

## חישוב האקלים: בניית מודל של העולם

Jonny Williams\*

המכון הלאומי לחקר מים ואטמוספירה, וולינגטון, ניו-זילנד

### סוקרים צעירים

NICOLAS

גיל: 9



OMER

גיל: 11



מזג אוויר הוא משהו שכולנו חווים, וכשממַצְעִים את מזג האוויר על פני זמן ארוך, זה נקרא אקלים. האקלים משתנה, וזה קורה בגללנו. שינוי האקלים כבר נחוה ברחבי העולם, והוא ישפיע על כולם. חלק מהמדענים ומהפוליטיקאים קוראים לזמן הזה "משבר האקלים" [1]. לדוגמה, קהילות שחיות קרוב לחופים עשויות להצטרך לזוז כתוצאה מעלייה בגובה פני הים. אנו נצטרך לעבוד יחד בקהילות שלנו כדי להבין את הבעיה, ולנסות למזער את ההשפעות שלה על הטבע. כשהאקלים משתנה, זה לא רק האוויר שמשתנה, אלא גם חלקים אחרים בעולם. במאמר הזה נחקר כיצד ומדוע אנו משתמשים במחשבים במטרה לבנות מודלים של עולמות. נקרא להם "מודלי אקלים". אתם יכולים לסייע לנו לערוך ניסויים עם מודלי אקלים, ואני אספר לכם כיצד.

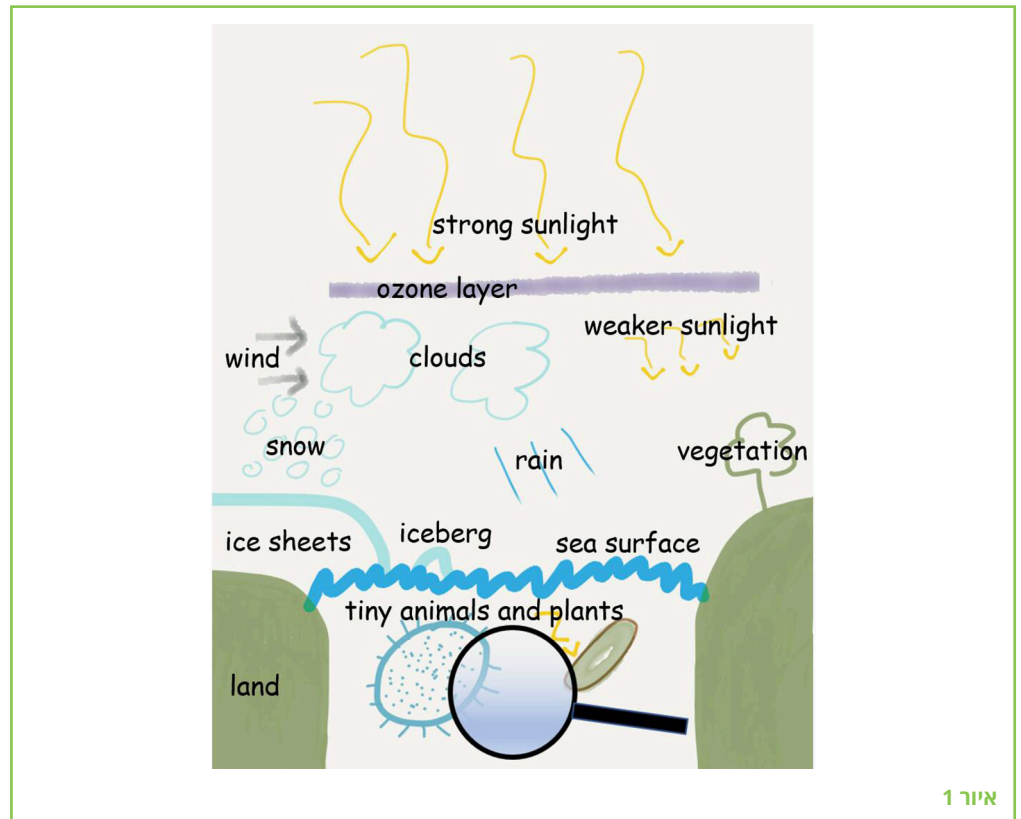
### מהו שינוי האקלים, ומדוע הוא חשוב?

