

# מחקרי ארץ יהודה

אסופת מאמרים  
לזכרו של דוד עמית

קובץ ו

עורכים:

יחיאל זלינגר ונדב פרנקל

הוצאת ספרים 'עציון'  
בית ספר שדה כפר עציון

תשפ"ג (2023)



## 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  
פרופ' יוסי לשם | אוניברסיטת תל אביב  
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:  
קרן קימת לישראל  
מרכז יסלזון לחקר תולדות ישראל לאור האפיגרפיה  
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



© כל הזכויות שמורות לבית ספר שדה כפר עציון, תשפ"ג (2023)  
ISSN 2707-6393

הוצאה לאור: הוצאת ספרים 'עציון', בית ספר שדה כפר עציון  
תמונות על העטיפה באדיבות: בנימין טרופר, רפאל לואיס, אלרון זבטני, אילה עמיר,  
ישמעאל בן יאיר

עורכים: יחיאל זלינגר ונדב פרנקל  
עריכה לשונית: שירה עבאדי  
עיצוב גרפי: סטודיו ולדמן  
הדפסה: דפוס העיר החדשה, ירושלים

## תוכן העניינים

5		בפתח הקובץ
7		הקדמת העורכים
9	האלף השני לפני הספירה בתל עזקה: סיכום התוצאות של עשר עונות חפירה	הלנה רוט, סבינה קליימן ועודד ליפשיץ
19	"מעט הוא מה שנשתנה שמם" (אשתורי הפרחי) - קריאה מחודשת באוסטרקונים חדשים-ישנים מפסגת זאב ובשמות מקומות במזרח בנימין	אסתר אשל, חגי משגב, דורון שר אבי, אלי שוקרון ואלגרה סבריאגו
43	אמבטיות בהט מהרודיון ומקיפרוס - זיהוי מקור בהט-קלציט ממחצבות בארץ ישראל ובמצרים	אילה עמיר, עמוס פרומקין, בועז זיסו, אהרון מאיר, גיל גובס ואמנון אלבק
59	בין מצדה לשער הגיא - כתובות חניכי תנועות הנוער ולוחמי הפלמ"ח בתקופת המנדט ומשמעותן	רעות יהודאי
79	גבעת הקרב של הל"ה - מבט ארכיאולוגי	רפאל י' לואיס ואיל מרקו
115	תצפיות ירושלים תש"ח	משה ארנוולד
129	מקומו של משמר הגבול (מג"ב) במאבק בהסתננות בפרוזדור ירושלים 1953-1956	יוסף אוחיון
155	'שובי אל עריך אלה': ההתיישבות הישראלית המחודשת בשנים 1967-1973 באתרי התיישבות שנעזבו במלחמת העצמאות	נדב פרנקל
171	מרשם ירושלמי מימי הביניים לבושם מקידה שעירה	אלרון זבטני וזהר עמר
185		רשימת משתתפים



## בפתח הקובץ

קובץ מחקרים זה יוצא לרגל כנס מחקרי ארץ יהודה השביעי, ומסכם את דברי הכנס שנערך אשתקד. אנו שמחים על הכנס ועל כתב העת, שכבר הפכו למסורת ומציבים לנו רף גבוה של פעולה בשדה המחקר, המשלים את היכרותנו עם ארץ יהודה.

לזכרו של ד"ר דוד עמית ז"ל, ארכיאולוג, מדריך, חוקר ומנהל בית ספר שדה כפר עציון, אנו ממשיכים בעשייה של יצירה מדעית, לצד הנחלת המורשת לציבור. בשנה זו נרצה להזכיר גם את זכרה הטוב של חנה עמית ז"ל, אשתו של דוד ועורכת בחסד, שהייתה שותפה למפעלי בית ספר שדה במשך שנים ואורחת של כבוד בכל שנה בכנס המחקרים. חנה הקפידה להשתתף בכנס גם בשנים האחרונות, בעודה סובלת ממחלה קשה. בקובץ שאתם אווזים כונסו, בעזרת המערכת האקדמית של הכנס, תשעה מאמרים שטרם פורסמו, המאירים זוויות חדשות ובלתי מוכרות על ארץ יהודה.

הקובץ, כמו הכנס, מחולקים כתמיד לשלוש קטגוריות: ארכיאולוגיה, מדעי הטבע והעת החדשה. החיבור בין הרכיבים השונים של הקובץ מאפשר מבט רחב יותר על תחום ידיעת הארץ. לפיכך, תוכלו לקרוא בקובץ על אמבטיות בהט מקיפרוס ועל ממצאים מתקופת הברונזה הקדומה בתל עזקה, לצד מחקרים מהעבר הקרוב על קורות מלחמת העצמאות ועל שנות ה-50 במדינת ישראל הצעירה. מאמר אחד, הקשור לפרשיית הל"ה ומשמש אבן יסוד באתוס של בית ספר שדה כפר עציון, אף מקפל בתוכו שילוב חדשני בין עבודת שדה למחקר מורשת קרב.

אנו תקווה שחוקרים וטיילים יעשו שימוש בקובץ זה. אנו רוצים להודות לשניים שבלעדי עבודתם הנמרצת הקובץ והכנס לא היו קורמים עור וגידים: לד"ר יחיאל זלינגר, איש רשות העתיקות, ארכיאולוג וחוקר המשלב בין מחקר אקדמי לעשייה ציבורית, ולד"ר נדב פרנקל מבית ספר שדה כפר עציון.

זה המקום להודות גם לצוות ההיגוי, שמשקיע 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.

בברכת קיץ טוב,

עובד גמלא, מנכ"ל ועמיחי נועם, סמנכ"ל

בית ספר שדה כפר עציון

אייר תשפ"ג (2023)



## הקדמת העורכים

קובץ המחקרים יוצא לאור זו השנה השישית. מוגשים בו מחקרים חדשים העוסקים בתחומי הארכיאולוגיה, הגיאוגרפיה, מדעי הטבע וההיסטוריה של ארץ יהודה. בקובץ זה מובאים המאמרים של ההרצאות שנאמרו בכנס שנערך בל"ג בעומר תשפ"ב (2022) בבית ספר שדה כפר עציון.

תשעת המאמרים המובאים בספר זה עברו תהליך שיפוט על ידי קוראים חיצוניים ועריכת לשון מוקפדת, כמקובל בכתבי עת מדעיים. הם מסודרים ברצף כרונולוגי ובחלוקה לשלושה תחומי מחקר: שלושה מאמרים עוסקים בארכיאולוגיה ובגיאוגרפיה היסטורית ביהודה; חמישה דנים בעת החדשה; ואחד מציג מחקר הקשור לעולם הטבע בארץ יהודה. במאמר הראשון בשער הארכיאולוגיה מציגים חופרי תל עזקה, הלנה רוט, סבינה קליימן ועודד ליפשיץ, את תוצאות עשר עונות החפירה של אוניברסיטת תל אביב ואוניברסיטת היידלברג בתל. בסקירה מוצגות מערכות הביצור המורכבות מתקופת הברונזה התיכונה והברונזה המאוחרת.

ארבעה אוסטרקונים שנמצאו במהלך חפירת חווה חקלאית מימי הבית השני בפסגת זאב עומדים במרכז מאמר של קבוצת ארכיאולוגים ואפיגרפים. הקריאה החדשה שהם מצייעים מחברת בין שמות המוזכרים באוסטרקונים לזיהוי יישובים סמוכים בקרבת בית החווה. ההצעה החדשה מסייעת לא רק לזיהוי אתרים בני התקופה, אלא גם קשורה לסוגיית השתמרות השמות במעבר בין התקופות בעת העתיקה, סוגיה שיש לה חשיבות רבה בגיאוגרפיה ההיסטורית של ארץ ישראל.

