



## הטבלה המחזורית הפנימית של צמחי המדבר וים-המלח

Ofir Katz<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>מו"פ מדבר וים-המלח

<sup>2</sup>קמפוס אילת, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

### סוקרים צעירים

ILAY

גיל: 10



LAVI

גיל: 11



צמחים סופגים מהסביבה שלהם חומרים שונים – כמו מים, מינרלים וגזים – שכולם מורכבים מִיְסוּדוֹת פְּיֻמִּים. לפעמים היסודות האלה מועילים לצמח ולפעמים הם עלולים להזיק. למשל, צמחים ממשפחת הדֶּגְנִיִּים קולטים יסוד כימי בשם צוֹרֶן (סיליקון) ויוצרים ממנו שכבות דמויות זכוכית מיקרוסקופית שמרחיקות בעלי-חיים אוכלי-צמחים. מחקר שביצענו לאחרונה הראה שתכונה זו יכולה אולי להפחית התפרצויות של אֶרֶבָה. במחקר גם גילינו שלצמחי מדבר יש "חתימה כימית" ייחודית, שטומנת בחובה כמה הפתעות. למשל, צמחי מדבר יכולים לקלוט כמויות גדולות של היסוד סֶטְרוֹנָצִיּוּם, שכל הנראה מועיל לצמחים שגדלים בתנאים קשים. לתכונה זו חשיבות מיוחדת, כי יכול להיות שאפשר להשתמש בצמחים כאלה כדי לנקות קרקעות שמזהמות בסטרונציום רדיואקטיבי.

## צמח – מה יש בו?

### תרכובות אורגניות (Organic Compound)

תרכובת כימית של אחד או יותר אטומי פחמן שקשורים כימית למימן, חמצן או חנקן. תרכובות אורגניות מהוות את הבסיס הכימי של כל החיים.

### פיונית (Stomata (Singular: Stomate))

פתח ברקמה החיצונית של הצמח שמאפשר תנועה של גזים פנימה והחוצה. לפיונית מבנה מורכב ששולט בפתיחתה ובסגירתה.

### הטבלה המחזורית (Periodic Table)

שיטה למיון של כלל היסודות הכימיים על-פי תכונותיהם הכימיות והמבנה האטומי שלהם. בהשאלה, המונח משמש לתאר את הרכב ומגוון היסודות הכימיים בטבע או בגופים מסוימים.

צמח נראה כמו משהו פשוט – גבעול, עלים, אולי פרחים. אבל בפנים, הוא בנוי מהמון חומרים שונים. החומרים האלה נקראים **תרכובות אורגניות**. רוב הגוף של הצמח, הדני"א שלו, עשוי מתרכובות אורגניות של פחמן, חמצן ומימן, עם כמויות משתנות של חנקן, זרחן וגופרית. הם החומרים ששולטים ברוב הפעילות הביולוגית שבו. אבל כל ההרכב הכימי הפנימי של הצמחים כולל יסודות כימיים רבים אחרים [1]. חלק מהיסודות האלה משתלבים בתוך התרכובות האורגניות השונות, וממלאים תפקידים מרכזיים בצמח. למשל, **מגנזיום** וברזל שמשתתפים בתהליך הפוטוסינתזה. לצמחים גם יש פתחים מיוחדים שנקראים **פיוניות**. דרך הפיוניות נכנסים ויוצאים מהצמח גזים כמו פחמן דו-חמצני, חמצן ואדי מים. מכיוון שהפיוניות הן מקור עיקרי לאובדן מים, הצמח שולט בפתיחה ובסגירה שלהן באמצעות אשלגן. למעשה, כמעט כל יסוד **בטבלה המחזורית** יכול להימצא בתוך צמח בנסיבות כאלה או אחרות, אלא אם הצמח משקיע מאמצים מיוחדים למנוע את כניסתו.

איזו תועלת מפיקים הצמחים מכל היסודות האלה? לפעמים יסוד כימי פשוט נכנס לצמח יחד עם המים, מבלי שהוא "עושה" משהו בצמח או גורם לאיזושהי תועלת. בסקר צמחים שערכתי באזור ים-המלח, מצאתי שכמה מינים שגדלים במקומות מסוימים מכילים כמויות זעירות של זהב, שאין לו שום תועלת לצמח, ולמרבה הצער גם לא ערך כלכלי ממשי.

