

## הגדרת הפרמטרים הקובעים את עוצמת תופעת התנועה המואצת של חומרי הדברה תחת ממשק השקייה בקולחין

תקציר הדו"ח:

אחת הבעיות הקשורות להשקייה בקולחין היא ההשפעה של העומס האורגני בקולחין על של חומרי הדברה בקרקע. בניסוי שדה נצפתה תופעה של תנועה מואצת של אטריזין בהשפ השקייה בקולחין. בהמשך לניסוי זה בדקנו את הפרמטרים הקובעים את עוצמת התופעה. בניסויי ספיחה בשווי משקל ומסיסות בנוכחות איכויות שונות של מים וקולחין לא נ השפעה של איכות המים או הקולחין על הספיחה והמסיסות של מספר חומרי הדברה ממשפ השריזונים. כמו כן בניסויים בעמודות קרקע לא נמצאה תנועה מוגברת של חומרי הד בנוכחות קולחין. תוצאות אלה היו מנוגדות לתוצאות ניסוי השדה בו נמצאה תנועה מ של אטריזין בהשפעת השקייה בקולחין. בניסוי ליזימטרים שנערך בנוכחות צמחים נמצא תנועה מוגברת של חומרי הדברה בנוכחות קולחין ולעומת זאת האטה בתנועה בנוכחות בליזמטרים זהים ללא צמחים.

בעקבות תוצאות אלו הועלתה ההיפותיזה שאופוטרנספירציה ע"י צמחים עשויה להגביר ריכוז החומר האורגני המומס והקולואידי בתמיסת קרקע המושקית בקולחין, במידה כז שתגרום לתנועה מוגברת של חומרי הדברה עם מקדם חלוקה אוקטנול-מים (KOW) יחסי לבחון היפותיזה זאת, נערך ניסוי בעמודות קרקע עם שתי רמות נידוף (גבוה ונמוך) בעמודות עם רמת נידוף נמוכה נמצא עיכוב בפריט טרבומשון.

(KOW=3.04) עם הירידה באיכות מי ההשקייה ממי ברז לקולחין באיכות גבוהה ולקול באיכות נמוכה, תופעה המיוחסת לירידה במוליכות ההידראולית של הקרקע בשל הצטברות חלקיקים קולואידלים שמקורם בקולחין. בעמודות עם רמת הנידוף הגבוהה, שתוכננו כי לקבל הדמייה של אופוטרנספירציה, ריכוז החומר האורגני המומס בתמיסת הקרקע הוכי והיה זירוז בפריט טרבומשון עם הירידה באיכות מי ההשקייה. תופעה זו מיוחסת לקומפלקסציה של טרבומשון עם חומר אורגני מומס וקולואידי, תופעה שהשפעתה גוברת השפעת הירידה במוליכות ההידראולית.

הפרק הראשון של הדו"ח הנוכחי מהווה דו"ח שמסכם את המחקר בנושא תנועה מואצת של הדברה בנוכחות קולחין. בפרק השני מצורף עותק של שתי עבודות שהתפרסמו בנושא אינטראקציות בין מזהמים אורגניים לבין החומר האורגני בקרקע או חומר אורגני מוג שמהות בסיס להבנת המערכת קולחין-קרקע-חומרי הדברה.

## פרק ראשון:

### סימולציה של השפעת משולבת של קולחים ואופוטנספירציה על תנועה של טרבומטון בעמודות קרקע

#### מבוא

השימוש בקולחין להשקייה בחקלאות הולך ומתפשט כיום, במיוחד באיזורים בהם יש מחסור במים שפירים או צורך להפטר מקולחין. בארץ, לדוגמא, בשנת 1990, הקולחין הוו 25% ממי ההשקייה בחקלאות ( $10 \times 200$  מ"ק קולחין) וההערכה היא שעד שנת 2020 מעל 70% ממי ההשקייה בארץ יהיו קולחין וכמותם תהיה פי חמש מהכמות שרוססה ב- 1990. לכן חשוב לבדוק את ההשפעות של שימוש כה נרחב בקולחין על האנשים שיעבדו איתם (פועלים, חקלאים, צרכנים) ועל הסביבה: הקרקע, מים עיליים ומי תהום.

אחד הנושאים הקשורים להשקייה בקולחין הוא השפעת העומס האורגני שבקולחין על התנועה והגורל של חומרים אורגניים רעילים שמקורם בקולחין או של חומרי הדברה המרוססים על פני הקרקע. האינטראקציות האפשריות בין הקולחין, הקרקע, חומרי הדברה והאוכלוסיה המיקרוביאלית שבמערכת, העשויות להשפיע על ההתנהגות של חומר כימי בקרקע הן מורכבות ויוצרות מערכת קשה להבנה ולניבוי. לדוגמא, מחקרים רבים הראו שהקרקע יכולה להסתם ע"י מוצקים מרחפים שמקורם בקולחין, דבר שגורם לירידה במוליכות ההידראולית.

תופעה זאת עשויה להקטין את קצב התנועה של חומרי הדברה בקרקע. בנוסף לכך השקייה בקולחין לאורך זמן יכולה להגדיל את תכולת החומר האורגני בקרקע (דבר שמגביר את הספיחה של חומרי הדברה לקרקע ולכן מעכב את תנועתם. לעומת זאת, קשירה של חומרי הדברה לחומר אורגני מומס או קולואידלי מהקולחין יכולה לגרום לספיחה פחותה לקרקע ולמסיסות אפקטיבית גבוהה יותר של חומר ההדברה

קומפלקסציה זו עלולה לגרום לתנועה מוגברת של חומרי ההדברה דרך הקרקע, תופעה שנצפתה בעיקר בחומרים מאוד הידרופוביים עם קבועי חלוקה אוקטנול-מים גבוהים ( $\log K_{ow} > 5$ ) או בתנאים של ריכוז חומר אורגני מומס גבוה מאוד

ניתן לתאר את קבוע הספיחה האפקטיבי ( $K_d^*$ ) בנוכחות חומר אורגני מומס ע"י המשוואה:

$$K_d^* = K_d / (1 + K_{dom}[DOM])$$

כאשר  $K_d$  הוא קבוע הספיחה בקרקע בהעדר חומר אורגני מומס  $K_{dom}$ . הוא מקדם החלוקה לחומר אורגני מומס ו  $[DOM]$  -הוא ריכוז החומר האורגני המומס בתמיסה.

