

**בחינת שילוב של שיטות אל הרס לזיהוי בגרות ואיכות בפלפלים**

**NDT methods fusion for detection of pepper quality and maturity**

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ע"י

זאב שמילוביץ<sup>1</sup>, ויקטור אלחנתי<sup>1</sup>, עמוס מזרח<sup>1</sup>, אהרן הופמן<sup>1</sup>, חיים אגוזי<sup>1</sup>, ויסצ'לאב אוסטרובסקי<sup>1</sup>, אלי פליק<sup>2</sup>, שרון אלקלעי-טוביה<sup>2</sup>, ויעקב פרצלן<sup>2</sup>

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

**תקציר**

מטרות המחקר היו: לבחון מספר שיטות אל הרס ( NDT ), בנפרד כמו גם את אפשרות השילוב בשיטת היתוך מידע, למדידה של מדדי קטיף, בגרות ואיכות בפלפל. במחקר נבדקו מספר זנים שנקטפו נבדקו לאורך תקופת הגידול. הפלפלים השלמים נסרקו בשני ספקטרומטרים. האחד, בתחום 530-1110 ננומטר, השני בתחום 850-1750 ננומטר. מקור האור היה מסוג טונגסטן הלוגן. נבחנה שיטת אולטרא סאונד לאבחון תכונות פיסיקליות של הפלפל באמצעות משדר-מקלט בעצמה גבוהה ובתדר 50 קילוהרץ עם זוג מתמרים ממקדי שידור. הפלפלים נסרקו גם בצילומים היפר ספקטראליים באמצעות מערכת של מצלמת CCD משולבת עם מסנן לאורכי גל מטיפוס AOTF בטווח של 550-850 nm. צבע הפרי נבדק ב CHROMA METER. לצרכי כיוול וחיזוי נערכו במקביל בדיקות מעבדה הרסניות ( DT ) בשיטות המקובלות למוצקות, לתכולת סוכר, מים, וויטמין C, כלורופיל ולחץ אוסמוטי. ניסויים נוספים נערכו עם דגימות דומות לאחר אחסון בקירור ובחיי מדף. לנתונים שהתקבלו בוצע איתור אורכי גל ופיתוח מודלים ספקטראליים על בסיס שיטות כימו-מטריות מקובלות עבור מקטע פרי ידוע ומסומן. נמצאו הקשרים ואובחנה התנהגות הפרי לאורך הגידול ביחס לצבע, משקל, מוצקות, תכולת חומר יבש, כמ"מ וויטמין C, פוטנציאל אוסמוטי, וכלורופיל. במחקר הנוכחי פותח מדד חדש לתיאור אינדקס כלורופיל על פי מדידות ספקטראליות באורכי גל דיסקרטיים ( 500, 520, 660, 680, 710 nm ). במסגרת המחקר פותח מדד חדש SWS להערכת היציבות של מודלים ספקטראליים. פותחו מודלים לחיזוי ערכי DT עבור שיטות ה NDT בנפרד שהראו תוצאות טובות לפרי טרי ולפרי מאוחסן. בהמשך, בוצע היתוך מידע בשלוש רמות: א. משתנים של מדידות אל הרס, ב. זני הפלפל ג. משתני מדידות הרסניות NDT. נבחנו שיטות ליניאריות כגון PCR, PLS, ולא ליניאריות כגון SVM (Super Vector Machine) ו- KERNEL. נמצא ששיטות ה- PLS ו- SVM נמצאו מתאימות ביותר לעבודה עם מערך הנתונים המשולב ולבניית מודלי רגרסיה לפרמטרי NDT ו- DT ממוזגים. ברמת היתוך המידע DT פותח מדד משולב חדש (NCQI) המייצג את האיכות של הפרי בקשר ליניארי ובמיוחד מעבר לשלב בוגר נמצא במעבר מערך שלילי לחיובי.

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: /לא מתק את המיותר \*

חתימת החוקר

\*

Contents

2	1. תוכן עניינים	1.
3	2. מבוא ותיאור הבעיה	2.
5	3. מטרות המחקר הן:	3.
5	4. פירוט עיקרי הניסויים במהלך תקופת הדוח:	4.
5	4.1. חומר צמחי	4.1.
5	4.2. בחינת שיטות ספקטרוסקופיה בתחום ה-NIR	4.2.
6	4.2.1. צילום היפרסקטראלי	4.2.1.
6	4.3. בחינת שיטת אולטרא סאונד לאבחון תכונות פיסיקליות של הפלפל	4.3.
6	4.4. בחינת relaxation (הרפיה) בפרי שלם	4.4.
7	4.5. מדידות צבע הפלפל	4.5.
7	4.6. מדידות חמר יבש בפלפל	4.6.
7	4.7. מדידות תכולת כמ"מ בפלפל	4.7.
7	4.8. מדידות לחץ אוסמוטי בפלפל	4.8.
7	4.9. מדידת בקע rupture ולחץ compression	4.9.
7	5. תוצאות	5.
9	5.1. אינדקס כלורופיל	5.1.
9	5.2. תוצאות מדידות של פרי לאחר אחסון ובהיי מדף	5.2.
10	5.3. מדד חדש ליציבות מודלים	5.3.
10	5.4. היתוך מידע	5.4.
10	5.4.1. רמה ראשונה של היתוך מידע: היתוך מידע של פרמטרי NDT	5.4.1.
16	5.4.2. רמה שנייה של היתוך מידע: פרמטרים של NDT ממוזגים משולב זנים.	5.4.2.
17	5.4.3. היתוך מידע רמה שלישי: פרמטרי DT ממוזגים.	5.4.3.
18	6. דיון	6.
19	7. רשימת פרסומים	7.
20	8. רשימת ספרות	8.
23	9. סיכום עם שאלות מנחות	9.

פלפלים (Bell pepper) שייכים לקבוצת *Capsicum annuum* הסולניים, כמו תפוחי אדמה, עגבנייה וחצילים. זני פלפל מניבים פירות בצבעים שונים הכוללים אדום, צהוב, כתום וירוק (קטיף פרי לא בשל). מקורם במקסיקו, מרכז אמריקה ודרומה. הם הופצו בעולם על ידי הספרדים והפורטוגזים החל משנת 1493. לאור העובדה שזהו צמח סתגלני, ניתן לגדלו בתנאי אקלים רבים ולכן כבש מקום במטבחים רבים בכל העולם. לפלפלים טעם המשתנה מ"קרנציי" מימי (אדום) היכול להיות מעט מריר (ירוק) ועד מתיקות פרותית (כתום). גודל הפרי נע בין 5 ל-13 ס"מ בקוטר ובין 5 ל-16 ס"מ באורך. הפלפל הוא שיח חד שנתי מסועף וקטן יחסית. עלוותו תמימה כלומר, אינה מפורצת, ופרחיו הלבנים המכילים שניים עד שלושה פרחים, סדורים בקבוצות. לפלפל חמישה אבקנים ועלי אחד. ההאבקה נעשית על-פי רוב באופן עצמי והפרי המתקבל לאחר ההפריה הוא ענבה. הפרי הבשל מכיל קצת יותר מ-90% מים, כ-5% פחמימות וויטמינים רבים, כגון ויטמין A, ויטמין C וויטמין B כמו גם נוגדי חמצון הידועים כחומרים המקטינים תחלואה במחלות סרטן [28] [2]. ל-100 גרם פלפל יש כ-20 עד 25 קלוריות, ומשום כך הוא שמיש בדיאטות שונות. נוגדי החמצון כגון בטא קרוטן שבפלפל ידועים כמנטרלים רדיקלים חופשיים המזיקים לגוף האדם ([14] 2002).

פלפלים גדלים כאמור בטווח רחב של אקלימים בדרך כלל כגידול חד שנתי הן בשטחים פתוחים והן בחממות ובבתי רשת. שטחי הגידול בעולם כולל פלפלים חריפים גדלו מ-1990 עד 2005 ב-60% (דו"ח של FAO 2008). שטחי הגידול בתקופה זו הכפילו עצמם ונפח הייצוא גדל בעשרות מונים. הדרישה למיון ושיווק באיכות גבוהה, של ירקות בכלל ופלפל בפרט, היא מגמה כלל עולמית שבצידה תמורה הולמת בעבור סחורה באיכות גבוהה יותר. לאחרונה הלקוחות דורשים שפרמטרים נוספים כמו תכולת הויטמינים, המינרלים, מרכיבי תזונה וחומרים פעילים אחרים ימדדו אף הם בתוצרת ([37] [42]).

החוקרים מדדו תכונות הפיסיקליות של פלפלים [10] תכונות כגון: משקל, קוטר, אורך, יחסיות האונות שבפרי. אחרים ([27] מדדו מרכיבי איכות כגון תכולת פנולים, קרטנואידים, וחומצה אסקורבית וצבע. מבחן של צבעוניות נערך על ידי Pardo-Gonzalez (1996) ל-13 זנים שונים הם נבחן הגוון כמו גם תכולת הכלורופיל. בכל אלו נמצא כי מידת הרוויה של הצבע (saturation) מהווה אינדקס להבחנה במידת הבגרות וההבשלה בזנים השונים. מעקב דומה, אחר משקל ומוצקות מחד והשינוי בתכולת הסוכר, החמיצות, והרכב הפנולים מאידך בפלפלים אדומים נערך על ידי Raffo (2007). כמו גם בעבודות אחרות שעיקרן בדיקות הרסניות נמצאו מספר תיאורים להתבגרות והבשלת הפרי (Dereje [11] Muha). בדיקות שגורות ואו אנליטיות לבחינה של המרכיבים המעניינים כמו תכולת כלורופיל, ויטמין C, תכולת סוכר, תכולת חומר יבש, צבע או מוצקות וגמישות הפרי הכרוכות בהכנה ובהרס חלקי פרי הינן עתירות עבודת ידיים וגוזלות זמן רב. לכן, גם ההחלטות והמיון נעשים בדרך כלל על ידי הקוטפים על פי הניסיון והידע של המגדלים שלעיתים הינו סובייקטיבי.

הגדרת מצב הבגרות החקלאית ואיכות הפרי כמדד לקביעת מועד קטיף תופסת מקום חשוב בניהול ואבטחת איכות גדול ושיווק הפלפלים במיוחד אלו המיועדים לייצוא. לשם כך נבדקים מדגמים באופן תדיר ובליוי ופיקוח של בתי האריזה. התמורה לתוצרת באיכות גבוהה גדולה בהרבה מהתמורה הממוצעת. האבחון של מדדים אלו מוצקות, תכולת סוכרים, תכולת ויטמין C נעשה כיום בשיטות הרסניות וחודרניות. כל אלו כרוכים בעבודה מרובה ובגודל מדגם מוגבל. בחינת המדדים הנ"ל נעשית מורכבת עוד יותר כאשר מדובר בזנים ירוקים המיועדים לשיווקי וייצוא ליעדים רחוקים.

מספר שיטות אל הרס הולכות ותופסות מקום במערכי אבטחת האיכות והמיון של תוצרת חקלאית. בהם ניתן למנות את טכנולוגיית NIR, שיטות אקוסטיות שונות. טכנולוגיות נוספות כגון צילום היפר ספקטראלי, שימוש באפקט ראמאן ועוד. טכניקות אלו מוצגות במחקרים חדשים כבעלות פוטנציאל לזיהוי ואבחון מהיר של המדדים המבוקשים.

הסימון NIRS (Near Infra-Red Spectroscopy) או NIRA (Near Infra-Red Analysis) מקובל עבור ספקטרוסקופיה ואנליזה של אור בתחום הקרוב לתת-אדום. החוקר קארל נוריס [22][23] (1964) ואחרים [1] (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 [22][23] (1976) הרחיבה את היישום להגדרת מספוא כולל על מדד יכולת העיכול ע"י בע"ח וביחד עם [46], [47] Williams הובילו ליישום נרחב בהגדרת איכות דגנים בפרט ובחקלאות בכלל [46] Willams. החוקר Shenk וח'ו [38] בשנת 1977 הוכיחו שניתן להגדיר אורכי גל להגדרת איכות המספוא ולפתח מכשיר נייד ליישום בשדה [39] בשנת 1978. בשנת 1983 הוחל בשיווק תוכנות ומכשירים מסחריים לבדיקות מספוא תחמיץ ושחת. קרינת האור בתחום הקרוב לתת אדום הינה קרינה בעלת בליעה אופיינית במולקולות אורגניות המרכיבות את המוצרים החקלאיים הטריים והמעובדים כאחד [3][21]. 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 [5][9] [6], [13], [12]. טכנולוגית ה-NIRA מיושמת בהרחבה בתעשיית המזון. זוהי שיטה לא הרסנית המיושמת לאבחון מרכיבים אורגניים רבים [47] 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. מדד מיוחד שפותח ע"י Strief [44] לתפוחים שימש להגדרת איכות ומועד קטיף ונבחן ליכולת לזיהוי בשיטת ספקטרומטריה ב-NIR ע"י Peries [25] שם נמצא כי המודלים הם תלוי מטע (חלקה). נושא זה נחקר בעבודה נוספת של Peries [26]. 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 למלוניס, תפוחים ואפרסקים אינו מותאם לתמרים. במכונה זו יש אפשרות לעבודה בפרי מערכת הזנה אוטומטית המכנינה מנה למערכת של ערוץ אחד. 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 [30]. במחקר אחר פיתחו חברי הצוות מודלים ושיטות עבודה ליישום טכנולוגית הספקטרוסקופיה ב-NIR לצורך אבחון ללא הרס ובזמן אמת של מידת הבגרות באבוקדו [35][32] ומערכת אוטומטית למיון תמרים מסוג 'ברהי' [31]. במחקר שנערך ב-2005-6 נערכה בחינת התכנות לזיהוי פרי נגוע באלטרנריה בעזרת אנליזת NIR בתנאים מקוונים (Online). נבנה אב טיפוס חד ערוצי למכונה חצי אוטומטית המתאימה לכיול בחינת מדגמים ובחינת התכנות של השיטה. נערכו ניסויים על ידי חלק ממחברי ההצעה הנוכחית לאבחון בלתי הרסני של הריקבון הפנימי בתפוחי רד דלישס באמצעות ספקטרוסקופיה של [33]

טכנולוגית אולטרא-סאונד פותחה ונבחנה לצורך קביעת תכונות איכות פנימיות של פירות וירקות [19] המערכת מבוססת על שימוש בגלי קול, בתדרים שמעל סף השמע, החולפים דרך מדגמי פרי [15] רקמת הפרי השלם [16][17] ומאפשרת מדידת השתנות הפרמטרים האקוסטיים עקב שינויים באיכות הפרי במהלך הגידול, ההבשלה והשיווק. במחקרים שנערכו בשיטה לא הרסנית זו נמצאו מדדי מתאם גבוהים בין פרמטרים מכאניים ופיסיולוגיים הקשורים באיכות פירות וירקות כמו מנגו, אבוקדו, שיזף, עגבנייה ועוד ומסוכמת במאמרי סקירה מקיפים [20]. מחקר המשתמש בשיטה אקוסטית זו נערך אף לקביעת מוצקות וקמחיות בתפוחי עץ [16].

