

# זיהוי חומרים פונקציונליים בקלחי תירס, פיתוח תהליכי הפקתם ויישומים פוטנציאליים במזון

לואי בשיר, תומר חציר<sup>2</sup>, פולינה ישראלסון, דין שלומי<sup>1</sup>

ניצול פחת חקלאי כקלחי תירס והפקת קסילאן מקלחי תירס, אפיונו ובחינת השימוש בו בכדי להעשיר מזונות אחרים בהיבט הטכנולוגי והתזונתי, הם בבסיס מאמר זה. המאמר מתאר את השיטות, החומרים והתוצאות של הפקת הקסילאן, בחינת איכותו וכן השפעתו על תכונות לחם שהוסף לו קסילאן שמקורו בתירס.

## 1. מבוא

מדי שנה מצטברות כמויות רבות של ביומסות צמחיות הנחשבות לפֶתָח חקלאי או תעשייתי. ביומסה זו נאמדת בכ-2 מיליארד טון בשנה ברחבי העולם, ומספרה נוטה לגדול עם הזמן כתלות בקצב גידול האוכלוסייה (Millati et al., 2019). עם ביומסות אלו אפשר למנות בין היתר קש חיטה, קש אורז, גבעולי טבק וקלחי תירס, הידועים כעשירים בליגנו-תאית (Lignocellulosic materials) ונחשבים לבעלי פוטנציאל רב לשימוש תעשייתי להפקת מוגון מוצרי צריכה בעלי ערך מוסף כגון דלקים ביולוגיים (Biofuel), מזון לבעלי חיים, כימיקלים, אנזימים ועוד (Farhat et al., 2017; Naidu, Hlangothi & John, 2018). למרות פוטנציאל זה, ברוב המקרים ובעיקר בקרב המדינות המתפתחות, חומרים אלו אינם מנוצלים כראוי ועלולים להצטבר לכדי מצב בו הם נותרים להירקב בשדה או מושמדים באמצעות שריפה ובכך נגרמת פגיעה באיכות הקרקע והסביבה (Millati et al., 2019). מכאן, ניצולם לתעשיות השונות אינו משרת את המטרה התעשייתית שלשמה הם נועדו, אלא עשוי בנוסף לספק פתרון לבעיה הסביבתית המתהווה. לאלו נוספים יתרונות בהיבט הכלכלי-חברתי, כמו מקור הכנסה נוסף לחקלאים המתגלם בהורדת הפחת ובהגברת ערך השרשרת החקלאית והתעשייתית (Akpınar et al., 2009). קבוצת המחקר במעבדתנו עוסקת באפיון הפונקציונלי של החומרים מפחת של גידול התירס



ופיתוח יישומים פוטנציאליים שלהם בתחומי המזון ותוספי התזונה.

התירס (שם מדעי: *Zea mays*) משתייך למשפחת הדגניים ומשמש מזון בסיסי באזורים רבים בעולם, והוא מתורבת ומעובד בכ-170 מדינות, כאשר התעשייה העולמית שלו גדלה מדי שנה יותר מכל דגן אחר (FAO, 2019). חלקו האכיל של התירס מצוי בגרעינים העוטפים את הקלח, כאשר הקלח עצמו (Cob), העלים (Husk) ושערות הפרי (Silk) מוגדרים "תוצרת חקלאית זניחה" (Melo-Silveira et al., 2014; Neglected Agricultural products)

1. ד"ר לואי בשיר, תומר חציר, פולינה ישראלסון, דין שלומי - החוג למדעי המזון, הפקולטה למדעים וטכנולוגיה, המכללה האקדמית תל חי, קריית שמונה, ישראל. מחבר להתכתבות: LoaiBasheer@telhai.ac.il

2. תומר חציר זכה, בעבור המחקר המוצג במאמר זה, במקום השלישי בתחרות בינלאומית של ארגון IFT (Institute of Food Technologists) במסגרת הקטגוריה למחקרי סטודנטים לתואר ראשון.

סטנדרט מסחרי של קסילאן (נרכש מחברת TCI (Tokyo Chemical Industry Ltd, Japan).

### 1.2. הפקת קסילאן מקלחי תירס וספקטרוסקופיית FT-IR

הקסילאן הופק מקלחי תירס יבשים (תכולת הלחות כ-70%) וטחונים בתהליך רב-שלבי אשר בסופו החומר יובש ונטחן לכדי אבקה עדינה. תוצר התהליך נבחן באנליזת Fourier Transform Infrared Spectroscopy באמצעות ספקטרומטר (FT-IR Spectrometer, nicolet iS 10, Thermo Scientific), ונבחן בהשוואה לסטנדרט מסחרי של קסילאן.

### 2.2. הכנת לחם מועשר באבקת קסילאן מקלחי תירס

לחם הביקורת הוכן על פי מתכון סטנדרטי שכלל 250 גרם קמח חיטה רגילה, 147.5 מ"ל מים, 3.5 גרם שמרי אפייה רגילים, 6.5 גרם סוכר לבן, 4 גרם מלח ו-15 גרם שמן. לחם מועשר בקסילאן הוכן על פי אותו מתכון, כאשר ריכוזי הקסילאן שנבדקו (1%, 5% ו-10%) הוכנסו לתערובת בד בבד עם הורדת הכמות המקבילה מסך כמות קמח החיטה שבמתכון. בעת הכנת הלחם, כל הרכיבים עורבבו ועברו לישה במשך 10 דקות במיקסר ולאחריה הבצק הועבר להתפחה במשך 40 דקות, ובתומה חולק ללחמניות בנות 65 גרם כל אחת. לאחר התפחה נוספת במשך 20 דקות הוכנסו הלחמניות לתנור אפייה שחומם לטמפרטורה 180°C למשך 20 דקות.

