

# אבחון מדדי איכות מתקדמים בתמר באמצעות ספקטרוסקופיה של NIR

## Advanced quality indices detection in dates by spectroscopy

אהרון הופמן- מינהל המחקר החקלאי, מכון להנדסה חקלאית  
 זאב שמילוביץ- מינהל המחקר החקלאי, מכון להנדסה חקלאית  
 ויקטור אלחנתי- מינהל המחקר החקלאי, מכון להנדסה חקלאית  
 רחלי בן צבי- צמח ניסיונות, עמק הירדן  
 תימאה איגנת- מינהל המחקר החקלאי, מכון להנדסה חקלאית



רוב עצי התמר מהזנים היבשים. זן זה דחק את הזנים היבשים האחרים בגידול ובשיווק. ההיצע העולמי עדיין קטן, ולישראל

**מבוא ורקע מדעי**  
 קרוב ל-400 אלף עצי ה'מג'הול' הנטועים בישראל מהווים, כיום,

במיון באמצעות ראייה ממוחשבת. שיטת הניתוח של ספקטרום הקרינה הנבלעת במוצר בתחום הקרוב לתת אדום (Near Infrared - NIR) הינה טכנולוגיה ללא הרס, מהירה ומסוגלת במקרים רבים לספק מידע כמותי מדויק על תכולת מרכיבים פנימיים ובזמן אמת. טכנולוגיית ה-NIR מיושמת בהרחבה בתעשיית המזון. זוהי שיטה לא הרסנית המיושמת לאבחון מרכיבים אורגניים רבים (Norris and Williams, 1987). מערכות NIR מיושמות הן במעבדות והן בקווי ייצור. יישום מערכות NIR נפוץ גם בתעשיית מוצרי החלב כמו לאבחון תכולת לחות באבקות חלב שומן וחלבונים בגבינות ומרכיבים אחרים.

הסימון (Near Infra-Red Spectroscopy) (NIRS) או (Near Infra-Red Analysis) (NIRA) מקובל עבור ספקטרוסקופיה ואנליזה של אור בתחום הקרוב לתת-אדום. החוקר (Norris and Ben Gera, 1968) ואחרים (1964) הראשונים ליישום NIRA בחקלאות. הם זיהו את הפוטנציאל הגלום בהחזר דיפוזי (Diffuse reflectance) לאבחון מהיר של הרכב פנימי של גרעיני דגנים. עבודה נוספת של (Norris, 1976) הרחיבה את היישום להגדרת מספוא כולל על מדד יכולת העיכול ע"י בע"ח וכיחד עם (Williams, 1973, 1975) הובילו ליישום נרחב בהגדרת איכות דגנים בפרט ובחקלאות בכלל (Norris and Williams, 1987). החוקרים (Shenk et al, 1983) הוכיחו שניתן להגדיר אורכי גל להגדרת איכות המספוא ולפתח מכשיר נייד ליישום בשדה (1978). בשנת 1983 הוחל בשינוי תוכנות ומכשירים מסחריים לבדיקות מספוא תחמיץ ושחת. עבודת מחקר רחבה שנעשתה במסגרת זרוע המחקר (ARS) (Agricultural research service) של משרד החקלאות האמריקאי ה-USA (Marten et al., 1989). קרינת האור בתחום הקרוב לתת אדום הינה קרינה בעלת בליעה אופיינית במולקולות אורגניות המרכיבות את המוצרים החקלאיים הטריים והמעובדים כאחד (Dull, 1971, 1978; Murray, 1986). בעזרת ניתוח של ספקטרום הבליעה של מוצרים ניתן לקבל מידע כמותי על מרכיבי האיכות הפנימיים. במסגרת מרכיבים אלה ניתן למנות תכולת מים, תכולת סוכרים, תכולת שומן, תכולת חלבון ועוד (Dull, 1986, 1991; Finney and Norris, 1978; Giangiaco et al, 1981, 1986).

### • מטרת המחקר

מטרת המחקר היא להרחיב את הפיתוח של מיון באמצעות NIRS לפרי המג'הול על פי לחות, פעילות המים ונגיעות לעובש ולהרחיב את אפשרויות השילוב בקו המיון של חיישן ייעודי מבוסס מיני-ספקטרומטר למיון אוטומטי.

