

השקיה בטפטוף טמון בתעלות חצץ

אלון בן-גל¹, אורי שני², נפתלי לזרוביץ², לאה זיגמונד¹, גלעד הורוביץ¹

¹מו"פ ערבה, תחנת נסיונות "ערבה"

²מדעי הקרקע והמים, הפקולטה לחקלאות האוניברסיטה העברית

רקע

הטמנת טפטוף מאפשר אספקת מים ודשנים לקרקע ולצמחים ללא הרטבתה של פני הקרקע. טפטוף טמון (SDI) גם תורם לירידה של סיכוני בריאות, ריחות, זיהום מי תהום ונגר עלי (Trooien et al 2002). בשיטת הטפטוף הטמון, טפטפות נמצאות בתוך הקרקע כדי לנסות לחסוך במים, להקטין עשביה, למזר נגר עלי ואידוי, לאריך אורך חיים של שלוחות הטפטוף, להקל על שימוש בכלים כבדים בשטח, וגם למנוע מגע של בני אדם עם מים באיכות נמוכה (Camp, 1998; Lamm, 2002). שמוש בSDI יכול לחסוך בעבודה הכרוכה בפריסה וגלגול עונתיים של שלוחות טפטוף. טפטפות טמונות בדרך כלל בעומק שבין 7 ל-30 ס"מ מתחת מפני הקרקע אבל קיים טיפטוף שטמון עד למטר עומק (במטע התמרים של יטבתה).

הצלחה בהפעלה של SDI כרוך בפתרונות טכנולוגיות למספר מכשולים. סביב טפטפת טמונה יש חלל מוגבל "נקבוב" מלא מים, ממנו זורמים המים לקרקע. כאשר קצב אספקת המים לנקבוב מהטפטפת גבוה מיכולת החידור שלו, תלוי בתכונות ההידראוליות של הקרקע ובשטח הפנים של הנקבוב (Shani and Or, 1995), נוצר בנקבוב לחץ מים חיובי "לחץ נגדי". לחץ נגדי זה מקטין את ספיקת הטפטפת וגורם להשקיה לא אחידה. במצב זה אפשרית גם עליה של מים חופשיים לפני הקרקע (איור 1). בפועל לא ניתן ל"תקן" כלומר למנוע את העליה של המים החופשיים לפני הקרקע לאחר שמצב כזה התרחש. פתרון לבעית הלחץ הנגדי אפשרי על ידי התאמה קפדנית של תכונות מערכת הטפטוף והמוליכות ההידראולית של הקרקע, או על ידי בניה של אזור הטפטוף כך שלא יתפתח לחץ נגדי. הפתרון מבוסס על יצירה של נקבוב בקרקע בסביבת הטפטפת כך ששטח הפנים לחלחול המים מהטפטפת יהיה גדול בהרבה. היות והנקבוב הוא תת קרקעי אנו מציעים לתמוך אותו מכנית על ידי מילוי בחצץ גס "תעלת חצץ". החצץ יכול להיות מיושם בנקבוב תת-קרקעי או בתעלה. היות ומחיר תעלת החצץ תלוי במימדים שלה מטרת העבודה היא להתאים מודל לחישוב רחב תעלת החצץ ונפח החצץ המוסף כפונקציה של תכונות הקרקע ומערכת ההשקיה ולהשוות את תוצאות החישוב עם מדידות של ספיקות, פיזור מים ומומסים בקרקע ופיזור שורשים.

בחלקת הכרם בתחנת הניסיונות של מו"פ ערבה חלקות המושקות בטפטוף טמון "רגיל" או בתעלות חצץ. טיפולים אלה מושקים בקולחי אילת משנת 1998. מטע התמרים של

יטבתה סבל במשך שנים משלוליות ענקיות שנוצרו ממערכת ההשקיה. המעבר להשקיה בקולחים שניוניים הגביר את בעית השלוליות וייצר מפגע אקולוגי ובריאותי. מעבר לטפטוף תת קרקעי גרם למים לתופעה המוזכרת בפתיחה של עלית מי ההשקיה לפני הקרקע ולכן לא עזר. במהלך 3 השנים האחרונות מעבירים את מטע התמרים של יטבתה לתעלות חצץ ומאז פני הקרקע במטע יבשים לחלוטין ללא פגיעה ביבול. במטע ממשיכים לטמון שלוחות טפטוף לפי השיטה המוצעת גם היום.



