



כלי למדידת זנים נדירים ולשימור המגוון הביולוגי

Juan A. Balbuena^{1*}, Clara Monlleó-Borrull¹, Cristina Llopis-Belenguer^{2,3}, Isabel Blasco-Costa^{4,5},
Volodimir L. Sarabeev⁶ I Serge Morand^{7,8}

¹מכון Cavanilles למגוון ביולוגי ולביולוגיה אבולוציונית, אוניברסיטת ולנסיה, ולנסיה, ספרד

²המחלקה למדעי מערכות סביבתיות, המכון הטכנולוגי של ציריך, ציריך, שווייץ

³Eawag, המכון הפדרלי של שווייץ למדע ולטכנולוגיה ימיים, דבנדרף, שווייץ

⁴המחלקה לחסרי חוליות, המוזיאון להיסטוריה של הטבע בז'נבה, ז'נבה, שווייץ

⁵המחלקה לביולוגיה ארקטית ולביולוגיה ימית, האוניברסיטה הארקטית של נורבגיה, טרומסה, נורבגיה

⁶המחלקה לביולוגיה, האוניברסיטה הלאומית זפוריז'יה, זפוריז'יה, אוקראינה

⁷המכון למדעי האבולוציה, אוניברסיטת מונפלייה, מונפלייה, צרפת

⁸הפקולטה לטכנולוגיה וטרינרית, אוניברסיטת קסטסארט, בנגקוק, תאילנד

סוקרים צעירים

I. C. VAL
RENDENA

גיל: 14

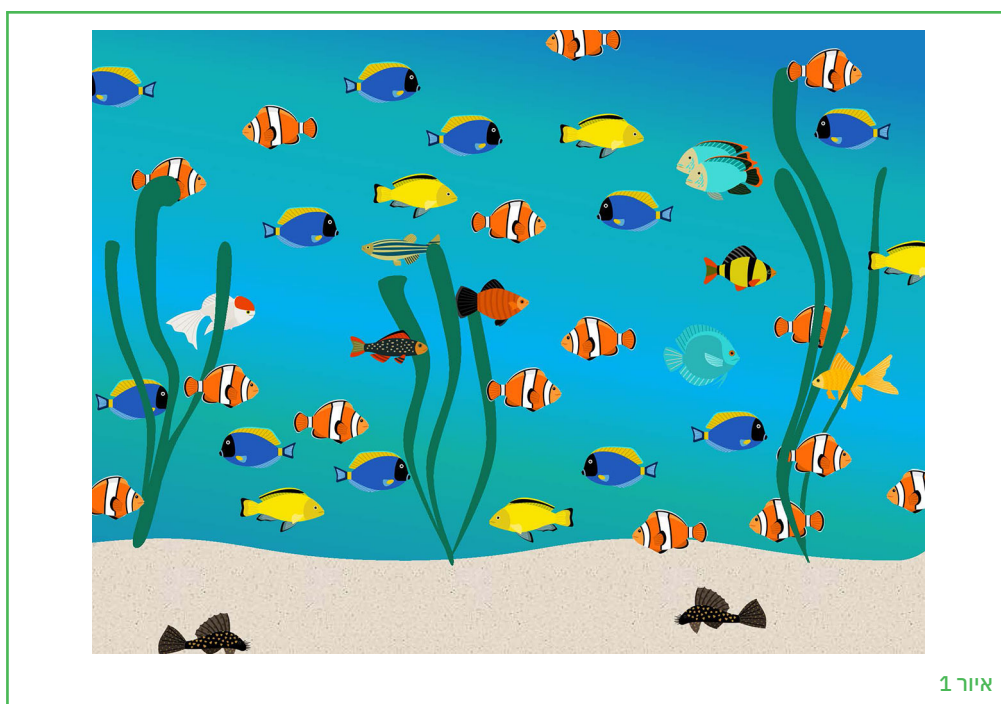


באופן מפתיע, רוב הזנים בכדור הארץ הם נדירים, כלומר, קיימים במספרים קטנים. לעומת זאת מספר מועט של זנים הם נפוצים, כלומר, מצויים בשפע, ותפוצתם רחבה. חשוב מאוד לערוך מעקב ונטור אחר זנים נדירים, כיוון שהם פגיעים יותר להפרעות סביבתיות. נוסף על כך לזנים נדירים רבים עשויים להיות תפקידים ייחודיים במערכות אקולוגיות, תפקידים שעדיין איננו מבינים היטב. מדענים זקוקים לכלים כדי להבין כיצד נדירות הֶזֶן משתנה במשך הזמן ועל פני אזורים נרחבים. כדי לעשות זאת, פיתחנו יישומון בשם FuzzyQ העוקב אחר תפוצתם של זנים שכיחים ונדירים בקהילות אקולוגיות (הֶשֶׁם מורכב מהמילה Fuzzy, שמשמעה פרוותי, או רך, במקרה שלנו; ומהאות Q שמייצגת את המילה

Quantification, ובעברית, כמות). FuzzyQ בוחן את תפוצתם של פרטים מכל זן, ומעריך את מידת נדירותו של כל זן. באמצעות FuzzyQ, אנו יכולים לעקוב אחר השינויים בשכיחות הזנים לאורך זמן, או על פני אזורים גיאוגרפיים נרחבים. כך, FuzzyQ יכול לספק מידע חיוני לשימור זנים נדירים.