מדידת מוצקות על פי ניתוח תדרים בתחום השמע על ידי חיישן אקוסטי או מיקרופון זעיר פותחה בעבר על יד שמולביץ יצחק [41] [40] משמשת במספר מכשירים מסחריים של חברות כגון Sinclair ו-Aweta (מכשיר מסוג AFS). במקביל פותחה גם טכניקה למדידה על ידי מיקרופון פשוט ומכת מסה קטנה על פרי על ידי Fefoldi [8].

טכנולוגית הצילום ההיפר ספקטראלי הולכת ומתקדמת ומאפשר צילום של פרי שלם במספר רב של אורכי גל וברזולוציה מרחבית גבוהה. היינו, יש אפשרות לאבחון בנפרד מקטעים שונים, קטנים יחסית, על פני הפרי. יתרונה של טכנולוגיה זו יכול לבוא לידי ביטוי במקרים בהם למשל שינויים פיסיולוגיים או פגעים מתחילים בשלב הקטיף בגודל

זעיר ובלתי נראה לעין, אם מפאת הגודל ואם מפני שתחילתם בשינוי מרקם מתחת לקליפה. צילום היפר ספקטראלי משלב את היתרונות של ראייה ממוחשבת מחד, ושל שיטות ספקטרוטריות מאידך. עיקר היישומים בשיטת חישה זו הייתה עד לא מזמן מחישה מרחוק ובאמצעות מערכות גדולות ומסובכות. אולם, ההתקדמות בטכנולוגיה של צילום היפר ספקטראלי מאפשרת היום את שילובו במערכות חישה מעבדתיות, תעשייתיות ובשדה [29]. מספר מחקרים חדשים מראים כי לכל שיטה בנפרד יש הצלחה בנושא זיהוי ואבחון בפירות שונים כמו גם יתרונות וחסרונות, אך שילוב שיטות בשיטות של היתוך מידע (sensor fusion) משפר משמעותית את תוצאות האבחון [24] [43] [45]. מספר שיטות להיתוך אפשריות ההבדלים ביניהם נובעים מאופן עיבוד המידע. היינו, שילוב החלטות נפרדות של כל חיישן או יצירת מודל המשלב את המידע מכל החיישנים. עד עתה לא קיימת טכנולוגיית אל-הרס לבדיקת איכות ובגרות פלפל.

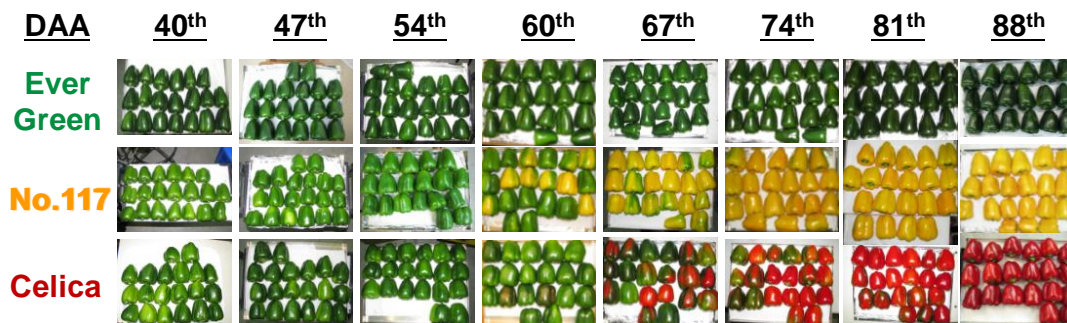
### 3. מטרות המחקר:

מטרת המחקר הייתה לבחון את יכולתן של שיטות אל-הרס שונות (NDT), כל שיטה בנפרד, ואת אפשרות השילוב של מספר שיטות כאלו בשיטת היתוך מידע, למדידה של מדדי קטיף המבוססים על בגרות הפרי, ומדדי איכות המבוססים על ההרכב הפנימי בפלפל בעת הקטיף ולאחר אחסון.

### 4. פירוט עיקרי הניסויים במהלך תקופת הדוח:

#### 4.1. חומר צמחי

במסגרת הניסויים, נבדקו מספר זנים של פלפלים: פלפל אדום (סיליקה, ורגסה) פלפל ירוק (ירוק עד ever green) ופלפל צהוב זן מס' 117. נערכו מספר ניסויים במספר עונות ובכמה מקומות (הבשור, עין תמר, עין יהב) ובחממות שונות. בכל עונה הפלפלים סומנו בשלב הפריחה, נאספו 20-25 דוגמאות ממגוון החממה כל שבוע, לאורך הגדול בתקופה של תשעה שבועות, עד לבגרות. כך שנבחנו 180-200 פירות מכל זן. מיד אחר הקטיף הפירות הוחזקו בצידניות מקוררות או מקרר עד לביצוע הבדיקות שנעשו או באותו היום או למחרתו בחדר ממוזג עם טמפי של 23 מ"צ. בניסוי של אחסון ניסויים בפירות חולקו לשתי קבוצות. קבוצה אחת נבדקה מיידיית והקבוצה השנייה הוכנסה למשטר אחסון של 14 ימים ב-7 מ"צ ולחות של כ-94% ו-3 ימים בתנאים של חיי מדף ו הפירות נבדקו לאחר תום תקופה זו. כמו כן נאספו דגימות לניסויים נוספים בקטיף סלקטיבי לפי צבע הפרי.



ציור 1 א: מספר זנים של פלפלים: אדום (סיליקה) ירוק (ירוק עד ever green) וצהוב זן מס' 117.

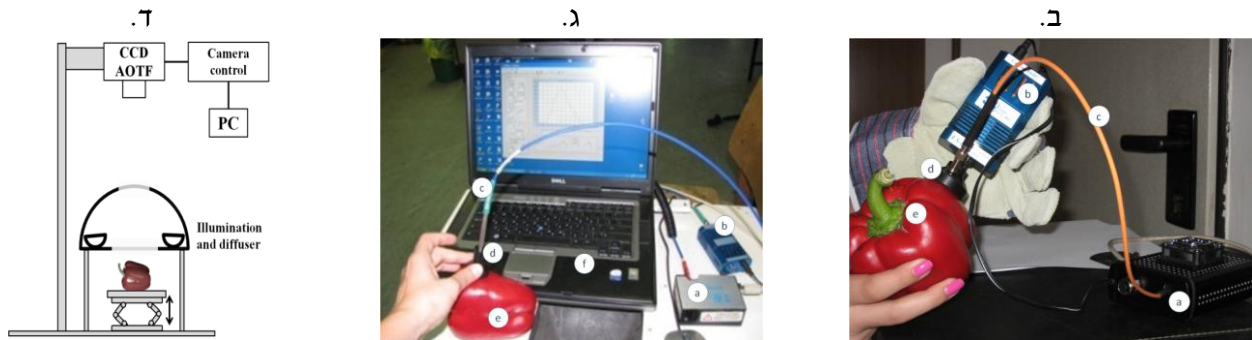
#### 4.2. בחנת שיטות ספקטרוסקופיה בתחום ה-NIR

הפלפלים השלמים נסרקו בשני מיני ספקטרומטרים בשני תחומים של אורכי גל. בתחום VISNIR השתמשנו במכשיר מסוג USB2000 (Ocean Optics, Dunedin, FL, USA) בעל רוחב מספר קריאות של 2048 בתחום של 530-1110 ננומטר עם סיב דו כיווני (BIF600-UV-VIS) ומקור LS-1 טונגסטן הלוגן אור. המכשיר השני הוא מיני ספקטרומטר LIGA (STEAG Micro Parts, Dortmund, Germany) שהוא בתחום הנקרא SWIR, היינו 850-1750 ננומטר עם אותו מקור אור בהארה ישירה והחזר לסיב אופטי בזווית של 45 מעלות. תאור של מערך המדידות בספקטרומטרים מוצגות בציור 1-ב. דיסק של ציפת הפרי נלקח מאזור של סריקת VISNIR וניתוח תכולת מרכיבים כגון כלל מומסים מוצקים, כלורפיל, ויטמין C ופוטנציאל לחץ אוסמוטי. כל אלו בוצעו על פי פרוטוקולי אנליזה הרסנית (DT). לתוצאות המדידה נערך ניתוח ספקטראלי בשיטות כימוטריות. לשם כך נעשה שימוש בתוכנת רגרסיה (PLSR) של

הריבועים המופחתים חלקית לפיתוח מודל (PLS, מחקר Wenatchee, Eigenvector, ושינגטון, ארה"ב), תוכנה זו מופעלת תחת תוכנת MATLAB (MathWorks, Natick, ארה"ב). נערכו השוואות בין ניתוח רגרסיה PLS של ספקטרא בהחזר R בטפולים מקדימים כגון הלורתמים הנגזרת הראשונה של R ושל הלורתמים והנגזרת השנייה שלהם  $((D2(\log(1/R) - 1, D1(\log(1/R) - D1R), \log(1/R)))$ .

#### 4.2.1. צילום היפרספקטראלי

צילום היפרספקטראליים באמצעות מערכת המוצגת באיור 1, המערכת כללה acousto-optic tuneable filter AOTF מחובר למצלמת CCD (COOL-1300Q/QC, VDS, DE) ותאורה של דיפיוזר מ9 מקורות אור של 50 וואט. המדידות בוצעו צעד של 5 ננומטר ובטווח של 550-850 ננומטר. לצורך היישום פותחה תכנה ייעודית. המרחק של המצלמה מהדוגמא היה 120 ס"מ.



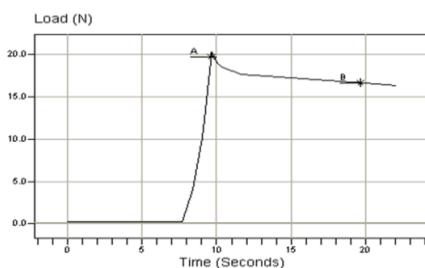
ציור 1 ב-ד: מערך ניסוי של א. ספקטרומטר SWIR ב. ספקטרומטר VISNIR ג. צילום היפרספקטראלי

#### 4.3. בחינת שיטת אולטרא סאונד לאבחון תכונות פיסיקליות של הפלפל

לבדיקה זו השתמשנו במשדר-מקלט בעצמה גבוהה בתדר נמוך מסוג USL33 (Krautkramer GmbH & Co., Hurth, Germany) וזוג מתמרים של 50 KHZ כולל חיבור למחשב לאסוף את נתוני המדידה (ציור 2 א'). מתמרים ממקדי שידור אקספוננציאליים המונחים על הפרי בזווית של 120 מעלות הוזזו לאורך קליפת הפרי והאות המועבר ביניהן ביחס לתזוזתם נקלט ונרשם במרווחים של 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, 1.75, 2.0 mm. כמדד נלקח החישוב של דעיכת האות [16], [17].

#### 4.4. בחינת relaxation (הרפיה) בפרי שלם

הבחינה נעשתה באמצעות מכשור כללי למדידת כוחות ומאמצים מסוג LR SK universal testing machine (Lloyd Instruments Ltd., West Sussex, UK) כמתואר בציור מס' 2 ב'. פרי שלם הונח בין שתי פלטות. התחתונה קבועה והעליונה הורדה לאחר מכן במהירות של 200 מ"מ לדקה עד להפעלת כוח של 20 ניוטון. הלחץ נשאר מופעל למשך 10 שניות והפלטה נעה למעלה לשחרור. הכוחות הדדיים בין הפלפל לפלטות נמדדו ודוגמא למדידה כזו מתוארת בגרף בציור 2 ג'. אנליזות הכוחות נעשתה באמצעות תכנת Nexygen 4.1 (Lloyd Instruments Ltd., West Sussex, UK).



ג.

ב.

א.

ציור 2: א. מערך בחינת שיטת אולטרא סאונד לאבחון תכונות פיסיקליות ב. מערך לבדיקת כוחות הרפיה בפלפל ג. דוגמת גרף מדידת הכוח בעת לחיצה והרפיה של פלפל



#### 4.5. מדידות צבע הפלפל

הפלפלים נבחנו לצבעם באמצעות מכשיר CR-300 series Chroma Meter. במרכז הפרי כאשר :

C (Chroma) and  $h^\circ$  (Hue angle), (Color indices – L (lightness

#### 4.6. מדידות חמר יבש בפלפל

מדידת חומר יבש נעשתה על ייבוש דגימה של כ 10 גרם במשך 72 שעות בטמפרטורה של 60 מעלות צלסיוס. שקילה פני ואחרי ייבוש.

#### 4.7. מדידות תכולת כמ"מ בפלפל

הבדיקה נעשתה על ידי סחיטת דוגמת פלפל מהאזור הנבדק לרפראקטומטר תוצרת ATAGO יפן מודל PR1. התוצאות הן ביחידות של % BRIX.

#### 4.8. מדידות לחץ אוסמוטי בפלפל

הבדיקה נעשתה על רצועת פלפל מהאזור הנבדק של כ 40 מ"מ, הרקמה הוקפאה במבחנה ב-5 מ"צ, ונכתשה למבחנה אחרת ועברה צנטרפוגה ממנה נקלטו 100 מיקרוליטר ועל ידי מדידת נקודת הקפיאה באמצעות מכשיר mOsm kg H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>. (μOsmette, Precision Systems, Natick, MA, USA) התוצאות הן ביחידות.

#### 4.9. מדידת בקע rupture ולחיצה compression

הבחינה נעשתה באמצעות מכשור כללי למדידת כוחות ומאמצים מסוג : model LR SK universal testing machine (Lloyd Instruments Ltd., West Sussex, UK). בקע נתקבל באמצעות פין חודר עגול בקוטר 8 מ"מ. לחיצה התקבלה על ידי שתי לוחות על דסקת פלפל בקוטר 30 מ"מ. בשני המקרים מהירות ההפעלה 100 מ"מ לשנייה.

