

מחוץ לעולם הזה: מקרקעית ים סוף ועד לכוכב האדום

André Antunes*

מעבדת סטייט קי למדעי הירח וכוכבי הלכת, אוניברסיטת מאקאו למדע ולטכנולוגיה, מאקאו, סין

סוקרים צעירים

CHLOE
גיל: 15



FABIÁN
גיל: 12



NAGA
גיל: 15



SAGE
גיל: 11



XENIA
גיל: 15



תמלחות בעומקו של ים סוף הן מהסביבות הקיצוניות ביותר על כדור הארץ. הן מתאפיינות במליחות גבוהה, טמפרטורה גבוהה, לחץ גבוה ואין בהם חמצן. למרות התנאים הקיצוניים האלה, כמה אורגניזמים מצליחים לחיות בתמלחות הללו. מחקר של תמלחות עומק הים והיצורים שמאכלסים אותן מציע כמה יתרונות. נוסף על מציאת כמה מינים חדשים, תמלחות עומק הים הן מקור למולקולות חדשות שימושיות שמיוצרות על ידי האורגניזמים הללו. מולקולות אלה יכולות לשמש לריפוי אנשים ואפילו לניקוי כדור הארץ שלנו. בנוסף, תמלחות עומק הים יכולות לסייע לנו בחיפוש חיים מחוץ לכדור הארץ. תמלחות אלו שימושיות גם לתכנון משימות חלל עתידיות, בשל נקודות הדמיון לתנאים השוררים בכוכבי לכת וירחים אחרים.

מהן תמלחות עומק הים, וכיצד הם נוצרות?

ים סוף הוא ייחודי! מדי שנה הוא גדל בכמה מילימטרים. בתוך כמה מיליוני שנים הוא יהפוך לאוקיינוס מפותח, כמו האוקיינוס האטלנטי או הפסיפי. ים סוף גדל בשל ההיפרדות של הלוחות הטקטוניים הערבי והאפריקאי. הרווח שנותר בין הלוחות האלה, שנמצא במרכז ים

לוחות טקטוניים (Tectonic Plates)

פיסות של קרום כדור הארץ שנעות או מוזחות, לעיתים מתנגשות זו בזו, או נעות הרחק זו מזו.

סוף, מתמלא בטלאים של קרום אוקיינוס חדש. מאחר שקרום אוקייני צפוף יותר מקרום יבשתי, הטלאים האלה יוצרים אזורים עמוקים שנקראים מעמקים (אזור עמוק יותר או חור בקרקעית הים), והם מפוזרים ברחבי האזור המרכזי של ים סוף [1].

התנועה של קרום כדור הארץ, שמתרחשת מתחת לים סוף, חושפת משקעים קבורים מסיביים של מלח. משקעים אלה נוצרו מהתייבשות של האוקיינוס הפרהיסטורי שהתקיים באזור הזה. מי הים ממיסים חלק מהמלח ונהפכים לתמלחת, שהיא תמיסה מלוחה מאוד. מליחות, המונח המתאר מדד של כמות מלח, יכולה לגדול עד פי שבעה בתמלחות אלו. התמלחות האלו כבדות, ולכן הן מתרכזות בקרקעית הים ומצטברות במעמקים, שנוצרים על ידי הקרום האוקייני. הצפיפות הגבוהה של התמלחות ומיקומן המוגן באזורים העמוקים בקרקעית הים, מונעים מהן להתערבב עם מי הים. בשל כך, תמלחות עומק הים הן יציבות מאוד, ונראות כמו אגמים מתחת למים. יש להן אפילו גלים על פני השטח שלהן, וחופים בשוליים שלהן. נוסף על המליחות הגבוהה יותר, ישנם הבדלים נוספים בין התמלחות למי הים: אין בהן חמצן, והן מכילות כמויות גדולות יותר של מתכות ושל יסודות אחרים. חומציותן של התמלחות נמוכה מזו של מי ים, והטמפרטורה שלהן גבוהה יותר.