איך מוצאים דפוסים קבועים בעולם משתנה?

בתחום האקולוגיה, אנו חוקרים את מערכות היחסים בין היצורים החיים, וביןם לבין סביבותיהם. אנו זקוקים לאקולוגיה כדי להבין כיצד הטבע פועל. המחקר האקולוגי מסייע לנו לייצר מזון בריא, לשמור על ניקיון האוויר והמים ולתמוך במגוון הביולוגי, שהוא מגוון החיים על פני כדור הארץ. אקולוגים שואפים למצוא דפוסים קבועים בנתונים שהם אוספים מהטבע, כדי שיוכלו להיטיב להבין. הבנה טובה יותר של הטבע מסייעת למדענים לבצע תחזיות מדויקות יותר לגבי השפעתם של איזמים כמו שינויי האקלים, על המגוון הביולוגי. לא קל למצוא דפוסים קבועים, זאת כיוון שהסביבה משתנה, והאורגניזמים מגוונים להפליא. מסיבות אלו, דפוסים הם כמו אוצרות נסתרים עבור האקולוגים. עם זה אחד הדפוסים שאנו חוזרים ומוצאים בטבע בכל קהילה אקולוגית, הוא שרוב הזנים הם נדירים, כלומר, קיימים במספרים קטנים, בעוד שמינים מעטים הם נפוצים, כלומר, קיימים בשפע ומתפרשים על פני שטחים גדולים (איור 1) [1].



איור 1

מהי חשיבות המינים הנדירים?

אם כן, באופן מפתיע מעט, נראה כי רוב הזנים על פני כדור הארץ הם נדירים! האם צריך להיות לנו אכפת מאותם מינים נדירים? התשובה היא כן! אוכלוסיות קטנות ונדירות רגישות יותר להפרעות סביבתיות כמו שרפות, שיטפונות או התפרצויות של מזיקים, ולכן,

מגוון ביולוגי (Biodiversity)

מגוון הדברים החיים על פני כדור הארץ. המגוון הביולוגי כולל את מגוון הגנים, הזנים והמערכות האקולוגיות.

קהילה אקולוגית (Ecological Community)

יחסי הגומלין בין מגוון האוכלוסיות באזור מסוים. לדוגמה, קהילה שמצויה בבריכה כוללת דגים, צמחים, חסילונים, צפרדעים, חרקים והרבה אורגניזמים זעירים אחרים.

איור 1

דוגמה של קהילת דגים. ישנם מעט זנים שהם נפוצים, כלומר, שמהם יש פרטים רבים באוכלוסייה. רוב הזנים הם נדירים, כלומר, מעט מהם נוכחים באוכלוסייה. האם תוכלו לשער כמה מינים נפוצים וכמה מינים נדירים יש בתמונה? (קרדיט לאיור: freepik.com).

