

## בדיקת התכנות ויישום של שימוש במכשירי האף והלשון האלקטרוניים בניטור מדדי איכות

### החלב הגולמי בקבלתו במחלבה

א.בנימין<sup>1</sup>, ע.שווימר<sup>2</sup>, י.וייה<sup>3</sup>

<sup>1</sup> החוג למדעי המזון, המכללה האקדמית תל-חי

<sup>2</sup> המערך הארצי לבריאות העטין ואיכות החלב, מועצת החלב

<sup>3</sup> מיגל – מכון מחקר מדעי בגליל

#### 1. מבוא

ענף החלב הינו אחד מענפי המזון המובילים והוותיקים בישראל, כאשר כמות חלב הבקר המיוצרת עומדת על יותר מ 1.3 מיליארד ליטר בשנה. היקפי ייצור וצריכת החלב ההולכים וגדלים עם השנים, יחד עם עלייה מתמדת בייצור מוצרי חלב מציבים את נושא איכות החלב ובטיחותו בראש סדר העדיפויות. על מנת להבטיח את בטיחות החלב, בריאות הציבור, ואת שביעות רצונו של הצרכן, מאיכות המוצר הסופי, כל מנת חלב שמתקבלת במחלבה מהיצרן חייבת לעבור מספר בדיקות סף לפני שהחלב מאושר לשימוש. הבדיקות הללו כוללות בדיקה לשאריות חומרים מעכבים, רמת חמיצות החלב, בדיקת טמפרטורה של החלב באיסופו במשק, בדיקת נוכחות מים (על ידי קביעת נקודת הקיפאון) ובדיקה אורגנולפטית - של טעם, ריח ומראה. בדיקות הסף האלה נכללות בתקנון 13-15 של מועצת החלב משנת 1997 ותואמת את התקן הישראלי לחלב בקר גולמי (ת"י 55) על פי קריטריונים מקובלים באירופה ובארה"ב. במידה והחלב לא עומד באחד הסטנדרטים שנקבעו בתקנון, החלב נפסל ומועבר לטיפול בשפד"ן. אין ספק שאיכות החלב בישראל הינה מהגבוהות בעולם, וניכר שיפור משמעותי לאורך השנים. למרות זאת קיימת בעיה עם חלק מהבדיקות שנעשות כיום עבור חמיצות וקביעת איכות אורגנולפטית אשר נמצאו כמדד לא מספק, ובחלק מהמקרים אף לא מדויק. קרו מקרים שהבדיקה במחלבה פסלה חלב, כביכול תקין, שלא עמד בתנאי הסף או במקרה הפוך של חלב לא תקין שהתקבל. על כן בשנים האחרונות ברב המוחלט מדינות המערב החליטו להוציא את בדיקת החמיצות בטיטרציה מ"סל בדיקות הסף" ולנסות למצוא אלטרנטיבות טובות יותר לקביעת איכות האורגנולפטית של החלב הגולמי.

בדיקת החמיצות המטוטרת (Titratable acidity (TA): הינה שיטה מקובלת ומהירה לקבל אינדיקציה על איכות החלב הגולמי. השיטה מתבססת על קביעת רמת החומצה הלקטית הקיימת בחלב, כתלות במספר החיידקים, יוצרי חומצה לקטית, מפרקי הלקטוז. ככל שהחלב מכיל יותר חיידקים ומתחיל להתקלקל, כך רמת החמיצות עולה. בישראל נקבע בתקנון שעד חמיצות של 6.8 מעלות סוקסלט-הנקל החלב יימצא תקין והיצרן יקבל את מלוא התמורה, ובמידה והערכים יהיו גבוהים יותר, החלב לא יתקבל במחלבה והיצרן לא יקבל כלל תמורה. לבדיקה יש חסרון משמעותי בכך שהיא מבוססת על טיטרציה ישירה בין  $\text{OH}^-$  מבסיס NaOH לכל יון מימן חיובי, שלא

דווקא מקורו בחומצה לקטית מפעילות תסיסה מיקרוביאלית. בחלב ייתכנו גורמים נוספים שאחראים על שינויים בחמיצות, שמקורן לא בחומצה הלקטית כגון: חלבון החלב קזאין שאחראי על כ 40% מהחמיצות בגלל תכונות הבאפר של נטרול יוני המימן. רמות שונות של חלבון בחלב יצביעו על רמות חמיצות שונות גם בלי שיש קשר לפגיעה באיכות. בנוסף חמיצות יכולה לנבוע מהימצאות מינרלים שונים, דו-תחמוצת-הפחמן וחומצות אורגניות אחרות ללקטית (לימון, פחמנית, אסקורבית). כניסה של אוויר לחלב יכולה ליצור חומצה פחמתית שנמדדת גם במד TA. ניתן לומר שבדיקת pH הינה משמעותית יותר לקביעת חמיצות בחלב מאשר TA כי היא מאפיינת לא רק את הדיסואציה של החומצות בחלב אלא גם את פעילות האנזימים והחלבונים [1].

