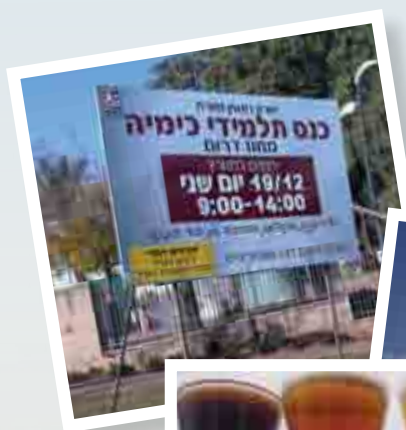


על-כימיה

גיליון מס' 21 • סיון תשע"ב • יוני 2012



המחלקה להוראת המדעים



המרכז הארצי
למורי הכימיה

משרד החינוך, המזכירות
הפדגוגית - האגף למדעים



מינהלת מל"מ
המרכז הישראלי לחינוך מדעי-טכנולוגי
ע"ש עמוס דה-שליט





גיליון מס' 21 • סיון תשע"ב • יוני 2012



המרכז הארצי
למורי הכימיה

משרד החינוך, המזכירות הפדגוגית -
האגף למדעים



המחלקה להוראת המדעים



מינהלת מל"מ

המרכז הישראלי לחינוך מדעי-טכנולוגי
ע"ש עמוס דה-שליט



תוכן העניינים

מדר	המאמר
1	דבר המערכת
2	דבר המפמ"ר
3	10 חידות בלתי פתורות בכימיה פיליפ בול
12	מעברנות בתהליכי התפלת מים נטע אברהם-גרין
16	מעבדת הכימיה כסביבת למידה התומכת בבניית טיעונים דבורה קצביץ
26	האם כל שיפור מדעי-טכנולוגי הוא כדאי? עדנה כהן
28	כנס כימיה לתלמידים, שנה ראשונה ביוזמה עדנה כהן ובעז הדס
37	קידום הוראת הכימיה בטנזניה רחל ממלוק-נעמן
41	נרים כוס של בירה: רגע, מה בדיוק אנחנו שותים? ואיך מכינים בירה? אביחי גרינברג ורון בלונדר
50	מורים מצטיינים מטעם החברה הישראלית לכימיה לשנת תשע"ב
51	סיפורה של תרופה - אלטרוקסין חני אלישע
54	Nitrous Oxide - N ₂ O _(g) האם זהו גז הצחוק או סם מסוכן? מירית צסיס, ענבל לוי ושחף נוימרק

עורכות אחראיות: ד"ר דבורה קצביץ

dvora.katchevich@weizmann.ac.il

מערכת: ד"ר רחל ממלוק-נעמן, ראש
המרכז הארצי למורי הכימיה, מכון ויצמן
למדע.

ד"ר דורית טייטלבוים, מפמ"ר כימיה.
ד"ר רון בלונדר וד"ר יעל שוורץ, קבוצת
הכימיה, המחלקה להוראת המדעים, מכון
ויצמן למדע.

יעוץ מדעי: פרופ' אבי הופשטיין

עריכה לשונית: נדן קלברמן

גרסת אינטרנט: ד"ר שלי ליבנה

איורים ועיצוב גרפי: זיו אריאלי ונועם שושן
עריכה: נועם שושן

כתובת המערכת: המרכז הארצי למורי
הכימיה, מכון ויצמן למדע, רחובות
76100

יצא לאור במימון האגף למדעים
במזכירות הפדגוגית ומינהלת מל"מ
המרכז הישראלי לחינוך מדעי-טכנולוגי

© כל הזכויות שמורות - משרד החינוך
אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם,
לאחסן במאגר מידע, לשדר או לקלוט בכל דרך
או אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני או אחר
כל חלק שהוא מהחומר שבחברת זו. שימוש
מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בחוברת
זו אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב
מהמוציא לאור.

דבר המערכת

שנת לימודים נוספת מגיעה לקצה, וברקע מתנהלות ההכנות לקראת שנת הלימודים הבאה, מורי כימיה ותיקים יוצאים לגמלאות ובמקביל מתנהל גיוס מורים חדשים למערכת – מורי כימיה צעירים. דור חדש של מורים שלא ידע את גיליונות "על כימיה" המודפסים, ויתכן שאינו מודע למקורות המידע הרבים שיכולים להיות רלוונטיים לכם ולתלמידים, משמע, לגיליונות האלקטרוניים של עלון מורי הכימיה על מדוריהם ותחומיהם המגוונים.

מה הייתם מצפים למצוא בעיתון? מה מעניין אתכם? במה הייתם יכולים לתרום?

אמנם אתם טירונים בכיתה, אבל רובכם הגעתם הישר מהמוסדות להשכלה גבוהה, חלקכם אחרי סיום תארים מתקדמים, ויש ביכולתכם לשתף את קהילת המורים במחקרים מעניינים שערכתם בתחום הכימיה על גווניה השונים או בתחום הוראת הכימיה. אז מילת הקסם בקהילת מורי הכימיה היא שיתוף. הוותיקים יכולים להביא מניסיונם: שאלות מעניינות, מערכי שיעור מיוחדים, פעילויות וכו', ואתם, מורי הדור הצעיר, מוזמנים לשתף בעדכונים חמים מהתנור ישירות מהעולם האקדמי.

המדורים בגיליון זה דומים לאלה שבקודמיו. תמצאו בו מאמרי העשרה, פעילויות לכיתה, שאלות מעניינות ועדכון בתחום המחקרים בהוראת המדעים הרלוונטיים להתמקצעות של מורי הכימיה. ברצוננו להתייחס ליוזמה מבורכת של **בעז הדס ועדנה כהן** בארגון כנסים אזוריים לתלמידים. כנסים אלה מפתחים גאווה מגמה, עשויים לעזור בקידום מקצוע הכימיה בבתי הספר, ובשלב זה הם ייחודיים למקצוע הכימיה. הנכם מוזמנים לקרוא על היוזמה בכתבה **"כנסי כימיה לתלמידים – שנה ראשונה ביוזמה"**.

פינה חדשה בגיליון היא **פינת התלמידים**. פינה זו מיועדת לפרסום עבודות תלמידים, שיכולות להוות השראה לתלמידים אחרים או למורים המנחים את תלמידיהם. הפעם בחרנו בכתבה **"N₂O(g) – האם זהו גז הצחוק או סם מסוכן?"** אשר כתבו התלמידות **מירית צסיס, ענבל לוי ושחף נוי מרק מתיכון קציר ברחובות**. הכתבה נכתבה בחן רב במסגרת התחרות "יש לנו כימיה" וזכתה במקום ראשון. מורים שתלמידיהם כתבו עבודות ראויות לפרסום מוזמנים לשלוח תכנים לפינה זו.

חופשה נעימה לכל ציבור המורים ואיחולים למילוי מצברים לקראת שנת הלימודים הבאה.

מערכת "על-כימיה"



דבר האמא"ר

ד"ר דורית טייטלבוים מנהלת תחום דעת כימיה, משרד החינוך והתרבות

שלום רב,

בתחילת דברי אני רוצה לאחל לכולנו קיץ טוב והמשך עשייה ברוכה למען קידום ופיתוח הנושאים החשובים לנו ולמדינת ישראל. לפני זמן קצר התקיימה בחינת הבגרות בכימיה. הבחינה עברה באופן משביע רצון, ואנו נמצאים עכשיו בעיצומו של תהליך ההערכה של הבחינות.

מורים רבים השתתפו השנה בהשתלמויות שונות ברחבי הארץ, השתלמויות ניתנו על ידי מגוון גופים ואנשים: המדריכים במחוזות השונים, חברי המרכז הארצי למורי הכימיה במכון דוידסון, וחברי המחלקה להוראת המדעים בטכניון.

תהליך **הטמעת האוריינות** היה מצויין. עבודה מאומצת בתחום זה נעשתה על ידי המדריכים והמורים בשטח. הדבר בא לידי ביטוי במספר התלמידים שנרשמו לבחינת המפמ"ר ברמה של יחידה אחת. מספר זה עומד השנה על פי ארבע מאשר בשנת הלימודים תשע"א. אין ספק כי רק העבודה המאומצת של המדריכים והמורים הביאה לתוצאה זו. **אציין לשבח שני בתי ספר בהם למדו כל תלמידי שכבת י', בהיקף של יחידה אחת לבגרות: תיכון אהל שם, ברמת גן, ותיכון ליאו בק, בחיפה.** יישר כוח למורים ולרכזים בשני בתי הספר!

השנה, לראשונה במקצוע הכימיה, התקיימו שתי **השתלמויות וירטואליות**: האחת בנושא אוריינות כימית, שניתנה על ידי המרכז הארצי למורי הכימיה, והשניה בנושא מיומנויות מעבדת החקר, שניתנה על ידי המדריכות נאוה תמם ועדנה פרידמן. שתי ההשתלמויות היו מלאות עד אפס מקום (ווירטואלי) והמורים המשתלמים דיווחו על שביעות רצון גבוהה. מגמה זו של השתלמויות וירטואליות לצד השתלמויות פנים אל פנים תימשך גם בשנת הלימודים תשע"ג.

השנה המשכנו גם את ההפעלה של **פרויקט נחשון**, פרויקט משותף למשרד החינוך ולמט"ח (המרכז לטכנולוגיה חינוכית). במסגרת הפרויקט ניתנה תמיכה לימודית שוטפת לתלמידי כימיה בכיתות י"א, י"ב, שהתבססה על קשר הדוק של חונך עם מורה הכיתה. החונכים היו סטודנטים הלומדים באוניברסיטה כימיה או הנדסה כימית או מקצוע שיש בו למידה משמעותית של כימיה, לדוגמה לימודי רפואה. מספר הלומדים בפרויקט עלה בהשוואה לשנת תשע"א. בנוסף, מספר הלומדים שהשתתפו במרתונים של הפרויקט לקראת הבגרות, עלה אף הוא. המורים שהיו בקשר עם החונכים וגם תלמידי הכימיה ציינו את תרומתו של הפרויקט לקידום ההבנה והלמידה המשמעותית של מקצוע הכימיה. לסיום, אני רוצה לאחל לכולנו חופשה נעימה וגם מנוחה וצבירת כוחות לשנה הבאה.

בברכה,

ד"ר דורית טייטלבוים

מפמ"ר כימיה

10 חידות בלתי פתורות בכימיה*

פיליפ בול*

רבות מן השאלות המדעיות המהותיות ביותר וכמה מבעיותיה הבערות ביותר של האנושות קשורות למדע האטומים והמולקולות



1. כיצד החלו החיים

הרגע שבו הגיח היצור החי הראשון מן החומר הדומם, לפני כמעט ארבעה מיליארדי שנה, עדיין אפוף מסתורין. כיצד הצליחו המולקולות הפשוטות, באופן יחסי, של המרק הקדמוני ליצור תרכובות מורכבות יותר ויותר? וכיצד החלו כמה מן התרכובות האלה לעבד אנרגיה ולהשתכפל (שניים ממאפייני החיים)? ברמה המולקולרית, כל השלבים האלה הם כמובן תגובות כימיות, ולכן, השאלה כיצד החלו החיים היא שאלה כימית.

הכימאים אינם יכולים להסתפק עוד בתרחישים המתקבלים אך בקושי על הדעת - וכאלה יש רבים. חוקרים שיערו, למשל, שמינרלים מסוימים, כמו חרסית, שימשו כזרדים ליצירת הפולימרים הראשונים בעלי כושר שכפול עצמי (פולימרים, כמו דנ"א (DNA) או חלבונים, הם שרשרות מולקולריות של יחידות קטנות יותר); או שארובות הידרו-תרמיות בקרקעית הים הן שסיפקו את האנרגיה שהניעה את היווצרותה של המורכבות הכימית. יש גם השערות על אודות "עולם הרנ"א", שבו מולקולות רנ"א (RNA), הדומות לדנ"א ופועלות גם כאנזימים המזרזים תגובות כימיות כמו שחלבוני עושים, שימשו כמולקולות אוניברסליות שקדמו לדנ"א ולחלבונים.

* המאמר פורסם לראשונה בסינטיפיק אמריקן ישראל, גיליון דצמבר 2011 בהוצאת אורט ישראל

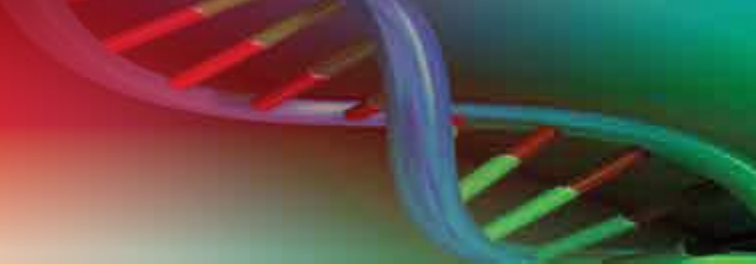
* פיליפ בול (Ball) בעל תואר דוקטור לפיזיקה מאוניברסיטת בריסטול באנגליה כיהן במשך יותר מ-20 שנה כעורך כתב העת Nature הוא מחבר עטור פרסים של 15 ספרים, ובהם "אינסטינקט המוזיקה: כיצד פועלת המוזיקה ומדוע איננו יכולים לחיות בלעדיה."

האתגר עכשיו הוא למצוא דרך לבחון את הרעיונות האלה באמצעות תגובות שיתרחשו לאטן במבחנות. חוקרים הדגימו, למשל, כיצד כמה כימיקלים פשוטים באופן יחסי יכולים להגיב זה עם זה באופן ספונטני וליצור אבני בניין מסובכות יותר של מערכות חיות. אבני הבניין האלה, חומצות אמיניות ונוקלאוטידים, הן היחידות הבסיסיות של דנ"א ורנ"א. ב-2009 הצליח צוות בראשותו של ג'ון סתרלנד, הפועל כיום במעבדת MRC לביולוגיה מולקולרית בקיימברידג' שבאנגליה, להדגים את יצירתם של נוקלאוטידים ממולקולות שסביר להניח שהיו מצויות במרק הקדמוני.

חוקרים אחרים התמקדו ביכולתם של גדילי רנ"א מסוימים לפעול כאנזימים וזאת כדי למצוא ראיות שיתמכו בהשערת עולם הרנ"א. באמצעות צעדים כאלה, מדענים מקווים לגשר בהדרגה על הפער שבין חומר דומם לבין מערכות בנות קיימא המסוגלות לשכפל את עצמן.

עכשיו, כשמדענים מיטיבים להכיר סביבות מוזרות ואולי אף פוריות במערכת השמש שלנו, כמו זרמי המים המופיעים לפרקים על מאדים, אגמי הפטרו-כימיקלים על טיטן, ירחו של שבתאי, והאוקיינוסים המלוחים המסתתרים כנראה מתחת לקרח המכסה את ירחי צדק, אירופה וגנימד, נעשית שאלת מקור החיים על כדור הארץ רק אחת ממכלול שאלות רחב יותר: באילו נסיבות יכולים חיים להתעורר? ועד כמה רחב יכול להיות הבסיס הכימי לחיים? ב-16 השנים האחרונות התגלו יותר מ-500 כוכבי לכת המקיפים שמשות אחרות מחוץ למערכת השמש שלנו, עולמות בעלי מגוון מהמם, וגילויים מעשיר את הנושא המחקרי הזה.

התגליות האלה דחפו את הכימאים להפליג בדמיונם מעבר לכימיה אחת של החיים. סוכנות החלל האמריקנית נאס"א,



היא שאין הסכמה בין המדענים מה אמור להיות הייצוג המדויק יותר של מולקולות.

בשנת 1920 הראו הפיזיקאים וולטר הייטלר ופריץ לונדון כי אפשר לתאר את הקשר הכימי באמצעות משוואותיה של תורת הקוונטים, תורה שהייתה אז בחיתוליה. הכימאי האמריקני הדגול לינוס פאולינג הציע את הרעיון שקשרים נוצרים כשאורביטלים אלקטרוניים של אטומים שונים חופפים זה לזה במרחב. תיאוריה מתחרה של רוברט מיליקן ופרידריך הונד הציעה שקשרים נוצרים כתוצאה מהתמזגותם של אורביטלים אטומיים ליצירת "אורביטלים מולקולריים" המשתרעים על פני יותר מאטום אחד. היה נראה שהכימיה התיאורטית עומדת להיעשות ענף של הפיזיקה.

כמעט 100 שנה לאחר מכן התקבלה תמונת האורביטלים המולקולריים כמעט לגמרי, אבל עדיין לא כל הכימאים משוכנעים שבכל המקרים זו הדרך הטובה ביותר לתאר מולקולות. הסיבה לכך היא שמודל זה של המולקולות ודומיו מבוססים על הנחות מְפֹשְטוֹת ולכן הם רק תיאורים מקורבים וחלקיים. במציאות, מולקולה היא צרור של גרעיני אטומים המוקפת בענן אלקטרונים שבתוכה מתקיימות ללא הרף "תחרויות משיכת חבל" בין כוחות חשמליים מנוגדים ובין תנועה והתארגנות מחדש של מרכיביה. המודלים הנוכחיים של המולקולה, המנסים בדרך כלל להקפיד את הישות הדינמית הזאת לכדי ישות סטטית, לוכדים אולי כמה מתכונותיה הבולטות, אבל מזניחים תכונות אחרות.

תורת הקוונטים אינה מסוגלת לספק הגדרה חד-משמעית של הקשרים הכימיים העולה בקנה אחד עם האינטואיציה של כימאים שלחם-חוקם הוא לבנות ולשבור את הקשרים האלה. יש כיום דרכים רבות לתאר מולקולות כאטומים הקשורים זה לזה בקשרים. לדברי הכימאי הקוונטי דומיניק מרקס מאוניברסיטת חבל הרוֹרֶר בבוכום שבגרמניה, רובם תיאורים "שימושיים במקרים מסוימים, אך נכשלים באחרים."

למשל, סברה במשך שנים כי מים נוזלים הם תנאי מקדים לחיים. עתה יש מדענים שאינם בטוחים בכך עוד. מה בדבר אמוניה נוזלית, או פֶּרְמֶאמיד, או ממס שמנוני כמו מֶתָאן נוזלי, או מימן נוזלי בתנאים הסופר-קריטיים של צדק? ומדוע שהחיים יגבילו את עצמם לדנ"א, לרנ"א ולחלבונים? ככלות הכול, מדענים כבר יצרו כמה מערכות כימיות מלאכותיות המציגות סוג של שכפול באמצעות החלקים המרכיבים אותן בלי להסתמך על חומצות גרעין. נראה שכל מה שצריך לשם כך זאת מערכת כימית המסוגלת לשמש כתבנית ליצירת עותק ואז להתנתק.



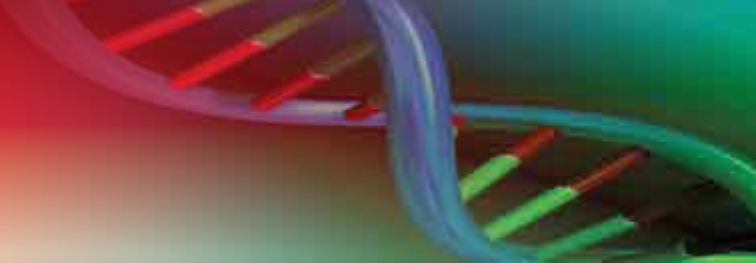
מתוך התבוננות בחיים על כדור הארץ "אין ביכולתנו להחליט אם קווי הדמיון [כמו השימוש בדנ"א ובחלבונים] בין היצורים החיים משקפים מוצא משותף או את הצרכים האוניברסליים של החיים," אומר הכימאי סטיבן

בנר מן המוסד לאבולוציה מולקולרית יישומית בגיינסוויל שבפלורידה. אבל אם נתבצר בעמדה שיש לדבוק רק במוֹכֵר, "זה לא יהיה כיף."



2. כיצד נוצרות מולקולות

המבנים המולקולריים הם אולי עמוד התווך של שיעורי המדע בבית הספר התיכון, אבל התמונה המוכרת של כדורים ומקלות המייצגים את האטומים ואת הקשרים המחברים ביניהם היא בעיקרה סיפור בדים מקובל. הבעיה



אינם משתקים גנים באופן קבוע ואין הם שומרים במצב המתנה רק את הגנים שהם זקוקים להם. במקום זאת, הגנים שכובו שומרים על כושר פעולה רדום, כלומר שומרים על יכולתם לייצר את החלבונים שהם מקודדים, והם עשויים להיות מופעלים מחדש, למשל בעקבות חשיפה לכימיקלים מסוימים המגיעים מן הסביבה.

הדבר המרגש והמאתגר את הכימאים הוא שבקרת הגנים הזאת קשורה כנראה לאירועים כימיים בקנה מידה גדול יותר מזה של אטומים ומולקולות, בתחום ביניים (mesoscale), שבו פועלים מבנים מולקולריים גדולים וקבוצות גדולות של מולקולות. כרומטין, החומר המרכיב את הכרומוזומים מדנ"א ומחלבונים, בנוי במבנה היררכי. הסליל הכפול של הדנ"א כרוך סביב חלקיקים גליליים המורכבים מחלבונים הקרויים היסטונים. שרשרת החרוזים הזאת ארוזה אף היא במבנים בעלי סדר גבוה יותר שאנו ממעטים להבינם. בתאים מתקיימת בקרה הדוקה על המארג הזה. האופן והמקום שבו ארוז גן מסוים בתוך הכרומטין עשויים לקבוע אם הגן פעיל או לא.

בתאים פועלים אנזימים ייעודיים הקובעים את צורתו המשתנה של הכרומטין. לאנזימים האלה יש תפקיד מרכזי בתהליך ההתמיינות של התא. נראה שלכרומטין בתאי גזע עוברים יש מבנה משוחרר ופתוח יותר. כשגנים מסוימים מושתקים, הכרומטין נעשה גושי יותר ומאורגן. "נראה שהכרומטין מקבע ומשמר, או מייצב את התאים," אומר הפתולוג ברדלי ברנשטיין מבית החולים הכללי של מסצ'וסטס.

זאת ועוד, בעיצוב הכרומטין מעורבים שינויים כימיים של הדנ"א ושל ההיסטונים. מולקולות קטנות מוצמדות להם ומשמשות כתוויות. הן מסמנות למנגנון התאי להשתיק

הדמיות מחשב מסוגלות כיום לחשב בדיוק רב מבנה ותכונות של מולקולות מתוך עקרונות קוונטיים ראשוניים – כל עוד מספר האלקטרונים קטן דיו. "באמצעות כימיה חישובית אפשר להגיע לדרגות גבוהות מאוד של מציאותיות ומורכבות," אומר מרקס. כתוצאה מכך, אפשר לראות בחישובי המחשב כעין ניסוי וירטואלי שבאמצעותו אפשר לחזות את מהלכה של תגובה כימית. אבל ברגע שההדמיה עוסקת בתגובה שבה מעורבים יותר מכמה

עשרות אלקטרונים, כמות החישובים מתחילה להכריע עד מהרה אפילו את מחשבי-העל החזקים ביותר. האתגר היום הוא אפוא לראות אם אפשר להרחיב את ההדמיות האלה ולהחיל אותן, לדוגמה, על תהליכים ביו-מולקולריים מסובכים בתא או על המבנה של חומרים מתוחכמים.



מולקולה במודל כדור מקל

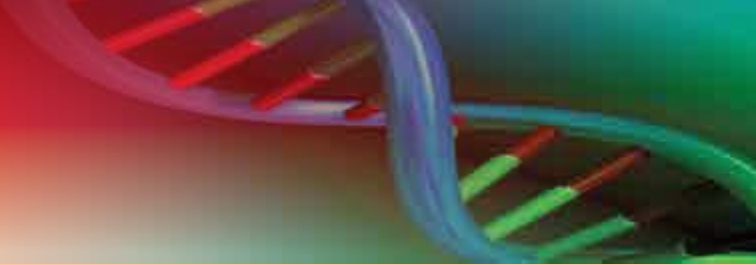


3. כיצד הסביבה משפיעה על הגנים שלנו

הרעיון הוותיק של הביולוגיה היה: מהותנו נקבעת על ידי הגנים שלנו. כיום ברור ששאלה לא פחות חשובה היא באילו גנים אנו משתמשים. וכמו בכל דבר בביולוגיה, בלב השאלה הזאת עומדת הכימיה.

תאים של עובר בשלב מוקדם יכולים להתפתח לכל סוג של רקמה. אבל ככל שהעובר גדל, התאים האלה, המכונים תאי גזע פלורפוטנטיים, עוברים התמיינות ורוכשים תפקידים ספציפיים (כמו תאי דם, שריר או עצב), תפקידים הנותרים קבועים בצאצאיהם. היווצרות הגוף האנושי היא אפוא תהליך שבו הכרומוזומים בתאי הגזע עוברים שינוי כימי המפעיל או מכבה מערכים שלמים של גנים.

