



## דיג יכול להפוך דגים גדולים לדגים קטנים

Beatriz Diaz Pauli<sup>1\*</sup>, Vitalija Bartuseviciute<sup>1</sup>, Mikko Heino<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>המחלקה למדעי הביולוגיה, אוניברסיטת ברגן, ברגן, נורווגיה

<sup>2</sup>המכון לחקר הים, ברגן, נורווגיה

<sup>3</sup>התוכנית לטכנולוגיה ולקולוגיה, המכון הבינלאומי לניתוח מערכות שימושיות, לקסנבורג, אוסטריה

### סוקרות צעירות

MEGAN

גיל: 15



POPPY

גיל: 14



בני אדם משפיעים על חיות ועל צמחים בכל רחבי העולם. דוגמה אחת לכך היא דיג. דיג בוחר דגים עם תכונות ייחודיות. ראשית, דייגים מוציאים כמויות גדולות של דגים מהמים. לכן, חברות הדיג נעשות קטנות יותר, ונותרים בהן רק דגים מעטים. לדגים האלה יש צאצאים בפעם הראשונה כשהם צעירים יותר וקטנים יותר. שנית, שיטות דיג שונות יכולות לבחור דגים עם התנהגויות שונות. אם כן, דייגים יכולים לתפוס דגים ביישנים יותר או דגים אקטיביים יותר, כתלות בשיטת הדיג. דיג גורם לחברות דגים להיות פחות מגוונות ויצרניות. פחות גיוון משמעותו שיש רק דגים קטנים או אקטיביים, ולא שילוב של דגים גדולים, קטנים, אקטיביים וביישנים. פחות יצרניים משמעותו כמות קטנה יותר של דגים שאפשר לתפוס בעתיד. חברות קטנות ופחות מגוונות חלשות יותר, ולא יכולות להגיב לשינויים גדולים בסביבה. חברות חלשות יותר מקשות על דיג בצורה שתאפשר לחברת הדגים לשרוד. אם כן, דיג גורם לחברות דגים להיות בעלות פחות ערך לדייגים.

### דיג בוחר בדגים גדולים

כשאתם הולכים לדוג, אתם מקווים לתפוס דגים גדולים. נחמד יותר להראות לחברים שלכם (ולאויבים שלכם) דגים גדולים. דייגים מקצועיים גם מעדיפים דגים גדולים. משלמים להם יותר

עבור דגים גדולים, וזה יכול להיות לא חוקי לדוג דגים קטנים. החוק מגדיר את מגבלות הגודל כדי להגן על דגים קטנים, כך שהם יוכלו לגדול ולהתרבות לפני שדייגים יוציאו אותם מהמים. חוקים שמגינים על דגים קטנים מסייעים לוודא שהדגים ישארו במספרים גדולים, כך שעדיין יהיו מספיק דגים לתפוס בעתיד.

## מה הבעיה עם דיג של דגים גדולים בלבד?

אף על פי שתפיסת דגים גדולים נראית כדבר הטוב ביותר לעשות, ישנן כמה בעיות עם האסטרטגיה הזו. ראשית, הגנה על דגים קטנים לא מבטיחה שמספרי הדגים יישארו גבוהים. לדגים גדולים יש יותר צאצאים (תינוקות), והצאצאים שלהם בריאים יותר. לכן, הגנה על דגים קטנים בלבד יכולה להוביל לחברות דגים קטנות יותר.

ישנה בעיה נוספת. אם אנו לוקחים רק דגים גדולים, נגיע למצב שלא יישארו דגים גדולים! גודל הצאצאים תלוי בגודל של ההורים. דגים גדולים יולידו צאצאים שיכולים לגדול לדגים גדולים. להורים קטנים יהיו צאצאים קטנים. במהלך הזמן, מספר הדגים הגדולים בחברת הדגים יקטן.

חשבו על רפת פרות. רפתנים מעדיפים פרות שיש להן **תכונות** שהם הכי אוהבים. פרות גדולות, בריאות שמתנהגות טוב יולידו הרבה צאצאים ויתנו הרבה חלב. רפתנים שומרים על הפרות והשוורים המועדפים שלהם כדי להרבות אותם, כדי לוודא שהם יקבלו עוד פרות עם תכונות מועדפות שנה אחרי שנה. אולם אנו עושים את ההפך עם דגים בים! אם אנו רוצים את הדגים הטובים ביותר, אנו צריכים לעשות את מה שרפתנים עושים. אנו צריכים להשאיר דגים גדולים בים, כך שהם יתרבו. באופן הזה, תמיד יהיו לנו דגים גדולים.

