

---

אבחון רקבון פנימי בתפוח באמצעות ספקטוסקופיית NIR

מוגש ע"י: ז' שמילוביץ<sup>1</sup>, ו' אלחנתי<sup>1</sup>, י' גרינשפון<sup>1</sup>, ח' אגוזי<sup>1</sup>, א' הופמן<sup>1</sup>, ו' אוסטרובסקי<sup>1</sup>, סוזן לוריא<sup>2</sup>, אסיה וקסלר<sup>2</sup>, אוהד נריה<sup>3</sup> ורות בן אריה<sup>3</sup>

<sup>1</sup> - מינהל המחקר החקלאי, המכון להנדסה חקלאית, בית דגן <sup>2</sup> - מינהל המחקר החקלאי, המכון לטכנולוגיה ואחסון תוצרת חקלאית, בית דגן <sup>3</sup> - החב' למו"פ קירור ואיסוס פירות, קריית שמונה

Schmilovitch Ze'ev- Email: veshmilo@volcani.agri.gov.il, Victor Alchanus Email: victor@volcani.agri.gov.il, HoffmanAhron Email:roni@volcani.agi.gov.il Egozi Haim- Email:egozi@volcani.agi.gov.il, V. Ostrovsky Email:slava@volcani.agi.gov.il ARO- Institute of Agricultural Engineering, Bet Dagan, Israel

Susan Lurie Email:slurie43@volcani.agri.gov.il, Asya Weksler asya@volcani.agri.gov.il, ARO- Institute of Agricultural Technology and Storage of Agricultural Products, Bet Dagan, Israel.

Ruth Ben Arie Email: [fruitlab@netvision.net.il](mailto:fruitlab@netvision.net.il), Ohad Ben Neria, The Fruit Storage Research Laboratory, Kiryat Shmona

חשוון התשע"ב

נובמבר 2011

---

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא



חתימת החוקר

\*

פרוט מלא של הפרסומים המדעיים:

**תוכן עניינים**

3	.....	1. תקציר	1
4	.....	2. מבוא	2
6	.....	2.1. מטרות המחקר	2.1
6	.....	3. פירוט עיקרי הניסויים	3
6	.....	מהלך המחקר	
8	.....	3.1. תוצאות	3.1
10	.....	3.2. דיון	3.2
11	.....	4. רשימת ספרות מצוטטת	4
14	.....	5. סיכום עם שאלות מנחות	5

## 1. תקציר

בשנים האחרונות סובל גידול התפוחים מהתרבות מקרים של מחלת בית גרעין הנגרמת מאלטנריה. בירור ידני או בראה ממוחשבת המקובל בתעשייה זו אינו עונה על הצורך מאחר וחיזונית הפרי נראה נאה ואיכותי גם כשהוא פגוע, אפילו כשהרקבון כבר התפשט על מרבית ציפת הפרי. היקף הייצור של תפוחים בישראל הוא כ-100,000 טון לשנה במחיר של בין 70 לבין 90 מיליון דולר. לדוגמא, חלק מיבול 2003 הגיע לנגיעות של 40% פרי שאינו מתאים לשיווק איכותי. שיפור איכות יכול להביא לתוספת בפדיון, חישוב זהיר מראה שתוספת של כל 1% בפדיון, ברבע מסך הפרי המיוצר בארץ, יביא להגדלת הכנסות המגדלים ובתי האריזה בסך של 200,000 דולר.

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 בזמן אמת.

במחקר מוקדם, נערכו נסיונות לאבחון בלתי הרסני של הרקבון הפנימי בתפוחי סטרקינג דלישס באמצעות ספקטרוקופיה של NIR, בשתי שיטות - אור מוחזר במכשיר INSIGHT של חברת CVS האוסטרלית ואור עובר במכשיר שפותח על ידי המכון להנדסה חקלאית. לפי התוצאות שנתקבלו, סיכויי האבחון באור מוחזר הם קלושים אך באור עובר ניתן היה לזהות ביעילות של 86% נגיעות פנימיות. תוצאה זו מעודדת, אך אינה מספקת. היפוטזת המחקר הנוכחי היא כי ניתן יהיה לשפר את ביצועי השיטה והמכשיר של המכון להנדסה חקלאית על-ידי שינויים בחומרה (של המערכת האופטית) ובתוכנה.

מטרות המחקר היו: לבחון את האפשרות לזהות פרי נגוע באלטרנריה ולאבחן איכות פנימית של תפוחים בעזרת אנליזת NIR תוך כדי תנועת הפרי. במסגרת זו לבחון השפעת פרמטרים המשפיעים על איכות הדגימה: רזולוציה, זמן דגימה ומספר אורכי גל. לפתח אלגוריתם ליישום. ספציפית: לבחון שיטות ואמצעים לשפר את ביצועי המכשיר אב טיפוס הראשון על-ידי שינויים בחומרה (של המערכת האופטית) ובתוכנה, ובהמשך להגדיר את הבסיס לפיתוח הדור הבא של מתקני בירור אוטומטיים לתפוחים.

