



2000-2002

תקופת המחקר:

302-0277-02

קוד מחקר:

Subject: CONTROLLING SOIL AND WATER
POLLUTION BY MICROELEMENTS IN IRRIGATION
WITH TREATED EFFLUENT

Principal investigator: MENACHEM BEN-CHUR

Cooperative investigator: ISAAC HADAR, BORISOVER
MICHAEL

Institute: Agricultural Research Organization (A.R.O.)

שם המחקר: השפעת השקיה בקולחים על
שחרור מיקרואלמנטים רעילים מהקרקע
לתמיסה והשפעתם של זיהום מקורות המים
והקמח.

חוקר ראשי: מנחם בן - חור

חוקרים שותפים: יצחק הדר, מיכאל בוריסובר

מוסד: מינהל המחקר החקלאי, ת.ד. 6 בית דגן
50250

תקציר

בנוסף לערכם של הקולחים כספק מים להשקיה, מים אלה עלולים להוות גורם מזהם של מקורות המים והקרקע ביסודות-מיקרו רעילים.

מטרות המחקר היו: 1. ללמוד את השפעת השקיה בקולחים על מידת המסיסות והתנועה של יסודות-מיקרו בקרקע. 2. לאפיין את התפלגות יסודות-המיקרו בפרופיל הקרקע בשדות שמושקים בקולחים, והשוואתם לשדות שמושקים במים שפירים.

המחקר כלל: 1. ניסויי Batch ושטיפה בעמודות במעבדה, שבהם קרקעות מחלקות שהושקו בקולחים או שפירים נשטפו בסוגי מים שונים. 2. מדידות שדה, שבהם נדגמו בסתיו דגימות קרקע מעומקים שונים מחלקות שהושקו בקולחים או במים שפירים מפרדס במזרע ומשדה פלחה מרמת הכובש.

נמצא במחקר זה: 1. השקיה או שטיפה של קרקע בקולחים גרמה לעליה בריכוז החומר האורגני המסיס בתמיסת הקרקע. אולם, חומר אורגני זה מתפרק מהר יחסית (מספר ימים) לאחר הוספתו לקרקע עקב תהליך מיקרוביאלי. 2. את יסודות-המיקרו ניתן לחלק לשלוש קבוצות עיקריות על פי התנהגותם בקרקע במהלך השקיה בקולחים כתוצאה מתהליכי ספיחה/קשירה ושקיעה/המסה: א. יסודות שהתנהגותם בקרקע אינה מושפעת מנוכחות חומר אורגני מסיס שהוסף לקרקע מהקולחים. לקבוצה זו שייכים היסודות B ו-Sr. ב. יסודות הנמצאים בקולחים וקשירתם/ספיחתם/שקיעתם בקרקע קטנה בנוכחות חומר אורגני מסיס. לקבוצה זו שייכים היסודות Cr, Fe ו-Ni. ג. יסודות העוברים מהפרקציה הלא מסיסה שלהם בקרקע לפרקציה מסיסה בתמיסה בעקבות הוספת חומר אורגני שמקורו מהקולחים. לקבוצה זו שייכים היסודות V ו-Cu. 3. לגבי יסודות-המיקרו שמושפעים מהחומר האורגני המסיס בקרקע, העלייה בריכוזם ובתנועתם בקרקע חלה תוך כדי שטיפת הקרקע בקולחים המוסיפים לקרקע חומר אורגני מסיס טרי. לעומת זאת, בקרקע שהושקתה בעבר בקולחים, ולאחר מכן נשטפת, מספר שבועות לאחר גמר ההשקיה בקולחים, בתמיסה חסרת חומר אורגני מסיס (מים שפירים או גשם), להשקיה בקולחים הייתה השפעה קטנה יחסית על ריכוז וניידות של יסודות-המיקרו. תופעה זו נבעה כנראה מפירוק מהיר יחסית של הח"א המסיס בקרקע שמקורו מהקולחים. להתנהגות זו של הח"א המסיס ויסודות-המיקרו בקרקע יכולה להיות השפעה פרקטית. תנועת יסודות-המיקרו

צפויה להיות בעיקרה בזמן ההשקיה בקולחים יחד עם הוספת חומר אורגני מסיס טרי לקרקע. אולם, מכיוון שניתן לשלוט על עומק תנועת המים בקרקע במהלך ההשקיה, הרי שניתן גם לשלוט על תנועת יסודות-המיקרו בקרקע במהלך ההשקיה בקולחים. לעומת זאת, בחורף, המסיסות ותנועת יסודות-המיקרו בקרקע היא פחותה יחסית מכיוון, שמרבית החומר האורגני המסיס שהוסף לקרקע ע"י הקולחים בקיץ התפרק. 4. תוצאות השדה, שנמדדו בקרקע כבדה מפרדס מזרע, תאמו את התוצאות שהתקבלו בניסויי המעבדה. לעומת זאת, תוצאות השדה של ריכוז החומר האורגני המסיס בקרקע בינונית מהחלקות ברמת הכובש לא תאמו את התוצאות מניסויי המעבדה ואת תוצאות השדה שהתקבלו בקרקע כבדה מפרדס מזרע.

נדרש מחקר נוסף שיבחן את השפעת הגומלין בין סוג הקרקע והשקיה בקולחים על מסיסות ותנועה של חומר אורגני מסיס ויסודות-מיקרו.

השפעת השקיה בקולחים על שחרור מיקרואלמנטים רעילים מהקרקע לתמיסה והשפעתם על זיהום מקורות המים והקרקע

Controlling soil and water pollution by microelements in irrigation with
treated effluent

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

מני בן-חור : המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, בית דגן
מיכאל בוויסובר : המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, בית דגן
יצחק הדר : הפקולטה לחקלאות, רחובות

M. Ben-Hur: Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, The Volcani
Center, meni@agri.gov.il

M. Borisover: Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, The Volcani
Center.

I. Hădar: Faculty of Agriculture, Rehovot.

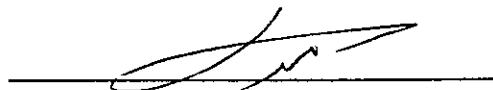
טכנאים : לאה לייב, חיים טנאו ומזל מדר

מארס 2003

אדר ב' תשס"ג

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

* חתימת החוקר



א. תקציר

בנוסף לערכם של הקולחים כספק מים להשקיה, מים אלה עלולים להוות גורם מזהם של מקורות המים והקרקע ביסודות-מיקרו רעילים. מטרות המחקר היו: 1. ללמוד את השפעת השקיה בקולחים על מידת המסיסות והתנועה של יסודות-מיקרו בקרקע. 2. לאפיין את התפלגות יסודות-המיקרו בפרופיל הקרקע בשדות שמושקים בקולחים, והשוואתם לשדות שמושקים במים שפירים. המחקר כלל: 1. ניסויי Batch ושטיפה בעמודות במעבדה, שבהם קרקעות מחלקות שהושקו בקולחים או שפירים נשטפו בסוגי מים שונים. 2. מדידות שדה, שבהם נדגמו בסתיו דגימות קרקע מעומקים שונים מחלקות שהושקו בקולחים או במים שפירים מפרדס במזרע ומשדה פלחה מרמת הכובש. נמצא במחקר זה: 1. השקיה או שטיפה של קרקע בקולחים גרמה לעליה בריכוז החומר האורגני המסיס בתמיסת הקרקע. אולם, חומר אורגני זה מתפרק מהר יחסית (מספר ימים) לאחר הוספתו לקרקע עקב תהליך מיקרובאלי. 2. את יסודות-המיקרו ניתן לחלק לשלוש קבוצות עיקריות על פי התנהגותם בקרקע במהלך השקיה בקולחים כתוצאה מתהליכי ספיחה/קשירה ושקיעה/המסה: א. יסודות שהתנהגותם בקרקע אינה מושפעת מנוכחות חומר אורגני מסיס שהוסף לקרקע מהקולחים. לקבוצה זו שייכים היסודות B ו-Sr. ב. יסודות הנמצאים בקולחים וקשירתם/ספיחתם/שקיעתם בקרקע קטנה בנוכחות חומר אורגני מסיס. לקבוצה זו שייכים היסודות Fe, Cr ו-Ni. ג. יסודות העוברים מהפרקציה הלא מסיסה שלהם בקרקע לפרקציה מסיסה בתמיסה בעקבות הוספת חומר אורגני שמקורו מהקולחים. לקבוצה זו שייכים היסודות V ו-Cu. 3. לגבי יסודות-המיקרו שמושפעים מהחומר האורגני המסיס בקרקע, העלייה בריכוזם ובתנועתם בקרקע חלה תוך כדי שטיפת הקרקע בקולחים המוסיפים לקרקע חומר אורגני מסיס טרי. לעומת זאת, בקרקע שהושקתה בעבר בקולחים, ולאחר מכן נשטפת, מספר שבועות לאחר גמר ההשקיה בקולחים, בתמיסה חסרת חומר אורגני מסיס (מים שפירים או גשם), להשקיה בקולחים הייתה השפעה קטנה יחסית על ריכוז וניידות של יסודות-המיקרו. תופעה זו נבעה כנראה מפירוק מהיר יחסית של הח"א המסיס בקרקע שמקורו מהקולחים. להתנהגות זו של הח"א המסיס ויסודות-המיקרו בקרקע יכולה להיות השפעה פרקטית. תנועת יסודות-המיקרו צפויה להיות בעיקרה בזמן ההשקיה בקולחים יחד עם הוספת חומר אורגני מסיס טרי לקרקע. אולם, מכיוון שניתן לשלוט על עומק תנועת המים בקרקע במהלך ההשקיה, הרי שניתן גם לשלוט על תנועת יסודות-המיקרו בקרקע במהלך ההשקיה בקולחים. לעומת זאת, בחורף, המסיסות ותנועת יסודות-המיקרו בקרקע היא פחותה יחסית מכיוון, שמרבית החומר האורגני המסיס שהוסף לקרקע ע"י הקולחים בקיץ התפרק. 4. תוצאות השדה, שנמדדו בקרקע כבדה מפרדס מזרע, תאמו את התוצאות שהתקבלו בניסויי המעבדה. לעומת זאת, תוצאות השדה של ריכוז החומר האורגני המסיס בקרקע בינונית מהחלקות ברמת הכובש לא תאמו את התוצאות מניסויי המעבדה ואת תוצאות השדה שהתקבלו בקרקע כבדה מפרדס מזרע. מחקר נוסף שיבחן את השפעת הגומלין בין סוג הקרקע והשקיה בקולחים על מסיסות ותנועה של חומר אורגני מסיס ויסודות-מיקרו נדרש.

