



ד"ר דוד בונפיל

לעילוי נשמות הללי מלחמת 'חרבות ברזל'
בהם רס"ר (במיל') זכריה פסח הבר הי"ד
אשר חיבר את עולמות בית המדרש ומחקר החיטה.

'דאחמיץ במחובר' – היטה 'כשרה לפסח'

א. מצוות מצה - המשת מיני דגן

החיטה מהווה את הגידול המרכזי של השטחים הפתוחים בישראל, ומדי שנה נזרעים בישראל כמיליון דונם למטרות שונות. רובה המכריע של החיטה המגודלת כיום בישראל הינה חיטת לחם המשמשת לאפיית לחם, וכמו כן לאפיית מצות כשרות לפסח. בכך, החיטה מהווה מקור אנרגיה לאנושות מחד, ובסיס לקיום מצוות המבוססות על חמשת מיני דגן בכלל וחיטה בפרט. ברכות הנהנין על לחם, הפרשת חלה וכדומה ניתן לקיים רק בחמשת מיני דגן, חיטה, שעורה, שיבולת שועל, שיפון, וכוסמין. הגורם המשותף של הגרגרים בחמשת מיני דגן והקמח המופק מהם הוא נוכחות רכיבי הגלוטן. רכיבי הגלוטן, גלוטלינים ופרולמינים, קיימים רק בדגניים מחמשת מיני דגן כפי שמזוהים היום ועל פי המסורת,¹ כך שסביר שלגלוטן חלק חשוב בהחמצה. החיטה היוותה ברבות השנים בסיס פורה למחקרים ולימודים הלכתיים רבים, אולם יש עדיין פערי ידע הדורשים עיון ומחקר, ואחד מהם הוא חמץ. ברור לכול, כי בתנאים מושלמים של הכנת בצק, קמח חיטה בהוספת מים, לישה והעמדה מחמיץ ואסור, אך מנגד אכילת מצה העשויה מקמח ומים הינה מצוות עשה שחובה בפסח. אם כך, החיטה בבואה במגע במים לעיתים נאסרת עקב החמצה ולעיתים מאפשרת קיום מצוות מצה. יש מקרים ובהם החיטה מורטבת בשלבים מוקדמים יותר, למשל בשדה עקב אירוע גשם מאוחר לפני קציר. איך יש להגדיר חיטה זו, כחמץ או חשש חמץ, או כחיטה כשרה לפסח? מאמר זה מאיר נקודה נוספת של בחינה והגדרה מה הוא חמץ, ומציע אפשרות היאך ניתן להעלות את ההסתברות לכך שמצה זו שאנו אוכלים כשרה לפסח היות שנאפתה מקמח שאין חשש כלל שהחמיץ.

ב. איסור חמץ ושאור – איסור כרת

1. חמץ שבעיסה

חמץ: בצק שהחמיץ הוא חמץ מדאורייתא שאסרה תורה בפסח באכילה ובהנאה וכן ב'בל יראה' ו'בל ימצא'. במקרא אין תיאור מדויק של חמץ, וכתוב: 'וישא העם את בצקו טרם יחמץ' (שמות יב, לד), וכן: 'ויאפו את הבצק אשר הוציאו ממצרים עגת מצות כי לא חמץ

1. ז' עמר, תשע"א, חמשת מיני דגן, מכון הר ברכה, עמ' 252.

(שמות יב, לט). ההגדרה המדעית וההלכתית של חמץ אינה ברורה, במיוחד לא ברור מאיזה רגע או איזה תהליך הופך בצק לחמץ.² בפשטות, גרגרי חיטה שנטחנו לקמח, נוספו מים לקמח, הקמח נילוש לבצק (נוצר גלוטן), הבצק עמד ותפח (אצירת גז מהתסיסה עקב פעילות שאור או שמרים), מהבצק נאפה לחם, הבצק והלחם הינם חמץ! האנדוספרם, החלק הפנימי של גרגר הדגן ומקור הקמח הלבן המשמש לאפייה, מורכב בעיקר מעמילן וחלבוני תשמורת.³ באנדוספרם מצויות שתי קבוצות של חלבוני תשמורת, הגלוטנינים (גלוטלינים) והגליאדינים (פרולמינים). צבירת גופי החלבון בתאי האנדוספרם מתרחשת בו זמנית ללא תלות במרחק משכבת האלאורון, שכבת התאים המפרידה בין האנדוספרם וקליפת הזרע.⁴ אולם יש הבדל בריכוז כתלות במקום.⁵ לאחר הוספת מים לקמח ולישה נוצר (מתפתח) הגלוטן מחיבור חלבונים משתי הקבוצות בקשרים די-סולפדיים וקשרי מימן. ברור לחלוטין כי נוכחות הגלוטן ותפקידו בעיסה ובבצק הוא המייחד את הדגנים הראויים לחימוץ. במקביל לבניית הגלוטן, הוספת מים לקמח גורמת תהליך התססה אשר מואץ ע"י תוספת שמרים או שאור (הפרשת חומצת חלב/חומץ, ירידה בערך הגבה וגרימה לטעם חמוץ). תהליך זה מתואר באופן מפורט ע"י רענן ועמיטל⁶ אשר חיברו את עולם ההלכה לעולם המעשה בהחמצת בצק. הכללים והסימנים שניתנו לקביעה האם הבצק חמוץ קשורים לתהליך ההחמצה הרגיל אחרי לישת קמח לבצק.⁷ אם כן, **ניתן להעריך כי תהליך ההחמצה של העיסה הינו תהליך משולב של בניית הגלוטן (קשירת הגלוטנינים והגליאדינים), פירוק העמילן בתהליך התסיסה תוך שחרור פחמן דו חמצני, ואצירתו ע"י הגלוטן (תפיחה)**. רק תהליך שלם המכיל את כל הרכיבים יגרום להחמצת העיסה. אני מבקש לחלוק על דרך אפיון תהליך ההחמצה המתבסס על רכיב בודד או מספר רכיבים בלבד. להלן שתי דוגמאות למחלוקת:

(א) הרב אייזנברג טוען שיש להגדיר חמץ על פי ההתנגדות הבצק למתיחה בלבד.⁸ זאת כיוון שההתנגדות נקבעת על ידי חלבוני הגלוטן בעת תהליך בניית הגלוטן, בעוד שהרכב וכמות החלבונים (רכיבי הגלוטן) תלויים בזן ובתנאי הגידול. כלומר יש דגן שההתנגדות

2. אנציקלופדיה תלמודית כרך טז, ערך 'חמץ'.
3. העמילן הוא תערובת של שתי פחמימות פולימריות רב-סוכריות הבנויות מגלוקוז, עמילוז ($\alpha 1,4$) ועמילופקטין ($\alpha 1,4 + \alpha 1,6$), בדגניים כ-75% מהעמילן מופיע בצורת עמילופקטין. גרנולות העמילן מתנפחות כאשר מחוממות במים (ג'לטיניזציה), או שעוברות פירוק אנזימטי. β -עמילאז מפרק עמילן שעבר ג'לטיניזציה או עמילן ניזוק (בטחינה) ועמילוז לדו-סוכר (מאלטוז). α -עמילאז מפרק עמילן לסוכרים מורכבים (למשל דקסטרין) ונותן חומר ל β -עמילאז עד פירוק למלטוז. בגרגר המתפתח שני האנזימים קיימים, אך באנדוספרם של גרגר-בשל רמת ה α -עמילאז זניחה אלא אם כן התרחשה תקלה כמו 'נביטה'.
4. Moore, K. L., Tosi, P., Palmer, R., Hawkesford, M. J., Grovenor, C. R. M., and Shewry, P. R. (2016). The dynamics of protein body formation in developing wheat grain. *Plant Biotechnology Journal* 14, 1876-1882.
5. Tosi, P., Gritsch, C. S., He, J., and Shewry, P. R. (2011). Distribution of gluten proteins in bread wheat (*Triticum aestivum*) grain. *Annals of Botany* 108, 23-35.
6. מ' רענן, י' עמיטל, תשע"ה, 'היבטים ביולוגיים בהלכות חמץ ומצה', בתוך: בחג המצות-קובץ מאמרים על חג הפסח, הוצאת מכללת הרצוג - תבונות, אלון שבות, עמ' 219-256.
7. רענן ועמיטל שם; י"א שרשבסקי, תשנ"ד, למהותו של תהליך החמצת העיסה, מהדרין ה, עמ' 7-10.
8. מ"מ אייזנברג, תשס"ו, 'החששות במצות מכונה של ימינו', תחומין כו, עמ' 123-133.



