

פיתוח מכשור נייד בתחום ה-NIR לאבחון והערכת מדדי קטיף של פרו

Mobile NIRS apparatus for apple maturity measurement

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ע"י

זאב שמילוביץ<sup>1</sup>, ויקטור אלחנתי<sup>1</sup>, סוזן לוריא<sup>2</sup>, אהרן הופמן<sup>1</sup>, חיים אגוזי<sup>1</sup>, ויסצ'לאב אוסטרובסקי<sup>1</sup>, אסיה וקסלר<sup>2</sup>

Ze'ev Schmilovitch [veshmilo@volcani.agri.gov.il](mailto:veshmilo@volcani.agri.gov.il)

Victor Alchanatis [victor@volcani.agri.gov.il](mailto:victor@volcani.agri.gov.il)

Susan Lurie [slurie43@volcani.agri.gov.il](mailto:slurie43@volcani.agri.gov.il)

<sup>1</sup>) ARO, The Vocani center, Institute of Agricultural Engineering. POBox 6, Bet Dagan, 50250, Israel.

<sup>2</sup>) ARO, The Vocani center, Institute of Postharvest and Food Sciences. POBox 6, Bet Dagan, 50250, Israel.

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.  
הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא



חתימת החוקר

רשימת פרסומים

## 1. תוכן עניינים

2	.....	1. תוכן עניינים	1.
3	.....	2. תקציר	2.
4	.....	3. מבוא ותיאור הבעיה	3.
6	.....	4. מטרות המחקר	4.
6	.....	5. פירוט עיקרי הניסויים במהלך תקופת הדוח	5.
7	.....	6. תוצאות	6.
11	.....	7. דיון	7.
11	.....	8. רשימת פרסומים	8.
11	.....	9. רשימת ספרות	9.
14	.....	10. סיכום עם שאלות מנחות	10.

הגדרת מצב הבגרות ההורטיקולטורית ואיכות הפרי כמדד לקביעת מועד קטיף תופסת מקום חשוב בניהול ואבטחת איכות תפוחים. לשם כך נבדקים מדגמי פרי באופן תדיר ובליוי ופיקוח של בתי האריזה. התמורה לתוצרת באיכות גבוהה גדולה בהרבה מהתמורה הממוצעת. האבחון של מדדים אלו: היינו מוצקות, תכולת סוכרים, עמילן וחומציות נעשה כיום בשיטות הרסניות וחודרניות. דבר זה כרוך בעבודה מרובה ובגודל מדגם מוגבל.

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. מספר מכשירים לאבחון איכות פירות, המבוססים NIR והמוגדרים "ניידים", מצויים בשוק, אך הם עדיין לא בשימוש נרחב כלל. חלק מהסיבות להערכתנו אינם מתאימים עדיין ליישום מאחר ומחירם מגיע לכ 10,000 יורו ובנוסף עדיין מסורבלים מדי בגודל ומשקל. במכון פותחה מערכת חצי אוטומטית המאפשרת יישום של מיני-ספקטרומטר למדידת מרכיבים פנימיים של תפוחים בתנועה. מערכת זו מהווה בקרוב בסיס לבחינת יישום השיטה במערך אבטחת האיכות בבית האריזה ובסיס ליישום עתידי במערך המיון. אולם, זו מערכת המותאמת לעבודה במצב ניח ואינה יכולה לשמש לבחינה ניידת בשדה. כל זה מוביל למסקנה יש מקום לפיתוח של מכשיר נייד, קל ושאינו יקר המבוסס NIR שיסייע לחקלאים בקבלת החלטה על מועד קטיף אופטימאלי. מטרת המחקר לבחון את היתכנות הפיתוח של מכשיר נייד חדש המבוסס על טכנולוגיית NIR למדידה במטע של מדדי קטיף בתפוחים.

שתוף הפעולה שתוכנן עם חברת INKSURE שפיתחה מכשיר נייד לזיהוי נוכחות דיו ספציפי בכרטיסי תחבורה ציבורית באירופה. המכשיר מכיל מיני-ספקטרומטר ומיקרו-מחשב. החברה השאילה לצוות מכשיר כגון זה נסוגה מנכונותה להסב אותו על. מכשיר נייד נוסף שפותח על ידי חברת "קמיליון" בשת"פ עם חלק ממגיש תכנית המבוסס NIR ומיועד לבדיקת דלקות אוזניים גם הוא ברשותנו גם הוא לא נבדק במקומו נבדקו שני מיקרוספקטרומטרים אחרים שניתן לשלבם במכשור זה בשלב הבא והם USB2000 (תוצרת OCEAN OPTICS, ארה"ב) ו-NIR 1.7 (תוצרת STEAG גרמניה). לאור זאת עיקר העבודה התרכזת בתקופת הדוח בנוסף בהסבת מכשיר שפותח על ידי הצוות כחיישן הרכב חלב (AFILAB, תוצרת SAE AFIKIM ישראל) לבדיקת תפוחים. בכל המכשור נבדקו מדגמי תפוחים בשלב זה בעיקר לתכולת סוכרים. תוצאות החיזוי למכשירים השונים הראו כי עבור כמ"מ, וחומציות TA עם מכשיר Liga, וגם עבור המכשיר מסוג USB 2000 יש כושר חיזוי גבוה, עבור מוצקות התוצאות פחות טובות. במכשיר DA נבחן הקשר (כיול) בין התכונות ונמצא קשר טוב רק עבור כמ"מ (TSS). כושר החיזוי ל כמ"מ מוצקות TA במכשיר האפיאב היה בינוני אך לאור התוצאות של ה-USB נערכו השיפורים במכשיר ה"אפילאב" המוסב וחלק מהדיודות הוחלפו בדיודות בתחום אחר. ניסויים חדשים נערכו במדגמי תפוחים ונמצא כי לאחר שהוחלפו חלק מהדיודות בדיודות בתחום אחר כושר החיזוי ל כמ"מ במכשיר ה"אפילאב" שופר גם ל TA וגם לעמילן. הוכחת יכולות לבחון מדדי קטיף במכשיר נייד הוכחה ברמה העקרונית גם במכשיר האפילאב המוסב וגם ב-DAMETER. המזעור והתיעוש של האפילאב עדיין חסר והוא כנראה יבוצע דרך יישום מסחרי בשלב הבא.

הגדרת מצב הבגרות הביולוגית ואיכות הפרי כמדד לקביעת מועד קטיף תופסת מקום חשוב בניהול ואבטחת איכות תפוחים. לשם כך נבדקים מדגמי פרי באופן תדיר ובליוי ופיקוח של בתי האריזה. התמורה לתוצרת באיכות גבוהה גדולה בהרבה מהתמורה הממוצעת. האבחון של מדדים אלו: היינו מוצקות, תכולת סוכרים, עמילן וחומציות נעשה כיום בשיטות הרסניות וחודרניות. דבר זה כרוך בעבודה מרובה ובגודל מדגם מוגבל.