#### 5. תוצאות

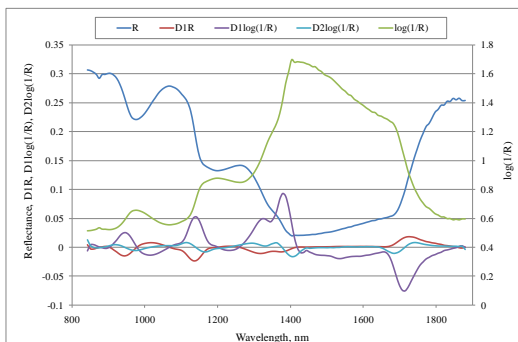
ספקטרא לדוגמא של פלפל מזן מס' 117 לפני ולאחר עיבוד מתמטי מקדים מתואר בציורים 3,4. התנהגות תכולת כלורפיל לאורך תקופת הגידול מוצגת בציור 5. תוצאות המשוות בין השיטות השונות ויכולתם הספקטראלית לחזות תכולת כלורופיל מתוארות בטבלה 3 ובטבלה 4 לטווחי אורכי הגל השונים (המכשירים) שנבחנו בהתאמה. התנהגות תכולת ויטמין C לאורך תקופת הגידול מתוארת בציור 6. תוצאות המשוות בין השיטות השונות ויכולתם הספקטראלית לחזות תכולת ויטמין C מתוארות בטבלה 1 ובטבלה 2 לטווחי אורכי הגל השונים (המכשירים) שנבחנו בהתאמה.

אופן הגידול במשקל של הפרי מוצג בגרף בציור מס' 7. 110 גרם עד לכ 180 גרם, מ40 יום אחר פריחה עד ל 60 יום ולאחר מכן משקל קבוע לערך עד ל-90 יום לאחר פריחה. התנהגות דומה בכל הזנים שנבחנו. אופן השתנות הצבע של

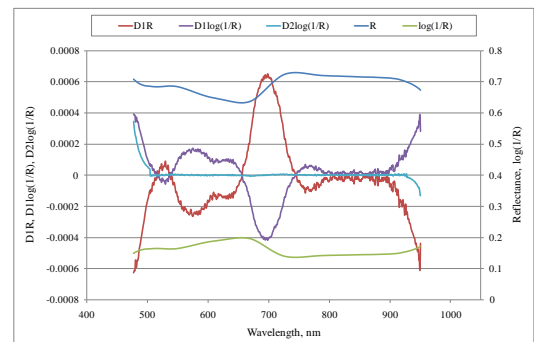
הפרי מוצג בגרף בציור מס' 8. כנגד אלו מוצגת התנהגות מעבר אות אולטרא סאונד בקליפה הפלפל בגרף שבציור 9.

השתנות ממוצע כוחות הרלקסציה בזמן בפלפל לאורך הגידול מוצג בגרף בציור 10. השתנות הדפורמציה השיורית

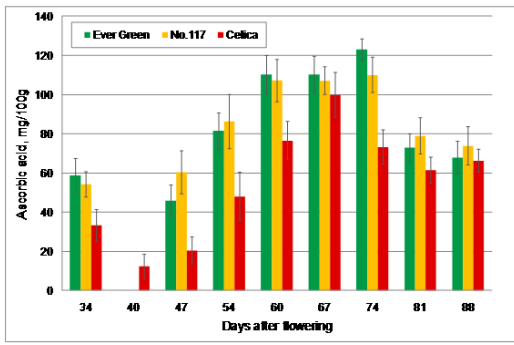
בפלפל לאורך הגידול מוצג בציור 11. השתנות ממוצע תכולת החומר היבש וTSS בפלפל לאורך הגידול מוצג בציור 12.



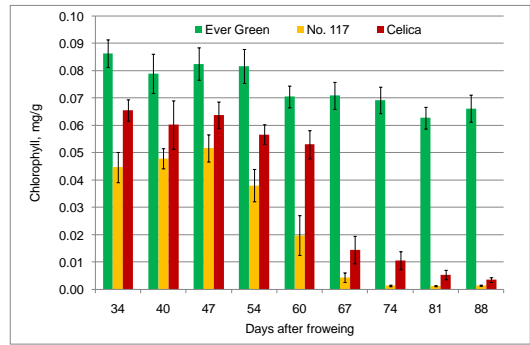
ציור 4: ספקטרא לדוגמא של פלפל מזן מס' 117 לפני ולאחר עיבוד מתמטי מקדים בתחום SWIR



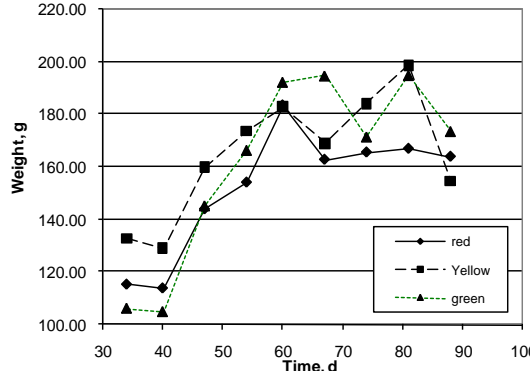
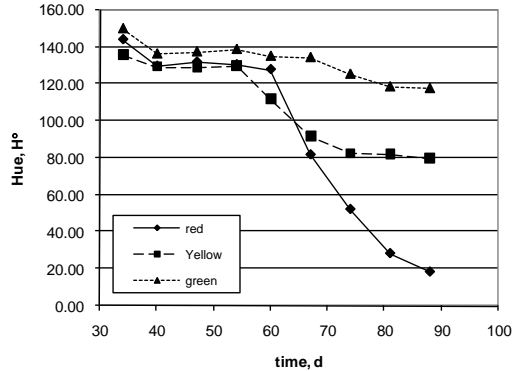
ציור 3: ספקטרא לדוגמא של פלפל מזן מס' 117 לפני ולאחר עיבוד מתמטי מקדים בתחום VISNIR



**ציור 6:** התנהגות תכולת ויטמין C לאורך עונת הגידול בשלושת זני הפלפל שנבחנו בניסוי

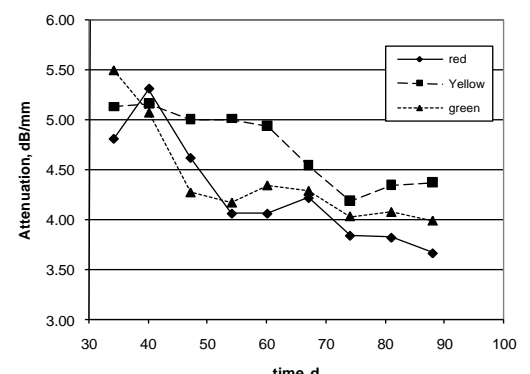
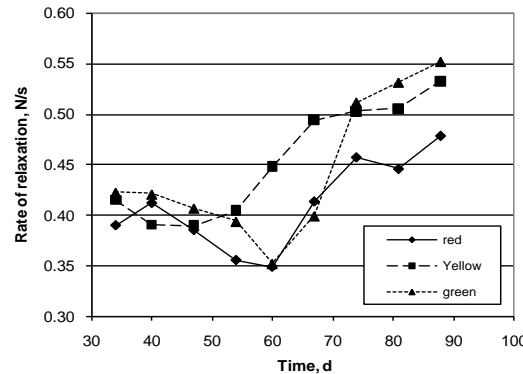


**ציור 5:** התנהגות תכולת כלורופיל לאורך עונת הגידול בשלושת זני הפלפל שנבחנו בניסוי



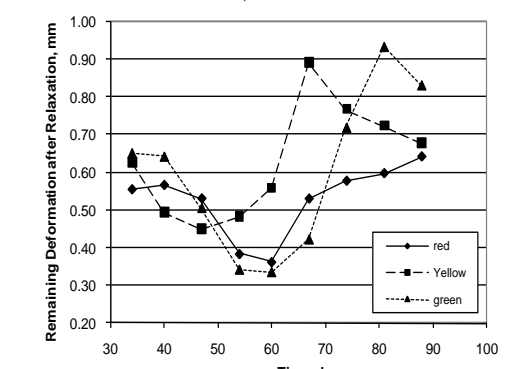
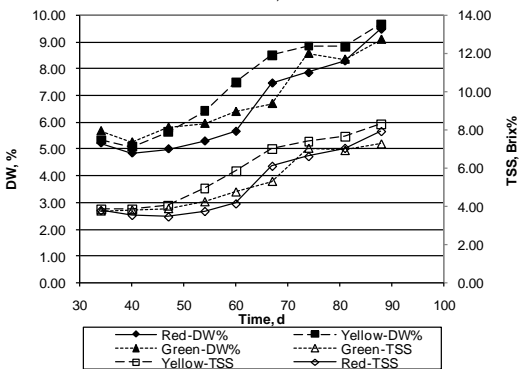
**ציור 8:** התנהגות צבע הפרי לאורך עונת הגידול בשלושת זני הפלפל שנבחנו בניסוי

**ציור 7:** התנהגות משקל הפרי לאורך עונת הגידול בשלושת זני הפלפל שנבחנו בניסוי



**ציור 10:** השתנות ממוצע כוחות הרלקסציה בזמן בפלפל לאורך הגידול

**ציור 9:** השתנות ממוצע דעיכת אות אולטראסאונד בפלפל לאורך הגידול



**ציור 12:** השתנות ממוצע תכולת החומר היבש ו-TSS בפלפל לאורך הגידול

**ציור 11:** השתנות הדפורמציה השיורית בפלפל לאורך הגידול



VIS-NIR	Statistical parameter	R	log(1/R)	D <sub>1</sub> R	D <sub>1</sub> log(1/R)	D <sub>2</sub> log(1/R)
<i>Ever Green</i>	LV	9	8	2	4	3
Ascorbic acid	R <sup>2</sup>	0.79	0.75	0.76	0.73	0.73
Range (18.1-148.1 mg/100g)	RMSEC	8.7	11.1	13.0	8.2	9.9
Total No. of samples (160)	RMSECV	15.2	15.9	16.3	16.3	16.5
STDEV: 31.9	RMSECV (%)	11.7%	12.2%	12.6%	12.6%	12.7%
	RPD	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9
<i>No.117</i>	LV	11	10	4	6	4
Ascorbic acid	R <sup>2</sup>	0.67	0.64	0.62	0.64	0.57
Range (17.3-169.5 mg/100g)	RMSEC	6.3	8.8	9.5	10.5	8.1
Total No. of samples (160)	RMSECV	16.9	17.8	17.3	18.1	18.2
STDEV: 38.77	RMSECV (%)	13.0%	13.7%	13.3%	13.9%	14.0%
	RPD	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1
<i>Celica</i>	LV	10	8	5	3	2
Ascorbic acid	R <sup>2</sup>	0.77	0.78	0.76	0.74	0.74
Range (1.3-156.4 mg/100g)	RMSEC	8.7	11.1	7.6	12.1	12.9
Total No. of samples (180)	RMSECV	15.3	15.1	15.6	16.4	16.1
STDEV: 33.9	RMSECV (%)	11.8%	11.7%	12.0%	12.6%	12.3%
	RPD	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1

**טבלה 2: השוואת יכולת החיזוי של ויטמין C במודלים שונים עבור תחום VISNIR**

VIS-NIR	Statistical parameter	R	log(1/R)	D <sub>1</sub> R	D <sub>1</sub> log(1/R)	D <sub>2</sub> log(1/R)
<i>Ever Green</i>	No. of factors	6	7	5	5	2
Chlorophyll	R <sup>2</sup>	0.599	0.62	0.61	0.618	0.322
Range: 0.0354-0.116249 mg/g	RMSEC	0.007	0.007	0.003	0.004	0.008
Total No. of samples: 180	RMSECV	0.008	0.009	0.008	0.009	0.010
STDEV: 0.014171	No. of samples	161	161	162	162	160
	RPD	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5
<i>No.117</i>	No. of factors	9	7	5	5	3
Chlorophyll	R <sup>2</sup>	0.946	0.913	0.945	0.941	0.902
Range: 0.00039-0.07682 mg/g	RMSEC	0.003	0.005	0.003	0.003	0.005
Total No. of samples: 180	RMSECV	0.005	0.007	0.005	0.006	0.007
STDEV: 0.02264	No. of samples	162	161	162	162	162
	RPD	4.2	3.3	4.1	4.1	3.2
<i>Celica</i>	No. of factors	9	9	5	5	3
Chlorophyll	R <sup>2</sup>	0.915	0.931	0.925	0.915	0.873
Range: 0.000776-0.09427 mg/g	RMSEC	0.005	0.005	0.004	0.004	0.006
Total No. of samples: 180	RMSECV	0.008	0.008	0.008	0.008	0.010
STDEV: 0.027779	No. of samples	166	162	162	163	162
	RPD	3.3	3.7	3.6	3.3	2.8

**טבלה 4: השוואת יכולת החיזוי של כלורופיל במודלים שונים עבור תחום VISNIR**

SWIR	Statistical parameter	R	log(1/R)	D <sub>1</sub> R	D <sub>1</sub> log(1/R)	D <sub>2</sub> log(1/R)
<i>Ever Green</i>	LV	8	9	9	9	10
Ascorbic acid	R <sup>2</sup>	0.75	0.77	0.70	0.77	0.77
Range (18.1-148.1 mg/100g)	RMSEC	12.6	11.7	13.2	11.5	10.9
Total No. of samples (160)	RMSECV	15.7	16.0	17.5	16.3	16.4
STDEV: 31.9	RMSECV (%)	12.1%	12.3%	13.4%	12.6%	12.6%
	RPD	2.0	2.0	1.8	2.0	1.9
<i>No.117</i>	LV	10	9	10	7	10
Ascorbic acid	R <sup>2</sup>	0.70	0.70	0.68	0.63	0.62
Range (17.3-169.5 mg/100g)	RMSEC	11.2	12.0	12.3	14.7	12.3
Total No. of samples (160)	RMSECV	16.1	16.2	16.8	18.6	18.7
STDEV: 38.77	RMSECV (%)	12.4%	12.5%	12.9%	14.3%	14.4%
	RPD	2.4	2.4	2.3	2.1	2.1
<i>Celica</i>	LV	8	7	12	8	11
Ascorbic acid	R <sup>2</sup>	0.71	0.65	0.70	0.65	0.70
Range (1.3-156.4 mg/100g)	RMSEC	14.2	15.8	14.4	15.7	11.9
Total No. of samples (180)	RMSECV	17.1	18.7	18.9	18.4	18.9
STDEV: 33.9	RMSECV (%)	13.2%	14.4%	14.5%	14.2%	14.6%
	RPD	2.0	1.8	1.8	1.8	1.8

