

דו"ח תוכנית מחקר מספר 14-0699-301

דו"ח מסכם

חומר אורגני מומס בקרקעות מטופלות בפסולות אורגניות: אפיון ותרומה ליציבות מבנה הקרקע

Dissolved organic matter in soils treated with organic wastes: characterization and contribution to soil structure stability

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י:

גיא לוי, מיכאל בוריסובר, נדיה בוחנובסקי, דינה גולדשטיין, פנחס פיין, המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני.

G. Levy, M. Borisover, N. Bukhanovsky, D. Goldstein, P. Fine, Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, ARO, The Volcani Center

E-mail: ywguy@volcani.agri.gov.il, ywnichel@volcani.agri.gov.il, finep@volcani.agri.gov.il.

נובמבר 2015

כסלו תשע"ו

1. תקציר מדעי

פסולות אורגניות מוספות לקרקע בכמויות גדולות (כ-2 טון/ד' ויותר), ומשפיעות על הרכב החומר האורגני המוצק והמומס. נוכחות של חומר אורגני מומס (חא"מ) בתמיסת הקרקע יכולה להגביר את הדיספרסיות של החרסיות בקרקע, ולהשפיעה על התכונות הפיסיקליות וההידראוליות שלה. לחא"מ מאפיינים ספקטראליים ברורים כך מתאפשר אפיון לא פולשני של הרכב החא"מ, וההטרוגניות שלו. מטרתו הכללית של המחקר היא ללמוד את השפעת הוספת פסולות אורגניות לקרקע על מאפייני החומר האורגני בקרקע והחא"מ בתמיסת הקרקע ולבחון קיום ואופי של קשרים בין מאפיינים אלו לבין יציבות מבנה הקרקע ותכונותיה ההידראוליות. ערכנו ניסויי הדגרה בשני משטרי הרטבה שונים בקרקעות מרבדים, נחל עוז ומזרע בנוכחות או בהעדר קומפוסט בוצת שפכים מאתר דלילה. כמו כן בצענו בדיקות בדוגמאות קרקע מניסוי שדה (נמצא בשנתו הרביעית) ומניסוי ליזימטרים שהסתיים לאחרונה בהן נבדקו השפעות תוספת בוצה מעוכלת (בוצה סוג ב'), קומפוסט בוצה ובוצת שפד"ן מטופלת בסיד ובאפר פחם (במס"א). תוצאות המחקר העיקריות מניסוי ההדגרה הראו: (1) רק לתוספת הקומפוסט בשיעור הגבוה (שיעור השקול ל- 2.5 טון חנקן להקטר) הייתה השפעה

משמעותית על רוב המדדים שנבחנו בהשוואה לערכם בקרקעות שלא הודגרו; (2) תוספת קומפוסט גרמה להעשרת החומר האורגני בחומרים ארומטיים בהשוואה לחומר האורגני הקרקעי; (3) מדדי הריכוז עבור המרכיבים הפלאורסנטיים שזוהו בתמיסת הקרקע הושפעו לא רק מתוספת קומפוסט אלא גם מסוג הקרקע ומשך ההדגרה; (4) משטר הדגרה מטיפוס B (הדגרה במחזורי הרטבה ויבוש) החליש את התלכידים בהשוואה להדגרה בתכולת רטיבות קבועה (טיפוס A) ונמצא בהתאמה טובה עם תוצאות המוליכות ההידראולית עבור קרעות רבדים ונחל עוז. תוצאות בדיקות הקרקעות מניסוי הליזימטרים הראו כי שלוש שנים של הוספת פסולת אורגנית גרמה להעשרה במרכיבים הפלאורסנטיים ובחומרים הארומטיים שבחומר האורגני בקרקע, אך לא תרמה לשיפור ביציבות התלכידים. תוצאות בדיקות הקרקע מניסוי השדה ברבדים הראו שלפסולות האורגניות הייתה השפעה על מאפייני החא"מ והתכונות הפיזיקליות שנבדקו. אולם, מבחן קורלציה הראה כי לא נמצא קשר בין מאפייני החומר האורגני לבין תכונות המייצגות יציבות מבנה קרקע וכשרה להוליך מים.

מעריכים מומלצים לבדיקת הדוח המדעי

1. דר' אריה נדלר, מינהל המחקר החקלאי
2. פרופ' אורי מינגלגרין, מינהל המחקר החקלאי
3. דר' אשר בר-טל, מינהל המחקר החקלאי

. האם הנך מאשר את ציון הפסקה הבאה בדף הפתיחה לדו"ח כן/לא מחקר את המיותר*

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים ואינם מהווים המלצות לחקלאים



חתימת החוקר:

2. רשימת פרסומים

Marie-Hélène Bernier, Guy J. Levy, Pinchas Fine and Mikhail Borisover 2013. FT-IR spectroscopy analysis of organic matter in bulk samples of irrigated soils. *Geoderma* 209-210: 233-240.

תוכן עניינים

2	1. תקציר מדעי
2	2. רשימת פרסומים
3	3. מבוא
4	4. שיטות וחומרים
8	5. תוצאות
17	6. דיון
19	7. רשימת ספרות מצוטטת
21	8. סיכום עם שאלות מנחות
22	9. נספחים (טבלאות ואיורים)

3. מבוא

יישום פסולות אורגניות בשדות חקלאיים הוא פתרון טוב מבחינת הסביבה, המגזר העירוני והמגזר החקלאי, אך אינו חסר סיכונים. בכדי לאפשר ניצול יעיל ובטוח של הוספת פסולות אורגניות לשדות חקלאיים יש ללמוד באופן מסודר היבטים שונים הכרוכים בהוספתו, ואת השפעתם על הקרקע. מרבית תשומת הלב בנושא השימוש בפסולות אורגניות (זבלים, בוצות) בחקלאות התמקדה בהשפעתם על פוריות הקרקע ובסיכוני זיהום אפשריים לקרקע ולסביבה. פחות תשומת לב ניתנה להשפעה האפשרית של הוספת הפסולות האורגניות על תכונות קרקע פיסיקליות. פסולות אורגניות מוספות לקרקע בכמויות גבוהות (כ-2 טון/ד' ויותר, שהם כ-1% ממשקל שכבת הקרקע העליונה), והן משפיעות באופן ישיר ועקיף (דרך הפעילות המיקרוביאלית בקרקע) על הרכב החומר האורגני המוצק והמומס. נוכחות חומר אורגני מומס (חא"מ) יכולה לשפר את מבנה הקרקע ולתרום להגברת יציבות התלכידים (1) אולם חא"מ בכלל וחומרים הומיים בפרט, יכולים גם להגביר את הדיספרסיביות של החרסיות בקרקע עקב הגדלה של ערכי הפלוקולציה שלהן (2). כתוצאה מאלה, נוכחות החא"מ יכולה להשפיע על התכונות הפיסיקליות (3), וההידראוליות (4) של הקרקע, ואף יכולה להגביר את רגישותה לסחף (5).

לחא"מ מאפיינים ספקטראליים ברורים במונחים של בליעה בתחומי ה-UV והנראה ובפלאורסנציה. השימוש בפלאורסנציה (להבדיל ממדידת הבליעה בתחומי ה-UV הנראה) מאפשר לקבל מטריצות תלת ממדיות של ערעור-פליטה (עצמה פלאורסנטית כפונקציה של אורכי גל בערעור ובפליטה). מטריצות אלו יכולות לשמש כטביעת אצבע של החא"מ, וככלי יעיל לאפיון של המרכיבים הפלאורסנטיים שבו. הפעלת שיטות כימומטריות מתמטיות וסטטיסטיות, כגון parallel factor analysis (PARAFAC) לניתוח של המטריצות התלת ממדיות של ערעור-פליטה, מאפשרת מעקב אחרי וכימות של השינויים בחא"מ בפירוט רב (6, 7). הניתוח הכימומטרי מאפשר זיהוי של המרכיבים הפלאורסנטיים העיקריים ואת הכימות של מדד הריכוז של כל מרכיב (מדד שנמצא ביחס ישיר לריכוז המרכיב). מכאן, הפעלת הניתוח הכימומטרי הופכת את השימוש במדידות פלאורסנציה תלת ממדית מאיכותית בעיקרה לכמותית, ומקנה אפשרות לאפיון לא פולשני של הרכב החא"מ, וההטרוגניות שלו. בנוסף לאפיון המרכיבים הפלאורסנטיים בחא"מ, ניתן על פי הספרות (8) לאפיין מרכיבית נוספים בחומר האורגני בקרקע ובחא"מ בעזרת (Fourier Transform infrared) FTIR.

מטרתו הכללית של המחקר הייתה ללמוד את השפעת הוספת פסולות אורגניות לקרקע על מאפייני החומר האורגני בקרקע והחא"מ בתמיסת הקרקע ולבחון קיום ואופי של קשרים בין מאפיינים אלו לבין תכונות המייצגות יציבות מבנה קרקע ותכונותיה ההידראוליות.

4. שיטות וחומרים

4.1. ניסוי הדגרה

במהלך ניסויי ההדגרה בחנו קרקעות מרבדים, נחל עוז ומזרע להם הוספנו קומפוסט בוצת שפכים אשר נלקח מאתר דלילה. מספר תכונות פיסיקליות וכימיות של שלוש הקרקעות והקומפוסט מוצגות בטבלה 1.

תהליך ההדגרה

דוגמאות של קרקע רבדים, נחל עוז ומזרע (150 גר' כל אחת) עורבבו עם קומפוסט בוצת שפכים בשני שיעורים שונים: 1.21 גר' ו- 6.25 גר' המתאימים לשיעורים של 0.5 (להלן טיפול R0.5) ו- 2.5 (להלן טיפול R2.5) טון חנקן להקטר קרקע, בהתאמה (החישוב מבוסס על שכבת חריש בעומק 20 ס"מ וצפיפות גושית של 1.25 גר'/סמ"ק). התערובות הועברו למיכלי פלסטיק בנפח 200 מ"ל, ואליהם הוספה כמות מים מזוקקים המשלימה לערך של 80% מקיבול שדה, תוך התחשבות ברטיבות הקרקע והקומפוסט לפי החלק היחסי שלהם מכלל משקל התערובת. המים הוספו על ידי טפטוף איטי מלמעלה עם פיפטת פסטר, כאשר כל שטח התערובת הורטב תוך הקפדה לא ליצור אי אחידות בצורה הטופולוגית השטוחה של הדוגמא. דוגמאות הוכנו בשלוש חזרות עבור כל מינון של קומפוסט ושתי דוגמאות ביקורת (ללא קומפוסט, להלן טיפול C). הוכנו חמש סדרות דוגמאות זהות לפי המפורט לעיל עבור חמישה זמני דיגום: 14, 42, 70, 120 ו-180 ימים. בנוסף, הוכנה סדרה זהה של תערובת קרקע עם קומפוסט בשני מינונים וחמישה זמני דיגום על מנת לבחון שני משטרי הרטבה: א. הדגרה בתנאי לחות קבועים של 80% מקיבול שדה, להלן "טיפוס A", ב. הדגרה בתנאי הרטבה- ייבוש מחזוריים, להלן "טיפוס B", לאורך כל תקופת ההדגרה. דוגמאות בהדגרה מטיפוס A שהו בטמפרטורה קבועה של 30 מעלות צלסיוס, בכלי המכיל מיכל מים ועטוף בשקית פלסטיק ומחורר לשם אוורור לאורך כל תקופת ההדגרה עד לזמן הדיגום, כאשר כל 2-3 ימים, הדוגמאות נשקלו לבדיקת איבוד מים, ונעשיתה השלמת מים לכדי 80% מקיבול שדה על ידי טפטוף מים מזוקקים באמצעות פיפטת פסטר. דוגמאות בהדגרה מטיפוס B קיבלו טיפול זהה לזה של טיפול A למשך 7 ימים, כאשר ביום השמיני הדוגמאות הוכנסו (ללא כיסוי וללא כלי מים) לייבוש בתנור בטמפרטורה 45 מעלות צלסיוס למשך שבעה ימים נוספים. בתום תקופה זו, הדוגמאות נשקלו, והרטיבות הוחזה למצב התחלתי על ידי הוספת מים בטפטוף לכדי 80% מקיבול שדה. הדוגמאות הוחזרו להדגרה של שבוע בטמפרטורה של 30 מעלות צלסיוס, והתהליך המחזורי חזר על עצמו לאורך כל תקופת האינקובציה עד למועד הדיגום הבא. עבור בדיקת מוליכות הידראולית במועד דיגום של 70 ו-180 ימים, דוגמאות הוכנו בנפרד ונארזו בתוך עמודות המיועדות למדידת מוליכות הידראולית בהתאם להכנות הדרושות לאריזת עמודה לשם מטרה זו. דוגמאות אלו נעשו בשלוש חזרות עבור כל שיעור קומפוסט, ושלוש דוגמאות ביקורת, וכמו כן, טופלו באותו האופן, כפי שפורט לעיל, ובנפרד עבור טיפוס A ו- B.

דיגום ואנליזות

בכל מועד דיגום נערכו בדיקות אנליטיות של תערובת הקרקע-קומפוסט על מנת לערוך השוואה בתכונות הקרקע והחומר האורגני בקרקע בין דוגמאות קרקעות שעברו טיפולים שונים (קרקע ללא תוספת קומפוסט, קרקע עם תוספת קומפוסט בשיעורים שונים, וקרקע שטופלה על ידי משטרי הרטבה שונים, כפי שפורט בסעיף "תהליך ההדגרה"). הבדיקות שנערכו עבור דוגמאות אלה הן: (א) עבור תמיסת הקרקע-EC, מוליכות חשמלית (EC), תכולת פחמן אורגני מומס (DOC), חנקן בתמיסה, צפיפות אופטית בתחום הנראה (UV), ופולואורסנציה ו- (ב) עבור מוצקי הקרקע-, תכולת פחמן וחנקן אורגניים, אפיון ב-FTIR, בדיקות אנזימטיות FDA ודה-הידרוגנאז, ודרגת הידרופוביות. במועדי דיגום של 70 ו-180 ימים נמדדה יציבות אגרגטים ומוליכות הידראולית.

הפקת תמיסת הקרקע נעשתה על ידי ערבוב תערובת קרקע או קרקע+קומפוסט עם מים חסרי אלקטרוליטים ביחס מוצק:תמיסה של 2:1 משקלי, תוך התחשבות בתכולת המים של הקרקע או התערובת בעת הדיגום. הערבוב נעשה בתוך מבחנות פלסטיק בנפח 50 מ"ל, במטלטלת במשך שעתיים ובמהירות 140 סיבובים לדקה (סל"ד). לאחר מכן המבחנות סורזו במכשיר צנטריפוגה במשך 15 דקות ובמהירות 3500 סל"ד. התצליל נאסף באמצעות מזרקי פלסטיק, סונן דרך מסנן 0.45 מיקרומטר. התמיסות נאספו בתוך מבחנות זכוכית, ונשמרו בקירור עד למועד האנליזה.

בדיקות תמיסת הקרקע בוצעו כדלקמן:

א. ערכי ה-pH והמוליכות ההידראולית (EC, Electrical conductivity) של תמיסות הקרקע במכשיר pH meter ו-EC meter, בהתאמה.

ב. ריכוז הפחמן האורגני המומס (DOC) והחנקן הכללי המומס באמצעות מדידת TOC (Total Organic Carbon) ו-TN (Total Nitrogen), בהתאמה, במכשיר Combustion TOC Analyzer (תוצרת SHIMADZU).

ג. מדידות UV ופולואורסנציה נעשו בתוך קיווטה של קוורץ כאשר תמיסת הרקע (blank) הייתה מים אנליטיים. מדידת UV נערכה במכשיר UV/VIS Spectrophotometer (תוצרת Thermo) ונעשתה בטווח של 210 עד 500 ננומטר, ברווחים של 5 ננומטר. קריאת UV נעשתה באורך גל של 254 ננומטר. למדידת פולואורסנציה קדמה מדידת UV בספקטרופוטומטר באורך גל של 250 ננומטר. על פי קריאת הצפיפות האופטית באורך גל זה נעשה מיהול של התמיסה הנמדדת כך שהקריאה ב-250 ננומטר לא תעלה על 0.05 יחידות. לאחר המיהול, התמיסות נמדדו במכשיר Spectrofluorophotometer (תוצרת SHIMADZU), כשהפרמטרים למדידה היו: טווח אורכי גל לפליטה-210-590 ננומטר, טווח אורכי גל לעירור-210-600 ננומטר, ורוחב ה-slit-5 ננומטר. ניתוח מטריצות העירור-פליטה המתקבלות ממדידת הפולואורסנציה נעשה בשיטה כימוטרית תוך שימוש במודל (6) Parallel factor analysis (PARAFAC).

בדיקות הפאזה המוצקה של הקרקע בוצעו כדלקמן:

א. מדידת ריכוז פחמן אורגני וחנקן כללי במוצק באמצעות NC Soil Analyzer. (תוצרת Thermo)

ב. בדיקות לפעילות אנזימטיות בדוגמאות הנ"ל (בוצעו בקרקעות מרבדים ונחל עוז בלבד). בדיקת FDA (*Fluorescein Diacetate*) נערכה על פי הפרוצדורה הבאה: 5 גר' מכל קרקע או תערובת קרקע קומפוסט יבשה אוויר הוכנסה לארלנמייר בנפח 100 מ"ל. לתוכם הוספו 45 מ"ל של תמיסת Buffer Phosphate 0.2M (pH 7.6), ו- 100 מיקרוליטר של תמיסת FDA (3,6-diacetylfluorescein) בריכוז 2000 מג"ל באצטון. לאחר מכן, הדוגמאות הודגרו בטמפרטורה של 30°C למשך שעה. בתום השעה, הדוגמאות סורכזו במהירות של 3500 סל"ד למשך 10 דקות, סוננו דרך פילטר 0.45 מיקרוליטר נמהלו פי 10 או 20, והצפיפות האופטית של התצליל נמדדה במכשיר UV/VIS spectrophotometer באורך גל של 494nm. התוצר של הפעילות האנזימטית הנמדד בתהליך זה הינו Fluorescein. תמיסת הרקע למדידות אלה היתה תמיסת Buffer Phosphate. כיוול הצפיפות האופטית עבור מדידות אלו נעשה על פי סטנדרטים שהוכנו מתמיסת Fluorescein באצטון בריכוז 2000 מג"ל. בדיקת דה-הידרוגנאז נערכה על פי הפרוצדורה הבאה: 6 גר' מהקרקע או מתערובת קרקע-קומפוסט יבשה אוויר הועברה למבחנות פלסטיק בנפח 50 מ"ל, אליהן הוספו גם 0.2 גר' של CaCO₃. המבחנות טוטלו קלות ביד לערבוב התכולה. לאחר מכן, אל כל מבחנה הוספו 2.5 מ"ל של מים מזוקקים ו- 1 מ"ל תמיסה מימית של 3% TTC (2,3,5-TriphenylTetrazoliumChloride). המבחנות טוטלו קלות לערבוב התכולה, נסגרו בפקקים והודגרו למשך 24 שעות בטמפרטורה של 37°C. בתום ההדגרה 10 מ"ל של אתנול הוספו לכל מבחנה וטולטלו באופן אופקי למשך דקה. לאחר מכן, הדוגמאות סוננו דרך נייר סינון (Whatmann No. 41). התקבלו תצלילים בצבע אדום אשר נבדקו במכשיר UV/VIS spectrophotometer למדידת הצפיפות האופטית באורך גל 458nm. התוצר של הפעילות האנזימטית הנמדד בתהליך זה הינו TPF (TriPhenylFormazane). תמיסת הרקע למדידות אלה היתה אתנאנול. כיוול הצפיפות האופטית עבור מדידות אלו נעשה על פי סטנדרטים שהוכנו מתמיסת TPF באתנאנול בריכוז 1000 מג"ל.

ג. בדיקת הידרופוביות הקרקע ותערובות הקרקע והקומפוסט נעשתה על ידי מדידת הזמן (שניות) הדרוש לטיפת מים שהונחה על הדוגמא לחלחל באופן מלא משטח הפנים של הדוגמא אל תוכה. לשם מדידה זו שכבה של כ- 0.5-1 ס"מ מהדוגמא ברטיבות יבש אוויר הונחה בתוך צלחת פטרי, והושטחה בעדינות באופן ידני. כמו כן, בעזרת פינצטה הוסרו מעל פני שטח הדוגמא עצמים ו/או תלכידים גדולים (מעל 2 מ"מ). באמצעות פיפטת זכוכית טופטפה טיפה אחת של מים מזוקקים על פני שטח הדוגמא מגובה שלא עולה על 5 מ"מ מעל פני הדוגמא. מרגע שהטיפה הונחה על פני השטח נמדד הזמן (בשניות) עד לחלחול מלא שלה. בכל דוגמה כזו נערכו 10 חזרות, כאשר 10 הטיפות הונחו במרחק של לפחות 1 ס"מ האחת מהשניה, על מנת לא להשפיע על תוצאות המדידות. סיווג הדוגמאות לקרקעות הידרופוביות ולא הידרופוביות כמו גם שיטת המדידה נעשו על פי סקאלת הידרופוביות ופרוטוקול המתוארים על ידי (9).

ד. אפיון של החומר אורגני המוצק בדוגמאות קרקע נעשה בעזרת בדיקת ספקטרום בליעה של FTIR. 3 מג"ל של דוגמת קרקע עורבבה עם 300 מג"ל מלח KBr. התערובת יובשה בתנור ב- 105°C למנוע הפרעה של

לחות בקריאת הספקטרה של FTIR. לאחר מכן הוכן מכל תערובת פלט (pellet) לקריאה במכשיר ששימש לקביעת הספקטרה על ידי דחיסת התערובת תוך שימוש במשקל קבוע של 9 טון (PIKE Auto-CrushIR) (hydraulic press), כל דוגמא נבדקא בשלוש חזרות. ספקטרום בליעה של FTIR נמדד בתחום אורכי הגל האמצעיים של תת-אדום, בין 4000 ס"מ⁻¹ ל- 400 ס"מ⁻¹ בצעדים של 4 ס"מ⁻¹. עבור כל דוגמא בוצעו 200 סריקות שערכיהם מוצעו לקבלת ספקטרום מייצג של הדוגמא. כל ספקטרום נמדד בטמפרטורת החדר וכנגד רקע של דוגמא נקיה של מלח KBr. ניתוח הספקטרה שהתקבלו בוצע בעזרת תוכנת OPUS 6.5 וכללה (1) תיקון עבור נוכחות CO₂ ולחות, (2) תיקון ה-baseline, (3) נירמול ספקטרום, בכדי לפצות על תנודות בטמפרטורה, לחות ולחץ חלקי של CO₂, בעזרת השיא שהתקבל באורך גל של 1034 ס"מ⁻¹ וקביעת הבליעה שלו כ- 2 וכן קביעה של הבליעה הנמוכה ביותר שהתקבלה כ- "אפס", ו- (4) שימוש בנגזרת השניה של הספקטרה לצורך "החלקתה" והקטנת רעשים.

ה. בדיקת מוליכות הידראולית ברוויה נמדדה בתום 70 ו- 180 ימי הדגרה. העמודות שהודגרו חוברו למערך של התקנים על פי המקובל עבור מדידת מוליכות הידראולית. על פני השטח העליונים של הדוגמא הונח נייר סינון בקוטר הקולונה בכדי למנוע הפרה של שטח הפנים של הדוגמא על ידי זרם המים שהוסף לקולונה מלמעלה במהלך המדידה. הקולונה נאטמה מלמעלה על ידי פקק גומי מחובר לצינורות המערכת. הקולונות הורטבו מלמטה על ידי מים מזוקקים במהירות איטית. לאחר הרוויה, מים הוזרמו אל הקולונה מלמעלה בעזרת בקבוק מריוט (שמירה על עומד קבוע), והתשטיף נאסף מתחתית הקולונה אל תוך מבחנות זכוכית. בתום התהליך נמדדו בכל מבחנה נפח התמיסה, pH והמוליכות החשמלית.

ו. יציבות תלכידים נקבעה תוך שימוש ב-Laser particle size analyser בדוגמאות לאחר 180 ימי הדגרה, כאשר בקרקע רבדים נבדקה יציבות התלכידים גם לאחר 70 ימי הדגרה. תלכיד קרקע (>2 מ"מ) מהטיפולים ללא תוספת קומפוסט ותוספת קומפוסט בשיעור של 2.5 טון חנקן להקטר נחשפו ל 5 דק' של ערבול (stirring) במים מזוקקים ולאחריהן עוד 5 דק' של ערבול יחד עם סוניפיקציה. השפעת הטיפולים על יציבות התלכידים נקבעה על פי ההבדלים בגודל תלכיד חציוני בין הדוגמאות שנבחנו.

4.2. בדיקות קרקע מניסוי שדה וניסוי ליזימטרים

השתמשנו בדוגמאות קרקע שנלקחו מניסוי שדה בקיבוץ רבדים (שנמצא בשנה הרביעית) ומניסוי ליזימטרים (מוקמו גם כן בקיבוץ רבדים) שהסתיים לאחרונה. במסגרת הניסויים שלעיל נבחנו 3 פסולות אורגניות: (א) בוצה בלתי-מפוסטרת שעברה עיכול אל-אווירני (בוצה "סוג ב") (מקור: מט"ש חיפה) [נבחנה רק בניסוי השדה]; (ב) קומפוסט מבוצה שעברה עיכול אל-אווירני (מקור: "דשן אור"-טובלן); (ג) בוצת שפד"ן מטופלת בסיד ובאפר פחם מרחף (במס"א) (מקור: חברת דן-וירו, אתר השפד"ן). הטיפולים מניסוי השדה שבדקנו במחקר הנוכחי כללו: ביקורת ללא דישון, ביקורת עם דישון מסחרי, בוצה מעוכלת (בוצה סוג ב') במינון השקול ל- 50 ק"ג N/ד', קומפוסט בוצה במינון השקול ל- 50 ק"ג N/ד', בוצה מטופלת בסיד ואפשר פחם (במס"א) במינון השקול ל- 50 ק"ג N/ד'. שלושת התוספים שלעיל נלמדו גם במינון השקול ל- 150 ק"ג N/ד'.

בניסוי הליזימטרים נלקחו דוגמאות קרקע מניסוי שהסתיים (ראה תוכנית מחקר של המדען הראשי 301-0705-11) בו נבחנו קרקע מרבדים וקרקע לס מנחל עוז. דוגמאות הקרקע שנבחנו הן דוגמאות שנלקחו בסוף שנת גידול ראשונה (2011), דוגמאות שנלקחו בשנה השלישית לניסוי לאחר פיזור הפסולות (אביב 2013), ודוגמאות שנלקחו בסוף שנת הגידול השלישית (סתיו 2013). רשימת הטיפולים שנבחנו בניסוי הליזימטרים (4 חזרות) כללה: ביקורת – קרקע ללא כל תוסף; תוספת של פסולת אורגנית במינון השקול ל-50 ק"ג N/ד'. הפסולת הוספה לקרקע כל שנה באביב; תוספת שנתית של במס"א במינון השקול ל-150 ק"ג N/ד'. הפסולות האורגניות הוספו לפני השטח והוצנעו לעומק של 15 ס"מ.

הבדיקות שבוצעו עד כה כללו קביעת תכולת פחמן אורגני וחנקן כללי במוצק, קיבול והרכב קטיונים חליפיים, מיצוי קרקע:תמיסה של 1:2 בו נקבעו EC, pH ריכוז פחמן אורגני וחנקן כללי מומסים, UV, SUVA, מדדי ריכוז פלאורסנטיים, יציבות תלכידים ומוליכות הידראולית ברוויה. תיאור מפורט של הבדיקות ניתן בסעיף 4.1.

5. תוצאות

5.1 תוצאות ניסוי הדגרה

5.1.1 תמיסת הקרקע

א. pH ומוליכות חשמלית - תוצאות ממדידת pH הקרקעות בטיפולים השונים (איור 1) מראות כי במרבית המקרים לתוספת של קומפוסט בוצת שפכים לא הייתה השפעה על ה-pH בקרקעות שנלמדו. אופי ההדגרה (טיפוס A או B) השפיע על ה-pH במעט כאשר ערכיו בטיפוס B היו קצת יותר נמוכים מאלו שהתקבלו בטיפוס A עבור קרקע ורמת תוסף נתונים. בהשוואה לקרקע שלא עברה הדגרה ולא קיבלה תוספים (קרקע מקורית), התקבלה בקרקע מזרע ובקרקע רבדים בהדגרה מטיפוס A פחיתה ב-pH בעוד שבקרקע נחל עוז ובקרקע רבדים בהדגרה מטיפוס B ערך ה-pH בתום תקופת ההדגרה היה דומה לזה של הקרקע המקורית. העדר ההשפעה או ההשפעה המינורית במקרים בהם הובחנה של הטיפולים הנבחנו על ערכי ה-pH מעידה על כשר בופר גבוה של קרקעות הניסוי שנובעת מתכולת הגיר הגבוהה שלהן (<6%, טבלה 1).