למתיחה תהיה בו רבה ביותר ולשני התנגדות נמוכה מאוד, ועדיין משניהם יוכן בצק חמץ (גם תהליך המתיחה המתואר ע"י אייזנברג לוקה בחוסר דיוק כמפורט להלן).
(ב) יש המבססים את תהליך ההחמצה על התסיסה ופירוק הסוכרים שבקמח (ראה הערה 4) וזאת על פי נוכחות האנזים β -עמילאז, אשר מעורב בתהליך התסיסה ופירוק הסוכרים.⁹ לטענת מונק, אנזים זה חסר בדגניים כמו דוחן ואורז, ומשום כך לדעתו נוצר סרחון במקום החמצה. אולם אנזים זה נמצא ברמה זו או אחרת באנדוספרם של כל הדגניים,¹⁰ כולל אורז ודוחן, למרות שתיתכן רמה נמוכה בזנים ספציפיים.¹¹ לכן לא ניתן לבסס החמצה על פי נוכחות האנזים.

2. מהו שאור

במקביל לאיסור חמץ, קיים גם איסור שאור. השאור מתקבל בתהליך תסיסה טבעי עקב עירוב קמח עם מים והעמדה למספר ימים. בזמן זה מעט שמרים וחיידיקים (לקטובצילוס וחיידיקי חומצת חומץ) אשר מצויים על קליפת הגרגרים ו/או באויר מתרבים ומעכלים את העמילן שנמצא בקמח בתהליך תסיסה.¹²

3. הגדרת חמץ

לסיכום הגדרת חימוץ, אני מסכים עם הסברו של רענן¹³ שחימוץ אינו תוצאה של גדרים כמו זמן או טמפרטורה אלא תהליך המתרחש באופן טבעי ומעורבים בו מספר משתנים, וכלשונו:

מכלול ההלכות הנוגעות לחימוץ מצביע על היותו, בעיקר, תהליך ביולוגי (ייתכן ומעורבים בו גם גזירות) ולא מונח הלכתי מופשט כמו למשל עצם השהייה בין הכנת העיסה ואפייתה.

4. קמח מן השוק ללא שמירה

מצאנו כי בשעת הדחק ניתן לאפות מצות מקמח שלא ידוע עליו דבר, כך כותב הש"ח ערוך (או"ח סי' תג סעי' ד):
החטים שעושים בהם מצת מצוה טוב לשמרן שלא יפלו עליהם מים משעת קצירה ולפחות משעת טחינה ובשעת הדחק מותר ליקח קמח מן השוק.
למרות איסור הכרת שבאכילת חמץ, בשעת הדחק ניתן לאכול מצה האפויה מקמח שנקנה בשוק ללא שום ידיעה האם נרטב, האם הגרגרים הורטבו ועוד. לאור זאת יש לשאול, האם וכיצד חכמים יכלו להקל בחשש איסור כרת? אפשר כי ההיתר מסתמך על

9. ב"פ מונק, תש"ם, 'ההבדל בין חימוץ וסרחון', תחומין א, עמ' 97-102.

10. Tsujii, Y., Nagafuku, N., Miyake, A., Uchino, M., Takano, K. (2013). Presence and activity of various amylases in rice: effect on texture and leached sugar composition during cooking. Food Science and Technology Research 19, 81-87.

11. Characterization of β -Yamaguchi, J., Itoh, S., Saitoh, T., Ikeda, A., Tashiro, T., Nagato, Y. 1999. Amylase and its deficiency in various rice cultivars. Theoretical and Applied Genetics 98, 32-38.

12. מ' רענן, 'עמילן, תשע"ה, 'היבטים ביולוגיים בהלכות חמץ ומצה', בתוך: בחג המצות-קובץ מאמרים על חג הפסח, הוצאת מכללת הרצוג - תבונות, אלון שבות, עמ' 219-256.

13. מ' רענן, 2014, 'תגובה לשיעורו של הרב שבת רפפורט, מהו חימוץ? הגדרת החימוץ - חלק ב' (בלוג רב צעיר)'. <http://www.daf-yomi.com/DYItemDetails.aspx?itemId=23376>.

רוב או חזקה כמו באיסורי כרת של חֶלֶב, ודם. אולם, עדיין יש לשאול מהיכן ההיתר במקרה שכל החיטה הורטבה בגשם ולכן גם מוחזקת שכזו.¹⁴

ג. טכנולוגיה של אפייה

1. מצה אינה חמץ

אין חולק כי תהליך הכנת בצק בדרך הרגילה לאפיית לחם הוא המביא להחמצה מדאורייתא, זאת ללא תלות בסוג התנור (דרך האפייה). תהליך זה מושפע מגורמים רבים כמו טמפרטורה, זמן ורכיבים הנוספים לבלייה, אולם, בעיקרו של דבר, תהליך זה אמור להיות זהה גם בעת אפיית לחם עוני - מצה. אשר על כן יש סעיפי הלכה רבים המתייחסים לדרך הנכונה והמתאימה לאפיית מצות. ברבות מהלכות אלו¹⁵ ניתן למצוא מקור או סיבה טכנולוגיים, שיכול להאט או למנוע את אחד מהרכיבים החיוניים לחימוץ. ביניהם ניתן למנות:

- (א) טחינה מבעוד יום: הורדת טמפרטורת הקמח ועיכוב תסיסה.
 - (ב) אי הוספת מלח לבלייה (מנהג): פגיעה בייצור הגלוטן.
 - (ג) נפח קטן ועבודה רציפה: מאפשר עיבוד רצוף של כל העיסה ומניעת אצירת פחמן דו חמצני ותפיחת הבצק.
 - (ד) מים 'שלנו' ועבודה בצל: הורדת הטמפרטורה ועיכוב התסיסה.
- הלכות אלו אשר קיומן משפיע על תהליך יצירת הגלוטן, התסיסה והתפיחה, רומזות על כך שתהליך החימוץ הוא שילוב של שלושה רכיבים: ייצור גלוטן, פירוק עמילן ואצירת הגז הגורם להתנפחות הבצק. גם הלכות נוספות שאינן קשורות לתהליך הכנת המצות עצמו אלא לקמח, לגרגרים או לאופן הבישול, מתכתבות היטב עם הגדרה זו של חימוץ. זאת כיוון שהמקרים הבאים, שמתרחש בהם מפגש של גרגרים או קמח עם מים אך ללא שילוב כל שלושת הרכיבים, מוגדרים באופן ברור בכך שאינם חמץ או שהינם חמץ מדברי סופרים.

2. מוצרים שאינם חמץ או שהם חמץ מדרבנן

(א) הקמח לכשעצמו אינו חמץ ואף לתיתה (הרטבה מועטה של הגרעינים לפני הטחינה, תהליך שעוזר להפריד את הסובין מהאנדוספרם להפקת קמח לבן) מותרת, אם כי הרמב"ם וה'שלחן ערוך' אוסרים אותה בזמן הזה,¹⁶ לעניות דעתי הדבר נובע מכך שאין כאן לישה ובניית גלוטן ושאר שלבי ההחמצה.

14. רוב החיטה המיובאת לישראל כיום מגיעה מאזורי גידול שבהם גשם לאחר הבשלה שכיח ביותר. לכן באופן מעשי ניתן להגיד כי גרגרי החיטה מן הסתם נרטבו או לכל הפחות, רוב הגרגרים נרטבו. בעולם, היכן שהגרגרים נקצרים 'רטובים' הגרגרים מיובשים באופן אקטיבי לאחר הקציר. בישראל נותנים לשמש לייבש את הגרגרים ומתבצע קציר גרגרים 'יבשים'.

15. רמב"ם, הל' חמץ ומצה פ"ה הי"ג; שו"ע, או"ח סי' תנה.

16. רמב"ם, הל' חמץ ומצה פ"ה ה"ז; שו"ע, או"ח סי' תנג סעי' ה; פ' פרידמן, קמח שנטחן לפני הפסח, כושרות, עמ' 25-29.