אוכלוסייה (Population)

כל הפרטים בני אותו זן החיים באזור מסוים. לדוגמה, כל הגורילות החיות באותו היער מהוות אוכלוסייה.

זנים נדירים מצויים בסיכון גבוה יותר להכחדה. עלינו לנטר בתשומת לב מינים נדירים, כדי להבטיח שאוכלוסיות אלו יישארו בריאות. חשוב לעקוב אחר שינויים המתרחשים באוכלוסיות זנים נדירים לאורך זמן או באזורים גיאוגרפיים נרחבים. הדבר יסייע לנו להעריך בצורה טובה יותר את ההשפעות האפשריות של שינויים סביבתיים על המערכת האקולוגית. נוסף על כך אנו יודעים כי זנים ממלאים תפקידים מסוימים במערכות אקולוגיות. לדוגמה, חרקים מאביקים מאפשרים לרבים מהצמחים להתרבות. באופן דומה, צמחים הגדלים באזורי בצה מגינים על האדמה מפני שיטפונות וסופות. לזנים נדירים עשויים להיות תפקידים ייחודיים, ולכן ייתכן שלהכחדתם תהיינה השלכות משמעותיות על המערכות האקולוגיות שלהם.

מה הופך זנים לנפוצים או לנדירים?

כיוון שזנים נדירים הם כה חשובים, עלינו למצוא דרכים לאמוד עד כמה זן מסוים הוא נדיר. זה אולי נראה קל, אך אקולוגים מנהלים על כך ויכוחים זה שנים. עדיין אין הסכמה במאת האחוזים לגבי המאפיינים שהופכים זן לנדיר. עם זה בדרך כלל נכללים בהגדרה שני מאפיינים: **תפוצה** (ריבוי [2]). דמיון שאנו עורכים סקר בקהילה אקולוגית בכמה אתרים (המכונים ריבועי דיגום). בקרב זנים נדירים, נצפה לריבוי נמוך (פרטים בודדים בכל האזור), ולתפוצה נמוכה (הימצאות במעט אתרים, איור 2). אנו מנסים לסווג זנים בהתבסס על מאפיינים אלו. אולם, חשנו כי סיווג זנים פשוט כ'נדירים' ו'נפוצים', אינו מעניק לנו מספיק מידע כדי להבין כיצד הקהילות האקולוגיות מאורגנות. הביטוי, לדוגמה, בזן c **שבאיור 2B**. הוא אומנם מסווג כנדיר, אך רחוק למדי משאר הזנים הנדירים בגרף. כדי להבין עד כמה 'נדיר' הוא זן נדיר, עלינו להביא בחשבון את המספרים האמיתיים, שכן המדע פועל באופן מיטבי עם דברים שניתן למדוד במספרים.

תפוצה

(Occupancy)

מספר האתרים שבהם קיים זן, או גודלם.

ריבוי

(Abundance)

המספר הכולל של פרטים בני אותו הזן באזור מסוים.

איור 2

עריכת סקר זני צמחים. (A)

כדי לערוך סקר של זני צמחים (a עד g), חילקנו את אזור המחקר ל-18 ריבועי דיגום. לאחר מכן קבענו את מספר ריבועי הדיגום שכל מין תפס (תפוצה), ואת מספר הפרטים הכולל מכל זן באזור כולו (ריבוי). (B) תרשים התפוצה והריבוי של כל זן, בהתבסס על הנתונים מ-18 ריבועי הדיגום. כדי להבחין בין הזנים הנפוצים לזנים הנדירים, עשינו שימוש בשיטה מתמטית המכונה 'קבוצת קשה' (Hard clustering).

(C). (Fuzzy clustering)

תרשים המציג את התוצאות של שיטה מתמטית נוספת המכונה קבוצת רך' (Fuzzy clustering). המספרים מצביעים על אחוז הנדירות של כל זן (קרדיט לאיור: freepik.com).