ממדידת המוליכות החשמלית (איור 2) נראה שבכל המקרים, למעט בקרקע נחל עוז בהדגרה מטיפוס B, בטיפולים שנבחנו ה-EC היה גבוה מזה שבקרקע המקורית; חלה עליה ב-EC עם עליה במשך זמן ההדגרה בקרקעות רבדים ומזרע בעוד שבקרקע נחל עוז בדרך כלל ה-EC היה קבוע; הוספת קומפוסט בשיעור הגבוה (2.5 טון חנקן/הקטאר, AR2.5, BR2.5) תרמה לעליה ב-EC בהשוואה לטיפול הביקורת והטיפול במנת הקומפוסט הנמוכה (AR0.5, BR0.5) שבהם ערכי ה-EC היו דומים.

ב. ריכוז פחמן אורגני וחנקן כללי מומסים בתמיסת הקרקע - השפעת הטיפולים שנבחנו על ריכוז הפחמן האורגני המומס מוצגת באיור 3. בשלושת הקרקעות הוספת הקומפוסט בשיעור הגבוה תרמה לריכוזי פחמן אורגני מומס שהיו גבוהים באופן מאלו שבטיפול הביקורת, בטיפול במנת הקומפוסט הנמוכה ובקרקע המקורית. השפעת ההדגרה הייתה תלויה בסוג הקרקע. בקרקע רבדים ריכוזי הפחמן בתחילת וסוף תהליך

ההדגרה היו דומים, בקרקע נחל עוז נצפתה עליה קלה ובקרקע מזרע פחיתה מסויימת בין תחילת לסוף ההדגרה. בנוסף ניתן לראות כי בהדגרה מטיפוס A התקבלו ערכים מעט נמוכים יותר מאשר בהדגרה מטיפוס B בכל אחת משלוש הקרקעות.

עבור ריכוזי החנקן הכללי המומס (איור 4) נמצא דמיון רב בריכוזי החנקן ואופן השתנותם עם משך ההדגרה בין הדגרה מטיפוס A לבין זו מטיפוס B בקרקע נתונה. בכל המקרים ריכוז החנקן היה גבוה יותר בדוגמאות שטופלו בטיפול R2.5 מאשר דוגמאות שעברו טיפול R0.5 ודוגמאות הביקורת במרבית מועדי הדיגום. כמו כן נצפתה הצטברות של חנקן בתמיסה בין תחילת לסוף תהליך ההדגרה בטיפולים השונים המעידה על התפרקות החומר האורגני המצוי בקרקע (מוסף ו/או מקורי) במהלך ההדגרה.

ג. בליעה אופטית - ממדידת הבליעה האופטית של תמיסות הקרקע באורך גל 254 nm (איור 5), ניתן ללמוד על על השינויים בריכוז החומרים הארומטיים בתמיסה; עליה בבליעה מעידה על עליה בריכוז. הוספת מנת הקומפוסט הגבוהה תרמה להעשרת תמיסת הקרקע בחומרים ארומטיים בהשוואה לשני הטיפולים האחרים. כמו כן הובחנה מגמה בה בטיפולים שנחשפו לטיפוס הדגרה B ערכי הבליעה היו גבוהים יותר מאשר הטיפולים המקבילים להם בתחת טיפוס הדגרה A בשלושת הקרקעות. נראה כי לאופי ההדגרה הייתה השפעה מסויימת על מידת ההתמוססות של חומרים ארומטיים מהחומר האורגני שבקרקע (מוסף ו/או מקורי) במהלך ההדגרה.

על הקשר בין הבליעה לבין ריכוז הפחמן האורגני המומס ניתן ללמוד מערך הבליעה הספציפית בתחום ה-UV (specific UV absorbance - SUVA) שהינו היחס בין ערך הבליעה לריכוז הפחמן המומס בכל טיפול נתון (איור 6). התוצאות מראות כי לסוג הקרקע השפעה על אופן השינוי ב SUVA במהלך תקופת ההדגרה. בשונה מהממדים שנסקרו עד כה (בהם לא היה הבדל במדד הנבחן בין טיפול הקומפוסט הנמוך והביקורת), ערכי ה- SUVA עבור שני טיפולי הקומפוסט היו בדרך כלל דומים וגבוהים מאלו שהתקבלו בטיפול הביקורת. תוצאה זו מצביעה על כך שהחומר האורגני המוסף היה עשיר יותר בחומרים ארומטיים בהשוואה לחומר האורגני הקרקעי.

ד. פלאורסנציה - דוגמה של מפות עירור-פליטה-עוצמה המתקבלות ממדידות הפלואורסנציה בתמיסות שנבדקו מוצגות באיורים 7. מניתוח כימוטרי של המפות בעזרת PARAFAC עולה כי ניתן לזהות שלושה מרכיבים פלואורסנטיים בחומר האורגני המסיס שהתקבל בטיפולים השונים. הרכיבים הפלואורסנטיים שזוהו בקרקעות רבדים ונחל עוז היו רכיבים 1 ו-2 שהינם רכיבים דמויי חומרים הומיים, ורכיב 3 – רכיב דמוי חומר חלבוני. בקרקע מזרע שלושת הרכיבים היו דמויי חומרים הומיים. השפעת הטיפולים על הרכיבים השונים נבחנה על פי השינוי במדד הריכוז (concentration score) של רכיב נתון בקרקע נתונה לעומת מדד הריכוז שלו בקרקע המקורית (קרי הקרקע ללא תוסף אורגני ולפני הדגרה).

התוצאות עבור הקרקע מרבדים מוצגות באיור 8. המגמה העיקרית שניתן לזהות בקרקע זו היא שהשינוי במדד הריכוז היחסי (relative concentration score) בכל אחד משלושת הרכיבים שזוהו בהשוואה

לערך של כל אחד מהם בקרקע המקורית תחת משטר הדגרה נתון, דומה. במשטר הדגרה מטיפוס A מדד הריכוז היחסי בתחילת ההדגרה עבור שלושת הרכיבים היה דומה או נמוך מזה שבקרקע הביקורת ואילו בסוף ההדגרה מדד הריכוז היחסי היה דומה לזה שבקרקע המקורית. במשטר הדגרה מסוג B מדד הריכוז היחסי בתחילת ההדגרה עבור שלושת הרכיבים היה דומה או גבוה מזה שבקרקע הביקורת ואילו בסוף ההדגרה מדד הריכוז היחסי היה דומה לזה שבקרקע המקורית. מכאן שבאופן יחסי לא חלה העשרה או הידלדלות במרכיב פלואורסנטי מסויים ביחס למרכיבים האחרים בשני משטרי ההדגרה. הסיבה לשוני בהשפעת משטר ההשקיה על מדדי הריכוז היחסי בתחילת תקופת ההדגרה אינו ברור בשלב זה.

התוצאות עבור הקרקע מנחל עוז מוצגות באיור 9. בקרקע זו נצפו שתי מגמות עיקריות (I) עליה במדד הריכוז היחסי עבור שלושת המרכיבים בכל הטיפולים מהמדידה בתחילת ההדגרה לזו שבסופה ו- (II) הערכים במדד הריכוז היחסי עבור הטיפול עם מנת הקומפוסט הגדולה היו בדרך כלל גבוהים יותר (בעיקר בסוף תהליך ההדגרה) מאלו שהתקבלו בשאר הטיפולים בכל אחד משלושת הרכיבים הפלואורסנטיים. בנוסף, ניתן לראות כי בסוף משך ההדגרה במקרה של הטיפול עם מנת הקומפוסט הגדולה חלה העשרה גדולה יותר במרכיב 3 (ערכים <2.2) מאשר בשני המרכיבים ההומיים (ערכים >2).

התוצאות עבור הקרקע ממזרע מוצגות באיור 10. עבור מרכיבים 1 ו-2 (חומרים הומיים) ערכי המדד לריכוז יחסי בתחילת ההדגרה היו דומים או נמוכים מזה שהתקבל בקרקע המקורית. עבור מרכיב 3 (חומר דמוי חלבוני) ערכי המדד לריכוז יחסי בתחילת ההדגרה היו דומים או גבוהים מזה שהתקבל בקרקע המקורית. כמו כן נצפתה עליה במדד הריכוז היחסי עבור שלושת המרכיבים בכל הטיפולים מהמדידה בתחילת ההדגרה לזו שבסופה. כמו בקרקע נחל עוז, גם בקרקע מזרע חלה העשרה גדולה יותר בחומר הדמוי חלבוני בהשוואה לזו שנצפתה בחומרים ההומיים בסוף תהליך ההדגרה.

תוצאות מדידות הפלואורסנציה מראות כי מדדי הריכוז עבור המרכיבים שזוהו בתמיסת הקרקע (מנורמלים למדד הריכוז שהתקבל בקרקע המקורית) הושפעו מסוג הקרקע, משך ההדגרה ותוספת הקומפוסט. ישנה התאמה מסויימת בין המגמות שנצפו במדידה הנוכחית לבין המגמות שנצפו במדידת ריכוז הפחמן האורגני בתמיסת הקרקע (איור 3).

5.1.2 הפאזה המוצקה של הקרקע

א. פחמן וחנוקן בפאזה המוצקה – תוצאות תכולת הפחמן האורגני בפאזה המוצקה של הקרקע מוצגות באיור 11. בדומה לתוצאות הפחמן האורגני המומס (איור 3), רק לתוספת הגדולה של קומפוסט (טיפול R2.5) הייתה השפעה על העלאת תכולת הפחמן האורגני המוצק בהשוואה לקרקע המקורית. בנוסף רק בקרקע מזרע הדגרה של טיפול הביקורת וזה של תוספת הקומפוסט הנמוכה גרמו לעליה בתכולת הפחמן המוצק בהשוואה לקרקע המקורית. ככלל, ההדגרה של הדוגמאות (בשני טיפוסים ההדגרה) לא גרמה לשינויים משמעותיים בתכולת הפחמן האורגני. למרות שבהדגרה מטיפוס A התקבלו ערכים מעט נמוכים יותר של פחמן אורגני מומס מאשר בהדגרה מטיפוס B בכל אחת משלוש הקרקעות (איור 3) הדבר לא בא לידי ביטוי בתכולת הפחמן האורגני המוצק (איור 11).

תוצאות תכולת החנקן הכללי בפאזה המוצקה מוצגות באיור 12. בדומה לתוצאות עבור תכולת הפחמן האורגני המוצק, רק התוספת הגדולה של קומפוסט תרמה לעליה בתכולת החנקן הכללי בהשוואה לטיפול הביקורת. לאורך משך ההדגרה תכולת החנקן במוצק הייתה די קבועה למעט בקרקע נחל עוז בה נצפו ערכי חנקן נמוכים מאוד ובלתי מוסברים לאחר 14 ימי הדגרה.

ב. פעילות אנזימטית- ככלל, בבדיקת FDA, המזהה פעילות פטרייתית בקרקע, לא נמצאו הבדלים משמעותיים בריכוזי ה-Fluorescein (איור 13) והשתנותם לאורך זמן ההדגרה בין טיפול A ו-B של כל קרקע בנפרד. בשתי הקרקעות חלה עליה מסויימת בריכוז ה-Fluorescein במהלך 70 ימי ההדגרה, קרי חלה עליה בפעילות ההפטרייתית בקרקע עם משך ההדגרה. אולם בהשוואה לערכי ה-Fluorescein שהתקבלו בקרקע לא מטופלת (זמן אפס) הערכים בטיפול ההדגרה היו נמוכים יותר (איור 9) דבר המעיד על כך שמשטרי ההדגרה שהופעלו גורמים לדיכוי של הפעילות הפטרייתית בהשוואה לקרקע המייצגת את המצב בשדה.

תוצאות מבחן הדה-הידרוגנאז המייצגות את רמת הפעילות המיקרוביאלית בקרקע (איור 14) הראו שבדומה לתוצאות בדיקת ה-FDA, ערכי ה-TPF שהתקבלו בטיפולים השונים היו נמוכים בהשוואה לאלו שהתקבלו בקרקע המקורית. כמו כן נצפתה בדרך כלל ירידה בריכוז ה-TPF במהלך ההדגרה עצמה. התנהגות יוצאת דופן נצפתה עבור טיפולי AR0.5 ו-AR2.5 בקרקע נחל עוז כאשר חלה עליה בריכוזי TPF עד 42 ימי הדגרה ושוב ירידה לאחר 70 ימי הדגרה.

ג. הידרופוביות - דרגת ההידרופוביות (איור 15) של הדוגמאות מטיפולי R0.5 ודוגמאות הביקורת הייתה זהה בשלושת הקרקעות והקרקעות סווגו כבלתי הידרופוביות (זמן חידור לטיפת מים > 1 שניה). ככלל, זמן החלחול של טיפת מים בקרקע עבור דוגמאות עם תוספת הקומפוסט הגבוהה (R2.5) היה מעט גבוה יותר אך עדיין אלו סווגו כבלתי הידרופוביות (זמן חידור > 5 שני). רק בקרקע רבדים לאחר הדגרה של 180 יום נצפו זמני חידור בטיפול R2.5 המעידים על תחילת התפתחות תנאים הידרופוביים בפני הקרקע ביחוד בדוגמא שנחשפה למשטר הדגרה מטיפוס A.

ד. אפיון מרכיבי חומר אורגני מוצק בעזרת FTIR – בדיקה זו וניתוח התוצאות בוצעו בדוגמאות מקרקע רבדים. מניתוח הספקטרה שהתקבל בדוגמאות השונות ניתן היה לזהות נוכחות של מרכיבים הידרופיליים באורך גל של 1637 סמ^{-1} , ושלוש קבוצות CH אליפטיות שונות באורכי גל של 2929, 2980 ו- 2873 סמ^{-1} המייצגות חומר אורגני בעל מאפיינים הידרופוביים. התוצאות באיור 16 מציגות את השטח המתקבל מתחת לכל שיא של ספקטרום בכל אחד מאורכי הגל שצויינו לעיל. התוצאות מראות כי למשך ולמשטר ההדגרה ולתוספת הקומפוסט (R2.5) לא הייתה השפעה מובהקת על מאפייני החומר האורגני המוצק שנבחנו. תוצאה זו מפתיעה כיון שבחנו את הטיפול בו הוספה כמות הקומפוסט הגדולה שתרמה 0.7 גר' של פחמן אורגני לקרקע שהכילה 1.38 גר' פחמן אורגני.

ה. מוליכות הידראולית ברוויה - השפעות הטיפולים שנבחנו על המוליכות ההידראולית בקרקע רבדים מוצגות באיור 17. התוצאות שהתקבלו מראות (I) שתוספת של קומפוסט בוצה ותהליך הדגרה משפרים את המוליכות ההידראולית בהשוואה לזו של הקרקע המקורית, (II) במקביל לעליה במשך ההדגרה (בשני משטרי ההדגרה) חלה עליה במוליכות ההידראולית, (III) המוליכות ההידראולית תחת משטר הדגרה מטיפוס A גבוהה יותר בזמן הדגרה נתון מזו שהתקבלה במשטר הדגרה מטיפוס B. האבחנה האחרונה נגדה את ציפיותנו שהתבססו על המחקר של (10) בו דווח שמחזורי יבוש והרטבה משפרים את המוליכות ההידראולית של הקרקע. התרומה של תוספת קומפוסט לשיפור במוליכות ההידראולית בהשוואה לטיפול הביקורת (קרקע ללא תוסף שעברה הדגרה) באה לידי ביטוי באופן מובהק רק לאחר 180 ימי הדגרה תחת שני המשטרים. בקרקע ל (איור 18) נצפו אותן תופעות שצוינו לעיל עבור קרקע רבדים אך בעוצמה פחותה.

בקרקע החרסיתית ממזרע במשטר הדגרה מטיפוס A (איור 19) התוצאות שהתקבלו דומות לאלו שהתקבלו בקרקע רבדים, קרי תוספת קומפוסט ומשך ההדגרה שיפרו את המוליכות ההידראולית בהשוואה לקרקע המקורית. ראוי לציון כי בקרקע זו להדגרה עצמה הייתה השפעה גדולה מאוד כאשר עבור טיפול הביקורת (הדגרה ללא תוספת קומפוסט) המוליכות ההידראולית גדלה פי 4~ במעבר מ-70 ימי הדגרה ל 180 ימי הדגרה. לעומת זאת בטיפולים עם הקומפוסט העליה הייתה מינורית בלבד במעבר למשך ההדגרה הארוך. בקרקע מזרע תחת משטר הדגרה מטיפוס B ו-70 ימי הדגרה המוליכות ההידראולית בטיפול הביקורת וטיפולי הקומפוסט הייתה גבוהה יותר מאר בטיפולים המקבילים תחת משטר ההדגרה מטיפוס A. מגמה זו הייתה בניגוד לתוצאות שנצפו בקרקעות הלס מנחל עוז והחרסית החולית מרבדים ובהתאמה לדיווח בספרות (10). אפשר שבקרקע חרסיתית (מזרע) תהליך ייצוב התלכידים ויצירת מבנה יציב, השומר על נקבובי הקרקע מוליכי המים, מושפע ממחזורי יבוש והרטבה בצורה משמעותית יותר מאשר קרקעות בעלות תכולת חרסית נמוכה יותר. לצערנו בדוגמאות שהיו תחת משטר הדגרה מטיפוס B למשך 180 יום נצפו בעיות בעמודות שלא אפשרו קבלת תוצאות מיהימנות.

ו. יציבות תלכידים - תוצאות בדיקת יציבות התלכידים מוצגות כשינוי בגודל התלכיד החציוני [D(0.5)] עבור כל דקה במהלך 10 הדקות בהן בוצעה הבדיקה (איור 20). ככלל, ככל שגודל החלקיק החציוני גדול יותר הדבר מעיד על עמידות גבוהה יותר של התלכידים כנגד כוחות הערבול ומכאן על יציבות תלכידים גדולה יותר. התוצאות מראות כי ניתן היה להבחין בהבדלים ביציבות התלכידים בין הטיפולים שנבחנו בקרקעות השונות רק במהלך עירבול הקרקע (5 דקות ראשונות של הבדיקה). כאשר התלכידים נחשפו לאנרגיה של סוניפיקציה בנוסף לעירבול (5 דקות אחרונות של הבדיקה) חלה פחיתה גדולה ומובהקת בגודל החלקיק החציוני והערכים היו דומים עבור כל הטיפולים. כצפוי יציבות התלכידים הייתה תלויה בטיפוס הקרקע. בקרקע החרסיתית ממזרע נצפה שלהוספת קומפוסט לא הייתה השפעה גודל התלכיד החציוני. מאידך גודל החלקיק החציוני בדוגמאות מהדגרה בטיפוס A היה גבוה באופן מובהק מאשר בדוגמאות מהדגרה מטיפוס B. מאידך, באופן בלתי צפוי, גודל החלקיק החציוני בקרקע המקורית היה גדול יותר מאלו שנצפו עבור התלכידים מהדוגמאות שהיו בהדגרה ואלו שלהן הוסף הקומפוסט. בקרקע הלס מנחל עוז לא היו לטיפולים שנבחנו (תוספת קומפוסט

וטיפוס הדגרה) השפעה על גודל התלכיד החציוני. קרקעות לס ידועות במבנה הלא יציב שלהן לכן התוצאות עבור קרקע זו אינן מפתיעות. עם זאת, הובחנה מגמה בה גודל התלכיד החציוני בקרקע המקורית הייתה גבוה מזה שנצפה בדוגמאות שהודגרו (בדומה לתצפית בקרקע מזרע). בקרקע החרסיתית-חולית מרבדים, להבדיל מהקרקע החרסיתית ממזרע וקרקע הלס מנחל עוז, גודל התלכיד החציוני בקרקע המקורית היה נמוך (70 ימי הדגרה) או דומה (180 ימי הדגרה) לגודל התלכיד החציוני שהתקבל בדוגמאות שהודגרו ואלו שהוסף להן קומפוסט. בדומה לקרקע מזרע, גודל החלקיק החציוני בדוגמאות מהדגרה בטיפוס A היה גבוה מאשר בדוגמאות מהדגרה מטיפוס B. התוצאות שהתקבלו ומצביעות על כך שהדגרה מטיפוס B שאמורה לדמות טוב יותר תנאים בשדה (הדגרה במחזורי הרטבה ויבוש) מחלישות את התלכידים בהשוואה להדגרה בתכולת רטיבות קבועה (טיפוס A), ונמצאות בהתאמה עם תוצאות המוליכות ההידראולית עבור קרקעות רבדים ונחל עוז.

5.2 תוצאות ניסוי ליזימטרים

א. בליעה אופטית וריכוז פחמן אורגני מומס - ממדידת הבליעה האופטית של תמיסות הקרקע באורך גל 254 nm (איור 21), ניתן ללמוד על על השינויים בריכוז החומרים הארומטיים בתמיסה; עליה בבליעה מעידה על עליה בריכוז. בקרקע רבדים נצפה דלדול בריכוז החומרים הארומטיים בתמיסת טיפול הביקורת לעומת הקרקע המקורית. בטיפולים של תוספת קומפוסט בוצה או בוצה מיוצבת בסיד ובאפר פחם (במס"א) רק בדיגום שנערך לאחר הוספת החומרים הללו לקרקע (בתחילת עונת 2013) נצפתה העשרה בחומרים הארומטיים בתמיסת קרקע לה הוספה מנה גדולה של במס"א או קומפוסט בוצה בהשוואה לקרקע המקורית. בדיגומים שנערכו בסוף עונת הגידול הן בשנת 2011 והן בשנת 2013 ריכוז החומרים הארומטיים בתמיסת טיפול הביקורת היה דומה או נמוך מזה שנמצא בתמיסת הקרקע המקורית. עם זאת, בטיפול בו הוסף קומפוסט בוצה נמצא שלתוספת שנתית של הקומפוסט הייתה השפעה שאריתית בקרקע זו כאשר ריכוז החומרים הארומטיים בתמיסת הקרקע בדיגום מסוף 2013 היה גבוה באופן מובהק מזה שהתקבל מדיגום מסוף שנת 2011. את ההשפעה השאריתית של קומפוסט הבוצה שלא נמצאה בבמס"א ניתן לייחס לתכולת הפחמן האורגני הגבוהה יותר בקומפוסט הבוצה (22%) בהשוואה לבמס"א (8%).

בקרקע מנחל עוז לא נצפה דלדול בריכוז החומרים הארומטיים בתמיסת טיפול הביקורת לעומת הקרקע המקורית. הוספת הבמס"א בכמות קטנה (50 קג' d/N) תרמה לעליה חדה בריכוז החומרים הארומטיים בבדיקה שנעשתה תוך זמן קצר לאחר הוספת הבמס"א. ראוי גם לציון שלתוספת שנתית של במס"א הייתה השפעה שאריתית בקרקע זו (לא נצפתה בקרקע מרבדים) כאשר ריכוז החומרים הארומטיים בתמיסת הקרקע בדיגום מסוף 2013 היה גבוה מזה שהתקבל מדיגום מסוף שנת 2011. העובדה שבקרקע הלס מנחל עוז תכולת הפחמן האורגני היא רק 0.52% בהשוואה ל- 0.92% בקרקע מרבדים (טבלה 1) יכולה להסביר את ההשפעה המצטברת שיש להוספת במס"א בכמות קטנה על ריכוז החומרים הארומטיים בתמיסת הקרקע מנחל עוז ושלא נצפתה בקרקע מרבדים.

בניגוד לתוצאות הבליעה שצוינו לעיל, ריכוז הפחמן האורגני המומס בשתי הקרקעות בתום הניסוי (סוף עונת גידול 2013) היה בדרך כלל גבוה יותר בדוגמאות הקרקע להן הוספו הפסולות האורגניות. בקרקע הלס ריכוז הפחמן האורגני המומס עלה מ-23 ל-46 ח"מ בעקבות הוספת במס"א בשיעור 50 ק"ג N/ד'. בקרקע מרבדים ריכוז הפחמן האורגני המומס עלה ל-55 ו-43 ח"מ בטיפול הקומפוסט בוצה והבמס"א בשיעור של 150 ק"ג N/ד', בהתאמה. לעומת זאת בטיפול הבמס"א בשיעור 50 ק"ג N/ד' ריכוז הפחמן האורגני המומס היה דומה לזה שבקרקע הביקורת, (31 ח"מ).

ב. פלאורסנציה - ניתוח כימוטרי של מפות הערעור-פליטה שהתקבלו במדידה (בדומה למפות שהוצגו באיור 7) בעזרת PARAFAC הראה כי ניתן לזהות ארבעה מרכיבים פלאורסנטיים בחומר האורגני המומס שהתקבל בטיפולים השונים. המרכיבים הפלאורסנטיים שזוהו בקרקעות רבדים ונחל עוז היו רכיבים 1, 2 ו-3 שהינם רכיבים דמויי חומרים הומיים, ורכיב 4 – רכיב דמוי חומר חלבוני. השפעת הטיפולים על המרכיבים השונים נבחנה על פי השינוי במדד הריכוז (concentration score) של רכיב נתון בקרקע נתונה לעומת מדד הריכוז שלו בקרקע המקורית.

בקרקע רבדים, בדומה לתוצאות שהתקבלו עבור בדיקת הבליעה האופטית, נצפה דלדול במדד הריכוז של המרכיבים הפלאורסנטיים בתמיסת טיפול הביקורת לעומת הקרקע המקורית (איור 22). אולם, בדיגום שנערך לאחר הוספת הפסולות האורגניות לקרקע (בתחילת עונת 2013) נצפתה העשרה ברכיבים הפלאורסנטיים בתמיסת קרקע בכל הטיפולים בהשוואה לטיפול הביקורת. בדיגומים שנערכו בסוף עונת הגידול הן בשנת 2011 והן בשנת 2013 מדדי הריכוז של המרכיבים הפלאורסנטיים בתמיסת הקרקע היו דומים לאלו שהתקבלו בטיפול הביקורת ולעיתים אף נמוכים מזה שנמצא בתמיסת הקרקע המקורית.

בקרקע מנחל עוז, בדומה לקרקע מרבדים, בדיגום שנערך לאחר הוספת הפסולות האורגניות לקרקע (בתחילת עונת 2013) נצפתה העשרה ברכיבים הפלאורסנטיים בתמיסת קרקע בטיפול בהשוואה לטיפול הביקורת; עוצמת ההעשרה היתה קטנה יותר מזו שנצפתה בקרקע מרבדים (איור 23). בשני מועדי הבדיקה האחרים (סוף עונת הגידול של 2011 ו-2013), מדד הריכוז של 4 המרכיבים הפלאורסנטיים היה דומה או גבוה במעט מזה שהתקבל בקרקע המקורית. ראוי לציין שמדד הריכוז של רכיבים 1, 2 ו-3 היה גבוה יותר בסוף שנת 2013 מאשר בסוף שנת 2011 דבר המעיד על הצטברות של רכיבים פלאורסנטיים בקרקע בעקבות תוספת פסולת אורגנית וגידול בקרקע.

ג. יציבות תלכידים - תוצאות בדיקת יציבות התלכידים מוצגות כשינוי בגודל התלכיד החציוני [D(0.5)] עבור כל דקה במהלך 10 דקות בהם נחשפו התלכידים לערעור בעזרת ערבול (stirring) ושבמהלך בוצעה הבדיקה. ככלל, ככל שגודל החלקיק החציוני גדול יותר הדבר מעיד על עמידות גבוהה יותר של התלכידים כנגד כוחות הערבול ומכאן על יציבות תלכידים גדולה יותר. התוצאות עבור הקרקע מרבדים (איור 24) מראות כי חלה פחיתה בגודל התלכיד החציוני עם הזמן (מעבר מסוף שנת 2011 לסוף שנת 2013). בסוף שנת 2011 גודל התלכיד החציוני לאחר 5 דק' ערבול היה בתחום 79-104 מיקרון עבור הטיפולים השונים בעוד שבסוף

שנת 2013 גודל התלכיד החציוני עבור הטיפולים השונים היה בתחום 76-81 מיקרון. נראה שפיזור שנתי של תוספים ועיבוד הקרקע שנדרש לצורך הגידול גרם להפרה ביציבות התלכידים בקרקע שגרמה לפגיעה מצטברת ביציבותם. בנוסף, בסוף 2013 (סוף הניסוי) לא היה הבדל בין הטיפולים, קרי תוספת מצטברת של במס"א לא תרמה לייצוב התלכידים במערך הניסויי שנבחן.

התוצאות עבור הקרקע מנחל עוז (איור 25) מראות כי לטיפולים, לתוספת מצטברת של במס"א ולמועד הדיגום לא היו השפעות מובהקות על גודל התלכיד החציוני שכנראה הוכתב על ידי היציבות האינהרנטית של תלכיד הקרקע.

5.2 תוצאות ניסוי שדה ברבדים

א. תכולת פחמן אורגני וחנקן כללי בקרקע – ערכי תכולת הפחמן האורגני וחנקן כללי בקרקע מוצגים באיור 26. התוצאות מראות שלאחר 4 שנות הפעלת הניסוי תוספת של פסולות אורגניות וכן דישון מינרלי גרמו לעליה בתכולת שני יסודות אלו בפאזה המוצקה בקרקע. העליה בתכולה נעה בתחום של 20 עד 60% עבור שני היסודות. לכמות הפסולת המוספת הייתה השפעה על שני המדדים שנבחנו רק במקרה של קומפוסט הבוצה, כאשר עליה בכמות המוספת גרמה לעליה בתכולת המדדים. ראוי לציין שבכל הטיפולים שנבחנו נשמר יחס פחמן:חנקן של 1:10.

