

463-0130-98

קוד מחקר:

נושא: פיתוח מערכת זמן-אמת לברור איכות לפי ראייה ממוחשבת

מוסד: מינהל המחקר החקלאי

ד"ר יעל אידן

חוקר ראשי:

7

חוקרים שותפים:

1996-1998

תקופת מחקר:

מאמרים:

תקציר

במסגרת המחקר נבנתה מערכת מיכנית לברור איכות לפי ראייה ממוחשבת ומוצקות הכוללת: מסוע כפות להסעת הפרי, מערכת להפלת הפרי על חיישן הולם, מערכת ראייה ממוחשבת ומערכת מיון ל 16 תאים. מערכת הראייה הממוחשבת כוללת שלוש מצלמות ומערכת תאורה. פותחו ויושמו בזמן-אמת אלגוריתמים לאיחוד המידע משלוש המצלמות עבור אלגוריתמים לברור צבע, הומוגניות צבע, פגמים, צורה ועוקץ. בוצעה אינטגרציה של כל המערכות (מערכת ההסעה, מערכת דגימת ההולם, מערכת הראייה, מערך המיון) מבחינת חמרה ותכנה. פותחה ויושמה מערכת קבלת ההחלטות לבצוע סווג בזמן-אמת. המערכת שמשה לברור איכות של עגבניות ופלפל. תוצאות ניסויים הראו כי: הצלום על ידי שלש מצלמות מאפשר דגימה של רב מעטפת הפרי ומבטיח סווג המתבסס על מידע אמין. האלגוריתמים שפותחו למיון צבע, הומוגניות צבע, זיהוי עוקץ ופגמים עבדו בהצלחה לסווג עגבניות ופלפל אדום.

מיון צורה מחייב פתוח אלגוריתמים ייחודיים לכל מוצר חקלאי בתלות במאפייני המוצר ובקריטריוני המיון. פותחו אלגוריתמים לסווג צורה לפי טבלת אגרקסקו עבור עגבניות ופלפל. כמו כן, נבדקה אפשרות לשלב בעתיד חיישן נוסף שיתן מדדי איכות פנימיים (חיישן NIR). התוצאות הראו:

באמצעות קרינת NIR ניתן לחזות ליקופן וקרטרן (פיגמנטים המשפיעים על צבע העגבניה והמעידים על בשלות; תוצאות החיזוי הטובות יותר הם בעגבניות ירוק-ורוד (בדרגות צבע 3-6).

המודל המתימטי שפותח ישים לזמן-אמת ועמיד לרעשים (מודל RIDGE).

ניתן למיין את העגבניות לפי ראיית מכונה של צבע ומודל NIR לקבוצות בעלות מידת הבשלה שונה לאחר ההשהייה. מודלים כא לו יהיה צורך לכייל מספר פעמים במשך העונה.

פתוח מערכת לברור איכות לפי ראייה ממוחשבת ומוצקות

ד"ר ח' מחקר מסכם

מרץ 1999

המדען הראשי, משרד החקלאות

יעל אידן, שחר לייקין - המחלקה להנדסת תעשייה וניהול, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, באר שבע 84105
יעל אידן, ויקטור אלחנטי, אלי בר לב, יוסף גרישפון, חנוך פסטרנק, שמילוביץ זאב - המכון להנדסה חקלאית, מכון
וולקני, בית דגן 50250
אלי פליק, שרון אלקלעי - המחלקה לאחסון, מכון וולקני, בית דגן 50250

Quality control system using image processing and firmness

Final Research Report

March 1999

Chief Scientist, Ministry of Agriculture

Yael Edan, Shachar Laykin, Dept. of Industrial Engineering and Management, Ben-Gurion University of the Negev, Beer Sheva 84105

Yael Edan, Victor Alchantis, Eli Bar-Lev, Joseph Grinshpun, Hanoch Pasternak, Zeev Schmilovite, Inst. of Agricultural Engineering, Volcani Center, Bet Dagan 50250

Elazar Fallik, Sharon Alkalai, Inst. of Postharvest Technology, Volcani Center, Bet Dagan 50250

מס. חוזה בקרן: 463-0130-98

ס.ת. אוניברסיטה: 85663201

תקציר

במסגרת המחקר נבנה מערכת מיכנית לברור איכות לפי ראייה ממוחשבת ומוצקות הכוללת: מסוע כפות להסעת הפרי, מערכת להפלת הפרי על חישן הולם, מערכת ראייה ממוחשבת ומערכת מיון ל 16 תאים. מערכת הראייה הממוחשבת כוללת שלוש מצלמות ומערכת תאורה. פותחו ויושמו בזמן-אמת אלגוריתמים לאיחוד המידע משלוש המצלמות עבור אלגוריתמים לברור צבע, הומוגניות צבע, פגמים, צורה ועוקץ. בוצעה אינטגרציה של כל המערכות (מערכת ההסעה, מערכת דגימת ההולם, מערכת הראייה, מערך המיון) מבחינת חמרה ותכנה. פותחה ויושמה מערכת קבלת ההחלטות לבצוע סווג בזמן-אמת. המערכת שמשה לברור איכות של עגבניות ופלפל. תוצאות ניסויים הראו כי:

- א. הצלום על ידי שלוש מצלמות מאפשר דגימה של רב מעטפת הפרי ומבטיח סווג המתבסס על מידע אמין.
- ב. האלגוריתמים שפותחו למיון צבע, הומוגניות צבע, זיהוי עוקץ ופגמים עבדו בהצלחה לסווג עגבניות ופלפל אדום.
- ג. מיון צורה מחייב פתוח אלגוריתמים ייחודיים לכל מוצר חקלאי בתלות במאפייני המוצר ובקריטריוני המיון. פותחו אלגוריתמים לסווג צורה לפי טבלת אגרוסקו עבור עגבניות ופלפל.

כמו כן, נבדקה אפשרות לשלב בעתיד חישן נוסף שיתן מדדי איכות פנימיים (חישן NIR). התוצאות הראו:

- א. באמצעות קרינת NIR ניתן לחזות ליקופן וקרוטן (פיגמנטים המשפיעים על צבע העגבניה והמעידים על בשלות; תוצאות החיזוי הטובות יותר הם בעגבניות ירוק-ורוד (בדרגות צבע 3-6).
- ב. המודל המתמטי שפותח ישים לזמן-אמת ועמיד לרעשים (מודל RIDGE).
- ג. ניתן למיין את העגבניות לפי ראיית מכונה של צבע ומודל NIR לקבוצות בעלות מידת הבשלה שונה לאחר ההשהייה. מודלים כאלו יהיה צורך לכייל מספר פעמים במשך העונה.

1.1 רקע מדעי

מערכות המיון של תוצרת חקלאית הקיימות כיום מבוססות על חישן בודד. ברור איכות מתבסס על מכלול פרמטרים. נעשו מחקרים רבים בפתוח ו/או יישום של חישן בודד לצורך סווג מוצרים חקלאיים. תרומת מחקר זה בפתוח מכונה המבוסס על שני חישנים הנותנים מידע לגבי מדדי איכות חיצוניים (צבע, פגמים, צורה) ופנימיים (מוצקות, בשלות). ניתן לשלב במכונה חישנים נוספים.

המערכת תוכננה ככלי מחקר ופתוח לאלגוריתמים לבירור איכות של מוצרים חקלאיים להתאים למגוון של מוצרים כמו: עגבניות, פלפלים, מלונים, פקעות של פרחים ועוד. כמובן שעבור כל מוצר יהיה צורך בקביעת פרמטרים חדשים ואלגוריתמים. לשלבי הפתוח נבחרו העגבניות כמוצר האב טיפוס והמערכת תוכננה בהתאם.

האלגוריתמים שיישמו במסגרת מו"פ זה התבססו על אלגוריתמים קודמים שפותחו לזיהוי צורה, צבע, הומוגניות צבע, גודל, פגמים חיצוניים - באמצעות ראייה ממוחשבת (Guedalia et al., 1995; Guedalia and Edan, 1994); לזיהוי מוצקות - באמצעות חישן הולם (Edan et al., 1994b; Rachmani et al., 1994) ואלגוריתמים לאיחוד המידע לצורך קבלת החלטה באמצעות שיטות סטטיסטיות (Edan et al., 1994a; Guedalia and Edan, 1995). היה צורך בפתוח והתאמת האלגוריתמים עקב יישומם במערכת זמן-אמת.

1.2 מטרות המחקר

לפתח מערכת למבדק איכות של פירות וירקות המורכב מ:

- (1) מערכת חישה הכוללת ראייה ממוחשבת לזיהוי איכות חיצונית (צבע, צורה, הומוגניות צבע, גודל) וחישן מוצקות (לזיהוי איכות פנימית) ואלגוריתמים לאפיון הפרמטרים.
- (2) מערכת קבלת החלטות לאיכות הפרי.

2. תיאור המערכת

2.1 תיאור המערכת המיכנית

2.1.1 כללי

המערכת המכנית תוכננה להעברת המוצר (הפרי) ממקום ההעמסה שלו, דרך מערכת הראיה, להפיל אותו על חישן המוצקות ולמיון אותו, לפי מערכת קבלת ההחלטות לאיכותו של הפרי, לתאי המיון ומשם יילקח הפרי להמשך טיפול (שטיפה, אריזה וכו'). קצב המיון מתוכנן לפרי אחד בשניה.

