

בעקבות הזמן האבוד

מנערה קדמונית שרק עצם קטנה מהזרת שלה שרדה במערה בסיביר ועד לכנענים שנעלמו מארצנו בלי שהספיקו לספר מהיכן באו: טכנולוגיות חדשות מאפשרות לפענח די־אן־איי עתיק, ולהקים לתחייה פרקים לא מוכרים בתולדות האנושות. עדיין אי אפשר להכריז על פתיחתו של פארק היורה, אבל ייתכן שבזכות המחקרים האלה נוכל בעתיד הלא רחוק לצאת לרכיבה על גב ממותות

← יעל (פרוינד) אברהם



סוונטה פבו חיכה לרדת הלילה כדי שיוכל להתפנות למה שעניין אותו באמת. בימים חקי וירוסים במעבדה לביולוגיה מולקולרית, ובלילות שקד על פרויקט סודי מטעם עצמו. פעם חלם להיות אינדיאנה ג'ונס, לגלות מומיות כמו אלה שראה בטיול במצרים. לא סתם נרשם ללימודי אניפטולוגיה באוניברסיטת אופסלה, אלא שאז גילה שהירוגלפים פחות מעניינים אותו, ענבי ללמוד רפואה, ולבסוף החליט לחקור את הביולוגיה של התא. שיגעון המומיות, עם זאת, לא הרפה ממנו – אם לא יגלה אותן בעצמו, הוא יגלה לפחות את מה שמסתתר בתוכן. למיטב ידיעתו, איש לפניו לא ניסה להוציא מגופות עתיקות את הדי־אן־אי, ספר הזרואות של קיום החיים שנחבא בגרעין התא; רבים חשבו שהחומר הגנטי מתפרק מיד עם מותו של בעל החיים. אבל מי יודע, אמר לעצמו פבו, אולי אם יצליח במשימה, יעירו הממצאים לשפוך אור חדש לגמרי על ההיסטוריה הקרובה והרחוקה. לצורך המחקר הסודי הגניבי לו פרופסור מהחולקה לאניפטולוגיה דגימות ממומיות מצריות שהוצגו במוזיאון בברלין המרוחק. אחת מהן הייתה של נער צעיר שמת לפני 2,400 שנה. הסטורנט השודי אסיר התורה קיווה שבוכת הנער ניתן יהיה להתחקות אחר ששלות הפירעונים, ומומיות נוספות יאפשרו לגלות את שורשי העלומים של תות ענף־אמון – המלך שמת ברמי ימיו ורק מעט ידוע על אדותיו. הוא החל לעבוד על הפרויקט במלוא המרץ, הליץ עקבות מהגנום של החנוט, ואת הממצאים פרסם בכתבי־עת עלום כמותה גרמניה. אפשר לדמיין מה רבה הייתה פליאתו אילו גילה בשלב כלשהו כי הוא חולק רמיון גנטי עצום עם המומיה. רק מאוחר יותר הבין פבו שלמעשה פענח את הגנום שלו עצמו. "התברר לי שחלקיק אבק בחדר העבודה מכיל בתוכו הרבה יותר די־אן־אי מחצי גרם של עצם שגיסיתי להפיק ממנה רגימה", אמר פעם בריאיון.