המאמר השלישי בשער זה, פרי עטם של קבוצת ארכיאולוגים וגיאולוגים, עוסק בחיבור בין הממצא הארכיאולוגי למדעי הטבע. בעקבות מציאת שתי דוגמאות יוצאות מן הכלל של אמבטיות בהט-קלציט ממכלולים מלכותיים של הורדוס – בקיפוס ובהרודיון – נערכו בדיקות למציאת מקור האבן המיוחדת. בעזרת סדרת בדיקות של ההרכב הכימי ומבנה הגבישים שלהן הסתבר כי מקור שתי האמבטיות המפוארות הוא מחומר שנכרה בישראל, כנראה במערת התאומים. התוצאות המפתיעות מעידות על כך שתעשיית הבהט-קלציט ביהודה במחצית השנייה של המאה הא' לפסה"נ הייתה מפותחת דיה ואיכותית במידה שתספיק לשרת את הסטנדרטים הגבוהים של הורדוס.

את שער העת החדשה פותח מאמרה של רעות יהודאי, העוסק בכתובות גרפיטי משנ' אתרי מפתח בהווה הציונית – מצדה ובית המשאבות בשער הגיא. המאמר מציג את משמעותם הלאומית של האתרים בתקופת המנדט, את ביקורי בני הנוער במקום, ואת ההיבטים והמסקנות העולים מתוך הכתובות שהותירו הנערים ולוחמי הפלמ"ח אחריהם. בתוך המאמר מובאת גם התייחסות לכתובת המפורסמת של ברוך ג'מילי, ודרך פרשייה זו נעשה ניסיון לנתח את יחסה המשתנה של החברה הישראלית לתופעת הגרפיטי.

רפי לואיס ואיל מרקו סוקרים בעת האחרונה את גבעת הקרב של הל"ה, במטרה לענות דרך מחקר השדה והשיטה 'ארכיאולוגיה של שדות קרב' על שאלות שנותרו פתוחות בקשר לשעות האחרונות בחייהם של 35 הלוחמים שנהרגו במהלך יום ה-16 בינואר 1948. במסגרת המאמר ניתנות תשובות ראשונות לחלק משאלות אלה, והכותבים מצליבים את

העולה ממחקר השדה עם העדויות ההיסטוריות שניתנו במהלך 75 השנים האחרונות בקשר לפרשייה זו.

במאמר נוסף על מלחמת העצמאות מציג משה ארנוולד את יחידת התצפיות של מחוז ירושלים ואת פעולותיה בסיוע לכוחות המחוז בלוחמה נגד כוחות בלתי סדירים, ובהמשך נגד הלגיון הערבי. המאמר מאיר פרשייה בלתי מוכרת כחלק מהמחקר העשיר בעשורים האחרונים על המלחמה במחוז ירושלים.

גם לאחר הקמת מדינת ישראל לא פסקו בעיות הביטחון בגבולות ובספר. יוסף אוחיון סוקר את הצלחותיו ואת כישלונותיו של כוח מג"ב שהתפרש בפרוזדור ירושלים באמצע שנות ה־50 במאבקו כנגד ההסתננות מירדן. מתברר כי גם ליחס החיובי בין לוחמי מג"ב ומפקדיו ובין האוכלוסייה האזרחית ביישובים היה חלק מהותי בהצלחה היחסית של כוח השיטור בפעולתו בפרוזדור.

לאחר מלחמת ששת הימים החלה ישראל להקים יישובים בשטחים שנכבשו בידי צה"ל במלחמה. נדב פרנקל עוסק ביחס בין יישובים שחרבו או ננטשו במלחמת העצמאות ובין היישובים שקמו לאחר מלחמת ששת הימים, כשני עשורים מאוחר יותר. המאמר מתמקד בשלושה מקרי בוחן: כפר עציון, בית הערבה, שלידה קמה היאחזות הנח"ל קליה, וכפר דרום. המאמר מראה כי השיקולים ה'נוסטלגיים' לא השפיעו במרבית המקרים על ההחלטה היכן ומתי להקים יישוב בשטחים שנכבשו במהלך מלחמת ששת הימים.

המאמר החותם את הקובץ הוא מתחום מדעי הטבע, ובו מציגים אלרון זבטני וזוהר עמר את תוצאות מחקרם על שימוש בפרחי קצה שעירה לצורך הפקת שמן ריחני לפי מרשם ירושלמי מהמאה ה' לסה"נ. מעבר לזיהוי הצמח ובחינת כל אזכוריו במקורות הספרותיים הם מביאים גם את תוצאות הניסוי המעשי שביצעו בשחזור של שני מתכונים קדומים.

ברצוננו להודות לכותבי המאמרים שהתגייסו, העלו על הכתב את חידושיהם, והעמידו לרשותנו את מחקריהם החשובים. 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, עורכת הלשון של הספר, לסטודיו ולדמן על עבודת העיצוב, העימוד וההבאה לדפוס, ולבנימין טרופר, עורך כתב העת בעבר, שליווה ותרום מניסיונו הרב לאורך הדרך וסייע גם בראשית העבודה על קובץ זה. תודה אחרונה נתונה לעובד גמלא, מנכ"ל בית ספר שדה כפר עציון, ולעמיחי נעם הסמנכ"ל על התמיכה, על הסיוע, ועל הצבת הרף הגבוה למחקר ולהיכרות מעמיקה עם מרחב ארץ יהודה.

העורכים,

ד"ר יחיאל זלינגר וד"ר נדב פרנקל



# אמבטיות בהט מהרודיון ומקיפרוס – זיהוי מקור בהט־קלציט ממחצבות בארץ ישראל ובמצרים

אילה עמיר, עמוס פרומקין, בועז זיסו, אהרון מאיר,  
גיל גובס ואמנון אלבק

## הקדמה

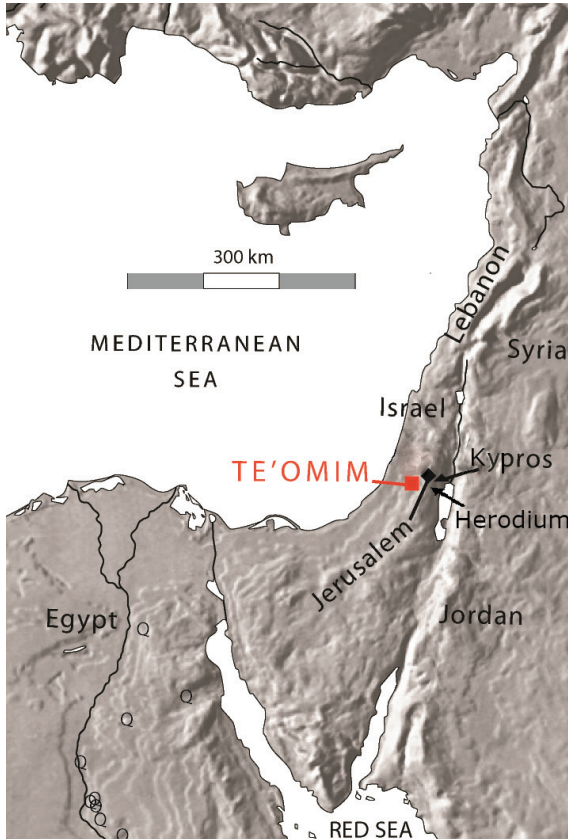
הורדוס 'הגדול' היה ידוע במפעלי הבנייה האדירים ובשילוב אלמנטים מהתרבות הרומית בפרויקטים האדריכליים שלו. הוא בנה מבצרים, ארמונות וערים שלמות ביהודה, כמו: מצדה, יריחו, קיפרוס, קיסריה, ירושלים והרודיון. מעטים האנשים שהיו כה משפיעים בשינוי התרבות החומרית של זמנם כפי שהוא היה. למעשה, הוא הציג מגמות חדשות כמעט בכל היבט של החיים ביהודה, כפי שתועד באמצעות ממצאים ארכיאולוגיים (Burrell 2014). הגילוי המרגש של קבר הורדוס בהרודיון, דרומית־מזרחית לירושלים, עורר עניין חדש בחייו ובמותו. אמנם פעילותו הציבורית של הורדוס ידועה, אך העדויות הארכיאולוגיות המספקות מידע על חייו ועל חפציו האישיים מועטות מאוד.<sup>1</sup> שתי דוגמאות יוצאות מן הכלל הן אמבטיות פרטיות ממכלולים מלכותיים של הורדוס, העשויות מבהט־קלציט. האחת נמצאה לפני למעלה מארבעה עשורים במבצר קיפרוס (Netzer 1975, איור 1א), והשנייה התגלתה לאחרונה בשפכים שמקורם בבית מרחץ פרטי של הורדוס, שעמד בראש המגדל המזרחי העגול בהרודיון (Netzer 2004). שתי האמבטיות



איור 1: (א) בהט־קלציט בישראל. אמבטיית בהט־קלציט של הורדוס שנמצאה במבצר קיפרוס.

