

## כיצד העיור הפחית את המגוון הגנטי של זאבי ערבות

Anthony Adducci II\*, Javier Monzón

המחלקה למדעי הטבע, אוניברסיטת פֶּרְדִּין, מליבו, קליפורניה, ארצות הברית

### סוקרים צעירים

MATÍAS

גיל: 15



SEBASTIAN

גיל: 11



### אקולוגיה (Ecology)

מחקר מדעי של האופן שבו אורגניזמים משפיעים ומושפעים מסביבותיהם, לרבות כיצד הם משתמשים במשאבים, כמו למשל מזון או מקלט, וכיצד הם מתנהגים.

ערי העולם גדלות בקצב מהיר מאוד, ומשתלטות על אדמות טבעיות שמאוכלסות על ידי מגוון רחב של בעלי חיים. ישנה חשיבות רבה לניטור ההשפעות של התרחבות זו על בעלי חיים בתוך ובסביבת הערים שלנו. זאבי ערבות הם מין מושלם לחקירת ההשפעות של עיור על חיי פרא, מאחר שהם נמצאים הן בסביבות עירוניות הן בסביבות טבעיות. במחקרנו בחנו כיצד עיור משפיע על זאבי ערבות ברחבי אזור לוס אנג'לס בארצות הברית, וגילינו כי ההשפעה היא על המקום שבו קבוצות שונות של זאבי ערבות בוחרות לחיות, וכן בהפחתת המגוון הגנטי של בעל חיים זה. מסקנתנו היא כי זאב הערבות, מין שבעבר נחשב כעמיד להפרעות אנושיות, מושפע על ידי עיור. מאחר שמגוון גנטי נמוך מפחית את היכולת להתמודד עם מחלות ועם איומים אחרים, עלינו לדאוג לרווחתם של זאבי ערבות.

### ערים משפיעות על מינים

פעילויות אנושיות יכולות להשפיע על שני היבטים חשובים של כל המינים על כדור הארץ: האקולוגיה שלהם והאבולוציה שלהם. **אקולוגיה** מתארת כיצד אורגניזם מקיים אינטראקציה

### אבולוציה (Evolution)

תהליך שבו מין או אוכלוסייה משתנים במהלך הזמן כתוצאה משינויים במידע הגנטי שמאוחסן בדנ"א, ומועבר הלאה מדור לדור.

### עיור (Urbanization)

תהליך שבו בני אדם משנים נופים טבעיים לסביבות עירוניות, על ידי פינוי האדמה לבניית כבישים, בניינים וערים.

עם סביבתו, לרבות האופן שבו מין מסוים משתמש במשאבים שונים כמו למשל מזון, מים, או מחסה, ואפילו כיצד הוא מתנהג במצבים שונים. **אבולוציה** מתארת כיצד מין משתנה עם הזמן. התהליכים שגורמים לאבולוציה בפועל הם השינויים הקטנים במידע הגנטי של המין, אשר מאוחסן בדנ"א שלו. אם שינויים גנטיים כלשהם מאפשרים לאורגניזם לשרוד טוב יותר, אותו האורגניזם ככל הנראה יעמיד יותר צאצאים ויעביר אליהם את השינוי הגנטי. לאורך הזמן, מגוון שינויים קטנים כאלה מצטברים ויכולים לגרום להופעתו של מין חדש לגמרי.

פעילות אנושית שמשפיעה מאוד על אקולוגיה ואבולוציה של בעלי חיים היא עיור [1–3]. **עיור** הופך אזורים טבעיים לערים. ערים משנות את תבניות התנועה של בעלי חיים ושל מזונות ומשאבים שזמינים עבורם. עיור גם יכול להשפיע על אבולוציה של בעלי חיים על ידי פירוק אוכלוסייה גדולה להרבה אוכלוסיות קטנות יותר. עם הזמן, אוכלוסיות קטנות אלה יכולות לצבור שינויים בדנ"א שלהן ולפתח התנהגויות חדשות, כמו למשל העדפות מקור מזון מסוים או סוג סביבה מסוים.

קל יחסית לשער כיצד עיור ישפיע על מינים שאינם מסתדרים טוב בערים, כמו למשל אריות, טיגריסים, או דובים. אך האם אתם חושבים שעיור משפיע על מינים אחרים שאנו רואים לעיתים קרובות בערים, כמו למשל יונים, חולדות, או זאבי ערבות? זו השאלה שניסינו לענות עליה במחקרנו.

