

דחיקת השימוש במרססי רובים וגב וחסכון בכ"א ע"י שיפור רמת הכיסוי וההדברה במרססים
ממוכנים נחותים

**Replacing hand-gun and backpack sprayers and labor saving by improving low
performance mechanized sprayers**

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

שמואל גן-מור	המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן
דוד בן-יקיר	המכון להגנת הצומח, מינהל המחקר החקלאי, נווה יער
בני רונן	המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן
קיסר אוהליאב	המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן
יוסי גל	מרססי דגניה, דגניה ב'

Samuel Gan-Mor, The Institute of agr. Eng. ARO, POB 6, Bet Dagan, 50250. E-mail
ganmor@agri.gov.il

David Ben-Yakir, The Inst. Of Plant protection, Neve Ya'ar.
benyak@volcani.agri.gov.il

Beni Ronen, The Institute of agr. Eng. ARO, POB 6, Bet Dagan, 50250
beni@volcani.agri.gov.il

Keisar Ohaliav, The Institute of Agr. Eng. ARO, POB 6, Bet Dagan, 50250
ohaliav@volcani.agri.gov.il

Yossi Gal, Degania Sprayers, Degania B. design@degania-b.org.il

***הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים ואינם מהווים המלצות לחקלאים**

חתימת החוקר _____ תאריך 22/12/2013

תוכן הענינים

1. תקציר
2. מבוא
3. מטרות המחקר
4. פרוט עיקרי הניסויים – שיטות וחומרים
5. פרוט עיקרי הניסויים – תוצאות
6. דיון
7. סיכום עם שאלות מנחות
8. פרסומים

1. תקציר

העבודה הנוכחית מנסה להשיג הגברה של השימוש במרססים ממוכנים החוסכים בעבודת אדם ומשפרים את תנאי עבודתו, ע"י שיפור הביצועים של המרססים הממוכנים. בשנים האחרונות הושג שיפור רב באחידות הכיסוי ורמת הכיסוי במרססים הממוכנים באמצעות ריסוס נישא אוויר. שיפור ההישגים הללו מוצע בעבודה הנוכחית ע"י טעינה אלקטרוסטטית של התרסיס. טעינה כזו נפוצה מאד בתעשיית ריסוס צבעים אבל לא חדרה בהיקפים נאותים לחקלאות בגלל השונות הגבוהה במרחק ובמבנה של המטרה אליה מכוונים. רוב המערכות המסחריות לריסוס א"ס מטעינות את התרסיס ברמה נמוכה מ-0.5 מיליקולון לק"ג ולכן אינן משפרות את ההרבעה. המערכות המטעינות את התרסיס לרמות משמעותיות משתמשות בפומיות יקרות הנשחקות במהירות ולכן יקרות בשימוש חקלאי.

המחקר הנוכחי השיג טעינה גבוהה תוך שימוש בפומיות הידראוליות מקובלות, זולות ובעלות אמינות גבוהה. בעבודה הנוכחית לא מבוצעת השוואה למרססים נחותים בגלל ההערכה שהמוטיבציה להחלפה למרססים ממוכנים תבוא בעקבות השיפורים במרססים הממוכנים. לכן תבוצע ההשוואה למרססים ממוכנים בעלי ריסוס נישא אוויר.

מטרות המחקר – להביא לשיפור של ביצועי המרססים הממוכנים הקיימים ולהשיג שיפור ברמת ההדברה ובחסכון בחומרים, זאת על מנת להביא לדחיקת השימוש במרססים ידניים, לשיפור הבטיחות ותנאי העבודה וכן לחסכון בעבודת ידיים.

שיטות – שימוש בטכנולוגיה של ריסוס-נישא-אוויר וריסוק התרסיס בפומיות הידראוליות מקובל במרססים הממוכנים האיכותיים. בעבודה הנוכחית מפותחת מערכת לטעינה א"ס המשפרת את אחידות הכיסוי במרססים כאלה אף יותר מזה המושג כעת.

תוצאות - בשנה הראשונה של התוכנית הנוכחית הושגה התקדמות חדשנית במעבדה כאשר טעינה אלקטרוסטטית (א"ס) הגיעה לרמות גבוהות גם בתרסיס שהופק בפומיות הידראוליות זולות ואמינות המקובלות בשימוש ע"י מרבית החקלאים. הושם דגש על טעינה בריסוס קצר-טווח מאחר ונמצא בניסויים שטעינת התרסיס הנישא בסילון לטווח רחוק מביאה שיפור קטן יותר. בניסויי המעבדה נמצאו גאומטריות אופטימאליות שהשיגו טעינה בערכים של כ-1.8 מיליקולון לק"ג. בשנה השניה פותח דגם של מרסס לכרם ובניסויים עם ניירות רגישים למים ונמצא שהטעינה הביאה לשיפור של מאות אחוזים בצפיפות הטיפות שהורבצו על שטחים הקשים להרבעה. בניסוי שדה עם חומר פלורסצנטי הביאה הטעינה הא"ס לשיפור של פי 5 בצפיפות

הטיפות המורבצות על הצד האחורי של אשכולות ענבים ופי שתיים על הצד התחתון של העלה. בשנה השלישית פותח מרסס לחממת עגבניות וחממת מלפפון ובניסויי שדה עם חומר פלורסצנטי הושג שיפור של מאות אחוזים בהרבצה. בניסויי הדברה הביאה הטעינה לשיפור בהדברה עם חומר בעל רעילות נמוכה. בשנה הרביעית הועמקה החקירה המעבדתית כדי לאפשר שיפור בהרבצה ובאמינות המערכת בתנאים קשים ובמקביל פותחו ויושמו שיטות חדשות לשיפור ביצועי המערכת. פותחה טכנולוגיה לנטרול מגע הצמח באלקטרודה כמענה לבעיית המגע ולירידה ברמת הטעינה בנוף סבוך.

מסקנות החקירה - נמצא שלמהירות הרוח בקרבת האלקטרודות השפעה חזקה על רמת הטעינה. מסקנות יישום הטכנולוגיה – הוכחת אמינות מערכת הריסוס הא"ס מאפשרת יישום מסחרי נרחב וכן העדפה של המרססים הממוכנים האיכותיים על פני המרססים הנחותים.

2. מבוא

שימוש במרסס גב מוטורי או במרסס רובים אינו רצוי כי הוא מצריך עבודת ידיים מרובה, גורם לקרבה בין המפעיל לחומרי ההדברה, יוצר סביבת עבודה לא נוחה ומשיג רמת כיסוי בינונית ואפילו נמוכה במיוחד כשהמפעיל עייף. החדרת השימוש בחומרי הדברה בעלי רעילות נמוכה מחייב שיפור ברמת הכיסוי וניכרת מגמה של החדרת המרססים הממוכנים בבתי צמיחה עם שורות רחבות. גם בבתי צמיחה עם שורות צרות, כמו אלה של הפלפל והמלפפון, ניכרת מגמה של הרחבת המעברים ושימוש במרססים ממוכנים בין השורות. הפתרון של מרססי תותח משיג רמת כיסוי לא אחידה במיוחד בתחילת השורה ובקצה הטווח ואפשר להשתמש בו כשאין חשש לאילוח גבוה. בעיות של אי אחידות בהרבצה ניתן לראות גם בריסוס גידולי תבלין בבתי צמיחה ובשדה הפתוח וכן בגידולים מודלים או גידולי מטע, בעיקר בריסוס ידני ולפרקים גם בשימוש במרססים ממוכנים. הקניית עדיפות ברמת הכיסוי במרססים ממוכנים לעומת מרססים ידניים צפויה להביא לדחיקת השימוש במרססים הידניים ולהפחתה בעבודה הידנית.

העבודה הנוכחית מתמקדת בשיפור אחידות ורמת הכיסוי על ידי טעינה א"ס. טעינה כזו נפוצה מאוד בתעשיית ריסוס צבעים אבל לא חדרה בהיקפים נאותים לחקלאות בגלל השונות הגבוהה במרחק ובמבנה של המטרה אליה מכוונים. רוב המערכות המסחריות לריסוס א"ס מטעינות את התרסיס ברמה נמוכה מ- 0.5 מיליקולון לק"ג ולכן אינן משפרות באופן מובהק את ההרבצה. המערכות המטעינות את התרסיס לרמות משמעותיות משתמשות בפומיות ייחודיות יקרות הנשחקות במהירות ולכן הן יקרות בשימוש חקלאי. נראה שסיבה זו מהווה גורם מרכזי למיעוט הרכישה של המרססים האלקטרוסטטים האיכותיים.