כולנו חווים את מזג האוויר. הוא משתנה עם העונות, אולם ישנם שינויים אחרים שמתרחשים על פני תקופות ארוכות יותר. השינוי הזה בממוצע של מזג האוויר (וגם בדברים אחרים) נקרא "שינוי אקלים".

האוויר מורכב מגזים שונים. אחד מהם הוא פחמן דו-חמצני, או  $CO_2$ .  $CO_2$  נמצא באופן טבעי באוויר סביבנו, אולם הוא גם נפלט על-ידי דברים שבני אדם עושים ביומיום. לדוגמה,  $CO_2$

## איור 1

ההליכים רבים שנכללים במודל אקלים. למעלה, אתם יכולים לראות את החיצים הצהובים שמייצגים קרני שמש. הקו הכחול ממש מתחתן מייצג את שכבת האוזון. ממש מתחת לשכבת האוזון אתם יכולים לראות את אותן קרני השמש, שהן כעת פחות חזקות מאשר שגז האוזון ספג חלק מהאנרגיה שלהן. ממש מתחת לשכבת האוזון ישנם עננים (עם שלג וגשם שיוצאים מהם). שני החיצים מצד שמאל מייצגים את הרוח. למטה, האזורים הירוקים הגדולים מייצגים את האדמה. העץ מימין מראה שאפשר לכלול גדילה של צמחייה במודלים האלה. מעל לאדמה וים מצד שמאל ישנם יריעת קרח גדולה וגם קרחון! מתחת לקו הכחול המשוורבט (אשר מראה את גובה פני הים), ישנו פלנקטון. פלנקטון הם חיות וצמחים מיקרוסקופיים. הפלנקטון הירוק מימין הוא צמח והוא זקוק לאור (קרן שמש) כדי לשרוד, ממש כמו צמחים על האדמה.



איור 1

נפלט לאוויר ממנועים של אוטובוסים. הוא יכול גם להיפלט על ידי תחנות כוח שמייצרות חשמל באמצעות שריפה של חומרים כמו פחם. כאשר  $CO_2$  מגיע לאוויר, הוא גורם לאוויר להתחמם. זה נקרא "התחממות גלובלית".

## גזי חממה

## (Greenhouse Gases)

גזי חממה הם גזים שמחממים את האוויר, וגורמים להתחממות גלובלית. גז החממה הידוע ביותר הוא פחמן דו-חמצני.

## אקלים

## (Climate)

ממוצע ארוך הטווח של תנאי מזג האוויר באזור מסוים.

## מודל אקלים

## (Climate Model)

מודל אקלים הוא מודל של העולם שנבנה על מחשב. חלק ממודלי האקלים מסובכים יותר מאחרים.

האם אי פעם הייתם בחממה? חממות הן מבנים מזכוכית שמשמשים לגידול צמחים. כאשר השמש זורחת על חממה, אור השמש מחמם את החממה והיא נעשית חמה יותר מבפנים מהסביבה שבחוץ. להכנסת  $CO_2$  לאוויר יש אפקט דומה כמו הכנסת העולם לחממה. מסיבה זו, גזים כמו  $CO_2$  נקראים **גזי חממה**.

בעתיד, אף אחד לא בדיוק יודע כמה גזי חממה יהיו באוויר. לכן, אנו משתמשים במחשבים כדי לבנות מודלים של העולם, ואז מעריכים מה אנו חושבים שעשוי לקרות להם. ממוצע מזג האוויר באזור נקרא **אקלים**, לכן המודלים האלה נקראים **מודלי אקלים**. חלק מהתכונות שנכללות במודלים שלנו מוצגות באיור 1.

כדי להעריך מה עשוי לקרות בעתיד, אנו בונים את מודלי האקלים שלנו באמצעות מה שאנו יודעים על העולם כיום. אנו נותנים לאלמנטים שונים שמוצגים באיור 1 לתקשר זה עם זה. לאחר מכן, אנו מוודאים שהמודלים של העולם מייצרים אקלים הדומה כמה שיותר לעולם האמיתי. ברגע שעשינו את זה לזמנים הנוכחיים, אנו משתמשים במחשבים שלנו כדי לחזות מה יקרה לאקלים שלנו בעתיד.