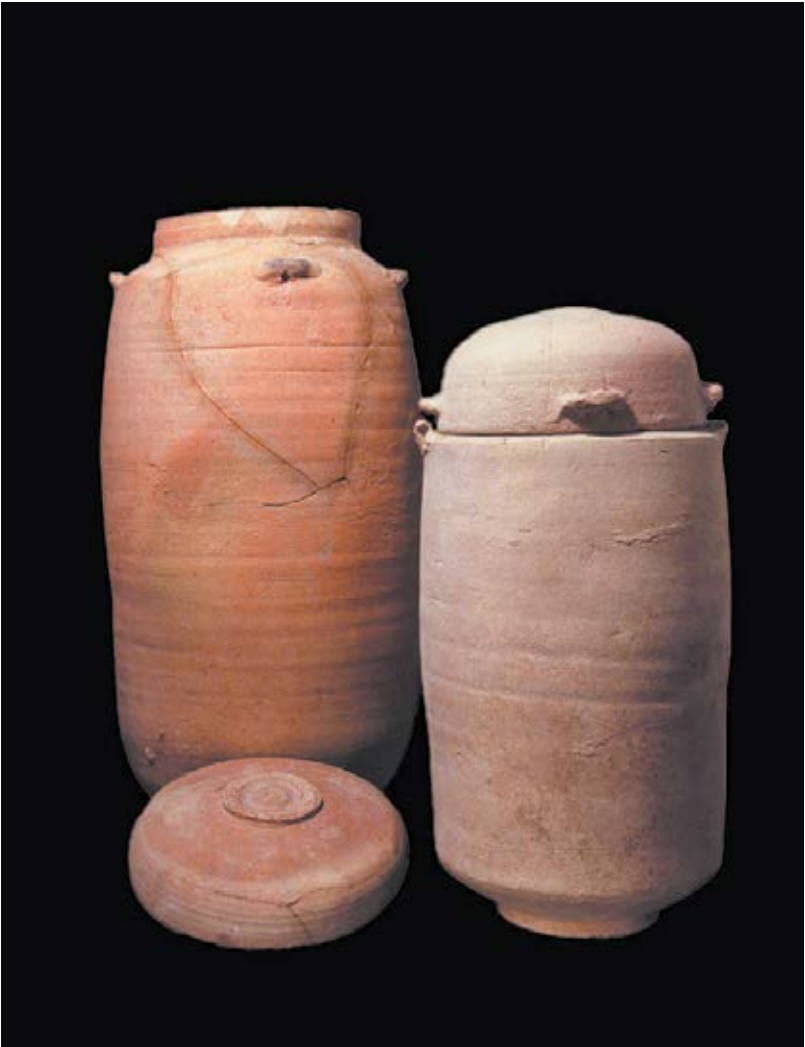
כשנים שלאחר מכן זנח את המומיות וניסה להתחקות אחר הגנום של בעלי חיים נכחדים, ממותות למשל. הסיכוי להתבלבל בין די־אן־אי של ממותה לבין זה של אדם הוא נמוך יותר, מה שיכול לחסוך תקלות עגומות. פבו עצמו שכלל עוד ועוד את הכלים ושיטות העבודה כדי למנוע "יזרזם" שמקורו בחיידקים או באנשי המערה ששוקרים על הפקת הרגימה. הממותות עוד ישובו אלינו בהמשך הכתבה – ואולי גם במציאות – אבל בינתיים הפך פבו לאחד האבות המייסדים של תחום חדש במדעי החיים: פלאוגנטיקה, חקר די־אן־אי קדום של בני אדם, בעלי חיים וצמחים.

העיסוק בדי־אן־אי עתיק צובר תאוצה בשנים האחרונות. חוקרים למדו להפיק דגימות משיניים, שיער, עצמות, ורעים ושאר רקמות של אורגניזמים שחיו בעבר על פני כדור הארץ. לפני כעשור הצליחו פבו וצוותו להשלים מיצוי ומיפוי מלא של גנום הניאנדרטלים, אוכלוסייה של אדם קדמון שחיה גם במזרח התיכון. אחרים הצליחו לרצף את הגנום של מינים שהפכו לסמל ההכחדה – כמו הזאב הטמגי, שעור הסתובב באוסטרליה בראשית המאה ה־20, והקאקנה, תת־מין של זברה שנעלמה במאה ה־19.

בעודת הכלים החדשים למדו חוקרי אבולוציה איך עיצבו שינויי אקלים את האנטומיה וההתנהגות של מין מסוים, ומיהם בני משפחתו. העלות הגבוהה של ריצוף הגנום, התקצרה בכמה ספרות עם שכלול הטכנולוגיה. מרעזים שבראש מעייניהם עומדת ההיסטוריה הצלילו להתחקות אחר המישה דורות מאבותיו של תות ענף־אמון הנוכרי, כולל אביו ואמו, וללמוד עוד על אוכלוסיות אנושיות עתיקות. על אחת מהן, שהתלהבה כאן בארצנו, למדנו ממש לאחרונה – הכנענים שחיו באזור בתקופת הברונזה.