נחשפו בהקשרים ארכיאולוגיים, שתוארכו בבירור לתקופתו של הורדוס (Netzer 2004; Bar-Nathan and Gaertner 2013, Porat, Kalman and Chachy 2018; Ben Haim 2020).

היכן נחצבו אמבטיות אלה? מאז תקופת הברונזה התיכונה שימשה מצרים מקור לחפצי בהט־קלציט בארץ ישראל, וכן השפיעה על פיתוח תעשיית הבהט־גבס המקומית (Ben-Dor 1945; Sparks 1996; 2007; Bevan 2007). היות שלא היו מוכרות מחצבות בהט־קלציט קדומות



**איור 1:** (ב) מפה אזורית. המחצבה והאמבטיות ההרודיאניות נמצאו במערת התאומים, קיפרוס והרודיון. Q מציין מחצבות בהט־קלציט במצרים.

באזור דרום הלבנט, ההנחה הרווחת הייתה שמקורם של כלי בהט־קלציט הוא במצרים. התעשייה המקומית השתמשה בבהט־גבס בלבד, ויצרה חיקויים לכלים המצריים באיכות ירודה יותר (Ben-Dor 1945). עקב כך, הוצע שגם האמבטיות יובאו ממצרים, על אף משקלן הרב, כ־1.5 טון כל אחת (Netzer 1975). מוצאן נבחן כעת מחדש לאור זיהוי של מחצבת בהט־קלציטקדומה במערת התאומים (איורים 1 ב,ג), הממוקמת במדרונות המערביים של הרי ירושלים (ליד בית שמש של ימינו), ונמצאה בגבולות ממלכתו של הורדוס (Frumkin et al. 2014; Fig 1 B, C).

במערה זו נראים סימני חציבה על קירות המחצבה ועל רצפתה. העדויות כוללות 'נגטיבים' שנותרו לאחר הסרת בלוקים של בהט־קלציט, בלוקים של בהט־קלציט שנותרו במקומם עקב סדקים או פגמים בסלע, וכן

תעלות ביקוע – תעלות רדודות שנותרו בקלציט לאחר הפרדת גוש. תיארוך  $^{238}\text{U}$ – $^{232}\text{Th}$  וכן ממצאים ארכיאולוגיים שנמצאו באזור המחצבה מעידים על כך שהמחצבה הייתה פעילה בעיקר בתקופה שקדמה ל־1500 לפסה"נ, במהלך תקופת הברונזה התיכונה וכן בתקופה הרומית (Frumkin et al. 2014; In Press). נתונים אלה מעלים את האפשרות שהאמבטיות של הורדוס נחצבו מחומר גלם מקומי ויוצרו בתעשייה מקומית. במאמר אנו מתייחסים לאפשרות זו, ומראים באמצעות אנליזות כימיות שמקורן של האמבטיות הוא אכן בארץ ישראל ולא במצרים.

המחקר הנוכחי מצטרף למחקרים ארכאומטריים וגיאולוגיים קודמים של בהט־קלציט שמקורם באגן הים התיכון (Koralay et al. 2019; Scardozzi, Brilli and Giustini 2019). מחקרים אלה התחקו אחר מקורות הבהט־קלציט והתבססו על מדידות פטרוגרפיות



איור 1: (ג) מערת התאומים. המחצבה נמצאת בחלק הימני של התמונה. מתוך: Amir et al. 2022.

של המחצב, על אנליזות למדידת ריכוזים של יסודות קורט בחומר (ICP) ועל מדידות איזוטופים יציבים של פחמן, חמצן וסטרוניום בבהט. כמו כן, נטען כי מדידות של תהודה מגנטית גרעינית (תמ"ג) במצב מוצק (solid state NMR) של פחמן מאפשרות בחינת מוצא של מחצבים באמצעות השוואת עוצמות הפיקים (peaks) ורוחב הקו שלהם (Gutiérrez et al. 2019).

היות שמצרים הייתה המקור העיקרי לבהט־קלציט בארץ ישראל (ראו לעיל), השווינו את הדגימות הישראליות בעיקר לדגימות ממקור מצרי, ולא למקורות ים תיכוניים אחרים לגביהם אין תיעוד לסחר בבהט־קלציט עם ארץ ישראל.

ניתוח פטרוגרפי של ספלאותמים (משקעי מערות גירניים) מקומיים (Bar–Matthews, Matthews and Ayalon 1991) ושל כאלה שמקורם במערת התאומים (Amid 2016) הראה שונות רחבה במרקם, בהתאם לסביבת ההרבדה בתוך המערה. לכן שיטה זו אינה מתאימה לאפיון הבהט־קלציט המקומי ולבחינת מוצאם של כלים העשויים מחומר זה. כמו כן, מדידות תמ"ג של פחמן בדגימות במחקר הנוכחי לא הראו הבדלים משמעותיים בין בהט־קלציט ישראלי ובין זה המצרי, ולכן גם שיטה זו אינה מתאימה לבחינת מקור הבהט־קלציט של אמבטיות הורדוס. עקב כך, במחקר הנוכחי פיתחנו שיטה חדשה לאבחנה בין מקורות בהט־קלציט שונים, כדי לזהות את מוצאם של חפצי בהט־קלציט ובהם האמבטיות המלכותיות של הורדוס. שיטה זו מספקת מידע הן על ההרכב הכימי, הן על המבנה הגבישי של בהט־קלציט. היא מבוססת על ארבע שיטות אנליטיות, שרובן טרם שימשו לקביעת מקורם של מחצבים גאולוגיים. שילוב השיטות מספק אבחנה מדויקת ומהימנה יותר של מקור הבהט־קלציט.

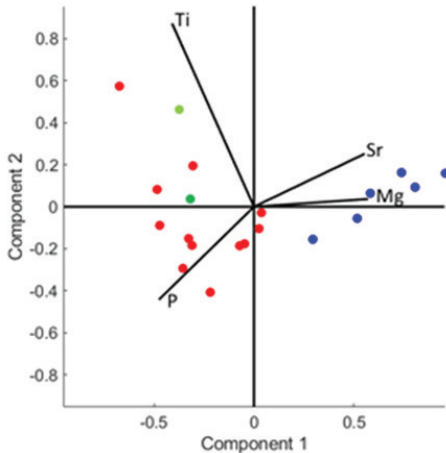
## תוצאות

### פיתוח מתודולוגי

כדי לזהות את מקורן של אמבטיות הורדוס יישמנו מגוון שיטות אנליטיות שאפשרו להבחין בין בהט־קלציט מצרי ובין זה הישראלי. לאחר מכן יוּשמו שיטות אלה על דגימות מהאמבטיות, כדי לקבוע את מקורן. שיטות אלה כללו אנליזות יסודות באמצעות ICP (Inductively Coupled Plasma), ספקטרוסקופיית אינפרא־אדום (IR), מדידות תמ"ג במצב מוצק (solid-state NMR) של פרוטונים ( $^1\text{H}$ ) וזרחן ( $^{31}\text{P}$ ) ומדידות איזוטופים יציבים של פחמן וחמצן (להלן: 'חומרים ושיטות').