במכשיר של המכון להנדסה חקלאית, שנרכש על-ידי החברה למו"פ בעזרת תקציב איק"א, הוחזר למכון להנדסה חקלאית להכנסת שינויים במערכת האופטית וגם לשיפור קצב איסוף ועיבוד הנתונים בעת בדיקת הפרי. השינויים שבוצעו הם שינויים באופטיקה כגון הרחבת Slit בספקטרומטר, ציפוי השריג בחומר מגביר החזר, חיזוק ושיפור התאורה. מערכת הפיקוד שונתה כך שתאפשר הנעה קלה יותר ומהירות סיבוב גבוהה. מספר תאי הדגימה הוגדל מארבעה לשניים עשר. הוכנסו שיפורים בתוכנה כך ששופרה מהירות הדגימה ואפשר לבחון בקצב של 6 פירות בשניה. נערכו בדיקות לפרי שנאסף ושאוחסן לתקופה ארוכה במעבדה של החברה למחקר ופיתוח איסוס וקירור בקרית שמונה. הפירות נסרקו במעבר בקבוצות של 11 בשלוש חזרות ובשלשה מצבי הנחה, נבחנו בשיטות הרסניות גם על ידי צילום פרי חתוך וחישוב השטח הנגוע וגם מתן ציונים לרמת הנגיעות על פי מראה. נבחנה מחדש האפשרות ליישום מיני ספקטרוטומטר מבוסס מערך דיודות של InGaAs המודד בטווח של 1100-1750 ננומטר. על פי פרוטוקול של המעבדה בקרית שמונה נערכו מספר ניסיונות לאלח באופן יזום דגימות פרי שנסרקו באותו אופן האמור לעיל אך מסתבר לאחר מכן שהאילוח היה ללא הצלחה הולמת ולא אפשר שיפר הביצועים של המערכת. נסיונות לשיפורים במודלים הסטטיסטיים על ידי יישום של רשתות עצביות ומודלים פאזי לוגיים שהם אינם ליניאריים, או לחילופין האפשרות ליישום של שיטת התאמת זוגות (Pare Matching) ויישום של ספקטרה מתפוחים מקולפים או חצויים כדי לעקוף את השפעת ספקטרום הקליפה על המודל כשלו לצערנו ולא הניבו תוצאות מוצלחות יותר מאשר המודלים הקודמים ונותרנו עם שגיאת חיזוי של 10% נגיעות.

הדרישה לבירור על פי איכות הולכת וגוברת. התמורה לתוצרת באיכות גבוהה גדולה בהרבה מהתמורה הממוצעת. בירור זה שנדרש לעשותו במסגרת הטיפול בתוצרת בבית האריזה, נעשה ברוב המקרים באופן ידני. במקרים רבים לא ניתן לבצע בירור כזה אפילו ידנית. בשנים האחרונות סובל גידול התפוחים מהתרבות מקרים של מחלת בית גרעין- אלטרניה . בירור ידני או בראיה ממוחשבת המקובל בתעשייה זו אינו עונה על הצורך מאחר וחיצונית הפרי נראה נאה ואיכותי גם כשהוא פגוע, במיוחד באם הפגיעות הן קלות או בינוניות. קיימת כמה שיטות לא הרסניות המשמשות באבחון ופגמים פנימיים בפירות וירקות והן יכולות לשמש לאבחון מחלת בית גרעין הנגרמת מאלטרניה :

1. X-Ray Imaging (רנטגן) ;

2. Nuclear magnetic resonance (NMR) ;

3. Near-Infrared Spectroscopy (NIR).

נמצא במחקרים של Clark and Bielecki (1997), Schatzki et. al (1997) כי השיטות של X-Ray Imaging ו-NMR הן יחסית מדויקות ואכן מיושמות בהערכת איכות של תוצרת חקלאית, אבל הן יקרות אינן מהירות יחסית ולא מתאימות לשימוש בבדיקת On-line. כמו כן, יש חשש, מבוסס על נסיון העבר, כי הצרכנים לא תמיד מעוניינים לקנות מוצרי מזון המוקרנים ב X-rays. הצעת המחקר הנוכחית מתרכזת בשיטת NIR.

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. 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 (Dull, 1986 Finney and Norris, 1978, ; Giangiaco 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.

בתפוחים נבחנים מספרי מדדים באופן מסורתי בשיטות הרסניות, חלקן קשור לבגרות הפרי וחלקם למדדי איכות של פרי נקטף ופרי משווק. בין מדדים אלו ניתן למנות חומציות, תכולת סוכר ומוצקות. מגוון גדול של זני תפוחים (Jonnee, Jonagold, Jonatan, Golden delicious, Red Delecious, Delecious Gloster, Mutsu, Elster, Gala, Fuji, Douce Moen, Kermerrien, Empire) נבדקו ע"י חוקרים שונים בשיטות של אנליזת NIR. במחקרים המוקדמים נבחנו דיסקאות שהוצאו מהפרי (Lanza and Li, 1984, Lovasz et al. 1994). ולו רק בכדי לממש את המהירות הטמונה באבחון ע"י NIR. מדד מיוחד שפותח ע"י (Strief 1983) מאחד מספר מדדים באופן הבא: כאשר F- מוצקות, R- כמ"מ ב Brix, S % - תכולת עמילן. גם מדד זה נבחן ליכולת זהוי בשיטת ספקטרומטריה ב-NIR ע"י (Peirs et al 2000) שם נמצא כי המודלים הם תלוי מטע (חלקה). נושא זה נחקר בעבודה נוספת של (Peries et al. 2001) ונמצא כי על מנת להתגבר על בעיית היות המודלים "מקומיים" (Lucal models) ניתן להתגבר בעזרת איסוף נתונים רחב מאוד המחבר את כל השוניות. בעבודה זו נעשה שימוש בספקטרומטר (Opitcal Spectrum Analyzer 6602, UK), במדידת ההחזר ובמודלים המבוססים על רגרסיות מוצלחים מהמודל שניתן לקבל למדד Strief. בשיטה של Discriminate Analysis השתמשו (Guillermin et al. 2001) במטרה להגדיר את שלבי הגידול השונים בזנים שונים. הם השתמשו בפרוב אופטי במכשיר מסוג NIRSystem6500 בטווח של 1100-2200 nm והצליחו להגדיר בהצלחה של 79% את התפוחים לפי שלבי הגידול. מכונת מיון לאפרסקים מבוססת NIR הוצגה כבר ב 1989 ביפן ע"י (Mitsui Mining and Smelting co., Ltd), על פי סקר שנערך ע"י (Kawno 1998), מספר מכונות המסוגלות למיין גם תפוחים עפ"י רמת סוכרים פועלות ביפן. חברת Fantec היפנית פיתחה מערכות כאלו ו הידע הועבר לחברת Sacmi באיטליה. לחברה יש מוצר המכונה F5, המסוגל למיין מספר פירות בשניה, כ- 240,000 יורו. יש אפשרות לעבודה בתפוחים עם מערכת הזנה אוטומטית המכינה מנה למערכת של ערוץ אחד. על פי פרסומי החברה הם מסוגלים גם לזהות ב-80% פגמים brown core\ water core. מערכת זו מבססת על תאורה רבת עצמה ושימוש באות המעבר בתחום של 720 עד 970 nm.

מערכת חצי אוטומטית שפותחה במכון להנדסה חקלאית 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 ב-NIR לצורך אבחון ללא הרס ובזמן אמת של מידת הבגרות באבוקדו (Schmilovitch et al, 2001) ומערכת אוטומטית למיון תמרים מסוג ברהי (Schmilovitch et al, 2000).

במחקר מוקדם, (Schmilovitch et al. 2006a), נבחנה האפשרות אבחון והערכת איכות ומדדי קטיף של תפוחים על פי הדמיה ספקטרלית רב מימדית בתחום ה-NIR. במחקר זה נבחנו בניסויים שני ספקטרומטרים, האחד (Liga, Micro Parts, Germany) בתחום 1100 עד 1750 nm השני (S2000, Ocean Optics, USA) בתחום של 530-1100 nm. בנוסף, נבחנה מערכת המבוססת על מצלמת וידאו (CCD) המצוידת במסנן אקוסטי-אופטי (AOTF) בתחום 550-850 nm, המאפשר הדמאות היפר ספקטראליות. המאפיין את המדידות במחקר הזה היה שהן נוצעו בהחזר. במסגרת מחקר זה פותח אלגוריתמים לזיהוי פגמים שנגרמו בפגיעות מכאניות בעזרת צילומים

היפר ספקטראליים בתנאים ניחים. בנוסף, תוכנן ונבנה מתקן להזנה וסריקה תוך כדי תנועה המצויד בשני הספקטרופוטמטרים של NIR בשלב זה של המחקר תופעל כל אחד מהם לחוד, ונדרשה העברה כפולה וכוונון ראשוני. המתקן נוסה בתנועה תוך יישום מדגמים מכמה בתי אריזה ואופיינו המודלים הספקטראליים. בימים אלו התקדמנו שלב נוסף והצלחנו ולהפעיל את שניהם במקביל באמצעות מחשב אחד והמתקן עובר ניסויי הטמעה במערך אבטחת האיכות בבית אריזה "פרות גולן".

במחקר שנערך ב-2005 נערכה בחינת התכנות לזיהוי פרי נגוע באלטרנריה בעזרת אנליזת NIR בתנאי Online. במחקר משלים שהיה במימון של "החברה למחקר ופיתוח קירור ואיסוס פירות קריית שמונה בע"מ" במימון איק"א) נבנה אב טיפוס חד ערוצי למכונה חצי אוטומטית המתאימה לכיול בחינת מדגמים ובחינת התכנות של השיטה (Schmilovitch et al. 2006b). בעונת 2005 נערכו ניסיונות לאבחון בלתי הרסני של הרקבון הפנימי בתפוחי סטרקינג דלישס באמצעות ספקטרוקופיה של NIR, בשתי שיטות - אור מוחזר במכשיר INSIGHT של חברת CVS האוסטרלית ואור עובר במכשיר של המכון להנדסה חקלאית (Schmilovitch et al. 2006b). במחקר זה נבחנו מספר קבוצות של מדגמי תפוחים. הנגיעות נבקה באופו הרסני, היינו חיתוך וצילום החתך והנגיעות חושבה באחוזים של שטח החתך. נבחנו מספר מודלים אפשריים (ראה נספח א') לפי התוצאות שנתקבלו, סיכויי האבחון באור מוחזר הם קלושים. אך באור עובר ניתן היה לזהות ביעילות של 100,87,87,86,92 אחוזים בקבוצת ניסוי אחת תפוחים בריאים, נגועים ברקבון בית גרעין עד 5, 10, 20, 30 ומעלה אחוזים משטח החתך שלהם. באחוד הקבוצות ובבניה של מודל כללי נמצאו תוצאות פחותות לדוגמא רק 86% מהתפוחים הבריאים מוינו ככאלה. מחד 80% תוצאה זו מעודדת, אך אינה מספקת במיוחד בהתחשב בכך ש-14% מהפירות התקינים זהו כנגועים אמנם ברמת נגיעות נמוכה (רוב השגיאות 5% נגיעות). מסקנת מחקר מוקדם זה היא למעשה היפוטזת המחקר הנוכחי והיא כי ניתן יהיה לשפר את ביצועי המכשיר על-ידי פיתוח ומחקר נוסף שיביא לשיפורים משמעותיים בביצוע על יד שינויים בחומרה (של המערכת האופטית) ובתוכנה.

## 2.1. מטרת המחקר

מטרת המחקר הנוכחי הן לבחון את האפשרות לזהות פרי נגוע באלטרנריה ולאבחן איכות פנימית של תפוחים בעזרת אנליזת NIR כאשר הפרי בתנועה. לבחון השפעת פרמטרים המשפיעים על איכות האבחון הרזולוציה, זמן דגימה ומספר אורכי גל הנדרשים, לפתח אלגוריתם ליישום. לפתח אב טיפוס להוכחת יכולת השיטה ובאמצעותו להגדיר את הבסיס לפיתוח הדור הבא של מתקני קירור אוטומטיים לתפוחים. המטרות ספציפית של המחקר הן: לבחון ולפתח שיטות ואמצעים לשפר את ביצועי המכשיר אב טיפוס הראשון על-ידי שינויים בחומרה (של המערכת האופטית) ובתוכנה. לפתח מערכת אב טיפוס לאבחון רקבון פנימי בקצבים גבוהים וברמת נגיעות נמוכה ולאפשר מיון עתידי של פרי בריא בלבד.

## 3. פירוט עיקרי הניסויים

### מהלך המחקר

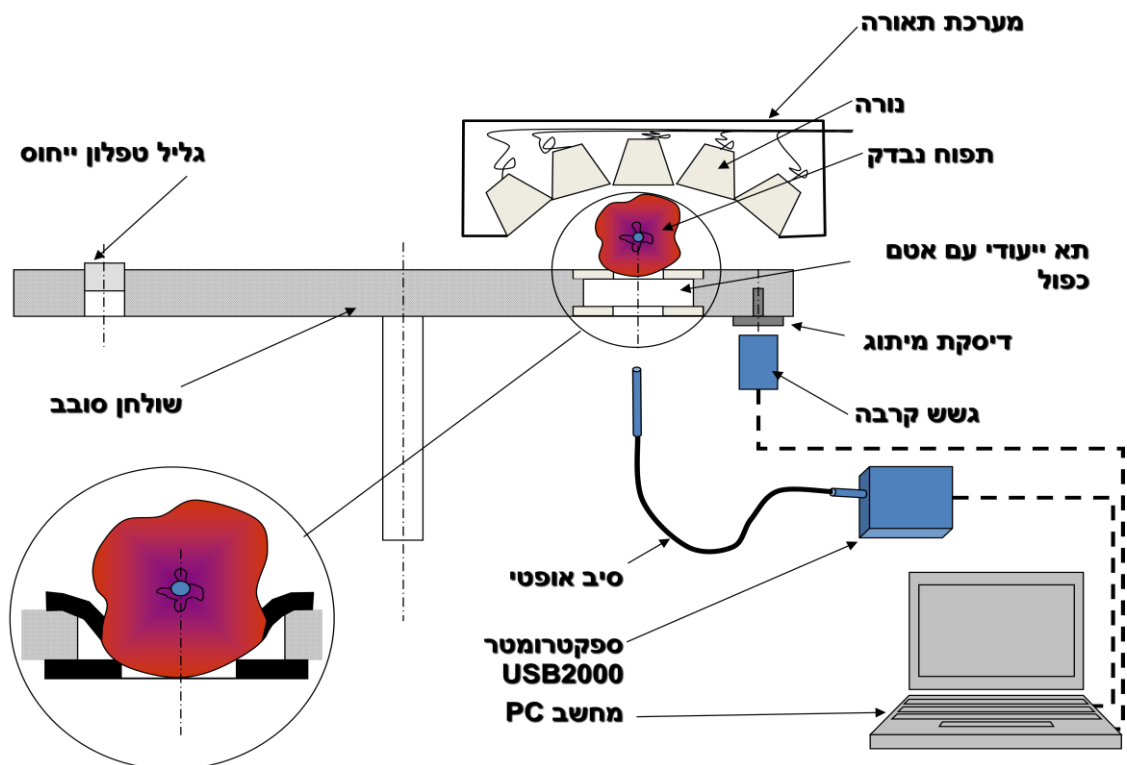
בשלב ראשון בוצעו שיפור במערכת האב טיפוס שנבנתה במחקר קודם עבור החברה למו"פ באיסוס פירות בקרית שמונה, תאור סכמתי שלה מופיע באיור 1 ותמונת המערכת בפועל מתוארת באיור 2. המערכת הוחזרה למכון והוכנסו בה מספר שינויים: מערכת התאורה הוחלפה במערכת עם 10 מקורות אור הלוגן של 50 וואט במקום חמישה. מערכת הפיקוד שונתה כך שתאפשר הנעה קלה יותר. מערכת ההנעה שודרגה בכדי לאפשר מהירות סיבוב גבוהה יותר מאשר קודם לכן. מספר תאי הדגימה הוגדל מארבעה לשניים עשר ולמעשה נוצרה מערכת הבודקת תפוח אחר תפוח באופן רציף כשהמרווח ביניהם הוא גודל התא הייעודי שפותח לנושא (ראה איור 1 ו 2). נבנה תותב עם מסנן מטפולון לבן המשולב בתא כזה לצורך כיול ורפרנס, זאת כתחליף לצילנדר טפולון ששימש קודם ושהיה שתול בקביעות בשולחן הסובב. נערכו בדיקות לפרי שנאסף על ידי משה פליישמן מקצרין (מו"פ צפון) ושאוחסנו לתקופה ארוכה במעבדה של החברה למחקר ופיתוח איסוס וקירור בקרית שמונה. סכ"ה

נבדקו 600 תפוחים בחמישה מועדים 120 פרות בכל פעם. הפירות נסרקו במעבר בקבוצות של 11 בשלוש חזרות ובשלשה מצבי הנחה. לאחר מכן הם נבחנו בשיטות הרסניות גם על ידי צילום פרי תנוך וחישוב השטח הנגוע וגם מתן ציונים לרמת הנגיעות על פי מראה. חושבו מחדש מודלים ספקטראליים מבוססים על ניתוח בשיטת PLS. הוכנסו שיפורים בתוכנה כך ששופרה מהירות הדגימה ואפשר לבחון בקצב של 6 פירות בשניה.

בשלב הבא נעשו גם שיפורים בספקטרומטר- נרכש ספקטרומטר חדש מסוג USB4000. בו נכללים שינויים באופטיקה כגון הרחבת Slit בספקטרומטר, ציפוי השריג בחומר מגביר החזר ותוכנות הפעלה חדשות. לאור שיפור התאורה נבחנה מחדש האפשרות ליישום מיני ספקטרוטומטר מבוסס מערך דיודות של InGaAs המודד בטווח של 1100-1750 ננומטר. נאספו פירות ממספר חלקות ברמת הגולן ובגליל העליון ואוחסנו בחדר קירור במכון לטכנולוגיה בבית דגן ואלו נבדקו עם תום הכנסת ה-USB4000 לפעולה. התוצאות היו דומו לאלו שהתקבלו בעבר לאכזבתנו השיפור הטכנולוגי לא הניב שיפור משמעותי.

בנוסף נערכו מספר נסיונות עם עדשות מרכזות קולמטריות כגון עדשה מספקטרומטר אחר QUANTUM 1200 (תוצר LTI ארה"ב) ועשה מרכזת קולמיטרית של חברת OCEANOPTICS. בחינת עצמת הסיגנל ואו יחס אות רעש להפתעתנו לא נמצא שיפור בעת מדדות מעבר דרך תפוחים בריאים. חיבור עדשות אלו והתקן להארכת סיב אופטי שנבנה על ידנו שמשו לבחינת האות המועבר לספקטרומטר מסוג LIGA תוצרת MICROPARTS (גרמניה) שהוא עם גלאי מסוג InGaAs המאפשר טווח ארכי גל בין 1100 ל1750 ננומטר. האות שהתקבל למרות האמור לעיל היה חלש מדי ויחס אות לרעש היה גבוה מאוד בעקבות כך ולכן לא נמדדו ניסויים בתסוחים בכמות שתאפשר לפתח מודל ספקטראלי.

תכנונים מספר בוצעו לתא שיאפשר מדידה בתנועה אך בנייתו של סעור מוחת עם כמה מומחים נמצא כי לא נראה שיש פתרון שהוא יעיל מבחינת החשיכה הנדרשת על פי הממצאים שהיו במערכת שלנו. מצאנו שכל הנחה בלתי הולמת של התפוח או אי כיסוי "הסינר" שמסביב לאזור המדידה גורמת לכניסת אור לספקטרומטר שלא דרך התפוח לכן הוחלט בסופו של דבר כי אין טעם לבנות אף אחד מהפתרונות שתוכננו.



איור 1: תאור סכמתי של מערכת אב טיפוס



**איור 2: מערכת האב טיפוס הראשונה**



**איור 3: מערכת לאבחון רקבון פנימי משופרת**

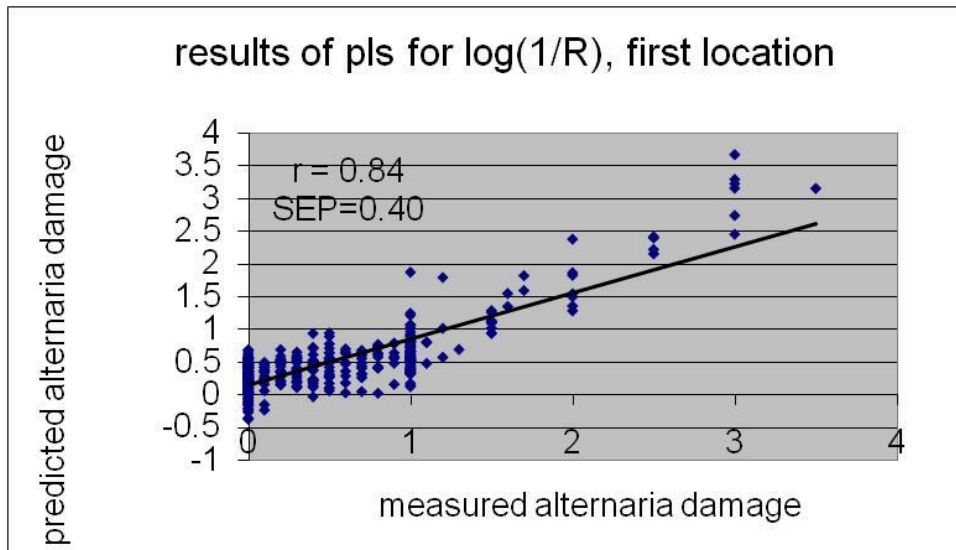
### 3.1 תוצאות

האפשרות ליישום מיני ספקרופוטומטר מבוסס מערך דיודות של InGaAs המודד בטווח של 1100-1750 ננומטר לא מוצתה עדיין אין סיגנלים משביעי רצון. אך לאחרונה החלפנו את מכשיר הספקטרומטר מסוג זה בדגם חדיש יותר ויתכן כי בו תצלח דרכנו יותר.

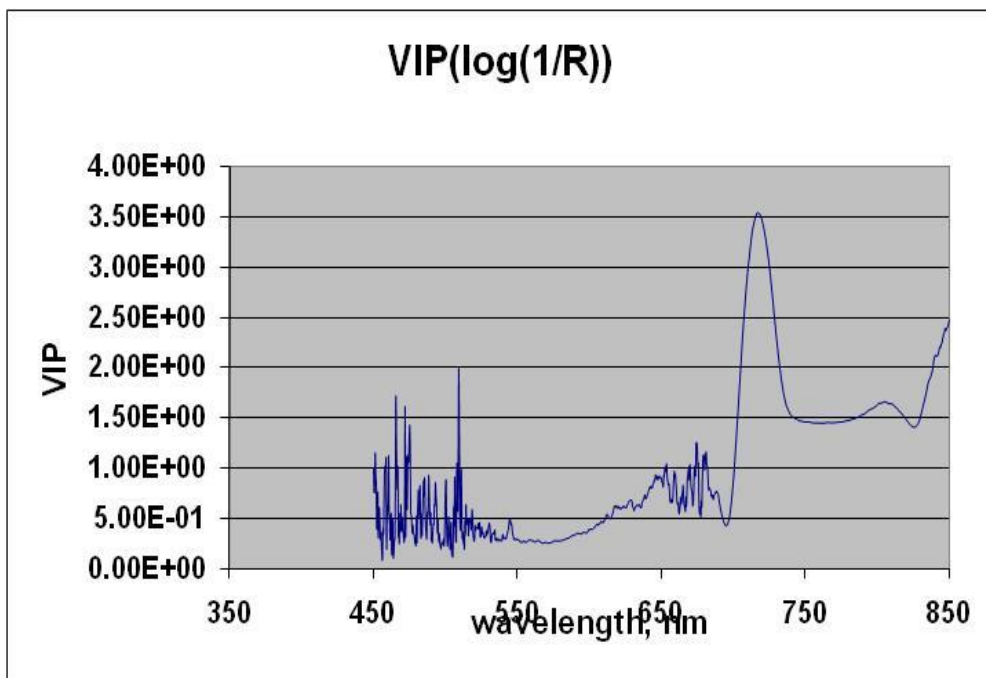
בניתוח ראשוני של המדידות עם USB2000 ניכר שמעל 850 nm אין אות מעבר משמעותי. באיורים 4,6 מוצגות תוצאות של חיזוי הרקבון על פי ציוני הבדיקה כאשר עד 1 מדובר באלטרנריה בתוך בית הגרעין ומעל זאת מחוץ



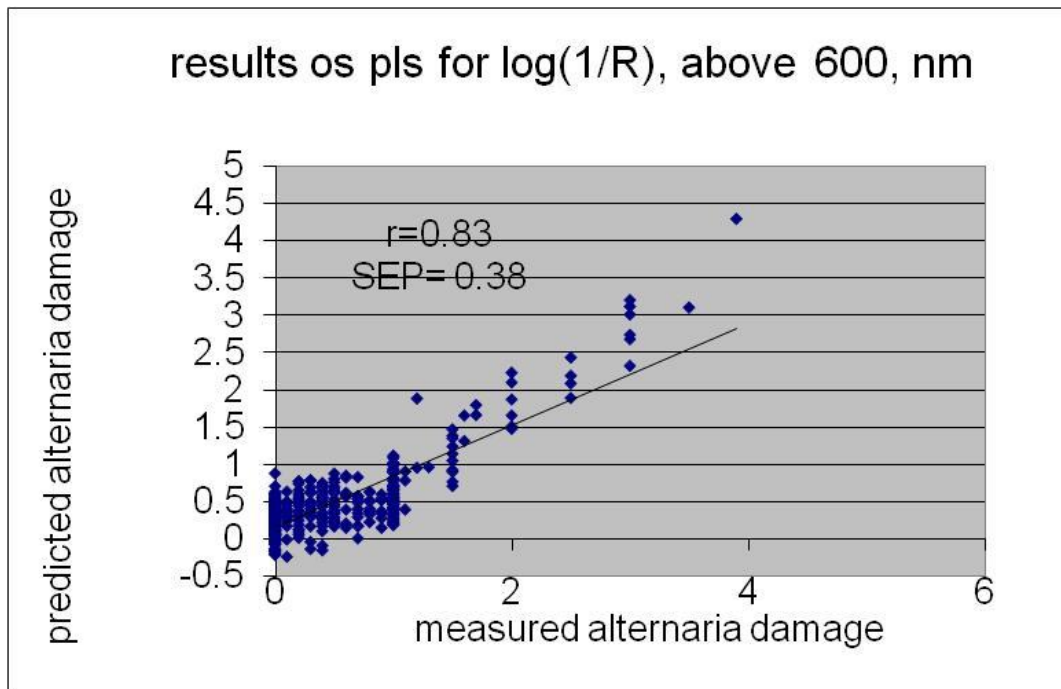
לו עד דרגה 4 של רקבון רב ביותר. נראה כי המערכת מצליחה לזהות חד משמעית רקבון מעל 1 ולזהות תפוחים בריאים (0). לאור המודל הספקטראלי ה"רועש" בתחום של 400 עד 850 nm נבחר מודל המתחיל ב 600 nm המראה יציבות גדולה יותר ומעט דיוק יותר גבוה. מקדמי משוואת מודל הספקטראלי בכל הטווח מוצגים באיור 5 ואילו בטווח המצומצם באיור 7.



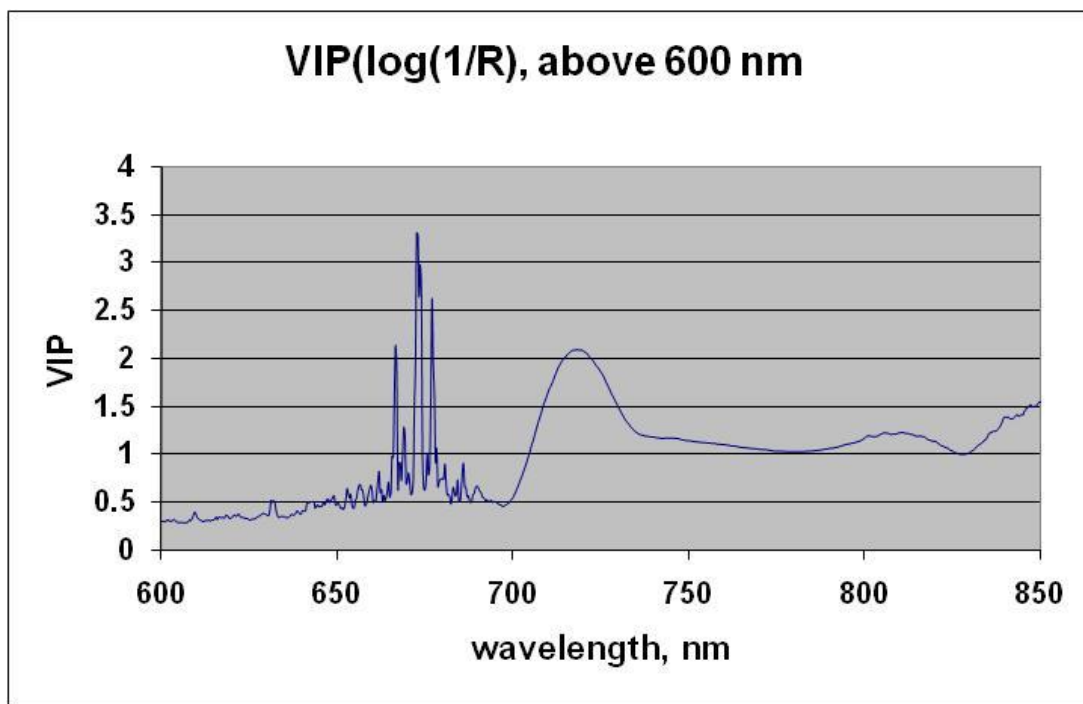
**איור 4:** חיזוי הרקבון על פי ציוני הבדיקה באורכי גל 450-850 nm



