דו"ח מסכם לתוכנית מחקר מספר 301-0495-10

התאמת מוצרי בוצה "סוג א" אפשריים לשיפור תכונות כימיות, ביולוגיות ופיזיקליות של קרקעות

Testing different “class A” sludge products for improving soil chemical, biological and physical properties

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י:

גיא לוי, רבקה רוזנברג, דינה גולדשטיין, פנחס פיין, המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני.

אריה בוסק, משה ברוקנטל, ארגון מגדלי דרום יהודה

G. Levy, R. Rosenberg, D. Goldstein and P. Fine, Institute of Soil Water and Environmental Sciences, ARO, The Volcani Center, P.O. Box 6 Bet Dagan 50250.

A. Busak, M. Brokental, Association of the Southern Judea Growers.

E-mail: vwguy@volcani.agri.gov.il

ניסן תשע"ב **מרץ 2012**

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

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

חתימת החוקר:

תוכן עניינים

3. תקציר מדעי	**2**
4. רשימת פרסומים	**3**
5. מבוא	**3**
6. שיטות וחומרים	**4**
7. תוצאות ודיון	**6**
8. רשימת ספרות מצוטטת	**12**
9. סיכום עם שאלות מנחות	**13**
10. נספחים (טבלאות, תמונות ואיורים)	**14**

3. תקציר

יישום בוצות שפכים "סוג א" ממתקני טיפול עירוניים בשדות חקלאיים הוא הפתרון המועדף בעולם המערבי. שימוש נכון בבוצה ישפר את פוריות הקרקע וישפיע על תכונות פיסיקליות חשובות שלה כגון; תאחיזת מים, יציבות תלכידים, חדירות ומוליכות לגזים ולמים, ופילוג גודל נקבובים.

מטרת המחקר הכללית היא לבחון את השפעה של בוצות מתהליכי הכנה/ייצוב שונים על מספר תכונות כימיות ופיסיקליות חשובות של קרקעות חקלאיות בכדי להעריך את מידת התאמתן של בוצות מתהליכי ייצוב שונים לשימושים חקלאיים.

תוכנית העבודה במהלך שלוש שנות המחקר כללה (1) לימוד השפעת בוצות שונות על מספר תכונות כימיות ופיזיקליות של קרקעות חרסית-חולית, סיין וחול-סייני בניסוי עציצים ו-(2) בחינה בניסוי שדה בחלקות מסחריות של ההשפעה האפשרית של יישום בוצה מיוצבת בסיד (במ"ס) על הגידול, והקשר בין היבול לבין ניתרון הקרקע והמרקם שלה.

התוצאות הראו כי הוספת בוצות (סוג ב', קומפ' בוצה ובמ"ס) לשלוש קרקעות נתרניות (חול סייני, סיין וחרסיתית-חולית) שינתה מספר תכונות קרקע כגון, תכולות גיר וחומר אורגני ואחוז נתרן ספוח. מידת ההשפעה הייתה תלויה בעומס יישום הבוצה (1.5 ט'/ד' ו-15 ט'/ד'), בתכונות הקרקע ובנוכחות/העדר צמח בעציץ. יישום במ"ס גרם לעליה של כ-50% ביציבות התלכידים ללא קשר לתכונות הקרקע או לנוכחות צמח. שאר הבוצות לא גרמו לעליה ביציבות התלכידים או שהעליה הייתה מתונה. כל טיפולי הבוצה שיפרו את מוליכות ההידראולית בחרסית–החולית ובסיין בהעדר/בנוכחות צמח בעציץ. לעומת זאת, יישום הבוצות בקרקע החול-סייני הפחיתה את המוליכות ההידראולית בטיפול ללא צמח. בנוסף, בקרקעות הסיין והחרסית-חולית, בכל הטיפולים (ביקורת והוספת בוצות שונות) תכולת החלקיקים במקטע החרסיתי בשכבת הקרקע התחתונה הייתה בדרך כלל גבוהה מזו שבשכבה העליונה. בקרקע החול-סייני נצפתה בעציצים להם הוספו הבוצות (לשכבת הקרקע העליונה בלבד) תופעה הפוכה שיוחסה להעשרת השכבה העליונה בחומר אורגני כתוצאה מנוכחות הבוצות. תוצאות ניסוי השדה הראו כי

הוספת 5 מ"ק/ד' בוצה מיוצבת בסיד (במ"ס) בשנת 2008 לא השפיע על יבול הכותנה שגודלה בקיץ 2009 ועל יבול חיטה שגודלה בשטח בחורף 2009-2010. אולם, בגידול עוקב של תירס לתחמיץ התקבל יבול גבוה יותר בשטח שטופל בבמ"ס בהשוואה לטיפול הביקורת. כמו כן תוספת הבוצה תרמה לפחיתה באחוז הנתרן הספוח בחלקות לא נתרניות. תוספת הבוצה בשנת 2011 לחלקה ששימשה כחלקת הביקורת בשנים הקודמות תרמה רק לעליה קטנה מאוד (3%) ביבול הכותנה ולא השפיעה על אחוז הנתרן הספוח בשכבת הקרקע העליונה (0-45 ס"מ). נראה שעל מנת לגבש מסקנות מבוססות לגבי השפעת הוספת בוצה על הקרקע והגידול מחקר של שלוש שנים אינו מספיק ויש צורך לשם כך במעקב ארוך טווח.

4. רשימת פרסומים

בשלב זה עדיין לא פורסמו תוצאות שהתקבלו מעבודת המחקר הנוכחית. עם זאת, החלק המעבדתי של תוכנית המחקר (ניסוי העציצים) הינו חלק מעבודת גמר לתואר מוסמך של הגב' תמר לוי הנמצאת בשלבי כתיבה סופיים.

5. מבוא

יישום בוצות שפכים ממתקני טיפול עירוניים בשדות חקלאיים הוא הפתרון הנכון מבחינת הסביבה, המגזר העירוני והמגזר החקלאי. עיקר ההתייחסות בהקשר החקלאי היה לגבי פוריות הקרקע וסיכוני זיהום, ופחות תשומת לב ניתנה להשפעתן על תכונות פיסיקליות חשובות של קרקעות כגון; תאחיזת מים, יציבות תלכידים, חדירות ומוליכות לגזים ולמים ופילוג גודל נקבובים.

ייצוב הבוצה לרמה המקנה להם אישור כ"סוג א", בהתאם לתקנות החדשות לשימוש בבוצת שפכים בחקלאות, אפשרי במספר דרכים; כגון קומפוסטציה, כיפתות וגירעון (בחום ובלחץ), ייצוב ופסטור באמצעות סיד ועיקור בקרינה אלקטרומגנטית (electron beam) או רדיואקטיבית. חלק מהתהליכים (קומפוסטציה, ייצוב בסיד) מוכרים ונהוגים בארץ, אחרים (כיפתות ועיקור בקרינה), ידועים אך אינם נהוגים בארץ. הגם שכל אלו הנן בוצה "סוג א", תכונותיהן הכימיות, הפיסיקליות והביולוגיות שונות, וכן השפעתן האפשרית על הקרקע (ועל הגידול והסביבה).

השימוש החוזר בבוצה בחקלאות בארץ הנו בטוח יותר (יחסית לאירופה ולצפון ארה"ב) בגלל התכונות של הבוצות בצירוף התנאים הסביבתיים. תכולת המתכות הכבדות בבוצות בארץ נמוכה, וזמינותן לגידולים בתנאי הארץ היא שולית. הרכבן הכימי והמינרלוגי של הקרקעות מקטין עוד את הסיכון מהמתכות לשרשרת המזון (1), וחלקן אף חיוני להזנת הגידולים (2). מיקרו-מזהמים אורגניים נדירים בבוצות בארץ (3), והסיכון מהם לשרשרת המזון הנו קטן. אפשרות ההפצה של גורמי מחלה עם הבוצה בארץ קטנה מאד בשל החיוב ליישם בוצה מפוסטרת בלבד לכל שימוש חקלאי.

בוצה היא מקור לחנקן וזרחן זמינים לצמח (4-6) ידוע עם זאת שייצוב בקומפוסטציה גורם למעשה לאיבוד כושר אספקת חנקן מהבוצה (7,8). גם ייצוב בסיד גורם לפחיתה דומה, בעיקר בגלל מיהול גבוה של הבוצה בתוספים מינרליים שונים. ייצוב בסיד מוריד את המסיסות במים של הזרחה

בצורה חדה, ובשתי צורות הייצוב יש הפחתה של זמינות הזרחן לצמח בהשוואה לבוצה הלא-מיוצבת (9). יש לציין, כי להפחתה במסיסות ובזמינות הזרחן עשוי להיות יתרון אם תהיה כוונה להעמיס קרקעות בבוצה באופן מתמשך או ביישומן בקרקעות קלות ולא גיריות, העלולות להיות רגישות לעודפי זרחן (10).

עיקר ההתייחסות השימוש בבוצות בחקלאות היה לגבי פוריות הקרקע וסיכוני זיהום. פחות תשומת לב ניתנה להשפעה האפשרית על תכונות פיסיקליות חשובות של קרקעות כגון; תאחיזת מים, יציבות תלכידים, חדירות ומוליכות לגזים ולמים ופילוג גודל נקבובים. מאחר ובוצות עשירות בחומר אורגני צפוי כי הוספתן לקרקעות מעובדות תשפר את התכונות הפיזיקליות שלהן (11). עבודות מהספרות בדרך כלל מאששות קביעה זו, אך עם זאת ניתן לראות שהשפעת הבוצות תלויה בסוג הבוצה, הכמות המוספת ותכונות הקרקע.

<u>מטרתו הכללית של המחקר</u> הייתה לבחון את ההשפעה של בוצות מתהליכי הכנה/ייצוב שונים על מספר תכונות כימיות ופיסיקליות חשובות של קרקעות חקלאיות בכדי להעריך את מידת התאמתן של בוצות מתהליכי ייצוב שונים לשימושים חקלאיים. <u>מטרותיה הפרטניות של תוכנית המחקר</u> היו (1) לבחון את השפעת בוצות שונות על מספר תכונות כימיות ופיזיקליות של הקרקע בניסוי עציצים ו- (2) לימוד הקשר בין השפעת הוספת בוצה מיוצבת בסיד על התפתחות הגידול והיבול לבין מרקם הקרקע ולבין השפעת הבוצה על ניתרון הקרקע.

6. שיטות וחומרים

6.1. <u>ניסוי עציצים בחממה:</u> שלוש קרקעות נתרניות (חול סייני לא-גירי ממכמורת, סיין מבארי וחרסית-חולית מרבדים) נארזו בדליים בנפח של 5 ליטר שבתחתיתם נקדח חור בקוטר 2 ס"מ שאליו הוצמד משפך לאיסוף נקז. הדליים רופדו בתחתיתם בצמר סלעים, על מנת למנוע יצירת שכבה רוויה במים בתחתית הדלי. בכל דלי נארזו כ-4 ק"ג קרקע, בצפיפות בהתאם לתכולת החרסית בקרקע שנארזה. הקרקע הסיינית (נחל עוז) נארזה בצפיפות של 1.3 ג'\ס"מ^3, הקרקע החרסיתית-חולית (רבדים) בצפיפות של 1.25 ג'\ס"מ^3 והקרקע החולית (מכמורת) בצפיפות של 1.35 ג'\ס"מ^3. הקרקע נארזה בשתי שכבות: בחלקו התחתון של הדלי נארזה כמות של 2 ק"ג קרקע ללא תוספת בוצה, ומעליה נארזו 2 ק"ג קרקע בתערובת עם בוצה. כמויות הבוצה בתערובת חושבו כך שתספקנה 50 או 500 ק"ג N/ד'. בסיס החישוב היה ההנחה שכמות הקרקע (2 ק"ג) היא חלק משכבת החריש של קרקע בשדה שמשקלה 250-270 ט'/ד. הבוצות שנבחנו הן בוצה סוג ב' מתהליך ייצוב בתהליך איירובי (ממט"ש רעננה), קומפוסט בוצה (מאתר הקומפוסטציה דלילה) ובוצה מיוצבת בסיד ובאפר פחם מרחף (במ"ס) שהוכנה מבוצת השפד"ן (פיילוט של חברת GES). טיפולי הביקורת היו קרקע ללא תוספת בוצה. כל טיפול בוצע עם צמח תירס וללא צמח, וב- 3 חזרות. סה"כ היו 126 עציצים בניסוי.

הניסוי נמשך כ- 12 שבועות. במהלכו, עציצים עם צמח תירס הושקו במים מזוקקים פעם ביומיים או לפי הצורך (לפי שקילה), ועציצים ללא צמח, הושקו אחת לשבוע לתכולת מים קבועה (רטיבות קיבול שדה). בנוסף, אחת לשלושה שבועות נשטפה הקרקע בדליים בכמות מים השווה ל-1.33 נפחי נקבובים, והנקז נאסף מכל דלי בנפרד, נפחו נמדד ונלקח מדגם לבדיקת הרכבו הכימי. בנוסף לאפיון של מי הנקז,

נעשה גם מעקב אחר התפתחות הצמחים. בסוף הניסוי נמדדובכל אחת משתי שכבות הקרקע בכל עציץ תכולות הגיר והחומר אורגני, אחוז הנתרן הספוח ונקבע ההרכב מכני בעזרת מכשיר לייזר (Horiba LA-910) לקביעת התפלגות גודל חלקיקים כמתואר אצל 12. בנוסף, בשכבת הקרקע העליונה נבדקו יציבות התלכידים (בשיטת ה-HEMC לפי 13) והמוליכות ההידראולית ברוויה במידגמים מופרים (בשיטת העומד הקבוע).

6.2. <u>ניסוי שדה</u>

מסיבות אגרוטכניות ומשקיות לא ניתן היה לחזור השנה לחלקות הניסוי בשדה ברבדים בו ערכנו את הניסוי בשנים הקודמות (ראה דו"ח מסכם לתוכנית מחקר 07-0495-301). לפיכך, התמקדנו בשתי חלקות מסחריות אחרות במשק: חלקה 28, שטופלה בבמ"ס (מבית שמש) בשיעור של 5 מ"ק/ד' במהלך הסתיו של שנת 2008. חלקה 27 הצמודה לה לא קיבלה זיבול והיוותה ביקורת.

שנה ראשונה - במהלך שנת המחקר הראשונה גדלה בשטח הניסוי כותנה ונערך מעקב אחר התפתחות הנוף בשיטות של חישה מרחוק. בוצעו הדמאות לווין ברזולציה קרקעית גבוהה שנוצלו לשם חישה ספקטרלית באורכי גל בתחומי הירוק, האדום ובקרבת האינפרא-אדום המוחזרים מהצמח, ומייצגים את מצב הצמח. רמת ההחזר היחסית של הצבעים תלויה בביומסה ובפעילות הכלורופיל בצמח. הניתוח נעשה ע"י חברת סתיו-ממ"ג בע"מ באמצעות מערכת המידע פרמסט (*FarmSat*) של חברת גיאוסיס שהיא יישום GIS-י בסביבת האינטרנט.

יבול הכותן הגולמי נשקל בפיקסלים בשטח 6 מ"ר, באמצעות קטפת עם שקילה ממוחשבת ואיכון מרחבי (GPS). באוקטובר 2009 לאחר הגשמים הראשונים נלקחו דוגמאות קרקע משלושה עומקים (0-15, 15-30 ו- 30-45 ס"מ) משלושה אזורי משנה בכל חלקה (עם וללא במ"ס): אזורים חרסיתיים-נתרניים, אזורים חרסיתיים-לא נתרניים ואזורים חוליים. בכל אחד משלושת האזורים נרשם היבול (מהדו"ח הממוחשב), ודגימות קרקע נלקחו מ- 10 מקומות שונים (10 חזרות), סה"כ 60 בורות ו- 180 דוגמאות קרקע. בדוגמאות הקרקע נקבעו אחוז נתרן חליף והתפלגות גודל החלקיקים.

שנה שניה - במהלך שנת מחקר זו גידלו בשטח הניסוי חיטה לתחמיץ (נובמבר 2009 עד מרץ 2010) ותירס לתחמיץ (מאי 2010 עד יולי 2010). לצורך קביעת יבול ומדדים צמחיים אחרים בסוף עונת הגידול דגמנו שוב מאותם שלושת האזורים שנדגמו בשנה שעברה לאפיון יבול הכותנה (אזור עם יבול גבוה, אזור נתרני ואזור חולי). האזור עם היבול הגבוה (איור 1) נקבע בהתבסס על תוצאות הדמאות לווין ברזולציה קרקעית גבוהה שבוצעו במהלך שנת 2009 במעקב אחר גידול כותנה ונוצלו ליצירת מפות יבול (הניתוח נעשה ע"י חברת סתיו-ממ"ג בע"מ באמצעות מערכת המידע פרמסט (*FarmSat*) של חברת גיאוסיס). האזורים עם הקרקע הנתרנית וזו חולית נקבעו על סמך סקרי קרקע בחלקות.

יבולי החיטה נקבעו בקציר ידני בשטח של 0.45 מ^2 (1 מ' אורך ו- 0.45 ס"מ רוחב, סה"כ שלוש שורות חיטה) בשש חזרות בכל אחד משלושת האזורים, כאשר לצורך דיגום חזרנו ל- 6 נקודות ציון בהן דגמנו בשנה שעברה את יבול הכותנה בכל אחת מהחלקות. מדדי יבול התירס (גובה צמח, חומר יבש,

משקל קלחים ומשקל עלוה) נקבע מקציר ידני של חלקות בגודל 1.92 מ^2 (2 מ' אורך ו- 0.92 ס"מ רוחב) בשש חזרות מכל אחד משלושת האזורים שצויינו לעיל בכל אחת מהחלקות.

