



שינוי האקלים ועתיד החיים על פני כדור הארץ

Alex Hubbe^{1*} | Mark Hubbe²

¹המחלקה לאוקיאנוגרפיה, המכון למדעי הגיאוגרפיה, האוניברסיטה הפדרלית של באהיה, סלבדור, ברזיל
²המחלקה לאנתרופולוגיה, האוניברסיטה של אוהיו, קולומבוס, אוהיו, ארצות הברית

סוקרים צעירים

MANOR
GARDENS
PRIMARY
SCHOOL
גיל: 12-13



LORENZO
גיל: 12



MATÍAS
גיל: 12



RACHEL
גיל: 12



מאז המהפכה התעשייתית האקלים של כדור הארץ משתנה במהירות. פעולות האדם הן הגורם המרכזי להאצת התהליך. השימוש הנרחב בדלקי מאובנים (נפט, פחם, גז טבעי) מוביל לשחרור כמויות גדולות של פחמן דו-חמצני (CO₂) אל האטמוספירה. הגז מצטבר באטמוספירה ותורם להתחממות כדור הארץ. שינוי האקלים ושינויים אחרים מעשה ידי אדם (כמו כריתת יערות) מאיימים על קיומן של צורות חיים רבות על פני כדור הארץ. הכחדתם של יצורים אלה תשפיע בסופו של דבר גם עלינו. למשל, מלאי המזון הזמין לנו ילך ויפחת. במאמר הזה נעסוק בקשר שבין פעולות האדם ובין שינוי האקלים. חשוב שנדע כיצד פעולותינו תורמות להתחממות הגלובלית משום שאפשר עדיין להאט את קצב ההתחממות. כולנו יכולים לפעול כדי להאט את שינוי האקלים ולשמור על בעלי החיים והצמחים מפני הכחדה בעתיד הקרוב.