צילום: אוליביה פיטוסי - פלאש 90



הכלי החדש אפשר להרכיב את הפאול. כדי המגילות הגנוזות ממרתר קומראן

נסיבות מותו של איש הקרח (למטה) הפכו לתעלומה בלשית, לאחר שעל בגדיו נמצאו כתמי דם שמקורם בכמה אנשים, וסריקות סי־טי ורנטגן גילו ראש חץ בכתפו השמאלית. שאלה משפטית נסבה סביב התגמול על מציאת הגופה – החוק המקומי קובע כי המגלה שריד ארכיאולוגי יקבל רבע מערכו

התחיל להתפשט לשאר העולם. ובכל זאת, פה באזור לא נעשתה באמצעותו אף מערה כמעט. החלטתי ליוזם פרויקט מקומי, ויחד עם שותפיי באוניברסיטה העברית, באוניברסיטת תל־אביב ובמוסדות נוספים בעולם, אני עובד כבר כמה שנים על הגנום הכנעני."

למה דווקא כנענים?

"כי תקופת הברונזה היא אחת התקופות הכי מעצבות בהיסטוריה האנושית של האזור. בה נוצר והתהווה העם היהודי, וזו נקודה קריטית בהתפתחות ההיסטורית של כל האוכלוסיות באזור.

"התנ"ך מכנה את העמים הנמצאים כאן ככל מיני שמות שונים בהתאם לאזורי המגורים שלהם, אבל



מבחינת התרבות החומרית שלהם, כפי שהיא משתקפת בארכיאולוגיה – זו אותה תרבות בדיוק. אחת השאלות שעניינו אותנו הייתה האם הם גם מציגים אותה גנטיקה, כלומר האם הם למעשה עם אחד. והתשובה היא – כן, במקביל לדמיון התרבותי יש דמיון גנטי בין אודרי ההתיישבות השונים. הכנענים חיו בערי מדינה שכל אחת מהן שלטה על אזור מסוים, אבל מבעד למשפטיים הגנטיים שלנו מדובר באותם אנשים, והם מראים דמיון ביניהם יותר מכל אוכלוסייה אחרת באזור."

איור: שאטרסטוק

התחיל להתפשט לשאר העולם. ובכל זאת, פה באזור לא נעשתה באמצעותו אף מערה כמעט. החלטתי ליוזם פרויקט מקומי, ויחד עם שותפיי באוניברסיטה העברית, באוניברסיטת תל־אביב ובמוסדות נוספים בעולם, אני עובד כבר כמה שנים על הגנום הכנעני."

הגנטיקה, מראה המחקר, יכולה לשרטט גם תהליכים דמוגרפיים שתרחושו בעבר הדיוק. קוח למשל שלושה בני אדם מלפני כ־3,500 שנה ששרידיהם נמצאו בתל מגידו, עיר מדינה כנענית גדולה בתקופת הברונזה. הדי־אן־אי שלהם העלה כי שלושת החברים הם צאצאים מובהקים של מהגרים מהקוקו. יחד עם עדויות ארכיאולוגיות נוספות שמלמדות על קיומה של הגירה מאותו אזור, ומתוארכות לאלף שנים קודם לכן, יכלו החוקרים לקבוע שהגירה האנושית הזו התמסכה על פני כמה מאות שנים לפחות. "כדיגימת שלנו ראינו חתימה מובהקת של הקוקו, אזור האגרוס", אמר כרמל. "האוכלוסיות האלה הגיעו לאורנו והתערבבו עם התושבים שהיו כאן קודם. הכנענים שחננו מוצאים הם בערך 50־60 מבוחינת התערובת שלהם – חצי מהגנטיקה הגיעה מבחוץ, וחצי מהאזור שלנו."