שנה שלישית - במהלך סתיו 2010, בהתבסס על החלטה משקית טופלו שני פסים (ברוחב 20 מ') לאורכה של חלקה 27 (חלקה זו שמשה כביקורת בשתי שנות המחקר הראשונות) בבמ"ס מבית שמש. בקצה האחרון של כל פס ניתן טיפול בבוצת שפכים מיוצבת בסיד שמקורה בשפד"ן. התוספים נתנו בשיעור של 5 מ"ק/ד' כל אחד. חלקה 28 (חלקה זו טופלה בבמ"ס בשנת 2008) לא קיבלה שום תוסף. במהלך שנת 2011 גודלה בחלקה 27 כותנה ובחלקה 28 חמניות. הטיפולים שנבחנו היו (1) בחינה של ההשפעה השאריתית של הטיפול בבמ"ס על תכונות הקרקע בחלקה 28, ו- (2) השפעת הטיפול בבמ"ס בחלקה 27 על מדדי יבול ותכונות קרקע.

בחלקה 28 דיגום הקרקע בוצע באותם שלושת האזורים שנדגמו בעבר לאפיון יבול הכותנה (אזור עם יבול גבוה, אזור נתרני ואזור חולי). בחלקה 27 בוצעו דיגומי קרקע מאזורים שטופלו בבמ"ס ובבוצת שפד"ן ואזורים סמוכים להם שלא טופלו (ביקורת). כמו כן, בוצעו דיגומי קרקע (כמו בחלקה 28) באזורים שזוהו בשנת 2009 כבעלי יבול גבוה, וכן באזור החולי והאזור הנתרני שבחלקה זו. בנוסף, בוצעו דגימות יבול משלושת האזורים הללו וכן מהאזורים שטופלו בבוצות ואזורי הביקורת.

7. תוצאות ודיון

7.1. <u>ניסוי עציצים:</u>

בדו"ח המחקר הקודם (דו"ח מסכם לתוכנית מחקר מספר 07-0495-301) דווח על השפעת הטיפולים על התפתחות צמחי התירס ועל מאפייני הנקז שהתקבל במהלך הניסוי. בדו"ח הנוכחי אנו מדווחים על השפעת הטיפולים על מספר תכונות קרקע.

גיר - בקרקעות החרסיתית-חולית וסיינית נצפתה בדרך כלל ובעיקר בטיפול עם צמח פחיתה בתכולת הגיר בשכבת הקרקע העליונה (0-10 ס"מ) בהשוואה לקרקע המקורית (קרקע לפני שנארזה בעציצים). מאידך, בשכבת הקרקע התחתונה (10-20 ס"מ) נצפתה בד"כ עליה קלה בתכולת הגיר (איורים 1 ו- 2, בהתאמה). נראה כי במהלך השקיית הקרקע חלה התמוססות של הגיר בשכבה העליונה והסעתו עם מי ההשקיה אל השכבה העמוקה בה הגיר שקע בעת שהייתה ירידה בלחות הקרקע. בקרקע החול-הסייני תכולת הגיר נמוכה מאוד (2%) ולטיפולים שנבחנו כמעט ולא הייתה השפעה עליו. עם זאת, ראוי לציין שבשכבת הקרקע התחתונה דווקא במנת הישום הקטנה של הבוצות (50 ק"ג/ד' של חנקן) חלה עליה מסוימת בתכולת הגיר (איור 3).

חומר אורגני – השפעה הטיפולים שנבחנו על תכולת החומר האורגני (ח"א, נקבע בשריפה רטובה) בקרקעות השונות הייתה תלויה בקרקע, בסוג התוסף ובעומס היישום. התוספת בסוף התקופה הייתה בעיקר בשכבה העליונה (שכבת היישום), היא הייתה גדולה יותר בעומס הגבוה, והיא הייתה גבוהה יותר בטיפולי הקומפוסט והבמ"ס מאשר בטיפול הבוצה מרעננה. בקרקע החרסיתית-חולית הוספת הבוצות בשיעור הגבוה (לפי 500 ק"ג N/ד') תרמה לעליה מובהקת בתכולת הח"א בשתי שכבות הקרקע למרות שהבוצות הוספו לשכבת הקרקע העליונה בלבד (איור 4). בסיין, בשכבת הקרקע העליונה, תוספת של

בוצה מיוצבת בסיד וקומפוסט בוצה בשיעור של 500 ק"ג N/ד' גרמו לעליה בתכולת הח"א בשכבת הקרקע העליונה, הוספת בוצה דרג ב' לא גרמה לשינוי והוספת כל הבוצות בשיעור 50 ק"ג/ד' של חנקן גרמה לפחיתה בתכולת הח"א (איור 5). בשכבת הקרקע התחתונה בסיין נצפתה פחיתה בתכולת הח"א בכל הטיפולים בהשוואה לקרקע מקורית (איור 5). הסיבה לפחיתה בח"א בקרקע זו אינה ברורה ונמצאת בבדיקה. בקרקע החול-הסייני תכולת הח"א הייתה נמוכה מאוד (~0.2%) ולכל הטיפולים, למעט הוספת בוצה דרג ב' בכמות הקטנה, תרמו לעליה בתכולת הח"א בשכבת הקרקע העליונה (איור 6). מאידך בשכבת הקרקע התחתונה הטיפולים ללא צמח גרמו בדר"כ לעליה בתכולת הח"א בעוד באלו עם הצמח לא חל שינוי או חלה פחיתה בח"א (איור 6).

נתרן חליף (ESP) – התוספים הפחיתו את ה-ESP במידה ניכרת רק בשיעור היישום הגבוה, ולנוכחות צמח בעציץ הייתה השפעה גדולה בהורדה של ה-ESP בלי קשר לנוכחות של בוצה כלשהי (איורים 9-7). האפקט בלט הן בשכבת היישום והן בשכבה התחתונה, ובשכבה התחתונה הוא בלט במיוחד בקרקע החול-הסייני. האפקט של הצמח היה כנראה עקב מנת המים הגדולה יותר שניתנה בטיפולים אלה, שגרמה להתמוססות רבה יותר של הגיר בקרקע ושל מלחי הסידן שבבוצות וכך היה יותר סידן זמין להחלפת הנתרן הספוח. בנוסף, נשימת השורשים והמיקרואורגניזמים והניטריפיקציה בקרקע בנוכחות בוצות בעומס היישום הגבוה גרמו ככל הנראה להמסת גיר נוספת. בחול-הסייני, שמלכתחילה הייתה פחות נתרנית משתי הקרקעות האחרות. טיפולי הבוצות ללא צמח תרמו לעליה ב- ESP בשכבת הקרקע העליונה והתחתונה כאחד, בעוד טיפולי הבוצות עם צמח גרמו בדר"כ לפחיתה משמעותית ב-ESP (איור 9). אין לנו, בשלב זה, כל הסבר לעליה ב- ESP בחמרה בטיפולים ללא צמח.

הרכב מכני - את תנועת החרסית בקרקע כתלות בטיפולים השונים הערכנו משינויים שחלו בהרכב המכני של שכבת הקרקע העליונה ושכבת הקרקע התחתונה בעציצים השונים עם וללא גידול צמחים. ההרכב המכני נקבע בעזרת מכשיר לייזר לקביעת התפלגות גודל חלקיקים. במכשיר זה מתקבלת התפלגות גודל חלקיקים נפחית (איור 10) ולא משקלית כפי שמקובל בשיטת הפיפטה או ההידרומטר. בכדי לבחון ביתר קלות את השפעת הטיפולים על ההרכב המכני של הקרקע נותחו התוצאות שהתקבלו ממכשיר הלייזר כך שהתפלגות גודל החלקיקים מוצגת כפרקציה נפחית ב- 4 מקטעי גודל שונים <5, 5-20, 20-50 ו- 50-250 מיקרון.

תוצאות התפלגות גודל החלקיקים בטיפולים השונים בקרקע החמרה מוצגות באיור 11. בקרקע ללא תוספים (control) תכולת המקטע החרסיתי (מקטע גודל הקטן מ- 5 מיקרון) הייתה כ- 12% בכל אחת משכבות הקרקע בעציץ ללא תלות בנוכחות או העדר צמח. תוצאה זו מעידה על כך שלא הייתה תנועה של חרסית משכבת הקרקע העליונה לתחתונה. מכאן, למרות שהקרקע הייתה נתרנית (ESP ~6), לא חלו בה תהליכי דיספרסיה במהלך עונת ההשקיה עם מים מזוקקים שיכלו לגרום לדלדול בתכולת החרסית בשכבת הקרקע העליונה והעשרה בתכולת החרסית בשכבה התחתונה. בטיפולי הבוצה דרג ב' והבמ"ס נראה כי הייתה העשרה בחומר ממקטע גודל החרסית בשכבת הקרקע העליונה. תוצאה זו נמצאת בהתאמה לתוצאות של תכולת חומר אורגני בטיפולים אלו (איור 4) שמראים על עליה של 0.5-1.0% בתכולת החומר האורגני בשכבה העליונה בהשוואה לתחתונה (הבוצות עורבבו רק עם שכבת

קרקע זו). ומכאן ההעשרה של השכבה העליונה בתכולת המקטע החרסיתי בטיפולים אלו נובעת כנראה מנוכחות הבוצות. בטפול עם קומפוסט בוצה חלה העשרה של מקטע החרסית הן בשכבה העליונה והן בתחתונה בהשוואה לביקורת, כאשר בשכבה התחתונה נצפתה תכולת גבוהה של המקטע החרסיתי בהשוואה לשכבה העליונה. בטיפול זה הייתה, כנראה, שטיפה מסויימת של חלקיקי הבוצה מהשכבה העליונה לתחתונה במהלך הניסוי.

תוצאות התפלגות גודל החלקיקים בטיפולים השונים בקרקע הלס מוצגות באיור 12. בקרקע זו הן בביקורת והן בקרקעות עם הבוצות תכולת המקטע החרסיתי בשכבת הקרקע התחתונה הייתה גבוהה יותר מאשר בשכבת הקרקע העליונה. הבדל זה היה משמעותי יותר בטיפולים ללא צמח. קרקע הלס עמה עבדנו הייתה מאוד נתרנית (ESP 22) ולכן סביר להניח ששטיפה במים מזוקקים גרמה לדיספרסיה של החרסית בקרקע ולהסעתה מהשכבה העליונה אל השכבה התחתונה בעציץ.

תוצאות התפלגות גודל החלקיקים בטיפולים השונים בקרקע הגרומוסול מוצגות באיור 13. בטיפול הביקורת ובטיפולי קומפוסט הבוצה והבמ"ס התקבלה תופעה דומה לזו שנצפתה בקרקע הלס, קרי תכולת המקטע החרסיתי בשכבת הקרקע התחתונה הייתה גבוהה יותר מאשר בשכבת הקרקע העליונה. בטיפול עם הבוצה דרג ב' לא היה הבדל בתכולת המקטע החרסיתי בין שתי השכבות בטיפול עם צמח בעוד שבטיפול ללא צמח בשכבה העליונה היית התכולה גבוהה יותר של המקטע החרסיתי. אחוז הנתרן הספוח בקרקע זו היה 11 ונמצא בין זה של החמרה לבין שה של הלס. נראה כי, למעט טיפול הבוצה דרג ב', דיספרסיה של חרסית כתוצאה משטיפה של קרקע נתרנית זו במים מזוקקים, יכלה לתרום לפחות באופן חלקי להעשרת השכבה התחתונה בחלקיקים ממקטע החרסית על חשבון השכבה העליונה.

יציבות תלכידים - יציבות תלכידים נמדדה בשכבת הקרקע העליונה בלבד ובמנת היישום הגבוהה של הבוצות. ערכי יציבות התלכידים המוצגים מנורמלים ליציבות התלכידים בקרקע המקורית (איור 14). בקרקע החרסיתית-חולית, הטיפול בבוצה מיוצבת בסיד (עם וללא צמח) תרם לעליה של 50% ביציבות התלכידים. בשאר הטיפולים בקרקע זאת לא היה שינוי משמעותי ביציבות התלכידים. גם בחול-הסייני הטיפול בבוצה מיוצבת בסיד (עם וללא צמח) תרם לעליה של כ- 50% ביציבות התלכידים בעוד שאר הטיפולים גרמו בדר"כ להרעה ביציבות התלכידים. בשתי הקרקעות הללו לנוכחות או העדר צמח לא הייתה בדר"כ השפעה על יציבות התלכידים (איור 14). ניתן לייחס, לפחות באופן חלקי, את השיפור הגדול ביציבות התלכידים בטיפול בבוצה מיוצבת בסיד בשתי הקרקעות הללו לתרומת הטיפול הזה לעליה המשמעותית בתכולת הח"א (איורים 4 ו-6). בסיין לא הייתה מגמה ברורה של השפעת הטיפולים על תוצאות יציבות התלכידים. בקרקע ללא תוספת בוצות, הייתה עליה מסויימת ביציבות התלכידים שלא הושפעה מנוכחות או העדר צמח (איור 14) היכולה לנבוע מייצוב הקרקע כתוצאה מתהליכי הייבוש וההרטבה להם היא נחשפה במהלך הניסוי. הטיפול בבוצה מדרג ב' ובבוצה מיוצבת בסיד תרם לשיפור ביציבות התלכידים בהעדר צמח ובהרעה מסויימת בנוכחות צמח; בטיפול בקומפוסט בוצה התקבלה תמונה הפוכה (איור 14).

מוליכות הידראולית ברוויה - נוכחות צמח בעציצים גרמה במרבית המקרים לקבלת מוליכות הידראולית גבוהה יותר מאשר בהעדר צמח (איור 15) ניתן לייחס תופעה זו לכך ששאריות השורשים בקרקע תרמו להקטנת מקומית בצפיפות הקרקע ומכאן לשיפור בכושר תנועת המים בקרקע. בקרקעות החרסיתית-חולית ובסיין הייתה ירידה חדה במוליכות ההידראולית בטיפול ההיקש ללא צמח, וכל טיפולי הבוצות מנעו ירידה זאת (איור 15). בטיפול עם צמח לא היה הבדל בין הביקורת לתערובות עם במ"ס ובוצה סוג ב', וקומפוסט הבוצה אף נצפתה מגמה של שיפור במוליכות ההידראולית. בחול-הסייני המוליכויות ההידראוליות היו גבוהות יחסית לאלו שהיו בשתי הקרקעות האחרות, וכמעט לא הייתה פחיתה במוליכות בטיפול הביקורת ללא צמח. הוספת הבוצות לקרקע גרמה, בטיפול ללא צמח, לפגיעה במוליכות ההידראולית. בטיפול עם צמח הוספת קומפוסט בוצה ובוצה דרג ב' שיפרו את המוליכות ההידראולית בעוד שהוספת במ"ס הפחיתה את המוליכות ההידראולית לאותה רמה כמו ללא צמח (איור 15).

7.2. <u>ניסוי שדה</u>

שנה ראשונה - הדמאות ספקטראליות של שתי חלקות התצפית (27, ללא במ"ס; ו- 28, עם במ"ס) במהלך עונת הגידול מוצגות בתמונה 1. צבע ירוק יותר מציין פרישת עלים מלאה יותר ואינדקס שטח עלווה גבוה יותר. ניתן לראות בבירור כי בחלקה 28 הייתה התפתחות טובה יותר של הגידול והתקבל כיסוי מלא יותר של השטח בהשוואה לחלקה 27. מגמה זו נמצאת בהתאמה טובה עם התוצאות שמתקבלות ממפת היבול בשתי החלקות (תמונה 2).

תוצאות בדיקות אחוז הנתרן הספוח (ESP) בכל אחד משלושת האזורים שנדגמו בכל חלקה (אזור עם יבול גבוה, אזור נתרני ואזור חולי) מוצגים באיור 16. כצפוי, בשתי חלקות הניסוי באזורים עם יבול גבוה או עם קרקע חולית ה- ESP היה נמוך בהשוואה לאזורים הנתרניים. בנוסף נצפתה מגמה בה ה-ESP בחלקת הביקורת (חלקה 27) היה גבוה יותר מאשר זה שבחלקה המטופלת בבוצה (חלקה 28) הן באזורים עם יבול גבוה והן באזורים עם הקרקע החולית (איור 16).

תוצאות יבול של כותן גולמי שהתקבל בכל נקודה בה נערך דיגום קרקע מוצגות בטבלאות 1 ו-2 עבור חלקות 27 ו- 28, בהתאמה. כצפוי, בכל חלקה היבול מאזור היבול הגבוה היה גבוה באופן מובהק מהיבולים שהתקבלו מהאזורים הנתרניים והאזורים החוליים. אולם, לא היה הבדל מובהק ביבול מאזור דיגום שהוגדר כאזור עם יבול גבוה, בין חלקת הביקורת לחלקה שטופלה בבוצה. גם באזורים עם קרקע חולית היבול בחלקה שטופלה בבוצה לא היה שונה באופן מובהק מזה שהתקבל בחלקת הביקורת. מאידך, באזורים הנתרנים היבול בחלקה שטופלה בבוצה היה גבוה באופן מובהק (α =0.05) מזה שהתקבל בחלקת הביקורת.

שנה שניה - תוצאות יבול החיטה מוצגות בטבלא 3. בחלקה שטופלה בבמ"ס (חלקה 28) היבול מהאזור שנחשב לאזור עם יבול גבוה היה דומה לזה שהתקבל באזור החולי ושניהם היו גבוהים באופן מובהק מהיבול שהתקבל באזור הנתרני. בחלקת הביקורת (חלקה 27) התקבלו בכל טיפול יבולים

גבוהים יותר בהשוואה לאותם טיפולים בחלקה שטופלה בבמ"ס. באזור החולי התקבל היבול הגבוה ביותר מכל החלקות שנבדקו (ביקורת ומטופלות בבמ"ס כאחד). שלא כמו בחלקה 28, בחלקה 27 לא נמצא הבדל מובהק ביבול בין זה שהתקבל באזור הנתרני לבין זה שהתקבל מאזור עם יבול גבוה. מתוצאות יבול החיטה ניתן להסיק כי השפעת הבמ"ס שהוספה לחלקה 28 בסתיו 2008 לא באה לידי ביטוי. זאת למרות שתצפיות קרקעיות והדמאות ספקטרליות של החלקה הראו בבירור כי בשנת 2009 הבמ"ס העלה את רמת המיום של הצמחים, ואפשר התפתחות טובה יותר של גידול הכותנה וכיסוי מלא יותר של השטח בהשוואה לחלקה ללא במ"ס (ראה דו"ח שנתי לשנת 2008).