לאחרונה (Graber et al (1995) דיווחו על תנועה מוגברת של אטרזין ( $C_8H_{14}ClN_3$ ) בשדה תירס. תוצאות אלה היו די מפתיעות כי לאטרזין יש  $\log K_{ow}$  של 2.34 בלבד (Worthing and Hance, 1991) ולכן אינו צפוי להקשר לחומר אורגני מומס אלא במקרה של ריכוז חומר אורגני מומס גבוה במיוחד בתמיסת הקרקע.

סידרת ניסויי מעבדה עם חומרי הדברה טריאזיניים שונים ( ספיחה לקרקע בשווי משקל, מסיסות נדמית במים, ספיחה לחומר אורגני מומס) בנוכחות ובהעדר קולחין באיכויות שונות, נערכו במעבדה במטרה לבחון את התנהגותם של הטריאזיניים במערכת המכילה קולחין וקרקע. במקרים בודדים בניסויי ספיחה של אטרזין, נצפתה ירידה בספיחה לקרקע בנוכחות קולחין ( ) אך ברוב הניסויים לא נצפתה השפעה משמעותית של נוכחות קולחין על הספיחה ועל המסיסות של חומרי ההדברה הטריאזיניים שנבדקו (סימזין, אמטרין, טרבותילזין, אטרזין, טרבומטון) (טבלה 1, איור 1). תוצאות אלה לא התאימו למה שנמצא בניסוי השדה

הסבר אפשרי הוצע בתוצאות מניסויי בחביות שנערך בשפד"י

עצי אקליפטוס גודלו בחביות בנפח של 200 ליטר שהושקו בקולחין באיכות נמוכה מאוד או במי ברז. סידרה נוספת של חביות ללא עצים הושקתה באופן זהה. שלושה טריאזיניים (סימזין, אמטרין וטרבוטרין) רוססו על פני הקרקע וריכוזם בתשטיף של החביות נמדד שלושה ושישה שבועות לאחר הריסוס. בחביות עם הצמחים שהושקו בקולחין היה שיחרור רב יותר לתשטיף של שלושת הסדיאזינים לעומת אלו עם הצמחים שהושקו במי ברז (איור 2A) לעומת זאת בחביות שלא הכילו צמחים השחרור של חומרי ההדברה מהחביות שהושקו בקולחין היה זהה או נמוך משחרורם מאלה שהושקו במי ברז (איור 2B). תוצאות אלו הובילו אותנו להיפותיזה שגורמים הקשורים לאופוטנספירציה הם אלו העשויים להיות האחראים לתופעה של תנועה מוגברת של חומרי הדברה בהשקיה בקולחין. תהליך האופוטנספירציה גורם לייבוש הקרקע ולכן לעלייה בריכוז החומר האורגני המומס

והקולואידלי בתמיסת הקרקע, דבר שעשוי להגדיל את ריכוז חומרי ההדברה בתמיסת הקרקע ולהפחית את ספיחתם לקרקע. שטיפת הקרקע בהשקייה הבאה יכולה לגרום, בתהליך של חוסר שווי משקל, לתנועה מוגברת של חומרי ההדברה עם הפאזה הנוזלית. אם ההשפעה של תופעה זאת גוברת על ההשפעה של הירידה במוליכות ההידראולית של הקרקע עקב סתימת הנקבובים ע"י חומר קולואידי, אז ייתכן מצב של תנועה מואצת של חומרי הדברה בעלי  $\log K_{ow}$  קטן יחסית. למרבה הצער מספר החזרות בניסוי החביות היה קטן מכדי להגיע למסקנות מוחלטות.

כדי לבחון את ההיפותיזה שאופוטנספירציה ע"י צמחים גורם להתרכזות החומר האורגני בתמיסת הקרקע מעבר לריכוזו ההתחלתי במי ההשקייה, שהתרכזות זאת מובילה למסיסות גבוהה יותר של טריאזינים (וחומרי הדברה אחרים) בתמיסת הקרקע ושבהשקיות הבאות יש שטיפה של תמיסה מועשרת זאת, דבר הגורם לתנועה מוגברת של חומרי ההדברה, תוכנן ניסוי נוסף בהיקף גדול יותר. כדי להמנע מהבעיות הרבות הכרוכות בשימוש בצמחים (וריאביליות רבה בין חזרות, מערכת שורשים מורכבת, פעילות מיקרוביאלית שונה בקרקע עם צמחים לעומת קרקע ללא צמחים וכו') הוכנו עמודות קרקע שנותנות הדמייה של אופוטנספירציה (אם כי בפועל היה רק תהליך של נידוף בעמודות).