איור 1. מים עולים על פני הקרקע מטפטפת מוטמנת בעומק 30 ס"מ.

פתרון אנליטי

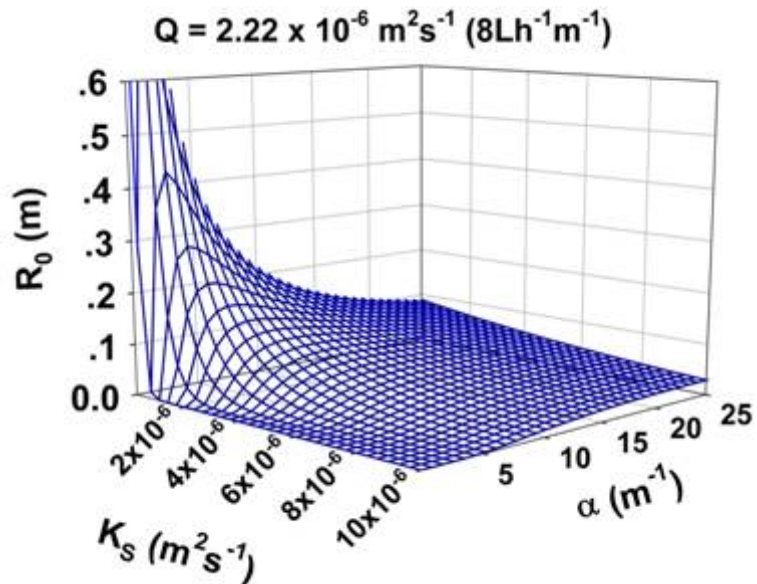
ניתוח של תנאים סביב מקור מים תת קרקעי הוצג על ידי (Philip 1992). בניתוח זה פיליפ סיכם שאזור רווי מתפתח סביב המקור ושם המים עלולים להיות בלחץ חיובי. פיזיקאי אחר (Warrick 1993) השתמש בתפיסה דומה לזו של פיליפ והגדיר את איזור הרווי בתנאים של שיווי משקל ממקור קווי. Warrick היציג איזור רווי בעל רדיוס (R_0):

$$R_0 = \frac{4}{\alpha} \exp \left[- \left(\frac{2\pi K_s}{\alpha Q} \right) - 0.5772 \right] \quad [1]$$

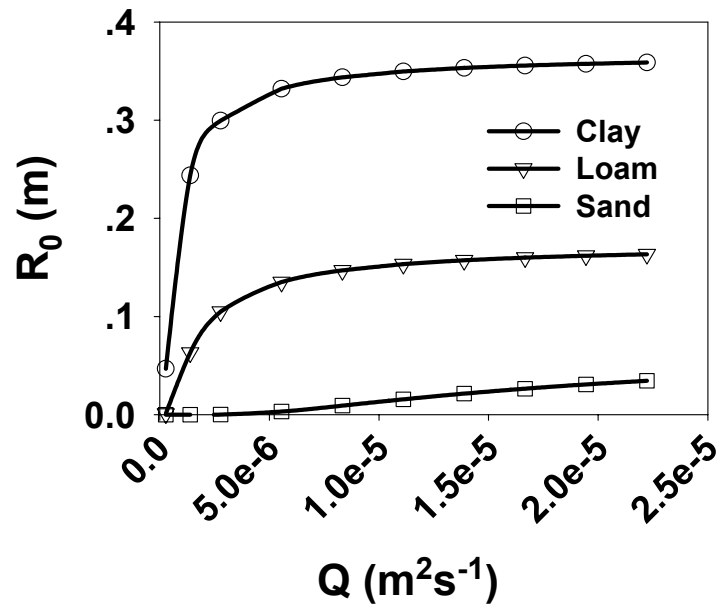
כאשר K_s מוליכות הידראולית, α קבוע של הקרקע, Q ספיקת המקור, ו $\gamma = 0.577216$ (קבוע על שם Euler). המימדים של חלל סביב קו טיפטוף המבטיחים שאין היווצרות של לחץ הם פונקציה של R_0 .

