

מיון אוטומטי של פירות מג'הול לפי שיעור הרטיבות, באמצעות

ספקטרומטריה בתחום קרוב לתת אדום (NIR - Near Infra-Red)

מוגש ע"י: ז' שמילוביץ¹, ו' אלחנתי¹, י' גרינשפון¹, ח' אגוזי¹, א' הופמן¹, ו' אוסטרובסקי¹, רחלי בן צבי²

¹ - מינהל המחקר החקלאי, המכון להנדסה חקלאית, בית דגן ² - צמח ניסיונות, עמק הירדן

Schmilovitch Ze'ev- Email: veshmilo@volcani.agri.gov.il, Victor Alchanian Email:

victor@volcani.agri.gov.il, HoffmanAhron Email:roni@volcani.agi.gov.il Egozi1Haim-

Email:egozi@volcani.agi.gov.il, V. Ostrovsky Email:slava@volcani.agi.gov.il ARO- Institute of

Agricultural Engineering, Bet Dagan, Israel

אייר תשס"ט

מאי 2009

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא

חתימת החוקר

*

1. פרוט מלא של הפרסומים המדעיים

א. שמילוביץ ז', ו' אלחנתי, א' הופמן, ח' אגוזי, ו' אוסטרובסקי. (2007). פיתוח מכשור בתחום ה-NIR לאבחון מקוון של מדדי איכות בתוצרת חקלאית. כנס האגודה הישראלית להנדסה חקלאית, בית דגן דצמבר 2007.

ב. ז' שמילוביץ, ו' אלחנתי, י' גרינשפון, ח' אגוזי, א' הופמן, ו' אוסטרובסקי, ט' איגנאט רחלי בן צבי. (2008). מיון אוטומטי של פירות מג'הול לפי שיעור הרטיבות, ותכולת הסוכר באמצעות ספקטרומטריה בתחום קרוב לתת אדום (NIR - Near Infra-Red). כנס האגודה הישראלית להנדסה חקלאית, טכניון, חיפה דצמבר 2008.

ג. ז' שמילוביץ, ו' אלחנתי, י' גרינשפון, ח' אגוזי, א' הופמן, ו' אוסטרובסקי, ט' איגנאט רחלי בן צבי. (2008). מיון אוטומטי של פירות מג'הול סופר עסיסי במצב בוחל לפי ותכולת הסוכר באמצעות NIRS. כנס מגדלים, בקעת הירדן, 2009.

ד. Schmilovitch Z., V. Alchanatis, H. Egozi, A. Hoffman, V. Ostrovsky, T. Ignat, R.I Ben Zvi. (2009). Online Sorting of Madjhool Dates According to TSS and Water Content by Near Infrared Spectrometry. Presented at the Frutec09, 8th Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering Symposium. Concepción, Chile 5-9 January 2009

תוכן עניינים

<u>נושא</u>	<u>עמ'</u>
1. פרוט מלא של הפרסומים המדעיים	1
2. תקציר	3
3. מבוא	3
3.1. מטרות המחקר	6
4. פירוט עיקרי הניסויים	6
4.1. מהלך המחקר בשנת 2007/2008	6
4.2. מהלך המחקר בשנת 2008/2009	7
5. דיון	12
6. פרוט מלא של הפרסומים המדעיים	12
7. רשימת ספרות מצוטטת	13
8. סיכום עם שאלות מנחות	15

2. תקציר

עצי ה'מגיהול' הנטועים בישראל מהווים, כיום את רוב עצי התמר מהזנים היבשים. ה'מגיהול' פודה מחירים עד פי שניים מכל זן אחר. כיום הפרי משווק כ"פרי עסיסי" בתכולות מים גבוהות, ומאחר והוא נשלח רטוב יותר הוא משולפח פחות ואחוזי הייצוא גבוהים יותר. אך גם כיום, מאחר שהייבוש אינו מבוקר ואינו מדויק, נפסלים אחוזים גבוהים מהפרי לייצוא מחמת שלפוח. המגדלים בשלב זה אינם נרתעים מלהשקיע תשומות ועבודת ידיים מרובה במיון ובייבוש הפרי בתנאי שדה. כיום, אין למעשה אפשרות, במיון ידני, להפריד בין פירות המגיהול לפי שעורי רטיבות בדיוקנות של פחות מ-5 עד 7 אחוזים והתוצאה היא מוצר לא אחיד. המיכון החדש שנקלט לאחרונה בבתי האריזה למיון תמרים עדיין אינו מסוגל למיין על פי לחות ומיושם כיום בעיקר למיון לפי משקל וגודל. שיטת הניתוח של ספקטרום הקרינה הנבלעת במוצר בתחום הקרוב לתת אדום (Near Infrared - NIR) הינה טכנולוגיה ללא הרס, מהירה ומסוגלת במקרים רבים לספק מידע כמותי מדויק על תכולת מרכיבים פנימיים ובזמן אמת. במסגרת מרכיבים אלה ניתן למנות תכולת מים ותכולת סוכרים. מטרת המחקר היתה לפתח ולבחון יישום של ספקטרומטר מהיר וזול יחסית בתחום ה-NIR למיון אוטומטי של פרי המגיהול. בשנה הראשונה במחקר התרכזנו בקביעת התנאים המיטביים בהם ניתן למדוד את לחות התמרים באמצעים ספקטרוסקופיים. התנאים נקבעו ביחס לתאורה, ספקטרום המדידה ואופן המדידה (מעבר או החזר). מערכת מדידה בצעדים שהיוותה פלטפורמה למדידת תמרים מזן "חיאני" הוסבה למערכת הפועלת בתנועה רציפה, עליה הותקנה תא הכולל מערכת תאורה ומיני ספקטרומטר עם חיישן מסוג CCD סיליקון (USB 2000 תוצרת OceanOptics) בתחום 500-1100 nm. כמו כן הוחל בפיתוח חיישן ייעודי מבוסס דיודות לייזר דיסקרטיות. בשנה הראשונה הגענו ליכולת ב-USB2000 מדידת תמרים בתנועה במהירות של 13 תמרים בשנייה. בשנה השנייה נוסה גם מיני ספקטרומטר עם חיישן מסוג InGaAs בתחום 1100-1750 nm. בנוסף עסקנו בפרויקט זה בפיתוח קונספט של עיצוב רב תחומי למכונה והגענו למודל שיוכל לשמש בעתיד את התעשייה והיצרנים.

3. מבוא

כ-220 אלף עצי ה'מגיהול' הנטועים בישראל בשטח כולל של כ-18,000 דונם מהווים רוב עצי התמר מהזנים היבשים. זן זה דחק את הזנים היבשים האחרים בגידול ובשיווק. ההיצע העולמי כיום קטן, ולישראל ולארזה"ב בלעדיות בייצוא. ה'מגיהול' פודה מחירים עד פי שניים מכל זן אחר. יתרונו של ה'מגיהול' הוא בגודלו וביופיו. חסרונותיו, שהגבילו את גידולו בעבר, חיי מדף קצרים ונטייה חזקה להשתלפחות. תהליך השתלפחות הוא תהליך בלתי הפיך בו הקליפה שאינה מסוגלת להתכווץ נפרדת מציפת הפרי המצטמקת תוך תהליך התייבשות הפרי (בפירות בהם הקליפה אינה משתלפחת היא מתקמטת ונשארת צמודה לקליפה). הקליפה מתחילה להיפרד מהציפה כשתכולת המים בפרי יורדת מתחת ל 26-27 אחוז, ללא קשר עם מהירות או טמפרטורת הייבוש על העץ (סטולר, 1974), בארגזים בשמש או בתנורים (ברנשטיין 1996, 1998). כיום הפרי משווק כ"פרי עסיסי" בתכולות מים גבוהות, ומאחר והוא נשלח רטוב יותר הוא משולפח פחות ואחוזי הייצוא גבוהים יותר. אך גם כיום, מאחר שהייבוש אינו מבוקר ואינו מדויק, נפסלים 20-50 אחוז מהפרי לייצוא מחמת שלפוח (להוציא אזור מעוט שלפוח- ערבה דרומית). המגדלים בשלב זה אינם נרתעים מלהשקיע תשומות ועבודת ידיים מרובה במיון ובייבוש הפרי בתנאי שדה. מכונות מיון אוטומטיות חדשות שהוכנסו לאחרונה בבתי אריזה מתופעלות למעשה רק למיון של גודל. בעתיד הלא רחוק יש לצפות לעליה בהיצע של 'מגיהול' לשווקים ולאיבוד הבלעדיות. סביר הוא כי עליה זו תגרור ירידה במחירים ועליה בדרישות האיכות. במצב זה רק הקטנת הוצאות הייצור, הגדלת אחוזי הפרי המתאים לייצוא,