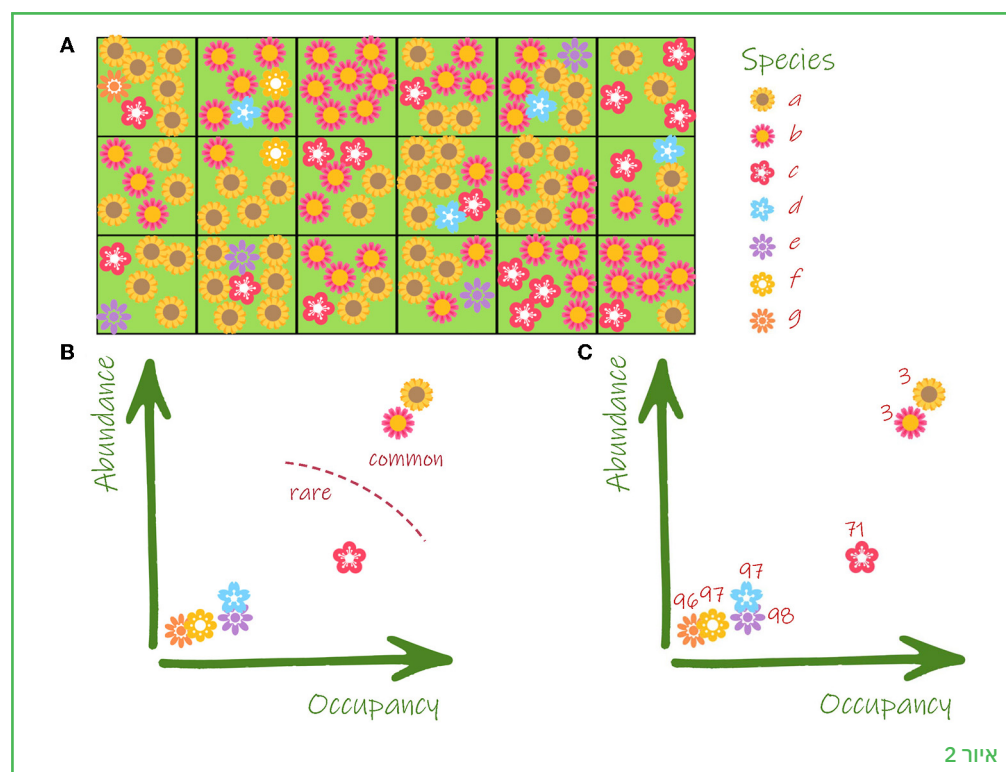
; Z = Species

; נפוץ = Common

; נדיר = Rare

; ריבוי = Abundance

; תפוצה = Occupancy



איור 2

בהיבט המספרי

מתמטיקאים פיתחו שיטות לקיבוץ (כינוס, הכללה בקבוצה) של דברים, בעזרת משוואות מורכבות המכונות 'שיטות קיבוץ' [3]. ישנם שני סוגי שיטות כאלה: **קיבוץ קשה וקיבוץ רך**. **באיור 2B**, השתמשנו בנתוני התפוסה והריבוי במסגרת שיטת קיבוץ קשה. לפי שיטה זו, ניתן לשייך כל פריט מהקטגוריות שאנו מביאים בחשבון, לקטגוריה אחת בלבד. לכן, במקרה זה כל אחד מהזנים יכול להיות נפוץ או נדיר. **באיור 2C**, השתמשנו באותם הנתונים, הפעם בשיטת קיבוץ רך. במסגרת שיטה זו, כל זן הוא נפוץ ונדיר בו בזמן, אך ביחסים שונים. לדוגמה, זן c הוא 71% נדיר ו-29% נפוץ. מידת הנדירות של כל הזנים הנדירים האחרים, היא יותר מ-95%. לכן, נוכל לומר ש-c הוא נדיר, אך ש-d, e, f-g נדירים יותר מ-c.

על אודות היישומון שפיתחנו

הרעיונות הללו הובילו אותנו לפתח יישומון ממוחשב משלנו, כדי לאפיין קהילות אקולוגיות. אנו מכנים יישומון זה FuzzyQ, ומשמעות השם היא: 'כמות רך של זנים נפוצים ונדירים בקהילות אקולוגיות'. כתבנו את היישומון בשפת התכנות R. בחרנו בה כיוון שזו תוכנה חנימית לסטטיסטיקה ולגרפיקה, שכל אחד יכול להשתמש בה [4].