בעבודה הנוכחית בוצעה חקירה, פיתוח ושיפור של ריסוס-נישא-אוויר באמצעות טעינה אלקטרוסטטית של תרסיס המופק בפומיות הידראוליות סטנדרטיות זולות ואמינות, זאת, כדי להשיג כיסוי ואחידות פיזור ברמות גבוהות יותר מאלו המושגים באמצעות המרססים האיכותיים ביותר.

3. מטרת המחקר הנוכחי

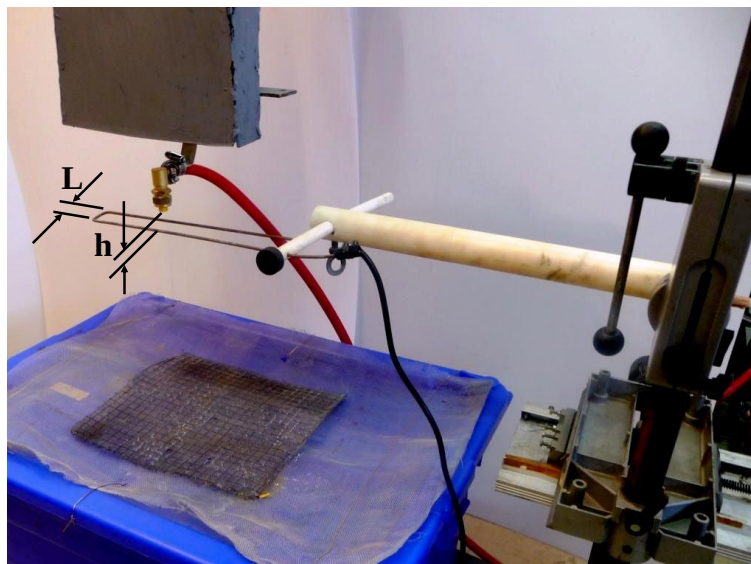
המטרה העיקרית של המחקר הנוכחי הינה הפחתה משמעותית של עבודת אדם בריסוס ירקות ופירות ודחיקת השימוש במרססים ידניים ע"י שיפור אחידות הכיסוי של מרססים ממוכנים איכותיים.

- א. פתוח טכנולוגיה לשיפור רמת ההרבצה וההדברה של מרססים ממוכנים באמצעות פיתוח מערכות לטעינה א"ס תוך שימוש בפומיות סטנדרטיות.
- ב. שיפור רמות הכיסוי והאחידות של מרססים ממוכנים לשם הפחתת השימוש בחומרי ההדברה והרחבת השימוש במרססים ממוכנים ע"ח מרססים ידניים.
- ג. שיפור בטיחות ותנאי עבודת הרסס.
- ד. הרחבת יישום הטכנולוגיות לריסוס בבתי צמיחה, בכרם ובגידולים נוספים וכן ליישום במערכות לטיפול לאחר אסיף.
- ה. לפתח יישום במצב יבש במקרים בהם נותן הדבר עדיפות לפעולות התוארית.

4. פירוט עיקרי הניסויים - שיטות וחומרים

א. פיתוח התקנים וניסויי מעבדה למציאת הגאומטריה לטעינה מירבית בפומית קובנציונלית

פיתוח התקן לטעינה א"ס במעבדה - מספר התקנים לטעינת קורונה וטעינת השראה נוסו בתנאי מעבדה ונמצא שטעינת השראה של תרסיס המופק בפומית מניפה משיגה ערכי טעינה גבוהים יחסית לטעינת קורונה. פומית מניפה בזוית של 80 מעלות נבחרה כעדיפה לניסוי מאחר והיא מאפשרת בניית התקן טעינה בעל גאומטריה פשוטה עם רווח קטן בין פומית אחת לשכנתה. הסעת התרסיס למטרה באמצעות סילון אוויר ויצירת ריסוס נישא אוויר מביאה, כפי שמצוין למעלה, להרבצה באיכות משופרת לעומת ריסוס ללא סילון אוויר, לכן, פותחה מערכת הכוללת התקן קומפקטי לטעינת השראה ונשיאת התרסיס באמצעות ריסוס נישא אוויר כמתואר בציור 1. המשתנים הבלתי תלויים הם L - המרווח בין שתי האלקטרודות, h - המרווח בין האלקטרודות לפומית, המתח על האלקטרודות וכן מהירות הרוח.

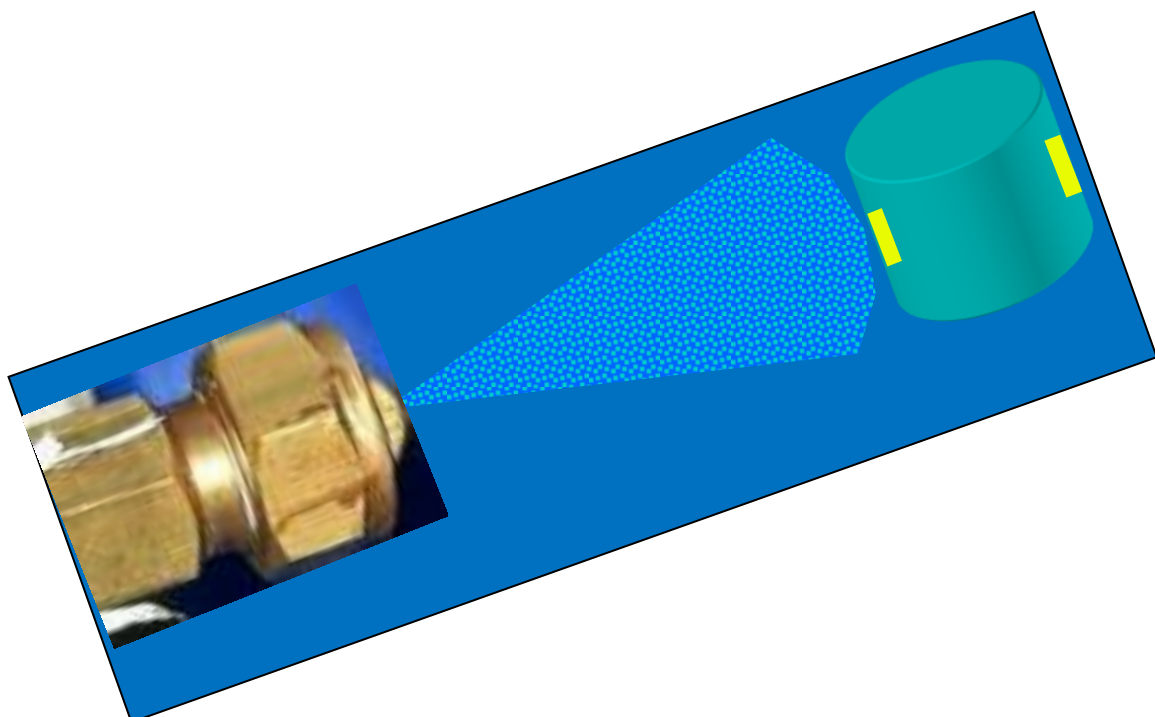


ציור 1 – מראה כללי של המערכת המעבדתית לבחינת יעילות טעינת התרסיס של התקני טעינה שונים בתנאי מעבדה. בציור מוצגים המשתנים הגאומטריים הבלתי תלויים והם L - המרווח בין שתי האלקטרודות, h - המרווח בין האלקטרודות לפומית.

ניסויי המעבדה בוצעו בפומית מניפה TeeJet XR8001 בהמשך בוצעו ניסויי השדה בפומית מניפה AlbuZ APE80 צהובה כי היא נפוצה יותר בשימוש החקלאי, ספיקות הנוזל שנמדדו עבור פומיות אלה היו 0.45 ו-0.7 ליטר לדקה בהתאמה, עבור לחץ נוזל של 4 בר. מפוח רדיאלי בעל אפשרות הנעה במהירות משתנה סיפק מהירויות אוויר בין 5 ל-65 מטר לשניה ממוצא במימדים של 5X24 ס"מ. מרחק קצה הפומית ממוצא המפוח היה 10.0 ס"מ. רשת מתכת מחוטים בקוטר 0.5 מ"מ במרווחים של 2X2 מ"מ הוצבה במרחק של 24 ס"מ משפת הפומית ושימשה לקליטת המטענים שבסילון. הרשת הוצבה 3.0 ס"מ מעל קערה שקלטה את שאריות המטען והתרסיס. הקערה נוקזה באופן מתמשך על מנת למנוע התזת טיפות מהקערה אל חלל המעבדה. המשתנה התלוי שנמדד היה הזרם, I, שהועבר לרשת ולקערה. משתנה זה נמדד באמצעות מד זרם מסוג UT60 (חברת Uni-Trend Int. Ltd.). המשתנים הבלתי תלויים שנבחנו היו המרווח בין הפומית לאלקטרודות הטעינה, המרווח בין שתי האלקטרודות הטעינה, מתח האלקטרודות ומהירות האוויר, כאשר בכל מצב נלקחו חמש קריאות.