### פירוט הניסוי

הניסוי נערך בעמודות מ. high density polyvinylchloride (PVC) -בקוטר 10.5 ס"מ ובגובה 35 ס"מ. במחצית מהעמודות נקדחו חורים בקוטר 1 ס"מ בפיזור אחיד בכל דופן העמודה, במרחק של 2 ס"מ בין חור לחור. תחתית כל עמודה עשויה נירוסטה ובה 50 חורים בקוטר 0.4 ס"מ המפוזרים באופן אחיד על כל שטח התחתית. כדי למנוע בריחה של קרקע דרך החורים שבהיקף בעמודות המחוררות, הולבשה על כל עמודה מבפנים רשת ניילון צפופה עשויה מגרביון שתחתיתו נחתכה כך שהוא ציפה את היקף העמודה מבפנים ולא כיסה את התחתית. כדי לשמור על תנאי ניסוי זהים הולבשו גרביונים גם על העמודות הלא מחוררות. תתכן ספיחה של טרבומטון על הגרביון ועל הפלסטיק ממנו עשויה העמודה, אך הם נמצאים רק בהיקף ובהנחה שהמים נעים אנכית בעמודה, רק אותה פרקצית המים הנעה ממש צמוד לדופן באה במגע עמם. כדי לקבל ניקה טובה של מים מהעמודות הוספה לתחתית כל עמודה פתיליה מצמר זכוכית ש-30 ס"מ ממנה השתלשלו מתחת לעמודה ו-20 ס"מ נוספים שנפרמו לחוטים דקים פוזרו בתחתית העמודה מבפנים כדי לקבל ניקוז של כל שטח העמודה. (הפתיליות שהו קודם למשך לילה שלם בתנור בטמפרטורה של 500°C כדי לנקות אותן מחומרים אורגניים). העמודות הועמדו על משטח רשת מוגבה ותחת כל אחת מהן הונח בקבוק מזכוכית של 1 ליטר שצווארו הגיע עד המשטח. הפתיליה שהשתלשלה מהעמודה היתה נתונה כולה בתוך צוואר בקבוק

האיסוף ולא חשופה לאוויר הפתוח וזאת כדי להמנע מנידוף מרובה של מים מהפתיליה לאוויר. הודות לצווארו הצר של בקבוק המדידה ותחתית העמודה שהצלה על פתחו, נמנעה גם התנדפות מרובה של התשטיף שנאסף בבקבוק. לאחר הוספת הפתיליה כל התשטיף התנקז דרכה ולא היה טיפטוף של מים ישירות דרך החורים שבקרקעית.

מעל הפתיליה הפרומה שריפדה את הקרקעית הונחו 2 ניירות סינון  $1.2\mu\text{m}$  מסיבי זכוכית (glass fiber) נייר מסוג GF/C תוצרת (whatman). כל עמודה מולאה ב- 3.5 ק"ג קרקע שנאספה מעומק 5-15 ס"מ מפרדס ברמת הכובש ונופתה בנפה של 2 ס"מ. (הקרקע הכילה 89% חול, 5% סילט, 6% חרסית, 0.23% פחמן אורגני).

על פני הקרקע פוזרו באופן אחיד בעזרת פיפטה 10 מ"ל תמיסת קורוגרד  $173\text{mg}$  כך שהתקבל ריכוז ליחידת שטח של 1 ק"ג להקטר (100 גרם לדונם) כפי שנהוג בחקלאות, שהוא ריכוז של 5.00 מ"ג לליטר טרבומטון בנפח החרישה: 20 הסנטימטר העליונים של העמודה). יומיים אחר-כך הושקתה כל עמודה ב- 500 מ"ל מים או קולחין, ובהמשך בערך כל שבוע וחצי או שבועיים נערכה השקיה בכמות שהותאמה לקבלת נפח התשטיף הרצוי (כ- 100 מ"ל). ההשקיה נעשתה ע"י טיפטוף מבקבוקי פלסטיק עם פקק מחורר, באופן הדרגתי תוך הקפדה שלא ייוצר עומד של מים מעל פני הקרקע. יומיים לאחר כל השקיה נאסף התשטיף מכלי האיסוף. הקולונות המחוררות נעטפו מבחוץ, לפני כל השקיה בניילון נצמד, כדי למנוע בריחה של מים דרך החורים בעת ההשקיה. למחרת כל השקיה הניילון הורד כדי לאפשר ייבוש של הקרקע. העמודות המחוררות התייבשו לחלוטין עד להשקיה הבאה ואילו בסגורות היתה התאדות של כ- 30% מהמים (תכולת רטיבות של כ- 8% לפני ההשקיה הבאה). כאשר הקרקע התייבשה לאחר ההשקיה הראשונה נוצר רווח בין הקרקע לדופן העמודות המחוררות וכדי לסגור אותו הוספה קרקע לתוך הרווח. בהשקיות הבאות לא היה צורך להוסיף קרקע כי הרווח הקטן נסגר עם ההרטבה ההדרגתית. הניסוי נמשך בסך הכל חמישה חודשים.

נערכו 3 טיפולי השקיה:

1. השקיה במי ברז
2. השקיה בקולחין באיכות גבוהה (ק1)
3. השקיה בקולחין באיכות נמוכה (ק2)

כל טיפול נערך ב- 5 עמודות מחוררות וב- 5 עמודות לא מחוררות. בסך הכל נערכו שישה טיפולים: שתי רמות נידוף (עמודות מחוררות ולא מחוררות) ושלוש איכויות השקיה וכל טיפול נערך בחמש חזרות.

לפני כל השקיה הובאו קולחין חדשים ממתקן השפד"ן בראשלי"צ וסוננו דרך מסנן  $20-25\mu\text{m}$  מצלולוזה (מסנן תוצרת Whatman מספר 4) בקולחין (המסוננים) נבדקו  $\text{COD}_f, \text{COD}$  (לאחר סינון דרך פילטר  $0.45\mu\text{m}$ ) pH ומוליכות חשמלית. בתשטיפים שנאספו נבדק ריכוז הטרבומטון ובנוסף נבדק  $\text{COD}_f$ .

