

פרק שני

כימיה

כְּהִקְדָּמָה לנאמר בפרק זה, אני רוצה להזכיר שוב את מאמר חז"ל של "הפוך בה והפוך בה דכולא בה", וכן אני רוצה להזכיר גם את מאמר חז"ל (אבות פ"ד מ"ב): "שכר מצוה מצוה". ברור שהמצוה השניה היא מצוה חדשה, אבל היא גם השכר של המצוה הראשונה.

אם אדם עוסק בדברים שבקדושה - הקב"ה נותן לו סייעתא דשמיא באותו נושא שהוא עוסק בו. הואיל ואנחנו עוסקים בנושאי הטכנולוגיה וההלכה מזה שלוש עשרות שנים, שיעבדנו את עצמנו לעבודה מאומצת בנושאים אלה, על מנת להתמודד עם ההתפתחות הטכנולוגית בשירות האדם בכל המישורים, על-פי התורה וההלכה היהודית שניתנה לנו ע"י משה מסיני. לפיכך זכינו גם לדאות "נפלאות מתורתך", למצוא דברים בתוך התורה שהם למעשה חידושים וידע בנושאים טכנולוגיים, שאינם מתגלים בהסתכלות שעל פני השטח ומלמוד הפשט של סוגיות הגמרא.

לפני מספר שנים, הוזעקתי לאחד המפעלים בארץ בעניין דחוף, ונשאלתי בנושא גלוקזה ומלח לימון המיוצרים בו. במקום נתעוררה שאלה של כשרות לפסח בגלל קיומו של חמץ במוצרים הללו. מספר רבנים עסקו בנושא עד שהגיע הדבר לעיוני, והחלטתי להתמודד עם הבעיה. לאחר בדיקת הנושא מקרוב במפעל הייצור, הסתברו לי הדברים כך:

בתחילת הייצור מערבים קמח חיטה עם מים ומגבלים עיסה. ע"י פעולת צנטריפוגה למשך זמן קצר ביותר, מפרקים אותה לעמילן ולגלוטן. הגלוטן מועבר ליצור מזון לבהמות, ומן העמילן נגשים לייצר גלוקזה ע"י חימום חזק, הכנסת גופרית והשתלת אנזימים מסוימים המאפשרים את הפעולה.

אוצר החכמה

בגלוקזה שנוצרת, משתילים אח"כ אנזימים מסוג אחר, ומקבלים מלח לימון.

המוצרים גלוקזה ומלח-לימון נמנים עם חומרי הגלם בתעשיית הממתקים שבהם מכניסים גלוקזה לצורך הטעם המתוק, ובמקום שנדרש טעם חמוץ משתמשים במלח-לימון.

1234567

השאלה הנשאלת לגבי המלח-לימון היא, האם התוצר הזה שהוא חמוץ ומשמש למזון, הוא כשר לפסח.

אוצר החכמה

הבעיות שנתעוררו הן שתיים:

אוצר החכמה

א. האם המלח-לימון עצמו הוא כשר לפסח?

ב. האם ייאלצו לנקות ולהכשיר את כל המכונות שבמערך הייצור לקראת פסח, גם אם לא ישתמשו בו בפסח לייצור של תוספים למזון אלא בחומרים אחרים?

אוצר החכמה

השאלות בעניין הכשרות גרמו לבעיה כלכלית קשה מאד. למעשה ניתן לייצר חומר זה מעמילן אחר, שאינו מחמשת מיני דגן. אולם, משרד המסחר והתעשייה לא שם לב לאפשרות האלטרנטיבית, אלא אישר השקעה במיליוני דולרים לייצור שתארנו לעיל, והיתה סכנה של קטסטרופה כלכלית למפעל. התברר שכל מפעלי הייצור בארץ המשתמשים במלח-לימון כל השנה, לא רצו להשתמש בחומר מהמפעל הזה, כדי לא להסתכן בו בתקופת הייצור לפסח. בשלב מסוים קרה גם מקרה אסון, המנהל שראה את עצמו אשם במצב, לא יכול היה לעמוד ולראות בהתמוטטות המפעל, והתאבד.

