

א. תקציר

מאמר זה עוסק בטכנולוגיה שהייתה ידועה לפני כאלפיים שנה, ומאז שחרב בית מקדשנו עברה ובטלה. סוד טכנולוגי זה עבר בירושה אצל משפחת בית גרמו.

המוצר - לחם הפנים; עוביו כעובי לחם, עמידותו - שבוע ומעלה, אמנם בתנאי לחות נמוכה. זאת למרות שאין בו שמרים או תוספים אחרים.

בעבודה זו אנו באים להתחקות אחר שיטות העבודה והאפייה של לחם הפנים, על פי מקורות תורניים; זאת, תוך מתן משמעות וביטוי למונחים לא מדעיים כדי להכניסם למסגרת מדעית.

התחום הוא התיישנות הלחם - נושא שנלמד ונחקר רבות, ומסתבר שהיה לו פיתרון בימים קדומים. פיתרון זה כנראה היה יקר לביצוע רב היקף באותם ימים, אך ייתכן שהיום ניתן לראות בו פיתרון בקנה מידה רחב ובעלות מועטת יחסית.

מרכיבי המחקר שנבדקו:

1. רמת הלחות בבצק

יש להתאים את רמת הלחות בבצק - מצד אחד על מנת שהלחם יהיה אכיל יותר מאשר מצה סטנדרטית, ומצד שני, לחות שלא תביא את הלחם להתיישנות מהירה. מסתבר שמזג האוויר לא היה גורם משפיע בתכנון רמת פעילות המים (aw), כיוון שבמשך שבוע הלחות והטמפרטורה יכולות להשתנות שינוי קיצוני ממזג אוויר שרבי לגשם עז. מכל מקום, המוצר צריך להתחיל מנקודת מוצא המתאימה יותר ליובש האופייני לאיזור ההר. יש צורך למצוא איזון בין אחוז נוזלים התחלתי בבצק לעומת המוצר הסופי.

2. עובי הלחם וחלקיו

נבדק מהו עובי הלחם הבסיסי ששימש בקודש; כמובן, לעובי יש חשיבות. גם לגבי מרכיביו - האם רובו היה 'קרומ' או 'תוך' (קרומ - crust; תוך הלחם או פנים הלחם - crumb) לעניין צורת אפייתו.

נחקרו התוספים ששימשו לייצור לחם הפנים, מבחינת מניעת עיפוש וסיוע לתפיחה. נשללו לשימוש תוספים שהיו אסורים לשימוש בבית המקדש לצורך לחם הפנים, כמו סוכר האסור מצד "דבש" ושמרים האסורים מצד היותם "שאור". לעניין התוספים, אם נמצא תוסף חדש המצוי בשימוש היום, אין מניעה מלהשתמש בו אם הוא עונה על קריטריונים הלכתיים של 'כשר לפסח'. [1] נבדק גם סוג הקמח שהיה בשימוש, האם מדובר בקמח או בסולת.

3. אפייה בפועל

נעשו ניסיונות מקדימים באפייה לצורך הכרת החומר, רמת הלחות וצורת האפייה, וניתנו אפשרויות אפייה להמשך המחקר בתקווה למצוא את לחם הפנים העתידי שעליו נוכל לומר - 'כזה ראה וקדש'.

ב. מבוא

ננסה לסקור את המוצר כפי שהיה בעבר, על פי הספרות התורנית. תיאורים אלו אינם מדעיים, אולם אין בידינו תיאור טוב יותר. יש לציין שבגלל ייחודיות המוצר לא נמצאו ניסיונות מקבילים; התייחסנו גם למאמרים עדכניים ולפתרונות שהוצעו לבעיה הכללית של התיישנות לחם (Staling of bread).

כמו כן, נעשה בירור האם בוצע מחקר על אופיו של לחם הפנים לצורך יישום בעת החדשה, ומסתבר שמחקר זה הוא בעל זכות ראשונים. התחלתי את הסקירה מתוך הספרות התורנית על מנת שנבין מהו המוצר שאותו אנחנו מחפשים.

כתוב בתורה, בפרשת תרומה:

ונתת על השלחן לחם פנים לפני תמיד (שמות כ"ה ל).

תיאור מפורט יותר מצינו בפרשת אמור:

ולקחת סלת ואפית אתה שתיים עשרה חלות שני עשרנים יהיה החלה האחת, ושמת אותם שתיים מערכות שש המערכת, על השלחן הטהור לפני ה'... ביום השבת ביום השבת יערכנו לפני ה' תמיד... (ויקרא כ"ד ה-ח).

ממקורות אלו עולות מספר נקודות:

א. לחם הפנים עשוי מסולת (משמעות הסולת המקראית תידון בהמשך).

ב. נפח החלה הוא שני עשרונים; [2] שתיים עשרה חלות כאלה נאפו בכל ערב שבת. ממקורות נוספים אנו לומדים שהאפייה היא של שתי חלות בתנור בכל פעם. [3] הכנתם הסתיימה בערב שבת, ואסור היה לאפות אותן בשבת. [4]

ג. מהמקורות עולה שהלחם היה נאכל אחת לשבוע על ידי הכוהנים העובדים במקדש, ביום השבת (שהרי לחם הפנים חייב להיות מונח על השולחן מיום שבת ליום השבת שלאחריו). כידוע, אסור לחמם ולבשל ביום השבת. בזמן עמידת הלחם משבת לשבת, חלים בו תהליכים של התיישנות ומעבר ממבנהו האמורפי הבלתי מסודר למבנה גבישי, לאחר ג'לטיניזציה. [5] (תופעה זו גורמת לכך שלחם מתקשה זמן-מה לאחר אפייתו, בתהליך הנקרא רטרוגרדציה [Retrogradation]).

אילו הייתה אפשרות לחמם את לחם הפנים בטרם אכילתו לטמפרטורות גבוהות מעל שישים מעלות, היה העמילן הגבישי שב לצורה האמורפית ומקבל מרקם רך טוב יותר, אך הדבר איננו מתאפשר בשבת. הטיפול היחיד שהלחם עובר בשבת לפני אכילתו היה מעבר משולחן פנימי לשולחן חיצוני, כך שאין לייחס את העדויות על טריות הלחם לשינוי במבנה מרכיביו אלא לגורם יסודי יותר.

עדות לכך שהלחם אכן נשאר טרי, מובאת בספר שמואל:

ויתן לו הכהן קדש כי לא היה שם לחם כי אם לחם הפנים המוסרים מלפני ה' לשום לחם חם כיום הלקחו (שמואל-א כ"א ז).

מדברי הפרשנים עולה, שהלחם היה טרי ביותר ביום שבו נאכל (יותר משבוע לאחר אפייתו). ההרגשה הייתה כאילו רק עכשיו יצא מן התנור. כדברי רבי יהושע בן לוי (כמאתיים וחמישים שנה לאחר חורבן הבית) - 'נס גדול נעשה בלחם הפנים, סילוקו כסידורו', וראייתו מהפסוק דלעיל. [6]

מהי משמעות הביטוי 'לחם חם'? אם משייכים זאת לנס, הרי שפירושו חם ממש. [7] אך אפשר לפרש גם באופן שונה; נרצה לבאר ש'חם' פירושו טרי. נוכל להראות זאת מן המשנה הבאה:

הלוקח מן הנחתום, מעשר מן החמה על הצוננת ומן הצוננת על החמה (דמאי, פ"ה מ"ג).

ניתן להבין מכאן שחם היינו טרי, וכפי שמוסבר ב"שיטה מקובצת": "חם - לעניין שהיה רך". מכאן גם יסוד לדברינו, שיש באפיית לחם הפנים שיטה או חומר ששימשו בסיס למניעת התיישנות הלחם. שיטה זו היא אתגר גם בימינו, והלוואי ונצליח ליצור לחם שיישאר חם, דהיינו טרי, לאחר שבוע ימים.

הרכב

בשם לחם הפנים יש הטעיה מסוימת. מדובר בלחם, אך התורה אוסרת על הקטרת חמץ. [8] אם כן, אין זה לחם ממש אלא מה שאנו מגדירים היום מצה. נאסר חמץ - חומר התסיסה של הלחם על ידי תוספת שמרים, ונאסר שאור - היינו הכנת בצק, השהייתו לפעילות של שמרים לזמן ארוך והחזרתו לעיסה.

ללחם זה כמובן לא הוכנס סוכר, אשר אסור לשימוש במקדש, כפי שכבר נכתב לעיל.

אי מציאות פעילות שמרים יוצרת בעיה; מכיוון שאין פעילות אנזימטית של [\[9\]](#) Glucosidase אין שיפור נפח על-ידי גז CO_2 , כך שצריך למצוא מרכיב או גורם אחר לשיפור הנפח הסגולי.

המצה כיום מורכבת משני גורמים עיקריים: קמח לבן ומים פושרים. [\[10\]](#) המים הפושרים באים לסייע על מנת שלא להחמיץ את העיסה (השפעה הפוכה מזו שאנו מעוניינים בה בלחם. גם בשיטת האפייה הקיימת כיום שמקורה באנגליה, שיטת ה-chorlywood מוסיפים מים פושרים, אך זאת על מנת להגיע לטמפרטורה אופטימלית לפעילות השמרים שהיא כשלושים מעלות, ואילו כאן באפיית מצה אנו מעוניינים להגביל את פעילות שמרים). [\[11\]](#) לא ידוע על מרכיבים נוספים. עקרונית, לא שללנו שימוש בתוספים אחרים שהיו קיימים בתקופה ההיא.

תוספים נוספים אפשריים

א. שמן - השמן שהיה בשימוש במקדש הוא שמן הזית. עם זאת, לא נזכר בתורה ובהלכה שהיה שמן בלחם הפנים, אף שבמנחות אחרות מפורש בתורה שהיה שמן. שמן היה יכול לסייע כמעטב התיישנות ובשמירה על מצב הבצק. השמן יכסה שטחים דקים של חלבון החיטה - הגלוטן, ובכך הוא יעכב את מעברי המים בתוך הלחם ואת בריחתם אל מחוץ ללחם. אמנם חלק מתהליך ההתיישנות קשור בשינוי בפעילות המים בין תוך הלחם לקרום הלחם, והשמן עשוי לעכב זאת, אך כאמור, לא נראה שהיה שמן בלחם הפנים.

ב. משפרי אפייה - לא ידוע על שימוש במשפרי אפייה, אך ייתכן שהיה שימוש בסיד כמשפר נפח סגולי של הלחם. לא הגבלתי את עצמי בשימוש במשפרי אפייה, כפי שאומרת הגמרא - "כל מה שברא הקב"ה לכבודו ברא". [\[12\]](#)

לצורך כך, ראוי להקדיש מחקר חדש לגבי תוספת חומרים חדשים העונים לדרישות ההלכה מבחינת כשרות (ובפרט - כשרים לפסח), שרצוי ואפשר להשתמש בהם (במחקר עצמו ניתן להשתמש גם בתוספים שאינם כשרים, ובלבד שנוכל למצוא להם תחליפים כשרים).

סוג הקמח

בימינו מגדלים בארץ חיטים מזנים שונים. מדובר בעיקר בשני מינים של חיטה רכה *Triticum* וחיטה קשה *Triticum durum*. גם בזמן המשנה ידעו על ההבדלים בין סוגי החיטה, ובמדרש נמסר על חמש מאות מיני חיטה שהיו ידועים לחז"ל. לבית המקדש העדיפו אספקת חיטה מאזורים מסויימים כפי שנאמר - 'מכמס ומזוניחה אלפא לסולת' (מנחות פ"ח מ"א). אלפא פירושו סוג א', אבל לא ידוע לנו מהם יתרונותיה של החיטה ממקומות אלו.

על פי מחקרים של פרופסור יהודה פליקס [\[13\]](#) ופרופסור מרדכי כסלו, [\[14\]](#) החיטה המסורתית בארץ ישראל בתקופה העתיקה היא החיטה הקשה. יתרון חיטה זו הוא בכך שהיא עשירה בגלוטן, ולחוזק המכני יש פוטנציאל גבוה יותר. עקב כך, יצירת הרשת הגלוטנית חזקה יותר.

לאחר ו' בסיוון, השתמשו למנחות, ובכללן לחם הפנים, רק בחיטה החדשה. חיטה חדשה פירושה שהקמח הוא קמח טרי, קמח שלא עבר קישוש (Aging), ולכן המבנה הרשתי של הגלוטן חלש יותר (למרות היתרון הבסיסי הנובע מהיותו מיוצר מחיטה קשה). מכאן שלא יהיה לבצק שיווצר מקמח זה חוזק מכני, ולא יהיה חֲזֻק גז [\[15\]](#) במקרה של שימוש באבקת אפייה [\[16\]](#) (ניתן להניח שלא הוסיפו מלחים מחמצנים לצורך זירוז הקישוש).

מתוך גישה זו של אי אחידות הקמח במשך השנה, וידיעה על מרחב האפשרויות בסוג הקמח, לא חקרנו מיקרו-חלקיקים שייכתן והיו בחיטה ואינם בחיטים שלנו היום, והם שסייעו לאי-התיישנות הלחם. כמו כן, לא בחרנו בכיוון מחקר של סוג הקמח וההשפעות הנובעות ממנו לעניין התיישנות הלחם.

יש בעייתיות בקמח המשווק לעניין ניסוי זה, כיוון שקמח זה עובר טיפול השרייה לפני הטחינה, טיפול המקטין את הפגיעה בגרנולה; ואילו הקמח שאנחנו צריכים הוא קמח למצות (בקמח זה יש פגיעה גבוהה יותר בגרנולה - הוא סופח יותר מים בלישה אך אינו מחזיק את המים והלחם מתכווץ, וזהו עמילן ניזוק [Damaged starch]). [17]

שני גורמים אלו: החיטה הטרייה והקמח שספג פגיעה מכנית בטחינה, מביאים למסקנה שהקמח היה קמח חלש. נקודה זו מכבידה עלינו קצת בכיוון המחקר, כיוון שכשאופים לחם מקמח חלש מתקבל בצק בעל חוזק מכני נמוך, ספיגת המים שלו נמוכה והנפח הסגולי נמוך. אנו מעדיפים מוצר בעל נפח סגולי גבוה, אף על פי שהוא מצה.

משמעות הסולת

מהי הסולת: האם קמח או סולת כפי הידוע לנו היום? במילון אבן שושן בערך 'סולת' מבואר: "סולת - קמח חיטה שנתקבל לאחר ניפוי בכמה נפות, קמח לבן מובחר". דבריו מבוססים על המשנה שאומרת: "לחם הפנים היה מנופה באחת עשרה נפה" (מנחות פ"ה מ"א-מ"ה).

על פי זה הבנתי שהסולת מתקבלת לאחר הנפה האחת עשרה, והיא הקמח המובחר, דק ונקי מכל סובין וגרגירים שלא נטחנו היטב. על בסיס זה נערכו הניסויים הראשונים. יתרון הקמח - טחינה דקה ומשובחת. זהו הקמח השימושי כיום לאפיית לחם, וסביר שכך היה גם בתקופת המקרא. הקמח מאפשר את יצירת הרשת הגלוטנית ואפשרות קשירת (אחזקת) מים.

לאחר שיחה עם פרופסור יהודה פליקס ופרופסור מרדכי כסלו, אמרו שניהם בפשטות, שהסולת היא פחות או יותר הסולת של היום דהיינו: 'קמח חיטה גרוסה'. [18] כך גם מסביר פרופסור חנוך אלבק בפירושו למשניות (1953). כך כותב גם ר' עובדיה מברטנורה (1500):

סלת - לאחר שמוציאים את הסובין ואת המורסן (= הפסולת הגסה של הקמח) מן הקמח הנטחן, נשאר הקמח הדק עם הסלת הגסה, והוא החשוב, מעבירין אותו בנפה דקה מאוד ויורד ממנו כל אותו קמח הדק שהוא כעין עפרורית לבנה, ונשאר הסולת הגסה החשוב (פירוש הרע"ב, אבות פ"ה מ"ח).

לחם הפנים עשוי מסולת. יתרון הסולת - כנראה בטעמה, והיא שימשה גם במנחות אחרות - 'סולת בלולה בשמן למנחה', הקוסקוס. הסולת מהווה את החלק הטוב שבקמח, בגלל שהיא מכילה יותר גלוטן; ועל פי זה נבין את דברי המשנה: "לחם הפנים היה בו עשרים וארבעה עשרונים מעשרים וארבעה סאין" (עיין במנחות פ"ה מ"א-מ"ה), ומשמעות השימוש "באחת עשרה נפה" - הסולת היא לא מה שמתקבל בתחתית הנפה אלא היא מתקבלת בשלבי ניפוי מסוימים על הנפה.

הרכב החיטה: 14%-16% סובין (קליפה), 81%-84% החלק עיקרי של הקמח - אנדוספרם, 2%-3% נבט. הרכב האנדוספרם: כ-75% פחמימות (החשוב שביניהם הוא עמילן). 8%-13% חלבונים, לחות -14% 13%, מינרלים ושומנים. [19]

כפי הנראה, החיטה היא חיטה קשה. אחוז החלבון גבוה יחסית, ולאחר גריסה וניפוי אף נשאר אחוז גבוה יותר של חלבונים. מתוך רצון להגדיל את אחוז החלבון באו לתהליך הניפוי של אחת עשרה נפות להורדת העפרוריות הלבנה, שהיא החלק העמילני. כך משיגים סולת באחוז גבוה של גלוטן על הנפה האחת עשרה.

הצורך להגיע לרמה גבוהה של חלבון, בא לידי ביטוי בניפוי והפרדה עד שמגיעים לסולת מנופה שמהווה עשרה אחוזים מן הכמות ההתחלתית (אין בכוונתי להגיד שנשאר רק גלוטן, אלא שיחסית לחיטה ההתחלתית נשאר אחוז חלבון גבוה יותר. גם חלבון מבודד של חיטה מגיע רק ל-75%-80%).

בבדיקת הניפוי, ניפיתי סולת מסחרית בנפה mech 60. נמצא שעם הניפוי יורדים גרגרים לבנים עמילניים, והסולת נשארת על הנפה (סולת מסחרית מכילה גם אחוז מסוים של הקליפה).

היתרון של קמח עשיר בגלוטן הוא בכך שיש התפתחות של הרשת הגלוטנית, שבסיוע חומרים מתפיחים יתקבל נפח גבוה תוך שמירה על יציבות ממושכת (יתרון חלבון החיטה שנשאר יציב לאחר מתיחה). מחקרים מצביעים על הגלוטן כמרכיב חשוב ביותר לכושר אפייה טוב. [20] גלוטן משמש כאמולסיפיר, ונראה שבמקרה שלנו יקשור מים ובכך יקטין את תהליכי ההתיישנות (כיון שאין מרכיב שומני). עמילן, לעומת זאת, סופח מים אך מאבד אותם כאשר הוא חוזר למבנה הגבישי (ולא היה שימוש בעמילן מעובד). נמצא באופן ברור, שבקמח עשיר בגלוטן תהליכי ההתיישנות איטיים יותר. [21]

הוספת מלח

הוספת מלח ללחם נעשית בעיקר למטרות טעם. במקדש יש ציווי - "ולא תשבית מלח ברית א-להיך מעל מנחתך", וגם לחם הפנים נחשב מנחה. בכל אופן, בפסוק לא מצאנו התייחסות מפורשת להוספת מלח ללחם הפנים. אף על פי שבתורה לא הוזכר מלח בקשר ללחם, בתרגום השבעים הזכירו 'הוספת מלח' ללחם. [22] הוספת מלח מקנה לגלוטן קשיחות מסוימת, ומועילה לשיפור הנפח, לכן לא שללתי שימוש במלח. הוספה זו יעילה גם לצורך המצה כמערכת פעילות אנזימטית. [23]

הוספת חומרים למניעת התפתחות מיקרואורגניזמים

בשלב זה אין צורך בהוספת חומרים אלו של קלציום פרופיונט למניעת עובשים, או הורדת pH על-ידי חומצה לקטית או חומצה ציטרית למניעת התפתחות ספורות של *Bacillus Mesentericus*. [24] המוצר המתוכנן הוא בעל רמת פעילות מים (water activity) נמוכה, המהווה גורם עיכוב חשוב בפני עצמו. כמו כן, המוצר פתוח לאוויר מכל הכיוונים (התפתחות עובש מצויה יותר בלחם ארוז), כך שאין מוקדי התפתחות לעובש.

המשנה במסכת אבות [25] מזכירה כאחד מעשרת הניסים שנעשו בבית המקדש, שמעולם לא נמצא פסול בעומר ובשתי הלחם (לא מפורט הנס שהזכיר רבי יהושע בן לוי, שהלחם נשאר טרי לאחר שבוע; וייתכן שהמשנה כלל לא דנה בטריות הלחם).

ניתן להבין בדברי המשנה שלא נמצאו תולעים בקמח, ואין הדבר שייך להתפתחות מיקרוביאלית בלחם לאחר האפייה, שהרי דבר זה אינו פוסל את הלחם. אפילו אם תימצא בעיה של מחלת המשיכה - ropy, הנגרמת על-ידי זיהום מספורות של החיידק *mesentericus bacillus*, דבר זה אינו פוסל מבחינה הלכתית (הדבר פשוט שחיידקים כשרים לאכילה).

עם זאת, נראה שהסבירות לחיידקים אלו נמוכה, כיוון שהם מופיעים בעיקר בלחם המכיל סובין, כיוון שחיידקים אלו הם חיידקים שמגיעים מן האדמה; ואילו כאן עברה הסולת ניפוי של אחת עשרה נפה.

לבונה

ליד לחם הפנים היו שמים לבונה, כפי שנאמר:

ונתת על המערכת לבונה זכה והיתה ללחם לאזכרה (ויקרא, כ"ד ז).

הלבונה מופקת מ- *Boswellia Carteri*. תפקידה של הלבונה הוא להיות תוספת למנחה. ממחקרים שנעשו על התפתחות חיידקים בצלחת פטרי, שהוסיפו להם לבונה, נמצא שיש בה חומר אנטיביוטי מקבוצת הטרפנים.

בעולם העתיק היו מוסיפים לבונה זכה ליין של מוצאים להורג, בגלל ההשפעה המשכרת שהייתה לה. ייתכן שגם רז זה, שימש ביסוד ציווי התורה לשימת לבונה לפני לחם הפנים למניעת עיפוש. [26]

ג. המקורות בחז"ל

התלמוד מעשיר אותנו בידע רב על אפיית הלחם ועל סגולותיו. לקטע שנצטט להלן, יש מספר מקבילות (בבבלי, בירושלמי, ועוד). נראה שבגלל ריחוק הזמן והצורך המעשי, רבו הגירסאות בעניין זה.

אומרת המשנה:

ואלו מזכירים אותם לגנאי - של בית גרמו לא רצו ללמד על מעשה לחם הפנים...

ומרחיבה הגמרא:

בית גרמו היו בקיאים במעשה לחם הפנים, ולא רצו ללמד. שלחו חכמים והביאו אומנין מאלכסנדריה של מצרים, [27] והיו יודעין לאפות כמותן ולא היו יודעין לרדות כמותן. שהללו (=אומני אלכסנדריה) מסיקין מבחוץ ואופין מבחוץ והללו (=בית גרמו) מסיקין מבפנים ואופין מבפנים, הללו (=אנשי אלכסנדריה) פיתן מתעפשת והללו (=בית גרמו) אין פיתן מתעפשת. כששמעו חכמים בדבר, אמרו - 'כל מה שברא הקב"ה לכבודו בראו'... וחזרו בית גרמו למקומן; שלחו להם חכמים ולא באו כפלו להם שכרם ובאו, בכל יום היו נוטלין שנים עשר מנה והיום עשרים וארבעה... ועל דבר זה מזכירין אותם לשבח: מעולם לא נמצאה פת נקיה ביד בניהם, שלא יאמרו ממעשה לחם הפנים זה ניזונים, לקיים מה שנאמר: 'והייתם נקיים מה' ומישראל' (יומא לח.).

ממקור זה, וממקורות נוספים, ניתן ללמוד מספר דברים:

1. יש אומנות מיוחדת ברדיית הלחם.

האומנות המיוחדת נדרשת משלוש סיבות:

א. בגלל ממדי הלחם; שטח הבצק הוא כמטר על חצי מטר, וסביר שבשעת הרדייה הלחם יישבר (מומחיות מיוחדת נדרשה גם בגלל צורתו של הלחם 'וקרנותיו').

ב. נחוצה רדייה בשעה המתאימה, כאשר פנים הלחם אפוי היטב, וקרום הלחם לא שרוף אלא אפוי.

ג. כדי ליצור לחם ללא בקעים. כיום, על מנת ליצור קרום נאה, אופים בתנור עם לחות יחסית גבוהה; במקדש היה שטח לחם הפנים גדול, ויש חשש להיווצרות בקעים, לכן יכול להיות שהשתמשו באחת משתי שיטות: עשיית חריצים בלחם, או מריחת פני הלחם במים ליצירת לחות גבוהה על פני הלחם ואחידות פני הלחם.

2. אומנות מיוחדת נדרשה גם בזמן הרדייה: הלחם מונח במקום פתוח לאוויר, כך שרמת הרטיבות צריכה להיות אופטימלית למניעת התפתחות עובשים. ייתכן שנקודה קריטית זו של water activity הייתה ידועה לבית גרמו ולא הייתה ידועה לאופים של אלכסנדריה, ולכן הפת של בית גרמו לא הייתה מתעפשת לעומת אופי אלכסנדריה שפיתן מתעפשת.

3. השכר ששולם למשפחת בית גרמו היה שכר עצום באותם ימים - שנים עשר מנה לשבוע! (לשם השוואה, כתובת אישה היא שני מנים, מתוך הערכה שסכום זה מספיק למזונות לשנה). ניתן, אם כך, להסיק שההוצאות על קמה ותוספי לוואי היו קטנות יחסית; ומכאן שאין 'הגבלת עלויות' מבחינת החומרים שיכלו להשתמש בהם ללחם הפנים באותם זמנים.

4. מעולם לא נמצאה פת נקיה ביד בניהם. משמע שלחם הפנים היה 'לחם לבן', ועל מנת שיהיו נקיים מחשד, השתמשו לצורכי המשפחה ב'לחם שחור'. לחם קודש היה עשוי, אם כך, מקמח או סולת נקיים מכל סובין.

5. 'שלחו חכמים והביאו אומנים מאלכסנדריה'. בניגוד לדעת רבי יהושע בן לוי, חכמים ראו באפייה מיוחדת זו אומנות טכנולוגית ולא נס, ולכן הביאו את אופי אלכסנדריה ממצרים על מנת שיאפו לחם הפנים לצורכי בית המקדש.

מימדי הלחם

אומרת המשנה:

לחם הפנים ארכן עשרה ורחבן חמישה וקרנותיו שבע אצבעות (מנחות, פי"א מ"ד).

לפי המשנה (וכן כתב הרמב"ם) [28] מידות הלחם הן עשרה טפחים אורך וחמישה טפחים רוחב ובגובה שבע אצבעות. כפולת שלושת המידות יוצרת נפה של כ-45000 סמ"ק.

שיעור זה גדול בהרבה מנפח המרכיבים של הלחם. שהרי נפח המרכיבים הוא 5000 סמ"ק + 2100 סמ"ק מים + 600 (אבקת אפייה), שמשותוים בערך ל-7700 סמ"ק. המשמעות היא, שנפח הלחם גדול פי חמישה עד ששה מנפח חומרי הגלם.

נקודה זו הטרידה את רבי יוסף קארו ואת הרלב"ג. לכן, הם פירשו שרק עובי הדפנות היה טפח, אך עוביו של גוף הלחם היה אצבע. על פי חישוב זה, יוצא שהנפח הכולל הוא כ-17000 סמ"ק. על פי הסברו של רבי יוסף קארו, נוצרת אי-אחידות גבוהה מאוד בעובי הלחם. במקום אחד עובי הלחם הוא כ-2 ס"מ, במקום שני - 10 ס"מ ושניהם מוכנסים יחד לתנור. הפרשי העובי הם בשיעור של פי חמש בערך, ובעקבות כך גם הפרשי החום שבהם ייאפה הלחם.

לפיכך העדפתי את דרכו של הרמב"ם, אך עדיין יש לפתור את בעיית היחס בין נפחם של חומרי הגלם לבין נפח הלחם המתקבל. אני החלטתי להישאר צמוד לנפח הקמח הראשוני, ללא ידיעה מהו הנפח הסופי שיתקבל, כיוון שהנפח הראשוני ידוע והנפח הסופי אינו ברור. מאחר שללחם זה יש עובי של מצה, חיפשתי בתחום המצות כיום: מצה סטנדרטית בארץ עוביה כ-0.2 ס"מ. עובייה של מצה שיובאה מצרפת במיוחד לצורך מחקר זה, הוא חצי סנטימטר. כמו כן, ידוע שבבבל ובמרוקו היו נוהגים לאפות מצות לפסח עד עובי של 1.5 ס"מ.

בתלמוד הבבלי נאמר שמצה כשרה עד עובי טפח. עובי טפח הוא עובי מקסימלי, [29] דבר המביא אותי לומר שעובי זה שהתירו במצה נלמד מכך שהיה נהוג באופן זה בלחם הפנים שהיה מצה. לא נראה שהתירו מצה כל כך עבה לצרכי האדם הפרטי, אך כיוון שנהוג כך בקודש - אמרה הגמרא באופן כללי שאפשר להכשיר בכך. זהו גם העובי המקסימלי שאליו נרשה לעצמנו להגיע בניסוי.

אפייה בתבנית

לחם הפנים היה נאפה בתבנית, וכפי שאומרת הגמרא:

שלשה דפוסין הם: נותנה לדפוס ועדיין היא בצק וכמין דפוס היה לה בתנור וכשהוא רודה נותנה בדפוס - כדי שלא תתקלקל (מנחות צד).

האפייה בדפוס, היינו בתבנית, נותנת ללחם את צורתו. אך נראה שתבנית שלישית נועדה רק כדי לשמור על הצורה עד שהלחם מתקרר. כלומר, הלחם לא נשאר בתוך התבנית. כך גם עולה מנסיונות אפיית המוצר ולא כפי שמתאר בעל הספר 'מלאכת המשכן' [30] את מבנה השולחן (נספח 1). הוא מתאר את התבניות על השולחן, אך לדעתי התבניות שימשו רק עד הגעת הלחם לשולחן, לצורך עיצוב וכיוון תפיחה קיים כלפי מעלה ולא לצדדים.

נחלקו רש"י והרמב"ם בשאלה האם התבנית שבה היו אופים הייתה עשויה מזהב או מברזל: לדעת רש"י - מברזל, לדעת הרמב"ם - מזהב. טמפרטורת ההיתוך של זהב היא 1337° מעלות צלזיוס, וזהו אם כך חום התנור המקסימלי שאפשר להגיע אליו לפי דעת הרמב"ם. יש לציין שאפיית לחם כיום מתבצעת ב 200° מעלות צלזיוס.

לחות יחסית

נראה, שלחם הפנים אמור להתאים, מבחינת לחות המוצר, ללחות היחסית השוררת בירושלים. על פי בדיקות הלחות היחסית (Relative humidity) בירושלים, ניתן לראות שינויים גדולים בלחות בטווחים של עשרה ימים - לפעמים הפרשים של 50% ומעלה. לכן נראה שאופי לחם הפנים לא התאימו את רמת לחות המוצר לרמת הלחות של האוויר, אלא השתדלו להוציא מוצר בעל רמת לחות נמוכה, וייתכן שהשייטת באוויר

הפתוח גרמה לספיחת אדי מים או איוד מים מפני שטח הלחם. אמנם, כיוון שהלחם היה מצה, הייתה לכך השפעה קטנה על ההתיישנות (אבל הייתה לדבר השפעה על הפריכות).

ד. מחקרים חדשים

נחקרה השפעת חומרים המעכבים את יצירת הקומפלקס עמילוז ליפיד על-ידי Diacetyl tartaric acid estor of monoglyceride, ולאחר שבוע התברר שהייתה האטה של Retragradition [31].

נבחנה השפעת חומרים פעילי שטח, כאשר האחוזים שבהם השתמשו הם 0.3%-0.6% בטווח של שבוע. ניתן לראות שבשלושת הימים הראשונים היה קצב התיישנות מהיר יותר מאשר בימים האחרונים. ניתן להסביר זאת בכך שהתהליכים לא הגיעו לידי איזון, ורק לאחר יומיים-שלושה מגיעה המערכת לשיווי משקל, תהליכי ההתיישנות נעשים איטיים יותר, והשפעת המשפרים בהאטת הפעילות מתאזנת יותר מאשר בימים הראשונים. [32]

תיאוריה נוספת תולה את ההתיישנות במעבר נוזלים בין קרום הלחם לפנים הלחם. לקרום החשוף לחום התנור, יש כשנים עשר אחוזי רטיבות ואילו פנים הלחם נשאר עדיין בארבעים וחמישה אחוזי רטיבות, ולאחר ארבעה ימים בטמפרטורה של עשרים ואחת מעלות, מכיל הקרום עשרים ושמונה אחוזי רטיבות על חשבון לחות פנים הלחם. [33]

בלחם הפנים שבו גם פנים הלחם 'מצה', הלחות הפנימית מאוזנת עם החיצונית. לכן, גם תהליכי ההתיישנות יבואו פחות לידי ביטוי, ואולי זהו ייחודה של מצה זו. מעבר החום אל תוך הלחם על מנת שתתקבל אחידות בלחות בכל חתך הלחם, מונע אף הוא שינויים עם הזמן.

הגורם המרכזי שמוערך להתיישנות [34] הוא הקריסטליזציה של העמילן, וגורם שולי הוא סוג הקמח. בגישה זו נקטתי גם אני, אף שקמח עשיר בחלבון יותר טוב לעיכוב ההתיישנות מאשר קמח דל בחלבון.

ה. מטרת המחקר וחשיבותו

ייחודו של המוצר ללא שמרים וללא תוספים, ובפרט ייחודה של המצה שמצויה כמעט אך ורק בשוק היהודי, יצרו בעיה בסקר הספרות המקצועית שעוסקת בלחם על כל ההשפעות הקורות בו. לפיכך, במחקר מוצר חדש-ישן זה, יש ראשוניות ושחזור העבר כאחד. למטרות המחקר בחלקן יש השפעה מיידית, וחלקן יכולות לבוא לידי ביטוי בטווח הקרוב; אסקור אותן באופן כללי.

1. שחזור לחם הפנים לבית המקדש השלישי.

כמאמינים בני מאמינים, עלינו להתכונן לבניין בית המקדש השלישי; וכשנזכה לחידוש העבודה ככל הכתוב בתורה, הרי שעבודת לחם הפנים עומדת במרכז הקודש, וכפי שנאמר בימי הכהנים ששמרו טכנולוגיה זו בסוד ונאלצו להחזיר אותם לעבודתם - 'כל מה שברא הקב"ה לכבודו בראו'. ניתן לרתום את כל המחקרים הטכנולוגיים של היום, למציאת פיתרון לחידת לחם הפנים, על מנת שיוכל לחזור ולשמש בעבודת בית המקדש.

2. מציאת שיטה עתיקה יומין לעיכוב התיישנות לחם.

התיישנות מוצרי מאפה הנה בעיה מבחינה אורגונומולפטית ומבחינה כלכלית. מעריכים את החזרת לחם למאפיות בכשלושה אחוזים, [35] ואת הלחם הנזרק בגלל התיישנות בכעשרים אחוזים; וזאת, ללא חישובי עלות נוספים של הפסדי אי-קנייה והצורך באספקה שוטפת.

במחקר להבנת שיטות האפייה בעבר, יש התקדמות גדולה להבנת הגורמים המשפיעים על ההתיישנות, והחידוש בניסוי זה הוא הניסיון למצוא פיתרון ללא תוספים אלא בעיקר בצורת העיבוד של הבצק, ושיטת אפייתו.

3. פיתוח סוג חדש של המוצר.

מוצר זה הנו מצה מבחינה הלכתית, אך יש לו תכונות הקרובות ללחם. המרקם של מוצר זה שונה ממצה, וקרוב ללחם מבחינת עוביו. אופיו של המוצר אמור לנוע על הגבול הדק בין מצה ללחם; אינו בעל כושר עמידה לזמן ארוך כמצה, אך עמיד יותר זמן מלחם. פיתוח מוצר חדש בתחום המצות יכול להתקבל בשוק הצרכני, ובמיוחד עם מרקם פרוזיבי וטעים יותר מאשר המצה הסטנדרטית.

4. גישה חדשה בחקר העבודה שנעשתה במקדש.

בבית המקדש היו מוצרי מאפה רבים: מנחת פיתים, מנחת מחבת, מנחת מרחשת, מנחת כוהן, מנחת כוהן גדול, עומר, שתי הלחם ועוד. מחקר זה, הבא להתמודד בצורה מעשית עם הכנת הלחם, יכול להוות קרש קפיצה ראשוני למחקר מקיף בתחום המנחות ושאר מוצרי המאפה ששימשו בבית המקדש.

1. שיטות העבודה

לחות המוצר

נעשתה עבודה מקדימה לצורך מיקוד כיוון המחקר, נבדק מרקם של מוצרי מאפה לאחר אחסנה של שבוע בדיסקטור (הדיסקטור מאפשר שמירה על לחות קבועה למשך תקופה) בלחות שונות. הלחות נקבעה על-ידי מלחים במצב רוויה, בטמפרטורת אחסון כפי שיש לשער שהייתה בבית המקדש - טמפרטורה משוערת של חמש-עשרה מעלות (נזכור שמדובר בבניין כמעט ללא חלונות, בגובה חמישים מטר על שלושים וחמישה מטר, ויש לשער שנשמרה בו קרירות גם בימי הקיץ). טמפרטורה זו נחשבת למוצעת (נמוכה מהשיעור של 21-35 מעלות, וגבוהה מן השיעור של 7-10 מעלות), לעניין הפער בין קצב התיישנות מהיר ובין קצב התיישנות איטי יותר. [36]

מחקרי התיישנות נערכו בטמפרטורות של עשרים מעלות [37] וחמש עשרה מעלות. [38] נמדדת רמת לחות נמוכה של aw-0.55, aw-0.75 של אוויר בדיסקטור. נתקבלה הטבלה הבאה: [39]

Aw	טמפרטורה	מלח
55.87 - / + 0.27	חמש-עשרה מעלות	Magnesium nitrate
74.13 - / + 0.06	חמש-עשרה מעלות	Sodium chloride

נבדקו פיתה ולחמנייה, שני מוצרים השונים מבחינת המרקם שלהם.

לאחר שבוע:

המוצר	לחות 0.75	לחות 0.55
פיתה	קשה	קשה
לחמנייה	מרקם רך	קשה

לאחר שלושה שבועות:

המוצר	לחות 0.75	לחות 0.55
פיתה	קשה	קשה ושבירה
לחמנייה	מרקם רך (לא טרי אבל לא קשה)	קשה, המרקם נותן רכות מסוימת

מבדיקה מקדימה זו הסתבר שלמרקם יש חשיבות רבה, ולו רק בשביל אפשרות האכילה, וכן רמת הלחות בה נמצא המוצר. לחמניה, שהיא פרוזיבית יותר (ויש בה יותר משפרי אפייה), הייתה נגיסה יותר מאשר פיתה. תוצאות אלו, בנוסף לתוצאות האפייה, מראות שהכיוון של המוצר הנדרש הוא מוצר פרוזיבי בעל רמת לחות מינימלית אופטימלית.

אפיית המוצר

נעשו מספר ניסויי אפייה, על מנת לבדוק בדיקה ראשונית של אפיית קמח ומים ללא תוספות. הניסויים נערכו עם כמות קמח של חצי קילוגרם, מתוך מטרה להגיע לעובי וגובה של לחם סטנדרטי.

הערות	אפשרות אכילה	צבע המאפה	מים (מ"ל)	משקל קמח (גרמים)	זמן אפייה (דקות)	טמפרטורה (מעלות צלזיוס)	ניסוי
העלה עובש ופטטריות בחלק המונח על המגש, נקי בחלק החשוף לאוויר	לא ניתן לאכילה מחמת הקושי	בהיר מאוד	400	500 נוצר בצק עיסתי	150	117-110	1
גובה 8 ס"מ	לא נאפה טוב בחלק הפנימי	בהיר מאוד	250	500	150	120	2
עובש בבקעים	קשה	שחום, בקעים בקרום	250	500	60	210	3
עובש בבקעים (פחות מניסוי 3)	קשה	שחום	300	500	60	210	4

ניסיון זוטא זה העלה מספר מסקנות לצורך המשך העבודה:

1. במסה של בצק שאין בה חללים של אוויר, מתרחש מעבר חום איטי מאוד, ויש קושי באפיית פנים הלחם. קרום הלחם מתקשה, ובשלב זה יש בעיה קשה באפיית תוך הלחם. יש ליצור מבנה פרוזיבי יותר, ולשפר את מעבר החום (ניסוי 2, 3).

2. מראה פני הלחם צריך להיות אחיד ורצוף ללא בקעים. הבקעים יוצרים נקודות עומק קשות בפנים הלחם, ואפשרות התפתחות של עובשים (ניסוי 3, 4).

3. עובשים ופטטריות - על מנת לשמור על הלחם מפני מיקרואורגניזמים, יש להשאיר אותו חשוף לאוויר על מנת שהלחם ישתווה ל-aw של האוויר (אוויר ירושלמי יבש) המגדיל את התפתחות העובשים. לעומת זאת, אם הוא מונח על גבי משטח, נוצרת אפשרות לפינות לחות המסייעות להתפתחות עובשים.

מסקנה זו (ראה בניסוי 1, 3, 4), מתאשרת ממבנה שולחן הפנים. כפי שאומרת התורה [40] - "ועשית... וקשותיו ומנקיותיו", והסבירו הפרשנים ורש"י על אתר:

שהן כמין חצאי קנים חלולים הנסדקים לארכן, דוגמתן עושה זהב, ומסדר ג' על ראש כל לחם, שישב כל לחם על גבי אותן קנים, ומבדילים בין לחם ללחם כדי שתכנס הרוח ביניהם ולא יתעפשו

4. צמיגות הבצק. מראה לחם הפנים היה בצורת אות ח הפוכה, כזה: |__|. מכאן גם שמו, שיש לו פנים לכאן ולכאן. לצורך כך, היה הכרח להרים את שוליו. בעיסה רכה, יהיה קשה לעצב זאת (בבעיה זו נתקלתי בניסוי מספר 1).

מסקנות: על פי ניסויים אלו, אין עדיין אפשרות לקבוע ספציפיקציות לגבי רמת החום הרצויה, זמן האפייה ויחס הקמח למים. ניתן לומר שיש אפשרות אפייה בתבנית או בלעדיה, אך על פי הדרישה המסורתית יש צורך בתבנית. כמו כן, יש להשתמש בחומרים שיאפשרו יותר פרוזיביות של הלחם.

המשך העבודה

1. בשלב זה יש להמשיך לפעול בשיטות אפייה סטנדרטיות, בתנור אפייה ביתי או בתנור אפייה חרושתית. בכך נוכל לזהות ביתר בהירות את אפשרויות האפייה.

2. יש למצוא את האיזון בין הקמח ובין כמות נוזלים המוספת לקמח, ליצירת בלילה הניתנת לעיצוב. נרצה להשיג רמת לחות נמוכה, והקטנת אפשרויות ההתיישנות בגלל מעבר נוזלים מפנים הלחם אל הקרום.
3. יש להשתמש במשפרי אפייה, שיסייעו ליצירת מרקם פרוזיבי ; משפרים מסוג אבקת אפייה, פוטציום ברומט, ופוטציום סורבט (שמאפשרים לבצק לאחסן כמות חמצן מקסימלית בעת לישת הבצק).
4. בשלב מאוחר יותר ניתן להשתמש במשפרים שומניים, וליצור מרקמי בצק אחרים (למשל, בצק עלים, כרגע לא בחרנו בכיוון זה מאחר שכפי שעולה מהמקורות לחם הפנים הכיל שמן רק בכמות מועטה).
5. ייתכן שניתן ליצור עיסה עם צמיגות נמוכה מאוד, אך במצב זה נצטרך לומר שעיצוב המוצר נעשה לאחר האפייה, ובשלב ראשוני לא פנינו לכיוון זה.
6. על פי הגישה שלפיה לחם הפנים היה עשוי מסולת, גישה ששינתה את התפיסה היסודית שלי, יש לערוך מספר ניסויים בסולת, על פי מתכון לעוגת סולת:

מערכבים: 4 ק"ג סולת, 110 גרם אבקת אפייה, 400 גרם קמח.

ממיסים: 1 ליטר חלב, 1 ק"ג מרגרינה, קורט מלח.

שופכים לתבנית משומנת, ומכניסים לתנור בטמפרטורה של מאתיים ושלושים מעלות, עד שזה מוכן (במתכון המקורי מוסיפים סוכר מומס לאחר האפייה).

על בסיס מתכון זה, ניתן לנסות לעשות 'לחם' בצורות שונות העולות מן המתכון: סולת, אבקת אפייה, מים (במקום חלב) עם או בלי מרגרינה. לאחר הכרת העבודה עם הסולת ניתן להמשיך במחקר.

7. נראה שתבנית האפייה לא הייתה כתבנית של היום שמכניסים לתוכה בצק, אלא תבנית כעין זה:

דבר זה מאפשר את יצירת הלחם, ואת המבנה המיוחד של לחם הפנים, וכך כאשר מוציאים את הלחם מן התבנית, הרי קרנותיו נשמרות על פי צורת התבנית.

תוצאות צפויות

אנו מצפים למציאת מוצר חדש, שיוגדר כמצה מבחינה הלכתית ויהיה קרוב ללחם מבחינה מסויימת (עובי, פריכות, נוחות אכילה), בגלל פרוזיביות רבה יותר או בגלל רמת לחות גבוהה יותר. ייתכן שנצליח להגיע לייצור מוצר כשר לפסח, ואף בעלות סבירה והגיונית.

מבחינת לחם הפנים, קשה להעריך שנגיע למוצר שנוכל לומר עליו 'כזה ראה וקדש', כלומר - כך היה לחם הפנים בזמן שבית המקדש היה קיים. אך נראה שנוכל להגיע למצב שעליו נוכל לומר - כזה ניתן לעשות בבית המקדש השלישי.

תוצאות מחקר זה יביאו לפתיחת כיווני מחקר נוספים, בעזרת משפרי תפיחה כשרים לפסח, מציאת רמת לחות אופטימלית, דרגת חימום וצורת אפייה. ייתכן גם שהפעול היוצא מן הניסויים יהיה בהתקדמות המחקר המעשי בעבודת בית המקדש לסוגיו - אפיית סוגי המנחות, צורת ההקרבה, וכן הלאה. אני תקווה ותפילה שלאור מחקר זה ירבו הדעות ויגדל העניין בדברים אלו, שאף על פי שהם רחוקים כרגע מאתנו, בידינו להופכם למעשים שבכל יום.

בציפיה לבניית בית המקדש בימינו, אמן!

* יסודו של המאמר בהצעת מחקר שנכתבה בשנת תשנ"ב בהנחיית פרופסור שמעון מזרחי במסגרת הקורס 'מבוא לעבודות גמר', והוגשה לפקולטה להנדסת מזון וביוטכנולוגיה – הטכניון, מכון טכנולוגי לישראל, חיפה, טבת תשנ"ד.

תודתי נתונה לפרופסור שמעון מזרחי, שסייע לי רבות בניתוח המקורות לצורך יישומם, וכן לסילביה מזרחי עזר כנגדו. גם לפרופסור יהודה פליקס (בוטניקה של תקופת המקרא), פרופסור מרדכי כסלו (ארכיאולוגיה של תקופת המקרא) ודני רבינוביץ (מהנדס מזון וקונדיטור) אודה על עזרתם.

תודה מיוחדת לרב אליהו רחמים זייני, רב הטכניון וראש ישיבת "אור וישועה", חיפה, שמתורתו למדתי בטכניון ובהשראתו הכנתי עבודה זו (מאביו קיבלתי הסבר על אפיית מצות במרוקו, ואחיו הביא לי מצות מצרפת לדוגמה).

[1] **[הערת עורך – הנחת הכותב כי מותר להוסיף כל דבר ללחם הפנים, אף שאינו מפורש בתלמוד ובפוסקים, אינה פשוטה כלל ועיקר וצריכה עיון.]**

[2] דהיינו 4.2 ליטר לשיטת ה"חזון איש" ו-2.5 ליטר לשיטת הגר"ח נאה.

[3] מנחות פ"ה מ"א-מ"ה.

[4] משנה תורה לרמב"ם, הלכות מעשה הקרבנות פי"ב ה"ג.

[5] סילביה מזרחי, תדפיס לעניין אפיית לחם.

[6] גמרא חגיגה (כו.) וכן במנחות (צו.).

[7] נעיר, שהפירוש הנסי מתאים לרבי יהושע בן לוי, שהרבה מימרות הקשורות לנסים נמסרו בשמו.

[8] ויקרא ב', יא.

[9] הרב שאר ישוב כהן, 'חומצת לימון, גלוקוזה וגלוטן בפסח', **תחומין** א, תשמ"מ, עמ' 82-93, 102-97.

[10] כפי שמופיע במשנה, ונפסק ברמב"ם: "כל המנחות נילושות בפורשין ומשמרן שלא יחמיצו" (הלכות מעשה הקרבנות פי"ב הי"ג).

[11] סילביה מזרחי (לעיל הערה 5).

[12] יומא לח.

[13] יהודה פליקס, **עולם הצומח המקראי**, ת"א תשי"ז, עמ' 143-145, 262-260.

[14] מרדכי כסלו, "לזיהוי 'חטה שחמתית' וחטה לבנה בדברי חז"ל", **סיני** פד, תשל"ט.

[15] החזק הגז הוא המאפשר ללחם לתפוח וגז ה- CO_2 הנוצר מפליטת הפעילות האנזימטית ייכלא וישאר בלחם.

- [16] סילביה מזרחי (לעיל הערה 5).
- [17] סילביה מזרחי (לעיל הערה 5); הרב שאר ישוב כהן (לעיל הערה 9).
- [18] יהודה פליקס (לעיל הערה 13). ועיין עוד במאמרו של הרב שלום אוחנה בגיליון זה.
- [19] סילביה מזרחי (לעיל הערה 5).
- [20] שם.
- [21] Staling of Bread, J. Technical Bulletin, Vol 1, No. 8, 1979, Karel Kulp
- [22] תרגום השבעים לויקרא כ"ד, ז.
- [23] ערך 'לחם הפנים', אנציקלופדיה מקראית ז, ירושלים תשכ"ב, עמ' 493-495.
- [24] Activity, Water content and the microbial spoilage of some food Aron, Water
- [25] פ"ה מי"ח.
- [26] יהודה פליקס (לעיל הערה 13).
- [27] אולי היו אלו כוהנים ממקדש חוניו, מקדש שהוקם במצרים בידי כוהן גדול שאחיו דחה אותו מן הכהונה; העבודה בו הייתה דומה לעבודה בבית המקדש.
- [28] הלכות תמידין ומוספין, פ"ה ה"ח -ה"ט.
- [29] עיין פסחים פח.
- [30] משה לוין, מלאכת המשכן, ת"א, 1968.
- [31] Olesen, H. Toernaes, and T. Joenssan, 1989, Retrogradation of the starch fraction in wheat bread, J. CFW, Vol 34, No. 3
- [32] Aelle T, 1987, The effect of selected Surfactants on Bread crumb softness and its measurement, J, CFW, Vol 32, No. 7
- [33] Pidesookbunterng and B.L. D'appolina, 1983, Bread Stating Studies, I. Effect of Crumb, Surfactants of masture Migration from Crumb to Crust and Firmness of Bread of J, Cereal Chenistry, Vol 60, No. 4
- [34] Karel Kulp (לעיל הערה 21).
- [35] שם.
- [36] שם.
- [37] Olesen, H. Toernaes, and T. Joenssan .N. Krogo, K (לעיל הערה 31).

[38] Aelle T ,Torben J (לעיל הערה 32).

[39] הטבלה על פי Lewis Greenspan, Humidity fixed point of Binary saturated aqueous
.J. of Reasearch of the national Mureon of standards, Vol 81A, No. 1 ,1977 ,solotions

[40] שמות כ"ה, כט.