## סביבות המחיה של זאבי ערבות

זאבי ערבות, שנקראים בפי מדענים *Canis latrans*, הם חיות פרא ממשפחת הכלבים, ולעיתים קרובות הם טורפי-העל בערים רבות ברחבי צפון אמריקה (**איור 1A**) [4]. זאבי ערבות חיים גם בסביבות טבעיות רבות, כמו למשל ביערות, באדמות דשא, ואפילו באזורים הרריים. עקב כך, הם אחד המינים הבודדים שאנו יכולים לחקור במטרה להבין את ההשפעות של עיור על חיי פרא, מאחר שהם חיים הן בסביבות עירוניות הן בסביבות טבעיות.

מחקר קודם בקליפורניה, ארצות הברית, מצא שכאשר זאבי ערבות נעים ממקום למקום, הם מעדיפים סביבות מחיה כמו אלה שנולדו בהן. התופעה הזו נקראת **פיזור מוטה לבתי גידול בלידה** [5], והיא מתרחשת מאחר שההורים מלמדים את הגורים שלהם את כישורי ההישרדות בסביבת מחיה מסוימת, ולכן הגורים גדלים כשהם מעדיפים את אותה סביבת המחיה [6]. לדוגמה, זאבי ערבות שנולדו באדמת דשא יעדיפו לנוע לאדמת דשא אחרת ולהימנע מבילוי זמן רב ביערות, בעוד שזאבי ערבות שנולדו ביער יעדיפו לנוע ליער אחר ולהימנע מבילוי זמן רב באדמות דשא. רצינו לבדוק אם אותו הדפוס תָקָף גם לסביבות עירוניות מלאכותיות ולסביבות המחיה הטבעיות שמקיפות את העיר.

## כמה אוכלוסיות של זאבי ערבות ישנן באזור לוס אנג'לס?

ערכנו את המחקר שלנו בסביבת לוס אנג'לס, קליפורניה, מאחר שיש בה הן אזורים עירוניים והן אזורים טבעיים רבים, כאשר שני סוגי האזורים מהווים בתי גידול עבור זאבי ערבות. חקרנו אם דנ"א של זאבי ערבות באזורים עירוניים שונה מדנ"א של זאבי ערבות באזורים

### פיזור מוטה לבתי גידול בלידה (Natal habitat-biased dispersal)

נטייתו של חיה להעדיף סביבות מחיה שדומות לסביבה שבה היא נולדה, כשהיא נעה ממקום למקום.

**איור 1**

**פיזור של זאבי ערבות באזור לוס אנג'לס בארצות הברית.**  
 (A) זאב ערבות שחי באזור עירוני בלוס אנג'לס, קליפורניה. (B) מיקומים של 125 זאבי הערבות מהמחקר הזה. זאבי ערבות באוכלוסיות 1 (כחול), 2 (ירוק) ו-4 (צהוב) נמצאו בעיקר בסביבות עירוניות, בעוד שזאבי ערבות באוכלוסייה 3 (חום) נמצאו בעיקר באזורים הרריים. זאבי ערבות ממוצא מעורב (שחור) היו מעורבים עם אוכלוסיות אחרות. זאבי ערבות באזורים הרריים שחיים הרחק זה מזה, קרובים זה לזה במטען הגנטי יותר מאשר לזאבי ערבות סמוכים בעיר, ככל הנראה בשל פיזור מוטה לבתי גידול בלידה (Natal habitat-biased dispersal).



איור 1

טבעיים יותר. כדי לעשות זאת, ראשית אספנו דגימות של רקמות מ-125 זאבי ערבות ברחבי לוס אנג'לס. לדאבוננו, מרבית הדגימות הגיעו מזאבי ערבות שמתו בכבישים. ניתחנו את הדנ"א שאספנו תוך מדידת האורך של 10 אזורים מסוימים בדנ"א, שנקראים **סמנים גנטיים**, אשר לימדו אותנו כיצד 125 זאבי הערבות היו קשורים זה לזה. מצאנו כי זאבי ערבות עם שינויים דומים ב-10 סמני הדנ"א האלה היו קשורים יותר זה לזה. הגרסאות השונות של הסמנים הגנטיים (או של כל גן אחר) שמתקיימות במין מסוים נקראות **אללים**. חקירת ההבדלים בין האללים דומה לאופן שבו חוקרים בזירת פשע משתמשים בדנ"א במטרה למצוא את הפושעים, או לאופן שבו בית משפט משתמש בדנ"א כדי לקבוע מיהם הוריו של תינוק. ניתחנו את נתוני הדנ"א באמצעות תוכנת מחשב במטרה לקבוע כמה אוכלוסיות שונות גנטית של זאבי ערבות ישנן ברחבי לוס אנג'לס. סיווגנו את זאבי הערבות לאחת מארבע אוכלוסיות בהתבסס על הגנטיקה שלה, או לאוכלוסייה מעורבת אם הוריהם של זאבי הערבות הגיעו מאוכלוסיות שונות.

