

דוח סופי

גורמי ממשק חקלאי וסביבה המשפיעים על פליטות גזי חממה מהקרקע בחקלאות אורגנית

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

אשר בר-טל	מינהל המחקר החקלאי, המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני
גיא לוי	מינהל המחקר החקלאי, המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני.
הדר הלר	מינהל המחקר החקלאי, המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני.
מיכאל רביב	מינהל המחקר החקלאי, המכון למדעי הצמח, נווה יער
יעל לאור	מינהל המחקר החקלאי, המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, נווה יער.
אורי ירמיהו	מינהל המחקר החקלאי, המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, גילת.

Asher Bar-Tal, Institute of Soil, Water & Environmental Sciences, ARO, The Volcani Center, POB 06, Bet Dagan, 50250. E-mail: abartal@volcani.agri.gov.il

Guy Levy, Institute of Soil, Water & Environmental Sciences, ARO, The Volcani Center, POB 06, Bet Dagan, 50250. E-mail: vwguy@volcani.agri.gov.il

Hadar Heller, Institute of Soil, Water & Environmental Sciences, ARO, The Volcani Center, POB 06, Bet Dagan, 50250. E-mail: hadarh@volcani.agri.gov.il

Michael Raviv, Ornamental Horticulture, ARO, Newe Ya'ar Research Center, POB 1021, Ramat YishaY 30095. E-mail: mraviv@volcani.agri.gov.il

Michael Raviv, Soil Chemistry and Plant Nutrition, ARO, Newe Ya'ar Research Center, POB 1021, Ramat YishaY 30095. E-mail: laor@volcani.agri.gov.il

Asher Bar-Tal, Institute of Soil, Water & Environmental Sciences, Gilat Research Center, POB 2, Negev. E-mail: uri4@volcani.agri.gov.il

תקציר

הצגת הבעיה:

בחקלאות אורגנית יישום קומפוסט משמש לטיוב הקרקע ולהזנת הצמח, אך ממשק זה עלול להגביר את פליטת גזי החממה.

מטרות המחקר:

בחינת השפעת הממשק החקלאי על פליטת גזי החממה מחקלאות אורגנית בהשוואה לקובנציונאלית בקרקעות ואזורי אקלים שונים בארץ. כימות קבוע הפחמן לקרקע ותרומת המקורות השונים לפליטת הפחמן. מטרות העבודה הפרטניות היו: בחינת פליטת גזי החממה כתלות בסוג הממשק, כמות הדשנים האורגניים המוספים, סוג הדשנים האורגניים והאנאורגניים המוספים על בסיס כמות חנקן שווה, ותכונות הקרקע השונות.

שיטות העבודה:

השפעת סוג התוסף (קומפוסט בקר, זבל פטמים מפוסטר (אורגניקום) ודשן (אמון גופרתי)) על בסיס מנת חנקן שווה וסוג הקרקע על פליטת גזי החממה CO_2 ו- N_2O נלמדה בניסוי ליזימטרים. השפעת סוג הקרקע והאקלים ומנת הקומפוסט (0, 20, 40 ו-60 $\text{מ}^3/\text{הקטאר}$) על פליטות פליטות CO_2 ו- N_2O מהקרקע בשדה חקלאי נלמדה בשני ניסויי שדה (נווה יער וגילת) השונים באקלים (ים תיכוני וארידי, בהתאמה) ובסוג הקרקע (גרומוסול ולס).

תוצאות:

ליזימטרים - פליטות N_2O המצטברות במשך 50 ימי הניסוי מטיפולי הקומפוסט בקר, אורגניקום והאמון הגופרתי (ממוצע לכול הקרקעות) היו: 1.09, 1.90 ו- 1.95 (גרם חנקן/הקטאר), בהתאמה. פליטות CO_2 מהטיפולים הללו (ממוצע לכול הקרקעות) היו: 407, 681 ו- 378 (ק"ג פחמן/הקטאר), בהתאמה.

בקרקעות הגירניות בניסוי, עדן, גילת ונווה יער, תרומת הגיר לפליטות CO_2 בטיפול הקומפוסט הייתה כ-31%, 12% ו-51%, בטיפול האורגניקום 25%, 8% ו-34%, ובטיפול האמון גופרתי 72%, 26% ו-80%, בהתאמה.

ניסויי שדה - סך פליטת CO_2 המצטבר בגילת לאחר 180 ימים היה (ק"ג פחמן/הקטאר): 1182, 1115, 1190 ו-969 לטיפולי ה-20, 40, 60 $\text{מ}^3/\text{הקטאר}$ והביקורת בהתאמה. סך N_2O המצטבר (ק"ג חנקן/הקטאר) היה 0.573, 0.340, 0.256 ו-0.279 בהתאמה.

בניסוי בנווה יער סך CO_2 המצטבר לאחר 60 ימי הניסוי היה (ק"ג פחמן/הקטאר): 295, 323, 399 ו-303 מטיפולי ה-20, 40, 60 $\text{מ}^3/\text{הקטאר}$ והביקורת בהתאמה. סך N_2O המצטבר (ק"ג חנקן/הקטאר) היה 0.217, 0.147, 0.112 ו-0.501 בהתאמה.

מסקנות והמלצות

פליטות הגזים CO_2 ו- N_2O גבוהות מזבל (האורגניקום) מאשר מקומפוסט ויישום דשן חנקני בבסיס מוביל לפליטה גבוהה יחסית של N_2O אולם בכל הניסויים הפליטות המירביות היו קטנות בסדר גודל מהערך 1% שנקבע ע"י הפאנל הבין לאומי לשינוי אקלים (IPCC).

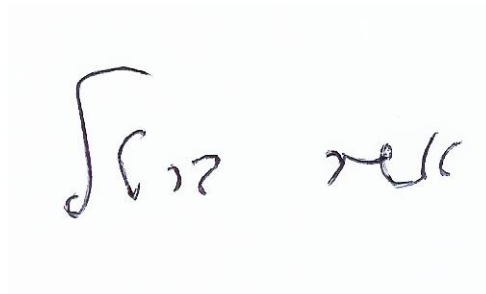
פליטת CO₂ גבוה יותר בקרקעות קלות מאשר בקרקעות כבדות.
יישום דשן חנקני אמוניקלי או זבל לקרקע גורם להמסת גיר שתורם לפליטת CO₂.
הגדלת מנת הקומפוסט בשדה תורמת להגדלת קבוע הפחמן בקרקע, אך מגדילה את פליטת
ה-CO₂ וה-N₂O.
רטיבות הקרקע הייתה הגורם המגביל לפליטות גזי החממה בשני האתרים ובמיוחד בגילת.
יש לבחון שיטות נוספות למדידה רציפה של פליטת גזי החממה ובסקלת השדה.
להערכה שלמה של פליטת גזי החממה מזבלים וקומפוסטים יש למדוד ולהעריך את פליטות
גזי החממה בתהליכי הקומפוסטציה, ההובלה לשדה והפיזור בשדה.

מעריכים מומלצים לבדיקת הדו"ח המדעי

1. משה שנקר
2. פנחס פיין
3. בני בר-יוסף

הצהרת החוקר הראשי:

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.
הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא



חתימת החוקר

תוכן עניינים:

2	תקציר
5	1. מבוא
7	2. מטרות המחקר
7	3. פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר
7	3.1 פירוט הניסויים (שיטות וחומרים)
8	3.2 תוצאות המחקר
8	3.2.1 תוצאות ניסוי הליזימטרים
13	3.2.2 ניסוי שדה בגילת
17	3.2.3 ניסוי שדה בנווה יער
21	4. דיון
23	5. רשימת הפרסומים המדעיים
24	6. ביבליוגרפיה
28	טופס סיכום עם שאלות מנחות
31	נספחים

1. מבוא ותיאור הבעיה

ריכוזי גזי החממה באטמוספירה של כדור הארץ הולכים ועולים מאז המהפכה התעשייתית (1750-1780) ועד ימינו, הריכוז הממוצע של דו תחמוצת הפחמן (פד"ח - CO_2), מתאן (CH_4) וחנקן תת-חמצני (חת"ח - N_2O) עלו מ- 280, 3 ו- 0.27 (ח"מ) ל- 380, 4 ו- 0.32 (ח"מ), בהתאמה והקצב אף הולך וגובר. דוגמה לכך היא ריכוז הפד"ח אשר עלה בעשר השנים מ- 1995 עד 2005 בקצב של 1.9 ח"מ לשנה(1). גזים אלו נקראים גזי חממה בגלל השפעתם השלילית על מאזן האנרגיה הנכנסת והיוצאת מהאטמוספירה (1).

מעריכים שהחקלאות תורמת רק 10-12% מהפליטה הכללית של גזי חממה, ואילו בישראל ההערכה היא כ- 5% (2, 3) ו- (44). החקלאות פולטת פד"ח, אך גם מקבעת אותו ומעריכים שסך הכול נוצר איזון עם עודף קטן של פליטה המהווה 1% מכלל פליטת גזי החממה. לעומת זאת החקלאות היא מקור עיקרי לגזי חממה שאינם פד"ח, 58% מהחת"ח ו- 47% מהמתאן (1). החת"ח נוצר בעיקר ע"י טרנספורמציות מיקרוביאליות של תרכובות חנקן בקרקע ובשיירים מבעלי חיים ולכן פליטת חת"ח קשורה ליישום דשנים אורגנים ומינרלים בקרקע. מתאן נוצר בחקלאות כאשר חומר אורגני מתפרק בתנאים אנאירוביים בעיקר בכרס של מעלי גרה, ערימות של זבל וגידול אורז בהצפה. מעריכים שסך הכול הפליטות העולמיות של חת"ח ומתאן מחקלאות הן 2.8 ו- 3.3 Pg CO_2 -equivalent לשנה, בהתאמה (1). הצפי של התרחבות השטח המעובד בכדי לספק את המזון הנדרש בהתאם לגידול באוכלוסייה וברמת חייה ושינוי דפוסי ההזנה ממקורות מזון צמחי למזון מן החי תגדיל הפליטה מחקלאות ב- 5.9 Pg CO_2 -equivalent לשנה, כמות שמהווה 6-17% מכלל פליטת גזי החממה (4). לפי האחרונים, אם ניקח בחשבון את תרומת הדלק והאגרו כימיקלים, ואת הפליטה הנוספת כאשר נעשה שינוי מקרקע לא מעובדת לקרקע מעובדת, תרומת החקלאות עלולה להגיע לשליש מכלל פליטות גזי החממה.

אחד המדדים העיקריים לפוריות הקרקע הוא תכולת החומר האורגני בה (6, 5). חקלאות אורגנית שואפת להיות חקלאות בת קיימא והאמצעי העיקרי בה היא עושה שימוש ביישום של קומפוסטים ודשנים אורגניים כבסיס לשמירת פוריות הקרקע והזנת הצמח (7). אולם בניגוד לאזורי אקלים גשומים באזורים יבשים במקרים רבים יישום של זבלים וקומפוסטים לא מגדיל באופן משמעותי את כמות החומר האורגני בקרקע ואת הקבוע נטו של פחמן בקרקע (5). בנוסף, תהליכי הפרוק המואצים של חומרים אלו בקרקע עלולים לגרום לשחרור מואץ של גזי החממה פד"ח, מתאן וחת"ח (8-10). תהליך זה מגביר את המודעות ואת הצורך בידע על הכמות הנפלטת מהחקלאות. כיום רוב המידע בנושא בעיית הפליטה של גזי החממה מחקלאות הוא מאזורי אקלים ממוזגים וחסר מידע על אזורי אקלים טרופי ואזורי יבשים למחצה.

קצב פירוק החומרים האורגניים המוספים לקרקע קובע את כמות הפחמן העובר מינרליזציה ונפלט כפד"ח לעומת הפחמן המקובע בקרקע כחומר אורגני קרקעי. התהליכים העיקריים

המובילים לייצור פד"ח בקרקעות חקלאיות הם נשימה מיקרוביאלית ונשימת שורשים. עוצמת התהליכים הללו תלויה בגורמים סביבתיים כמו טמפרטורה (11), תכולת רטיבות הקרקע, pH תמיסת הקרקע, הצפיפות הגושית (הידוק הקרקע) ותכולת החומר האורגני (5, 6). באזורים סמי ארידיים השקיה ותוספת דשנים ושיירים אורגניים הם הגורמים העיקריים שמגבירים את פליטת הפד"ח (6, 12, 13). השקיה משפיעה באופן מידי על פליטת הפד"ח (14-17). בעבודה שנעשתה לאחרונה בקבוצת המחקר שלנו נמצא קשר מובהק בין רטיבות הקרקע לבין פליטת פד"ח (14).

בקרקעות גירניות התמוססות של קרבונטים תורמת אף היא לפליטת פד"ח, אולם בספרות העולמית יש מעט מאוד מידע כמותי על תרומה זו (18), ורובה ככולה מניסויים מעבדתיים. בניסוי מעבדה ראשוניים שבוצעו לאחרונה במעבדתו של ד"ר בר-טל נמצא שכ- 40% מפליטת פד"ח מקרקע גירנית הייתה ממקור גירני (19). המסקנה מעבודות אלו היא שכדי להעריך בצורה נכונה את תרומת החומר האורגני בקרקע המכילה גיר לפליטת פד"ח, יש צורך לקבוע את התרומה היחסית של כל מקור.

ניטריפיקציה ודה-ניטריפיקציה הם התהליכים המהווים מקור עיקרי לפליטה ביוגנית של חת"ח מקרקעות חקלאיות (9, 20), הגורמים הסביבתיים העיקריים הקובעים את פליטת החת"ח הם טמפרטורה, תכולת הרטיבות בקרקע, pH, סוג החומר האורגני וזמינותו (11, 16, 21-25). תהליכי הניטריפיקציה והדה-ניטריפיקציה תלויים בזמינות החנקן, חמצן ופחמן בקרקע. הוספת חנקן לקרקעות חקלאיות כדשן מינרלי או כשיירים אורגניים מגביר את תהליכי הניטריפיקציה והדה-ניטריפיקציה (26). במעקב מתמשך בשדה שבו היה ממשק של זבול רב שנתי נמצא שהפליטה המצטברת של חת"ח הייתה גבוהה מהמקובל בספרות על סמך מדידות מעבדה או מדידות שטף בפרקי זמן קצרים (21). מניעת עודפי רטיבות ושמירת ערך pH גבוה מ- 6.3 הפחיתו מאוד את פליטת החת"ח מקרקע מזובלת (22). למרקם הקרקע השפעה חזקה על פליטת חת"ח כתוצאה מהשפעתו על הניטריפיקציה לעומת דה-ניטריפיקציה. לדוגמה, שטף פליטת החת"ח מדוגמאות קרקע שטופלו בשאריות שתן היה גדול יותר בקרקע דקת מרקם מאשר בקרקע מחול גס (27).

מתאן נפלט מהקרקע כתוצאה מתהליכי פירוק חומר אורגני בתנאים אנאירוביים. לכן עיקר הפליטה שלו היא מקרקעות מוצפות (ביצות ושדות אורז בהצפה) (28) ומערימות של זבל. בשטחים שאינם מוצפים יש בדרך כלל קבוע של מתאן (23), אולם קבוע זה גדול יותר בשטחי בור מאשר בקרקעות מעובדות (29). בחקלאות קונבנציונלית יישום של דשנים חנקניים ושל חומרי הדברה גורם לעיכוב החמצון של מתאן (28). ידוע היטב שהחיידקים מקבוצת המתאנוטרופיק מחמצנים מתאן ע"י האנזים מתאן - מונואוקסיגנאז שמעוכב על ידי אמון (30) וכנראה שבטווח הארוך חל שינוי בהרכב אוכלוסיית המיקרואורגניזמים המשפיע על חמצון המתאן. דווח כי ליישום דשנים אנאורגניים הייתה השפעה שלילית בהרבה מאשר ליישום קומפוסטים וזבלים (31). גם חומרי הדברה שונים כגון אטרזין ומתומיל מעכבים חמצון של

מתאן (34–32). מכאן צפוי שלחקלאות אורגנית תהיה השפעה חיובית על מאזן המתאן בשדה. לא ידוע לנו על מחקרים שבדקו נושא זה בתנאי חקלאות ים תיכונית בכלל, ובארץ בפרט. מבחינה חקלאית מקובל במרבית המקרים שהפסד החנקן בצורה גזית קטן יחסית וקיים קושי רב להעריך אותו. לכן ברוב המחקרים שעסקו ביישום של שאריות אורגניות בקרקע לא נבדקה הכמות של החת"ח הנפלט לאטמוספירה. הדיווחים העוסקים בפליטות גזי החממה מקרקעות חקלאיות בישראל מבוססים על הערכות, ואין מידע מדויק לגבי ההשפעות של הממשק (בעיקר חקלאות אורגנית לעומת קונבנציונאלית ומנת הדשן), האקלים וסוג הקרקע על קבוע הפחמן בקרקע ועל כמויות גזי החממה הנפלטות מהשדה.

2. מטרת המחקר

מטרת המחקר הראשית היא לבחון את השפעת הממשק החקלאי על קבוע פחמן בקרקע ועל פליטת גזי חממה מחקלאות אורגנית בהשוואה לקונבנציונאלית בקרקעות ואזורי אקלים שונים בארץ. המטרות הפרטניות הן בחינת פליטת גזי החממה (פד"ח, מתאן חת"ח) כתלות בהשפעת הגורמים הבאים: 1. סוג הממשק (חקלאות קונבנציונלית לעומת אורגנית), 2. מנת וסוג הדשן האורגני המוסף, 3. סוג הדשן האורגני המוסף, 4. תכונות הקרקע ו-5. האקלים.

3. עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר

3.1 פירוט הניסויים (שיטות וחומרים)

להשגת מטרות 3 ו-4 בצענו ניסוי בוצע ניסוי במערך ליזימטרים (כלי גידול בנפח של 20 ליטר) שהוקם בבית דגן ובו נבחנו השפעת היישום של שני חומרים אורגנים שונים המותרים בחקלאות אורגנית, קומפוסט ואורגניקום, לעומת ביקורת של דשן כימי (אמוניום-סולפט) בחמש קרקעות שונות (כולל הקרקעות מניסויי השדה) המייצגות טווח רחב של תכולת גיר, החל בקרקע נטולת גיר מהגולן ועד קרקע גירנית המכילה יותר מ-40% גיר מעמק בית-שאן (תכונות הקרקע בטבלה 1 בנספח). סך הכול 15 טיפולים ((2 חומרים + ביקורת) 5 X קרקעות) 3 X חזרות = 45 ליזימטרים, שהוצבו במבנה של 3 בלוקים באקראי. יישום הדשנים לליזימטרים בשלושת הטיפולים היה במידה אקווילנטית לכמות החנקן הניתן בטיפול של 4 מ"ק/דונם קומפוסט. מדדי הדשנים והכמות המוספת של פחמן וחנקן לליזימטר מוצגים בטבלה 2 בנספח.