נוסף על עריכת קיבוץ רך של זנים, FuzzyQ עושה דברים מגניבים אחרים. לדוגמה, היא מחשבת מספרים המכונים 'צלליות' (**איור 3**). הצלליות מודדות עד כמה כל זן מתאים למקבץ שלו (המורכב מזנים נדירים או נפוצים). ערכים הקרובים ל-1 מצביעים על התאמה טובה של הזן למקבץ שבו הוא נמצא. **באיור 3B2**, ניתן לראות כי לשני זנים נדירים (המסומנים בחיצים), ישנן צלליות נמוכות, כיוון שערך הריבוי שלהם נמוך, אך ערך התפוסה שלהם די גבוה (**איור 3B1**). מסיבות אלו, הם אינם נפרדים במובהק מהמינים הנפוצים כמו שאר המינים הנדירים. באופן כללי, הצלליות של הקהילה **באיור 3A2** מראות הפרדה ברורה יותר בין זנים נפוצים לזנים נדירים, מאשר הקהילה שבה אנו מתבוננים **באיור 3B2**.

תרשימי צלליות מאפשרים לנו להשוות בקלות בין קהילות, אפילו אם המינים בכל קהילה שונים. כשאנו עושים שימוש בתרשימי הצלליות, ביכולתנו להשוות בין שינויים סביבתיים ברחבי אזורים גדולים מאוד. לדוגמה, ציפורים בסוואנה של אפריקה שונות למדי מציפורי אָחו באירופה. אולם אנו יכולים להשוות בין שתי קהילות הציפורים הללו על ידי שימוש בצלליות הזנים, כאשר אנו בוחנים מהו הפיזור של זנים נפוצים ונדירים בכל קהילה.

FuzzyQ יכול לסייע בשימור זנים נדירים

איומים משמעותיים על המגוון הביולוגי, כמו ההתחממות הגלובלית והשתלטות מינים פולשים [5], עלולים לערער את יציבותן של קהילות ביולוגיות. לכן, חשוב לחקור אותם. זנים נדירים רגישים במיוחד לשינויים סביבתיים. יישומון FuzzyQ יכול לספק מידע חיוני על אודות הדרך שבה השינויים שמתרחשים בתוך מערכות אקולוגיות עשויים להשפיע על זנים נדירים. היישומון מציע דרך פשוטה למעקב אחר השינויים בנדירות הזן לאורך זמן, או על פני אזורים גדולים. נוסף על כך הוא קל לשימוש וחנימי. מסיבות אלו, FuzzyQ יכול להיות

קיבוץ קשה (Hard Clustering)

שיטה סטטיסטית שמטרתה לקבץ דברים, המשייכת כל אחד מהפרטים לקבוצה אחת בלבד.

קיבוץ רך (Fuzzy Clustering)

