבות מוגבר בדרום הלבנט, אזור הנמצא בשולי המדבר. נקודת המפנה האקלימית שנחצתה ב-MIS 5e כללה אובדן מוחלט של צמחייה וקרקע, שריפות הרסניות, ומעבר של גשמים מהחורף לקיץ. כפי שנצפה ונחקר בעשורים האחרונים, פליטת גזי חממה כחלק מפעילות האדם היא זרז משמעותי בהתחממות כדור הארץ, כך שאירועים קיצוניים כאלה שולחים מסר אזהרה שפעילות האדם עלולה להגביר את המדבור ואת חוסר היציבות של אקלים הלבנט.

## תודות

בשלביו השונים של המחקר תרמו לו תלמידים, מורים ושותפים רבים, בהם: אבנר אילון, מרים בר־מתיוס, אנטון וקס, סורין ליסקר, דרק פורד, אור קומאי, הנרי שוורץ ומרדכי שטיין. תודתי החמה לכולם.

## הפניות

Bar-Matthews M., Ayalon A., Gilmour M., Matthews A. and Hawkesworth C.J. 2003. Sea-Land Oxygen Isotopic Relationships from Planktonic Foraminifera and Speleothems in the Eastern Mediterranean Region and their Implications for Paleorainfall during Interglacial Intervals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 67: 3181-3199.

- Bar-Matthews M., Ayalon A., Vaks A. and Frumkin A. 2017. Climate and Environment Reconstructions Based on Speleothems from the Levant. in: Enzel Y. and Bar-Yosef O., eds. *Quaternary of the Levant*. Cambridge. Pp. 151-164.
- Barnes P.W., Tieszen L.L. and Ode D.J. 1983. Distribution, Production and Diversity of C3 - and C4 - Dominated Communities in a Mixed Prairie. *Canadian Journal of Botany* 61(3): 741-751.
- Battisti D., Ding Q. and Roe G. 2014. Coherent Pan-Asian Climatic and Isotopic Response to Orbital Forcing of Tropical Insolation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 119: 11997.
- Biton R. and Bailon S. 2022. An African Adder (*Bitis Arietans* Complex) at Qafzeh Cave, Israel, during the early Late Pleistocene (MIS 5). *Journal of Quaternary Science* 37(4): 639-650.
- Bond W.J. and Van Wilgen B. 1996. *Plants and Fire*. New York.
- Boryslawski Z. and Bentley B.L. 1985. The Effect of Nitrogen and Clipping on Interference between C3 and C4 Grasses. *The Journal of Ecology* 73: 113-121.
- Brauer A., Allen J.R., Mingram J., Dulski P., Wulf S. and Huntley B. 2007. Evidence for Last Interglacial Chronology and Environmental Change from Southern Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104(2): 450-455.
- Braun K., Bar-Matthews M., Matthews A., Ayalon A., Cowling R.M., Karkanas P., Fisher E.C., Dyez K., Zilberman T. and Marean C.W. 2018. Late Pleistocene Records of Seleothem Stable Isotopic Compositions from Pinnacle Point on the South African South Coast. *Quaternary Research* 91(1): 265-288.
- Bush M.B. 2020. New and Repeating Tipping Points: The Interplay of Fire, Climate Change and Deforestation in Neotropical Ecosystems. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 105(3): 393-404.
- Chen C. and Litt T. 2018. Dead Sea Pollen Provides New Insights into the Palaeoenvironment of the Southern Levant during MIS 6-5. *Quaternary Science Reviews* 188: 15-27.
- Claridge A.W., Trappe J.W. and Hansen K. 2009. Do Fungi have a Role as Soil Stabilizers after Forest Fires? *Forest Ecology and Management* 257: 1063-1069.
- Comas-Bru L., Harrison S.P., Werner M., Rehfeld K., Scroxton N., Veiga-Pires C., Ersek V. and Breitenbach S. 2019. Evaluating Model Outputs Using Integrated Global Speleothem Records of Climate Change Since the Last Glacial. *Climate of the Past* 15: 1557-1579.
- Comay O. and Frumkin A. 2022. The Micromammal Fauna of the Southern Levant Changed with the Paleoclimate during the Paleolithic, while Modern Humans Persisted: A Counter-Reply to Weissbrod and Weinstein-Evron (2020). *Journal of Human Evolution* 164: 102944.

