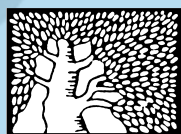


על-כימיה

גיליון מס' 24 • ניסן תשע"ד • אפריל 2014



המחלקה להוראת המדעים



המרכז הארצי
למורי הכימיה

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



מדינת ישראל
משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
אגף מדעים



מדינת ישראל
משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
אגף מדעים



המחלקה להוראת המדעים



המרכז הארצי
למורי הכימיה

מינהלת מל"מ

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



גיליון מס' 24 • ניסן תשע"ד • אפריל 2014

תוכן העניינים

3 דבר המערכת

4 דבר המפמ"ר - ד"ר דורית טייטלבוים מנהלת תחום דעת כימיה, המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך

חזית המדע

5 מחקר תאורטי בתחום הננוטריבולוגיה חיכוך וסופר-סיכוך בחומרים קשיחים - אפראח עאסי, ודועא נסאר

15 אפיון קומפלקסים של קשרי מימן בתווך דיאלקטרי - שרון קינן

מחקרים בהוראת מדעים

21 ידע של מורים ופיתוח משימות הערכה במהלך יישום תכנית הלימודים החדשה בכימיה - אורית הרשקוביץ, שירלי אברג'יל, יהודית דורי

29 תקשוב בהוראת הכימיה בישראל סקר ראשון: תוצאות והשלכות - רחל אידלמן, ד"ר שלי ליבנה וד"ר יעל שורץ

פעילויות

35 כוכב נולד - כימאים בסרטים! - אפראח עאסי

37 הכנת משחק בכימיה פרויקט סיכום בכימיה לתלמידי כיתה יוד - חני אלישע

41 יישומונים של טלפונים חכמים לשימוש בלימודי הכימיה בתיכון - רותי שטנגר

45 כימיה בין תלמידים פעילות חקר בין תלמידים - נטע שטרנשיין

48 מורים מצטיינים מטעם החברה הישראלית לכימיה לשנת תשע"ד

מעבדה

49 מים קשים-מים רכים: מעבדה מקורית בנושא כימיה של הסביבה - רחל אידלמן

כימיה של מזון

53 כימיה "על כוס קפה" - מלכה יאיון ורון בלונדר

אירועים

59 חלון לים התיכון

62 שנת הקריסטלוגרפיה הבינלאומית - מלכה יאיון ושלי ליבנה

כנסים

63 יש לנו כימיה!... בעירוני א' באשקלון - הילה עובדיה ומירה קיפניס

65 כנס תלמידים והורים בתיכון ע"ש קציר - צוות הכימיה קרית חינוך ע"ש קציר

פינת התלמידים

69 חלודה - נועה וייסמן

עורכת אחראית: 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 שורץ, קבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.

יעוץ מדעי: פרופ' אבי הופשטיין

עריכה לשונית: נדן קלברמן

גרסת אינטרנט: ד"ר שלי ליבנה

איוורים ועיצוב גרפי: זו אריאלי ומור מוריה-שיפוני

עריכה ועיצוב כריכה: מור מוריה-שיפוני

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

© 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 שבחבורת זו. שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בחבורת זו אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמוציא לאור.

דבר המערכת

המדורים בגיליון זה נשארו קבועים אך התמלאו בכתבות חדשות ומעניינות שיוכלו להעשיר אתכם המורים, לקדם את תלמידים, וכמובן - לעזור לכם בהתפתחותכם המקצועית.

במדור **"חזית המדע"** מעניין לפגוש מחקר העוסק בקשרי מימן. קשרי המימן שמוכרים לנו כל כך, נחקרים עדיין במדע העכשווי. במאמרו **"אפיון קומפלקסים של קשרי מימן בתווך דיאלקטרי"**, ד"ר שרון קינן משתף אותנו בממצאים מעבודת הדוקטורט שלו לגבי חוזקם של קשרי המימן בממסים שונים.

המדור **"מחקרים בהוראת המדעים"** מציע ממד נוסף בהתפתחותם המקצועית של מורים הנוגע ליכולתם לחבר לתכנית החדשה פרטי הערכה ברמה גבוהה. על כך תקראו במאמר **"דע של מורים ופיתוח משימות הערכה במהלך יישום תכנית הלימודים החדשה בכימיה"** שנכתב בידי **"ד"ר אורית הרשקוביץ, ד"ר שירלי אברג'יל ופרופ' יהודית דורי**.

הפעם ניכרת תרומתם של המורים מן השטח למדור **"פעילויות"**. מורים משתפים את הקוראים בפעילויות-כיתה לגיוון ההוראה, להעלאת המוטיבציה של התלמידים ולקידום מקצוע הכימיה. בפעילויות אלו מציבים את התלמידים במרכז העשייה ויוצאים מתוך שבלונת הכיתה ה"מרובעת" של מורה, לוח-גיר ותלמידים: בניית משחקים כימיים - **חני אלישע**; צילום ועריכת סרטים ע"י תלמידים - **אפרהא עאסי**; שימוש בטכנולוגיות מתקדמות כמו אפליקציות בסמרטפונים - **רותי שטנגר**; ניסויים מעניינים - **רחל אידלמן**; עידוד תלמידים לקחת חלק בתחרויות ארציות - **ד"ר הילה עובדיה**; הפעלת תלמידי י"ב כשגרירים המשווקים את תלמידי מגמת הכימיה - **נטע שטרנשיין**; גיוס בוגרי ביה"ס העוסקים בכימיה לכנס תלמידים והורים בבית ספר ע"ש קציר - **צוות הכימיה בתיכון ע"ש קציר**. לקרוא, להתענג ולאמץ!

בגיליון תמצאו התייחסות למספר אירועים: הוצאת בול לכבוד שנת הקריסטלוגרפיה הבינלאומית; הכרזה על המורים המצטיינים בכנס החברה הישראלית לכימיה; התחרות השנתית "יש לנו כימיה". ולבסוף תקראו על פתיחת המוזיאון לתרבויות הים התיכון במרסיי שבצרפת - במוזאון זה ד"ר רחל ממלוך-נעמן שלנו היא אחת מתשע הנשים מאגן הים התיכון אשר הציגו את האני מאמין שלהן.

לסיכום, מורים אשר ערכו בבתי הספר פעילויות מעניינות, כמו גם סיורים או כנסים, ורוצים לשתף את קהילת המורים, מוזמנים ליצור קשר עם המערכת בהקדם, כדי שבגיליון הבא נוכל להוציא לאור את הדברים.

בהצלחה בבחינות המתכונת ובבחינות הבגרות,

אצרכת א-כימיה



דבר המפמ"ר

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

שלום רב,

בתחילת דבריי אני רוצה לברך את ד"ר רחל ממלוק-נעמן ואת צוות המרכז הארצי למורי הכימיה במכון ויצמן למדע, על הזכייה במכרז של משרד החינוך להפעלת המרכז הארצי בשנים הקרובות.

בימים אלו, ערב פסח, אנו נמצאים לקראת סיומה של שנת הלימודים תשע"ד. כפי שפורסם [בחוזר מפמ"ר, תשע"ד](#), התחלנו השנה במהלך משמעותי לקידום ניסויים ברמה 3, במסגרת של מבנית מעבדת החקר. על מנת לעודד מורים להצטרף למהלך זה, החלטתי כי ניסוי אחד ברמה 3 יחליף 3 ניסויים ברמה 2 מלא. מעל ל-20 מורים מכל רחבי הארץ הצטרפו וקיבלו תמיכה אינטנסיבית מהמדריכה יונת שמאי. חלק מהליווי נעשה במסגר פורום אינטרנטי סגור. המורים שבחרו ליישם את רמה 3, מדווחים על למידה מעמיקה, עניין והנאה שלהם ושל תלמידיהם. בחופשת הקיץ נקיים יום עיון מיוחד להצגת הפעילות ברמה 3. כל מורי הכימיה יוזמנו לקחת חלק ביום עיון זה.

בנוסף התקיימו במהלך השנה פעילויות רבות במקצוע הכימיה. אציין חלק מהן כאן:

(1) כנסי תלמידים - שבעה כנסים התקיימו השנה ברחבי הארץ: בירושלים, ברמת גן, בקריית גת, בנתניה, בטירה, ביהוד ובאשדוד. התלמידים נהנו מאוד והפגינו ידע רב בהצגת עבודותיהם. בכל הישובים עורר הכנס הדים מקומיים רבים, תודות ליוזמי הרעיון ולמורים שהפעילו זאת בשטח!

(2) [הכנס הארצי של מורי הכימיה](#) - הכנס השנתי של מורי הכימיה התקיים השנה בשושן פורים. בכנס נכחו מדריכים, מורים ותיקים וחדשים ופרחי הוראה מהאוניברסיטאות השונות. בכנס שמענו הרצאות מעניינות מחוקרים וממורים, והוענקו מגוון פרסים: למורים מצטיינים הוענקו פרס מנדלר ופרס גרינשפון; הפרס ע"ש איטן פלד ופרס החברה הישראלית לכימיה הוענק לתלמידים על כתיבת עבודות גמר מצטיינות, ולתלמידים מהמגזר הערבי שהעפילו לשלב הגמר בכימיה - הוענק פרס עאסי. תודות לד"ר רחל ממלוק נעמן ולצוות המרכז הארצי.

(3) [פעילות בכימיה במסגרת הנושא השנתי של משרד החינוך: "האחר הוא אני"](#) - בתי ספר שבהם לומדים כימיה ברמת 5 יח"ל ואשר מבצעים את מבנית מעבדת החקר, הוזמנו להגיש בקשות למשרד החינוך, לתקצוב פעילות של הכנת קרם ידיים עם אוכלוסיות שונות. כל בית ספר שעמד בקריטריונים הנדרשים תוקצב בסך 3,000 ש"ח לצורך זה. בימים אלו יוצאות הפעילויות הללו לדרך.

(4) [תחרות הכימיה](#) - כנהוג בשנים האחרונות, גם השנה התקיימה

תחרות הכימיה. ברכות לזוכים! בימים אלו מתחילות ההכנות של קבוצת תלמידים מצטיינת לקראת האולימפיאדה הבינלאומית. הקבוצה נבחרה מתוך התלמידים שהעפילו לשלב הגמר. בקיץ ייצגו אותנו ארבעה תלמידים [באולימפיאדה הבינלאומית שתיערך ביולי בהאנוי שבוייטנאם](#). תודות לפרופ' זאב גרוס, מהפקולטה לכימיה בטכניון.

(5) ["יש לנו כימיה - כימיה, תעשייה וסביבה בראי החברה והפרט"](#) - התחרויות במסגרת הפרויקט "יש לנו כימיה" הסתיימו. בכנס הסיום הוכרזו הזוכים. ברכות לזוכים ולמוריהם! התחרות התנהלה בחמש קטגוריות שונות: הכנת כרזות, כתיבת מאמרים, צילום סרטונים, הפקת צילומים וביצוע מעבדת חקר ברמה גבוהה. לראשונה התקיימה השנה [הצבעה אינטרנטית בתחרות הצילומים](#). כל הצילומים שהעפילו לשלב הגמר, הועלו לאתר מפמ"ר כימיה והועמדו להצבעה של הקהל הרחב - תלמידים, מורים, הורים ועוד. תודות לד"ר מירי קסנר ולצוות הפרויקט.

(6) "הטובים לכימיה" - מפגשים עם כימיה בתעשיית התרופות באדיבות חברת טבע תעשיות פרמצבטיות. כימאים העובדים בחברת טבע הגיעו לבתי ספר למפגשים ולהרצאות עם תלמידים והורים. תלמידים מבתי ספר שונים הגיעו לסיור במפעל החברה וזכו לראות מקרוב את הנעשה בו.

(7) [כנס ננו-ישראל](#) - כנס ננו-ישראל הוא כנס מקצועי המיועד לעוסקים בתחום התעשייה והאקדמיה. השנה הוזמנו תלמידים ומורים לכימיה להגיע לכנס, לשמוע וללמוד על המחקר בחזית המדע. במהלך היוםיים השתתפו בכנס 200 תלמידים ומורים. זה היה מחזה המרחיב את הלב לפגוש את התלמידים והמורים בכנס, כשהם נכנסים להרצאות העוסקות בחזית המדע, מקשיבים ולומדים. תודה רבה למארגנים וליוזמים, ביניהם ד"ר רון בלונדר!

בנוסף לכל הנ"ל, ייתכן ששמעתם על הפעילויות האלה: [יום המול](#), שפיץ כימיה, [כימאי החודש](#), כימ-טק, פעילות של המחלקה לכימיה ממכון ויצמן בבית ספר בפתח תקווה ועוד. אם תרצו לדעת יותר, צרו קשר עם המדריכים והתעדכנו.

תיאירתי פה על קצה המזלג את העשייה הרחבה בהוראת הכימיה במהלך שנת תשע"ד, ועוד היד נטויה. בעזרתכם, המורים, נוכל להמשיך לפתח ולהתפתח ולקדם את המקצוע למחוזות חדשים וטובים יותר. לקראת הקיץ נכונות לנו פעילויות נוספות במסגרת השתלמויות הקיץ. אני מצפה לפגוש אתכם אישית ולראות אתכם לומדים ונהנים.

פסח כשר ושמח! פסחא שמח! חג הנביא שועיב שמח!

בהצלחה בבגרויות!

מחקר תאורטי בתחום הננוטריבולוגיה

חיכוך וסופר-סיכוך בחומרים קשיחים*

אפראח עאסי** ודועא נסאר***

הקדמה

נוזלי סיכה מסורתיים יכולים להקטין את החיכוך בעולם המאקרוסקופי, אך אינם טובים בעולם המיקרו והננו NEMS (NanoElectroMechanical Systems), כי במקרה הזה, נוזלים אלה הופכים לצמיגים. במכשירים הזעירים היחס העצום של שטח פנים לעומת הנפח מוביל לחיכוך חמור ובעיות בלאי שמקטנות באופן דרמטי את זמן החיים של המכשירים, ומהווה מכשול עיקרי המגביל את השימוש הנרחב בהם.

הפתרון המוצע ע"י חוקרים רבים כמו פרופ' עודד הוד, חוקר תאורטי מאוניברסיטת תל אביב, הוא: סופר-סיכוך (Superlubricity). סופר-סיכוך הוא מצב שבויש סיכוך מקסימלי, והחיכוך כמעט אפסי (נעלם). בפתרון זה משתמשים בחומרי סיכוך מוצקים ויבשים המראים חיכוך מינימלי. חומרים שכבתיים מהווים מועמדים מבטיחים היכולים לשמש הן כמרכיבים פעילים במערכות NEMS והן כחומרי סיכה משופרים עבור התקנים מיקרוסקופיים. ראשית נתייחס לשני מושגי יסוד בתחום:

טריבולוגיה: מדע של חיכוך, בלאי וסיכוך.

ננוטריבולוגיה: הוא ענף של הטריבולוגיה שחוקר את תופעת החיכוך בסקלה הננומטרית.

ההבחנה בין ננוטריבולוגיה וטריבולוגיה היא בעיקר בגלל מעורבות כוחות אטומיים שתפקידם בקביעת ההתנהגות הסופית של המערכת בסקלות הננומטריות הוא מכריע. בנוסף, כשמתייחסים לחיבורים של חומרים בסקלה זו, בדרך כלל יכולת ההתאמה של פני השטח היא בעלת תפקיד מכריע בהכתבת התכונות הטריבולוגיות של הממשק, כפי שנפרט בהמשך הכתבה. למרות שנדמה כי הנושא שבו מטפל המאמר הוא תאורטי, יש לו יישומים מעשיים ועכשוויים המשפיעים על חיינו.

סקירה היסטורית

1. טריבולוגיה מודרנית התחילה לפני כ-500 שנה (בשנות 1500) כאשר ליאונרדו דה וינצ'י הסיק את החוקים של תנועת גוש מלבני שמחליק על פני שטח פלנרי.
2. בשנת 1699 פרסם פיזיקאי צרפתי Guilanme Amontons תיאור רשמי ראשון של חוקי חיכוך קלסיים ומקרוסקופיים.
3. המושג "טריבולוגיה" דווח לראשונה ע"י H.B. Jost בשנת 1966. המילה נגזרת מהמילה היוונית "tribos" שמשמעותה rubbing = חיכוך.
4. שני מדענים Philip Bowden & David Tabor מאוניברסיטת קמברידג' הגדירו את החיכוך ברמה מיקרוסקופית בשנת 1970: "אטומים משני חומרים נקשרים אחד לשני ומתנגדים להחלקה כאשר שני החומרים באים במגע".
5. Jacqueline krim פיזיקאי מאוניברסיטת צפון קרוליינה הטביע את המושג "ננוטריבולוגיה" בשנת 1991, שמשמעותו תת-תחום של הטריבולוגיה, שחוקר את תופעת החיכוך בסקלה הננומטרית.



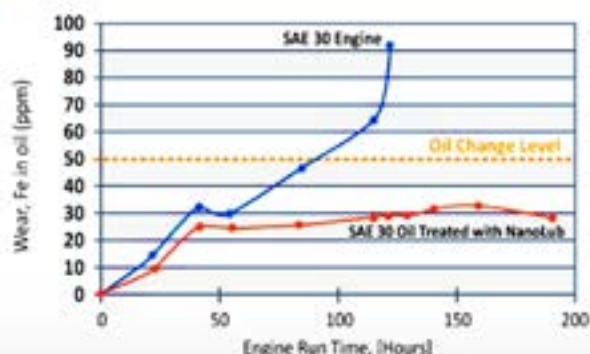
איור 1: תוסף לשמן המנוע, שמפחית את החיכוך, פיתוח של פרופ' רשף טנא ממכון ויצמן למדע

* הכתבה נכתבה במסגרת הקורס: "מבוא לחומרים וננוטכנולוגיה", בהנחיית ד"ר רון בלונדר, תכנית רוטשילד-ויצמן, מכון ויצמן למדע.

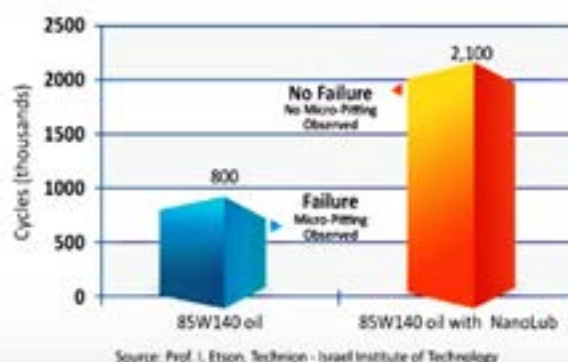
** אפראח עאסי, מורה לכימיה, בית הספר העל-יסודי אלקאסמי, באקה אלגרב'יה.

*** דועא נסאר, מורה לכימיה, בית ספר מקיף אלבטוף, כפר עראבה.

Reduction of Engine Wear by NanoLub Formulated Oil



Ball on Cylinder Test, 5.85 GPa @ 4,300 RPM



איור 2

מודל ייצוג קופסת ביצים Egg-box

במודל קופסת הביצים Egg-box, המתואר באיור 4, מוצגות מספר תמונות המתארות את ההחלקה של משטח אחד על פני משטח שני. קבועי הסריג בקופסת הביצים מייצגים את המחסום האנרגטי של ההחלקה שנגרם מדחיית Pauli הנוצרת בשל חפיפת ענני האלקטרונים של האטומים השונים בשתי השכבות הסמוכות, בזמן ששתייהן חוצות זו את זו בעת תהליך ההחלקה. תמונה a: מודל קופסת ביצים שיכול להציע הצגה פשוטה של הקשר בין החיכוך ובין מידת ההתאמה של המשטחים. תמונה b: מתארת מצב שבו שני המשטחים, קבועי הסריג, מתאימים זה לזה. תמונות c-f: אם מנסים להחליק שכבה אחת ביחס לשנייה, אז כל תאי היחידה צריכים לעבור מחסום פיזיקלי. דבר שגורם לחיכוך מקסימלי בין שני המשטחים בעת ההחלקה. חיכוך זה יגרום לבלאי!! תמונה g: מתארת מצב שבו סובבו משטח אחד ביחס לאחר, כדי ליצור מצב של אי התאמה בין קבועי הסריג. וכך, אם נרצה להחליק שכבה אחת מעל לאחרת, אז כל תאי היחידה צריכים לעבור מחסומים אנרגטיים קטנים יותר, בכל נקודה, בכל זמן ההחלקה. הדבר מקטין את ההתנגדות להחלקה ובכך מקטין את החיכוך שנוצר בין שני המשטחים בעת ההחלקה.



איור 3: הראש שקורא וכותב מידע מהדיסק הקשיח

שימושים עכשוויים

1. תעשיית הרכב - חומרי סיכוך לשליטה ברעשי הבלמים

ובבלאי שלהם ולהקטנת חיכוך פנימי במנוע. לדוגמה: פרופ' רשף טנא פיתח תוסף לשמן המנוע, להילוכים, ולמחדש (כמוצג באיור 1). התוסף מפחית את החיכוך, מפחית את זיהום האוויר, מקטין את צריכת האנרגיה ומאריך את זמן חיי המנוע. באיור 2 ניתן לראות שני גרפים המשווים בין שמן רגיל לבין שמן המכיל תוסף ננו. בגרף מצד שמאל ניתן לראות:

- קו כחול שמתאר את החיכוך כפונקציה של זמן עבודת המנוע, כאשר משתמשים בשמן רגיל ללא תוסף ננו.

- קו אדום שמתאר את החיכוך כפונקציה של זמן עבודת המנוע כאשר משתמשים בשמן שכולל תוסף ננו.

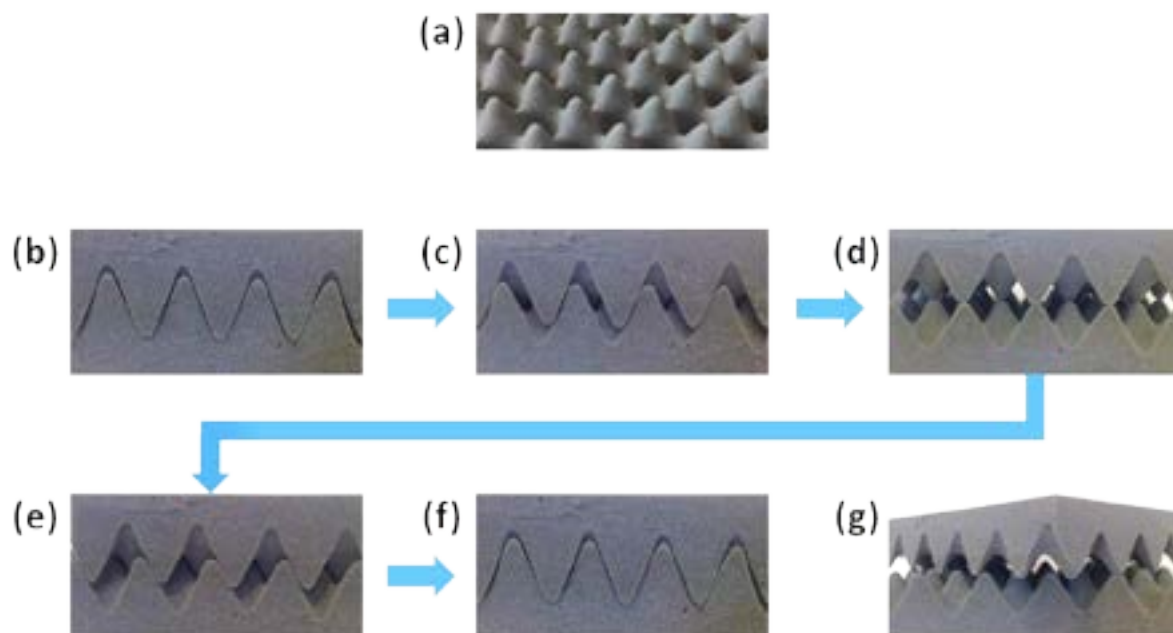
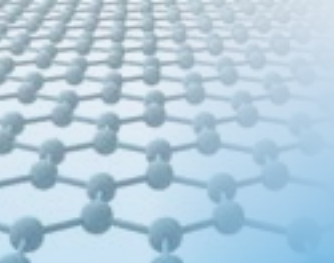
ניתן לראות ששמן שהכיל תוסף ננו הקטין את החיכוך בהרבה בהשוואה לשמן רגיל שלא הכיל תוסף ננו.

2. תעשיית אחסון נתונים - בכונן דיסק קשיח. איור 3 מציג

את הראש שקורא וכותב מידע מהדיסק הקשיח עף -100 50 ננומטר מעל פני שטח הדיסק. הדיסק מסתובב מתחת לראש במהירות של 20-100 מטר לשנייה.

3. רפואה - במערכות ביו-אלקטרו-מכניות, בסקלת המיקרו

והננו BioMEMS & BioNEMS המשמשות לאנליזה כימית וביוכימית למטרות דיאגנוזה ל-DNA, RNA, חלבונים, תאים ולהנדסת רקמות. לביו-חיישנים Bio sensors, לניתוחים.



איור 4: מודל קופסת ביצים שיכול להציע הצגה פשוטה של הקשר בין החיכוך ובין מידת ההתאמה של המשטחים.

RI - Registry Index הוא פרמטר מספרי המעוצב כדי לכמת את חוסר ההתאמה של ממשק בין שני סריגים. הוא מוגדר כפונקציית חומר ספציפית שדורשת קלט לגבי מבנה פני שטח הסריג ומצבי היערמות השכבות stacking mode בשני מצבים:

- מצב היערמות אופטימלי מבחינה אנרגטית.
- מצב היערמות גרוע ביותר מבחינה אנרגטית.

שיטות המחקר: המחקר משתמש בסימולציות אטומיות ובהגדרה של RI ומבצע חישובים תאורטיים של ה-RI כפונקציה של זווית אי ההתאמה, על מנת לבבא את התכונות הטריבולוגיות של הממשק.

RI של הגרפן

אנו נתייחס לגרפן ונתאר את מצבי היערמות והחפיפה בממשק של גרפן-גרפן. איור 5 ממחיש את ההבדל בין מצב היערמות אופטימלי ובין מצב היערמות גרוע ביותר. תמונה (a): קונפיגורציה AA, מצב היערמות הגרוע ביותר, הכי גבוה מבחינה אנרגטית, הסריגים של שתי השכבות הם במצב eclipsed. תמונה (b): קונפיגורציה Ab, מצב היערמות האופטימלי, הכי נמוך מבחינה אנרגטית; מחצית מאטומי הפחמן בשכבה אחת נמצאים מעל מרכזי המשושים של

במאמר זה אנו נסקור עבודה תאורטית חדשנית שמטרתה:

- לספק מדד כמותי למידת ההתאמה בין הסריגים בממשק שבין חומרים קשיחים.
- לקשר את הממד הכמותי לתכונות הטריבולוגיות של החיבור.

המחקר התאורטי של פרופ' עודד הוד מאוניברסיטת תל אביב חוקר את התכונות הטריבולוגיות של מגוון חומרים במבנה הקסגוני כגון: גרפן, גרפיט, בורון ניטריד הקסגוני h-BN, די סולפיד מולבידניום $2H-MoS_2$, ממשק היטרוגני בין גרפן ו-h-BN, והכללות למבנים לא מישוריים כגון ננוצינוריות DWBNNT. בעזרת חומרים הקסגוניים אלה ניתן להראות איך פרמטר גאומטרי תאורטי פשוט:

- יכול לתאר את התמונה הכוללת של אנרגיית ההחלקה בין השכבות.
- יכול לבבא התנהגות חיכוך שנמדדה באופן ניסויי של ננופתית גרפן מחליק על גבי משטח גרפיט.
- יכול לעבור הכללה כדי לטפל במערכות שאינן מישוריות כגון ננוצינוריות בורון ניטריד עם דופן כפולה: DWBNNT Double-Walled Boron-Nitrid Nano Tubes

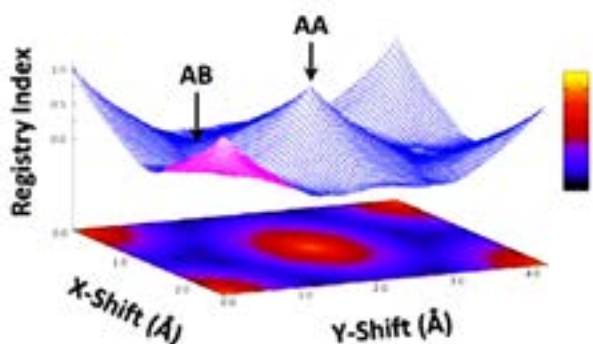
- גודל קבוע.

S_{CC}^{AB} החפיפה במצב היערמות אופטימלי - גודל קבוע.

S_{CC} החפיפה במצב היערמות מסוים - גודל מחושב (לפי משוואות חפיפת עיגולים).

RI גודל מחושב לפי המשוואה הנתונה.

פרמטר RI שמתקבל מוגבל בטווח $[0,1]$. $RI=1$ במצב היערמות הגרוע ביותר (AA). $RI=0$ במצב היערמות אופטימלי (AB). איור 6 מתאר את התמונה הכוללת של RI של החלקה בין שכבות גרפן דו-שכבתי כפונקציה של התזוזה על צירי ה-x, y. רואים שמצב היערמות אופטימלי AB נתן $RI=0$, ומצב היערמות גרוע ביותר AA נתן $RI=1$.



איור 6: מיקום מצבי היערמות AA, AB מסומן בחצים שחורים. X-Shift תזוזה של שכבה אחת על ציר ה-X ביחס לשכבה השנייה. Y-Shift תזוזה של שכבה אחת על ציר ה-Y ביחס לשכבה השנייה.

כאשר משווים את תמונת ה-RI המושגת (איור 6). לדינאמיקות מולקולריות ולחישובים של אנרגיית ההחלקה של גרפן, רואים שמודל ה-RI לוכד את כל המאפיינים הפיזיקליים החשובים של פוטנציאל ההחלקה של מערכת זו.

$$L_{CC} = 1.42 \text{ Å}$$

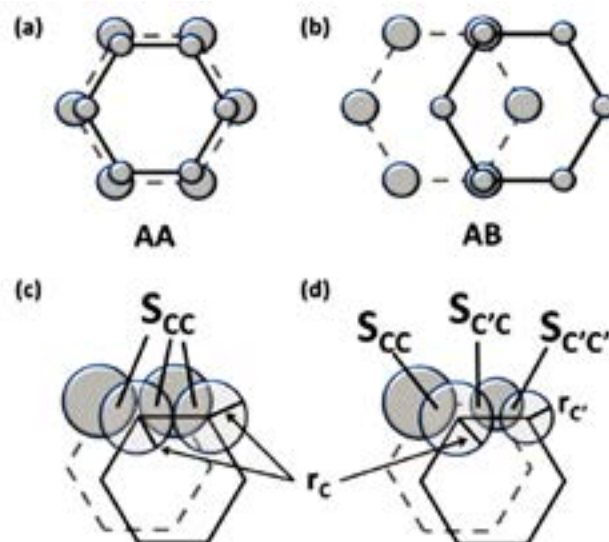
$$r_c = 0.5 \cdot L_{CC}$$

עקרונות כימיים

אפשר לתהות: איך פרמטר גאומטרי פשוט יכול לתפוס באופן מדויק את התמונה הכוללת והמורכבת של אנרגיית ההחלקה של ממשק שכבתי?

כדי להסביר זאת, יש לזכור שהתרומה העיקרית לקמטי

השכבה הסמוכה. תמונה (c): מציגה את החפיפה בגרפן דו-שכבתי. תמונה (d): מציגה את החפיפה בחומר רב-שכבתי.



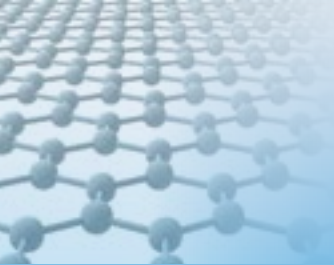
איור 5: שני מצבי היערמות השכבות stacking mode בגרפן: מצב אופטימלי (b). והגרוע ביותר (a).

העקרונות בהגדרת RI:

- כל מרכז אטומי מוקצה כמעגל
- החפיפה המוצגת בין המעגלים השייכים לשכבה האחת ועמיתיהם בשכבה הצמודה מתווגים ע"י S_{CC} .
- גודל זה מחושב באמצעות משוואות מתמטיות שמחשבות שטח חפיפה של מעגלים.
- החפיפה מקבלת ערך מקסימלי במצב היערמות הגרוע ביותר AA.
- החפיפה מקבלת ערך מינימלי במצב היערמות האופטימלי AB.
- בחרים ש-RI יהיה פרופורציוני לאזור החפיפה המוחלט: $RI \propto S_{CC}$
- נרמול ביטוי זה לערכי החפיפה במצב היערמות הגרוע ביותר S_{CC}^{AA} , ומצב היערמות האופטימלי ביותר S_{CC}^{AB} , ייתן את המשוואה:

$$RI = \frac{(S_{CC} - S_{CC}^{AB})}{(S_{CC}^{AA} - S_{CC}^{AB})}$$

S_{CC}^{AA} החפיפה המקסימלית במצב היערמות הגרוע ביותר



- מידת החפיפה המקומית של האטומים - מיוצגת בביטוי של ה-RI ע"י חפיפת האטומים המחושבת בעזרת נוסחאות מתמטיות.

גרפיט מנקודת מבט של RI

ברגע שה-RI מוגדר עבור חומר מסוים, ניתן להשתמש בו (ב-RI) כדי לשלוט בחיכוך במכשירי NEMS הבנויים מחומר זה. כדי להוכיח זאת, אנחנו נתייחס לתוצאות ניסוי חדש וניתן עדות ברורה להתרחשות סופר-סיכוך בגרפיט. החיכוך בין פתית הגרפן ומשטח הגרפיט נמדד כפונקציה של זווית אי ההתאמה misfit angle.

