



## דובוני מים-החיות הקיצוניות ביותר בכדור הארץ ובחלל!

Skander Elleuche\*

מעבדה רפואית אבחונית EUROIMMUN AG, ליבק, גרמניה

### סוקרים צעירים

CATHERINE  
גיל: 15



HARRISON  
גיל: 11



ISABEL  
גיל: 11



MARGARIDA  
גיל: 13



MEGAN  
גיל: 15



### פרוקי רגליים (Arthropods)

קבוצת חיות שמאופיינת על ידי שלד חיצוני וכוללת חרקים, עכבישים, מרבי רגליים וסרטנים.

האם תוכלו לדמיין שישנם דובים בעלי שמונה רגליים שחיים בטמפרטורות קרות יותר מאלה שחיים בהן דובי קוטב? שדוב מסוג זה מסוגל להגיע לגיל מבוגר יותר מדובי גריזלי בצפון אמריקה? ושהוא גָדל על ידי הַשְּׁלָה, כמו עכבישים או נחשים? יצורים אלה, שנקראים דובוני מים, או בְּשָׂמָם המדעי טְרִדִיגְרִיִּידים, הם החיות הקיצוניות ביותר בכדור הארץ שלנו. כך למשל הם שורדים לא רק בקרח, אלא גם במים רותחים; מסוגלים להפסיק לנשום לפרקי זמן ארוכים, ואפילו טיילו לחלל החיצון, ושרדו ללא חליפות חלל. מאחר שדובוני מים יכולים להתמודד עם התנאים הקשים ביותר בכדור הארץ ומעבר לכך, הם עשויים ללמד אותנו כיצד ביכולתנו להגן על עצמנו מפני תנאים סביבתיים קיצוניים.

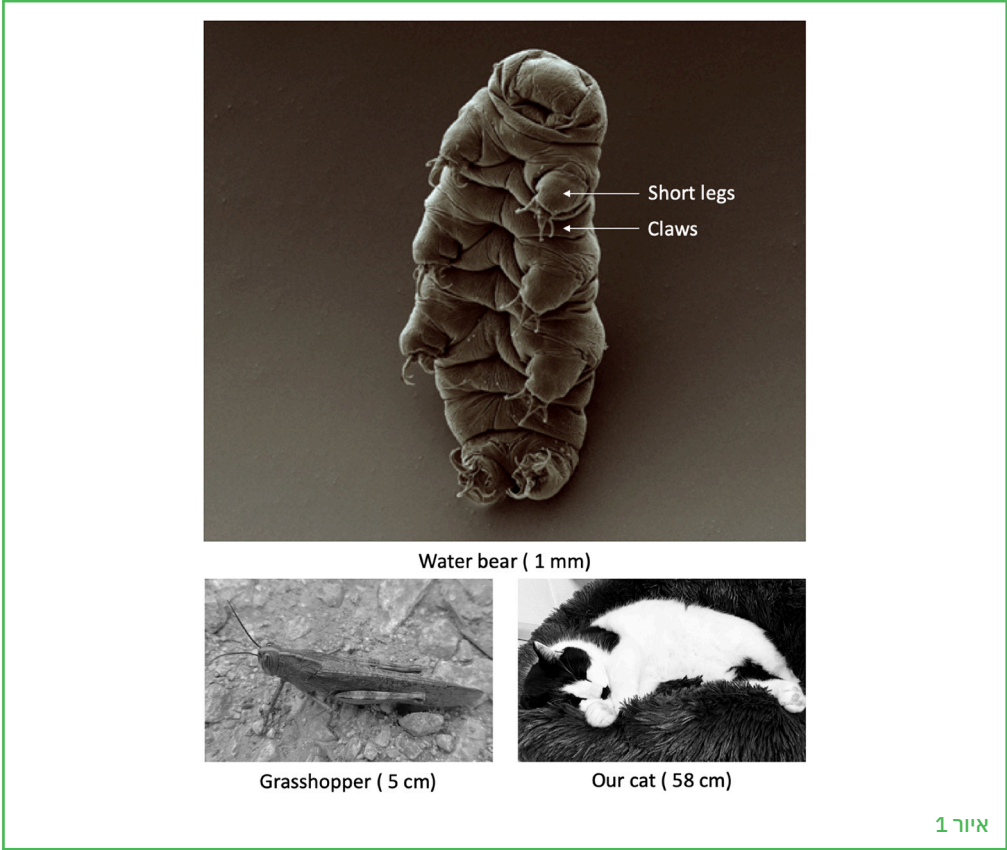
### האם דובוני מים הם דובים אמיתיים?