ב) גרגרים שהורטבו והתייבשו יכולים להיכנס תחת הגדרות שונות המופיעות בתלמוד ועד אחרוני הפוסקים. הרטבת הגרגרים יכולה לגרום להחמצה. בתלמוד מובא רק סימן אחד להחמצה של הגרגרים והוא בקיעה או שעומד לבקוע.¹⁷ כלומר, שינוי מראה, או ליתר דיוק חוסר שינוי מראה, הוא סימן לכך שאין חימוץ. אולם, במקרה של דגן שטבע בנהר,¹⁸ למרות שאין שינוי מראה,¹⁹ רבא אוסר את החיטה. על פי השלחן ערוך²⁰ נקבעו סימנים נוספים להחמצת גרגרים, ביניהם שינוי מראה, חיטים שמעלים צמחים (נביטה) וגרגרים מבוקעים. במקרים 'דגן שטבע בנהר', 'דגן שנרטב' (דלף עליו מים), 'חיטה שנמצאה בתרנגולת' וכדומה,²¹ כל התהליכים שמביאים לסימנים אלו שפורטו ע"י השלחן ערוך' חסרים את שלבי החמצה שתיארנו לעיל בהחמצת בצק ובמיוחד אין תהליך לישה ובניית גלוטן, הוא הגלוטן שמבדיל את חמשת מיני דגן.

ג) קמח שהוכנס למים רותחים, מותר בפסח ואינו חמץ,²² נראה שהסיבה לכך היא שהטמפרטורה הגבוהה מונעת את האפשרות לייצור גלוטן עקב דנטורציה (שינוי מרחבי) של החלבונים.

ד) באופן דומה לישה עם מי פירות אינה מחמיצה עקב תנאי תסיסה ויצירת גלוטן שונים, ובצק זה יגיע להגדרת 'סרחון'.²³

ה) ובאופן מפורש מובא ברמב"ם (הל' חמץ ומצה פ"ה ה"ח): 'אין הדגן שנבלל או שנתבשל ולא נתבקע חמץ גמור שלתורה ואינו אלא מדברי סופרים'. על פי הדברים הללו נפתרת השאלה של איסור כרת, אין מדובר באיסור חמץ מדאורייתא ולכן חכמים יכלו להקל באיסור מדברי סופרים. כך הם דברי הרמב"ם כפשוטם, אך ניתן להבין משיטות ראשונים שונים כמו הרי"ף כי מקור האיסור הוא בכל זאת מדאורייתא. אמנם אם נתבקעו לגמרי יש פוסקים שדין הגרגרים כחמץ גמור דאורייתא. לענ"ד במקרה שלא נתבקעו איסור החמץ מגיע מטעם איסור שאור (ולא חמץ שבעיסה) שאינו מצריך לישה, אלא תסיסה בלבד עקב פעילות אנזימטית וחיידקית שהתאפשרה עקב ההרטבה הממושכת אף ללא ערבוב כלל.

ד. גשם לאחר הבשלה

1. מצה שמורה

ניתן להגדיר שלושה סוגי 'שמירות': משעת קצירה, משעת טחינה, משעת לישה. בתקופות התנאים, האמוראים והגאונים דובר על שמירה משעת הלישה.²⁴ על פי זה ניתן

17. שיטת מר עוקבא בפסחים מ ע"א.

18. פסחים מ ע"ב.

19. רש"י, שם ד"ה אבל עושה אותו תכריכין למת.

20. שו"ע, או"ח סי' תסז סעי' ג-ו.

21. מקרים אלו מובאים בשו"ע, בהמשך סי' תסז.

22. רמב"ם, הל' חמץ ומצה פ"ה ה"ג.

23. רמב"ם, הל' חמץ ומצה פ"ה ה"א. וראה ב"פ מונק, תש"ם, 'ההבדל בין חימוץ וסרחון', תחומין א, עמ' 102-97.

24. ד' שפרבר, תשנ"ב, 'על מצה השמורה משעת קצירה', בתוך: מנהגי ישראל מקורות ותולדות ח"א, עמ' צב-צז.

להסביר שבשעת הדחק המובאת ב'שלחן ערוך'²⁵ אפשר לקנות קמח בלתי משומר מן השוק והשמירה מתחילה משעת לישה ואילך,²⁶ אולם אין בדברי ה'שלחן ערוך' התייחסות לבעיה שאולי הקמח עצמו חמץ או חשש חמץ. מדבריו של 'ערוך השלחן' (או"ח סי' תסז סעי' י) ניתן ללמוד כי היו מנהגים, הלכה למעשה, שניסו להתגבר על בעיית הרטבת החיטה הבשלה לקציר, ע"י קציר מוקדם של חיטה שלא סיימה את תהליך ההבשלה, כיוון שחיטה יונקת אינה מחמיצה, וזו לשונו:

ולכן נהגו לקצור שמורה בעוד שלא נגמר עדיין כל הגידול. אך אותם הקוצרין ירוקים ממש - נראה לי דלא יפה הם עושים, כי הם קשים לטחינה וללישה, וגם יש בהם ליחות הרבה, ויותר נוחים לבוא לידי חימוץ. אלא לא יקצרו עד שיגמורו ויהיו לבנים. אך לא ימתינו על התייבשותם לגמרי, ואחר הקצירה לאספם תיכף לגורן. אמנם הקציר המוקדם מונע החמצה בזמן היניקה, אך הקציר קוטע את תהליך היניקה, ומרגע זה החיטה הינה כחיטה קצורה לאחר הבשלה מלאה. היות שצבירת החלבון (רכיבי הגלוטן) והעמילן בגרגר המתפתח מתרחשת לאורך כל תקופת מילוי הגרגר, ככל שהקציר מוקדם יותר כך יש פחות רכיבי גלוטן ועמילן, דבר אשר גורם לנפח מאפה קטן יותר. ייתכן שעקב נפח מאפה קטן יותר חשבו שבעיית ההחמצה קטנה, אולם, גם בהנחה כי הגרגרים מיובשים מיד לאחר הקציר המוקדם, היות שהחלבון מצטבר בגרגר לפני העמילן, אין שינוי מהותי מבחינת הרכיבים להחמצה בגרגר וכולם נוכחים בקמח. הקדמת הקציר במספר ימים מועט תגרום להפקת קמח שמאפשר היוצרות גלוטן, יש בו גם מספיק עמילן לתסיסה, לפיכך כל התנאים להחמצה יישארו כמו שהם.

ה. האם תיתכן החמצה של חיטה במחובר לקרקע

אחת התופעות המתרחשת לעיתים הינה אירוע גשם שלא בעיתו (מאוחר), תרחיש שאירע גם בשנים האחרונות וייתכן כי השכיחות אף תעלה עקב שינויי אקלים. דוגמה קיצונית התרחשה בשנת תשע"ח, 2018, שבה בכל חודש היה אירוע גשם משמעותי בישראל. יתר על כן, שדות חיטה בשלים לקציר רבים בארץ קיבלו מנות גשם משמעותיות אשר גרמו לתפיחת הגרגרים, לאחר מספר ימים הם התייבשו שוב ולאחר מכן נקצרו. תהליך זה מוכר בעולם, במיוחד בארצות שבהן הגשם יורד בשלב ההבשלה. במקרים קיצוניים, גשם זה מתחיל תהליך נביטה של הגרגרים עוד בתוך השיבולית (sprouting) הפוגע באיכות החיטה. לעיתים גם ללא נביטה איכות החיטה נפגעת עקב תחילת פעילות אנזימטית (α -עמילאז).²⁷ האם אירועי הגשם המתוארים לעיל יכולים להביא לידי החמצה לפני קצירה? או לחילופין ניתן לשאול, האם חיטה כזו כשרה לפסח וניתן לאפות ממנה מצות, או שמא חיטה זו עברה החמצה או לפחות חשש חמץ ותהיה אסורה לשימוש בפסח?

25. שו"ע, או"ח סי' תנג סעי' ד.

26. מאמרו של שפרבר שם.

27. Lunn, Major, B.J., Kettlewell, P.S., Scott, R.K. (2001). Mechanisms leading to excess alpha -amylase activity in wheat (*Triticum aestivum*, L) grain in the U.K. *Journal of Cereal Science* 33, 313-329.