רכישת יתרונו של שיפור איכות המוצר - תאפשר למגדלים לעמוד בתחרות בתנאים העתידיים. בקרת איכות על הלחות המקובלת כיום בתעשיית התמרים מורכבת מחמישה תהליכים אלטרנטיביים: א. בקרת לחות האוויר בחדרי הייבוש. ב. בדיקות מדגמיות של כמאה גרם תמרים. מפירות הדגימה זו יש להוציא את הגלעינים לטחון ולכבוש לעיסה. הלחות מוערכת על פי בדיקת מוליכות חשמלית, בזרם ישר, בדגם גלילי, המיוצר מעיסה זו. המדגמים נלקחים לפני הכניסה לחדרי הייבוש, או האידוי, ומשמשים כבסיס לחישוב זמני הטיפול. או לחילופין במד לחות של Metler בו מיובשת הדגימה תוך שקילתה ב. בדיקת עכבה חשמלית בתדר נמוך (עד 100 KHz) ע"י החדרת שתי אלקטרודות לתמר. ג. בדיקה ויזואלית של התמרים, בהתבסס על ניסיון המפעילים, בעיקר עבור הערכת טיב הייבוש או האידוי הסופי. ד. בדיקה מקובלת להגדרת הלחות בתמרים באופן מדויק, הנמצאת בשימוש כיום במעבדות, מתבססת על ייבוש בתנורי ואקום בטמפרטורה של 70 מעלות למשך 48 שעות. ה. בדיקת "לחות מאוזנת" במכשיר הבודק 6-10 תמרים בבת אחת בתהליך הנמשך בין 20 דקות לשעתיים. צוות הנמנה במגיש ההצעה נוכחית פיתח מכשיר נייד למדידה מיידית של לחות תמר בודד על פי תכונותיו הדיאלקטריות (שמילוביץ וח' 2001). והושאלו בשנים האחרונות, לבתי האריזה ונמצא כי ניתן להפיק מהם תועלת רבה. אולם, מכשירים אלו יכולים לשמש את מערכת אבטחת האיכות בבית האריזה ובשדה אך אינם מתאימים למיון אוטומטי.

כיום, אין למעשה אפשרות, במיון ידני, להפריד בין פירות המגיהול לפי שעורי רטיבות בדייקנות של פחות מ- 5 אחוזים. התוצאה - מוצר לא אחיד של פירות יבשים ורטובים שחיי המדף שלו מוכתבים ע"י הפירות הרטובים ביותר, מוצר שיהיה בעייתי בשיווק כשיגדל ההיצע של מתחריו. המגמה הרווחת לשווק "מגיהול עסיסי" בתחומי הרטיבות הגבוהים, המוגדרים, עדיין, כ"מגיהול עסיסי". (כדי לקבל פרי איכותי יותר ומשולפח פחות) קשה כיום להשגה מחשש שיארז גם פרי רטוב מדי. המיכון החדש שנקלט לאחרונה בבתי האריזה למיון תמרים עדיין אינו מסוגל מיון על פי לחות ומיושם כיום בעיקר למיון לפי משקל וגודל. זו מערכת מיון ממוחשבת, שמאפשרת סינגולרציה (הזנה בדידה) של התמרים, כך נעשה מיון על פי משקל ומראה אך לא על פי הלחות.

שיטת הניתוח של ספקטרום הקרינה הנבלעת במוצר בתחום הקרוב לתת אדום (Near Infrared - NIR) הינה טכנולוגיה ללא הרס, מהירה ומסוגלת במקרים רבים לספק מידע כמותי מדויק על תכולת מרכיבים פנימיים ובזמן אמת. קרינת האור בתחום הקרוב לתת אדום הינה קרינה בעלת בליעה אופיינית במולקולות אורגניות המרכיבות את המוצרים החקלאיים ובעזרת ניתוח של ספקטרום הבליעה ניתן לקבל מידע כמותי על מרכיבי האיכות הפנימיים. במסגרת מרכיבים אלה ניתן למנות תכולת מים, תכולת סוכרים, תכולת שומן, תכולת חלבון. השיטה מיושמת בתעשייה ובמחקר לאבחון עקיף של תכולת חומרים אלו.

הסימון NIRS (Near Infra-Red Spectroscopy) או NIRA (Near Infra-Red Analysis) מקובל עבור ספקטרוסקופיה ואנליזה של אור בתחום הקרוב לתת-אדום. החוקר Norris (1964) ואחרים (Ben Gera and Norris, 1968) היו הראשונים ליישום NIRA בחקלאות. הם זיהו את הפוטנציאל הגלום בהחזר דיפוזי (Diffuse reflectance) לאבחון מהיר של הרכב פנימי של גרעיני דגנים. עבודה נוספת של Norris (1976) הרחיבה את היישום להגדרת מספוא כולל על מדד יכולת העיכול ע"י בע"ח וביחד עם Williams (1973, 1975) הובילו ליישום נרחב בהגדרת איכות דגנים בפרט ובחקלאות בכלל (Williams, 1987). החוקרים Shenk et al (1977) הוכיחו שניתן להגדיר אורכי גל להגדרת איכות המספוא ולפתח מכשיר נייד ליישום בשדה (1978). בשנת 1983 הוחל בשיווק תוכנות ומכשירים מסחריים לבדיקות מספוא תחמיץ ושחת. עבודת מחקר רחבה שנעשתה במסגרת זרוע המחקר ARS (Agricultural research service) של משרד החקלאות האמריקאי ה- USDA שהתפרסמה כמדריך ליישום השיטה (Marten et al., 1989).

קרינת האור בתחום הקרוב לתת אדום הינה קרינה בעלת בליעה אופיינית במולקולות אורגניות המרכיבות את המוצרים החקלאיים הטריים והמעובדים כאחד (Dull, 1971,1978 ; Murray ,1986). בעזרת ניתוח של ספקטרום הבליעה של מוצרים ניתן לקבל מידע כמותי על מרכיבי האיכות הפנימיים. במסגרת מרכיבים אלה ניתן למנות תכולת מים, תכולת סוכרים, תכולת שומן, תכולת חלבון ועוד (Finney and Dull, 1986; Norris, 1978, Giangiacomo et al, 1981, 1986).

טכנולוגית ה-NIRA מיושמת בהרחבה בתעשיית המזון. זוהי שיטה לא הרסנית המיושמת לאבחון מרכיבים אורגניים רבים (Williams and Norris, 1987). מערכות NIR מיושמות הן במעבדות והן בקווי ייצור. יישום מערכות NIR נפוץ גם בתעשיית מוצרי החלב כמו לאבחון תכולת לחות באבקות חלב שומן וחלבונים בגבינות ומרכיבים אחרים.