ריכוז הטרבומטון נבדק ב-High Performance Liquid Chromatography (HPLC) - המכשיר כולל משאבה מדגם 410 וגלאי Diode Array מדגם 235c, תוצרת Perkin-Elmer וקולונה מסוג Lichrosphere RP-8 באורך 25 ס"מ תוצרת Merck. ההרצה בקולונה היתה ביחסי סולוונטים של 15% מים ו- 85% אצטוניטריל ובשטף של 1 מ"ל לדקה. אורך הגל בדטקטור 220 ננומטר. ריכוז הטרבומטון נקבע ע"י השוואה לסטנדרטים חיצוניים. לפני ההזרקה ל-HPLC - סוננו הדגימות דרך פילטר  $0.45\mu\text{m}$  (GHP Acrodisc 13) תוצרת Gelman) מכל דגימה סונן בשלב ראשון 1 מ"ל שנזרק (לצורך הרווית המסנן כדי להמנע מספיחה של טרבומטון עליו) ורק אז סונן נפח נוסף מהדגימה שהוזרק ל-HPLC.

בדיקת ה-COD - נערכה ע"י חימצון עם חומצה כרומית בטמפרטורה גבוהה. בשיטה זאת 95-100% מהחומר האורגני מגיב עם החומצה הכרומית (Standard Methods, 5220) ויון הדיכרומט ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) עובר חיזור ליון כרום ( $\text{Cr}^{3+}$ ) אשר לו צבע ירוק וריכוזו נקבע באופן קולורימטרי. הבדיקה נערכה ע"י ערכת מבחנות תוצרת Hach שהכילו מראש את הריאגנטים הדרושים והמדידה הקולורימטרית נערכה בספקטרופוטומטר מסוג DR/2000 תוצרת Hach.

ריכוז המוצקים המרחפים (TSS) נקבע באופן גרווימטרי ע"י סינון דרך פילטר של  $1.2\mu\text{m}$ .

### תוצאות ודיון.

בטבלה 3 מסוכמת המסה הכוללת הממוצעת של COD שהוספה עם מי ההשקייה לכל אחת מהעמודות והמסה הכוללת הממוצעת של COD שהגיעה לתשטיף של כל עמודה. בעמודות שהושקו בקולחין מאיכות גבוהה ובמי ברז היתה שטיפה של COD מהקרקע. שטיפה זאת היתה רבה יותר בעמודות שהושקו במי ברז מאשר בעמודות שהושקו בקולחין באיכות הגבוהה. בעמודות שהושקו בקולחין מהאיכות הנמוכה כ- 70% מהחומר האורגני שהוסף (נמדד כ-COD) - נשאר בקרקע. כלומר, הקרקע התנהגה כמסנן לחומר אורגני שמקורו בקולחין. כמות החומר האורגני המצטבר גדלה עם העלייה בעומס החומר האורגני המרחף בקולחין. למרות שסך כל הכמות המוספת היתה קטנה יחסית (כ- 500 מ"ג) ואינה משנה באופן משמעותי את תכולת החומר האורגני בקרקע ואת יכולת הספיחה שלה, הצטברות זאת צפויה להקטין את המוליכות ההידראולית של הקרקע בגלל סתימה של נקבובים.

((De Vries, 1972; Daniel and Bouma, 1974; Rice, 1974; Vinten et al, 1983; Siegrist, 1987)

לפי ההיפותיזה שלנו תופעה זאת צפויה לעכב את התנועה של טרבומטון בקרקע, בעמודות עם רמת הנידוף הנמוכה ככל שאיכות מי ההשקייה יורדת.

בטבלה 4 מוצגים ערכי ה-COD שנמדדו במי ההשקייה ובתשטיף של השקייה אופיינית. בעמודות הלא-מחוררות ערכי  $COD_f$  בתשטיף היו דומים (כ- 100 מ"ג חמצן לליטר) בכל איכויות מי ההשקייה. בעמודות המחוררות, לעומת זאת, ריכוז ה- $COD_f$  בתשטיף היה גבוה באופן משמעותי מריכוז ה- $COD_f$  במי ההשקייה. כך, למשל, התשטיף של העמודות המחוררות שהושקו בקולחין באיכות נמוכה היה מועשר ב-292  $COD_f$ -מ"ג חמצן לליטר) לעומת  $COD_f$  ההתחלתי במי ההשקייה (104 מ"ג חמצן לליטר) וגם לעומת  $COD_f$  של תשטיף העמודות המקבילות הלא-מחוררות (132 מ"ג חמצן לליטר). השוואת  $COD_f$  בתשטיפי העמודות המחוררות לעומת  $COD_f$  בתשטיפי העמודות הלא מחוררות המקבילות, מראה שריכוז החומר האורגני המומס הוכפל בתשטיפי העמודות המחוררות שהושקו בקולחין.

באיור 3 מתוארת הפרקציה המצטברת של טרבומטון שאותר בתשטיף מתוך כמות הטרבומטון ההתחלתית שרוססה על הקרקע.  $(TM/TM_0)$  כפונקציה של הנפח המצטבר של התשטיף. הגרפים כוללים את הנקודות מכל חמשת החזרות עבור כל אחד מששת הטיפולים.