לאחר מכן, מיפינו את המיקומים שבהם כל זאבי הערבות נמצאו. מאחר שזאבי ערבות נעים הרבה, שרטטנו מעגל סביב כל מיקום במטרה להראות את אזור המחיה הממוצע של כל זאב ערבות. חישבנו את כמות האדמה הטבעית והעירונית בתוך האזורים המעגליים האלה באמצעות מפות לוויינים, כמו אלה שיש ב-Google Earth. זה אֶפְשָׁר לנו להשוות את הכמויות הממוצעות של סביבות מחיה עירוניות וטבעיות במתחמי הבית של זאבי ערבות

**סמן גנטי (Genetic marker)**

פיסה מסוימת של דנ"א אשר מדענים יכולים לאתרה לצורך השוואת וריאציות גנטיות בין פרטים מאותו המין.

**אלל (Allele)**

גרסה מסוימת של גן או סמן גנטי בדנ"א של אורגניזם. בדרך כלל, פרטים יורשים שני אללים עבור כל גן או סמן גנטי, אחד מהאימא ואחד מהאבא.

מאוכלוסיות שונות. עשינו זאת במטרה לקבוע אם האוכלוסיות שהיו שונות גנטית היו שונות גם מבחינת סביבות המחיה.

### מגוון גנטי (Genetic diversity)

הרמה הכוללת של מאפיינים גנטיים שונים בתוך אוכלוסייה, שהיא מדד לבריאות הגנטית של האוכלוסייה, ולעיתים קרובות נמדדת על ידי מספר האללים.

לבסוף, מדדנו את מידת השונות הגנטית בתוך כל אוכלוסייה. **מגוון גנטי** הוא הרמה הכוללת של מאפיינים גנטיים שונים בתוך אוכלוסייה. אוכלוסייה מגוונת יותר גנטית היא גם בריאה יותר, ויכולה להתגבר על שינויים פתאומיים בסביבה. חשוב לשים לב לכך שהבריאות של זאב ערבות בודד והבריאות של אוכלוסיות של זאבי ערבות הן קשורות, אך שונות: בריאות אינדיבידואלית מתארת את סבירות ההישרדות של זאב ערבות בודד, בעוד שבריאות של אוכלוסייה מתארת את הסבירות ארוכת-הטווח של הישרדותה של הקבוצה כולה. לדוגמה, דמיינו אוכלוסייה של זאבי ערבות שכולם חולקים את אותו האָלֶל בדיוק שמגן עליהם מפני וירוס. אם הווירוס ניסה להדביק את האוכלוסייה הזו, זאבי הערבות היו נותרים בריאים מאחר שכולם מוגנים. אבל, אם וירוס חדש ניסה להדביק את האוכלוסייה הזו, כל האוכלוסייה הייתה עלולה למות, מאחר שחסר להם האָלֶל שיכול להגן עליהם מפני האיום החדש. אולם, אם האוכלוסייה הייתה מגוונת גנטית, כשחלק מזאבי הערבות היו בעלי אָלֶל שמגן עליהם מפני הווירוס הראשון, ואחרים היו בעלי אָלֶל שמגן עליהם מפני הווירוס החדש, אז האוכלוסייה כמכלול הייתה מוכנה יותר לשרוד, ללא תלות בסוג הווירוס שהיה תוקף אותה. אנו מדדנו את המגוון הגנטי בתור כמות האָלֶלים במטרה לקבוע אם בריאות אוכלוסיות זאבי הערבות בסביבות עירוניות וטבעיות הייתה שונה. השערתנו הייתה כי לזאבי ערבות בסביבות עירוניות יהיה מגוון גנטי קטן יותר מזאבי ערבות באזורים טבעיים.