מהם דובוני מים? האם הם באמת דובים? התשובה לכך היא שלילית. הדבר היחיד שדובוני מים ודובים חולקים במשותף הוא העובדה ששניהם חיות. צורתן של דובון מים מזכירה קצת את צורתם של דובים אמיתיים, כמו למשל דובי קוטב או דובי גריזלי, אך דובוני מים קשורים באופן הכי הדוק לקבוצה ענקית שנקראת פְּרוֹקִי רגליים. קבוצה זו כוללת חרקים, עכבישים,

מְרַבֵּי רגליים וסרטנים. לא ניתן לראות דובוני מים בעין בלתי מזוינת, מאחר שהחיות האלה זעירות ביותר-בדרך כלל הן גדלות לגודל של פחות ממילימטר אחד (איור 1). דובוני מים התגלו לפני יותר מ-200 שנים [1]. הכומר והמדען הגרמני יוֹהָאן גֹז קרא להם בהתחלה "דובוני מים קטנים", בשל גודלם והעדפתם לסביבות מחיה רטובות.

**איור 1**

**דובוני מים (טרדיגריידים) הם קטנים מאוד בהשוואה לחיות אחרות.** תמונה זו של דובון מים צולמה באמצעות מיקרוסקופ אלקטרוניים. המיקרוגרף של דובון המים בוצע (Water bear) על ידי Bob Goldstein ו-Vicky Madden-I (<https://en.wikipedia.org/wiki/Tardigrade#/media/File:Waterbear.jpg>). תמונותיהם של החרגול (Grasshopper) והחתול (Cat) צולמו על ידי S. Elleuche.



איור 1

דובוני מים אוהבים סביבות רטובות, או לכל הפחות לחות, שבהן הם יכולים להישאר מכוסים על ידי שכבת מים. יצורים אלה נחשבים בין צורות החיים המוצלחות ביותר שמוכרות, והם מפולגים באופן נרחב בכל רחבי כדור הארץ. סוגים שונים רבים של דובוני מים נתגלו ותוארו. ניתן לצפות בהם בכל האוקיינוסים, הנהרות, הימים והאגמים ובביצות, אולם הם נמצאים בעיקר בטחב ובביצות. דובוני מים כבשו את ההרים הגבוהים ביותר, את יערות הגשם ואת אנטרקטיקה. הם אפילו כבשו את הוליווד, שם ייתכן שפגשתם דובוני מים בסרטי גיבורי-העל של מארוול "אָנְטֶמָן" ו-"אנטמן והצ'רָעה", כאשר סְקוֹט לֶנְג נעלם לתוך המרחב הקוונטי.

לדובוני מים יש צורה משונה-הם בעלי מבנה מוצק עם ארבעה זוגות של רגליים קצרות, רחבות ועבות, שמסתיימות בארבעה עד שמונה טופרים, וכשהם זזים נראה כי הם נעים בכבדות (איור 1). שלושת זוגות הרגליים הראשונים משמשים לתנועה, וזוג הרגליים האחרון משמש את דובוני המים לאחיזה במשטח שעל גביו הם הולכים. אפילו עם כל כך הרבה רגליים, דובוני מים בדרך כלל אינם הולכים, אלא מחליקים בצורה פסיבית, באמצעות זרימה של מים או רוח. האופן שבו הם נעים משתקף גם בשמם המדעי: **טְרַדִיגְרִיידים**. פירוש המילה טְרַדִיגְרָדוּם היא "הולך לאט", ושם זה ניתן לדובוני מים על ידי לאדזרו סְפֶלְנֶצְני, ביולוג

**ביצה**

(Wetland)

מרחב מחיה עבור מספר אורגניזמים, אשר מוצף באופן זמני או קבוע על ידי מים, ומאכלס על ידי צמחים ימיים.

**טרדיגריידים (Tardigrade)**

מונח מדעי עבור קבוצת חיות שמוכרות גם בתור דובוני מים או חרזירי טחב.

איטלקי שפעל במאה ה-18, בשל התנהגותן האיטית והינחוחה של חיות אלה, שעשויות להיראות עצלניות.