### 3.2. מיקרוסקופ אלקטרוני

#### (Scanning Electron Microscope)

גרגרי אבקת הקסילאן המופק מקלחי תירס וכן חתכי הבצקים מטיפולי הלחם השונים, צולמו באמצעות מיקרוסקופ אלקטרוני.

### 4.2. בדיקת נפח לחמניות

לצורך בדיקת השפעת ההעשרה של הקמח בקסילאן על התפחת הלחם בוצעה מדידת נפח הלחמנייה המתקבלת, באמצעות מדידת נפח הכמות העודפת של גרגרי חול אנליטי הנותרים לאחר מילוי נפח סטנדרטי שנמדד מראש ובהשוואה לביקורת. בדיקה זו מבוססת על העיקרון של בדיקת נפח גוף א-סימטרי במים ומבוצעת תוך שימוש בחומר גרגירי יבש שאינו משפיע על

שגרעיני התירס מופרדים מליבת הקלח לצורך השימוש בהם בתעשייה, נותרים הקלחים, העשויים להוות כ-40% מהגידול, כשארית של התהליך ולרוב מנוצלים למטרת הזנת בעלי חיים בלבד (Millati et al., 2019). במדינות מסוימות ניצול שארית זו מורחב וכולל שימוש לייצור אתנול, דלקים ביולוגיים ותעשיות כימיות נוספות (Mhetras, Mapre & Gokhale, 2019). מבחינת ההרכב המאקרומוולקולרי של קלחי תירס, אפשר לחלקו לתאית (צלולזה), המיצלולוזה וליגנין (Ebringerová & Heinze, 2000). המיצלולוזה היא המשפחה של פולימרים צמחיים הנפוצה בטבע לאחר משפחת הצלולוזות (התאית) ומשמשת בבניית דופן התא הצמחי (Holtzapfle, 2003). בניגוד לתאית, הבנויה משרשראות הומוגניות של יחידות גלוקוז, המיצלולוז מורכב משרשראות הטרוגניות של פוליסכרידים המכילים סוכרים שונים, ומכאן שמבנה המיצלולוז נתון לשונות בין מיני הצמחים השונים (Farhat et al., 2017).

ההמיצלולוז קסילאן (Xylan) נחשב לאחד הפולימרים הביולוגיים הנפוצים בעולם הצומח (Yang et al., 2005). המיצלולוז זה הוא העיקרי בקלח התירס (שְׁזָרָה פנימית) ומהווה כ-20%-25% ממשקלו היבש (Akpınar, Erdogan & Bostancı, 2009). קסילאן בנוי משרשראות בסיס (backbone) המורכבות בעיקר מיחידות של Xylose (בקשרי 1-4-β) עם הסתעפויות של סוכרים נוספים הכוללים Glucose, Arabinos, Galactose, Mannose, וחומצה גלוקורונית (Lee, Hamid & Zain, 2014). תכולת הקסילאן והרכבו בצמחים בכלל ובקלחי תירס בפרט עשוי להשתנות בהתאם לצמח המקור ולשיטת המיצוי (da Silva et al., 2012). בספרות המדעית קיימות מספר עבודות המצביעות על תכונות פיזיכימיות של קסילאן המקנות לו התאמה גבוהה למגוון שימושים, ומייחסות לו פוטנציאל יישומי בעל ערך רב בתעשיות המזון, תוספי תזונה ותעשיית התרופות (Farhat et al., 2017; Aachary & Prapulla, 2017; Buruiana et al., 2011). מטרת עבודה זו הן הפקת קסילאן מקלחי תירס, אפיונו ובחינת השימוש בו במודלים נבחרים של מוצרי מזון בהיבט הטכנולוגי והתזונתי.

## 2. שיטות וחומרים

קלחי תירס התקבלו מחברת זנלכל בע"מ (במסגרת שיתוף פעולה מחקרי בתחום). אנזימים וערכות לבדיקת תכולת סיבים תזונתיים נרכשו מחברת סיגמה (Sigma-Aldrich, Israel).

והתערובת עברה לאינקובציה ב-37°C למשך 10 דקות. הבליעה האופטית נמדדה ב-595nm, והתוצאות כוילו בהתאם לסדרת ריכוזים של סטנדרט Trolox.

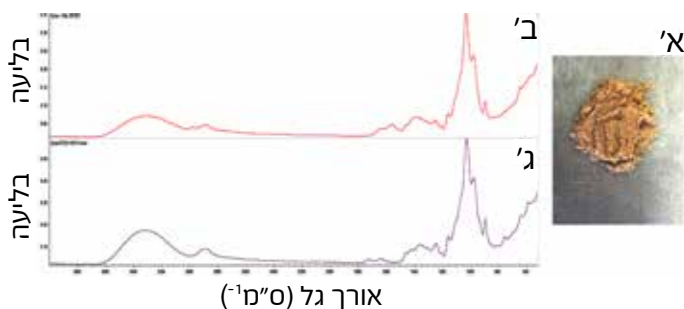
## 9.2. ניתוח סטטיסטי

מכל ניסוי בוצעו ארבע חזרות, והתוצאות נותחו סטטיסטית בניתוח שונות (Anova), כאשר השוואת ממוצעים בוצעה במבחן Tukey-HSD באמצעות תוכנת SPSS (IBM SPSS statistics 27). הנתונים מוצגים כממוצע  $\pm$  שגיאת התקן, סימון טיפולים באותיות שונות מצביע על הבדלים מובהקים ברמת מובהקות  $p \leq 0.05$ .

## 3. תוצאות

### 1.3. הפקת קסילאן מקלחי תירס וספקטרוסקופיית FT-IR

תהליך הפקת הקסילאן מקלחי תירס עבר מספר אופטימיזציות (התהליך המלא חסוי לפרסום) שבסופן הובילו לקבלת תוצר אבקתי בגודל חלקיקים שעבר ניפוי בנפת 50 מיקרון ובניצולת של 18% מקלחי תירס יבשים (איור 1 - א'). על מנת לאמוד את הצלחת תהליך ההפקה ואת מידת ניקיון החומר, תוצר ההפקה עמד בהשוואה אנליטית מול סטנדרט מסחרי של קסילאן. תוצאות האנליזה של התוצר בספקטרוסקופיית FT-IR מצביעה על דמיון רב לסטנדרט המסחרי, כאשר מידת הקורלציה (QCheck) המתקבלת בין ספקטרוסקופיית תוצר ההפקה (איור 1 - ב') לבין זו של הסטנדרט המסחרי (איור 1 - ג') הינה 90% על כל טווח מספרי הגל הנבדק ( $4000\text{--}550\text{cm}^{-1}$ ). בחינת הקורלציה בטווח מספרי הגל שבהם הבליעה האופיינית והעיקרית לקסילאן ( $800\text{--}1200\text{cm}^{-1}$ ) מצביעה על ערך 93%.



איור 1: אבקת קסילאן המופק מקלחי תירס (א') וספקטרוסקופיית FT-IR עבור האבקה המופקת במעבדה (ב') לעומת סטנדרט מסחרי של קסילאן (ג').

המזון הנבדק ומאפשר את השימוש באותה דוגמה לביצוע בדיקות ואנליזות נוספות.

## 5.2. בדיקת מרקם

בדיקת פרמטרים הקשורים למרקם הלחם בוצעה על ידי אנליזת פרופיל מרקם (Texture Profile Analysis), באמצעות מד מרקם המיועד לבדיקת חוזק מכני של מוצרי מזון במדידות שונות (Texture Analyzer, LLOYD Instruments, AMETEK Inc).

## 6.2. כלל סיבים תזונתיים (Total Dietary Fibers)

תכולת כלל הסיבים תזונתיים (TDF) נקבעה על פי השיטה הרשמית של האיגוד הבינלאומי לכימאים (AOAC, Official method 985.29). השיטה מבוססת על הידרוליזה אנזימטית של הדוגמה באמצעות ערכה אנזימטית ייעודית, שיקוע גרביטציוני של הסיבים התזונתיים (החלק שאינו מתפרק בתהליך) וחישוב תכולת הסיבים לפי המשקלים המתקבלים.

## 7.2. תכולת חלבון כללית

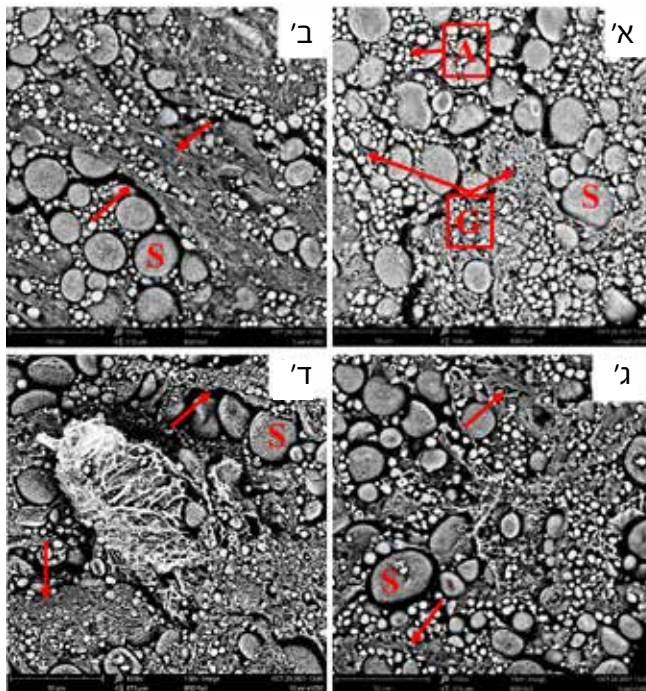
כימות החלבון בוצע לפי תכולת כלל החנקן על פי שיטת קלדהל (Sáez-Plaza et al., 2013).

200 מ"ג מהדוגמה עברו לאינקובציה ללילה עם חומצה גופרתית, חוממו ב-275°C למשך 30 דקות, ומי חמצן ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) הוספו להשלמת תהליך העיכול. לאחר התקררות הדוגמאות, הן הועברו לזיקוק האמוניה עם תמיסה אלקלית (NaOH, 38%) למשך 4 דקות במכשיר FOSS (FOSS Kjeltect<sup>TM</sup> 8100, Hillerød, Denmark), והתזקיק נאסף לארלנמייר עם חומצה בורית (4%) ואינדיקטורים כתמיסת קיבול. התזקיק טוטר עם תמיסת HCl (0.1 N), חושבה כמות החנקן בדוגמה וכן כמות החלבון, תוך שימוש בפקטור ההמרה 6.25.