שני (Shani et al. 1996) מדד שינויים בספיקה הקשורים בבניה של לחץ בקרקע סביב הטפטפות. הוא מצא ירידות גדולות יותר בקרקעות כבדות יותר, ירידות גדולות יותר כאשר ספיקות נומינליות עלו, והבדלים קטנים יחסי בספיקות כאשר נקבובים גדולים נמצאו באזור יציאות הטפטפות.

אנחנו פתרנו את נוסחה [1] למקרה של השקיה בטפטוף במטעי תמרים בערבה הדרומית כאשר הספיקה (Q) היא $Q=2.22 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ($8 \text{ Lh}^{-1} \text{ m}^{-1}$). באיור 2 רואים את תחום תכונות ההידראוליות בקרקע שבו היה עולה לחץ נגדי ביציאה של טפטפת. נקבוב גדול המבטיח שאין בו לחץ חיובי הוא פונקציה של סוג הקרקע ובאופן כללי הוא גדול יותר בקרקעות חרסיתיות עם K_S ו α נמוכים. שילוב של K_S קטן מ $10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ עם α פחות מ 2 m^{-1} מחייב R_0 (גודל נקבוב) כל כך גדול (יותר מ 0.5m) שזה לא מעשי. לקרקעות חוליות, עם K_S גדול מ 5×10^{-5} , ה R_0 קטן ואין צורך בתעלת חצץ. באיור 3 מוצג R_0 המשתנה כפונקציה של Q עבור 3 קרקעות טיפוסיות.



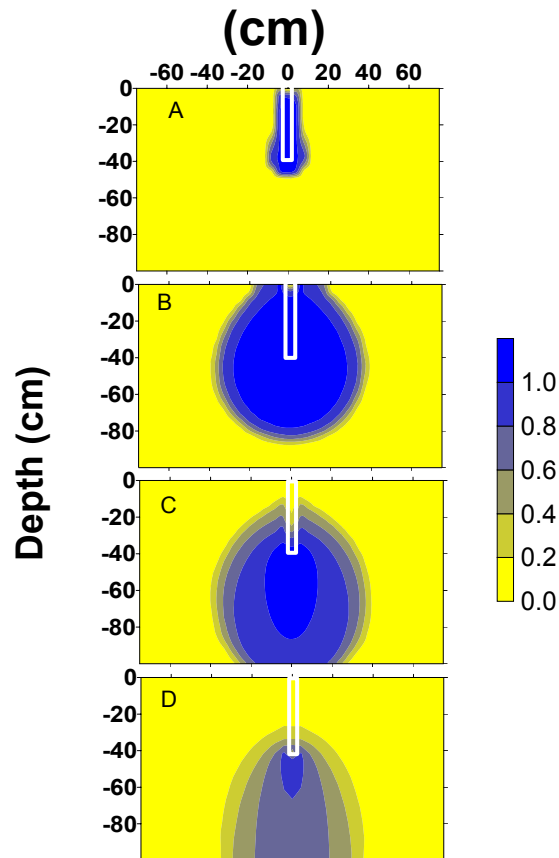
איור 2. השפעת התכונות ההידראוליות של הקרקע על גודל הנקבוב הנדרש למניעת לחץ נגדי סביב מקור מים קוי.



איור 3. השפעת הספיקה הנומינלית של גודל הנקבוב הנדרש למניעת לחץ נגדי סביב מקור מים קווי.