- Cowling R.M. 1983. The Occurrence of C3 and C4 Grasses in Fynbos and Allied Shrublands in the Southeastern Cape, South Africa. *Oecologia* 58(1): 121-127.
- Dayan U. 1986. Climatology of Back Trajectories from Israel Based on Synoptic Analysis. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 25: 591-595.
- Ehleringer J.R., Cerling T.E. and Helliker B.R. 1997. C4 Hotosynthesis, Atmospheric CO<sub>2</sub>, and Climate. *Oecologia* 112: 285-299.
- El-Shenawy M.I., Kim S.T., Schwarcz H.P., Asmerom Y. and Polyak V.J. 2018. Speleothem Evidence for the Greening of the Sahara and its Implications for the Early Human Dispersal Out of Sub-Saharan Africa. *Quaternary Science Reviews* 188: 67.
- Fleitmann D., Burns S.J., Neff U., Mangini A. and Matter A. 2003. Changing Moisture Sources over the last 330,000 Years in Northern Oman from Fluid-Inclusion Evidence in Speleothems. *Quaternary Research* 60: 223.
- Frumkin A., Schwarcz H.P. and Ford D.C. 1994. Evidence for Isotopic Equilibrium in Stalagmites from Caves in a Dry Region: Jerusalem, Israel. *Israel Journal of Earth Sciences* 43(3-4): 221-230.
- Frumkin A., Ford D.C. and Schwarcz H.P. 1999. Continental Oxygen Isotopic Record of the last 170,000 Years in Jerusalem. *Quaternary Research* 51: 317-327.
- Frumkin A., Ford D.C. and Schwarcz H.P. 2000. Paleoclimate and Vegetation of the last Glacial Cycles in Jerusalem from a Speleothem Record. *Global Biogeochemical Cycles* 14(3): 863-870.
- Frumkin A. and Stein M. 2004. The Sahara - East Mediterranean Dust and Climate Connection Revealed by Strontium and Uranium Isotopes in a Jerusalem Speleothem. *Earth and Planetary Science Letters* 217: 451-464.
- Frumkin A., Bar-Yosef O. and Schwarcz H.P. 2011. Possible Paleohydrologic and Paleoclimatic Effects on Hominin Migration and Occupation of the Levantine Middle Paleolithic. *Journal of Human Evolution* 60(4): 437-451.
- Frumkin A. and Comay O. 2021. The last Glacial Cycle of the Southern Levant: Paleoenvironment and Chronology of Modern Humans. *Journal of Human Evolution* 160: 102609.
- Frumkin A., Stein M. and Goldstein S.L. 2022. High Resolution Environmental Conditions of the last Interglacial (MIS5e) in the Levant from Sr, C and O Isotopes from a Jerusalem Stalagmite. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 586: 110761.
- Haberle S.G. and Ledru M.P. 2001. Correlations among Charcoal Records of Fires from the Past 16,000 Years in Indonesia, Papua New Guinea, and Central and South America. *Quaternary Research* 55(1): 97-104.
- Hattersley P.W. 1983. The distribution of C3 and C4 Grasses in Australia in Relation to Climate. *Oecologia* 57: 113-128.