תוצאות יבול התירס לתחמיץ (שהיה גידול עוקב לחיטה בחלקות הניסוי) מוצגות בטבלה 4. תוצאות הניתוחים הסטטיסטיים מצביעות על התופעות הבאות:

1. בניגוד לתוצאות שהתקבלו בחיטה, טיפול הבמ"ס גרם לעליה מובהקת במשקל החומר היבש, משקל הקלחים וגובה הצמחים של התירס בהשוואה לטיפול הביקורת.
2. באזור שהוגדר כאזור יבול גבוה משקל חומר יבש, משקל עלווה וגובה צמחים היו גבוהים במובהק מאלו שהתקבלו באזור הנתרני. במשקל הקלחים לא נמצא הבדל מובהק ביבול בין שלושת האזורים השונים.
3. בטיפול שכלל אזור יבול גבוה שטופל בבמ"ס התקבלו משקלי חומר יבש וקלחים שהיו גבוהים באופן מובהק משאר הטיפולים.

התוצאות מעונת גידול התירס מראות כי לתוספת 5 מ"ק/ד' במ"ס בשנת 2008 הייתה עדיין תרומה ליבול התירס שגודל בשדה כשנתיים לאחר הוספת הבוצה. הסיבה לכך שבגידול החיטה בתחילת שנת 2010 לא הייתה לבמ"ס השפעה חיובית על הגידול בעוד שבגידול התירס העוקב כן נצפתה לבמ"ס השפעה חיובית אינה ברורה בשלב זה אולם ניתן לשער שההבדל בהשפעת הבמ"ס בין שני הגידולים נובע אולי מהעובדה שגידול החיטה היה בתנאי בעל בעוד שהתירס גודל בהשקייה.

שנה שלישית - השוואת תוצאות יבול כותן גולמי מקציר משקי בחלקה 27 בין אזור שטופל בבמ"ס מבית שמש (750 ק"ג/ד') לבין אזור שלא טופל (726 ק"ג/ד') הראתה כי הטיפול בבמ"ס תרם לעליה קטנה מאוד (3%) ולא מובהקת ביבול הכותן. תוצאה זו דומה למה שנצפה בשנת 2009 בהשוואה של יבול הכותן בין חלקה 28 שטופלה בבמ"ס וחלקה 27 שלא טופלה.

השוואת גובה צמחי הכותנה ויבול כותן גולמי בין אזורי הקרקע השונים מראה שלא היה הבדל מובהק בשני המדדים הללו בין האזור עם יבול גבוה לאזור הנתרני כאשר באזור החולי התקבלו צמחים נמוכים יותר ויבול קטן יותר באופן מובהק מאשר בשני האזורים האחרים (טבלה 5). תוצאות אלו נמצאות בהתאמה מסויימת עם יבולי הכותן שהתקבלו בשנת 2009 כאשר גם בשנה זו היבול באזור החולי היה נמוך באופן מובהק מזה שבשני האזורים האחרים (טבלה 1). מאידך בניגוד לשנת 2009, השנה לא נמצא הבדל מובהק ביבול לטובת האזור עם היבול הגבוה בהשוואה לאזור הנתרני.

בדיקת ה- ESP של הקרקע בחלקה 27 לצורך בחינת השפעת תוספת שני סוגי הבמ"ס, זו מבית שמש וזו מהשפד"ן, על רמת הנתרן הספוח הראתה שעד לעומק של 45 ס"מ ה- ESP באזורים המטופלים בשני סוגי הבמ"ס וזה באזור הלא מטופל היו דומים (איור 17). בעומק 45-75 ס"מ התקבלה

עליה ב- ESP באזור שטופל בבמ"ס מבית שמש בהשוואה ל- ESP שהתקבל באזור הלא מטופל וזה שטופל בבמ"ס מהשפד"ן. העליה הזו ב- ESPאינה ברורה ודורשת בחינה נוספת.

השוואה בין ערכי ה- ESP בשכבת הקרקע העליונה (0-15 ס"מ) באזורי הקרקע השונים (אזור יבול גבוה, אזור נתרני ואזור חולי) בשנת 2009 לבין אלו בשנת 2011 עבור דוגמאות מחלקה 28 שטופלה בבמ"ס וחלקה 27 (ביקורת) מוצגת באיור 18. התוצאות מצביעות בבירור שתוספת במ"ס תרמה להקטנת ה- ESP בשכבת הקרקע העליונה מ- ~6 ל- ~4 באזורים עם יבול גבוה או החוליים כבר בשנת 2009, שנשמרה גם בשנת 2011. באזור הנתרני טיפול בבמ"ס לא תרם לפחיתה ב- ESP של הקרקע. תוצאות דומות התקבלו גם בעומקים 15-30 ו- 30-45 ס"מ (תוצאות לא מוצגות).

חישוב תיאורטי מצביע על כך שהוספת 5 מ"ק במ"ס לדונם תורמת לדונם קרקע כ- 500 ק"ג של סידן שהינם 25,000 אקויולנטים של סידן. בהנחה שהבמ"ס מוצנעת לעומק 15 ס"מ, משקל הקרקע לעומק שכבה זו הוא 200 טון/ד'. קיבול הקטיונים החליפיים (קק"ח) של הקרקע באזור הניסוי (למעט האזורים החוליים) הוא כ- 500 מא"ק/ק"ג. סך הקק"ח בשכבת קרקע דנן הינו על כן 100,000 אקויולנטים של מטען. מכאן שכמות הסידן המוספת עם הבמ"ס שווה לרבע מהקק"ח בשכבת קרקע בעומק 15 ס"מ. כמות כזו של סידן אמורה להשפיע על הרכב הקק"ח ולתרום לפחיתה ב- ESP של הקרקע. אולם יש לזכור שהקרקע באזור הניסוי מכילה כ- 10-12% גיר דבר שיכול להשפיע על מסיסות הסידן המוסף בבמ"ס ומכאן על יעילותו בהחלפת יוני נתרן ספוח. תופעה זו יחד עם חוסר אחידות בפיזור הבמ,ס יכולים להסביר, לפחות באופן חלקי את חוסר הצלחת תוספת הבמ"ס בהקטנה משמעותית של רמת הנתרן הספוח בשטחי הניסוי.

7.3 <u>סיכום</u>

תוצאות ניסויי המעבדה הראו כי הוספת בוצות שונות (סוג ב', קומפ' בוצה ובמ"ס) לשלוש קרקעות נתרניות בעלות מרקם שונה שינתה מספר תכונות קרקע כגון, תכולות גיר וחומר אורגני ואחוז נתרן ספוח. מידת ההשפעה וכיוונה היו תלוים בעומס יישום הבוצה (1.5 ט'/ד' ו-15 ט'/ד'), בתכונות הקרקע ובנוכחות צמח בעציץ. יישום במ"ס גרם לעליה של כ-50% ביציבות התלכידים ללא קשר לתכונות הקרקע או לנוכחות צמח. שאר הבוצות לא גרמו לעליה ביציבות התלכידים או שהעליה הייתה מתונה. כל טיפולי הבוצה שיפרו את מוליכות ההידראולית בחרסית–החולית ובסיין בהעדר/בנוכחות צמח בעציץ כנראה כיון שהקטינו את הצפיפות הגושית של התערובת קרקע-בוצה. לעומת זאת, יישום הבוצות בקרקע החול-סייני הפחיתה את המוליכות ההידראולית בטיפול ללא צמח.

תוצאות ניסויי השדה הראו כי ההשפעה של לתוספת במ"ס על הקרקע והגידול לא הייתה עקבית והייתה תלויה בסוג הגידול ובשינויים בתכונות הקרקע בתוך החלקה. עם זאת נראה שבמרבית המקרים לתוספת במ"ס או שלא הייתה השפעה או שהייתה השפעה חיובית על המדדים שנבחנו. בכל מקרה לא נצפתה לתוספת הבמ"ס השפעה שלילית.

נראה כי לצורך ההערכה של התרומה המידית והשאריתית של הוספת בוצות לקרקע חקלאית יש צורך בניסויים ארוכי טווח שיאפשרו זיהוי מגמות במדדים שנבדקים ללא תלות במחזור גידולים והשינויים הנלווים במימשק החקלאי.

הבעת תודה

המחברים מביעים תודה למדען הראשי של משרד החקלאות על עזרתו במימון המחקר, למר יגב קילמן מצבר-קמה על עזרתו בהפעלת ניסוי השדה ולגברת תמר לוי על ביצוע וניתוח ניסויי המעבדה.

8. רשימת ספרות מצוטטת:

1. הס, א'. 2002. התפלגות כימית של מתכות כבדות בקרקעות מטופלות בבוצת שפכים. חיבור לשם קבלת תואר מוסמך למדעי החקלאות. הוגש לפקולטה לחקלאות המזון ואיכות הסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים, רחובות.

2. Oliver, I. W., A. Hass, G. Merrington, P. Fine, and M.J. McLaughlin. 2005. Copper availability in 7 Israeli soils incubated with and without biosolids. J. Environ. Qual.34:508–513.

3. Banin, A., Z. Gerstl, and P. Fine. 1990. Minimizing soil contamination through control of sewage sludge transformations in soil. Final report submitted to the NCRD (Israel) and BMFT.197 p.

4. Fine, P., U. Mingelgrin, and A. Feigin. 1989. Incubation studies on the fate of organic nitrogen in soils amended with activated sludge. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:444-450.

5.Fine, P., and U. Mingelgrin. 1996. Release of phosphorus from waste-activated sludge. Soil Sci. Soc. Am. J. 60:505-511.

6. O'Connor, G.A., D. Sarkar, S.R. Brinton, H.A. Elliott, and F. G. Martin. 2004. Phytoavailability of Biosolids Phosphorus. J. Environ. Qual. 33:703-712.

7. Bar-Tal A., U. Yermiyahu, J. Beraud, M. Keinan, R. Rosenberg, D. Zohar, V. Rosen, and P. Fine. 2004. Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Uptake by Wheat and Their Distribution in Soil following Successive, Annual Compost Applications. J. Environ. Qual. 33: 1855-1865.

8. Beraud. J., P. Fine, U. Yermiyahu, M. Keinan, R. Rosenberg, A. Hadas, and A. Bar-Tal. 2005. Modeling Carbon and Nitrogen Transformations for Adjustment of Compost Application with Nitrogen Uptake by Wheat. J. Environ. Qual. 34: 664-675.

9. פיין, פ', א' מינגלגרין, א' בוסק, ר' רוזנברג, א' בריוזקין, ש' סוריאנו, א' דרור. 2007. שימוש חקלאי בבוצות שפכים מיוצבות באפר-פחם מרחף ובסיד. דו"ח לשנת 2006 מוגש למנהלת אפר הפחם. הוצ' המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, ת"ד 6, בית דגן 50250. 37 עמ'.

10. Elliott, H.A., G.A. O'Connor, and S. Brinton. 2002. Phosphorus leaching from biosolids-amended sandy soils. J. Environ. Qual. 31:681–689.

11. Celik, I., I. Ortas and S. Kilic. 2004. Effects of compost, Mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. Soil Till. Res. 78:59-67.

12. Warrington, D.N., Goldstein, D., and Levy G.J. (2007). Clay translocation within the soil profile as affected by intensive irrigation with treated wastewater. *Soil Sci.* 172: 692-700.

13. Levy, G.J. and Mamedov, A.I. (2002). High-Energy-Moisture-Characteristics aggregate stability as a predictor for seal formation. Soil Sci. Soc. Am. J. 66: 1603-1609.

9. סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
מטרותיה הפרטניות של תוכנית המחקר היו (1) לבחון את השפעת בוצות שונות על מספר תכונות כימיות ופיזיקליות של הקרקע בניסוי עציצים ו- (2) לימוד הקשר בין השפעת הוספת בוצה מיוצבת בסיד על התפתחות הגידול והיבול לבין מרקם הקרקע, ולבין השפעת הבוצה על ניתרון הקרקע.
עיקרי הניסויים והתוצאות.
בניסוי עציצים, עם וללא צמח, נבדקה השפעת 3 בוצות שונות על ההרכב המכני של שלוש קרקעות נתרניות. בניסוי שדה בחנו השפעת תוספת בוצה מיוצבת בסיד על יבול כותנה, חיטה לתחמיץ ויבול תירס ותלות השפעת הבוצה ברמת הניתרון של הקרקע והמרקם שלה.
תוצאות ניסוי העציצים הראו כי מידת ההשפעה של תוספת בוצות וכיוונה היו תלוים בעומס יישום הבוצה (1.5 ט'/ד' ו-15 ט'/ד'), בתכונות הקרקע ובנוכחות/העדר צמח בעציץ. תוצאות ניסוי השדה הראו כי תוספת במ"ס לשדה בשנת 2008 לא תרמה ליבולי כותנה (2009, 2011) וחיטה (2010) אך בגידול תירס שעקב אחר החיטה כן נצפתה לבמ"ס השפעה חיובית על היבול. תוספת במ"ס תרמה לפחיתה ב- ESP של הקרקע רק באיזורים שאינם נתרניים.
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?
השפעת הבוצות על הקרקע אינה חד משמעית ותלויה בסוג הבוצה ובתנאי הסביבה (מרקם הקרקע ורמת הניתרון שלה). ההשפעה ארוכת הטווח של הוספת במ"ס לשדה מסחרי על היבול לא התבררה די צרכה ואפשר שהיא תלויה בסוג הגידול והמימשק (בעל מול שלחין).
בעיות שנותרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנותרה לביצוע תוכנית המחקר?
תוצאות המחקר מראות שעל מנת להעריך את התרומה המידית והשאריתית של הוספת בוצות לקרקע חקלאית יש צורך בניסויים ארוכי טווח שיאפשרו זיהוי מגמות במדדים שנבדקים ללא תלות במחזור גידולים והשינויים הנלווים במימשק החקלאי.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: **פרסומים בכתב** - ציטט 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.
בשלב זה עדיין לא פורסמו/הוצגו תוצאות שהתקבלו מעבודת המחקר הנוכחית. החלק המעבדתי של תוכנית המחקר הינו חלק מעבודת גמר לתואר מוסמך הנמצאת בשלבי כתיבה סופיים.
פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)
➢ רק בספריות
➢ **X ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)**
➢ חסוי – לא לפרסם
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן* - לא - לא.

*יש לענות על שאלה זו רק בדוח שנה ראשונה במחקר שאושר לשנתיים, או בדוח שנה שניה במחקר שאושר לשלוש שנים

10. נספחים (טבלאות, תמונות ואיורים)

טבלה 1. תוצאות יבול כותן גולמי (ק"ג/ד') מאזורי הדיגום השונים (יבול גבוה, קרקע נתרנית, קרקע חולית) בחלקת הביקורת (אוקטובר 2009).

חלקה 27 - ביקורת

מס	מס רץ	LONG	LAT	קטגוריית יבול	**יבול**	ממוצע	סטיית תקן
1	31	34.82880	31.76127	גבוה	905	767.8	134.7
2	32	34.82892	31.76132	גבוה	1057		
3	33	34.82901	31.76124	גבוה	793		
4	34	34.83169	31.76063	גבוה	700		
5	35	34.83161	31.76054	גבוה	668		
6	36	34.83152	31.76047	גבוה	660		
7	37	34.83141	31.76037	גבוה	645		
8	38	34.82742	31.75690	גבוה	744		
9	39	34.82742	31.75697	גבוה	848		
10	40	34.82797	31.75701	גבוה	658		
11	41	34.83012	31.76107	נתרני	430	528.0	103.9
12	42	34.83025	31.76115	נתרני	354		
13	43	34.83036	31.76112	נתרני	472		
14	44	34.82849	31.76075	נתרני	623		
15	45	34.82842	31.76068	נתרני	517		
16	46	34.82846	31.76060	נתרני	516		
17	47	34.82839	31.76052	נתרני	458		
18	48	34.82850	31.76046	נתרני	582		
19	49	34.82837	31.76032	נתרני	662		
20	50	34.82829	31.76030	נתרני	666		
21	51	34.82734	31.75711	חולי	539	408.6	99.1
22	52	34.82744	31.75720	חולי	589		
23	53	34.82758	31.75732	חולי	443		
24	54	34.82771	31.75741	חולי	378		
25	55	34.82788	31.75751	חולי	399		
26	56	34.82810	31.75754	חולי	329		
27	57	34.82848	31.75760	חולי	395		
28	58	34.82873	31.75764	חולי	437		
29	59	34.82912	31.75759	חולי	273		
30	60	34.82941	31.75767	חולי	304		

טבלה 2. תוצאות יבול כותן גולמי (ק"ג/ד') מאזורי הדיגום השונים (יבול גבוה, קרקע נתרנית, קרקע חולית) בחלקה שטופלה בבוצה (אורטובר 2009).