## דיג מניע אבולוציה

**אבולוציה מוכתבת דיג** היא מושג שמשמש מדענים כדי לתאר את העובדה שדיג משנה את הדגים. דיג משפיע על דגים באוקיינוסים, בימים, באגמים ובנהרות. **אבולוציה** היא השינוי בתכונות, במאפיינים כמו גודל, צבע, או דפוסי התנהגות מסוימים, שמועברים מההורים לצאצאים. אבולוציה מתרחשת כאשר שני דברים מתרחשים באותו הזמן. ראשית, תכונה (לדוגמה, גודל) מספקת לדגים סיכויים גדולים יותר לשרוד ולהוליד צאצאים. שנית, התכונה היא **תכונה תורשתית** (מולדת), מה שאומר שהיא תעבור מההורים לצאצאים שלהם. דיג יכול להניע אבולוציה. ראשית, דיג מסיר את הדגים הגדולים. לכן, לדגים הקטנים יהיו סיכויים גדולים יותר לשרוד ולהתרבות. שנית, גודל הוא תכונה תורשתית. הוא מועבר מההורים לצאצאים דרך הגנים שלהם. לכן, כאשר דייגים ממשיכים לתפוס את הדגים הגדולים, הדגים הקטנים יתרבו ובסופו של דבר, דרך אבולוציה, כל חברת הדגים תכיל דגים קטנים יותר.

## דיג בוחר לא רק את הגודל!

דיג לא רק בוחר דגים בגודל מסוים. דיג יכול לבחור גם מאפיינים אחרים [1], כמו למשל **בגרות** והתנהגות. המשיכו לקרוא כדי לראות איך זה קורה!

### תכונה (Trait)

כל מאפיין של אורגניזם. לדוגמה, גודל קטן או גדול, התנהגות נועזת או ביישנית והתבגרות מוקדמת או מאוחרת.

### אבולוציה מוכתבת דיג (Fishing-induced Evolution)

התהליך שבו דיג גורם לשינויים בתכונות המולדות של דגים, על ידי בחירה של גודל, שלב בגרות, ו/או התנהגות.

### אבולוציה (Evolution)

שינויים בתכונות מולדות שמספקים לאורגניזמים סיכויים טובים יותר לשרוד ולהעמיד צאצאים.

### תכונה תורשתית (Heritable Trait)

מאפיין שמועבר מההורים לצאצאים.

### בגרות (Maturation)

שלב ההתפתחות שגורם לאורגניזם להיות מסוגל להתרבות בפעם הראשונה.

## בגרות

בגרות היא זמן חשוב בחיים של כל מין. היא הזמן שבו הדגים משתנים מצעירים למבוגרים, ונעשים מסוגלים להתרבות ולהעמיד צאצאים בפעם הראשונה. נדרשת אנרגיה רבה כדי להתבגר, ומקורות האנרגיה האלה דלילים. לכן, במהלך תקופת ההתבגרות, דגים צריכים לגדול לאט יותר או אפילו להפסיק את גדילתם כדי לתעל אנרגיה לתהליך ההתבגרות. המחיר האנרגטי לדגים אפילו יכול להפחית את סיכויי ההישרדות שלהם.

הגיל והגודל שבהם דגים מוכנים להתבגר תלויים בשני דברים: כמות המזון שהדגים יכולים לקבל מהסביבה, ואיך הדגים מחלקים את המזון בין תהליכי החיים החשובים שלהם. תהליכי החיים האלה כוללים גדילה, התבגרות, אחסון אנרגיה והישרדות. תהליכי החיים האלה מתחרים על האנרגיה שמסופקת על ידי מזון. כמות המזון והאופן שבו המזון נחלק בין תהליכי חיים שונים תלויים בדברים רבים, כולל טמפרטורת המים, כמה טורפים נוכחים, כמה מזון ישנו, וכמה דגים חיים יחד.

