

## מה הדנ"א שלנו יכול לומר לנו על ההיסטוריה של האנושות

Leo Speidel<sup>1\*</sup>, Clare Bycroft<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>המחלקה לסטטיסטיקה, אוניברסיטת אוקספורד, אוקספורד, בריטניה  
<sup>2</sup>נגנומיקס plc, אוקספורד, בריטניה

### סוקרות צעירות

ANNA-MARIE

גיל: 15



MARIANA

גיל: 15



ZARA

גיל: 14



### דנ"א (DNA)

מולקולה שמאחסנת את ההוראות לאופן שבו הגוף שלנו עובד. היא מועברת מהורים לילדיהם, ולעיתים עוברת מוטציות שגורמות לשינויים קטנים בדנ"א של אנשים שחיים היום. שמה המלא הוא חומצה דאוקסיריבונוקלאית.

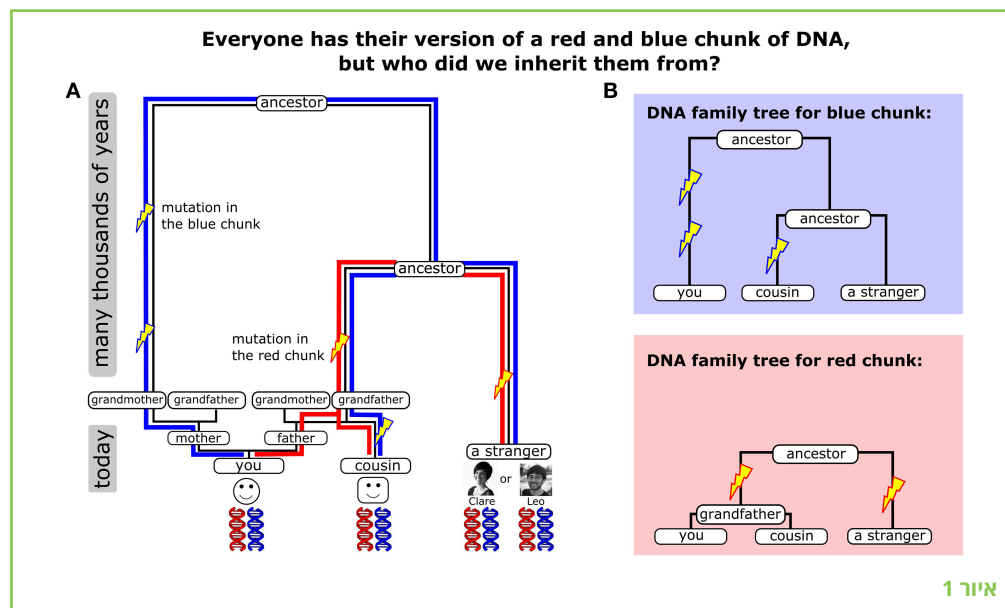
כמעט כל תא בגופנו מכיל דנ"א. דנ"א הוא מולקולה שמאחסנת את ההוראות לאופן שבו הגוף שלנו עובד, והיא מועברת מההורים לילדיהם. במאמר הזה נראה כיצד דנ"א יכול לשמש כמכונת זמן שלוקחת אותנו אלפי שנים אחורה, וחושפת סיפורים על האבות הקדמונים שלנו. לדוגמה, אנו יכולים לגלות פרטים על ההיסטוריה הקדומה של האנושות, ולהגיד היכן האבות הקדמונים שלנו כל הנראה חיו, ועם מי. דנ"א גם יכול לספר לנו על ההיסטוריה הקרובה של מדינה, ולחשוף את הסיפורים של איך אנשים רגילים חיו או זזו במרחב.

### הקדמה

הדנ"א שלנו הוא כמו יומן ארוך של היסטוריה אנושית, שמועבר הלאה מדור לדור. היומן הזה מכיל הרבה סיפורים מרתקים של האבות הקדומים שלנו, כשכל דור מוסיף את התרומה הקטנה שלו. באמצעות מתמטיקה, סטטיסטיקה ומחשבים, מדענים יכולים לחשוף את הסיפורים האלה ולהבין פיסות שונות בדנ"א שלנו. אלה יכולים להיות סיפורים על האבות הקדמונים של ההומו ספייאנס שחיו לפני מאות אלפי שנים, או שהם יכולים להיות על האבות הקדמונים שלנו במשך אלפי השנים האחרונות.

