



מיפוי האוקיינוסים

Jess I. T. Hillman*

מדעי הים, GNS מדע, וולינגטון, ניו-זילנד

סוקרים צעירים

LICEO
COCCHETTI
גיל: 14



האם ידעתם שיש לנו מפות טובות יותר של הירח, של מאדים ושל נוגה מאשר המפות שיש לנו של קרקעית האוקיינוס על כדור הארץ? מאחר שהאוקיינוסים מכסים 71% מפני השטח של כדור הארץ, הֶבְנַת האופן שבו קרקעית האוקיינוס נראית והיכן מתרחשים תהליכים שונים כמו זרמים באוקיינוס, היא חשובה ביותר. מיפוי קרקעית האוקיינוס מסייע לנו לברר דברים כמו היכן חיים סוגים שונים של דגים; היכן אנו עשויים למצוא משאבים כמו מתכות נדירות וזדלקי מאובנים, ואם קיים סיכוי לכך שמפולות תת-מימיות יגרמו לצונמי. מיפוי קרקעית האוקיינוס הוא מאתגר מאוד מאחר שאיננו יכולים להשתמש באותן השיטות שהיינו משתמשים בהן על האדמה. כדי למפות את מעמקי האוקיינוס אנו משתמשים בכלי שנקרא Multibeam echo-sounder, אשר מחובר לספינה או לצוללת.

מדוע אנו צריכים למפות את קרקעית האוקיינוס?

יותר מ-96.5% ממימיו של כדור הארץ נמצאים באוקיינוסים, בעוד ש-3.5% הנתרים נמצאים באגמים ובנהרות [1]. במאמר זה אנו עומדים לדבר על האופן שבו אנו מבצעים מיפוי של קרקעית האוקיינוסים, אולם אותה הטכנולוגיה משמשת גם בקנה מידה קטן יותר באגמים ובנהרות כדי למפות את האדמה שמתחת לגופי המים האלה.

מיפוי (Map)

ייצוג, בדרך כלל על משטח שטוח, של אזור שלם או של חלק ממנו.

מדוע אנו צריכים מפות של קרקעית האוקיינוס? התשובה המתבקשת ביותר היא כדי לסייע לספינות להתמצא בניווט. אף על פי שמרבית כלי השיט שטים על פני השטח של הים, הם צריכים להיות מודעים לסכנות שנמצאות מתחת לפני המים כמו סלעים או גדות רדודות, היכן שהם עשויים לעלות על שרטון. עבור כלי שיט שמתקדמים מתחת לפני המים כמו צוללות, חשוב אפילו יותר לקבל מפות מדויקות כך שהם יוכלו לנווט ולהימנע מסכנות. חשוב גם לדעת היכן הסכנות האלה נמצאות כשאנו מתכננים לבנות מבנים צמודים לחוף כמו רציפים או טורבינות רוח, כך שנוכל לדעת שהם בנויים על יסודות מתאימים. מפות של רצפת האוקיינוס מסייעות לנו להבין תהליכים כמו זרמים באוקיינוס. זרמי האוקיינוס הם מסועים של מים שנעים מהר, אשר מונעים על-ידי הבדלים בטמפרטורה ובמליחות של מקומות שונים באוקיינוס [2]. מערכת הזרם החזקה ביותר נקראת Antarctic Circumpolar Current, שהיא הזרם היחיד שמקשר את כל האוקיינוסים בעודו זורם סביב לעולם כולו [2]. מאפיינים שנמצאים מתחת למים כמו הרי געש וקניונים תת-ימיים, יכולים להשפיע על מסלולי הזרימה של הזרמים האלה. לכן, אם נדע מהם המאפיינים התת-ימיים האלה נוכל לחזות ביתר דיוק היכן יזרמו הזרמים האלה וכיצד הם יתנהגו. זרמים באוקיינוס הם חשובים מאוד גם מאחר שהם מסייעים לשלוט במזג האוויר ובאקלים שלנו. מפות של קרקעית האוקיינוס הן כלים חשובים למציאת תשובות למגוון רחב של שאלות מדעיות אחרות כמו למשל היכן דגים מסוימים אוהבים לחיות; כיצד הרי געש חדשים יכולים להיווצר בקרקעית האוקיינוס והיכן אנו עשויים למצוא משאבים טבעיים כמו למשל שמן וגז.