בעמודות הלא מחוררות ניתן לראות עיכוב בתנועת טרבומטון עם הירידה באיכות מי ההשקייה (איור 3: A,B,C) ניתן לכמת תופעה זאת ע"י חישוב נפח התשטיף המצטבר הממוצע כאשר  $TM/TM_0=0.5$  (טבלה 5): נפח התשטיף המצטבר הממוצע גדל מ-0.77 ליטר במי ברז ל-1.03 ליטר בקולחין באיכות נמוכה, הבדל שהוא מובהק סטטיסטית ברמה של 0.05. כלומר עם הירידה באיכות מי ההשקייה דרוש נפח גדול יותר של תשטיף כדי לשחרר את אותה כמות של טרבומטון מהעמודה. להערכתנו, הסיבה לעיכוב בתנועת טרבומטון עם הירידה באיכות מי ההשקייה היא ירידה במוליכות ההידראולית של הקרקע בגלל סתימה של נקבובים בקרקע ע"י החלקיקים המרחפים שמקורם בקולחין. מכיוון שכמות החומר האורגני בקרקע לא עלתה באופן משמעותי במהלך הניסוי, אין לראות את ההסבר לתופעה בעלייה בכושר הספיחה של הקרקע. עם זאת בקרקעות חקלאיות שמושקות משך שנים בקולחין ההעשרה של הקרקע בחומר אורגני יכולה להיות משמעותית.

בעמודות המחוררות נמצאה תופעה הפוכה: עלייה בתנועת טרבומטון עם הירידה באיכות מי ההשקייה. נפח התשטיף המצטבר הממוצע כאשר  $TM/TM_0=0.5$  קטן מ-0.61 ליטר במי ברז ל-0.49 ליטר בקולחין מאיכות נמוכה, הבדל שהוא גם כן מובהק סטטיסטית ברמה של 0.05. השוואת העמודות המחוררות לאלו הלא מחוררות באותה איכות מי השקייה, מראה שבהשקייה בקולחין מאיכות נמוכה קצב התנועה של טרבומטון הוכפל בהשפעת הנידוף, מנפח מצטבר ממוצע של 1.03 ליטר כאשר  $TM/TM_0=0.5$  בעמודות הלא מחוררות לנפח מצטבר ממוצע של 0.49 במחוררות. בהשקייה בקולחין באיכות גבוהה היתה עלייה של כ- 35% בקצב התנועה של טרבומטון בהשפעת הנידוף, מנפח מצטבר ממוצע של 0.94 ליטר כאשר  $TM/TM_0=0.5$  בעמודות הלא מחוררות לנפח

מצטבר ממוצע של 0.59 ליטר במחוררות. בעמודות שהושקו במי ברז, בניגוד לאלה שהושקו בקולחין, לא היה הבדל מובהק בנפח המצטבר של התשטיף כאשר  $TM/TM_0=0.5$  בין העמודות המחוררות ללא מחוררות. תוצאות אלה מראות שהתנועה המזורזת בהשפעת הנידוף אכן קשורה לעליית ריכוז החומר האורגני המומס בקרקע. העובדה שבעמודות שהושקו במי ברז לא היה הבדל מובהק בין העמודות המחוררות ללא מחוררות, מבטלת את האפשרות שהסיבה לתנועה המוגברת היא זרימה מועדפת דרך סדקים שנוצרו בעמודות המחוררות בשל מתזורי ההרטבה והייבוש. שכן אם המנגנון היה תנועה מועדפת בלבד היינו מקבלים תנועה זהה בכל העמודות המחוררות, כולל באלה המושקות במי ברז.

תוצאות אלה מתאימות להיפותיזה שהתנועה של חומרי הדברה בקרקע מואצת בשל קומפלקסציה שלהם עם חומר אורגני מומס ובעקבות ריכוז תמיסת הקרקע ע"י אווטרנספירציה ההשפעה של תופעה זאת גוברת על האפקט של הירידה במוליכות ההידראולית.

התוצאות של ניסויי עמודות אלה נותנות הסבר לסתירה בספרות בין תוצאות ניסויי המעבדה לתוצאות ניסויי השדה. על פי הספרות, תנועה מזורזת בהשפעת השקיה בקולחין צפויה רק כאשר  $\log K_{ow}$  של החומר האורגני הוא לפחות 4.

ניסויי ספיחה שערכנו במעבדה עם מבחנות המכילות קרקע וקולחין או מים, הראו השפעה מעטה של הקולחין על שיעור הספיחה לקרקע. לעומת זאת בניסויי שדה נמצאה תנועה מוגברת של אטרזין בשדה המושקה בקולחין. ניסוי העמודות הנוכחי תוכנן לספק את החולייה המקשרת בין ניסויי המעבדה בהם אין נוכחות של צמחיה לבין ניסויי השדה בהם לצמחיה ולאוטרנספירציה יש השפעה ניכרת על הכימיה של תמיסת הקרקע ועל ריכוז החומר האורגני המומס בה. הראנו שבצנאים המדמים אוטרנספירציה, השקיה בקולחין יכולה להביא לתנועה אנכית מוגברת של טרבומטון בקרקע. תיזמון מועד הריסוס ומועדי ההשקיה בקולחין עשויים לצמצם את הבעיה.

יש צורך בעבודת מחקר נוספת כדי לקבוע את החשיבות של תופעה זאת בקרקעות שונות, כדי לחקור את המנגנונים המביאים לעליית ריכוז חומר ההדברה בתמיסת הקרקע וכדי לקבוע מהו היקף התפקיד שממלאים גורמים של חוסר שווי משקל בתנועה המוגברת של חומרי הדברה.



טבלה 1. מסיסות נדמית (Apparent solubility) של חמישה טריאזינים שונים במים מזוקקים

בטבלה הם הממוצע (X) וסטיית התקן ( $\sigma$ ) של 5 חזרות. האותיות הקטנות שליד המספרים מתייחסות לתוצאות בדיקה סטטיסטית (2-population Students t-test) ברמה של 0.05: ערכים ממוצעים עם אותיות זהות אינם שונים באופן מובהק, ערכים עם אותיות שונות ההבדל ביניהם מובהק סטטיסטית.

Compound	Formula	$\log K_{ow}$	DDW X ( $\sigma$ )	0.01 M $\text{CaCl}_2$ X ( $\sigma$ )	LQE X ( $\sigma$ )
Ametryn	$\text{C}_9\text{H}_{17}\text{N}_3\text{S}$	2.83	180.7 <sup>a</sup> (1.5)	168.4 <sup>b</sup> (1.3)	181.1 <sup>a</sup> (2.9)
Atrazine	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{ClN}_3$	2.34	32.9 <sup>c</sup> (0.8)	29.9 <sup>d</sup> (0.6)	28.0 <sup>d</sup> (0.7)
Simazine	$\text{C}_7\text{H}_{12}\text{ClN}_3$	1.96	5.1 <sup>e</sup> (0.2)	5.2 <sup>e</sup> (0.1)	4.3 <sup>f</sup> (0.1)
Terbumeton	$\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{N}_3\text{O}$	3.04	117.6 <sup>g</sup> (6.9)	124.8 <sup>g</sup> (1.0)	123.6 <sup>g</sup> (0.7)
Terbutryn	$\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{N}_3\text{S}$	3.49	26.5 <sup>h</sup> (2.1)	22.6 <sup>i</sup> (0.5)	25.1 <sup>h</sup> (0.5)

טבלה 2. פרמטרים של איכות מי ההשקיה בהשקיה 5.

Water Sample	pH	COD (mg O <sub>2</sub> /L)	COD <sub>f</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	20 μm > TSS > 1.2 μm (mg/L)	EC (dS/m)
Tap Water	7.1	0	0	1.1	1.04
HQE	7.6	43	42.5	3.9	1.45
LQE	7.6	258	104	94	1.85

טבלה 3. מסה ממוצעת של COD שהוכנסה לעמודות עם מי ההשקיה ( $COD_{in}$ ) ושיצאה בתשטוף ( $COD_{out}$ ) בכל טיפול ( במ"ג חמצן), כולל סה"כ השינוי ב  $\Delta COD$  -והיחס בין ה COD- שנשאר בעמודות לבין סך כל ה COD- שהוכנס אליהן במהלך הניסוי ( $\Delta COD/COD_{in}$  %) באחוזים.

Irrigation Water	Evaporation Scenario	$COD_{in}$ (mg O <sub>2</sub> )	$COD_{out}$ (mg O <sub>2</sub> )	$\Delta COD$ (mg O <sub>2</sub> )	% $\Delta COD/COD_{in}$
Tap Water	Low	0	139	-139	
	High	0	178	-178	
HQE	Low	124	165	-41	
	High	223	247	-24	
LQE	Low	734	211	+523	71
	High	1398	370	+1028	74

טבלה 4 COD. במי ההשקיה ובתשטוף של השקיה 5

Irrigation Water	Evaporation Scenario	COD applied (mg O <sub>2</sub> /L)	COD <sub>f</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	Leachate COD <sub>f</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)
Tap Water	Low	0	0	105
	High	0	0	135
HQE	Low	43	43	91
	High	43	43	189
LQE	Low	258	104	132
	High	258	104	292

טבלה 5. ממוצע (X) של חמש חזרות וסטיית תקן ( $\sigma$ ) של נפח התשטיפ המצטבר (בליטרים) כאשר  $TM/TM_0=0.5$ . האותיות הקטנות שליד המספרים מתייחסות לתוצאות בדיקה סטטיסטית (2-population Students t-test) ברמה של 0.05: ערכים ממוצעים עם אותיות זהות אינם שונים באופן מובהק, ערכים עם אותיות שונות ההבדל ביניהם מובהק סטטיסטית.

Irrigation Water	Evaporation Scenario	Accumulated Volume (L) at $TM/TM_0 = 0.5$ X; $\sigma$
Tap Water	Low	0.77 <sup>a,c</sup> ; 0.16
	High	0.61 <sup>a,b</sup> ; 0.04
HQE	Low	0.94 <sup>c,d</sup> ; 0.09
	High	0.59 <sup>b</sup> ; 0.04
LQE	Low	1.03 <sup>d</sup> ; 0.07
	High	0.49 <sup>a</sup> ; 0.03

## כותרות האיוורים

- איור 1. איזותרמות ספיחה (של 24 שעות) של טרבוטרין, סימזין ואמטרין מתמיסת  $0.01\text{ N CaCl}_2$  ומקולחין באיכות נמוכה (LQE) על קרקע טרה-רוסה (clayey mixed thermic Typic Palexeralf, 27.5% חול, 37.5% סילט, 35% חרסית ו-1.5% פחמן אורגני). לא נמצאו הבדלים בין הספיחה מקולחין (ריבועים מלאים) לבין הספיחה מתמיסת האלקטרוליט (ריבועים ריקים).
- איור 2. ריכוזי סימזין, אמטרין וטרבוטרין בתשטוף של החביות עם הצמחים וללא הצמחים שהושקו בקולחין מאיכות נמוכה מאוד (TSS ממוצע  $324\text{ mg/L}$ , COD ממוצע  $482\text{ mg/L}$  או במי ברז). התשטוף נאסף 3 שבועות ו-6 שבועות לאחר ריסוס חומרי ההדברה Error bars. מציינים את טווח התוצאות עבור 2 חזרות, העדר Error bars מראה שהיתה רק חזרה אחת.
- איור 3. פריצה של טרבוטון מהעמודות בששת הטיפולים (A): פריצה מהעמודות בעלות הנידוף הגבוה והנמוך שהושקו במי ברז (B). פריצה מהעמודות בעלות הנידוף הגבוה והנמוך שהושקו בקולחין באיכות גבוהה (C), פריצה מהעמודות בעלות הנידוף הגבוה והנמוך שהושקו בקולחין באיכות נמוכה. הגרפים כוללים את כל הנתונים מכל חמשת החזרות שבכל טיפול.