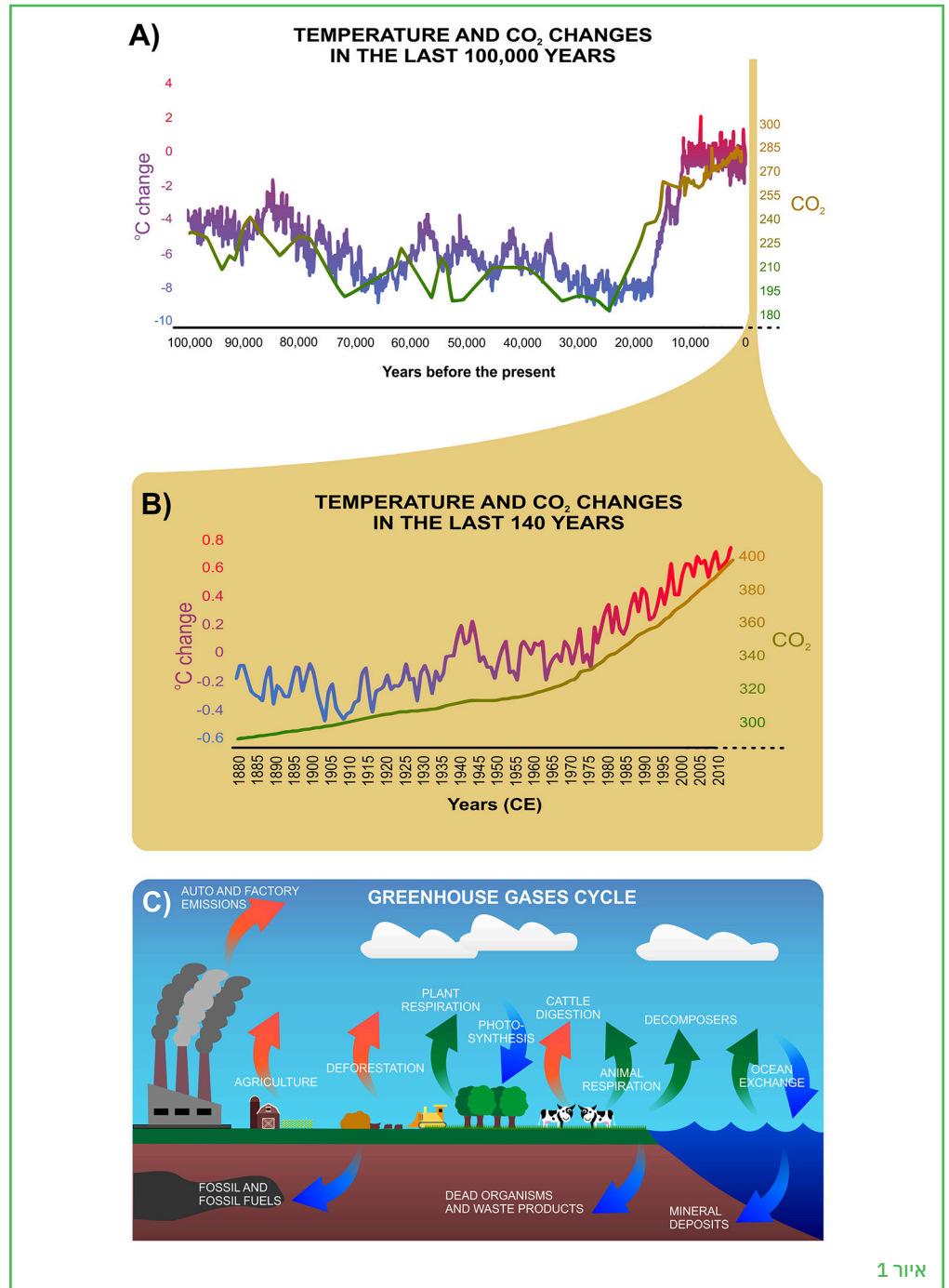
האקלים משתנה היום מהר מאוד, וזה לא טבעי

האם אתם יודעים להבחין בין מזג אוויר לאקלים? את מזג האוויר מאפיינים טמפרטורה, משקעים, מהירות הרוח ומדדים אחרים המשתנים בכל יום, ואפילו משעה לשעה, לפי עונות השנה. מזג האוויר השורר זמן ממושך (30 שנים ויותר) במקום מסוים הוא אקלים. אקלים

כדור הארץ משתנה כל הזמן (איור 1A). היו בעבר תקופות חמות בהרבה מהיום והיו אף תקופות קרות בהרבה. שינויים דומים לאלה יתרחשו גם בעתיד.

איור 1

(A) השינויים בטמפרטורה הממוצעת וברמות ה- CO_2 ב-100,000 השנים האחרונות. (B) השינויים בטמפרטורה הממוצעת וברמות ה- CO_2 בשנים 1880 עד 2016. בשני הגרפים (A, B) הקו האדום-כחול מציין את שינוי הטמפרטורה, והקו הירוק-חום מציין את השינוי ברמות ה- CO_2 . גרפים אלה מראים בבירור: (1) שינוי האקלים והשינוי ברמות ה- CO_2 קשורים זה בזה באופן הדוק; (2) שהאקלים השתנה במשך אלפי שנים; ו-(3) שכדור הארץ מתחמם במהירות מ-1880. (הנתונים בגרפים (A, B) לקוחים מנאס"א, ארצות הברית וממנהל האוקיינוסים והאטמוספירה הלאומי, ארצות הברית). (C) גדי חממה הם גזים התורמים להתחממות כדור הארץ והאטמוספירה. החיצים הפונים כלפי מעלה מייצגים את פליטת גדי החממה לאטמוספירה: החיצים האדומים הם פליטות הקשורות לבני אדם והחיצים הירוקים הם פליטות ממקור טבעי. החיצים הכחולים הפונים כלפי מטה מייצגים את ניצול גדי החממה בטבע.



איור 1

לפני כ-20,000 שנים הסתיים עידן הקרח האחרון [1] והתחילה התחממות שנמשכה עד 8,000 שנים לפני זמננו. בפרק זמן זה עלתה הטמפרטורה הממוצעת בכדור הארץ בין 3.1 ל-4.7 מעלות צלזיוס, שינוי של כ-0.03 מעלות צלזיוס בכל מאה. מסוף תקופה זו ועד המהפכה התעשייתית (לפני 200 שנים) הטמפרטורות היו קבועות יחסית. מהמהפכה התעשייתית התחילו הטמפרטורות לעלות שוב ובקצב מהיר מאוד (איורים 1A, B). מדענים מעריכים שעד שנת 2100 תעלה הטמפרטורה הממוצעת בכדור הארץ בעוד 2-4.9

