

## עם זום תחת הגלים, חוקרים מישראל וארה"ב חושפים סודות קדומים בחוף הבונים

מגבלות הקורונה אילצו ארכיאולוגים מאוניברסיטת חיפה ומאוניברסיטת סן דייגו לפתח שיטות עבודה חדשות בחפירה תת מימית שבה, בעזרת מחשב על בקליפורניה, נחשף כפר שהיה בחוף הכרמל לפני כ-8,000 שנה

אסף רונאל 18.11.2020 17:38

לפני כ-8,000 שנה חייתה קבוצה של אנשים ביישוב קטן למרגלות הכרמל, כקילומטר מצפון-מערב למושב הבונים של היום. התושבים התקיימו מחקלאות בסיסית, גידול חיות משק, וגם מדיג בים וציד ולקט בביצות המקיפות את הכפר. את כלי העבודה וכלי הצייד שלהם הם יצרו מאבן, אבל המהפכה הטכנולוגית העצומה של התקופה – ההבנה שאפשר לצרוף כלים עשווי חומר ולקבל כלי חרס שבהם ניתן לאחסן מזון לאורך זמן – כבר הגיעה לכפר שלהם.

היישוב עצמו היה אחד משרשרת כפרים לאורך חוף הים התיכון, אזור שידע התיישבות אנושית מהימים הראשונים שבהם בני האדם החלו להקים יישובי קבע. היום מה שנותר מהכפר הקדום נמצא תחת הגלים, בעומק של כשלושה מטרים ובמרחק לא רב מהחוף הנוכחי. מרבית שרידי הכפר מכוסים בחול, ומי שייצא לשחייה עם שנורקל בחוף יוכל לראות רק מקבצי סלעים ששימשו לבניית הקירות בכפר, שנחשפים מדי פעם על ידי המים.

בימים אלה, הכפר הקדום נחפר בידי צוות חוקרות וחוקרים מאוניברסיטת חיפה ואוניברסיטת קליפורניה בסן דייגו, בסיוע מענק מחקר מקרן קורט שבסן פרנסיסקו, שמטרתו לחזק את שיתוף הפעולה בין האקדמיה בארצות הברית לזו שבישראל. החפירות, שתוכננו לפני חודשים רבים, נתקלו במכשול האופייני לתקופת הקורונה: הצוות האמריקאי לא יכול היה לבוא להשתתף בחפירות עצמן במגבלות הקיימות. לכן נדרשו החוקרים, בהובלת פרופ' אסף יסעור-לנדאו מחיפה ופרופ' טום לוי מסן דייגו, ליצור שיטת עבודה חדשה לחלוטין לחפירה, שמחצית מהחוקרים המשתתפים בה נמצאים בצדו השני של העולם.

ברוח תקופת הקורונה, שיחות הזום ממלאות תפקיד מרכזי בחפירה. רק שבמקרה הזה, חלק מהמשתתפים בזום נמצאים תחת המים. החוקרים גם רתמו לעזרתם את מחשב העל שנמצא באוניברסיטה בסן דייגו כדי לייצר בקליפורניה מודלים ממוחשבים של האתר שנחפר על סמך צילומים ברזולוציה גבוהה שצולמו בחוף הכרמל, ובמדפסות תלת ממד כדי להדפיס מודלים פיזיים של הכפר הקדום ושל החפצים שנמצאו בו.

בשיחה על החוף מסביר יסעור-לנדאו, ראש מכון רקנאטי ללימודי ים וחוקר בחוג לציוויליזציות ימיות באוניברסיטת חיפה, כי השיטות שפותחו בחפירה הנוכחית הופכות את החפירות התת-ימיות למדויקות ויעילות בהרבה, והוא צופה שאותם כלים ישמשו אותם גם אחרי שנגיף הקורונה יישכח. יסעור-לנדאו מספר בשמחה כי העבודה בשני צדי הגלובוס מאפשרת ניצול יעיל של היממה כולה למחקר.

"בבוקר אנחנו נכנסים למים וחופרים כרגיל עם צוות מקומי ותלמידים", הוא אומר בעת שצוללנים נכנסים למים ויוצאים מהם. החופרים במים, בהובלת הדוקטורנט רועי ניקלסברג, משתמשים גם במצלמות תת-מימיות ברזולוציה גבוהה ובמצלמות גו-פרו רגילות, כדי לתעד את החפירה עצמה.

החומרים הוויזואליים שנאספים תחת המים נשלחים לארה"ב על ידי ניקלסברג בתום יום העבודה בחוף הים התיכון, היישר אל מקבילו בארה"ב, הדוקטורנט טוני טמברינו. בבוקר בקליפורניה, כשטמברינו וצוות החוקרים מתחילים את יום העבודה, הנתונים החדשים מחכים להם במחשב. אז עורכים החוקרים ישיבת סיכום/פתיחת יום בזום. הארכיאולוגים בחיפה הולכים לישון, והחוקרים ומחשב העל של האוניברסיטה בסן דייגו נכנסים לעבודה.

