



הרי געש: הצורה משקפת את האישיות

Luca Caricchi*, Tom E. Sheldrake, Costanza Bonadonna

המחלקה למדעי כדור הארץ, אוניברסיטת ג'נבה, ג'נבה, שווייץ

סוקרים צעירים

AMALIA

גיל: 10



GIULIA

גיל: 8



LACHLAN

גיל: 8



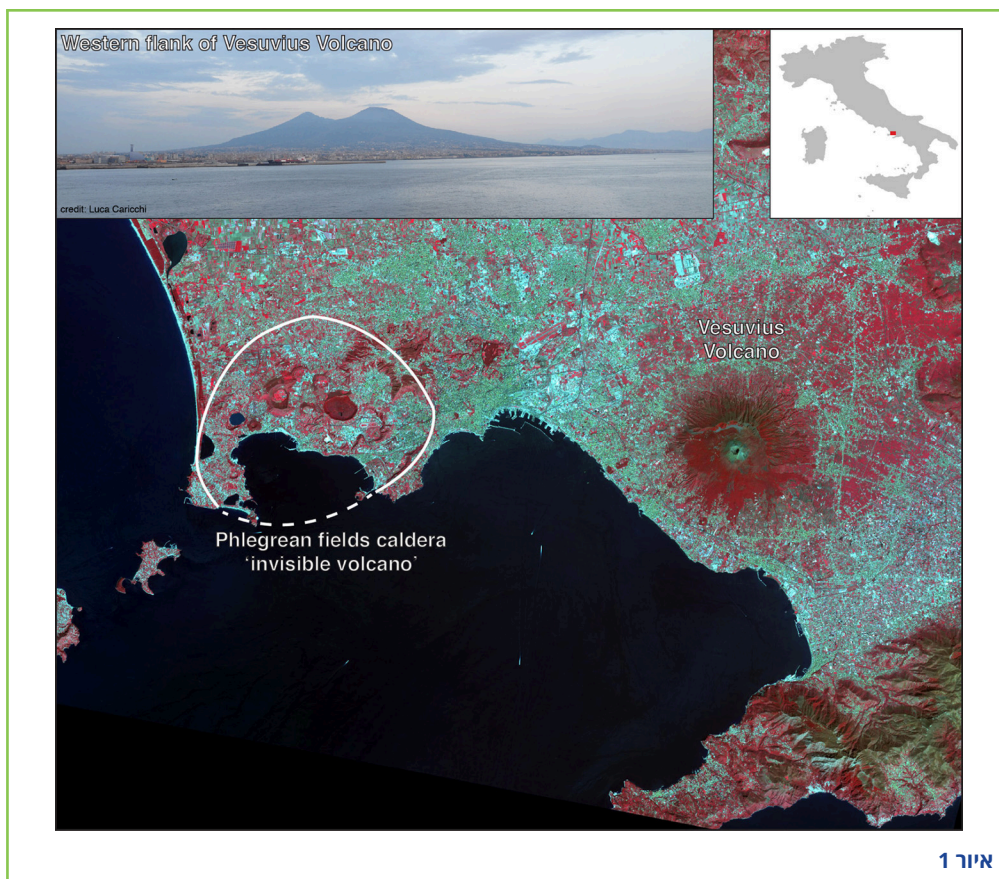
התפרצויות געשיות מוכיחות שכוכב הלכת שלנו חי ומתפתח. אם תביטו בתמונות של הרי געש מסביב לעולם, תבחינו שהם נראים שונים אבל יש להם גם מאפיינים חשובים במשותף. לחלקם יש צורת חרוט מושלמת, ואילו אחרים הרבה יותר שטוחים ופחות בולטים בשטח. בזה הם דומים לבני אדם – יש גבוהים ויש נמוכים, יש כהים ויש בלונדינים. העובדה הזאת חשובה משום שלפי צורתו של הר געש יכולים מדענים לדעת כיצד הוא יתפרץ: אפשר לומר שהמראה של הר געש מעיד על האישיות שלו! זאת בניגוד לבני אדם, שלפעמים האישיות שלהם שונה מאוד גם אם הם נראים דומים. כאן אנחנו מתארים סוגי אישיות שונים של הרי געש, ומסבירים איך אפשר לחזות לפיהם השפעות של התפרצויות עתידיות.