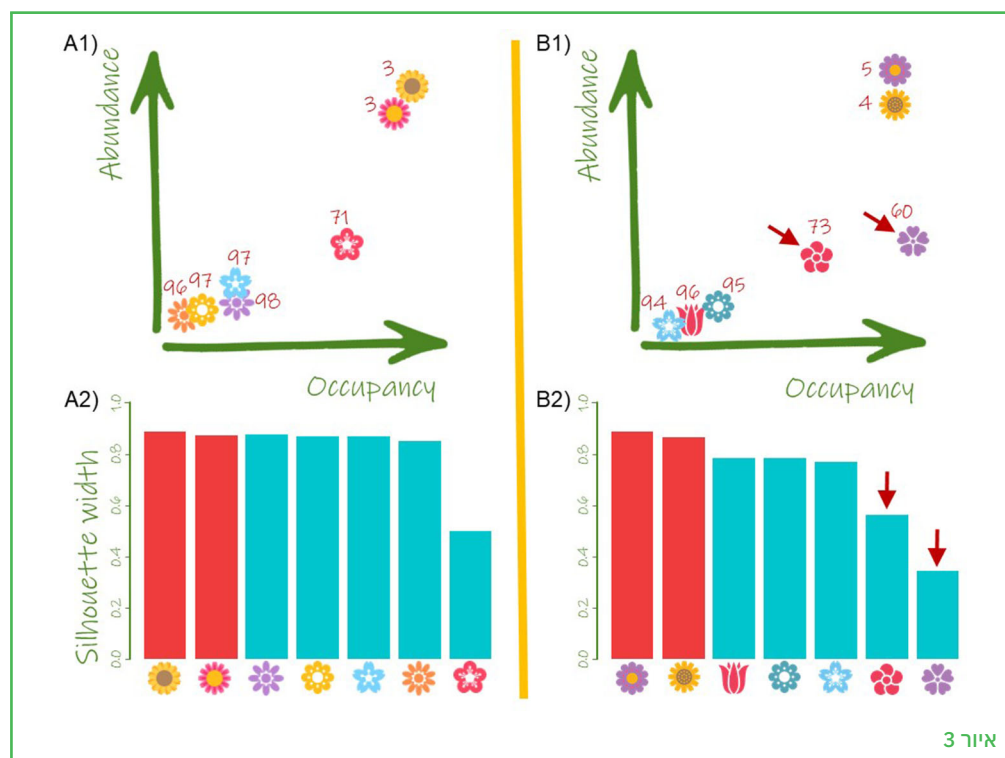
שיטה סטטיסטית שמטרתה לקבץ דברים, המשייכת כל אחד מהפרטים ליותר מקבוצה אחת, ביחסים משתנים.

מין פולש (Invasive Species)

זן שנכנס מהאזור המקומי שלו, שבו הוא גדל באופן טבעי, לאזור שבו הוא בדרך כלל מְסָב נזק לזני האזור החדש.

איור 3

אנו משתמשים בתרשימי צלליות כדי להשוות בין קהילות. (A1) תרשים של ריבוי ותפוסה של קהילת הצמחים שחקרנו באיור 2. ב-(A2) ניתן לראות את תרשימי הצלליות שמיוצג על ידי עמודות. (B1) תרשים של ריבוי ותפוסה של קהילת צמחים שונות. (B2) הוא תרשים הצלליות שמוצגות על ידי עמודות, המתארים אותן. המספרים ב-(A1, B1) מצביעים על אחוז (%) הנדירות של כל זן. תרשימי צלליות הם דרך נוספת להראות עד כמה זנים שונים נפוצים (אדום) או נדירים (כחול) בכל קהילה. החיצים מצביעים על שני זנים נדירים עם תפוסה גבוהה – זה הגורם לערכי הצללית הנמוכים (קרדיט [freepik.com](https://www.freepik.com)). לאיור: Silhouette = צללית.



כלי רב-ערך עבור מדענים – לסיוע לשימור זנים נדירים, ולהגנה על המערכות האקולוגיות של העולם מפני השפעות של הפרעות סביבתיות.

מימון

מחקר זה זכה למימון מטעם המשרד למדעים ולחדשנות של ספרד (PID2019-104908GB-I00). נתמך על ידי הסוכנות הפולנית הלאומית לחילופי אקדמאים (PPN/ULM/2019/1/00177/U/00001). CL-B מודה על התמיכה שניתנה לה במסגרת מענק מחקר לפוסט-דוקטורט מטעם המכון הטכנולוגי של ציריך, ETH (20-2 FEL-67).

הצהרת כלי בינה מלאכותית

טקסט חלופי הנלווה לאיורים במאמר זה נוצר על ידי פרונטירז בסיוע כלי בינה מלאכותית, ונעשו מאמצים על מנת להבטיח את דיוקו, כולל בדיקה על ידי כותבי המאמר כאשר הדבר התאפשר. אם ברצונכם לדווח על בעיה, אנו צרו איתנו קשר.