כפי שאתם יכולים לראות מאיור 1, אנו יכולים להשתמש במודלים של עולמות כדי להסתכל על הרבה יותר מאשר רק האוויר. לדוגמה, אם יהיה יותר גשם בעתיד, האם סוג היבולים שאנשים

מגדלים ישתנה? מאחר שכל עולם הטבע מחובר, ישנם הרבה דברים אחרים לחשוב עליהם, כמו למשל:

1. הגזים השונים באטמוספירה וכיצד הם מתקשרים זה עם זה דרך תגובות כימיות.
2. ההשפעה של שינוי האקלים על צמחים וחיות זעירים בים, שנקראים פלנקטון. פלנקטון מושפע על ידי טמפרטורת הים והאוויר שנוגע בפני השטח של הים. פלנקטון משפיעים על כל שרשרת המזון בים.
3. כשהאוויר מתחמם, ייתכן שנצטרך לגדל יבולים וצמחים אחרים על האדמה במקומות שונים מהיום.

ישנם הרבה מודלי אקלים שונים. חלק כוללים את כל התהליכים שמוצגים באיור 1, ואחרים רק קצת! לחלק מהארגונים יש מחשבים חזקים במיוחד, כך שהם יכולים לבצע את החישובים שלהם מהר מאוד. המחשבים האלה נקראים **מחשב-על**, והם יכולים לבצע מספר חישובים עצום בכל שנייה. באמצעות התשובות שמחשבי העל מספקים אנו יכולים לקבל תחזית מזג אוויר למחר, או תחזית של כמה האקלים שלנו צפוי להשתנות בעתיד. זיכרו שכל המחשבים עושים את החישובים כמו שאתם עושים בעצמכם עם דף ועט, רק הרבה יותר מהר!

## האם שינוי האקלים אינו תהליך טבעי?

זו שאלה שנשאלת הרבה, וזו שאלה טובה! האקלים אכן השתנה בעבר, אולם כיום הוא משתנה מהר יותר מהרגיל. קצב שינוי האקלים המהיר יותר הוא תוצאה של השפעות אנושיות על העולם, במקום של תהליכים טבעיים, שבדרך כלל מתרחשים הרבה יותר לאט [2].

דרך אחת שבה אנו יכולים לקבל מושג על מהירות שינוי האקלים היא על ידי התבוננות בליבות קרח. ליבות הקרח הן גלילים ארוכים של קרח שנקדחים מתוך יריעות קרח ממקומות כמו אנטארקטיקה. ליבות קרח נוצרו מאלפי שנים של שלג שנפל ולא נמס. בועות זעירות של אוויר יכולות להיכלא בתוך השלג הזה, שנדחס במשך שנים רבות עד שנוצר קרח. בועות האוויר מכילות גזי חממה, ומדענים יכולים למדוד כמה גזי חממה נמצאים בתוך חלקי השלג הדחוסים שנאגרו במשך אלפי שנים. איור 2 מציג מידע שהופק מליבות קרח על רמות ה- $\text{CO}_2$  במשך כ-800,000 שנים.

עד לפני כ-200 שנים, לאנשים הייתה השפעה מועטה על כמות גזי החממה באוויר. הקו באיור 2 מראה שבמהלך תקופות זמן ארוכות, כמות ה- $\text{CO}_2$  באוויר עלתה וירדה באופן טבעי. בזמן כתיבת המאמר הזה, כמות ה- $\text{CO}_2$  באוויר גדלה כך שכיום היא הרבה מעל למה שהיא הייתה במשך כמעט מיליון שנים. זה מוצג על ידי העיגול הכחול באיור 2. רמת ה- $\text{CO}_2$  ממשיכה לעלות. אינכם צריכים להבין בדיוק מה המשמעות של המספרים, אולם אתם יכולים לראות מאיור 2 שרמות ה- $\text{CO}_2$  עלו וירדו בעבר. ההבדל העיקרי הוא שכיום כמות גזי החממה באוויר עולה הרבה יותר מהר מבעבר.