צורות של הרי געש

מדענים החוקרים הרי געש נקראים וולקנולוגים. וולקנולוגים כמונו נוסעים ברחבי העולם כדי לערוך מחקרים על כמה שיותר הרי געש. ככל שנחקור הרי געש רבים יותר, נבין טוב יותר את אופן הפעולה שלהם. לפעמים אנחנו מגיעים לעיר כמו נאפולי שבאיטליה, וכבר מהרפתת מבחינים בהר הגעש היפהפה המתנשא מעל העיר (וּזּוּב: ראו איור 1). אם מסיירים בסביבת וּזּוּב, מוצאים סלעים שמהם אפשר ללמוד הרבה מאוד על תולדותיו. לשם כך בודקים מאילו

איור 1

תצלום לוויין של אזור נאפולי באיטליה באיור נראים הר-הגעש השכבתי וזוב (מימין) וקלדרת "קמפי פלגריי" (מסומנת בעיגול משמאל). במפה הקטנה של איטליה מסומן מיקום התצלום. צילום: NASA (ASTER image)



איור 1

מינרלים עשויות דגימות הסלע שמצאנו, ומנתחים את ההרכב הכימי שלהן. כך אפשר לקרוא בסלעים כמו שקוראים בספרים! זאת המומחיות שלנו, הוולקנולוגים.

מה שמעניין בנאפולי הוא שכאשר מסתובבים בה מגלים גם סלעים געשיים אחרים, שהמראה וההרכב הכימי שלהם שונים מאלו של הסלעים ליד וזוב. הסלעים האלה הגיעו ממתחם געשי אחר הנמצא קרוב לעיר: קמפי פלגריי (Campi Flegrei, שפירושו "השדות הבווערים"). זהו הר געש שבגלל צורתו קשה מאוד לראות אותו אם עומדים על הקרקע, אבל הוא גדול כל כך שאפשר לראות אותו מהחלל (איור 1).

הר געש חרוטי כמו וזוב נקרא "הר געש שכבתי" ואילו הר געש שטוח יותר, כמו קמפי פלגריי, נקרא "קלדרה". הרי געש שכבתיים נראים כמו הרי הגעש שאתם מציירים, וקל לזהות אותם. יש להם צורה של הר, ובמרכז נמצא לוע המחובר לתת-קרקעי. קלדרה, לעומת זאת, דומה יותר לקערת מרק גדולה (איור 2). בין הוולקנולוגים הראשונים היו כאלה שפינו את הקלדרות "הרי געש הפוכים" [1]. רמת הגולן היא אזור געשי רדום ואפשר למצוא בה הר געש חרוטי כמו הר פרס וקלדרה כמו הר אביטל.

מדוע יש להרי געש צורות שונות כל כך? כאשר הר הגעש שקט, הסלעים שיפלטו החוצה בהתפרצות מאוחסנים בתוך תא **מאגמה**, בעומק 5-15 ק"מ מתחת להר (איור 2). הסלעים בתא המאגמה הם לוהטים כל כך (בערך 800-1000 מעלות צלזיוס; פיצה נאפית ב-300 מעלות) שהם נמצאים במצב מותך. סלעים מותכים נקראים מאגמה. כאשר הר געש שכבתי