כדי למנוע מצב של חוסר אוורור בגלל מצב הנתק מעמודת קרקע עמוקה האופייני לליזימטרים התקנו בתחתית כל ליזימטר פתיל יניקה עד גובה של 1 מ' מתחת לתחתית הכלי ובקוטר 2.55 ס"מ. הניסוי בוצע לאורך 8 שבועות החל מה-23.12.12 ועד ל-13.2.13 כאשר בכל שבוע הושקו הליזימטרים במים מזוקקים עד למצב של קיבול שדה כדי למנוע התייבשות, ונלקחו דוגמאות קרקע לבדיקת ריכוזי אמון וחנקן, ערך ההגבה (pH) ותכולת רטיבות.

להשגת המטרות 1, 2, ובאופן חלקי גם מטרות 4 ו-5 (מניסוי השדה לא ניתן להפריד בין השוני בסוג הקרקע וההבדלים באקלים ובממשק החקלאי) בצענו מחקר בשדה שהתבסס על

ניסויי שדה המתבצעים במסגרת מחקר הבוחן את ההשפעה של חקלאות אורגנית לעומת קונבנציונלית ושל מנת הקומפוסט המוסף על פוריות הקרקע. מחקר זה מתבצע בשני אתרים המייצגים שני אזורי אקלים: גילת (אקלים סמי-ארידי, קרקע לס, מכילה כ- 15-20% גיר) ונוה יער (אקלים ים תיכוני, קרקע גרומוסול, מכילה כ- 20-25% גיר).

בכל אחד מהאתרים שלושה רבעים מהחלקות עברו הסבה לממשק אורגני בשנת 2009 בשיטות המקובלות: גידול קטנית לזבל ירוק והצנעתו השטחית, מתן מנה גדולה יחסית של קומפוסט בשנה הראשונה (6 מ"ק/דונם) ובהמשך יישום שלושת הטיפולים הבאים: 2, 4 ו- 6 מ"ק/דונם\שנה. בחלקות אלו לא נעשה שימוש בחומרים סינטיים להדברה ולדישון. הרבע הנותר טופל כמקובל בחקלאות הקונבנציונלית ומשמש כביקורת, מנת הדשן החנקני שניתנה בחלקות אלו עמדה על 20 ק"ג חנקן לדונם בצורת אוריאה, בשני מועדים עם הפרש של חודש ביניהם. הביקורת טופלה מבחינת הגנת הצומח, השקיה ומחזור גידולים באופן זהה לחלקות האורגניות. לכל טיפול הועמדו 5 חזרות, סה"כ בשדה היו 20 חלקות.

הדיגומים של פליטת גזי חממה בניסוי הליזימטרים ובשני האתרים בוצעו בשיטת התא הסטטי (14, 35). בשיטה זו הוחדרו טבעות PVC שגובהן 10 ס"מ וקוטרן הפנימי 15 ס"מ לעומק של 8 ס"מ לקרקע. לקראת בדיקת פליטת הגזים הטבעות נסגרות במכסה מתאים למשך שעה. במהלך שעה זו נדגם אוויר הכלוא בתא בשלוש נקודות זמן שונות (זמן אפס, 30 דק' ו-60 דק') ונלקח לבדיקת ריכוזי גזי החממה CO_2 , CH_4 , N_2O במכשיר GC (The VARIAN 450-GC, Netherlands). במקביל נלקחו דוגמאות קרקע לצורך הערכת תכולת הרטיבות, ריכוזי האמון והחנקה, ורמת ה pH בקרקע.

3.2 תוצאות המחקר

הן בניסויי השדה והן בניסוי הליזימטרים נמדדו מכל הטיפולים ערכי מתאן זניחים (התוצאות לא מוצגות), אשר בדומה לספרות היו קרובים מאוד לריכוזי הרקע (לאוויר האטמוספרי). משתמע מכך שמתאן בתנאי השדה או הליזימטר אינו נפלט מן הקרקע, או שנפלט בכמות קטנה מאוד שנצרכה על ידי מיקרואורגניזמים בקרקע טרם יציאה לאטמוספירה. הרטבה של הקרקע, ללא תנאי הצפה, גורמת לחמצון מתאן ומביאה לכך שהקרקע בניסוי מהווה ככל הנראה מבלע למתאן.

3.2.1 תוצאות ניסוי הליזימטרים

3.2.1.1 שטפי CO_2 – פד"ח

השוואה בין הקרקעות בכל סוג דשן

תוצאות שטפי פליטות הפד"ח מהקרקעות השונות המטופלות בשלושת הדשנים, קומפוסט, אורגניקום ואמון גופרתי בעשרה ימי דיגום שונים לאורך 50 ימי הניסוי מוצגות באיור 1. בכל הקרקעות ובכול הטיפולים שיאי השטפים היו בשבוע הראשון עד עשרה ימים לאחר יישום הדשן. קרקעות נוה יער, עדן וגילת הציגו בימים הראשונים עליות וירידות בשטפים הדומים למחזוריות השקית הליזימטרים. מהשבוע השלישי עד סיום המדידות השטפים התייצבו על

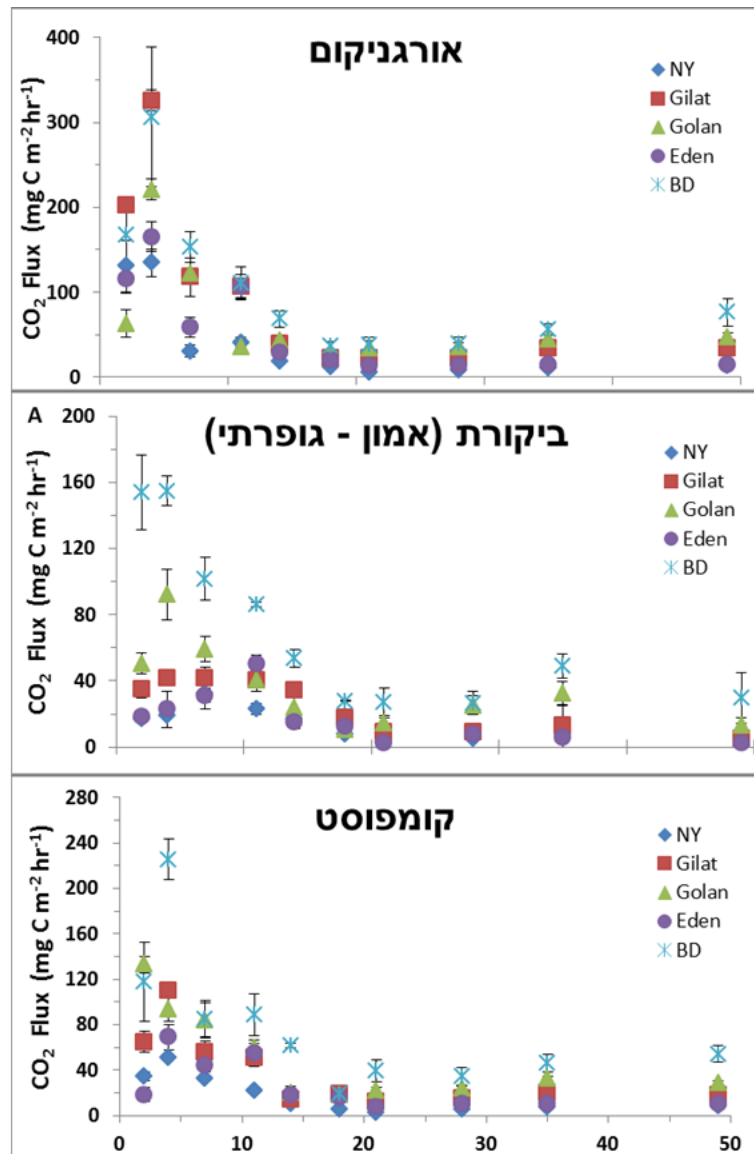
ערך קבוע, כשבמקביל נמדדה הטמפרטורה הנמוכה ביותר ב 50 ימי הניסוי (איור 1 בנספח).
בדישון באמון חנקתי השטפים הגבוהים ביותר היו מקרקע בית דגן שבה שיא השטף היה
154 מ"ג פחמן/מ"רלשעה. שיא זה התרחש כמעט מיד לאחר יישום הדשן, ונמשך עוד כיומיים
עד אשר החל לרדת בהדרגה במשך כשבועיים לרמה דומה ליתר הקרקעות בניסוי. שטפי
הפד"ח הנמוכים ביותר היו מקרקע נווה יער, כששיא השטף נמדד כשבוע לאחר יישום הדשן
והגיע לכדי 32 מ"ג פחמן/מ"רלשעה.

שטפי פליטות הפד"ח בטיפול האורגניקום (איור 1) הגיעו לשיא השטף לאחר 4 ימים, כאשר
קרקעות גילת ובית דגן מציגות את הערכים הגבוהים ביותר, 326 ו-306 מ"ג פחמן/מ"רלשעה
בהתאמה. הפליטה הגבוהה שנמדדה בקרקע גילת בטיפול זה גדולה פי 10 מאשר בטיפול
בדשן אמון גופרתי כאשר בקרקעות אחרות היחס נמוך יותר, פי 2 עד פי 5. בדומה לטיפול
בדשן אמון גופרתי חלה ירידה בשטף הפליטות לאחר כשבוע, אולם במקרה זה הירידה
הרבה יותר מהירה ומשמעותית. הפליטה המצטברת הגבוה ביותר הייתה מקרקע בית דגן,
951 ק"ג של פחמן/הקטאר ולעומתה הפליטה המצטברת הנמוכה ביותר הייתה מקרקע נווה
יער, 295 ק"ג פחמן/הקטאר (איור 2 בנספח).

שטפי פליטות הפד"ח בטיפול הקומפוסט היו גבוהים במקצת מאשר בטיפול האמון גופרתי
ונמוכים יחסית לאורגניקום, כמו בטיפול באמון גופרתי השטפים הגבוהים ביותר היו מקרקע
בית דגן, שבה נמדד שטף שיא של 225 מ"ג פחמן/מ"רלשעה (איור 1) ואחריה קרקעות גולן
וגילת, והשטפים הנמוכים ביותר היו מקרקעות נווה יער ועדן. קרקע בית דגן פלטה את הכמות
המצטברת הגבוהה ביותר, 716 ק"ג פחמן/הקטאר, וקרקע נווה יער את הכמות הנמוכה
ביותר, 154 ק"ג פחמן/הקטאר (איור 2 בנספח).

השוואה בין סוגי הדשן

בכל הקרקעות השטפים בטיפול האורגניקום גבוהים יותר מאשר בשני הטיפולים
האחרים (37, 36, 37, 36),
(37, 36, 37, 36),
(37, 36, 37, 36). באנליזה סטטיסטית של
שטפי הפליטה בשלושה מועדים ההבדלים בין שלושת הטיפולים היו מובהקים (טבלה 3
בנספח). כמו כן פליטת הפד"ח המצטברת בטיפול האורגניקום (איור 2 בנספח) הייתה
הגבוהה ביותר מבין שלושת הטיפולים ושונה באופן מובהק (טבלה 3 בנספח). פליטות
הפד"ח הגבוהות מטיפול האורגניקום נובעות ככל הנראה מכך שהוא חומר אורגני לא מיוצב,
לעומת הקומפוסט אשר עבר תהליכי ייצוב לאורך שבועות. הפליטות הנמוכות יחסית בטיפול
בדשן אמון גופרתי היו צפויות כי תוסף זה לא תורם פחמן לקרקע אלא רק חנקן, ועל כן
פליטת הפד"ח בטיפול זה נובעת אך ורק מפירוק חומר אורגני קרקעי.



איור 1. שטפי פד"ח (CO_2) מקרקעות בית-דגן, גולן, גילת, נוה יער ועדן לאחר יישום אורגניקום, אמון גופרתי וקומפוסט במשך 49 ימים בניסוי הליזימטרים בחממה בבית דגן.

3.2.1.2 שטפי N_2O – חת"ח

השוואה בין הקרקעות בכל סוג דשן

שטפי פליטות החת"ח בטיפול בדשן אמון גופרתי וכן בטיפול האורגניקום מתאפיינים בכך ששיאי הפליטות מתרחשים רק לאחר כ- 11 עד 14 ימים מיישום הדשן (איור 2), בניגוד לשיאי פליטות הפד"ח אשר נצפו כמעט מיד לאחר יישום הדשן. החל מ-20 יום מן הדישון כל הקרקעות פלטו חת"ח בצורה אחידה ונמוכה מ- $0.25 \text{ מ"ג חנקן/מ"רשעה}$. בטיפול בדשן אמון גופרתי קרקע גילת הייתה בעלת שיא השטף הגבוה ביותר, $1.3 \text{ מ"ג חנקן/מ"רשעה}$ כ- 11 ימים מן היישום. ערך זה גבוה באופן מובהק מהפליטות בכל יתר הקרקעות (טבלה 3 בנספח). גם הפליטה המצטברת מקרקע גילת הייתה הגבוה ביותר, $4073 \text{ גרם חנקן/הקטאר}$ (בנספח). קרקע רמה"ג הייתה יוצאת דופן מאחר ופליטת החנקן המצטברת בה כמעט

ולא התמתנה לאורך 50 ימי הניסוי, עד שבסופו של דבר הפליטה המצטברת ממנה הייתה 3243 גרם חנקן/הקטאר. בחינה של שטפי החת"ח בשלושת המועדים שנבחרו כפעילים ביותר- 4,7,11 ימים מיישום מראה כי ביום הרביעי שטפי החת"ח מקרקע רמה"ג היו גבוהים באופן מובהק מיתר הקרקעות, ואילו לאחר 11 ימים קרקע גילת היא זו הפולטת את שיאי שטף החת"ח הגבוהים ביותר באופן מובהק (טבלה 3 בנספח).

בטיפול האורגניקום קרקע רמת הגולן פלטה את שטף החת"ח הגבוה ביותר, 1.44 מ"ג חנקן/מ"רשעה, שיא זה נרשם ביום ה-14 מיישום האורגניקום, בניגוד ליתר הקרקעות שבהן נרשמו השיאים לאחר כ-11 ימים (איור 2). לאחר 28 ימים התייצב שטף הפליטה מקרקע רמת הגולן על 0.08 מ"ג חנקן/מ"רשעה עד לסוף הניסוי, בעוד יתר הקרקעות התייצבו כבר לאחר 14 יום סביב ערכי פליטה דומים. פליטת החת"ח המצטברת הגבוהה ביותר הייתה מקרקע רמה"ג, 5634 גרם חנקן/הקטאר, מעל לפי 3 מהקרקעות האחרות (טבלה 3 בנספח) והפליטה המצטברת הנמוכה ביותר הייתה מקרקע נווה יער, 431 גרם חנקן/הקטאר (איור 3 בנספח).

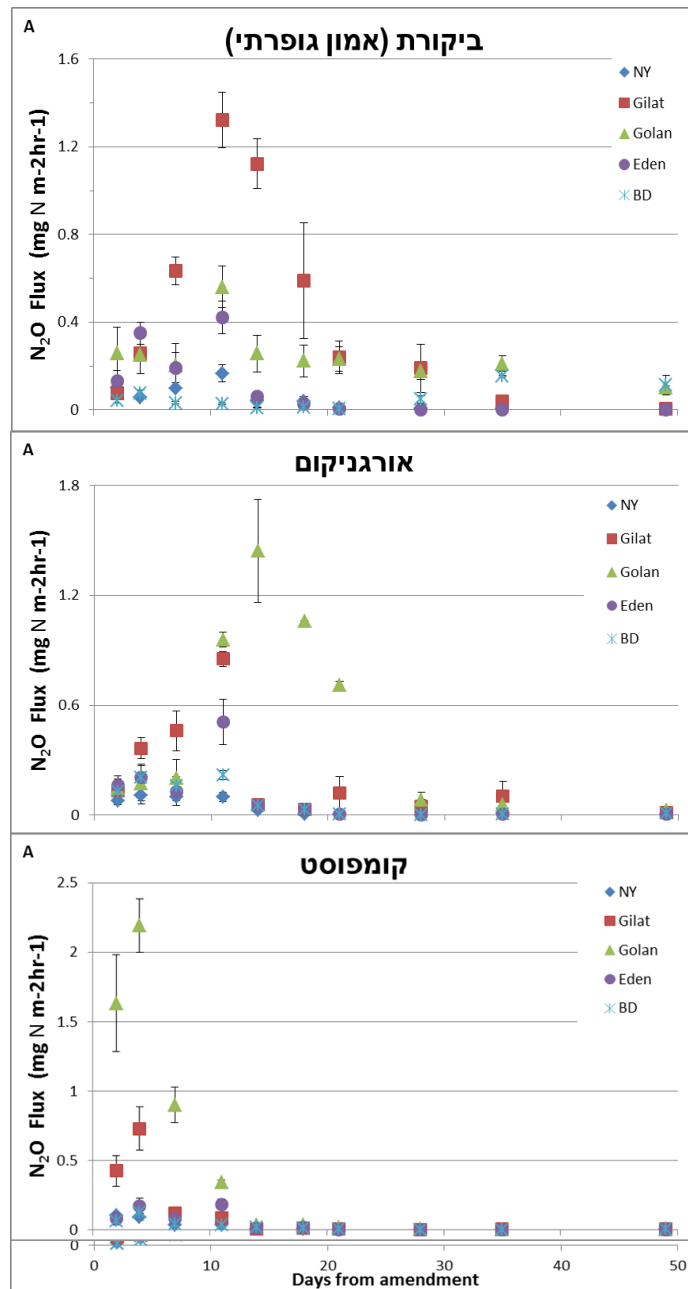
שטף הפליטה של חת"ח בטיפול הקומפוסט בכל הקרקעות היה בשיאו לאחר 4 ימים, כאשר הפליטה הגבוהה ביותר נמדדו בקרקע רמה"ג וגילת, 2.1 ו-0.7 מ"ג חנקן/מ"רשעה, בהתאמה, וביתר הקרקעות נמוך מ-0.2 מ"ג חנקן/מ"רשעה (איור 2). לאחר 14 ימים בכל הקרקעות השטף היה אפסי עד סוף הניסוי (איור 2). הפליטה המצטברת של חת"ח מקרקע רמה"ג הייתה גבוהה בהרבה משאר הקרקעות, 3818 גרם חנקן/הקטאר, כאשר בכל יתר הקרקעות הערכים היו נמוכים מ-1000 ג חנקן/הקטאר (איור 3 בנספח).