בדיקה אורגנולפטית: בדיקת איכות החלב מבחינה אורגנולפטית נעשית על כל מנת חלב שמגיעה למחלבה מהיצרן ונבדקת על פי מראה, טעם וריח. הבדיקה נעשית בצורה סובייקטיבית על ידי מפעיל בקבלת חלב, ולא בהכרח כל ריח, או טעם חריג מורגש על ידי המפעיל. החלב מתאפיין בטעמי מתיקות, חמיצות ומעט מרירות שמקורם בחומרים לא נדיפים כמו לקטוז, חומצות אורגניות וחומרים מרירים המתפתחים מפירוק חלבונים. ריחות לא נעימים שמקורם בקלקול מיקרוביאלי, חמצון שמנים וזיהום ממקור סביבתי יוצרים חומרים נדיפים ייחודיים המעניקים ארומות לא רצויות של עפיצות, שמנוניות, ואף מתכתיות. על מנת להכיר את תחושות הטעם והריח ברמה מספקת בכדי להעיד על איכות החלב, המפעיל נדרש לריכוז גבוה, אחידות ומהימנות בתוצאות, אשר לא בהכרח מושגים בכל בדיקה.

בשנים האחרונות החל שימוש במדידות פוטנציאל חשמליות של סנסורים המדמים את פעילות האף והלשון בזיהוי ריחות וטעמים של מוצרי מזון [2]. השיטות הוכחו כמוצלחות ביכולת לזהות הבדלים בין מוצרים גם כאשר ריכוז החומרים הנבדק היה נמוך מסף הרגישות האנושי. מערכת אחרת היא ה'לשון האלקטרונית' (ראה תרשים 1.ב) שמיועדת לקשירה עם חומרי טעם בדוגמא תמיסה נוזלית, והעברה של סיגנל חשמלי דרך החיפושן בהתאם לרמת הפולריות ויכולת הדיפוזיה שלהם דרך הממברנה הליפידית סביב החיפושן. המכשירים מסוגלים לעבוד עם כמויות דוגמאות רבות כאשר כל בדיקה אורכת מספר דקות בודדות. נמצא שרמת המובהקות ומהימנות של תוצאות המדידה מהמכשירים מגיעה ל 95% הצלחה. השילוב של האף והלשון האלקטרונית ביחד באותו מחקר מאפשר יכולת הבדלה גבוהה יותר בין מוצרים בעלי תכונות דומות [3, 4].

## 2. מטרת המחקר

פיתוח שיטה חדישה אנליטית לקביעת איכות החלב באמצעות שימוש במכשירי הלשון והאף האלקטרוניים. בדיקת היתכנות ותיקוף השיטה בהשוואה לשיטות קיימות של חמיצות ובדיקה אורגנולפטית והערכת מהימנותה, יעילותה ושמירה על איכות ובטיחות החלב הישראלי ברמה גבוהה.

## 3. שיטות

חלב גולמי טרי ומקורר בטמפ' 4 מע"צ נלקח מרפת כפר גלעדי הסמוכה למכללה בהתאם למועד ביצוע הניסוי. במהלך המחקר בוצעו שלושה ניסויים עיקריים:

א. ניסוי זמני הדגרה של החלב- חלב גולמי הדגר בטמפ' 32 מע"צ למשך 0,1,2,3,4 שעות בטלטול קל.

ב. ניסוי בדיקת חומרי ניקוי- החומרים Pro-Day (בסיס: סודיום סיליקט 5%-15%, כלור פעיל מינימום 2.5%, סודה קאוסטית 5%-47%, פוטסיום הידרוקסיד 15%-50%), חומר Pro Week (חומצה זרחתית 50%-70%) וחומר Klovert (כלור פעיל - Troclosene sodium 5000ppm/L). החומרים התקבלו מהרפת בכפר גלעדי וידועים כחומרי ניקוי וחיטוי הנמצאים בשימוש ברפתות. החומרים דוללו לריכוזים הבאים 0, 0.1, 1, 10, 100 ppm בעזרת חלב.

ג. ניסוי בדיקת איכות חלב מרפתות שונות – חלב גולמי נלקח ממספר רפתות בגליל העליון: דפנה, כפר גלעדי, בית הלל, עמיר וכפר בלום. החלב מיד נלקח לביצוע ניסויים במכשירים האנליטיים.