## צמחים ומלחים

אבל כמובן שיסודות כימיים שלא עושים כלום הם די משעממים. את היסודות המעניינים ניתן לחלק באופן גס לשתי קבוצות, "טובים" ו"רעים", מנקודת המבט של הצמח כמובן. נתחיל ביסודות הרעים, אלה שמזיקים לצמח כי הם משבשים את פעילותו התקינה. אחד היסודות האלה הוא נתרן. כשיש יותר מידי נתרן בצמח זה פוגע בתנועת הנוזלים שבו. למה? כי מים תמיד זורמים לכיוון שבו הם יכולים "לדלל" ריכוזים גבוהים של מלחים, וזה לא תמיד הכיוון הרצוי מבחינת הצמח. מספר מינים של צמחים שאופייניים למדבריות ולבתי-גידול מלוחים למדו להתמודד עם הבעיה הזו. הם כולאים את הנתרן בתוך גבישי מלח (כמו זה שאנחנו מפזרים על האוכל שלנו) כך שלא יהיו מומסים ולא יגיבו כימית, וחלק מהצמחים מפרישים את המלח הזה מתוך גופם (**איור 1**). גבישי המלח הזעירים האלה לא רק מונעים עודפי נתרן מומס בצמח, אלא גם יכולים להגן על הצמח מפני בעלי-חיים אוכלי-צמחים, שמן הסתם מעדיפים אוכל בלי גבישי מלח גדולים שגם יכולים לשרוט או להיתקע בגרון. אפילו נגיפים יכולים להיתקל בקשיים כשהם מנסים לחדור לצמח כזה.

באופן דומה, עצים שגדלים בסביבות עם מי-תהום מאוד מלוחים יכולים להיחשף לכמויות גדולות של גופרית. גופרית היא יסוד שחיוני לצמחים, אבל כמו כל דבר אחר, גם היא מזיקה בריכוזים גבוהים. עצים כמו האשל מסוגלים לרכז את הגופרית בחללים קטנים שבהם נמצא גם סידן בריכוז גבוה. כאשר שני היסודות מעורבים יחד בריכוז גבוה, הם מתגבשים בצורת גֶבֶס או חומרים שדומים לגבס. רק כדי שתקבלו מושג עד כמה התופעה הזו יכולה להיות משמעותית: לא נדיר למצוא עצי אשל שרבע או שלישי מהגזע שלהם עשוי מגבס או מחומר דומה!

## איור 1

### גבישי מלח על אֶשְׁלִיל שְׁעִיר.

צמחי אשליל שעיר יוצרים גבישי מלח (נתרן כלורי) בבלוטות מיוחדות ומפרישים אותו מגופם כדי להיפטר מעודפי נתרן וכדי להגן על עצמם מבעלי-חיים ונגיפים. (צילום: יובל גדולטר).



איור 1

## דגניים

### (Herbivorous)

משפחה גדולה של צמחים עשבוניים שמהווים את עיקר צמחי המאכל בעולם, כמו חיטה, שעורה, תירס ואורז.

## מיקרומטר

### (Micrometer)

יחידת מידה השווה לחלק המיליון של המטר, או אלפית המילימטר. עובי של קליפת בצל, לדוגמה, הוא כ-40 מיקרומטר.

## צמחים מזכוכית?

היסוד שהכי קרוב לליבי הוא צורן (סיליקון). בצמחים רבים, בעיקר ממשפחת הדגניים (כמו חיטה ושעורה) וקרובי-משפחתם, הצורן מצטבר בתוך ועל-פני התאים של הצמח, במבנה כימי שדומה מאוד לזכוכית – אבל קטן מאוד, בגודל של כמה עשרות מיקרומטרים לכל היותר. בימי אביב, כשהרוח נושבת, עלי החיטה שנעים בשדה נוצצים, בין השאר בזכות אותה זכוכית מיקרוסקופית שמחזירה את האור בזוויות שונות.