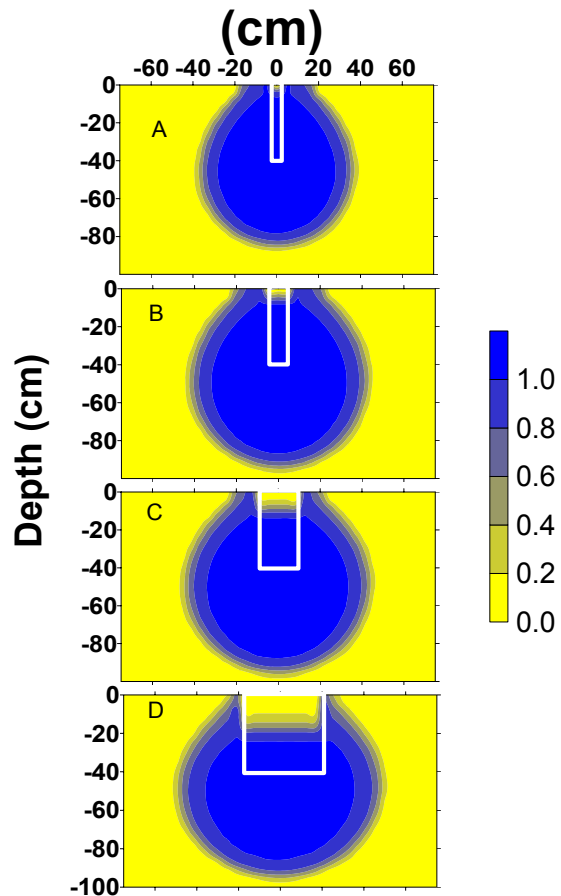
פתרון ספרתי

בתוכנת הסימולציה HYDRUS-2D ver. 2.0 (Simunek et al., 1999) ניתן לחשב זרימת מים והובלת מומסים בקרקע. אנחנו השתמשנו בתוכנה כדי להעריך השפעתם של סוג קרקע ושל גודל תעלות חצץ. התוכנה הותאמה על ידינו לתנאים של בניית לחץ סביב הטפטפת ואיגור מים בחצץ (Lazorovitch et al. 2004, in preparation). ביססנו את ההרצות על צריכת השקיה שיא של מטעי תמרים בערבה הדרומית (12 מ/מיום = 10 שעות ב 8/לשעה למטר שלוחה). לחצץ 10% נקבוביות. טפטפות נמצאו מעל תחתיתם של תעלות בעלי עומק של 40 ס"מ. בדקנו כל אחד של ארבע סוגי קרקע: חול, סיין חולי, סיין, וחרסית בתעלות של 5 ס"מ רוכב. בקרקע סיין חולי נבדקו תעלות שרוכבם היה 5, 10, 20 ו 40 ס"מ.



איור 4. השפעת סוג קרקע על פיזור מים מתעלות חצץ. דרגת רוויה (1=רווי) אחרי 10 שעות של השקיה או ברגע של מים חופשיים על פני הקרקע במודל A חרסית – מים חופשיים אחרי 45 דקות. B. סיין – עליית המים לפני הקרקע אחרי 8 שעות. C סיין חולי. D חול.

הרצות אלו מראות כי כאשר מוליכות הקרקע יורדת, יש צורך לנפח גדול יותר של חצץ על מנת להבטיח שלא תהיה עליה של מים (איור 4). רוחב תעלה של 5 ס"מ לא הספיק עבור ספיקה גבוהה בקרקע חרסיתית או סיינית אבל כן הספיק למנוע עליה של מים לפני השטח בקרקע סיין ובחול (איור 4). בחרסית מים עלו לפני הקרקע אחרי 45 דקות של השקיה ב 8 ל/שעה/מטר (איור 4A) ובקרקע סייני עלייתם של המים קרתה אחרי 8 שעות (איור 4B). הגדלת רוחב התעלה ל 10 ס"מ הצליחה למנוע עליה של מים חופשיים לפני השטח בכל הקרקעות (איור 5B). גידול לרוחב תעלה של 20 ו 40 ס"מ לא רק מונע מים חופשיים בפני הקרקע אלא גם מוריד את רמת הרטיבות בשכבה העליונה של הקרקע (איור 5C ו 5D).



איור 5

. השפעת רוחב התעלה על פיזור מים מתעלת חצץ. דרגת רוויה (1= רווי) 10 שעות של השקייה או ברגע של מים חופשיים על פני הקרקע. תעלות בעומק 40 ס"מ בקרקע סיין. 5 א ס"מ – מים חופשיים אחרי 8 שעות. B 10 ס"מ. C 20 ס"מ. D 40 ס"מ.