מעלות צלזיוס בהשוואה לטמפרטורות בזמן המהפכה התעשייתית [2]. כלומר עד סוף המאה תעלה הטמפרטורה הממוצעת בקצב המהיר פי 100 בקירוב מקצב עלייתה במהלך 20,000 השנים האחרונות. בעבר נבעו שינויי האקלים מגורמים טבעיים, כגון כמות האנרגיה שהגיעה מהשמש וריכוז הגזים השונים באטמוספירה, אך הפעם השינוי נובע בעיקר מפעולות בני האדם. לכן ההתחממות הגלובלית בימינו נקראת "שינוי אקלים אנתרופוגני", כלומר מעשה ידי אדם.

מאז המהפכה התעשייתית בני האדם שורפים כמויות אדירות של **דלקי מאובנים** בשביל לענות על הדרישה הגוברת לאנרגיה. בעיקר בעקבות פעולה זו עלתה כמות הפחמן הדו-חמצני (CO₂) באטמוספירה בכ-46% ב-200 השנים האחרונות. אך CO₂ אינו הגז היחיד המשפיע על האקלים; שריפת דלקי מאובנים, החקלאות, תהליכים תעשייתיים וכריתת היערות – בכל אלה נפלטת גם גזים אחרים שתורמים לשינוי האקלים ומשבשים את מחזור החומרים הטבעי (איור 1C).

שינוי האקלים האנתרופוגני משפיע על האנושות בדורנו וימשיך להשפיע גם על הדורות הבאים. תופעות טבע, כדוגמת בצורות וסופות, יתרחשו לעיתים קרובות, עוצמתן תלך ותגבר ויותר בני אדם ייפגעו מהן (טבלה 1). אפילו קווי החוף שלנו ישתנו לבלי הכר ככל שיעלה מפלס האוקיינוס, בעיקר בעקבות הפשרת קרחונים בקטבים. עליית גובה פני האוקיינוס עלולה לגרום לנטישה של ערי חוף, כמו ניו-יורק, מיאמי, ריו דה ז'נרו, אמסטרדם ובנגקוק.

דלק מאובנים (Fossil fuel)

מקור אנרגיה שנוצר משרידים של צמחים ובעלי חיים שחיו לפני מיליוני שנים. דוגמאות: נפט, פחם וגז טבעי.

טבלה 1

כיצד שינוי האקלים משפיע על חיינו?

שינויי אקלים - ותוצאותיהם
1. גלי חום – עלייה בתמותת האוכלוסייה הבוגרת והענייה, נזק רב לחיות משק ולחקלאות;
2. גשמים – פגיעה בתיירות, עלייה בשכיחות השיטפונות ובסחף הקרקע;
3. בצורת – הפחתת כמות היבול ותוצרת חיות המשק, דלדול מאגרי המים ופגיעה באיכותם, עלייה בשכיחות שרפות היער
4. סופות – עלייה באובדן רכוש ותשתיות, ריבוי מגפות, סיכון מוגבר לחיי אדם, עלייה בשחיקת החופים (מעובד על פי נתוני "הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים").

טבלה 1

שינוי האקלים משפיע גם על צורות חיים אחרות בכדור הארץ, וככל הנראה מינים של חידקים, צמחים וחיות יכחדו. אכן החיים על פני כדור הארץ יכולים להשתנות מקצה לקצה בגלל שינוי אקלים. עד כמה? כלונו יודעים שמדבר סהרה הוא אחד המקומות הצחיחים ביותר על פני כדור הארץ כיום. אך רק לפני כ-6000 שנה הוא היה מכוסה כולו בצמחייה עבותה. הנוף הירוק הזה היה תוצאה של התנאים הלחים ששררו אז באזור [3].

מה קורה ליצורים חיים כשהאקלים משתנה?