ואולם, אחת התגליות המהפכניות ביותר בחקר השיבוט ותאי הגזע הייתה שהשינויים האלה הפיכים ומושפעים מהתרחשויות שהגוף חווה. במהלך ההתמיינות התאים



טווח וארוכי טווח. לעומת זאת, תהליכי זיכרון מורכבים יותר המכונים זיכרון הצהרתי (כמו זיכרון של אנשים, מקומות וכדומה) מתרחשים באמצעות מנגנון שונה במקום אחר במוח. תהליכים אלה כרוכים בהפעלת חלבון הקרוי קולטן NMDA המצוי על תאי עצב מסוימים. חסימת הקולטן הזה באמצעות סמים מונעת את שמירתם של זיכרונות הצהרתיים מסוגים רבים.

הזיכרונות ההצהרתיים היום-יומיים שלנו מקודדים לעתים קרובות באמצעות תהליך הקרוי העצמה ארוכת טווח, שבו מעורבים קולטני NMDA והוא מלווה בהתרחבות האזור הניורוני של סינפסה. ככל שהסינפסה גדלה, כן "מתחזק" הקשר עם תאים שכנים, כלומר עולה המתח החשמלי שמשרים אותות עצביים המגיעים לצומת הסינפטי. הביוכימיה של התהליך הזה התבררה בשנים האחרונות. התהליך כרוך בהיווצרות סיבים בתוך תא העצב הבנויים מן החלבון אקטין, החומר המשתתף גם בבניית השלד הבסיסי של התא והקובע את גודלו וצורתו. אבל אם גורמים ביוכימיים ימנעו את ייצובם של הסיבים החדשים, התהליך ייפסק והסיבים יתפרקו.

ברגע שזיכרון ארוך טווח עובר קידוד, בתהליכי למידה פשוטים או מורכבים כאחד, הוא מתוחזק באופן פעיל באמצעות הפעלה של גנים הגורמים להופעתם של חלבונים מסוימים. כרגע נראה שבתהליך הזה עשויה להיות מעורבת מולקולה הקרויה פֶּרִיון. פריונים הם חלבונים המסוגלים להתנדוד בין שתי צורות מרחביות שונות. אחת הצורות מסיסה במים והאחרת אינה מסיסה. הצורה הבלתי מסיסה פועלת כזרז הגורם למולקולות דומות לה להיעשות בלתי מסיסות אף הן ולהצטבר לגוש. הפריונים התגלו לראשונה בשל תפקידם במחלות ניוון עצבי כמו מחלת הפרה המשוגעת, אבל כיום ברור שלמנגנוני הפעולה של פריונים יש גם תפקיד מועיל: הצטברותם מסמנת סינפסה מסוימת כדי לשמור באמצעותה זיכרון.

בסיפור פעולות הזיכרון יש עדיין פערים גדולים, שרבים מהם ממתנים להיסגר באמצעות הבהרת הפרטים הכימיים. למשל, כיצד נשלף הזיכרון לאחר שאוכסן? "זאת בעיה עמוקה שאנחנו רק מתחילים לנתח אותה", אומר

גנים מסוימים, או להפך, לשחרר אותם לפעולה. הסימון הזה קרוי "אֶפִּיגֶנְטִיקָה" מפני שהוא אינו משנה את המידע שהגנים עצמם נושאים.

נראה שהתשובה לשאלה עד כמה אפשר להחזיר תאים בוגרים למצב פלורিপוטנטי, כלומר, האם אפשר להחזירם למצב שבו הם יפעלו כמו תאי גזע אמיתיים, שהיא סוגיה מכריעה לגבי האפשרות להשתמש בהם לרפואה מחדשת (רגנרטיבית) – תלויה בעיקר בשאלה עד כמה אפשר לבטל את הסימון הכימי האפִּיגֶנְטִי.

כיום ברור שמעבר לקוד הגנטי המכתיב רבות מהוראות ההפעלה החשובות של התא, התאים משוחחים גם בשפה כימית גנטית נפרדת לגמרי – שפת האפִּיגֶנְטִיקָה. "לאנשים עשויה להיות נטייה מוקדמת ללקות במחלות רבות ובהן סרטן, אבל לעתים קרובות גורמים סביבתיים הם אלה שיקבעו אם היא תתפרץ או לא, באמצעות המסלולים האפִּיגֶנְטִיים האלה," אומר הגנטיקאי בריאן טרנר מאוניברסיטת ברמינגהם באנגליה.



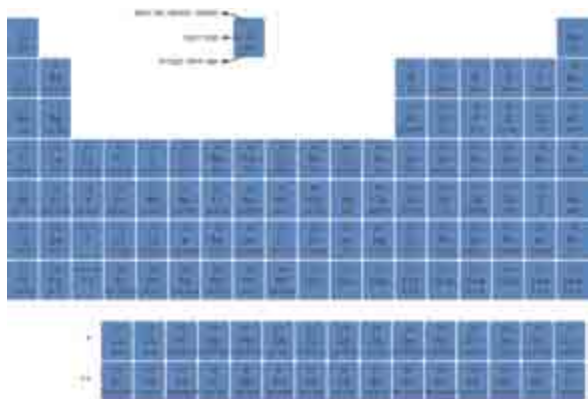
4. כיצד המוח חושב ויוצר זיכרונות

המוח הוא מחשב כימי. התגובות ההדדיות בין תאי העצב הבונים את המעגלים שלו מתואכות באמצעות מולקולות הקרויות שליחים עצביים (ניורו-טרנסמיטרים). השליחים האלה חוצים את הסינפסות, נקודות המגע שבהן תאי העצב נקשרים זה לזה. המפגן המרשים ביותר של הכימיה של החשיבה הוא אולי בהפעלת הזיכרון, תהליך שבו עקרונות ורעיונות מופשטים, כמו מספר טלפון או אסוציאציה רגשית, מוטבעים במצבים מסוימים של הרשת העצבית באמצעות איתותים כימיים מתמשכים. כיצד הכימיה יוצרת זיכרון מתמיד ודינמי כאחד ומאפשרת גם להיזכר בו, גם לשנותו וגם לשכוח אותו?

אנחנו יודעים חלקים מן התשובה. אשד של תהליכים ביוכימיים, המוליכים לשינוי בכמות מולקולות השליחים העצביים בסינפסה מעורר למידה של רפלקסים של הרגל. אבל אפילו להיבט הפשוט הזה של הלמידה יש שלבים קצרי

הנוירוביולוג וחתן פרס נובל אריק קנָדל מאוניברסיטת קולומביה.

הבנה מעמיקה של הכימיה של הזיכרון מעמידה לפנינו את הפיתוי השנוי במחלוקת של שיפור הזיכרון באמצעות תרופות. כבר כיום אנו מכירים כמה חומרים ממריצי זיכרון, ובהם הורמוני מין וכימיקלים סינתטיים, הפועלים על קולטנים של ניקוטין, גלוקטמין, סרוטונין ושליחים עצביים



בדעיכה רדיואקטיבית, לעתים בתוך שבריר שנייה. אבל כל עוד מתקיימים היסודות הסינתטיים האלה, כמו סיבֶרְגִּיּוֹם (מספר אטומי 106) והֶסְקִיּוֹם (108), הם יסודות לכל דבר, ויש להם תכונות כימיות מובהקות. באמצעות ניסויים מדהימים, מדענים מבקשים לחקור כמה מן התכונות האלה באמצעות קומץ קטן של אטומי סיבֶרְגִּיּוֹם והסיום חמקמקים ברגעים הקצרים שלפני התפרקותם.

המחקרים אינם בוחנים רק את הגבולות הפיזיים של הטבלה המחזורית, אלא גם את גבולותיה העקרוניים: האם היסודות הסופר-כבדים ממשיכים להציג את המגמות ואת ההתנהגות הכימית המחזורית המאפיינות את הטבלה מלכתחילה? התשובה היא שכמה מהם ממשיכים בכך, וכמה לא. ובייחוד, הגרעינים האלה, בעלי המסה הגדולה, מושכים את האלקטרונים הקרובים ביותר לגרעין בעוצמה כזאת עד שהאלקטרונים נעים במהירויות קרובות למהירות האור. בתנאים אלה גדלה מסת האלקטרונים, על פי תורת היחסות הפרטית, והדבר עלול לשבש לגמרי את מערך רמות האנרגיה הקוונטיות שבהן תלויה ההתנהגות הכימית שלהם - וגם עצם מחזוריותה של הטבלה.

גרעיני אטומים בעלי "מספרי קסם" מסוימים של פרוטונים ונויטרונים נחשבים יציבים יותר. כמה חוקרים מקווים אפוא למצוא את האזור בטבלה המחזורית, אזור המכונה "אי היציבות". אזור זה מצוי קצת אחרי היסודות המלאכותיים שהטכנולוגיה המצויה בידנו מסוגלת ליצור, ובו הגרעינים הסופר-כבדים יתקיימו במשך זמן ארוך יותר. ועם זאת,

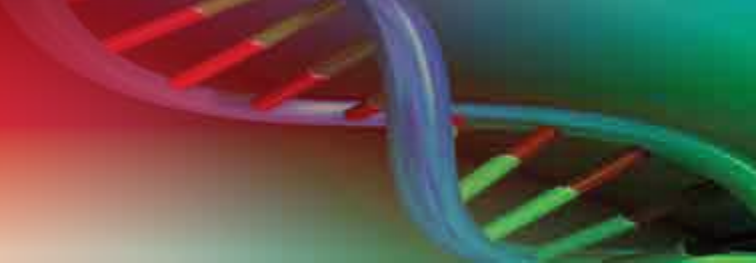


אחרים. למעשה, רצף הצעדים המורכב, המוליך ללמידה ולזיכרון ארוכי טווח, זרוע במטרות אפשריות רבות לסמי זיכרון כאלה, אומר הנוירוביולוג גארי לינץ' מאוניברסיטת קליפורניה באירוויין.

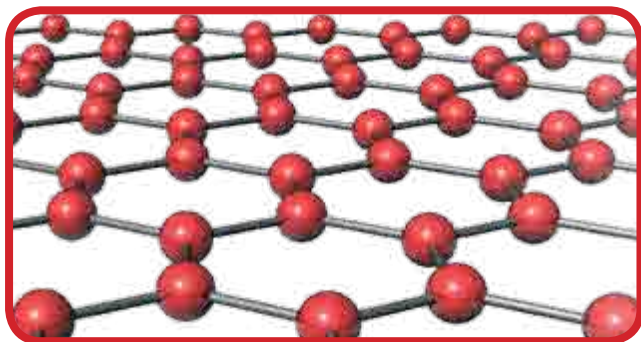
?

5. כמה יסודות כימיים קיימים

הטבלות המחזוריות המעטרות את קירותיהן של כיתות הלימוד זקוקות לעדכון שוטף מפני שמספר היסודות ממשיך לעלות. מדענים נעזרים במאיצי חלקיקים כדי ליצור התנגשויות בין גרעינים אטומיים וליצור יסודות "סופר-כבדים" חדשים, שבגרעיניהם יש יותר פרוטונים ונויטרונים משיש בגרעיניהם של כ-92 היסודות המצויים בטבע. הגרעינים התפוחים האלה אינם יציבים כלל והם מתפרקים



זולים וקשיחים. התקווה היא שתעשיית המחשבים תוכל להשתמש בסרטים צרים וברשתות של גרפן, שייגזרו במידות המתאימות וברמת דיוק אטומית, כדי לבנות שבבים שיפיגו ביצועים טובים יותר מאלה המבוססים על סיליקון.



מודל של גרפן

"אפשר לעצב גרפן בצורה כזאת שתתגבר על בעיות חיבורן של צינורות הננו הפחמניות ומיקומן," אומר מומחה הפחמן וולט דה-היר מן המכון הטכנולוגי של ג'ורג'יה. אבל הוא מוסיף שהשיטות [המקובלות כיום בתעשיית המחשבים], כמו איכול כימי, הן שיטות גסות מדי לעיצוב מעגלי גרפן ברמת דיוק של אטום יחיד. דה-היר חושש אפוא שטכנולוגיית הגרפן חייבת היום את מעמדה ל"רייטינג" ופחות למדע קפדני. ייתכן שהמפתח להנדסה מדויקת כזאת בקנה מידה אטומי הוא השימוש בשיטות הכימיה האורגנית: בניית מעגלי גרפן מלמטה למעלה, כלומר חיבורן יחדיו של מולקולות פולי-ארומטיות, המכילות כמה טבעות פחמן משושות, הנראות כמו חלקים קטנים של משטח גרפן. שיטות כאלה יוכלו לפתוח את השער לעתיד האלקטרוניקה מבוססת הגרפן.



7. כיצד נוכל לנצל אנרגיה סולרית רבה יותר

כל זריחת שמש מזכירה לנו שאנחנו מנצלים רק שבריר מעורר רחמים של משאב האנרגיה הנקייה הענק הזה - השמש. הבעיה העיקרית היא העלות: מחירים של לוחות פוטו-וולטאים רגילים, העשויים צורן, עדיין מגבילים את

האם יש גבול עקרוני לגודלם? חישוב פשוט מרמז שתורת היחסות מונעת את קיומם של גרעינים בעלי יותר מ-137 פרוטונים. אבל חישובים מורכבים יותר קוראים תיגר על הגבול הזה. "המערכת המחזורית לא תסתיים ב-137, למעשה, היא לא תיגמר לעולם," מתעקש הפיזיקאי הגרעיני וולטר גריינר מאוניברסיטת יוהן וולפגנג גתה בפרנקפורט שבגרמניה. המבחן הניסויי לטענה הזאת עדיין רחוק מאוד.

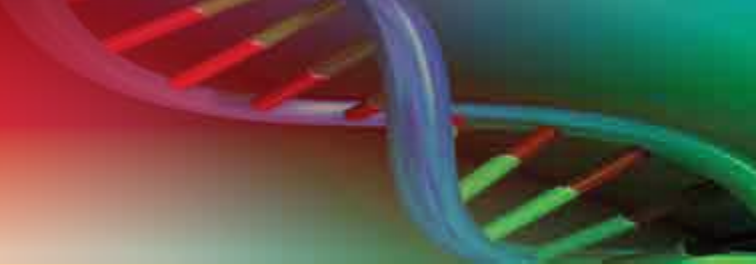


6. האם אפשר לבנות מחשבים מפחמן

שבבי מחשב העשויים גרפן, רשת של אטומי פחמן, יוכלו כנראה להיות מהירים וחזקים יותר ממחשבים המבוססים על סיליקון (צורן). מגלי הגרפן אמנם זכו בפרס נובל בפיזיקה בשנת 2010, אבל הצלחתה של ננוטכנולוגיה המבוססת על גרפן, או על סוגי פחמן אחרים, תלויה בסופו של דבר ביכולתם של כימאים ליצור מבנים ברמת דיוק אטומית.

ב-1985 גילו את כדורי באקי, מולקולות חלולות, דמויות כלוב, העשויות רק מאטומי פחמן. זו הייתה נקודת ההתחלה למשהו גדול הרבה יותר. שש שנים לאחר מכן הופיעו צינורות פחמן שהאטומים המרכיבים אותן מסודרים ברשת משושים, הדומה לרשת של לולי תרנגולות, בדיוק כפי שהם מסודרים בשכבות הפחמן בגרפיט. מכיוון שצינורות-ננו פחמניות אלה חלולות, חזקות להפליא, נוקשות ומוליכות חשמל, הן הבטיחו מגוון יישומים, החל מחומרים מרוכבים מבוססי פחמן בעלי חוזק גבוה, עד לתילי חשמל זעירים והתקנים אלקטרוניים, ועד לכמוסות מולקולריות זעירות ולקרומים לסינון מים.

אך על אף ההבטחה, צינורות הננו הפחמניות לא הניבו יישומים מסחריים רבים. למשל, החוקרים לא הצליחו לפתור את בעיית החיבור של הצינורות למעגלים אלקטרוניים מסובכים. לאחרונה, עלתה הגרפיט למרכז הבמה לאחר שנמצאה דרך להפריד את השכבות המרכיבות אותה לשכבות יחידות, הדומות לרשת לולים, וקרויות גרפן. חומר זה עשוי לשמש בסיס למעגלים חשמליים זעירים מאוד,



אינם מצוידים (עדיין) במנגנון מלא לסינתזה כימית כמו זה שפועל בתא חי.

?

8. מהי הדרך הטובה ביותר לייצר דלקים ביולוגיים

במקום ליצר חומרי דלק באמצעות לכידת קרני האור מן השמש, אולי נשאיר את מלאכת אגירת אנרגיית השמש לצמחים ואז נהפוך את החומר הצמחי לדלק? דלקים ביולוגיים, כמו אתאנול, המופק מתירס, וביו-דיזל, המופק מזרעים, כבר השתלבו בשוקי האנרגיה. אבל הם מאיימים להחליף גידולי מזון, בייחוד במדינות מתפתחות שבהן ייצוא דלקים ביולוגיים עשוי להכניס יותר מאספקת מזון לאוכלוסייה בבית. והמספרים מפחידים: כדי לעמוד בביקושי הדלק כיום תידרש הפקעת שטחים ענקיים של אדמה פורייה.

לפיכך, הפיכת מזון לאנרגיה היא אולי לא הגישה הטובה ביותר. אחת התשובות היא לנצל צורות אחרות, חיוניות פחות, של ביו-מסה. די בכמות השאריות שחקלאות ארה"ב ויערותיה מייצרים מדי שנה כדי לספק כשליש מצריכת הבנזין והדיזל השנתית לתחבורה.

כדי להפוך את הביו-מסה הפחות איכותית הזאת לחומרי דלק, צריך לשבור מולקולות קשיחות מאוד כמו ליגנין ותאית, אבני הבניין של הצמחים. כימאים כבר יודעים לעשות זאת, אבל השיטות הנוכחיות נוטות להיות יקרות מדי, בלתי יעילות או כאלה שקשה להגדיל את היקפן כדי לעמוד בכמויות הדלק האדירות שהכלכלה צריכה.

אחד האתגרים בפירוק ליגנין הוא בשבירת קשרי פחמן-חמצן המגשרים בין טבעות פחמן ארומטיות, דמויות בנזן. ג'ון הרטוויג ואלכסיי סרגייב מאוניברסיטת אילינוי הצליחו לא מזמן להתגבר על האתגר הזה באמצעות זרז מבוסס ניקל. הרטוויג אומר שאם רוצים להשתמש בביו-מסה כתחליף לחומרי הגלם הכימיים ולחומרי הדלק המגיעים כיום מדלקים מחצביים, הכימאים חייבים להפיק מן הביו-מסה חומרים ארומטיים (מולקולות בעלות שלד המורכב

השימוש בהם. אבל החיים על פני כדור הארץ, שכמעט כולם מונעים, בסופו של דבר, באמצעות פוטוסינתזה על ידי אור השמש, מוכיחים לנו שתאים סולריים לא חייבים להיות יעילים מאוד, בתנאי, שכמו עליהם, יהיה אפשר לייצר אותם בכמות גדולה ובמחירים נמוכים דיים.

"אחת ממטרות העל של המחקר בתחום האנרגיה הסולרית היא שימוש באור השמש כדי לייצר חומרי דלק," אומר דיונס גאסט מאוניברסיטת מדינת אריזונה. הדרך הקלה ביותר לייצר חומר דלק מאנרגיית השמש היא פירוק מים ויצירת מימן וחמצן גזיים. נתן ס' לואיס ועמיתיו במכון הטכנולוגי של קליפורניה (קלֶטֶק) מפתחים עלה מלאכותי שאמור לעשות זאת באמצעות תילי-ננו עשויים צורן.

בראשית 2011 חשפו דניאל נוסֶרָה מן המכון הטכנולוגי של מסצ'וסטס (MIT) ועמיתיו את פיתוחה של קרומית (ממברנה) מבוססת צורן המכילה זרז הפועל באמצעות קוֹבַלְט שמפרק מים. נוסרה מעריך שיהיה די בפחות מ-4 ליטרים של מים כדי לספק די דלק ליום אחד לבית אחד במדינות מתפתחות. "מטרתנו היא להפוך כל בית לתחנת הכוח של עצמו," הוא אומר.

שבירת מים באמצעות זרז היא עדיין משימה קשה. "בזרזי קובלט, כמו זה של נוסרה, ובזרזים אחרים שהתגלו לאחרונה, זרזים המבוססים על מתכות נפוצות אחרות, טמונה הבטחה," אומר גאסט, אבל עדיין לא נמצא הזרז הזול האידאלי. "אנחנו עדיין לא יודעים כיצד פועל הזרז הטבעי בפוטוסינתזה, המבוסס על ארבעה אטומי מנגן ואטום סידן אחד," מוסיף גאסט.

גאסט ועמיתיו מחפשים דרך לבנות מנגנונים מולקולריים לפוטוסינתזה מלאכותית שיהיו דומים יותר למקורות ההשראה הביולוגיים. הצוות שלו הצליח לסנתז כמה מרכיבים שאפשר יהיה לשלבם במנגנון כזה. אבל עדיין דרושה עבודה רבה בחזית הזאת. מולקולות אורגניות כמו אלה שבהן הטבע משתמש נוטות להתפרק במהירות. צמחים מייצרים ללא הרף חלבונים חדשים, המחליפים את אלה שהתפרקו, אך לעומת זאת עלים מלאכותיים

מטבעות ארומטיות). ליגנין הוא המקור הפוטנציאלי הגדול היחיד של חומרים ארומטיים בביו-מסה.

מבחינה מעשית, המרה כזאת של ביו-מסה תצטרך לפעול בעיקר על חומרים מוצקים ולהפוך אותם לדלקים נוזליים שאפשר להזרים בקלות בצינורות. תהליך הניזול יצטרך להתרחש בשטח, במקום שבו הצמחים נאספים. אחד הקשיים בהמרה כזאת באמצעות זרזים היא העובדה שחומרי הגלם רחוקים מאוד מלהיות טהורים. כימיה סינתטית קלסית אינה עוסקת בדרך כלל בחומרים מלוכלכים כמו עץ. "אין הסכמה בדבר הדרך שהדבר יתבצע בסוף", אומר הרטוויג. הפתרון מונח בוודאות על כתפי הכימיה, בייחוד מציאת הזרזים הנכונים. "כמעט כל תגובה תעשייתית בהיקפים גדולים קשורה לזרז כלשהו", אומר הרטוויג.



9. האם נוכל למצוא דרכים חדשות ליצירת תרופות

לב לבה של הכימיה הוא מעשי ויצירתי: בניית מולקולות. זהו המפתח ליצירת כל דבר, החל מחומרים חדשים ועד תרופות אנטיביוטיות שיתגברו על עלייתם של חיידקים עמידים.

אחת התקוות של שנות ה-90 הייתה הכימיה הצירופית: בניית אלפי מולקולות חדשות, באמצעות צירופים אקראיים של אבני בניין, וסריקת התוצרים כדי לזהות את המבצעים את המשימה הדרושה על הצד הטוב ביותר. אבל כיום סר חינו של התחום הזה, שהוכרז בזמנו כעתיד הכימיה הרפואית, משום שהוא כמעט לא הביא תועלת מעשית.

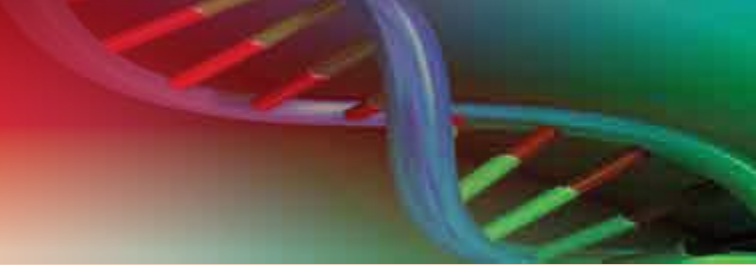
אבל הכימיה הצירופית עשויה לזכות בסיבוב שני מוצלח יותר. היא עשויה לפעול רק אם נוכל להפיק מגוון רחב דיו של תוצרים, למצוא דרכים טובות יותר לבחירתן של המולקולות המוצלחות ולמצות את הכמויות הזעירות שלהן. הביוטכנולוגיה יכולה להיות לעזר. למשל, אפשר לקשור כל מולקולה ל"בר-קוד" המבוסס על דנ"א שיוכל לזהות את המולקולות וגם לעזור במיצוין. בגישה אחרת,

חוקרים יכולים לשכלל את ספריית המולקולות המועמדות באמצעות תהליך הדומה לאבולוציה דרווינית במבחנה. הם יכולים, למשל, לקודד מולקולות של תרופות מבוססות חלבונים ברצף דנ"א מתאים ולשכפל אותו במנגנון הנוטה לטעויות. שכפול כזה ייצור גרסאות חדשות של המולקולות המוצלחות ביותר, וכך יימצאו שיפורים בכל מחזור של שכפול וברירה.