מאמר המקור

Balbuena, J. A., Monlleó-Borrull, C., Llopis-Belenguer, C., Blasco-Costa, I., Sarabeev, V. L., and Morand, S. 2021. Fuzzy quantification of common and rare

species in ecological communities (FuzzyQ). *Methods Ecol. Evol.* 12:1070–9. doi: 10.1111/2041-210X.13588

מקורות

1. Magurran, A. E., and Henderson, P. A. 2011. "Commonness and rarity," in *Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment*, eds A. E. Magurran, and B. J. McGill (Oxford: Oxford University Press), pp. 97–104.
2. Gaston, K. J., and He, F. 2011. "Species occurrence and occupancy," in *Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment*, eds A. E. Magurran, and B. J. McGill (Oxford: Oxford University Press), pp. 141–51.
3. Kaufman, L., and Rousseeuw, P. J. 1990. *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. New York, NY: John Wiley & Sons.
4. Phillips, N. D. 2018. *YaRrr! The Pirate's Guide to R*. Available online at: <https://bookdown.org/ndphillips/YaRrr/>
5. Morais, P., Encarnação, J., Teodósio, M.A., and Dias, E. 2021. Aliens from an underwater world. *Front. Young Minds*. 9:646539. doi: 10.3389/frym.2021.646539

פורסם אונליין: 14 בנובמבר 2025

נערך על ידי: Didone Frigerio

מנחים מדעיים: Marco Fusi

ציטוט: Balbuena JA, Monlleó-Borrull C, Llopis-Belenguer C, Blasco-Costa I, Sarabeev VL ו Morand S (2025) כלי למדידת זנים נדירים ולשימור המגוון הביולוגי. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2022.745028-he

תורגם והותאם מ: Balbuena JA, Monlleó-Borrull C, Llopis-Belenguer C, Blasco-Costa I, Sarabeev VL and Morand S (2022) Fuzzyq: A Tool to Measure Rare Species and Preserve Biodiversity. *Front. Young Minds* 10:745028. doi: 10.3389/frym.2022.745028

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

זכויות יוצרים © 2025 Balbuena, Monlleó-Borrull, Llopis-Belenguer, Blasco-Costa, Sarabeev ו Morand. 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 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

I. C. VAL RENDENA, גיל: 14

אנו כיתה קטנה שלומדת בבית ספר במרכז הרי הדולומיטים, בצפון איטליה. זו השנה האחרונה שלנו בחטיבת הביניים, ואנו נהנים מהזמן שנותר לנו יחד. רובנו אוהבים לעשות סקי וגלישת שלג בחורף, ולטייל בקיץ. יש לנו מורה מגניבה למדעים שאוהבת טבע ומלמדת אותנו על אודות מגוון ביולוגי ושינויי האקלים. לכן, מקצועות המדעים אינם משעממים עבורנו. אנו לומדים הרבה על כדור הארץ ועל הבעיות הגדולות הנוגעות לזיהום ושינויי האקלים. סקירת המאמר אפשרה לנו להבין טוב יותר את עבודתו של מדען, ואת ההשפעה של מה שאנו עושים על כדור הארץ.

הכותבים

JUAN A. BALBUENA

מאז שהייתי ילד, חיות ודברים חיים באופן כללי ריתקו אותי, וכך הגעתי ללמוד ביולוגיה. התמחיתי בזואולוגיה, ולאחר מכן עשיתי דוקטורט בפרזיטולוגיה. כיום אני פרופסור חבר באוניברסיטת ולנסיה (ספרד). אוהב מאוד את עבודתי, כיוון שבזכותה אני עוסק במחקר ובהוראה, שאותם אני מוצא מרגשים. בשנים האחרונות מעניין אותי מאוד להשתמש במתמטיקה כדי לחקור בעיות ביולוגיות שונות. לדעתי, השילוב בין מתמטיקה לביולוגיה הוא מגניב. מחוץ לעולם האקדמי, אני אוהב שחייה, מוזיקה, קריאה וכן ללמוד שפות זרות. balbuena.ja@gmail.com*

CLARA MONLLEÓ-BORRULL

היי! אני Clara Monlleó-Borrull מראוס, קטלוניה, ספרד. תמיד נהניתי להיות בחוץ, ואני אוהבת טבע וחיות. מסיבות אלו החלטתי ללמוד ביולוגיה סביבתית בברצלונה. לאחר מכן התמחיתי בזואולוגיה, ונפלה בחלקי ההזדמנות לעבוד כמאמנת של יונקים ימיים באקווריום 'ל'אוסאנוגרפיק' שבולנסיה. השנה השלמתי את לימודי ההוראה, כך שאוכל ללמד בחטיבת הביניים. אני מתרגשת מכך מאוד! בזמני הפנוי אני קוראת ספרי פנטזיה, מציירת ועוסקת בפעילויות בטבע.