ב. ריכוז פחמן אורגני וחנקן כללי מומסים – ריכוז הפחמן האורגני המומס עלה בכל הטיפולים בהשוואה לטיפול הביקורת למעט טיפול תוספת במס"א בשיעור 50 קג' N/ד' (איור 27). העליה החדה ביותר מריכוז של 35 גר'/'ל' בטיפול הביקורת לריכוז של 70 מג'/'ל' הייתה בטיפול תוספת קומפוסט בוצה בשיעור 150 קג' N/ד'. גם בריכוז החנקן המומס הכללי חלה עליה בעקבות הוספת הפסולות האורגניות והדישון המינרלי (איור 27). אולם, השפעת הטיפולים על ריכוז החנקן המומס הכללי הייתה גבוהה יותר מאשר השפעתם על הפחמן האורגני. הוספת הפסולות גרמה לעליה של פי 2.5-5 בריכוז החנקן הכללי המומס בהשוואה לריכוזו בטיפול הביקורת. שלא כצפוי, ריכוז החנקן הכללי המומס בטיפולי הפסולות שניתנו בשיעור 150 קג' N/ד' היו דומים או נמוכים מזה שהתקבל בטיפולי הפסולות שניתנו בשיעור הנמוך יותר (50 קג' N/ד').

ג. פלואורסנציה - ניתוח כימומטרי של מפות הערעור-פליטה שהתקבלו במדידה (בדומה למפות שהוצגו באיור 7) בעזרת PARAFAC הראה כי ניתן לזהות שלושה מרכיבים פלואורסנטיים בחומר האורגני המומס שהתקבל בטיפולים השונים. המרכיבים הפלואורסנטיים שזוהו בקרקע בניסוי השדה ברבדים היו רכיבים 1 ו-2 שהינם רכיבים דמויי חומרים הומיים, ורכיב 3 דמוי חומר חלבוני (איור 28). השפעת הטיפולים על המרכיבים השונים נבחנה על פי השינוי במדד הריכוז (concentration score) של רכיב נתון בקרקע לעומת מדד הריכוז שלו בטיפול הביקורית (קרקע ללא תוספים ודישון).

כל הטיפולים (כולל הדישון המינרלי), למעט תוספת במס"א בשיעור 50 קג' N/ד', גרמו לעליה במדד הריכוז של שלושת המרכיבים הפלואורסנטיים בהשוואה לטיפול הביקורת. העליה הגדולה ביותר במדד הריכוז

של הרכיבים הפלואורסנטיים התקבלה בטיפול תוספת קומפוסט בוצה בשיעור 150 קג' N/d'. תופעות דומות עבור שני הטיפולים שלעיל נצפו גם עבור ריכוז הפחמן האורגני המומס (איור 27). תוצאות מדידות הפלואורסנציה מראות כי מדדי הריכוז עבור המרכיבים שזוהו בתמיסת הקרקע (מנורמלים למדד הריכוז שהתקבל בקרקע המקורית) הושפעו בדרך כלל מתוספת פסולת אורגנית. ממצא זה שונה מהממצאים בניסוי הליזימטרים שבו עבור קרקע רבדים נמצא ששלוש שנים של תוספת פסולת אורגנית לא גרמה לשינוי במדדי הריכוז של הרכיבים הפלואורסנטיים בהשוואה לטיפול הביקורת (איור 22).

ד. יציבות תלכידים - תוצאות בדיקת יציבות התלכידים מוצגות כשינוי בגודל התלכיד החציוני $[D(0.5)]$ עבור כל דקה במהלך 5 דקות בהם נחשפו התלכידים לערעור בעזרת ערבול (stirring) ושבמהלכן בוצעה הבדיקה. במקרה הנוכחי קוצרה הבדיקה ל- 5 דקות כיון שנוכחנו לדעת שלאחר 5 דקות את הבדלים משמעותיים ביציבות התלכידים בין הטיפולים (ראה איור 22). ככלל, ככל שגודל החלקיק החציוני גדול יותר הדבר מעיד על עמידות גבוהה יותר של התלכידים כנגד כוחות הערבול ומכאן על יציבות תלכידים גדולה יותר. התוצאות מראות שיציבות התלכידים בטיפולי קומפוסט בוצה-150 קג' N/d' ובמס"א-50 קג' N/d' היו גבוהים באופן מובהק מטיפולי הביקורת ובמס"א-150 קג' N/d' (איור 29). יציבות התלכידים בשאר הטיפולים לא הייתה שונה באופן מובהק מזו שהתקבלה בטיפולי הקצה. תוספת הפסולת האורגנית תרמה במידה מסויימת לשיפור ביציבות התלכידים. אנו משערים שיציבות התלכידים הנמוכה שהתקבלה בטיפול הבמס"א-150 קג' N/d' נובעת מתוספת גדולה של אפר פחם שגודל חלקיקיו מצוי בתחום גודל חלקיקי הסילט, הידוע בכך שאינו תורם ליצוב חלקיקי הקרקע.

ה. מוליכות הידראולית ברוויה – בבדיקת המוליכות ההידראולית ברוויה של דוגמאות הקרקע מהשדה התקבלו ערכים נמוכים ודומים בסוף כל בדיקה. לכן לצורי השוואה בין הטיפולים בחרנו להשתמש בערך המוליכות ההידראולית הממוצע שהתקבל בכל בדיקה. התוצאות מראות כי למעט תוספת קומפוסט בוצה בשיעור 50 קג' N/d', תוספת הפסולת שיפרה את המוליכות ההידראולית בהשוואה לקרקע לא מטופלת (איור 30), כאשר לתוספת במס"א בשיעור 50 קג' N/d' הייתה ההשפעה הגדולה ביותר. כפי שצויין קודם לכן, תוספת במס"א מעשירה את הקרקע באפר פחם שגודל חלקיקיו מצוי בתחום גודל חלקיקי הסילט. אנו משערים שתוספת חומר במקטע גודל של חלקיק סילט לקרקע רבדים בעלת 40% חרסית יכולה לגרום לשינוי בגודל הנקבוב הממוצע שיאפשר תנועת מים מהירה יותר בקרקע המטופלת בהשוואה לקרקע לא מטופלת.

ו. מבחנים סטטיסטיים – בניסיון לבחון קשרים בין המדדים השונים שנקבעו בדוגמאות הקרקע בניסוי השדה ערכנו מבחן קורלציה (טבלה 2). בטבלה "הצהבנו" תוצאות בהם מקדם הקורלציה > 0.5 . לא נמצא מתאם בין מאפייני החומר האורגני והמדדים ליציבות מבנה קרקע ותכונותיה ההידראוליות. קשרים מעניינים שנצפו וראויים לציון היו (1) קשר ישר בין רמת חנקן מוספת לבין תכולת פחמן אורגני בקרקע, (2) קשר שלילי בין ה- ESP וריכוז חנקן מומס, (3) קשר שלילי בין pH ומדד הריכוז של הרכיבים הפלואורסנטיים F2 ו F3, (4) קשר ישיר

בין ה- EC והיחס F1/F2, (5) קשר ישיר בין יציבות תלכידים לאחר דקה (AS-1) לבין המוליכות ההידראולית הממוצעת (HC1).

6. דיון כללי

במחקר הנוכחי בחנו את המאפיינים של החומר האורגני במצב מוצק ומומס ותכונות מייצגות יציבות מבנה קרקע של קרקעות שטופלו בפסולות אורגניות. הבחינה נעשתה בעזרת ניסויי הדגרה במעבדה וכן בדוגמאות קרקע שנלקחו מניסוי ליזימטרים שהסתיים ומניסוי שדה פעיל שנמצא בשנתו הרביעית.

הוספת פסולות אורגניות לקרקע צפויה לגרום לעליה בתכולת הפחמן האורגני והחנקן הכללי בקרקע. התוצאות שלנו הראו כי תוספת של פסולת בשיעור 150-250 קג' N/ד' אכן גורמת לעליה בתכולת הפחמן האורגני והחנקן הכללי. מאידך, תוספת של פסולות בשיעור של 50 קג' N/ד' הייתה אפקטיבית בניסוי השדה ברבדים (איור 26) אך לא השפיעה בניסוי ההדגרה (איור 11). ההבדל בתוצאות בין שני הניסויים נובע כנראה מהעובדה שברבדים ניתנו התוספות לקרקע בכל שנה בעוד בניסוי ההדגרה התוספת הייתה פעם אחת בלבד. למרות השינויים שחלו בתכולת החומר האורגני בקרקע לא הצלחנו לזהות שינויים בהרכב החומר האורגני המוצק בקרקע. בעזרת מדידות ה- FTIR הצלחנו לזהות נוכחות של מרכיבים הידרופיליים ושלוש קבוצות CH אליפטיות שונות. אולם לא מצאנו הבדלים בספקטרומים של הרכיבים שלעיל בין תוספת קומפוסט הבוצה בשיעור 250 קג' N/ד' לבין טיפול הביקורת (איור 16). נראה שלתוספת חד פעמית של פסולת אורגנית לקרקע (ניסוי ההדגרה) ישנה השפעה חזקה הניתנת לזיהוי על תכולת מרכיבי החומר האורגני, בעוד לצורך זיהוי של שינויים בהרכבו יש צורך כנראה בהוספת כמויות פסולת גדולות יותר.

כמו במקרה של תכולת הפחמן האורגני בקרקע, ריכוז הפחמן האורגני המומס עלה כתוצאה מהוספת פסולות בשיעור של 150-250 קג' N/ד' בכל מערכות הניסוי שנבחנו. הוספת קומפוסט בוצה בשיעור של 50 קג' N/ד' לא גרמה במרבית המקרים לעליה בריכוז הפחמן המומס בניסוי ההדגרה (איור 3); כך גם הוספת במס"א בשיעור דומה בניסוי השדה (איור 27). הפסולות הנוספות שיושמו בניסוי השדה גרמו לעליה בריכוז הפחמן האורגני המומס. נראה שבמקרה של הבמס"א בעלת תכולת החומר האורגני הנמוכה (8%), להוספת פסולת זו בשיעור נמוך לא תמיד ישנה השפעה על הפחמן האורגני הזמין להתמוססות. לעומת הפחמן האורגני, ריכוז החנקן הכללי בטיפולי הפסולות השונים היה תמיד גבוה יותר מטיפול הביקורת. זאת כמובן עקב העובדה שהוספת הפסולות בניסויים השונים נעשתה על בסיס כמות חנקן שווה (250, 150 או 50 קג' N/ד').

בניגוד למקרה של החומר האורגני המוצק בו לא מצאנו הבדלים בהרכב החומר האורגני בעקבות תוספת הפסולות לקרקע, הרכב החומר האורגני המומס הושפע מתוספת הפסולות לקרקע. תוצאות מדידות בליעה אופטית הראו שהוספת הפסולות גרמה בדרך כלל להעשרת תמיסת הקרקע בחומרים ארומטיים, המעידה על כך שהפסולות שהוספו עשירות בחומר אורגני ארומטי מסיס. במקרה של מדידות הפלואורסנציה נמצא שהשפעת הוספת הפסולות על מדד הריכוז של הרכיבים הפלואורסנטיים שזוהו הייתה תלויה בסוג הקרקע. בקרקע הלס תוספת קומפוסט בוצה בשיעור הגבוה (250 קג' N/ד') בניסוי ההדגרה ותוספת במס"א בניסוי הליזימטרים תרמו לעליה במדד הריכוז של המדדים שזוהו בהשוואה לטיפול הביקורת. בקרקע מרבדים

הן בניסוי ההדגרה והן בניסוי הליזימטרים תוספת הפסולות לא השפיעה על מדדי הריכוז של הרכיבים שזוהו. מאידך, בדוגמאות הקרקע שנלקחו מניסוי השדה בקרקע רבדים הוספת פסולות, למעט במס"א בשיעור 50 קג' N/ד', גרמה לעליה במדדי הריכוז של הרכיבים הפלואורסנטיים (איור 28) שהייתה בהתאמה לעליה להתנהגות ריכוז הפחמן המומס בקרקע זו (איור 27). התוצאות עבור הקרקע מרבדים מצביעות על האפשרות שתכונות הרכיבים הפלואורסנטיים בחומר האורגני המומס תלויות לא רק בהוספה של חומר אורגני ממקור חיצוני (למשל פסולות אורגניות) אלא גם ממאפייני החומר האורגני בקרקע שתלויים במימשק וסוג הגידול, השונים בניסוי שדה מאלו שקיימים בניסוי מעבדתי או ניסוי בליזימטרים.

העליה בתכולת הפחמן האורגני בעקבות הוספת הפסולות לא גרמה להיווצרות תנאים הידרופוביים בפני הקרקע בניסוי ההדגרה, למרות שחלה עליה מסויימת בזמן החידור למים אך לא באופן שהשפיע על שינוי סיווג הקרקע להידרופובית. לדעתנו אין חשש להיווצרות תנאים הידרופוביים כתוצאה מתוספת פסולות אורגניות בתנאי שדה כיון שהקרקע בשדה עוברת במהלך השנה עיבודים שונים הגורמים להפרה של פני השטח שבתורה פוגעת בהתפתחות תנאים הידרופוביים בפני השטח (11).

תרומת הוספת הפסולות האורגניות לקרקע ליציבות התלכידים לא הייתה חד משמעית והשתנתה כתלות במערכת הניסויית. בניסוי ההדגרה תוספת הפסולות לא גרמה ליציוב התלכידים בשלושת הקרקעות שנבחנו בהשוואה לטיפול הביקורת (קרקע מודגרת ללא תוספת פסולות אורגנית). בניסוי הליזימטרים נצפתה מגמה בה לתוספת הפסולות הייתה תרומה זמנית ליציוב התלכידים כפי שנצפה בשתי הקרקעות שנדגמו זמן קצר לאחר תוספת הפסולות (איור 22 ו- 23 תת-איור "2013A"). אולם, לאחר עונת הגידול בסוף שנת 2013 יציבות התלכידים בטיפול הפסולות הייתה דומה לזו שבטיפול הביקורת בשתי הקרקעות. בדוגמאות מניסוי השדה ברבדים התקבלה תמונה מורכבת כאשר רק בשני טיפולים (קומפוסט בוצה-150 קג' N/ד' ובמס"א-50 קג' N/ד') התקבלה יציבות תלכידים שהייתה גבוהה באופן מובהק מטיפול הביקורת (איור 29). יציבות התלכידים בשאר הטיפולים לא הייתה שונה באופן מובהק מזו שהתקבלה בטיפול הקצה. ראוי לציון, שתוספת גדולה של במס"א (150 קג' N/ד') בעייתית מבחינת יציוב תלכידים בקרקע כיון שהיא מעשירה את הקרקע באפר פחם שגודל חלקיקיו מצוי בתחום גודל חלקיקי הסילט, הידוע בכך שאינו תורם ליציוב חלקיקי הקרקע. תוצאות מבחני יציבות התלכידים מצביעות על כך שיציבות התלכידים מושפעת ממגוון תכונות קרקע ומשטר וסוג הגידול ולכן העשרת הקרקע בחומר אורגני ממקור חיצוני (1) לא בהכרח תורמת ליציוב התלכידים, (2) במקרה וישנה תרומה ליציוב התלכידים, היא מתבטאת לא פעם בתרומה לזמן קצר בלבד.

להוספת פסולות אורגניות הייתה השפעה חיובית על המוליכות ההידראולית. ניסוי ההדגרה הראו כי עצם ההדגרה תורמת לעליה במוליכות ההידראולית ובנוסף לה הוספת פסולות מעלה את המוליכות ההידראולית בהשוואה לקרקע שהודגרה ללא תוספת פסולות. גם תוצאות בדיקת המוליכות ההידראולית בדוגמאות מניסוי השדה ברבדים הראו שבמרבית המקרים (למעט קומפוסט בוצה בשיעור 50 קג' N/ד'), תוספת הפסולות שיפרה את המוליכות ההידראולית בהשוואה לקרקע לא מטופלת (איור 30). עוצמת ההשפעה בדוגמאות מניסוי השדה הייתה בדרך כלל לא גדולה. תוצאה זו נמצאת בהתאמה עם תוצאות המוליכות ההידראולית בניסוי ההדגרה בו נמצא שבהדגרה תחת משטר של מחזורי יבוש והרטבה (B) ערכי

המוליכות ההידראולית נמוכים יותר ומתקבלים הבדלים קטנים יותר בין הטיפולים מאשר תחת הדגרה במשטר רטיבות קבוע (טיפול (A)).

תוצאות הניסויים שנערכו הראו שלתוספת פסולות אורגניות לקרקע יש השפעה על מאפייני החומר האורגני המוצק והמומס וכן על תכונות פיזיקליות של הקרקע. עוצמת ההשפעה תלויה בסוג הקרקע, בסוג וכמות הפסולת ואופי הניסוי. לאור תוצאות אלו ניתן היה לצפות שימצא קשר בין מאפייני החומר האורגני לבין המדדים הפיזיקליים. במבחן קורלציה שערכנו עבור הנתונים שנאספו מניסוי השדה לא נמצא מתאם בין מאפייני החומר האורגני והמדדים ליציבות מבנה קרקע ותכונותיה ההידראוליות. חוסר הצלחה זה לקשר בין שינויים במאפייני החומר האורגני לבין יציבות תלכידים ומוליכות הידראולית ברוויה יכולה לנבוע מהסיבות הבאות (א) שילוב שלהן: (1) מאפייני החומר האורגני שנבחנו אינם בעלי השפעה משמעותית על שינויים ביציבות התלכידים ובכשר הקרקע להוליך מים, (2) לתנאים בהם נערכו הניסויים הייתה השפעה גדולה שמיסכה את אלו של הפסולות האורגניות על התכונות המייצגות יציבות מבנה קרקע.

הבעת תודה

המחברים מביעים תודה למדען הראשי של משרד החקלאות על עזרתו במימון המחקר ולגב' מגי ווגר על איסוף הנתונים והעזרה בהכנת הדוח.

7. רשימת ספרות מצוטטת

1. Piccolo, A., Mbagwu, J.S.C. 1999. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1801-1810.
2. Tarchitzky, J., Chen, Y., Banin, A. 1993. Humic substances and pH effects on sodium- and calcium-montmorillonite flocculation and dispersion. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:367-372.
3. Zsolnay, A. 2003. Dissolved organic matter: artifacts, definitions, and functions. *Geoderma.* 113: 187– 209.
4. Tarchitzky, J., Golobati, Y., Keren, R., Chen, Y. 1999. Wastewater effects on montmorillonite suspensions and hydraulic properties of sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:554-560.
5. Lado, M., Ben-Hur, M., Assouline, S. 2005. Effects of effluent irrigation on seal formation, infiltration and soil loss during rainfall. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69: 1432-1439.

6. מיכאל בוריסובר, אנה סאס (בזינאן), עיסאם סבאח, גיא לוי. 2009. שימוש בספקטרוסקופיה פלואורסנטית תלת ממדית לאפיון החומר האורגני המומס במי קולחים בדרגות טיהור שונות. *מים והשקייה* 56:26-32.

7. Ohno, T., Bro, R. 2006. Dissolved organic matter characterization using multivariate spectral decomposition of fluorescence landscapes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 2028-2037.
8. Provenzano, M.R., de Oliveira, S.C., Silva, M.R.S., Senesi, N. 2001. Assessment of maturity degree of composts from domestic solid wastes by fluorescence and Fourier transform infrared spectroscopies. *J. Agric. Food Chem.* 49(12): 5874-5879.
9. Doerr, S. H. 1998. On standardizing the 'water drop penetration time' and 'molarity of an ethanol droplet' techniques to classify soil hydrophobicity: a case study using medium textured soils.
10. Malusis, M.A., Yeom, S., and Evans, J.C. 2011. Hydraulic conductivity of model soil bentonite backfills subjected to wet-dry cycling. *CC and Geotech. J.* 48: 1198-1211.
11. Graber, R.E., Ben-Arie, O., and Wallach, R. 2006. Effects of sample disturbance on soil water repellency determination in sandy soils. *Geoderma*, 136:11-19.

8. סיכום עם שאלות מנחות

<p>מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.</p> <p>מטרת המחקר הייתה ללמוד את השפעת הוספת פסולות אורגניות לקרקע על מאפייני החומר האורגני בקרקע והחא"מ בתמיסת הקרקע ולבחון קיום ואופי של קשרים בין מאפיינים אלו לבין יציבות מבנה הקרקע ותכונותיה ההידראוליות.</p>
<p>עיקרי הניסויים והתוצאות.</p> <p>בצענו ניסויי ההדגרה (בשני משטרי רטיבות) בקרקעות מרבדים, נחל עוז ומזרע בנוכחות או בהעדר קומפוסט בוצת שפכים מאתר דלילה. הקרקעות נדגמו לאחר 14, 42 ו- 70 ו- 180 ימי הדגרה ונערכו בדוגמאות בדיקות כימיות ופיזיקליות על תמיסת הקרקע (pH, מוליכות חשמלית, תכולת פחמן אורגני וחנקן מסיס, צפיפות אופטית, פלואורסנציה), ועל הפאזה המוצקה (תכולת פחמן וחנקן, מבחני פעילות אנזימטית FDA ודה-הידרוגנאז, הידרופוביות, ומוליכות הידראולית). כמו כן בוצעו חלק מהבדיקות הנ"ל בדוגמאות קרקע מניסוי שדה שנערך ברבדים (נמצא בשנתו הרביעית) ומניסוי ליזימטרים (הכילו קרקע מרבדים ומנחל עוז) שהסתיים לאחרונה בהן נבדקו השפעות תוספת בוצה מעוכלת (בוצה סוג ב'), קומפוסט בוצה ובוצת שפד"ן מטופלת בסיד ובאפר פחם (במס"א).</p>
<p>תוצאות עיקריות – (1) רק לתוספת הקומפוסט בשיעור הגבוה (שיעור השקול ל- 2.5 טון חנקן להקטר) הייתה השפעה משמעותית על רוב המדדים שנבחנו בהשוואה לערכם בקרקעות שלא הודגרו; (2) תוספת קומפוסט גרמה להעשרת החומר האורגני בחומרים ארומטיים בהשוואה לחומר האורגני הקרקעי; (3) מדדי הריכוז עבור המרכיבים הפלאורסנטיים שזוהו בתמיסת הקרקע הושפעו לא רק מתוספת קומפוסט אלא גם מסוג הקרקע ומשך ההדגרה; (4) שלושת הקרקעות ללא הדגרה ואלו שהודגרו עם וללא תוספת קומפוסט נמצאו כבלתי הידרופוביות לאורך כל תקופת ההדגרה, אם כי בחלק מהמקרים זמן חלחול טיפת המים עלה עם העלייה בכמות הקומפוסט שהוסף; (5) משטר הדגרה מטיפוס B שאמור לדמות טוב יותר תנאים בשדה (הדגרה במחזורי הרטבה ויבוש) החליש את התלכידים בהשוואה להדגרה בתכולת רטיבות קבועה (טיפוס A) ונמצא בהתאמה טובה עם תוצאות המוליכות ההידראולית עבור קרקעות רבדים ונחל עוז. תוצאות בדיקות הקרקעות מניסוי הליזימטרים הראו כי שלוש שנים של הוספת פסולות אורגניות גרמה להעשרה במרכיבים הפלאורסנטיים ובחומרים הארומטיים שבחומר האורגני בקרקע, אך לא תרמה לשיפור ביציבות התלכידים. תוצאות בדיקות הקרקע מניסוי השדה ברבדים הראו שלפסולות האורגניות הייתה השפעה על מאפייני החא"מ והתכונות הפיזיקליות שנבדקו. אולם, מבחן קורלציה הראה כי לא נמצא קשר בין מאפייני החומר האורגני לבין תכונות המייצגות יציבות מבנה קרקע וכשרה להולך מים.</p>
<p>מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?</p> <p>הוספת פסולות אורגניות לקרקע משפיעה על מאפייני החומר האורגני (מוצק ומומס) בקרקע. ההשפעה תלויה בסוג הקרקע ובמטר ההרטבה. לתוספת פסולות גם השפעה על יציבות התלכידים ומוליכות הידראולית ברוויה. עם זאת, לא הצלחנו למצוא קשר מובהק בין שינויים במאפייני החומר האורגני לבין יציבות תלכידים ומוליכות הידראולית ברוויה.</p>
<p>בעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנתורה לביצוע תוכנית המחקר?</p> <p>חוסר הצלחה במחקר לקשר בין שינויים במאפייני החומר האורגני לבין יציבות תלכידים ומוליכות הידראולית ברוויה יכולה לנבוע מהסיבות הבאות (או שילוב שלהן): (1) למאפייני החומר האורגני שנבחנו אינם בעלי השפעה משמעותית על שינויים ביציבות התלכידים ובכשר הקרקע להולך מים, (2) לתנאים בהם נערכו הניסויים הייתה השפעה גדולה שמיסכה את אלו של הפסולות האורגניות על התכונות המייצגות יציבות מבנה קרקע.</p>
<p>הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - ציטוט 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>חלק מהתוצאות סוכם בצורת מאמר מדעי שהתקבל לפרסום בעיתון בין לאומי.</p>
<p>Marie-Hélène Bernier, Guy J. Levy, Pinchas Fine and Mikhail Borisover 2013. FT-IR spectroscopy analysis of organic matter in bulk samples of irrigated soils. <i>Geoderma</i> 209-210: 233-240.</p>
<p>פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)</p> <p style="text-align: right;">X < ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)</p>

9. נספחים (טבלאות ואיורים)

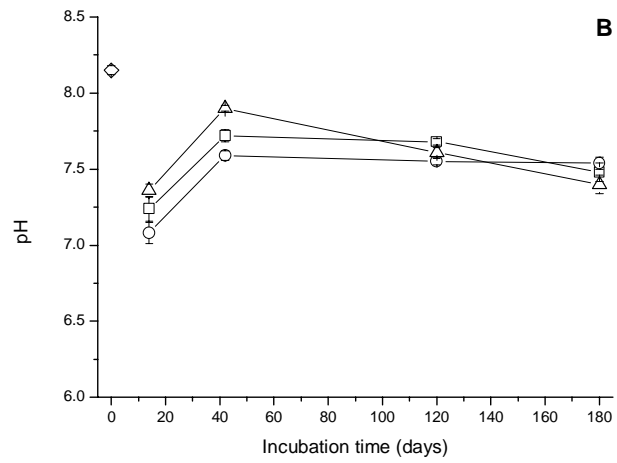
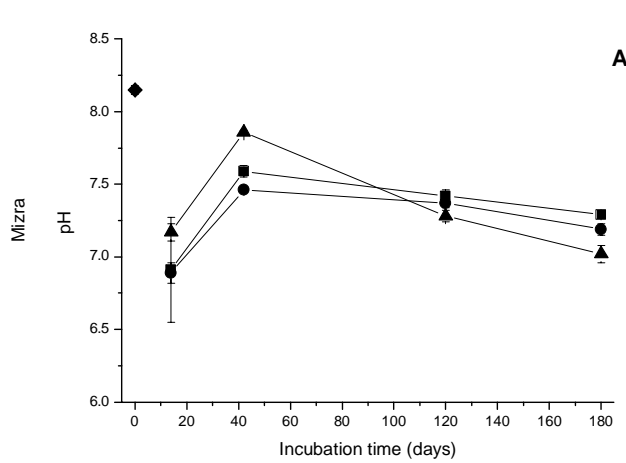
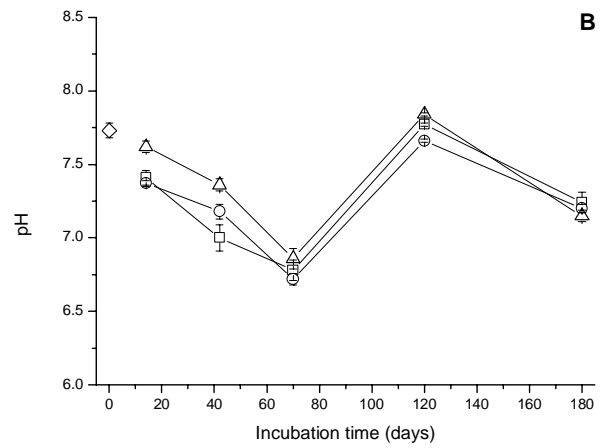
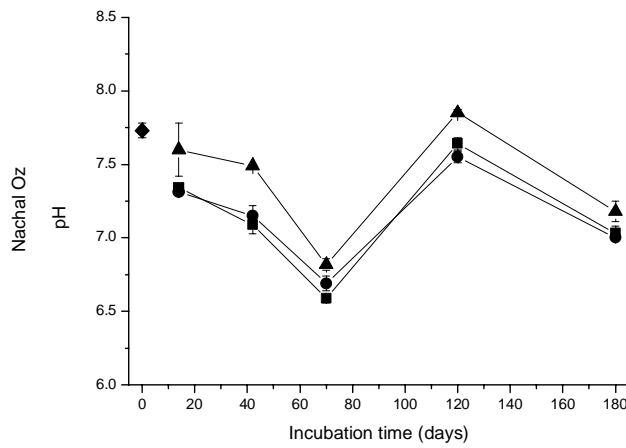
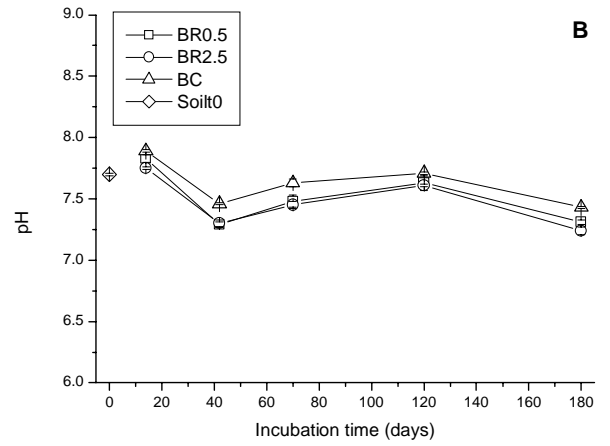
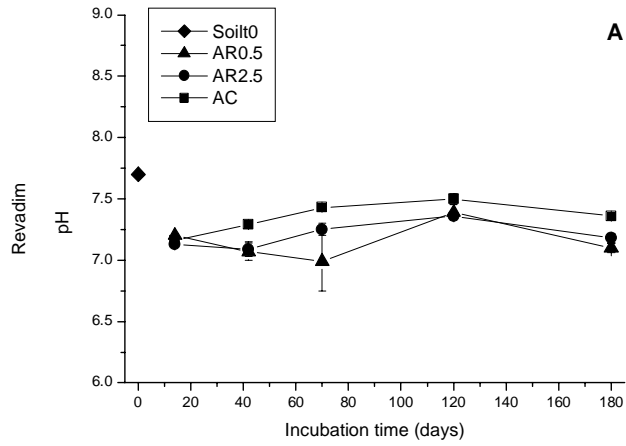
טבלה 1. אפיון כימי ופיסיקלי של קרקעות רבדים, נחל עוז, מזרע וקומפוסט בוצת שפכים מאתר דלילה.

