



2000-2000

תקופת המחקר:

821-0069-00

קוד מחקר:

שינויים באופי פיזור המים בקרקע מושקית במי קולחים

שם

EFFECTS OF IRRIGATION WITH RECLAIMED WASTEWATER ON SOIL WATER  
DISTRIBUTION.

המחקר:

מוסד: הפקולטה לחקלאות, רחובות

חוקר ראשי: דר' אורי שני

מאמרים:

פרופ' יונה חן, מר חורחה טרצצקי, דר' עמנואל  
להב, גברת ענת לוינגרטחוקרים  
שותפים:תקציר

בחלקות רבות המושקות בקולחין מדווח על אופי פיזור מים ייחודי. התופעה מחבטאת בעיקר בפיזור מוגבל של המים על פני השטח, ויצירת קוטר הרטבה קטן. השינוי באופי התפשטות המים בקרקע כתוצאה מהמעבר להשקייה בקולחין, גורם להשקייה פחות יעילה ביחס להשקייה במים שפירים, וכתוצאה מכך לבזבוז מים. בנוסף, גורם השימוש בכמויות גדולות יותר של מים, להגדלת פוטנציאל הזיהום של מי התהום. מטרות העבודה הן: א. אימות ובדיקה כמותית של התופעה בשדות בהם נמצאה; ב. בדיקה של שכיחות התופעה באזורים נוספים בארץ המושקים בקולחין; ג. חיקוי, איפיון התופעה במעבדה, זיהוי מקורה והגדרת מגננונים. אימות התוצאה נעשה ע"י: שאלון למדריכים, בדיקות שדה בחלקות ובדיקות ויזואליות. אימות התופעה במעבדה נעשה ע"י: השוואת פיזור המים (קולחין ושפירים) בחלונות זכוכית; השוואת קוטרי הרטבה באזור הרווי והמוליכות ההידראולית בשלוש קרקעות בעלות הרכב מכני שונה (קולחין לעומת שפירים). נמצא שהתופעה אכן מתרחשת, ניתן לצפות בה בשדה ולבצע סימולציה מהירה שלה בתנאי מעבדה. בשלוש הקרקעות שנבדקו התקבלו קטרים קטנים בהשקייה בקולחין בהשוואה לשפירים. נראה בבירור שמי הקולחין מתנהגים בקרקע בצורה שונה. הבנת המנגנונים הגורמים לתופעה תאפשר לגבש המלצות הקשורות לטיהור קולחין או לסינון ע"י הרחקת גורמי התופעה מן המים.

## רקע:

משק המים בישראל נמצא בשנים האחרונות בגירעון חמור. מאגר המים העיקרי, הכינרת, נמצא במאזן מים שלילי, וקיים חשש כי ירידה נוספת במפלס תגרום, בנוסף למחסור במים, גם להמלחת האגם. גם מאגרי התהום המרכזיים, המספקים כ-60% מהתצרוכת: אקוויפר החוף ואקוויפר ההר, סובלים מבעיות של המלחה (הגדלת בעיקר בשל שאיבת יתר) ומזיהומים אנתרופוגניים. הבעיה מתריפה עוד יותר לאור העובדה שתצרוכת המים בישראל עולה בהתמדה, בעיקר בשל קצב גידול האוכלוסייה המהיר והעלייה ברמת החיים. ניתן לחלק את הפתרונות המוצעים לשני סוגים:

האחד הוא הגדלת כמות המים הזמינים, באמצעות התפלת מי-ים, התפלת מים מליחים או יבוא מים מטורקיה.

סוג הפתרונות השני מדבר על ייעול משק המים. במסגרת זו נעשים מספר צעדים כגון: הגברת המודעות לחסכון במים במגזר הפרטי, קביעת ערך כלכלי וצמצום הסובסידיות על המים, השבת מי שיטפונות, ושימוש במי קולחים בחקלאות.

המגזר החקלאי צורך כיום כ-50% מסה"כ צריכת המים בארץ. נראה כי 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.

מטרות העבודה בשלב הראשון הן: א. אימות ובדיקה כמותית של התופעה בשדות בהם נמצאה; ב. בדיקה של שכיחות התופעה בשדות ובאזורים נוספים בארץ המושקים בקולחים. בשלב השני ננסה לחקות את התופעה במעבדה, לאפיין אותה, לזהות את מקורה ולהגדיר את המנגנונים הגורמים לפיזור הייחודי של המים.

## 1. אימות התופעה בשדה

אימות התופעה בשדה נעשה במספר דרכים:

- שאלון שחולק למדריכי אגף שרות שדה, שה"מ משרד החקלאות ופיתוח הכפר.
- בדיקות שנעשו במטע הבנות של קיבוץ געתון
- בדיקות ויזואליות שנעשו בחוות ניסויים בעכו
- בנוסף לכך, התייחסנו לעבודת "ביוטופ", שפורסמה על ידי איציק צמח ב- 1992, ובמסגרתה נצפתה התופעה.

### א. שאלון לחקלאים

בשאלון שחולק למספר מדריכי שרות שדה, הם נתבקשו לנסות ולזהות האם קיימת תופעה של שינוי בפזרן המים, מבנה שונה בקרקע וקוטרי הרטבה קטנים, בחלקות בהן הם עובדים, ומושקות במי קולחים. (השאלון המלא ראה נספח).  
להלן התוצאות:

המקום	סוג הקרקע	תוצאות
בנות בניר עציון	חרסית	זוהתה תופעה של שטח אזור רווי קטן.
בנות בעין כרמל	חרסית	זוהתה תופעה של שטח אזור רווי קטן.
קרקעות בגליל המערבי	אלובים	זוהתה תופעה של אזור רווי קטן, והתמוטטות קרקע מתחת לטפטפת
כרם בבקעת ערד	לס	זוהתה תופעה של שטח אזור רווי קטן, והיווצרות תלכידים בקרקע.

