

דו"ח לתכנית מחקר מס' 20-07-0010

שנת המחקר : דו"ח מסכם

פיתוח שיטה ומיכון לטיפול בגרעיני אבטיחים בתהליך הייבוש בשדה

## Development of methods and machinery for drying watermelon seeds

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות – שיפור רווחיות החקלאים  
ע"י

יוסי קשתי	–	הנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי
אשר לוי	–	הנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי
ליעד רשף	–	הנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי
אהליאב קיסר	–	הנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי
פרהד גאולה	–	הנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי

Yossi Kashti, Institute of Agricultural Engineering, Agricultural Research rganization (A.R.O.). The Volcani Centre. P.O.Box 15159, Rishon Le-Zion 7505101, Email: [ykashti@agri.gov.il](mailto:ykashti@agri.gov.il)

Asher Levi, , Institute of Agricultural Engineering, Agricultural Research rganization (A.R.O.). The Volcani Centre. P.O.Box 15159, Rishon Le-Zion 7505101, Email: [asherl@agri.gov.il](mailto:asherl@agri.gov.il)

Liad Reshef, Institute of Agricultural Engineering, Agricultural Research rganization (A.R.O.). The Volcani Centre. P.O.Box 15159, Rishon Le-Zion 7505101, Email: [liad@agri.gov.il](mailto:liad@agri.gov.il)

Ohaliav Keisar, Institute of Agricultural Engineering, Agricultural Research rganization (A.R.O.). The Volcani Centre. P.O.Box 15159, Rishon Le-Zion 7505101, Email: [ohaliav@agri.gov.il](mailto:ohaliav@agri.gov.il)

Farhad Geoola, Institute of Agricultural Engineering, Agricultural Research rganization (A.R.O.). The Volcani Centre. P.O.Box 15159, Rishon Le-Zion 7505101, Email: [fgeoola@agri.gov.il](mailto:fgeoola@agri.gov.il)

### תקציר

**הצגת הבעיה** - גידול אבטיח לייצור גרעינים למאכל נחשב לאחד מגידולי הקיץ העיקריים בענף הפלחה בארץ שאינו קיים במדינות אחרות בעולם למעט בחלק ממדינות ערב. בארץ מגדלים את הזן "מלל" שמאופיין בגודל קטן ובהרבה גרעינים ומים. היקף הגידול מגיע לכדי 80 אלף דונמים שמניבים כ- 30 ו- 100 ק"ג גרעינים לדונם בגידול בעל ושלחין בהתאמה. הגידול ממוכן ברובו למעט תהליכי הייבוש והאיסוף בשדה של הגרעינים היבשים שמושתתים עדיין על עבודות כפיים. קומביין אבטיחים חדש אוסף כ- 15 טון גרעינים רטובים ביום שנפרסים לייבוש על פני כ- 4 דונם רשתות בקירוב, שמהן נאספים אחרי יומיים כ- 6 טון גרעינים יבשים. לכל קומביין מוקצים באתר הייבוש 5 עובדים כולל מפעיל מלגזה או טרקטור.

מטרת המחקר היא לפתח שיטה ומיכון לטיפול בגרעיני אבטיחים בשדה בתהליך הייבוש בשמש ולאיסופם בסיומו, כתחליף לעבודות הידיים.

**שיטות העבודה** – בשנת המחקר הראשונה נבחנו יתרונותיהם וחסרונותיה של שני סוגי אתרי ייבוש גרעיני אבטיחים, ארעי וקבוע. באתר ארעי, רשת 60% צל שמונחת על הקרקע משמשת תשתית שעליה מייבשים את הגרעינים. כל פעולות הייבוש – פיזור, ערבוב ואיסוף נעשות בידיים. בשנה זו פותחה ונבנתה מכונת הברשה אב טיפוס דור 1 שמבוססת על מברשת עגולה עם ציר אופקי לבדיקת היתכנות ביצוע הפעולות במכונה על גבי תשתית רשת. תשתיות שונות וביצועי המכונה נבחנו בכל הפעולות בהשוואה לביצוען בידיים בתצפיות וניסויי שדה באתר ייבוש מסחרי. בניסויים נערכו חקרי עבודה, ניטור קצב ייבוש הגרעינים והוערכו עלויות.

בשנת המחקר השנייה תוכננה ונבנתה מכונת אב טיפוס דור 2 משופרת שכללה מכלולים מכאניים נוספים ואוטומציה לשיפור תפקודה ונוחות הפעלתה. המכונה נבחנה בבדיקות הרצה ואומתה לתכנון.

בשנת המחקר השלישית, אב הטיפוס דור 2 נבחן בכל הפעולות על תשתית רשתות צל מעוגנות לקרקע. בנוסף, פיזור הגרעינים הרטובים נבחן בשיטה נוספת. איסוף הגרעינים היבשים נבחן בטכנולוגיית איסוף ישיר מהרשת בשאיבה בעזרת נחיר ובטכנולוגיית איסוף מהרשת בגלגול ושאיבה. תצפיות וניסויי שדה איכותיים וכמותיים בוצעו באתר ייבוש מסחרי. פעולות הפיזור, הערבוב והאיסוף נבדקו בחקרי עבודה ונערכו חישובי תפוקות ועלויות.

**תוצאות עיקריות** – בשנת המחקר הראשונה הוסק שיש לפתח את השיטה והמיכון עבור אתר ייבוש ארעי. מכונת הברשה אב טיפוס דור 1 שמבוססת על מברשת עגולה עם ציר אופקי תוכננה ונבנתה. מברשת עגולה עם סיבי פוליפרופילן רכים נמצאה מתאימה לביצוע העבודה. נמצאה היתכנות טובה לביצוע כל הפעולות במכונת הברשה. נמצא שיש צורך למתוח ולעגן את הרשתות לקרקע. בשנת המחקר השנייה נבנתה מכונת הברשה משופרת אב טיפוס דור 2 עם מערכות מכאניות ואוטומציה נוספות. בבדיקות הרצה אחרי הייצור נמצא שהמכונה מתאימה לתכנון ועומדת בדרישות.