כאשר משווים את פליטות החת"ח בין הקרקעות מתקבל סדר קבוע שנשמר בכול סוגי הדשנים חוץ ממקרה אחד יוצא דופן בדשן אמון גופרתי בו קרקע גילת פולטת הכי הרבה חת"ח כשלאחריה קרקע רמת הגולן. באופן כללי הקרקע שפלטה הכי הרבה חת"ח בכל הטיפולים באופן מובהק היא קרקע רמת הגולן כשלאחריה קרקע גילת (טבלה 3 בנספח). בהמשך זוהי קרקע עדן עם פליטות חת"ח בינוניות. קרקעות נווה יער ובית דגן פלטו את כמות החת"ח המצטברת הנמוכה ביותר באופן מובהק (טבלה 3 בנספח). יש לציין את פליטות החת"ח הנמוכות בקרקע בית דגן שלה היו פליטות הפד"ח הגבוהות ביותר.

השוואה בין טיפולי הדישון

בהשוואה בין הדשנים השונים בממוצע מכול הקרקעות שטף החת"ח הגבוה ביותר לאחר 4 ימים היה מטיפול הקומפוסט, אולם לאחר 7 ימים השטפים דומים בכל שלושת הטיפולים (טבלה 3 בנספח). כ-11 ימים מן הדישון המצב מתהפך ושטף החת"ח מטיפול הקומפוסט הוא הנמוך ביותר, ואילו השטפים משני הטיפולים הנותרים זחים וגבוהים באופן מובהק מטיפול הקומפוסט. בסיכום כול תקופת המדידות הפליטה המצטברת של חת"ח מהקומפוסט היה נמוך בצורה מובהקת מאשר משני הטיפולים האחרים. יש לציין כי בטיפול האמון גופרתי

והאורגניקום המשיכו השטפים הגבוהים עד ל- 20 ימים מיישום הדשן ולכן בסופו של הניסוי הפליטה המצטברת בהם הייתה גבוהה מאשר בטיפול הקומפוסט.



איור 2. שטפי חת"ח (N₂O) מקרקעות בית-דגן, גולן, גילת, נוה יער ועדן לאחר יישום אורגניקום, אמון גופרתי וקומפוסט במשך 49 ימים בניסוי הליזימטרים בחממה בבית דגן.

מהחישוב של פליטות החת"ח המצטברות לאורך הניסוי ומתוך כמות החנקן הכללית שיושמה בטיפולים השונים ניתן להעריך מהו אחוז החנקן שאבד לאטמוספירה כחת"ח בכל אחד מן הטיפולים השונים (טבלה 4 בנספח). על פי חישובים אלו רק בשלושה טיפולים פליטת החת"ח גבוהה מ- 1.0% מהחנקן שיישמונו (קרקע רמת הגולן עם קומפוסט (1.1%)

ואורגניקום (1.63%) וקרקע גילת עם אמון גופרתי (1.18%), בעוד יתר הטיפולים נמצאים מתחת ל- 1% (טבלה 4 בנספח).

3.2.1.3 קביעת המקורות לפליטת CO₂ לפי החתימה האיזוטופית של ¹³C בניסוי

הליזימטרים

הגזים שנשלחו לבדיקה איזוטופית נאספו בשני מועדים (2,11 ימים מיישום הדשנים) וניתוח של תרומת הגיר הייתה אפשרית בשלושת הקרקעות המכילות גיר (עדן, נווה יער, גילת). בקרקעות חסרות גיר אפשר באופן תאורטי להעריך את תרומת החומר האורגני הקרקעי יחסית לחומר האורגני המוסף, אולם ההבדל הקטן בחתימה האיזוטופית בין מקורות אלו, 23- עד 27- (טבלה 5 בנספח), לא היה מספיק גדול להפרדה בין המקורות.

מן הניתוח עולה כי בקרקע נווה יער תרומת הגיר לפליטת הפד"ח בטיפול הביקורת נעה בין 47-55%, בטיפול האורגניקום 18-49% ובטיפול הקומפוסט תרומת הגיר היא 55-47% (טבלה 6 בנספח). בקרקע עדן שבה אחוז הגיר הקרקעי הגדול ביותר (43%) התרומה של הגיר בטיפול הביקורת (אמון גופרתי) הייתה 58-86% מן הפד"ח שנפלט, ובטיפולי האורגניקום והקומפוסט 18-32% ו- 12-49% בהתאמה. בקרקע גילת תרומת הגיר לפד"ח בביקורת נעה בין 11-41%, ובטיפולי האורגניקום והקומפוסט 0.8-15% ו- 10-14%, בהתאמה. יש לציין שתרומת הגיר המומס בקרקעות נווה יער ועדן בטיפולים באמון גופרתי ובאורגניקום גבוהות ברוב המקרים מהערכים שדווחו בספרות, מ-13% עד 35% (18, 19, 38).

3.2.2 ניסוי שדה גילת

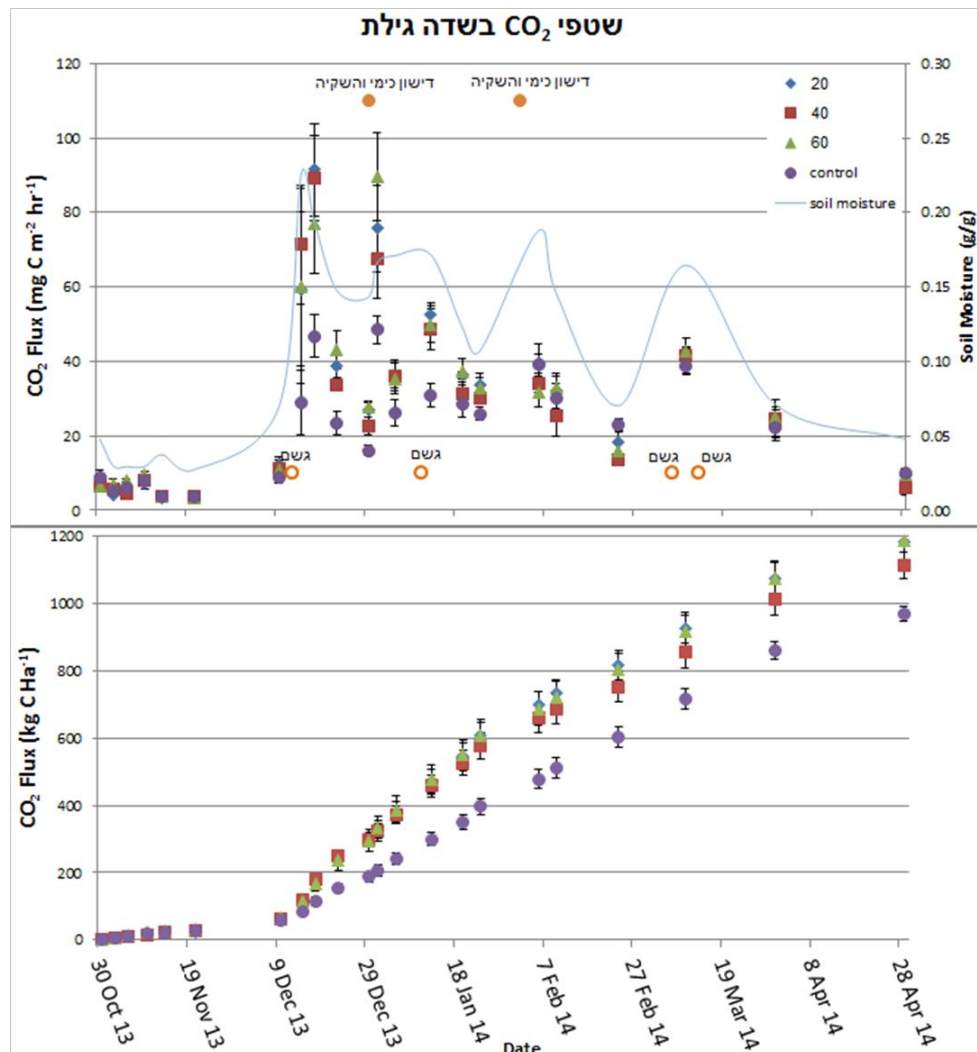
ניסוי השדה נערך לאורך עונת גידול החיטה באזור אקלים סמי-ארידי, כאשר נבחנת רמת הפליטה של גזי החממה ממשק אורגני בשלוש מנות שונות של קומפוסט מזבל בקר וגזם, ומחלקות ביקורת ללא קומפוסט אלא דשן כימי קונבנציונלי מסוג אוריאה הנהוג בגידול חיטה. תכונות הקומפוסטים שיושמו בניסוי בגילת ובנווה יער נתונות בטבלה 7 בנספח.

3.2.2.1 שטפי CO₂ – פד"ח

תוצאות שטפי הפד"ח לאורך תקופה של 180 ימי מדידה בשדה בגילת מוצגות באיור 3, בנוסף לנתוני השטפים השעתיים מוצגים אירועים משמעותיים של ירידת גשם ודישון כימי והשקיה של השדה בנקודות הזמן בהן התרחשו. שמות טיפולי הקומפוסט באיור מופיעים בערכים של מ"ק/הקטר.

פליטת הפד"ח במשך 40 הימים הראשונים טרם הרטבת הקרקע נמוכה מאוד ללא הבדל בין הטיפולים (איור 3). עליה משמעותית בפליטות מתרחשת במדידות שנערכו ב-15 וב-18 לחודש דצמבר לאחר ארבעה ימי גשם, כ-125 מ"מ. ב-18.12.2013 בטיפול הקומפוסט נמדדו שטפים בטווח 77-91 מ"ג פחמן/ר"שעה ואילו בטיפול הביקורת שבאותה עת עדיין לא היה מדושן השטף הנמדד היה 46 מ"ג פחמן/ר"שעה. אף כי תוצאה זו נמוכה באופן ניכר מהשטפים שנמדדו בטיפול הקומפוסט ההבדל אינו מובהק במבחן Tukey HSD ולפי

ערך סף של 5% (טבלה 8 בנספח), אולם, ההבדל מובהק לפי ערך סף של 7%. בהמשך שטף הפד"ח פחת עם הזמן, אך נמדדו עליות לאחר אירועי גשם והשקיה.



איור 3: מהלך שטפי הפד"ח השעתיים והמצטברים בניסוי השדה בגילת. 20,40,60 מייצגים את הטיפולים 2,4,6 מ"ק/דונם קומפוסט בהתאמה, control מייצג את טיפול הדשן אוריאה. מועדי אירועי דישון וגשם מוצגים באיור העליון.

בניגוד לצפוי שיאי השטפים השעתיים של הפד"ח לאורך הניסוי לא הושפעו ממנת הקומפוסט. גורם אפשרי לכך הוא שגיאה נסיונית גדולה בגלל שיישום הקומפוסט לא היה מדויק ולא אחיד, כאשר המדידה בשיטת התא הסטטי היא משטח קטן מאוד ולכן רגישה מאוד לאי אחידות בשטח. כמו כן על פי הבדיקות המוקדמות המעבדתיות של הקומפוסט שיישום בשדה הוא היה מאוד יציב ובעל אחוז חומר אורגני נמוך (28%) ולכן השפעתו על פליטת פד"ח הייתה קטנה יחסית ובאותו סדר גודל כמו מטיפול בדשן אוריאה. גורם נוסף לפליטה פד"ח מהקרקע הוא כנראה המסת גיר קרקעי אשר בניסוי הליזימטרים תרם בין 11 ל- 41 אחוז מפליטת הפד"ח ועל כן חלק מפליטת הפד"ח לא נובעת מפירוק חומר אורגני.

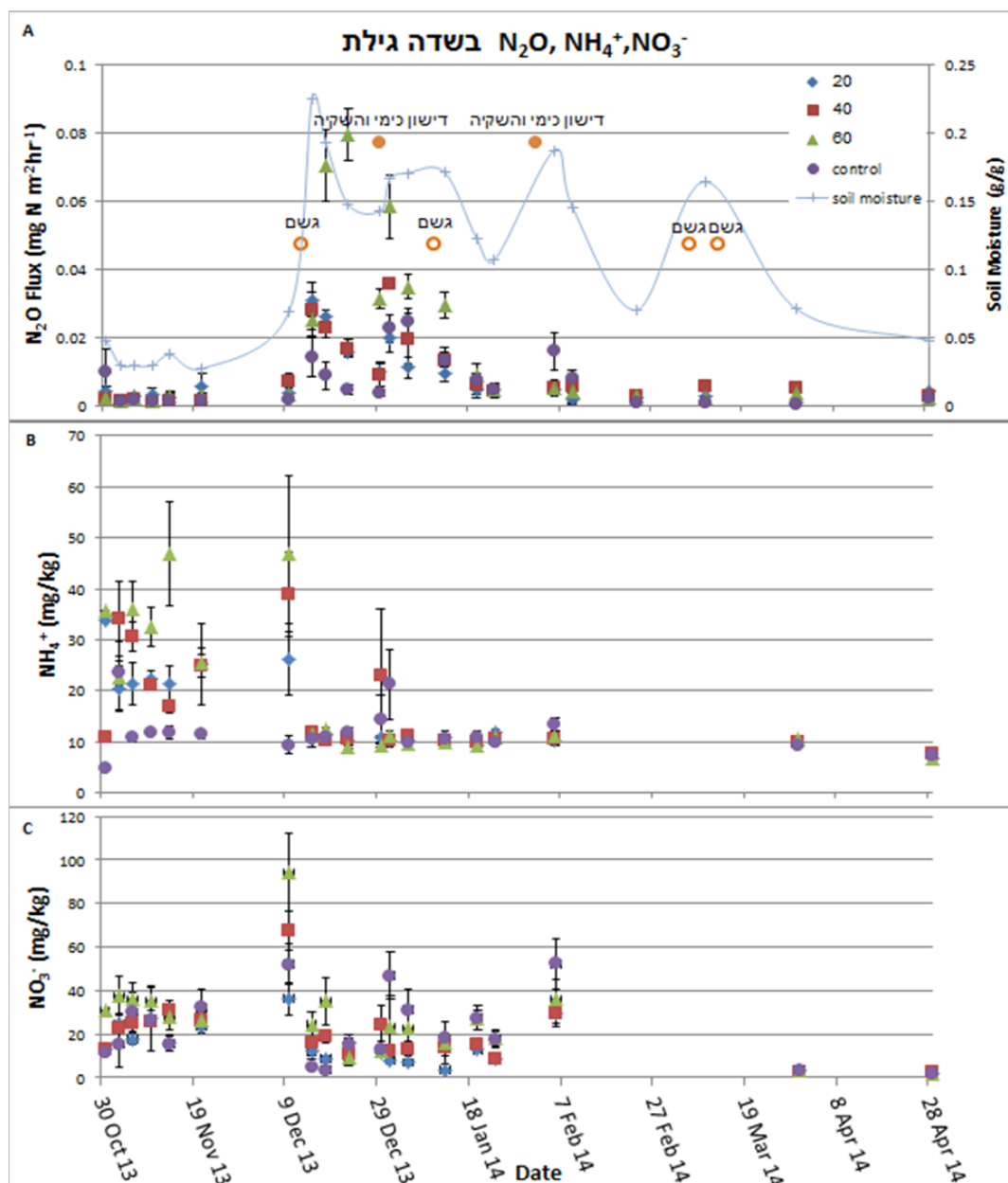
תופעה ברורה מאוד אשר חוזרת על עצמה היא תגובת השטפים לרטיבות הקרקע. כאשר יושם הקומפוסט בתחילת הניסוי ותכולת הרטיבות בקרקע הייתה 5% נצפו פליטות פד"ח אפסיות, והפליטות עלו בחדות לאחר הגשם. ממצאים אלו מתיישבים עם מחקרים נוספים שבדקו את הקשר בין תכולת הרטיבות לפליטות פד"ח מן הקרקע (39) בין אם על ידי גשם או כתוצאה מהשקיית השדה (15).

כמות הפד"ח המצטבר שנפלט מכל ארבעת הטיפולים ב- 40 ימי הניסוי הראשונים הייתה זניחה בגלל שהקרקע הייתה יבשה. אולם מרגע שהחל הגשם השטפים השעתיים עלו במהירות ובהתאם קצב הצטברות הפד"ח כצפוי עלה במהרה (איור 3). רק בשתי המדידות האחרונות הייתה התמתנות קלה מאוד של הגרף וקצב הצטברות הפד"ח ירד. לכל אורך הניסוי הפד"ח שנפלט מטיפול הביקורת נמוך מיתר הטיפולים של הקומפוסט. פליטת הפד"ח המצטברת הגבוהה ביותר הייתה מטיפול ה- 6 מ"ק/דונם קומפוסט, 1190 ק"ג פחמן/הקטאר. הפליטה המצטברת הנמוכה ביותר הייתה בטיפול בדשן אוריאה, 969 ק"ג פחמן/הקטאר. הפליטה המצטברת בטיפולי ה-2 וה-4 מ"ק/דונם, 1182 ו-1115 ק"ג פחמן/הקטאר בהתאמה, אמנם גבוהים יותר מאשר בטיפול בדשן אוריאה אך לא באופן מובהק (טבלה 8 בנספח). אנו מניחים כי הסיבה לאי מובהקות זו נובעת מהשגיאה הלא מוסברת הגבוהה ביחס לשונות המוסברת של המודל הסטטיסטי.

3.2.2.2 שטפי N₂O – חת"ח

גם בשטפי החת"ח בדומה לפד"ח, לא נראתה פעילות משמעותית של שטפים במשך 40 הימים הראשונים עד לירידת מנת הגשם המשמעותית הראשונה בתאריכים 11-14 לחודש דצמבר, וכבר בתאריך 15/12/13 נמדדה עליה בפליטות החת"ח בכל טיפולי הקומפוסט וכן בטיפול הביקורת אף על פי שעדיין לא ניתנה בו מנת הדשן הכימי מסוג אוריאה (איור 4). בימים שלאחר מכן נמדדו שיאי הפליטה של חת"ח, כאשר ב 23/12/13 נמדד שטף של 0.07 מ"ג חנקן/מ"ר/שעה בטיפול ה- 6 מ"ק/דונם. תוצאה זו גבוהה באופן מובהק מיתר הטיפולים של ה-2, 4 מ"ק/דונם והביקורת בהם נמדדו השטפים הבאים: 0.015, 0.016 ו- 0.004 מ"ג חנקן/מ"ר/שעה בהתאמה (טבלה 9 בנספח).

בשונה מפליטות הפד"ח, פליטות החת"ח הראו יחסיות ומדרג בין טיפולי הקומפוסט. בדומה לפליטות הפד"ח, גם פליטות החת"ח בטיפול הדשן אוריאה הגיעו לשיאי השטפים לאחר יישום הדשן. כאשר ניתנה מנת הדשן השנייה של האוריאה עבר שטף החת"ח את השטפים מטיפולי הקומפוסט, לאורך כל הניסוי לא ניתן היה לאפיין מגמה ברורה ברמת ה- pH בקרקע, אולם לאחר יישום מנת הדשן השנייה ניתן היה להבחין (איור 3 בנספח) כי ישנה ירידה מרמה של 7.6 לרמה של 7.0 ב- pH הקרקע בטיפול האוריאה בלבד. ביתר הטיפולים כמעט ולא הייתה ירידת pH באותה עת.



איור 4. שטפי חת"ח וריכוזי אמון וחנקנה בקרקע בניסוי השדה בגילת לאורך 180 ימי הניסוי. 20, 40, 60 מייצגים את הטיפולים 2, 4, 6 מ"ק/דונם קומפוסט בהתאמה, control מייצג את טיפול הדישון באוריאה. אירועי דישון וגשם מוצגים באיור A. שטפי החת"ח השעתיים עם תכולת הרטיבות בקרקע, B- ריכוזי אמון בטיפולים השונים, C- ריכוזי ניטרט בטיפולים השונים.

שטפי החת"ח הגבוהים בטיפול ה- 6 מ"ק/דונם נמצאים בהתאמה לריכוזי האמון והניטרט בקרקע (איור 4) הגבוהים מיתר הטיפולים, וככל הנראה מהווים את הסיבה לפליטות החת"ח הגבוהות בטיפול זה ביחס לטיפולים השונים. בטיפול הדישון באוריאה ריכוזי האמון והניטרט עלו זמן קצר לאחר היישום. בהמשך הייתה ירידה בריכוז הניטרט, כנראה עקב קליטה על ידי הצמחים ותהליך הדה ניטריפיקציה, שגרם לעליה בשטפי החת"ח בטיפול זה.

ריכוזי האמון בשלושת הטיפולים האורגניים בתחילת הניסוי כאשר הקרקע הייתה יבשה היה בתחום 20 ל- 40 מ"ג/ק"ג. לאחר מנת הגשם הראשונה בשדה ריכוז האמון יורד כנראה בגלל תהליך הניטריפיקציה, ובמקביל עולה פליטת החת"ח. לאחר מכן יורד ריכוז האמון ל- 10 מ"ג/ק"ג בשלושת הטיפולים ונשאר כך עד לסוף הניסוי. ריכוזי הניטרט בטיפולים האורגניים בתחילת הניסוי כאשר הקרקע הייתה יבשה היו נמוכים, אולם לאחר מנת הגשם המשמעותית הראשונה חלה עליה בריכוז הניטרט לתקופה קצרה, לאחר מכן ירידה חדה ובהמשך עליות וירידות בריכוזי הניטרט בהתאם לתכולת הרטיבות בקרקע (איור 4).

הפליטה המצטברת מטיפול ה-6 מ"ק/דונם הייתה גבוהה באופן מובהק משאר הטיפולים, 573 גרם חנקן/הקטאר ב- 180 ימים (איור 4 בנספח), כאשר את עיקר הפליטה, כ-447 גרם חנקן/הקטאר הייתה ב- 75 הימים מתחילת הניסוי. טיפול ה-4 מ"ק/דונם קומפוסט פלט בסך הכל כ-340 גרם חנקן/הקטאר והיה השני בתרומתו לפליטות. טיפול ה-2 מ"ק/דונם קומפוסט וטיפול הביקורת עם הדשן הכימי החנקני פלטו במשך כל הניסוי 256 ו- 249 גרם חנקן/הקטאר בהתאמה.

החלק היחסי של החנקן שנפלט מהחנקן שהוסף כדשן כימי או כקומפוסט ברמות שונות היה נמוך מאוד ונע בין 0.107% ל- 0.145% (טבלה 10 בנספח).

3.2.3 תוצאות – נווה יער

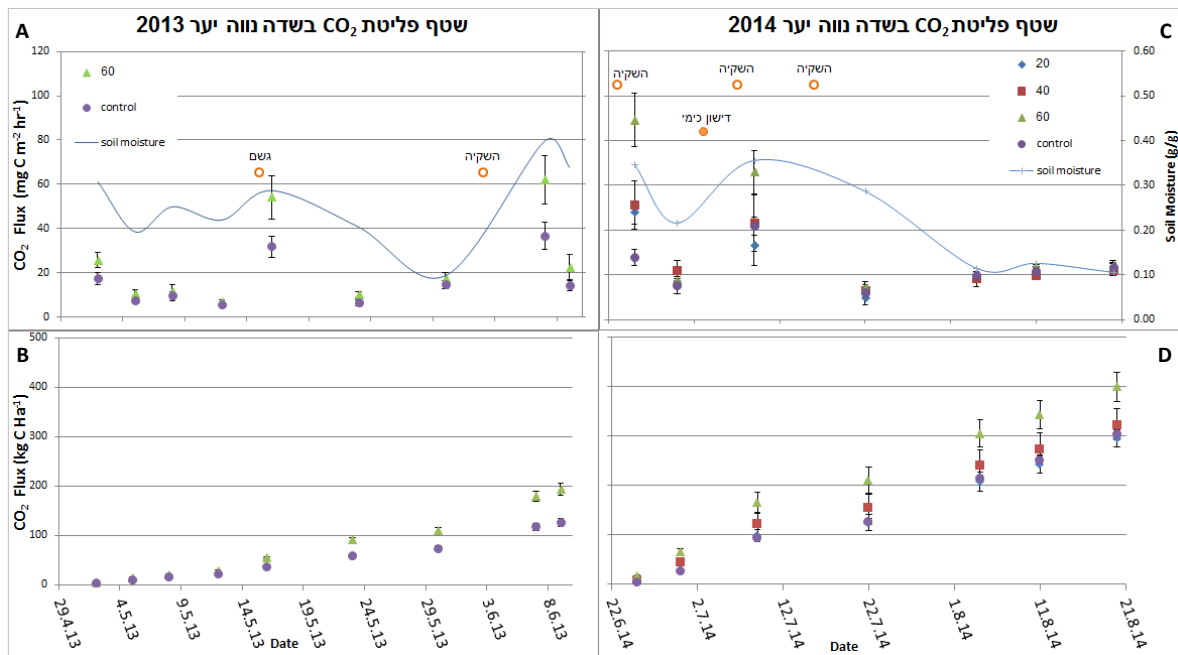
בניסוי השדה בנווה יער נערכו שתי תקופות של מדידות פליטות גזי חממה. החלק הראשון נערך באביב של 2013, לאחר שכאמור לא ייושם טיפול קומפוסט או דשן כימי לקרקע, אלא נערכה הצנעה אחידה של בקיה שגודלה כגידול מטייב. אי לכך נערכו מדידות רק בשני הטיפולים שלהם הצפי לשונות הוא הגדול ביותר, קרי טיפול ה-6 מ"ק/דונם קומפוסט וטיפול הביקורת. תקופת המדידה השנייה שנערכה בקיץ 2014 כללה יישום קומפוסט בהתאם לתוכנית הטיפולים ויישום דשן כימי מסוג אוריאה במנה אחת המותאמת לגידול התירס שהיא 25 ק"ג חנקן לדונם.

3.2.3.1 שטפי CO₂ – פד"ח

בתאריך 29/4/13 הוצנעה הבקיה בקרקע באופן אחיד בכל החלקות על ידי דיסקוס לעומק 30 ס"מ. המדידות נערכו בשדה לאחר מכן לאורך תקופה של 41 ימים עד לתחילת גידול הקיץ בשדה. התוצאות המוצגות באיור 5 מתארות את מהלך שטף פליטות הפד"ח לאורך הניסוי. השטפים השעתיים לאורך הניסוי ב- 2013 היו רוב הזמן מאוד דומים, אך הבדלים ניכרים ומובהקים התקבלו לאחר שני אירועי ההרטבה אשר מעוררים את פעילות הנשימה בקרקע ומגבירים את הפליטה. באירועים אלו פולט טיפול ה-6 מ"ק/דונם קומפוסט יותר מאשר הביקורת, ככל הנראה מאחר וחלקות אלו מכילות יותר חומר אורגני בר פירוק מן הדישון בשנים הקודמות. פליטת הפד"ח המצטברת בטיפול הביקורת ובטיפול ה-6 מ"ק/דונם

קומפוסט היו 126 ו-193 ק"ג פחמן/הקטאר בהתאמה, כאשר ההבדל בכמות הכללית הינו מובהק (טבלה 11 בנספח).

מהלך שטפי הפד"ח בניסוי בקיץ 2014 מוצג באיור 5. ב-22/6/14 פוזר הקומפוסט אך לא הוצנע בקרקע וביום למחרת הושקה השדה על מנת לעודד נביטת עשבים רעים לצורך פעולת התייחוח בהמשך. שלושה ימים לאחר פיזור הקומפוסט, ב-25/6/14 הגיעו שלושת טיפולי הקומפוסט לשיאי שטף הפליטה שלהם. ערכי פליטת הפד"ח היו 27, 47, 51, 89 מ"ג פחמן/ר"שעה לטיפולי ה-0, 2, 4, 6 מ"ק"דונם קומפוסט בהתאמה, כאשר ההבדל בין מנת הקומפוסט הגבוה לביקורת מובהק ואילו שתי המנות הנמוכות יותר אינן שונות במובהק מהביקורת ומהמנה הגבוהה ביותר (טבלה 12 בנספח). יש לציין כי במדידה שנערכה כשבועיים לפני יישום הקומפוסט בשדה הייתה פליטה כמעט אחידה בכל הטיפולים שהייתה סביב הערך של 7 מ"ג פחמן/מ"ר/שעה. חמישה ימים לאחר מכן ב-30/6/14 הייתה ירידה בשטפים בכל הטיפולים לערך של 15 מ"ג פחמן/מ"ר/שעה.



איור 5. מהלך שטפי הפד"ח השעתיים והמצטברים באביב 2013 ובקיץ 2014 בשדה בנווה יער. A- שטף שעתי יחד עם תכולת רטיבות הקרקע 2013, B- פליטה מצטברת 2013, C- שטף שעתי יחד עם תכולת רטיבות הקרקע 2014, D- פליטה מצטברת 2014.

בין התאריכים 3-7/7/14 ניתנה מנת הדשן מסוג אוריאה לחלקות הביקורת וכל השדה תוחח, כשלאחר מכן בוצעה זריעת התירס והשקיית השדה. בתום פעולות אלו, בתאריך 9/7/14, נערכה מדידה נוספת בה נצפתה כצפוי עליה בשטף פליטת הפד"ח. בדומה לשיא שנמדד בתחילת הניסוי, טיפול ה-6 מ"ק"דונם הציג את השטף הגבוה ביותר עם 65 מ"ג

פחמן/מ"ר/שעה, אך בשונה מתחילת הניסוי השטף מטיפול הביקורת היה במקום השני, 41 מ"ג פחמן/מ"ר/שעה, השטף מטיפול ה- 4 מ"ק/דונם ל- 40 מ"ג פחמן/מ"ר/שעה וטיפול ה- 2 מ"ק/דונם לערך של 33 מ"ג פחמן/מ"ר/שעה, כאשר הבדלים אלו אינם מובהקים (טבלה 12 בנספח).

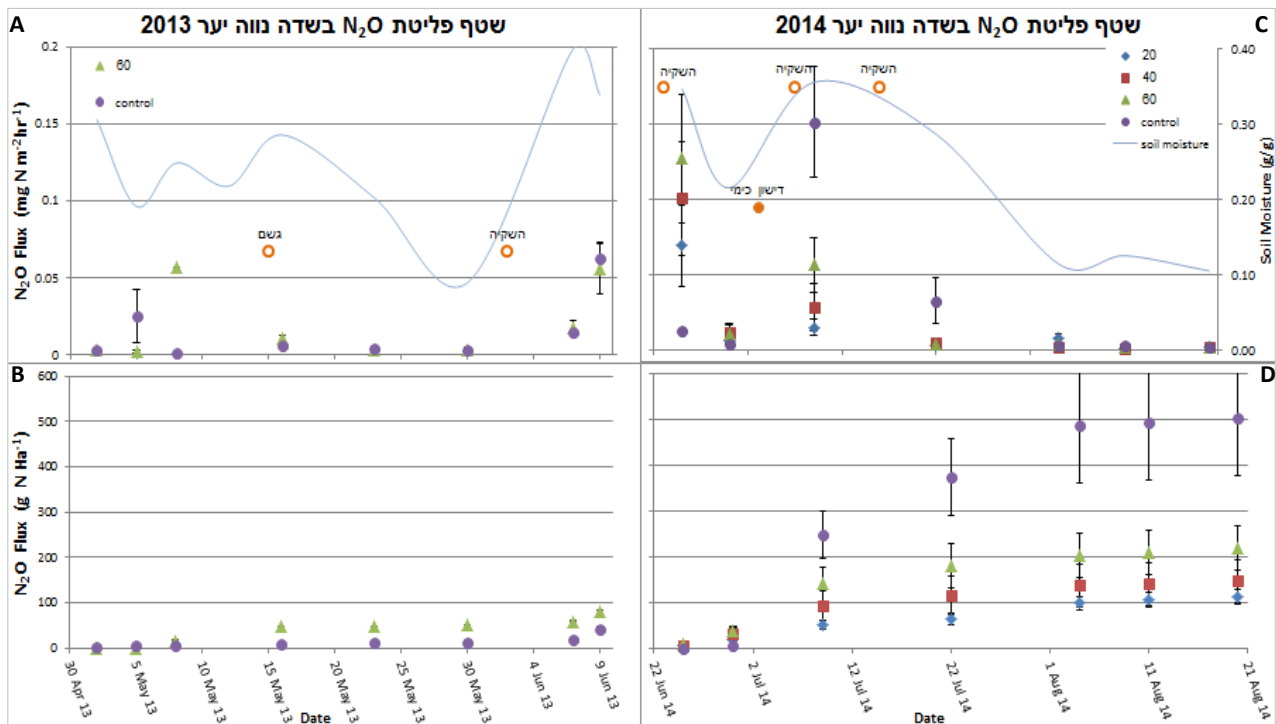
בסוף הניסוי ב-20/8/14 עומד הפליטה המצטברת מטיפול הקומפוסט ה- 6 מ"ק/דונם על 400 ק"ג פחמן/הקטאר. ביתר הטיפולים התוצאות מעט נמוכות יותר ועומדות על 295, 323 ו- 303 ק"ג פחמן/הקטאר לטיפול ה-2 וה- 4 מ"ק/דונם והביקורת בהתאמה.

3.2.3.2 שטפי N₂O – חת"ח

איור 6 מציג את תוצאות שטפי החת"ח בנווה יער באביב 2013 ובקיץ 2014. באופן דומה לשטפי הפד"ח שנמדדו בשנת 2013, התוצאות של שני הטיפולים מאוד דומות אחת לשנייה, פרט לאירוע אחד של עליה חדה בשטף פליטות החת"ח שהתרחש בתחילת הניסוי. בשונה מפליטות הפד"ח, פליטות החת"ח הגיעו לערכים גבוהים יחסית של שטף לפני ירידת הגשם וכמעט מיד לאחר הצנעת הבקיה בקרקע. באופן כללי כל פליטות החת"ח ב- 2013 היו מאוד נמוכות כשהבדלים בין התוצאות השונות הם זניחים, ככל הנראה כי השדה לא דושן באותה שנה. כמו כן ישנה שונות יחסית גדולה בין התוצאות המדודות באותו הטיפול, דבר אשר קורה לא פעם במדידות חת"ח בניסוי שדה, על כן שגיאות התקן גבוהות וקשה לעמוד על ההבדלים בין הטיפולים. בסופו של הניסוי הערכים שנמדדו בכל אחד מהטיפולים היו 42 גרם חנקן/הקטאר בטיפול הביקורת, ו-79 גרם חנקן/הקטאר בטיפול ה- 6 מ"ק/דונם קומפוסט (טבלה 13 בנספח).

ריכוזי האמון בקרקע בניסוי האביב 2013 היו יציבים לאורך כל הניסוי, ואילו ריכוז הניטרט בשני הטיפולים ירד עם הזמן, ירידה המלווה בעליה של שטפי החת"ח בטיפול ה- 6 מ"ק/דונם בלבד כשלאחר מכן התייצבות בריכוז הניטרט יחד עם שטפי חת"ח אפסיים (איור 6 בנספח). בדומה לפליטות הפד"ח גם בפליטות החת"ח ב-2014 נרשם שיא הפליטה בטיפול הקומפוסט כבר לאחר שלושה ימים מיישום הקומפוסט בשדה (איור 6). השטפים שנמדדו באותה עת היו 0.12, 0.10 ו- 0.06 מ"ג חנקן/מ"ר/שעה לטיפול ה- 2,4,6 מ"ק/דונם קומפוסט. באותה מדידה השטף שנמדד בטיפול הביקורת שכזכור עדיין לא ייושם בו הדשן הכימי אוריאה היה 0.01 מ"ג חנקן/מ"ר/שעה. בדומה לפליטות הפד"ח גם בפליטות החת"ח חלה ירידה משמעותית לאחר מדידת השיא, כשעליה נצפתה רק לאחר יישום הדשן הכימי והשקיית השדה שכללה גם את תיחוח השדה וזריעת התירס. עד לסוף הניסוי ב-20/8/14 חלה ירידה משמעותית בשטפים עם התייצבות על ערכים אפסיים של 0.002 מ"ג חנקן/מ"ר/שעה, בדומה לערכים שנמדדו לפני יישום הקומפוסט והדשן הכימי השדה. בדומה לפליטות הפד"ח ב- 2014, פליטות החת"ח מאופיינות בסדר ברור של עוצמות השטפים

בזמנים בהם נמדדו שטפי שיא. טיפול הקומפוסט הגבוה ביותר פולט את שטף החת"ח הגבוה ביותר וכך הולכים השטפים ונחלשים בהתאם לגודל מנת הדישון. טיפול הדישון באוריאה שניתן כמנה אחת מעלה את שטף החת"ח בצורה קיצונית מיד לאחר היישום ותוך ימים אחדים חוזר כצפוי לרמתו הנמוכה, כפי שנצפה בעבודות דומות שנערכו בניסויי שדה (24). העליה בשטף החת"ח לאחר הדישון מלווה בעליה ניכרת בריכוז האמון בקרקע מריכוז של 74 מ"ג/ק"ג לריכוז 443 מ"ג/ק"ג (איור 8 בנספח). כצפוי לאחר עליה זו חלה ירידה משמעותית בריכוז האמון עד לסוף הניסוי כשריכוזו ירד לערכים קרובים לאפס. ריכוז הניטרט לא עולה מיד לאחר הירידה באמון כפי שמצופה בעקבות תהליך הניטריפיקציה אלא רק לאחר יותר משבועיים, אז עולה ריכוז הניטרט ומתייצב סביב 190 מ"ג/ק"ג (איור 8 בנספח). בניגוד לטיפול האוריאה, בשלושת טיפולי הקומפוסט לא ניתן להבחין במגמה ברורה של עליה או ירידה בריכוזי האמון והניטרט ביחס לפליטות החת"ח.