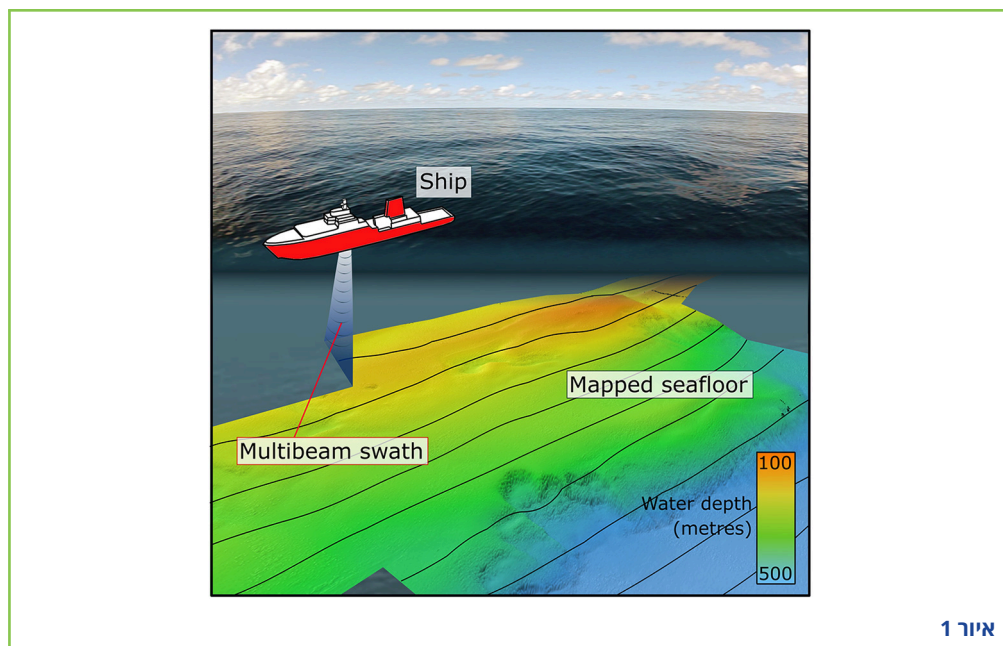
כיצד אנו ממפים את רצפת האוקיינוס?

על היבשה אנו יכולים למפות את הנוף במהירות וביעילות באמצעות טכנולוגיה שמבוססת על לוויינים. הטכנולוגיה הזו עובדת באמצעות שליחת אות מהלוויין שמסתובב סביב כדור הארץ, אשר פוגע בפני השטח של כדור הארץ ומוחזר אל הלוויין. לוויינים משתמשים בסוגי אותות שונים עבור מיפוי הנוף, אולם ברמה העקרונית כל האותות הם צורות של אור. משך הזמן שלוקח לאות לחזור ללוויין אומר ללוויין כמה רחוק נמצא כדור הארץ, והלוויין יכול להשתמש במידע הזה כדי למפות את מאפייני הנוף. בעוד שאפשר להשתמש בחלק מהטכנולוגיה מבוססת הלוויין שאנו משתמשים בה כדי למפות את היבשה גם במים רדודים, הטכנולוגיה הזו לא פועלת בחלקים העמוקים יותר של האוקיינוס מאחר שהמים עוצרים את האותות והם לא מגיעים לקרקעית. זו הסיבה לכך שיש לנו מפות טובות של הירח, של מאדים ושל נוגה – אין להם אוקיינוסים ולכן אנו יכולים להשתמש בטכנולוגיית הלוויין כדי למפות אותם בדרגת פירוט גבוהה.

בעבר מְלָחִים מדדו את עומק המים באמצעות חוט עופרת (lead-line). זה היה כלי פשוט מאוד שהיה בנוי ממשקולת כבידה שמכוסה במשהו דביק (בדרך כלל גריז) בקצהו של החבל. המשקולת שולשלה מצידה של הספינה עד שהיא פגעה בקרקעית, ואז היא נמשכה חזרה למעלה. המלחים יכלו לקבוע שהמשקולת פגעה בקרקעית האוקיינוס מאחר שמשקעים כלשהם היו נדבקים לגריז, ואז הם יכלו למדוד את אורך החבל ששולשל למטה כדי להבין מהו עומק המים. המיקום שבו המדידה נלקחה חושב באמצעות מצפן וכלים אחרים כמו סקסטנט (מכשיר ניווט). זו לא הייתה שיטה מדויקת מאוד, וגם ביצועה לקח זמן רב.