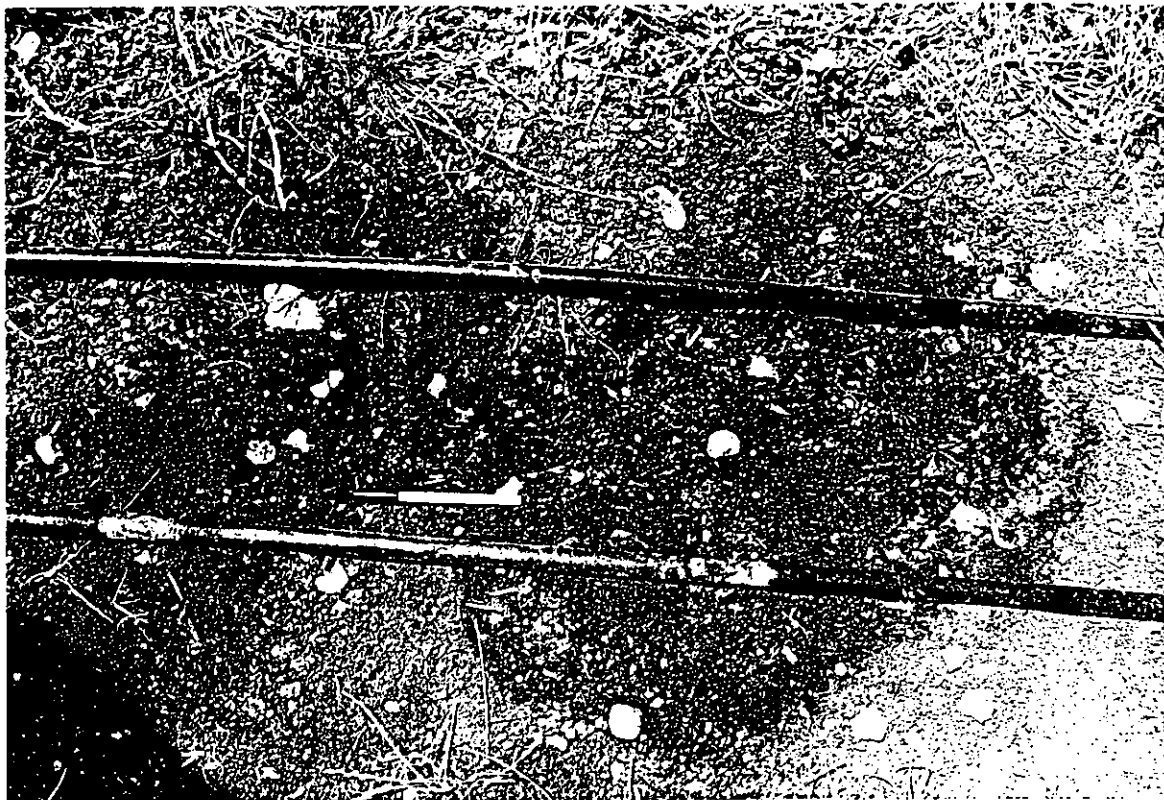
\* התצפיות באזור זה היו הבסיס להכנת הצעת המחקר.

יש לציין כי במרבית המקרים לא קיימות בסמיכות חלקות מושקות במים שפירים ובמי קולחים. עובדה זו מקשה על ההשוואה הויזואלית.

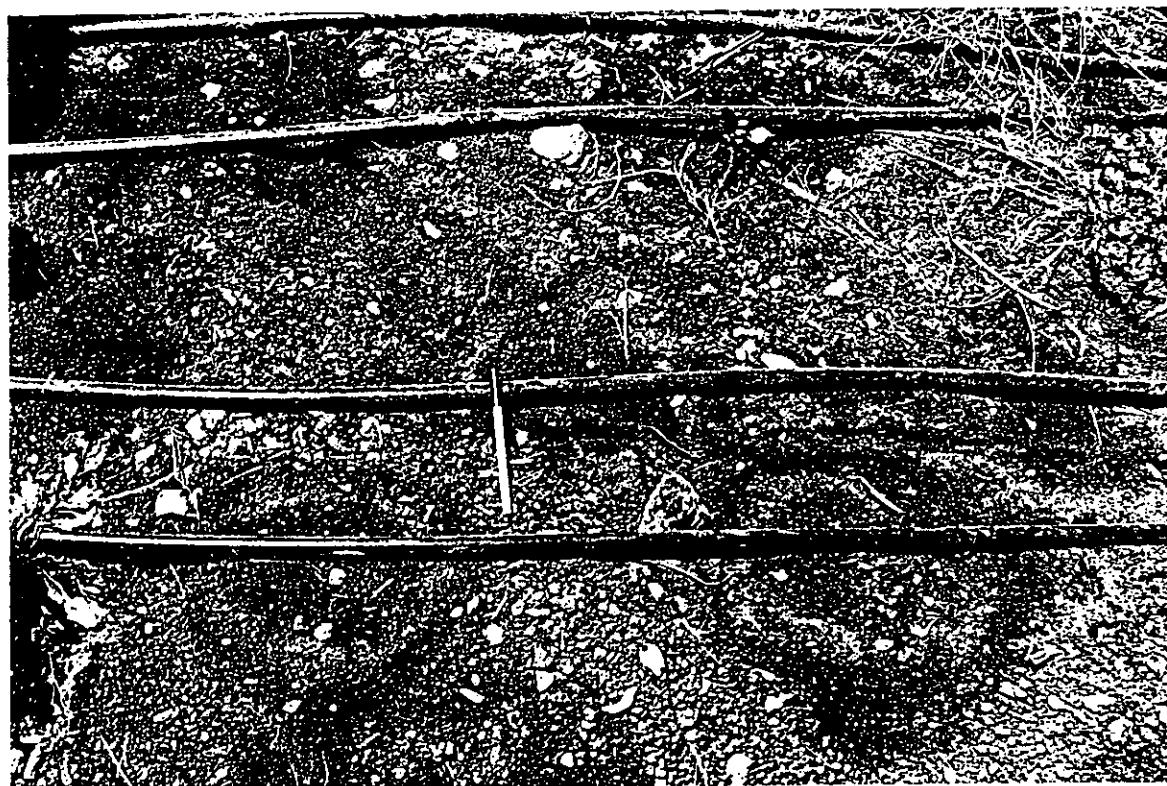
### ב. בדיקות שנעשו במטע של קיבוץ געתון

ביולי 2000, ערכנו במטע של קיבוץ געתון תצפיות ויזואליות. המטע מושקה בחלקו בקולחים ובחלקו בשפירים.

בתמונות: 1,2 ניתן לראות את ההבדל בין אופן ההרטבה בקולחים ובשפירים. מסביב לטפטפות המשקות בשפירים ניתן לראות שטח רווי גדול, לעומת העדר או שטח קטן בהשקיה בקולחים.



תמונה מספר 1 : השקיה במים שפירים במטע הבנות של קיבוץ געתון. יולי 2000

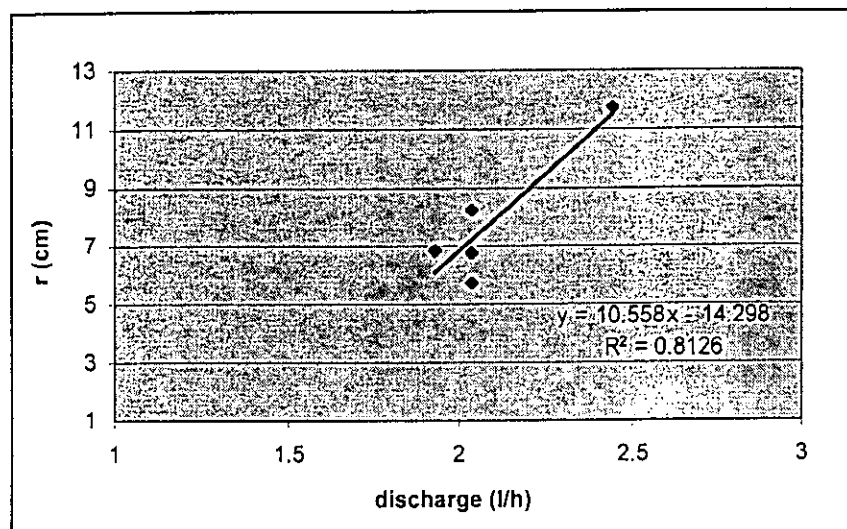


תמונה מספר 2 : השקיה בקולחים במטע הבנות של קיבוץ געתון. יולי 2000

בנובמבר 2000 שוב ערכנו במטע של קיבוץ געתון תצפיות ויזואליות ומדידות. המטע מושקה בחלקו בקולחים ובחלקו בשפירים.