בשנת המחקר השלישית, מכונת אב הטיפוס דור 2 אומתה ואושרה בניסויי שדה ובהפעלה מסחרית לביצוע פעולות הערבוב בפרט על תשתית ייבוש שעשויה מקטעי רשתות צל שנמתחו ועוגנו לקרקע ביתדות. המכונה לא גורמת לפחת גרעינים. מהירות עבודת הערבוב למ"ר רשת במכונה נמצאה גבוהה פי 8 מערבוב בעבודת ידיים. המשאית הרכינה הצליחה לפזר את הגרעינים הרטובים על כל רוחב הרשת בנסיעת הלוך ושוב תוך כדי תיאום מהירות הנסיעה לספיקת הגרעינים במוצא המכל. קצב הפיזור היה גבוה פי 4 בקירוב מעבודת הידיים. ניסוי שאיבת הגרעינים הישיר מהרשת באמצעות הנחיר נכשל. מערכת איסוף משולבת גלגול ושאיבה נמצאה מתאימה לאיסוף של גרעיני אבטיחים מרשתות צל. תפוקת המערכת הייתה גבוהה פי 2 בקירוב מאיסוף בידיים. נמצא שמשך הייבוש וקצב הייבוש של הגרעינים בערבוב במכונה ובידיים דומה.

**מסקנות והמלצות** – פותחה שיטה ממוכנת לייבוש גרעיני אבטיחים באתר ייבוש ארעי שבנוי מרשתות 60% צל שמונחות בטורים על הקרקע. הרשתות צריכות להיות מתוחות ומעוגנות לקרקע ביתדות. השיטה כוללת סדרת פעולות ממוכנות של פיזור, ערבוב ואיסוף ונתמכת ע"י מספר עובדים קטן יחסית. את פעולת פיזור הגרעינים שמגיעים מהשדה ניתן לעשות בעזרת משאית רכינה, על פני כל רוחב הרשתות, בנסיעת הלוך ושוב, תוך כדי תיאום מהירות הנסיעה לספיקת הגרעינים במוצא המכל. את פעולת הערבוב ניתן לעשות במכונת הברשה בעלת מברשת עגולה עם ציר אופקי שעשויה

מסיבי פוליפרופילן רכים. את פעולת האיסוף ניתן לבצע בעזרת מערכת משולבת לגולל ושאיבה לאיסוף גרעינים מרשתות שתותאם לממדי הרשתות שמשמשות לייבוש גרעיני אבטיחים. זמן הייבוש וקצב הייבוש בערבוב בידיים ובמכונה היה דומה.

## מבוא

גידול אבטיח לייצור גרעינים למאכל נחשב לאחד מגידולי הקיץ העיקריים בענף הפלחה בארץ שאינו קיים במדינות אחרות בעולם, למעט בחלק ממדינות ערב בהן צורכים מעט גרעינים לפיצוח ביחס לישראל, <https://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-4247776,00.html>. בארץ מגדלים את הזן "מללי" שפותח במקשת אבטיחים בכפר מ"ל. האבטיח מהזן הזה הוא פרי קטן יחסית שמכיל גרעינים רבים וגדולים במיוחד ומים בשיעור שעולה על 90%. שטחי הגידול מצויים בדרום ובצפון הארץ: באזור קריית גת ואשקלון, בעמק יזרעאל המזרחי והמערבי, בגליל המערבי באזור עכו ובגליל העליון בסביבות החולה. גודל שטחי הגידול בתקופת הפריחה של הענף הגיע לכדי 80 אלף דונמים שהניבו כ- 30 ק"ג גרעינים לדונם בגידול בעל ו- 100 ק"ג גרעינים לדונם בקירוב בגידול שלחין. הסיבות להתרחבות הגידול היו: עונת גידול קצרה, צריכת מים נמוכה, התאמה למחזור זרעים, הכנסה סבירה ביחס להשקעה והעובדה שהגידול ממוכן, למעט תהליכי הייבוש והאיסוף בשדה של הגרעינים היבשים שמושתתים עדיין על עבודות כפיים.

בשיטה בה מפיקים היום גרעיני אבטיחים למאכל, מרכזים תחילה את האבטיחים באומן בעזרת מגוב ייעודי. לאחר מכן קומביין ייעודי אוסף אותם מהאומן, דש אותם, מפיק מהם את הגרעינים ומאחסן אותם במכלו העצמי יחד עם נוזלים חופשיים ביחס משקלי שווה לערך. כשמכל הקומביין מלא תכולתו מרוקנת למכל רמסע תורן שנמצא בפאתי השדה. משאית רכינה מרימה את המכל ומשנעת אותו לאתר ייבוש אזורי שנמצא בטווח של עד 30 ק"מ. האתר שהוכן מבעוד מועד נוקה מעשבים בעזרת דיסקוס ויושר בארגז מחליק ומעגלה. על פני השטח המיושרים יחסית פורסים ומותחים בידיים רשתות 60% צל במידות של 20x8 מ' שמונחות בטורים שאורכם כ- 120 מטר והמרווח ביניהם כ- 1 מ'. בשולי הרשתות, לאורך ולרוחב, מניחים אבנים ורגבים גדולים כדי להצמידן לקרקע. המשאית העמוסה בגרעינים ונוזלים נוסעת במרכזו של טור רשתות ומפזרת את הגרעינים בפס שרוחבו כ- 3.5 מטר ועוביו אחיד יחסית כ- 5 ס"מ. מהשלב הזה והלאה, פועלים מפזרים את הגרעינים לרוחב הרשתות בעזרת מגבי עץ מאולתרים, ומערבבים אותם שתי וערב, לסירוגין, כ- 7 פעמים ביום עד שיתייבשו. תהליך הייבוש בשמש של גרעיני אבטיחים נמשך על פני כיומיים כתלות במזג האוויר. כשהגרעינים יבשים הפועלים מרכזים אותם באומן לאורך הרשתות ומעבירים אותם מהרשת ליריעת שמשונית מיוחדת, מרובעת עם לולאות בפינותיה, ע"י הרמת שולי הרשת וגלגול הגרעינים לפנים. מלגזת שדה אוחזת בלולאות שביריעה ומרימה אותה מעל לפתחו של שק ענק. פתח הריקון שבמרכז היריעה נפתח והגרעינים היבשים מועברים אל השק, איור 1. השקים המלאים מוסעים לאחסון בסככות ובכך תם תהליך ההפקה של גרעיני אבטיחים לפיצוח בשדה שנמשך על פני חודש וחצי בקירוב.