רוב התפוחים נקטפים מועברים לאחסון, ולכל זן נקבע מדדי קטיף, שעל פיו נקבע משך אחסון - לטווח ארוך בינוני או קצר [1]. כדי להבטיח פוטנציאל אחסון ארוך טווח (<6 חודשים), חשוב לקטוף את הפרי בתקופה אופטימאלית מוגדרת היטב. קטיף מוקדם עלול לגרום הבשלה שאינה מספקת בעת הוצאתם מהאחסון. לעומת זאת, בקטיף מאוחר יש חשש כי התפוחים יתרככו ויהפכו קמחיים לפני השיווק או מיד אחריו. אפילו תנאי אחסון אופטימאליים אינם יכולים לפצות על אובדן של פוטנציאל אחסון בגלל תזמון לא מתאים של הקטיף [17] (1996). הגדרת מועד קטיף אופטימאלי הלוקחת בחשבון את יעדי השיווק ואחזקת הפרי באחסון היא הכרחית על מנת לספק סחורה באיכות גבוהה לצרכנים.

יעול הקטיף ושיפור איכות הפרי באחסון שלאחריו, יכול להתאפשר אם ניתן היה לצפות מהי התקופה האופטימאלית לקטיף מבעוד מועד. השיטות העיקריות לקביעת מועד הקטיף מבוססות על דפוס זמני של שינויים בתכונות בודדות או רבות של הפרי בתקופה שלפני הקטיף. המדדים עשויים לכלול מוצקות, תכולת עמילן, צבע הקליפה, תכולת מסיסים מוצקים וחומציות. החוקר Strief [20] פיתח שיטת חיזוי (1983), המבוססת על שמונה תכונות של איכות פרי, שאותה פישט מאוחר ב-1996 יותר לשלוש תכונות בלבד [21]. השיטה האחרונה קושרת בין מוצקות, כמות מסיסים מוצקים ותכולת עמילן. מדד זה יורד במשך הבשלת הפרי עד לרמת סף של אחסון לטווח ארוך. רמת המדידות הנהוגה בישראל לקביעת משך האחסון של תפוחים כוללת מוצקות ועמילן וסידן [1]. השיטות המקובלות לבדיקת ההבשלה של תפוחים הן הרסניות ודורשות דגימה של תפוחים המיועדים לקטיף בכל תצפית ומדידה. תהליך הגוזל זמן וכוח אדם ומוגבל מטבעו לדגימות בהיקף מצומצם. זו הסיבה להתעניינות בפיתוח שיטה מהירה ולא הרסנית.

מאז סוף שנות ה-80 של המאה העשרים נבדקת האפשרות של בדיקת ההרכב הפנימי של חומרים ביולוגיים באמצעות near infrared (NIR)-spectroscopy [9] יתרונותיה של שיטה זו הם: (1) מהירות הבדיקות; (2) ניתן לבדוק תכונות רבות באופן סימולטני, (3) מאחר ששיטה זו אינה הרסנית, ניתן לבצע בדיקות חוזרות באותה דגימה. 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. עבור אבחון חומר יבש בבצל לתעשייה נעשתה עבודת פיתוח ומחקר בארה"ב.

דיווחים ראשוניים על NIR מופיעים כבר ב-1941 ו-1939 [4] [5]. Ben Gera and Norris [2] [3]. היו הראשונים ליישום NIR בחקלאות. הם זיהו את הפוטנציאל הגלום בהחזר דיפוזי (Diffuse reflectance) לאבחון מהיר של הרכב פנימי של גרעיני דגנים. עבודה נוספת של Norris [13] הרחיבה את היישום להגדרת מספוא כולל על מדד יכולת העיכול ע"י בע"ח. ב-1977 [18] הוכיחו שניתן להגדיר אורכי גל להגדרת איכות המספוא ולפתח מכשיר נייד ליישום בשדה [19] ב-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-USA שהתפרסמה כמדריך ליישום השיטה (Marten et al., 1989). מספר מכשירים לאבחון איכות

פירות, המבוססים NIR והמוגדרים "ניידים", מצויים בשוק. מכשירים אלו כגון "אקדח" (NIR gun) של חב' Fantec (יפן) או מכשיר מטלטל (BA1002) של חב' Kubota גם מיפן, כמו גם מכשיר דומה (QS200) תוצרת איטליה של חב' Unitec. אך הם עדיין לא בשימוש נרחב כלל. חלק מהסיבות להערכתנו אינם מתאימים עדיין ליישום מאחר ומחירם מגיע לכ 10,000 יורו ובנוסף עדיין מסורבלים מדי בגודל ומשקל.

טכנולוגיית NIR פועלת באורכי גל מ-780 עד 2500. כאשר הקרינה פוגעת בדגימה, אירוע ההקרנה יכול להיות החזר אור, קליטתו או העברתו, והתרומה היחסית של כל תופעה תלויה בהרכב הכימי ובתכונות הפיזיות של הדגימה. הדבר קורה גם בגלל הפיזור בתוך הדגימה. מרכיבי הפיזור העיקריים בפירות ובירקות הם מרכיבי דופן התאים, מאחר שהם גורמים לשינויים מידיים במקדמי שבירת האור [10], גם חלקיקים מורחפים, כמו גרגרי עמילן, כלורופלסטים ומיטוכונדריה עשויים לגרום לפיזור [8]. אירועים רבים של פיזור קובעים את עוצמת האור המפוזר הנפלט ולא את תבנית ספקטרום האור הנפלט. ספקטרום האור הנפלט תלוי במרכיבי הרקמה הקולטת את האור. רוב הקליטה של הרצועות באזור הקרוב לתת אדום הן רמזים או רקמות משולבות של רצועות הקרינה הבסיסית באזור האינפרה-אדום של הספקטרום האלקטרומגנטי, הנגרם ע"י העברות תנודתיות וסיבוביות. בתערובות מורכבות, כמו בפירות, ריבוי הרצועות והשפעת התרחבות השיא גורמות לספקטרום NIR רחב עם כמה שיאים חדים, הנשלטים ע"י ספקטרום המים עם רמז לרצועות של קשרי OH ב- 760 nm, 970 nm וב- 1450 nm [13]. לכן נדרשות שיטות סטטיסטיות מתוחכמות רבות משתנים למיצוי מידע מספקטרום NIR.

החדירה של קרינת NIR לרקמות הפרי יורדת באופן אקספוננציאלי ככל שהיא מעמיקה. נמצא בתפוחים עומק חדירה [9] של עד 4 מ"מ בתחום של 700-900 nm ועומק חדירה של 2 עד 3 מ"מ בתחום של 900-1900 nm. לעומת זאת, [6] נמצא שעומק החדירה (שהוגדר כעומק שבו עוצמת האור יורדת ב-1% מהעוצמה ההתחלתית) היה 25 nm בתחום של 700-900 nm ופחות מ-1 מ"מ בתחום של 1400-1600 nm. אין ספק שקליפת הפרי מהווה מכשול לחדירת אור וספקטרום הקליטה העיקרי שלה שונה מזה של הציפה הפנימית. הדבר יכול להיות יעיל כאשר ישנם שינויי פיגמנט בקליפה הקשורים להבשלת הפרי ויכולים להימדד בספקטרום של NIR.

במספר מחקרים השתמשו בטכנולוגיית-NIR למדידת מרכיבים פנימיים בתפוחים ובפירות אחרים [12]. ניתוח המרכיבים כלל מסיסים מוצקים, חומר יבש, חומציות, עמילן ומוצקות. ניתן לקבוע את תכולת המסיסים המוצקים בגבולות של 0.5%, למרות שדיוק הבדיקות יורד כאשר משווים בדיקות שנערכו במטעים שונים ובעונות שונות. רוב הבדיקות נעשו עד עתה נערכו באווירת מעבדה בתנאים סטטיים. למרות שיצרנים פתחו מערכות מקוונות, עדיין אין הוכחה מדעית על מידת הדיוק של מערכות אלה ([12]).

במחקר אחר של מגישי התכנית ([22]) פותחה מערכת חצי אוטומטית המאפשרת יישום של מיני-ספקטרומטר למדידת מרכיבים פנימיים של תפוחים בתנועה. מערכת זו תהווה בקרוב בסיס לבחינת יישום השיטה במערך אבטחת האיכות בבית האריזה ובסיס ליישום עתידי במערך המיון. אולם, זו מערכת המותאמת לעבודה במצב ניח ואינה יכולה לשמש לבחינה ניידת בשדה.

זמינותן של מערכות ספקטרופוטומטריות ממוזערות זולות פתחו אפשרויות לשימוש במכשירים ניידים שניתן להשתמש בהם במטע לניטור בשלות הפרי. מובן מאליו שיש למזער את מעורבות השינויים הסביבתיים, כמו הארה וטמפרטורה, או להתחשב בהם באמצעות עיבוד מתאים של הנתונים. החוקרים [24] השתמשו בספקטרומטר מיניאטורי בתחום של 350-999 nm כדי למדוד תכולת המסיסים המוצקים (SSC) בתפוחים. הם בנו קופסה עם טבעת גומי מיוחדת להצבת הפרי כדי למזער התערבות של אור תועה ורמת הדיוק של התוצאות שקבלו הייתה 1.1%. Walsh [25] השווה ביצועים אופייניים של שלושה ספקטרומטרים מסחריים ממוזערים וזולים במדידות של SSC ב-rock-melon ומצא הבדלים ברורים ברזולוציה וביציבות הספקטראלית, ברגישות היחסית של הגלאי, ביחס בין האות לרעש, ביציבות לאורך זמן ולשונות ביצועיהם בטמפרטורה ובכיוול. בקונסורציום אירופי של מוסדות מחקר

נבנה מכשיר דמוי כפפה שצויד בחיישנים ממוזערים למדידת SSC, תכונות מכאניות, צבע פנימי ובשלות [7] מיועד לשימוש בעת הקטיף. SSC נמדד באמצעות ספקטרומטר VISNIR שהורכב על הכפפה. יישומיים נוספים של מכשירים ניידים תוארו על ידי מספר חוקרים [23], [16], [15], [11], [28] בכל המקרים, מלבד באחד מהם, שבהם השתמשו ב- FANTEC Fruit Tester 20 [15], דיוק תוצאות חיזוי שנתקבלו היה נמוך יחסית. ייתכן שהדבר נובע מבעיות של חוזק המכשיר, ממגבלת תחום אורך הגל של הסיליקון, או מכך שהמכשירים שבהם השתמשו היו אב טיפוס שנבנה על ידם ולא ספקטרופוטומטרים מעבדתיים. מכשור חדש, מבטיח ונייד נמצא לאחרונה בשוק מתוצרת חברת Polymchromix (ארה"ב) חסרונו במשקלו (למעלה מ-2 ק"ג) ומחירו (כ-10,000 יורו). מאחר שישנו בוודאי מרחב יישומי רחב היקף של מכשירים ניידים ויש מקום לפיתוח מכשיר קל נייד ובמחיר הולם.

#### 4. מטרת המחקר

מטרת המחקר לבחון את היתכנות הפיתוח של מכשיר נייד חדש המבוסס על טכנולוגיית NIR למדידה במטע של מדדי קטיף בתפוחים.

#### 5. פירוט עיקרי הניסויים במהלך תקופת הדוח

בשנה הראשונה בתחילה היה שתוף פעולה עם חברת INKSURE שפיתחה מכשיר נייד לזיהוי נוכחות דיו ספציפי בכרטיסי תחבורה ציבורית באירופה. מכשיר זה מכיל מיני-ספקטרומטר ומיקרו-מחשב. החברה שנתה את מבנה המכשיר המיוצר כיום על ידה אך השאילה לצוות מכשיר מהסוג הקודם ונעשתה עליו עבודה מקדימה שהראתה כי נדרש להסב אותו ונדרשים בו שינויים מספר. לאחר מספר פגישות ואפיונים טכניים חזרה בה החברה מנכונותה המקורית להסב אותו על פי האפיון האמור. כתוצאה מכך הופנו מאמצי המחקר השנה לכיוונים אחרים: האחד בחינה מחודשת של שני מיקרוספקטרומטרים שניתן לשלבם במכשיר נייד אחר שפותח על ידי חברת אחרת ("קמיליון") בשת"פ עם חלק מהשותפים במחקר הנוכחי. גם הוא מבוסס NIR ומיועד לבדיקת דלקות אוזניים, והם USB2000 (תוצרת OCEAN OPTICS, ארה"ב) שהוא בתחום של 530-1110 ננומטר עם סיב דו כיווני (-BIF600 UV-VIS) ו-1.7 NIR (תוצרת STEAG גרמניה) שהוא בתחום הנקרא SWIR, היינו 850-1750 ננומטר, שניהם עם מקור LS-1 טונגסטן הלוגן אור. במקביל התרכזה העבודה בתקופת הדוח בהסבת מכשיר שפותח על ידי הצוות כחיישן הרכב חלב (AFILAB, תוצרת SAE AFIKIM ישראל) לבדיקת תפוחים המתוארת בצירור 1. המכשיר הזה בשלב זה הופעל בגרסת הערכה כלומר תופעל על ידי מחשב נייד עם כרטיס תקשורת מיוחד של החברה אך בשלב הסופי ניתן לצרוב את התוכנה במעגל הבקרה של החיישן עצמו. המכשיר מסוגל לקרוא אות החזר מהתפוח במקביל משני סטים של שמונה דיודות בארכי גל שונים היינו סך הכול 16 אורכי גל. בכל המכשור הני"ל נבדקו מספר מדגמי תפוחים לתכולת סוכרים ולמוצקות. כמו כן נרכש על ידי המכון לחקר אחסון ואיכות תוצרת חקלאית ומזון מכשיר המבוסס שתי דיודות NIR בתחום 710 ננומטר ו-760 ננומטר. מכשיר זה (מתואר בצירור 2) הנקרא DA METER (תוצרת חב' TR Turoni S.r.l, איטליה) אמור למדוד מדד המכונה DA ומקושר לכלורופיל. העיבוד הספקטראלי נעשה באמצעות תוכנת PLS של חב' EIGENVECTOR המשולבת בתוכנת MATLAB.

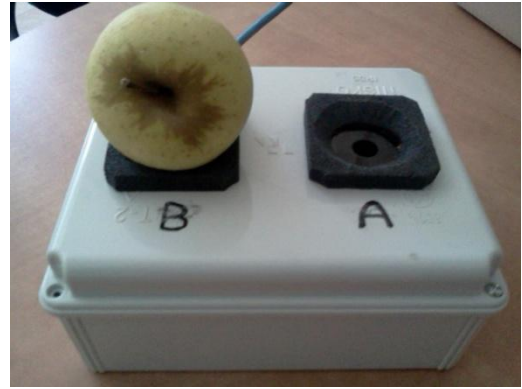
בשנה השנייה הורחבה בדיקת מכשיר DA METER (תוצרת חב' TR Turoni S.r.l, איטליה) נלקחו מספר רב של מדגמים של פירות מהזנים "רד דלישס", "גרני סמית" ו"פינק ליידי" מכל זן 50 פירות במדגם. במסגרת עבודה נבחן גם מכשיר זה על מספר רב של פירות אחרים במחלקה לטיפול בתוצרת אחר אסיף. גם כאן העיבוד הספקטראלי נעשה באמצעות תוכנת PLS של חב' EIGENVECTOR המשולבת בתוכנת MATLAB.

לאור תוצאות החיזוי למכשירים השונים בשנה הראשונה שהראו כי כושר החיזוי ל כמ"מ במכשיר ה"אפילאב" המוסב היה טוב ל TSS, ל TA בינוני ולמוצקות לא נמצאה התאמה מספקת. הגענו למסקנה כי במכשיר ה"אפילאב" המוסב חלק מהדיודות אינן מתאימות דיין והן הוחלפו בדיודות בשנה זו בדיודות בתדר אחר. ועליהן בוצעה חזרה על ניסויים הני"ל. נערכו מספר ניסויים האחרון שבהם נערך על מדגם של 120 תפוחי מזן גולדן דלישס,

שנאסף בעת התחלת הקטיף ולכן נבחנו גם מוצקות, חמיצות ותכולת עמילן על ידי מכשיר האפילאב המוסב וגם בשיטות הרסניות מקובלות לשם ייחוס, כיול המודל ובחינת יכולתו לחיזוי.



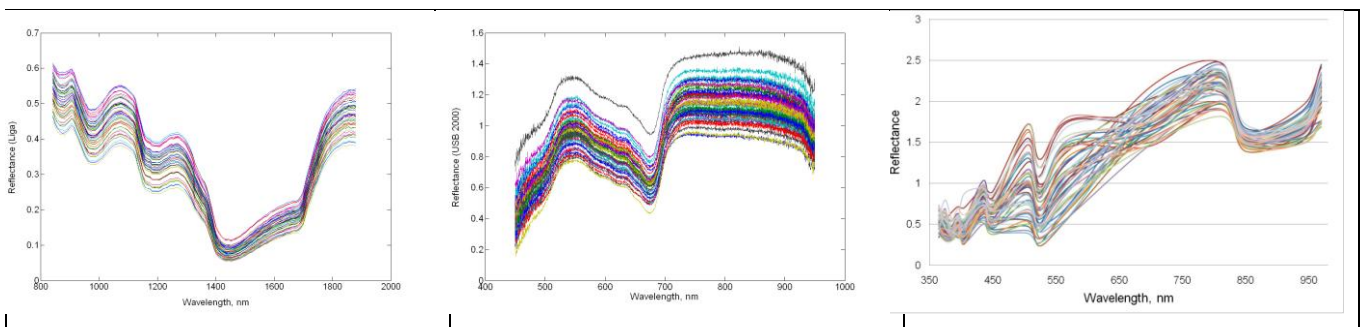
צויר 2: מכשיר DA METTER



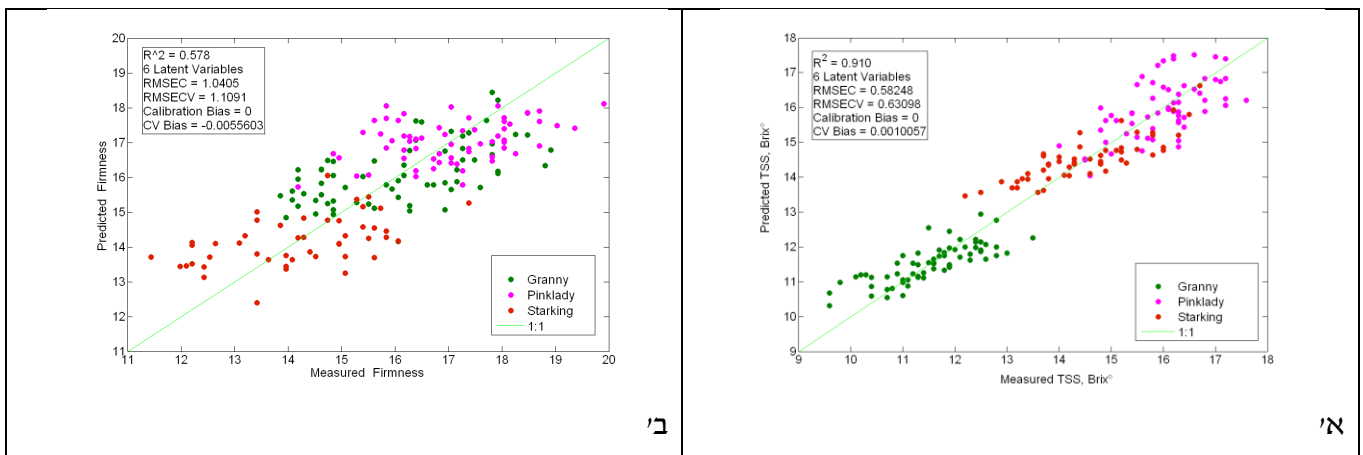
צויר 1: מכשיר "אפילאב" מוסב לבדיקת תפוחים

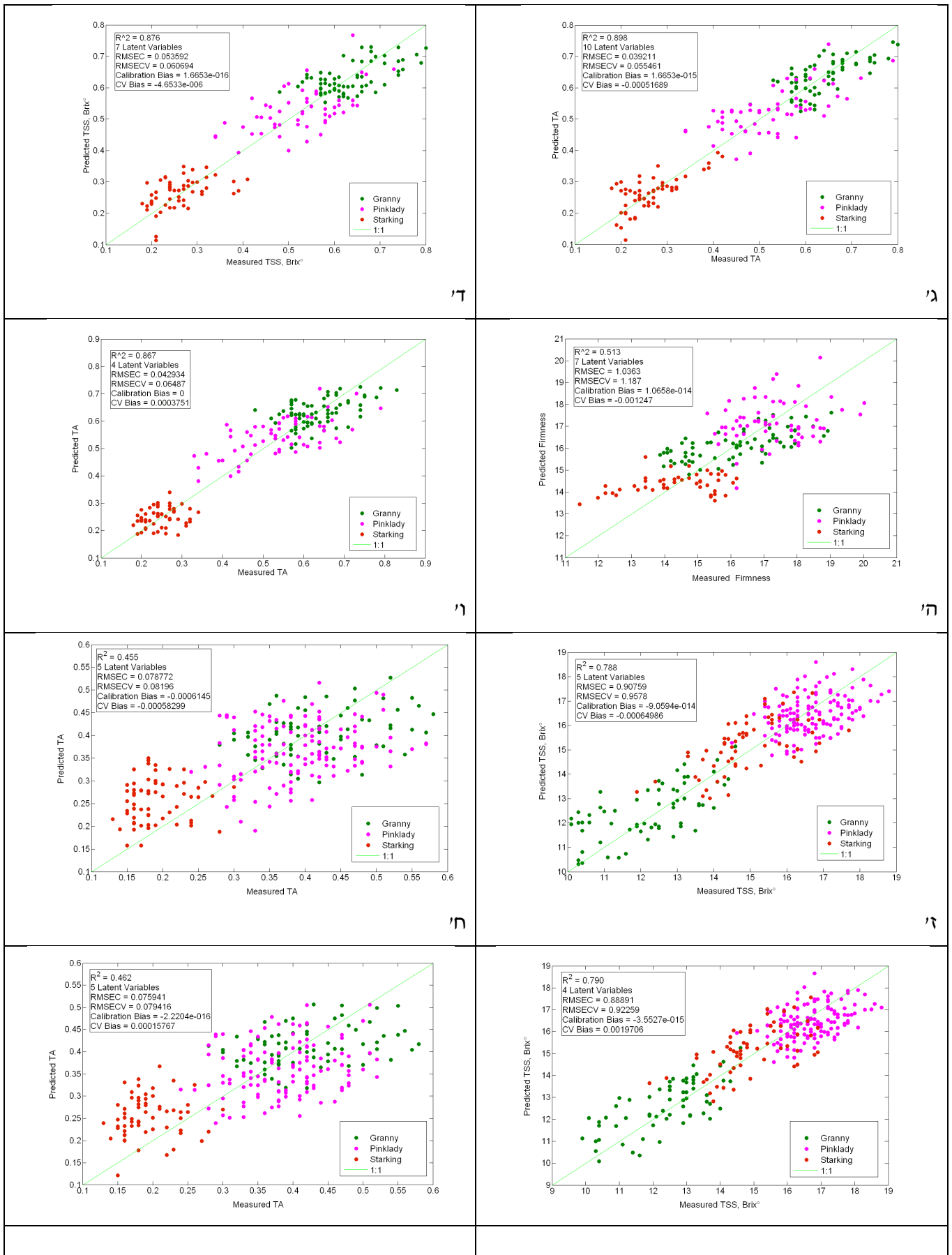
## 6. תוצאות

דוגמאות לסיגנלים המתקבלים ממכשיר ה"אפילאב" המוסב מתוארים בצויר 3א', אלו של במכשירים האחרים בצויר 3ב' (USB2000) וצ'ג' (Liga). תוצאות הכיול של הראשוני למכשירים השונים מוצגות בצוירים 4א'-ח'.



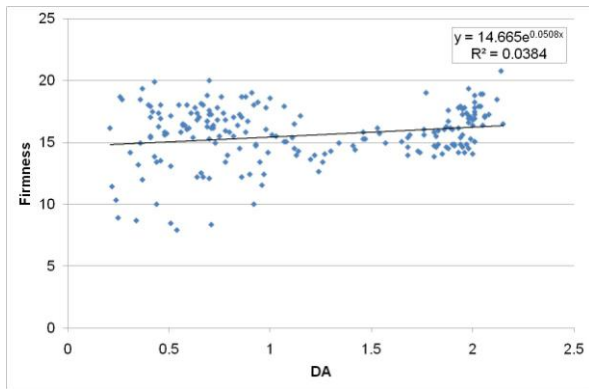
צויר 3: דוגמאות לסיגנלים המתקבלים ממכשיר ה"אפילאב" המוסב מתוארים בצויר 3א', בצויר 3ב' (USB2000) וצ'ג' (Liga).



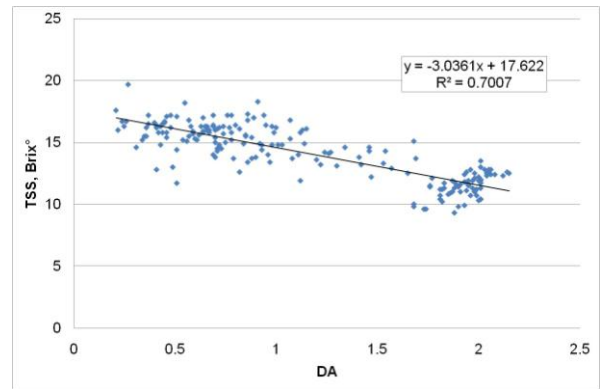


**ציור 4 :** תוצאות החיזוי למכשירים השונים: א', ב' ו-ג' עם מכשיר Liga, ד', ה' ו-ו' עם מכשיר USB 2000, כל אלו עבור כמ"מ, מוצקות וחומציות TA בהתאמה. ז', ח' עם מכשיר AFILAB עבור כמ"מ, וחומציות TA בהתאמה.

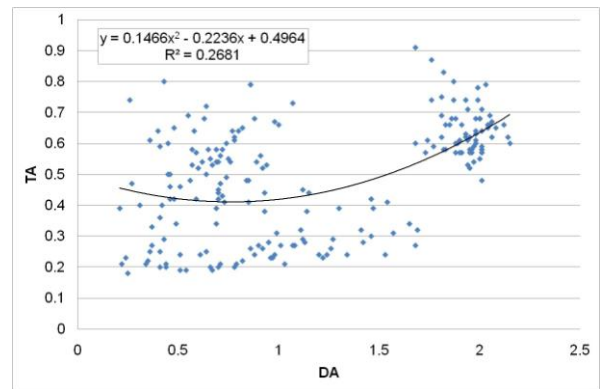




ב'



א'

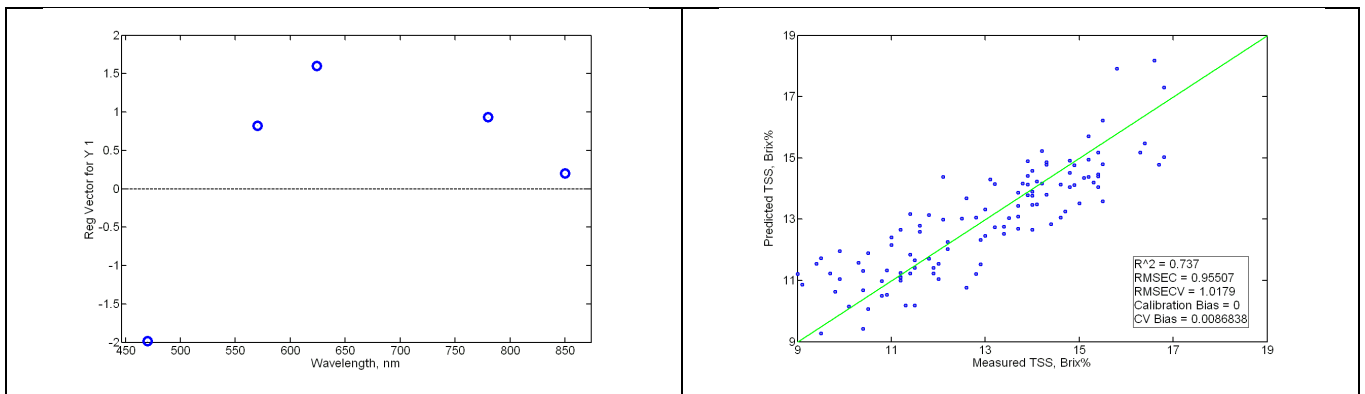


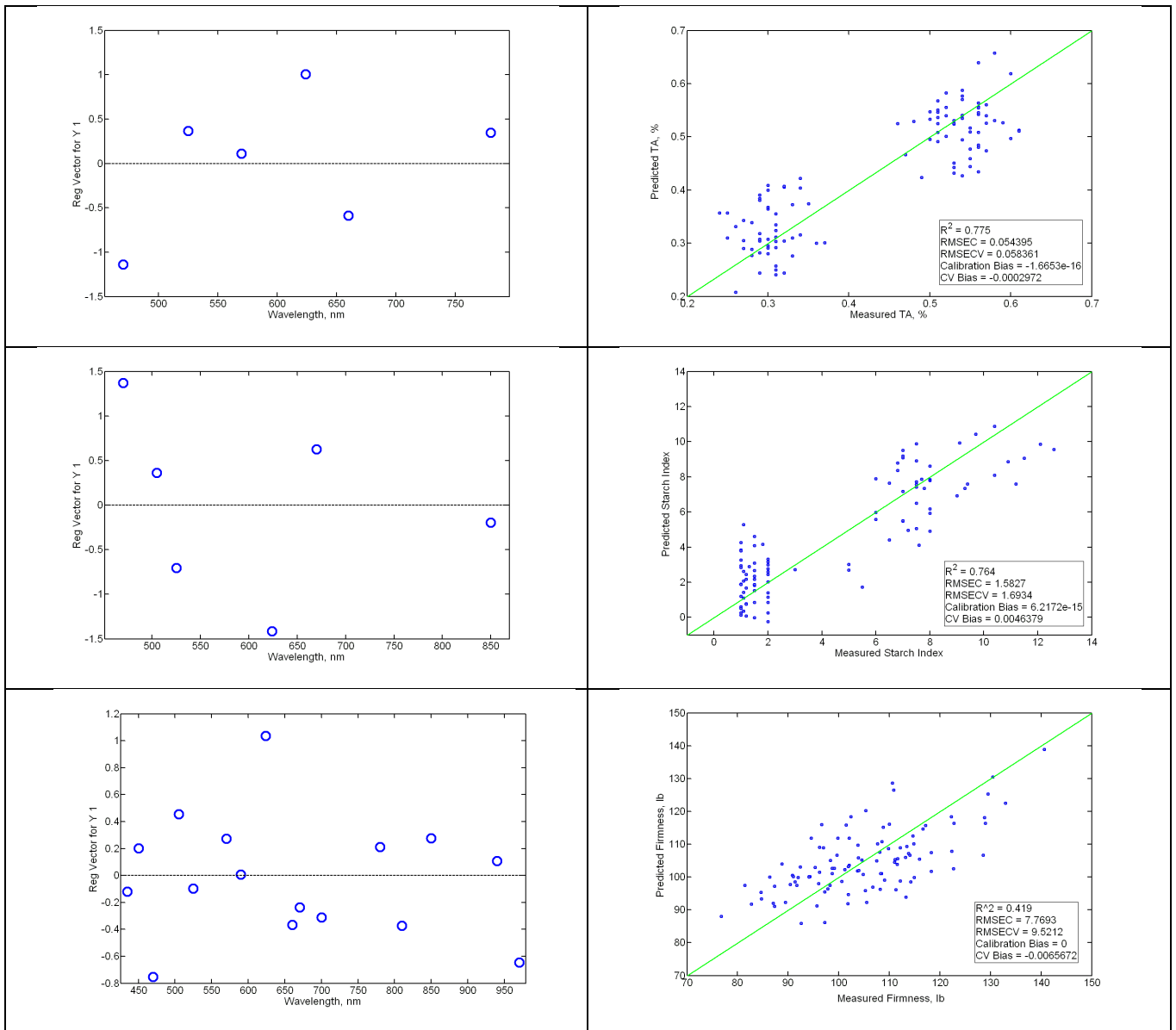
ג'

**ציור 5 :** תוצאות היחס בין מדידת DA א' לכמ"מ, ב' מוצקות ו-ג' לחומציות TA בהתאמה.

תוצאות החיזוי למכשירים השונים בשנה הראשונה הראו כי עבור כמ"מ, וחומציות TA עם מכשיר Liga, וגם עבור המכשיר מסוג USB 2000 יש כושר חיזוי גבוה, עבור מוצקות התוצאות פחות טובות. במכשיר DA נבחן הקשר (כיוול) בין התכונות ונמצא קשר טוב רק עבור כמ"מ (TSS).