לוי, אחד ממנהלי מרכז סקריפס לארכיאולוגיה ימית וראש קבוצת המחקר לסייבר-ארכיאולוגיה במכון קוואלקום בקמפוס, רותם את היכולות של שני גופי המחקר שהוא מוביל לשירות החפירות הנוכחיות. אלגוריתמים מעבדים את הנתונים שנאספו בצילומים ברזולוציה גבוהה, ובתוך כמה שעות מחשב העל של מכון קוואלקום מספק הדמיה תלת ממדית של אתר החפירות שעודכנה כדי לכלול את הקטעים שנחפרו ביום החפירה הנוכחי.

חפצים מעניינים שנמצאו באתר תחת המים נסרקים בעזרת סורק תלת ממד של אוניברסיטת חיפה, והקובץ משמש את החוקרים בקליפורניה כדי להדפיס את העצמים במדפסות תלת ממד, בגודל אמיתי ובאיכות גבוהה. "יש דברים שאי אפשר לגלות בהדמיית מחשב", אומר לוי ומספר על ראש קרדום אבן שנמצא באתר והם הדפיסו ביום הקודם. "לפעמים צריך להחזיק את החפץ ביד כדי להבין איך עשו אותו". החוקרים בסן דייגו גם מדפיסים מודל תלת ממדי, הפעם לא בגודל אמיתי, של האתר כולו, כדי להבין טוב יותר את המאפיינים של הכפר, כמו צורת פני השטח שעליו נחו הבתים הקדומים.

הערב יורד בקליפורניה והחוקרים נפגשים שוב לעדכון סיכום יום/פתיחת יום, כשבחיפה מגיעים לחוף האתר ובודקים אם מצב הים מאפשר עבודה באותו יום. על סמך המסקנות של יום העבודה בחוף המערבי של ארה"ב הם מחליטים יחד כיצד להמשיך את יום העבודה בים התיכון. אם יש שאלות שדורשות התייעצות באתר עצמו, חלק מהחוקרים יורדים עם מצלמות גו-פרו תחת המים, והדיון המקצועי נערך בזום כשהאתר התת-ימי מופיע בשידור חי.

עבודה מדעית 24/7 היא בונוס, אבל התועלת המשמעותית ביותר של השימוש בכלים הממוחשבים המשוכללים בסיסית יותר. חפירה ארכיאולוגית תת-ימית מתאפיינת בקשיים שאינם מוכרים לארכיאולוגים עובדים ביבשה. בתום יום חפירה במדבר, אפשר לכסות את האתר בברזנט ולשוב אליו למחרת בבוקר בלי שדבר ישתנה בו. בים אפשר לעבוד יום שלם על חשיפת שורת אבנים או באר, לשוב בבוקר ולגלות שהחול כיסה הכל מחדש.

"מה שהיינו עושים עד כה היה, שאחד הסטודנטים שוחה עם נייר ועט שכותב תחת המים ורושם איפה נמצאת כל אבן", מספר לוי בשיחת זום מקליפורניה. "התוצאה היתה לא ממש מדויקת", הוא מוסיף בחיוך. במחקר החדש הצילומים והמודלים הממוחשבים מאפשרים ליצור מפות מדויקות, שבהן מסומן מיקומה של כל אבן ואבן, "ברמה של נקודת ציון לוויינית לכל סלע", אומר יסעור-לנדאו. הצילומים והמודלים מאפשרים גם לחשב כמה משקעים, כמו חול וחומרים אחרים, נחפרו בכל יום, וכך לדעת מהם הנפח והעומק של כל מבנה או מתחם באתר. "השיטה מאפשרת עבודה מדויקת יותר מיום ליום ומקסום של זמן החפירות עצמן", הוא מוסיף.

גם החפצים המעניינים שנמצאו באתר, כמו כלי אבן וכלי חרס, ממוקמים במודלים הממוחשבים בדיוק בנקודות שבהן אותרו. התייעוד המדויק מאפשר גם לחוקרי דנ"א קדום, שמנסים להבין אילו בעלי חיים וצמחים היו אופייניים לכפר על סמך חומר גנטי ששרד אלפי שנים, לדעת בדיוק מהיכן נלקחה כל דגימה שהם חוקרים.

החפירה עצמה הסתיימה בסוף השבוע. עתה עמלים החוקרות והחוקרים בשני צדי הגלובוס על עיבוד המידע הרב שנאסף וקישור בינו לבין פרויקטי מחקר אחרים שנעשים באזור בשיתוף בין שתי האוניברסיטאות. יסעור-לנדאו מספר שממה שנאסף עד כה נראה שמדובר היה בכפר שבו מבנים קטנים, שתושביו הסתמכו על כלכלה ים תיכונית. ייתכן שהיה תיחום בין בתי הכפר השונים, עדות לתחילתה של היררכיה חברתית, ואולי היו בו גם אתרי פולחן.