כשהבעיה הגיעה אלינו אמרתי למנהלי המפעל שאני מבקש שכר בצורת "שוחד הלכתי": אם יבטיחו לי שיפסיקו את הייצור בשבת, אכנס בצורה מלאה לפתרון בעיותיהם. הם אכן קיבלו על עצמם את ההתחייבות ואני התחלתי לבחון בדקדקנות את תהליך הייצור.

כאן אתייחס רק לקטע מן הנושא, שאיננו דוקא הקטע המכריע

מבחינה הלכתית, אלא מהווה דוגמה לנושא שהעליתי בראש הדברים:

"שכר מצווה מצווה".

ראשית, נגשנו ללמוד את פעולת החימוץ או ההתחמצות של חמשת מיני הדגן.

נאמר בתורה: "כל מחמצת לא תאכלו, כי כל אוכל מחמצת ונכרתה" (שמות י"ב כ'-כ"א). למדנו שיש איסור חמץ בפסח ושהעונש עליו הוא כרת. מאחר שידוע לנו כי כל חמשת מיני דגן, וכן קטניות, מורכבים בעיקר משני חומרים בסיסיים: החלבון גלוטן והעמילן, התעוררנו לדון מי משני אלה הוא הגורם להחמצה, האם זה הגלוטן או העמילן? או אולי שניהם גם יחד? או שמא בכל זאת רק אחד מהם הוא בעל ההשפעה העקרית? לי היה נראה ממבט ראשון, לפי צורתו, שהגלוטן הוא המשפיע העיקרי על ההתחמצות. ממילא, אם ניתן יהיה בדקות הראשונות של שלבי היצור לסלק את הגלוטן, ולהשאיר אך ורק את העמילן, הרי השגנו דרך לטפל בבעיה בצורה הרבה יותר קלה מאשר נראה היה בתחילה.

שוחחתי עם כימאים ועם טכנולוגים של מזון, והתעוררו ויכוחים על רקע מקצועי. הצעתי שנבקר ביחד במפעל, ושם בקשתי מהם לבצע ניסוי מעשי, כפי שיתואר להלן.

במשנה (פסחים ל"ה) כתוב שחמשת מיני דגן יוצאים בהם כזית מצה בפסח. מצה היא היפוכו של חמץ, ואין יוצאים ידי חובת מצה אלא רק בכל מה שיכול להגיע לחימוץ. שכן כתוב בתורה (דברים ט"ז, ג'): "לא תאכלו עליו חמץ, שבעת ימים תאכל עליו מצות", והגמרא (שם, בהמשך) מביאה את דברי ריש לקיש ואחרים, הדורשים: "דברים הבאים לידי חימוץ, אדם יוצא בהם ידי חובתו במצה". לעומת זאת חומר שאיננו יכול להגיע לידי חימוץ - אי אפשר לקיים בו מצוות מצה.

אנחנו יודעים שישנם שלושה דברים ש"הולכים ביחד", שניים מהם הזכרנו, חמץ ומצה, השלישי הוא מצוות הפרשת חלה.

לומדים חלה מפסח בגזירה שווה "לחם, לחם", שכן בפסח כתוב (דברים ט"ז, ג'): "שבעת ימים תאכל עליו מצות לחם עוני" ובחלה כתוב

(במדבר ט"ו, י"ט): "והיה באכלכם מלחם הארץ, תרימו תרומה ...", מה לחם האמור בפסח דבר הבא לידי חימוץ אף לחם האמור בחלה כך. ובירושלמי (חלה) כתוב "ואין ^{אחי"ח 1234567} דבר הבא לידי חימוץ אלא אלה חמשת המינים לבד". ^{אחי"ח 1234567} (כשהם לעצמם).

בגמרא (פסחים ל"ה.) ^{אוצר החסידים} בברייתא מובאת מחלוקת לענין אורז - האם הוא כלול בקבוצה הנ"ל של הדגן ומסוגל להגיע לידי חימוץ - או לאו. ר' יוחנן בן נורי אומר שהוא כלול, וחכמים חולקים עליו, ואנחנו פוסקים כחכמים, שאורז איננו כלול בקבוצה זו, אלא חמשת מיני דגן בלבד. חז"ל מוסיפים מלה ואומרים, האורז לא מגיע לידי חימוץ אלא לידי "סירחון". ^{אחי"ח 1234567}

במפעל בקשנו מן הכימאי האחראי, (שהוא יהודי שאיננו יודע הרבה ביהדות), לבצע את הניסוי דלהלן:

א. שיגבל עיסה אחת מקמח חיטה מלא ועיסה נוספת מקמח אורז מלא.