## כיצד דובוני מים גדלים?

בדומה לכמעט כל יצור אחר בכדור הארץ, דובוני מים צריכים לאכול מזון ולנשום אוויר כדי להפיק את האנרגיה הדרושה להם עבור התחלקות תאיהם וגדילת הגוף. בניגוד לדובים אמיתיים, דובוני מים הם פשוט זעירים מדי מכדי שיוכלו לאכול סלמון או כלבי ים. דבש גם לא נכלל בתפריט שלהם. עם זה באופן בסיסי דובוני מים אוכלים הכול. אומנם הם מעדיפים בעיקר מזונות צמחוניים כמו צמחים ואצות, אך יאכלו גם חיות מיקרוסקופיות.

שלא כמו מרבית החיות האחרות, הגופים של דובוני מים נוצרים במהלך תוכנית ספציפית. לכל סוג של דובון מים בוגר יש בדיוק את אותו מספר התאים. התאים שלהם מתחלקים כל הזמן, אך דובון המים מכוסה על ידי שכבה חיצונית, מעין שריון שאינו גדל ואינו גמיש. כאשר השריון נעשה צפוף, דובוני מים ישילו אותו בתהליך שנקרא **השלה**, בדומה לעכבישים ולנחשים. אף על פי שגם בני אדם וגם דובוני מים זקוקים לחמצן כדי לשרוד, דובוני מים לא נושמים באופן שבו אנו נושמים. למעשה, אפילו אין להם איברי נשימה כמו ריאות. דובוני מים קולטים אוויר דרך פני השטח של גופם, ממש כמו חרקים. הם יכולים להפסיק לנשום ולאכול במשך זמן מה, בדומה לתהליך של שנת חורף, המאפשר לחיות אחרות, כמו למשל דובי קוטב, להאט את התהליכים הגופניים כדי לשרוד את חודשי העונה הקרה. אולם, דובוני מים מרשימים אפילו יותר, מאחר שלא רק שביכולתם לישון במשך כמה חודשים, אלא שהם גם מגיעים לגילים מבוגרים מאוד, ומשגשגים במקומות הקיצוניים ביותר בכדור הארץ.

## מהם מרחבי המחיה הקיצוניים ביותר עבור דובוני מים?

דובוני מים הם החיות הקיצוניות ביותר שאנו מכירים – הם עומדים כמעט בכל תנאי קיצוני שניתן לחשוב עליו. הם יכולים לשרוד באזור הארקטי לצד דובי קוטב, או באנטרקטיקה, המשופעת בפינגווינים (איור 2A). דובוני מים אפילו שורדים במעבדה בטמפרטורות מתחת ל-200°C – טמפרטורה נמוכה פי שניים מהטמפרטורה הקרה ביותר שאי פעם נצפתה בטבע. תחת תנאים קיצוניים כאלה, דובוני המים נכנסים לשלב שמזכיר מוות. במהלך מצב המנוחה דמוי-המוות, שנקרא **תרדמה**, דובוני מים מפסיקים את כל התפקודים שבדרך כלל מגדירים חיים: הם מפסיקים לנשום, מפסיקים לנוע ולגדול ואפילו מפסיקים לעכל את ארוחתם האחרונה [2]. כתלות באורך התרדמה שלהם, יכול לקחת שעות אחדות להעירם. חלק מדובוני המים אפילו נצפו כמחזיקים מעמד בתרדמה בת מאה שנים!

בקצה השני של סקאלת הטמפרטורה, ישנם מיקרובים שיכולים לגדול בטמפרטורות בסביבות 120°C. המיקרובים אוהבי החום האלה נקראים **אֶקְסְטְרֵמוֹפִילִים** (קיצונאים) [3, 4]. דובוני מים אינם אוהבים את החום הקיצוני, אולם לא רק שהם יכולים לשרוד במדבר, הם אפילו מסוגלים לעמוד בטמפרטורות בסביבות 150°C (איור 2B) – תנאים שהיו הורגים את מרבית האקסטרמופילים. מרשימה אפילו יותר היא העובדה שדובוני מים יכולים להיות מחוממים ומוקפאים באופן מחזורי בלי למות. היכולות האלה אפשרו לדובוני מים להפוך

### השלה (Molting)

חלק מהחיות, כמו דובוני מים, חרקים, עכבישים ונחשים, אינן גדלות באופן רציף. הן צריכות להחליף את השריון החיצוני שלהן כשהוא נעשה צפוף מדי.

