



משרד החקלאות וביטחון המזון
שירות ההדרכה והמקצוע



החומר האורגני בקרקע

חשיבותו לתפקוד הקרקע החקלאית ולסביבה

צפריר גרינהוט



משרד החקלאות וביטחון המזון

שירות ההדרכה והמקצוע
אגף ענפי שירות וסביבה חקלאית

החומר האורגני בקרקע

חשיבותו לתפקוד הקרקע החקלאית ולסביבה

ד"ר צפריר גרינהוט

תחום אגרואקולוגיה, שירות ההדרכה והמקצוע,
משרד החקלאות וביטחון המזון

אנשי האקדמיה שביצעו ביקורת עמיתים ותרמו מהידע שלהם למסמך זה:
פרופ' יונה חן, ד"ר חורחה טרצ'יצקי

2024, תשפ"ד

© כל הזכויות שמורות לשה"מ - משרד החקלאות וביטחון המזון

הוצאה לאור: שירות ההדרכה והמקצוע (שה"מ)
עריכה לשונית: עדי סלוניקו; עיצוב גרפי: לובה קמנצקי

פתיחה

להתפתחות החקלאות האינטנסיבית, הכוללת טיפוח זנים ושימוש בדשנים, בחומרי הדברה ובמיכון מתקדם, יש יתרונות רבים בשיפור הכמות והאיכות של היבולים החקלאיים וביכולת לספק מזון לאוכלוסיית העולם ההולכת וגדלה. עם זאת, גריעת קרקעות טבעיות והתרחבות החקלאות האינטנסיבית, הובילו במהלך השנים במקרים רבים גם לפגיעה בפוריות ובתפקודי הקרקע השונים. תהליכים אלו הובילו לעתים גם לפחיתה בתכולת החומר האורגני שבקרקע. לשימור ולהעצמה של החומר האורגני בקרקע יש תפקיד משמעותי בתמיכה ישירה ועקיפה בתפקודי הקרקע השונים ובפוריותה. חוברת זו מנגישה ידע בסיסי ומעשי לאנשי מקצוע, לחוקרים, לחקלאים ולבעלי עניין נוספים, בהקשר לחשיבות החומר האורגני לקרקע החקלאית ולסביבה.

**בְּשֶׁעָה שֶׁבָּרָא הַקָּדוֹשׁ בְּרוּךְ הוּא אֶת אָדָם הָרִאשׁוֹן
נָטְלוּ וְהִחְזִירוּ עַל כָּל אֵילָנֵי גֶן עֵדֶן,
וְאָמַר לוֹ: רְאֵה, מַעֲשֵׂי כָמָה נָאִים וּמְשׁוֹבְחִין הֵם,
וְכָל מָה שֶׁבָּרָאתִי -
בְּשִׁבְלֶךָ בָּרָאתִי.
תֵּן דַּעְתְּךָ
שֶׁלֹא תִקְלַקֵּל וְתַחְרִיב אֶת עוֹלָמִי
שָׁאֵם קִלְקֵלֶת אֵין מִי שִׁיתְקֶן אַחֲרֶיךָ.**

[מדרש קהלת רבה פרק ט']

הבעת תודה

ראשית, ברצוני להודות לפרופ' יונה חן ולד"ר חורחה טרצ'יצקי, על שביצעו ביקורת עמיתים וסייעו רבות להשבחת המידע שבחוברת.

תודה לד"ר דוד ילין וליוסי פורטל על ההערות הטובות והסיוע לשיפור מדריך זה.

תודה מיוחדת לענת לוינגרט, שהקימה "יש מאין" את אגף אגרואקולוגיה וגד"ש במשרד החקלאות ופיתוח הכפר וניהלה אותו במשך שנים.

תודה לד"ר גדעון טופורוב ולאבירים ג'ונסון על העצות הטובות לאורך הדרך.

תודה מיוחדת לעורכת הלשונית עדי סלוניקו, ולמעצבת הגרפית לובה קמנצקי על תרומתן הרבה בהפקת החוברת.

תודה לחיים תג'ר ולאורטל כהן על תרומתם להוצאה לאור של החוברת המודפסת.

תודה מיוחדת גם לחנה מנשרוב על התאמת החוברת לפורמט אינטרנטי נגיש.

צילום תמונת כריכה: מתן שילוני

תוכן העניינים

1	מבוא
5	היסטוריית השימוש בזבל אורגני לטיוב קרקעות חקלאיות
7	החומר האורגני בקרקע - הגדרות, כמות, אופי ותהליכי הפירוק
	היתרונות החקלאיים והסביבתיים בשימור ובהגדלת תכולת החומר האורגני
14	בקרקעות החקלאיות
16	תרומת החומר האורגני להזנת הצמח
	תרומת החומר האורגני למבנה הקרקע, לתנועת המים בקרקע, ליציבות
24	התלכידים ולתאחיזת המים בקרקע
26	תרומת החומר האורגני למגוון הביולוגי ולתפקודו בקרקע
30	השפעה ארוכת טווח של הוספת חומר אורגני לקרקעות חקלאיות
32	החומר האורגני בקרקע, גזי חממה, ושינויי אקלים
34	עקרונות למדדי איכות ליישום זבל וקומפוסט בשטחים חקלאיים
35	עקרונות להעלאת תכולת החומר האורגני בקרקע
36	סיכום

מבוא

עם התפתחות החקלאות לפני כ-10,000 שנה, החל האדם לעבד שטחים טבעיים לטובת ייצור מזון. במהלך השנים, בעקבות הקידמה המדעית והטכנולוגית, חלו שינויים רבי עוצמה בחקלאות, אשר כללו, בין היתר, את השימוש במיכון, את התפתחותה של חקלאות תעשייתית ועיבודי קרקע נרחבים, ובהמשך גם את "המהפכה הירוקה", שהובילה לשימוש גדל והולך בדשן כימי, בחומרי הדברה ובשיטות שונות להשבחת זרעים ולהנדסה גנטית. לכל אלו יתרונות רבים בשיפור הכמות והאיכות של היבולים וביכולת לספק מזון לאוכלוסיית העולם ההולכת וגדלה. אולם, גריעת קרקעות טבעיות והתרחבות החקלאות האינטנסיבית הובילה במקרים רבים במהלך השנים, גם לפגיעה משמעותית בתפקודי הקרקע השונים, בפוריות הקרקע, במגוון הביולוגי, במערכות הטבעיות ובתפקודן. בנוסף, תהליכים אלו הובילו לעתים גם לירידה בתכולת החומר האורגני בקרקע. מידע נוסף בנושא ניתן למצוא בדוח מצב הטבע העולמי של ה-IPBS¹.

משאב הקרקע הוא המשאב המרכזי בייצור החקלאות הצמחית. משאב זה הוא משאב מתכלה, שנוצר בתהליכים בני מאות ואלפי שנים. לעומת זאת, הרס ודלדול של המשאב עלול להתרחש בתקופת זמן קצרה בהרבה, לרוב תוך עשרות שנים ואף פחות מכך. לפיכך, יש חשיבות רבה מאוד לשימור וניהול משאבי הקרקע באופן מיטבי, כך שיתאפשר ייצור המזון ותפקודי הקרקע הרבים, בהווה ובדורות הבאים.

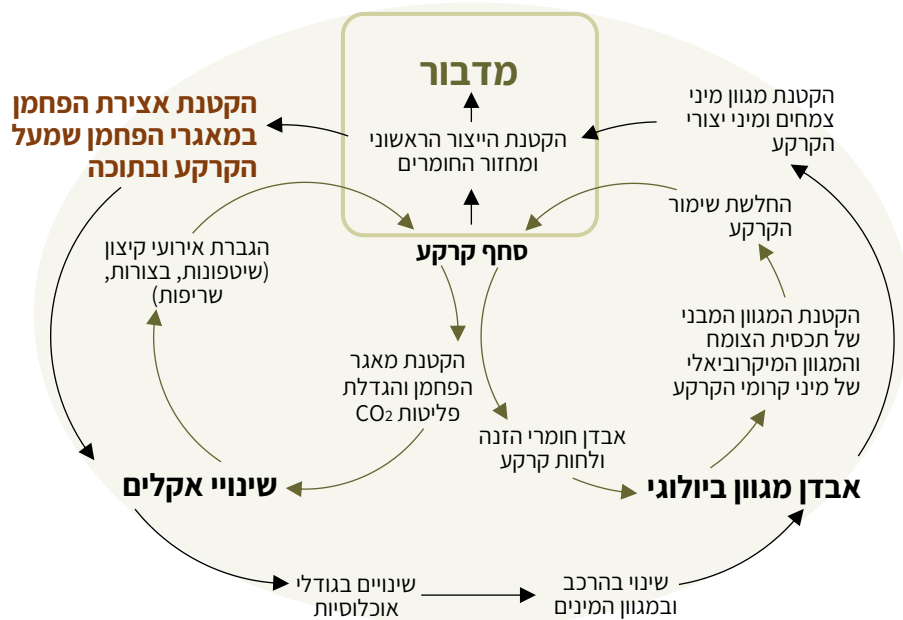
מלבד התמיכה בייצור החקלאי, הקרקע מספקת לאדם ולסביבה מגוון שירותים, הכוללים תפקיד מרכזי בתהליכי המחזור של מים, פחמן וחנקן, ויסות של שיטפונות ותמיכה במערכות אקולוגיות מגוונות. בדוח של ה-FAO, המתאר את מצב משאבי הקרקע בעולם, נסקרו עשרת האיומים המרכזיים על משאב הקרקע, שאותם צריך לנהל באופן מקיים. הפירוט ניתן להלן באיור 1.

¹ IPBES (2019): Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J.



איור 1. עשרת האיומים המרכזיים על הקרקע כפי שנסקרו על ידי ה-FAO¹

רוב רובם של איומים אלה קשור באופן ישיר למצב החומר האורגני בקרקע, כפי שייסקר בקצרה בחוברת זו. **על פי האגף לשימור קרקע ולניקוז במשרד החקלאות, כ-60% מהקרקעות החקלאיות בישראל נמצאות בסכנת סחיפה; כמחציתן בסכנת סחיפה בינונית, וכמחציתן בסכנת סחיפה חמורה**². בנוסף, נמצא שבין החומר האורגני, תהליכי המדבור, שינויי האקלים ואובדן המגוון הביולוגי קיים קשר מעגלי שמעצים את עצמו, כמתואר **באיור 2** שלהלן.



איור 2. קשר ולולאות משוב בין מדבור, שינויי אקלים עולמיים, אבדן מגוון ביולוגי והחומר האורגני שבקרקע³

המונח 'חומר אורגני' הוא כללי ומקיף שורה ארוכה של תרכובות אורגניות בדרגות פירוק שונות. חלק מהחומר מתפרק במהירות לתרכובות פשוטות, כגון פחמן דו-חמצני, מים וחנקן מינרלי; בעוד שחלקו האחר, שפירוקו איטי ומתמשך, עשוי להצטבר בקרקע לאורך זמן. מרביתו של החומר האורגני בקרקע החקלאית מגיע מחומר אורגני שהתפרק במשך עשרות, מאות ואף אלפי שנים. מקורו של חומר זה הוא בעיקרו משאריות צמחיות, אך גם מהפרשות שורשים, מחומר אורגני שמקורו

² ניהול בר קיימא של משאבי קרקע, מים וממשקים עם הסביבה, 2023, ערן אטינגר, אלון מאור, גיל אשל, מאיה זהבי, אלעזר וולק, יעל גרינוולד.

³ המדבור – בעיה מקומית וסיוכונים עולמיים, אקולוגיה וסביבה, ספריאל, 2014, מאיה זהבי, אלעזר וולק, יעל גרינוולד, אורית גינזבורג.

ביצורים חיים ומתים (בעיקר מיקרואורגניזמים), מחומר אורגני שמקורו בתוספים אורגניים, כמו זבלי בעלי חיים וקומפוסט ממקורות שונים, ובישראל אף מחומר אורגני שמקורו בהשקיה בקולחים.

