

דו"ח מסכם לתוכנית מחקר מספר 301-0595-10

ייעול ניצול מי גשם בחקלאות בעל באזורים צחיחים: מימשק משולב של קציר נגר ומתן פולימרים

Improving rainwater use efficiency in arid zone dryland farming by runoff
harvesting and polymer application

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י:

ג. לוי, י. שיינברג, ד. גולדשטיין, המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי,
מרכז וולקני.

פ. ברלינר, ג. כרמי, מכון בלאושטיין לחקר המדבר, אוניברסיטת בן גוריון.

G. Levy, I. Shainberg, and D. Goldstein, Institute of Soil Water and Environmental
Sciences, ARO, The Volcani Center, P.O. Box 6 Bet Dagan 50250.

P. Berliner and G. Carmi, The Blaustein Institute for Desert Research, BGU.

E-mail: vwguy@volcani.agri.gov.il

מאי 2012

סיון תשע"ב

2. האם הנך מאשר את ציון הפסקה הבאה בדף הפתיחה לדו"ח - כן
הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים ואינם מהווים המלצות לחקלאים

חתימת החוקר:



תוכן עניינים

2	3. תקציר מדעי
3	4. רשימת פרסומים
3	5. מבוא
5	6. שיטות וחומרים
8	7. תוצאות ודין
14	8. רשימת ספרות מצוטטת
15	9. סיכום עם שאלות מנחות
16	10. נספחים (טבלאות, תמונות ואיורים)

3. תקציר

קיום חקלאות בעל באזורים בהם המשקעים השנתיים הם קטנים מ-250 מ"מ ו\או התפלגותם לאורך תקופת הגשם איננה אחידה, מותנית בהוספת מים ממקור אחר. הדרך הפשוטה, היעילה והזולה היא לנצל מי נגר הנוצרים באירועי גשם באזורים הסמוכים לגידול ולאגור אותם באזור בית השורשים. ניצול מרבי של מי הנגר מחייב הקטנת אובדני מים שלא תורמים להתפתחות הצמח, והחשוב ביניהם, באזורים צחיחים, הוא אידוי המים שלא מפני שטח העלים. מי הנגר יכולים להתאדות כאשר הם עומדים בשטח המקבל במהלך תהליך חידור המים לקרקע, בעיקר עקב היווצרות קרום משקע בעל חדירות נמוכה למים בפני הקרקע, ולאחר מכן מפני הקרקע הלחים. שיטת איסוף מי נגר בתעלות ושתילת עצים בתוכן תקטין עד מאוד את האידוי מפני הקרקע הלחים שבתוך התעלה. ניתן למזער את האידוי של המים העומדים על ידי הוספת מטייבי קרקע בתחתית התעלה אשר מונעים היווצרות קרום משקע בעלי כשר חידור נמוך למים. אולם, השפעת קרום משקע, בנוכחות והעדר מטייבי קרקע, על התאדות מים מפני קרקע לחים אינה ברורה וצריכה להיחקר.

מטרתו הכללית של המחקר הייתה לצמצם אובדני מים להתאדות בממשק קציר נגר בתעלות תוך שימוש במטייבי קרקע (פוליאקרילאמיד וגבס זרחתי). הניסויים כללו ניסויי עמודות במעבדה בהם בחנו את השפעת תוספת פולימר על (1) המוליכות ההידראולית של קרום משקע, (2) על חידור למים והתאדות מעמודות קרקע לחות, ו- (3) בחינת יעילות השימוש בתעלות לשימור מים במימשק קציר נגר ושימושם על ידי עצים.

תוצאות המחקר הראו שתוספת פולימר משפרת את המוליכות ההידראולית של קרום משקע כאשר מקור הקרום הוא בקרקע נתרנית ($ESP=14$). בקרקע לא נתרנית תוספת פולימר בנוכחות או העדר גבס לא תרמה לשיפור במוליכות ההידראולית של קרום המשקע בהשוואה לטיפול הביקורת. לא נמצא הבדל בכשר החידור של הקרקע בין טיפול הפולימר לביקורת. מאידך, מדידות מוליכות הידראולית בעזרת TENSION INFILTRMETER מראות שהמוליכות ההידראולית הממוצעת של הקרקע בטיפול הפולימר הייתה נמוכה כמעט פי ארבע מזו שבביקורת. כאשר הקרום שנוצר

בקרקה הביקורת מתייבש (תקופה חמה) לא מתאפשרת תנועה חופשית של אדים בקרקע ומתקבל פחות אידוי מאשר בטיפול הפולימר. כאשר קצב התאדות פוטנציאלית קטן ושכבת הקרקע העליונה לא מתייבשת (תקופה קרה), אין הבדל באידוי בין הטיפולים. תוצאות ניסוי השדה הראו שלפחות בשלב הגידול הראשוני של עצי זית בתנאי בעל וקציר נגר, לגידול בשוחות יתרון מובהק על פני גידול בנגרינים מבחינת יעילות השימוש במים וצמצום אובדני מים להתאדות מהקרקע.

4. רשימת פרסומים

1. יונתן אוטצפ. (2009). השפעת קרומי מבנה (פיזיקליים) על התאדות מים מקרקע. עבודת גמר לתואר מוסמך, המכון לחקר המדבר, אוניברסיטת בן-גוריון.
2. Shainberg, I., Goldstein, D., Mamedov, A.I., and Levy G.J. (2011). Granular and dissolved PAM effects on the hydraulic conductivity of a fine sand and a silt loam. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75: 1090-1098.

5. מבוא

קיום חקלאות בעל באזורים שחונים מותנה בהקטנת אובדני מים, דהיינו מים שאינם עוברים דרך הצמח. ממשק בעל פוטנציאל לחקלאות בעל באזורים בהם כמות המשקעים השנתית קטנה מ 250 מ"מ, הוא קציר נגר, קרי חלוקת השטח לשטח תורם נגר ולשטח מקבל נגר, כאשר הגידול נמצא רק באחרון. יעילות הפיכת גשם לנגר עולה עם הקטנת המרחק של זרימת הנגר ממקום היווצרותו עד למקום איסופו. בשיטת הנגרינים (Micro Catchments) מנצלים עובדה זאת ע"י יצירת אגני ניקוז ושטחי קליטה קטנים ושקועים כמה מאות מטרים רבועים וכעשרה מטרים רבועים בהתאמה (1). במערכת כזאת ניתן לקלוט נגר גם באירועי גשם עם עוצמות נמוכות יחסית. בשל ממדי השטח התורם נפחי המים שניתן לאסוף בנגרינים קטנה ונהוג לטעת עץ אחד בשקע המלאכותי בו נקלטים המים. רוב התצפיות שנערכו בנגרינים בנגב במהלך השנים הראו שהעצים שנטעו בשקעים הנ"ל לא התפתחו כל כך טוב (בהשוואה להתפתחות של אותם מינים במערכות גדולות (לימנים)), למרות שכמות מי הנגר שנאספו היו אמורים להספיק להתפתחותו התקינה של העץ לאורך העונה היבשה. הסבר לחוסר ההצלחה הנ"ל נעוץ כנראה באידוי מי הנגר מהשקע אשר בו נאספו. האידוי יתרחש כאשר מים עומדים בשקע ולאחר תום תהליך האינפילטרציה מפני הקרקע הלחים (השקע והשטחים הסמוכים). מדידות של התפלגות תכולת הרטיבות בקרקע (במרכז השקע ובשלושה מרחקים מדופן השקע) במשך תקופה ארוכה לאחר חיקוי של אירוע הנגר הראו שהאידוי מבורות עמוקים קטן בכ-50% מאובדן מים מבורות רדודים (2). הבדל זה נבע מהרטבת שטח ניכר מסביב לבורות רדודים וזאת כתוצאה מהתנועה האופקית של המים תוך כדי ולאחר קליטתם בשקעים. בשקעים רדודים פני השטח המורטבים גדול משטח בשקע ולכן האידוי רב, לעומת שקעים עמוקים אשר בהם המים שנעו אופקית היו רחוקים מפני הקרקע והאידוי התרחש אך ורק מפני הבור

המורטבים.

על אף יעילותה, גישה זאת איננה ישימה ולכן פותחה שיטה אלטרנטיבית המבוססת על אגירת מי נגר בתעלות צרות ועמוקות, כאשר שתילת העצים נעשית בתוך התעלה. לקונפיגורציה זאת יתרון נוסף, בכך שכאשר העצים מתפתחים חופתם מטילה צל על פני התעלה, ומקטינה באופן משמעותי את האוורור בתוך התעלה ובכך מפחיתים עוד יותר את ערכי האידוי מהתעלה. בעזרת ממשק זה מושגת הפחתת ערכי האידוי הישיר לרמה מינימאלית. מאחר ומרבית אירועי גשם יוצרים מעט נגר, מים שהיו מבוזבזים עקב אידוי לאטמוספירה חודרים בממשק המוצע לפרופיל הקרקע בתוך התעלה וזמינים לשימוש עתידי ע"י העצים.

התפתחות עצים כגון זית, הנחשב כמותאם לאגרוטכניקה המוצעת, לוקח מספר שנים ובתקופה זו יכולים להתאדות כמויות לא זניחות של מים מפני הקרקע המורטבים שבתחתית ובדפנות התעלה. האידוי יתרחש ממי הנגר העומדים בתעלה ולאחר מכן מפני התעלה והדופן הרטובים. לכן דרוש צעד נוסף כדי להבטיח את הצלחת השיטה המוצעת, והוא הקטנת איבודי המים בשלבים הראשונים של התפתחות העצים. התהליך הראשון, אובדן של מי נגר לאידוי בשלב בו הם עומדים בתעלה, במהלך תהליך חידור המים לקרקע, מושפע מתנאי פני השטח בתוך התעלה. בזמן שמי הנגר נשפכים אל התעלה הם גורמים לשבירה והרס של התלכידים בפני הקרקע בתחתית התעלה. התלכידים שעברו שבירה שוקעים במים העומדים בתעלה ויוצרים על פני הקרקע קרום משקע (depositional seal). קרומי משקע מאופיינים בצפיפות גבוהה, נקבובים צרים ביותר ומוליכות הידראולית הנמוכה בשלושה סדרי גודל יותר מזו של הקרקע (3,4,5).

ניתן לשנות את מבנה ותכונות קרום המשקע בעזרת שימוש במטייבי קרקע כגון פוליאקרילאמיד ו/או גבס זרחתי כך שצפוי שכשר החידור שלו יהיה גבוה יותר וכך ניתן יהיה לקצר את משך עמידת מי הנגר בתעלה ולמזער את אובדן המים לאידוי. עם זאת לא ברור מה מידת ההשפעה של מטייבי הקרקע על ההתאדות מפני הקרקע הלחים בתעלה לאחר סיום חידור המים. אנו משערים כי תכונות פני השטח, המושפעות מהוספת מטייבי הקרקע, עשויות להשפיע לא רק על אובדני מים במשך תהליך חידור המים, אלא גם לשנות בצורה משמעותית את מהלך האידוי מפני הקרקע הלחים בתעלה לאחר סיום חידור המים ולהשפיע לכן על מאזן המים הכולל.

מטרתו הכללית של המחקר המוצע היא לצמצם אובדני מים להתאדות בממשק קציר נגר תוך שימוש במטייבי קרקע (פוליאקרילאמיד וגבס זרחתי). מטרותיו הפרטניות של המחקר הן:

א. לימוד השפעת תכונות חומר המוצא של קרום המשקע (ריכוז מקטעי החרסית והסילט ורמת נתרן ספוח) על יכולת החידור של הקרום ועל התאדות מים ממנו.

ב. לימוד השפעת הוספת מטייבי קרקע (פוליאקרילאמיד וגבס) לפני הקרקע על כשר החידור של הקרקע למי נגר ועל התאדות מים מקרקע לחה.

ג. בחינת יעילות השימוש בתעלות לשימור מים במימשק קציר נגר ושימושם על ידי עצים.

6. שיטות וחומרים

6.1 ניסויי מעבדה

6.1.1 מוליכות ההידראולית של קרומי משקע

המוליכות ההידראולית של קרומי משקע נלמדה במעבדה תוך שימוש בשיטת העומד הקבוע ובעמודות פרספקס בהן נארזו דוגמאות קרקע מופרות. בוצעו הניסויים הבאים:

א. השפעת תוספת מטייבי קרקע על המוליכות ההידראולית ברוויה – בניסוי זה הוכנו עמודות קרקע מקרקע לס סידנית שנדגמה ממושב נבטים. לפני הקרקע הוספו גרגרי פולימר (פוליאקרילאמיד טעון שלילית) בעל משקל מולקולרי גבוה (20 מיליון דלטון, A110) או בינוני (200 אלף דלטון, P21) בשיעור של 2 גר/מ² בנוכחות או העדר של גבס (PG) בשיעור של 200 גר/מ². לאחר פיזור הפולימר נשטפה הקרקע ישירות מלמעלה במים חסרי מלחים (קרי לא בוצעה הרוויה של הקרקע מלמטה). התשטיף שהתקבל מתחתית העמודה נאסף במבחנות באופן רציף תוך שימוש באוסף מקטעים. נפח התשטיף בכל מבחנה נמדד ושימש לחישוב המוליכות ההידראולית ברוויה. שטיפת הקרקע ארכה עד קבלת מצב עמיד בו נפח המים שנאסף במבחנות לא השתנה עם הזמן. טיפולי הביקורת כללו שטיפת עמודת הקרקע ללא תוספת של מטייבי הקרקע במים חסרי מלחים.

ב. השפעת סוג וכמות הפולימר המוסף על המוליכות ההידראולית של קרום משקע - בניסוי זה הוכנו עמודות קרקע מקרקע לס סידנית שנדגמה ממושב נבטים. לפני הקרקע הוספו גרגרי פולימר בעל משקל מולקולרי גבוה (A110) או בינוני (P21) בשיעור של 2 או 4 ק"ג/ד' בנוכחות או העדר של גבס (PG) בשיעור של 50 ק"ג/ד'. תרחיפים במים מזוקקים (חיקוי למי גשם) המכילים חלקיקי קרקע בגודל $> 5 \mu m$ מיקרון שמשו כחומר המוצא לקרומי משקע. תרחיפי קרקע בריכוז של 0.5% הוכנו מקרקע שדה בוקר בעל אחוז נתרן ספוח (ESP) של 13.85. ראשית, עמודות הקרקע הורו מלמטה במים חסרי מלחים. בתום תהליך ההרוויה נשטפו עמודות הקרקע מלמעלה בתרחיף הקרקע. התשטיף שהתקבל מתחתית העמודה נאסף במבחנות באופן רציף תוך שימוש באוסף מקטעים. נפח התשטיף בכל מבחנה נמדד ושימש לחישוב המוליכות ההידראולית ברוויה. שטיפת הקרקע ארכה עד קבלת מצב עמיד בו נפח המים שנאסף במבחנות לא השתנה עם הזמן. טיפולי הביקורת כללו שטיפת הקרקע ללא תוספת של מטייבי הקרקע (i) בתרחיף קרקע, (ii) במים חסרי מלחים, (iii) בתמיסת מלח בריכוז 10 מא"ק/ל' בעלת יחס ספיחת נתרן (SAR) של 10.

ג. השפעת סוג הפולימר המוסף ורמת הניתרון של הקרקע בתרחיף על המוליכות ההידראולית של קרום משקע - בניסוי זה הוכנו עמודות קרקע מקרקע לס סידנית שנדגמה ממושב נבטים. לפני הקרקע הוספו גרגרי פולימר בעל משקל מולקולרי גבוה (A110) או בינוני (P21) בשיעור של 4 ק"ג/ד' בנוכחות או העדר של גבס (PG) בשיעור של 50 ק"ג/ד'. תרחיפי קרקע בריכוז של 0.5% הוכנו מקרקע שדה בוקר בעלת ESP של 4 או 14. ראשית, עמודות הקרקע הורו מלמטה במים חסרי מלחים. בתום תהליך ההרוויה נשטפו עמודות הקרקע מלמעלה בתרחיף הקרקע. התשטיף שהתקבל מתחתית העמודה נאסף במבחנות באופן רציף תוך שימוש באוסף מקטעים. נפח התשטיף בכל מבחנה נמדד ושימש לחישוב המוליכות ההידראולית ברוויה. שטיפת הקרקע ארכה עד קבלת

מצב עמיד בו נפח המים שנאסף במבחנות לא השתנה עם הזמן. טיפולי הביקורת כללו שטיפת הקרקע ללא תוספת של מטייבי הקרקע (i) בתרחיף קרקע, (ii) במים חסרי מלחים.

6.1.2. חידור למים והתאדות מקרקע

ניסויי החידור למים וההתאדות בוצעו בחדר מבוקר טמפרטורה (26°C) או על גג בניין המעבדות (גובה 8 מ' מפני הקרקע) במכון לחקר המדבר בשדה בוקר. הניסויים בוצעו בקרקע סיין חולית משדה בוקר. קולונות בגובה של 90 ס"מ וקוטר של 15 ס"מ נארזו בקרקע שעברה דרך נפה של 2 מ"מ לצפיפות של 1.65 גר/ס"מ³. בניסויים נבחנה השפעת תוספת פולימר (4 ק"ג/ד'), גבס (200 ק"ג/ד') ופולימר+גבס לקרקע על חידור הקרקע למים וההתאדות ממנה. הפולימר בו השתמשנו היה פוליאקרילאמיד (A110) בעל משקל מולקולרי גבוה (12 מיליון דלטון) וצפיפות מטען של 20%. התוספים שנבחנו הוספו לקרקע באופן הבא: גבס ותערובת פולימר+גבס פוזרו בכמות הנדרשת על פני הקרקע. במקרה של תוספת פולימר לבד כמות הפולימר הנדרשת עורבבה עם 20 גר' קרקע והתערובת פוזרה באופן אחיד על פני הקרקע. טיפול הביקורת (ללא תוספים) נבחן עם וללא פילטר נייר שהונח על פני הקרקע למנוע היווצרות קרום בעת הרטבת העמודות.