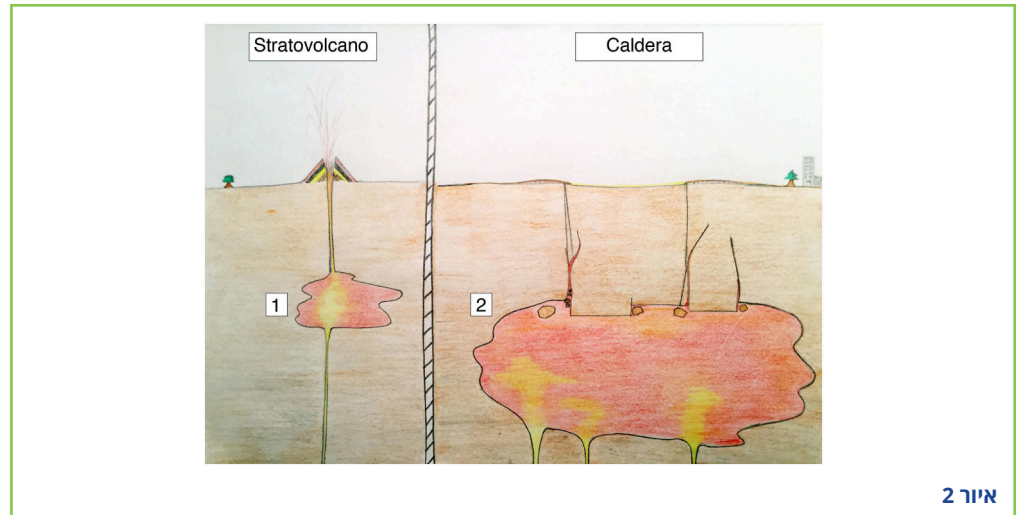
מאגמה

(Magma)

סלעים מותכים העולים ממעמקי האדמה ומוזינים התפרצויות געשיות.

איור 2

הר געש שכבתי (משמאל)
ומערכת געשית קלדרית
(מימין)
תא המאגמה של הר געש
שכבתי (1) קטן מהרבה מזה
של קלדרה (2).



מתפרץ, נפלט רק חלק קטן מהמאגמה שבתא, ואחרי ההתפרצות היא מתקררת ומתקשה. במהלך התפרצויות חוזרות המאגמה מצטברת, כך שנוצר חרוט. בקלדרה המצב שונה. כאשר היא מתפרצת, כמות המאגמה הנפלטת מהתא היא כה עצומה שפני השטח שוקעים ויוצרים את ה"קערה" הנקראת קלדרה. לכן חשוב למדענים לשאול את השאלה "מדוע הרי געש נראים שונים?"

גודל תא המאגמה יכול לקבוע מה תהיה האישיות של הר הגעש

המאגמה שבתא המאגמה מתחת להר הגעש נמצאת במצב מותך, והיא פחות צפופה מהסלעים המוצקים שסביב התא. לכן פועל על המאגמה שבתא כוח הציפה, הדוחף אותה אל פני השטח. כוח הציפה הוא הכוח שאתם מרגישים, למשל, אם אתם מנסים להשקיע כדור מנופח בתוך מים: כוח הציפה מתנגד ושואף להחזיר אותו למעלה, אל פני המים. ארכימדס מסיקנה תיאור את הכוח הזה לראשונה לפני 2200 שנה – תגלית חשובה מאוד, שהסבירה מדוע כלי שיט צפים על המים. בניגוד לכדור, שכוח הציפה ידחוף אותו כלפי מעלה, המאגמה לא עולה מעלה מכיוון שהסלעים המקיפים את תא המאגמה חזקים ומונעים ממנה לעלות אל פני השטח. איך בכל זאת המאגמה מתפרצת?

הסלע סביב תא המאגמה מונע מהמאגמה לעלות כפי שאתם מנסים למנוע מהכדור לעלות אל פני המים. אם הכדור קטן, מן הסתם תצליחו, אבל ככל שהוא גדול יותר, יהיה לכם קשה יותר. תאי המאגמה מתחת לקלדרה מגיעים בסופו של דבר לגודל עצום, ואז מתרחשת התפרצות. וולקנולוגים הראו שלפעמים החום הרב של המאגמה מפרק את הסלעים שמעל תא המאגמה, ולכן פוחת הלחץ של הסלעים כלפי מטה (כאילו הייתם מפעילים פחות לחץ על הכדור שמתחת למים) ובסופו של דבר המאגמה מצליחה לעלות והר הגעש מתפרץ [2]. יש גם מקרים שבהם רעידת אדמה מטלטלת את תא המאגמה, וההשפעה היא כמו נייעור של בקבוק משקה מוגז – גם היא גורמת להתפרצות [3]. את כל זה אנחנו יודעים על תאי מאגמה גדולים. אבל מדוע מתפרצים הרי געש שכבתיים, שתאי המאגמה שלהם קטנים הרבה יותר?