### ארבע אוכלוסיות מובחנות של זאבי ערבות

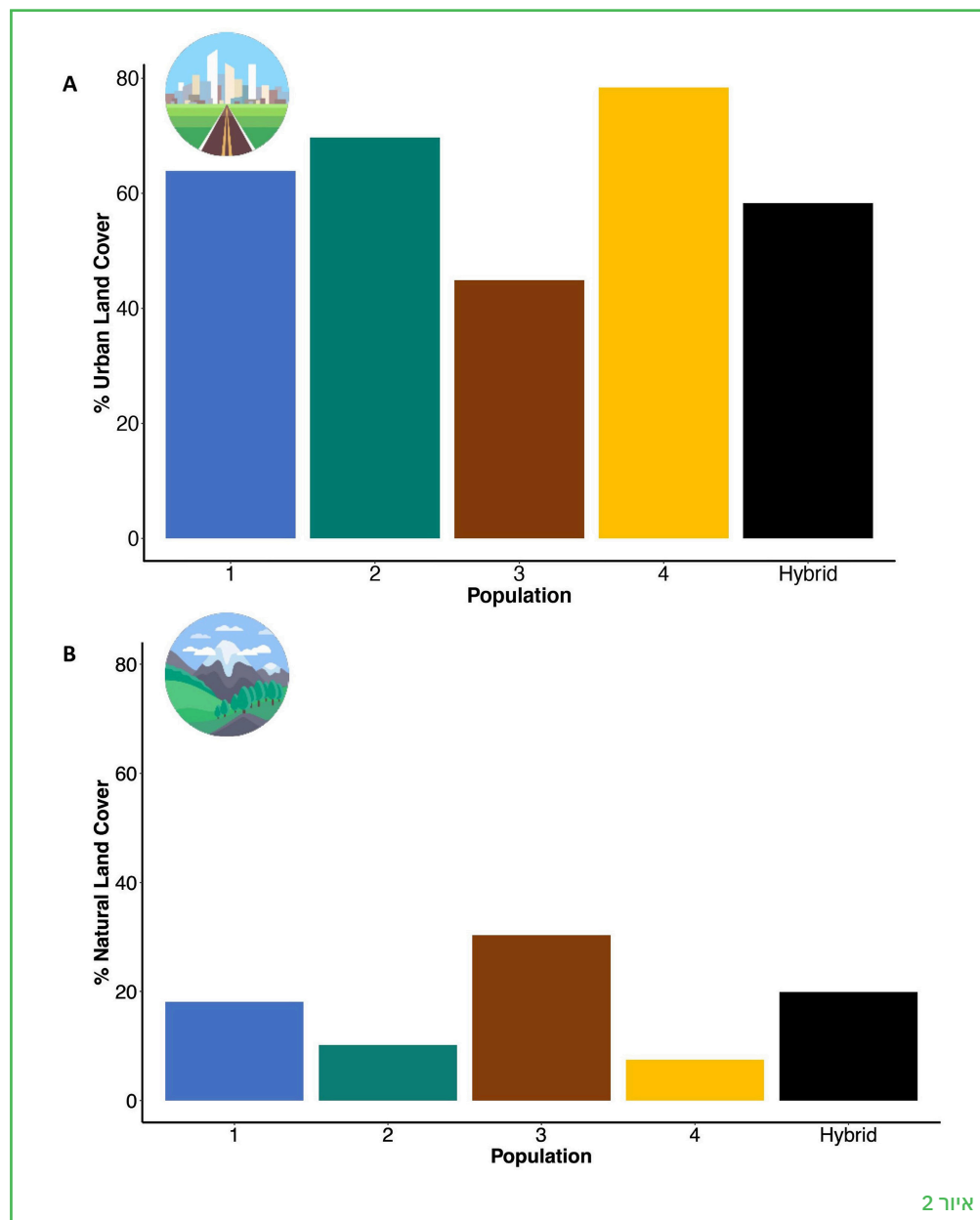
גילינו שניתן לחלק זאבי ערבות אשר חיים ברחבי לוס אנג'לס לארבע קבוצות שונות גנטית (איור 1B). שלוש מהאוכלוסיות האלה נמצאו בעיקר בסביבות מחיה עירוניות המתאפיינות בריבוי כבישים ובניינים. אוכלוסייה נוספת נמצאה בעיקר באזורים הרריים בפרוורי העיר. זאבי ערבות ממוצא מעורב נמצאו מפוזרים ברחבי האוכלוסיות האחרות. הממצא המפתיע ביותר היה כי זאבי ערבות שחיים באזורים הרריים ופחות עירוניים, הרחוקים זה מזה, קשורים יותר זה לזה מאשר לזאבי ערבות מאוכלוסיות אחרות, קרובות יותר גאוגרפית, שחיים בטריטוריה עירונית. העדפות של סביבות מחיה ופיזור מוטה לבתי גידול בלידה ככל הנראה גורמות לדפוס הגנטי הזה, מאחר שכאשר קבוצות של זאבי ערבות נעות למיקומים חדשים, הן בוחרות בסביבות מחיה מוכרות, שדומות לסביבות המחיה שבהן הם גדלו.