באופן כללי, דגים יכולים להשתמש באחת משתי אסטרטגיות חיים שישפיעו על הגיל שבו הם מתבגרים ועל תהליכי חיים אחרים:

- אסטרטגיית "חיו מהר, מותו צעירים". אם הסיכון למות גדול, לא שווה לנסות להגיע לגיל מבוגר, וכדאי להשקיע את האנרגיה בהתרבות. לדוגמה, כאשר דייגים דגים הרבה דגים, כמות מוות הדגים גדולה. במקרה הזה, האסטרטגיה הטובה ביותר עבור הדגים היא להשקיע את האנרגיה שלהם בהתבגרות מהירה ובהתרבות מוקדמת, כדי להעמיד צאצאים לפני שהדייגים יתפסו אותם.
- אסטרטגיית "חיו לאט, והזדקנו". אם הסיכון למות נמוך, מחכה לדגים עתיד ארוך, ואין בהילות להתבגר ולהתרבות. האסטרטגיה הטובה ביותר היא להתבגר ולהתרבות בשלב מאוחר בחיים. הדגים האלה יכולים לגדול לגודל רב יותר ולהעמיד יותר צאצאים. דגים גדולים יותר יכולים לחיות זמן רב יותר, מאחר שלדגים גדולים יש פחות אויבים טבעיים מאשר לדגים קטנים.

דיג מתעדף את אסטרטגיית "חיו מהר, מותו צעירים" [1]. דגים מתבגרים בגיל צעיר יותר ובגודל קטן יותר בחברות הדגים. לכן, דיג משפיע על בגרות בשני אופנים. ראשית, דיג מוביל ליותר מוות, ולכן דגים צריכים לחיות מהר יותר. שנית, דיג מסיר דגים גדולים, ולכן דגים קטנים שמתבגרים בגיל צעיר יותר מעמידים יותר צאצאים מדגים גדולים שמתבגרים מאוחר.

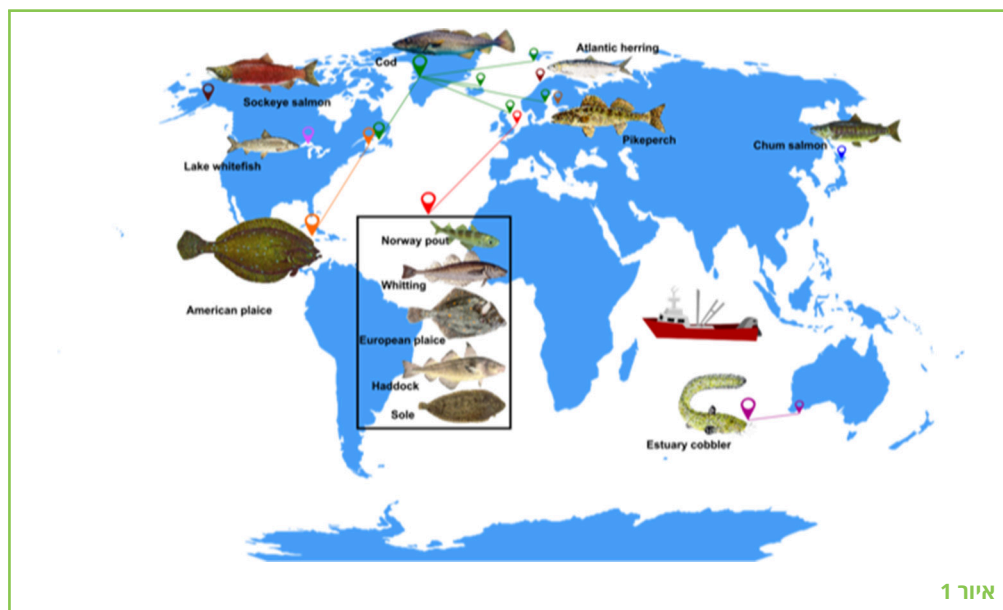
## התנהגות

מדענים מעטים בלבד חוקרים את השילוב בין התנהגות דגים, דיג ואבולוציה. זהו רעיון חדש. אולם חוקרים רבים צפו בכך שדגים במים של היום מתבגרים בגיל צעיר יותר ובגודל קטן יותר (איור 1). התבגרות היא תכונת הדגים הראשונה שאנו וחוקרים אחרים חקרנו, מאחר שקל לאסוף נתונים על גודל של דגים ועל התבגרותם. חקרנו גם כיצד התנהגות של דגים קשורה לדיג [3, 4]. אנו עורכים את הניסויים שלנו במעבדה אם איננו יכולים לערוך אותם ישירות בים. אנו חושבים שאנו יכולים לחזות באבולוציה של דגים במהלך חייו. זה מדהים, אבל גם קצת מפחיד!