- Held I.M. and Soden B.J. 2006. Robust Responses of the Hydrological Cycle to Global Warming. *Journal of Climate* 19: 5686-5699.
- Herold M. and Lohmann G. 2009. Eemian Tropical and Subtropical African Moisture Transport: An Isotope Modeling Study. *Climate Dynamics* 33(7): 1075-1088.
- Horowitz A. and Gat J.R. 1984. Floral and Isotopic Indications for Possible Summer Rains in Israel during Wetter Climates. *Pollen et spores* 26(1): 61-68.
- Keeley J.E. and Bond W.J. 2001. On Incorporating Fire into Our Thinking About Natural Ecosystems: A Response to Saha and Howe. *The American Naturalist* 158(6): 664-670.
- Keeley J.E. and Rundel P.W. 2003. Evolution of CAM and C4 Carbon-Concentrating Mechanisms. *International journal of plant sciences* 164(S3): S55-S77.
- Kelley C., Ting M., Seager R. and Kushnir Y. 2012. The Relative Contributions of Radiative Forcing and Internal Climate Variability to the Late 20th Century Winter Drying of the Mediterranean Region. *Climate Dynamics* 38: 2001-2015.
- Kelley C.P., Mohtadi S., Cane M.A., Seager R. and Kushnir Y. 2015. Climate Change in the Fertile Crescent and Implications of the recent Syrian Drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112: 3241-3246.
- Kerns B.K., Moore M.M. and Hart S.C. 2001. Estimating Forest-Grassland Dynamics Using Soil Phytolith Assemblages and  $\delta^{13}C$  of Soil Organic Matter. *Ecoscience* 8(4): 478-488.
- Kiro Y., Goldstein S.L., García-Veigas J., Levy E., Kushnir Y., Stein M. and Lazar B. 2017. Relationships Between Lake Level Changes and Water and Salt Budgets in the Dead Sea during Extreme Aridities in the Eastern Mediterranean. *Earth Planet Sci. Lett.* 464: 211-226.
- Kiro Y., Goldstein S.L., Kushnir Y., Olson J.M., Bolge L., Lazar B. and Stein M. 2020. Droughts, Flooding Events and Shifts in Water Sources and Seasonality Characterize Last Interglacial Levant Climate. *Quaternary Science Reviews* 248: 106546.
- Knapp A.K. and Medina E. 1999. Success of C4 Photosynthesis in the Field: Lessons from Communities Dominated by C4 Plants. In R.F. Sage and R.K. Monson. Eds. *C4 plant biology*. San Diego. Pp. 251-283.
- Lazar B. and Stein M. 2011. Freshwater on the Route of Hominids out of Africa Revealed by U-Th in Red Sea Corals. *Geology* 39(11): 1067-1070.
- Lenton T.M., Rockström J., Gaffney O., Rahmstorf S., Richardson K., Steffen W. and Schellnhuber H.J. 2019. Climate Tipping Points - Too Risky to Bet Against. *Nature* 575: 592-595.
- Lisker S., Vaks A., Bar-Matthews M., Porat R. and Frumkin A. 2010. Late Pleistocene Palaeoclimatic and Palaeoenvironmental Reconstruction of the Dead Sea Area (Israel) Based on Speleothems and Cave Stromatolites. *Quaternary Science Reviews* 29: 1201-1211.

- Marder O., Yeshurun R., Lupu R., Bar-Oz G., Belmaker M., Porat N., Ron H. and Frumkin A. 2011. Mammal Remains at Rantis Cave, Israel, and Middle-Late Pleistocene Human Subsistence and Ecology in the Southern Levant. *Journal of Quaternary Science* 26 (8): 769-780.
- Monson R.K., Littlejohn R.O. and Williams G.J. 1983. Photosynthetic Adaptation to Temperature in Four Species from the Colorado Shortgrass Steppe: A Physiological Model for Coexistence. *Oecologia* 58: 43-51.
- Mudie P.J., Leroy S.A.G., Marret F., Gerasimenko N., Kholeif S.E.A., Sapelko T. and Filipova-Marinova M. 2011. Nonpollen Palynomorphs: Indicators of Salinity and Environmental Change in the Caspian–Black Sea–Mediterranean Corridor. *Geology and Geoarchaeology of the Black Sea Region: Beyond the Flood Hypothesis: Geological Society of America Special Paper* 473: 89-115.
- Mulroy T.W. and Rundel P.W. 1977 Annual Plants: Adaptations to Desert Environments. *BioScience* 27: 109–114.
- Ode D.J., Tieszen L.L. and Lerman J.C. 1980. The Seasonal Contribution of C3 and C4 Plant Species to Primary Production in a Mixed Prairie. *Ecology* 61(6): 1304-1311.
- Palchan D., Stein M., Goldstein S.L., Almogi-Labin A., Tirosh O. and Erel Y. 2018. Synoptic Conditions of Fine-Particle Transport to the Last Interglacial Red Sea - Dead Sea from Nd-Sr Compositions of Sediment Cores. *Quaternary Science Reviews* 179: 123-136.
- Paruelo J.M. and Lauenroth W.K. 1996. Relative Abundance of Plant Functional Types in Grasslands and Shrublands of North America. *Ecological applications* 6(4): 1212-1224.
- Rabinovich R. and Tchernov E. 1995. Chronological, Paleoecological and Taphonomical Aspects of the Middle Paleolithic Site of Qafzeh, Israel. In H. Buitenhuis and H.P. Uerpmann, Eds. *Archaeozoology of the Near East*. Leiden. Pp. 5–44.
- Rampino M.R. and Eshet Y. 2018. The Fungal and Acritarch Events as Time Markers for the Latest Permian Mass Extinction: An Update. *Geoscience Frontiers* 9(1): 147-154.
- Ritchie P.D., Clarke J.J., Cox P.M. and Huntingford C. 2021. Overshooting Tipping Point Thresholds in a Changing Climate. *Nature* 592: 517-523.
- Rohling E.J., Cane T.R., Cooke S., Sprovieri M., Bouloubassi I., Emeis K.C., Schiebel R., Kroon D., Jorissen F.J., Lorre A. and Kemp A.E.S. 2002. African Monsoon Variability during the Previous Interglacial Maximum. *Earth Planetary Science Letters* 202(1): 61-75.
- Seidel D.J., Fu Q., Randel W.J. and Reichler T.J. 2008. Widening of the Tropical Belt in a Changing Climate. *Nature geoscience* 1: 21-24.
- Stein M. 2014. The Evolution of Neogene-Quaternary Water-Bodies in the Dead Sea Rift Valley. In Garfunkel Z., Ben-Avraham Z. and Kagan E., Eds. *Dead Sea Transform Fault System: Reviews. Modern Approaches in Solid Earth Sciences*. Dordrecht, Vol. 6: 279-316.
- Stein M. and Goldstein S.L. 2020. The ICDP Dead Sea Deep Drilling Project – Introduction. *Quaternary Science Reviews* 249: 106639.