תוצאות המדידות מראות כי בהשקיה במים שפירים, נתקבלו קטרים של האזור הרווי העולים עם ספיקת הטפטפת, כפי שניתן לראות בציור מספר 1.

בהשקיה בקולחים לעומת זאת, לא נוצר אזור רווי כלל, כתוצאה מחדירה מידית של המים לקרקע.

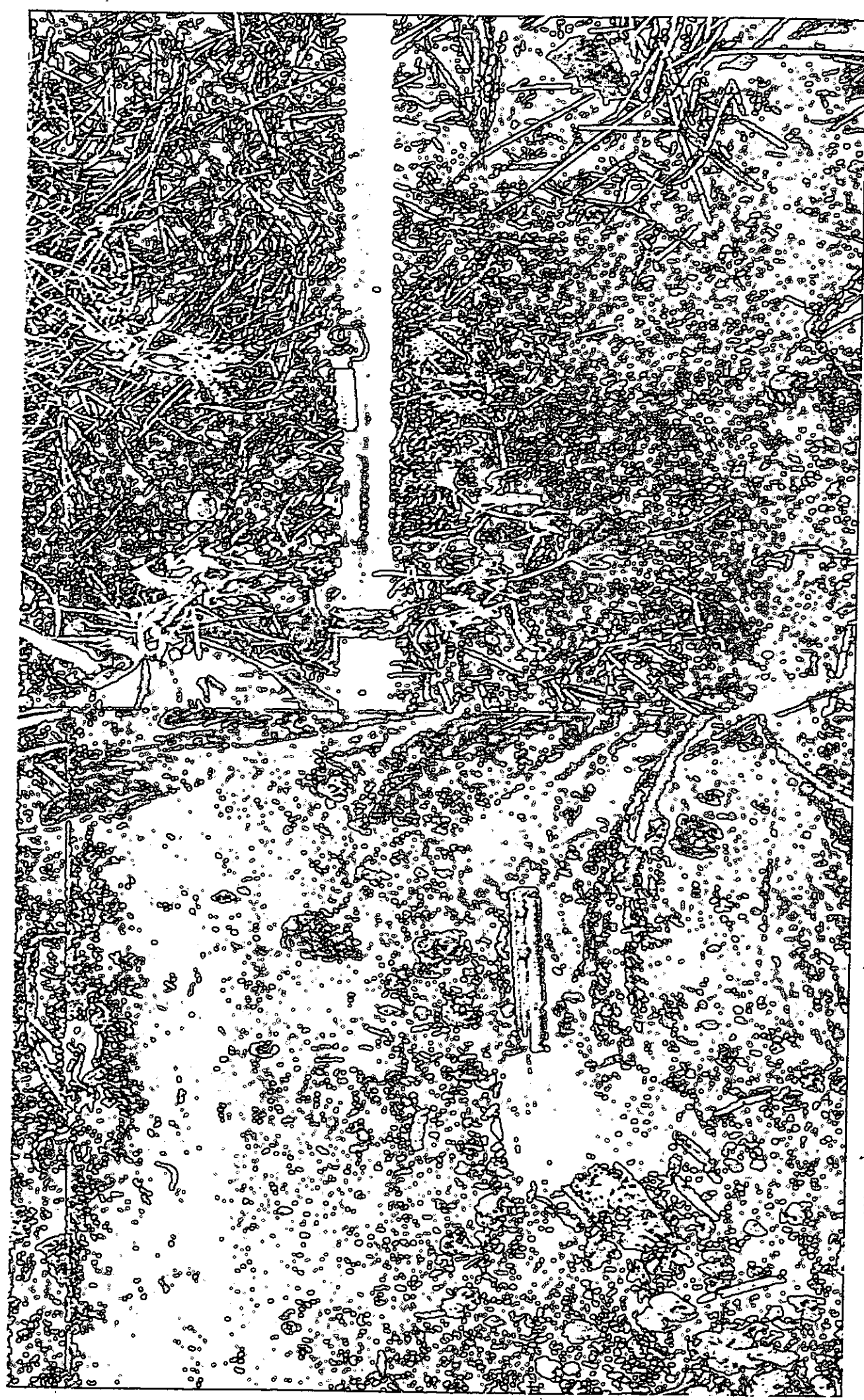


ציור מספר 1 : רדיוס האזור הרווי כתלות בספיקת הטפטפת.

בבדיקות הוויזואליות שנערכו (תמונות 3,4) ניתן לראות כי התופעה חזרה על עצמה, וסביב הטפטפת המשקה במים שפירים (תמונה 3) נוצרה שלולית גדולה, בעוד שסביב הטפטפת המשקה במי קולחים, לא נוצרה שלולית כלל, (תמונה 4).

#### ג. צילומים מחוות הניסיונות בעכו

התופעה של שינוי בדפוסי ההרטבה בהשקיה בקולחים נצפתה גם בחוות הניסיונות בעכו בניסוי (פרופ' אבי שביב וחובריו) בו נבדקה השקיה בקולחים ובמים שפירים, בליזימטרים כפי שניתן לראות (תמונות 5,6) השלולית הנוצרת בהשקיה בשפירים, (תמונה 5) גדולה בהרבה מהשלולית הנוצרת (אם בכלל) בהשקיה בקולחים, (תמונה 6).