1. התמודדות הפוסקים עם בעיית ההחמצה במחובר

השאלה האם גרגרים יכולים להחמיץ עוד בשדה נידונה רבות בשיח ההלכתי שסוקר לאחרונה.²⁸ המקור הראשוני לכך דן בנושא אחר, הפרשת חמץ כתרומה, והגמרא (פסחים לג ע"א) אומרת שאם לא הייתה לתרומה 'שעת הכושר' לפני שהחמיצה אין זו תרומה, ואיזו היא תרומה שלא הייתה לה שעת הכושר? 'כגון דאחמיץ במחובר'. רש"י שם מפרש ומחדד: 'דקודם שחל הפסח היה מחובר והחמיץ במחובר וכל זמן חיבורו לא היה ראוי לקבל שם תרומה עליו', כלומר פשוט לרש"י שחיטה יכולה להחמיץ גם כאשר היא מחוברת לקרקע. אולם כאשר ירדו גשמים בשלבי גידול מאוחרים ו/או לפני האיסוף מהשדה כתב הרשב"א:

שאלת השנה שעברה רבו הגשמים ונפלו על הערימות שבשדות עד שהיו קצת מהשבילים שעל הערימות מעלים צמחים היש לחוש בפסח משום חמץ בחטים של קציר זה תשובה מסתברא שאין לחוש לחטים סתם של אותה שנה שאם אי אתה אומר כן לחם לא נאכל בפסח כי אין שנה שלא ירדו גשמים על הערימות אלא שד"ת הולכין בכל מקום אחר הרוב ואין הרוב מחמיצין ואף אותן ערימות שראינו שנפלו עליהם גשמים תולין להקל שמא לא נכנסו בהם מים אלא בשבילים העליונים אבל לא בבטן הערימה וכן הדבר ניכר לעין ואף את"ל שנכנסו שמא לא הספיקו להחמיץ שלא כל שבא במים מחמיץ ויעיד עליו הדעת ולתיתה נמי תעיד דשריא לכתחלה הלכך הוי ספק ספיקא ולקולא ולא דמי לארבא בחישתא שהכל טבעו במים וכל שטובע במים מן הסתם שוהא בו ויש בו להחמיץ ע"כ כתב עוד בתשובה דהא דאמרין בפרק כל שעה (לג.) ה"ד כגון דאחמיץ במחובר כשנתבשל לגמרי במחובר ואינה צריכה כלל ליניקה וכל שנתייבש לגמרי במחובר כמאן דמנחא בכדא דמיא ומקבלת חימוץ אם ירדו עליה גשמים.

הרשב"א מתיר את החיטה ומאפשר להכין ממנה מצה, אולם הוא מקבל את ההבנה הפשוטה של רש"י כי חיטה יכולה להחמיץ גם כאשר היא עדיין לא נקצרה אך אינה יונקת עוד מהקרקע. גם ה'שלחן ערוך' (או"ח סי' תסז סעי' ה) שילב זאת בהלכות חמץ, וזו לשונו: 'דגן שבמחובר שנתייבש לגמרי ואינו צריך ליניקה כמאן דמנח בכדא דמי ומקבל חימוץ אם ירדו עליו גשמים'. אבל, מקרה זה לא מופיע בהלכות חמץ ומצה של הרמב"ם. אם כך יש לשאול: האם חכמים קבעו גדר והגדירו גרגרים אלו כחמץ עקב האיסור החמור של חמץ בפסח ובגרגרים אלו יש חשש חמץ או חמץ גמור? אם כן, מדוע הרמב"ם משמיט הלכה זו? האם ייתכן כי גרגרים אלו הם 'רק' חמץ מדרבנן? לית מאן דפליג שכאשר יש אפשרות אחרת אין סיבה לטחון גרגרים אלו שיש עליהם שאלה עבור פסח והם יישארו בגדר חמץ, מדאורייתא או מדרבנן.

2. האם ובאילו מקרים יש החמצה של גרגרי חיטה במחובר

כאמור לעיל, סימנים להחמצת גרגרים הם שינוי מראה, חיטים שמעלים צמחים

28. מ' שומרון, תשע"ט, 'החמצת חיטים לפני קצירה', אמונת עתיך (122), עמ' 77-84.

(נביטה)²⁹ וגרגרים מבוקעים.³⁰ באופן מעשי תפחת הזרעים עקב הרטבה כוללת שני שלבים: א) קליטה פסיבית של מים (גם גרגר שאינו חי יקלוט מים עקב תכונות הרכב הגרגרים אשר סופחים מים), תהליך זה מהיר; ב) תחילת תהליכים אנזימטיים כימיים ופיסיולוגיים, וקליטת מים אקטיבית המתרחשת בעקבות תחילת הנביטה. לצורך התחלת תהליכי הנביטה, קולט זרע החיטה מים בשיעור של 40%-50 ממשקלו היבש. שינויים חזותיים אפשריים הם: נפיחות, איבוד/שינוי צבע, בקיעת קליפת הזרע, הגחת קצה שורשון או נצרון. אולם, פרט למקרי קיצון, לרוב קשה מאוד לזהות חזותית שינויים בגרגר.³¹ תהליך 'נביטה' המתרחש בשיבולים לפני קציר מושפע מכמות המשקעים ומהטמפרטורה.³² צריך לפחות 10-15 מ"מ גשם שירדו מספר שעות ולחות במשך יומיים לפחות.³³ יש הבדל ברגישות זנים שונים להרטבה אשר תגרום לנביטה בשיבולת, אחת הסיבות לכך יכולה לנבוע ממבנה/הרכב הגלומות והמוצים אשר משפיעים על קצב מעבר מי גשם לגרגר.³⁴ זני החיטה נבדלים בין השאר גם בצבע הגרגר, גרגר לבן עד אדום, בישראל, רוב הזנים היום הם בעלי צבע גרגר אדום, אך יש גם זנים בעלי צבע גרגר לבן. באופן היסטורי קשרו נביטה מוקדמת בשיבולת לגרגרים 'אדומים', אך כיום ידוע כי התהליך מתרחש גם ב'לבנים'.³² יכולת האבחנה ברגישות הזן לנביטה, גבוהה יותר כאשר טיפול ההרטבה מבוצע על שיבולים,³⁵ ויש עבודות שמראות יכולת טובה יותר לניסוי מדמה גשם.³⁶ המים צריכים לחדור לזרע. בגרגרים מנותקים, החדירה היא דרך נקודת

29. **הערת עורך: ד"ר מרדכי שומרון:** הביטוי 'העלה צמחים' בחיטה הנמצאת בערמות מוסבר על ידי חלק מנושאי הכלים שמדובר בנביטה. לענ"ד זה לא סביר כי זה שלב מאוחר מאוד ובוודאי לאחר שלב הביקוע ואם כן מה החידוש? בגמרא בבא קמא פה ע"א, לגבי ריפוי המכה נאמר: 'עלו בו צמחים מחמת המכה' ושם וודאי הכוונה לפטרייה וכד'. לענ"ד יש להסביר גם לגבי החמצה שהכוונה לאיזשהו תהליך של נביטת פטריות/עיפוש על פני הגרגר כתוצאה מלחות ממושכת. **תגובת המחבר:** סברתך מקובלת עליי, אם כי אני נוטה לחשוב שזה גם וגם. אין ספק שעיפוש ופטריות שונות שכיחות יותר בערמות גרעינים שהורטבו. אך במקביל, הרי אנו מדברים על אדם שהגיע אל ערימת/שק הגרעינים שלו ומצא בהם כאלו שנבטו. הוא לא מסתכל עליהם מדי שעה/יום, ולכן לא זיהה את הבקיעה. הוא פשוט מזהה נביטה. עולה שאלה נוספת, האם נביטה לכשעצמה היא חמץ דאורייתא. לענ"ד - לא. ובמילים אחרות, נבטי חיטה אינם חמץ דאורייתא, ואם יוגדרו כחמץ יהיה זה חמץ מדרבנן מחשש שאור.

30. שו"ע, או"ח סי' תסז סעי' ג-ו.

