



2000-2002

תקופת המחקר:

821-0069-02

קוד מחקר:

**Subject:** EFFECTS OF IRRIGATION WITH RECLAIMED  
WASTEWATER ON SOIL WATER DISTRIBUTION.

**Principal investigator:** SHANI URI

**Cooperative investigator:** YONA CHEN, JORGE  
TARCHITZKY, EMANUEL LAHAV, ANAT  
LOWENGART-ACHECHAI

**Institute:** Faculty of Agriculture

**שם המחקר:** שינויים באופי פיזור המים בקרקע  
מושקית במי קולחים

**חוקר ראשי:** אורי שני

**חוקרים שותפים:** יונה חן, חורחה טרציקי,  
עמנואל להב, ענת לוינגרט-אייז

**מוסד:** הפקולטה לחקלאות, רחובות

### תקציר

התופעה של שינוי בדפוסי הזרימה של המים בקרקע מושקית בקולחים אומתה על ידינו הן בתנאי שדה והן בתנאי מעבדה. בשלושת הקרקעות שבדקנו נמדדו קטרי הרטבה קטנים בהשקיה בקולחים ביחס לשפירים. גם במדידות של תכולת הרטיבות בעומק הקרקע נתקבלו הבדלים מהותיים בין הקולחים לשפירים.

נמצא כי בקרקעות מושקות קולחים (בשדה - בגבת ובגעתון, ובחממה בשלושת הקרקעות שנבדקו) התפתחה הידרופוביות, המשפיעה על אופן הזרימה של המים על פני וכנראה גם בעומק הקרקע.

על מנת לאפיין את החומרים בקרקע הגורמים לדחיית המים, מוצה החומר האורגני מהקרקעות השונות ובימים אלה אנו עובדים על אפיונו. בהמשך המחקר ננסה לאפיין את החומרים ההידרופוביים הנמצאים הן בקרקע והן בקולחים, וננסה למדוד ולאפיין את הקשר בין ריכוז ותכונות החומרים הללו לבין ההתנהגות ההידרופובית של הקרקע. כמו כן ננסה לבחון באמצעים שונים (למשל מיקרוסקופית אור/ אלקטרונית), האם תלכידי הקרקע משתנים בגודל ומבנה בקרקע המושקית בקולחים.

## שינויים באופי פיזור המים בקרקע מושקית במי קולחים

Effects of irrigation with reclaimed wastewater on soil water distribution

מוגש לקרן המדע הראשי במשרד החקלאות ופיתוח הכפר

ע"י

אורי שני, המחלקה למדעי הקרקע והמים, הפקולטה למדעי החקלאות המזון ואיכות הסביבה

יונה חן, המחלקה למדעי הקרקע והמים, הפקולטה למדעי החקלאות המזון ואיכות הסביבה

חורחה טרצייזקי, שה"מ, משרד החקלאות ופיתוח הכפר

ענת לוויגרט, אגף שירות השדה, שה"מ, משרד החקלאות ופיתוח הכפר

עמי להב, המכון למטעים, מינהל המחקר החקלאי, משרד החקלאות, ד.ג. אושרת, 25212

עודד לרנר, המחלקה למדעי הקרקע והמים, הפקולטה למדעי החקלאות המזון ואיכות הסביבה

Uri Shani, Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agricultural, Food and Environmental Quality Sciences, P.O.B. 12, Rehovot 76100. E-mail: [shuri@agri.huji.ac.il](mailto:shuri@agri.huji.ac.il)

Yona Chen, Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agricultural, Food and Environmental Quality Sciences, P.O.B. 12, Rehovot 76100. E-mail: [yonachen@agri.huji.ac.il](mailto:yonachen@agri.huji.ac.il)

Jorge Tarchitzky, Field Service, Extension Service, Ministry of Agriculture and Rural Development, P.O.B. 6, Bet Dagan. E-mail: [tarchitz@agri.huji.ac.il](mailto:tarchitz@agri.huji.ac.il)

Anat Loewengrat, Field Service, Extension Service, Ministry of Agriculture and Rural Development, P.O.B. 6, Bet Dagan. E-mail: [anatlw@shaham.moag.gov.il](mailto:anatlw@shaham.moag.gov.il)

Emanuel Lahav, ARO, Ministry of Agriculture, D.N. Oshrat, 25212

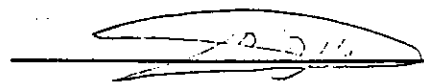
Oded Lerner, Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agricultural, Food and Environmental Quality Sciences, P.O.B. 12, Rehovot 76100.

מרץ 2003

אדר ב' תשס"ג

האם הנך מאשר את ציון הפסקה הבאה בדף הפתיחה לדו"ח כן/לא

## הממצאים בדו"ח זה הנם תוצאות ניסויים ואינם מהווים המלצות לחקלאים



חתימת החוקר

תקציר

התופעה של שינוי בדפוסי הזרימה של מים בקרקע מושקית קולחים אומתה על ידינו הן בתנאי שדה והן בתנאי מעבדה. בשלושת הקרקעות שבדקנו נמדדו קטרי הרטבה קטנים בהשקיה בקולחים ביחס לשפירים. גם במדידות של תכולת הרטיבות בעומק הקרקע נתקבלו הבדלים מהותיים בין הקולחים לשפירים. נמצא כי בקרקעות מושקות קולחים (בשדה- בגבת ובגעתון, ובחממה בשלושת הקרקעות שבדקנו) התפתחה הידרופוביות, המשפיעה על אופן הזרימה של המים על פני וכנראה גם בעומק הקרקע. על מנת לאפיין את החומרים בקרקע הגורמים לדחיית המים, מוצה החומר האורגני מהקרקעות השונות ובימים אלו אנו עובדים על איפיונו. בהמשך המחקר ננסה לאפיין את החומרים ההידרופוביים הנמצאים הן בקרקע והן בקולחים, וננסה למדוד ולאפיין את הקשר בין ריכוז ותכונות החומרים הללו לבין ההתנהגות ההידרופובית של הקרקע. כמו כן ננסה לבחון באמצעים שונים (למשל מיקרוסקופית אור/אלקטרונית), האם תלכיד הקרקע משתנים בגודל ומבנה בקרקע המושקית קולחים.

## הנחיות למילוי סיכום עם שאלות מנחות

נא לענות על כל השאלות, בקצרה ולעניין, ב- 3 עד 4 שורות מכסימום לכל שאלה (לא תובא בחשבון חריגה מגבולות המסגרת המודפסת)  
שיתוף הפעולה שלך יסייע לתהליך ההערכה של תוצאות המחקר.  
הערה: נא לציין הפנייה לדו"ח אם נכללו בו נקודות נוספות לאלה שבסיכום.

<b>1. מטרת המחקר לתקופת הדו"ח תוך התייחסות לתוכנית העבודה</b>
אימות התופעה של "שינוי באופי פיזור המים בקרקע מושקית קולחים" בתנאי שדה ומעבדה. אפיון התופעה וזיהוי המנגנונים הגורמים לצורת הפיזור הייחודית של המים.
<b>2. עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח</b>
1. פני הקרקע מתחת לטפטפת בקולחים הידרופוביים. תכונה זו גורמת לשינוי תנאי השפה לזרימה, להסטה של מקור המים לקרקע, לזרימה בנתיבים מועדפים ולכן לקוטר הרטבה קטן יותר. 2. השוואה בין תכולת הרטיבות בקרקע (בעומק 0-10 ס"מ), בקרקעות מושקות בשפירים ובקולחים- התוצאות מראות כי במרחק של 6-10 ס"מ מהטפטפת ואילך, תכולת הרטיבות בקרקע מושקית שפירים גבוהה מזו של הקולחים.
<b>3. המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו.</b>
אופי ההרטבה בקרקע מושקית קולחים, שונה מזה של קרקע מושקית במים שפירים. אחד הגורמים הבולטים לכך, היא הידרופוביות שהתפתחה בקרקעות מושקות הקולחים.
<b>4. הבעיות שנתרו לפתרון ו/או השינויים שחלו במהלך העבודה (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים); התייחסות המשך המחקר לגביהן.</b>
אפיון הסיבות ליצירת ההידרופוביות: השקעה של חומר אורגני או פעילות מיקרוביאלית (יצירה של קרום פוליסכרידים, או צרוף של שניהם. אפיון החומרים ההידרופובים הנמצאים הן בקרקע והן בקולחים. בחינת שינויים בתלכידי קרקע מושקית קולחים.
<b>5. האם הוחל כבר בהפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח – יש לפרט: פרסומים – כמקובל בביבליוגרפיה, פטנטים – יש לציין מס' פטנט, הרצאות וימי עיון – יש לפרט מקום ותאריך.</b>
לרנר ע. ברנר א. חן י. שני א. אריה ג. טרציקי ח. לוינגט-איצי"ע. 2003. "שינוי באופי פיזור המים בקרקע מושקית בקולחים" מים והשקיה 437, עמ' 22-28.

## (1) רקע

המגזר החקלאי צורך כיום כ- 50% מצריכת המים בארץ. בעקבות מצב משק המים, המגמה של מעבר להשקיית גידולים במי קולחים תלך ותתחזק עם הזמן, והחקלאות בארץ תהיה תלויה יותר ויותר במים אלו.

בחלקות רבות המושקות במי קולחים, מדווחים חקלאים, מדריכים וחוקרים על אופי פיזור מים ייחודי. התופעה מתבטאת בעיקר בפיזור מוגבל של המים על פני השטח, ויצירת קוטר הרטבה קטן. השינוי באופי התפשטות המים בקרקע כתוצאה ממעבר להשקיה בקולחים, גורם להשקיית קרקע פחות יעילה ביחס להשקיה במים שפירים, וכתוצאה מכך לבזבז מים יקרים. בנוסף, גורם השימוש בכמויות גדולות יותר של מים להשקיה, להגדלת פוטנציאל הזיהום של מי התהום.

## (2) מטרת העבודה

- א. אימות ובדיקה כמותית של התופעה בשדות בהם נמצאה.
- ב. בדיקה של שכיחות התופעה.
- ג. בחינת התופעה במעבדה, אפיונה וזיהוי החומרים והמנגנונים הגורמים לפיזור הייחודי של המים.