איור 1

ספינה ממפה את קרקעית האוקיינוס באמצעות Multibeam echo-sounder. מכשיר ה-Echo-sounder פועל על-ידי שליחת גלי קול (צלילים) אל תוך המים. גלי הקול האלה מתקדמים מטה דרך עמוד המים עד שהם פוגעים בקרקעית האוקיינוס, היכן שהם מוחזרים חזרה מעלה אל ה-Echo-sounder. באמצעות רישום הזמן שלוקח לצליל "לטייל" למטה אל הקרקעית ולחזור למעלה, אנו יכולים לחשב את עומק המים מאחר שאנו יודעים באיזו מהירות הצליל מתקדם.



איור 1

במהלך מלחמת העולם השנייה פותחה טכנולוגיה חדשה אשר אפשרה לספינות למדוד במדויק את עומק המים בעודן מפליגות לאורך האוקיינוסים [3]. אלה היו מכשירים מבוססי גלי קול שנקראו **Echo-sounders**, אשר חוברו לגופי הספינות. מכשירי ה-Echo-sounders פועלים באמצעות שליחת אות, או "פינג", בתוך המים. הצליל הזה מטייל דרך המים עד שהוא מגיע לקרקעית האוקיינוס. כשהוא מגיע לקרקעית הוא פוגע בה ומוחזר חזרה אל הספינה היכן שה-Echo sounder הושם את האות שחזר. לכן, השם echo-sounder למעשה מתאר את אופן פעולת המכשיר – הוא שולח צליל (Sound) ומאזין לצליל המוחזר, או להד (Echo). זה באופן בסיסי גם מה שקורה כשאתם עומדים בחדר גדול וריק ועושים רעש: הצליל מוחזר מהקירות מאחר שהם משטחים קשיחים, ואתם יכולים לשמוע את ההד של הצליל שחוזר חזרה אליכם. הזמן שלוקח לאות להגיע לקרקעית האוקיינוס ולחזור לספינה יכול לשמש לחישוב עומק המים. זה מתבצע באמצעות חילוק הזמן שבין יצירת הצליל להגעת הצליל המוחזר, והכפלת משך הזמן הזה במהירות התקדמות הצליל המים (בדרך כלל מדובר בסביבות 1,500 מטרים בשנייה). למרבית הספינות, כולל סירות דיג קטנות, יש Echo-sounder על הסיפון.

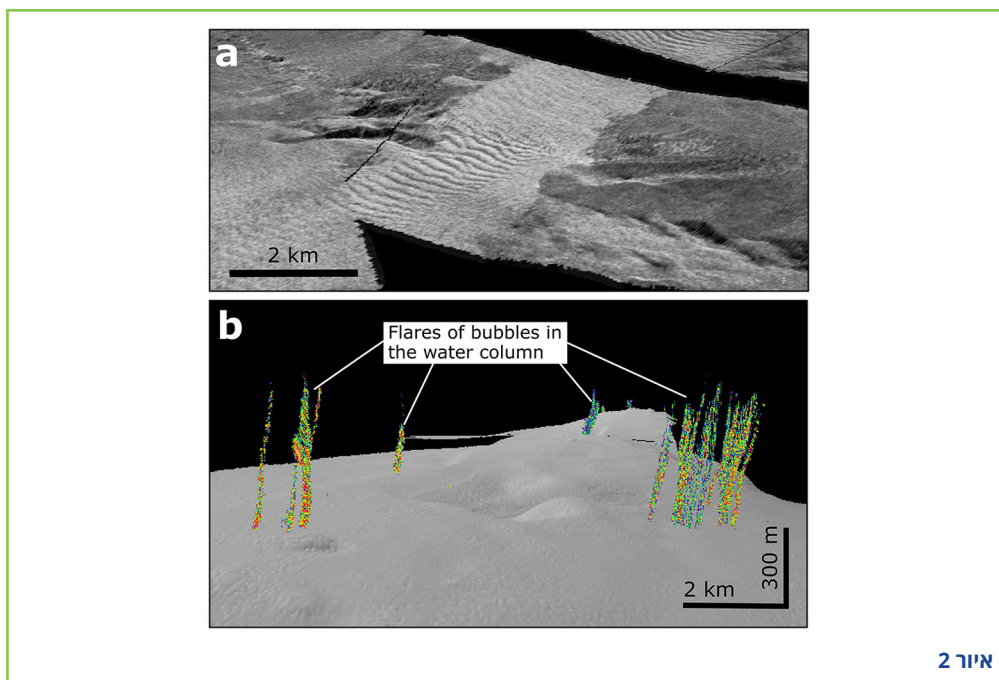
מכשירי Echo sounders שהשתמשו בקרן אחת היוו שיפור משמעותי במיפוי קרקעית האוקיינוס, אולם הם מאפשרים לנו למפות רק אוסף של נקודות על רצפת האוקיינוס. אפשר להשתמש בנקודות האלה כדי ליצור מפות בסיסיות של קרקעית האוקיינוס, אולם עשויים להיות סלעים או חורים גדולים בין הקווים שמופו שאי אפשר לזהות באמצעות המכשירים האלה. בשנת 1964, חברה בשם SeaBeam פיתחה טכנולוגיה חדשה שנקראה Multibeam echo-sounders [4]. המערכת הזו אפשרה ל-Echo-sounders לשלוח החוצה אל תוך המים "מניפה" של אותות פינג (שנקרא Swath), אשר אפשרה לנו למפות במדויק רצועה רחבה של קרקעית האוקיינוס בזמן שהספינות שטו (איור 1). אנו יכולים לשנות את תדירות הצליל שנשלח על-ידי ה-Echo-sounder כדי לחפש מאפיינים מסוימים במים. לדוגמה, אנו יכולים לזהות מטרות קטנות יותר כמו להקות דגים ואזורים שבהם גז דולף החוצה מקרקעית האוקיינוס ויוצר עמודים או רשפים של בועות (איור 2).