שינויי אקלים משפיעים על יחסי הגומלין בין היצורים החיים ועל יחסי הגומלין בינם לסביבה שהם חיים בה. מיני בעלי חיים וצמחים מתמודדים עם שינויי האקלים באחת משתי דרכים עיקריות ולעיתים בשתי הדרכים יחדיו. הדרך האחת היא **נדידה**. לדוגמה, בזמן שטמפרטורת פני האוקיינוס עולה עקב שינוי האקלים האנתרופוגני, כמה מינים, החל באצות וכלה בדגים, נעים לעבר הקטבים בחיפוש אחר מים קרים יותר [4]. כדי שיוכלו לנדוד, המינים צריכים לעבור מרחק רב עד שימצאו מקום אחר שבו יוכלו לשרוד ולשגשג. כפי שתוכלו ודאי

נדידה (Migration)

תנועה של קבוצת פרטים ממין מסוים ממקום למקום בחיפוש אחר סביבה שהתנאים בה נוחים יותר.

לשער, למינים המסוגלים לנוע מרחקים ארוכים במהלך חייהם, כמו לווייתנים או פומות, קל יחסית לנדוד. אולם הנדידה יכולה להיות קשה מאוד למינים שאינם נעים למרחקים, למשל עצלנים (Sloths), או לצמחים שאינם מפזרים זרעים למרחק או לעיתים קרובות מספיק, כמו סחלבים.

הדרך האחרת שבה מינים יכולים לשרוד היא על-ידי התפתחות, כלומר אבולוציה. **אבולוציה** יכולה להתרחש במין מסוים. לדוגמה, בתגובה לשינוי האקלים התארכו מדור לדור פניהם של סנאי ההרים (*Tamias alpinus*) החיים בפארק הלאומי יוסמיטי שבקליפורניה, ארצות הברית במשך 100 שנים [5]. באבולוציה המינים גם יכולים להתפתח וליצור מינים חדשים. למשל, דובים חומים (*Ursus arctos*) ודובי קוטב (*Ursus maritimus*) התפתחו מאותו מין של דוב. התהליך התחיל לפני כ-340–480 אלף שנים, ועם הזמן צברו שתי הקבוצות עוד ועוד הבדלים ביניהן [6].

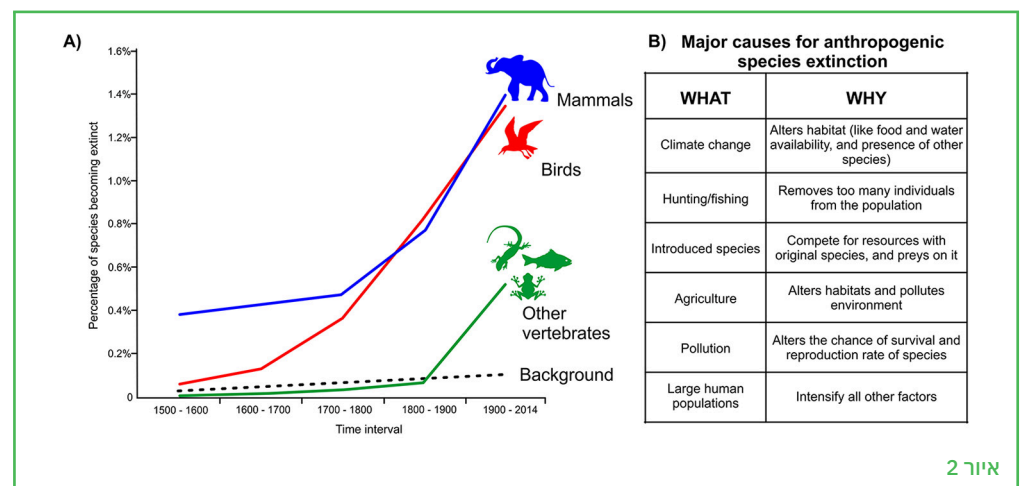
למרבה הצער, כאשר מינים אינם יכולים לנדוד או להתפתח בתגובה לשינויים בסביבה, הם נכחדים. אורח החיים של בני האדם והגידול באוכלוסייה מקשים על כמה מינים לשרוד (איור 2). כשני מינים של בעלי חוליות נכחדים בכל שנה במהלך 100 השנים האחרונות, בעיקר בגלל האדם. [8] גם כריתת היערות לטובת חקלאות, זיהום האוויר וזיהום המים הם כמה מתוצרי הלואי של אורח החיים שלנו. ראוי להקדיש לשינוי האקלים האנתרופוגני תשומת לב מיוחדת מאחר שהוא שונה מהשפעות אחרות של האדם על הסביבה. שינוי אקלים זה משפיע על כדור הארץ כולו, אפילו על אזורים שלעיתים רחוקות מושפעים מפעולות האדם, כמו כמה מהאזורים המוגנים. נוסף על כך, שינוי האקלים האנתרופוגני מתרחש מהר מדי ואינו מאפשר למינים לנדוד או להתפתח. אם כך, שינוי האקלים בימינו מאיים על קיומם של מינים שבכל מקרה מתקשים לשרוד בסביבה שהשתנתה בהשפעת האדם. השפעות בני אדם על החיים בכדור הארץ הן ארוכות טווח והרות אסון: יותר מ-75% מכל המינים, שלושה מתוך כל ארבעה מינים שקיימים כיום, עלולים להיכחד בתוך כמה מאות שנים מהיום [9]!