## איור 1

### דוגמאות של מיני דגים שמפגינים אסטרטגיה של "חיו מהר, מותו צעירים".

דיג גרם לדגים האלה להתבגר בגיל מוקדם ולהיעשות קטנים יותר [1]. הסמנים הצבעוניים מראים היכן חי כל מין דג. תמונות הדגים באדיבות Sockeye ©. סלמון וצ'ום סלמון: טימוטי קנאפ, השירותים האמריקאיים לדגים וחיי פרא [דומיין ציבורי]. דג סנדל ודג סול: ג'ונתן קאוץ' [2]. דג לבן מאגם: אלן אדמונסון והיו קריספ, 1940-1927 [דומיין ציבורי]. הרינג אטלנטי: גרוויס ובולרט, 1877 [דומיין ציבורי]. חמור ים: אוניברסיטת וושינגטון [דומיין ציבורי]. דג גרם: ברנד יא, שוחזר עם רשות. בקלה, דג סנדל אירופי ופאוס נורווגי: המכון לחקר הים, נורווגיה (אויסטיי פאולסן, איבינד סנסט, ומריאנו, בהתאמה). Whiting וזנדר: קרוגר 1795-1797 [דומיין ציבורי].



איור 1

ישנם שני סוגי דיג, פסיבי ואקטיבי (איור 2). דיג פסיבי הוא מצב שבו הדייגים מחכים שהדגים יבואו. הם משתמשים במלכודות, ברשתות שנקראות gill nets, או בחכות. דיג אקטיבי הוא מצב שבו הרשת נעה כדי לתפוס דגים. הרשתות האלה נקראות רשתות מכמורת או seine. מדענים ודייגים יודעים שההתנהגות של דגים קובעת באיזו שיטת דיג הם צריכים להשתמש. אם הדגים מתאספים בקבוצות, אז הדייגים משתמשים במכמורות, אולם אם הדגים נמצאים לבדם ויש להם מספיק תיאבון, הדייגים יכולים להשתמש בחכות עם פיתיון עסיסי.

