

הקטנת תשומות מים ודשן באמצעות בניית דייק (חייץ) ביו-הידראולי
ככלי התמודדות עם שינוי האקלים

Reduction in water and fertilizers consumption by introducing of bio-hydraulic layer as a mean to cope with global warming changes.

דו"ח מסכם לתוכנית 277-0322-09
מוגש לקרן מדען ראשי משרד החקלאות
ע"י

יורם קפולניק - המחלקה לגד"ש ומשאבי שדה, מנהל המחקר החקלאי
חננית קולטאי - המחלקה לפרחים, מנהל המחקר החקלאי
אברהם גמליאל - פיט ופתולוגיה ויישום חומרי הדברה, מנהל המחקר החקלאי
יעקוב אוקון - מיקרואורגניזמים מעודדי צמיחה, מחלות צמחים ומיקרוביולוגיה, הפקולטה לחקלאות
אבנר זילבר - הזנת הצמח, מכון לקרקע ומים, מינהל המחקר החקלאי
ענת לוינגרט - תחום שרות שדה, שה"מ, משרד החקלאות ופיתוח הכפר
אביתר איתיאל - תחום ירקות, שה"מ, משרד החקלאות ופיתוח הכפר
גיא לוי - קרקע ומים, מינהל המחקר החקלאי
שבתאי כהן - פיסיוולוגיה ואגרוטכניקה של ירקות, מו"פ ערבה
אמנון שורץ - פיסיוולוגיה של הצמח, מדעי הצמח, הפקולטה לחקלאות

כתובת אלקטרונית: vwguy@volcani.agri.gov.il
טל: 03-9683502 פקס: 03-9604017

אוקטובר 2013

חשוון תשע"ד

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	
3. תקציר	2
4. מבוא ורקע מדעי	3
5. מטרות המחקר	5
6. שיטות העבודה	3
7. תוצאות עיקריות ודיון	7
8. רשימת ספרות מצוטטת	15
9. רשימת פרסומים	15
10. סיכום עם שאלות מנחות	16
11. נספחים	17

3. תקציר

השפעת ההתחממות הגלובלית באזורינו תגרום, על פי המודלים השונים, לעלייה משמעותית של טמפרטורות היום והלילה, עליה בהתאדות ואי סדירות בעיתוי וכמות הגשמים; תהליכים צפויים אלו מחייבים מציאת פתרונות למחסור במים. ההצעה הנוכחית באה לפתח פרקטיקה חקלאית שתקטין את תשומות המים, הדשן וחומרי ההדברה על ידי הגדלת יעילות היישום בגידולים חד ורב שנתיים. כל זאת, תוך התחשבות בצרכי הצמח ומזעור נזקי יישום דשנים וכימיקלים בקרקע. בנוסף, הקטנת תשומות מים ודשן תתרום בעקיפין להקטנת פליטת גזי חממה. **מטרת ההצעה** הנוכחית היא לפתח טכנולוגיה וממשק המבוססים על שימוש בפולימרים טבעיים וגורמים ביולוגיים בשילוב עם מצע זר לצורך יצירת חתך בית שורשים פעיל, ב"דייק" (חייץ) ביו-הידראולי שישפר את הזנת הצמחים ויעלה את נצילות המים תוך חיסכון משמעותי. **מערך הניסויים** כלל ניסוי מעבדה, בית רשת וחממה בהם נבחנו יעילות תוספת פולימרים סופחי מים וגורמים ביולוגיים (מיקוריזה) במשולב עם מצע חול עם וללא תוספת קומפוסט על תאחיזה ותנועה של מים בקרקע ועל התפתחות הגידול ויבולו. **תוצאות ניסויי המעבדה** הראו כי תוספת פולימר סופח מים למצע מאפשרת הגדלה של תכולת הרטיבות וכמות המים הזמינים, תוך שמירה על מוליכות הידראולית רוויה גבוהה המאפשרת שטיפה וניקוז מהיר של המצע. כמו כן בנוכחות הפולימר נשמרה מוליכות הידראולית לא רוויה הגבוהה בשני סדרי גודל מזו של טיפול הביקורת המאפשרת תנועת מים ונוטריינטים טובה במצע. **תוצאות ניסויי בית הרשת** הראו שלתוספת של פולימרים סופחי מים ו/או תוספים הביולוגים הייתה השפעה ניכרת בכל רמת השקיה שנבדה על התפתחות צמחי תירס במצעי הגידול שנבחנו. בשימוש בחול כמצע גידול, בתנאי השקיה בחסר (70% או 40% מהשקיה מירבית), תוספת פולימר עם וללא תוסף ביולוגי תרמה לצבירת חומר יבש גבוהה יותר בהשוואה לטיפול ללא פולימר. בסמוך למועד הקציר נמצא הן בחול והן בטוף כי לטיפול הפולימר, בייחוד בשילוב עם התוסף הביולוגי, עדיפות במדדים הפיסיולוגיים של הצמח כגון: יעילות פוטוסינתזה ו-*photoinhibition*, דבר המעיד על כך שהצמחים, במועד הבדיקה בטיפול זה, היו במצב פיסיולוגי טוב יותר בהשוואה לצמחי הטיפולים האחרים. **תוצאות ניסויי החממה** בתחנת יאיר שבערבה מראות כי לטיפול המים השפעה מכרעת על התפתחות וניבה של צמחי פלפל. לעומת זאת, למרות שטיפול ההשקיה הגירעונית הפחיתו רק במעט את פוטנציאל הניבה ואיכות הפירות, לנוכחות הפולימר השפעה מסויימת בטיפולים בהם הייתה השקיה גירעונית באופן שמשווה את פוטנציאל היבול לזה המתקבל בצמחים שלא נחשפו להשקיה גירעונית. עוד ניתן להסיק כי בתנאי הניסוי פטריית המיקוריזה לא שיפרה את התפתחות הצמח או יבולו באופן ניכר.

4. מבוא ותיאור הבעיה

תהליכי שינוי האקלים וההתחממות הגלובליים חוזים עלייה משמעותית של טמפרטורות היום והלילה באופן שיסכנו גידולים חקלאיים ברמות שונות החל מירידה בהתפתחות וניבה ראויים ועד מחסור במים שייאבדו בתהליכי התאדות מוגברים. בנוסף, קיים צורך ממשי בהפחתת פליטות גזי חממה (1, 2). שינויי האקלים החזויים לאזורנו מחד והצורך בהפחתת פליטות גזי חממה יחייבו, בין היתר, התאמת ממשקי גידול, השקיה, הזנה והדברה. מכאן, שהגדלת יעילות השימוש במים, דשנים וחומרי הדברה (קרי, הפחתה בתשומות), עולה בקנה אחד עם היעדים הנ"ל. החקלאות תורמת בין 3%-4% לסך פליטות גזי החממה בישראל. למרות חלקה היחסי הקטן, קיימת חשיבות רבה לפיתוח

ממשקים מופחתי פליטות גזי חממה. הקטנת תשומות שייצורם והפקתם כרוכה בפליטת גזים אלו, כמו מים ודשנים, פירושה הקטנת פליטות גזי חממה.

כבר כיום, קיים מחסור במים שפירים לחקלאות בשל האקלים המדברי למחצה השורר ברוב אזורי ישראל. מקורות המים המוגבלים בישראל, לצד הגידול המתמשך בצריכת המים, גרמו להידלדלות מאגרי המים וליצירת גרעון מצטבר שעתה, יותר מתמיד מאיימים על קיומם של שטחי חקלאות בחבלי ארץ נכרים. בעשור האחרון ידעה החקלאות בישראל לנצל את מירב כמויות המים שעמדו לרשותה ובשל המחסור במי השקיה, הושתו קיצוצים של עשרות אחוזים בכמויות המים השפירים המוקצות לחקלאות.

חלק מכמויות המים המיושמות בגידולים שונים כוללות גם כמויות המיועדות להדחת המלחים אל מתחת לעומק בית השורשים הפעיל. הפחתת מנות ההשקיה גורמת לעליה הדרגתית של מליחות בקרקע, להקטנת נפח הקרקע הנשטף ובהכרח לצמצום בית בשורשים. ההצעה הנוכחית עושה שימוש בגורמים ביולוגיים ופולימרים טבעיים שישולבו במצע זר (לדוגמא טוף) ויאפשרו יצירת חתך בית שורשים פעיל, "דייק" (חיץ) ביו-הידראולי, שישפר את הזנת הצמחים ויעלה את נצילות המים תוך חיסכון משמעותי של מים להשקיה. מאחר ורבים מהמקראורגניזמים החיוביים בקרקע מסוגלים להשפיע על צמחים בחקלאות המודרנית כשהם נמצאים ברמות אכלוס גבוהות, יש קושי להגיע לרמות כאלו בתנאי גידול חקלאיים בשל דחיקה מתמדת של אוכלוסיות חדשות מנישה אקולוגית הנוצרת בשורש (שיווי משקל ביולוגי). אבל, אפשרות יישום וחינוש האוכלוסייה במהלך הגידול בכל הגורמים הביולוגיים החיוביים או רק בחלקם מהווים יתרון שיאפשר לפעילות ביולוגית זו להשיא את התפתחות הצמח. שיכבה ביו-הידראולית שכזו ניתנת ליישום בתעלה צרה (ברוחב 10-15 ס"מ ובעומק של 50 ס"מ) שתיחפר לאורך השורה, תהיה פתוחה בתחתיתה ותאפשר יישום מערכת ההשקיה בתוכה או מעליה בהתאם לדרישות הגידול. זאת ועוד, ההצעה הנוכחית רותמת ידע וניסיון רבים שנצברו אודות מיקראורגניזמים יעילים להתפתחות הצמח הנמצאים בקרקע ומסייעים כל אחד מהם להזנת הצמח ולבריאותו וטכנולוגיה המאפשרת את יישומם גם במהלך הגידול. יתרון זה יאפשר "תיקון עונתי", במידה ויידרש, שלא ניתן להיעשות בטכנולוגיות המקבילות.

5. מטרת המחקר

מטרתו הכללית של המחקר היא לפתח טכנולוגיה וממשק המבוססים על הוספה למצע גידול של מיקראורגניזמים ופולימרים ידידותיים לסביבה שיאפשרו ניצול יעיל של מי ההשקיה ותשומות הדישון המיושמות.

6. עיקרי הניסויים

6.1. ניסוי מעבדה

6.1.1. תאחיזת מים של פולימרים במתח נמוך (0-100 ס"מ)

נבחנו 8 פולימרים שונים, 7 פולימרים שסופקו על ידי חברת SNF ופולימר נוסף, "זרעי מים" מחברת Israegel. הפולימרים שנבחנו הם אניונים, כאשר עודף המטען מנוטרל ע"י יון אשלגן או נתרן שספוח לפולימר. הפולימרים בעלי גודל גרגר שונה (טבלה 1). בדיקת תאחיזת המים בוצעה בשתי איכויות מים: (1) מים מזוקקים ו- (2) תמיסת CaCl_2 בריכוז של 20 מא"ק/ל. עקומי תאחיזת המים (ביבוש) התקבלו תוך שימוש בשיטת "העומד התלוי" (ראה פירוט השיטה בדו"ח השנתי של שנת המחקר הראשונה).

6.1.2. תאחיזת מים של מצע בתוספת פולימר במתח נמוך (0-100 ס"מ)

מתוך 8 הפולימרים שנבחנו בסעיף 6.1.1. בחרנו במספר פולימרים שנראו כמבטיחים ביותר (טבלה 1) לבחינה של תאחיזת המים של מצע המשולב עם פולימר. בחנו שלושה מצעים (80 גר'), חול, חול+1.5% (משקלי) קומפוסט, וטוף (>0.8 מ"מ, 0.8-2.0 מ"מ) עם וללא תוספת של פולימר בכמות שקולה ל- 0.1% או 0.5% (משקלי) של המצע. בדיקת תאחיזת המים בוצעה בשלוש איכויות מים: (1) מים מזוקקים, (2) תמיסת CaCl_2 בריכוז של 20 מא"ק/ל ו- (3) תמיסת NaCl בריכוז של 20 מא"ק/ל. עקומי תאחיזת המים (ביבוש) התקבלו תוך שימוש בשיטת "העומד התלוי" (ראה פירוט השיטה בדו"ח השנתי של שנת המחקר הראשונה).

6.1.3. מוליכות הידראולית ברוויה

המוליכות הידראולית ברוויה נקבעה בשיטת העומד הקבוע. נבחנו שני פולימרים, פולימר מסוג זרעי מים (WS) ופולימר מסוג 3005KL (KL). נבדקה המוליכות ההידראולית של שני מצעים, חול וחול+0.5% (משקלי) קומפוסט עם

וללא תוספת פולימר (0.5% משקלי) תוך שימוש בשלוש תמיסות, NaCl, CaCl₂ בריכוז של 20 מא"ק/ל', ומים מזוקקים. תיאור מפורט של אופן הבדיקה מוצג בדו"ח שנתי של השנה השניה. בנוסף לקביעת המוליכות ההידראולית, נמדדו ריכוזי האשלגן, הנתרן והסידן בנקז כדי לבחון האם חל חילוף של הקטיון הספוח על הפולימר בקטיון אחר המצוי בתמיסה בעת שטיפת תערובת המצע+פולימר.

6.1.4. מוליכות ההידראולית לא רוויה

בכדי לדעת את המוליכות ההידראולית הלא רוויה (ערך מחושב) יש צורך לקבוע את תכולת הרטיבות של המצע הנלמד במתחים גבוהים. אנו בצענו מדידות אלו תוך שימוש בפלטות לחץ (עקומי ניקוז). הבדיקות נעשו למצע חול, למצע חול בתוספת פולימר אשלגני או פולימר נתרני (ריכוז של 0.5% משקלי) עבור מים מזוקקים ותמיסת CaCl₂ בריכוז 20 מא"ק/ל'. לצורך הבדיקה נארזו 70 גרם של מצע או תערובת בתוך טבעות נירוסטה פתוחות משני הצדדים. צד אחד של הטבעת נסגר באמצעות יריעת בד דקיקה המאפשרת מעבר של נוזלים ומונעת את המעבר של המצע. הרוויות המצעים התבצעה במהלך הלילה על ידי השארתם במיכל עם תמיסת הבדיקה עד אמצע גובה המצע הארוז בהם. בדקנו את תכולת הרטיבות המשקלית בלחצים של 0.3, 0.5, 0.8, 1.5, 2, ו-3 בר. כל בדיקה בוצעה בשלוש חזרות.

המוליכות ההידראולית הלא רוויה נקבעה בעזרת שימוש במודלים מתמטיים המאפשרים לחשב את ערך המוליכות מתוך מדידת עקום התאחיזה של הקרקע. בעבודה זו נעשה שימוש במודל של (3) לתיאור עקום התאחיזה. כאשר בודקים את עקום התאחיזה המתקבל בתערובת של חול ופולימר או טוף ופולימר מתקבל עקום הדומה להתנהגות של קרקעות בעלות יציבות תלכידים נמוכה. כדי להתאים את עקום התאחיזה לפי משוואת van Genuchten (4) משוואה מורחבת בעלת 3 איברים נוספים המקטינים את הסטייה בין התוצאות המדודות לאלו המחושבות (משוואה 1). ההשפעה של האיברים המוספים על פרמטרים α , n ממשוואת van Genuchten מועטה, אך הם גורמים לשינוי בתכולת הרטיבות ברוויה (θ_s) ותכולת הרטיבות השארייתית (θ_r).

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) \left[1 + (\alpha \psi)^n \right]^{\frac{1}{n}-1} + A\psi^2 + B\psi + C \quad \text{משוואה 1.} \quad (m=1-1/n)$$

פרמטרים m , n , α במשוואה 1 חושבו על ידי שימוש בתוכנת MathVad 6.0. הערכים המדודים של עקום התאחיזה (תכולת הרטיבות בכל מתח נתון) הוכנסו לתוכנה והעקום הותאם לערכים על ידי שינוי של נקודת ההתחלה עבור הפרמטרים המחושבים.

המוליכות ההידראולית הלא רוויה לפי המודל של (5) (משוואה 2) ניתנת לחישוב כפונקציה של עקום התאחיזה ולכן מציאת הפרמטרים m , n , α מתוך עקום התאחיזה מאפשרים את חישוב המוליכות ההידראולית הלא רוויה במתח או תכולת מים נתונים.

$$Kr(h) = \frac{\left[1 - (\alpha \times h)^{n-1} \times \left[1 + (\alpha \times h)^n \right]^m \right]^2}{\left[1 + (\alpha \times h)^n \right]^{\frac{m}{2}}} \quad \text{משוואה 2.}$$

6.2. ניסויי בית רשת

6.2.1. ניסויי הכנה שנה ראשונה.

א. בחינת השפעת חומרים סופחי מים על חיות פטריית המיקוריזה והדבקת צמחי מלון.
תחילה נבחנה השפעת הפולימרים השונים על חיות המיקוריזה: הניסוי נערך בתוך מגשי חישתיל כאשר כצמח הבוחן שימש מלון. הזרעים הונבטו על גבי צלחת פטרי, והועברו למצע השתילה בתוך מגשי חישתיל. מצעי השתילה כללו:
I. 1% פולימר- 10 חזרות עם גל, 5 ללא גל: לכל תא גידול בנפח 60 סמ"ק יש להוסיף את הפרטים הבאים:

א. 40 סמ"ק תערובת חול:וורמיקוליט

ב. 2 סמ"ק מיקוריזה

ג. 0.4 סמ"ק מהגל הנבדק

II. 0.1% גל- 10 חזרות עם גל, 5 ללא גל: לכל תא גידול בנפח 60 סמ"ק יש להוסיף את הפרטים הבאים:

ד. 55 סמ"ק תערובת חול:וורמיקוליט

ה. 2 סמ"ק מיקוריזה

ו. 0.06 סמ"ק מהגל הנבדק

ז. הפולימרים שנבחנו מוצגים בטבלה 1.

ב. בחינת תרומת החידק *Azospirillum brasilense*-cd בשילוב עם הפולימר "זרעי מים" (חברת ישראל'לטק) לצימוח צמחי עגבניה.

הניסויים נערכו בכלי גידול בנפח של 500 סמ"ק שמולאו בחול דיונה שעברה עיקור קודם לכן באורטוקלב (121 מ"צ למשך 60 דקות). בטרם הכנסת החול לכלי הגידול הוכנס הפולימר זרעי מים במינונים שונים על פי מטרות הניסוי ולאחר ערבוב ויצירת אחידות במצע הועבר החול לכלי הגידול. כלי הגידול שהכיל את המצע הושקה בעודף על מנת ליצור הרוויה ומצע מתאים להעתקת נבטים. נבטים בני 4 ימים של צמחי עגבניה מזן M-82 שהונבטו באופן סטרילי הועברו למערכות הגידול ואחד מ"ל של תרבית חידקי אזוספירילום בריכוז של 10^7 חידקים למ"ל יושמה על הנבטים. לאחר יישום החידקים כוסו הנבטים בחול בגובה של 10 מ"מ מעל הפסיגים. הכלים הושקו במהלך הגידול בתמיסת מזון שהיא מודיפיקציה של תמיסת "הוגלנד" המכילה רק 20% ממנת החנקן הנחוצה לצמח תוך שימוש מים שעברו טיפול UV-וסינון (להקטנת כמות המיקרואורגניזמים) על פי משקל הכלי בכל טיפול השקיה. הניסוי נערך בתא הצמיחה עם תאורה וטמפ' מבוקרים במשטר של 12 שעות תאורה וטמפ' קבועה של 25 מ"צ. במהלך הגידול נערכו הסתכלויות שבועיות והניסוי נמשך על פי מועדים מתוכננים לפי מטרות הניסוי. בתום הניסוי הופרד הנוף מהשורש ונבדקו מדדי התפתחות.

ג. בחינת תרומת שילובם של 2 חיידקים, *Azospirillum brasilense* ו-*Pseudomonas fluorescens* וכן הפולימר "זרעי מים" על צימוח צמחי העגבניה.

מרכיבי מערכת הניסוי היו דומים למתואר בסעיף ב' לעיל להוציא את ההבדלים הבאים: במועד הביקטור יושמו שני החידקים בתערובת כאשר כל אחד מהם בריכוז 10^7 חידקים.

ד. בחינת תרומתה של הפטרייה *Penicillium bliai* (PB) המעלה זמינות הזרחן להתפתחות הצמח

הניסויים נערכו במתכונת דומה למתואר לעיל, ונפח כלי הגידול השתנה בהתאם לצמח הנבדק. מאחר וניסויים אלו בחנו את יכולת הפטרייה להעלות את זמינות הזרחן לצמח, עורבבו בקרקע ריכוזים שונים של סופר פוספט או סלע פוספט ואילו הצמחים הושקו בתמיסת הוגלנד, נטולת פוספט. במטרה לקבוע את ריכוז הנבגים במדבק הפטרייה שבו נעשה שימוש במהלך העבודה. בוצעה זריעת מהולים עשרוניים. מתוצאות הזריעות נקבע ריכוז התכשיר על 10^7 נבגים לגרם. יכולת הפטרייה PB להמיס זרחן, נבחנה בניסוי חממה. נבדקו גובה, משקל היבש ואחוז השרידות של צמחי הסורגום במערכת הניסוי. כל הניסויים נערכו בחממה מבוקרת בתוספת תאורה מלאכותית למשך 12 שעות הארה ובטמפ' של 24 ± 3 מ"צ.

6.2.2. ניסויי גידול תירס בבית רשת

6.2.2.1 השפעת מרכיבי החייץ הביוהידראולי (קיץ 2011)

במטרה לבחון את תרומת מרכיבי המערכת של החייץ הביוהידראולי על מדדי הצימוח בצמח תירס נערך ניסוי במיכלי גידול בנפח 10 ליטר. לאורך הטיפול הצמחים היו חשופים להשקיה אופטימאלית. נתוני המערכת שנבדקו היו כדילקמן: קומפוסט בריכוז של 1.5% (מנפח המצע), פולימר זרעי מים של חברת ISRAGEL בריכוז 0.5% וכל הרכיבים הביולוגיים (אזוספירילום ופטריית המיקוריזה). כטיפול אחד.

יש לציין כי בחרנו בגידול תירס כי תנאי החממה במתקן הניסויים במנהל המחקר החקלאי לא אפשרו מבחינת תנאי חום וקרינה התחלת גידול פלפל בתנאים שמאפשרים את התפתחותו באופן אופטימאלי. על כן הוחלט כי ניסוי עם פלפל יערך בתנאים חקלאיים בחוות יאיר, והקדמנו פעילות זאת בשנה (לשנת המחקר השניה, ראה סעיף 6.3.1).