ניסוי בכרם

הניסוי בוצע בכרם של 3 דונם עם 400 גפנים של הזן סופירור על קנה סלט קריק בתחנת נסיונות "ערבה" בין שנת 1996 ועד 2003. הקרקע בכרם היא סיין חולי: תכונות ואנליזה התחלתיות נראות בטבלה 1. הגפנים הושקו עונה אחת על ידי טפטוף רע"מ של נטפים 17 מ"מ 2.3 ל/שעה כל 0.4 מ' שהוצב על פני הקרקע ליד שורות הגפנים. מערכת ההשקייה כללה שטיפת שלוחות אוטומטית, שסתומים למניעת ואקום, ומסננים מכוסים בטרפולן למניעת כניסתם של שורשים לטפטפות. לפני זמירה בעונה השניה הכרם חולק לחלקות בעלי 21-24 גפנים כל אחד ב 3-4 שורות. לכל טיפול היו 3 חלקות. הטיפולים כללו טפטוף טמון רגיל בעומק 40 ס"מ (SDI), ותעלות שעומקם 40 ס"מ ורוכבם 20 ס"מ שבתוכם שלוחות הטפטוף ומעלהן חצץ (GRAV). למי ההשקייה (קולחין) מוליכות חשמלית (EC) ממוצע של 2.4 – 2.8 dS/m, pH של 7.4-7.8, וריכוז כלוריד של בין 480-620 mg/L.

במשך 6 שנים נמדדו הספיקות בשיטות הטפטוף השונות, גידול ביומסה (משקל זמירות) ויבול ענבים. טיפול בכרם כולל השקייה, דישון, והגנת הצומח בוצע לפי הנעשה בכרמים מסחריים באיזור ולפי המלצות של מדדריכי שה"מ. באביב 2003 נדגמה הקרקע בין שורות הגפנים לתכולת רטיבות, פיזור בתוך חתך הקרקע של יוני Cl ושל פריסת שורשים.