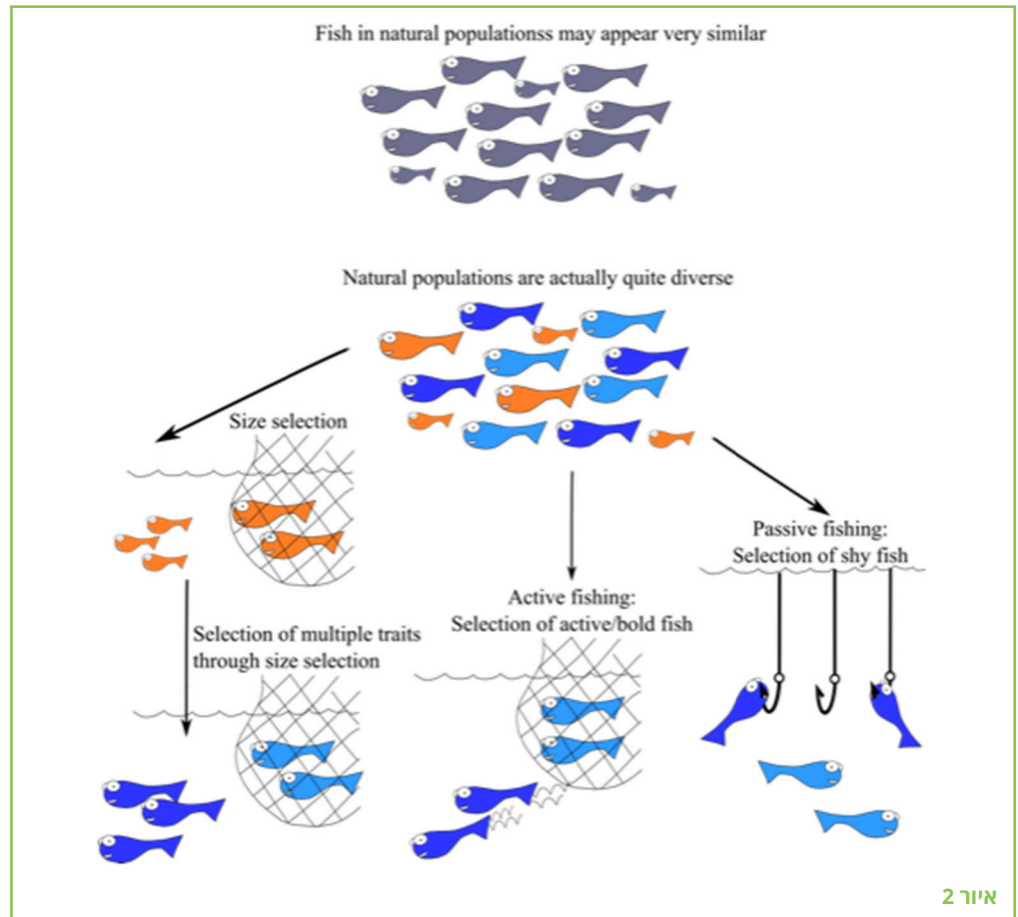
חכות דיג תופסות דגים שהם נועזים ושאוהבים לקחת סיכונים. בחברות הנועזות האלה, הדגים הביישנים שורדים זמן רב יותר, ולכן הם מעמידים יותר צאצאים מאשר הדגים הנועזים יותר. באופן הזה, דיג עם חכה מסייע לחברות של דגים ביישנים להתפתח, מאחר שהם לא אוהבים לקחת סיכונים [4]. יש לנו פחות מידע על דיג אקטיבי ועל התנהגות דגים. מדענים משתמשים במצלמות בים כדי לחקור התנהגות דגים. מחקרים קודמים מצאו שדיג אקטיבי תופס דגים ששוחים כולם באותה המהירות. דגים שמשנים את מהירותם, ומחליפים בין שחייה מהירה ואיטית, הם בעלי סיכויים גדולים יותר לברוח מהרשת. הדגים האלה שורדים זמן רב יותר ומתרבים יותר. אנו ומדענים אחרים ראינו תוצאות דומות בניסויים שערכנו במעבדה. השתמשנו ברשתות מכמורת קטנות בתוך אקווריום, וראינו שהדגים הנועזים ברחו מהרשתות על ידי כך שהיו אקטיביים יותר ושחו טוב יותר [3].

### כמה מאפיינים באותו הזמן

כפי שהסברנו, לדגים יש הרבה תכונות שמקושרות לתהליכי החיים שלהם. התכונות האלה תלויות זו בזו ובכמות האנרגיה שיש לדגים. דגים שבחרים באסטרטגיית "חיו מהר, מותו צעירים" מתבגרים מוקדם ומעמידים יותר צאצאים. אולם כדי לעשות זאת, הדגים צריכים לגדול לאט יותר ולהשקיע פחות אנרגיה באסטרטגיות ההגנה שלהם. דגי ה"חיו מהר" האלה יהיו נועזים יותר ויאכלו יותר [5]. אם כן, דיג לא רק מוביל לדגים קטנים יותר. הוא גם מניע שינויים בהרבה תכונות אחרות. אנו רק מתחילים ללמוד על האופן שבו דיג משפיע על האבולוציה של כל התכונות החדשות האלה. תוכניתנו היא לחקור עוד תכונות במטרה לראות כיצד הן מושפעות על ידי דיג. ראשית, אנו נערוך את הניסויים שלנו במעבדה, מאחר שזה קל יותר

## איור 2

אף על פי שדגים בחברות טבעיות עשויים להראות אותו הדבר, לדג הבודד יש רמה מפתיעה של מגוון בתכונות, כולל בגודל ובהתנהגות. אתם יכולים לראות את הבדלי הגודל באיור, והבדלי הצבעים מראים דגים נועזים וביישנים. דיג יכול להשפיע על המגוון הטבעי בחברת דגים על ידי בחירת דגים גדולים, או דגים שהם ביישנים יותר (כחול דהוי) או אקטיביים ונועזים יותר (כחול כהה). דיג רב מדי משאיר רק דגים קטנים יותר, שקשה יותר לתפוס בחברות הדגים, וכאשר הדגים האלה מתרבים התכונות הפיזיות וההתנהגותיות האלה עשויות לעבור לצאצאים שלהם.