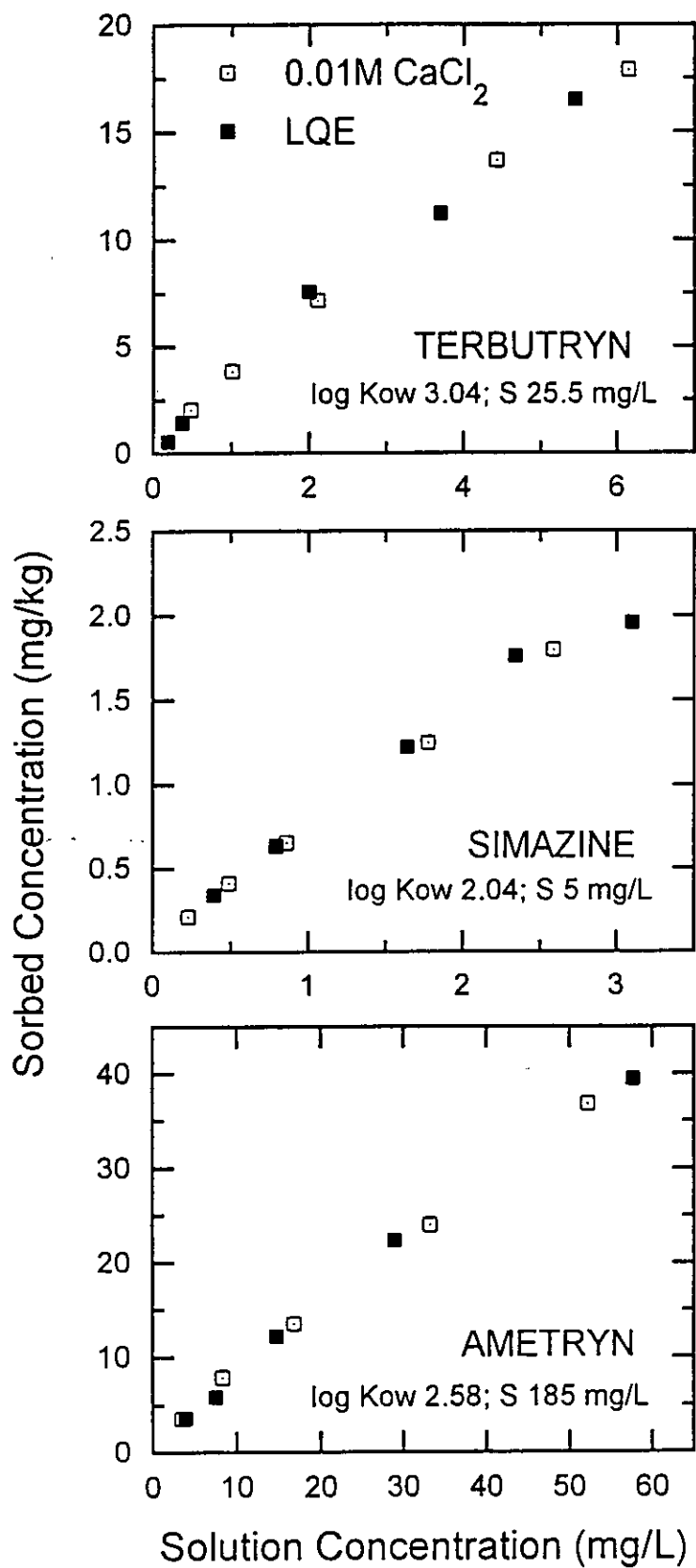


FIGURE 1.