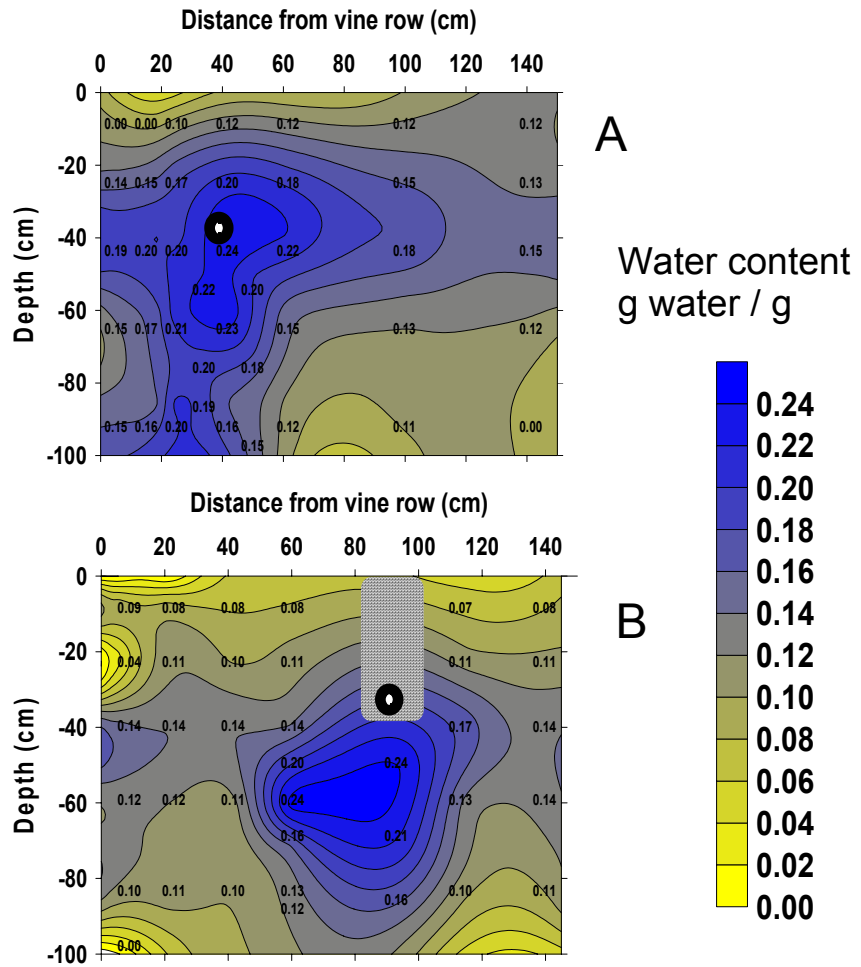
טבלה 1. נתונים התחלתיים של הכרם

Sand	73.6	%
Silt	13.6	%
Clay	12.8	%
θ_s	0.41	$G g^{-1}$
θ_r	0.06	$G g^{-1}$
K_s	1.16×10^{-5}	$(m s^{-1})$
pH	7.8	
EC	2.2	$dS m^{-1}$
Cl	62	$Mg kg^{-1}$

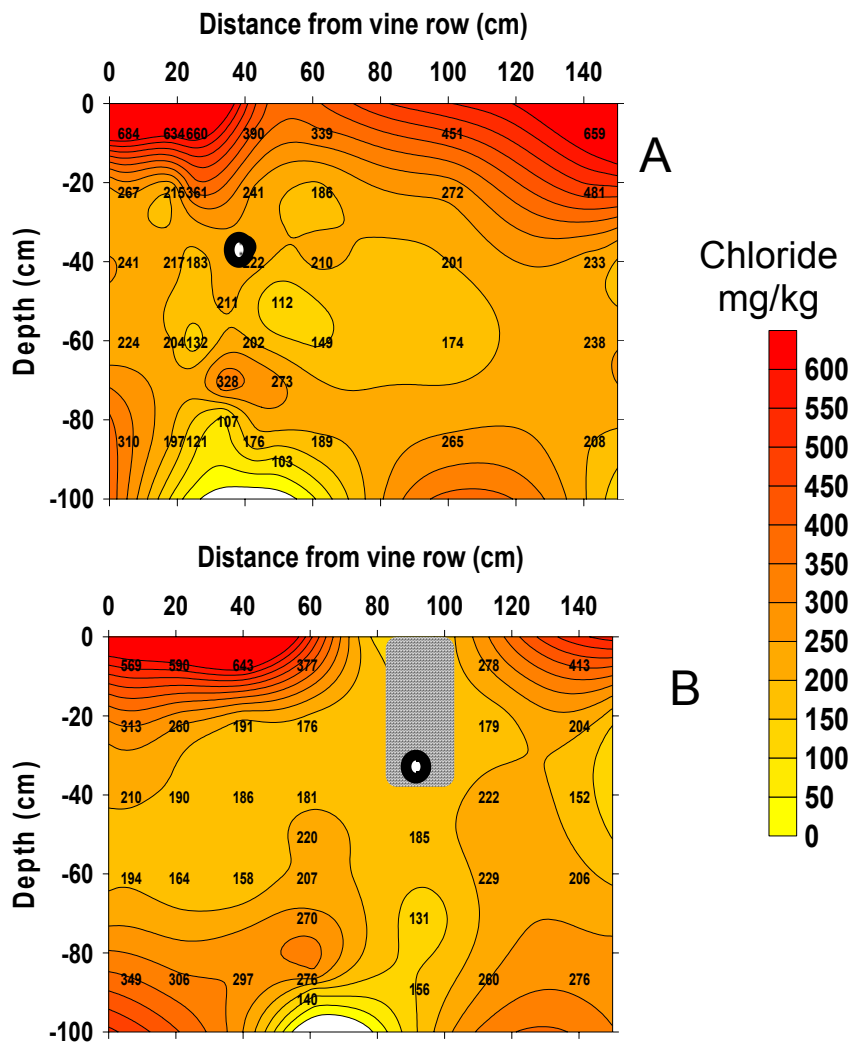
פיזור מים ומומסים בכרם

רטיבות הקרקע בנקודת זמן בין אירועי השקייה נמדדה באביב אחרי 6 שנים של טיפולים. הרטיבות הגבוהה ביותר נמצאת סביב ומתחת שלוחות הטפטוף בכל בטיפולים (איור 6). פיזור המים היה בצורת מעגל סביב טפטפות ב SDI עם רטיבות גבוהה גם מעל וגם מתחת למקור. מים ממקור ה GRAV ירדו יותר כלפי מטה. בשני הטיפולים SDI וGRAV נשמר פני הקרקע יבש.