**איור 1**

**(A)** אנו מראים שתי פיסות דנ"א שונות באדום ובכחול, וכיצד הן הועברו מהאבות הקדמונים שלנו. כאשר הן מועברות מדור אחד לדור הבא, לעיתים הן עוברות מוטציות, ולכן ישנם הבדלים קטנים בין הפיסות שעברו בתורשה בקרב אנשים שחיים היום. **(B)** עצי משפחה גנטיים שונים עבור פיסות אדומות על וכחולות, שיכולים להיראות על ידי איתור ממי כל פיסה עברה בתורשה מ-**(A)**. מדענים יכולים לשחזר את העצים האלה באמצעות הרעיון שפיסות עם פחות הבדלים קרובות יותר זו לזו מאשר פיסות עם יותר הבדלים.



איור 1

**הומו ספיאנס (Homo Sapiens)**

השם של מין האדם היחיד שנותר, שאליו אנו שייכים.

**מולקולות (Molecules)**

אלה אבני בניין כימיות של גופנו, ושל הרבה מעולם החי. הן מורכבות מהרבה חלקיקים זעירים שנקראים אטומים, שנבדקים יחד חזק מאוד.

**קווי תורשה (Ancestral Lines)**

קווי תורשה מתארים מאלו אבות קדמונים ירשנו את הדנ"א שלנו (לדוגמה, דרך אימא - סבא - סבתא רבה, וכן הלאה). אנו יורשים הרבה פיסות דנ"א, שכל אחת מהן יוצרת קו תורשתי אחר. באופן מעניין, רק חלק קטן מהאבות הקדמונים שלנו העבירו את הדנ"א אליכם, במקרה. הסיבה לכך היא שהורה יכול להעביר רק מחצית מהדנ"א שלו לכל ילד, ולכן במשך הרבה דורות של חציה חציה, ועוד חציה, בסופו של דבר לא כל הצאצאים שלהם יקבלו פיסה מהדנ"א שלהם.

**עץ דנ"א משפחתי (DNA Family Tree)**

מתאר את האופן שבו קווי תורשה של אנשים שונים נפגשים בעבר, ויכול לומר לנו כיצד אנו קרובים זה לזה על פני אלפי שנים.

בואו נתחיל במקום שממנו **מולקולות** הדנ"א שלנו מגיעות. כל אחד מאיתנו ירש שילוב ייחודי של דנ"א מההורים שלנו. זו הסיבה לכך שאנו נראים שונים מהאחים שלנו, חוץ מאשר במקרה של תאומים זהים, שהדנ"א שלהם זהה. כל פיסת דנ"א יכולה להיות מאותרת לאחד מארבעת הסבים שלנו, ומאחר שלכולם היו אבות קדומים שונים בעצמם, כל פיסת דנ"א מספרת חלק מעט שונה מהסיפור של העבר.

פיסות דנ"א הועברו הלאה דרך האבות הקדמונים שלנו במשך אלפי שנים. בואו נדמיין שאנו מסתכלים אחורה בזמן כדי לאתר את **קווי התורשה** עבור כל פיסה (קווים אדומים וכחולים באיור 1A). כאשר שני אנשים חולקים אב קדמון, קווי התורשה שלהם נפגשים. עבור אנשים שקשורים זה לזה באופן קרוב (כמו בני דודים), קווי התורשה האלה יכולים להיפגש בזמן קרוב מאוד, אולם עבור אנשים שאינם קרובים, קווי התורשה יכולים להיפגש בזמן הרבה יותר רחוק בעבר. קווי תורשה יוצרים **עץ דנ"א משפחתי** ומראים כיצד אנשים קשורים זה לזה. כל פיסת דנ"א מוֹרֶשֶׁת דרך אבות קדמונים אחרים, ולכן עץ הדנ"א המשפחתי יכול להיות שונה עבור פיסות שונות (איור 1B). אותם שני אנשים יכולים להיות קרובים בחלק מעצי הדנ"א המשפחתי ורחוקים באחרים. למעשה, עבור חלק מהפיסות, האב הקדמון הגנטי הקרוב ביותר שלכם ושל בני הדודים שלכם יכול להגיע מיליוני שנים אחורה, ואפילו לתחילת עידן הקופים דמויי-אדם.