המערכת המכנית (איור 1) מורכבת ממסוע כפות, חישן הולם ו-'קרוסלת מיון'. המערכת אינה מטפלת בהעמסת הפרי, סיגולציה של הפרי, מיקום הפרי וזיהוי אוריינטציה של הפרי: פעולות אלו מבוצעות ידנית בהנחה שטכנולוגיות ליישומן קיימות ו/או יפותחו בהמשך עבור כל מוצר בנפרד. המערכת תמיון את הפרי עד לנקודת הפריקה ולא מעבר לכך.

2.1.2 מסוע הכפות

המסוע בנוי להובלה של פרי יחיד על כל כף שהיא למעשה חישוק הפתוח מלמטה על מנת לאפשר דגימת הפרי גם בחלקו התחתון. המסוע הינו מסוע שרשרת גלגלי שיניים העשוי משתי שרשרות מקבילות עם כפות המחוברות אליהן במרחקים קבועים. הפרי מושם על הכף שמורכב מחוטי תייל המאפשרים חשיפה של רב המעטפת החיצונית של הפרי. הכפות תוכננו להתאים לגודל ולצורה של הפרי והן יוחלפו אם וכאשר יהיה צורך עיצוב אחר עבור פרי אחר.

2.1.3 אזורי דגימת הפרי

שלוש מצלמות ממוקמות סביב המסוע בשני תאי תאורה נפרדים (Laykin et al., 1999) המאפשרים שלושה מבטים על הפרי. התא הראשון ממוקם מתחת למסוע, בתחילתו, וממנו נצפה הפרי במאונך כלפי מעלה. התא השני ממוקם לקראת סוף המסוע ובו שני פתחי דגימה בזוויות המאשרות היקף מלא של הפרי. העגבניה ממוקמת על הכף עם עוקץ כלפי מטה.

הכפות ממוקמות במרחקים המאפשרים דגימה של הפרי כך שנוצר רקע נקי מהכפות הנמצאות בתנועה חזרה.

צבע הכפות נבחר להיות כחול בשל הנוחות בהפרדה של אובייקט שגווניו אינם שייכים לגווני הפרי הנדגם מהתמונה. צבע זה יהיה גם 'שמיש' ונח לדגימת פירות אחרים במערכת (מלוניס, פלפליס ועוד). גודל הכפות נבחר בהתאם למידות המינימליות של הפרי הנדגם. קטרי הכפות נעים בין 5-10 ס"מ טווח שמאפשר קליטת כל גדלי הפירות. כדי לאפשר ניתוח נקי, ככל שניתן, מרעשים במעבדה כוסה איזור הדגימה של תחנת הדגימה העליונה מתחת לכפות המסוע בצבע רקע שחור. תקרת המעבדה ללא תאורה שמשוה כרקע טוב לתחנת הדגימה התחתונה.

2.1.4 הפלת הפרי

לאחר דגימת הפרי במערכת הראייה הממוחשבת מופל הפרי מהמסוע על חיישן המוצקות. המסוע תוכנן כך שנקודה הנמוכה ביותר של הפרי לפני נפילתו היא בגובה מרכז גלגלי השיניים שלו. בכך מגיעה מהירות הפרי בנפילתו למינימום. גובה הנפילה הינו כ- 3-5 ס"מ כאשר הפרי המגיע מקבל גם תנע מסויים מהמסוע כך שלמעשה הוא כמעט מתגלגל על החיישן.

2.1.5 חיישן המוצקות

חיישן המוצקות עשוי ממשטח המחובר לגליל 'מוליך' אשר מונח על חיישן פיזואלקטרי (Laykin et al., 1999). החיישן ממוקם באיזור הפריקה של המסוע. מיקומו המדויק נקבע על פי מהירות המסוע וגודל הפרי ומרכזו מרוחק כ- 9 ס"מ מגבול המסוע. גובה הפריקה נקבע באופן ניסויי על מנת למזער את הפגיעה בפרי כמוזכר לעיל כ- 3-5 ס"מ. החיישן מונח על תמיכה משלו ויוצר יחידה נפרדת מהמסוע וזאת על מנת למנוע רעשים ממערכת הראייה ודגימת החיישן.

2.1.6 'קרוסלת המיון'

לאחר נפילתו על חיישן המוצקות הפרי נדחף ע"י משב של אוויר דחוס המפוקד ע"י המחשב ומתגלגל לתא שהוא חלק מקרוסלת המיון. הקרוסלה מורכבת מ- 16 תאים. היא מסתובבת באופן סינכרוני עם תנועת המסוע מה שמאפשר את קליטת הפרי בתא לאחר שנפל על חיישן המוצקות. גודל התא תוכנן לקליטת הפרי הספציפי (עגבניה) וכן, כמו גם הכפות, לקליטת גדלים אחרים של פירות. ומידותיו הם כ- 7X7X16 ס"מ. התאים מחוברים לציר ונשענים על קורת עצירה מוכנים לקליטת הפרי.

עם סיבוב הקרוסלה מגיעים התאים אל מול עשר תחנות פריקה הסובבים את הקרוסלה. כל תחנה כזו כוללת בוכנת אוויר. כאשר מגיע התא למקום פריקתו, לפי החלטת המערכת, מגיע סיגנל מפיקוד המחשב והבוכנה יוצאת לכיוון חלקו התחתון של התא ודוחפת אותו כלפי מעלה. התא מסתובב סביב הציר לכיוון התחנה והפרי מתגלגל ממנו לפריקה.

2.1.7 מערכת הסינכרון

הסינכרון המכני בין המסוע לקרוסלה מושג ע"י מנוע אלקטרוני אחד (1/2 HP) המניע את כל המערכת. סיבוב המנוע מתפצל ע"י גיר דו כיווני למסוע ולקרוסלה. התנועה מועברת לקרוסלה דרך גל התפשטות (מוט). הגל, בשל מיקומו, מאפשר שינויים במרחק האופקי בין המסוע לתומך של חיישן המוצקות.

2.2 חיישן המוצקות (הולם)

דיאגרמת בלוקים המתארת את חומרת החיישן מובאת ב (Laykin et al., 1999). יציאת החיישן מחוברת לכניסה האנלוגית של כרטיס הראייה במחשב. החלק הרגיש של החיישן, התא הפיזואלקטרי, הוא קטן בהשוואה לפרי הנדגם ולכן סיגנל היציאה של החיישן, בהגדרה, אינו תלוי במיקום הנפילה. היות ושטח המגע של הפרי הנופל גדול בהרבה מהתא נעשה שימוש באלמנט מקשר. זוהי פלטה פלדה עם קוטר גדול מזה של הפרי פי 1.5-2. עובי הפלטה נקבע באופן ניסויי. נבחנו שתי פלטות בעוביים שונים (1 ו- 5 מ"מ). חוסר האחידות במדידות בפלטה הראשונה (ברמה של 32%) ותגובה אחידה יחסית (6%) בשניה הביאו לשילוב פלטה זו במערכת.

2.3 מערכת הראייה

שלוש מצלמות מסוג RGB JVC (TK-1270) CCD מוקמו בשני תאי התאורה, האחת בתא התחתון והשנייה האחרות בתא העליון (Laykin et al., 1999). המצלמות חוברו לכרטיס עיבוד תמונה בזמן-אמת מסוג Bargold IVP-150. המצלמות מצוידות בעדשות של 4.8 מ"מ עם שליטה ידנית על הצמצם. מיקומן של המצלמות נקבע לפי פריסת הדגימה קרי, לתת למערכת הראייה 'לראות' את מירב היקף הפרי. המצלמות בתחנת הדגימה העילית מוקמו במישור אחד בזוויות שונות כלפי הפרי. בתחנת הדגימה התחתונה מוקמה המצלמה בניצב (כלפי מעלה) לאיזור הדגימה כאשר קוטר הכפות נקלט במרכז הדגימה.

2.4 מערכת התאורה

שני תאי תאורה (Laykin et al., 1999) בעלי גובה 25 ס"מ ובסיס בקוטר של 36 ס"מ נבחרו למערכת. התא הראשון מוקם מעל המצלמה התחתונה כאשר חלקו התחתון משמש כפתח הצצה של עדשת המצלמה וחלקו העליון פונה כלפי איזור הדגימה. התא השני מוקם מעל איזור הדגימה העילי ובו בוצעו שני פתחים למצלמות מהצדדים. בכל תא תאורה מוקמו ארבע מנורות spot בזוויות של 90 מעלות בין האחת לשניה להבטחת פריסת אור שווה בכל איזור הדגימה. המנורות מתכווננות וכוונו כך שיאירו למשטח התא קרי, לתוך התא עצמו, כך שהתאורה למשטח הדגימה בא מהחזר האור מדפנות התא.

3. האלגוריתמים

3.1 כללי

במהלך המחקר פותחו אופיינו ויושמו מספר אלגוריתמים לאפיון מדדי האיכות המסווגים על ידי המערכת. האלגוריתמים שפותחו הנם למערכת הראייה, חישן המוצקות ולמערכת קבלת ההחלטות. במהלך השנה האחרונה עם כיוול המערכת והרכבתה כמקשה אחת שונו חלק מהאלגוריתמים שפותחו בשנים קודמות, בהתאם למבנה הנוכחי של המערכת.