Talma A.S. and Netterberg F. 1983. Stable Isotope Abundances in Calcretes. *Geological Society, London, Special Publications* 11(1): 221-233.

Tchernov E. 1998. The Faunal Sequence of the Southwest Asian Middle Paleolithic in Relation to Hominid Dispersal Events. In T. Akazawa, K. Aoki, and O. Bar-Yosef, Eds. *Neandertals and Modern Humans in Western Asia*. Springer, Boston. Pp. 77-94.

Thomas Z.A., Jones R.T., Turney C.S., Golledge N., Fogwill C., Bradshaw C.J., Menviel L., McKay N.P., Bird M., Palmer J. and Kershaw P. 2020. Tipping Elements and Amplified Polar Warming during the Last Interglacial. *Quaternary Science Reviews* 233: 106222.

Tieszen L.L., Reed B.C., Bliss N.B., Wylie B.K. and DeJong D.D. 1997. NDVI, C3 and C4 Production, and Distributions in Great Plains Grassland Land Cover Classes. *Ecological applications* 7(1): 59-78.

Torfstein A., Goldstein S.L., Kushnir Y., Enzel Y., Haug G. and Stein M. 2015. Dead Sea Drawdown and Monsoonal Impacts in the Levant during the Last Interglacial. *Earth and Planetary Science Letters* 412: 235.

Tzedakis C. 2003. Timing and Duration of Last Interglacial Conditions in Europe: A Chronicle of a Changing Chronology. *Quaternary Science Reviews* 22(8-9): 763-768.

Vaks A., Bar-Matthews M., Ayalon A., Schilman B., Gilmour M., Hawkesworth C.J., Frumkin A., Kaufman A. and Matthews A. 2003. Paleoclimate Reconstruction Based on the Timing of Speleothem Growth, Oxygen and Carbon Isotope Composition from a Cave Located in the Rain Shadow in Israel. *Quaternary Research* 59: 182-193.

Vaks A., Bar-Matthews M., Ayalon A., Matthews A., Frumkin A., Dayan U., Halicz L., Almogi-Labin A. and Schilman B. 2006. Paleoclimate and Location of the Border Between Mediterranean Climate Region and the Saharo-Arabian Desert as Revealed by Speleothems from the Northern Negev Desert, Israel. *Earth and Planetary Science Letters* 249: 384-399.

Vaks A., Bar-Matthews M., Ayalon A., Matthews A., Halicz L. and Frumkin A. 2007. Desert Speleothems Reveal Climatic Window for African Exodus of Early Modern Humans. *Geology* 35: 831-834.

Vaks A., Bar-Matthews M., Matthews A., Ayalon A. and Frumkin A. 2010. Middle-Late Quaternary paleoclimate of northern Saharan-Arabian Desert: Reconstruction from Speleothems of Negev Desert, Israel. *Quaternary Science Reviews* 29: 1201-1211.

Vogel J.C., Fuls A. and Ellis R.P. 1978. The Geographical Distribution of Kranz Grasses in South Africa. *South African Journal of Science* 74: 209-215.

Waldmann N., Torfstein A. and Stein M. 2010. Northward Intrusions of Low- and Mid-Latitude Storms Across the Saharo-Arabian Belt during Past Interglacials. *Geology* 38: 567-570.

Williams J.W., Ordóñez A. and Svenning J.C. 2021. A Unifying Framework for Studying and Managing Climate-Driven Rates of Ecological Change. *Nature Ecology and Evolution* 5(1): 17-26.