ב. מבוא

השקיה בקולחים הולכת ומתרחבת בארץ, כאשר מקור המים העיקרי להשקיית גידולים חקלאיים בעתיד הקרוב יהיה קולחים. בנוסף לערכם של הקולחים כספק מים להשקיה, מים אלה עלולים להוות גורם מזהם של מקורות המים והקרקע ביסודות-מיקרו רעילים. בעקבות זיהום הקרקע, יכולה להתרחש קליטה מוגברת של יסודות-מיקרו רעילים ע"י הצמחים. דבר שעלול לגרום לנזק ישיר לצמחים, ולחדירתם של יסודות אלה לשרשרת המזון. כמו כן, יסודות-המיקרו הרעילים בקרקע יכולים לנוע בחתך ולהגיע למי התהום ולזהם אותם. כושר התנועה של יסוד בקרקע לעבר מי התהום ושיעור זמינותו לצמח גדלים עם הגדלת ריכוזו בתמיסה. לכן, את פוטנציאל הזיהום של יסוד בקרקע ניתן לקבוע ע"י ריכוזו בפאזה הנוזלית. קרקע לא מזוהמת מכילה כמות כללית גבוהה יחסית של יסודות-מיקרו, שחלקה הגדול נמצא במקטע הלא מסיס בקרקע. לכן, הסכנה מהגעתם של יסודות-המיקרו למקורות המים וחדירתם לשרשרת המזון בקרקע זו הינה נמוכה. אולם, השקיה ממושכת בקולחים יכולה לגרום להגדלה בפוטנציאל הזיהום של יסודות-מיקרו רעילים בקרקע.

במחקרים שונים בעבר נמצא, שלריכוז החומר האורגני (ח"א) המסיס בקרקע השפעה משמעותית על ריכוז וניידות של יסודות-המיקרו בקרקע. השפעת הקולחים על ריכוז יסודות-המיקרו הרעילים בתמיסת הקרקע יכולה להתבטא בשני אופנים: (1) תוספת של יסודות-מיקרו, שמקורם בקולחים, לתמיסת הקרקע; (2) הגדלת המסיסות של יסודות-המיקרו בתמיסת הקרקע כתוצאה מתוספת של ח"א שמקורו בקולחים. במקרה זה, הגדלת המסיסות של יסודות-המיקרו בתמיסת הקרקע יכולה לנבוע מיצירת קומפלקסים בין הח"א המסיס ויסודות-המיקרו, המגדילים את מסיסותם של היסודות בתמיסות מימיות.

מטרות המחקר היו: 1. ללמוד את השפעת השקיה בקולחים על שיעור המסיסות והתנועה של יסודות-מיקרו בקרקע. 2. לאפיין את התפלגות יסודות-המיקרו בפרופיל הקרקע בשדות שמושקים בקולחים, והשוואתם לשדות שמושקים במים שפירים. דגש מיוחד ניתן במחקר זה להשפעת הח"א, שמקורו בקולחים, על התנהגות יסודות-המיקרו בקרקע.

ג. פירוט מהלך המחקר

המחקר כלל שני חלקים עיקריים: 1. ניסוי מעבדה ו-2 מדידות בשדה.

ג.1. ניסוי מעבדה

הקרקעות ששימשו בניסויי המעבדה היו קרקע חמרה (קרקע עם מרקם בינוני), וקרקע ורטיסול (קרקע עם מרקם כבד). הקרקע חמרה נדגמה מאופק A משדה לא מעובד באזור בית דגן. לעומת זאת, הקרקע ורטיסול נדגמה מעומק של 0.2-0 מ' מפרדס מזרע שבו מתקיים ניסוי בהשקיה בקולחים (איזנקוט וחובריו, 2000). דגימות הורטיסול נלקחו מחלקה שהושקתה במים שפירים ומחלקה שהושקתה בקולחים. בהמשך נתייחס לקרקע שהושקה בקולחים, כ"קרקע מושקת קולחים" ולקרקע שהושקתה במים שפירים כ"קרקע מושקת שפירים". הקרקעות שנדגמו משני האתרים יובשו לייבש אויר, נכתשו ידנית ונופו דרך נפה של 2 מ"מ. התמיסות שנבחנו בניסויי המעבדה היו: 1. שפכים גולמיים; 2. קולחים; 3. תמיסה שהוכנה ממים מזוקקים פעמיים שהוסף לה CaCl_2 ו- NaCl בריכוזים שונים על מנת לקבל תמיסה עם EC של 2.4 dS m^{-1} ו-SAR של 5 כחיקוי למי קולחים ללא חומר אורגני ויסודות-מיקרו, תמיסה זו תקרא בהמשך

"תמיסה"; 4. "תמיסה" כפי שהוגדרה קודם שהוספו לה יסודות-מיקורו בהרכב ובריכוזים הדומים לקולחים, תמיסה זו תקרא בהמשך "תמיסה מעושרת". הניסויים במעבדה, שנעשו בשלוש חזרות לכל טיפול, היו:

ג.1.1.1. ניסויים שנעשו בחמרה

ג.1.1.1.1. ניסויי Batch

חמישים גרם של חמרה הוכנסו למכלי פלסטיק בנפח של 500 מ"ל. למכלים אלה הוספו 250 מ"ל שפכים, או קולחים, או תמיסה, או תמיסה מעושרת, שעורבבו ע"י מערבלים מגנטיים לפרקי זמן שונים. נפח של 20 מ"ל מהתרחיפים המעורבבים נלקחו מהמכלים בעזרת מזרק פלסטי לאחר 0.5, 2, 4, 8 ו-24 ש', והוכנסו למבחנות צנטריפוגה בעלות נפח של 30 מ"ל. לאחר סרכוז התרחיפים בצינטרפוגה, התמיסה העליונה מכל מבחנה סוננה דרך פילטר של 0.45 מיקרון, ובתמיסה המסוננת נבדקו: ערכי ה-EC וה-pH וריכוז החומר האורגני ויסודות-המיקרו.

ג.1.2. ניסויים שנעשו בורטיסול

ג.1.2.1. ניסוי עמודות

קרקע ורטיסול כתושה, מהחלקות שהושקו בקולחים (קרקע מושקת קולחים) או במים שפירים (קרקע מושקת שפירים), נארזה בעמודות פלסטיק בקוטר של 5 ס"מ ואורך של 12.5 ס"מ מעל שכבת חול שטוף בעובי של 1 ס"מ. שכבת הקרקע בעמודה הייתה בגובה של 5 ס"מ ובצפיפות גושית של 1.2 גרם/סמ"ק. בראש העמודה מעל פני הקרקע הונח נייר פילטר (Whatman 42) כדי למנוע את הרס התלכידים בפני הקרקע עם הוספת התמיסות לעמודה. כל עמודות הקרקע נשטפו "בתמיסה" ובקולחים שניוניים ממאגר מזרע ששימשו להשקיית חלקות הפרדס שהושקו בקולחים. בקולחים, לפני השימוש שלהם בעמודות הקרקע, נמדדו הפרמטרים הבאים: EC, pH, וריכוז הח"א המסיס ויסודות-המיקרו. שטיפת עמודות הקרקע נעשתה בצורה הבאה, "תמיסה" או קולחים הוספו לראש העמודה עד להרוויית הקרקע. בזמן ההרווייה, הקרקעות תפחו וגובתן בעמודה הגיע ל ~ 7 ס"מ. לאחר שהקרקע הגיעה לרווייה, מי הנקז (התשטף) מהעמודות נאסף בשלוש פרקציות עוקבות של: 1. 70 מ"ל, 2. 230 מ"ל ו-3. 70 מ"ל, כאשר נפח נקבובים אחד של עמודת הקרקע היה ~ 70 מ"ל. על מנת לשמור על שטף קבוע בטיפולי השטיפה והקרקע השונים, השטיפה נעשתה בתנאי עומד שונים. במי התשטף שהתקבלו בכל העמודות נקבעו אותם פרמטרים שנקבעו בקולחים.

ג.2.2.1. ניסוי אינקובציה

לאחר גמר השטיפות של עמודות הקרקע, העמודות הושארו להתנקז מעודף המים למשך לילה. למחרת, הקרקעות הוצאו בזהירות מהעמודות, וחצי מכמות הקרקע מכל עמודה נלקחה לניסוי אינקובציה. ניסוי זה נעשה ע"י כך, שדגימת קרקע רטובה ושקולה (65 ג' על בסיס יבש תנור) מכל טיפול הושמה בצנצנת בגודל של 1 לי שבה הונחה מלכודת ל- CO_2 . פי הצנצנת עם דגימת הקרקע ומלכודת ה- CO_2 נסגר במכסה, והצנצנת הוכנסה לאינקובטור עם טמפרטורה של 40°C למשך 24 ש'. לאחר 24 השעות באינקובציה, הצנצנות נפתחו, וריכוז ה- CO_2 במלכודות נמדד ע"י טיטרציה ב-HCl. על פי ריכוז ה- CO_2 במלכודות הושב ריכוז הפחמן שהשתחרר מיחידת משקל קרקע במשך 24 ש'. תהליך זה חזר על עצמו לתקופות הדגרה שונות, כאשר

הרטיבות בדגימות הקרקע בצנצנות נשמרה בקיבול שדה ע"י הוספת מים לקרקע על פי גרעון הרטיבות שנמדד גרבימטרי.

ג.3.2.1. ניסויי Batch

ניסוי ה-Batch נעשה בקרקעות שהוצאו מהעמודות ולא עברו תהליך אינקובציה ובקרקעות שעברו אינקובציה. 15 ג' קרקע מכל טיפול (קרקעות שעברו אינקובציה וקרקעות שלא עברו אינקובציה לאחר טיפולי השטיפה השונים) הוכנסו למבחנת צנטרפוגה. לכל מבחנה הוסף 30 מ"ל של מים מזוקקים פעמיים. המבחנות טולטלו לזמנים של 0.5, 4, 8 ו-24 ש' במטלטלת אופקית; לכל זמן טלטול הוכנו מבחנות שונות. לאחר הטלטול, התמיסה בכל מבחנה הופרדה מהקרקע ע"י סרכוז בצנטרפוגה. בתמיסות המופרדות נקבעו כל הפרמטרים שנבחנו במי התשטף מעמודות הקרקע.

ג.2. מדידות בשדה

המדידות בשדה נעשו בשני אתרים:

1. בפרדס בקיבוץ מזרע, שכלל חלקות שהושקו בקולחים שניוניים כ-12 שנה ממאגר הקיבוץ וחלקות שהושקו במים שפירים. בסתיו, לאחר גמר עונת ההשקיה, נלקחו דגימות קרקע עד לעומק של 2.5 מ' באינטרוולים שונים מ-3 חלקות שהושקו בקולחים וב-3 חלקות שהושקו במים שפירים.

2. בשדה פלחה של קיבוץ רמת הכובש עם קרקע בנווית. שדה זה כלל חלקות שהושקו במים שפירים וחלקות שהושקו שנתיים רצופות לפני דיגום הקרקע בקולחים שניוניים ממאגר באזור. בסתיו, לאחר גמר עונת ההשקיה, נלקחו דגימות קרקע עד לעומק של 1.5 מ' באינטרוולים של 0.3 מ' משלוש חלקות שהושקו בקולחים ומשלוש חלקות שהושקו במים שפירים.

בכל דגימות הקרקע שנלקחו מהשדות השונים נמדדה תכולת הח"א הכללית, שנקבעה בשיטה רטובה, ובמיצוי עיסה רוויה נקבעו ערכי ה-EC וה-pH וריכוז החומר האורגני המסיס ויסודות-המיקרו. מיצוי העיסה הרוויה נעשה במים מזוקקים פעמיים.

ד. תוצאות דיון

ד.1. ניסויי מעבדה

ד.1.1. קרקע חמרה

הוספת קולחים לקרקע יכולה לגרום לשינוי בערכי ה-pH וה-EC של תמיסת הקרקע. שינויים אלה יכולים לגרום לשינויים בצורנים הכימיים של יסודות-המיקרו וברכוזם בתמיסת הקרקע. ערכי ה-pH וה-EC בתמיסת התרחיף של קרקע חמרה שעורבבה עם תמיסות שונות בניסוי ה-Batch כתלות בזמן הערבוב מובאים באיור 1. באיור זה, התמיסה המעושרת מוגדרת כ-solution +. למרות שערכי ה-pH התחיליים של התמיסות השונות לפני הערבוב (זמן ערבוב 0) היו שונים, ערכי ה-pH לאחר הערבוב עם הקרקע היו דומים ונעו בתחום שבין 7.5 ל-7.7. ערכי ה-pH של תמיסת התרחיף בתערובת של הקרקע עם התמיסה המעושרת היו נמוכים מאשר בתערובות עם שאר התמיסות בזמני הערבוב עד 8 ש'. אולם, לאחר 24 שעות ערבוב, ערכי ה-pH בכל התערובות השתוו ל-pH 7.7. במקרה זה, הקרקע שימשה כבופר שייצב את ערכי ה-pH

לערכים קבועים בתערובות הקרקע עם התמיסות השונות. בכל התמיסות שהוספו לקרקע חל שינוי קל בערכי ה-EC לאחר חצי שעה של ערבוב, שנשארו, לאחר מכן, קבועים עד ל-24 ש' ערבוב (איור 1). ערכי ה-EC בתערובות של הקרקע עם התמיסה המעושרת בזמני הערבוב השונים היו גבוהים מאשר בשאר הטיפולים.

ריכוז החומר האורגני המסיס בתמיסת התרחיף כתלות בזמני הערבוב של קרקע חמרה עם התמיסות השונות בניסוי ה-Batch מובאים באיור 1. לא נמצאו הבדלים מובהקים, בין ריכוזי החומר האורגני בתמיסת התרחיף של התערובות עם התמיסה ושל התערובות עם התמיסה המעושרת (תמיסות חסרות חומר אורגני) ולכן ריכוזי החומר האורגני בניסוי הערבוב עם התמיסה אינם מוצגים באיור זה. בערבוב עם התמיסה המעושרת, ריכוז החומר האורגני המסיס בתמיסת התרחיף עלה ל-34 מ"ג/ל' לאחר חצי שעה של ערבוב, וריכוז זה נשאר קבוע בהמשך הערבוב (איור 1). לעומת זאת, ריכוז החומר האורגני המסיס בשפכים המסוננים לפני הערבוב עם הקרקע היה 228 מ"ג/ל', כאשר ערבוב השפכים עם הקרקע גרם לירידה חדה בריכוז החומר האורגני המסיס בתמיסת התרחיף לאחר 4 ש' ערבוב. לאחר מכן, הירידה בריכוז החומר האורגני בתרחיף הייתה מתונה יותר, וריכוז החומר האורגני לאחר 24 ש' ערבוב היה 70 מ"ג/ל'. הוספת קולחים מסוננים לאחר טיפול בבוצה משופעלת, שהכילו ריכוז חומר אורגני מסיס של 48 מ"ג/ל' לקרקע, גרמה לעליה מסוימת בריכוז החומר האורגני המסיס בתמיסת התרחיף לאחר חצי שעה של ערבוב, וריכוז זה נשאר קבוע בהמשך הערבוב (איור 1). ניסוי מקדים שבחן את השתנות ריכוזי החומר האורגני בשפכים ובקולחים בניסוי Batch ללא תוספת קרקע הראה כי, פירוק מיקרובאלי משמעותי של חומר אורגני שמוסף לקרקע עם השפכים/קולחים חל לאחר 72 ש'. מכאן, שהירידה בריכוז החומר האורגני בקרקע שעורבבה עם השפכים נבעה בעיקרה מספיחה של מולקולות אורגניות מסיסות מהשפכים לקרקע.

ריכוזי יסודות-המיקרו בתמיסות התרחיפים של החמרה שעורבבה עם התמיסות השונות בניסוי ה-Batch מובאים באיור 1. ריכוזי יסודות-המיקרו בתמיסת התרחיף עם התמיסה היו נמוכים יחסית וריכוזם התייצב לאחר 0.5 שעה של ערבוב. ריכוזים אלה עבור V, Fe, Cu, Cr, Sr, B ו-Ni היו, 15, 40, <6, 14, 40, 16 ו- >2 מיקרוגרם/ל', בהתאמה (תוצאות לא מוצגות באיור). ריכוזים נמוכים אלה מורים על כך, שבהוספת מים חסרי חומר אורגני לקרקע, שחרור יסודות-מיקרו לתמיסה כתוצאה מהמסה של מינרלים ומלחים קשי תמס הנמצאים בקרקע הוא נמוך. את יסודות-המיקרו ניתן לחלק לשלוש קבוצות עיקריות על פי התנהגותם בקרקע כתוצאה מתהליכי ספיחה/קשירה ושקיעה/המסה עם הוספת שפכים או קולחים או התמיסה המעושרת לקרקע (איור 1):

א. יסודות שהתנהגותם בקרקע אינה מושפעת מנוכחות חומר אורגני מסיס שהוסף לקרקע מהשפכים/קולחים. לקבוצה זו שייכים היסודות B ו-Sr, כאשר B מוצג כיסוד מייצג של קבוצה זו באיור 1. ריכוזי ה-B בשפכים, בקולחים ובתמיסה המעושרת לפני ערבובם עם הקרקע (זמן ערבוב 0) היו, 474, 480 ו-487 מיקרוגרם/ל', בהתאמה. ערבוב תמיסות אלה עם החמרה גרם לפחיתה חדה יחסית בריכוז ה-B בתמיסת התרחיף לאחר חצי שעה של ערבוב, כאשר ריכוז זה בתערובות של הקרקע עם השפכים והתמיסה המעושרת נשאר קבוע בהמשך הערבוב. לעומת זאת, בתערובות עם הקולחים, לאחר חצי שעה של ערבוב

חלה עליה הדרגתית בריכוז ה-B עד ל-8 ש', ולאחר מכן, ריכוז ה-B נשאר קבוע עד לגמר הערבוב. הפחיתה בריכוז ה-B בחצי השעה הראשונה של הערבוב בכל התערובות נבעה כנראה מספיחה של יוני ה-B על קצוות החרסית בקרקע, שב- $\text{pH} \sim 7.5$ של תמיסת התרחיף, ה-B נמצא כחומצה בורית. ריכוזי ה-B בתערובות עם התמיסה המעושרת היו קרובים, על פי רוב, לריכוזים בתערובות עם השפכים. לעומת זאת, ריכוזי ה-B בתערובות עם הקולחים בזמני הערבוב השונים היו נמוכים מריכוזים בתערובות עם התמיסה המעושרת והשפכים. לריכוזים נמוכים אלה של ה-B בתערובות קרקע עם קולחים לא נמצא הסבר. תוצאות אלה של ה-B בתערובות השונות עם הקרקע מורות על כך שלחומר האורגני בשפכים ובקולחים לא הייתה השפעה מובהקת על ספיחת ה-B בקרקע.

ב. יסודות הנמצאים בשפכים ו/או בקולחים וקשירתם/ספיחתם/שקיעתם בקרקע קטנה בנוכחות חומר אורגני מסיס. לקבוצה זו שייכים היסודות Cr, Fe ו-Ni, כאשר ה-Ni מוצג כיסוד מייצג של קבוצה זו באיור 1. הריכוז הגבוה יחסית של ה-Ni בתמיסה המעושרת ירד באופן חד, עם ערבוב התמיסה המעושרת עם הקרקע, לריכוז הדומה לריכוז ה-Ni בתערובות עם התמיסה (איור 1). לעומת זאת, בריכוז ה-Ni שהוסף לקרקע עם השפכים או הקולחים חלה ירידה מתונה בהשוואה לירידה בתערובות עם התמיסה המעושרת (איור 1). מכאן, שריכוז ה-Ni במצב תמידי (steady state) בתערובות של הקרקע עם השפכים או הקולחים היו גבוהים באופן מובהק מאשר בתערובות עם התמיסה המעושרת או התמיסה בכל זמני הערבוב השונים. תוצאות אלו מורות על כך, שהוספת היסודות מהקבוצה הזו לקרקע עם תמיסה מימית חסרת חומר אורגני גורמת לקשירתם/ספיחתם/שקיעתם בקרקע במהלך הערבוב וריכוזם בתמיסת הקרקע יורד לריכוזים הדומים לריכוזם לפני הוספתם. לעומת זאת, הוספת שפכים או קולחים לקרקע מגדילה את ריכוז החומר האורגני המסיס בתמיסת הקרקע (איור 1). המולקולות האורגניות המסיסות מהשפכים ומהקולחים יכולים ליצור קומפלקסים מסיסים עם יסודות-המיקר. קומפלקסים אלו מקטינים את ספיחתם/קשירתם/שקיעתם של יסודות אלה לקרקע, וכתוצאה מכך, ריכוזם בתמיסת הקרקע נשאר גבוה יחסית (איור 1).

ג. יסודות העוברים מהפרקציה הלא מסיסה שלהם בקרקע לפרקציה מסיסה בתמיסה בעקבות הוספת חומר אורגני שמקורו מהשפכים או מהקולחים. לקבוצה זו שייכים היסודות V ו-Cu, כאשר ה-Cu מוצג באיור 1 כיסוד מייצג של קבוצת יסודות אלו. ריכוז ה-Cu בשפכים ובקולחים, לפני ערבובם עם הקרקע, היה נמוך מריכוזו בתמיסת התערובות של הקרקע עם התמיסה והתמיסה המעושרת. אולם, ריכוזי ה-Cu בתערובות של הקרקע עם השפכים או הקולחים היו גבוהים באופן מובהק מאשר ריכוזם עם התמיסה המעושרת והתמיסה בזמני הערבוב השונים. תוצאות אלה מורות על כך, שהוספת שפכים או קולחים לקרקע גורמת למעבר של ה-Cu מהפרקציה הלא מסיסה שלו בקרקע לפרקציה המסיסה בתמיסה. מעבר זה קורה כנראה כתוצאה מיצירת

קומפלקסים בין ה- Cu לבין המולקולות האורגניות המסיסות, שהוספו לקרקע מהשפכים או מהקולחים, המגדילים את ריכוזו בתמיסת הקרקע.

ד.2.1. קרקע ורטיסול

ערכי ה- pH וה- EC בתשטיף מעמודות עם קרקע ורטיסול מחלקות הפרדס שהושקו במים שפירים (Fresh water irrigated soil) או בקולחים (Effluent irrigated soil), שנשטפו בתמיסה (Solution leaching) או בקולחים (Effluent leaching) לאחר אריזתם בעמודות כתלות בנפח התשטיף, מובאים באיור 2. ערכי ה- pH בתמיסה ובקולחים, ששימשו לשטיפת עמודות הקרקע, היו 6 ו- 7.8, בהתאמה. אולם, בכל הטיפולים, ערכי ה- pH בתשטיף עלו עם השטיפה. עליה זו ב- pH נבעה כנראה מנוכחות הגיר בקרקע. לא נמצאו הבדלים מובהקים בערכי ה- pH בתשטיפים בין הקרקע מושקת שפירים לבין הקרקע מושקת קולחים. אולם, כן נמצאו הבדלים מובהקים בערכי ה- pH בתשטיפים בין השטיפה של הקרקעות עם תמיסה לבין השטיפה בקולחים לאחר שטיפה ב- 4 ו- 5 נפחי נקבובים. חשוב לציין עם זאת, שהבדלים אלו ב- pH היו קטנים יחסית, ועל כן, השפעתם על המסיסות והתנועה של יסודות המיקרו בקרקע הייתה זניחה. ערכי ה- EC בתשטיף לאחר שטיפה של נפח נקבובים אחד היו גבוהים באופן מובהק מאשר ערכם בקולחים או בתמיסה ששטפו את העמודות בכל טיפולי השטיפה השונים (איור 2). המשך השטיפה ב- 4 נפחי נקבובים של קולחים או של תמיסה גרמו לירידה בערכי ה- EC בתשטיף לערכים הדומים לערכים שהיו בתמיסה ובקולחים. ערך ה- EC הגבוה בתשטיף לאחר נפח נקבובים אחד נבע כנראה משטיפה של המלחים שהתרכזו בקרקע לפני השטיפה בעמודות. התרכזות זו של המלחים בקרקע מושקת קולחים הייתה רבה יותר באופן מובהק מאשר בקרקע מושקת שפירים. זאת עקב הריכוז הגבוה יותר של המלחים בקולחים מאשר במים שפירים ששימשו להשקיית חלקות הפרדס.

השתנות הריכוזים של ה- Cu וה- B בתשטיף במהלך השטיפה של קרקע מושקת קולחים

(Effluent irrigated soil) וקרקע מושקת שפירים (Fresh water irrigated soil) בתמיסה (Solution leaching) או בקולחים (Effluent leaching), הייתה שונה בין שני היסודות (איור 2). לגבי Cu, ריכוזי היסוד בתשטיף לאחר שטיפה של נפח נקבובים אחד היו גבוהים באופן מובהק מאשר ריכוזם בקולחים או בתמיסה ששטפו את העמודות (איור 2); המשך השטיפה של העמודות גרמה לירידה בריכוז ה- Cu בתשטיף לעומת ריכוזם בתשטיף לאחר שטיפה בנפח הנקבובים הראשון. ריכוז ה- Cu הגבוה בתשטיף לאחר נפח נקבובים אחד נבע כנראה בחלקו משטיפת ה- Cu שהייתה בקרקע לפני השטיפה. בכל נפחי השטיפה השונים ובשתי הקרקעות, ריכוז ה- Cu בתשטיף היה גבוה יותר בשטיפה עם קולחים לעומת השטיפה בתמיסה. כמו כן, בשטיפה עם קולחים, ריכוז ה- Cu בתשטיף מקרקע מושקת קולחים היה גבוה יותר מאשר מקרקע מושקת שפירים בכל נפחי השטיפה השונים. לגבי ה- B בקרקע מושקת קולחים ובקרקע מושקת שפירים שנשטפו בתמיסה, השתנות ריכוז היסוד בתשטיף במהלך השטיפה הייתה דומה להשתנות של ה- Cu. לעומת זאת, בשטיפת הקרקעות בקולחים, ריכוז ה- B בתשטיפים היה נמוך יותר מאשר

ריכוזו בקולחים ששימשו לשטיפת העמודות. ירידה זו בריכוז ה-B בתשטיפים נבעה כנראה מספיחה של חלק מה-B שהיה בקולחים לקרקע.

על מנת לבחון את השפעת ההשקיה בקולחים לעומת השקיה במים שפירים על תנועת יסודות-מיקרו בקרקע, ריכוזים ממוצעים של Cu ו-B בכל נפח התשטיפ מקרקע מושקת קולחים (Effluent irrigated soil) ומקרקע מושקת שפירים (Fresh water irrigated soil) שנשטפו ב-5 נפחי נקבובים של קולחים (Effluent leaching) או של התמיסה (Solution leaching), מובאים באיור 3. ריכוז ה-Cu בתשטיפ מקרקע מושקת קולחים ומקרקע מושקת שפירים היו דומים, כאשר קרקעות אלו נשטפו בתמיסה (איור 3). זאת למרות, שהקרקע מושקת קולחים, לפני שטיפתה בעמודות, הושקתה כ-12 שנה בקולחים שהכילו ריכוזים גבוהים יחסית של Cu. לעומת זאת, שטיפת שתי הקרקעות בקולחים העלתה את ריכוז ה-Cu בתשטיפ, כאשר בקרקע מושקת קולחים ריכוז ה-Cu בתשטיפ היה גבוה באופן מובהק מאשר ריכוזו בתשטיפ מקרקע מושקת שפירים ומריכוז ה-Cu בקולחים ששימשו לשטיפת עמודות הקרקע. לעומת זאת, ריכוז ה-B בתשטיפ מקרקע מושקת קולחים היה גבוה באופן מובהק מאשר מקרקע מושקת שפירים כאשר שתי הקרקעות נשטפו בקולחים או בתמיסה. כמו כן, ריכוז ה-B בתשטיפים בשתי הקרקעות שנשטפו בקולחים היו גבוהים באופן מובהק מאשר ריכוזם בתשטיפ כאשר הקרקעות נשטפו בתמיסה. בכל הטיפולים, ריכוזי ה-B בתשטיפים משתי הקרקעות היו נמוכים מאשר ריכוזי ה-B בקולחים ששימשו לשטיפת הקרקעות.