תגלית מקרית ובעלת משמעות

תמלחות עומק הים התגלו במקרה בשנות ה-50 של המאה הקודמת, כאשר חוקרים אספו דגימה של מי ים עמוקים שהיו הרבה יותר מלוחים וחמים מהרגיל. סקרי המשך גילו לפחות 25 אזורים תמלחות עמוקים, שמפוזרים על פני מרכזו של ים סוף (איור 1). כל אזור תמלחת הוא ייחודי כתוצאה מהבדלים בגיאולוגיה המקומית, בגיל ובשוני במידת החימום על ידי קרום כדור הארץ [1]. אטלנטיס II הוא האזור הגדול ביותר (יותר מ-80 קילומטרים רבועים), החם ביותר (68.2 מעלות צלזיוס) ואחד העתיקים ביותר. בקיצוניות השנייה, קֶבְּרִיט הוא האזור הקטן ביותר (2.5 קילומטרים רבועים), הקר ביותר (23.3 מעלות צלזיוס) ואחד הצעירים ביותר. אזור זה גם עשיר בגופרית, ומסריח מאוד – "קֶבְּרִיט" היא המילה הערבית לגופרית, שמריחה כמו ביצים סרוחות.

אילו יצורים חיים בתמלחות עומק הים?

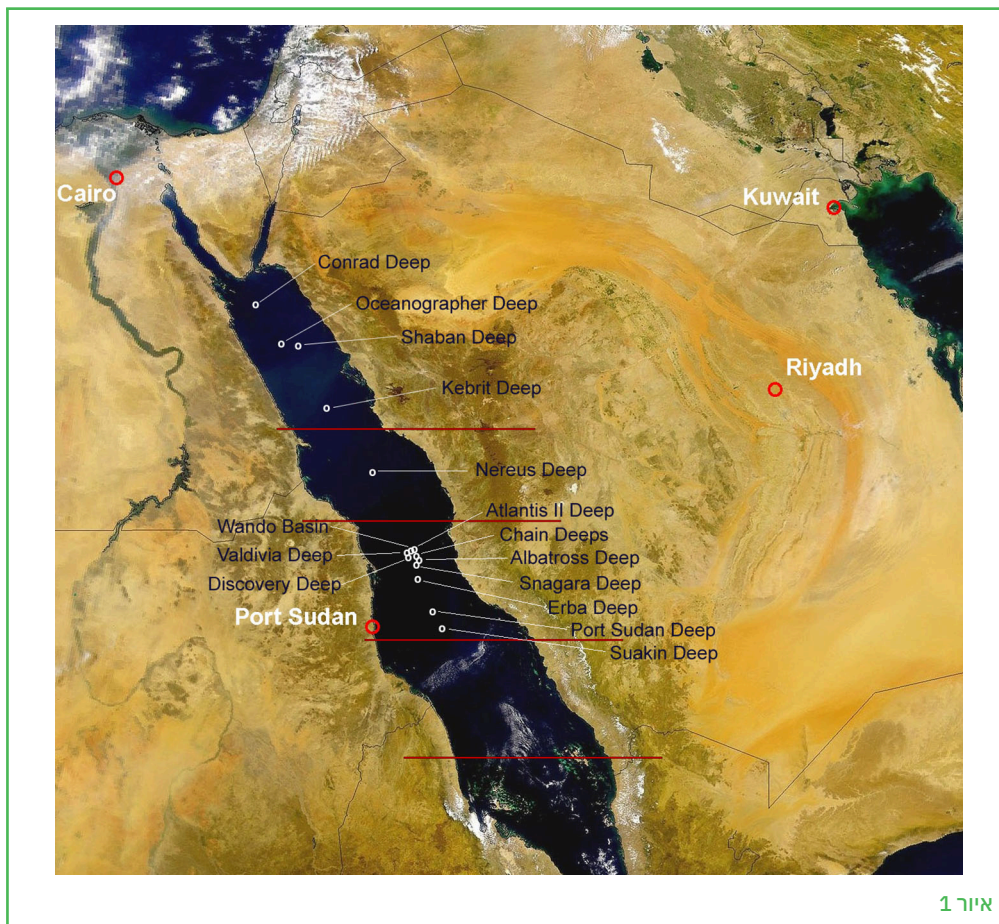
במשך זמן רב, חוקרים חשבו שהתנאים בתמלחות עומק הים הם קיצוניים מדי לחיים, והניחו שאין אורגניזמים שיהיו מסוגלים לשרוד בהן. אולם, התקדמויות בשיטות המחקר, במיוחד בביולוגיה מולקולרית, אפשרו לנו לחקור את התמלחות ביתר פירוט, וחשפו חברות משגשגות. מחקרים מצאו בתמלחות מיקרובים, חיות ואפילו וירוסים [1]. מחקרים אלו גילו הרבה מינים חדשים, חלקם לא דומים לאף מין אחר על כדור הארץ (איור 2). האורגניזמים האלה כל כך ייחודיים, שחלק מהממצאים משתווים למציאת אוכלי הבשר או בעלי החוליות הראשונים ביותר!