בדיקות אנליטיות:

1. בדיקת pH וחמיצות (TA) נעשו על פי התקן חלב 55. חמיצות נקבעה בעזרת טיטור עם 0.1M NaOH.
2. ספירת חיידקים כללית על מצע של PCA וספירת חיידקים לקטיים על מצע ATP.
3. לשון אלקטרונית (Insent, S4A0B Japan) - החלב עבר הפרדת שומן לפני הרצה על ידי צנטריפוגה במהירות 4000 סל"ד למשך 20 דקות ב-4 מע"צ. הדוגמאות נבדקו לפרופיל טעם על ידי חיישני סלקטיביים לטעמים השונים המכילים ממברנה לפידית. החיישנים שהיו בשימוש: CA0 – עבור חמיצות, C00 – עבור מריחות, CT0 – עבור מליחות, AE1 – עבור עפיצות, AAE – עבור אומאמי GL1 – עבור מתקות. בנוסף נבדקה ההשפעה של השארות חומרי הטעם אחרי שטיפה קלה בתמיסת רפרנס (tartaric acid + KCl בריכוזים נמוכים). לזה נקרא בתוצאות CPA לפי חיישן.
4. אף אלקטרוני (AirSense, PEN3 Germany) – 1 מ"ל חלב הודגר בבקבוק 20 מ"ל ב-30 מע"צ למשך 15 דקות. חלל הראש בבקבוק נמדד על ידי האף האלקטרוני עם 10 חיישני Metal oxide.
5. ניתוח סטטיסטי- נעשה בעזרת תוכנת XLSTAT עם שימוש בניתוחים PCA, DA, ANOVA.

#### 4. תוצאות

קבלת חלב גולמי במחלבה נבדקת כיום על ידי בדיקת חמיצות (TA) וספירה כללית בשביל לקבוע אם החלב ראוי להמשך עיבוד במחלבה. בניסוי הראשון שבצענו בדקנו את השפעת זמן הדגרה של 0-4 שעות בטמפ' של 32 מע"צ על איכות החלב המתקבל. ניסוי זה מדמה התחלה של קלקול חלב ובדיקה של המדדים השונים המתקבלים כדי לעמוד על יכולת הניבוי שלהם לאיכות החלב.

בטבלה מס' 1 ניתן לראות את המדדים שנמדדו עבור חלב גולמי בזמני הדגרה שונים – pH, TA, ספירה כללית, ספירה של חיידקים לקטיים וערכי חיישן C00, CA0 ו-GL1 כחיישנים עיקריים שהראו שונות בין הדוגמאות. ניתן לראות עלייה לינארית בכמות החיידקים ככל שזמן ההדגרה גדל, ככה גם עם עליית ה-TA. לא נצפתה ירידה משמעותית ב-pH.

טבלה מס' 1: השפעת זמני הדגרה שונים על מדדי איכות של חלב גולמי (n=3)

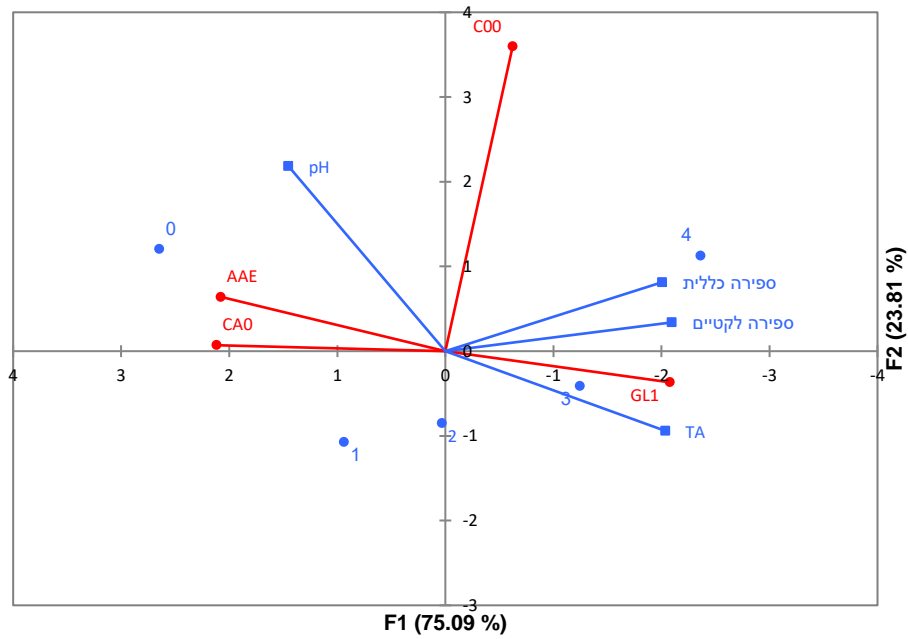
Incubation time (h)	pH	TA	ספירה כללית (X10 <sup>6</sup> )	ספירה לקטיים (x10 <sup>3</sup> )	CA0	C00	GL1
0	6.67±0.01	6.37±0.2	0.16±0.0	3.6±0.2	-78.93±1.0	-58.30±0.4	-41.24
1	6.65±0.01	6.77±0.2	1.75±0.3	4.7±0.4	-79.52±0.9	-60.63±0.8	-40.85
2	6.67±0.04	6.80±0.3	1.86±0.8	6.2±0.7	-79.87±0.9	-60.17±0.4	-40.76
3	6.65±0.01	6.93±0.1	2.56±0.4	6.9±1.8	-80.18±0.8	-59.41±0.9	-40.36
4	6.66±0.00	7.03±0.1	3.57±1.6	8.5±2.1	-80.6±1.1	-57.36±3.7	-40.33

בטבלה מס' 2 ניתן לראות את מידת ההתאמה בין המדדים השונים. ניתן לראות שיש קשר לינארי חזק בין התוצאות שהתקבלו בחיפושים CA0 ו GL1 בלשון האלקטרונית לבין ערכי הספירה המק"א וTA (מודגש). לא התקבל קבל קשר חזק ומובהק בין pH למדדי הספירה.

טבלה מס' 2: מידות התאמה בין המדדים השונים עבור חלב גולמי כפונ' של זמן הדגרה.

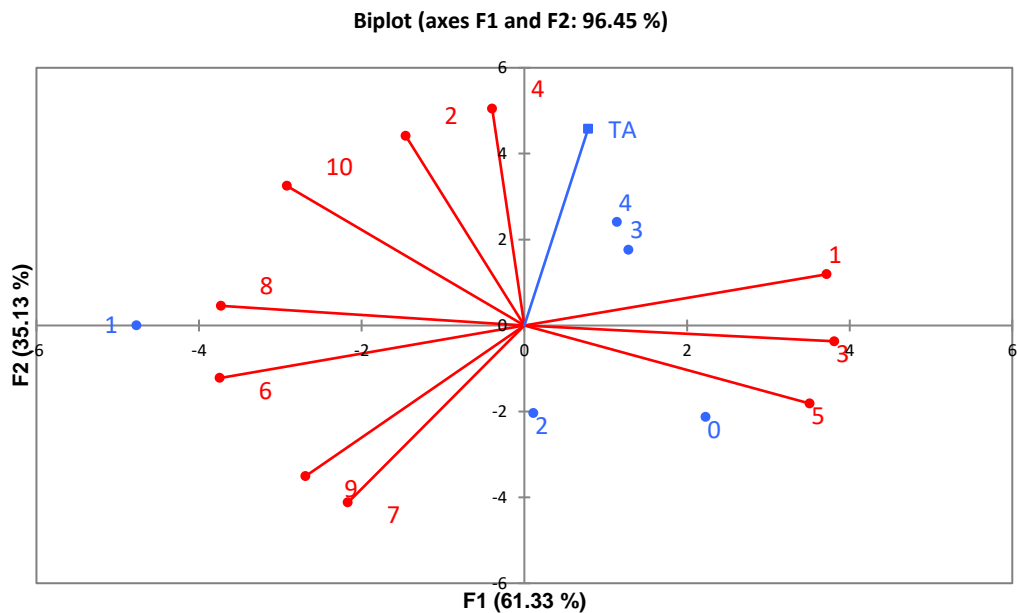
					pH	
				TA	1	pH
			ספירה כללית	1	-0.844	TA
		ספירה כללית	1	0.823	-0.423	ספירה כללית
	CA0	1	0.978	0.922	-0.580	ספירה לקטיית
GL1	1	<b>-0.991</b>	<b>-0.945</b>	<b>-0.964</b>	0.681	CA0
1	-0.971	<b>0.947</b>	<b>0.899</b>	<b>0.963</b>	-0.763	GL1

הקשר בין תוצאות הלשון האלקטרונית לשאר המדדים התקבלו בניתוח PCA המוצג בגרף מס' 1. בניתוח הוכנסו רק החיפושים העיקריים שהצביעו על מגמה לינארית עם עלייה בזמן הדגירה. באדום מצוינים אותם חיפושים ובכחול מצוינים המדדים האחרים שנמדדו כמו ספירה כללית ו TA. ניתן לראות שהלשון האלקטרונית מצליחה להפריד בצורה מאוד גבוהה (מעל 98% רמת שונות) בין זמני הדגירה השונים וגם רואים קשר לינארי עם המדדים של הספירה הכללית וה TA. שאר החיפושים של הלשון האלקטרונית לא הגיבו בצורה משמעותית עם השינוי.