Mares, D.J., Mrva, K. (2014). Wheat grain preharvest sprouting and late maturity alpha-amylase. *Planta* 240, 1167-1178. 31

Mares, D. (1993). Pre-harvest sprouting in wheat. I. Influence of cultivar, rainfall and temperature during grain ripening. *Australian Journal of Agricultural Research* 44, 1259-1272. 32

Mares, D.J., Mrva, K. (2014). Wheat grain preharvest sprouting and late maturity alpha-amylase. *Planta* 240, 1167-1178. 33

שם. 34

Gavazza, M.I.A., Bassoi, M.C., Carvalho, T.C.d., Bessalho Filho, J.C., Panobianco, M. (2012). Methods for assessment of pre-harvest sprouting in wheat cultivars. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 47, 928-933. 35

Mares, D.J., Mrva, K. (2014). Wheat grain preharvest sprouting and late maturity alpha-amylase. *Planta* 240, 1167-1178. 36



החיבור של הזרע לציר השיבולית, המיקרופילה,³⁷ אך בשיבולת מעבר זה חסום ע"י חיבור לציר השיבולת ולא ברור מהיכן חודרים המים³⁸ אך בעבודות שונות נראה כי המים חודרים מהיקף כל שטח הפנים של הגרגר דרך קליפות הגרגר. כאמור, מבחינה מדעית עיקר המחקר שבוצע כוון להבנת ומניעת הנביטה המוקדמת של הגרגרים בשיבולת לפני הקציר. אולם מבחינה הלכתית, יש להבין, מה השינוי שחל בגרגרים שהורטבו? האם היו תנאים לחימוץ? ועבור מקרים שבהם רק בחלק מהשדות גשם מרטיב חיטה שאינה יונקת עוד מהקרעק, היאך נוכל לזהות ולמיין את הגרגרים? כדי לתת מענה לשאלות אלו חקרנו את הנושא בשנים האחרונות, עיקרי הממצאים מפורטים בפרק הבא ובפרסום לחקלאים.³⁹

1. ניסויי הרטבה בגרגרי חיטה

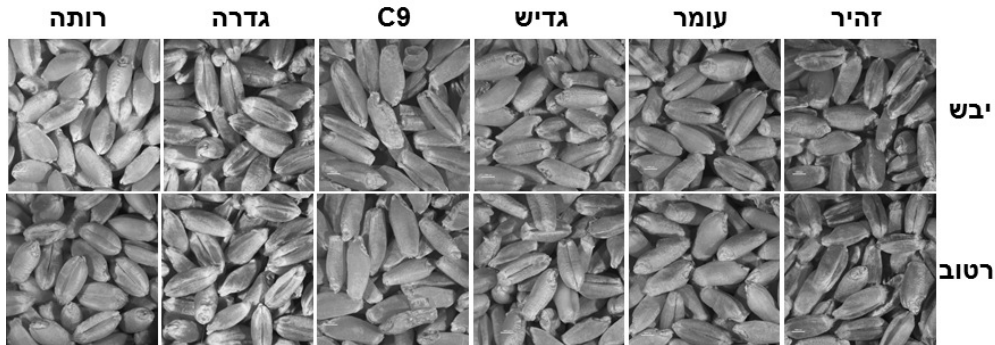
המחקר שילב בחינת זנים שונים המגודלים בשדות ישראל, חיטת לחם וחיטת דורום. זני חיטה שנבחנו בניסויים המבוקרים, מייצגים את מרב הזנים שבמזרע בהם חיטת לחם גרגר לבן - רותה וגדיש; חיטת לחם גרגר אדום - זהיר, עומר, גדרה, רגב, יובל, עמית; חיטת דורום - C9. חיטים אלו נצרכים כיום בתעשיית המצות, כל יצרן מצות ובחירתו הוא על פי שיקוליו. המחקר התבסס בעיקר על ניסויים מבוקרים בעזרת הדמית גשם בשדה, ובנוסף על ניסויים בהרטבת גרגרים או שיבולים ואיסוף דוגמאות משדות מסחריים. באופן כללי חלקות במרכז מחקר גילת נקצרו באופן רגיל, לאחר הקציר הניסוי הועמדה מערכת הרטבה לדימוי גשם מאוחר לאחר קציר, המטרה או התזה, תתי החלקות הצמודות לתתי החלקות שנקצרו הורטבו. בניסוי אחד בוצעה המטרה בשלב מאוחר אך טרם הבשלה לקציר, ובניסוי נוסף בוצעה השקיה בטפטוף לפני הקציר לאחר שהחיטה הייתה מוכנה לקציר אך ללא הרטבת השיבולים. לפחות שבוע, לרוב שבועיים, מהשקיה אחרונה ולאחר ייבוש אוויר, החלקות נקצרו. אופן ההרטבה יצרה סימולציה למערכות גשם שונות בנוסף להיקש יבש. ללא תלות במערכת דימוי הגשם בכל ניסויי השדה שבהם השיבולים הורטבו, הגרגרים חזרו להיות רכים בדומה לאמצע שלב דוג. רכות הגרגר מיד לאחר ההרטבה התבטלה זמן קצר לאחר מכן וכעבור מספר ימים הגרגרים התייבשו שוב לרמת לחות המתאימה לקציר כפי שהיה טרום ההרטבה. במקורות ההלכתיים לא דנים בזמן שבו הגרגר היה רטוב, כנראה מתוך הנחה שאלו גרגרים (הלחים) שישמשו מיד לטחינה בפסח או ערב פסח. לכן לעניות דעתי לא ניתן לקבוע שהגרגרים בניסויי ההרטבה הוחמצו רק מפני שהם התרככו בשעת ההרטבה. ביקוע גרגר או תחילת נביטה לא נצפו באף אחד מהניסויים ולכן גם הם לא יכולים להוות סימן להחמצה בניסויים אלו. לאור זאת נשאר רק הסימן של שינוי מראה. יכולות להיות סיבות

.37 Rathjen, J.R., Mares, D.J., Strounina, E.V. (2009) Water movement into dormant and non-dormant wheat (*Triticum aestivum* L.) grains. *Journal of Experimental Botany* 60, 1619-1631.

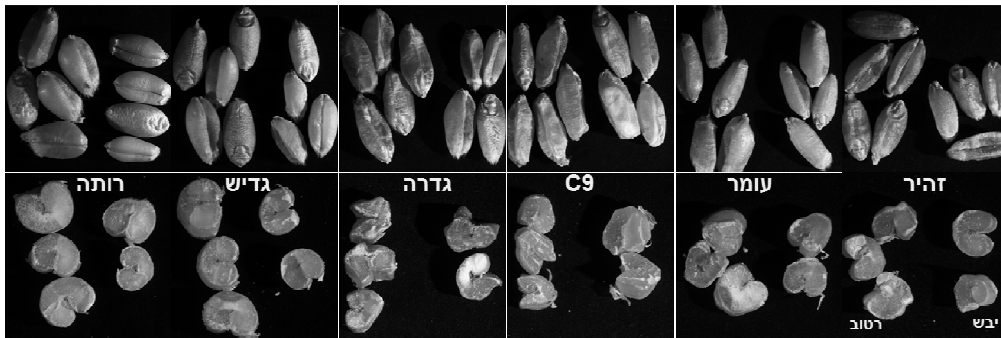
.38 Mares, D.J., Mrva, K. (2014). Wheat grain preharvest sprouting and late maturity alpha-amylase. *Planta* 240, 1167-1178.

.39 דו"ח מדעי מפורט יותר <https://falcha.co.il/field-crops/climate-change-and-kosher-wheat-for-passover>. זמין לקורא המבקש להעמיק: <https://agriscience.co.il>

רבות, הקשורות למה שהתרחש בשדה, בקציר או בגרגר, לשינוי מראה של הגרגר. ההשערה שהגרגרים מאפירים ומאבדים את הברק בעקבות ההרטבה מתקיימת רק במספר מקרים ולרוב לא ניתן לראות כל שינוי (איור 1, כדי להגיע לאחידות מרבית הצילום בוצע ע"י סטריאוסקופ עם שליטה על מקור האור⁴⁰).



איור 1. צילום גרגרים ע"י סטריאוסקופ עם מקור אור אחיד.



איור 2. צילום גרגרים RGB מניסויי ההרטבה כחצי שעה לאחר תום ההשקיה.

צילמנו בסטריאוסקופ גרגרים שלמים (איור 2) וחתכים רבים של גרגרים יבשים ומורטבים (מניסויי השדה) ולא הצלחנו לזהות הבדלים משמעותיים, על אחת כמה וכמה שינויים עקביים. יתר על כן, גם בעוד הגרגרים רכים ורטובים עקב ה'גשם' קשה לזהות את חדירת המים ושונות בברק ובגוון של תמונה עקב ההרטבה. בנוסף לקושי של העין לזהות שינוי מראה, גם עיבוד תמונה כגורם ממיין הן בדרך קלאסית הן בכלים של בינה מלאכותית לא הצליחו להניב מודל ממיין, כלומר לא ניתן להגדיר זאת כשינוי מראה.

40. ניתן לראות את התמונות באיכות צבע טובה בדו"ח המחקר. המתעניין שרוצה להעמיק ולנסות ולבחון 'שינויי מראה', מוזמן לפנות למחבר כדי לתאם בחינה בעיניו של דוגמאות גרגרים מהניסויים השמורות במרכז מחקר גילת.