ביפן מכונת מיון לאפרסקים מבוססת NIR הוצגה כבר ב 1989 ע"י Mitisui Mining and Smelting co., Ltd., על פי סקר שנערך ע"י Kawano (1998) מספר מכונות המסוגלות למיין גם פרי עפ"י רמת סוכרים פועלות ביפן. חברת Fantec היפנית פיתחה מערכות כאלו לפני מספר שנים הועבר הידע לחברת Sacmi באיטליה. לחברה זו יש מוצר המכונה F5, המסוגל למיין מספר פירות בשנייה, עלותו למעלה מ 240,000 יורו. המכשיר מותאם למלונים, תפוחים ואפרסקים אינו מותאם לתמרים. במכונה זו יש אפשרות לעבודה בפרי מערכת הזנה אוטומטית המכילה מנה למערכת של ערוץ אחד. על פי פרסומי החברה הם מסוגלים גם לזהות ב-80% פגמים brown core ו water core. מערכת זו מבססת על תאורה רבת עצמה ושימוש באות המעבר בתחום של 720 עד 970 nm.

מערכת חצי אוטומטית שפותחה ע"י מגישי ההצעה יושמה להגדרת מועד הגדיד בתמרים לחים בבית אריזה "צמח" בהצלחה מרובה בהחלפת השיטות ההרסניות להגדרת בגרות הפרי ובשיפור קבלת ההחלטות של המגדלים ובית האריזה באשר לדרגת הבגרות של החלקות השונות (Schmilovitch et al 1999). במחקר אחר פיתחו חברי הצוות מודלים ושיטות עבודה ליישום טכנולוגית הספקטרוסקופיה NIR לצורך אבחון ללא הרס ובזמן אמת של מידת הבגרות באבוקדו (Schmilovitch et al, 2001, 2006b) ומערכת אוטומטית למיון תמרים מסוג 'ברהי' (Schmilovitch et al, 2000).

הופעתם בשוק של סורקי NIR בתחום של 1100-1750 nm שמחירים היחסי הוא זול ומהירות פעולתם גבוהה, הולידה בחינת התכנות לשילוב טכנולוגיות אלו למיון תמרים מזן 'מג'הול'. ע"י המכון להנדסה חקלאית. במסגרתה נוסדה מערכת חדישה ביותר של מיניספקטרומטר עם גלאי InGaAs. זהו ספקטרומטר מהיר ולא יקר יחסית.

במסגרת עבודה מקדימה על ידי מגישי התכנית נבחנו אמצעים ושיטות התאורה, תוכן ונבנה תא מדידה ייעודי למיני-ספקטרומטר ולתמרים. שני מכשירים נבחנו בניסויים האחד Liga תוצרת חברת MicroParts (גרמניה). מכשיר זה מבוסס על גלאי במערך של 64 דיודות InGaAs בתחום 1100 עד 1650 nm עם רזולוציה בהתאמה. במקביל נבחן מיני-ספקטרומטר S2000 תוצרת חברת OceanOptics (ארה"ב) פועל בתחום של 1100-530 nm. מכשיר זה מבוסס על CCD עם מדידה בכ-1800 אורכי גל ורזולוציה אופטית של 2 nm. במערכת זו נבחנו מדגמי תמרים מהערבה ומאזור הבקעה והצפון.

תוך שימוש ברגרסיות ליניאריות בשיטת PLS (Partial Least Squares Regression) בתכנת Matlab נבנה מודל ספקטראלי הבוחן את יכולת החיזוי של השיטה. נמצא כי מודלים המבוססים על נגזרת הספקטרה של מכשיר ה-InGaAs מניבים את תוצאות הטובות ביחס למדד שגיאת החיזוי (SEP (Standard Error of

Prediction לתמרים, לדוגמא, מאזור הצפון בשגיאת חיזוי לחות של 1.5%. מערכת זו עשויה להיות ישימה בעתיד לברור תמרים On-line בעלות סבירה. הפרדת הפרי לפי קבוצות תכולת מים תאפשר, מאוחר יותר, התאמת אחוז המים בפרי לכל שיעור מבוקש.

במערכת הבנויה על קרינת NIR הפועל בתחום 1200 - 2400 ננומטר, לדוגמא מכשיר מסוג Quantum 1200 נמצא על ידנו בעבר כי אפשר להבחין, בנקל בשעורי הרטיבות בפרי (Dull et al, 1991) בדייקנות של 1-2 אחוזים, אלא, שעד היום לא היתה בנמצא מערכת יישימה למיון מסחרי.

3.1. מטרות המחקר

מטרת המחקר הנוכחי היא לפתח ולבחון יישום של ספקטרומטר מהיר וזול יחסית בתחום ה-NIR למיון אוטומטי של פרי המגיהול. זאת בכדי להגיע למוצר "מגיהול עסיסי" אחיד, לכל תחום רטיבות שיידרש, להבטיח לפרי חיי מדף ארוכים יותר (ללא פירות חריגים) - הבטחת מוצר איכותי.

4. פירוט עיקרי הניסויים

4.1. מהלך המחקר בשנת 2007/2008

בשנה זו התרכזנו בקביעת התנאים המיטביים בהם ניתן למדוד את לחות התמרים באמצעים ספקטרוסקופיים. התנאים נקבעו ביחס לתאורה, ספקטרום המדידה, אופן המדידה (מעבר או חוזר). הנושאים שטופלו במהלך עבודה זו:

- א. פיתוח תא בדיקה עם יחידת תאורה בעלת שליטה על עצמת התאורה לשילוב ספקטרומטר (איור מס' 1) הכולל שילוב ספקטרומטר מסוג USB 2000 ופילטרים עם נייטראליות ספקטראלית לצורך כיול ייחוס.
- ב. הסבת מערכת מדידה בצעדים שהיוותה פלטפורמה למדידת תמרים מזן "חיאני" למערכת הפועלת בתנועה רציפה, עליה הותקן תא הבדיקה הנ"ל (איור מס' 1).
- ג. פיתוח תוכנות מחשב לשילוב הספקטרומטר במתקן מיון.
- ד. בניית מודל ואלגוריתם לחיזוי ממוחשב של לחות של תמרים בספקטרומטר מסוג USB 2000 כולל השלבים הבאים:

1. כיול המערכת כנגד מדגמי פרי במערכת החדשה,
 2. בחינת ביצועים של השילוב החדש ביחס למהירות תנועת הפרי, מספר הקריאות הנדרש ועצמת האור,
 3. בחינת אפשרות למדידה במעבר אור דרך התמר (transmittance).
 4. בחינת מודל דיסקרטי לבחינת ייתכנות לפיתוח חיישן ייעודי מבוסס דיודות.
 - ה. תכנון ופיתוח אב טיפוס למתקן מיון לספיקה בסיסית (מערכת חד ערוצית).
 - ו. פיתוח מערכת הפרדה ל-3 קבוצות איכות (איור 2 ב').
 - ז. בניית אב טיפוס לחיישן דיסקרטי מבוסס דיודות לייזר (איור 3).
 - ח. פיתוח קונספט של עיצוב רב תחומי למכונה (איורים 4).
- באיור 5 מוצגות תוצאות חיזוי למודל ספקטראלי של NIR שפותח בפרוצדורת PLS של הרצת מדגם תמרים במהירות של 13 תמרים בשניה עם זמן סריקה של 6 ms וממוצע של 3 סריקות נראה שיש מקדם מתאם R של 0.88 (איור 5 א') ועבור זמן סריקה של 6 ms וממוצע של 6 סריקות נראה שיש מקדם מתאם R של 0.91 (איור 5 ב').