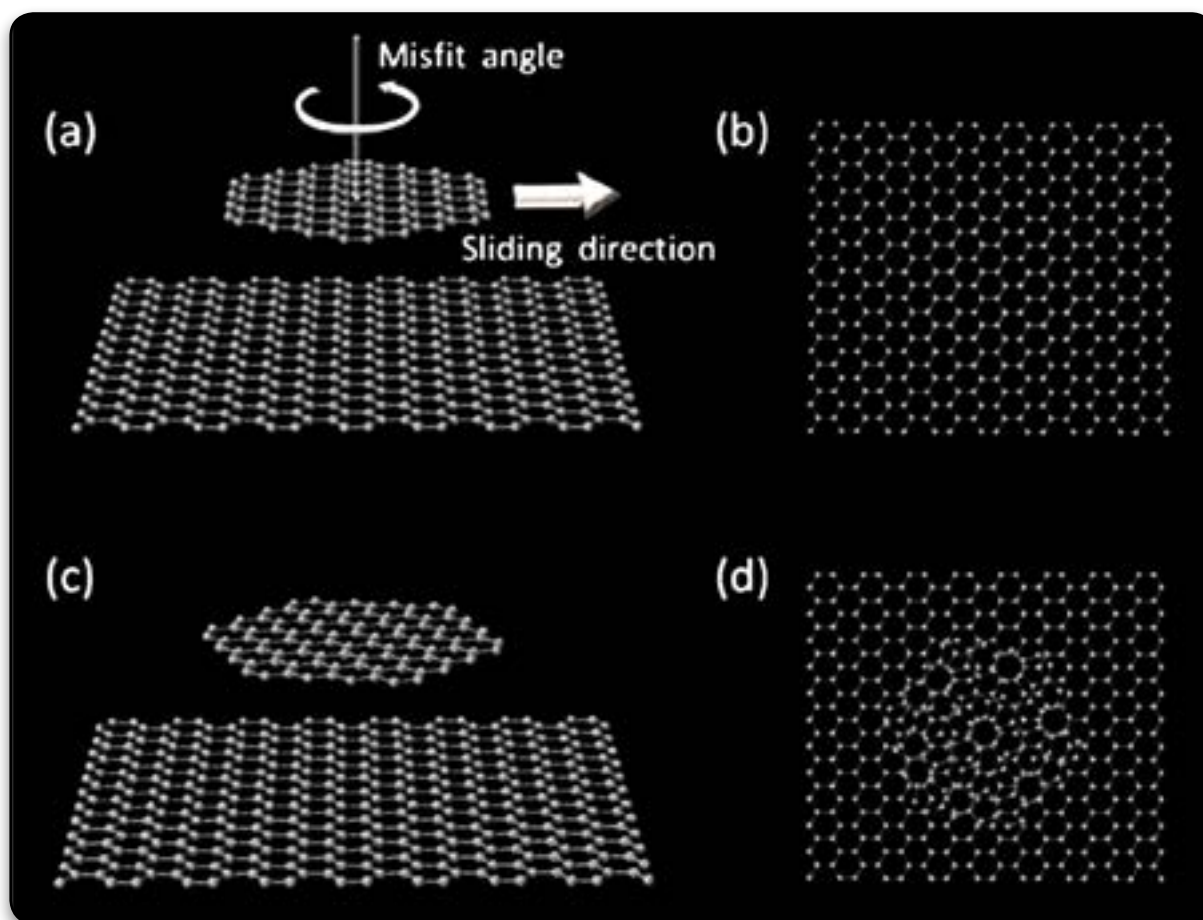
מכל האמור ניתן ללמוד את הדברים האלה:

ההחלקה מגיעה מוואריאציות דחייה בין חפיפת ענני האלקטרונים של אטומים השייכים לשתי השכבות הסמוכות כשהם חוצים זה את זה במהלך תהליך ההחלקה.

אינטראקציות אלו המקושרות בד"כ לדחיית Pauli הן בעלות טווח קצר, ולכן מספיק להתחשב בענני האלקטרונים המחוברים לאתרים אטומיים שכנים של שתי השכבות (קירוב זה מכונה קירוב השכן הקרוב).

לפיכך נדרשים שני גורמים כדי לתאר את התמונה הכוללת של אנרגיית ההחלקה:

- גודל הענן האלקטרוני של האטום - מיוצג בביטוי של ה-RI ע"י רדיוס האטום $r_c = 0.5 \cdot L_{cc}$.



איור 7: תמונות (a, b): מייצגות משטחים מתאימים, זווית 0° או 60°. תמונות (c, d): מייצגות משטחים לא מתאימים, זווית 20°. שני פרמטרים חשובים משמשים כדי לאפיין את תרחיש ההחלקה: זווית אי ההתאמה misfit angle וכיוון ההחלקה.

מסרטים גרף של RI כפונקציה של ההחלקה, אורך ההחלקה ביחידות A^0 , בזוויות שונות.

ניתן לראות השוואה באיור 8 בין:

- תוצאות מחושבות באופן תאורטי לפי משוואות של ה-RI (Calculated).

- תוצאות נמדדות באופן ניסויי של החיכוך friction (measured).

תוצאות המחקר - הוכחה מעשית לתאוריה: ניתן לראות שהתוצאות התאורטיות המחושבות של ה-RI דומות מאוד לתוצאות הניסיוניות הנמדדות של החיכוך friction. שני הגרפים נופלים האחד בדיוק מעל האחר. בזוויות 0^0 ו- 60^0

- כאשר יש התאמה בין שני הסריגים, מתרחש חיכוך מדיד.

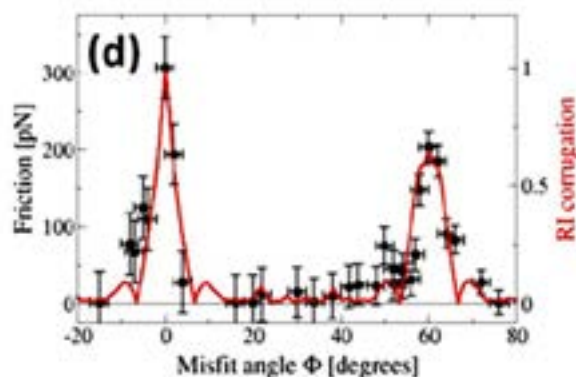
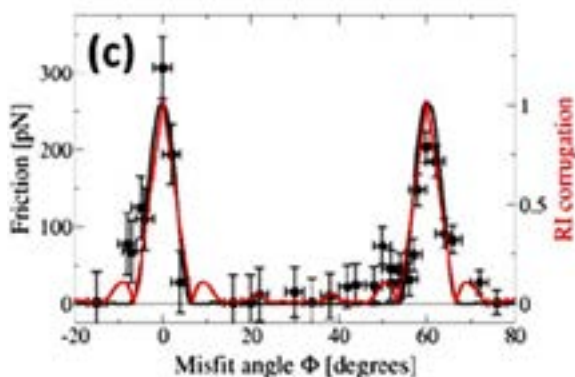
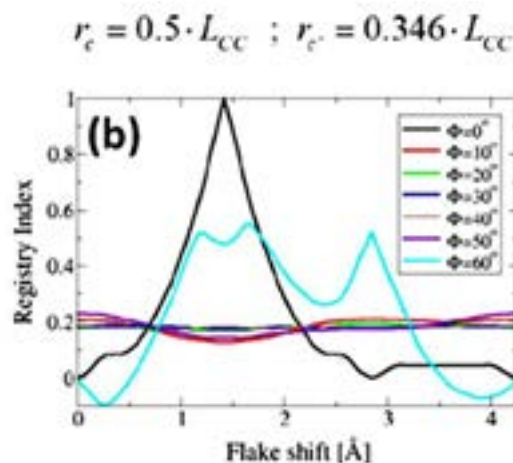
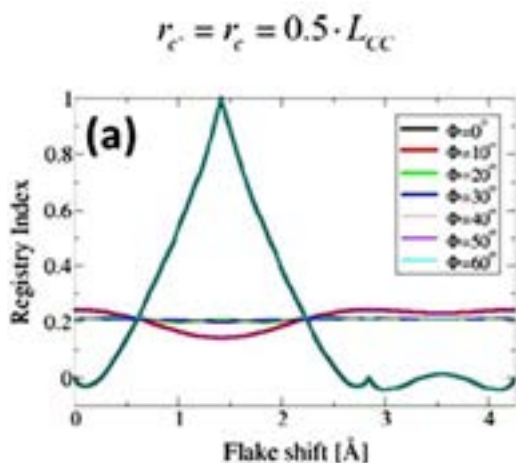
- עבור קונפיגורציות לא מתאימות, ניתן לקבל תנועה מעשית ללא חיכוך.

ניתן לראות תיאור של פתית גרפן נע על פני משטח גרפיט באיור 7.

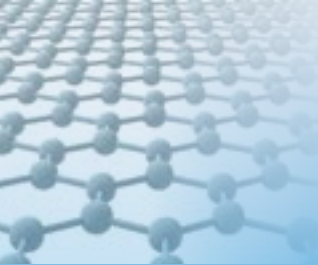
תיאור ההחלקה התאורטית

משתמשים בסימולציות אטומיות ומזיזים משטח אחד ביחס למשטח האחר, מגדירים את הזווית ואת כיוון ההחלקה ומחשבים את ה-RI לזוויות שונות. לפי המשוואה

$$RI = \frac{(S_{CC} - S_{CC}^{AB})}{(S_{CC}^{AA} - S_{CC}^{AB})}$$



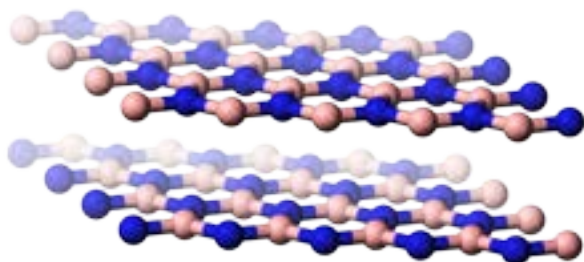
איור 8: תמונה a: מתארת את ה-RI כפונקציה של החלקת שכבה אחת של גרפן על גרפן בזוויות שונות. תמונה b: מתארת את ה-RI כפונקציה של החלקת גרפן רב-שכבתי על גרפיט בזוויות שונות. תמונה c: ציר Y שמאלי בצבע שחור מתאר את החיכוך friction, את ציר Y ימני בצבע אדום, מתאר את פרמטר Registry Index כפונקציה של זווית ההחלקה של גרפן על פני גרפן (מערכת דו-שכבתית). תמונה d: ציר Y שמאלי בצבע שחור מתאר את החיכוך friction, ציר Y ימני בצבע אדום מתאר את פרמטר Registry Index כפונקציה של זווית ההחלקה של גרפן על פני גרפיט (מערכת רב-שכבתית).



באופן תיאורטי כפונקציה של זווית ההחלקה של גרפן על פני משטח גרפיט, נופל בדיוק על הקו השחור שמתאר את החיכוך הנמדד באופן ניסויי כפונקציה של זווית ההחלקה של גרפן על פני משטח גרפיט. התוצאות המחושבות באופן תאורטי של פרמטר ה-RI, מראות שמודל ה-RI יכול לשמש ככלי פשוט, אינטואיטיבי, כמותי ויעיל לניבוי התכונות הטריבולוגיות של ממשק בסקלת הננו של חומרים שכבתיים קשיחים.

בורון ניטריד היקסגונלי h-BN

בורון ניטריד היקסגונלי, גם הוא בדומה לגרפן הוא חומר שכבתי הקסגונלי, כפי שניתן לראות באיור 9. ניתן לראות השוואה בין בורון ניטריד הקסגונלי לבין הגרפן בטבלה 1.



איור 9: בורון ניטריד היקסגונלי

סופר סיכוך superlubricity בממשק היטרוגני גרפן ו-h-BN

בין גרפן ו-h-BN, (לשני החומרים יש אותו מבנה הקסגונלי), קיים ממשק שבו יש אי התאמה קטנה 1.8%. כאשר פתית גרפן גדול מחליק על פני שטח h-BN, אי התאמה זו יכולה ליצור מצב של סופר-סיכוך שאינו תלוי בזווית אי ההתאמה

יש חיכוך מקסימלי RI=1. בזוויות 20° יש חיכוך מינימלי RI=0.

השוואה בין הניסוי המעשי ובין התאוריה

בהשוואה בין תוצאות החישוב התאורטי לבין מדידות חיכוך בין פתיתי הגרפן, ניתן להצביע על נקודות דמיון ועל הבדלים. ראשית נתייחס להבדלים: בניסוי גם פתית הגרפן וגם שטח פני הגרפיט הם רב-שכבתיים, ואילו בחישוב התאורטי מתייחסים לשכבה אחת של גרפיט (כאשר מכניסים את קירוב השכן הקרוב). בהבדל זה נובעים הבדלים נוספים - בעוד שבשכבה הרב-אטומית הסימטריה משתנה ויורדת מ-C₆ ל-C₃. קיים שוני בצורה ובנפח של ענני אלקטרוני ה-π ליד האטומים 'CC', קיים שוני בדחיית Pauli. ולכן שני הפיקים ב-0° ו-60° אינם סימטריים. בגישת ה-RI ניתן לייצג זאת ע"י רדיוס אטומי שונה, שמייצג נפח ענן אלקטרוני שונה. אם חוזרים לאיור 8 רואים שבתמונה a: $r_c = 0.5 \cdot L_{cc}$, בתמונה b: $r'_c = 0.346 \cdot L_{cc}$.

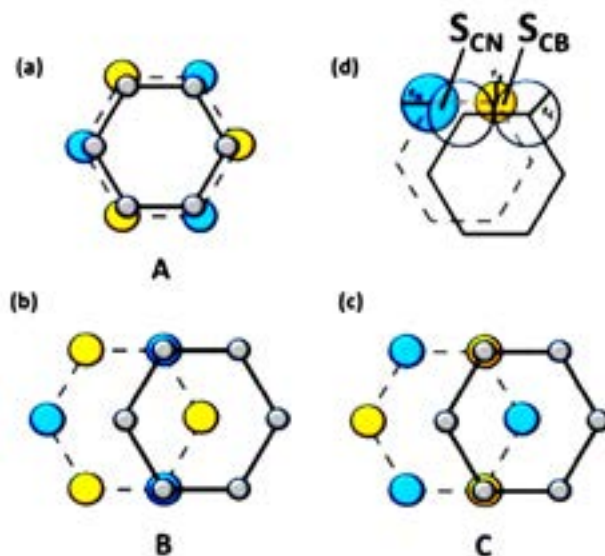
לעומת זאת בחישוב התאורטי רדיוס ונפח קטן של אטום מייצג חומר רב-שכבתי.

ניתן לראות בתמונות c, d דמיון רב בין התוצאות הנמדדות באופן ניסויי של החיכוך ובין ה-RI המחושב באופן תיאורטי. בתמונה c ניתן לראות שהקו האדום שמתאר את ה-RI המחושב באופן תיאורטי כפונקציה של זווית ההחלקה של גרפן על פני משטח גרפן, נופל בדיוק על הקו השחור שמתאר את החיכוך הנמדד באופן ניסויי כפונקציה של זווית ההחלקה של גרפן על פני משטח גרפן. בתמונה d ניתן לראות שהקו האדום שמתאר את ה-RI המחושב

טבלה 1: השוואה בין בורון ניטריד הקסגונלי לבין הגרפן

גרפן	h-BN	
דמיון	שניהם הקסגונליים - מבנה תא יחידה הקסגונלי	
	איזו אלקטרונים - מספר האלקטרונים זהה	
שוני	אלקטרו שליליות האטומים (רק פחמן)	אלקטרושליליות האטומים N ו-B שונה
	הקשר הקוולנטי לא קוטבי	הקשר הקוולנטי קוטבי
	הקונפיגורציה במצב eclipsed היא הגרועה ביותר AA	קיימת קונפיגורציית eclipsed שהיא אופטימלית AA'
	רדיוס האטומים זהה (רק פחמן)	רדיוס האטומים שונה $r_B > r_N$ בגלל צפיפות אלקטרונים גבוהה יותר על החנקן היותר אלקטרושלילי מהבורון

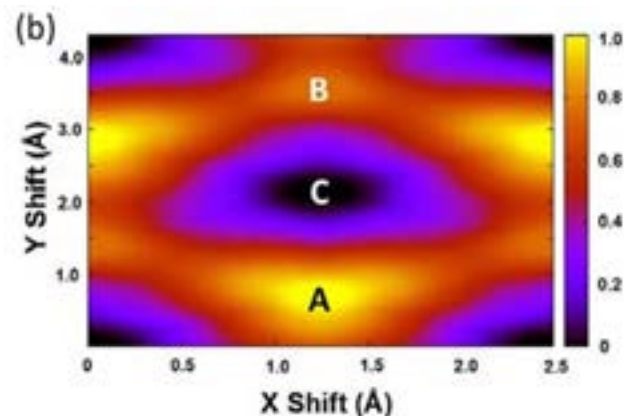
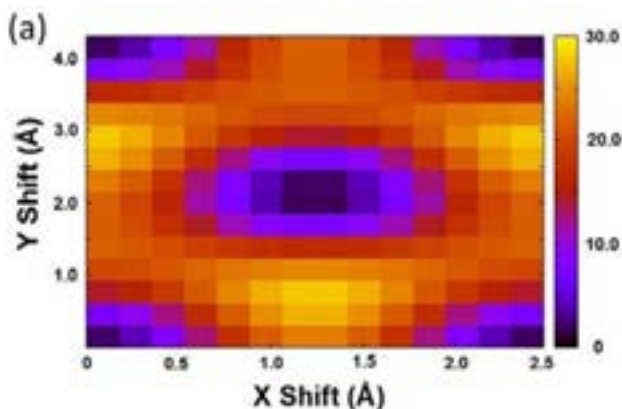
בין השכבות. ניתן לראות קונפיגורציות של מצב אופטימלי וגרוע ביותר באיור 10.



איור 10: (c): מצב אופטימלי, אטום פחמן בגרפן מעל אטום בורן ב-h-BN, אטום פחמן שני בגרפן מעל מרכז ה-h-BN - ההיקסגוני. (a): מצב גרוע ביותר, מצב eclipsed: מצב ביניים: אטום פחמן בגרפן מעל אטום חנקן ב-h-BN, אטום פחמן שני בגרפן מעל מרכז ה-h-BN - ההיקסגוני.

קוולנטי, $L_{CC} = L_{BN} = 1.43 \text{ \AA}$, $r_C > r_N > r_B$, $r_N = 0.4 \cdot L_{BN}$ - רדיוס אטום חנקן, $r_C = 0.5 \cdot L_{BN}$ - רדיוס אטום פחמן, $r_B = 0.2 \cdot L_{BN}$ - רדיוס אטום בורן, $RI \propto S_{CB} + S_{CN}$

$$RI = \frac{(S_{CB} - S_{CB}^C) + (S_{CN} - S_{CN}^C)}{(S_{CB}^A - S_{CB}^C) + (S_{CN}^A - S_{CN}^C)}$$



איור 11: תמונה a: מתארת את ה-RI כפונקציה של ההחלקה על ציר x. תמונה b: מתארת את התמונה הכוללת של אנרגיית ההחלקה של פתית גרפן מעל מחליק מעל h-BN (האנרגיה מחושבת בעזרת DFT) כפונקציה של ההחלקה על ציר x.

מצורפות שתי תמונות (איור 11) שמשוות בין ה-RI המחושב ובין האנרגיה הכוללת.

ברגע שה-RI מוגדר, ניתן לאפיין את התלות של אנרגיית ההחלקה בזווית אי ההתאמה בין שני המשטחים. עושים חישובים עבור נפחים שונים של פתית גרפן.

תמונה b: באיור 12 מתארת את ה-RI כפונקציה של זווית אי ההתאמה בין שני המשטחים:

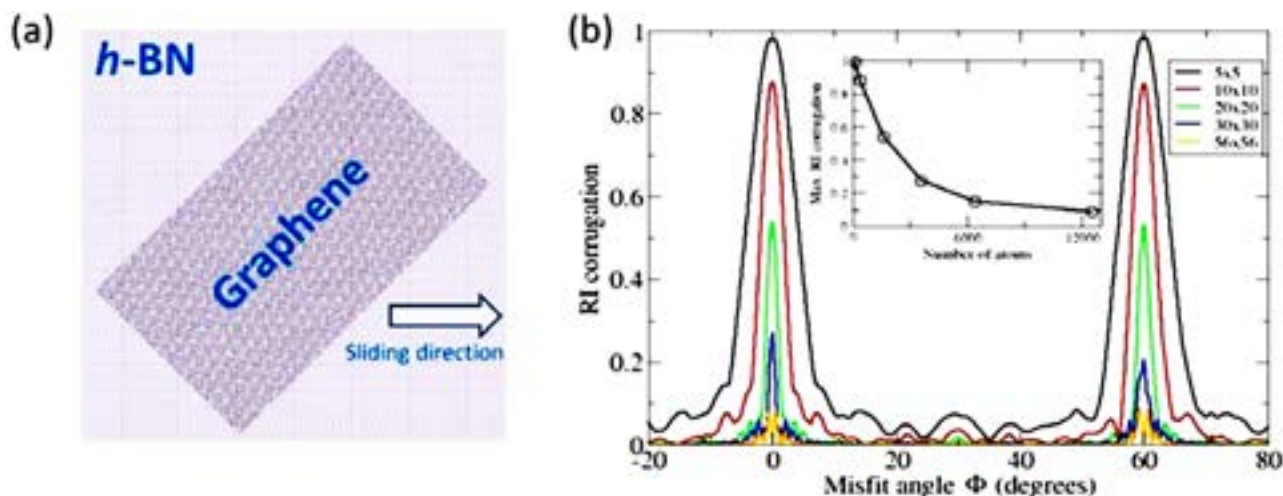
- עבור הפתית הקטן ביותר, 5x5 גרפן, מתקבל גרף דומה לגרפיט. (גרף שחור) RI=1 בזוויות 0° ו-60°
- ככל שנפח הפתית גדל (מספר אטומים בפתית גדל), ה-RI המקסימלי קטן. (הפיק יורד)
- ככל שנפח הפתית גדל, קטנה השפעת זווית אי ההתאמה על ה-RI.

תמונה a באיור 12 מתארת את זווית אי ההתאמה misfit angle = 45° בין גרפן ל-h-BN ואת כיוון ההחלקה.

סיכום

בסקירה זו הראינו כי ה-RI הוא כלי יעיל מבחינה חישובית ופשוט מבחינה מושגית לשימושים האלה:

- לכימות ההתאמה בין הסריגים בממשק שבין חומרים קשיחים ננומטריים.
- לאפיין התמונה הכוללת של אנרגיית ההחלקה שלהם.
- ה-RI יכול לתאר ולנבא עד פרטי פרטים את התנהגות



איור 12: תמונה a: מתארת את זווית אי ההתאמה $\text{misfit angle} = 45^\circ$ בין גרפן ל-h-BN ואת כיוון ההחלקה. תמונה b: מתארת את RI כפונקציה של זווית אי ההתאמה בין שני המשטחים.

הוד, ע. ננו יהלומים ואוצרות אחרים, <http://www.hayadan.org.il/nano-diamonds-240712>

Hod, O, (2012). Interlayer Commensurability and Sliding in Layered Materials, American Physical Society.

Hod, O, (2010). Quantifying the Stacking Registry Matching in Layered Materials, Israel Journal of Chemistry, 50,506-514

Hod, O, (2013). The Registry Index: A Quantitative Measure of Materials Interfacial Commensurability

www.apnano.com

איורים 4-8 ואיורים 10-12 נלקחו ממאמרים בנושא ננטריבולוגיה באדיבות פרופ' עודד הוד מאוניברסיטת תל אביב.

איורים 1 ו-2 נלקחו מאתר: <http://www.apnano.com>

Active Protection NANO materials באדיבות פרופ' רשף טנא ממכון ויצמן למדע.

תודות לפרופ' עודד הוד ופרופ' רשף טנא.

החיכוך אשר נמדדה באופן ניסויי של פתית גרפן המחליק על גבי משטח גרפיט.

ניתן לעשות הכללה ל-RI כדי שיוכל להתאים למערכות לא פלנריות השימושיות במערכות NEMS.

בעתיד רכיבים מכניים, אלקטרומכניים, מיקרוסקופיים וננוסקופיים עם דיוק חסר תקדים צפויים לחולל מהפכה בתחומים טכנולוגיים רבים, גם במכשירי קיבולת גבוהה יותר, וגם יגרמו להופעת פונקציות חדשות המסתמכות על תופעות פיזיקליות המופיעות בממדים קטנים. ולכן הבנת נושא החיכוך והתכונות הטריבולוגיות במערכות אלה חשובה ביותר. עם ההצלחה המוכחת של מושג ה-RI בתיאור התכונות הטריבולוגיות בסקלת הננו, והטווח הרחב של הרחבות אפשריות שעשויות להשפיע על מגוון תחומים כמו: קטליזה, חישה כימית, הרכבה עצמית. בתקווה שה-RI יהפוך לחלק סטנדרטי של מגוון הסימולציות בארגז הכלים הזמין למדענים בתחום הננטריבולוגיה.

מקורות

בלונדר, הוד, ע. (2011). נפלאות הגרפן, על כימיה, 18, 19-23.

הנגשת הנושא לתלמידי בית הספר

בתיאום עם עמותת "בשער", קהילה אקדמית למען החברה בישראל, שמארגנת מפגשים בין אנשים מהאקדמיה ובין תלמידי תיכון, אורגן מפגש (12.11.13) בין פרופ' עודד הוד לבין תלמידי כיתות י"א ו-י"ב בבית ספר על יסודי אלקאסמי-באקה. מטרת המפגשים הייתה לעורר ולסקרן את התלמידים, לחזק בהם את ההרגשה כי לאנשי האקדמיה אכפת מבני הנוער. מפגשים אלה מעצימים את חשיבות ההשכלה הגבוהה ואת חשיבותה כחלק טבעי ממסלול החיים של בני הנוער. ההרצאות שהועברו ע"י פרופ' הוד היו בנושא הגרפן, המבנה שלו, תכונותיו, הגילוי, שימושים ושיטות שונות לייצור-או כמו שכונתה ההרצאה "נפלאות הגרפן". פרופ' הוד התאים את הרצאותיו לקהל היעד, עניין את התלמידים ונתן להם מעבר להרחבת ידע מדעי בכימיה. הוא סיפר על המחקרים שלו בארץ ובחו"ל, על שיתוף הפעולה בינו לבין מדענים אחרים ברחבי העולם, על החשיבות שבהפצת מאמרים באנגלית, על העובדה שמדען שזוכה בפרס איג-נובל אינו מאבד את הרצון להמשיך ולקבל את הנובל במלוא הדרו, ועוד ועוד.

בסוף היום, ועם סיום ההרצאות, מנהל בית הספר, ד"ר פארס קיבלאו, והמורה לכימיה, אפרחא עאסי, הודו לפרופ' עודד הוד על הזמן היקר שהוא מקדיש בהתנדבות למען קהילה ועל מתן הרצאות לתלמידי בית הספר.



עודד הוד בבית הספר מקבל תעודת הוקרה מהמנהל ד"ר פארס קיבלאו

אפיון קומפלקסים של קשרי מימן בתווך דיאלקטרי

שרון קינן*

במחקר לאפיון קומפלקסים של קשרי מימן בתווך דיאלקטרי בוצעו מדידות של בליעה בתחום האינפורה-אדום (Infra Red) כדי לבחון את השפעתו של הממס על קורדינטת הראקציה $A-H \cdots B$ של הקשר המימני. הורכבו קומפלקסים של קשרי מימן ביחס של 1:1 בין המגיבים בתמיסות על ידי שימוש במולקולות כגון 1-נפתול (1-naphthol) ו-1-הידרוקסיפירן (1-HP) ובנגזרות ארבע פנוליות שונות (מולקולת פנול עם מתמירים שונים בעמדת פחמן 4 של הטבעת הארומטית) וכהלים אליפטיים (כהלים המורכבים משרשרות פחמימניות) תורמי קשר מימן (hydrogen bond donors) ובסיסים חלשים מקבלי קשר מימן (hydrogen bond acceptors). באמצעות ספקטרוסקופיה IR מתקבלת תדירות ויברציית המתחה O-H של תורם הפרוטון (אטום A).

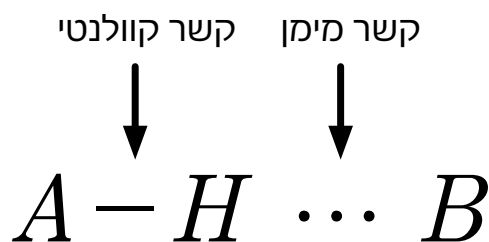
השינויים של תדירות ויברציית המתחה O-H בקשר מימן נמדדו כנגד שלושה משתנים:

1. המקדם הדיאלקטרי הסטטי של הממס (מדד לקוטביות הממס)²

2. חומציות הפרוטון בקשר הקוולנטי A-H

3. חוזק בסיסיות הבסיס, אטום B מקבל קשר המימן $B \cdots H-A$. במקביל למדידות הניסוייות התבצעה עבודה תאורטית בשיתוף פעולה עם פרופסור James T. Hynes מאוניברסיטת Colorado Boulder ופרופסור Victor Batista מאוניברסיטת Yale שבארצות הברית ונבנה מודל המסביר את השפעת המקדם הדיאלקטרי הסטטי של הממס על אופי הקשר הקוולנטי O-H ללא נוכחות

לפי הגדרתו של לינוס פאולינג [1], קשרי מימן הם קשרים של משיכה בין מימן לשני אטומים אלקטרו שליליים A ו-B. אטום המימן קשור בקשר קוולנטי לאטום A ובקשר מימן לאטום B. האטום האלקטרו שלילי B חייב להיות עם זוג אלקטרוניים שאינם קושרים או אלקטרוני p מקוטבים.



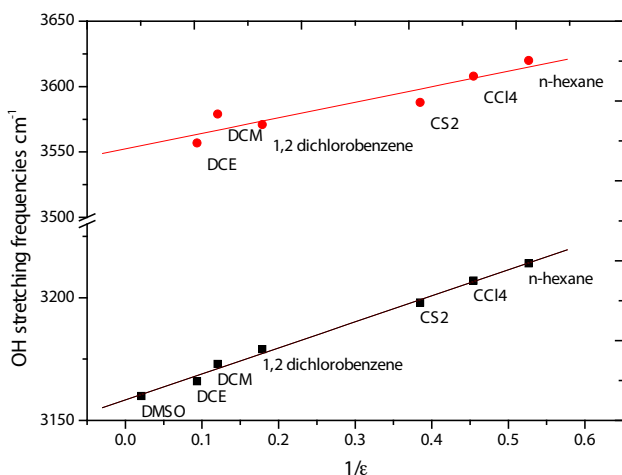
בהסתמך על הגדרתו של פאולינג אנו מלמדים בבתי הספר שקשרי מימן הם קשרים בין מימן "חשוף" מאלקטרוניים שקשור ליסוד אלקטרו שלילי (אטום A) של היסודות N, O, F לבין זוג האלקטרוניים הלא קושר של אחד מיסודות האלקטרו שליליים (אטום B) N, O, F.

חשיבותם של קשרי מימן היא מרובה. קשרי מימן הם מהאינטראקציות השכיחות ביותר בכימיה, ולהם תפקיד מרכזי בהרכבה תגובות ותהליכים כימיים. קשרי מימן משתתפים בתהליכים כימיים וביולוגיים רבים כדוגמת: תהליכי המסה בתגובות ממס מומס; תהליכי מעבר פרוטון בתגובות בין חומצה ובסיס; ייצוב של מבנים ביולוגיים גדולים כדוגמת ה-DNA וחלבונים; תגובות בין חלבונים ובקטליזות אנזימתיות.

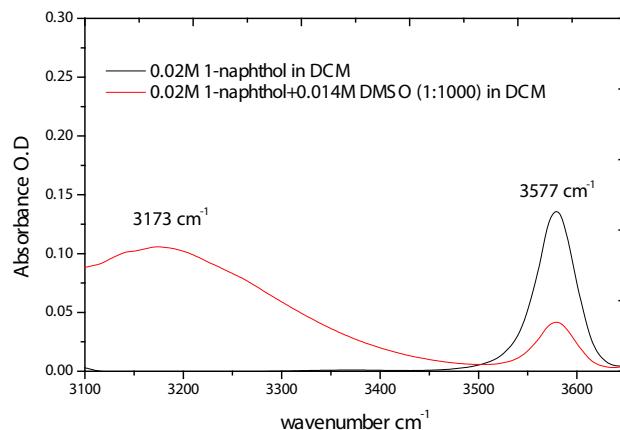
* ד"ר שרון קינן, מורה לכימיה, תיכון "אלדד" בנתניה, המאמר הוא חלק מעבודת הדוקטורט בהנחיית פרופסור אהוד פינס.

1. קורדינטת ראקציית קשר המימן: השינוי במרחקים הבין אטומיים של קומפלקס קשר המימן במהלך התקדמות התגובה.

2. מקדם דיאלקטי - גודל פיזיקלי המתאר כיצד שדה חשמלי משפיע ומושפע מתווך. הוא נקבע על פי יכולתו של חומר להתקטב בתגובה לשדה חשמלי ובכך להפחית את השדה בתוך החומר. המקדם הדיאלקטרי נתון בד"כ באופן יחסי לזה של ריק.