## 8.2. הערכת פעילות נוגדת חמצון במדידת Ferric Reducing Ability of Plasma

היכולת האנטיאוקסידנטית של הדוגמאות נבחנה בשיטת FRAP (Benzie & Strain, 1996). ריאגנט FRAP הוכן על ידי ערבוב בופר אצטט המהול בתמיסת HCl (40 mM) ו- $\text{FeCl}_2$  (20 mM) ביחסים 1:1:10. בהתאמה. 200 מיקרוליטר של מיצוי אלכוהולי מהדוגמה נמהלו עם 200 מיקרוליטר מים מזוקקים ו-3 מ"ל ריאגנט FRAP טרי,

3 - א'). עם העלייה באחוז הקסילאן בבצק, מבחינים בירידה עקבית בתכולת גרנולות העמילן ובוועיות האוויר, ובמקביל נצפית עלייה במבנים חוטיים מוארכים ההולכים ומתעבים עם עליית ריכוז הקסילאן ומייצגים את הסיבים הנוספים לבצק (מסומנים בחצים באיורים 3 - ב', ג' ו-ד'). בבצק מטיפול ה-5% קסילאן מבחינים שהרשת הגלוטנית שתוארה לעיל הולכת ומצטמצמת לאזור ממוקד על פני השטח (איור 3 - ג'). אפקט זה נראה ביתר שאת בבצק מטיפול 10% קסילאן, מה שמצביע על הפרעה ברורה להתפתחות רשת זו בבצק בנוכחות הקסילאן (איור 3 - ד').

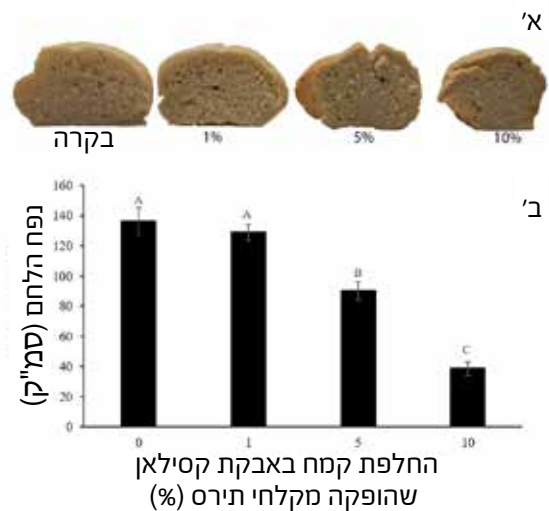


**איור 3:** צילומי מיקרוסקופ אלקטרוניים (SEM) של דגימות בצק מהטיפולים השונים של ריכוזי קסילאן בקמח: ביקורת (א), 1% (ב'), 5% (ג') ו-10% (ד'). הצילומים נלקחו בהגדלה פי 1550.

לאחר הכנת הלחמים הם הועברו לבדיקה במכשור ייעודי לאנליזת מרקם המזון. מהתוצאות עולה כי העלייה באחוז הקסילאן בלחם מלווה בעלייה מובהקת במידת היציבות של המרקם (Gumminess) והקשיות שלו (Hardness) שניתנת לתיאור על ידי מדידת הכוח שיש להפעיל על המזון בנגיסה הראשונה (איורים 4 - א', ב'). במקביל נראתה ירידה במידת האלסטיות (Springiness) של הלחם עם העלייה באחוזי הקסילאן, ערך שמודד את יכולת הלחם לחזור למידותיו

### 2.3. הכנת לחם מועשר באבקת קסילאן מקלחי תירס, אפיונו ומדידת תכונותיו הפונקציונאליות

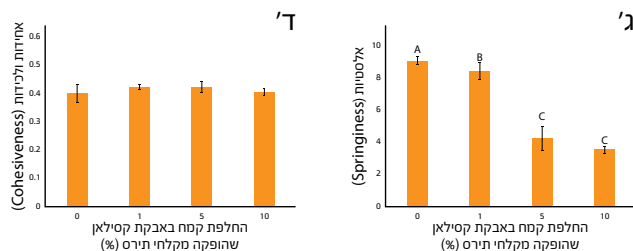
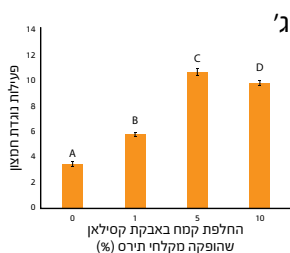
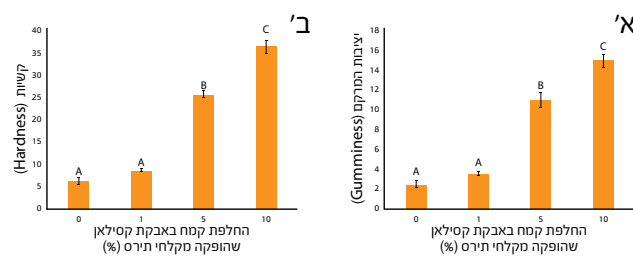
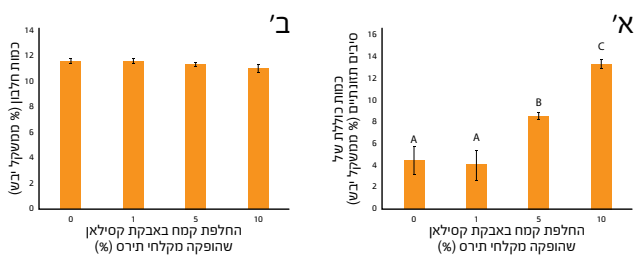
העשרת הקמח באבקת קסילאן מקלחי תירס הובילה לשינויים בלחם המופק, במיוחד בטיפול ההעשרה ב-5% וב-10%. מבחינה חיצונית נצפתה ירידה בגודל הלחמנייה ובאחידות צורתה, מה שמצביע על פגיעה במהלך התפיחה. הסתכלות על חתך רחב של הלחמניות מראה על עלייה בצפיפות המרקם הפנימי של הלחם עם העלייה באחוז הקסילאן בקמח, זאת לצד עלייה קלה בכמות צבע הלחם בחלקים החיצוני והפנימי (איור 2 - א'). תצפית זו התכתבה עם מדידת נפח הלחמנייה בכל אחד מהטיפולים, אשר בהם נצפתה ירידה בנפח עם העלייה באחוז הקסילאן ל-5% ול-10% מכלל הקמח (איור 2 - ב').



**איור 2:** צילום חתך רחב לפרוסות לחם (א') ותוצאות מדידת נפח הלחם המתקבל (ב') מהטיפולים השונים. הנתונים מוצגים כממוצע  $\pm$  שגיאת התקן, אותיות שונות מעל העמודות מצביעות על הבדלים מובהקים בין הטיפולים

ברמת מובהקות  $p \leq 0.05$ .

במהלך הכנת הלחמים, נדגמו הבצקים מהטיפולים השונים והועברו להסתכלות במיקרוסקופ אלקטרוניים סורק (איור 3). בצילום בצק הביקורת מופיעות גרנולות העמילן כעיגולים גדולים ומעט כהים (מסומנות באות S באיורים). כמו כן אפשר להבחין בבוועיות הגז (אוויר) הכלוא במרקם הנראות ככדוריות קטנות ולבנות (מסומנות באות A באיור 3 - א'), והרשת הגלוטנית מופיעה כמעין שערות בצבע לבן על פני המרקם (מסומנות באות G באיור



**איור 5:** תוצאות מדידים תזונתיים של הלחמניות מהטיפול השונים של ריכוזי קסיליאן א. כמות כוללת של סיבים תזונתיים, ב. כמות חלבון, ג. פעילות נוגדת חימצון. הנתונים מוצגים כממוצע  $\pm$  שגיאת התקן, אותיות שונות מעל העמודות מצביעות על הבדלים מובהקים בין הטיפולים ברמת מובהקות  $p \leq 0.05$ .

**איור 4:** תוצאות אנליזת המרקם (TPA) של הלחמים מהטיפולים השונים של ריכוזי קסיליאן: א. יציבות המרקם, ב. קשיות, ג. אלסטיות, ד. אחידות ולכידות. אותיות שונות מעל העמודות מצביעות על הבדלים מובהקים בין הטיפולים ברמת מובהקות  $p \leq 0.05$ .

חלקי ולא יעיל (Millati et al., 2019). לבחינת פוטנציאל השימוש בביומסות מעין אלו עשויה להיות תרומה משמעותית בכמה רבדים וכיוונים, הן מהפן הכלכלי, בשל הגברת ערך השרשרת החקלאית והתעשייתית (Akpınar et al., 2009), והן מבחינת ניצול רכיבי מזון פונקציונליים המיטיבים לבריאות, לצד היתרונות הסביבתיים והאקולוגיים המעודדים תעשייה בת קיימא (Farhat et al., 2017).

המקוריות בעקבות לחיצה מכנית (איור 4 - ג'). עם זאת לא נצפה כל הבדל בין הטיפולים מבחינת אחידות המרקם והתלכדות רכיביו (Cohesiveness) (איור 4 - ד').

### 3.3. בחינת מדידים תזונתיים בלחמים מועשרים בקסיליאן מקלחי תירס

קלחי תירס מהווים אחת הדוגמאות לפחת חקלאי שניתן לייעל את ניצולו לתעשיות שונות (Mhetras et al., 2019). זאת בשל הכמות האדירה של שארית זו המצטברת מידי שנה והתאמתה למגוון רחב של שימושים (FAO, 2019; Millati et al., 2019). העבודה הנוכחית, לצד עבודות נוספות המתקיימות במעבדתנו מצביעות על יישום נוסף וחשוב לשארית זו בתחום המזון והתזונה. תהליך ההפקה שפותח מאפשר הפקה של פרקציה המיצלולוזית שימושית בניצולת גבוהה המוערכת ב-18% מהביומסה היבשה. ניצולת זו נמצאה קרובה לטווח תכולת החומר בקלחי תירס המדווחת בספרות, 20%-25% (Akpınar et al., 2009). מעבר לניצולת הגבוהה, רמת הניקיון של התוצר כפי שמשקפת מאנליזת FT-IR ובהשוואה לסטנדרט מסחרי של קסיליאן נמצאה גבוה מאוד (איור

העשרת הקמח בקסיליאן הובילה לעלייה ברורה ומובהקות בתכולת הסיבים התזונתיים בלחם הנוצר (איור 5 - א'). עלייה זו ביחס ללחם הביקורת מגיעה ליותר מפי 2 ו-3 בלחמים המועשרים ב-5% וב-10% קסיליאן, בהתאמה. במקביל לא נצפתה פגיעה בתכולת החלבון בלחמים המועשרים והיא נשארה תואמת לתכולה הצפויה בקמח רגיל (איור 5 - ב'). מבחינת היכולת הנוגדת חמצון כפי שנבחנה בשיטת FRAP, נמדדה עלייה ב-55% ביכולת זו מהעשרת הקמח ב-1% קסיליאן, וטיפול העשרה ב-5% וב-10% קסיליאן הניבו עלייה של פי 3 בערך ביחס לביקורת (איור 5 - ג').

## 4. דיון ומסקנות

פחמים ושאריות חקלאיים רבים מצטברים כתוצרי לוואי לאורך תהליכי גידול והכנת המזון, לעיתים ללא כל ניצול או בניצול

ובתפקוד תקין של מערכת העיכול וכן משפיעים לחיוב על הערך הגליקמי ועל פרמטרים נוספים בדיאטה (Rosa-Sibakov et al., 2016; Rosicka-Kaczmarek et al., 2016). תכולת הסיבים התזונתיים בלחם שיוצר עלתה באופן משמעותי ותלוי ריכוז כתוצאה מהעשרת הקמח בקסילאן מקלחי תירס (איור 5). נוסף על כך, נצפתה עלייה ברורה ביכולת האנטיאוקסידנטית של הלחם המועשר ביחס לביקורת. יש לציין כי פעילות נוגדת חמצון ופעילויות ביולוגיות נוספות יוחסו לקסילאן בכמה עבודות קודמות (Melo-Silveira et al., 2012; 2019). בהקשר של תכולת החלבון, טיפולי הקסילאן לא נבדלו מלחם הביקורת המכיל כ-12% חלבון בהתאם למה שידוע בספרות בעבור קמח חיטה (Carson & Edwards, 2009). קסילאן, שהינו רכיב המיצלולוזי נטול חלבון, לא יתרום לתכולת החלבון במזון. יתרה מכך, אילו התמרת הקמח הייתה מתבצעת באחוזים גבוהים יותר של קסילאן, היה אפשר אף לשער שתהיה ירידה בתכולת החלבון, מפני שהקסילאן המוסף יחליף קמח חיטה המכיל חלבון באופן טבעי.

לסיכום, ממצאי עבודה זו מצביעים על קסילאן מקלחי תירס כחומר בעל פוטנציאל רב לשימוש בתעשיית המזון ותוספי התזונה. העשרת קמח חיטה בקסילאן הובילה לקבלת לחם בעל ערכים תזונתיים משופרים ומיטיבים לבריאות האדם. עבודות נוספות נדרשות בכיוון זה כדי לאשרר את הממצאים ולבחון אותם במוצרי מזון נוספים (עבודות כאלו ממשיכות להתבצע במעבדתנו). כמו כן, יידרשו תהליכי פיתוח טכנולוגיים כדי ליישם, לייעל ולשפר את השימושים הנ"ל.

## תודות

מחקר זה מומן במסגרת מענק מטעם רשות החדשנות הישראלית, בתוכנית "מגנטון" (תוכנית מספר 62104).

## רשימת ספרות:

Aachary, A.A. & Prapulla, S.G., (2011). [Xylooligosaccharides \(XOS\) as an Emerging Prebiotic: Microbial Synthesis, Utilization, Structural Characterization, Bioactive Properties, and Applications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety](#) 10, 2–16.

1). למיטב ידיעתנו, השוואה מסוג זה טרם אוזכרה בספרות, ולא דווח על רמת ניקיון התוצר בעבודות קודמות.

לחם, הנחשב לאחד ממוצרי המזון הבסיסיים ביותר בעולם (FAO, 2010), ניתן להעשרה תזונתית על ידי שינויים בהרכב הקמחים (Aldmoor, 2012). עבודות אשר בחנו העשרת קמחים באראבינוקסילאן (arabinoxylan) שהופק מדגנים הראו השפעה על התכונות הריאולוגיות (מכניות) של הבצק וכן על התכונות האיכותיות של הלחם הנוצר, שהתבטאו בספיגת מים מוגברת בבצק, בהקטנת נפח ובשינויים בתכונות המרקם (Rosicka-Kaczmarek et al., 2016; Ebringerová & Hromádková, 1999). הממצאים מהעבודה הנוכחית מצביעים על אפקטים דומים, שכן העשרת קמח החיטה באבקת קסילאן מקלחי תירס הובילה לעלייה בדחיסות וצפיפות המרקם ולהקטנת נפח הלחם (איור 2). תוצאה זו נבעה כנראה מפגיעה בפיזור הרשת הגלוטנית והפחתת כליאת אוויר בלחם (Arp et al., 2017). תצפיות אלו התבטאו גם בתמונות המיקרוסקופיות של הבצק שהראו ירידה במספר וגודל גרנולות העמילן וצמצום הרשת הגלוטנית עם העלייה באחוז הקסילאן בקמח (איור 3). בהמשך ישיר לכך, תוספת הקסילאן במקביל לירידה בתכולת קמח החיטה גרמה לעלייה בקשיות הלחם בחלקו החיצוני (Crust) והפנימי ולירידה באלסטיות (איור 4). ממצאים אלו עולים בקנה אחד עם עבודות שבחנו את התכונות הטכנולוגיות והסנסוריות של לחמים מועשרים המוגדרים ומשווקים כלחמי בריאות נטולי או מופחתי גלוטן (Torbica, Belovic' & Tomic', 2019). יש לציין כי הקסילאן בעבודה זו הופק בתנאי מעבדה למטרות מחקריות בלבד ולביסוס האספקטים הטכנולוגיים והתזונתיים. בהמשך המחקר תבוצע הפקת קסילאן בתנאים התואמים לדרישות בטיחותיות להכנת מזון ויבוצעו מבחני טעימה של מוצרי מזון מועשרים בקסילאן על ידי צוות טועמים, כל זאת כדי לבחון את מידת התקבלות המוצרים ואספקטים סנסוריים ואורגנולפטניים נוספים (בדיקת טעם, ריח, צבע ומראה).

נוסף לתכונותיו הטכנולוגיות, קסילאן הוא מקור עשיר לסיבים תזונתיים מיטיבים לבריאות (Aachary & Prapulla, 2011; Buruiana et al., 2017). נוסף על יתרונותיהם הרבים, מסייעים הסיבים התזונתיים בהתפתחות אוכלוסיית חיידקים מיטיבה

- Ebringerová, A. & Heinze, T., (2000). [Xylan and xylan derivatives](#) - biopolymers with valuable properties, 1. Naturally occurring xylans structures, isolation procedures and properties. *Macromolecular Rapid Communications* 21, 542-556.
- Ebringerová, A. & Hromádková, Z., (1999). [Xylans of Industrial and Biomedical Importance](#). *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews* 16, 325-346.
- FAO, [food and agriculture organization of the U.](#), (2021). *Nutrition country profiles: Turkey summary* [WWW Document].
- FAO. (2019). *World Food and Agriculture - Statistical pocketbook 2019*. Rome.
- Farhat, W., Venditti, R.A., Hubbe, M., Taha, M., Becquart, F. & Ayoub, A., (2017). [A Review of Water-Resistant Hemicellulose-Based Materials: Processing and Applications](#). *ChemSusChem* 10, 305-323.
- Holtzapple, M.T., (2003). [Hemicelluloses, in:](#) Caballero, B. (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (Second Edition). Academic Press, Oxford, pp. 3060-3071.
- Lee, H.V., Hamid, S.B.A. & Zain, S.K., (2014). [Conversion of Lignocellulosic Biomass to Nanocellulose: Structure and Chemical Process](#). *The Scientific World Journal* 2014, 1-20.
- Akpınar, O., Erdogan, K., & Bostancı, S. (2009). Enzymatic production of xylooligosaccharide from selected agricultural wastes. *Food and Bioproducts Processing*, 87, 2, 145-151.
- Al-Dmoor, H. M. (2012). Flat bread: ingredients and fortification. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 4, 1, 2-8.
- AOAC *International Official Methods*, 18th Ed. Horwitz, W., ed. AOAC International, Gaithersberg, MD, U.S.A., 2005.
- Arp, C.G., Correa, M.J., Zuleta, Á. & Ferrero, C., (2017). [Techno-functional properties of wheat flour-resistant starch mixtures applied to breadmaking](#). *International Journal of Food Science & Technology* 52, 550-558.
- Benzie, I.F.F. & Strain, J.J., (1996). [The Ferric Reducing Ability of Plasma](#) (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry* 239, 70-76.
- Buruiana, C. T., Gómez, B. & Vizireanu, C. & Garrote, G., (2017). [Manufacture and evaluation of xylooligosaccharides from corn stover as emerging prebiotic candidates for human health](#). *LWT* 77, 449-459.
- Carson, G. R., & Edwards, N. M. (2009). *Criteria of wheat and flour quality*. *Wheat: chemistry and technology*, (Ed. 4), 97-118.
- da Silva, A. E., Marcelino, H. R., Gomes, M. C. S., Oliveira, E. E., Nagashima Jr, T., & Egito, E. S. T. (2012). Xylan, a promising hemicellulose for pharmaceutical use. *Products and applications of biopolymers*, 61-84.

Naidu, D.S., Hlangothi, S.P. & John, M.J., (2018). [Bio-based products from xylan: A review](#). *Carbohydrate Polymers* 179, 28-41.

Rosicka-Kaczmarek, J., Komisarczyk, A., Nebesny, E. & Makowski, B., (2016). [The influence of arabinoxylans on the quality of grain industry products](#). *European Food Research and Technology*. 242, 295-303.

Rosa-Sibakov, N., Hakala, T.K., Sözer, N., Nordlund, E., Poutanen, K. & Aura, A. M., (2016). [Birch pulp xylan works as a food hydrocolloid in acid milk gels and is fermented slowly in vitro](#). *Carbohydrate Polymers* 154, 305-312.

Sáez-Plaza, P., Navas, M. J., Wybraniec, S., Michałowski, T., & Asuero, A. G. (2013). An overview of the Kjeldahl method of nitrogen determination. Part II. Sample preparation, working scale, instrumental finish, and quality control. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 43, 4, 224-272.

Torbica, A., Belović, M. & Tomić, J., (2019). [Novel breads of non-wheat flours](#). *Food Chemistry* 282, 134-140.

Yang, R., Xu, S., Wang, Z., & Yang, W. (2005). Aqueous extraction of corncob xylan and production of xylooligosaccharides. *LWT-Food Science and Technology*, 38, 6, 677-682.

Melo-Silveira, R.F., Viana, R.L.S., Sabry, D.A., da Silva, R.A., Machado, D., Nascimento, A.K.L., Scortecchi, K.C., Ferreira-Halder, C.V., Sasaki, G.L., & Rocha H.A.O., (2019). [Antiproliferative xylan from corn cobs induces apoptosis in tumor cells](#). *Carbohydrate Polymers* 210, 245-253.

Melo-Silveira, R. F., Fidelis, G. P., Viana, R. L. S., Soeiro, V. C., Silva, R. A. D., Machado, D., & Oliveira Rocha, H. A. (2014). Antioxidant and antiproliferative activities of methanolic extract from a neglected agricultural product: corn cobs. *Molecules*, 19, 4, 5360-5378.

Melo-Silveira, R.F., Fidelis, G.P., Costa, M.S.S.P., Telles, C.B.S., Dantas-Santos, N., de Oliveira Elias, S., Ribeiro, V.B., Barth, A.L., Macedo, A.J., Leite, E.L. & Rocha, H.A.O., (2011). [In Vitro Antioxidant, Anticoagulant and Antimicrobial Activity and Inhibition of Cancer Cell Proliferation by Xylan Extracted from Corn Cobs](#). *International Journal of Molecular Sciences* 13, 409-426.

Mhetras, N., Mapre, V., & Gokhale, D. (2019). Xylooligosaccharides (XOS) as emerging prebiotics: its production from lignocellulosic material. *Advances in Microbiology*, 9, 01, 14.

Millati, R., Cahyono, R. B., Ariyanto, T., Azzahrani, I. N., Putri, R. U., & Taherzadeh, M. J. (2019). Agricultural, industrial, municipal, and forest wastes: *An Overview. Sustainable resource recovery and zero waste approaches*, 1-22.



## מן המאמר אל שדה ההוראה

אינטגרציה של היבטים סביבתיים וחברתיים בהוראה- למידה של נושא ההזנה היא הכרח כדי לפתח אוריינות מדעית טכנולוגית אצל הלומדים ולהגביר את העניין שלהם בלימודי המדעים.

המאמר "זיהוי חומרים פונקציונליים בקלחי תירס, פיתוח תהליכי הפקתם ויישומים פוטנציאליים במזון" הוא דוגמה למחקרים ותהליכים טכנולוגיים שבאים להשתמש בפחת חקלאי, למנוע את השלכתו כפסולת ואף תורמים להשבחת מזונות באמצעות החומרים המופקים ממנו.

מחקר ופיתוח טכנולוגי זה תואמים את המגמה העולמית ואת התוכנית הלאומית לצמצום אובדן מזון. חשוב לעסוק במסגרת לימודי ההזנה גם בהיבטים אלו של צמצום אובדן מזון וניצול הפחת החקלאי. נושאים אלו יכולים להיות תשתית לביצוע עבודות חקר, פתרון בעיות טכנולוגיות והגברת מעורבות ופעילות חברתית בנושא. ניתן לעודד תלמידים לחקור והציע פתרון מה לעשות עם פחת מזון שנמצא בבתייהם או עומד להזרק לאשפה בבית הספר בנושאים אלו כדאי ליזום שותפויות עם גורמים בקהילה העוסקים אף הם בנושא ולשתף את התלמידים במיזמים משותפים עמם. תוכלו למצוא דוגמאות במאמרו של יאיר בן חורין בגליון זה.

כמו כן, ניתן המאמר דוגמה טובה ומפורטת לאופן ביצוע ודיווח על מחקר וניתן לפשטו, לעיין בו בקטעים ולהציגו בשפת מיומנויות החקר המוכרות ללומדים:

1. אלו שני תהליכים מרכזיים בוצעו על ידי החוקרים על פי שמתואר במאמר?
  - א. הפקת הקסילאן מקלחי התירס לרמת נקיון ובטיחות הראויה למאכל
  - ב. בדיקת היתכנות הוספת הקסילאן למזונות וחקר השפעתו על איכות המזונות (במקרה זה לחם)
2. בחלק המחקרי של המאמר ניתן לבקש מן התלמידים לזהות את:
  - על אלו שאלות חקר החוקרים ניסו לענות?
  - מה היה הגורם המשפיע/ משתנה בלתי תלוי בחקר?
  - מה היו הגורמים המושפעים/משתנים תלויים?
  - מה היתה הבקרה בחקר?
  - כיצד דווחו התוצאות? ניתן לחלק את סוגי התוצאות לכרטיסים נפרדים ולחלק את הכרטיסים לקבוצות שונות של תלמידים. כל קבוצה תנתח את הגרף/ צילום ותתאר במלים את התוצאות ותסיק מסקנה מן התוצאה תוך ניסוח טיעון מלא. תוצרי כל הקבוצות יועלו ללוח דיגיטלי שיתופי ויחד תדון הכיתה במענה לשאלות ומטרות החקר.
  - מהן המסקנות אליהן הגיעו החוקרים? במה הן דומות או שונות מאלו שנסחו התלמידים?