6.2.2.2 השפעת מרכיבי החייץ, מנת השקיה וסוג מצע (קיץ 2012)

בניסוי זה גידלנו צמחי תירס מזן רויאלטי בדליים בנפח 10 ליטר, שני צמחים בכל דלי, במצע חול בשילוב עם קומפוסט (1.5% נפחי) ובטוף. במסגרת הניסוי בחנו את השפעת הוספת (0.5% משקלי) של פולימר פזרעי מים (WS) ו- KL בתוספת או ללא תוספת ביולוגית, דהיינו תערובת של מיקוריזה ואזוספירילום (בין). בטיפול הביולוגי שולב במצע הגידול מידבק (מסחרי (אגרוגולד, ישראל) שהכיל 220 יחידות הדבקה לגר' מידבק) של פטריית

המיקוריה. הצמחים בטיפולים אלו אולחו בחיידקי אזוספירילום מסחריים (מחברת Sintesis Quimica, ארגנטינה). האילוח נעשה בזמן הזריעה בריכוז 10^7 CFU. בניסוי נבדקו שלושה משטרי השקיה שונים – 100%, 70% ו-40% שחשבו עפ"י התאיידות מגיית, באשר משטרי ההשקיה הדיפרנציאליים החלו חודש לאחר הזריעה. הצמחים דושנו בתמיסת דשן המתאימה להתפתחות פטריית המיקוריה. הטיפולים שנבחנו (10 עציצים לטיפול) היו כדלקמן. טיפול ביקורת (C) - מצע בסיסי של חול+קומפוסט בריכוז 1.5 (% נפחי) או טוף; טיפול (A) - תוספת של פולימר מסוג זרעי מים; טיפול (B) - תוספת פולימר מסוג זרעי מים ומיקוריה; טיפול (D) תוספת פולימר מסוג KL; טיפול (E) - תוספת פולימר מסוג KL ומיקוריה. במצע הטוף נבחן גם טיפול (H) – תוספת של מיקוריה בלבד. לאחר שישה שבועות מהנביטה, הצמחים נמדדו ונשקלו ונלקחו דגימות שורשים לקביעת אחוזי הדבקה במיקוריה. במהלך הניסוי בוצע מעקב אחר תכולת הרטיבות (נקבעה באופן משקלי על ידי שקילת העציצים פעמיים בשבוע), גובה הצמחים, נבחה צבירת הביומסה וכן נערכה מדידת פלואורוסנציה של כלורופיל בעזרת מכשיר PAM-2000 fluorometer (Waltz, Effeltrich, Germany) ומדידות פוטוסינטזה, טרנספירציה ונצילות מים בעלה בעזרת מכשיר Li-6400. (Li-Cor, Lincoln, Nebraska) Cor. בסוף הניסוי נקצרו הצמחים עד לגובה פני המצע, נקבעה הביומסה וריכוז יסודות ההזנה (NPK).

6.3. ניסוי חממה בערבה (חוות יאיר)

6.3.1. ניסוי ראשוני

הניסוי הראשוני נערך בעונת 2011-2012. בתוכנית המחקר תוכנן ליישם את ממצאי הכיול של רכיבי הדייק הביוהידראולי בשדה רק בעונת המחקר השלישית. יחד עם זאת, פערי הידע לניסויי שדה ברמה מסחרית הובילה אותנו להחלטה לבצע ניסוי ראשוני בתשתית תעלות ה"נש"מ". כדי לאמוד קשיים טכניים ובעיות יישום מתואר בזה ניסוי שנערך שנה מוקדם מהצפוי בתוכנית העבודה. תעלות ה"נש"מ" נבנו כדי למזער את כמות החול אליו נזקקים לגידול בתנאי קרקע מקומית - שאינה מתאימה לגידול ירקות. התשתית מכילה תעלה שבתחתיתה חצץ המשפר את הניקוז משכבת המילוי, מימדי התעלה הם 40 סמ' עומק ו-30 סמ' רוחב. זאת ועוד, לצורך עריכת הניסוי, ובשל הנפחים הגדולים של המצע אליו נזדקקנו, עורבבו טיפולי הפולימר בחול בריכוז של פי 5 מהריכוז הסופי בשטח ("חול פולימרי") תוך שימוש בפולימר "זרעי מים" בריכוז 5%, בתוך חול דיונות (נלקח מאזור החוף) באמצעות מערבול טון. בנוסף לפולימר הוכנס קומפוסט בריכוז של 7.5% נפחי בכל הטיפולים (כולל הביקורת) "החול הפולימרי" הובל לתחנת יאיר ויושם בשכבות (שיכבה חול, שיכבה חול פולימרית, חול והלאה) בתוך התעלה – כל 5-10 סמ' ונעשה ערבוב בתוך התעלה לנסות ולגרום לאחידות בחתך המצע בתעלה.

בשל בעיות ההצבה של הניסוי (טעות בקריאת התוכנית), לא שולבו טיפולי הביקורת בכל אחד מהבלוקים באופן אחיד כמתחייב. זאת ועוד, מאחר ולחממה קיים גרדיאנט בתשתית או שיפוע טבעי היה צפוי (דבר שהתממש) שתנאי הצימוח יהיו שונים בין הצדדים השונים וזאת למרות שטיפולי ההשקיה היו זהים. למרות שטעות ההצבה אובחנה בתחילת הניסוי הוחלט להמשיך את הניסוי כדי לאפשר לימוד של המערכת בגידול פלפל וניסיון לאבחן את השפעת המצעים השונים על מידרג רמות ההשקיה.

בניסוי בוצעו 4 טיפולי מצע עם 4 טיפולי רמת השקיה. הניסוי הוצב בתבנית של בלוקים באקראי עם 5 חזרות. סה"כ 80 חלקות (5X4X4). רמות ההשקיה היו 0.60, 0.80, 1.00, 1.20 ממנת המים המומלצת על פי התאיידות מגיית וסומנו כמנת מים 4, מנת מים 3, מנת מים 2, מנת מים 1, בהתאמה. הריכוז הסופי (נפחי) של הקומפוסט היה 1.5%, ושל הפולימר מסוג, זרעי מים 0.5%.

6.3.2. ניסוי עיקרי

הניסוי העיקרי נערך בעונת 2012-2013 ובו נבדקה השפעת רכיבי החיץ הביוהידראולי על התפתחות וניבת צמחי פלפל. תשתית הניסוי כללה חפירת תעלה (ידינית) לעומק של 40 סמ' וברוחב 40 סמ'. התעלה לא הכילה בתחתיתה כל תווך ומולאה בחול קוורץ שעורבב בצורה מיכנית (על ידי משתלת גן וירק) והובאה לשטח הניסוי לשם מילוי התעלות. בתהליך הערבוב הוסף לחול קומפוסט בשיעור של 2% (נפחי) וטיפול הפולימר בריכוז סופי של 0.5% (נפחי). בניסוי בוצעו 6 טיפולים הכוללים 2 מנות מים (70 ו-100% מהמנה המומלצת), טיפול מיקוריה (שיושמה בשלב המשתלה) וטיפול בשני פולימרים (זרעי מים ו-KL). כל אחד מהטיפולים נערך בחמש חזרות, סה"כ 30 חלקות.

7. תוצאות עיקריות ודין

7.1. ניסוי מעבדה

7.1.1. תאחיזת מים של פולימרים במתח נמוך (0-100 ס"מ)

בניסויי ספיחת ותאחיזת מים של הפולימרים בלבד (ללא מצע) בחנו את השפעת תכונות הפולימר וריכוז והרכב המלח בתמיסה על כשר ספיחת המים של הפולימרים השונים. בחינה של השפעת גודל גרגר הפולימר על כושרו לספוח מים הראתה כי ממצב רוויה עד למתח של 10 ס"מ לפולימר בעל גודל גרגר קטן יכולת ספיחת מים גבוהה יותר מאשר לפולימר בעל גודל גרגר גדול. במתחים הגבוהים מ- 10 ס"מ היה יתרון לפולימר בעל גודל גרגר גדול (איור 1).

בחינה של השפעת סוג הקטיון הספוח בפולימר (בעל אותו גודל גרגר) על יכולתו לספוח מים מראה כי ברוויה (מתח 0 ס"מ) כושר הספיחה של פולימר נתרני גבוה מזה של פולימר אשלגני. אולם כבר ממתח של כ- 5 ס"מ לא נמצא הבדל ביכולת ספיחת המים בין שני הפולימרים (איור 2).

במים מזוקקים הפולימרים סופחים ברוויה 300-400 גר' מים לגר' פולימר (איור 1); מאידך בנוכחות תמיסת מלח בריכוז 20 מא"ק/ל כשר ספיחת המים של הפולימר יורד לערכים הקטנים פי שלושה עד ארבעה מאלו שהתקבלו במים מזוקקים, 80-120 גר' מים לגר' פולימר (איור 3). פער דומה ביכול ספיחת המים על ידי הפולימרים כתוצאה משימוש במים מזוקקים לעומת שימוש בתמיסת מלח נמצא גם במתח של 100 ס"מ (איורים 1 ו-3). השפעת נוכחות מלח על מבנה הפולימר ומכאן על הפגיעה ביכולתו לספוח מים מומחשת בתמונה 1. כאשר התמיסה מכילה מלח של קטיון דו ערכי (CaCl_2) כשר ספיחת המים של הפולימר נמוך באופן משמעותי מכשר ספיחת המים שלו כאשר התמיסה מכילה מלח של קטיון חד ערכי (NaCl). בתמיסת מלח נתרני לפולימר הנתרני כשר ספיחה ותאחיזה של מים הגבוהים במעט מאלו של הפולימר האשלגני. מאידך, בתמיסה סידנית לפולימר האשלגני כשר ספיחת מים ברוויה ותאחיזת מים תחת מתח שגבוהים באופן משמעותי מאלו של הפולימר הנתרני (איור 3).

7.1.1. תאחיזת מים של מצע בתוספת פולימר במתח נמוך (0-100 ס"מ)

תוצאות ראשוניות של הניסוי הנוכחי הראו כי לתוספת של קומפוסט למצע החול הייתה השפעה מועטה על עקומי התאחיזה. כמו כן, לא נמצא הבדל גדול בין ריכוז של 0.1% ו- 0.5% פולימר בהשפעתם על עקומי התאחיזה. לכן מוצגות התוצאות עבור הניסויים עם מצע חול בלבד ועם תוספת פולימר של 0.5% (משקלי).

בהשוואה לספיחה במים בלבד בה הפולימרים ספחו פי 300 ויותר מים ממשקלם (איור 1), בעת ערבובם במצע חול כשר הספיחה של הפולימרים פחת בצורה משמעותית ל >1 גר' מים לגר' מצע. אולם בהשוואה למצע חול נקי, תוספת פולימר הגדילה את ספיחת המים בשיעור של פי 4 עבור מים מזוקקים (איור 4). להרכב תמיסת ההרוויה הייתה השפעה גדולה על עקום התאחיזה של המצע המשולב של חול+פולימר. בנוכחות מלח נתרני המצע המשולב שמר על תכולת מים גבוהה יותר בהשוואה למלח סידני (איור 4), אך עם זאת, בשני המקרים תכולת הרטיבות במצע המשולב הייתה גבוהה יותר מאשר במצע חול לבד בכל תחום המתח שנבדק. תרומת הוספת פולימר למצע החול לכמות המים הזמינים בתחום מתחים של 100-10 ס"מ הייתה 60-100% עבור מים מזוקקים ו- ~30% כאשר נעשה שימוש בתמיסות מלח. מאידך, לסוג הקטיון הספוח על הפולימר ולגודל הגרגר של הפולימר לא הייתה השפעה על עקומי התאחיזה (איורים 4 ו-5, בהתאמה).

לחלקיקי טוף ישנה נקבוביות פנימית (בניגוד לגרגרי החול) ולכן תכולת הרטיבות ברוויה בטוף גבוהה מבחול (איור 5). צפיפות גושית של מצע הטוף ללא פולימר לא השתנתה כתוצאה מתהליך ההרטבה (1.29 גר'/סמ"ק). בנוכחות פולימר ירדה הצפיפות הגושית מ- 1.48 גר'/סמ"ק לפני ההרטבה ל- 0.62 גר'/סמ"ק לאחר הרטבה במים מזוקקים. הרטבה בתמיסת מלח הורידה את הצפיפות הגושית לערך של 1 גר'/סמ"ק. הירידה בצפיפות הגושית בעקבות התפיחה המשמעותית של הפולימר מגדילה את נקבוביות המצע. בדומה למצע החול, בעבור מצע טוף+פולימר נמדדה עבור שימוש במים מזוקקים תכולת רטיבות גבוהה, 1.28 ברוויה ו- ~0.60 במתח 100 ס"מ. במעבר לתמיסת CaCl_2 ירדה תכולת הרטיבות ברוויה פי 2, ובגמר הניקוז נמדד ערך של 0.2 בדומה לזה שנצפה במצע טוף נקי (איור 5). הרוב המכריע מכלל נפח המים שהתנקז עד מתח של 100 ס"מ (~90%) אבדו מהמצע כבר בהפעלת מתח של 50 ס"מ עבור גרגרי הטוף הקטנים (איור 5) ומתח של 20 ס"מ עבור מצע הטוף בעל הגרגרים הגדולים (איור 6).

7.1.3. מוליכות הידראולית ברוויה

נפח הנקבובים של המצעים (80 גר) בעת אריזתם בעמודות היה כ- 40 מ"ל (צפיפות גושית של 1.7 גר/סמ"ק), אך כשהוסף פולימר אל המצע עלה נפח הנקבובים ל- 115 ו- 125 מ"ל עבור חול וחול+קומפוסט בהתאמה בשימוש במים מזוקקים. הרוויות המצע והפולימר בתמיסת CaCl_2 ו- NaCl הקטינה את נפח הנקבובים ל- 52 מ"ל ו- 67 מ"ל בהתאמה. המוליכות ההידראולית ברוויה במצע החול וחול+קומפוסט הייתה 45 ס"מ/שעה. המוליכות ההידראולית התייצבה על ערך זה כבר מתחילת מעבר המים ולא נצפה שינוי עם העלייה בנפח המים שעברו (איור 7). תוספת פולימר מסוג זרעי מים גרמה לירידה חדה במוליכות ההידראולית בשלב הראשון של השטיפה גם במצע החול (10.5 ס"מ/שעה) וגם במצע החול+קומפוסט (8 ס"מ/שעה). לאחר כ- 5 נפחי נקבובים החלה עלייה קבועה במוליכות ההידראולית עד לערך הדומה לזה של המצעים בלבד (איור 7). תופעה דומה נצפתה על ידי (6) שהציעו את ההסבר הבא עבורה. עם תחילת תהליך שטיפת העמודה במים המזוקקים הפולימר כנראה ממשיך לספוח חלק מנפח המים העוברים בעמודה. כתוצאה מתפיחת הפולימר נאטמים חלק מהנקבובים ששימשו להובלת המים ולכן המוליכות ההידראולית קטנה. מספר נפחי נקבובים לאחר גמר התפיחה, מתחילה דחיסה של המצע בעקבות העומד ההידראולי המופעל על המצע בעמודה הגורם לניקוז מים מהפולימר ולכן המוליכות ההידראולית עולה (איור 7).

עבור מצע חול וחול +קומפוסט בתוספת פולימר זרעי מים (WS) והרטבה בתמיסת CaCl_2 בריכוז של 20 מא"ק/ל נמדדה מוליכות הידראולית התחלתית נמוכה יותר (25 ס"מ/שעה) בהשוואה למצע בלבד. במשך שטיפה של 5 נפחי נקבובים עלתה המוליכות ההידראולית עד שהתייצבה על ערך של 32 ס"מ/שעה (איור 8). במצע החול+קומפוסט נצפתה אותה מגמה והערך הסופי שהתקבל היה 37 ס"מ/שעה. מאידך, במצע חול בתוספת פולימר KL והרוויה בתמיסת NaCl נמדדה מוליכות ההידראולית התחלתית של 33 ס"מ/שעה אשר הלכה ופחתה במהלך השטיפה עד שהתייצבה על ערך של 27 ס"מ/שעה ו- 30 ס"מ/שעה עבור מצע החול וחול+קומפוסט בהתאמה (איור 8). את התוצאות שוהצגו באיורים 7 ו-8 ניתן להסביר בעזרת תופעות של חילוף יונים בין אלו שבתמיסה ואלו הקשורים לפולימר (7). הסידן המצוי בתמיסה יכול להחליף את האשלגן הקשור לקבוצות הקרבוקסיל בפולימר. כתוצאה מכך ספיחת המים יורדת (איור 4) ופחות נקבובים במצע נאטמים כתוצאה מתהליך התפיחה. תופעה זו יכולה להסביר את העלייה במוליכות ההידראולית בנפחי הנקבובים ההתחלתיים (איור 8) לעומת הירידה שנצפתה בעת שטיפה במים המזוקקים (איור 7). שימוש בתמיסה המכילה נתון מאפשרת חילוף של יון האשלגן הקשור לפולימר ביון הנתרן. כתוצאה מהחילוף יכולת ספיחת המים של הפולימר עולה (איור 4), הפולימר תופח מעט ואוטם נקבובים מוליכי מים, ולכן המוליכות ההידראולית יורדת מעט בהשוואה לשטיפה בתמיסת הסידן (איור 8).

7.1.4. מוליכות הידראולית לא רוויה

תוצאות עקומי התאחיזה במתח גבוה (3-0.3 בר) מצביעים על כך שתכולת הרטיבות במצע שכלל פולימר הייתה גבוהה באופן משמעותי מזו שבמצע החול בלבד (איור 9). במתח של 100 ס"מ נמדדה תכולת רטיבות של 0.032 (גר/גר) במצע חול ללא פולימר, בתוספת פולימר אשלגני נמדדו תכולות רטיבות של 0.54 ו- 0.18, ובפולימר נתרני 0.56 ו- 0.2 במים מזוקקים ותמיסת CaCl_2 בהתאמה. בחישוב של אחוז המים שהשתחררו בין מתח של 100 ס"מ ל- 3000 ס"מ מסך כל הכמות שהשתחררה בין מתח 0 ל- 3000 התקבל שעבור מצע החול ללא פולימר רק 5% של מים השתחררו (קרי 95% מהמים השתחררו ממצע החול עד 100 ס"מ של מתח). לעומת זאת, בתוספת של פולימר אשלגני השתחררו 24% ו- 16% מים מהמצע בשימוש במים מזוקקים ותמיסת סידן. בפולימר הנתרני נמדד שחרור של 20% ו- 17% במים מזוקקים ותמיסת סידן. למרות שבגידול צמחים במצעי גידול לא נהוג להגיע למתחים גבוהים, ברור שלצמח יש יכולת להפעיל מתחים בטווח זה ולכן נראה שלפולימר תיתכן השפעה משמעותית על זמינות המים לצמחים.

חישוב המוליכות ההידראולית הלא רוויה מתוך המודלים הראה שעיקר הבדלים במוליכות הלא רוויה קיימים בין מצע חול ללא תוספת פולימר ומצע חול בנוכחות פולימר, וזאת ללא תלות בסוג הפולימר (איור 10). במתחים הנמוכים (עד 20 ס"מ) לא היה שינוי במוליכות ההידראולית הלא רוויה של מצע החול (איור 10), בגלל שעד מתח זה אין שחרור של מים (ערך פריצת אויר) ולכן המצע נשאר בתכולת רטיבות מרבית. ההבדל המשמעותי במוליכות הלא רוויה בין שני סוגי המצעים מתקבל כאשר מתח היניקה עולה מעל 40 ס"מ. ממתח יניקה זה המוליכות ההידראולית הלא רוויה של מצע החול הנקי יורדת בצורה חדה עד שבמאה ס"מ הערך נמוך ב- 9 סדרי גודל מערך המוליכות

ההידראולית הרוויה (איור 10). הרוויה התערובות במים מזוקקים גורמת לשמירה על מוליכות ההידראולית לא רוויה גבוהה מזו שחושבה עבור הרוויה בתמיסת סידן. תוספת פולימר למצעים (ללא תלות בפולימר או בתמיסה) גורמת בטווח המתחים של 0-40 ס"מ למוליכות ההידראולית לא רוויה שנמוכה מזו המתקבלת במצע חול בלבד (איור 10). בטווח המתחים של 40-100 ס"מ ערכי המוליכות ההידראולית הלא רוויה במצע חול+פולימר גבוהים בהשוואה למוליכות במצע החול כאשר במתח של 100 ס"מ פער זה במוליכות הלא רוויה גדל עד ל- 3-5 סדרי גודל (איור 10). תוצאה זו מצביעה על כך שלפולימר יתרון לא רק בהגדלת כמות המים במצע אלא גם בזמינותם לצמח ו/או ביכולת התנועה שלהם אל הצמח.

7.2. ניסויי בית רשת

7.2.1 ניסויי הכנה שנה I.

א. בחינת השפעת חומרים סופחי מים על חיות פטריית המיקוריזה והדבקת צמחי מלון.
בכדי לבחון את חיות המיקוריזה בנוכחות הפולימר השתמשנו בצמחי מלון כצמחי בוחן. נמצא כי נוכחות הפולימר לא הביאה לפחיתה ביכולת המיקוריזה להדביק את צמחי הבוחן, ומכך שלא חלה, ככל הנראה, פחיתה בחיותה בנוכחות הפולימרים השונים (איור 11).

ב. בחינת תרומת החידק *Azospirillum brasilense*-cd בשילוב עם הפולימר "זרעי מים" (ישראלטק) #7 לצימוח צמחי עגבנייה. החיידק *A. brasilense* הינו בעל יכולת קשירת חנקן ומביא לשינוי המאזן ההורמונאלי איליו נחשף השורש. נמצא כי יישום החיידק בצמחי עגבנייה לא הביא לשיפור הצימוח, כפי שבא לידי ביטוי במשקל היבש של הנוף והשורש, וגם לא במידת שטח פני השורש. יחד עם זאת, יישום הפולימר עצמו, בריכוז של 1% הביאה לשיפור משמעותי במשקל הנוף (איור 12).