התגובות השונות ברשת האינטרנט למחקרם של כרמל ושותפיו מלמדות שגם דיון אקרמי אובייקטיבי על אודות מוצאו של עם קודם, עלול להיות נפיץ. הרי לפני כשנתיים קבע אברמאן בנאום מול מועצת הביטחון של האו"ם כי "אנחנו בני הארץ הילידים. 5,000 שנה הפלסטינים נמצאים על האדמה הזו, הפלסטינים הם צאצאי הכנענים". יו"ר הרשות הפלסטינית הוסיף כי "זו האמת ההיסטורית ואיש לא ישנה אותה או ישכתב אותה". "השאלה מיהו כנעני אמיתי' שמסתובבת בפוליטיקה המקומית, טמנת בחובה כל מיני השלכות אפשריות – למי יש זכות ראשונים, מי היה פה קודם", אמר כרמל. "מובן שלנו, החוקרים, אין כל כוונה להיכנס לכך. אני יודע שהנושא הזה מעורר הזמן אמוציות. הסתכלת על אוכלוסיות אדם עתיקות מהלכת קסם על אנשים מסוימים, ומעוררת כעס אצל אודים. אני לא מתרגש מהכעס, המטרה שלי היא לעשות מדע."

אם במגילות נמצאות נסקיזן – יש לכם מונח לחקור גם די־אן־אי של יהודים?

"אני מקווה שכן, כי זה נושא מרתק. מהבחינה הטכנית, האתגר הזה משתנה לפי התקופה ההיסטורית שבחורים לברוק. יהיה קל יחסית למצוא חומר גנטי של יהודים מתקופה הרומית, אבל אם נרצה לחקור יהודים מימי ממלכת ישראל – תקופה שאותי באופן אישי מעניינת מאוד – זה כבר יהיה קשה יותר. נביח שמוצאים קבר באזור שהיה שייך לממלכת ישראל; לכי תרעי אם זה יהודי, או שמדובר אדם שגם. אני יכול כמובן להסתכל על הדי־אן־אי שלו, אבל בלי קונטקסט ארכיאולוגי טוב, אני לא יודע מי ניצב לפניי וקשה לי לתת פרשנות."

מטייל בן 5,000

כין אם אתה יבוס, גרנשי או יהודי, ארץ ישראל לא מסבירה פנים לדי־אן־אי קדום שרוצה להשתמר בה. אם בתנאים אופטימליים ישרוד החומר הגנטי מאות אלפי שנים – השיא אנג נרשם ב־2013, כאשר רוצף גנום של סוס בן 700 אלף שנה – כאן בארץ ימחאו כפיים אם הוא יחזיק מעמד 15 אלף שנה. מה שכן, עצם אחת צפופה וקשה שנמצאת בגולגולת מסייעת במשימת השימור – עצם הפרוסר, שמיקומה הפנימי מגן עליה באופן יחסי מפני זיהומים. רבות מהדגימות במחקר הכנענים הושגו באמצעות קידוח עומק בגולגולות שנלקחו מחפירות ישנות או עכשוויות.

מהם התנאים האופטימליים לשרידות של די־אן־אי? קשה לקבוע נחרצות, אבל אין ספק שטמפרטורה נמוכה מאוד ומעטה קרח הם מקדם שימור טוב. מדי פעם מתגלים בעלי חיים נכחדים או גופות אדם שנחטבו בחסות קרחונים. אחד המקרים הדורעים אירע בספטמבר של שנת 1991, כשזוג מטיילים גרמנים התהלכו בעמק האצטאל באלפים של צפון איטליה, סמוך לגבול אוסטריה. בשלב מסוים סטו השניים מהשביל, ונבעתו למצוא שם גופה שפניה מופנים לקרקע ופלג גופה התחתון שקוע בקרח. החמיים



זאב טטמי

נכמדו על המטייל האומלל שמצא את מותו, כך כחשבו, שנים אחרות קודם לכן. אלא שבדיקות פחמן 14 הראו כי תגינות 5,000 כבר לגמרי מאוחר הגופה, שזכתה לכינוי "אצי איש הקהה". הקהוחן שמר על איבריו ואביריו של אצי במשך אלפי שנים, אבל נדרשו רק כמה ימים כדי שסקרנים יחמדו את כליו למזכרת ומחלצים רשלים יפגמו בירכו.