מדענים פענחו דרכים לבנות את עצי הדנ"א המשפחתיים על ידי התבוננות בהבדלים קטנים בדנ"א בין אנשים שחיים היום [1, 2]. באופן טיפוסי, ככל ששני אנשים חולקים אבות קדמונים יותר, כך ההבדלים הגנטיים בין שני האנשים האלה יהיו גדולים יותר.

במאמר הזה נספר לכם שלושה סיפורים שמכילים את עצי הדנ"א המשפחתיים האלה. הסיפור הראשון הוא על האופן שבו אנו חושפים את העבר הרחוק, כולל מתי האבות הקדמונים שלנו התיישבו באזורים שונים בעולם. הסיפור השני מתבונן בהיסטוריה הקרובה שלנו, ומה שאנו יכולים ללמוד מהדנ"א של אנשים שחיים היום באותה המדינה. הסיפור השלישי הוא על האופן שבו קבוצות אנשים נעו והתמזגו, וכיצד כולנו למעשה תערובת של אוכלוסיות קדומות רבות.

## חשיפת העבר הרחוק דרך עצי דנ"א משפחתיים

רישומים כתובים נעים אחורה רק כמה אלפי שנים. הם לא יכולים לספר סיפורים קדומים מאוד, אולם באופן מדהים הדנ"א שלנו יכול. כדי להבין כיצד מדענים קוראים את הסיפורים מהדנ"א, בואו נחשוב עליכם ועל חבר שלכם. אם אתם והחבר נמצאים בחדר קטן עם עוד כמה אנשים, אתם תמצאו את חברכם בקלות. אם אתם נמצאים בחדר גדול יותר עם מאות רבות של אנשים, עשוי להיות הרבה יותר קשה למצוא את חברכם. אנו יכולים לחשוב על האבות הקדמונים שלנו באמצעות היגיון דומה. בכל זמן בעבר שלנו, אם היו רק מעט אנשים שחיו, או אם האבות הקדמונים שלכם חיו באותו אזור גיאוגרפי, אז הסיכוי שאתם חולקים אב קדמון עם חברכם באותו הזמן בעבר הוא גדול. מצד שני, אם מספר בני האדם שחיו באותו הזמן היה גדול, או אם האבות הקדמונים שלכם חיו רחוק זה מזה, הסיכוי של חלוקת אב קדמון באותו הזמן יהיה קטן.

התדירות שבה אתם וחברכם חולקים אב קדמון בזמנים שונים בעץ הדנ"א המשפחתי יכולה להגיד לכם אם האבות הקדמונים שלכם חיו זה ליד זה, כיצד הם זזו, וכמה בני אדם אחרים אכלסו את העולם באותה התקופה.

כיום, כמעט שמונה מיליארד בני אדם חיים על כדור הארץ, ומפוזרים בכל רחבי היבשות. עד יחסית לאחרונה, בני אדם היו מין הרבה יותר נדיר, ולפני 200,000 שנים בני אדם חיו בעיקר ביבשת אפריקה. עצי דנ"א משפחתיים מצביעים על כך שמספר קטן יחסית של אנשים היגרו מחוץ לאפריקה והתיישבו במקומות אחרים בעולם. באותו הזמן, חלק מהקרובים הרחוקים שלנו, שהמפורסמים ביותר מביניהם הם ה**ניאנדרתלים**, כבר חיו באירופה ובאסיה. במשך זמן רב, לא ידענו כיצד אנשים ניאנדרתלים היו קשורים אלינו. רק כאשר מדענים השוו את הדנ"א שלהם עם שלנו, והשתמשו ברעיון של עצי דנ"א משפחתיים, הם גילו שבני אדם שהיגרו מחוץ לאפריקה התערבבו עם ניאנדרתלים [3].

## היסטוריה של אומה כתובה בדנ"א

הדנ"א שלנו גם יכול לספר לנו על העבר הקרוב יותר. אם נתמקד בפיסות האחרונות של עצי הדנ"א המשפחתיים שלנו, אנו יכולים ללמוד על ההיסטוריה של האבות הקדמונים שלנו – מתי, היכן ועם מי אנשים רגילים חיו וזזו במרחב. כאשר אנשים שחיים באזור ממוקד מולידים ילדים במשך דורות רבים, הצאצאים שלהם יחלקו אבות קדמונים בעבר הקרוב יותר מאשר אנשים ממקומות אחרים. זה מופיע כהבדלים קטנים באופן שבו פיסות הדנ"א נחלקות בין אנשים שהאבות הקדמונים שלהם חיו במקומות שונים.