הכמות והאופי של החומר האורגני בקרקע החקלאית קשורים באופן ישיר לסוג הקרקע, לאקלים, לסוג הצומח בקרקע ולממשק החקלאי. ריכוז החומר האורגני מהווה לרוב אחוזים בודדים ממשקל הקרקע, כשבאופן העליון של קרקעות ישראל המינרליות הוא נע לרוב בין 0.5% ל-5%. **למרות כמותו הקטנה, לחומר האורגני חשיבות עצומה לתפקוד הקרקע החקלאית ולהיבטים סביבתיים רבים. החומר האורגני מחבר ומקשר בין התכונות הכימיות, הפיזיקליות והביולוגיות של הקרקע, ולמעשה מהווה את לב לבה של הקרקע החקלאית והשפעתו על תפקודה רב מאוד.** באיור 3 שלהלן מתוארת השפעת החומר האורגני על התכונות הכימיות, הפיזיקליות והביולוגיות בקרקע. חוברת זו תסקור בקצרה את החשיבות שיש לשמירה ולטיוב החומר האורגני בקרקע ותדגיש את הסיכונים הקיימים בממשקים הגורמים לדלדול החומר האורגני בקרקעות חקלאיות. מידע רב נוסף ניתן למצוא בהפניות ששימשו לכתיבת הסקירה.



איור 3. החומר האורגני כגורם מחבר המשפיע על התכונות הכימיות, הפיזיקליות והביולוגיות של הקרקע החקלאית

היסטוריית השימוש בזבל אורגני לטיוב קרקעות חקלאיות

טיוב הקרקע בזבל אורגני הוא ממשק מקובל ומועיל לחקלאות משחר ההיסטוריה. ככל הנראה, השימוש בזבל אורגני כמטייב קרקע התפתח בד-בבד עם תהליך ביות חיות המשק, תוך התבוננות בהשפעות החיוביות של הפרשות בעלי החיים על הצומח. בעולם העתיק התבצע ממשק הגידול של בעלי החיים במרעה. הקשר ההדוק בין הרעייה לגללי הזבל בא לידי ביטוי גם ברובד קדום של העברית כפי שמופיע בגמרא, שם מכונה זבל זה 'רעי'.

העדות המחקרית הקדומה ביותר לשימוש בזבל בחקלאות נמצאה (בעזרת אנליזת איזוטופים של חנקן) בשדות חקלאיים באירופה, והיא מתוארכת לתקופה שבין 2400-5900 לפנה"ס⁴. עדויות נוספות נמצאו גם מתקופות מאוחרות יותר בתרבות הלבית, המצרית, הרומאית האצטקית ועוד⁵. השימוש בזבל אורגני הוזכר גם בתלמוד, למשל במסכת שביעית ב' י"ד נכתב: "נותנין עליו (על הזבל) קש או תבן כדי שירבה. נותנין עליו מים כדי שיסרח, ועודרין אותו כדי שיתפח". **מכאן ניתן לראות כי כבר בעבר הרחוק נמצא קשר בין הוספת חומר צמחי לזבל, לבין אוורור וריחו.**

במאה ה-19 הונחה התשתית המדעית להבנת חשיבותם של המינרלים להזנת הצמח, והחלה להתפתח תעשיית דשנים כימית, אך עדיין הוספת זבל בעלי חיים לדישון ולטיוב הקרקע היה ממשק הדישון המרכזי. החומר האורגני הגיע בעיקר מזבלי בעלי חיים ממקור מקומי, אולם גם כריית חומר אורגני ומסחר בו, כגון המסחר בגואנו (לשלשת עופות) מאיי פרו, היו נפוצים⁶.

עם הופעת הדשן הכימי, ובמיוחד לאחר הפיתוח המדעי של סינתזת האמוניה (תגובת הבר-בוש) בתחילת המאה ה-20 והמהפכה הירוקה, שהתרחשה באמצע המאה ה-20, התרחב מאוד השימוש בחנקן ובדשנים כימיים אחרים. הדשנים הכימיים היו הדשנים העיקריים, ולעתים היחידים, שישמו (ומיושמים עד היום) בכל הגידולים החקלאיים המשמעותיים (מלבד בחקלאות האורגנית)⁷. בעקבות כך, ההכרה בחשיבות הוספת חומר אורגני לשדות חקלאיים פחתה מאוד.

⁴ Crop manuring and intensive land management by Europe's first farmers, Amy Bogaard et al., 2013.

⁵ <https://www.compostmagazine.com/compost-history/>

⁶ Guano: The White Gold of the Seabirds, Ewald Schnug, Frank Jacobs and Kirsten Stöven, 2018

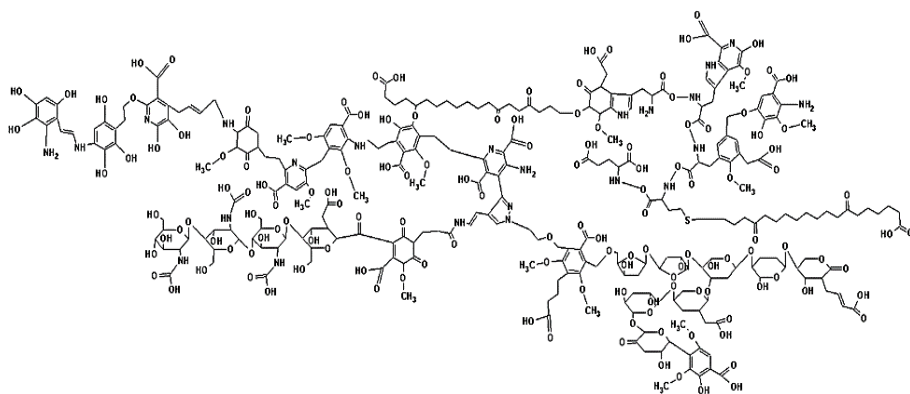
⁷ History of Chemical Fertilizer Development, Russel, Darrell A. ; Williams, Gerald G., 1977

אולם, כפי שהוזכר במבוא ויתואר גם בהמשך, בקרקעות חקלאיות, שבהן יושמו ממשקי עיבוד ודישון אינטנסיביים, נצפו תופעות של הגרעת קרקעות חקלאיות (דלדול קרקע ו"עייפות קרקע") לרוב לאחר עשרות שנים של ממשקי עיבוד אינטנסיביים. תופעות אלו הובילו בעשרות שנים האחרונות להכרה מחודשת בחשיבות ההשבה של החומר האורגני לקרקע והיישום של ממשקי עיבוד משמרים. ממשקים חקלאיים אלו משפיעים, בין היתר, על החומר האורגני בקרקע, על הפעילות המיקרוביאלית, על מבנה הקרקע ועל פוריות ובריאות הקרקע. התופעות השליליות, שנגרמו בעטיין של הגרעת הקרקעות, כללו בין היתר סחף קרקעות, נגר עילי, הידוק קרקע, הרס מבנה הקרקע, פגיעה בפעילות המיקרוביאלית בקרקע, פגיעה בפוריות הקרקע וזליגת מזהמים לסביבה⁸.

⁸ לעובדה ולשומרה - סוגיות בעיבוד הקרקע ושימורה בשטחים צחיחים וצחיחים למחצה: צפון הנגב, מקרה בוחן ע' מור-מוסרי, 2016.

החומר האורגני בקרקע - הגדרות, כמות, אופי ותהליכי הפירוק

קיימות הגדרות שונות למקטעים השונים של החומר האורגני בקרקע, בהתאם לאופיים ולתהליכי הפרדתם מהקרקע - לדוגמה: חומר אורגני "חלקיקי" - Particulate organic matter – POM; חומר אורגני הנמצא בקשר עם החומר המינרלי - mineral associated organic matter – MAOM; חומר אורגני מסיס (Dissolved organic matter - DOM); חומצות הומיות ופולביות הומין ועוד. לעתים ממיינים את החומר האורגני לחומר אורגני חי (כלל היצורים החיים בקרקע), לחומר אורגני מת (החומר האורגני הצמחי לפני פירוק - dead organic matter or litter), ולחומר אורגני "מת מאוד אשר נוצר לפני זמן רב" (חומר אורגני מפורק ויציב). לרוב מכנים את החומרים האורגניים היציבים בקרקע "חומרים הומיים" (humic substances - HS), והם תוצר של הפירוק והטרנספורמציות של החומר האורגני ממקורותיו השונים⁹. נהוג להשתמש במילה 'רקבובית' לתיאור החומר האורגני המפורק והיציב בקרקע. קומפוסט בשל מהווה אף הוא מקור לחומר הומי רב. החומרים ההומיים מאופיינים במשקל מולקולרי גבוה יחסית, במבנה לא אחיד ובקבוצות כימיות פונקציונליות אופייניות, כגון טבעות ארומטיות וקבוצות קרבוקסיליות, המשפיעות על האופי והתפקוד של החומר האורגני בקרקע. [באיור 4](#) מוצגת סכמה תאורטית של מולקולת חומצה הומית בקרקע, המבוססת על ממוצעים של אנליזות כימיות ופיזיקליות מרובות. מקטע הנפוץ פחות בקרקעות ישראל נקרא גם "פחמן שחור" והוא חומר יציב מאוד ומאריך ימים, הדומה לפחם.



איור 4. מבנה תיאורטי מוצע של חומצה הומית, המבוסס על מאפיינים כימיים ופיזיקליים ממוצעים של חומצות הומיות, כפי שנמדדו במחקרים רבים¹⁰

⁹ Humus Chemistry, genesis, composition, reactions. Stevenson, F.J. 1994.

¹⁰ Grinhut T, Hadar Y and Chen Y, 2007. Degradation and transformation of humic substances by saprotrophic fungi: processes and mechanisms. Fungal Biology Reviews.

החומר האורגני בקרקע נמצא ברובו בקשר כימי או פיזיקלי (mineral associated organic matter) עם חלקיקי הקרקע. חלקו הקטן מסיס בתמיסת הקרקע, וחלקו אינו מסיס בה. מכיוון שעיקר שטח הפנים של הקרקע נמצא במקטע החרסיתי (מקטע גודל חלקיקים הקטן מ-0.002 מ"מ), נמצא בו לרוב גם חלק גדול מהחומר האורגני.

כאמור, החומר האורגני בקרקע מצוי בדרגות פירוק שונות, וכמותו הכוללת באופק העליון של הקרקעות החקלאיות בישראל נמוכה יחסית ונעה לרוב בין 0.5% ל-5%. באופן כללי, כמות החומר האורגני בקרקע תלויה במרקם הקרקע, באקלים, בסוג הגידול, בכמות החומר הצמחי בקרקע ובממשק החקלאי. ככל שאחוז החרסית בקרקע ושטח הפנים הסגולי שלה (שפ"ס) גדולים יותר - כך הפוטנציאל לצבירת החומר האורגני בה גדול יותר (אחוז החרסית נמצא לרוב בקורלציה לשפ"ס). לפיכך, בקרקעות חוליות נמצא לרוב ריכוז חומר אורגני נמוך, הנע בין 0.5%-1.5%, ואילו בקרקעות כבדות צפוי שאחוז החומר האורגני יהיה גבוה יותר וינוע בין 2%-4.5%. בנוסף, ככל שתנאי האקלים והסביבה (בעיקר רטיבות, טמפרטורה ואוורור) תומכים בפירוק של החומר האורגני, קצב פירוקו בקרקע יהיה מהיר יותר. נתוני מעבדה של אחוז חומר אורגני ואחוז חרסית בקרקעות חקלאיות אופייניות בישראל מופיעים להלן [בטבלה 1](#).

כהערכה כללית, בין 5%-35% מכלל החומר האורגני שבקרקע הם חומרים שאינם מוגדרים כחומרים הומיים. חומרים אלו כוללים את החלק החי בקרקע (לרוב כ-5%), שכבות של עלים ושאריות של ענפי צמחים, וכן חומר אורגני בדרגות פירוק שונות, שניתן עדיין לזהות את מקורו. כ-65%-80% מוגדרים כחומרים הומיים¹¹.

חשוב לזכור כי הפרדות מלאכותיות אלו נעשו לרוב לצורכי מחקר, אך בפועל יש עירוב של החומרים האורגניים בינם לבין עצמם וביניהם לבין חלקיקי הקרקע השונים. עיקר החומר האורגני בקרקע נמצא באופק העליון של שכבת הקרקע העליונה (0-30 ס"מ), ולעתים רק בעשרת הסנטימטרים העליונים של הקרקע. ככל שיוורדים לעומק הקרקע – פוחתת כמותו של החומר האורגני בשכבות אלו. חלוקה של הרכב אופייני של החומר האורגני, בהתאם למקטעיו השונים, מוצגת [בטבלה 2](#).

בשנים האחרונות מקובלת מאוד החלוקה של החומר האורגני לחומר אורגני חלקיקי ולחומר אורגני שנמצא קשור למינרלי הקרקע (POM, MAOM), בעיקר בשל קצבי הפירוק והיציבות השונה של המקטעים הללו בקרקע ומשום חשיבותו של

¹¹ Humus Chemistry, genesis, composition, reactions. Stevenson, F.J. 1994.