השפעת הפוטנציאל על זווית הפגיעה של הטיפה במשטח קשיח – כדי להבין את מנגנון הפעולה של הטעינה האלקטרוסטטית, את ההשפעה המצטברת לכל אורך מסלול הטיפה, את ההשפעה המעטה בעת ההתנגשות וכיצד היא משפרת את אחוז הטיפות המורבצות על העלה נערכו צילומים שבהם נבחנו זווית הפגיעה של הטיפה במשטח קשיח ואת השפעת המתח והטעינה על זווית זו.

ניסוי הרבצה על צילינדר – בוצע ניסוי הרבצה על צילינדר מתכת מוארק בקוטר 5 ס"מ ובאורך 14 ס"מ שעליו הודבק נייר רגיש למים - השיטה של הרבצת תרסיס על גליל מוארק מקובלת להדגמה איכותית ופחות למדידה כמותית של יעילות מרססי שדה עם טעינה אלקטרוסטטית וכוללת הזזת הצילינדר בניצב לסילון האוויר (Law, 2001). ציור 2 מתאר את הצילינדר שהוצב על מוט מתכת מוארק באורך 1.2 מטר והוזז במרחק של כמטר אחד בניצב לסילון האוויר בקצב של 0.6 מ/ש.



ציור 2 – שיטת ההרבצה של טיפות על נייר רגיש למים בעורף ובחזית של מטרה צילינדרית.

איתור הגאומטריה במעבדה עבור המרסס לכרם - ניסויים במעבדה כדי להתאים את שיטת הטעינה למרסס כרם. שימוש במערכת המעבדתית נתן תוצאות שעל פיהן נבנתה המערכת לכרם. פומית מניפה בזוית של 80 מעלות נבחרה כעדיפה לניסוי מאחר והיא מאפשרת בנית התקן טעינה בעל גאומטריה פשוטה עם רווח קטן בין פומית אחת לשכנתה. הסעת התרסיס למטרה באמצעות סילון אוויר ויצירת ריסוס נישא אוויר מביאה, כאמור, להרבצה באיכות משופרת לעומת ריסוס ללא סילון אוויר. בניסויי המעבדה המשלימים לטווח הקצר מרחק קצה הפומית ממוצא המפוח היה 10.0 ס"מ. רשת מתכת מחוטים בקוטר 0.5 מ"מ במרווחים של 2X2 מ"מ הוצבה במרחק של 24 ס"מ משפת הפומית ושימשה לקליטת המטענים שבסילון.

סימולצית שדה במעבדה למרסס כרם - לפי האמור לעיל פותחה מערכת הכוללת התקן קומפקטי לטעינת השראה ונשיאת התרסיס באמצעות ריסוס נישא אוויר עבור הכרם (ציור 3) ובוצעו ניסויים לטווח בינוני-קרוב. בניסויי הסימולציה במעבדה לטווח זה, מרחק קצה הפומית ממוצא המפוח היה 3.0 ס"מ. רשת מתכת מחוטים בקוטר 1 מ"מ במרווחים של 5X5 ס"מ הוצבה במרחק של 70 ס"מ משפת הפומית ושימשה לקליטת המטענים שבסילון. המשתנה התלוי שנמדד היה הזרם, I, שהועבר לרשת. בניסויי המעבדה לטווח הבינוני-קרוב הופעל מפוח רדיאלי בעל אפשרות הנעה במהירות משתנה שסיפק מהירויות אוויר בין 5 ל- 65 מטר לשניה במוצא. הזרם נמדד באמצעות מד זרם מסוג UT60 (חברת Uni-Trend Int. Ltd.). כאשר בכל מצב נלקחו חמש קריאות.

ב. ניסויי שדה של טעינה בפומית קונבנציונלית

מרסס כרם - הניסויים בוצעו בפומית מניפה Albus APE80 צהובה. ספיקות הנוזל שנמדדו עבור הפומיות הקונבנציונליות האלה היו 0.7 ליטר לדקה לפומית. לחץ הנוזל היה 4 בר. מהירות נסיעה 3.4 קמ"ש. ניסוי הרבצת התרסיס בכרם בוצע עם חומר פלורסצנטי להדגמת השיפור באחידות ובכמות התרסיס המורבץ בפרט באזורים הקשים להרבצה.



ציור מס' 3 – התקן קומפקטי של אלקטרודות לטעינת השראה על כף מקובלת לריסוס כרם, כשעל הכף מותקנות פומיות הידראוליות קונבנציונליות, המבודדים עוברים ייבוש מתמיד ועליהם מותקנות האלקטרודות (משמאל). מרסס כרם מסחרי עליו מותקנים התקנים קומפקטיים לטעינת השראה והמרסס פועל עם פומיות הידראוליות קונבנציונליות (מימין).

ניסויי שדה לבחינת יעילות הכיסוי בחממת עגבניות - ניסויים לבחינת יעילות הכיסוי בוצעו בחממת עגבניות עם חומר פלורסצנטי המעורבב מים, בכמות נוזל מומלצת של 55 ליטר לדונם. הטיפולים בוצעו עם מרסס חממה נייד מסוג צ'יקו (מרססי דגניה, ישראל) שעליו הותקנה מערכת לטעינה אלקטרוסטטית המתאימה לחממת עגבניות וחממת מלפפון (ציור 4). שני טיפולים בוצעו האחד עם טעינה א"ס והשני ללא טעינה. מהירות הנסיעה היתה 4.2 קמ"ש. בכל טיפול רוססו 25 מ' לאורך השורה. השורות נשתלו כך שבין כל מרווח גודלו שתי שורות. לכן רוססה השורה הכפולה משני צידיה, כלומר הריסוס בוצע משני הצדדים של המרווח. לאחר הריסוס נדגמו עלים בארבעה מיקומים בצמח – פנימי אמצע, חיצוני אמצע, פנימי עליון וחיצוני עליון, 8 עלים בכל מיקום. הצד הפנימי הוא הצד הרחוק מהמרסס - נמצא בין שתי השורות ואילו הצד החיצוני הוא הצד הקרוב למרסס – קרוב למעבר. בחלק התחתון של צמח העגבניה היו מעט עלים ולכן הוא לא נדגם. נדגמו עלים בחלק האמצעי ובחלק העליון של הצמח.



ציור 4 – מערכת ריסוס אלקטרוסטטית מותקנת על מרסס צ'יקו לחממת עגבניות ומלפפון.

ניסוי הדברה בחממת מלפפון - ניסויי ההדברה בחממת מלפפון בוצעו עם כמות נוזל מומלצת של 55 ליטר לדונם. חמישה טיפולים רוססו: תמר-טק עם כמות מומלצת של 3% - עם ובלי טעינה א"ס, תערובת משקית מקובלת של 25 סמ"ק לדונם ספידר ו- 40 סמ"ק לדונם ורטימק – עם ובלי טעינה א"ס וטיפול היקש ללא ריסוס. הטיפולים כללו 6 חזרות לאורך שתי שורות עם שורות מרווח מכל צד המטופלות בריסוס שבשורות שנדגמו. הניסוי בוצע בחממה גדולה אחת. חמישה עלים נדגמו בכל חזרה בגובה של 1.3 עד 1.6 מ' מצמחים שגובהם היה 2.2 מ' ומעלה. הטיפולים בוצעו עם מרסס חממה נייד מסוג צ'יקו (מרססי דגניה, ישראל) שעליו הותקנה מערכת לטעינה

אלקטרוסטטית (ציור 5). מאחר והריסוס בוצע במרסס גדול יחסית ובגלל הצורך בבליק גדול למזעור מעבר המזיק, רק טיפול אחד בוצע בכל אורך השורה. לפני היישום הראשון ב- 23 ליוני 2013 בוצעה "ספירת אפס" ובאותו יום ועד 7 ליולי סך כולל של ארבעה ריסוסים במרווחים של 4 עד 5 ימים בוצעו בחלקה. לפני כל יישום בוצע דיגום וכן יום לאחר הריסוס האחרון. זן המלפפון שנבחן היה סטאר ורק אקריות בוגרות חיות נספרו.

ג. בחינת זווית הפגיעה של הטיפה במטרה והשפעתה על שיפור ההרבצה

לפי (Abuku et al. 2009) רוב טיפות המים הקטנות, בקוטר אופייני למרססים איכותיים (קוטר קטן מ- 120 מיקרון), ינתרו בעת התנגשות עם משטח קשיח, כאשר זווית ההתנגשות קטנה מ- 25 מעלות. במטרה להעמיק את ההבנה של פעולת הכוחות האלקטרוסטטיים והשפעתם על ההרבצה בכדי להוסיף ולשפר את ההרבצה, נבחנה השפעת הטעינה על זווית ההתנגשות. לצד המערכת לטעינה אלקטרוסטטית המתוארת לעיל הותקן לוח מחומר מוליך ובוצעו צילומים של הטיפות בעת התנועה לאורך המוליך. הזווית בה פגעה הטיפה בלוח נמדדה מתוך הצילום.

ד. התאמת כלים שיפור אמינות ופיתוח טכנולוגיה לנטרול מגע תדיר של הצמח באלקטרודה

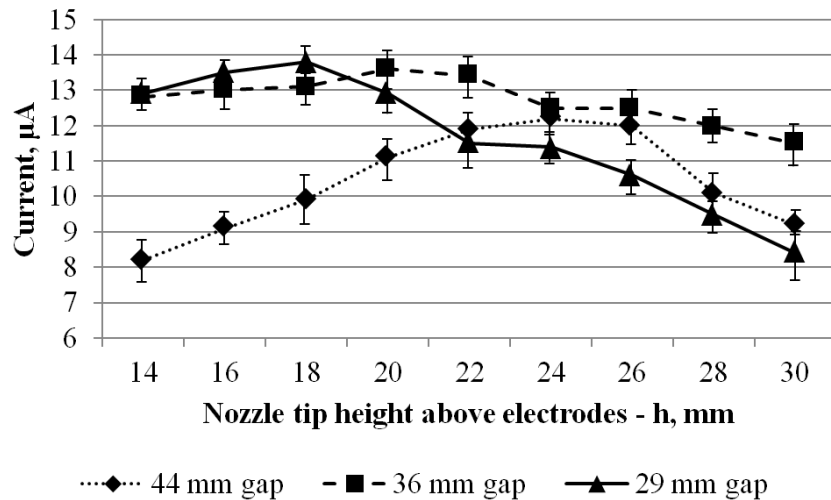
בעת הניסויים במערכת לריסוס אלקטרוסטטי בטווחים קרובים נתגלתה תופעה של מגע בקצב גבוה של הענפים באלקטרודה. תופעה זו לא דווחה בספרות מאחר ולא בוצעו ניסויים לריסוס אלקטרוסטטי בטווחים קרובים בגאומטריה דומה בגידולים חקלאיים. כתוצאה מהמגע נגרמה ירידה בפוטנציאל האלקטרודה למשך זמן קצר מאוד, אך בגלל קצב המגע הגבוה נמדדה ירידה משמעותית במתח האלקטרודה וברמת הטעינה של התריס. בהתאם לתופעה הני"ל הוחלט על פיתוח טכנולוגיה לנטרול מגע הצמח באלקטרודה. כחלק מהפיתוח תוכננו ונבנו התקנים להגנה על האלקטרודות ובוצעו ניסויים מקדימים. הניסויים המקדימים הראו שהלבשת שרוול מחומר פלסטי מבודד על האלקטרודות יכולה לתת את התוצאות טובות ביותר.

בניסויי מעבדה נמצא שאם מקפידים על הרבצת סילוני אוויר מהירים על האלקטרודות בהתאם לפיתוח הנזכר למעלה, נשמרת רמת יובש גבוהה באזור האלקטרודות והשרוול מהחומר הפלסטי המותקן על כל האלקטרודות אינו פוגע ברמת ההשראה של האלקטרודות ומונע ירידה של פוטנציאל האלקטרודה וירידה ברמת הטעינה בעת מגע של מוליכים בחומר הבידוד.

ניסויים לבחינת אמינות הכלי בעבודה מתמשכת בחממת מלפפון תוכננו ובוצעו בחממות במושב אחיטוב. הניסויים הראו שכאשר פומיות הריסוס ממוקמות ברוחב הקיים במרסס המיועד לחממות מלפפון, הרוחב של אלקטרודות הטעינה גדול מרוחב הכלי ונשקפת סכנת נזק לאלקטרודות. בהתאם לכך שונה התכנון של מערכת הריסוס במרסס חממות קיים ונבנתה ונוסתה מערכת ריסוס צרה יותר.

5. פירוט עיקרי הניסויים - תוצאות

א. פיתוח התקנים וניסויי מעבדה למציאת הגאומטריה לטעינה מירבית בפומית קובנציונלית
התקן לטעינה אלקטרוסטטית במעבדה – כדי להציג בצורה ברורה את המשתנה התלוי, במקרה זה הזרם החשמלי, כפונקציה של כל המשתנים הבלתי תלויים נערך ניסוי ראשון שמצא כי למרווח בין האלקטרודות לפומית, המסומן בציור 1 באמצעות h , השפעה חלשה יחסית. ציור 5 מראה תוצאות של הזרם החשמלי עבור השתנות של h ושל המרווח בין האלקטרודות (המתואר כ- L בציור 1). המתח על האלקטרודות, U , הינו 20kV ומהירות האוויר, V , הינה 60m/s.



ציור 5 – השפעת המרווח בין האלקטרודות לפומית (h) ושל המרווח בין האלקטרודות (L), על הזרם שמעביר ענן התרסיס (I) במהירות אוויר של 60 מ/ש ומתח 20 kV.

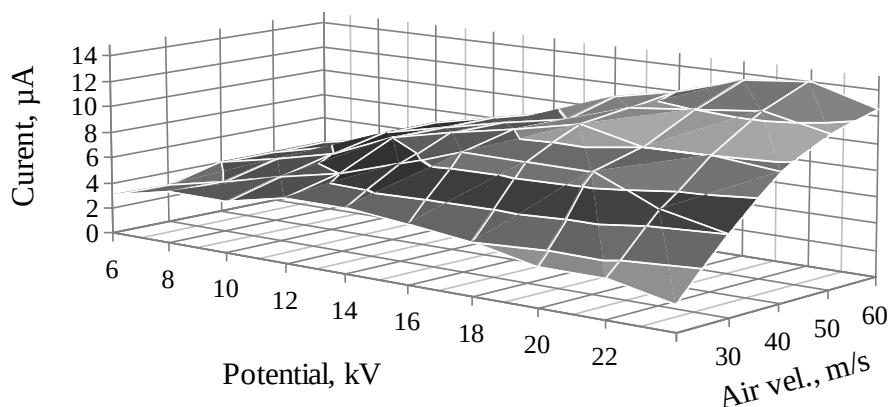
מציור 5 ניתן לראות שהשינוי בזרם שגורם המרווח בין האלקטרודות לפומית, h , הוא מתון מאוד. עבור מרווח אלקטרודה-פומית הנע בין 16 ל- 20 מ"מ מתקבלים ערכי זרם מקסימליים של 13 עד 14 μA עבור שני ערכים של המרווח בין האלקטרודות L . אמנם מדידות אלה נערכו עבור מתח של 20 kV אך בחינות במתחים נוספים הראו השתנות מועטה של הזרם כפונקציה של h . לפיכך נבחר מרווח אלקטרודה-פומית של 19 מ"מ בין האלקטרודות לפומית עבור המשך הניסויים והצגת התוצאות. דבר זה מאפשר הצגה גרפית ברורה של השפעות המשתנים הבלתי תלויים האחרים כמוצג מטה.

המערכת לטעינת השראה של תרסיס המופק מפומית הידראולית קרמית נבחנה במעבדה עבור המשתנים הבלתי תלויים אשר להם השפעה חזקה על הזרם כמשתמע מציור 5. כאן המרווח בין האלקטרודות הינו כמתואר בציור 1 בסימן L , מהירות סילון האוויר מסומנת כ- V והמתח על האלקטרודות מסומן כ- U .

טבלה 1 – השתנות הזרם שמעביר ענן התרסיס (נמדד ב- μA) לפי מהירות סילון האויר, המתח על האלקטרודות והמרווח בין האלקטרודות. * מציין סטית תקן – 0.5 עד $0.8 \mu A$, ** מציין סטית תקן – 0.9 עד $1.1 \mu A$.

								L, mm																	
60				36				29				20				12.5									
V, m/s				V, m/s				V, m/s				V, m/s				V, m/s									
60	50	30	10	60	50	30	10	60	50	30	10	60	50	30	10	60	50	30	10						
3*	3*	2*	2*	4*	4*	3*	3*	5*	5*	4*	3*	6*	6*	4*	4*	8*	8**	6*	4*	6					
4*	4*	3*	3*	5*	5*	4*	4*	6*	7*	5*	4**	8*	8**	6**	4.5*	10**	9.5**	7**	4*	8					
5*	5*	4*	3*	7*	7**	5*	4*	8*	8*	7*	5*	10**	9.5**	7*	5*	9.5*	9**	7*	3.5*	10					
5*	5**	5*	4*	8*	8*	6*	5*	11*	9*	8*	5.5*	11**	11**	8**	4*	7**	7*	-	-	12					
6*	5*	5**	4*	9**	9**	7.5*	5**	11**	12**	9**	4*	10*	11**	7*	-	-	-	-	-	14	U, kV				
6.5*	5**	6*	4*	11*	10**	9*	4.5*	13**	13**	9*	3*	-	10*	-	-	-	-	-	-	16					
7**	5*	5*	4*	12**	12**	9**	4*	14**	13**	8**	2*	-	-	-	-	-	-	-	-	18					
7*	4*	5**	3*	14**	12*	9*	3*	14**	-	6.5*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20					
7**	4*	4*	2*	14*	13**	7*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22					
7*	3*	4*	-	13**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24					

ציור 6 מראה בצורה גרפית אך ללא הניתוח הסטטיסטי את התוצאות שבטבלה 1 של מדידות זרם ב- μA כפונקציה של המתח על האלקטרודות ומהירות האויר במוצא המפוח. ציור זה ממחיש כי להגברת מהירות האויר יש השפעה חזקה על הטעינה בעיקר עבור מתחים גבוהים יחסית. כדי לקבל מטען ליחידת מסה יש לחלק את הזרם בספיקה. הספיקה כאן היא $0.45/60$ ליטר לשניה אזי המטען ליחידת מסה הוא 1.8 מילי קולון לק"ג.

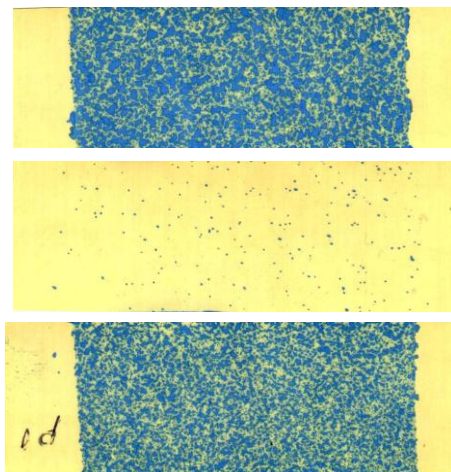


ציור 6 - הזרם ב- μA שמעביר ענן התרסיס כפונקציה של המתח על האלקטרודות ומהירות האויר במוצא המפוח.

בניסויי המעבדה נמצא שהתקנת פומית בסמוך לפומית קימת מפחיתה את רמת הטעינה. נמצא שמרחק של כ- 100 מ"מ ומעלה בין קצות הפומיות גורם לפחיתה מתונה יחסית ברמת הטעינה.

ניסוי הרבצה על צילינדר – תוצאות הרבצת טיפות על ניר רגיש למים המודבק אל אחורי גליל מוארק (ציור 7) ממחישות את היכולת הגבוהה של ריסוס אלקטרוסטטי להרבצה באזורים

מוצנעים לעומת ריסוס ללא טעינה. הטעינה גרמה לתוספת של מאות אחוזים בצפיפות הטיפות בהרבצה בצד האחורי של הגליל לעומת הרבצה ללא טעינה. הרבצת טיפות בריסוס נישא אוויר על ניירות רגישים למים אשר הודבקו בצדו האחורי של גליל בוצעה בתנאים הדומים לכרם ובאמצעות מרסס מתאים. בניסוי ללא טעינה חשמלית הורבצו בממוצע 2 טיפות לסמ"ר ובניסוי נוסף זהה לקודם אך עם טעינה חשמלית הורבצו בממוצע 38 טיפות לסמ"ר.



ציור 7 – הרבצת טיפות של "תרסיס נישא אוויר" על ניירות רגישים למים אשר הודבקו בחזית ובעורף של גליל – חזית ללא טעינה (עליון), עורף ללא טעינה (אמצע), עורף עם טעינה (תחתון).

ב. ניסויי שדה של טעינה בפומית קובנציונלית

ניסויי שדה בכרם - בטבלה מס' 2 ניתן לראות את צפיפות הטיפות לסמ"ר בצד האחורי של אשכול ענבים כאשר הריסוס מבוצע ללא טעינה חשמלית. לעומת זאת, בטבלה מס' 3 ניתן לראות את צפיפות הטיפות לסמ"ר בצד האחורי של אשכול ענבים כאשר הריסוס מבוצע עם טעינה חשמלית. בטבלה מס' 4 ניתן לראות את צפיפות הטיפות בסמ"ר על הצד התחתון של עלה צמח הגפן כאשר הריסוס מבוצע תחילה ללא טעינה חשמלית ואחר כך עם טעינה חשמלית.

טבלה 2 – צפיפות הטיפות לסמ"ר בצד האחורי של אשכול ענבים עבור ריסוס ללא טעינה חשמלית.

Cluster	Grape I	Grape II	Grape III	Average	SD
1	20	10	30	20	
2	30	70	10	37	
3	30	0	80	37	
4	0	30	10	13	
5	120	0	20	47	
6	80	0	50	43	
Total				33	13.2

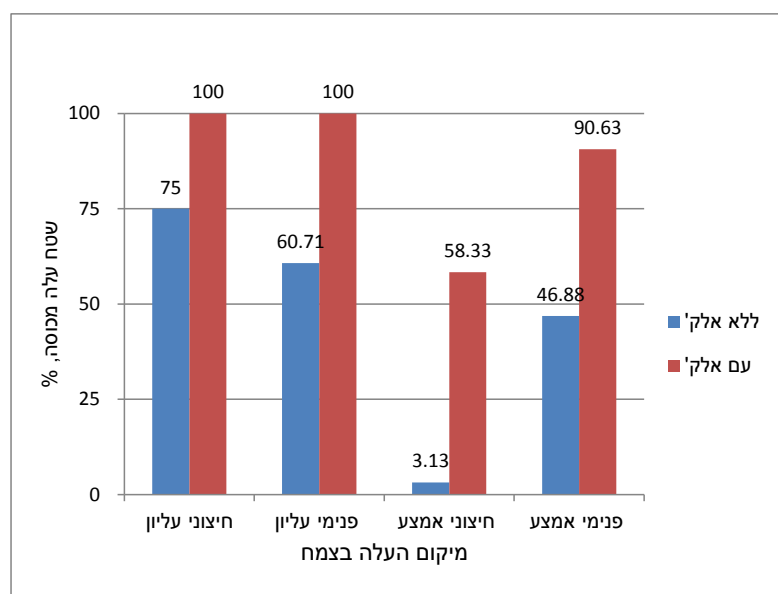
טבלה 3 – צפיפות הטיפות לסמ"ר בצד האחורי של אשכול ענבים עבור ריסוס עם טעינה חשמלית.

Cluster	Grape I	Grape II	Grape III	Average	SD
7	200	110	70	127	
8	200	100	200	167	
9	390	290	260	313	
10	140	120	110	123	
11	180	230	200	203	
12	130	160	290	193	
Total				188	69.8

טבלה 4 - צפיפות הטיפות בסמ"ר על הצד התחתון של עלה צמח הגפן כאשר הריסוס מבוצע תחילה ללא טעינה חשמלית ואחר כך עם טעינה חשמלית.

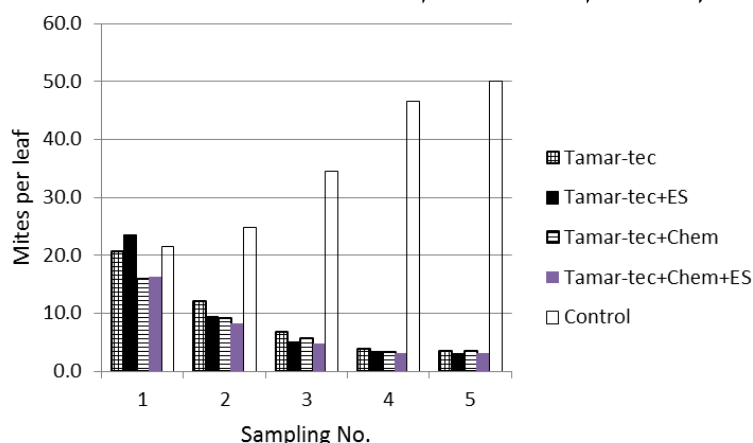
Treatment	Droplets density, No./cm ²	SD
Uncharged	116	92
Charged	247	98.2
Improvement ratio	2.1	

בחינת יעילות הכיסוי בחממת עגבניות - תוצאות הניסויים לבחינת יעילות הכיסוי בטעינה א"ס בחממת עגבניות מוצגות בציור 8. בניסוי עם הטעינה כל שטח העלה היה מכוסה בחלקים הצמח העליונים, הן בפנימי והן בחיצוני. הכיסוי ללא טעינה בחלקי צמח אלה היה חלקי. באמצע גובה הצמח לא השיג הריסוס הא"ס כיסוי מלא של כל שטחי העלה אבל הריסוס ללא טעינה השיג כיסוי נמוך בהרבה.



ציור 8 – השוואת הכיסוי של צמחי עבניה בחממה עם טעינה אלקטרוסטטית וללא טעינה.

ניסוי הדברה בחממת מלפפון - תוצאות הניסוי של הדברת אקרית אדומה בחממת מלפפון בחומר הדברה בעל רעילות נמוכה, באמצעות מרסס צ'יקו שעליו הותקנה מערכת טעינה אלקטרוסטטית, מוצגות בציור 9. לא נמצאה פיטוטוקסיות בכל צמחי המלפפון שטופלו. התוצאות בציור 9 מראות שבתקופת הניסוי עלתה האוכלוסיה בבקורת מ- 21 ל- 50 אקריות בממוצע לעלה. כמוכן מראה ציור זה כי הריסוס האלקטרוסטטי גרם לירידה חזקה מאד באוכלוסיית המזיקים כבר בימים הראשונים, אך רק לאחר כמה יישומים הושגה הדברה טובה בריסוס הרגיל: לאחר מרווח היישום הראשון מספר האקריות לעלה ביישום של תמר-טק ירד ל- 12 בריסוס ללא טעינה ול- 9 בריסוס עם טעינה. בהמשך ירד במקצת ההפרש בין הריסוס עם טעינה לזה שבלעדיה.

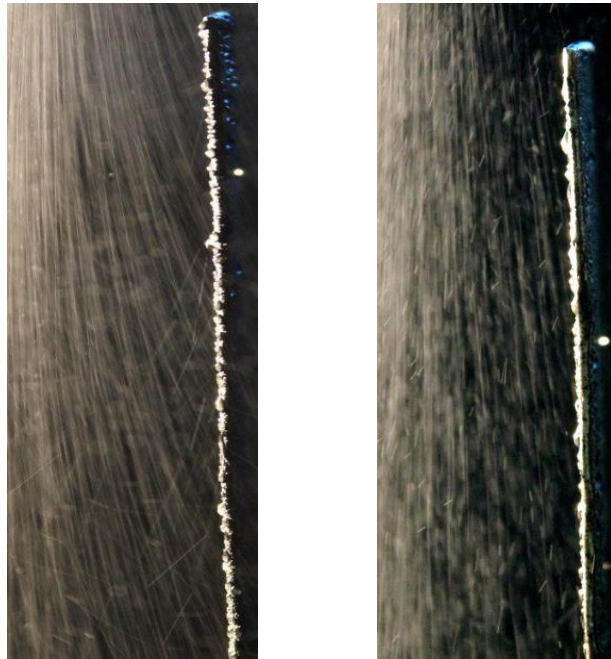


ציור 9 – תוצאות הדברה של אקרית אדומה בחממת מלפפון באמצעות מרסס צ'יקו שעליו הותקנה מערכת לטעינה א"ס.

כאשר חומר הריסוס יעיל מאד וגורם לירידה חדה באוכלוסיה בכל שיטת ריסוס ההבדלים בין שיטות הריסוס קשים להמחשה. לכן, בדומה לדווחים מהספרות, כדי להמחיש הבדלים בין שיטות ריסוס צריך יהיה בהמשך להשתמש בחומר ריסוס או בכמות חומר פעיל המשיגים יעילות הדברה גבולית ואז יומחש ההבדל בין היישום עם טעינה לזה בלעדיה באופן ברור יותר.

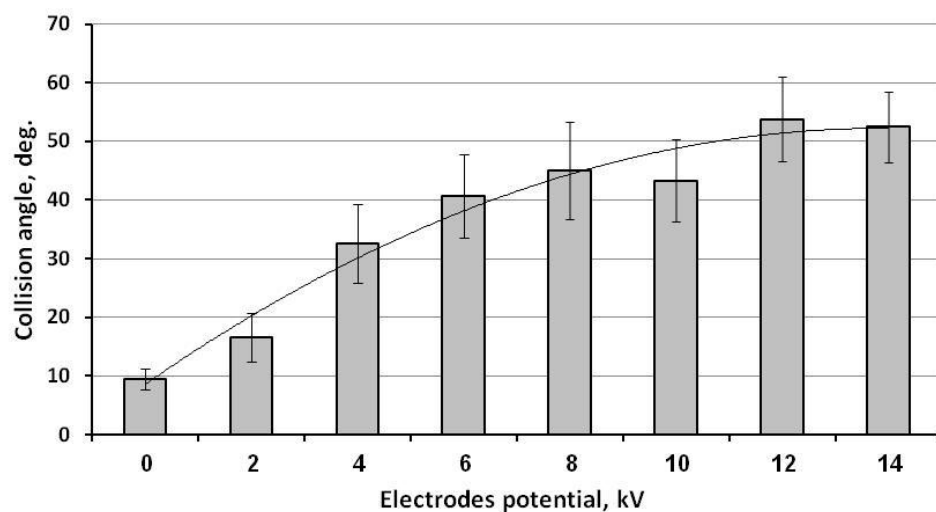
ג. בחינת זווית הפגיעה של הטיפה במטרה והשפעתה על שיפור ההרבעה

בהתאם להנחות שהוצגו לעיל בעת הכנת מערך הניסוי נמדדו זוויות הפגיעה של הטיפות בלוח מתוך הצילומים. צילומים המראים את השפעת הטעינה על זווית הפגיעה של טיפה במשטח מוצגים בציור 10. תוצאות הניסויים לבחינת השפעת הפוטנציאל על זווית הפגיעה של הטיפה במשטח קשיח מוצגות בציור 11. נראה כי לפוטנציאל השפעה חזקה על זווית הפגיעה ומעבר לכך נראה שהכוחות הא"ס משפיעים לכל אורך המסלול ויוצרים זווית פגיעה גבוהה במשטח, כך שברגע האימפקט משפיעה בעיקר זווית הפגיעה בעוד שלכוחות הא"ס השפעה מעטה במשך הזמן הקצר בו מתרחש האימפקט.



ציור 10 - זוויות הפגיעה של טיפות במשטח עבור טיפות לא טעונות (מימין) וטיפות טעונות (משמאל).

ממצא זה מבהיר במקצת את מנגנון הפעולה של הטעינה האלקטרוסטטית. כלומר, משך הפעולה של הכוחות האלקטרוסטטיים הוא ארוך בהרבה ממשך האימפקט וממשך פעולת הכוחות בעת האימפקט. מכאן שהפחתת מספר הטיפות המנתרות אחרי האימפקט עקב הטעינה נובע בעיקר מהכוחות שהפעיל השדה הא"ס לפני האימפקט ולא מאלו שהפעיל בזמן המגע.



ציור 11 - השפעת הפוטנציאל על זווית הפגיעה של הטיפה במשטח קשיח.