### תרדמה (Dormancy)

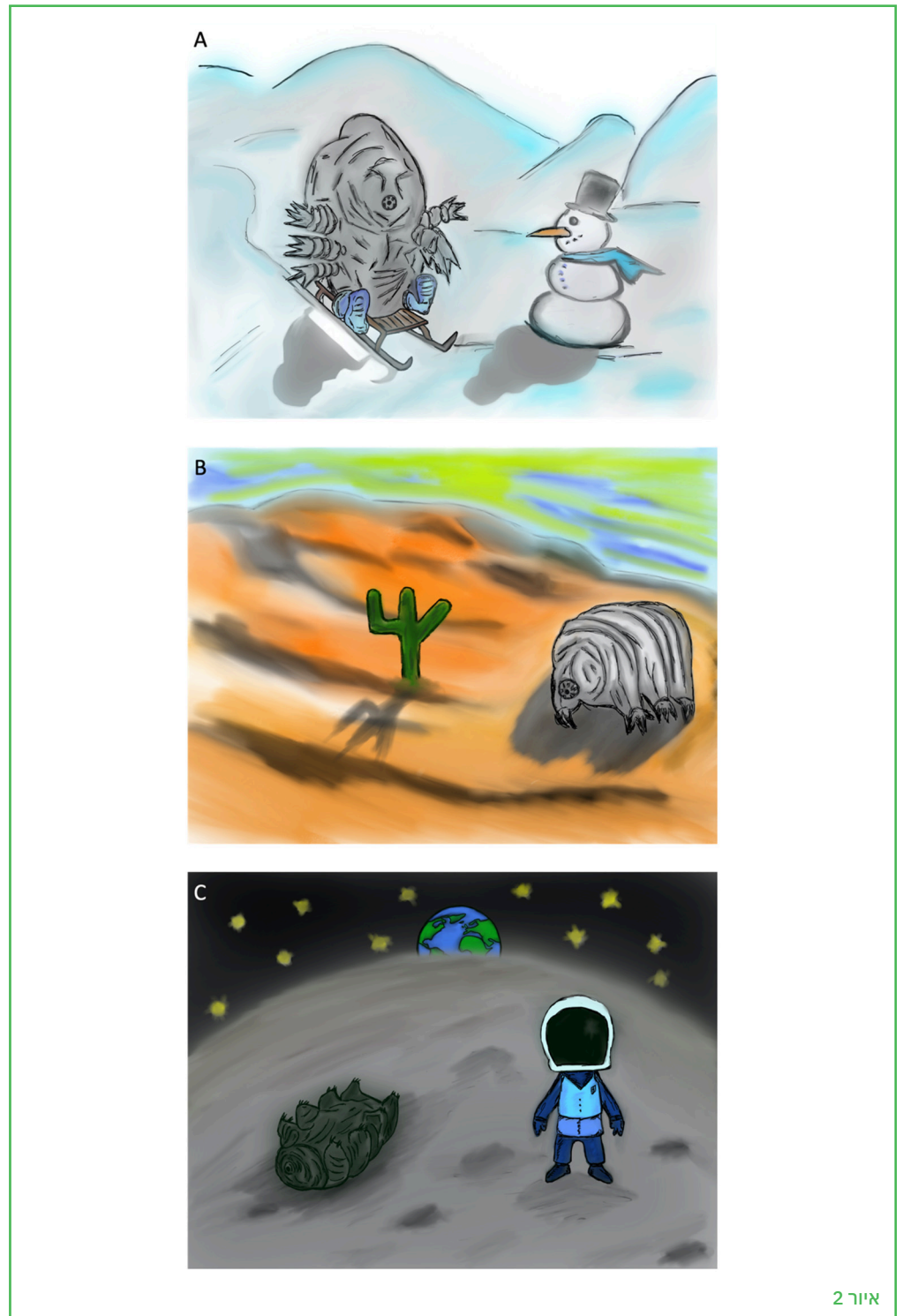
שלב מנוחה דמוי-מוות, שבמהלכו כל סוג של פעילות כמו גדילה או עיכול נעצר באופן זמני.

### אקסטרמופילים (Extremophiles)

מיקרואורגניזמים שאוהבים לחיות בסביבות הקיצוניות ביותר בכדור הארץ. דובוני מים אינם אקסטרמופילים אמיתיים מאחר שלמרות שהם יכולים לעמוד בתנאים קיצוניים, הם לא מעדיפים סביבות כאלה.