חלקה 28 מטופלת בבוצה מיוצבת בסיד (5 מ3/ד')

מס	מס רץ	LONG	LAT	קטגוריית יבול	יבול GPS	ממוצע	סטיית תקן
1	1	34.82721	31.75648	גבוה	1027	810.9	132.7
2	2	34.82655	31.75419	גבוה	1020		
3	3	34.82909	31.75474	גבוה	782		
4	4	34.82874	31.75542	גבוה	855		
5	5	34.82938	31.75675	גבוה	835		
6	6	34.83009	31.75735	גבוה	818		
7	7	34.82754	31.75575	גבוה	760		
8	8	34.82753	31.75403	גבוה	715		
9	9	34.82813	31.75475	גבוה	639		
10	10	34.8292	31.75592	גבוה	658		
11	11	34.82944	31.75465	נתרני	659	618.2	52.6
12	12	34.82922	31.75595	נתרני	681		
13	13	34.82665	31.75497	נתרני	669		
14	14	34.82803	31.75403	נתרני	623		
15	15	34.82955	31.75582	נתרני	555		
16	16	34.82986	31.75500	נתרני	629		
17	17	34.83036	31.75731	נתרני	613		
18	18	34.8299	31.75502	נתרני	621		
19	19	34.82759	31.75440	נתרני	492		
20	20	34.82795	31.75590	נתרני	640		
21	21	34.82974	31.75466	חולי	488	489.5	147.5
22	22	34.82981	31.75556	חולי	885		
23	23	34.83038	31.75673	חולי	415		
24	24	34.82979	31.75479	חולי	469		
25	25	34.82980	31.75590	חולי	372		
26	26	34.82900	31.75392	חולי	619		
27	27	34.83019	31.75685	חולי	395		
28	28	34.83042	31.75688	חולי	432		
29	29	34.83042	31.75657	חולי	392		
30	30	34.83028	31.75645	חולי	428		

טבלה 3. נתוני יבול עבור גידול חיטה לתחמיץ (נובמבר 2009 – מרץ 2010). יבול גבוה – יבול גבוה על פי נתוני יבול כותנה משנת 2009. נתרני – איזור בעל אחוז נתרן ספוח גבוה. חולי – אזור בעל קרקע חולית.

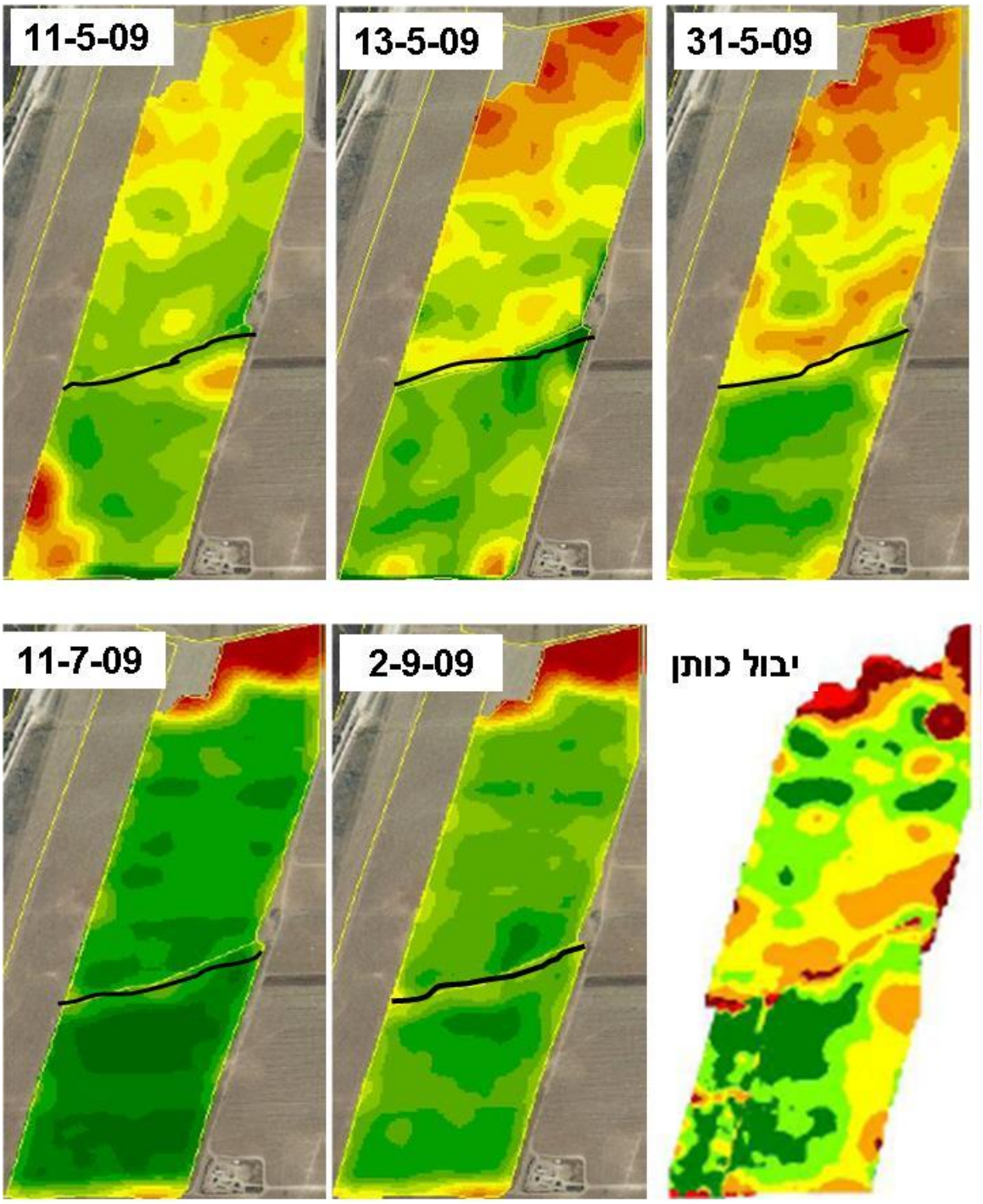
		נ.צ. מרכזי	נ.צ. מרכזי		יבול	
חלקה	אזור דיגום	GPS 1	GPS 2	טיפול	קג"ד	SD
28	יבול גבוה	34.82700	31.75545	במ"ס	1359.66	181.65
28	נתרני	34.82900	31.75370	במ"ס	702.05	218.93
28	חולי	34.83015	31.75680	במ"ס	1209.55	247.08
27	יבול גבוה	34.83155	31.76055	ביקורת	1653.79	203.78
27	נתרני	34.82840	31.76050	ביקורת	1316.99	150.61
27	חולי	34.82771	31.75730	ביקורת	2835.75	235.80

טבלה 4. נתוני יבול עבור גידול תירס (אפריל-יולי 2010). במ"ס = חלקה 28, בקורת = חלקה 27. גבוה – יבול גבוה על פי נתוני יבול כותנה משנת 2009. נתרן – איזור בעל אחוז נתרן ספוח גבוה. חולי – אזור בעל קרקע חולית.

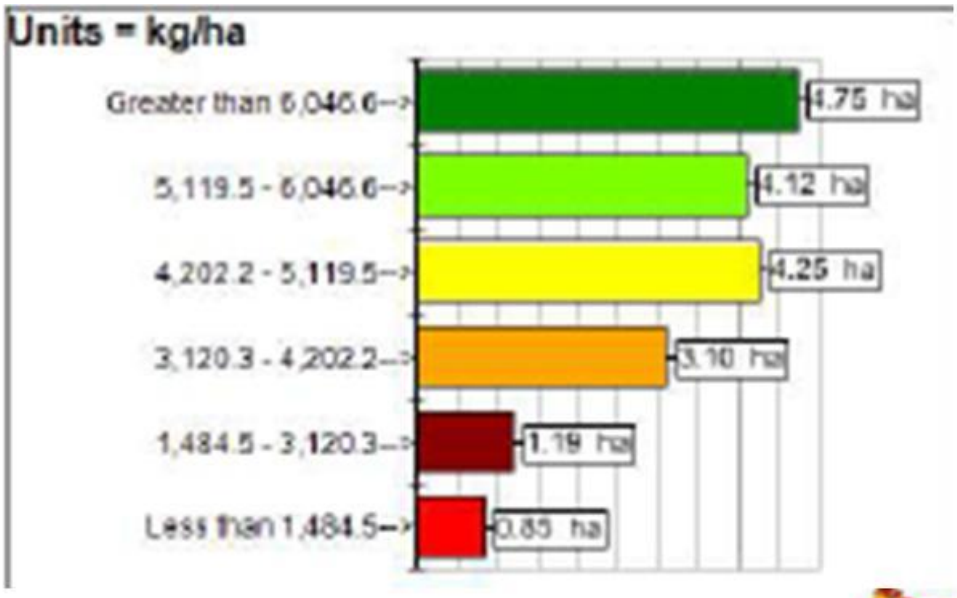
	סך חומר יבש		קלחים - משקל יבש		עלוה - משקל יבש		גובה	
	קג"ד		קג"ד		קג"ד		(ס"מ)	
אנווירו	2016	a	1098	a	918		299	a
בקורת	1731	b	915	b	816		292	b
P	0.0102		0.0049		0.116		0.0117	
גבוה	2038	a	1053		985	a	305	a
נתרן	1673	b	929		745	b	287	c
חולי	1909	ab	1039		870	ab	296	b
P	0.024		0.202		0.0143		0.0001	
במ"ס,גבוה	2354	a	1288	a	1067		300	bc
במ"ס,נתרן	1823	bc	1000	bc	823		303	ab
במ"ס, חולי	1870	bc	1007	bc	863		294	c
בקורת,גבוה	1722	bc	818	c	904		309	ab
בקורת,נתרן	1523	c	857	bc	667		271	d
בקורת,חולי	1948	b	1070	bc	878		298	bc
P	0.031		0.0042		0.43		0.0001	

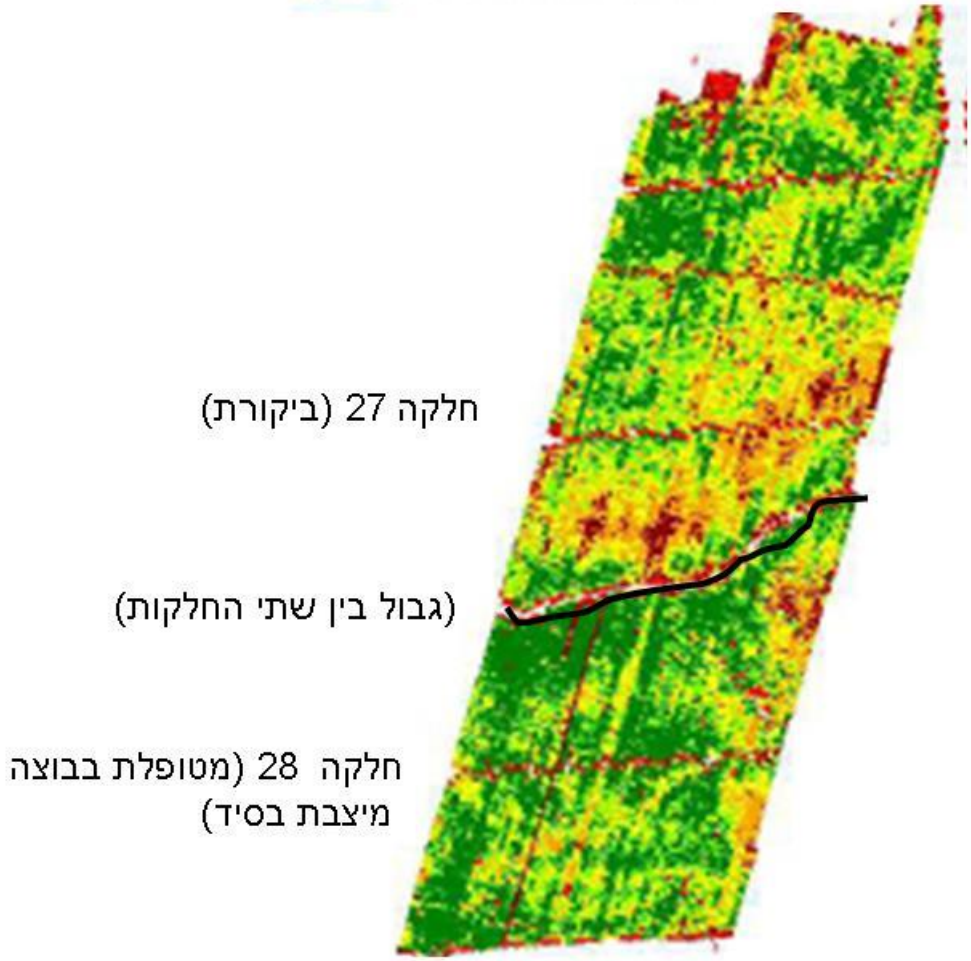
טבלה 5. נתוני יבול עבור גידול כותנה (אפריל-אוקטובר 2011) בחלקה 27 באזורים שלא טופלו בבמ"ס. יבול גבוה – יבול גבוה על פי נתוני יבול כותנה משנת 2009. נתרני – איזור בעל אחוז נתרן ספוח גבוה. חולי – אזור בעל קרקע חולית.

		גובה צמחים בסוף עונת הגידול		יבול	
חלקה	אזור דיגום	ס"מ	SD	קג"ד	SD
27	יבול גבוה	148.08	9.19	582.03	74.26
27	נתרני	128.25	14.78	603.52	26.77
27	חולי	95.83	14.06	450.52	71.25

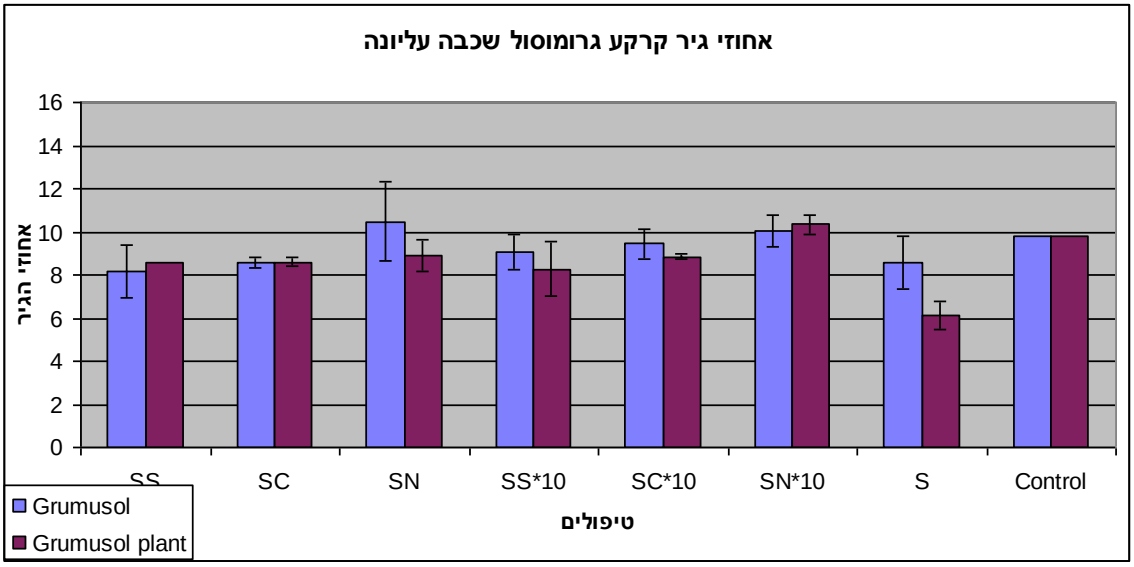


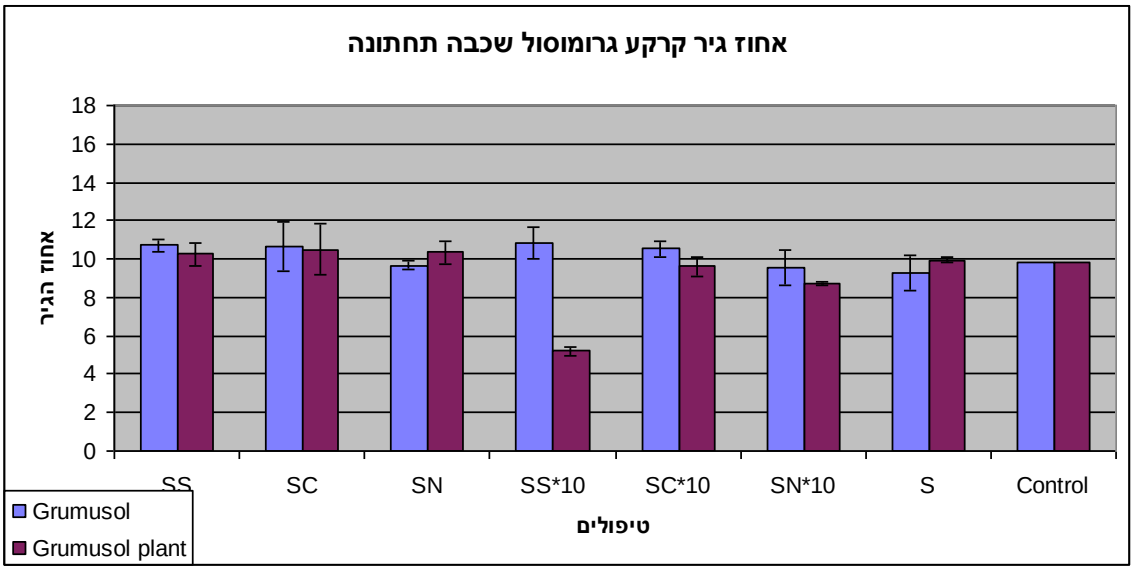
תמונה 1. שינוי בכיסוי השטח על ידי העלוה במהלך עונת הגידול (מאמצע חודש מאי עד תחילת חודש ספטמבר 2009). צבע ירוק מעיד על כיסוי מלא יותר של השטח. הקו השחור מפריד בין חלקה 27 (ביקורת, מעל לקו) וחלקה 28 (מתחת לקו) שטופלה ב- 5 מ^3/ד' של בוצה מיוצבת בסיד.