קומפוסט בוצה	מזרע	נחל עוז	רבדים	בדיקות		
15.53 (± 1.61)	7.06 (± 0.04)	2.40 (± 0.10)	4.92 (± 0.09)	% רטיבות	מוצק	
	חרסית 67.5 סילט 10.0 חול 22.5	חרסית 23.0 סילט 22.8 חול 56.2	חרסית 39.6 סילט 15.4 חול 45.0	הרכב מכני (%)		
8.19 (± 0.08)	6.4 (± 0.78)	12.94 (± 0.34)	13.40 (± 0.07)	% גיר		
11.16 (± 1.19)	1.10 (± 0.08)	0.52 (± 0.01)	0.92 (± 0.01)	% פחמן אורגני (ממשקל יבש)		
2.5				% חנקן (ממשקל יבש)		
הידרופובי	לא הידרופובית	לא הידרופובית	לא הידרופובית	הידרופוביות		
	63.28 (± 0.00)	16.05 (± 0.37)	36.31 (± 0.74)	CEC (meq/100gr)		
	Na 0.74 meq/100gr ESP 1.17% K 3.85 meq/100gr EPP 6.08%	Na 0.68 meq/100gr ESP 4.26% K 1.26 meq/100gr EPP 7.83%	Na 0.45 meq/100gr ESP 1.25% K 1.69 meq/100gr EPP 4.66%	Exchangeable Na, K		
7.02 (± 0.08)	8.15 (± 0.03)	7.73 (± 0.05)	7.70 (± 0.01)	pH		תמיסה
2.372 (± 1.240)	0.256 (± 0.014)	1.015 (± 0.012)	0.495 (± 0.023)	EC (mS/cm)		
4.048 (± 0.016)	0.944 (± 0.002)	1.245 (± 0.034)	1.430 (± 0.018)	בליעה ב-UV (Abs 254 nm)		
1429 (± 55)	35.78 (± 0.71)	80.85 (± 0.65)	120.24 (± 1.81)	DOC (ppm)		

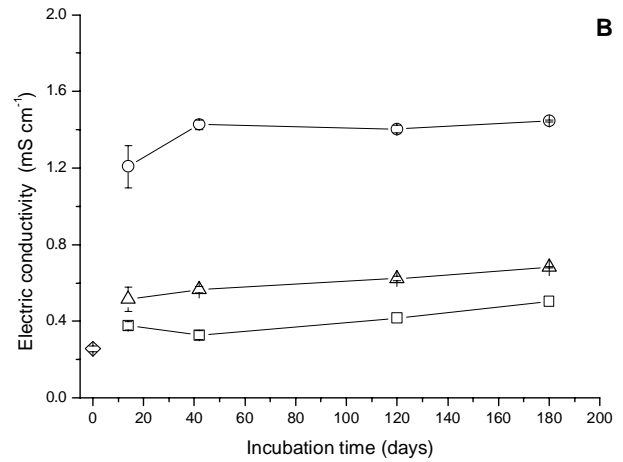
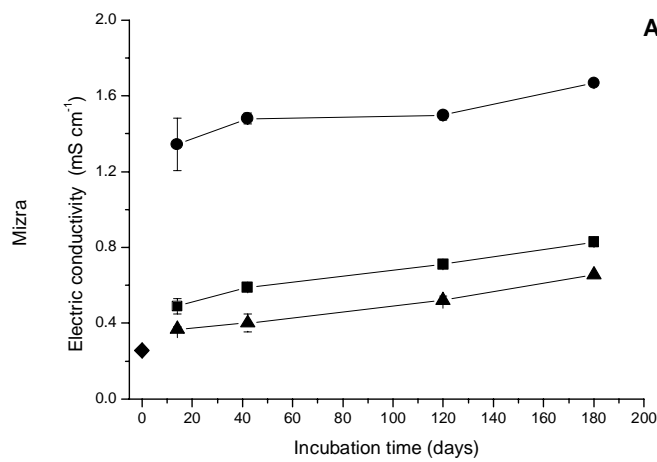
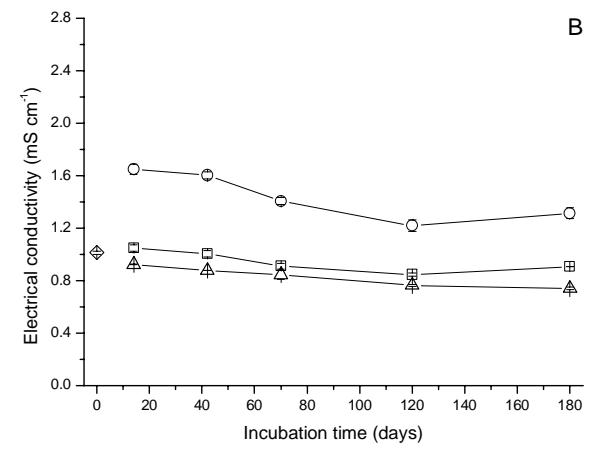
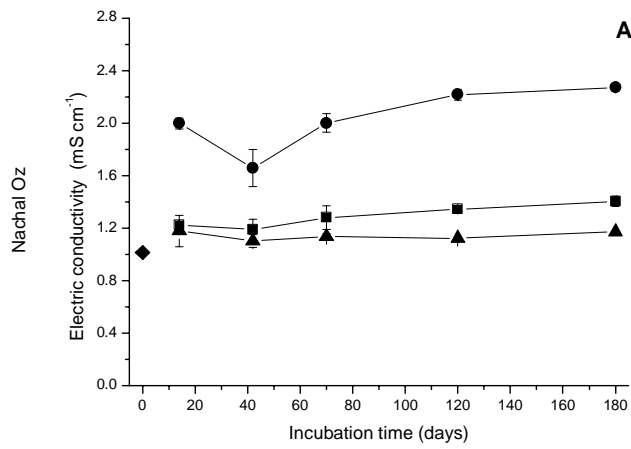
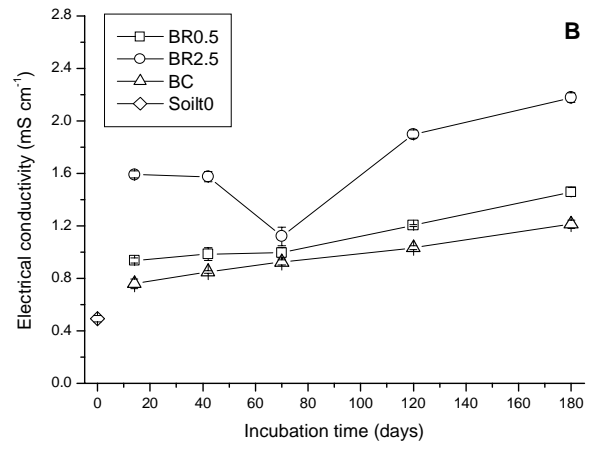
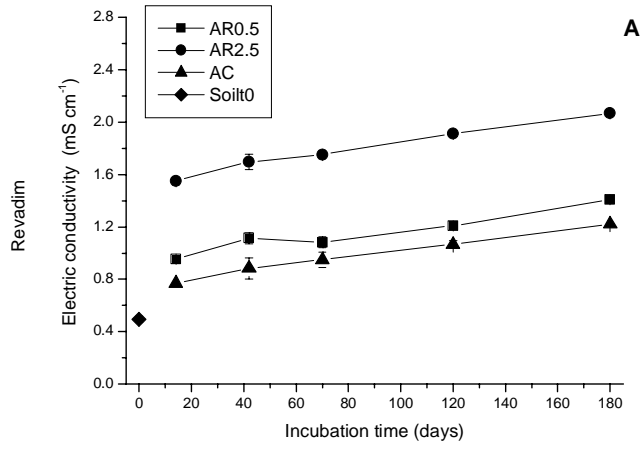
טבלה 2. ערכי קורלציה בין כל המשתנים שנבדקו בדוגמאות הקרקע מניסוי השדה ברבדים.

	N-add	ESP	EPP	TN	TOC	EC	pH	DOC	IC	Dissolv N	UV	SUVA	HC1	AS-1	AS-5	AS5/AS1	F1	F2	F3	F1/F2			
N-add	1																						
ESP	-0.34872	1																					
EPP	0.198722	-0.16328	1																				
TN	-0.06887	0.184766	0.034541	1																			
TOC	0.665763	-0.33866	0.104298	-0.11463	1																		
EC	0.350276	-0.40672	0.008106	-0.09373	0.457394	1																	
pH	-0.10227	0.060724	-0.00357	0.030518	-0.18854	0.06529	1																
DOC	0.182023	-0.34697	0.436418	-0.1861	0.489394	0.267742	-0.20395	1															
IC	0.098904	-0.05507	0.130315	-0.04604	0.287854	-0.09393	-0.77632	0.396422	1														
Dissolv N	0.165123	-0.68783	0.015994	-0.17646	0.407375	0.641171	-0.08211	0.368851	0.111616	1													
UV	0.246281	-0.26563	0.237303	-0.06637	0.528867	0.09655	-0.29807	0.766399	0.415334	0.277311	1												
SUVA	0.07502	0.075625	-0.20688	0.260034	0.120928	-0.22701	-0.17699	-0.2296	0.051434	-0.13083	0.427496	1											
HC1	0.153584	0.025376	-0.2294	0.046589	0.236633	0.224069	-0.02089	-0.08676	-0.06556	0.23553	-0.04819	0.022482	1										
AS-1	0.244112	-0.27587	-0.3044	0.070286	0.143053	0.116517	-0.10717	-0.18282	0.10649	0.181001	-0.05409	0.134774	0.46187	1									
AS-5	0.077799	-0.07823	0.003189	0.103788	0.044975	0.035619	-0.16074	-0.10135	0.134883	0.070085	0.034668	0.216599	0.520182	0.636814	1								
AS5/AS1	-0.23135	0.26959	0.396081	0.002735	-0.11303	-0.10739	-0.00141	0.126896	-0.02873	-0.17302	0.075477	0.011855	-0.07081	-0.64855	0.160289	1							
F1	0.313322	0.101305	0.106416	-0.14363	0.331152	-0.11544	-0.45632	0.306033	0.477643	-0.04765	0.365934	0.053148	0.044307	0.084612	0.162241	0.065377	1						
F2	0.236609	0.15593	0.128294	-0.11614	0.259581	-0.2361	-0.52249	0.280602	0.517262	-0.13403	0.370524	0.113647	-0.00928	0.011547	0.156098	0.14469	0.980235	1					
F3	0.216729	0.15421	0.01457	-0.1226	0.16264	-0.11913	-0.50177	0.263859	0.398029	-0.06431	0.213927	-0.10991	-0.00342	-0.05862	-0.10639	-0.02545	0.82796	0.818292	1				
F1/F2	0.430939	-0.27583	-0.13662	-0.27818	0.475831	0.52677	0.175267	0.201406	-0.03967	0.471149	0.064496	-0.29735	0.270306	0.322092	-0.01465	-0.37869	0.338939	0.155789	0.278896	1			

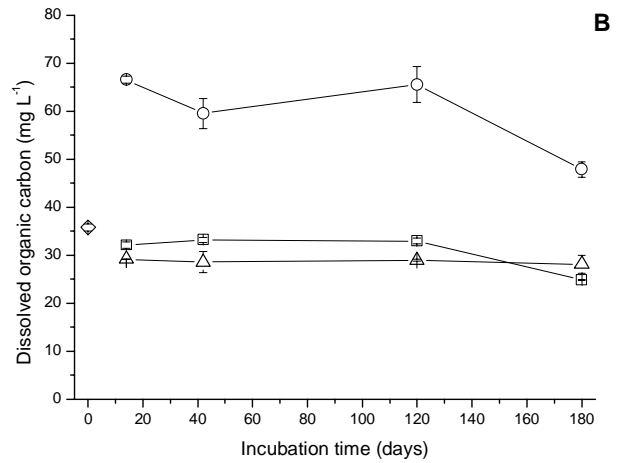
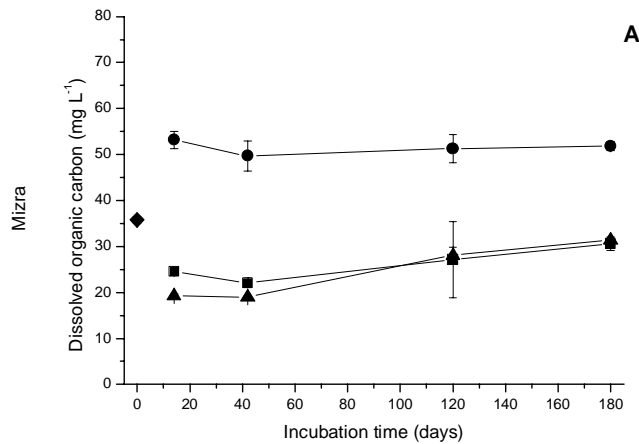
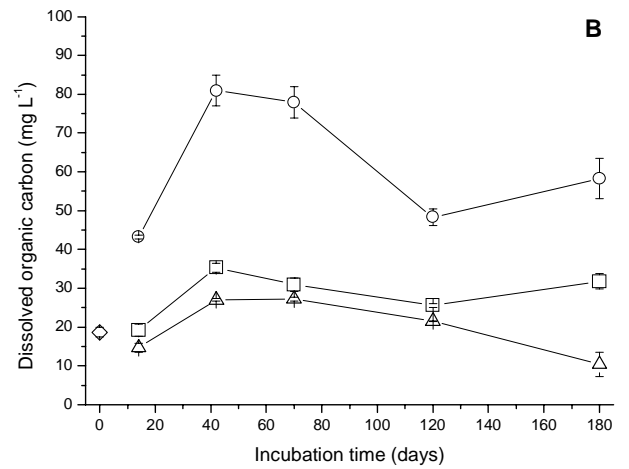
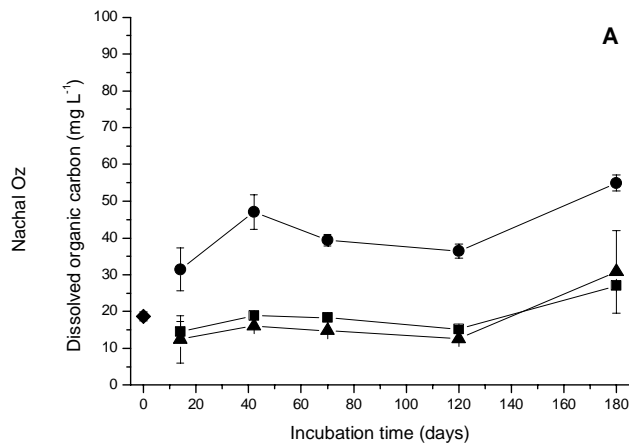
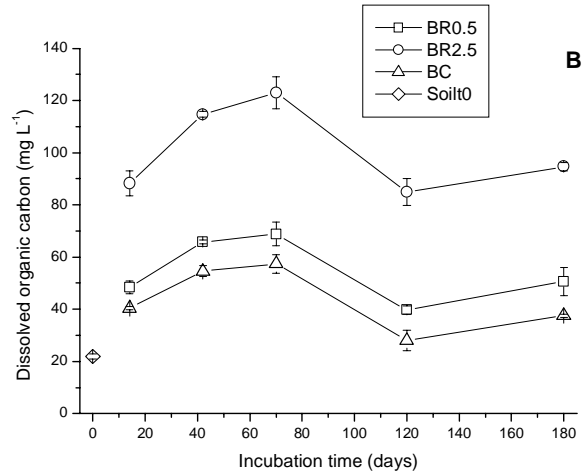
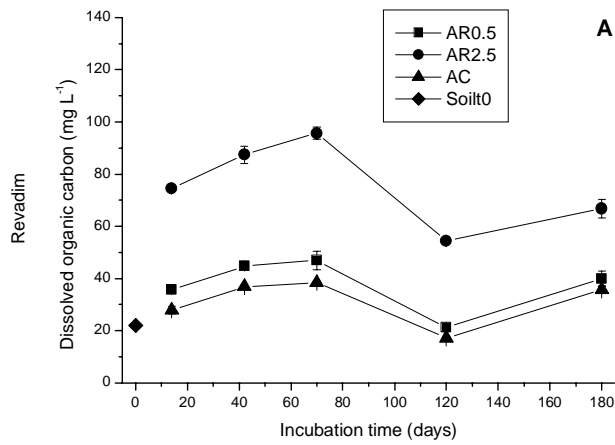
ESP ו- EPP אחוז נתון ואשלגן ספוח, בהתאמה; TN- תכולת חנקן כללי; TOC – תכולת חומר אורגני; DOC – ריכוז פחמן אורגני מומס; IC- ריכוז פחמן אי-אורגני מומס; HC1- ערך מוליכות הידראולית ממוצע; AS-1 ו- AS-5 – יציבות תלכידים אחרי 1 ו-5 דקות מדידה; F1-3 - ריכוז יחסי של שלושת ממדי הפלואורסנציה שזוהו. תאים שנצבעו בצהוב הם בעלי ערך $R < 0.5$.



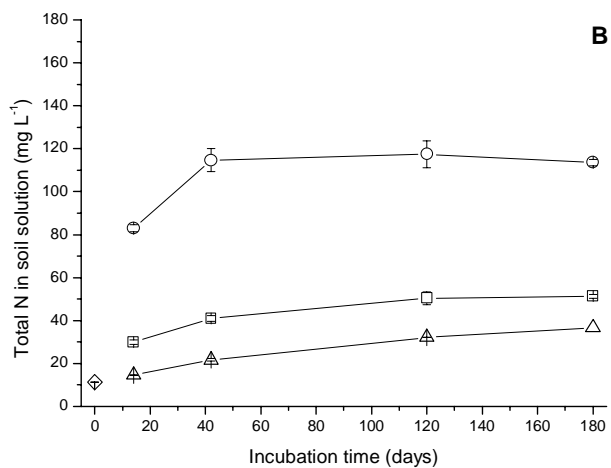
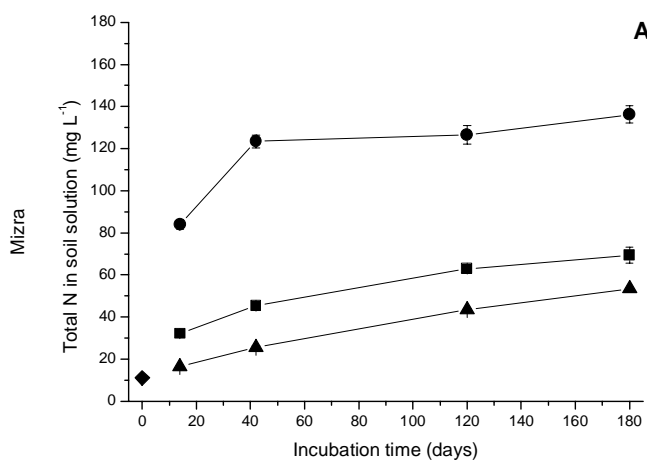
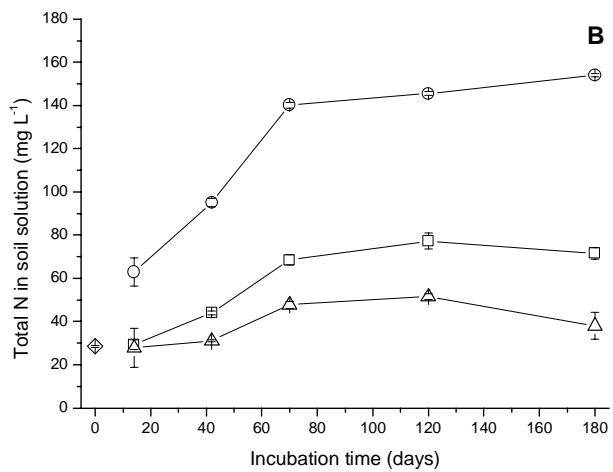
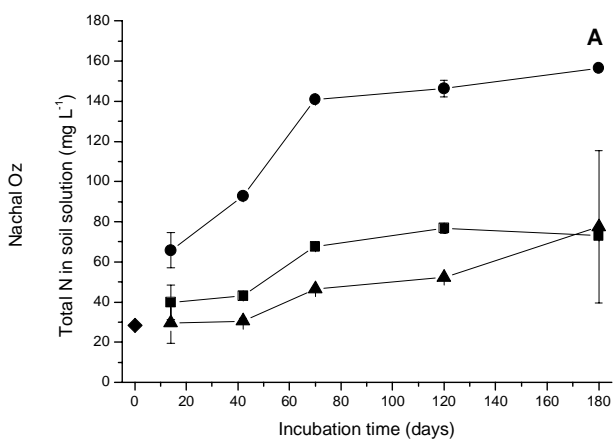
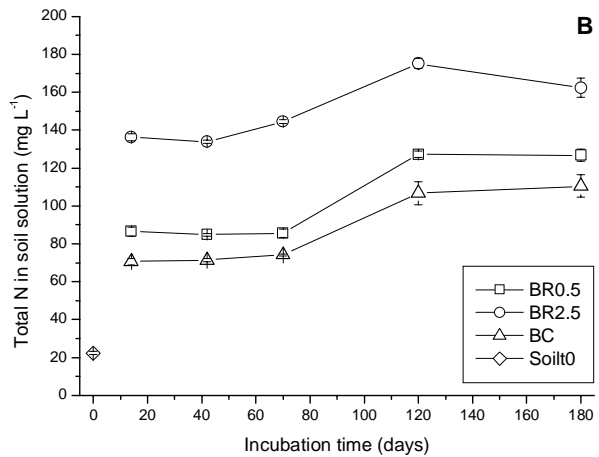
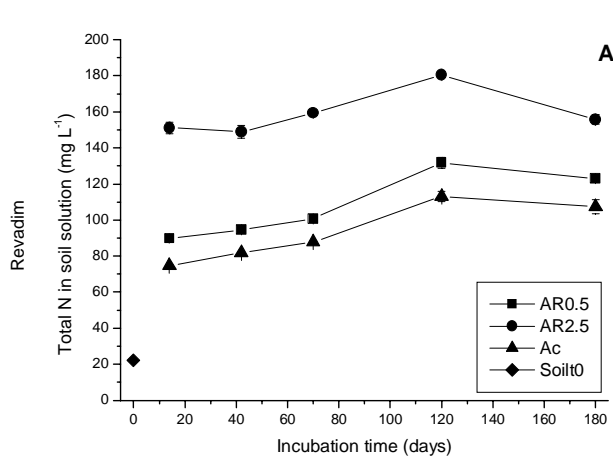
איור 1. ערכי pH של קרקעות רבדים, נחל עוז ומזרע בזמני הדגרה שונים. תתי האזורים המסומנים ב- A והסימונים מלאים הינם עבור הדגרות מטיפוס A, ותתי האזורים המסומנים ב- B והסימונים הריקים הינם עבור הדגרות מטיפוס B.



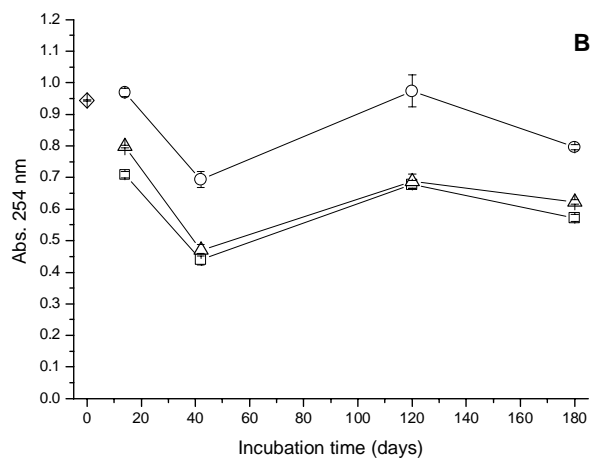
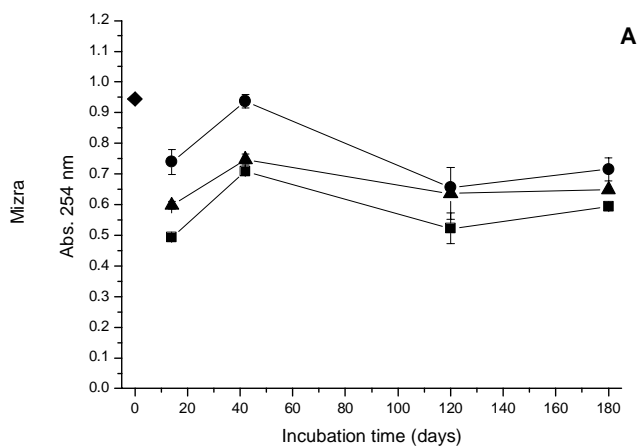
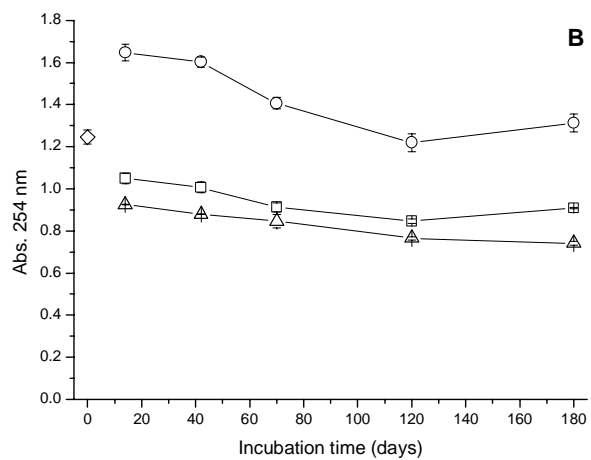
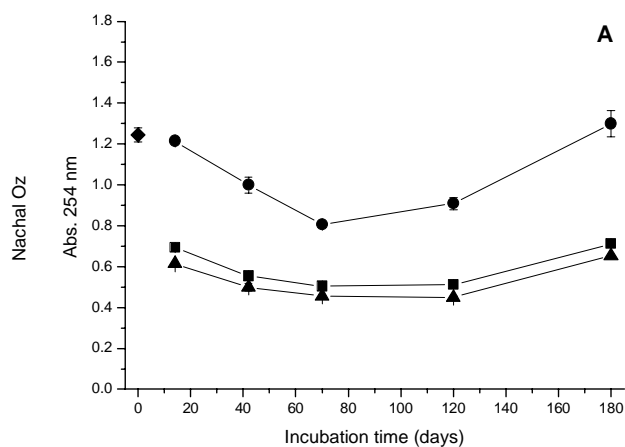
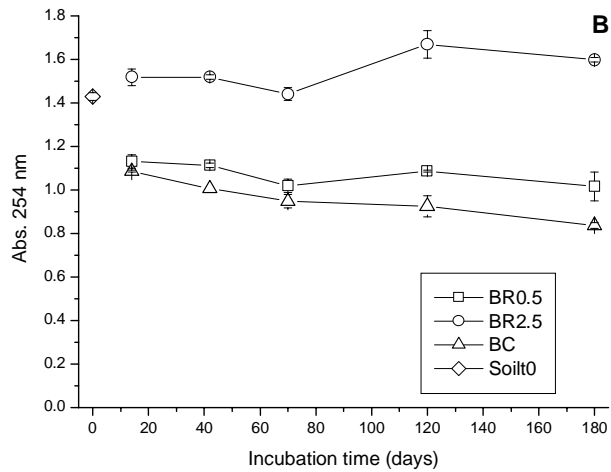
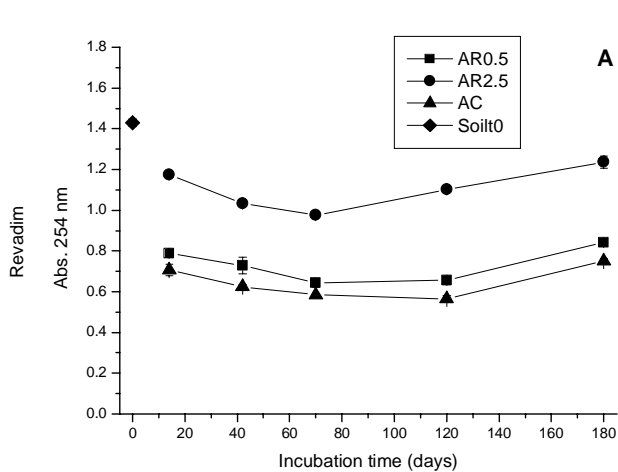
איור 2. מוליכות חשמלית של קרקעות רבדים, נחל עוז ומזרע בזמני הדגרה שונים. תתי האזורים המסומנים ב-A והסימונים מלאים הינם עבור הדגרות מטיפוס A, ותתי האזורים המסומנים ב-B והסימונים הריקים הינם עבור הדגרות מטיפוס B.