סיפורו של איש הקהה העלה שורה של תהיות וסוגיות אתניות. נסיבות מותו הפכו לתעלומה בלשית, לאחר שעל בנדיו נמצאו כתמי דם שמקורם באנשים שונים, וסדיקות סטיי ורנטגן גילו ראש חץ בתוך כתפו השמאלית. שאלה משפטיות נסבה סביב התגמול על מציאת הגופה – החוק המקומי קובע כי אדם המגלה שריד ארכיאולוגי יקבל רבע מערכו, אך מלבד זוג המטיילים צצו לפתע עוד טוענים לזכות הבכורה. דיון ציבורי התעורר גם בשאלה האם ראוי להציג את אצי לקהל הרחב במוזיאון הארכיאולוגי בבלצ'נו, או שמא יש להעניק לו קבורה חולמת. כך או כך, מתוקף היותו המומיה במצב הטוב ביותר בעולם, עומד איש הקהה במרכזו של מחקר רב תחומי, והציג הגנים שלו מעסיק מרעננים רבים. שריד מעניין אחר שמץ מן הקהו הוא עצם קטנה של ורת, שנתגלתה לפני עשור במערת דניסובה שבדרום סיביר. פבו וצוותו, שכבר הכירו את האדם הניאנדרטלי דרך שלל עצמות וגולגולות ושרידי כלים, נדהמו לראות כי העצם חוו שייכת לקבוצת אדם שהם לא מכירים. האדם הדניסובי, החליטו לקרוא לו. עוד התברר שזה לא בכלל לא הוא, אלא הורח העוגנה השתייכה לנערה בת 13, שחיה לפני כ50 אלף שנה. הייתה זו הפעם הראשונה שקבוצת אדם מוגדרת על סמך הגנום שלה, ולא ככדי: כל מה שיש לנו מהאדם הדניסובי נכון להיום הוא קצה של ורת, שלוש שיניים, וגם לסת תחתונה שנמצאה על ידי נודי טיבטי כבר בשנות השמונים ופרסומה בא לה לפני שנה.

למה בספטמבר האחרון כיכבה על שער כתבהעת Cell תמונה של נערה יפת עיניים ופרועת רעמה שלא תזיק לה מקלות או שתיים. קבלו אותה: הנערה הדניסובית. במאמר שותפרים בכתבהעת בישור פרופ' כרמל ושותפו ר"ד רוד גוכמן כי הצליחו, על בסיס החומר הגנטי, לשחזר את השלד שלה ואת מבנה פניה. האיר מעורר ההשתאות הוא פרי ידיה של המאיית המדעית מעיין הראל, ובמעברתו של כרמל יושב גם פסל ראש של הנברת מהמערה. המאמר זכה לתהודה בעיתונות העולמית, הנערה כיכבה על מסכי טלוויזיה, וכרמל התראיין תחת כל עץ רענן. כמה חודשים אחר כך גבר המחוקר שלו וגשלו כמעל 12 מתחרימו, וזכה בתואר "פריצת הדרך המדעית החשובה של 2019" מטעם המגזין היוקרתי Science, עוד כמה נאה להתפאר בו.

או איך בעצם משחזרים פרצוף, אם כל שיש בידך הוא דייאראיי קרום וקצה ורת? "אין היום דרך טובה להניע מרצף של גנום לשחזור אנטומי", אמר כרמל. "אני לא יכול לקחת את הדייאראיי שלך ולהסיק ממנו איך את נראית. אני יכול להגיד מה צבע העיניים שלך, מה הגובה שלך, מה סוג השער ועבעו – כמה תנוגית פשוטים והו. אנתנו פיתחנו כלי חרדטי שמסתכל על האפגינטיקה. כלומר, רחק ויכולים לא רק להגיד איך נראה רצף הדייאראיי של הפרט שלפנינו, אלא גם אילו גנים עוברים אצלו יותר ואילו פחות, איזה מהגנים מתבטא ברמה גבוהה ואיזה ברמה נמוכה. יש לנו היום אפשרות לראות את דפוסי הפעולה של הגנים". ואיך יירדה בפעילות של גן בלשה כלמדת אותנו שלנערה הוה היו עיניים גדולות או אף רחבה? "הסתכלנו על מהלות גנטיות שאנחנו מכירים מהאדם