## (3) חומרים ושיטות

בטבלה 1 מוצגות תכונות כימיות ופיזיקליות של קרקעות הניסוי- חול חום אדום (רחובות), לס (חצרים) ואלוביום (מגל).  
טבלה 1: אפיון קרקעות הניסוי.

הבדיקה	יחידות	חול	אלוביום	לס
חוויה	%	30	67	38
pH		7.7	7.8	7.8
מוליכות חשמלית	dS/m	0.88	2.16	4.68
כלוריד	מא"ק/ל"	3.4	11.6	24.1
נתרן	מא"ק/ל"	2.3	4.3	11.6
סידן+מגניזיום	מא"ק/ל"	6.7	17.1	35.8
בורן במיצוי	מ"ג/ל"	0.09	0.11	0.5
גיר כללי	%	0	4.3	12.4
חול	%	89	27	63
סילט	%	2	18	16
חרסית	%	9	55	21
SAR		1.36	1.47	2.74
מרקם		חול	חרסית	סין חרסית חול
חומר אורגני	%	0.11	0.7	0.45

בטבלה 2 מוצגים נתונים על מאפייני הקולחים המשמשים להשקייה של מטע הבננות בקיבוץ געתון ואשר שמשו לניסויי המעבדה.

## טבלה 2: אפיון תכונות קולחים-געתון

פרמטר	יחידות	קולחים געתון
דטרגנטים אניונים	מ"ג/ל"	0.94
דטרגנטים נוניונים	מ"ג/ל"	< 0.01
דטרגנטים קטיונים	מ"ג/ל"	< 0.01
שמנים כללים	מ"ג/ל"	12.5
שמנים מינרלים	מ"ג/ל"	5.5
T.S. 105 (Total Solids)	מ"ג/ל"	900
FFS (Fixed Filtrable Solids)	מ"ג/ל"	410
TSS 105 (Total Suspended Solids)	מ"ג/ל"	200
FSS (Fixed Suspended Solids)	מ"ג/ל"	40
BOD (Biological Oxygen Demand)	מ"ג/ל"	64
COD (Chemical Oxygen Demand)	מ"ג/ל"	184
pH		7.9
מוליכות חשמלית	ds/m	1.44
כלור	מא"ק/ל	3.7
נתרן	מא"ק/ל	4
סידן+מגנזיום	מא"ק/ל	6.7
חנקן חנקתי	מ"ג/ל"	1.1
חנקן אמידי	מ"ג/ל"	20
חנקן אמוני	מ"ג/ל"	48
חנקן כללי	מ"ג/ל"	68
זרחן כללי	מ"ג/ל"	12.4
אשלגן מסיס	מא"ק/ל	0.86
בורן	מ"ג/ל"	0.23
פחמה	מא"ק/ל	0
דו פחמה	מא"ק/ל	9.9
FS 105 (Filtrable Solid)	מ"ג/ל"	700
VFS (Volatile Filtrable Solids)	מ"ג/ל"	290
VSS (Volatile Suspended Solids)	מ"ג/ל"	160
SAR (Sodium Absorption Ratio)	(מא"ק/ל) <sup>1/2</sup>	2

אפיון אופי ההרטבה בקרקעות מושקות שפירים וקולחים

בקרקעות הניסוי נבדק אופי ההרטבה בשיטות שונות כאשר הקרקעות הושקו במים שפירים ובקולחים.

מדידת קוטר האזור הרווי הנוצר בקרקעות מושקות שפירים וקולחים

מדידה של קוטר האזור הרווי התבצעה מתחת לטפטפת בשלוש קרקעות שונות: אלוביום (מגל), לס (חצרים) וחול חום-אדום (רחובות). בכל סוג קרקע בוצעו שתי חזרות. הקרקעות הושקו במים שפירים (מי ברז רחובות להלן "שפירים") ובמי קולחים (קולחים געתון להלן "קולחים"). בשלב הראשון הושקו הקרקעות בשפירים בלבד, ובספיקות משתנות. בשלב השני הושקו הקרקעות בקולחים בספיקה קבועה, במנה של 2 לי מים, בכל 48 שעות במשך 16 יום.

קוטר האזור הרווי של השלולית נמדד כאשר גודל האזור הרווי הגיע לערך יציב ( לאחר כ- 30 דקות של השקיה). מדידות של קוטר ההרטבה, וקביעת הספיקה, אפשרו לנו לחשב את המוליכות ההידראולית של הקרקעות.

#### מדידת תכולת הרטיבות הנפחית בקרקעות מושקות שפירים וקולחים

תכולת הרטיבות הנפחית בקרקע, נמדדה עבור האופק של 0-10 ס"מ, במרחקים שונים מהטפטפת, לאחר 30 דקות של טפטוף. המדידות נערכו לאחר שהקרקע הושקתה 10 פעמים בנפח של כ- 2 לי' להשקיה, במשך 20 יום, בקרקעות הניסוי ובמטע הבננות של קיבוץ געתון המושקה בחלקו בקולחים ובחלקו בשפירים.

המדידות נעשו באמצעות TDR (Time Domain Reflectometer) מתוצרת Easy Test, Lublin, Poland. הגשש (פרוב) בעל שתי אלקטרודות בעורך של 10 ס"מ. עקום הכיול של המכשיר הוא לקרקע מינרלית.

#### בחנינת בצל ההרטבה הנוצר בקרקע מושקית שפירים וקולחים

על מצע של קרקע חול חום אדום רחובות, הונחו שני חלונות זכוכית (איור 8) שמידותיהם –  $150 \times 50 \times 3$  ס"מ. החלונות אטומים בפאות אך פתוחים כלפי הקרקע וכלפי מעלה. כל חלון מולא באופן אחיד בחול חום-אדום רחובות, בצפיפות גושית של  $1.65 \text{ g/cm}^3$ . החלונות הושקו בטפטוף, אחד בשפירים (מי ברז רחובות) והאחר בקולחים (געתון). השקיה בנפח של 1 ליטר נעשתה בתדירות של השקיה אחת כל יומיים, ובספיקות שוות של  $1 \text{ l/h}$ . הטפטפת הונחה במרכז החלק העליון של החלון כפי שניתן לראות בתמונה. להוציא את זמן ההשקיה, החלונות הוחשכו, על מנת לצמצם התפתחות של אצות בתוך הקרקע. במשך זמן ההשקיה נמדד וצולם בצל ההרטבה הנוצר בכל אחד מהחלונות.

#### מדידת רמת ההידרופוביות (WDPT, MED) של קרקעות מושקות שפירים וקולחים

נלקחו 30 דגימות קרקע, ממטע הבננות של קיבוץ געתון. 15 דגימות נלקחו מקרקעות המושקות בקולחים, ו- 15 מקרקעות המושקות שפירים. הקרקעות נדגמו מפני הקרקע מהאזור שמתחת לטפטפת, ויובשו ייבוש אוויר. בכדי לקבוע את מידת ההידרופוביות של הקרקעות השתמשנו בשיטת - (WDPT) Water drop penetration time - זמן חדירת טיפה לקרקע, על פי (Letey, 1969). על כל קרקע טופטה טיפה של מים מזוקקים בנפח קבוע ( $50 \mu\text{l}$ ) ונמדד זמן החדירה שלה לקרקע. שיטה נוספת להערכת עוצמת ההידרופוביות היא: (MED) Molarity of an ethanol droplet. בדיקת ריכוז האתנול המקסימלי בו תישאר הטיפה על פני הקרקע למשך של לפחות 3 שניות. אתנול מקטין את מתח הפנים של המים. ככל שריכוז האתנול בטיפה גבוה יותר, מתח הפנים שלה קטן כלומר כוחות המשיכה בתוך הטיפה קטנים והיא יותר נוטה להיספג לקרקע. ככל שטיפה נשארת על הקרקע בריכוז אתנול גבוה יותר, הדבר מעיד על כוחות דחייה גדולים יותר מצד הקרקע (King, 1981).

#### מיצוי חומרים הומיים מקרקעות מושקות שפירים וקולחים

נדגמו קרקעות ממטע הבננות של קיבוץ געתון המושקה בחלקו. שפירים ובחלקו קולחים. הדוגמאות נלקחו מאזור המצוי מתחת לטפטפת בקוטר של 20 ס"מ, ומשלושה עומקים שונים: 0-2, 2-4, 4-6 ס"מ. באופן הנ"ל, נדגמו קרקעות שהושקו בשפירים וקרקעות שהושקו בקולחים. הדוגמאות יובשו בייבוש אוויר, נכתשו ונופו בנפה של 2 מ"מ. מיצוי החומצה ההומית (HA) והחומצה הפולבית (FA) נעשה על פי השיטה המפורטת מתוך (Swift, 1996).

## אפיון החומרים ההומיים שמוצו מהקרקעות

### ספקטרוסקופיית IR

ספקטרה בתחום ה-IR של החומרים ההומיים נמדדו בטכניקת FTIR בתחום של  $400-4000\text{ cm}^{-1}$  בספקטרופוטומטר Nicolet 550 Magna IR המחובר למחשב PC. החומר ההומי עבר ייבוש ב-  $65^{\circ}\text{C}$  ונטחן דק. כ- 2 מ"ג חומר עורבבו עם 100 מ"ג KBr, ונדחסו במכשיר לדסקיות (pellets). על מנת להשוות בין ספקטרום אחד למשנהו, בוצע תיקון לקו הבסיס כמקובל.

### ספקטרוסקופיות תהודה מגנטית ( $^{13}\text{C}$ -NMR)

נמדדו ספקטרה בתהודה מגנטית של האיזוטופ  $^{13}\text{C}$  של הפחמן בעזרת מכשיר Spectro Spin-200 Cernagetics מתוצרת Bruker Karlsruhe, Germany. המכשיר הופעל על פי הפרמטרים הבאים: מהירות סחרור של 6.8 kHz, זמן מגע של 1 ms וזמן השהייה של 0.3 sec בין הסריקות. כל דוגמה עברה כ- 4000 סריקות במכשיר, לקבלת הספקטרום המצטבר.