כאשר השווינו את הכמות הממוצעת של אדמה עירונית וטבעית בתוך אזורי המחיה המעגליים של זאבי ערבות בארבע האוכלוסיות, ושל זאבי הערבות ממוצא מעורב (איור 2) מצאנו שלאוכלוסייה אחת, אוכלוסייה 3, הייתה יותר אדמה טבעית ופחות אדמה עירונית באופן משמעותי, ביחס לכל האוכלוסיות האחרות. זאבי ערבות באוכלוסייה 3 גרו בטריטוריות שבהן, בממוצע, 30% היו סביבות טבעיות, בעוד שעבור אוכלוסיות אחרות אחוז הסביבה הטבעית נע בין 7% ל-18%. זה הוביל אותנו למסקנה שישנן שלוש אוכלוסיות "עירוניות" של זאבי ערבות בלוס אנג'לס, ואוכלוסייה "טבעית" אחת בהרים שמקיפים את לוס אנג'לס (אוכלוסייה 3).



**איור 2**

**המחשה גרפית של ממצאי מחקרנו.** הכמויות הממוצעות של אדמה (A) עירונית (Urban land cover) ו-(B) טבעית (Natural land cover) בתוך מתחמי הבית של כל אוכלוסיית זאבי ערבות מובחנת גנטית ושל זאבי הערבות ממוצא מעורב. לזאבי הערבות באוכלוסייה 3 הייתה פחות אדמה עירונית ויותר אדמה טבעית בתוך מתחמי הבית שלהם. הסקנו שאוכלוסיות 1, 2 ו-4 הן אוכלוסיות עירוניות, בעוד שאוכלוסייה 3 היא אוכלוסייה טבעית יותר.



איור 2

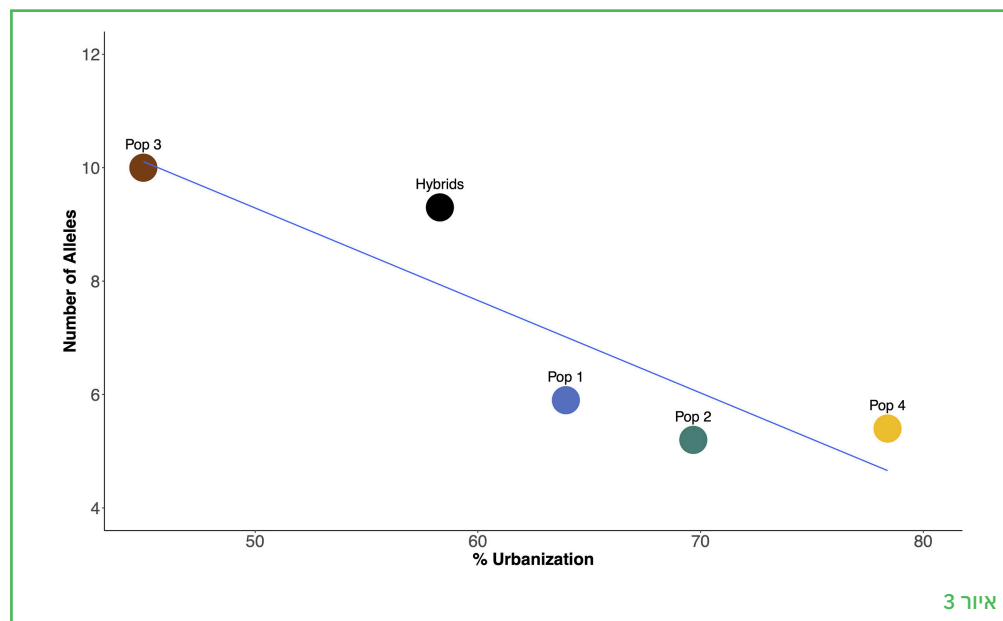
לבסוף, בחנו את המגוון הגנטי של אוכלוסיות זאבי הערבות באמצעות ניתוח מספר האַלֵּלים השונים עבור כל סמן גנטי (איור 3). לאוכלוסייה 3, האוכלוסייה הטבעית יותר, היה מגוון גדול יותר של אַלֵּלים, מה שמצביע על כך שאוכלוסייה זו הייתה מגוונת יותר גנטית מהאוכלוסיות העירוניות. מכך הסקנו כי כאשר עיור גִּדֵּל, המגוון הגנטי פוחת—ממצא בעל חשיבות מאחר שקודם לכן ציינו כי המגוון הגנטי הוא סממן לבריאות של אוכלוסייה.