גרף מס' 1: ניתוח PCA של מדדי איכות חלב בעזרת הלשון האלקטרונית לעומת מדדים קיימים

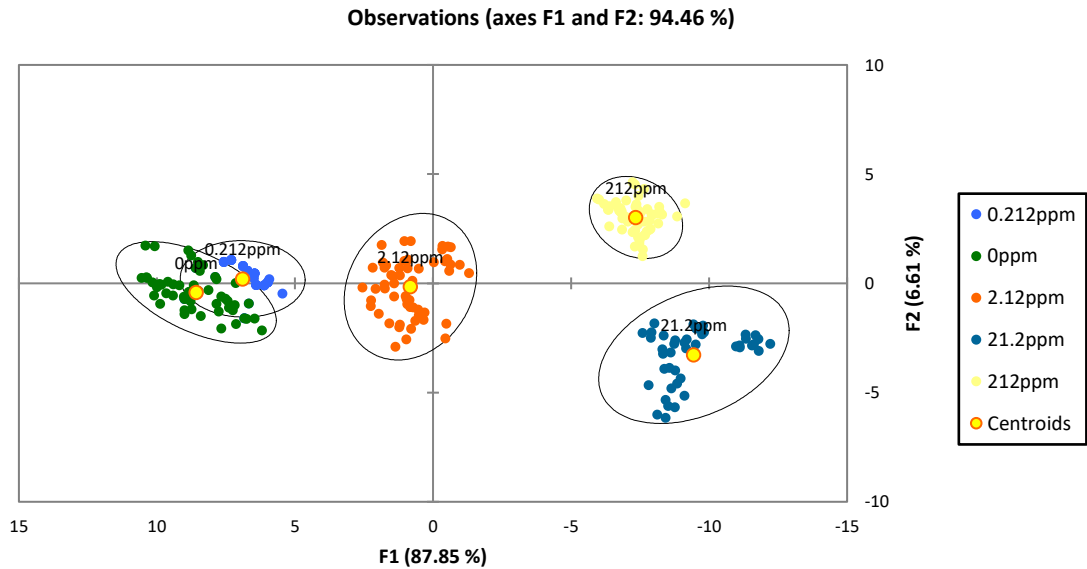
תוצאות האף האלקטרוני מוצגות בגרף מס' 2 בניתוח PCA. לא ניתן לראות קשר לינארי ברור בין עשרת חיישני האף לבין דוגמאות החלב בזמני הדגרה שונים. בקווים האדומים מצויינים החיישנים של האף האלקטרוני לפי מידת ההשפעה שלהם על השונות בתוצאות הדוגמאות. בכחול רואים את הדוגמאות ביחס לתוצאות של TA.



גרף מס' 2: ניתוח PCA של מדדי איכות החלב בעזרת האף האלקטרוני לעומת מדד TA.

בניסוי אחר נבדקו דוגמאות חלב עם ריכוזים שונים של חומרי ניקוי וחיטוי המשומשים ברפתות. ערכי ה PH של דוגמאות החלב עם ריכוזי החומרים לא הראו שונות מובהקת. האף האלקטרוני הצליח לזהות הבדלים בצורה טובה בעיקר בחומר הניקוי ProDay (גרף מס' 3) ואילו הלשון האלקטרוני הצליח לזהות הבדלים בחומר ProWeek

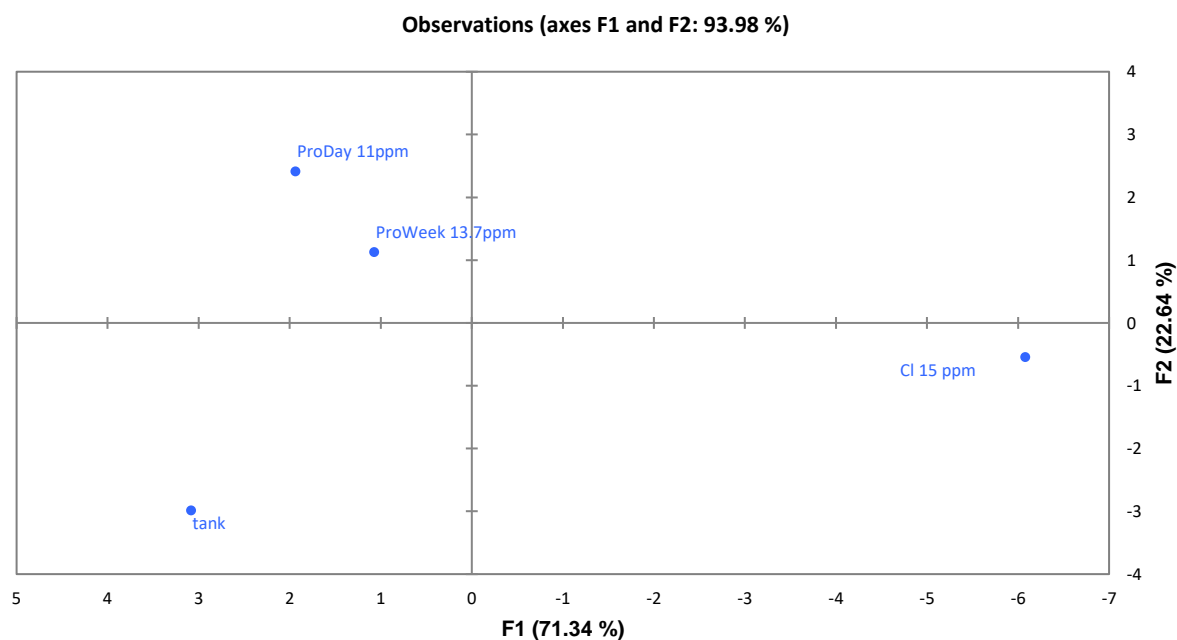
.Klovert



גרף

מס' 3: ניתוח DA לתוצאות האף האלקטרוני עבור דוגמאות חלב גולמי עם ריכוזים שונים של חומר ניקוי ProDay.

גרף מס' 4 מראה את היכולת של הלשון והאף האלקטרוניים ביחד להבדיל בין חומרי ניקוי שונים לעומת חלב גולמי נקי.



גרף מס' 4: ניתוח PCA של תוצאות האף והלשון האלקטרוניים יחדיו על חומרי ניקוי בריכוז דומה ( 10-15 ppm) לעומת חלב נקי (tank).

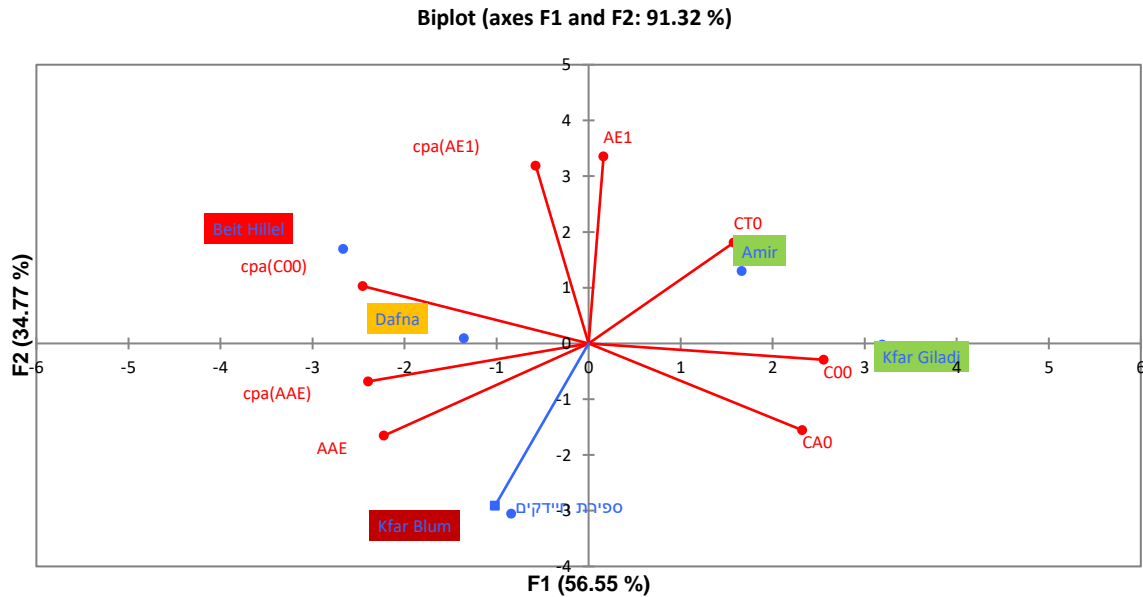
בניסוי האחרון שבוצע נבדקו דוגמאות חלב גולמי מרפתות שונות בגליל העליון כדי להעריך את יכולת הלשון והאף האלקטרוניים לזהות הבדלים בין הדוגמאות והקשר שלהם למדדי החמיצות וספירת מק"א כללית (טבלה מס' 3).

טבלה מס' 3: מדדים שהתקבלו עבור דוגמאות החלב מהמקורות השונים.

רפת	ספירה כללית (X10 <sup>6</sup> )	TA	pH
בית הלל	18.4±6.5	6.80±0.2	6.69±0.00
דפנה	13.1±2.5	6.70±0.1	6.70±0.00
כפר בלום	89.3±6.2	6.03±0.0	6.71±0.00
כפר גלעדי	0.9±0.0	6.90±0.1	6.67±0.00
עמיר	2.3±0.0	6.53±0.1	6.71±0.00

אפשר לחלק את הרפתות מבחינת איכות חלב בספירה כללית לשניים – מעל 150 אלף מושבות למ"ל חלב ומתחת לערך זה. ערך ה TA אינו בהתאמה עם הספירה הכללית של מק"א.

בגרף מס' 5 ניתן לראות את היכולת של הלשון האלקטרונית להבדיל בין דוגמאות החלב עם התאמה טובה לכמות החיידקים שנספרו. בירוק נמצאים הרפתות עם ספירת מק"א פחותה מ 150 אלף למ"ל חלב לפי התקן. ואילו באדום אפשר לראות דוגמאות מכל 150 אלף.



גרף מס' 5: ניתוח PCA של תוצאות לשון אלקטרונית להפרדה בין דוגמאות חלב גולמי מרפתות שונות (n=3) ואילו האף האלקטרוני לא הצליח בהפרדה בין הרפתות בהתאמה לספירת חיידקים ונראה שהחיישנים השונים הגיבו אחרת לכל חלב מרפת שונה.