ב'). בחינה דומה נעשתה לתנאים של 3 ו- 12 ms עם 3 סריקות לממוצע ונמצא כי 6X6 הינו הצירוף האופטימלי.

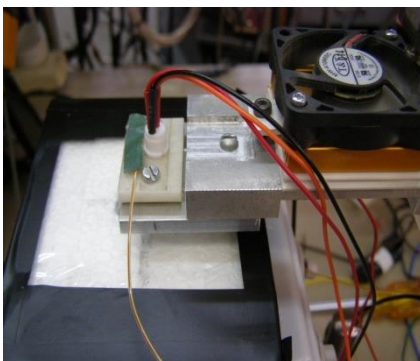
4.2 מהלך המחקר בשנת 2008/2009

בשנה זו התרכזנו בבחינת ביצועים ושיפורים מכאניים ואופטיים. הנושאים שטופלו במהלך עבודה זו:

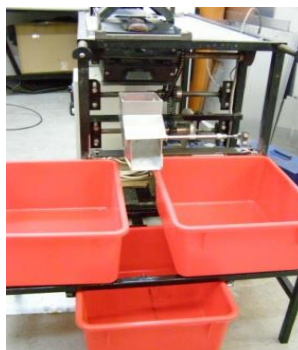
- א. ניסוי עם מערכת מוסבת של "חיאני" בתמרים בוסר ובתמרים בוחל למיון ל3 קבוצות איכות.
- ב. תכנון ובניית מערכת לשילוב מיני ספקטרומטרים בקו המיון בבית האריזה (צמח תמרים).
- ג. ניסוי לשילוב (איור מס' 6) בקו המיון בבית האריזה (צמח תמרים).
- ד. תכנון ובניית מערכת להדמייה של קו המיון בבית האריזה (איור 7).
- ה. בחינת יכולת חיזוי של מודל ואלגוריתם לחיזוי ממוחשב של לחות של תמרים בספקטרומטר מסוג LIGA (תוצרת microparts גרמניה) השלבים הבאים:

1. כיוול המערכת כנגד מדגמי פרי,
2. בחינת ביצועים של השילוב החדש ביחס למהירות תנועת הפרי, מספר הקריאות הנדרש עצמת האור.
- ו. תכנון של שיפורים ובניה של חישן דיסקרטי משופר מבוסס דיודות לייזר (איור 8).
- ז. פיתוח קונספט של עיצוב רב תחומי לתא אונירסאלי לפירות וירקות (איור 9).
- ח. החלפת מכשיר LIGA במכשיר עם תקשורת USB לשיפור המהירות ובחינת הביצועים שלו.

באיור 10' מוצגות תוצאות חיזוי למודל ספקטראלי של NIR שפותח בפרוצדרת PLS של חיזוי למדגם תמרים במצב בוסר עם ספקטרומטר מסוג USB2000 ובאיור 10'ב' תוצאות חיזוי לניסוי דומה עם מערכת מסוג LIGA. הדיוק הוא של במתאם 0.94 ו 0.87 עם שגיאת חיזוי 1.4 ו 2.0 ל LIGA ול USB בהתאמה. באיור 11' מוצגות תוצאות חיזוי למודל ספקטראלי של NIR שפותח בפרוצדרת PLS של הרצת מדגם תמרים בקו המיון של צמח תמרים עם ספקטרומטר מסוג USB2000 ו באיור 11'ב' תוצאות חיזוי לניסוי דומה עם מערכת מסוג LIGA. התוצאות מראות כי ניתן לאבחן בתנועה תכולת מים בפרי המשונוע במכונת המיון שקיימת בקו. הדיוק הוא של במתאם 0.96 ו 0.82 עם שגיאת חיזוי 1.0 ו 2.5 ל LIGA ול USB בהתאמה.



איור מס' 3: אב טיפוס לחישן דיסקרטי מבוסס דיודות לייזר

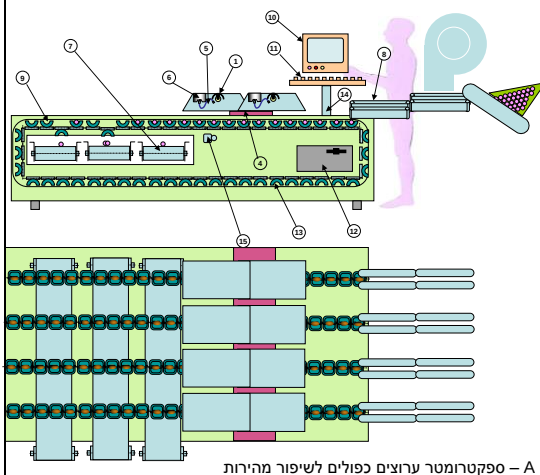


איור מס' 2: מערכת בתנועה רציפה (הסבת מערכת מדידה בצעדים של "חיאני") עם חלוקה לשלוש קבוצות.



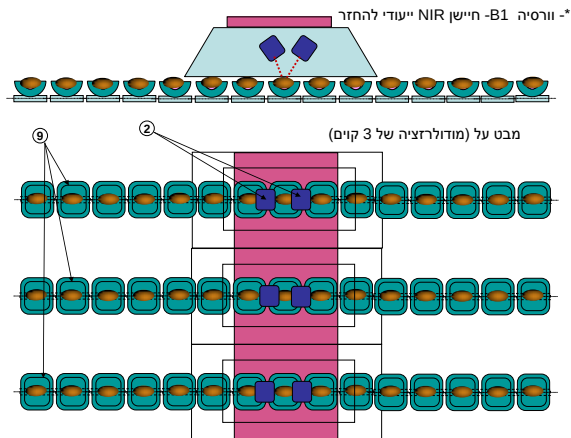
איור מס' 1: תא בדיקה עם יחידת תאורה בעלת שליטה על עצמת התאורה לשילוב ספקטרומטר

א'



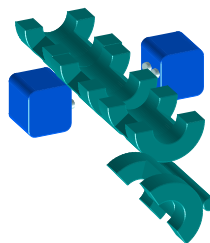
ספקטרומטר ערוצים כפולים לשיפור מהירות

ב'



מבט על (מודלרציה של 3 קיט)

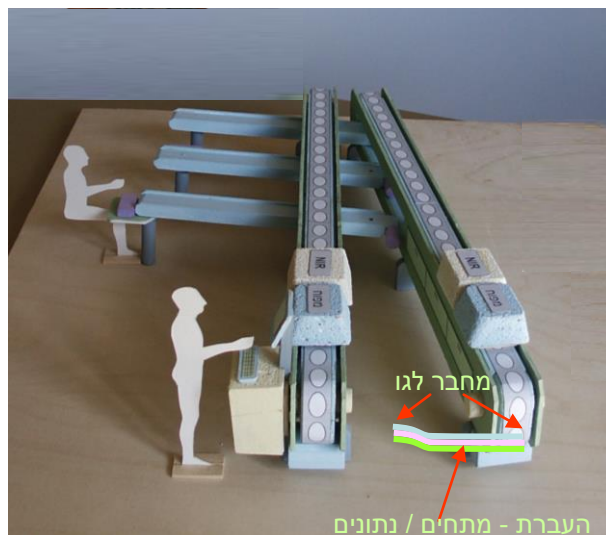
ג'



ד'



ה'