המקטע היציב בקרקע מהיבט של קיבוע פחמן ושינוי אקלים. את החלוקה והאופי של מקטעים אלו ניתן לראות [באיור 5](#).

טבלה 1. אחוז חומר אורגני ואחוז חרסית בקרקעות חקלאיות אופייניות בישראל

שם הקרקע	מקטע חרסיתי (%)	חומר אורגני (%)
חול דיונה ראשל"צ	0	0.1
חול חום-אדום רחובות	6.2	0.6
לס גילת	20	0.9
לס באר שבע	20	1.1
לס חצרים	25	1.3
אלוביום בצרון	27.5	2
טרה רוסה מי עמי	45	2
אלוביום ראש פינה	60	2.5
טרה רוסה כברי	42.5	3.4
רנדזינה אשדות יעקב	72.5	3.5
אלוביום מזרע	65	3.5
אלוביום מגל	52.5	3.5
ורטיסול עמק יזרעאל	25	3.5
גרומוסול געתון	37.3	4.85
טרה רוסה נטיפים	37.5	5.9

בטבלה ניתן לראות גם הקשר שנמצא לרב בין אחוז החרסית (והשפ"ס) לאחוז החומר האורגני.

מקור: מעבדת קרקע ומים, קורס "שיטות לבדיקת קרקעות" הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית בירושלים, מידע לא מפורסם.

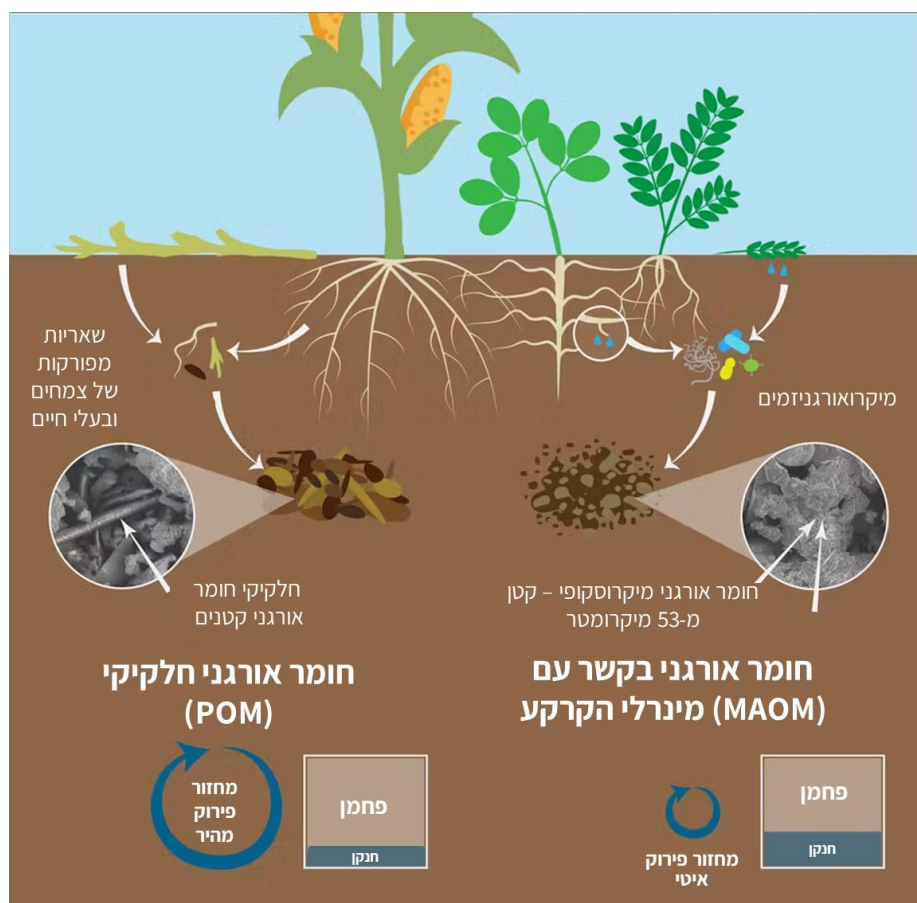
טבלה 2. חלוקה של מקטעי החומר האורגני בקרקע

מבוסס על הפרסום של Murphy, B. W.¹² ו-Baldock, JA and Skjemstad, JO.¹³

חלוקה גסה של החומר האורגני בקרקע	מקטעי החומר האורגני	הרכב המקטע	אחוז המקטע בחומר האורגני
חומר אורגני מת	חומר אורגני מסיס (DOM)	חומר אורגני בתמיסה שעובר מסנן הקטן מ-0.45 מ"מ	קטן מ-1%
	חומר אורגני חלקיקי (POM)	חומר צמחי מת (Litter) הנמצא על פני הקרקע	5-20%
		חומר אורגני גדול מ-50 מיקרון	
		חומר אורגני המופרד מהקרקע על ידי ציפה (light fraction)	
	הומוס (Humus) – חומר אורגני אמורפי	חומרים לא הומיים (חומרים הניתנים לזיהוי, כמו ליגנין, פוליסכרידים, שיעות וחלבונים)	65-80%
		חומרים הומיים (חומצות הומיות ופולביות, הומין)	
	חומר אורגני יציב ואינרטי	חומרים דמויי פחם	1-5%
חומר אורגני חי	ביומסה צמחית	בעיקר שורשים, חומר אורגני חי אחר על הקרקע	עד 1%
	ביומסה מיקרוביאלית	חיידקים	2-5%
		פטריות	
	ביומסה של בעלי חיים	נמטודות, אחר פרוטוזואות, אחר	קטן מ-1%

¹² Murphy, B. W, (2014) Soil Organic Matter and Soil Function – Review of the Literature and Underlying Data. Department of the Environment, Canberra, Australia.

¹³ Baldock, JA and Skjemstad, JO. (1999). Soil organic carbon /Soil organic matter. In Peverill, KI, Sparrow, LA and Reuter, DJ (eds). Soil Analysis - an interpretation manual.



איור 5. תיאור סכמתי של חומר אורגני חלקיקי וחומר אורגני הנמצא בקשר עם מינרלי הקרקע, אופיו ותפקודיו¹⁴

¹⁴ Cotrufo and Lavallee, Soil organic matter formation, persistence, and functioning: a synthesis of current understanding to inform its conservation and regeneration, Adv. Agron., 172, 2022.

כאמור, מקורו של החומר האורגני בקרקע החקלאית הוא בחומר אורגני שהתפרק לאורך עשרות, מאות ואלפי שנים. הוא מגיע בעיקר משאריות צמחיות, אך גם מהפרשות שורשים, מחומר אורגני שמקורו ביצורים חיים ומתים (בעיקר מיקרואורגניזמים), מחומר אורגני שמקורו בתוספים אורגניים, כגון זבלי בעלי חיים וקומפוסט, ובישראל גם מחומר אורגני שמקורו בהשקיה בקולחים.

אופי החומר האורגני משתנה בהתאם למקור החומר, להרכבו הכימי ולתהליך פירוקו בקרקע. כאשר מדובר בחומר אורגני ממקור צמחי, להרכבו הכימי של הצמח, הכולל את האחוז היחסי של הליגנין, התאית, השומנים, החלבונים, הסוכרים הפשוטים וכו', תהיה השפעה גם על קצב פירוקו. דוגמה להרכב כימי של צמחים שונים כמקור לחומר האורגני בקרקע - ניתן לראות [בטבלה 3](#). חומר אורגני קל פירוק מכיל שאריות פרי, ירק ועלווה, אשר תהליך פירוקם מהיר יחסית. מאידך, חומר אורגני מעוצה, שבו אחוז גבוה של ליגנין ותאית, יתפרק לאט יותר וישאר בקרקע למשך זמן ארוך בהרבה. בנוסף, ככל שבקרקע קיימים תנאי פירוק טובים, הכוללים לחות, חמצן וטמפרטורה מתאימים, כך קצב הפירוק של החומר האורגני בקרקע יהיה מהיר יותר. כאמור, **ככל שהחומר הצמחי המוסף לקרקע יהיה מעוצה יותר, היחס בין הפחמן לחנקן בחומר יהיה גבוה יותר, אחוז הליגנין שבו רב, ושטח הפנים שלו גדול יותר - כך קצב הפירוק שלו יהיה ארוך יותר**. מידע נוסף בנושא ניתן לראות גם ב[איור 6](#) ובהסבר נוסף בהמשך החוברת.

טבלה 3. אפיון כימי של חומר צמחי ממקורות שונים
(הרכב באחוזים מהחומר היבש של ליגנין, צלולוז והמיצלולוז)^{15,16}

מקור החומר	ליגנין (%)	תאית (צלולוז) (%)	יחס פחמן/חנקן (C/N)
קש חיטה	15-20	35-40	80:1
קש תירס	8-12	30-40	60:1
עשב ירוק	5-10	15-20	12-25:1
תלתן	4-7	20-25	12:1
קש אפונה	10-15	30-35	20-30:1
עץ אורן	25-30	40-50	300:1

¹⁵ The Nature and Properties of Soils, 15/e Nyle C. Brady and Ray R. Weil.

¹⁶ Lal, R. (2006). Encyclopedia of Soil Science. CRC Press

בדומה לחומר הצמחי, זבלי בעלי חיים המוספים לטיוב הקרקע, ניחנים גם הם בתכונות שונות. הזבלים השונים מכילים כמויות שונות של חומר אורגני, חומרי הזנה ומלחים, והם בעלי תכולת רטיבות שונה, אחוז חומר אורגני אחר ודרגות שונות של פירוק. כל אלו משפיעים על האופי והאיכות של החומר לטיוב הקרקע. כשמדובר בקומפוסט, למקור הקומפוסט, לטיב התהליך ולבשלות הקומפוסט תהיה השפעה מכרעת על אופי החומר. [בטבלה 4](#) שלהלן מוצגות בדיקות מעבדה ספציפיות של קומפוסט וזבלים ממקורות שונים. מידע נוסף ניתן למצוא בסקר שבוצע על ידי בן הגיא וחובריה¹⁷. חשוב להכיר בכך שקיימת שונות בתוצאות הבדיקות, כתלות במקור הזבל ובממשק הטיפול בו. לרשות מגדלי בעלי החיים ויצרני הקומפוסט עומדים כלים ממשקיים, העשויים להשפיע על איכות החומר, כגון תכולת הרטיבות של הזבל, דרגת הפירוק שלו, כמות וסוג הגזם כתוסף, היחס בין הפחמן לחנקן בתהליך ועוד.

טבלה 4. תוצאות בדיקות ספציפיות של זבל וקומפוסט, שנעשו לאחרונה במעבדות שירות שדה בישראל

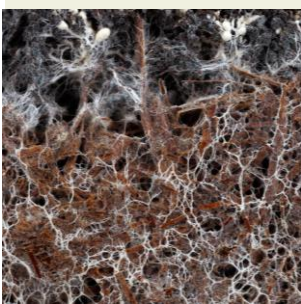
מקור החומר האורגני	תאריך דיגום	חומר יבש %	חומר אורגני %	מוליכות חשמלית dS/m	חנקן כללי %	אשלגן כללי %	זרחן כללי %	יחס C/N
זבל רפת מאזור המרבץ	14/7/2022	56.3	62.7	12.47	2.07	4.49	1.2	17.8
זבל רפת מאזור המדרך	14/7/2022	20	79.5	9.25	2.21	3.01	0.99	12.2
קומפוסט זבל בקר	25/5/2021	66.6	54	6.9	2.86	4.63	1.37	11.1
לול עופות: זבל מרצפת הלול	17/5/2022	75	57.2	6.87	3.38	4.16	0.413	10.0
לול עופות - זבל מהמסוע	17/5/2022	43	66.3	6.34	5.92	3.5	1.084	6.6
זבל פטם	8/9/2022	77.2	85.9	7.36	3.66	2.16	0.829	13.8
זבל צאן (כבשים לבשר)	2/5/2023	61.4	74	11.96	2.09	1.3	0.7	20
קומפוסט בוצה וגזם	31/3/2023	79.5	51	4.0	3.14	0.49	1.83	9.0

מקור: שג"מ, מידע לא מפורסם

¹⁷ אפיון חומרים אורגניים לחקלאות, נורית בן הגיא, משה ברונר, מיכאל רביב, רעיה וולקן, אשר אייזנקוט, 2011