ידענו במשך זמן מה שהבדלים אזוריים כאלה הגיעו בסקאלה עולמית במשך הרבה מאות דורות (אלפי שנים רבות). לדוגמה, שני אנשי האן סיניים נוטים להיות עם דנ"א דומה יותר מאשר איש האן סיני ואדם אירי, מאחר שבסך הכול קווי התורשה של אנשי ההאן הסיניים נוטים להתמזג בזמן קרוב יותר מאשר עם אדם בריטי בעצי הדנ"א המשפחתיים. אתם עשויים לתהות אם ההבדלים האזוריים האלה מתרחשים בסקאלה הרבה יותר קטנה, כמו למשל בתוך מדינות. הדנ"א בקרב קבוצת אנשים שחולקים הרבה אבות קדומים נוטה להיות דומה ביותר: לדוגמה, אם אב קדמון משותף חי בסביבות הזמן של **ג'ינגיס חאן** (לפני כ-800 שנים), אנו מצפים לפחות ממיליון מיקומי דנ"א להיות שונים!

### ניאנדרתל

#### (Neanderthal)

קרוב משפחה רחוק של הומו ספייאנס, שחי ברחבי אירופה ואסיה הרבה לפני הומו ספייאנס. כאשר הומו ספייאנס התחילו לאכלס את אירופה ואסיה (כשהיגרו מאפריקה), הם התערבבו עם ניאנדרתלים, כך שמרבית האנשים עם שושלת לא אפריקאית נושאים כמויות קטנות של דנ"א ניאנדרתלי. ניאנדרתלים נכחדו לפני כ-40,000 שנים.

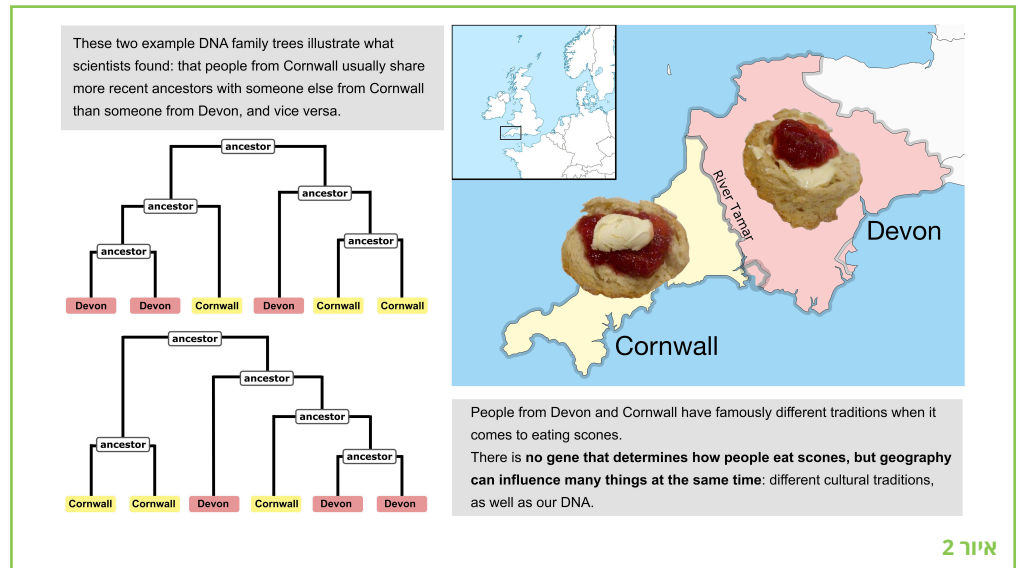
### ג'ינגיס חאן

#### (Genghis Khan)

מנהיג צבאי שכבש ושלת באזור גדול בעולם שידוע כ"אימפריה המונגולית". האימפריה התחילה בסביבות שנות 1200 אחרי הספירה, והתקיימה במשך 200 שנים. בחלק מהזמן היא כיסתה אזור גדול שהגיע פחות או יותר מאזורים במזרח אירופה ועד לחלקים המזרחיים ביותר בסין.

**איור 2**

מדענים מצאו הבדלים קטנים בדנ"א אפילו בקרב אנשים מאזורים קרובים, כמו למשל דבון וקורנוול באנגליה.



כאשר מדענים הסתכלו על דנ"א של אנשים שחיים באיים הבריטיים היום [4], הם מצאו הבדלים בדנ"א בין קבוצות אנשים שחיו במרחקים קרובים. הם יכולים לראות, לדוגמה, את קו הגבול בין קורנוול לבין דבון (שני אזורים באנגליה) מאחר שאפשר להבחין בין הדנ"א של אנשים שהסבים שלהם נולדו בכל אזור. משמעות הדבר היא שהאבות הקדמונים של אנשים בדבון נטו להוליד ילדים עם אנשים אחרים מדבון, יותר מאשר עם אנשים מקורניש, ממש מעבר לנהר תמר (איור 2). ישנם אזורים רבים אחרים שמפגינים בידוד יחסי, כמו למשל צפון ודרום וויילס, מערב יורקשייר, ומקומות מבודדים גיאוגרפית, כמו למשל איי אורקני. באופן מעניין, התבניות האלה משקפות אירועים מסוימים בהיסטוריה, כמו למשל אזורים של התיישבויות שונות של בריטים וסאקסונים בסביבות 600 אחרי הספירה. אנו יודעים שהבדלים אזוריים קטנים כמו אלה אינם ייחודיים לבריטניה, מאחר שנמצאו הרבה אזורים כאלה במקומות רבים אחרים בעולם, כמו למשל ביפן, באירלנד, באיטליה, בפינלנד וביפן, שכל אחד מספר סיפור ייחודי.

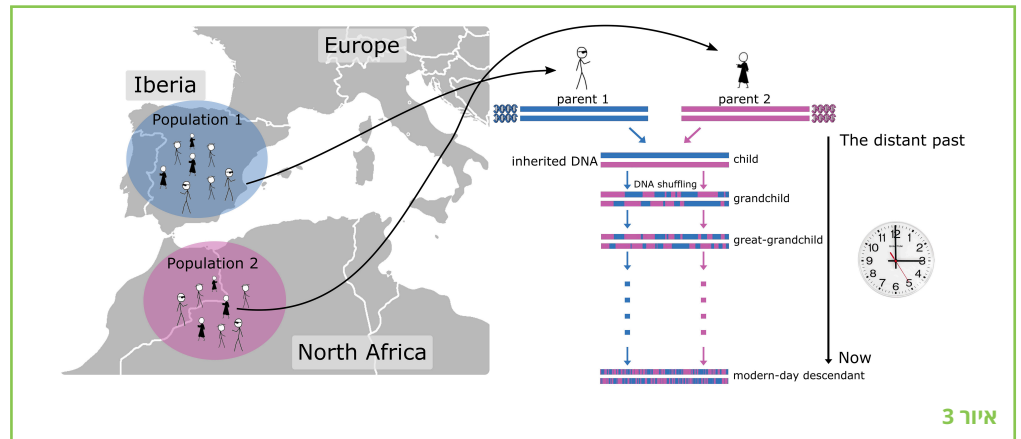
**קנקן ההמסה של ההגירה האנושית**

על ידי התבוננות בדנ"א אנו יודעים שמאפיינים גיאוגרפיים, כמו למשל ימים או הרים, יכולים להוות מחסומים לאנשים שנפגשים להוליד ילדים יחד - אולם, לא תמיד. ישנן דוגמאות רבות בהיסטוריה האנושית של קבוצות של אנשים שזזו, לעיתים לרחוב אוקיינוס גדול והרים ענקיים, והולידו ילדים עם אנשים אחרים שהם פגשו. אנו יכולים לראות זאת בדנ"א של אנשים שחיים היום.