מדידת חידור המים לעמודות בוצעה כדלקמן. לכל עמודה הוספו 4.5 ל' מי ברז באופן מידי (בערך תוך 10 שניות) ולאחר מכן נערך מעקב אחר גובה המים מעל לפני הקרקע בעמודה. נפילת מפלס המים נמדדה כל 5 דקות בתחילת הניסוי, אחר כך כל 15 דקות, 30 דקות, שעה, ובסוף המפלס נמדד כל 3 שעות במהלך 12 שעות מתחילת הניסוי.

בסיום מדידות החידור נעטף החלק העליון של העמודה בפוליאיתילן עד תחילת ניסוי ההתאדות שנערך בחדר טמפרטורה או על גג הבניין. בוצעו 3 ניסויים לצורך מדידות ההתאדות. אחד בחדר טמפרטורה ושניים על גג הבניין, אחד בתקופה חמה (חודשים אוגוסט ספטמבר) ואחד בתקופה קרה (חודש דצמבר). מדידות ההתאדות כללו שקילת העמודות אחת ליום במשך 62 יום בניסוי בחדר הטמפרטורה ובמשך 17 יום בניסוי שנערך בתקופה החמה ובמשך 60 יום בתקופה הקרה בניסויים שנערכו על גג הבניין.

לאחר סיום הניסוי בגג בתקופה החמה השתמשנו ב- TENSION INFILTRMETER כדי להעריך מוליכות הידראולית של קרקע בכל עמודה. בסוף בדיקה זו צולמו פני השטח בעמודה בעזרת מיקרוסקופ IPM SCOPE וכן נלקחו דוגמאות מפני הקרקע לבדיקה במיקרוסקופ אלקטרוני סורק (SEM).

6.2. ניסוי שדה

בוצעו שני ניסויי שדה, אחד במטע זיתים הקיים בחוות הניסיונות במשש ואחד בשוחות שהוכנו לצורך המחקר הזה בקמפוס בשדה בוקר. בתוכנית המחקר הוצע שכל הניסויים יתבצעו במטע זיתים קיים בחוות הניסיונות במשש. לצורך השגת מטרות המחקר ולאור כמות המשקעים הקטנה באזור חוות משש והאקראיות בכמות ובפיזור הגשם במהלך העונה, הוחלט להוסיף לניסויים

בחוות משש גם ניסויים במטע זיתים חדש בקמפוס המכון לחקר המדבר בשדה בוקר בו ישנה אספקת מים וניתן לבצע חיקוי לגשם ולהזרים כמות מים לכל שוחה, האקוויוולנטית לכמות שתתקבל משטח תורם של 60 מ² לעץ ולגשם של 100 מ"מ. כך חילקנו את ניסויי השדה לניסויים המתבצעים בעיקר בעונת הגשמים (רק מעקב אחרי תכולת רטיבות ואידוי מקרקע מתבצע לאורך כל שנה) בחוות משש וניסויים "אקטיביים" – מילוי שוחות, מעקב אחרי ירידת מפלס מים, הערכת השפעת טיפולים שונים על קצב חידור וכל המתבצעים במטע הזיתים החדש שהוכן בקמפוס מכון לחקר המדבר בשדה בוקר.

6.2.1. ניסוי שדה במטע זיתים הקיים בחוות ניסיונות משש.

מטע הזיתים הקיים בחוות משש הוא בן שלוש שוחות באורך של 50 מ', רוחב של 1.2 מ' ועומק של 1 מ'. בכל שוחה ישנם 13 עצי זית. כל שוחה מקבלת מים בעונת הגשמים משטח תורם של 780 מ² (60 מ² לעץ) המכוסה בפוליאיתילן כך שכמעט 100% של גשם הופכים לנגר הזורם לשוחות. כמות ועוצמת הגשם נמדדים על-ידי מכשיר רושם גשם וכמות ועוצמת הנגר באמצעות מד-נגר המבוסס על עקרון של tipping bucket. במרכז כל שוחה ובמרחק של עד 90 ס"מ ממנה (כל 15 ס"מ) ישנם קידוחים עם צינורות אלומיניום למדידת תכולת רטיבות על-ידי מפזר ניאטרונים. הניסוי כלל מעקב אחר גשם, נגר, התפלגות תכולת רטיבות עם העומק והזמן ושטח החתך של גזע העצים בשוחות.

6.2.2. ניסוי שדה בשוחות חדשות בשטח הקמפוס של המכון לחקר המדבר.

תוך כדי הכנת חלקות ניסוי השדה (חושות עם שתילת עצים, קידוחים למדידת תכולת רטיבות וכו') במהלך חורף 2008-2009 חלה סערה ב- 23.03.2009 בעוצמה חזקה וכמות משקעים גבוהה (עבור אזור שדה בוקר) של 20 מ"מ. כתוצאה מכך הוצפו ונהרסו כל חלקות הניסוי. כל מערך ניסוי השדה נבנה מחדש בסוף שנת 2009 יחד עם בניה של סוללות עפר מסביב לחלקות הניסוי בכדי להגן עליהן מפני נגר וסחף. נבנו חלקות ניסוי שכללו 12 שוחות באורך 12 מ', רוחב 1 מ' ועומק 1 מ' כל אחת. לכל שוחה הוזרמו 18 מ"ק מים ונערך מעקב אחר קצב חידור המים לקרקע. כדי למנוע את השפעת כמות הרחופת המשתנה על מהלך החידור החלטנו למדוד את השפעת הטיפולים על מהמלך האנפילטרציה באמצעות מד חידור בעל עומד יורד (FALLING HEAD INFILTRMETER). מדי החידור נבנו מצינור פרספקס בקוטר 17 ס"מ ואורך של 40 ס"מ. גובה המים מעל פני הקרקע נמדד באמצעות סרגל שהורכב על גבי מצוף. מילוי המד- חידור נעשה בכמויות זהות של מים (5 ל") מגובה קבוע (1 מ', דומה למצב בעת שיטפון). קצב ירידת מפלס המים נמדד בשני אתרים (קרוב לפני השטח ובתוך השוחה) וב-4 טיפולים (כל אחד ב- 3 חזרות): ביקורת, פיזור של 4 ק"ג/ד' פולימר A110, פיזור של 50 ק"ג/ד' גבס, פיזור משולב של פולימר וגבס. לרוע מזלנו שוב חלה סערה יוצאת דופן ב- 17.01.2010 הפעם של 74 מ"מ גשם בעוצמה חזקה שהצליחה להרוס גם את סוללות המגן שנבנו וגם את חלקות הניסוי.

במהלך שנת 2010 הקמנו את ניסוי שדה בפעם השלישית עם אמצעי הגנה מוגברים. חפרנו 12 שוחות החדשות עם הגנה הקפית מסיבית כאשר בכל שוחה שתלנו 3 עצים. במגביל לשוחות נבנו ארבע ניגרינים (MICROCATCHMENTS) עם שטח 3×3 מ'. בכל ניגרין נשתל עץ. ארבע קידוחים למדידת תכולת רטיבות קרקע בעזרת מפזר נויטרונים הוכנו בניגרינים, שלוש בתוך השטח לצד אחד מהעץ ובמרחק 0.3 מ' אחד מהשני, וקידוח רביעי הוכן מחוץ לשטח ניגרין במרחק 0.5 מ' מהקצה. בשוחות קידוחים הוכנו בסדר הבא: אחד הוכן בתוך השוחה בין העצים וארבעה נוספים הוכנו בצד של השוחה. המרחק בין הקידוח הקרוב ביותר לשוחה הוא 0.2 מ' וכל האחרים הם במרחק 0.15 מ' אחד מהשני. מערך ניסוי שדה בקמפוס שדה בוקר מוצג בתמונה 1 ואיור 1.

ב-27.04.2011 הושקו העצים עם כמות השקיה של 1.5 מ^3 לעץ, כך שכל שוחה הושקתה עם 4.5 מ^3 מים וכל ניגרין עם 1.5 מ^3 מים. מדידות תכולת רטיבות בקרקע בוצעו בשלוש שוחות ובשלושה ניגרינים. בשנת 2010 נקנתה מערכת סאב פלואו (sap flow) מחברת Granier שהותקנה בעץ אחד בשלושת הניגרינים ובעץ אחד בשלושת השוחות בהם היו מדידות תכולת רטיבות. המערכת מחוברת ל-DATA LOGGER ונתונים נאספים כל שעה. מנתונים אלו ומדידות קוטר העצים שנערכו אחת לחודש חושבה הטרגנספירציה.

7. תוצאות ודיון

7.1. ניסוי מעבדה

7.1.1 מוליכות הידראולית של קרומי משקע

7.1.1.1 השפעת תוספת מטייבי קרקע על המוליכות ההידראולית ברוויה

תוצאות ניסוי זה מוצגות באיור 2. ניתן לראות כי מתן פולימר לבד (ללא תוספת גבס) אינה גורמת לשיפור במוליכות ההידראולית של הקרקע במקרה של הפולימר P21 ואף גורמת להרעה במוליכות ההידראולית במקרה של הפולימר עם המשקל המולקולרי הגבוה (A110). ההשפעה השלילית של פולימר בעל משקל מולקולרי גבוה על המוליכות ההידראולית של הקרקע כבר דווחה בעבר (6,7). השפעה זו של הפולימר יוחסה לכך שבעת שהפולימר בא במגע עם התמיסה השוטפת הוא מתמוסס בה וגורם לעליה בצמיגותה. ככל שצמיגות התמיסה עולה כך פוחתת המוליכות ההידראולית של הקרקע (6). עם זאת מאחר והמוליכות ההידראולית נשמרה נמוכה לאורך כל מהלך השטיפה נראה כי מנגנון הצמיגות אינו היחיד שפועל. מוצע לכן שחלק מהפחיתה במוליכות ההידראולית נובע מכך שהפולימר נספח בחלקו לתלכידי הקרקע ואילו חלקי המולקולה שאינם נספחים לקרקע נמצאים בנקבובים וגורמים להצרתם ולפחיתה בכשר תנועת המים דרכם. בעת השימוש ב-P21 הפחיתה במוליכות ההידראולית קטנה יותר מאשר בעת השימוש ב-A110 כיון שהמשקל המולקולרי של P21 קטן יותר לכן המולקולות שלו קצרות יותר ולכן אורך המולקולות שאנן ספוחות לקרקע גם כן קצר יותר וההפרעה למעבר מים קטנה יותר (איור 2).

בנוכחות גבס נשמרת מוליכות הידראולית גבוהה יותר מאשר בביקורת (מים חסרי מלחים בלבד) כיון שבעת שטיפה הגבס מתמוסס ומעלה את ריכוז המלח בתמיסה השוטפת ומונע תהליכי תפיחה שמתרחשים בקרקע בעת שטיפתה במים חסרי המלחים (איור 2).

מתן משולב של פולימר עם גבס משפר את המוליכות ההידראולית בהשוואה לביקורת בשני סוגי הפולימר (איור 2) כתוצאה משני תהליכים: (א) נוכחות הגבס תורמת למניעת תהליכי תפיחה, ו- (2) נוכחות הגבס מקטינה את ההשפעה השלילית של הפולימר על המוליכות ההידראולית. התהליך השני נובע מכך שבנוכחות גבס והעליה בריכוז המלחים בתמיסה השוטפת, מולקולות הפולימר נוטות ליצור סלילים (8) כך שאורכן קצר יותר והשפעתם על העליה בצמיגות התמיסה מתונה יותר (9,10). בנוסף, קצות הסלילים שאינם ספוחים לקרקע ומצויים בנקבובי הקרקע מהווים הפרעה קטנה יותר לתנועת המים דרך הנקבובים.

7.1.1.2. השפעת סוג וכמות הפולימר המוסף על המוליכות ההידראולית של קרום משקע

תוצאות ניסויים אלו מוצגים באיור 3 ו-4. שטיפת עמודות הקרקע בתרחיף קרקע גרמה לפחיתה משמעותית במוליכות ההידראולית של הקרקע בהשוואה לזו שהתקבלה בעת שטיפת הקרקע במים חסרי מלחים. הפחיתה נובעת מכך שבעת השטיפה בתרחיף נוצר קרום משקע בפני הקרקע כתוצאה מהצטברות חלקיקי הקרקע שהגיעו עם התרחיף ולא הצליחו לחדור דרך נקבובי הקרקע שבעמודה. כפי שדווח במחקרים קודמים (3), לקרום משקע מוליכות הידראולית נמוכה מאוד (>2 מ"מ/ש').

פיזור גרגרי פולימר בעל משקל מולקולרי גבוה (A110) בשיעור של 2 או 4 ק"ג/ד' על פני הקרקע בעמוד לא גרמה לשינוי בעקום המוליכות ההידראולית בהשוואה לטיפול הביקורת (ללא תוספת פולימר או גבס) (איור 3). מאידך תוספת דומה של גרגרי פולימר בעל משקל מולקולרי בינוני (P21) גרמה לשיפור במוליכות ההידראולית בהשוואה לטיפול הביקורת (איור 4). נראה כי תרומת הפולימר לתהליך הפלוקולציה של חלקיקי הקרקע בתרחיף, שתרמה ליצירת קרום משקע בעל מבנה "פתוח" יותר ומוליכות הידראולית גבוהה יותר (11), הייתה גדולה יותר מהשפעתו השלילית של הפולימר על המוליכות ההידראולית של הקרקע, (על פי המנגנונים שפורטו בסעיף א), במקרה של הפולימר P21 בהשוואה לפולימר A110 בעל המשקל המולקולרי הגבוה יותר.

תוספת של גבס לפני הקרקע תרמה, כצפוי, לשיפור במוליכות ההידראולית של הקרקע (איור 3). בעת שטיפת הקרקע עם התרחיף הגבס מתמוסס ומעלה את ריכוז המלחים בתרחיף. בעקבות זאת חלקיקי הקרקע בתרחיף עוברים פלוקולציה ומתקבלים חלקיקים גדולים יותר שעם שקיעתם על פני הקרקע יוצרים קרום משקע בעל מבנה "פתוח" יותר שמוליכותו ההידראולית גבוהה יותר (3,4). מתן משולב של פולימר A110 עם גבס לא תרם לשיפור במוליכות ההידראולית מעבר לזה שנצפה בטיפול הגבס בלבד (איור 2). הטיפול המשולב של גבס יחד עם פולימר P21 בשיעור של 4 ק"ג/ד' תרם לעליה מסויימת במוליכות ההידראולית של הקרקע בהשוואה לטיפול של גבס בלבד במהלך שטיפת הקרקע ב- 5 נפחי הנקבובים הראשונים (איור 4).

7.1.1.3. השפעת סוג הפולימר המוסף ורמת הניתרון של הקרקע בתרחיף על המוליכות ההידראולית של קרום משקע

תוצאות ניסויים אלו מוצגים באיורים 5-8. שטיפת הקרקע בתרחיף שהוכן מקרקע עם ESP 4 גרמה לקבלת מוליכות הידראולית הדומה לזו שהתקבלה בעת שטיפת הקרקע במים חסרי מלחים (איור 5). תוצאה זו מצביעה על כך שקרום המשקע שנוצר בעת השטיפה עם התרחיף היה בעל מבנה פתוח ומוליכות הידראולית הדומה או אף גבוהה מזו של הקרקע עצמה.

פיזור פולימר A110 בשיעור של 4 ק"ג/ד' על פני הקרקע לפני השטיפה עם התרחיף גרם לפחיתה משמעותית במוליכות ההידראולית בהשוואה לשטיפה עם תרחיף בלבד (איור 5). כפי שצוין לעיל עקב ה-ESP הנמוך של הקרקע ממנה הוכן התרחיף חלקיקי התרחיף היו במצב של פלוקולציה ולתוספת פולימר לא הייתה תרומה לתהליך הפלוקולציה של חלקיקי הקרקע בתרחיף. כתוצאה מכך באה לידי ביטוי רק השפעתו השלילית של הפולימר על המוליכות ההידראולית של הקרקע, (על פי המנגנונים שפורטו בסעיף א), והתקבלה בטיפול זה מוליכות הידראולית נמוכה. שטיפת הקרקע בתרחיף שהוכן מקרקע עם ESP 14 גרם לפחיתה גדולה במוליכות ההידראולית לערכים > 0.2 ס"מ/ש'. תוספת פולימר לא גרמה לשינויים במוליכות ההידראולית בהשוואה לטיפול הביקורת (איור 5).