נתונים אנליטיים נאספו תחילה מדגימות של שני מקורות מוגדרים היטב, מצרים וישראל. המקורות המצריים כללו דגימות בהט־קלציט עתיקות ומודרניות. הדגימות העתיקות נלקחו מכלי בהט מצריים עתיקים שנאספו בידי המשלחת הארכיאולוגית האוסטרית לגיזה במאה הי"ט והתקבלו באדיבות מוזיאון Kunsthistorisches בווינה. הכלי המצרי המודרני (עשוי מבהט־קלציט ממקור גאולוגי) נקנה בשוק בקהיר בשנת 2013. דגימות בהט־קלציט ממקור ישראלי כללו חומר גלם מדופן המחצבה במערת התאומים, שבבים (פסולת חציבה) שנמצאו במערה לצד המחצבה, וכן שבבים ובלוק בהט (חומר גלם מגולף לקובייה שטרם שימש ליצירת כלי) שנמצאו באתר הארכיאולוגי חרבת עמדן (Amdan או Umm el Amdan במפת הסקר הבריטי. נ"צ 625977–201190 ברשת ישראל החדשה), הנמצא בקרבת מערת התאומים. דוגמה נוספת נלקחה מספלאותם (משקע מערות גירני) שנמצא במערת נטוף, הממוקמת בוואדי נטוף באזור מערב השומרון.

### אנליזות



דגימות בהט־קלציט ממקורות בישראל ובמצרים נותחו כדי לקבוע את הרכבן הכימי ואת המבנה הגבישי שלהן. ניתוח ICP-AES הראה שהתפלגות הריכוזים של יסודות הקורט מגנזיום, סטרונציום, זרחן וטיטניום נבדלו בין הדגימות. הדגימות המצריות הכילו ריכוזים גבוהים משמעותית של מגנזיום וסטרונציום בהשוואה לדגימות מישראל, בעוד שריכוזי הזרחן והטיטניום שלהן היו נמוכים יותר (טבלה 1). PCA (Principal Components Analysis) של נתונים אלה מציג מקבצים ברורים של הדגימות הישראליות והמצריות (איור 2). יש לציין שריכוזי המגנזיום והסטרונציום של הדגימות המצריות נופלים בטווח הריכוזים המדווחים עבור דגימות

**איור 2:** גרף PCA (Principal Components Analysis) המציג את תוצאות ה-ICP. מקבצים ברורים של נתוני היסודות בדוגמאות הישראליות (אדום) והמצריות (כחול). הנתונים מהאמבטיות מיוצגים בנקודות בגווני ירוק. מתוך: Amir et al. 2022.

**טבלה 1:** תוצאות ICP-AES (ב־ppm). דוגמאות ישראליות באדום, דוגמאות מצריות בכחול. כל ערך מייצג ממוצע של שלוש מדידות (n=3).

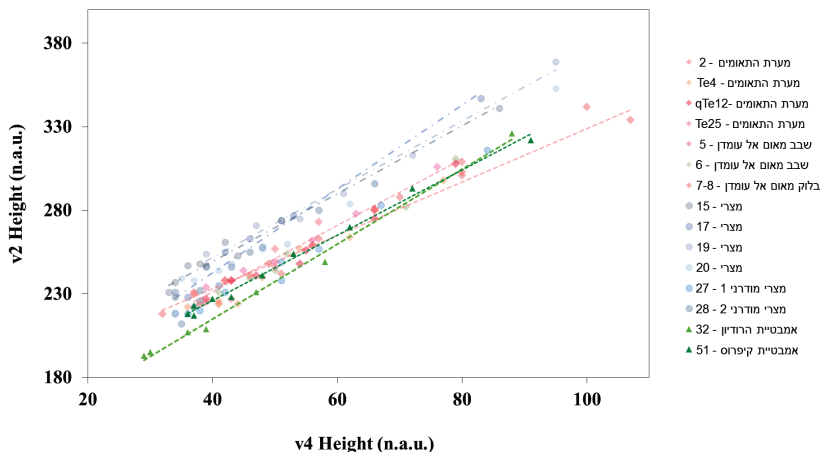
Mg	Sr	P	Ti	# דוגמה	מקור	
4016	46.6	—*	4.446	I-1	ישראל	שבב ממערת התאומים
6471	31.4	104	0.538	I-2		מחצבת מערת התאומים
6612	33.4	70.2	0.529	I-3		
6201	30.6	92.8	0.461	I-4		
5470	28.8	42.8	0.591	I-5		
3767	40.6	161	0.708	I-6		
3361	36.2	130	1.022	I-7		
3024	50.6	141	2.202	I-8		
4817	45.8	149	1.056	I-9		שבב מאום אל עומדן
6880	34.2	124	2.494	I-10		
6757	43.4	176	0.312	I-11		בלוק מאום אל עומדן
2565	42.6	—*	1.557	I-12		
4995 1530 ±	38.68 6.87 ±	119.08 39.55 ±	1.326 1.156 ±	ממוצע ± סטיית תקן		
12407	836	49.3	0.597	E-1	מצרים	גיזה
10680	570	38.6	0.328	E-2		
13427	1001	30.8	0.188	E-3		
10002	495	—*	0	E-4		
7878	392	—*	0	E-5		
13687	653	25.9	0.192	E-8	חומר גלם מודרני	
11347 2050 ±	657.8 205.9 ±	36.2 ± 8.8	0.217 0.190 ±	ממוצע ± סטיית תקן		

\* נתונים לא נאספו

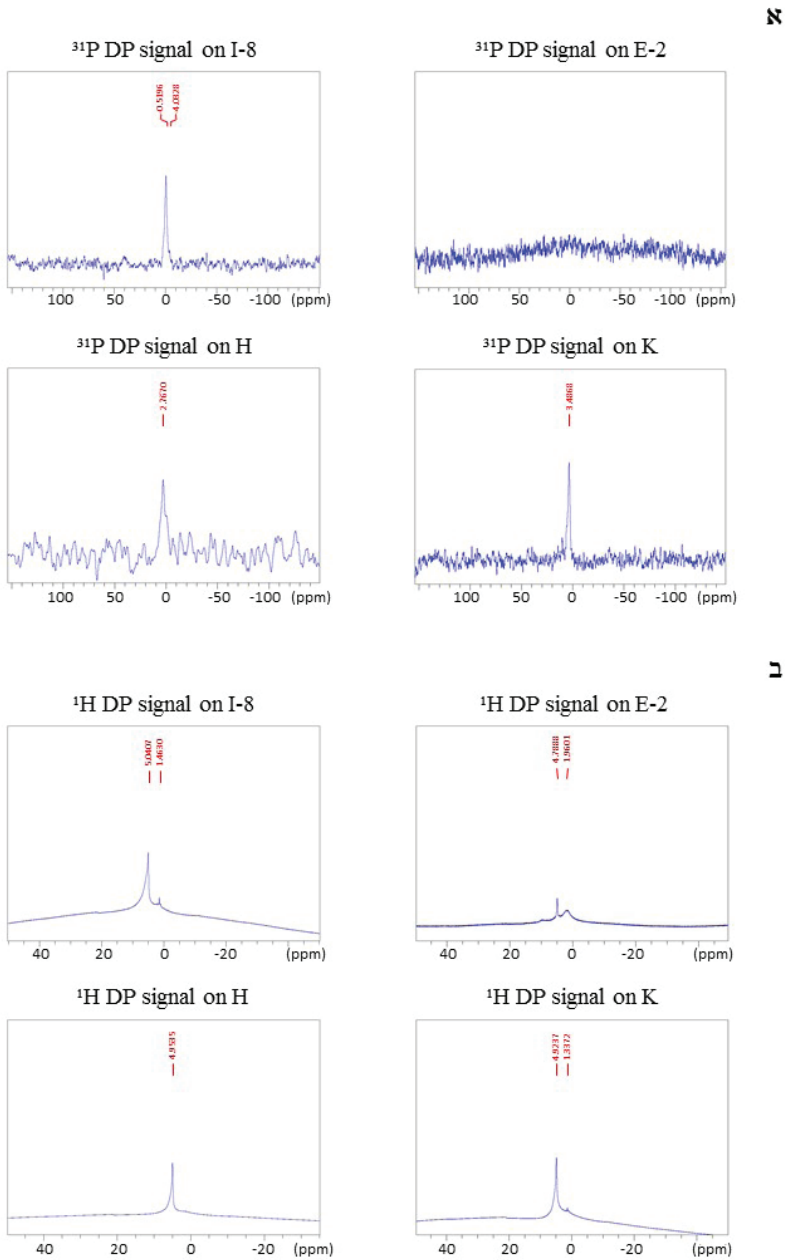
ממחצבות שונות במצרים (Klemm and Klemm 1993; Rifai 2007; Ralisback, Dabous, Osmond and Fleisher 2002).