## מהו מודל ומהי סימולציה?

הסברנו מהו מודל אקלים, אולם גם חשוב לדבר על סימולציות. אתם יודעים שמודל אקלים הוא מודל של העולם שבנוי על מחשב. אולם, מה בדיוק אתם עושים עם

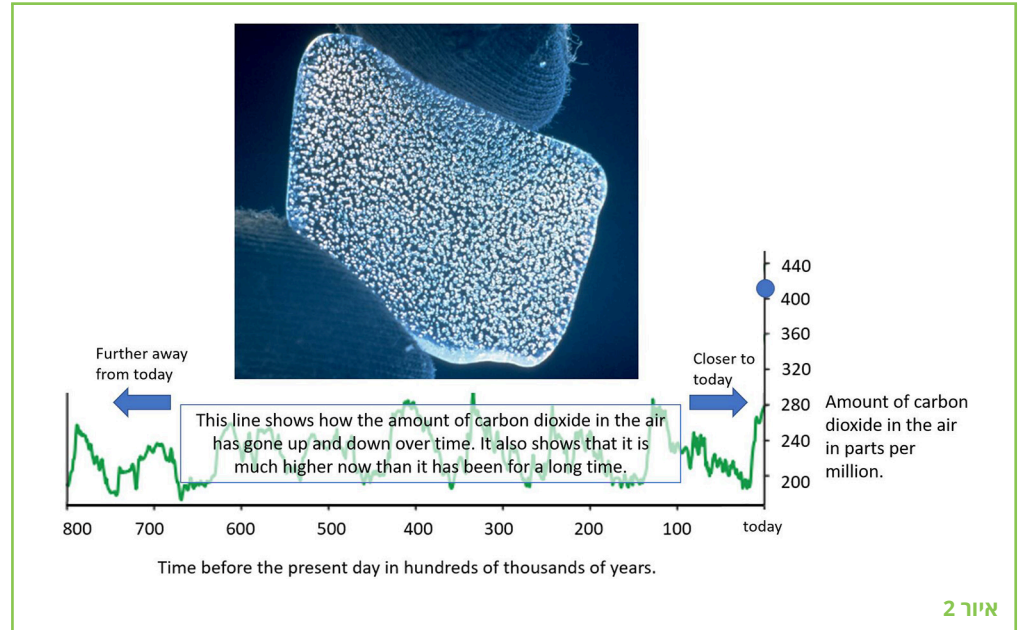
### מחשב-על

(Supercomputer)

מחשב-על הוא מחשב שיכול לבצע חישובים הרבה יותר מהר ממחשב פרטי.

## איור 2

הגרף למטה מראה כיצד כמות הפחמן הדו-חמצני באוויר השתנתה במשך 800,000 השנים האחרונות. הנתונים הופקו מליבות קרח [2]. העיגול הכחול על ציר ה-Y מראה את כמות הפחמן הדו-חמצני באוויר היום (תחילת 2020), שהוא הרבה יותר גבוה מאי פעם ב-800,000 השנים האחרונות. התמונה למעלה מראה פיסת קרח מאנטארקטיקה עם הרבה בועות אוויר שכלואות בתוכה. אפשר לנתח את האוויר הזה במעבדה במטרה לגלות כמה גזי חממה היו באוויר כאשר השלג נפל וקפא, ויצר את הקרח [3].



איור 2

המודל תלוי בכם? אתם יכולים לשנות את האקלים העתידי החזוי על ידי שינוי השימוש במודל.

סימולציה היא מה שמוצר על ידי מודל. משמעות הדבר היא שאתם יכולים לעשות כמה סימולציות שאתם רוצים באמצעות אותו המודל. אני אוהב לחשוב על זה כמו על משחק מחשב. אתם יכולים לשחק במשחק מרוץ מכוניות שבו אתם מנסים להביס את הזמן הכי טוב הקודם שלכם. המסלול שעליו אתם נוסעים הוא מודל מחשב של מסלול מרוץ אמיתי, וכל פעם שאתם נוסעים עליו אתם עושים סימולציה חדשה. כל סימולציה תהיה קצת שונה (זמן שונה במשחק), אולם אתם עדיין משתמשים באותו המודל (המשחק).

## דוגמה לחשיבותם של מודלים במחשב

חלק מכם אולי שמעתם על "החור באוזון" סביב לקוטב הדרומי. **אוזון** הוא אחד מסוגי הגזים הטבעיים הרבים באוויר. אוזון סופג חלק מקרני השמש, שאינן טובות לעור שלכם. בגלל הדרך שבה דברים כמו מקררים היו מיוצרים בעבר, גזים מסוימים שוחררו לאוויר והרסו את האוזון. הגזים האלה נקראים **חומרים מדלדלי אוזון**. אפשר לראות תמונה של החור באוזון משנת 2015 באיור 3.