ביולוגיה מולקולרית (Molecular Biology)

חקר דברים חיים שמבוסס על המולקולות שלהם (כמו למשל דניא וחלבונים), ולא על האורגניזם השלם.

איור 1

מפה של ים סוף שמראה את המיקומים של אזורי תמלחות עומק הים. הקווים האדומים על המפה מראים אזורים בשלבים שונים של פעילות טקטונית והתפתחות של אזורי תמלחות.



איור 1

חקירת מיקרובים של תמלחות – למה זה חשוב?

ישנם יותר מיקרובים באוקיינוסים שלנו מאשר כוכבים ביקום [4]! ועדיין, יותר מ-99% מהמגוון המיקרובי הכולל עוד לא נחקר. תמיד מרגש לגלות מיקרובים חדשים ולחקור את יכולותיהם. אנו ממשיכים לגלות דרכים חדשות שבהן מיקרובים משפיעים על כדור הארץ שלנו ועל כל החיים שבו.

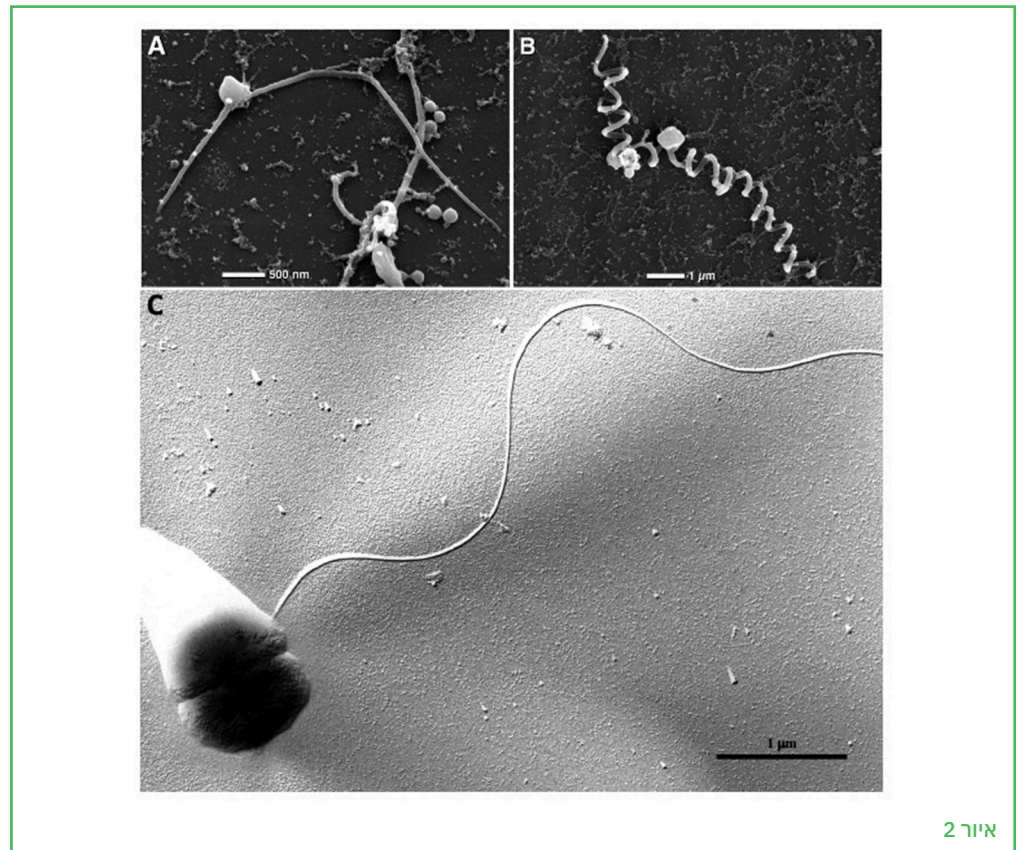
מאחר שמיקרובים יכולים לגדול בתנאים ייחודיים שכאלה, המיקרובים שמגיעים מסביבות קיצוניות הם לא פעם מקור למולקולות חדשות בעלות-ערך. מגוון היישומים של המולקולות האלה כל כך רחב, שלעיתים קרובות הן נראות כפתרונות עתידיים לסוגיות כמו כיצד להזין, לתדלק ולרפא את העולם [5]. מסתמן שגם מיקרובים מהתמלחות של ים סוף הם שימושיים ביותר. חלקם מפגינים פעילות נוגדת סרטן, אחרים נראים כמסוגלים לייצר ביו-פלסטיק (פלסטיק המיוצר מחומרים ביולוגים ואינו מבוסס על שימוש בתוצרי דלקים), לנקות שפכי שמן, או אפילו ללכוד פחמן דו-חמצני [6]. מדענים חושבים שחלק מהמיקרובים האלה יכולים לשמש לטיפול באתרים מזהמים, או אפילו למניעת שינוי אקלים! חקירת סביבות קיצוניות כמו תמלחות עומק הים גם מסייעת לנו לבחון השערות על המגבלות הפיזיקליות והכימיות של קיום חיים. ממצאים אלה יכולים לסייע לחוקרים שמחפשים חיים במקומות אחרים ביקום.