דוגמה אחת ברורה לכך היא באיבריה (שנכללת בספרד של היום). אנו יודעים מההיסטוריה שהייתה הגירה גדולה של אנשים מצפון אפריקה לאיבריה במהלך הזמן של האימפריה המוסלמית (בסביבות 700 עד 1200 לספירה). כאשר מדענים השוו את הדנ"א של אנשים ספרדים היום עם הדנ"א של אנשים ממקומות אחרים באירופה ובצפון אפריקה, הם יכלו לראות שמהגרים מצפון אפריקה ככל הנראה הולידו ילדים עם המקומיים [5]. הסיבה לכך היא שעבור חלק מפיסות הדנ"א, קווי התורשה של אדם ספרדי מתמזגים בעתיד הקרוב יותר עם אדם

**איור 3**

דנ"א יכול לשמש כמו שעון כדי להבין מתי שתי אוכלוסיות מתחברות. לדוגמה, אם קבוצת אנשים מאיבריה וקבוצת אנשים מצפון אפריקה הולידה ילדים יחד, הדנ"א של הצאצאים שלהן היו נראים כמו פסיפס של חתיכות משתי הקבוצות הקדמוניות. באמצעות שימוש בדנ"א מהרבה אנשים היום, מדענים יכולים להבין אלה פיסות ככל הנראה עברו בתורשה מקבוצות קדמוניות שונות, וגודל הפיסות אומר להם מתי ככל הנראה התרחש הערבוב הראשון בין האוכלוסיות.



מודרני מצפון אפריקה (בדרך כלל מצפון מרוקו), אולם פיסות אחרות מתמזגות קודם כל עם אדם מאירופה (בדרך כלל מצרפת).

הדנ"א של אנשים מודרניים יכול גם לומר לנו מתי ככל הנראה התרחשו התערבבויות של אוכלוסיות אנושיות היסטוריות. במשך דורות רבים, פיסות הדנ"א שעברו בתורשה מכל אחד מהאבות הקדמונים המקוריים, מתערבבות בין הצאצאים לפיסות קטנות יותר ויותר. אנו יכולים להשתמש בערבוב הזה כמו שעון גנטי, כדי לספור כמה דורות עברו מאז הערבוב המקורי [6] (איור 3). במקרה של איבריה, דנ"א גילה שמרבית הערבוב התרחש כנראה בין השנים 860-1120 אחרי הספירה, והתחיל כמה דורות אחרי ההגירה המקורית מצפון אפריקה [5].

**מסקנות**

הדנ"א שלנו מכיל סיפורים מהעבר הקדום, הרבה לפני שהיו רישומים כתובים. הסיפורים האלה מוסיפים לממצאים ארכיאולוגיים על ידי כך שהם מגלים לנו דברים כמו כמה אנשים ככל הנראה חיו בעבר הרחוק, ומתי קבוצות אנשים שונות ככל הנראה באו במגע זו עם זו. דנ"א גם יכול להוסיף ממד אחר לספרי ההיסטוריה שלנו, על ידי כך שהוא מספר לנו על אירועים שעיצבו את החיים של אנשים רגילים, ולא רק אירועים שקרו לאנשים השליטים.

למידה על ההיסטוריה המשותפת שלנו היא מעניינת בפני עצמה, אולם חקירת הבדלים קטנים בדנ"א (והמקורות שלהם) בין אנשים היא מהותית גם להבנת בריאות אנושית. מדענים עסוקים בחקירת דנ"א במטרה להבין טוב יותר את התהליכים ששומרים עלינו בריאים או שגורמים לנו לחלות, וכדי לנלות טיפולים חדשים שיאפשרו לנו להרגיש טוב יותר [7]. על ידי פענוח הקוד הגנטי של אנשים שחיים היום – עם סיוע של מתמטיקה, סטטיסטיקה ומחשבים – אנו יכולים גם לחשוף את ההיסטוריה של העבר שלנו, וגם לשפר את בריאותנו בעתיד.

**תודות**

LS ו-CB רוצים להודות למייגן (ולסיימון) מייארס על משוב מועיל ביותר. LS מודה ל-Wellcome Trust על המימון.