ההקדמה הזו של האוזון התגלה בשנות ה-1980, ובשנת 1987 חומרים מדלדלי אוזון נאסרו לשימוש. ההסכם שהתגבש התרחש בפגישה במונטריאול, כך שההסכם נקרא **פרוטוקול מונטריאול**. מאז, החור באוזון התחיל להתכווץ.

באמצעות שימוש במודלים של העולם, מדענים העריכו כיצד העולם יכל היה להיראות ללא פרוטוקול מונטריאול [5]. מדענים מצאו שאיסור שימוש בחומרים מדלדלי אוזון סייע להאט שינוי האקלים באזור הקטבים הצפוני והדרומי. זה מראה שאם אנו עובדים יחד במטרה להילחם בשינוי האקלים, אנו יכולים ליצור שינויים משמעותיים בעתיד העולם שלנו:

## אוזון (Ozone)

אוזון הוא גז האוויר שמגן כנגד קרניים מזיקות מהשמש.

## חומרים מדלדלי אוזון (Ozone Depleting Substances)

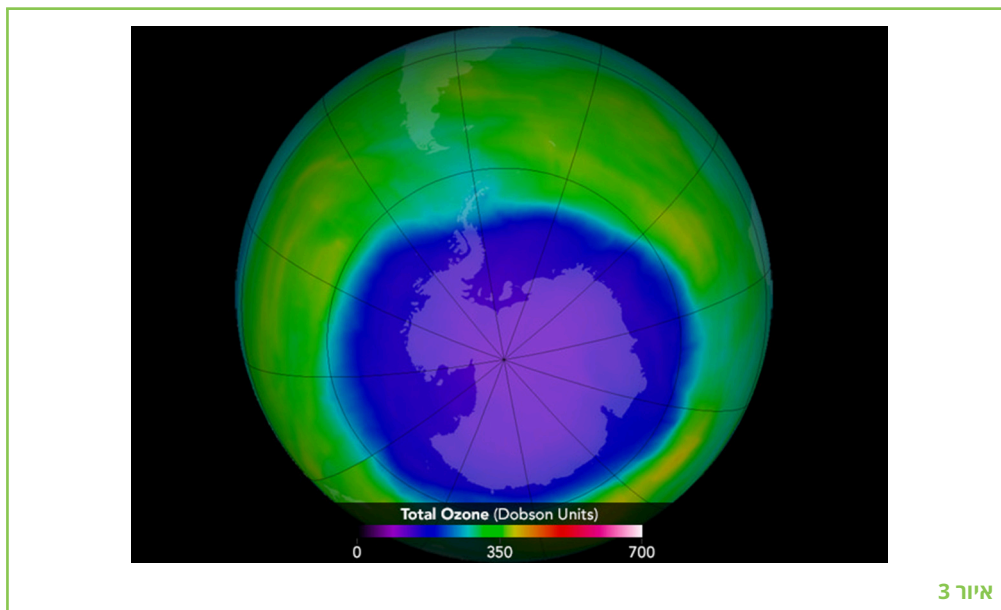
חומרים מדלדלי אוזון הם חומרים באוויר שגורמים להסרה של גז האוזון.

## פרוטוקול מונטריאול (Montreal Protocol)

פרוטוקול מונטריאול הוא הסכם בינלאומי שנחתם על ידי הרבה מדינות שונות, במטרה להגביל את הפליטות של חומרים מדלדלי אוזון.

### איור 3

דוגמה לחור באוזון בשנת 2015 [4]. האזור הכחול סביב לקוטב הדרומי (היכן שהקווים המעוקלים נפגשים), מראה היכן האזור נהרס גבוה באטמוספירה. לאחרונה, החור באוזון התחיל להיסגר שוב, אולם יקח עשרות שנים כדי שהוא יחזור למצבו הטבעי.



איור 3

“פרוטוקול מונטריאול לא רק מנע נזק נוסף לשכבת האוזון, אלא גם סייע במניעת שינוי אקלים אזורי משמעותי” [5]

במקרה הזה, מודל העולם הראה כיצד האקלים שלנו היה שונה באזורים מסוימים לו חומרים מדלדלי אוזון לא היו נאסרים לשימוש. זו דוגמה לכך שבניית מודלים של העולם והרצת סימולציות על העולמות האלה היא צעד חשוב לקראת הגנה על האקלים שלנו.