### אנליזה של יסודות

תכולת C, H ו-N בחומרים ההומיים נבדקה במכשיר EA-1106 מתוצרת Fisons Milano, Italy. לאחר ייבוש הדוגמאות בטמפרטורה של  $65^{\circ}\text{C}$ . תכולת החמצן נקבעה על ידי הפחתת הסכום (%C)  $100 - (\%H + \%N)$ .

### טיטרציה פוטנציומטרית לקביעת קבוצות פונקציונליות

טיטרציה של החומר האורגני לצורך קביעת ריכוז הקבוצות הפונקציונליות נערכה בשיטה שהותאמה מ-Bowels et al (1989) ע"י Inbar (1989).

### מיצוי בממס אורגני של חומרים הידרופוביים

### ניסוי מקדים - מיצוי ליאונרדיט בממס אורגני

ליאונרדיט מוצק הוכנס לסוקסלט ומוצה בכלורופורם ( $\text{CHCl}_3$ ) + מתנול ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) ביחס של 1:1, במשך 20 שעות. הממסים נודפו מהתמיסה באמצעות מכשיר רוטואפור BUCHI RE 111 מתוצרת גרמניה. בסיום הנידוף הוספנו מעט מים מזוקקים והמשכנו לנדף מספר דקות על מנת לוודא כי כל הסולבנט יצא. הוצאת הנוזלים מהתמיסה נעשתה באמצעות מכשיר לאופיליור LABCONCO FREEZE DRY SYSTEM.

הלאונרדיט המקורי, הלאונרדיט שמוצה בסולבנט והחומר הממוצה מהלאונרדיט נבדקו במכשיר FTIR.

### מיצוי קרקע בסולבנט

אותן קרקעות שמהן מוצו החומרים ההומיים הוכנסו לסוקסלט ומוצו בכלורופורם ( $\text{CHCl}_3$ ) + מתנול ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) ביחס של 1:1, במשך 20 שעות. הסולבנטים נודפו מהתמיסה באמצעות מכשיר רוטואפור. החומר הממוצה מהקרקעות נבדק במכשיר FTIR.

## (4) תוצאות

### אימות התופעה בשדה נעשה במספר דרכים:

- שאלון שחולק למדריכי אגף שרות שדה, שה"מ, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.
- בדיקות במטע הבנות של קיבוץ געתון.
- בדיקות ויזואליות שנעשו בחוות הניסויים בעכו.

**אימות התופעה במעבדה:****קוטר האזור הרווי**

נמדדו קטרי האזור הרווי הנוצרים בהשקיה במים שפירים ובקולחים. נמצא כי השקיה בקולחים עלולה לגרום לירידה של כ- 50% מקוטר האזור הרווי. בקרקע החולית המושקית בקולחים נצפתה מספר פעמים תופעה של היעלמות השלולית. כלומר, נוצרה שלולית הידרופובית שלאחר מספר שניות-דקות חדרה לקרקע כאשר האזור הרווי המתקבל על פני הקרקע הוא כמעט אפסי. במקרים שהתופעה הני"ל לא התרחשה, נמדד רדיוס רווי הנע בין ערכים של 0-6 ס"מ. באמצעות קטרי האזור הרווי חושבה המוליכות ההידראולית של הקרקעות, ונמצא כי בעוד שבקרקעות מושקות שפירים התקבלו ערכים המקובלים לקרקעות הניסוי, בקרקעות מושקות בקולחים לא היה ניתן כלל לחשב את המוליכות ההידראולית בשיטה הנוכחית בגלל קטרי הרטבה קטנים.

**טבלה 3:** קוטר האזור הרווי (ס"מ) בקרקעות השונות, בהשקיה במים שפירים ובקולחים

אתר	חול חום אדום		לס		אלוביום	
	א'	ב'	א'	ב'	א'	ב'
שפירים *	8	6.5	12	14	5	7
קולחים **	-	-	5 (0.3)	8 (0.6)	3.5 (0.5)	3 (0)

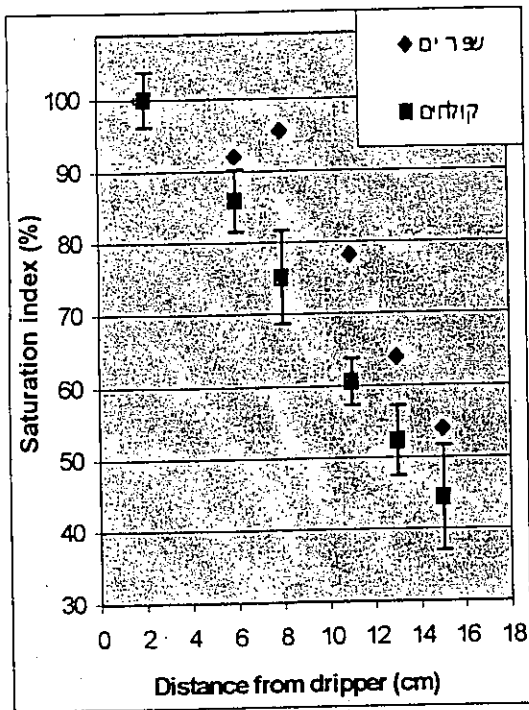
\* על פי ניסוי מקדים שתוצאותיו מוצגות בדו"ח ביניים מס' 2.

\*\* ממוצע של חמש מדידות (הערך בסוגריים מציין את סטיית התקן).

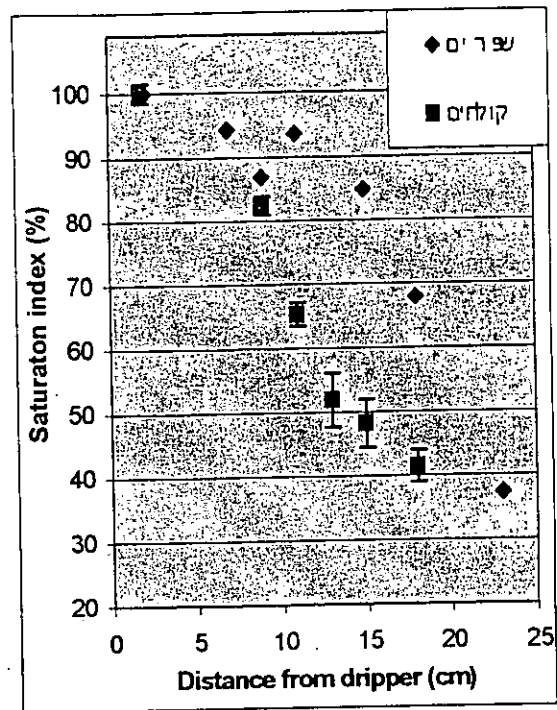
**תכולת הרטיבות הנפחית המתקבלת בקרקעות מושקות שפירים וקולחים**

תוצאות מדידת תכולת הרטיבות הנפחית בקרקע כפי שנמדדו במכשיר- TDR בקרקעות השונות, מוצגות כדרגת הרוויה (אחוז מתכולת הרטיבות ברוויה של הקרקע), כתלות במרחק מהטפטפת באיורים 1-4. ניתן לראות כי בכל הקרקעות, ככל שמתרחקים מהטפטפת, יורדת, כמצופה, דרגת הרוויה. אולם, שיפוע העקום בהשקיה בקולחים באופן ברור תלול יותר בכל הקרקעות בהשוואה לשפירים. לדוגמה, בקרקע אלוביום, במרחק של 11 ס"מ מהטפטפת, בהשקיה בקולחים, יורדת דרגת הרוויה ל- 60%, בעוד שבהשקיה בשפירים דרגת הרוויה היא בסביבות 79%. בקרקע לס במרחק של 15 ס"מ מהטפטפת, בהשקיה בקולחים, יורדת דרגת הרוויה ל- 50%, בעוד שבהשקיה בשפירים דרגת הרוויה היא בסביבות 85%. בקרקע חול, במרחק של 9 ס"מ מהטפטפת, בהשקיה בקולחים, יורדת דרגת הרוויה ל- 60%, בעוד שבהשקיה בשפירים דרגת הרוויה היא בסביבות 75%. בקרקע בגעתון, במרחק של 13 ס"מ מהטפטפת, בהשקיה בקולחים, יורדת דרגת הרוויה ל- 60%, בעוד שבהשקיה בשפירים דרגת הרוויה היא בסביבות 80%. מנתונים אלו ניתן להסיק כי בקולחים, הרכיב האנכי של הזרימה גדול לעומת הרכיב האופקי, ועל כן גם בצל ההרטבה הנוצר בקרקע, צר יותר במקרה של מי הקולחים, בהתאמה להיפותזות המחקר.

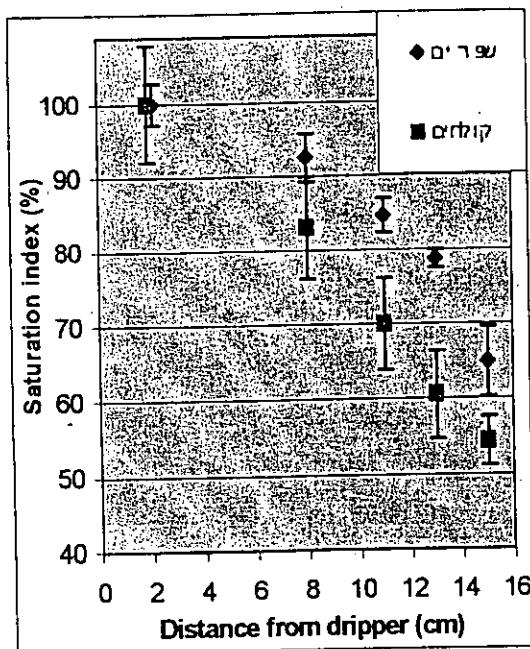




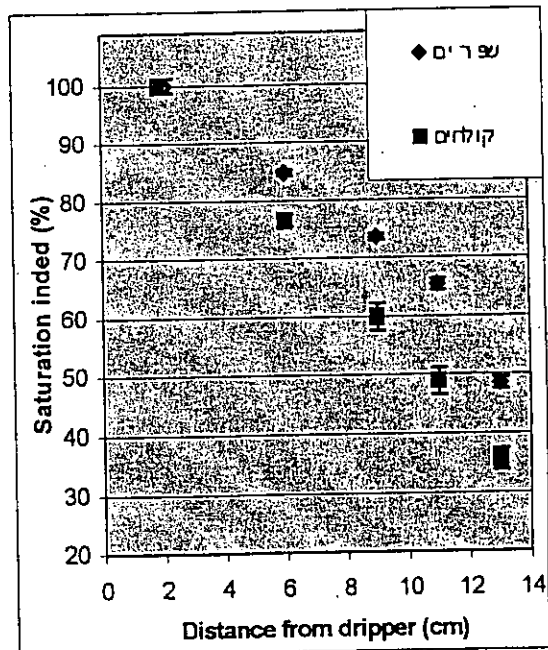
איור 2: דרגת הרוויה כתלות במרחק מהטפטפת, בקרקע אלוביום (ספיקה של 1.8 ל/ש).