היתרונות החקלאיים והסביבתיים בשימור ובהגדלת תכולת החומר האורגני בקרקעות החקלאיות

מיקומה של ישראל באזורי אקלים צחיחים וצחיחים למחצה ואופי הקרקע באזורים אלו מובילים לכך שכמות החומר האורגני במרבית הקרקעות בישראל נמוכה יחסית, כאמור לעיל. במרבית הקרקעות החקלאיות בארץ תתקבל תגובה חיובית לטיוב הקרקע בחומר אורגני. לחומר האורגני בקרקע ישנן תועלות חקלאיות וסביבתיות רבות, שביניהן:

תמיכה במגוון ובשפע צמצום הסיכון למחלות קרקע העצמת התפקוד של המגוון הביולוגי בקרקע העצמת החוסן של המגוון הביולוגי בקרקע	יצירת תלכידי קרקע יציבים השפעה ושיפור פירוס הגודל של נקבובי הקרקע שיפור מבנה הקרקע ותאחיזת המים בקרקע צמצום הסיכון לזליגת מזהמים לסביבה הגברת קצב חדירת המים צמצום הסיכון לסחף ולנגר עילי צמצום הסיכון להידוק הקרקע	הספקה ישירה של יסודות הזנה שיפור בזמינות של יסודות הזנה השפעה ישירה ועקיפה על התפתחות מיטבית של שורשי הגידול
 <u>להרחבה ראה: תרומת החומר האורגני למגוון הביולוגי ולתפקודו בקרקע.</u>	 <u>להרחבה ראה: תרומת החומר אורגני למבנה הקרקע, לתנועת המים בקרקע, ליציבות התלכידים ולתאחיזת המים בקרקע.</u>	 <u>להרחבה ראה: תרומת החומר האורגני להזנת הצמח.</u>

כאמור, תפקודיו ותועלותיו של החומר האורגני בקרקע תלויים לא רק בכמותו, אלא גם בהרכבו הכימי ובמבנהו הפיזיקלי. קיימים מאפיינים שונים של חומרים אורגניים בקרקע, כפי שהוסבר, וחלק מהם יציבים מאוד וכמעט שאינם ניתנים לפרוק; חלקם נוצרו בזמן התהוות הקרקע; חלקם צעירים ביותר וקלים לפרוק; חלקם נמצאים על הרובד החיצוני של תלכידי הקרקע; וחלקם נמצאים בתוך מיקרו-תלכידים בקרקע.



תמונה 1. רגב קרקע יציב שנוצר על ידי ציצת שורשים של שעורה
[צילום: צפריר גרינהוט]

תרומת החומר האורגני להזנת הצמח

זבלי בעלי חיים וקומפוסט מכילים כמות משמעותית של יסודות הזנה, הכוללים את יסודות המקרו: חנקן, אשלגן וזרחן (ראה טבלאות 2,5) ויסודות קורט (מיקרואלמנטים) רבים. בקרקעות חקלאיות מהווה החנקן לרוב גורם מגביל עיקרי להשאת יבולים. החנקן נמצא בחומר האורגני בשני מקטעים שונים: חנקן מינרלי (שנמצא בעיקר כצורן כימי של חנקת ויון האמון; בתנאי הקרקע הופך האמון לחנקת כתוצאה מפעילות המיקרואורגניזמים בקרקע), וחנקן אורגני הנמצא כחלק מהחומר האורגני בקרקע.

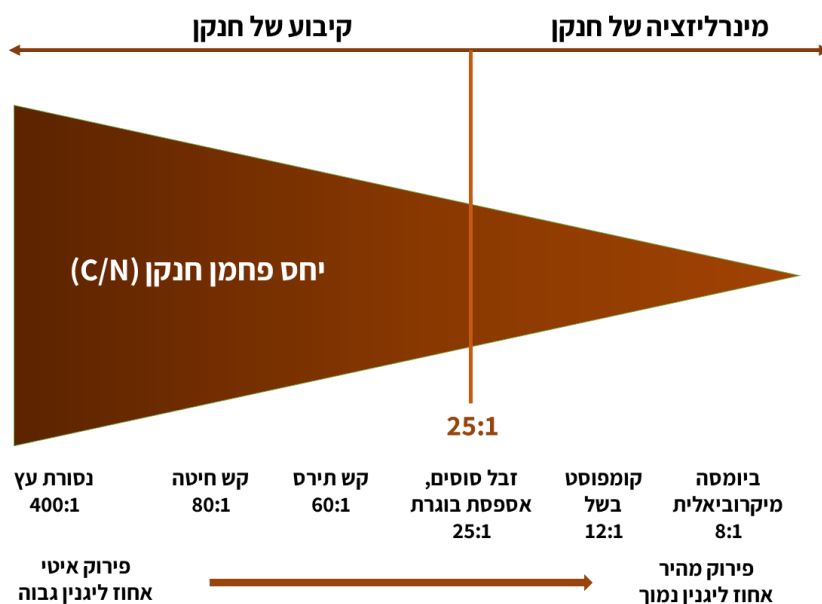
באופן תיאורטי, החנקן המינרלי זמין לגידול החקלאי, אולם בפועל, בדומה לדישון כימי, זמינותו תושפע מגורמים נוספים, כגון מועד ואופן היישום, מיקום היישום במרחב, סוג הגידול, אופן ההשקיה ועוד. כך לדוגמה, פיזור זבל לפני עונת הגשמים עלול ליצור מצב שחלק מהחנקן המינרלי (החנקת שמטענה שלילי, אינה נספחת לקרקע ונעה עם תמיסת הקרקע), יישטף לשכבות העמוקות בקרקע ולמי התהום, ולא יהיה זמין לגידול. מצד שני, פיזור קומפוסט או זבל בכמות גדולה עלול לפגוע בהתפתחות הצמח בשל מליחות החומר האורגני, ולכן יש לשקול גם זאת בקביעת מועד וכמות החומר האורגני המוסף ליחידת שטח. גורם מגביל נוסף מלבד מליחות עלול להיות גם סיכון מעלייה בריכוזי הזרחן בקרקע (בייחוד בקרקעות המושקות בקולחים. ריכוזים מאד גבוהים של זרחן בקרקע עלולים לפגוע בזמינות של יסודות קורט). **זבל מפורר ופיזור מדויק יתרמו לאחידות גבוהה בפיזור וליעילות גבוהה יותר של קליטת חומרי ההזנה.** מידע נוסף בנושא דישון בזבל ובקומפוסט, לעומת הדישון הכימי, ומידע רב נוסף הקשור להיבטי חקלאות וסביבה, מופיע בספר: "חקלאות ואקולוגיה - איך ילכו השתיים יחדיו? מבט מעשי על אגרו-אקולוגיה בעולם ובישראל"¹⁸.

לרוב כמות החנקן האורגני בקרקעות תהיה גדולה בהרבה מכמות החנקן המינרלי, לדוגמה: בקרקע שמשקלה בשכבת הקרקע העליונה (30 ס"מ) הוא 300 טון לדונם, וכמות החומר האורגני בה כ-2% (הכמות המשקלית של הפחמן בקרקע היא כ-58% מכלל החומר האורגני; ושל חנקן - כעשירית מזו של הפחמן, ביחס של C/N 10), נמצא כמות של כ-350 ק"ג חנקן אורגני, לעומת כמותו של החנקן המינרלי שהיא, בדרך כלל קילוגרמים אחדים בלבד (ללא דישון)¹⁹.

¹⁸ חקלאות ואקולוגיה - איך ילכו השתיים יחדיו? מבט מעשי על אגרו-אקולוגיה בעולם ובישראל, אבי פרבולוצקי, 2019.
¹⁹ יסודות מדע הקרקע, נועם להב, משה שנקר, יונה חן, 2008.

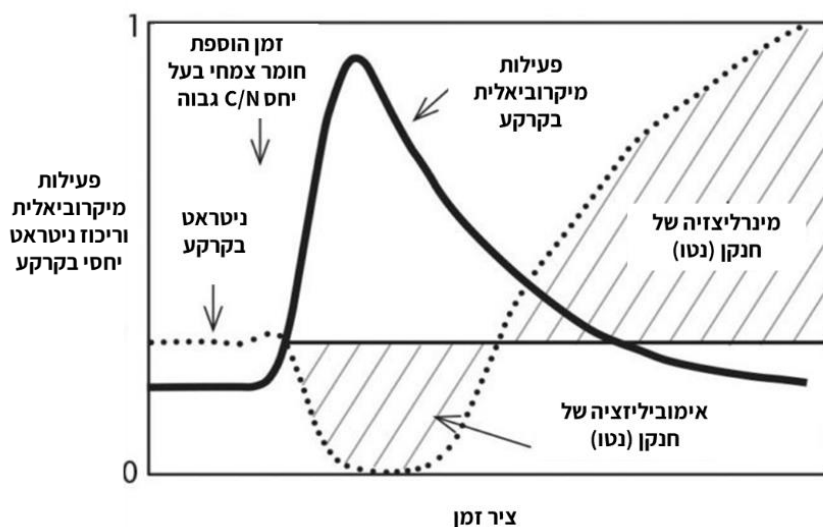
חשוב לדעת כי הגידול הצמחי נמצא כמעט תמיד בתחרות על קליטת החנקן האורגני לאחר תהליכי הפירוק שלו עם המיקרואורגניזמים שבקרקע. מרבית המיקרואורגניזמים בקרקע זקוקים לפחמן אורגני כמקור אנרגיה, ולהזנה בחנקן וביסודות הזנה אחרים. כאשר מוסף לקרקע חומר אורגני ביחס גבוה של פחמן לחנקן (כמו לדוגמה קש, המופיע [בטבלה 2](#)), אזי תהליך הפירוק שלו עלול להוביל לקיבוע של חנקן, כך שבסוף התהליך כמות החנקן, שתהיה זמינה לגידול הצמחי כתוצאה מתהליכי הפירוק והתחרות על החנקן בקרקע, עשויה להיות נמוכה ממצב שבו לא יוסף חומר אורגני לקרקע. למרות האמור לעיל, חשוב לזכור כי במקרה שתהליכים אלו לא יתקיימו באזור בית השורשים העיקרי של הגידול המסחרי (ובהנחה שהגידול מדושן בהתאם לצרכיו) – ההשפעה של תהליך זה על זמינות החנקן תהיה נמוכה בהרבה.

[באיור 6 ואיור 7](#) ניתן לראות את הקשר בין יחס הפחמן לחנקן בחומר האורגני במהלך הפירוק שלו בקרקע, בהשפעת המינרליזציה והקיבוע של החנקן.



איור 6. הקשר בין יחס הפחמן לחנקן לתהליכי מינרליזציה וקיבוע של החנקן
מינרליזציה תוביל לעלייה בחנקן הזמין בקרקע וקיבוע חנקן יוביל לגריעת חנקן זמין מהקרקע כתוצאה מהפירוק²⁰

²⁰ Soil Organic Matter Does Matter, Caley Gasch, Jodi DeJong-Hughes University of Minnesota Extension, 2019



איור 7. תיאור סכמטי של פעילות מיקרוביאלית ותהליכי מינרליזציה וקיבוע (אימוביליזציה) של החנקן בקרקע לאורך זמן, לאחר הוספת חומר בעל יחס גבוה של פחמן לחנקן²¹

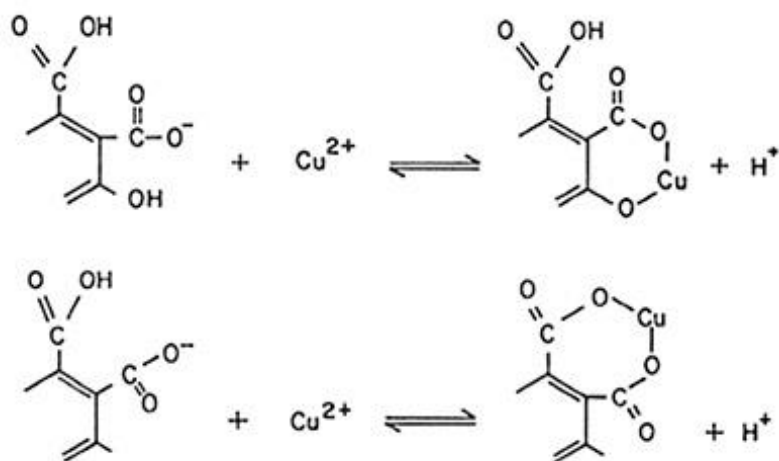
בדומה לחנקן, תהליכי הפירוק של החומר האורגני משחררים לקרקע גם זרחן וגופרית, החיוניים להתפתחות תקינה של הגידול החקלאי.