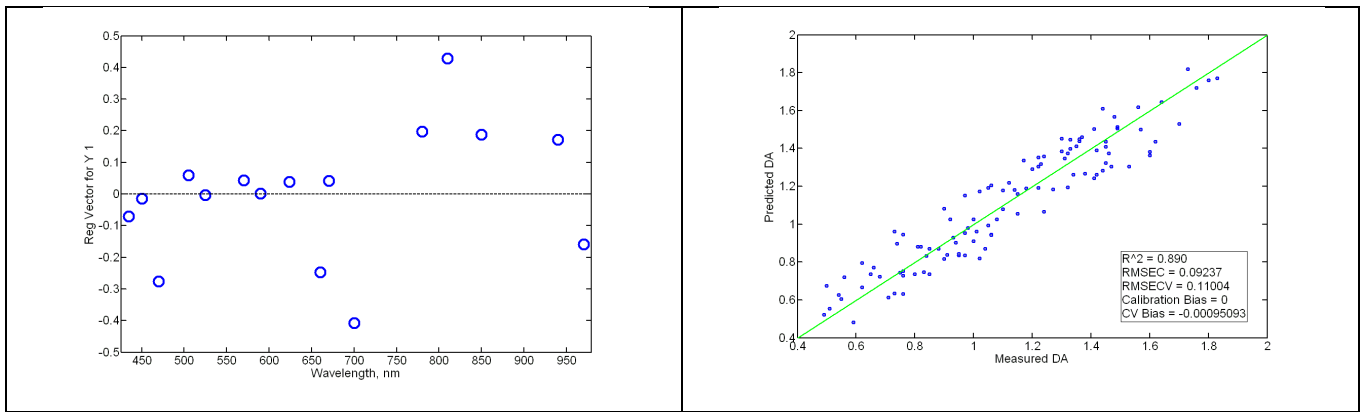
בניסוי עם הדיודות החדשות נבחנו גם בנוסף לכמ"מ-מ- חמיצות, מוצקות, ותכולת עמילן. ניתוח של 16 אורכי הגל של המכשיר בוצע בשני שלבים עבור כל משתנה באמצעות תוכנת PLS, בתחילה רגרסיה בצעדים שבחרה את אורכי הגל האופטימאליים ושלב שני רגרסיה ליניארית רבת משתנים בשיטת MLR. מהתוצאות המדידות עם סט הדיודות החדש המוצגות בציורים א'-6' עולה כי חל שיפור ניכר בביצועי המכשיר וגם כי ניתן לחזות חמיצות ועמילן, אם כי יש עדיין מקום לשיפור.





**ציור 8:** א. חיזוי כמ"מ עבור 5 אורכי גל בלבד : 850 470 570 624 780 נ. תוצאות מקדמי המודל של MLR של כמ"מ. ג. חיזוי חמיצות TA עבור 5 אורכי גל בלבד : 470 525 570 624 660 780 נ. תוצאות מקדמי המודל של MLR של חמיצות. ה. חיזוי אינדקס עמילן עבור 6 אורכי גל בלבד : 450 505 525 624 670 850 נ. תוצאות מקדמי המודל של MLR של עמילן. ז. חיזוי מוצקות עבור 16 אורכי גל : 435 450 470 505 525 570 590 624 660 670 700 780 810 850 940 970 נ. תוצאות מקדמי המודל של MLR של מוצקות.

כאמור נבחן הקשר בין שני המכשירים, היינו בין מדידת DAMETER ומדידת האפילאב המוסב, ונמצא כי האפילאב יכול לחזות בדיוק רב את הערך ה-DA שהתקבל כפי שמוצג בציור 9.



ציור 9 : א. חיזוי DA עבור 16 אורכי גל: 435 450 470 505 525 570 590 624 660 670 700 780 810 850 940 970 nm. תוצאות מקדמי המודל של MLR של DA.

### 7. דיון

לאחר שהוחלפו חלק מהדיודות בדיודות בתחום אחר כושר החיזוי ל כמ"מ במכשיר ה"אפילאב" שופר אך עדיין ניכר כי שי מקום לשיפורים. המכשיר המסחרי DAMETER הניב תוצאות טובות. ההערכה ניתנת לשפר את תוצאות האפילאב המוסב מתבססות גם על כך שהקשר בין המכשור שנבנה על המכון להנדסה ל-DAMETER נמצא גבוה.

### 8. רשימת פרסומים

Juliana Nyasordzi, Application of nondestructive measurements for evaluation of ripening status and quality of Apples , M.Sc Thesis. In Nutritional Sciences, Hebrew University of Jerusalem, Rehovot, Israel November, 2011

### 9. רשימת ספרות

1. בן-אריה, ר. ונריה, א. 2007. המלצות לטיפול בפירות, בקטיף ובאחסון. החברה למחקר ופיתוח קירור ואיסוס בפירות ק"ש בע"מ. [www.mop-zafon.org.il](http://www.mop-zafon.org.il).
2. Ben-Gera I. and K.H. Norris, "Direct Spectrophotometric Determination of Fat and Moisture in Meat Products", J. Food Sci. 33, 64-67 (1968).
3. Ben-Gera I. and K. H. Norris, Determination of moisture content of soybeans by direct spectrophotometry. *Israel J. Agric. Res.* **18** (1968), pp. 125–132.
4. Gordy, W. and P.C. Matrter, "The Infra-Red Absorption of HCl in Solution", J. Chem. Physc. 7(2), 99-102 (1939).
5. Gordy, W. and S.C. Stanford, "Spectroscopic Evidence for Hydrogen Bonds: Comparison of Proton-Attracting Properties of Liquids. III", J. Chem. Physc. 9(3), 204-214 (1941).
6. Fraser, D.G., K'unnemeyer, R., McGlone, V.A., Jordan, R.B., 2000. Letter. Near infrared light penetration into an apple. *Postharvest Biol. Technol.* 22, 191–194.

7. Hernandez Sanchez, N., Lurol, S., Roger, J.M., Bellon-Maurel, V., 2003. Robustness of models based on NIR spectra for sugar content prediction in apples. *J. Near Infrared Spectrosc.* 11, 97–107.
8. Il'yasov, S.G., Krasnikov, V.V., 1991. *Physical Principals of Infrared Irradiation of Foodstuffs.* Hemisphere Publishin Corporation, New York, USA.
9. Lammertyn, J., Peirs, A., De Baerdemaeker, J., Nicolaï, B., 2000. Light penetration properties of NIR radiation in fruit with respect to non-destructive quality assessment. *Postharvest Biol. Technol.* 18, 121–132.
10. McGlone, V.A., Abe, H., Kawano, S., 1997. Kiwifruit firmness by near infrared light scattering. *J. Near Infrared Spectrosc.* 5, 83–89.
11. Miller, W.M., Zude-Sasse, M., 2004. NIR-based sensing to measure soluble solids content of florida citrus. *Appl. Eng. Agric.* 20, 321–327.
12. Nicolai, B.M., Beullens, K., Bobelyn, E. Peirs, A., Saeys, W., Theron, K.I. and Lammertyn, J. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biol. Technol.* 46; 99-118.
13. Norris K.H, R. F. Barnes, J.E Moore and J.S. Shenk, 1976. Predicting Forage Quality by Infrared Reflectance Spectroscopy. *J. Anim Sci.* 1976. 43:889-897.
14. Polessello, A., Giangiacomo, R., 1981. Application of near infrared spectrophotometry to the nondestructive analysis of foods: a review of experimental results. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 18, 203–230.
15. Saranwong, S., Sornsrivichai, J., Kawano, S., 2003a. Performance of a portable near infrared instrument for Brix value determination of intact mango fruit. *J. Near Infrared Spectrosc.* 11, 175–181.
16. Saranwong, S., Sornsrivichai, J., Kawano, S., 2003b. On-tree evaluation of harvesting quality of mango fruit using a hand-held NIR instrument. *J. Near Infrared Spectrosc.* 11, 283–293.
17. Shenk J.S. and R. Barnes. 1977. Current status of Infrared reflectance in Proc 34th South. Past. And Forage Crop Impr. Confr. Auburn, Alabama, :57-62.
18. Shenk J.S. and M.O Westerhaus, M.R. Hoover, K. M. Mayberry and H. K. Goering. (1978). Predicting forage quality by infred reflectance spectroscopy In Proc. 2nd Int. Green Crop Drying Conf. University of Saskatchewan, :292-299.
19. Skrynski, J., 1996. Optimum harvest date study of four apple cultivars in Southern Poland. In: de Jager, A., Johnson, D., Hohn, E. (Eds.), COST 94. *The Postharvest Treatment of Fruit and Vegetables: Determination and Prediction of Optimum Harvest of Apples and Pears.* ECSC-EC-EAEC,. Brussels, pp. 61–66.
20. Streif, J., 1983. Der optimale Erntetermin beim Apfel. I. Qualita tsentwicklung und Reife. *Gartenbauwissenschaft* 48, 154–159.