## 5. דיון ומסקנות

המחקר עסק ביכולות אנליטיות חדשות לאפיין את איכות החלב הגולמי בצורה מדויקת יותר מאשר השיטה הקיימת היום עם חמיצות וספירה כללית של חיידקים. בשלב הראשון אופיינה ההשפעה של זמן הדגרה מ 0-4 שעות על איכות חלב גולמי. התקבלו ערכים במגמה עולה של TA וכמות חיידקים כמצופה. מבדיקה שנעשתה בלשון האלקטרונית נראה שהמכשיר וחלק מחיישניו מסוגלים לזהות בצורה טובה את השינוי בחלב ומראים על מגמה במקדם מתאם גבוה יותר מאשר התקבל עבור TA והספירה הכללית. מדד ה pH מסתבר פחות מהימן לניטור שינויים הנגרמים בעלייה בכמות החיידקים עם זמן הדגרה. החיישנים הבולטים בלשון האלקטרונית שזיהו את השינוי היו CA0 שמצביע על עלייה בחמיצות וחיישן GL1 אשר מראה ירידה בכמות הסוכרים (פירוק הלקטוז). החיישנים נמצאו רגישים דיים כדי לזהות שינוי למרות שהוא יחסית נמוך. גם חיישן CO0 שיכול לזהות מולקולות מרירות מסוג iso alpha acid, פפטידים ופוליפנולים טעונים הראה מגמה הולכת ועולה בין זמן של שעה ל 4 שעות.

אולם האף האלקטרוני הראה פחות יכולת לזיהוי מגמתי של זמני הדגרה שונים כאשר זמן הדגרה של שעה היה השונה מכל הדוגמאות לעומת דוגמת הביקורת ללא הדגרה שהיתה דומה בניתוח ה PCA ל 3 ו 4 שעות הדגרה. אפשר להסביר את אי יכולת האף לזהות בהבדלים בכך שכנראה התפתחות חומרים נדיפים מהחלב לא היו מסונכרנים בסוגיהם ובריכוזם עם העלייה בזמן הדגרה.



בניסוי נוסף שנעשה עם דוגמאות חלב מרפתות שונות בדקנו האם הלשון והאף האלקטרוניים מסוגלים להבדיל בין דוגמאות החלב בהתאם לכמות החיידקים. ניתן לראות שגם פה הלשון האלקטרונית היתה יותר יעילה ביכולת ההפרדה והראתה מתאם גבוה עם הספירה הכללית. אולם האף האלקטרוני לא הצליח לזהות את ההבדלים בין דוגמאות החלב בצורה נכונה כפי שקרה גם בניסוי הקודם. בנוסף מדד ה TA הראה בצורה מפורשת שאין קשר בין כמות החיידקים שנספרו המצביעים על איכות החלב לפי תקן 55 לעומת הספירה הכללית של מק"א. היו דוגמאות חלב כמו של כפר בלום עם TA נמוך מאוד (6.03) אבל עם כמות מק"א גבוהה מאוד (890 אלף חיידקים) שאמור להיפסל לפי התקן שעומד על 150 אלף חיידקים למ"ל חלב. ואילו מקרה הפוך קרה בחלב של כפר גלעדי עם TA מעל התקן של 6.8 אבל הספירה הראתה ערכים נמוכים.

הלשון והאף האלקטרוניים כן הוכיחו את יעילותם בזיהוי חומרי ניקוי שהוכנסו לחלב גולמי בריכוזים שונים. בחלק מהחומרים האף היה יותר יעיל מהלשון ובחלק השילוב של שניהם הוביל להפרדה בין החומרים לעומת חלב גולמי. המכשירים הראו שאף בריכוזים נמוכים של ppm בודדים ניתן לזהות הבדלים בפרופיל הטעם או הריח בחלב לעומת חלב ללא חומרי ניקוי.

אפשר לסכם שהמחקר הצליח להראות תוצאות ראשוניות של התכנות שימוש בלשון והאף האלקטרוניים לראשונה עבור אפיון מדד איכות לחלב גולמי לעומת המדדים הקיימים כיום כמו חמיצות (TA) וספירה כללית/לקטיים. המדדים הקיימים הראו שלא תמיד יש קשר בין חלב עם TA גבוה לכמות מק"א גבוהה גם כן. ועל כן השימוש בשיטות חדשות ורגישות כמו הלשון והאף האלקטרוניים יכולים להיות שימושיים ויעילים יותר מהשיטות הקיימות.

## 6. תודות

לרפתות השונות שהשתתפו בניסויים ובמיוחד לרפת כפר גלעדי ולעומרי מנהל הרפת שאפשר לנו להשתמש בחלב למטרות המחקר לאורך כל הניסויים. תודות גם לצוות הלבורנטים במכללה האקדמית תל-חי שעזרו לנו בתפעול הניסויים.