ב. שיפריד מעט חיטה למרכיביה, גלוטן ועמילן, וכן שיפריד כנ"ל מעט אורז, ואז יערבב את גלוטן החיטה עם עמילן האורז, ואת גלוטן האורז עם עמילן החיטה.

ג. שיבדוק את התנהגות ארבע העיסות הנפרדות: עיסת קמח החיטה, עיסת קמח האורז ושתי העיסות "הסינטטיות" המורכבות מגלוטן ועמילן שאינם מקוריים להם.

בחז"ל, וגם בכימיה של המזון, יש לנו הגדרות כיצד עיסות שמחמיצות נראות לעין המסתכל, ומה הן הפעילויות שקורות בתוכן. בחז"ל (פסחים מ"ח:) כתוב שהעיסה תופחת ונסדקת כקרני חגבים, (מי שראה בעיניו עיסה תופחת יבין את התיאור של חז"ל). כשמגיעה העיסה למצב זה - יש חימוץ.

מבחינה כימית אנו יודעים שגז דו תחמוצת הפחמן נוצר בבצק כתוצאה מן החימוץ, והוא מתחבר עם העיסה ו"מתפיח" אותה.

הניסוי נערך כפי שבקשתי, ולאחר כחצי שעה קבלנו את התוצאות:
עיסת קמח החיטה: נפלטה ממנה כמות גדולה של דו תחמוצת הפחמן, והעיסה תפחה יפה, כמתואר לעיל.

עיסת קמח האורז: נשארה שטוחה ולא תפחה כלל.

עיסת גלוטן חיטה עם עמילן אורז: התנהגה כמעט כמו עיסת קמח חיטה.

עיסת גלוטן אורז עם עמילן חיטה: התנהגה כמו עיסת קמח האורז.

ברור עתה, אם כן, שהשערתנו התאמתה - **גלוטן החיטה הוא האחראי העיקרי לחימוץ**. לאחר שהתבררו התוצאות נגשתי והסברתי לפיהן מספר סוגיות בגמרא ובראשונים. ראשית, אם נאמר שרק חמשת מיני דגן הם המסוגלים להגיע לחימוץ ובהם אפשר לקיים מצוות מצה - אני מניח:

א. רמת הגלוטן בחמשת מיני הדגן גבוהה הרבה יותר מאשר רמת הגלוטן בקטניות.

ב. לגבי אורז, רמת הגלוטן בו גבוהה יותר מן המצוי בקטניות אחרות, אבל עדיין היא נמוכה מהרמה אצל חמשת מיני הדגן.

לאור זה נוכל להבין את המחלוקת הנ"ל, אם לכלול את האורז בקבוצת הדגן או שמא בקבוצת הקטניות.

המשנה אומרת (חלה פ"ג, ז'): "העושה עיסה מן החיטים ומן האורז - אם יש בה טעם דגן - חייבת בחלה, ויוצא בה אדם ידי חובתו בפסח". מכאן, שיכול לחול על עיסה מעין זו איסור חמץ. משנה זו היא על פי חכמים, שאומרים שאורז לבדו איננו כלול בקבוצה שמסוגלת להחמיץ, אבל בקומבינציה מסוימת עם חיטה - כן! ראשית הבה נדייק במשנה ונשאל את עצמנו: הואיל וכתוב עיסה מן החיטים ומן האורז -

א. האם הכוונה במשנה זו היא לכל סוגי הדגן או רק לחיטה?

ב. האם מדובר באורז דווקא או בכל סוגי הקטניות?

מדיניות

מדיניות

בירושלמי (שם), יש על כך ויכוח, והסיכום הוא כך: עיסת חיטה ואורז - אם יש בה טעם דגן גם אם לא יהיה בה רוב חיטה - הרי היא יכולה להגיע לחימוץ, ומשום כך נקטה המשנה דווקא דוגמא זו. אבל עיסת חיטה עם קטניות מסוגים אחרים, או עיסת אורז עם מיני דגן אחר (שאיננו חיטה) יגיעו לידי חימוץ רק בתנאי שיהיה בעיסה "רובה דגן וטעמה דגן", כלומר שהדגנים יהיו רוב בעיסה, בנוסף לטעם הדגן שהם נותנים בעיסה.