אנליזת IR מחזורית (Regev et al. 2010) מבוססת על שחיקה חוזרת של דוגמה נתונה בין המדידות ומאפשרת אבחנה בהבדלים מבניים מינוריים בין קלציט ממקורות שונים, כמו ישראל ומצרים. תוצאות המדידות הניבו שינויים קלים בפיקים (peaks) של הקלציט, שהתבטאו ב'עקומות שחיקה' מעט שונות בשיפוען ובמיקומן על גבי גרף. הגרף מאפשר הבחנה ברורה בין העקומות 'הישראליות' ובין 'המצריות': העקומות הישראליות ממוקמות מימין לעקומות המצריות (עם ערכי v4 גבוהים יותר ביחס לערכי v2 שלהם), ובעלות שיפועים מתונים יותר לעומת שיפועי העקומות המצריות ( $1.91 \pm 0.14$  לעומת  $0.25 \pm 0.22$ ). תוצאות אלה מצביעות על דרגה גבוהה יותר של סדר אטומי של בהט-קלציט מישראל בהשוואה לחומר המצרי.

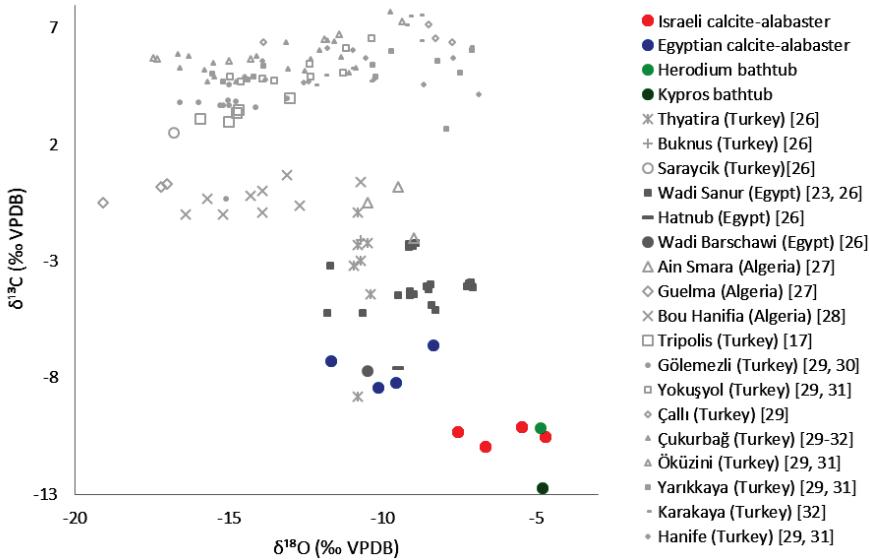
אנליזת תמ"ג במצב מוצק (solid-state NMR) של פרוטונים ( $^1\text{H}$ ) וזרחן ( $^{31}\text{P}$ ) סיפקה מידע מבני וכמותי לגבי בהט-קלציט. המדידות הראו פיקי זרחן ברורים בכל הדגימות מישראל, בעוד שבדגימות המצריות הם לא הופיעו כלל (איור 4). כלומר, הדגימות הישראליות מכילות זרחן, בעוד שבדגימות המצריות ריכוז הזרחן נמוך מסף הגילוי. תוצאות מדידת הפרוטונים הראו שהדוגמאות הישראליות מכילות יותר מים מבניים, הן בפני השטח של החומר (מיוצג ברכיב הצר של פיק הפרוטונים המופיע באזור 5 ppm), הן בתוכו (מיוצג ברכיב הרחב של פיק הפרוטונים המופיע באזור 5 ppm) (איור 4). ההבדל הזה מתבטא באופן כמותי ביחס עוצמות הפיקים (ים) השמאליים) לעומת הפיק הימני בגרף (חושב באמצעות דה-קונבולוציה של הפיקים בגרף). היחס בדוגמאות הישראליות הוא  $7.31 \pm 2.25$ , בעוד שהיחס בדוגמאות המצריות הוא  $0.32 \pm 0.22$ . מידע זה תואם את



**איור 3:** תוצאות אנליזת IR: עקומות שחיקה של דוגמאות האמבטיות (משולשים בגווני ירוק) על רקע עקומות השחיקה של הדוגמאות הישראליות (מעוינים בגווני אדום) והדוגמאות המצריות (עיגולים בגווני כחול). מתוך: Amir et al. 2022



**איור 4:** תוצאות תמ"ג במצב מוצק: I-8 – דוגמה מייצגת ממערת התאומים, ישראל; E-2 – דוגמה מייצגת ממצרים; H – דוגמה מאמבטיית הרדיון; K – דוגמה מאמבטיית קיפרוס. (א) נתוני מדידת זרחה ( $^{31}\text{P}$ ). (ב) נתוני מדידת פרוטונים ( $^1\text{H}$ ). מתוך: Amir et al. 2022, וראו הערה בסוף המאמר.



**איור 5:** גרף איזוטופים יציבים של פחמן ( $\delta^{13}\text{C}$ ) כנגד חמצן ( $\delta^{18}\text{O}$ ). פיזור דוגמאות ישראליות (אדום) ומצריות (כחול) מהמחקר הנוכחי, ונתונים מהספרות של מקורות באגן הים התיכון (אפור). הנקודות המייצגות את האמבטיית הרודיאניוטי בגוויני ירוק. מתוך: Amir et al. 2022.

תוצאות אנליזות ICP (אבחנה כמותית בין הדוגמאות הישראליות לדוגמאות המצריות) ו-IR (אבחנה מבנית בין הדוגמאות הישראליות לדוגמאות המצריות). לבסוף, מדדנו יחסי איזוטופים של פחמן ( $\delta^{13}\text{C}$ ) וחמצן ( $\delta^{18}\text{O}$ ) בדגימות השונות. גם ניתוח זה הראה הבחנה בין הדגימות ממצרים ומישראל (טבלה 2 ואיור 5). יתר על כן, הנתונים הישראליים שונים מנתונים מקבילים של מחצבות בהטקלציט מסביב אגן הים התיכון (Çolak and Lazzarini 2002; Rifai 2007; Uysal et al. 2007; Cancelliere, and Dessandier 2009; Antonelli et al. 2012; De Filippis et al. 2012; Özkul, et al. 2013; Brilli et al. 2018; Koralay et al. 2019; Scardozzi, Brilli and Giustini 2019). השוואה של נתונים שנאספו בעבר בישראל (Bar-Matthews, Ayalon and Kaufman 1997; Frumkin, Ford and Schwarcz 2000; Bar-Matthews et al. 2003; Frumkin and Stein 2004) ובמצרים (Çolak and Lazzarini 2002; Rifai 2007) מראה שטווח האיזוטופים של חמצן חופפים חלקית, בעוד שטווח האיזוטופים של פחמן מהדגימות המצריות נופל בתת-טווח מובהק בתוך טווח הנתונים הישראליים. ואכן, הנתונים שנאספו בניסויים שלנו תואמים היטב לאלה שפורסמו. יתרה מכך, התוצאות שלנו מהדוגמאות הישראליות נופלות בטווח הרחב המתואר בספרות עבור דגימות ישראליות, ונבדלות לחלוטין מהטווח המצרי. היחס בין האיזוטופים השונים של אותו יסוד בחומר משתנה כתוצאה מגורמים חיצוניים וסביבתיים, וכתוצאה מתהליכי היווצרות ופירוק בחומר עצמו. כמו כן, היחס מושפע מתהליכים גיאולוגיים ופלאוראקלימיים. כיוון שכך, היחס האיזוטופי הוא מקומי



**טבלה 2:** תוצאות מדידות איזוטופים יציבים של פחמן ( $\delta^{13}\text{C}$ ) וחמצן ( $\delta^{18}\text{O}$ ). דוגמאות ישראליות באדום, דוגמאות מצריות בכחול.