ג. בחינת תרומת שילובם של 2 חיידקים, *Azospirillum brasilense* ו-*Pseudomonas fluorescens* וכן הפולימר "זרעי מים" על צימוח צמחי העגבנייה. חיידק ה-*Pseudomonas fluorescens* הינו בעל תכונות של Rhizobacteria Plant Growth Promoting (PGPR). התוצאות הראו כי השימוש בשני החיידקים ללא תוספת פולימר הביאה לשיפור משמעותי במשקל היבש של הנוף ושל השורש לעומת צמחי הביקורת (C), אשר לא הודבקו בחיידקים ולא גודלו בנוכחות הפולימר (איור 13), ואילו בנוכחות 0.5% ו-1% פולימר הביאו החיידקים לעליה משמעותית בשטח פני השורש במיוחד בריכוז פולימר של 0.5%, ללא עלייה במשקלו היבש של השורש, דבר המעיד על שינוי ארכיטקטורת השורש, דהיינו שורשים דקים יותר בעלי שטח פנים רב יותר, לעומת צמחי הביקורת (איור 13). גם תוספת הפולימר עצמה, בריכוז של 1% הביאה לעלייה משמעותית במשקל היבש של הנוף וכן של השורש ללא תרומה של חיידקי האזוספירילום.

ד. בחינת תרומתה של פטרייה המעלה זמינות הזרחן להתפתחות הצמח

בכדי לבחון את אפשרות העלאת זמינות הזרחן לצמח על ידי מיקרואורגניזמים, לשם עידוד התפתחותו, נעשה שימוש במידבק מסחרי המכיל נבגים של הפטרייה *Penicillium bliai* (PB). פטרייה זו ידועה בספרות כפטרייה בעלת פעילות, המאפשרת את המסתו של זרחן מינרלי שנמצא בקרקע, אך אינו זמין לקליטת הצמח או קליטתו ע"י פטריית המיקוריזה. על כן, העבודה הנוכחית בחנה את תרומת היישום של הפטרייה PB במיני צמחים ויכולתה להביא לשיפור במדדי הצימוח, מתוך כוונה לשלבה כחלק ממאמץ לשפר את תרומת מידבק המיקוריזה לענפי חקלאות שונים.

מספר הנבגים במידבק PB

במטרה לקבוע את ריכוז הנבגים במדבק הפטרייה שבו נעשה שימוש במהלך העבודה. בוצעה זריעת מהולים עשרוניים. מתוצאות הזריעות נקבע ריכוז התכשיר על 10^7 נבגים לגרם

יישום הפטרייה PB במינים שונים

במטרה להוכיח כי מנגנון הפעולה של הפטרייה PB בהמסת זרחן, יכול לתרום להתפתחות הצמח, התבצע ניסויי חממה בהם נבחן יישום הפטרייה. בניסויי החממה התבצע הגידול במצע מנותק, המאפשר הוספה מבוקרת של דשני זרחן שונים ובריכוזים ידועים. בניסויים נעשה שימוש בדשנים מסחריים המספקים מקור זרחן לצמח: דשן מסוג סלע-פוספט ידוע כתרכובת קשת-תמס ובכך הזרחן בלתי זמין לצמח ודשן מסוג סופר-פוספט ידוע כתרכובת קלת-תמס ובכך הזרחן זמין לצמח.

טווח ריכוזי הזרחן המיטבי לגידול

במטרה שהצמח יגדל בצורה מיטבית, ריכוז הזרחן אליו הוא נחשף, צריך להיות בטווח ריכוזים ספציפי. עליה מטווח זה, תהיה רעילה לצמח וירידה מטווח זה, תהווה מחסור בהזנה. במטרה לבחון את השפעת הפטרייה PB על התפתחות הצמחים, יש לקבוע בתחילה את ריכוז הזרחן המיטבי לגידול, על-מנת שריכוז הזרחן לא ישפיע על התוצאות. הניסוי התבצע באמצעות הוספת ריכוזי זרחן זמין במצע הגידול ובחינת השפעתם על הגידול והשרידות של צמחי סורגום. באיור 14 ניתן לראות את השפעת ריכוזי זרחן זמין על גובה, משקל היבש ואחוז השרידות של צמחי סורגום. התוצאות מציעות כי קיים קשר ישר וחיוני בין ריכוז הזרחן לבין גובה ($R^2=0.89$) ומשקל יבש ($R^2=0.88$) של הצמחים. כאשר לא מוסף זרחן למצע, מקבלת ירידה באחוז השרידות (60%), הוספת הזרחן מעלה את שרידות הצמחים (80%), כאשר בריכוז 30 חח"מ לא נצפית ירידה בשרידות (100%), אך בריכוז 100 חח"מ נצפית ירידה חדה בשרידות (40%) ונראה שלריכוז זה השפעה רעילה על הצמח. שילוב תוצאות מדדי ההתפתחות עם אחוז השרידות מרמזת שריכוז הזרחן המיטבי הוא בטווח שבין 30-50 חח"מ: בריכוז זה מתקבלים מדדי צימוח טובים ללא ירידה משמעותית בשרידות הצמחים. למרות הענות הצמחים לריכוזי הזרחן – בשני ניסויים גדולים שנערכו במערכת המתוארת לא נתקבלה השפעה של BP על הצמחים בשום אחד מריכוזי הזרחן שנבדקו.

7.2.2.2. ניסויי גידול תירס בבית רשת

7.2.2.2.1 השפעת מרכיבי החיץ הביוהידראולי (קיץ 2011)

בדיקה של מדדי ההתפתחות של הצמחים (קוטר הגבעול, גובה הצמח ומשקל היבש) הראתה שהם היו נמוכים בטיפול ההיקש. תוצאות אלו חזרו על עצמן בכל המדדים שנבדקו (איורים 15, 16, 17). לעומת זאת, מצע הגידול שבו יושם הפולימר, בנוכחות או בהעדר טיפול הקומפוסט גרם לעליה מובהקת בהתפתחות הצמחים בכל המדדים הנבדקים. מעניין לציין כי נוכחות פולימר במצע הגידול סייעה לקבלת אכלוס טוב יותר של פטריית המיקוריזה בשורשי הצמחים (איור 18). לעומת זאת, נמצא שבטיפולים בהם היה מעורב מצע שהכיל את הטיפול הביוולוגי (טיפולי המידבק), ערכי המדדים היו נמוכים יותר בהשוואה לערכים שנתקבלו בטיפול המקביל ללא הגורם הביוולוגי וברוב המקרים הגיע לרמת ההתפתחות של טיפול הביקורת הבלתי מטופל. ראוי לציין שאחוזי אכלוס השורשים בפטריית המיקוריזה בנוכחות הקומפוסט נמוכים בהשוואה לטיפולים המקבילים ללא קומפוסט. עובדה המרמזת על היות הקומפוסט גורם מגביל בהתבססות המיקור יזה בשורשי הצמח. המסקנה מניסוי זה היא שחלק ממרכיבי הדייק הביוהידראולי מסייעים להתפתחות צמחי תירס בתנאים מבוקרים. יתרה מכך, התוצאות מציעות כי הפולימר "זרעי מים" תורם להתפתחות הצמח ולכן הוחלט כי במקביל לבדיקת הפולימרים הנוספים המצויים ברשותנו, יילקח הפולימר זרעי מים להמשך הניסויים.

7.2.2.2.2 השפעת מרכיבי החיץ, מנת השקיה וסוג מצע (קיץ 2012)

7.2.2.2.2.1 גידול תירס במצע חול

בדיקה של מדדי הביומסה הראתה שקיים הבדל מובהק סטטיסטית בין רמות ההשקיה השונות שנבחנו (איור 19א), וכן שקיים הבדל לא סטטיסטי בפוטואינהיביציה בין רמות ההשקיה השונות (יש הבדל סטטיסטי בביקורת בין 100% ל-40% השקיה). כמו כן, באיור 19א ניתן לראות שהמצעים שהכילו את פולימר KL נבדלו סטטיסטית מהביקורת הן ב-100% וב-70% השקיה- בו גם המצע שהכיל פולימר זרעי מים ללא המרכיב הביוולוגי היה שונה סטטיסטית מהביקורת. ב-40% השקיה הטיפול היחיד שנבדל סטטיסטית מהביקורת הינו המצע שהכיל פולימר זרעי מים יחד עם המרכיבים הביוולוגים. באיור 19ב ניתן לראות ש- % פוטואינהיביציה הגבוה ביותר התקבל בביקורת של 40% השקיה והאחוזים הנמוכים ביותר התקבלו במצעים שהכילו את פולימר KL (לבד ועם המרכיבים הביוולוגיים), בכל רמות ההשקיה. ב-100% לא היו הבדלים מובהקים בין הטיפולים השונים לביקורת בעוד שב-40% השקיה היה הבדל בין כל הטיפולים לביקורת וב-70% השקיה התקבל הבדל מובהק בין פולימר KL לביקורת.

תוצאות מדידות הפוטוסינטיזה מוצגות באיורים 19ג-י. ניתן לראות ב-100% השקיה, בבוקר ובצהריים מגמת עליה בפוטוסינטיזה בטיפולים שמכילים את הפולימרים השונים וכן בטיפול שמכיל את פולימר KL+ביו, כאשר העלייה הגדולה ביותר היא בפולימר זרעי מים. ב-70% השקיה בבוקר ישנה עליה בפולימרים השונים בלבד, העלייה הגדולה גם כן בפולימר זרעי מים. מגמה זו נפסקת בצהריים, אז ישנה ירידה מהביקורות בפולימרים אלו. בבוקר ניכרת עלייה ברמת הפוטוסינטיזה ב-100% השקיה, כאשר העלייה הגדולה ביותר מתקבלת בפולימר זרעי מים. ניתן לראות הבדל סטטיסטי בצהריים ב-100% השקיה בין הביקורת לשני הפולימרים. בבוקר ניתן לראות הבדלים סטטיסטיים בין רמות ההשקיה 100% ו-40% בביקורת ובמצע המכיל פולימר+ביו. בצהריים ניתן לראות הבדלים אלו בין 100% השקיה ל-40% בביקורת ובפולימר לבד. בפולימר+ביו הבדלים אלו מטשטשים ובכל רמות ההשקיה טיפול זה מגיע לרמות פוטוסינטיזה הגבוהות ביותר בבוקר ובצהריים. בבוקר ניתן לראות עליה (לא סטטיסטית) בין המצעים הכילים פולימר זרעי מים (עם וללא ביו) בהשוואה לביקורת בכל טיפולי ההשקיה, למעט ב-100% בטיפול במכיל פולימר בלבד), בצהריים הבדלים אלא מתחזקים. נראה שבכל טיפולי ההשקיה יש יתרון מבחינת פוטוסינטיזה למצע המכיל פולימר זרעי מים וגם מרכיבים ביולוגים על פני שאר הטיפולים. כפי שמתבטא במדידת הצהריים. ניתן לראות הבדלים סטטיסטיים ברמות הפוטוסינטיזה בצהריים בין רמות השקיה 100% ל-40% בכל הטיפולים הנמדדים ובין 100% ל-70% במצע המכיל את פולימר KL+ביו. בבוקר ניתן לראות עליה (לא סטטיסטית) בהשוואה לביקורת במצע המכיל את הפולימר והמרכיבים הביולוגים בכל טיפולי ההשקיה למעט 40%, שם ישנה ירידה) בצהריים מגמה זו נשמרת (והופכת למובהקת מבחינה סטטיסטית) ב-100% השקיה. ב-40% השקיה בצהריים ישנה עליה ברמת הפוטוסינטיזה בפולימר KL+ביו וב-70% השקיה העלייה הגדולה נראית בפולימר KL ללא המרכיבים הביולוגים. נראה שיש יתרון מבחינת פוטוסינטיזה למצעים המכילים פולימר KL בתוספת מרכיבים ביולוגים, ברמות השקיה השונות, יחד עם זאת ב-70% השקיה נראה שבצהריים יש יתרון למצע המכיל פולימר KL לבד.

לסיכום, בתנאי השקיה מופחתת (40% ממנת המים המומלצת) ניכר היה כי תוספת הפולימר גרמה לעליה במשקל הנוף דבר שכנראה נובע מעיכוב קטן יותר של מע' הפוטוסינטיזה בתנאים אלו. בנוסף, נוכחות הפולימר בשורשי הצמחים שיפור באופן בולט את הפוטואינהיביציה של המע' הפוטוסינטיזת בהשוואה לטיפול הביקורת ובכל רמת השקיה. מאנליזה פרטנית עולה כי דווקא התרומה ההדירה לפולימר ניתנת למדיד בשעות הצהריים, השעות בהן הצמח נמצא בעקה מקסימאלית בכל רמת השקיה בהשוואה לביקורת הרלוונטית. תוצאות אלו מלמדות כי בתנאי מחסור תוספת הפולימר מיטיבה עם מצב המים של הצמח ומשפרת את פעילותו באופן שב-40% מכמות המים נמצא כי הפעילות הפוטוסינטיזת מביא לעליה בחומר היבש של הצמח. אומנם, הניסוי נערך בצמח מודל ונמשכה כ-60 ימים מזריעה שבעיקרון הינו משך חשיפה קצר בהשוואה לצמחי נוי הנחשפים לתנאי העקה זמן ארוך יותר. יש סיכוי אם כן, שבמיני צמחים אחרים שיהיו חשופים משך זמן ארוך יותר יוכל הטיפול בפולימר להביא לתרומה ממשית לחומר היבש שלהם.

תכולת הרטיבות המשקלית במצע הגידול (חול וחול+תוספים) נקבעה בעזרת שקילת העצמים. הבדלים במשקל העצמים בתקופה שבין הזריעה לבין הצצה של צמחי התירס מעידים על הבדלים בתכולת הרטיבות שבמצע. לאחר ההצצה, שינויים במשקל העצמים נבעו משינויים הן בתכולת הרטיבות והן במשקל הצמח לכן לא ניתן ללמוד מהם על השפעת הטיפולים (מנת השקיה ותוספים) על תכולת הרטיבות המצע. תוצאות השפעת הטיפולים על תכולת הרטיבות במצע בתקופה שבין הזריעה להצצה מוצגות באיור 20. ראוי לזכור שבתקופה זו טרם הופעלו טיפולי ההשקיה הדיפרנציאליים וכל העצמים קבלו אותה מנת המים מכאן ההבדלים בתכולת הרטיבות נובעים מהתוספים שניתנו למצע. התוצאות באיור 20 מראות בבירור כי בנוכחות פולימר (עם וללא מיקוריזה) תכולת הרטיבות במצע הייתה גבוהה באופן מובהק מזו שבטיפול הביקורת (מצע ללא פולימר).

מדידות של ריכוז יסודות ההזנה בביומסה בעת הקציר הראו שריכוז האשלגן והחנקן לא הושפעו מסוג המצע ולא נמצא הבדל בריכוזם בצמח בין הטיפולים השונים. ההבדל בריכוזי החנקן והאשלגן הושפע מטיפול ההשקיה בלבד. לעומת זאת, עבור הזרחן נמצא שבטיפול של 100% השקיה, עבור מצע שהכיל פולימר ומיקוריזה ריכוז הזרחן היה הגבוה ביותר (עבור שני סוגי הפולימר) בעוד שמשקל הצמח היבש כמעט והיה זהה (איור 21). הריכוז בטיפולים B ו-E היה גבוה בכ- 70% מהריכוז בטיפולים A ו-D. בטיפול הביקורת ריכוז הזרחן היה גבוה מזה שבטיפול הפולימר (ללא מיקוריזה), אך משקל הצמח היבש היה דומה. בטיפול 40% השקיה נמצא הבדל רק עבור הטיפולים עם פולימר מסוג זרעי מים. נמצא שתוספת של פולימר ומיקוריזה (B) מעלה את ריכוז הזרחן ב- 87% ביחס לטיפול הפולימר לבד (A). בשאר הטיפולים לא נמצאו הבדלים משמעותיים (איור 21).

7.2.2.2.2 גידול תירס במצע טוף

תוצאות מדידות משקל צמחי התירס במועד הקציר מראות כי בתנאי השקיה מיטבית (100%), כל הצמחים שנחשפו במהלך הגידול למצע שהכיל את אחד הפולימרים הראו עליה בולטת במשקל הצמח בהשוואה לצמחים שלא נחשפו לפולימר כלל (איור 22א). צמחים שנחשפו לפולימר "זרעי מים" צברו יותר משקל יבש בהשוואה לצמחים שטופלו בפולימר KL, אם כי לא באופן מובהק סטטיסטית. כפי שנמדד במועד הקציר תוספת הרכיב הביולוגי לכשעצמו לא תרם לחומר היבש בהשוואה להיקש אם כי, ראוי לציין כי בטיפול המשולב (פולימר+ביולוגי) התוספת הביולוגית גרעה "מיעילות" הטיפולים בהם הוספו הפולימרים לבדם. גריעה זו הייתה מובהקת סטטיסטית בפולימר "זרעי מים" ואילו בפולימר KL הפחיתה לא נמצאה מובהקת, אם כי קיימת. בתנאי השקיה גירעונית (70% מהמנה המיטבית) תוספת שני הפולימרים הביאו לצבירת חומר יבש גבוהה יותר מהרמה שנצברה בהיקש (ללא פולימר) ואפילו גבוהה יותר מהרמה שנצברה בצמחים שקיבלו רמת השקיה מרבית! ניתן להסיק אם כן, כי נוכחות הפולימר במצע הגידול חסך 30% מכמות ההשקיה ללא הפחתה בהתפתחות הצמחים. עובדה זו נכונה לגבי שני הפולימרים כאחד. ראוי לציין עוד כי בתנאי ההשקיה הגירעונית הטיפול הביולוגי "הפחית" את תרומת הפולימר רק ב"זרעי מים" בעוד שבטיפול שהכיל את הפולימר KL לא נמצאה ירידה מובהקת בהשוואה לטיפול בפולימר לבדו וערכי הביומסה גבוהים סטטיסטית מטיפול הביומסה שהתקבל בטיפול ללא פולימר כלל (היקש).

הממצאים המבטאים את גובה הצמח שנמדד במועד הקציר (איור 22ב) מלמדים כי גובה הצמחים הושפע באופן בולט מרמת ההשקיה. זאת ועוד, בעוד שבטיפול ההשקיה המירבית, שני הפולימרים גרמו לצמח גבוהה יותר (מובהק סטטיסטית) בהשוואה להיקש ללא פולימר, היה זה רק הפולימר KL שהיה יעיל יותר בטיפול ההשקיה הגירעונית (נשאר מובהק סטטיסטית בהשוואה להיקש הרלוונטי). זאת ועוד, ראוי לציין כי התוספת הביולוגית משפרת את גובה הצמחים בכל הטיפולים, אם כי לא באופן מובהק סטטיסטית. בדומה להשפעה על הביומסה, גם גובה הצמחים הושפע לרעה מנוכחות הטיפול הביולוגי, אם כי תופעה זו בולטת פחות במדד זה ואילו טיפול הפולימר "זרעי מים+ביולוגי" נמצא נחות יותר מהטיפול המקביל לו בפולימר KL.

פעילות הפוטוסינתזה, כפי שנמדדה בשעות הבוקר הראתה יתרון מה לטיפולים השונים – אך לא נמצאה מובהקת סטטיסטית (איור 22ג). לעומת זאת, כאשר המדידה נערכה בצהרי היום, מועד בו הצמחים מטמיעים באופן מירבי, נמצא כי ההשקיה הגירעונית הורידה באופן מובהק את קצב הפוטוסינתזה בהשוואה לטיפול ההיקש ברמת ההשקיה המרבית. זאת ועוד, נוכחות טיפול הביולוגי הביא לעליה מובהקת בפעילות הפוטוסינתזה כפי שנמדדת בשעות השיא בצהריים (איור 22ד). ראוי לציין כי ברמת ההשקיה המרבית (100%) היו אלו הטיפולים המשולבים (פולימר+זרעי מים) שהביאו לעלייה מקסימאלית בפעילות הפוטוסינתזה בהשוואה לפולימרים לבדם או לטיפול ההיקש. ברמת ההשקיה הגירעונית, כל תוספת למצע בגידול שיפרה את הפעילות הפוטוסינתטית בהשוואה להיקש ללא תוספות בכלל. גם ברמת השקיה זו נתנו הטיפולים המשולבים (פולימר+ביולוגי) את התוצאות המרביות כאשר הפולימר KL נראה טוב יותר בהשוואה ל"זרעי מים", אם כי ללא הבדל מובהק סטטיסטית.

7.3. ניסוי חממה בערבה (חוות יאיר)

7.3.1 ניסוי ראשוני

להלן סיכום תוצאות ניסוי ראשוני שנערך בעונת 2011-2012 בחוות יאיר. מבחינת היבול הראוי ליצוא נמצא כי היבול בכל עונת הגידול בטיפול הביקורת נע בין 5.2 טון לדונם ברמת ההשקיה הגירעונית היותר לבין 6.0 טון לדונם ברמת ההשקיה עודפת (1.2 מהרמה המומלצת; איור 23א). כמו כן תוספת ההשקיה לא העלתה באופן בולט את היבול הכללי של טיפולי הביקורת (איור 23ב) לעומת זאת בטיפולים שהכילו את המצע הכולל את הרכיב הביולוגי והמצע המשולב (הכולל את הביולוגי והפולימר) ניכר כי תוספת ההשקיה גרמה לעליה ביבול הראוי ליצוא (6.7 ו-6.2 טון לדונם, בהתאמה). זהו גידול של למעלה מ-12% בהשוואה לביקורות המתאימות. זאת ועוד. שני מדדי היבול (ראוי ליצוא וכללי) הושפעו מהטיפולים באופן שרמת השקיה עודפת (1.2 מהרמה המומלצת) גרמה לפחיתה ביבול. תופעה זו בעטייה של השקיה עודפת עשויה לרמז על שטיפת יתר של המצע ומחסור ביסודות מזון. תופעה זו נראית גם במדד מספר הפירות הראויים ליצוא (לא מוצג). למרות ההבדלים הקיימים בין הטיפולים – לא ניכר הבדל מהותי בגובה הצמחים שכן גובהם הושפע מרמת המים בלבד (23ג). בנוסף לנאמר בנ"ל המדד הנוסף שראוי ציון הינו מדד האכלוס בפטריית המיקור יזה. נמצא כי כל השורשים של הצמחים המאולחים בשלב המשתלה – מכילים את הפטרייה המיושמת קרוב למועד סיום הגידול (איור 23ד).