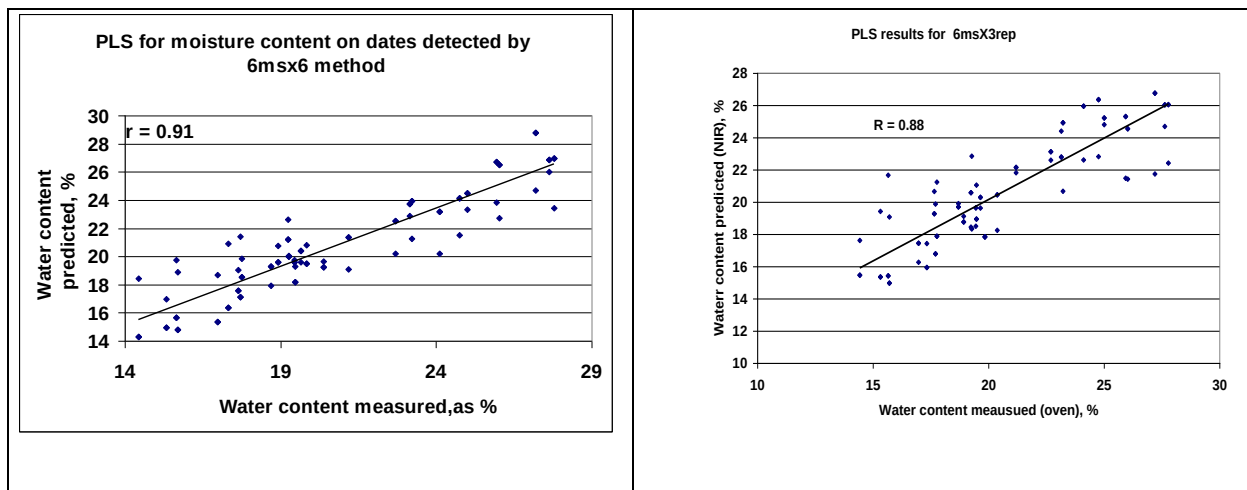


מחבר לגו
העברת - מתחים / נתונים

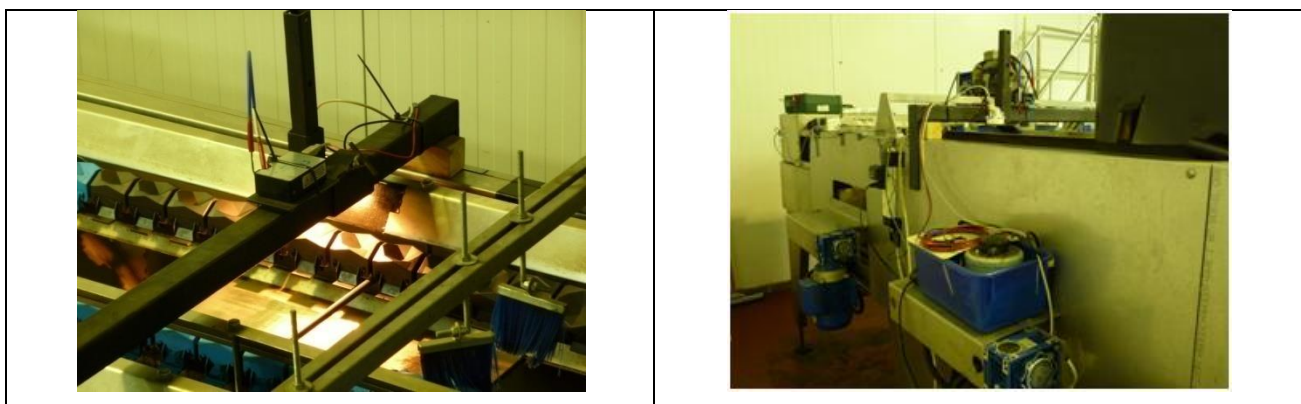
ו'



איורים 4א'- ו': פיתוח קונספט של עיצוב רב תחומי למכונה למיון תמרים על פי לחות. א'. חלופה עם ספקטרומטר כפול לכל ערוץ להגברת מהירות הבדיקה, ב'. סכמת חלופה עם חיישן דיסקרטי ייעודי במצב מעבר במספר ערוצים, ג'. סכמת של אופן הפעלת חיישן דיסקרטי ייעודי באחד הערוצים, ד. דגם של יחידת עבודה מודולרית של מסוע תאים עם חלוקה לקבוצות. ה'. דגם של חיבור שתי יחידות עבודה מודולרית ו. דגם של שתי יחידות עבודה מודולרית עם יחידת הזנה סינגולרית.



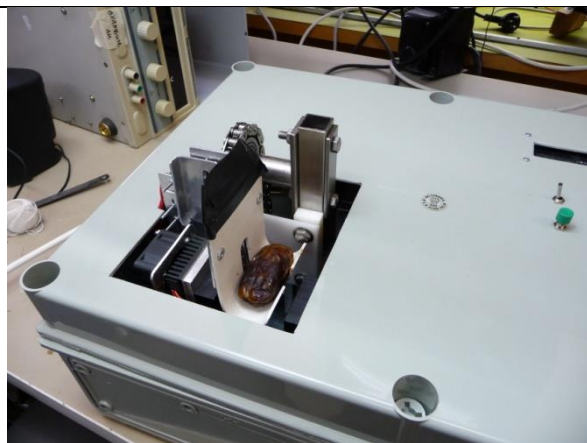
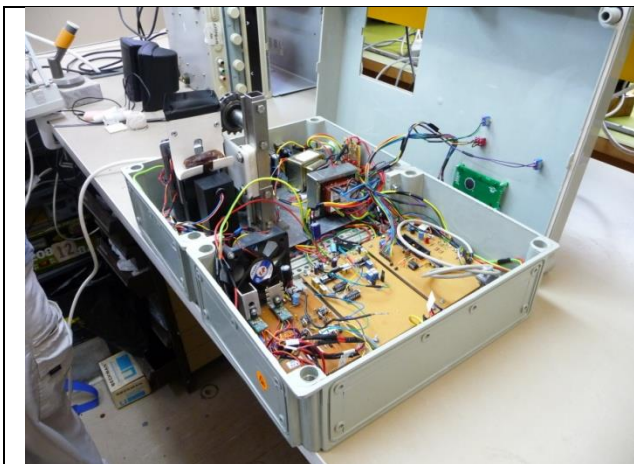
איור מס' 5: תוצאות חיזוי למודל PLS למדגם תמרים במהירות של 13 תמרים בשניה עם זמן סריקה של 6 ms וממוצע של 3 סריקות.



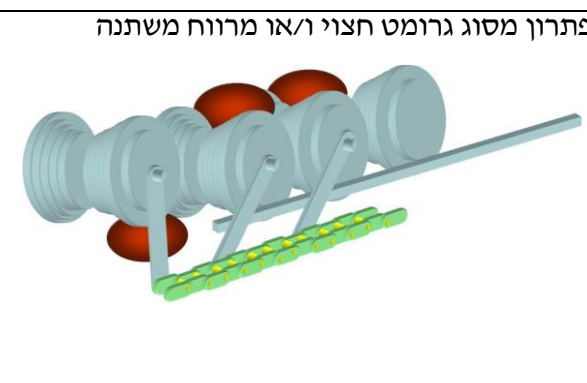
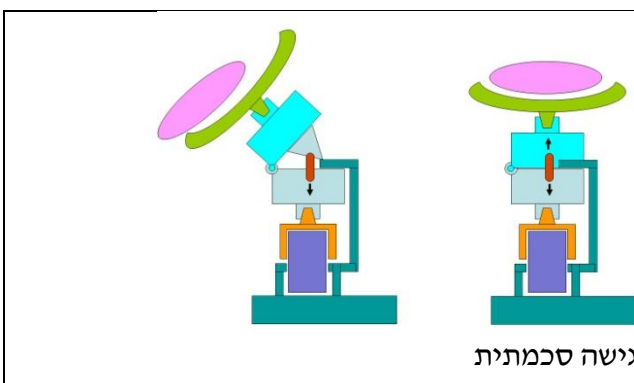
איור 6: שילוב בקו המיון בבית האריזה (צמח תמרים) של מערכת מיני ספקטרומטרים