### • תוצאות

תוכנן ופותח אב טיפוס למתקן מיון לספיקה בסיסית (מערכת

ולארה"ב בלעדיות בייצוא. המג'הול פודה מחירים עד פי שניים מכל זן אחר. בקרת איכות על הלחות המקובלת כיום בתעשיית התמרים מורכבת מכמה תהליכים אלטרנטיביים: א. בקרת לחות האוויר בחדרי הייבוש. ב. בדיקות מדגמיות של כמה גרם תמרים במד לחות של Metler בו מיובשת הדגימה תוך שקילתה. ג. בדיקה ויזואלית של התמרים, בהתבסס על ניסיון המפעילים, בעיקר עבור הערכת טיב הייבוש או האידוי הסופי. ד. בדיקה מקובלת להגדרת הלחות בתמרים באופן מדויק, הנמצאת בשימוש כיום במעבדות, מתבססת על ייבוש בתנורי ואקום בטמפרטורה של 70 מעלות למשך 48 שעות. ה. בדיקה "לחות מאוזנת" המייצג את מצב המים במכשיר הבדוק 6-10 תמרים בבת אחת בתהליך הנמשך בין 20 דקות לשעתיים או במכשיר המותאם לחלק מתמר ואז הבדיקה לוקחת כ-10 דקות. החשיבות של מדידת פעילות המים בתמרים נובעת מכך שאמנם לחות התמרים היא מדד הנכלל בהגדרת הדרישות למוצר של לקוחות התמרים. בתקן הישראלי לתמרים (ת"י 1251) ובתקנות לפיקוח על יצוא הצמח ומוצריו (תיקון, התשמ"ח-1988, תמרים יבשים) מוגדרת הלחות הנדרשת במוצר במונחים של אחוזי הלחות המירביים המותרים. צוות הנמנה במג'הול נכחית פיתח מכשיר נייד למדידה מיידית של לחות תמר בודד על פי תכונותיו הדיאלקטריות (שמילוביץ' וחו' 2001). והושאלו בשנים האחרונות, לבתי האריזה ונמצא כי ניתן להפיק מהם תועלת רבה. מכשירים אלו יכולים לשמש את מערכת אבטחת האיכות בבית האריזה ובשדה אך אינם מתאימים למיון אוטומטי (Schmilovitch et al., 1996, 2006).

בנוסף ישנה חשיבות להבחנה בפירות מג'הול עם נגיעות פנימיות באספרגילוס. אחד הפגמים החמורים בפירות מג'הול הוא נגיעות בעובש. מעבר לפגם האסתטי קיים החשש ממיקוטוקסינים וזאת, למרות שרוב הפטריות התוקפות את התמרים (בעיקר *Aspergillus niger*) אינן מייצרות מיקוטוקסינים. משום כך אין סכילות לנגיעות בעובש. כאשר העובש חיצוני אין בעיה להבחין בו במיון (הידיני או המכני) ולסלקו. כאשר הנגיעות היא פנימית (כמעט תמיד היא ב-*Aspergillus niger*) מתקשים המיון והמכני של היום להבחין בה. כתוצאה מכך נפסלות אצוות מיון בבקרה חוזרת של איכותן לאחר האריזה או, במקרה גרוע יותר, מסתננים פירות עם נגיעות פנימיות בעובש אל הלקוח. על מנת להימנע ממצבים כנ"ל נפסלות למיון, מראש, אצוות גדיד שבבדיקה המוקדמת מתגלים בהם שיעורים של מעל 3-4% נגיעות פנימיות.

המיון החדש שנקלט בשנים האחרונות בבתי האריזה למיון תמרים עדיין אינו מסוגל למיין על פי לחות או לפי נגיעות ומיושם כיום בעיקר למיון לפי משקל וגודל. זו מערכת מיון ממוחשבת, שמאפשרת סינגולרזציה (הזנה בדידה) של התמרים, כך נעשה מיון על פי משקל ומראה אך לא על פי הלחות. כחלק מהמפעלים ישנן מערכות הממיינות לפי שלפוח

מדידות ניסיוניות במסוע המיון החד ערוצי והמדגים לתמרים הראו שהשימוש בתאי ניילון כחולים של החברה מייצר רעשים באותות המדידה ב-NIR. בכדי להתגבר על הנושא פנינו ליצרן התבניות ובחנו את חומרי הגלם והצבענים ונמצא כי שניהם מהווים בסיס לבעיה. תאים שחורים מחומר פלסטי אחר שהיו בעבר בשימוש החברה נבחנו גם הם ונמצא כי הם לא מייצרים רעש מאבך במדידה. התייעצות עם מנכ"ל החברה העלתה כי כנראה לא נוכל בעתיד לעבוד עם תאים שחורים כאלו בשום אופן ולכן נבחנו אופציות נוספות. פתרון שנבחר הינו הצללה של התאים הכחולים ומיקוד הסיב האופטי סביב חלון קטן יחסית האמור ל"חשוף" לספקטרומטר אך ורק את התמר החולף מתחתיו בעת המדידה. אפשרות נוספת שנבחנה הינה תאורה ממוקדת על התמר כך שהתא לא יגיב להארה. לשם כך פותח מערך אופטי של עדשות ומכוונים אופטיים (תמונות 3 ו-4).

תמונה 3: אב טיפוס למערכת עדשות למיקוד תאורה על תמר



תמונה 4: מערכת מיקוד תאורה על גבי מדגים מיון תמרים



חד ערוצית). בשתוף עם חברת עשת אילון נבנה מסוע מיון חד ערוצי עם תאים בעלי יכול הטיה לצד באופן ממוחשב לצורך מיון בפועל (תמונה 1).

תמונה 1: מסוע מיון חד ערוצי לתמרים עם מערכת NIR



נבחנו הביצועים של החלופות הבאות למערכות חישה:

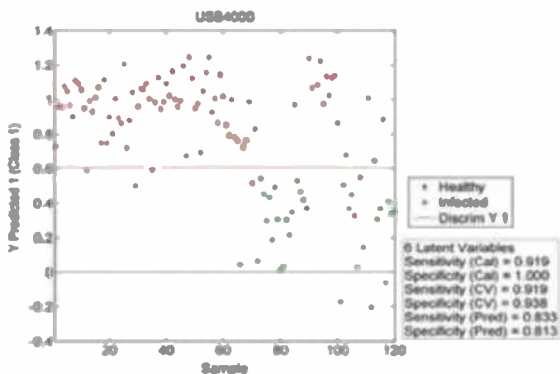
- 1) מערכת מובססת מיניספקטרומטר בתחום VISNIR היינו 1100 530 - ננומטר (חיישן סיליקון).
- 2) מערכת מובססת מיניספקטרומטר בתחום SWIR היינו 1100 1750 - ננומטר (חיישן InGaAs)
- 3) שילוב שימוש בשני הספקטרומטרים לצורך קבלת טווח אורכי גל רחב ביותר.

במסוע זה שולבו חלופת החישה ונבחנו בתנאי מעבדה. בבדיקות ראשוניות של התנאים האופטיים הנדרשים להארת הפרי הנבדק נמצא כי רצוי להאיר מעל הפרי ח ובמקביל להאיר את הפרי מאחור ומלפנים כאשר הסיגנל של ה NIR נקלט בסיב אופטי בניצב ומעל לפרי העובר בתא הבדיקה. בעקבות זה פותח תא תאורה המבוסס שש נורות הלוגן W 50 עם שליטה על מספר וצירוף המנורות המאירות (תמונה 2).

תמונה 2: תא תאורה עם 6 נורות הלוגן לכיסוי מקיף במדגים בתמרים

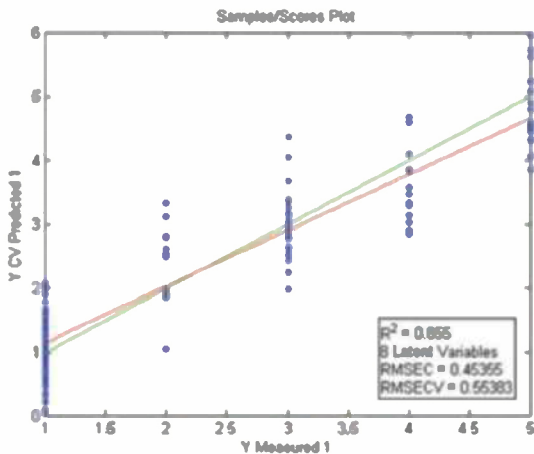


תמונה 6: תוצאות מודל NIR לחיזוי פעילות מים בתמרים USB4000



נמצא כי ניתן למדל ספקטראלית גם בתחום VIS NIR וגם בתחום SWIR לפעילות מים תוצאות מודל NIR לחיזוי פעילות מים בתמרים USB4000 לדומא מוצגות בתמונה 6. נמצא כי ניתן למדל ספקטראלית גם בתחום VISNIR וגם בתחום SWIR לפיחת. שיטת המידול היא PLSDA ((Partial Least Square Discimemat Analysis שמתמשת במיתוג דיסקרטי של קבוצות לא בנינוח כמותי רציף. תוצאות מודל NIR לחיזוי נגיעות בתמרים עם מכשיר VISNUR מסוג USB4000 מוצגות בתמונות 7 ו-8.

תמונה 7: תוצאות מודל NIR להפרדה בין תמרים נגועים (ידוק) בפיחת לבריאים (אדום).

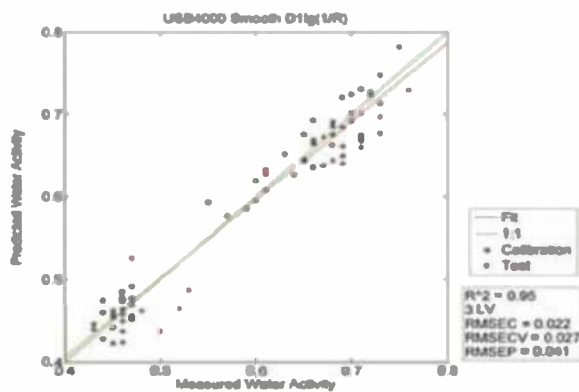


נמצא כי שתי השיטות הניבו תוצאות טובות בהפחתת האותות המפריעים כאשר מודדים תמר לתכולת לחות. ניסויים נערכו בתמרים לבדיקת ריקבון פטרייתי מסוג 'אספרגילוס ניגר' ונראה כי תאורה ה-50W היקפית נדרשת בכדי לקבל מדידה טובה של נוכחות הריקבון האמור בתמרים.