תוצאות של מדדים נוספים שנלקחו בניסוי (ריכוז מים במצע, EC, ריכוז כלוריד בעלה, משקל הנוף בתום הניסוי ועוד) הראו שהמשמעות שלהם קטנה בשל חוסר האחידות בשטח וריכוז טיפולי הביקורת בשני בלוקים בלבד ולא באופן אקראי.

בכל הטיפולים, הצמחים תחת משטר השקיה נמוך, נמוכים בגובהם מהצמחים במשטר השקיה גבוה ואין הבדלים בין הטיפולים. שקילת הצמחים בסוף הניסוי הראתה שהמשקל הטרי הגבוה ביותר היה של הטיפולים תחת משטר ההשקיה הגבוהים, וביניהם, הצמחים עם פולימר במצע היו הגבוהים ביותר (לא באופן מובהק מהביקורת). הצמחים במשטר ההשקיה הנמוך היו נמוכים באופן מובהק מהצמחים במשטר ההשקיה הגבוה (תוצאות לא מוצגות). איכלוס המיקוריזה נבדק בסוף הניסוי. בניסוי בו היה מידבק פטריית המיקוריזה לבד היו אחוזי איכלוס גבוהים יותר, לא היה הבדל מובהק בין רמות ההשקיה, אך ברמת ההשקיה הגבוה נראה איכלוס גבוה יותר (לא מובהק, כאמור). במצע שהכיל בנוסף למדבק המיקוריזה גם פולימר סופח מים נראה אחוז איכלוס גבוה יותר ברמת ההשקיה הנמוכה (לא מובהק) (איור 9ד)

7.3.2. ניסוי עיקרי

בניסוי שנערך בתחנת הניסיונות יאיר בעונת 2012-2013 נבדקה השפעת רכיבי החיץ הביוהידראולי, מנת ההשקיה וסוג הפולימר על התפתחות וניבת צמחי פלפל. מניתוח סטטיסטי של הממצאים עולה כי לא התקבל הבדל מובהק בין רב הטיפולים. יחד עם זאת נמצאו הבדלים משמעותיים בממוצעים שנתקבלו בטיפולים השונים. ניתן היה לראות כי ניבת הצמח מושפעת מכמות המים המיושמת באופן שהשקיה גירעונית מורידה את פוטנציאל היבול ואיכותו בהשוואה להשקיה אופטימלית. בניסוי הנוכחי נמדדו מדדי יבול ורכיבי איכות כגון משקל, סדקים, עיוותים, שחור פיטם, עיקומים ועוד. מבין כלל המדדים נעסוק בדו"ח זה רק בערכי הניבה העיקריים, שהם יבול כולל. בניסוי ניתן היה לראות כי טיפולים שהושקו ברמת השקיה גירעונית (70%) הניבו 12% פחות במשקל פירות בהשוואה לפוטנציאל החלקות האחרות או אלו שהושקו ב-100% ממנת ההשקיה המומלצת (איור 24). העובדה כי הירידה ביבול היא רק בגבולות שבין 10-15% מלמדת כי גרעת 30% ממנת המים האופטימלית בתנאי הניסוי אינה מכניסה את הצמח לעקה חמורה יותר. עוד יצוין כי במהלך הגידול נערכו מדידות רציפות של המוליכות החשמלית בתמיסת הקרקע, וניתן היה לראות כי טיפולי ההשקיה הגירעונית גרמו לעליה משמעותית במוליכות החשמלית ובמדדי הטרנספירציה של העלים. ההשקיה הגירעונית גרמה לירידה ב-% הפרי הראוי ליצוא למעט בטיפולים שאולחו קודם לכן בפטריית המיקוריזה. שם, אחוז גבוה יותר של פירות היו ראויים ליצוא (איור 25) וזאת על רקע ניבה נמוכה יותר דבר שיידון להלן. ניתן לראות כי לטיפולים האחרים שיושמו בחלקות גם השפעה מסוימת. כך למשל, נוכחות פולימר זרעי מים או פולימר חלופי, ברמת השקיה גירעונית, הביאו ליבול הדומה לרמת היבול הגבוהה (איור 24), ללא תלות בטיפולים האחרים אליהם נחשפו. זאת ועוד, רמת היבול המקסימלית בניסוי זה הושגה בטיפול שנחשף להשקיה גירעונית בנוכחות הפולימר בקרקע. יבולו היה דומה ליבול שהתקבל בטיפולי השקיה מלאה (100%). עובדה זו מלמדת כי מעבר לאי האחידות הקיימת בשטח, נוכחות הפולימר בקרקע פוטנציאל לשמר את רמת היבול הגבוהה בהשוואה לטיפולים שבהם אינו נוכח. על פי ממצאי הטיפולים עולה עוד כי נוכחות פטריית המיקוריזה בבית השורשים לא הטיבה עם התפתחות הצמחים ויבולם שבדרך כלל היו נמוכים מהטיפולים המקבילים להם, ושלא אולחו בפטריה (איור 24). למרות זאת ראוי לציין כי מדדי היבול הראוי ליצוא היו גבוהים (במעט ולא באופן מובהק) מהטיפולים שלא הכילו את פטריית המיקוריזה. עובדה זו מעניינת אך אינה מאפשרת הסקת מסקנה אופרטיבית מעבר לעובדה שבתנאי הניסוי הנוכחים לפטריית המיקוריזה לא הייתה תרומה של ממש.

7.4. דיון ומסקנות

במצב המיטבי (שימוש במים מזוקקים) הפולימרים מגדילים משמעותית את תכולת הרטיבות של המצע בכל מתח נתון בהשוואה למצע ללא תוספת פולימר (ביקורת) וגם בגמר הניקוז שומרים על תכולת מים גבוהה מאוד (0.6 גר/גר'). שימוש בתמיסת מלח אומנם מקטין את יכולת ספיחת המים של הפולימר, אך עדיין יש שיפור משמעותי ביחס למצע ללא פולימר ויש הגדלה בכמות המים הזמינים. אריזת הפולימר בתוך מצע הגידול גורמת לנוכחות חיצוניים המופעלים עליו בעת ספיחת המים ולכן יכולת הספיחה יורדת משמעותית. למרות ירידה זו, מכיל הפולימר פי 10 מים ממשקלו (בתמיסת מלח) בהפעלת מתח יניקה של 100 ס"מ ומאפשר אחזקת מים טובה של המצע. המוליכות ההידראולית ברוויה של המצע בתוספת פולימר מתייצבת לאחר מספר נפחי נקבובים על ערך קרוב לזה של המצע ללא הפולימר. במקביל, מעקומי התאחיזה אנו למדים שתכולת המים גדלה. מכך, ניתן לומר שתוספת

הפולימר למצע מאפשרת הגדלה של תכולת הרטיבות וכמות המים הזמינים, תוך שמירה על מוליכות הידראולית גבוהה. תכונה זו יכולה להיות מועילה במצעי גידול כיוון שיש חשיבות לתהליכי שטיפה להדחת מלחים. מצד אחד תכולת המים ותאחיזת המים בגמר ניקוז עולה ומצד שני המוליכות ההידראולית מספיק גבוהה בכדי לאפשר שטיפה וניקוז מהיר של המצע. בנוסף, בנוכחות פולימר המוליכות ההידראולית הלא ראויה גבוהה ב-4-2 סדרי גודל מזו של המצע עצמו כך שמתאפשרת תנועת מים ונוטריינטים עדיפה במצע המכיל פולימר בהשוואה למע בלבד.

בניסוי הצמחים נראה שנוכחות פולימר במצע מביאה לעלייה במשקל היבש כאשר ממשק ההשקיה הינו 100% מהמנה המומלצת. תוצאות אלו אינן מובהקות ולכן לא ניתן לומר באופן חד משמעי שהפולימר אכן מועיל במקרה זה. עבור טיפול ה-40% כלל לא נראה הבדל או מגמה ברורה וייתכן מאוד שהייתה זו מנת מים נמוכה מדי עבור גידול התיירס בכדי לראות הבדלים כלשהם. מבחינת קליטת היסודות נראה שכאשר משקים לפי הדרישה נוכחות של פולימר ומיקוריזה גורמים לעליה בריכוז הזרחן בצמח. כאשר יש רק פולימר ריכוז הזרחן יורד אף אל מתחת לריכוזו בביקורת. ייתכן שהפולימר לבד גורם לירידה בכמות הזרחן הזמין ובכך מונע את קליטתו על ידי הצמח.

ניסויי בית הרשת וניסוי השדה שנערכו בשנת המחקר השנייה מהווים מסד נתונים המאפשר את המשך המחקר: השפעת המצעים (חול או טוף), רמת ההשקיה וסוג הפולימרים המיושמים. נמצא כי בטיפולי התוספים של הפולימרים או התוספים הביולוגיים השפעה ניכרת על התפתחות הצמחים. בשימוש בחול כמצע גידול, בתנאי השקיה בחסר, שבה הופחתו 30% מהכמות המרבית, פולימר KL נמצא יעיל יותר מפולימר "זרעי מים" בצבירת חומר יבש בהשוואה לטיפול שלא הכיל פולימר כלל. לעומת זאת, בטיפול ההשקיה בחסר שבו הופחתו 60% מהכמות המרבית הטיפול הטוב ביותר בהשוואה להיקש היה זה שהכיל פולימר "זרעי מים" + התוספים הביולוגיים או הפולימרים בעצמם. זאת ועוד, בסמוך למועד הקציר נמצא כי לפולימר KL קיימת עדיפות על פולימר "זרעי מים" במדדים הפוטוסינתזה (קיבוע פחמן דו חמצני ופוטו אינה יבשן) דבר המעיד על כך שהצמחים, במועד הבדיקה, היו במצב פיסיולוגי טוב יותר בהשוואה לצמחי הטיפולים האחרים. אבל, העובדה שצמחים אלו לא צברו יותר ביומסה מעידה על העובדה כי שלבי הגידול המוקדמים יותר הינם משמעותיים יותר לצבירת הביומסה שנמדדה ביום הקציר. בשימוש בטוף כמצע גידול, נמצא כי הפולימר "זרעי מים" טוב יותר בהשוואה לפולימר KL אם כי לא באופן מובהק. נמצא כי בתנאי השקיה גירעונית שני פולימרים תורמים לביומסה של הצמח באופן מובהק, ואילו במדד גובה הצמחים היו אלו הטיפולים שהכילו את הפולימר KL, בהעדר בנוכחות הטיפולים הביולוגיים. עוד ראוי לציין, כי במועד הסמוך למועד הקציר, שבו נמדדה פעילות הפוטוסינתזה בצהרי היום (שיא הפעילות היומית) נמצא כי דווקא הטיפולים שהכילו את הטיפול הביולוגי שנראו יעילים יותר, שהתבלטו על פני יתר הטיפולים. תוצאות אלו עונות לשאלה מי ממצעי הגידול מתאים יותר. ניתן להסיק כי יבולי הצמחים במצע המכיל חול+קומפוסט+ פולימר גבוהים יותר מתוצאות צבירת חומר יבש של צמחים הנמצאים במצע טוף. זאת ועוד, עלות יחידת נפח של טוף גבוהה פי 10 מעלות החול לאותה יחידת נפח. עובדות אלו מובילות למסקנה כי המשך המאמץ המחקרי ראוי שיתמקד בחול כמצע גידול ולא בטוף.

מניסוי השדה בתחנת יאיר שבערבה עולה כי לטיפול המים השפעה מרכזית על התפתחות וניבה של צמחי פלפל. למרות שניסוי זה הינו ניסוי ראשוני ניתן להסיק כי ערבוב הפולימר במצע ראוי ויעשה בטרם ההכנסה לתעלה. מימדי התעלה והמבנה שלה צריכים להיות גדולים יורת עם יכולת שטיפה וניקוז המחברים לשטח.

לסיכום, מהתוצאות המופיעות בדו"ח זה נראה כי הפולימרים שבשימוש (KL ו"זרעי מים") יש השפעה על התפתחות הצמח. אומנם חלק מהמדדים נלקחו בסמוך למועד הקציר אך פעילות פוטוסינתטית גבוהה יותר יכולה להתבטא לאורך זמן בצבירת חומר יבש. זאת ועוד, התוספים הביולוגיים שהוצעו בהצעת המחקר הראשונית לא הקנו יתרון מובהק סטטיסטית ובחלק מהניסויים ניכרת פחיתה בתרומת הטיפול להתפתחות הצמח בהשוואה לטיפולים המכילים את הפולימרים עצמם.

בחינת מצעים שישמשו לתווך של החיץ הביוהידראולי (ורמיקוליט, פרלייט או טוף) בעבודה הנוכחית הראתה כי הטוף ומצע החול יעילים באותה מידה לגידול צמחי תירס בתנאי בית רשת. התרומה של הפולימרים ושל הרכיבים הביולוגיים הייתה בהם דומה ללא יתרון של האחד על האחר. לעומת זאת, הביומסה שנצברה בכל אחד מהטיפולים המקבילים נמצאה נמוכה יותר בטיפולים שהכילו טוף כמצע גידול בהשוואה לחול. עובדה זו, וכן העובדה כי עלות יחידת נפח של טוף גבוהה מאוד ביחס לחול מצמצמת את אפשרויות השימוש בטוף לטכנולוגיה המפותחת במחקר הנוכחי. זאת ועוד, כאשר נעשה שימוש בוורמיקוליט כמצע גידול בניסוי פרלימינארי הסתבר כי במשך 3 חודשי גידול קטן ניפחו ב-40%. הירידה בנפח המצע מקורה בדחיסה ושינוי פיסיקאלי של גודל החלקיק הדומיננטי במצע.

ממצאים אלו הובילו למסקנה כי השימוש בוורמיקוליט שהוא בעיקרון יקר יותר מהטוף, והרבה יותר מהחול אינה מעשית. שכן הצורך במציאת טכנולוגיה מעשית שתשרת את החקלאות האינטנסיבית חייב לקחת בחשבון החלפות של המצע (במצע החול נאלץ להחליף רק כל 4-5 שנים) התפזרות בשטח (מצע המכיל פרלייט – נאלץ להחליפו כל שנה וכן פיזורו השטח יהיה בלתי נימנע).

הבעת תודה

המחברים מביעים תודה למדען הראשי של משרד החקלאות על עזרתו במימון המחקר.

8. רשימת ספרות מצוטטת

1. ישעיהו בר-אור 2002 <http://www.ifeel.co.il/page/2700>
2. פנחס אלפרט 2008, למה כדור הארץ מתחמם, אתרוג, הסתדרות המורים [גליון 38 טבת תשס"ח, דצמבר](#)
3. van Genuchten, M.Th. (1980). A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:892–898.
4. Pierson, F.B., and D.J. Mulla. (1989). An improved method for measuring aggregate stability of a weakly aggregated loessial soil. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 53: 1825-1831.
5. Mualem, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Res.* 12:513-522.
6. Bhardwaj, A.K, Goldstein, D., Azenkot, A., and Levy, G.J. (2007). Irrigation with treated wastewater under two different irrigation methods: effects on hydraulic conductivity of a clay soil. *Geoderma* 140: 199-206.
7. Yu, J., Shainberg, I., Yan, Y., Shi, J.G., Levy, G.J., and Mamedov, A.I. (2011). Superabsorbents and semiarid soil properties affecting water absorption. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75: 2305-2313.

9. רשימת פרסומים

1. Benor, M., Levy, G.J., Mishaal, Y., and Nadler, A. (2013). Salinity effects on the Fieldscout TDR 300 soil moisture meter readings. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77: 412-416.
2. מיכאל בנאור (2013). "אפיון תכונות הידראוליות של מצעי גידול מנותקים כתלות באיכות מי ההשקיה ונוכחות פולימרים סופחי מים". עבודת גמר לתואר מוסמך, הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית בירושלים (בכתיבה).
3. חיים גולדי ואריאל ארביב (2013). "שימוש בפולימרים סופחי מים במצע חולי מנותק". עבודת גמר לתואר הנדסאי, מכללת אריאל.

10. 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.

1. מטרת המחקר לתקופת הדו"ח תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
מטרתו של המחקר היא לפתח טכנולוגיה וממשק המבוססים על הוספה למצע גידול של מיקרואורגניזמים ופולימרים ידידותיים לסביבה שיאפשרו ניצול יעיל של מי ההשקיה ותשומות הדישון המיושמות.
2. עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח.
נעשתה בחינה של יכולת ספיחה ותאחיזת מים (עד מתח של 100 ס"מ) של פולימרים סופחי מים והשפעתם על המוליכות ההידראולית הרוויה והבלתי רוויה במצעי גידול שונים. הפולימרים ספחו מים פי 100-350 ממשקלם במים חופשיים (תלוי בריכוז המלח בתמיסה). במצע גידול ספחו הפולימרים פי 2-5 יותר מים מהמצע עצמו. בנוכחות פולימר לא נפגעה המוליכות ההידראולית הרוויה של המצע ובתנאי אי רוויה נשמרה מוליכות הידראולית הגבוהה ב 2-4 סדרי גודל מזו של המצע בלבד.
נעשתה בחינה של כל רכיבי המערכת בניסויי בית רשת כאשר מצע הגידול היה טוף או חול ונמצאה תרומה של הפולימר להתפתחות צמחי תירס ועגבניה בחממה ובבית רשת.
בוצע ניסויי שדה לבדיקת יישום רכיבי המערכת תוך שימוש בחול כתווך לגידול הצמחים. נמצא בניסויים אלו חסכון של 30% בכמות המים והתפתחות נאותה של הצמחים שנחשפו להשקיה גרעונית.
3. המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרת המחקר בתקופת הדו"ח.
במהלך הפרוייקט נבדקו מספר פולימרים לתכונות כושר ספיחה של מים, עקום תאחיזה בהעדר ובנוכחות יונים במערכת. במקביל, נמצאה השפעה טובה של מרכיבי המצע (כל אחד לחוד ויחד) על התפתחות צמחי עגבניה ותירס בניסויי חממה ובית רשת. נמצא כי נוכחות הפולימר מאפשרת ברוב המקרים התפתחות טובה יותר של הצמחים שמתבטאת בעיקר בפעילות פוטוסינתזה וערכי עקה נמוכים יותר. בניסויי שדה שנערכו בחוות יאיר נמצא כי במשך שלושת השנים נתוני התפתחות צמחים שנחשפו להשקיה גרעונית אינם נמוכים מהתפתחותם ויבולם של צמחים שנחשפו להשקיה אופטימלית.
4. הבעיות שנותרו לפתרון ו/או השינויים שחלו במהלך העבודה (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים); התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרת המחקר בתקופה שנותרה לביצוע תוכנית המחקר.
א. בשנת הניסויים האחרונה ומתוך צורך להמריץ את גידול הצמחים בתחילת העונה הוסף לפרוטוקול ההתחלתי קומפוסט במינון של 2% נפחי.
ב. יש צורך לבחון עדיין את ההשפעה ארוכת הטווח (מספר שנים) של הפולימר
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.
1. חלק מהתוצאות הוצג בהרצאה: הגדלת תאחיזת מים במצעי גידול מנותקים בעזרת פולימרים סופחי מים. הכנס השנתי של האגודה הישראלית למדעי הקרקע. רחובות, הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה, אוניברסיטה עברית. דצמבר, 2012.
2. Benor, M., Levy, G.J., Mishaal, Y., and Nadler, A. (2013). Salinity effects on the Fieldscout TDR 300 soil moisture meter readings. <i>Soil Sci. Soc. Am. J.</i> 77: 412-416.
3. מיכאל בנאר (2013). "אפיון תכונות הידראוליות של מצעי גידול מנותקים כתלות באיכות מי ההשקיה ונוכחות פולימרים סופחי מים". עבודת גמר לתואר מוסמך, הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית בירושלים (בהכנה).
4. חיים גולדי ואריאל ארביב (2013). "שימוש בפולימרים סופחי מים במצע חולי מנותק". עבודת גמר לתואר הנדסאי, מכללת אריאל.
6. פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)
ניתן לפרסם ללא הגבלה

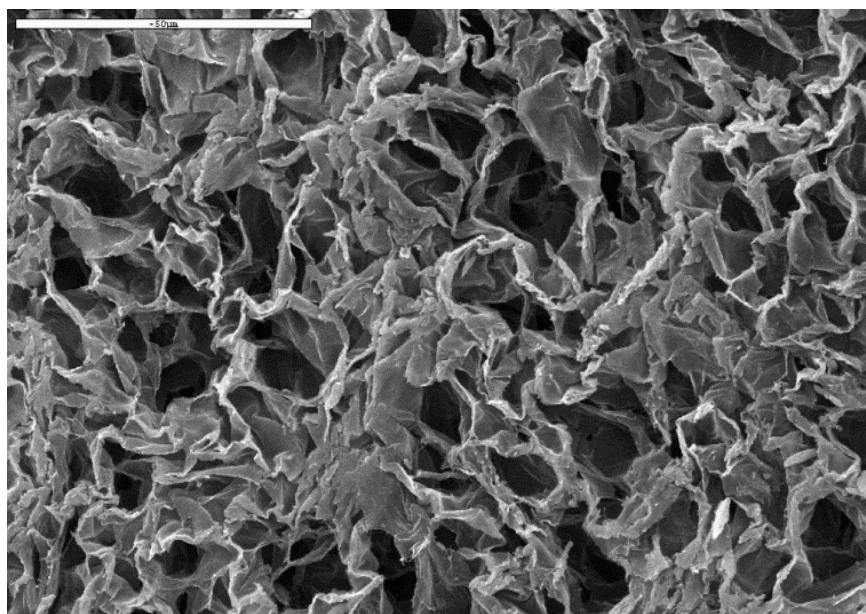
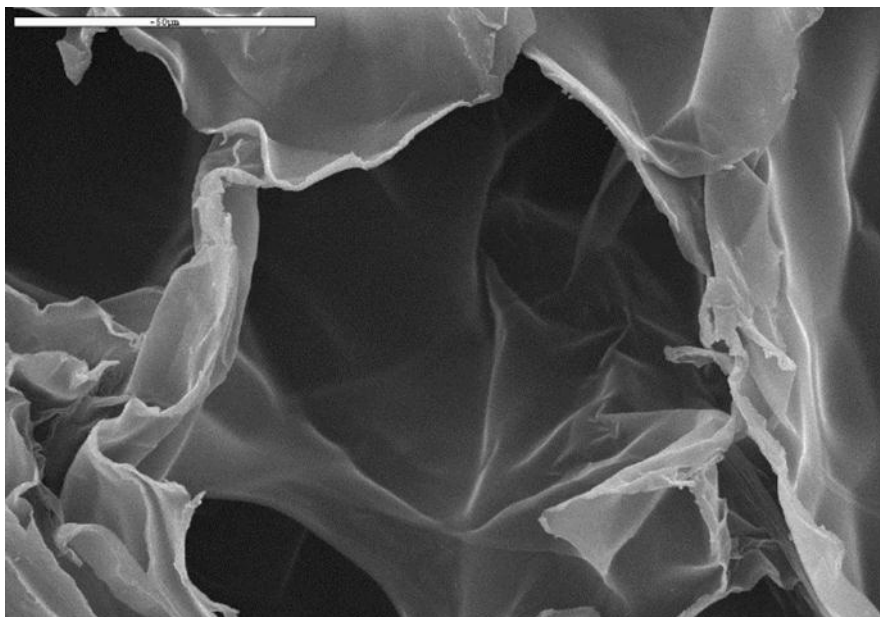
11. נספחים

11.1. טבלאות

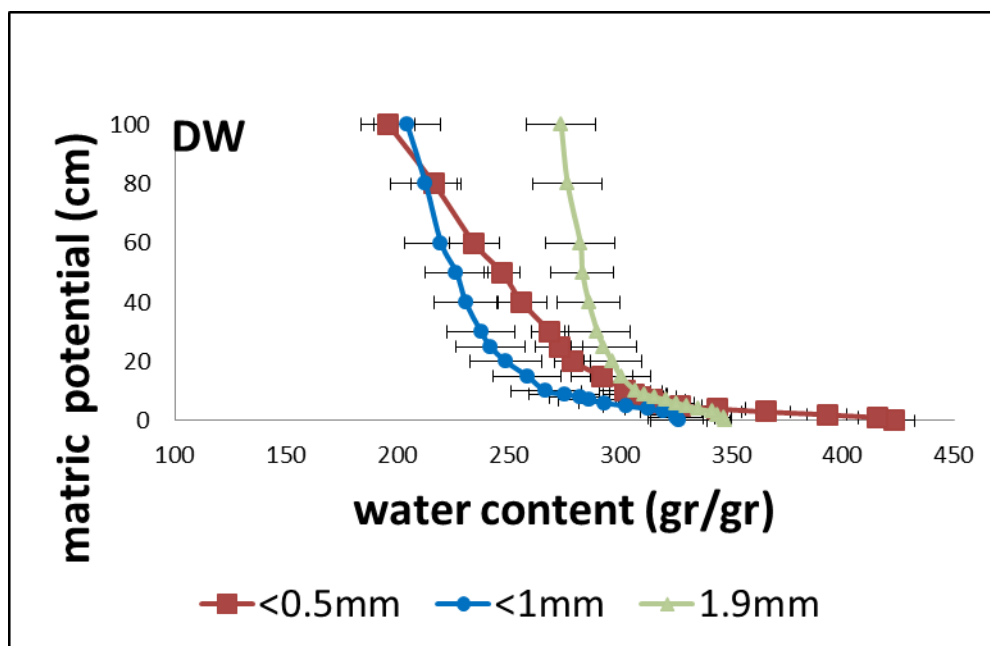
טבלה 1. מספר נתונים עבור הפולימרים שנבחנו.