ד. התאמת כלים שיפור אמינות ופיתוח טכנולוגיה לנטרול מגע תדיר של הצמח באלקטרודה כמענה לתופעה שנתגלתה בעת הניסויים במערכת לריסוס אלקטרוסטטי בטווחים קרובים - מגע בקצב גבוה של הענפים באלקטרודה ירידה בפוטנציאל האלקטרודה וברמת הטעינה של התרסיס - פותחה טכנולוגיה לנטרול מגע הצמח באלקטרודה. ניסויי המעבדה הראו שהלבשת שרוול

מחומר פלסטי מבודד על האלקטרודות יכולה לתת תוצאות טובות (ציור 12). בניסויי שדה נמצא שאם מקפידים על הרבצת סילוני אוויר מהירים על האלקטרודות, בהתאם לפרוטוקול המומלץ ממילא בפיתוחים לעיל, נשמרת רמת יובש גבוהה באזור האלקטרודות והשרוול מהחומר הפלסטי המותקן על כל האלקטרודות אינו פוגע ברמת ההשראה של האלקטרודות ומונע ירידה של פוטנציאל האלקטרודה וירידה ברמת הטעינה בעת מגע של עלים וענפי צמח, המהווים מוליך, בחומר הבידוד המצפה את האלקטרודה.



ציור 12 – אלקטרודה עטופה בשרוול שקוף של חומר פלסטי מבודד.

תוצאות בחינת אמינות הכלי והתאמת הרוחב של מערכת הריסוס עם טעינה אלקטרוסטטית הראו כי מערכת הריסוס הצרה (ציור 13) משיגה הרבצה דומה לזו שהושגה במערכת הרחבה. מאידך האלקטרודות במערכת הצרה מוקמו ברוחב בו מוקמו הפומיות במרסס הסטנדרטי ולכן האלקטרודות לא היו חשופות לנזק יותר מהפומיות במרסס הסטנדרטי. ואילו השיפור בהרבצה בעת הטעינה האלקטרוסטטית היה בכלי הצר כמו השיפור שנמצא בניסויים שהוזכרו לעיל במרסס הסטנדרטי.



ציור 13 – מראה כללי של מערכת הריסוס הצרה עם המערכת לטעינה אלקטרוסטטית.

ניסויים לטעינת חומרי הדברה בתוארית של אבקה

ניסויי מעבדה של טעינה א"ס של אבקה הראו שיפור של מאות אחוזים בהדבקת אבקה על מטרה צמחית כאשר בוצעה טעינה א"ס. אולם, בגלל שאחוז האבקה הנדבקת ללא טעינה הוא נמוך היישום המסחרי כיום של חומרי הדברה בתוארית של אבקה, מבוצע בגידולים מועטים מאד. זאת, גם במקרים בהם יש יתרון יחסי לתוארית (פורמולציה) בצורת אבקה. לכן, הפיתוח של טכנולוגיה זו בעבודה הנוכחית נתקל בקשיים. יש להמשיך ולפתח את טכנולוגיות היישום הא"ס של אבקות כדי לאפשר שימוש בחומרי הדברה בתוארית כזו.

6. דיון

כדי להציג את המשתנה התלוי, במקרה זה הזרם החשמלי כפונקציה של המשתנים הבלתי תלויים נבחנו השפעת המרווח בין האלקטרודות לפומית, h , (ציור 5) ונמצא שבקרבת מרווח של 19 מ"מ השתנות הזרם מועטה עבור השינוי במשתנה זה. בהתאם לכך ניתן היה להציג את השתנות הזרם כפונקציה של המתח על האלקטרודות, המרווח בין האלקטרודות ומהירות הרוח (טבלה 1 וציור 5). טבלה 1 וציור 5 מראים שעל מנת להשיג עליה בזרם יש להעלות בצורה מתואמת את המתח ואת מהירות האוויר עד למגבלה של מהירות האוויר שמספקת המערכת. במהירות גבוהה יותר גורם סילון האוויר התזה המונעת מדידה מדויקת באמצעות מערכת המדידה. במהירויות אוויר מקובלות במוצא של מרססים עם ריסוס נישא אוויר הנעות בין 30 ל- 60 מ' לש' - הזרם שניתן להקנות לפומית הוא עד 14 מיקרו אמפר. בתנאים אופטימליים הושג גם זרם של 15 מיקרו אמפר. עבור ספיקה של 0.45 ליטר לדקה (0.45/60 ליטר לשניה) מתקבלת טעינה של 1.8 מיליקולון לק"ג. פומיות מקובלות כמו TeeJet XR8001 (80 Degrees) או Albus APE80 צהובה נמצאו מתאימות ביותר עד כה להרבצה משולבת הכוללת ריסוס נישא אוויר וטעינה אלקטרוסטטית. בערכי הטעינה שהודגמו בעבודה זו הושג שיפור משמעותי בכמות הנוזל המורבץ ובצפיפות הטיפות על נירות רגישים למים שהוצבו בעורף של צילינדר בקוטר 5 ס"מ.

הטעינה האלקטרוסטטית של תרסיס נישא אוויר המופק בפומיות הידראוליות מקובלות שפותחה במחקר הנוכחי השיגה בניסויי מעבדה עם פומית מניפה מסוג Teejet XR8001 80 מעלות ערכי טעינה גבוהים של 1.8 מילי קולון לק"ג, בתנאי לחץ ריסוס כמקובל. ערכים אלה מהווים שיפור משמעותי לעומת ערכים שהושגו בעבודות קודמות. נראה כי לפוטנציאל השפעה חזקה על זווית הפגיעה ומעבר לכך נראה שהכוחות הא"ס משפיעים לאורך המסלול ויוצרים זווית פגיעה גבוהה במשטח, כך שברגע האימפקט משפיעה בעיקר זווית הפגיעה. דבר זה מבהיר במקצת את מנגנון הפעולה של הטעינה האלקטרוסטטית.

בניסויי המעבדה נמצא שהתקנת פומית בסמוך לפומית קימת מפחיתה את רמת הטעינה. נמצא שמרחק של כ- 100 מ"מ ומעלה בין קצות הפומיות גורם לפחיתה מתונה יחסית ברמת הטעינה. פרמטרים נוספים כמו ספיקות שונות, לחצי עבודה, פומיות שונות במרססים של יצרנים שונים ושינויים גאומטרים קטנים במוצא הפומית נבחנו כדי להשיג שיפור ברמות הטעינה ורמות ההרבצה.

המרסס הראשון שהותאמה לו טעינה א"ס היה מרסס כרם. ריסוס עם חומר פלורסצנטי על אשכולות הראו כי על שטח האשכול הפונה אל המרסס (מכונה הצד הקדמי של האשכול) מורבצת

כמות גדולה של תרסיס, בגלל שהתרסיס מגיע אליו ומכה בו תוך תנועה ישירה בכוונו. מאידך, על השטחים האחוריים של האשכול הורבץ בדרך כלל מעט תרסיס. כדי להדביר מזיקים בשטחים אלה מגביר בדרך כלל המגדל את המינונים, כך שלמעשה שטחים אלה מכתיבים כמות נדרשת גדולה של התרסיס. גם הצד התחתון של העלים נחשב לשטח קשה להשגת הרבצה אחידה. לפיכך נבחן השיפור בעבודה הנוכחית בשטחים אלה. ואכן, הניסויים הראו כי טעינת תרסיס מגבירה את כמות הטיפות המורבצות בשעור של פי חמשה בצד האחורי של האשכולות ובשעור של פי שניים בצד התחתון של עלה הגפן. כלומר, בניסויי ריסוס עם חומר פלורוצנטי שבוצעו בכרם הטעינה הביאה שיפור של מאות אחוזים בכמות התרסיס ובאחידות הפיזור על שטחים הקשים להרבצה, לעומת ריסוס ללא טעינה אלקטרוסטטית.

המרסס השני שהותאמה לו טעינה א"ס היה מרסס לחממת עגבניות וחממת מלפפון. בחממת עגבניות נערכו ניסויי כיסוי עם חומר פלורוצנטי בדומה לניסוי בכרם. נמצא שהטעינה הא"ס משפרת מאוד את הכיסוי בחלקים קשים להרבצה.

ניסויי ההדברה בחממת מלפפון הראו שכאשר חומר הריסוס יעיל מאוד וגורם לירידה חדה באוכלוסייה בכל שיטת ריסוס ההבדלים בין שיטות הריסוס אינם גדולים וקשה להמחיש את היתרון של הריסוס הא"ס. לכן, בדומה לדווחים מהספרות, כדי להמחיש הבדלים בין שיטות ריסוס צריך יהיה בהמשך להשתמש בחומר ריסוס או בכמות חומר פעיל המשיגים יעילות הדברה גבולית ואז יומחש ההבדל בין היישום עם טעינה לזה בלעדיה באופן ברור יותר.

נמצא כי לפוטנציאל השפעה חזקה על זווית הפגיעה ומעבר לכך נראה שהכוחות הא"ס משפיעים במשך זמן ארוך לכל אורך המסלול ויוצרים זווית פגיעה גבוהה במשטח, כך שברגע האימפקט משפיעה בעיקר זווית הפגיעה בעוד שלכוחות הא"ס השפעה מעטה במשך הזמן הקצר בו מתרחש האימפקט.

פותחה טכנולוגיה לנטרול מגע הצמח באלקטרודה כמענה לבעיית המגע ולירידה ברמת הטעינה בנוף סבוך. שיפור באמינות הושג על ידי התאמת רוחב המערכת וביצועיה לגידול הספציפי.

החברה המסחרית שעל מרסס הכרם ומרסס החממה שלה הותקנו מערכות פשוטות לטעינה א"ס הגישה מכתב בקשה להתקשרות חוזית. מאחר ובניסויים לעיל הומחש השיפור המושג ע"י ריסוס אלקטרוסטטי, חשוב בהמשך להחדיר את הטכנולוגיה לשימוש מסחרי באמצעות מחקר הנתמך בגורמים מסחריים.

7. סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה :
המטרה העיקרית של המחקר הנוכחי הינה הפחתה משמעותית של עבודת אדם בריסוס ירקות ופירות ע"י דחיקת השימוש במרססים ידניים שתגרם בגלל העליונות באחידות הכיסוי של המרססים הממוכנים. מטרות המשנה הן: א. שיפור הטכנולוגיה של ריסוס נישא-אוויר, ב. שיפור רמת הכיסוי והאחידות באמצעות טעינה א"ס תוך שימוש בפומיות סטנדרטיות, ג. שיפור ההרבצה של אבקות ע"י טעינה א"ס והדבקה צמיגותית, ד. שיפור בטיחות ותנאי עבודת הרסס.
עיקרי הניסויים וההוצאות :
בשנה הראשונה הושגה התקדמות המצאתית ופיתוח טכנולוגיה של טעינה א"ס ברמות גבוהות של תרסיס המופק

בפומיות קרמיות הידראוליות זולות ואמינות המקובלות בשימוש ע"י מרבית החקלאים. בניסויי מעבדה נמצאו גאומטריות אופטימאליות להשגת טעינה ברמות גבוהות ונמצא שהגברת מהירות סילון האוויר העוטף את סילון הנוזל מאפשרת הגברה משמעותית של רמת הטעינה עד כדי שיפור של מאות אחוזים לעומת טעינה שהושגה עד עתה. ערכי הטעינה שהושגו הגיעו לכ- 1.8 מיליקולון לק"ג. הושם דגש על טעינה בריסוס קצר-טווח מאחר ונמצא בניסויים שטעינת התרסיס הנישא בסילון לטווח רחוק מביאה שיפור קטן יותר. בשנה השניה פותח דגם של מרסס לכרם ובניסויים סימולטיביים עם ניירות רגישים למים נמצא שהטעינה הביאה לשיפור של מאות אחוזים בצפיפות הטיפות שהורבצו על שטחים הקשים להרבצה לעומת ריסוס ללא טעינה אלקטרוסטטית. בניסוי שדה עם חומר פלורסצנטי הביאה הטעינה הא"ס לשיפור של פי 5 בצפיפות הטיפות המורבצות על הצד האחורי של אשכולות ענבים ופי שתיים על הצד התחתון של העלה.

בשנה השלישית פותח מרסס לחממת עגבניות ומלפפון ובניסויי שדה עם חומר פלורסצנטי הושג שיפור של מאות אחוזים בהרבצה בניסויים בחממת עגבניות. בניסויי הדברה בחממת מלפפון הביאה הטעינה לשיפור בהדברה עם חומר בעל רעילות נמוכה, אבל יש להמשיך בניסויים להוכחת השיפור וכן להמשיך בתהליכי היישום המסחרי. בשנה הרביעית הועמקה החקירה המעבדתית כדי לאפשר שיפור בהרבצה ובאמינות המערכת בתנאים קשים ובמקביל בוצעו התאמות ופיתוח ויושמו שיטות חדשות לשיפור ביצועי המערכת. פותחה טכנולוגיה לנטרול מגע הצמח באלקטרודה כמענה לבעיית המגע ולירידה ברמת הטעינה בנוף סבוך.

מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?

במסגרת פיתוח טכנולוגיה חדשנית של טעינה א"ס ברמות גבוהות של תרסיס המופק בפומיות קרמיות הידראוליות מקובלות אותרו גאומטריות המשיגות טעינה ברמות גבוהות. נמצא שהגברת מהירות סילון האוויר העוטף את סילון הנוזל מאפשרת הגברה של מאות אחוזים ברמת הטעינה. הושגה טעינה בערכים גבוהים של כ- 1.8 מיליקולון לק"ג. טעינה זו גבוהה במאות אחוזים מהמדווח בספרות לגבי טעינת תרסיס המופק בפומיות קובנציונליות. טעינה אלקטרוסטטית בטווחים קרובים מביאה לשיפור רב יותר מזו שמביאה הטעינה בטווחים רחוקים. נמצאו גאומטריות המתאימות לטעינה גבוהה של התרסיס במרסס כרם ובמרסס לחממת עגבניות ומלפפון. נמצא שהתקנת פומיות בסמיכות אחת לרעותה מפחיתה את רמת הטעינה ובהתאם לכך נמצא שמרחק של כ- 100 מ"מ ומעלה בין מרכזי הפומיות גורם לפחיתה מתונה יחסית ברמת הטעינה. פותחה טכנולוגיה לנטרול המגע בין הצמח לאלקטרודה כמענה לבעיה שעלתה בעת הניסויים. הטכנולוגיה שפותחה לשיפור רמת ההרבצה וההדברה ע"י טעינה א"ס במרססים ממוכנים הראתה שיפור גדול וכן הוכחה היכולת ליישם אותה. דבר זה מאפשר דחיקה של השימוש במרססים ידניים והרחבת השימוש במרססים ממוכנים משופרים. פתוח הטכנולוגיה ליישום א"ס של אבקות לא נסתייע, למרות שניסויי מעבדה הראו היתכנות טובה, בעיקר בגלל מיעוט השימוש בתואריות אלה ע"י המגדלים.

בעיות שונות לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנותרה לביצוע תוכנית המחקר?

חרף הקושי בהשגת כיסוי טוב בטווחים בינוניים ורחוקים כדאי וניתן לשפר את הכיסוי בטווחים אלה באמצעות טעינה א"ס. יש להמשיך ביישום המסחרי של הטכנולוגיה לריסוס א"ס בפומיות קובנציונליות בקונפיגורציות שהראו הצלחה.

הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח (פרסומים):

Gan-Mor, S., B. Ronen, K. Ohaliav (2014). The effect of air velocity and proximity on charging of spray from conventional hydraulic nozzles. *Biosystems Engineering*. 121: 200–208.

פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח : (סמן אחת מהאופציות)
לפרסם <
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? לא מאחר ויש להמשיך במחקר וביישום בשיתוף חברה מסחרית.

8. ספרות :

- Abuku, M., B. Blocken, J. Poesen, S. Roels (2009). Spreading, splashing and bouncing of wind-driven raindrops on building facades. 11th Americas Conference on Wind Engineering, San Juan, Puerto Rico.
- Gan-Mor, S., B. Ronen, K. Ohaliav, (2012). The effect of air velocity and proximity on charging of spray from conventional nozzles. (Still in review).
- Gan-Mor, S., B. Ronen, K. Ohaliav (2013). Improving collision angle during electrostatic spraying and enhancement of deposition uniformity. *2013 ASABE International Meeting*, Kansas City, Missouri, USA.
- Gan-Mor, S., B. Ronen and K. Ohaliav (2010). Development of high level electrostatic charging air assisted sprayer utilizing conventional pressure nozzles. ISBN 13:978-2-85362-684-2. *AgEng 2010 International Conf. on Ag. Eng.*, Clermont-Ferrand, France.