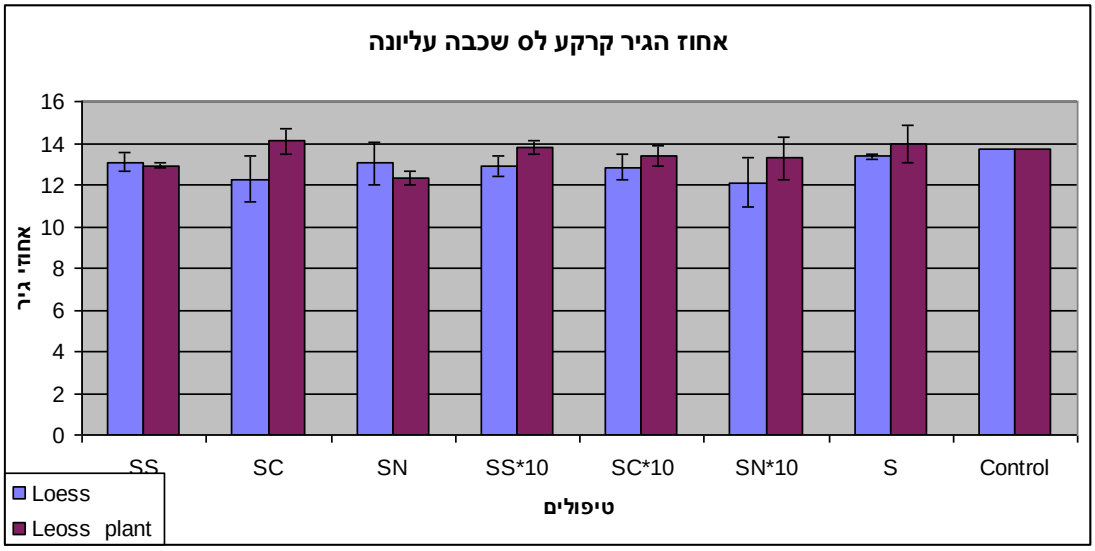


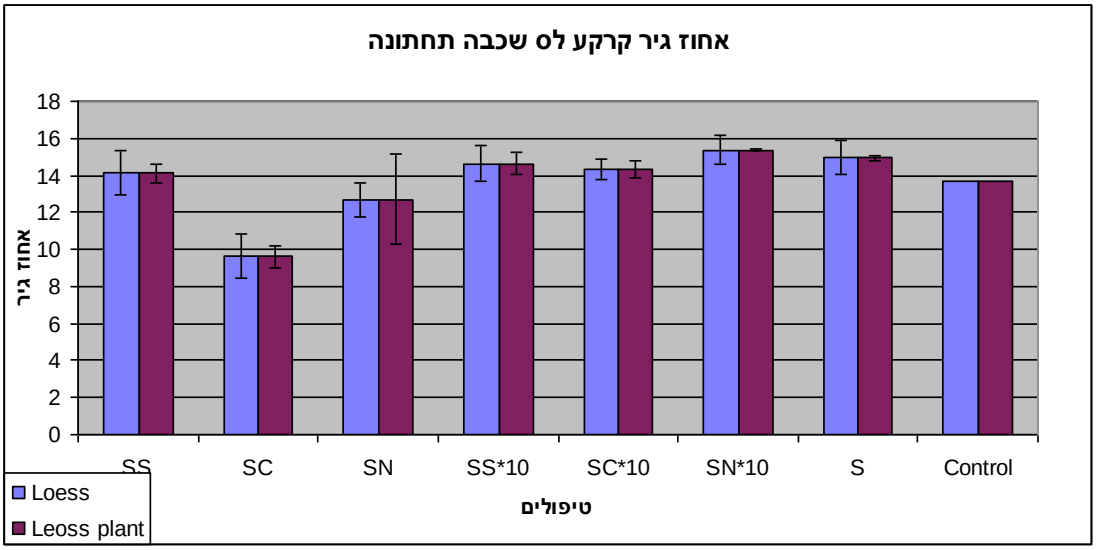
תמונה 2. מפת יבול כותנה משנת 2009 של שטח הניסוי.



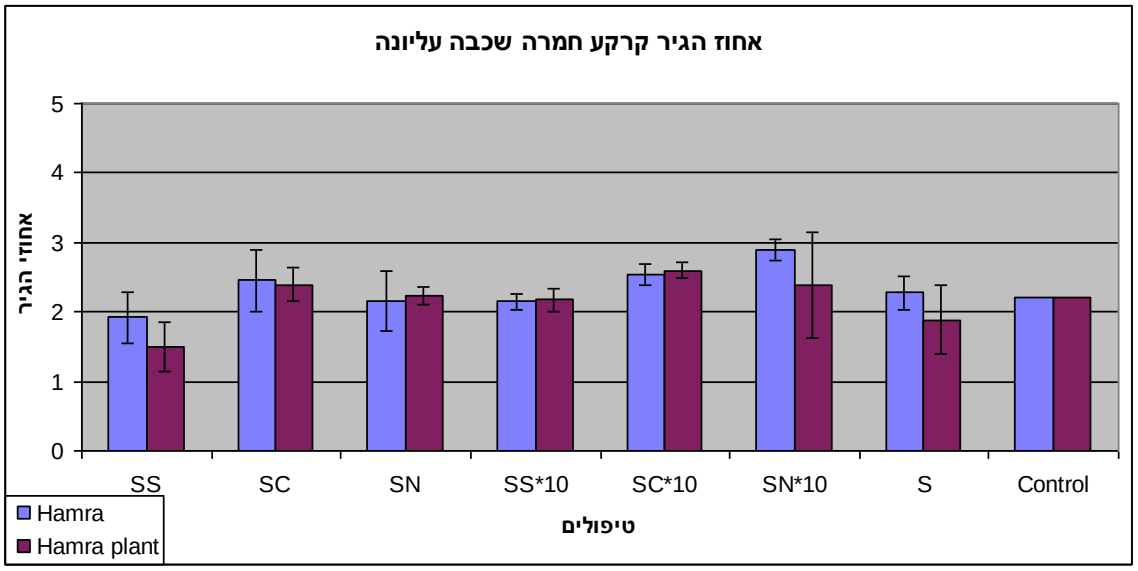


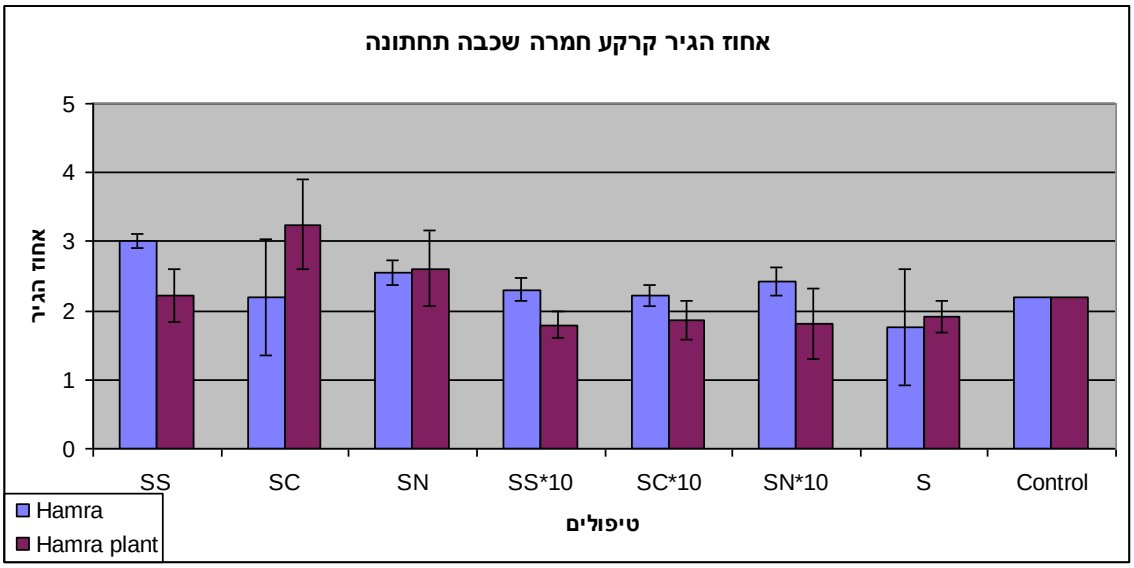
איור 1. השפעת הוספת הבוצות בשיעור של 50 ו- 500 ק"ג/ד' של חנקן (*10) ונוכחות צמח על תכולת הגיר בשכבת הקרקע העליונה והתחתונה בקרקע חרסיתית-חולית. Control – קרקע מקורית ללא טיפול, S – קרקע ביקורת בעציצים, SN – בוצה מיוצבת בסיד, SC – קומפוסט בוצה, SS – בוצה "דרג ב" מרעננה.



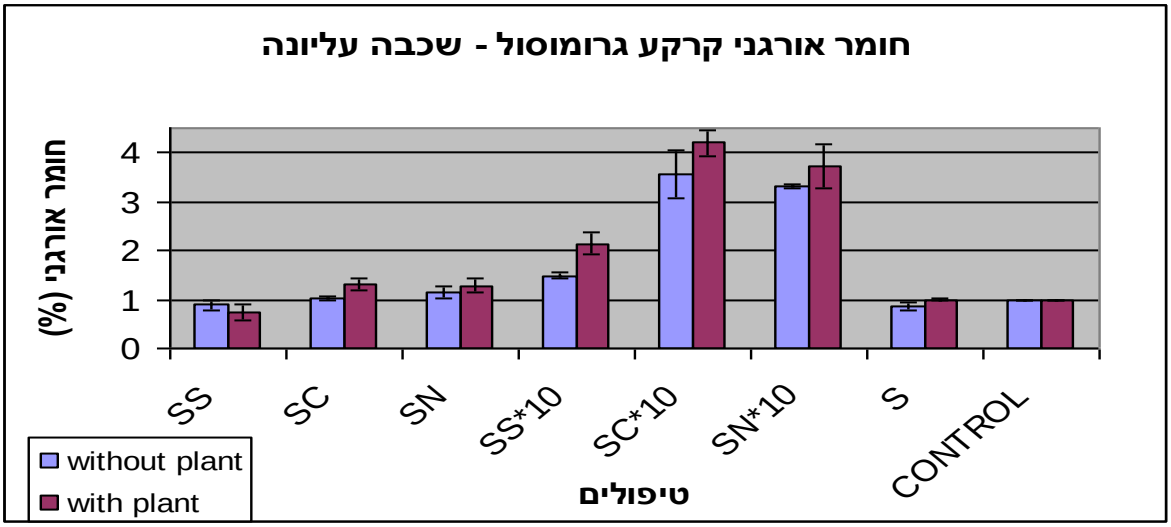


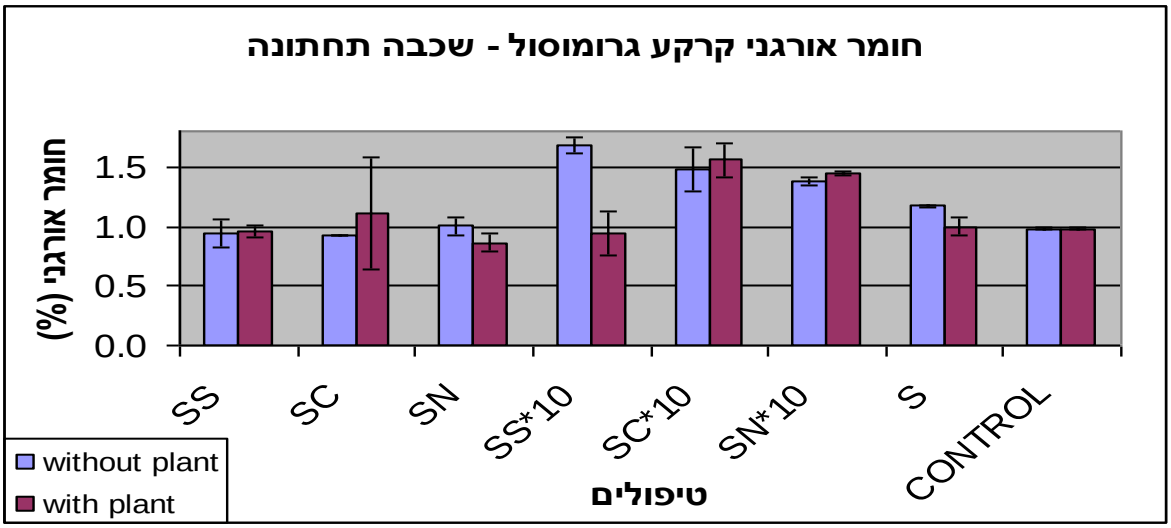
איור 2. השפעת הוספת הבוצות בשיעור של 50 ו- 500 ק"ג/ד' של חנקן (*10) ונוכחות צמח על תכולת הגיר בשכבת הקרקע העליונה והתחתונה בקרקע סיין. Control – קרקע מקורית, S – קרקע ביקורת בעציצים, SN – בוצה מיוצבת בסיד, SC – קומפוסט בוצה, SS – בוצה "דרג ב" מרעננה.



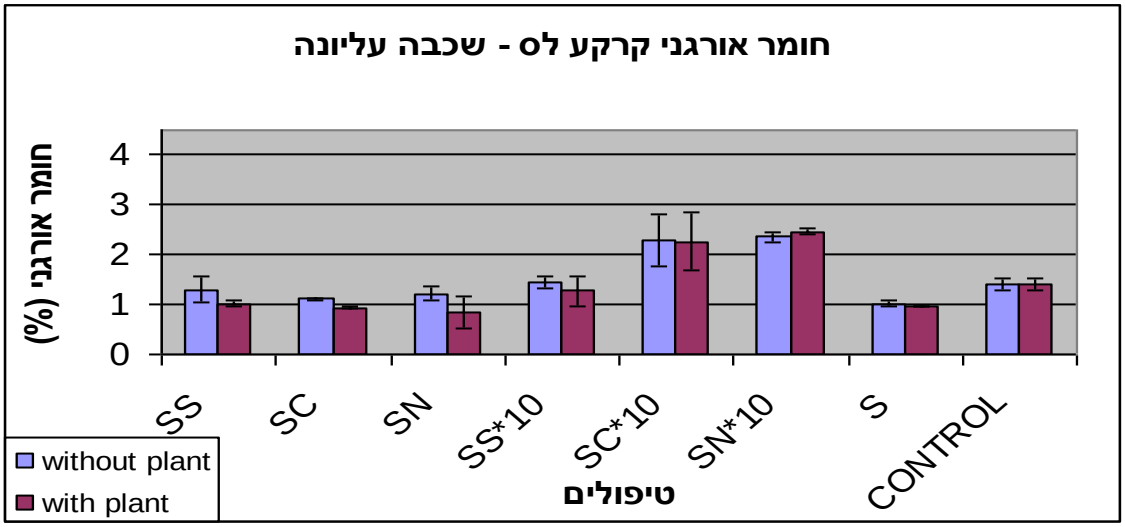


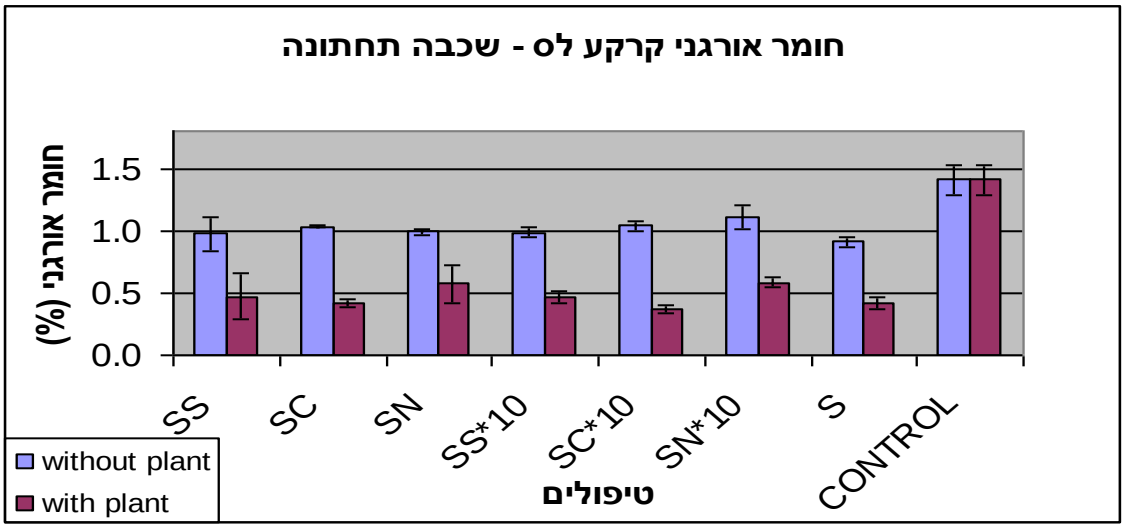
איור 3. השפעת הוספת הבוצות בשיעור של 50 ו- 500 ק"ג/ד' של חנקן (*10) ונוכחות צמח על תכולת הגיר בשכבת הקרקע העליונה והתחתונה בקרקע חול-סייני. Control – קרקע מקורית, S – קרקע ביקורת בעציצים, SN – בוצה מיוצבת בסיד, SC – קומפוסט בוצה, SS – בוצה "דרג ב" מרעננה.