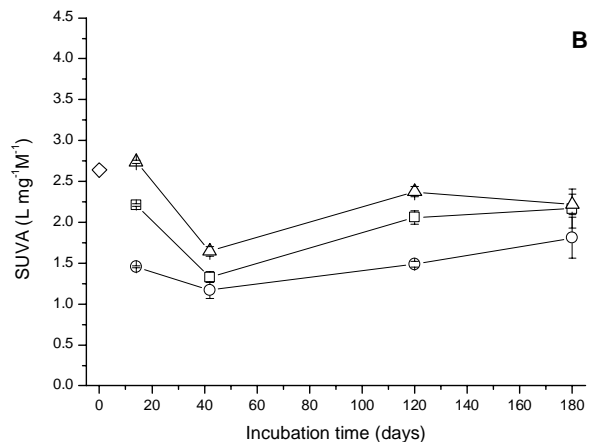
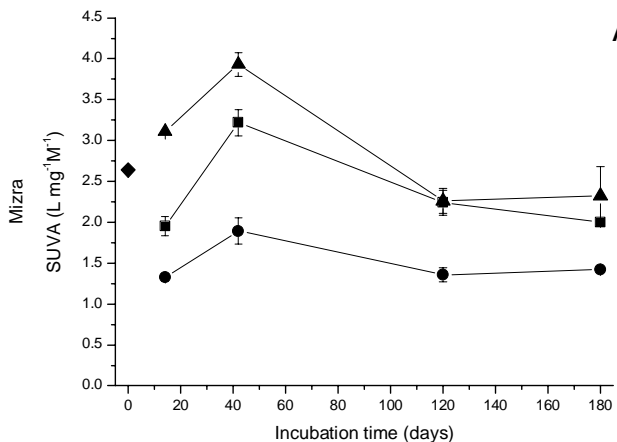
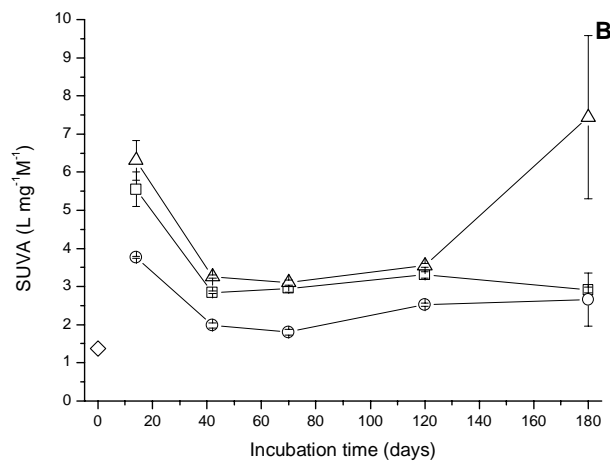
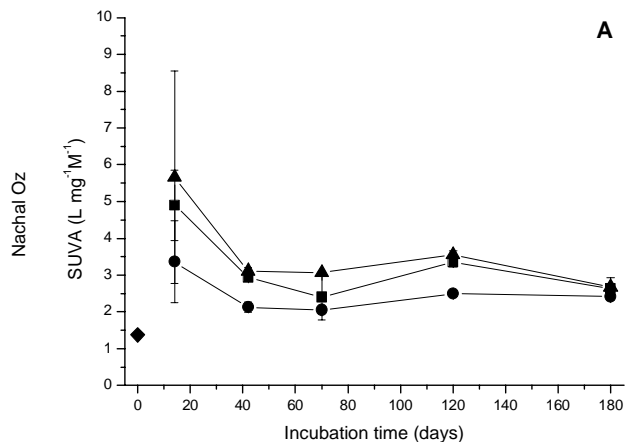
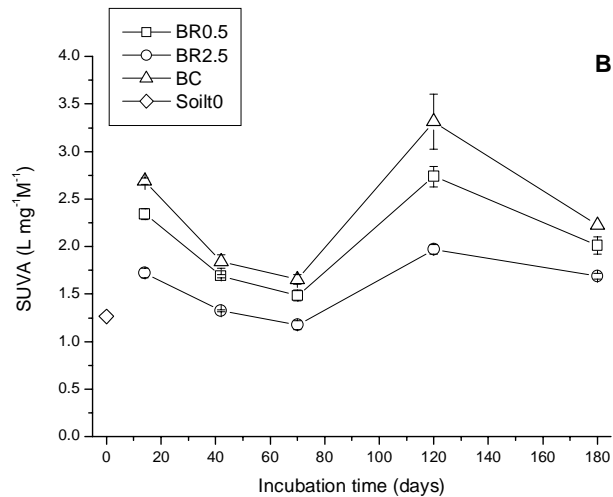
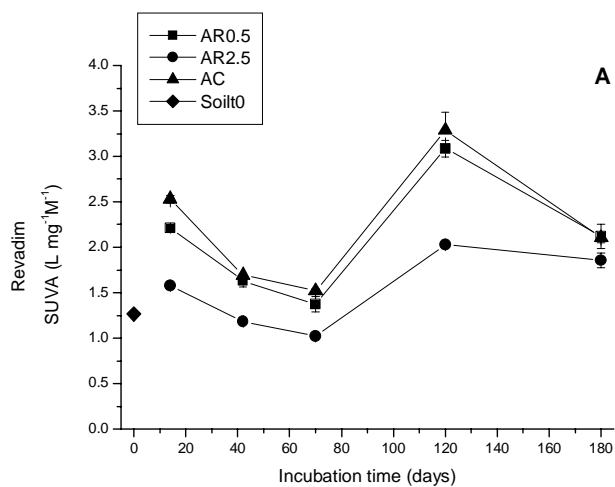
איור 3. ריכוז פחמן אורגני מומס בקרקעות רבדים, נחל עוז ומזרע בזמני הדגרה שונים. תתי האיורים המסומנים ב-A והסימונים מלאים הינם עבור הדגרות מטיפוס A, ותתי האיורים המסומנים ב-B והסימונים הריקים הינם עבור הדגרות מטיפוס B.



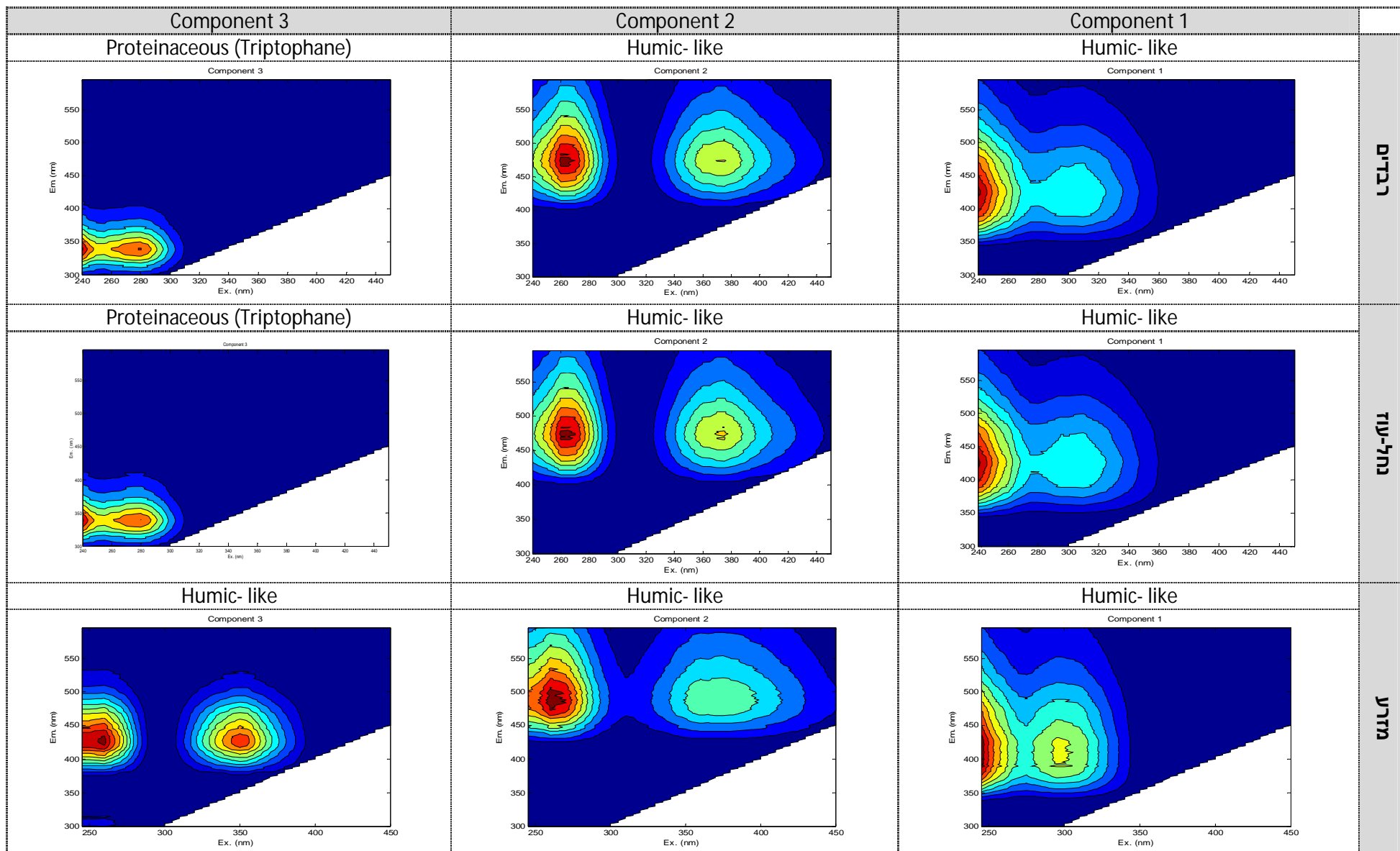
איור 4. ריכוז חנקן כללי מומס בקרקעות רבדים, נחל עוז ומזרע בזמני הדגרה שונים. תתי האיורים המסומנים ב-A והסימונים מלאים הינם עבור הדגרות שעברו טיפול מסוג A, ותתי האיורים המסומנים ב-B והסימונים הריקים הינם עבור הדגרות שעברו טיפול B.



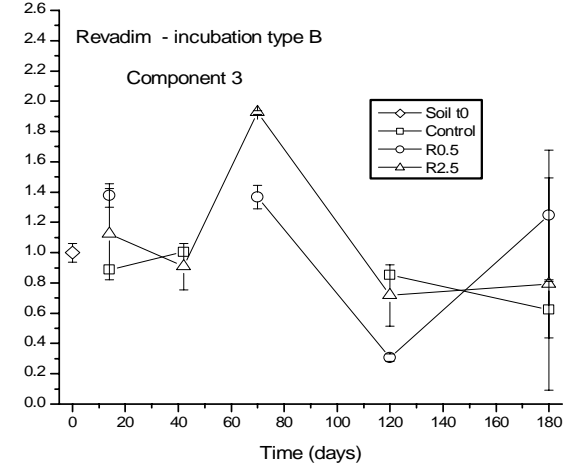
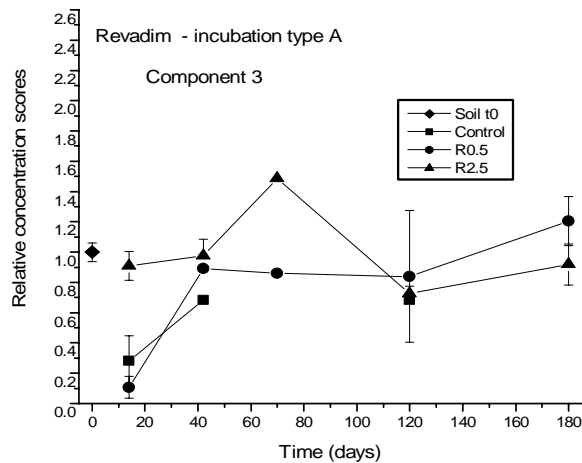
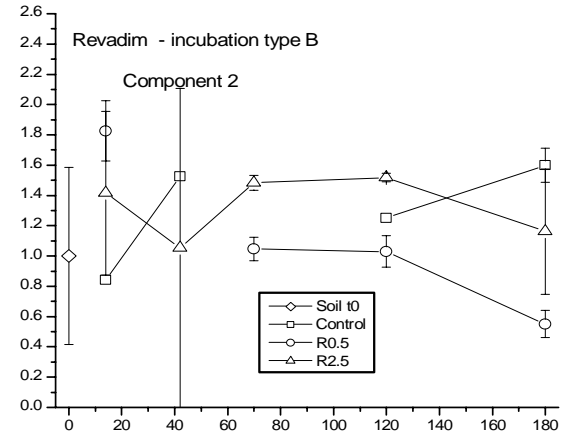
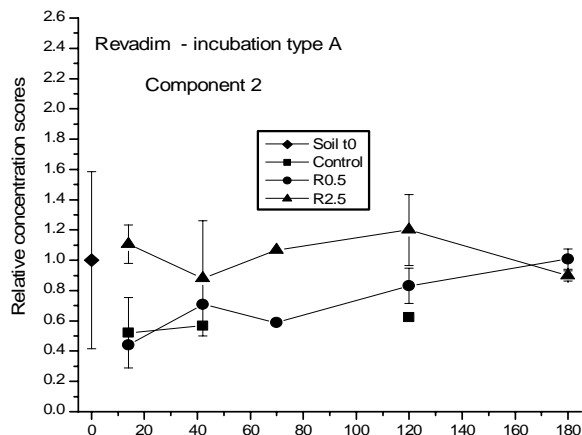
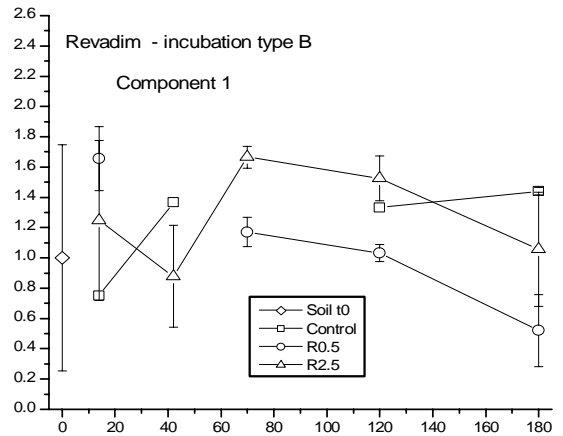
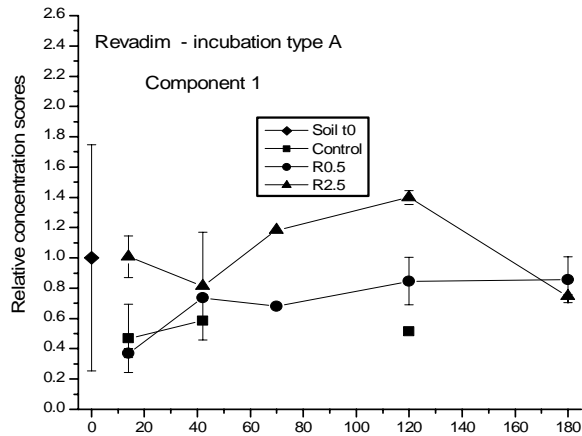
איור 5. בליעה באורך גל 254 nm בתמיסות הקרקע רבדים, נחל עוז ומזרע בזמני הדגרה שונים. תתי האיורים המסומנים ב- A והסימונים מלאים הינם עבור הדגרות מטיפוס A, ותתי האיורים המסומנים ב- B והסימונים הריקים הינם עבור הדגרות מטיפוס B.



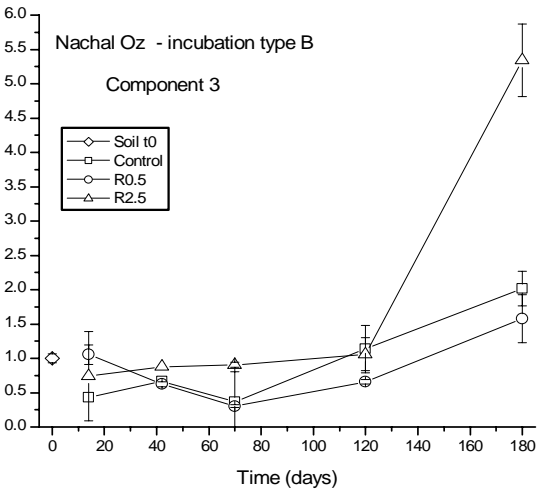
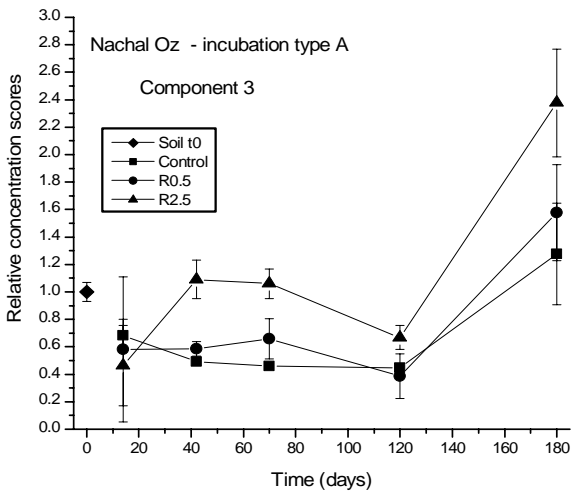
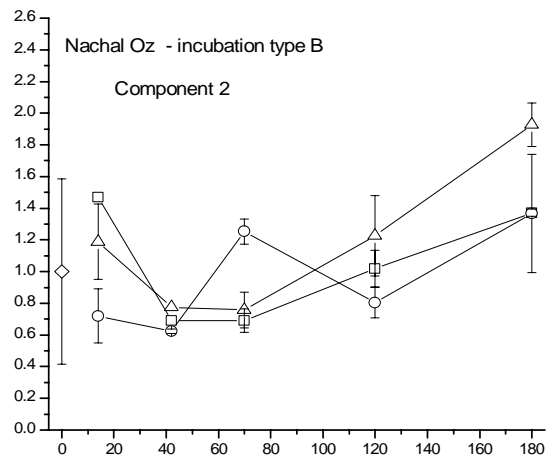
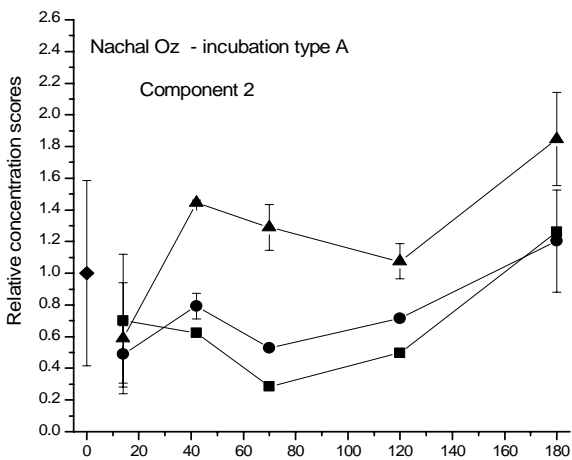
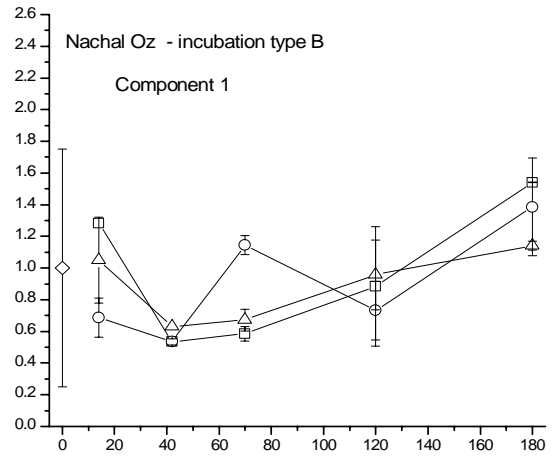
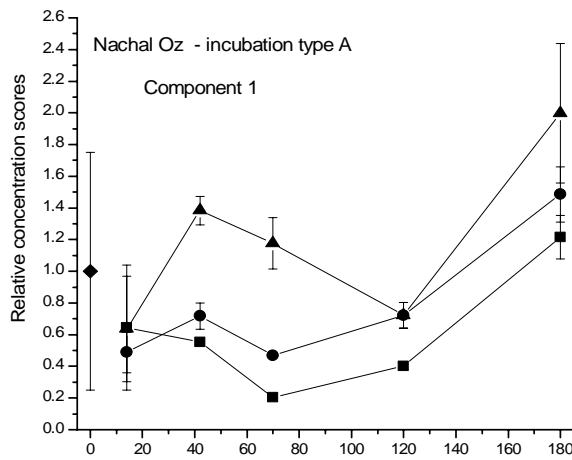
איור 6. ערכי SUVA (היחס בין הבליעה באורך גל 254 nm לבין ריכוז הפחמן האורגני המומס) בתמיסות הקרקע רבדים, נחל עוז ומזרע בזמני הדגרה שונים. תתי האזורים המסומנים ב-A והסימונים מלאים הינם עבור הדגרות מטיפוס A, ותתי האזורים המסומנים ב-B והסימונים הריקים הינם עבור הדגרות מטיפוס B.



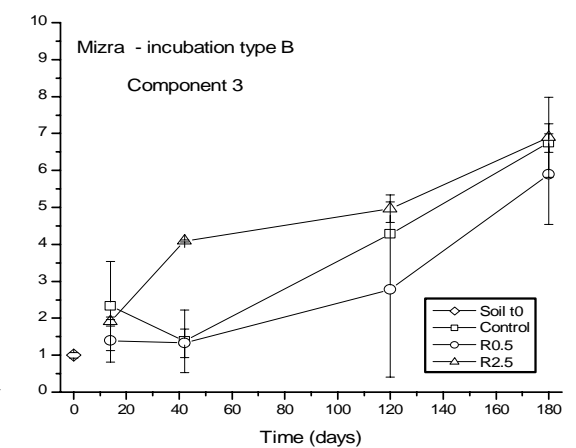
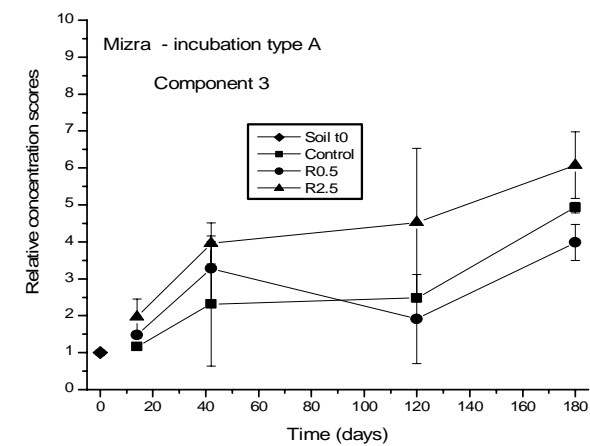
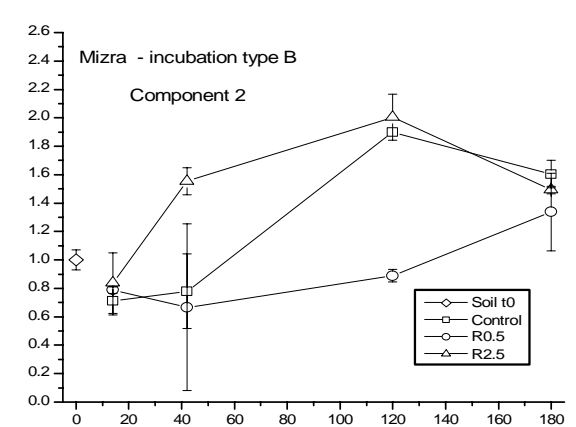
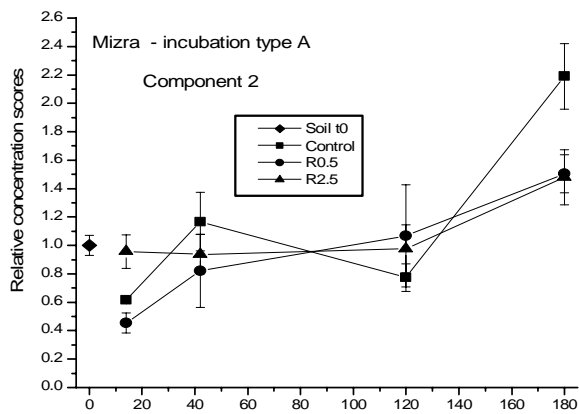
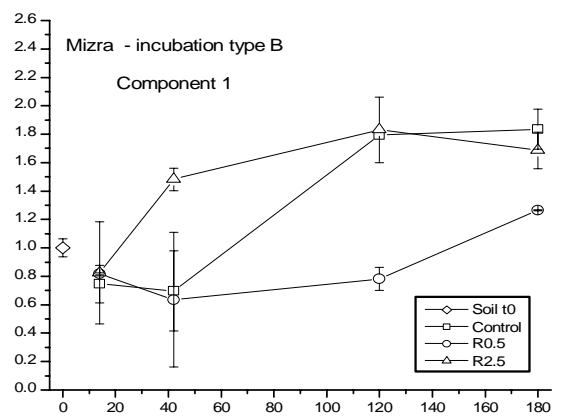
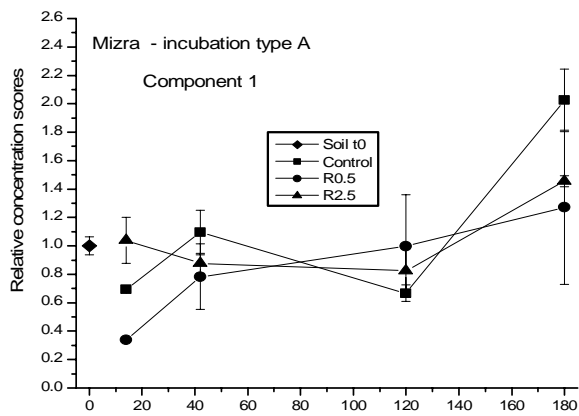
איור 7. מפות ערעור-פליטה-עוצמה של הרכיבים הפלואורסנטיים בשלושת הקרקעות. העוצמה מבוטאת ע"י צבעים, כאשר הצבע האדום מבטא את העוצמה החזקה ביותר. ציר $\lambda =$ אורך גל פליטה, ציר $\lambda =$ אורך גל ערעור.