3.2 אלגוריתם המוצקות

שיא הגובה של ווקטור הכוח מופיע כאשר הפרי פוגע לראשונה במשטח ומגיע למקסימום מעוות, לאחר מכן הוא עשוי לקפוץ עוד פעם/פעמיים בזמן איסוף המידע ולגרור לעוד מספר נקודות מקסימום האמפליטודה בהיסטוגרמת הווקטור כאשר כל אחד נמוך מקודמו. אינטגרציה של הפונקציה הנוצרת מראה על הפסד האנרגיה בנפילה. פרי רך יישאר במגע עם המשטח זמן רב יותר, יגרור לאמפליטודה נמוכים יותר ויקפוץ פחות, אם בכלל. הכח שנמדד במתמר הפיאזואלקטרי נקלט כתלות בזמן. מאפייני המוצקות הבאים הוצגו ועובדו במחשב:

P1, P2, P3 - שלושת שיאי כח תגובת הפרי.

t1, t2, t3 - זמני התקומה של שלושת שיאי הכח.

C2 - מאפיין תגובת ההלם של שיא הכח הראשוני - מחושב לפי שיא הכח מחולק לריבוע הזמן מהמגע הראשון.

tRatio - יחסי הזמנים - $(t3-t2)/(t2-t1)$.

Int1,2,3 - אינטגרציה של שלושת שיאי הכח.

הערה - עקב הרעשים הנוצרים לאחר הנפילה הראשונה נראה כי הניתוח האמין ביותר הוא של שיא הכח הראשון. האלגוריתמים יושמו בשפת C בחומרת כרטיס הראייה. פלט האלגוריתם הוא האומדן למוצקות הפרי שנגזר מהמאפיינים שתוארו לעיל.

3.3 אלוריתמים למאפייני הראייה

בנוסף לאלגוריתמים שמומשו במערכת על העגבניות מתוארים גם אלגוריתמים שימומשו על פלפלים. חשוב לציין את ההבדלים באוריינטציות על המסוע בין העגבניה לפלפל. העגבניה מונחת על הכף כאשר העוקץ כלפי מטה כך שרק תחנה ראשונה מזהה אותו. הפלפל מונח כאשר העוקץ נמצא מימין או משמאל לכף כך שמהעמדה הראשונה ניתן יהיה לזהות אותו מחוץ למלבן הפרי.

3.3.1 זיהוי צבע

זיהוי גווני העגבניה (ירוק/אדום) נעשה על פי תקן אגרסקו של כרמל: בוצע סווג לאחד מהדרגות 1-12. לאחר ניקוי התמונה מרעשים (Thresholding) במטריצת האדום הומרה התמונה למטריצת HSV וזיהוי הצבע נעשה על מטריצת ה-Hue. בפאנל שנערך בנוכחות שלושה ממשותפי המחקר הותאם לכל גוון מטבלת צבעי אגרסקו (1-12) גוון Hue ע"י השוואה וויזואלית בין צבעי המסך (עליו הוצגו גווני Hue בין 1-100 הכוללים את גווני הירוק והאדום בפריסה ל-20 מחיצות הכוללות כל אחת חמישה גווניים) לטבלת צבעי אגרסקו. מאפיין זה הוגדר - WCL. לכל עגבניה חושב ממוצע הפיקסלים במטריצת ה-Hue ולו הותאם WCL מתאים (טבלה 1 מראה את תוצאות הפאנל עבור ה-WCL). שלושה אלגוריתמים שפותחו (שנה ב') יושמו על דגימות הפרי וחושב ממוצע הפיקסלים בכל עגבניה. ערכי ה-WCL, עפ"י הפאנל, נקבעו לפי אלגוריתם IF-THEN פשוט.

האלגוריתמים הם: סטטיסטי (ממוצע וסטיית תקן), עץ הריבועים (Quadtree) וחלוקה לבלוקים (Slideblock). שלושת האלגוריתמים הורצו בתוכנת MATLAB.

בפרק הבא יובאו תוצאות הניסוי ובו הפעלת האלגוריתם כך שלכל עגבניה מותאם ערך WCL. אלגוריתם הצבע עבור הפלפלים הינו זהה לזה של העגבניה לגבי שלבי ניקוי הרעשים וזיהוי הצבע עפ"י פאנל. השוני בא לידי ביטוי בטווחי צבע שונים ובאוריינטציה שונה. הפעם יבחן הצבע משלושת המצלמות כדי להבטיח בחינת היקף הפרי כולו. הפרי מוגדר בצבעים: אדום, כתום, ירוק, צהוב. ההבחנה בין הסוגים השונים קלה. פרמטרים נוספים שיש לבחון (בד"כ) בפרי האדום: זיהוי לחי ירוקה באחד מצידי הפרי, צבע גזר וכתמים ירוקים.

3.3.2 פרמטר הצורה

פרמטר זה נמדד מתא הראייה התחתון. האלגוריתם מבוסס על שימוש ב-FFT לחישוב רמת ה-'עיוגוליות' של העגבניה ע"י חישוב המרחקים מהגבולות למרכז העגבניה. ככל שהפרי יהיה עגול יותר כך תרד תדירות הווקטור. עבור הפלפלים יבדוק אלגוריתם זה את רמת 'מלבניות' הפרי. לאחר מידול פרי אידיאלי הוגדר טווח התדירות שלמטה ממנו מזהים פרות מעוותים (לא מלבניים). לפי פרמטר זה נזהה את עיוותי הצורה של הפרי (מחודד, אונה קצרה, גמבה ועוד).

3.3.3 הומוגניות הצבע

פרמטר זה הנו בעל משקל רב במערכת קבלת ההחלטות ומהווה פרמטר מובהק לאיכות העגבניה. הצבע האדום של הפרי מתפשט מחלקו העליון כלפי מטה כך שבשלבים שונים של התפתחותו יראה שינוי ברור בגווניו. במידה ונוצר מצב שבו משני צדי הפרי הגווניים שונים אזי הוא נחשב לבעל איכות נמוכה יותר. לזיהוי רמת ההומוגניות של הצבע פותח אלגוריתם (בשנה א') שפורס את הפרי (בתמונה) לטבעות ומזהה שינויים בגווניים בהיקף הטבעת. לצורך זה יש לדגום את הפרי מלמעלה דבר שלא מתאפשר במערכת הקיימת. אלגוריתם חדש שפותח בוחן את ההומוגניות בתא הראייה העליון כאשר המצלמות הדוגמות מהצד (איור 2) מקיפות את כל הפרי. הטבעות שנצפו באלגוריתם הקודם נראות מזויות הדגימה כאליפסות (בקירוב). ע"י אלגוריתם זיהוי גבולות (משולב רגישות - Threshold) נמצא מיקום הפיטס של הפרי. מיקום זה מהווה את מרכזי האליפסות היוצרות את הטבעות שבהן נמדדת ההומוגניות. עבור רדיוסי אליפסה (a,b) שונים נמצאים הפיקסלים המתאימים למשוואת האליפסה. בין כל שתי אליפסות מחושב ממוצע הפיקסלים וסטיית התקן שלהם שמצביעה על רמת ההומוגניות קרי, ככל שסטיית התקן גבוהה יותר כך ההומוגניות נמוכה יותר.. יש לקבוע תחילה שני מאפיינים קבועים ראשוניים: רדיוסי אליפסה ראשונית והמרווח בין כל שתי אליפסות. פרמטר ההומוגניות אינו בעל משמעות בפרי הפלפל ולכן לא פותח אלגוריתם לשם כך.

3.3.4 זיהוי המצאות העוקץ

המצאותו של העוקץ בעגבניה הוא תנאי הכרחי ליצואו.

האלגוריתם מבוסס על ספירת הפיקסלים המתאימים לגווני העוקץ. הוא הופעל על הדגימה מהתא התחתון ש-רואה את אזור העוקץ. סה"כ מס' הפיקסלים, במידה ומתאים למינימום מסויים שנקבע, מעיד על המצאות/אי המצאות של עוקץ בפרי.

בפלפל יזוהה העוקץ כחלק שמחוץ למלבן של הפרי מתחנת הדגימה התחתית.

בתחנה העילית ניתן להבחין בפגמי העוקץ: תלוש, נקטף לא נכון ועוד.

3.3.5 זיהוי פגמים בעגבניה

אלגוריתם זה עובד על הדגימות שנלקחו מהתא העליון. למעשה פותחו במהלך המחקר שני אלגוריתמים:

1. מבוסס על CLUSTERING ל- 64 קבוצות בכל דגימה והרצת הנתונים כקבוצות אימון של כ- 50 פירות.

האלגוריתם אמין אך במונחים של זמן-אמת לא ניתן להשתמש בו.