## איור 2

**השרידות הגבוהה של דובוני מים בתנאי אקלים שונים.**  
**(A)** דובוני מים יכולים לשרוד בסביבות מחיה קרות באופן קיצוני, כמו הרי ההימלאיה המושלגים, ובטמפרטורות נמוכות של  $-150^{\circ}\text{C}$ . **(B)** דובוני מים יכולים לשרוד בסביבות מחיה חמות באופן קיצוני, כמו המדבריות החמים ביותר, ובטמפרטורות גבוהות של  $100^{\circ}\text{C}$ . **(C)** דובוני מים יכולים לשרוד אפילו בוואקום של החלל!



איור 2

מוצלחים מאין כמותם במהלך האבולוציה. כיום מוכרים יותר מ-1,000 סוגים שונים של דובוני מים, כשהמינים העתיקים ביותר מתוארכים יותר מ-500 מיליוני שנה אחורה.

דובוני מים לא רק שורדים את הקור העז ביותר או את החום הלוהט ביותר ללא מזון וללא אוויר לנשימה, אלא שהם גם יכולים להתקיים ללא מים, והם עמידים לקרינה. מאחר שהתנאים הקיצוניים האלה מתקיימים בחלל, מדענים שאלו את עצמם אם דובוני מים

עשויים להיות מסוגלים לטוס לחלל ולהצליח לשרוד שם (איור 2C). מדענים ידעו שדובוני מים יכולים לעמוד בלחץ הגבוה שנמצא בעומק הים, אולם בחלל ישנו ואקום, עם לחץ נמוך יותר בהשוואה לכדור הארץ. על כל פנים, מספר מינים של דובוני מים נשלחו לחלל, וכולם חזרו הביתה בריאים. יתרה מזו, בשנת 2019 יותר מ-1,000 דובוני מים בתרדמה הונחתו בהתרסקות על הירח כנוסעיה של ספינת חלל. אנו משערים כי מרבית החיות החסונות האלה שרדו את ההתרסקות, ויוכלו להתעורר בעתיד על ידי מים וחמצן.

## האם דובוני מים יכולים לתרום לבני אדם?

במשך זמן רב, מדענים ניסו להבין את עמידותם של דובוני מים לקרינה. אף על פי שקרינה בצורה של קרני רנטגן יכולה לשמש רופאים לבחינת עצמות שבורות, קרינה גם יכולה לגרום להרס הוראות ההפעלה של הגוף. הוראות הפעלה אלה נקראות גֵנוֹם, והן דומות בקרב האורגניזמים החיים בכדור הארץ, לרבות דובוני מים. צריכה להיות סיבה לעמידות האדירה לקרינה שנצפתה בדובוני מים, שהיא גדולה יותר מפי 1,000 מעמידותם של בני אדם לקרינה.

מקטע מסוים בגנום של דובוני מים זוהה לאחרונה ושוחזר במעבדה [5]. כאשר מקטע זה הוסף לתאים אנושיים שגודלו באותה המעבדה, נמצא כי תאים אלה שרדו קרינה אינטנסיבית יותר מתאים אנושיים שלא הוספו להם מקטעי הגנום מדובוני המים. הניסויים הראשוניים האלה עשויים להוביל ליישומים עתידיים המתבססים על מאפיינים של דובוני מים. אלה יוכלו לשמש לא רק להגנה על תאים אנושיים כנגד קרינה, אלא ייתכן שגם לייצור תרופות או להגדלת עמידותם של צמחי יבול לתנאים סביבתיים כמו בצורת.

## מה למדנו מדובוני מים

לסיכום, דובוני המים די שונים מהדובים שאנו מכירים היטב. מהחיות הזעירות האלה למדנו שהן לא רק עמידות לתנאים הקיצוניים ביותר בכדור הארץ, אלא אפילו מסוגלות לשרוד בחלל. בשל התכונות הייחודיות הללו, דובוני מים הם חיות מרתקות, ובין אורגניזמי המודל שהכי מעניין עבורנו להמשיך לחקור בעתיד.

## תודות

המחבר מודה ל-Sylvia Wiese ול-Jan Friesen עבור קריאה ביקורתית של כתב היד.

## מקורות

1. Jönsson, K. I. 2019. Radiation tolerance in tardigrades: current knowledge and potential applications in medicine. *Cancers* 11:1333. doi: 10.3390/cancers11091333
2. Fontaneto, D. 2019. Long-distance passive dispersal in microscopic aquatic animals. *Mov. Ecol.* 7:10. doi: 10.1186/s40462-019-0155-7

## גנום (Genome)

סוג של תוכנית בנייה שכלולה בכל תא חי בכל האורגניזמים (חיידקים, פטריות, צמחים, חיות וכדומה). תוכנית זו קובעת את המראָה של מרבית הרכיבים התאיים, ואת הרכבם.