שיטות חדשות אחרות מתבססות על מיומנותו של הטבע בחיבור חלקים מולקולריים זה לזה בסיידורים קבועים מראש. לחלבונים, למשל, יש סידור מדויק של חומצות אמיניות מפני שהרצף הזה מקודד בגנים. באמצעות מודל כזה יוכלו כימאי העתיד לתכנת מולקולות להרכיב את עצמן באופן עצמאי. לגישה יש גם יתרון "ירוק" מפני שהיא מפחיתה את כמות תוצרי הלוואי האופייניים לתהליכי הייצור הכימיים המסורתיים ואת בזבז האנרגיה וחומרי הגלם המלווה אותם.

דיוויד ליו מאוניברסיטת הרווארד ועמיתיו פועלים בגישה הזאת. הם תכנתו את מבנה המולקולה הרצויה באמצעות חיבור גדילי דנ"א קצרים לאבני הבניין שלה. הם גם יצרו מולקולה המסוגלת לנוע על דנ"א, לקרוא את הקוד ולחבר מולקולות קטנות, על פי הסדר, לאבני הבניין כדי ליצור את המולקולה הרצויה, תהליך מקביל לסינתזת חלבונים בתאים חיים. השיטה של ליו עשויה להיות שימושית בבניית תרופות חדשות. "מדענים רבים העוסקים במדעי החיים ברמה המולקולרית סבורים שמולקולות ענק ימלאו תפקיד



עשוי להביא לאבחון מדויק יותר בשלב הנכון. קביעה מהירה של פרופיל גנטי תאפשר משטר תרופות מותאם אישית, תקטין את הסיכון לתופעות לוואי ותאפשר שימוש בכמה תרופות, שימוש שמתעכב כיום מפני שתרופות אלה מסוכנות למיעוט גנטי מסוים.

יש כימאים החוזים ניטור רציף ולא פולשני של שלל סמנים ביוכימיים לבריאות ולחולי. מנתחים יוכלו להיעזר אולי במידע בזמן אמת ומערכות אוטומטיות יספקו תרופות. החזון העתידי הזה תלוי בפיתוח שיטות כימיות לחישה סלקטיבית של חומרים מסוימים ולאיתות על הימצאותם גם בריכוזים נמוכים מאוד.

Beyond the Molecular Frontier: Challenges for Chemistry and Chemical Engineering. National Research Council. National Academies Press, 2003.

Beyond the Bond. Philip Ball in Nature, Vol. 469, pages 26-28; January 6, 2011.

Let's Get Practical. George M. Whitesides and John Deutch in Nature, Vol. 469, pages 21-22; January 6, 2011.

מרכזי יותר, ואולי אף מכריע, בעתיד תהליכי הריפוי, אומר ליו.



10. הנוכל לנטר באופן רציף את הכימיה שלנו

יותר ויותר כימאים שואפים לא רק ליצור מולקולות אלא גם לתקשר עמן: להשתמש בכימיה כבטכנולוגיית מידע שתשמש ממשק עם כל דבר, החל בתאים חיים עד למחשבים רגילים וכלה בתקשורת בסיבים אופטיים.

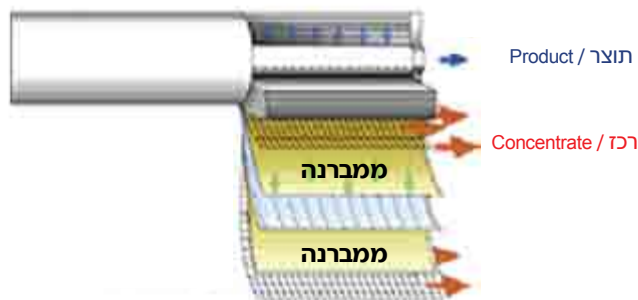
חזון זה הוא בחלקו רעיונות ותיקים: חיישנים כימיים שבהם משמשות תגובות כימיות כדי לדווח על ריכוזי הגלוקוז בדם נוצרו כבר בשנות ה-60 של המאה ה-20, אם כי רק לאחרונה הם נעשו זולים, ניידים ונפוצים דיים כדי לשמש כלי ניטור לסוכרת. אבל לחישה הכימית עשויים להימצא אין-ספור שימושים: זיהוי מזהמים במזון ובמים בריכוזים נמוכים מאוד, למשל, או ניטור גזים מזהמים או נדירים באטמוספירה. חיישנים כימיים מהירים, זולים, רגישים ונפוצים יותר יביאו התקדמות ניכרת בתחומים האלה.

אבל התחום שבו תהיה לחיישנים הכימיים החדשים האלה השפעה דרמטית יותר מכול הוא כנראה תחום הביו-רפואה. כמה מן התוצרים של גנים סרטניים, למשל, נפוצים במחזור הדם זמן רב לפני שהמחלה מתגלה בבדיקות מעבדה רגילות. איתור החומרים האלה בשלבים מוקדמים

ממברנות בתהליכי התפלת מים

נטע אברהם-גרין*

בתמונה 1 כוללת דפי ממברנות רבים שמחוברים לחלקה המרכזי של הממברנה וארוזים באופן מעגלי. מבנה זה מה שמקנה לממברנה בקוטר מסוים שטח פני סינון גדול ושטף תוצר ראוי. בתמונה 1 ניתן לראות כי התוצר יוצא ממרכז הקוטר של הממברנה, ושההזנה לממברנה נכנסת מחלקה הרחב, זורמת לאורך שטח הסינון ויוצאת לאחר הסינון גם מחלקה הרחב של הממברנה. להזנה בתהליך סינון ממברנלי בתהליכי התפלה נהוג לקרוא Feed, לתוצר הסינון קוראים רכז/Concentrate.



תמונה 1: מבנה של ממברנה אוסמוזה הפוכה ספירלית.

תיאור כללי של תהליכי הפרדה ממברנליים

ממברנה היא מחסום בין שתי פזות המשמשת כ"קיר" סלקטיבי למרכיבים אשר יכולים לעבור דרכו. סלקטיביות ההפרדה בין המרכיבים מבוססת על עיקרון אחד לפחות מבין העקרונות האלה: גודל מולקולרי, הבדלים בדיפוזיה, מסיסות, מטען חשמלי, ספיחה או תגובה עם חלקה הפנימי של הממברנה. ממברנה מוגדרת על ידי המאפיינים האלה: רמת סלקטיביות, חדירות, עמידות מכנית וכימית ונטייה לזיהום. אלה הם יתרונות השימוש בממברנות בתהליכי הפרדה: צריכת אנרגיה אשר יכולה להיות נמוכה, חשיפת הנוזלים המטופלים לטמפרטורות מתונות, זרימה פשוטה ואפשרות לשלב תהליכי הפרדה ממברנליים כשלב נוסף בטיפול במתקנים וכך להתאים את המתקנים לתהליך ההפרדה הנדרש. לשימוש בממברנות בתהליכי הפרדה יש גם חסרונות כגון קיטוב ריכוזים, זיהום, מגבלת אורך חיים של הממברנה וגובה העלויות. ניתן לסווג ממברנות על פי אופן השימוש, מבנה, רמת נקבוביות, ומנגנון הפרדה. על הממברנה להיות דקה ככל האפשר כדי לאפשר שטף תוצר ראוי. מבין סוגי הממברנות הקיימות, ממברנות האוסמוזה ההפוכה הן בעלות יכולת ההפרדה הקטנה ביותר בספקטרום הסינון, שעומדת על סדר גודל של $10 \text{ \AA}$ ומטה. (Hasson 2001)

ממברנות

כדי לקבל שטף תוצר גדול ככל האפשר, נדרשת ממברנה בעלת שטח סינון גדול. קיימות ממברנות בצורות שונות: ממברנות במבנה ספירלי, ממברנות סביים חלולים ועוד. הממברנה הנפוצה בשימוש בתהליכי התפלה היא ממברנה ספירלית. הממברנה הספירלית המופיעה

* נטע אברהם גרין, מהנדסת כימיה ומים, דוקטורנטית בקבוצת הכימיה בהנחיית ד"ר יעל שורץ, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.

תופעה בלתי נמנעת בתהליכי התפלה היא תופעת **קיטוב הריכוזים**. כתוצאה מתהליך ההפרדה מצטברים מלחים על פני שטח הפנים של הממברנה מכיוון ההזנה אל התוצר; קיטוב ריכוזים זה עלול לגרום לשיקוע מלחים על פני הממברנה, לפגיעה בממברנה ובתהליך ההתפלה. קיטוב הריכוזים על פני הממברנה ניתן לחישוב על ידי נוסחה 3 ונוסחה 4.

$$CP = \frac{C_w - C_p}{C_b - C_p} = \exp\left(\frac{J_v}{k}\right) \quad (3)$$

$$k = D / \delta \quad (4)$$

כאשר C_b מציין את ריכוז ההזנה, k מקדם מעבר חומר, D , מקדם הדיפוזיה, δ היא שכבת גבול ריכוזית.

רמת הדחייה של הממברנה ניתנת לחישוב על ידי נוסחאות 5 ו-6. נוסחה 5 מציגה את רמת הדחייה הנצפית בתהליך, ונוסחה 6 מציגה את רמת הדחייה האמתית ומבוססת על ריכוז על פני שטח הממברנה ולא על ריכוז הזנה.

$$R(real) = \frac{C_w - C_p}{C_w} \quad (6) \quad R(obs) = \frac{C_b - C_p}{C_b} \quad (5)$$



תמונה 2: ממברנות אוסמוזה הפוכה במתקן התפלה. (באדיבות חברת מקורות, צילום חן מיקא)

שטף התוצר בתהליכי התפלה ניתן לחישוב ע"י

נוסחה 1

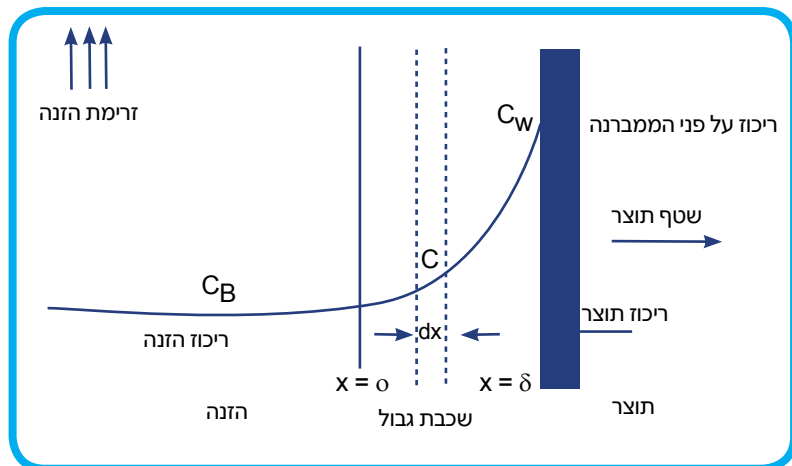
$$J_v = L_p \times [\Delta P - CP \times \Delta \Pi] \quad (1)$$

כאשר L_p מציין את פרמביליות המים של הממברנה, J_v מציין את שטף התוצר, ΔP מציין את הפרש לחצי העבודה, את קיטוב הריכוזים על פני הממברנה, ו- $\Delta \Pi$ את הלחץ האוסמוטי.

איכות התוצר ניתנת לחישוב על ידי נוסחה 2

$$J_v \times C_p = P_s \times (C_w - C_p) \quad (2)$$

כאשר C_p מציין את ריכוז התוצר, C_w מציין את הריכוז על פני שטח הממברנה, P_s מציין את הפרמביליות של המלח.



תמונה 3: סכמה של תאוריית שכבת הגבול הריכוזית (CP).

זיהום ממברנות



קיימים סוגים שונים של זיהומים ממברנליים כתוצאה מתהליכי הפרדה, כגון:

1. שיקוע מלחים קרבונטים כגון: CaCO_3 , MgCO_3 , CaSO_4 , CaF_2 . שיקוע המלחים הוא פועל יוצא מקיטוב הריכוזים על פני הממברנה. שיקוע מלחים עלול להיווצר במערכות התפלה החשופות לריכוז מלחים גבוה בהזנה לממברנות ושעובדות בתנאי הזנה מעבר ליכולת הפעולה של אנטי סקלנטים.

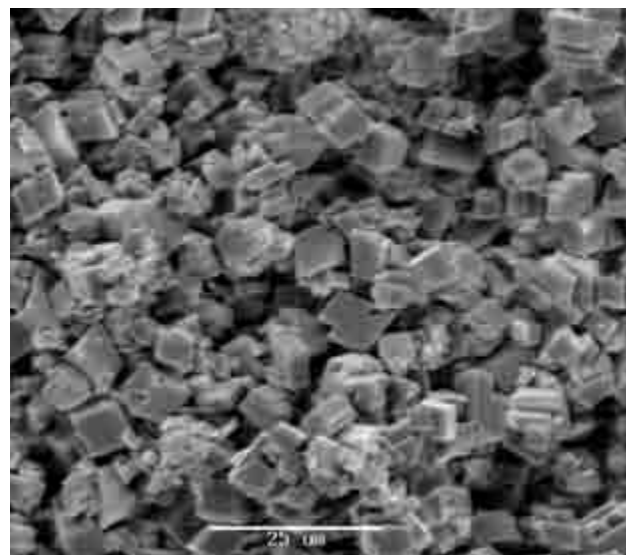
(DENSITY INDEX) גדול מ-3 או עכירות גדולה מ-1NTU מהווים אינדיקציה לפוטנציאל זיהום ממברנלי שמקורו במוצקים מרחפים.

4. פעילות ביולוגית: בקטריות ומיקרואורגניזמים שונים עלולים לזהם את פני שטח הממברנה. הזיהום הביולוגי נפוץ יותר במקרים שבהם ההזנה לא עוברת תהליך חיטוי. ניתן לחזות את פוטנציאל הזיהום הביולוגי באמצעות בדיקה של ספירת חיידקים בהזנה.

(Wes Byrne, 1995)



תמונה 5: מסננים במתקן התפלה שמשפרים את איכות המים בכניסה לממברנות ומקטינים את פוטנציאל הזיהום שלהן. (באדיבות חברת מקורות, צילום ששון תירם)



תמונה 4: מבנה של CaCO_3 כפי שהתקבל במיקרוסקופ אלקטרוני. **2. סיליקה:** מקורות מים מסוימים עשירים בריכוזי סיליקה. קשה מאוד להסיר זיהום סיליקה על פני הממברנה, אולם באנליזת הזנה מוקדמת ניתן לחזות את הפוטנציאל של זיהום הממברנה על ידי סיליקה. באנליזת הזנה מוקדמת.

טיפולם בתהליכי התפלה להסרת מזהמים מפני שטח הממברנה

טיפולם כימיים

טיפול כימי מבוסס על עיקרון של תגובה עם מזהמים שונים על פני ממברנה. ניתן להתאים טיפולים כימיים שונים למזהמים שונים. יש להתייחס למגבלות החשיפה של הממברנות לערכי הגבה שונים ולחומרים כימיים שונים אשר יכולות להיות שונות ממברנה לממברנה, ויש להתייחס אליהן. קיימים ניקויים כימיים כגון:

ACIDS

3. מוצקים מרחפים: מקורות מים עיליים כגון נחלים ואוקיינוסים מכילים ריכוז גבוה של מוצקים מרחפים. מוצקים מרחפים אורגניים עלולים לזהם את פני שטח הממברנה ולהוות מצע גידול לפעילות ביולוגית על פני הממברנה. ניתן לחזות את פוטנציאל הזיהום של מוצקים מרחפים בעזרת אנליזת הזנה מוקדמת. SDI (SILT)



עקרון הפעולה מבוסס על הלחץ האוסמוטי אשר נוצר באופן "טבעי" בזמן תהליך ההתפלה. כתוצאה מהפסקת לחץ ההזנה או המקטנתו מתחת ללחץ האוסמוטי של התוצר, התוצר עובר מכיוון התוצר אל כיוון ההזנה ומסיר מזהמים מעל פני הממברנה.

שימוש בגז

עקרון הפעולה מבוסס על שימוש בגז כגון אוויר או פחמן דו-חמצני בתהליך הניקוי הפיזיקלי. לבסוף נזכיר כי קיימים טיפולים פיזיקליים נוספים שהשימוש בהם נפוץ פחות, והם מבוססים על עקרון השקעה של אנרגיה מכנית.

(Ebrahim, 1994)

References

David Hasson, *Membrane separation and purification process-class notes*, Department of chemical engineering, Technion-Israel Institute of Technology, 2001.

S.Ebrahim. "Cleaning and regeneration of membrane in desalination and wastewater application: State-of-the-art". *Desalination* **96**(1994), pp 225-238.

Wes Byrne, *Reverse Osmosis a practical guide for industrial users*, TALL OAKS PUBLISHING INC, USA 1995.

Zahid Amjad, *Reverse Osmosis membrane technology, water chemistry and industrial applications*, Chapman @ Hall, New York, 1993.

קיימות חומצות שונות להסרת מזהמים. ניתן להסיר CaCO_3 מפני שטח הממברנה בעזרת ניקוי כימי בחומצות. בניקוי כימי בחומצות יש לשים לב שהחומצה לא תפגע בממברנה ולא תוריד את ערך ה-PH של הממברנה מתחת לערך PH המותר אשר שנקבע על ידי היצרן.

ALKALIES

שימוש בבסיסים מחליף לעתים את השימוש בחומצה להסרת משקעים חזקים כגון סיליקה. יש לשים לב למגבלות ה-PH של יצרן הממברנה.

CHELANTS

חומר נפוץ בקטגוריה זו הוא EDTA. חומר זה יעיל מאחר שהוא בעל אתרי קישור רבים, ביחס לחומרים האחרים.

FORMULATED PRODUCTS

הדרישה לכימיקלים לניקוי והמחסור בהם הביאו לפיתוחם של חומרים מעוגני פטנט.

(Zahid Amjad, 1993)

טיפול פיזיקליים

שטיפה הפוכה עקרון הפעולה של ניקוי פיזיקלי הוא החלשת הקשר בין המזהם לפני שטח הממברנה. התאמת הטיפול הפיזיקלי מבוססת על סוג מבנה הממברנה (ממברנה ספירלית, ממברנת סיבים חלולים וכו'). קיימים טיפולים פיזיקליים שונים כגון:

FORWARD FLUSHING

שטיפה ישירה, עקרון הפעולה מבוסס על שאיבת תוצר לכיוון ההזנה בלחץ גבוה מספיק כדי להסיר מזהמים מפני שטח הממברנה.

REVERSE FLUSHING

עקרון הפעולה מבוסס על הזרמה של תוצר מכיוון התוצר להזנה בלחץ מספיק. בשיטה זו יש לשים לב בשיטה זו למגבלת הלחץ הנגדי ניתן להפעיל על הממברנה.

BACKWASH

מעבדת הכימיה כסביבת למידה התומכת בבניית טיעונים

דבורה קצביץ *

רקע תאורטי

בניית טיעונים בחינוך

בניית טיעונים היא מיומנות הקשורה להרבה מאוד תחומים החל מתחומים מקצועיים וכלה בחיי השגרה של היום יום: עבודות אקדמיות, פוליטיקה, בתי משפט ועוד. נשאלות מספר שאלות: האם ניתן ללמד תלמידים לבנות טיעונים? האם ניתן לשפר יכולת זו בעזרת אסטרטגיות הוראה מסוימות? האם שיפור יכולת הטיעון מלווה בשיפור היכולות הקוגניטיביות בהקשר לתכנים שבהם הפעילות מתבצעת?

בעבר בניית טיעונים הייתה שייכת לתחום הלוגיקה, והיא התמקדה בכללים ליצירת הקשר בין הנחות למסקנות. טולמין¹ הרחיב את תחום העיסוק בבניית טיעונים אל מעבר לגבולות הלוגיקה וטען שבניית טיעונים היא התנהגות של האדם (Human practice) שקשורה לסיטואציות חברתיות. קוהן² מרחיבה את ההיבט החברתי ומתייחסת לשני סוגי טיעונים: טיעון רטורי (rhetorical) וטיעון דיאלוגי (dialogic). הראשון נועד לשכנע את האחר שמה שהוא נכון, והשני נוצר בדרך כלל תוך כדי שיח, כאשר משתתפים בו בעלי דעות שונות, או כאשר אדם אחד צריך לבחור בין דעות שונות. הטיעון הרטורי יכול לבוא לידי ביטוי כאשר מורים מנסים לבסס טענה על-ידי עדויות והסברים מדעיים מתאימים, אך בפעולה זו לתלמיד אין חלק פעיל. יתרונו של טיעון רטורי זה הוא בעובדה שהמורים מהווים מודל לחיקוי לתלמידים. כדי שהלומדים ילמדו את המיומנות הזו, עליהם להיות שותפים – לא רק לשמוע את הצגת הטיעונים – עליהם לבנות נימוקים מבוססים, לנסות

מילון מונחים

טענה (Claim) – אמירה שניתן להתווכח על צדקתה, נכונותה, אמתותה או תקפותה. טענה עשויה להיות קביעה, עמדה, דעה, החלטה מסוימת, השערה, מסקנה, תאוריה או פתרון מסוים לבעיה.

טיעון (Argument) – טענה מבוססת עדויות ומלווה בהסבר מדעי המבהיר מדוע העדויות תומכות בטענה.

עדויות (Evidence) – ממצאים שיכולים לתמוך בטענה, תוצאות ניסוי, תוצאות חישוב, נתונים מטבלאות וספרי נתונים.

הסבר מדעי (בהקשר למחקר זה) – הסבר תאורטי המסביר מדוע העדויות תומכות בטענה. הוא נועד לחזק את הטענה ולשכנע בנכונותה.

הפרכה (Rebuttal) – כל הוכחה שטענה (מסקנה) כלשהי אינה תקפה אם מפני שההסבר המדעי המבסס את הטיעון המקורי אינו נכון (ולכן הטענה אינה נכונה) או אם משום שהעדויות שהוצגו אינן תומכות בטענה.

טענה נגדית (Counter claim) – הצעה לטענה אחרת באותו הקשר אשר נוגדת את הטענה המקורית.

לשכנע אחרים, להעלות ספקות, לשאול שאלות ולברר מה אינם יודעים עדיין. ולכן הדרך הטובה ביותר לתמוך בהקניית המיומנות של בניית טיעונים היא על-ידי מתן אפשרות לשיח קבוצתי³. במהלך השיח הקבוצתי נבנים הידע המשותף של הקבוצה והידע של הפרט בקבוצה. בניית הידע בדרך זו היא דוגמה ללמידה קונסטרוקטיביסטית סוציו-תרבותית, כפי שתוארה על-ידי ויגוצקי⁴. למעשה,

* ד"ר דבורה קצביץ, מורה לכימיה, תיכון אזורי גדרה, פוסט דוקטורנטית בקבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע. כתבה זו היא חלק מעבודת הדוקטורט בהנחיית פרופ' אבי הופשטיין וד"ר רחל ממלוק-נעמן, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.

בניית טיעונים מאפשרת לפתח את הבנתם של התלמידים לגבי היווצרות עולם הידע, ובמיוחד לגבי התפתחות הידע המדעי. תוך כדי בניית ידע והערכתו מתפתחת תפיסתם האפיסטמית של התלמידים בכל הנוגע להתפתחות ידע בכלל ולמדע בפרט⁵.

בניית טיעונים (Argumentation) בלימודי מדע

אחת המטרות של החינוך המדעי היא להקנות לתלמידים את יכולת הנימוק והביקורת לגבי טיעונים בהקשרים מדעיים. בשני העשורים האחרונים מחקרים רבים בהוראת המדעים עוסקים בבניית טיעונים, (ומהם עולה שלימודי מדע מקנים בדרך כלל תכנים וטענות שתלמידים צריכים לדעת ולהאמין בהם, ואינם מתמקדים בלמה צריכים להאמין בתכנים אלו. התקדמות המדע מתבססת על בניית טיעונים והפרכתם, משום כך (או: ההיגיון מחייב שהקניה של תכנים מדעיים ושל מהות ההתפתחות המדעית תיעשה בדרך של בניית טיעונים והפרכתם.

מן ההיבט הקוגניטיבי, בניית טיעון הוא תהליך מחשבתי שבעזרתו מתפתחת הבנת מושגים. שיח שבמהלכו מתעוררים חילוקי דעות או קונפליקטים קוגניטיביים, יכול להוביל לשינוי בתפיסה המושגית של התלמידים. בניית טיעונים מפתחת את מיומנות הנימוק, נימוק-מבוסס-עדויות, ודורשת יצירת קשר בין טענות לעדויות. תלמידים מתקשים באיסוף ובבחירת ממצאים אשר יכולים לשמש עדויות התומכות בטענתם. נוסף על כך תלמידים אינם בונים מיוזמתם טיעונים ברמה גבוהה. יש צורך ליזום פעילויות המעודדות בניית טיעונים ותומכות בה, במיוחד פעילויות בעלות תכנים מעוררי מחלוקת, וכאלו שניתן לפתור אותן במספר דרכים. לבניית טיעון יש חשיבות רבה גם בהיבט החברתי; זוהי מיומנות לחיים (Skills for life), כי פרט לתכנים ולמיומנויות, תלמידים רוכשים הבנה חברתית תרבותית של ניהול דיון. הם יידרשו למיומנות זו במהלך דיונים בסוגיות לאו דווקא מדעיות. דילמות בתחומים סוציו-מדעיים מספקות קרקע פורייה לבניית טיעונים, כי מעצם היותן דילמות – הן מזמנות נקיטת עמדה שאינה חד-משמעית ומאפשרות לתלמידים להתנסות בבניית

טיעונים הדורים בכפיפה אחת עם טיעונים נגדיים⁶. אוסבורן וחבריו⁷ (Osborne et al) מציעים מספר אסטרטגיות המשלבות פעילויות לפיתוח מיומנות הטיעון, לדוגמה: חשיפת תלמידים למספר טענות בנושא מדעי מסוים: על התלמידים להסכים עם הטענות או לדחותן בגיבוי של נימוקים מתאימים; חשיפת תלמידים לשתי תאוריות מתחרות אשר יכולות להסביר תופעה מסוימת ולמספר עדויות הקשורות בתאוריות אלו. על התלמידים לנמק אילו עדויות יכולות לתמוך בשתי התאוריות, באחת מהן או באף אחת מהן; תלמידים מתבקשים לבנות טיעונים בעזרת תבנית מובנית הכוללת שאלות מנחות; תלמידים מתבקשים לחזות מה יהיו תוצאותיו של ניסוי מסוים בהתבסס על נימוקים מתאימים, לאחר מכן הם צופים בניסוי ונדרשים להסביר את תוצאותיו (Predict, Observe, Explain); תלמידים נדרשים לתכנן ניסוי, לבצע אותו ולדון בתוצאותיו.

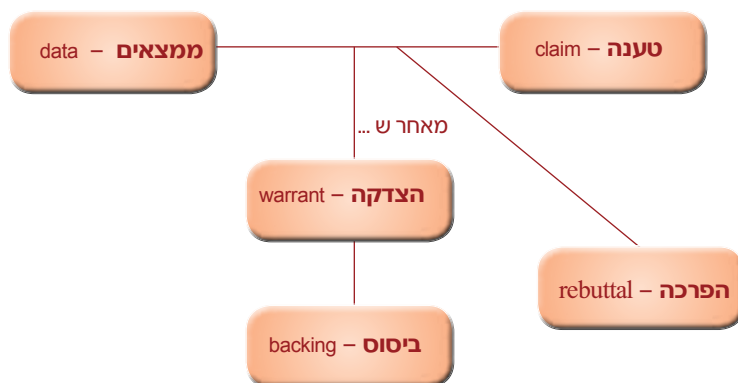
הטיעון במחקר זה מתבסס על המודל של טולמין¹. הטיעון על-פי טולמין כולל שלושה מרכיבים הכרחיים: טענה (claim), ממצאים (data) והצדקה (warrant) – הקשר בין הטענה והממצאים. הטענה אמורה להתבסס על ממצאים, וההצדקה (הסבר מדעי) מסבירה את הקשר בין הממצאים ובין הטענה ואמורה לשכנע אותנו לקבל את הטענה. רמה גבוהה יותר של טיעון כוללת ביסוס תאורטי או ביסוס ברמת העיקרון להצדקה (backing). כמו גם טיעון מותנה (qualifier) או טיעון נגדי הבא להפריך טיעון מסוים (rebuttal) (ראו איור 1). הערכת טיעונים המתבססת על מודל טולמין מתייחסת להיבט המבני – למרכיבי הטיעון וליחס ביניהם כשהדגש בא לידי ביטוי בביסוס הטענה על ממצאים ובהסבר המדעי המפרט מדוע ממצאים אלו תומכים בטענה. כמו כן כאשר מדובר בהערכה של שיח טיעוני, גם אלמנט ההפרכה יבוא לידי ביטוי.

הוראה בדרך החקר נמצאה כאסטרטגיית הוראה מתאימה להקניה ולפיתוח מיומנות של בניית טיעונים⁸. בהנחה שפעילות החקר מדמה את עבודת התלמידים לעבודת המדענים שמחפשים תשובות לתופעות בלתי ברורות

הפתוח (ניסוי חקר ברמה II).

ניסוי חקר פתוח הינו הוא ניסוי שבו התלמידים נחשפים לתופעה מסוימת, שואלים שאלות לגביה, בוחרים שאלת חקר שתחקור את התופעה, מעלים השערה, מתכננים ניסוי כדי לבדוק את ההשערה, מבצעים אותו, רושמים ומארגנים את התוצאות, מנתחים את התוצאות ומסיקים מסקנות¹³. ניסוי חקר הוא משימה פתוחה שבה התלמידים מחליטים בעצמם מה לחקור וכיצד. הפעילות במעבדה מתבצעת בקבוצות קטנות (3-4 תלמידים). פירוט המיומנויות הנדרשות הן: ביצוע ניסוי על-פי הנחיות, רישום תצפיות, שאלת שאלות, ניסוח שאלת חקר, ניסוח השערה מנומקת, תכנון מערך ניסוי, ביצוע הניסוי שתוכנן על ידי התלמידים, ארגון התוצאות, עיבוד וניתוח התוצאות, הסקת מסקנות ודיון מסכם. הפעילות בסגנון זה של מעבדה מעודדת תלמידים לשיח קבוצתי שכולל מתן הסברים לתופעות, וכתוצאה מכך מעודד תלמידים להעלות טיעונים. יתר על כן, בדומה למדענים, התלמידים צריכים לטעון את טענותיהם בעקבות הניסוי שביצעו, להסיק מסקנות המבוססות על ממצאי הניסוי ולקשור אותן לרקע המדעי הרלוונטי.

לקריאה נוספת בעלון המורים "על-כימיה" על ניסויי חקר פתוח והשלכותיהם על מיומנויות התלמידים והמורים, ניתן לפנות למאמר של ד"ר מירה קיפניס ["שיפור המיומנויות של שאלת שאלות חקר במעבדת החקר"](#) ולמאמרה של ד"ר דורית טייטלבוים ["מוצגים, עדויות, כימיה ומעבדה - האם זה המפתח להתפתח?"](#).



איור 1: מרכיבי הטיעון על-פי טולמין והקשרים ביניהם.

ומבקשים להציע להן הסברים על סמך עדויות שאספו (לטעון טיעונים). אחת מסביבות הלמידה המציעה הוראה בדרך החקר, וכבר מוטמעת בבית הספר בארץ, היא יחידת המעבדה הכוללת ניסויי חקר.

בניית טיעונים במעבדת המדעים

למרות שמחקרים הצביעו על למידה בדרך החקר כדרך ראויה להקניית מיומנות הטיעון, בספרות מדווחים על מעט מאוד מחקרים הבודקים בניית טיעונים במעבדה שבה מתבצע חקר, על אף שנראה שמעבדות חקר פתוח הן קרקע מצוינת לפעילות זו. גוט ודוגן⁹ מראים שלפעילויות שונות במעבדה יש פוטנציאל בעידוד בניית טיעונים החל ממעבדה הבודקת קשר בין שני משתנים, דרך פעילות שטח שבה אוספים ממצאים רבים וכלה במעבדה שנועדה לזהות חומרים. חוקרים אחרים^{10, 11} מציעים מודל לחקר במעבדה, "חקר מונע טיעון" (Argument-driven inquiry), שמטרתו לאפשר למורים לביולוגיה ולכימיה לשלב מעבדות חקר במערך הלמידה הכולל, אגב שימת דגש על הבנת מושגים, חשיבה ביקורתית ובניית טיעונים כדרך לבניית ידע ובדיקת תקפותו. דיווח על מעקב אחר בניית טיעונים בפועל במעבדה לא הציג חזית אחידה. בחלק מהניסויים דווח על בניית טיעונים ברמות שונות¹², ובחלקם דווח על שיח הקשור לפרוצדורות ולתוצאות, אך לא לתכנים.

מן הראוי לציין, שהדיווחים על בניית טיעונים במעבדה מתייחסים לניסויים מסוגים שונים, ברמות חקר שונות. במאמר זה נתייחס לבניית טיעונים במעבדות החקר



המחקר

מטרת המחקר

במחקר המתואר כאן ביקשנו לאפיין את ניסויי החקר הפתוח, ולבדוק אם מתפתח במהלך הדיונים בקבוצות שיח טיעוני ובאיזו רמה של טיעונים. עוד רצינו לבדוק מספר פרמטרים אשר עשויים להשפיע על היקף השיח הטיעוני: מורכבות הניסוי, ההלימה בין תוצאות הניסוי שהתלמידים מבצעים לבין ההשערה שהם העלו וכן שאלות שתלמידים שואלים במהלך השיח.

אוכלוסיית המחקר

במחקר השתתפו תלמידי י"א ו-י"ב משש כיתות ומחמישה בתי ספר שונים (N=116). נבחרו כיתות שבהן יחידת המעבדה היא ברוח התכנית "כימיה בגישה חוקרת", ושהמורים המלמדים בהן עברו השתלמות להוראת יחידת המעבדה ומנוסים בהוראת היחידה.

כלי המחקר ושיטות הניתוח

תצפיות במעבדה

התצפיות התבצעו בשיעורי המעבדה והתמקדו בשיח הלימודי שהתקיים במעבדה במהלך ביצוע הניסויים. השיח הוקלט, וחלקים רלוונטיים ממנו תומללו (ניסוח השערה מנומקת, ניתוח התוצאות וכתיבת המסקנות). השיח נותח לפי הקריטריונים האלה:

- **זיהוי מרכיבי הטיעון הבסיסיים:** טענה, עדויות, הסבר מדעי, ביסוס ברמת העקרונות והתאוריות, טיעון מותנה והפרכה (ראו את ההגדרות של מילון המונחים). הניתוח לצורך זיהוי מרכיבי הטיעונים נעשה על-פי המודל של Toulmin¹.
- **רמת הטיעון:** על מנת להעריך את רמת הטיעון חולק התמליל למקטעים, כך שבכל מקטע מתפתח טיעון מסוים. רמת הטיעון הקבוצתי בכל מקטע נקבעה על-פי כלי המתבסס על היקף המרכיבים השונים של הטיעון ועל היבטים הקשורים בהפרכות. הכלי שנבחר מבוסס על כלים שנעשה שימוש בהם במחקרים קודמים⁶. טבלה 1 שבעזרתה נקבעה רמת הטיעון מתייחסת לשני היבטים עיקריים: האחד קשור

למרכיבים שמבססים את הטענה (עדויות והסברים מדעיים), והאחר מתייחס לנוכחות של הפרכה או טיעון נגדי. ככל שיש יותר מרכיבי טיעון, רמתו של הטיעון גבוהה יותר. טיעון ברמה 3 כולל את המרכיבים הקלסיים של טיעון: טענה, עדויות והסבר מדעי המקשר ביניהן. (עם זאת השיח טיעוני בנוי מממד נוסף הכולל טענה נגדית או הפרכה שנוכחותן מעידה על רמה גבוהה של שיח טיעוני, לכן מרכיב זה מובא בחשבון בקביעת רמת הטיעון. טיעון ברמה 4 כולל הסברים הכוללים הכללה וקישור מפורש לעקרונות ולתאוריות מדעיות; טיעון ברמה הגבוהה ביותר, רמה 5, כולל הפרכה המבוססת על עדויות והסברים מדעיים נלווים. יש לציין שבמהלך הניתוח של מרכיבי הטיעון השתמשנו בביטוי "הסבר מדעי" במקום "הצדקה" (warrant), כי המושג הצדקה אינו חלק מהשפה השגורה בפי התלמידים, והנחנו שהביטוי הסבר מדעי – שמטרתו להצדיק את הקשר בין העדות ובין הטענה – יהיה ברור יותר. ניתן למצוא בטבלה 1 מפתח להערכת הטיעונים בהתאם למרכיבי הטיעון.

גורמים נוספים שנבדקו בתצפיות בכיתה:

- גורמים המזמנים העלאת טיעונים במהלך השיח – אילו גורמים קשורים ישירות לבניית טיעונים?
- מאפיינים של השיח שבו התפתחו דיונים. האם ניתן לאפיין סיטואציות שבהן מתפתח שיח טיעוני? אם כן, מהן הסיטואציות הללו?

ניתוח דו"חות מעבדה של תלמידים

דו"חות המעבדה של תלמידים – "דו"חות חמים" – הם דו"חות קבוצתיים. דו"חות אלו נכתבו במהלך המעבדה או מיד אחריה ונאספו לאורך יחידת המעבדה. סעיפי הדו"חות, כתיבת ההשערה וניסוח מסקנות מנומקות נותחו בדומה לטיעונים בשיח המתומלל.

ריאיונות עם תלמידים

הריאיונות עם התלמידים בוצעו בסיום יחידת המעבדה והתנהלו בזוגות, על מנת לאפשר לתלמידים להתייחס



מרכיבי הטיעון	סימול	רמת הטיעון
טענה - Claim	C	1
טענה + ממצאים - Data או טענה + הסבר מדעי - Warrant	CD/CW	2
טענה+ממצאים + הסבר מדעי או טענה נגדית - Rebuttal + ממצאים או טענה נגדית + הסבר מדעי.	CDW/CDR/CWR	3
טענה + ממצאים + הסבר מדעי + הסבר ברמת העקרונות והתאוריות - Backing	CDWB	4
הפרכה הכוללת טענה+ממצאים +הסבר מדעי	CDWR	5

טבלה 1: מפתח להערכת רמת טיעונים (מבוסס על מספר מחקרים קודמים)⁶

לדברי עמיתיהם ולפתח שיח במהלך הריאיון (6-8 תלמידים בכיתה).

בני הזוג נבחרו מקבוצות עבודה שונות. מטרות הריאיון הן לקבל מידע על האופן שבו התלמידים תופשים את סוגי הניסויים השונים ביחידת המעבדה, את היקף הדיונים במעבדה ואת אפיוניהם. רצינו לבדוק אם הריאיונות של התלמידים יחזקו את הממצאים שהתקבלו מהתצפיות שלנו בכיתה ובמעבדה. המדגם של התלמידים אשר נבחר לריאיונות הוא בעל שונות מרבית - תלמידים בעלי רמת הישגים נמוכה, בינונית וגבוהה - על-מנת לקבל מידע מגוון רחב של תלמידים. הריאיון הוא מובנה למחצה המאפשר, מחד, שמירה על מסגרת ושאלות שאלות מתוכננות, אך מאידך - העלאת שאלות נוספות המתבקשות מדברי המרואיינים והדורשות הבהרה והרחבה.

ממצאי המחקר ודיון

שיח טיעוני

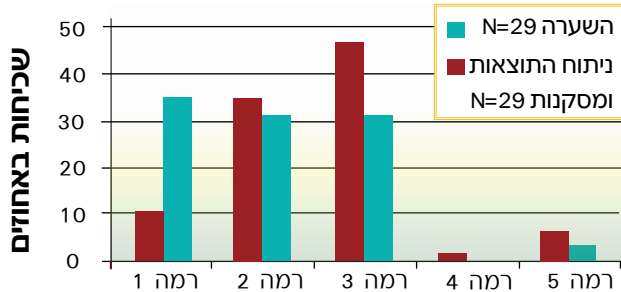
כפי שהוזכר לעיל, השיח במהלך הניסוי הוקלט, והקטעים העוסקים בניסוח ההשערה, בניתוח התוצאות ובכתיבת המסקנות תומללו, נותחו והוערכו על פי המפתח המוצג בטבלה 1. לצפייה בדוגמה לניתוח שיח במהלך הניסוי "מפגש בין נוזלים" [לחצו כאן](#).

בהתבסס על הניתוח המפורט של השיח שנעשה ב-16 תצפיות שביצעתי ב-6 כיתות וב-6 ניסויים שונים של חקר-פתוח, ניתן לציין שניסויי החקר הפתוח עוררו את חברי הקבוצות שנותחו ועודדו בניית טיעונים, במיוחד בשלבים של ניסוח ההשערה, ניתוח התוצאות וכתיבת המסקנות. חלק מהטיעונים שעולים נבנים על ידי הפרט, וחלקם - על ידי הקבוצה. שני סוגי הטיעונים כוללים טענות, עדויות והסברים מדעיים. טיעונים נגדיים והפרכות הופכים להיות חלק מהשיח, כאשר הקבוצה מקבלת תוצאות לא ברורות שאינן עומדות בהלימה להשערה שהעלו, או כאשר השאלה הנחקרת תלויה במשתנים רבים אשר יכולים להשפיע בדרכים מנוגדות על המשתנה הנבדק. מצבים אלו גורמים לחילוקי דעות בין משתתפי השיח, כמאפיין שיח טיעוני.

להלן התפלגות הטיעונים ורמתם בשיח המתנהל במהלך החלקים השונים של הניסויים. נמצאו בסך הכול 75 טיעונים אשר התפלגותם בין השיח של שלב ההשערה לבין זה של שלב ניתוח התוצאות והסקת המסקנות היא 38.7%-61.3% בהתאמה. בראייה כוללת, היקף הטיעונים בשלב ניתוח התוצאות והסקת המסקנות גדול יותר, אם כי בראייה פרטנית ובהתייחס לניסוי (יחיד - לעתים זה הפוך. אם הדיון בשלב ההשערה הוא מעמיק ותוצאות הניסוי תואמות את ההשערה - הדיון בשלב ניתוח התוצאות קצר יותר. איור 2 מתאר את התפלגותם של 29 טיעונים בשלב ההשערה ו-46 טיעונים בשלב ניתוח התוצאות והסקת



התפלגות הטיעונים, לפי רמות, בחלקים שונים של השיח במהלך ניסויי החקר הפתוח



איור 2: התפלגות הטיעונים, לפי רמתם, בחלקים שונים של השיח במהלך 6 ניסויי חקר פתוח ב-16 קבוצות עבודה. 29 טיעונים במהלך ניסוח ההשערה ו-46 טיעונים בשלב ניתוח התוצאות והמסקנות

את מה שיש לו ודיברנו כולנו לגבי החלטות. כמו בחירת שאלת מחקר, ביסוס מדעי של ההשערה, אם כן – רשמו. אם לא הייתה הסכמה – ניסו לשכנע אחד את השני. אם היו מצבים שם חשבת שהביסוס המדעי לא היה מספיק מעמיק, אז המשכנו לחפש פתרונות ואם נעצרנו באורח.

יש לציין שתלמידים ספורים דיווחו על שיח שאינו מאופיין כשיח טיעוני; מה שעולה מדבריהם של תלמידים אלו הוא שהאתגר שעמד בפניהם לא היה גבוה, ולכן תלמיד אחד מהקבוצה היה יכול להציע את ההסבר הנדרש, ולא היה צורך לערוך דיון על הנאמר. נקודה נוספת שעלתה מדבריו של לוי היא החשיבות של בניית הקבוצות, כדי שתלמיד יהיו שותפים מתאימים לניהול דיון.

רון: משהו נתן את ההשערה שלו. בעיקרון, אם מסכימים, כמעט אין דיון. אבל לפעמים כשאין הסכמה – יש דיון. ארנון: אני חייב להגיד שהקבוצה שלנו היא קבוצה של חכמים, אם מותר לי להגיד, אז בדרך כלל אנחנו מסכימים על תוכן ההשערה, אנחנו חושבים ביחד איך לגשת את זה. קורה שיש דיונים, אבל בדרך כלל מסכימים. **לוי:** רוב הפעמים קיבלו את דעתי ולא ויכוח ולא מאחורי כסדר; הייתי מעדיף להיות עם תלמידים שיכולים לתת לי "קונטרה", ושיכולתי ללמוד מהם.

המסקנות. בשלב ניתוח התוצאות היו הטיעונים מבוססים יותר. עיקר הביסוס התבטא בשימוש בעדויות, שהיו זמינות מאוד לאחר ביצוע הניסוי. כ-14% מהטיעונים בשלב ההשערה כללו שימוש בעדויות לעומת כ-56% בשלב ניתוח התוצאות והסקת המסקנות. ממצא זה מחזק את הטענה שהמעבדה היא סביבת למידה מתאימה לבניית טיעונים-מבוססי עדויות.

מן הראוי לציין שרמת השיח הטיעוני שמתפתחת תלויה מאוד בשאלת החקר שהקבוצה בחרה לחקור. לפעמים התשובה לשאלת החקר ברורה לחברי הקבוצה לפני ביצוע החקר, ולכן לא מתפתח דיון בקבוצה ודאי לא שיח טיעוני.

גם הריאיונות עם התלמידים (N=40) שהתקיימו בסיום יחידת המעבדה סיפקו עדויות לשיח הטיעוני המתנהל בקבוצות במהלך מעבדת החקר. לשון אחרת, שיח שכולל חילוקי דעות, ניסיונות שכנוע חשיבה ביקורתית, העלאת

טענות וביסוסן. השאלה שהתלמידים נשאלו היא "האם אתם יכולים לתאר כיצד התנהלו הדיונים בקבוצה במהלך הניסוי?". מתשובות התלמידים ומניתוחן עולים מספר מאפיינים של הדיונים המתנהלים במהלך ניסויי החקר:

1. קיימים חילוקי דעות בשיח ויש ניסיון של חברי הקבוצה לשכנע אלה את אלה.
2. התלמידים מפעילים חשיבה ביקורתית במהלך השיח.
3. תרומה הדדית לשיח ושותף פעולה להשגת מטרה משותפת.
4. במהלך הדיון מבססים את הטענות שעולות.
5. הדיון תורם לתהליך הלמידה.

95% מהמרואיינים דיווחו שהדיון מתנהל במטרה לתרום הדדית לתוצר הקבוצתי – דו"ח המעבדה. ממצא זה מעיד על עבודת צוות פרודוקטיבית המתנהלת במהלך ניסויי החקר. כ-70% תיארו את הדיון כשיח טיעוני שכולל מגוון של דעות, ניסיון שכנוע ו/או שיח הדורש חשיבה ביקורתית.

שני: "היו הרכה פעמים חילוקי דעות, אתה אמרת ככה וככה, ואני טענתי אחרת. מנקודת מבט שלי, כל אחד אמר

ניתוח דו"חות תלמידים

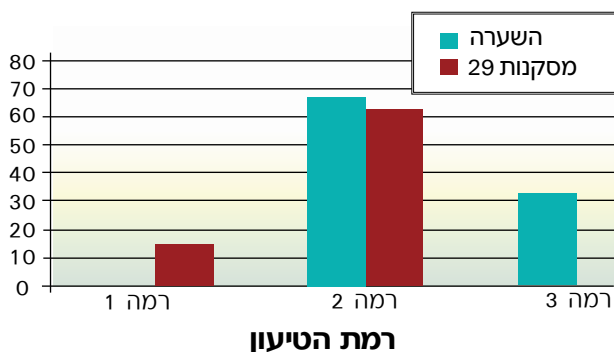
ניתוח דו"חות מתייחס לטיעונים הכתובים, בשונה מבחינת הטיעון שבאה לידי ביטוי תוך כדי שיח בקבוצה. הטיעון הכתוב יכול לשקף את השיח שהתנהל בקבוצה; הוא למעשה מסכם את השיח בשתי נקודות זמן: בשלב כתיבת ההשערה ובשלב כתיבת המסקנות. הטיעון הכתוב אינו כולל את חילוקי הדעות או את ההפרכות, אלא את התוכן שהוסכם עליו בקבוצה בסופו של דבר.

לדוגמה: מסקנה: ההתנגדות בין האתנול לחומרים מושפעת ממתח הפנים שקיים בחומר [טענה]. כאשר הוספו מים לאתנול, נראתה התנגדות בין החומרים [עדויות], וזאת בגלל שלמים קשרי מימן חזקים ומתח פנים גדול הגורמים למולקולות לשמור על גבול מסוים בינן לבין האתנול ובינן לבין המתנגדים לו [הסבר מדעי].

באיור 3 מוצגת התפלגות הטיעונים בדו"חות המעבדה שנאספו מ-6 ניסויי חקר שונים (בסך הכול 12 קבוצות עבודה) כל ההשערות שנבדקו ($N=12$) היו טענות מבוססות על הסבר מדעי או על עדויות או על שניהם גם יחד (CD/CW/CDW). אשר למסקנות שנבדקו ($N=21$) – ניתן לראות שרובן ברמה 2 (CD/CW); 61.5% מתוך אלו שברמה 2 הן מבוססות עדויות, ואילו 38.5% מבוססות על הסבר מדעי. כל המסקנות המהוות טיעון ברמה 1 הן מסקנות הנלוות למסקנה המרכזית בניסוי, שהיא ברמה גבוהה יותר. מסתמן שתלמידים משקיעים יותר בכתיבת ההשערה ובביסוסה מאשר בכתיבת המסקנות. הסבר אפשרי לממצא זה נעוץ בעובדה, שכתובת ההשערה היא המשימה היחידה הדורשת ביסוס בחלק הראשון של מעבדת החקר, המתבצע במפגש הראשון והעוסק במעבדת חקר כלשהי. בעוד שבחלק השני של מעבדת החקר המתנהל במפגש השני, התלמידים נדרשים לפרש ולנתח את התוצאות ולבסס ניתוח זה בעזרת רקע מדעי; לאחר מכן הם נדרשים שוב לרשום מסקנות מנומקות; העומס המוטל עליהם בכתיבה ובהנמקה בחלק זה הוא רב יותר, ולכן ייתכן שהתלמידים כבר עייפים מביסוס טענותיהם.

התפלגות הטיעונים הכתובים בדוחות המעבדה

השערות $N=12$ ומסקנות $N=21$ לפי רמתם



איור 3: התפלגות הטיעונים הכתובים בדו"חות המעבדה (השערות $N=12$ ומסקנות $N=21$) לפי רמתם.

גורמים המעודדים בניית טיעונים בניסויי החקר הפתוח במעבדה החוקרת בכימיה

כפי שראינו, סביבת הלמידה של המעבדה שכוללת ניסויי חקר פתוחים היא סביבת למידה-תומכת בניית טיעונים. בסעיף זה נאפיין גורמים שניתן לזהותם כמעודדים בניית טיעונים ונביא לכך ראיות מהשיח. כמו כן נצטט מתוך הריאיונות עם התלמידים כדי לבסס את טענותינו.

א. דרישות המשימה והמחווה להערכת המשימה

"נסחו בצורה בהירה ועניינית השערה המתייחסת לשאלה שבחרתם לחקור. נמקו את השערתכם על בסיס ידע מדעי, רלוונטי ונכון פרשו ונתחו את תוצאות הניסוי הסיקו מסקנות, רבות ככל האפשר, בהתבסס על תוצאות הניסוי, נמקו את מסקנותיכם בעזרת ידע מדעי רלוונטי".

דרישות המשימה הבאות לידי ביטוי בהוראות העבודה לתלמידים ובמחווה ההערכה, מאלצות את התלמידים לפעול להשגתן ותוך כדי כך לבנות טיעונים. במהלך הניסוי נמצאו עדויות מפורשות בשיח שהתלמידים מודעים לדרישות המשימה ולדרישות המורה לביצועה. העדויות נאספו מ-14 קבוצות עבודה ב-7 ניסויי חקר אצל 4 מורים שונים. ב-12 מתוך 14 הקבוצות יש עדויות מהשיח שתלמידים מודעים לדרישות המשימה. להלן דוגמאות:

רות: "עשיתי השערה לניסוי".



אלונה: "אכל כתוב", נאמן את השערותכם על כסיס ידע מדעי".

כמו כן המורות, בהתערבותן בשיח הקבוצתי, "דואגות" לחזק את המודעות לדרישות המשימה ומפנות למחונן (זוהי דרישה מפורשת לביסוס ההשערה) או דורשות לשלב הסבר מדעי בנימוק המסקנה.

אורלי: "שבו ביחד ודיון ביחד? נסו לשלב ידע תאורטי".
רינת: "לחצו! את המחונן ולעבור על פיו (מקריאה את הקריטריונים מסבירה)".

ב. מורכבות המשימה

ככל שהמשימה פתוחה יותר ומציגה תופעה מורכבת יותר הכוללת מושגים שהם מעבר לתכנית הלימודים או ניסוי חקר פתוח שהרקע המדעי שלו מקשר מספר נושאי תוכן - כך השיח משמעותי יותר ומזמן טיעונים רבים יותר. מיינו 6 ניסויים - שבוצעו על-ידי 14 קבוצות עבודה ב-4 כיתות שונות - למורכבים/פשוטים והתייחסנו למאפיינים הבאים: (1) הניסוי "צבוע" נושא בתכנית הלימודים, (2) הרקע המדעי של הניסוי כולל מושגים שמעבר לתכנית הלימודים. ניסוי הוגדר כמורכב אם הוא כולל מאפיין אחד לפחות מבין המאפיינים האלה: הניסוי אינו "צבוע" נושא בתכנית הלימודים ו/או מתבסס על רקע מדעי שמעבר לתכנית הלימודים. לדוגמה, ניסוי כמו "ניסוי הצימוקים" הוגדר כמורכב, כי הוא אינו "צבוע" נושא מסוים בתכנית

הלימודים. בנוסף לכך הניסוי מזמן תופעות של ספיחת גזים וציפה שאינן כלולות בתכנית הלימודים, ולבסוף - החומרים המשתתפים בניסוי הם נעלמים, ואלמנט זה מוסיף למורכבותו של הניסוי. לעומת זאת ניסוי "האיקס הנעלם", המבוצע בדרך כלל בצמוד להוראת הנושא "קצב תגובה", מוגדר כפשוט, כי הניסוי "צבוע" תחום תוכן מסוים שהתלמידים למדו בכיתה, ולכן הדיונים סביב הנושא ממוקדים ומבוססים היטב על הרקע המדעי

שזה עתה נלמד בכיתה. נמצא כי בניסויים שמוינו כמורכבים, המספר הממוצע של טיעונים שעלו בניסוי גבוה בצורה מובהקת ממספר הטיעונים הממוצע שעלה בניסויים שמוינו כפשוטים ($\chi^2=12$ ($p=0.001$)).

ג. מאפיינים נוספים של השיח בפעילות החקר שבה התפתח שיח טיעוני

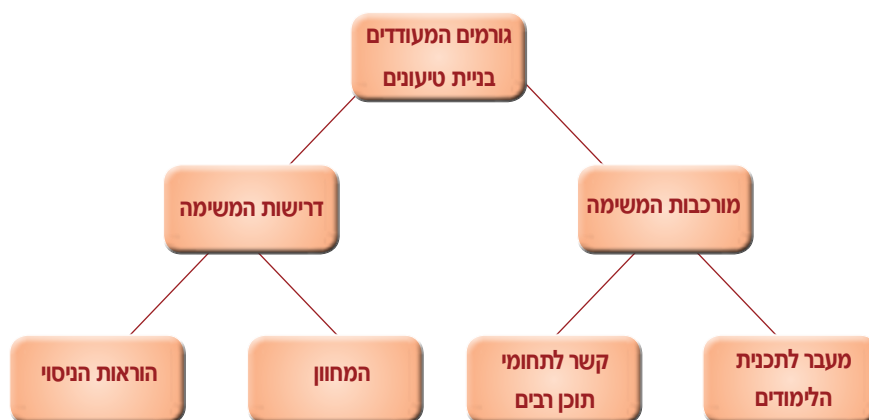
1. שאלות שמעלים לדיון

במהלך השיח העלו התלמידים והמורה שאלות מסוגים שונים: שאלות לדיון, שאלות הבהרה ושאלות לקבלת מידע. שאלות השייכות לשתי הקטגוריות הראשונות מניעות את השיח הקבוצתי, מקדמות בניית טיעונים או משדרגות את רמת הטיעונים.

דוגמאות לשאלות שתלמידים מעלים לדיון:

- **עודד:** ככל שיש יותר שאל, יהיה מהר או לאט יותר?
- **גלעד:** השאלה היא לא היינו משאירים על השל יותר למן. מה היה קורה?

62 שאלות תלמידים אותרו בשיח במהלך כתיבת ההשערה וניתוח התוצאות של 14 קבוצות עבודה בניסוי חקר פתוח. 41 מתוכן הן שאלות לדיון או שאלות הבהרה (ממוצע של 2.9 שאלות לקבוצה בניסוי בודד). אך כאשר מיינים את השאלות לכאלה שנשאלו ב-8 קבוצות עבודה שביצעו ניסויים מורכבים ($N=34$), וב-6 קבוצות עבודה שביצעו ניסויים פשוטים ($N=7$), נמצא שמספר השאלות



איור 4: גורמים המעודדים בניית טיעונים בניסוי חקר פתוח



הממוצע לניסוי מורכב גבוה יותר באופן מובהק מהממוצע לניסוי פשוט. כמו כן נמצא מתאם גבוה ומובהק בין מספר השאלות שעולות בניסוי ובין מספר הטיעונים שעולים בניסוי, ($r_s=0.80$ $p<0.001$). לכן ניתן להניח שקיים קשר בין שלושת הגורמים האלה לבין עצמם: מורכבות הניסוי, מספר השאלות הנשאלות על-ידי התלמידים ומספר הטיעונים המועלים בשיח.

2. תוצאות הניסוי

כאשר מתקבלות תוצאות צפויות שמאששות את ההשערה, בדרך-כלל הדיון קצר ואינו מתפתח לשיח טיעוני. אך כאשר התוצאות אינן ברורות, הקבוצה מנהלת שיח שבו עולים טיעונים המנסים לפרש ולהסביר את התוצאות הבלתי צפויות.

הניסויים של 14 קבוצות תלמידים ב-4 כיתות מיוני לשתי קטגוריות: ניסויים שבהם התקבלו תוצאות ניסוי התואמות את ההשערה ($N=7$), וניסויים שתוצאותיהם בלתי צפויות ואינן תואמות את ההשערה ($N=7$). בשלב ניתוח התוצאות של ניסויים אלה, ניתוח השיח מלמד כי מספר הטיעונים לקבוצה בניסויים שבהם התקבלו תוצאות בלתי צפויות

גדול בצורה מובהקת ממספרם בניסויים שבהם התקבלו תוצאות צפויות ($\chi^2=5.7$ ($p=0.015$). בנוסף על כך, בניסויים שבהם התקבלו תוצאות צפויות, רק 7% מהטיעונים כללו אפיזודות של הפרכה במהלך הניתוח של התוצאות. לעומת זאת, בניסויים שבהם התקבלו תוצאות לא צפויות, כ-30% כללו אפיזודות של הפרכה. ממצא זה מחזק את הטענה שתוצאות לא צפויות משמשות טריגר להעלאת טיעונים רגילים, ובדאי טיעונים הכוללים הפרכות. ראינות התלמידים מחזקים את הטענה שתוצאות בלתי צפויות הן אחד המאפיינים של דיונים בעלי אופי טיעוני:

נורית: "...יש דיון סביב הסבר התצפיות והתוצאות. כל אחד מסתכל על זה אחרת. מישהו מתחיל להסביר, אולי לה בלל לה ... מנסים לחשוב אם לה תואם את הבסיס המדעי, אם לה היעיל, אם כן - אל מקבלים, אם לא - מציבים משהו אחר... בפירוש התוצאות, בעיקר כשלתוצאות אין מראה אחידה, פתאום יש תוצאות מפתיעות, למה לה יצא ככה? ואל באמת יש דיונים."

רות: "הדיונים המשמעותיים היו אלו שהתקששו. כשניסיון להסביר למה לה לא יצא - להסביר את התוצאות הכעיייתות..."



איור 5: מאפיינים של השיח בפעילות החקר שבה התפתח שיח טיעוני

ברצף ההוראה של התכנים השונים. הפעילויות יכולות להיות סביב נושא המעבדה, אך גם סביב סוגיות סוציו-מדעיות המעלות דילמות, ולכן מעודדות חילוקי דעות וניסיונות שכנוע.

2. מומלץ לשלב פרטי הערכה הדורשים שליטה במיומנות הטיעון, בבחינות בכיתה ובבחינת הבגרות, וזאת כדי לעודד מורים לשלב פעילויות מסוג זה במהלך ההוראה.

מקורות

1. Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
2. Kuhn, D. (1991). *The skills of argument*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
3. Osborne, J. F. (2010). Arguing to learn in science: The role of collaborative, critical discourse. *Science*, 328, 463-466.
4. Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
5. Duschl, R. A. (2008). Quality argumentation and epistemic criteria. In: S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research* (pp. 159-175). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
6. Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 35-62.
7. Osborne, J. F., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argument in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 994-1020.
8. Wilson, C. D., Taylor, J. A., Kowalski, S. M., & Carlson, J. (2010). The relative effects and equity of Inquiry-based and commonplace science teaching on students' knowledge, reasoning, and argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 276-301.
9. Gott, R., & Duggan, S. (2007). A framework for practical work in science and scientific literacy through argumentation. *Research in Science & Technological Education*, 25, 271-291.
10. Sampson, V., & Gleim, L. (2009). Argument-driven inquiry to promote the understanding of important concepts & practices in biology. *American Biology Teacher*, 71, 465-472.
11. Walker, J. P., Sampson, V., & Zimmerman, C.O. (2011). Argument-driven inquiry: An introduction to new instructional model for use in undergraduate chemistry labs. *Journal of Chemical Education*, 88, 1048-1056.
12. Katchevich, D., Hofstein, A., & Mamlok-Naaman, R. (2011). Argumentation in the chemistry laboratory: inquiry and confirmatory experiments. *Research in Science Education*, DOI: 10.1007/s11165-011-9267-9.
13. Hofstein, A., Shore, R., & Kipnis, M. (2004). Providing high school chemistry students with opportunities to develop learning skills in an inquiry-type laboratory: A case study. *International Journal of Science Education*, 26, 47-62.

לסיכום, ניסויי החקר ביחידת המעבדה בכימיה נותנים במה לבניית טיעונים. דרישות המשימה והערכתה מהוות גורם עיקרי לבניית הטיעונים, אם כי מורכבות המשימה היא גורם נוסף. כמו כן מצאנו שתוצאות ניסוי בלתי צפויות ושאלות שתלמידים מעלים במהלך תהליך החקר קשורים בקיומו של שיח טיעוני. יש לציין שברמת הטיעונים הממוצעת לא נמצא הבדל מובהק בין הניסויים המורכבים ובין אלו שהוגדרו כפשוטים. נראה שרמת הטיעון הגבוהה בניסויים הפשוטים נובעת משליטה של התלמידים ברקע המדעי של הניסוי. התלמידים למדו את התכנים בכיתה, התשובות לשאלות החקר ידועות בדרך כלל לתלמידים, ולכן הם מבטאים תוך כדי הניסוי את הידע שנרכש בכיתה, ולא בהכרח בונים ידע חדש. ראוי לציין שגם לארגון הידע מחדש במהלך הניסוי יש יתרונות בתהליך הלמידה.

בניית טיעונים בכיתה ובמעבדה – המלצות המחקר

א. הכשרת מורים

1. מומלץ לבנות מערך השתלמויות ארצי להקניית המיומנות של בניית טיעונים למורים. אם מורים לא ישלטו במיומנות, לא יהיו פעולות הקניה ו"מודלינג" לתלמידים, והסיכוי שהתלמידים ירכשו את המיומנות הוא נמוך מאוד.
2. מומלץ להתייחס בצורה מפורשת לחשיבות הדיון הקבוצתי במהלך ניסויי החקר ובפעילויות בכיתה, אגב התבססות על תאוריות למידה.
3. מן הראוי שמורים יכירו את המאפיינים של ניסויים אשר מעודדים בניית טיעונים, כדי שיתייחסו לפרמטר זה בבחירת רצף הניסויים ליחידת המעבדה.
4. מן הראוי שמורים ישלבו בקריטריונים שלהם לבניית קבוצות עבודה שיקולים הקשורים לשיח הקבוצתי, לוורבוליות של חברי הקבוצה או לדומיננטיות של אחרים אשר עלולה להשתלט על השיח.

ב. חומרי למידה

1. מומלץ ליצור דגמי הוראה המשלבים פעילויות במעבדה ובכיתה המעודדות בניית טיעונים. פעילויות של הקניה ותרגול בסולם עולה של דרישות שישתלבו

האם כל שיפור מדעי-טכנולוגי הוא כדאי?

רשמים מערב תלמידים-דיבייט

עדנה כהן *

מספר דילמות מוסריות הקשורה בפיתוח הנוטכנולוגי. סביב דילמה זו נבנה ערב שיא שבו נערך "דיבייט", וגם דיונים אלה הופצו למירב האנשים שיכולנו להגיע אליהם. אז מה עשינו?

ראשית פתחנו דף פייסבוק בשם Nano-Ebin, ואתם מוזמנים להיכנס ולהתרשם. לדף זה הוזמנו להצטרף חברים והורים (שהצטרפו, קראו אך לא כל כך הגיבו בכתב. לא נורא, כי המטרה הייתה שיחשפו ויתרשמו). בדף זה הכנסנו גם דילמה לדוגמה - שימוש בגרביים שנארגו בהם חלקיקי כסף ננומטריים, המונעים התפתחות מיקרואורגניזמים ועל ידי כך מונעים ריחות לא נעימים וזיהומים בפצעים. התלמידים מצאו טיעונים בעד ונגד כנציגי קבוצות אינטרסים באוכלוסייה.

לקראת ערב השיא נבחרו בכיתה שתי קבוצות - קבוצת ה"בעד" וקבוצת ה"נגד". הוצגה לפנייהם הדילמה, והקבוצות עבדו בנפרד על טיעוניהן. מכיוון שבבית-ספרנו לומדים "דיבייט", הכירו התלמידים את חוקי המשחק ואת הדרך לטעון טיעונים.

הדילמה שאנחנו עסקנו בה היא שיפור יכולת המוח האנושי. קיימים תהליכי פיתוח של יישומים ננוטכנולוגיים האמורים להתערב במוח האדם על מנת להקל על מחלות כמו פרקינסון ואלצהיימר. האם יש להרחיק לכת ולפתח יישומים שיתערבו במוח גם על מנת לשפר "ביצועים" אחרים כמו שמיעה טובה יותר, יכולת ריכוז משופרת, תודות במצב הרוח וכד'?

במקביל לעבודת הקבוצות ערכנו סקר אינטרנטי ובו שאלנו אם העונים מכירים יישומים ננוטכנולוגיים, אם הם מודעים לסכנות שעלולות להיווצר בעקבות (הפיתוחים) הנוטכנולוגיים, ואם הם בעד המשך פיתוח התחום. לערב השיא הוזמנו תלמידים, הורים ואורחים רבים

ננוטכנולוגיה - מה זה? זה טוב? זה ירפא את כל המחלות וגם ארזה בלי להתאמץ? ואולי זה רע? זה יפר את האיזון העדין של הטבע? ורובטים בעלי אינטליגנציה מלאכותית ישלטו בנו? מהי הנוטכנולוגיה הזו בכלל?

אז כן, אנחנו המורים לכימיה נחשפים ל'חזית המדע' ושומעים עוד ועוד על ננוטכנולוגיה וגרפן וצינורות פחמן ובגדים שמתנקים מעצמם ותרופות חדישות התוקפות רק את התאים שצריך, אך באוזני הציבור הרחב בעולם, ובאירופה השמרנית בעיקר, הכול נשמע מדע בדיוני ומתחבר לסרטי אימה.

כדי לחשוף את האירופיים לתחום הנוטכנולוגיה, להדגיש את האפשרויות הכמעט בדיוניות הגלומות בו, ועם זאת להציף את הדילמות ואת הגבולות שגם מדענים מכירים, החליטה רשת משרדי החינוך של האיחוד הארופי (European Schoolnet) לקדם את המודעות דרך תלמידי בתי הספר. הפרויקט נקרא ננוצ'נלז (Nanochannels), והוא אורגן ותואם על ידי אורט ישראל. אחד מבתי הספר שלקחו בו חלק (יחד עם בתי ספר מגרמניה, אנגליה, ספרד, טורקיה, צרפת, איטליה, רומניה, אוסטריה וסלובקיה) הוא אורט אבין ברמת-גן.

במהלך הפרויקט למדו התלמידים בכיתה על הגודל ננו, על ייחודיות תכונותיו של חומר ננומטרי ועל פיתוחים טכנולוגיים-אלה שקיימים ואלה שבפיתוח ושבחזון. ההוראה הייתה רצופה סרטונים, פעילויות וחומרים שסופקו באתר מרכזי, וממנו כל מורה יכול היה לבחור כרצונו.

את "בשורת הנוטכנולוגיה" התבקש כל בית-ספר לפרסם במגוון אמצעי תקשורת - דרך עמודי פייסבוק, ציצי טוויטר וכתיבת מאמרים בעיתונים הגדולים בעיתונים גדולים באירופה במטרה להגיע לציבור רחב ככל האפשר. בנוסף התבקש כל בית-ספר לבחור בדילמה אחת מתוך

* עדנה כהן, מורה לכימיה וביוטכנולוגיה, אורט אבין, רמת גן



לחזית המדע, על העניין שבערב, על טיעוני התלמידים. בנוסף חלק מתלמידי המגמה הצהירו שהם מתכננים ללמוד ננוטכנולוגיה גם בהמשך דרכם האקדמית.

נו, וזה הסוף?
אז זהו שלא!

חיברנו מסמך בשם 'ננוכרטא' הכולל טיעונים והסכמות שעלו מהערב.

בקרב נפרסם עבודות תלמידים בנושאי ננוטכנולוגיה בדף הפייסבוק שלנו. יהיה מעניין, מומלץ להיכנס.



הזמנה

לאירוע שיא בפרויקט NANOCHANNELS
(אירופה) - Live Event

הנכם מוזמנים לאירוע דיבייט
בנושא ננו-אתיקה:

האם כל שיפור מדעי טכנולוגי כדאי?

האירוע יתקיים ביום ה', כד' בטבת תשע"א,
19 בינואר 2012

בבית הספר התיכון אורט ע"ש אבין,
רח' שלם 3-1, רמת-גן.

לוח זמנים לאירוע :

התכנסות	19:00-19:20	✂
דברי ברכה	19:20-19:30	✂
"מהמימד הזעיר לעתיד מזהיר: כימיה שמאחורי הננוטכנולוגיה" הרצאה מפי דר' רון בלונדר, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן	19:30-20:00	✂
הצגת הדילמה ועריכת סקר ראשוני	20:00-20:10	✂
דיבייט בהשתתפות תלמידי אורט אבין ממגמת ביוטכנולוגיה	20:10-20:50	✂
עריכת סקר סופי וסיכום האירוע	20:50-21:20	✂

לפני האירוע נשמח אם תכנסו ותענו על סקר אנונימי קצר בנושא. לסקר לחצו כאן
[לחצו כאן](#)

נשמח לראותך,

עדנה כהן
רכזת הפרויקט והמגמה

אילנה מאיו
מנהלת ביו"ס

מקהילות מגוונות העובדות עם בית הספר. חלק מההזמנות היו הזמנות נייר (כרגיל) וחלקן אינטרנטיות. בסה"כ הגיעו כ-100 צופים. בנוסף הגיעו נציגי EUN, נציגי רשת אורט ומדענים. שידור ה"דיבייט" מבית הספר הועבר בשידור חי בערוץ מיוחד באינטרנט וגם דרך ערוץ זה צפו ב"דיבייט" עוד כמה עשרות אנשים.

אז איך היה הערב?
ראשית, חדשני בגישתו
שנית, מעניין
ושלישית, מרגש.



שמענו הרצאה על מהות הננוטכנולוגיה (בדיוק כפי שמופיע בהזמנה), דילמת הדיבייט הוצגה והתלמידים טענו, נציגי תלמידי אורט אבין בשעת ה"דיבייט" הארגונים נשאלו שאלות, והיה כיבוד.

ומה התוצאות? רוב עוני הסקר המקדים הכירו יישומים ננוטכנולוגיים. נראה לי שהתוצאה נובעת מכך שהשאלון פורסם באתר בית הספר, וענו עליו בעיקר תלמידי כיתות ט שלמדו ננוטכנולוגיה; תלמידי י', הכיתה שביצעה את הפרויקט, וכן הורים ומורים החשופים לתחום יותר מאנשים מן השורה.

כמחצית מעוני הסקר הכירו דילמות וסיכונים הקשורים בפיתוח הננוטכנולוגי, אך כולם היו בעד המשך התפתחות התחום.

ובדיבייט?

קבוצת ה"בעד" - זו המעודדת שינויים מוחיים לשיפור יכולת האדם - ניצחה ביתרון לא גדול. הפירוש שלי ל"כמעט תיקו" הוא שהקהל תמך בפיתוח הדרגתי שמביא בחשבון את המשמעויות המוסריות, המשפטיות והחברתיות של הפיתוח.

לשאלה הכללית אודות המשך פיתוח הננוטכנולוגיה - היה רוב גדול שתמך בכך.

ולסיכום - אנחנו בעד פיתוח שתחום במגבלות מוסר, וכן: קיבלנו שבחים רבים מפי הצופים והאורחים על החשיפה

כנסי כימיה לתלמידים

שנה ראשונה ביוזמה

עדנה כהן* בעז הדס**

ראשית דבר

כדי לעודד תלמידים להתעניין במהותו של העולם, כלומר בעולם הכימיה, אנחנו כמורים עושים מעל ומעבר הן בתחומי בית-הספר (ערבי שיא וערבי מגמה, סיורים, הרצאות, שילוב מעבדות בבית"ס ויצאה למעבדות אזוריות מצוידות יותר) והן בעידוד תלמידינו להשתתף בתחרויות כימיות שונות: "הכימאדה" בטכניון ומגוון תחרויות במסגרת "יש לנו כימיה" של מכון ויצמן. אך יותר משהתלמידים רוצים ללמוד - אנחנו רוצים ללמד ולהראות שזה מעניין וכדאי, ולכן התחלנו השנה בפעילות שעניינה עריכת כנסי כימיה-**לתלמידים**, ונקווה שהיא תהפוך למסורת.

רוטשילד-ויצמן" בליווי של זיוה בר-דב וד"ר יעל שוורץ.

על פי הגדרתנו, אלה מטרותיו העיקריות של הכנס:

- מפגש בלתי אמצעי והיכרות בין תלמידי הכימיה ממקומות שונים;
- הגברת המוטיבציה וחיזוק "גאוות היחידה" של תלמידי כימיה;
- העצמת התלמידים דרך מעורבותם בהעברת תכנים ופעילויות;
- יצירת תשתית לבניית קהילת עמיתים של לומדי כימיה.

יצרנו מודל מובנה ("קונספט") של כנס, שמטרתו לענות על המטרות שהצבנו.

מבחינה מהותית יתנהל "כנס הכימיה לתלמידים" ככנס מקצועי לכל דבר. בתחילת הכנס יתאספו התלמידים ויקבלו תג הנושא את שמם ואת שם ביה"ס וכן חוברת תקצירים. המושב הראשון והשלישי יהיו מושבי מליאה ובהם ישמעו

הרעיון לקיים כנס כימיה לתלמידים נולד בסופו של קורס מורים מובילים בכימיה של המרכז הארצי למורים. במשך שנתיים נפגשנו אחת לשבועיים, מורים בקבוצה אכפתית ותומכת, ובנוסף להחלפת מידע (גם בנושא המבחנים), עסקנו בדרכים לקידום ולשיווק המגמה ובהוראה של דרכי חשיבה ושל מיומנויות הנדרשות לתלמידים בני זמננו ובמנהיגות מורים לכימיה. פתאום נגמר הקורס - וכמורים מובילים (עם תעודה) שאלנו כיצד אנחנו יכולים לתרום מהכישורים ומהמיומנויות שרכשנו לקידום הוראת הכימיה, והחלטנו למקד את תרומתנו בפעילות שתעמיד את התלמידים במרכז הבמה.

בבירור מקדים שערכנו עם קולגות הבנו שרעיון הכנס הוא מוצלח ומלהיב, ושתהיה היענות רבה מצד עמיתינו לארגן כנסים אזוריים ולהשתתף בהם. עם ההתלהבות הראשונית והעידוד הצטרפנו למסלול היוזמות החינוכיות של "תכנית

* עדנה כהן - תיכון אורט אבין, רמת גן.

** בעז הדס - תיכון ע"ש שמעון בן-צבי, גבעתיים.

נכתב במסגרת מסלול היוזמות של תכנית רוטשילד - ויצמן, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע



תמונה 1: "אנחנו בכותרות" - ראש העיר קריית-גת מברך את הבאים לכנס הכימיה לתלמידים - מחוז דרום.



התלמידים הרצאות מוזמנות מפי מומחים בנושאים מחזית המדע, ואילו המושב השני יתנהל במתכונת של מושבים מקבילים ויועבר על ידי התלמידים. החלטנו מראש להותיר מקום לשינויי תכנית מקומיים בהתאם ליצירתיות ולכושר הארגון של המארגנים המקומיים.



תמונה 2: "הילדים באים" – אחד הרגעים המרגשים בכנס, הוא המולת ההגעה של הקבוצות השונות, חלוקת תגי השם, תדריך למורים – איך עומד היום להתנהל.



תמונה 3: "חוברת התקצירים" – חובה בכל כנס מדעי, בנוסף לתגי שם, קיבל כל תלמיד בכנס חוברת שכללה את תקצירי ההרצאות – הן של המרצים המוזמנים והן של התלמידים.

"הלבה" – המושבים המקבילים

השלב המעניין ביותר מבחינתנו הוא שלב המושבים המקבילים. זהו השלב שבו הופכת ההתכנסות של התלמידים מיום עיון גדול-ממדים – לכנס של ממש. כנס מתאפיין בכך שתוכנו הוא סכום התרומות של המשתתפים

בו, אך תוצאותיו נמדדות גם לפי מידת ההעשרה ההדדית ולפי המפגשים הבלתי-אמצעיים בין המשתתפים. החלטנו לשים דגש רב על תרומתם של בתי הספר, ובפרט של התלמידים המשתתפים, לתוכנו של הכנס. בשלב המושבים המקבילים התלמידים מחולקים לקבוצות מעורבות. בכל קבוצה (מושב) תועברנה 4-5 "תרומות" על ידי תלמידים מבתי ספר שונים, ובקהל יישבו מספר תלמידים מבית-ספרם (קהל אוהד) ותלמידים מבתי-ספר אחרים (קהל מתעניין).

מטרת המושב היא יצירת היכרות בלתי אמצעית בין התלמידים ומתן אפשרות לתלמידים להרצות הרצאה מדעית בפני עמיתיהם. כדי ליצור היכרות בין משתתפי המושב הקפדנו שהפעילות הראשונה תהיה משחק כימי-חברתי שבו יכירו התלמידים את עמיתיהם. שאר הפעילויות במושב הן הרצאות תלמידים בנושאים כימיים. תלמידים (ומורים) בחרו גישות שונות לארגון התרומה. היו תלמידים שסיפרו על ניסוי חקר שערכו. תלמידים אחרים הדגימו את הניסוי. היו שערכו הרצאה בליווי מצגת, פוסטר או סרטון, והיו שהקרינו סרטון כימי קצר. גם משחקים חברתיים שעסקו בידע כימי – כגון ביגו או טריוויה – היו תרומה מכובדת במסגרת זו.

דרכי העבודה של המורים בהתארגנות לקראת הכנס היו מגוונות. היו מורים שאפשרו לכל קבוצת תלמידים



תמונה 4: "כשהמטבח פוגש מדע" – הרצאת המליאה שפתחה את הכנס הדרומי בקריית-גת. ד"ר סרחיו ברוידו בהרצאה על בישול מולקולרי. הרצאה וסדנה – הפעילויות בחסות חברת "טבע".



תמונה 6: "הכרות כימית" – תלמידי תיכון שמעון בן-צבי מגבעתיים, "עושים כימיה" במסגרת משחק התערבות שמטרתו הכרות שאותו הם מנחים, במסגרת הפעילות במושבים המקבילים.

המבקשים להשתתף עם תלמידיהם בכנס. בהמשך ליווינו את המורים בעבודתם עם התלמידים על תרומתם לכנס ואספנו תקצירים לחוברת. במקביל ארגנו את הכנס מבחינה לוגיסטית, לרבות מקום ומרצים. הפתרון "האלגנטי" לעריכת כנס בתחומי ביה"ס ביום לימודים רגיל, היה לקיים אותו כאשר אחת מהשכבות בביה"ס בטיול שנת. כך התאפשר לנו לקבל כיתות לימוד לשם עריכת המושבים המקבילים במהלך יום הלימודים. במסגרת מובאת דוגמה ללו"ז של כנס הפיילוט.

בד בבד עם ההכנות לכנס הראשון הביעו שני מורים רצון לארגן כנסים אזוריים – כנס בדרום בקריית-גת וכנס בצפון,

לוח זמנים של כנס כימיה ראשון באורט אבין, 30 בנובמבר 2011

הרשמה	09:30-09:00
דברי פתיחה	10:00-09:30
הרצאת פתיחה "סמים – מיתוסים מול עובדות" דר' יוסי באומהקר	11:00-10:00
חלוקה לכיתות המושבים המקבילים	11:10-11:00
מושבים מקבילים – הרצאות תלמידים	12:00-11:00
הפסקה	12:20-12:00
הרצאת סיכום "פיצוץ – יישומים צבאיים ואזרחיים בחומרי נפץ", דר' מאיר מייזלס	13:30-12:20
דברי סיכום	

ללמוד נושא בבחירה אישית ולהציג, היו מורים שלמדו עם תלמידיהם נושא מחזית המדע ומתוך לימוד משותף זה יצרו מספר הרצאות. היו כיתות שלמות שחקרו נושא אחד והציגו אותו לעמיתיהם. חלק מהנושאים היו קשורים קשר הדוק לתכנית הלימודים, וחלק מהנושאים היוו הצצה למחוזות חדשים במדע.



תמונה 5: "עושים כימיה – ומותר גם לטעום" – לאחר הרצאת פתיחה רבת פעולים בנושא "בישול מולקולרי", התלמידים יצאו אל הלובי להתנסות סדנאית קצרה. ההתלהבות הייתה רבה.

"התהליך" – הנעת היוזמה

כיזמים ארציים מיקדנו את עבודתנו בשני ערוצים: האחד, ארגון כנס מקומי ברמת-גן כאב-טיפוס (פיילוט); והאחר הוקדש לתמיכה וליווי צמוד של שני כנסים אזוריים נוספים.

כנס הפיילוט – כנס הכימיה הראשון לתלמידים, התקיים ב-30 בנובמבר 2011 בביה"ס "אורט אבין" ברמת-גן. כדי לשווק את הרעיון לבתי ספר שונים, פנינו למורים והצגנו בפניהם את הרעיון. מלכתחילה פנינו לבתי הספר השכנים ברמת-גן ובגבעתיים, ובהמשך הרחבנו את מעגל הפניות לבתי-ספר מסוימים בתל-אביב. יצרנו ערכה הכוללת מכתב פנייה למנהלי בית-הספר ודף הנחיות למורים



תמונה 7: "אפקט הלוטוס" - תלמידים מתרשמים מהאפקט ההידרופובי בעלי לוטוס, תוך כדי הקשבה להרצאה של תלמידי תיכון אזורי גדרה, במסגרת המושבים המקבילים.

בחיפה. במסגרת הליווי שלנו הצגנו בפירוט את שלבי הארגון, וידאנו עמידה בלוח הזמנים, סייענו בפתרון כל בעיה שהתעוררה במהלך הארגון ועודדנו את המארגנים. ניתן לומר בצורה מטפורית שתפקידנו בתהליך היה של זרזים: השתמשנו בניסיון המצטבר כדי למצוא מסלולים חלופיים בעלי אנרגיית שפעול נמוכה יותר, השתלבנו במנגנון הארגוני בחלק מסוים בתהליך והשתחררנו ממנו על מנת לשוב ולהשתלב בשלב אחר או בכנס הבא. לקחים שהופקו מכנס הפיילוט שימשו אותנו בארגון ובתכנון הכנסים הנוספים.

יזם פעיל שטח

סופיה ליידרמן (סופי) מאורט רוגוזין בקריית-גת וירדן קדמי מתיכון רוגוזין בקריית אתא היו יזמים מקומיים - כלומר, פעילי שטח (...בעתיד יתקבלו גם יזמים מבתי ספר שאינם נמנים עם בתי הספר על שם רוגוזין). בשני המקרים - לאחר הולדת היוזמה ולאחר התחלת העבודה על הפיילוט קרי, הכנס הראשון ברמת-גן - קיבלנו טלפון שאומר "כבר התחלתי לערוך בירורים, יש לי מיקום ויש תאריך אפשרי, אבל..." החברים הרימו את הכפפה - עריכת כנס כימיה אזורי לתלמידים.

השותפות הייתה טבעית בעינינו, מאחר שסופי וירדן, שניהם עמיתים שלנו מקורס המורים המובילים, וקבוצת המורים הזו היא אחד ממעגלי שיתוף הפעולה ההדוק ביותר

שלנו לאורך שלוש השנים האחרונות. "כיצד אוכל לשלם על השימוש באשכול הפיס?" שאלה אותי סופי, "...אוכל לקבל את האודיטוריום, כיתות ומעבדות עבור המושבים המקבילים, וגם כיבוד הציע לי מנהל אשכול הפיס, אך איני יודעת איך ניתן לשלם על כך". סוגיה מעין זו היא דוגמה לאתגר אחד מני רבים, שמולו ניצבו היזמים פעילי השטח שלנו. ברוב המקרים התחלנו לשקול בשלב הזה של השיחה את סדרת האפשרויות העומדות לרשותנו, אפשר לומר שמציאת מקום לעריכת הכנס היה מחסום השפעול הראשון בתהליך רב-השלבים של ארגון הכנס. אך כשם שמעיין שמתחרת ומגיע לשכבה סלעית, מוצא לעצמו ערוץ זרימה אפשרי, כך בכל שיחה שבה הועלו קשיים, מיד עלו הצעות לפתרון בכיוונים שונים. באותה שיחה ראשונה אמרה לי סופי: "יש לי דרך ליצור קשר עם מפעל 'אינטל', ואני חושבת שאולי אוכל לקבל תמיכה כלכלית". חברת "אינטל" הייתה נותנת החסות העיקרית לכנס בקריית-גת. המחלקה לקשרים עם הקהילה דאגה למימון אשכול הפיס ולתמיכה כלכלית נוספת בלוגיסטיקה, וכל תלמידי הכימיה בקריית-גת הוזמנו לכנס. ההישג המרשים הזה היה כרוך בקשר האישי שיצרה סופי עם נציגי "אינטל" כששיתפה אותם בהתמודדויות לאורך הדרך.

בימים האחרונים לקראת הכנס הלכה העבודה המשותפת והתהדקה. "אל תשכחי שהכנס שלך הוא גם הכנס שלנו", אמרנו לסופי. להיות אשת השטח, משמעו להזמין תלמידים מבתי ספר סמוכים כלומר, לעודד מורים להחליט להגיע ולהשתתף, להנחות אותם כיצד להכין את התלמידים לכנס ולצייד אותם במכתבי הזמנה לכנס עבור מנהלי בתי-הספר. במקרה של סופי, להיות אשת השטח משמעו היה לא להתפשר עד היום האחרון על הצורך בכיבוד לתלמידים שבאים ליום פעילות שלם. היא שלחה דוא"ל, קיימה שיחת טלפון ועוד שיחה עד לקבלת התוצאה הרצויה - והיא חסות של ראש העיר של קריית-גת על הכנס ומימון ארוחת צהריים קלה. כאשר הכנו לסופי את חוברת התקצירים (כן, גם אנחנו השתדלנו להיות עורף תומך ופעיל) התגלה לנו שבלו"ז הכנס משובצת הרצאה, שידענו שאין ביכולתנו לממן. "איך עשית את זה?" שאלנו את סופי, והיא צחקה



תמונה 9: "הכינותי מראש" - תלמידות אורט רוגוזין וסופי ליידרמן המורה, מציגות את קרם ההגנה שהכינו בכיתה, לאחר הרצאה שהעבירו התלמידים בכנס על פרוייקט החקר שעשו. פעילות של PROFILES מוצגת לראשונה בכנס הכימיה לתלמידים.

של תהליך חקר וכד'. למרות שהשיטה הייתה שונה מזו שהופעלה בשני הכנסים הקודמים, נדהמנו מהפיתוח המקורי היעיל והנוח של ירדן. "כסף לקיום הרצאות" - זה היה המוטו בשיחות הטלפוניות עם ירדן, כבר 3 חודשים לפני הכנס. וכמובן, עם הקושי בא הפתרון, וירדן קיבל תרומה עבור הכנס החיפני מאחד מספקי הציווד שפגש בכנס מורי הכימיה בחנוכה. כשלושה ימים לפני הכנס בחיפה נרתמה מנכ"לית החברה הישראלית לכימיה, גב' חנה אטלי, כדי לתרום את תרומתה - התוצאה הייתה גיוס מממן לטובת כיבוד, תגי שם, וכמובן, לטובת הרצאות נוספות. כמו שתיאר זאת ירדן: "כשאני נמצא בכנס כזה, אני אוהב לראות פיצוצים והדגמות מרהיבות".

שאלנו את סופי ואת ירדן איך ניתן לסכם את הכנס בהיבט האישי שלהם, ושמחנו לשמוע את התגובות הבאות. סופי: "גם כשהייתי קרובה לכנס, התקשיתי להאמין שזה עומד להתרחש. כיום אני מסתכלת על עצמי ואני חושבת שגם העמיתים שלי מסתכלים עליי - ומה שאנו רואים זה את מי שהצליחה, שעשתה את מה שנראה "בלתי-אפשרי". אני שמחה על הכבוד שהבאתי לעיר ולביה"ס שלי". ירדן: "לארגן פרויקט או "להרים אירוע" לא היה דבר זר או חדש

ואמרה: "מצאתי תורם נוסף למימון ההרצאה". ירדן קדמי הוא מדריך מחוזי באזור חיפה, כך שהקשר שלו עם מורים בשטח היה טבעי וקל. "המורים מודאגים מכך שיידרש זמן רב להכין את התלמידים... איננו רוצים להכביד עליהם...". "מנגד" ניצבנו איתנים כסלע וחדורים באידאולוגיה שגיבשנו: בתי ספר ישתתפו בכנס באופן פעיל ומתוך מעורבות; כל ביה"ס יתרום את חלקו במושבים המקבילים! ידענו שזה הייחוד שלנו ושצריך להראות למורים שאין הכרח שהדרך להניע את תלמידיהם תהיה מסובכת, קשה ושתגזול זמן רב. "אמור להם שלא מדובר בעבודת דוקטורט או בהרצאה סמינריונית..." הצענו. ניתן להשתמש במצגות, הרצאות או כרזות שהוכנו לתחרויות קודמות או במסגרת הפעילות של יחידת החקר, ואותם להציג בפני תלמידים עמיתים: "הרי גם בכנס מקצועי נהוג ל"מחזר" שימוש בכרזות ובהרצאות..." ציינו בפניו.



תמונה 8: "אין כמו למידה חווייתית" - במסגרת המושבים המקבילים בחרו חלק מבתי הספר להעביר לעמיתיהם הדגמה של ניסוי. ירדן קדמי ותלמידים בכנס צפון.

התהליך לקבלת רשימות תלמידים, נושאי ההרצאות וההפעלות מראש ובזמן היה תהליך ממושר. ירדן פיתח טבלה ובה קוד צבעים המסמן את סוגי הפעילויות השונים: כחול להדגמת ניסוי, כתום לסרטון, ירוק לפרזנטציה



לאור ההצלחה והעניין הרב שהכנס עורר בקרב קהיליית מורי הכימיה והתלמידים, הצבנו יעד לקיים 8 כנסים אזוריים בשנת הלימודים הבאה. בשלב זה איתרנו מספר מורים שרוצים להוביל ארגון של כנסים באזורם. אנו מאמינים שכנסים כאלו יתרמו להנאה ולהנעת תלמידים ולשיפור מעמדה של הכימיה בקרב הלומדים.

ניסיונו לאורך שנת הפעילות הראשונה מראה שיש צורך באיתור נותני חסויות ארציות ומקומיות. בכוונתנו לקיים תהליך הכשרה וליווי מסודר לקבוצת מארגני הכנסים האזוריים על מנת להקל עליהם להתארגן מבעוד מועד לביצוע הפרויקט. ככל שיימצאו יותר פתרונות לבעיות ברמה הארצית, כך נוכל להרבות בהפעלתם של כנסים כאלה וביתר קלות.

רפלקציה אישית

בכל המרוץ הזה, שהחל בגלגול רעיון טוב, המשיך אל עבר הממד הביצועי, ואפילו "דיון מסכם" כבר הספקנו לעשות - נראה שדבר אחד לא הספקנו - לדבר עם עצמנו, לבחון מה קרה לכל אחד מאתנו בהיבט האישי.

עדנה: "בחברה של ימינו אנשים לא עובדים בחינם אלא 'עושים למען ביתם', אותי זה לא משכנע! שני גורמים דרבנו אותי אל עבר העשייה: האחד הוא אכן השאיפה לתרום - למען הגברת ההנעה וההנאה של התלמידים כמו גם קהילת המורים. הגורם השני הוא היכולת שלי לארגן פרויקט גדול, פרויקט בעל משמעות. ולסיכום? נהנית!".

בעז: "הכנסים מאתגרים אותי במספר אופנים: ההיבט הלוגיסטי - פתרון בעיות בדרכים יצירתיות, ההיבט השיווקי - לרתום תלמידים, מורים, ושחקנים נוספים בשדה שנקרא "הוראת הכימיה" לעשייה משותפת ומעורבות ביישום רעיון שנראה לי פשוט מדי. אני אוהב את זה שהכנס נותן מענה לבתי ספר בפריפריה - ביצוע פעילות שיא, מבלי להרחיק לכת עד מרכזי הפעילות הרחוקים והיקרים. יפה לראות מעורבות ושיתוף פעולה - מהדהדים במרחב שלנו".

עבורי. הדבר שנתיחדש לי דרך ההתנסות בארגון כנס התלמידים בחיפה הוא שלמדתי לשתף אחרים, לבקש עזרה, להפעיל אנשים לידי ולהרגיש בסדר עם זה. תמיד נוח לי לעבוד סולו, בקצב שלי ובדרך שלי, וכאן שדרגתי את היכולות שלי בעבודת צוות - זוהי הלמידה הגדולה שלי מהכנס".

"תוצרים" - תוצאות ורשמים מהשטח

השנה התקיימו שלושה כנסים: כנס מרכז נערך באורט-אבין בר"ג בהשתתפות ארבעה בתי-ספר וכ-100 תלמידים; כנס דרום באשכול הפיס בקריית-גת, שבו השתתפו כ-160 תלמידים מעשרה בתי-ספר וכנס צפון בתיכון "לאו-בק" בחיפה בהשתתפותם של כ-280 תלמידים מ-9 בתי-ספר יהודים, ערבים ודרוזים.

מספר התרומות הכולל שהועבר על ידי תלמידים בכל שלושת הכנסים היה 90. התרומות כוללות הרצאות, סרטונים, הדגמות ניסוי, משחקי היכרות, חידונים, הצגת ניסויי חקר ועוד.

מתוך המשובים שנאספו בתום הכנסים עלו התייחסויות חיוביות להיכרות בין תלמידים מבתי-ספר שונים וליצירת הקשר ביניהם, לרכישת הידע המרתק, לצורת ההוראה הלא-פורמלית, לאווירה הנעימה ולגאוות היחידה שנוצרה. מעניין לציין שתכנים שהועברו ע"י תלמידים זכו לציונים גבוהים יותר ונזכרו יותר מתכנים שהועברו על ידי מומחים. כמו כן התלהבותם של התלמידים מהכנס עם חזרתם לביה"ס יצרה הד חיובי למקצוע בבתי-הספר, וכיתות שלא השתתפו הביעו עניין ורצון להשתתף בכנס דומה בשנה הבאה.

"כימיה יישומית" עם הפנים לשנה הבאה - יעדים וצרכים

לאחר שהראינו שהתהליך שהתחלנו מספק את התוצרים הרצויים והוא בר-ביצוע מן ההיבטים הקניטיים והתרמו-דינמיים כאחד - אין לנו ספק שמה שנשאר הוא לשכלל ולייעל את אופן הביצוע ולהגדיל את הניצולת. אין כל סיבה שכנסים כגון אלה לא יהיו זמינים למספרים גדולים יותר של תלמידים לומדי כימיה, ואין ספק שהתועלת והערך המוסף גבוהים לאין שיעור מההשקעה הנדרשת.



"הצופה המולקולרי" - נקודת המבט של מורה על התהליך שלה ותלמידי הכיתה, לפני במהלך ובעקבות הכנס.

נאדיה ג'נאים - תיכון מקיף "אל-בטוף", כפר עוזיר

ההשתתפות בכנס הכימיה האזורי לתלמידים הייתה חוויה מקסימה ומרתקת עבורי ועבור התלמידים. החוויה התחילה עוד לפני יום הכנס, כשהתכוננו למשימות שלקחנו על עצמנו: חלוקה לקבוצות, בחירת נושא לכל קבוצה, סקירה ספרותית וחיפוש ניסויים מתאימים. בהמשך - בדיקת כל ניסוי, הכנת רשימת ציוד וחומרים ואימון על הצגת הניסוי בפני קהל.

עבורי, כאמור, התהליך היה מעניין מאוד, וראיתי בעיני התלמידים שיטה חדשה אל הכימיה. הלימוד המשותף של נושאים חדשים, המוטיבציה האדירה לחיפוש ולחקר - אלה היו חוויות שהן מעבר למקובל בשיעורים הפרונטליים. מובן שלמרות כל ההכנות התלמידים התרגשו מאוד מיום הכנס ומשעת ההצגה של מה שהכינו בפני אחרים.

ואל היום יום הכנס... כשהגענו לבי"ס ליאו-בק התלמידים השתלבו מהר מאוד, הקשיבו להרצאה בנושא נו-כימיה, שהייתה להם נושא חדש ואל התחלקו למושבים המקבילים. אני הצטרפתי למושב שבו השתתפו תלמידים ממספר בתי-ספר (כולל תלמידים שלי) ושהוצגו בו 8 הצגות שונות. התלמידים גם לימדו וגם למדו, כל קבוצה הציגה נושא מסוים או ניסוי והסבירה אותו לשאר התלמידים. כולם תרמו לתהליך הלמידה, ודבר זה אדם להם להראיש שווים לאלה שהציגו וארגנו. בשלב האחרון בכנס צפינו בהדגמות של ניסויים שונים במעבדות של ביה"ס. ההדגמות היו מרשימות ואורחו אצל התלמידים שאלות רבות, וכך גם הן עודדו את התלמידים לחקור יותר וללמוד כימיה.



תמונה 10: "זה מתחיל במורים..." - נאדיה ג'נאים, מתיכון "אלבטוף", צופה בתלמידים, בהרצאה, ונראית מתעניינת, ומרוצה מההתרחשות ומהתלמידים.

בדרך הביתה כל תלמידיי וגם המורה המלווה שהיה אתנו סיפרו לי עד כמה הצליחו להרשים בהצגות שלהם, וכמה אהבו את הניסויים ואת ההדגמות שראו. הראשתי סיפוק כשראיתי אותם כל כך לאים בעצמם ובאלי ביטחון עצמי. ראינו כי השפה העברית לא הייתה להם מכשול למרות החששות.

התלהבותם של התלמידים עברה למנהל ביה"ס ולמורים כבר לאחרת וקיבלתי משוב יפה מאוד על הכנס ועל החוויה שעברנו ביחד.

אני מודה מאוד לירדן שנתן לנו אפשרות להשתתף ותמך ודאג מאוד, ולכל המארגנים, למורים, למרצים ובמיוחד לתלמידים - שתראו להצלחתו של הכנס.



"תלמידים יצאו לכנס"

גיא קהן, תלמיד כיתה י' במגמת הכימיה, ביה"ס ע"ש שמעון בן-צבי בגבעתיים

שמי גיא ואני תלמידי כיתה י' במגמת הכימיה בבית הספר שמעון בן צבי בגבעתיים. רציתי לספר על היום שבו יצאנו לכנס אלומי של תלמידי כימיה במרכז. כנס הכימיה בבית הספר "אורט אבין" ברמת-גן היה דבר חדש ומעניין שלא הכרתי בעבר. החוויה של הליכה משותפת לכנס הייתה מאוד כיפית ומרעננת.

כאשר הגעתי וצפיתי בהמון שהגיע, ידעתי שהולכת להיות חוויה מהנה. בכנס לה פגשנו תלמידים חדשים שלא הכרנו ושלחם לנו יש דבר אחד משותף והוא לימודי הכימיה. בין הפעילויות היו הרצאות של מורים והתכנסות משותפת בכיתות יחד עם ילדים מבתי ספר אחרים.

בדרך כלל כשמדברים על הרצאות וכנסים, תלמידים "ישר" אומרים שלה יהיה משעמם, אבל ההרצאות בכנס לה היו באמת מעניינות והצליחו לרתק אותנו להקשבה מלאה. הכנס היה מאוד כיפי והראה לנו עוד מורים ותלמידים שעוסקים במקצוע לה, ודבר לה חילק אותנו בעיסוק במקצוע לימודים לה.

התלמידים שלומדים אתי בכיתה נהנו מאוד מהכנס ולו הייתה חוויה חד פאמית בשביל כולם. נוסף על כך הכנס היה מעניין ומחדש מאוד לכולם. התלמידים אהבו את המקום, וכולם ילכרו את היום הלה לטובה.

ראוי לציין שהתלמידים מהמגמות האחרות בבית ספרנו התפלאו מאוד על כך שרק תלמידי המגמה שלנו הולכים לכנס עם בתי ספר אחרים, ומאוד התאכלבו שאין להם דבר כלה. כתוצאה מכך הבנו שגנסי הכימיה ברחבי הארץ הם דבר חשוב מאוד שאסור להפסיקו, הם תורמים לידיעה הנרחבת במקצוע במדינתנו. מעלים את החשיבות של המקצוע, ויותר מכל – הופכים את הכימיה לאחת האימפריות המדעיות במדינה.



תודות

ללא התלמידים והמורים מבתי הספר, לא הייתה לנו הזכות לקיים את הכנסים.

ליידי דיוויס, ת"א, עירוני י"ד ת"א, "אורט אבין, ר"ג, שמעון בן-צבי, גבעתיים.

"אורט רוגוזין", תיכון חדש ע"ש רבין, מקיף "שלאון", "מאיר" - קרית-גת, תיכון אזורי באר-טוביה, תיכון איזורי גדרה, בי"ס מבואות הנגב - קיבוץ שובל, תיכון "צפית" - כפר מנחם, תיכון אזורי כפר סילבר, בית חינוך - שער הנגב.

תיכון "כרמל", תיכון "לאו-בק", ביה"ס "הריאלי" - חיפה, "אורט רונסון" עוספייה, תיכון "שיפמן" - טירת הכרמל, תיכון "אלבטוף" - כפר עוזיר, תיכון כפר-כנא, רוגוזין - קרית אתא, "כרמל זבולון" - יגור.



תמונה 11: "תמונת מחזור" - כנס הכימיה לתלמידים - מחזור דרום 2011, המארגנים והמורים, ברגע של קורת רוח וגאוות יחידה משותפת.



תמונה 12: "כבר אפשר לנשום" - ירדן קדמי, יוזם כנס צפון, ביחד עם עדנה כהן, בעז הדס ונאדיה ג'נאים, בתמונה קבוצתית של המארגנים המרוצים.

דרושים

מורים שמעוניינים להגיע עם תלמידים לכנסים בשנת תשע"ג

מורים שרוצים לארגן - בביה"ס, באשכול הפיס המקומי, ברשות המקומית, במחוז - כנס כימיה אזורי לתלמידים

עדנה כהן

050-7443221

ednaedna42@gmail.com

בעז הדס

054-5445999

Boaz.hadas@gmail.com

קידום הוראת הכימיה בטנזניה

רחל ממלוק-נעמן*

פונג'ה קסאי. סטודנטים אלה שהו חודשיים במחלקה לכימיה (בהנחיית פרופסור רון נעמן), ובקבוצת הכימיה, במחלקה להוראת המדעים (בהנחיה שלי), ובתקופה זו פיתחו את המודולות. הם עבדו והתייעצו עם חלק מחברי הצוות של קבוצת הכימיה: ד"ר דבורה קצביץ', ד"ר מלכה יאיון, ד"ר יעל שוורץ וזיה בר-דב. עד כה פותחו שמונה מודולות המכסות כמחצית הנושאים מתכנית הלימודים בכימיה בתיכון בטנזניה. לדוגמה: מודולות בנושאים של בסיסים וחומצות, חמצון-חיזור, מבנה האטום, סטכיומטריה וכו'.

הסדנה להכשרת המורים התקיימה באוקטובר 2011 במרכז מורים לכימיה, שהוקם בכפר בשם קיסימירי, המרוחק כשעתיים מארושה שבאזור קילימנג'רו, בין שני הרים: קילימנג'רו ומרו. בבית-ספר זה לומדים תלמידים מצטיינים מכפרים שבאזור קילימנג'רו. הוא הוקם בכספי אגודת ידידי שווייץ-קיסימירי. בראש האגודה עומד אמיל, בן להורים שווייצריים, שאתם בילה חלק של ילדותו בכפר קיסימירי. לימים החליט להקים בכפר זה בית-ספר תיכון עם פנימייה לילדים מצטיינים מהכפרים באזור. בית-ספר זה מהווה מעין קמפוס הכולל כיתות לימוד, מעבדות ודירות מגורים הן לתלמידים והן למורים ולמשפחותיהם - נוצרים ברובם. חלק מן המורים המלמדים מגיעים לבית-ספר

לפני כשלוש שנים החל פרויקט לקידום הוראת הכימיה בטנזניה. בראש הפרויקט עומדים פרופסור פונג'ה קסאי, מהאוניברסיטה של דודומה (בירתה של טנזניה), ופרופסור נאוה סתר מ-EPFL שבלוזאן, שווייץ. הפרויקט כולל את הפעילויות הבאות:

- הכנת חומרי לימוד למורים ולתלמידים לכל אחד מפרקי הלימוד בכימיה בבית-הספר התיכון, בהתאם לתכנית הלימודים בטנזניה.
- סדנה להכשרת מורים לשימוש בחומרי הלימוד.
- הפעלת חומרי הלימוד.

חומרי הלימוד כוללים מודולות - מודולה לכל פרק, ובהן מצגות, קטעי וידאו וניסויים מוקלטים. מפתחי התכנית הם שלושה דוקטורנטים לכימיה, המונחים על-ידי פרופסור



תמונה 1: חדר הסדנה

* ד"ר רחל ממלוק-נעמן, מנהלת המרכז הארצי למורי הכימיה, מכון ויצמן למדע ומרכזת קבוצת הכימיה, המחלקה להוראת הכימיה, מכון ויצמן למדע.

זה על-פי הוראה של משרד החינוך בטנזניה, ולא פעם זה נעשה בניגוד לרצונם. לדוגמה, קלימבה מגסה, מורה לכימיה ששהתה בכל חודש מרץ במחלקה להוראת המדעים, מלמדת ארבעה ימים בשבוע וחוזרת לביתה בארושה רק בסופי השבוע, שבהם היא מבלה עם בעלה ועם שלושת ילדיה.

זו, ואינם יודעים קרוא וכתוב. הם מדברים בשפת השבט שלהם. הלימודים בבית הספר התיכון מתנהלים באנגלית. הסדנה ארכה ארבעה ימים, והשתתפו בה: שני מורים לכימיה המלמדים בקיסימירי; עשרה מורים נוספים מכפרים שונים באזור קילימנג'רו; שני הדוקטורנטים שפיתחו את חומרי הלימוד - פרנסיס ופרוספר - והנחו את

הסדנה; פרופסור פונג'ה קסאי, מנחה הדוקטורנטים ואני. המורים התכנסו בדיוק בזמן וחיכו בסבלנות לתחילתה של כל פעילות. לטענתם, באפריקה הכול מתחיל בזמן אפריקני, "פולה-פולה" (לאט-לאט), ובעצם, "אקונה מטטה" (אין בעיה). הפעילויות כללו: (1) הרצאות בנושאים של תכניות לימודים ושל הכשרת מורים (הרצאות שניתנו על-ידי פרופסור פונג'ה קסאי ועל-ידי); (2) הצגת כל מודולה על-ידי פרנסיס ופרוספר; (3) תרגול חלקים של המודולות על-ידי המורים; (3) תכנון ניסויים חדשים והפעלתם על-ידי המנחים והמורים; (4) תכנון ההפעלה בכיתות. הפעילויות נבנו היטב, והמורים שיתפו פעולה.

עם זאת הבעיות הטכניות היו רבות: תקשורת אינטרנטית חלשה ומחסור בחשמל, ששיבשו לא פעם את פעילות המחשבים; מחסור בצידוד מעבדה (למרות שהמעבדה לכימיה בבית-ספר

זה מצוידת יחסית די טוב); היעדר כללי בטיחות במעבדה, כמו שאיבה של חומצה גפרתית לפיפטה באמצעות הפה. מרבית המורים טענו שבבתי-הספר שלהם אין מחשבים, והדבר עלול יהיה לפגום בהפעלת חומרי הלימוד המוצעים. קובעי המדיניות במשרד החינוך אינם ששים לספק מחשבים או ציוד מעבדה לבתי-הספר, וללא תרומות - יקשה עליהם לשכנע את מנהלי בתי-הספר בחשיבות הנושא.



תמונה 2: תלמידות מנקות את הקמפוס ומשקות את הצמחייה השכם בבוקר

לסדנה להכשרת המורים קדם סימפוזיון של יומיים בארושה, ובו השתתפו מפקחים, אנשי משרד החינוך, מנהלי בתי-ספר ומדריכים אזוריים. בסימפוזיון הציגו בפני המורים את חומרי הלימוד ודנו בהפעלתם. כפי שנאמר לעיל, הכשרת המורים התקיימה בקיסימירי שבאזור קילימנג'רו, אזור שיש בו מכללות ואוניברסיטאות שכל אחת מהן מתמחה בתחום מסוים כמו: חינוך, חקלאות, הנדסה. השפה הרשמית היא סוהילית, אך הזקנים בשבטים השונים אינם מבינים שפה



תמונה 3: מסדר בוקר עם עמנואל מנהל ביה"ס

מטאטאים ומשקים את הצמחייה, מנקים את שבילי העפר המכוסים בפח (כתוצאה מהמדורות שמבעירים בקמפוס לצורכי בישול), ומתכננים למסדר הבוקר ולהנפת הדגל בנוכחות מנהל בית-הספר. גם הדרך לקסימירי היא דרך עפר, רצופה מהמורות, שלוליות וחול. המכוניות עלולות לשקוע בחול או בשלוליות המוצפות לאחר מטחי הגשמים היורדים באזור זה לעתים תכופות.

בקמפוס אין שירותי ניקוז הולמים ואין מים זורמים. המזון מורכב ברובו מפחמימות ומבננות, והבישול נעשה על עצים בחצר. כמעט ואין ירקות בתפריט, ואם כן – הם מבושלים. בשר אוכלים לא יותר מפעם אחת בשבוע, וזהו בשר בקר או עז. עופות כמעט ואין מגדלים באזורים אלה. התושבים מודעים למחסור ולתנאי החיים הקשים, כמו גם לשחיתות הקיימת בארצם. הם צופים בשידורי טלוויזיה וחשופים

פרופסור פונג'ה קסאי ואני, התארחנו במשפחות המורים הגרים בקמפוס. זו הייתה חוויה מיוחדת במינה שבה יכולנו להתרשם מאורח החיים של מורים אלה. האוכלוסייה באזור קסימירי בפרט, ובטנזניה בכלל (המונה קרוב ל-40 מיליון תושבים), נאלצת להתמודד בין היתר עם יתושי האנופלס הגורמים למחלת המלריה. כמעט כל תושבי טנזניה חלו במחלה זו יותר מפעם אחת. זו גם אחת הסיבות לתמותה הגבוהה של תינוקות במדינה זו. מקור החשמל באזורים הכפריים הוא באנרגיה סולרית, ובמקומות ציבוריים מפעילים גנרטורים בזמנים מוגבלים. בבתי-המגורים של התלמידים בקמפוס אין חשמל, והם מתרכזים בערבים בשתיים-שלוש כיתות לימוד כדי להכין שיעורי בית. את ארוחת הערב הם אוכלים לא יאחר מ-19:00, לפני החשיכה. התלמידים והמורים משכימים קום: 5:30-5:00, ומתחילים בעבודות היום. התלמידים מטפלים בסביבה –



תמונה 4: משתתפי הסדנה ואני. עומד משמאל: פרופסור פונג'ה קסאי; יושבת משמאל: קלימבה מגסה. עומדת במרכז: ד"ר רחל ממלוק-נעמן.

בימי הסדנה כולנו (המארחים, המנחים, המורים ואני) אכלנו יחד ארוחות בוקר, צהריים וערב בחדר המורים. בתחילת הארוחה נהוג להתפלל ברכת המזון. אף ממני ביקשו להתפלל בעברית. מבחינתי, ימים אלה אפשרו התבוננות בחיים האמתיים של מורים בטנזניה. תיירים המגיעים לטיולי ספארי בטנזניה (הטיול שבו השתתפתי לפני נסיעתי לקיסימירי) אינם נחשפים לכל זה, ואמירות כמו "אבל הם כל כך שמחים ומאושרים" רחוקות מן האמת. טנזניה היא ארץ הכוללת שבטים רבים. לכל שבט מנהגים ואמונות שונים בכל הנוגע למהות המשפחה, ואיחודם לעם אחד הוא תהליך ארוך מאוד. השפה הסוהילית היא השפה הרשמית, ובבתי הספר התיכוניים, כמו גם במוסדות ההשכלה הגבוהה, מלמדים באנגלית (המשך המסורת של השלטון הבריטי במדינה). החיים בטנזניה קשים, וההתמודדות עם קשיי המחיה ועם המחלות הרבות אינה פשוטה כלל. האוכלוסייה המשכילה מקווה שבאמצעות החינוך ניתן יהיה להתפתח, להתגבר על המכשולים הרבים ולהפוך למדינה שבה מרבית התושבים יוכלו לחיות בכבוד.

לעובדה שאפשר גם אחרת. הם מנסים לשפר את איכות החיים שלהם באמצעות החינוך, אך הדרך עוד ארוכה. למרות זאת הם נעימים, חביבים ומארחים למופת.



תמונה 5: בישול בחמש בבוקר בחצר הבית בו השתכנתי

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 העברית¹. 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 בתיעוד 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 יוצמן למדע

1 מתוך הערך "בירה" אנציקלופדיה Ynet



פי החוק, בירה תכיל מים, שעורה וכשות בלבד. מבשלי הבירה היו מוסיפים לתערובת שבשלו משקעים ממנת 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.

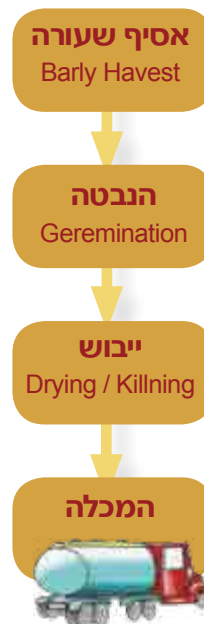
מרכיבי הבירה

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 זה 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 האנדוספרם 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.

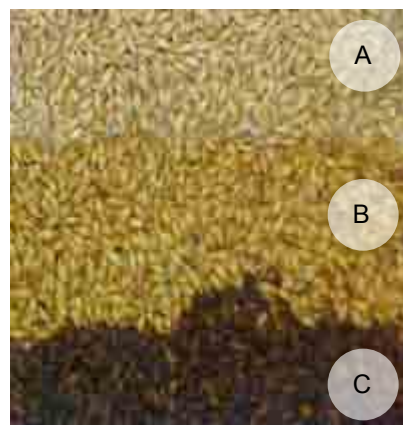
1. סוכרים + חלבונים / ח.מינו ← קרמל

2. סוכרים + חלבונים / ח.מינו ← תוצרי מייארד

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 וחיסוי מיקרוביולוגי בהכלרה או בהקרנת אור אולטרה-סגול.



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

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 איז 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

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 (α - 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 α -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 הלתת, ובעיקר פירוק העמילנים לסוכרים. יש ליצור תנאי סביבה מיטביים - טמפרטורה של 60°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 ודקסטרנים המעניקים לתירוש ולבירה את צמיגותה.

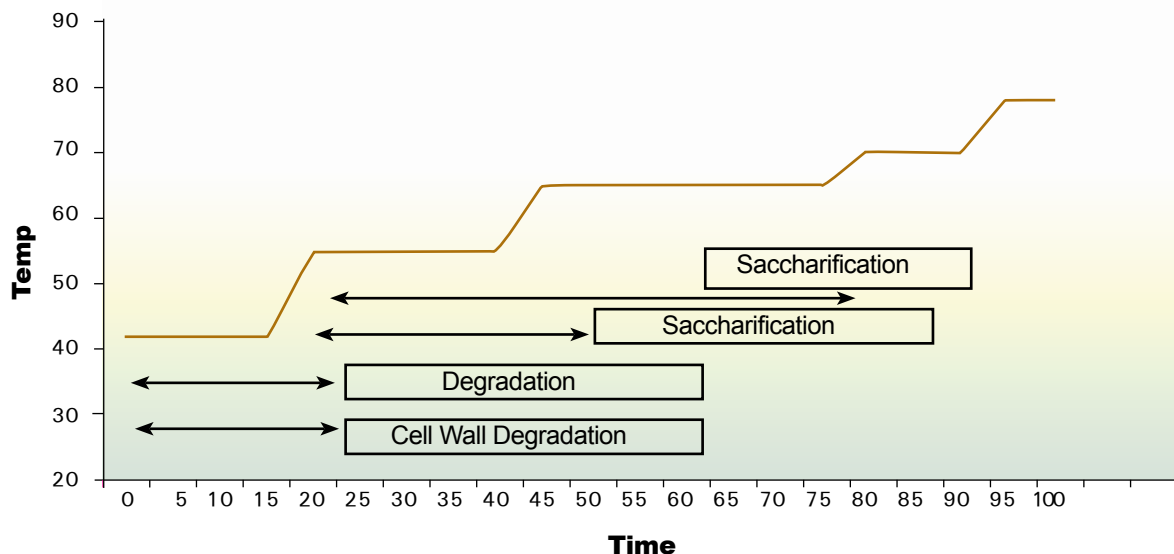
ריכוז גבוה של סוכרים זמינים בתירוש יביא ליצירת בירה דלילה יחסית אך בעלת אחוז אלכוהול גבוה ולהיפך. היחס בין קבוצות הסוכרים נקבע על ידי שינוי טמפרטורות בשלבי הסיכור ושינוי "זמן המגע" של קבוצות האנזימים השונים. שילובים אלה מתוארים על ידי דיאגרמת טמפרטורות וזמנים, Mashing Diagram, איור 2.

תהליך הסיכור מסתיים עם פירוקם של כל העמילנים. מוודאים זאת על ידי בדיקת יוד מהירה המלמדת על נוכחות של שארית עמילן. חימום לכ- 80°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 מאמר ובו תיאר את תהליך התסיסה עלי די 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 carlsbergensis*. 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 חי 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 (כנ"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 מהבלייל 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 נטף 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 מייאירד, סטריקרו קרמליזציה הן רשימה חלקית של תגובות צדדיות המתרחשות תוך כדי רתיחה. מיון 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 התירוש בבישול הביתי ועצירתה על ידי הוספת קרח (צילמה ניצן בלונדר)

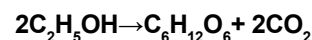
במטבוליזם של השמרים. ניתן להבחין בשינויי בשומת הבירה, כמודגם באיור 3. במהלך התסיסה הראשונית מתפתחת בשומת של בירה צעירה (Green Beer), בתהליך ההבשלה פוחתת בשומת זו אל מתחת לסף החישה ומתגברת הבשומת של בירה בשלה (Mature Beer).



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

תסיסה וייצוב הבירה

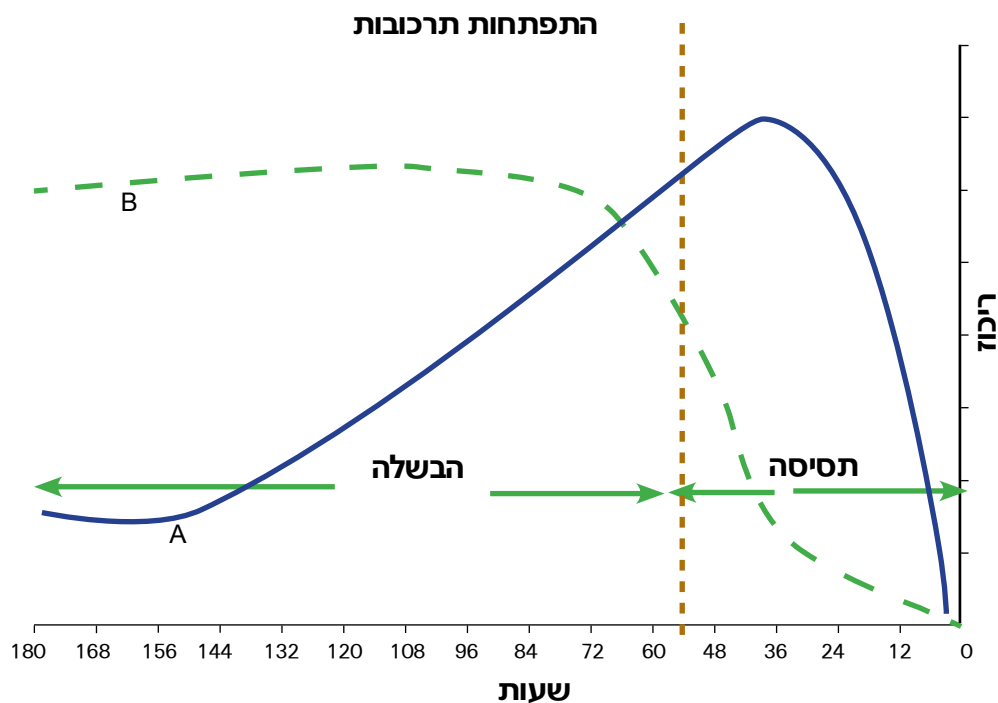
בתהליך זה מתרחש פירוק של הסוכרים לאלכוהול, לדו-תחמוצת הפחמן ולאנרגיה, הנדרשת להתפתחות השמרים (עודף אנרגיה נפלט כחום), וכן של חומרים נוספים הנוצרים במהלך התסיסה. החמצן המומס בתירוש נספג על ידי השמרים כבר בתחילת התסיסה, ומכאן התהליך הופך לאנארובי לחלוטין. תהליך זה מתבצע עם הוספת שמרים לתירוש המקורר ועם 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 ומחכים לסיום שלב ההבשלה שבו מתפרקים חומרי הביניים הנוצרים



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



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?c0=13259&bsp=13153

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

בקבוק הבירה ויצירת CO_2

השלב האחרון בתהליך הכנת הבירה הוא שלב הבקבוק ויצירת CO_2 . 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_2 , 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, תיארנו 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

מורים מצטיינים

מטעם החברה הישראלית לכימיה

לשנת תשע"ב



מעין יפת

מעין יפת מבית הספר המקיף ע"ש שיפמן בטירת הכרמל, מלמדת במסגרת שרותה הצבאי, בתכנית "עתידיים להוראה". היא אהובה על תלמידיה ומסייעת להם מעבר לשעות ההוראה הקבועות. היא מעודדת את תלמידיה להצטיינות. במהלך שלוש שנות הוראתה הכפילה את מספר התלמידים הלומדים כימיה בבית ספרה. היא עושה שימוש בהוראה באמצעים טכנולוגיים עדכניים, מקשרת את תכני הלימוד לחיי היומיום ולחידושים בכימיה.



אלישבע גבע

אלישבע גבע מבית הספר העל-יסודי משגב ובית הספר העל-איזורי תפן, היא בעלת ניסיון של מעל 10 שנה בהוראת כימיה וחינוך בחטיבה העליונה. היא מהווה עמוד תווך בצוות המדעים בשני בתי הספר בהם היא מלמדת. היא ממגנטת את תלמידיה לאהבת המקצוע, ויוצרת עימים קשרים מצוינים. היא מורה מקצועית, מסורה ומוערכת, המתחדשת ומסייעת למורים עמיתים, ועושה הכל בצניעות ובדרכי נועם.



אסתר ברקוביץ

אסתר ברקוביץ מבית הספר התיכון אילון בחולון, היא דמות מובילה בקרב מורי הכימיה בארץ. היא מורה מעולה, יצירתית, חדשנית ואהובה. היא מובילה את תלמידיה לאהבת המקצוע ולהישגים גבוהים. היא מרבה להשתלם באופן מאד פעיל תוך שילוב ניסיונה הרב. היא מייצגת בהתנדבות למורים וותיקים וחדשים, בצניעות, בשקט ובחיוך, ועל כך זוכה להערכה רבה בקרב עמיתיה.

סיפורה של תרופה - אלטרזקסין

חני אלישע*

ענו על השאלות הבאות:

שאלה 1

א. מדוע צורכים אנשים את תרופת התירוקסין?
ב. רופא שלח את עידו לבדוק את רמת הורמון ה-TSH בדם.

לפניכם טבלה המרכזת את תוצאות הבדיקות שנעשו
לאורך תקופה ממושכת:

תאריך הבדיקה	ערכי TSH
6.2007	2.8
10.2008	6.15
6.2009	4.53
6.2010	2.15
1.2011	3.33
10.2011	6.66

האם לדעתכם לעידו יש בעיה בפעילות בלוטת התריס?
הסבירו תשובתכם.

ג. שרטטו גרף המתאר את השתנות ערכי TSH כפונקציה
של הזמן.

תרופה מוגדרת כחומר כימי פעיל (ממקור טבעי או סינתטי) המשפיע על התא החי ומשנה את פעילותו. התרופה מכילה חומרים נוספים המאפשרים ספיגה ואחראים לצריכה יעילה וללא תופעות לוואי מיידיות. את התרופה ניתן לקבל בצורת טבליות לבליעה, קפסולות לבליעה, סירופים, נרות, זריקות, משחה וכן טבליות למציצה.

קיימת תרופה לחולים הסובלים מבעיית תפקוד של בלוטת התריס. זוהי תרופה שהמרכיב הפעיל שלה הוא **תירוקסין**. **תירוקסין** הוא סוג של הורמון הנמצא בדם ומופרש בגוף בריא על ידי בלוטת התריס. תפקיד ההורמון לווסת ולסייע לחילוף החומרים שבגוף.

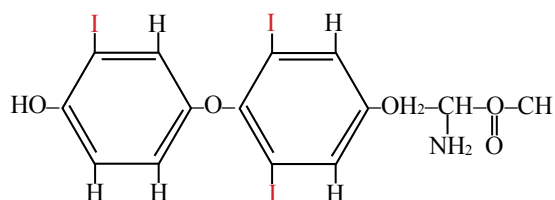
את פעילות **בלוטת התריס** מודדים בערכי החומר **TSH** בדם. החומר **TSH** אף הוא הורמון המיוצר בבלוטה אחרת, ותפקידו לווסת את רמת התירוקסין בדם. התחום המותר בדם ל-TSH הוא בערכים שנעים בין 0.15-5.5. ערכים אלה מעידים כי הנבדק אינו סובל מהפרעות בפעילות בלוטת התריס.

אנשים שכמות **התירוקסין** בדמם נמוכה מדי, סובלים מפעילות נמוכה בחילוף החומרים, וערכי **TSH** שלהם גבוהים מהערכים התקינים. דבר זה בא לידי ביטוי בתופעות כמו דיבור אטי, קול צרוד, חוסר סבילות לקור ועלייה במשקל.

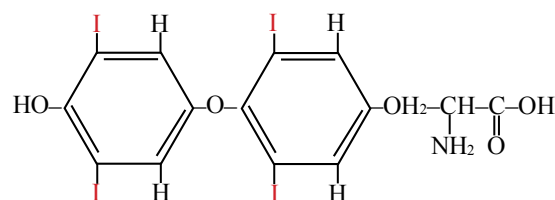
* חני אלישע, מורה לכימיה, תיכון שי עגנון, נתניה. השאלה נכתבה במסגרת לימודי תואר שני בתוכנית רוטשילד ויצמן בקורס כימיה תרופתית.

שאלה 2

הורמון התירוקסין T4 יחד עם ההורמון T3 מופרשים מבלוטת התריס ואחראים לתהליכי עיכול של חלבונים, שומנים ופחמימות. את ההפרשת של הורמונים אלו מווסת ההורמון TSH. אצל אדם בריא יופרש ההורמון TSH ביחס הפוך לרמות T3 ו-T4 בדם.

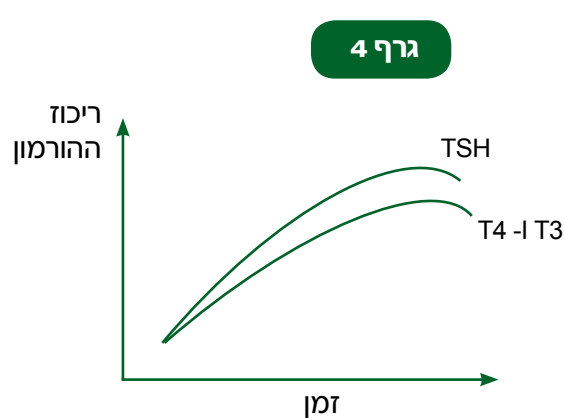
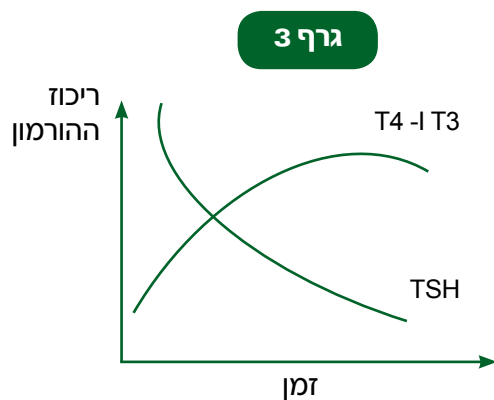
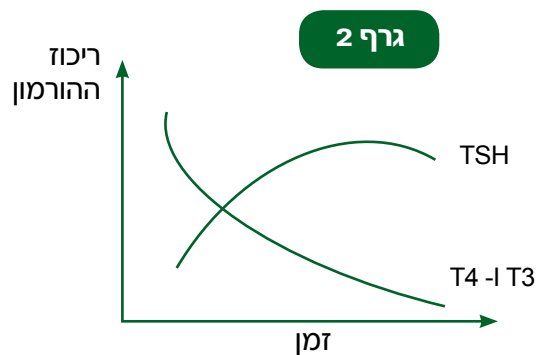
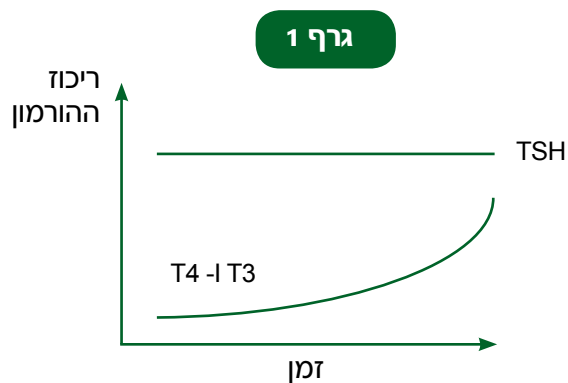


טרי-יודו טירונין (T₃)



תירוקסין (T₄)

לפניכם ארבעה גרפים:





א. איזה גרף מתאר את תפקודו של אדם בריא? הסבירו ונמקו.
ב. מה הכותרת המדויקת המתאימה לגרף שבחרתם בסעיף א:

1. ריכוז ההורמונים המופרשים
 2. הזמן כתלות בריכוז ההורמונים המופרשים
 3. ריכוז ההורמונים המופרשים כתלות בזמן.
- נמקו בחירתכם.

שאלה 3

במפעל לייצור התרופה לבעיות תפקוד בלוטת התריס החליטו לאחרונה להחליף את החומרים הנוספים שבתוך התרופה **בלי** לשנות את ריכוז החומר הפעיל, התירוקסין, וזאת כדי לקצץ בעלויות הייצור. התרופה המחודשת ניתנה לחולים בהנחה שרק החומר הפעיל בתרופה - התירוקסין - משפיע על תפקוד הגוף.

א. האם אתם תומכים בהנחה של מפעל התרופות? הסבירו ונמקו תשובתכם.

כעבור מספר חודשים דיווחו רבים מהחולים שנטלו את התרופה המחודשת, על עייפות רבה, עלייה במשקל, דיבור אטי והרגשה כללית רעה. החולים טענו שתופעות אלו נגרמו מתפקוד לקוי של התרופה.

ב. לפניכם מספר משפטים. סמנו נכון או לא נכון לגבי לכל משפט.

- התרופה המחודשת לא פעלה כראוי, בגלל שלא הכניסו מספיק חומר פעיל. נכון/לא נכון
- בתרופה המחודשת יש בעיה שנגרמת מהחומרים הנוספים שהחליפו את קודמיהם. נכון/לא נכון
- החולים מתלוננים ללא סיבה רק בגלל שהם אינם רגילים לתרופה החדשה. נכון/לא נכון
- לפעמים חומרים נוספים גורמים לירידת פעילות החומר הפעיל. נכון/לא נכון

שאלה 4

אדם הגיע לבדיקה אצל הרופא והתלונן על עלייה מוגזמת במשקל. תופעה זו יכולה לנבוע מאחת משתי סיבות: אכילה מופרזת ללא פעילות גופנית או תת-פעילות של בלוטת התריס.

א. נסחו שלוש שאלות לחולה שיסייעו לרופא להחליט מהי הסיבה האמתית.

ב. כיצד יאבחן הרופא את הבעיה ללא תשאול החולה? הסבירו.

Nitrous Oxide - $N_2O(g)$

האם זהו גז הצחוק או סם מסוכן?

הוא שינה את טיפולי השיניים מקצה לקצה, שומר על איכות הסביבה ומקל על המנוע ברכב מי אתה, גז הצחוק?

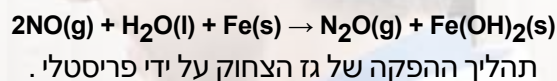
מירית צסיס, ענבל לוי ושחף נוימרק, תלמידות תיכון קציר ברחובות, יצאו למסע מפרך כדי לגלות את התשובות*

9:30 – מרפאה פרטית בפאתי רחובות

על מיטת המטופלים, מוקף בשלל מכשירים וציוד, יושב ילד קטן. למרות שהוא יודע כי הוא ניצב בפני טיפול של סתימת שיניים, הוא לא נראה מודאג. "אני מחכה למסכה" הוא מסביר בחיוך. בתוך מספר רגעים מגיעה טכנאית השיניים ומרכיבה לפניו מסכה המכסה את אפו. אל המסכה מחוברת בצינור אספקה שוטפת של חמצן יחד עם מנה מבוקרת של $N_2O(g)$. הילד נרגע, והטיפול מתחיל.

10:45 – ספריית בית הספר לכימיה

הגז $N_2O(g)$ המוכר לנו מחיי היומיום כ"גז הצחוק" – הגז המרדים בטיפולי שיניים – כלל לא יועד בתחילת השימוש בו למטרה זו.



$N_2O(g)$ התגלה לראשונה בסוף המאה ה-18 על ידי הכימאי האנגלי ג'וזף פריסטלי. פריסטלי הפיק את הגז באמצעות חימום של אמון חנקתי ובנוכחות ברזל. כך הוא יצר חנקן חמצני. את התוצרים הוא העביר דרך מים וספג את תוצרי הלוואי הרעילים.

השם "גז צחוק" נטבע לגז על-ידי הכימאי המפרי דיווי שבדק את השפעותיו של הגז על האנשים המשתמשים בו. הוא גילה שיש לגז אפקט מרדים על השואפים אותו, והוא גורם להם תופעות משעשעות.

בתחילה שימש הגז רק במופעי בידור וקרנבלים; היום לעומת זאת השפעותיו והסיכונים שבשיאיתו מוכרים למדע, ולכן

* הכתבה נכתבה על-ידי התלמידות במסגרת התחרות "יש לנו כימיה" תשע"ב וזכתה במקום ראשון.

הופסק השימוש בו בדרך זו. הדרך הידועה ביותר לשימוש ב- $N_2O(g)$ כיום היא בטיפולי השיניים – להקלת הכאבים הנלווים לטיפול ולהורדת רמת החרדה של המטופלים.

12:00 – מרפאת השיניים הקרובה לביתנו

"בהתחלה שמו לי מסכת גז על האף. אחרי כמה דקות שאלו אותי אם מדגדג לי ביד; עניתי שלא ופרצתי בצחוק. בתוך כמה רגעים פרצו בצחוק גם הרופא, האסיסטנטית ואימא שלי..."

הייתה לי תחושה מוזרה, קשה לי לתאר את זה... נשארתי באותה מציאות, אולם כל הזמן צחקתי. הרגשתי שאני לא שולטת בעצמי... לא הרגשתי פחד למרות שאני רופאי שיניים לא ממש מסתדרים... הזמן עבר, ואיני זוכרת איך... מוזר, נכון?

"יש משהו לא טבעי בשימוש בגז צחוק", מספר לנו רופא השיניים. "תגובותיהם של המשתמשים בגז הצחוק הן אטיות, מאוחרות ורגועות. לכן רוב רופאי השיניים משתמשים בגז זה במצבים שבהם המטופלים חרדים, בעיקר בילדים."

התיאור של בינת, חברתנו לכיתה, על העקירה שחוותה באמצעות השימוש בגז הצחוק, הוא התגובה הנורמלית פחות או יותר לגז זה.

"לעתים נדירות יש אנשים שלא מגיבים טוב לתגובות של גז הצחוק – בן אדם יכול להקיא, לאבד את ההכרה או להפסיק לנשום. במקרים כאלה מפסיקים את השימוש."

אז יש דרכים אחרות לטפל במטופל מפוחד, בלי שימוש בגז הצחוק? שאלנו.

"ישנם רופאי שיניים שבמקום שימוש בגז הצחוק מהפנטים את המטופלים וכך מונעים מהם את הכאב והחרדה. אך דרך זו נדירה מאוד. הם משתמשים בשיטה זו למטופלים שאינם מושפעים מגז הצחוק או מגיבים בצורה שלילית להשפעותיו. את ההיפנוזה עושים רופאי שיניים שעברו הכשרה ארוכה בנושא. שיטה זו אינה טובה במיוחד, כיוון שעם ההכשרה הממושכת שעברו, רופאי השיניים המתמחים בהפנט עלולים לגלות כי לא על כל המטופלים שיטה זו עובדת."

כל רופא שיניים המעוניין לעבוד בעזרת גז הצחוק, מחויב לעבור קורס שאורכו בין יום אחד לשלושה ימים. במהלך הקורס לומדים רופאי השיניים על העבודה בגז הצחוק, על השפעותיו ועל תופעותיו השונות של הגז. לדוגמה, רופאי השיניים לומדים כי חובה עליהם להזרים חמצן יחד עם גז הצחוק. הסיבה לכך פשוטה: בהיעדר חמצן ינשמו המטופלים גז צחוק בלבד, ולכן ימותו מחנק. בנוסף הרופא מחויב לבדוק אם המטופלים שלו מגיבים כשורה לגז.

"הגז מוזרם במשך כל זמן הטיפול", מספר לנו רופא השיניים, "הוא חייב להיות מעורבב עם חמצן במינונים של כ-60%-80% חמצן, והשאר - גז צחוק. התערובת המגיעה לאפו של המטופל מוזרמת אליו משני מכלים: חמצן ממכל אחד, וגז צחוק ממכל אחר."

באילו דרכים אתה מקבל למרפאתך את גז הצחוק? אנחנו שואלות.

"מזמינים את גז הצחוק מחברה שעוסקת בצידוד רפואי. הגז מגיע במשלוח שכולל מכל של גז צחוק ומכל חמצן, ויש מדבקה ובה כל הפרטים הנחוצים להגנה על המטופל:

תאריך הכנה, מינון וכדומה." הודינו לרופא השיניים על המידע המקיף שהעניק לנו בנושא גז הצחוק והמשכנו במסענו לחקר הגז.

13:30 - מפעל לייצור קצפת בבקבוקי תרסיס

מפתיע לגלות כי שימושו של גז הצחוק אינם מתמצים בטיפול שיניים. מפתיע עוד יותר לדעת שהוא מצוי בתוך מכלי קצפת ובתערובת האוויר

שבמנוע הרכב. כיצד ייתכן שחומר מרדים הופך לתוסף אוויר בן רגע?

מסתבר שבטמפרטורת החדר (25 מעלות צלסיוס) $N_2O(g)$ הוא חומר כמעט בלתי פעיל מגוון רחב של חומרים. כלומר, אין הוא משתנה במצבים שבהם חומרים אחרים בסביבתו באים במגע אתו. לכן אין הוא משפיע עליהם, והם אינם משפיעים עליו. בזכות תכונה זו

מרבית להשתמש בגז כחומר דוחף - אותו החומר שעוזר להעלות ולהוציא את התרסיס מהמיכל. אם כן גז הצחוק משמש גם כחומר דוחף בתרסיסים. אך כיצד הוא יכול להשפיע על המנוע במכוניות מירוץ או במטוסים? למעשה, הוספת גז הצחוק לתערובת הדלק המוכנסת למנוע, מעלה את יכולת המנוע ביחס לכמות הדלק הנצרכת. עובדה זו מיעלת את פעילות המנוע ועוזרת לנהגים.



כיצד העניין פועל?

בדרך כלל מוזרמים אל המנוע דלק ואוויר הכולל בתוכו חמצן. שילוב זה של חומר בעירה וחמצן מאפשר את תהליך הבעירה, שבזכותו ניתן להשתמש בדלק ולהפעיל את המכונית. כאשר מוזרם לתוך המנוע גז צחוק המשולב עם האוויר, מתרחש תהליך פירוק של $N_2O(g)$ לחנקן (N_2)



אישה המטופלת באמצעות גז צחוק. אל המסכה שעל אפה מוזרמים חמצן וגז צחוק בשני צינורות שונים.



מכלי קצפת. גז הצחוק נמצא בתוך הבקבוק בלחץ גבוה ומשתחרר בלחיצה תוך כדי מעבר ללחץ נמוך.

מיוחד של משרד הבריאות ותחת בקרה קפדנית. אך חוק זה נשאר בתחומי בית המרקחת, ומחוצה לו – כל אדם יכול לסחור בגז.

22:00 – חדר העבודה

אולי בגלל המצב הקשה הזה המאפשר לכל דורש לצרוך את הגז, נמשכנו לנושא. הניגוד בין חומר שעוזר בטיפול שיניים, במכונות ובמכלי קצפת, לבין חומר בעל מאפיינים שלסם שהביא למותם של אנשים – גרם לנו להתעניין בנושא ולרצות לחקור אותו. שאלנו את עצמנו אם השם הולם את הגז ורצינו לגלות מהן השפעותיו על המוח ועל המטופלים בעזרתו.

אנו מקוות כי בעתיד ייעשה שימוש מבוקר בחומר זה, והגז יוכרז כסם מסוכן המותר לשימוש רק בטיפולים רפואיים. כך עשויים להימנע אסונות רבים. ורק שאלה אחת נותרה תלויה באוויר: האם גז הצחוק באמת מצחיק?...?

מקורות

ביקור במרפאת שיניים וריאיון עם רופא שיניים (רצה להישאר אנונימי).
המרכז הרב תחומי לרפואה ורפואת שיניים, גז צחוק-ניטרוס אוקסיד.

http://www.mikadodental.co.il/laughing_gas.asp

הרשות הלאומית למלחמה בסרטן ואלכוהול, שימוש לרעה בגז צחוק (נייטרז).

<http://www.antidrug.gov.il/template/default.asp?maincat=13&catid=133>

ynet, חדשות בריאות, בעקבות מות שני הנערים: על סכנות גז הצחוק

<http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-3959603,00.html>

דבורה קצביץ, 2005, עיתון על-כימיה, גיליון 7, גז צחוק –

Nitrous Oxide $N_2O(g)$

<http://stwww.weizmann.ac.il/g-chem/iton/7/gas.html>



מנוע של רכב. מפליא עד כמה שהוספת גז צחוק לתערובת האוויר והדלק במנוע משפרת את הספקו.

ולחמצן (O_2) על פי הניסוח:
$$N_2O(g) \rightarrow 2N_2(g) + O_2(g)$$

כך כמות החמצן במנוע עולה, כיוון שהחמצן שמגיע מגז הצחוק מתווסף לחמצן שהגיע מהאוויר. תוספת החמצן מזרזת את תהליך הבעירה ומייעלת את שרפת הדלק, ולכן הספק המנוע עולה.

20:00 – מהדורת החדשות המרכזית, חדשות ערוץ 2

"שני נערים היו במסיבה ושתו אלכוהול. במסיבה היה בלון של גז צחוק, והנערים רצו להשתמש בו לאחר המסיבה. הם לקחו את הבלון אל תוך הרכב, ובמהלך הנסיעה שאפו ממנו – ונחנקו למוות".



גז הצחוק, כפי שנמכר באופן בלתי מבוקר. מתוך מהדורת החדשות, ערוץ 2.

גז הצחוק מאושר לשימוש רק כחומר הרדמה רפואי. עם זאת הוא נמכר לכל דורש, כיוון שאינו נמצא בפקודת הסמים המסוכנים. כך קרה שאותם נערים שעמדו בפני גיוס, ניסו לשאוף מעט מהגז מעט ונחנקו למוות.

מי שצורכים את הגז באופן בלתי חוקי אינם מודעים לסיכון שבשאיפה בלתי-מבוקרת ולעובדה שהוא גורם לנזק בלתי הפיך במוח. בפעולתו הגז מאט את הפעילות העצבית באמצעות חסימת תאי עצבים במוח – אלו הם קולטנים מיוחדים הקרויים NMDA. קולטנים אלה מאפשרים למוח לקיים תהליכי זיכרון, למידה ולחוש כאב.

השימוש בגז צחוק אסור במדינות רבות ברחבי העולם. גם בישראל יש מעין חוק בעניין – תיקון לתקנות הרוקחים, משנת 2006. "חוק" זה מחמיר את הייצור, היבוא והשיווק של גז הצחוק ואוסר את השימוש בו אלא על פי היתר