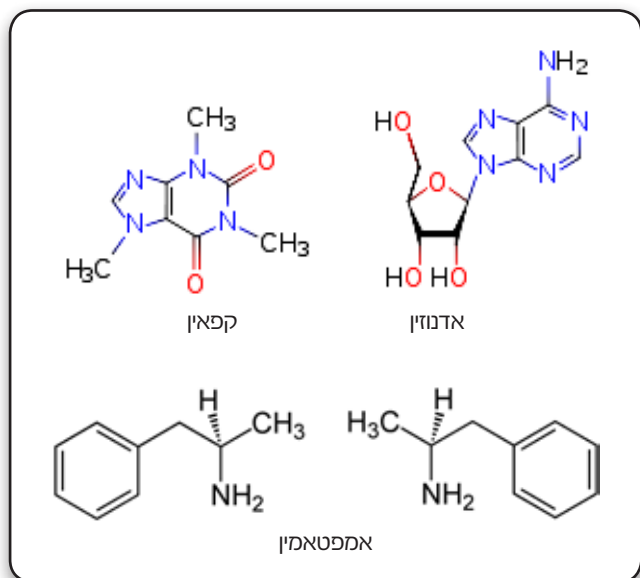


כימיה "על כוס קפה"

מלכה יאיון ורון בלונדר*



איור 1: נוסחאות של מולקולות אדנוזין, קפאין ושני איזומרים של אמפטאמין

בנוסף לכך מולקולות הקפאין, שדומות למולקולות האמפטאמין, מעלות את רמת הדופמין במוח, וזה יכול להסביר את התלות הגופנית (פיזית) בקפאין כתוצאה משימוש ממושך בו.

לאחר שהבנו קצת על הכימיה של הקפה בגוף, נתייחס לכימיה של הכנת הקפה.

הכימיה מאחורי הכנת קפה "אספרסו"

בארץ שתינו קפה נמס או קפה שחור, ולכל היותר הוספנו קל. לאחרונה למדנו ליהנות מן הסוגים השונים של הקפה ובבתיים רבים מופיע אביזר חדש במטבח "מכונת קפה אספרסו".

מה מיוחד בהכנת הקפה אספרסו? האם אפשר להכין קפה אספרסו על הכיריים? מה הסוד בהכנת קפה מושלם? ננסה להתייחס לשאלות אלה ולאפיין את הכימיה שמאחורי הכנת הקפה מבחינת החומרים ותהליך ההכנה.

רובנו מתחילים את היום עם כוס קפה, פוגשים חברים "על כוס קפה" ושותים לפחות 2-3 כוסות קפה ליום. בתרבויות שונות, כמו בקהילה האתיופית, טקס שתיית קפה "הבונה" הוא טקס עם משמעות חברתית ומהווה מקור תמיכה, שיתוף, כבוד ועוד.

לפני 15 שנה מקיאטו, לאטה, אספרסו, קפוצ'ינו או אמריקנו היו כולם מילים לא מוכרות שאף העלו בנו חיוך. בארץ שתינו קפה נמס או קפה שחור, ולכל היותר הוספנו קל.

מדוע כל כך הרבה אנשים אוהבים לשתות קפה? מה הסוד בהכנת קפה מושלם? כמו את רוב התופעות סביבנו, גם את האהבה לכוס הקפה אפשר להסביר בעזרת כימיה.

מדוע אנשים אוהבים לשתות קפה?

קפאין נחשב לסם המעורר והממריץ הנפוץ ביותר בעולם. בפועל הוא בעצם מדכא פעילות של "הרגעה" של חומר אחר שקיים בגוף באופן טבעי - אדנוזין (איור 1). במצב טבעי מולקולות אדנוזין נקשרות לקולטנים בתאי עצב במערכת העצבים המרכזית ומאטות את פעילותה של מערכת העצבים, כמו שמתרחש במצב שינה. מולקולות הקפאין נקשרות לקולטנים בתאי עצב וחוסמות את הקישור של מולקולות אדנוזין. כך בעצם נמנעת האטת הפעילות של התאים. האזור הזה מופעל ושולח "מסרים של התעוררות" לחלקים רבים בגוף על ידי שחרור של ההורמון אפינפרין (אדרנלין), שבתורו גורם למספר תופעות כגון הגברת קצב הלב, עליית לחץ הדם, הגברת זרימת הדם לשרירים, הפחתת זרימת הדם לעור ולאיברים הפנימיים ושחרור גלוקוז על ידי הכבד. מולקולות הקפאין והאדנוזין נקשרות לאותם קולטנים בגלל הדמיון במבנה המולקולרי שלהן (איור 1). [תוכלו לראות סרטון שמסביר על הפעילות של הקפאין.](#)

*ד"ר מלכה יאיון ורון בלונדר, חברות בקבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.

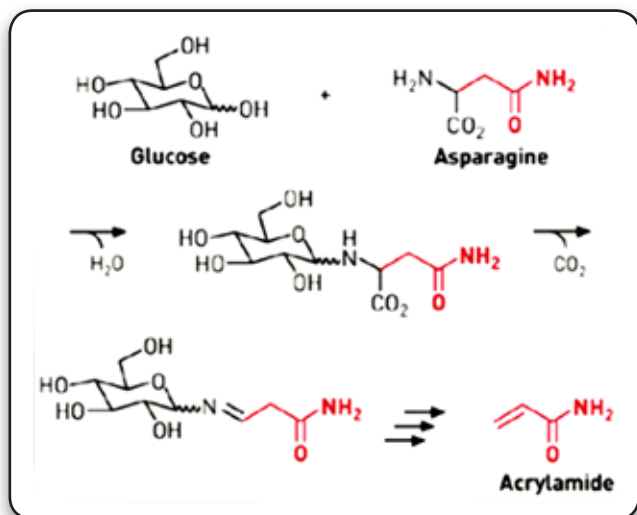
הכנת אספרסו כוללת שלושה שלבים:

1. צליית פולי קפה ירוקים.
2. טחינה דקה של קפה.
3. מיצוי קפה טחון עם מים חמים תחת לחץ.

שלב ראשון בהכנת הקפה: צליית פולי קפה ירוקים

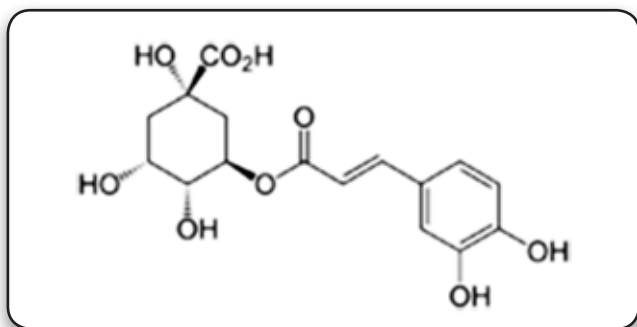
ברמת המאקרו, תהליך הצלייה הוא פשוט - פולי הקפה הירוקים הופכים לחומים, בעלי ריח אופייני של קפה. ברמת המיקרו, כל פול משמש כ"סיר לחץ קטן" המאפשר לתהליכים רבים להתרחש, וכך אלפי חומרים חדשים נוצרים! בשלב ראשון מאדים את המים שבתוך פולי הקפה על ידי חימום עד ל-150°C. הצלייה מתרחשת בטמפרטורות גבוהות 160°C - 240°C. כאמור, בטמפרטורות אלו נוצרות אלפי תרכובות, ביניהם ניאסין (ויטמין B3), אך התוצר העיקרי הוא פחמן דו-חמצני (CO₂g). על כל קילוגרם פולי קפה, נוצרים 12 ליטר פחמן דו-חמצני! מכיוון שלפולי הקפה דופן תא עבה, הלחץ בכל אחד מפולי הקפה גדל מאוד במהלך הצלייה ומגיע לקרוב ל-25 באר (קרוב ל-25 אטמוספרות). תנאים של טמפרטורה ולחץ גבוהים מאפשרים קיום של מגוון גדול של תהליכים, ביניהם [תגובת מיארד](#) - Maillard (איור 2) אשר במהלכה חומצות אמינו חופשיות מגיבות עם סוכרים תוך כדי קבלת מלאנוידיים melanoidins בעלי צבע צהוב-חום-שחור. בסך הכול היווצרות חומרי הפיגמנט כרוכה בתגובה של

חומרים רבים, למעט קפאין ושומנים.



איור 2: מגנן חלקי לתהליך מיארד לקבלת אקרילאמיד מגלוקוז ואספרגין

לתהליך קליית הקפה תפקיד מכריע בקביעת הארומה והטעם. למרות שככלל אפשר להכין אספרסו מכל קפה קלוי, עדיף להכין אותו מפולי קפה שעברו קלייה ממושכת, שבמהלכה עברו המרכיבים פירוק שלם. כתוצאה מכך יורד השיעור של חומצות כלורוגניות (איור 3) אשר אחראיות לתחושת העפיצות בקפה. וכך מתקבל הטעם ה"חלש" וה"רך" יחסית של אספרסו בהשוואה לקפה שעבר קלייה קצרה יותר.



איור 3: חומצה כלורוגנית

מדענים מאוניברסיטת בריטיש קולומביה, ליו יא-צנג ופרופ' דויד קיטס (2011), גילו שבמהלך ההשחמה של פולי הקפה נוצרת תערובת של תרכובות וביניהן נוגדי חמצון שהם תוצר של "[תגובת מיארד](#)" (איור 2). לא ברור כיצד תנאי הקלייה משפיעים על הריכוז [נוגדי החמצון](#).





במהלך הטחינה.

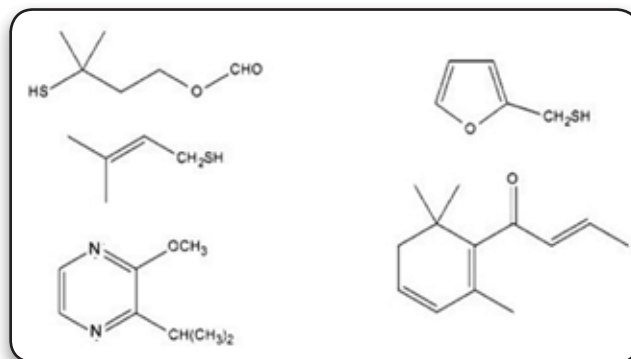
שלב שלישי בהכנת הקפה: מיצוי קפה טחון עם מים חמים תחת לחץ

מים בטמפרטורה שבין 85 ל-95 מעלות צלזיוס עוברים תחת לחץ דרך כמות מדודה של קפה טחון. המים החמים שעוברים בקצב נתון גורמים לא רק למיצוי של חומרים מסיסים במים אלא גם ל"המסה" של שומנים שמפוזרים על פני שטח הקפה הטחון לאחר צלייתו. הזרימה המהירה של המים בין חלקיקי קפה יוצרת תחליב עדין של מים ושומנים שקוטר הטיפה שלהם נע בין 0.5 ו-1.0 מיקרומטר. בטיפות שומן אלה מומסים חומרים ארומטיים, שלולא כן היו מתנדפים במהלך נידוף המים החמים. תהליך המיצוי תלוי בכמות הקפה, בקוטר הפילטר, בלחץ המופעל, בזמן המיצוי ובטמפרטורה של המים. שנים רבות של ניסיון של אלפי אנשים עזרו לקבוע את התנאים להכנת אספרסו מושלם, ואלה הם:

- רדיוס סינון של 3.5 סנטימטר
- נפח של 30 מיליליטר מים
- כ-6.5 גרם אבקת קפה
- לחץ של כ-9 בר
- טמפרטורת מים $90 \pm 5^\circ\text{C}$

בעוד שחלק מהמדענים מדווחים על ריכוז **נוגדי החמצון** גבוה יותר בפולי קפה כהים שעברו קלייה ממושכת, אחרים מדווחים על ירידה בריכוז. תאוריות אחרות מתעקשות כי קלייה בינונית של פולי קפה תניב את הרמה הגבוהה ביותר של פעילות נוגדת חמצון.

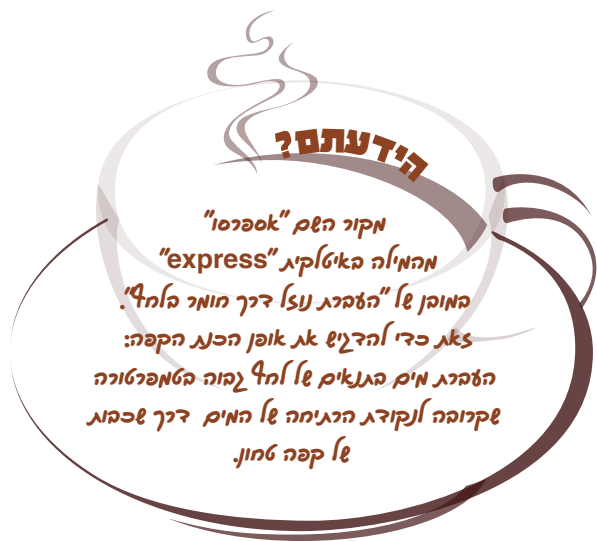
לעומת מספר התאוריות בנוגע לכימיה של נוגדי חמצון בקפה, אין כלל ויכוח בנוגע לארומה הייחודית כל-כך של הקפה הקלוי. עוד לפני הלגימה הראשונה הארומה של הקפה מציפה אותנו בכ-800 מרכיבים. המגוון המבני של התרכובות הארומטיות הנדיפות בקפה יכול למלא ספר לימוד של כימיה אורגנית. ריכוז החומרים הללו אינו חייב להיות גבוה; גם עקבות של חומרים די בהן כדי לעורר את ריחותיו האופייניים של הקפה. באיור 4 מוצגות חמש תרכובות מתוך ה-800.

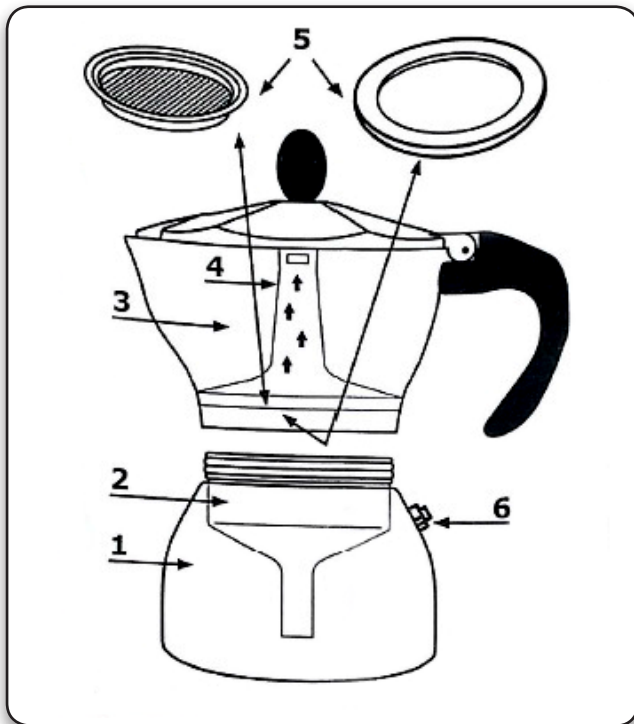


איור 4: חמש תרכובות מתוך יותר מ-800 שאחראיות לארומה של פולי קפה קלויים.

שלב שני בהכנת הקפה: טחינה דקה של קפה

מצד אחד, הטחינה הכרחית על מנת להגדיל את שטח הפנים של גרגירי הקפה ולייעל את תהליך המיצוי של הקפה למים. מצד שני, הגדלת שטח הפנים חושפת תרכובות רבות לתהליכי חמצון שפוגעים בטעם הקפה. כל עוד פולי קפה שלמים אחרי הקלייה, הם רוויים בפחמן דו-חמצני, עובדה שמונעת תהליכי חמצון. בזמן הטחינה משתחרר הפד"ח שהיה כלוא בפולים. עם ירידת ריכוז הפד"ח תרכובות רבות עלולות לעבור חמצון. לכן רצוי לטחון את הקפה קרוב למועד ההכנה שלו בעזרת מכונת טחינה טובה, שהטמפרטורה בה אינה עולה





איור 5: חלקי המקינאטו (מכונה באיטלקית) כלי להכנת אספרסו איטלקי על הכיריים

אפשר לצפות גם בווידאו שמסביר כיצד מכינים קפה מקינאטו:
<http://www.youtube.com/watch?v=huC3E1c4SBs>

תוכלו לקבל קפה מסוגים שונים:

מקינאטו - על ידי הוספת טיפת חלב חם לקפה.

לאטה - על ידי הוספת חצי כוס חלב חם.

קפוצ'ינו - על ידי הוספת שליש כוס חלב חם ושליש כוס קצף.



זכשיו שהלוח יותר גס
 מאלו הקפה הוא מנסה
 כל כך אהוב וגם כיצד להכין
 קפה טעים... אנחנו מקלות
 שתינו מהרבה רגעים נצימים
 "על כוס קפה".

האם חייבים לקנות מכונת קפה כדי להכין קפה טוב?

בקיץ 2012 התקיים ברומא שבאיטליה כנס שעסק בהוראת הכימיה. במהלך הכנס גילינו כי אלפי איטלקים מסתדרים בלי מכונה יקרה, אבל עדיין הם שותים קפה טוב בבית, בעזרת המקינאטו, (מכונה באיטלקית) כלי המאפשר להכין אספרסו איטלקי אותנטי. האיטלקים מכינים קפה בשיטה מסורתית על הכיריים, בלי מכונת אספרסו, כפי שמוצג באיור 5.

מים מוכנסים לחלק התחתון של המקינאטו (אזור 3 באיור 5) אשר מונח על גבי אש או כיריים חשמליות. המים החמים עולים דרך הקפה הטחון הנמצא במסנן (אזור 2 באיור 5). המים החמים ממצים מן הקפה הטחון את החומרים שנותנים לקפה את הטעם והארומה, ועולים יחד אתם דרך צינורית (חלק 4 באיור 5) לחלק העליון שבמקינאטו. בסופו של דבר נאסף הנוזל החום והריחני של הקפה בחלל העליון (אזור 3 באיור 5).

חשוב לכבות את האש בשלב זה כדי לא לחמצן את הקפה!

הוראות להכנת קפה במקינאטו

1. מלאו את החלק התחתון (1) במים קרים מאוד.
2. מלאו את המסנן (2) בקפה טחון עד השפה בלי להדק אותו.
3. הניחו על המים את המסנן עם הקפה הטחון.
4. הבריגו את החלק העליון (3, 4, 5) בחוזקה.
5. הניחו אותו על הכיריים על להבה נמוכה.
6. כבו את האש ברגע שהקפה נאסף בחלק העליון (3).
7. במקביל פעלו כך:
8. שימו כ-4 כפיות סוכר בכוס קפה.
9. צקו כ-3 כפיות קפה לתוך הכוס עם הסוכר וערבבו בעזרת כפית במהירות עד ליצירת קצף יציב בצבע קרמל.
10. הוסיפו כפית מהקצף לכוס האספרסו.
11. כאשר הקפה מוכן
12. צקו את האספרסו מעל הקצף וערבבו.
13. תיהנו מהקפה!



טקס הבונה - פעילות לתלמידים

קראו את הקטע הבא:

טקס הבונה הוא טקס שתיית קפה מסורתי שנהוג באתיופיה. הטקס הוא הרבה יותר מ"שתיית קפה"; לטקס יש משמעות חברתית, והוא מהווה מקור תמיכה, שיתוף, כבוד ועוד. בשלב הראשון האישה שמנהלת את הטקס קולה פולי קפה ירוקים על מחבת עד שישיחמו.

ועלי ומבשלת אותם במים רותחים. כשהקפה מוכן, היא מזגת אותו לספלים קטנים ומגישה לאורחים.

בטקס שותים שלושה ספלי קפה שנקראים: אבול, טונה וברכה מלווים בכיבוד אתיופי מסורתי: אינג'רה, דאבו ועוד. מוסיפים לקפה סוכר, ובכפרים לעתים מוסיפים גם מלח. במהלך טקס ה"בונה" משוחחים על נושאים שונים ומברכים את המשתתפים. הטקס יכול להימשך מספר שעות, ואל תעזו לקום לפני הספל השלישי! זה עשוי להעליב מאוד את המארחים.

לאחר קריאת הקטע, ענו על השאלות הבאות:

- בקטע מתוארים שלבים שונים של הכנת קפה -
 - קלייה של פולי הקפה הירוקים על מחבת עד שישיחמו.
 - לאחר שפולי הקפה מתקררים, טוחנים אותם במכתש ועלי.
 - בישול הקפה במים רותחים.
1. תארו את התהליכים המתרחשים בשלב הקלייה ובשלב הבישול במים רותחים.
 2. מדוע מתבצעת הטחינה?
 3. מדוע מתבצעת הטחינה רק לאחר שפולי הקפה מתקררים?
 4. באיזה מצב צבירה מתקבלים החומרים בעלי הארומה המיוחדת שמאפיינת את הקפה? הסבירו.



אישה קולה פולי קפה במהלך טקס הבונה הארץ. צילום: גלית גובזנסקי
בשלב זה מתחילים להריח את הארומה המיוחדת שמאפיינת את הקפה, והאישה מעבירה את המחבת בין האורחים כברכה.



מברכת במהלך טקס הבונה. צילום: גלית גובזנסקי
לאחר שפולי הקפה מתקררים, היא טוחנת אותם במכתש

להעמקה והרחבה בנושא קפה הכנסו לקישורים הבאים:

Chemistry views: [Espresso – A Three-Step Preparation](#)

[עוד על הכנת קפה](#)

מי הצרכן הגדול ביותר של קפה בעולם? מדוע צמח מפיק קפאין? מהן כמויות הקפה שצריכתן נחשבת קטלנית? מבין הסמים הפעילים פסיכולוגית, האם קפאין הוא הסם הנפוץ ביותר? [תשובות לכל השאלות.](#)

[על הטקס הבונה בויקיפדיה](#)



מימין ומשמאל: טקס בונה מסורתי שנערך בכפר וואלקה, אתיופיה. במהלך הטקס, נהוג שהאישה תכין את הקפה בכלים המסורתיים כשהיא יושבת על כיסא נמוך או על הרצפה, ומתחתיה יש דשא (לעתים רגיל ולעתים סינטטי). צילום: גלית גובזנסקי



מימין לשמאל: קטיף פולי קפה, קליית פולי קפה, דרגות קלייה שונות וההבדל בין סוגי הקפה הטחון