הוספת הפולימר בשילוב עם גבס גרמה לקבלת ערכי מוליכות הידראולית גבוהים מאלו שהתקבלו בטיפול הביקורת (ESP 4 ו-ESP 14) בשני נפחי הנקבובים הראשונים של השטיפה (איור 5). לאחר מכאן פחתה המוליכות הידראולית בטיפול הפולימר+גבס אל מתחת לזו שהתקבלה בתרחיף מקרקע עם ESP 4 אך נשארה מעט גבוהה יותר מזו שהתקבלה בשטיפה עם תרחיף מקרקע עם ESP 14 (איור 6).

פיזור פולימר P21 (משקל מולקולרי בינוני) בשיעור של 4 ק"ג/ד' על פני הקרקע לפני השטיפה עם התרחיף גרם לפחיתה משמעותית במוליכות ההידראולית בהשוואה לשטיפה עם תרחיף בלבד לאחר שטיפה ב-4 נפחי נקבובים (איור 7). בהמשך השטיפה (נפחי נקבובים של 10 עד 13) ערכי המוליכות ההידראולית של שטיפה עם תרחיף של ESP 4 ושל ESP 14, שניהם ביחד עם תוספת פולימר היו דומים, וגבוהים מהמוליכות ההידראולית של שטיפה עם תשטיף של ESP 14 ללא תוספת פולימר (איור 7).

הוספת פולימר P21 ביחד עם גבס גרמה לכך שהמוליכות ההידראולית בתחילת השטיפה בשני נפחי הנקבובים הראשונים הייתה גבוהה מזו שהתקבלה בטיפול הביקורת (תרחיפים של ESP 4 ו-ESP 14 ללא תוספים). בהמשך השטיפה חלה פחיתה במוליכות של טיפולי הפולימר+גבס שהתייצבה על ערך ביניים מתחת לזו שהתקבלה בשטיפה בתרחיף עם ESP 4 ומעל לזו שהתקבלה בשטיפה בתרחיף עם ESP 14 (איור 8).

7.1.2. חידור למים והתאדות מקרקע

7.1.2.1 ניסוי בגג בתקופה החמה (אוגוסט ספטמבר 2010)

תוצאות חידור המים בטיפולים השונים בעת הרטבת העמודות מצביעים על כך שלטיפולים לא הייתה השפעה על חידור המים לעמודה (באיור 9). מדידות קצב ההתאדות מהטיפולים השונים מראות שקצב התאדות המים מטיפול הפולימר היה הגבוה ביותר וזה בביקורת היה הנמוך ביותר (איור 10). חישוב ההתאדות המצטברת (איור 11) מראה בבירור שבטיפול הפולימר היה אובדן מים גבוה בהרבה משאר הטיפולים כאשר אובדן המים המצטבר הנמוך ביותר התקבל בביקורת.

תוצאות בדיקת המוליכות ההידראולית הממוצעת בשכבת הקרקע העליונה בכל עמודה בסיום מדידות ההתאדות מראות שהמוליכות ההידראולית הנמוכה ביותר התקבלה בטיפול הפולימר והגבוהה ביותר בטיפול הביקורת (איור 12). מהצילומים במיקרוסקופ IPM Scope לא ניתן היה להבחין בהבדלים במבנה פני הקרקע בין הטיפולים השונים (תמונה 2). מאידך, תמונות מה- SEM מצביעות על הבדלים במבנה שכבת הקרקע העליונה בין הטיפולים השונים (תמונה 3).

7.1.2.2 ניסוי בחדר מבוקר טמפרטורה (יולי 2011)

בעקבות הניסוי בגג בו נמצא שיש הבדל רק בין טיפול הפולימר לביקורת נבחנו רק שני טיפולים אלו בניסוי בחדר הטמפרטורה. תוצאות חידור למים בעת הרטבת העמודות מצביעות על כך, כפי שנמצא בניסוי הקודם, שלטיפולים לא הייתה השפעה על חידור המים לעמודה (באיור 13). בניגוד לניסוי הקודם, מדידות קצב ההתאדות מראות שקצב התאדות המים מהטיפולים השונים היה דומה (איור 14). וכך גם ההתאדות המצטברת (איור 15).

7.1.2.3 ניסוי בגג בתקופה קרה (דצמבר 2011)

תוצאות ניסוי ההתאדות בגג בתקופה החמה ובחדר הטמפרטורה נתנו תוצאות סותרות לגבי השפעת PAM על התאדות מקרקע. ההנחה שלנו הייתה שתהליך התאדות המים מהקרקע מושפע מקצב ההתאדות פוטנציאלית. לכן, הנחנו שאם נחזור על ניסוי ההתאדות בגג בחורף, לא צריכים להיות הבדלים בין טיפול הפולימר לביקורת. תוצאות חידור למים, קצב התאדות והתאדות מצטברת הראו שאכן אין הבדלים בין שני הטיפולים (איורים 16-18).

7.1.2.4 סיכום ניסויי חידור למים והתאדות מקרקע

ניסויי חידור - תוצאות ניסויי חידור לאורך כל תקופת המחקר מראות שאין הבדל גדול בקצב החידור בין הטיפולים השונים. יחד עם זאת, מדידות מוליכות הידראולית בעזרת TENSION INFILTRMETER מראות שהמוליכות ההידראולית הממוצעת של הקרקע בטיפול הפולימר (0.0465 מ"מ/ש) הייתה נמוכה כמעט פי ארבע מזו שבביקורת (0.18 מ"מ/ש).

ניסויי התאדות - נמצא הבדל משמעותי בתוצאות ניסויי ההתאדות על הגג בתקופה החמה לבין אלו שהתקבלו בניסוי בחדר הטמפרטורה ובגג בתקופה הקרה. בעוד שבניסוי בחדר הטמפרטורה ובגג בתקופה הקרה לא נמצאו הבדלים בין טיפול הפולימר לביקורת, תוצאות הניסוי על הגג בתקופה

החמה מראות שההתאדות המצטברת מקרקע עם טיפול פולימר מגיעה ל- 67 מ"מ בעוד שההתאדות המצטברת מקרקע בביקורת באותם תנאים מגיעה ל- 42 מ"מ, כ- 40% פחות.

ראוי לציין שבזמן הניסוי על הגג בתקופה החמה שכבת הקרקע העליונה בכל הטיפולים התייבשה בתוך זמן קצר מאוד. לעומת זאת, בטיפולים בחדר ובגג בתקופה הקרה שכבת הקרקע העליונה נשארה לחה במשך רוב זמן הניסוי. הקרום שנוצר בקרקע הביקורת (ראה תוצאות מדידת מוליכות הידראולית בהמשך) לא מאפשר תנוע חופשית של אדים ברגע ששכבת הקרקע העליונה מתייבשת. בקרקע עם פולימר יש תנוע חופשית של מים ואדים כך שהאידיוי יותר גדול. אם קצב התאדות פוטנציאלית קטן ושכבה עליונה לא מתייבשת, כפי שהתרחש בניסוי בחדר הטמפרטורה ובגג בתקופה הקרה, אין הבדל בין הטיפולים.

מדידות מוליכות הידראולית ב- TENSION INFILTRMETER – בניסוי מוליכות הידראולית תחת לחץ (כמו שעשינו) תנועת המים מתרחשת בעיקר בנקבובים קטנים. אנו משערים שהמוליכות ההידראולית בטיפול הפולימר הייתה הנמוכה מזו שבביקורת כיון שיציבות שכבות קרקע בטיפול הפולימר מאפשרת שמירה על תלכידים יותר גדולים ושטח יותר גדול עם נקבובים גדולים. בטיפול הביקורת נוצר קרום עם נקבובים קטנים ולכן המוליכות ההידראולית שנמדדה בטיפול זה הייתה גדולה יותר.

7.2 ניסוי שדה

7.2.1 ניסוי שדה במטע זיתים הקיים בחוות ניסיונות משש.

עונת הגשמים 2009-2010 הייתה השנה הגשומה ביותר ב- 30 שנות מדידות. כמות המשקעים הייתה 230 מ"מ שירדה בעיקר במספר אירועי גשם גדולים מאוד. העונה התחילה עם אירוע ב- 5.11.09 עם כמות משקעים של 11 מ"מ. האירועים עם כמות הגדולה במיוחד היו ב- לילה מ- 17 ל- 18 לינואר – 64 מ"מ, 3, 4, ו- 5 לפברואר עם 45 מ"מ גשם, 26-27 למרץ עם 25 מ"מ של משקעים. בכל אירוע גדול הייתה גם עוצמת הגשם גבוהה במיוחד. רושם הגשם מסוגל לרשום עד לעוצמה של 140 מ"מ/ש והיו פרקי זמן שעוצמת הגשם הייתה גבוהה מזה. כתוצאה מאירועים יוצאי דופן אלו כל השוחות בחוות משש התמלאו במים 3 פעמים עד גובה של 1 מ' כך שמערכת ה- TIPPING BUCKET (מערכת לקליטת מי נגר לצורך חישוב נפחם) הפסיקה לפעול ורושמי הנגר הדיגיטליים נהרסו ולכן אין בידנו נתונים על כמות המים שהגיעו אל השוחות. באירועים 19-21 ניתן לראות בבירור שהייתה חדירה אופקית משמעותית ואגירה גדולה מאוד של מים וזאת עד לנקודת המדידה העמוקה ביותר. בשל הרס התעלות הופסק ניטור הנתונים בחלקה זו בהמשך הפעלת תוכנית המחקר.

7.2.2 ניסוי שדה בשוחות חדשות בשטח הקמפוס של המכון לחקר המדבר.

מדידות רטיבות בשוחות ובנגרנים בוצעו במשך שנה מינואר 2011 עד ינואר 2012. בשוחות המדידות בוצעו ב- 6 נקודות, תחתית השוחה (איור 22), ובמרחק 0.2, 0.35 (איור 23), 0.50, 0.65 ו- 0.8 מ' מהשוחה (איור 24). בנוסף חושבה כמות המים שנשארה בקרקע (בשוחה ומחוץ לה במשך

270 ימים ממועד ההשקיה (איור 25). בנגרינים המדידות בוצעו ב- 4 נקודות, בשלוש נקודות בתוך הנגרין (איורים 26 ו- 27), ומדידה אחת במרחק במרחק 0.5 מ' מהנגרין (איור 28). בנוסף חושבה כמות המים שנשארה בקרקע בנגרין ומחוץ לו במשך 270 ימים ממועד ההשקיה (איור 29). האופוטורנספירציה (התאדות +דיות) בשוחות ובנגרינים נקבעה על סמך שינויי תכולת רטיבות בקרקע לפי מדידות מפזר נוטרונים. בשוחות נאבדו 0.74 מ^3 של מים המהווים כ-40% מסה"כ איבודי המים בנגרינים בהם אבדו $\sim 1.98 \text{ מ}^3$ של מים. כמות המים שאבדו בנגרינים יותר גבוהה מכמות מי השקיה (1.5 מ^3), כך שבנגרינים אבדו 100% ממי השקיה ותוספת של כ-25% ($\sim 0.5 \text{ מ}^3$) על חשבון של המים שהיו בקרקע לפני ההשקיה. בשוחות אבדו רק כ-50% ממי השקיה.

מדידות sap flow מראות כי יותר מים עברו דרך עצי הזית שגדלו בנגרינים מאשר דרך עצי הזית שגדלו בשוחות (איור 31). העצים בנגרינים ניצלו יותר מים מאלה שבשוחות. בנגרינים עצים ניצלו בממוצע 0.62 מ^3 של מים ובשוחות 0.32 מ^3 (איור 32), כמעט 50% פחות. הסיבה להבדלים הללו יכולה להיות קרינה קטנה יותר בשוחות ובהתאם צריכת מים קטנה יותר. עם התבגרות העצים ועליה בגובהם השפעתם של קירות השוחה תהיה פחות משמעותית והקרינה בשני הטיפולים תהייה דומה. מעקב אחרי הטיפולים בהמשך יעזור לחקור לעומק את הסיבת הבדל בצריכת מים על-ידי העצים. לקראת סוף תקופת המדידות העצים בשני טיפולים נראים בריאים ומתפתחים היטב.

איבודי מים להתאדות מהקרקע (ערכים חושבו מההפרש בין מדידות האופוטורנספירציה שחושבה מהשינויים בתכולת הרטיבות בקרקע לבין מדידות הטרנספירציה) בשוחות היו קטנים בהרבה מאיבודי המים להתאדות מהקרקע בנגרינים. בשוחות אבדו 0.42 מ^3 מים לעומת 1.36 מ^3 בנגרינים (איור 33). סה"כ בנגרינים אבדו להתאדות כ-90% ממי השקיה כשבשוחות אבדו רק כ-30%.

תוצאות הניסוי מצביעות שלפחות בשלב הגידול הראשוני של עצי זית בתנאי בעל, לגידול בשוחות יתרון מובהק על פני גידול בנגרינים מבחינת יעילות השימוש במים וצמצום אובדני מים להתאדות מהקרקע.

7.3 סיכום

בדיקת השפעת התוספים שנבחנו (פולימר וגבס) על חדירות קרום משקע ועל התאדות מים מפני הקרקע הראו שתרומתם לשיפור בחדירות וצמצום ההתאדות אינה קבועה ותלויה ברמת ניתרון הקרקע והתנאים האקלימיים. תוצאות ניסוי השדה הראו שלפחות בשלב הגידול הראשוני של עצי זית בתנאי בעל וקציר נגר, לגידול בשוחות יתרון מובהק על פני גידול בנגרינים מבחינת יעילות השימוש במים וצמצום אובדני מים להתאדות מהקרקע.

8. רשימת ספרות מצוטטת

- (1) Shanan, L. and N.H. Tadmor. 1979. Micro-catchment systems for arid zone development. A handbook for design and construction. Hebrew University of Jerusalem and CINADCO, Ministry of Agriculture, Israel.
- (2) Zhang, S. 2001. An experimental study of water losses from micro-catchment pits. M.Sc. Thesis A. Katz School for Desert Studies, Blaustein Institute for Desert Research, Ben Gurion University of the Negev, Israel.
- (3) Shainberg, I. and M.J. Singer. 1985. Effect of electrolyte concentration on the hydraulic properties of depositional crust. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 1260-1263.
- (4) Southard, R.J., I. Shainberg, I., and M.J. Singer. 1988. Influence of electrolyte concentration on the micromorphology of artificial depositional crust. Soil Sci. 45: 278-288.
- (5) Lado M., M. Ben Hur and I. Shainberg. 2007. Clay Mineralogy, ionic composition and pH effects on hydraulic properties of depositional seals. Soil Sci. Soc. Amer. J. 71: 424-429.
- (6) Malik, M. and J. Letey. 1992. Pore-size dependent apparent viscosity for organic solutes in saturated porous media. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1032-1035.
- (7) Young MH, Moran EA, Yu Z, Zhu J, Smith DM. 2009. Reducing Saturated Hydraulic Conductivity of Sandy Soils with Polyacrylamide. Soil Sci. Soc. Am. J. 73:13-20.
- (8) Barvenik, F.W. 1994. Polyacrylamide characteristics related to soil applications. Soil Sci. 158:235-243.
- (9) Skupisan J, J. Kanatharana, A. Sirivat, and S.Q. Wang. 1998. The specific viscosity of partially hydrolyzed polyacrylamide solutions: Effects of degree of hydrolysis, molecular weight, solvent quality and temperature. J of Polymer Sci. 36:743-753.
- (10) Lu, J.H., L. Wu, and J. Letey. 2002. Effect of soil and water properties on anionic polyacrylamides sorption. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:578-584.
- (11) Bhardwaj, A.K., R.A. McLaughlin, I. Shainberg, and G.J. Levy. 2009. Hydraulic characteristics of depositional seals as affected by exchangeable cations, clay mineralogy and polyacrylamide. Soil Sci. Soc. Am. J. 73: 910-918.

9. סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
מטרתו הכללית של המחקר המוצע הייתה לצמצם אובדני מים להתאדות בממשק קציר נגר בתעלות תוך שימוש במטייבי קרקע (פוליאקרילאמיד וגבס זרחתי).
עיקרי הניסויים והתוצאות.
נערך ניסוי עמודות במעבדה בו בחנו את השפעת תוספת פולימר וגבס לפני הקרקע על המוליכות ההידראולית של קרום משקע, ועל חידור למים והתאדות מקרקע לחה. בניסוי שדה נבחנה הוספת מטייבי קרקע (פולימר וגבס) ואופי השטח קולט הנגר (שוחה מול נגרין) על כשר החידור של הקרקע למי נגר ועל ההתאדות ממנה.
ניסויי המעבדה הראו שתוספת פולימר משפרת את המוליכות ההידראולית של קרום משקע כאשר מקור הקרום הוא בקרקע נתרנית ($ESP=14$). בקרקע לא נתרנית תוספת פולימר בנוכחות או העדר גבס לא תרמה לשיפור במוליכות ההידראולית של קרום המשקע. לא נמצא הבדל בכשר החידור של הקרקע בין טיפול הפולימר לביקורת. מאידך, מדידות מוליכות הידראולית בעזרת TENSION INFILTRMETER מראות שהמוליכות ההידראולית הממוצעת של הקרקע בטיפול הפולימר הייתה נמוכה כמעט פי ארבע מזו שבביקורת. כאשר הקרום שנוצר בקרקע הביקורת מתייבש (תקופה חמה) מתקבל פחות אידוי מאשר בטיפול הפולימר. כאשר שכבת הקרקע העליונה לא מתייבשת (תקופה קרה), אין הבדל באידוי בין הטיפולים.
תוצאות ניסוי השדה הראו ששימוש בשוחות בהשוואה לנגרינים גרם לצמצום התאדות מים מפני הקרקע, שמירה על תכולת רטיבות גבוהה יותר בקרקע ועל הקטנת הטרנספירציה של העצים.
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?
השפעת תוספת פולימר על ההתאדות מהקרקע תלויה בתנאים האקלימיים שמכתיבים את תכולת הרטיבות בפני הקרקע. תוצאות ניסוי השדה הראו שלפחות בשלב הגידול הראשוני של עצי זית בתנאי בעל וקציר נגר, לגידול בשוחות יתרון מובהק על פני גידול בנגרינים מבחינת יעילות השימוש במים וצמצום אובדני מים להתאדות מהקרקע.
בעיות שונות לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנוותרת לביצוע תוכנית המחקר?
במהלך המחקר התנסו בבעיות קשות בהפעלת תוכנית הניסוי בשדה. נראה שבתנאים ארידיים בהם כמות המשקעים השנתית ופיזורם הם בעלי שונות גבוהה מאוד, יש צורך בפרקי זמן ארוכים מ-3 שנים בכדי ללמוד על תופעות התלויות בגשם.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדוח: פרסומים בכתב - ציטוט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי; פטנטים - יש לציין שם ומס' פטנט; הרצאות וימי עיון - יש לפרט מקום, תאריך, ציטוט ביבליוגרפי של התקציר כמקובל בפרסום מאמר מדעי.
1. יונתן אוטצפ. (2009). השפעת קרומי מבנה (פיזיקליים) על התאדות מים מקרקע. עבודת גמר לתואר מוסמך, המכון לחקר המדבר, אוניברסיטת בן-גוריון.
2. Shainberg, I., Goldstein, D., Mamedov, A.I., and Levy G.J. (2011). Granular and dissolved PAM effects on the hydraulic conductivity of a fine sand and a silt loam. Soil Sci. Soc. Am. J. 75: 1090-1098.
פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)
רק בספריות
X ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)
חסוי - לא לפרסם
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי - לא

*יש לענות על שאלה זו רק בדוח שנה ראשונה במחקר שאושר לשנתיים, או בדוח שנה שניה במחקר שאושר לשלוש

שנים

10. נספחים (טבלאות, תמונות ואיורים)

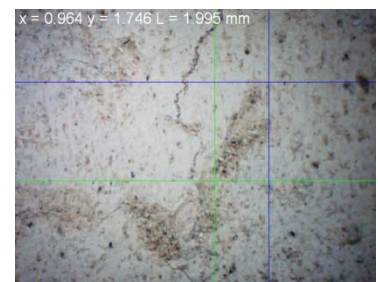
10.1 תמונות



תמונה 1. מערך ניסוי שדה בשדה בוקר: שוחות וניגרינים עם העצים



גבס



ביקורת

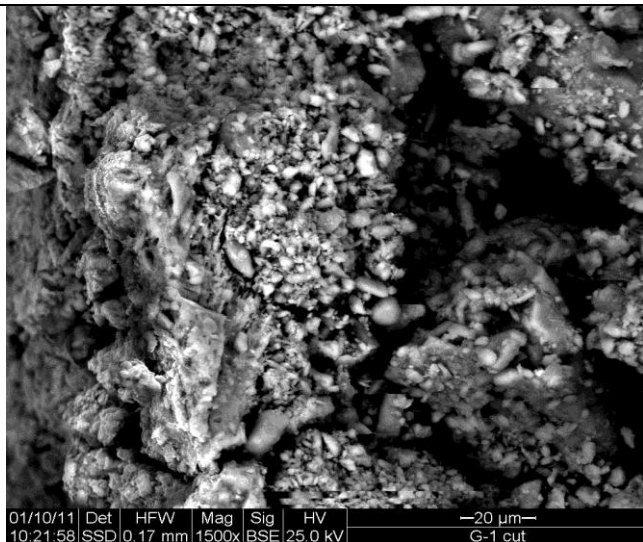


פולימר
+ גבס

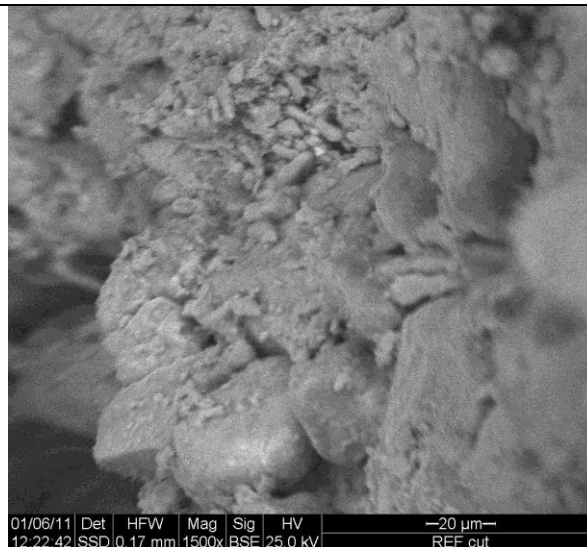


פולימר

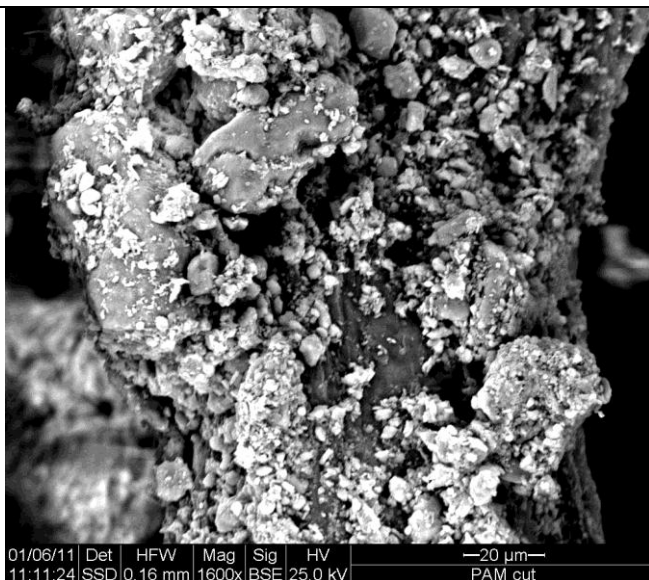
תמונה 2. צילומי פני השטח של העמודות מהטיפולים השונים במיקרוסקופ IPM SCOPE שנקחו לאחר מדידות המוליכות ההידראולית בניסוי ההתאדות בגג בתקופה החמה.



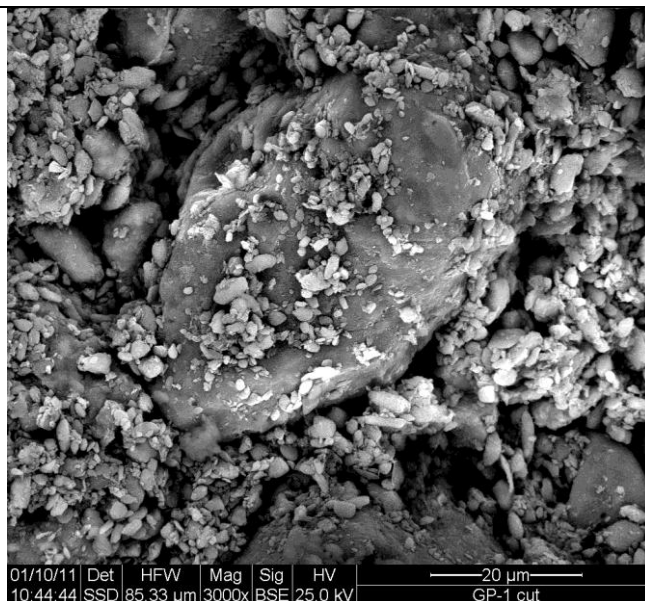
טיפול גבס



טיפול ביקורת

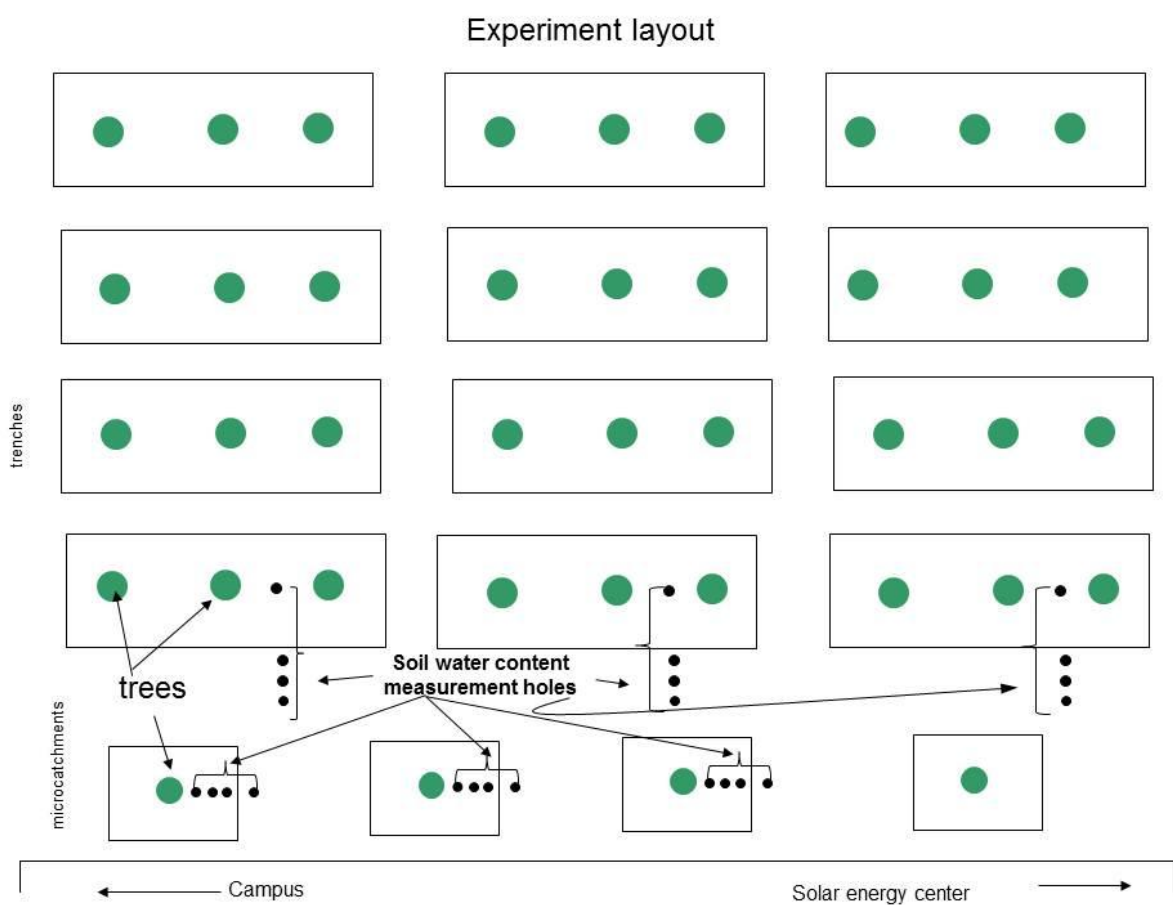


טיפול פולימר

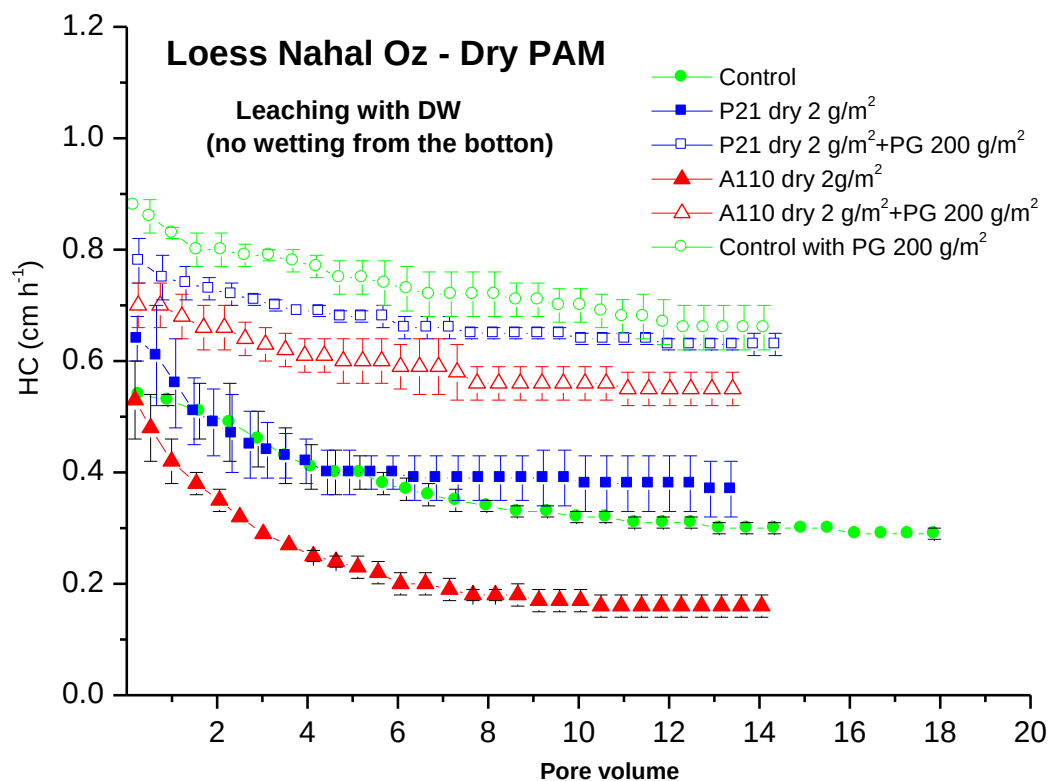


טיפול פולימר+גבס

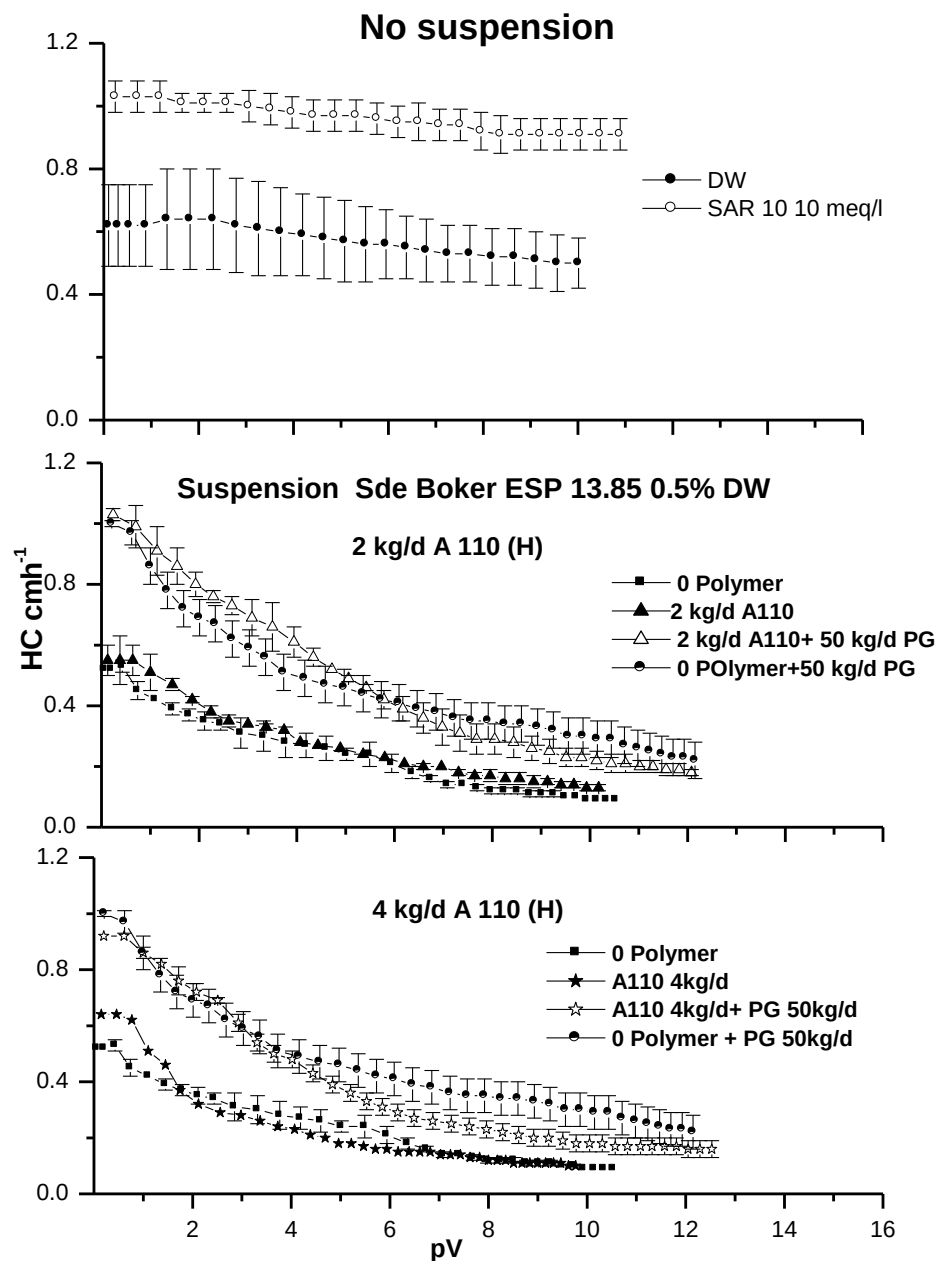
תמונה 3. צילומי SEM של חתכים שנלקחו מפני הקרקע בסוף בדיקת המוליכות ההידראולית בניסוי ההתאדות בגג בתקופה החמה.