3. Elleuche, S., Schröder, C., Stahlberg, N., and Antranikian, G. 2017. "Boiling water is not too hot for us!"—preferred living spaces of heat-loving microbes. *Front. Young Minds*. 5:1. doi: 10.3389/frym.2017.00001
4. Schröder, C., Burkhardt, C., Antranikian, G. 2020. What we learn from extremophiles. *ChemTexts* 6:8. doi: 10.1007/s40828-020-0103-6
5. Hashimoto, T., Horikawa, D. D., Saito, Y., Kuwahara, H., Kozuka-Hata, H., Shin, I. T., et al. 2016. Extremotolerant tardigrade genome and improved radiotolerance of human cultured cells by tardigrade-unique protein. *Nat. Commun.* 7:12808. doi: 10.1038/ncomms12808

פורסם אונליין: 23 במאי 2023

נערך על ידי: Stuart Semple

מנחים מדעיים: Rita Araujo and Ryan Thomas Weir

ציטוט: Elleuche S (2023) דובוני מים-החיות הקיצוניות ביותר בכדור הארץ ובחלל! *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2021.573691-he

תורגם והותאם מ: Elleuche S (2021) Water Bears—The Most Extreme Animals on The Planet (And in Space!). *Front. Young Minds* 9:573691. doi: 10.3389/frym.2021.573691

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

© 2021 © Elleuche 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 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.

## סוקרים צעירים

### CATHERINE, גיל: 15

אני אוהבת מוזיקה ושירה, מנגנת בכינור ובגיטרה וגם נהנית מכתביה! אני חלק מלהקת highland dance ומתנדבת עם ילדים במועדונים מקומיים. נהנית ללכת לאירועי נוער עם הכנסייה שלי, ולעסוק בספורט. אני מקווה שעל ידי סקירת המאמרים אוכל ללמוד דברים חדשים ומעניינים!

### HARRISON, גיל: 11

אני אוהב לעסוק בספורט כמו הוקי, ולרוץ ולרדוף אחרי הכלב שלי! אוהב לגלות דברים חדשים, אך לא מזונות חדשים! אני מתרגש להתחיל בקרוב את חטיבת הביניים, ולנסות הרבה מקצועות חדשים. המקצוע האהוב עליי כרגע הוא מתמטיקה.







**ISABEL, גיל: 11**

היי, אני איזבל, בת 11. אוהבת מאוד לכתוב סיפורים, אוהבת לקרוא ומתעניינת מאוד בדיפלומטיה.



**MARGARIDA, גיל: 13**

קוראים לי מרגרידה, בת 13. אני אוהבת קריאה, טיפוס וכתובה. אוהבת מאוד ביולוגיה וגם מדע, במיוחד כל מה שקשור לחורים שחורים. כרגע, אין לי מושג מה ארצה להיות כשאגדל.



**MEGAN, גיל: 15**

היי, אני מייגן. התחביבים שלי כוללים תיאטרון מוזיקלי, אפייה וגלישה (אבל רק במהלך הקיץ!). נעשיתי מעורבת בפרונטירז-מדע לצעירים מאחר שאני רוצה מאוד ללמוד עוד על מדע ועל העולם שסביבי, וחשבתי שקריאת המאמרים האלה תהיה התחלה טובה!

**הכותב**

**SKANDER ELLEUCHE**

אני מיקרוביולוג/ביולוג מולקולרי בהכשרתי, עם סקרנות מלידה לכל תחומי הביולוגיה. יש לי יותר מ-10 שנות ניסיון בעבודה עם מיקרובים מסביבות קיצוניות. עיצבתי ספר קומיקס על מדע, ובדיוק סיימתי לכתוב ספר מדע פופולרי על סביבות קיצוניות, אשר אויר עם קריקטורות (בגרמנית). מאז 2020, עבדתי בתור מדען בתקברה שמפתחת בדיקות לאיתור מחלות וזיהומים. מחוץ לעבודה, אני נהנה לקרוא סיפורים מדעיים וספרי קומיקס, ולבלות את זמני הפנוי עם החתול שלנו, לאן. \* [skander.elleuche@rub.de](mailto:skander.elleuche@rub.de)



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**