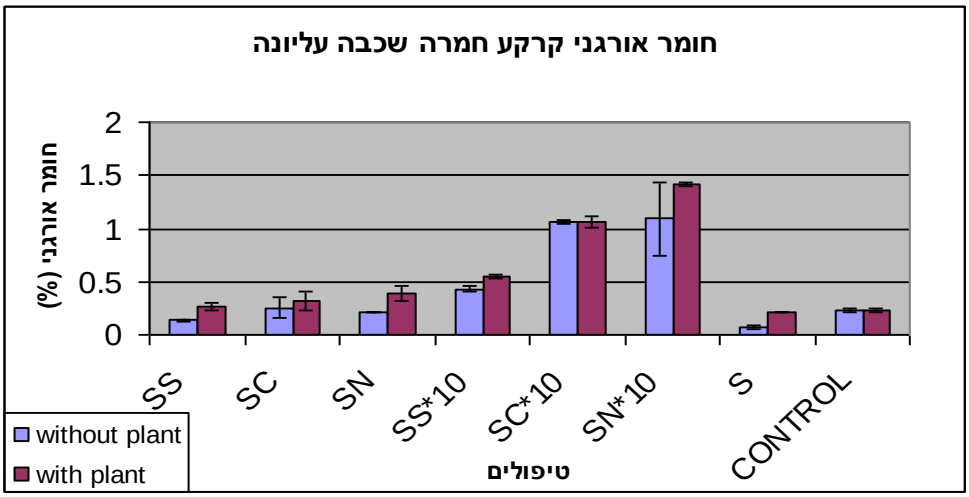


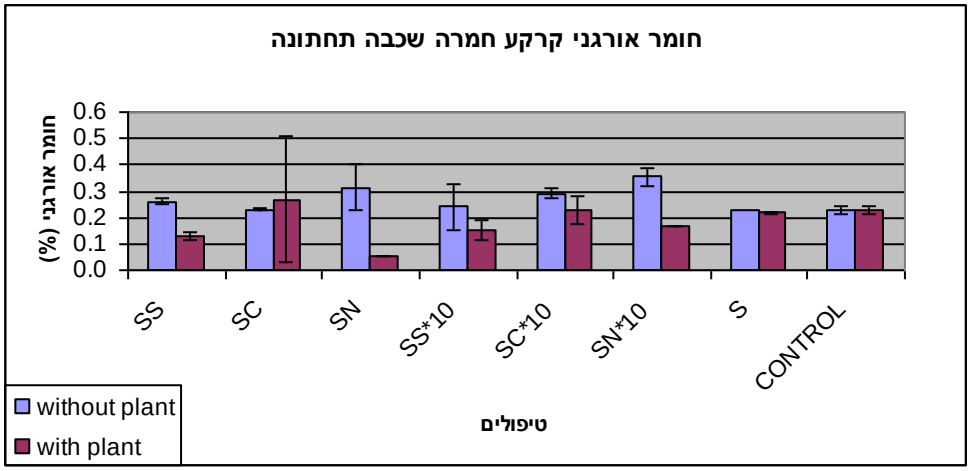
איור 4. השפעת הוספת הבוצות בשיעור של 50 ו- 500 ק"ג/ד' של חנקן (*10) ונוכחות צמח על תכולת חומר אורגני בשכבת הקרקע העליונה והתחתונה בקרקע חרסיתית-חולית. Control – קרקע מקורית, S – קרקע ביקורת בעציצם, SN – בוצה מיוצבת בסיד, SC – קומפוסט בוצה, SS – בוצה "דרג ב" מרעננה.



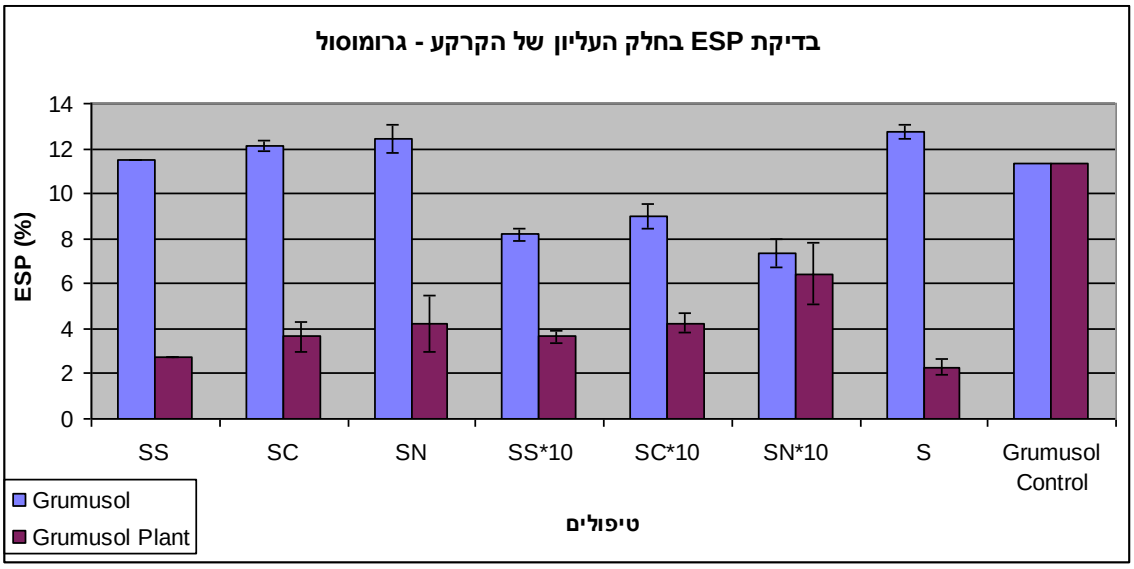


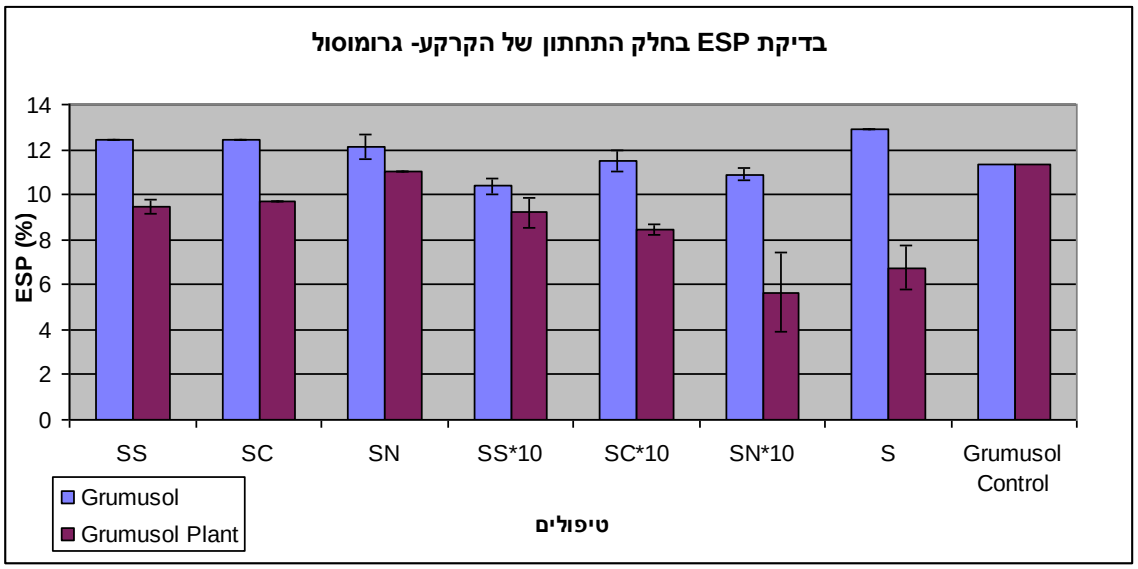
איור 5. השפעת הוספת הבוצות בשיעור של 50 ו- 500 ק"ג/ד' של חנקן (*10) ונוכחות צמח על תכולת חומר אורגני בשכבת הקרקע העליונה והתחתונה בקרקע סיין. Control – קרקע מקורית, S – קרקע ביקורת בעציצים, SN – בוצה מיוצבת בסיד, SC – קומפוסט בוצה, SS – בוצה "דרג ב" מרעננה.



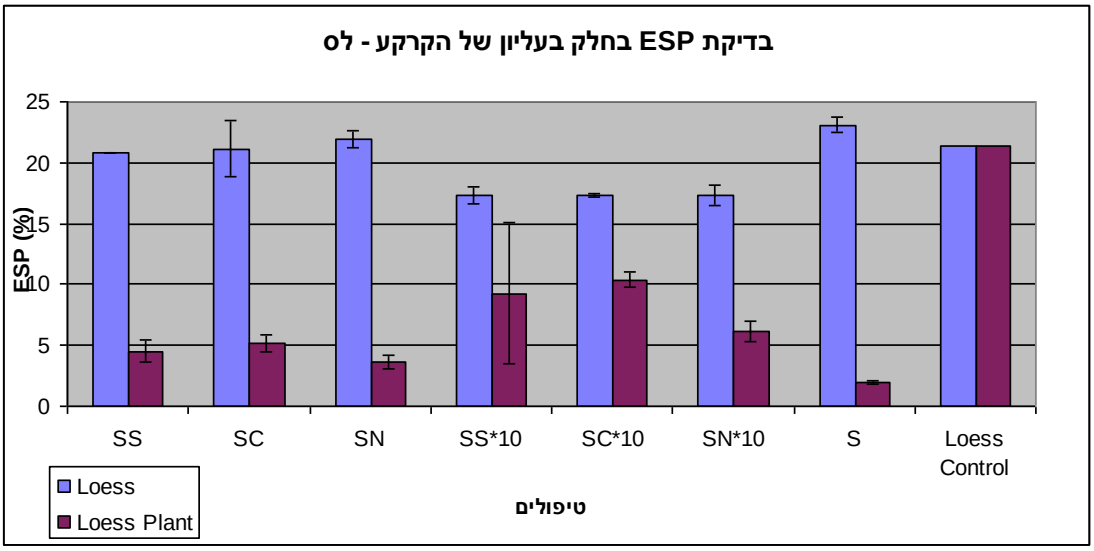


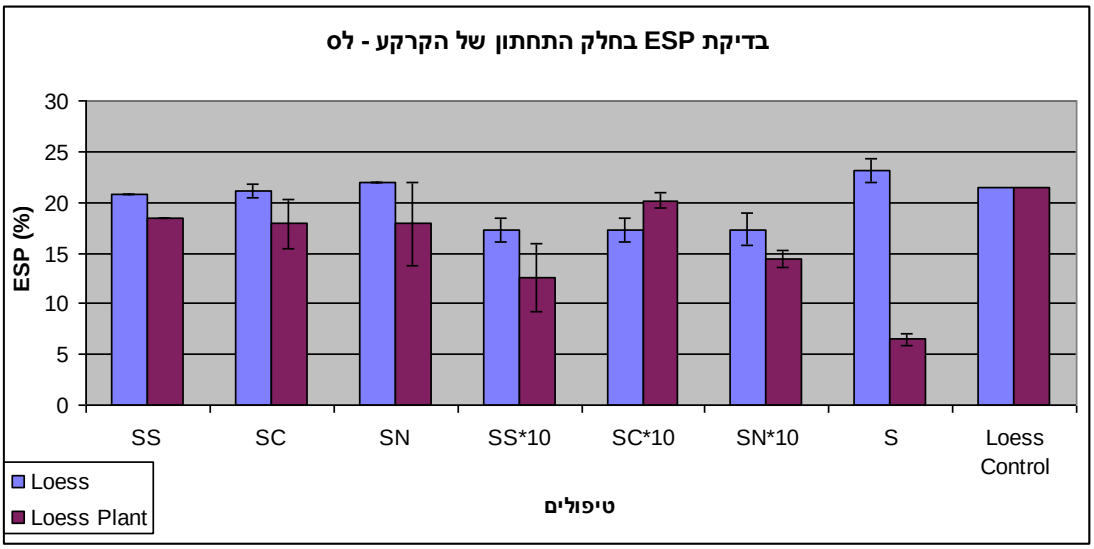
איור 6. השפעת הוספת הבוצות בשיעור של 50 ו- 500 ק"ג/ד' של חנקן (*10) ונוכחות צמח על תכולת חומר אורגני בשכבת הקרקע העליונה והתחתונה בקרקע חול-סייני. Control – קרקע מקורית, S – קרקע ביקורת בעציצים, SN – בוצה מיוצבת בסיד, SC – קומפוסט בוצה, SS – בוצה "דרג ב" מרעננה.



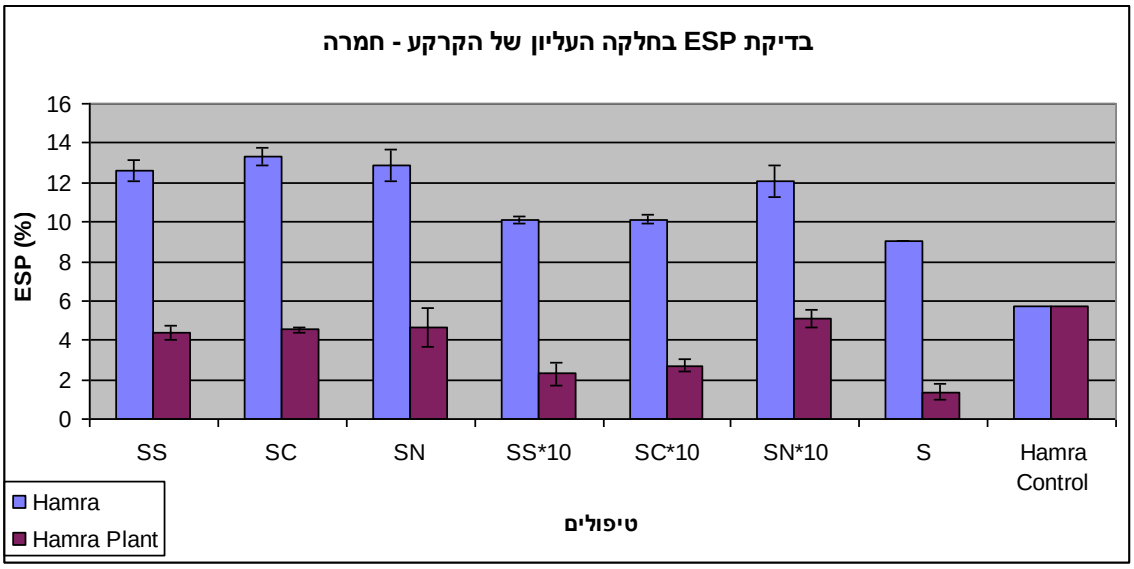


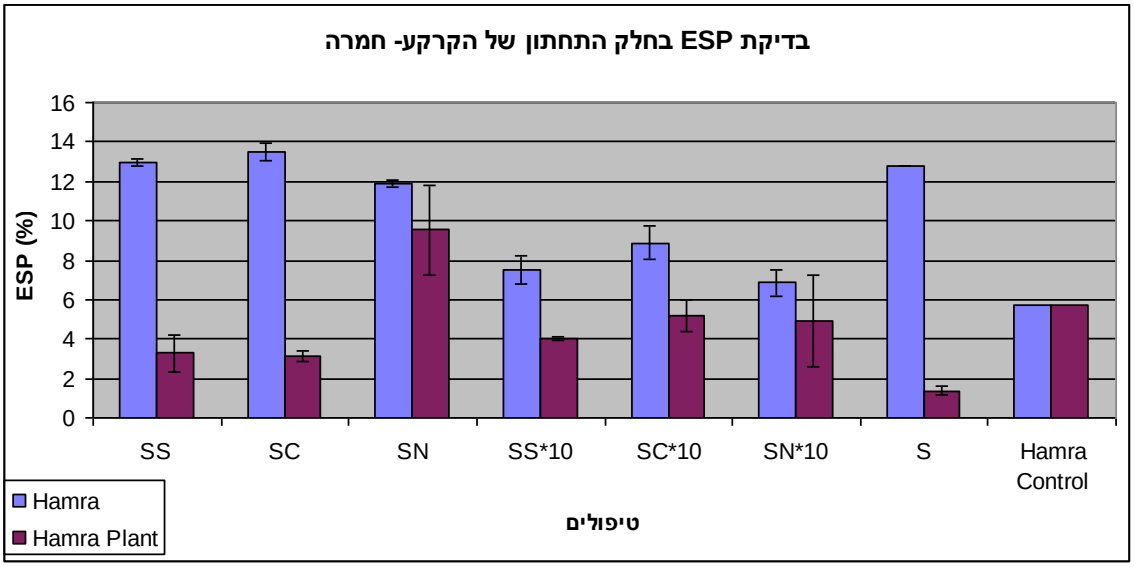
איור 7. השפעת הוספת הבוצות בשיעור של 50 ו- 500 ק"ג/ד' של חנקן (*10) ונוכחות צמח על אחוז נתרן חליף (ESP) בשכבת הקרקע העליונה והתחתונה בקרקע חרסיתית-חולית. Control – קרקע מקורית, S – קרקע ביקורת בעציצים, SN – בוצה מיוצבת בסיד, SC – קומפוסט בוצה, SS – בוצה "דרג ב" מרעננה.