איור 1: דרגת הרוויה כתלות במרחק מהטפטפת, בקרקע לס (ספיקה של 1.8 ל/ש).



איור 4: דרגת הרוויה כתלות במרחק מהטפטפת, בקרקע אלוביאלית בעתון (ספיקה של 2.4 ל/ש).

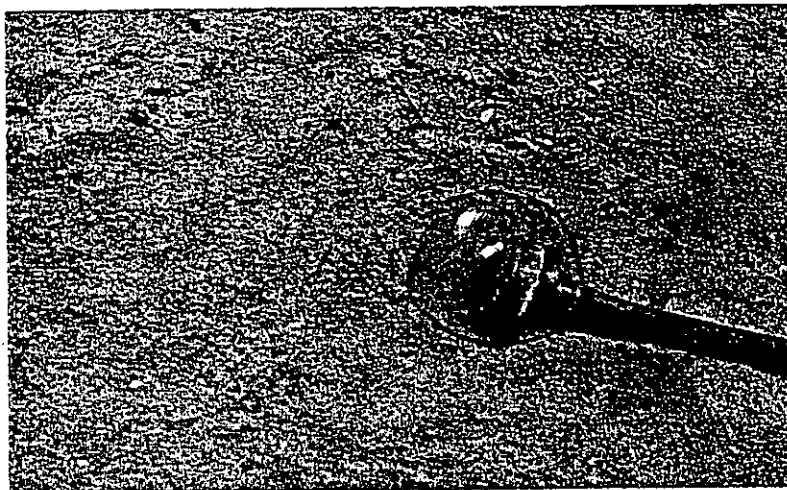


איור 3: דרגת הרוויה כתלות במרחק מהטפטפת, בקרקע חול (ספיקה של 1.8 ל/ש).

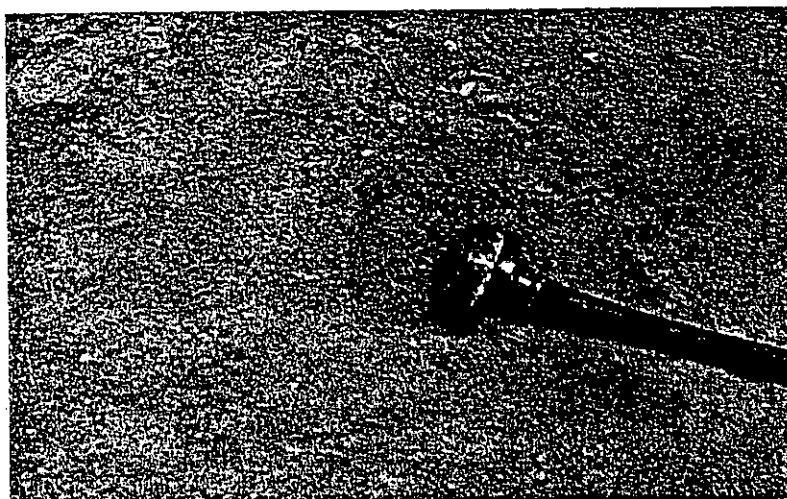
#### תופעת ההידרופוביות בקרקעות מושקות קולחים

במהלך הניסויים שערבנו והמדידות שבוצעו בשטח, נתקלנו שוב ושוב בתופעה של היווצרות עדשת מים הידרופובית על פני הקרקע בתחילת ההשקיה בקולחים. לאחר מספר שניות עד דקות נעלמה עדשה זו אל תוך הקרקע בהשאירה רדיוס הרטבה מינימלי (איורים 5-8). בנוסף, הבחנו כי דחיית

המים על ידי הקרקע, גרמה להם "להתגלגל" הצידה ולחדור לקרקע במרחק מהטפטפת ולא מתחתיה, כפי שקרה במים השפירים (איורים 9-10). נראה כי לתופעות אלו יש השפעה על אופי זרימת המים בקרקע וכמובן על תוצאות המדידות השונות שביצענו.



איור 5: שלולית הידרופובית אשר נוצרה בתחילת ההשקיה בקרקע חול המושקית בקולחים.



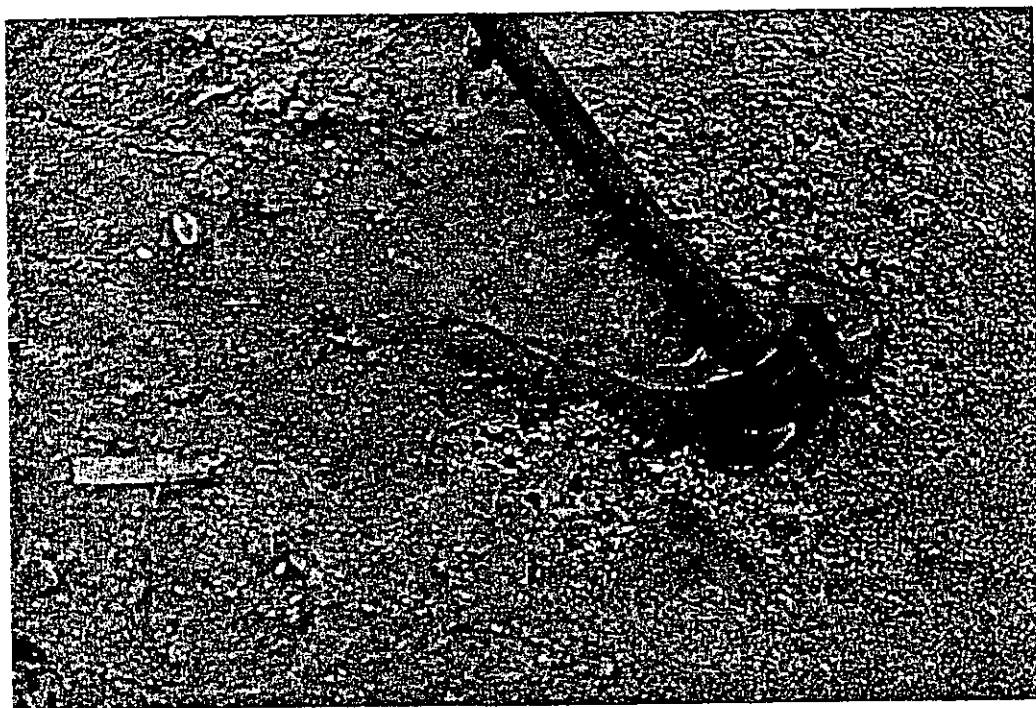
איור 6: העלמות השלולית (לאחר כ- 30 שניות) והשקיה ללא יצירת אזור רווי על פני הקרקע.



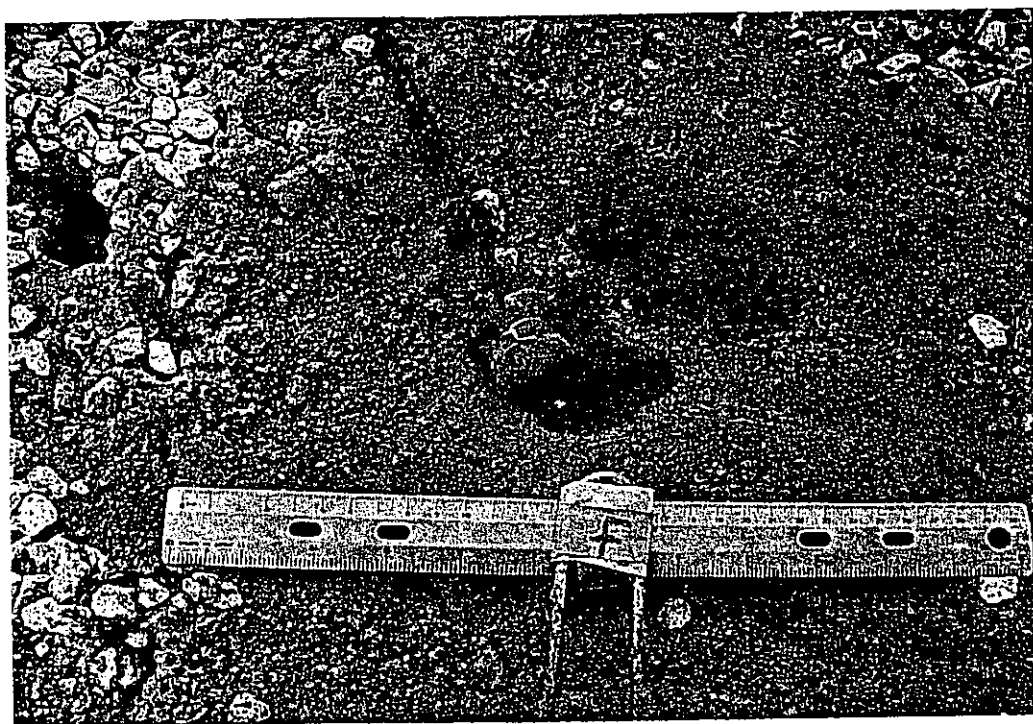
איור 7: שלולית הידרופובית אשר נוצרה בקרקע לס המושקית בקולחים.



איור 8: שלולית הידרופובית אשר נוצרה בקרקע אלוביום המושקית בקולחים.