בהרי געש עם תאים קטנים, גורמי ההתפרצות הם אחרים. לדוגמה, חדירה של מאגמה נוספת ולוהטת יותר מבטן האדמה (מעומק 60-100 ק"מ) יכולה להגביר את הלחץ בתוך התא עד כדי שבירת הסלעים שסביבו [4].

על כדור הארץ, התפרצויות געשיות קטנות הן הרבה יותר נפוצות מהתפרצויות גדולות [5]. רוב תאי המאגמה מאבדים כמויות קטנות של מאגמה בהתפרצויות קטנות ואינם מגיעים לגדלים שבהם יכולה להתפתח קלדורה. כשבזדקים סלעים שנפלטו מהרי געש, מתברר שהתפרצויות של קלדרות הן גדולות יותר מהתפרצויות של הרי געש שכבתיים [6]. לדוגמה, המקום הרחוק ביותר שאליו הגיעו סלעים מהרֶזוב הוא וּנְצִיָה, הנמצאת 540 ק"מ מההר, אבל סלעים שנפלטו מקמפי פלגריי נמצאו אפילו ברוסיה, במרחק 4000 ק"מ! אם נבין מדוע קלדרות והרי געש שכבתיים מתפרצים בעוצמה שונה (כלומר, נבין את ה"אישיות" של הר הגעש) ואיך גודל ההתפרצות קשור לגודלו של תא המאגמה, נוכל לחזות באופן מדויק יותר את ההשפעה של ההתפרצות.

לאילו הרי געש יש אישיות מסוכנת במיוחד?

וולקנולוגים חוקרים את אישיותם של הרי געש כי היא קובעת מה יהיה טווח ההשפעה של כל התפרצות. זכרו שסלעים מקמפי פלגריי הגיעו למרחק של 4000 קילומטרים! כעת נספר לכם על הסכנות השונות הטמונות בהתפרצויות געשיות.

כאשר הר געש מתפרץ בפיצוץ, המאגמה מתקררת והופכת לאפר געשי ולגזים געשיים, כמו פחמן דו-חמצני (CO_2) וגופרית דו-חמצנית (SO_2). האפר נפלט במהירות גבוהה עד כדי כך שהוא מועף לגובה שבו טסים מטוסים. הוא עלול לסתום את מנועי המטוס ולעצור אותם. אפר וגז געשיים מהתפרצויות גדולות מסוגלים לעבור מרחקים גדולים באטמוספירה, להתפזר על פני כל כדור הארץ ואף לשנות את האקלים. הגזים הופכים באטמוספירה לתרסיסים (תערובת של חלקיקים זעירים), והם מחזירים את קרינת השמש לחלל וגורמים להתקררות גלובאלית. היה אפילו מקרה שבו, בעקבות התפרצות הר געש באינדונזיה (טמבורה; איור 3) בשנת 1815, עברה על אירופה וצפון אמריקה שנה ללא קיץ!

באזורים סמוכים להרי הגעש עלול האפר להיות קטלני גם משום שהוא קובר צמחים ומזהם מקורות מים. כך קרה בהתפרצויות של אַיִיאֶפִּיאֶטְלֶאִיקוֹטֶל באיסלנד ב-2010, ושל קורדון-קאויה בצ'ילה ב-2011 (איור 3).