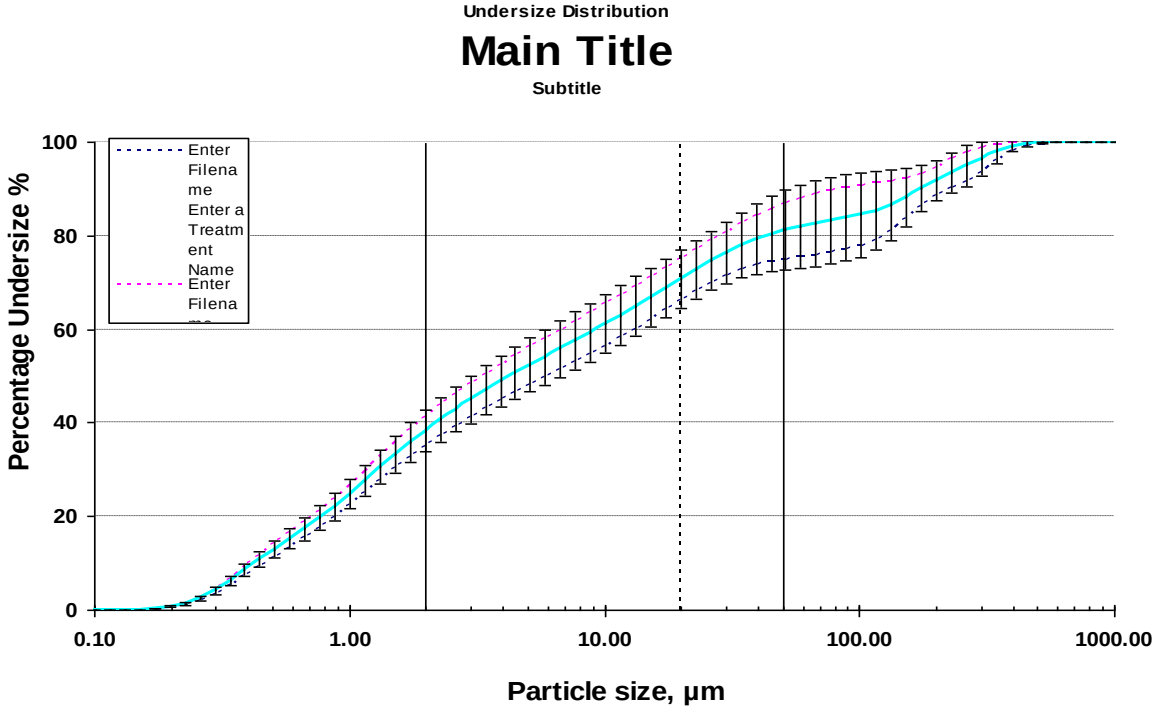


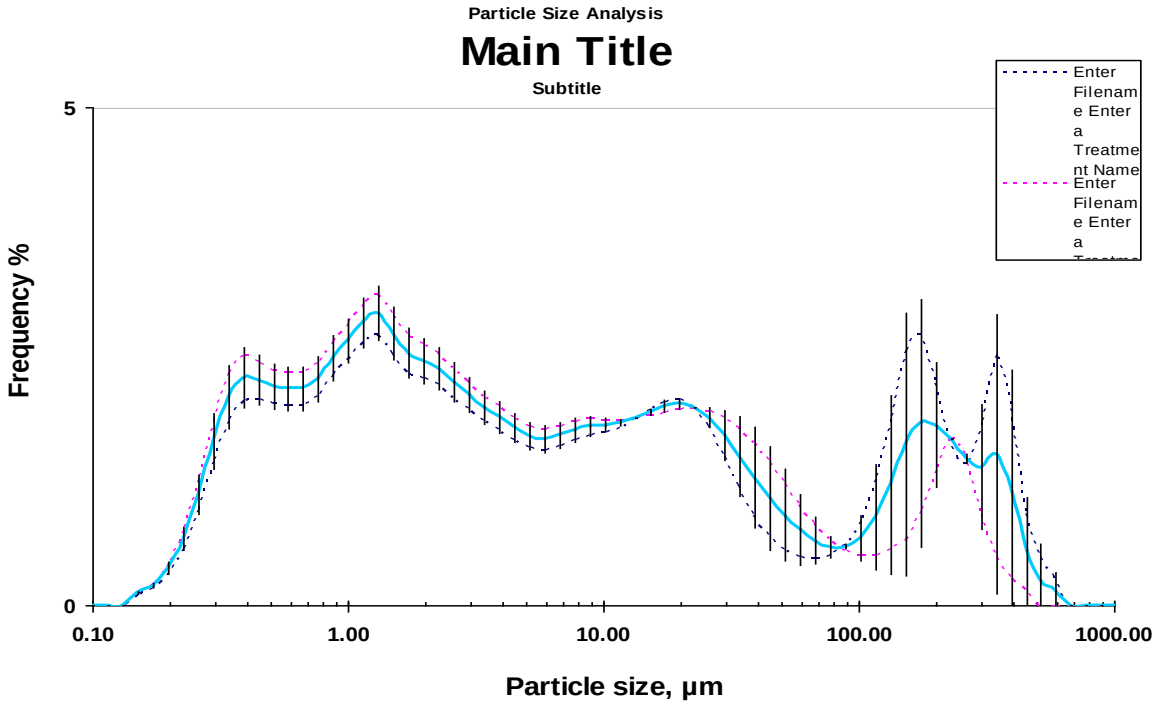
איור 8. השפעת הוספת הבוצות בשיעור של 50 ו- 500 ק"ג/ד' של חנקן (*10) ונוכחות צמח על אחוז נתרן חליף (ESP) בשכבת הקרקע העליונה והתחתונה בקרקע סיין. Control – קרקע מקורית, S – קרקע ביקורת בעציצים, SN – בוצה מיוצבת בסיד, SC – קומפוסט בוצה, SS – בוצה "דרג ב" מרעננה.



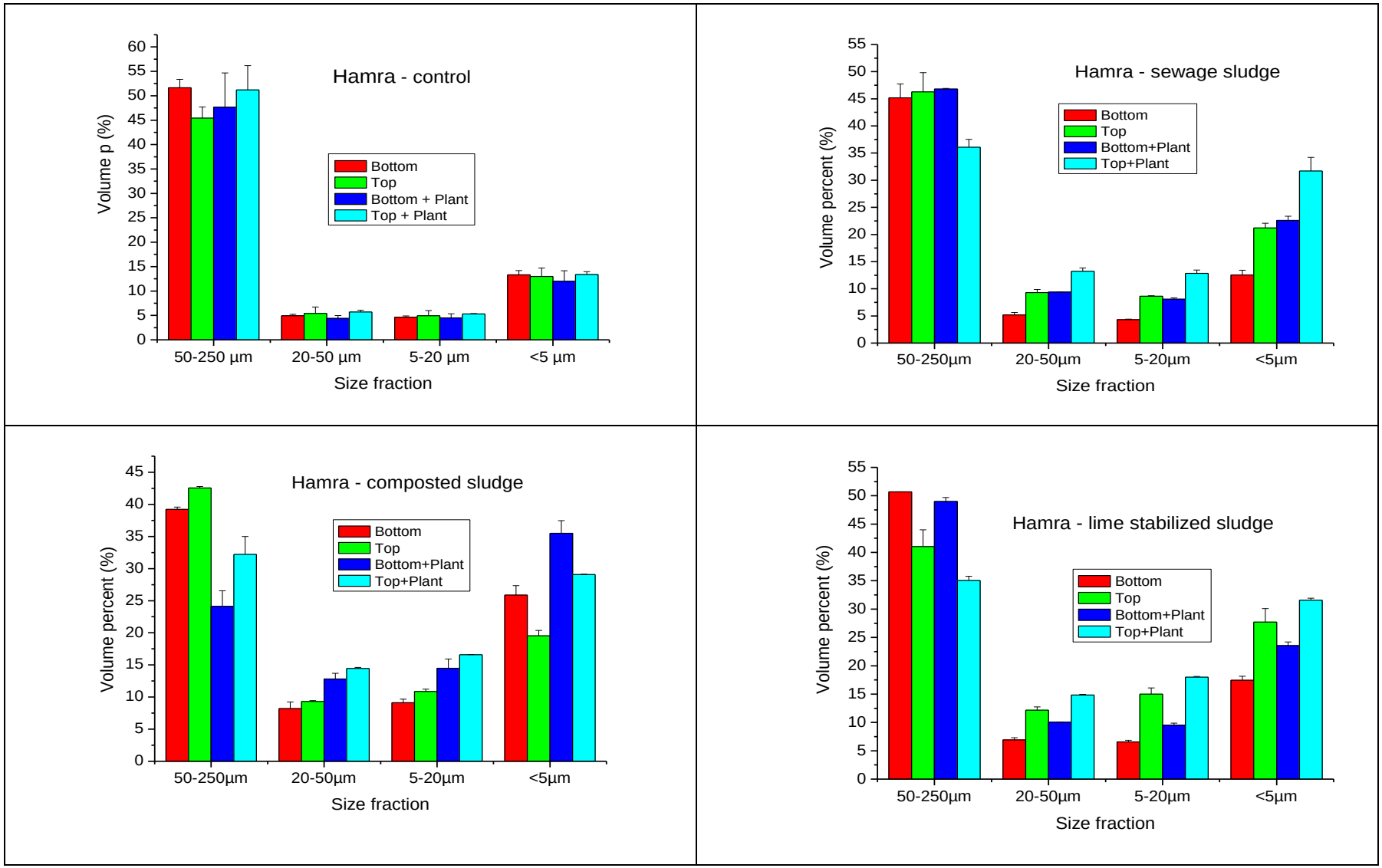


איור 9. השפעת הוספת הבוצות בשיעור של 50 ו- 500 ק"ג/ד' של חנקן (*10) ונוכחות צמח על אחוז נתרן חליף (ESP) בשכבת הקרקע העליונה והתחתונה בקרקע חול-סייני. Control – קרקע מקורית, S – קרקע ביקורת בעציצים, SN – בוצה מיוצבת בסיד, SC – קומפוסט בוצה, SS – בוצה "דרג ב" מרעננה.

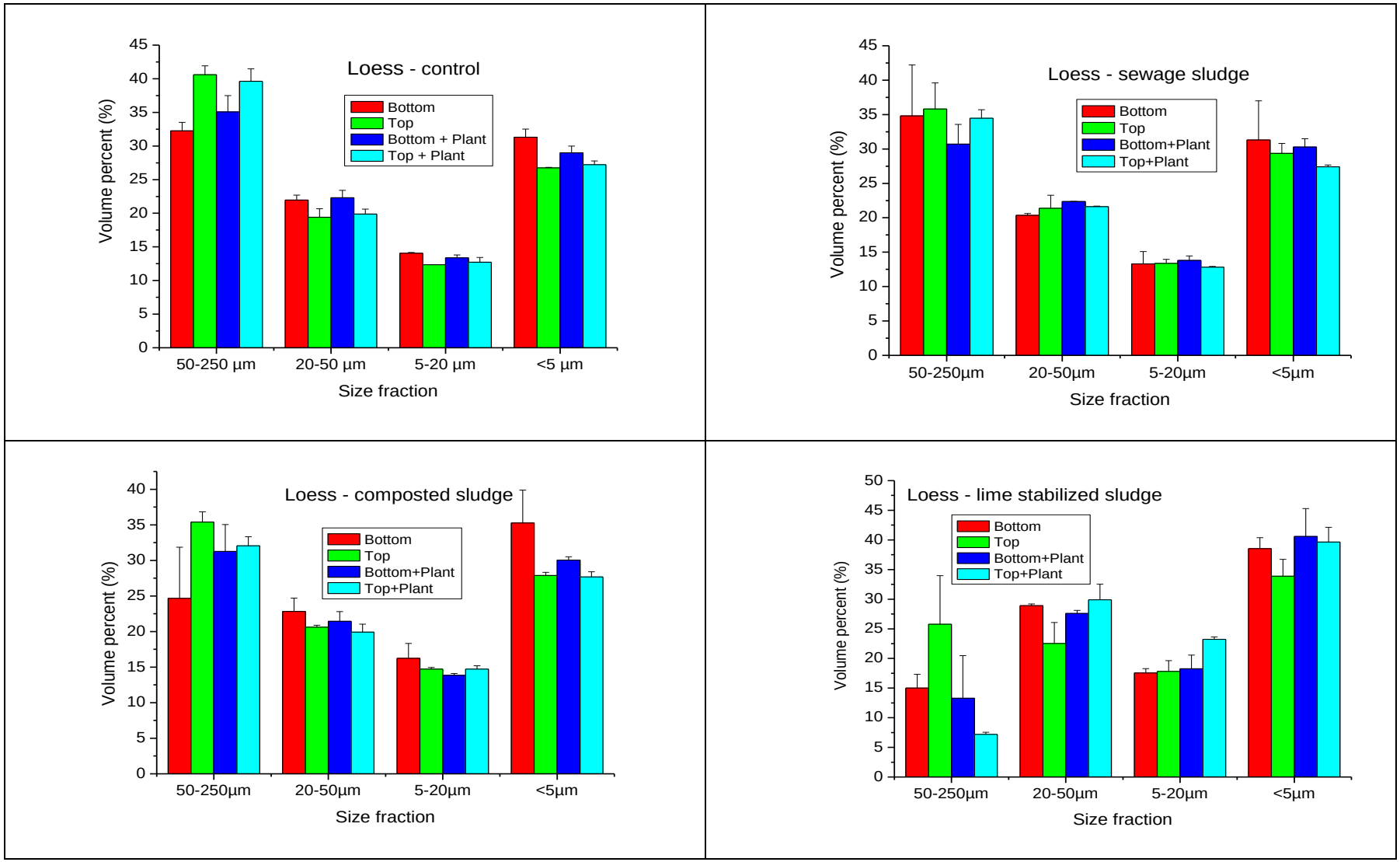




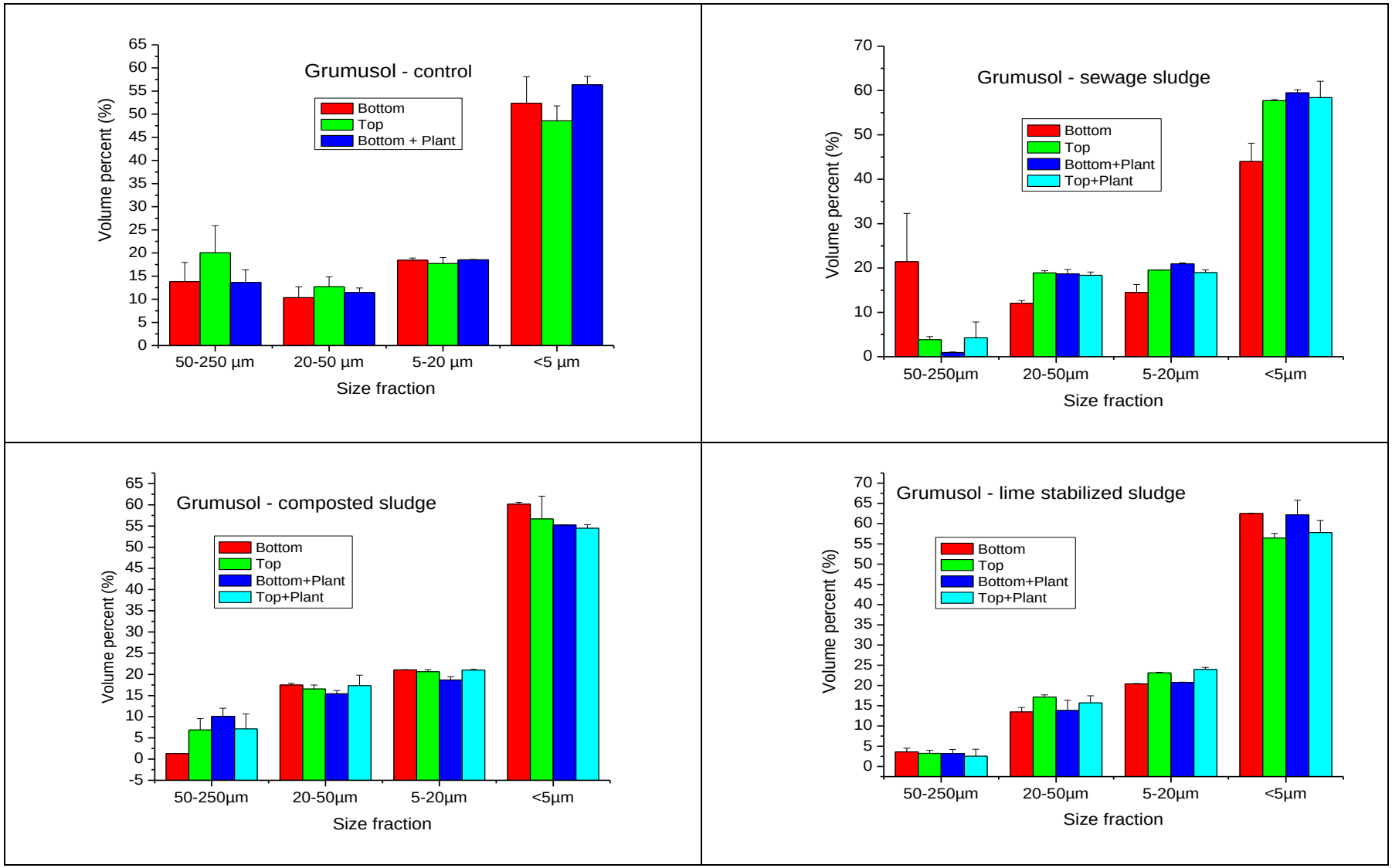
איור 10. תוצאות המתקבלות מקביעת התפלגות גודל חלקיקים במכשיר הלייזר. גרף עליון מציג את האחוז הנפחי המצטבר של חלקיקים מתחת לגודל נתון. הגרף התחתון מציג את המופע של חלקיק בגודל נתון.



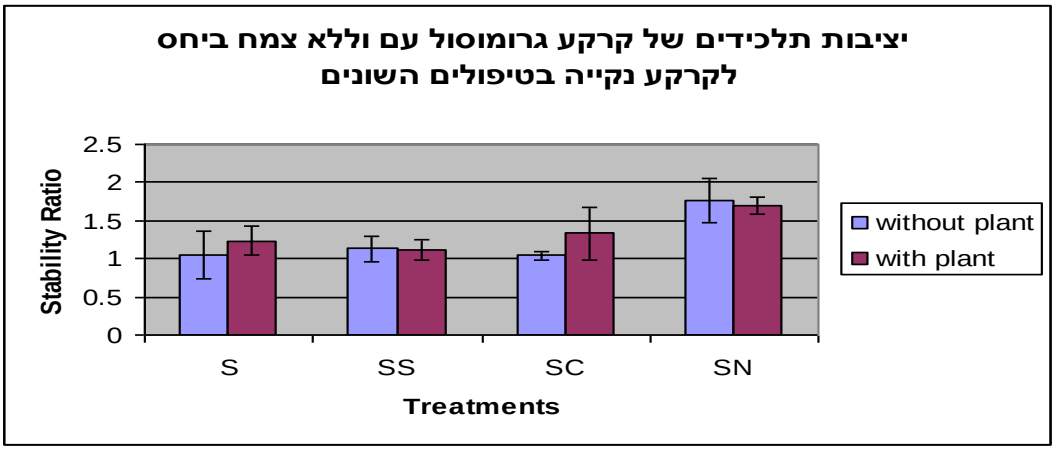
איור 11. התפלגות גודל חלקיקים בקרקע חמרה (חול-סייני), ללא תוספת (control), ועם תוספת לשכבת הקרקע העליונה בעציץ, בשיעור של 500 ק"ג N/ד', של בוצה דרג ב', קומפוסט בוצה או בוצה מיוצבת בסיד. שכבת הקרקע התחתונה בעציץ (Bottom), שכבת הקרקע העליונה (Top), ושתי השכבות עם גידול צמחי (Bottom+Plant, Top+Plant). חלקיקים הגדולים מ- 250 מיקרון נקבעו בניפוי ואינם מוצגים.