מקור	# דוגמא	$\delta^{18}\text{O}$ ‰	$\delta^{13}\text{C}$ ‰
ישראל	I-5	-7.54	-10.35
	I-10	-5.48	-10.14
	I-11	-6.67	-10.98
	I-12	-4.71	-10.54
<b>יחס איזוטופים בישראל (טווח הערכים השליליים)</b>			
מצרים	E-7	-10.13	-8.45
	E-2	-8.35	-6.62
	E-5	-11.67	-7.30
	E-8	-9.56	-8.20
	<b>יחס איזוטופים במצרים (טווח הערכים השליליים)</b>		
		8.35 - 11.67	6.62 - 8.45

ומאפיין תנאי סביבה גיאוגרפיים וגיאולוגיים מסוימים במרחב ובזמן (להרחבה: Frumkin, Ford and Schwarcz 2000). אנו מציינים שהתוצאות שלנו עבור היחס האיזוטופי של פחמן וחמצן (טבלה 2) מתאים באופן מושלם למקטע של תקופת הקרח, שלב 6 (לפני כ־ 170,000–130,000 שנים), שנמדד לאורך זקיף המשתרע על פני 170,000 השנים האחרונות במערה בהרי יהודה שליד ירושלים (Frumkin, Ford and Schwarcz 2000). לפיכך, כל ארבע השיטות האנליטיות שיושמו במחקר זה הניבו תוצאות עקביות, שהבחינו בבירור בין בהט־קלציט ישראלי ובין בהט־קלציט מצרי.

### האמבטיות של הורדוס

ארבע השיטות האנליטיות (ICP, IR, תמ"ג במצב מוצק ומדידות איזוטופים) יושמו על דגימות מהאמבטיות המלכותיות של הורדוס. רובם המכריע של הנתונים שהתקבלו משתי האמבטיות מתאים לטווח הנתונים הישראלי ולא לזה המצרי (טבלה 3 ואיורים 2–5). התוצאות מצביעות באופן חד־משמעי על כך שהאמבטיות נחצבו בישראל ולא במצרים. עם זאת, שתי תוצאות שנמדדו עבור האמבטיה מהרודיון דורשות בירור. ריכוז הזרחן בדגימה מאמבטיה זו נמוך ומתאים לטווח הערכים של הדגימות המצריות, אף שהוא גם חופף לחלק הנמוך בטווח הריכוזים של הדגימות הישראליות (טווחי הריכוזים של זרחן חופפים בדגימות הישראליות והמצריות, טבלה 1). נוסף על כך, שיפוע עקומת השחיקה של אמבט הרודיון יוצא דופן ומתאים לטווח השיפועים המצרי ולא לזה הישראלי. שיפוע זה מושפע משינויים בבליעת קרני IR על ידי חלקיקי הקלציט בהתאם לגודל החלקיקים המשתנה עם תהליך השחיקה החוזר, שהוא תהליך ידני. לעומת השיפוע, מיקום העקומה בגרף (ההיסט שלו) נקבע לפי מידת הסדר הגבישי, שהוא ערך מוחלט שאינו מושפע מתהליך ידני (Poduska et al. 2011). לכן היסט העקומה (מיקומה בגרף ביחס לעקומות אחרות) הוא

**טבלה 3:** סיכום תוצאות אנליזות – דוגמאות ישראליות באדום, דוגמאות מצריות בכחול. קידוד צבעם של תאי התוצאות מדוגמאות האמבטיות מעיד על דמיונם לערכים המקבילים בדוגמאות הישראליות או המצריות 'הידועות'.

יחס איזוטופים (%) טווח הערכים השלייליים		NMR		IR		ICP (ppm)				מקור
$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{13}\text{C}$	פיק זרחהן (31P)	יחס פיקי פרוטונים (1H)	מיקום עקומת שחיקה	שיפוע	Ti	P	Sr	Mg	
4.71 -7.74	10.14 -10.98	+	7.31 ± 2.25	R	1.91 ± 0.14	1.326 ± 1.156	119.08 ± 39.55	38.68 ± 6.87	4995 ± 1530	דוגמאות ישראליות (ממוצע)
8.35 -11.67	6.62 -8.45	-	0.32 ± 0.22	L	2.22 ± 0.25	0.217 ± 0.190	36.2 ± 8.8	657.8 ± 205.9	11347 ± 2050	דוגמאות מצריות (ממוצע)
4.86	10.17	+	4.72	R	2.24*	2.89	42.4*	23	1161	אמבטיית הרודיון
4.8	12.76	+	3.88	R	1.95	1.629	107.6	35.4	3638	אמבטיית קיפרוס

\* ראו טקסט

הקריטריון האמין יותר בקביעת מקורו או אופיו של הקלציט. יש לציין שעקומת השחיקה של אמבטיית הרודיון נקבעה על סמך שבע נקודות (המשקפות עוצמות בליעה של קרני IR) הקרובות זו לזו באופן יחסי, בעוד שהנקודה השמינית בגרף מרוחקת מאוד מהשאר ומשקפת ערכי  $\nu_2$  ו- $\nu_4$  גבוהים באופן ניכר (תוצאה יוצאת דופן זו, המעלה את שיפוע העקומה, עשויה לנבוע מפגם בתהליך השחיקה הידני של הדוגמה). לפיכך, לשינויים קטנים בערכיה של נקודה זו יש השפעה רבה על שיפוע העקומה. אכן, השמטת נקודה זו תקטין את שיפוע העקומה ל-1.97, ערך הנמצא בטווח הערכים הישראלים.

### סיכום ומסקנות

במחקר זה פיתחנו שיטה לזיהוי מקורו של בהט-קלציט, על ידי שילוב של ארבע שיטות אנליטיות הכוללות עשרה קריטריונים. חשוב לציין שכל שיטה סיפקה הבחנה ברורה בין חומר מצרי לישראלי, אם כי קביעת מקורו של בהט-קלציט מתחזקת בשילוב התוצאות של כל השיטות יחד.

המחקר הנוכחי זיהה את מקורן של שתי אמבטיות מלכותיות מפוארות של הורדוס: הן נחצבו מחומר שנכרה בישראל. תוצאות אלה מעידות על כך שתעשיית הבהט-קלציט ביהודה במחצית השנייה של המאה הא' לפסה"נ הייתה מפותחת דיה ואיכותית במידה

שתספיק לשרת את הסטנדרטים הגבוהים של הורדוס – אחד הבנאים הטובים ביותר ממלכי התקופה.

## חומרים ושיטות

### חומרים

מקורן של הדגימות המצריות והישראליות מפורטים לעיל, בפרק "תוצאות: פיתוח מתודולוגי". הדגימות מהמחצבה נוסרו במסור של מקיטה (Makita). כל הדגימות נכתשו לאבקה באמצעות מכתש ועלי מאגת (agate).

### שיטות

השיטות שבהן נעשה שימוש במחקר זה כוללות Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectroscopy (ICP–AES), ספקטרוסקופיית אינפרא־אדום (routine Infra–Red, IR), מדידות תמ"ג במצב מוצק (solid–state NMR) של פרוטונים ( $^1\text{H}$ ) וזרחן ( $^{31}\text{P}$ ), ומדידות איזוטופים יציבים של פחמן וחמצן.