**טבלה 1: השוואת יכולת החיזוי של ויטמין C במודלים שונים עבור תחום SWIR**

SWIR	Statistical parameter	R	log(1/R)	D <sub>1</sub> R	D <sub>1</sub> log(1/R)	D <sub>2</sub> log(1/R)
<i>Ever Green</i>	No. of factors	8	10	10	8	9
Chlorophyll	R <sup>2</sup>	0.66	0.706	0.612	0.633	0.707
Range: 0.0354-0.116249 mg/g	RMSEC	0.006	0.005	0.007	0.007	0.006
Total No. of samples: 180	RMSECV	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007
STDEV: 0.014171	No. of samples	162	162	162	162	162
	RPD	1.8	1.9	1.8	1.8	1.9
<i>No.117</i>	No. of factors	8	6	6	6	7
Chlorophyll	R <sup>2</sup>	0.96	0.961	0.955	0.96	0.962
Range: 0.00039-0.07682 mg/g	RMSEC	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Total No. of samples: 180	RMSECV	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
STDEV: 0.02264	No. of samples	162	162	162	162	162
	RPD	4.9	4.9	4.6	4.8	5.0
<i>Celica</i>	No. of factors	8	8	8	7	6
Chlorophyll	R <sup>2</sup>	0.921	0.914	0.934	0.924	0.923
Range: 0.000776-0.09427 mg/g	RMSEC	0.007	0.007	0.006	0.007	0.007
Total No. of samples: 180	RMSECV	0.008	0.008	0.007	0.008	0.008
STDEV: 0.027779	No. of samples	162	162	162	162	162
	RPD	3.4	3.3	3.7	3.6	3.5

**טבלה 3: השוואת יכולת החיזוי של כלורופיל במודלים שונים עבור תחום SWIR**

**5.1. אינדקס כלורופיל**

במחקר הנוכחי פותח מדד חדש לתיאור אינדקס כלורופיל על פי מדידות ספקטראליות באורכי גל דיסקרטיים (500, 520, 660, 680, 710 nm) וחישוב לפי הנוסחה:

$$[1] \text{ChI} = (R520 - R500) / (R520 + R500) + (R680 - R660) / (R680 + R660) + (R710 - R680) / (R710 + R680)$$

**5.2. תוצאות מדידות של פרי לאחר אחסון ובחיי מדף**

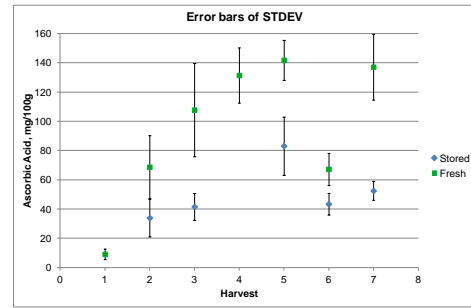
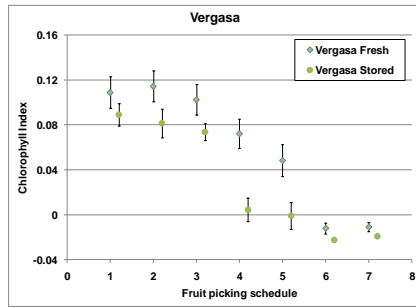
תוצאות חיזוי של ספקטרומטר USB2000 עבור מדדים שונים לפלפלים באחסון מזן 'ורגסה' ומזן 'ירוק-עד' מוצגות בטבלאות 5 ו 6. השוואה של שינוי המדדים השונים בקטיף ובעת האחסון מודגמת עבור פלפלים מזן 'ורגסה' באיור 13. נמצא ירידה בתכולת ויטמין C במשך האחסון (שבועיים) וכן כדאי לצמצמו. אינדקס כלורופיל משתנה על פי עקומה לא ליניארית מטיפוס סיגמואיד כמו גם מדד מוצקות אלסטי (מודול יאנג והרפיה).

Parameter	Statistical parameter			
	LV	R <sup>2</sup>	RMSEC	RMSECV
TSS	4	0.9	0.4089	0.51009
DW	5	0.917	0.44608	0.58186
Lightness (L)	6	0.743	0.84687	1.2966
Chroma (C)	7	0.869	1.7117	2.7992
Hue (h°)	7	0.869	1.6577	2.7667
Relaxation	3	0.685	0.032002	0.035662
Lloyd deformation	3	0.229	0.48538	0.54971
Young's Modulus	3	0.462	0.01667	0.018737

**טבלה 6: תוצאות חיזוי של ספקטרומטר USB2000 עבור מדדים שונים ל 'ורגסה'**

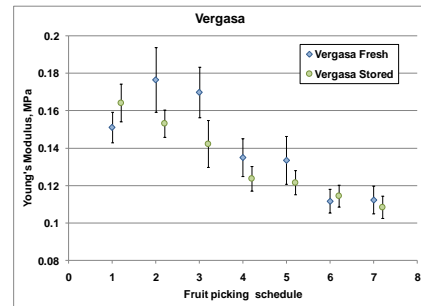
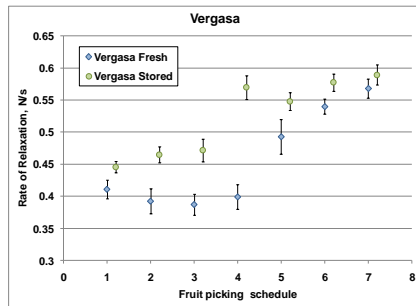
Parameter	Statistical parameter			
	LV	R <sup>2</sup>	RMSEC	RMSECV
TSS	7	0.699	0.43025	0.8239
DW	7	0.742	0.37922	0.71066
Lightness (L)	4	0.812	0.78475	1.0297
Chroma (C)	6	0.761	0.71408	1.3138
Hue (h°)	6	0.847	1.0782	1.8444
Relaxation	3	0.231	0.040444	0.055367
Lloyd deformation	3	0.243	0.42273	0.50973
Young's Modulus	7	0.511	0.011178	0.023895

**טבלה 5: תוצאות חיזוי של ספקטרומטר USB2000 עבור מדדים שונים ל 'ירוק-עד'**



**איור 13 ב':** השוואה בשינוי אינדקס כלורופיל בין פרי טרי לפרי מאוחסן במועדים השונים

**איור 13 א':** השוואה בשינוי וויטמין C בין פרי טרי לפרי מאוחסן במועדים השונים



**איור 13 ד':** השוואה בהרפייה בין פרי טרי לפרי מאוחסן במועדים השונים

**איור 13 ג':** השוואה במוצקות אלסטיות בין פרי טרי לפרי מאוחסן במועדים השונים

### 5.3. מדד חדש ליציבות מודלים

במסגרת המחקר נמצא כי מדד היציבות RPD לא תמיד מתאים לבחינת מודלים ספקטראליים ודומיהם. לשם כך פותח מדד יציבות חדש SWS המבוסס על שילוב מדדים כגון מקדם מתאם  $R^2$  שגיאות חיזוי RMSEC ו-RMSECV, מדד RPD. הוא מחושב לפי הנוסחה:

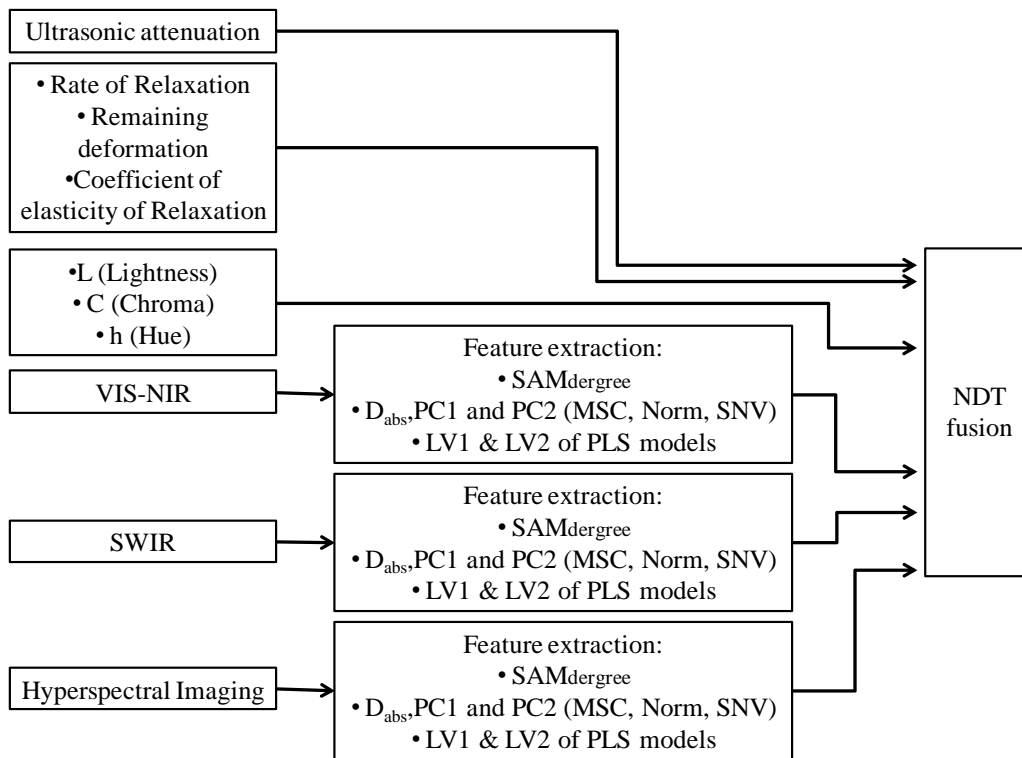
$$[2] \quad SWS = \sum_{i=1}^4 \left( 1 - \frac{a_i - \min_i}{\max_i - \min_i} \right) * W_i + \sum_{j=1}^2 \left( \frac{b_j - \min_j}{\max_j - \min_j} \right) * W_j$$

SWS standardized weighted sum;  $i$  index of statistical parameter  $a$ : LV, RMSEC, RMSECV, RMSECV/RMSEC;  $j$  is the index of statistical parameter  $b$ :  $r^2$ , RPD;  $\min$  is the minimum of the range of the particular statistical parameter;  $\max$  is the maximum of the range of the particular statistical parameter;  $w$  is the weight of the particular statistical parameter.

### 5.4. היתוך מידע

#### 5.4.1. רמה ראשונה של היתוך מידע: היתוך מידע של פרמטרי NDT

ברמה הראשונה של היתוך מידע, מוזגו פרמטרי NDT במטרה לנתח את ההשפעה של שילוב של הנתונים לחיזוי של מאפייני האיכות של הפלפלים, שנמדדו בשיטות DT. כצעד ראשון של היתוך מידע, חולצו תכונות שונות מהנתונים בשיטות המדידה השונות. התכנית של היתוך מידע עבור משתני NDT מוצגת באיור 14.



איור 14 : תכנית לשילוב של שיטות NDT

הערכת המודל רלוונטית להשוואה של מערכת חד חיישנית למערכת רב חיישנית. ההשוואה מבוססת על ביצועי ויכולתו של המודל לחזות את המאפיינים של המוצר. ההערכה של ביצועי מודל של שתי המערכות בוצעה באמצעות מדד SWS. טבלאות 7 ו 8 מציגות את התוצאות המפורטות של השוואת מודלי הרגרסיה PLS עבור מערכת חד חיישנית ועבור מערכת רב חיישנית. בטבלאות מוצגים מדדי ביצועים של מודלי הרגרסיה ב PLS לכל משתני ה-DT, באמצעות נתונים מ VISNIR, SWIR, הדמאה היפר ספקטראלית והיתוך מידע של שיטות NDT. מוצגים מודלים שלושת זני הפלפל. מערכת חד חיישנית משמעותה שימוש ב-VIS-NIR או הדמאה היפר ספקטראלית או מדידות SWIR. מערכת רב חיישנית פירושה היתוך מידע נתוני NDT. יש לציין כי בהערכה, מדד SWS חושב עבור זן מסוים עם פרמטר DT מסוים במטרה לאפשר השוואה את הביצועים של מודלי הרגרסיה. כך שהתוצאות מציגות לכל מקרה את נתוני היתוך מידע שנתנו מודלים טובים יותר על פי מדדי SWS הגבוהים יותר. יתר על כן המודלים הממוזגים חוזים פרמטרי DT עם מספר דומה או נמוך יותר של משתנים חבויים (LV), ויש להם קורלציה גבוהה יותר בדרך כלל למדידה כמו גם שגיאת חיזוי RMSECV נמוכה יותר. לסיכום נמצא כי ביצועי מערכת רב חיישנית טובים יותר ממערכת חד-חיישנית שער אחוז הביצוע מוצג בעמוד אחרונה של הטבלה.

שיטות של PLS, PCR, Kernel וSVM רגרסיות שמשו לבניית המודלים (טבלות 9-10) לכול DT וזני הפלפלים בנפרד. השוואה כוללת של שיטות הרגרסיה השונות, המבוססות על מדד SWS הראתה כי PLS ורגרסיות SVM היו המתאימות ביותר לחיזוי פרמטרים של DT מתוך פרמטרי NDT ממוזגים. שילוב של פרמטרי NDT נמצא כמספק ומועיל לחיזוי פרמטרים של איכות של DT בשלושת זני הפלפל שנבחנו.