### אנו יכולים לעזור!

על ידי שימוש בכוח של האינטרנט, אנו יכולים לבנות יחד סוג מיוחד של מחשב. מחשבים של הרבה אנשים לעיתים קרובות דולקים, אולם לא עושים הרבה. משמעות הדבר היא שישנו כוח חישובי עודף שאפשר להשתמש בו כדי לבצע חישובים שקשורים לעתיד האקלים.

אם יש לכם מחשב שאתם יכולים להשתמש בו, אז גם אתם יכולים להיות מדעני אקלים. אם אתם רוצים לקחת חלק בפרויקט, אתם יכולים להיכנס לאתר [www.climateprediction.net](http://www.climateprediction.net). כאן, תוכלו להירשם להרצת מודל של האטמוספירה על המחשב שלכם!

[www.climateprediction.net](http://www.climateprediction.net) הוא רק דוגמה למה שנקרא פרויקט מדע אזרחי. מדענים אזרחים הם אנשים שמשקיעים חלק מזמנם במטרה לסייע במענה על שאלה מדעיות. מה שמצוין בפרויקטים האלה הוא שאפשר להשיג הרבה מאוד באמצעות עבודת צוות! ישנם הרבה פרויקטים כאלה, ואתם יכולים להתחיל לקחת בהם חלק כבר עכשיו.

### מקורות

1. Archer, D., and Rahmstorf, S. 2010. *The Climate Crisis: An Introductory Guide to Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.

### מדע אזרחי

#### (Citizen Science)

פרויקטי מדע אזרחי הם פרויקטים שבהם הציבור מקדיש חלק מהזמן שלו במטרה לסייע במענה על שאלה מדעיות. הרבה פעמים הפרויקטים האלה מבוצעים ברשת.

2. IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge; New York, NY: Cambridge University Press.
3. CSIRO. 2014. *File:CSIRO SciencelImage 521 Bubbles in Ice.jpg—Wikimedia Commons, The Free Media Repository*. Available online at: [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:CSIRO\\_SciencelImage\\_521\\_Bubbles\\_in\\_Ice.jpg&oldid=134917868](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:CSIRO_SciencelImage_521_Bubbles_in_Ice.jpg&oldid=134917868) (accessed September 9, 2019).
4. NASA. 2017. *File:Ozone Hole 2015 (22340684609).jpg—Wikimedia Commons, The Free Media Repository*. Available online at: [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Ozone\\_Hole\\_2015\\_\(22340684609\).jpg&oldid=271354780](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Ozone_Hole_2015_(22340684609).jpg&oldid=271354780) (accessed September 9, 2019).
5. Morgenstern, O., Braesicke, P., Hurwitz, M. M., O'Connor, F. M., Bushell, A. C., Johnson, C. E., et al. 2008. The world avoided by the Montreal protocol. *Geophys. Res. Lett.* 35:16811. doi: 10.1029/2008GL034590

פורסם אונליין: 24 בפברואר 2022

נערך על ידי: Mark A. Brandon

מנחה מדעי: Sagi Dalyot, Oscar Fernandez

ציטוט: Williams J (2022) חישוב האקלים: בניית מודל של העולם. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2019.00161-he

תורגם והותאם: Williams J (2020) Computing the Climate: Building a Model World. *Front. Young Minds* 7:161. doi: 10.3389/frym.2019.00161

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

**COPYRIGHT** © 2019 © Williams 2021. 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

### NICOLAS, גיל: 9

גדלתי בספרד, אבל היום אני גר בווינה. אני יכול לדבר גרמנית, אנגלית וספרדית. המקצוע האהוב עליי בבית הספר הוא מתמטיקה, והספורט האהוב עליי הוא כדורגל.





**OMER, גיל: 11**

אני אוהב לקרוא ספרי היסטוריה וביולוגיה, ולשחק במשחקי פוקימון ומשחקי נינטנדו סוויץ' אחרים.

**הכותב****JONNY WILLIAMS**

Jonny הוא חוקר אקלים במכון הלאומי לחקר מים ואטמוספירה בוולינגטון, ניו זילנד. הוא במקור מאנגליה, ומחויץ לעבודה הוא רץ נלהב, קורא ספרים ומנגן על כינור. Jonny אוהב חיות, וכלבים במיוחד!  
\*jonny.williams@niwa.co.nz



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**