2. מבוסס על אלגוריתם של Rehkgugler&Throop שהופעל על תפוחים. הרעיון הוא לבצע מסנן החלקה על התמונה,

ליצור תמונה חדשה, להחסיר את ממנה את המקורית ולאפס את כל הפיקסלים שקיבלו ערך שלילי. התמונה

שתקבל תראה רק את השינויים החדים ברמות האפור המאפיינים פגמים. מימוש האלגוריתם כולל בתוכו כיוול

לצורך הבחנה בין סוגי הפגמים השונים (מעיקה, כתם, ניקוב, ועוד).

עבור הפלפלים: בגלל ההומוגניות הגבוהה של הפרי ניתן להבחין כמעט בכל פגם ע"י אלגוריתם זיהוי גבולות.

מרבית הפגמים יזוהו ע"י אלגוריתם זה: ניקור, פציעה, צלקות, שריטות.

הכתמים האידיאלים שבעגבניה, מכות מכניות, כתם פזיולוגי ועוד, יזוהו לפי אלגוריתם 2 לעיל.

3.4 אלגוריתם קבלת ההחלטות

3.4.1 איחוד מידע

קבלת ההחלטות הוא השלב המקשר בין מעבר הפרי במסוע ונפילתו על חיישן המוצקות לבין מיונו בקרוסלה. באיור מס

2 מוצגת דיאגרמת בלוקים המתארת את מערכת קבלת ההחלטות למיון האיכות.

המערכת מקבלת נתונים משתי שכבות מידע ומאחדת אותם (First/Second Inspection).

לשכבה הראשונה נכנס מידע מתא הראייה התחתון ובה ניתן לזהות את עוקץ הפרי ואת צורתו. במידה וזוהה פרי ללא

עוקץ מועברת החלטה מיידית לאי תקינות הפרי והוא ימוין לתחנה 10 (Blemish) ללא צורך בעיבוד נוסף בתא השני

ובחיישן המוצקות.

במידה וזוהה עוקץ ימדדו שאר הפרמטרים בשכבה אחת וניתן לעבור לשכבה השניה.

השכבה השניה מקבלת את נתוני הראשונה ומאחדת אותם עם הנתונים של תא מס' 2 (העליון) הבלוק המרכזי בשכבה

השניה מרכז את כל סוגי הפגמים הקיימים בפרי.

שילוב שני תאי הראייה יקבע בשלב ראשון את צבע הפרי לפי תקני אגרסקו (רמות הצבע מתוארים בדיאגרמה). שילוב

המידע של חישני הראייה עם חיישן המוצקות יתקבל במערכת החוקים שיכולה להתנהל לפי שתי אפשרויות: לוגיקה

עמומה (לפי משקלים לכל מידע) וקבלת החלטות לפי מערכת חוקי IF-THEN.

לאחר איחוד המידע ימוין הפרי לאחד מ- 10 התאים הממודלים בדיאגרמה.

תרשים זרימה המובא באיור מס' 3 מתאר את סדר הפעולות של כל תחנה במערכת מכונת המיון המביא בסופו של דבר

להפעלתה של מערכת קבלת ההחלטות.

4. ניסויים ותוצאות

בפרק זה מתוארים רק הניסויים שלא תוארו בדו"חות הקודמים.

ניסוי מס' 2: (עגבניות זן 144, מושב ישרש, בתאריך 26/3/98)

לאחר שהושלמה בניית מערכת מכונת המיון, בוצע לראשונה ניסוי על המערכת עצמה כדי לבחון את תאימות אלגוריתמים שונים עליה.

מטרות הניסוי:

לניסוי זה היו שתי מטרות:

1. בחינת מערכת הראייה כפי שהותקנה במערכת מכונת המיון הכללית.

2. לבחון את חיזוי ה-NIR עבור ליקופן וקרוטן עבור עגבניות בשלב מעבר בשלות (ניסוי זה היווה ניסוי המשך לזה

שנערך ב-96 במטרה לבחון אפשרות של חישינים הבוחנים מדדי איכות פנימיים במערכת הברור).

תיאור הניסוי:

243 עגבניות מזן 144 נקטפו מחממה תעשייתית במושב ישרש שבמרכז הארץ. כ-100 עגבניות נבחרו בשלבי מעבר קרי, בצבעי אגרקסקו 3-4 (עגבניות NIR השהייה). עגבניות אלו נבחרו למטרת ניסוי ה-NIR וכמובן גם לניסוי הראייה. שאר הפרי נבחר ידנית וויזואלית בכל גווני טבלת אגרקסקו (17 בין 1-2, 43 בין 3-4, 35 בין 5-8 ו-35 בין 9-12). בכל שלב בשלות נבחרו עגבניות בצורות ומצבים שונים (של פגמים ועוקץ).

כל הפירות נדגמו מייד לאחר הקטיף במערכת הראייה תוך תנועת הפרי על המסוע ולאחר מכן באמצעות מכשיר ה-NIR. כל העגבניות הועברו את בדיקות המעבדה המפורטות בהמשך. 100 עגבניות השהייה הועברו לאחר בדיקות המעבדה לאחסון. ב-43 הפירות (קבוצת הקטיף) נעשו בדיקות ליקופן וקרוטן כפי שתוארו בדו"ח הקודם ביום הקטיף. תנאי האחסון, כמו בניסוי הראשון, נבחרו לדמות תנאי יצוא אמיתיים - 14 יום ב-12 מעלות צלסיוס ויומיים נוספים ב-20 מעלות צלסיוס.

הפעם, בנוסף לתנאי האחסון, נבדקו העגבניות באינטרוול של 2-3 ימים לקביעת צבעי האגרקסקו שלהם. בסוף תקופת האחסון נדגם סט נוסף של עגבניות (מס' 146-43) שוב כדי לאפיין את מערכת הראייה, לבחון את האלגוריתמים גם לאחר תקופת הבשלה מסוימת ולבדוק שינויים בפרי תוך כדי האחסון.

ניסויי מעבדה:

מצלמת Minolta chroma-meter, אשר כוילה ע"י רקע לבן סטנדרטי, מדדה את רמת הצבע בשתי נקודות שונות בפרי. נתוני הדגימה נבחרו בגווי Hue, Chroma, Luminance עקב היותם הקרובים ביותר לפרופורצית הצבע האנושית. נתוני כל דגימה בנפרד וממוצע שלהן נשמרו.

דגימה דומה נערכה גם לאחר תקופת האחסון.

כל פרי נשקל במעבדה על משקל מכויל ביום כניסתו ויציאתו מאחסון.

שני חברי פאנל מיומנים בחנו ודרגו את איכות הפרי לפי הפרמטרים הבאים:

1. דירוג הצבע הממוצע של הפרי לפי טבלת אגרקסקו בין 1-12.

2. צורה - בעקבות הניסוי הקודם שבו הוברר כי הצורך לדרג את צורת הפרי בסקלות מביא לתוצאות שגויות ולא תואמות לתקן הוחלט הפעם לאבחן את הפרי כעגול ותקין או כחריג ולתאר מילולית את צורתו המעוותת.

3. הומוגניות ופגמים - דורגו בין 1 (לא פגום/הומוגני) ל-5 (פגום/לא הומוגני) חושב ממוצע ההערכות.

4. עוקץ - 1 לקיום עוקץ ו-0 במידה ואין עוקץ.

5. ניתן תיאור מילולי כללי לאיכות הפרי (אזורים גועים, סוגי פגמים, צורה כללית ועוד).

במקרה של שונות בין הערכים נקבע הערך לפי התמונות עצמן מאוחר יותר.

כאמור לעיל נערכה גם בדיקה תקופתית באופן הבא:

כל 2-3 ימים הוציא חבר פאנל את הפרי מהאחסון ונתן הערכת צבע (1-12).

בתום ימי האחסון שוב בוצע הפאנל המתואר לעיל (+משקל +מינולטה) ולאחריו בוצעו הבדיקות ההרסניות למדידת

הכנת הניסוי:

הניסוי נערך לאחר סיום אפיון ובניית מערכת מכונת המיון. כל דגימות התמונה בוצעו בתאי התאורה של המערכת תוך כדי הסעת הפרי על המסוע. לצורך השגת מינימום רעשים מן הסביבה צופו חלונות המעבדה בבריסטולים שחורים שאטמו כל כניסת אור וכבו האורות האחרים בחדר. עבור התא העליון הוכן רקע שחור מקרטון שהונח על תמיכה בין שרשראות המסוע כך שלא יקלטו עצמים נוספים בזמן הדגימה.

הוכנו כפות (שכבר תוארו לעיל) אשר נצבעו בכחול בגדלי חישוק שונים כדי לאפשר העברת עגבניות קטנות מהממוצע. נכתבה תוכנית ב-C שדוגמת באופן סדרתי את העגבניות תוך סנכרון בין שלושת המצלמות לכרטיס עיבוד התמונה ושומרת את התמונות ב-RGB Mode בפורמט Tiff.

לאחר דגימת העגבניות נשמרו קבצי התמונה על גבי CD לשימורם.

כל פרי נדגם משלושה כיוונים - מלמטה (תא תחתון לזיהוי עוקץ וצורה), חלק עליון ימני וחלק עליון שמאלי (מתא תאורה עליון) באופן שמקיף את כל הפרי.

גודל כל תמונה היה 512X512 פיקסלים כאשר הפרי כיסה בדגימה מתא תחתון כ- 100X100 מתוכם ואילו בשני צידי העליון כ- 210X150.