סביבה קיצונית (Extreme Environment)

מקום עם תנאים שונים מאוד מאלה שאנו מסוגלים לחיות בהם. לדוגמא טמפרטורות גבוהות או נמוכות, תנאים חומציים או בסיסיים, לחץ גבוה, או מליחות גבוהה.

איור 2

תמלחות עומק הים מכילות הרבה מינים אקזוטיים. *Haloplasma contractile* הוא חיידק חדש שהתגלה ויכול (A) להתכווץ, ו-(B) להרפות את תאיו. *Salinisphaera* (C) *shabanensis* הוא חיידק חדש אחר שנמצא בתמלחות עומק הים, ומסוגל לגדול טוב במליחיות שונות מאוד. שני המיקרובים נצפו באמצעות מיקרוסקופ אלקטרוני – שיטה שבה המיקרוסקופ משתמש באלומת אלקטרונים במקום באור כדי ליצור תמונה (קרדיטים לתמונות: A, B: כל הזכויות שמורות לחברה האמריקאית למיקרוביולוגיה [2]; C: כל הזכויות שמורות לספרינגר [3]).



איור 2

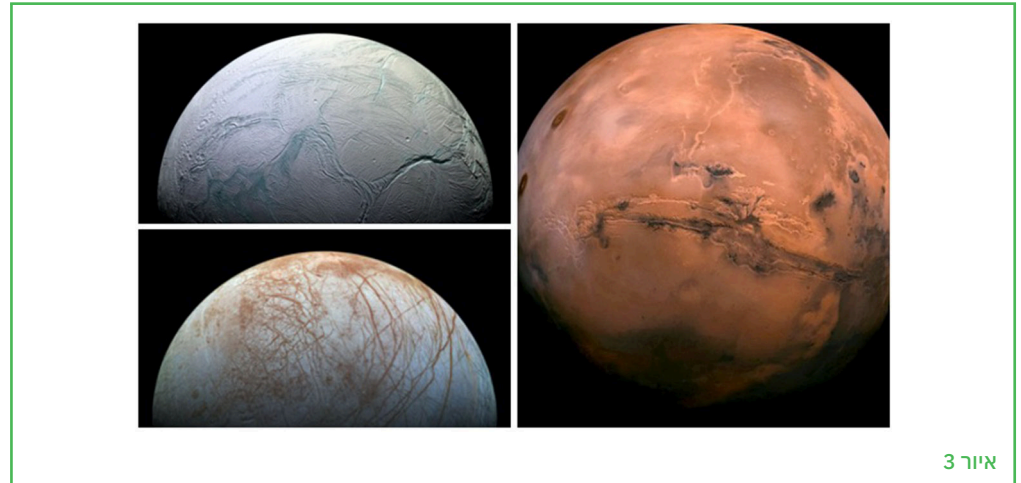
אל האינסוף, ומעבר לו!