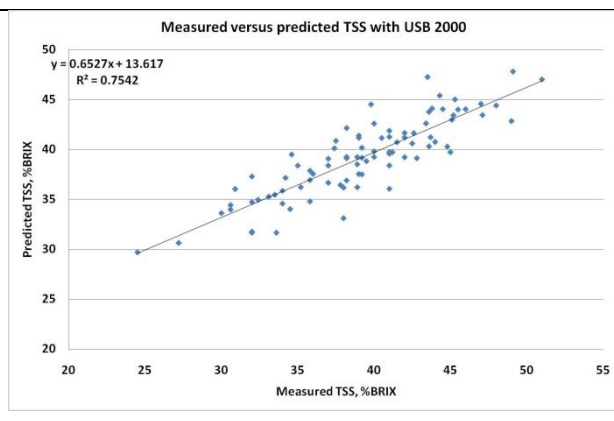
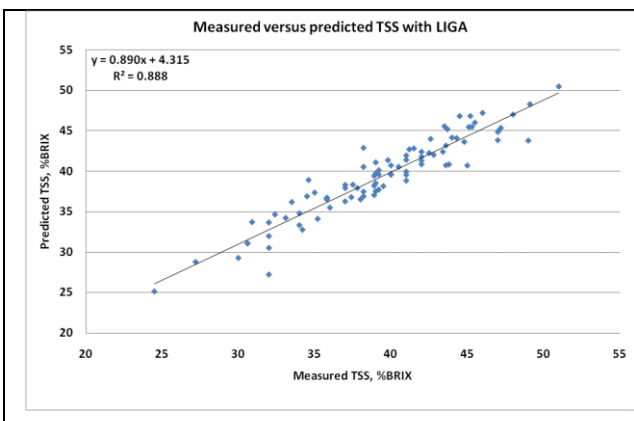
איור 7: מערכת להדמייה של קו המיון בבית האריזה.



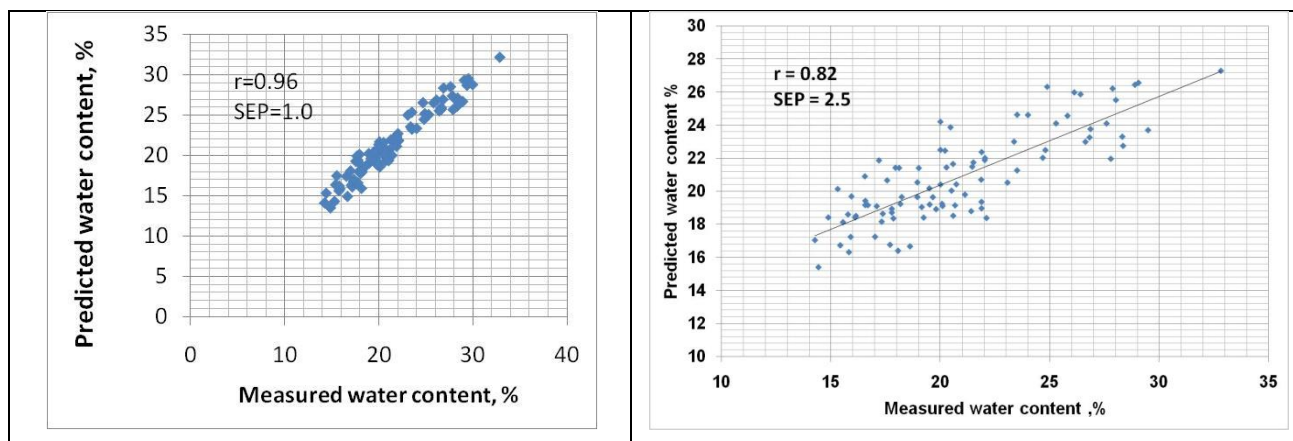
איור 8: א. מערכת לחישה דיסקרטי מבוסס דיודות לייזר משופרת עם מערכת שינוע פנימית להדמיה של מדידה בתנועה. ב. מראה המערכת ללא כיסוי.



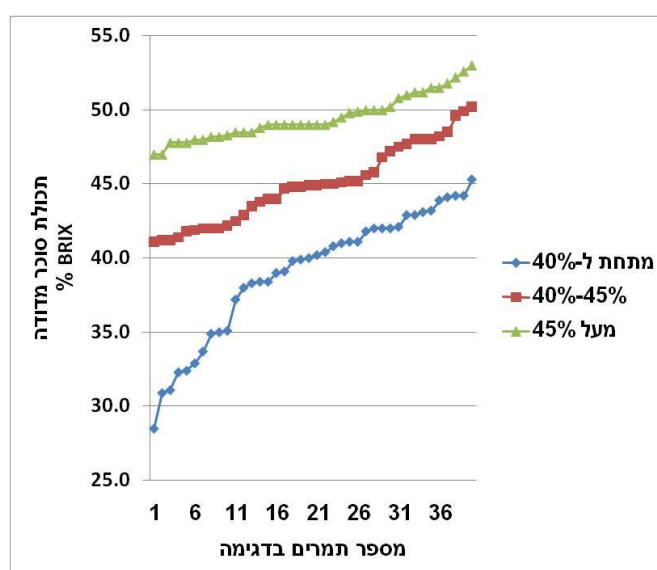
איור 9: קונספט של עיצוב רב תחומי לתא אוניברסאלי לפירות וירקות



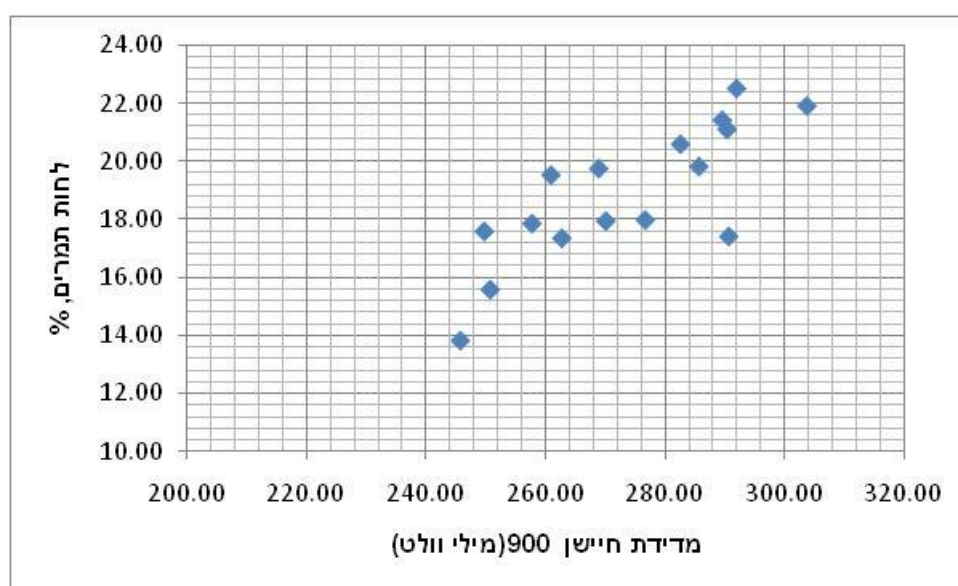
איור 10: א'. תוצאות חיזוי למודל ספקטראלי של NIR שפותח בפרוצדורת PLS של הרצת מדגם תמרים במצב בוסר עם מכשיר מסוג USB2000. עם מכשיר מסוג LIGA.