יוני Cl נמצאו בסדר הפוך לתכולת רטיבות. הצטברותם הגדולה היתה בקצוות אזורי ההרטבה. פיזור כלוריד מוצג באיור 7. נראים ריכוזים נמוכים של Cl מתחת וסביב מקורות המים וריכוזים עולים עם מרחק מהמקורות. ב SDI וGRAV הצטברות Cl גבוהה בפני הקרקע.



איור 6. תכולת רטיבות (גרם מים / גרם קרקע) בקרקע שנדגם בין אירועי השקייה. *SDI A*.
.GRAV B.



איור 7. תכולת כלורידים (מג / קג) בקרקע שנדגם בין אירועי השקיה. .SDI A . GRAV B

פיזור שורשים בכרם

בסיום הניסוי בוצעו צילומים של שרשים בחתכי קרקע חשופים הצילומים מראים שצורת פיזורם של השורשים דומה לזו של הרטיבות (איור 8). צפיפות השורשים גדולה באיזורים הרטובים ביותר. בטיפול ה- GRAV יש יותר פיזור אנכי של שורשים מאשר ב-SDI.



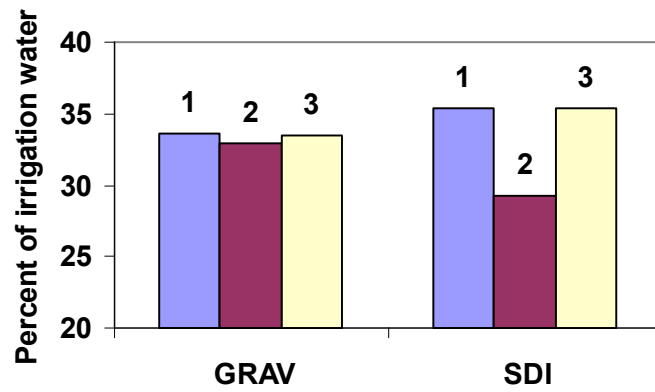
איור 8. תמונות של שורשים חשופים בחתכי קרקע בכרם. למעלה SDI. למטה GRAV. בכל תמונה שורת הגפנים ניצבת למעלה בצד שמאל.

ספיקות, גידול ויבול בכרם

נמדדו ספיקות כנפח ליחידת זמן בכל חלקה של כל טיפול, כסך הכל ספיקה לטיפול וכספיקות של טפטפות בודדות. הספיקות הממוצעות לא השתנו במשך הניסוי וגם לא נמצאו הבדלים בין הטיפולים (איור 9). גם לא נמצאו הבדלים בין טפטפות שהועלו לפני הקרקע בסוף הניסוי. תוצאה זו סבירה על פי משוואה [1] והפתרון הספרתי בהתאם לסוג הקרקע. למרות זאת בחינה של הספיקות בין החלקות (חזרות) בכל טיפול מראה הבדלים גדולים יותר בטיפול ה-SDI בהשוואה ל-GRAV (איור 10).