איור 2

מאשר לערוך אותם בים. אנו רוצים לראות כיצד דיג "חיו מהר" יגנו על עצמם מפני טורפים ומחלות. אנו גם רוצים לחקור כמה הם אוכלים וכיצד הם משפיעים על שרשרת המזון. המידע הזה יסייע לנו להבין את ההשפעות של דיג על המערכת האקולוגית כולה.

## האם אנו יכולים להפוך את הדיג להיות פחות מזיק לחברות דגים?

דיג גורם לשינויים בחברות שדגים אותן. דיג לא רק הורג דגים, אלא שהוא גם נוטה להשאיר את חברות הדגים הנותרות פחות משגשגות (עם פחות דגים) ופחות מגוונות (עם פחות תכונות). אם דיג גורם לדגים להתפתח לחברות קטנות יותר ופחות מגוונות, אז דורות העתיד של דגים עשויים להיות בבעיה. אנו יודעים שחברות קטנות ופחות מגוונות חלשות יותר, מאחר שהדגים עלולים שלא להיות מסוגלים להתמודד טוב עם השינויים בסביבה, והם עלולים בסופו של דבר למות. הדגים הנותרים בחברות שהתפתחו הם בעלי פחות ערך לדייגים וקשה יותר לתפוס אותם, מה שגורם לדיג להיות פחות רווחי. כאשר לפעילות יש השלכות שליליות כאלה על חברות של אורגניזמים והן עלולות שלא להתאושש מהן, אנו אומרים שהפעילות היא לא פעילות בר-קיימא. הרבה משיטות הדיג הנוכחיות שלנו אינן ברות קיימא ועשויות לפגוע באופן קבוע בחברות הדגים. כדי להציל את הדגים, ולגרום לדיג להיות יותר בר-קיימא, אנו צריכים לדג פחות. אנו יכולים גם להפחית את הבחירות שנעשות על ידי הדיג, לדוגמה על ידי ביצוע דיג אקטיבי שמכוון לדגים בינוניים, במקום לדג רק את הדגים הגדולים. אנו גם יכולים לשלב שיטות דיג שונות שמכוונות לתכונות שונות, כדי לשמר את גיוון החברות. באופן כללי,

### פעילות בר-קיימא (Sustainable Activity)

משתמשת במקורות של כדור הארץ באופן שמשמר אותם ברמה דומה לרמה הנוכחית, כך שהמשאבים יהיו זמינים לדורות הבאים.

שיטות הדיג שלנו צריכות להיות מותאמות כדי לשמור על דגים עם תכונות מועדפות בים, ממש כמו שרפתנים שומרים על הפרות המועדפות עליהם. אולם בעיקר, שיטות הדיג שלנו צריכות להגן על המגוון של חברות הדגים שדגים. חברות דגים גדולות ומגוונות הן יותר ברות קיימא.

## תודות

אנו רוצים להודות לשתי הסוקרות הצעירות על קריאת כתב היד, על העניין שהביעו בו ועל הערותיהן המועילות. אנו מודים לעורך Pedro Morais עבור הצעותיו לשיפור הקריאות. אנו גם מודים לוועידת המחקר של נורווגיה (פרויקט מספר 275125) עבור מימון העבודה שלנו.

## מקורות

1. Heino, M., Diaz Pauli, B., and Dieckmann, U. 2015. Fisheries-induced evolution. *Annu. Rev. Ecol. Evol. and Syst.* 46:461–80. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-112414-054339
2. Aflalo, F. G. 1904. *Freshwater and Marine Image Bank*. Seattle, WA: University of Washington.
3. Diaz Pauli, B., and Sih, A. 2017. Behavioural responses to human-induced change: why fishing should not be ignored. *Evol. Appl.* 10:231–40. doi: 10.1111/eva.12456
4. Arlinghaus, R., Laskowski, K. L., Alós, J., Klefoth, T., Monk, C. T., Nakayama, S., et al. 2016. Passive gear-induced timidity syndrome in wild fish populations and its potential ecological and managerial implications. *Fish Fish.* 18:360–73. doi: 10.1111/faf.12176
5. Réale, D., Garant, D., Humphries, M. M., Bergeron, P., Careau, V., and Montiglio, P. O. 2010. Personality and the emergence of the pace-of-life syndrome concept at the population level. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 365:4051–63. doi: 10.1098/rstb.2010.0208