**איור 5:** מודל ספקטראלי לאורכי גל 450-850 nm מבוס PLS של  $\log(1/R)$



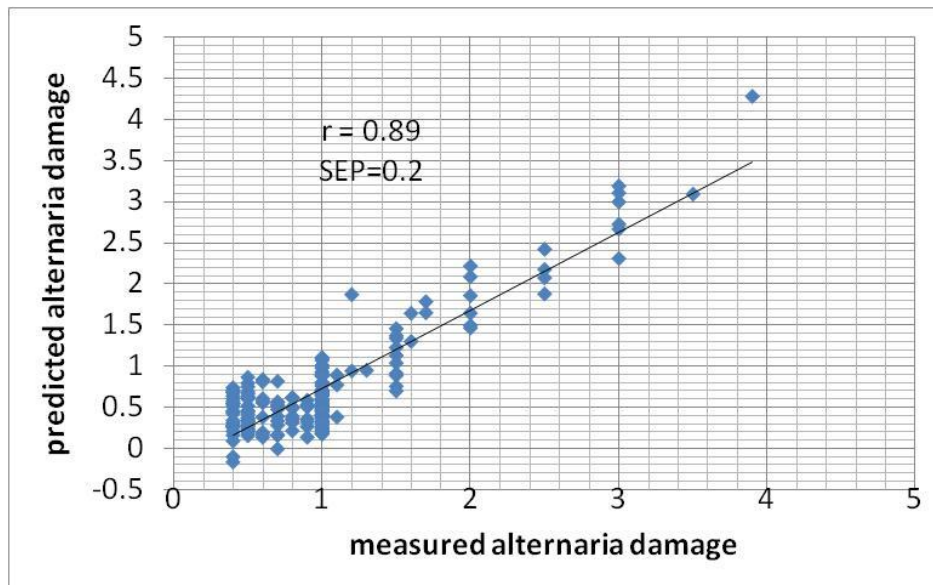
איור 6: חיזוי הרקבון על פי ציוני הבדיקה באורכי גל 600-1000 nm



איור 7: מודל ספקטראלי לאורכי גל 500-850 nm מבוס PLS של  $\log(1/R)$

### 3.2. דיון

נכר כי באזור הנגיעה עד ציון 0.5 המודל מתקשה באם מסתכלים באותו מודל רק על תוצאות מעל ערך זה מתקבל מתאם גבוה של 0.89 ושגיאת חיזוי של 0.2 (ראה איור 8).



**איור 8:** חיזוי על פי מודל PLS רק על נגיעות מעל 0.4.

נסיונות לשיפורים במודלים הסטטיסטיים על ידי יישום של רשתות עצביות ומודלים פאזי לוגיים שהם אינם ליניאריים, או לחילופין האפשרות ליישום של שיטת התאמת זוגות (Pare Matching) ויישום של ספקטרה מתפוחים מקולפים או חצויים כדי לעקוף את השפעת ספקטרום הקליפה על המודל כשלו לצערנו ולא הניבו תוצאות מוצלחות יותר מאשר המודלים הקודמים ונתרנו עם שגית חיזוי של 10% נגיעות. על פי פרוטוקול של המעבדה בקרית שמונה נערכו מספר ניסיונות לאלח באופן יזום דגימות פרי שנסרקו באותו אופן האמור לעיל אך מסתבר לאחר מכן שהאילוח היה ללא הצלחה הולמת ולא אפשר שיפר הביצועים של המערכת.

#### 4. רשימת ספרות מצוטטת

- Clark, C. J., V. A. McGlone and R. B. Jordan (2003) Detection of Brownheart in 'Braeburn' apple by transmission NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 28, 87-96
- 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.
- Finney, E.E. and K. H. Norris. 1978. Determination of moisture in corn kernels by Near Infrared Transmittance measurements. *Trans. ASAE* 21:282
- Giangiaco, 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,
- Lanza, E. and B. W. Li., 1984. Application of near infrared spectroscopy for predicting the sugar content of fruit juices. *Journal of Food Science*. 49(4): 995-998.
- Lanza, E. and Li B.W. 1984. Application for Near Infrared Spectroscopy Predicting sugar Content of Apples. *J Food Science* 49: 995-998.
- Lovasz, A. Slago, P Meresz. 1994. determination of apple maturity by NIT. *Acta orticulture* 368 Postharves 93, 276-290
- 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. Budapest, 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.
- Peirs, A., J.Lammertyn, K. Ooms and B. Nickolai. 2000. Prediction of the optimal picking date of different cultivars by means of VIS/NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 21, 189-199.
- Peirs, A., N. Scheerlinck, J. De Baerdemaeker, B.M. Nicolai. 2002. Quality determination of apple fruits with a hyperspectral imaging system. Paper Number: 02-PH-028 , *AGENG2002, Budapest, Hungary*.
- Sato, T., M. Yoshino, S. Furukawa, Y. Someya, N. Yano, J. Uozumi and M. Iwamoto. 1987. Analysis of milk constituents by the near infrared spectrophotometric method. *Japanese Journal of Zootechnical Science*. 58: 8, 698-706.
- Schatzki Thomas F, Ron P. Haff, Richard Young, Ilkay Can, Lan Chau Le, and Natsuko Toyofuku. 1996. Defect detection in apples by means of x-ray imaging. *Proceedings of SPIE. Volume 2907, Optics in Agriculture, Forestry, and Biological Processing II*, George E. Meyer, James A. DeShazer, Editors, December 1996, pp. 176-185.
- 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 and L. Susan. 2006a. 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., C. Shenderey, I. Shmulevich, V. Alchanatis, H. Egozi, A. Hoffman, V. Ostrovsky, S. Lurie, R. Ben Arie. 2006b. NIRS Detection of Moldy Core in Apples. Presented at 2006 CIGR, Bonn, Germany. Book of Abstracts 237-238
- Shenk, J.S. and R. Barnes. 1977. Current status of Infrared reflectance in Proc 34th South. Past. And ForageCrop Impr. Confr. Auburn, Alabama, :57-62.
- Shenk, J.S. and M.O Westerhaus, M.R. Hoover, K. M. Mayberry and H. K. Goering. 1978. Predicting forage quality by infrared reflectance spectroscopy In Proc. 2nd Int. Green Crop Drying Conf. University of Saskatchewan, :292-299.
- Williams, P. C., 1973. The application of the Neotec grain quality analyzer to the analysis of cereal grain. Cereal Sci. Today 18: 384-285
- Williams, P. C., 1975. Application of near infrared reflectance spectroscopy to analysis of cereal grain. Cereal Chem. 52:561-576.
- Williams, P. C. and K. H. Norris (Eds.). 1987. Near Infrared Technology in the Agricultural and Food Industry. ASCC Inc. St. Paul. Mn. USA.
- Zude-Sasse, M., Herold, B, Geyer, M., 2000 Comparative study on maturity prediction in 'Elstar' and 'Jonagold' apples. Gartenbauwissenschaft 65: 260-265.

5. סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
המטרות ספציפית של המחקר הן: לבחון ולפתח שיטות ואמצעים לשפר את ביצועי המכשיר אב טיפוס הראשון על-ידי שינויים בחומרה (של המערכת האופטית) ובתוכנה. לפתח מערכת אב טיפוס לאבחון רקבון פנימי בקצבים גבוהים וברמת נגיעות נמוכה ולאפשר מיון עתידי של פרי בריא בלבד.
עיקרי הניסויים והתוצאות.
מערכת האב טיפוס שופרה כדלקמן: (א) מערכת התאורה הוחלפה במערכת עם עשרה מקורות אור הלוגן של 50 וואט במקום חמישה. (ב) מערכת הפיקוד שונתה כך שתאפשר הנעה קלה יותר. מערכת ההנעה שודרגה בכדי לאפשר מהירות סיבוב גבוהה יותר. (ג) מספר תאי הדגימה הוגדל מארבעה לשניים עשר ולמעשה נוצרה מערכת הבודקת תפוח אחר תפוח באופן רציף כשמרווח ביניהם הוא גודל התא הייעודי שפותח לנושא. (ד) נבנה תותב עם מסנן מטפלון לבן המשולב בתא כזה לצורך כיוול ורפרנס כתחליף לצילנדר ששימש קודם ושהיה שתול בקביעות בשולחן הסובב. (ה) בנוסף לאמור לעיל נערכנו לשיפורים בספקטרומטר נרכש ספקטרומטר USB4000 בו נכללים שינויים באופטיקה כגון הרחבת Slit בספקטרומטר, ציפוי השריג בחומר מגביר החזר.
נערכו בדיקות לפרי שנאסף ושאווסן לתקופה ארוכה במעבדה של החברה למחקר ופיתוח איסוס וקירור בקרית שמונה. הפירות נסרקו במעבר בקבוצות של 11 בשלוש חזרות ובשלשה מצבי הנחה, נבחנו בשיטות הרסניות גם על ידי צילום פרי חתוך וחישוב השטח הנגוע וגם מתן ציונים לרמת הנגיעות על פי מראה. הוכנסו שיפורים בתוכנה כך ששופרה מהירות הדגימה ואפשר לבחון בקצב של 6 פירות בשניה.
נבחנה מחדש האפשרות ליישום מיני ספקטרוטומטר מבוסס מערך דיודות של <i>InGaAs</i> המודד בטווח של 1100-1750 ננומטר. תוכנן מבנה עקרוני לבחינה בקו ולא בשלחן סובב.
נסיונות לשיפורים במודלים הסטטיסטיים על ידי יישום של רשתות עצביות ומודלים פאזי לוגיים שאינם ליניאריים, או לחילופין האפשרות ליישום של שיטת התאמת זוגות (Pare Matching) ויישום של ספקטרה מתפוחים מקולפים או חצויים כדי לעקוף את השפעת ספקטרום הקליפה על המודל כשלו לצערנו ולא הניבו תוצאות מוצלחות יותר מאשר המודלים הקודמים ונתרנו עם שגית חיזוי של 10% נגיעות.
על פי פרוטוקול של המעבדה בקרית שמונה נערכו מספר ניסיונות לאלח באופן יזום דגימות פרי שנסרקו באותו אופן האמור לעיל אך מסתבר לאחר מכן שהאילוח היה ללא הצלחה הולמת ולא אפשר שיפר הביצועים של המערכת.
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?
חלק ממטרות המחקר הושגו: שיפורים מכאניים ואופטיים וגם בתוכנה. שיטות נוספות לשיפור הדיוק כשלו. נסיון לשילוב של מד חדש <i>InGaAs</i> לא הביא לקבלת אותות מובחנים דיים.
1. בעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנתרה לביצוע תוכנית המחקר?
לצערי כנראה שלא ניתן לשפר עוד באמצעים הנוכחיים
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח:
תצוגת המערכת באגריטך 2009, בכנס האגודה להנדסה חקלאית 2010
פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)
<input type="checkbox"/> ללא הגבלה (בספרות ובאינטרנט) <input type="checkbox"/> חסוי לא לפרסם
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? לא