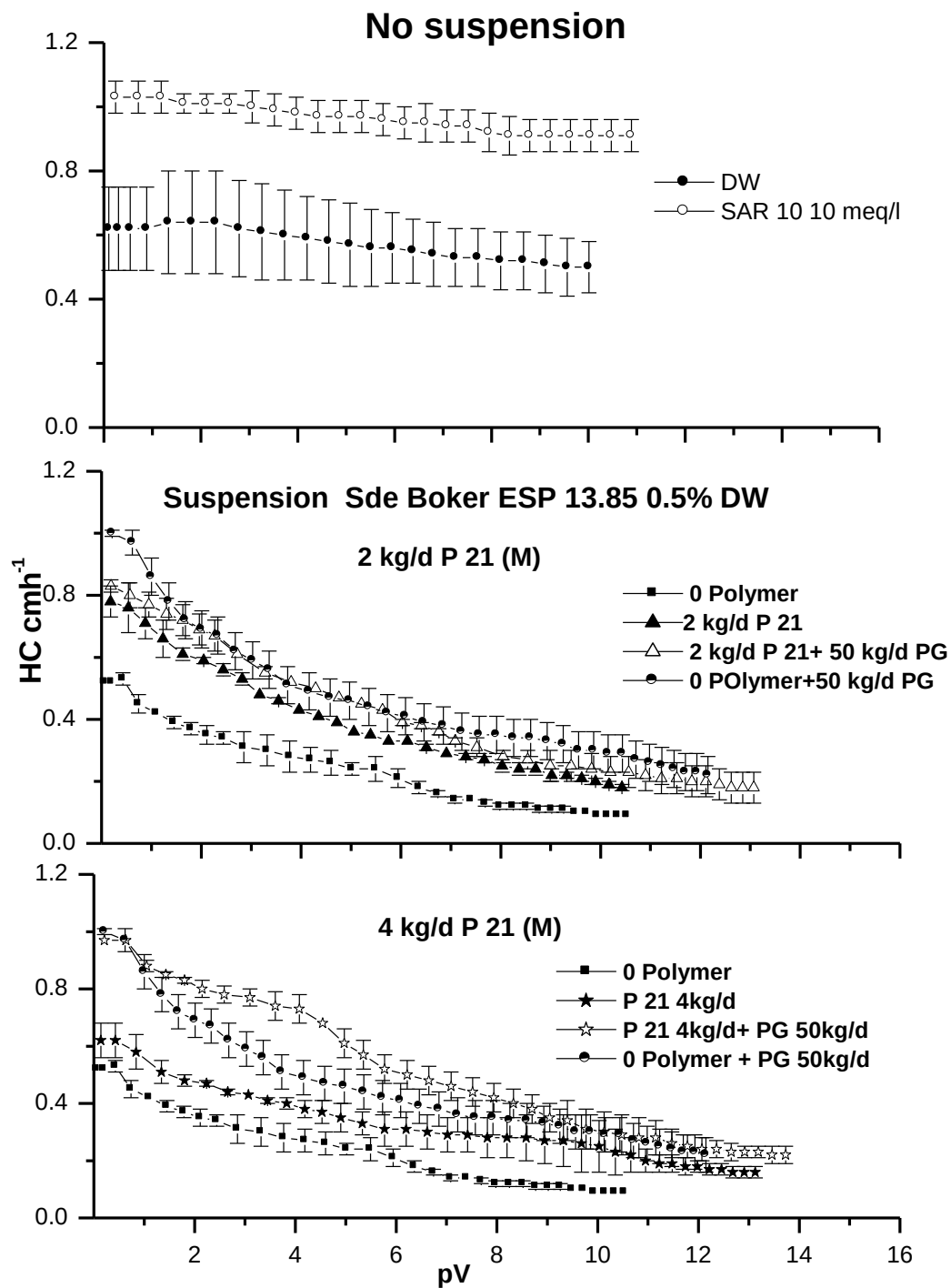
איור 1. מערך ניסוי שדה בשדה בוקר



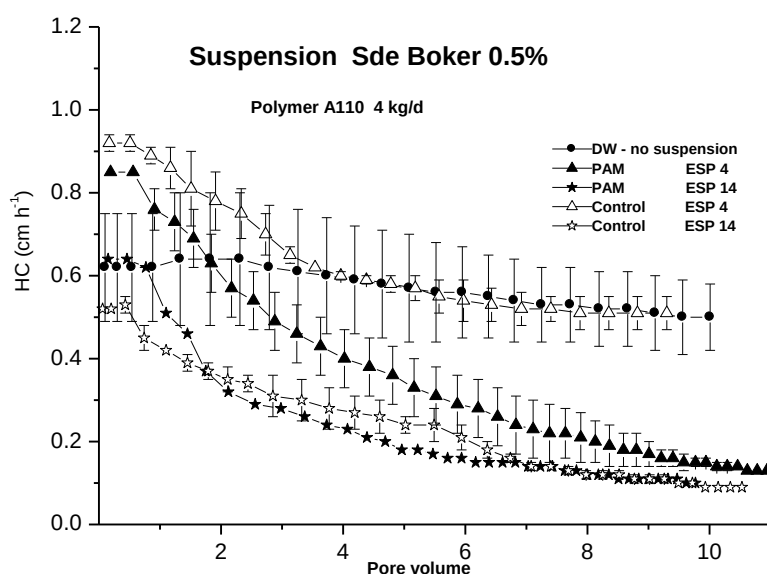
איור 2. השפעת הוספת פולימר במשקל מולקולרי גבוה (A110) ובינוני (P21) לפני הקרקע בשיעור של 2 גר/מ² בנוכחות או העדר גבס (PG) בשיעור של 200 גר/מ² על המוליכות ההידראולית ברוויה של קרקע לס מנבטים בעת שטיפת הקרקע במים חסרי מלחים (DW).



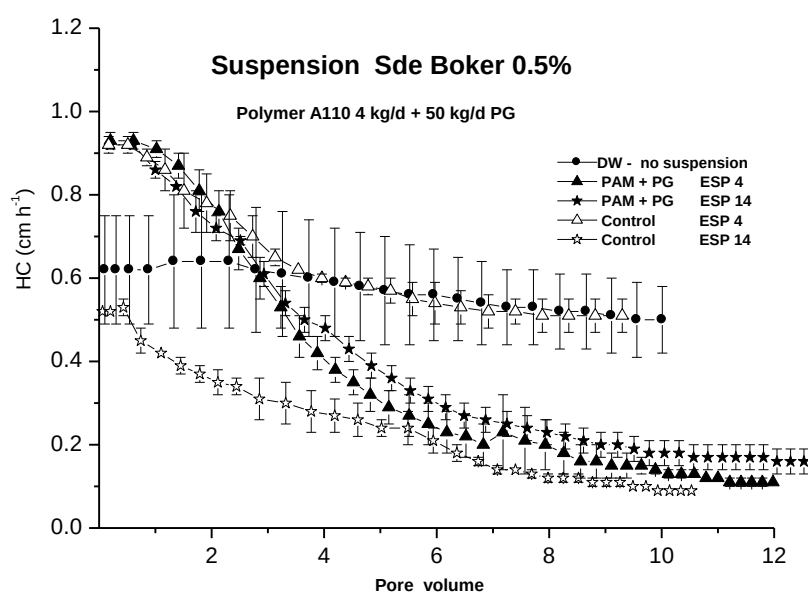
איור 3. השפעת הוספת פולימר במשקל מולקולרי גבוה (A110) לפני הקרקע בשיעור של 2 ו- 4 ק"ג/ד' בנוכחות או העדר גבס (PG) בשיעור של 50 ק"ג/ד' על המוליכות ההידראולית ברוויה של קרקע לס מנבטים בעת שטיפת הקרקע עם תרחיף קרקע בריכוז 0.5% שהוכן מקרקע שדה בוקר נתרנית (ESP 13.85).



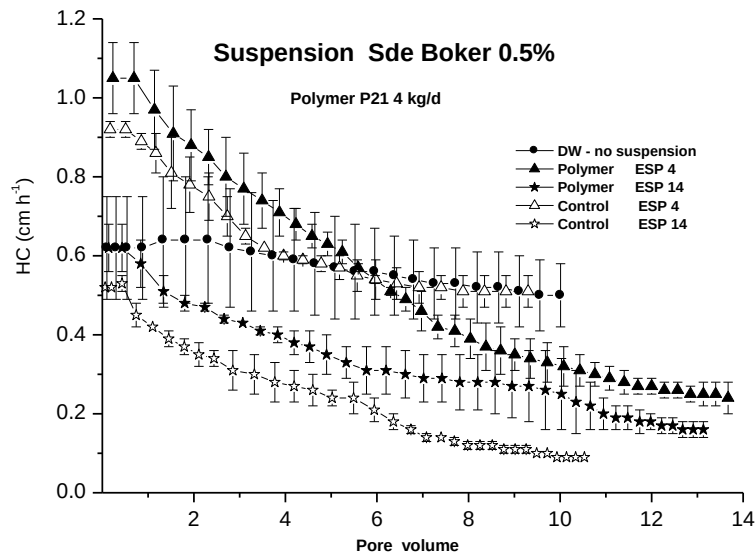
איור 4. השפעת הוספת פולימר במשקל מולקולרי בינוני (P21) לפני הקרקע בשיעור של 2 ו- 4 ק"ג/ד' בנוכחות או העדר גבס (PG) בשיעור של 50 ק"ג/ד' על המוליכות ההידראולית ברוויה של קרקע לס מנבטים בעת שטיפת הקרקע עם תרחיף קרקע בריכוז 0.5% שהוכן מקרקע שדה בוקר נתרנית (ESP 13.85).



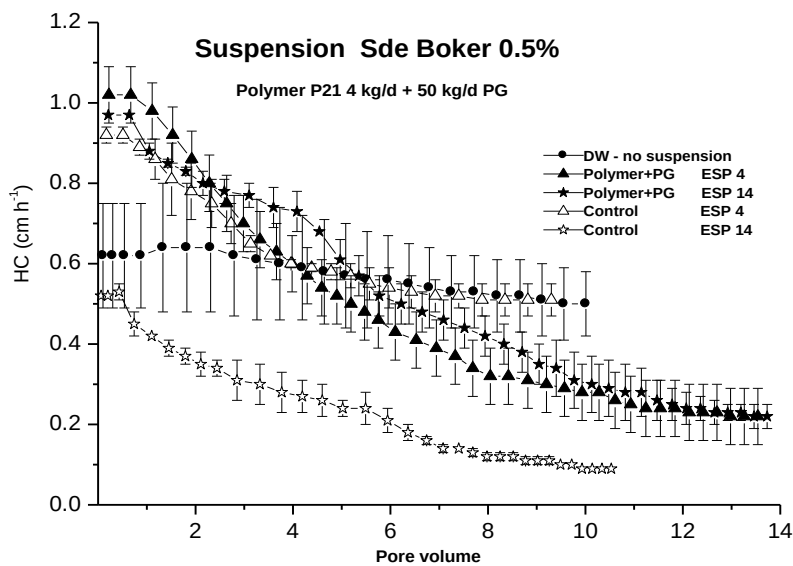
איור 5. השפעת הוספת פולימר במשקל מולקולרי גבוה (A110) לפני הקרקע בשיעור של 4 ק"ג/ד' ורמת ה-ESP של תרחיף הקרקע (4 ו-14) על המוליכות ההידראולית ברוויה של קרקע לס מנבטים בעת שטיפת הקרקע עם תרחיף קרקע בריכוז 0.5% שהוכן מקרקע שדה בוקר.



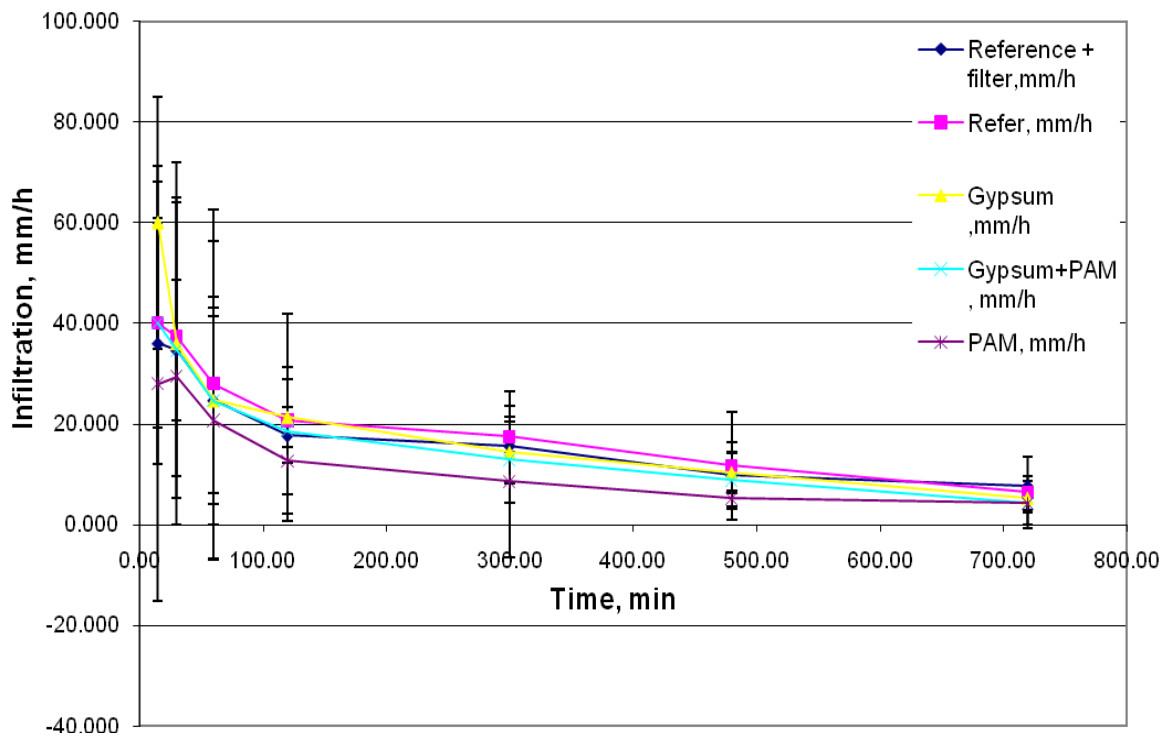
איור 6. השפעת הוספת פולימר במשקל מולקולרי גבוה (A110) לפני הקרקע בשיעור של 4 ק"ג/ד' בנוכחות גבס (PG) בשיעור של 50 ק"ג/ד' ורמת ה-ESP של תרחיף הקרקע (4 ו-14) על המוליכות ההידראולית ברוויה של קרקע לס מנבטים בעת שטיפת הקרקע עם תרחיף קרקע בריכוז 0.5% שהוכן מקרקע שדה בוקר.



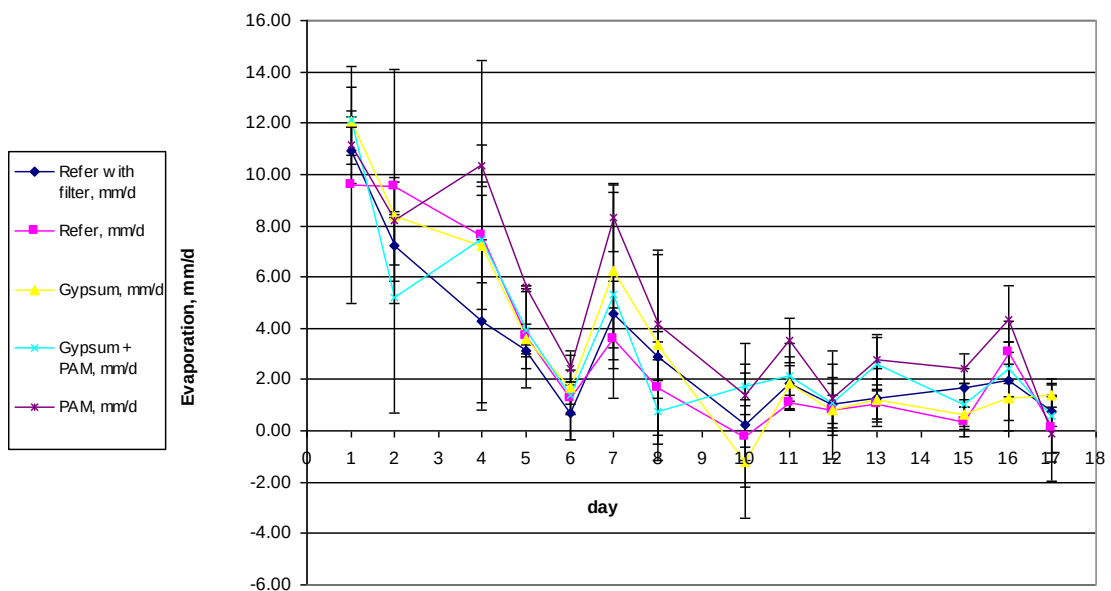
איור 7. השפעת הוספת פולימר במשקל מולקולרי בינוני (P21) לפני הקרקע בשיעור של 4 ק"ג/ד' ורמת ה-ESP של תרחיף הקרקע (4 ו-14) על המוליכות ההידראולית ברוויה של קרקע לס מנבטים בעת שטיפת הקרקע עם תרחיף קרקע בריכוז 0.5% שהוכן מקרקע שדה בוקר.