1. שינויים פנימיים בגרגר שספח מים

השפעת הרטבה נמדדת בעולם הרחב ע"י שיטת falling number⁴¹ ולפי בדיקה זו ניתן לומר כי הרטבת החיטה בניסויים אלו לא גרמה לפעילות אנזימטית, כלומר לא החל תהליך התסיסה ופירוק העמילן הדרושים להחמצה. להרטבה הייתה השפעה מובהקת על מספר מדדים מצומצם של איכות החיטה. ההרטבה הפחיתה את המדדים: משקל נפחי של הגרגרים, אלסטיות הבצק, ספיחת מים של הבצק. במקביל, ההרטבה הגדילה את המדדים: falling number וחוזק הבצק. נתוני האיכות מראים כי ההרטבה העלתה את החוזק והורידה את האלסטיות של הבצק. שינויים אלו בתכונות הבצק הם בתוך תחום יחסית מצומצם, אשר בשיווק מסחרי מתעלמים מערכים אלו פרט למשקל הנפחי. אך חשוב מכך, כל המדדים הללו לא מוזכרים כמדדים של החמצה. הפרדה של חלבונים שמוצו מהגרגרים⁴² הראתה כי ההפרדה אחידה ללא השפעה של טיפול הרטבת הקמה ואין שינוי בפרופיל החלבונים. אולם ניתן לזהות שוני בפרופיל החלבונים עקב טיפול שביצענו באופן יזום הן בהרטבת הקמח הן בהפיכתו לבצק טרום מיצוי והפרדה. תהליך זה לא קרה בשדה, אלא רק לאחר הרטבת הקמח, כלומר ניתן להסיק כי הרטבת הגרגר לא גרמה לתהליך האנזימטי של פירוק חלבון שמפורק עקב הרטבת קמח (דקות ספורות). עם זאת בהפרדת חלבוני התשמורת בשיטה אחרת נמצאו שינויים שניתן לזהות עקב טיפולי ההרטבה אשר יכולים לגבוע משינוי בפולריות (קוטביות, דרך חלוקת המטען החשמלי) של החלבונים, או משינוי במבנה המרחבי עקב שינוי במצב חמצון/חזור של החלבון. בנוסף, לחלבונים ולעמילן בגרגר ובקמח יש כושר לספוח מים, דבר אשר גרם בסופו של דבר לקבל מטחינה זהה קמח בעל גרגרים גדולים יותר בעקבות הרטבת הקמה. ראוי לציין כי גם בקמח מחיטה שהושקתה בטפטוף לאחר הבשלה ללא הרטבת הגרגרים גודל החלקיקים היה גדול יותר. אשר על כן שינויים אלו לא יכולים להיכלל כשינויים שגרמו להחמצה.

2. פיתוח כלי אבחון לזיהוי גרגרים שספחו מים ואה"כ התייבשו

למרות האמור לעיל שגשם מאוחר בישראל אינו גורם להופעת סימני החמצה, נכון להיום

41. ניתן למדוד פגיעה באיכות החיטה בגלל תחילת פעילות אנזימטית עקב הרטבת חיטה בשיטה המודדת את צמיגות תרחיף הקמח במים לאחר חימום ונקראת falling number (ראה מאמר דו"ח המחקר, הערה 27 בעמ' 147). הפגיעה מתבטאת בירידה בערכי falling number אל מתחת לרמת סף מקובלת לערך הנמוך מ-250 שניות. השיטה מבוצעת בפועל בטחנות קמח בישראל היות שרוב החיטה מיובאת וחשופה להרטבה לאחר הבשלה. לחילופין, בגלל נדירות אירועי גשם בישראל לאחר הבשלה לקציר, מדד זה אינו משמש לאבחון איכות חיטה ישראלית.

42. כל חיטה מייצרת מספר רב של חלבוני תשמורת מסוג גליאדינים וגלוטנינים שמהם מתפתח הגלוטן בזמן הלישה. בזן אחד יש אף כ-50-100 חלבונים השונים זה מזה. הזן, הגנוטיפ, קובע את ההרכב אילו חלבונים מסונתזים. שיטות שונות מאפשרות לקבוע את פרופיל החלבונים של הזן. במחקר זה נעשה ניסיון לזהות על פי ההרכב האם עקב הרטבת הקמה חל שינוי כלשהו בפרופיל. שינוי בפרופיל בו חלבון מסוים חסר מעיד למשל על פירוק חלבון עקב תהליך אנזימטי או לחילופין על קשירתו לחלבון אחר כפי שמתרחש בעת פיתוח הגלוטן. במקרה ושני חלבונים נקשרים הפרופיל יזהה חלבון בגודל של שניהם יחד.

מרבית צרכני החיטה עבור אפיית מצה שמורה מחפשים יכול חיטה משדה שלא ירד עליו גשם מאוחר. לאור זאת ובמיוחד אם סברתנו אינה נכונה והחיטה אכן מחמיצה (אך אנו לא רואים זאת), יש חשיבות בפיתוח כלי אבחון לזיהוי בלתי תלוי של גרגרים שספחו מים ואח"כ התייבשו. מיון וזיהוי גרגרים שהורטבו יכול להתבסס על כמה שיטות.

1. הסתכלות חזותית ו/או בחינת הצבע של הגרגר⁴³

כפי שפורט לעיל שיטה זו לא יעילה למיון של גרגרים שהורטבו והתייבשו. לחילופין, אפשר לנסות להגדיר שינוי מראה כשינוי בגודל הגרגר. כדי לבחון האם חל שינוי בצורת הגרגר, גרגרים הונחו על נייר כאשר השנץ בתחתית, הגרגרים צולמו בעזרת טלפון חכם וישום ייעודי. היישום מחשב אומדנים רבים של הגרגר, והראה כי גרגרים שהורטבו אכן גדולים יותר. אולם, לא נמצאה כל השפעה עקבית באף אחד מהמדדים ובמיוחד לא בפשוטים שבהם (אורך ורוחב), זאת בסבירות גבוהה עקב השונות הטבעית בגודל הגרגרים אף באותה שיבולית.⁴⁴ אשר על כן לא ניתן להיעזר באומדנים אלו ככלי באפיון ומיון הגרגרים.

2. חתימה ספקטראלית⁴⁵ של הגרגרים⁴⁶

גרגרים נסרקו בשתי שיטות ניטור מהירות ולא הרסניות המודדות חתימה ספקטראלית ופלווארוסנציה מבוקרת. החתימה הספקטראלית רגישה לשינויים הפנימיים שחלו בגרגרים שהורטבו בגשם. על בסיס הנתונים שהתקבלו פותח אלגוריתם מיון המאפשר לזהות דוגמאות גרגרים שהורטבו לאחר הבשלה ברמת מהימנות גבוהה ולמנוע שימוש בגרגרים אלו בפסח, מספק שמא החמיצו.

3. היחס משקל גרגר ומשקל נפחי⁴⁷

בניסויי ההרטבה המבוקרים בגילת התקבלה ירידה במשקל הנפחי, זאת ללא השפעה על משקל הגרגר. משקל גרגר נמצא בקשר עם משקל נפחי, ועקב הירידה במשקל הנפחי דוגמאות החורגות מקשר זה (מעל רווח בר סמך לנקודה יחידנית) חשודות ככאלו

43. Groos, C., Gay, G., Perretant, M.R., Gervais, L., Bernard, M., Dedryver, F., Charmet, G. (2002). Study of the relationship between pre-harvest sprouting and grain color by quantitative trait loci analysis in a whiteXred grain bread-wheat cross. *Theoretical and Applied Genetics* 104, 39-47.

44. מ' פינטהוס, תשמ"ג, 'גודל הגרגר בחיטה: מהותו, חשיבותו והגורמים המשפיעים עליו', השדה ס"ג (י"ב), 2538-2541.

45. לכל עצם על פי הרכבו יש תכונה שכאשר קרינה אלקטרומגנטית תפגע בו חלק מהקרינה תעבור, חלק תבלע וחלק תוחזר. לדוגמה, הסיבה שצמח נראה ירוק הינה כי הפיגמנטים קולטים בעיקר את האור הכחול והאדום, בעוד שבתחום האלקטרומגנטי הנראה לעין החוזר באורך גל של הצבע הירוק הוא הגבוה ביותר. אשר על כן, לגופים שונים חתימה ספקטראלית שונה. פלווארוסנציה מבוקרת הינה החזר של אור באורך גל ספציפי בעקבות חשיפה לאורך גל אחר. השיטה מאפשרת לזהות ולכמת גם רכיבים בתוך הגרגר מבלי צורך לטחון אותם. באופן מעשי משתמשים בשיטה זו כשיטה עיקרית לקביעת רמת החלבון בגרגרים.