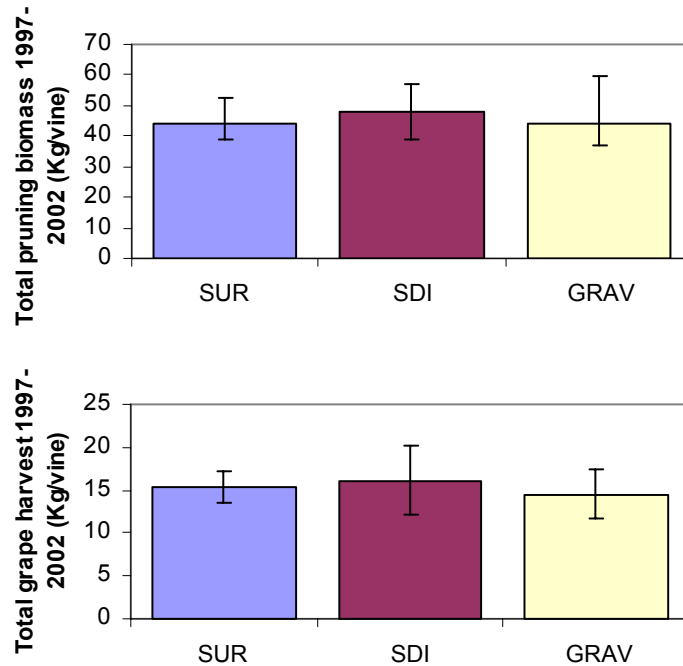


איור 9. ספיקות טפטפת ממוצעות לטיפול (כחול) ומטפטפות בודדות שהוצאו מהקרקע (אדום). "SUR" הוא טיפול של טפטוף עלי שלא מוזכר בדו"ח.



איור 10. חלוקת מים בין חלקות שונות של אותו טיפול.

לא נמצאו הבדלים בין הטיפולים במשקל זמירות או בקשר ליבול פרי (איור 11).



איור 11. משקל סה"כ של זמירות חורף (למעלה) ושל בציר הפרי (למטה) מהכרם בתחנת נסיונות "ערבה" 1997-2002. "SUR" הוא טיפול של טפטוף עלי שלא מוזכר בדו"ח.

דין וסיכום

ספיקות לא אחידות ועליה של מים על פני הקרקע לא צפויות במערכות של טפטוף טמון שמתוכננות נכון. הענין הוא להתאים הצבת הטפטפות, ספיקות, ותכונות הידראוליות של הקרקע. למרות זאת ישנם מקרים שבהם כדאי לעבוד בשיטת תעלות החצץ (GRAV) המוצגת פה. החצץ או כל חומר אחר בעל נקבוביות גבוהה מאפשר השקיה בספיקות גבוהות יותר, פחות טפטפות, הטמנה רדודה יותר, שימוש בטפטפות זולות יותר (לא מתווספות), וטיפול בתנאים בעייתיים או לא אחידים. שיטת הGRAV יכולה לספק טווח ביטחון למים באיכות נמוכה ודרישה של איסור מוחלט למים חופשיים בפני הקרקע. השיטה שימושית במיוחד בקרקעות בעייתיות (מוליכות הידראולית נמוכה) או בקרקעות כל כך לא אחידות שדרישות תכנון למצבים הגרועים לא אפשריים. תעלות החצץ מתאימות למקרים של משכי השקיה מאד ארוכים כמו במטעי תמרים.

ספרות

- Camp C.R. 1998. Subsurface drip irrigation: A review. Trans ASAE 41(5):1353-1367.
- Gardner W.R. 1958 Some steady state solutions to the unsaturated moisture flow equation with applications to evaporation from a water table. Soil Sci. 85 228-232.
- Lamm F. R. 2002 Advantages and disadvantages of subsurface drip irrigation. <http://www.oznet.ksu.edu/sdi/Reports/2002/ADofSDI.pdf>. Kansas State

- University, Colby Kansas. Originally presented at International meeting on Advances in drip/micro irrigation, Puerto de La Cruz, Tenerife, Canary Islands, December 2-5, 2002.
- Philip J.R. 1992 What happens near a quasi-linear point source? *Water Resour. Res.* 28 47-52.
- Shani, U. and Or, D. 1995. In situ method for estimating subsurface unsaturated hydraulic conductivity. *Water Resour. Res.*, V. 21, P.1863-1870.
- Shani, U., S. Xue , R. Gordin-Katz and A.W. Warrick. 1996. Soil-limiting discharge for subsurface emitters. I: pressure measurements. *J. of Irrig. and Drain. Eng.* 122:291-295.
- Simunek, J., M. Sejna, and M. T. van Genuchten, 1999. The HYDRUS-2D software package for simulating two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media, Version 2.0, Rep. IGWMC-TPS-53, 251 pp., IGWMC, Colorado School of Mines, Golden, Co.
- Trooien T. P., Hills D.J., and Lamm, F.R. 2002. Drip Irrigation with biological effluent. In *Proc Irrigation Assn. Int'l Irrigation Technical Conf.*, October 24-26, 2002, New Orleans, LA. Irrigation Assn, Falls Church VA. Also available at <http://www.oznet.ksu.edu/sdi/Reports/2002/DIBioEff.pdf>.