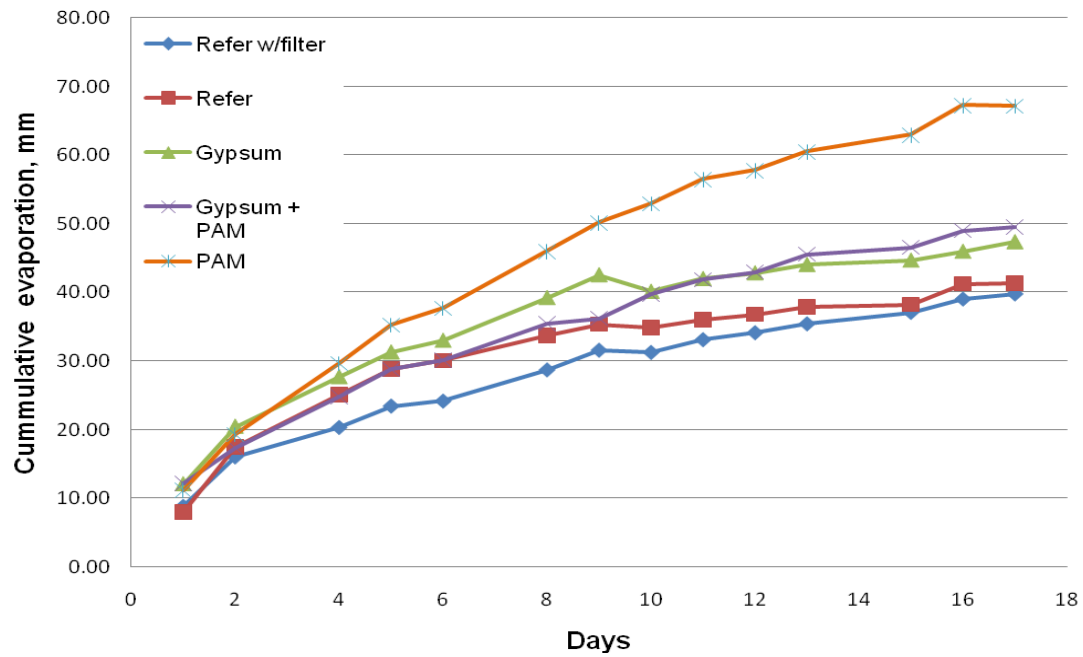
איור 8. השפעת הוספת פולימר במשקל מולקולרי בינוני (P21) לפני הקרקע בשיעור של 4 ק"ג/ד' בנוכחות גבס (PG) בשיעור של 50 ק"ג/ד' ורמת ה-ESP של תרחיף הקרקע (4 ו-14) על המוליכות ההידראולית ברוויה של קרקע לס מנבטים בעת שטיפת הקרקע עם תרחיף קרקע בריכוז 0.5% שהוכן מקרקע שדה בוקר.



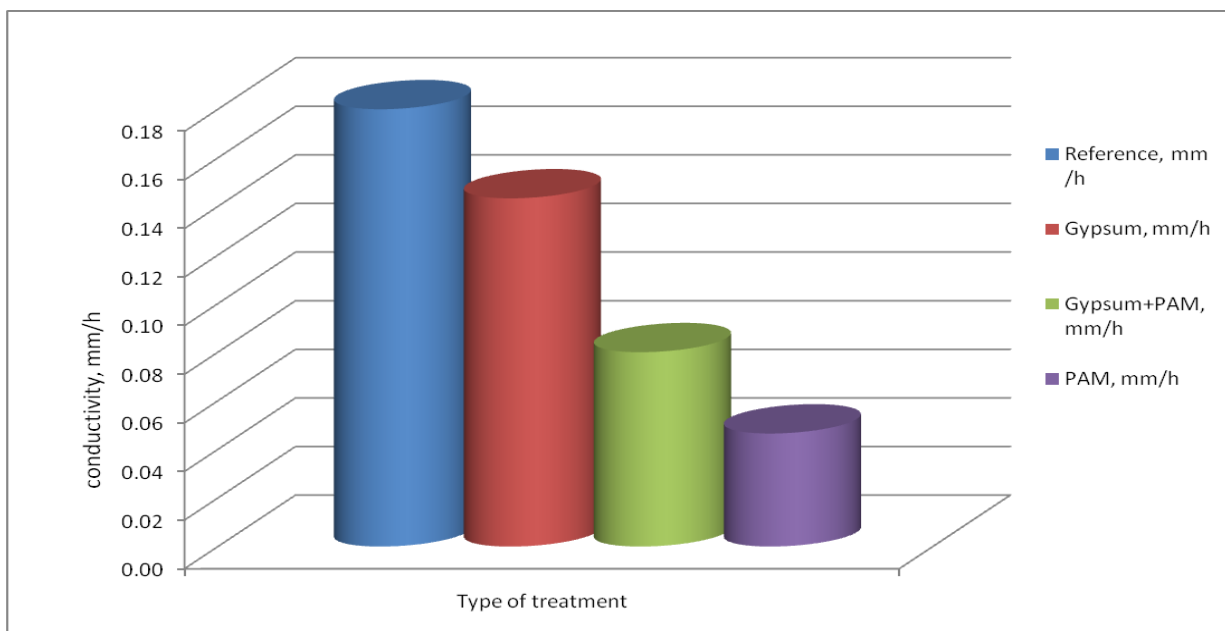
איור 9. כשר חידור של עמודות הקרקע בטיפולים השונים בניסוי בגג בתקופה החמה.



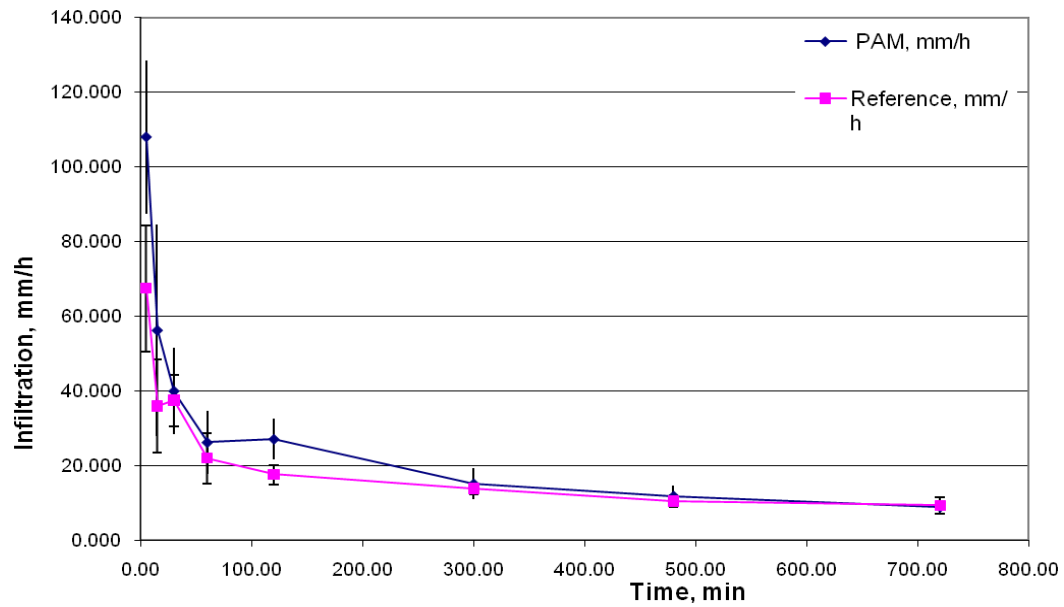
איור 10. קצב התאדות המים מהטיפולים השונים בניסוי בגג בתקופה חמה.



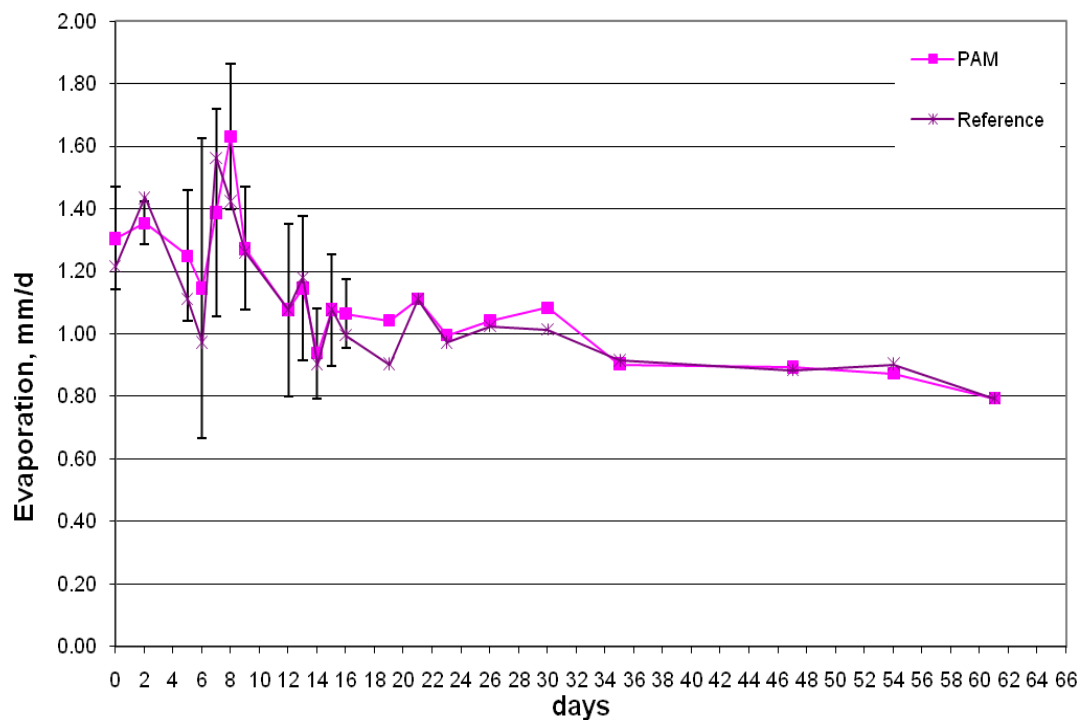
איור 11. התאדות מים מצטברת בטיפולים השונים בניסוי בגג בתקופה חמה.



איור 12. מוליכות הידראולית של עמודות הקרקע בטיפולים השונים בסיום תהליך ההתאדות בניסוי בגג בתקופה החמה.

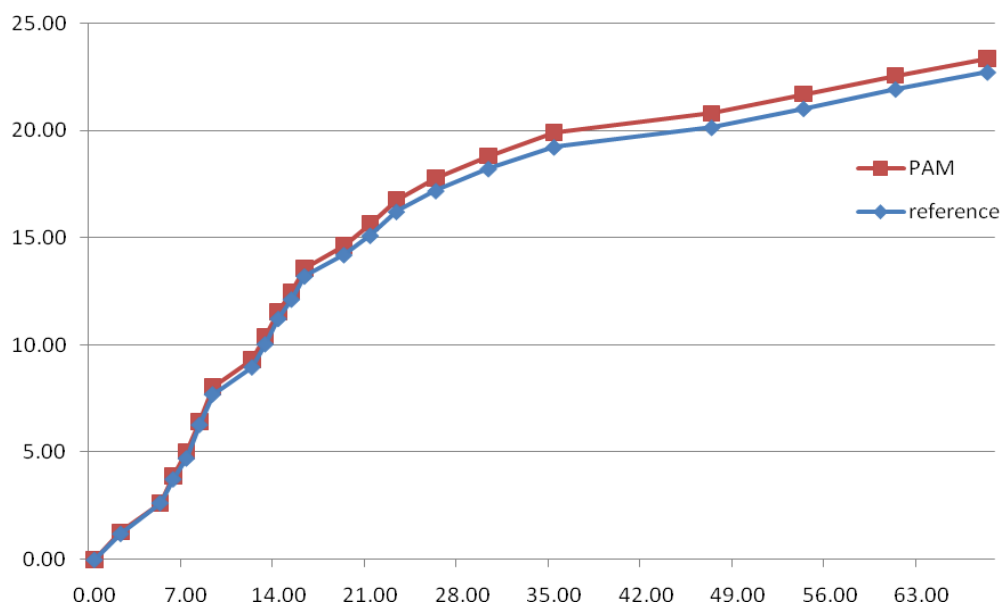


איור 13. כשר חידור של עמודות הקרקע בטיפולים השונים בניסוי בחדר מבוקר טמפרטורה.

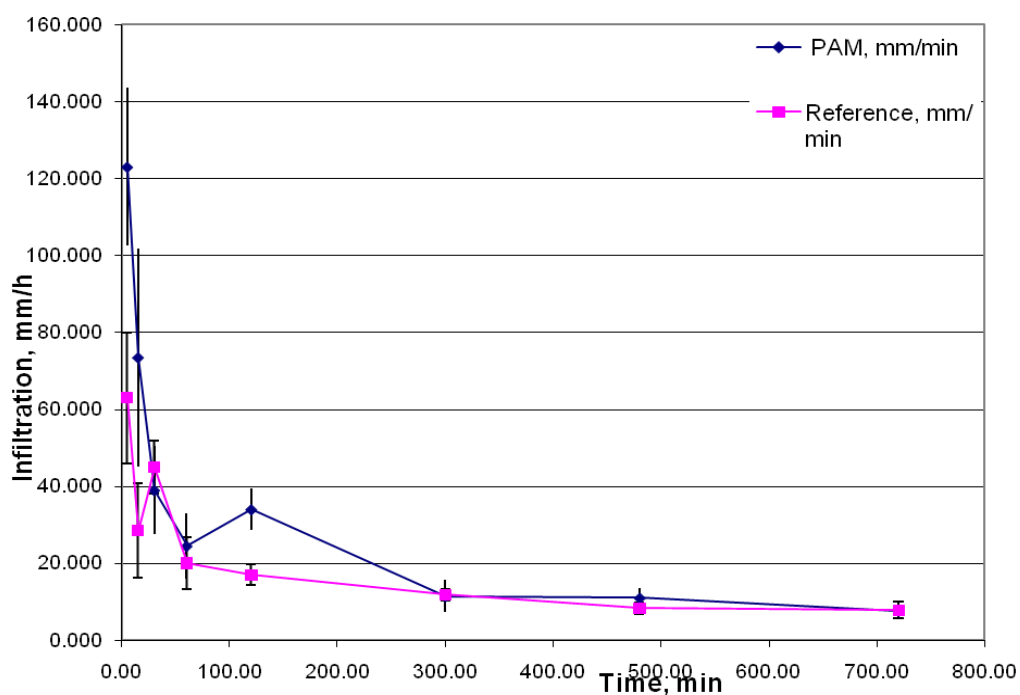


איור 14. קצב התאדות המים מהטיפולים השונים בניסוי בחדר מבוקר טמפרטורה.