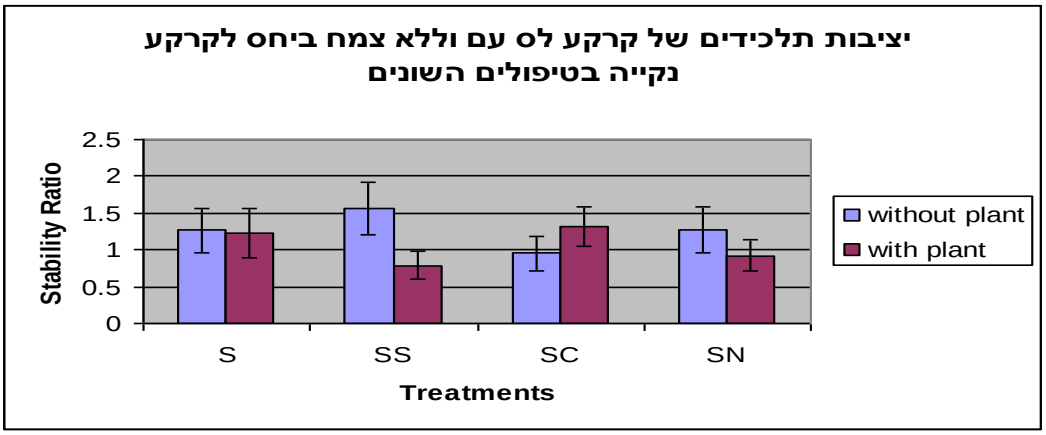


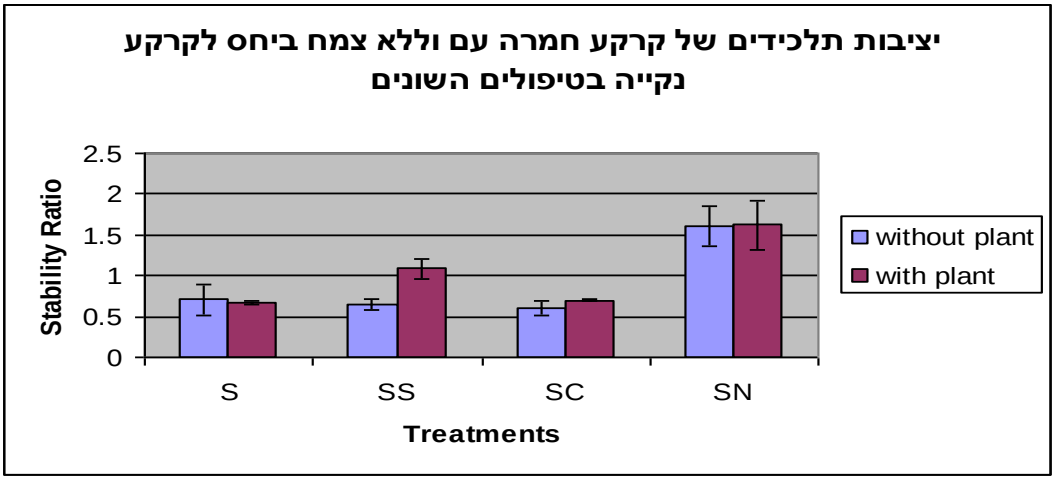
איור 12. התפלגות גודל חלקיקים בקרקע לס (סיין), ללא תוספת (control), ועם תוספת לשכבת הקרקע העליונה בעציץ, בשיעור של 500 ק"ג N/ד', של בוצה דרג ב', קומפוסט בוצה או בוצה מיוצבת בסיד. שכבת הקרקע התחתונה בעציץ (Bottom), שכבת הקרקע העליונה (Top), ושתי השכבות עם גידול צמחי (Bottom+Plant, Top+Plant). חלקיקים הגדולים מ- 250 מיקרון נקבעו בניפוי ואינם מוצגים.



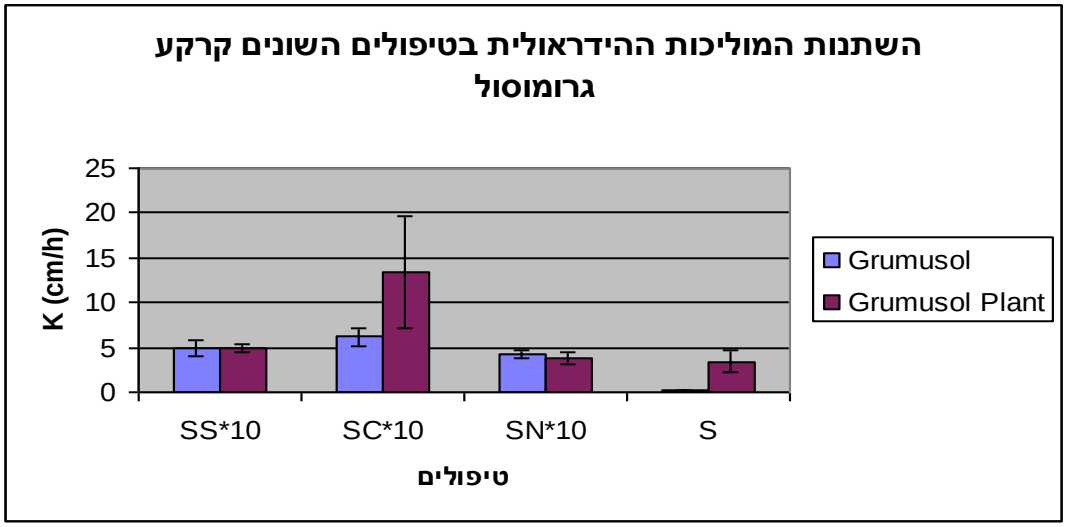
איור 13. התפלגות גודל חלקיקים בקרקע גרומוסול (חרסית חולית), ללא תוספת (control), ועם תוספת לשכבת הקרקע העליונה בעציץ, בשיעור של 500 ק"ג N/ד', של בוצה דרג ב', קומפוסט בוצה או בוצה מיוצבת בסיד. שכבת הקרקע התחתונה בעציץ (Bottom), שכבת הקרקע העליונה (Top), ושתי השכבות עם גידול צמחי (Bottom+Plant, Top+Plant). חלקיקים הגדולים מ- 250 מיקרון נקבעו בניפוי ואינם מוצגים.

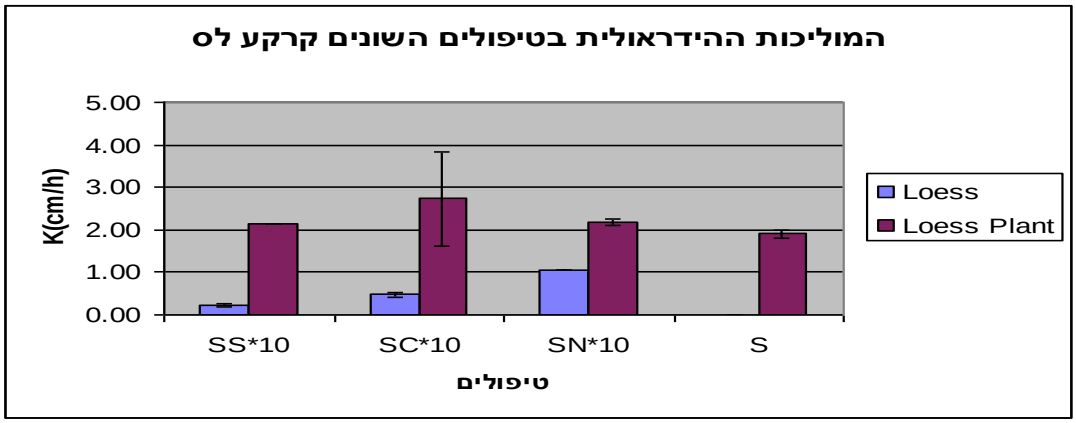


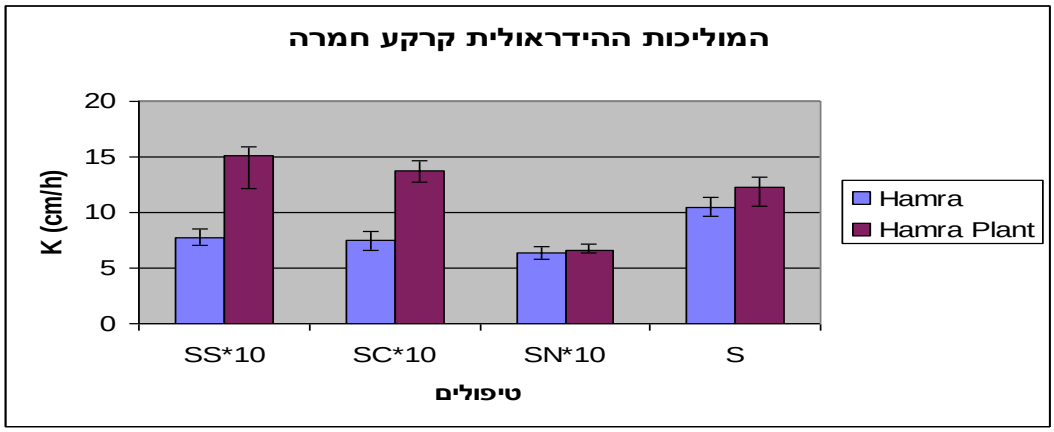




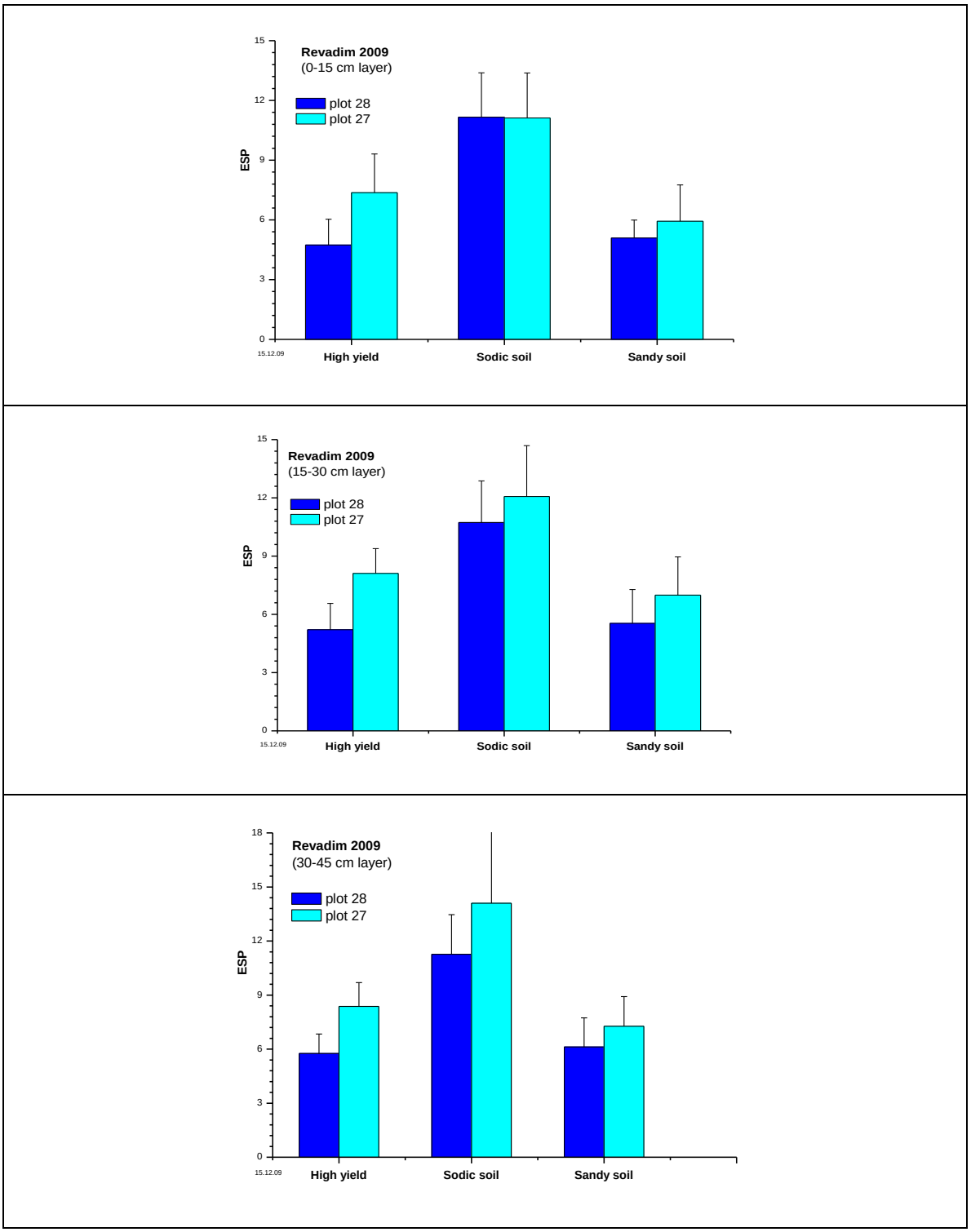
איור 14. השפעת הוספת הבוצות בשיעור של 500 ק"ג/ד' של חנקן על יציבות התלכידים בשכבת הקרקע העליונה בעציצים בהשוואה ליציבות תלכידים של הקרקע המקורית. S – קרקע ביקורת בעציצים, SN – בוצה מיוצבת בסיד, SC – קומפוסט בוצה, SS – בוצה "דרג ב" מרעננה.



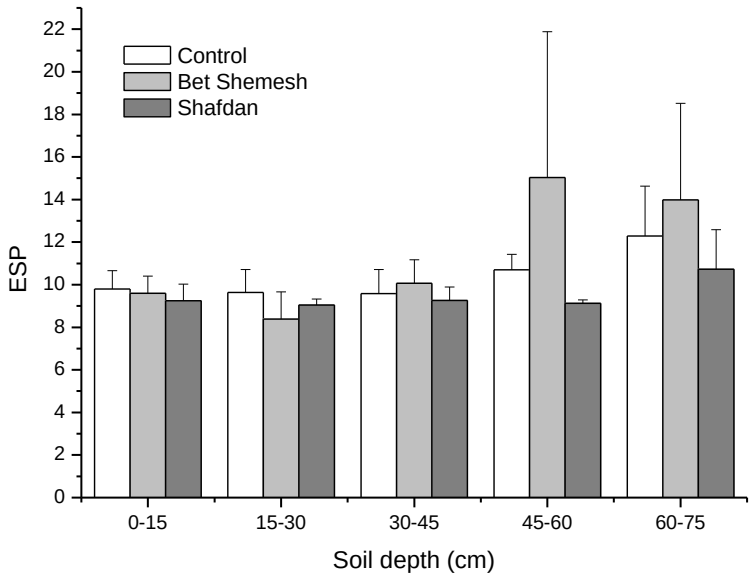




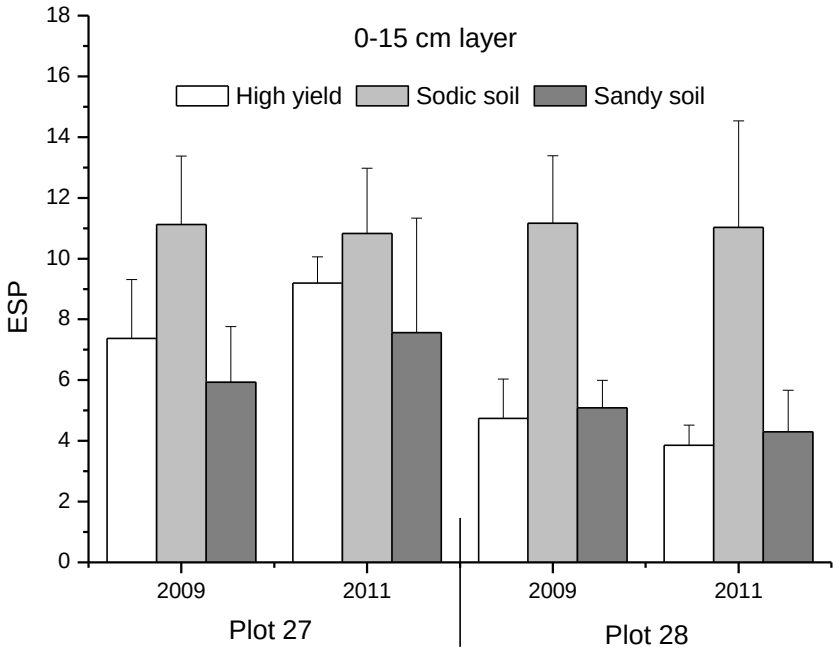
איור 15. השפעת הוספת הבוצות בשיעור של 500 ק"ג/ד' של חנקן על המוליכות ההידראולית ברוויה בשכבת הקרקע העליונה בעציצים. S – קרקע ביקורת בעציצים, SN – בוצה מיוצבת בסיד, SC – קומפוסט בוצה, SS – בוצה "דרג ב" מרעננה.



איור 16. ערכי אחוז נתרן ספוח (ESP) בשלושה עומקים שונים בשלושת האזורים שנבחנו בכל אחת מחלקות הניסוי בשנת 2009.



איור 17. השפעת הוספת בוצת בית שמש ובוצת השפד"ן בחלקה 27 בשנת 2011 על אחוז הנתרן הספוח (ESP).



איור 18. השינוי באחוז הנתרן הספוח (ESP) בשכבת הקרקע העליונה (0-15 ס"מ) בין שנת 2009 ו-2011 בחלקת הביקורת (27) והחלקה שטופלה בבוצה מיוצבת בסיד (28) מהאזורים השונים בכל חלקה.