Polymer name	Neutralize cation	Bead size (mm)	CEC (meq/gr)	Comments
Aquasorb 3005 KC	K ⁺	<0.5	3.34	
Aquasorb 3005 KM	K ⁺	0.3-1	3.68	
Aquasorb 3005 K2	K ⁺	0.85-2	3.84	
Aquasorb 3005 KL *	K ⁺	0.5-3.15	3.42	
Aquasorb 3005 KB	K ⁺	<1	3.74	
Aquasorb PR3005C	Na ⁺	<0.5	3.53	
Aquasorb PR3005L *	Na ⁺	0.5-3.15	3.62	
Aquasorb 3005 MAX *	K ⁺	<1	1.83	Temp+U.V. resistant
Aquasorb 2611	K ⁺	<1	3.39	Absorb up to 1200gr/gr
זרעי מים *	K ⁺	<1	3.63	measured

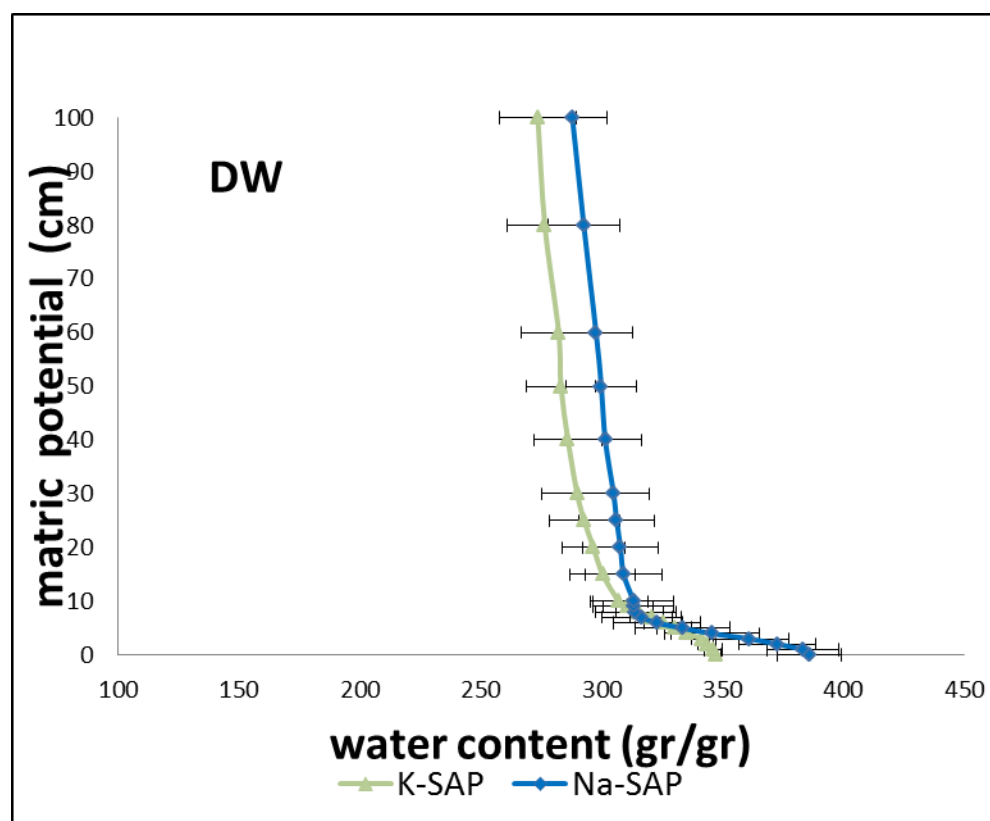
* פולימרים שלאחר שמם מופיעה * נבחנו גם בניסוי 6.2 (תערובת מצע עם פולימר).



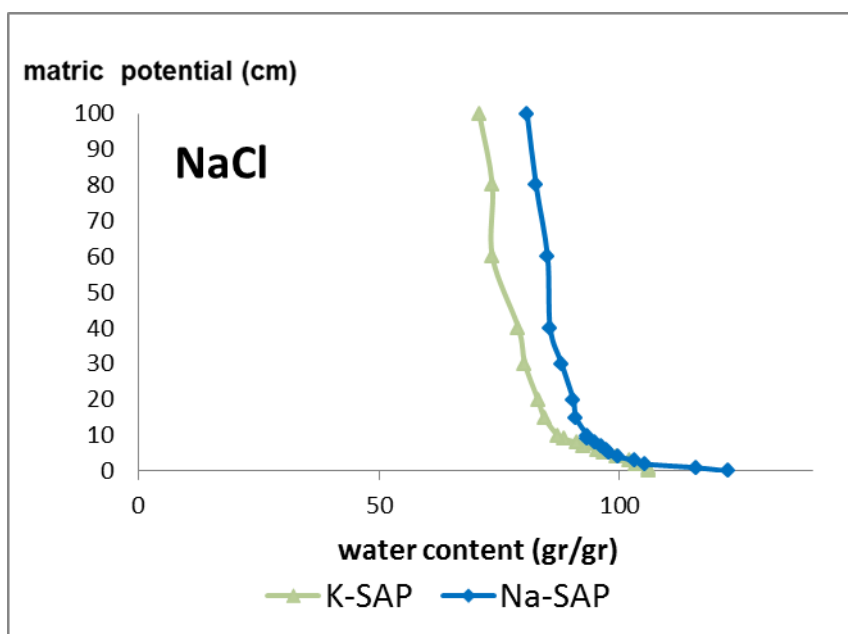
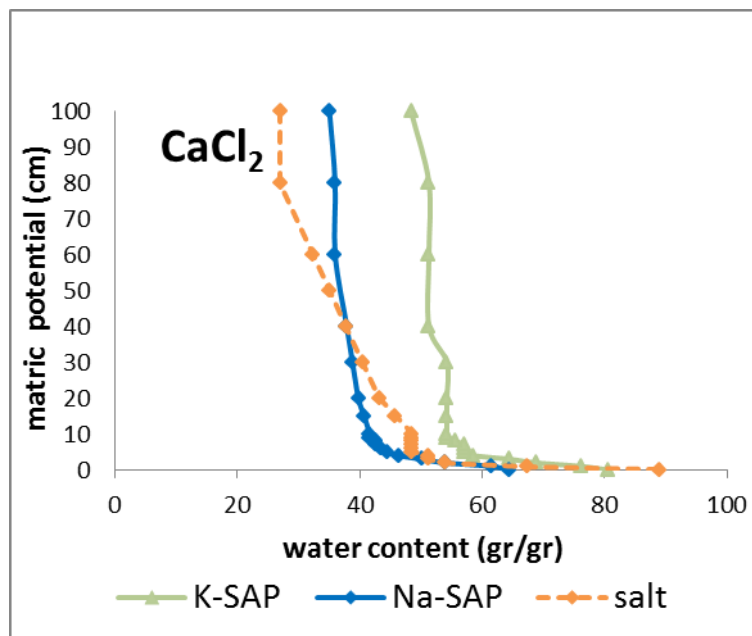
תמונה 1. צילום במיקרוסקופ אלקטרוני סורק (SEM, הגדלה 1000X) של פולימר סידני במצב רוויה (1) במים מזוקקים (תמונה עליונה) ו- (2) בתמיסת מלח של CaCl_2 בריכוז של 20 מא"ק/ל' (תמונה תחתונה).



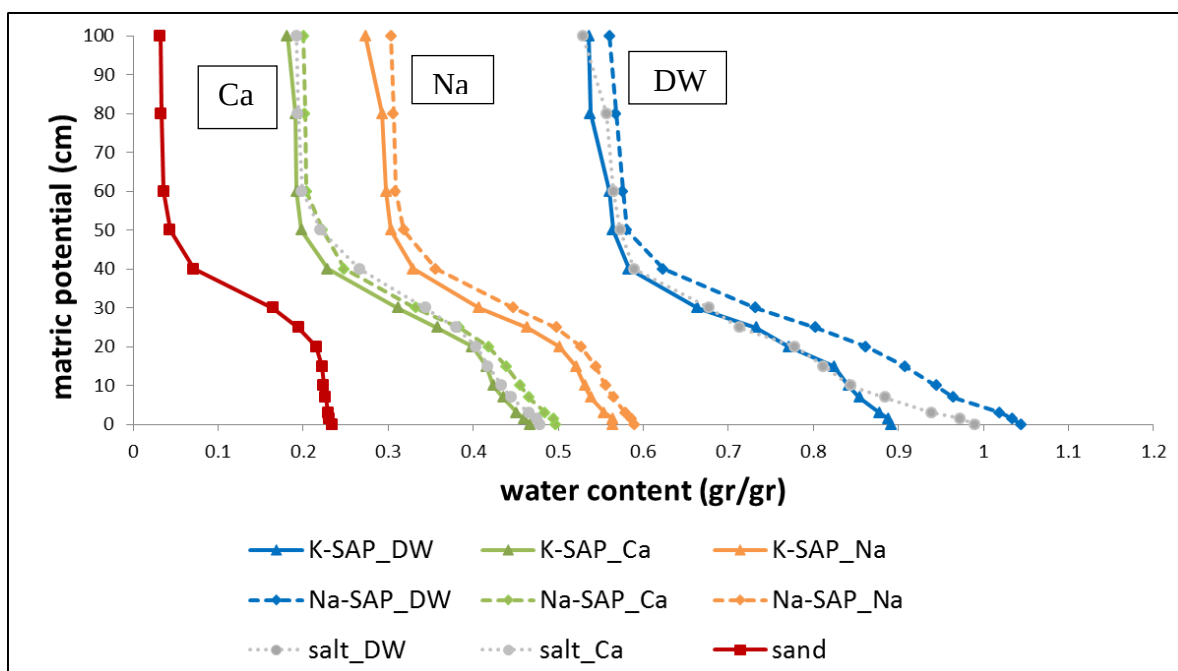
איור 1. עקומי תאחיזה במים מזוקקים עבור פולימרים בעלי גודל גרגר שונה.



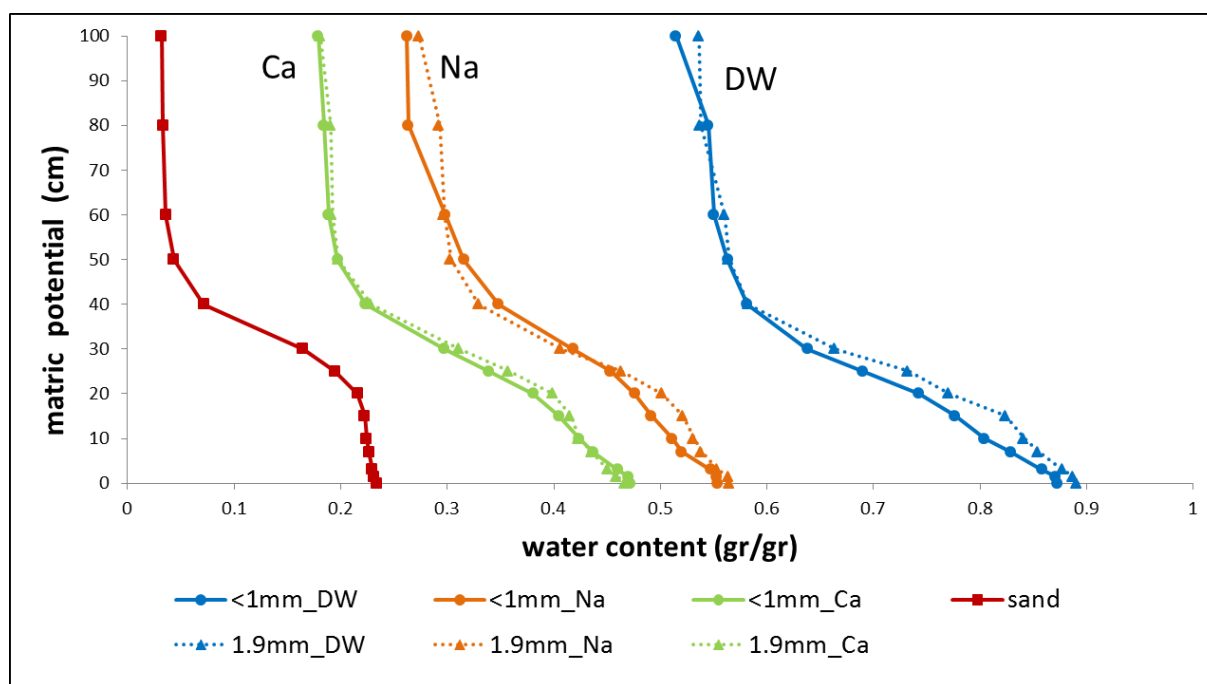
איור 2. עקומי תאחיזה במים מזוקקים עבור פולימרים בעלי קטיון ספוח (אשלגן מול נתרן).



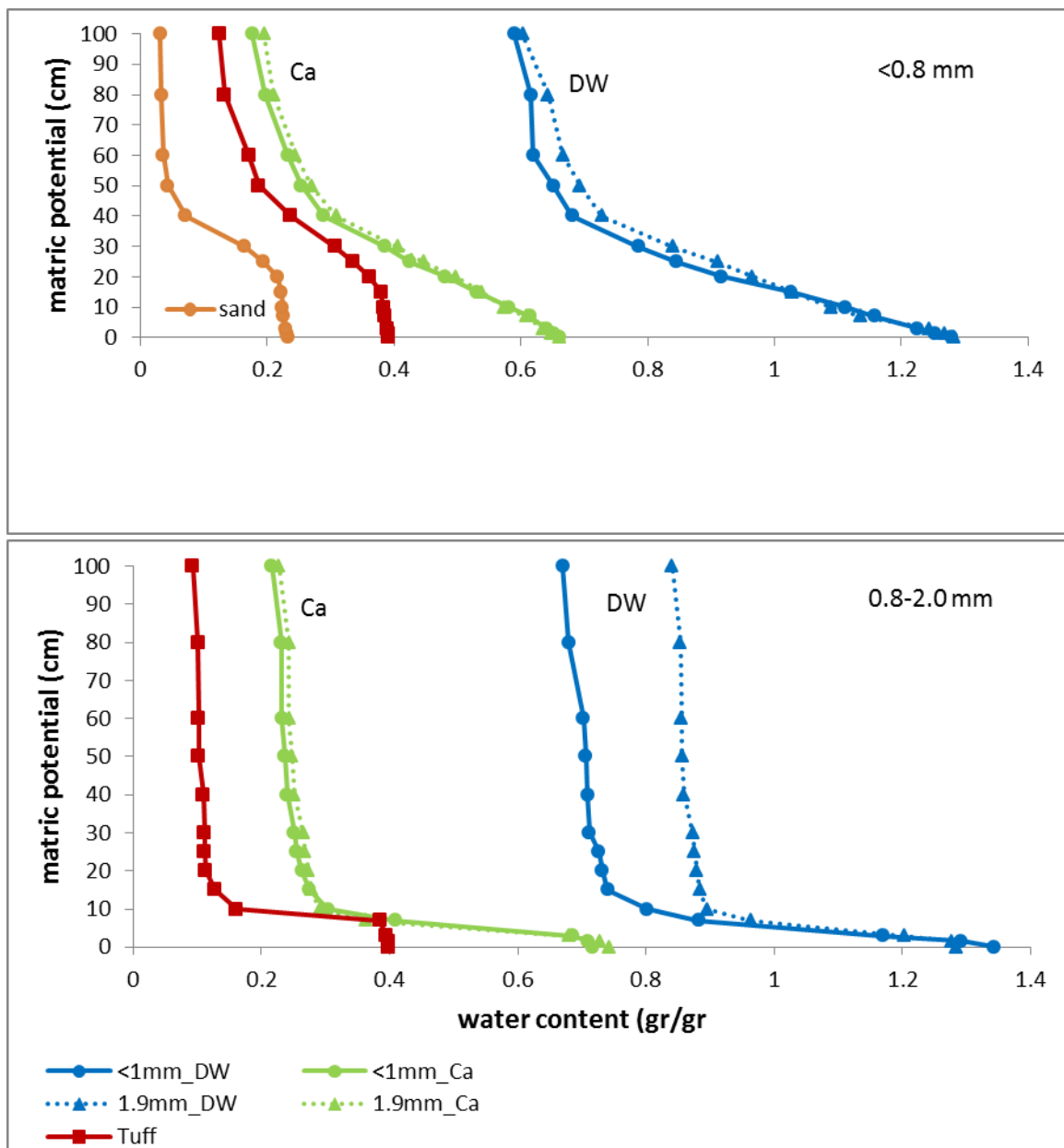
איור 3. עקומי תאחיזה בתמיסות מלח בריכוז 20 מא"ק/ל" עבור פולימרים בעלי קטיון ספוח שונה (אשלגן מול נתרן). בתמיסה הסיידית נבחן גם פולימר בעל עמידות גבוהה למלח (salt).



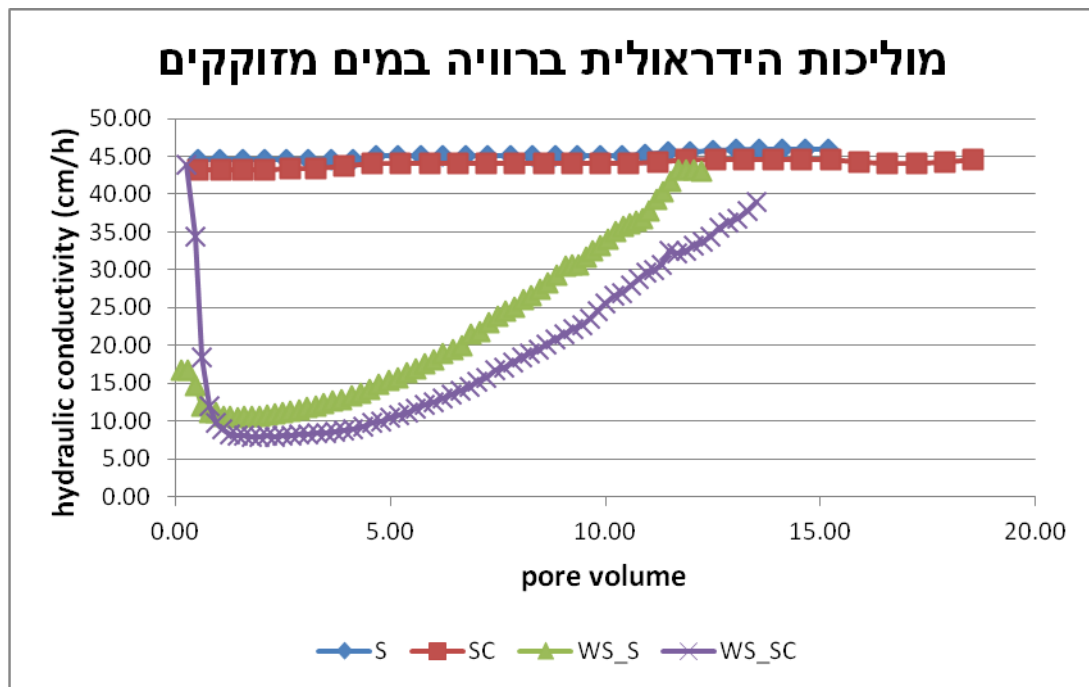
איור 4. עקומי תאחיזה עבור חול לבד ותערובות חול+פולימר כתלות בסוג הקטיון הספוח בפולימר ובאיכות המים (DW-מים מזוקקים, Na-תמיסת מלח נתרני בריכוז 20 מא"ק/ל, Ca- תמיסת מלח סידני בריכוז 20 מא"ק/ל).