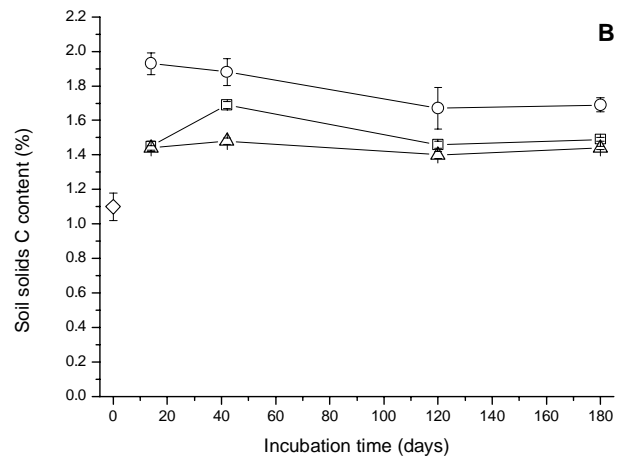
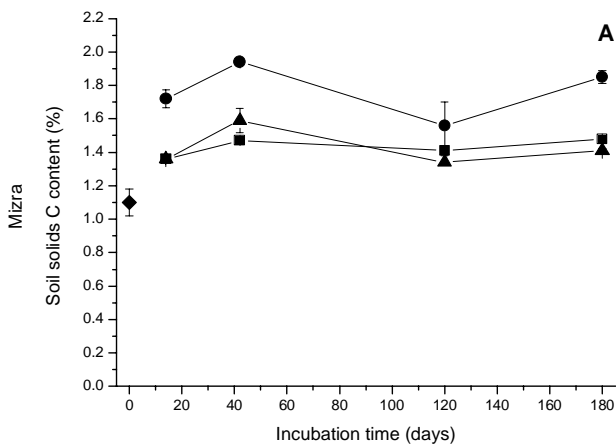
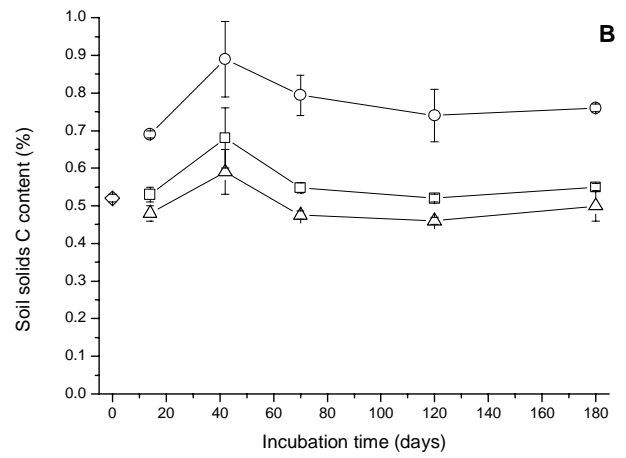
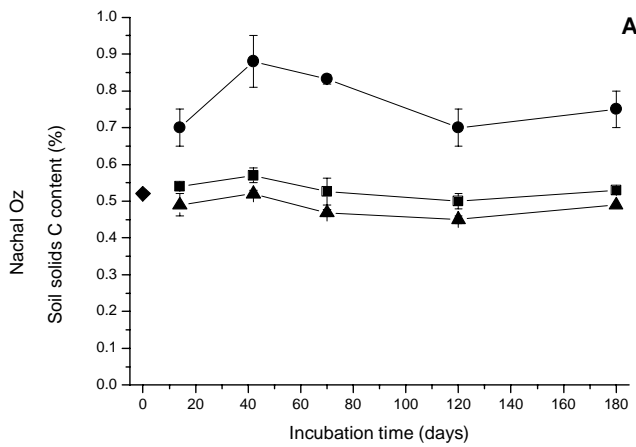
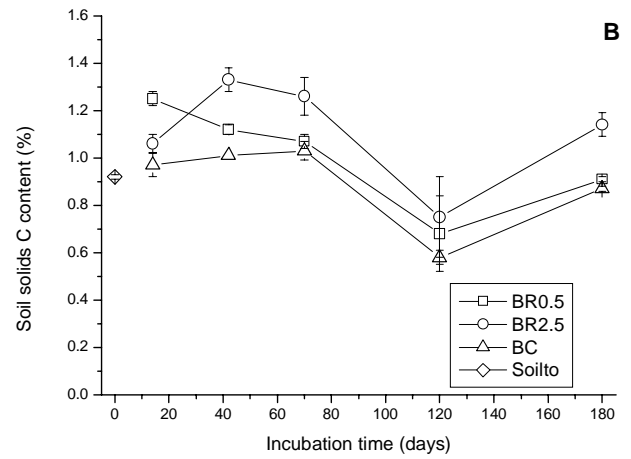
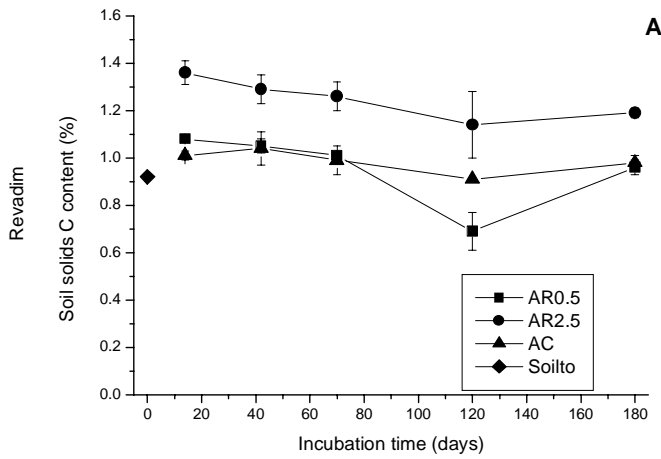
איור 8. ערכי ריכוז יחסי של שלושת המרכיבים הפלואורסנטיים שזוהו בתמיסת הקרקע כתלות במשך ההדגרה ובטיפולים השונים בקרקע רבדים.



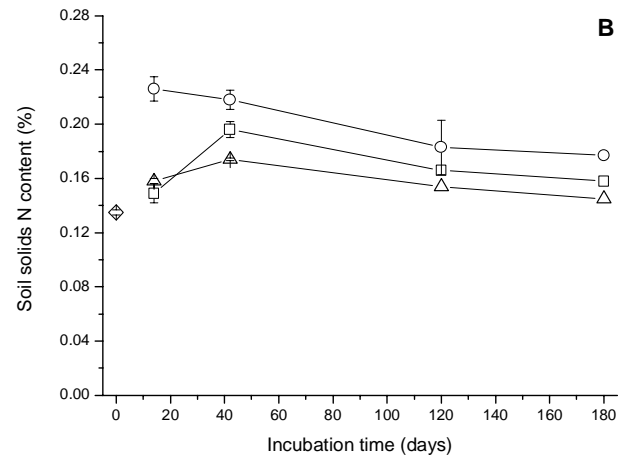
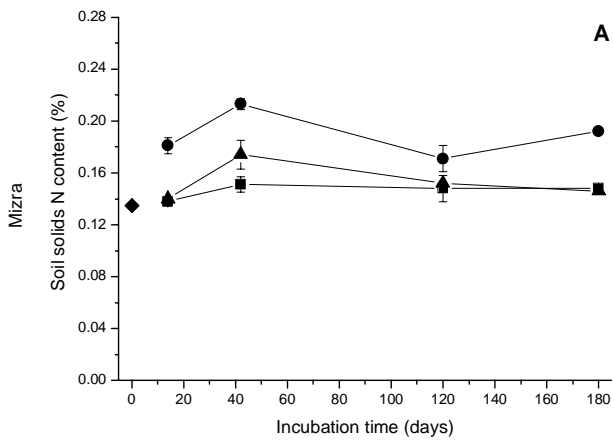
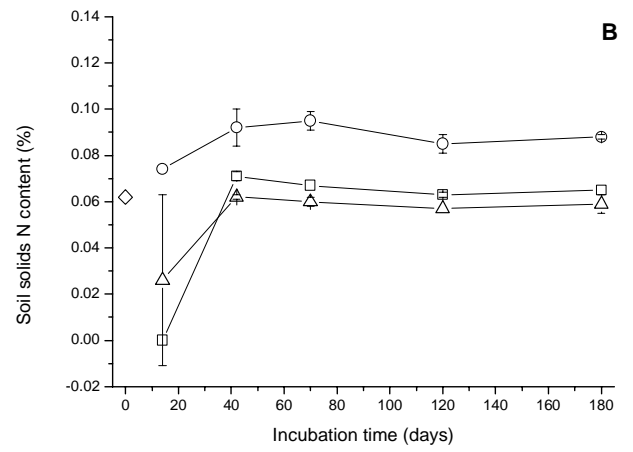
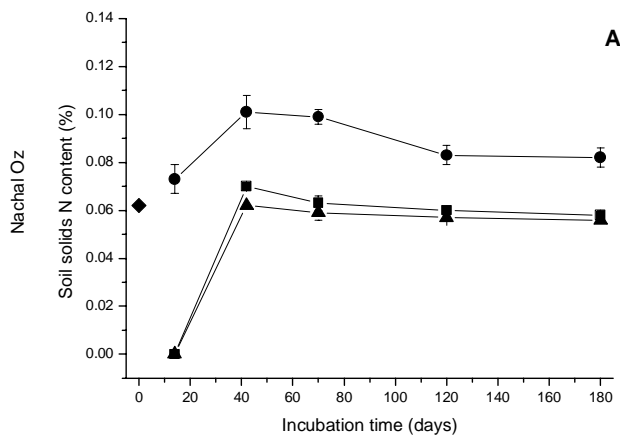
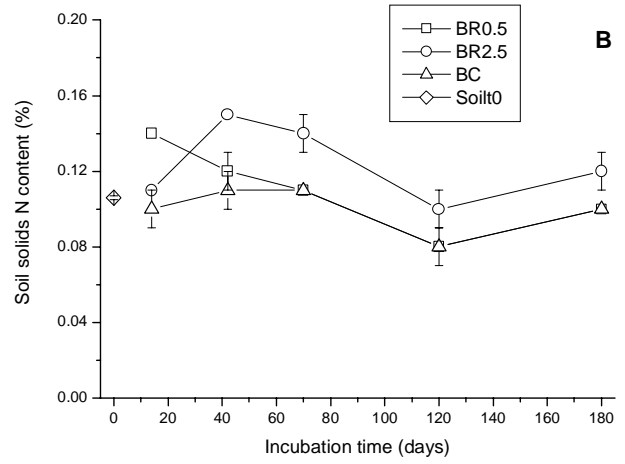
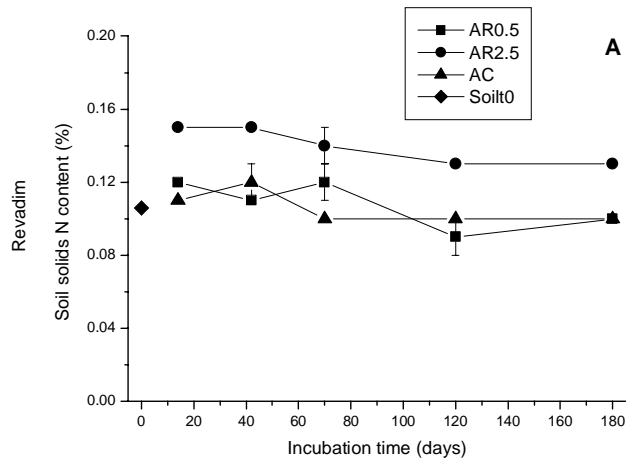
איור 9. ערכי ריכוז יחסי של שלושת המרכיבים הפלואורסנטיים שזוהו בתמיסת הקרקע כתלות במשך ההדרגה ובטיפולים השונים בקרקע נחל עוז.



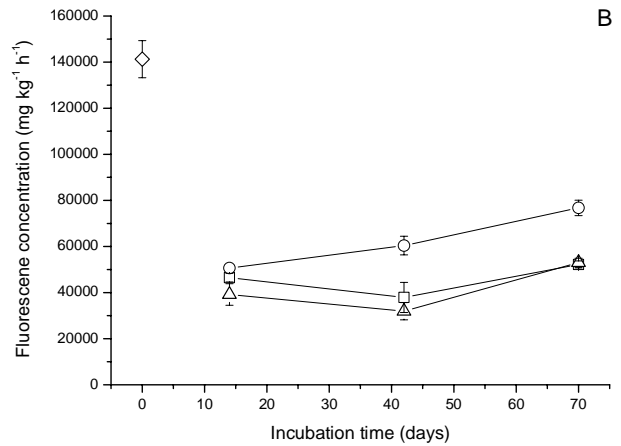
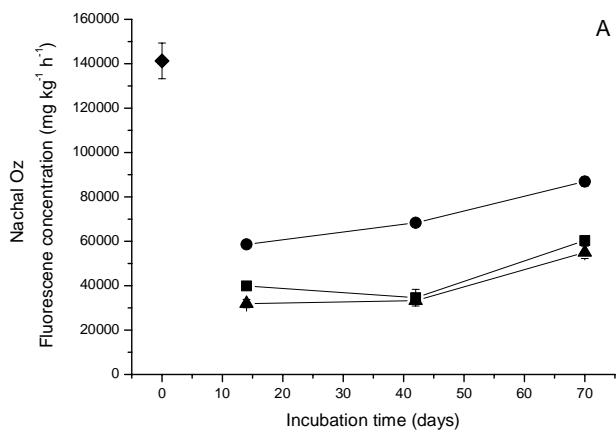
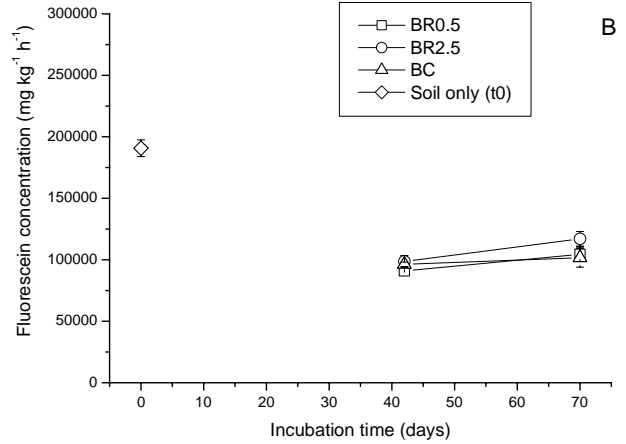
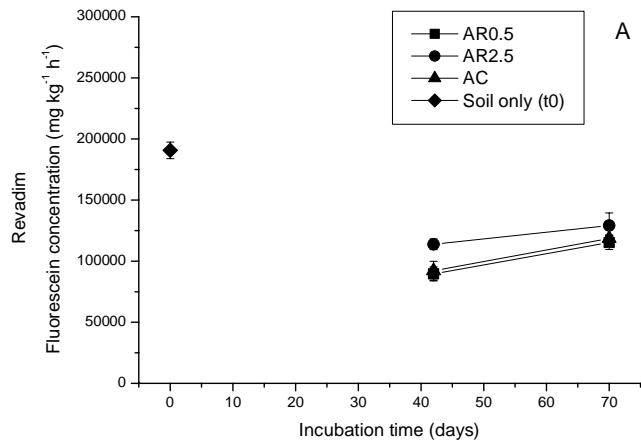
איור 10. ערכי ריכוז יחסי של שלושת המרכיבים הפלואורסנטיים שזוהו בתמיסת הקרקע כתלות במשך ההדגרה ובטיפולים השונים בקרקע מזרע.



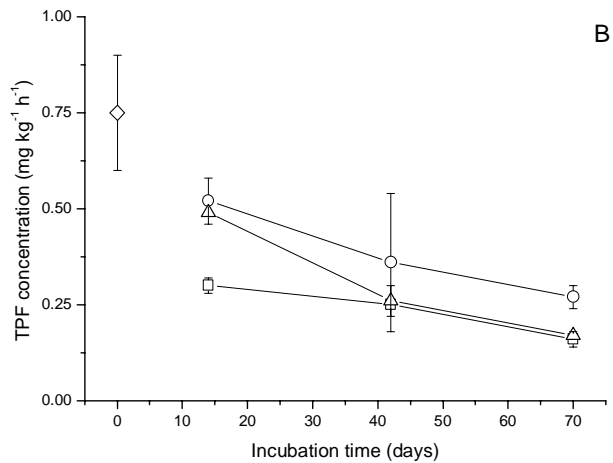
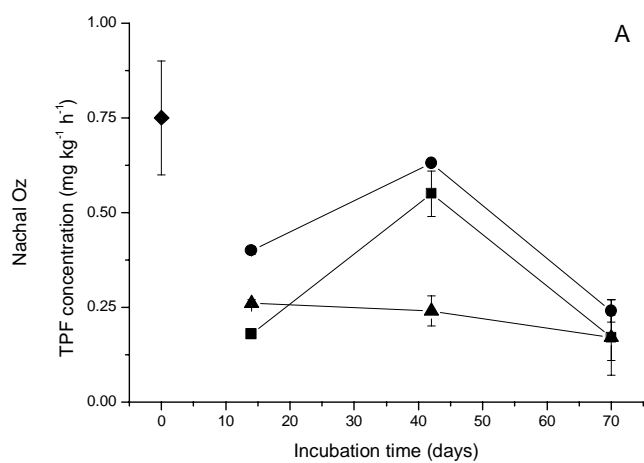
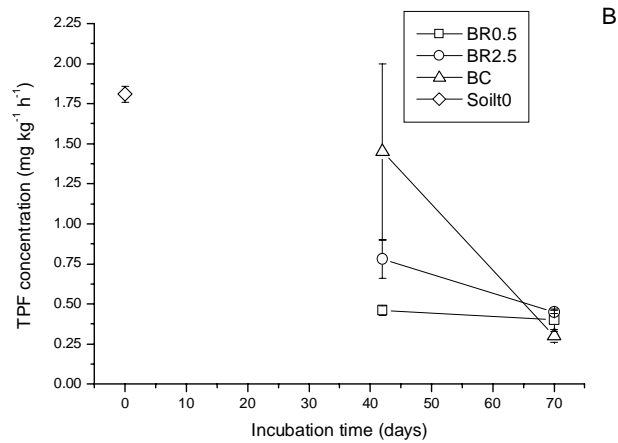
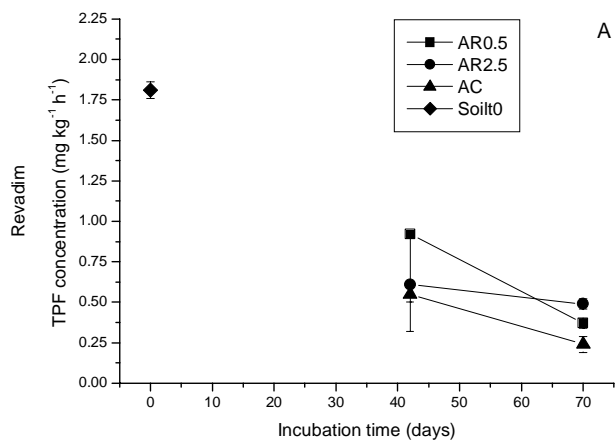
איור 11. תכולת פחמן אורגני במוצקי הקרקע מרבדים, נחל עוז ומזרע בזמני הדגרה שונים. תתי האזורים המסומנים ב-A והסימונים מלאים הינם עבור הדגרות מטיפוס A, ותתי האזורים המסומנים ב-B והסימונים הריקים הינם עבור הדגרות מטיפוס B.



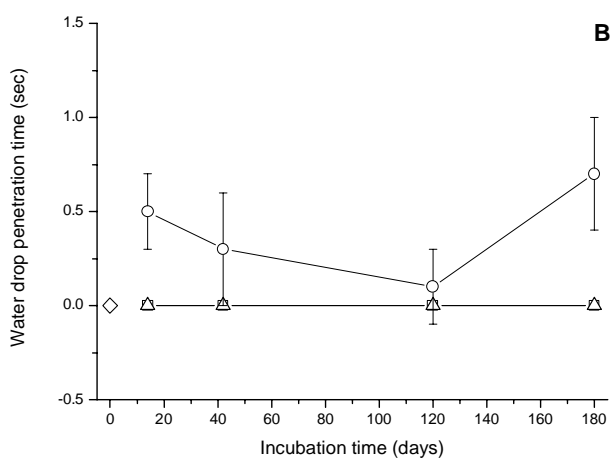
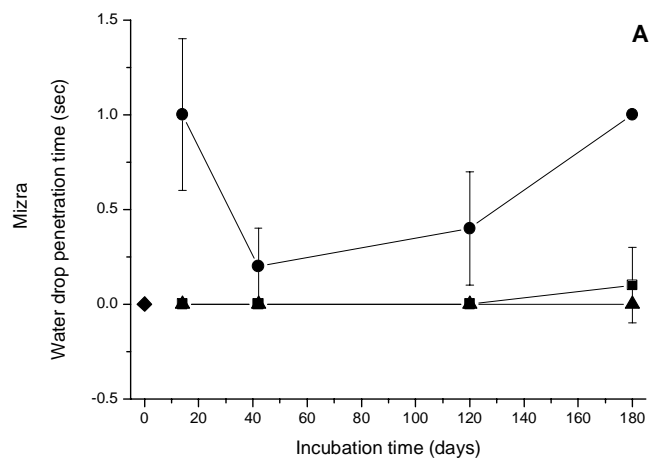
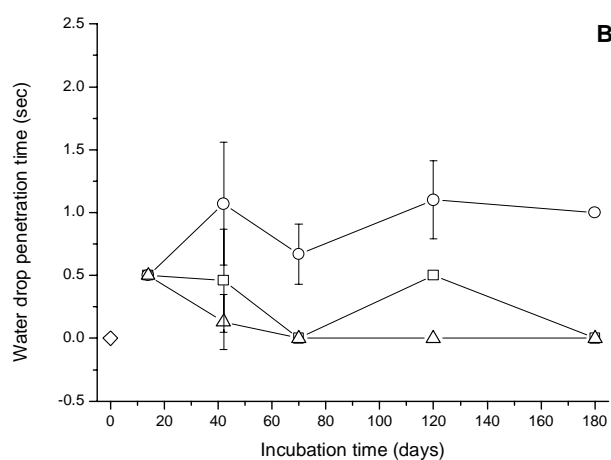
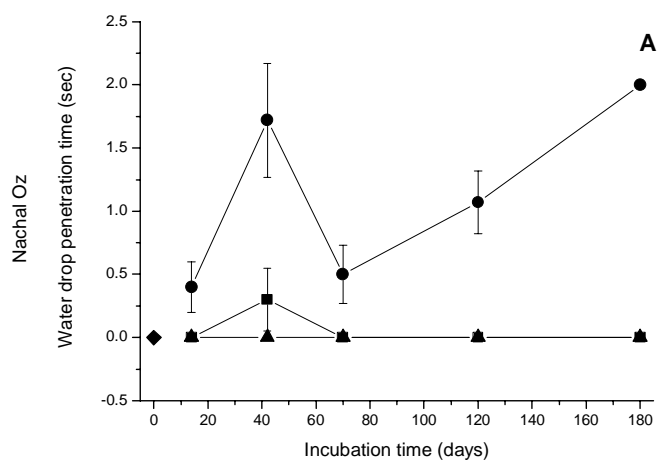
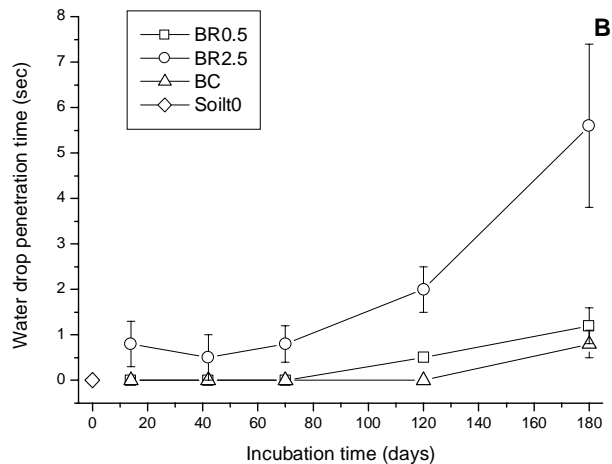
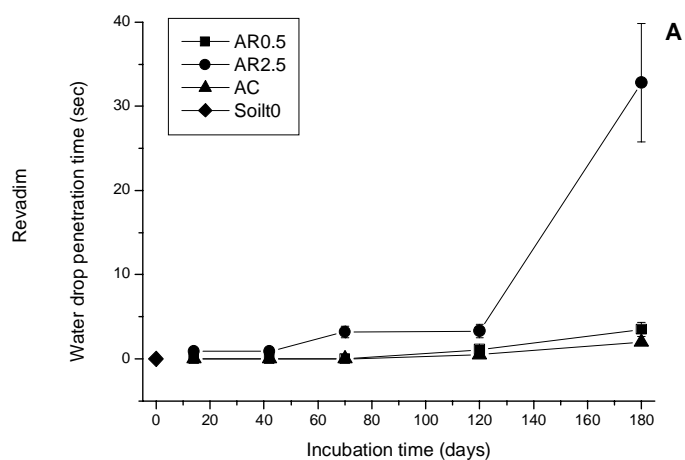
איור 12. תכולת חנקן כללי במוצקי הקרקע מרבדים, נחל עוז ומזרע בזמני הדגרה שונים. תתי האזורים המסומנים ב-A והסימונים מלאים הינם עבור הדגרות מטיפוס A, ותתי האזורים המסומנים ב-B והסימונים הריקים הינם עבור הדגרות מטיפוס B.



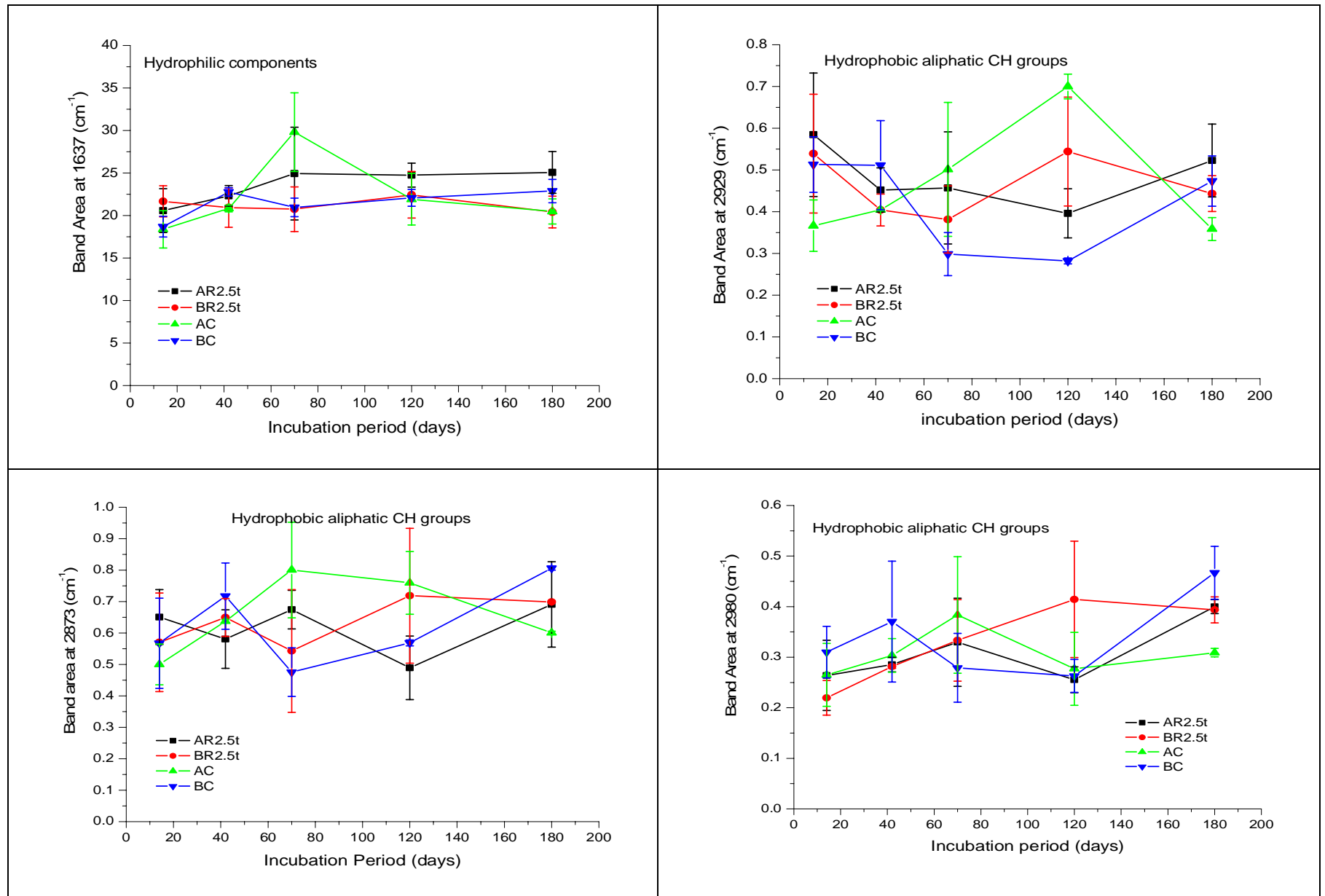
איור 13. ריכוז Fluorescein בקרקעות רבדים ונחל עוז בזמני הדגרה שונים. תתי האיורים המסומנים ב- A והסימונים מלאים הינם עבור הדגרות מטיפוס A, ותתי האיורים המסומנים ב- B והסימונים הריקים הינם עבור הדגרות מטיפוס B.