Echo-sounder

כלי לקביעת עומק המים מתחת לפני השטח באמצעות גלי קול.

איור 2

נוסף על מיפוי עומק המים, Echo-sounders יכולים לספק לנו מידע נוסף על קרקעית האוקיינוס, כמו למשל מה קורה במים שמעל לקרקעית. (a) כאן אנו יכולים לראות דוגמה לנתוני פיזור אחורי מ-Multibeam echo-sounder שמראים אדוות בערוץ מסוים על קרקעית האוקיינוס. נתוני פיזור אחורי רושמים כמה מגלי הקול שנשלחו החוצה חזרה הצבעים הבהירים קשורים למשטחים קשים שמחזירים הרבה מהצלילים, כמו חצץ וחול, בעוד שצבעים כהים קשורים למשטחים רכים, כמו בוץ, אשר סופגים חלק מגלי הקול. (b) Echo-sounders יכולים גם להראות לנו מה נמצא במים שמעל לקרקעית האוקיינוס כמו למשל רשפי הבועות האלה שהוצגו בתלת-ממד באמצעות נתוני Echo-sounder.



איור 2

תגליות ורישומים תת-ימיים

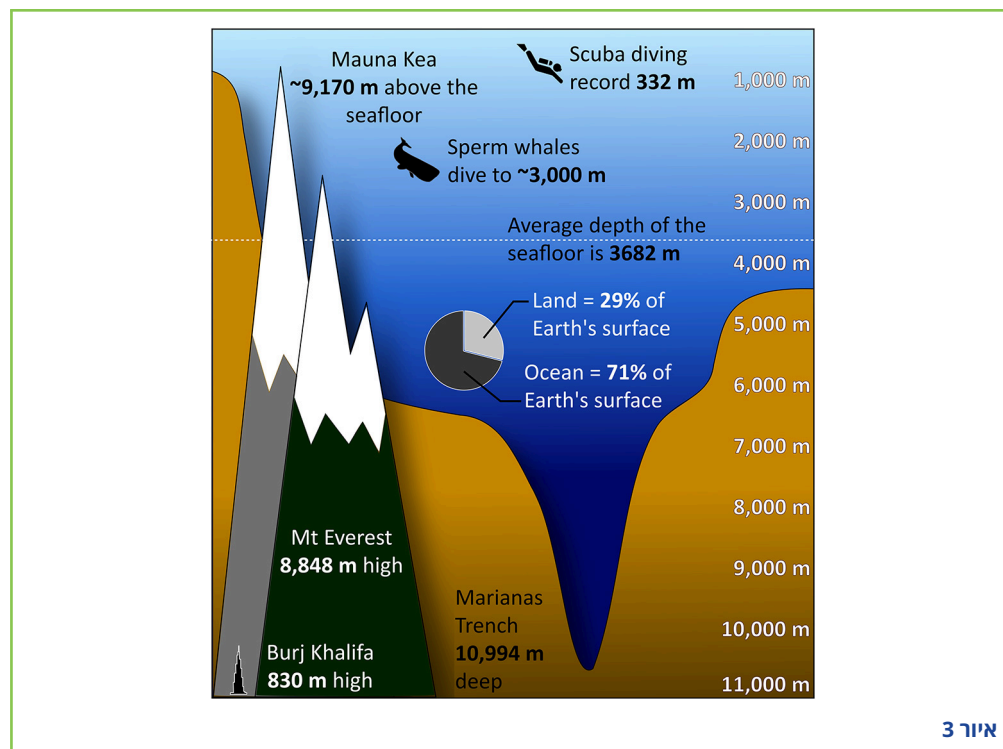
הר האוורסט הוא ההר הגבוה ביותר על פני כדור הארץ, אשר מתנשא לגובה של 8,848 מטרים. זה נכון בהינתן שמתחילים למדוד מגובה פני הים. אם מודדים מקרקעית הים, ישנם הרים גבוהים הרבה יותר בכדור הארץ. ההר הגבוה ביותר מביניהם הוא ההר Manua Loa שבהוואי, שמגיע לגובה של כ-9,170 מטרים מעל לפני הים. רק 4,170 מטרים מההר הזה חשופים מעל לפני השטח של הים. העומק הממוצע של האוקיינוס בעולם הוא 3,682 מטרים, כאשר האזורים העמוקים ביותר נמצאים בתעלות אוקייניות. התעלה העמוקה ביותר היא תעלת ה-Marianas Trench, אשר מגיעה לעומק של 10,994 מטרים מתחת לפני הים. אתם יכולים לשקע את הר האוורסט בתוך התעלה ועדיין יישאר מקום גם להר וושינגטון או ל-Tongariro. אתם יכולים גם להכניס 13 בניינים בגובה של בורג' חליפה, הבניין הגבוה ביותר בעולם, אל תוך התעלה כשהם ממוקמים זה מעל זה (איור 3).