פעמיים במהלך הניסוי נדגמה פלטת צבעי כיוול (Accuchart color reference) (באמצע הניסוי ובסופו). בסוף הניסוי נדגם גם כיוול לגדלים.

על מנת לבדוק את אמינות תוצאות המינולטה כפרמטר קובע בקביעת הצבע של הפרי סוכמו תוצאות הדגימה כאשר כל תוצאה היא ממוצע של שתי הדגימות.

למטרת קביעת ערכי ה-WCL שהוזכרו לעיל בהקשר לאלגוריתם לקביעת צבע הפרי בוצעו השלבים הבאים:

- הורצה תוכנית ב-C שמקבלת פרמטרי צבע Hue ואת טווח הצבעים ומציגה על גבי המוניטור את קשת הצבעים הנדרשת.

הפרמטרים שהוגדרו היו: Delta- 20, High- 100, Low- 1, Luminance- 0.7, Intensity - 0.8.

- הוצגו גווני ירוק-צהוב-אדום מ-1 עד 100 כאשר כל עמודה כולל 5 גווניים.
- צבעי אגרסקו הושו לצבעי המסך בנוכחות שלושה חברי פאנל.
- כעת עבור על כל תמונה שנדגמה בניסוי יתבצע ממוצע פיקסלים בעזרת אחד האלגוריתמים שפותחו בתוכנת ה-Matlab והתוצאות שיתקבלו ב-RGB יותמרו לגווני Hue ועל פי הטבלה שלעיל יוכלו להיות משוייכים לגוון אגרסקו בין 1-12.

ניתוח סטטיסטי:

בשלב ראשון נבחנו ונותחו הנתונים מהפאנלים השונים שנערכו במעבדה ומהבדיקות התקופתיות שנערכו על הפרי בתקופת האיחסון. הניתוחים שבוצעו על נתוני הפאנלים כללו:

1. ההתקדמות של כל קבוצת צבע לאורך ציר הזמן.
 2. התפלגויות אחוזי האוכלוסיה בכל תאריך.
 3. השינויים ברמת ההומוגניות והפגמים בין שני התאריכים.
- ההשוואה המרכזית תהיה בין נתוני הפאנלים לבין תוצאות האלגוריתמים.
- כל אלגוריתמי הצבע עובדו ויושמו בתוכנת ה-Matlab על מנת לבצע ניתוחי השוואות בין האלגוריתמים השונים.
- אלגוריתם זיהוי העוקץ יושם אף הוא.

תוצאות

תוצאות ניתוח נתונים מפורטת מובאת ב (Laykin et al., 1999) (סוגי צבע בזמן, הומוגניות, פגמים, טבלאות סווג צבע, עוקץ, הומוגניות). מניתוח התוצאות ניתן לראות את הבשלת הפרי באחסון לפי שינוי הצבע (איור 4: גווניים גבוהים

מתחילים נמוך ועולים עם הזמן והפוך לגבי הנמוכים). מגרף ההומוגניות (איור 5) ניתן לראות כי אחוזי האוכלוסיה בעלי חוסר ההומוגניות בתאריך הקטיפ 'משתפרים' בתאריך האחרון.
אלגוריתם העוקץ הגיע לתוצאות משביעות רצון (כ- 94% זיהוי נכון).
להלן יובאו התוצאות העדיפות לסווג צבע עבור האלגוריתמים בשני הניסויים.
התוצאות הן לפי החלוקה הבאה:

חלוקה ל- 24 : כל גווני אגרקסקו (1-12) בדילוגים של 0.5 בין האחד לשני.
חלוקה ל- 12 : כל גווני אגרקסקו (1-12) בדילוגים של 1 בין האחד לשני.
חלוקה ל- 6 : כל גווני אגרקסקו (1-12) בדילוגים של 2 בין האחד לשני.
בניסוי ראשון (בשיטת ה- QuadTree):

פרמטרים / קבוצה	% זיהוי	% סטייה +/-1	% סטייה +/-2	% סטייה חמורה
24	39.42	22.41	30.71	7.47
12	47.72	49.79	2.49	--
6	78.42	21.16	0.41	--

בניסוי השני (בשיטת ה- SlideBlock):

פרמטרים / קבוצה	% זיהוי	% סטייה +/-1	% סטייה +/-2	% סטייה חמורה
24	32.69	22.12	26.92	18.27
12	47.12	42.31	5.77	--
6	71.15	26.92	0.96	--

ניתן לסכם כי תוצאות הסווג לצבע לפי שיטת העץ רבועים עדיפה. סווג ל 6 קבוצות נותן 78% סווג מדויק ורק 0.4% סווג מוטעה עם סטייה מעבר לתקן המותר לפי אגרקסקו. ניתן לסווג ל 12 קבוצות עם 98% סווג נכון לפי התקן כאשר 48% מסווגים בהתאמה מלאה ו 50% עם שגיאה של סווג בקבוצה בדידה.
תוצאות מפורטות נתוח ההומוגניות, פגמים וצורה מופיעים ב (Laykin et al., 1999)

תוצאות NIR

ניתוח התוצאות מראה חוסר התאמה בין תוצאות המינולטה לבין הצבעים שנראו ע"י חברי הפאנל. הסיבה לכך נעוצה בכך שבאמצעות המינולטה נדגמו רק שתי נקודות דגימה בודדות שאינן יכולות לתאר את כלל היקפו של הפרי ובטח שלא להתייחס להומוגניות ו/או לרמת הפגמים אשר משפיעים אף הם על רמת הצבע.

תוצאות פאנל WCL מראות את טווחי הגוונים שנראו בעיני 3 חברי הפאנל כתואמים לצבעי אגרקסקו. בטווחים הקיצוניים האבחנה ברורה ובמרכז יש הפרדה לאחוזים.

תוצאות הניסוי הראו כי עבור כל עונה חדשה יש לבצע כיוול מחדש: מתאם המודל שפותח ב 1997 (רגרסיית RIDEG, דו"ח 1998 עם ליקופן לגבי נתוני 1998 והמתאם עם צבע לאחר השהייה הראו מתאמים שליליים.

במודל החדש שפותח עבור הניסוי הנוכחי נמצא שהקורלציה בין המשתנים המסבירים (מדידות NIR באורכי הגל השונים) נעה בתחום 0.27-0.99. לכן, התקבלו ברגרסיה לינארית מקדמים בעלי ערך מוחלט נמוך ולכן לא היה צורך במודל של RIDGE REGRESSION.

המתאם בין תוצאות התחזית ותכולת הליקופן בפועל בעת הקטיפ היה 0.85. השמוש במודל לצורך חיזוי תכולת הליקופן

ומידת ההבשלה (צבע) אחרי השהייה צריך להביא בחשבון את העובדה שתכולת הליקופן וצבע העגבניות משתנים בקצב שונה בפירות שונים. נמצא שהתאם בין צבע העגבניות לפי שיפוט אנושי בעת הקטיפה ולאחר ההשהייה הגיעה ל 0.474 בלבד. בהתאם, המתאם בין מדידות NIR בעת הקטיפה (לפי המודל) לתכולת הליקופן כשבועיים מאוחר יותר (לאחר ההשהייה) הגיעה ל 0.55. מקדם המתאם בין צבע העגבניות לפי שיפוט אנושי בעת הקטיפה ואחרי השהייה לבין התחזית של המודל הגיע ל 0.63 ו 0.51 בהתאמה. נמצאה גם מתאם גבוה בין ראיית המכונה של צבע בעת הקטיפה וצבע העגבניה לאחר השהייה - 0.644, שהוא גבוה יותר מזו המתקבלת לגבי השיפוט האנושי בשני מועדים אלו (0.474 בלבד). כצפוי, נמצא מתאם של 0.664 בין מודל ה-NIR לראיית המכונה של צבע בעת הקטיפה.

לסיכום, ניתן למיין את העגבניות לפי ראיית מכונה של צבע ומודל NIR לקבוצות בעלות מידת הבשלה שונה לאחר ההשהייה. מודלים כאלו יהיה צורך לכייד מספר פעמים במשך העונה.

ניסוי מס' 3: (פלפל מזנים שונים, 23.2.99)

מטרת הניסוי:

בחינת התאמת המכונה והאלגוריתמים לסווג פלפל

תיאור הניסוי:

63 פלפל מזן קובי מחממה תעשייתית בגוש קטיפה נדגמו לאחר תקופת האחסון בתנאי ייצוא אמיתיים (הפלפל נקטף ב 2.2.99, הוכנס ל 19 ימי אחסון ב 7 מעלות ולאחר מכן יומיים ב 20 מעלות, תאריך הבדיקה: 23.2.99). הפלפלים היו בשלוש אריזות שונות במהלך האחסון (21 פלפל בכל קבוצה): פרי ערום, 32 SP (אריזות עם חורים בגודל 100 מאקרו), 38SP (אריזות עם חורים בגודל 100 מיקרו).

בנוסף על מנת לבדוק התאמת המכונה לבעיות שונות נדגמו 23 פלפל תפוזות: פלפלים מזנים שונים (כולל צהובים), מקומות גידול שונים גדלים שונים, ומועדי קטיפה שונים.

כל הפירות נדגמו במכונה (מערכת הראייה ומערכת המוצקות) תוך תנועת הפרי על המסוע.

על מנת לבדוק את חזרתיות המכונה, יציבות המערכת (קרי שינויים בין דגימה ודגימה) והשפעת המכונה מתנוחת הפרי על הכף 8 פלפלים נבדקו ב 10 חזרות כל אחד כאשר בכל חזרה הושם הפלפל באוריינטציה שונה על הכפות. חושב ממוצע וסטטיית התקן של צבע הפלפלים בכל אחד מהחזרות.

על מנת לבחון את אופן התאמת מדידת הולם למדידת גמישות כל הפלפלים נגמו שנית לאחר אחסון של שלשה ימים בטמפרטורת החדר (דגימה על המכונה ומדידה במעבדה באמצעות מד הגמישות)

ניסוי מעבדה:

מצלמת Minolta chroma-meter, אשר כוילה ע"י רקע לבן סטנדרטי, מדדה את רמת הצבע בשתי נקודות שונות בפרי. נתוני הדגימה נבחרו בגווי Hue, Chroma, Luminance עקב היותם הקרובים ביותר לפרופורצית הצבע האנושית. נתוני כל דגימה בנפרד וממוצע שלהן נשמרו.

כל פרי נשקל במעבדה על משקל מכויל ביום כניסתו ויציאתו מאחסון.

שני חברי פאנל מיומנים בחנו ודרגו את איכות הפרי לפי הפרמטרים הבאים:

1. דירוג הצבע הממוצע של הפרי לפי הסוג הבא: 0: צהוב, 1: כתום, 2: כתום אדום, 3: אדום בהיר, 3.5: אדום כהה, 4: אדום בורדו

2. צורה - לפי תקן אגרסקו ורשום מספר אונות בפרי.

3. הומוגניות ופגמים - דורגו בין 1 (לא פגום/הומוגני) ל- 5 (פגום/לא הומוגני) חושב ממוצע ההערכות.

4. עוקץ - 1 לקיום עוקץ ו- 0 במידה ואין עוקץ.

5. גמישות הפרי לפי מדידה במד גמישות.

חלק מהתוצאות עדיין בעיבוד ותוצאות מפורטות מובאות ב (Laykin et al., 1999).

5. מסקנות

במסגרת המחקר נבנה מערכת מיכנית לברור איכות לפי ראייה ממוחשבת ומוצקות. מערכת זו מהווה תשתית מחקרית חשובה לבקרת איכות באמצעות מספר חיישנים ותשתמש מחקרים עתידיים רבים.

במסגרת המחקר הנוכחי המערכת שמשה לברור איכות של עגבניות ופלפל. תוצאות ניסויים הראו כי:

- א. הצלום על ידי שלש מצלמות מאפשר דגימה של רב מעטפת הפרי ומבטיח סווג המתבסס על מידע אמין.
- ב. האלגוריתמים שפותחו למיון צבע, הומוגניות צבע, זיהוי עוקץ ופגמים עבדו בהצלחה לסווג עגבניות ופלפל אדום.
- ג. מיון צורה מחייב פתוח אלגוריתמים ייחודיים לכל מוצר חקלאי בתלות במאפייני המוצר ובקריטריוני המיון. פתוח אלגוריתמים לסווג צורה לפי טבלת אגרוסקו עבור עגבניות ופלפל.

כמו כן, נבדקה אפשרות לשלב בעתיד חיישן נוסף שיתן מדדי איכות פנימיים (חיישן NIR). התוצאות הראו:

- א. באמצעות קרינת NIR ניתן לחזות ליקופן וקרוטון (פיגמנטים המשפיעים על צבע העגבניה והמעידים על בשלות; תוצאות החיזוי הטובות יותר הם בעגבניות ירוק-ורוד (בדרגות צבע 3-6).
- ב. המודל המתמטי שפותח ישים לזמן-אמת ועמיד לרעשים (מודל RIDGE).
- ג. ניתן למיין את העגבניות לפי ראיית מכונה של צבע ומודל NIR לקבוצות בעלות מידת הבשלה שונה לאחר ההשהייה. מודלים כאלו יהיה צורך לכייל מספר פעמים במשך העונה.

המלצות להמשך כוללות:

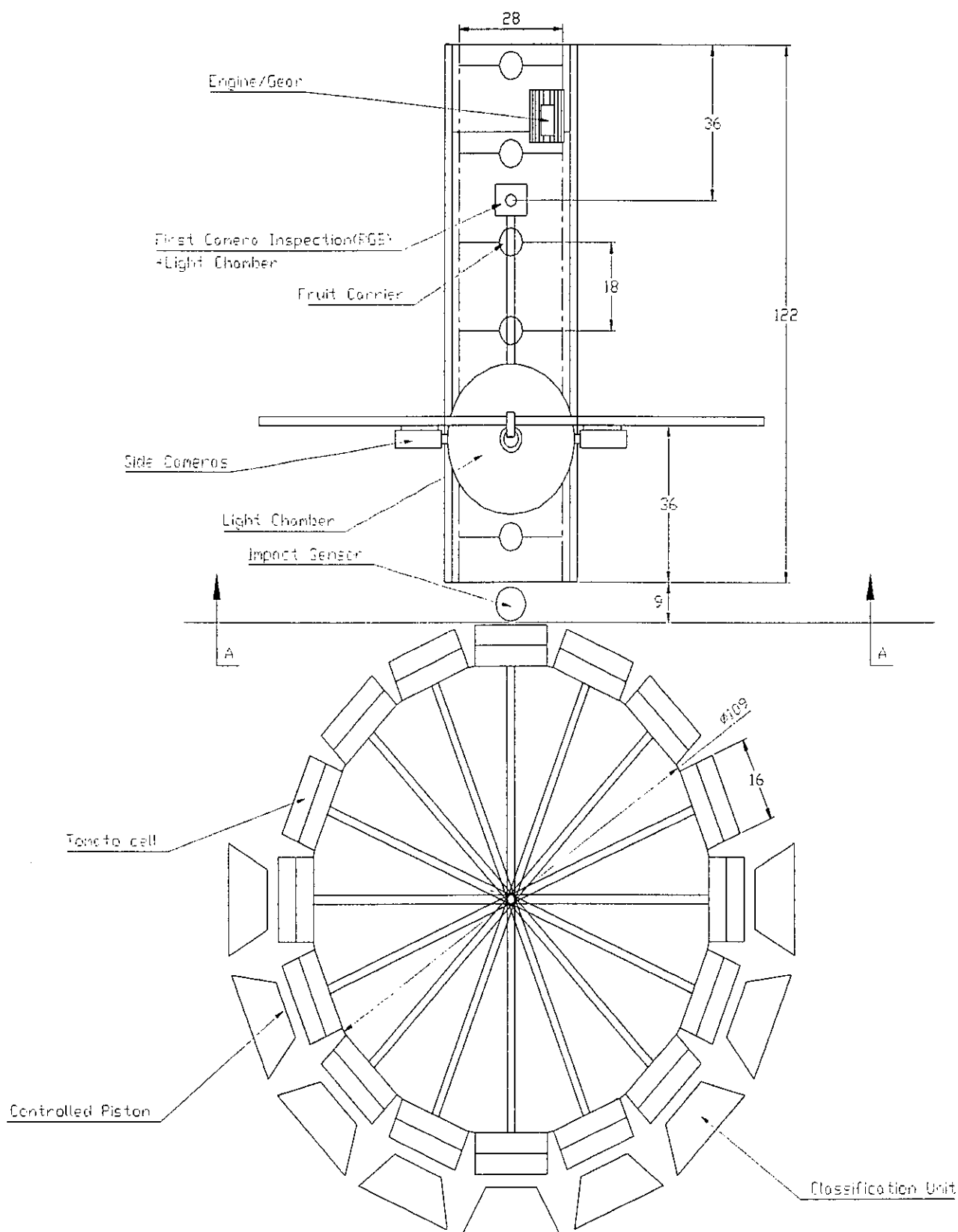
1. שמוש והתאמת המערכת למיון מוצרים חקלאיים נוספים. המערכת תשולב במחקרים חדשים העוסקים בברור איכות של פקעות ומלונים בשנת 99.
2. שלוב חיישנים נוספים במערכת כגון חיישן למדידת גמישות וחיישן למדידת פרמטרי איכות פנימיים.
3. שיפור בקביעת ערכי WCL : כיום התוצאות מורות על התאמת ה- Hue בלבד לגווני אגרוסקו ואין התאמה לשני מרחבי הגוון- Luminance, Intensity אשר נקבעים כפרמטרים קבועים לקבלת הצבעים על המסך. דרכים להגיע להתאמה במרחב ה- H.S.V מפורטים ב (Laykin et al., 1999).
4. שינוי בגישת התכנות:

כיום ניתן כבר לעבור לתכנות ב- Visual c++, תחת סביבת עבודה חלונאית, שחברת Bargold כבר נותנת לכרטיס את התמיכה המתאימה לכך. תכנות בשפה זו מאפשר שימושים שונים בזמן עיבוד במקביל מה שעשוי לשפר בהרבה את העבודה בזמן-אמת ואת בצועי המערכת מבחינת הספקים (מספר פירות בשנייה). כיום בנויה המערכת לעבודה באופן טורי. באם דגימת חיישן המוצקות וקבלת ההחלטות יוכלו לעבוד, במחשב אחר, במקביל לעבודת העיבוד בכרטיס ישופר בהרבה גורם זמן החישוב.