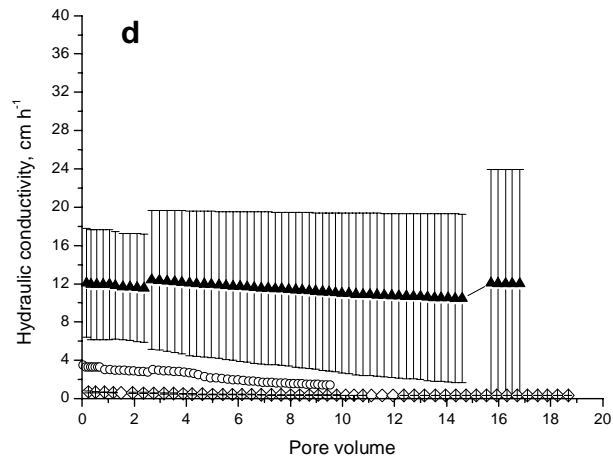
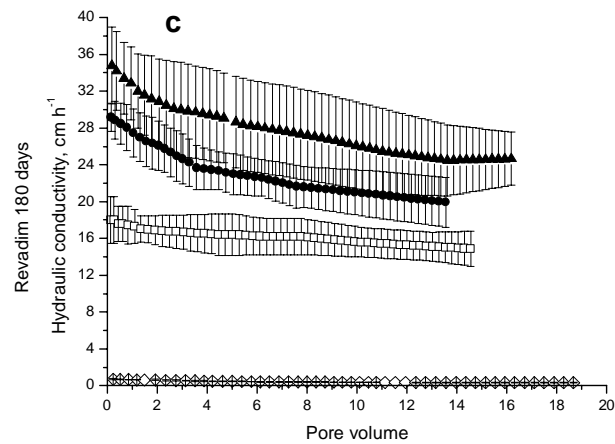
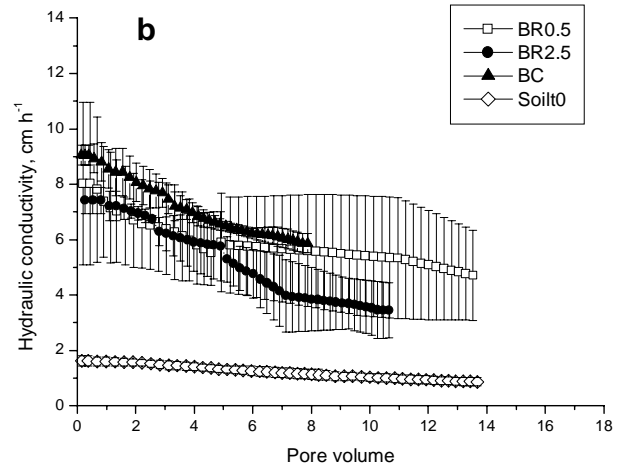
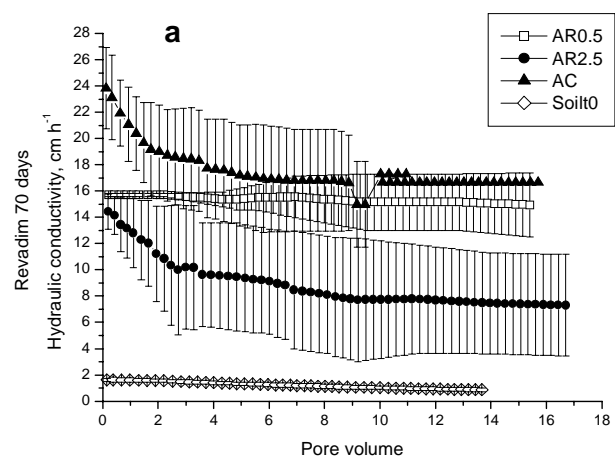
איור 14. ריכוז TPF בקרקעות רבדים ונחל עוז ו בזמני הדגרה שונים. תתי האוירים המסומנים ב- A והסימונים מלאים הינם עבור הדגרות מטיפוס A, ותתי האוירים המסומנים ב- B והסימונים הריקים הינם עבור הדגרות מטיפוס B.



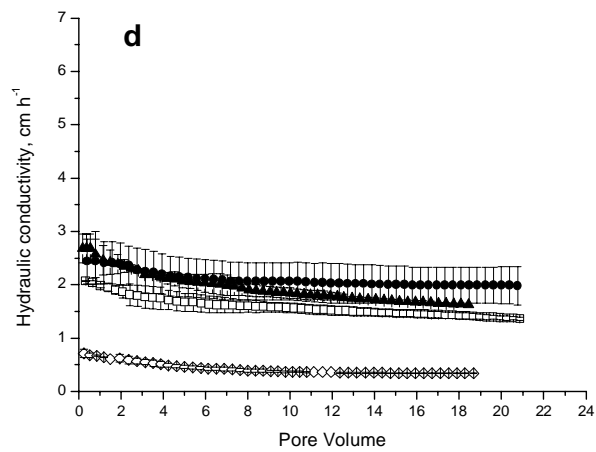
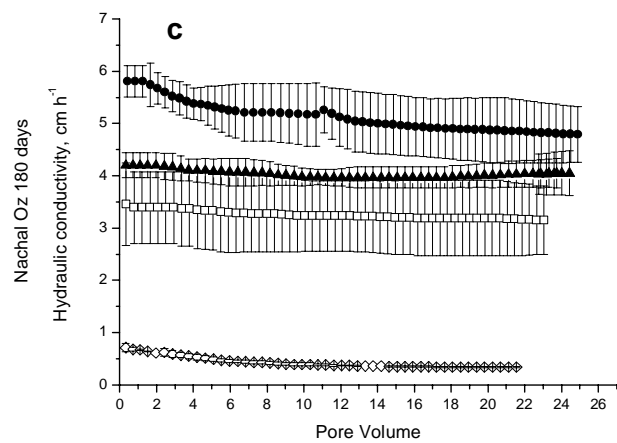
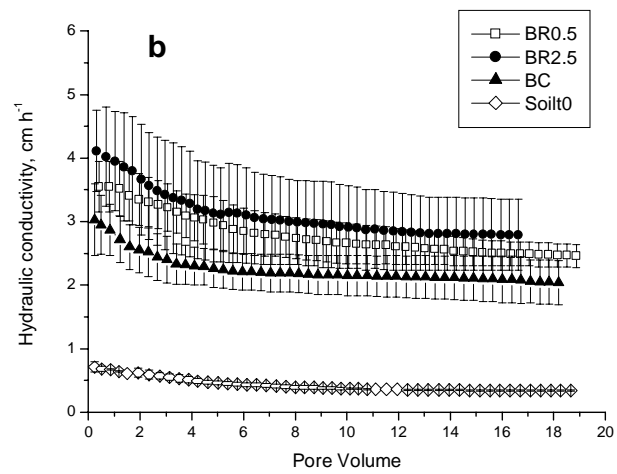
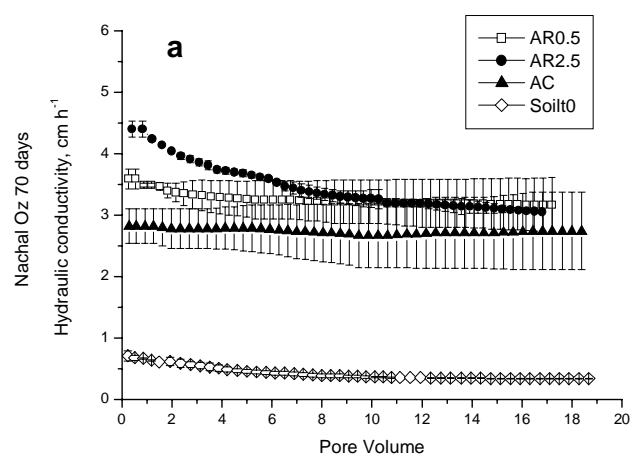
איור 15. זמן לחלול טיפת מים בקרקעות רבדים, נחל עוז ומזרע בזמני הדגרה שונים. תתי האיורים המסומנים ב-A והסימונים מלאים הינם עבור הדגרות מטיפוס A, ותתי האיורים המסומנים ב-B והסימונים הריקים הינם עבור הדגרות מטיפוס B.



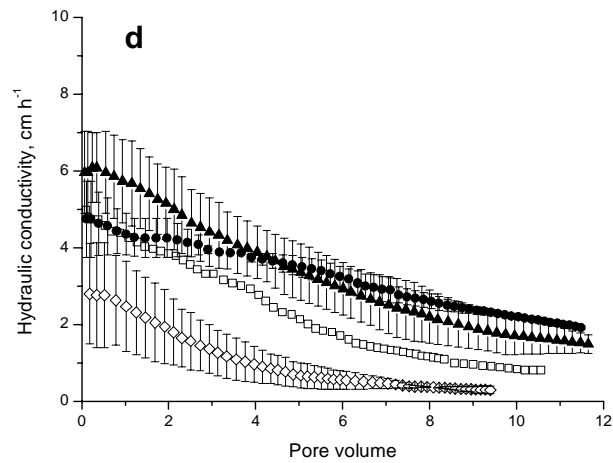
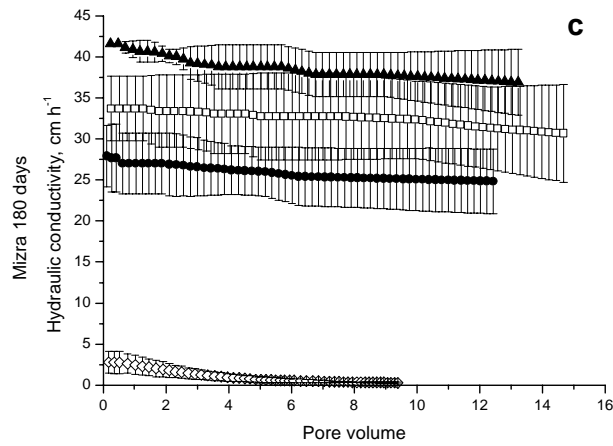
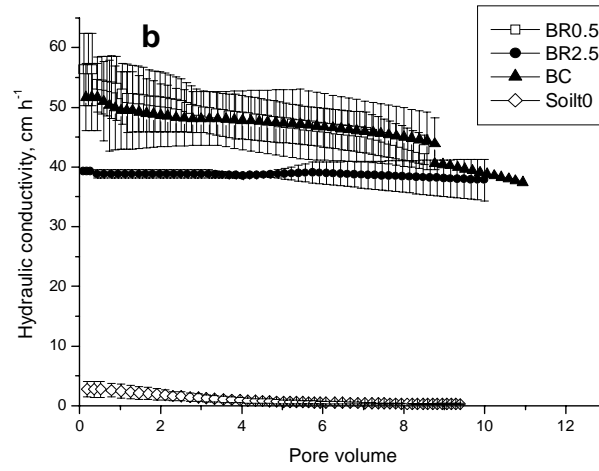
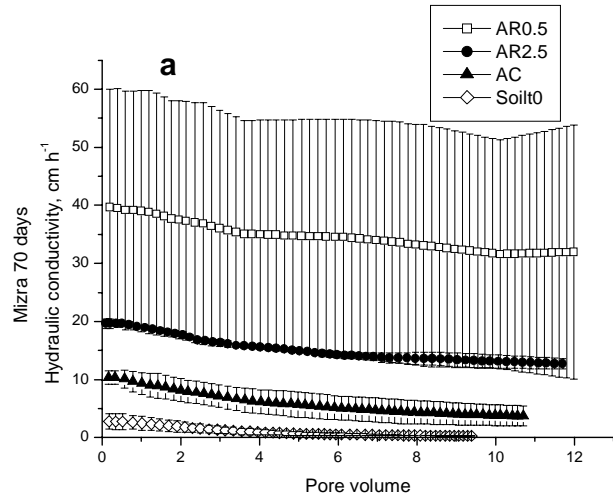
איור 16. השינויים בכמות מרכיבים הידרופיליים וקבוצות הידרופוביות בחומר האורגני מוצק בקרקע מרבדים כתלות במשך ההדגרה ובטיפולים (כמות קומפוסט מוסף ומשטר הדגרה) כפי שנקבע בבדיקות FTIR.



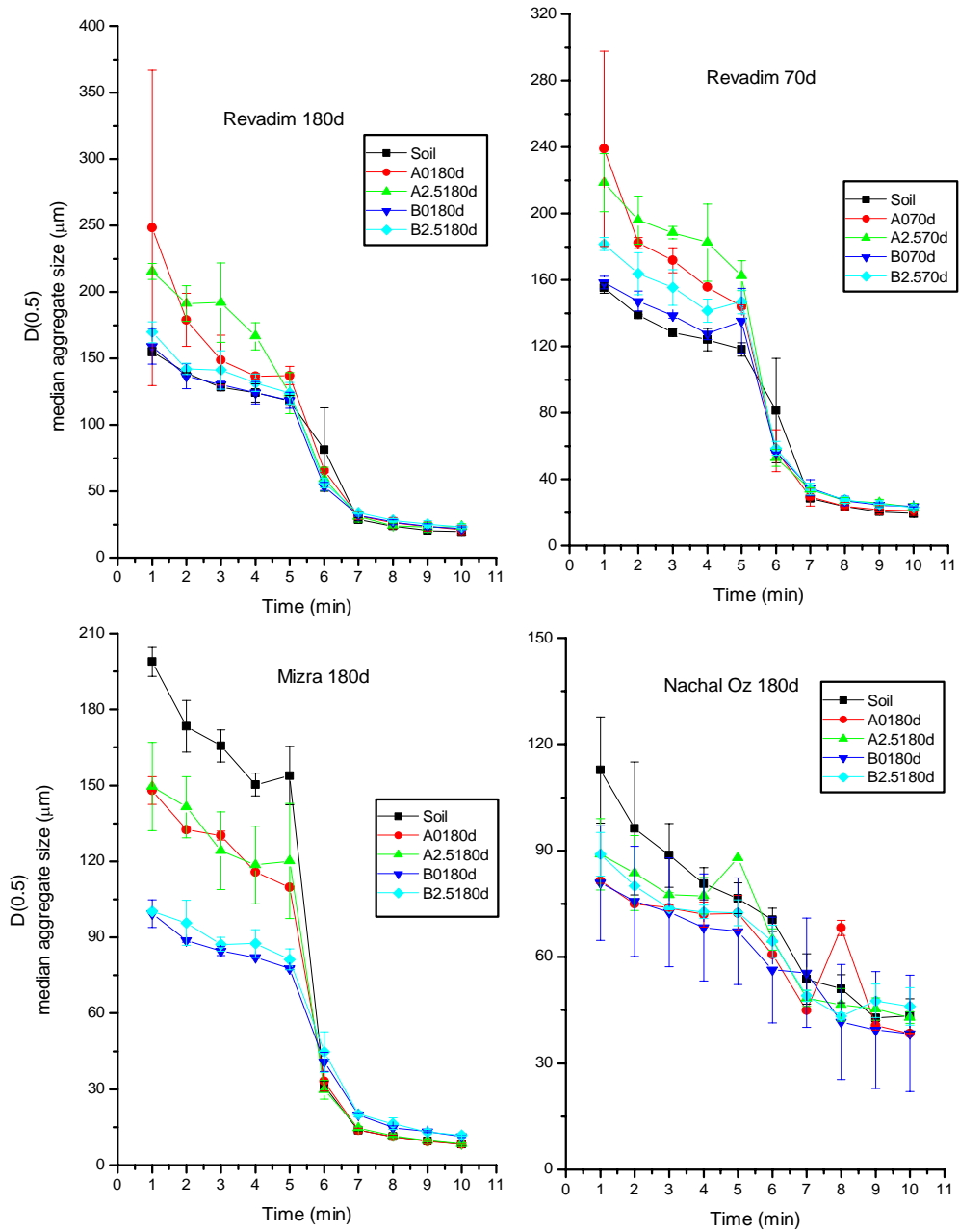
איור 17. מוליכות ההידראולית של קרקע רבדים לאחר 70 ימי הדגרה (a ו- b) ו- 180 ימי הדגרה (c ו- d), ותחת משטרי ההדגרה השונים (A ו- B). הסימן O באיור d מציין את טיפול BR2.5.



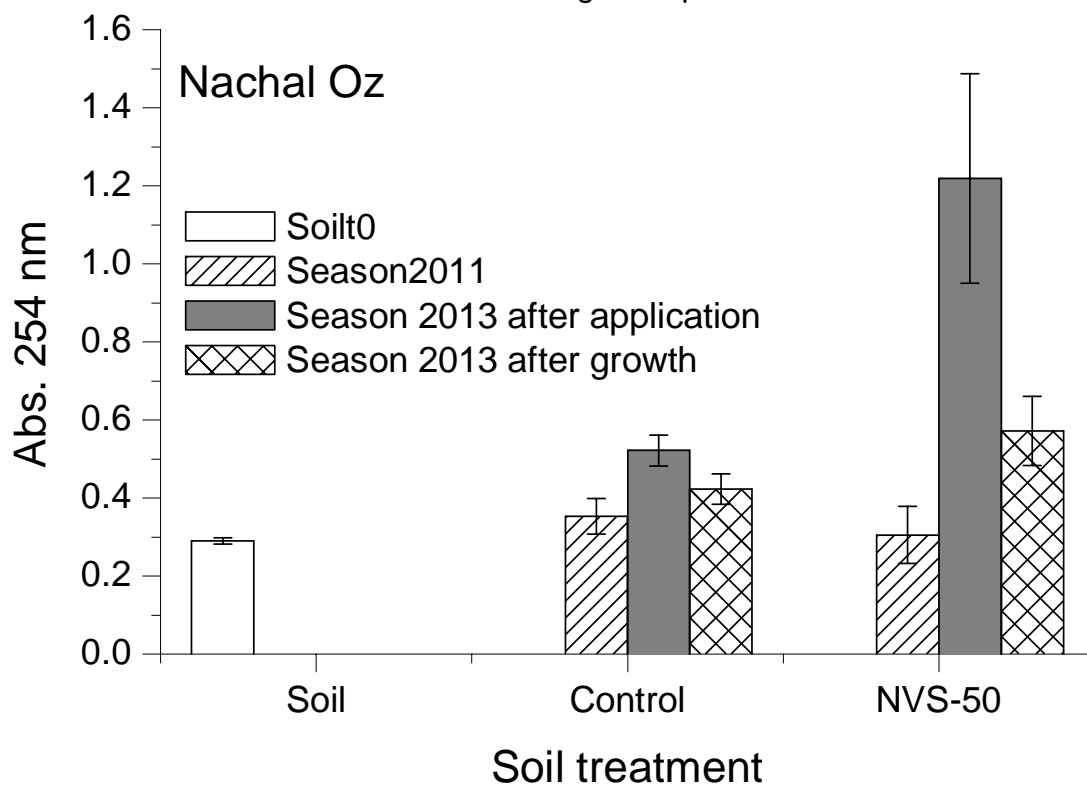
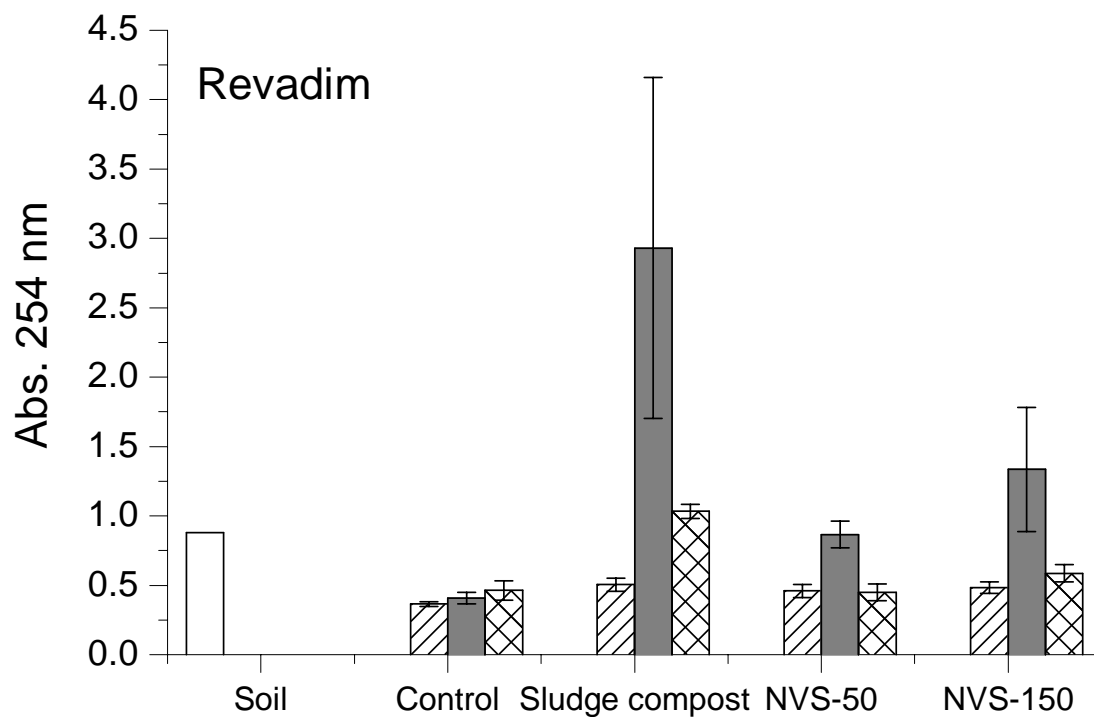
איור 18. מוליכות ההידראולית של קרקע נחל עוז לאחר 70 ימי הדגרה (a ו- b) ו- 180 ימי הדגרה (c ו- d), ותחת משטרי ההדגרה השונים (A ו- B).



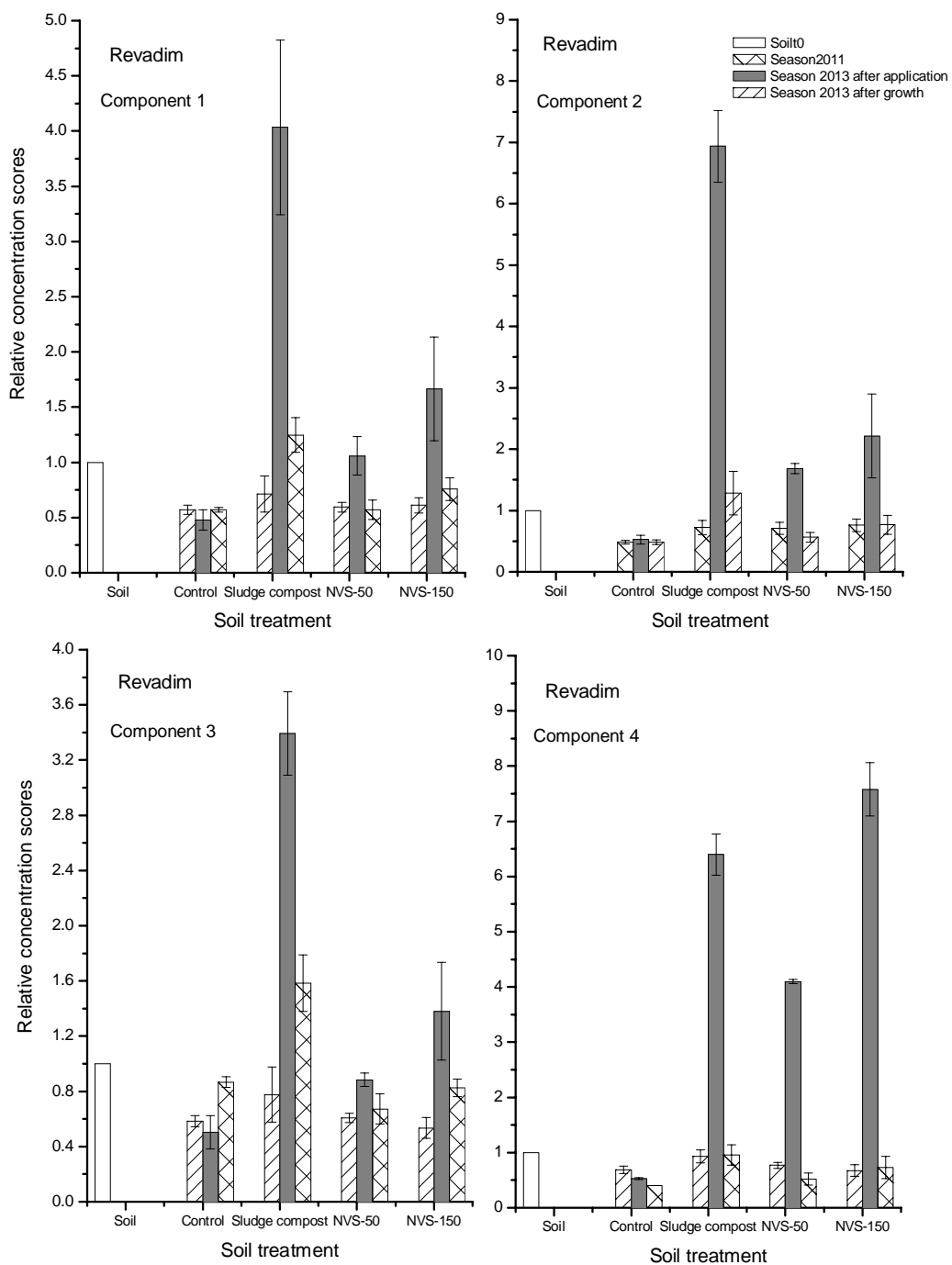
איור 19. מוליכות ההידראולית של קרקע מזרע לאחר 70 ימי הדגרה (a - ו- b) ו- 180 ימי הדגרה (c - ו- d), ותחת משטרי ההדגרה השונים (A - ו- B).



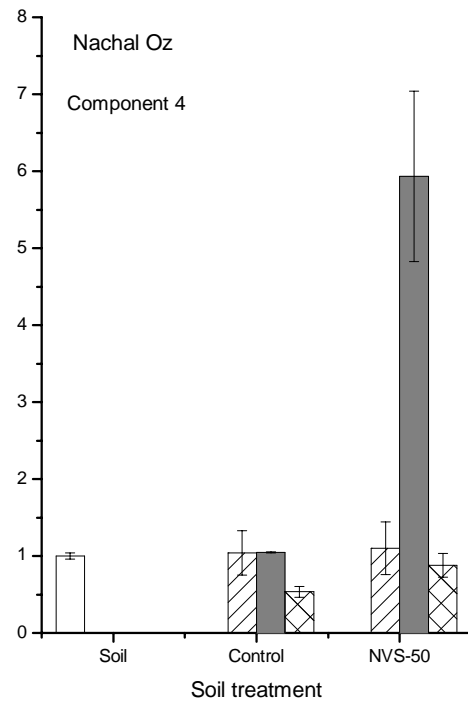
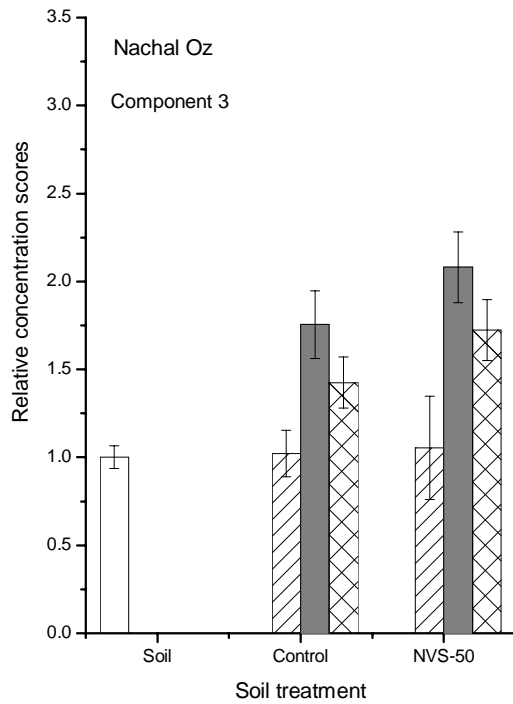
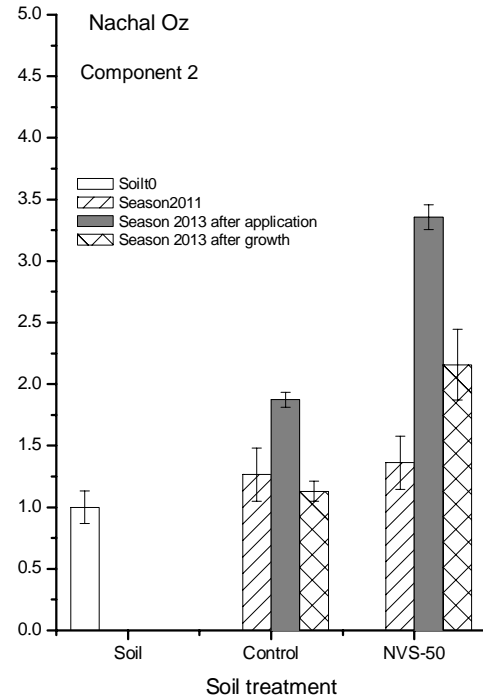
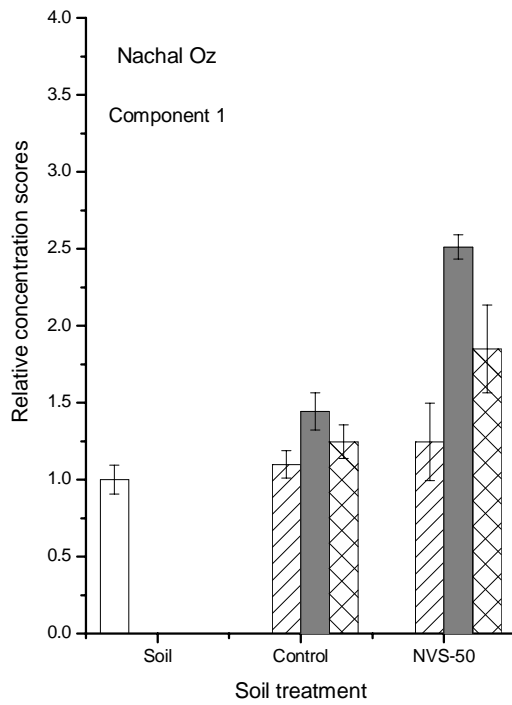
איור 20. יציבות תלכידים (מבטאת כגודל תלכיד חציוני $[D(0.5)]$) בקרקעות השונות ובטיפולים השונים לאחר 70 ו-180 יום של הדגרה.