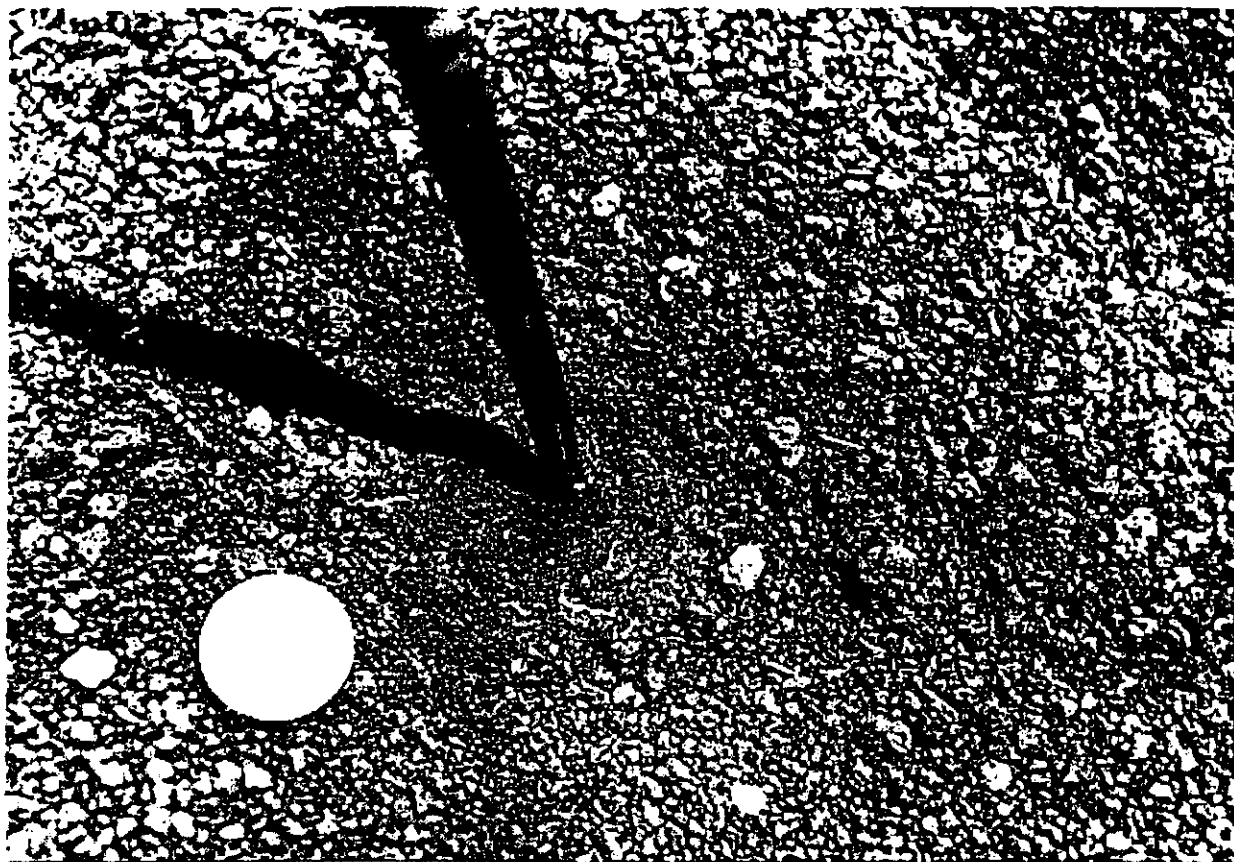


תמונה 4: השקיה במים קולחים במטע הבנויה של געתון.

נובמבר 2000

תמונה 3: השקיה במים שפירים במטע הבנויה של געתון.

נובמבר 2000



תמונה מספר 5: השקיה במים שפירים בחוות הניסיונות בעכו.



תמונה מספר 6: השקיה במי קולחים בחוות הניסיונות בעכו.

#### ד. עבודת ביוטופ – בית הספר התיכון גליל מערבי

בשנת 1992 נעשתה עבודת ביוטופ בנושא: "השפעת ציפוף טפטפות בהשקיה במי קולחים על מדדי גדילה ויבול בננות" על ידי איציק צמח, ובהנחיית ישי ארנון.

בעבודה נבדקה חלקת הבננות של קיבוץ געתון, המושקית במי קולחים.

אחד הממצאים בעבודה, היה כי בצל ההרטבה המתקבל סביב הטפטפת המשקה במי קולחים, שונה בצורה מהותית מבצל ההרטבה המתקבל מהשקיה במים שפירים. בעוד במים השפירים מקבלים בצל הרטבה רחב, במי קולחים התקבל בצל צר וארוך בצורת קונוס.

מבדיקה ויזואלית בשטח וממדידות שנעשו בעבודה, נתקבלו שינויים בצורת פיזור המים בקרקע בהשקיה במי קולחים.

על סמך הנתונים הנ"ל, ניתן לציין כי התופעה נצפתה באזורים שונים, בקרקעות שונות ובמקורות מי קולחים שונים.



## 2. אימות התופעה במעבדה

אימות התופעה במעבדה נעשה במספר ניסויים:

### ניסוי מספר 1: "חלונות"

**מטרת הניסוי:** לבחון את פיזור המים בקרקע בהשקיה במים שפירים לעומת מי קולחים.  
**תיאור הניסוי:** קרקע אלוביאלית מקיבוץ געתון, לאחר ייבוש אויר וניפוי דרך נפה בעלת חורים של 2 מ"מ, נארוזה באופן אחיד בשני חלונות זכוכית בעלי נפח שווה של כ- 40 ליטר. חלון אחד הושקה במי קולחים והשני בשפירים, בכמויות שוות. החלונות כוסו בכיסוי אטום לאור, על מנת למנוע היווצרות של אצות ולהקטין את האידוי מהקרקע. בתום הליכי האינפילטרציה והרה-דיסטריבוציה נדגמה תכולת הרטיבות ב- 20 נקודות שונות לאורך ולרוחב החלון, בשתי חזרות, (בסה"כ 40 דגימות).

**תוצאות:** קווים שווי רטיבות בפרופיל הקרקע המורטב מוצגים עבור המים השפירים (ציור 2) והקולחים (ציור 3). ניתן לראות שפיזור המים בקרקע שונה בין קרקע מושקית שפירים לבין זו המושקית קולחים. בולטים בעיקר ההבדלים בתחתית החלון, בו תכולת הרטיבות בקרקע שהושקתה בקולחים (ציור 3) גבוהה ביחס לקרקע שהושקתה במים שפירים, (ציור 2).

### תכולת הרטיבות בנקודות שונות בקרקע, בהשקיה במים קולחים ושפירים

(מבוטא כאחוז רטיבות)