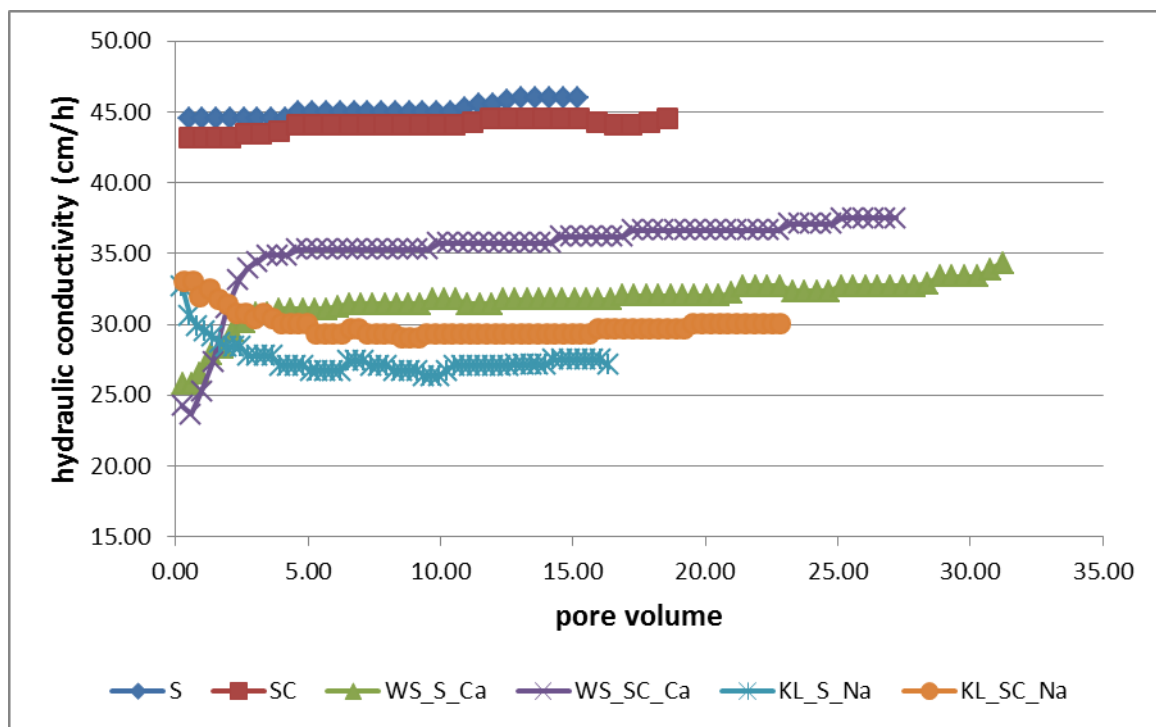
איור 5. עקומי תאחיזה עבור חול לבד ותערובות חול+פולימר בגודל גרגר הפולימר ובאיכות המים (DW-מים מזוקקים, Na-תמיסת מלח נתרני בריכוז 20 מא"ק/ל, Ca- תמיסת מלח סידני בריכוז 20 מא"ק/ל).



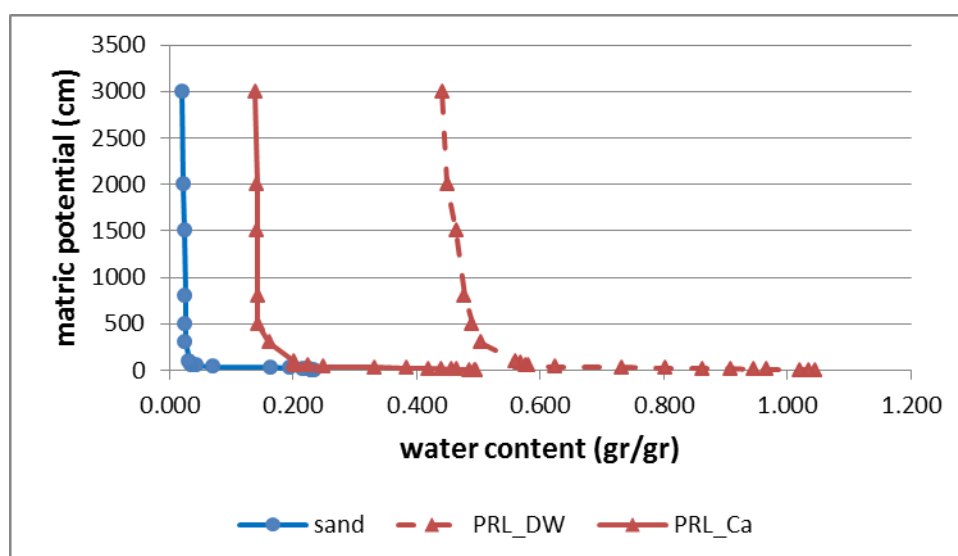
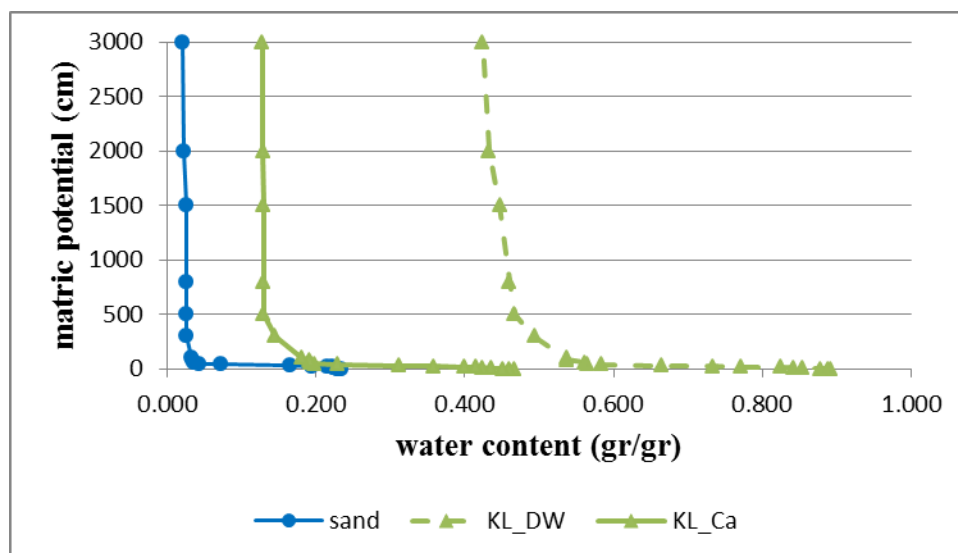
איור 6. עקומי תאחיזה עבור טוף לבד ותערובות טוף+פולימר כתלות בגודל גרגר הפולימר ובאיכות המים (DW-מים מזוקקים, Ca-תמיסת מלח סידיני בריכוז 20 מא"ק/ל). איור עליון טוף בגודל >0.8 מ"מ. איור תחתון גרגרי טוף בגודל 0.8-2.0 מ"מ.



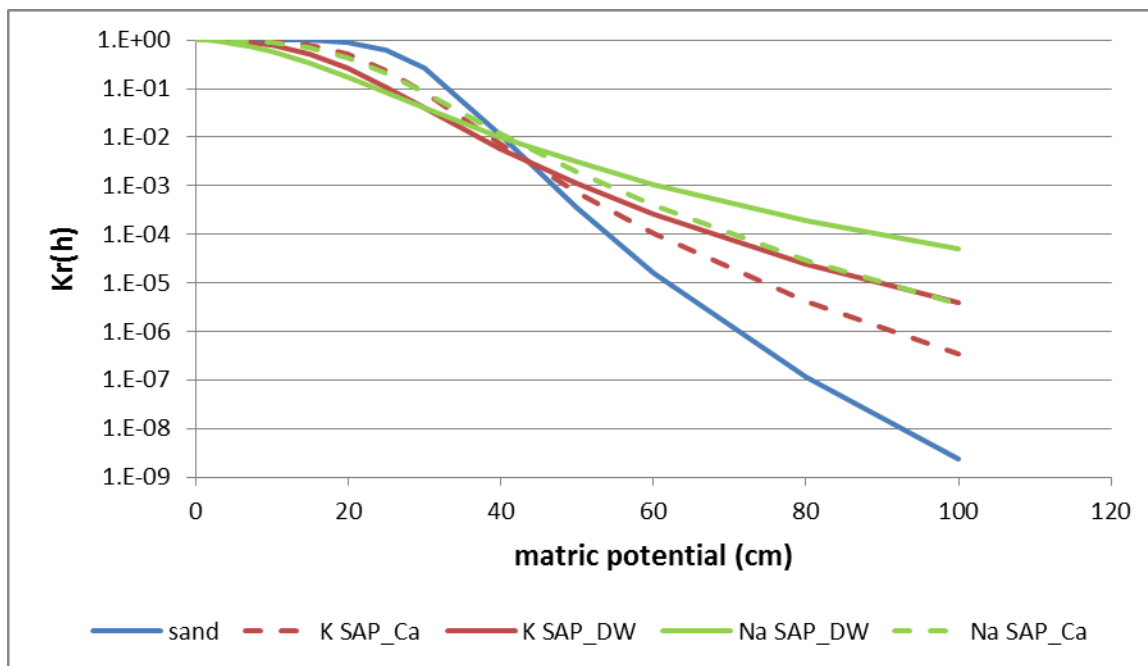
איור 7. מוליכות הידראולית ברוויה במים מזוקקים. WS- פולימר זרעי מים, S- מצע חול, SC- מצע חול+קומפוסט.



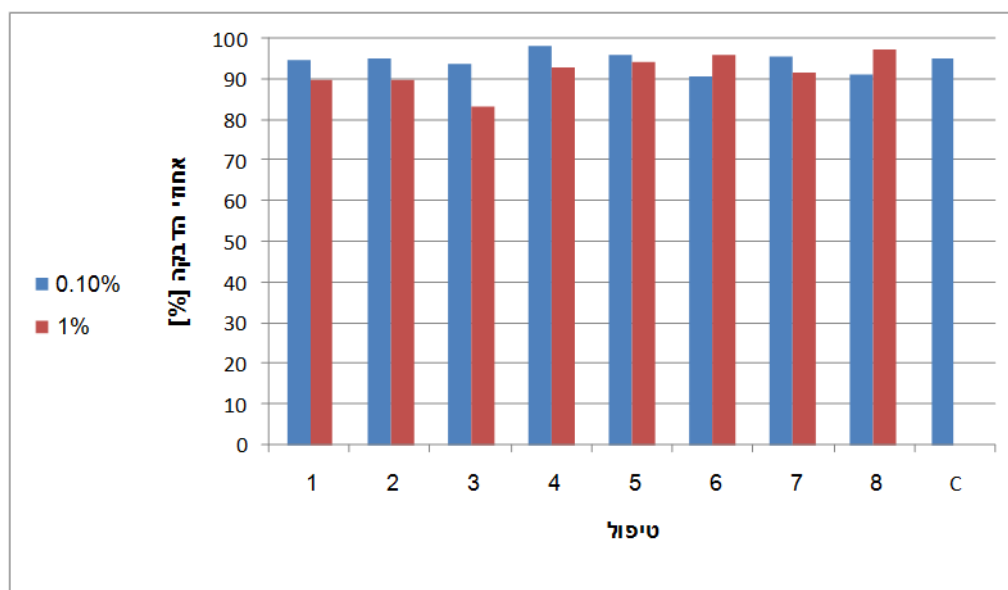
איור 8. מוליכות הידראולית ברוויה בתמיסת CaCl_2 (Ca) ו- NaCl (Na) ופולימר זרעי מים (WS) ו- 3005KL (KL).



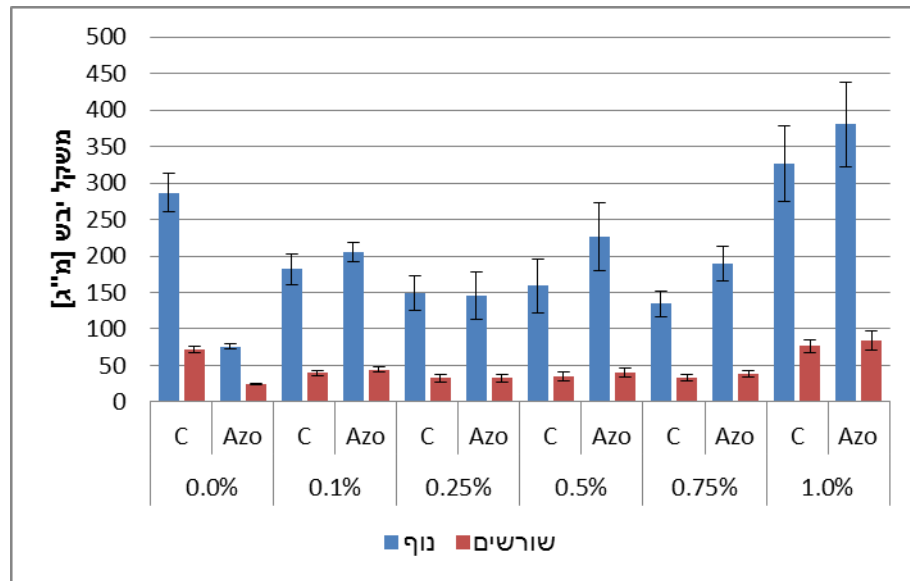
איור 9. עקומי תאחיזה לפולימר אשלגני (KL) במים מזוקקים ותמיסת CaCl_2 20 מא"ק/ל" (תת-איור עליון), ועבור פולימר נתרני (PRL) במים מזוקקים ותמיסת CaCl_2 מא"ק/ל" (תת-איור תחתון). עד מתח של 100 ס"מ נעשה שימוש בשיטת הכוס התלויה ומעל 100 ס"מ ועד 3000 ס"מ נמדד עקום התאחיזה בעזרת פלטת לחץ.



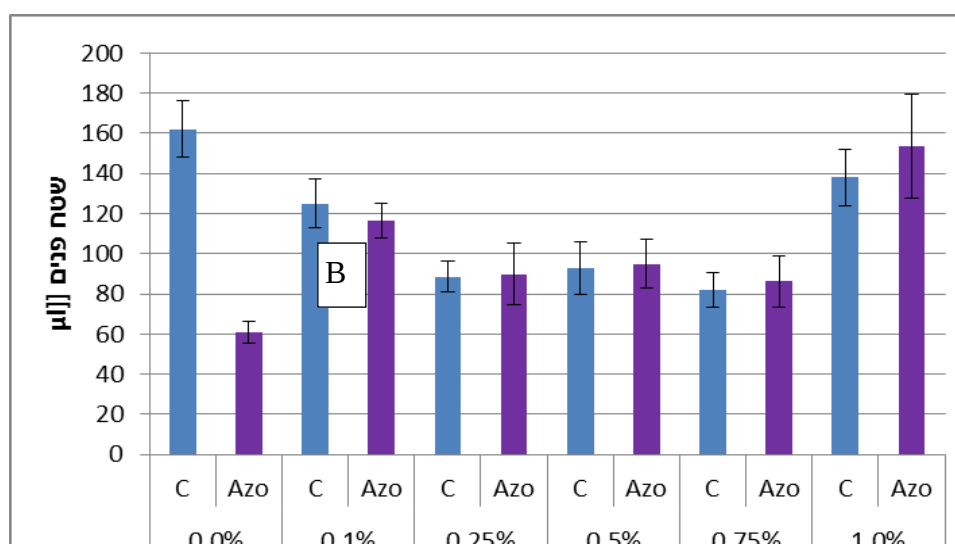
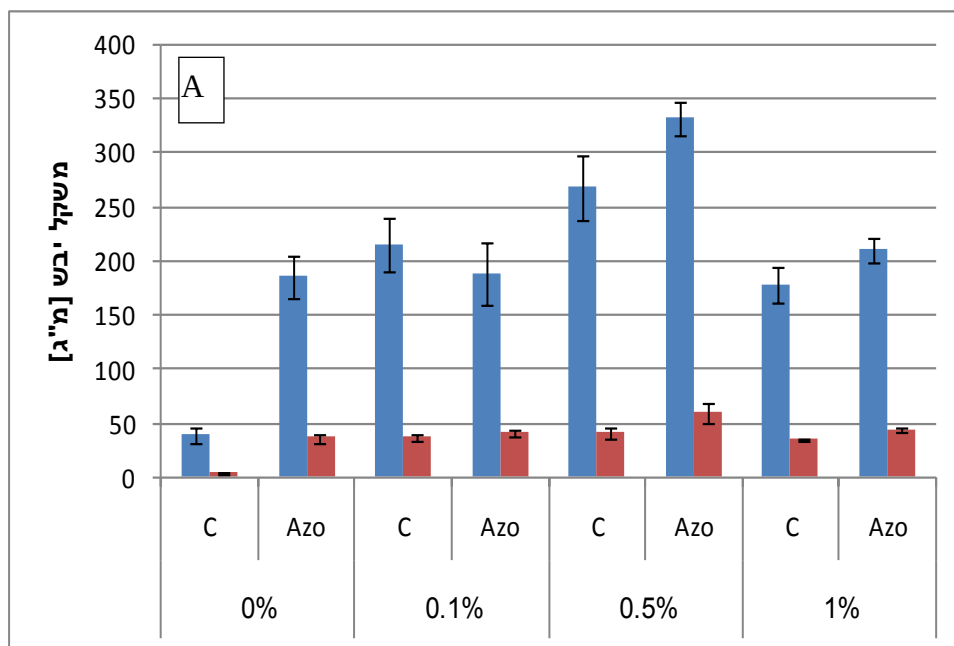
איור 10. המוליכות ההידראולית הלא רוויה כתלות במתח המים במצע עבור מצע חול ומצע חול בתוספת פולימר אשלגני (קוים אדומים) ופולימר נתרני (קוויים ירוקים) במים מזוקקים (קו מלא) ותמיסת 20 CaCl_2 מא"ק/ל" (קו מקווקו).



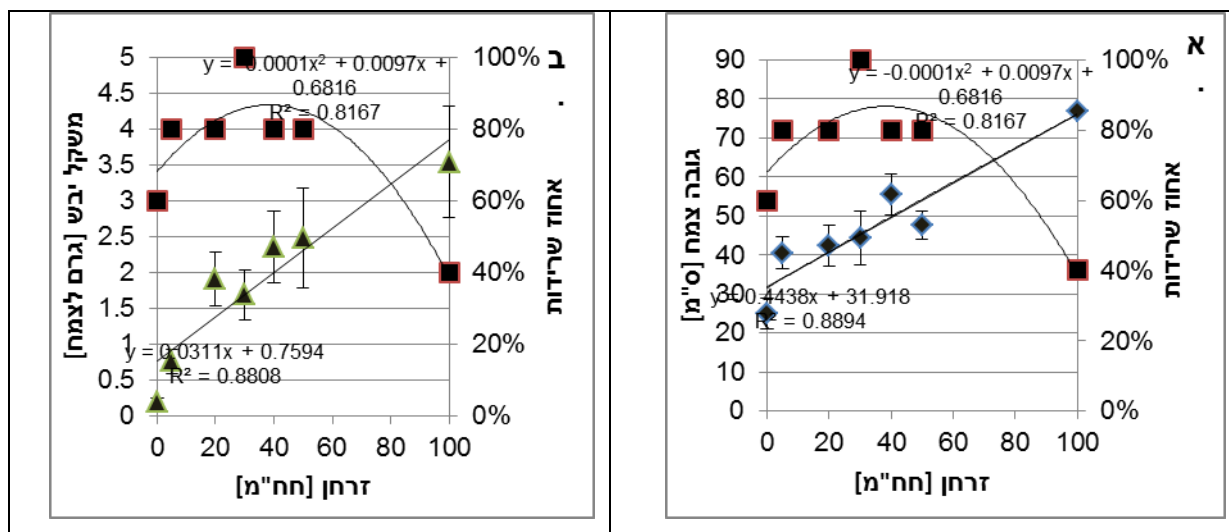
איור 11. אחוזי הדבקה בפטריית המיקוריזה של צמחי מלון בנוכחות פולימרים סופחי מים שונים. C-ביקורת, 1-3005-MAX, 2-2611, 3-3005-K2, 4-3005-KM, 5-3005-KC, 6-3005-C, 7-זרעי מים, 8-3005-L. (עבור נתונים על הפולימרים ראה טבלה 1).



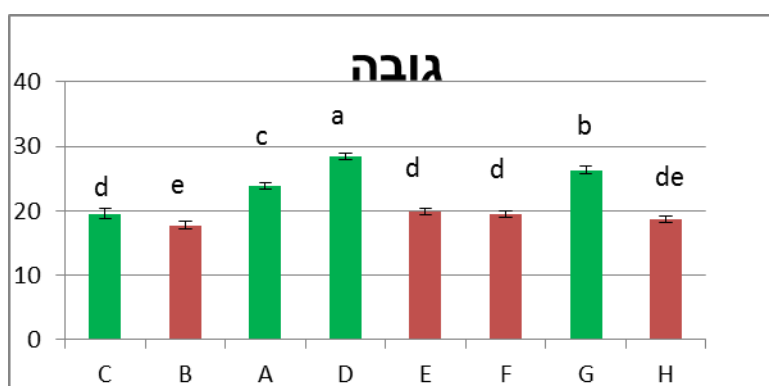
איור 12. משקל יבש של נוף ושורש (A) ושטח פנים של שורשי צמחי בוחן (B) הגדלים בנוכחות חיידקי *Azospirillum brasilense* ופולימר סופח מים. AZO- נוכחות חיידק *Azospirillum brasilense*, C-ביקורת. אחוזים מציינים את אחוזי הפולימר במצע.