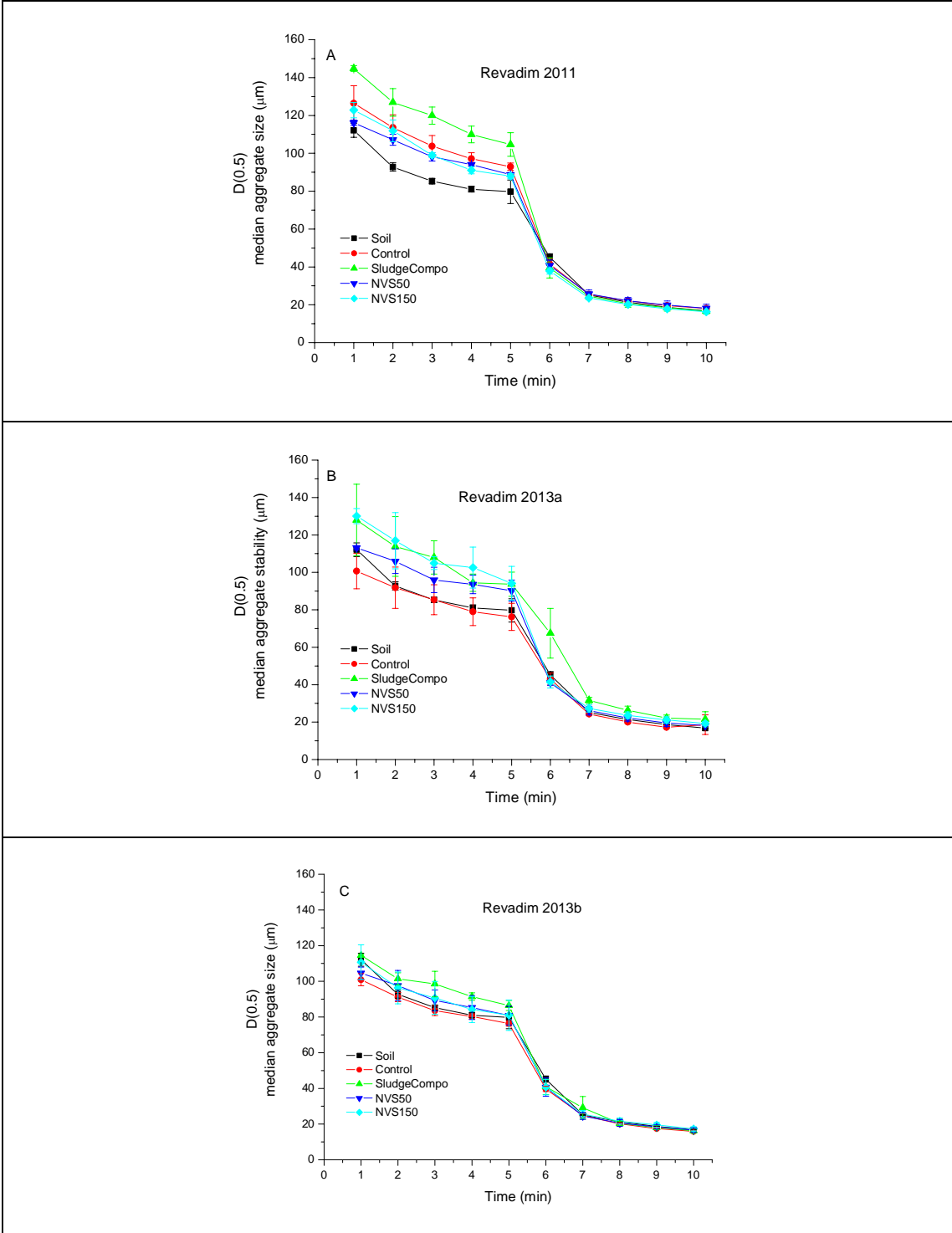
איור 21. בליעה באורך גל 254 nm בתמיסות הקרקע מרבדים ונחל עוז בניסוי הליזימטרים.



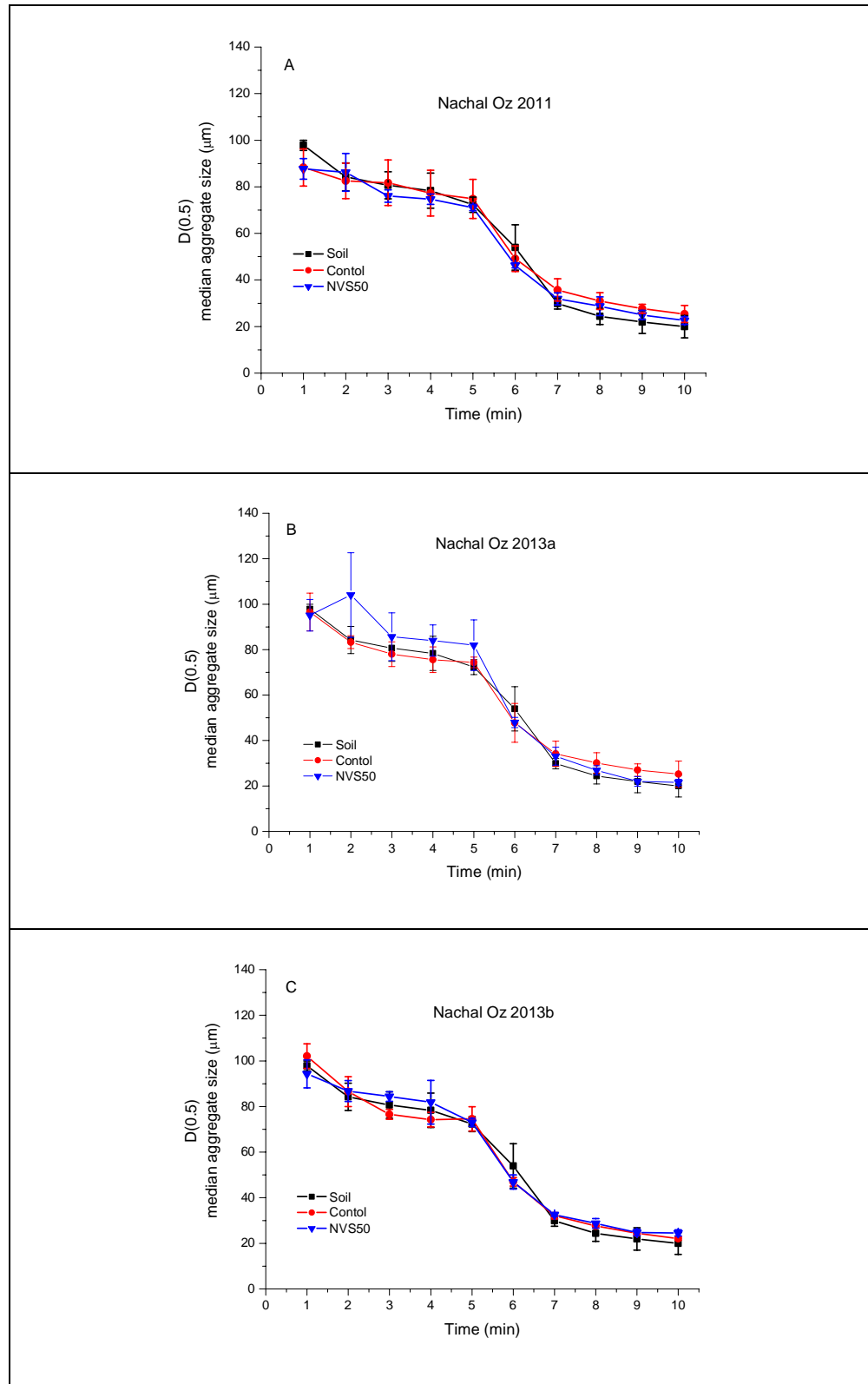
איור 22. ניסוי לזימטרים - ערכי ריכוז יחסי של ארבעת המרכיבים הפלואורסנטיים שזוהו בתמיסת הקרקע מרבדים כתלות בתוסף האורגני ומועדי דיגום הקרקע.



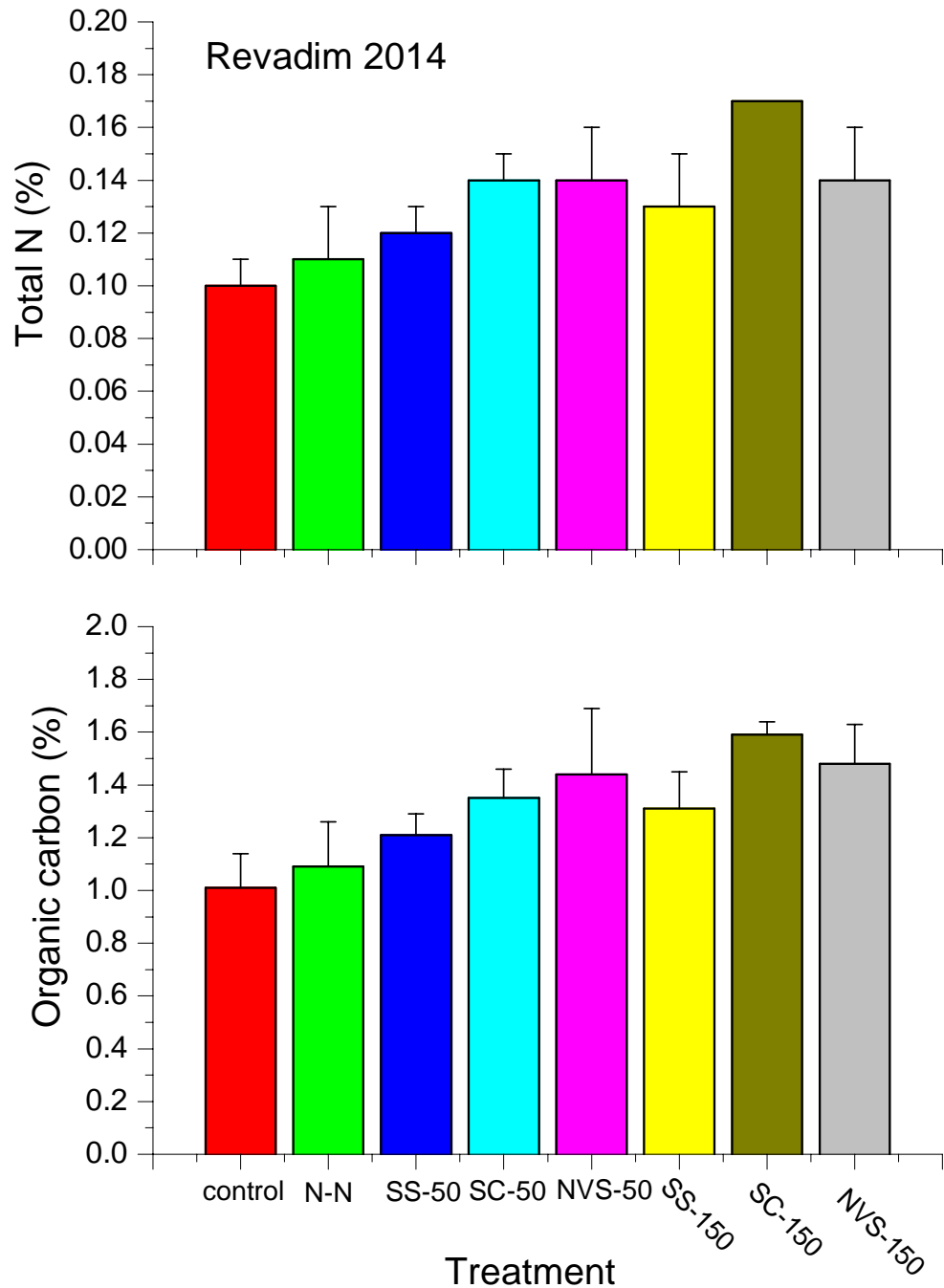
איור 23. ניסוי ליזימטרים - ערכי ריכוז יחסי של ארבעת המרכיבים הפלואורסנטיים שזוהו בתמיסת הקרקע מנחל עוז כתלות בתוסף האורגני ומועדי דיגום הקרקע.



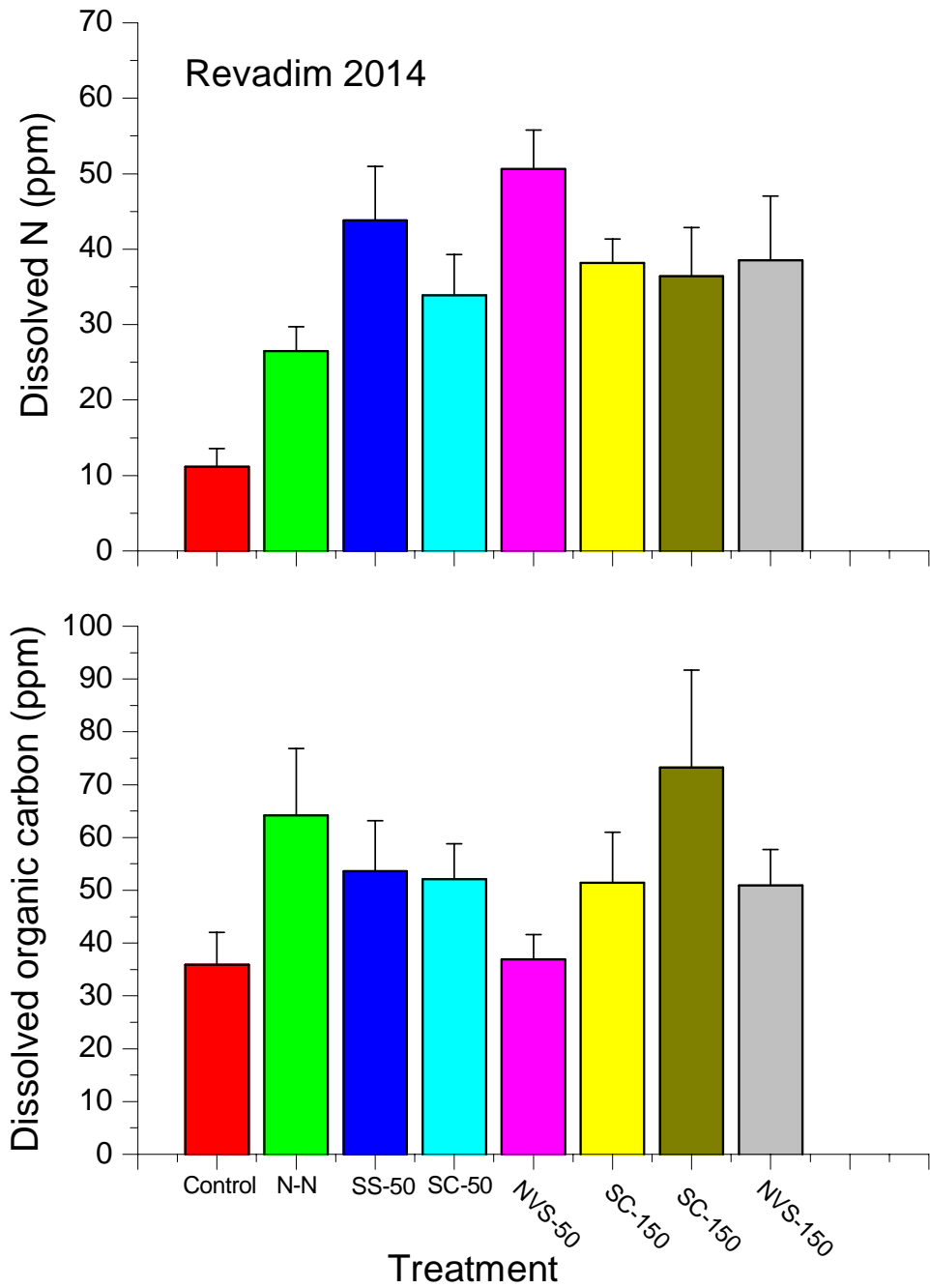
איור 24. יציבות תלכידים (מבוטאת כגודל תלכיד חציוני $[D(0.5)]$) בקרקע חרסיתית-חולית מרבדים עבור (A) דיגום בסוף עונת גידול 2011, (B) דיגום בתחילת שנת 2013 אחרי זיבול ולפני גידול, (C) דיגום בסוף עונת גידול 2013.



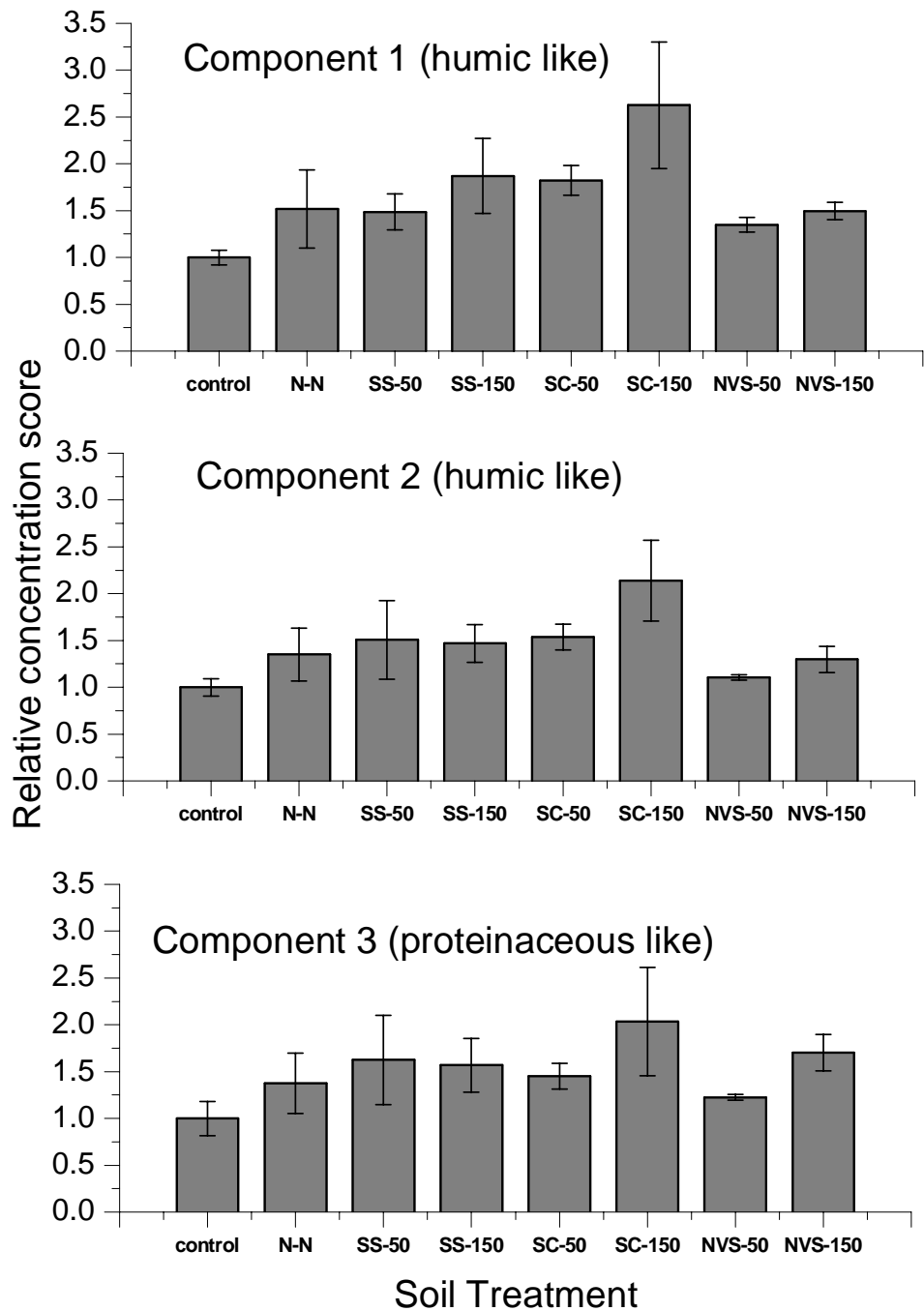
איור 25. יציבות תלכידים (מבוטאת כגודל תלכיד חציוני $[D(0.5)]$) בקרקע לס נחל עוז עבור (A) דיגום בסוף עונת גידול 2011, (B) דיגום בתחילת שנת 2013 אחרי זיבול ולפני גידול, (C) דיגום בסוף עונת גידול 2013.



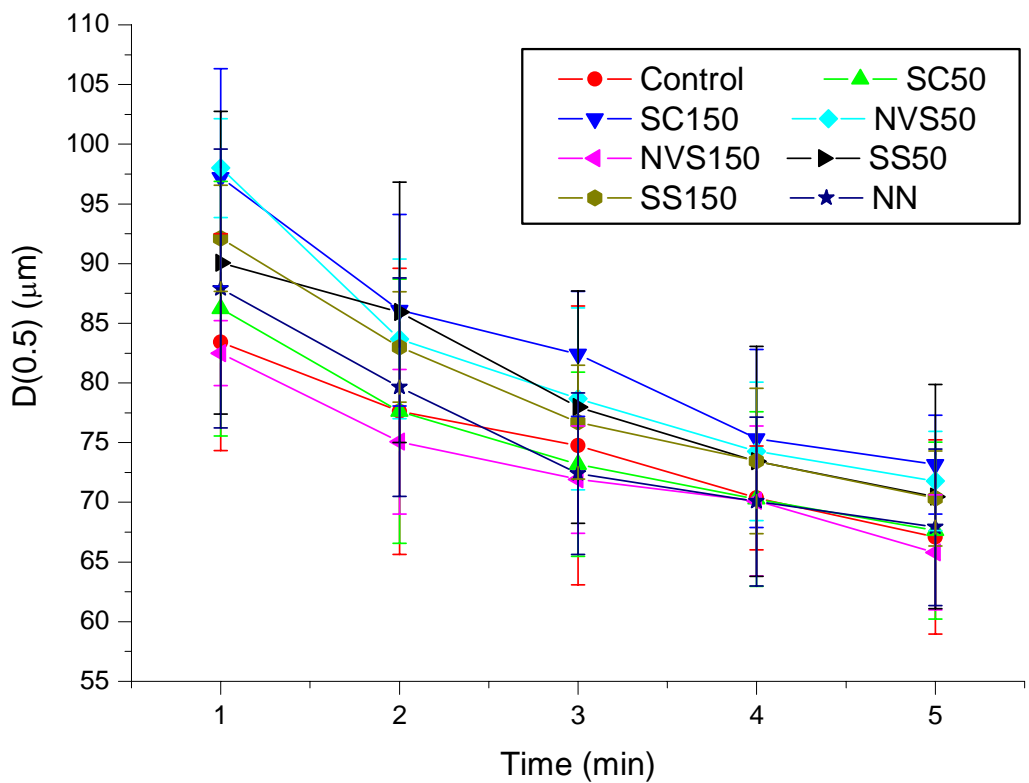
איור 26. תכולת חנקן כללי ופחמן אורגני בדוגמאות הקרקע מניסוי השדה ברבדים. הטיפולים: ביקורת ללא דשן – control, ביקורת עם דישון מינרלי – N-N, בוצה מעוכלת – SS, קומפוסט בוצה – SC, בוצה מטופלת בסיד ואפר פחם – NVS. כל תוסף ניתן במינון בשיעור השקול ל- 50 או 150 ק"ג N/ד'.



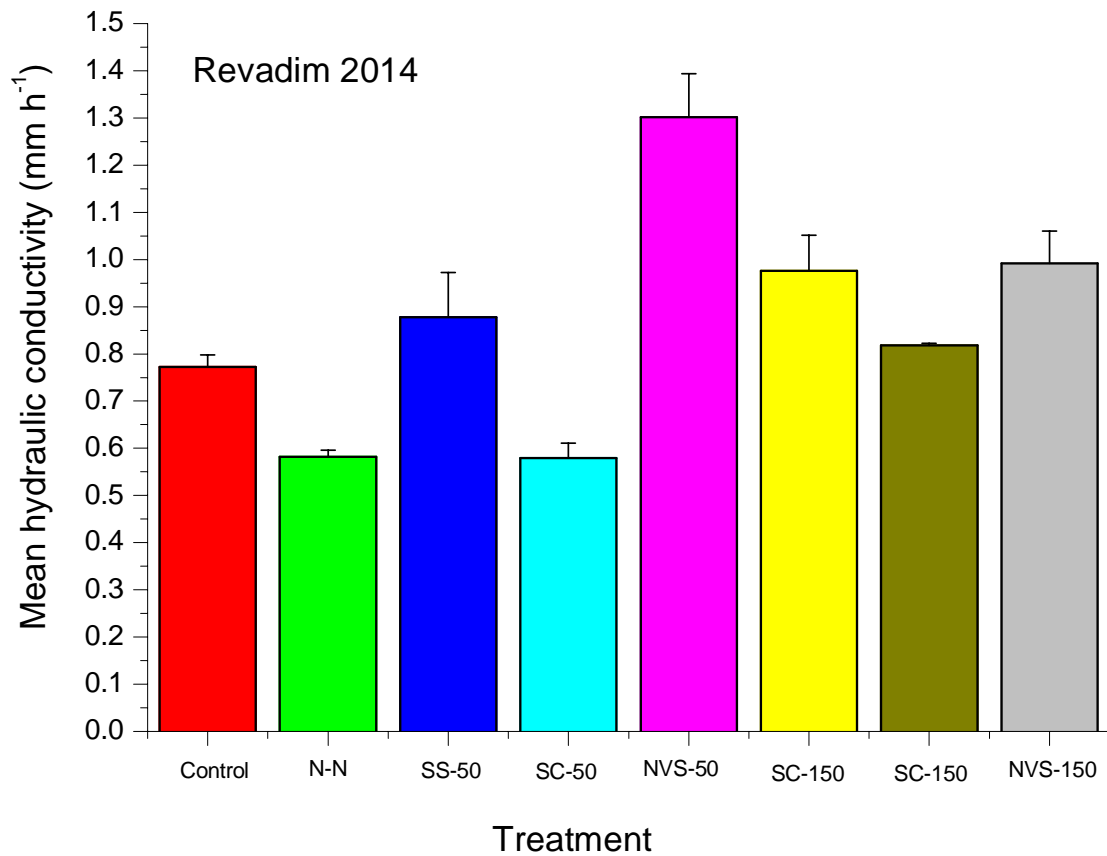
איור 27. ריכוז חנקן כללי ופחמן אורגני מומסים בתמיסת הקרקע מדוגמאות הקרקע מניסוי השדה ברבדים. הטיפולים: ביקורת ללא דשן – control, ביקורת עם דישון מינרלי – N-N, בוצה מעוכלת – SS, קומפוסט בוצה – SC, בוצה מטופלת בסיד ואפר פחם – NVS. כל תוסף ניתן במינון בשיעור השקול ל- 50 או 150 ק"ג N/ד'.



איור 28. ערכי ריכוז יחסי של שלושת המרכיבים הפלואורסנטיים שזוהו בתמיסת הקרקע כתלות בטיפולים מניסוי השדה ברבדים. הטיפולים: ביקורת ללא דשן – control, ביקורת עם דישון מינרלי – N-N, בוצה מעוכלת – SS, קומפוסט בוצה – SC, בוצה מטופלת בסיד ואפר פחם – NVS. כל תוסף ניתן במינון בשיעור השקול ל- 50 או 150 ק"ג N/ד'.



איור 29. יציבות תלכידים (מבוטאת כגודל תלכיד חציוני $[D(0.5)]$) בדוגמאות מניסוי השדה בקרקע רבדים. הטיפול: ביקורת ללא דשן – control, ביקורת עם דישון מינרלי – N-N, בוצה מעוכלת – SS, קומפוסט בוצה – SC, בוצה מטופלת בסיד ואפר פחם – NVS. כל תוסף ניתן במינון בשיעור השקול ל- 50 או 150 ק"ג N/ד'.
 השדה בקרקע רבדים.



איור 30. מוליכות הידראולית ברוויה (ערכים ממוצעים) מדוגמאות הקרקע מניסוי השדה ברבדים. הטיפולים: ביקורת ללא דשן – control, ביקורת עם דישון מינרלי – N-N, בוצה מעוכלת – SS, קומפוסט בוצה – SC, בוצה מטופלת בסיד ואפר פחם – NVS. כל תוסף ניתן במינון בשיעור השקול ל- 50 או 150 ק"ג N/ד'.