#### קולחים

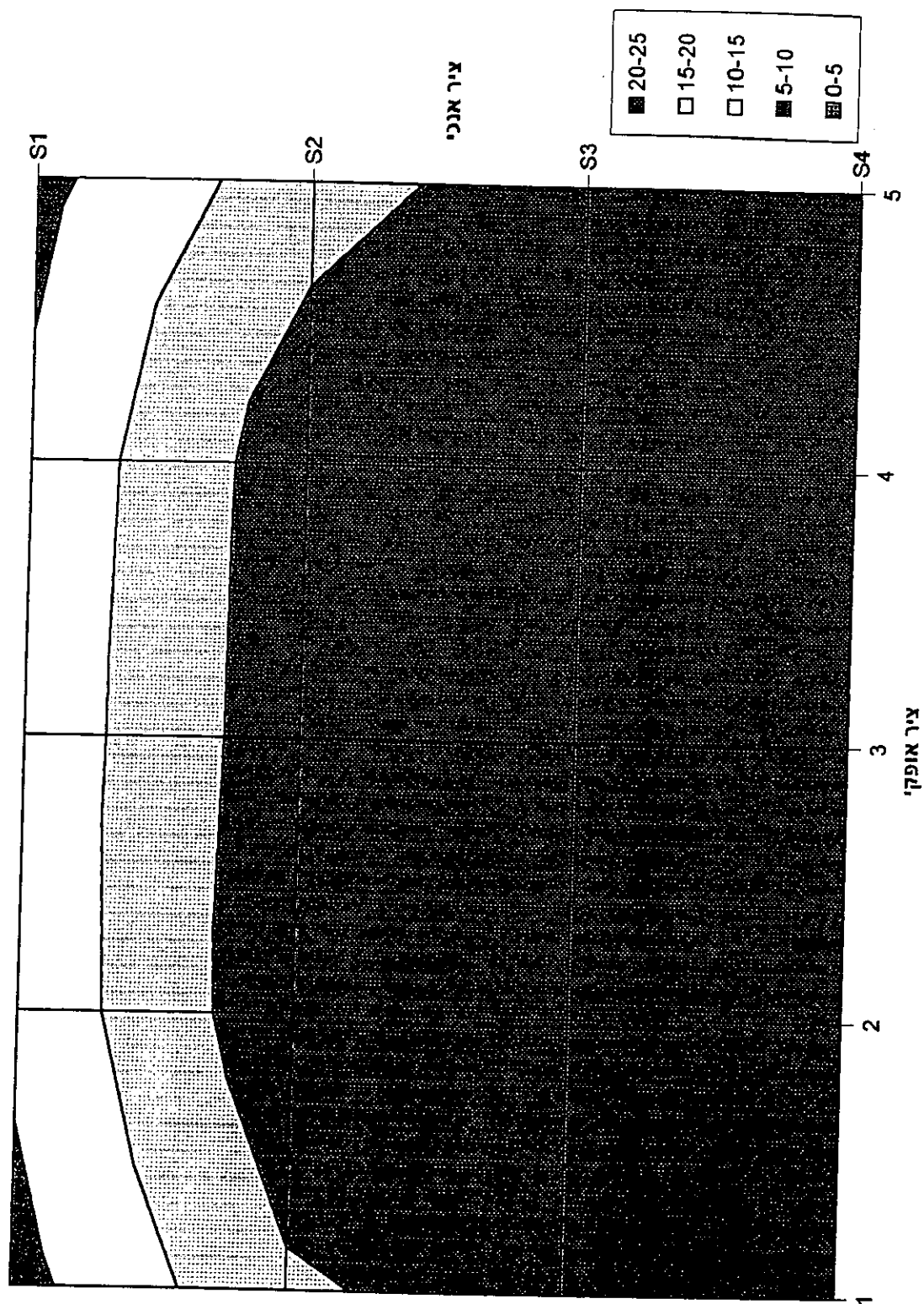
7.9	15.5	16.6	15.0	9.3
18.3	24.3	23.8	23.3	17.1
22.6	25.7	25.5	25.6	22.6
25.3	25.2	25.6	24.9	24.0

#### שפירים

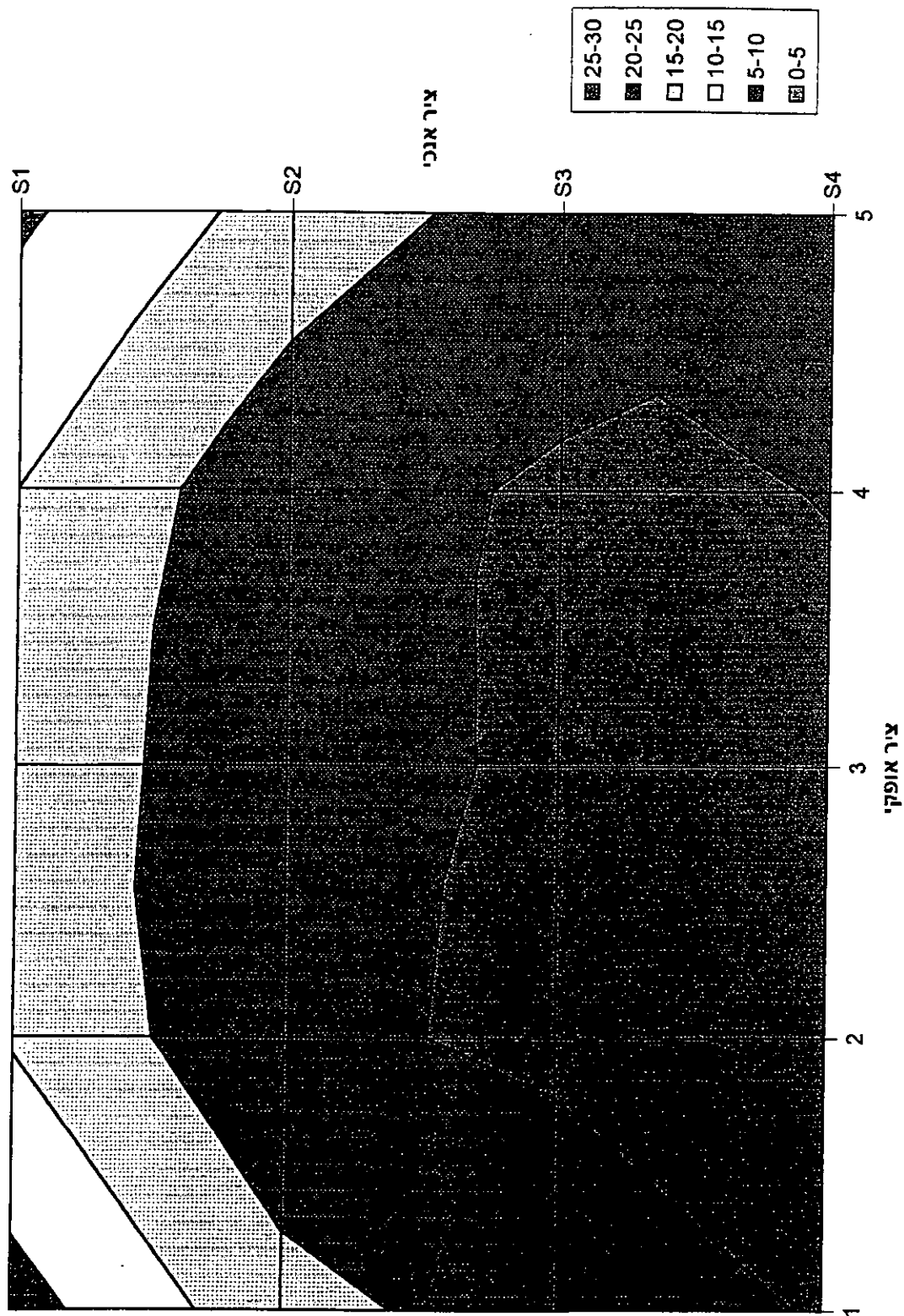
8.2	11.2	11.5	11.2	8.7
19.3	23.6	23.3	23.1	18.2
22.2	24.9	24.9	24.8	22.7
23.4	24.2	24.4	23.7	23.2

עליון

תחתון



ציר מספר 2: התפלגות תכולת הרטיבות בהשקיה במים שפירים (מבוטא כאחוז רטיבות)



ציר מספר 3: התפלגות תכולת הרטיבות בהשקיה במי קולחים (מבוטא כאחוז רטיבות)