CRISTINA LLOPIS-BELENQUER

מאז שהייתי ילדה, הרגשתי תחושת שליחות לעסוק בטבע הסובב אותנו וביצורים חיים. התשוקה הזו הניעה אותי להיות ביולוגית. במהלך תקופת הדוקטורט שלי, התעניינתי מאוד בעולם הטפילים הנסתר, ובאינספור התהליכים אשר להם הטפילים שותפים במערכות אקולוגיות, כאשר הם נמצאים במערכות יחסים עם זנים עצמאיים. אני גם אוהבת ללמד ולקיים פעילויות מדעיות עבור הציבור הרחב. בזמני הפנוי, נהנית לבלות זמן בים, ולטייל בהרים עם Foca כלבתי (שנמצאת איתי בתמונה).

ISABEL BLASCO-COSTA

בתור ילדה, ה'צעצועים' האהובים עליי היו חיות קטנות שהצלחתי לתפוס ולהתבונן בהן, כמו חלזונות, דגים קטנים וצפרדעים. חשה בת-מזל, כיוון שכמבוגרת אני עדיין זוכה ללמוד מהסודות הגדולים שהם טומנים בחובם... הטפילים שלהם! אני מדענית חוקרת וכן אוצרת במוזיאון להיסטוריה של הטבע בז'נבה, שווייץ. מגלה זנים חדשים של טפילים, וחוקרת את האבולוציה שלהם – התפתחותם, ואת האקולוגיה שלהם. נהנית לספר למבקרי המוזיאון ולסטודנטים שלי באוניברסיטה על סודות הטפילים. בשאר הזמן, אפשר למצוא אותי בהרים.



**VOLODIMIR L. SARABEEV**

מאז שהייתי צעיר, חיי סבבו סביב מחקר בתחנה הביולוגית שבִּים אָזוב (שלוחה צפונית של הים השחור). שם, אני חוקר כיצד הקיפונאים אדומי-השפה (So-iyu mullets) הגיעו לים, וכיצד האוכלוסייה שלהם גדלה. המגוון הביולוגי של הטפילים ושל צורות החיים הטפיליות מרתק אותי, והשפיע על בחירת המקצוע שלי. יש לי דוקטורט בפרֶזִיטולוגיה והכשרה לניהול מחקר במדעי החיים ובבריאות. אני פרופסור חבר באוניברסיטה הלאומית זפוריז'יה (אוקראינה), אבל כיום, הודות למענק מחקר שקיבלתי מטעם הסוכנות הפולנית הלאומית לחילופי אקדמאים, אני חוקר טפילים של נְטֶצְדָאִים פולשים באזור הפולני של פומרניה.

SERGE MORAND

כשהייתי ילד, רציתי להיות חוקר, וטרינר או ביולוג. חלומי התגשם, וכיום, אני אקולוג של מחלות, החוקר מגוון ביולוגי ובריאות במערכות אקולוגיות טרופיות. במסגרת תפקידי כמדען בכיר במרכז הלאומי למחקר מדעי בצרפת (CNRS), אני גר בימים אלו בדרום-מזרח אסיה. כאן, אני עורך מחקר שדה על מחלות זואוונטיות (שעוברות מבעלי חיים לבני אדם), בטבע ובקהילות המקומיות. אני גם אוהב לכתוב ספרי מדע לציבור הרחב.



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



הוצאת פרונטירס מדע לצעירים ישראל

Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK



**קרן משפחת
שעשוע**
Shashua Family Foundation