DT	Cultivar	NDT	LV	r <sup>2</sup>	RMSEC	RMSECV	RPD	RMSECV/ RMSEC	SWS	% of difference in RMSECV
TSS, Birix %	Ever Green	VIS-NIR	3	0.93	0.29	0.38	3.9	1.3	0.71	21%
		Hyperspectral imaging	13	0.87	0.43	0.56	2.6	1.3	0.17	46%
		SWIR	9	0.91	0.33	0.44	3.3	1.3	0.40	32%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>5</b>	<b>0.96</b>	<b>0.22</b>	<b>0.30</b>	<b>4.9</b>	<b>1.3</b>	<b>0.81</b>	
	No.117	VIS-NIR	6	0.91	0.47	0.55	3.2	1.2	0.22	31%
		Hyperspectral imaging	6	0.93	0.43	0.47	3.8	1.1	0.57	19%
		SWIR	6	0.92	0.46	0.52	3.4	1.1	0.36	27%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>7</b>	<b>0.96</b>	<b>0.28</b>	<b>0.38</b>	<b>4.7</b>	<b>1.4</b>	<b>0.74</b>	
	Celica	VIS-NIR	8	0.95	0.29	0.38	4.6	1.3	0.35	16%
		Hyperspectral imaging	6	0.95	0.34	0.37	4.7	1.1	0.57	14%
		SWIR	7	0.94	0.38	0.44	3.9	1.2	0.14	27%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>3</b>	<b>0.97</b>	<b>0.27</b>	<b>0.32</b>	<b>5.5</b>	<b>1.2</b>	<b>0.93</b>	
DM, %	Ever Green	VIS-NIR	8	0.93	0.26	0.37	3.8	1.4	0.64	11%
		Hyperspectral imaging	9	0.84	0.47	0.59	2.4	1.3	0.08	44%
		SWIR	4	0.89	0.42	0.48	3.0	1.2	0.56	31%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>4</b>	<b>0.95</b>	<b>0.26</b>	<b>0.33</b>	<b>4.3</b>	<b>1.3</b>	<b>0.92</b>	
	No.117	VIS-NIR	3	0.9	0.56	0.58	3.0	1.0	0.26	21%
		Hyperspectral imaging	6	0.92	0.46	0.51	3.5	1.1	0.57	10%
		SWIR	8	0.93	0.39	0.48	3.7	1.2	0.69	4%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>6</b>	<b>0.94</b>	<b>0.31</b>	<b>0.46</b>	<b>3.9</b>	<b>1.5</b>	<b>0.78</b>	
	Celica	VIS-NIR	8	0.94	0.33	0.43	4.1	1.3	0.64	5%
		Hyperspectral imaging	6	0.94	0.39	0.43	4.0	1.1	0.78	5%
		SWIR	7	0.92	0.42	0.50	3.5	1.2	0.10	18%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>2</b>	<b>0.94</b>	<b>0.37</b>	<b>0.41</b>	<b>4.2</b>	<b>1.1</b>	<b>0.97</b>	
AA, g/100g	Ever Green	VIS-NIR	9	0.79	8.7	15.2	2.1	1.8	0.43	9%
		Hyperspectral imaging	4	0.72	15.0	16.7	1.9	1.1	0.26	17%
		SWIR	8	0.75	12.6	15.7	2.0	1.2	0.39	12%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>5</b>	<b>0.83</b>	<b>10.0</b>	<b>13.9</b>	<b>2.3</b>	<b>1.4</b>	<b>0.90</b>	
	No.117	VIS-NIR	4	0.62	9.5	17.3	2.2	1.8	0.21	27%
		Hyperspectral imaging	7	0.55	15.4	17.3	2.2	1.1	0.22	27%
		SWIR	10	0.70	11.2	16.1	2.4	1.4	0.37	22%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>6</b>	<b>0.81</b>	<b>9.3</b>	<b>12.6</b>	<b>3.1</b>	<b>1.4</b>	<b>0.91</b>	
	Celica	VIS-NIR	8	0.78	11.1	15.1	2.2	1.4	0.40	14%
		Hyperspectral imaging	8	0.72	14.4	16.0	2.1	1.1	0.32	19%
		SWIR	8	0.71	14.2	17.1	2.0	1.2	0.11	24%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>4</b>	<b>0.83</b>	<b>10.7</b>	<b>13.0</b>	<b>2.6</b>	<b>1.2</b>	<b>0.93</b>	
OP, osmol/kg	Ever Green	VIS-NIR	3	0.87	27.0	36.7	3.0	1.4	0.64	11%
		Hyperspectral imaging	6	0.80	42.7	48.5	2.3	1.1	0.17	33%
		SWIR	5	0.84	32.2	41.8	2.6	1.3	0.40	22%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>3</b>	<b>0.90</b>	<b>27.2</b>	<b>32.5</b>	<b>3.4</b>	<b>1.2</b>	<b>0.94</b>	
	No.117	VIS-NIR	3	0.88	44.2	45.8	2.9	1.0	0.28	0%
		Hyperspectral imaging	5	0.89	39.9	43.2	3.0	1.1	0.80	-6%
		SWIR	4	0.88	37.8	45.4	2.9	1.2	0.21	-1%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>2</b>	<b>0.88</b>	<b>39.9</b>	<b>45.8</b>	<b>2.8</b>	<b>1.1</b>	<b>0.22</b>	
	Celica	VIS-NIR	3	0.92	25.5	34.8	3.6	1.4	0.59	10%
		Hyperspectral imaging	3	0.92	31.5	32.9	3.8	1.0	0.82	5%
		SWIR	6	0.89	35.1	40.2	3.1	1.1	0.13	22%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>3</b>	<b>0.93</b>	<b>26.8</b>	<b>31.4</b>	<b>4.0</b>	<b>1.2</b>	<b>0.91</b>	

טבלה 7 : השוואת מודלי הרגרסיה PLS עבור מערכת חד חיישנית ועבור מערכת רב חיישנית.

DT	Cultivar	NDT	LV	r <sup>2</sup>	RMSEC	RMSECV	RPD	RMSECV/ RMSEC	SWS	% of difference in RMSECV
Total Chlorophyll, mg/g	Ever Green	VIS-NIR	6	0.6	0.007	0.008	1.7	1.2	0.53	19%
		Hyperspectral imaging	5	0.44	0.009	0.010	1.4	1.1	0.24	35%
		SWIR	9	0.71	0.006	0.007	1.9	1.3	0.61	7%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>4</b>	<b>0.77</b>	<b>0.005</b>	<b>0.007</b>	<b>2.1</b>	<b>1.3</b>	<b>0.83</b>	
	No.117	VIS-NIR	5	0.95	0.003	0.005	4.2	2.0	0.10	30%
		Hyperspectral imaging	3	0.95	0.005	0.005	4.4	1.1	0.27	30%
		SWIR	6	0.96	0.004	0.005	4.9	1.1	0.31	30%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>7</b>	<b>0.98</b>	<b>0.003</b>	<b>0.004</b>	<b>6.6</b>	<b>1.4</b>	<b>0.85</b>	
	Celica	VIS-NIR	9	0.93	0.005	0.008	3.7	1.5	0.12	25%
		Hyperspectral imaging	5	0.95	0.007	0.007	4.0	1.1	0.63	14%
		SWIR	6	0.92	0.007	0.008	3.5	1.2	0.21	25%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>5</b>	<b>0.96</b>	<b>0.005</b>	<b>0.006</b>	<b>4.7</b>	<b>1.3</b>	<b>0.92</b>	
Carotenoid, mg/g	Ever Green	VIS-NIR	3	0.92	0.007	0.010	3.9	1.4	0.50	24%
		Hyperspectral imaging	7	0.87	0.012	0.013	3.0	1.1	0.17	42%
		SWIR	5	0.88	0.010	0.012	3.3	1.3	0.23	37%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>5</b>	<b>0.96</b>	<b>0.006</b>	<b>0.008</b>	<b>5.2</b>	<b>1.3</b>	<b>0.84</b>	
	No.117	VIS-NIR	7	0.91	0.005	0.006	3.7	1.2	0.11	33%
		Hyperspectral imaging	8	0.92	0.005	0.006	4.0	1.1	0.29	33%
		SWIR	6	0.88	0.005	0.006	3.7	1.2	0.06	33%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>5</b>	<b>0.95</b>	<b>0.003</b>	<b>0.004</b>	<b>5.6</b>	<b>1.2</b>	<b>0.83</b>	
	Celica	VIS-NIR	8	0.95	0.007	0.010	6.6	1.3	0.65	29%
		Hyperspectral imaging	10	0.97	0.007	0.008	7.5	1.2	0.77	15%
		SWIR	7	0.88	0.013	0.015	4.2	1.2	0.26	52%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>8</b>	<b>0.98</b>	<b>0.005</b>	<b>0.007</b>	<b>8.8</b>	<b>1.5</b>	<b>0.80</b>	
Coefficient of elasticity Compression , N/mm	Ever Green	VIS-NIR	2	0.55	8.80	10.90	1.7	1.2	0.58	6%
		Hyperspectral imaging	4	0.47	10.90	12.30	1.5	1.1	0.22	16%
		SWIR	6	0.56	9.80	10.90	1.7	1.1	0.64	6%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>3</b>	<b>0.63</b>	<b>8.40</b>	<b>10.30</b>	<b>1.8</b>	<b>1.2</b>	<b>0.81</b>	
	No.117	VIS-NIR	2	0.49	5.82	6.70	1.7	1.1	0.70	4%
		Hyperspectral imaging	2	0.37	7.40	7.60	1.5	1.0	0.26	16%
		SWIR	2	0.42	6.50	7.40	1.5	1.1	0.30	13%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>3</b>	<b>0.55</b>	<b>5.53</b>	<b>6.40</b>	<b>1.8</b>	<b>1.2</b>	<b>0.74</b>	
	Celica	VIS-NIR	2	0.41	6.10	7.10	1.5	1.2	0.69	2%
		Hyperspectral imaging	2	0.27	7.20	7.50	1.4	1.0	0.26	7%
		SWIR	2	0.36	6.70	7.50	1.4	1.1	0.30	7%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>3</b>	<b>0.43</b>	<b>5.92</b>	<b>6.97</b>	<b>1.5</b>	<b>1.2</b>	<b>0.76</b>	
Coefficient of elasticity Rupture, N/mm	Ever Green	VIS-NIR	3	0.52	2.40	3.60	1.6	1.5	0.79	0%
		Hyperspectral imaging	6	0.27	3.90	4.20	1.4	1.1	0.17	14%
		SWIR	2	0.41	3.50	4.00	1.5	1.1	0.55	10%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>4</b>	<b>0.54</b>	<b>2.70</b>	<b>3.60</b>	<b>1.6</b>	<b>1.3</b>	<b>0.86</b>	
	No.117	VIS-NIR	4	0.40	2.50	2.60	1.6	1.0	0.17	8%
		Hyperspectral imaging	2	0.45	2.50	2.60	1.6	1.0	0.32	8%
		SWIR	2	0.50	2.30	2.50	1.6	1.1	0.53	4%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>4</b>	<b>0.54</b>	<b>2.00</b>	<b>2.40</b>	<b>1.7</b>	<b>1.2</b>	<b>0.74</b>	
	Celica	VIS-NIR	2	0.68	2.50	3.20	1.8	1.3	0.26	16%
		Hyperspectral imaging	4	0.70	2.80	3.10	1.9	1.1	0.46	13%
		SWIR	3	0.65	3.00	3.30	1.7	1.1	0.23	18%
		<b>Fusion of NDT</b>	<b>5</b>	<b>0.77</b>	<b>2.10</b>	<b>2.70</b>	<b>2.2</b>	<b>1.3</b>	<b>0.74</b>	

**טבלה 8 :** המשך השוואת מודלי הרגרסיה PLS עבור מערכת חד חיישנית ועבור מערכת רב חיישנית.

DT	Cultivar	Regression analysis	LV	r <sup>2</sup>	RMSEC	RMSECV	RPD	RMSECV/ RMSEC	SWS
TSS, Brix %	Ever Green	PLS	5	0.96	0.22	0.30	4.9	1.3	0.84
		PCR	7	0.94	0.35	0.37	3.9	1.1	0.73
		Kernel	5	0.93	0.29	0.40	3.7	1.4	0.64
		SVM	5	0.96	0.23	0.29	5.0	1.3	0.86
	No.117	PLS	7	0.96	0.28	0.38	4.6	1.4	0.70
		PCR	8	0.93	0.44	0.48	3.7	1.1	0.57
		Kernel	7	0.94	0.40	0.47	3.8	1.2	0.57
		SVM	7	0.96	0.22	0.36	4.9	1.6	0.67
	Celica	PLS	3	0.97	0.27	0.32	5.5	1.2	0.90
		PCR	6	0.97	0.29	0.32	5.5	1.1	0.89
		Kernel	3	0.93	0.41	0.50	3.5	1.2	0.56
		<b>SVM</b>	<b>3</b>	<b>0.97</b>	<b>0.26</b>	<b>0.31</b>	<b>5.6</b>	<b>1.2</b>	<b>0.91</b>
DM, %	Ever Green	<b>PLS</b>	<b>4</b>	<b>0.95</b>	<b>0.26</b>	<b>0.33</b>	<b>4.3</b>	<b>1.3</b>	<b>0.89</b>
		PCR	7	0.93	0.35	0.39	3.7	1.1	0.77
		Kernel	4	0.91	0.43	0.44	3.2	1.0	0.70
		SVM	4	0.94	0.25	0.35	4.1	1.4	0.83
	No.117	PLS	6	0.94	0.31	0.46	3.9	1.5	0.66
		PCR	10	0.92	0.47	0.51	3.5	1.1	0.58
		Kernel	6	0.92	0.37	0.51	3.5	1.4	0.58
		SVM	6	0.94	0.28	0.43	4.1	1.5	0.69
	Celica	PLS	2	0.94	0.37	0.41	4.2	1.1	0.83
		PCR	6	0.94	0.39	0.43	4.1	1.1	0.77
		Kernel	3	0.90	0.42	0.54	3.2	1.3	0.53
		SVM	2	0.95	0.31	0.40	4.4	1.3	0.83
Ascorbic acid, mg/100g	Ever Green	PLS	5	0.83	10.0	13.9	2.3	1.4	0.73
		PCR	9	0.70	15.8	17.2	1.9	1.1	0.41
		Kernel	9	0.82	9.2	18.2	1.7	2.0	0.36
		SVM	5	0.79	9.7	15.0	2.1	1.5	0.85
	No.117	PLS	6	0.81	9.3	12.6	3.1	1.4	0.85
		PCR	11	0.63	15.0	16.7	2.3	1.1	0.42
		Kernel	6	0.78	14.7	19.0	2.0	1.3	0.37
		SVM	6	0.76	9.2	13.6	2.8	1.5	0.82
	Celica	PLS	4	0.83	10.7	13.0	2.6	1.2	0.82
		PCR	10	0.79	13.2	14.4	2.4	1.1	0.65
		Kernel	10	0.72	11.7	17.9	1.9	1.5	0.35
		<b>SVM</b>	<b>4</b>	<b>0.85</b>	<b>10.1</b>	<b>11.9</b>	<b>2.8</b>	<b>1.2</b>	<b>0.92</b>
OP, osmol/kg	Ever Green	PLS	3	0.90	27.2	32.5	3.4	1.2	0.81
		PCR	8	0.90	31.4	33.7	3.2	1.1	0.75
		Kernel	3	0.84	35.6	38.3	2.9	1.1	0.65
		SVM	3	0.89	27.2	33.6	3.3	1.2	0.76
	No.117	PLS	2	0.88	39.9	45.8	2.8	1.1	0.53
		PCR	7	0.88	43.1	44.7	2.9	1.0	0.53
		Kernel	3	0.86	46.6	47.3	2.8	1.0	0.51
		SVM	2	0.90	36.8	40.4	3.2	1.1	0.69
	Celica	<b>PLS</b>	<b>3</b>	<b>0.93</b>	<b>26.8</b>	<b>31.4</b>	<b>4.0</b>	<b>1.2</b>	<b>0.88</b>
		PCR	10	0.94	28.4	30.1	4.1	1.1	0.87
		Kernel	3	0.87	37.4	38.2	3.3	1.0	0.71
		SVM	3	0.93	25.2	31.7	3.9	1.3	0.85