ההבדלים בין התנועה של ה-B וה-Cu בקרקע בטיפולי השטיפה השונים יכולים לנבוע מהשפעת החומר האורגני המסיס בקרקע על מסיסות יסודות אלו. ריכוזים ממוצעים של חומר אורגני בכל נפח התשטיפ מקרקע מושקת קולחים (Effluent irrigated soil) ומקרקע מושקת שפירים (Fresh water irrigated soil) שנשטפו ב-5 נפחי נקבובים של קולחים (Effluent leaching) או של התמיסה (Solution leaching), מובאים באיור 4. בשתי הקרקע שנשטפו בקולחים או בתמיסה, ריכוז החומר האורגני בתשטיפ לאחר שטיפה בנפח נקבובים אחד היה גבוה באופן מובהק מריכוז החומר האורגני בקולחים ובתמיסה ששימשו לשטיפת עמודות הקרקע. לעומת זאת, המשך השטיפה של הקרקע עד ל-5 נפחי נקבובים גרמה לירידה בריכוז החומר האורגני בתשטיפ בכל הטיפולים. בכל נפח נתון, ריכוז החומר האורגני בתשטיפ מקרקע מושקת קולחים ומקרקע מושקת שפירים שנשטפו בקולחים היו גבוהים באופן מובהק מאשר בשטיפה בתמיסה. כמו כן, למרות שהקרקע מושקת קולחים הושקתה 12 שנים בקולחים לפני שטיפתה בעמודות, לא נמצאו הבדלים מובהקים בריכוז החומר האורגני בתשטיפ של שתי הקרקעות, כאשר הן נשטפו באותו סוג מים בעמודות. תוצאות אלו מורות על כך, שתנועת חומר אורגני מסיס בקרקע הושפעה בעיקר מסוג המים ששטפו את הקרקע (קולחים לעומת תמיסה) ופחות מההיסטוריה של ההשקיה (קרקע מושקת קולחים לעומת קרקע מושקת שפירים). תופעה זו יכולה להיות מוסברת בכך, שחומר אורגני, שמקורו מהקולחים, מתפרק באופן מהיר יחסית כתוצאה מפעילות מיקרובאלית בקרקע. כנראה, שהחומר האורגני שהוסף לקרקע במשך 12 שנות השקיה בקולחים בקרקע מושקת קולחים התפרק ברובו, ולכן השפעתו על תנועת החומר האורגני המסיס בקרקע בניסוי השטיפה בעמודות היה זניח. לעומת זאת, שטיפת הקרקע בקולחים טריים

המכילים ריכוז גבוה יחסית של חומר אורגני גרם לשיטפה רבה יחסית של חומר אורגני בשתי הקרקעות.

את פירוק החומר האורגני בקרקע מושקת קולחים (Effluent irrigated soil) ובקרקע מושקת שפירים (Fresh water irrigated soil) שנשטפו בקולחים (Effluent leaching) או בתמיסה (Solution leaching) כתלות בזמן ניתן לראות מריכוז ה-C שהשתחרר מהקרקע בניסוי אינקובציה (איור 4B); ריכוז גבוה של C משמעו פירוק גבוה יותר של חומר אורגני. מאיור זה ניתן לראות שבקרקע מושקת קולחים ובקרקע מושקת שפירים שנשטפו בתמיסה, ריכוז הפחמן שהשתחרר מהקרקעות במהלך האינקובציה היה נמוך יחסית, ולא נמצאו הבדלים מובהקים בין הקרקע מושקת קולחים לעומת קרקע מושקת שפירים. לעומת זאת, באותן קרקעות שנשטפו בקולחים טריים, ריכוז הפחמן שהשתחרר מהקרקע במהלך ה-120 ש' באינקובציה היה גבוה מאשר בקרקעות שנשטפו בתמיסה, כאשר ההבדל היה גבוה במיוחד במהלך ה-48 ש' הראשונות. תוצאות אלו מאששות את ההשערה שפירוק של החומר האורגני בקרקע שמקורו מהקולחים הוא מהיר יחסית.

על מנת לבחון את ההשערה שלהתפרקות החומר האורגני המוסף לקרקע מהקולחים יכולה להיות השפעה על תנועת יסודות-מיקרו בקרקע, נעשה ניסוי Batch בקרקע מושקת קולחים ובקרקע מושקת שפירים לאחר שטיפתם בקולחים או בתמיסה בעמודות. ניסוי ה-Batch נעשה בחלק מהקרקע שהיה בעמודה מיד לאחר גמר השיטפה והתנקזות המים מהעמודות לפני טיפול האינקובציה, ובחלק אחר של הקרקע בעמודה לאחר שעבר אינקובציה למשך >500 ש'. ריכוז ה-B וה-Cu בתמיסת התרחיף של הקרקע מושקת שפירים (Fresh water irrigated soil) ושל הקרקע מושקת קולחים (Effluent irrigated soil) לאחר שטיפתם בקולחים (Effluent leaching) או בתמיסה (Solution leaching) לפני האינקובציה (Befor) ולאחריה (After) מובאים באיור 5. לא נמצאו הבדלים מובהקים בין ריכוז ה-Cu בתרחיף לפני ואחרי האינקובציה בקרקע מושקת שפירים ובקרקע מושקת קולחים שנשטפו בתמיסה (איור 5). לעומת זאת, בשתי הקרקעות הללו לאחר שטיפתם בקולחים, ריכוז ה-Cu בתרחיף לפני האינקובציה היה גבוה באופן מובהק מאשר אחרי האינקובציה. תוצאות אלו נבעו כנראה מהשפעת החומר האורגני המסיס על תנועת ה-Cu בקרקע. ה-Cu ידוע כיסוד בעל מקדם קומפלקציה גבוה יחסית עם חומר אורגני. יצירת קומפלכסים בין מולקולות אורגניות מסיסות לבין ה-Cu מגדילה את המסיסות של יסוד זה, וע"י כך מגבירה את תנועתו בקרקע. פירוק החומר האורגני בקרקע שמקורו מהקולחים הוא מהיר (מספר ימים) (איור 4A). לכן, גם בקרקע מושקת קולחים, לאחר מספר שבועות מגמר ההשקיה האחרונה ועד ניסוי השיטפה בקולונות, ריכוז החומר האורגני היה נמוך ודומה לריכוז החומר האורגני בקרקע מושקת בשפירים (איור 4A). במקרה זה שטיפת שתי הקרקעות הללו בתמיסה לא הגדילה את ריכוז החומר האורגני המסיס בקרקע (איור 4A). כתוצאה מכך, ריכוז ה-Cu בתמיסת התרחיף בניסוי ה-Batch בשתי הקרקעות לאחר שטיפתם בתמיסה לפני ואחרי האינקובציה היה נמוך, ולא נמצאו הבדלים מובהקים בין הקרקע מושקת קולחים לקרקע מושקת שפירים (איור 3). לעומת זאת, שטיפת הקרקע מושקת קולחים וקרקע מושקת שפירים בקולחים טריים הגדילה את ריכוז החומר האורגני המסיס בקרקע (איור 4A).

שהגבירה כנראה את הקומפלכסציה בין הנחושת והחומר האורגני המסיס, וכתוצאה מכך את ריכוזם המסיס בתמיסת התרחיף לפני האינקובציה (איור 5). לעומת זאת, לאחר האינקובציה, ריכוז ה-Cu בתמיסת התרחיף בניסוי ה-Batch ירד באופן מובהק לעומת ריכוזו לפני האינקובציה. זאת כתוצאה מפירוק החומר האורגני המסיס במהלך האינקובציה.

ה-B ידוע כיסוד בעל מקדם קומפלכסציה נמוך יחסית, ולכן ריכוז ה-B בתמיסת התרחיף בקרקע מושקת קולחים היה גבוה באופן מובהק מאשר מקרקע מושקת שפירים, כאשר קרקעות אלו נשטפו בקולחים או בתמיסה. תוספת B לקרקע כתוצאה מהשקיה בקולחים, שהיכלו ריכוזים גבוהים יחסית של B, גרמה להצטברות גבוהה של הבורון ולעליה בריכוזו בתמיסה של קרקע זו. בשתי הקרקעות, ריכוז ה-B הגבוה יותר בתמיסת התרחיף כאשר הקרקעות נשטפו בקולחים מאשר עם שטיפתם בתמיסה נבע מריכוז הגבוה יחסית של הבורון בקולחים. ההבדלים בריכוז ה-B בתשטוף לפני ואחרי האינקובציה לא היו עקביים בטיפולים השונים, ובחלק מהטיפולים גם לא מובהקים.

ד. תוצאות ניסוי השדה

1.2.ד. פרדס מזרע

תכולת החומר האורגני (ח"א) הכללית וריכוזו המסיס במיצוי עיסה רוויה של דגימות קרקע מפרדס מזרע שנלקחו מעומקים שונים מחלקות שהושקו במים שפירים (Fresh water) ומחלקות שהושקו בקולחים (Effluent) מובאים באיור 6. בשני המדדים של החומר האורגני לא נמצאו הבדלים מובהקים בין חלקות השפירים לבין חלקות הקולחים. זאת, למרות שהקולחים, ששמשו להשקיית הפרדס, הכילו ריכוז גבוה יחסית של ח"א. מכאן, ניתן להסיק שהח"א שהוסף לקרקע במשך 12 שנות השקיה בקולחים התפרק ברובו, ופרק זה היה מהיר יחסית, פחות מ-4 שבועות (הזמן שעבר מגמר ההשקיה האחרונה ועד הכנת מיצוי העיסה הרוויה של דגימות הקרקע). תוצאות אלו תואמות את התוצאות שהתקבלו בניסויי האינקובציה (איור 4B) ובשטיפת עמודות הקרקע (4A).

ריכוז יסודות-המיקרו במיצוי עיסה רוויה של דגימות קרקע מושקות קולחים וקרקע מושקת שפירים שנלקחו מעומקים שונים מובאים באיור 6. ריכוז היסודות B ו-Sr במיצוי עיסה רוויה של דגימות הקרקע בעומק של 0 – 1.0 מ' בחלקות הקולחים היו גבוהים יותר מאשר בחלקות השפירים. ההבדלים אלו בריכוזי ה-B וה-Sr נבעו כנראה מהצטברותם הרבה יותר בקרקע שהושקתה כ-12 שנה בקולחים שהיכלו ריכוזים גבוהים של יסודות אלו. מכיוון שה-B וה-Sr הינם יסודות מסיסים יחסית במיצוי קרקע מימיים, הצטברות גדולה יותר של יסודות אלו בקרקע באה לידי ביטוי גם בריכוז גבוה יותר שלהם במיצוי עיסה רוויה של הקרקע (איור 6) ללא תלות בריכוז החומר האורגני המסיס.