באופן מפתיע, אתם גם יכולים למצוא חלק מהמקומות החמים ביותר על פני כדור הארץ על קרקעית האוקיינוס. זרמי עשן שנקראים Black smokers הם פתחי יציאה שנמצאים מעל הרי געש תת-ימיים, היכן שנוזלים חמים שמיוצרים על-ידי ליבת כדור הארץ מגיעים לקרקעית האוקיינוס. הם יכולים להגיע לטמפרטורות של 400 מעלות צלזיוס, והם מאכלסים חיות יוצאות דופן כמו צדפות ותולעי צינור שאי אפשר למצוא באף מקום אחר בכדור הארץ [5]. הרבה מהמאפיינים התת-ימיים המעניינים האלה זוהו ונחקרו רק בעשורים האחרונים מאחר שקודם לכן לא הייתה לנו טכנולוגיה שהייתה מסוגלת למצוא אותם.

פיתוחים חדשים בטכנולוגיית Echo-sounders משמעותם שאפשר להשתמש ב-Multibeam echo-sounders כדי למצוא הריסות של ספינות על קרקעית האוקיינוס [3]. הטכנולוגיה הזו מאפשרת לנו לִדְמֹת את קרקעית האוקיינוס ברזולוציה גבוהה כל כך שאנו

איור 3

האם ידעתם שאתם יכולים להחביא את הר האוורסט מתחת למים? ושישנם הרים גבוהים אפילו יותר מהאוורסט אם מוזדים מקרקעית האוקיינוס? כדי לחקור את האזורים העמוקים יותר של האוקיינוס אנו צריכים להשתמש בטכנולוגיה כמו למשל בצוללות. אפילו הצוללים שצוללים הכי נמוך מגיעים רק לגובה של 332 מטרים מתחת לפני הים. לוויתני Sperm whales יכולים להגיע הרבה יותר עמוק מזה, בסביבות 3,000 מטרים. אולם אנו יכולים להשתמש ב-Echo-sounders כדי למפות את כל זה אפילו בלי לעזוב את ספינתנו!



איור 3

למעשה יכולים לייצר תמונות שמראות את קווי המתאר של הריסות ספינה, עד לפרטים הקטנים כמו התורן.