**טבלה 9:** מדדי ביצוע של PLS, PCR, Kernel ו-SVM מודלי הרגרסיה עבור כול DT, תוך שימוש בנתונים משיטות NDT ממוזגות.

DT	Cultivar	Regression analysis	LV	r <sup>2</sup>	RMSEC	RMSECV	RPD	RMSECV/ RMSEC	SWS
Total Chlorophyll, mg/g	Ever Green	PLS	4	0.77	0.0052	0.0065	2.1	1.3	0.60
		PCR	11	0.69	0.0065	0.0072	1.9	1.1	0.51
		Kernel	4	0.36	0.0104	0.0119	1.2	1.1	0.40
		SVM	4	0.76	0.0051	0.0065	2.1	1.3	0.60
	No.117	PLS	7	0.98	0.0025	0.0035	6.6	1.4	0.74
		PCR	10	0.97	0.0038	0.0043	5.4	1.1	0.70
		Kernel	7	0.95	0.0048	0.0050	4.6	1.0	0.71
		<b>SVM</b>	<b>7</b>	<b>0.98</b>	<b>0.0022</b>	<b>0.0033</b>	<b>7.0</b>	<b>1.5</b>	<b>0.74</b>
	Celica	PLS	5	0.96	0.0045	0.0060	4.7	1.3	0.69
		PCR	9	0.94	0.0065	0.0071	3.9	1.1	0.63
		Kernel	6	0.91	0.0084	0.0087	3.2	1.0	0.62
		SVM	6	0.94	0.0040	0.0066	4.2	1.7	0.63
Carotenoids, mg/g	Ever Green	PLS	5	0.96	0.0058	0.0076	5.2	1.3	0.73
		PCR	7	0.93	0.0086	0.0093	4.2	1.1	0.66
		Kernel	5	0.94	0.0089	0.0093	4.2	1.0	0.69
		SVM	5	0.97	0.0043	0.0063	6.2	1.5	0.78
	No.117	<b>PLS</b>	<b>5</b>	<b>0.95</b>	<b>0.0032</b>	<b>0.0040</b>	<b>5.6</b>	<b>1.2</b>	<b>0.87</b>
		PCR	11	0.93	0.0046	0.0053	4.2	1.2	0.73
		Kernel	5	0.85	0.0042	0.0080	2.8	1.9	0.48
		SVM	5	0.95	0.0030	0.0040	5.5	1.3	0.85
	Celica	PLS	8	0.98	0.0047	0.0071	8.8	1.5	0.75
		PCR	9	0.96	0.0085	0.0102	6.2	1.2	0.65
		Kernel	6	0.95	0.0118	0.0129	4.9	1.1	0.57
		SVM	6	0.98	0.0052	0.0076	8.2	1.5	0.77
Coefficient of elasticity Rupture, N/mm	Ever Green	PLS	4	0.54	2.7	3.6	1.6	1.3	0.56
		PCR	4	0.45	3.6	3.7	1.6	1.0	0.52
		Kernel	4	0.50	4.2	4.5	1.3	1.1	0.34
		SVM	4	0.50	2.8	3.7	1.6	1.3	0.52
	No.117	PLS	4	0.54	2.0	2.4	1.7	1.2	0.81
		PCR	3	0.44	2.6	2.7	1.6	1.0	0.73
		Kernel	4	0.43	3.1	3.1	1.3	1.0	0.61
		SVM	4	0.44	2.1	2.6	1.6	1.3	0.72
	Celica	<b>PLS</b>	<b>5</b>	<b>0.77</b>	<b>2.1</b>	<b>2.7</b>	<b>2.2</b>	<b>1.3</b>	<b>0.88</b>
		PCR	11	0.69	2.8	3.1	1.9	1.1	0.69
		Kernel	5	0.72	2.8	3.0	1.9	1.1	0.77
		SVM	5	0.75	2.1	2.8	2.1	1.3	0.84
Coefficient of elasticity Compression, N/mm	Ever Green	PLS	3	0.63	8.4	10.3	1.8	1.2	0.64
		PCR	4	0.58	10.2	10.6	1.8	1.0	0.64
		Kernel	4	0.51	12.0	13.0	1.4	1.1	0.39
		SVM	3	0.60	8.6	10.6	1.8	1.2	0.60
	No.117	<b>PLS</b>	<b>3</b>	<b>0.55</b>	<b>5.5</b>	<b>6.4</b>	<b>1.8</b>	<b>1.2</b>	<b>0.88</b>
		PCR	11	0.44	6.6	7.1	1.6	1.1	0.71
		Kernel	3	0.32	8.2	10.1	1.1	1.2	0.42
		SVM	3	0.54	5.8	6.7	1.7	1.2	0.85
	Celica	PLS	3	0.43	5.9	7.0	1.5	1.2	0.75
		PCR	4	0.27	7.3	7.6	1.4	1.0	0.66
		Kernel	4	0.29	9.7	9.8	1.1	1.0	0.49
		SVM	2	0.46	6.3	6.9	1.5	1.1	0.81

**טבלה 10:** המשך המציגה מדדי ביצוע של PLS, PCR, Kernel ו-SVM מודלי הרגרסיה עבור כול DT, תוך שימוש בנתונים משיטות NDT ממוזגות.



#### 5.4.2. רמה שנייה של היתוך מידע: פרמטרים של NDT ממוזגים משולב זנים.

עד לנקודה זו בחנו כל זן פלפל בנפרד. ברמה השנייה של היתוך מידע, אנו מעוניינים לבדוק אפשרות לשילוב של הזנים ללא קשר לעובדה שהם נבדלים בצבע הסופי שלהם ולבנות מודלים כלליים לחיזוי כל פרמטרי DT. טבלה 11 מציגה את מדדי ביצוע של PLS, PCR, Kernel ו-SVM מודלי הרגרסיה ל-TSS, חומר היבש, וויטמין C, לחץ אוסמוטי, כלורופיל כללי, קרטנואידים, מקדם אלסטיות של לחיצה ומקדם אלסטיות של חדירה, תוך שימוש בנתונים משיטות NDT ממוזגות. מודלים של שילוב של שלושה זני הפלפל מוצגים. בראייה כוללת של התוצאות נראה כי רגרסיית PCR צריכה באופן משמעותי יותר משתני s-PC כדי לבנות את המודלים. יתר על כן לשיטה זו בדרך כלל יש RMSECV גבוה יותר. לכן אינה מומלצת לניתוח של שילוב זנים ומערכות נתוני NDT ממוזגות להערכת פלפל. השוואה כוללת של שיטות הרגרסיה השונות, המבוססות על מדד SWS הראתה כי רגרסיות Kernel ו-SVM היו המתאימות ביותר לחיזוי פרמטרים של DT מתוך פרמטרי NDT ממוזגים. בהתבסס על השוואה של מודלים של הזנים היחידים והמשולבים, ניתן להסיק כי למודלים של הזנים המשולבים יש  $r^2$  גבוה יותר ויחס נמוך של RMSECV ל-RMSEC, דבר שהופך את המודלים האלה לחזקים יותר ומעלה את האפשרות שהם יכולים להיות יישומיים עבור חיזוי פרמטר DT. לכן התוצאות נותנות אפשרות לשימוש במודלים הנוכחים למיון של פלפלים מזנים שונים בו-זמנית.

DT	Cultivar	Regression analysis	LV	$r^2$	RMSEC	RMSECV	RPD	RMSECV/RMSEC	SWS
TSS, Brix%	Ever Green & No.117& Celica	PLS	5	0.93	0.40	0.45	3.8	1.11	0.67
		PCR	4	0.87	0.62	0.64	2.7	1.02	0.36
		Kernel	5	0.93	0.42	0.47	3.6	1.13	0.58
		<b>SVM</b>	<b>5</b>	<b>0.93</b>	<b>0.37</b>	<b>0.43</b>	<b>4.0</b>	<b>1.16</b>	<b>0.67</b>
DM, %	Ever Green & No.117& Celica	PLS	5	0.93	0.42	0.46	3.6	1.11	0.71
		PCR	4	0.84	0.65	0.67	2.5	1.02	0.33
		<b>Kernel</b>	<b>5</b>	<b>0.92</b>	<b>0.48</b>	<b>0.49</b>	<b>3.4</b>	<b>1.01</b>	<b>0.74</b>
		SVM	5	0.92	0.39	0.46	3.7	1.16	0.67
AA, mg/100g	Ever Green & No.117& Celica	PLS	8	0.77	14.2	16.4	2.4	1.16	0.73
		PCR	11	0.51	22.0	22.6	1.7	1.03	0.19
		Kernel	8	0.73	20.3	20.7	1.9	1.02	0.51
		<b>SVM</b>	<b>8</b>	<b>0.77</b>	<b>14.1</b>	<b>16.1</b>	<b>2.4</b>	<b>1.14</b>	<b>0.77</b>
OP, osmol/kg	Ever Green & No.117& Celica	PLS	5	0.89	37.0	40.6	3.0	1.10	0.62
		PCR	5	0.83	48.4	49.3	2.5	1.02	0.22
		Kernel	5	0.89	42.0	42.0	2.9	1.00	0.64
		<b>SVM</b>	<b>5</b>	<b>0.90</b>	<b>33.8</b>	<b>38.8</b>	<b>3.2</b>	<b>1.15</b>	<b>0.67</b>
Total Chlorophyll, mg/g	Ever Green & No.117& Celica	PLS	9	0.94	0.006	0.007	4.3	1.16	0.59
		PCR	15	0.86	0.011	0.011	2.8	1.05	0.43
		<b>Kernel</b>	<b>9</b>	<b>0.91</b>	<b>0.009</b>	<b>0.009</b>	<b>3.4</b>	<b>1.05</b>	<b>0.64</b>
		SVM	9	0.95	0.006	0.007	4.5	1.17	0.60
Carotenoid, mg/g	Ever Green & No.117& Celica	PLS	9	0.92	0.008	0.010	4.4	1.20	0.64
		PCR	10	0.76	0.016	0.016	2.8	1.03	0.39
		<b>Kernel</b>	<b>9</b>	<b>0.92</b>	<b>0.008</b>	<b>0.010</b>	<b>4.5</b>	<b>1.21</b>	<b>0.65</b>
		SVM	9	0.94	0.007	0.009	5.0	1.32	0.63
Coefficient of elasticity Compression, N/mm	Ever Green & No.117& Celica	PLS	5	0.62	7.62	8.43	1.9	1.11	0.64
		PCR	16	0.49	8.71	9.20	1.8	1.06	0.33
		Kernel	5	0.63	9.50	9.72	1.7	1.02	0.33
		<b>SVM</b>	<b>5</b>	<b>0.65</b>	<b>7.20</b>	<b>8.11</b>	<b>2.0</b>	<b>1.13</b>	<b>0.72</b>
Coefficient of elasticity Rupture, N/mm	Ever Green & No.117& Celica	<b>PLS</b>	<b>5</b>	<b>0.61</b>	<b>2.74</b>	<b>3.02</b>	<b>1.8</b>	<b>1.10</b>	<b>0.73</b>
		PCR	16	0.51	3.09	3.24	1.7	1.05	0.38
		Kernel	5	0.60	3.29	3.39	1.6	1.03	0.33
		SVM	5	0.62	2.66	3.01	1.8	1.13	0.70

**טבלה 11:** מדדי ביצוע של PLS, PCR, Kernel ו-SVM מודלי הרגרסיה ל-TSS, חומר יבש, וויטמין C, לחץ אוסמוטי, כלורופיל כללי, קרטנואידים, מקדם אלסטיות של לחיצה ומקדם אלסטיות של חדירה, תוך שימוש בנתונים משיטות NDT ממוזגות. מודלים של שילוב של שלושה זני הפלפל.

### 5.4.3. היתוך מידע רמה שלישי: פרמטרי DT ממוזגים.

עד עכשיו ברוב המקרים, מודלי הרגרסיה נועדו לחזות פרמטרי DT בודדים. כמו גם בספרות, הניבוי בדרך כלל מתייחס לפרמטר מסוים. במערכות ההערכה הממוזגות לסיווג של פירות וירקות, הערכת איכות מנוהלת על ידי מומחה, שהחלטתו הינה סובייקטיבית וסיכויי ההדירות ירודים [43]. מטרת יצירת NCQI הייתה מידול של מיון אנושי.

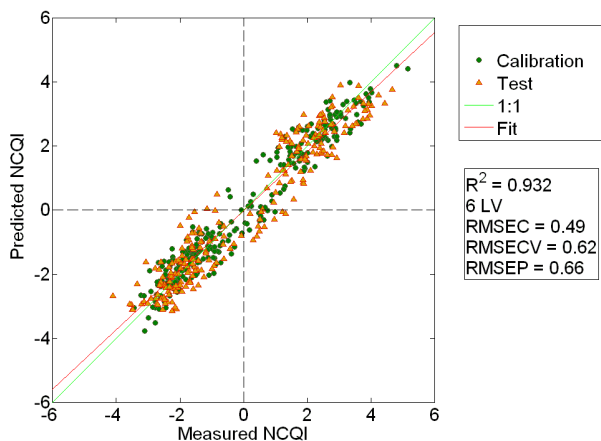
הרמה השלישית של היתוך מידע מכילה את שלב היתוך מידע של פרמטרי האיכות של DT. בהיתוך מידע של פרמטרי, DT יושם PCA, וה-PC הראשון נלקח כמדד איכות משולב חדש-NCQI. היתרון של PCA הוא שב-PC ניתן לבטל את העובדה כי לחלק מפרמטרי DT יש אולי קשר אחד עם השני, ובאותו זמן ה-PC נותן קומבינציה ליניארית של פרמטרי DT עם הווריאציה הגבוהה ביותר. עם ערכי NCQI החזויים ניתן לחשב את ערכי DT על ידי הכפלת המטריצה הופכית של מקדמי PCA. בדרך זו ניתן להשתמש ב-NCQI במערכות מיון גם כן.