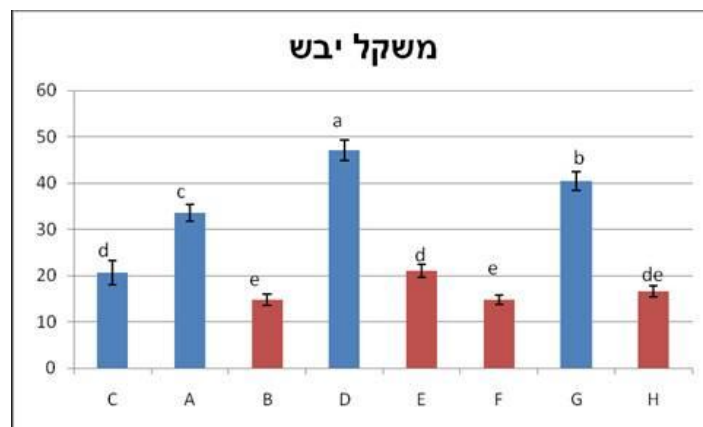
איור 13. משקל יבש של נוף ושורש (A) ושטח פנים של שורשי צמחי בוחן (B) הגדלים בנוכחות חיידקי *Azospirillum brasilense* ו-*Pseudomonas fluorescens* ופולימר סופח מים. AZO- נוכחות חיידק *Azospirillum brasilense*, C- ביקורת. אחוזים מציינים את אחוזי הפולימר במצע.



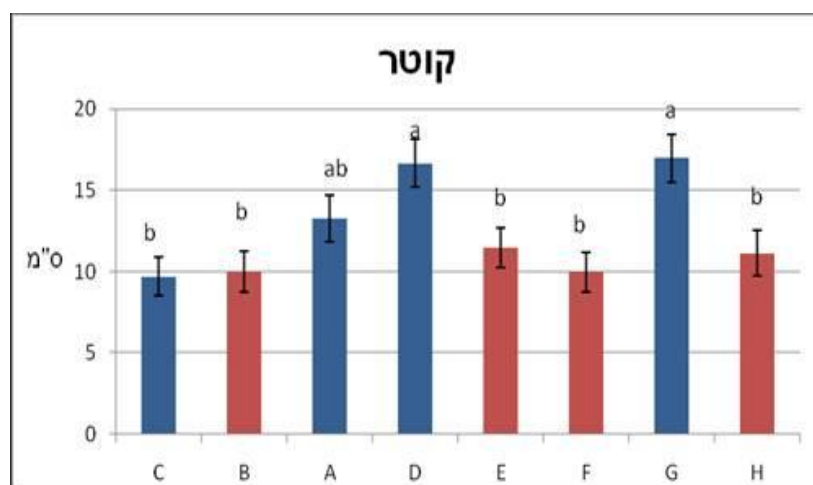
איור 14: התפתחות צמחי סורגום בריכוזי זרחן שונים. גובה (א) ומשקל יבש (ב) בהצלבה עם אחוז השרידות של הצמחים, בריכוזים שונים של זרחן (צירוף) אשר התקבל מערבוב דשן סופר-פוספט במצע השתילה. הערכים מבטאים ממוצעים של 5 חזרות בכל טיפול $\pm$ שגיאת התקן.



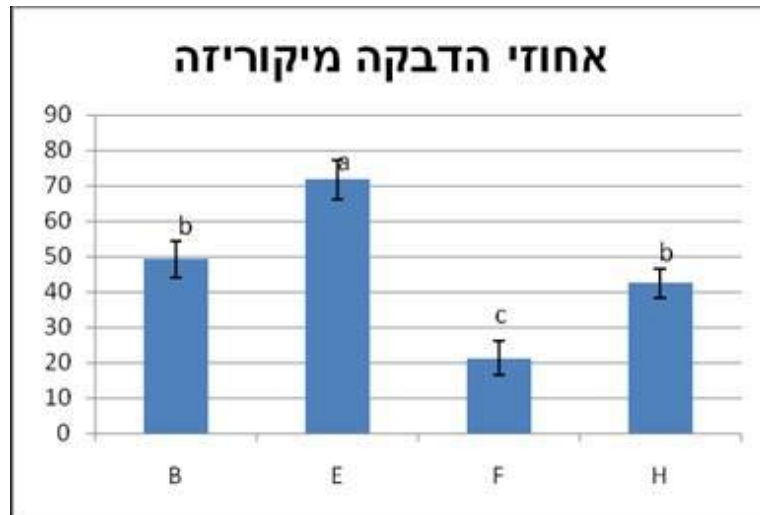
איור 15: גובה צמחי תירס אשר גודלו בנוכחות הדייק הביוהידראולי. מקרא לטיפולים: C – ביקורת; B – ביולוגי; A – קומפוסט; D – פולימר; E – ביולוגי+פולימר; F – ביולוגי + קומפוסט; G – קומפוסט + פולימר; H – ביולוגי+ קומפוסט + פולימר.



איור 16. משקל יבש של צמחי תירס אשר גודלו בנוכחות הדייק הביוהידראולי. מקרא לטיפולים: C – ביקורת; B – ביולוגי; A – קומפוסט; D – פולימר; E – ביולוגי+פולימר; F – ביולוגי + קומפוסט; G – קומפוסט + פולימר; H – ביולוגי + קומפוסט + פולימר.



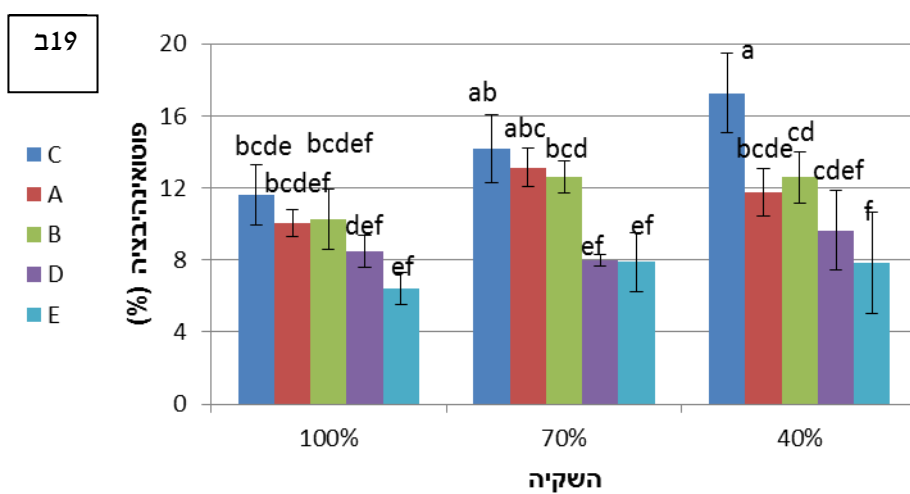
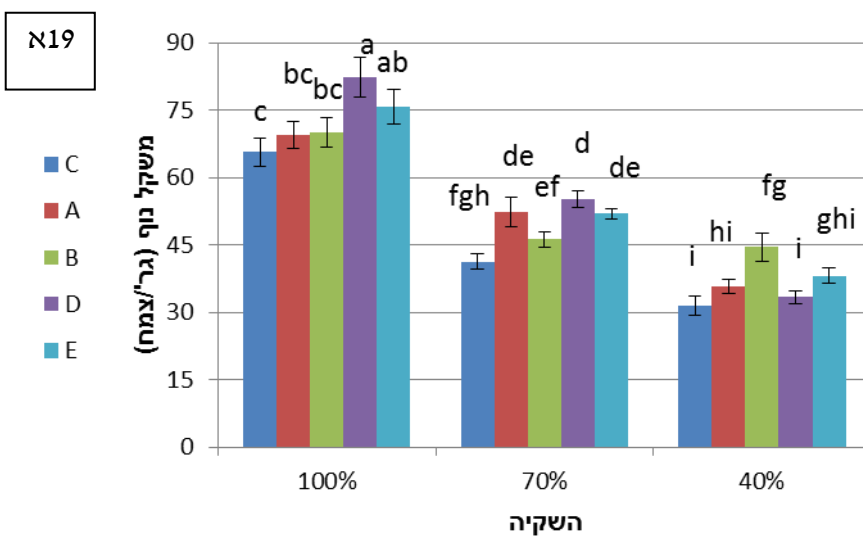
איור 17. קוטר גבעול של צמחי תירס אשר גודלו בנוכחות הדייק הביוהידראולי. מקרא לטיפולים: C – ביקורת; B – ביולוגי; A – קומפוסט; D – פולימר; E – ביולוגי+פולימר; F – ביולוגי + קומפוסט; G – קומפוסט + פולימר; H – ביולוגי + קומפוסט + פולימר.



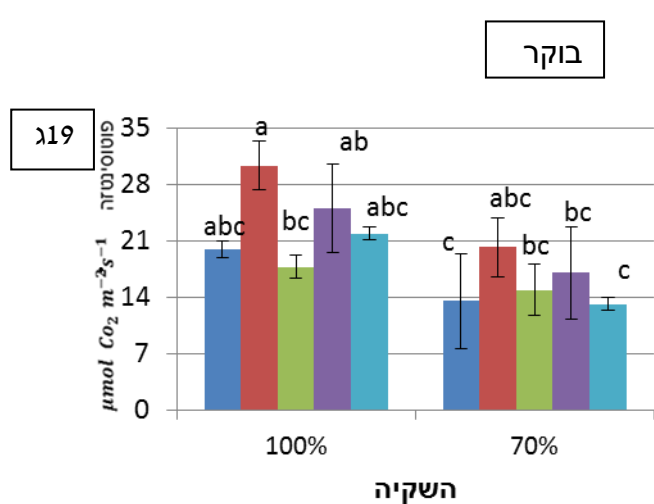
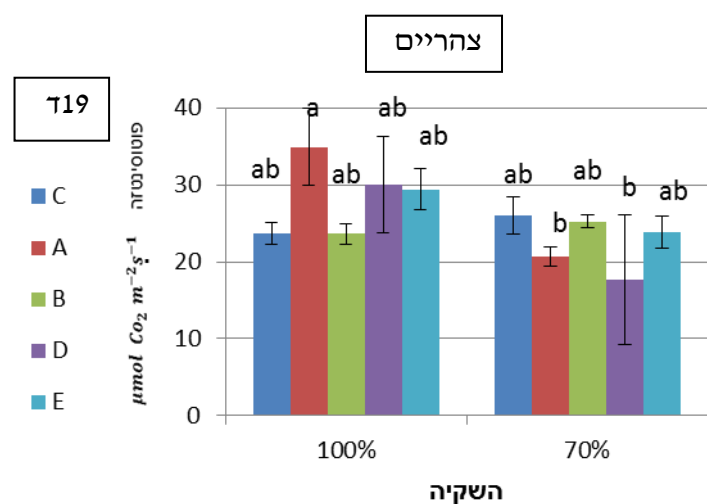
איור 18. אחוזי הדבקה במיקוריזה בשורשי צמחי תירס אשר גודלו בנוכחות הדייק הביוהידראולי. מקרא לטיפולים: B – ביולוגי; E – ביולוגי + קומפוסט; F – ביולוגי + קומפוסט + פולימר; H – ביולוגי + קומפוסט + פולימר + פולימר.

איור 19 - מקרא:

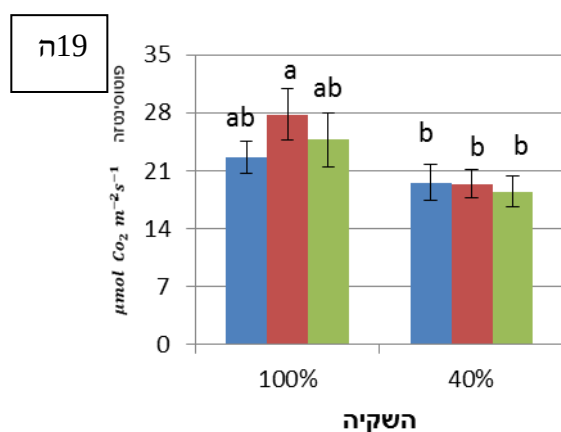
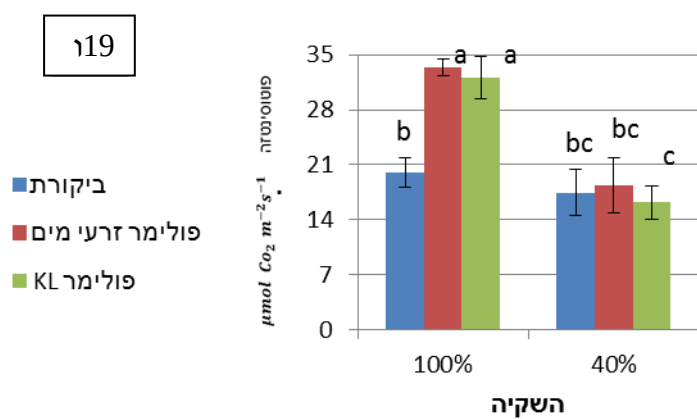
מקרא	
C	ביקורת-חול וקומפוסט 1.5%
A	פולימר זרעי מים
B	פולימר זרעי מים+ביו
D	פולימר KL
E	פולימר KL+ביו



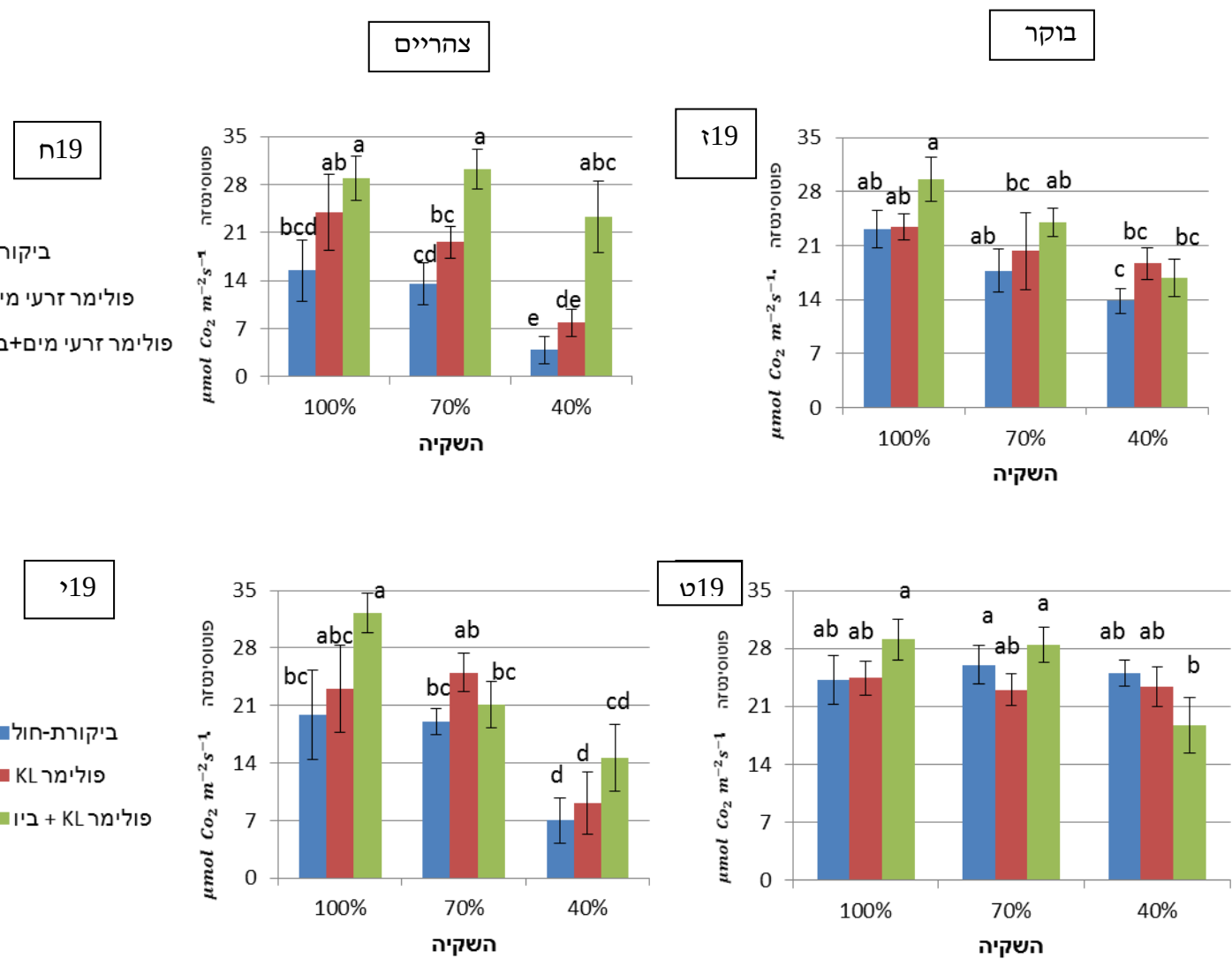
איור 19-א.ב. השפעת יישום המצעים השונים, במשטרי השקיה שונים, על המשקל היבש של נוף התירס (איור 11א).
מדדים אחרים שמוצגים הם פוטאניה ביציה (איור 11ב).



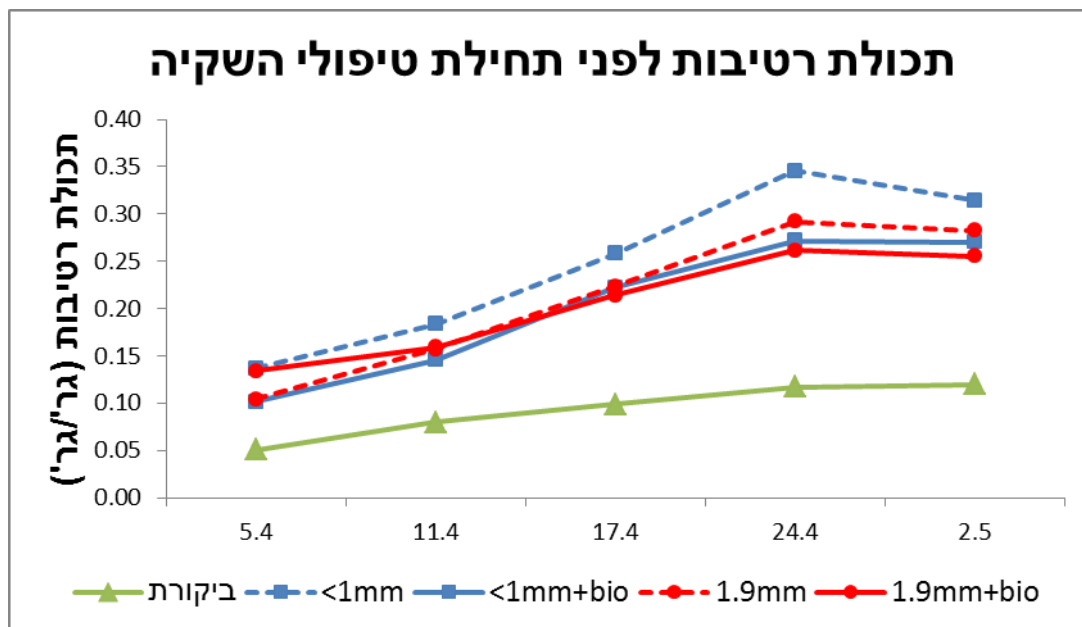
איור 19ג-ד. השפעת יישום המצעים השונים ב2 רמות השקיה, 100% ו70% על הפוטוסינטזה בבוקר ובצהריים (בהתאמה).



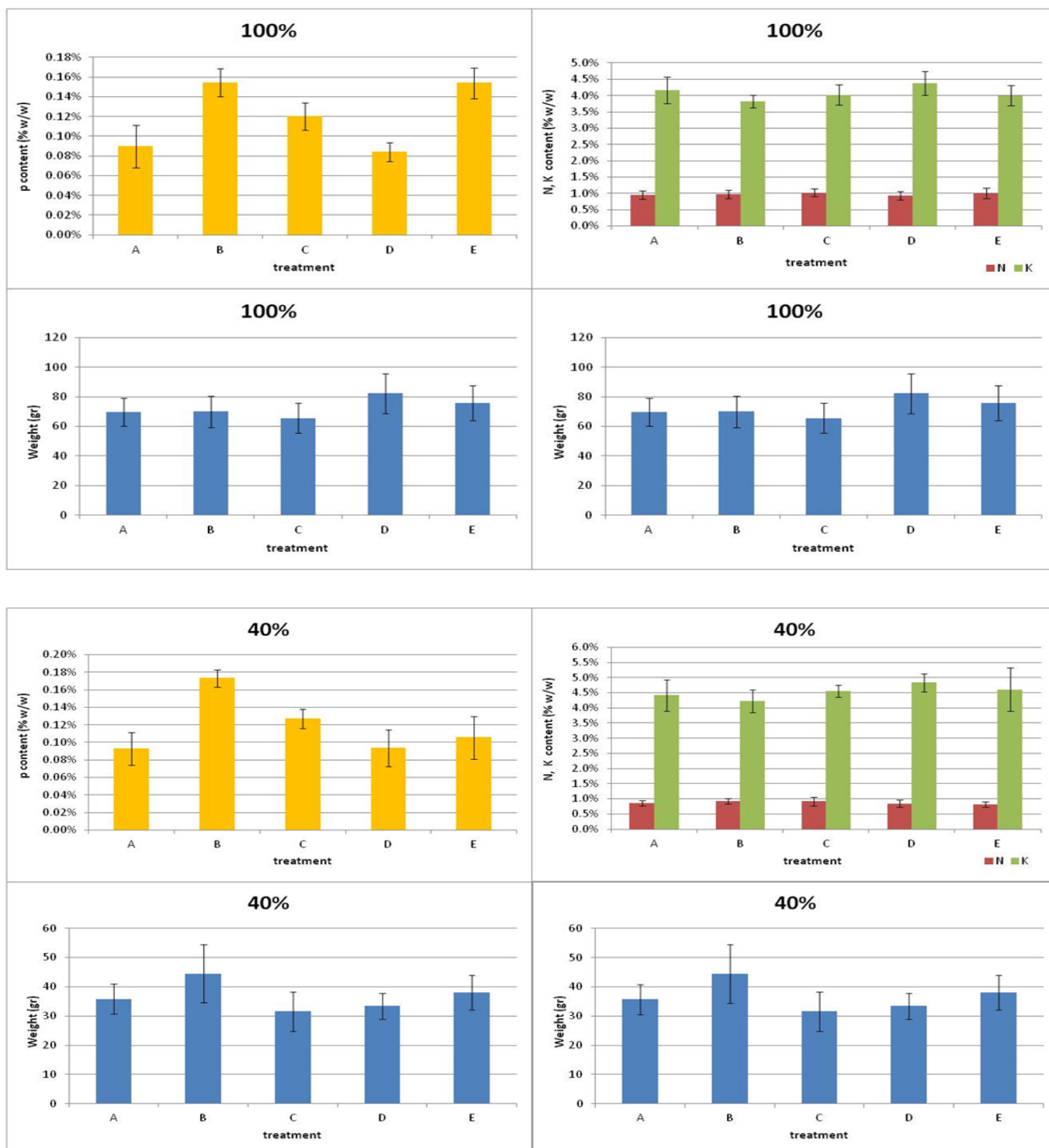
איורים 19ה-ו. השפעת יישום פולימר זרעי מים ו KL, ברמות השקיה 100% ו40% על הפוטוסינטזה בבוקר ובצהריים.