לצורן יש המון תפקידים בצמח [2]. הוא נקשר לכמה יסודות מזיקים, כמו אלה שתיארת קודם, וכך מונע מהם להגיב עם חומרים אחרים בצמח. בגלל שהוא מצטבר בשכבות דקות שדומות לזכוכית, הוא יוצר מחסום פיזי יעיל. מכיוון אחד, הוא מונע מחיידקים ופטוריות



לחדור לצמח. מהכיוון השני, הוא מקטין את איבוד המים ומגביל את כמות המים שיוצאת דרך הפיוניות – שעליהן הצמח שולט טוב יותר (לפעמים בזכות צורן שנמצא בתוך התאים ששולטים בפתיחה ובסגירה של הפיוניות).

הזכוכית המיקרוסקופית גם מסייעת לצמח להגן על עצמו מפני בעלי-חיים אוכלי-צמחים [3]. אם אתם חרק קטן, אפילו חתיכת זכוכית זעירה יכולה לשרוט לכם את הרקמות הרכות של הפה ושל מערכת העיכול, ואולי אפילו לחסום אותה. מכיוון שהזכוכית עוטפת חלק מהתאים, היא גם מקשה על "פיצוח" שלהם, ובכך מונעת מבעל-החיים להפיק את כל התרכובות האורגניות המזינות שבתוך התאים. בכמויות גדולות (ואצל דגניים הצורן יכול להוות יותר מאחוז אחד ממסת הצמח), הצורן מעמיס על מערכת העיכול של בעלי-החיים ותופס נפח שהיה יכול להתמלא בחומרים מזינים. הצורן גם מווסת תהליכים שקשורים לכימיה האורגנית של הצמחים, וכך מפחית את ההשפעות של עקבות כמו יובש ומליחות, אבל גם עקבות שנגרמות על-ידי חיידקים ומחוללי-מחלות.

### עקה (Stress)

מצב שנוצר כתוצאה מתנאים קשים שפוגעים ביכולת התפקוד התקין של אורגניזם.

במחקר שביצעתי לאחרונה יחד עם חוקרים מגרמניה (איור 2), גידלנו את הדגן מלֶעֱנִיָאֵל קִצְוִי – פעם עם דישון בצורן, ופעם בלי. אחר כך חשפנו אותו למין של ארבה. גילינו שהחשיפה לדגניים עשירים בצורן גרמה לנקבות הארבה להיות קצרות יותר, למרות שלא היה הבדל במשקל גופן. התוצאה הזו מראה שצורן פוגע בתהליך ההתארכות של נקבות. המשמעות היא שהגוף שלהן דחוס יותר ויש בו פחות נפח לכל המערכות הפנימיות. אבל עם כל הצורן שבמזון שלהן, קשה להאמין שמערכת העיכול היא זו שמתכווצת. אפשרות סבירה (לא בדקנו) היא שמערכת הרבייה היא זו שצריכה להצטופף, וזה אולי אומר שהן יכולות להטיל פחות ביצים. לכן יכול להיות שצורן יכול לעזור בהפחתת התפרצויות ארבה.

### איור 2

מדע בפעולה. מדידות במהלך ניסוי הארבה. השימוש בתמונה אושר ע"י טובליה סלומון וירון ניטקה-נקש (צילום: טובליה סלומון).



איור 2



אצל הזכרים, אגב, לא מצאנו תופעה דומה. זה מחזק את ההערכה שהצורך משפיע על תהליכים ביולוגיים שאופייניים לגוף הנקבה, כמו למשל רבייה.

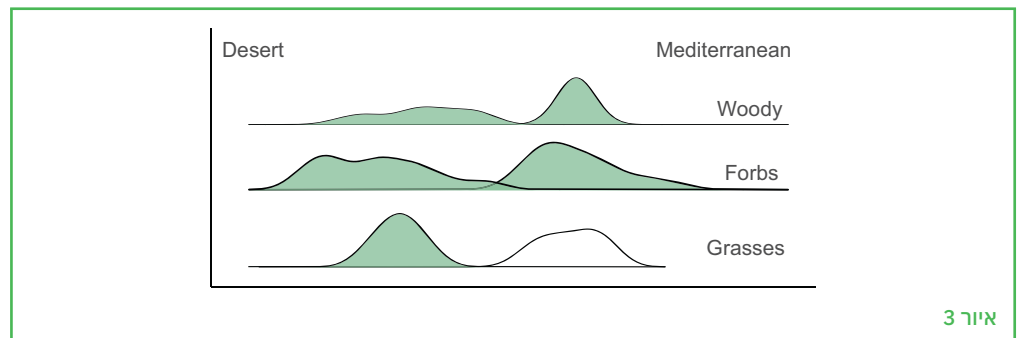
## החתימה הכימית של צמחי המדבר

במחקר נוסף שפרסמנו לאחרונה [4], ונעשה בשיתוף-פעולה עם פרופ' מרסלו שטרנברג ופרופ' מיכל גרונטמן מאוניברסיטת תל-אביב ובמימון הקרן הלאומית למדע, מדדנו את הריכוזים של כמה יסודות כימיים במגוון רחב של צמחים מכל רחבי ישראל. אחת התוצאות המעניינות הייתה שיש הבדלים ברורים בהרכב הכימי של צמחים מאזור המדבר בהשוואה לצמחים מהאזור הים-תיכוני (איור 3).

### איור 3

**הבדלים בחתימה הכימית של צמחי מדבר וצמחים מהאזור הים-תיכוני.** באיור

רואים את הפערים הברורים בין שני האזורים: כל עקומה מראה את ההתפלגות של הצמחים לפי ההרכב הכימי שלהם. בצד שמאל נמצאים צמחי המדבר, ובצד ימין צמחי האזור הים-תיכוני. העקומות הגבוהות מייצגות אזורים שבהם יש הרבה מינים עם חתימה כימית דומה. אפשר לראות שלכל סוג של צמחים – עצים, עשבוניים, ודגניים – יש שתי עקומות שונות כמעט בלי חפיפה. זה אומר שההרכב הכימי שלהם שונה מאוד, וקל "לזהות" לפי הכימיה אם צמח בא מהמדבר או מהאזור הים-תיכוני – בדיוק כמו שיש לאנשים חתימה ייחודית.



איור 3

אחד היסודות הכימיים שתורמים הכי הרבה לחתימה הכימית הייחודית של צמחי המדבר הוא סטרונציום. הריכוז שלו בצמחים נמוך יחסית, אבל גבוה פי-7 בצמחי המדבר בהשוואה לצמחים מהאזור הים-תיכוני. עד לפני כמה שנים התפיסה המקובלת הייתה שסטרונציום לא ממלא שום תפקיד בצמח. בשנים האחרונות נעשו כמה מחקרים, על מינים בודדים, שהראו שסטרונציום משפיע לטובה על צמחים בתנאי עקה. התרומה של המחקר שלנו היא שבזכות העובדה שחקרנו הבדלים בין 89 מיני צמחים שונים משני אזורים גאוגרפיים שונים, אנחנו יכולים לומר היום שהתוצאות של אותם מחקרים על מינים בודדים אינן מקריות. נהפוך הוא, קליטה מוגברת של סטרונציום היא התאמה לתנאי עקה במגוון רחב של מינים.

אבל החשיבות האמיתית של הגילוי הזה נמצאת במקום אחר. לסטרונציום יש **איזוטופ רדיואקטיבי**, שנפוץ מאוד בקרקעות סביב אתרים שהתרחשו בהן דליפות גרעיניות, וגם במקומות שחוצבים בהם דלקים לכורים גרעיניים. מכיוון שהמבנה האטומי של סטרונציום דומה לשל סידן, צמחים ובעלי-חיים לפעמים "מתבלבלים" בין שני היסודות, וכך חלק קטן מהסידן בגוף "מוחלף" בסטרונציום. אם הקרקע שעליה גדלים הצמחים מזוהמת באיזוטופ הרדיואקטיבי, הוא נכנס לגוף וגורם נזקים רבים (למשל סרטן), בין השאר כי יש לנו המון סידן בגוף (בעיקר בעצמות). אחת השיטות לנקות קרקעות שמזוהמות בסטרונציום רדיואקטיבי היא לגדל צמחים שיכולים לקלוט כמויות גדולות יחסית של היסוד הזה, ואז לקצור אותם ולהיפטר מהחומר הרדיואקטיבי באופן בטוח. עכשיו, כשאנחנו מבינים שסטרונציום נפוץ יותר בצמחי מדבר ותחת תנאי עקה, אנחנו יכולים לשפר את השיטות לניקוי קרקעות על-ידי בחירה בצמחים מתאימים יותר (כמו צמחי-מדבר) ולהגביר עוד יותר את קצב קליטת הסטרונציום על-ידי חשיפתם לעקה (כלומר, במקום "לפנק"

### איזוטופ רדיואקטיבי (Radioactive Isotope)

ליסודות כימיים רבים יש כמה איזוטופים, כלומר כמה צורות של האטום שיש להן אותן תכונות כימיות אבל מסה שונה. איזוטופים שאינם יציבים פיזיקלית מתפרקים תוך פליטת קרינה רדיואקטיבית.

אותם ולגונן, להקשות עליהם). האתגר הוא לזהות את מיני הצמחים הנכונים ואת העקות הנכונות כדי להגיע לקליטת סטרונציום מיטבית.

## הצהרת כלי בינה מלאכותית

טקסט חלופי הנלווה לאיורים במאמר זה נוצר על ידי פרונטירז בסיוע כלי בינה מלאכותית, ונעשו מאמצים על מנת להבטיח את דיוקו, כולל בדיקה על ידי כותבי המאמר כאשר הדבר התאפשר. אם ברצונכם לדווח על בעיה, אנו צרו איתנו קשר.

## מאמר המקור

Katz, O., Moura, R. F., Gruntman, M., and Sternberg, M. 2025. The plant ionome as a functional trait: variation across bioclimatic regions and functional groups. *Physiol. Plant.* 177:e70076. doi: 10.1111/ppl.70076

## מקורות

1. Kaspari, M. 2021. The invisible hand of the periodic table: how micronutrients shape ecology. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 52:199–219. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-012021-090118
2. Katz, O. 2019. Silicon content is a plant functional trait: implications in a changing world. *Flora* 254:88–94. doi: 10.1016/j.flora.2018.08.007
3. Johnson, S. N., Hartley, S. E., and Moore, B. D. 2021. Silicon defence in plants: does herbivore identity matter? *Trends Plant Sci.* 26:99–101. doi: 10.1016/j.tplants.2020.10.005
4. Katz, O., Moura, R. F., Gruntman, M., and Sternberg, M. 2025. The plant ionome as a functional trait: variation across bioclimatic regions and functional groups. *Physiol. Plant.* 177:e70076. doi: 10.1111/ppl.70076

פורסם אונליין: 08 בינואר 2026

נערך על ידי: Idan Segev

מנחים מדעיים: Katy Bibi | Yasmin Livne

ציטוט: Katz O (2026) הטבלה המחזורית הפנימית של צמחי המדבר וים-המלח. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2025.1691375-he

תורגם והותאם מ: Katz O (2025) The Internal Periodic Table of Desert and Dead sea Plants. *Front. Young Minds* 13:1691375. doi: 10.3389/frym.2025.1691375

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

**זכויות יוצרים** © 2026 © 2025 Katz. 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 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

### ILAY, גיל: 10

אני עולה לכיתה ה', אוהב לבנות לגו, לקרוא ספרים, לשחק מאיינקרפט לבד או עם חברים, אוהב אוריגמי, ילד סקרן, משתתף בתוכנית מצטיינים במכללת אורנים ואח בכור לשתי אחיות. לומד לנגן על פסנתר, קלרינט וחצוצרה.

### LAVI, גיל: 11

אני מתעניין במדעים וחלל. מגיל צעיר אני ואמא שלי הולכים להמון הרצאות וסדנאות בנושאים אלה. בשנה האחרונה, אני בנבחרת רובטיקה של בית הספר ובתוכנית בר אילן [לנוער מוכשר במתמטיקה]. סקרן מאוד וחובב אתגרים.

## הכותבים

### OFIR KATZ

אני אקולוג של צמחים במו"פ מדבר וים-המלח, ויש לי נופ משגע למדבר ולאגם מהמשרד שלמרגלות הר מצדה. אני מתעניין בדרכים השונות שבהן צמחים מותאמים לסביבות קיצון, כמו מדבריות ובתי-גידול מלוחים. עיקר המחקר שלי עוסק בכימיה האי-אורגנית של צמחים, ובמיוחד בצבירת צורן (סיליקון) בגוף הצמח. אני עוסק גם באבולוציה של צמחים ואיך היא קשורה לסביבה הקדומה ולאבולוציה של המגוון הביולוגי בכללותו. \*[katz.phyt@gmail.com](mailto:katz.phyt@gmail.com)

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



**קרן משפחת**

**שעשוע**

Shashua Family Foundation