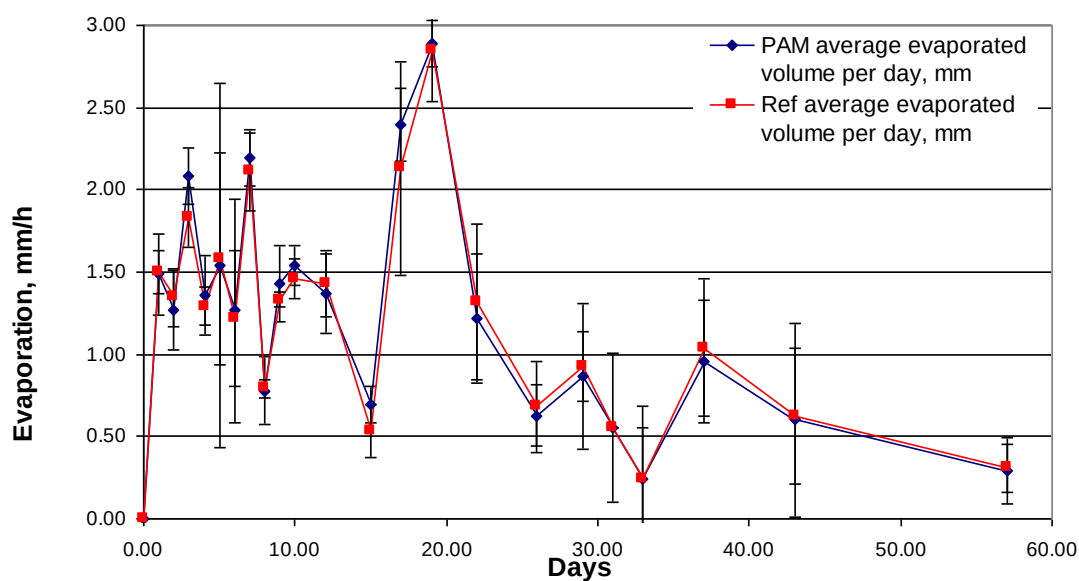
Cumulative evaporation, mm



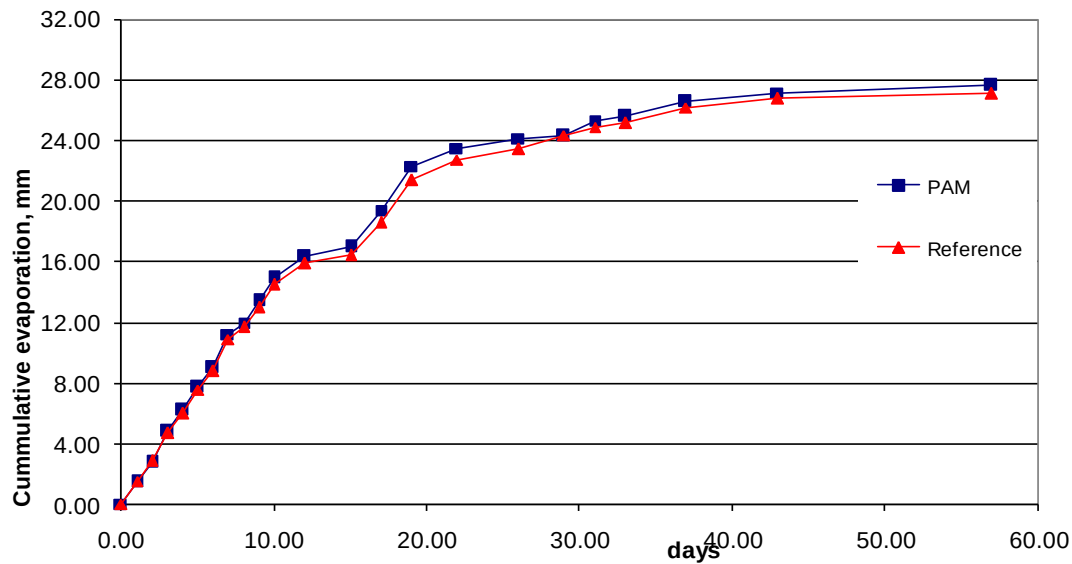
איור 15. התאדות מים מצטברת בטיפולים השונים בניסוי בחדר מבוקר טמפרטורה.



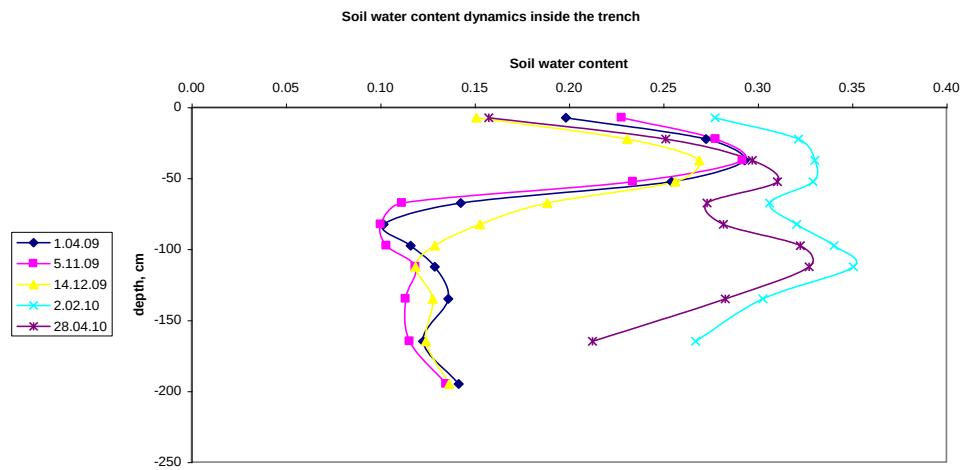
איור 16. כשר חידור של עמודות הקרקע בטיפולים השונים בניסוי בגג בתקופה הקרה.



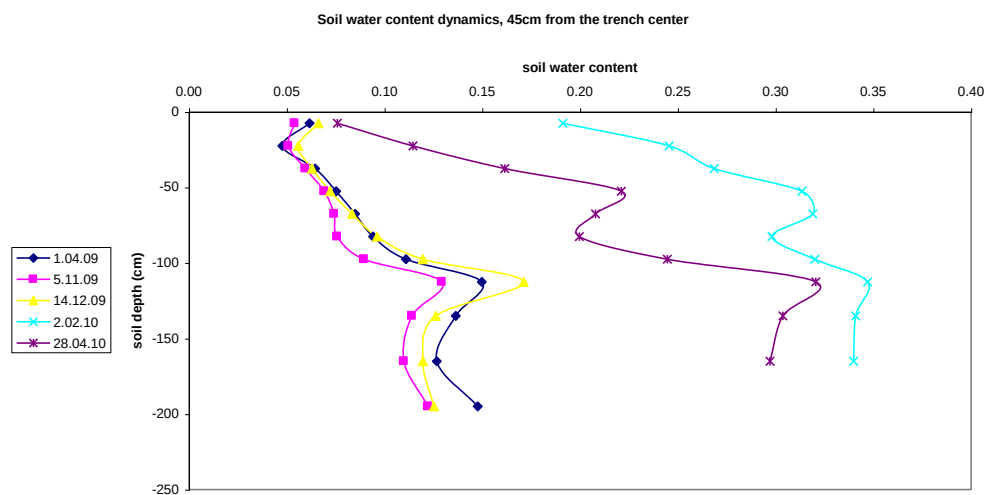
איור 17. קצב התאדות המים מהטיפולים השונים בניסוי בגג בתקופה הקרה.



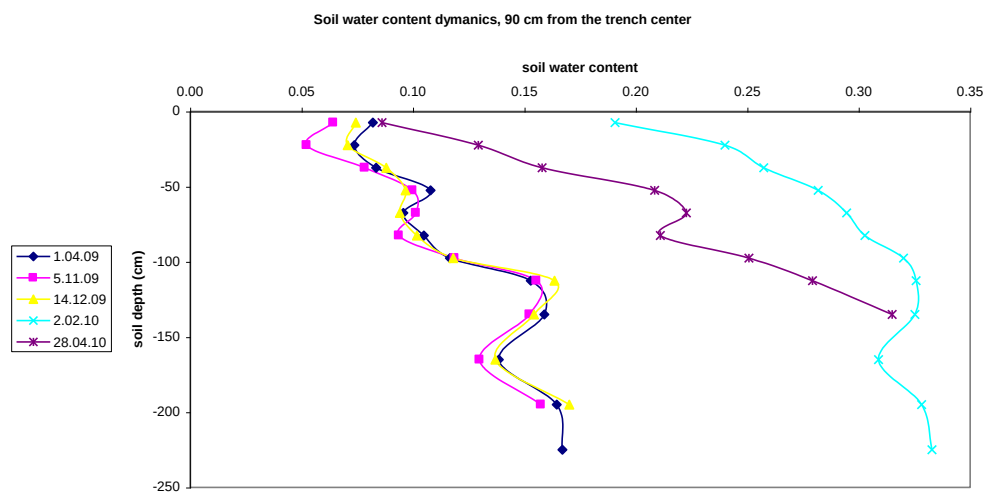
איור 18. התאדות מים מצטברת בטיפולים השונים בניסוי בגג בתקופה הקרה.



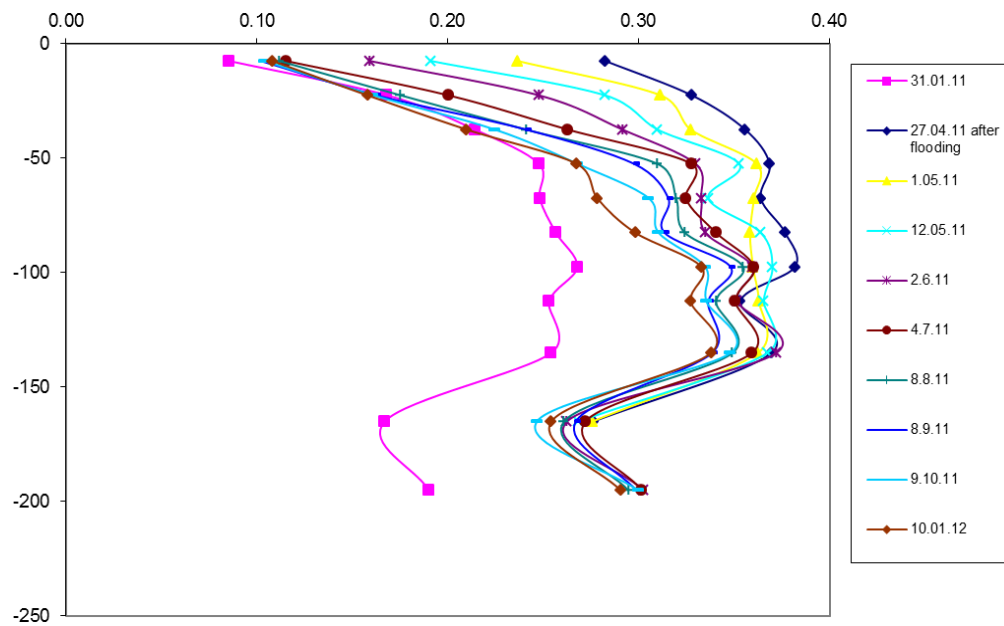
איור 19. תכולת רטיבות קרקע בתוך השוחה עם העצים בחוות משש.



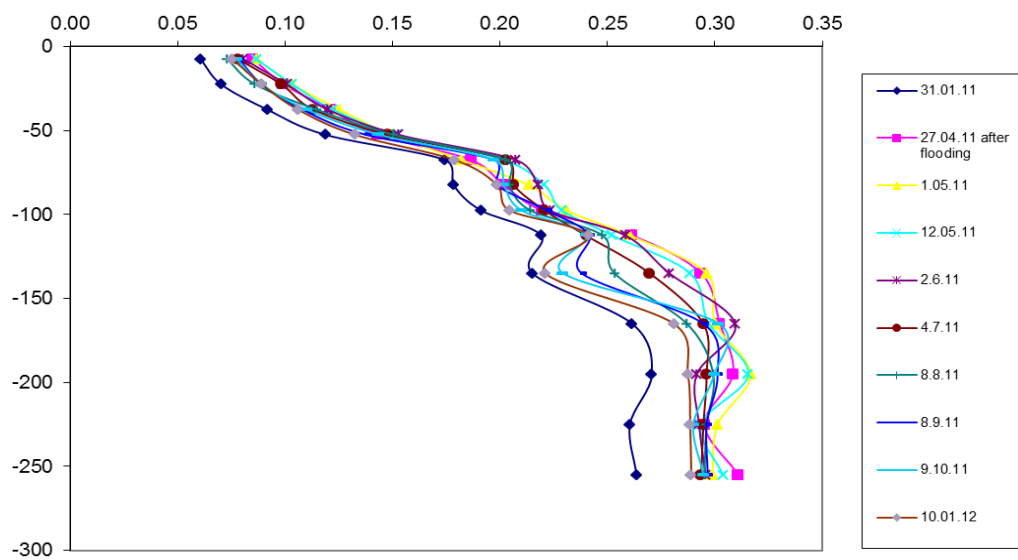
איור 20. תכולת רטיבות קרקע במרחק 45 ס"מ מהשוחה עם העצים בחוות משש.



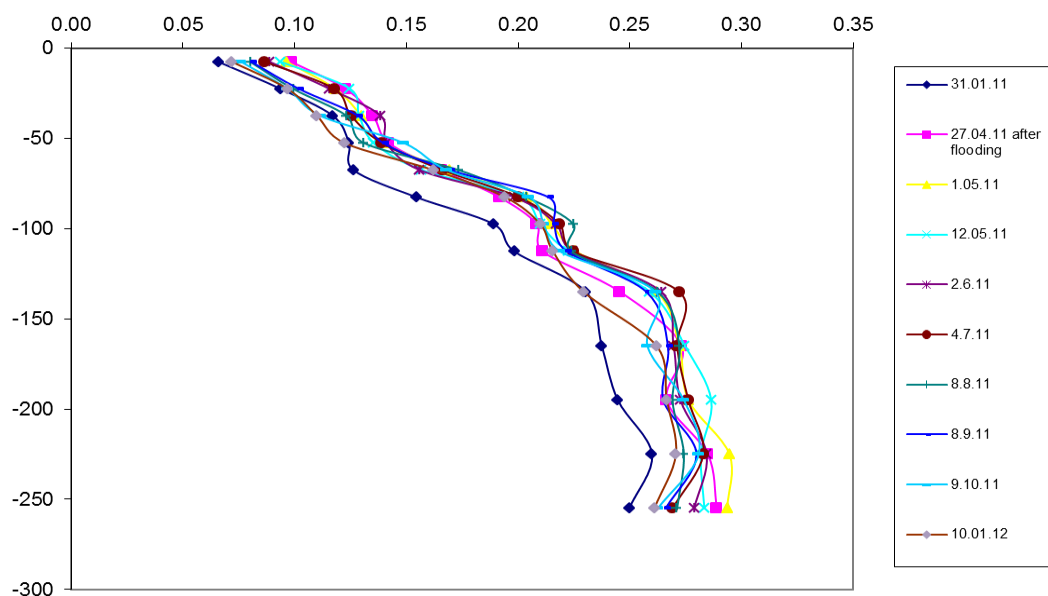
איור 21. תכולת רטיבות קרקע במרחק 90 ס"מ מהשוחה עם העצים בחוות משש.



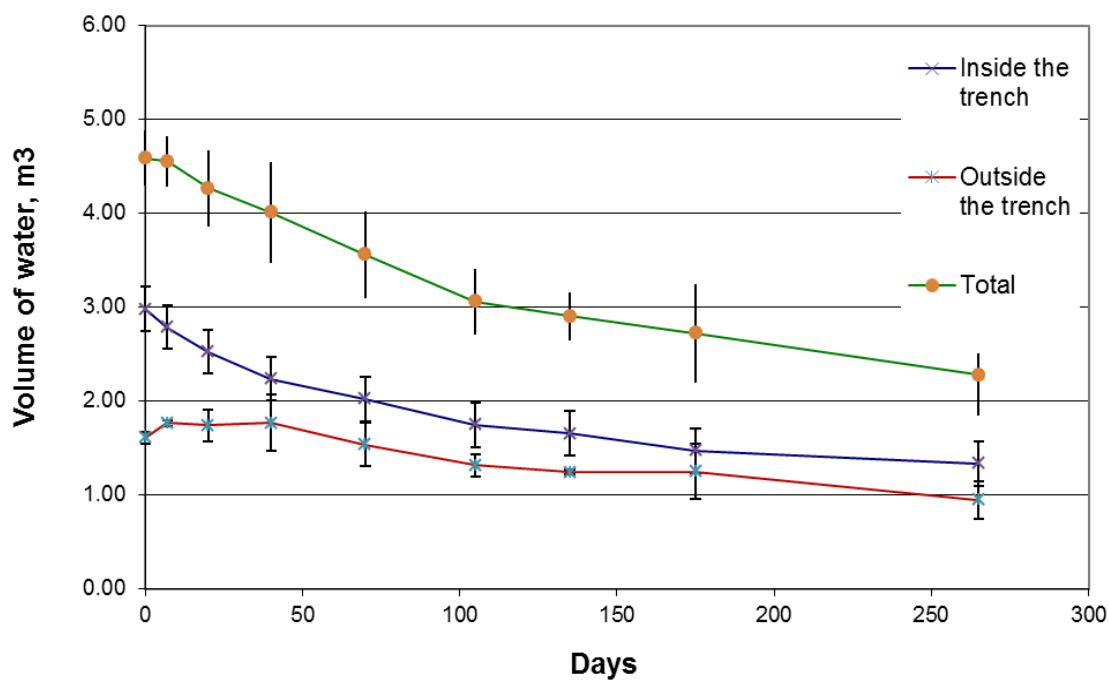
איור 22. תכולת רטיבות קרקע בתחתית השוחה עם העצים בשדה בוקר.



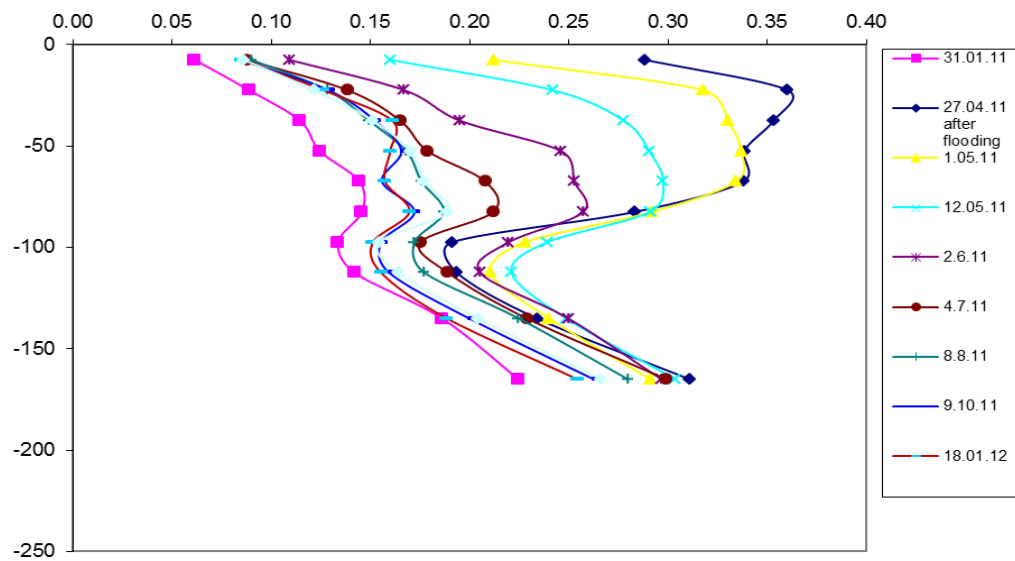
איור 23. תכולת רטיבות קרקע במרחק 35 ס"מ מהשוחה עם העצים בשדה בוקר.