## 7. מקורות ספרות

1. Walstra, P., T. Wouters, and T. Geurts, *Dairy science and technology* second ed. 2006, Boca Raton: CRC Taylor& Francis.
2. Ampuero, S. and J.O. Bosset, *The electronic nose applied to dairy products: A review*. Sensors and Actuators, B: Chemical, 2003. **94**:(1)p. 1-12.
3. Kobayashi, Y., et al., *Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores*. Sensors, 2010. **10**(4): p. 3411-3443.
4. Winqvist, F., et al., *An electronic tongue in the dairy industry*. Sensors and Actuators, B: Chemical, 2005. **111-112**(SUPPL.): p. 299-304.

## תקציר

בדיקת איכות של חלב גולמי נמצאת כבר שנים ללא שינוי בתקן הישראלי 55. הבדיקה כוללת בדיקה של חמיצות Titrable Acidity (TA) וספירה כללית של חיידקים בחלב. אולם בהרבה מקרים נפסל חלב בגלל ערכים גבוהים מהמצוין בתקן למרות שהחלב הינו תקין לשימוש המחלבה לייצור מוצרים. ידוע שרמת החמיצות בחלב לא מושפעת רק מכמות החיידקים הלקטיים שגורמים להחמצתו אלא גם על ידי חלבונים הקיימים בחלב ומשמים כבופר ואוויר שמוסס בחלב ומשפיע על החמיצות. על כן המחקר הנוכחי בא לבדוק שיטות נוספות מתקדמות לקביעת איכות החלב והשוואתם לשיטות הקיימות. השיטות החדשות מתבססות על ציוד אנליטי הנקרא לשון ואף אלקטרונים הפועלים בעזרת סט של חיישנים שמגיבים עם חומרי הטעם והריח ונותנים לדוגמת המזון פרופיל ייחודי בר השוואה.

תוצאות המחקר הראו שחלב גולמי שהודגר בזמנים שונים כדי להדמות מצבי קלקול הראה עלייה בערכי ה TA והספירה המק"א+חיידקים לקטיים. הלשון האלקטרונית הצליחה יפה להראות הבדלים בצורה מגמתית בין דוגמאות החלב עם מקדם מתאם גבוה יותר לעומת השיטות הקיימות. ואילו האף האלקטרוני הראה פחות הצלחה באפיון הדוגמאות בצורה לינארית, ככל הנראה עקב ריבוי החומרים הנדיפים שנוצרו בחלב וסוגם המשתנה במהלך ההדגרה. כאשר נלקחו דוגמאות אמיתיות של חלב מרפתות שונות בגליל העליון, נצפתה תוצאה דומה של אפיון החלב לפי רמות ספירה מק"א בעזרת הלשון האלקטרונית לעומת תוצאות TA שלא הצביעו על מגמה דומה. הלשון והאף הצליחו גם לזהות המצאות של חומרי ניקוי בריכוזים נמוכים בחלב גולמי.

מחקר זה יכול לשמש כבסיס למחקרי המשך לבדיקת יעילות הלשון והאף האלקטרוני בקביעת איכות החלב הגולמי. אין ספק שנדרשים עוד נתונים וגורמי השפעה שונים על מנת לקבוע שאכן השיטות החדשות יכולות להתקבל כמדד אמין לקביעת איכות החלב יחד או במקום המדדים הקיימים.

## **Abstract**

Raw milk quality is regulated for years under the Israeli standard number 55. The standard includes quality check for titrable acidity (TA) and total bacterial count in milk. However in many cases the milk is disposed due to high levels of TA which does not necessary means that quality of milk is insufficient for further processing in the dairy plant. It is known that milk acidity not only affected by growth of lactic bacteria, but also due to protein concentrations in milk that act as buffer and other factors. Therefore, the current study aim was to evaluate novel methods to define raw milk quality and to compare them to existing method. Two novel methods were used, electronic tongue and nose that are based on sensors array that respond selectively to the taste and odor molecules and provide a unique fingerprint. The method includes sophisticated statistical analysis such as Principle Component Analysis (PCA) to distinguish between the samples.

The research findings show that raw milk that was incubated for certain time (0-4 h) was correlated with increasing levels in TA and total bacterial count as expected. The e-tongue was successfully capable to determine the quality of milk in linear proportion to bacterial counts. This correlation was better achieved than the relation between TA and total bacteria count. The e-nose was not as capable as the e-tongue to obtain similar results, probably due to the large variation in emitted volatile organic compounds between the milk samples. Similar results were also received when real raw milk samples were taken from local dairy farms and measured by the different methods. The e-tongue showed that it was able to link the milk taste profile with the bacteria count, whereas TA parameter had no clear relation with the milk quality. In addition the e-tongue and e-nose were capable to detect in raw milk low levels (ppm) of detergents commonly used in dairy farms.

The results from this research should be used for follow up studies that explore further the abilities of such novel methods for milk quality. There is no doubt that with more research and more data, the use of e-tongue and nose can be beneficial for milk quality to the dairy farms and industry.