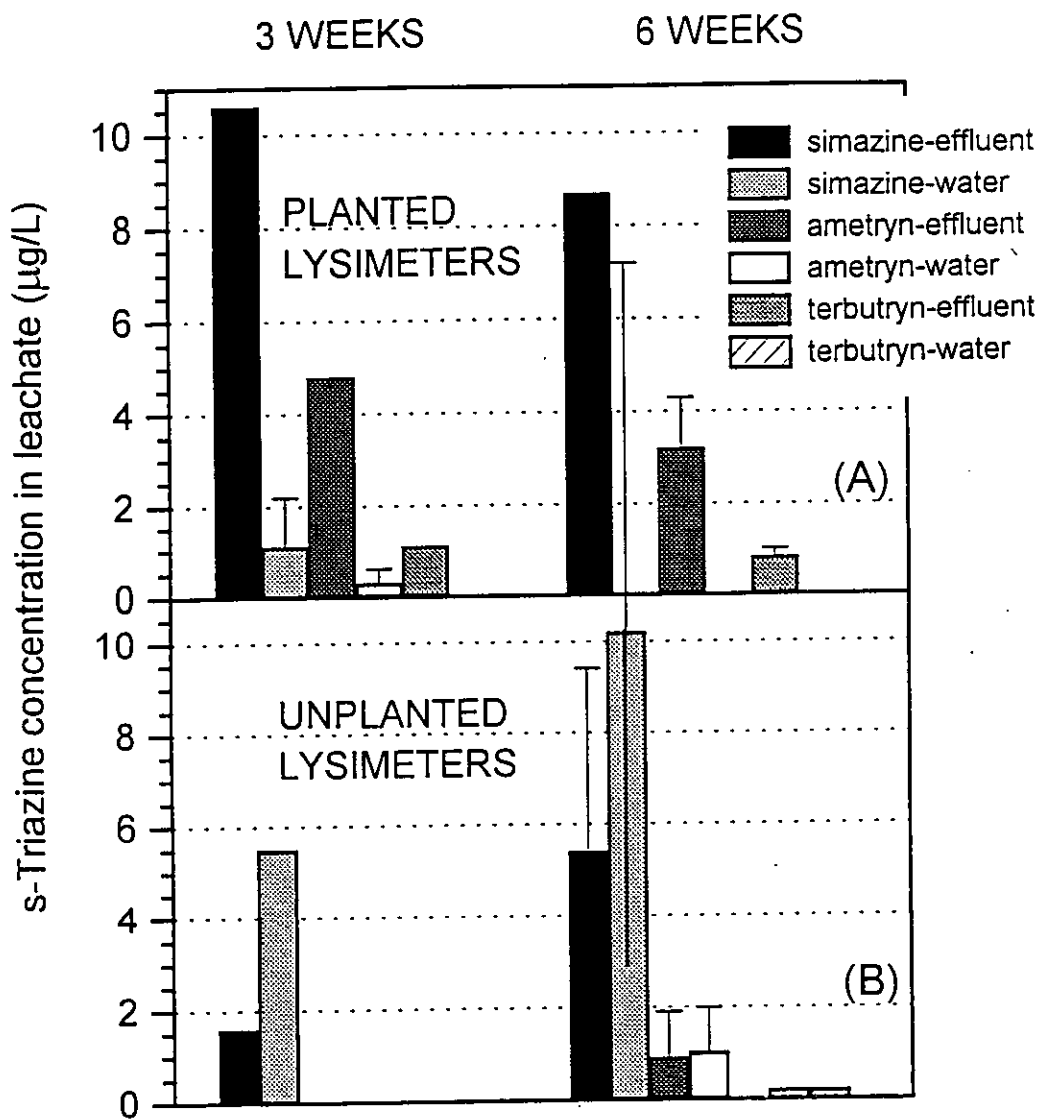


FIGURE 2.



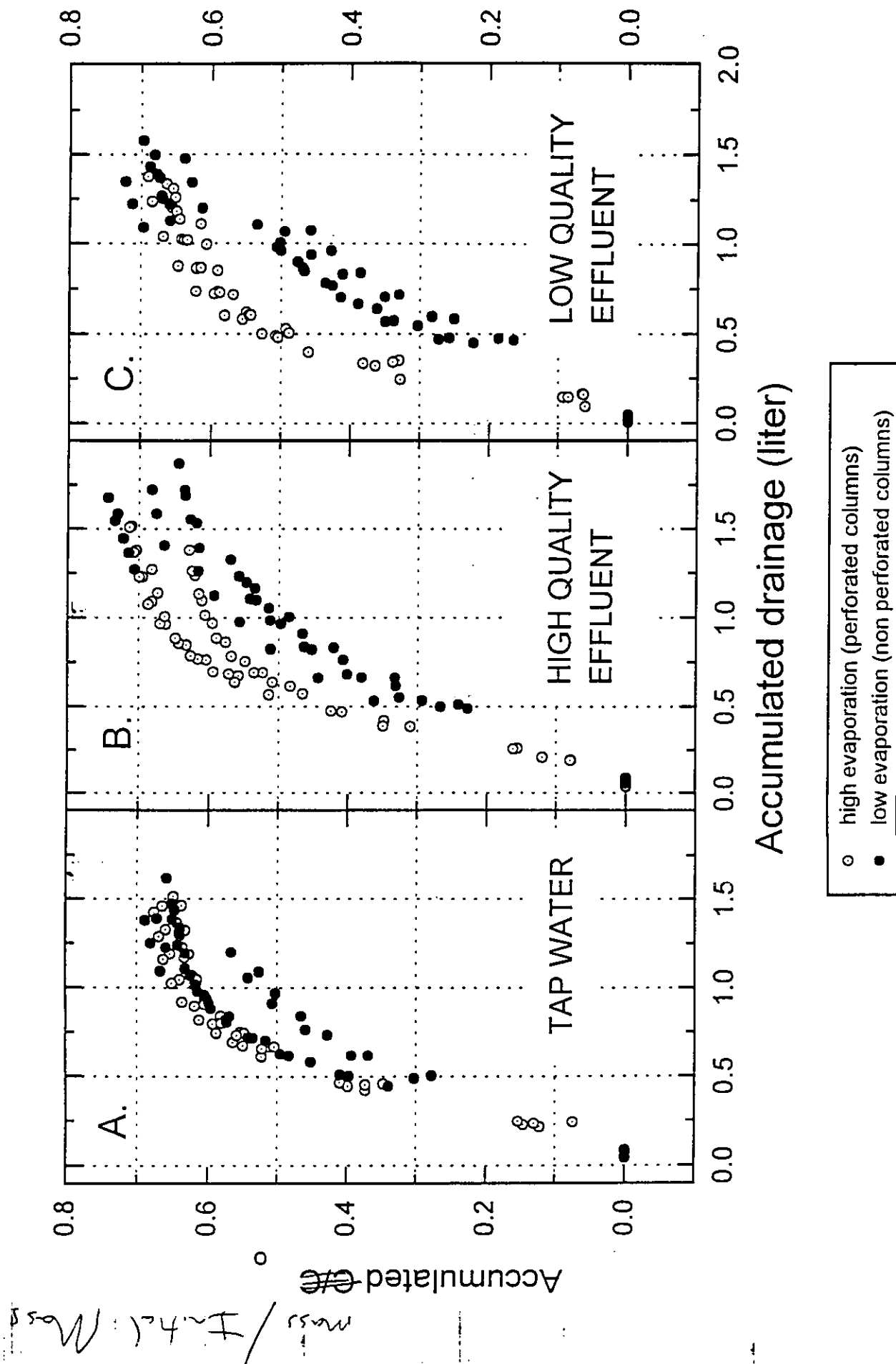


FIGURE 3.

## פרק שני