נבדקו 4 מדגמים של תמרים בכל מדגם כ-100 תמרים, התמרים נבדקו לפעילות מים באמצעות מד פעילות מים מסוג PAWKIT (Decagon Devices, USA) שנרכש עבור מחקר זה. כמו כן נבדקו התמרים לנוכחות פיחת על ידי חיתוכם והערכת הנגיעות. ניתנו ציונים לתמרים מדרגה 1 (אין נגיעות) עד 5 (נגיעות גבוהה מאוד). תוצאות מדידות אלו הוצבו במסד נתונים מתואם לספקטרא של סריקתם.

באמצעות שיטות כימוטריות כגון PLS (EigenVectors, USA) המיושם בתכנת MATLAB כוילו מודלים ספקטראליים ונבחנו ביצועיהם לפי גודל השגיאה מקדם המתאם וכושר החיזוי שלהם. תהליך נעשה גם עבור ההחזר הישיר R ועיבודים של כגון נגזרת  $D_R$  ואו/אבליעה  $(R/1)$  או נגזרת  $(D, \log(1/R))$ .

תמונה 5: מדידת נגיעות פיחת בתמרים



של הטמעת השליטה בספקטרומטר במחשב המכונה לצרכי ייעול המיון. נמצא כי מכשיר מסוג USB4000 שהינו בעל איפיון מיוחד למטרה זו (חרך פנימי רחב ורזולוציה גבוהה) מתאים יותר לזיהוי נגיעות פייחת. מכשיר ה-SWIR נתן תוצאות טובות יותר בחיזוי מצב פעילות המים. גם מכשיר ה-VISNIR הניב תוצאות מספקות ויתרונו במהירות פעולתו ובמחירו הנמוך יותר והאפשרות למדוד בו זמנית ובמקביל גם את הנגיעות.

הבעת תודה

החוקרים מבקשים להביע תודתם לקרן המדען הראשי של משרד החקלאות והכפר על מימון מחקר זה

## ביבליוגרפיה

בן צבי רחל, ברק צייכנר (2003) קביעת אחוז לחות כפונקציה של מדד פעילות מים. בזנים שונים של תמרים. עלון הנוטע נ"ז (1) עמ' 20-8.

ברנשטיין צבי וגדעון זיו (1996). מג'הול עסיסי - חוברת הדרכה. בהוצאת "צמח ניסיונות", הדקלאים ומו"פ ערבה.

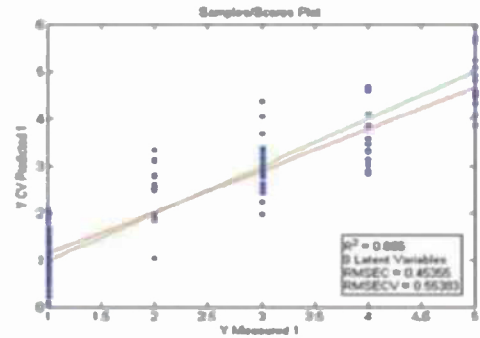
ברנשטיין צבי (1998). מג'הול צפוני - הכנת פרי עסיסי - טפולים במטע ובבית האריזה - ייבוש בתנורים. בהוצ' צמח ניסיונות .

סטולר ש' (1974). הזן מג'הול, עלון הנוטע כך כח', 10-12, עמ' 519-523.

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

תקן ישראלי 1251 (1992), תמרים יבשים, מכון התקנים הישראלי

תמונה 8: תוצאות מודל NIR לחזוי רמת נגיעות בפייחת בתמרים (1 בריא 5 נגוע מאוד).



בחינה ראשונית של המערכת בבית אריזה של בית הערכה נערכה בסוף שנה זו. במסגרת זו נעשה ניסיון לשילוב התקשורת בין המחשב השולט על הספקטרומטר ולמחשב השולט על המסוע. ההצלחה הייתה חלקית מבחינת הקצב של המיון, בעיקר בגלל שלמערכת זאת אין מזין אוטומטי ובהזנה ידנית ניתן להגיע לקצב של 3 תמרים בשנייה לכל היותר.

### • דיון

בבחינה ראשונית של המערכת בבית אריזה, הניסיון לשילוב של תקשורת בין המחשב השולט על הספקטרומטר, הניב הצלחה חלקית מבחינת הקצב של המיון ולכן נעשה עתה פיתוח מחדש