## ניסוי מספר 2 : קוטרי הרטבה

### מטרות הניסוי:

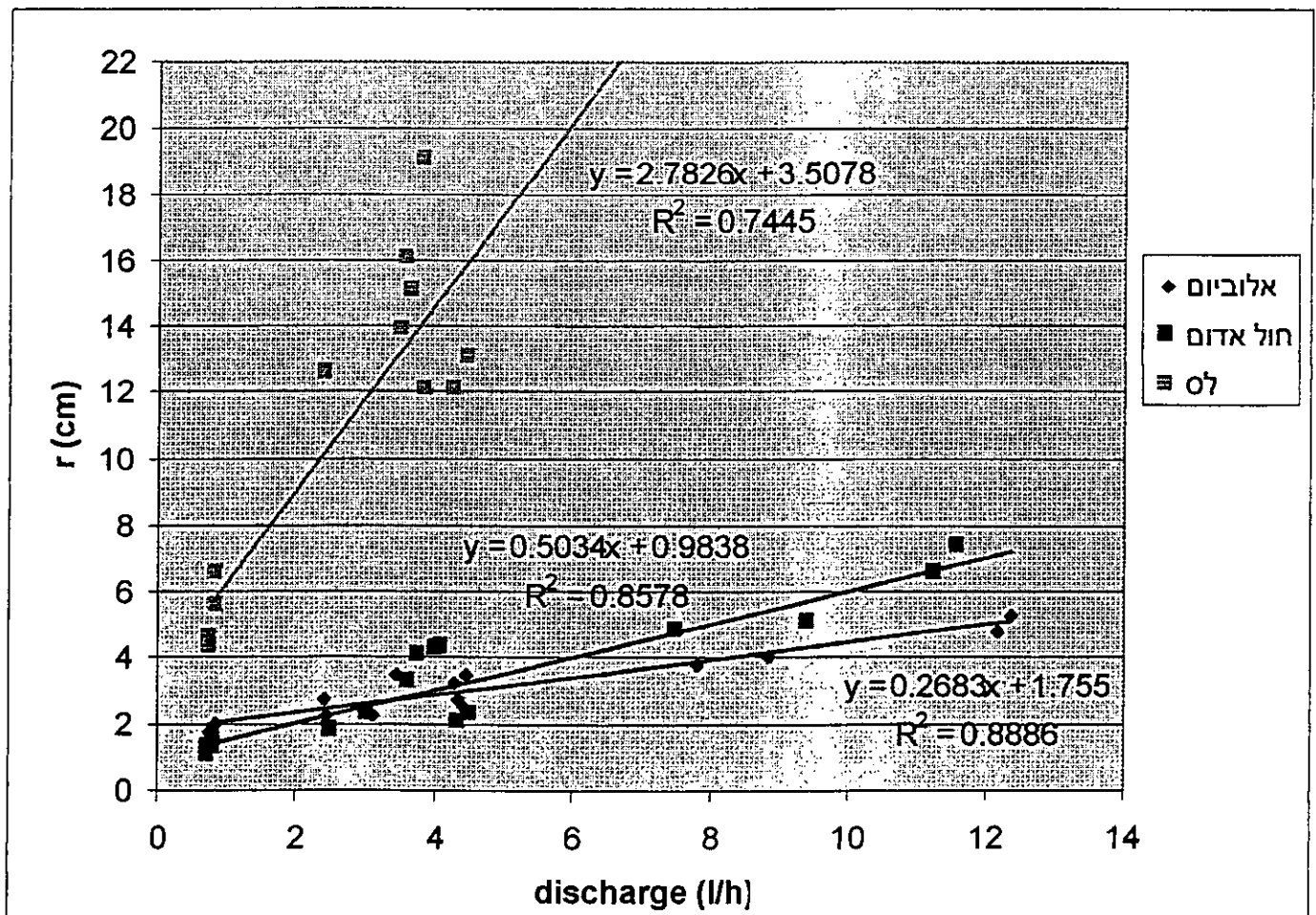
- השוואה בין קוטר ההרטבה של האזור הרווי (להלן קוטר ההרטבה) מתחת לטפטפת בשלוש קרקעות שונות.
- השוואה בין קוטר הרטבה, והמוליכות ההידראולית בקרקעות המושקות במים שפירים ובמי קולחים.
- בחינת שינויים בקוטר ההרטבה כתלות בזמן בהשקיה בקולחים.

### ניסוי 2. א : קוטר הרטבה בשלוש קרקעות שונות

**תיאור הניסוי:** קוטר האזור הרווי מתחת לטפטפת נמדד לאחר 30 דקות טפטוף (היגיע לערך סופי) בקרקעות אלוביום (מגל), לס (חצרים) וחול חום-אדום (רחובות) בשתי חזרות.

**תוצאות:** קוטר ההרטבה כפונקציה של ספיקת הטפטפת, בקרקעות השונות מוצג בציור 4. בכל הקרקעות קוטר ההרטבה עולה עם הספיקה.

התקבלו הבדלים בין קוטרי ההרטבה של שלושת הקרקעות. בלטו קוטרי ההרטבה הגדולים והשיפוע החד בגרף קרקע הלס בהשוואה לחול אדום ואלוביום.



ציור 4: השפעת הספיקה על רדיוס ההרטבה בקרקעות לס אלוביום וחול אדום

ניסוי 2. ב : השוואה בין השקיה במים שפירים ובקולחים מבחינת קוטרי הרטבה

**תיאור הניסוי:** אותן הקרקעות שהושקו במים שפירים בניסוי 2.א', הועברו להשקיה במי קולחים. ערכי קוטר ההרטבה שהתקבלו, הושוּו עם אלו שהתקבלו בניסוי 2.א' (באותה ספיקה). קרקעות החול והאלוביום הושקו בטפטפת בעלת ספיקה של 3.6 ליטר/שעה. קרקע הלס הושקתה בספיקה של 1 ליטר/שעה ( בקרקע לס, בספיקה של כ- 4 ליטר/שעה, במים שפירים מתקבלת שלולית החורגת מתחום המדידה שלנו).

**תוצאות:**

קוטרי הרטבה ממוצעים בקרקעות השונות, בהשקיה במים שפירים ובקולחים (ס"מ)

קולחים	חול	לס	אלוביאלית	
6	6	5	8	3.5
8	6.5	12	14	5

ניתן לראות כי בקרקעות לס ואלוביום ההשקיה בקולחים גרמה לירידה של כ- 50% בקוטר ההרטבה. בחול לעומת זאת הירידה בקוטר היא קטנה יחסית.

ניסוי 2. ב : חישוב המוליכות ההידראולית בקרקע בהשקיה בקולחים ובשפירים

**תיאור הניסוי:** חישוב המוליכות ההידראולית נעשה על בסיס המשואה:

(Wooding, 1968, Shani et al., 1987)

$$q = \frac{Q}{\pi * r^2} \quad q = \frac{4 * K_s}{\alpha * \pi} * \frac{1}{r} + K_s$$

כאשר :