בנוסף ליסודות המקרו, לחומר האורגני קיבול קטיונים חליפים (קק"ח)* גבוה מאוד, ותכונה זו מאפשרת לו לקשור קטיונים רבים, כגון מגנזיום, סידן ואשלגן, ובכך לשפר את זמינותם לגידול החקלאי. קיבול הקטיונים החליפים של חומצות הומיות ופולביות מאוד גבוה והוא נע בין 400 ל-1000 מא"ק ל-100 גרם, ולכן תרומתו עשויה להיות משמעותית מאוד גם בהקשר זה.

*למינרלי החרסית בקרקע, ובעיקר למינרל הנפוץ ביותר בקרקעות ישראל - מונטמורילוניט, פני שטח בעלי מטען שלילי. כתוצאה מכך, על פני השטח של מינרלים אלו ספוחים קטיונים, הנקראים קטיונים חליפים (מכיוון שקטיונים שונים יכולים להתחלף זה עם זה, כתלות באופיים ובריכוזם בתמיסת הקרקע). המרחק של הקטיונים הללו מפני השטח של מינרלי החרסית תלוי בהרכבם, בריכוזם ובתכולת המים בקרקע. קטיונים אלה זמינים לרוב להזנת הצמח. למינרלים מונטמורילוניט, איליט וקאולוניט קיבול קטיונים חליפים (קק"ח), אשר נע בין 40-10, 120-80, ו-10-5, בהתאמה. בקרקעות חוליות, בעלות אחוז מקטע חרסית נמוך, קיבול הקטיונים החליפים נמוך מאוד (יחידות בודדות), ואילו בקרקעות שבהן רמת מקטע החרסיתי גבוהה, הקק"ח יכול להגיע גם ליותר מ-50 מא"ק/ג'.

²¹ Conservation Tillage Systems in the Southeast, production, profitability and stewardship, Jason Bergtold et al., 2020.

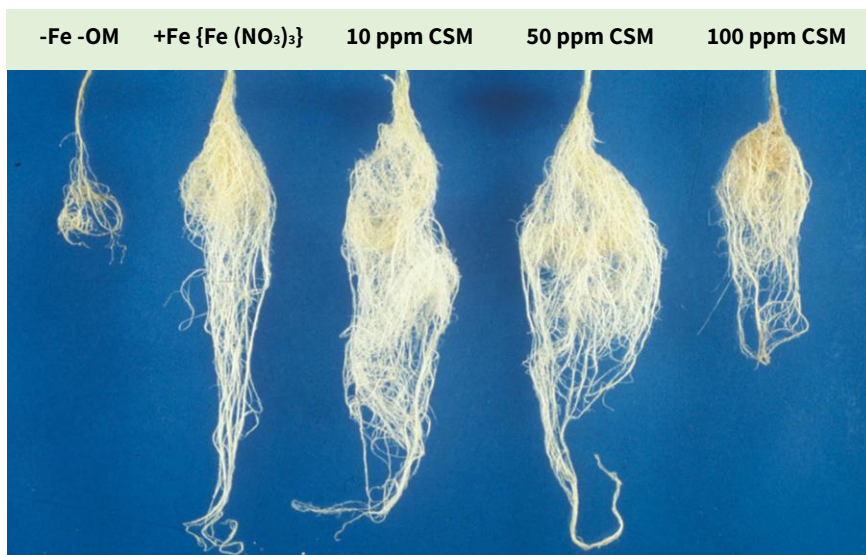
קומפוסט וזבלי בעלי החיים מכילים גם יסודות קורט רבים, הכוללים ברזל, נחושת, אבץ, מנגן ועוד. מינרלים אלו חשובים מאוד להתפתחות תקינה ומיטבית של הגידול החקלאי. בתנאי הארץ, שבה מרבית הקרקעות בסיסיות, (בעלות ערך הגבה (pH) מעל 7), הזמינות של יסודות אלו קטנה כתוצאה ממסיסותם הנמוכה בתנאים הבסיסיים של הקרקע. הוספת זבל וקומפוסט לקרקע תעלה את המסיסות והזמינות של יסודות אלו לגידול בשל אופיים הכימי של החומרים ההומיים ויכולתם לקשור יסודות קורט, ובכך להגדיל את מסיסותם בקרקע. מנגנון זה דומה למנגנון של הפרשת כלטים וסידרופורים על ידי מיקרואורגניזמים וצמחים²² (ראה להלן [איור 8](#)). כמו כן, נמצא שהחומרים ההומיים עצמם עשויים לשמש כחומרים דמויי הורמונים, המשפיעים על התפתחות ענפה של בית השורשים, המשפרת באופן ישיר את קליטת המים ויסודות ההזנה. דוגמה להשפעה מיטבית של חומרים הומיים על התפתחות השורשים, בהשוואה לדישון כימי ללא הוספה של חומר אורגני (OM) ניתן לראות [בתמונה 2](#).



איור 8. מנגנון קשירת יון נחושת (כדוגמה ליסוד קורט) על ידי החומר האורגני בקרקע²³

²² Chen Y Clapp C.E. Magen H, (2004) Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complexes, Soil Science and Plant Nutrition.

²³ Stevenson, F.J. (1994) Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions. 2nd Edition, Wiley, New York.



**תמונה 2. השפעה של תוספת מיצוי חומרים הומיים מקומפוסט זבל
בקר לחלב (זבל מפרדה, CSM) על שורשי מלון²⁴**

דרך נוספת, שבה החומר האורגני משפיע על זמינות יסודות הזנה, קשורה לזרחן. מכיוון שמרבית קרקעות ישראל בסיסיות, זמינותו של הזרחן לצמחים גם היא נמוכה יחסית כתוצאה ממסיסותו הנמוכה בתנאים אלו. קיימים מספר מנגנונים המסבירים את השיפור בזמינות הזרחן לצמח בהקשר של החומר האורגני בקרקע. אחד מהמנגנונים מוסבר על ידי העובדה שעצם הספיחה של החומר האורגני אל חלקיקי הקרקע עשויה למנוע מהזרחן להיקשר ישירות אל חלקיקי הקרקע, ובכך להגדיל את מסיסותו ואת זמינותו לגידול החקלאי. בנוסף, צורוני הזרחן בחומר האורגני המוסף לקרקע לרוב מסיסים יותר מצורוני הזרחן הנמצאים בקרקע לאורך זמן. זאת ועוד, בדומה למינרליזציה של החנקן, פירוק החומר האורגני משחרר גם זרחן אורגני לאורך זמן, ובכך עשוי לתרום גם לאספקת זרחן ממושכת לצמח.

למרות מורכבות הנושא, בעזרת בדיקות מעבדה (ראה טבלה 2 וטבלה 5 בהמשך החוברת), מקדמים מתאימים והנחות המבוססות על מחקר וניסיון, ניתן להעריך את כמות יסודות המקרו הזמינים לצמח, שמקורם בתוספת של החומר האורגני. בעזרת נתון זה ניתן לחשב את התועלת הכלכלית הישירה המתקבלת מהוספת החומר האורגני כתוצאה מחיסכון בהוספת דשן כימי.

²⁴ יונה חן וחבריו, דוח מחקר, 2002.

מדריכי קרקע ומים נוהגים להעריך כי בין 90-100% מהאשלגן שמגיע לקרקע כתוצאה מהוספת זבל או קומפוסט יהיה זמין במלואו לצמח (בהנחה שהפיזור נעשה כראוי), ואילו את הזרחן הזמין נהוג להעריך בין 40 ל-70 אחוז מהזרחן שמגיע לקרקע כתוצאה מהוספת הזבל או הקומפוסט. זמינותו של הזרחן תלויה בסוג הקרקע ובזמן שחלף מרגע יישומו בקרקע ועד למועד הזריעה של הגידול. לאורך זמן, הזרחן עובר תהליכים שונים בקרקע המקטינים את מסיסותו ולכן גם את זמינותו לצמח (פנחס פיין, מידע בע"פ).

חישוב הזמינות של החנקן לגידול מורכבת יותר, ונאמדת לרוב בין 15% לכ-40% מהכמות הכללית המוספת לקרקע כתוצאה מהוספת הזבל המטופל או הקומפוסט. בזבל רטוב וטרי (שלא עבר תהליכי פירוק מרובים) המוצנע ישירות לקרקע, זמינותו של החנקן עשויה להיות אפילו גבוהה מ-40%. ככלל, ככל שהזבל עבר תהליכי פרוק וייצוב (כגון תהליך הקומפוסטציה) - זמינותו של החנקן תהיה לרוב נמוכה יותר לצמח (פנחס פיין מידע בע"פ). במידה וקיים מידע כמותי לגבי ריכוזי האמון והחנקן בקומפוסט - ניתן לחשב בצורה מדויקת יותר את אחוז החנקן הזמין לצמח כתוצאה מהוספת הקומפוסט. מידע כמותי נוסף ניתן למצוא בניסוי שנעשה על-ידי פיין וחובריו²⁵ ומפרסומים נוספים^{26,27}. **בחוברת הדיגיטלית המפורסמת באתר משרד החקלאות ניתן למצוא טבלת עזר ומחשבון בסיסי לחישוב כמות יסודות הזנה בחומרים אורגניים.** להלן [הקישור למחשבון](#).

חשוב להדגיש כי מלבד הכמות, גם לסוג ואופי החומר (קומפוסט, זבל מרביצים, זבל לולים וכו'), לאופן היישום (מיקום היישום, הצנעתו בקרקע, ולאחידות הפיזור ביחס למיקום שורשי הצמח וכו') למועד הפיזור (לפני הגשמים או חודשים לפני זריעה וכו') ולאופי ההשקיה בחלקה, תהיה השפעה על זמינות יסודות ההזנה. לחישוב פרטני של זמינות יסודות ההזנה - מומלץ להיוועץ באגרונום, מומחה בתחום ההזנה והגידול.

בשנים האחרונות עלו מחירי תשומות הדשנים ליוגבים ולנוטעים באופן משמעותי, ובמקרים מסוימים (כתלות בגידול, בסוג ובכמות של הדשן החקלאי המוסף, וכן במחירו), תוספת הזבל או הקומפוסט עשויה לחסוך למגדל סכום כסף ניכר כבר בטווח הקרוב והבינוני. **יש לזכור כי תועלת זו היא אחת מיני רבות, כפי שמתואר בחוברת זו.** עם זאת, הערכה כלכלית של התועלות הנוספות, ובעיקר של אלו

²⁵ פיין פ, בוסק א, בריוזקין א, לבקוביץ א, סוריאנו ש, אליה מ, אזנקוט א, אוסטרובסקי ג, קילמן י, הערכת איכות בוצות ואשפה עירונית כתחליפי דשן כימי בגד"ש

²⁶ Antonio P. Mallarino and John E. Sawyer. Using manure nutrients for crop production, Iowa State University 2023

²⁷ Shapiro A, Johnson L, Millmier Schmidt A, Koelsch K, Determining Crop Available Nutrients from Manure, University of Nebraska, 2021

הקשורות לטווח הארוך יותר, הן מההיבט החקלאי והן מההיבטים הסביבתיים, קשה הרבה יותר לכימות כלכלי ישיר²⁸.

לסיכום נושא ההזנה, טיוב הקרקע בחומר אורגני (כמו לדוגמה, זיבול או הוספת קומפוסט), תורם באופן משמעותי להזנת הצמח על ידי הגדלת הכמות והזמינות של יסודות הזנה בטווח הקצר ולאורך זמן. תהליכי מינרליזציה (פירוק החומר האורגני) והיכולת של החומר האורגני לקשור קטיונים ויסודות קורט מאפשרים לו לשפר מאוד את האיוון של יסודות ההזנה בקרקע, כפי שהוזכר בפרק המבוא. תמונה 3 ממחישה את השפעת תוספת זבל על גידול שיבולת שועל.



תמונה 3. השפעת תוספת 4 מ"ק זבל בקר על גידול שיבולת שועל
שטח חקלאי בקיבוץ דליה, דצמבר 2009, שבו שתי החלקות דושנו כמקובל
[צילום: אשר אייזנקוט ז"ל]

²⁸ פרחי, י, הדס א, ניומן א ואחרים, 2020, כדאיות כלכלית של שימוש בממשקי שימור קרקע כנגד סחיפה והגרעה של קרקעות בשטחי חקלאות פתוחים. אקולוגיה וסביבה.