איור 1. פעולות ייבוש גרעיני אבטיחים שנעשות בידיים – (1) פיזור (2) ערבוב (3) ריכוז (4) איסוף

קומביין אבטיחים חדש פועל בתפוקה של כ- 15 טון גרעינים רטובים ביום שנפרסים לייבוש על פני כ- 25 רשתות ב- 3 טורים, בשטח של 4 דונם בקירוב, שמהן נאספים אחרי יומיים כ- 6 טון גרעינים יבשים. לכל קומביין מוקצים כ- 5 עובדי ייבוש כולל מפעיל מלגזה או טרקטור. מטרת המחקר הייתה לפתח שיטה ומיכון לטיפול בגרעיני אבטיחים בשדה בתהליך הייבוש בשמש ולאיסופם בסיומו, כתחליף לעבודות הידיים.

### פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר

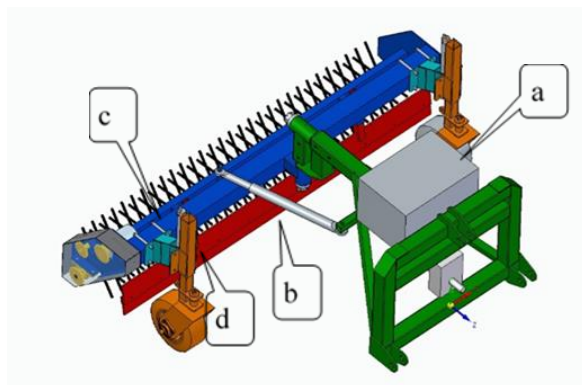
#### שיטות וחומרים

בראשית שנת המחקר הראשונה מבנה אתר לייבוש גרעיני אבטיחים נדון בשיתוף עם מפעלי אתרים ונסקרו יתרונותיהם וחסרונותיהם של שני מודלים שונים של אתרי ייבוש, קבוע וארעי. המסקנה שעלתה מהדיון הייתה שצריך לפתח שיטה ואמצעים מכאניים ליעול עבודת הייבוש באתרים ארעיים ניידים ועל גבי רשתות צל מסיבות כלכליות ותפעוליות. לפיכך פותחה מכונת הברשה, אב טיפוס דור 1, איור 2. המכונה מבוססת על מברשת טאטוא עגולה בעלת ציר אופקי ומותאמת להפעלה ע"י טרקטור בעל הספק קטן יחסית ברתום 3 הנקודות. הנחת העבודה הייתה שעל ידי שינוי של זווית המברשת ביחס לקו ההתקדמות וכיוון מהירות הסיבוב שלה אפשר יהיה לבצע במכונה את כל הפעולות שנעשות בידיים - פיזור, ערבוב וריכוז.

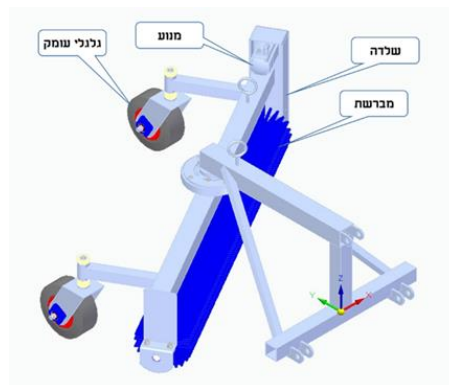
בעונות האסיף של שנת המחקר הראשונה, בקיץ 2017, נערכו תצפיות וניסויי שדה באתר ייבוש מסחרי בגת, בהם נבחנו ביצועי מכונת אב הטיפוס דור 1 עם שני סוגי מברשות ועל גבי שני סוגי משטחי ייבוש מרשתות צל. מברשת אחת הייתה בקוטר 400 מ"מ ובאורך של 2000 מ"מ עם סיבי פוליאטילן קשים בקוטר של 3 מ"מ ובאורך של כ- 160 מ"מ. המברשת השנייה הייתה באותו הקוטר והאורך עם סיבי פוליפרופילן רכים בקוטר של 0.8 מ"מ ובאורך דומה. משטח ייבוש אחד נבנה בשיטה חדשה מרשת אחת ארוכה מעוגנת לקרקע ביתדות. המשטח השני היה רגיל שנבנה מטור של

מספר רשתות קצרות מעוגנות לקרקע ברגבים ואבנים. בניסויים, נמדדו תפוקות המכונה והשפעתה על משך הייבוש של הגרעינים בהשוואה לעבודת הידיים.

בשנת המחקר השנייה תוכנן ונבנה אב טיפוס חדש ומשופר דור 2 של מכונת הברשה, איור 3. אב טיפוס זה צויד במערכות מכאניות ואוטומטיות נוספות כמו מערכת הנעה הידראולית עצמאית (a), בוכנה הידראולית לסבסוב המברשת במצב עמידה ובתנועה (b), בוכנות הידראוליות לכיול גובה המברשת מפני הרשת במצב עמידה ובתנועה (c), מגב גומי להזזה גסה של הגרעינים (d) וקופסת פיקוד חשמלית להפעלת השסתומים הבוררים ההידראוליים המפעילים את מכלולי המכונה מתא המפעיל. הנחת העבודה הייתה שהמערכות הנוספות הללו יטייבו את עבודת המכונה ונוחות התפעול שלה.



איור 3. מודל ממוחשב של מכונת הברשה דור 2



איור 2. מודל ממוחשב של מכונת הברשה דור 1

המכונה נבנתה בבית מלאכה שמתמחה בייצור מכונות חקלאיות לפי תיק תכניות לייצור. לפני ניסויי השדה נערכו למכונה באתר היצרן בדיקות הרצה לאימות ההתאמה לתכנון. אב הטיפוס הופעל בעזרת טרקטור בהספק 80 כ"ס והמשתנים שנמדדו היו טווח מהירויות הסיבוב של המברשת, טווח התנועה הזוויתית של סבסוב המברשת, טווח התנועה האנכי של גלגלי הגובה, טווח ההרמה של המכונה מהקרקע ורמת לחץ השמן במעגל המנוע.

בשנת המחקר השלישית, אשר הורחב לצורך השלמתו, נמשכו עבודות הפיתוח וביצועי מכונת אב הטיפוס דור 2 נבחנו בניסויים ובתצפיות שדה בפעולות פיזור וערבוב שנערכו באתר הייבוש המסחרי סמוך לקיבוץ גת.

פיזור הגרעינים הרטובים על הרשתות נבחן בניסויים עם מכונת הברשה ובשיטה נוספת בה המשאית עצמה מפזרת את הגרעינים על פני כל רוחב הרשת בשני מהלכים, הלך וחזור. השיטה נצפתה בשנת המחקר הקודמת באתר ייבוש אחר ברבדים. בשיטה זו פתח הריקון הקבוע בדלת האחורית של מיכל המשאית מוסב מקבוע למתכוונן בעזרת שרשרת חוליות. גודל הפתח ומהירות התקדמות המשאית קובעים את ספיקת הגרעינים במוצא. בניסוי הפיזור במשאית נמדד זמן הפיזור ומספר העובדים הדרוש לביצוע הפעולה בהשוואה לפיזור בידיים.

ניסוי הערבוב כלל שני טיפולים ב- 3 חזרות. טיפול 1 ערבוב בידיים וטיפול 2 ערבוב במכונה. בניסוי נמדדו תפוקת המכונה וקצב הייבוש של הגרעינים בהשוואה לעבודת הידיים. הניסויים בוצעו על גבי שני סוגי משטחי יבוש ארעיים שנבנו מרשת צל. משטח אחד שימש לניסוי ערבוב במכונה ונבנה מרשת צל אחת באורך כ- 120 מטר שעוגנה לקרקע ביתדות ונמתחה בעזרת גומיות. המשטח השני

שימש לניסוי הערבוב בידיים ונבנה בשיטה הרגילה מקטעי רשתות 20x8 מ' באורך כולל של כ- 120 מטר עם חפיפות של  $\frac{1}{2}$  עד 1 מטר בין שתי רשתות סמוכות. קטעי הרשתות עוגנו לקרקע ביתדות ונמתחו בגומיות (התהליך יושם בכל האתר כלקח שהופק מהשנה הראשונה למחקר). כל קטע רשת עוגן ונמתח בעזרת 6 יתדות וגומיות, 3 יתדות וגומיות מכל צד של הרשת.

בנוסף לניסויי השדה, מכונת אב הטיפוס דור 2 הופעלה בתצפית במשך כל העונה באתר הייבוש בגת, בערבוב גרעינים על גבי רשתות שהונחו בשיטה הרגילה, כדי ללמוד את תנאי ההפעלה המיטביים ואת אופן שילובה במערך הייבוש.

נוסף על כך נבחנו שתי שיטות ממוכנות לאיסוף הגרעינים היבשים מהרשת בשאיבה בהשוואה לשיטת האסיף הידנית הרגילה. ההנחה הייתה שאפשר יהיה לאסוף את הגרעינים היבשים מהרשתות בשאיבה. שיטת איסוף אחת מנצלת את התופעה שבפעולת הערבוב במכונה המברשת מקפיצה את הגרעינים היבשים מפני הרשת. הדבר מאפשר לנסות לשאוב את הגרעינים בעודם באוויר ולהסיע אותם לתוך מיכל (כמו בשואב אבק חובט). כדי לבחון את השיטה תוכנן ונבנה נחיר שאיבה מיוחד שהותאם לנתוני הספיקה של מערכת שאיבה קיימת שמורכבת ממפוח שבצד היניקה שלו קבוע תא להפרדת מוצקים מהאוויר. בתחתית התא יש שסתום פרפר מנועי שדרכו יוצאים הגרעינים ונופלים לתוך מיכל. הנחיר הותקן בשלדת מכונת אב הטיפוס אחרי המברשת באמצעות מחבר עם דרגות חופש שמאפשרות להציב אותו בזוויות שונות ביחס למישור הרשת ובמרחקים שונים ביחס למברשת. הנחיר חובר למערכת השאיבה בעזרת צינור גמיש בקוטר 8 אינץ'. ניסוי שאיבת הגרעינים מהרשתות עם הנחיר נעשה בעזרת 2 טרקטורים שנעו במקביל כאשר אחד נשא והפעיל את מכונת ההברשה והנחיר והשני נשא והפעיל את מערכת השאיבה, איור 4.



איור 4. מערכת השאיבה עם נחיר היניקה בהפעלה בשדה

שיטת האיסוף השנייה מבוססת על כינוס הרשת בגלגול על גבי גליל עם דפנות שרוחבו קטן מרוחב הרשת ושאיבת הגרעינים ממנה. השאיבה נעשית בעזרת צינור יניקה ששואב את הגרעינים מהמקום הצר ביותר שנוצר ברשת המכונסת תוך כדי גלגולה. הצינור חובר לאותה מערכת השאיבה שתוארה לעיל. מערכת הגלגול והשאיבה נישאה והופעלה ע"י טרקטור 80 כ"ס אחד, כאשר מתקן הגלגול מורכב לפניו ומופעל הידראולית, ומערכת השאיבה רתומה מאחוריו ב- 3 הנקודות ומופעלת מכאנית, איור 5. המערכת לשאיבת גרעינים מרשת בשיטת הגלגול והשאיבה בו זמנית פותחה ע"י גד"ש שקמה לאיסוף גרעיני חוחובה מרשתות והושאלה מהם למחקר לצורך בדיקת היתכנות היישום של הטכנולוגיה באיסוף גרעיני אבטיחים מרשתות.



איור 5. מערכת לאיסוף גרעינים בגלגול ושאיבה, מערכת הגלגול לפני הטרקטור והשאיבה מאחוריו

שתי שיטות האסיף הממוכנות נבחנו תחילה בתצפיות שדה. תנאי הפעלת המערכות אופיינו ומידת היתכנות היישום הוערכה איכותית. תנאי ההפעלה שנמדדו היו ספיקת האוויר במערכת השאיבה ומהירות ההתקדמות. בהמשך העבודה, שיטת האיסוף ע"י גלגול אשר עמדה במבחן האיכותני נבחנה בניסוי שדה השוואתי מול שיטת האסיף הידנית המקובלת. בניסויי נמדדו זמני העבודה ומספר העובדים עבור כל שיטה.

### תוצאות ודיון

בשנת המחקר הראשונה נערכו ניסויים בפיזור, ערבוב וריכוז גרעינים על רשת צל במכונת הברשה. נמצא שמברשת עם סיבים רכים מתאימה יותר לביצוע הפעולות על רשתות מפני שהיא הצליחה להזיז את הגרעינים שעליהן מבלי למשוך בהן, איורים 6, 7 ו- 8. לעומתה המברשת עם הסיבים הקשים תפסה ומשכה ברשתות לעיתים תכופות. בנוסף נמצא שהרשתות צריכות להיות מתוחות ומעוגנות לקרקע כדי לבצע את הפעולות בהברשה.



איור 6. המכונה בפעולת פיזור איור 7. המכונה בפעולת ערבוב איור 8. המכונה בפעולת ריכוז

מנתוני זמני העבודה שנמדדו ומספר העובדים חושבו עלויות עבודות הפיזור והערבוב במכונה ובידניים, טבלאות 1 ו- 2. חישובי עלויות העבודה נעשו לפי ערך של 37.5 ₪ לשעת עבודה (300 ₪ ליום עבודה של 8 שעות), ומחיר של 100 ₪ ש"ח לשעת עבודת טרקטור 60 כ"ס (מחירון ארגון עובדי הפלחה). מהטבלאות רואים שעלות עבודת הפיזור במכונה נמוכה יותר ועלות עבודת הערבוב הייתה

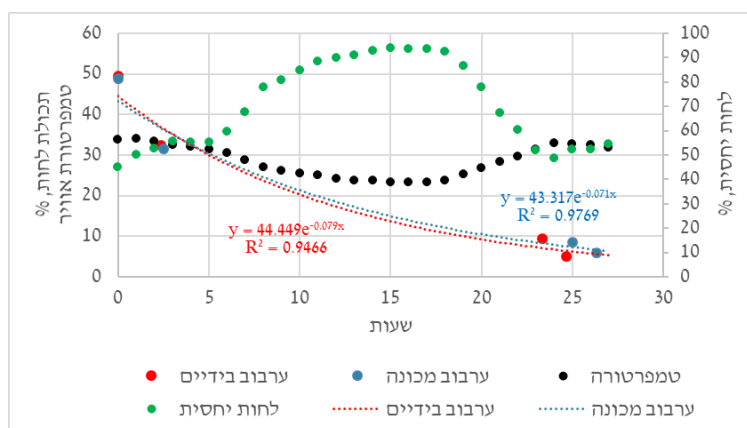
דומה. במהלך הייבוש שנמשך על פני יומיים בקירוב נלקחו 4 דגימות גרעינים ב- 3 חזרות ממשטח ייבוש שעורבב בידיים וממשטח שעורבב במכונה. הדוגמאות נשקלו לפני ואחרי ייבוש בתנור אוויר חם בטמפ' של 60 מעלות למשך 72 שעות. מהתוצאות חושב קצב ההתייבשות בכל שיטת ערבוב, איור 9. מהאיור אפשר לראות שמשך זמן הייבוש וקצב הייבוש בידיים ובמכונה היה דומה.

טבלה 1. הזמן ועלות העבודה בפיזור גרעינים בידיים ובמכונה

מכונה		ידני	אורך המשטח, מטר זמן עבודה ממוצע, שניות זמן, שני למ"ר לעובד עלות, שם לדונם רשת
טרקטור	מפעיל	7 עובדים	
	110	87	
	360	240	
0.4	0.4	2.4	
11.1	4.1	25	

טבלה 2. הזמן ועלות העבודה בערבוב גרעינים בידיים ובמכונה

מכונה		ידני	אורך המשטח, מטר זמן עבודה ממוצע, שניות זמן, שני למ"ר לעובד עלות, שם לדונם רשת
טרקטור	מפעיל	8 עובדים	
	110	120	
	496	240	
0.56	0.56	2	
15.6	5.9	20.8	



איור 9. זמן וקצב ייבוש גרעיני אבטיחים בערבוב בידיים ובמכונה

מניתוח כלל הממצאים מהתצפיות ומהניסויים הוסק שיש היתכנות טובה לפיתוח מכונת הברשה עם מברשת עגולה אחת לפיזור, ערבוב וריכוז גרעיני אבטיחים על גבי רשתות צל מתוחות ומעוגנת לקרקע, וש אפשר לחסוך עובדים. המברשת צריכה להיות רכה יחסית ובנויה מסיבי פוליפרופילן דקים. עוד הוסק שדרוש להוסיף למכונה מערכות ומכלולים מכאניים שיטייבו את ביצועיה ויאפשרו תפעול מדויק ונוח יותר.

בשנת המחקר השנייה תוכננה ונבנתה מכונת הברשה אב טיפוס דור 2, איור 10. תוצאות בדיקות הרצת המכונה בסיום הייצור הראו התאמה טובה לתכנון של המשתנים; טווח מהירויות הסיבוב של המברשת, טווח זוויות תנועת הסבסוב, טווח גובה הרמת המברשת, טווח גובה הרמת המכונה ורמת לחץ השמן במעגל המנוע, טבלה 3.





איור 10. מכונת ההברשה אב הטיפוס דור 2

טבלה 3. תוצאות בדיקות ההרצה של מכונת ההברשה אב הטיפוס דור 2

מחיר שטח בר	גובה הרמה בזרועות מ"מ	כיוון גובה מ"מ	זווית סבסוב מעלות	מהירות מברשת סל"ד
50	0-400	±100	0-30	50-150

בשנת המחקר השלישית נבחנו ביצועי אב הטיפוס דור 2 בפעולת הפיזור והערבוב בהשוואה לפיזור וערבוב בידיים בעזרת מגרפות. בניסויים נמדדו אורכי הרשתות במשטחי הייבוש, תנאי ההפעלה וזמני עבודת העובדים והמכונות.

**פיזור** – לפי נוהל העבודה באתר הייבוש, הגרעינים הרטובים שמגיעים מהשדה מפוזרים לרוחב הרשתות מיד אחרי שפרכתם מהמשאית כדי למנוע הידבקות שלהם והיווצרות גושי גרעינים שקשה להפרידם בבית האריזה. תכולת המים שנמדדה בגרעינים מיד אחרי השפיכה הייתה כ- 45%. בניסוי הפיזור במכונת ההברשה נצפה שהגרעינים הרטובים מרטיבים את גלגלי הטרקטור ונדבקים אליהם. התופעה אילצה את מפעיל הטרקטור לבצע סיבובים על הרשת שכן כאשר גלגליו נגעו בקרקע הם אספו אדמה ולכלכו את הגרעינים. לכן הוסק שבפעולת הפיזור הטרקטור חייב לנוע רק על רשת בסיבובים ובמעבר בין טורי רשתות בגלל הרטיבות. הגבלת תנועת הטרקטור על רשת בלבד מחייבת תכנון אחר של אתר הייבוש שבו "יסללו" מראש נתיבי תנועה ניצבים מרשתות לצורך נסיעה בין טורי הרשתות במרחב משטח הייבוש כולו.

לפיכך פעולת פיזור הגרעינים נבחנה בניסוי נוסף שבו פוזרו הגרעינים הרטובים לכל רוחב הרשת ע"י המשאית בשני מהלכים, הלוך ושוב, בהשוואה לעבודת ידיים. בפיזור הגרעינים בידיים השתתפו 2, 3 ו- 5 עובדים לסירוגין ובמשאית השתתפו 2 עובדים מכוון נהג ומשחרר סתימות במוצא הגרעינים מהמכל. זמני הפיזור נמדדו ומהנתונים חושבו זמן העבודה למ"ר לעובד ועלויות העבודה, טבלה 4.

טבלה 4. זמן ועלות הפיזור במשאית ובעבודת ידיים

משאית	ידני	
2 עובדים	2,3,5 עובדים לסירוגין	
115	120	אורך המשטח, מטר
300	1200	זמן עבודה ממוצע, שניות
0.32	1.25	זמן, שני למ"ר לעובד
3.5	13	עלות, ש"ח לדונם רשת

נמצא כי פיזור הגרעינים הרטובים ניתן לביצוע ע"י המשאית בשני מהלכים תוך כדי התאמה בין מהירות הנסיעה וגודל פתח המוצא. גודל הפתח משפיע על מידת רוחב התפזרות הגרעינים על הרשת והוא צריך להיות מכוון כך שרוחב ההתפזרות יהיה קטן מרוחב מחצית הרשת כדי למנוע מהמשאית לנסוע על גרעינים במהלך החזרה.

מהטבלה רואים שמהירות הפיזור במשאית למ"ר לעובד גבוה פי 4 בקירוב והיתרון הכלכלי ניכר. יצוין כי זמני ועלויות העבודה של המשאית והנהג לא נלקחו בחשבון בחישובים מפני שתוספת הזמן במהלך החזרה הינה שולית ואינה משפיעה על המחיר שכן המשאית והנהג עומדים לרשות האתר בכל העונה ומחירים קבוע.

**ערבוב** - ניסוי הערבוב כלל שני טיפולים ב- 3 חזרות. טיפול 1 ערבוב בידיים וטיפול 2 ערבוב במכונה. שני הטיפולים נערכו על משטחי רשת מעוגנים ביתדות. בטיפול 1 השתתפו 5 עובדים עם מגרפות עץ ובטיפול 2 מכונה, טרקטור ומפעיל. בשני הטיפולים נמדדו זמני העבודה וחושבו תפוקות העבודה ועלותה בש"ח לדונם, טבלה 5.

טבלה 5. זמני ועלות העבודה בערבוב גרעיני אבטיחים בידיים ובמכונה

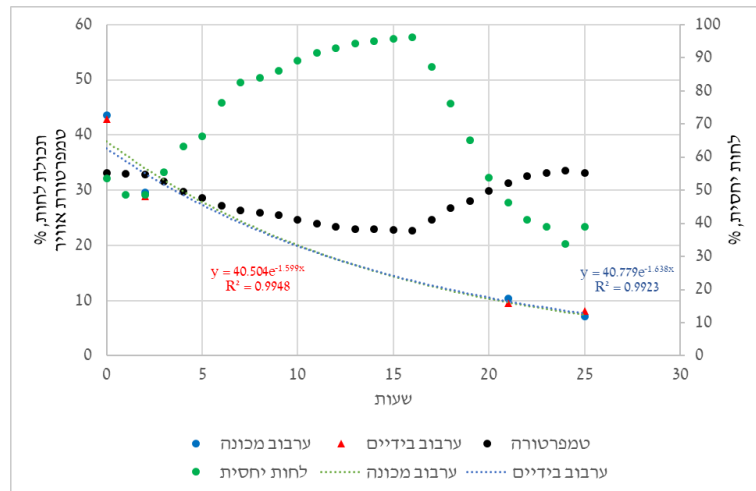
מכונה	ידני	
מפעיל טרקטור	5 עובדים	
120	120	אורך המשטח, מטר
240	2400	זמן עבודה ממוצע, שניות
0.31	2.5	זמן, שני למ"ר לעובד
8.7	26	עלות, ש"ח לדונם רשת

מהטבלה ניתן לראות שזמן הערבוב במכונה למ"ר רשת לעובד היה כ- 0.3 שניות לעומת כ- 2.5 שניות למ"ר רשת לעובד בעבודת ידיים, פי 8 בקירוב מהר יותר. בנוסף, אפשר לראות שעבודת הערבוב בידיים נעשתה עם 5 עובדים ועלותה הממוצעת הייתה כ- 26 ש"ח לדונם בעוד שעבודת המכונה נעשתה עם עובד אחד ועלותה הממוצעת הכוללת, מפעיל וטרקטור, הייתה כ- 12 ש"ח לדונם. מכאן עולה ששימוש במכונה בפעולת הערבוב מקטין את עלות העבודה לכדי 50% בקירוב ויכול לחסוך 4 עובדים. השוואת זמני עבודת המכונה בערבוב בין אב הטיפוס דור 1 (משנת המחקר הראשונה) לאב הטיפוס המשופר דור 2 (משנות המחקר השנייה והשלישית) מלמדת שזמן העבודה למ"ר רשת של דור 2 קטן פי שתיים בקירוב. אפשר להניח שהתוצאה הושגה הודות לשינויים המכניים והאוטומציה שיושמו באב הטיפוס דור 2 ובשל הניסיון שרכש המפעיל.

במהלך הייבוש שנמשך על פני יומיים בקירוב נלקחו 4 דגימות גרעינים ב- 3 חזרות ממשטח ייבוש שעורבב בידיים וממשטח שעורבב במכונה. הדוגמאות נשקלו לפני ואחרי ייבוש בתנור אוויר חם

בטמפי של 60 מעלות למשך 72 שעות. מהתוצאות חושב קצב ההתייבשות בכל שיטת ערבוב, איור

.11



איור 11. זמן וקצב התייבשות הגרעינים בערבוב בידיים ובמכונה

מהאיור רואים שגם בניסוי זה ייבוש הגרעינים בשני הטיפולים נמשך על פני כ- 25 שעות ושקצב הייבוש היה דומה.

מהתצפיות שנערכו על ההפעלה המסחרית של מכונת ההברשה בפעולת הערבוב נלמד כי ניתן להפעילה בשני הכיוונים, הלך ושוב, גם במשטח ייבוש רגיל שבנוי מטור של רשתות קצרות מתוחות ומעוגנות ביתדות לקרקע כששוליהן בכיוון האורך מונחים זה על זה בחפיפה של 1/2 עד 1 מטר. בחלוף המברשת על שולי הרשתות בכיוון המנוגד לכיוון החפיפה נצפה שהיא מגלגלת קצת את שולי הרשתות מבלי לגרום לפחת (נפילת גרעינים מהרשתות לקרקע).

אחרי שימוש במכונת ההברשה באתר הייבוש בגת במשך כל עונת 2019 נרשמו ע"י מנהל האתר ההערות הבאות: המכונה נמצאה יעילה מאוד בפעולת הערבוב בפרט. אין צורך בפועלים לערבוב למעט מפעיל טרקטור ולכן אפשר להפעיל את האתר עם פחות עובדים. בפעולות הפיזור והאיסוף לא נמצאו למכונה יתרונות מעשיים על פני עבודת הידיים. רכישת מכונת ההברשה תישקל בחיוב.

**איסוף** – בניסוי האיסוף הישיר בשאיבה עם נחיר מהרשת המעוגנת לקרקע, הנחיר הוצב אחרי המברשת בזוויות של 15 ו- 30 מעלות בקירוב ובמרחק של כ- 5 ו- 10 ס"מ ממנה. מהירות האוויר נמדדה בכניסה לנחיר והייתה כ- 23 מ' לשנייה. נמצא כי שאיבת הגרעינים היבשים בכל תנאי ההצבה של הנחיר נכשלה. פתח הנחיר נמצא קטן מידי וניתן להניח שמהירות האוויר נמוכה מידי ואינה מספקת. אחרי מעבר המכונה עם הנחיר נשארו הרבה גרעינים על הרשת.