46. Jones, O.A.H. (2017). Assessing pre-harvest sprouting in cereals using near-infrared spectroscopy-based metabolomics. *NIR news* 28, 15-19.

47. Ji, T., Penning, B., Baik, B.-K. (2018). Pre-harvest sprouting resistance of soft winter wheat varieties and associated grain characteristics. *Journal of Cereal Science* 83, 110-115.



שהורטבו. דוגמאות בולטות הן דוגמאות גרגרים במשקל גרגר של כ-45 מ"ג אשר המשקל הנפחי שלהן הוא רק כ-74-76 במקום כ-82-83 ק"ג\מאה ליטר. כך, ניתן לזהות בשלושה אתרים (בחוות עדן, עמק יזרעאל ומולדת, עונת תש"ף) שהורטבו ע"י גשם משמעותי לאחר הבשלה כי המשקל הנפחי בגרגרי זנים שונים נמצא נמוך מהצפוי לפי משקל הגרגר. חשוב להדגיש כי לכל זן יש קשר שונה ורווח בר סמך שונה, לכן, רצוי לבחון כל דוגמת גרגרים בהתאם לזן החיטה המסוים.⁴⁸ זיהינו כי בעשור האחרון קיימים מקרים נוספים של חריגה בזנים שונים, דבר המצביע על היתכנות להרטבה עקב משקעים מאוחרים.

כלי המיון ואבחנה אלו המבוססים על בחינת משקל נפחי, משקל גרגר וחתימה ספקטראלית של הגרגרים מאפשרים לזהות גרגרים שהורטבו, מסייעים לאבחון 'שינוי מראה' שאינו נראה בעין, אך אינם מאבחנים החמצה.

ה. האם השינויים שנמצאו עקב גשם מאוחר יכולים להיות בסיס להחמצה?

סימולציית הגשם המאוחר הצליחה להרטיב את הגרגרים ללא תלות בזן, במין ובצבע הגרגר בכל הזנים המשמשים כיום בתעשיית המצות. גשם מאוחר מצליח להיקלט על ידי הגרגר וגורם להגדלת נפחו, אשר אינו חוזר לגודל המקורי גם לאחר ההתייבשות. במחקר שביצענו ניתנה כמות מים גדולה מזו המצוטטת בספרות, זאת עקב התנאים האקלימיים השוררים בקיץ בגילת והרצון להבטיח ספיחת מים ע"י הגרגרים ובכך ליצור את המצב הבעייתי ביותר. בדומה להבחנה מבטיחה מוקדמת,⁴⁹ ניתן לאבחן באופן ראשוני חשש לאירוע הרטבה על בסיס היחס משקל גרגר ומשקל נפחי. בניגוד למקובל שבגרגרים בלתי מצומקים אין כל מתאם משמעותי בין משקל הגרגר למשקל נפחי,⁵⁰ אנו מראים קשר ברור אך קשר זה הינו תלוי זן, זאת בדומה למחקרים אחרים.⁵¹ ניתן אף למיין גרגרים 'יבשים' או שהורטבו גם במעבדה על סמך חתימה ספקטראלית המתקבלת מסריקת הגרגרים ע"י שני מכשירים.⁵² אם כך הצלחנו במחקר זה לבצע סימולציה של המצב הבעייתי ביותר, גרגרים סופחים מים, תופחים, אך אין ביקוע של קליפת הזרע, ובוודאי שאין נביטה. אלו הגרגרים המעלים את השאלה ההלכתית, האם החיטה ראויה או

-
48. משוואות הקשרים והאיורים זמינים בקישור <https://israel-wheat.wixsite.com/mizam/>
49. Ji, T., Penning, B., Baik, B.-K. (2018). Pre-harvest sprouting resistance of soft winter wheat varieties and associated grain characteristics. *Journal of Cereal Science* 83, 110-115
50. מ' פינטהוס, תשמ"ג, 'גודל הגרגר בחיטה: מהותו, חשיבותו והגורמים המשפיעים עליו', השדה ס"ג (י"ב) 2538-2541.
51. Wang, K., and Fu, B. X. (2020). Inter-relationships between test weight, thousand kernel weight, kernel size distribution and their effects on durum wheat milling, semolina composition and pasta processing quality. *Foods* 9(9):1308.
52. המכשירים NIR ו Multiplex, וראה המקור בהערה 47, ומקור נוסף:
- Curzon, A. Y., Chandrasekhar, K., Nashef, Y. K., Abbo, S., Bonfil, D. J., Reifen, R., Bar-el, S., Avneri, A., and Ben-David, R. (2019). Distinguishing between bread wheat and spelt grains using molecular markers and spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 67, 3837-3841

פסולה, היות שהיא חמץ או חשש חמץ. אין ספק כי בגרגר היו שינויים אך שינויים אלו היו מוגבלים בעיקר לשינוי מבני ולתפיסת נפח גדול יותר. לשם כך ננסה לחזור להבין את תהליך החימוץ.

1. חימוץ גרגרים?

הסימנים שהובאו להחמצה הם רכות הגרגר מלחות, שינוי מראה, תחילת נביטת השורשון והתבקעות הגרגר.⁵³ אין ספק כי קל לזהות גרגרים מבוקעים או שבהם החל השורשון להתארך אך אין זה המקרה השכיח (אם בכלל) עקב גשמים מאוחרים בישראל. לא ניתן להסתמך על רכות הגרגר שכן ימים ספורים לאחר הגשם הגרגרים מתייבשים מתקשים ומגיעים למצבם טרום הרטבה. זיהוי נוכחות גלוטן ורכיביו, במיוחד בכמויות זעירות עבור ענף המזון נטול גלוטן, מבוסס בעיקר על שיטות אימונולוגיות ואליזה,⁵⁴ על בסיס הכרת מעקובות (רצף חומצות אמינו) קצרות.⁵⁵ אשר על כן זיהוי של רכיב גלוטן אפשרי אך לא של הגלוטן המפותח. לכן לא ניתן לבסס מיון על בסיס זיהוי הגלוטן, מה גם שלא התרחש שום תהליך לישה לבניית הגלוטן. לחילופין, ברור כי השינוי המהותי שחל בגרגרים שהורטבו הוא שינוי בגודל. יש מי שינסה לקשור זאת לתפיחת הבצק וכיכר הלחם. נקודה זו של עלייה בנפח לא נדונה עד עתה כראוי, וגם הניסיון⁵⁶ להבדיל בין ניפוח להתפחה אינו מברר זאת כראוי. בתהליך הכנת הבצק והאפייה יש שלושה שלבים עיקריים שונים שבהם נפח העיסה/הכיכר גדל והגורם לעלייה בנפח בהם שונה. הראשון: ספיחת מים ע"י הקמה, בשלב זה חלקיקי העמילן והחלבונים סופחים מים ונפחם גדל. בשלב זה יש משמעות לגודל החלקיקים ולרמת העמילן הניזוק (גרנולת עמילן פצועה עקב הטחינה) ולתכולת החלבון. ככל שרמתם עולה כך ספיחת המים עולה. מבחינה מעשית, שלב זה 'מקביל' לספיחת המים בגרגר היבש כפי שהתרחש בניסויי הדמיית הגשם המאוחר, אשר גרם לספיחה נמוכה יותר אך בהיעדר עמילן ניזוק (בהיעדר טחינה). השני: כמתואר לעיל בחימוץ עיסה, בתהליך התסיסה ופירוק העמילן משתחרר פחמן דו-חמצני, והגז נאצר ע"י הגלוטן. היות שגלוטן שבנוי היטב יוצר רשת אלסטית, כעין ספוג, הגז מנפח את הרשת (בדומה לניפוח בלון) ולכן נפח הבצק עולה. השלישי: שלב זה הינו שלב ג'לטיניזציה המתרחש עקב החום בתנור, גרנולות העמילן מתנפחות וה'עמילן' גדל בנפחו. בשלב זה קשרי המימן בעמילן נשברים ומים חודרים לגרנולת העמילן ומנפחים אותו, תהליך זה מתרחש באופן רגיל בכחמש הדקות הראשונות של אפיית לחם. תהליך זה הינו נגזרת של העמילן עצמו ולכן יתרחש גם בבצק שהוכן מקמה ללא גלוטן. סביר

53. שו"ע, או"ח סי' תסז.

54. שיטות אימונולוגיות משמשות בעיקר בבדיקות מערכת החיסון, וזיהוי תגובה חיסונית לפתוגן. בדיקת ELISA נועדה לגלות חומר כלשהו בדוגמה באמצעות קשירה של נוגדן ספציפי לאותו חומר. בבדיקת נוכחות גלוטן לרוב השיטה מזהה רצף של חומצות אמינו בעלות התגובה החריפה ביותר בחולי כרסת.