$K_s$  (cm) - מוליכות הידראולית ברוויה

$r$  (cm) - רדיוס ההרטבה

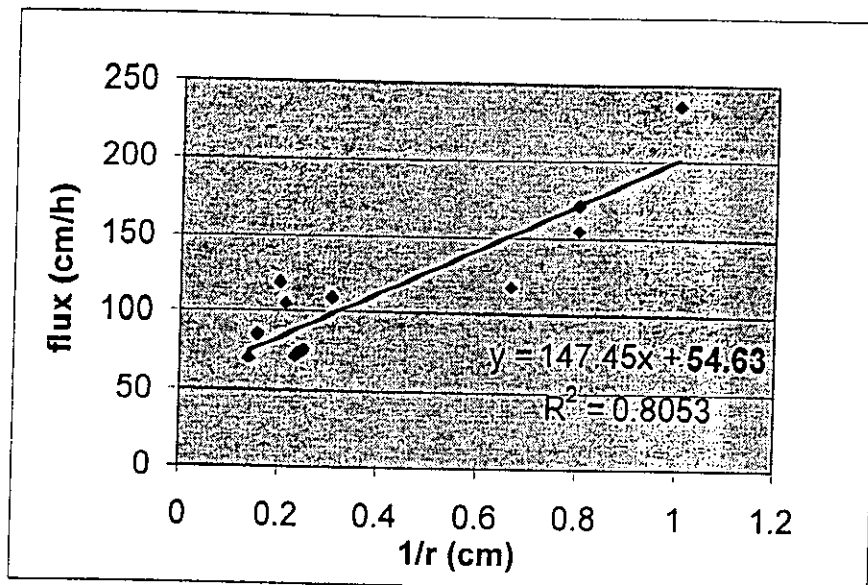
$Q$  (l/h) - ספיקת הטפטפת

$q$  (cm/h) - שטף

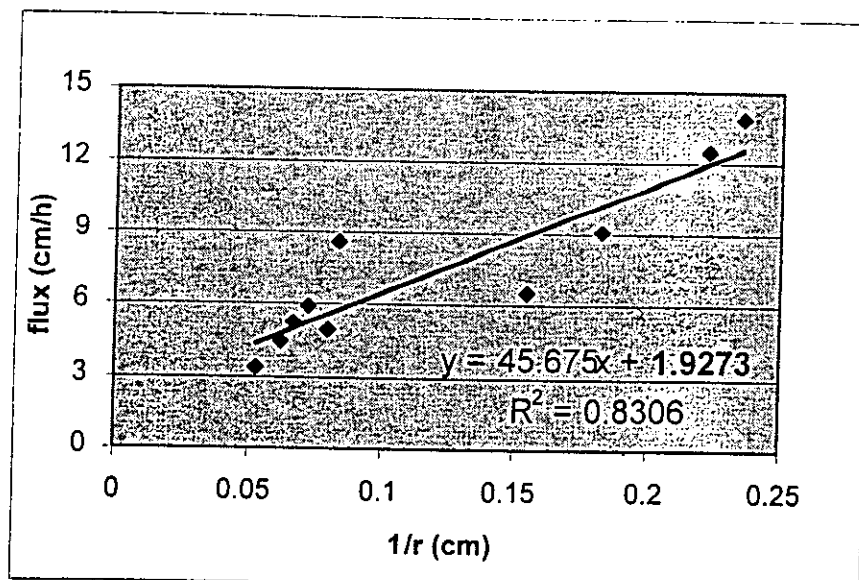
על ידי מדידה של קוטר ההרטבה בספיקות שונות, חישוב של השטף ממדידות אלו והצבה שלו כפונקציה של

$r^{-1}$ , חישבנו את הפרמטרים ההידראוליים  $K_s$  ו  $\alpha$ .

להלן התוצאות:



ציור 5 : מוליכות הידראולית בקרקע חולית במים שפירים



ציור 6 : מוליכות הידראולית בקרקע לס במים שפירים

#### תוצאות הניסוי :

בקרקות הלס והחול קיבלנו מוליכות הידראולית בתחום סביר לקרקעות הני"ל. בחול המוליכות ההידראולית ברוויה היא בתחום 50-100 ס"מ/שעה. בניסוי הנוכחי נתקבל ערך של 54.63 ס"מ/שעה. בלס המוליכות ברוויה היא בתחום 1-5 ס"מ/שעה ובניסוי הנוכחי נתקבל ערך של 1.93 ס"מ/שעה. בקרקע האלוביאלית קיבלנו מוליכות גבוהה בהרבה, הנובעת כנראה מכך שמדדנו מוליכות בקרקע הכוללת נקבובים גדולים כתוצאה ממבנה הקרקע. מאידך, בהשקיה במי קולחים לא ניתן היה למדוד מוליכות הידראולית כלל, בגלל קוטרי ההרטבה הקטנים.

ניסוי 2. ג: שינוי בקוטר ההרטבה בהשקיה בקולחים עם הזמן

תיאור הניסוי: באותה מערכת כפי שתוארה בניסוי 2. א, הושקו הקרקעות במי קולחים בספיקה קבועה, במשך 16 יום במרווחים של 48 שעות, במנה קבועה של מים.

#### תוצאות הניסוי:

קוטר ההרטבה בהשקיה בקולחים (ס"מ):

חול	לס	אלוביאלית			
5.5	5	4.5	6.5	5	3
6	5.5	5	7	4	3
5.5	6	5	8	3.5	3
7	7.5	4.5	7.5	3.5	3
6.5	6	5	8	3.5	3
6	6	5.5	8	3.5	3
6	5.5	5	8	3.5	3
6	5	5	8	3.5	3

כפי שניתן לראות בשלוש הקרקעות לא חל שינוי מהותי בקטרים עם הזמן. בקרקע האלוביאלית, החל במדידות הראשונות, לא נוצרה שלולית, וקוטר ההרטבה שווה לקוטר פיזור המים של הטפטפת. (תמונה 7) בכל שלושת הקרקעות הקוטר הקטן יחסית מתקבל כבר במדידות הראשונות.

תופעה אחרת שנצפתה היא היווצרות של עדשת מים על פני הקרקע החל מהמדידה השלישית (96 שעות מתחילת הניסוי). תופעה זו בלטה בעיקר בקרקע החולית והאלוביאלית (תמונות 7,8). ייתכן שתופעה זו מעידה על יצירת הידרופוביות בקרקע, דבר שייבדק בהמשך העבודה.

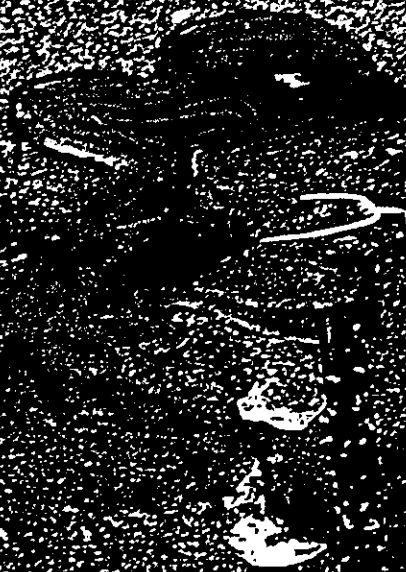
#### דין

השלב של אימות התופעה במעבדה עדיין בעיצומו, אך כבר עכשיו ניתן לראות כי התופעה אכן מתרחשת. יתרה מזאת, ניתן לצפות בה בשדה וגם לבצע סימולציה מהירה שלה בתנאי מעבדה. עובדה זו תסייע לחקר המנגנון. בשלוש הקרקעות שנבדקו קיבלנו קטרים קטנים בהשקיה בקולחים בהשוואה לשפירים. רואים בברור כי מי קולחים מתנהגים בקרקע בצורה שונה. יתכן כי הנתונים שהתקבלו בניסוי 2. ג מצביעים על כך שהתנהגות המים נובעת מתכונותיהם ולא משינוי שחל בקרקע. עדיין עלינו לבדוק את התנהגות הקולחים בקרקע בספיקות שונות ואז נוכל להגיע לתוצאות יותר מוחלטות. בהמשך המחקר נפתח את הסימולציה המעבדתית של התופעה, ונבודד את החומר האורגני מהקולחים, מקרקעות המעבדה ומן הקרקעות בשדה. נאפיין את תכונותיו הכימיות פיזיקליות ואת יחס הגומלין שלו עם מרכיבי קרקע מינרליים. הבנת המנגנונים הגורמים לתופעה יאפשרו לגבש המלצות הקשורות לטיהור מי הקולחים או לסינונם. המלצות אלה יאפשרו, כך אנו מקוים, להרחיק את גורמי התופעה מן המים כך שיתאפשר שימוש חסכוני ויעיל בהם.

