

# נרים כוס של בירה:

## רגע, מה בדיוק אנחנו שותים? ואיך מכינים בירה?

מאת רון בלונדר\*

כאשר עברו בני האדם לגור במושבות קבע, הם החלו לגדל צמחים ממשפחת החיטה והשעורה ולאגור את הגרעינים שלהם. מגרעינים אלה הכינו לחם וגם בירה. למעשה, התהליכים של יצירת לחם ושל יצירת בירה דומים ביותר. שניהם מכילים גרעינים, מים ושמרים. שניהם משביעים וגורמים להרגשה טובה. לכן מדענים רבים סבורים כי עבור האדם הקדמון הייתה הבירה מרכיב חשוב למדי בתזונה.

קשה להצביע על מקור היסטורי אחד להתפתחות המשקה, וסביר להניח כי הבירה התפתחה בכמה אזורים ותרבויות במקביל. עם זאת מחקרים וממצאים מראים שהתרבויות באזור מצרים העתיקה ומסופוטמיה (עיראק) היו הראשונות שלגמו בהן מן המשקה עוד לפני למעלה מ-6000 שנה. בהמשך היו אלה היוונים אשר הפיצו את תורת בישול הבירה במדינות שכבשו.

לאחר מכן עבר הידע לתושבי האימפריה הרומית, אשר כינו את משקה "Cerevisia" על שם "Ceres" אלת החקלאות ו-"Vis" - המילה הלטינית ל"כוח", ולהם מיוחסת הבאת סוד המשקה אל אירופה. בתקופתה הראשונה של האימפריה הרומית הייתה הבירה משקה פופולרי מאוד, אך אט אט תפס היין את מקום הבירה והפך למשקה האלכוהולי המועדף. בתקופת ימי הביניים שבה וקנתה הבירה מקום נכבד בתזונת האירופיים. הסיבות לכך היו מגוונות: היעדר חקלאות ענבים באזורים מסוימים באירופה קשה על הכנת יין; איכות המים הירודה הביאה להעדפת משקאות אלכוהוליים (ובעיקר בירה) שלא שרדו בהם זיהומים בקטריאליים, ולכן היו ערובה לטיהור המשקה.

בשנת 1516 חוקק החוק "טוהר הבירה הגרמנית" (Reinheitsgebot) או באנגלית - "Bavarian Purity Law", המגדיר סטנדרטים בנושא ההכנה והצריכה של בירה. על

בירה, משקה מוגז, על פי רוב אלכוהולי, העשוי מדגנים שונים. מקור השם "בירה" במילה הלטינית Bibere (בעברית לשותות); הבירה נקראה "קאש" בשומרית, "שיכרו" באכדית, משם הגיעה המילה "שיכר" לשפה העברית<sup>1</sup>. אנו בטוחים שכמה מן הקוראות (ואולי גם כמה קוראים) שואלות את עצמן: "רק רגע, זהו עיתון רציני של מורי הכימיה בישראל - מדוע מופיעה כאן כתבה על בירה?". אבל אנו גם משוכנעים שמיד אתן עונות לעצמכן: "כימיה הוא מקצוע הקשור לכל תחומי החיים". ואכן כך! כתבה זו עוסקת בהבנת התהליכים שעוברת הבירה מן ההתחלה כגרגר שעורה, ועד הפיכתה לנוזל הזהוב, האלכוהולי והמריר הנמזג בכוסות. נתחיל בסקירה היסטורית של התפתחות הבירה, נבדוק ונכיר את מרכיבי הבירה השונים: שעורה, כשות, שמרים ומים, נתייחס לתהליך התסיסה והעיבוד המשפיעים על תכונותיה ומאפייניה של הבירה, ונסיים את הכתבה בתייעוד מצולם של הכנת בירה ביתית במרתפי בית משפחת בלונדר.

### ההיסטוריה של הבירה

הבירה היא למעשה מוצר פרהיסטורי. תהליך היווצרות הבירה הוא תהליך טבעי שהתרחש לראשונה באופן מקרי: גרגרי שעורה שאוכסנו לצורך אכילה נרטבים והופכים לדייסה או הבליל מתחיל לתסוס מעצמו. אם לאחר כמה ימי תסיסה מדללים את הבליל שתסס במים, מתקבל משקה שהוא גם משביע וגם גורם להרגשה של מצב רוח טוב, בזכות האלכוהול שנוצר בו. קרוב לוודאי שתהליך התסיסה המקרית התרחש פעמים רבות ובמקומות שונים, כיוון שאת התסיסה יוצרים שמרים, מיקרו-אורגניזמים הנמצאים באוויר בכל מקום.

\* ד"ר רון בלונדר, חוקרת בכירה במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע



פי החוק, בירה תכיל מים, שעורה וכשות בלבד. מבשלי הבירה היו מוסיפים לתערובת שבשלו משקעים ממת ייצור קודמת שהכילו מיקרואורגניזמים ושמרים טבעיים ליצירת תסיסה. עד שנת 1987 שבה הוחלף החוק בתקנות חדשות, היה חוק טוהר הבירה הגרמנית תו התקן העתיק ביותר בעולם בתחום המזון.

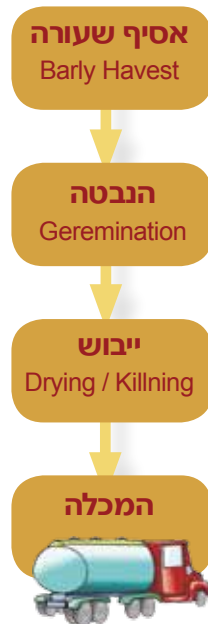
### מרכיבי הבירה

כאמור, על פי חוק טוהר הבירה הגרמנית, בירה תכיל רק שעורה, מים וכשות - שלושה מרכיבים בלבד. כיום אנו מודעים גם לחשיבות של מרכיב רביעי בתהליך הכנת הבירה - השמרים. היעדר מרכיב כה בסיסי כמו שמרים מרשימת המרכיבים נובע מהעובדה שבאותה התקופה לא הכירו את תפקידם ולא ייחסו לשמרים שום חשיבות. בחלק זה נתאר את המרכיבים השונים ונבחן מהו תפקידו של כל מרכיב בבירה.

### שעורה

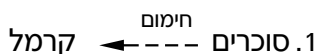
במהלך הכנת הבירה גרגרי השעורה עוברים טיפול מיוחד המכונה הלתתה (malting) כמוצג באיור 1. תהליך ההלתתה כולל הנבטה חלקית של גרעין הדגן, ומטרתו הן הכנת האנדו ספרם העמילני לתהליכי פירוק אנזימטי שהעיקרי בהם הוא פירוק עמילנים לסוכרים. האנדוספרם יפורק בשלב הסיכור.

במהלך הנביטה מסונתזים ומשופעלים אנזימים פרוטאוליטיים עמילוליטיים ואחרים. פעילותם חושפת את



איור 1: תהליך הלתת באופן סכמתי

כדוריותה עמילן לפירוק אנזימטי, שיתקיים בשלב מאוחר יותר בבית הבישול. ואילו תהליכי הייבוש והקלייה עוצרים את הפירוק האנזימטי לפני תחילת הפירוק שלה עמילנים. הלחות של הגרעין יורדת אל מתחת ל- 5%, ומתאפשר אחסון ארוך ובטוח מפני התפתחות עובשים ומתקפת חרקים. באותם עקרונות של נביטה וייבוש משתמשים גם ל"לתת מיוחד" המעניק לבירה מגוון רחב של בשומות (Flavors), גוונים וצבעים. בייצור לתת מיוחד מנצלים את תכונות הגרעין להשגת המטרות הרצויות. לדוגמה: בייצור לתת כהה המעניק לבירה צבע כהה אופייני, מאפשרים פירוק חלקי של עמילנים לסוכרים ופירוק חלבונים בעת הנביטה. מרכיבים אלה מגיבים בראקציות קרמליזציה ובראקציית מייארד (Maillard Reaction) היוצרות פולימרים כהים בשלב הייבוש, כמצוג במשוואות 1 ו-2.



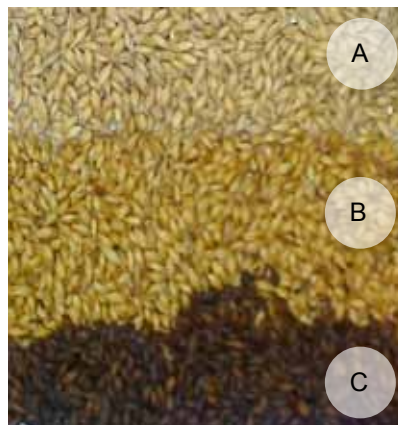
שימוש בזני שעורה שונים להלתתה ובסוגי לתת מגוונים מאפשר ייצור מגוון רחב מאוד של סוגי בירה. כאמור, מקובל להשתמש בלתת מדגנים שונים בנוסף לשעורה (חיטה, שיפון, סורגום וכד'). לתת פילזנר (Pilsner Malt), הוא הלתת הבסיסי והנפוץ ביותר. זהו לתת בהיר ובעל בשומת ניטרלית. הסוגים של "לתת מיוחד" והתהליכים שונים (חלקם יפורטו בהמשך) מעניקים את הבשומת האופיינית בבירה. בתי הלתת המודרניים הם מפעלים גדולים הממוקמים בסמיכות לאזורי הגידול ובסמיכות לנתיבי תעבורה המאפשרים איסוף שעורה והפצת לתת ביעילות. התפתחויות בטכנולוגיות הייצור, פיתוח סוגי לתת חדשים, הדרישות המחמירות מצד הלקוחות והצרכנים יצרו תעשייה ייחודית הקשורה בטבורה לתעשיית הבירה (כמו גם לתעשיות הוויסקי והלחם המשתמשות בלתת לצורכי ייצור).



הרכב המינרלים במים משתנה באופן ניכר מאזור לאזור, והוא מתבטא בין השאר בקשיות שונה. לדוגמה: באזור בורטון (Burton) באנגליה ניתן למצוא מים שהם קשים יחסית למים הנמצאים במינכן שבגרמניה או בפילזן שבצ'כיה. לטיב המים השפעה רבה על אופי הבירה, ובכל אזור שבו התפתחה תעשיית בירה, התפתח "זן" בירה אופייני לאזור. הגלובליזציה של חברות הבירה והדרישה לאחידות בינלאומית של המוצרים מבטיחות כי מבשלות הממוקמות באזורים שונים בעולם ישתמשו במים שתכונותיהם דומות לאלה שבארץ המוצא. כך מבשלת 'קרלסברג' באשקלון מחויבת לייצר בירה במים בעלי תכונות דומות למים המשמשים לייצור בירה בקופנהגן, דנמרק. בתעשיית המזון בכלל ובתעשיית הבירה בפרט נהוגים טיפולי מים מינימליים הכוללים סינון להוצאת תרחיפים וחיטוי מיקרוביולוגי בהכלרה או בהקרנת אור אולטרה-סגול.

### כשות (Hops)

המרכיב הדומיננטי בטעם הבירה נוצר מצמח הכשות (Hops). כשות השדות היא טפיל חד-שנתי מסתעף, חסר עלים ושורשים, הנראה כסבך של חוטים צהבהבים הנכרכים על צמחים אחרים (תמונה 2). הוא גורם נזק קשה לגידולי חקלאות. מן הזרע מתפתח נבט שכולו גבעול, אשר מבצע תנועות סיבוביות נגד כיוון השעון עד שהוא נתקל בצמח אחר כלשהו (פונדקאי). אז הוא נכרך סביבו ומפתחזיזים (מציצות) הצומחים אל תוך הפונדקאי. אלה גדלים עד שהם מגיעים אל צינורות ההובלה שלה פונדק או מתחברים אליהם. אז ניתק הקשר בין הכשות לקרקע. השם העברי קדום ונגזר כנראה מהשם הרומי עוד בימי קדם. יש תיעוד על גידול חקלאי של כשות בצרפת ובגרמניה במאה התשיעית, אך נדרשו עוד כמה מאות שנים עד שהצמח הזה הפך למרכיב עיקרי וחשוב של בירה. אזכור ראשון לשימוש בכשות בהכנת בירה נמצא בכתבי נזירים משנת 822 לספירה. אזכור נוסף מופיע במתכון שנשמר משנת 1067 המציין כי "אם מכינים בירה משיבולת שועל, מומלץ להוסיף כשות". צמח הכשות הגיע לאנגליה מהולנד בתחילת המאה ה-14. במאה זו



**תמונה 1:** צבעי לתת שונים A) - לתת פילזר, B) - לתת שחור, C) - לתת מקורמל) ובירה בצבעים שונים, תוצאה של ערבובים.

חומרי גלם נפוצים נוספים ללתת הם התירס והאורז. תירס - כהכנה לשימוש בתעשיית הבירה עובר התירס תהליך של גריסה והפרדת העוברים. אורז - עובר גריסה וריסוק לפני הבישול. מקובל להשתמש גם בסוכרים כסוכרוז, פרוקטוז, מלטוז וכד' ממקורות שונים. מינון הסוכר נעשה בבית הבישול לפני התסיסה או בתום התסיסה ולפני הבקבוק, במקרים שבהם מעוניינים להדגיש את המתקנות.

### מים

מים הם המרכיב העיקרי בבירה ומהווים כ-90% ממנה. על פי התקן, איכות המים במוצר צריכה להיות כשל מי שתייה, ועל המים להכיל כמות מינימלית של מינרלים כמו סידן, מגנזיום ואבץ המשמשים גם כקו פקטורים בייצוב אנזימים והדרושים להתפתחות השמרים.



נחקקו באנגליה חוקים המחייבים הוספת כשות לבירה, ובהשפעתם התפשטו הבירות למדינות נוספות. הכשות משמשת לתיבול הבירה ומעניק לה טעם מריר ובשומת אופיינית. חומצות אלפא ( $\alpha$  - Acids) עוברות איזומריזציה,

וגם בה משתמשים בצמחים מהמין הנקבי העשירים בבלוטות הלופולין (Lupulin Glands). בלוטות אלה עשירות במרכיביבשומת. מרכיבי הבשומת בצמח הם מרכיבי המרירות (Bitter Substances) המהווים כ- 18.5% מהמשקל היבש שלה צמחו שמני הכשות (Hop Oils) המכילים את עיקר החומרים הנדיפים והמהווים כ- 0.5% מהמשקל היבש של הצמח.

מקובל מאוד להפריד בין מרכיבים אלה בתהליכי העיבוד וליצור מוצרים עתירי מרירות (Bitter Hops) ומוצרים עשירים בבשומת (Aroma Hops). כשות מכילה גם רכיבים מונעי חמצון ובתוכם גם Xanthohumulon מעכב חמצון פעיל מאוד. בנוסף לתכונותיה בתחומים האורגנולפטי (מה שמרגישים בעזרת החושים) והתזונתי, לכשות יש גם השפעה מיקרוביולוגית במניעת צמיחה והתפתחות של חיידקים.



**תמונה 2:** צמח הכשות

### שמרים

במשך אלפי שנים היו שמרים השותף הסודי והלא נודע בייצור בירה. "God Is Good" היה הכינוי ל"דבר" שיצר את הבירה. התהליך העסיק את בכירי החוקרים במשך השנים.

בתהליך הרתחת התירוש בדרך כלל, והופכות ל-Iso  $\alpha$ -Acids המעניקות לבירה את המרירות המתאימה. כשות היא חומר גלם המשמש בתעשיות התרופות והבשמים, אך השימוש הנרחב בצמח הוא ייחודי לתעשיית הבירה,



### סיכור (Saccharification, Mashing)

המטרות של תהליך זה הן פירוק אנזימטי של מרכיבי הלח, ובעיקר פירוק העמילנים לסוכרים. יש ליצור תנאי סביבה מיטביים - טמפרטורה של  $60^{\circ}\text{C}$ , pH, תכולת מינרלים ומים - לפעילות אנזימטית מהירה ויעילה. התהליכים האנזימטיים כוללים את פירוק החלבונים למקטעים קצרים (פפטידים) ולחומצות אמינו וכן פירוק של ביתא-גלוקנים. תגובות הפירוק תורמות לפעילות השמרים ובכך לצלילות הבירה ולהורדת צמיגותה. אך בתהליך הסיכור נמנעים ככל שניתן מהפעלת תגובות אנזימטיות לא רצויות הפוגעות באיכות הבירה. לדוגמה, חמצון השומנים על ידי (Lipoxygenase, LOX) תוך כדי גריסה וסיכור וכמו גם פירוק יתר של חלבונים האחראים ליצירת הקצף. תוצרי הפירוק האנזימטי מתחלקים לשתי קבוצות עיקריות: הראשונה היא קבוצת הסוכרים הזמינים לשמרים, שאותם השמרים מסוגלים לפרק לאלכוהול ולדו-תחמוצת הפחמן. מאלטוז הוא סוג הסוכר הזמין העיקרי הנוצר בתהליך זה. הקבוצה השנייה היא של סוכרים הנוצרים בתהליך הסיכור ואינה זמינה לשמרים, משמע, השמרים אינם מסוגלים לפרק אותם. אלה הם רב-סוכרים ודקסטרינים המעניקים לתירוש ולבירה את צמיגותה.

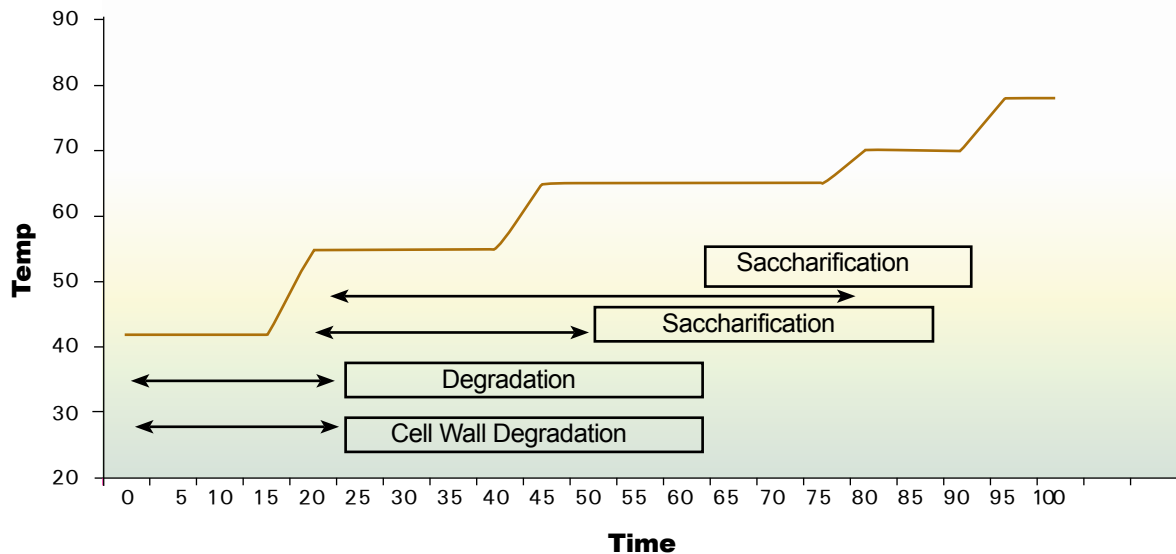
ריכוז גבוה של סוכרים זמינים בתירוש יביא ליצירת בירה דלילה יחסית אך בעלת אחוז אלכוהול גבוה ולהיפך. היחס בין קבוצות הסוכרים נקבע על ידי שינוי טמפרטורות בשלבי הסיכור ושינוי "זמן המגע" של קבוצות האנזימים השונים. שילובים אלה מתוארים על ידי דיאגרמת טמפרטורות וזמנים, Mashing Diagram, איור 2.

תהליך הסיכור מסתיים עם פירוקם של כל העמילנים. מוודאים זאת על ידי בדיקת יוד מהירה המלמדת על נוכחות של שארית עמילן. חימום לכ-  $80^{\circ}\text{C}$  מסיים את הפעילות האנזימטית על ידי דנטורציה של החלבונים. בתום תהליך הסיכור מתקבל בליל נוזלי המורכב מקליפות ומתמיסה מימית המכילה סוכרים, חלבונים ושאר חומרים מומסים. תמיסה זו היא תירוש הבירה, ויש להפרידה מהקליפות.

בשנת 1680 צפה van Leeuwenhock בצבר שמרים שגדל בתירוש בירה. Gay Lussac מצא את הקשר הסטוכיומטרי בין תוצרי התסיסה, אתנול ודו-תחמוצת הפחמן. בשנת 1876 פרסם Louis Pasterur ובו תיאור את תהליך התסיסה על ידי שמרים. בשנת 1883 בודד Emil Christian Hansen מושבה של שמרי בירה טהורה על מצע מזון מוצק. עבודתו התבצעה ב- Carlsberg Foundation בקופנהגן. לראשונה קיבלו שמרי הבירה שם משלהם, *saccharomyces cerevisiae*. בהמשך שונה השם ל- *saccharomyces cerevisiae*. זו משפחת שמרים גדולה ומוכרת המשמשת בתעשיות הלחם, היין, הבירה. שמרי הבירה השייכים למשפחתה - *s. cerevisiae* כוללים מאות זני שמרים. לכל מבשלה גדולה זן שמרים ייחודי לה, הנשמר בקפידה לאורך השנים. זן זה הוא אחד המרכיבים החשובים המעניק לבירה את טעמה הייחודי. השמרים משמשים כמתחלת (Starter) לתהליך התסיסה. "ניהול שמרים" (Yeast Management) הוא תהליך מקביל לתהליך ייצור הבירה. התהליך מתחיל בשלב שבו מכינים את שמרי מושבות האם דרך שלב הגידול (Yeast Propagation), מינון השמרים לתירוש, תהליך התסיסה, איסוף השמרים ואחסונם במכלים לאחסון שמרים עד לשימוש החוזר. חשיבותו של התהליך ביצירת תנאים אחידים לאורך זמן ובהקפדה על ניקיון השמרים. טיפול לא מתאים בשמרים יגרום להתנהגות לא אחידה ויגרור אחריו היווצרות בשומת לוואי במהלך התסיסה ובמהלך חיי המדף.

### בישול בירה

מטרת תהליך בישול הבירה (Beer Brewing) היא הכנת מצע מזון תירוש (Wort) לגידול מיקרואורגניזמים - בדרך כלל שמרי בירה מחומרי הגלם שתיארנו לעיל. במאמר זה נתמקד בתיאור התהליך כפי שהוא מתבצע במבשלות ביתיות. יש תהליכים מקדימים שלא נעשים במבשלה הביתית: תהליך הגריסה, שמטרתו להגדיל את שטח הפנים של הגרעין על מנת להעלות את הסיכוי למפגש בין האנזימים שמקורם בגרעין לבין סובסטרטים, חלבונים עמילנים וכד'.



איור 2: התפתחות תהליך הסיכור (mashing)

ועוצמתית יעברו חומצות האלפא איזומריזציה המעניקות למוצר הסופי מרירות נעימה ויציבה. העומס המיקרוביולוגי של התירוש הראשוני לפני הרתחה הוא גבוה מאוד. נבגי פטריות מחסן שהתפתחותם נמנעה עד תהליך הסיכור בגין פעילות מים נמוכה של הלתת, משופעלים (כ"ל) עם החשיפה למים חמים. חיידקים נוספים מתפתחים תוך כדי תהליכי הסיכור והפרדת הקליפות המסכנים את התירוש. הרתחת תירוש לכשעה תצמצם את הסיכון. התירוש המופק מהבליל מכיל כמות גדולה של מולקולות היוצרות משקעים ועכירות בהמשך התהליך ובעיקר באריזה הסופית. ההרתחה גורמת לשינוי מרחבי של המולקולות ומורידה את מסיסותן. כדי לשמור על סביבה סטרילית יש לזרז את תהליך ההרתחה, ולשם כך מוסיפים בבת-אחת כמות גדולה של קרח. לאחר ההרתחה מפרידים את התרחיפים על ידי שפייה. סילוק לא יעיל של התרחיפים יקצר את משך חיי המדף של התוצר ויפגע בבשומת

### הפרדת קליפות

מטרתו של תהליך זה הן הפרדת התירוש מהקליפות והצללה ראשונית של התירוש, כך שתרחיפים גסים לא ייוותרו בתהליך. בתהליך הבישול הביתינפטרים מן הקליפות על גבי רשת בעלת חורים המונעים מעבר הקליפות. התירוש נוטף מעוגת הסינון בכוח הכבידה. בתום ההפרדה הראשונית יש לשטוף במים חמים את הקליפות משאריות הסוכר, בכ- 80 °C.

### הרתחת תירוש (Wort Boiling)

בשלב זה התירוש מורתח למשך שעה. מטרת התהליך הן סטריליזציה של התירוש, יצירת תרחיפים, נידוף חומרי בשומת לא רצויים כגון Dimethylsulfid (DMS) ואיזומריזציה של מרכיבי מרירות מהכשות. לתוצאות ההרתחה יש השפעות מרחיקות לכת על התירוש המופק מבית הבישול. תגובות מייארד, סטריקרו קרמליזציה הן רשימה חלקית של תגובות צדדיות המתרחשות תוך כדי רתיחה. מינון נכון של חומרים אלה יעניק לבירה את אופיה הייחודי. כאשר מגיע התירוש לרתיחה, מוסיפים לתוכו את הכשות. מרכיבי מרירות מהכשות מכילים חומצות אלפא. בהרתחה ארוכה

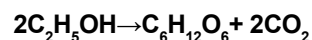


**תמונה 3:** הרתחת התיחוש בבישול הביתי ועצירתה על ידי הוספת קרח (צילמה ניצן בלונדר)

במטבוליזם של השמרים. ניתן להבחין בשינויי בשומת הבירה, כמודגם באיור 3. במהלך התסיסה הראשונית מתפתחת בשומת של בירה צעירה (Green Beer), בתהליך ההבשלה פוחתת בשומת זו אל מתחת לסף החישה ומתגברת הבשומת של בירה בשלה (Mature Beer).

### תסיסה וייצוב הבירה

בתהליך זה מתרחש פירוק של הסוכרים לאלכוהול, לדו-תחמוצת הפחמן ולאנרגיה, הנדרשת להתפתחות השמרים (עודף אנרגיה נפלט כחום), וכן של חומרים נוספים הנוצרים במהלך התסיסה. החמצן המומס בתיחוש נספג על ידי השמרים כבר בתחילת התסיסה, ומכאן התהליך הופך לאנארובי לחלוטין. תהליך זה מתבצע עם הוספת שמרים לתיחוש המקורר ועם פירוק סוכרים לאלכוהול ולדו-תחמוצת הפחמן, כמוצג במשוואה 3 ובתמונה 4. התערובת מועברת למכל תסיסה לשם תסיסה.



ה"אויבים" העיקריים של הבירה בשלבים אלה הם חשיפה לחמצן ולאור וזיהומים מיקרוביאליים. לפיכך בבישול ביתי יש לשמור על תערובת התסיסה במיכל נקי ובחדר חשוך. המשקל הסגולי של הבירה יורד עם העלייה בריכוז האלכוהול, ולכן ניתן ללמוד על אחוז האלכוהול שנוצר בבירה על-ידי מדידת צפיפות הנוזל לפני התסיסה ואחריה, כפי שמוצג בתמונה 5. בתום תסיסת הסוכרים מתייצב המשקל הסגולי ומכחים לסיום שלב ההבשלה שבו מתפרקים חומרי הביניים הנוצרים



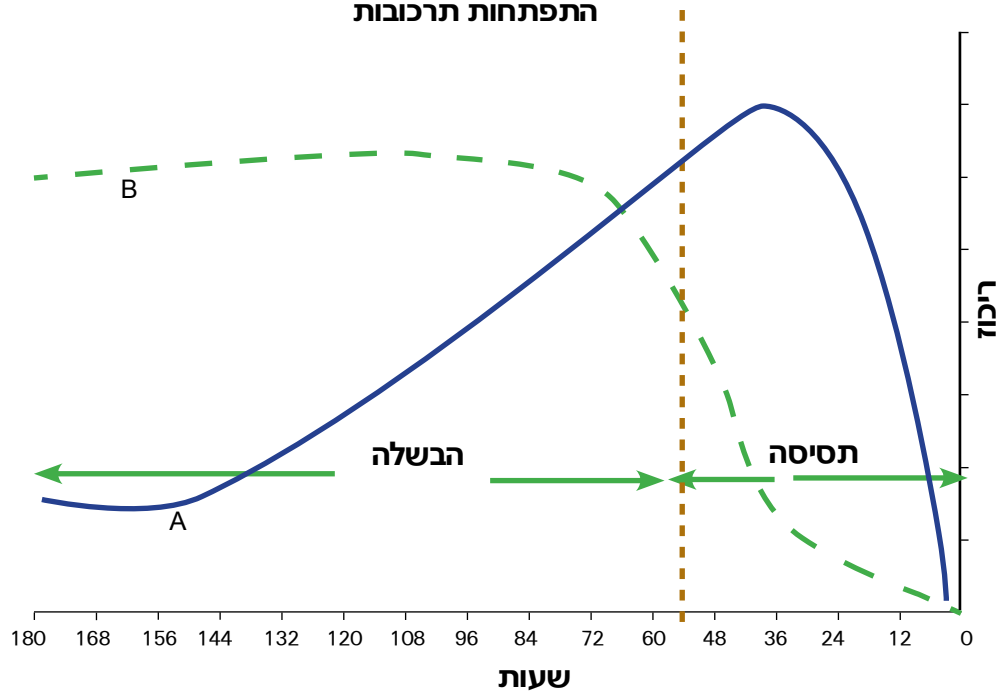
**תמונה 4:** הוספת השמרים לאחר שפיית התיחוש מן התערובת המקוררת שעברה הרתחה (צילמה ניצן בלונדר)

נרים כוס של בירה: רגע, מה בדיוק אנחנו שותים? ואיך מכינים בירה?



**תמונה 5:** מדידת צפיפות הנוזל לפני התסיסה ואחריה באמצעות הידרומטר על מנת ללמוד על אחוז האלכוהול שנוצר. ניתן לראות כי לאחר התסיסה ירדה צפיפות הנוזל (תמונה ימנית), ודבר זה מעיד על היווצרות אלכוהול. (צילמה ניצן בלונדר)

### התפתחות תרכובות



**איור 3:** התפתחות תרכובות הבשומת בבירה. A- תרכובות בשומת של "בירה צעירה"; B- תרכובות בשומת של בירה בשלה.





**תמונה 6:** בקבוק הבירה עובר תהליך ניקוי, מילוי ופקיקה (צילמה ניצן בלונדר)

טעמה המיוחד. ונסיים בציטוט מדברי דייב בארי, סופר ועיתונאי אמריקני: "לא כל חומר כימי במזון ראוי לגינוי. למשל, מימן וחמצן: בלעדיהם לא הייתה דרך לעשות מים - מרכיב מכריע בבירה..."

#### אזכורים

[http://www.tempo.co.il/htmls/page\\_457.aspx?co=13259&bsp=13153](http://www.tempo.co.il/htmls/page_457.aspx?co=13259&bsp=13153)

פפירלוט, ש'. (2005). עולם הבירה. אריה ניר: תל-אביב.

#### בְּקֻבּוּק הַבִּירָה ויצירת CO<sub>2</sub>

השלב האחרון בתהליך הכנת הבירה הוא שלב הבְּקֻבּוּק ויצירת CO<sub>2</sub>. בשלב זה עוברים הבקבוקים ניקוי וחיטוי, ולתערובת הבירה שעברה תסיסה מוספים סוכרים (גלוקוז המופק מתירס). באווירה האנארובית הנמצאת בבקבוק הפקוק, עובר הגלוקוז תהליך אנזימתי ליצירת CO<sub>2</sub>, אשר מתמוסס בתערובת הבירה ויוצר את התסיסה בבירה המוכנה. תהליך זה נמשך כשבוע, שלאחריו הבירה מוכנה לשתייה (לאחר קירור, כמובן). תמונה 6 מציגה את בקבוק הבירה בתהליך הניקוי והפקיקה.

**לסיכום**, תיארונו את התהליכים שהבירה עוברת מגרגר שעורה ועד להפיכתה למשקה צונן, תוסס ואלכוהולי. התהליכים הביולוגיים מובילים ליצירת מגוון תרכובות כימיות, אשר יוצרות את הבשומת של הבירה - כלומר את