טבלה 12 מציגה את התוצאה של מודלי רגרסיה של SVM, Kernel, PCR, PLS לשלושת הזנים בנפרד, כמו גם לשילוב של השלושה. מדדי SWS חושבו לכל זן בנפרד, כמו גם לזנים המשולבים. מודלים יעילים הושגו עם DT ממוזג (NCQI) ומודלי NDT ממוזגים עם מקדם מתאם גבוה. השוואה כוללת של שיטות הרגרסיה השונות, המבוססות על מדד SWS הראתה כי רגרסיות PLS ו-SVM היו המתאימות ביותר.

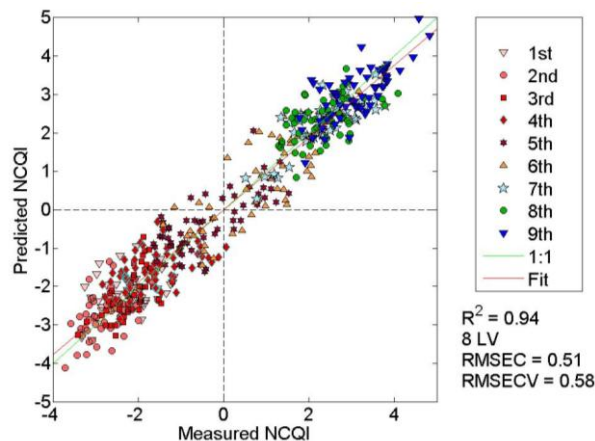
מודל PLS נבנה עם נתוני NDT ממוזגים. באיור 15 מודגמת ההתאמה של NCQI לשילוב של השלושה הזנים, כפי שנחזתה על ידי מודל רגרסיה PLS מתוך פרמטרי NDT ממוזגים. היה צורך לחשב את המודלים בלי המערכת היקרה של צילומי היפרספקטראלי בהיבט הכלכלי. התוצאה של המודל החדש עם מידע המחולק לכיול וחיזוי מוצג בציר 16 על ידי מודל רגרסיה SVM מתוך פרמטרי NDT ממוזגים בביטול של הצילום היפרספקטראלי. בשתי הוריאציות של המודלים ברמת היתוך המידע. בסיכומו של תהליך פותח DT פותח מדד משולב חדש NCQI המייצג את האיכות של הפרי בקשר ליניארי ונמצא חשוב במיוחד זיהוי המעבר לשלב בוגר הנמצא במעבר NCQI מערך שלילי לחיובי.

Cultivar	Regression analysis	LV	r <sup>2</sup>	RMSEC	RMSECV	RPD	RMSECV /RMSEC	SWS
Ever Green	<b>PLS</b>	<b>5</b>	<b>0.95</b>	<b>0.37</b>	<b>0.50</b>	<b>2.9</b>	<b>1.34</b>	<b>0.80</b>
	PCR	8	0.92	0.61	0.64	2.3	1.05	0.39
	Kernel	5	0.91	0.52	0.68	2.2	1.30	0.29
	SVM	5	0.95	0.36	0.52	2.8	1.43	0.71
No.117	<b>PLS</b>	<b>8</b>	<b>0.97</b>	<b>0.30</b>	<b>0.43</b>	<b>3.4</b>	<b>1.45</b>	<b>0.82</b>
	PCR	12	0.94	0.51	0.57	2.6	1.11	0.38
	Kernel	8	0.94	0.41	0.60	2.5	1.44	0.31
	SVM	8	0.96	0.28	0.44	3.3	1.60	0.73
Celica	PLS	6	0.97	0.34	0.45	3.2	1.35	0.53
	PCR	11	0.95	0.49	0.53	2.8	1.08	0.32
	Kernel	6	0.95	0.47	0.51	2.9	1.09	0.46
	<b>SVM</b>	<b>6</b>	<b>0.97</b>	<b>0.27</b>	<b>0.37</b>	<b>3.9</b>	<b>1.39</b>	<b>0.77</b>
Ever Green & No.117 & Celica	PLS	8	0.95	0.47	0.55	2.7	1.15	0.86
	PCR	10	0.89	0.73	0.75	2.0	1.03	0.28
	Kernel	8	0.92	0.40	0.66	2.2	1.63	0.48
	<b>SVM</b>	<b>8</b>	<b>0.95</b>	<b>0.44</b>	<b>0.54</b>	<b>2.7</b>	<b>1.22</b>	<b>0.87</b>

**טבלה 14:** מדדי ביצוע של PLS, PCR, Kernel ו-SVM מודלי הרגרסיה ל-NCQI, תוך שימוש בנתונים משיטות NDT ממוזגות. מודלים של הזנים היחידים והמשולבים.



**ציור 16:** ההתאמה של NCQI לשילוב של שלושה זנים, כפי שנחזתה על ידי מודל רגרסיה SVM מתוך פרמטרי NDT ממוזגים



**ציור 15:** ההתאמה של NCQI לשילוב של שלושה זנים, כפי שנחזתה על ידי מודל רגרסיה PLS מתוך פרמטרי NDT ממוזגים מלבד הצילום היפרספקטראלי.

## 6. דיון

במחקר נבדקו מספר זנים שנקטפו נבדקו לאורך תקופת הגידול. נערכו בדיקות בשיטות אל הרס (NDT): הפלפלים השלמים נסרקו בשני ספקטרומטרים; נבחנה שיטת אולטרא סאונד לאבחון תכונות פיסיקליות של הפלפל; הפלפלים נסרקו גם בצילומים היפר ספקטראליים באמצעות מערכת של מצלמת CCD משולבת עם AOTF; נבדק צבע הפרי. לצרכי כיוול וחיזוי נערכו במקביל בדיקות מעבדה הרסניות (DT) בשיטות המקובלות למוצקות, לתכולת סוכר, מים, וויטמין C, כלורופיל ולחץ אוסמוטי.

מעקב אחרי תכונות אלו במהלך הגידול הניב עקומות התנהגות שונות. עקומת התנהגות לא ליניארית בנוסח סיגמואיד נמצאה עבור כמ"מ, חומר יבש ופוטנציאל אוסמוטי עם התקדמות הגידול. הערכים הגבוהים בני"ל ביותר התקבלו עבור זן מס' 117 הצהוב במצב בשל והנמוכים ביותר עבור 'רוק עדי'. לשאלה האם אלו תופעות הקשורות ישירות להחלפת הצבע נדרש מחקר נוסף. החומצה האסקורבית הראתה מגמה שונה באשר לתקופת הגידול. תכולתה בפרי הגיעה לשיא בתאריכי 67-74 ימים אחרי פריחה ודעכה לאחר מכן. הערכים הגבוהים ביותר נצפו לזן 'רוק עדי' והנמוכים ביותר ו'סיליקה'. בזנים הצבעוניים צהוב או אדום לתכולת כלורופיל כללית עקומת התנהגות לא ליניארית בנוסח סיגמואיד שלא כך בזן 'רוק עדי'. במהלך האחסון מצאנו שצבעם של הפלפלים השתנה מהותית בזמן של 40-50 ימים אחרי פריחה ביחד עם תכולת ויטמין C והמרקם. בכמ"מ לא נמצאו הבדל בין פלפלים הטריים לאלו שלאחר אחסון.

במחקר הנוכחי פותח מדד חדש לתיאור אינדקס כלורופיל על פי מדידות ספקטראליות באורכי גל דיסקרטיים (500, 520, 660, 680, 710 nm). בנוסף, במהלך המחקר פותח מדד חדש להערכת יציבות מודלים כימומטרים SWS שהוא משקלל בתוכו את כל המשתנים המאפיינים את כושר החיזוי של מודל כזה:  $r^2$ , LV, RMSEC, RMSECV, RPD.  $RMSECV/RMSEC$ . והוא שמש להערכת ביצועי מודלי החיזוי שפותחו. מודלים שונים פותחו באמצעות רגרסיות בשיטות PLS, PCR, Kernel ו-SVM עבור מרכיבי איכות גם באופן ישיר וגם בשיטת היתוך מידע. המטרה העיקרית של המחקר לבחון שילוב של שיטות לא הרסניות לבחינת מדדי איכות ובגרות של פלפל נבחנה בשיטת היתוך מידע. בשיטה זו גם פותח מדד איכות חדש NCQI המשלב בתוכו את משתני הבדיקות ההרסניות (DT) מדד זה נמצא יעיל להגדרת בגרות הפלפלים מכל הזנים כמאופיין במעבר מערך שלילי לערך חיובי. נמצא כי שילוב שיטות בשיטת היתוך המידע מניב חיזוי טוב יותר בהשוואה לכל שיטה בנפרד. נמצא ששיטות ה-PLS וה-SVM נמצאו מתאימות ביותר לעבודה עם מערך הנתונים המשולב ולבניית מודלי רגרסיה לפרמטרי NDT ו-DT ממוזגים. נבחנה גם האפשרות לא להשתמש בכל השיטות בכדי לשקול כלכלית את אופן השימוש ונמצא שאמנם יש פגיעה בביצועים אבל עדיין ניתן לשפר חיזוי על ידי שלוב חלק מהשיטות בהשוואה למידע משיטה זו אחרת בפני עצמה.

מוצע בהמשך לשקול מחקר נוסף לבחון את NCQI במהלך אחסון. כמו כן מוצע לבחון שיטות נוספות לשלוב במערכת כזו. כמו גם לבחון שלובים אופטימיים מבחינה כלכלית. כמו כן מומלץ להרחיב את המבחן לזנים נוספים לבחינת ישימות השיטה שפותחה.

## 7. רשימת פרסומים

- Ignat, T., Schmilovitch, Z., Alcahantis V., Getker, J., Ostrovsky, V., Fefoldi, J. (2013): Hyperspectral imaging of intact bell peppers. *Biosystem Engineering (ACCEPTED-IN PROGRESS)*
- Ignat T., Z. Schmilovitch, Alcahantis V., Mizrach, A., Falik, E., Hoffmann, A., Egozi, H., Ostrovsky, V., Alkalay-Tovia, S., Peretz, Y. (2013) Maturity stage prediction of intact bell peppers by sensor fusion. *ISAE 2013 annual conference*, Beit Dagan, Israel, 23-25.
- Ignat, T., Schmilovitch, Z., Fefoldi J., Bernstein N., Steiner B., Egozi H., Hoffman A. (2012): Non-destructive measurement of chlorophyll and carotenoid content in bell peppers by VIS-NIR spectrometry. *Biosystem Engineering*, 114(4), 414-425.
- Ignat, T., Schmilovitch, Z., Fefoldi, J., Steiner, B., Alkalai-Tuvia, S. (2012). Non-destructive measurement of ascorbic acid content in bell peppers by VIS-NIR and SWIR spectrometry. *Postharvest Biology and Technology*, 74, 91–99.
- Ignat, T., Schmilovitch, Z., Fefoldi, J., Berenstein, N., Steiner, B., Egozi, H., Hoffman, A. (2011) Chlorophyll Content Measurement In Bell Pepper by VISNIR Spectrometry. International Symposium on Sensing in Agriculture, In Memory of Dahlia Greidinger, Technion, Israel Institute of Technology, 21-24February, 2011, Haifa Israel
- Ignat T., Schmilovitch, Z., Falik, E., Hoffmann, A., Egozi, H., Alkalay-Tovia, S. (2011) Measuring vitamin C content in pepper by VIS-NIR spectroscopy. *ISAE 2011 annual conference*, Beit Dagan, Israel, 14 . p.
- Ignat T., Mizrach, A., Schmilovitch, Z., Fefoldi, J., Egozi, H., Hoffman, A. (2010) Ultrasonic technique for evaluating maturity of bell pepper during ripening. International conference ao Agricultural engineering AgEng 2010, September, 2010, Clermont-Ferrand, France.
- Ignat, T., Mizrach, A., Schmilovitch, Z., Feföldi, J. (2010) Bell Pepper Maturity Determination by Ultrasonic Techniques. *Progress in Agricultural Engineering Sciences* 6 (2010), 17–34, DOI: 10.1556/Progress.6.2010.2, 1786-335X @ 2010 Akadémiai Kiadó, Budapest
- Ignat, T., Schmilovitch, Z., Mizrach, A., Alchanatis, V., Fefoldi, J., and Falik, E. (2009): Non-destructive methods for pepper maturity determination. *International Conferences in Agricultural Engineering, Synergy and Technical Development 2009*, Gödöllő, In: Book of abstracts and CD-ROM full paper version
- לידור הפנר, הגימנסיה הריאלית ראש"צ, עבודת גמר בביולוגיה 5 יח' בגרות בנושא: התפלגות ויטמין C ותכולת סוכר על פני פלפל.

1. Ben Gera I. And K. H Norris determination of moisture content in soybeans by direct spectrophotometry. 1968. Is. J. Agric. Res. 18:125:132.
2. Duthie, G.; Crozier, A. Plant-derived phenolic antioxidants. Curr. Opin. Lipidol. 2000, 11, 43-47.
3. FAO (2008) United Nations, Food and Agriculture Organization, FAOStat (11/05/2008) <http://faostat.fao.org>
4. Dull, G.G.,1971, "Quality": Chapter 22, The Biology of fruits and their products. Volume II . (Ed.) A.C. Hulme.
5. Dull, G.G., 1978, Nondestructive quality evaluation of agricultural products: A definition of practical approach. J. Food Protection 41(1):50-53.
6. Dull, G.G., 1986, Nondestructive evaluation of quality of stored fruits and vegetables. food tech 40(5):106-110.
7. 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
8. Felföldi, J. (1996), Firmness assessment of fruits and vegetables based on acoustic parameters, J. of Food Physics 58: 39-47.
9. Finney, E.E. and K. H. Norris. 1978, Determination of moisture in corn kernels by Near Infrared Transmittance measurements. Trans. ASAE 21:282
10. Gerber J. m., I. Mohd-Khir And W. E. Splittstoesser (1988) Row Tunnel Effects on Growth, Yield and Fruit Quality of Bell Pepper, Scientia Horticulturae, 36 (1988) 191-197
11. Gomez-Ladron de Guevara R. and Jose E. Pardo-Gonzalez; Evolution of Color during the Ripening of Selected Varieties of Paprika Pepper (*Capsicum annum* L.), J. Agric. Food Chem. 1996, 44, 2049-2052
12. 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
13. Giangiacomo, R. and Dull, G.G. 1986. Near infrared spectrophotometric determination of individual
14. Knekt, P.; Kumpulainen, K.; Jārvinen, R.; Rissanen, H.; Heliō-vaara, M.; Reunanen, A.; Hakulinen, T.; Aromaa, A. Flavonoid intake and risk of chronic disease. Am. J. Clin. Nutr. 2002, 76, 560-568
15. Mizrach, A., N. Galili and G. Rosenhouse. (1989). Determination of fruit and vegetable properties by ultrasonic excitation. *Transactions of the ASAE* 32(6): 2053-2058.
16. Mizrach, A., N. Galili, G. Rosenhouse and D. C. Teitel. (1991). Acoustical, mechanical and quality parameters of winter grown melon tissue. *Transactions of the ASAE* 34(5): 2135-2138.
17. Mizrach, A. (2000). Determination of avocado and mango fruit properties by ultrasonic technique. *Ultrasonics*. 38(1-8): 717-722.