**טבלה 5. הרכב ואופי חומר אורגני לטיוב הקרקע ממקורות שונים וכמות
יסודות ההזנה בהתאם לאופי החומר**

סוג החומר האורגני	זבל בקר ממרבץ	זבל בקר ממדרך	זבל פטם	זבל מטילות ממסוע	זבל מטילות אחר	זבל הודים	קומפוסט מזבל בקר	קומפוסט בוצה וגזם
חומר יבש (% משקלי)	45-65	75-85	40-70	40-55	40-70	40-70	60-75	70-85
משקל נפחי (טון/מ"ק)	0.5-0.7	0.75-1.0	0.45-0.7	0.65-0.8	0.5-0.75	0.5-0.75	0.5-0.6	0.5-0.6
חנקן (% משקלי)	1.6-1.9	1.8-2.2	2.8-3.8	4.5-5.5	3.0-4.0	3.5-4.5	1.5-2	2.7-3.2
זרחן (% משקלי)	0.8-1	0.8-1	1.2-1.7	0.8-1	0.6-1	0.6-1	0.8-1	1.4-1.8
אשלגן (% משקלי)	2-2.9	1.7-2	2.2-3	1.7-3.5	1.7-3.5	1.7-3.0	1.7-2.5	0.45-0.6
חומר יבש (%) משקלי דוגמה לחישוב)	60	80	60	50	60	60	60	80
משקל נפחי דוגמה לחישוב (טון/מ"ק)	0.7	1.0	0.7	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6
חנקן (% משקלי דוגמה לחישוב)	1.8	2.0	3.4	5.0	3.5	4.0	1.7	3.0
זרחן (% משקלי דוגמה לחישוב)	0.9	0.9	1.5	1.0	0.7	0.9	0.9	1.5
אשלגן (% משקלי דוגמה לחישוב)	2.1	2.0	2.5	2.5	3.0	1.9	1.9	0.5
חישוב ק"ג חנקן למ"ק	7.0	16.0	13.3	18.8	13.7	15.6	6.1	14.4
חישוב ק"ג זרחן למ"ק	3.5	7.2	5.9	3.8	2.7	3.5	3.2	7.2
חישוב ק"ג אשלגן למ"ק	8.2	16.0	9.8	9.4	11.7	7.4	6.8	2.4
חישוב יחידות חנקן למ"ק	7.0	16.0	13.3	18.8	13.7	15.6	6.1	14.4
חישוב יחידות זרחן (P ₂ O ₅) למ"ק	8.0	16.5	13.4	8.6	6.3	8.0	7.4	16.5
חישוב יחידות אשלגן (K ₂ O) למ"ק	9.9	19.3	11.7	11.3	14.1	8.9	8.2	2.9

תרומת החומר האורגני למבנה הקרקע, לתנועת המים בקרקע, ליציבות התלכידים ולתאחיזת המים בקרקע

למרות כמותו הקטנה של החומר האורגני בקרקע, יש לו תפקיד משמעותי בשמירה על מבנה הקרקע, על יציבות התלכידים בה, על פירוס גודל הנקבובים בה, ולכן גם על תנועת המים, וכן במניעת התרווחות של תלכידים בקרקע, הידוק הקרקע ועוד. נהוג להגדיר תהליכים אלו כ"דלדול קרקע" או כ"הגרעת קרקע". בגלל התכונות של החומרים ההומיים (בעיקר האופי הכימי והקבוצות הפונקציונליות שהוזכרו לעיל), הם נקשרים לרוב אל חלקיקי הקרקע ומשמשים כחומרי "מילוט" (מלשון מלט) בין חלקיקי הקרקע השונים ומעודדים יצירת תלכידים יציבים. [באיור 9](#) (בהמשך) ניתן לראות שני מנגנונים מרכזיים של הקשר בין החומר האורגני לחלקיקי החרסית בקרקע. בנוסף, המיקרואורגניזמים בקרקע, אשר נמצאים לרוב על שטח הפנים של חלקיקי הקרקע (מושבות חיידקים אלו, הספוחות אל חלקיקי הקרקע, נקראות ביופילם) ומפרקים את החומר האורגני, מפרשים חומרים אורגניים (בעיקר פוליסכרידים), המשמשים אף הם כחומרי מילוט וקושרים בין חלקיקי הקרקע.

מלבד החומר האורגני, המוסף באופן אקטיבי לקרקע, גם לשורשי הצמחים ולתפטירי פטריות תפקיד חשוב בשמירה על התלכידים ועל מבנה יציב של הקרקע (השורשים מפרשים חומר אורגני רב וגם "כולאים" קרקע, מחברים תלכידים ומאפשרים למים לנוע דרך מעברים מועדפים באזורי השורש החיים או המתים). כאמור, החומר האורגני משפר מאוד את מבנה הקרקע על ידי יצירת תלכידים גדולים ויציבים, דבר המוביל לירידה בצפיפות הגושית (bulk density) ולשינוי לטובה של פירוס גודל הנקבובים בקרקע, ולכן משפר את המוליכות ההידראולית של המים בה^{29,30}. [באיור 10](#) ניתן לראות את הקשר בין אחוז החומר האורגני לצפיפות הגושית (משקל קרקע חלקי נפח הקרקע). בקרקע נתונה, ככל שהצפיפות הגושית נמוכה יותר, כך הנקבוביות של הקרקע גדולה יותר.

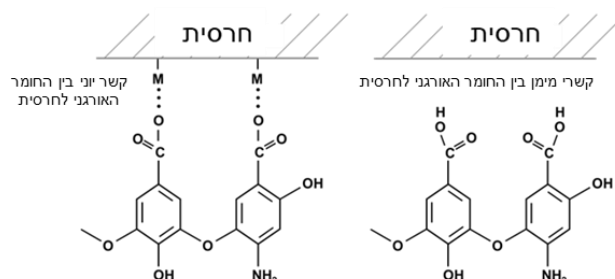
בנוסף, כפי שנמצא במחקרים רבים, קצב חידור המים, שיפור מבנה הקרקע, פירוס גודל הנקבובים ותוספת חומר אורגני משפרים גם את תאחיזת המים בקרקע ואת כמות המים הזמינים לצמח. מבנה מיטבי של הקרקע משפיע ישירות גם על אוורור

²⁹ Brar, B. & Singh, Jagdeep & Singh, Gurbir & Kaur, Gurpreet. (2015). Effects of Long Term Application of Inorganic and Organic Fertilizers on Soil Organic Carbon and Physical Properties in Maize–Wheat Rotation. *Agronomy*.

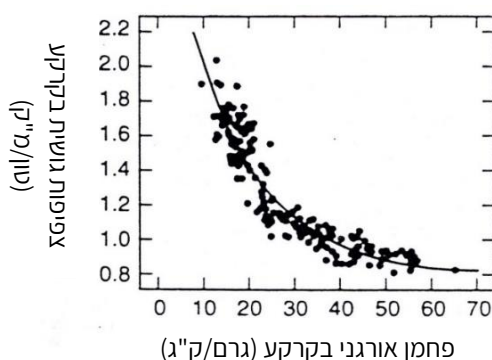
³⁰ Murphy, B, W, (2014) Soil Organic Matter and Soil Function - Review of the Literature and Underlying Data. Department of the Environment, Canberra, Australia.

טוב יותר, הנחוץ להתפתחות טובה של בית השורשים. אוורור טוב יותר משפיע גם על ההרכב והפעילות של המיקרואורגניזמים בקרקע. כמצוין במבוא, תהליכים אלו מצמצמים את הסיכון לסחף קרקע, לנגר עילי, לאובדן המגוון הביולוגי, לאיטום פני השטח ולהידוק הקרקע, ובכך תומכים בגידול חקלאי מיטבי, מצמצמים את הסיכון לזליגת מזהמים לסביבה ומעצימים את חוסנה של הקרקע.

באזורים ובגידולים שונים בארץ ניתן לגדל ירקות ואף מטעים בעזרת שימוש ב"תעלות הזנה" מקומפוסט (בעיקר באזורים בהם קיימים סיכונים או בעיות קרקע ספציפיות). מצב זה משנה את כל תכונות הקרקע ב"תעלה" ויוצר מצב הדומה לגידול במצע מנותק. במקרים רבים נמצא כי גידול בתעלות הקומפוסט הועיל מאוד לגידול, ביחס לגידול בקרקע המקומית (בעיקר בקרקעות בהם תפקוד הקרקע לקוי).



איור 9. תיאור של מנגנוני קשירה מרכזיים בין חומר אורגני למקטע החריסית בקרקע³¹



איור 10. הקשר בין כמות החומר האורגני לצפיפות הגושים³²

³¹ Humus Chemistry, genesis, composition, reactions. Stevenson, F.J. 1994.

³² Franzluebbers AJ, Stuedemann JA, Wilkinson SR. Bermudagrass management in the southern piedmont USA: I. soil and surface residue carbon and sulfur. Soil Sci Soc Am J, 2001.

תרומת החומר האורגני למגוון הביולוגי ולתפקודו בקרקע

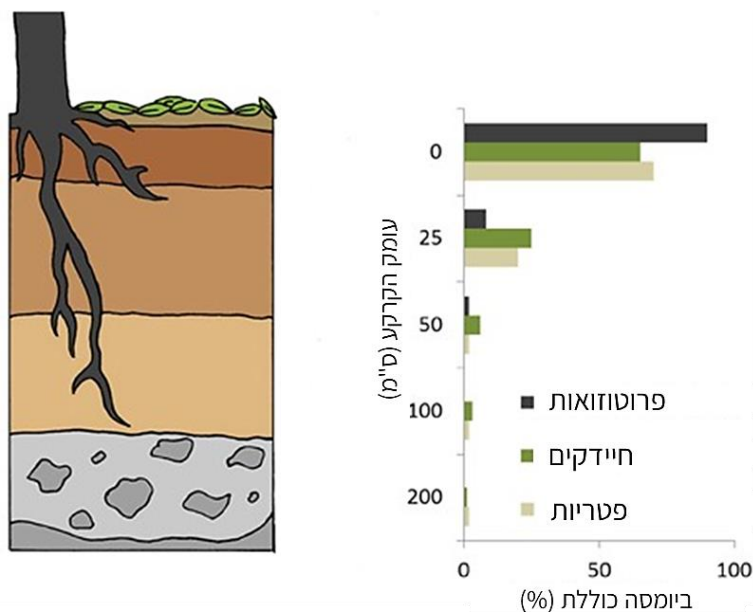
החומר האורגני הוא הבסיס והמרכז לפעילות הביולוגית ולמגוון הביולוגי בקרקע. ככל שכמות החומר האורגני בקרקע תהיה גדולה יותר, כך כמות המיקרואורגניזמים תגדל. אלו משפיעים על הפרוק והמחזור של החומרים, על סימביוזה ותמיכה בגידול החקלאי, על דיכוי מחלות (סופרסיביות) ועוד. לתפקוד המגוון הביולוגי בקרקע יש חשיבות רבה ביותר, הן מההיבט הסביבתי והן מההיבט החקלאי.

מרבית המיקרואורגניזמים בקרקע נמצאים על שטחי הפנים של שורשי הגידול החקלאי או הצמחייה בקרקע (אזור הריזוספירה) ובסמוך להם. מיקרואורגניזמים אלו ניזונים בעיקר מהחומר האורגני המופרש על ידי שורשי הצמחים. הצמחים מפרישים לרוב בין 10%-30% מהפחמן המוטמע דרך השורשים. מחקרים רבים מצביעים על החשיבות של המיקרואורגניזמים הללו בתמיכה בגידול החקלאי כתוצאה מסימביוזה בינם לבין הגידול^{33, 34}. חשוב לציין כי למרות הכמות הגדולה של החומר האורגני המופרש מהשורשים, עקב אופיו (בעיקר חומר אורגני קל פרוק) הוא לרוב אינו מצטבר בקרקע ומשמש לאנרגיה עבור המיקרואורגניזמים שנמצאים בריזוספירה. מלבד אלו, שאר המיקרואורגניזמים בקרקע נמצאים בעיקר על שטחי הפנים של מקטעי הקרקע השונים - כביופילם. בדומה לחומר האורגני בקרקע, מירב הביומסה של המיקרואורגניזמים נמצאת בשכבת הקרקע העליונה ובעיקר באזור הריזוספירה. [איור 11](#) מתאר את כמות הביומסה של המיקרואורגניזמים במרחב הקרקע.