אבולוציה (Evolution)

השינויים המתרחשים בצורת החיים במשך דורות. בדרך כלל אפשר להבחין בקלות שאוכלוסיות עברו אבולוציה אם תכונות בולטות שלהן, כמו גודל, צבע והתנהגות, משתנות.

איור 2

(A) שיעורי ההכחדה של בעלי חוליות מאז שנת 1500. הקו המקווקו מייצג את קצב ההכחדה הצפויה ללא התערבות האדם. אפשר לראות ששיעורי ההכחדה הלכו וגדלו עם הזמן בשל התערבות האדם, והם גדולים פי כמה מקצב ההכחדה ללא התערבותו. (B) כיצד שינוי אקלים אנתרופוגני מוביל להכחדת מינים? 1. שינויי אקלים - משנה את בתי הגידול (למשל את זמינות ואת מגוון המינים החיים בהם); 2. ציד ודיג - מדלדלים את אוכלוסיית בעלי החיים; 3. מינים פולשים - טורפים את המינים הקיימים ומתחרים בהם על המשאבים; 4. חקלאות - משנה בתי גידול ומזהמת את הסביבה; 5. זיהום - מוריד את הסיכוי של מינים רבים לשרוד ולהתרבות; 6. אוכלוסייה גדולה - מעצימה את כל ההשפעות האחרות. (התמונה מתוך [7] (Ceballos et al.



אכן מעציב שצורות חיים נכחדות מן העולם. אך הבעיה היא לא רק ההכחדה עצמה, אלא השפעתה על החיים בכדור הארץ, וגם עלינו. אנו תלויים ברבים מהם כדי לשרוד. לדוגמה,

איכות האוויר שאנו נושמים, המים שאנו שותים והמזון שאנו אוכלים קשורים ישירות לקיום של מינים אחדים ולבריאותם.

נוסף על כך, אנו חוקרים צורות חיים אחרות כדי לפתור בעיות בחיינו. לדוגמה, חקר צמח הלפֶה (Burdock), צמח בעל זרעים דביקים הנצמדים לבגדים, הוביל לפיתוח רצועות ההצמדה (צמדן, בלועזית סקוץ' או וֶלְקֶר). יש גם תרופות שהתגלו תחילה בצורות חיים שונות, ורק אחרי כן סונתזו במעבדה. אומנם חקר הטבע מאפשר לנו להמציא אין-ספור המצאות ולגלות תגליות רבות, אך נוכל לעשות זאת כל עוד המינים שאנו למדים מהם עדיין חיים על פני כדור הארץ.

היו חלק מהפתרון!

בכל רחבי העולם אנשים פועלים יחדיו כדי לצמצם את ההשפעות השליליות של האדם על כדור הארץ, ובמיוחד את שינוי האקלים. הסכם פריז משנת 2015 הוא דוגמה למאמץ עולמי למנוע את עליית הטמפרטורות בכדור הארץ ביותר מ-2 מעלות צלזיוס לעומת התקופה הטרומ תעשייתית. כדי להשיג זאת התחייבו המדינות להפחית באופן ניכר את פליטת ה-CO₂ ופליטות של גזים אחרים התורמים לשינוי האקלים. נכון להיום הצטרפו להסכם פריז כ-200 מדינות. גם בדנמרק שואפים לצמצם את פליטת ה-CO₂, ולשם כך עד שנת 2025 תהיה עיר הבירה קופנהגן לעיר **ניטרלית מבחינת פליטת פחמן**. בין השאר, יופסק בה השימוש בדלקי מאובנים, האנרגיה בעיר תופק בעיקר מרוח ומפסולת בעלי חיים או צמחים, תופחת בה כמות הפסולת שתושביה מייצרים ובין רחובותיה יעבור שביל אופניים ארוך. במדינות אחרות מדענים מנסים לנצל את ה-CO₂ מהאטמוספירה למטרות מועילות. כמה מהם, לדוגמה, חוקרים כיצד חיידקים יכולים להפוך CO₂ לדלק.