איורים 19ז-י. השפעת יישום פולימר זרעי מים עם וללא המרכיבים הביולוגים (11ז,11ח), ופולימר KL עם וללא המרכיבים הביולוגים (11ט,11י), ברמות השקיה השונות על הפוטוסינטזה בבוקר ובצהריים. מדידות אלו נעשו ממש בסמוך להוצאת הניסוי, על העלה השלישי מעלה הדגל.



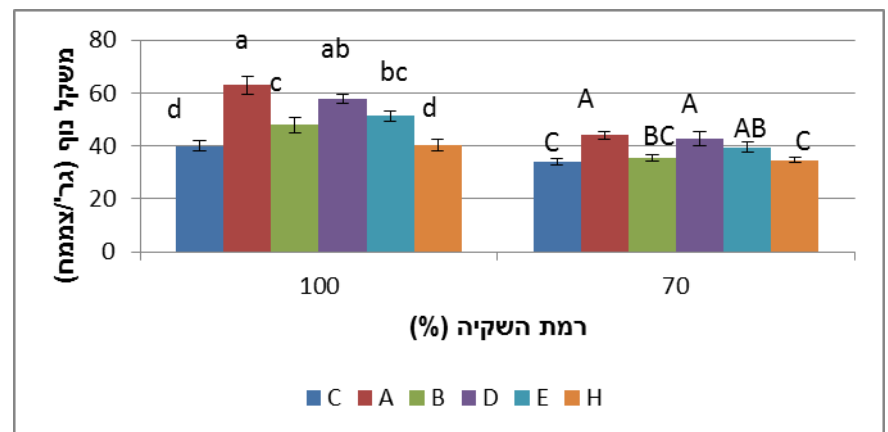
איור 20. השפעת התוספים (פולימר וטיפול ביולוגי [מיקוריזה]) על תכולת הרטיבות במצע הגידול בתקופה שבין הזריעה להצצה. פולימר KL – 1.9 mm. פולימר זרעי מים - <1 mm.



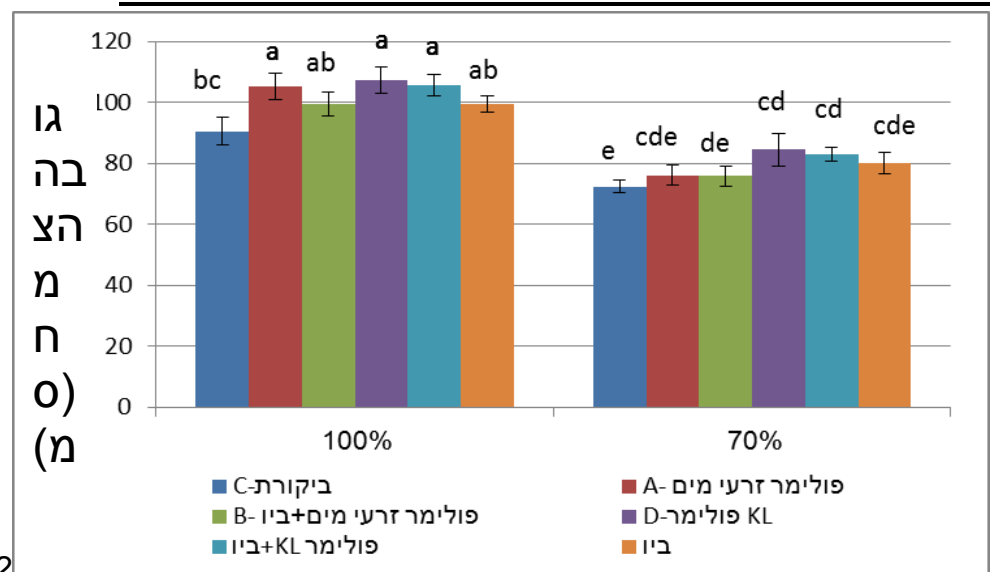
איור 21. ריכוזי הזרחן (כתום), חנקן (אדום) ואשלגן (ירוק) כפי שנמדדו בצמח השלם בסוף הניסוי, עבור טיפול של 100% השקיה (תת-איור עליון) ו-40% השקיה (תת-איור תחתון). האיורים בתחתית כל תת-איור מציגים את המשקל היבש בגמר הניסוי. הקווים על העמודות מייצגים את שגיאת התקן. האותיות מייצגות את המצעים השונים: פולימר זרעי מים (A), פולימר זרעי מים+מיקוריזה (B), מצע בסיסי-ביקורת (C), פולימר KL (D), פולימר KL+מיקוריזה (E).

איור 22: טוף- מקרא:

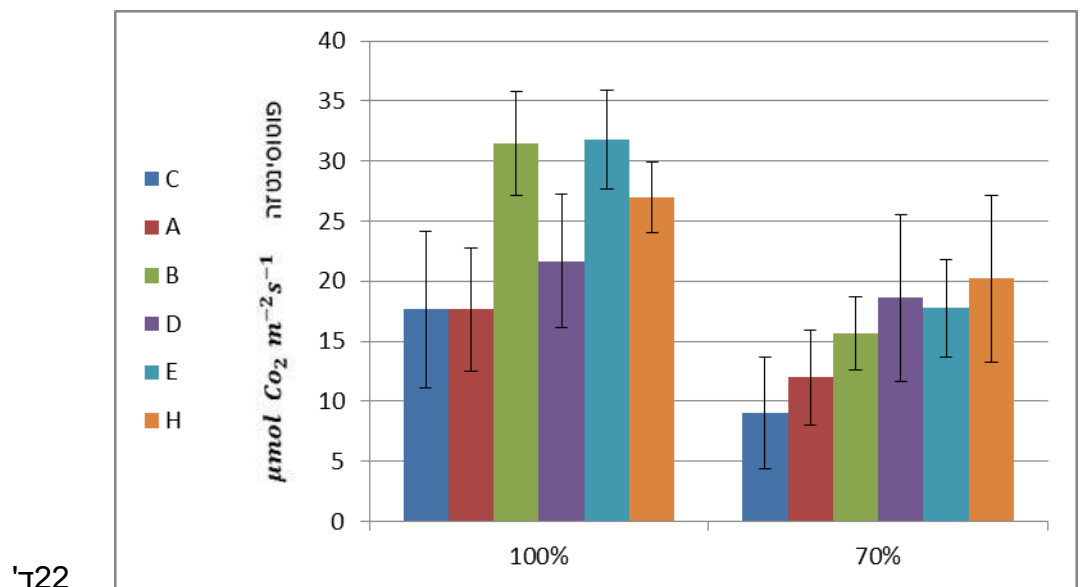
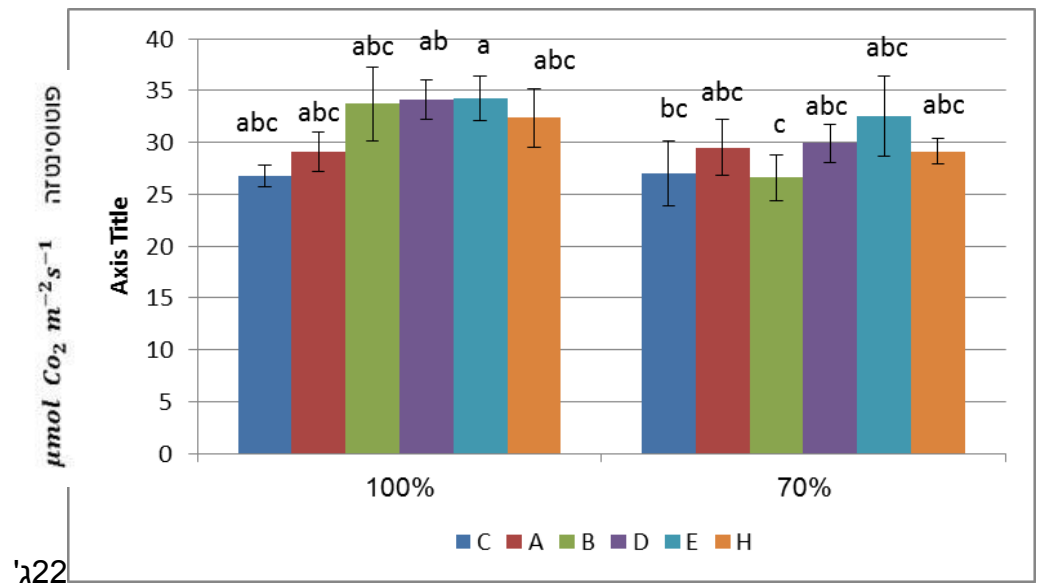
- A פולימר זרעי מים
- B פולימר זרעי מים+ביו
- C ביקורת-טוף
- D פולימר KL
- E פולימר KL+ביו
- H ביו



22א'

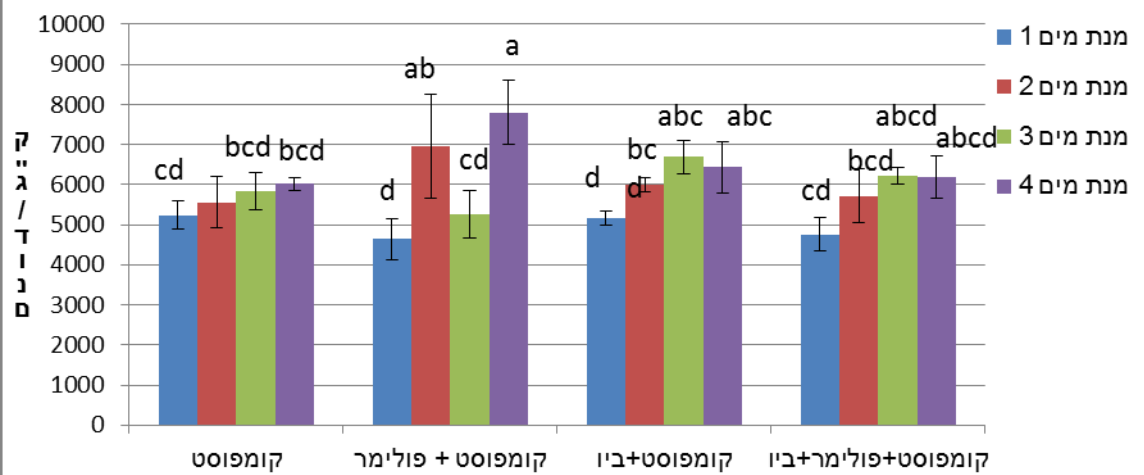


22ב'



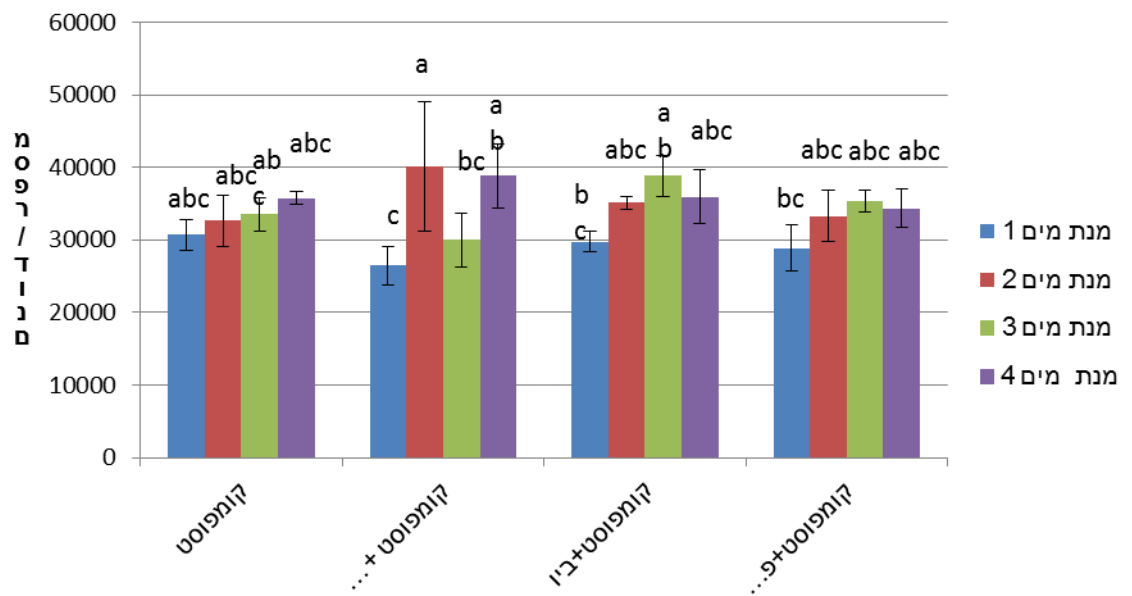
איורים 22-א-ד. השפעת יישום פולימר זרעי מים עם וללא המרכיבים הביולוגים, וטיפול ביולוגי בלבד, ברמות השקיה שונות על: משקל הנוף (22א), גובה הצמח (22ב), הפוטוסינתזה בבוקר (22ג) והפוטוסינתזה בצהריים (22ד). מדידות אלו נעשו על העלה השלישי מעלה הדגל. פוטוסינתזה נמדדה כשלושה שבועות לפני הוצאת הניסוי.

יבול- יצוא

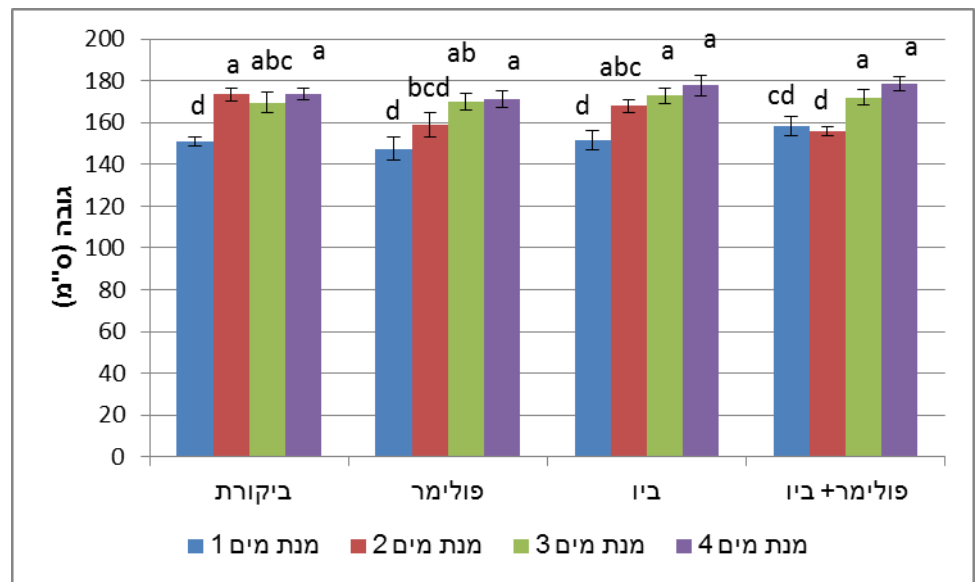


23א'

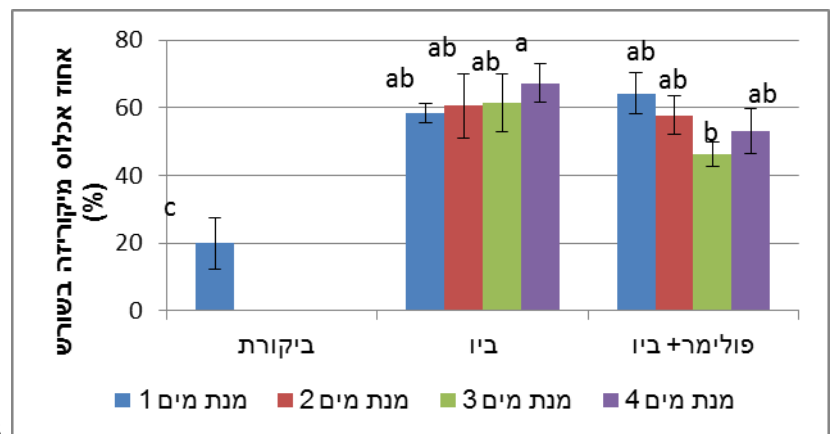
מס' פירות-יצוא



23ב'

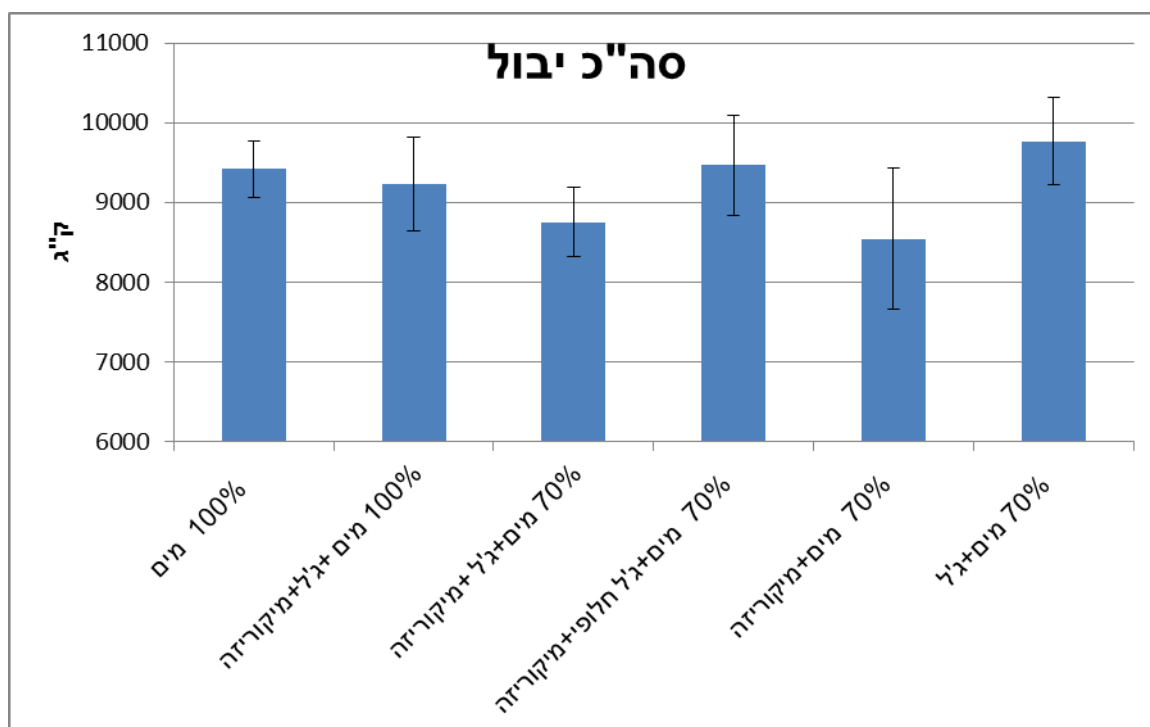


ג'23

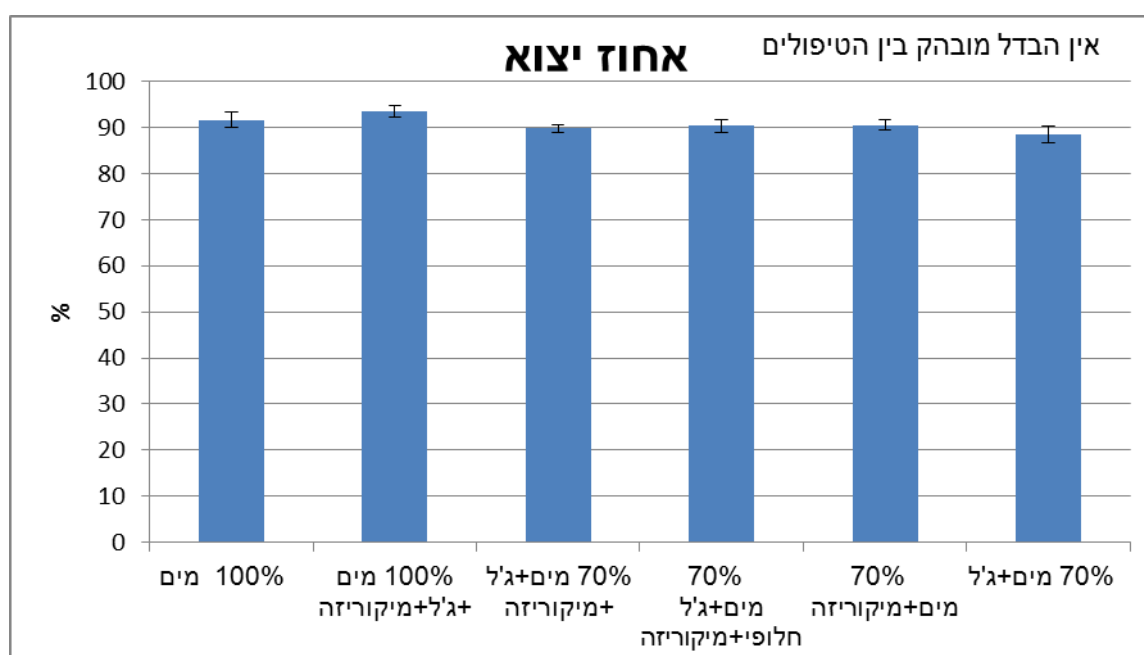


ד'23

איורים 23א-ד. השפעת הרכב התווך הביוהידראולי ורמות השקיה שונות (60%, 80%, 100%, 120%) מהאופטימום) על יבול פלפל באיכות יצוא (23א), על מספר פירות ליצוא (23ב), גובה הצמחים במועד הקציר (23ג) ואחוז השורש המאוכלס בפטריית המיקוריזה (23ד).



איור 24. תוצאות ניסוי עיקרי: השפעת טיפולי מים, פולימר (ג'ל) ומיקוריזה על היבול הכולל של הפלפל (בק"ג)



איור 25. תוצאות ניסוי עיקרי, השפעת טיפולי מים, פולימר (ג'ל) ומיקוריזה על אחוז הפירות הראויים ליצוא מכלל הפירות שנוצרו במשך העונה.