18. Mizrach, A., A. Bechar, Y. Grinshpon, A. Hofman, H. Egozi, and L. Rosenfeld. (2003). Ultrasonic mealiness classification of apples. *Transactions of the ASAE*. 46(2):397-400.
19. Mizrach, A. (2007). Nondestructive monitoring of tomato during shelf life storage utilizing ultrasonic method. *Postharvest Biology and Technology*. 46(3):271-274.
20. Mizrach, A. (2008). Ultrasonic technology for fruit quality evaluation in pre and postharvest processes – a review. *Postharvest Biology and Technology*. 48(3): 315-330.
21. Murray, I., 1986, NIR spectra of homologous series of organic compounds. Proc. Int. NIR Symp. Budapest, Hungary.
22. Norris K.H. 1964 Simple spectroradiometer for 0.4 to 1.2 micron region. *Trans. ASAE*. 7:240-242.
23. 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.
24. Ozer N., B.A. Engel, and J. E. Simon. A New Training Set Selection Criteria to Stabilize the Recurrent Autoassociative Neural Networks. ASAE Paper No. 65-3038. ASAE, St. Joseph, MI. 49085-9659. 15 pages. From Int. Meeting of the American Society Agricultural Engineers, Phoenix, AZ, July, 14-18, 1996
25. Peirs A., J.Lammertyn, K. Ooms and B. Nicolai. 2000. Prediction of the optimal picking date of different cultivars by means of VIS/NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 21, 189-199.
26. 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.
27. Perez-Lopez A. J., F. Moises del Amor, A. Serrano-Martinez, M. Isabel Fortea and E.Nun ez-Delgado; Influence of agricultural practices on the quality of sweet pepper fruits as affected by the maturity stage, *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87:2075–2080 (2007)
28. Pieta, P. Flavonoids as antioxidants. *J. Nat. Prod.* 2000, 63, 1035-1042.
29. Safren O., Alchanatis V., Ostrovsky V. and Levi O., (2007). Detection of Green Apples in Hyperspectral Images of Apple-Tree Foliage Using Machine Vision. *Transactions of the ASABE* 50(6): 2303-2313
30. 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.
31. 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

32. 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.
33. 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.
34. 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.
35. Schmilovitch, Z., C. Shenderey, I. Shmulevich, V. Alchanatis, H. Egozi, A. Hoffman, V. Ostrovsky, S. Lurie, R. Ben Arie, NIRS Detection of Moldy Core in Apples .CIGR, Bonn, Germany.
36. Schmilovitch, Z., V. Alchanatis, H. Egozi, A. Hoffman, V. Ostrovsky, T. Ignat1 and R. Ben Zvi. Online Sorting of Madjhoool Dates According to TSS and Water Content by Near Infrared Spectrometry .Frutic Chile 2009, 8th Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering Symposium.
37. Schreiner, M., Huyskens-Keil, S., Krumbein, A., Schonhof, I., and Linke, M. 2000. Environmental effects on product quality. In: *Fruit and Vegetable Quality*. pp. 85–95. Shewfelt, R. L., and Brückner, B., Eds., Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster-Basel.
38. 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.
39. 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.
40. Shmulevich I., N. Galili, D. Rosenfeld. 1996. Detection of Fruit Firmness by Frequency Analysis. *Transactions of the ASAE*. 39(3): 1047-1055.
41. Shmulevich I.; Galili Nn.; Howarth M. S., 2003. Nondestructive dynamic testing of apples for firmness evaluation. *Postharvest biology and technology*. 29(3), pp. 287-299.
42. , W. H., and Gruda, N., 2002. Hydroponics and product quality. In: *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. pp. 373–411. Savvas, D., and Passam, H. C., Eds., Embryo Publications-Athens, 463.
43. Steinmetz a, V., F. Sévilab and V. Bellon-Maurela. 1999. A Methodology for Sensor Fusion Design: Application to Fruit Quality Assessment. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74, 1, 1999, Pages 21-31
44. Streif J., Der optimale Erntetermin beim Apfel. I. Qualitätsentwicklung und Reife, *Gartenbauwissenschaft* **48** (1983), pp. 154–159.



45. Wachs, J. P., H. I., Stern, T., Burks and V. Alchanatis (2009). Apple detection in natural tree canopies from multimodal images. 7th ECPA, European Conference on Precision Agriculture, July 6-8, 2009 – Wageningen, the Netherlands
46. Willams, P. C. (1973). The application of the Neotec grain quality analyzer to the analysis of cereal grain. Cereal Sci. Today 18: 384-285
47. Willams, P. C. (1975). Application of near infrared reflectance spectroscopy to analysis of cereal grain. Cereal Chem. 52:561-576.
48. Willams, P. C. and K. H. Norris (Eds.). (1987). Near Infrared Technology in the Agricultural and Food Industry. ASCC Inc. St. Paul. Mn. USA.

#### 9. 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.

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
מטרת המחקר הינה לבחון את יכולתן של שיטות אל-הרס שונות, כל שיטה בנפרד, ואת אפשרות השילוב של מספר שיטות כאלו בשיטת היתוך מידע, למדידה של מדדי קטיף המבוססים על בגרות הפרי, ומדדי איכות המבוססים על ההרכב הפנימי בפלפל.
עיקרי הניסויים והתוצאות.
במסגרת הניסויים, נבדקו מספר זנים מסוג: אדום, ירוק וצהוב; 'סיליקה', 'ירוק עד' (ever green) ו'מסי 117' בהתאמה בנוסף, 'ורגסה', ו'אדם'. הפלפלים סומנו בשלב הפריחה, נאספו 20 דוגמאות ממגוון החממה כל שבוע, לאורך הגדול בתקופה של תשעה שבועות, עד לבגרות. כך שנבחנו 180-220 פירות מכל זן. הפלפלים השלמים נסרקו בשני מיני ספקרומטרים בשני תחומים של אורכי גל NNIR ו SWIR. בנוסף נערכו בחינות בשיטת אולטרא סאונד לאבחון תכונות פיסיקליות של הפלפל במקביל לבחינת רלקסציה (רגיעה) בפרי שלם, מדידות צבע הפלפל. לבדיקות הספקטראליות נערכו השוואות בין ניתוח רגרסיה PLS של ספקטרא בהחזר R ו DIR, $\log(1/R)$ , $D1(\log(1/R))$ ו- $D2(\log(1/R))$ . דיסק של ציפת הפרי נלקח מאזור של סריקת NIR-VIS וניתוח תכולת מרכיבים כגון כלל מומסים מוצקים, חומר יבש, כלורפיל, ויטמין C ופוטנציאל לחץ אוסמוטי, כמו גם בדיקת בקע rupture ולחץ stress. כל אלו בוצעו על פי פרוטוקולי אנליזה הרסנית.
מסקנות מדעיות והשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?
במהלך המחקר בתקופת הדוח נמצאו הקשרים ואובחנה התנהגות הפרי לאורך הגידול באשר לצבע, משקל, מוצקות, תכולת חומר יבש, כמ"מ ויטמין C וכלורופיל. במחקר הנוכחי פותח מדד חדש לתיאור אינדקס כלורופיל על פי מדידות ספקטראליות באורכי גל דיסקרטיים (500, 520, 660, 680, 710 nm). בשלב הראשון התוצאות הראו כושר חיזוי טוב למספר מרכיבים כגון: כלורופיל ויטמין C וכמ"מ בעיקר לחישה ב SWIR או NNIR. שילוב השיטות השונות נבחן בשיטות של DATA FUSION היתוך מידע, ברמה הראשונה של היתוך מידע, מוזגו פרמטרי NDT במטרה לנתח את ההשפעה של שילוב של הנתונים לחיזוי של מאפייני האיכות של הפלפלים, שנמדדו בשיטות DT. כצעד ראשון של היתוך מידע, חולצו תכונות שונות מהנתונים בשיטות המדידה השונות.

ברמה השנייה של היתוך מידע, אנו מעוניינים לבדוק אפשרות לשילוב של הזנים ללא קשר לעובדה שהם נבדלים בצבע הסופי שלהם ולבנות מודלים כלליים לחיזוי כל פרמטרי DT. רמה שלישית של היתוך מידע מכילה את שלב היתוך מידע של פרמטרי האיכות של DT. בהיתוך מידע של פרמטרי, DT, יושם PCA, וה-PC הראשון נלקח כמדד איכות משולב חדש- NCQI. היתרון של PCA הוא שב-PC ניתן לבטל את העובדה כי לחלק מפרמטרי DT יש אולי קשר אחד עם השני, ובאותו זמן ה-PC נותן קומבינציה ליניארית של פרמטרי DT עם הווריאציה הגבוהה ביותר. עם ערכי NCQI החזויים ניתן לחשב את ערכי DT על ידי הכפלת המטריצה הופכית של מקדמי PCA. בדרך זו ניתן להשתמש ב-NCQI במערכות מיון גם כן.

בנוסף נבחנה התוצרת לאחר אחסון באותן שיטות ונמצא כי גם כאן למרות שאין שמירה על ערכי ויטמין C ותכולת כלורופיל לדוגמא השיטות הנ"ל מאפשרת חיזוי נאות של מרכיבים אלו.

**בעיות שנתרו לפתרון /או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרת המחקר בתקופה שנתורה לביצוע תוכנית המחקר?**

מוצע בהמשך לשקול מחקר נוסף לבחון את NCQI במהלך אחסון. כמו כן מוצע לבחון שיטות נוספות לשלב במערכת כזו. כמו גם לבחון שלובים אופטימאליים מבחינה כלכלית. כמו כן מומלץ להרחיב את המבחן לזנים נוספים לבחינת ישימות השיטה שפותחה.

הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח:

Ignat, T., Schmilovitch, Z., Alcahantis V., Getker, J., Ostrovsky, V., Fefoldi, J. (2013):

Hyperspectral imaging of intact bell peppers. *Biosystem Engineering (ACCEPTED-IN PROGRESS)*

Ignat T., Z. Schmilovitch, Alcahantis V., Mizrach, A., Falik, E., Hoffmann, A., Egozi, H.,

Ostrovsky, V., Alkalay-Tovia, S., Peretz, Y. (2013) Maturity stage prediction of intact bell peppers by sensor fusion. *ISAE 2013 annual conference*, Beit Dagan, Israel, 23-25.

Ignat, T., Schmilovitch, Z., Fefoldi J., Bernstein N., Steiner B., Egozi H., Hoffman A. (2012): Non-destructive measurement of chlorophyll and carotenoid content in bell peppers by VIS-NIR spectrometry. *Biosystem Engineering*, 114(4), 414-425.

Ignat, T., Schmilovitch, Z., Fefoldi, J., Steiner, B., Alkalay-Tuvia, S. (2012). Non-destructive measurement of ascorbic acid content in bell peppers by VIS-NIR and SWIR spectrometry. *Postharvest Biology and Technology*, 74, 91-99.

Ignat, T., Schmilovitch, Z., Fefoldi, J., Bernstein, N., Steiner, B., Egozi, H., Hoffman, A. (2011) Chlorophyll Content Measurement In Bell Pepper by VISNIR Spectrometry. International Symposium on Sensing in Agriculture, In Memory of Dahlia Greidinger, Technion, Israel Institute of Technology, 21-24February, 2011, Haifa Israel

Ignat T., Schmilovitch, Z., Falik, E., Hoffmann, A., Egozi, H., Alkalay-Tovia, S. (2011) Measuring vitamin C content in pepper by VIS-NIR spectroscopy. *ISAE 2011 annual conference*, Beit Dagan, Israel, 14 . p.

Ignat T., Mizrach, A., Schmilovitch, Z., Fefoldi, J., Egozi, H., Hoffman, A. (2010) Ultrasonic technique for evaluating maturity of bell pepper during ripening. International conference on

Agricultural engineering AgEng 2010, September, 2010, Clermont-Ferrand, France.

Ignat, T., Mizrach, A., Schmilovitch, Z., Felföldi, J. (2010) Bell Pepper Maturity Determination by Ultrasonic Techniques. Progress in Agricultural Engineering Sciences 6 (2010), 17–34, DOI: 10.1556/Progress.6.2010.2, 1786-335X @ 2010 Akadémiai Kiadó, Budapest

Ignat, T., Schmilovitch, Z., Mizrach, A., Alchanatis, V., Fefoldi, J., and Fallik, E. (2009): Non-destructive methods for pepper maturity determination. *International Conferences in Agricultural Engineering, Synergy and Technical Development 2009*, Gödöllő, In: Book of abstracts and CD-ROM full paper version

לידור הפנר, הגימנסיה הריאלית ראש"צ, עבודת גמר בביולוגיה 5 יח' בגרות בנושא: התפלגות ויטמין C ותכולת סוכר על פני פלפל. (2010)  
תימאה איגנט, זאב שמילוביץ, ויקטור אלחנתי, עמוס מזרח, אהרן הופמן, חיים אגוזי, ויסצילאב אוסטרובסקי, אלי פליק, שרון אלקלעי-טוביה, ויעקב פרצלן. כנס השנתי של האגודה הישראלית להנדסה חקלאית (2013). בחינת שילוב של שיטות אל הרס לזיהוי בגרות ואיכות בפלפלים

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

פרסום <

**האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן\* - לא -**

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