ניתוח ICP: מכשור: ריכוזם של היסודות: נחושת (Cu), ברזל (Fe), מגנזיום (Mg), סטרונציום (Sr), אבץ (Zn), זרחן (P), טיטניום (Ti), גופרית (S), מנגן (Mn) ואלומיניום (Al) נמדדו באמצעות מכשיר ICP–AES (מדגם Ultima 2, Jobin Yvon Horiba). כל יסוד נמדד שלוש פעמים ( $n=3$ ). נעשה שימוש בשיטת כיוול קלאסית ומקובלת באמצעות תמיסות סטנדרט.

הכנת הדוגמאות: הדגימות המוצקות (1 גרם) הומסו בחומצה חזקה– $\text{HNO}_3$  (2 מ"ל) בטמפרטורת החדר תוך כדי ערבוב, עד שלא נראו חלקיקי אבן בתמיסה. הדגימות נשמרו במנדף למשך שבוע (כדי לוודא המסה מלאה), ולאחר מכן דוללו פי 10 באמצעות מים מזוקקים פעמיים (DDW, Double Deionized Water, 18). הדגימות שהתקבלו נותחו באמצעות מכשיר ICP–AES.

שיטת כיוול: תמיסת ICP של 23 יסודות (Merck IV) ותמיסות סטנדרט ל־ICP של יסודות יחידים בריכוז של 1000 מ"ג/ליטר (Al, Cu, Fe, Mg, Sr, Zn, P, Ti, S, Mn) נרכשו מ־Merck (Darmstadt, גרמניה) ושימשו להכנת תמיסות הסטנדרט לצורך הכיוול.

ניתוח FTIR: הדגימות הוכנו באמצעות כתישת כמה מיליגרמים של בהט־קלציט באופן ידני באמצעות מכתש ועלי מאגת (במשך 10 שניות עד 3 דקות) לכדי אבקה הומוגנית. כ־0.3 מ"ג מהאבקה עורבבו ודוללו (ביחס מסות של 1:20 בקירוב) עם KBr (Sigma–Aldrich, FTIR grade). לאחר מכן התערובת נלחצה באמצעות מכש הידראולי ידני (Specac) באופן חד־צירי (2 טון, מספיק כדי לאפשר ל־KBr לזרום ולהתגבש מחדש כמטריקס IR שקוף), כדי ליצור דיסק שמתאים למדידות IR (במכשיר Nicolet 380, 4 cm<sup>-1</sup> resolution). הדוגמאות הוכנו לפי הנ"ל ועברו כתישה ומדידה חוזרות במשך 6–10 פעמים. מדידות אלה הניבו ערכי  $\nu_2$  ו־ $\nu_4$  משתנים, שנורמלו על ידי  $\nu_3$ . הערכים הנורמלים נקבעו בגרף של ערכי  $\nu_2$  כנגד  $\nu_4$ , לקבלת 'עקומות שחיקה' בעלות שיפועים משתנים.

ניתוח תמ"ג (NMR): מדידות פרוטונים ( $^1\text{H}$ ) וזרחן ( $^{31}\text{P}$ ) בוצעו במכשיר Bruker 11.7 and 4.7 T Avance III, 500 MHz, narrow–bore spectrometer, equipped with a 3.2 and

VTN CPMAS double-resonance probe (respectively) 4 mm בקצב סיבוב של 8 קילור-הרץ (kHz). נתוני הזרחן התקבלו באמצעות 11,244–146 סריקות והשהיות מחזוריות של 8 שניות. נתוני הפרוטונים התקבלו באמצעות 160 סריקות והשהיות מחזוריות של 5 שניות. דה-קונבולוציות של פיק הפרוטונים נעשו באמצעות תוכנת DMFIT, שפותחה בידי Massiot ואחרים (Massiot et al. 2002).

ניתוח איזוטופים: מדידות  $\delta^{13}\text{C}$  ו- $\delta^{18}\text{O}_c$  בוצעו על דגימות של 0.35–0.5 מ"ג, שהתקבלו באמצעות קידוח בהטקלציט במרווחים של 0.5–1.0 מ"מ והוכנסו לבקבוקני זכוכית. לכל בקבוקון נוספה חומצה זרחתית יבשה (100%), כאשר הבקבוקון נמצא במנח אופקי כדי למנוע תגובה עם הקרבונט ( $\text{CO}_3$ ). לדגימות הזרחם גז הליום טהור במשך 10 דקות, כדי להוציא את כל ה- $\text{CO}_2$  האטמוספרי. לאחר מכן הבקבוקונים הופנו למצב אנכי, כדי לאפשר את התגובה בין החומצה הזרחתית ובין אבקת הדגימות ליצירת  $\text{CO}_2$ . ה- $\text{CO}_2$  נמדד באמצעות ספקטרומטר מסה Delta Plus עם דוגם אוטומטי של Gas Bench, כדי למדוד  $\delta^{18}\text{O}_c$  ו- $\delta^{13}\text{C}$ . כל ערכי  $\delta^{18}\text{O}_c$  ו- $\delta^{13}\text{C}$  כילו כנגד התקן הבינלאומי NBS-19, ודווחו ב-permil (‰) ביחס לתקן VPDB.

## ביבליוגרפיה

- Amid Y. 2016. *Characterization and Paleoclimate Trends in the Middle Pleistocene Transition*. Master thesis, The Hebrew University of Jerusalem.
- Amir A., Frumkin A., Zissu B., Maier A. M., Goobes G. and Albeck A. 2022. Sourcing Herod the Great's Calcite Alabaster Bathtubs by a Multianalytic Approach. *Scientific Reports* 12: 7524. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11651-5>.
- Antonelli F., Lazzarini L., Cancelliere S. and Dessandier D. 2009. On the white and coloured marbles of the Roman town of Cuicul (Djemila, Algeria). *Archaeometry*. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2009.00498.x>.
- Bar-Matthews M., Matthews A. and Ayalon A. 1991. Environmental controls of speleothem mineralogy in a karstic dolomitic terrain (Soreq cave, Israel). *The Journal of Geology* 99: 189–207.
- Bar-Matthews M., Ayalon A. and Kaufman A. 1997. Late Quaternary Paleoclimate in the Eastern Mediterranean Region from Stable Isotope Analysis of Speleothems at Soreq Cave, Israel. *Quaternary Research* 47: 155–168.
- 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 implication for paleorainfall during interglacial intervals. *Geochim. Cosmochim. Acta* 67: 3181–3199.
- Bar-Nathan R. and Gaertner J. 2013. The stone artifacts from the Hasmonean and Herodian Palaces at Jericho and Cypros. In E. Netzer, ed. Hasmonean and Herodian Palaces at Jericho, Final Reports of the 1973–1987 Excavations, Vol. V, The Finds from Jericho and Cypros. *Israel Exploration Society*. Pp. 133–202.