פורסם אונליין: 23 ביוני 2022

נערך על ידי: Pedro Morais

מנחה מדעי: Richard Lilley

**ציטוט:** Diaz Pauli B, Bartuseviciute V and Heino M (2022) דיג יכול להפוך דגים גדולים לדגים קטנים. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00112-he

Diaz Pauli B, Bartuseviciute V and Heino M (2020) Fishing Can Turn Big Fish Into Small Fish. *Front. Young Minds* 8:112. doi: 10.3389/frym.2020.00112

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

Diaz Pauli, Bartuseviciute and Heino 2022 © 2020 © **COPYRIGHT** שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחבר(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

### MEGAN, גיל: 15

היי, אני Megan והים הוא התשוקה שלי. למזלי אני גרה בחוף המערבי של סקוטלנד, ואני יכולה לבלות את מרבית זמני בחתירה בקיאק, בשחייה ובהפלגה. האהבה שלי לחוף הניעה עניין גדול במדע (כך הגעתי לסוקר את המאמר הזה), ואני רוצה להיות ביולוגית ימית כשאגדל.



### POPPY, גיל: 14

Poppy גרה בהרים הצפון מערביים ליד אולפול, והיא בת 14. היא מייסדת של מצילי הים של אולפול, והיא הייתה מעורבת בהרבה קמפיינים עם פרופיל גבוה במטרה לסייע להגן על הים ועל הסביבה שלנו. בזמנה הפנוי, Poppy נהנית מעשיית ספורט ומלקיחת שני הכלבים שלה להרפתקאות.



## הכותבים

### BEATRIZ DIAZ PAULI

אני מתעניינת באופן שבו פעילויות אנושיות משפיעות על החיים ועל ההתנהגות של חברות בטבע. עבדתי בעיקר עם דגים, וחקרתי כיצד הם מושפעים מפעילויות אנושיות שונות, ובמיוחד מדיג. עשיתי תואר בביולוגיה באוניברסיטת מורקיה, ספרד (2005). לאחר מכן עבדתי באוניברסיטת הלסינקי, פינלנד, והשלמתי את הדוקטורט שלי באוניברסיטת ברגן, נורווגיה (2012). כאן, אני חוקרת כיצד חברות דגים מגיבות לבחירה שנגרמת על ידי דיג. [beatriz.diaz-pauli@uib.no](mailto:beatriz.diaz-pauli@uib.no)\*



### VITALIJA BARTUSEVICIUTE

אני מתעניינת באסטרטגיות היסטוריות חיים, ובשקלול התמורות של שיפור בתכונה אחת לעומת אחרת. אני עובדת בעיקר במעבדה והתחלתי במדידת ההשפעות של שינוי אקלים על צמחים באוניברסיטת ויטאטוס מאגנוס (2016), שם השלמתי את התואר הראשון שלי. לאחר מכן, עבדתי עם פרעוש המים *Daphnia magna* באוניברסיטה הנורווגית למדע ולטכנולוגיה, שם השלמתי את התואר השני שלי (2018). כיום אני דוקטורנטית באוניברסיטת ברגן. כאן, אני רוצה להבין כיצד דיג גופי מגיבים לאבולוציה שמוכתבת על ידי חוות דיג.



### MIKKO HEINO

אני אקולוג אבולוציוני שמתעניין באופן שבו אורגניזמים מסתגלים לסביבות שלהם, במיוחד כשהם ניצבים בפני אתגרים חדשים, כמו למשל דיג. לעיתים קרובות אני משתמש במודלים מתמטיים כדי להבין את השאלות האלה, אולם גם בניסויים ובנתונים מהשטח. באופן טיפוסי אני עובד עם דגים, לא רק בשל החשיבות האקולוגית והכלכלית שלהם, אלא גם מאחר שיש הרבה נתונים זמינים עליהם. עשיתי את התארים השני



והשלישי שלי באוניברסיטת הלסינקי, פינלנד. מאז 2007, המשרה העיקרית שלי הייתה באוניברסיטת ברנן, נורווגיה.

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