## מקורות

1. Speidel, L., Forest, M., Shi, S., and Myers, S. R. 2019. A method for genome-wide genealogy estimation for thousands of samples. *Nat. Genet.* 51:1321–9. doi: 10.1038/s41588-019-0484-x
2. Kelleher, J., Wong, Y., Wohns, A. W., Fadil, C., Albers, P. K., and McVean, G. 2019. Inferring whole-genome histories in large population datasets. *Nat. Genet.* 51: 1330–8. doi: 10.1038/s41588-019-0483-y
3. Ottenburghs, J. 2019. Why do some humans have neanderthal DNA? *Front. Young Minds* 7:104. doi: 10.3389/frym.2019.00104
4. Leslie, S., Winney, B., Hellenthal, G., Davison, D., Boumertit, A., Day, T., et al. 2015. The fine-scale genetic structure of the British population. *Nature* 519:309–14. doi: 10.1038/nature14230
5. Bycroft, C., Fernandez-Rozadilla, C., Ruiz-Ponte, C., Quintela, I., Carracedo, Á., Donnelly, P., et al. 2019. Patterns of genetic differentiation and the footprints of historical migrations in the Iberian Peninsula. *Nat. Commun.* 10:551. doi: 10.1038/s41467-018-08272-w
6. Hellenthal, G., Busby, G. B. J., Band, G., Wilson, J. F., Capelli, C., Falush, D., et al. 2014. A genetic atlas of human admixture history. *Science* 343:747–51. doi: 10.1126/science.1243518
7. Bycroft, C., Freeman, C., Petkova, D., Band, G., Elliott, L. T., Sharp, K., et al. 2018. The UK Biobank resource with deep phenotyping and genomic data. *Nature* 562:203–9. doi: 10.1038/s41586-018-0579-z

פורסם אונליין: 10 ביוני 2022

נערך על ידי: Vishal Shah

מנחות מדעיות: Alejandra Hernandez-Santana and Irina Moshkova

**ציטוט:** Speidel L and Bycroft C (2022) מה הדנ"א שלנו יכול לומר לנו על ההיסטוריה של האנושות. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00106-he

**תורגם והותאם:** Speidel L and Bycroft C (2020) What Our DNA Can Tell Us About the History of Humans. *Front. Young Minds* 8:106. doi: 10.3389/frym.2020.00106

**הצהרת ניגוד אינטרסים:** המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

**COPYRIGHT** © 2020 © Speidel and Bycroft 2022. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

## סוקרות צעירות

### ANNA-MARIE, גיל: 15

המקצוע האהוב עליי הוא ביולוגיה, כמו ביוניקה. בעתיד אני רוצה לעבוד על חומרים חדשים ומצעים חדשים. אני גם סקרנית לגבי התעלומות של היקום, יש כל כך הרבה מה לגלות.



### MARIANA, גיל: 15

היי! קוראים לי Mariana ואני בת 15. אני אוהבת לקרוא ספרים, לבלות זמן עם חיות ולשחות. עבורי, כל יום מביא עימו הזמדות ללמוד משהו חדש ולהיות שמחה.



### ZARA, גיל: 14

קוראים לי Zara ואני בת 14. בזמני הפנוי אני אוהבת לקרוא, לעזור לקהילה שלי ולשחק כדורעף. אני חושבת שחשוב לעבוד קשה כדי להגשים את חלומותינו, ולהיות אנשים טובים יותר בכל יום.



## הכותבים

### LEO SPEIDEL

למדתי מתמטיקה באוניברסיטאות במדינות הבית שלי, גרמניה ויפן. בהיותי צאצא של שושלת מעורבת, תמיד התעניינתי מהיכן אנו מגיעים וכיצד אנו קשורים זה לזה. כשגיליתי שמתמטיקה יכולה לשמש לגילוי העבר שלנו, החלטתי שזה מה שאני רוצה לעשות. כיום אני חוקר באוניברסיטת אוקספורד, שם אני משתמש במתמטיקה ובסטטיסטיקה כדי לחקור גנטיקה. \*speidel@stats.ox.ac.uk



### CLARE BYCROFT

תמיד אהבתי פאזלים ולוגיקה, ולכן חקרתי מתמטיקה באוניברסיטה במדינת הבית שלי, ניו-זילנד. מתברר שמתמטיקה יכולה להיות שימושית מאוד לחקר דנ"א – מערך הוראות ההפעלה של הטבע עבור החיים. באוניברסיטת אוקספורד (בריטניה), השתמשתי בדנ"א במטרה לחקור את היסטוריית האוכלוסיה של ספרד. סייעתי גם לאצור מאגר נתונים מחקרי גדול, "UK Biobank", שהרבה מדענים כמוני משתמשים בו כיום כדי לגלות אלו פיסות מהדנ"א שלנו הכי חשובות לבריאות ולמחלות אנושיות. \*bycroftc@gmail.com



מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים  
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس  
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל  
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK