



## כיצד שימוש בקרקע משפיע על האדמה החיה

Jes Hines<sup>1,2\*</sup>, Franciska T. de Vries<sup>3</sup>

<sup>1</sup>המרכז הגרמני למגוון ביולוגי אינטגרטיבי (iDiv) ג'נה-הלה לייפציג, לייפציג, גרמניה

<sup>2</sup>המכון לביולוגיה, אוניברסיטת לייפציג, לייפציג, גרמניה

<sup>3</sup>המכון למגוון ביולוגי ודינמיקה של מערכות אקולוגיות, אוניברסיטת אמסטרדם, אמסטרדם, הולנד

### סוקר צעיר

KONSTANTIN

גיל: 14



בני אדם משתמשים בקרקע כדי לגדל יבולים למזון, ושיטות החקלאות שאנו עושים בהן שימוש משפיעות על האורגניזמים שחיים באדמה. אורגניזמים של אדמה מבצעים עבודה חשובה, כמו פירוק חומר אורגני ושחרור חומרי מזון לגדילת הצמח. על ידי הוספת חומרי הדברה ודשנים לאדמה החקלאית, אנו יכולים לייצר יותר יבולים בשטח קטן יותר. אך השיטות האלה עשויות להזיק לאורגניזמים באדמה ולעבודה שהם מבצעים. בניגוד לכך, אנו יכולים להשתמש בשיטות עדינות יותר לגדל יבולים, שהן טובות יותר עבור חיות אדמה, אך דורשות קרקע רבה יותר. אנשים בכל המדינות זקוקים למזון מיבולים כדי לחיות חיים בריאים. מאחר שכולנו חולקים אדמה אחת, כשאנו מחליטים כיצד להשתמש בה עלינו לזכור כיצד חקלאות משפיעה על חיות אדמה.

## 7.8 מיליארד בני אדם אוכלים מזון שגדל באדמה

נכון להיום ישנם 7.8 מיליארד אנשים בעולם, וכולם צריכים לאכול מזון בריא. ירקות ויבולים אחרים הם חלק מתזונה בריאה. אך ייצור מזון לכמות אנשים גדולה כל כך כרוך במחיר סביבתי. אנו זקוקים למספיק אדמות חקלאיות ולשיטות חקלאיות ששומרות על סביבתנו בריאה. האורגניזמים שחיים באדמה יכולים לומר לנו אם שיטות החקלאות שלנו טובות או מזיקות לסביבה.

באדמה, חיים מיליארדי אורגניזמים כמו למשל חיידקים, פטריות, נמטודות (תולעים נימיות) ואיזופודים (שווה-רגלאים) (איור 1). כולם אוכלים וגדלים, משתמשים בחמצן ומשחררים פחמן דו-חמצני, ממש כמונו. כאשר אורגניזמים של האדמה מקיימים את תהליכי החיים האלה, הם משחררים ממזונם חומרי מזון שימושיים לגדילת צמחים (איור 1, בהגדלה). הם גם מערבבים חומר אורגני (כלומר, צמחים ואורגניזמים מתים) ברחבי האדמה. הם משפרים את מבנה האדמה, ובכך את זמינות המים עבור צמחים. אורגניזמים באדמה מספקים משאבים שמסייעים לגדל את המזון שבני אדם אוהבים לאכול. האדמה מספקת שירותי מערכת אקולוגית חשובים כמו למשל סינון מים ומחזור חומרי מזון, שמסייעים לשמור על בני אדם ובריאים.

### אורגניזמים של אדמה (Soil Organisms)

כל צורות החיים שחיות מתחת לאדמה לרבות אורגניזמים חד-תאיים כמו חיידקים, ואורגניזמים רב-תאיים כמו תולעי אדמה, פרוטוזואונים, נמטודות וקרדיות.

### שירותי מערכת אקולוגית (Ecosystem Services)

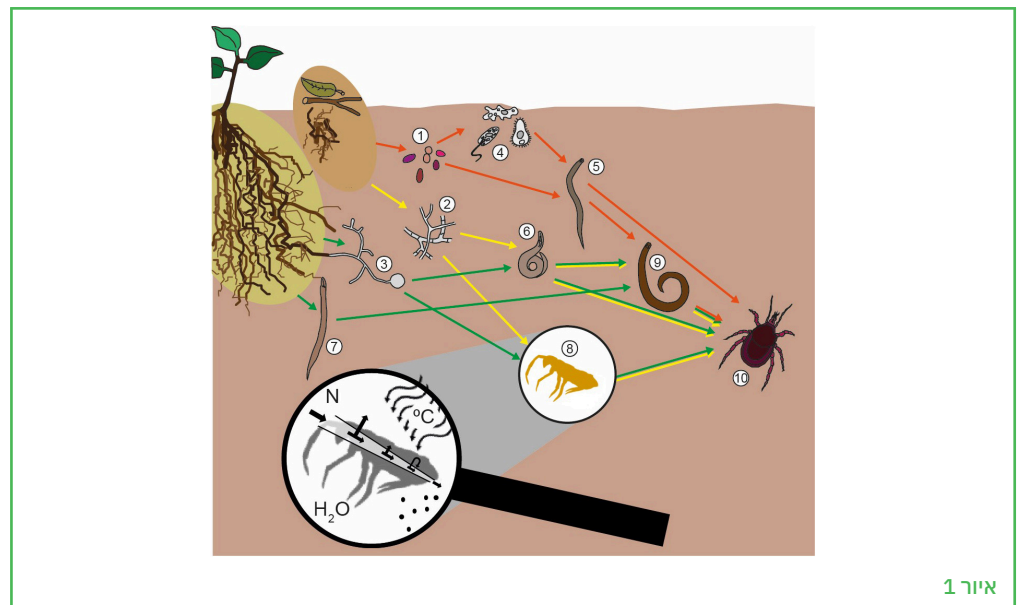
הדברים החשובים שסביבות מספקות עבור אנשים. במערכות אקולוגיות באדמה דוגמאות לכך כוללות מחזור חומרי מזון, שימור מים וניקוזם וערבוב של חומר אורגני.

#### איור 1

רשת המזון באדמה. רשת המזון מורכבת מסוגים רבים של אורגניזמים של אדמה: (1) חיידקים, (2) פטריות, (3) פטריות arbuscular mycorrhizal, (4) פרוטוזואונים, (5) חיידקים שניזונים מנמטודות (6) נמטודות שניזונות מפטריות, (7) נמטודות שניזונות משורשים, (8) קפזנבאים, (9) נמטודות טורפות ו- (10) קרדיות טורפות. החיצים מצביעים מאורגניזמים שנאכלים לאורגניזמים שאוכלים אותם. נתיבי אינטראקציה יוצרים שלוש תעלות אנרגיה עיקריות: תעלה מבוססת חיידקים (חיצים כתומים), תעלה מבוססת פטריות (חיצים צהובים) ותעלה מבוססת שורשים (חיצים ירוקים). זכוכית המגדלת מראה שחומרי מזון ואנרגיה זורמים דרך כל אורגניזם באדמה כשהוא אוכל ונושם.

### שרשרת מזון באדמה (Soil Food Web)

רשת של אינטראקציות הזנה בין אורגניזמים באדמה, המתחילות משלושה מקורות עיקריים - שורשים, פטריות, חיידקים - שיוצרים תעלות אנרגיה.



## אורגניזמים באדמה יוצרים רשת מזון מתחת לרגלינו

האורגניזמים באדמה לא פועלים לבד; הם מחוברים זה לזה ברשת של אינטראקציות שנקראת שרשרת מזון באדמה. שינויים בשכיחות של מין מסוים עשויים להשפיע על השכיחות של הטורפים והטרף שלו, בתגובת שרשרת שנקראת תעלת אנרגיה (איור 1). לשרשרות מזון באדמה יש שלוש תעלות אנרגיה עיקריות: אחת שמונעת על ידי חיידקים, שניה שמונעת על ידי פטריות ושלישית שמונעת על ידי שורשי צמחים. חיידקים ופטריות אוכלים חומר אורגני, כמו למשל שורשים ועלים מתים, ולאחר מכן הם נאכלים על ידי אורגניזמים אחרים. ישנם אורגניזמים רבים שניזונים ישירות משורשים חיים, דוגמת נמטודות

## חרישה (Tilling)

הכנת אדמה לחקלאות על ידי חריש או חפירה. חרישה קוברת עשבים ומקלה על שורשי היבולים להיכנס לאדמה.

## שימושי קרקע (Land Use)

כיצד הסביבה הטבעית מנוהלת ומשתנה. דוגמאות לכך כוללות שימוש אינטנסיבי באדמה, שימוש נרחב באדמה ואזורים טבעיים.

## איור 2

שלוש דרכים שכיחות שבהן משתמשים בסביבות טבעיות. שימוש נרחב באדמה לא מקצב הרבה חרישה וקצירה, או תוספת של דשנים וחומרי הדברה רבים, והוא מייצר שירותי מערכת אקולוגית מגוונים. שימוש בקרקע באינטנסיביות בינונית נעשה שימוש בחרישה וקצירה מסוימות, ומניב יבולים בינוניים. שימוש אינטנסיבי בקרקע דורש עבודת חרישה וקצירה רבה, כמו גם שימוש רב בכימיקלים, כדי לייצר הרבה יבולים מאזור קטן יותר. בשימוש אינטנסיבי באדמה, חלק משירותי המערכת האקולוגית מופחתים בתמורה לתוצרת גבוהה של יבולים.

(תולעים זעירות) שאוכלות שורשים, שגם נאכלות על ידי חיות אחרות. כאשר בני אדם משתמשים באדמה באופן שמפריע לתעלות האנרגיה האלה, כמו למשל על ידי חרישה של האדמה או הוספת דשנים, הם עלולים לשנות את יכולתן של רשתות המזון לספק את שירותי המערכת האקולוגית הרגילים שלהן. כמה מינים מושפעים על ידי בני אדם, וכמה חזקה השפעתנו על תהליכים שאורגניזמים באדמה מבצעים באופן נורמלי?

## ניסוי שבוחן את ההשפעות של שימוש בקרקע על שרשרות מזון באדמה

מדענים שיערו כי סוגים שונים של שימושי קרקע ישפיעו על המבנה של שרשרות מזון באדמה (איור 2). [1]. הם חשבו ששימוש אינטנסיבי באדמה, כמו למשל חרישה, יפחית את מספרם של אורגניזמים באדמה, ויגביל את שירותי המערכת האקולוגית שמסופקים על ידי אדמות [1]. בנוסף, מדענים שיערו שאורגניזמים באדמה יהיו שכיחים יותר כאשר חקלאים יישמו שיטות של שימוש נרחב בקרקע (Extensive land use), כמו למשל בשדות חציר ובמרעים. בשימוש נרחב בקרקע, ישנה פחות חרישה ופחות הוספה של דשנים, אך נדרש שימוש בשטח קרקע רב יותר כדי לייצר את אותה כמות מזון. הם שיערו גם שאורגניזמים באדמה ישגשו באופן מיטבי בסביבות דשא טבעיות, שם חקלאים אינם משתמשים באדמה כדי לגדל יבולים [1].

Land use practices	Extensive land use	Medium-intensity land use	Intensive land use
Fertilizers	(-)	(+)	(++)
Pesticides	(-)	(+)	(++)
Ploughing	(-)	(+)	(++)
Harvesting	Grazing or mowing by hand	Light machinery	Heavy machinery
Plants grown	Mixture of naturally occurring species	Rotation of species planted by humans	Human planted single plant species (i.e. monoculture)

איור 2

במטרה להשתמש באתרים שחשופים למגוון רחב של תנאים סביבתיים (טמפרטורה, משקעים, מרקם אדמה וכדומה), קבוצת מדענים יצאה לארבע מדינות ברחבי אירופה: שוודיה, צ'כיה, בריטניה ויוון. בכל מדינה, הם הלכו לאתרים עם שלושה סוגי שימוש בקרקע: חקלאות עם אינטנסיביות גבוהה, חקלאות עם אינטנסיביות בינונית ואדמות דשא טבעיות [1]. (איור 2). בכל אתר, הם מדדו את המגוון של אורגניזמים באדמה לרבות פטריות, חיידקים, פרוטוזואות (סוג של יצורים חד תאיים), נמטודות, תולעי אדמה, תולעי enchytraeids, קרדיות וקפזנבאים. במטרה לגלות כיצד שירותי מערכת אקולוגית משתנים בין שימושי קרקע, הם גם מדדו חלק מהתהליכים החשובים שמבוצעים על ידי אורגניזמים באדמה.

## חקלאות אינטנסיבית מפחיתה מגוון ביולוגי באדמה

המדענים מצאו שסוג השימוש בקרקע היה חשוב למספרם ולסוגם של אורגניזמים שנמצאו באדמה. הם מצאו כי שימוש אינטנסיבי יותר בקרקע הפחית את המגוון הביולוגי של שרשרת המזון באדמה: נמצאו בה פחות קבוצות של אורגניזמים, ובתוך הקבוצות האלה, היו פחות מינים [2]. הם גם מצאו שהמשקל הכולל של מרבית קבוצות האורגניזמים באדמה היה קטן יותר במקומות שבהם היה שימוש באינטנסיביות גבוהה ובינונית בקרקע. כמות האורגניזמים שאוכלים שורשי צמחים פחתה הכי הרבה, ואורגניזמים שאוכלים חיידקים ופטריית הושפעו פחות. הסיבה ככל הנראה נובעת מכך שלחרישה באדמה יש השפעות חזקות על שורשי צמחים בשימוש בקרקע באינטנסיביות בינונית וגבוהה, מה שמשפיע מאוד גם על אורגניזמים שאוכלים את שורשי הצמחים.

## ההליכים שמבוצעים על ידי אורגניזמים באדמה

כמה מהשינויים נבעו מההשפעות הישירות שיש לחרישה על האדמה, וכמה נבעו משינויים בשרשרת המזון באדמה?

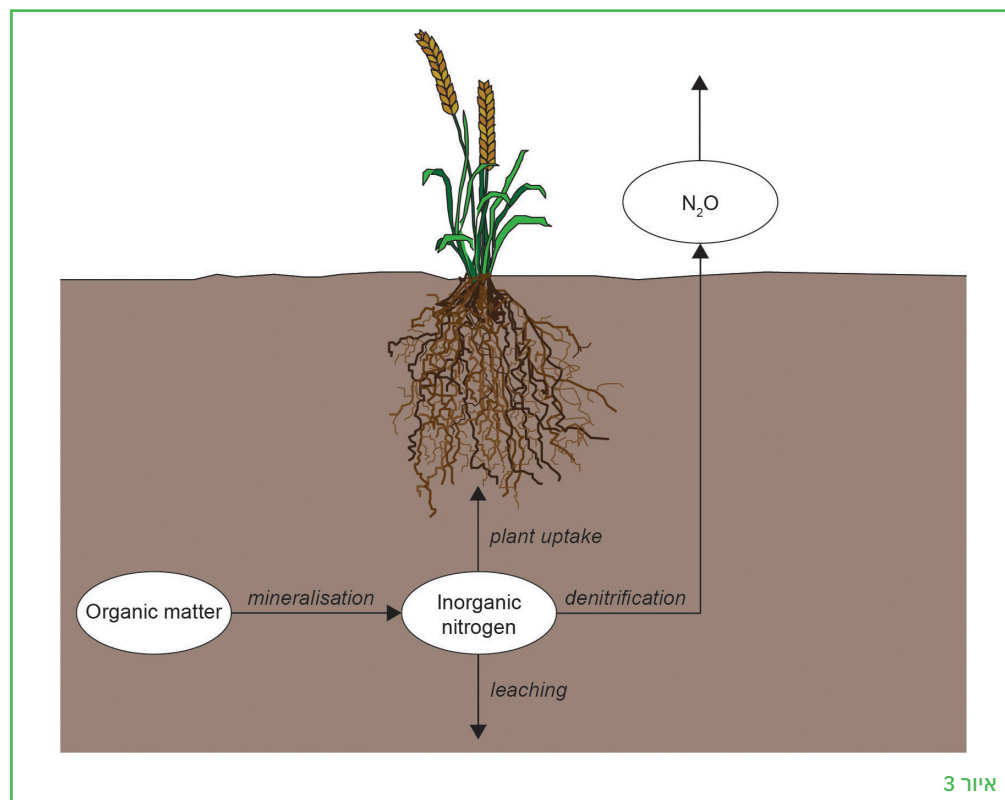
במטרה להעריך שאלה זו, מדענים בחנו קשרים בין קבוצות של אורגניזמים באדמה ואת התהליכים שאורגניזמים אלה מבצעים. המדענים התמקדו בשני תהליכים: נשימה ומחזור של חנקן. באורגניזמים זעירים, **נשימה** היא התהליך שמשתמש בחמצן ומשחרר פחמן דו-חמצני, כדי להפיק את האנרגיה שאורגניזמים זקוקים לה במטרה לגדול ולבצע את תפקודיהם. חנקן הוא יסוד הכרחי לכל סוגי החיים, לרבות צמחים. הוא ממוחזר דרך הסביבה בכמה צעדים: **מינרליזציה** היא תהליך שבו חנקן משוחרר מאורגניזמים אל תוך האדמה (**איור 3**), בדרך כלל כאשר הם נרקבים. חנקן באדמה יכול להיאבד דרך **סינון**, כלומר הוא נשטף החוצה מהאדמה על ידי מים, או דרך **דניטריפיקציה**, שבה חנקן הופך לגז חמצן דו-חנקני ( $N_2O$ ), שמיוצר על ידי חיידקים ונפלט מהאדמה אל האטמוספירה.

## קרקעות דשא טבעיות מגדילות את הנשימה באדמה

ראשית, מדענים מצאו שנשימה של אורגניזמים באדמה הייתה רבה יותר בסביבות דשא טבעיות, והיכן שהיו יותר תולעי אדמה בקרקע. תולעי אדמה מערבבות את האדמה, ועל ידי כך הן מעוררות פעילות של אורגניזמים אחרים באדמה. ממש כמונו, כאשר אורגניזמים באדמה נעשים פעילים יותר, הם צריכים לאכול יותר ולנשום יותר. כאשר חומר אורגני רב יותר זמין כמזון, יהיה מספר גדול יותר של אורגניזמים פעילים באדמה. מאחר שבאדמות דשא טבעיות יש יותר חומר אורגני מאשר בשדות שמשמשים לחקלאות באינטנסיביות בינונית וגבוהה, הנשימה הייתה רבה יותר באתרים אלה.

## איור 3

תהליכים שמבוצעים על ידי אורגניזמים באדמה. חנקן ממוחזר על ידי שרשרות מזון באדמה, כך שיוכל לנוע דרך צמחים, מים, או אוויר. חומר אורגני באדמה (צמחים וחיות מתות) עובר מינרליזציה לחנקן לא אורגני כתוצאה מתהליך ההזנה של אורגניזמים באדמה. חנקן לא אורגני באדמה יכול להיטמע על ידי צמחים ופטריות, או שהוא יכול להיאבד מהאדמה על ידי סינון אל מי התהום או על ידי התמרה לגז חמצן דו-חנקני ( $N_2O$ ) על ידי חיידקים, בתהליך שנקרא דניטריפיקציה.



איור 3

## חנקן רב יותר זורם לתוך ומתוך חוות שמנוהלות באינטנסיביות

כאשר מדענים התבוננו על מחזור החנקן, הם מצאו שמינרליזציה של חנקן הייתה גדולה יותר בשרשרות מזון עם תעלת אנרגיה חיידקית חזקה יותר. חיידקים לעיתים קרובות שכיחים מאוד באזורים עם שימוש אינטנסיבי בקרקע, שם הם גדלים מהר ומתים מהר, ומשחררים חנקן מרקמותיהם אל תוך האדמה.

אחרי שהמדענים מדדו את החנקן שעבר מינרליזציה והשתחרר אל תוך האדמה, הם ביקשו לדעת כיצד השימוש בקרקע השפיע על המקום שאליו החנקן המשיך. הם מצאו כי באזורים עם שימוש פחות אינטנסיבי בקרקע, שבהם היו הרבה פטריות מסוג arbuscular mycorrhizal, היה פחות סינון של חנקן אל תוך המים, כלומר יותר חנקן נשאר באדמה, שם הצמחים יכלו להשתמש בו. חקלאים מעוניינים להגביל את דליפת החנקן, כך שמרבית החנקן יוכל לשמש צמחי יבול במקום לזרום החוצה מהשדות. פטריות arbuscular mycorrhizal הן קבוצה מיוחדת של פטריות שמתחברות לשורשי הצמחים ומסייעות לצמח להטמיע חומרי מזון, כולל חנקן. הפטריות האלה עשויות להטמיע חנקן מהאדמה ולמנוע ממנו מלהיאבד בסינון. אם כן, נוכחותן של פטריות arbuscular mycorrhizal יכולה להיות סממן טוב לדליפה מופחתת בסוגים שונים של שימוש באדמה.

כדי להעריך את כמות הדניטריפיקציה, מדענים מדדו את ריכוז גז החמצן הדו-חנקני ( $N_2O$ ). הם מצאו ריכוזים נמוכים יותר של חמצן דו-חנקני במקומות שבהם הייתה כמות מוגדלת של בעלי שוטונים (flagellates) – יצורים זעירים שמשתמשים בזנב

כדי לקדם את עצמם במים שנמצאים באדמה, ואשר אוכלים חיידקים. חשוב לציין כי דניטריפיקציה לא מבוצעת בפועל על ידי בעלי שוטונים, אלא על ידי קבוצה מסוימת של חיידקים. מאחר שבעלי שוטונים שיגשגו בכמותם באזורים שבהם חיידקי דניטריפיקציה לא היו שכיחים, ניתן להשתמש בשכיחות של בעלי שוטונים כמדד לתהליכים אחרים (לדוגמה, דניטריפיקציה), ולאורגניזמים באדמה (למשל, חיידקים שמבצעים דניטריפיקציה). חשוב להבין מה שמתרחש באדמה עם ריכוזים נמוכים של חיידקים שמבצעים דניטריפיקציה, מאחר שכאשר חנקן מתנדף מהאדמה בתור חמצן דו-חנקני, הוא יכול להחריף את שינוי האקלים. חמצן דו-חנקני הוא גז חממה חזק פי 314 מפחמן דו-חמצני!

## מגוון ביולוגי באדמה ממזער את ההשפעות של חקלאות אינטנסיבית

השאלה מהי הדרך ה"נכונה" להשתמש באדמה כדי לגדל ירקות ויבולים אחרים מייצרת יכוח מדעי וחברתי מתמשך. כיצד בני אדם יכולים לייצר מזון בריא ומספיק למיליארדי אנשים תוך השפעה מינימלית על כדור הארץ? מדענים לומדים שאורגניזמים באדמה רגישים לשינויים שבני אדם יוצרים בסביבה. שיטות של חקלאות לא רק משפיעות על אורגניזמים בודדים, אלא גם על רשת מורכבת של אינטראקציות בין מינים. שינויים ברשת האינטראקציות הזו משפיעים על האופן שבו אנרגיה זורמת דרך מערכת אקולוגית, אילו חומרי מזון נשמרים, אילו חומרי מזון נאבדים, ועד כמה חקלאים יצטרכו להסתמך על דשנים וחומרי הדברה. בעוד ששימוש אינטנסיבי בקרקע דורש אזור קטן יותר, שזה דבר חיובי, הוא גם גורם להרבה השפעות שליליות מאחר שהוא מפחית את המגוון הביולוגי באדמה ומגדיל אובדן של חומרי מזון ופחמן. בניגוד לכך, שימוש פחות אינטנסיבי בקרקע מייצר פחות יבולים, אך הוא ידידותי יותר לסביבה. לכן, פתרון אחד הוא להחזיר מגוון ביולוגי לאדמה באזורים עם שימוש אינטנסיבי בקרקע, במטרה להקטין את התלות שלהם בדשנים ובחומרי הדברה, מה שטוב לסביבה ולכן גם לבני אדם. אם כן, אם יש לכם אפשרות לגדל את הירקות שלכם בעצמכם, אתם תגנו על הסביבה מאחר שלא תייצרו אותם באמצעות שיטות חקלאיות אינטנסיביות. אם אינכם יכולים לגדל את הירקות של עצמכם, עדיין תגנו על הסביבה אם תקנו ירקות ויבולים אחרים שלא מיוצרים באדמות חקלאות אינטנסיביות. לאט-לאט, אנו יכולים להפוך את כדור הארץ בריא יותר ויותר.

## מאמר המקור

de Vries, F. T., Thébault, E., Liiri, M., Birkhofer, K., Tsiafouli, M. A., Bjørnlund, L., et al. 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110:14296–301. doi: 10.1073/pnas.1305198110

## מקורות

1. de Vries, F. T., Thébault, E., Liiri, M., Birkhofer, K., Tsiafouli, M. A., Bjørnlund, L., et al. 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110:14296–301. doi: 10.1073/pnas.1305198110
2. Tsiafouli, M. A., Thébault, E., Sgardelis, S. P., de Ruiter, P. C., van der Putten, W. H., Birkhofer, K., et al. 2015. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Glob. Change Biol.* 21:973–85. doi: 10.1111/gcb.12752

פורסם אונליין: 30 במרץ 2023

עורך: Malte Jochum

מדעית מנחה: Salza Palpurina

**ציטוט:** Hines J and de Vries FT (2023) כיצד שימוש בקרקע משפיע על האדמה החיה  
Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2020.549486-he

Hines J and de Vries FT (2020) Dirt Is Not Dead: How Land Use Affects the Living Soil. Front. Young Minds 8:549486. doi: 10.3389/frym.2020.549486

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

**COPYRIGHT** © 2020 © Hines and de Vries 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.

## סוקר צעיר

**KONSTANTIN, גיל: 14**

היי, אני קונסטנטין, הצעיר הקרוב אליכם! אני מרוסיה, בולגריה, ומאז שהייתי קטן היו לי שאלות כמו מה הערך במקזור, וכדומה. כיום, כמתבגר, נכנסתי מאוד לתחום האקולוגיה והחלטתי לסייע להעלות מודעות לחלק מהבעיות שיש בעולמנו כמו זיהום אוויר, היכחדות מינים וביורא. אם אני, תלמיד רגיל, יכול להשפיע, אז גם אתם – למה אתם מחכים, קוראים צעירים שלי!

## הכותבות

**JES HINES**

ג'יס היא אקולוגית שעובדת במרכז הגרמני לחקר מגוון ביולוגי אינטגרטיבי (iDiv). המחקר שלה מתמקד



באופן שבו מגוון ביולוגי מגיב לשינויים בסביבה. היא מתעניינת באופן שבו מערכות מורכבות גדלות, וכיצד מינים משפיעים על נשטף חומרי המזון, האנרגיה והמידע דרך מערכות אקולוגיות. \*[jessica.hines@idiv.de](mailto:jessica.hines@idiv.de)



### FRANCISKA T. DE VRIES

פרנסיסקה דה-ורייס היא פרופסורית באוניברסיטה של אמסטרדם. המחקר שלה מתמקד בהבנת האופן שבו אינטראקציות בין צמחים ומיקרובים באדמה מגיבות לשינויי אקלים, וכיצד זה משפיע על תפקודה של המערכת האקולוגית.

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