21. Streif, J., 1996. Optimum harvest date for different apple cultivars in the 'Bodensee' area. In: de Jager, A., Johnson, D., Hohn, E. (Eds.), COST 94. The Postharvest Treatment of Fruit and Vegetables: Determination and Prediction of Optimum Harvest Date of Apple and Pears. ECSC-ECEAEC, Brussels, pp. 15–20.
22. Schmilovitch, Z., V. Alchanatis and L. Susan 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
23. Temma, T., Hanamatsu, K., Shinoki, F., 2002. Development of a portable near infrared sugar-measuring instrument. *J. Near Infrared Spectrosc.* 10, 77–83.
24. Ventura, M., De Jager, A., de Putter F H., Roelofs F.P.M.M., 1998. Nondestructive determination of soluble solids in apple fruit by near infrared spectroscopy (NIRS). *Postharvest Biol. Technol.* 14, 21–27.
25. Walsh, K.B., Guthrie, J.A., Burney, J.W., 2000. Application of commercially available, low-cost, miniaturised NIR spectrometers to the assessment of the sugar content of intact fruit. *Aust. J. Plant Physiol.* 27, 1175–1186.
26. Williams, E. J. and Drexler, J. S. 1981. A nondestructive method for determining peanut pod maturity. *Peanut Sci.* 8, 134-141.
27. Williams P.C. and K.H. Norris (Eds.). *Near Infrared Technology in the Agricultural and Food Industry.* ASCC, St. Paul, MN, USA (1987).
28. Zude, M., Herold, B., Roger, J.-M., Bellon-Maurel, V., Landahl, S., 2006. Nondestructive tests on the prediction of apple fruit flesh firmness and soluble solids content on tree and in shelf life. *J. Food Eng.* 77, 254–260.

**10. סיכום עם שאלות מנחות**

נא להתייחס לכל השאלות בקצרה ולעניין, ב-3 עד 4 שורות לכל שאלה (לא תובא בחשבון חריגה מגבולות המסגרת המודפסת).

שיתוף הפעולה שלך יסייע לתהליך ההערכה של תוצאות המחקר.

**הערה:** נא לציין הפנייה לדו"ח אם נכללו בו נקודות נוספות לאלה שבסיכום.

<b>מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.</b>
מטרת המחקר הינה לבחון את היתכנות הפיתוח של מכשיר נייד חדש המבוסס על טכנולוגיית NIR למדידה במטע של מדדי קטיף בתפוחים.
<b>עיקרי הניסויים והתוצאות.</b>
הורחבה בדיקת המכשיר (מתואר בצירוף 2) הנקרא DA METTER (תוצרת חב' TR Turoni S.r.l, איטליה) שנרכש על ידי המכון לחקר אחסון ואיכות תוצרת חקלאית והמבוסס על שתי דיודות NIR בתחום 710 ננומטר ו 760 ננומטר ואמור למדוד מדד המכונה DA ומקושר לכלורופיל. מדגמים נוספים של פירות מהזנים "רד דלישסי", "גרני סמית" ו"פינק ליידי" מכל זן 50 פירות. במסגרת עבודה נבחן גם מכשיר זה על מספר רב של פירות במחלקה לטיפול בתוצרת אחר אסיף. המדגמים כללו פירות מהזנים "רד דלישסי", "גרני סמית" ו"פינק ליידי". העיבוד הספקטראלי נעשה באמצעות תוכנת PLS של חב' EIGENVECTOR המשולבת בתכנת MATLAB. לאור תוצאות החיזוי למכשירים השונים בשנה הראשונה שהראו כי כושר החיזוי ל כמ"מ במכשיר ה"אפילאב" היה טוב ל TA בינוני ולמוצקות לא נמצאה התאמה מספקת וכי במכשיר ה"אפילאב" המוסב נמצא כי חלק מהדיודות אינן מתאימות דיין הן הוחלפו בדיודות בתחום אחר. ועליהן בוצעה חזרה על ניסויים הנ"ל. לאחר שהוחלפו חלק מהדיודות בדיודות בתחום אחר כושר החיזוי לכמ"מ במכשיר ה"אפילאב" שופר. המכשיר המסחרי DAMETER הניב תוצאות טובות. ההערכה כי ניתן ניצן עוד לשפר את תוצאות האפילאב המוסב מתבססות גם על כך שהקשר בין המכשור שנבנה על המכון להנדסה ל DAMETER נמצא גבוה.
<b>מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?</b>
הוכחת יכולות לבחון מדדי קטיף במכשיר נייד הוכחה ברמה העקרונית גם במכשיר האפילאב המוסב וגם ב DAMETER. המזעור והתייעוש של האפילאב עדיין חסר והוא כנראה יבוצע דרך יישום מסחרי בשלב הבא.
<b>בעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנתורה לביצוע תוכנית המחקר?</b>
מזעור המערכת כולל הכנסת מיקרו מחשב וצג מדידה נמצא במו"מ עם חברה מסחרית.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: <b>פרסומים בכתב</b> – Juliana Nyasordzi, Application of nondestructive measurements for evaluation of ripening status and quality of Apples ,M.SC Thesis. In Nutritional Sciences, Hebrew University of Jerusalem Rehovot, Israel November, 2011 <b>פטנטים</b> - יש לציין שם ומס' פטנט; <b>הרצאות וימי עיון</b> - יש לפרט מקום, תאריך, ציטוט ביבליוגרפי של התקציר כמקובל בפרסום מאמר מדעי.
<b>פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)</b>
סודי <
<b>האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן* - לא -</b>

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