אסטרוביולוגיה היא מדע חדש שמשלב תחומים שונים לרבות ביולוגיה, גיאולוגיה, כימיה ומדעי כוכבי הלכת. מטרתו העיקרית היא חקר חיים מחוץ לכדור הארץ. כיום, כוכב מאדים, ירחו של צדק שנקרא אירופה וירחו של שבתאי שנקרא אַנְקְלָדוּס, הם המועמדים המובילים במה שקשור לחיפוש חיים חוצניים (איור 3). התנאים הקיצוניים שמתקיימים במקומות האלה אינם שונים מאוד מחלק מהמקומות הקיצוניים על כדור הארץ [7]. נוכחותם של מים, שהכרחיים לחיים, סבירה מאוד על הכוכב ושני הירחים הללו, ומליחותם של מים אלה היא ככל הנראה גבוהה כמו זו של התמלחות בים סוף. אסטרוביולוגיה חוקרת גם את מגבלותיהם של החיים – עד כמה קיצוניים צריכים להיות התנאים כדי שחיים לא יוכלו להתקיים? ניתן לסייע למטרה זו באמצעות חקירה של סביבות קיצוניות על כדור הארץ. ממצאים מהסביבות הארציות הקיצוניות האלה יכולים לסייע לנו להתכונן למשימות חלל עתידיות בחיפוש אחר חיים.

תמלחות בעומקו של ים סוף הן אתרים אסטרוביולוגיים חשובים [7]. הם מדמים את התנאים המשוערים בקרקעית האוקיינוסים של אירופה ואנקלדוס, ומשמשים מקור למיקרובים שנבחרו בתור מטרת מועדפות למחקרים אסטרוביולוגיים. כמה מהמיקרובים האלה נבחנו בתאי הדמיה ובמסעות בלון לשכבות העליונות של אטמוספירת כדור הארץ. מיקרובים נבחרים יישלחו לתחנת החלל הבינלאומית לניסויי חשיפה לחלל. מחקרים אלה יאפשרו לנו לגלות אם המיקרובים האלה יכולים לשרוד ולגדול כשהם חשופים לחלל, או לתנאים שנמצאו במאדים.

איור 3

כיווני מחקר אסטרונומי במערכת השמש. המטרות הנוכחיות העיקריות של מחקר אסטרונומי במערכת השמש שלנו הן הירחים, אנקלדוס (משמאל למעלה), אירופה (משמאל למטה) וכוכב הלכת מאדים (מימין). קרדיטים לתמונות: נאס"א.



איור 3

מסקנות

תמלחות עומק בים סוף הן סביבות מדהימות וקיצוניות, שאינן דומות לאף סביבה אחרת בכדור הארץ. התמלחות האלו חשובות לתחומים רבים ושונים: הן מקור למיקרובים אקזוטיים חדשים, ליישומים חדשים, והן גם שימושיות בחיפוש אחר חיים מחוץ לכדור הארץ. מדענים רק החלו לחקור את תמלחות עומק הים ואת היצורים שמאכלסים אותן, ואנו יכולים לצפות להרבה ממצאים חדשים בעתיד הקרוב.

מקורות

1. Antunes, A., Ngugi, D. K., and Stingl, U. 2011. Microbiology of the Red Sea (and other) deep-sea anoxic brine lakes. *Environ. Microbiol. Rep.* 3:416–33. doi: 10.1111/j.1758-2229.2011.00264.x
2. Antunes, A., Rainey, F. A., Wanner, G., Taborda, M., Pätzold, J., Nobre, M. F., et al. 2008. A new lineage of halophilic, wall-less, contractile bacteria from a brine-filled deep of the Red Sea. *J. Bacteriol.* 190:3580–7. doi: 10.1128/jb.01860-07
3. Antunes, A., Eder, W., Fareleira, P., Santos, H., and Huber, R. 2003. *Salinisphaera shabanensis* gen. nov., sp. nov., a novel, moderately halophilic bacterium from the brine–seawater interface of the Shaban Deep, Red Sea. *Extremophiles* 7:29–34. doi: 10.1007/s00792-002-0292-5
4. Antunes, A., Stackebrandt, E., and Lima, N. 2016. Fueling the bio-economy: European culture collections and microbiology education and training. *Trends Microbiol.* 24:77–9. doi: 10.1016/j.tim.2015.11.010
5. Antunes, A., Simões, M. F., Grötzinger, S. W., Eppinger, J., Bragança, J., and Bajic, V. B. 2017. "Bioprospecting archaea: focus on extreme halophiles," in *Bioprospecting. Topics in Biodiversity and Conservation*, Vol. 16, eds R. Paterson and N. Lima (Cham: Springer). p. 81–112. doi: 10.1007/978-3-319-47935-4_5
6. Varrella, S., Tangherlini, M., and Corinaldesi, C. 2020. Deep hypersaline anoxic basins as untapped reservoir of polyextremophilic prokaryotes of biotechnological interest. *Mar. Drugs* 18:91. doi: 10.3390/md18020091