המודרני, ואפשר לקשר אותן לגנים מוטומים. אם יש גן שירידה בפעילות שלו מובילה לשינוי באנטומיה – אצבעות קצרות יותר, אונניים גדולות יותר – הוא יכול לספק לנו עוד נתון אנטומי. מחקרים קודמים שלנו גם נתנו דיע רב על קבוצות האדם השונות ועל פעילות הגנים אצלו, וכך יכולנו להסתכל לגלות מה קורה כשרמת פעילות של גן יורדת או עולה. במעבדה פיתחנו דרך לשלב ביחד את האינפורמציה הו, והתוצאה הסופית היא פרופיל אנטומי שאמנם אינו ספציפי לאדם מסוים, אבל הוא נכון לקבוצת האדם הואת שנקראת דניסובים". כמה שבועות אחרי שנשלח המאמר, חשפה קבוצת חוקרים אודת את קיומה של הלסת הדניסובית – שהתאימה במדויק למודל המשוחזר במעבדה הירושלמית.

במה הם שונים מאיתנו, האנשים הקדמונים שהשאירו אחריהם כה מעט? מתברר שלא פחות מ66 תכונות מאפיינות ומבדלות אותם מאיתנו, אבל הברלים לא מאוד דרמטיים – גולגולת רחבה, פנים משוכים קדימה שלא מתייזם סנטר, שיניים גדולות יותר, אגן רחב וכדומה. אם הנערה הואת הייתה עוברת ליד אחרי שביקרה במספריה, אני אמרת לפרופ' כרמל, רוב הסיכויים הם שלא הייתי מקרישה לה מבט נוסף. "נכון", הוא מאשר, "אני לא חושב שהיית שמה לב לברלים ביגן לכינה".

איך אתה מספר את התגובות הנלהבות בארץ ובעולם למחקר שלכם?

"יש התלהבות שמגיעה מהקהל המדעי, מכיוון שמדובר בשיטה חדשה לגמרי, ויש התלהבות שבאה מהציבור הרחב, ולדעתי קשורה בגילוי עצמה. זה דרי נוגע במי אנתנו, איך נוצרנו, ודברים כאלה תמיד שובים את הדמיון. לא ידענו דבר על האדם הדניסובי, ופתאום הוא מקבל פנים. זה מדבר אל אנשים".

קריעת מגילה

בניגוד לציפיות, במעברתו של כרמל (48) אי אפשר למצוא שלדי רינווארים או חלקי לסתות של דניסובים. העבדה שלו היא ממוחשבת, רובה ככולה, וככל ואת לא פעם אנשים משוכנעים שהיא חפר בעצמו מהערה הדניסובית ושלה גולגולות במגידו. "לפעמים אני מקבל מיילים שמתעניינים בעבודתי הארכיאולוגית, או בעצם שמצאתי", צוחק כרמל. "למעשה למדתי פיזיקה, מתמטיקה וביולוגיה חישובית – תחומים הרבה פחות הרפתקניים".

גם הפקת הדייאראיי מעצמות קדומות לא מתבצעת כאן. במחקר החדש על הכנענים נעשתה המלאכה הו במעברתו של פרופ' דיוויד ריין, גנטיקאי יהודי אמריקני מאוניברסיטת הווארד. ריין, אגב, קיבל לפני כשלוש שנים יחד עם פרופ' פבו את "פרס דן רוד" הישראלי, שהוענק להם על פרויקט הגנום הניאנדרטלי. הוא גם היה מעורב ביהודי הנערה הדניסובית. כן, צפוף בכיזה הפלאוגנטית. המעבדה לאבולוציה מולקולרית באוניברסיטה העברית היא המרכז הישראלי הגדול ביותר בתחום, אבל גם מעבדה ישראלית אודת זכתה לאחרינה לקטוף את שער המגזין Cell בזכות דייאראיי עתיק. צוות רביתחומי מאוניברסיטת תל־אביב, בשיתוף עם רשות העתיקות ואוניברסיטאות מז'ל, שקד במשך שבע שנים על מגילות מדבר יהודה, וממצאיו המפתיעים עוררו הדים רבים בעולם המדעי. את המגילות הגנוחות, מהתגלות הארכיאולוגיות המריגשות שהולידה הארץ, אין צורך להציג. 25 אלף פיסות הקלף והפפירוס שהגדלו במערות קומראן ובסביבתן, מעסיקות חוקרים כבר עשרות שנים. למחקר הזה נלווה אתנו שגרמה כלכלתי אפשרי: תרכתת חלקי



צילום:איילן יפ.

"הפלסטיונים הם צאצאי הכנענים". אברמאן נואם באו"ם

"די־אן־איי עתיק לא נשמר טוב כל כך. הוא עובר תהליכים כימיים שפוגמים בו ושוברים אותו, ולכן גם אם תצליחי לשחזר די־אן־איי של חמותה בגרעין תא של פילה – זה לא יעבוד. היום הכיוון אחר: מצאנו את רצף הגנום של חמותה? ניקח ביצית מופרית של פילה הודית, נשנה את הדי־אן־איי ואז נחזיר אותו למקומו, בתקווה שהפילה תלד חמותה"



איור. נטי איתנים

בקרוב בגן החיות הסמון? קואגה

פרופי לירן כרמל: "לשאלה מיהו כנעני אמיתי שמסתובבת בפוליטיקה המקומית, יש כל מיני השלכות – למי יש זכות ראשונים, מי היה פה קודם. לנו החוקרים אין כוונה להיכנס לכך. ההסתכלות על אוכלוסיות אדם עתיקות מהלכת קסם על אנשים מסוימים, ומעוררת כעס אצל אחרים. אני לא חתרגש, המפרה שלי היא לעשות מדע"

הפאול לכדי אוסף מגילות מסודר, כך שניתן יהיה להבין אילו מהן משקפות את כת מדבר יהודה ואילו מייצגות את ארון הספרים הכלל־יהודי בסוף ימי בית שני. כאן נכנסים הכלים החדשים לפעולה: אנשי אוניברסיטת תל־אביב כתנו את הדי־אן־איי של עורות בעלי החיים שמהם נוצרו מגילות הקלף. ברוב הגדול של המקרים מדובר היה בכבשים, ולכן צוות החוקרים חיפש שיטה חדשה שבאמצעותה יוכל להבחין בין כבש לכבש. ההנחה הייתה שפיסות שונות שמקורן באותו בעל חיים ספציפי, שייכות גם למגילה אחת. במקביל נדרשו החוקרים להתגבר על משוכות פגעי הזמן – הדי־אן־איי הקודם שכידוים התפרק והודים לאורך אלפיים שנות מערה, ואחר כך בטיפול לא



צילום: חן לאופריל - נולאש 90

מיצורים שכבר אינם איתנו, האם נוכל להשיב לחיים את מה שאבד? האם בקרוב בגן החיות הסמון לביתנו תתולך ממותה צמרית ומיועיה האם היונה הנחרדת תחזור לעופף במחוזותינו? האם בכלל אנתנו צריכים עוד יונה בעולם? והאם נצליח ליצור את "פארק הוודה", רק כלי הקטע שבו הגולם קם על יוצרו? היום שבו כל זה יקרה – כך טוענות כמה קבוצות מחקר מרחבי העולם – מתקרב בצעדי ממותה. מעבדה מפורסמת בהרווארד מרווחת שהיא אינה רחוקה מהפיכת פיל אסיאתי לממותה; מרכז מחקר ברוסיה מוקדש לעניין ההקמה לתחייה של יצורים נכחדים – מהלך טבעי כשהממותות צצות שם מן הקרח כפטריות אחר הגשם; באוסטרליה ובמקומות אחרים בעולם עוברים על השבחה של היונה הנחרדת, ושוקרים על החייאתו של עוף החרדו, שנראה לאחרינה בשנת 1681.

אם דוילי אחת כבר שובטה בשנת 1996, מה בעצם הבעיה? ניקח חומר גנטי מברימיזן נבחה, נשתול אותו בבריצת מופרית של בעל חיים קרוב לו, ויוולדו לנו כל שנרצח.

"זה לא פשוט כמו שזה נשמע", מצנן כרמל את התלהבות. "די־אן־איי עתיק לא נשמר במצב טוב כל כך. הזמן התנאים עושים את שלהם, הוא עובר תהליכים כימיים שפוגמים בו ושוברים אותו, ולכן גם אם תצליחי לשחזר די־אן־איי של ממותה בגרעין תא של פילה שקרובה לה גנטית – זה לא יעבוד. היום הכיוון שאליו מנסים להגיע הוא קצת אחר. מצאנו את רצף הגנום של ממותה; ניקח ביצית מופרית של פילה הודית, נוציא את הדי־אן־איי, נשנה אותו כך שהיה דומה לזה של ממותה, ואז נחזיר אותו למקומו בתקווה שהפילה תלד ממותה. צוואר המבקוק בשיטה הוה הם השינויים שצריך לעשות: מספרם הוא עשרות מיליונים. היום עומדת לרשותנו טכנולוגיה של עריכה גנטית, 'קריספר קאס', שמאפשרת לשנות את הדי־אן־איי בנקודות ספציפיות, אבל את זה אפשר לעשות עבור מוטציה מסוימת, או שתיים או שלוש – מה שמסייע בריפוי מחלות גנטיות וכדומה. אין עדיין דרך ליצור עשרות מיליוני שינויים. זו עבודה מטורפת, שכיחם איננה אפשרית מבחינה טכנולוגית".

אבל היא תודיה אפשרית בעתיד?

"אני מניח שכן, כי יש הרבה מעבדות ששוקטות בטכנולוגיה הוה ובשכלולה. בעיות טכנולוגיות שאינן מהותיות, טבען שהן נפתרות בסוף. אני מניח שהדבר ייקח כמה שנים, ובסוף יבוא על פתרונו. ואו יהו לנו בעיות אחרות, למשל – מה המשמעות האקולוגית של החזרת פרט שנעלם מהשטרת? גם כלי לשבט זאב טסמני או קואגה, השבוע של מינים שנכחדו מהטבע לאחרינה היא תמיד שאלה גדולה.

"אני יכול לראות בעיני רוחי פארק ממותות שיקום כאטרקציה תיירותית, ואנשים יבואו לשם כדי לראות ולצלם. כמדען, מסקין אותי לראות אם דבר כזה מצליח. זה יהיה ללא ספק הישג מרעי אריז, שילמד שהתגברנו על הרבה קשיים ושהעבודה שלנו התקדמה בצורה משמעותית. וכשזה יקרה, אתיקנים יצטרכו לדון בשאלות קשות עוד יותר, כמו האם להשיב לתחייה את הניאנדרטלים והדניסובים. אישית קשה לי להאמין שדעיון כזה יעבור סף ועדה כלשהו".

"עוף דודו חי ייתן מסר שגוי לחברה ולפוליטיקאים: אנתנו יכולים להרוס כל מה שנרצח, ומרענים ימצאו דרך לתקן את זה", כתב במאמר דעה הפרופסור הבריטי רוברט יאנג, שעוסק בשיתוף חיי הבר. "במינים חיים אנתנו צריכים לקחת אחריות על מה שעוללנו לכדור הארץ, ולא לתלות את עתידנו בעיניים עצומות במדענים שיתקנו את הטעות שלנו. אנתנו צריכים לחיות עם הטעות. שלנו וללמד מהן. בדיוק מהסיבה הוה, אני לא מייחל להשתבם של מינים נכחדים". ■

לתגובות: dyokan@makorishon.co.il