איור 6. מהלך שטפי החת"ח השעתיים והמצטברים באביב 2013 ובקיץ 2014 בשדה בנווה יער. A- שטף שעתי יחד עם תכולת רטיבות הקרקע 2013, B- פליטה מצטברת 2013, C- שטף שעתי יחד עם תכולת רטיבות הקרקע 2014, D- פליטה מצטברת 2014.

ערכי ה-pH בקרקע בניסוי קיץ 2014 ירדו לאחר יישום הדשן אוריאה, אולם הירידה מתרחשת בכל הטיפולים לכן קשה לשייך זאת להתפרקות הדשן ובהמשך הניסוי מתרחשת עליה ב-pH חזרה לרמה ההתחלתית (איור 8 בנספח).

עיקר פליטת החת"ח בטיפולי הקומפוסט הייתה עד ל-16/7/14, 140, 93 ו-51 גרם חנקן/הקטאר בטיפולי ה-2,4,6 מ"ק/דונם קומפוסט. באופן שונה הפליטה מטיפול הביקורת

המשיכה לעלות בחדות עד ל-4/8/14, 486 גרם חנקן/הקטאר וסך הכול הפליטה בטיפול הביקורת לאחר כ- 60 ימים הייתה 501 גרם חנקן/הקטאר, יתר הטיפולים הגיעו לערכים של 147,217 ו- 112 גרם חנקן/הקטאר לטיפולי ה- 2,4,6 מ"ק/דונם קומפוסט (טבלה 14 בנספח).

סך פליטת החת"ח המצטברת לאורך הניסוי בנווה יער מהווה חלק קטן מאוד מכמות החנקן הכללית שיושמה כקומפוסט, בין 0.037% ל- 0.058% ו- 0.2% מהאוריאה (טבלה 15 בנספח).

4. דיון (כולל מסקנות המחקר)

4.1 פליטת גזי חממה מהקרקע

יישום דשנים אורגניים וכימיים בקרקע חקלאית אורגנית הגבירו את פליטת גזי החממה מהקרקע בפרק הזמן של שבועות ספורים מן היישום. התופעה נצפתה בניסוי הליזימטרים וכן בניסוי השדה. שטפי המתאן בניסויים שהתקיימו בעבודה זו, היו זניחים. בתנאי הניסוי שאופייניים לגידולי שדה בישראל ייצור המתאן זניח, או שנפלט בכמות קטנה מאוד שנצרכת על ידי מיקרואורגניזמים בקרקע טרם היציאה לאטמוספירה. שני גזי החממה שנפלטו בכמויות הניתנות למדידה היו פד"ח וחת"ח. בניסוי השדה בגילת עיקר פליטות גזי החממה התרחשו בתוך 30 ימים מרגע הרטבת הקרקע, אולם תקופה זו החלה רק כ- 40 ימים לאחר יישום הקומפוסט. בניסוי השדה בנווה יער עיקר הפעילות היתה בתקופה של שלושה שבועות שהתרחשה מיד לאחר יישום הקומפוסט.

בחינת פליטות החת"ח הכוללות שנמדדו בעבודה זו אל מול נתונים מן הספרות מעלה כי רמות החת"ח היו נמוכות בהשוואה למקובל בניסויי שדה המדושנים בדשן אורגני. בסקירה רחבה של ניסויים דומים שנערכו באקלים ים תיכוני מראים (40) כי פליטת החת"ח הממוצעת בשנה אחת בעת שימוש בדשנים אורגניים מוצקים עם עומס חנקן דומה מגיעות לכדי 3.1 kg N/Ha אל מול 0.11 kg N/Ha שנפלטו בנווה יער ו- 0.25 kg N/Ha שנפלטו בגילת. הפליטות המצטברות בנווה יער וגילת נמוכות בסדר גודל מן המוצג בספרות, אולם חשוב לציין כי פרק הזמן שנמדד בהם קצר פי 6 ו- 2 בהתאמה. שימוש בדשנים כימיים קונבנציונאליים בניסויים שנסקרו עם דישון של 159 kg N/Ha הראו פליטת חת"ח ממוצעת של 5.2 kg N/Ha בשנה, גבוה לעומת נווה יער עם 0.5 kg N/ha ודישון של 250 kg N/Ha, וגילת עם פליטה של 0.25 kg N/Ha ודישון של 200 kg N/Ha.

השוואה של פליטות הפד"ח המצטברות עם ניסויי שדה דומה שבוצע על גידול שעורה בספרד (41) מראה כי בניגוד להבדלים הגדולים בפליטות החת"ח, פליטות הפד"ח שהתקבלו בעבודה זו בניסויי השדה הן בתוך התחום שפורסם בספרות. בניסוי השדה בספרד יושם קומפוסט המכיל 1720 kg C/Ha ונמדדה פליטה במשך 140 ימים, סך הפליטה המצטברת היתה 439 kg C/Ha. בניסוי בגילת לשם השוואה יושמה מנה של 2200 kg C/Ha

כשהפליטה שנמדדה לאורך 180 ימים היתה 1183 kg C/Ha . הפליטה בגילת גבוהה יותר מאשר בספרד, אולם יש להתחשב כי הניסוי ארוך יותר ומנת הפחמן גבוהה במאות ק"ג. בניסוי בנווה יער יושמה מנת פחמן של 2470 kg C/Ha ונמדדה פליטה של 296 kg C/Ha לאחר 60 ימים. במקרה זה הפליטה נמוכה מאשר בספרד למרות שמנת הפחמן בנווה יער גבוה יותר, אך יש להתחשב בכך שבעבודה הנוכחית הניסוי נמשך רק חצי מן הזמן שארך הניסוי בספרד.

ייתכן שהתוצאות הנמוכות יחסית של הפליטה המצטברת של גזי החממה ובמיוחד החת"ח אינן קשורות רק לגורמים ביולוגיים, פיזיים וכימיים כי אם גם לשיטת הערכה של פליטות גזי החממה המצטברות. אומנם באינטגרציה של שטפים שעתיים בצענו תיקון לטמפרטורה כפי שהציעו (24, 11), אך לא בדקנו שהתיקון הזה מתאים לתנאים שלנו. ייתכן גם ששימוש בתא הסטטי גורם להפחתת הפליטה עקב כיסוי הקרקע. על אף חסרונות אלו חשוב לציין כי שיטה זו נבחנה במחקרים רבים והשוותה לשיטות אחרות ונמצא כי הסטיות במדידות השטף לא היו גדולות (42). לעומת זאת הועלתה ביקורת על השימוש בשיטה לאינטגרציה למשך זמן ארוך ולהערכת הפליטה לכול שטח השדה על פי השטח הקטן שבתאי המדידה (43).

מסקנות והמלצות

פליטות הגזים CO_2 ו- N_2O גבוהות מזבל (האורגניקום) מאשר מקומפוסט ויישום דשן חנקני בבסיס מוביל לפליטה גבוהה יחסית של N_2O אולם בכל הניסויים הפליטות המירביות היו קטנות בסדר גודל מהערך 1% שנקבע ע"י הפאנל הבין לאומי לשינוי אקלים (IPCC). פליטת CO_2 גבוה יותר בקרקעות קלות מאשר בקרקעות כבדות. יישום דשן חנקני אמוניקלי או זבל לקרקע גורם להמסת גיר שתורם לפליטת CO_2 . הגדלת מנת הקומפוסט בשדה תורמת להגדלת קבוע הפחמן בקרקע, אך הגדילה את פליטת ה- N_2O בשני האתרים ואת ה- CO_2 בנווה יער. רטיבות הקרקע הייתה הגורם המגביל לפליטות גזי החממה בשני האתרים ובמיוחד בגילת. להערכה שלמה של פליטת גזי החממה מזבלים וקומפוסטים יש למדוד ולהעריך את פליטות גזי החממה בתהליכי הקומפוסטציה, ההובלה לשדה והפיזור בשדה. יש לבחון שיטות נוספות למדידה רציפה של פליטת גזי החממה ובסקלת השדה.

5. פרוט הפרסומים המדעיים: טרם פורסמו מאמרים הנובעים ממחקר זה.

הרצאות ופוסטרים בכנסים:

בן נעים נ., א. בר-טל, מ. רביב. 2013. השפעת הממשק וגורמי הסביבה על פליטת גזי חממה מן הקרקע. כנס האגודה הישראלית למדעי הקרקע. הטכניון, חיפה.

בן נעים נ., א. בר-טל, מ. רביב. 2014. השפעת הממשק וגורמי הסביבה על פליטת גזי חממה מן הקרקע. כנס האגודה הישראלית לאקולוגיה וסביבה. אוניברסיטת בר-אילן.

בר-טל, א., ה. הלר, פ. פיין, ה. הכט, נ. בן נעים, מ. רביב, ג. לוי, י. לאור, א. ירמיהו. 2013.

פליטת גזי חממה ביישום דשנים אורגנים בחקלאות. כנס האגודה הישראלית לאקולוגיה ומדעי הסביבה. הפקולטה לחקלאות ומדעי הסביבה, רחובות.

1. IPCC Fourth Assessment Report climate system 1960 is.
2. J. Koch, U. Dayan, a Mey-Marom, Inventory of emissions of greenhouse gases in Israel. *Water. Air. Soil Pollut.*, 259–271 (2000).
3. J. Koch, U. Dayan, S. Amir, Stabilization of atmospheric concentrations of greenhouse gases. *Clim. Change*. **57**, 227–241 (2003).
4. J. Bellarby, B. Foereid, A. F. S. J. Hastings, P. Smith, Cool Farming : Climate impacts of agriculture and mitigation potential (2008) (available at <http://hdl.handle.net/2164/2205>).
5. R. Lal, Carbon sequestration in dryland ecosystems. *Environ. Manage.* **33**, 528–544 (2004).
6. W. H. Schlesinger, CARBON AND AGRICULTURE:Carbon Sequestration in Soils. *Science (80-.)*. **284**, 2095–2095 (1999).
7. M. Raviv, 6 Sustainability of Organic Horticulture. *Hortic. Rev. (Am. Soc. Hortic. Sci)*. **36**, 289 (2010).
8. W. Ding, L. Meng, Y. Yin, Z. Cai, X. Zheng, CO₂ emission in an intensively cultivated loam as affected by long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer. *Soil Biol. Biochem.* **39**, 669–679 (2007).
9. J. M. F. Johnson, A. J. Franzluebbers, S. L. Weyers, D. C. Reicosky, Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environ. Pollut.* **150**, 107–124 (2007).
10. S. K. Jones, R. M. Rees, U. M. Skiba, B. C. Ball, Greenhouse gas emissions from a managed grassland. *Glob. Planet. Change*. **47**, 201–211 (2005).
11. T. B. Parkin, T. C. Kaspar, Temperature Controls on Diurnal Carbon Dioxide Flux. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **67**, 1763 (2003).
12. M. a. a. Adviento-Borbe *et al.*, Soil Greenhouse Gas and Ammonia Emissions in Long-Term Maize-Based Cropping Systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **74**, 1623 (2010).
13. F. Alluvione, A. D. Halvorson, S. J. Del Grosso, Nitrogen, Tillage, and Crop Rotation Effects on Carbon Dioxide and Methane Fluxes from Irrigated Cropping Systems. *J. Environ. Qual.* **38**, 2023 (2009).

14. H. Heller *et al.*, Effects of manure and cultivation on carbon dioxide and nitrous oxide emissions from a corn field under Mediterranean conditions. *J. Environ. Qual.* **39**, 437–448 (2007).
15. S. Mariko, T. Urano, J. Asanuma, Effects of irrigation on CO₂ and CH₄ fluxes from Mongolian steppe soil. *J. Hydrol.* **333**, 118–123 (2007).
16. J. E. T. McLain, D. a. Martens, Moisture Controls on Trace Gas Fluxes in Semiarid Riparian Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **70**, 367 (2006).
17. D. C. Reicosky *et al.*, Effect of residue management and controlled traffic on carbon dioxide and water loss. *Soil Tillage Res.* **52**, 159–165 (1999).
18. B. a. Stevenson, P. S. J. Verburg, Effluxed CO₂-13C from sterilized and unsterilized treatments of a calcareous soil. *Soil Biol. Biochem.* **38**, 1727–1733 (2006).
19. G. Tamir *et al.*, Can Soil Carbonate Dissolution Lead to Overestimation of Soil Respiration? *Soil Sci. Soc. Am. J.* **75**, 1414 (2011).
20. a C. Tortoso, G. L. Hutchinson, Contributions of Autotrophic and Heterotrophic Nitrifiers to Soil NO and N₂O Emissions. *Appl. Environ. Microbiol.* **56**, 1799–1805 (1990).
21. C. Chang, H. H. Janzen, C. M. Cho, Nitrous Oxide Emission From Long-Term Manured Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **62**, 677 (1998).
22. M. S. Mkhabela, R. Gordon, D. Burton, a. Madani, W. Hart, Effect of lime, dicyandiamide and soil water content on ammonia and nitrous oxide emissions following application of liquid hog manure to a marshland soil. *Plant Soil.* **284**, 351–361 (2006).
23. A. R. Mosier, A. D. Halvorson, C. a Reule, X. J. Liu, Net global warming potential and greenhouse gas intensity in irrigated cropping systems in northeastern Colorado. *J. Environ. Qual.* **35**, 1584–1598 (2006).
24. T. B. Parkin, T. C. Kaspar, Nitrous oxide emissions from corn-soybean systems in the midwest. *J. Environ. Qual.* **35**, 1496–1506 (2006).
25. P. Rochette *et al.*, Soil Carbon and Nitrogen Dynamics Following Application of Pig Slurry for the 19th Consecutive Year. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **64**, 1396 (2000).
26. R. S. B.-T. Antil, Predicting Nitrogen and Carbon Mineralization of Composted Manure and Sewage Sludge in Soil. *Compost Sci. Util.* **19**, 33–43 (2011).

27. O. Singurindy, B. K. Richards, M. Molodovskaya, T. S. Steenhuis, Nitrous Oxide and Ammonia Emissions from Urine-Treated Soils. *Vadose Zo. J.* **5**, 1236 (2006).
28. H. C. Flynn, P. Smith, Greenhouse gas budgets of crop production : current and likely future trends (2010) (available at <http://hdl.handle.net/2164/1275>).
29. T. W. Willison, K. W. T. Goulding, D. S. Powlson, Effect of land-use change and methane mixing ratio on methane uptake from United Kingdom soil. *Glob. Chang. Biol.* **1**, 209–212 (1995).
30. P. Boeckx, O. Van Cleemput, Methane Oxidation in a Neutral Landfill Cover Soil: Influence of Moisture Content, Temperature, and Nitrogen-Turnover. *J. Environ. Qual.* **25**, 178 (1996).
31. D. Seghers *et al.*, Long-term effects of mineral versus organic fertilizers on activity and structure of the methanotrophic community in agricultural soils. *Environ. Microbiol.* **5**, 867–877 (2003).
32. P. Boeckx, O. Van Cleemput, T. Meyer, The influence of land use and pesticides on methane oxidation in some Belgian soils. *Biol. Fertil. Soils.* **27**, 293–298 (1998).
33. A. Priemé, F. Ekelund, Five pesticides decreased oxidation of atmospheric methane in a forest soil. *Soil Biol. Biochem.* **33**, 831–835 (2001).
34. E. Topp, Effects of selected agrochemicals on methane oxidation by an organic agricultural soil. *Can. J. Soil Sci.* **73**, 287–291 (1993).
35. J. Baker *et al.*, GRACEnet Chamber-based Trace Gas Flux Measurement Protocol, 28 (2003).
36. T. Harrison-Kirk, M. H. Beare, E. D. Meenken, L. M. Condrón, Soil organic matter and texture affect responses to dry/wet cycles: Effects on carbon dioxide and nitrous oxide emissions. *Soil Biol. Biochem.* **57**, 43–55 (2013).
37. C. R. Butterly, E. K. Bünemann, A. M. McNeill, J. a. Baldock, P. Marschner, Carbon pulses but not phosphorus pulses are related to decreases in microbial biomass during repeated drying and rewetting of soils. *Soil Biol. Biochem.* **41**, 1406–1416 (2009).
38. I. Bertrand, O. Delfosse, B. Mary, Carbon and nitrogen mineralization in acidic, limed and calcareous agricultural soils: Apparent and actual effects. *Soil Biol. Biochem.* **39**, 276–288 (2007).

39. J. M.-F. Johnson, A. J. Franzluebbers, S. L. Weyers, D. C. Reicosky, Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environ. Pollut.* **150**, 107–24 (2007).
40. E. Aguilera, L. Lassaletta, A. Sanz-Cobena, J. Garnier, A. Vallejo, The potential of organic fertilizers and water management to reduce N₂O emissions in Mediterranean climate cropping systems. A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* **164**, 32–52 (2013).
41. A. Meijide, L. M. Cárdenas, L. Sánchez-Martín, A. Vallejo, Carbon dioxide and methane fluxes from a barley field amended with organic fertilizers under Mediterranean climatic conditions. *Plant Soil.* **328**, 353–367 (2010).
42. J. Pumpanen *et al.*, Comparison of different chamber techniques for measuring soil CO₂ efflux. *Agric. For. Meteorol.* **123**, 159–176 (2004).
43. M. C. Myklebust, L. E. Hipps, R. J. Ryel, Comparison of eddy covariance, chamber, and gradient methods of measuring soil CO₂ efflux in an annual semi-arid grass, *Bromus tectorum*. *Agric. For. Meteorol.* **148**, 1894–1907 (2008).

44. שפט, ז.ק.ו. 2002. גזי חממה בישראל - עדכון מצאי פליטות וקליטות לשנת 2000

סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.

בחינת השפעת הממשק החקלאי על פליטת גזי החממה מחקלאות אורגנית בהשוואה לקונבנציונאלית בקרקעות ואזורי אקלים שונים בארץ. כימות קבוע הפחמן לקרקע ותרומת המקורות השונים לפליטת הפחמן. מטרות העבודה הפרטניות היו: בחינת פליטת גזי החממה כתלות בסוג הממשק, כמות הדשנים האורגניים המוספים, סוג הדשנים האורגניים והאנאורגניים המוספים על בסיס כמות חנקן שווה, ותכונות הקרקע השונות.

עיקרי הניסויים והתוצאות:

ניסוי הליזימטרים: השפעת סוג התוסף (קומפוסט בקר, זבל פטמים מפוסטר (אורגניקום) ודשן (אמון גופרתי)) וסוג הקרקע על פליטת גזי החממה CO_2 ו- N_2O נלמדה בניסוי ליזימטרים. בכול הטיפולים מנת חנקן שווה, 346 ק"ג חנקן/הקטאר. דיגום גזי החממה בוצע בשיטת התא הסטטי והאנליזה של הגזים CO_2 ו- N_2O בגז כרומטוגרף. התרומה היחסית של החומר האורגני והגיר לפליטת CO_2 חושבה ע"י אנליזת האיזוטופים היציבים ^{12}C ו- ^{13}C . הממצאים העיקריים: פליטת מתאן הייתה זניחה ומתחת לרמת הבדיקה בניסוי הליזימטרים וגם בניסויי השדה במשך כול תקופת הניסויים. פליטות N_2O המצטברות במשך 50 ימי הניסוי מטיפולי הקומפוסט בקר, אורגניקום והאמון הגופרתי (ממוצע לכול הקרקעות) היו: 1.09, 1.90 ו- 1.95 (גרם חנקן/הקטאר), בהתאמה. פליטות CO_2 מהטיפולים הללו (ממוצע לכול הקרקעות) היו: 407, 681 ו- 378 (ק"ג פחמן/הקטאר), בהתאמה. הפליטה המצטברת של גזי החממה CO_2 ו- N_2O מהאורגניקום הקל פירוק הייתה גבוהה באופן מובהק מאשר מהקומפוסט היציב, כאשר הפליטה המצטברת של N_2O מדשן אמון גופרתי הייתה דומה לאורגניקום ואילו הפליטה המצטברת של CO_2 הנמוכה ביותר הייתה בטיפול באמון גופרתי, אבל לא שונה במובהק מהקומפוסט. הפליטה המצטברת של CO_2 עלתה ככול שמרקם הקרקע היה חולי יותר וגורמי קרקע נוספים שהגבירו את הפליטה היו תכולת חומר אורגני ותכולת הגיר. בקרקעות הגירניות בניסוי, עדן, גילת ונה יער, תרומת הגיר לפליטות CO_2 בטיפול הקומפוסט הייתה כ-31%, 12% ו-51%, בטיפול האורגניקום 25%, 1.8% ו-34%, ובטיפול האמון גופרתי 72%, 26% ו-80%, בהתאמה. לא מצאנו קשר ברור בין תכונות הקרקע שנבחנו (מרקם, תכולת חומר אורגני וגיר) לפליטה המצטברת של N_2O . באופן בולט השטפים והפליטה המצטברת הגבוהים ביותר של CO_2 היו מקרקע בית דגן החולית ואילו השטפים והפליטה המצטברת של N_2O מטיפול זה היו מהנמוכים ביותר.

ניסויי השדה: בגילת נבדקה ההשפעה של דישון קונבנציונלי באוריאה לעומת טיפולים אורגנים בשלושה מינונים של קומפוסט (2, 4 ו-6 מ³דונם) על פליטת גזי החממה (פד"ח, מתאן חת"ח). בנווה-יער נעשו מדידות בשתי שנים: ב-2013 נבדקה ההשפעה השאריתית משנים קודמות של יישום קומפוסט ברמה גבוהה של 6 מ³דונם לעומת דישון קונבנציונלי בדשן מינרלי בלבד על פליטת גזי החממה (פד"ח, מתאן חת"ח). ב-2014 נבדקו טיפולי דישון קונבנציונלי באוריאה לעומת שלושת רמות יישום קומפוסט כמו בגילת.

בניסויי השדה בגילת סך פליטת CO_2 המצטברת לאחר 180 ימים הייתה (ק"ג פחמן/הקטאר):

1190, 1182, 969 לטיפולי ה-20, 40, 60 מ³/הקטאר והביקורת בהתאמה. לא ברור לנו מדוע ההפרשים בין מנות הקומפוסט היו קטנים ולא מובהקים. סיבות אפשריות: הקומפוסט היה בשל מדי ולא פעיל, השונות בפיזור והסטיה האקראית בדגימה טשטשו את ההבדלים בין הטיפולים. לעומת זאת הבדלים ברורים התקבלו בשטפים ובפליטה המצטברת של N₂O בין הטיפולים. סך פליטת N₂O המצטברת הייתה (ק"ג חנקן/הקטאר): 0.256, 0.340, 0.573 ו-0.279 בהתאמה. בניסוי זה התקבלה השפעה מכרעת של רטיבות הקרקע על שטפי הפליטה, כאשר שטפי הפליטה של שני גזי החממה היו נמוכים מאוד כאשר הקרקע הייתה יבשה ב-40 הימים הראשונים לאחר יישום הקומפוסט. השטפים של שני הגזים גברו לאחר כול אירוע גשם. בדישון באמון גופרתי בפיצול לשני מועדי יישום התקבלו שיאי שטפים לזמן קצר לאחר היישום. שטפי הפד"ח היו בסדר גודל דומה לאלו שנמדדו בליזימטרים בשנה הקודמת ואילו שטפי החת"ח קטנים בסדר גודל.

בנווה יער בשנת 2013 מצאנו השפעה שאריתית של הטיפול האורגני ברמת הקומפוסט הגבוהה (6 מ³/דונם) על פליטת שני גזי החממה. בשני הטיפולים שטפים גבוהים של פד"ח נמדדו אחרי גשם או השקיה ועיבוד הקרקע. לעומת זאת שטף גבוה מאוד של חת"ח נמדד לאחר הצנעת הבקיה, בארוע זה היה הפרש גדול ומובהק בין טיפול הקומפוסט לביקורת. בהמשך בשני הטיפולים שטפי החת"ח היו נמוכים עד ההשקיה ביום ה-37 שהגבירה באופן דומה את פליטת החת"ח בשני הטיפולים. בניסוי בנווה יער בשנת 2014 שבה היה יישום של קומפוסט בשלוש רמות ושל אוריאה ביישום אחד בבסיס הפליטה המצטברת של CO₂ לאחר 60 ימי הניסוי הייתה (ק"ג פחמן/הקטאר): 0.295, 0.323, 0.399 ו-0.303 מטיפולי ה-20, 40, 60 מ³/הקטאר והביקורת, בהתאמה. כאשר הפליטה מרמת הקומפוסט הגבוהה הייתה גבוהה באופן מובהק מאשר משאר הטיפולים. הפליטה המצטברת של N₂O הייתה (ק"ג חנקן/הקטאר): 0.217, 0.147, 0.112 ו-0.501 בהתאמה. גם כאן, כמו בגילת ישנו דירוג ברור לפי מנות הקומפוסט. לעומת זאת הפליטה מטיפול הביקורת הייתה גבוהה באופן מובהק מטיפולי הקומפוסט כולל המנה הגבוהה ביותר, כנראה כתוצאה מיישום הדשן בבסיס במנה אחת.

מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?
פליטות הגזים CO₂ ו-N₂O גבוהות מזבל (האורגניקום) מאשר מקומפוסט ויישום דשן חנקני בבסיס מוביל לפליטה גבוהה יחסית של N₂O אולם בכל הניסויים הפליטות המירביות היו קטנות בסדר גודל מהערך 1% שנקבע ע"י הפאנל הבין לאומי לשינוי אקלים (IPCC).
פליטת CO₂ גבוה יותר בקרקעות קלות מאשר בקרקעות כבדות.
יישום דשן חנקני אמוניקלי או זבל לקרקע גורם להמסת גיר שתורם לפליטת CO₂.
הגדלת מנת הקומפוסט בשדה תורמת להגדלת קבוע הפחמן בקרקע, אך הגדילה את פליטת ה-N₂O בשני האתרים ואת ה-CO₂ בנווה יער.
רטיבות הקרקע הייתה הגורם המגביל לפליטות גזי החממה בשני האתרים ובמיוחד בגילת.
להערכה שלמה של פליטת גזי החממה מזבלים וקומפוסטים יש למדוד ולהעריך את פליטות גזי החממה

<p>בתהליכי הקומפוסטציה, ההובלה לשדה והפיזור בשדה.</p>
<p>בעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנתרה לביצוע תוכנית המחקר?</p>
<p>התקדמות המחקר בהתאם למתוכנן והמטרות העיקריות הושגו בתקופת המחקר. אם זאת לפי הפליטה המצטברת של CO₂ בניסויי השדה רוב הפחמן קובע בקרקע, כאשר הערכים שהתקבלו מצביעים על הערכת חסר של פליטת ה-CO₂. לכן לדעתנו יש לבחון שיטות נוספות למדידה רציפה של פליטת גזי החממה ובנוסף לבחון שיטות המאפשרות מדידה של כלל הפליטה בסקלת השדה, כלומר מיחידת שטח גדולה בכמה סדרי גודל מהשטח הנמדד בתא הסטטי. מבחינת הערכת הקיימות של חקלאות אורגנית לעומת קונבנציונלית ושל יישום קומפוסט ברמות שונות יש לבצע מחקר של אנליזת LCA (Life Cycle Assessment) שתכלול הערכה שלמה של פליטת גזי החממה מזבלים וקומפוסטים בתהליכי הייצור של הדשן (קומפוסט, אורגניקום, דשן כימי), ההובלה לשדה והפיזור בשדה.</p>
<p>הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - <u>ציטוט</u> ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי; פטנטים - יש לציין שם ומס' פטנט; הרצאות וימי עיון - יש לפרט מקום, תאריך, ציטוט ביבליוגרפי של התקציר כמקובל בפרסום מאמר מדעי.</p>
<p>ראה סעיף 5 בדוח.</p>
<p>פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)</p>
<p><input type="checkbox"/> <u>רק בספריות</u></p>
<p><input type="checkbox"/> ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט) - כן</p>
<p><input type="checkbox"/> חסוי – לא לפרסם.</p>
<p>האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי?</p> <p style="text-align: right;">לא</p>

נספח

טבלה 1: מספר תכונות מאפיינות של הקרקעות שנכללו בניסוי הליזימטרים

Variable		בית				
		דגן	עדן	רמת הגולן	גילת	נווה יער
Clay	(%)	28.7	48.7	40.7	24.7	58.7
Silt	(%)	11.2	39.2	39.2	35.2	33.2
Sand	(%)	60.1	12.1	20.1	40.1	8.1
BD	(gr/cm ³)	1.38	1.30	1.28	1.41	1.37
FC 1/3 atm	(% w/w)	20.7	26.9	28.2	19.1	29.0
CaCO ₃	(%)	0.4	43.31	0.15	18.49	10.89
CEC	(meq/100gr)	17.2	32.7	34.9	9.4	70.8
pH		6.99	8.23	6.32	7.80	7.55
N-NO ₃	(mg/kg)	2.1	7.4	8.5	1.6	44.2
N-NH ₄	(mg/kg)	20.7	15.1	20.2	9.2	11.1
TOC	(%)	1.22	1.34	1.90	0.67	1.36
TON	(%)	0.11	0.13	0.17	0.08	0.14
C/N		11.02	10.34	11.17	8.87	9.52

הגדרת המשתנים בטבלה: BD – צפיפות גושית, FC – קבול שדה, CEC – קבול קטיונים חליפיים, TOC – תכולת פחמן אורגני בקרקע, TON – תכולת חנקן אורגני בקרקע, C/N – יחס פחמן אורגני לחנקן אורגני בקרקע.

טבלה 2. מדדים של התוספים והכמות שהוספה לקרקעות בניסוי הליזימטרים בבית דגן.

Variable	unit	Compost	Organicum	(NH ₄) ₂ SO ₄
Bulk density	g cm ⁻³	0.67		
Dry Matter	%	76	60	
Organic matter	% w/w	29	55.5	
Organic carbon	% w/w	17.3	32.2	
Organic nitrogen	% w/w	1.7	4.3	
Total N content	%			21
C/N		10.1	7.5	
pH		8.4		
EC	dS m ⁻¹	7.3		
N-NO ₃ ⁻	mg kg ⁻¹	19.1	0.196	
N-NH ₄ ⁺	mg kg ⁻¹	1398	4776	
Applied Amendment	g/pot	118.8	48.1	9.8
Applied C	g/pot	20.6	15.5	0
Applied N	g/pot	2.05	2.05	2.05

טבלה 3: שטפי פליטת גזי CO₂ ו-N₂O בניסוי הליזימטרים בשלושה מועדי הדיגום שבהם נצפו שיאי הפליטה (4, 7, ו-11 ימים מיישום הדשן) והפליטה המצטברת בתקופה של 49

ימים מהיישום

Days from amendment	4		7		11		cumulative		
emitted gas/ Soil	LSMeans								
	CO ₂	N ₂ O	CO ₂	N ₂ O	CO ₂	N ₂ O	CO ₂	N ₂ O	
	$\frac{\text{mg C m}^{-2}}{\text{hr}^{-1}}$	$\frac{\text{mg N m}^{-2}}{\text{hr}^{-1}}$	$\frac{\text{mg C m}^{-2}}{\text{hr}^{-1}}$	$\frac{\text{mg N m}^{-2}}{\text{hr}^{-1}}$	$\frac{\text{mg C m}^{-2}}{\text{hr}^{-1}}$	$\frac{\text{mg N m}^{-2}}{\text{hr}^{-1}}$	$\frac{\text{kg C ha}^{-1}}{\text{hr}^{-1}}$	$\frac{\text{kg N ha}^{-1}}{\text{hr}^{-1}}$	
NY	68 c	0.05 c	37 c	0.08 b	30 b	0.09 d	225 c	0.39 d	
Gilat	153 b	0.45 b	71 b	0.41 a	66 a	0.78 a	467 b	2.16 b	
Golan	140 b	0.86 a	82 ab	0.43 a	45 b	0.61 b	571 b	4.23 a	
Eden	85 c	0.22 bc	50 bc	0.13 b	70 a	0.36 c	312 c	0.89 c	
BD	210 a	0.14 c	112 a	0.08 b	84 a	0.09 d	867 a	0.57 cd	
amendment									
Compost	99 b	0.66 a	60 b	0.23 a	52 b	0.14 b	407 b	1.09 b	
PCM	237 a	0.21 b	100 a	0.21 a	80 a	0.52 a	681 a	1.90 a	
Ammonium-sulfate (control)	57 c	0.16 b	52 b	0.23 a	44 b	0.51 a	378 b	1.95 a	
significance analysis									
Source	DF	Prob > F							
		CO ₂	N ₂ O	CO ₂	N ₂ O	CO ₂	N ₂ O	CO ₂	N ₂ O
soil	4	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*
amendment	2	<.0001*	<.0001*	0.002*	0.865	<.0001*	<.0001*	<.0001*	<.0001*
block	2	0.0004*	0.9251	0.0493*	0.2374	0.0052*	0.0141*	0.0001*	0.2035
soil*amend	8	0.0004*	<.0001*	0.2509	0.0001*	0.0124*	<.0001*	0.0105	<.0001*
soil*block	8	0.0087*	0.471	0.6734	0.9608	0.1462	0.6048	0.0531	0.9709
amend*block	4	0.1457	0.8404	0.1457	0.623	0.8395	0.1491	0.2292	0.4932

NY- נווה יער, Gilat- גילת, Golan – רמת הגולן, Eden- חוות עדן, BD – בית דגן.

Compost- קומפוסט, PCM – אורגניקום, Ammonium-Sulfate- אמון גופרתי.

טבלה 4: אחוז החנקן שאבד מן היישום בטיפולים השונים בניסוי הליזימטרים

soil	Treatment	N emitted (kg/ha)	N lost (%)
NY	control	0.509	0.15
NY	Organicum	0.432	0.12
NY	Compost	0.232	0.07
Gilat	control	4.074	1.18
Gilat	Organicum	1.718	0.50
Gilat	Compost	0.697	0.20
Golan	control	3.243	0.94
Golan	Organicum	5.644	1.63
Golan	Compost	3.819	1.10
Eden	control	1.106	0.32
Eden	Organicum	1.066	0.31
Eden	Compost	0.512	0.15
BD	control	0.820	0.24
BD	Organicum	0.661	0.19
BD	Compost	0.231	0.07

*מנת החנקן שהוספה בכל הטיפולים היתה 346 ק"ג/הקטאר.

טבלה 5: חתימת איזוטופ הפחמן היציב ^{13}C בקרקעות, במרכיב האורגני ובמרכיב הגיר בקרקעות הגירניות, ובקומפוסט (Compost) והאורגניקום (PCM) שהוספו לקרקעות בניסוי הליזימטרים בבית דגן. סימון הקרקעות: רמת הגולן – Gilat, בית דגן – BD, חוות עדן – BS, נווה יער – NY.

$\delta^{13}\text{C}$	Soil					Amendment	
	Golan	BD	BS	NY	Gilat	PCM	Compost
	$\delta^{13}\text{C}$						
Whole soil	-27.33	-	-	-	-8.99	-	-22.65
		25.79	12.18	19.32		23.02	
SOM*	-27.33	-	-	-	-	-	-
		25.79	25.04	26.01	24.06		
Carbonates ^{&}	-	-	-9.48	11.35	-3.86	-	-
				-			

* לאחר המסת גיר בחומצה, & ההפרש בין כלל הקרקע לחלק האורגני.

טבלה 6: תרומתם היחסית של מקורות הפחמן השונים על בסיס חתימת איזוטופ הפחמן היציב ¹³C מקרקעות נווה יער, עדן וגילת לפליטת הפד"ח בניסוי הליזימטרים בשני מועדים לאחר

תחילת יישום החומרים בקרקע.

soil/ C source	2 days from amendment				11 days from amendment			
	som	pcm	com	CaCO ₃	som	pcm	com	CaCO ₃
	%							
Newe Yaar control	35.3	0	0	64.7	2.9	0	0	97.1
Newe Yaar pcm	4.3	76.9	0	18.8	1.8	49.2	0	49.0
Newe Yaar com	17.9	0	26.7	55.4	4.1	0	48.6	47.2
Gilat control	88.6	0	0	11.4	58.5	0	0	41.5
Gilat pcm	11.1	88.1	0	0.8	22.6	61.9	0	15.5
Gilat com	35.4		50.0	14.6	43.5	0	46.2	10.2
Eden control	42.1	0	0	57.9	13.6	0.0	0.0	86.4
Eden pcm	7.7	73.9	0	18.3	5.9	61.6	0.0	32.5
Eden com	29.5	0	20.7	49.7	10.9	0.0	76.3	12.8

SOM – חומר אורגני קרקעי, PCM - אורגניקום, COM - קומפוסט, CaCO₃ - גיר קרקעי.

טבלה 7: תכונות עיקריות של הקומפוסט אשר יישום בניסוי השדה

א. גילת

Variable	Year/ Units	2010	2011	2012	2013
Bulk density	g cm ⁻³	0.77	0.57	0.67	0.77
Dry Matter	%	77.8	69.1	76	76
Organic matter	% w/w	37.5	36.2	29	28.6
Organic carbon	% w/w	22.1	21.3	17.3	16.8
Organic nitrogen	% w/w	1.71	1.32	1.7	1.34
C/N		12.9	16.1	10.1	12.6
pH		8.2	7.3	8.4	8.8
EC	dS m ⁻¹	7.08	7.32	7.3	8.31
N-NO ₃ ⁻	mg kg ⁻¹	258	48	55	319
N-NH ₄ ⁺	mg kg ⁻¹	160	409	442	41

ב. נווה יער

Variable	Year/ Units	2010	2011	2012	2014
Bulk density	g cm ⁻³		0.66	0.58	0.54
Dry Matter	%		72.1	67.1	77.6
Organic matter	% w/w	48.1	46	40	44
Organic carbon	% w/w	27.9	27.1	23.5	25.9
Organic nitrogen	% w/w	1.94	1.74	1.68	1.69
C/N		14.3	15.6	14	15.3
pH			9.1	7.5	7.2
EC	dS m ⁻¹		10.35	9.2	9.72
N-NO ₃ ⁻	mg kg ⁻¹	165	128	140	34
N-NH ₄ ⁺	mg kg ⁻¹	230	378	280	168

טבלה 8: סיכום ניתוח מובהקות סטטיסטית לתוצאות פליטת שטפי CO₂ שעתיים ומצטברים

בגילת

Date	15/12/13	18/12/13	1/1/14	13/1/14	cumulative	
LSMeans						
amendment	mg C m ⁻² hr ⁻¹				Kg C Ha ⁻¹	
20 m ³ /ha	59.41 a	91.36 a	75.66 a	52.55 a	1182 ab	
40 m ³ /ha	71.31 a	89.20 a	67.32 a	48.55 ab	1115 ab	
60 m ³ /ha	60.14 a	77.15 a	89.54 a	49.94 ab	1190 a	
control	28.92 a	46.80 a	48.54 a	30.89 b	969 b	
significance analysis						
<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Prob > F</i>				
amendment	3	0.2870	0.0694	0.0755	0.0296*	0.0368*
block	4	0.2751	0.6541	0.4342	0.9398	0.5027

טבלה 9. סיכום השפעת מנות הקומפוסט והדישון באוריאה על שטפי פליטת N₂O ועל הפליטה המצטברת של N₂O בעונות 2013 ו-2014 בגילת.

Date	18/12/13	23/12/13	1/1/14	5/1/14	13/1/14	cumulative	
LSMeans							
amendment	mg N m ⁻² hr ⁻¹					g N Ha ⁻¹	
20 m ³ /ha	0.026 b	0.015 b	0.019 b	0.011 b	0.009 b	256 b	
40 m ³ /ha	0.023 b	0.016 b	0.035 ab	0.019 ab	0.013 b	340 b	
60 m ³ /ha	0.070 a	0.079 a	0.058 a	0.034 a	0.029 a	573 a	
control	0.008 b	0.004 b	0.022 b	0.024 ab	0.013 b	249 b	
significance analysis							
<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Prob > F</i>					
amendment	3	<.0001*	<.0001*	0.0096*	0.0160*	0.0040*	<.0001*
block	4	0.5797	0.1337	0.8358	0.1939	0.6317	0.1645

טבלה 10: אחוז החנקן שאבד מן היישום של הדשן בטיפולים השונים בניסוי השדה בגילת.

12.2013-12.2014

Treatment	N amended (kg/ha)	N emitted (kg/ha)	N lost (%)
20 m ³ /ha	177	0.25	0.145
40 m ³ /ha	354	0.34	0.096
60 m ³ /ha	531	0.57	0.107
Control	200	0.25	0.124

טבלה 11. ההשפעה השאריתית של מנת הקומפוסט הגבוהה לעומת הדישון באוריאה על שטפי פליטת CO₂ ועל הפליטה המצטברת של C-CO₂ בניסוי אביב 2013 בנווה יער.

Date	2/5/13	16/5/13	7/6/13	9/6/13	cumulative	
amendment	LSMeans					
	mg C m ⁻² hr ⁻¹				Kg C Ha ⁻¹	
60 m ³ /ha	25 a	54 a	62 a	22 a	193 a	
control	17 a	31 a	36 b	14 a	126 b	
significance analysis						
<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Prob > F</i>				
amendment	3	0.0921	0.2270	0.0360*	0.1533	0.0077*
block	4	0.3178	0.8392	0.1195	0.4528	0.3288

טבלה 12. ההשפעה של מנת הקומפוסט לעומת הדישון באוריאה על שטפי פליטת CO₂ ועל הפליטה המצטברת של CO₂ בניסוי קיץ 2014 בנווה יער.

Date	25/6/14	9/7/14	cumulative	
amendment	LSMeans			
	mg C m ⁻² hr ⁻¹		Kg C Ha ⁻¹	
20 m ³ /ha	47 ab	33 a	295 a	
40 m ³ /ha	51 ab	43 a	323 a	
60 m ³ /ha	89 a	65 a	399 a	
control	27 b	41 a	295 a	
significance analysis				
<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Prob > F</i>		
amendment	3	0.0117*	0.2054	0.1081
block	4	0.9577	0.9817	0.9157

טבלה 13. השפעת יישום קומפוסט לעומת דישון באוריאה על שטפי פליטת N₂O שעתיים ומצטברים בניסוי אביב 2013

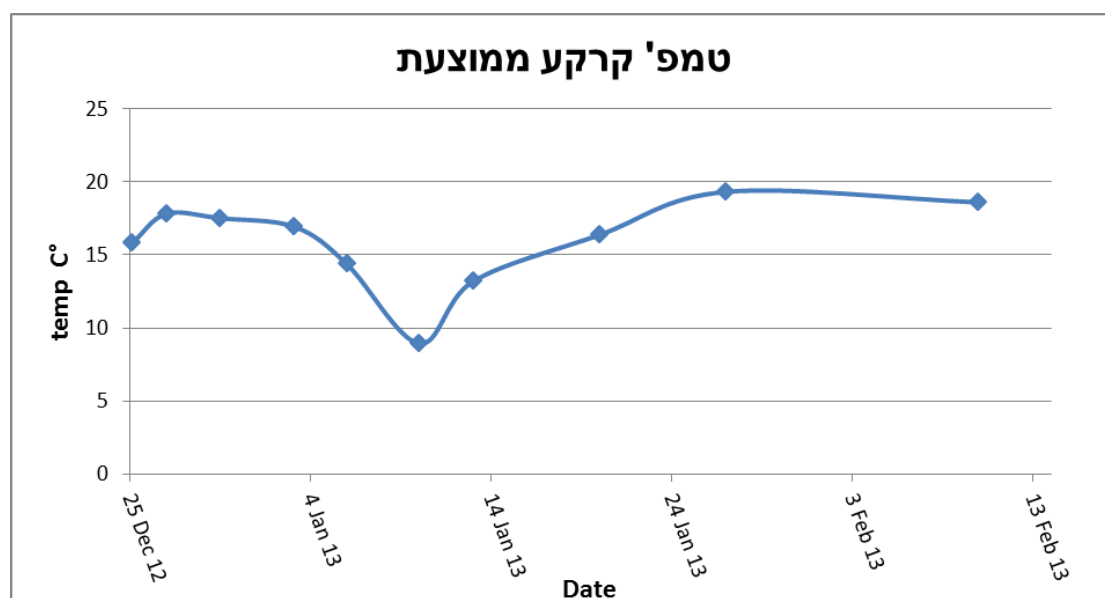
Date	5/5/13	9/6/13	cumulative	
amendment	LSMeans			
	mg N m ⁻² hr ⁻¹		g N Ha ⁻¹	
60 m ³ /ha	0.020 a	0.056 a	79 a	
control	0.025 a	0.062 a	42 b	
significance analysis				
<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Prob > F</i>		
amendment	3	0.3320	0.7333	0.0102*
block	4	0.5671	0.8586	0.7958

טבלה 14. השפעת יישום קומפוסט לעומת דישון באוריאה על שטפי פליטת N₂O שעתיים ומצטברים בניסוי קיץ 2014 בנווה יער.

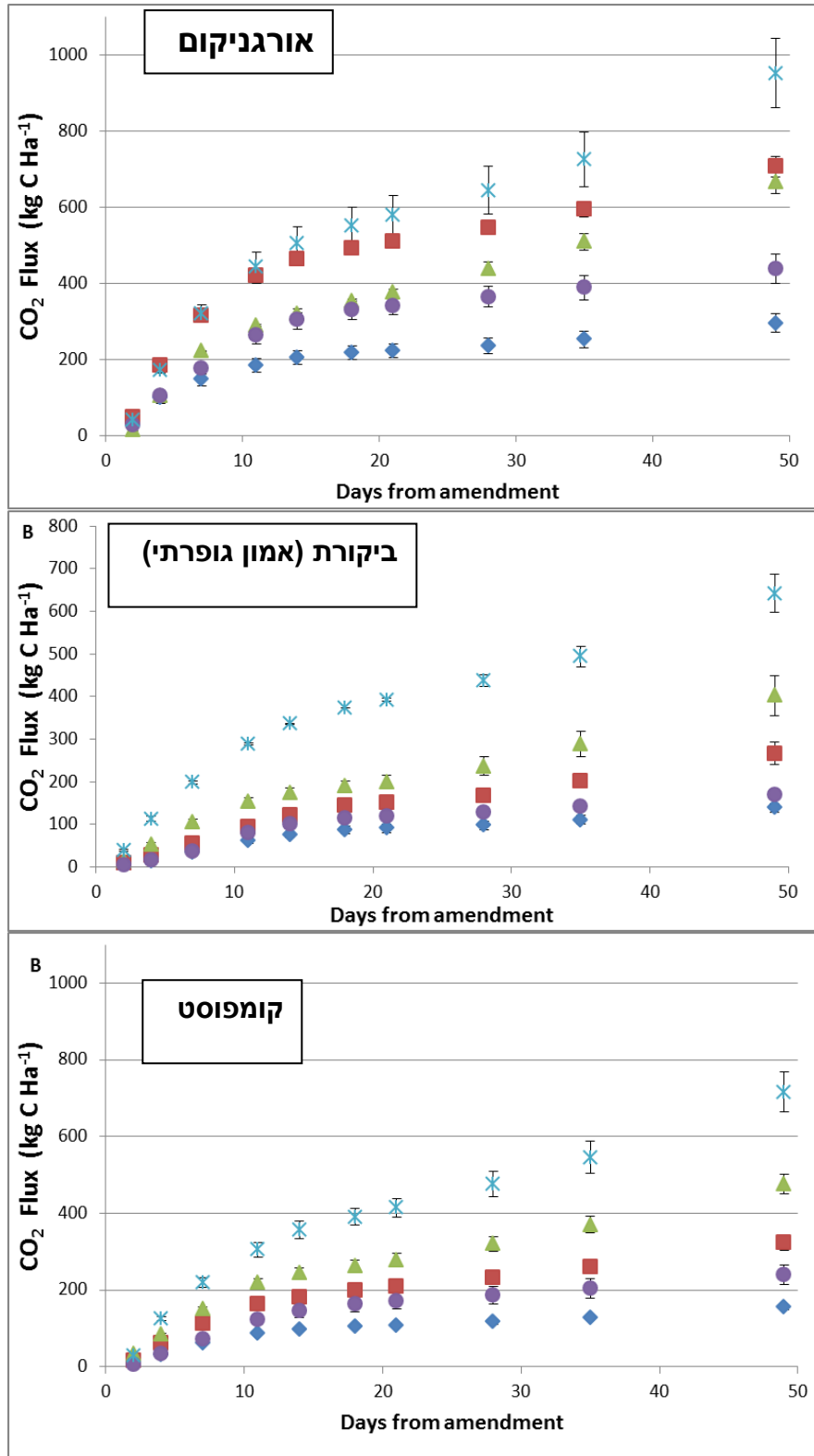
Date	25/6/14	9/7/14	cumulative
amendment	LSMeans		
	mg N m ⁻² hr ⁻¹		g N Ha ⁻¹
20 m ³ /ha	0.069 a	0.015 b	112 b
40 m ³ /ha	0.100 a	0.028 b	147 b
60 m ³ /ha	0.127 a	0.056 b	217 ab
control	0.012 a	0.151 a	501 a
significance analysis			
Source	DF	Prob > F	
amendment	3	0.1771	0.0032*
block	4	0.7634	0.3749
			0.0186*
			0.4458

טבלה 15. חלק החנקן שאבד מן היישום של הדשן בטיפולים השונים בנווה יער בקיץ 2014.

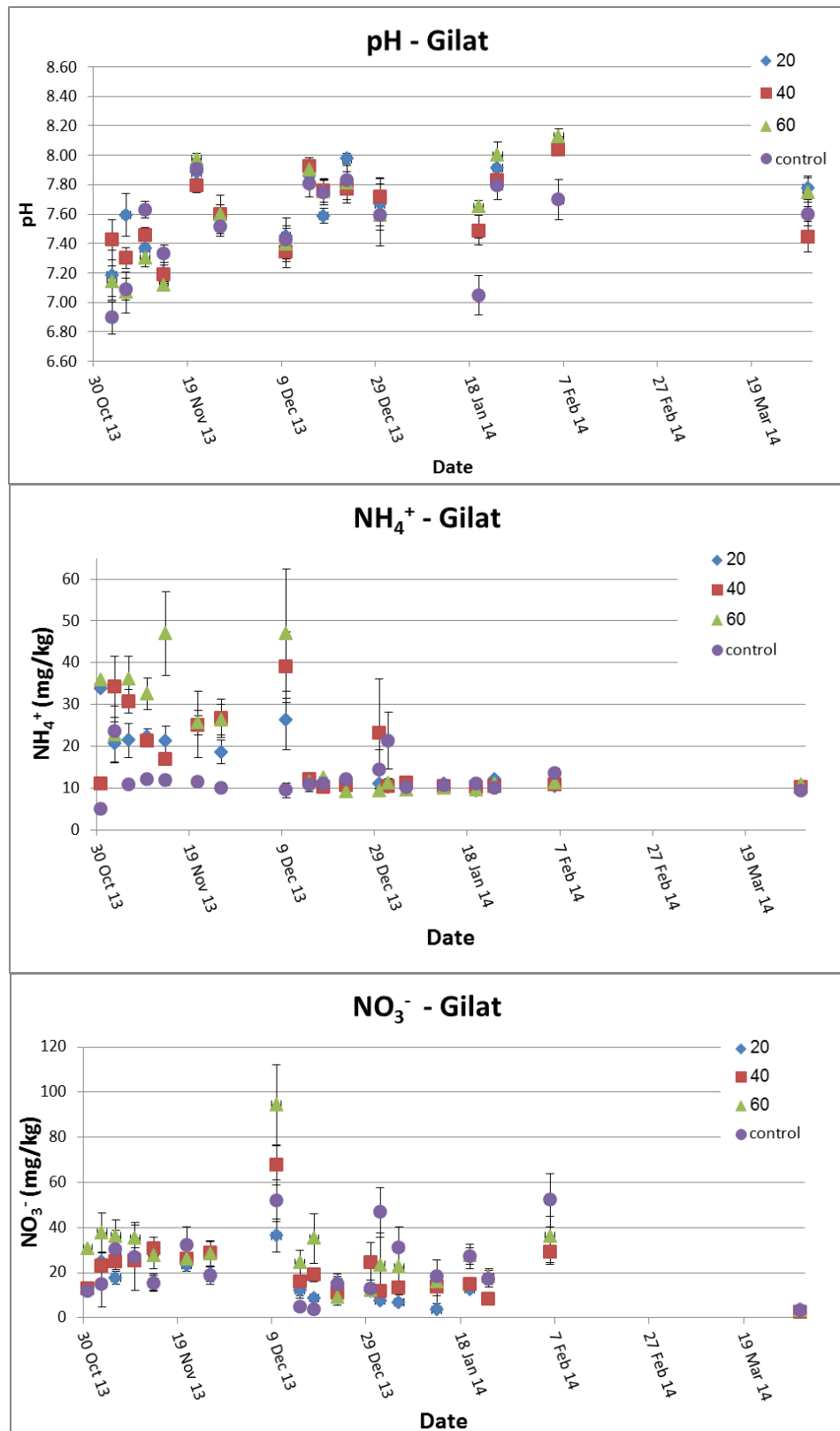
Treatment	N amended (kg/ha)	N emitted (kg/ha)	N lost (%)
20 m ³ /ha	191	0.11	0.058
40 m ³ /ha	383	0.14	0.038
60 m ³ /ha	575	0.21	0.037
Control	250	0.5	0.2



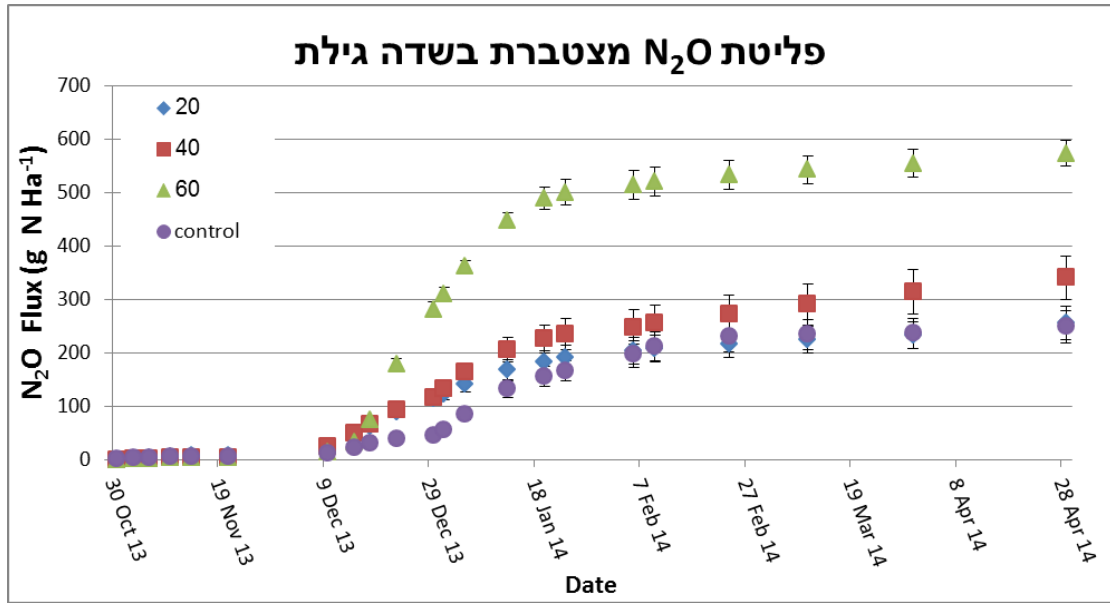
איור 1. מהלך טמפרטורת הקרקע הממוצעת בעומק של חמישה ס"מ בניסוי הליזימטרים.