**ערים גדולות אינן טובות עבור זאבי ערבות**

גילינו כי זאב הערבות, מין שבדרך כלל נחשב עמיד להפרעות אנושיות, מושפע באופן שלילי על ידי עיור. אוכלוסיות מובחנות גנטית של זאבי ערבות בלוס אנג'לס שונות בכמויות של אדמה עירונית בתוך מתחמי הבית שלהן. זה תומך ברעיון שפיזור מוטה לבתי גידול בלידה

**איור 3**

**כיצד עיור משפיע על בריאותן של אוכלוסיות זאבי הערבות?** מדדנו את המגוון הגנטי של אוכלוסיות זאבי ערבות על ידי ספירת מספר האללים (Number of Alleles) עבור כל אחד מהסמנים הגנטיים שבחרנו. תוכלו לראות את המגוון הגנטי של זאבי ערבות (ציר y) שירד ככל שאחוז הטריטוריה העירונית (%Urbanization) במתחמי הבית של זאבי הערבות (ציר x) עלה. מגוון גנטי הוא סממן לבריאות של האוכלוסייה: ככל שהמגוון הגנטי גדול יותר, האוכלוסייה בריאה יותר. המשמעות היא שעירור עלול לגרום לאוכלוסיות זאבי הערבות להיות פחות בריאות.



גורם להבדלים גנטיים, בהתבסס על העדפות של סביבות מחיה. יתרה מזו, אוכלוסיות של זאבי ערבות באזורים טבעיים הן מגוונות יותר – ולכן בריאות יותר – מאלה שחיות באזורים עירוניים. שינויים גנטיים גדולים במינים בדרך כלל מתרחשים לאט, במשך מאות או אלפי שנים. אולם, זאבי ערבות ברחבי לוס אנג'לס מראים שינויים גנטיים משמעותיים מאז שהעיר החלה להתרחב, לפני כמאה שנים בלבד. המשמעות היא כי ערים יכולות לשנות במהרה את ההרכב הגנטי של חיי פרא.

בעוד שמחקרנו התמקד בזאבי ערבות בלבד, אנו יכולים להשתמש במידע שרכשנו לגבי ההשפעות של עיור, לצורך הבנת ההשפעות שיש לבני אדם על מינים אחרים סביבנו. המחקר שלנו יכול לסייע ליצור תוכניות שימור להגנה על מיני פרא. לדוגמה, אנו צריכים להגן על אזורים טבעיים סביב לערים, במטרה לשמר אוכלוסיות בריאות של חיות פרא בעלות רמות גבוהות של מגוון גנטי. כמו כן ביכולתנו לבנות גשרים עיליים ותחתיים שיסייעו לחיות לנוע בין סביבות טבעיות שמופרדות על ידי כבישים, ובכך לעזור לחבר אוכלוסיות של חיות. חשוב לנטר את ההשפעה של ערים על חיי הפרא סביבנו, ולמצוא פתרונות יצירתיים לשימור המגוון הביולוגי בעולם עבור הדורות הבאים.

**הרומת המחקרים**

JM הגה את המחקר ועיצב אותו. AA ו-JM אספו את הדגימות, ערכו את עבודת המעבדה, ניתחו את הנתונים וכתבו את כתב היד.

**מאמר המקור**

Adducci, A., Jasperse, J., Riley, S., Brown, J., Honeycutt, R., and Monzón, J. 2020. Urban coyotes are genetically distinct from coyotes in natural habitats. *J. Urban Ecol.* 6:juaa010. doi: 10.1093/jue/juaa010

## מקורות

1. Johnson, M. T. J., and Munshi-South, J. 2017. Evolution of life in urban environments. *Science* 358:eaam8327. doi: 10.1126/science.aam8327
2. Thompson, K. A., Rieseberg, L. H., and Schluter, D. 2018. Speciation and the city. *Trends Ecol. Evol.* 33:815–26. doi: 10.1016/j.tree.2018.08.007
3. Rivkin, L. R., Santangelo, J. S., Alberti, M., Aronson, M. F., de Keyzer, C. W., Diamond, S. E., et al. 2019. A roadmap for urban evolutionary ecology. *Evol. Appl.* 12:384–98. doi: 10.1111/eva.12734
4. Nagy, C., Weckel, M., Monzón, J., Duncan, N., and Rosenthal, M. R. 2017. Initial colonization of Long Island, New York by the eastern coyote, *Canis latrans* (Carnivora, Canidae), including first record of breeding. *Check List* 13:901–7. doi: 10.15560/13.6.901
5. Sacks, B. N., Brown, S. K., and Ernest, H. B. 2004. Population structure of California coyotes corresponds to habitat-specific breaks and illuminates species history. *Mol. Ecol.* 13:1265–75. doi: 10.1111/j.1365-294X.2004.02110.x
6. Davis, J. M., and Stamps, J. A. 2004. The effect of natal experience on habitat preferences. *Trends Ecol. Evol.* 19:411–6. doi: 10.1016/j.tree.2004.04.006

פורסם אונליין: 05 במאי 2023

נערך על ידי: Nathan M. Good

מנחה מדעית: Luisa I. Falcon

ציטוט: Anthony II A and Monzón J (2023) כיצד העירור הפחית את המגוון הגנטי של זאבי ערבות. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2021.563171-he

תורגם והותאם מ: Adducci A II and Monzón J (2021) How a Big City Reduced the Genetic Diversity of Coyotes. *Front. Young Minds* 9:563171. doi: 10.3389/frym.2021.563171

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

**COPYRIGHT** © 2021 © Adducci II and Monzón 2023. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). 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.

## סוקרים צעירים

### MATÍAS, גיל: 15

אני אוהב לנגן מוזיקה, לעשות קסמים ואת תחום המדע – המקצוע האהוב עליי הוא פיזיקה.



### SEBASTIAN, גיל: 11

אני אוהב ספורט, קריאה, מתמטיקה, חיות ולבלות בחוץ!

## הכותבים

### ANTHONY ADDUCCI II

אנטוני הוא בוגר אוניברסיטת פפרדיין לשנת 2019, שם למד לתואר ראשון בביולוגיה ועבד במעבדת המחקר של דוקטור קֶבֶייר מונזון, תוך מיקוד בגנטיקה של זאבי ערבות. בשנה שחלפה הוא חקר גנטיקה של דובים חומים בסלובניה, כחלק ממלגת Fulbright Research היוקרתית שקיבל. אנטוני תמיד אהב חיות, והתעניין במדע מאז שהיה ילד. פרט למחקר, הוא נהנה לבלות זמן עם משפחתו וחבריו, לטייל ולבלות בחוץ. [anthony.adducci@fulbrightmail.org](mailto:anthony.adducci@fulbrightmail.org)\*

### JAVIER MONZÓN

קֶבֶייר הוא ביולוג של חיות פרא ופרופסור באוניברסיטת פפרדיין, שם הוא מלמד זואולוגיה, אקולוגיה, התנהגות של בעלי חיים וגנטיקה של שימור. יש לו תשוקה לחיות מאז שהוא זוכר את עצמו. כילד, הוא ערך רשימה הולכת וגדלה של כל החיות שהכיר! במסגרת עבודתו, ערך מחקר על כנריות, קופי קפוצ'ין, זאבי ערבות, עיטים וקרציות. המחקר הנוכחי שלו מתמקד באקולוגיה של חיות ש"חיות על הקצה", בהתנהגותן ובאבולוציה שלהן. הוא חוקר את ההבדלים הגנטיים שמופיעים בקרב אוכלוסיות של חיות שמתרחבות גיאוגרפית, או מתפשטות לאזורים עירוניים.



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