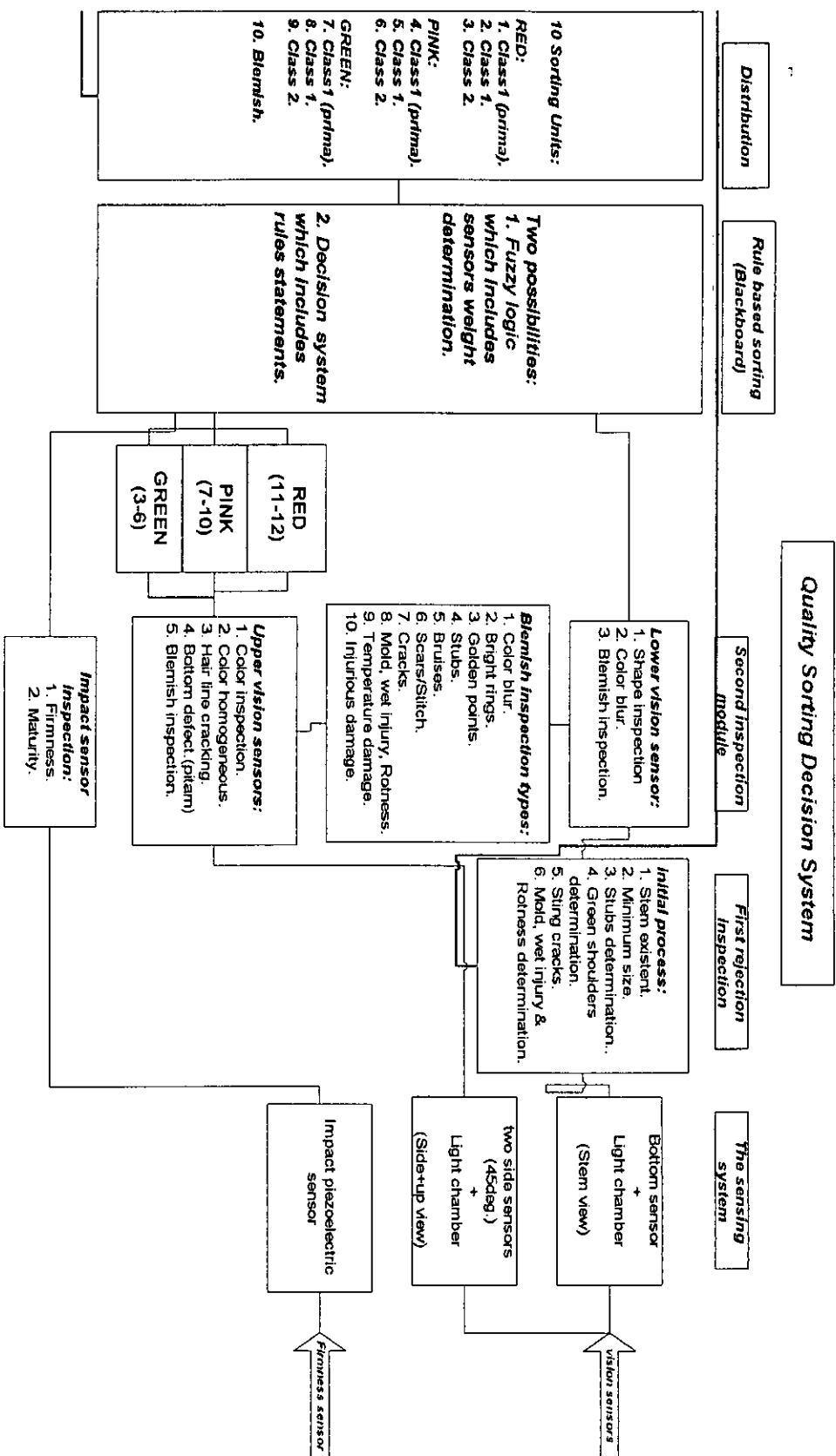
References

1. Edan, Y., H. Pasternak, D. Guedalia, N. Ozer, I. Shmulevich, D. Rachmani, E. Fallik, S. Grinberg. 1994a. Multi-sensor quality classification of tomatoes. ASAE Paper No. 94-6032, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
2. Edan, Y., I. Shmulevich, D. Rachmani, E. Fallik, S. Grinberg. 1994b. Neural networks for quality grading of tomatoes based on mechanical properties. Proceedings of the III Food Automation Conference: 346-355.
3. Guedalia, D. Y. Edan. 1994. A dynamic artificial neural network for coding and classification of multisensor quality information. ASAE Paper No. 94-3053, ASAE St. Joseph, MI 49085
4. Laykin, S. 1998. Image processing and classification according to color homogeneity. Intelligent automation systems, final project, Dept. of Industrial Eng. and Mngmt., Ben-Gurion University.
5. Laykin, S., Y. Edan, V. Alchantis. 1999. Quality control system using image processing and firmness. To be Presented at the 1999 ASAE Intl. Conference, July 18-21, 1999, Toronto, Canada.
6. Pasternak, H., Z. Schmilovich, Z., E. Fallik, Y. Edan. 1997. Ridge regression for NIR analysis with multicollinearity. *ActaHorticulturae*. Submitted (Sept).
7. Pasternak, H., Z. Schmilovitch, E. Fallik, Y. Edan. 1997. Overcoming multicollinearity in NIR analysis using ridge regression. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. Submitted (April).
8. Pasternak, H., Z. Schmilovich, Z., E. Fallik, Y. Edan. 1997. Ridge regression for NIR analysis with multicollinearity. 3rd International Symposium on Sensors in Horticulture, Tiberias, Israel, August 17-21.
9. Rachmani, D., I. Shmulevich, Y. Edan. 1994. Quality grading of tomatoes based on mechanical properties. AGENG Report No. 94-G-062.
10. Rachmani, D. 1995. A neural network system for quality grading of tomatoes. M.Sc thesis, Faculty of Agricultural Engineering, Technion.

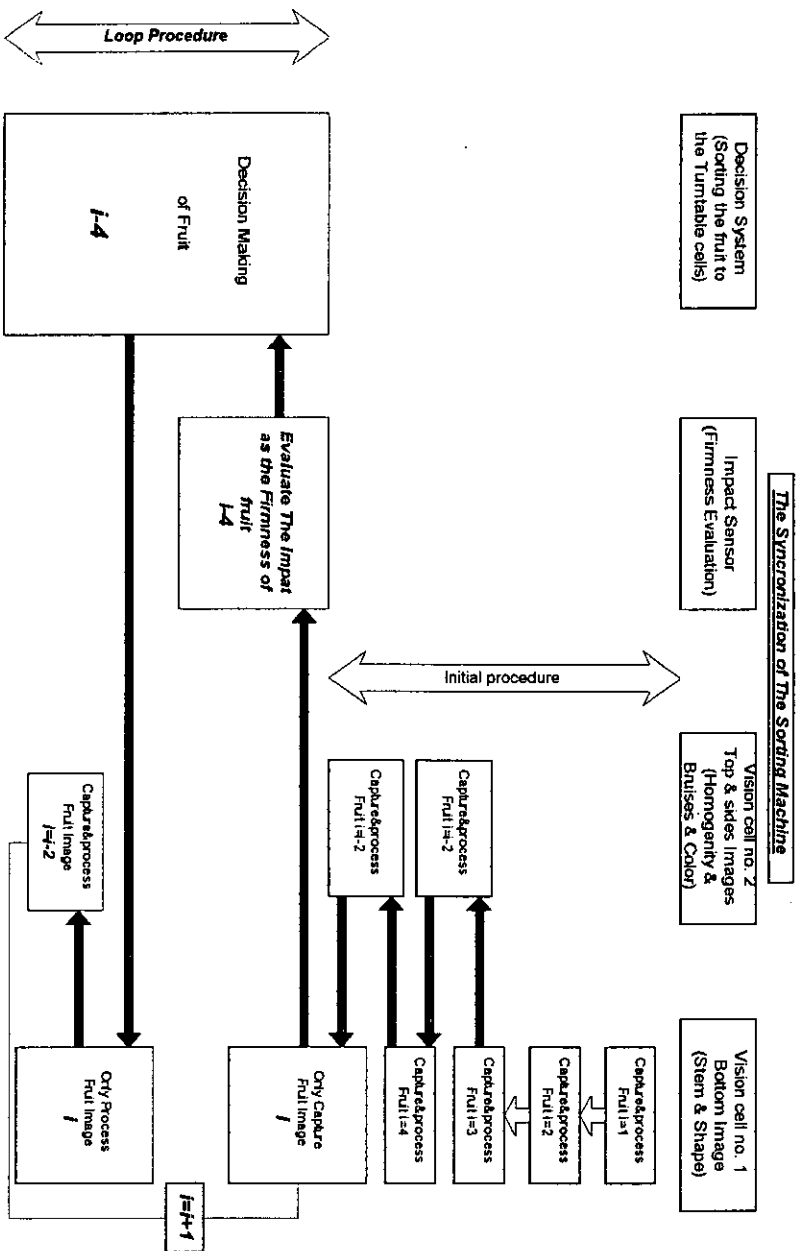
The Main System Structure (Dimensions in [cm])