החפירה נערכה רק לרוחב הכפר, בקצהו. יסעור-לנדאו אומר שהוא לא יכול לקבוע מה היה גודלו המלא של היישוב, כי מרבית הבתים נמצאים עמוק תחת החול – וייתכן שחלקם קבורים תחת החוף הנוכחי. החפירות חשפו סדרת קירות. בין הממצאים שנמצאו עד כה היו כלי צור, חלקם באיכות גבוהה מאוד, כלי חרס גסים מאוד, אבני שחיקה מבזלת ועצמות של בעלי חיים שונים.

יסעור-לנדאו מספר שמטרת העל של המחקר היא להבין את הקשר בין שינויים סביבתיים לשינויים תרבותיים-חברתיים-טכנולוגיים ביישובים האנושיים של אותה תקופה. ניצני החקלאות הופיעו באזור כבר לפני כ-11 אלף שנה, ובני האדם החלו לעבור ליישובים קבועים יותר למרגלות הכרמל. שינויי התזונה שהתלוו למהפכה החקלאית החדשה גרמו גם לשינויים משמעותיים בקצב הילודה ולהתרחבות האוכלוסייה, שבמקביל הפכה לפגיעה יותר ותלויה בחסדי מזג האוויר.

הגיאוגרפיה בחוף הכרמל של התקופה הגבילה את בני האדם שחיו שם ל"מיקרו-אזורים", שתחומים בין החר, הים והביצות מסביב. התנאים הגיאוגרפיים, מספר הארכיאולוג, הגבילו את התנועה, אבל סיפקו מקורות משאבים מגוונים ואיפשרו התמחות של תושבי הכפרים בסוגי מזון מסוימים.

בד בבד עם ההתפתחות האנושית והקמת הכפרים לאורך החוף, עידן הקרח האחרון הגיע לסימומו. הקרחונים הנמסים גרמו לעליית מי הים והכפרים הראשונים התכסו תחת הים. יסעור-לנדאו מוסיף כי שני אירועי אקלים משמעותיים התרחשו לפני 9,200 ולפני 8,200 שנה – התקופה שבה הוקם הכפר בחוף הבונים.

מטרת העבודה היא למצוא את הכפרים הראשונים שבהם החלו ליצור כלי חרס, ולהבין מה הקשר בין השינויים האקלימיים של התקופה להופעת הטכנולוגיה החדשה של יצירת כלים מקרמיקה. ואכן, השילוב בין כלי אבן מתקדמים לכלי חרס גסים שנמצאו באתר, מעורר תקווה שהכפר אכן מייצג שלב מעבר זה.

מחקר נוסף שנעשה בשיתוף פעולה בין חיפה לסן דייגו יספק זווית ראייה חשובה אחרת על שינויי האקלים והשפעתם על ההתיישבות האנושית לאורך החוף, שלפני 9,000 שנה היה מרוחק כקילומטר וחצי מערבה ממקומו כיום. במחקר הזה קודחים החוקרים ליבות קרקע לאורך חוף הכרמל. מחקר של שכבות המשקעים השונות שייחשפו בליבות הקרקע יאפשר לקבוע מה היו תנאי האקלים והסביבה לאורך החוף באלפי השנים האחרונות, ואיך הם נקשרים לפני הים העולים בהדרגה.

יסעור-לנדאו מספר שהמחקר משתלב במאמץ המדעי המשותף של אוניברסיטת חיפה ואוניברסיטת סן דייגו להבין את יחסי האדם והסביבה באזור הכרמל בעשרת אלפי השנים האחרונות, עד לתקופה הצלבנית. במסגרת הפרויקט נחפרו עד היום הנמל מתקופת הברזל ליד התל בדור, נמל הלניסטי מדרום לו ותחתיו אתר ניאוליתי.

לוי, שחפר 40 שנה במדבריות ישראל וירדן עד שפנה בעשור האחרון לחפירות בים, מספר כי שיתוף הפעולה בין שתי האוניברסיטאות מאפשר לשלב בין היכולות הימיות והטכנולוגיות של סן דייגו לבין המיומנות יוצאת הדופן שהצטברה באוניברסיטת חיפה בחפירות ארכיאולוגיות תת-ימיות. "החפירות התת-ימיות של חיפה חלוציות ברמה העולמית", אומר לוי בהתפעלות.

בעונת החפירות הבאה, בפברואר, מקווה לוי שהקורונה תאפשר לו להגיע לחוף הבונים בעצמו. אולם הוא משוכנע כי שיטות העבודה שפותחו בחפירה הנוכחית ילוו אותם גם בחפירות העתידיות. "חלק מהחוקרים והסטודנטים יישארו פה בסן דייגו וימשיכו לעשות את מה שאנחנו עושים היום", הוא מבטיח. עכשיו האתגר יהיה להתמודד עם האכזבה של אלו שיתבקשו להישאר מאחור.