55. Haraszi, R., Chassaing, H., Maquet, A., and Ulberth, F. (2011). Analytical methods for detection of gluten in food-method developments in support of food labeling legislation. *Journal of AOAC International* 94, 1006-25.

56. מ' רענן, 2014, 'תגובה לשיעורו של הרב שבתי רפפורט מהו חימוץ? הגדרת החימוץ - חלק ב' (בלוג 'רב צעיר'). <http://www.daf-yomi.com/DYItemDetails.aspx?itemId=23376>.



שזו גם התפיחה בתיאור התפיחה במצות מכונה.⁵⁷ לעניות דעתי השלב הראשון כיוון שאין בו בניית גלוטן לא יכול לגרום לחימוץ, אם כי יכול הוא להביא ל'סירחון' בדומה למי פירות.⁵⁸ גם השלב השלישי אינו קשור לחימוץ, ומדגיש כי תפיחה בלבד אינה חימוץ. אם כך, התפיחה בשלב השני היא זו שקשורה לחימוץ. תפיחה זו מושפעת מאוד מהתנאים ששוררים בזמן התפיחה ומרכיבי הבלילה. הוספת מלח מאפשרת בשלב זה "פתיחה" של חלבוני תשמורת שאינם נמסים במים עבור פיתוח הגלוטן, וייתכן שזו הסיבה לאיסור להוסיפו לבצק עבור מצות. תחת תנאים לא טובים בשלב זה הבצק אינו תופח כמצופה וכאן מתאימות כל ההגדרות ההלכתיות של 'בצק החרש' וסימני זיהוי החמצת הבצק/העיסה. אם כך, בשלב 'דאחמיץ במחובר' מתקיים רק שלב התפיחה הראשון, בהרטבה זו, פרט לגדילה בנפח הן של החלבוני הן של העמילנים, עולה גם פעילות אנזימית שונים. אולם לעניות דעתי כיוון שלא נבנה גלוטן אין בפעילות אנזימית אלו ובעלייה בנפח תנאים מספיקים להבאה להגדרת 'חמץ'. גם לאיסור חמץ מטעם שאור חיטה זו אינה מגיעה עקב ההתייבשות תוך יומיים שלושה, התייבשות שמונעת את פעילות החיידקים ויצירת שאור. אשר על כן ייתכן שהראשונים והאחרונים שאסרו חיטה זו, רש"י רשב"א ועוד,⁵⁹ עשו זאת בגלל החשש להחמצה ולא עקב ידיעה ברורה שחיטה זו החמיצה. לחילופין ניתן להגיד בזהירות רבה שלקביעה של הרשב"א 'מסתברא שאין לחוש לחיטים סתם של אותה שנה, שאם אי אתה אומר כן, לחם לא נאכל בפסח' יש על מה לסמוך, כיוון שתהליך החמצה מלא לא מתרחש. מבחינה זו אין הבדל בין גרגרים מחוברים, על הארץ או בכד, כמו גם אין הבדל בין גרגרים שנדושו או עוד בהיותם בתוך השיבולת. יתר על כן, בשעת הדחק ניתן לסמוך על היתר המבוסס על טחינה לפני הפסח וביטול ברוב לפני הפסח.⁶⁰ דרך זו תאפשר אף בשנה חריגה שבה כל יבול החיטה הורטב לאחר הבשלה לאפות מצות מחיטה שגדלה בארץ חמדה. זאת, גם כיוון שבהיעדר עדות אמינה, רוב החיטה המיובאת מוחזקת כחיטה שירדו עליה גשמים ולכן אינה עדיפה על חיטה ישראלית. אולם, חשוב להדגיש כי אלו הטוענים כי החיטה אכן עוברת תהליך החמצה מגשם מאוחר צריכים לתת את דעתם לכך שהבעיה יכולה להיות קשה יותר. דוגמה מאלפת לכך היא שנת תשפ"ג, בשנה זו ירד גשם משמעותי בכל שדות החיטה בישראל במהלך חול המועד פסח. במועד ירידת הגשמים היו שדות שבהם החיטה הייתה בשלב בשל לקציר וגם כלי האבחון שפותחו בעבודה זו זיהו את ההרטבה. אם כך, לשיטתם חיטה זו החמיצה במהלך הפסח והתבואה שנאספה הינה חמץ שעבר הפסח. חמץ שעבר עליו הפסח נאסר באכילה והנאה, בין לו ובין לאחרים. אולם חיטה זו נקצרה ונקלטה לשימוש ישראל ללא כל הגבלה. עדיין, חשוב לחזור ולהדגיש כי גם לדעתי למרות שיש ספק רב האם גרגרים אלו החמיצו 'אמרו חכמים: צריך אדם ליזהר בדגן

57. מ"מ אייזנברג, תשס"ו, 'החששות במצות מכונה של ימינו', תחומין כו, עמ' 123-133; בצ"י וואזנר, תשס"ו, 'תהליכים בעייתיים במצות מכונה', תחומין כו, עמ' 134-142.

58. רמב"ם, הל' חמץ ומצה פ"ה ה"ב.

59. מ' שומרון, תשע"ט, 'החמצת חיטים לפני קצירה', אמונת עתיך (122), עמ' 77-84.

60. ערוך השלחן, או"ח סי' תסז סעי' ו-ט.

שאוכל ממנו בפסח, שלא יבוא עליו מים אחר שנקצר, עד שלא יהיה בו שום חמוץ' (רמב"ם, הל' חמוץ ומצה פ"ה ה"ט).

סיכום

קטונתי מפוסקי ההלכה ואין בדברים המובאים במאמר זה פסק הלכה, אך עבודה זו שביצענו יכולה לסייע לפוסקים בבואם להשיב ולהכריע. אין ספק כי איסור חמוץ דאורייתא מצוי בעיסה ובשאר. איסור חמוץ או סייג מדרבנן מצוי במקרים שונים כגון לתיתה ובישול. לגבי גרגרים שנרטבו והתייבשו נקבעו שלושה סימני החמצה: שינוי מראה, חיטים שמעלים צמחים (נביטה) וגרגרים מבוקעים. חיטים נובטים ומבוקעים קלים לזיהוי בעוד ששינוי מראה אינו מוגדר בבירור. בשדות שונים ברחבי ישראל ובניסויים מבוקרים נביטה ו/או ביקוע לא התרחשו עקב גשם לאחר הבשלה, ונשאר רק הסימן שינוי מראה לאבחון החמצה. הראינו כי גם גרגרים אלו שהורטבו מגשם חל בהם שינוי ולעיתים אף שינוי מראה אך שינוי זה ניתן לאבחון רק באמצעות מכשור למדידת חתימה ספקטראלית ומדידות משקל נפחי ומשקל גרגר ואינו נראה בעין. יתר על כן, שילוב שלושת מאפייני החימוץ בניית גלוטן + אצירת גז + תפיחה חסרים, לכן לא ניתן להגדיר גרגרים אלו כחמוץ דאורייתא אם בכלל. לאור זאת חיטה שירד עליה גשם לאחר הבשלה ולפני קציר - 'דאחמיץ במחובר' (פסחים לג ע"א), שהינו חמוץ על פי רש"י ועוד, לעניות דעתי הינו לדבריהם חמוץ מדברי סופרים עקב חשש להחמצה. כיוון שאיסור חמוץ הינו איסור חמור ביותר ואנו שואפים להדר ולשמור את המצות, כלי האבחון שפותח מנגיש בפעם הראשונה כלי החלטה בלתי מוטה לקביעה האם הגרגרים הורטבו אם לאו, בכך נפתחת הדרך להימנעות מטחינת גרגרים אלו עבור אפיית מצות ולשמירת הפסח כהלכתו. תודה שלוחה למסייעים במחקר זה, גב' יסמין שמחון, ד"ר ציפורה טייטל וד"ר שרה מלמד (UPLC-FLD); ד"ר לירון קליפצאן וגב' דיקלה אקשטין (SDS-PAGE), ד"ר יעל סירקיס (גודל חלקיקים) וגב' טניה פרקר (שטיבל, FN) ולרבנים שהיו שותפים בלימוד. המחקר מומן ע"י המדען הראשי של משרד החקלאות ופיתוח הכפר - חקלאות לפי התורה, תוכנית מחקר מספר 20-01-0213.