איור 1. סכימה מערכת מכנית

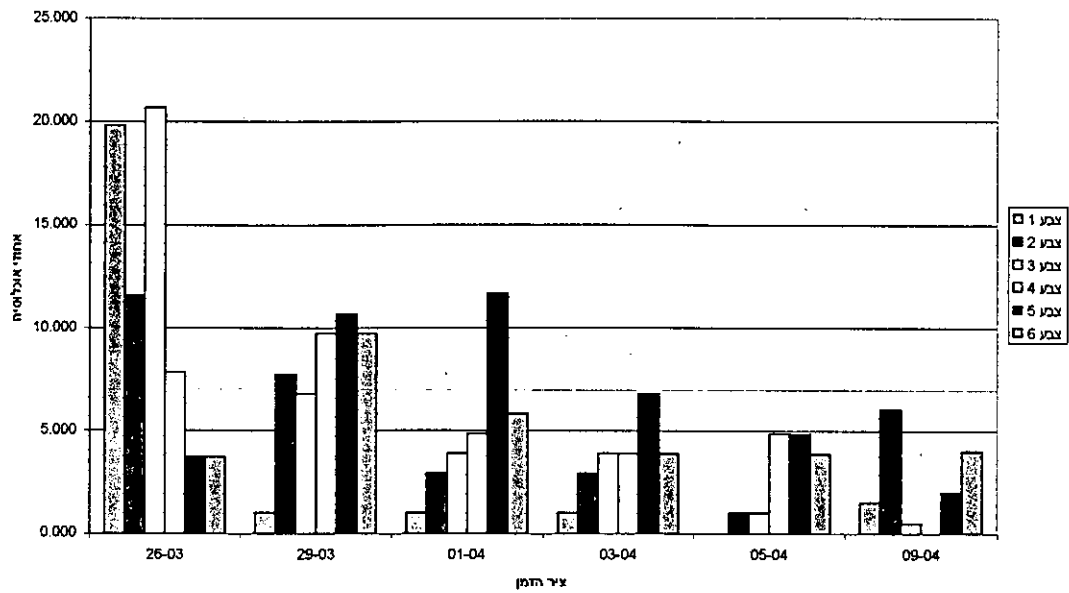


איור 2. מערכת קבלת החלטות לסיווג עגבניות

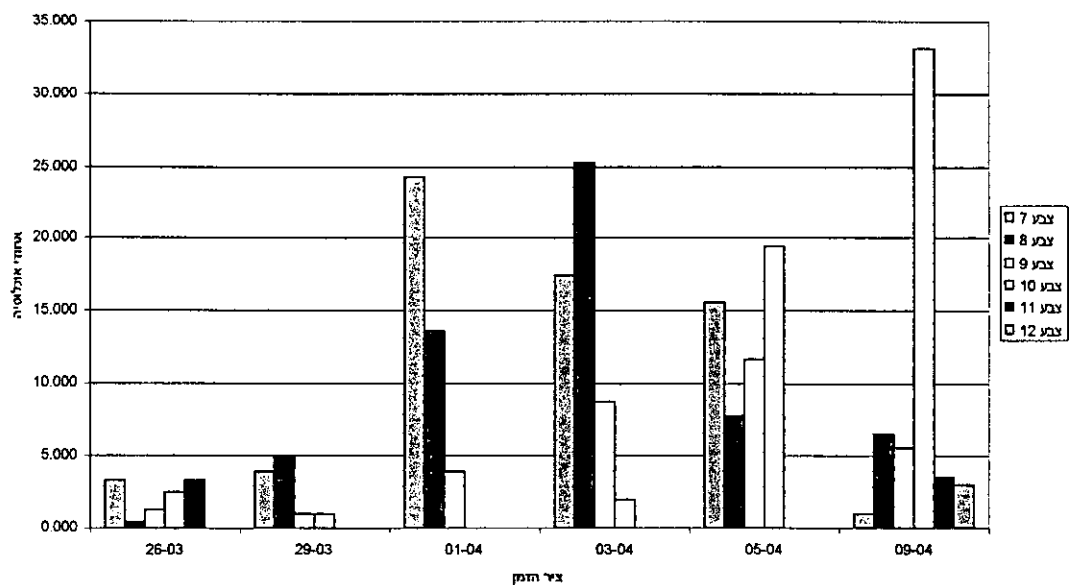


איור 3. תזמון מערכת קבלת החלטות

שינויים בגופים 1-6 לאורך הזמן

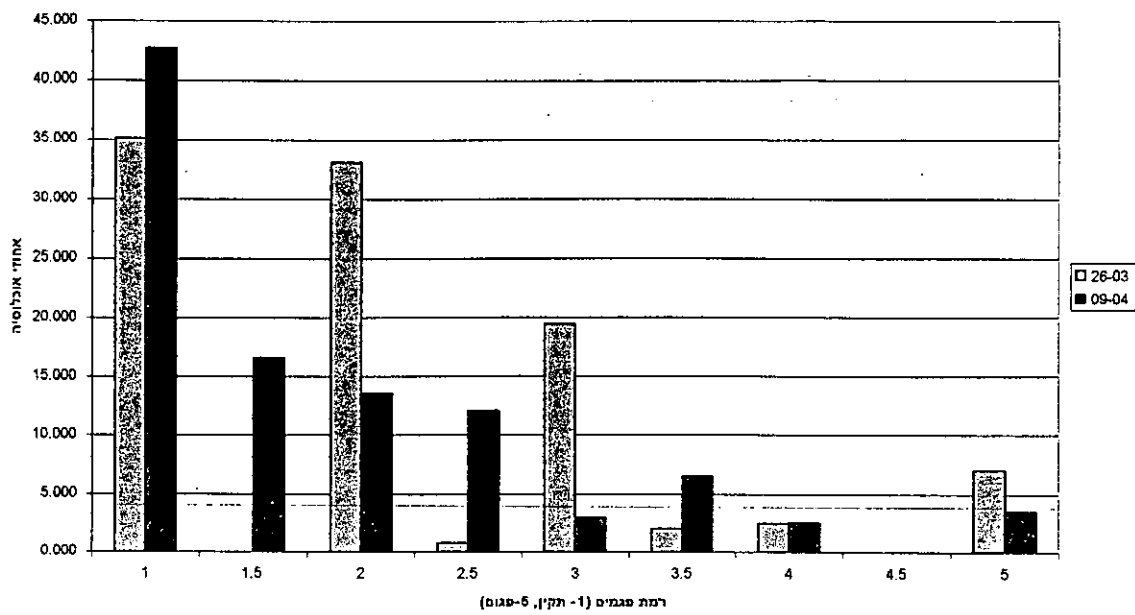


שינויים בצבעים 7-12 לאורך זמן

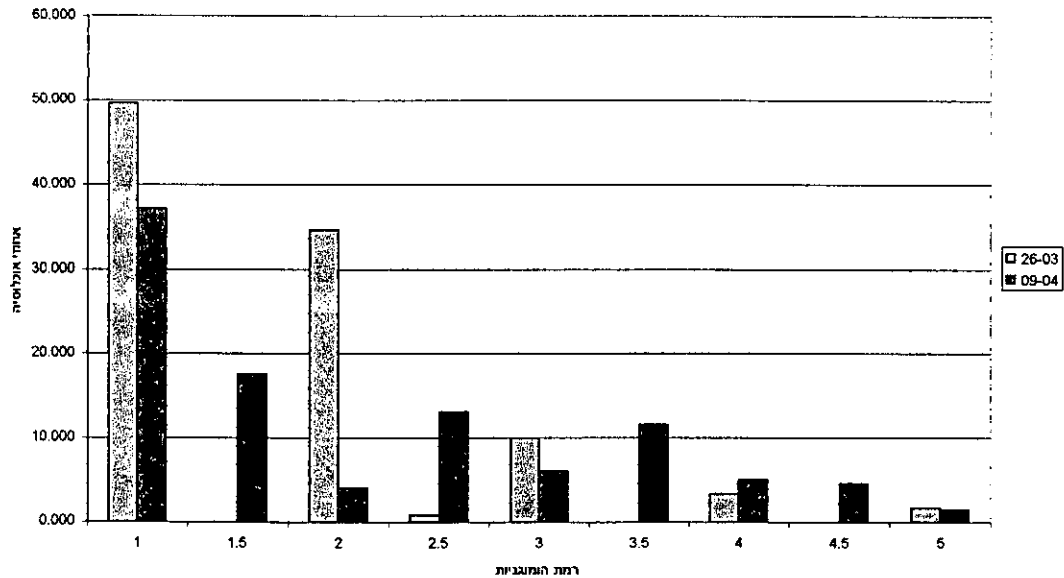


איור 4. שינויים בהתפלגות הצבעים לאורך האחסון

שינויי ברמת הפגמים בקצות הניסוי



שינויים בהתפלגות בקצות הניסוי



איור 5. שינויים בהתפלגות הומוגניות צבע לאורך זמן