לעתים נוצרים עננים עצומים של אפר המתקדמים במורדות הר געש ועוברים עשרות קילומטרים. הם נקראים **זרמים פירוקלסטיים**. מדובר בתערובת לוהטת מאוד ומהירה מאוד של גז, אפר ו"פצצות געשיות" (סלעים געשיים שהיקפם יותר מ-64 מ"מ), הזורמים במורד הר הגעש ומשמידים כל מה שעומד בדרכם. מהירותם יכולה להגיע ל-400 ק"מ! זרמים פירוקלסטיים נוצרו, בין השאר, בהתפרצות הר הגעש זוב בשנת 79 לספירה, התפרצות שהרסה עד היסוד את הערים פומפיי והרקולנאום. תוצר אחר של התפרצויות געשיות הוא אפר המתערבב עם מים וזורם במורדות הר הגעש. זרם כזה נקרא **להאר** (מילה אינדונזית). להארים הם פחות לוהטים מזרמים פירוקלסטיים, אבל הם נעים במהירות אדירה ומסכנים את היישובים הקרובים להרי געש. באחד הלהארים המפורסמים והקטלניים

זרם פירוקלסטי (Pyroclastic flow)

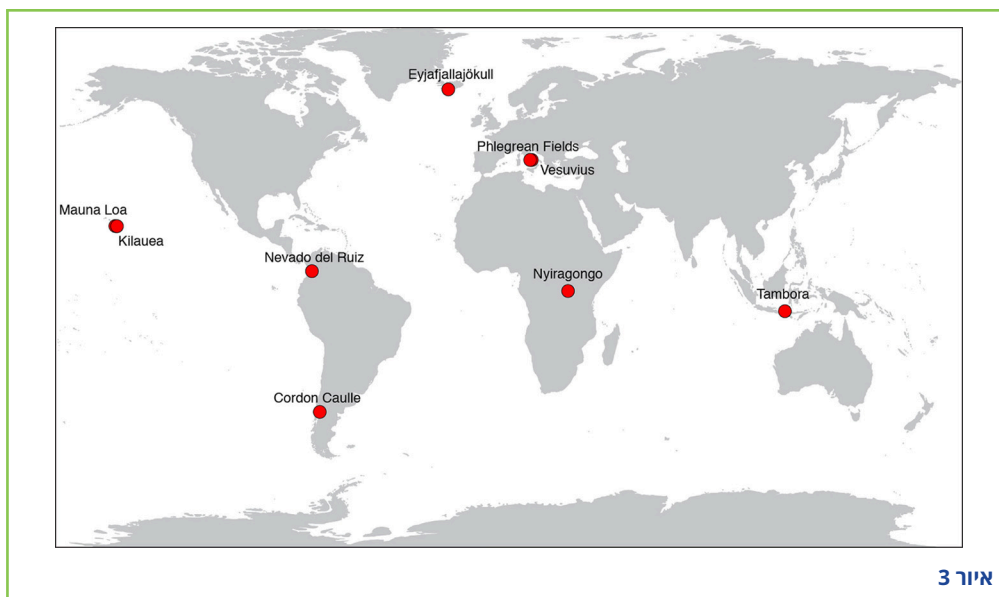
תערובת לוהטת של גז, אפר וסלעים ממקור געשי.

להאר (Lahar)

זרם בוץ המורכב ממים וחומר געשי.

איור 3

מפה המראה את מיקום הרי הגעש המוזכרים במאמר.



איור 3

בהיסטוריה, שהתחולל בקולומביה ב-1985 כתוצאה מהתפרצות הר הגעש נױאדו דֶל רואיס (איור 3), נספו יותר מ-26,000 בני אדם. התפרצות געשית שאינה כרוכה בהתפוצצות נקראת קילוח, ובה המאגמה נשפכת מלוע הר הגעש בזרמי **לֶבָה**. זרמי לבה הם לוחטים, איטיים בהרבה מזרמים פירוקלסטיים, ומסוגלים לשרוף את כל מה שבדרכם. זרמי לבה נוצרו בין השאר בהתפרצויות הרי הגעש מְאוֹנָה לױגָה וקילוֹנְגָה שבהוואי וניִירָאגוֹנְגוֹ שברפובליקה הדמוקרטית קונגו (איור 3). גם רמת הגולן בנויה מזרמי לבה בני אלפי שנים.