כתוצאה מכך הטרידה אותי גם שאלה נוספת, מדוע כתוב במשנה "אם יש בה טעם דגן"? הרי מדובר בעיסה מחיטים ואורז, ולכן צריך היה לכאורה להיות כתוב "ויש בה טעם חיטה"?

לאור השאלות הללו באתי להסביר את יחסי ההרכבים הכימיים בדגנים ובאורז, על פי האמור, כך:

א. בחמשת מיני הדגן רמת הגלוטן היא הגבוהה ביותר.

ב. באורז רמת הגלוטן קרובה לזו של הדגנים.

ג. גם בתוך חמשת מיני הדגן עצמם יש סולם יורד של רמת הגלוטן, ובשלב זה אני יודע רק שבחיטה הרמה היא הגבוהה ביותר, וזאת לאור דברי הירושלמי שמחלק בין עיסת חיטה ואורז ובין עיסת שאר מיני דגן עם אורז.

ד. כתוצאה מכך ניסיתי לומר, שאם ניקח לדוגמה 60% אורז, שאצלו רמת הגלוטן קרובה ביותר לרמות שבדגן, ונערב עם 40% חיטה, נצליח להגיע בתערובת זו למינימום רמת הגלוטן המצויה במיני הדגן האחרים, שעדיין איננו יודעים את מקומם בסולם הנ"ל.

לאור זאת ישבתי את לשון המשנה, שאמרה בדקדוק רב, "אם יש בה טעם דגן". שכן אם נאמר שהגלוטן הוא שנותן את הטעם, הרי במקרה זה של עיסה המעורבת מרוב חיטה ומיעוט אורז לא יהיה זה טעם חיטה אלא טעם דגן, דהיינו בטעם של מין דגן אחר בעל רמת גלוטן נמוכה יותר. כיון שהאורז מהווה רוב בדוגמה שלנו, הוא פוגע בטעם של החיטה בעיסה ומוריד את העיסה לדרגת "דגן" בלבד. מסתבר - לאור דברי

הירושלמי - שבעיסה מעורבת מחיטה ומקטניות אחרות לא נצליח להגיע לרמת המינימום הנדרשת לקבלת טעם דגן (ולחימוץ) בגלל כמות הגלוטן הפחותה בהם, אלא אם יהיה בה רוב ברור של חיטה. אותה תוצאה תהיה גם באורז עם כל אחד מן הדגנים האחרים: לא נגיע לתוצאות של טעם דגן וחימוץ אלא אם יהיה בעיסה רוב של הדגן.

משסיימתי לעבד את החומר, הזמנתי את הכימאי ואת טכנולוג המזון של המפעל, והסברתי להם את דרך עבודתי, וסיכמתי את הנושא כך, על פי המשנה בחלה (שם):

1234567

בחיטה מצוי % הגלוטן הגבוה ביותר לעומת כל הדגנים. בשאר ארבעת מיני הדגן, % הגלוטן נמוך יותר, לפי סולם יורד, אך לא ידוע עדיין מה הוא. באורז ה-% נמוך יותר מאשר בשאר מיני הדגן, אך קרוב אליהם. בשאר הקטניות ה-% נמוך עוד יותר.

מכאן, לפי המשנה, יוצא כך: עם חיטה, שבה % הגלוטן הוא הגבוה ביותר ניתן להכין עיסה שבה יש אפילו רוב אורז (60%) ומיעוט חיטה (40%). וגם בהרכב כזה נגיע לרמת מינימום של גלוטן שנמצא בדגנים האחרים. אבל, בתערובת של חיטה עם מינים אחרים של קטניות או מולאסה, או בתערובת של אורז עם מיני דגן אחרים לא נוכל להגיע לרמה זו אלא אם יהיה בעיסה רוב חיטה, או רוב גדול מאד של דגן.

הסברתי לאנשי המקצוע הטכניים שהתאור דלעיל מציג את הערכים היחסיים באחוזים, של הגלוטן בתוך ההרכבים הכימיים בחמשת מיני הדגן, באורז, במיני קטניות אחרים וכו'.

הם בדקו בספרות המדעית את הנתונים שמסרתי, חזרו לאחר זמן קצר והביאו את הנתונים המדויקים שלהם, כדלקמן:

חיטה - 12.5%,

שבולת שועל, כוסמת ושיפון - בסביבות 11%,

שעורה - הנמוכה ביותר - 10%,

אורז - 8.4%,

מולאסה - 6%.

בעיסה לדוגמה שהצגנו לעיל (60% אורז ו - 40% חיטה), חישבנו את מכפלת % הגלוטן בכמות האורז שבעיסה, ועוד מכפלת % הגלוטן בכמות החיטה שבעיסה וקבלנו תוצאה של 10% ממוצע גלוטן השווה לרמה שבשעורה. כלומר, עדיין יש לנו טעם דגן! (טעם דגן דווקא, דהיינו טעם שעורה ולא טעם חיטה).

בדרך זו חישב הטכנולוג את כל ההרכבים האפשריים בין כמויות שונות של דגנים לבין האורז והמולאסות - בתערובות של רוב חיטה עם מיעוט מולאסות או של רוב מיני דגן אחרים עם מיעוט אורז - ומצא את כל התערובות שהממוצע שלהן מגיע ל-10% (כמו בשעורה) - שהוא כאמור המינימום בין חמשת מיני הדגן.

עד כדי כך הגיעה התפעלותם של אנשי המקצוע, שלא כולם היו שומרי תורה ומצוות, לנוכח הדיוק הרב הטמון בעומק דברי חז"ל, שאחד מהם שח לחברו כדלהלן:

בחז"ל כתוב גם ששעור של החמצה הוא משך הזמן הנדרש למהלך מיל, שעד זמן זה אין העיסה מחמיצה. יש שלש דעות בהלכה על משך זמן זה: 18 דקות, 22 דקות ו- 24 דקות. בא הטכנולוג ומסביר שאנחנו יודעים כיום שבעמילן יש אנזימים מסוימים (חומרים כימיים המזרזים תהליכים). במגע עם מים, בתהליך הכנת העיסה, מתחילים אנזימים אלה לסייע לייצר דו-תחמוצת הפחמן. תהליך זה נמשך 18-20 דקות, ואז מתחיל שלב החימוץ! זאת היתה ההוכחה הברורה שחז"ל ידעו בדיוק את שני הדברים: את ההבדלים בשעור הגלוטן בדגנים באורז ובקטניות, ואת הזמן המדויק הנדרש לעיסה להחמיץ!

לסיכום: מתוך הדברים שהוצגו כאן יכולים עכשיו להבין בדיוק מה קורה. מצד אחד יצירת דו-תחמוצת הפחמן בבצק, ומצד שני % מספיק של גלוטן, שהוא החלק הדביק, והוא שגורם לאטימת העיסה ולמניעת בריחת דו-תחמוצת הפחמן ממנה. דו-תחמוצת הפחמן גורם לכך שהעיסה תופחת ומקבלת את הטעם והאיכות שאנו קוראים לו "חימוץ",

אם לעומת זאת % הגלוטן בעיסה נמוך, דו-תחמוצת הפחמן בורח, והעיסה נשארת שטוחה ומתקלקלת, ובלשון חז"ל מסרחת.

עתה אנחנו יכולים להבין דבר נוסף שאמרו חז"ל, שחליטה של חיטה במים רותחים המעלים בועות או קליה של החיטה באש, גורמים לכך שהיא לא תחמיץ יותר. מצד שני, אנחנו יודעים שחמום הדרגתי דווקא מסייע להחמצה. אם כך מדוע כשמכניסים עיסה לתנור חם מאד גורמת הפעולה להפסק החימוץ? מתברר לנו עכשיו שחמום חזק מדי או קליה, הורסים את האנזים המסייע ליצירת דו-תחמוצת הפחמן ואינם מאפשרים את ההמשך התקין של האפייה, ואילו החימום ההדרגתי והנמוך מעודד את פעולת האנזים.

דבר מעניין נוסף נסתבר: מצאנו שדוחן יש בו 9.3% גלוטן, ושהוא קרוב יותר לחמשת מיני דגן מאשר אורז. ובכן, מה עם דוחן?

אנחנו מעוניינים לדעת אם ניתן לצרף אותו לעיסה של חיטה, בתערובת של מיעוט חיטה ורוב דוחן, כמו שניתן לעשות עם אורז, ושיהיה לעיסה זו חיוב חלה ודין חמץ-מצה. לצורך זה עלינו לקבוע את מעמד הדוחן על פי דעת רבנן. נתחיל מעיון בדברי ר' יוחנן בן נורי - מה הוא סובר לגבי הדוחן. אם לדעתו דינו כדין אורז, נוכל אז להשוות זאת עם דעת רבנן ביחס לתערובת הדוחן עם חיטה. בגמרא שלנו (פסחים ל"ה.) - לפי הנוסחה המקובלת - מצאנו: "דתניא, ר' יוחנן בן נורי אוסר באורז ודוחן מפני שקרוב להחמיץ". אם הוא מחמיץ הרי ממילא אפשר גם לקיים בו מצות מצה, וכמובן שלפי דעתו הוא גם חייב בחלה, ומכאן אפשר שגם לדעת רבנן יהיה לו דין דגן בתערובת עם חיטה (כפי שלמדנו לגבי האורז). בדקדוקי סופרים לא מצאנו תיבת "דוחן" בגמרא, וידוע לנו שהמהרש"ל הוא שהכניס תיבה זו. לדעת הר"ף בגמרא (ברכות פרק ו' משנה ח') יש להבדיל בברכה בין אורז (בורא מיני מזונות) לדוחן (שהכל נהיה בדברו). הרא"ש לעומת זאת לא מבדיל ביניהם - מכאן שלדעתו הם שווים בסגולותיהם, ואנחנו מוכיחים את הדברים על פיו.

לעצם השאלה עיין בספר צל"ח (פסחים, שם) שכתב לענין הדוחן על

פי ר' יוחנן בן נורי - "חמץ ולא חמץ". פירוש הדברים הוא: חמץ נוקשה. חמץ נוקשה הוא דבר שנאכל רק ע"י הדחק, ואיננו מאכל רגיל לאדם. (הדוחן הוא הדורה, המשמש מאכל לתרנגולים). ועוד, חמץ נוקשה אין בו איסור כרת בפסח, ואי אפשר לקיים בו מצוות מצה.

המשכתי בבירור ומצאתי ב"פני יהושע" בפסחים, כך: "... לר' יוחנן בן נורי שניהם (אורז ודוחן) מין דגן הם, ולרבנן לאו מין דגן הם, וכבר אפשר דדוחן דומה יותר למיני דגן" כלומר דוחן מחמיץ יותר מאשר אורז! מאיפה ידע ה"פני יהושע" - שלא היה כימאי - את הסוד הזה? הוא עצמו מציין לנו את המקור - ביחזקאל הנביא. כאשר ה' מצווה על הנביא להכין את עצמו לימי רעב הוא מונה שם חמשת מיני דגן במשפט אחד, ודוחן כלול ביניהם (יחזקאל ד', ט').! שמחתי מאד על המציאה שמצאתי, ושתוך המאמץ לגלות את מקור הפרטים הכימיים גיליתי אורה של תורה.

כמובן, שאין בכל הדברים הנ"ל מסקנות הלכתיות, ואין להשתמש בנתונים אלו לצורך קביעות למעשה.

גם בנוגע לשאלת הגלוקוזה והמלח-לימון לא הכרענו על סמך נתונים אלו, אלא לאור נימוקים הלכתיים שונים.

הדברים הוזכרו כאן רק על-מנת לתת מושג על עומק חכמתם המקיפה של חז"ל, ולא בכדי לפסוק הלכה לפיהם.

השכר על מצוותו של העוסק בתורה, הוא אכן השמחה על הנפלאות המתגלות לו תוך כדי הלימוד המעמיק והחוזר, בחינת "הפוך בה והפוך בה דכולא בה", והעמקה זו אף היא מצווה - המצווה הגדולה מכולם.