אחת הסימביוזות הנחקרות ביותר בין שורשי צמחים למיקרואורגניזמים בקרקע היא הסימביוזה בין פטריות מיקוריזה לצמחים. סימביוזה זו מאפשרת לצמח להגדיל את שטח הפנים של בית השורשים ולשפר את קליטת המים ויסודות ההזנה, בעיקר במצבי עקה של הצמח. מיקרואורגניזמים רבים נוספים יכולים אף הם לשפר את זמינות יסודות ההזנה והמים בקרקע. סימביוזה נוספת בעלת חשיבות חקלאית וסביבתית רבה ביותר היא הסימביוזה של הקטניות עם חיידקי הריזוביום אשר מקבעים חנקן אטמוספרי והופכים אותו לחנקן מינרלי. לפיכך, חקלאים המעוניינים להעשיר את הקרקע בחנקן (הן במטעים והן בגידולי שדה) בעזרת "זבל ירוק", עושים שימוש בקטניות כגידול מועדף.

³³ A review of root exudates and rhizosphere microbiome for crop production, sun et al., 2021.

³⁴ Plant roots and carbon sequestration, Rajeev Kumar, Sharad Pandey and Apurv Pandey, 2006.



איור 11. כמות הביומסה המיקרוביאלית בקרקע כתלות בעומק הקרקע³⁵

בנוסף לחיידקי הריזוביום, שגדלים על צמחי קטניות, קיימים גם חיידקים מקבצי חנקן, שאינם ספציפיים לקטניות, כדוגמת האזוספרליום. חיידקים אלו יכולים לייצר פקעיות על שורשי צמחים רבים, כמו דגניים, אך יעילות קיבוע החנקן בחיידקים אלו לרוב נמוכה מזו של חיידקי הריזוביום בקטניות³⁶.

תרומה נוספת של המיקרואורגניזמים בקרקע, היא ויסות מחלות קרקע על ידי מנגנונים שונים, הכוללים, בין היתר, תחרות על משאבים, תקיפה ישירה של פתוגנים, ו"תפיסת" נישות אקולוגיות בקרקע, ובכך הם עשויים להקטין את הסיכון להתבססות מהירה של מחוללי מחלות קרקע. במחקרים רבים נמצא שהוספת קומפוסט לקרקע הפחיתה במידה ניכרת את הסיכון למחלות צמחים. למרות זאת, הקשר והתפקיד הכולל והמדויק בין המיקרואורגניזמים בקרקע והצמח עדיין אינם מוכרים דיים ונמצאים תחת מחקר מעמיק. [תמונה 4](#) ממחישה את השפעת הקומפוסט על דיכוי מחלות קרקע.

³⁵Churchland C, Grayston S, Specificity of plant-microbe interactions in the tree mycorrhizosphere biome and consequences for soil C cycling, *Frontiers in Microbiology* 2014

³⁶ Biological nitrogen fixation in non-legume plants, Santi, C, *Annals of Botany*, 2013.



**תמונה 4. השפעה של תוספת קומפוסט למצע מנותק (טוף)
על דיכוי מחלת פוזריום (ריקבון הכתר) בעגבניות³⁷**

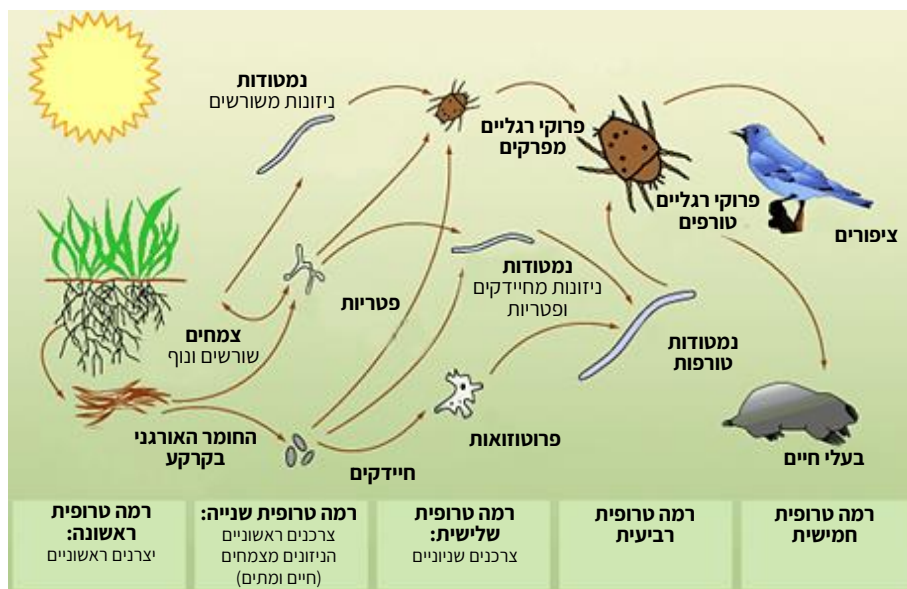
בנוסף לאלו, החומר האורגני תומך בפעילות של יצורים מפותחים יותר, כשלשולים, אשר מעצם פעילותם הם ממחזרים חומר אורגני, מגדילים את הזמינות של יסודות ההזנה ויוצרים תעלות בקרקע המשפרות את אוורור הקרקע ואת תנועת המים בה.

מלבד תועלות ישירות לחקלאות, למגוון הביולוגי בקרקע חשיבות סביבתית עצומה. קרקעות הן אחד המאגרים העולמיים העיקריים של המגוון הביולוגי, יותר מ-40% מהאורגניזמים החיים במערכות אקולוגיות יבשתיות קשורים במהלך מחזור חייהם ישירות לקרקעות. מאגר זה כולל מגוון אדיר של חיידקים, פטריות, נמטודות, פרוטוזאות, אקריות, עכבישים, תולעי קרקע, נמלים, חיפושיות קרקע ועוד. קרקעות נחשבות לאחד מסוגי בתי הגידול המגוונים ביותר מבחינה ביולוגית על פני כדור הארץ. **גרם אחד של קרקע עשירה בחומר אורגני יכול להכיל מעל למיליארד תאי חיידקים, המתחלקים לעשרות אלפי מינים, עד 200 מטר של קורי פטריות, ומגוון נרחב של אורגניזמים נוספים³⁸.** מארג המזון בקרקע מוצג [באיור 12](#).

³⁷ Inbar, Y., Y. Chen, Y. Hadar, A. Grinb, and Y. Gil. 1993. Fusarium crown rot in tomato plants growing in container media in the Jordan Valley: Disease suppression by compost. Hassadeh 73:388-394.

³⁸ FAO, ITPS, GSB, CBD and EC. 2020. State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities, Report 2020. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>

בקרקע פוריה עם תכולת חומר אורגני גבוהה ומבנה יציב ומאוורר, מתקיים לרוב איזון בין האורגניזמים השונים. מאידך, בקרקעות מופרות עם חומר אורגני מועט הפעילות הביולוגית דלה בהרבה. בנוסף, פעילויות חקלאיות שונות, כמו שימוש בחומרי הדברה והידוק קרקע, עלולות גם הן להפר את האיזון בין המיקרואורגניזמים בקרקע, ובכך להקטין את חוסנם של הקרקע והגידול החקלאי.



איור 12. מארג המזון בקרקע³⁹

³⁹ Churchland C, Grayston S, Specificity of plant-microbe interactions in the tree mycorrhizosphere biome and consequences for soil C cycling, *Frontiers in Microbiology*, 2014.

השפעה ארוכת טווח של הוספת חומר אורגני לקרקעות חקלאיות

במחקרים רבים נמצא כי הוספת זבל וקומפוסט לקרקעות חקלאיות באופן תדיר העלתה את היבול כתוצאה מתהליכים רבים שהוזכרו לעיל, וכן הגדילה את אחוז החומר האורגני בקרקע. עוד נמצא כי חל שיפור במדדים הקשורים למבנה ולתפקוד הקרקע. עם זאת, העלייה באחוז החומר האורגני בקרקע אינה תלויה אך ורק בכמות ובסוג החומר האורגני המוסף, אלא בעיקר בממשק החקלאי הכולל ובתנאי הקרקע והאקלים^{40,41}. בנוסף, חשוב לזכור שהעלייה בתכולת החומר האורגני בקרקע בעקבות הוספת זבל וקומפוסט באופן תדיר איננה מיידית ועשויה להימשך מספר שנים. כאמור, שינוי הממשק החקלאי לממשק משמר קרקע יתמוך ואף יאיץ את קצב העלייה של החומר האורגני בקרקע.

במחקרים רבים נמצא כי ללא הוספה של חומר אורגני ונקיטה בממשק חקלאי מתאים, אחוז החומר האורגני בקרקעות החקלאיות עלול לרדת במהלך הזמן כתוצאה מפרוקו במהלך השנים⁴². כזכור, החומר האורגני נשאר יציב בקרקע הן בשל אופיו והן בזכות העובדה שהוא נמצא ספוח על פני חלקיקי הקרקע (בעיקר במקטע החרסית והסילט). חלקו אף נמצא בתוך תלכידי הקרקע הקטנים, ולכן אינו זמין לפירוק. בנוסף, כפי שנכתב, פרוק החומר האורגני תלוי בהיבטים רבים, הכוללים, בין היתר, את סוג הקרקע, האקלים, הגידול, הממשק החקלאי אופי החומר ועוד.

ככל שלשדה החקלאי יושב פחות חומר אורגני ויתבצעו בו יותר פעולות עיבוד, הכוללות חריש, דיסק, תיחוח וכו' – כך תהיה האצה של פירוק החומר האורגני בקרקע. תהליכי הפירוק של החומר האורגני בקרקע מתרחשים בעיקר כתוצאה מחשיפתו לחמצן, המאיץ את פרוק החומר (בדומה לתהליך קומפוסטציה), ומשבירה מכנית של תלכידי הקרקע, הגורמת לחשיפה של חומר אורגני "כלוא" לתהליכי פרוק מואצים. תהליכי פרוק אלו משפיעים לרעה על פוריות הקרקע, כפי שהוזכר לעיל.

חשוב לדעת שפעולות העיבוד ונסיעת כלים כבדים על הקרקע, משפיעים לרעה גם באופן ישיר על המבנה שלה, באמצעות הידוקה, הרס התלכידים, שינוי בפירוס גודל הנקבובים ועוד. **מאידך, יש לזכור כי לפעולות אלה גם יתרונות חקלאיים**

⁴⁰ Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review, Diacono et al., 2010, Agronomy for Sustainable Development.

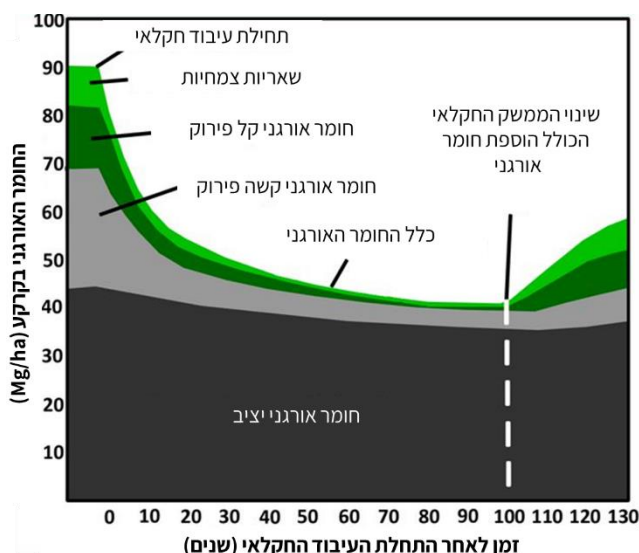
⁴¹ Omara, P.; Macnack, N.; Aula, L.; Raun, B. Effect of long-term beef manure application on soil test phosphorus, organic carbon, and winter wheat yield. J. Plant Nutr 2017.

⁴² Conservation Tillage Systems in the Southeast, production, profitability and stewardship, Jason Bergtold and Marty Sailus, 2020.

להשאת היבולים, כגון הכנת מצע זריעה והדברת עשבייה החוסכת לעתים כמויות גדולות של יישום חומרי הדברה ומקטינה את הסיכון להיווצרות עמידות של העשבייה לחומרי ההדברה.

כפי שצוין לעיל, הוספת חומר אורגני בשילוב ממשק חקלאי מתאים יובילו לעלייה בכמות החומר האורגני בקרקע ולכן גם לאצירת פחמן אורגני בקרקע ולצמצום פליטות גזי חממה. הממשקים המקובלים להעלאת תכולת החומר האורגני בקרקע כוללים, בין היתר, ממשק אי-פליחה, ממשק מינימום עיבוד, ממשק גידולי שירות ו"זיבול ירוק". עם זאת, חשוב להכיר בכך שממשקים אלו טומנים בחובם לעתים גם סיכונים חקלאיים הכוללים בין היתר שיבוש בעשבייה ושימוש מוגבר בחומרי הדברת עשבים, עלייה בכמות ופעילות המזיקים, כגון מכרסמים ועוד.

באיור 13 שלהלן מתוארים תהליכי ההשפעה של עיבודי קרקע אינטנסיביים ושל שינוי בממשק החקלאי לממשקים משמרי קרקע, תוך הוספת חומר אורגני - על אחוז החומר האורגני בקרקע.



איור 13. תרשים המתאר את השפעת עיבודי קרקע אינטנסיביים ושינוי בממשק החקלאי לממשקים משמרי קרקע, תוך הוספת חומר אורגני - על אחוז החומר האורגני בקרקע⁴³

⁴³ The Nature and Properties of Soils, 15/e Nyle C. Brady and Ray R. Weil.

החומר האורגני בקרקע, גזי חממה, ושינויי אקלים

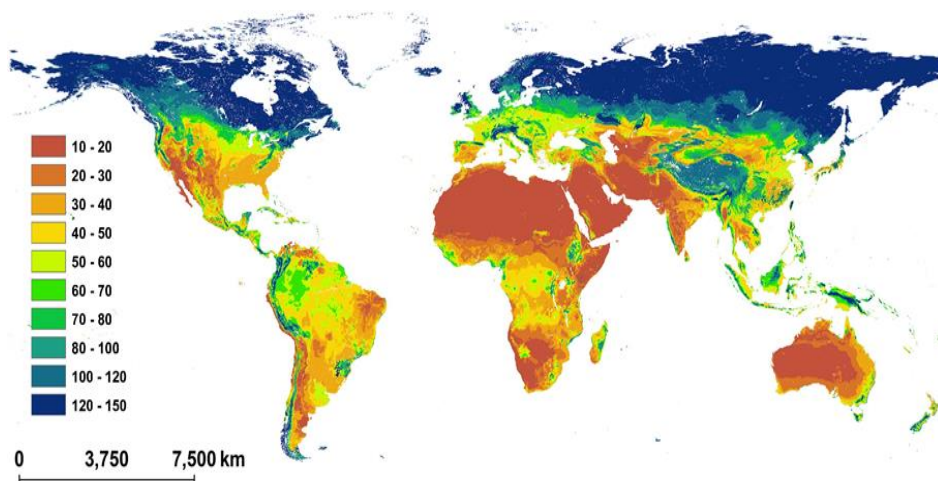
כמות הפחמן האורגני בכל קרקעות העולם היא עצומה ומוערכת בכ-2,300 פיקוגרם (10^{15} גרם) - פי ארבעה יותר מכל הפחמן הנמצא בביומסה צמחית! [באיור 14](#) מוצג תיאור כמותי של מחזור הפחמן בטבע במערכות יבשתיות⁴⁴. עיקר הפחמן בקרקע נמצא באזורים קרים, שבהם קיימת ביומסה צמחית רבה וקצב הפרוק שלה איטי בגלל תנאי האקלים הקרים. [באיור 15](#) ניתן לראות מיפוי של ריכוז הפחמן האורגני בקרקעות העולם. העלאת אחוז החומר האורגני בקרקע מקבעת בה יותר פחמן ומפחיתה את ריכוז הפחמן הדו-חמצני באוויר, פעילות הממתנת את קצב שינויי האקלים הצפוי. אם יעברו שטחים נרחבים בעולם לממשקים המגדילים את אחוז החומר האורגני בקרקע, הדבר עשוי להשפיע באופן משמעותי על מאזן הפחמן באטמוספירה, ובכך גם על צמצום אפקט החממה המוביל לשינויי האקלים. מידע רב על הנושא והממשקים החקלאיים התורמים לקיבוע פחמן בקרקע ניתן למצוא במאמר המוזכר מטה⁴⁵.



איור 14. תיאור כמותי של מחזור הפחמן בטבע במערכות יבשתיות³⁶

⁴⁴ <https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle>

⁴⁵ Budiman Minasny et al., Soil carbon 4 per mille, Geoderma, Volume 292, 2017



איור 15. אומדן לריכוז הפחמן האורגני (טון/הקטאר) בקרקעות העולם

בעומק 0-30 ס"מ⁴⁶

מידע על הערכת פוטנציאל אצירת פחמן בקרקע במעבר לחקלאות משמרת בשטחים החקלאיים בישראל ניתן למצוא בפרסום האגף לשימור קרקע⁴⁷. שינויי האקלים מתבטאים גם באירועי מזג אוויר קיצוניים כמו עוצמות גשם גבוהות וירידה בכמות המשקעים. כאמור לעיל, העצמת החומר האורגני בקרקע בד-בבד עם ממשקי גידול מתאימים, עשויה לשפר מאוד את מבנה הקרקע, את יציבות התלכידים ואת קצב חידור המים לקרקע, ובכך מסייעת למתן את השפעות של שינויי האקלים ולשפר את ההתמודדות עמם. בנוסף, ממשקים אלו מובילים גם לצמצום הנגר, לעלייה בכמות המים הנכנסת לשטח החקלאי ולשיפור תאחיזת המים בקרקע. תהליכים אלו מובילים ליציבות גדולה יותר של הגידול החקלאי גם במצב של עצירה ארוכה יחסית בגשמים. בנוסף, כאשר אחוז החומר האורגני בקרקע עולה, תהיה לו בדרך כלל גם תרומה חיובית להזנת הצמח, כך שניתן יהיה לצמצם את הצורך ביישום של דשנים כימיים (שייצורם דורש אנרגיה רבה) ואת צמצום פליטת חנקן חד-חמצני (N_2O), שהוא "גז חממה" מזיק ביותר.

⁴⁶ U. Stockmann, J. Padarian, A. McBratney, B. Minasny, D. de Brogniez, L. Montanarella, S.Y. Hong, B.G. Rawlins, D.J. Field, Global soil organic carbon assessment, Glob. Food Sec., 6 (2015), pp. 9-16.

⁴⁷ הערכת פוטנציאל אצירת פחמן בקרקע במעבר לחקלאות משמרת בשטחים החקלאיים בישראל, בוריס שקלר, אלון מאור, ערן אטינגר, אליענה עין מור, גיל אשל, 2022.

עקרונות למדדי איכות ליישום זבל וקומפוסט בשטחים חקלאיים

- ככל שאחוז החומר האורגני בחומר המוסף גבוה יותר - כך נטייה את הקרקע ביותר חומר אורגני ביחס לאפר שבו (החומר המינרלי).
 - ככל שבחומר האורגני קיימים יותר יסודות הזנה - כך ניכרים יתרונות חקלאיים שלו להזנת הצמח; יתרונות כלכליים מהיבט החיסכון בתשומות של דשנים כימיים; ויתרונות סביבתיים מההיבט של צמצום הצורך בדשנים כימיים (ייצור הדשנים דורש תשומות אנרגיה גבוהות).
 - ככל שבחומר האורגני יש פחות מלחים - כך הסיכון להמלחת הקרקע ולפגיעה ישירה בגידול קטן.
 - ככל שהחומר האורגני המוסף יציב יותר (לדוגמה, קומפוסט בשל לעומת זבל טרי או חומר צמחי מעוצה עם אחוז גבוה של ליגנין) - כך גדל הסיכוי לכך שחלק רב יותר מהחומר האורגני המוסף לקרקע יישאר בה לאורך זמן.
 - ככל שהיחס בין הפחמן לחנקן נמוך יותר בחומר האורגני המוסף - כך קטן הסיכון לתהליכי קיבוע של החנקן בקרקע.
 - ככל שתכולת הרטיבות של החומר האורגני המוסף נמוכה יותר - כך קטן הסיכון למפגעים ולמטרדי זבובים וריחות ונשנע יותר חומר אורגני ופחות מים.
- בעקפין, ניתן לציין כי:
- ככל שבקרקע יתבצעו פחות עיבודים לאורך זמן - כך הסיכוי לעלייה בחומר האורגני בקרקע יגדל והשפעתו המטייבת תעמיק.
 - ככל שלקרקע החקלאית יחזור יותר חומר צמחי, הן משאיות הגידול החקלאי העיקרי, והן כתוצאה מממשק הגידול וממשקים נוספים, כמו "זבל ירוק", וממשק גידולי שירות - כך גדל הסיכוי לעלייה בחומר האורגני בקרקע לאורך זמן, ולכן גם להשפעתו המטייבת.

מידע נוסף בנושא מופיע גם בדפון הקומפוסט⁴⁸.

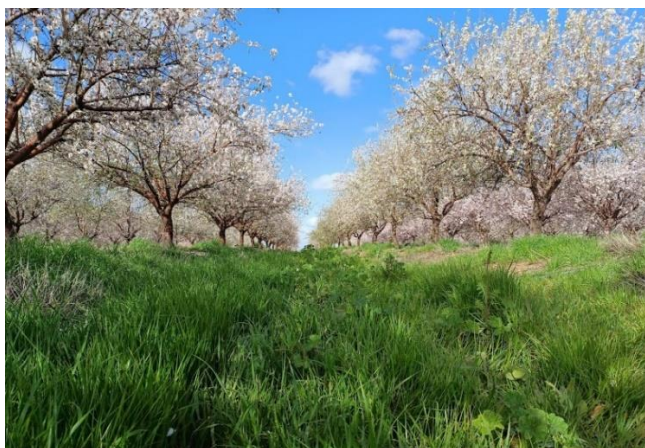
⁴⁸ יישום קומפוסט בגידול ירקות, אורי אדלר, יזהר טוגנדהפט, דוד סילברמן, אריה יצחק, מולי זקס, מאיה שניט-אורלנד, אשר איזנקוט, אפרים ציפליץ, 2021.

עקרונות להעלאת תכולת החומר האורגני בקרקע

כאמור, הוספת זבל או קומפוסט אורגני היא אחד הממשקים המשפיעים על כמות החומר האורגני בקרקע. בטבלה 6 שלהלן ניתן לראות אמצעים נוספים, שנמצאו כתומכים בשיפור אחוז החומר האורגני בקרקע, לצד כאלה שיגרמו לרוב לפחיתה בו במשך הזמן.

טבלה 6. רשימת הגורמים המשפיעים לחיוב או לשלילה על מאזן החומר האורגני בקרקעות חקלאיות

גורמים המשפיעים על מאזן החומר האורגני בקרקעות חקלאיות	
גורמים גורמים	גורמים משפרים
סחף קרקע	יישום קומפוסט וזבל
עיבודים אינטנסיביים	הפסקה וצמצום עיבודי קרקע
טמפרטורות גבוהות	ממשק גידולי שירות
רעיית יתר	ממשק רעייה משמר
הוצאת כל החומר הצמחי מהשטח	השאת חומר צמחי בשדה וזיבול ירוק
שריפות	מחזור גידולים
יצרנות נמוכה	יצרנות גבוהה
דישון כימי בלבד	דישון מדייק



תמונה 5. ממשק גידולי שירות במטע כגורם המשפיע לחיוב על מאזן החומר האורגני בקרקע [צילום: צפיר גרינהוט]

סיכום

למרות כמותו הקטנה יחסית בקרקעות חקלאיות, לחומר האורגני חשיבות עצומה לתפקוד ולפוריות הקרקע החקלאית וכן להיבטים סביבתיים רבים. **החומר האורגני מחבר ומקשר בין התכונות הכימיות, הפיזיקליות והביולוגיות של הקרקע, ובכך מהווה את ה'לב' של הקרקע החקלאית, ולכן הוא גם משפיע במידה רבה על תפקודה. בעזרת יישום ממשקים חקלאיים מתאימים, ניתן לשמר ולהעצים את הכמות והפעילות של החומר האורגני שבקרקע, ובכך גם לשפר מאוד את היתרונות החקלאיים והסביבתיים, שנסקרו בחוברת זו.**

[בתרשים 1](#) שלהלן מסוכמת החשיבות והתרומה לחקלאות ולסביבה של החומר האורגני בקרקע. סרטון קצר של ה-FAO, המתאר את חשיבות החומר האורגני לסביבה ולחקלאות ניתן למצוא בקישור: [Soil Organic Carbon – the treasure beneath our feet](#)

החומר האורגני קרקע – חשיבותו ותרומה במערכות חקלאיות



תרשים 1. תיאור מסכם של החשיבות והתרומה של החומר האורגני בקרקע