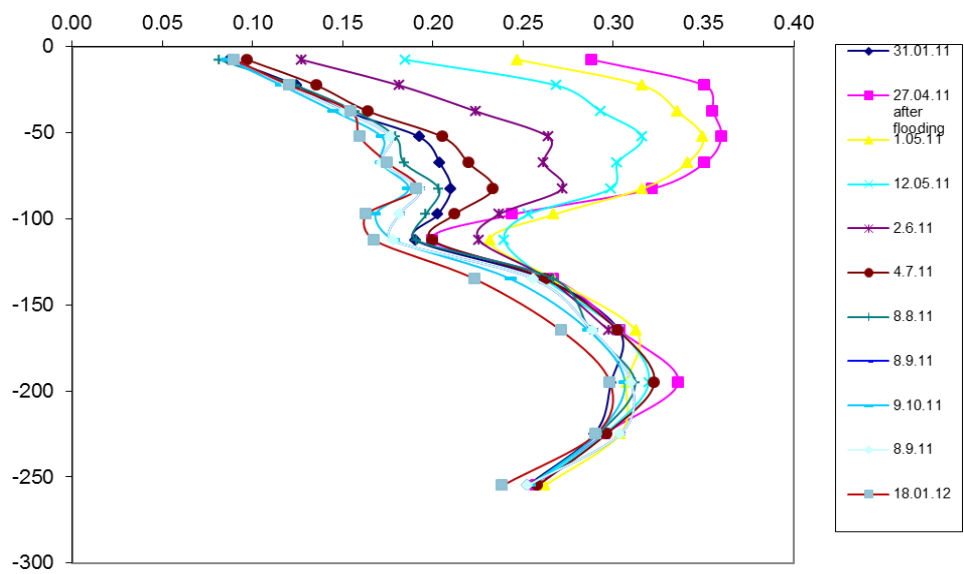
איור 24. תכולת רטיבות קרקע במרחק 80 ס"מ מהשוחה עם העצים בשדה בוקר.



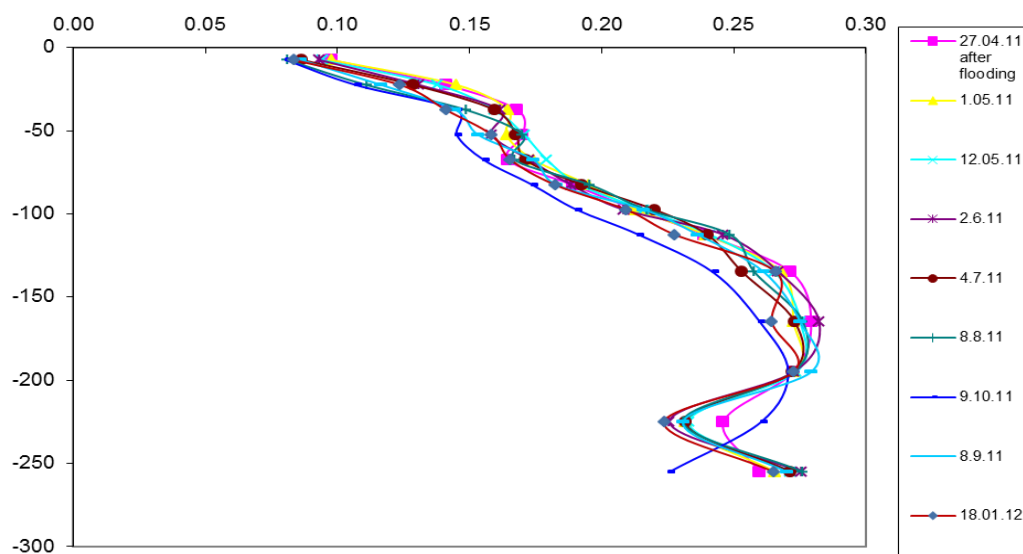
איור 25. כמויות מים שנשארו בפרופיל הקרקע בתוך ומחוץ לשוחה בשדה בוקר לאחר ההשקיה ב- 4.5 מ^3 . הסטיות המוצגות באיור (הקו האנכי החוצה כל נקודת מדידה) הן הסטיות המקסימליות שנמדדו.



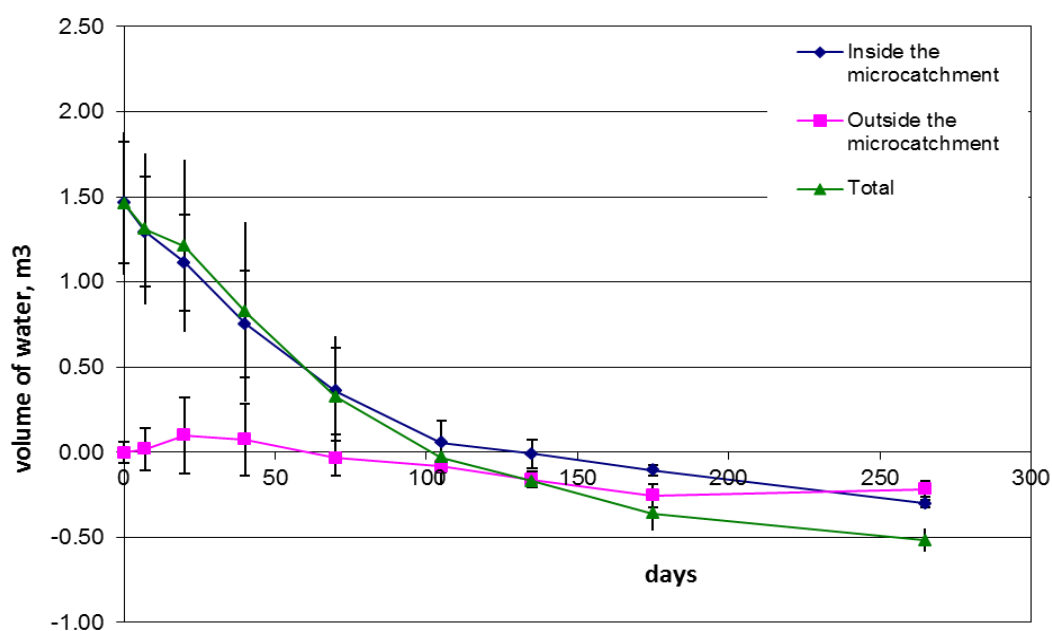
איור 26. תכולת רטיבות קרקע במרכז הנגרין עם העץ בשדה בוקר.



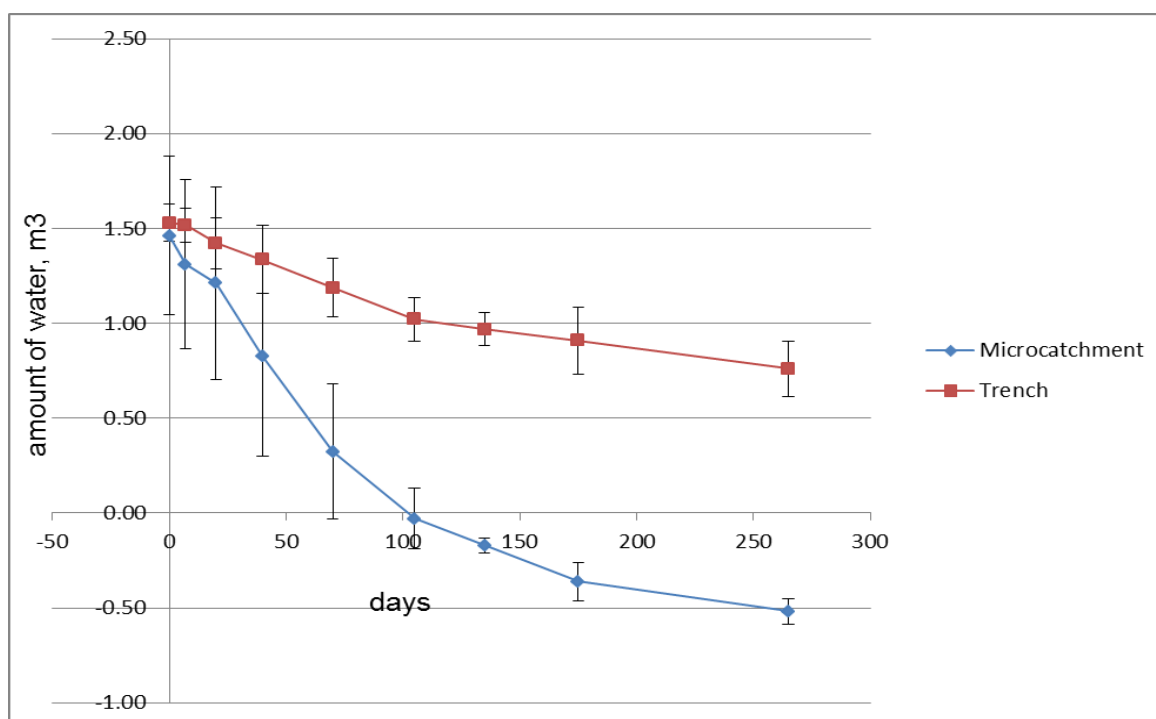
איור 27. תכולת רטיבות קרקע בנגרין במרחק 30 ס"מ מהמרכז בשדה בוקר.



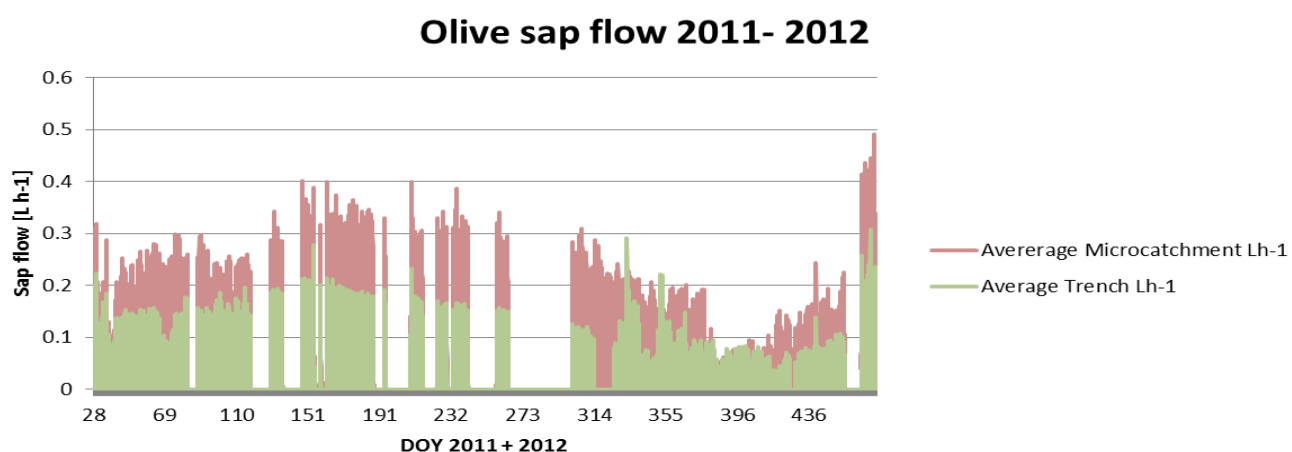
איור 28. תכולת רטיבות קרקע במרחק 50 ס"מ מהנגרין עם העץ בשדה בוקר.



איור 29. כמויות מים שנשארו בפרופיל הקרקע בתוך ומחוץ לנגרין בשדה בוקר לאחר ההשקיה ב- 1.5 מ^3 . הסטיות המוצגות באיור (הקו האנכי החוצה כל נקודת מדידה) הן הסטיות המקסימליות שנמדדו.

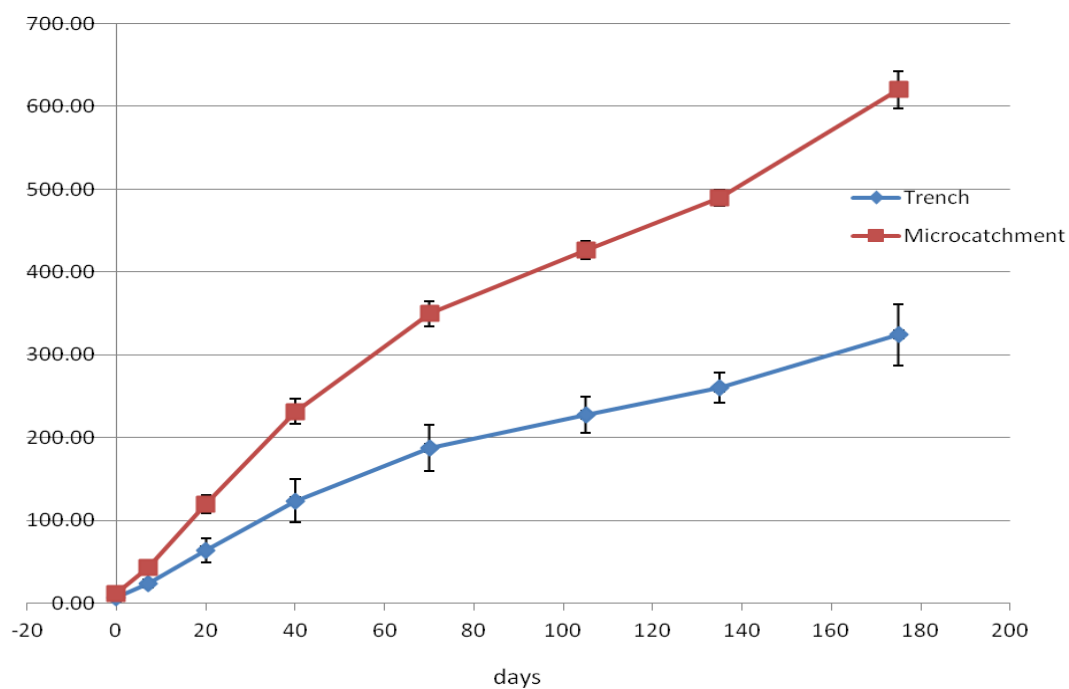


איור 30. השוואה בכמות המים בפרופיל הקרקע בין השוחה (trench) לנגרין (microcatchment) במשך 270 יום לאחר ההשקיה. הסטיות המוצגות באיור (הקו האנכי החוצה כל נקודת מדידה) הן הסטיות המקסימליות שנמדדו.

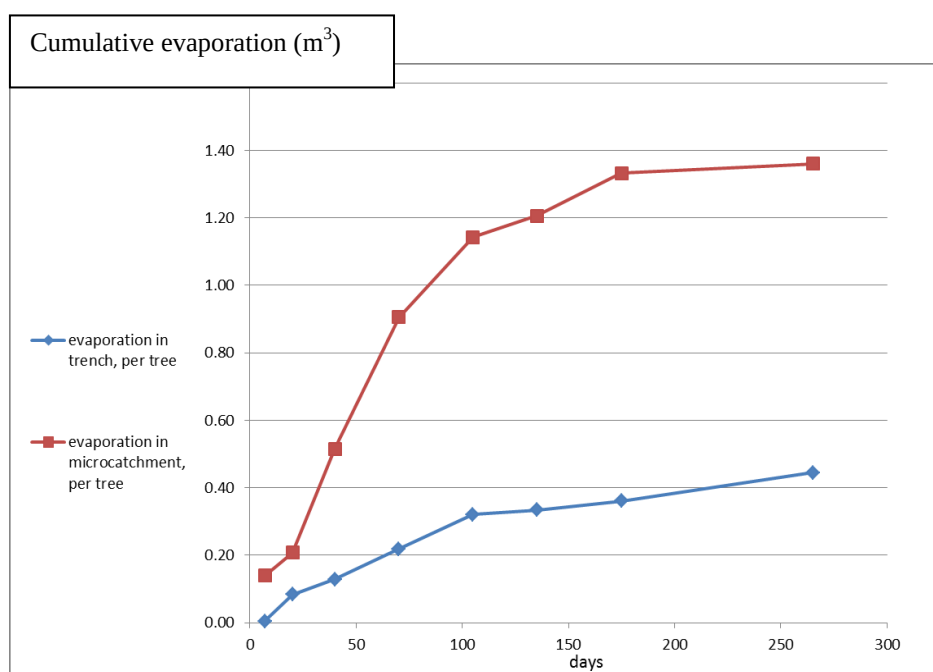


איור 31. קצב תנועת הנוזלים בעצי הזית בשוחות ובנגרינים.

Cumulative amount of water consumed by an average tree, liters



איור 32. כמות מצטברת של טרנספירציה בעצי הזית בשוחות ובנגרינים.



איור 33. התאדות מצטברת מהקרקע בתוך השוחות ובתוך הנגרינים.