- Ben-Dor I. 1945. Palestinian alabaster vases. *QDAP* 11: 93–112.
- Ben Haim A. 2020. *The Architectural Decoration of the Mountain Fortress-Palace at Herodium: A Study of Cultural Influence and Carving Techniques in King Herod's Palace*. Master thesis, The Hebrew University of Jerusalem.
- Bevan A. 2007. *Stone Vessels and Values in the Bronze Age Mediterranean*. Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511499678>.
- Brilli M., Giustini F., Barone P.M., Fayek A. and Scardozzi G. 2018. Characterizing the Alabastro listato or forito of Hierapolis in Phrygia: A Simple Method to Identify its Provenance Using Carbon Stable Isotopes. *Archaeometry* 60: 403–418.
- Burrell B. 2014. The legacies of Herod the great. *Near Eastern Archaeology* 77: 68–74.
- Çolak M. and Lazzarini L. 2002. Quarries and characterisation of a hitherto unknown alabaster and marble from Thyatira (Akhisar, Turkey). In L. Lazzarini, ed. *ASMOSIA VI: Proceedings of the Sixth International Conference of the Association for the Study of Marble and Other Stones in Antiquity, Venice, June 15-18, 2000*. Pp. 35–40.
- De Filippis L., Faccenna C., Billi A., Anzalone E., Brilli M., Ozkul M., Soligo M., Tuccimei P. and Villa I.M. 2012. Growth of Fissure Ridge Travertines from Geothermal Springs of Denizli Basin, Western Turkey. *Geol. Soc. Am. Bull.* 124: 1629–1645.
- 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 Biogeochem. Cycles* 14: 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-Matthews M., Davidovich U., Langford B., Porat R.I., Ullman M. and Zissu B. 2014. In-situ Dating of Ancient Quarries and the Source of Flowstone ('Calcite-Alabaster') Artifacts in the Southern Levant. *J. Archaeol. Sci.* 41: 749–758.
- Frumkin A., Bar-Matthews M., Davidovich U., Amir A. and Zissu B. 2018. A New Source of Calcite Alabaster in the Southern Levant. *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone: Proceedings of the XII ASMOSIA Conference (Izmir)*. In press.
- Gutiérrez Garcia M.A., Savin M.C., Cantin N., Boudoumi S., Lapuente P., Chapoulie R. and Pianet I. 2019. NMR as a New Tool for Cultural Heritage Application: The Provenance of Ancient White Marbles. *Archaeometry* 61: 795–808.
- Herrmann J., Van den Hoek A. and Tykot R.H. 2012. Alabastro a Pecorella, Aïn Tekbalet, and Bou Hanifa, Algeria: A Preliminary Report. In A. Gutiérrez Garcia-Moreno et al., eds. *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone: Proceedings of the IX ASMOSIA Conference (Tarragona 2009)*. Institut Català d'Arqueologia Clàssica (ICAC). Pp. 463–470.
- Jacobson D.M. 2001. Three Roman Client Kings: Herod of Judaea, Archelaus of Cappadocia and Juba of Mauretania. *PEQ* 133: 22–38.

- Klemm R. and Klemm D.D. 1993. *Steine und Steinbrüche im Alten Ägypten*. Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-77027-2.
- Koralay T., Baykara M.O., Deniz K., Kadioğlu Y.K., Duman B. and Shen C.C. 2019. Multi-Isotope Investigations for Scientific Characterisation and Provenance Implication of Banded Travertines from Tripolis Antique City (Denizli–Turkey). *Environ. Archaeol.* 24: 317–336.
- Marshak A.K. 2015. *The Many Faces of Herod the Great*. Wm. B. Eerdmans Publishing.
- Massiot D., Fayon F., Capron M., King I., Le Calvé S., Alonso B., Durand J.O., Bujoli B., Gan Z. and Hoatson G. 2002. Modelling One- and Two-Dimensional Solid-State NMR Spectra. *Magn. Reson. Chem.* 40: 70–76.
- McSherry J. 1997. Worms, diabetes and King Herod the Great. *Journal of Medical Biography* 5: 167–169.
- Netzer E. 1975. Cypros. *Qadmoniot* 2/3 (30/31): 54–61.
- Netzer E. 2008. *The Architecture of Herod, the great builder*. Baker Academic.
- Netzer E. and Damati E. 2004. Cypros. In E. Netzer and R. Laureys-Chachy, eds. Hasmonean and Herodian Palaces at Jericho, Final Reports of the 1973-1987 Excavations, Vol. II, Stratigraphy and Architecture. *Israel Exploration Society*. Pp. 233–280.
- Özkul M., Kele S., Gökgöz A., Shen C.C., Jones B., Baykara M.O., Fórizs I., Németh T., Chang Y.W. and Alçiçek M.C. 2013. Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli extensional basin based on their depositional and geochemical data. *Sediment. Geol.* 294: 179–204.
- Poduska K.M., Regev L., Boaretto E., Addadi L., Weiner S., Kronik L. and Curtarolo S. 2011. Decoupling Local Disorder and Optical Effects in Infrared Spectra: Differentiating Between Calcites with Different Origins. *Adv. Mater.* 23: 550–554.
- Porat R., Kalman Y. and Chachy R. 2018. Excavations on Mount Herodium and its Slopes, 2006–2017. In E. Netzer, ed. *The Palaces of the Hasmoneans and Herod the Great Reprinted and Expanded Edition*. *Israel Exploration Society*. Pp. 138–162.
- Railsback L.B., Dabous A.A., Osmond J K. and Fleisher C.J. 2002. Petrographic and geochemical screening of speleothems for U-series dating: an example from recrystallized speleothems from Wadi Sannur Cavern, Egypt. *J Caves Karst Stud* 64: 108–116.
- Regev L., Poduska K.M., Addadi L., Weiner S. and Boaretto E. 2010. Distinguishing Between Calcites Formed by Different Mechanisms Using Infrared Spectrometry: Archaeological Applications. *J. Archaeol. Sci.* 37: 3022–3029.
- Rifai R.I. 2007. Reconstruction of the Middle Pleistocene Climate of South Mediterranean Using the Wadi Sannur Speleothem, Eastern Desert, Egypt. *Carbonates Evaporites* 22: 73–85.
- Scardozzi G., Brilli M. and Giustini F. 2019. Calcite Alabaster Artifacts from Hierapolis in Phrygia, Turkey: Provenance Determination Using Carbon and Oxygen Stable Isotopes. *Geoarchaeology* 34: 169–186.

Sparks R.T. 1996. Egyptian Stone Vessels in Syro-Palestine During the Second Millennium B.C. and their Impact on the Local Stone Vessel Industry. In G. Bunnens, ed. *Cultural Interaction in the Ancient Near East: Papers Read at a Symposium Held at the University of Melbourne, Department of Classics and Archaeology (29–30 September 1994)*. (Abr-Nahrain, Supplement Series Vol. 5. Louvain: Peeters,). Pp. 51–66.

Sparks R.T. 2007. *Stone Vessels in the Levant*. The Palestine Exploration Fund Annual 8.

Uysal I., Feng Y., Zhao J., Altunel E., Weatherley D., Karabacak V., Cengiz O., Golding S., Lawrence M. and Collerson K. 2007. U-Series Dating and Geochemical Tracing of Late Quaternary Travertine in Co-Seismic Fissures. *Earth Planet. Sci. Lett.* 257: 450–462.

## הערות

1 מחקר זה נתמך בידי הקרן הלאומית למדע, מענק מספר 104/2013. אנו מודים למשרד המדע והטכנולוגיה על מלגת התואר השני לאילה עמיר (מענק מס' 10713-3). אנו מודים לוונסה נובאק מהמוזיאון Ägyptisch-Orientalische Sammlung, Kunsthistorisches בוינה על כלי בהט־קלציט מצריים עתיקים; רועי פורת, יעקב קלמן ורחל צ'אצי, משלחת חפירות הרודיון, המכון לארכיאולוגיה, האוניברסיטה העברית בירושלים, על מתן דגימה מאמבט הרודיון; ד"ר אורטל חייק, ד"ר קרן קינן־אדמסקי, ד"ר עדי אליהו ויעל אמיד על עזרתן עם ניסויי ICP, IR ו־ssNMR יחס איזוטופים, בהתאמה.

מאמר זה מבוסס על המאמר באנגלית שפורסם בכתב העת *Scientific Reports*. את כל תוצאות מדידות התמ"ג וטבלת סיכום השיטות האנליטיות שיושמו עבור הדגימות הישראליות והמצריות השונות אפשר למצוא בפרק הנספחים (*Supporting Information*) של המאמר המקורי: Amir et al. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11651-5>.

2 תיארוך U-Th (אורניום-תוריום). שיטה המכונה גם "תוריום-230") הוא שיטת תיארוך רדיומטרי המשמשת למציאת גילם של חומרים מבוססי סידן פחמתי (כגון: אלמוגים ומשקעי מערות). להרחבה, ר':

Scholz, D. and Hoffmann, D. 2008. 230Th/U-dating of fossil corals and speleothems. *Eiszeitalter und Gegenwart Quaternary Science Journal* 57: 52–76