לעומת זאת, בכל יסודות-המיקרו האחרים שנמדדו, לא נמצאו הבדלים מובהקים בריכוזי היסודות במיצוי העיסה הרוויה בין דגימות הקרקע שנדגמו מהחלקות שהושקו בקולחים לעומת הדגימות מהחלקות שהושקו במים שפירים (איור 6). ב-Cd נמצאה מגמה של ריכוזים גבוהים יותר בקרקע מושקת קולחים לעומת קרקע מושקת שפירים. אולם, מגמה זו לא הייתה מובהקת סטטיסטית. למרות ריכוזם הגבוה יותר של יסודות אלו בקולחים מאשר במים שפירים,

וכתוצאה מכך הצטברותם הרבה יותר בקרקע מושקת קולחים לעומת קרקע מושקת שפירים, הבדלים אלו לא באו לידי ביטוי בריכוזם במיצוי העיסה הרוויה (איור 6). זה נבע כנראה מכך, שהריכוזים של יסודות-מיקרו אלו בקרקע תלויה בריכוז החומר האורגני המסיס (איור 1), שבזמן הכנת מיצוי העיסה הרוויה, ריכוז החומר האורגני המסיס בקרקע מושקת קולחים ובקרקע מושקת שפירים היו דומים (איור 6). מכאן ניתן להסיק, שההצטברות של יסודות-מיקרו אלו בקרקע מושקת קולחים הייתה בעיקרה במקטע הלא מסיס שלהם. תוצאות אלו של ריכוז יסודות-המיקרו בשדה תואמים את תוצאות הניסויים שהתקבלו במעבדה לגבי Cu (איורים 2, 3, 4, ו-5).

ד.2.2. חלקות ברמת הכובש

תכולת החומר האורגני (ח"א) הכללית וריכוזו המסיס במיצוי עיסה רוויה של דגימות קרקע מהשדה ברמת הכובש שנלקחו מעומקים שונים מחלקות שהושקו במים שפירים (Fresh water) ומחלקות שהושקו בקולחים (Effluent) מובאים באיור 7. תכולת החומר האורגני הכללית בדגימות הקרקע בעומקים 30-120 ס"מ בין החלקות השונות (איור 7). לעומת זאת, תכולת החומר האורגני הכללית בשכבת הקרקע 0-30 ס"מ הייתה גבוהה יותר בחלקה שהושקתה בקולחים מאשר בחלקה שהושקתה במים שפירים. אולם, הבדלים אלו לא היו מובהקים סטטיסטית.

ריכוז החומר האורגני המסיס במיצוי עיסה רוויה בקרקע מהחלקות שהושקו בקולחים היו גבוהים יותר מאשר בקרקע מהחלקות שהושקו במים שפירים בכל העומקים שנמדדו, כאשר הבדלים אלו היו משמעותיים יותר בשכבות העליונות, והם הצטמצמו עם העומק (איור 7). תוצאות אלו של ריכוז החומר האורגני המסיס בקרקע הבינונית מהחלקות ברמת הכובש (איור 7) הינן שונות מהתוצאות שהתקבלו בקרקע הכבדה מפרדס מזרע (איור 6). לא נמצא הסבר להבדלים אלו בריכוזי החומר האורגני בין שתי הקרקעות.

ריכוז יסודות-המיקרו במיצוי עיסה רוויה של דגימות הקרקע שנלקחו מעומקים שונים מחלקות השפירים (Fresh water) והקולחים (Effluent) מובאים באיור 8. מלבד Fe ו-Ti, ריכוז כל יסודות-המיקרו שנמדדו, בקרקע מחלקות שהושקו בקולחים היו גבוהים מאשר בקרקע מחלקות שהושקו במים שפירים בכל העומקים, כאשר הבדלים אלו היו, בדרך כלל, משמעותיים יותר בשכבות העליונות והם הצטמצמו עם העומק (איור 8). הבדלים אלו בריכוזי יסודות-המיקרו נבעו כנראה משתי סיבות עיקריות: 1. ריכוז גבוהה יותר של יסודות אלו בקולחים ששימשו להשקיה לעומת ריכוזם במים שפירים. כתוצאה מכך, חלה הצטברות גבוהה יותר של יסודות אלו בקרקע מושקת קולחים מאשר בקרקע מושקת שפירים. 2. מסיסות גבוהה יותר של יסודות-המיקרו בתמיסת הקרקע מחלקות מושקות קולחים מאשר מחלקות מושקות שפירים, שנבעה מריכוז גבוה יותר של חומר אורגני מסיס בקרקע מושקת קולחים (איור 7).

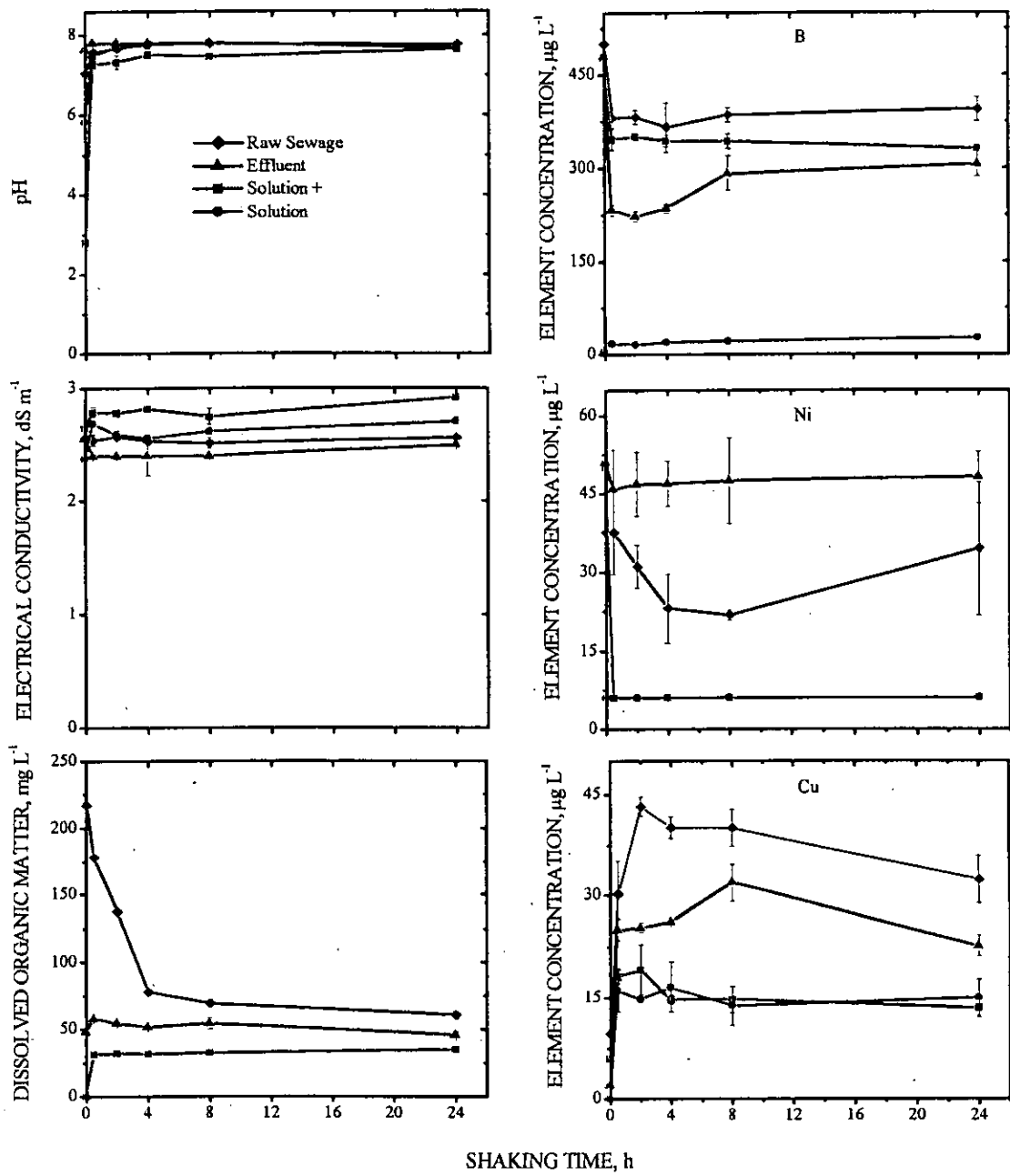
ה. מסקנות

1. השקיה או שטיפה של קרקע בקולחים גרמה לעליה בריכוז החומר האורגני המסיס בתמיסת הקרקע. אולם, חומר אורגני זה מתפרק מהר יחסית (מספר ימים) לאחר הוספתו לקרקע עקב תהליך מיקרובאלי.

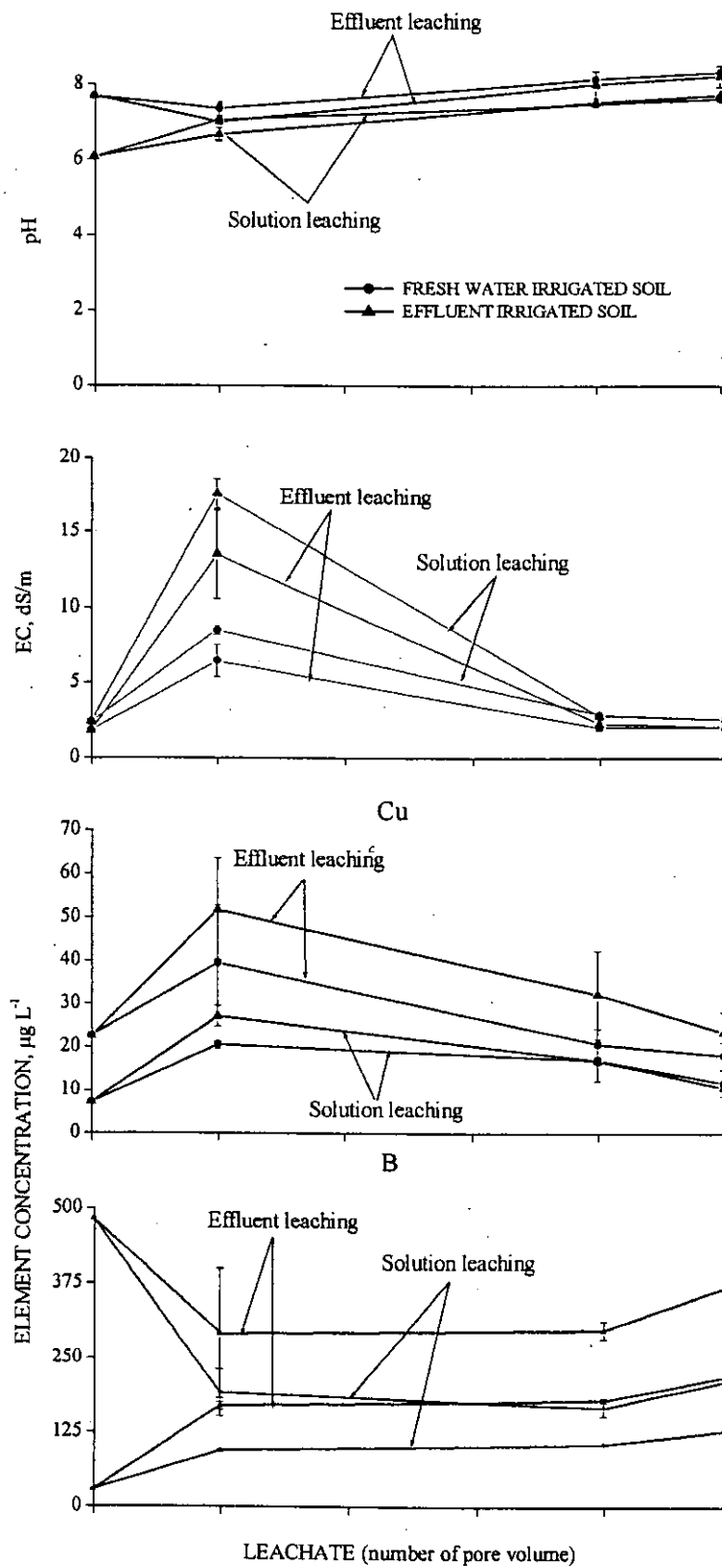
2. את יסודות-המיקרו ניתן לחלק לשלוש קבוצות עיקריות על פי התנהגותם בקרקע במהלך השקיה בקולחים כתוצאה מתהליכי ספיחה/קשירה ושקיעה/המסה: א. יסודות שהתנהגותם בקרקע אינה מושפעת מנוכחות חומר אורגני מסיס שהוסף לקרקע מהקולחים. לקבוצה זו שייכים היסודות B ו-Sr. ב. יסודות הנמצאים בקולחים וקשירתם/ספיחתם/שקיעתם בקרקע קטנה בנוכחות חומר אורגני מסיס. לקבוצה זו שייכים היסודות Cr, Fe ו-Ni. ג. יסודות העוברים מהפרקציה הלא מסיסה שלהם בקרקע לפרקציה מסיסה בתמיסה בעקבות הוספת חומר אורגני שמקורו מהקולחים. לקבוצה זו שייכים היסודות V ו-Cu.

3. לגבי יסודות-המיקרו שמושפעים מהחומר האורגני המסיס בקרקע, העלייה בריכוזם ובתנועתם בקרקע חלה תוך כדי שטיפת הקרקע בקולחים המוסיפים לקרקע חומר אורגני מסיס טרי. לעומת זאת, בקרקע שהושקתה בעבר בקולחים, ולאחר מכן נשטפת, מספר שבועות לאחר גמר ההשקיה בקולחים, בתמיסה חסרת חומר אורגני מסיס (מים שפירים או גשם), להשקיה בקולחים הייתה השפעה קטנה יחסית על ריכוז וניידות של יסודות-המיקרו. תופעה זו נבעה כנראה מפירוק מהיר יחסית של הח"א המסיס בקרקע שמקורו מהקולחים. להתנהגות זו של הח"א המסיס ויסודות-המיקרו בקרקע יכולה להיות השפעה פרקטית. תנועת יסודות-המיקרו צפויה להיות בעיקרה בזמן ההשקיה בקולחים יחד עם הוספת חומר אורגני מסיס טרי לקרקע. אולם, מכיוון שניתן לשלוט על עומק תנועת המים בקרקע במהלך ההשקיה, הרי שניתן גם לשלוט על תנועת יסודות-המיקרו בקרקע במהלך ההשקיה בקולחים. לעומת זאת, בחורף, המסיסות ותנועת יסודות-המיקרו בקרקע היא פחותה יחסית מכיוון שמרבית החומר האורגני המסיס שהוסף לקרקע ע"י הקולחים בקיץ התפרק.

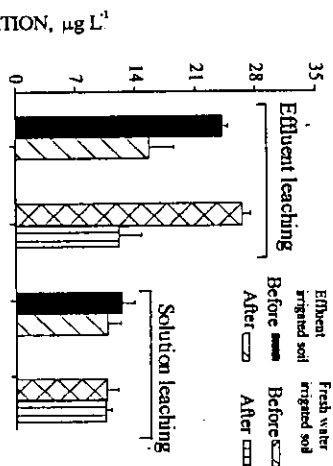
4. תוצאות השדה, שנמדדו בקרקע כבדה מפרדס מזרע, תאמו את התוצאות שהתקבלו בניסויי המעבדה. לעומת זאת, תוצאות השדה של ריכוז החומר האורגני המסיס בקרקע בינונית מהחלקות ברמת הכובש לא תאמו את התוצאות מניסויי המעבדה, ואת תוצאות השדה שהתקבלו בקרקע כבדה מפרדס מזרע. מחקר נוסף שיבחן את השפעת הגומלין בין סוג הקרקע והשקיה בקולחים על מסיסות ותנועה של חומר אורגני מסיס ויסודות-מיקרו נדרש.



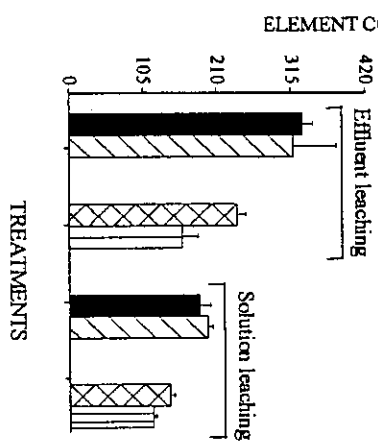
אירור.



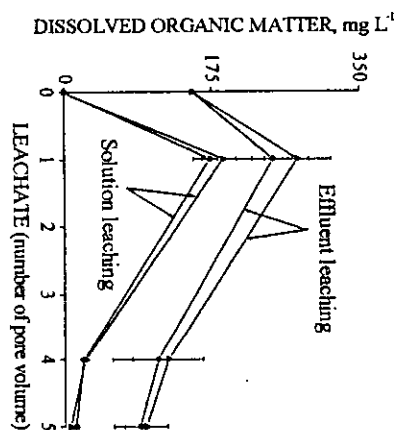
COPPER



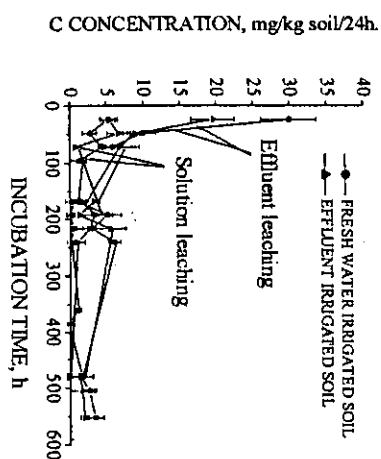
BORON



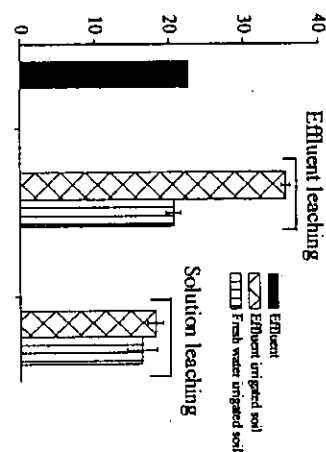
A



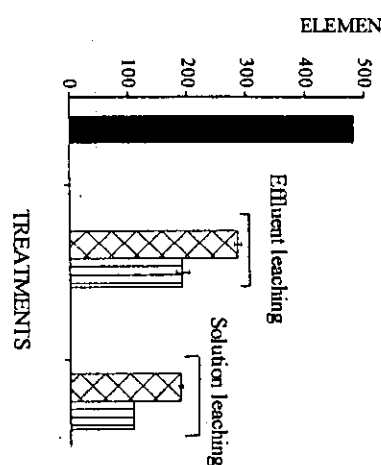
B



COPPER



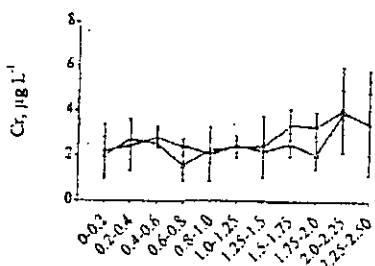
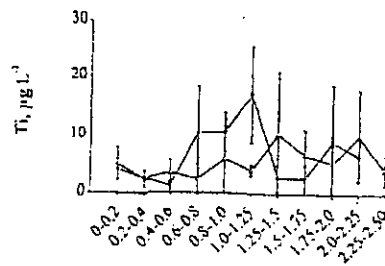
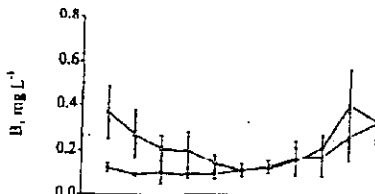
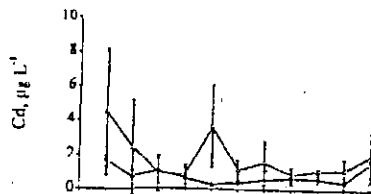
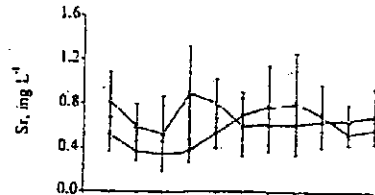
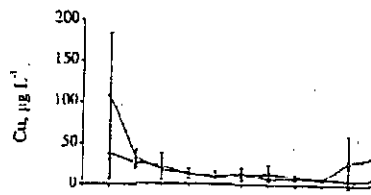
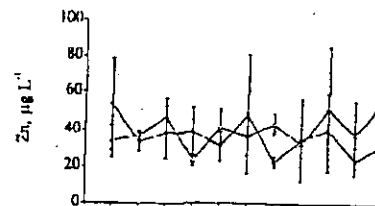
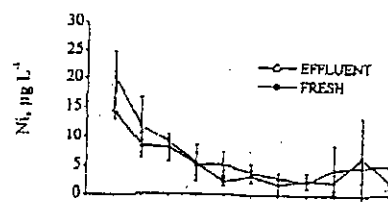
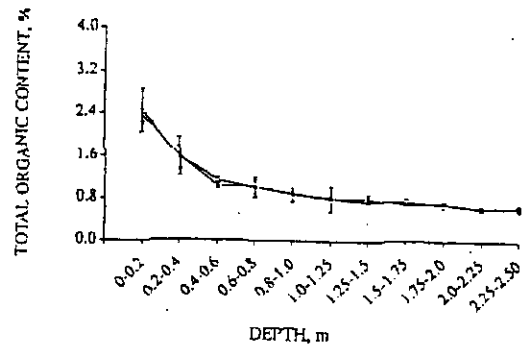
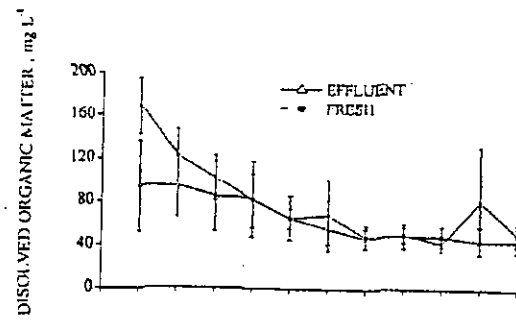
BORON



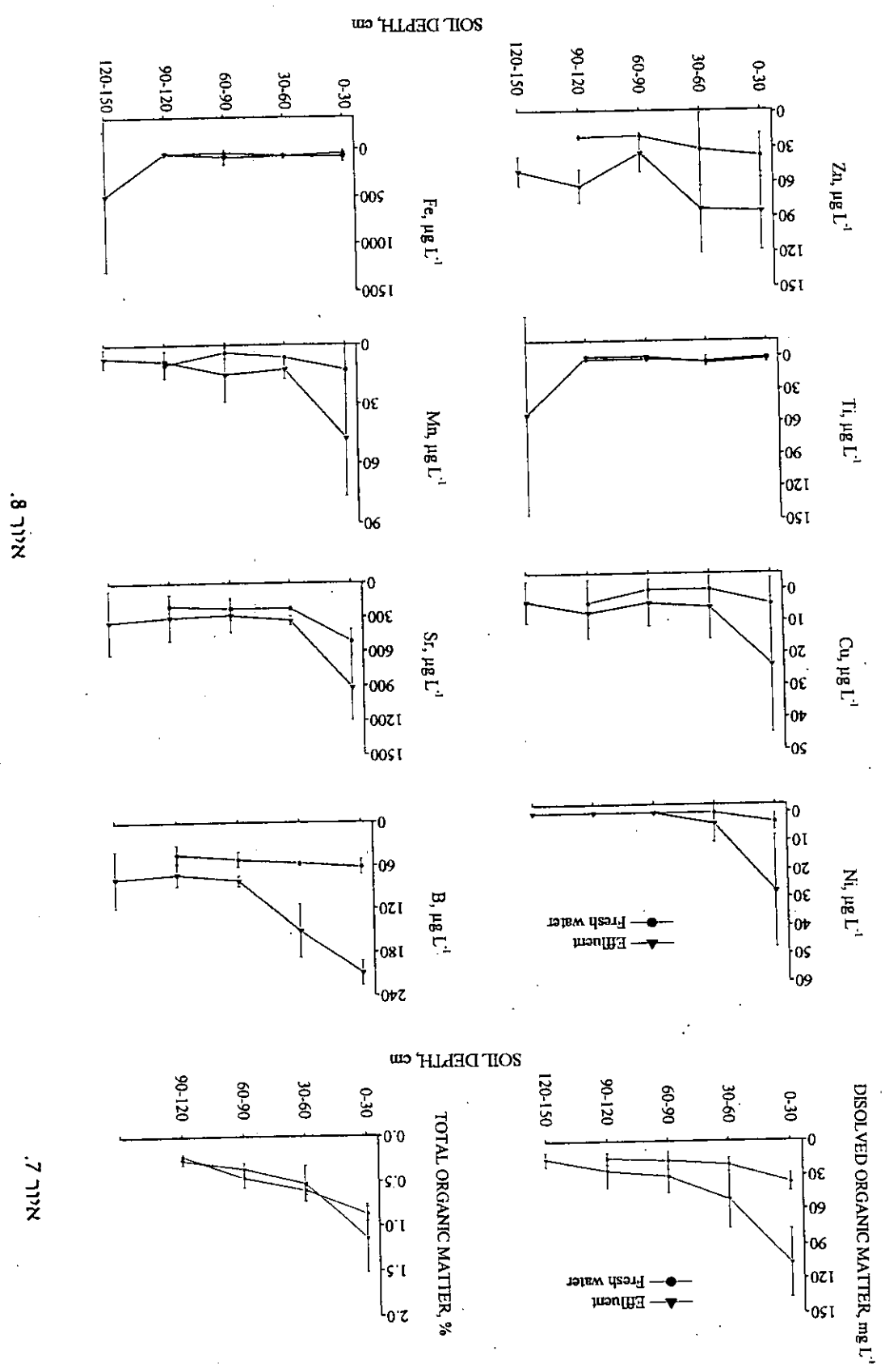
.577N

.477N

.377N



DEPTH, m



.8 777N

.7 777N

סיכום עם שאלות מנחות לדו"ח המחקר

מטרות המחקר לתקופת הדו"ח:

1. ללמד את השפעת השקיה בקולחים על שיעור המסיסות והתנועה של יסודות-מיקרו בקרקע. 2. לאפיין את התפלגות יסודות-המיקרו בפרופיל הקרקע בשדות שמושקים בקולחים, והשוואתם לשדות שמושקים במים שפירים. דגש מיוחד ניתן במחקר זה להשפעת הח"א, שמקורו בקולחים, על התנהגות יסודות-המיקרו בקרקע.

עיקרי הניסויים והתוצאות בתקופה אליה מתייחס הדו"ח

המחקר כלל: 1. ניסוי Batch ושטיפה בעמדות במעבדה, שבהם קרקעות מחלקות שהושקו בקולחים או שפירים נשטפו בסוגי מים שונים. 2. מדידות שדה, שבהם נדגמו בסתיו דגימות קרקע מעומקים שונים מחלקות שהושקו בקולחים או במים שפירים מפרדס במזרע ומשדה פלחה מרמת הכובש. ריכוז חומר אורגני מסיס ויסודות המיקרו נמדדו בתשטיפים ובמיצוי עיסה רוויה של כל דגימות הקרקע.

המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו

העלייה בריכוז ובתנועת בקרקע של יסודות-המיקרו, שמושפעים מהחומר האורגני המסיס בקרקע, חלה תוך כדי שטיפת הקרקע בקולחים המוסיפים לקרקע חומר אורגני מסיס סרי. לעומת זאת, בקרקע שהושקתה בעבר בקולחים, ולאחר מכן נשטפת בתמיסה חסרת חומר אורגני מסיס, להשקיה בקולחים הייתה השפעה מועטה יחסית על ריכוז וניידות של יסודות-המיקרו. תופעה זו נבעה כנראה מפירוק מהיר יחסית של הח"א המסיס בקרקע שמקורו מהקולחים. מכאן, שתנועת יסודות-המיקרו צפויה להיות בעיקרה בזמן ההשקיה בקולחים יחד עם הוספת חומר אורגני מסיס סרי לקרקע. אולם, מכיוון שניתן לשלוט על עומק תנועת המים בקרקע במהלך ההשקיה, הרי שניתן גם לשלוט על תנועת יסודות-המיקרו בקרקע במהלך ההשקיה בקולחים. לעומת זאת, בחורף, המסיסות ותנועת יסודות-המיקרו בקרקע היא פחותה יחסית מכיוון, שמרבית החומר האורגני המסיס שהוּסַף לקרקע ע"י הקולחים בקיץ התפרק.

הבעיות שנותרו לפתרון ו/או השינויים שחלו במהלך העבודה

תוצאות השדה של ריכוז יסודות-המיקרו תאמו את התוצאות שהתקבלו בניסויי המעבדה. לעומת זאת, תוצאות השדה של ריכוז החומר האורגני המסיס בקרקע בינונית לא תאמו את התוצאות מניסויי המעבדה ואח תוצאות השדה שהתקבלו בקרקע כבדה. מחקר נוסף שיבחן את השפעת הגומלין בין סוג הקרקע והשקיה בקולחים על מסיסות ותנועה של חומר אורגני מסיס ויסודות-מיקרו נדרש.

צורת הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח

כנסים וימי עיון של חקלאים.