עם זאת, בכדור הארץ חיים יותר מ-8 מיליארד אנשים, ולכן כולנו צריכים לשנות את אורח חיינו כדי לצמצם ככל האפשר את שינוי האקלים האנתרופוגני. יש דרכים רבות שבהן נוכל לעשות זאת. צעד ראשון הוא לחשב את טביעת הרגל הפחמנית של המשפחה שלכם. טביעת הרגל הפחמנית היא מדד לכמות ה-CO₂ שאנו פולטים לאטמוספירה בפרק זמן מסוים. תוכלו לחשב את טביעת הרגל הפחמנית באמצעות אחד מהמחשבוני הרבים שברשת, למשל: <https://coolclimate.berkeley.edu/calculator>. מרגע שתדעו את טביעת הרגל הפחמנית שלכם, נסו להפחית אותה! אתם תידהמו לגלות שפעולות רבות שלנו משפיעות על כדור הארץ. למרבה המזל, נוכל להפחית את ההשפעה השלילית שלהן. קיבצנו כאן כמה פעולות פשוטות שכל אחד מאיתנו יכול לעשות כדי לסייע לצמצום שינוי האקלים: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/takeaction/> נזכיר כמה מפעולות אלה: אל תקנו דברים שאתם לא צריכים; נתקו מכשירי חשמל וכבו אורות בצאתכם מהחדר; קצרו את המקלחות שלכם; אכלו פחות בשר, עוף ודגים; קנו בחנויות מקומיות ובחנויות "יד שנייה"; והשתמשו באופניים או בתחבורה ציבורית במקום ברכב עד כמה שאפשר. ככל שיפעלו כך יותר אנשים, נוכל לחולל שינוי! עלינו לנסות להפחית כמה שיותר את טביעת הרגל הפחמנית שלנו. כך נצמצם את שינוי האקלים ואת השפעתו השלילית על החיים על פני כדור הארץ.

קדימה, בואו נקרר את העולם!

ניטרליות פליטת פחמן (Carbon neutrality)

כמות ה-CO₂ הנפלטת שווה לכמות ה-CO₂ המסולקת מהאטמוספירה, כלומר פליטת הפחמן הכוללת תהיה אפס.

תודות

אנו אסירי תודה לחלוטין לסוקרים הצעירים המדהימים - ראשל, לורנזו ומתיאס, ול-48 תלמידי בית הספר היסודי Manor Gardens. אנו גם מודים מאוד למנטורים לואיסה ודויד, ולעורכים מרתה וסוזן. כולם סיפקו הערות מלאות תבונה על הגרסאות הקודמות של מאמר זה.