כדי לחזות את ההשפעה של מפגעים געשיים כמו אלה שתיארנו, משתמשים כיום במודלים ממוחשבים כדי לבנות מפות סיכונים. במפות הרגילות שאתם מכירים, הצבעים מסמלים את צורת פני השטח (ירוק מסמל אזורים שטוחים, חום ולבן מסמלים הרים, וכן הלאה). במפת סיכונים, לעומת זאת, הצבעים מסמלים את המפגעים שיופיעו כתוצאה מהתפרצות געשית. להתפרצויות גדולות, למשל התפרצויות של קלדרות כמו קמפי פלגריי, דרושה מפת סיכונים גדולה יחסית. אפשר אולי להסיק מזה שהרי געש כאלה הם מסוכנים יותר; אבל מכיוון שבדרך כלל תאי מאגמה לא מגיעים לגודל שמאפשר התפרצויות כאלה, הן קורות לעיתים נדירות מאוד. להתפרצויות קטנות, של ההר וזוב למשל, מספיקה מפת סיכונים קטנה – אבל הן מתרחשות לעיתים קרובות יותר. לכן, בסיכום הכללי, וזוב עשוי להיות דווקא מסוכן יותר מקמפי פלגריי!

להתייחס לאישיות של הרי געש בכבוד הראוי

יותר מ-500 מיליון איש חיים כיום בקרבת הרי געש. ההרים האלה אולי נראים לנו מפחידים, אבל הסלעים שהם פולטים עשירים בחומרים שבזכותם האדמה שם פורייה מאוד. בנוסף, הרי געש הם מקור חשוב לאנרגיה מתחדשת. מחום המאגמה אפשר לייצר חשמל, למשל, ומחומרים געשיים אפשר לייצר לוחות קולטי שמש. כלומר, הרי געש הם חשובים לקיום החיים

לֶבָה

(Lava)

מאגמה שעלתה אל פני האדמה.

על פני האדמה, אבל חלקם גם מסוכנים מאוד. כדי לחיות ליד הרי געש צריך להבין את השפה שלהם ואת המסרים שהם שולחים לנו. וולקנולוגים קוראים את הסלעים הגעשיים כדי להבין מה התהליכים שמתרחשים לקראת התפרצות, וכך ללמוד לצפות את ההתפרצויות הבאות ואת השפעתן.

התפרצות של הר געש היא מפגן יוצא דופן של עוצמה ויופי טבעיים, וזוהי זכות גדולה לראות תופעה כזאת. אבל ההרים האלה גם מזכירים לנו שכדי ליהנות באמת מהטבע, צריך גם ללמוד לכבד אותו. העתיד שלנו יהיה טוב יותר אם נבין ונכבד את חוקי הטבע! לא הגיוני, למשל, לבנות בתים ובניינים חשופים (כמו בתי ספר ובתי חולים) קרוב מדי להרי געש, במקום שבו הם עלולים להיהרס בהתפרצות. רבים מהרי הגעש עומדים רדומים במשך אלפים רבים של שנים, ולכן עלינו להבין את הסיבות להתפרצויות ואת הבדלי ההתנהגות בין הרי הגעש השונים. כמדענים, אנחנו מסוגלים להבין מה האישיות של הר געש מסוים לפי מראהו ולפי הסלעים שהוא פולט. מחובתנו להבין ולכבד את הטבע, כי הוא יכול להתקיים בקלות בלי בני אדם – אבל בני אדם לא יכולים לחיות בלעדיו!