מה עלינו לעשות הלאה?

אף על פי שהיו פיתוחים ענקיים במפות שיש לנו של קרקעית האוקיינוס, עדיין ישנם אזורים עצומים באוקיינוס שכמעט ואין לנו נתונים עליהם. בשנת 2018, קבוצה של ארגוני מחקר, אוניברסיטאות וחברות השיקה פרויקט שנקרא Oceans 2030 [1]. מטרת הפרויקט הזה הייתה למפות את כל האוקיינוסים ברמת פירוט טובה עד לשנת 2030. זהו פרויקט ענקי שיצריך עבודה רבה, אולם עם כל האזורים החדשים האלה שאנו עומדים לחקור מי יודע מה נמצא! קרקעית האוקיינוס משתנה כל הזמן בעוד שמשקעים זזים סביב על-ידי זרמים ובעוד שרעידות אדמה מזיזות את קרקעית האוקיינוס ומתרחשות גם התפרצויות געשיות. אין זה אפשרי למפות את השינויים האלה באופן שוטף, אולם אנו מנסים לחזור למיקומי מפתח אחרי אירועים משמעותיים כמו רעידות אדמה כדי לראות מה השתנה בקרקעית האוקיינוס. מיפוי קרקעית האוקיינוס כולה עשוי להיראות כמו מטלה עצומה, אולם רק בעשורים האחרונים הצלחנו לבצע שינויים מאסיביים בטכנולוגיה שבה אנו משתמשים. משמעות הדבר היא שאנו יכולים לקבל מפות מדויקות הרבה יותר, ושאנו יכולים לעשות זאת בצורה יחסית מהירה. עדיין ישנם אזורים גדולים שאפשר לחקור, ומי יודע מה נגלה שם?

מקורות

1. Mayer, L., Jakobsson, M., Allen, G., Dorschel, B., Falconer, R., Ferrini, V., et al. 2018. The Nippon Foundation—GEBSCO Seabed 2030 Project: the quest

- to see the world's oceans completely mapped by 2030. *Geosciences* 8:63. doi: 10.3390/geosciences8020063
2. National Oceanic and Atmospheric Administration. 2011. *Ocean Currents*. Available online at: <https://www.noaa.gov/resource-collections/ocean-currents>
 3. Dierssen, H. M., and Theberge, A. E. 2014. "Bathymetry: history seafloor mapping," in *Encyclopedia of Natural Resources: Volume II-Water and Air*, ed Y. Wang (Didcot: Taylor & Francis Group), 644–8. Available online at: https://colors.uconn.edu/wp-content/uploads/sites/1423/2015/09/Dierssen_2014_ENRHistory.pdf
 4. L-3 Communications SeaBeam Instruments. 2000. *Multibeam Sonar Theory of Operation*. East Walpole. Available online at: <https://www3.mbari.org/data/mbsystem/sonarfunction/SeaBeamMultibeamTheoryOperation.pdf>
 5. National Oceanic and Atmospheric Administration. 2018. *What is a Hydrothermal Vent?* Available online at: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/vents.html>

פורסם אונליין: 29 באוקטובר 2020

נערך על ידי: Gianpiero Vigani, University of Turin, Italy

ציטוט: Hillman JIT (2020) מיפוי האוקיינוסים. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2019.00025-he

Hillman JIT (2019) Mapping the Oceans. Front. Young Minds 7:25. תורגם והותאם: doi: 10.3389/frym.2019.00025

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

COPYRIGHT © 2019 © Hillman 2020. 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 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

LICEO COCCHETTI, גיל: 14

כולנו הולכים לבית הספר התיכון שממוקם במילנו, איטליה, ואנו בני 14. אנו צעירים קשובים וסקירת המאמר הזה סיפקה לנו הזדמנות לגלות היבטים חדשים של מדע. אנו נרגשים להשתתף בתהליך הפרסום של מאמרים מדעיים.





הכותבת

JESS I. T. HILLMAN

אני גיאופיזיקאית ימית, ועבודתי מתמקדת בחקירת הגיאולוגיה שמתחת לקרקעית הים ליד חופו המזרחי של האי הצפוני של ניו-זילנד. [*j.hillman@gns.cri.nz](mailto:j.hillman@gns.cri.nz)

Hebrew version
provided by

מזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ע"ר)
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem