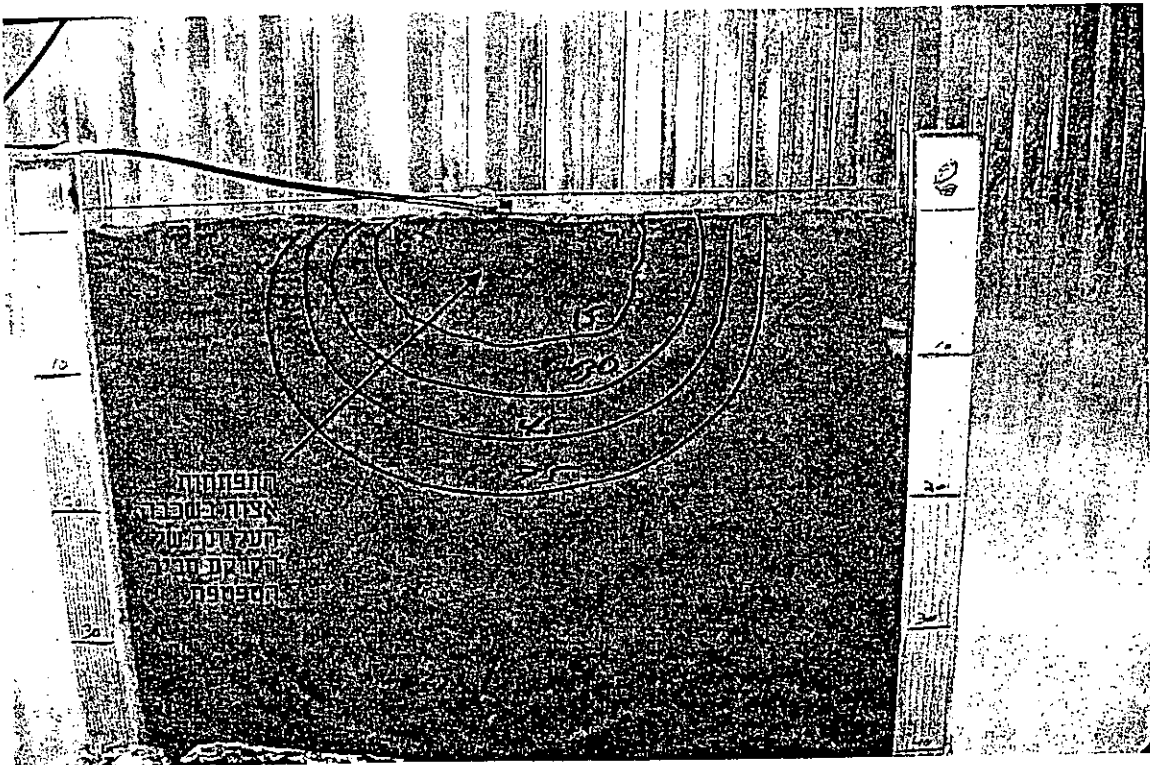
איור 9: הסטה של שלולית ההרטבה בקרקע חולית המושקית בקולחים.



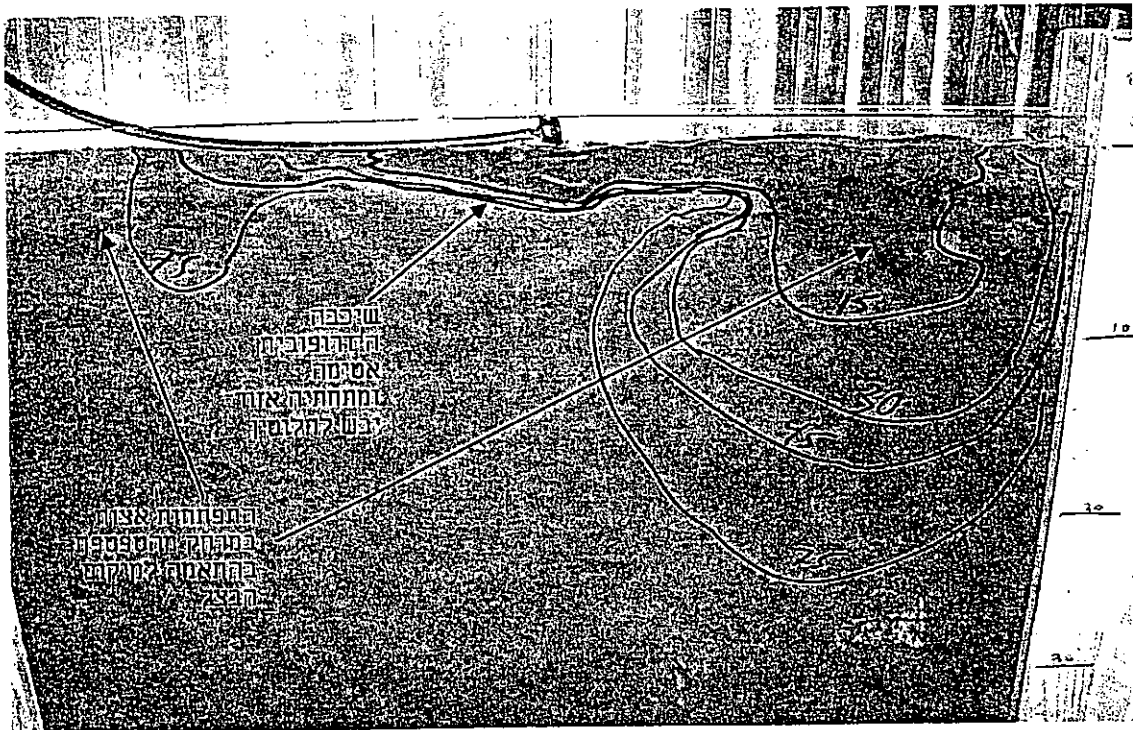
איור 10: הסטה של שלולית ההרטבה בקרקע חולית המושקית בקולחים.

**בצל ההרטבה הנוצר בקרקע חולית מושקית שפירים וקולחים**  
 החל בהשקייה השלישית, בקרקע הנמצאת בחלון המושקה בקולחים הופיעו סימנים של דחיית מים. מההשקיה הרביעית ואילך, נוצרה שלולית הידרופובית על פני הקרקע בכל השקייה. התופעה החלה בשניות הראשונות של ההשקייה, כאשר המים "נערמו" לשוללית במשך כדקה ואז, כאשר גובה המים בשלולית הגיע לערך קריטי מסוים, בדומה לערך  $h_{we}$  שהגדירו Wang et al (2000) הם

חדרו בבת אחת לתוך הקרקע. משלב זה לא נוצרה יותר שלולית על פני הקרקע במשך כל זמן ההשקיה. במקרים רבים, דחית המים גרמה להיווצרות של "אצבע" של מים שהתגלגלו הצידה (איור 12), ובעקבות כך, גם להסטה של בצל ההרטבה. נראה כי בקרקע מושקית בקולחים (איור 12) התפתחה מתחת לטפטפת שיכבה אטימה שלא אפשרה חדירה אנכית של מים דרכה. מכך, סביר להניח כי המים זרמו בצורה אופקית (גם ימינה וגם שמאלה לטפטפת) במקביל לשכבה ההידרופובית, בעומק של 1-2 ס"מ, עד שהגיעו לנקודה בה נחלשה הדחייה, והתאפשרה חדירה אנכית לקרקע (במרחק של כ- 10 ס"מ מהטפטפת). תופעה זו חזרה פעמים רבות במהלך ההשקיות. ניתן לקבל אינדיקציה נוספת לגבי תכולת הרטיבות בקרקע על פי הכתמים הירוקים (אצות) שהתפתחו בקרקע. בקרקע מושקית בקולחים ניתן לראות שני כתמים בצידי הטפטפת במקום בו התאפשרה חדירת מים לקרקע, בעוד שבקרקע מושקית בשפירים מיקום הכתמים הוא בשכבה העליונה מתחת לטפטפת. מבחינת שטח הבצל קיבלנו תוצאות דומות מאוד בין הקרקע המושקית במים שפירים לזו המושקית בקולחים. אולם, מבחינת הצורה, הבצל שהתקבל בקולחים היה מאורך וצר יחסית (איור 12), לעומת הבצל שהתקבל בשפירים, בו נראה כי הכוחות האופקיים והאנכיים המשפיעים על אופן זרימת המים (הפוטנציאל המטריצי והפוטנציאל הגרבימטרי) שווים, ולכן נוצר חצי עיגול סימטרי (איור 11). בתמונות 11 ו-12 ניתן לראות כי לאחר שחלפו 75 דקות מתחילת ההשקיה, הגיעה חזית ההרטבה בקרקע המושקית בשפירים לעומק של כ- 19 ס"מ, ואילו חזית ההרטבה בקרקע המושקית בקולחים, הגיעה לעומק של כ- 25 ס"מ.



איור 11: בצל הרטבה סימטרי בקרקע חול המושקית בשפירים. המספרים והקווים, מיצגים את מיקום חזית ההרטבה לאחר זמן מסוים (בדקות) מתחילת ההשקיה.



**איור 12:** בצל הרטבה מוסט, בקרקע חול המושקית בקולחים. המספרים והקווים, מיצגים את מיקום חזית ההרטבה לאחר זמן מסוים (דקות) מתחילת ההשקיה.

#### מידת ההידרופוביות של קרקעות מושקות שפירים וקולחים

בטבלה 5, מוצגות התוצאות של מדידת זמן השארות טיפת מים (WDPT) על 30 דגימות קרקע שונות שנלקחו ממטע בנוות המושקה בחלקו בקולחים ובחלקו בשפירים בקיבוץ געתון. כפי שניתן לראות, בקרקעות מושקות במים שפירים לא נצפתה כלל ההידרופוביות. בקרקעות המושקות בקולחים נצפתה ההידרופוביות ברמות חלשה עד חזקה. ערכי הזמן לחדירת הטיפה (WDPT), נעו בין 2-240 שניות.

**טבלה 5 :** זמן חדירת טיפת המים (WDPT) ומידה מוערכת של ההידרופוביות של קרקע אלוביאלית מגעתון המושקית בשפירים ובקולחים.

קרקע מושקית קולחים			קרקע מושקית שפירים	
מידת ההידרופוביות בקרקע	WDPT (sec)	דוגמה	WDPT (sec)	דוגמה
אין הידרופוביות	2	1	0	1
הידרופוביות חלשה	6	2	0	2
אין הידרופוביות	2	3	0	3
הידרופוביות חלשה	4	4	0	4
הידרופוביות חלשה	10	5	0	5
אין הידרופוביות	3	6	0	6
הידרופוביות חזקה	60	7	0	7
אין הידרופוביות	2	8	0	8
הידרופוביות בינונית	40	9	0	9
אין הידרופוביות	3	10	2	10
אין הידרופוביות	2	11	0	11
הידרופוביות חלשה	15	12	0	12
הידרופוביות חלשה	5	13	0	13
אין הידרופוביות	3	14	2	14
הידרופוביות חזקה	240	15	0	15



### אפיון החומרים ההומיים בקרקעות מושקות במים שפירים ובקולחים

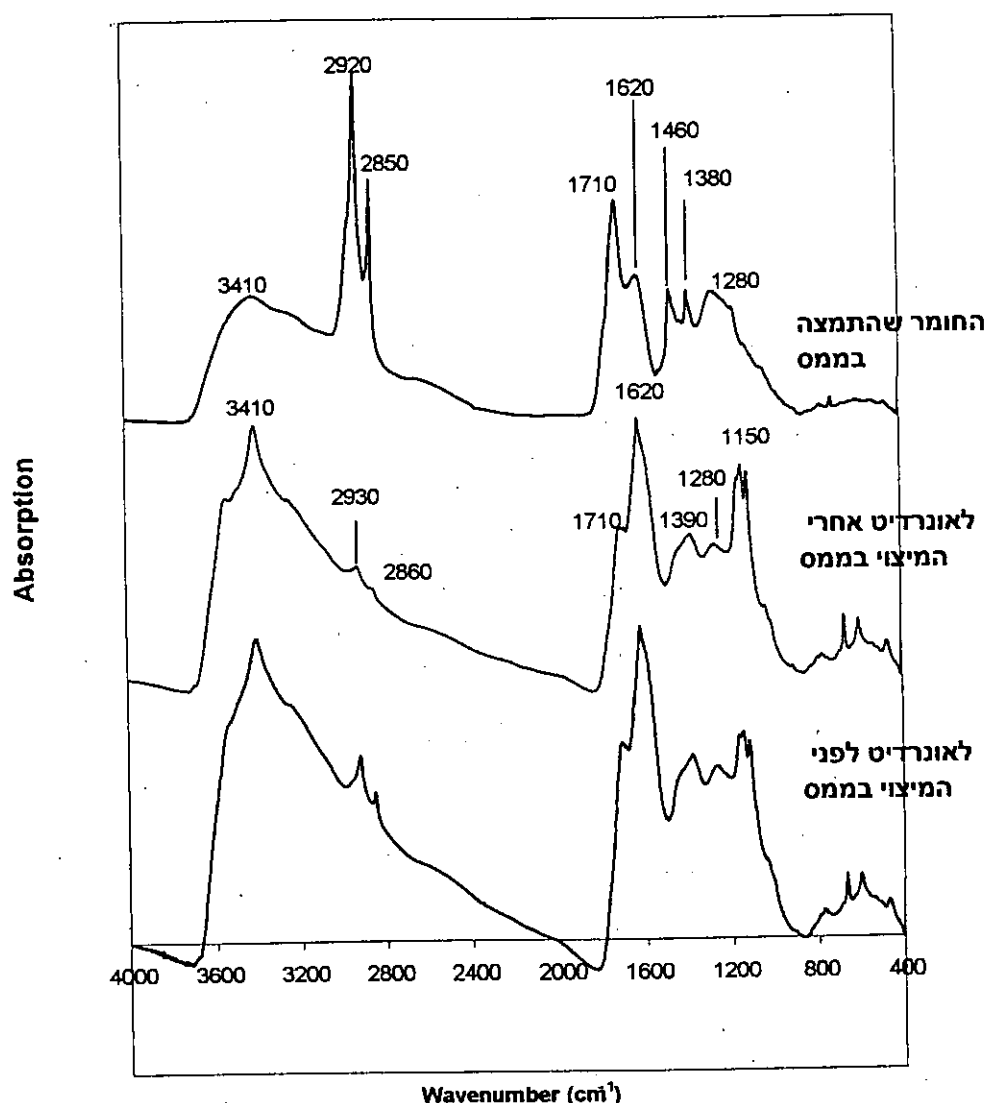
חומצה הומית וחומצה פולבית מוצו מקרקעות שנדגמו במטע הבנות מחלקה מושקית במים שפירים ומחלקה המושקית במי קולחים, מעומקים: 0-2 ס"מ, 2-4 ס"מ ו- 4-6 ס"מ. בכל שיטות האנליזה בהן נבדקו החומצות ההומיות והפולביות ( $^{13}\text{C-NMR}$ , FTIR), אנליזות יסודות וקביעת קבוצות פונקציונליות) שמוצו מהקרקעות, לא נמצאו הבדלים ברורים בין הקרקעות מושקות במים שפירים ובקולחים. במיצוי בבסיס (השיטה המקובלת עבור חומרים הומיים) רק חלק מהחומר האורגני מתמצה. בחומר האורגני הנותר בלתי מסיס בקרקע נמצאים מקטעים וביניהם חומרים הידרופוביים העשויים להיות הגורם לתופעות ההידרופוביות שהוצגו.

### מיצוי חומרים הידרופוביים בממס אורגני

לאחר שלא נמצאו הבדלים בתכונות החומרים ההומים מהקרקעות המושקות בשפירים ובקולחים, נבדק מקטע נוסף של החומר האורגני - חומרים הידרופוביים המתמצים בממס אורגני.

### מיצוי של לאונרדיט בממסים אורגניים כלורופורם+מתנול

בניסוי זה נבדקה מידת האפקטיביות של המיצוי בממסים אורגניים בהוצאת חומרים הידרופובים מחומר אורגני- לאונרדיט (ויש על כך להניח- גם מהקרקע). באיור 5 ניתן לראות כי למעשה העקום התחתון מורכב מחיבור של שני העקומים שמעליו. השיאים העיקריים הנצפים בשלושת הספקטרה ב- Wavenumber ( $\text{cm}^{-1}$ ) הם: 1460, 2850, 2920 ( $\text{C-H}$  אליפטי); שיא קרבונילי (1710); שיא ארומטי (1280, 1620); ושיא של ניטרט (1380). מיצוי במתנול (ממס פולרי יחסית) + כלורופורם (ממס אפולרי חזק) אמור למצות את החומרים ההידרופובים מתוך הדוגמא. ואכן, בבדיקה של מידת ההידרופוביות של הלאונרדיט לפני ואחרי המיצוי מצאנו כי לפני המיצוי של החומרים בעלי האוריינטציה ההידרופובית מהלאונרדיט, ערכי הדחייה היו:  $\text{MED} = 18\%$  (ריכוז האתנול בטיפה),  $\text{WDPT} = 60 \text{ min}$  (זמן חדירת טיפה) ואילו אחרי המיצוי  $\text{MED} = 1\%$ ,  $\text{WDPT} = 5 \text{ sec}$ . כלומר, ההידרופוביות של הלאונרדיט ירדה מהידרופוביות חזקה מאוד להידרופוביות חלשה עד אפסית בעקבות המיצוי במתנול וכלורופורם.



**איור 13:** ספקטרה שהתקבלו באינפרא-אדום (FTIR) עבור שלוש דוגמאות: הלאונרדיט המקורי לפני המיצוי, הלאונרדיט לאחר המיצוי והחומר שהתמצה מהלאונרדיט באמצעות ממס אורגני (מתנול + כלורופורם).

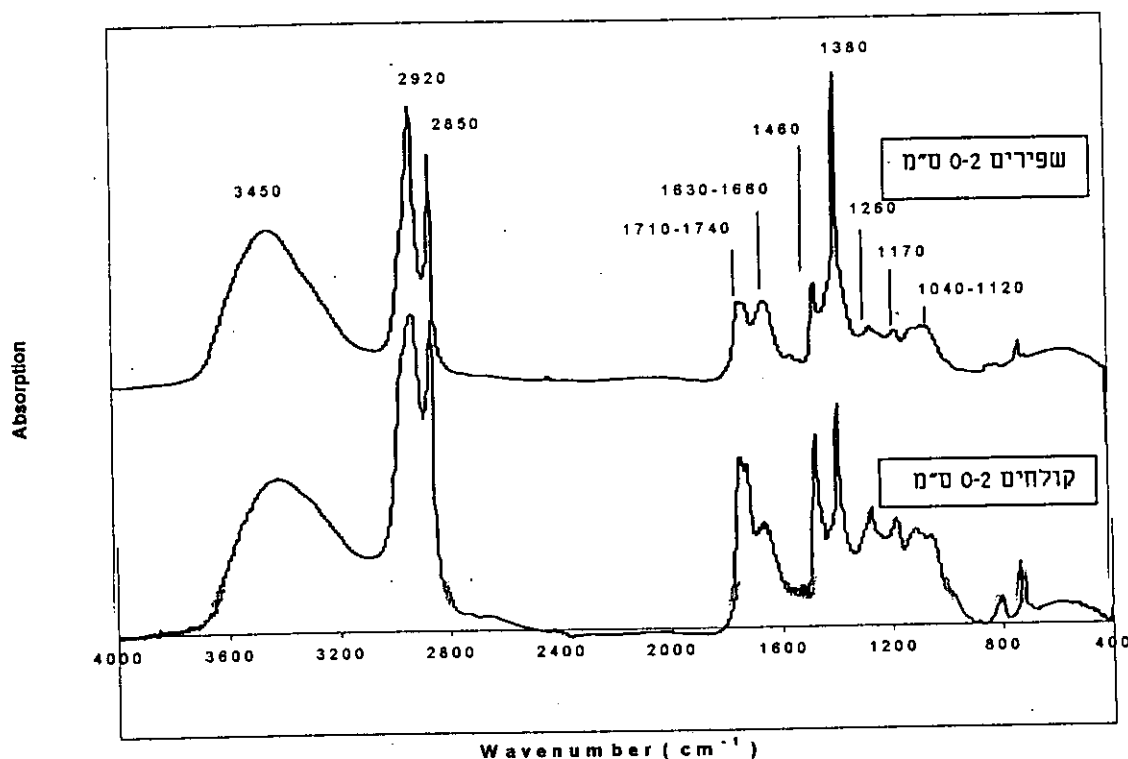
**אפיון החומרים ההידרופוביים שמוצו בעזרת ממסים אורגניים (כלורופורם+מתנול) מקרקעות מושקות שפירים וקולחים**

**אנליזת FTIR**

באיור 14 השיאים העיקריים הנצפים בשני הספקטרה מופיעים ב- ( $\text{cm}^{-1}$  Wavenumber) האלה: 3450, 2920, 2850, 1740, 1650, 1460, 1380, 1260, 1170 ובתחום 1040-1120. באיור 14, השיאים הנ"ל מופיעים בשני הספקטרה אולם יש הבדל ניכר כמעט בכלם, בגובה השיא ורוחבו בין הספקטרה של השפירים לזו של הקולחים. למעט השיא ב- 1380 (כנראה ניטרט) כל יתר השיאים גבוהים יותר בקרקע המושקית קולחים, כלומר כמותן של הקבוצות: קשרי C-H אליפטים (2920, 2850, 1460), קשרי C=O של קבוצות קרבוניליות (1710-1740), קשרי C=C של טבעות ארומטיות (1630-1660), קשרי C-O של טבעות ארומטיות (1260) ו- קבוצות פוליסכרידיות (1040-1120), רבה יותר באופן ברור בקרקעות המושקות בקולחים. כמעט ואין הבדלים

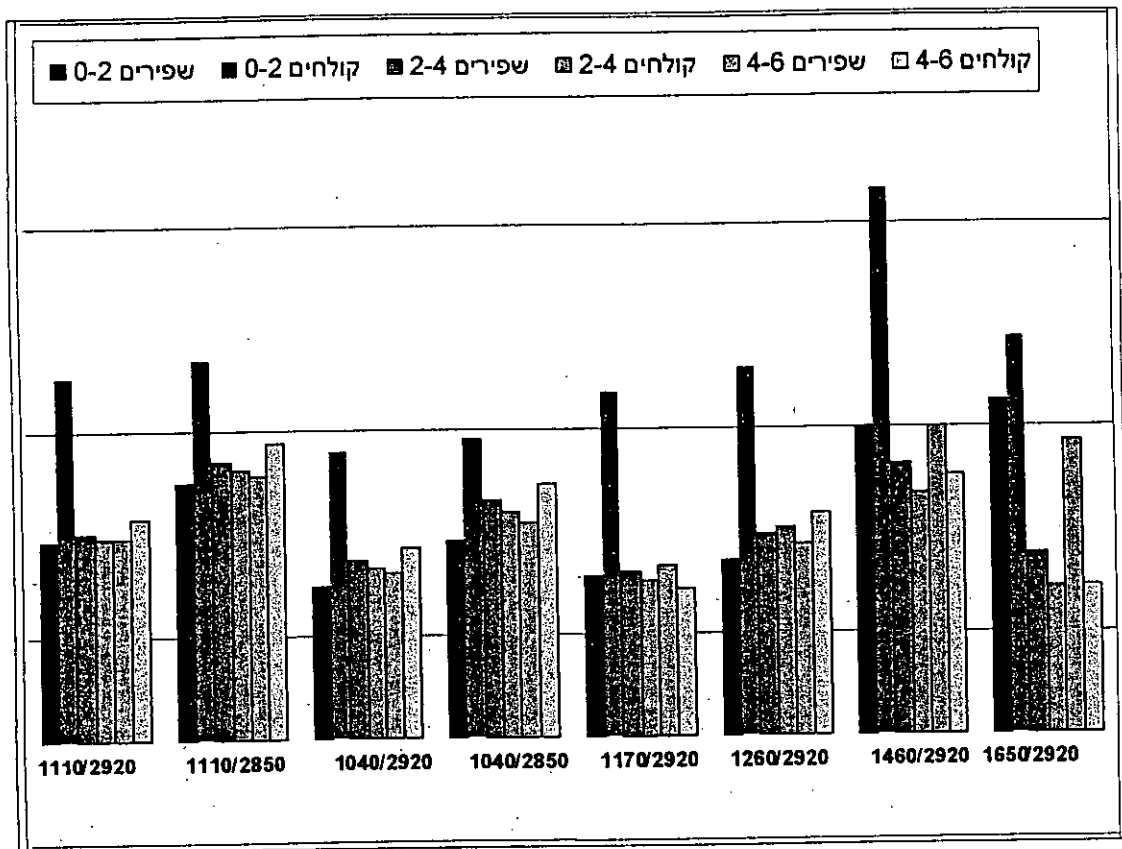


בין הספקטרה של השפירים ושל הקולחים בשכבות עמוקות יותר, כלומר, על פני הקרקע בעומק של 0-2 ס"מ נמצאו הבדלים משמעותיים, אך בעומק של 2-4, ו-4-6 ס"מ ההבדלים הצטמצמו. מתוצאות ניסוי זה ניתן להסיק כי החומרים ההידרופובים המגיעים עם הקולחים מצטברים בעיקר בשכבה העליונה על פני הקרקע.



איור 14: ספקטרה שהתקבלו באינפרא-אדום (FTIR) עבור מיצוי בממס אורגני של קרקעות מושקות שפירים וקולחים מעומק של 0-2 ס"מ בגעתון.

כאשר משווים את היחס בין השיאים בחומרים שמוצו בעזרת ממס אורגני (איור 15) ניתן לראות כי כמעט כל ההבדלים ביחסי השיאים בין שפירים וקולחים מתרחשים בעומק של 0-2 ס"מ, ובעומקים 2-4 ו-4-6 ס"מ הערכים דומים מאוד. בעומק 0-2 ס"מ נראה יתרון כמותי ברור לחומרים שמוצו מקרקע מושקית קולחים. תוצאות אלו מחזקות את הטענה כי חומרים אורגניים הידרופובים (שילוב של כלורופורם+מתנול, ממצה חומרים בעלי תכונות הידרופוביות) מגיעים עם הקולחים ומצטברים בעיקר בפני השטח. יחסי השיאים: 1110/2920, 1110/2850, 1040/2920, 1040/2850 ו-1170/2920 מתייחסים לתחום של הפוליסכרידים. ניתן לראות בברור כי בעומק של 2 ס"מ ישנם הבדלים ברורים ביחס פוליסכרידים/ שרשראות אליפטיות בין שפירים וקולחים. עליה בשיא של הפוליסכרידים מעידה בדרך כלל על חומר אורגני צעיר ברקע, והיא אופיינית לקרקע המושקית בקולחים. Tarchitzky et al., (1999) אפיון חומצות הומיות שמוצו מקרקעות מושקות שפירים וקולחים ביגור, מחתך רחב של 0-20 ס"מ. גם הם קיבלו שיא פוליסכרידי גבוה יותר בקולחים לעומת השפירים. גם ביחס של התחום של קשרי ה-C-H האליפטיים (1460) והארומטיים (1650, 1260) חלקי התחום של קשרי ה-C-H האליפטיים (2920), נראה תוצאה גבוהה יותר בקולחים מעומק 2 ס"מ לעומת השפירים בעומק זה.



**איור 15:** יחסי שיאים שהתקבלו באנליזת אינפרא אדום (FTIR) עבור מיצוי בממס אורגני של קרקעות מושקות שפירים וקולחים מעומקים 0-2, 2-4 ו-4-6 ס"מ בגעתון.

## (5) דיון

מחקר זה עסק בהשפעת ההשקיה בקולחים על דפוסי הזרימה של המים בקרקע, במטרה לבחון את ההשערה כי השקיה במי קולחים בטפטוף, גורמת לשינויים באופי זרימת המים בקרקע. ידוע כי להפיכת הקרקע להידרופובית יש השפעה על תהליכי הזרימה בה, יצירת נתיבי חידור מועדפים, ועיכובים בחידור המים בפני השטח.

בכל שלושת ניסויי הדמיית ההשקיה שבוצעו, (מדידת קוטר האזור הרווי, מדידת תכולת הרטיבות הנפחית ובחינת בצל ההרטבה) הבחנו כי לאחר מספר השקיות (בין 3 ל-6) החלה להופיע הידרופוביות בקרקעות מושקות הקולחים. התופעה התבטאה ביצירת עדשת מים על פני הקרקע, עדשה שהלכה ותפחה במשך כדקה מתחילת ההשקיה, ואז חזרה בבת אחת לקרקע. לאחר חדירת המים, קוטר האזור הרווי שנוצר היה מינימלי ובמקרים מסוימים לא נוצרה כלל שלולית על פני הקרקע. בנוסף, ממדידת רמת ההידרופוביות בשיטת WDPT שבוצעה בקרקעות מושקות שפירים או קולחים מגעתון עולה כי בקרקעות שהושקו בשפירים לא התפתחה הידרופוביות כלל, בעוד שבקרקעות שהושקו בקולחים התפתחה הידרופוביות בערכים הנעים בין הידרופוביות חלשה (5 שניות) להידרופוביות חזקה (240 שניות).

במחקר הנוכחי נמצא כי חלים שינויים באופי הזרימה של המים בקרקע מושקית בקולחים. בבדיקות שנערכו על מנת לאפיין את אופי הזרימה של קולחים בקרקע, נמצא כי בשלושת הקרקעות (חול, לס ואלוביום) קוטר האזור הרווי על פני הקרקע ותכולת הרטיבות הנפחית בעומק הקרקע נמוכים יותר בהשקיה במי קולחים לעומת שפירים. במקרים מסוימים קוטר האזור הרווי

של קרקע מושקית בקולחים היה נמוך ב- 50% מהקוטר שנמדד באותה קרקע מושקית שפירים. תכולת הרטיבות הנפחית במרחקים שונים מהטפטפת, בעומק של 0-10 ס"מ, נמצאה נמוכה בערכים של 5%-20% בקרקע מושקית קולחים לעומת שפירים.

בניסויי ההשקיה שנערכו, ניתן היה להבחין כי בעקבות ההידרופוביות שהתפתחה מתחת לטפטפת וברדיוס הקרוב לה על פני הקרקע, התרחשה הסטה של בצל ההרטבה וחזירה של המים לקרקע במרחק של מספר סנטימטרים מהטפטפת. בניסוי החלונות נצפה כי בעומק הקרקע בצל ההרטבה הנוצר בהשקיה בקולחים מוסט הצידה וגורם בכך ליצירת אזורים יבשים מתחת לטפטפת. אזורים אלו נוצרו בעקבות הזרימה המועדפת שנוצרה בקרקע. שכבה של חומרים ההידרופוביים שהושקעה בעומק של סנטימטרים ספורים מתחת לטפטפת גרמה למים לזרום לאורכה ולחדור לקרקע בנתיבי חידור מועדפים. אחת התופעות המרכזיות הנזכרות בהקשר של קרקע ההידרופובית היא זרימה בנתיבי חידור מועדפים (preferential flow או fingered flow). זרימת מים בתווך ההידרופובי מתבטאת בזרימה בנתיבי חידור גדולים יחסית ובהרטבה לא אחידה של הקרקע. חוקרים רבים מדווחים על הישנות התופעה בקרקעות דוחות מים (Wallis and Ritsema and Dekker (2000). (Horne, 1992; Bauters et al, 1998; Dekker et al, 2001).

Ritsema and Dekker (2000) חקרו את תופעת הזרימה המועדפת בקרקעות חול ההידרופוביות. הם מצאו נתיבים של זרימה מועדפת, שהחלו בעומק של 10 ס"מ מפני הקרקע ונמשכו עד לעומק של 70 ס"מ. נתיבים אלו גרמו לכמויות גדולות של מים לחלחל במהירות לתת הקרקע.

מבחינת שטח הבצל התקבלו תוצאות דומות מאוד בין הקרקע המושקית במים שפירים לזו המושקית בקולחים. אולם, מבחינת הצורה, הבצל שהתקבל בשפירים היה בצורת חצי עיגול סימטרי, בעוד שהבצל שהתקבל בקולחים היה מאורך וצר יחסית, בו נראה כי הכוחות האופקיים והאנכיים המשפיעים על אופן זרימת המים אינם שווים (הפוטנציאל המטריצי קטן מהפוטנציאל הגרבימטרי).

הנחת העבודה במחקר הנוכחי אומרת כי חומרים ההידרופוביים המגיעים לקרקע עם הקולחים משרים בה את התכונה של דחיית המים. כאשר נבדק האם נוצרת דחייה כאשר מטפטפים טיפה של מי קולחים על קרקע שאינה ההידרופובית לא הובחנה דחייה. כלומר תכונת ההידרופוביות נמצאת בקרקע ולא במים. על מנת לזהות את החומרים הנמצאים בקרקע וגורמים לדחיית המים נבדקו שתי שיטות מיצוי: מיצוי חומרים הומים ומיצוי בממס אורגני.

על מנת לאפיין את החומרים ההומים (FA, HA) אשר הופקו מקרקעות המושקות בשפירים ובקולחים, בוצעו אנליזות  $^{13}\text{C-NMR}$ , FTIR, אנליזות יסודות וקביעת קבוצות פונקציונליות. בכל הבדיקות הני"ל, לא נמצאו הבדלים משמעותיים בהרכב החומרים ההומים המצויים בקרקעות מושקות שפירים וקולחים. מאידך, באנליזה שבוצעה לחומרים אשר מוצו מהקרקעות על ידי ממס אורגני (כלורפורם+מתנול) נמצאו הבדלים בהרכב החומרים בעומקים 0-2 ס"מ. בעומקים 2-4 ו- 4-6 לא נמצאו הבדלים בין שפירים וקולחים. מאנליזת  $^{13}\text{C-NMR}$  שבוצעו לחומרים ההידרופובים אשר מוצו בממס אורגני עולה כי הם מכילים בעיקר שרשראות אליפטיות של פחמן אלקילי. Franco et al. (1995) ביצעו אנליזת FTIR על משטח הציפוי של הגרגירים, ומצאו כי הוא מורכב בעיקר מחומר אלקלי (אליפטי). מסקנת החוקרים הייתה כי חומרים אורגניים ההידרופוביים, בעיקר שעוות, חודרים לקרקע ויצרים ציפוי לגרגירי החול בעיקר בהשפעת מחזור ההרטבה-חימום-יבוש של הקרקע. ציפוי זה יוצר לטענתם את התכונות ההידרופוביות של

הקרקע. בעבודה הנוכחית נראה כי הזמן הקצר בו הפכה הקרקע להידרופובית מעיד על כך שדחיית המים הינה תוצאה של שקיעה והצטברות של חומרים הידרופובים. נראה כי חומרים אלו יצרו בקרקע פילם הידרופובי ולא ציפוי של גרגירי הקרקע, תהליך שהיה מתחרש במידה והקרקע הייתה מושקית במשך פרק זמן ארוך יותר.

השימוש בשיטת המיצוי של החומרים ההומיים התגלה בדיעבד כבעל יעילות נמוכה באפיון החומרים ההידרופובים הנמצאים בקרקע. אומנם מולקולות שלהן צד אחד פולרי וצד אחר אפולרי ניתנות למיצוי בשיטה זו, אולם חומרים הידרופובים טהורים אינם מסיסים בבסיס ולכן לא יתמצו. כמו כן, כ- 35% מהחומר האורגני לא מתמצה בשיטה זו, דבר העלול לטשטש הבדלים. מאידך, נמצא כי מיצוי בממס אורגני היינו יעיל בהוצאת חומרים הידרופובים מהקרקע. מיצוי לאונרדיט בממס המכיל כלורופורם+מתנול (ביחס של 1:1) הוריד את רמת ההידרופוביות במחצב מהידרופוביות חזקה מאוד להידרופוביות אפסית.

נראה כי חומרים לא הומיים הנמצאים בקולחים (שרשראות אליפטיות כגון שעוות וחומצות שומן) הם הגורמים להידרופוביות שקבלנו בקרקעות. העובדה שהתגלתה הידרופוביות כבר לאחר מספר השקיות מחזקת את ההשערה כי הגורמים לכך אינם חומרים הומים (תהליך ההומיפיקציה מגיע לייצוב ראשוני במהלך של כשלושה חודשים) ומאותה סיבה גם לא תוצרים מיקרוביאליים. בנוסף, כאמור גם לא נמצאו הבדלים מבחינת החומרים ההומים בין השפירים לקולחים.

עם זאת חשוב לזכור כי כל המיצויים שנערכו הם איכותיים ולא כמותיים. כלומר נבדק סוג המקטעים השונים בקרקע ולעיתים אחוז המקטע מכלל הפחמן, אך לא נבדק הערך המוחלט של המקטע בקרקע. יתכן כי על מנת ולעמוד בצורה טובה יותר על ההבדלים בין הקרקעות המושקות בשפירים ובקולחים, יש לעשות מיצוי כמותי בבסיס ובממס אורגני, ולראות האם קיימים הבדלים כמותיים בין תכולת המקטעים השונים בקרקעות.

נקודה נוספת הראויה לציון היא העובדה שברוב החלקות המושקות בקולחים בארץ, משתמשים במים באיכות גבוהה יותר משל הקולחים ששימשו בניסוי (קולחים געתון). לכן, להערכתנו התופעות שהתקבלו לא ישנו בכל החלקות. עם זאת ישנם חקלאים שעדיין משתמשים בקולחים מאיכות ירודה דבר העלול לגרום לתופעות של הידרופוביות ושינויים באופי ההרטבה בקרקע.

## **(6) סיכום**

מתוצאות המחקר נראה כי חומרים אורגניים הידרופוביים המגיעים עם הקולחים (שרשראות אליפטיות ארוכות כמו שעוות או שומנים) שוקעים בשכבה העליונה של הקרקע (המשמשת כפילטר לחומר האורגני) מצטברים, ובתהליכים של יבוש והרטבה יוצרים פילם בטווח הקצר וציפוי סביב החלקיקים בטווח הארוך. חומרים אלו הם המשרים בקרקע את תכונת ההידרופוביות. הפיכת הקרקע לדוחת מים משנה את אופי ההרטבה שלה. תופעות כמו בצל הרטבה צר, הסטה של בצל ההרטבה וזרימה מועדפת נגרמות כתוצאה מההידרופוביות בקרקע. לפיכך, יתכן כי בחלקות המושקות בקולחים באיכות ירודה, יש צורך להקטין את המרחק בין הטפטפות לאורך שלוחת הטפטוף על מנת לקבל רצף הרטבה.

## **(7) רשימת ספרות**

Bauters, T.W.J, D.A. Dicarlo, T.S. Steenhuis, and J.Y. Parlange. 1998. Preferential flow in water repellent sands. Soil Science Society of America Journal 62: 1185-1190.

- Letey, J. 1969. Measurement of contact angle, water drop penetration time, and critical surface tension. Proc. Symo. Water Rep. Soils, Univ. Calif., Riverside.
- Bowles, E.C., R.C. Antweiler, and P. MacCarthy. 1989. Acid-base titration and hydrolysis of Suwannee River. In Humic Substances in the Suwannee River, Florida and Georgia. Interactions, Properties and Proposed Structures. U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper.
- Dekker, L.W., S.H. Doerr, K.Oostindie, A.K. Ziogas, and C.J. Ritsema. 2001. Water repellency and critical soil water content in a dune sand. Soil Science Society of America Journal 65:1667-1674.
- Franco, C.M.M., M.E. Tate, and J.M. Oades. 1995. The role of intrinsic particulate organic matter in the development of water-repellency in non-wetting sands. Aust. Journal. of Soil Res 33:253-263.
- King, P.M. 1981. Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. Australian Journal of soil research 19, 275-285.
- Ritsema, C.J., L.W. Dekker. 2000. Preferential flow in water repellent sandy soils: principles and modeling implications. Journal of Hydrology
- Swift, R.S. 1996. Organic Matter Characterization. SSSA, Wisconsin.
- Tarchitzky, J., Y. Golobati, R. Keren, and Y. Chen. 1999. Wastewater effect on montmorillonite suspensions and hydraulic properties of sandy soils. Soil Science Society of America Journal 65:1235-1238.
- Wallis, M.G., and D.J. Horne. 1992. Advances in soil science. N.Y. pp: 93-139.
- Wang, Z., Q.J. Wu, L. Wu, C.J. Ritsema, L.W. Dekker, and J. Feyen. 2000. Effect of soil water repellency on infiltration rate and flow instability. Journal of Hydrology 231-232: 265-276.