איור 11: א'. תוצאות חיזוי למודל ספקטראלי של NIR שפותח בפרוצדורת PLS של הרצת מדגם תמרים במכונת המיון של "צמח תמרים" מכשיר מסוג USB2000, ב'. מכשיר מסוג LIGA.



איור 12: תוצאות אימות המיון של תמרים מזן 'מג'הול' במצב בוסר.



איור 13: תוצאות כיוול החיישן מבוסס הדיודות.

באיור 12 מוצגות תוצאות אימות מיון של תמרים מזן 'מג'הול' במצב בוסר ונראה כי אכן יש שלוש קבוצות איכות מובחנות לפי BRIX עם חפיפה קלה. יש לציין כי ביחס לתחום שהוגדר על ידי המכונה מראש נמצאת העתקה בכ-2% כלפי מעלה. מטרת מיון זה היא לבחון אפשרות למיון מקדים להבחלה וזאת על פי תכולת סוכר בכדי לאפשר ייצור של 'מג'הול סופר עסיסי' באריזתו כך שלא יהיה צורך לשנעו אחר כך למיון. באיור 13 מוצגות תוצאות כיוול החיישן מבוסס הדיודות שהראה כי ניתן למדוד תמר בזמן של 20 מ"ל שניות (המשמעות התיאורטית היא 50 פירות לשניה), הדיוק שנמצא הוא בשעור של 2% תכולת מים. אך עדיין אין יציבות בבדיקת חוזרות שבוצעו בחיישן זה.

5. דיון

במהלך השנתיים של המחקר הושלמו מספר רב משימות המבססות את היתכנות היישום של השיטה למיון מסחרי של מג'הול בעזרת NIR. תוצאות המדידה של כל החיישנים מראות כי ניתן לפתח מערכת שתתאים למיון אוטומטי של מג'הול על פי לחות. בשלב זה יש יתרון בדיוק למערכת מסוג LIGA ויתרון במהירות הפעולה לחיישן דיסקרטי ולמערכת מבוססת USB2000. יש צורך בעבודה נוספת להבטיח שילוב מוצלח בקו המיון הקיים כולל חיבור עם יצרנים ישראלים המייצרים מערכות כאלו כגון "עשת אלון" ומגיעים ראשוניים נערכו כבר. בנושא המסחור, הפיתוחים שנעשו בעיצוב רב תחומי של מכונה עתידית ותא אונברסאלי ישמשו בסיס לפיתוח החדש לכשיעשה.

המערכת עם הפרדה ל-3 קבוצות איכות המשולבת במסוע הנוכחי, המוצגת באיור 2 ושתוצאות המיון שלה מוצגות באיור 12, תאפשר בחינה של השיטה בקו עוקף כמו כן למיין מג'הול בוסר כל פי תכולת מים לצורך ניסויים לאבחון מוקדם של השתלפחות. בנוסף לאמור לעיל נבחן בימים אלו כיוון שיווק חדש של פרי "סופר עסיסי" פרי זה הינו בעלי לחות גבוהה (מעל 28%) ומיועד לשיווק כ"פרי טרי". פרי כזה קשה לשינוע וטיפול. הרעיון לנסות למיין מראש במצב בוחל על פי תכולת הסוכר ולבחון שיטות הבחלה לקבלת פרי סופר עסיסי כנדרש. במחקר הנוכחי הצלחנו למיין בפועל כמויות פרי במצב בוסר לנסיונות ההבחלה אשר ייבחנו את עתיד הרעיון. בעיה שנתגלתה במהלך המחקר היא החלפת התאים במסועים הקיימים מתאים שחורים לתאים כחולים מחומר שונה לחלוטין. החלפה זו שבאה בכדי לעזור למערכת הראיה המלאכותית המותקנת במכונות המיון גרמה לספקטרום רקע שהפריע למערכת ה-NIR לתפקד. לכן הניסויים בבית האריזה נעשו בעזרת החלפה בחזרה לתאים הישנים מחד ובניה של מערכת להדמית מסוע כגון זה אצלנו במכון מאידך. המשך המחקר יכלול הרצה של המערכת המדמה הזו בהיקפים נרחבים במכון, השלמת פיתוח חיישן הדיודות הדיסקרטיות ובחינתו הן בקו ההדמיה במעבדה והן בקו בבית האריזה. בנוסף, בניית מכונה לבית האריזה למיון מוקדם של מג'הול בוסר על פי תכולת סוכר.

6. פרוט מלא של הפרסומים המדעיים

ראה דף כותרת וטבלת סיכום

7. רשימת ספרות מצוטטת

ברנשטיין צבי וגדעון זיו (1996). מגיהול עסיסי – חוברת הדרכה. בהוצאת "צמח ניסיונות", הדקלאים ומו"פ ערבה.

ברנשטיין צבי (1998). מגיהול צפוני -הכנת פרי עסיסי – טפולים במטע ובבית האריזה –יבוש בתנורים. בהוצ' צמח ניסיונות .

סטור ש' (1974). הזן מגיל, עלון הנוטע כרך כח', 10-12, עמ' 519-523.

שמילוביץ ז', ע' יקוטיאלי, א' ארבל, ח' אגוזי, א' הופמן, ב' קורוטין, י' גרינשפון, ל' רוזנפלד, צ' ברנשטיין (2001). עיבוד תמרים מזן 'מגיהול' לאחר גדיד. עלון הנוטע 35:42 (1) 55.

Ben Gera I. And K. H Noris determination of moisture content in soybeans by direct spectrophotometry. 1968. *Is. J. Agric. Res.* 18:125:132.

Dull, G.G., 1971, "Quality": Chapter 22, *The Biology of fruits and their products*. Volume II . (Ed.) A.C. Hulme.

Dull, G.G., 1978, Nondestructive quality evaluation of agricultural products: A definition of practical approach. *J. Food Protection* 41(1):50-53.

Dull, G.G., 1986, Nondestructive evaluation of quality of stored fruits and vegetables. *food tech* 40(5):106-110.

Dull, G.G., Leffler, R.G., Birth, G.S., Zaltzman, A., Schmilovitch Z. (1991). The near Infrared determination of moisture in whole dates. *Hort Science*. 26(10): 1303-1305

Finney, E.E. and K. H. Norris. 1978, Determination of moisture in corn kernels by Near Infrared Transmittance measurements. *Trans. ASAE* 21:282

Giangiacomo R., J.B. Magee, G.S. Birth and Dull G.G. 1981.

Predicting concentrations of individual sugars in dry mixtures by Near- Infrared reflectance spectroscopy. *J. Food Science*. 46: 531-534

Giangiacomo, R. and Dull, G.G. 1986. Near infrared spectrophotometric determination of individual sugars in aqueous mixtures. *Journal of Food Science*. 51(3) 679:682

Kawano S. 1998. New application of nondestructive methods for quality evaluation of fruits and vegetables in Japan. *J Japan Soc. Hort. Sci.* 67(6) 1176-1179,

Marten G.C., J.S. Shenk and F.E. Barton II (Eds). 1989. *Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) Analysis of Forage Quality*. USDA, ARS Handbook No. 643..

Murray, I., 1986, NIR spectra of homologous series of organic compounds. *Proc. Int. NIR Symp.* Budabest, Hungary.

Norris K.H. 1964 Simple spectroradiometer for 0.4 to 1.2 micron region. *Trans. ASAE*. 7:240-242.

Norris K.H. and R.F Barnes. 1976. Infrared reflectance analysis of nutritive value of feedstuff in *Proc. 1st Int. Symp. Feed Comp.* Utah Agr. Exp. Sta. Utah State University, Logan. :237.

Pasternak, H., Z. Schmilovitch, E. Falik and Y. Edan. (2001). Over coming multicollinearity in near infrared analysis for Lycopene content estimation in tomatoes by using Ridge regression. *J. Testing and Evaluation*. Jan 2001: 60-66

Schmilovitch, Z., A. Hoffman, H. Egozi, R. Ben Zvi, Z. Bernstein and V. Alchanatis. (1999). Maturity determination of fresh dates by near infrared spectrometry. *J Sci Food Agric* 79:86-90.

Schmilovitch, Z., A. Hoffman, H. Egozi, R. Ben Zvi, Z. and V. Alchanatis. (2000) Machine for automatic sorting 'barhi' dates according to maturity by near infrared spectrometry. POSTHARVEST2000. 4th International conference on postharvest science, Jerusalem, Israel, March 2000

Schmilovitch, Z. A. Hoffman, H. Egozi, R. El-Batzri and C. Degani. (2001) Determination of Avocado Maturity by Near-Infrared Spectrometry. *ISHS Acta Horticulturae* 562, III International Symposium on Sensors in Horticulture. 175:180.

Schmilovitch, Z., V. Alchanatis, S. Lurie, A. Weksler, A. Hoffman, H. Egozi, , V. Ostrovsky. (2006)

Quality Indices Determination of Apples by NIRS. Presented at the 2006 CIGR Section VI International Symposium on FUTURE OF FOOD ENGINEERING, Warsaw, Poland, 26-28, April 2006.

Schmilovitch, Z., V. Alchanatis, A. Hoffman, H. Egozi, V. Ostrovsky, R. El-Batzri and C. Degani. (2006).

Online Determination of Avocado Maturity by Near-Infrared Spectrometry. Presented at the 2006 ISAE international conference, Agritech 2006, Tel Aviv, Isreal.

Shenk J.S. and R. Barnes. 1977. Current status of Infrared reflectance in *Proc 34th South. Past. And Forage Crop Impr. Confr.* Auburn, Albama, :57-62.

Shenk J.S. and M.O Westerhaus, M.R. Hoover, K. M. Mayberry and H. K. Goering. 1978. Predecting forage quality by infrared reflectance spectroscopy In *Proc. 2nd Int. Green Crop Drying Conf.* University of Saskatchewan, :292-299.

Willams, P. C. 1973. The application of the Neotec grain quality analyzer to the analysis of cereal grain. *Cereal Sci. Today* 18: 384-285

Willams, P. C. 1975. Application of near infrared reflectance spectroscopy to analysis of cereal grain. *Cereal Chem.* 52:561-576.

Willams, P. C. and K. H. Norris (Eds.). 1987. *Near Infrared Technology in the Agricultural and Food Industry*. ASCC Inc. St. Paul. Mn. USA.

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
לפתח ולבחון יישום של ספקטרומטר מהיר וזול יחסית בתחום ה-NIR למיון אוטומטי של פרי המגיהול.
עיקרי הניסויים והתוצאות.
פיתוח תא בדיקה עם יחידת תאורה בעלת שליטה על עצמת התאורה לשילוב ספקטרומטרים מסוגים שונים. הסבת מערכת מדידה בצעדים שהיוותה פלטפורמה למדידת תמרים מזן "חיאני" למערכת הפועלת בתנועה רציפה. פיתוח תוכנות מחשב לשילוב הספקטרומטר במתקן מיון. בניית מודל ואלגוריתם לחיזוי ממוחשב של לחות של תמרים בספקטרומטר מסוג USB 2000. כיול המערכת כנגד מדגמי פרי במערכת החדשה. בחינת ביצועים של השילוב החדש ביחס למהירות תנועת הפרי, מספר הקריאות הנדרש עצמת האור. בחינת אפשרות למדידה במעבר אור דרך התמר (transmittance). בחינת מודל דיסקרטי לבחינת ייתכנות לפיתוח חיישן ייעודי מבוסס דיודות. תכנון ופיתוח אב טיפוס למתקן מיון לספיקה בסיסית (מערכת חד ערוצית). בניית אב טיפוס לחיישן דיסקרטי מבוסס דיודות לייזר. ניסוי עם מערכת מוסבת של "חיאני" בתמרים בוסר ובתמרים בוחל למיון ל-3 קבוצות איכות. תכנון ובניית מערכת לשילוב מיני ספקטרומטרים בקו המיון בבית האריזה (צמח תמרים). שילוב בקו המיון בבית האריזה (צמח תמרים). תכנון ובניית מערכת להדמיה של קו המיון בבית האריזה. בחינת יכולת חיזוי של מודל ואלגוריתם לחיזוי ממוחשב של לחות של תמרים בספקטרומטר מסוג LIGA (תוצרת microparts גרמניה) בחינת ביצועים של השילוב החדש ביחס למהירות תנועת הפרי, מספר הקריאות הנדרש עצמת האור. תכנון של שיפורים ובניה של חיישן דיסקרטי משופר מבוסס דיודות לייזר. פיתוח קונספט של עיצוב רב תחומי לתא אוניברסאלי לפירות וירקות. החלפת מכשיר LIGA במכשיר עם תקשורת USB לשיפור המהירות ובחינת הביצועים שלו.
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?
רוב מטרות המחקר הושגו: פותחו הפתרונות ההנדסיים למדידה של תמר מג'הול בתנועה ובמהירות במיני ספקטרומטר בתחום 1100-530nm. פותח ושופר חיישן ייעודי מבוסס דיודות לייזר. נבחנו והוגדרו התנאים למדידות הנ"ל. פותח קונספט עיצוב עיתידי. נמצא פתרון הולם בתחום של 1100-1750nm, בכל התחמים נדרשת עוד עבודת פיתוח נוספת להשמה כיישום בשטח.
1. בעיות שנותרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנותרה לביצוע תוכנית המחקר?
שילוב בקו המפעל. השלמת העבודה על החיישן הייעודי ויישום מסחרי
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: א. שמילוביץ ז', ו' אלחנתי, א' הופן, ח' אגוזי, ו' אסטרובסקי. (2007). פיתוח מכשור בתחום ה-NIR לאבחון מקוון של מדדי איכות בתוצרת חקלאית. כנס האגודה הישראלית להנדסה חקלאית, בית דגן דצמבר 2007. ב. ז' שמילוביץ, ו' אלחנתי, י' גרינשפון, ח' אגוזי, א' הופמן, ו' אסטרובסקי, ט' איגנאט רחלי בן צבי. (2008). מיון אוטומטי של פירות מג'הול לפי שעור הרטיבות, ותכולת הסוכר באמצעות ספקטרומטריה בתחום קרוב לתת אדום (NIR - Near Infra-Red). כנס האגודה הישראלית להנדסה חקלאית, טכניון, חיפה דצמבר 2008.

ג. ז' שמילוביץ, ו' אלחנתי, י' גרינשפון, ח' אגוזי, א' הופמן, ו' אוסטרובסקי, ט' איגנאט רחלי בן צבי. (2008). מיון אוטומטי של פירות מג'הול סופר עסיסי במצב בוחל לפי ותכולת הסוכר באמצעות NIRS. כנס מגדלים, בקעת הירדן, 2009.

- ד. Schmilovitch Z., V. Alchanatis, H. Egozi, A. Hoffman, V. Ostrovsky, T. Ignat, R.l Ben Zvi. (2009). Online Sorting of Madjhool Dates According to TSS and Water Content by Near Infrared Spectrometry . Presented at the Frutec09, 8th Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering Symposium. Concepción, Chile 5-9 January 2009

פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)

חסוי – לא לפרסם

האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן

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