תמונה 7: עדשת מים נקוטר הרטבה קטן בקרקע  
אלוביאלית



תמונה 8: עדשת מים בקרקע חולית





להלן שאלון קצר המתייחס להשוואת פיזור מי השקיה שפירים לזה של מי קולחים.

מטרת הסקר היא לקבל תמונת מצב הקדמית של השוני/ דמיון באופן פיזור המים בקרקעות שונות בישראל, המושקות במי קולחים או במים שפירים.

השאלון הוכן בעקבות תופעות שנצפו באזור הגליל המערבי, אשר יש להן השלכות חשובות על ממשק ההשקיה בקולחים. תאור התופעות ניתן בצילומים בעמוד הבא ואנו מבקשים לדעת אם, ובאילו תנאים וסוגי קרקע תוכל לזהות תופעות אלה, גם באזור פעילותך.

להלן כמה מן המאפיינים של התופעה (ראה תמונות):

1.

- קולחים- היווצרות אגרגטים בעלי יציבות נמוכה באזור פני הקרקע המורטבים (מעין תלכידים המאפיינים "קן נמלים").

- שפירים- מיגוג (פיזור חלקיקים וקבלת פני קרקע חלקים) התלכידים באזור הטפטפת.

2.

- קולחים- שטח מורטב בקוטר קטן יחסית, המוגדר ע"י טבעת לבנה (מלח או חומרי דשן).
- שפירים- שטח מורטב בקוטר קטן גדול יותר (בהתאמה לספיקת הטפטפת וסוג הקרקע- ראה גרף)

3.

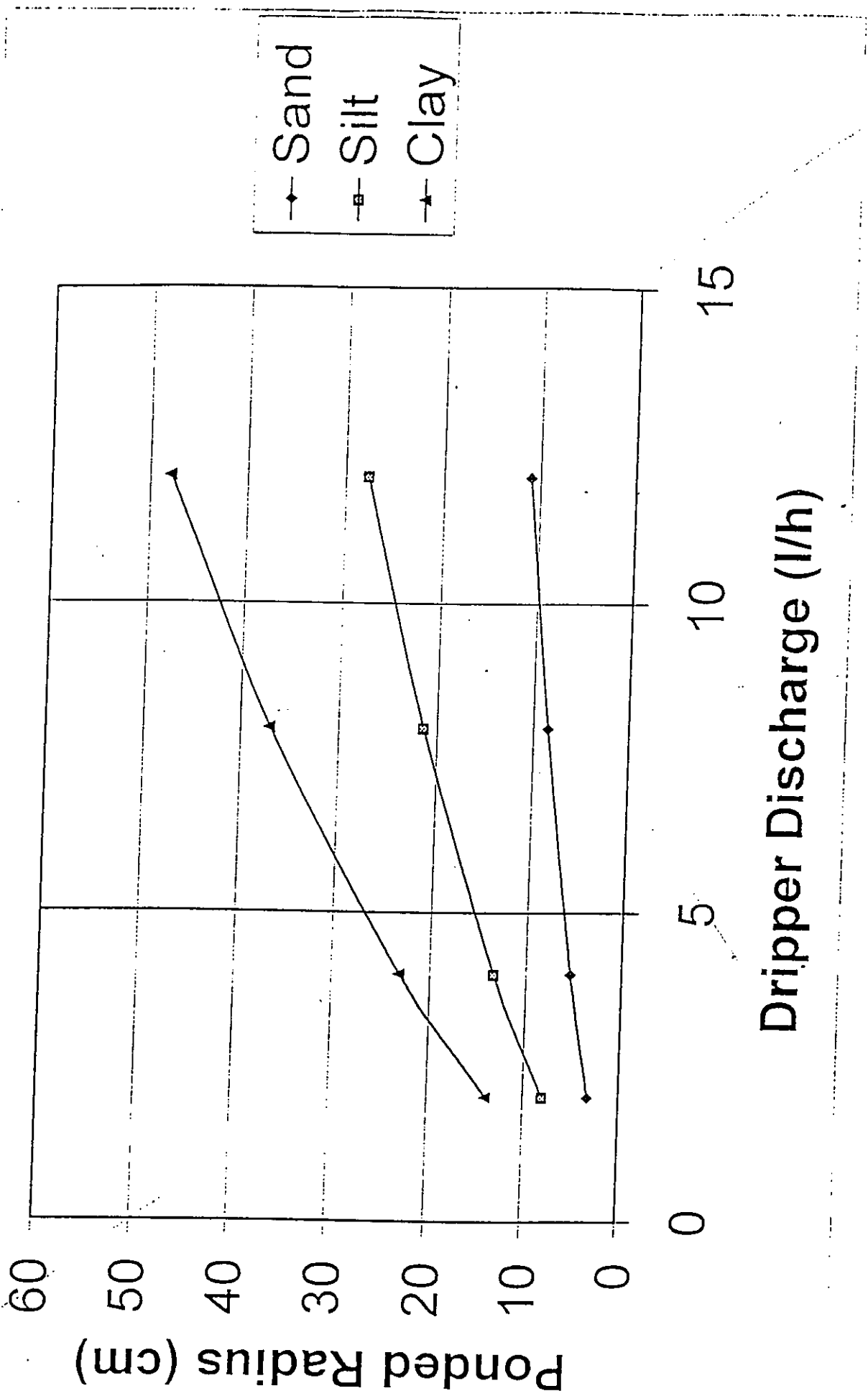
- קולחים- מהירות גבוהה של העלמות המים מפני הקרקע.
- שפירים- יש איגום קל של המים על פני הקרקע.

חומר עזר:

1. צילומים השוואתיים (קולחים/ שפירים) של התופעות שהוזכרו.

2. עקום תלות רדיוס האיגום בספיקת הטפטפת.





## שאלות

1. האם צפית בתופעה המתוארת בסעיפים 1 או 2 או 3 לעיל באזור הזרכתך? סמן ב-X.

כן ☐ לא ☐ איני יכול לקבוע ☐

אם תשובתך לשאלה 1 חיובית – המשך וענה על השאלות הבאות.

2. המקום (או מקומות) בו נצפתה התופעה.

---

---

---

3. סוג הקרקע

---

---

---

4. סוג ומקור מי הקולחים

---

---

---

5. הגידול

---

---

---

6. זיהיתי את התופעה מספר (סמן ב-X אחד, או יותר).

☐ 3

☐ 2

☐ 1