מקורות

1. Annan, J. D., and Hargreaves, J. C. 2013. A new global reconstruction of temperature changes at the last glacial maximum. *Clim. Past* 9:367–76. doi: 10.5194/cp-9-367-2013
2. Raftery, A. E., Zimmer, A., Frierson, D. M. W., Startz, R., and Liu, P. 2017. Less than 2°C warming by 2100 unlikely. *Nat. Clim. Change* 7:637–41. doi: 10.1038/nclimate3352
3. deMenocal, P., Ortiz, J., Guilderson, T., Adkins, J., Sarnthein, M., Baker, L., et al. 2000. Abrupt onset and termination of the African humid period: rapid climate responses to gradual insolation forcing. *Q. Sci. Rev.* 19:347–61. doi: 10.1016/S0277-3791(99)00081-5
4. Poloczanska, E. S., Brown, C. J., Sydeman, W. J., Kiessling, W., Schoeman, D. S., Moore, P. J., et al. 2013. Global imprint of climate change on marine life. *Nat. Clim. Change* 3:919–25. doi: 10.1038/nclimate1958
5. Walsh, R. E., Assis, A. P. A., Patton, J. L., Marroig, G., Dawson, T. E., and Lacey, E. A. 2016. Morphological and dietary responses of chipmunks to a century of climate change. *Glob. Change Biol.* 22:3233–52. doi: 10.1111/gcb.13216
6. Liu, S., Lorenzen, E. D., Fumagalli, M., Li, B., Harris, K., Xiong, Z., et al. 2014. Population genomics reveal recent speciation and rapid evolutionary adaptation in polar bears. *Cell* 157:785–94. doi: 10.1016/j.cell.2014.03.054
7. Ceballos, G., Ehrlich, P. R., and Dirzo, R. 2017. Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 114:E6089–96. doi: 10.1073/pnas.1704949114
8. Barnosky, A. D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G. O. U., Swartz, B., Quental, T. B., et al. 2011. Has the earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471:51–7. doi: 10.1038/nature09678
9. Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A. D., Garcia, A., Pringle, R. M., and Palmer, T. M. 2015. Accelerated modern human-induced species losses: entering the sixth mass extinction. *Sci. Adv.* 1:e1400253. doi: 10.1126/sciadv.1400253

פורסם אונליין: 28 בינואר 2021

נערך על ידי: Martha Helena Ramírez-Bahena

מנחים מדעיים: Luisa I. Falcon | David Glassom

ציטוט: Hubbe A | Hubbe M (2021) שינוי האקלים ועתיד החיים על פני כדור הארץ. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2019.00037-he

תורגם והותאם מ: Hubbe A and Hubbe M (2019) Current Climate Change and the Future of Life on the Planet. Front. Young Minds 7:37. doi: 10.3389/frym.2019.00037

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

זכויות יוצרים © 2019 © Hubbe | Hubbe 2023. 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

MANOR GARDENS PRIMARY SCHOOL, גיל: 12–13

אנו בית ספר קטן ומתקדם, שמעודד חשיבה עצמאית ופתרון בעיות. אנו מאתגרים את עצמנו ואת המורים שלנו ועושים הרבה כיף במהלך היום בבית הספר.

LORENZO, גיל: 12

הי, אני בן 12 ואני אוהב פוטבול ומשחקי וידאו. חמש חיות המחמד שלי: 3 כלבים ו-2 חתולים הם חלק חשוב בחיים שלי.

MATÍAS, גיל: 12

אני ילד בן 12 שאוהב מדע, תכנות, ויקינגים, מיתולוגיה, ג'יוג'יטסו, רוק אנד רול וטיפוף.

RACHEL, גיל: 12

אני ילדה בת 12 ואני אוהבת מאד לשחק טניס והוקי קרח. אני אוהבת סוסים וגם את כל שאר החיות.

הכותבים

ALEX HUBBE

אני פרופסור במכון למדעי הגיאוגרפיה באוניברסיטה הפדרלית של באהיה שבברזיל. אני פליאונטולוג ובילוג של האבולוציה שמתעניין במיוחד בחקר ההיכחדות והאבולוציה של יונקים. מאז שבתי לארה נולדה אני גם מתעניין מאוד במציאת דרכים שבהן אני יכול לסייע ליצור עתיד בר-קיימא יותר. בזמני הפנוי אני אוהב לבלות עם לארה ועם אישתי אוליביה, לרכוב על אופניים ולשחות. alexhubbe@yahoo.com*



**MARK HUBBE**

אני פרופסור במחלקה לאנתרופולוגיה באוניברסיטת אוהיו בארצות הברית. תחום המחקר שלי הוא ההתיישבות באמריקה וחקר הפרהיסטוריה של האוכלוסיה האנושית מדרום אמריקה. אני מאמין שהמחקר הזה של העבר שלנו מידע אותנו לגבי מי אנחנו ומראה לנו שעלינו להבין כיצד אנו מתקשרים עם הסביבה שלנו ומשנים אותה כך שנוכל ליצור עתיד בר-קיימא. בזמני הפנוי אני אוהב לטפס, לטייל וליהנות מהטבע.

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