מקורות

1. Walker, G. P. L. 1984. Downsag calderas, ring faults, caldera sizes, and incremental caldera growth. *J. Geophys. Res.* 89, 8407–16. doi: 10.1029/JB089iB10p08407
2. Gregg, P. M., de Silva, S. L., Grosfils, E. B., and Parmigiani, J. P. 2012. Catastrophic caldera-forming eruptions: thermomechanics and implications for eruption triggering and maximum caldera dimensions on Earth. *J. Volcanol. Geother. Res.* 241–242, 1–12. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2012.06.009
3. Sumita, I., and Manga, M. 2008. Suspension rheology under oscillatory shear and its geophysical implications. *Earth Planet. Sci. Lett.* 269, 468–77. doi: 10.1016/j.epsl.2008.02.043
4. Caricchi, L., Annen, C., Blundy, J., Simpson, G., and Pinel, V. 2014. Frequency and magnitude of volcanic eruptions controlled by magma injection and buoyancy. *Nat. Geosci.* 7, 126–30. doi: 10.1038/ngeo2041
5. Newhall, C. G., and Self, S. 1982. The volcanic explosivity index (VEI) an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *J Geophys Res Oceans Atmos* 87, 1231–8. doi: 10.1029/JC087iC02p01231
6. Sheldrake, T., and Caricchi, L. 2016. Regional variability in the frequency and magnitude of large explosive volcanic eruptions. *Geology* 45, 111–4. doi: 10.1130/G38372.1

פורסם אונליין: 18 בינואר 2019

נערך על ידי: Mark Alan Brandon, The Open University, United Kingdom

ציטוט: Caricchi L, Sheldrake TE and Bonadonna C (2019) הרי געש: הצורה משקפת את האישיות. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2018.00010-he

תורגם והותאם:

Caricchi L, Sheldrake TE and Bonadonna C (2018) Does the Shape of a Volcano Reflect its Personality? *Front. Young Minds* 6:10. doi: 10.3389/frym.2018.00010

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

COPYRIGHT © Caricchi, Sheldrake and Bonadonna 2018. 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**AMALIA, גיל: 10**

שמי עמליה, אני בת 10 ונולדתי בסין ב-2008. יש לי שתי אימהות. המאמר הזה ממש מצא חן בעיניי.

**GIULIA, גיל: 8**

שמי ג'וליה, אני בת 8, ונולדתי בינואר 2009. אני ממש אוהבת מתמטיקה. כשאני עצובה אני עושה תרגילי מתמטיקה, ומרגישה הרבה יותר טוב. כשאגדל אני רוצה לגלות משהו חדש, משהו שאף אחד לא היה מדמין.

**LACHLAN, גיל: 8**

שלום, אני לאכלן. נולדתי בטקסס, אבל עכשיו אני גר במדריד שבספרד. אני אוהב מאוד לשחק כדורגל. אני בריא. אני בן שמונה.

**הכותבים****LUCA CARICCHI**

אני וולקנולוג העומד בראש "הקבוצה לחקר מאגמה" במחלקה למדעי כדור הארץ באוניברסיטת ג'נבה. אנחנו חוקרים איך התכונות הכימיות והפיזיקליות של מאגמה משפיעות על צמיחה והתפתחות של מערכות געשיות. המטרה העיקרית של מחקרנו היא להבין איך המבנה של הר געש משפיע על התכיפות והעוצמה של התפרצויות געשיות. *luca.caricchi@unige.ch

**TOM E. SHELDRAKE**

אני עובד כחוקר במחלקה למדעי כדור הארץ באוניברסיטת ג'נבה שבשווייץ. במקור אני מבריטניה, ושם כתבתי את עבודת הדוקטורט והתחלתי לחקור הרי געש. אני מתעניין בהתפתחות של מערכות המאגמה שמזינות התפרצויות געשיות, ובתהליכים הקובעים מה יהיה קנה המידה של התפרצויות כאלה. יש לי גם עניין כללי ביחסי הגומלין של בני אדם עם הרי געש ומפגעי טבע אחרים.



**COSTANZA BONADONNA**

אני וולקנולוגית העומדת בראש קבוצת "סיכונים פיזיים וגיאולוגיים געשיים" במחלקה למדעי כדור הארץ באוניברסיטת ג'נבה. המחקר שלי עוסק באיפיון של התפרצויות געשיות מתפוצצות והסכנות הכרוכות בהן, בגישה משולבת של מחקרי שטח, ניסויים ושיטות חישוביות, במטרה לצמצם את השפעתן של התפרצויות כאלה על קהילות אנושיות.

Hebrew version
provided by

[מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים \(ער\)](#)
[متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس](#)
 Bloomfield Science Museum Jerusalem