7. Antunes, A., Olsson-Francis, K., and McGenity, T. J. 2020. Exploring deep-sea brines as potential terrestrial analogues of oceans in the icy moons of the outer solar system. *Curr. Issues Mol. Biol.* 38:123. doi: 10.21775/cimb.038.123

פורסם אונליין: 28 בפברואר 2023

עורך: Rúben Martins Costa

מנחה מדעית: Emma Nason

ציטוט: Antunes A (2023) מחוץ לעולם הזה: מקרקעית ים סוף ועד לכוכב האדום
Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2020.545761-he

תורגם והותאם מ: Antunes A (2020) Out of This World: From the Bottom of the Red Sea to the Red Planet. Front. Young Minds 8:545761. doi: 10.3389/frym.2020.545761

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

COPYRIGHT © 2020 © Antunes 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

CHLOE, גיל: 15

היי! קוראים לי Chloe, אני בת 15. התחביבים שלי כוללים קריאה, שירה, כתיבה ומחקר. אני אוהבת לבלות שעות בקריאה ברשת או בספרים, כתלות במצב הרוח שלי – אני פשוט אוהבת לקרוא. כיום אני חיה עם שני חתולים פרסיים שאוהבים לשיר בלילה כמוני, ושניהם עצלנים כמוני. בעתיד, ארצה להיות וירלוגית או מדענית גנטית. אם לא אזכה לעסוק באחד התחומים האלה, פשוט אהיה סופרת...

FABIÁN, גיל: 12

Fabián הוא ילד רב-לשוני, טייל עולמי, בן 12, שאוהב את האוקיינוס ואוהב להיות יצירתי. התחביבים שלו הם: רכיבת אופניים בהרים, לגו, המצאה, משחק, ובמיוחד קריאה. הוא אוהב להיות חלק מתוכנית פרונטירז – מדע לצעירים, ומצפה לשנה הבאה!

NAGA, גיל: 15

אני בת 15, בת יחידה שנולדה וגדלה בהודו. חייתי בקאוקט במשך שבע שנים. אני אוהבת שירה וריקוד, ולהתאמן בכל סוגי הספורט. אני אוהבת תיאטרון, אך לא מספיק כדי להופיע מאחר שאני תמיד שוכחת את השורות שלי.



**SAGE, גיל: 11**

אני Sage, אוהבת רישום, אומנות ונגינה בכינור שלי. אני כותבת סיפורים וקוראת את הספרים האהובים עליי כמו סֶפְטִימוֹס היפ והארי פוטר. אני יצירתית וחובבת הרפתקאות, אוהבת לתפור בגדים מותאמים אישית וליצור צמידים, ואני זמרת טובה.

**XENIA, גיל: 15**

קוראים לי Xenia. אני אוהבת מדע, וחושבת שזה אדיר להיות מסוגלים לקרוא מאמר מדעי ולהבין מה הוא אומר. בזמני הפנוי אני אוהבת לקרוא, להתעמל ולצלם.

הכותב**ANDRÉ ANTUNES**

אני פרופסור וראש היחידה לאסטרונומיה של מעבדת סטייט קי למדעי הירח וכוכבי הלכת באוניברסיטת מקאו למדע ולטכנולוגיה (מקאו, סין). אני חוקר חיים על הקצה ומיקרובים אקזוטיים חדשים שחיים בסביבות קיצוניות שלא נחקרו, מאגמים מלוחים, דרך מכרות ועד למיקומים בעומק הים. בהרבה מהסביבות האלה יש תנאים דומים לאלה שנמצאו על מאדים ועל כוכבי לכת אחרים. חקירת הסביבות הללו מסייעת לנו בחיפוש חיים מחוץ לכדור הארץ, ומאפשרת לנו למצוא את גבולות החיים. סביבות קיצוניות הן מקור למינים בלתי רגילים חדשים, וליישומים חדשים שיכולים לסייע לנו להזין, לתדלק ולרפא את העולם.

*aglantunes@must.edu.mo



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