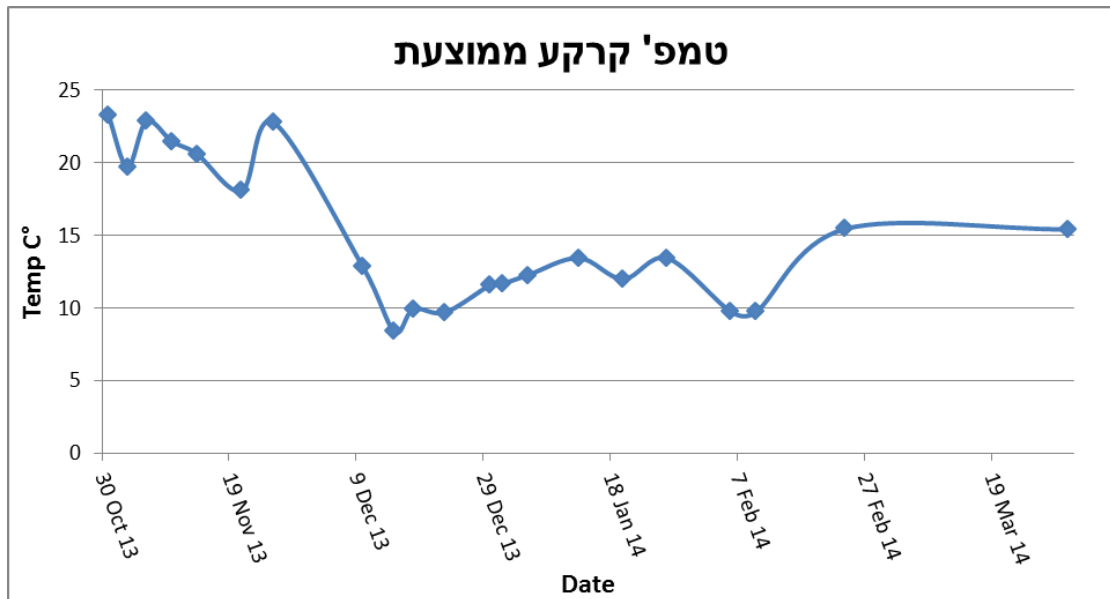
איור 2. שטפי הפד"ח המצטברים מקרקעות בית-דגן, גולן, גילת, נוה יער ועדן לאחר יישום אורגניקום, אמון גופרתי וקומפוסט במשך 49 ימים בניסוי הליזימטרים בחממה בבית דגן. NY- נוה יער, Gilat- גילת, Golan – רמת הגולן, Eden- חוות עדן, BD – בית דגן.



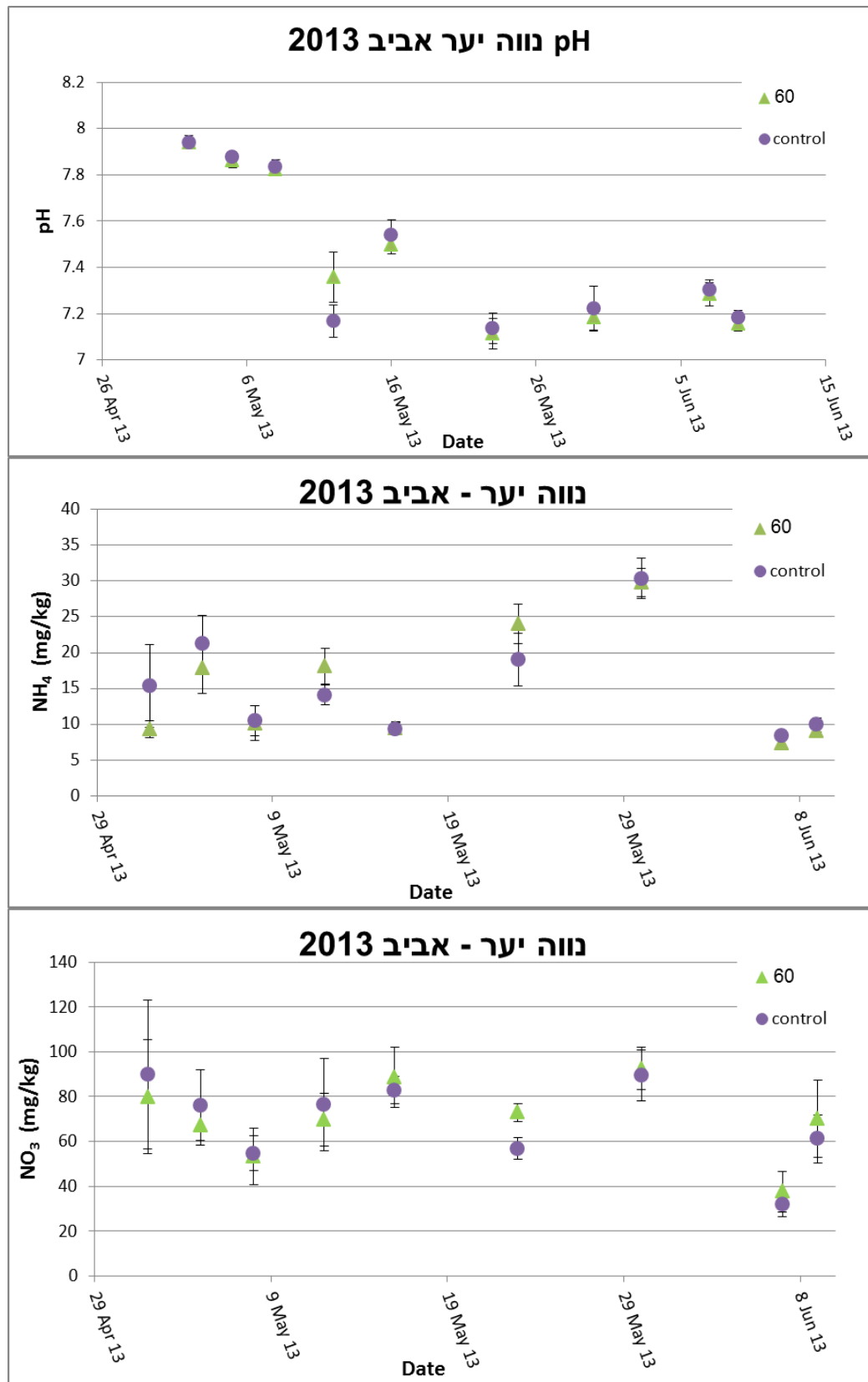
איור 3. השינוי ב- pH הקרקע ובריכוזי האמון והחנקה הזמינים כתלות בזמן בהשפעת יישום קומפוסט בניסוי השדה בגילת לאורך 180 ימי הניסוי. 20,40,60 מייצגים את הטיפולים 2,4,6 מ"ק/דונם קומפוסט בהתאמה, control מייצג את טיפול הדישון באוריאה.



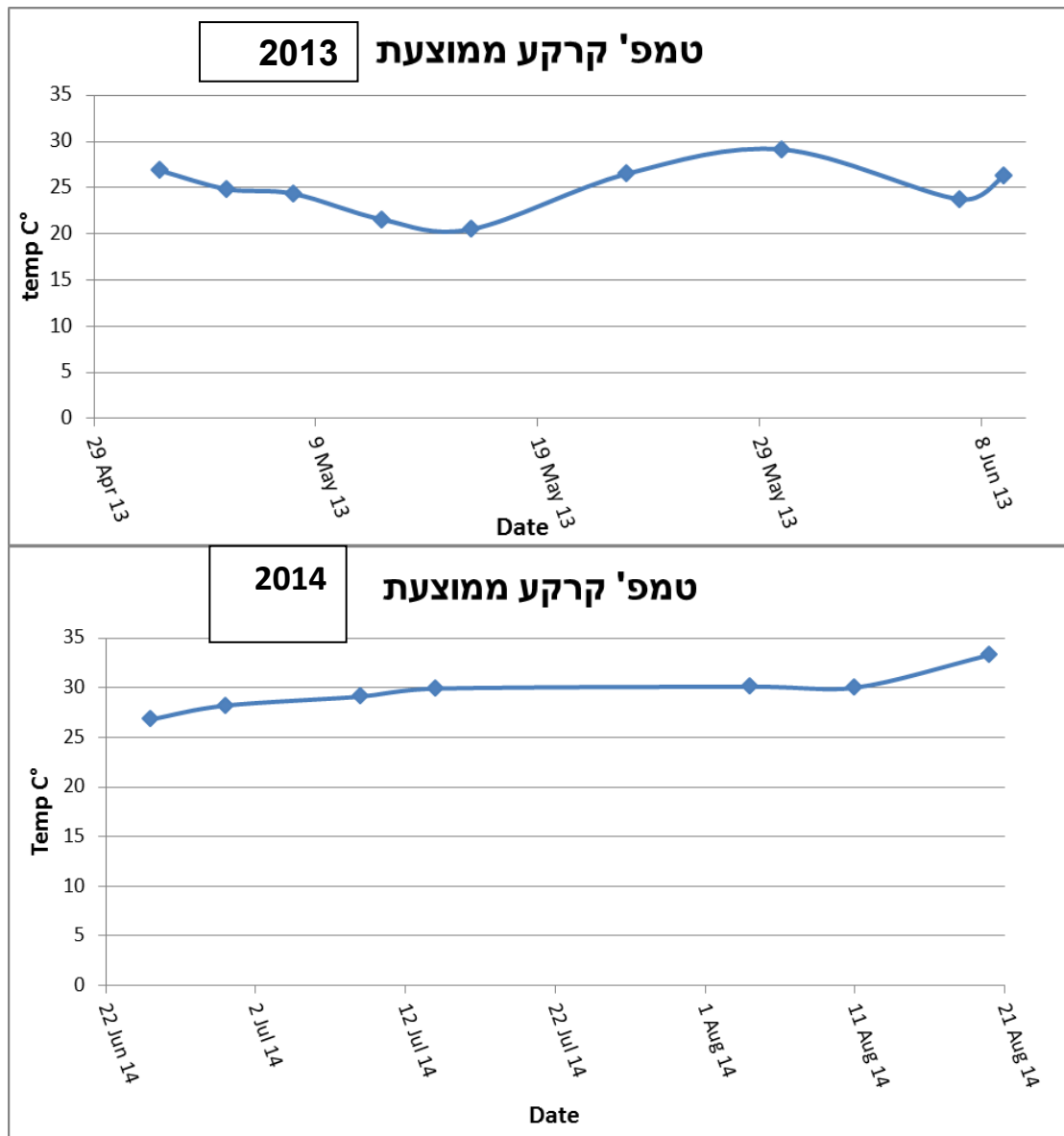
איור 4: מהלך שטפי החת"ח המצטברים לאורך 180 ימי הניסוי בשדה בגילת. 20,40,60 מייצגים את הטיפולים 2,4,6 מ"ק/דונם קומפוסט בהתאמה, control מייצג את טיפול הדישון באוריאה.



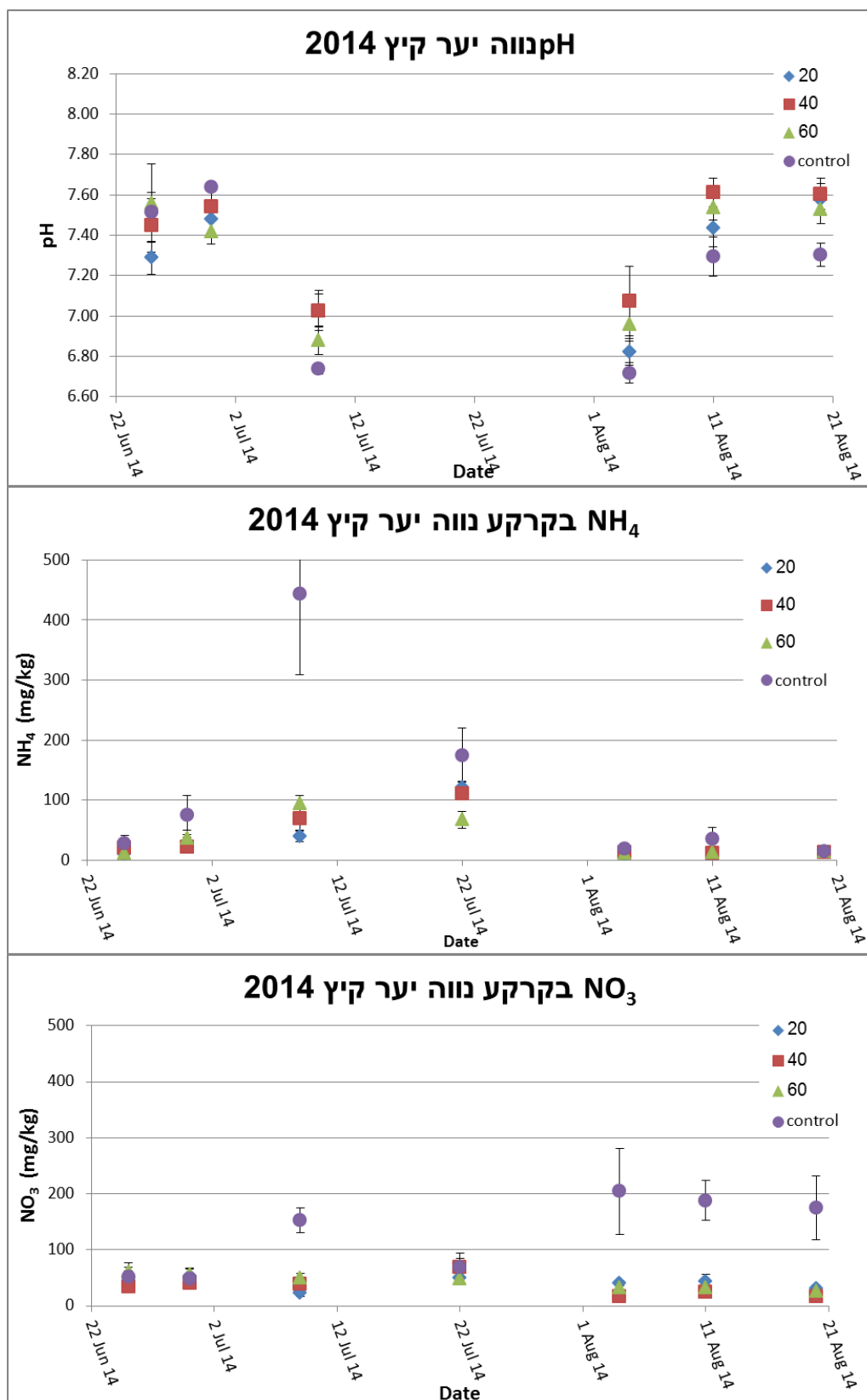
איור 5. טמפרטורת הקרקע הממוצעת בעומק של חמישה ס"מ לאורך 180 ימי ניסוי השדה בגילת.



איור 6. השינוי ב- pH הקרקע ובריכוזי האמון והחנקה הזמינים כתלות בזמן בהשפעה השארית של יישום קומפוסט בניסוי השדה בנווה יער ב- 2013.



איור 7. טמפרטורת הקרקע הממוצעת בעומק של חמישה ס"מ בניסוי השדה בנווה יער ב- 2013 וב- 2014.



איור 8. השינוי ב- pH הקרקע ובריכוזי האמון והחנקה הזמינים כתלות בזמן בהשפעה של יישום קומפוסט בניסוי השדה בנווה יער ב- 2014.

חישובים – מקור הפחמן לפי איזוטופים יציבים

התרומה היחסית של החומר האורגני ושל גיר הקרקע לפליטת פחמן כ- CO_2 חושבו על בסיס החתימה האיזוטופית השונה של ^{13}C של החומר האורגני והגיר (מטבלה 1 בנספח) ולפי הסימון האיזוטופי שהתקבל ב- CO_2 באוויר.

כאשר יש שני מרכיבים שתורמים לסימון האיזוטופי באוויר הנדגם, למשל הקרקע והאוויר המקורי בסביבה נחשב את תרומת הקרקע לסימון לפי המשוואות הבאות:

$$1. C_t = C_1 + C_2$$

$$2. C_t \delta t = C_1 \delta 1 + C_2 \delta 2$$

כאשר C_1 ו- C_t הם ריכוזי ה- CO_2 באוויר בסביבה (או באוויר בכלי ללא קרקע) והריכוז באוויר בכלי סגור שבו נמצאת דוגמת הקרקע, C_2 הוא רכוז ה- CO_2 שנפלט מהקרקע. באותו אופן, $\delta 1$ ו- δt הם ערכי הסימון האיזוטופי של ה- CO_2 באוויר בסביבה (או באוויר בכלי ללא קרקע) ושל האוויר בכלי סגור שבו נמצאת דוגמת הקרקע, $\delta 2$ הוא הסימון האיזוטופי של ה- CO_2 שנפלט מהקרקע. כדי למצוא את הנעלם הפתרון $\delta 2$ המתקבל הוא:

$$3. \delta 2 = (C_t * \delta t - C_1 * \delta 1) / (C_t - C_1)$$

כך אנו מתקנים את הסימון המדוד לסימון האמיתי שנתרם על ידי הקרקע. אם בקרקע ישנם שני מרכיבים התורמים לפליטת CO_2 , למשל גיר וחומר אורגני, נשתמש באותה מערכת משוואות כאשר הסימון ישתנה באופן הבא: C_1 ו- C_t הם ריכוזי ה- CO_2 באוויר שנפלט לכלי הסגור שמקורם בגיר הקרקעי ובכל הקרקע, C_2 הוא רכוז ה- CO_2 שנפלט מהחומר האורגני הקרקעי. באותו אופן, $\delta 1$ ו- δt הם ערכי הסימון האיזוטופי של ה- CO_2 שמקורם גיר הקרקעי, התרומה הכללית של הקרקע לאוויר בכלי סגור שבו נמצאת דוגמת הקרקע, $\delta 2$ הוא הסימון האיזוטופי של ה- CO_2 שנפלט מהחומר האורגני הקרקעי.

נפתור עבור תרומת החומר האורגני הקרקעי לפליטת ה- CO_2 (הנעלם C_2):

$$4. C_2 = [C_t(\delta t - \delta 1)] / (\delta 2 - \delta 1)$$

הוספה של מקור פחמני נוסף (קומפוסט או אורגניקום) מוסיפה עוד נעלם למשוואות - C_3 , תרומת הקומפוסט או אורגניקום לפליטת ה- CO_2 והחתימה האיזוטופית הידועה של מקור זה אותה נסמן כ- $\delta 3$. מתקבלת מערכת המשוואות הבאה:

$$5. C_t = C_1 + C_2 + C_3$$

$$6. C_t \delta t = C_1 \delta 1 + C_2 \delta 2 + C_3 \delta 3$$

נפתור עבור הפליטה שמקורה במקור הנוסף (קומפוסט או אורגניקום), C_3 :

$$7. C_3 = [C_t(\delta t - \delta 1) - C_2(\delta 2 - \delta 1)] / (\delta 3 - \delta 1)$$

מספר המשוואות נשאר שניים ומספר הנעלמים שלושה ולכן לא ניתן לפתרון. כדי להעריך בכל זאת את תרומת הגיר במערכת כזו הנחנו שלהוספת חומר אורגני חיצוני לא הייתה השפעה על

קצב פירוק החומר האורגני הקרקעי, כלומר לא היה Priming effect ולכן הערך של C2 במשוואה ידוע מהמדידות ללא תוספת חומר אורגני חיצוני. אנו מודעים לבעייתיות שבהנחה ולכן זו הערכה מקורבת בלבד.