בניסוי האיסוף בגלגול ושאיבה, פינות שול הרשת שבצידה האחד נקשרו לדפנות מתקן הגלגול שהסתובב במהירות איטית. הטרקטור התקדם לאט במהירות שהותאמה לקצב הגלגול ע"י המפעיל. מהירות האוויר בכניסה לצינור היניקה נמדדה והייתה 41 ו- 57 מ/שנייה בהתאמה למהירות מנוע הטרקטור של 1,300 ו- 1,900 סל"ד. ספיקת האוויר המחושבת הייתה כ- 3,000 ו- 4,000 מ"ק לשעה בקירוב ובהתאמה. בתנאי ההפעלה הללו נאספו גרעינים יבשים מהרשת לתוך 5 מכלי דולב שמשקלם הכולל היה 1,430 ק"ג, כ- 285 ק"ג למיכל בממוצע. הזמן הממוצע למילוי מיכל

דולב אחד היה כ- 260 שניות. מכאן עולה שספיקת הגרעינים במערכת הייתה כ- 1.1 ק"ג לשנייה או כ- 4 טון גרעינים יבשים לשעה. מנתוני ספיקת הגרעינים והאוויר חושב הערך R (יחס מוצקים לאוויר) ונמצא שהוא היה 1.3 בקירוב. מהספרות ידוע כי ניתן להסיע חלקיקים מוצקים מהולים באוויר גם ביחס R גדול יותר. מכאן עולה שלמערכת השאיבה היה פוטנציאל ספיקת גרעינים גבוה יותר שלא נוצל. ניתן להניח שספיקת הגרעינים הייתה נמוכה בגלל שרוחב המקום הצר שנוצר ברשת המכונסת שממנו נשאבו הגרעינים היה גדול מקוטר צינור היניקה.

באיסוף הממוכן השתתפו מפעיל הטרקטור ושני עובדים שעבדו במשך כ- 22 דקות. מנתונים אלו עולה שלאיסוף 1,430 ק"ג גרעינים יבשים נדרשו כ- 1.1 שעות אדם שתפוקתו המחושבת הייתה כ- 1,300 ק"ג גרעינים לשעה.

בהשוואה לאיסוף הממוכן בשאיבה, בידיים נאספו מטור רשתות באורך כ- 120 מטר כ- 8,370 ק"ג גרעינים יבשים שנארזו ב- 15.5 שקי ענק. באיסוף הידני השתתפו 8 עובדים שעבדו במשך 60 דקות ו- 4 עובדים שעבדו במשך 30 דקות. בנוסף השתתפו מלגזה ומפעיל שעבדו במשך כל 90 הדקות. מנתונים אלו עולה שלאיסוף כ- 8,370 ק"ג גרעינים יבשים נדרשו 11.5 שעות אדם שתפוקתו המחושבת הייתה כ- 730 ק"ג גרעינים לשעה.

השוואת תפוקת האסיף במכונת הגלגול והשאיבה לתפוקת האסיף בעבודת הידיים מראה שתפוקת המכונה גבוהה פי 2 בקירוב.

### **מסקנות**

פותחה שיטה ממוכנת לייבוש גרעיני אבטיחים באתר ייבוש ארעי שבנוי מרשת 60% צל אחת ארוכה או ממספר רשתות קצרות שמונחות בטורים על הקרקע. הרשתות צריכות להיות מתוחות ומעוגנות לקרקע ביתדות.

השיטה כוללת סדרת פעולות מכאניות של פיזור, ערבוב ואיסוף ונתמכת ע"י מספר עובדים קטן יחסית. את פעולת פיזור הגרעינים שמגיעים ישר מהשדה ניתן לבצע בעזרת משאית רכינה, על פני כל רוחב הרשתות, בנסיעת הלוך ושוב, תוך כדי תיאום בין גודל פתח היציאה מהמכל ומהירות הנסיעה. את פעולת הערבוב ניתן לעשות במכונת הברשה בעלת מברשת עגולה עם ציר אופקי שעשויה מסיבי פוליפרופילן רכים. את פעולת האיסוף אפשר לבצע בעזרת מערכת משולבת גלגול ושאיבה לאיסוף גרעינים מרשתות שתותאם לממדי הרשתות לייבוש גרעיני אבטיחים.

מכונת הברשה עם מברשת גלילית, אב טיפוס דור 2, פותחה לטיפול מכאני בגרעיני אבטיחים בתהליך הייבוש על רשתות צל שמונחת על הקרקע. המכונה תוכננה, נבנתה, נבחנה ואושרה בשדה ונמצאה מתאימה במיוחד לביצוע פעולת הערבוב. זמן הערבוב במכונה למ"ר רשת לעובד היה כ- 0.3 שניות לעומת כ- 2.5 שניות למ"ר רשת לעובד בעבודת ידיים, פי 8 מהר יותר בקירוב. על ידי שימוש במכונה בפעולת הערבוב בלבד ניתן להפחית את מספר העובדים באתר הייבוש. זמן הייבוש וקצב הייבוש בערבוב בידיים ובמכונה היה דומה.

## **תודות**

המחברים מבקשים להודות לחברת מיאל בע"מ שאפשרה לבצע את הניסויים ועבודות הפיתוח באתר הייבוש שלה בגת. למוסא מנהל האתר ולעובדיו על שיתוף הפעולה, הפעלת מכונת ההברשה והסיוע בביצוע העבודה. לאחים דורון ואורי פינלי מגד"ש שקמה על השאלת המערכת לאיסוף הגרעינים בגלגול ושאיבה והפעלתה בניסויי השדה. למדען הראשי של משרד החקלאות על הענקת התקציב המיוחד למחקר.