תרשים 2: תדירות ויברציית המתיחה O-H של 1- נפתול כנגד המקדמים הדיאלקטרים של הממסים השונים (קו אדום). בקו שחור מוצגות תדירויות ויברציית המתיחה H-O של קומפלקסים בקשר מימן ביחס של 1:1 בין 1-נפתול ודימתיל סולפוקסיד (DMSO) כנגד המקדמים הדיאלקטרים של הממסים השונים.



תרשים 1: ספקטרום בליעת אנרגיה אינפרה-אדומה של מולקולת 1- נפתול בממס דיכלורומתאן DCM (קו שחור), מתקבלת תדירות ויברציית מתיחה O-H ב 3577 cm^{-1} . בקו האדום ספקטרום הבליעה של 1-נפתול בקשר מימן לדימתיל סולפוקסיד DMSO בממס דיכלורומתאן (DCM) - מתקבלת תדירות ויברציית מתיחה O-H ב 3173 cm^{-1} .

נפתול ללא קשר מימן ובקשר מימן עם דימתיל סולפוקסיד (DMSO) למקדמים הדיאלקטרים של הממסים השונים מוצגות בתרשים 2.

מהתוצאות ניתן לראות שקיימת התאמה לינארית בין תדירויות ויברציית המתיחה O-H ב-1-נפתול ללא קשרי מימן ועם קשר מימן ל DMSO לבין המקדמים הדיאלקטריים הסטטיים של הממסים השונים.

ויברציית המתיחה O-H נמדדה בקומפלקסים של קשרי מימן ביחס של 1:1 בין נגזרות ארבע פנוליות וכהלים אליפטיים לבין מולקולת הבסיס דימתיל סולפוקסיד (DMSO). התוצאות מאשרות את ההתאמה הלינארית של תדירויות ויברציית המתיחה O-H למקדמים הדיאלקטריים של הממסים השונים.

לסיכום, יצירת קשרי מימן גורמת לירידה בקבוע הכוח של הקשר הקוולנטי בקומפלקס קשר המימן $A-H\cdots B$ וכתוצאה מכך נוצר היסט לתדירויות קשר ויברציה נמוכות יותר (כיוון אורכי גל באורך האדום) ועלייה באנרגמוניות של הפונקציה המתארת את שינוי פוטנציאל הקשר הקוולנטי.

ובנוכחות מקמפלקס בקשר מימן.

תוצאות המחקר מאפשרות את השימוש בשיטת ספקטרוסקופיה אינפרה-אדומה (FT-IR) לקביעת המקדם הדיאלקטרי המקומי במערכות ביולוגיות וכימיות מורכבות (לדוגמה: חלבונים).

תלות הבליעה במקדם הדיאלקטרי הסטטי של הממס

במידות בליעה IR של קומפלקסים המורכבים ממולקולות חומצה ובסיס בקשר מימן ביחס של 1:1 מתקבלים היסטורים ברורים של תדירות ויברציית המתיחה של הקשר A-H, לתדירויות ויברציית מתיחה נמוכות יותר ביחס ישר למקדמים הדיאלקטרים של הממסים. בתרשים 1 מוצג ספקטרום בליעה אינפרה-אדום של 1-נפתול ללא ועם קשר מימן, מתקבל היסט בתדירות ויברציית המתיחה O-H לתדירות ויברציית מתיחה עם אנרגיה נמוכה יותר כתוצאה מיצירת קשר המימן עם מולקולת הבסיס, דימתיל סולפוקסיד (DMSO) דרך אטום החמצן.

הקורלציות בין ההיסטים בתדירות הוויברציה O-H של 1-

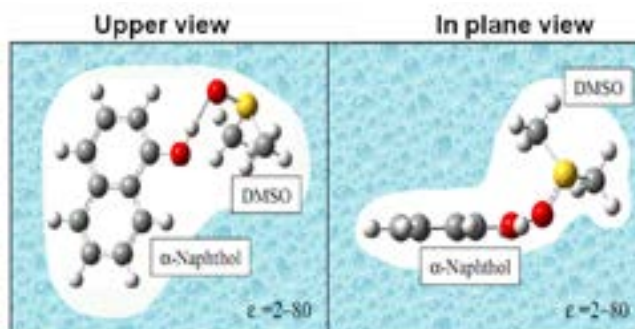
בתרשים 3 מוצג קומפלקס קשר המימן בין 1-נפתול לבסיס DMSO כפי שחושב במזעור אופטימלי לאנרגיה בפאזה הגזית (ללא ממס) מוכנס למודל חישובי עם תווך דיאלקטרי נרחב של ממסים, כולל מים ($\epsilon=80$).

בתרשים 4 מוצגות תוצאות המודלים התאורטיים אל מול תוצאות המערכות הניסיוניות. במערכות הניסיוניות ובמודלים התאורטיים קיים יחס ישר בין תדירות ויברציית המתיחה O-H של קומפלקס קשר המימן, 1-נפתול DMSO לבין המקדמים הדיאלקטריים של הממסים.

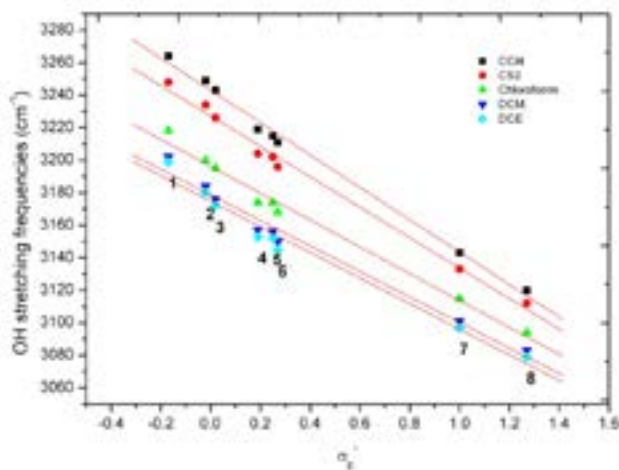
תלות הבליעה בחומציות החומצה (A-H) ובמתמרים על הטבעת הארומטית

תלות תדירות ויברציית המתיחה O-H בחומציות הפרוטון נמדדה בממסים שונים. לנגזרות של פנול עם מתמרים בעמדה 4 של הטבעת הפנולית, טווח נרחב של ערכי חומציות פרוטון O-H ובהתאמה למקדמי המט³ [2] כתוצאה מאפקט הרזוננס ("אל-איתור") של הטבעת הארומטית. ממדידות של תדירות ויברציית המתיחה

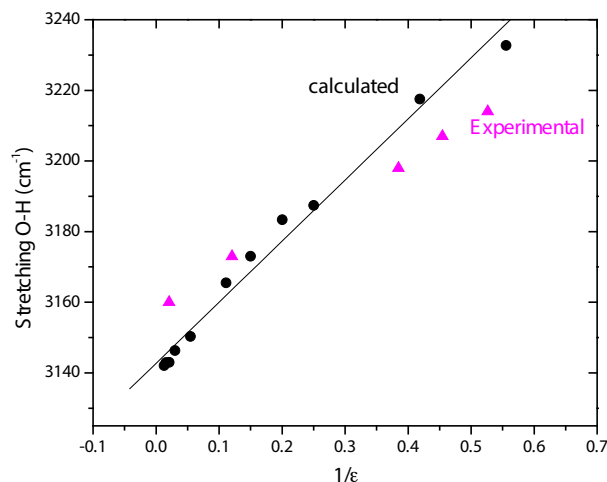
במקביל קבוצת המחקר של פרופסור Victor Batista באוניברסיטת Yale שבארצות הברית ביצעה חישובים קוונטים-מכאניים של השינויים בתדירות ויברציית המתיחה O-H לתווך דיאלקטרי במגוון רחב של ממסים.



תרשים 3: מזעור אופטימלי של אנרגיית קומפלקס קשר המימן 1-נפתול-DMSO. א. משמאל נראה קשר המימן בניצב לטבעת הארומטית (קשר מימיני עם כיוונית של 180°). ב. מימין נראה קשר המימן יחסית למישור הטבעת הארומטית.

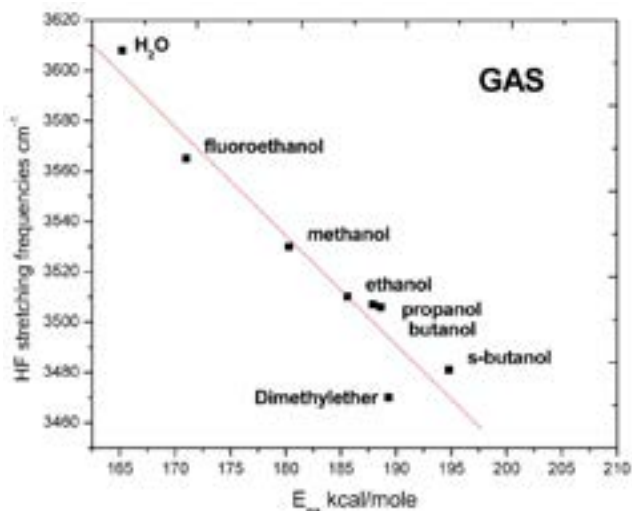


תרשים 5: תדירות ויברציית המתיחה O-H בנגזרות 4- פנוליות בקשר מימן עם דימתיל סולפוקסיד (DMSO) כנגד קבועי המט (σ_p^-) התואמים בממסים השונים.



תרשים 4: השוואה בין הערכים התאורטיים לערכים הניסויים של תדירות ויברציית המתיחה O-H בקומפלקס מימן של 1- נפתול-DMSO כנגד המקדמים הדיאלקטריים הסטטיים של הממסים השונים.

3. מקדמי המט מתארים את השפעתם של מתמרים שונים בנגזרות כגון על השינוי בקבועי הקצב ושיווי המשקל של תגובות. קבועי המט הרגילים מתארים את השפעת מתמרים שונים בנגזרות כגון לשינוי בשיווי המשקל של חומצות כחומצות שונים במים בטמפרטורה של 25°C . לפנולים עם מתמרים בעמדה 4 (עמדת פרא) ניתנו ערכים המתאימים יותר לערכי המט של חומצות כחומצות, כתוצאה מאפקט הרזוננס שנוצר דרך הטבעת הארומטית במולקולה.



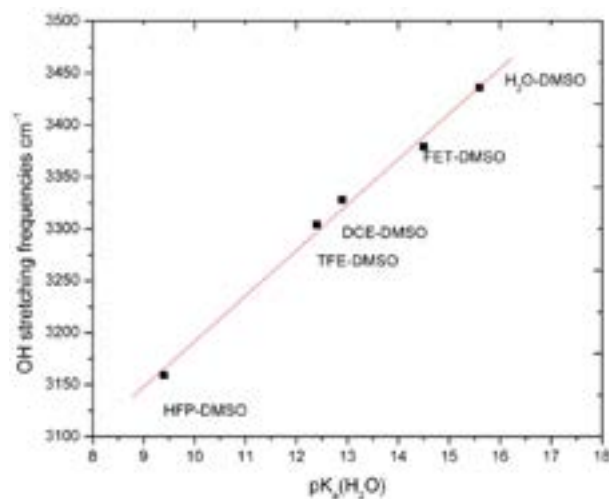
תרשים 7: תדירות קשר המתיחה H-F בקומפלקסים של קשרי מימן לבסיסים כנגד הערכים של אנרגיית הזיקה לפרוטון בפאזה הגזית [4].

H-F בקשר מימן לבסיסים השונים כנגד הערכים של אנרגיית הזיקה לפרוטון (Proton Affinity) למולקולות בסיס בפאזה הגזית.

בתרשים 8 מוצגים הערכים של תדירות ויברציית המתיחה O-H של מולקולות פנול בקשר מימן למולקולות בסיס שונות (דרך אטום O) כנגד הערכים התואמים של קבועי קמלט-טפט לחוזק בסיסיות, מתוקנים למשפחות שונות של בסיסים [3].

ערכי קמלט טפט (Kamlet-Taft) הם ערכים המתאימים את ההיסטים האופטיים שמתרחשים באינטראקציות שבין ממס למומס בקורלציות לינאריות עם מספר רב של משתנים. משתנים כגון: חוזק בסיסיות, חוזק חומציות והשפעת הממס.

מתוצאות המחקר ניתן ללמוד שהשפעת הממס על קורדינטת הראקציה O-H...O מתרחשת מצדו הקוולנטי O-H של קשר המימן וביחס ישר למקדמים הדיאלקטרים של הממס. חישובים קוונטים-מכאנים מאשרים תלות זו אף לתחום נרחב יותר של ממסים. עלייה בהשפעת הממס על קורדינטת הראקציה O-H...O של קשר המימן כתוצאה משינוי היחס בין חוזק חומציות הפרוטון



תרשים 6: תדירות ויברציית המתיחה O-H בכהלים אליפטיים ובמולקולות המים בקשר מימן לדימתיל סולפוקסיד (DMSO) כנגד קבועי חומציות הפרוטון (pK_a) התואמים במים.

O-H של הנגזרות הפנוליות ללא קשר מימני ועם קשר מימן למולקולת הבסיס DMSO כנגד קבועי המט בממסים שונים - מתקבל יחס ישר. מתוצאות הניסוי ניתן לראות שתדירות ויברציית המתיחה O-H היא לינארית לחומציות הפרוטון. תלות זו נמדדה גם במערכות של קשרי מימן בין כהלים אליפטיים (ללא טבעת ארומטית) למולקולת הבסיס DMSO.

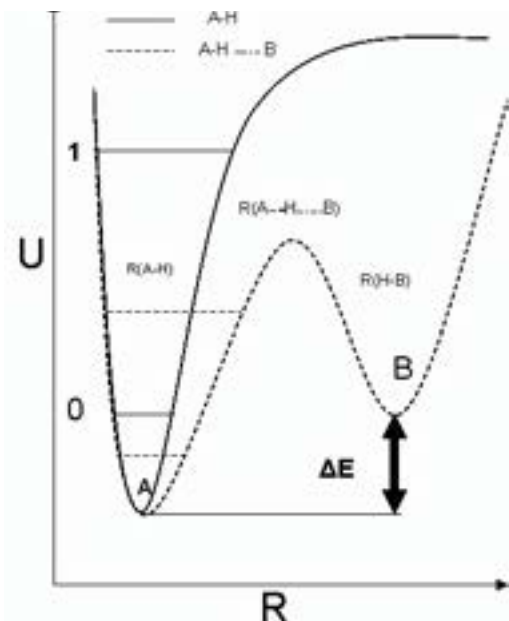
בתרשים 5 מוצגים ערכי תדירות ויברציית המתיחה O-H בנגזרות 4 פנוליות - DMSO כנגד מקדמי המט התואמים בממסים שונים.

בתרשים 6 מוצגים ערכי תדירות ויברציית המתיחה O-H בכהלים אליפטיים בקשר מימן למולקולת DMSO בהשוואה לערכי ה- pK_a התואמים במים.

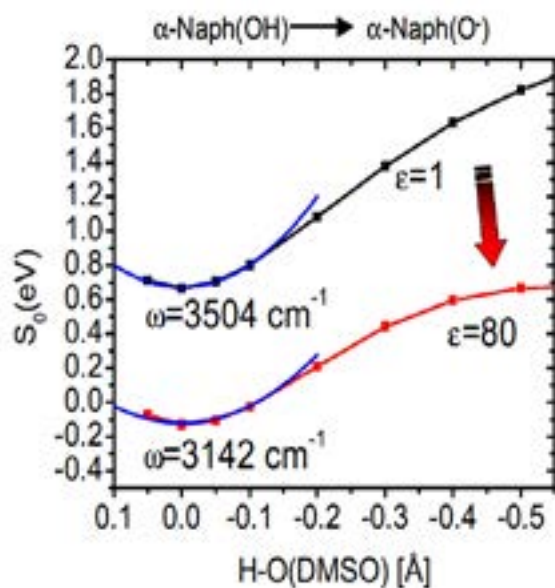
תלות הבליעה בבסיסיות הבסיס (אטום B)

תלות תדירות ויברציית המתיחה O-H F-HI בחוזק הבסיסיות נבחנה במערכות של קשרי מימן עם בסיסים מקבלי פרוטון שונים בממס פחמן ארבע-כלורי CCl₄ ובפאזה הגזית.

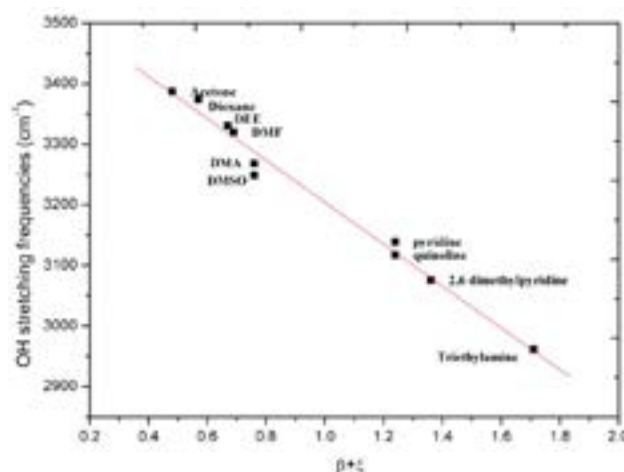
בתרשים 7 מוצגים הערכים של תדירות ויברציית המתיחה



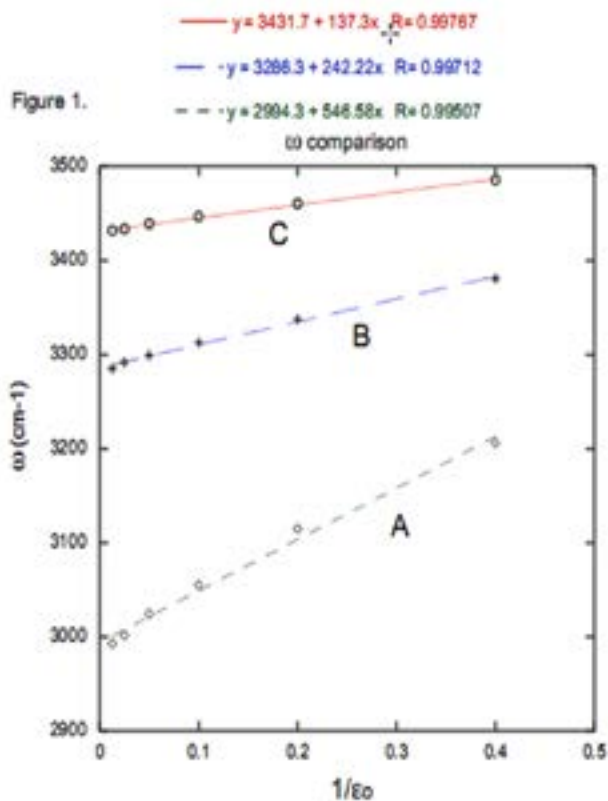
תרשים 10: פונקציית אנרגיית הפוטנציאל המתארת את מיקום הפרוטון על קורדינטת קשר המימן O-H...H בין חומצה לבסיס.



תרשים 11: מודל חישובי המתאר את השפעת המקדם הדיאלקטרי של הממס על פונקציית אנרגיית הפוטנציאל של מעבר הפרוטון במצב היסוד ממולקולה של 1-נפתול למולקולה דימתיל סולפוקסיד (DMSO) בקומפלקסים של 1-נפתול-DMSO ביחס של 1:1 במים (אדום) ובואקום (שחור).



תרשים 8: תדירויות ויברציית המתיחה O-H במולקולת פנול בקשר מימן כנגד ערכי קמלט טפט ($\beta + \epsilon$) של הבסיסים (קבועי הבסיסיות) בממס פחמן טטרה כלורי CCl_4 .

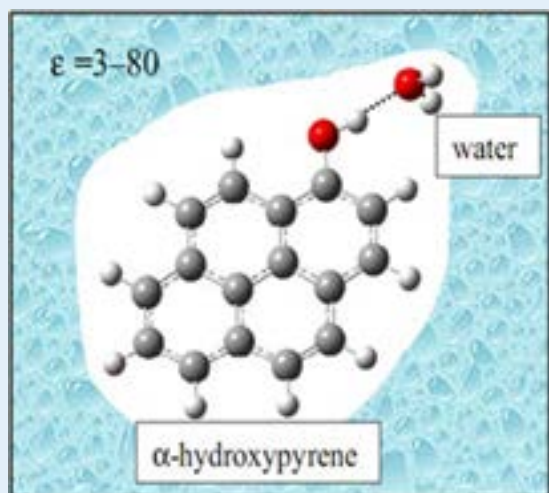


תרשים 9: חישובים תאורטיים של תדירות קשר המתיחה O-H בקומפלקסים של קשרי מימן עם ערכים שונים בהפרשי אנרגיה בין הצד הניטרלי B-A-H...B לצד הטעון של מעבר הפרוטון A-H...HB.

$A-H \cdots B$, בין שני הרכיבים קיים הפרש אנרגיה (ΔE). קוטביות (פולאריות) של הממס מייצבת את הרכיב היוני ומקטינה את המחסום האנרגטי של מעבר הפרוטון ומתקבלים הייסטים בתדירויות הוויברציה של אופן קשר המתיחה $A-H$ הגדלים ליניארית עם העלייה בפולאריות של הממס ($\epsilon/1$)

מקורות

- (1) Pauling, L. *The Nature of the Chemical Bond*; Cornell University Press: Ithaca NY, 1960; Vol. 3.
- (2) Hansch, C., Leo, A., Taft, R.W. *Chem. Rev.* **1991**, 97, 165.
- (3) Kamlet, M.J., Solomonovici, A., Taft, R.W. *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2* **1985**, 1583.
- (4) Legon, A.C., Millen, D.J., Schrems, O. *J. Chem. Soc. Faraday Trans. 2* **1979**, 75, 592



מזעור אופטימלי בעזרת חישובים קוונטים - מכאניים בפאזה הגזית של קומפלקס קשר המימן בין מולקולת 1-הידרוקספירן לבין מולקולת מים מוכנס למודל חישובי בטווח נרחב של ממסים (כולל מים, $\epsilon=80$). מתקבל קשר מימני עם כיוויות קרובה ל- 180° .

לחוזק הבסיסיות לפרוטון נתמכת בתוצאות החישוביות של Kiefer and Hynes המתארות את השינוי בתדירות ויברצית קשר המתיחה $O-H$ כנגד ערכי המקדמים הדיאלקטרים השונים, בהפרשי אנרגיה שונים בין הצד הניטרלי $A-H \cdots B$ לצד הטעון של מעבר הפרוטון $A^+ \cdots HB^-$ (תרשים 9).

פונקציית הפוטנציאל של מעבר הפרוטון מתוארת בתרשים 10 כסכום אנרגיות הפוטנציאל שחוזה הפרוטון מצדו החומצי $O-H$ ומצדו הבסיסי $H \cdots O$ כתוצאה מהשינויים במרחקים הבין אטומיים $O \cdots O$ ו- $H-O$. התחזקות קשר המימן כתוצאה מהשפעת הממס מקטינה את המחסום האנרגטי של מצב מעבר הפרוטון בין המגיב לתוצר (תרשים 11). כתוצאה מהתחזקות האינטראקציה בין הצד הניטרלי $A-H \cdots B$ לצד הטעון של מעבר הפרוטון $A^+ \cdots HB^-$ נוצר היסט בתדירות ויברצית המתיחה $O-H$ לאנרגיה נמוכה יותר, ובאופן לינארי - למקדם הדיאלקטרי סטטי של הממס (קוטביות הממס).

לסיכום, בעבודת המחקר לאפיון קומפלקסים של קשרי מימן בטווח דיאלקטרי בוצעו מדידות ניסיויות בעזרת ספקטרוסקופיה אינפרה אדומה של תדירויות הוויברציה של הקשר הקוולנטי $A-H$ של תורם הפרוטון בקשר מימני. במחקר הצלחנו לבדוד את השפעתו של הממס על הקשר המימני והתקבלו התאמות ליניאריות בין השינויים בהיסטים של תדירויות הוויברציה של אופן המתיחה של הקשר הקוולנטי $A-H$ במערכות מקושרות מימן של תורם - מקבל לבין השינויים במקדם הדיאלקטרי סטטי של הממס (קוטביות הממס). במקביל לעבודה הניסיונית נעשתה עבודה תיאורטית המאשרת ומסבירה את התוצאות הניסיויות ופותח מודל המתאר את פונקציית הפוטנציאל של הפרוטון בין המקבל (הבסיס) והתורם (החומצה). פונקציית הפוטנציאל (תרשים 10) מורכבת מרכיב טעון בעל אופי יוני $A^+ \cdots H-B^-$ ורכיב ניטרלי

ידע של מורים ופיתוח משימות הערכה במהלך יישום תכנית הלימודים החדשה בכימיה

אורית הרשקוביץ*, שירלי אברג'יל**, יהודית דורי*

רקע

לתלמידים מהווים את נקודת המוצא של הלמידה, ומהם עוברים לרעיונות המדעיים (Bennett et al., 2007).

מורים מדווחים כי למידה המבוססת על הקשרים מחיי היוםיום נחלה הצלחה בהגיעה ליותר תלמידים וגרמה להם ליותר התעניינות ומעורבות. התלמידים נהנים יותר ומרגישים חופשיים להביע את דעותיהם. הלמידה דרך הקשר לחיים האמתיים נתנה לכל התלמידים הזדמנות חדשה ושווה (Watanabe, 2007; Nues, Mebane, Scalise & Claesgens, 2007).

Gilbert (2006) מתאר ארבעה מודלים היכולים להוות בסיס ללמידה והוראה של כימיה בהקשר: 1. למידה בהקשר כיישום של מושגים לאחר שנלמדו; 2. למידה בהקשר כהדדיות בין מושגים ובין יישום; 3. למידה בהקשר באמצעות פעילות מנטלית ולמידה אישית; 4. למידה בהקשר בנסיבות חברתיות. יחידת הלימוד "טעם של כימיה" מתאימה למודל הרביעי שבו ההקשר הינו הנסיבות החברתיות. אחת הדוגמאות למודל זה על פי גילברט הינה הדאגה ההולכת וגוברת לגבי צריכה של מזון בריא למול בעיית השמנה.

למידה בהקשר של מזון היוותה את אחד מעמודי התווך של יחידת הלימוד "טעם של כימיה". לדוגמה: בנושא השומנים - חומצות השומן מסוג אומגה 3 ו-6, חומצות שומן טרנס ומקומן בתזונתנו, הדילמה בין צריכת מרגרינה לצריכת חמאה במזוננו - כל אלה היוו את הבסיס ללמידת המבנה הכימי וסוגי חומצות השומן והטריגליצרידים. למידת ההיבטים הכימיים בדרך זו הפכה היבטים אלו לרלוונטיים לתלמידים בהקשר היומיומי.

מימוניות ניתוח גרפים וטבלאות כחלק מהוראת מימוניות חשיבה גבוהה

על פי הטקסונומיה של בלום (Bloom, 1956) מחולקים כישורי החשיבה לרמה נמוכה שבה נכללים ידע והבנה, ולרמה גבוהה

המטרות המרכזיות בהוראת מדעים בעשורים האחרונים הן פיתוח אוריינות מדעית וחשיבה ברמה גבוהה בקרב התלמידים. השגת מטרות אלו אפשרית באמצעות למידה בהקשר (Gilbert, 2006) ולמידת מושגים מדעיים ותהליכים הנשענת על ניתוח בעיות מחיי היוםיום בעזרת מאמרים מדעיים מעובדים וחקרי אירוע. במקביל הוצעה הסיסמה "פחות זה יותר" ב-"Benchmark for Science Literacy" (AAAS 74 1993, p. 320; NRC, 2011) כאחד הגורמים המנחים את פיתוח הסילבוס החדש במדעים. המסר הוא שההבנה הינה משמעותית יותר כאשר התלמידים לומדים מספר מוגבל של נושאים לעומק מאשר מגוון נושאים באופן שטחי (Hofstein et al., 2005).

על רקע כל אלו פותחה תכנית הלימודים החדשה בכימיה בארץ (Barnea, dori & Hofstein, 2010). אחת המבניות החדשות שפותחו במסגרת תכנית הלימודים החדשה בכימיה היא "טעם של כימיה" שאת תהליך יישומה בשטח ליווה מחקר נרחב ושחלקו מתואר במאמר זה.

למידה מבוססת הקשר וביטוייה בתכנית הלימודים החדשה

כימאים והעוסקים במקצוע הכימיה הינם בעלי ראייה רחבה לגבי תחום דעת זה. לעומתם, מרבית התלמידים אינם מסוגלים לפתח את הקשרים הנדרשים לראייה הרחבה של המקצוע. הם אינם יודעים ואינם מגלים למה ולכן הם מתקדמים, ומרביתם שואלים לשם מה צריך לדעת זאת? לעתים חלקם נשארים עקב כך עם חוויה לא נעימה של למידה (Schwartz, 2006). בשונה מלמידה מסורתית המתחילה מרעיונות מדעיים ומהם עוברים ליישומים שלהם, בלמידה מבוססת-הקשר ההיבטים היישומיים הרלוונטיים והמוכרים

* המחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון

** אוניברסיטת מיון, ארה"ב

הכימיה. החוקרים - Russel Kozma and (2005) ממליצים כי מיומנות של אפיון וניתוח צורת ייצוג, כמו בחירת ציר בגרף, לצד מיומנויות ייצוג נוספות צריכות להוות את הליבה בתכניות לימוד העוסקות בכימיה.

חקר Herscovitz ו-Dori, Sasson, Kaberman (2004) בעבודתן משימות הדורשות מיומנויות גרפיות כחלק מתכנית של מעבדות חקר ממוחשבות בכימיה. התלמידים נבחנים בהיבטים של: ניתוח מידע וזיהוי קשרים בין משתנים, יצירת גרף המתאים לקשרים בין המשתנים, תיאור וניתוח גרף, השוואה בין גרפים והסקת מסקנות. הן מצאו כי מיומנויות אלו ניתנות לשיפור בקרב תלמידים הלומדים לפי תכנית המשלבת מיומנויות אלו כחלק מתהליך למידה מתמשך. במחקר נוסף, שגם הוא עוסק בתכנית המעבדה הממוחשבת (Dori & Sasson, 2008), נמצא כי התכנית שיפרה גם את ההבנה הכימית של התלמידים ואת יכולתם להשתמש בארבע רמות ההבנה: מאקרו, מיקרו, סמל ותהליך, וכן את המיומנויות הגרפיות. השיפור הגדול ביותר נמצא אצל תלמידים עם יכולות אקדמיות נמוכות. כמו כן נמצא כי התלמידים שיפרו את יכולתם לעבור מייצוג חזותי-גרפי לייצוג מילולי ולהפך (Dori & Sasson, 2008).

ידע של מורים והקשרו ליישום תכנית לימודים חדשה

אחד מגורמי המפתח בהצלחה של הכנסת תכניות לימודים חדשות למערכת החינוך הוא המורים. המורים נדרשים להתאים את דרכי ההוראה שלהם ותפיסותיהם לתכנים ולגישות החדשות בתכנית, ואין ספק שהצלחת התהליך תלויה במידה רבה בידע, במיומנות ובניסיון המורים כמו גם בהבנתם ובכוננתם ליישם את התכנית החדשה (Dori & Herscovitz, 2005; Fullan 2002; Fullan and Hargreaves 1992).

למידת מורים מתרחשת תוך כדי שילוב של תהליכי רפלקציה והפנמה. ליווי המורים ומעקב אחריהם תוך כדי שיחות לאורך יישומה של תכנית חדשה הם קריטיים להבנת תהליכי ההוראה וההערכה המתבצעים במהלך יישום התכנית (Clarke & Holligsworth, 2002).

Shulman (1987) הציע מודל תאורטי מקיף לידע של מורים הכולל שבע קטגוריות:

המאופיינת בכישורי חשיבה גבוהים - מיישום ואילך. הגישות החדשות בחינוך מעודדות הבנה וחשיבה ברמה גבוהה בלמידה. גישה זו רווחת במקום הגישה המסורתית שבה מיקוד ההוראה היה בהעברת ידע לתלמידים, ומהם נדרש בעיקר שינון ידע והבנה (Shepardson, 1993). חשיבה ברמה גבוהה הינה מורכבת יותר מאשר חשיבה ברמה נמוכה ודורשת פעילות קוגניטיבית מורכבת יותר. גם אם לא ניתן לזהות או להגדיר במדויק מה הן מיומנויות חשיבה ברמה גבוהה, ישנם כמה יסודות הנדרשים בביצועה: החשיבה אינה אלגוריתמית - דפוסית המחשבה והפעולה אינם ברורים ומוגדרים מראש, החשיבה מסתיימת לעתים בפתרונות מרובים שלכל אחד מהם יתרונות וחסרונות אך לא קיים פתרון יחיד וברור (Resnick, 1987).

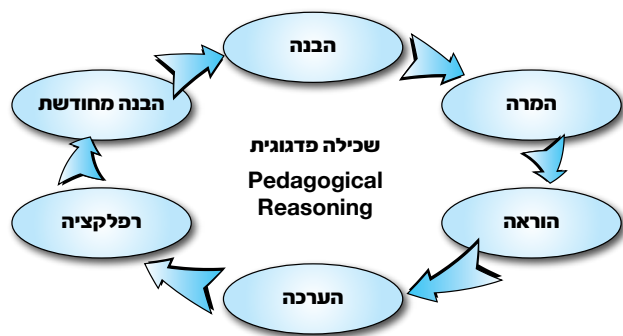
Dori ו-Zohar (2003) פירטו פעילויות קוגניטיביות נוספות המסווגות כרמה גבוהה: בניית טיעונים, שאלת שאלות חקר, עריכת השוואות, פתרון בעיות מורכבות שאינן אלגוריתמיות, התמודדות עם סתירות ומחלוקות וזיהוי הנחות חבויות. רוב כישורי החקר המדעי הקלאסי כמו ניסוח השערות, תכנון ניסויים או הסקת מסקנות יכולים להיות מסווגים גם ככישורי חשיבה ברמה גבוהה. Zoller (1993) מתייחס לפיתוח כישורי חשיבה ברמה גבוהה כאחת המטרות החשובות בחינוך ובהוראה. מיומנות חשיבה ברמה גבוהה הכוללת הסקה, חשיבה ביקורתית, פתרון בעיות ויכולת קבלת החלטות הינן חשובות לא רק בתוכן ובתהליך ספציפי אלא גם בהקשר מדעי בין-תחומי כמו STS.

מיומנויות החשיבה ברמה גבוהה הבאות לידי ביטוי ביחידת "טעם של כימיה" הן: ניתוח מידע מדעי מטבלאות וגרפים ויישומם בפתרון בעיות, מעברים בין ייצוגי מידע, שאלת שאלות, ניתוח אירוע, הנמקה וחשיבה ביקורתית.

בהוראת המדעים שימוש בטבלאות ובגרפים הינו דבר הכרחי על מנת לבצע חקר וניתוח של מידע, אך התהליך התפיסתי הכרוך בכך מלווה בקשיים כאשר התלמידים מתבקשים להסיק מסקנות כלליות שהן מעבר לרמת ההבנה הבסיסית (BeBengston, 1999). השימוש בגרפים מהווה דוגמה לשילוב סמלים וליכולת ייצוג חזותית. עקב הקשר הישיר בין ההבנה של תהליכים כימיים לבין הייצוג החזותי שלהם, ניתן להתייחס אליהם כאל ויזואליזציה שיש לה תפקיד מרכזי בהתפתחות הבנת



1. רצף זה מתחיל בהבנת התוכן של מבנה המקצוע ועובר לשלב ההמרה של התכנים לפעילויות הוראה. שלב זה ייחודי למורים, והוא כולל הכנה, ביאור וניתוח ביקורתי של התוכן, הצגת הרעיונות שנבחרו באמצעות דוגמאות והמחשבות ובחירת שיטת הוראה מתאימה. השלב הבא הוא שלב ההוראה המתבטא ביחסי הגומלין בין המורה לתלמידיו ולאחריו שלב הערכה - הן של הבנת התלמידים והן של ניתוח הפעילות ההוראתית של המורה עצמו. שלב זה מוביל לשלב הרפלקציה הכרוך בניתוח ביקורתי וחשיבה מושכלת על מהלך השיעור. Shulman מייחס חשיבות רבה לשלב זה, המוביל לשלב ההבנה המחודשת של תוכני ההוראה, מטרות ההוראה, תהליכי ההוראה והלמידה.



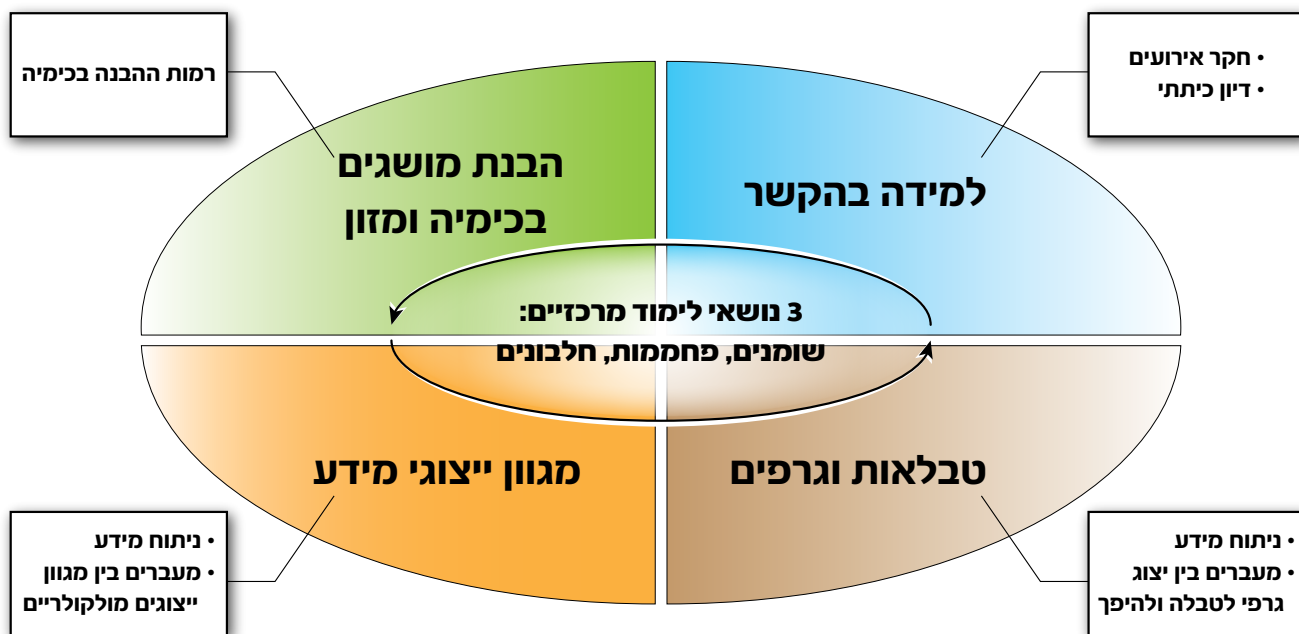
איור 1: תהליך פיתוח ידע תוכן פדגוגי - PCK של מורים

לאורך השנים הורחב המודל של שולמן ונבדק במחקרים רבים. באחד מהם, Magnusson, Krajcik and Borko (1999), הציעו הבנה מחודשת וממוקדת של PCK בהוראת מדעים שכוללת בין היתר גם ידע של שיטות הערכה במדעים.

בתכנית הלימודים החדשה בכימיה על המורים להרחיב את ידע התוכן הפדגוגי שלהם. מעבר לקושי הכרוך בהוראת כימיה - הכוללת מושגים מופשטים רבים והדורשת לקשר בין רמות ההבנה השונות (מקרוסקופית, מיקרוסקופית, סמל ותהליך) - על המורים להתמודד עם קישורים לחי-היום-יום ועם הרחבת הידע בהתאם, עם שילוב מאמרים מעובדים וחקרי אירוע ועם הוראת מגוון מימוניות חשיבה ובעיקר ייצוגי מידע (מולקולריים, טבלאות, גרפים) ומעברים בניהם. הרחבת הידע התוכני והידע בתחום גישות הוראה מתאימות מוצגת ומטופלת בדרך כלל במסגרות שונות של השתלמות מורים. עם זאת הידע של הערכת תלמידים בהתאם להדגשים בתכנית החדשה מורכב

1. ידע תוכני (CK-content knowledge) - ידע התכנים הדיסציפלינריים בתחום מקצוע ההוראה.
2. ידע של עקרונות פדגוגיים כלליים (PK-pedagogical knowledge) - ידע של תאוריות למידה, עקרונות של הצגת תכנים, שיטות לניהול כיתה.
3. ידע על תכניות לימודים (curriculum knowledge) - ידע והכרה של תכניות לימודים וחומרי לימוד המתייחסים לנושאי ההוראה.
4. ידע תוכן פדגוגי (PCK - pedagogical content knowledge) - שילוב של תוכן ופדגוגיה המאפיין את ההבנה המקצועית של המורים.
5. ידע על הלומדים (knowledge of learners) - ידע על המאפיינים הקוגניטיביים של הלומדים, על היבטים התפתחותיים של יכולת הלמידה, על תהליכי למידה וקשיי למידה.
6. ידע של הקשר החינוכי (knowledge of educational context) - תחום ידע הקשור בהיכרות עם מסגרות חינוכיות מסוגים שונים וברמות שונות, החל מעבודה בקבוצות קטנות ועד הכרה של מערכת החינוך הכללית.
7. ידע של יעדי החינוך (knowledge of educational ends) - ידע של יעדים, מטרות, ערכים והרקע ההיסטורי והפילוסופי שלהם.

ידע תוכן פדגוגי הוא ייחודי למורים ומבדיל אותם ממומחים אחרים במקצוע. ידע זה הינו מזיגה של תכנים, נושאים ומושגים מרכזיים במקצוע ושל מיומנות פדגוגית בבחירת שיטות הוראה מתאימות להצגת התוכן לתלמידים ושל הבנת הקשיים הצפויים בתחום. ידע זה הינו מהות ההוראה, והוא כרוך במעבר ממצב שבו המורים לומדים ומבינים את הנושא בעצמם למצב שבו הם מלמדים אותו. לשם כך עליהם להיות מסוגלים להסביר את הנושא במספר דרכים, לארגן אותו, לצרף לו פעילויות, המחשבות, דוגמאות ותרגילים מתאימים ולהציג לתלמידים כך שיוכלו להבינו. תהליך המרה זה של תכנים למטרות ופעילויות הוראה מכונה ע"י Shulman שכילה פדגוגית (pedagogical reasoning). תהליך השכילה הפדגוגית הינו תהליך אינטלקטואלי המאופיין על-ידי רצף מעגלי של שישה שלבים כמתואר באיור



איור 2: מבנה יחידת הלימוד "טעם של כימיה"

הרבה יותר.

אין ספק כי שינוי מערכתי בתכנית לימודים דורש יותר מאספקת חומרי לימוד למורים. ישנו צורך בליווי ותמיכה מתמשכים למורים, תחילה על-ידי מפתחי התכנית השונות, ובהמשך על-ידי המדריכים בשטח (Robhird, Kruse & Kern, 2007).

סביבת המחקר, מטרות, כלי מחקר ואוכלוסיית המחקר

יחידת הלימוד "טעם של כימיה" משלבת הכרת מושגים בסיסיים בתחום המזון, יישומם בידע אשר נרכש בלימודי הכימיה, עם מגוון מיומנויות חשיבה בדגש של מעברים בין ייצוגי מידע. באיור 2 מוצגים ארבעת עמודי התווך של יחידת הלימוד - למידה בהקשר, הבנת מושגים, טבלאות וגרפים ומגוון ייצוגי מידע מולקולריים - ויישומם בתכנית.

הוראת יחידת הלימוד על כל ארבעת מרכיביה היוותה שינוי בדרך ההוראה ובדרך ההערכה שהיו נהוגות עד כה.

אחת ממטרות המחקר הייתה: לחקור כיצד פיתחו המורים ידע בהערכת מיומנויות החשיבה המרכזיות ביחידה: ניתוח

מידע מגרפים וטבלאות, מעברים בין ייצוגי מידע ובין רמות ההבנה בכימיה.

במחקר השתתפו שמונה מורים בעלי רקע וניסיון מגוון בהוראת כימיה (5-15 שנות ותק).

כלי המחקר כללו ריאיונות חצי מובנים עם המורים, תצפיות בכיתות וניתוח משימות הערכה שחיברו המורים במהלך השתלמויות מקדימות ליישום יחידת הלימוד בכיתה ובמהלך הוראתה.

ממצאים ודיון

כל המורים אשר השתתפו במחקר היו מודעים לצורך להעריך את התלמידים בהתאם למאפייני תכנית הלימודים החדשה בכלל ויחידת הלימוד טעם של כימיה בפרט והביעו זאת בריאיונות ובמפגשי ההשתלמות. כפי שציינה אחת המורות: *צריך להעריך את התלמידים לפי מה שלימדנו, אם מלמדים רמות הבנה בכימיה ומיומנויות חשיבה שונות, השאלות צריכות להיות מותאמות לכך, וגם כבר לא צריך לשאול שאלות תאורטיות בלבד אלא כאלו שקולות במבחן.*

1. המחקר המתואר במאמר זה הינו חלק ממחקר מקיף שערכה ד"ר שירלי אברג'יל במסגרת עבודת הדוקטורט (בשנים 2006-2011) בהנחיית פרופ' יהודית דורי וד"ר אורית הרשקוביץ במחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון



שאלה שחברה לקראת סיום הוראת הנושא

לפניך נוסחת המבנה של חומצה פלמיטית:



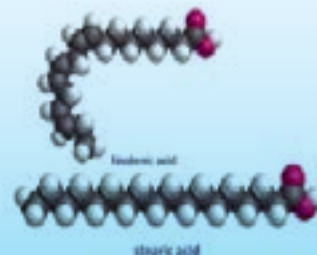
א. רשום את התגובה הכימית של חומצה זו עם גליצרול $\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}_2(\text{OH})$ ליצירת טריגליצריד.

ב. הסבר את התהליך שהתרחש בתגובה שתיארת בסעיף א'.

שאלה שחברה בסיום ההשתלמות

בהתייחס למודל כדור-מקל של שתי חומצות השומן הבאות:

א. איזה מודל מייצג חומצת שומן רוויה ואיזה מודל מייצג חומצת שומן לא-רוויה?
ב. מה ההבדל בין שני המבנים?



איור 3: חיבור משימות הערכה - דוגמה 1

חיבור משימות הערכה הינו תהליך מתמשך הכרוך בהתפתחות ידע המורים המתחיל עם הכרת התכנית החדשה ויחידת הלימוד במסגרת השתלמות מורים וגמשך עם יישום הוראת היחידה בפועל בכיתה. כדוגמה לתהליך זה מוצגות באיורים 3 ו-4 ארבע משימות הערכה שפותחו על-ידי שני מורים לפני תחילת הוראת היחידה בכיתה ולקראת סיומה בנושא שומנים.

בהתייחס לשלושת הקריטריונים המרכזיים בהערכת תלמידים בתכנית החדשה: תוכן, מיומנויות והקשר, ניתן לראות כי שתי המשימות שחיברה אחת המורות (איור 3) מתמקדות ברמת הסמל (מבנה חומצות שומן). בשאלה שחברה לקראת סיום הוראת היחידה (השאלה בצד שמאל של האיור) נדרשו התלמידים לענות גם ברמת התהליך ולשלב הסבר של התגובה. כעת השאלה שחברה דורשת מהתלמידים רמת חשיבה גבוהה יותר, וניתן לראות כי יש התפתחות מבחינת התאמת ההערכה למיומנויות הנדרשות ביחידה.

הדוגמה המוצגת באיור 4 הינה של מורה אשר חיברה אף היא, לפני הוראת היחידה, שאלה לתלמידים המבוססת על ידע תוכן ברמת הסמל בלבד. לקראת סיום הוראת היחידה חיברה המורה שאלה מורכבת המשלבת בין ידע כימי לבין הקשר למזון ובשילוב של מיומנות של הבנת גרף. סעיף א'

מורה נוספת הדגישה כי יש צורך במאגר שאלות ומשימות לתלמידים כדי שתוכל להשתמש בהן לתרגול נוסף ולמבחנים, מתוך הבנה כי שיטת ההוראה כעת מדגישה יותר מבעבר הוראה הדורשת מיומנויות חשיבה ברמה גבוהה, ולכן נדרשות משימות המעריכות מיומנויות אלו.

אחת המורות אשר התמודדה עם שילוב מיומנויות גרפיות בהערכת התלמידים ציינה: *תחילה חשבתי כי התלמידים יוכלו להתמודד עם ניתוח טבלאות נתונים והמרתם לייצוג גרפי מתאים. נלכחתי אצות שזה לא בהכרח המצב... לכן הקדשתי זמן להסבר כיצד לנתח נתונים מטבלה ולהמיר אותה לגרף מתאים וטבלתי מיומנות זו במבחן.*

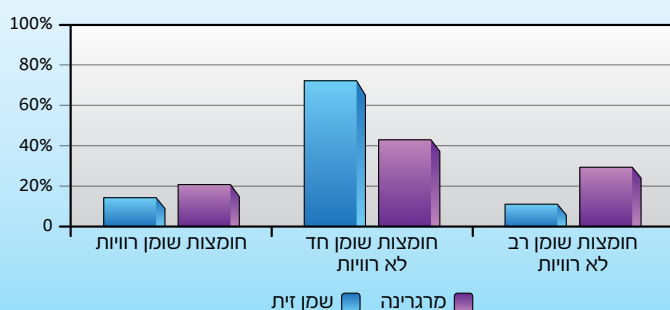
הנושא של חיבור שאלות חדשות יושם בדרכים שונות בקרב המורים. לדוגמה, שני מורים מלמדים באותו בית-ספר (דבר אשר הקל עליהם לחבר משימות חדשות לתלמידים ביחד) ציינו: *חיברנו שאלות חדשות על-ידי צירוף של שאלות קיימות שונות, שינינו נתונים ויצרנו כך שאלות חדשות. מורה נוספת, בעלת ניסיון בפיתוח חומרי לימוד לתכנית החדשה, חיברה שאלות חדשות לתלמידים וציינה: נהניתי לחבר שאלות חדשות, המשלבות ידע בתחום התוכן בכימיה עם מיומנויות חשיבה, כי זה מכריח סוף-סוף את התלמידים לחשוב ולא רק לזכור נתונים.*

שאלה שחברה לקראת סיום הוראת הנושא

לפניך גרף המייצג את הרכב חומצות השומן בשמן זית ובמרגרינה.

א. בהתייחס לגרף ציין לפחות שתי מסקנות לגבי ההבדל בין שמן זית למרגרינה והסבר אותם ברמת המאקרו והמיקרו.

ב. מה עדיף לצריכה בתזונה היומית: שמן זית או מרגרינה? נמק בהתייחס להסברים שנתת בסעיף א'.



איור 4: חיבור משימות הערכה - דוגמה 2

שאלה שחברה בסיום ההשתלמות

בהתייחס לתהליך שבו חומצת השומן

C16:1ω9 הופכת לחומצת השומן

C16:0

א. רשום את התהליך באמצעות

נוסחאות מבנה.

ב. כיצד נקרא התהליך שניסחת בסעיף א'?

גרפים וטבלאות בהקשר של מזון.

ההיבט המורכב ביותר היה הצורך להתאים את הערכת התלמידים לתכנית החדשה, שבה עולה הצורך בשלב ראשון לאתר ובהמשך לחבר באופן עצמאי משימות הערכה הנותנות ביטוי לכל המרכיבים בגישת ההוראה החדשה בתכנית הלימודים.

משלב הבנת גרף עם הקשר למזון (נתונים לגבי שמן זית ומרגרינה) ויישומם בשתי רמות הבנה בכימיה. בסעיף ב' נדרשו התלמידים לנימוק מבוסס הבנה כימית וידע על מבנה מרגרינה ושמן זית בהקשר לתזונה.

חיבור משימות הערכה חדשות הינו ביטוי לידע בהערכה שהתפתח אצל המורים, בייחוד משימות הערכה מורכבות המיישמות את גישת התכנית החדשה.

סיכום והמלצות

במהלך יישום התכנית החדשה הרחיבו המורים את ידיעותיהם בארבעה היבטים מרכזיים הקשורים להוראה: הוראה בהקשר, שילוב הדגשים של רמות הבנה בכימיה, שילוב מיומנויות חשיבה והערכת תלמידים. היבטים אלו המוצגים באיור 5 מייצגים את התחומים השונים שבהם הרחיבו המורים את ידיעותיהם - אם בצורך להרחיב את הידע שלהם לתחומי ידע נוספים, כמו לתחום המזון, לערוך דיונים כיתתיים בהקשרים שונים של תזונה, אם בצורך לתכנן את ההוראה והלמידה כך שישלבו את מגוון רמות ההבנה בכימיה ואם בצורך להדגיש יותר מבעבר הוראת מיומנות חשיבה, בעיקר מיומנות הבנת

הרחבת הידע לתחומים שמעבר לתוכן הכימי - ידע במזון

הוראה בהקשר

ארגון ההוראה בהתאם

שילוב רמות ההבנה בכימיה

איתור אסטרטגיות הוראה מתאימות

פיתוח מיומנויות חשיבה

שילוב של הערכת התוכן עם הערכת מיומנויות

הערכת תלמידים

איור 5: פיתוח היבטי ידע שונים ביישום התכנית החדשה בכימיה בכלל ויחידת הלימוד "טעם של כימיה" בפרט



ללמד את נושאי הכימיה בהקשר של מזון, הכרוך בשילוב חקרי-אירוע, הקשרים לצריכת מזון בחיי היומיום וערכת דיונים בהקשרים אלו. כל אלו מביאים את המורים לפיתוח ידע-תוכן-פדגוגי PCK המהווה את השלב השני בהתפתחותם המקצועית שבו עליהם לשלב גם הוראה של מיומנויות חשיבה. שני שלבים אלו מהווים את הבסיס לשלב הגבוה יותר של ידע של הערכה (Avargil, Herscovitz & Dori, 2012) הכולל את חיבור משימות ההערכה לתלמידים המשלבות את כל מרכיבי התכנית, קרי תוכן, מיומנויות והקשר.

לסיכום

המורים עברו שלבי התפתחות מקצועית במהלך הוראת התכנית החדשה, בדומה לשלבי התפתחות של מורים חדשים, בעוברם משלב ידע התוכן CK- וידע פדגוגי-PK לשלב פיתוח ידע תוכן-פדגוגי מתאים-PCK. אנו מציעים כי השלב הגבוה ביותר - פיתוח ידע של הערכת התלמידים AK המשלב תוכן, מיומנויות והקשר מדעי - יהווה מרכיב חשוב בהתפתחותם המקצועית של המורים. ישנה חשיבות מרובה בכך שהמורים יתנסו בפיתוח משימות הערכה בהשתלמויות ובכך לאפשר את המשך ההטמעה של התוכנית החדשה בצורה הטובה ביותר.

מקורות

Abell SK (2008) Twenty years later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? International Journal of Science Education. 30, 1405-1416.

American Association for the Advancement of Science -AAAS (1993) Benchmarks for science literacy, New York: Oxford University Press.

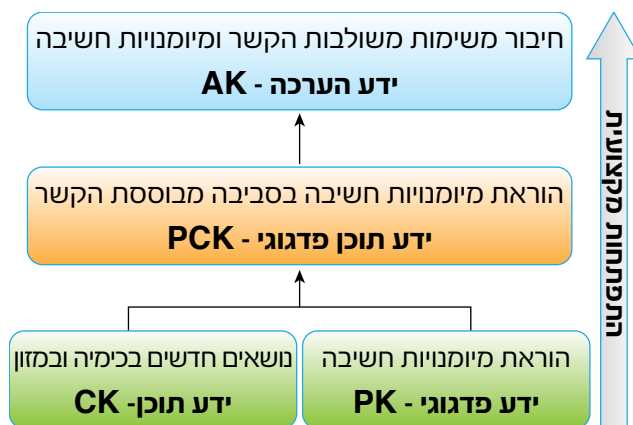
Avargil, S., Herscovitz, O. & Dori, Y.J. (2012). Teaching Thinking Skills in Context-Based Learning: Teachers' Challenges and Assessment Knowledge. Journal of Science Education and Technology, 21(2), 207-225.

Barnea, N., Dori, Y.J. & Hofstein, A. (2010). Development and implementation of inquiry-based and computerized-based laboratories: reforming high school chemistry in Israel. Chemistry Education Research and Practice, 11, 218-228

מורים אשר לימדו את התכנית החדשה ופיתחו משימות הערכה חדשות, שילבו סוגי ידע שונים: ידע תוכן חדש שהיו צריכים ליישם בהקשר של כימיה של מזון, פיתוח של ידע פדגוגי וידע תוכן פדגוגי נוסף בהקשר של הוראת מיומנויות חשיבה.

מורים עוברים שלבי התפתחות מקצועית שונים במהלך הקריירה שלהם בהוראה (Fuller 1969; Fessler 1985; Huberman 1993). עם זאת כאשר הם ניצבים בפני שינויים משמעותיים, כמו הכנסת תכנית לימודים חדשה, הם חוזרים לשלבים התחלתיים של הקריירה המקצועית כמו מורים חדשים, ועליהם לעבור שוב את שלבי התפתחות השונים. כך במחקר שלנו המורים פיתחו ורכשו ידע ומיומנויות נוספות ועברו משלב של התמקדות בתוכן החדש, לשלב של התמקדות בידע-תוכן-פדגוגי עד לשלב שבו החלו לחבר משימות הערכה מורכבות המשלבות את כל מרכיבי התכנית החדשה.

בהתבסס על מודל ידע המורים שהוצע על-ידי שולמן, Shulman (1987) והורחב בהמשך (Magnusson et al. 1999; Abell 2008), אנו מזהים שלושה שלבים בהתפתחות המקצועית של מורים במהלך הוראה והערכה של תוכן ומיומנויות חשיבה במבנית מבוססת הקשר. שלבים אלו מוצגים באיור 6.



איור 6: מודל התפתחות מקצועית של מורים במהלך הוראה והערכה של תוכן ומיומנויות חשיבה במבנית מבוססת הקשר Avargil, Herscovitz and Dori (2012)

בשלב הראשון ממוקדים המורים בידע התוכן-CK, שהוא הידע הבסיסי של נושאי תכנית הלימודים שעל המורים להכיר כדי ללמדה, ובמקרה זה ידע של הכימיה של מזון. במקביל נדרשים המורים לשלב דרכי הוראה מתאימות-PK שבעזרתן עליהם

- science teaching. In J Gess-Newsome, NG Lederman (Eds.) *Examining Pedagogical Content Knowledge* (pp. 95-144). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- National Research Council, (2011), *National Science Education Standards*, Washington DC: National Academy Press.
- Resnick, L.B. (1987). *Education and learning to think*. National Academy Press. Washington, D.C.
- Robhiring, H.G., Kruse, R.A. & Kern A. (2007). Teacher and school characteristics and their influence on curriculum implementation. *Journal of Research in Science Teaching*. Articles online in advance of print. 1-25.
- Shepardson, D.P. (1993). Publisher-based science activities of the 1980s and thinking skills. *School Science and Mathematics*, 93 (5), 264-268.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57, 1-22.
- Schwartz, A.T. (2006). Contextualized chemistry education: The American experience. *International Journal of Science Education*, 28, 977-998.
- Watanabe, M., Nunes, N, Mebane, S., Scalise, K. & Claesgens J. (2007). "Chemistry for all, instead of chemistry just for the elite": Lessons learned from detracted chemistry classrooms. *Science Education*, Early View.
- Zohar, A. & Dori Y.J (2003). Higher order thinking skills and low-achieving students: Are they mutually exclusive? *The Journal of the Learning Sciences*, 12, 145-181.
- Zoller, U. (1993). Expanding the meaning of STS and the movement across the globe. In Yager, R.E. *The Science, Technology, Society Movement*. NSTA. Vol 7, What Research Says to the Science Teacher? 125-133.
- BeBengston, L.B. (1999). Dimensions of performance of diagrams, tables, and maps: some gender differences in the Swedish Scholastic Aptitude Test. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 565-582.
- Bloom, B.S. (1956). *Taxonomy of Education Objectives: Handbook 1 Cognitive Domain*. New York, NY: McKay.
- Clarke, D. & Hollingsworth, H., (2002). Elaborating a model of teacher professional growth. *Teaching and Teacher Education*, 18, 947-946.
- Dori, Y.J. & Herscovitz, O. (2005). Case -based long-term professional development of science teachers. *International Journal of Science Education*, 27, 1413-1446.
- Dori, Y.J., Sasson, I., Kaberman, Z. & Herscovitz, O. (2004). Integrating case-based computerized laboratories into high school chemistry. *The Chemical Educator*, 9, 4-8.
- Dori, Y.J & Sasson, I. (2008). Chemical understanding and graphing skills in an honors case-based computerized chemistry laboratory environment: The value of bidirectional visual and textual representations. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, (2).
- Gilbert, J.K. (2006). On the nature of "Context" in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28, 957-976
- Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M. & Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing students' ability to ask more and better questions resulting from inquiry-type chemistry laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 791-806.
- Kozma, R. & Russell, J. (2005). Student becoming Chemist: Developing representational competence. In J.K. Gilbert (Ed.). *Visualization in Science Education*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 121-146.
- Magnusson S, Krajcik J, Borko, H (1999) Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for

תקשוב בהוראת הכימיה בישראל סקר ראשון: תוצאות והשלכות

רחל אידלמן, ד"ר שלי ליבנה וד"ר יעל שורק*

היא היכולת לפענח את הסמלים והסימנים. אוריינות טכנולוגית, אם כן, היא היכולת לפענח את הסימנים הטכנולוגיים. אנו רואים שהמילה 'אוריינות' משתנה; אין היא מתארת את יכולתו של האדם לתפוס את העולם הכתוב, אלא משמשת לתיאור יכולתו לשלוט במיומנויות הנדרשות כדי להבין היטב דבר כלשהו וכדי לעבוד בתחומים שונים (Barnett, 1995).

באיזו מידה מורים מביאים לידי ביטוי את הידע הפדגוגי-תוכני שלהם באמצעות שילוב טכנולוגיות בהוראה, והאם שילוב טכנולוגיות בהוראת הכימיה הוא תנאי הכרחי לכך?

אופי ההוראה בכיתה השתנה במרוצת השנים, ולטכנולוגיות הישנות (ספר, לוח, פלקטים ועוד..) נוספו טכנולוגיות חדשות (מחשבים, לוחות חכמים, מקרן מצגות ועוד..). טכנולוגיות חדשות אלה שינו את אופי הכיתה או יש להן פוטנציאל לעשות כן. למרות שמסיבות רבות לא כל המורים מאמצים טכנולוגיות חדשות אלה - החל מפחד משינויים וכלה בהיעדר זמן ותמיכה - אי אפשר להתכחש לעובדה שטכנולוגיות אלה הן כאן כדי להישאר (Prensky 2001). קוהלר ומישרה (Mishra and Koehler 2006) הציעו את המושג ידע-טכנולוגי-פדגוגי-תוכני (TPACK) כדי לתאר את הידע הנדרש ממורים כדי לשלב טכנולוגיות באופן משמעותי להוראת התכנים. לדוגמה, מורי הכימיה [תחום התוכן = content] עושים שימוש בטכנולוגיות [הטכנולוגיה = technology] שונות כדי להראות ייצוגים שונים מתוך תחום התוכן [הפדגוגיה = pedagogy]. פיתוח TPACK דורש זמן (ללמוד את הכלים ולעשות את השינויים הנדרשים) ופתיחות מחשבתית, כמו גם 'ציריות' ורשת תמיכה (Shwartz and Katchevitch 2013).

לאור כל זאת, כדי לספק הוראה איכותית בעידן טכנולוגי, על המורה להיות מוגדר כבעל אוריינות טכנולוגית בהוראת

במאמר שלפנינו תיאור סקר ראשון מסוגו, הממפה את היכולות הטכנולוגיות של המורים לכימיה בישראל ואת האופן שבו הם משתמשים באמצעים טכנולוגיים אלה.

הטכנולוגיה קיימת מאז ומעולם. היא שינתה את פניה במרוצת הדורות והפכה מצורך קיומי למגרש המשחקים הנחשק של צעירים בעלי אמצעים. צעירים אלה השתמשו בטכנולוגיה בזמנם הפנוי ותוך כדי כך פיתחו מיומנויות מסוימות.

ישנן הגדרות שונות לטכנולוגיה. הגדרה אחת אומרת שטכנולוגיה מכילה את כל השינויים שבני אדם עשו בסביבה הטבעית כדי שיוכלו לנצלם לתועלתם. ניתן אף לומר שמטרת הטכנולוגיה היא לפתח פתרונות אנושיים לבעיות העולם האמיתי (Barnett, 1995; Wonacott, 2001). הסביבה שלנו היא סביבה עתירת-טכנולוגיה, בעלת יחסי גומלין עם קבוצות מסוימות המרכיבות אותה. קבוצות אלה מורכבות מבעלי העניין החיוניים: התלמידים, המורים ומנהלי המערכות. הקבוצות הללו משפיעות זו על זו ומבצעות משימות המאפשרות את פעולת הסביבה כולה. למשל, אמונותיהם של תלמידים ומורים בנוגע לטכנולוגיה יכולות להשפיע על אימוץ הכלים התורמים ישירות למיסוד הסביבה עתירת-הטכנולוגיה (Li 2007). עד כמה חברי קבוצות העניין האלה באמת יודעים על הטכנולוגיות הקיימות, והאם הם יכולים לשלבן בצורה יעילה בהוראת המדעים?

מגד לעולם החומרי של הטכנולוגיה, ניצב העולם האינטלקטואלי של האוריינות. אוריינות היא היכולת לקרוא ולכתוב. אדם בר אוריינות הוא בעל היכולת להשתמש בסמלים כגון אותיות כדי לפענח את הידע הטמון בהם. סמלים הוטבעו כבר בימי קדם על קירות מערות על ידי שימוש בסימני עשן ועוד. אם נתעלם מן העובדה שהמילה 'אוריינות' נלקחה מעולם מושגים שונה - נאמר שאוריינות

* חברות קבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע

הכימיה. מורה כזה מהווה 'מנהיג טכנולוגי'. מנהיג טכנולוגי שונה ממנהיג רגיל בזה שאין הוא מתמקד בתכונות או בפעולות המנהיג, אלא מדגיש שמנהיג צריך לפתח, להדריך, לנהל וליישם טכנולוגיה בעבור המשימות שהארגון מטיל עליו, במגמה לשפר את תפקוד הארגון. בחינת רפורמות במערכות חינוך ברחבי העולם מראה כי מנהיגות טכנולוגית מהווה אסטרטגיה חשובה לשיפור איכות התלמידים והישגיהם (I-Hua 2012). יתר כל כן פותח מושג כוללני בשיח החינוכי, שמתווה את המיומנויות שבוגר מערכת החינוך נזקק להן בתחילת המאה ה-21: מיומנויות המאה ה-21 [21st Century Skills]. במסמך מיומנויות זה (<http://www.p21.org>) צוין כי: "מסגרת זו מתארת מיומנויות, ידע ומומחיות הנדרשים מתלמידים לשם הצלחתם בעבודה ובחיים; זהו בליל של ידע, תוכן, מיומנויות ספציפיות, מומחיות ואוריינויות" (משרד החינוך והתרבות, P21 2013).

מטרת הסקר ואופן איסוף הנתונים

לאור כל האמור לעיל, בוצע סקר שפותח על ידי המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן, ובו נשאלו מורים על היכולות הטכנולוגיות שלהם, על השימוש שהם עושים בחומרי למידה הקיימים באתר המפמ"ר ובמרכז הארצי לכימיה, על התרומה שהחומרים הללו תורמים להוראה ועל הפרמטרים שהיו רוצים להבליט בחומרים המועלים לאתר. מיפוי "הרגלי הצריכה המקוונים" של המורים לכימיה היה חיוני על מנת לקבל כלים למחקר העוסק בשילוב אמצעים טכנולוגיים בהוראה ובניסיון לשפר את האתרים המקוונים העומדים כיום לרשות המורים (קרי: אתר המפמ"ר והאתר המרכז ארצי למורי כימיה).

בשאלון שפותח שלושה חלקים. א: נתוני רקע והרגלי צריכה מקוונים בחי' היום יום. ב: מידת השימוש באתר המפמ"ר. ג: מידת השימוש באתר מרכז הארצי למורי כימיה.

כלל מורי הכימיה היוו את אוכלוסיית המחקר, ואליהם נשלחה בקשה למילוי הסקר. מתוך מאגר ובו כ-550 מורים לכימיה בארץ (לדעתנו, יש כאן הערכת יתר) ענו על הסקר 193 מורים. מדגם זה מהווה בהערכה גסה כ-35% מכלל המורים.

להפצת הסקר השתמשנו במגוון דרכים. נעשה שימוש הן בדרכים מקוונות (קישור לסקר באתרים שונים והודעות במייל) והן בדרכים לא מקוונות (פנים אל פנים ומשלוח בדואר רגיל).

להלן אמצעי הפצת הסקר:

1. בכנס חנוכה תשע"ג הופץ סקר תקשוב לאוכלוסיית המורים לכימיה. שאלון מודפס של הסקר חולק ידנית ומולא בכתב בכנס עצמו. לאחר הכנס נשלח קישור למורים, המבקש להיכנס למלא את הסקר¹.
2. מייל תזכורת נוסף נשלח לכל המורים כחודש לאחר מכן ושוב לאחר כחודשיים נוספים.
3. קישור קבוע למילוי הסקר הופיע באתר מרכז מורי הכימיה בדף הראשי ובתזכורת במידעון החודשי.
4. קישור חד-פעמי לסקר ב"נטו כימיה" - פורום מורי הכימיה באתר המפמ"ר.
5. שאלון מודפס של הסקר נשלח בדואר לביתם של מורים שלא ידענו את כתובתם האלקטרונית.

תוצאות

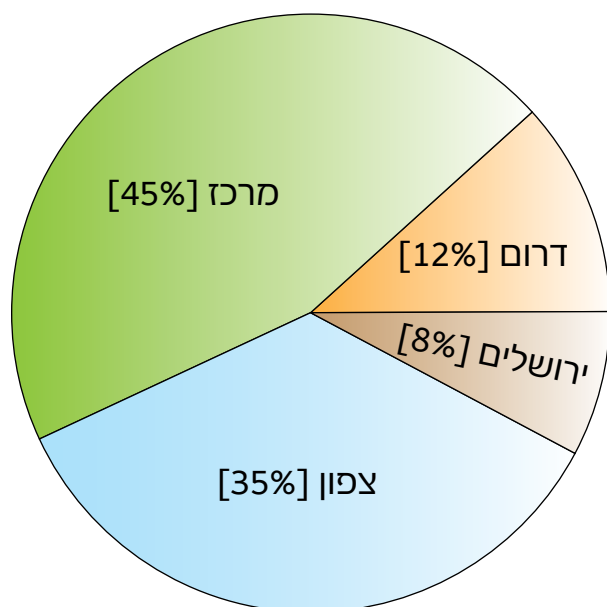
הסקר אפשר אפיון של אוכלוסיית מורי הכימיה על פי המאפיינים האלה:

1. נתונים דמוגרפיים (השכלה, אזור הוראה, ותק)

- א. השכלת המורים - 36% מן המורים הם בעלי תואר ראשון, 50% הם בעלי תואר שני ו-16% הם בעלי תואר שלישי. ל-55% מהמורים יש תעודת הוראה, ול-40% יש רישיון הוראה (איור 1).
 - ב. אזור הוראה - 35% מלמדים באזור הצפון, 45% באזור המרכז, 8% באזור ירושלים, 12% באזור הדרום (איור 2).
 - ג. ותק בהוראה - 1-10 שנות הוראה: 29%; 11-30 שנות הוראה: 51%; מעל 30 שנות הוראה: 21% מכלל המורים.
- 2. נתונים אישיים המתייחסים לטכנולוגיות מחשב**
(הערכה אישית של יכולות טכנולוגיות, מנוי על עיתונות מקוונת, שימוש בפונקציות טכנולוגיות שונות², שימוש בחומרים מקוונים).
- 94% מן המורים מעידים על עצמם שהם בעלי יכולות

1. הסקר נכתב ב-Google-docs

2. פירוט בסקר עצמו

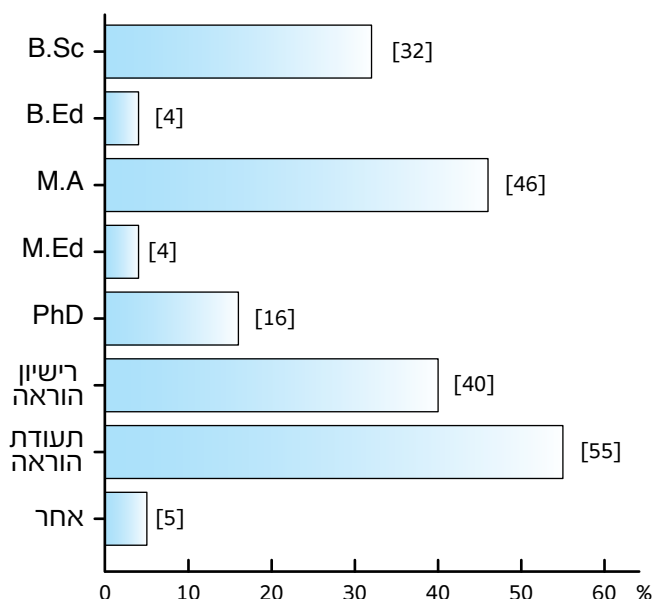


איור 2: אזורי ההוראה של מורי הכימיה בישראל 2012 באחוזים

משתמשים ב-Excel, כ-75% משתמשים ב-Power Point וב-YouTube, 70% משתמשים בתוכנת משוב או בתוכנת בית ספרית מקבילה לדיווח אירועי התנהגות וציונים. 51% משתמשים באתר ביה"ס שלהם. בין 66%-77% משתמשים באופן קבוע באתר המפמ"ר, בפורום נטוויזיה ובאתר המרכז הארצי למורי הכימיה (מכון ויצמן).⁵

4. פונקציות שלא נעשה בהן שימוש קבוע הפונקציות העיקריות שלא נעשה בהן שימוש קבוע על ידי מורי הכימיה הם Dropbox וה-Moodle (כ-50% לא השתמשו מעולם) Google docs (38% לא השתמשו מעולם). רק 35% מן המורים מצהירים שיש להם חשבון פייסבוק פעיל.

5. פונקציות הקשורות ישירות לתכנית הלימודים המורים העידו שנעשה שימוש רב בקטגוריות מסוימות הקשורות ישירות לתכנית הלימודים: בלשונית המפרטת את תכניות הלימודים [93%], במבניות ובעזרי הוראה [89%], ביח"ל המעבדה [77%], במאגרי המידע [76%],



איור 1: השכלת המורים לכימיה בישראל 2012 באחוזים. בשל אפשרות לבחירה מרובה, האחוזים מסתכמים ביותר מ-100%.

טכנולוגיות בינוניות עד גבוהות, 62% מן המורים משתתפים או השתתפו בעבר בהשתלמות מתוקשבת ו-92% אמרו שדרך למידה זו מתאימה להם מאוד. המורים כתבו שהם משתמשים רבות בעזרים טכנולוגיים והשתמשו בשנה האחרונה בחומרים מקוונים בהוראה שלהם [86%]. עזרים טכנולוגיים אלה הם בעיקר עזרים טכנולוגיים מדרגה ראשונה³. לדוגמה: מסמכים בוורד (כגון דפי תרגול או סיכומים קיימים באתר המפמ"ר או באתר המרכז הארצי למורי הכימיה של מכון ויצמן), מצגות מוכנות, סרטים מעובדים וקיימים. נמצאו פחות עדויות לשימוש בעזרים טכנולוגיים מדרגה שנייה כגון: Dropbox, Google docs או Moodle, שאותם יש לבנות במיוחד לצורך הוראה של כיתה ספציפית (כ-20%). מספר נמוך של מורים מני על עיתון מקוון [28%].

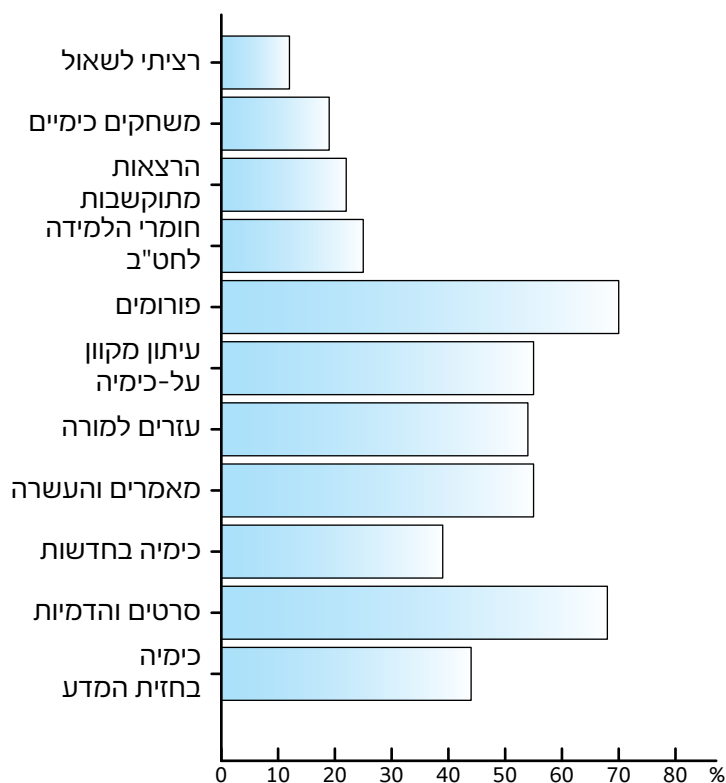
3. שימוש בפונקציות שונות בחיי היום יום

מעל 90% מן המורים אמרו שהם משתמשים באופן קבוע ב-Word, שולחים דואר אלקטרוני וגולשים באינטרנט. 59%

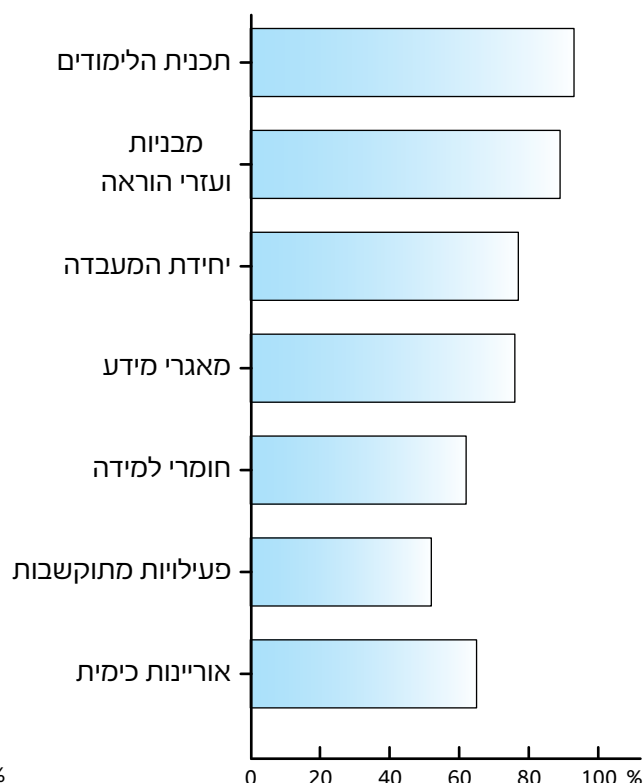
3. עזרים מוכנים מראש לשימוש.

4. עזרים שדורשים שינויים והתאמות לפני השימוש בהם.

5. בשאלון פורטו כל הקטגוריות המופיעות בלשוניות של האתרים השונים. אחוז המשתמשים נקבע לאחר חיבור קטגוריות ולכן אינו ערך יחיד אלא תחום.



איור 4: שימוש בפורקציות להעשרת ההוראה



איור 3: שימוש בפורקציות הקשורות לתכנית הלימודים

הבגרות. כמו כן מורים מן המגזר הערבי הדגישו את הצורך בחומרי למידה בשפה הערבית.

שילוב טכנולוגיות בהוראה מציב בפנינו אתגר מיוחד: בעולם טכנולוגי אנו מכוונים לגידול ילדים בעלי אוריינות טכנולוגית, אך אנו הדור המבוגר יותר, לא נולדנו לתוך עולם שזכה (Prensky 2001). הסקר המתואר כאן ותוצאותיו יכולים לשפוך אור על חלק מן השאלות הנובעות ממספר תחומים: פן סוציולוגי הנוגע לדור המבוגר יותר (קרי, המורים) ולדור הצעיר יותר (קרי, התלמידים). פן מדעי הסוקר את היתרונות והחסרונות של השימוש בטכנולוגיה על מנת לעודד הבנת מושגים מדעיים. ובנוסף פן טכנולוגי המתייחס לזמינות ולשימוש בטכנולוגיה הלכה למעשה. לשון אחרת, הסקר יכול להוות בסיס למחקר העוסק בהיבטים הסוציולוגיים, החינוכיים והמדעיים של השימוש בעזרים טכנולוגיים בכיתת הכימיה.

באופן כללי, המורים מעידים על עצמם שהם אינם מפחדים

בחומרי הלמידה [62%], בפעילויות המתוקשבות [52%], באוריינות כימית [65%].

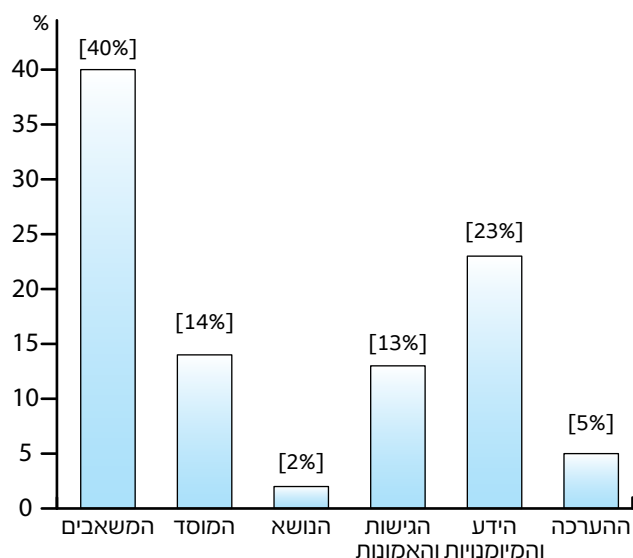
6. פורקציות להעשרת ההוראה - כימיה בחדשות [39%],

סרטים והדמיות [68%], כימיה בחדשות [39%], במאמרים והעשרה [55%], עזרים למורה [54%]. כמו כן בעיתון המקוון על-כימיה [55%] ובפורומים [70%]. יש גם פינות פופולריות פחות: חומרי הלמידה לחט"ב [25%], הרצאות מתוקשבות [22%], משחקים כימיים [19%] והפינה "רציית לשאול" [12%].

7. עיתונים מקוונים - 28% מן המורים מנויים על עיתון מקוון.

62% מקבלים את המידעון בכימיה של המרכז הארצי למורי הכימיה של מכון ויצמן.

8. בסקר נכללו גם שאלות פתוחות, שעליהן יכלו מורים לפרט בכתב. לדוגמה, כשנשאלו המורים מה חסר להם באתר המפמ"ר ובאתר הארצי למורי הכימיה, ענו שהיו רוצים לראות יותר תרגילים כדוגמת שאלות מבחינות



איור 5: שכיחות יחסית של מחסומים ומעכבים ליישום טכנולוגיה בכיתה.

מחסומים אלה קובצו בשש קטגוריות כלליות כפי שניתן לראות באיור 5: המשאבים [40%]; המוסד [14%]; הנושא [2%]; הגישות והאמונות [13%]; הידע והמיומנויות [23%]; ההערכה [5%]. סיבה אפשרית אחת לדחיית הטכנולוגיה היא שמורים תופסים את השילוב של הטכנולוגיה בכיתה כעומס עבודה מיותר למורים ולתלמידים, ללא ערך חינוכי משמעותי ביחס לזמן המוקדש לכך. הם אינם רואים את הערך המוסף של טכנולוגיה בהכנת התלמידים לעתיד, אלא עסוקים בהווה בהישרדות בכיתה. כמו כן ייתכן שעבור חלק מן המורים למידה טובה ומעמיקה יותר אינה מערבת טכנולוגיה מסיבות שונות (אילוץ הזמן, השתלטות הטכנולוגיה על חשבון התכנים וכד'). סיבה אחרת היא הפחד מפני החלפת המורה בכיתה על ידי מחשבים (Li 2007). ישנה גם אפשרות של אכזבה לאחר שימוש בטכנולוגיות כ"כלי" בלבד (כגון מעבד תמלילים, גיליון אלקטרוני). במקרה כזה סביר ששילוב הטכנולוגיה בכיתה ינחל כישלון. גם אמונות המורים במסוגלות העצמית שלהם להשתמש ולייצר שינוי באמצעות שימוש בטכנולוגיות, מובילות אותם לחשוש באופן כללי מפני שימוש בטכנולוגיות בכלל ומיישומן בכיתה בפרט.

לסיום, המסקנות הנובעות מתוצאות הסקר באות לידי ביטוי בעיקר בקטגוריות הבאות:

מטכנולוגיה ומשתמשים רבות בעזרים טכנולוגיים. עזרים טכנולוגיים אלה הם בעיקר עזרים טכנולוגיים מדרגה ראשונה. לדוגמה: מסמכים בוורד (כגון דפי תרגול או סיכומים קיימים באתר המפמ"ר או באתר הארצי של מכון ויצמן), מצגות מוכנות, סרטים מעובדים וקיימים ברשת. נמצאו פחות עדויות לשימוש שעשו המורים בעזרים טכנולוגיים מדרגה שנייה כגון: Google docs או Moodle. בשולי קטגוריה זו נכנסים גם יתר האמצעים שעבורם יש להשקיע יותר מאמצים כדי להשתמש בהם כגון: פינת "רציתי לשאול" או הרצאות מתוקשבות הדורשות צפייה ובחירה של קטעים רלוונטיים מתוכם. סקר דומה שנעשה על ידי Yuen & Ma בשנת 2002 בדק את אופן קבלת תהליך המחשוב אצל מורים חדשים הנמצאים בהכשרה. המסקנות היו שלשימושיות של הטכנולוגיה יש השפעה חיובית על כוונותיהם של המורים להשתמש במחשוב בכיתה. יתר על כן, ככל שהמחשב נתפס כקל לתפעול, כך נטו המורים לחשוב שאמצעי זה מועיל והתכוונו להשתמש בו בכיתה (Li 2007).

אחוז המורים המנוי על עיתון מקוון הוא נמוך. בימים אלה הדיון על ספרי לימוד מקוונים ודיגיטליים עומד על הפרק. יש להניח שהמורים, הרגילים לספרים מנייר, יצטרכו להתאים עצמם גם לשימוש בספר לימוד מקוון עבור תלמידיהם.

במדגם נכללו מספר מורים שהעדיפו למלא את שאלון הסקר בכתב ולא באופן מקוון. היו אף שתי מורות (שלא נכללו במדגם) שלא הסכימו למלא את הסקר בשום צורה לאחר ששמעו על תוכנו. דבר זה מעיד על פחד גדול מכל נושא הטכנולוגיה והמחשוב (טכנופוביה). כדי להעמיק בתוצאות הסקר אנו מציעים לראיין מדגם מייצג מתוך משתתפי הסקר, וביניהם גם מורים שלא מילאו את שאלון הסקר דרך הקישור ו/או העידו על עצמם שהם אינם משתמשים בשום צורה של טכנולוגיה באשר היא; כל זאת כדי לקבל מושג טוב יותר בנוגע לסיבות לכך. במחקר שערכו Brush & Hew (2007) קוטלגו 123 מחסומים ומעכבים ליישום טכנולוגיה בכיתה.

אתם מעלים באופן פעיל חומרים משלכם לרשת? מדוע כן? מדוע לא? מהי התועלת העיקרית לתלמידים? מהו האתגר העיקרי מבחינתכם?

מקורות

Barnett, M. (1995). "Literacy, Technology and 'Technological Literacy'." *International Journal of Technology and Design Education* 5: 119-137.

Hew, K. F. and T. Brush (2007). "Integrating Technology into K-12 Teaching and Learning: Current Knowledge Gaps and Recommendations for Future Research." *Educational Technology Research and Development* 55: 223-252.

I-Hua, C. (2012). "The Effect of Principals' Technological Leadership on Teachers' Technological Literacy and Teaching Effectiveness in Taiwanese Elementary Schools." *Educational Technology & Society* 15(2): 328-340.

Li, Q. (2007). "Student and Teacher Views about Technology: A Tale of Two Cities?" *Journal of Research on Technology in Education* 39(4): 377-397.

Mishra, P. and M. J. Koehler (2006). "Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge." *Teachers College Record* 108(6): 1017-1054.

Prensky, M. (2001). "Digital Natives, Digital Immigrants." *On the Horizon* 9(5).

Shwartz, Y. and D. Katchevitch (2013). "Using wiki to create a learning community for chemistry teacher leaders." *Chem. Educ. Res. Pract.* 14: 312-323.

Wonacott, M. (2001). "Technological Literacy." *ERIC DIGEST* 233.

1. **משאבים:** היעדר זמן ותמיכה טכנית. אחוז גדול של המורים מעדיפים להשתמש בטכנולוגיות שאינן דורשות זמן לימוד ופיתוח, אלא כאלה שזמן ההכנה שלהם כמשאב הוא קצר.

2. **ידע ומיומנויות:** למורים חסרים ידע טכנולוגי ספציפי ומיומנויות, והפדגוגיה של השימוש בטכנולוגיה זרה להם. מורים מעדיפים שימוש בחומרי למידה מוכנים מראש הנמצאים באתרים לשימושם.

3. **אמונות מורים:** אמונות לגבי שילוב טכנולוגיה בכיתה. החדרת הטכנולוגיה לכיתה תלויה בראש ובראשונה באמונת המורה שהתועלת שתצמח מן השימוש בטכנולוגיה תעלה על זו של הוראה פרונטלית קונבנציונלית. כדי להגביר את השימוש בטכנולוגיות בכיתה, על המורים להיות פתוחים לשינוי. השינוי יתבטא בשינוי דרכי עבודתם, בהקצאת משאבי זמן ולבסוף גם באמונתם ובתחושת המסוגלות-העצמית שלהם.

4. **הערכה:** היעדר זמן לתכנון שילוב טכנולוגיה כאמצעי עזר להערכה. הערכת חומרי הלמידה חיונית וחשובה. הדבר נוגע במיוחד, אך לא רק, למורים חדשים.

מובן שקטגוריות אלה משולבות זו בזו, וגורמים נוספים, שלא נזכרו כאן, משפיעים על השילוב של הטכנולוגיות בכיתה. הפן הטכנולוגי, חברתי ומערכת האמונות שלנו אינם בלתי תלויים זה בזה. הטכנולוגיה מפותחת על ידי הפעולות האנושיות אך זו משפיעה על האופן שבו האנושות פועלת ומתארגנת.

סקר זה הוא רק הצצה ראשונית אל התחום המרתק של שילוב טכנולוגיות בהוראת הכימיה. תחום המגלם בתוכו פוטנציאל רב לשיפור הלמידה וההוראה ואתגרים רבים בכל הנוגע למורים, לתלמידים, לתמיכת המערכת ולהקמת תשתיות. נשמח לשמוע את דעתכם ב"טוקבקים" בשאלות האלה: האם תשתית בית הספר מאפשרת לכם שימוש נאות בתקשוב בהוראה? באיזו מידה אתם עושים שימוש בחומרים הזמינים ברשת? מהו סוג החומרים שאותו אתם מוצאים שימושי ביותר (צינו דוגמה)? האם

כוכב נולד - כימאים בסרטים!

אפראח עאסי*

אליהם, וחיפשו בעצמם עוד ועוד אתרים, ובחרו דווקא מאתרים אחרים ניסוי שמשך את לבם. חלקם חזרו אליי בשאלות סביב הסבר מדעי רחב יותר לתצפיות שראו.

הפעילות הייתה בגדר בחירה ולא היוותה מרכיב עיקרי בציון ובממוצע הסופי של התלמידים. הצעתי נקודות בונס למי שיבחר לקחת חלק בה. להפתעתי, בתוך שבוע ימים מההכרזה על הפעילות קיבלתי 30 סרטונים יפים מאוד. אפילו התלמידות שהממוצע הסופי שלהן הוא 100 הביעו רצון להשתתף, הלכו, צילמו והגישו סרטון.

צפינו בכיתה בחלק מהסרטונים, העלינו כמה מהם לערוץ היוטיוב של בית הספר, וחלקם עובר שדרוג ממש עכשיו, לשם הוספת כתוביות ותרגום לעברית, ואפילו לשם הרחבת ההסבר המדעי כך שישרת גם את תלמידי התיכון ויהיה קרוב לתכנים הדרושים לבחינות הבגרות ב-3 וב-5 יח"ל בכימיה.

בקישור [המצורף](#) ישנם 4 סרטונים: 4 ניסויים שונים שהתלמידות שלי צילמו ושתמצית שלהם מובאת כאן.



תכננתי השנה פעילות חדשה במגמת הכימיה בבית הספר העל יסודי אלקאסמי שבבאקה אלגרכייה. נתתי לתלמידים שלי רשימה של אתרים שבהם יש מבחר של ניסויים בכימיה. ביקשתי מהם לטייל באתרים, לצפות, לקרוא, להבין ולבחור ניסוי אחד שאהבו במיוחד. את הניסוי התבקשו לבצע יחד עם קרוב משפחה שלהם, אח קטן, אחות, ולצלם את עצמם כשהם מבצעים את הניסוי ונותנים הסבר מדעי לתצפיות המתרחשות. אלה המטרות שהנחו אותי בבחירת הפעילות:

- לכוון את התלמידים להשתמש ברשת האינטרנט כמקור מידע.
- לעורר בתלמידים עניין ע"י חשיפתם למגוון תופעות ותצפיות.
- צילום סרטון בנושא הכימיה עשוי לעודד יצירתיות בקרב התלמידים.
- לעודד את התלמידים להוביל את הדור הצעיר, לשתף אותם בחוויות שלהם, בידע שלהם, ללמדם כימיה!
- להכין את הדור הבא שלי למגמת הכימיה - הצעירים שמצטרפים לתלמידים בצילום הסרטונים, רואים אותם מבצעים ניסויים, לומדים מהם וחפצים גם הם ללמוד את סודותיה של הכימיה הקסומה.
- לשלב הערכה חלופית, ולא להסתפק במבחנים, עבודות בית, תרגילים ודוחות מעבדה.
- לגוון את שיטות הוראתי, כך שגם לי יהיה מעניין!

התלמידים חזרו אליי במשובים חיוביים. הם נהנו מאוד מזה שלמדו כימיה בדרך חדשה, שונה משיעורים פורמליים רגילים. חלקם סיפרו שהם צפו במספר גדול של סרטונים סביב הכימיה ברשת, עד שהצליחו לבחור ניסוי שעניין אותם במיוחד. חלקם אפילו לא הסתפקו באתרים שהפניתי אותם

* אפראח עאסי, מורה לכימיה, בית הספר העל יסודי אלקאסמי, באקה אלגרכייה



אתי מבצעות את הניסוי. לא יכולתי לבחור רק אחת. שתייהן כ"כ רצו לבצע אתי את הניסוי. אז נתתי לשתייהן לעזור לי. *ענתנו enn נהנינו*."

רואה ביאדסה: "אחי הצעיר כ"כ התאהב מהניסוי וביקש ממני ללמוד עוד ועוד. לא הספיק לו רק ניסוי אחד."

נדאא אבו מור: "צפיתי בכ-20 סרטונים וניסויים בכימיה עז שהצלחתי לבחור אחד לצילום. היה כיף."

חנין ג'לג'ולי: "אחותי הקטנה אמא ישבה לידי כשכתבתי את ההסבר המדעי לתצפיות המתרחשות בניסוי שלי. הוצאת שגיאתי חזרה לצילומים, טעיתי כמה פעמים, ואחותי אמא תיקנה אותי! היא הבינה טוב טוב את ההסבר המדעי, והצליחה לתקן אותי."

קישורים לאתרים שהפניתי את התלמידים אליהם:

ניסויי מדע בבית של מכון דוידסון, מכון ויצמן למדע:

<http://davidson.weizmann.ac.il/online/scienceathome/chemistry>

סרטוני כימיה "מדליקים" של מכון ויצמן למדע:

<http://stwww.weizmann.ac.il/chemcenter/Page.asp?id=23>

מדעטק - מוזאון המדע של חיפה.

בסרטון הראשון התלמידה חנין ג'לג'ולי (מטירה) עורכת ניסוי שבו היא שופכת נוזל לתוך צלחת, מדליקה נר שאותו היא ממקמת במרכז הנוזל ומכסה את הנר בעזרת כוס. הנוזל שנמצא בתוך הצלחת נדחף ע"י לחץ חיצוני גבוה (ביחס ללחץ פנימי נמוך בתוך הכוס) אל תוך הכוס. חנין מסבירה את תצפיות הניסוי ומתייחסת לשלושה גורמים שונים שמקטינים את הלחץ הפנימי בתוך הכוס: מספר המולקולות הכולל של גזים בתוך הכוס הולך וקטן במהלך תגובת שרפת הנר. זאת משום שמספר המולקולות של פחמן דו-חמצני שהתקבל בתוצרים הוא קטן ביחס למספר מולקולות החמצן שבמגיבים.

האוויר בתוך הכוס מתקרר כתוצאה מכיבוי הנר.

חלק מגז הפחמן הדו-חמצני מתמוסס בנוזל (המים) וגורם להקטנת מספר המולקולות הכולל של גזים בתוך הכוס.

בסרטון השני התלמידה סג'א אבו מור (מבאקה) עורכת ניסוי על 10 זיקוקים עטופים בנייר דבק שממשיכים לבעור ולהישרף גם בתוך מים. היא מסבירה מדוע תהליך השרפה ממשיך להתרחש גם מתחת למים, ומדוע הזיקוקים אינם נכבים. נייר הדבק שבו היא עוטפת את הזיקוקים מקטין את המגע בין המים ובין החומר הדליק שבזיקוקים. בנוסף לכך כמות החומר הדליק גדולה מאוד וכך גם כמות האנרגיה שמשחררת, ולפיכך המים אינם מצליחים לכבות את הבעירה.

בסרטון השלישי התלמידה הבה מסארה (מטייבה) מנפחת בלון בעזרת תגובת חומצה-בסיס. היא מערבבת חומץ ביתי וסודה לשתייה בתוך בקבוק קטן שמחובר אליו בלון. הבה מספקת בהסבר המדעי שלה הגדרה של חומצה ובסיס לפי בرونסטד ולאורי ומנסחת תגובה שפולטת גז: פחמן דו-חמצני שמנפח את הבלון שלה.

בסרטון הרביעי התלמידה מראם ותד (מג'ת) מסבירה לאחיה ולאחותה איך ניתן ליצור מדפסת דיו. היא מתבססת בהסבר המדעי שלה על נושא מבנה וקישור.

אני מביאה כאן משוברים שקיבלתי מחלק מהתלמידות:

אסראא קעדאן: "בסרטון שלי מופיעות שתי האחיות שלי, יחד

הכנת משחק בכימיה

פרויקט סיכום בכימיה לתלמידי כיתה יוד

חני אלישע*

יצרה סקרנות רבה, והתלמידים אכן שיחקו שעות רבות, ואגב כך התחרו ביניהם מי יודע טוב יותר כימיה!!! כלומר, גם אלה שלא בחרו במקצוע הכימיה - בעצם בחרו לחזור על הידע הרב בכימיה בעת המשחק.

- הידיעה שגם הם משפיעים על הציון של חבריהם בעזרת המשוב - עזרה עוד יותר להתלהבות בעת המשחק.
- הפתעה הייתה גם בכך שהתלמידים ששיחקו את המשחקים בחדר המעבדה בכימיה, לא רצו להפסיק לשחק, ובכל שבוע כבר חיכו להמשיך בכך שוב.
- מצאתי דרך מקורית ומלהיבה לתת הערכה לתלמידים, ולא בדרך השגרתית של מתן מבחנים.

המלצות

1. המורים יכינו מראש רשימה של קבוצות תלמידים להכנת המשחקים לפני חופשת הפסח.
2. לקראת סוף החופשה על המורים לשלוח תזכורת בעניין הכנת המשחקים.
3. המורים יוודאו מראש, על פי מערך הלימודים בבית הספר, שתהיינה שלוש פגישות לפחות עם הכיתה, ושהפגישות יוקדשו להפעלת המשחקים על-ידי התלמידים ולכתיבת המשובים.
4. רצוי לחלק משוב לתלמידים על עצם הכנת המשחקים וכן על הפעלת המשחקים.

הנחיות לתלמידים להכנת משחק בכימיה - פרויקט סיכום בכימיה לתלמידי כיתה י'

מטרת המטלה

סיכום וחזרה על כל החומר הנלמד במהלך שיעורי הכימיה בכיתה י'.

מה עומד במרכז ההחלטה ליצור פעילות של הכנת משחקי כימיה בכיתה יוד?

במהלך שנים של הוראת הכימיה בכיתות י' הטרוגניות, מצאתי את עצמי בתקופה של "אחרי פסח", מנסה בכל כוחי להמשיך ולעניין את התלמידים בשיעורי הכימיה בעזרת אמצעים מגוונים - מעבדות, סרטים וכו'. כל זאת בתקופה שבה הם היו כבר אחרי "בחירת המגמות לשנה הבאה", כשחלקם כבר במצב של - "תעזבי אותנו בשקט, אנחנו רוצים כעת ללמוד למבחני הבגרות של שנה זו..."

בכל שנה התבסס חלק נכבד מהציון שניתן לתלמידי כיתה י' בכימיה, על דוחות מעבדה, עבודה על מאמרים, עבודה על גרפים, דוחות צפייה בסרטים בנושאים שונים, וזאת לצד ציוני הבחינות ההכרחיות.

בשלב מסוים החלטתי להתחכם בכל הנוגע לפרויקט סוף השנה, ולנהוג בשיטת "הפוך על הפוך": לפני חופשת הפסח נתתי לתלמידי הנחיות לביצוע פרויקט לסיום לימודי הכימיה והצעתי להכין "משחק כימי".

הרעיון הלך והשתכלל במשך השנים, ואלה תוצאותיו המרתקות:

- התלמידים התגייסו למשימה ברצון רב.
- הם השקיעו שעות רבות בהכנת משחקים שופעי יצירתיות ויפים מאוד למראה, וכן טובים מאוד ברמת הכימיה שבאה לידי ביטוי בשאלות ובתשובות שבמשחק.
- הצורך לכתוב 30 שאלות ו-30 תשובות אילץ אותם לשבת וללמוד מחדש את כל החומר שלמדו בכימיה.
- הידיעה שהמשחק מקנה ציון משמעותי, דרבנה אף את התלמידים החלשים ביותר להשתתף בהכנת המשחק.
- הידיעה שהם ישחקו בפועל בכל המשחקים שהוגשו,

* חני אלישע, מורה לכימיה, ב"ס ש"י עגנון נתניה

מועד הגשת העבודה

כחודש לפני סיום שנת הלימודים.

אופן ההכנה

- את המשחק תוכלו להכין בקבוצות של עד 3 תלמידים לקבוצה.
- עליכם לתכנן משחק בנושא הכימיה, שיכלול 30 שאלות ו-30 תשובות הקשורות לחומר שנלמד בכימיה במהלך שנת הלימודים בכיתה י'. תוכלו לבחור נושא אחד או מספר נושאים.
- את תבנית המשחק תוכלו לקחת ממשחקים המוכרים לכם - כגון מונופול, סולמות וחבלים וכו', או להמציא משחק חדש.
- בכל משחק עליכם להפעיל 2 משתתפים לפחות וכן מנהל משחק, שתפקידו להקריא את השאלות, וכן לבדוק על פי דף התשובות המצורף אם התשובה שענה המשתתף נכונה.
- את כללי המשחק עליכם להדפיס ולצרף למשחק.
- נושאי הכימיה יהיו ברורים ויהיו חלק מ"שם" המשחק.

- יש לצרף את כל האביזרים הדרושים למהלך המשחק, כגון - "חיילים", "כסף" וכו'.
- המשחק יהיה עשוי מחומרים קשיחים על מנת שלא יתבלו בקלות.
- את המשחק עליכם לארוז בקופסה מתאימה, מכוסה בנייר אריזה, ועליו יש לכתוב את שם המשחק ואת שמות התלמידים שהשתתפו בהכנתו.
- עליכם להגיש את המשחק במועד שנקבע על מנת לקבל את הציון המקורי.

אופן הערכת המשחק

המורים יעריכו את המשחק בהתאם לדף הערכה, על פי הקריטריונים הבאים:

- 30 שאלות ו-30 תשובות (20%)
- מידת התאמת התשובות לשאלות (20%)
- יצירתיות בכתיבת השאלות והתשובות (20%)
- הגשת העבודה במועד (20%)
- הגשת עבודה מסודרת ועל פי ההוראות (10%)
- משוב התלמידים (10%)¹.

דף הערכת המורה לפרויקט הסיום בכיתה י*

שם המשחק: _____ שמות התלמידים שהכינו את המשחק: _____

יש לסמן X במשבצת המתאימה, כציון עבור כל קריטריון. יש לסכם את הניקוד עבור המשחק הכימי על פי הקריטריונים.

5	4	3	2	1	ציון	קריטריונים
						30 שאלות ו-30 תשובות (20%)
						מידת התאמת התשובות לשאלות (20%)
						יצירתיות בכתיבת השאלות והתשובות (20%)
						הגשת העבודה במועד (20%)
						הגשת עבודה מסודרת ועל פי ההוראות (10%)
						משוב התלמידים (10%)
סיכום ניקוד וציון:						

* ניתן להוסיף קריטריונים נוספים.

* אינדקס הניקוד: 1=20, 2=40, 3=60, 4=80, 5=100

1 עם הגשת המשחקים ישחקו כל התלמידים בכל המשחקים במהלך השיעורים הקרובים וימלאו משוב, שבו יתבקשו לתת ציון מ-1 עד 5 וכן ביקורת מילולית בונה. כאמור, המשובים הללו יכללו אף הם בציון שיינתן.



משוב תלמידים למשחק בכימיה - בעת הפעלת המשחק

כיתה: _____

שם התלמיד	ניקוד (מ-1 עד 5)	הערות

משוב לסיום הפרויקט - משחקי כימיה**

בעקבות השתתפותכם בהכנת משחקי הכימיה ובהפעלתם - ענו על ההיגדים הבאים: סמנו ב-X את תשובתכם.

	היגדים	מסכים במידה רבה מאוד	מסכים במידה מסוימת	בכלל לא מסכים
1.	הכנת המשחק עזר לי להבין טוב יותר את החומר שלמדתי בכימיה			
2.	המשחקים בכימיה היו מהנים עבורי			
3.	הכנת המשחקים והפעלתם עזרו לגיבוש בכיתה			
4.	המשחקים עזרו לי להבין מושגים רבים בכימיה			
5.	דרך המשחקים בכימיה התברר לי שקיים קשר רב בין הנושאים השונים שלמדתי			
6.	המשחקים בכימיה עזרו לי לאהוב את מקצוע הכימיה			
7.	המשחקים בכימיה עזרו לי להחליט על המשך לימוד מקצוע הכימיה			
8.	אני חושב שכדאי להכין משחקים בכימיה יותר מפעם אחת במהלך שנת הלימודים			

** המשוב אינו חובה. ניתן לערוך ריאיונות עם מספר מצומצם של תלמידים.



תלמיד"י משחקים "ששטוס כימי"

חישל: "נהניתי במיוחד מתכנון המשחק והכללים שלו. משימת הכנת המשחק לא הייתה פשוטה, אך גם לא קשה מדי לביצוע... העצפתי לבצע את הכנת המשחק לבדי משום שכך היה לי קל יותר לתכנן את המשחק שלי ולכלול בו שאלות וכללים שאני רציתי. לא הייתי צריכה להסכים עם השותפים למשימה ולגבי החלטות מסוימות, וגם יכולתי להכין את העבודה בכל זמן שרציתי ולא להיות תלויה בשעות הפעילה עם השותפים למשימה.

כאשר הפעלתי משחקים של תלמידים אחרים נהניתי לשלול את היצירתיות שהמשחקים, את החוקים החזקים ואת השאלות המגוונות שעליהן נדרשתי לענות. כמו כן, בזמן הפעלת המשחקים נהניתי מאוד לשחק עם חברי לכיתה, מה שלם תרם לבידור כיתתי.

אני נתרמתי בהליך כולו משום שהיצעתי את המשימה בעצמי, לכן אני הכנתי לבד את השאלות ואת התשובות וכך השתמשתי בידע שלי בכימיה בצורה שונה מהרגיל, ניסחתי את חוקי המשחק וגם הדרכת את תלמידי הכיתה כיצד לשחק במשחק זה. בנוסף השתתפתי בכל השיעורים שבהם הפעלתי את המשחקים של כולם ועניתי על השאלות בנושא החומר הנלמד בכימיה".

ציטוטים מתוך דברי התלמידים לסיכום הפרויקט:

ניסים: "במהלך עשיית המשחק נהניתי מכתובת השאלות ומחשיבה עליהן משום שרמת הקושי של השאלות הייתה גבוהה, היה קשה לחשוב עליהן... בחרתי לבצע את המשימה עם חבר משום שכל אחד יכול לתרום לאיכות המשחק, לאיכות השאלות ואפילו לאיכות התשובות, כך שצריך אדם שיהקיר את הדברים שאתה עושה ולהפק, וכך ליצור משחק מצוין, מובן וכיפי... הפעלת המשחקים האחרים הייתה מהנה, במיוחד כי רמת המשחקים הייתה קשה מאוד ואתגרית, ואפשר היה ללמוד המון מהם... הפעלת המשחקים, עשיית המשחק האישי ונהניתי השאלות במיוחד תרמה לי רבות. למדתי המון דברים חדשים מהתשובות של המשתתפים במשחקים, וגם זאת לימדה אותי, בעת עשיית השאלות היינו צריכים למצוא גם תשובות, ומהליך זה למדתי גם לי לשלול דברים חדשים על דברים שחשבתי שאני יודע. גיליתי כי שיטת השאלות והתשובות מצוינת ללמידה למבחנים, ודבר זה יתרום לי רבות לעתיד. בעת הפעלת המשחק תקשרתי עם ילדים רבים. ילדים שאדם אני לא מתקשר בדרכי כולל, דבר שתרגם להתקשרות שלי בשכבה."



תלמיד"י משחקים "ששטוס כימי"

יישומונים* של טלפונים חכמים לשימוש בלימודי הכימיה בתיכון

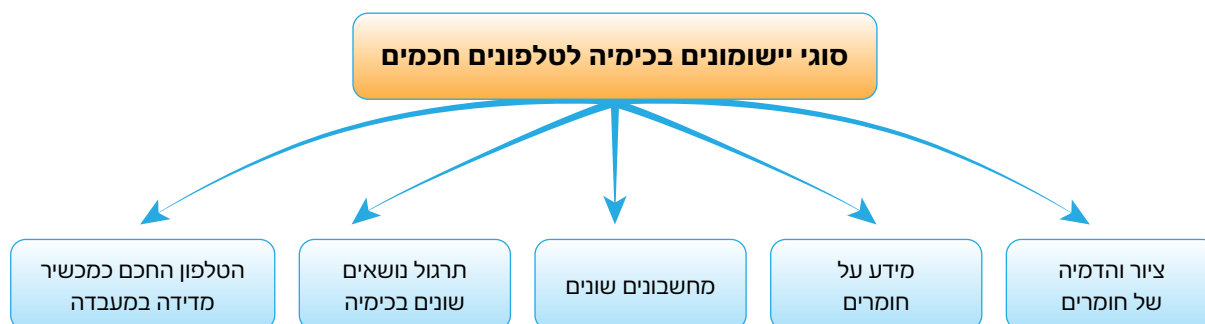
רותי שטנגר**

המתאימים לתלמידי הכימיה בתיכון. כל היישומונים שנבחרו הם יישומונים חינוכיים (מלבד הסעיף האחרון) המתאימים ל-iOS. לחלקם גם גרסה עבור Android, ולחילופין קיימים יישומונים דומים המותאמים ל-Android.

הדרך הטובה ביותר להכרת היישומונים ולבחירת יישומונים המתאימים לשימושכם, היא לחפש ב-App Store או ב-Google Play בעזרת מילות חיפוש כמו chemistry או chem.

את היישומונים ניתן לחלק לקטגוריות האלה:

מגוון היישומונים בכימיה הניתנים להפעלה מהטלפונים החכמים והמתאימים לשימוש על ידי תלמידי הכימיה בתיכון גדל כל הזמן. בחנויות היישומונים: App Store, עבור מערכת ההפעלה iOS (מכשירי iPhone, iPad), ו-Google Play עבור מערכת ההפעלה Android (של מכשירים סלולריים חכמים רבים אחרים), ניתן להוריד יישומונים רבים כאלה, חלקם חינוכיים וחלקם בתשלום. במאמר זה נסקור כמה דוגמאות מתוך המגוון העצום של יישומונים



ציור והדמיה של חומרים

שם היישומון	תיאור	הערה
 ChemDoodle Mobile	יישומון המאפשר לצייר מולקולות בצורה פשוטה. לחיצה על 3D הופכת את הציור גם למודל תלת-ממדי. לחיצה על המחשבון מחשבת את המסה המולרית של החומר המצויר ועוד.	
 MolPrime	לחיצה על Create New מאפשרת להתחיל לצייר מולקולה חדשה. כל מולקולה חדשה מצטרפת לתצוגה. לחיצה על אחת מהמולקולות הנמצאות בתצוגה מציגה אותה ומאפשרת עריכת שינויים במבנה.	לחיצה ארוכה על מולקולה שבתצוגה פותחת סרגל. לחיצה בסרגל על המשקולת נותנת את הנוסחה המולקולרית והמסה המולרית של החומר המצויר.

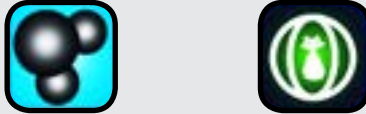
* יישומון = אפליקציה

** רותי שטנגר, מכן דוידסון לחינוך מדעי, מכון ויצמן, רחובות.

מידע על חומרים

שם היישומון	תיאור	הערה
 ChemSpider	מידע על חומרים: מסה מולרית, נוסחה, נתונים פיזיקליים, ציור דו-קמדי ותלת-קמדי של חומרים מולקולריים	אפשר להשתמש באתר www.chemspider.com גם בגלישה רגילה. רצ"ב קישור לסרטון הדרכה שהכנתי על אופן השימוש באתר זה.
 K12 Periodic Table of the Elements	לחיצה על יסוד בטבלה מבליטה אותו עם המספר האטומי והמסה האטומית שלו. לחיצה נוספת על היסוד מציגה נתונים נוספים: טמפרטורות היתוך ורתיחה, רדיוס אטומי ועוד. לחיצה על אייקון הבורג מאפשרת בחירה של תצוגות נוספות.	כדאי להכיר גם שתי טבלאות מחזוריות אינטראקטיביות בעברית, שאינן ניתנות להורדה כיישומון, אך אפשר להפעילן בגלישה רגילה: באתר של אורט: http://elements.ort.org.il באתר של מט"ח: http://juniorofek.cet.ac.il/units/he/Science/unit278/periodicTable.aspx
 iTeach Chemistry Lite	בחירה בציור הטבלה: לחיצה על יסוד בטבלה המחזורית פותחת חלון עם מספר נתונים בסיסיים על היסוד: שמו, המסה האטומית, הערכות האלקטרוניים ועוד. בחירה בציור מד הטמפרטורה: אפשרות לשנות טמפרטורה ולראות מהו מצב הצבירה של כל היסודות בטבלה בטמפרטורה הנבחרת. בחירה במבחנות: אפשרות קריאה של מידע מסוכם בקצרה על כמה נושאים - באנגלית.	מדי פעם עולות פרסומות, ויש לסגורן על ידי לחיצה על no thanks.

מחשבוני שונים

שם היישומון	תיאור
 Convert Any Unit Free	יישומון למעבר בין יחידות. מקלידים ערך מספרי והיחידה שלו, וכן את היחידה הרצויה, ומקבלים את הערך המספרי ביחידה הרצויה.
 Molar Mass & Merp Chemical Formulas	שני יישומונים לחישוב מסה מולרית. מכניסים נוסחה מולקולרית ע"י הקשה על היסודות המתאימים (לדוגמה: H ₂ O, H ₂ O, H עבור H ₂ O) ומקבלים את המסה המולרית של החומר.
 DailyCalcs- Science Calculator	יישומון שמאפשר לחשב: הכנת תמיסה : המסה של חומר הנחוצה להכנת נפח רצוי של תמיסה בריכוז רצוי. מיהול : הנפח שיש לקחת מתמיסת האם ליצירת התמיסה המהולה הרצויה. מסה מולרית : עפ"י הקלדת הנוסחה המולקולרית. מעבר יחידות : הקלדת ערך מספרי ביחידה מסוימת נותנת את הערך המספרי המחושב במבחר יחידות נוספות ועוד...



תרגול נושאים שונים בכימיה

שם היישומון	תיאור	הערה
 +Amino-	הכרת נוסחאות של חומצות אמיניות. לוחצים על Structure ולאחר מכן על שם אחת מהחומצות האמיניות כדי לקבל את נוסחתה.	
 ChemApp Lite	תרגול כתיבת נוסחה נכונה של חומר עפ"י שמו באנגלית.	לדוגמה: היישומון רושם "Aluminium Oxide" ואז יש ללחוץ על Al, 2, O, 3 ולסיים בלחיצה על $\sqrt{\quad}$.
 O=CHEM	הכרת קבוצות פונקציונליות בכימיה אורגנית: לחיצה על שם של קבוצה פונקציונלית מציגה את נוסחת הקבוצה.	
 Chemistry Formula Practice Lite	תרגול שמות של קבוצות פונקציונליות בכימיה אורגנית. יש לבחור בתפריט Organic Functional Groups ואז להתאים את הנוסחה של הקבוצה הפונקציונלית המוצגת לשמה, או להפך.	ניתן גם לתרגל את שמות היונים המורכבים, אך אלה הם השמות באנגלית.
 My Altitude	יישומון, לאו דווקא בכימיה, המבוסס על GPS. בעת ההפעלה מקבלים את הגובה של המקום שבו אנו נמצאים כרגע, וכן את טמפרטורת הרתיחה של המים בגובה זה.	בסוף המאמר יש דוגמה לשימוש ביישומון זה בכיתה י'.

מובן שיש להיזהר מנזקים לטלפון בעת העבודה במעבדה.

דוגמה לפעילות בכיתה י' בעזרת היישומון My Altitude

הנושא: תכונות פיזיקליות של חומרים ← טמפרטורות היתוך ורתיחה ← טמפרטורת הרתיחה של מים בגבהים שונים מעל גובה פני הים.

הפעילות מתאימה כפתיחה לנושא של טמפרטורת הרתיחה של המים בגבהים שונים מעל גובה פני הים.

מבקשים מהתלמידים להוריד את היישומון לטלפון החכם ולהפעילו כשהם יוצאים לטיולים עם המשפחה, עם תנועת הנוער וכו'. בכל הפעלה יש לרשום את המיקום, הגובה

הטלפון החכם כמכשיר מדידה במעבדה

אפשר לחבר לטלפון החכם חיישנים שונים ולהפעילם במעבדה או מחוצה לה לאחר הורדה של היישומון המתאים. בתחומים רבים ושונים החיישנים מאפשרים לבצע מדידות מדעיות בכל מקום ועל ידי כל אחד. הנה מספר דוגמאות: [חיישנים רפואיים](#) (מד גלוקוז, מד לחץ דם, EKG, ועוד), [גלאי עשן ופחמן חד-חמצני](#), [חיישן טמפרטורה](#) המאפשר מדידת טמפרטורה של תמיסות לאחר הורדת היישומון המתאים, [חיישן pH](#) המאפשר קריאה של pH של תמיסות על המסך לאחר חיבור אלקטרודת pH לטלפון החכם, [חיישן לקביעת אחוז האלכוהול בנשיפה](#) ועוד עשרות חיישנים אחרים.

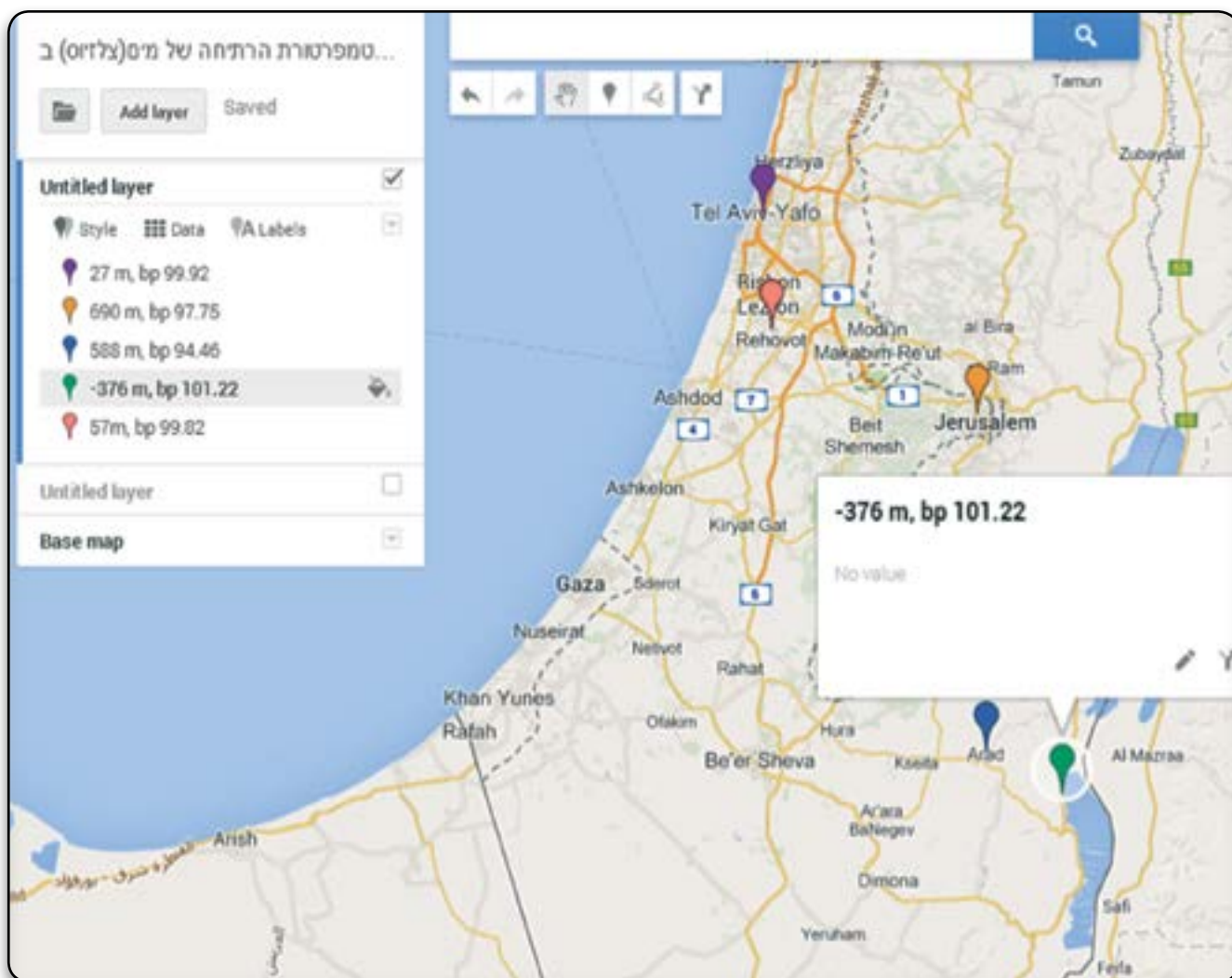
כשהמפה מוכנה פותחים אותה בכיתה, מבקשים מהתלמידים למצוא מהו הקשר בין הגובה מעל לפני הים לבין טמפרטורת הרתיעה של המים, ואז מסבירים את הנושא בכיתה.

מבקשים מהתלמידים לצייר גרף בעזרת הגיליון האלקטרוני של טמפרטורות הרתיעה (ציר Y) מול הגבהים (ציר X). בעזרת הגרף מעריכים מה תהיה טמפרטורת הרתיעה של המים בפסגת האוורסט (8,848 מ' מעל לפני הים), בים המלח (423 מ' מתחת לפני הים) ועוד, ואז מחפשים באינטרנט את הנתונים ומשווים אותם לנתונים שהתקבלו מהגרף (בפסגת האוורסט כ-70°C, בים המלח כ-101.5°C). ראו [גרף](#) לדוגמה.

וטמפרטורת הרתיעה של המים.

פותרים מפה שיתופית ב-Google Maps וגיליון אלקטרוני שיתופי שבו שני טורים: גובה (מ') וטמפרטורת רתיעה של מים (°C).

מבקשים מהתלמידים להכניס את הנתונים שלהם למפה השיתופית: לסמן על המפה במיקום שבו נערכה המדידה את הגובה ואת טמפרטורת הרתיעה של המים (ראו קטע ממפה לדוגמה), ובמקביל להכניס את נתוני הגובה ואת טמפרטורות הרתיעה לטורים המתאימים בטבלת הגיליון האלקטרוני.



מפת טמפרטורת הרתיעה של מים בגבהים שונים מעל גובה פני הים

כימיה בין תלמידים

פעילות חקר בין תלמידים

נטע שטרנשיין*



- מנה 4 תלמידים.
2. ריכזתי רשימת ניסויים מומלצים שמתוכה התבקשה כל קבוצה לבחור פעילות ובמקביל ניתנה אפשרות לתלמידים להציע ניסויים (מצורף מאגר הפעילויות שנבחרו). במקרה שנבחרה פעילות זוהי על ידי שתי קבוצות, נערכה הגרלה.
3. כל צוות נפגש עם תופעה המזמנת חקר בעזרת ניסוי מקדים.
4. התלמידים הגישו דו"ח ברמת חקר חלקי, שלפיו עליהם לבצע שני שלבים מתוך המחוון: 1. היכרות עם התופעה. בשלב זה נדרשו התלמידים להעמיק את הידע בתופעה הנחקרת בעזרת 3 מקורות מידע לפחות. 2. תכנון הניסוי.
5. הדו"חות הוערכו מתוך הקפדה על העמקת החלק התאורטי ועל הבנתו על ידי חברי הקבוצה.
6. עיבוד הניסוי לתלמידי י' בהתאם להנחיות הבאות:
 - א. תכנון מהלך ניסוי להצגה בפני התלמידים.
 - ב. הכנת דפי הנחיה לתלמידים הכוללים מהלך ניסוי, ציוד וחומרים הנדרשים לניסוי ושאלות נלוות.
 - ג. לאחר הבדיקה - שליחת דפי ההנחיה לצילום.
 - ד. הזמנת ציוד וחומרים מהלבורנטיות לשם עריכת הניסוי.
 - ה. הכנת התחנה בצורה מזמינה: שם התחנה ושמות המנחים מצוינים בצורה ברורה ואסטטית.
7. במקביל נערכה הכנה של תלמידי י' על ידי מורי הכימיה ומחנכי הכיתות לקראת הפעילות ונקבעו קודי התנהגות.
8. היערכות לקראת ביצוע הניסוי - הוכנו מגשי ציוד וחומרים על ידי הלבורנטיות, לכל כיתה הוכנו 4 מגשים לכל תחנה (בסה"כ הוכנו 24 מגשים לכל ניסוי, ל-6 הכיתות). המגשים רוכזו על עגלה נפרדת לכל תחנה, ועליה צוין שם הניסוי.
9. ביצוע הניסוי.

יום אחד בשנה מעבדת הכימיה הופכת למקום עלייה לרגל (במקרה שלנו "ירידה"), לתלמידי י', למורים מקצועיים, למחנכים ולצוות הנהלה. גם אלו שאינם מבקרים במעבדתנו ביום זה, אינם יכולים להתעלם מההדים הנלהבים היוצאים מחדר המעבדה. הכימיה הופכת למרכז השיח הבית ספרי ביום זה. את הפעילות מובילים תלמידי מגמת הכימיה משכבת י"ב, ובמסגרתה מעבירים פעילויות חקר מסקרנות ומעניינות לתלמידי י"א.

להצלחתו של יום זה נדרשת עבודת הכנה מרובה ושיתוף פעולה של הגורמים המעורבים בהובלת הפרויקט ובהתנהלותו, ובעיקר - של תלמידי מגמת הכימיה משכבת י"ב.

מטרות הפעילות

1. התנסות בהנחיית חקר של תלמידי י"ב - פיתוח כישורי הנחיה והובלת תהליך למידה של תלמידי י'.
 2. חשיפת מגמת הכימיה בפני תלמידי י'.
 - א. יום חווייתי לתלמידי י' שבמהלכו הם נחשפים לפעילות חקר בכימיה.
 - ב. יצירת תקשורת בין תלמידי י"ב לתלמידי י' לקראת בחירת מגמה - מתן במה לשאלות של תלמידי י' על מגמת הכימיה.
 - ג. חוויה חיובית בכימיה גם עבור תלמידים שאין בכוונתם להמשיך בלימודי הכימיה המוגברים.
 3. "גאוות יחידה" לתלמידי מגמת הכימיה.
- הצלחת הפרויקט הייתה מטרה משותפת לכל תלמידי הכיתה, והיא חייבה את כל התלמידים לשתף פעולה ביניהם.

שלבי הפעלת הפעילות

1. התלמידים התחלקו באופן עצמאי לצוותי עבודה. כל צוות

* נטע שטרנשיין, מורה לכימיה, ב"ס בויאר, מדריכה ארצית לאוריינות כימית.

1. בבית ספרנו מתחילים את לימודי המגמה בכיתה י"א. בכיתה י' לומדים כלל תלמידי השכבה את היחידה הראשונה בכימיה.





בה, הפעילויות היו ממונות, הכנת דפי ההנחיה לתלמידים תרמה להעברת הפרויקט בצורה מוצלחת.

3. ההתמודדות עם התלמידים גרמה לנו לפתח את היכולות שלנו להעביר מסרים ולהסביר בסבלנות. כמו כן הייתה תחושת סיפוק כאשר תלמידי "הבית" את הניסוי והתאבדו ממנו. שאלנו אותם שאלות שלרוב לא הם לחשוב ולהבין בעצמם את התהליך.

4. העבודה בצוות הייתה מועילה מאוד. כל אחד בצוות ביצע חלק מסוים מתוך שלבי העבודה. במהלך העבודה ביצענו תחלופה בינינו, ולכן כל התהליך היה מלא בעניין והתלהבות.

5. הניסוי היה מעניין ומלא. ההסבר לתופעה היה ברור, מעניין ומפתיע. התלמידים נחשפו לרצף של הכימיה המיושמת בחיי היומיום - דבר שמעלה את חשיבות הכימיה בחייו.

6. הדיון בין חברי הקבוצה היה מעניין וארוך, התפתח שיה מדע בין תלמידי "אתגרי" ו"ב".

7. הפעילות בקבוצות קטנות תורמת לאווירה רגועה וטובה משאירה את תלמידי "מסקרנים".

ב. תגובותיהם של תלמידי "ה" היו נלהבות, התלמידים הביעו עניין רב וסקרנות בפעילויות שביצעו, שיתפו פעולה בצורה מיטבית, העריכו וכיבדו את עבודתם והשקעתם של תלמידי המגמה. התלמידים ביקשו להישאר לפעילויות נוספות שלא הספיקו לבצע, אך בשל האילוצים לא ניתן היה לאפשר לתלמידים לבצע את כל הפעילויות. התלמידים הביעו עניין בלימודי המגמה.

ג. הצוות החינוכי שביקר במעבדתנו הביע את הערכתו לתלמידי המגמה על עשייתם המקצועית והרצינית. ביום זה היו תלמידי מגמת הכימיה במרכז סדר היום, והייתה זו הזדמנות עבורם לחשוף את כישוריהם בתחום החקר בכימיה.

זוהי הזדמנות להודות לצוות הליברנטיות של בית ספר בויאר: מינה אהרונסון, יוליה בוריסנקו ומרינה זולנינסקי, שלולא התגייסותן, התלהבותן, מקצועיותן וחריצותן - לא ניתן היה להוביל פרויקט זה.

א. הופעלו 7 תחנות, משך פעילות לכל כיתה - 45 דקות. תלמידי "ה" התחלקו לקבוצות וערכו סבבים בין התחנות. כל פעילות נמשכה כ-10-15 דקות.

ב. התלמידים נדרשו להקפיד על כללי הבטיחות.

ג. תלמידי "מילאו" אחר הנחיות תלמידי המגמה ועבדו על פי דפי ההנחיה שהוכנו.

הערכת תלמידים

לפרויקט זה נלווה מחוון אשר הותאם לאופי הפעילות. הבסיס להערכה הנו מחוון ברמה 2 חלקי, ואילו התווספו קריטריונים המתייחסים לעבודת ההכנה, ששמו דגש על איסוף מקורות מידע וביסוס הידע התאורטי. כמו כן בחלק של הצגת הפרויקט הוערכו כישורי ההנחיה של התלמידים על פי הממדים הבאים:

- התלמיד מציג את הפעילות בצורה בהירה ועניינית.
 - התלמיד מגלה ידע והבנה בנושא.
 - התלמיד משתמש בשפה מדעית ונכונה.
 - התלמיד עורך את ההצגה בצורה מסקרנת ועניינית.
- בחלק המסכם התבקשו התלמידים לכתוב משוב לפעילות שנערכה.

הערכת התלמידים התבצעה בשני שלבים. בשלב הראשון הוערכו שני החלקים הראשונים של החקר הכוללים היכרות עם התופעה ותכנון הניסוי.

החלק השני של ההערכה התבצע לאחר ביצוע הפעילות בפני תלמידי "ה", ובחלק זה הוערכו הקריטריונים הקשורים לביצוע הניסוי, להנחיית הפעילות ולרפלקציה שלאחריו.

משובים

א. משובים של תלמידי "ה":

1. העברת הפרויקט לתלמידי "ה" יצרה אצלם עניין וסקרנות, שיכולים למלא אותם אלימות הכימיה. תוצאת הפרויקט תלמידי "ה" הרגישו נוח לפנות אלינו בנושאים הקשורים למגמה. בנוסף העברת הפרויקט תורמת גם לנו, המנחים, כיוון שכך אנו מתנסים בהעברת ניסויים והרצאות. הפרויקט תורם גם ליכולת בינינו לבין שכבת "ה".
2. המעבדה התקשה לאבד הפרויקט והיה נעים לשהות



מורים מצטיינים

מטעם החברה הישראלית לכימיה לשנת תשע"ד



ערן שמואל הוא מורה ומחנך, המלמד כימיה וביוכימיה בתיכון רוטברג ברמת השרון, בעל תואר שני מאוניברסיטת בר אילן, שבחר ללמד כימיה בתיכון במקום להמשיך ללימודי דוקטורט. למרות שהוא מלמד כימיה 5 שנים בלבד, הוא הצליח ליצור שינוי משמעותי בלימודי הכימיה בתיכון רוטברג. לראשונה בהיסטוריה נפתחו בתיכון זה שתי כיתות במגמת הכימיה, כלומר הכפלה של מספר הלומדים. ערן הוא מורה, המשלב את הוראת הכימיה עם ערכים חינוכיים, הוא מונע מתחושת שליוחות, מאהבת הזולת ומאהבה למקצוע הכימיה. שיעוריו של ערן מלהיבים ומשלהבים, הוא מרתק את התלמידים, מתבל את הוראתו בסיפורים, במצגות, בסיוורים לימודיים, בדוגמאות אותנטיות ובניסויים.

הוא משלב את כל התלמידים, נוגע באופן אישי בכל אחד מהם, מאיר פנים ויוזם פעילויות מיוחדות, כדוגמת חגיגות "יום המול". כל זאת, תוך הצבת סטנדרטים גבוהים בהוראה ובלמידה, אשר באים לידי ביטוי בהישגים הגבוהים של תלמידי הכימיה בבית הספר. ערן מסייע בהכשרת הדור הבא, מאפשר לפרחי הוראה להגיע לשיעוריו לשמוע, ללמוד וללמד, משתתף פעיל בהשתלמויות מורים ומשתף פעולה עם מורי כימיה רבים.

ערן שמואל - תיכון רוטברג, רמת השרון
eran_shmuel@hotmail.com



ענת פלדנקרייז היא בוגרת תואר שני בכימיה בהצטיינות ממכון קזאלי, האוניברסיטה העברית. היא החלה את דרכה בתעשייה הכימית ולאחר מספר שנים עברה הסבה מקצועית להוראת כימיה בתיכון. לפני כ-15 שנים הקימה את - מגמת הכימיה בתיכון דרור. מאז היא מלמדת במקצועיות, מתוך מסירות ללא גבול לתלמידים ולמקצוע, תוך 'צירת' עניין רב בקרב תלמידיה. ענת משלבת בהוראה מגוון עצום של פעילויות, כולל ביצוע מעבדות חקר, פרויקטים, סיורים באקדמיה ובתעשייה, עבודות גמר, הנערכות בשיתוף עם חוקרים באוניברסיטאות, תחרויות, כגון הכימאדה, וחושפת את תלמידיה לשיטות לימוד חדשניות. היא מקדישה שעות רבות להוראת הכימיה, מחוץ למסגרת הפורמלית, תוך הענקת תחושת מסוגלות לכל אחד מתלמידיה. ענת היא מחנכת, השואפת להצמיח בוגרים מצטיינים, ומביאה את תלמידיה להישגים גבוהים ברמה הארצית. היא מסייעת לתלמידיה מחוץ למסגרת הלימודים הרגילה, מקדמת את המצטיינים ומסייעת למתקשים. הקשר של ענת עם תלמידיה הינו אישי מאוד ונמשך גם לאחר תום הלימודים. היא מלווה מורים חדשים באופן מעורר השראה, במסגרת תפקידה כמדריכה, ואף באופן בלתי פורמאלי. כמדריכה, יצרה שינוי ניכר בקרב המורים שהדריכה ומשמשת כמודל לחיקוי עבור מורים רבים.

ענת פלדנקרייז - קרית חינוך ניסויית דרור,
המועצה האזורית לב השרון
anatfld@netvision.net.il

מים קשים-מים רכים:

מעבדה מקורית בנושא כימיה של הסביבה

רחל אידלמן*

כאשר מנסים לחמם מים מסוג זה בקומקום המלא באבנית, שכבה מבודדת זו מצריכה מאתנו להשקיע הרבה יותר אנרגיה בחימום. יוני הסידן אחראים להיווצרות האבנית הנוצרת כאשר מחממים מים. נוצר חומר קשה-תמס: סידן פחמתי (גיר), CaCO_3 . האבנית הנוצרת שוקעת וסותמת צינורות ופוגעת ביעילות התהליכים המסתמכים על המים החמים הזורמים בהם. כאשר המים מגיבים עם מולקולות סבון - נוצרות תרכובות קשות-תמס גם כן, ודבר זה יוצר בעיה דומה.

ניקיון ושטיפה הופכים למסובכים יותר כאשר המים קשים. כאשר המים קשים, יש צורך להשתמש בכמות גדולה של חומרי ניקוי כדי להשיג את אותה התוצאה.

יתרונותיהם של המים הקשים

ארגון הבריאות העולמי קבע: "אין כל ראיות משכנעות המצביעות על כך ששתיית מים קשים פוגעת בבריאות האדם". מחסור בסידן עלול להוביל לרככת עצמות ואף למחלת דלדול עצם (אוסטאופורוזיס). בנוסף סידן משתתף בתהליכים חיוניים אחרים בגוף, ביניהם קרישת דם.

למגנזיום יש תכונות חיוביות רבות: תרומה לשמירה על השיניים, עיכוב זיהומים שונים, סיוע לתפקוד מערכת העצבים ומערכת השרירים, סיוע בהפיכת סוכר לאנרגיה והפחתת הכולסטרול בדם.

מים קשים מקטינים את הסיכוי לחלות בהתקפי לב, ובאופן אירוני - גם את הצטברות האבנים בכליות.

מים רכים הם מים המכילים כמות מינרלים מומסים קטנה (ראה טבלה 1). הדבר ממזער את הסיכויים להיווצרות אבנית. יכולת ההקצפה של מים רכים בנוכחות סבון משתפרת, המשקעים המאפיינים את המים הקשים (כגון הטבעת הנשארת מסביב לאביק האמבטיה לאחר הרחצה

במהלך 3 השנים האחרונות אני מגישה את תלמיד"י ליחידת המעבדה. ניסיתי כמות גדולה מאוד של מעבדות מתוך המאגר ומתוך מעבדות שאחרים תרמו לי. כעת הגיע תורי לתרום מעבדה מקורית למגוון המעבדות הקיים.

המעבדה המתוארת בכתבה זו היא ברמת חקר מלא, אך ניתנת להתאמה לרמת בסיס או חקר חלקי.

שם המעבדה: "מים קשים-מים רכים"

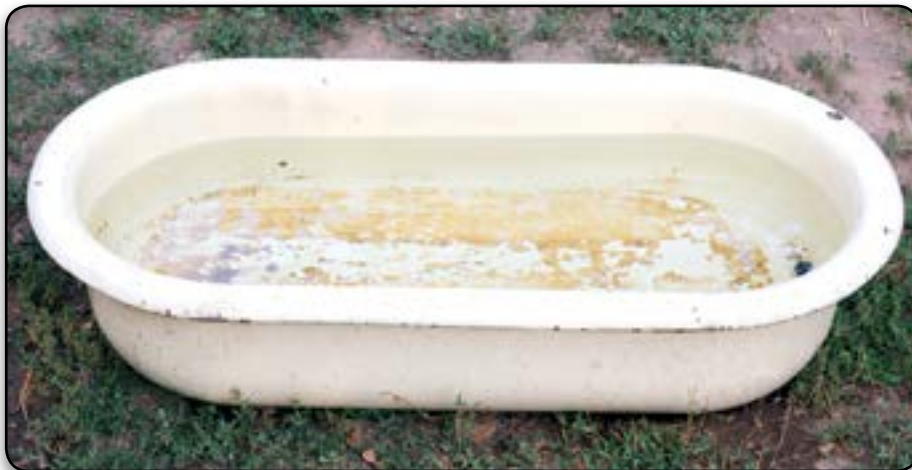
נושאי המעבדה: המעבדה מתקשרת לנושא 'הכימיה של הסביבה' ולהבנת המושגים 'מים קשים' ו'מים רכים'. ניתן לשלב את המעבדה גם בכיתה י' או בתחילת כיתה י"א כחלק מהוראת מבנה וקישור, כאשר מלמדים על תכונות המים.

רקע מדעי: מים קשים הם מים המכילים יוני סידן או יוני מגנזיום (לעתים גם יוני ברזל תלת-ערכיים או יוני מנגן). כלומר, כמות המינרלים המומסים במים קשים גבוהה (ראה טבלה 1). מקור המים הקשים בישראל הוא בקידוחים השואבים מים מאקוות (אקוויפר) ההר העשיר בסלעי סידן ודולומיט. בשל המסת המינרלים שבסלעים אלו מתקבלים מים בעלי ריכוז גבוה יחסית של סידן ומגנזיום - מים קשים. חלק מהמים שמספקת 'מקורות', חברת המים הלאומית, הם מים קשים. עם זאת במקורות מים רבים אחרים בארץ קשיות המים אינה יוצאת דופן, כמו למשל במי הכנרת ובמים שמקורם במתקני התפלה. דרגת הקשיות של המים היוצאים מברז הצרכנים נקבעת על פי התמהיל הסופי של אחוזי המים שמקורם באקוות ההר ובמתקני ההתפלה.

חסרונותיהם של המים הקשים

יש הסבורים ששתיית מים קשים פוגעת בגוף האדם וגורמת לבעיות שונות כדוגמת בעיות עור ופגיעה במראה הגוף והשיער. הימצאות מים קשים מהווה נטל כלכלי לא פשוט. למשל,

* רחל אידלמן, מורה לכימיה בעירוני ב' ע"ש רבין-מודיעין



הצטברות אבנית באמבטיה



הצטברות אבנית על גוף החימום של מכונת הכביסה

טבלה 1: ערכי קשיות מים

דרגת הקשיות	CaCO ₃ מ"ג/ליטר (ppm)
מים רכים	עד 20
רכים במקצת (Moderately soft)	בין 20 ל-40
מים קשים במקצת (Slightly hard)	בין 40 ל-60
מים קשים במידה בינונית (Moderately hard)	בין 60 ל-80
מים קשים	בין 80 ל-120
מים קשים מאוד	מעל 120

מים קשים-מים רכים: ניסוי חקר רמה 2 מלא

הוראות כלליות

- קראו היטב את כל ההנחיות לפני תחילת ביצוע הניסוי.
- בדקו שנמצאים ברשותכם כל הצידוד והחומרים הנחוצים לביצוע הניסוי.

ציוד וחומרים

- 2 בקבוקים בנפח 0.5 ליטר + פקק מתאים
- 2 כפיות מלח אפסום (Epsom salt)
- מספר טיפות סבון כלים
- מי ברז.

או כתמים שחורים על בגדים שיצאו ממכונת הכביסה) נעלמים, פעולת הסבון משתפרת ככל שהמים נקיים יותר. מיונים, ויכולת הניקוי של המים הופכת לפשוטה יותר.

ניתן להפוך מים 'קשים' למים 'רכים' על ידי פעולות לריכוך מים. ניתן להשתמש במרכז מים (מחליף יונים), הגורם ליוני הסידן והמגנזיום להתחלף ביוני נתרן. אלה האחרונים נמסים היטב במים ואינם יוצרים משקעים קשי-תמס. שיטה נוספת היא חימום המים ליצירת המשקעים ולאחר מכן סינון המים והוצאת החומרים היוניים קשי-התמס מהמים.

פיתוח קבוצת חומרים חדשה בשם "דטרגנטים" שיפירה אף היא את איכות פעולת הניקוי. דטרגנטים אינם מגיבים עם יוני סידן ומגנזיום, ולפיכך אינם יוצרים משקעים. אולם בעיה חדשה נוצרה עם פיתוח הדטרגנטים, שכן הם מהווים מפגע סביבתי מזהם.

מים רכים נעימים יותר לרחצה, טעמם משופר, ויש להם יתרון כלכלי: מכיוון שאינם גורמים סתימות ונזק לצנרת, נחסכת השקעת אנרגיה רבה בחימום המים. הורדת 1 מ"מ אבנית מורידה את צריכת האנרגיה בכ-10% אחוזים.

להלן פירוט הדרגות של קשיות המים (מ"ג סידן¹ לליטר מים):

1. קשיות המים נקבעת לפי יוני הסידן בשל נוכחותם הגבוהה לאין שיעור מזו של יוני המגנזיום



שלב א' - מהלך הניסוי

הקפידו על ביצוע ההנחיות האלה:

- מילוי מדויק אחר ההנחיות לביצוע שלב א'
- איסוף תצפיות רבות ככל האפשר
- דיווח ברור ומאורגן על התצפיות
- שיתוף כל חברי הקבוצה בביצוע המשימות השונות
- שימוש בשפה מדעית נכונה ומדויקת לכל אורך התהליך.

1. סמנו את הבקבוקים במספרים '1' ו-'2'.
2. מלאו את שני הבקבוקים במים עד לשני שלישי מגובהם.
3. הכניסו לתוך בקבוק '1' שתי כפיות מלח אפסום.
4. פקקו את שני הבקבוקים ונערו אותם בחוזקה למשך כמה שניות.
5. הסירו את הפקקים והוסיפו לכל בקבוק מספר טיפות סבון כלים.
6. פקקו את שני הבקבוקים ונערו אותם בחוזקה למשך כמה שניות.

שלב ב' - ענו על השאלות הבאות:

- i. מהם מים קשים? (הגדרה).
 - ii. מהן ההשלכות של שימוש במים קשים בחיי היום יום? פרטו תשובתכם.
 - iii. מהם מים רכים? (הגדרה).
 - iv. כיצד מייצרים מים רכים? תנו 2 דוגמאות והסבירו אותן.
- i. כיצד מחשבים את קשיות המים?
 - ii. חפשו בספר הלימוד ומצאו את הערכים הממיינים את המים לרכים וקשים. העתיקו את הטבלה לדו"ח.
- i. מהו מלח אפסום? הביאו את הנוסחה הכימית של המרכיב העיקרי במלח.
 - ii. תנו דוגמאות לשימוש במלח זה.
- i. איזה שינוי נגרם למים כשמוסיפים להם מלח אפסום?
 - ii. לפי תצפיותיכם, האם הייתה השפעה לתוספת המלח למים? פרטו את מהות השינוי.
- i. מהו סבון? הסבירו את המבנה הכימי שלו.
 - ii. הסבירו את אופן פעולת הסבון (בחי היום יום) והתייחסו למבנה הכימי.

iii. מה תפקיד הסבון בניסוי? פרטו תשובתכם.

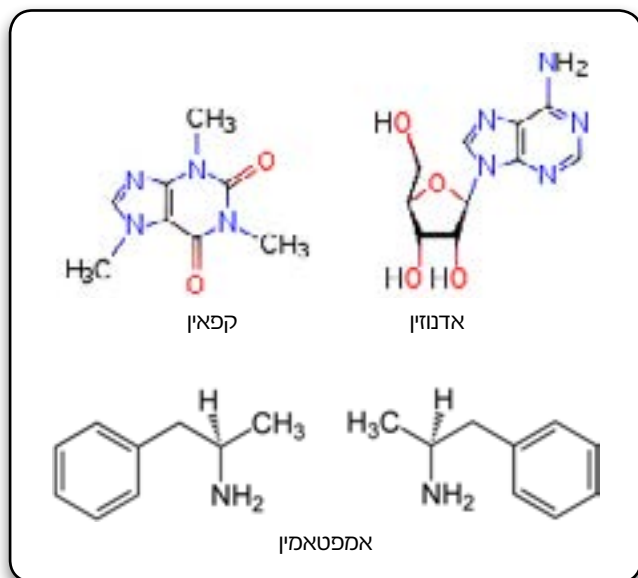
ו. איזו תופעה ביתית מוכרת קשורה לסבון ולמים קשים?

שלב ג': מהלך החקר

1. נסחו 5 שאלות רלוונטיות ומגוונות שמתעוררות בעקבות התצפיות שנערכו.
 - בחרו שאלה אחת מהשאלות שהעליתם.
 - נסחו שאלה זאת כשאלת חקר, בצורה בהירה ובמידת האפשר כקשר בין שני משתנים.
 - נסחו בצורה בהירה ועניינית השערה המתייחסת לשאלה שבחרתם לחקור.
 - נמקו את השערתכם על בסיס ידע מדעי, רלוונטי ונכון.
2. תכננו ניסוי שיבדוק את השערתכם.
 - פרטו את כל שלבי הניסוי, כולל שלב הבקרה.
 - פרטו את בקשתכם לציוד וחומרים על גבי טופס בקשת הציוד.
 - התייעצו במורה ושנו במידת הצורך.
 - העבירו ללבורנט/ית את רשימת הציוד והחומרים.
3. קבלו את אישור המורה למהלך הניסוי שהצעתם.
 - בצעו את הניסוי שהצעתם כפי שאושר על ידי המורה.
 - הציגו את התצפיות ואת התוצאות בצורה מאורגנת (טבלה, תרשים, גרף וכו').
 - פרשו ונתחו את התוצאות.
 - הסיקו מסקנות רבות ככל האפשר על הבסיס של כל תוצאות הניסויים ונמקו.
 - בדקו את הקשר בין שאלת החקר לבין המסקנות.
4. בדיון הקבוצתי המסכם
 - חוו את דעתכם על כל שלבי החקר (מגבלות, דיוק וכו').
 - במידת הצורך הצביעו על השינויים הרצויים בתהליך החקר.
 - רשמו שאלות נוספות שהתעוררו בעקבות התהליך כולו.
 - הכינו את הסיכום לניסוי החקר של קבוצתכם להצגה בפני הכיתה.
5. בדיון הכיתתי המסכם
 - התייחסו לניסוי לאור הדיווחים של כל קבוצות העבודה.
6. הקפידו על דוח מאורגן, אסתטי וקריא. עבודה נעימה

כימיה "על כוס קפה"

מלכה יאיון ורון בלונדר*



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

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

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

הכימיה מאחורי הכנת קפה "אספרסו"

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

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

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

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

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

מדוע אנשים אוהבים לשתות קפה?

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

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

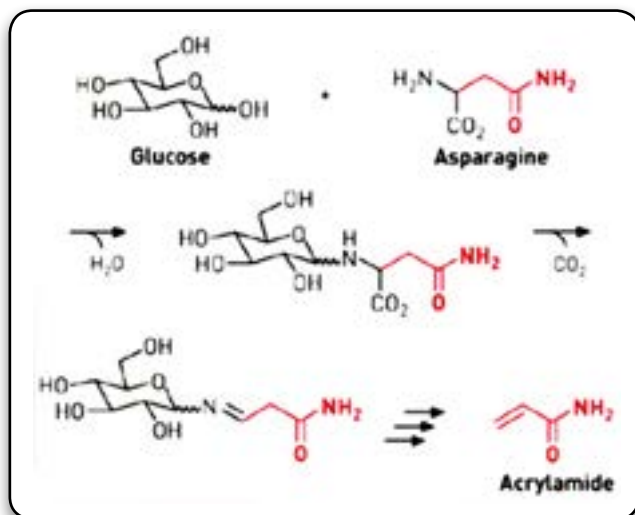
הכנת אספרסו כוללת שלושה שלבים:

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

שלב ראשון בהכנת הקפה: צליית פולי קפה ירוקים

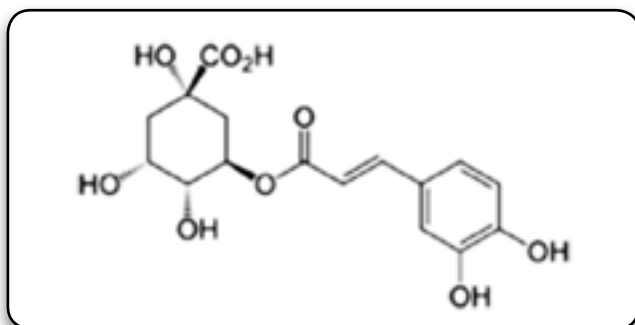
ברמת המאקרו, תהליך הצלייה הוא פשוט - פולי הקפה הירוקים הופכים לחומים, בעלי ריח אופייני של קפה. ברמת המיקרו, כל פול משמש כ"סיר לחץ קטן" המאפשר לתהליכים רבים להתרחש, וכך אלפי חומרים חדשים נוצרים! בשלב ראשון מאדים את המים שבתוך פולי הקפה על ידי חימום עד ל-150°C. הצלייה מתרחשת בטמפרטורות גבוהות 160°C - 240°C. כאמור, בטמפרטורות אלו נוצרות אלפי תרכובות, ביניהם ניאסין (ויטמין B3), אך התוצר העיקרי הוא פחמן דו-חמצני (CO₂(g)). על כל קילוגרם פולי קפה, נוצרים 12 ליטר פחמן דו-חמצני! מכיוון שלפולי הקפה דופן תא עבה, הלחץ בכל אחד מפולי הקפה גדל מאוד במהלך הצלייה ומגיע לקרוב ל-25 באר (קרוב ל-25 אטמוספרות). תנאים של טמפרטורה ולחץ גבוהים מאפשרים קיום של מגוון גדול של תהליכים, ביניהם [תגובת מאיירד - Maillard](#) (איור 2) אשר במהלכה חומצות אמינו חופשיות מגיבות עם סוכרים תוך כדי קבלת מלאנוידיים melanoidins בעלי צבע צהוב-חום-שחור. בסך הכול היווצרות חומרי הפיגמנט כרוכה בתגובה של

חומרים רבים, למעט קפאין ושומנים.



איור 2: מנגנון חלקי לתהליך מיירד לקבלת אקרילאמיד מגלוקוז ואספרגין

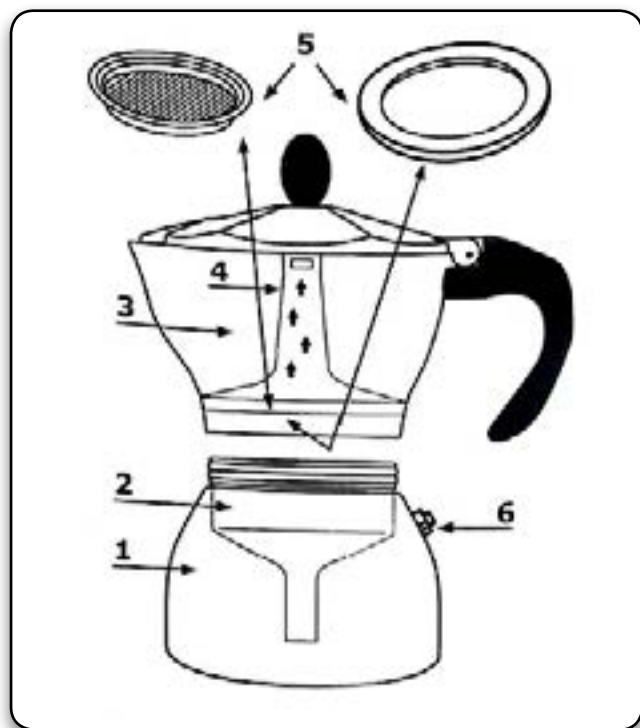
לתהליך קליית הקפה תפקיד מכריע בקביעת הארומה והטעם. למרות שכלל אפשר להכין אספרסו מכל קפה קלוי, עדיף להכין אותו מפולי קפה שעברו קלייה ממושכת, שבמהלכה עברו המרכיבים פירוק שלם. כתוצאה מכך יורד השיעור של חומצות כלורוגניות (איור 3) אשר אחראיות לתחושת העפיצות בקפה. וכך מתקבל הטעם ה"חלש" וה"רך" יחסית של אספרסו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



איור 3: חומצה כלורוגנית

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





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

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

תוכלו לקבל קפה מסוגים שונים:

מקיאטו - על ידי הוספת טיפת חלב חם לקפה.

לאטה - על ידי הוספת חצי כוס חלב חם.

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



אכשיל שחרור יותר גם
 מכל הקפה הוא משה
 כל כך אהוב וגם כיצד להכין
 קפה טעים... אנחנו מקלות
 שתינו מחרבה רגלים נצימים
 "על כוס קפה".

האם חייבים לקנות מכונת קפה כדי להכין קפה טוב?

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

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

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

הוראות להכנת קפה במקינאטו

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



טקס הבונה - פעילות לתלמידים

קראו את הקטע הבא:

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



אישה קולה פולי קפה במהלך טקס הבונה הארץ. צילום: גלית גובזנסקי

בשלב זה מתחילים להריח את הארומה המיוחדת שמאפיינת את הקפה, והאישה מעבירה את המחבת בין האורחים כברכה.



מברכת במהלך טקס הבונה. צילום: גלית גובזנסקי

לאחר שפולי הקפה מתקררים, היא טוחנת אותם במכתש

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

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

לאחר קריאת הקטע, ענו על השאלות הבאות:

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

להעמקה והרחבה בנושא קפה הכנסו לקישורים הבאים:

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

עוד על הכנת קפה

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

על הטקס הבונה בויקיפדיה



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



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

חלון לים התיכון*



התפתחו הדתות המונותאיסטיות באגן הים התיכון? האם אפשר למצוא ביטויים עכשוויים לרקע ההיסטורי המשותף של עמי הים התיכון, על חופיו הצפוני והדרומי? ומה הם האתגרים איתם מתמודדות כיום ארצות הים התיכון - במשותף ובנפרד? אלה הן חלק מהשאלות שמבקש לבחון המוזיאון לתרבויות הים התיכון באמצעות תערוכה קבועה המציגה את ההתפתחות ההיסטורית של התרבויות סביבו, מהתקופה הניאוליטית ועד ימינו, ותערוכות נוספות המתמקדות בנושאים כמו דת, אמנות, חקלאות, האדם והסביבה, היחס לאחר, ועוד.

במונולוג המצולם פורסת ד"ר ממלוק-נעמן את השקפותיה על החינוך המדעי ככלי חוצה גבולות ותרבויות המקדם את רווחת האדם, ומדגישה את החשיבות של לימודי מדע

הים התיכון משמש, זה אלפי שנים, מקום מפגש (ומאבק) בין עמים, דתות ותרבויות. מה משותף תרבויות אלה?

במרסיי, שנבחרה השנה ל"בירת התרבות האירופית", נחנך באחרונה, בנוכחות נשיא צרפת, פרנסואה הולנד, מוזיאון לתרבויות הים התיכון. נדמה כי אין מיקום הולם יותר למוזיאון מסוג זה. מרסיי, שהוקמה לפני יותר מ-2,500 שנה, עם רציפי הנמל הגדול ביותר בים התיכון, שנודעה כצומת כלכלי ותרבותי והייתה שער כניסה מרכזי לאירופה, ואשר מאכלסת כיום מהגרים רבים, אכן מתאימה במיוחד לייצג את תרבות אגן הים התיכון על כל רבדיה.

הים התיכון משמש, זה אלפי שנים, מקום מפגש (ומאבק) בין עמים, דתות ותרבויות. מה משותף לתרבויות אלה? כיצד



נשיא צרפת, פרנסואה הולנד, בחנוכת המוזיאון לתרבויות הים התיכון

* הכתבה נלקחה מתוך עיתון "המכון", גיליון מספר 73, כסלו תשע"ד, דצמבר 2013, עמודים 58 ו-59.



מימין למעלה: קרולין איוב, סוריה; דלילה נדיון, אלג'יר; מרים שרקאווי, מרוקו; אزمרלדה קלבירה, איטליה; פאוזיה שרפי, תוניס; דזירה אל-עזי, לבנון; שהיז עבדל סלאם, מצרים; רחל ממלוק נעמן, ישראל; פאנאיטה קארמפאטו, יוון

"השכלה רחבה, הכוללת השכלה מדעית, אולי אינה מובילה להצלחה מהירה, אך היא בטוחה יותר ומקדמת את רוח האדם. זה הוא 'מותר האדם'", היא מדגישה.

מהיבטים שונים. היא רואה בלימודי המדעים חלק בלתי-נפרד מההשכלה הכללית - לא תחום המיועד ל"מדענים לעתיד" בלבד, אלא ידע חיוני לכל אזרח בעולם המודרני, המבקש להבין את סביבתו ולקבל החלטות מושכלות.



הנשים שנבחרו לספר את תרומתן לקידום זכויות האזרח ורווחת האנושות, בחנוכת המוזיאון לתרבויות הים התיכון

על חייהן ועל השקפת עולמן בסרטון המוקדן על קיר המוזיאון: קרולין איוב, שנמלטה מסוריה בעקבות פעילותה הפוליטית, הקימה ומנהלת במרסיי את "רדיו סוריה החופשית"; דלילה נדיין מאלג'יר, מוציאה לאור של ספרי ילדים, נאבקת בהנהגה הדתית בארצה כדי לאפשר לילדות לקרוא ספרי קומיקס; מרים שרקאווי היא שפית ממרוקו, יוזמת ומובילה תוכניות לשיפור התזונה של אזרחי ארצה; אזמלדה קלבריה מאיטליה הפיקה סרט על המאפיה האיטלקית; פאוזיה שרפי מתוניס היא פרופ' לפיסיקה; דזירה אל-עזי מלבנון היא פרופ' לביוכימיה; שהינז עבדל סלאם היא מדענית בתחום מדעי המחשב ממצרים, שהשתתפה בהפיכה בארצה; פאנאיוטה קאראמפאטו היא אשת עסקים מיוון, שהקימה קואופרטיב של נשים אופות בכפרים בהם קיים אחוז גבוה במיוחד של אנשים דלי אמצעים; ד"ר רחל ממלוק-נעמן, מהמחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע, נבחרה בשל תרומתה לתחום החינוך - ובפרט החינוך המדעי. ד"ר ממלוק-נעמן פועלת לא רק לקידום החינוך המדעי בארץ, אלא גם מובילה תכניות וסדנאות שונות ברחבי העולם, מדרום קוריאה ועד טנזניה. נוסף על כך היא חברה בפורומים שונים, המפגישים מדענים מישראל וממדינות ערב.

"המונולוגים המצולמים ממחישים כיצד יכולות נשים, בדרכן, לתרום לקירוב לבבות ולהידברות בין בני אדם", אומרת ד"ר ממלוק-נעמן. קירוב הלבבות הזה מתבטא לא רק על "קיר הנשים" במוזיאון, אלא גם בקשרים הקרובים שנרקמו ביניהן, כאשר הגיעו למרסיי לחנוכת המוזיאון. ד"ר ממלוק-נעמן מספרת על מפגש אישי משמעותי ומרגש, ועל סקרנות טבעית כלפי הנשים המרשימות - בעיקר אלה שהגיעו ממדינות דוברות ערבית. "יצרנו מיד חברות בלתי-אמצעית, ותחושת שיתוף שהתבססה על הקירבה הגיאוגרפית והתרבותית בינינו. כולנו מכירות את הקונפליקטים שנוצרים בגלל משטרים שונים ותפיסות עולם שונות, וכולנו עוסקות בנושאים כמו חופש הפרט או דת ומדינה. הן מבינות את הקונפליקט היהודי-ערבי, ואני, כישראלית, מבינה מה קורה כיום בעולם הערבי. למרות כל הבעיות והמתחים שעשויים להיות, חברויות בין בני-אדם נוצרות, בסופו של דבר, על בסיס נושאים אוניברסליים משותפים - משפחה, קריירה, חיי היום-יום".

כדי לייצג את נושא ה"אזרחות וזכויות אדם" בארצות הים התיכון, פנו אנשי המוזיאון לתשע נשים מארצות אלה, אשר תרמו תרומה משמעותית - כל אחת בתחומה - לקידום זכויות האזרח ולרווחת האנושות. תשע הנשים מספרות

שנת הקריסטלוגרפיה הבינלאומית

מלכה יאיון ושלי ליבנה*



גבישי מוצק האטומים מסודרים בגבישים בעלי תבניות סימטריות, תבניות שחזרו על עצמן באופן מחזורי. המדענים סברו שמחזוריות זו נדרשת להיווצרות הגביש. התמונה שנגלתה לשכטמן הראתה כי האטומים בגביש שלו סודרו בצורה שלא ניתן לחזור עליה. תבנית זאת נחשבה עד כה לבלתי אפשרית. הייתה הסכמה שניתן לסדר אריחים כך שלא יהיה רווח ביניהם רק אם כל אריח הוא מרובע או משולש, אך אי אפשר לסדר מחומשים ללא רווח. פרופ' שכטמן הראה שגם ללא מחזוריות קבועה יש אפשרות לסדר את האטומים כך שעדיין יהיה בהם סדר. הוא קרא לגבישים אלה "קוואזי-גבישים" (quasi-crystals) אשר ניתן לדמות אותם לפיסות מוזאיקה בגודל אטום המשכפלות עצמן באופן בלתי פוסק בלי לחזור לעולם על אותו הדפוס.

התגלית של פרופ' שכטמן הייתה שנויה במחלוקת במשך זמן רב. מדענים דגולים התנגדו לתיאור שלו. באחד הכנסים המדעיים שבהם הופיע פרופ' שכטמן ודיבר על תגליתו, טען כנגדו פרופ' פאולינג שדבריו הם "גיבוב של שטויות" (פרופ' פאולינג היה אחד המדענים החשובים של המאה ה-20 שזכה בשני פרסי נובל, אחד לכימיה והשני לשלום). עוד אמר פרופ' פאולינג "אין קוואזי-גבישים, אבל יש קוואזי מדענים".

ואולם פרופ' שכטמן האמין לאורך כל הדרך בצדקתו וטען ש"המדע מאמין בעובדות; אלה יוצרות את התאוריה". במשך כשנתיים דחו כתבי העת הקריסטלוגרפיים את פרסום מאמריו. ההכרה בתגליתו גדלה רק לאחר שהמדענים לוין ושטיינהארט (Levin, Steinhardt) פרסמו הסבר לתופעה, המסתמך על הריצוף הקוואזיפריודי של רוג'ר פנרוז. הסבר זה נתן בסיס תאורטי לרעיון ואפשר לקהילה המדעית לקבל אותו.

עוד על התגלית והפניה לסרטוני וידאו המרחיבים את ההסבר, באתר המרכז הארצי למורי הכימיה: http://stwww.weizmann.ac.il/chemcenter/fav_details.asp?id=18

שנת 2014 הוכרזה כשנת הקריסטלוגרפיה הבין-לאומית לציון 100 שנים להענקת פרס נובל לקריסטלוגרפים הראשונים שעשו שימוש בקריסטלוגרפיה קרני x לפיענוח מבנה גבישי של מוצקים. לרגל אירוע זה הונפק בול ע"י דואר ישראל.

קריסטלוגרפיה היא מדע חקר הגבישים אשר מושך אליו עניין עוד מהמאה הראשונה לספירה. בראשית המאה ה-20 השתמשו לראשונה בקרני x לחקר המבנה המולקולרי של גבישים. קרינת x מתאימה במיוחד לחקר מבנה הגביש שכן אורך הגל שלה הוא בסדר גודל של המרחקים בין האטומים שבגביש. כאשר קרינת x פוגעת בגביש נוצרת אינטראקציה עקיפה של הקרינה עם ענני האלקטרונים של האטומים המרכיבים את הגביש.

גבישים מתאימים במיוחד לניתוח בעזרת קרני x בגלל המבנה המסודר והמחזורי שלהם. כאשר פוטון יחיד של קרינת x עוקף ענן אלקטרונים אחד, האות שנוצר אינו חזק מספיק, ולכן גלאי לא יחוש בו. אך כאשר קרני x מרובות מוקרנות על גביש, נוצר מספר רב של עקיפות של אטומים הנמצאים במרחקים קבועים זה מזה, ונוצרות התאבכויות (כונות או הורסות) בעלות סיגל חזק שניתן לגלות ולנתח ממנו את המבנה המחזורי של הגביש.

עדות לשימוש הנרחב בשיטה אפשר למצוא במספר הגדול של זוכי פרס נובל בשל תרומתם לקריסטלוגרפיה או בשל העובדה שתגליותיהם התבססו על הקריסטלוגרפיה. נכון ל-2011 מונה אתר האיגוד הבינלאומי לקריסטלוגרפיה 40 שמות של זוכים הקשורים לתחום, ביניהם גם פרופ' עדה יונת שפענחה את מבנה הריבוזום בעזרת קריסטלוגרפיה.

ברשות הדואר הוחלט להנפיק בול לציון שנת הקריסטלוגרפיה הבין-לאומית. בראש הבול מזכירים הגבישים הקוואזי-מחזוריים שהתגלו על-ידי פרופ' דן שכטמן ושזיכוהו בפרס נובל לכימיה בשנת 2011.

עד שנודעה תגליתו של פרופ' שכטמן, האמינו מדענים שבחומר

* ד"ר מלכה יאיון וד"ר שלי ליבנה, חברות קבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים מכון ויצמן למדע.

יש לנו כימיה! ...בעירוני א' באשקלון

הילה עובדיה* ומירה קיפניס**



חובה, ועל כל התלמידים לבצעו (התלמידים יקבלו ציון שיהווה חלק מהציון בתעודה), אך ההשתתפות בתחרות עצמה אינה חובה. כלומר, כל התלמידים ביצעו את הפרויקט, אך שתי קבוצות בחרו שלא להירשם לתחרות. לאחר מכן הצגתי באופן כללי את הפרויקט בפני התלמידים והזמנתי את אורית לבוא ולהציג בפניהם את האספקטים השונים של הפרויקט.

עשר קבוצות ניגשו לתחרות¹. התלמידים בחרו את חבריהם לקבוצה עם הגבלה של עד ארבעה חברים בלבד. ברוב המקרים בחרו התלמידים עצמם את הנושא. עזרתי לקבוצות שהתקשו בבחירה, ואלו שלא מצאו נושא, נעזרו בכתבי העת שנחשפו בפניהם ביום העיון. יום העיון נערך במסגרת הפרויקט באגף מחקר של מפעל תרבות ברום בבאר שבע.

מספר קבוצות ניסו ליצור קשר עם אנשי התעשייה, והמפגשים נערכו ביוזמת התלמידים. מפגש לקבוצה אחת נערך במפעל אינטל בקריית גת ומפגש אחר עם מומחה לזכויות (לקבוצה שעסקה בחומרים אמורפיים). קבוצה נוספת שביצעה את הפרויקט בנושא "זיהוי פלילי - גילוי עקבות דם", ניסתה בעזרתי ובעזרת המנהלת, הגב' עדנה שחר-ולנשטיין, ליצור קשר עם היחידה לזיהוי פלילי במשטרה, אנשי המשטרה העדיפו לא להתראיין ולא למסור מידע על אחוזי פשע בישראל ועל אחוזי פענוח פשעים בעזרת השיטה וכו', אך בהחלט סיפקו לתלמידים חומר על עקרון השיטה הנהוגה בישראל.

במסגרת הפרויקט התלמידים התבקשו להגיש עבודה מקיפה על הנושא שבו בחרו. מטרות העבודה היו איסוף מידע, הכרת הנושא והתמקדות. העבודה כללה הקדמה, התייחסות לנושא מבחינה כימית, יישום בתעשייה, אספקטים חברתיים וסביבתיים ולבסוף סיכום קצר.

הקושי הגדול של התלמידים היה באיסוף המידע. הקשיים נבעו

הגיע החלק האחרון של כנס הסיום של הפרויקט "יש לנו כימיה! כימיה, תעשייה וסביבה בראי החברה והפרט". כעת קוראים בשמותיהם של הזוכים בתחרויות השונות. על הבמה מכריזים את שמות התלמידים שמקבלים פרסים, התלמידים הנרגשים עולים לבמה, לוחצים את ידי המארגנים, מקבלים את תעודת הפרס ומיד אחר כך מחפשים בעיניהם את המורה שלהם - להצטלם אתה, כי גם לה חלק נכבד בפרס. חמש פעמים נקראו לבמה קבוצות מבית הספר עירוני א' באשקלון. כל התלמידים הללו לומדים בכיתה י', והמורה שלהם היא ד"ר הילה עובדיה. מעניין להבין כיצד הצליחה המורה לרתום כמות גדולה כזאת של תלמידים להשתתפות בפרויקט וכיצד הצליחו בצורה מרשימה כל כך. להלן סיפורה של הילה, שנכתב כתשובה לשאלות שהופנו אליה.

במהלך לימודי התואר השלישי נחשפתי להוראה, אך תשע"ג הייתה שנתי הראשונה בהוראה בבית ספר. כיתה י' שבה לימדתי, מנתה כ-39 תלמידים. הכיתה מורכבת מתלמידים שבחרו ללמוד בכיתה המדעית-טכנולוגית (פיזיקה, ביוטכנולוגיה, כימיה...) ומתלמידים מכיתות שונות המעוניינים ללמוד כימיה. בשנה זו הצטרפו כ-10 תלמידים שאינם בכיתה המדעית.

התלמידים מתחילים ללמוד כימיה כבר בחטיבת הביניים תחת הכותרת "מדע וטכנולוגיה". היות שהחומר הלימודי בתחילת כיתה י' עוסק במושגים בסיסיים, הוא היה מעין חזרה על דברים שהתלמידים הכירו בחטיבה.

במהלך חופשת סוכות ביצעתי חיפוש בגוגל לתחרויות שונות בכימיה כדי לגוון את אופן הלמידה של התלמידים ולעשות משהו לא שגרתי. קראתי קצת על התחרות "יש לנו כימיה", מה נדרש ממני ומהתלמידים, יצרתי קשר עם אורית מולוידון, רכזת אזור הדרום שאמרה לי כי עדיין לא מאוחר להצטרף, וכך היה. לאחר החופשה הצגתי את הפרויקט לרכז והחלטתי כי הפרויקט הוא

* ד"ר הילה עובדיה - מורה לכימיה בבית"ס עירוני א' באשקלון

** ד"ר מירה קיפניס - קבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע, רכזת אזור הצפון בפרויקט "יש לנו כימיה!"

1. ארבע כרזות, שני סרטונים, שני תצלומים ושתי כתבות.



ובפני התלמידים שעולים לחטיבה העליונה את המקצוע - הזכרתי את התחרות ואפילו הצגתי בפני ההורים כרזה ותמונה מהתחרות. אין לי מושג אם יש קשר, אך בשנה הבאה יפתחו שתי כיתות כימיה ולא אחת, עקב הביקוש."

לסיכום אני רוצה לציין כי זוהי שנת ההוראה הראשונה שלי במערכת החינוך, והזכות להשתתף בתחרות המעשירה את התלמידים, מחנכת ותורמת להרגשת ההישגיות שלהם, העניקה לי כמורה חווית הוראה נפלאה.

כדי להשלים את התמונה, פנינו לאהד הד, שהוא וחבריו רז דיין, ירדן משה ויאן מלניק, זכו בפרס הראשון בתחרות הסרטונים. נושא הסרטון שלהם היה זיהוי פלילי, והוא התרכז בזיהוי שאריות דם בעזרת לומינול. אהד סיפר שכשהמורה הציגה בפני הכיתה את הפרויקט, הוא וחבריו רצו להכין סרטון דומה לפרקי סדרות המשטרה CSI. הם הכינו תסריט וצילמו באמצעות טלפון נייד. התוצאות לא השביעו את רצונם, ובעצת המורה לכימיה (הילה) הם פנו למורה להפקה בבית הספר. המורה עזר להם בשיפור התסריט, בהשאלת ציוד צילום ובהסבר על תוכנת עריכה משוכללת שהעמיד לרשותם. התוצאה אכן מרשימה מבחינה טכנית - תוכלו להתרשם מהסרטון שמופיע ביוטיוב.

כאשר אהד וחבריו התחילו לעבוד על הפרויקט, הם היו בתחילת לימודי הכימיה וידעו מעט מאוד על הנושא. במהלך העבודה הם למדו הרבה, והחומר שלמדו בעצמם לצורך הכנת הסרטון השתלב עם החומר שנלמד בכיתה והשלים אותו.

אהד טוען שהוא נהנה מאוד לעשות את הפרויקט. בנוסף ללימוד כימיה, הוא למד להכיר טוב יותר את חבריו, שבילה אתם זמן רב לשם ביצוע הפרויקט. לסיכום אמר: "אני ממליץ לכל מי שיכול להשתתף בפרויקט."

יש לנו כימיה!

פרויקט לעידוד לימודי כימיה ותעשייה כימית בישראל לתלמידי תיכון: [כימיה, תעשייה וסביבה בראי החברה והפרט](#).

[צוות הפרויקט: אורית מולודיזון](#) - רכזת הפרויקט באזור הדרום, [דבורה ברוט](#) - רכזת הפרויקט באזור המרכז (מרכז מגדרה עד חדרה וירושלים), [ד"ר מירה קיפניס](#) - רכזת הפרויקט באזור הצפון, [ד"ר מירי קסנר](#) - מנהלת הפרויקט

מכך שרוב המידע הוא באנגלית ומכך שזו שנה ראשונה שבה משתתף בית הספר בתחרות. התלמידים ואני לא ידענו מה בדיוק מצופה מאתנו: למה אנחנו ניגשים? מה טפל מבחינת התחרות ומה עיקר? עד כמה להתעמק בחומר? מה מספק ומה לא? מאחר שמדובר בתחילת שנת הלימודים של כיתה "ש"ב מלמדים מושגי יסוד, חלק מהנושאים שנבחרו, כמו חומר אמורפי, חמצון-חיזור פולימרים וכו', אינם נושאים מוכרים לתלמידים. לכן הקושי היה להבין חומר מורכב כשהבסיס עדיין אינו מבוסס.

אמנם שנת הלימודים שובשה בשל המצב הביטחוני בדרום, אך אני חושבת כי התלמידים לא הושפעו מכך. יתרה מזו, הייתה להם הזדמנות להשקיע זמן בפרויקט.

לקראת הצגת הפרויקטים בכנס הסיום ערכו התלמידים הרבה הכנות. התלמידים נדרשו לבצע בכיתה כל שלב ושלב בתחרות וקיבלו עליו ציון. גם הצגת הפרויקט הייתה חלק מהציון. הדבר נתן לתלמידים הזדמנות להציג בפני הכיתה את הפרויקט ולקבל ביקורת על העשייה, המקורות, היצירתיות והידע.

יום הכנס היה חוויה מדהימה לתלמידים, אך אני חייבת לציין כי היה קצת ארוך ומתיש. ההרצאות בתחילת הכנס היו ארוכות מדי, והתלמידים איבדו עניין בשלב מסוים. בסופו של דבר התלמידים נהנו מאוד מהיום הזה. כשדיברנו על נושאים שונים בהמשך השנה, הם העלו את הדברים מהכנס, ונחמד היה להיווכח שהם קישרו בין הדברים שהם שמעו בכנס לבין הנלמד בכיתה. ובנוסף, עברה עליהם חוויה לימודית משמעותית, וזה הכי חשוב בעיניי.

לשאלה "האם ההשתתפות בפרויקט השפיעה על לימודי הכימיה בבית הספר?" עונה הילה: "אינני יודעת אם יש השפעה, אך בערב מגמות - ערב שבו מציגים בפני ההורים

כנס תלמידים והורים בתיכון ע"ש קציר

צוות הכימיה קרית חינוך ע"ש קציר*

עמיתיהם - התלמידים במרכז הבמה.

בבית הספר שלנו, קריית החינוך ע"ש קציר ברחובות, כ-200 תלמידים לומדים כימיה. רצינו לאפשר לכל התלמידים לחוות את היום הזה. רונית ברד, אז רכזת המגמה, הציעה להפיק כנס בית ספרי. היא קיבלה אישור וברכה של מנהלת קריית החינוך, יהודית פלבנר, של מנהלת החטיבה העליונה קרן שחל ושל מנהלת אשכול הפיס עירית דוידוביץ, הרימה את הכפפה, סחפה את הצוות, והכנס יצא לדרך!

כנס הכימיה הראשון של תיכון "קציר" רחובות התקיים ביום שישי 15 בפברואר 2013.

יום הכנס

הכנס התקיים באשכול פיס בקריית החינוך ע"ש קציר, והתכנסו בו תלמידי מגמת הכימיה, הורים, בוגרים ומורים כדי לדבר, לשמוע ולראות כימיה.

הכנס היה במתכונת של כנסים מדעיים בארץ ובעולם וכלל הרצאת מליאה ומושבים מדעיים.

תלמידים נרשמו בעת הגעתם לכנס וקיבלו תיקים שבהם היו התכנית, אוגדן עם [תקצירי ההרצאות והמושבים](#) השונים, ירחון של עיתון "המכון" ו"מדע פופולרי" וכן מימיה שתרמו אנשי "רכס".

הרצאת המליאה הייתה בנושא בישול מולקולרי והועברה ע"י ד"ר סרחיו ברידו, בעל תואר דוקטור בביוכימיה מולקולרית וניסיון עשיר כטבח במסעדות מובילות, המשלב מזה שנים את שני התחומים המעניינים אותו: מדע ומטבח. הבישול המולקולרי הוא חלק מהמהפכה שמתרחשת בשנים האחרונות בעולם הגסטרונומי.

המושבים המדעיים לתלמידי כיתות י' הועברו על ידי התלמידים עצמם. את הנושאים בחרו התלמידים, שיצרו



לוגו של מגמת הכימיה שעוצב לכבוד הכנס

כנס כימיה לתלמידים, אשר ממקם את התלמידים במרכז הבמה, הפך כבר כמעט מסורת! הרעיון לקיים פעילות כה מבורכת, נולד בסופו של קורס מורים מובילים בכימיה של המרכז הארצי למורים ביוזמת מורים חדורי מוטיבציה: בעז הדס, סופי לדרמן ועדנה כהן.

יום הכנס הוא חגיגה! קבוצות תלמידים מבתי ספר שונים באזור נפגשים תחת קורת גג אחת כדי לעסוק בכימיה. התלמידים שומעים הרצאות רלוונטיות ומעניינות, חלקן בליווי הדגמות, אך גולת הכותרת היא מושב שבו תלמידים מציגים הרצאה מדעית ותוצרים של פרויקטים שלהם בפני

* צוות הכימיה, קריית חינוך ע"ש קציר: רונית ברד, מלכה יאיון, נינה לוי, שרית שמאי, קרן שחל ויהודית פלבנר.



נינה לוי, מלכה יאיון, רונית ברד ושרית שמאי - צוות המורות לכימיה

הנושאים המדעיים שהוצגו במושבים אלו היו: "יחידת נס"א בצבא", אביטל וגנר, בוגרת 2011; "תכנון תגובות בהתאמה אישית", רועי שרייבר, בוגר 2005; "ביו-דיזל", דריה פלדמן בוגרת 2005; "קיפול חלבונים", חיים אבירם, בוגר 2002; "חקר מבנה מערכות ננומטריות באמצעות מיקרוסקופ אלקטרוניים", שלי שרת, בוגרת 2002; "ננו-חומרים, קומפוזיטים ופיתוח ההרכבה העצמית, טוהר ירדן, בוגר 2000, "ננו-חלקיקים וחיישנים פלזמוניים", עופר קדם, בוגר 2001; "חומרים מרוכבים", ניר הראל, בוגר 2005; "כימיה בדפוס", לאוניד ניחמן, בוגר 2001; "מה ניתן להחביא במתכת", רחלי בן קנז, בוגרת 2000; "כיצד לומד התא הבודד", ויטלי לרנר, בוגר 2003.

בסיום הכנס התכנסו כל התלמידים בסדנה והכינו בטכנולוגיה הייחודית לבישול המולקולרי קוויאר פירות בטעמי קולה, תפוז וענבים. קוויאר זה סזון והוכנס לתוך לימונדה, וכך ניתן היה לשתות לימונדה מקושטת בפניני פירות המפוזרים בתוכה שאינם שוקעים ואינם צפים ובטעמים מפתיעים.

תהליך הכנת הכנס התחיל בחופש הגדול, חודשים רבים לפני הכנס. הוא החל בסיעור מוחות של כל צוות הכימיה: נינה לוי, רונית ברד, שרית שמאי, בלה גרינברג ומלכה יאיון. רעיונות עלו, נבדקו, ירדו ואחרים עלו. פרק הזמן הארוך שהיה לנו להכנת הכנס אפשר לנו להעלות רעיונות רבים ולבדוק אותם. היטב מפנים ולבחור את האפשרויות הטובה ביותר מבחינתנו. ננסה לתאר את התהליך כדי להקל על מי שרוצה להפיק כנס בעצמו.

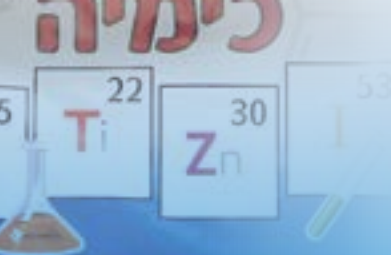


תלמידי כיתה יוד מציגים מערכת המדגימה עישון.

קשר בין הכימיה לחיי היום יום, למדו את הנושא, העמיקו בו ועמלו כדי להציג אותו בצורה מעניינת. כל תלמידי כיתה י' נדרשו לבצע את העבודה במהלך השנה, והעבודות הטובות נבחרו להצגה בכנס. ניתן לקרוא את תקצירי ההרצאות והמושבים, רק נציין שהנושאים היו מגוונים והתלמידים בחרו אותם על פי עניין: תלמידים הציגו על "הננוטכנולוגיה והאתיקה המלווה את התחום", על "האודם והאיפור" ועל "הכימיה של השוקולד"; חלקם הפעילו את חבריהם לכיתה בסדנה להפקת בושם או בהדגמה של מכונת עישון המראה את תוצרי העישון וההשפעה שלהם על גוף האדם בכלל ועל הריאות בפרט והתייחסו לקשר בין ניקוטין וסגריות.

המושבים המדעיים לתלמידי כיתות י"א ו-י"ב הועברו ע"י בוגרי בית הספר שלומדים וחוקרים מדע ובאו להציג את הנושא המדעי שבו הם עוסקים. המפגש עם הבוגרים חשף את התלמידים למחקרים מרתקים ולעשייה מדעית מחזית המדע ואפשר להם להכיר מסלולים שונים שעומדים בפני תלמידי מדע בכלל וכימיה בפרט. מחד, הבוגרים משמשים מודל מקצועי עבור התלמידים ומאידך, מאפשרים להם לשאול שאלות ברמה אישית יותר כמו ששואלים אח גדול. לצד התכנים המדעיים דיברו הבוגרים גם על ההיבטים האישיים, על החיים כמדענים, על בחירת מסלול ועוד.

הנכונות של הבוגרים להקדיש מזמנם, לערוך ולהציג נושאים מדעיים מורכבים בשפה פשוטה שתתאים כמעט לכל השומעים, הייתה מרגשת מאוד.



הכינו מצגות ותרגלו עמידה מול קהל. על מנת לתת כבוד לאותם תלמידים ולקהל התלמידים, אורגן היום כולו ככנס מדעי. תלמידים קיבלו אוגדן תקצירים, תיקים, ועוצב לוגו לכבוד הכנס אשר ילווה את המגמה גם בשנים הבאות.

קשר עם הבוגרים

הוצע הרעיון לשלב בוגרים, ומיד שלחנו הודעות אלקטרוניות לבוגרים רבים על פי הכתובות שהיו בידינו. הופתענו מכמות התשובות שקיבלנו! נאלצנו לסרב לבוגרים שפנו אלינו אחרי שהודפסו התקצירים ונקבע סדר היום.

נוצרה אינטראקציה בין הבוגרים ובינינו כדי להתאים את ההרצאה לרמת התלמידים. חלק מהבוגרים הדגישו ניסויים שאותם היה צריך לנסות קודם. כל הבוגרים יצאו מגדרם כדי לעניין את התלמידים. בשעת ההתכנסות של כיתות י"א וי"ב נתנו שי צנוע לבוגרים והודינו להם מקרב לב.

לוגיסטיקה: המספר הגדול של התלמידים ומגבלות אשכול הפיס חייב אותנו לחלק את הכנס לשני תתי-כנסים שהתרחשו במקביל. אחד לתלמידי כיתות י', והאחר לתלמידי כיתות י"א וי"ב. בזמן ההתכנסות וההפסקה נפגשו משתתפי שני הכנסים על מנת לא ליצור הפרדה מוחלטת בין שני הגושים ולאפשר שיח והחלפת חוויות.

הפקת הכנס כללה ציוני דרך רבים: קביעת מטרות, קביעת תוכן היום, מועד רצוי, סדר יום והפקה בפועל. היא נעשת במישורים רבים: עבודת צוות, עבודה של כל מורה בצוות עם גורמים חיצוניים ועבודה עם התלמידים.

השלב ראשון ומשמעותי ביותר: הגדרת המטרות

- העצמת התלמידים דרך מעורבותם בהעברת תכנים ופעילויות.
- חוויה של כנס מדעי.
- הגברת המוטיבציה וחזקת "גאוות היחידה" של תלמידי כימיה.
- מפגש עם בוגרי "קציר" שעוסקים במדע בכלל ובכימיה בפרט.
- שיתוף של כל תלמידי הכימיה.

המועד לכנס נקבע סמוך מאוד למועד בחירת הרכבי הלימוד בכיתות י' על מנת להעלות את המוטיבציה ללימודי הכימיה בבית הספר.

מתן צביון של כנס מדעי

אחת המטרות החשובות ביותר הייתה "העצמת התלמידים דרך מעורבותם בהעברת תכנים ופעילויות". תלמידים חקרו,



הבוגרים שהציגו בכנס עם חלק ממורי קציר.



רחלי בן קנז בוגרת 2000 מציגה "מה ניתן להחביא במתכת"



דריה פלדמן בוגרת 2005 מציגה "ביו-דיזל"

הייחודית לבישול המולקולרי קוויאר פירות בטעמי קולה, תפוז וענבים. קוויאר זה סונן והוכנס לתוך לימונדה, וכך ניתן היה לשתות לימונדה מקושטת בפניני פירות המפוזרים בתוכה - שאינם שוקעים ואינם צפים, ובטעמים מפתיעים.

אנחנו נהנינו... אתם מוזמנים להצטרף למגמה ולהשתתף בכנסים הבאים. החלטנו לקיים כנס מהסוג הזה פעם בשנתיים! להתראות אצלנו בקציר ב-2015!



תלמידים בהתנסות "בישול מולקולרי" עם המנהלת גב' יהודית פלבר

מימון הכנס: הוחלט לא להישען על מקור חיצוני למתן חסות. התארגנות מוקדמת לכנס אפשרה לנו לקבוע את התקציב הדרוש ולגבות אותו, באופן מסודר, דרך תשלומי הורים בתחילת השנה.

הוחלט לא לממן כיבוד אלא לאפשר לתלמידי י"ב למכור עוגות כחלק מהפעילויות שהם מבצעים על מנת לממן פעילויות חברתיות בשכבה.

מכון ויצמן ו"גלילאו" תרמו ירחונים ישנים וחברת "רכס" תרמה שי לתלמידים שחולק יחד עם תיק הכנס, כפי שצוין קודם.

החלק החשוב והמשמעותי בהכנת הכנס היה **עבודת הצוות** שכללה: התכנסויות לצורך תכנון, חלוקת תפקידים ועדכונים. לכל מורה בצוות היו תפקידים מוגדרים בהכנת הכנס: הקשר עם הבוגרים, הכנת כיתות י' להצגת הנושאים, עיצוב הלוגו, תכנון והכנת הפרסום לכנס, הזמנת תיקים והזמנת תכולת התיקים, ארגון הכיבוד, הכנת חוברת תקצירים.

חשוב להדגיש שגם ביום הכנס חולקו התפקידים מראש, וכל מורה ידעה מה תחומי אחריותה.

במהלך הכנס כמעט ולא הצלחנו לדבר בינינו ולהחליף חוויות, מה שמלמד שכל אחת מחברות הצוות מילאה את תפקידה באחריות וברצינות.

אחד הדברים המיוחדים ביום הזה היה להיפגש בסופו, להחליף רשמים וחוויות ולגלות שכולנו נהנינו מאוד מההחליף ומהצלחת הכנס.

בסיום הכנס התנסו כל התלמידים בסדנה והכינו בטכנולוגיה

חלודה

נועה וייסמן*

מתחמצנת של ברזל (התרכבות של ברזל עם חמצן) והידרוקסיד (הידרוקסיד OH^-).

ספינות, מטוסים ומכוניות, וכן כלים וחפצים רבים, עשויים מברזל. החלודה אשר נוצרת באטיות ובהדרגה, גורמת להתפוררות הברזל ולהפחתת חוזקו ועמידותו.

החלודה גורמת להרס המשטח שהיא תוקפת, והיא מהווה בעיה שהאנושות מנסה להתמודד אתה זה אלפי שנים. מדי שנה מפסיד המשק הישראלי סכום עתק של מיליארדי שקלים בגין עלויות נזקי הקורוזיה בכלל והחלודה בפרט.

כיצד נוצרת חלודה?

תהליך היווצרות תחמוצת של מתכות נקרא שיתוך (קורוזיה).

שוטי שוטי ספינת...

הנושא שעליו בחרתי לכתוב את העבודה בכימיה הוא חלודה. הסיבה שבגללה בחרתי בנושא זה היא הצילום עצמו. עניין אותי לצלם ספינות העוגנות בנמל וכך הגעתי לנושא החלודה שפוגעת בספינות, כמו גם בכלים רבים המשמשים אותנו ביומיום, וכדי למנוע אותה - מושקעים זמן ומשאבים רבים.

מהי חלודה?

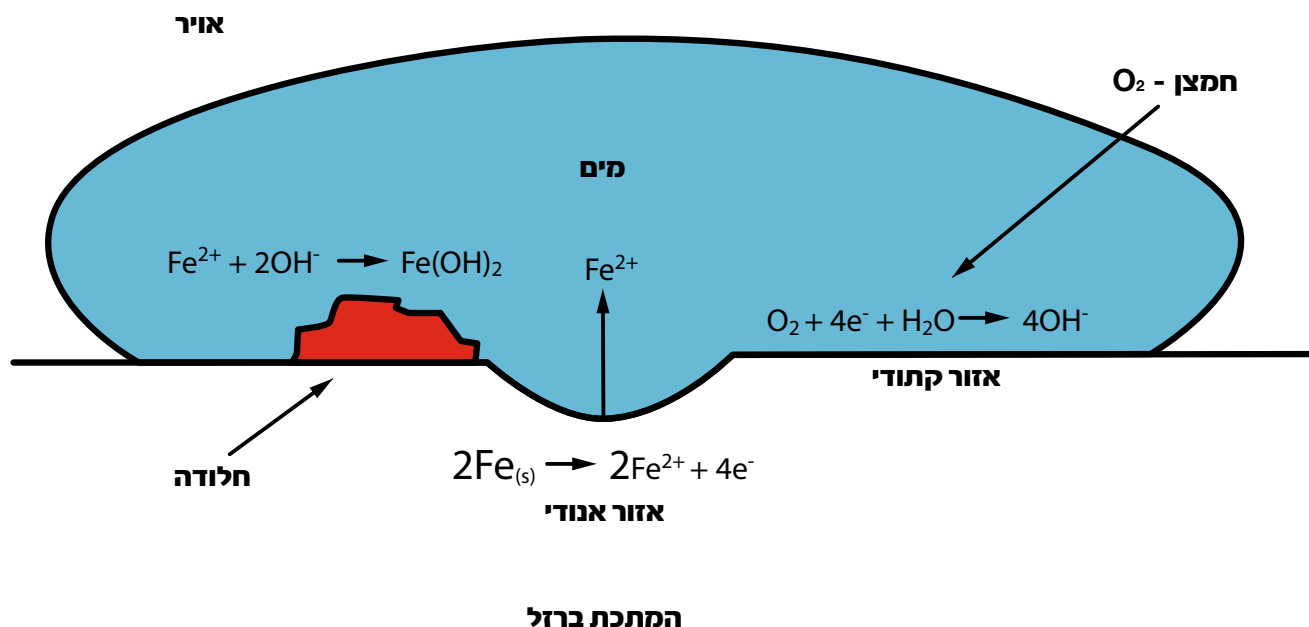
הנוסחה הכימית של חלודה היא: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. זו תערובת של תחמוצות של ברזל והידרוקסידים של ברזל.

חלודה ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) נוצרת בתהליך טבעי שנגרם לברזל כאשר הוא מתרכב עם מים וחמצן. חלודה מורכבת



הצילום השתתף בתחרות "יש לנו כימיה - כימיה, תעשייה וסביבה בראי החברה והפרט"

* נועה וייסמן, כיתה ט', תיכון עתיד למדעים, לוד. המורה: פייה גרינשטיין



מניעה והסרה של חלודה

שיטות למניעת היווצרות חלודה:

- גלון - ציפוי משטח הברזל בשכבה דקה של מתכת. התהליך מתבצע ע"י טבילת הברזל באבץ נוזלי.
- הוספת חומרים כדוגמת כרום לברזל. החומרים מונעים את החלדתו על ידי מניעת התרכבות הברזל עם החמצן והמים.
- חיבור אנודת הקרבה, מתכת מחזרת טובה יותר מהברזל כמו אבץ או מגנזיום. מתכת שמוסרת אלקטרונים במקום המתכת ברזל, כך תארך היווצרות החלודה.

הסרת חלודה לאחר שנוצרה:

- התזת חול בלחץ גבוה על הברזל.
- שיוף בנייר זכוכית.
- שפשוף החלודה עם חומרים כימיים שונים, ביניהם חומרים המכילים לימון, אלכוהול.

בתהליך מתרכבות מתכות שונות - כדוגמת ברזל, נחושת, אלומיניום - עם חמצן. תהליך הקורוזיה מואץ בתנאים של לחות גבוהה וחשיפה למלחים, לכן התהליך מוגבר בעצמי מתכת הנמצאים קרוב לים בתהליך הקורוזיה של ברזל נוצרת חלודה.

ברזל בנוכחות מים מאבד אלקטרונים והופך לברזל יוני. חמצן מהאוויר אשר מומס במים מחוזר להידרוקסיד באמצעות האלקטרונים מהברזל. התרכבות הברזל היוני עם ההידרוקסיד יוצרת Fe(OH)_2 , ברזל ההידרוקסיד.

חלודה בצורתה הנפוצה היא מינרל ברזל אדום Fe_2O_3 הנקרא המטיט.

נוסחאות כימיות לתיאור תהליך היווצרות החלודה:

