

על-כימיה

גיליון מס' 22 • שבט תשע"ג • פברואר 2013



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





המחלקה להוראת המדעים



מדינת ישראל
משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
אגף מדעים



המרכז הארצי
למורי הכימיה



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



גיליון מס' 22 • שבט תשע"ג • פברואר 2013

דבר המערכת

גיליון זה מתמקד בתוצריהם של מורים שהשתתפו בהשתלמויות המרכז הארצי למורי הכימיה ובמסלול לתואר שני בתכנית רוטשילד ויצמן.

במסגרת המרכז הארצי למורי הכימיה מתקיימים מדי שנה קורסים ייחודיים להכשרת מורים, שמטרתם, בין היתר, להוביל לקידום המקצועי של מורים ולהפיכתם למפיצי ה"תורה" בשדה, הן ברמת עמיתיהם המורים והן ברמת התלמידים.

הקורס להכשרת מנחי עבודות גמר בכימיה שם זרקור על עבודות הגמר בכימיה. תלמידים שביצעו עבודות גמר מעידים שהדבר היה בעבורם אירוע מכונן. ראוי להדגיש כי ביצוע עבודת גמר אינו מתאים לכל תלמיד, ועם זאת מומלץ שתלמידים יהיו מודעים לאפשרות זו ואף יקבלו את העידוד המתאים בכיוון זה.

על החשיבות הטמונה בביצוע עבודות הגמר, היתרונות שבהן והקשיים הנלווים אפשר לקרוא בכתבתה של נעמה בני, אשר סקרה פאנל שהתקיים במסגרת הקורס מנחים לעבודות גמר. בפאנל השתתפו בעלי תפקידים הנוגעים לביצוע עבודות גמר והגשתן, החל מהמפקחת לכימיה, ד"ר דורית טייטלבוים והמפקחת לעבודות גמר, גב' אפרת טל, עבור דרך מנחים ומורים מלווים וכלה בתלמידים שעברו את התהליך. במסגרת הקורס התנסו מורים בתהליך שעוברים תלמידים - משלב הצעת המחקר ועד להגשת העבודה הכתובה. נעמי חרמוני וכרמית קנטור משתפות את קוראי העלון בהתנסות האישית שלהן, לרבות התכנים שבהם הן התמקדו ואף תחושות שליוו אותן בביצוע המחקר. כל זאת בכתבתן "זיהוי חומרים על ידי אינטראקציה עם ליפוזומים במטריצת סיליקה גיל".

קורס נוסף של המרכז הארצי למורי הכימיה אשר תוצריו מיוצגים בגיליון זה הוא "התאמת הוראת הכימיה לעידן הטכנולוגי החדש". בכתבה "כשפדגוגיה פוגשת טכנולוגיה" מתארים מורים כיצד גייסו את הטכנולוגיה להפקת חומרי הוראה איכותיים, אשר שידרגו את הוראתם וכן את מעמדם בכיתה כמורים השולטים בטכנולוגיות מתקדמות ומביאים אותן לכיתה. פרויקט נוסף, השייך לאיחוד האירופאי PROFILES, נסקר בגיליון. לפרויקט שתי שלוחות במכון ויצמן: כחלק ממסלול לתואר שני בתכנית רוטשילד ויצמן; וכן במסגרת השתלמות מורים מתמשכת. בכתבה "שינוי פרופיל בעזרת PROFILES" מתארים המורים, שהנם סטודנטים לתואר שני במסגרת תכנית רוטשילד ויצמן, את התהליך שעברו במהלך פיתוח מודולה והפעלתה בכיתה. נוסף על כך, נציגים מהשתלמות המורים המתמשכת משתפים בחוויות מההשתלמות ומכנס שהתקיים במסגרת הפרויקט בברלין. מורים המעוניינים לנסות את המודולות שפיתחו מורים בארץ מוזמנים להיכנס לאתר הפרויקט ולראות את התוצרים.

אנו מאחלים לכל קוראינו קריאה מהנה. נשמח לקבל הצעות לנושאים המעניינים אתכם, וכן נודה לכם אם תשתפו אותנו בפעילויות מעניינות שערכתם בכיתותיכם או בבתי הספר.



בברכת פריחה ושגשוג מקצוע הכימיה
חברי מערכת על-כימיה

תוכן העניינים

מזור	מאמר	עמוד
	דבר המערכת	3
	דבר המפמ"ר – פרויקט "נגב נובל"	4
חזית המדע	פיתוח חיישן רגיש, זול ונייד ל-RNA ו-DNA עמוס בר-דע ורון נעמן	11
	זיהוי חומרים על-ידי אינטראקציה עם ליפוזומים במטריצת סיליקה ג'ל נעמי חרמוני, כרמית קנטור, סופיה קולושב	18
תכניות לימודים	עבודת הגמר בכימיה נעמה בני	28
פעילויות	כשפדגוגיה פוגשת טכנולוגיה - קבוצת מורים התחילה הצטרפו גם אתם! תמר אליאש, רחל אידלמן, שרה אקונס, מלכה יאיון	31
	שינוי פרופיל בעזרת PROFILES!	36
	האם שמן משומש הוא הדלק של הדור הבא? ליאורה עזרא, בלה שקולניק, גואד אגבאריה	37
	פלסטיק טוב או רע? עאסי אפראח, אזאולוס כץ סנדרה	43
תחרויות וכנסים	לכל סוף יש גם התחלה... צוות הפרויקט "יש לנו כימיה!"	49
	כנס PROFILES בברלין בעז הדס, אורלי פלוטקין	53
	דברים לזכרה של דליה רחל ממלוק-נעמן	57

עורכת אחראית: ד"ר דבורה קצביץ
dvora.katchevich@weizmann.ac.il

מערכת: ד"ר רחל ממלוק-נעמן, ראש המרכז הארצי למורי הכימיה, מכון ויצמן למדע.
ד"ר דורית טייטלבוים, מפמ"ר כימיה.
ד"ר רון בלונדר וד"ר יעל שוורץ, קבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.

יעוץ מדעי: פרופ' אבי הופשטיין

עריכה לשונית: ענבל לביא

גרסת אינטרנט: ד"ר שלי ליבנה

איורים ועיצוב גרפי: זיו אריאלי
וציפי עובדיה

עריכה ועיצוב כריכה: ציפי עובדיה

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 שבחוברת זו.

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

דבר המפמ"ר

ד"ר דורית טייטלבאום, מנהלת תחום דעת כימיה,

משרד החינוך

ביום שלישי, י"ט בטבת תשע"ג, 1 בינואר 2013, התקיים **טקס השקה חגיגי** של פרויקט נגב-נובל. הטקס התקיים במרכז המבקרים של חברת טבע ברמת חובב, **במעמד ארבעת חתני פוס נובל בכימיה** - פרופ' **אברהם הרשקו** (2004), פרופ' **אהרון צ'חנובר** (2004), פרופ' **עדה יונת** (2009), ופרופ' **דן שכטמן** (2011). באירוע ההשקה השתתפו אישים רבים, ובהם המשנה לראש הממשלה השר לפיתוח הנגב והגליל, ח"כ **סילבן שלום**, שר המדע והטכנולוגיה, הרב פרופ' **דניאל הרשקוביץ**, מנכ"לית משרד החינוך, גב' **דלית שטאובר**, יו"ר המזכירות הפדגוגית, פרופ' **עפרה מייזלס**, מנהלת מחוז דרום במשרד החינוך, גב' **עמירה חיים**, מנהלת אגף מדעים, המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך, ד"ר **חנה פרל**, מפמ"ר כימיה, המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך, ד"ר **דורית טייטלבאום**, נשיא החברה הישראלית לכימיה ויו"ר ועדת מקצוע כימיה במשרד החינוך, פרופ' **אהוד קינן**, ראש המועצה התעשייתית רמת חובב, מר **אנדריי אוזן**, יו"ר ועדת ההיגוי לקידום המצוינות בכימיה, פרופ' **עדי וולפסון**, סמנכ"ל בכיר לקשרי ממשל וקהילה בחברת טבע, מר **אריק יערי**, ראש מועצת ירוחם, מר **מיכאל ביטון**, ראש מועצת שדות נגב, מר **תמיר עידאן**, וכן **מדריכי כימיה**, כמאה ועשרה **תלמידים** המשתתפים בפרויקט **ומוריהם**.



שורה ראשונה - משמאל לימין: גב' עמירה חיים, גב' דלית שטאובר, פרופ' עדה יונת, פרופ' דן שכטמן, מר אנדריי אוזן, השר סילבן שלום, השר הרב פרופ' דניאל הרשקוביץ, פרופ' אהרון צ'חנובר, פרופ' אברהם הרשקו, מר מיכאל ביטון, מר תמיר עידאן.
שורה שנייה - משמאל לימין: ד"ר דורית טייטלבאום, פרופ' עדי וולפסון, גב' הדסה אדן, פרופ' עפרה מייזלס, ד"ר חנה פרל, גב' שמעונה הרשקוביץ, מר אליעזר גרינשפון, גב' אסתר גוסרסקי, פרופ' אשרף בריק, פרופ' דורון שבת, פרופ' גבי למקוף.

תכנית **"נגב נובל"** היא פרויקט חינוכי מיוחד המתקיים בהובלת משרד החינוך, בחסות אישית משותפת של ארבעת חתני פרס נובל הישראליים בתחום הכימיה, ובשיתוף עם החברה הישראלית לכימיה ועם מועצה תעשייתית רמת חובב. התכנית החלה לפעול בשנת הלימודים תשע"ג במחוז דרום של משרד החינוך ונועדה לחולל שינוי משמעותי בתחום לימודי הכימיה בישראל בכלל ובנגב בפרט.



בשנת הלימודים תשע"ג החלו את לימודיהם בכימיה במסגרת הפרויקט כמאה תלמידי תיכון בחמש כיתות, בערים: דימונה (שתי כיתות), **ירוחם** (כיתה אחת), מועצה אזורית שדות נגב (שתי כיתות); ובאילת ממשיכה להתקיים ולהתפתח מגמת הכימיה שנפתחה לפני ארבע שנים (שלוש כיתות עירוניות). התלמידים המשתתפים בפרויקט לומדים 5 יח"ל כימיה לקראת בגרות. מורי הפרויקט הם מורים מצטיינים ממרכז הארץ ומבאר שבע: **נורית דקלו, שרית טל, ד"ר לבנת עמיאור ומשה יונתן**.

נשיא המדינה מר שמעון פרס שלח את ברכתו הכתובה: פרופסור **אברהם הרשקו** אמר במעמד הטקס: "אני רוצה לברך מפעל חשוב זה של לימודי מדעים בדרום. יש חשיבות רבה ללימודי מדעים, גם לנוער וגם למדינה. לנוער הדבר תורם כישורים והרחבת אופקים, ולמדינה את העתודה לדור הבא של אנשים מובילים במדע ובטכנולוגיה."

פרופסור **אהרון צ'חנובר** הוסיף: "שפת המדע והטכנולוגיה היא השפה שהביאה להתקדמות הגדולה ביותר של האנושות ולהטבת חיי האדם מכל שפה אחרת שבה תקשרו בני האדם ביניהם. מסיבה זאת, היא אמורה להיות גם השפה הפשוטה של שלום והבנה, כי מטרתה היא שיפור חיי האדם באשר הם. כאשר יתווספו להוראה במדעים גם הכשרה בפילוסופיה של המדעים, בהיסטוריה ובמדעי החברה והרוח, נקבל מוצר שהוא לא רק מדען, אלא מבין את המדע בקונטקסט החברה בה הוא חי, ובא שלום לעולם. הלואי והפוליטיקאים היו מבינים עיקרון כה פשוט זה."





ימין לשמאל: תלמידים, השר הרב פרופ' דניאל הרשקוביץ, מר אשר גרינבאום (כימיקלים לישראל), מר משה נחום (דימונה), פרופ' דן שכטמן, פרופ' עדי וולפסון (רמת חובב), פרופ' עדה יונת, גב' עמירה חיים (משרד החינוך), פרופ' אהרון צ'חנובר, פרופ' אברם הרשקו, פרופ' אהוד קינן (נשיא החברה הישראלית לכימיה), יושבים: תלמידים, ד"ר דורית טייטלבוים (משרד החינוך)

יו"ר המזכירות הפדגוגית במשרד החינוך, פרופ' **עפרה מייזלס**, מעלה על נס את פעילותו היפה והמקצועית של הפיקוח והניהול הארצי על הכימיה במזכירות הפדגוגית. לדבריה, במסגרת המזכירות הפדגוגית מטפחים עשייה מעורבת ופעילה בשדה החינוך, נוכחות של מנהלי תחומי דעת בשטח וטיפוח מורים ודרכי הוראה חדשות ומרתקות. הפרויקט של נגב נובל מייצג עשייה חיובית כזאת ומדגים כיצד אפשר ורצוי להיות מעורבים ולהשפיע. מקצוע הכימיה הוא אחד התחומים שהמזכירות הפדגוגית רואה חשיבות בפיתוחו, ורוצה לקדם במסגרתו שיטות הוראה "אחרות" שיש בהן לימוד משמעותי ורלבנטי לחיי התלמידים, זאת יחד עם הכנה ללימודים אקדמיים ויכולת השתלבות בתעסוקה בעתיד. לדברי מייזלס, מקצוע מדעי זה נחשב לא תמיד קל ללמידה, אך הוא פותח אפשרויות תעסוקה יוקרתיות - ולכן חשוב במיוחד להנגישו לאוכלוסיות שבאופן רגיל לא בהכרח נחשפות אליו. מייזלס מסכמת את דבריה: "אנו גאים על ההצלחה לקדם פרויקט זה ורואים בכך רק התחלה לעוד פרויקטים משמעותיים שיהפכו את הלמידה של הכימיה לנגישה ומרתקת למספר הולך וגובר של תלמידות ותלמידים."

מנהלת אגף מדעים במזכירות הפדגוגית במשרד החינוך, ד"ר **חנה פרל**, מדגישה כי קידום הוראת המדעים במדינת ישראל הוא אחד היעדים החשובים של משרד החינוך. לדבריה עוד בראשית ימיה של המדינה הכיר בן גוריון בחשיבות המדעים לקיומה של מדינת ישראל ואמר: "בנין מולדתנו ותרבותנו לא ייכנו - בלי היות המדע עמוד-התיכון של פעולתנו המשקית, היישובית והחינוכית". גם היום עוצמתה של אמירה זו עומדת בעינה, ופרויקט נגב נובל הוא פרויקט משמעותי בקידום לימודי הכימיה, פרויקט שיש לו חשיבות חינוכית ויישובית ומשקית.

ד"ר פרל סיכמה את דבריה בברכות: "אני מברכת את ד"ר **דורית טייטלבוים**, מנהלת תחום הכימיה במזכירות הפדגוגית, ואת פרופ' אהוד קינן יו"ר ועדת מקצוע כימיה, אשר יחד הביאו לשיתוף פעולה של כל כך הרבה אנשים וגופים שהוראת הכימיה ביישובי הנגב חשובה להם. אנחנו מאמינים כי בעזרת מורים מסורים, גישות הוראה חדשניות ותכניות לימודים מעוררות עניין, יחד עם אפשרויות תעסוקה עתידיות, נוכל לעודד יותר תלמידים ללמוד כימיה, ובהנאה. איחולי הצלחה למורים ולתלמידים המשתתפים בפרויקט."

פרופסור **עדה יונת**, "אי אפשר להפריז בחשיבות המדע", פתחה פרופסור עדה יונת, והוסיפה: "יתר על כן, ברצוני לומר לתלמידים שאין כמו הסיפוק וההנאה מגילוי מדעי או מקבלת תשובה לשאלה מדעית מטרידה. אנא, לימדו מניסיוני - כיף לעסוק במדע". פרופסור **דן שכטמן** הוסיף מניסיונו: "חיי המדען מלאים בחוויות של תגליות ותובנות, והמדענים מאוד אוהבים את עבודתם מכיוון שהיא מעניינת ומאתגרת. למדען רקע רחב בתחומים רבים אבל הוא גם מומחה בשטח מסוים, ובשטח זה הוא יכול לגלות תגליות פורצות דרך, ועל ידי כך לתרום לאנושות תרומה חשובה. אנחנו חיים היום בעולם שבו תוחלת החיים ואיכות החיים טובות לאין שיעור מבעבר, וזאת בזכות פיתוחים ותגליות שעשו מדענים בארץ ובעולם. לאלה מכם שיבחרו להיות מדענים, ירכשו השכלה רחבה ויתמחו בשטח מסוים, אני מבטיח עתיד מזהיר."



מימין לשמאל: פרופ' אברם הרשקו, פרופ' עדה יונת, פרופ' דן שכטמן, פרופ' אהרון צ'חנובר

שר החינוך, חבר הכנסת **גדעון סער**, שלח את ברכתו לתלמידים ולמורים: "אני מברך על התכנית החשובה שמוביל משרד החינוך, 'נגב נובל', בשיתוף פעולה מבורך עם המועצה המקומית תעשייתית רמת חובב ועם המפעלים, החברה הישראלית לכימיה וחברת "טבע" שמארחת את האירוע הזה. תודה מיוחדת לארבעת חתני פרס נובל שמדינת ישראל התברכה בהם, שמקדישים מזמנם למטרה - לחולל שינוי משמעותי בתחום לימודי הכימיה בכלל וביישובי הנגב בפרט; ולצוותי החינוך שמובילים את התכנית ואת העשייה החינוכית, יום-יום, במסירות. אני מאמין שלמדינת ישראל יש את התלמידים המוכשרים ביותר בעולם. התפקיד שלנו הוא להעניק לכם את המשאבים ולסייע לכם לממש את הפוטנציאל האישי שלכם. ייתכן שביניכם יושב זוכה פרס הנובל הבא בכימיה. המחויבות שלנו היא לסייע לכם ולהעניק לכם את הכלים שיאפשרו לכם להגיע לפסגות הגבוהות ביותר."

מנכ"ל משרד החינוך, גב' **דלית שטאובר**, ציינה כי "כימיה הוא מקצוע מרכזי ומבוקש מאוד ועל כן משרד החינוך רואה חשיבות רבה בסיוע להקמת מגמות לימוד איכותיות ולימודי מדעים גם ביישובים קטנים באזורי פריפריה, מתוך רצון לאפשר גם לתלמידים אלו להשתלב בעתיד בעולם המחקר והתעשייה."

מנהלת מחוז דרום, גב' **עמירה חיים**, ציינה באותו מעמד: "אנו נמצאים בתקופה משמעותית ביותר לנגב. לפנינו שעת רצון וחלון הזדמנויות שלא היו כמותם מזה זמן רב. 'נגב יבחן' העם בישראל ומדינתו' מדגיש בן-גוריון בנאומו 'משמעות הנגב' (1955); ואכן, חזונו להפרכת הנגב והגדלת המתיישבים בו קורם עור וגידים לנגד עינינו. אין לי ספק כי מערכת החינוך מהווה מנוף משמעותי במהלך לחולל שינוי משמעותי ולהוביל למיתוג הנגב. 'שיתוף הפעולה בין משרד החינוך, החברה הישראלית לכימיה והמועצה התעשייתית רמת חובב וחסותם האישית של ארבעת זוכי פרס נובל בכימיה, הובילו למיזם חינוכי ייחודי, 'נגב נובל', במטרה ליצור מרחב הזדמנות איכותי בתחום לימודי הכימיה ולעודד מצוינות בתחום זה.

"פתיחת חמש כיתות חדשות ללימודי כימיה ברמה של חמש יח"ל במחוז דרום ברשויות דימונה, ירוחם, ושדות נגב - לאחר שנים שבהן לא נלמד תחום דעת זה, וכן שלוש הכיתות שנפתחו באילת לפני ארבע שנים, מרגש אותי מאוד, ואני רואה בתכנית נקודת מפנה היסטורית.

"מחוז דרום מוביל למצוינות' הוא החזון החינוכי המכוון את העשייה החינוכית שלנו. זוהי חובתנו החינוכית והמוסרית להגביה את החלום עבור כל אחד מבני הנוער בנגב, לזהות את הנטיות הייחודיות שלבני הנוער ולטפח אותם, לזמן להם התנסויות למידה מאתגרות, לחשוף אותם לתחומי המדע מבלי לוותר על היצירתיות המחשבתית ועל הרגישות האנושית.

חינוך מדעי הוא אתגר לאומי. ברור לכל כי המפתח לחוסנה של מדינת ישראל טמון בטיפוח ההון האנושי ובהכשרתם האיכותית של בוגרי מערכת החינוך. רק בדרך זו נוכל להבטיח שתלמידנו יהיו פורצי הדרך והמובילים בתחומי המדע, הטכנולוגיה, התעשייה, המחקר והפיתוח; רק בדרך זו נוכל להבטיח את השגשוג והעוצמה של הנגב."



משמאל לימין: פרופ' עדה יונת, פרופ' אהוד קין, גב' דלית שטאובר, השר הרב פרופ' דניאל הרשקוביץ, גב' עמירה חיים
ד"ר דורית טיטלבוים, מר תמיר עידאן

ראש מועצת רמת חובב, **אנדריי אוזן** סיפר כי, "המצוקה והמחסור בכימאים מורגש בקרב התעשייה הכימית הישראלית

אשר מהווה עוגן כלכלי תעסוקתי חשוב בנגב. לאור זאת הקימה המועצה ועדת היגוי לקידום המצוינות בכימיה בראשות פרופ' **עדי וולפסון**, חבר מועצת רמת חובב וראש המחלקה להנדסת כימיה ב-SC'E, המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון. פעילות מועצת רמת חובב לקידום לימודי הכימיה מתקיימת במסגרת יישום התכנית האסטרטגית להפיכת האזור לפארק אקו תעשייתי ראשון בישראל. הפארק יפעל בהתאם לעקרון הסינרגיות, בדומה למודלים חדשניים הפועלים בהצלחה באירופה. אחד מהקשרים החשובים בפעילותנו זו מוקדש כולו לעידוד המצוינות בכימיה, בין היתר באמצעות תמיכה בפרויקטים כמו נגב נובל. אנו עומדים לקראת פרסום מכרז להקמת מרכז "קשרים" שיהווה אכסניה לתחום הכימיה בנגב ובישראל. המרכז יסלב מוזיאון כימיה ומשכן לשיתופי פעולה אזוריים ובינלאומיים לקידום הכימיה. אני מודה לכל השותפים ובראשם כמובן חתני פרס נובל שכידו אותנו בהשתתפותם באירוע ובליווי התכנית באופן אישי."

יו"ר ועדת מקצוע כימיה במשרד החינוך ונשיא החברה הישראלית לכימיה, פרופ' **אהוד קין**, ציין בדברים שנשא בטקס כי, "טיפוח לימודי כימיה ביישובי הנגב והכשרת כוח אדם איכותי של כימאים ומהנדסי כימיה הם אינטרסים לאומיים של מדינת ישראל, במיוחד לאור העובדה שמרבית הפעילות הכימית התעשייתית מרוכזת בדרום הארץ. המתחם המפואר של התעשיות הכימיות ברמת חובב הוא עוגן כלכלי אדיר, אשר מייצא 3.5 מיליארד דולר בשנה ומספק פרנסה ליותר מ-10,000 משפחות באזור הנגב, בצורה של תרופות מצילות חיים, חומרים מעכבי בעירה, חומרים לתעשיות המיקרואלקטרוניקה, טכנולוגיות חדשניות לשמירה על איכות הסביבה, חומרים חקלאיים להגנת החי והצומח ושפע של מוצרים ייחודיים נוספים המיוצרים בעיקר במדינת ישראל. המפעלים המודרניים של רמת חובב מספקים פרנסה ליותר מ-10,000 משפחות באזור הנגב בואכה ים המלח."



מימין לשמאל: גב' אורית מולוידזון, גב' נאוה תמם, פרופ' אברם הרשקו, פרופ' עדה יונת, פרופ' דן שכטמן, פרופ' אהרון צ'חנובר,
גב' עדינה שיינפלד, השר הרב פרופ' דניאל הרשקוביץ, ד"ר ניצה ברנע, פרופ' אהוד קין, גב' זיוה לנדא, גב' עדנה פרידמן, ד"ר דורית טיטלבוים

פרופ' קין הוסיף ואמר, "יש צורך בכימאים בכל תחומי המשק ולא רק בתעשיות המוגדרות ככימיה. כל מוצר הקיים בשוק עובר בשלב מסוים תחת ידו של כימאי, החל ממוצרי פלסטיק, תרופות, כל מוצרי האלקטרוניקה, טקסטיל, מזון, בניין, חקלאות, וכמובן כל תעשיית האנרגיה. כיום קיים מחסור עצום של כימאים בשוק, בעיקר בתחום הכימיה האנליטית. אנו מקווים כי הפרויקט הזה מסמן כיוון לשינוי משמעותי בחינוך למדעים אשר יוביל גם להגדלת מספר הכימאים בארץ."

פיתוח חיישן רגיש, זול ונייד ל-DNA ו-RNA*

עמוס בר-דע ורון נעמן**

מפמ"ר כימיה במזכירות הפדגוגית במשרד החינוך, ד"ר **דורית טייטלבוים**, הרחיבה: "לימודי הכימיה הם המפתח בתעשיית התרופות, המזון וההיי-טק, ועלינו לאפשר הזדמנות שווה לכל התלמידים, גם אם הם גרים ביישובים קטנים המרוחקים ממרכז הארץ. התכנית נועדה להרחיב ולהעצים את לימודי הכימיה בתיכון, להוסיף לומדים ובתי ספר למעגל הלמידה, דבר אשר יתבטא לבסוף בין היתר גם במחלקות לכימיה באקדמיה ובתעשייה הכימית בישראל. התלמידים יוכלו ליהנות משיתוף הפעולה ההדוק שלנו עם התעשייה הכימית המודרנית של רמת חובב, והתכנית אכן כוללת סיורי תלמידים במפעלים, הרצאות של חתני פרס נובל בבתי הספר ואנשי אקדמיה ותעשייה, וביצוע עבודות גמר בהנחיית כימאים מהתעשייה."

כל השותפים לפרויקט הביעו אופטימיות באשר לסיכויי הצלחת התכנית לאור שילוב הכוחות הנדיר והחשוב של כלל השותפים בה. כולם מביעים תקווה כי התכנית תוביל לקפיצת מדרגה בחינוך למדעים בכלל ובתחום הכימיה בפרט, באזור הדרום, ותהווה קטליזטור ללימודי מדעים בכל הארץ.



RNA עדיין יש צורך בטכנולוגיות פשוטות וניידות בעלות רגישות דומה או משופרת לטכנולוגיית PCR, אשר תאפשרנה לאתר ולזהות DNA ו-RNA. בעבור יישומים רבים גילוי ברגישות של מספר מולקולות קטן, DNA או RNA, יכול לספק כלי דיאגנוסטי מתקדם לכל התחומים שנסקרו לעיל.

מטרת המחקר המתואר במאמר זה הוא פיתוח שיטה חדשה ופשוטה לזיהוי ברגישות גבוהה של DNA או של RNA, וזאת ללא צורך בתהליכי הכנה, ובעיקר ללא תהליכי ריכוז החומר הגנטי הנדגם באמצעות PCR הנדרשים בחיישנים הקיימים כיום.

השיטה

השיטה המוצעת מבוססת על היכולת להדפיס מטריצת חישה מולקולרית (גלאים) על פני שטח הדופן הפנימי של צינורית קפילרית העשויה מזכוכית שאורכה סנטימטר אחד בלבד. הגלאים הם רצפים קצרים של DNA חד-גדילי (Oligonucleotide), רצפים אלו מתוכננים להשלים חלק מהרצף של הגדיל הנבדק. למעשה המערכת דומה לתהליך ה-PCR (Polymerase Chain Reaction) אלא שהיא מתקיימת על פני משטח. מטרתה העיקרית של שיטת ה-PCR

הקדמה

חשיבות החישה ברגישות גבוהה של מולקולות DNA ו-RNA גדלה בשנים האחרונות. ברפואה, למשל, דרושה חישה ברגישות גבוהה של מולקולות DNA ו-RNA לשם אבחון מוקדם של סרטן ולאחר מכן למעקב אחר הטיפול. כמו כן יש חשיבות רבה בחישה ברגישות גבוהה של DNA ו-RNA כדי לנבא התקפי לב, לזהות מחלות שגורמים פטריות, חיידקים, ווירוסים¹ ואף לפיתוח רפואה אישית². נוסף על כך, גילוי ה-DNA ברגישות גבוהה נעשה כלי מהפכני בתחום המדע הפורנסי³ (מדע משפטי בהקשר של זיהוי פלילי) ואף בתחום ניטור גורמי זיהום הסביבה⁴.

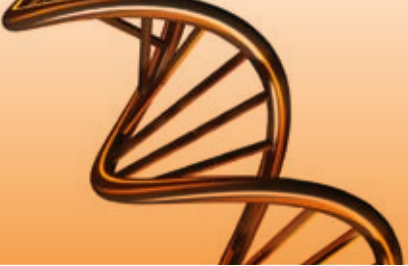
כמה יישומים עוררו פיתוח של שיטות מתקדמות לחישה DNA ו-RNA⁵. אלה כוללים שיטות המבוססות על אותות אופטיים כגון שבבי דנ"א⁶, שיטות המבוססות על אותות חשמליים כגון חיישנים אלקטרוכימיים⁷, ננו-גלאים⁸, והתקנים מבוססי טרנזיסטורים מסוג CMOS⁹. שיטות לניתוח ביטוי של גנים ברמת ה-DNA וגם ברמת ה-RNA הן בעלות ביקוש גבוה בשוק הביומדיטק. תפקיד חשוב מאוד בתחום זה נודע לשיטות המבוססות על טכנולוגיית PCR (Polymerase Chain Reaction)¹⁰.

למרות ההתקדמות הניכרת בשיטות הזיהוי של DNA ושל

* מבוסס על המאמר:

Sensitive Detection and Identification of DNA and RNA Using a Patterned Capillary Tube. Anal. Chem. 2011, 83, 9418–9423.

** ד"ר עמוס בר-דע ופרופ' רון נעמן, המחלקה לפיזיקה כימית, מכון ויצמן למדע, רחובות.



החישה אנו מצפים לקישור של כ-15 כרומופורים על פני הגלאי באמצעות תהליך פלמור ביוקטליטי המופעל על-ידי DNA פולימראז.

איור 2 מציג את תוצאות בדיקת הרגישות של המערכת שתוארה לעיל. הגרף מציג את עוצמת הפלואורסנציה כתלות בריכוז הרצף הנבדק או במספר המולקולות של אותו רצף (ציר x עליון) אשר הוזרמו דרך הצינורית הקפילרית. לצינורית הקפילרית הוזרקו בין 10^2 ל- 10^{14} מולקולות DNA נבדק (שווה-ערך לריכוזים שבין 10^{-16} M ל- 10^{-4} M). נמצא כי אות החישה הוא ליניארי עד 10^5 מולקולות של הרצף הנבדק והוא ברוויה כבר ב- 10^8 מולקולות.

מאחר שבתהליך זה אין מדובר במכל המכיל נפח קבוע של תמיסה, אלא בזרימה קבועה של הנוזל המכיל את הגורם הנבדק דרך החיישן – יש להתחשב במספר המולקולות של הרצף הנבדק המוזרמות דרך הצינורית ולא בריכוז הרצף הנבדק הכולל נפח. יוצא אפוא שאם נזרים מספר זהה של מולקולות בנפחים משתנים נצפה לסיגנל זהה. הגרף הפנימי (insert) באיור 2 ממחיש את הרגישות למספר מולקולות ה-AND הנבדק (במקום ריכוז) של מולקולות. גרף זה מתאר ניסוי שבו הוזרק מספר קבוע של 10^4 מולקולות (של הרצף הנבדק) אך בנפחים שונים (ולכן אף הריכוזים שונים) בקצב זרימה של $40 \mu\text{l}$ מיקרוליטר לדקה. עוצמת האות נשארה כמעט קבועה אף על פי שהגורם הנבדק נמהל בארבעה סדרי גודל.

ניסוי זה מראה בבירור שהחיישן שפותח יכול לזהות כמות נמוכה מאוד של מולקולות ללא תלות בריכוזם בתמיסה. רגישות גבוהה של שיטה זו היא תוצאה של קוטר פנימי זעיר של הצינורית הקפילרית. זמן דיפוזיה לדפנות של הצינור הוא קצר במיוחד בשל קוטר הצינורית הקפילרית, 001 מיקרומטר בלבד. קצב הדיפוזיה מבטיח כי כל מולקולה של הגורם הנבדק יכולה לתקשר עם מטריצת החישה אשר מצפה את דופן הצינורית הקפילרית.

יוצא אפוא שעל כל אירוע הכרה בין הרצף הנבדק לבין מולקולת הגלאי שבמטריצת החישה ייקשרו מספר רב של סמנים פלואורסצנטיים, תהליך המגביר את רגישות החישה. לאחר זמן הדגרה קצר, שבו מתרחשת הקטליזה של הריאקציה הביוכימית לפלמור הגלאי, שוטפים את הצינורית וקוראים את עוצמת הפלואורסנציה באמצעות מיקרוסקופ פלואורסצנטי. ביצירת גרף כיול לכל רצף נבדק מקבלים את הקשר בין ריכוזו בתמיסה לבין עוצמת הפלואורסנציה המתקבלת.

תוצאות

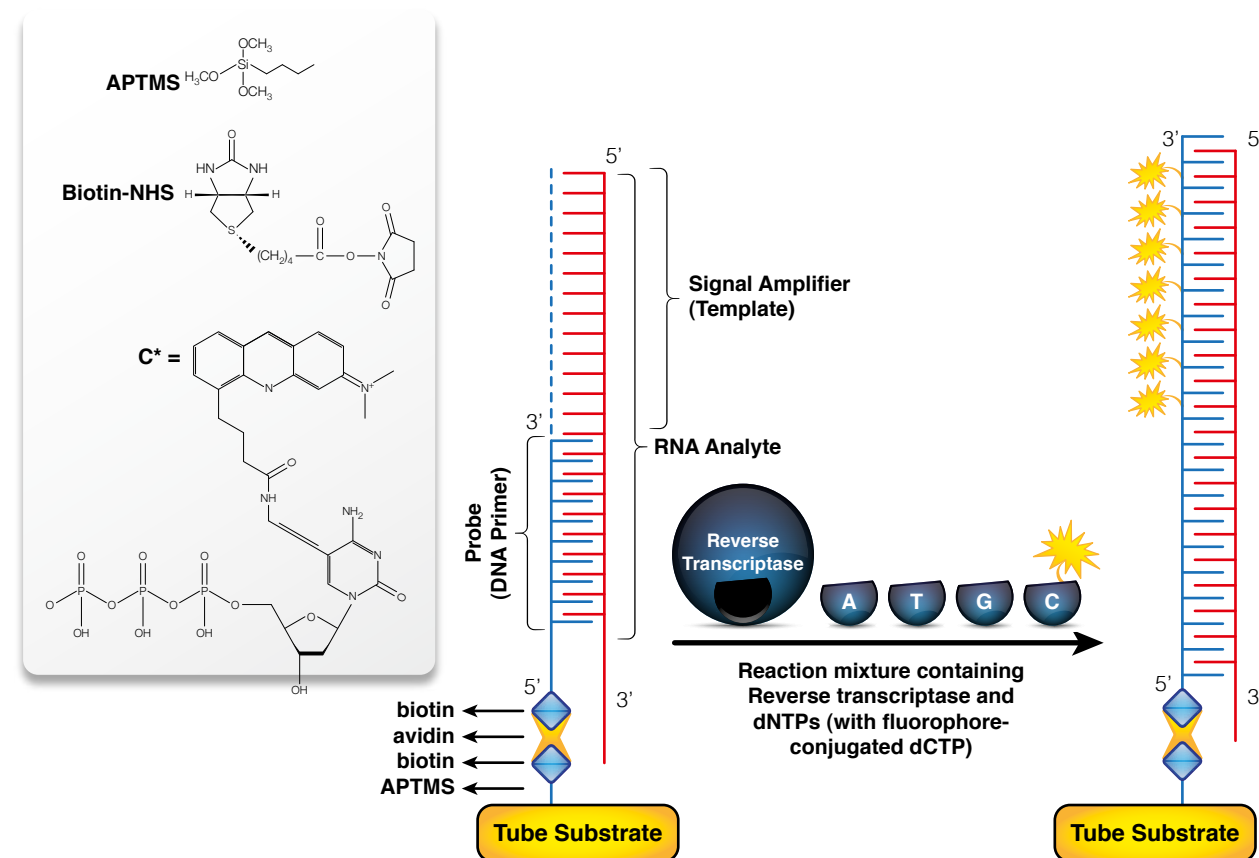
רגישות החיישן

הרגישות לגילוי ה-DNA על-ידי החיישן נקבעה באמצעות חישה של אוליגונוקלאוטיד באורך 80 בסיסים המהווה את הגורם הנבדק. על פני הדופנות הפנימיים של הצינוריות הקפילריות הותקנה מטריצת חישה הבנויה מאוליגונוקלאוטיד המשמש גלאי. הגלאי מורכב מרצף של 40 בסיסים, כאשר בקצה ה-5' שלו קשורה מולקולת ביוטין הנקשרת לאבידין אשר על פני המשטח. באופן זה הגלאי מעוגן לפני שטח הדופנות הפנימיים של הצינוריות. 20 הבסיסים שבקצה ה-3' של הגלאי תוכננו להיות משלימים לרצף אשר ב-DNA החד-גדילי הנבדק (ראו איור 1).

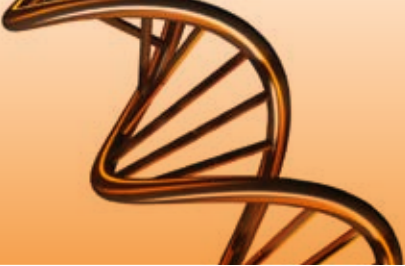
האוליגונוקלאוטיד הנבדק הנו בעל שני מקטעים: (א) בצד 3', רצף של 20 בסיסים המשלימים לגלאי שעל מטריצת החישה; (ב) בהמשך מקטע באורך של 60 בסיסים המשמש להגברת אות החישה (ראו רצף אדום באיור 1). מקטע ב' בעל 60 הבסיסים מהווה תבנית (template) שעליה יתרחש התהליך הביוקטליטי על-ידי האנזים DNA פולימראז לפלמור הבסיסים על גבי הגלאי. בן 60 בסיסיו של מקטע זה נמצאים 15בסיסי גואנין (G) המשלימים לציטוזין המסומן פלואורסצנטית (C*) (propargylamino-dCTP-5) (סמן פלואורסצנטי על דאוקסיציטוזין טריפוספט; ראו איור 1). לפיכך, על כל אירוע של הכרה בין הגורם הנבדק למטריצת

הגדילים מוזרמים לצינורית אנזימי DNA פולימראז במקרה של גילוי DNA או Reverse Transcriptase (RT) כן בסיסים dNTPs (deoxynucleosides) הכוללים את בסיס הציטוזין (C*) הקשור לתג פלואורסצנטי.

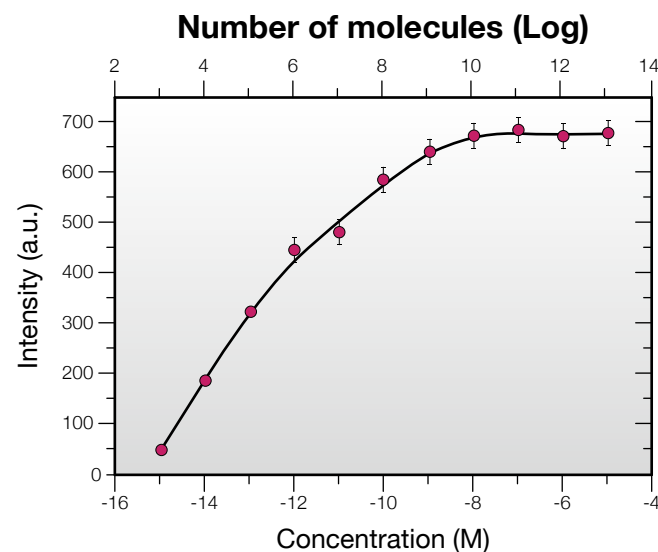
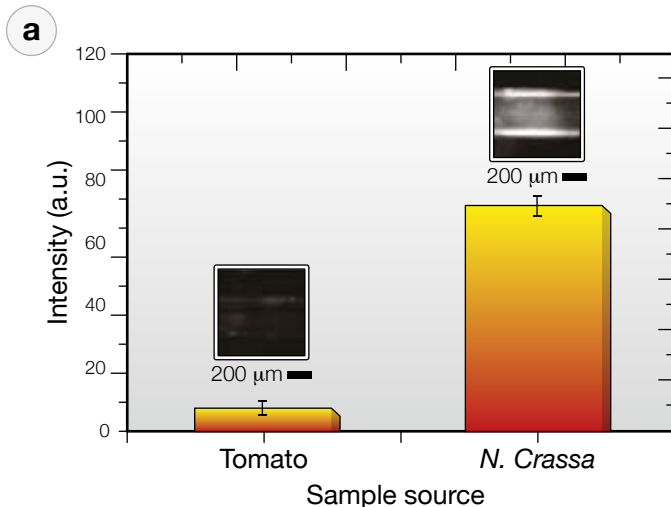
קישור של הגורם הנבדק אל הגלאי המותקן על פני השטח הפנימי של הצינורית יוצר מערך דו-גדילי המאפשר לאנזימי DNA פולימראז או RT להיקשר ולקטלז תהליך של פלמור בסיסים המשלימים לרצף הנבדק על פני הגלאי על פי תבנית הרצף של הגורם הנבדק (איור 1). תהליך הקטליזה כולל את הקישור של C בעל תג פלואורסצנטי.



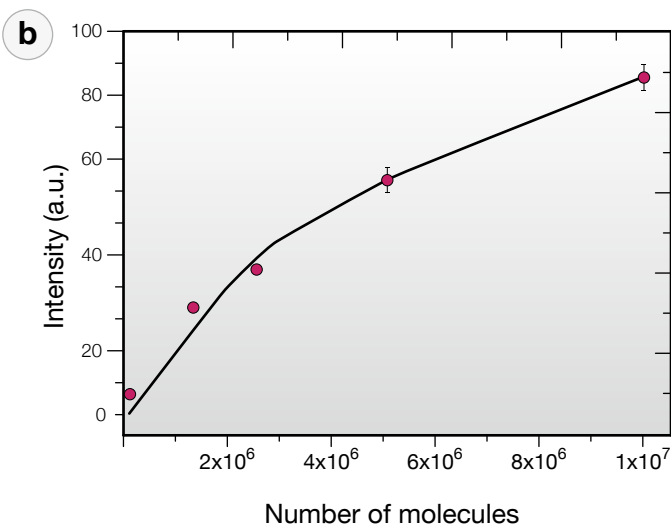
איור 1: תיאור אופן קישור הגלאי למשטח הזכוכית ושיטת החישה המגבירה את אות החישה של רצף RNA. החישה של רצף DNA (רצף האדום באיור יהיה DNA) מתבצעת באותה השיטה בהחלפת האנזים RT ב-DNA פולימראז.



לא ספציפית לגלאי של החיפוש באמצעות RNA שמוצה מעגבנייה בריכוז 1nM לחישה ספציפית באמצעות RNA שמוצה מהפטרייה *N. crassa* בריכוז 1pM הנמוך בשני סדרי גודל.



איור 3: עוצמת הפלואורסנציה כתלות בריכוז רצף ה-RNA הנבדק או במספר המולקולות של אותו רצף (ציר X עליון) אשר הוזרמו דרך הצינורית הקפילרית.



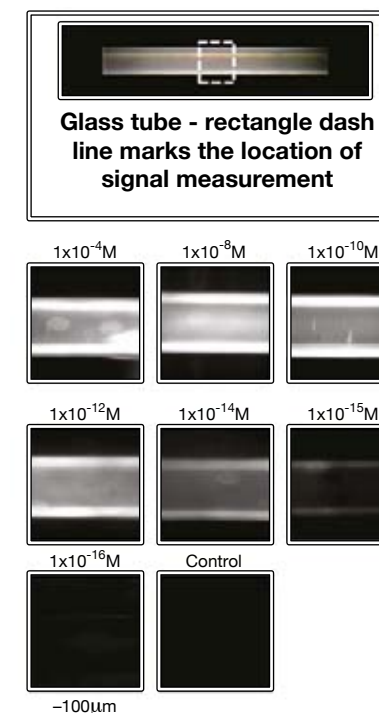
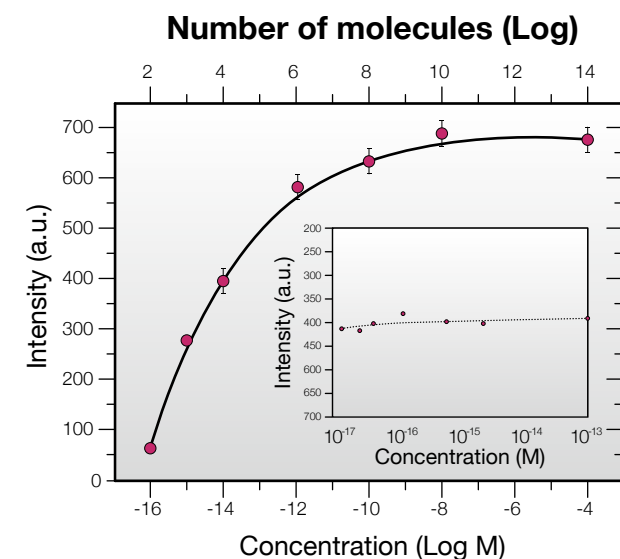
איור 4: חישה סלקטיבית וספציפית של החיפוש. a: השוואה בין חישה לא ספציפית באמצעות RNA שמוצה מעגבנייה לחישה ספציפית באמצעות RNA שמוצה מהפטרייה *N. crassa*; b: עוצמת הבליעה הפלואורסנצית כפונקציה של ריכוז ה-RNA מהפטרייה של *N. crassa* בסרום אדם.

אפשר לראות כי ההבדלים בעוצמות הפלואורסנציה מובהקים כאשר עוצמת האות הפלואורסנטי של הקישור הבלתי ספציפי של ה-RNA מהעגבנייה מהווה רק כ-3% מעוצמת

ספציפיות וסלקטיביות

תהליכים כימיים על גבי משטחים עלולים לסבול מבעיות של סלקטיביות מופחתת בשל היעדר ספציפיות של אינטראקציות והפרעות סטריות עם פני השטח. כדי לחקור את סלקטיביות וספציפיות החיפוש שבנינו השתמשנו ב-RNA שמוצה מהפטרייה בשם *N. crassa*¹¹. גן האקטין (NCU04173.4) של פטרייה זו הוא באורך 1448 בסיסים. בריצוף של הגן נמצא כי רצף של 20 בסיסים (מבסיס 296 עד בסיס 316) ספציפי רק לגן האקטין של פטרייה זו ולא לאף גן אקטין אחר בטבע. בהמשך, תוכנן גלאי ל-20 בסיסים כאשר 296 בסיסים יהוו תבנית ל-RT בתהליך הביוקטליטי של הפלמור. בקרב 296 בסיסים אלו יש 48 בסיסי גואנין (G) ולכן בנצולת מרבית נקבל 48 כרומופורים לכל אירוע של היברידיזציה על פני הגלאי. מחד גיסא, הגן ארוך מאוד ולכן צפויים בעיות סטריות, ומאידך גיסא, יש אפשרות של הגברת הסינגל פי 48.

איור 4 מציג חישה סלקטיבית וספציפית של החיפוש. על פני הדפנות הפנימיים של הצינורית הותקנה מטריצת חישה עם הגלאי לאקטין של *N. crassa*. איור 4a משווה בין חישה



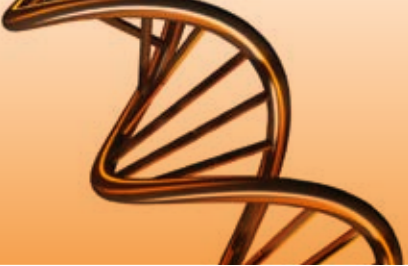
איור 2: עוצמת הפלואורסנציה כתלות בריכוז הרצף הנבדק או במספר המולקולות של אותו רצף (ציר X עליון) אשר הוזרמו דרך הצינורית הקפילרית. בצד ימין מוצגת הזהירה הפלואורסנצית על-פני הדפנות הפנימיים של הצינוריות כתלות בריכוזים השונים של הגורם הנבדק. הגרף הפנימי מציג את תלות עוצמת הפלואורסנציה במספר קבוע של מולקולות DNA הנבדק בריכוזים משתנים.

אירוע אחד של הכרה בין הגורם הנבדק למטריצת החישה אנו מצפים לקישור של כ-6 כרומופורים על פני הגלאי שבמטריצת החישה באמצעות תהליך פלמור ביוקטליטי המופעל על-ידי האנזים RT.

איור 3 מציג את עוצמת הפלואורסנציה כפונקציה של הריכוזים השונים של ה-RNA הנבדק או במספר המולקולות של אותו רצף (ציר X עליון) אשר הוזרמו דרך הצינורית הקפילרית.

לצינורית החישה הקפילרית הוזרקו בין 10^3 ל- 10^{13} מולקולות RNA נבדק (שווה-ערך לריכוזים שבין 10^{-15} M ל- 10^{-5} M). נמצא כי אות החישה הוא ליניארי עד 10^8 מולקולות של הרצף הנבדק והוא ברוויה כבר ב- 10^{10} מולקולות.

באותו האופן הופעל ניסוי הבוחן את רגישות החיפוש לגורם נבדק מסוג רצף RNA. בניסוי זה הגלאי הוא DNA והגורם הנבדק הוא RNA בעל 40 בסיסים. רצף ה-RNA הנבדק הוא בעל שני מקטעים: (א) בצד 3', רצף של 20 בסיסים המשלימים לגלאי שעל מטריצת החישה; (ב) בהמשך מקטע באורך 20 בסיסים נוספים המשמש להגברת אות החישה (ראו רצף אדום באיור 1). מקטע ב' בעל 20 הבסיסים מהווה תבנית (template) שעליה יתרחש התהליך הביוקטליטי על-ידי האנזים RT (המפלמר DNA – של הגלאי – על תבנית של RNA, המהווה במקרה זה את הגורם הנבדק). בין 20 בסיסיו של מקטע זה יש 6 בסיסי גואנין (G) המשלימים לציטוזין מסומן (C*) propargylamino-dCTP-5 (סמן פלואורסנטי על דאוקסיציטוזין טריפוספט – ראו איור 1). לפיכך, על כל



הפלוואורסנציה של הקישור הספציפי, אף על פי שריכוז גדול פי 100 מריכוז ה-RNA הספציפי. תוצאות אלו מוכיחות סלקטיביות וספציפיות של החיפוש שבו היחס בין סיגל ספציפי וסלקטיבי לסיגל שאינו ספציפי הוא כ- 1:2500.

על מנת לבדוק רגישות וסלקטיביות של החיפוש מהלנו בריכוזים שונים את הגורם הנבדק (הגן המבוטא ב-RNA של פטריית *N. crassa*) בסרום דם אדם. המטרה להציג את רגישות החיפוש לגורם הנבדק בסביבה הכוללת את המרכיבים החלבוניים של דם האדם. איור 4b מציג את עוצמת הבליעה הפלוואורסנטית כפונקציה של ריכוז ה-RNA מהפטרייה בסרום. נמצא שהחיפוש רגיש בתנאים אלו לריכוז הנמוך מ-1pM. בנפח של מיקרוליטר אחד תמיסה (כמיליון מולקולות במיקרוליטר תמיסה).

דין ומסקנות

תיארנו שיטה חדשה לאיתור רגיש במיוחד הן של DNA והן של RNA. קבענו כי לחיפוש המבוסס על צינורית קפילרית יש יתרונות חשובים: רגישות חישה גבוהה במיוחד; יכולת לזהות באופן כמותי DNA ו-RNA בספציפיות וסלקטיביות גבוהה, אפילו בנוכחות גורמים העלולים להפריע, כגון חלבונים וחומצות גרעין בסרום. יתר על כן, נמצא כי אין צורך בטיפול מקדים כמו בשיטות האחרות הקיימות, שכן נוזל הדגימה מוכנס היישר לתוך הצינורית הקפילרית ללא כל הכנה; זמן הדיפוזיה של הגורם הנבדק הוא מהיר למדי בשל הקוטר הקטן של הצינור, דבר המאפשר רגישות גבוהה ולכן גם זמן בדיקה קצר במיוחד. כמו כן, החיפוש ניד זול מאוד שכן הוא פשוט לייצור בעלויות נמוכות במיוחד.

מבחינה יישומית, תהליך הייצור של החיפוש כולל ציפוי הדופן הפנימי של הקפילרות. תהליך הייצור הוא פשוט, יחסית, וכולל הזרמת תמיסות אחדות וזמן הדגרה קצר, יחסית, תהליך שיכול לעבור אוטומציה. תפעול החיפוש אצל הצרכן הוא קל ונוח, יחסית. תהליך קריאת האותות הפלוואורסצנטיים יכול להיעשות מתוך סדרה של דיודות פולטות אור וסדרה של אלמנטי CCD, כך שכל המערכת

יכולה להיות ניידת ולכלול בדיקות רבות באופן מקבילי.

המחקר הנוכחי מראה כי חיפוש ביולוגי המבוסס על צינור נימי פשוט פותח את האפשרות לגלות ולזהות באופן כמותי, רגיש וספציפי מולקולות של חומצות גרעין מסוג DNA ו-RNA, באמצעות מערכת דיאגנוסטית, ניידת, פשוטה לתפעול וזולה.

החשיבות הגדולה בחישה של DNA ושל RNA נובעת מהעובדה כי בדרך כלל ה-DNA נותן חיפוש לנשאות של מחלה על רקע תורשתי או פתוגני (מיקרוביאלי או ויראלי) בעוד mRNA הוא מחוץ לפעילות המחלה. האפשרות לבחון את אלה במהירות מאפשרת תגובה תרפויטית מהירה והעלאת סיכויי הריפוי.

פשטות הגילו והזיהוי עשויים לאפשר יישומים חדשים של ה-DNA ושל RNA בדיאגנוסטיקה הרפואית, בניטור טיפולי, ברפואה אישית ובניטור סביבתי. הרגישות והסלקטיביות הגבוהות מאפשרות יישום בתחום הזיהוי הפלילי, שם נדרשות מערכות לזיהוי רצפי חומצות גרעין מזירות פשע המכילות כמות זעומה שלהן בסביבה מזהמת.

השלב הבא של המחקר יהיה יישום חיפוש המבוססים על צינוריות חישה של חלבונים. לשם כך יהיה צורך למצוא שיטה גנרית לציפוי הדפנות הפנימיים במטריצת חישה שתאפשר אפליקציית הגברה לאחר אירוע ההכרה עם הגורם הנבדק. בסיום שלב זה של המחקר יהיה אפשר להציג מערכת כוללת המאפשרת חישה כמותית של RNA, DNA וחלבון – דבר שיפתח אפשרות יישומית בשטחים שנמנו לעיל.

החיפוש שפותח והוצג בעבודה זו מדגים **טכניקה גנרית** לחישה של מרכיבים ביולוגיים, ויכול להתאים לשטחים מגוונים שבהם יש צורך ליישם חישה ביולוגית. הפיתוח הוא גנרי משום שהוא מציע שיטה שהוכחה בעבודה זו רק באופן מוגבל על רצפי חומצות גרעין, אולם בהתאמה תכנונית של גלאי אשר יותקן על דפנות הצינוריות יהיה אפשר לחוש מגוון רחב מאוד של חומרים ביולוגיים לפי הנדרש.

מקורות

1. Ramachandran, C.; Melnick, S. J., Molecular Diagnosis 1999, 4, 81-94.
2. Shastry, B. S., Pharmacogenomics Journal 2006, 6, 16-21.
3. Liu, P.; Li, X.; Greenspoon, S. A.; Scherer, J. R.; Mathies, R. A., Lab on a Chip 2011, 11, 1041-1048.
4. Riesenfeld, C. S.; Schloss, P. D.; Handelsman, J., Annual Review of Genetics 2004, 38, 525-552.
5. Dvorak, Z.; Pascussi, J.-M.; Modriansky, M., Biomedical Papers (Olomouc) 2003, 147, 131-135.
6. Gerhold, D.; Rushmore, T.; Caskey, C. T., Trends in Biochemical Sciences 1999, 24, 168-173.
7. Bardea, A.; Patolsky, F.; Dagan, A.; Willner, I., Chemical Communications 1999, 21-22.
8. Drummond, T. G.; Hill, M. G.; Barton, J. K., Nature Biotechnology 2003, 21, 1192-1199.
9. Thewes, R.; Hofmann, F.; Frey, A.; Holzapfl, B.; Schienle, M.; Paulus, C.; Schindler, P.; Eckstein, G.; Kassel, C.; Stanzel, M.; Hintsche, R.; Nebeling, E.; Albers, J.; Hassman, J.; Schulein, J.; Goemann, W.; Gumbrecht, W., 2002 IEEE International Solid-State Circuits Conference. Digest of Technical Papers (Cat. No.02CH37315) 2002.
10. Kubista, M.; Andrade, J. M.; Bengtsson, M.; Forootan, A.; Jonak, J.; Lind, K.; Sindelka, R.; Sjoback, R.; Sjogreen, B.; Strombom, L.; Stahlberg, A.; ZoriC, N., Molecular Aspects of Medicine 2006, 27, 95-125.
11. Ziv, C.; Gorovits, R.; Yarden, O., Fungal Genetics and Biology 2008, 45, 103-116.

נעמי חרמוני* כרמית קנטור** סופיה קולושב***

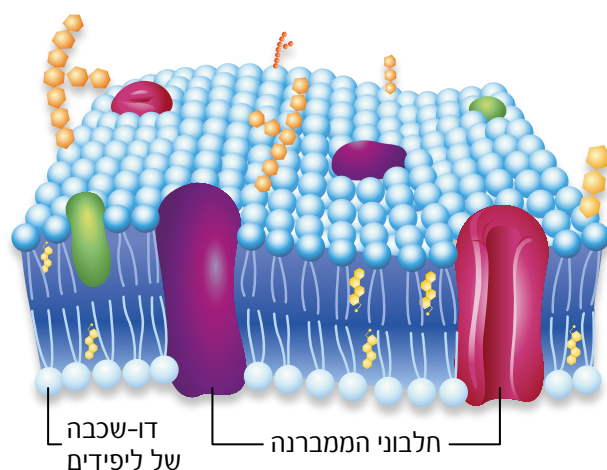
בנקודה זו משתלבת עבודת המיני מחקר שלנו עם עבודת המחקר של ד"ר קולושב. בדקנו את תגובות הצבע של אבקות הנמצאות בשימוש 'יומיומי': קמח, קורנפלור, אבקת

קשר פעיל עם האקדמיה, הכולל השתתפות במחקרים, הוא בעל ערך רב מאוד בשמירה על רלוונטיות הידע שלנו כמורות, ובהכרח משפיע גם על רמת ההוראה שאנו

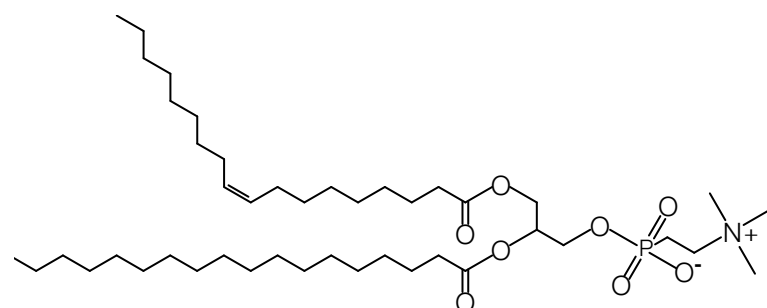
*** העבודה בוצעה בהנחייתה של ד"ר סופיה קולושב מהמכון לננוטכנולוגיה, אוניברסיטת בן גוריון.

כדמ'ג ונעמ'

לצורך המחקר שבו אנו עוסקות פותחו ממברנות פוספוליפידיות מלאכותיות שונות - ליפוזומים - בהרכב כימי מוגדר לפי סוג הליפידים והיחס בין מולקולות השומן והחלבון.



וזיקולות ליפידיות הן חלקיקים קולואידים, בדרך כלל ברדיוס של 5-50 ננומטר. בבסיסן עשויות הוזיקולות ממולקולות של פוספוליפידים. המולקולות בעלות ה"ראש" ההידרופילי וה"זנב" ההידרופובי הן בדרך כלל גזרות סינתטיות של פוספוליפידים טבעיים, לעתים קרובות פוספטידיל-כולין (PC). בתמונה 2 מוצגת נוסחת המבנה של פוספטידיל-כולין:



תמונה 2: פוסטפונטידיל-כולין

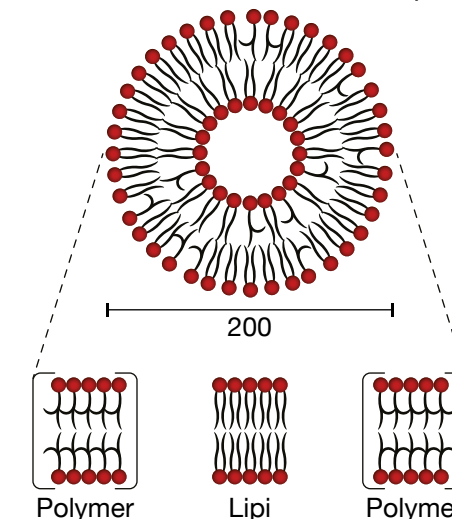
מולקולות הפוספוליפידים מאורגנות בתמיסה מימית באופן שבו הזנבות ההידרופוביים פונים זה אל זה ליצירת מבנה דו-שכבתי סגור של ממברנה, הכולא בתוכו תמיסה מימית (וזיקולה). השכבות הליפידיות הן נוזליות (פלואידיות), ומולקולות פוספוליפידיות יכולות לנדוד דרך שטח הפנים של הממברנה אל תוך המבנה הדו-שכבתי. גודל הוויקולות ותכונות שטח הפנים שלהן תלויים בשיטת ההכנה, בסוג הפוספוליפידים, בתוספים ליפידים, וביחס בין הרכיבים השונים.

אפשר לשנות בוויקולה שני תחומים עיקריים: הממברנה הדו-שכבתית עצמה והחלל הפנימי. טמפרטורה משפיעה על מידת הפלואידיות, ובכך על חדירות הממברנה, על אגרגציה (הצטברות) של וזיקולות ועל התכתן. שימוש בתערובת ליפידים או שינוי טבע חומצות השומן עשויים לשנות את יציבות הוויקולה, את מטען שטח הפנים שלה, את גודלה, ואת היקף פעילותה. אפשר להוסיף פוספוליפידים יוניים, או לשנות את ה-pH וכך להשפיע על מטען שטח הפנים. נמצא כי מטען שלילי של הליפידים בוויקולה מקטין את הנטייה לאגרגציה, מייצב את תרחיף הוויקולות, וכן מאפשר ליצור אינטראקציות עם תאים או מולקולות ביולוגיות אחרות⁽⁴⁾. אפשר לערוך שינויים במשתנים רבים במבנה הוויקולה ובתכונותיה, בהתאם ליישום המתבקש.

3. אנליזה קולורימטרית מבוססת על וזיקולות פולי-די-אצטילן (PDA)

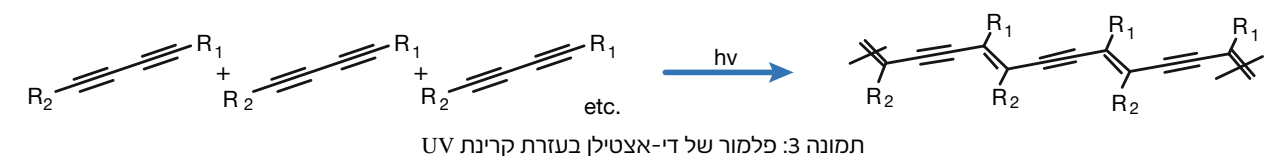
במסגרת מחקר בתחום זה פותחו וזיקולות מתערובת של ליפידים (שומנים) פיזיולוגיים ופולי-די-אצטילן (PDA). סונתזה

קבוצת ליפידים עם קבוצות המאפשרות פלמור במקומות שונים לאורך מולקולות השומן (ליפיד). מונומרים אמפיליים שונים של די-אצטילן (DA) הראו תכונות אלקטרוניות ואופטיות ייחודיות לאחר הפלמור⁽⁵⁾. פלמור 1, 4 של די-אצטילן יוצר שלד של מערכת מצומדת של קשרים כפולים/משולשים (כמוצג בתמונה 3), הגורמת להופעת צבע כחול. ידוע היום שמערכות PDA (פולי דיאצטילן) יכולות להיות גם חלק של ליפידים שונים ושל חלבוני הממברנה הנאספים למבנה של וזיקולה⁽⁶⁾ כמוצג בתמונה 4.



תמונה 4: תצוגה של וזיקולה שבה אזורים עם PDA ואזורים עם ליפידים

החשיבות הגדולה הטמונה בצברים של PDA היא בבליעה האופטית החזקה שהם מגלים, המשתנה באופן דרמטי בהפעלת מתח מכני, חום או שינוי תנאי הסביבה כמו pH. הבליעה האופטית, הנובעת ממעברי $\pi-\pi^*$ במערכת המצומדת הליניארית, גורמת להופעת צבע כחול. בליעה זו משתנה לבליעה באנרגיות גבוהות יותר בהשפעת השינוי,

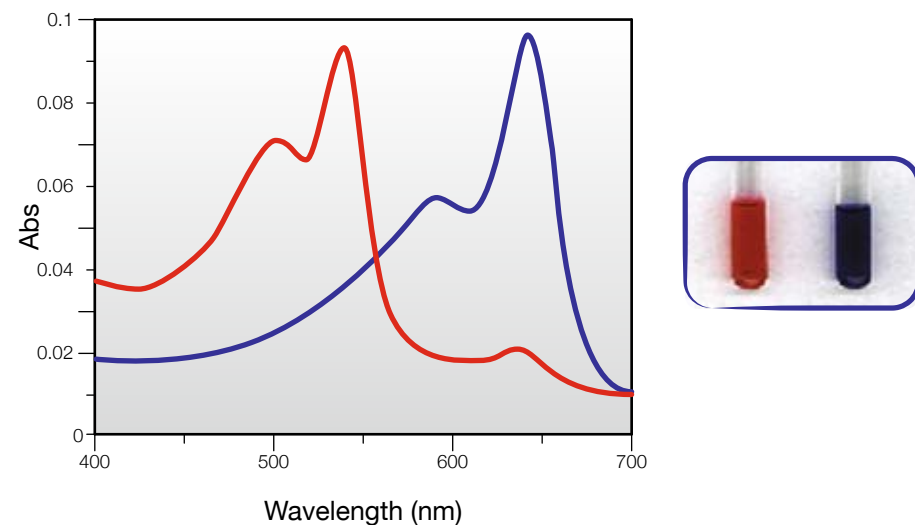


ומלווה בהשתנות הצבע לאדום. בתמונה 5 מוצג צילום של המערכת לפני ואחרי השינוי, וכן ספקטרום הבליעה של PDA. המנגנון המדויק הגורם לשינוי זה בצבע אינו מובן במלואו. משערים שהוא נובע משינוי הקונפורמציה והאריזה של השאריות הפחמימניות (מיוצגות על ידי R_1 ו- R_2 בתמונה 3) ב-PDA, המשנים את המצבים האלקטרוניים וכך את אורך הגל של הבליעה האופטית. בתמונה 6 מוצג איור עם הסבר אפשרי לשינויים בקונפורמציה ובצבע.

חשיבות רבה טמונה באפשרות של אנליזה כמותית בעזרת

היחס בין הסיגנל המתקבל בעבור עוצמת הבליעה של המצב "הכחול" (640nm) לבין הסיגנל המתקבל בעבור עוצמת הבליעה של המצב "האדום" (500nm) (FCR%). כך אפשר לבחון את אקטיביות הממברנה לפפטידים ולחומרים שונים נוספים.

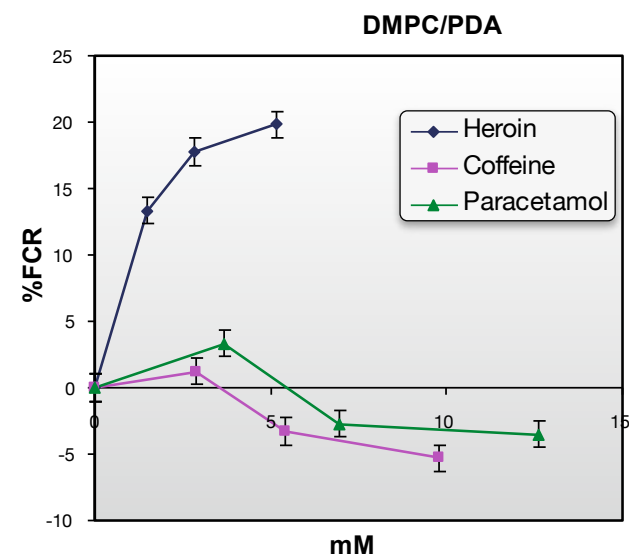
מודל הביוכרומיזם (שינוי בצבע של מולקולות ביולוגיות) הנהוג היום מאפשר פישוט, האצה והוזלה בחקר הממברנות. המודל מיושם גם במדעי הרוקחות, באבחון מחלות, ובסריקה לנוכחות חומרים טבעיים וסינתטיים.



תמונה 5: צילום + ספקטרום בליעה של תמיסה כחולה ותמיסה אדומה של PDA

מניתוח התוצאות בשלושת הגרפים עולה כי תגובת הצבע בליפוזום DMPC של חומרי הסם: הרואין, לידוקאין, קוקאין, מתאמפטמין, אמפטמין מראים תגובה חזקה לעומת שאר החומרים (מניטול, קפאין ופרצטמול). מכאן שאפשר לחשוד בנוכחות סם כאשר תופיע תגובת צבע בכל אחד מחומרים אלה.

בבדיקת הרואין בליפוזום DMPC/Cholesterol/PDA (גרף 6) אפשר לראות כי תגובת הצבע של הרואין נמוכה. לכן ליפוזום זה אינו מתאים לזיהוי הרואין. אך בהשוואת תגובת הצבע בין שני הליפוזומים - DMPC, ו-DMPC/Cholesterol - יכולה להיות תכונה מזהה בעיקר להרואין, המגלה שוני מובהק בהתנהגות.

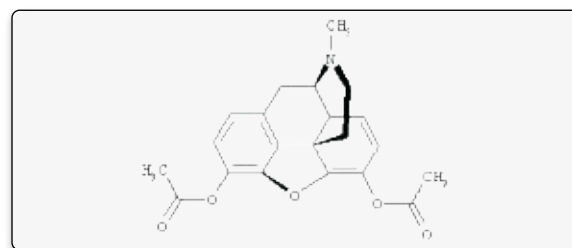


גרף 3: הרואין, קפאין, פרצטמול

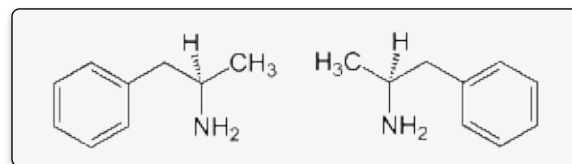
בהשוואת האקטיביות של כל החומרים שנבדקו לזו שנמצאה בעבור הסמים - הרואין, מתאמפטמין, אמפטמין, קוקאין, ניכר הבדל מובהק: תגובת צבע חזקה במערכת המדוברת בעבור סמים ותגובת צבע אפסית בעבור חומרים שאינם סמים.

חלק שני: תוצאות הניסוי שבוצעו בסמים

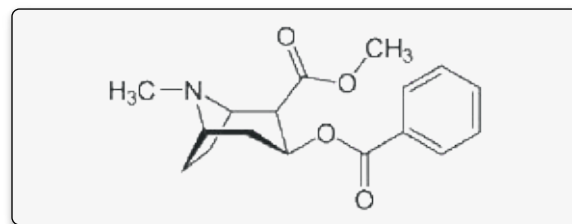
תוצאות אלה חשובות לצורך השוואה לתגובות הצבע של האבקות שנבדקו בניסוי שלנו.



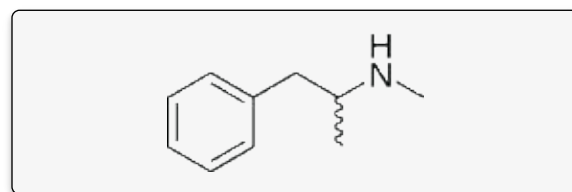
הרואין



אמפטמין (ספיד)

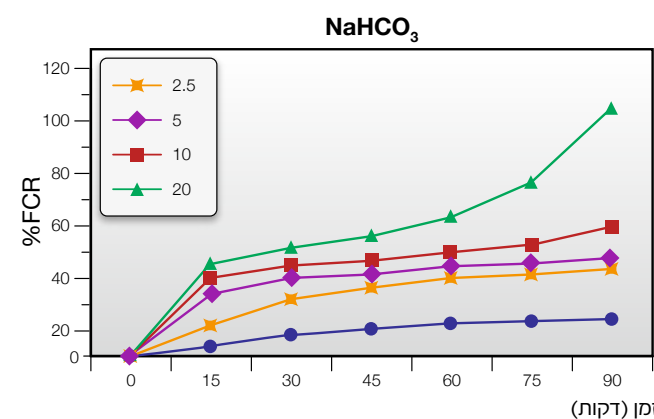


קוקאין

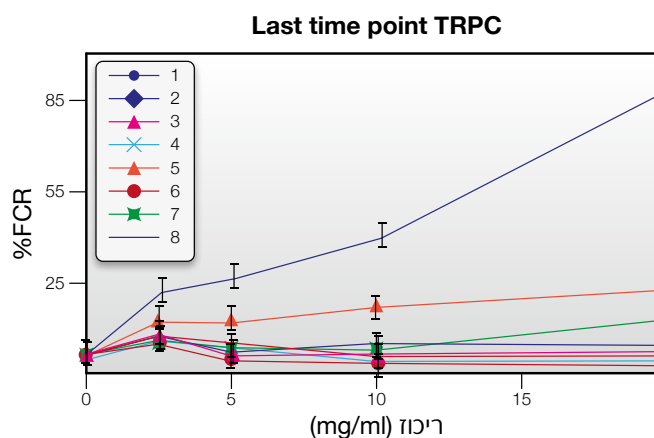


מתאמפטמין (סם ממריץ)

הגרפים שלהלן (3-5) מציגים את אחוזי ה-FCR של הסמים וחומרים דמויי סמים ב-DMPC/PDA כתלות בריכוז (mM). התוצאות לקוחות מהמדידה בנקודת הזמן האחרונה - כלומר בתום שעתיים מהכנסת התמיסה למטריצת הג'ל.



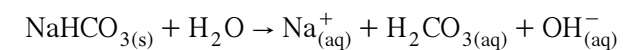
גרף 1: אחוז ה-FCR של סודה לשתייה - NaHCO₃ עם הליפוזום DMPC - כתלות בזמן ובריכוזים שונים



גרף 2: אחוז FCR של החומרים בנקודת הסוף בליפוזום DMPC
1. קמח; 2. קורנפלור; 3. אבקת אפייה; 4. דקסמול;
5. אבקת סוכר; 6. נורופן; 7. גיר; 8. סודה לשתייה

כאמור, המטרה הייתה יצירת מטריצת סול-ג'ל עם שלושה סוגים של ליפוזומים (ליפידים שונים) ובדיקת אקטיביות לחומרים: אבקת סוכר, קמח, קורנפלור, אבקת אפייה, גיר, סודה לשתייה, פרצטמול, נורופן. הגרפים של נקודת הזמן הסופית שהתקבלו מהווים את טביעות האצבעות המבוקשות בעבור החומרים המוגדרים.

ימין מכילות תמיסת NaOH לצבע אדום מירבי. השורה התחתונה בכל תמונה מראה את צבע הליפוזומים בנוכחות סודה לשתייה - NaHCO₃. בתמיסה מימית נוצרים יוני הידרוקסי:



בסביבה בסיסית נסתרות הקבוצות הקרבוקסיליות בקצה הליפוזום: $\text{COOH}_{(aq)} + \text{OH}_{(aq)}^- \rightarrow \text{COO}_{(aq)}^- + \text{H}_2\text{O}$ שטח פני הוויזיקולה נטען שלילית, מה שמוביל לשינוי הקונפורמציה ולהופעת תגובת הצבע כמוסבר בפרק המבוא. תגובת צבע יפה מופיעה גם בשורה השלישית, שיש בה אבקת אפייה, המכילה גם היא סודה לשתייה. אפשר לראות כי למרות הוספת הבופר למטריצת הג'ל - לנוכחות סביבה בסיסית יש השפעה בולטת. המסיסות במים של האבקות האחרות זניחה ובהתאם לכך תגובת הצבע האפסית. בחרנו להציג את הגרף המתאר את אחוז ה-FCR המחושב בליפוזום במטריצת DMPC כתלות בזמן ובריכוזים שונים, בעבור NaHCO₃, שהראה כאמור תגובת צבע מובהקת (ראו גרף 1).

אפשר לראות שעוצמת תגובת הצבע עולה עם הזמן בכל הריכוזים, אף שבריכוז הגבוה העלייה משמעותית יותר. מסיבה זו נלקחו לצורך ניתוח התוצאות ערכי %FCR בנקודת הזמן הסופית של המדידות השונות.

בגרף 2 אפשר לראות כי אחוז ה-FCR של סודה לשתייה הוא הגבוה והמשמעותי ביותר, וקצת פחות מכך אבקת אפייה. שאר האבקות אינן נותנות את תגובת הצבע. גם בשני הגרפים הנוספים, עם הליפוזומים כולסטרול ו-DMPC, ערכי %FCR של סודה לשתייה בנקודת הזמן הסופית גבוהים משמעותית לעומת שאר החומרים.

nuclear membranes: Adsorption, lipid mixing and lysis of the vesicles, BBA. 903: 123-131(1987).

- H. Ringsdorf, B. Schlarb and J. Venzmer, Molecular architecture and function of polymeric oriented systems: Models for the study of organization, surface recognition, and dynamics of biomembranes, Angew Chem Int Edn Engl. 27: 113-158(1988).
- J. J. Pan and D. Charych, Molecular recognition and colorimetric detection of cholera toxin by polymerized liposomes, Langmuir. 13: 1365-1367(1997).
- M.L. Ferrer, F. del Monte and D. Levy, A novel and simple alcohol-free Sol-Gel route for encapsulation of labile Proteins, Chemistry of materials volume 14 No. 9: 3619-3621(2002).
- Z. Orynbayeva, S. Kolusheva, E. Livneh, A. Lichtenshtein, I. Nathan, R. Yelinek, Visualization of membrane processes in living cells by surface-attached chromatic polymer patches, Angew. Chem. Intl. Ed. 44: 1092-1096(2005).

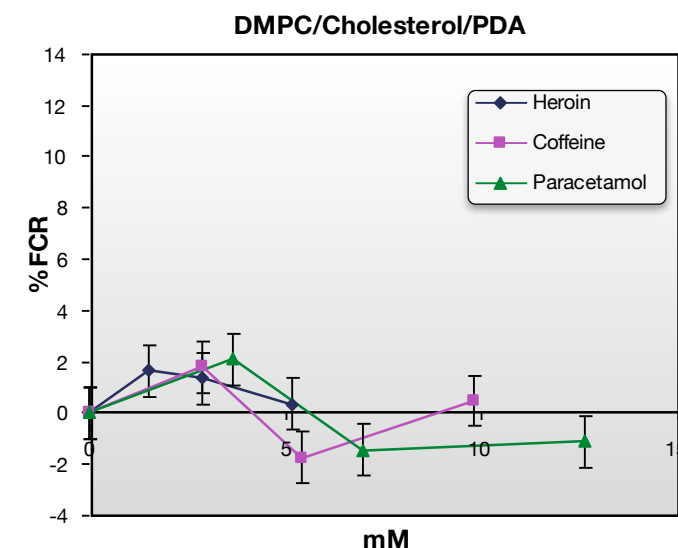
נוסף על כך, נמצא שאי אפשר לזהות הרואין על ידי זיקולה המבוססת על כולסטרול. לפיכך אם מכינים מערכת שתהיה זמינה לשימוש מיידי, רצוי להכין זיקולות המבוססות על הליפוזומים DMPC-IDMPG.

ייתכן כי בהמשך המחקר אפשר יהיה לבדוק התנהגות של תערובות סמים עם החומרים שבדקנו (למשל הרואין בקמח) בעזרת תגובת הצבע במערכת המתוארת, ולראות אם אכן מופיעה תגובת הצבע והחל מאיזה ריכוז אפשר לזהותה. נוסף על כך, אנו ממליצות לנסות ולהכין מערכות עם סמים נעלמים, לבצע את הבדיקה, ולוודא שאמנם מצליחים לזהותם בשיטה המתוארת בעבודה זו.

מקורות

- C. Krittanai and S. Panyim, Structural design and characterization of a channel-forming peptide, J Biochem Mol Biol. 37: 460-465(2004).
- O. S. Belokoneva, H. Satake, E. L. Maltseva, N. P. Palmina, E. Villegas, T. Nakajima and G. Corzo, Pore formation of phospholipid membranes by the action of two hemolytic arachnid peptides of different size, BBA Biomemb. 1664: 182-188(2004).
- B. Aricha, I. Fishov, Z. Cohen, N. Sikron, S. Pesakhov, I. Khozin-Goldberg, R. Dagan and N. Porat, Differences in membrane fluidity and fatty acid composition between phenotypic variants of streptococcus pneumonia, J Bacter. 186: 4638-4644(2004).
- R. Lawaczek, P. K. Nandi and C. Nicolau, Interaction of negatively charged liposomes with

גבוה, יש לפעול על מנת להורידו ל-pH=8 בערך, וזאת על ידי הוספת חומצה. כך אפשר לנטרל את השפעתה של סודה לשתייה על תמונת הצבע.



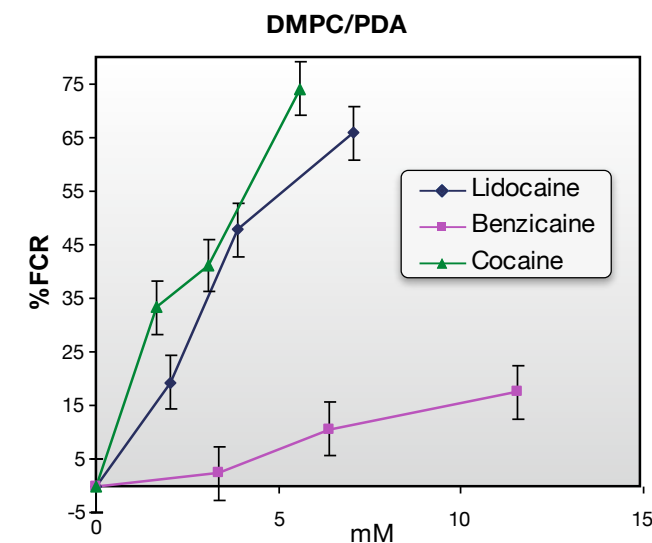
גרף 6: הרואין, קפאין, פרצטמול בליפוזום DMPC/Cholesterol

מסקנות וסיכום

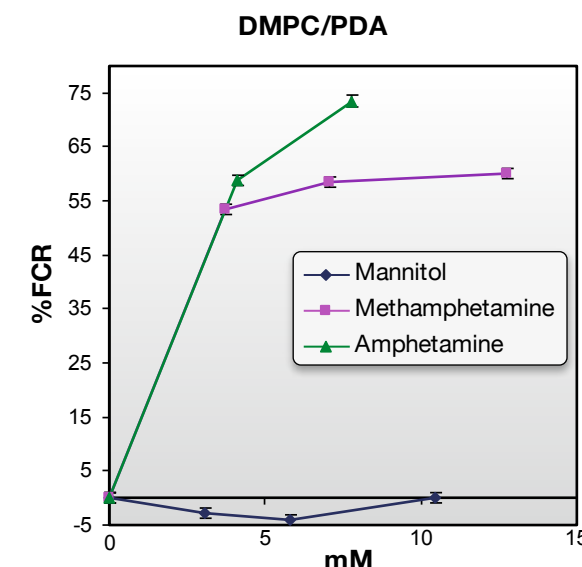
בעבודה זו הראינו כי תגובת הצבע של החומרים קמח, אבקת מרק, פרצטמול, גיר, קורנפלור ואבקת סוכר עם ליפוזומים במטריצת סיליקה ג'ל היא זניחה. בהשוואה לכך, תגובת הצבע של סמים במערכת זו הנה חזקה. לפיכך מערכת ליפוזומים במטריצת סיליקה ג'ל יכולה להיות מערכת מזהה בעבור סמים. גרפים המתארים את עוצמת תגובת הצבע (%FCR) כתלות בריכוז החומר יכולים לשמש "טביעות אצבעות" שבעזרתן אפשר לזהות נוכחות של סם, וגם את סוג הסם ואת כמותו היחסית באבקה שבודקים.

כאמור, למניעת השפעה של חומרים בעלי אופי בסיסי שאינם סם יש לבדוק את רמת ה-pH לפני האנליזה ולנטרל בהתאם לצורך, כפי שעשו לקרות עם החומרים סודה לשתייה או אבקת אפייה.

תוצאות המחקר מחזקות את התאמתה של מערכת ליפוזומים במטריצת סיליקה ג'ל לזיהוי סמים באבקות.



גרף 4: לידוקאין, במזוקאין, קוקאין



גרף 5: מניטול, מתאמפטמין, אמפטמין

כפי שהוצג בחלק השני של הדיון, הסמים מגלים תגובת צבע משמעותית, בעוד האבקות האחרות לא. תגובת הצבע החזקה של סודה לשתייה נובעת מהאופי הבסיסי של החומר. לפיכך לפני בדיקה לגילוי סמים יש לבדוק את רמת ה-pH. אם הוא

עבודת הגמר בכימיה

נעמה בני*

עבודת גמר בכימיה



עבודת הגמר היא אתגר אינטלקטואלי, ומאפשרת לתלמידים העמקת ידע, העשרה והרחבת אופקים. זו הזדמנות להכיר את עולם המדע "האמתי" מבפנים, כמו שהגדירו זאת משתתפי הפאנל. החשיפה למעבדת מחקר אמיתית, באקדמיה או בתעשייה, נותנת לתלמידים תמונה רחבה יותר של המתרחש בעולם המדעי: מה מעניין חוקרים, מהן שיטות העבודה והמכשור, איך נראית מערכת ניסוי, ועוד. התלמידים חווים את הדבר האמיתי כאשר ניסוי מזדהם או אינו מצליח ולחלופין התרגשות הענקית כאשר ניסוי מצליח ומתקבלות תוצאות.

מידע נוסף על עבודות גמר ניתן למצוא [באתר עבודות הגמר במשרד החינוך](#).

אז איך מתחילים?

התהליך מתחיל בחשיפה הראשונית בבית הספר. לדעת חברי הפאנל, תפקידו של מורה הכימיה בכיתה הוא להציג את האפשרות בפני התלמידים. ככל שתלמידים רבים יותר ידעו על כך, תלמידים מתאימים רבים יותר יענו לאתגר. אחר כך נדרשים התלמידים להעלות רעיון למחקר ולחפש מנחה אקדמי. והשלבים הבאים הם כתיבת הצעת המחקר, ביצוע המחקר ולבסוף כתיבת העבודה.

* נעמה בני, מורה למדעים, דוקטוראנטית למדעים, בהנחיית ד"ר רון בלונדר, במחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן.

למי מתאים לבצע עבודת גמר?

שני מאפיינים מרכזיים הודגשו. הראשון הוא יכולת הלמידה העצמאית של התלמידים, כלומר, נדרשים תלמידים עצמאיים וסקרנים, שמעניין אותם המדע ומעניין אותם לחקור שאלות. המאפיין השני הוא התמדה. נוסף על כך, חשוב שיהיה לתלמיד רקע מבוסס בתחום העבודה. התלמידים המתאימים ביותר יהיו בדרך כלל אלה הלומדים לימודים מוגברים במתמטיקה ובמקצועות המדעיים, ומצטיינים בכך.

חשוב לזכור כי בתהליך הלמידה וכתיבת העבודה התלמידים אינם מקבלים סיכומים או חומרים מוכנים מראש. הם אינם מקבלים תזכורות ואיש אינו "עומד להם על הראש". התלמיד הוא זה שאחראי לביצוע שלבי העבודה השונים. הוא מנהל את פרויקט עבודת הגמר, מקציב את הזמן הנחוץ לכל משימה, אחראי ללמוד את החומר האקדמי הרלבנטי לעבודתו, ועוד.

איך מוצאים מנחה אקדמי?

חיפוש מנחה אקדמי לעבודת גמר מתחיל ברעיון. בבית הספר בודקים מה מעניין את התלמיד ומה הוא רוצה לחקור ולבדוק. לאחר מכן בודקים מי עוסק בתחום, והתלמיד פונה אל החוקר באקדמיה או בתעשייה. חשוב לזכור שבשלב זה ייתכנו אכזבות ועיכובים. לא תמיד החוקר מסכים להנחות תלמידים, ולעתים הוא אף אינו מגיב לפנייה. לדברי חברי הפאנל, זהו המצב הראשון שבו נבחנת נחישותם של תלמידים. תלמיד שלא יירתע מתשובה שלילית, אלא ימשיך ויחפש, סביר כי ינחן בתכונות שתעזרנה לו להצליח בעבודה.

אם אחרי כל המאמצים לא הצליח התלמיד למצוא מנחה אקדמי, ממליצים חברי הפאנל לפנות למוסדות המאורגנים, כמו מכון ויצמן למדע, שבהם אפשר למצוא תכניות מאורגנות האפשרות חיבור בין תלמידים ובין חוקרים.

מה תפקידו של בית הספר?

לבית הספר ולמורה לכימיה תפקיד חשוב לאין ערוך. המורה הוא זה שמלווה את התלמיד בשלבי העבודה השונים. בבית ספר שיש בו רכז עבודות גמר, העבודה מתחלקת. את החלק הניהולי בעבודה, הכולל הגשת הצעה, מילוי טפסים, ועוד, מבצע רכז עבודות הגמר. את הליווי והתמיכה וכן עזרה בהבנת מושגים ובכתיבה, מבצע המורה בכיתה. בבית ספר שאין בו רכז, המורה אחראי לכול. חברי הפאנל ממליצים כי מורים אלה יתעדכנו ויהיו בקיאים בכל הפרטים הנחוצים.

מהם השלבים החשובים בביצוע עבודת הגמר?

נצביע על כמה שלבים חשובים: השלב הראשון, והחשוב ביותר, הוא הגשת הצעת המחקר. בשלב זה חשוב שהעבודה תעסוק בנושא שנערכו עליו מחקרים, המעוגן במאמר מדעי מהשנים האחרונות.



בשלב הגשת ההצעה חשוב מאוד לעקוב אחר הנחיות משרד החינוך ולמלאן. הגישה היא לעזור לתלמידים ולקדם אותם עד כמה שאפשר. הצעה שאינה לפי ההנחיות תוחזר

כשפדגוגיה פוגשת טכנולוגיה

קבוצת מורים התחילה הצטרפו גם אתם!

תמר אליאש¹, רחל אידלמן², שרה אקונס³ ומלכה יאיון⁴

מורים וטכנולוגיה – רחל אידלמן

(מורה ממשותפת הקורס)

בעיני, אי אפשר ללמד ללא טכנולוגיה.

העולם שלנו מלא עד כדי פיצוץ בטכנולוגיות מסוגים שונים. ילדים מקלידים במהירות האור, הורים אחוזי דיבוק קונים לילדיהם גאדג'טים ולמחרת הקנייה כבר יוצא הדור החדש והם הופכים להיות "פאסה".

אנחנו כמורים נכנסים לכיתה שיושבים בה ילדים כאלה. הם, או כפי שאני מכנה אותם: "דור הקליפ", לא מסוגלים לשבת יותר משתי דקות (אורך קליפ ממוצע) בלי לשלוף טלפון מהתיק, לסמס למישהו, להתחבר לפייסבוק ולסקייפ, או סתם לשחק כי כבר עברה דקת הקשב הרצופה שלהם, וזהו. נגמר להם.

אז מה עושים? אנחנו המורים יכולים לשלוט במיומנויות האופיס, שולחים זה לזה מיילים, מתחברים לסקייפ (כי זה חינוך ואין ברירה), יש לנו פייסבוק (כי לכולם יש), ואנחנו מדווחים על הציונים במשוב הבית ספרי (בשל דרישות מקום העבודה...).

אנחנו יכולים גם לגלוש באינטרנט וביו-טיוב, אך קצת יותר

בסוף יוני התכנסנו להציג את התהליך שעברנו ואת תוצרי הקורס "התאמת הוראת הכימיה לעידן הטכנולוגי החדש". התלהבותם של משתתפי הקורס והאורחים במפגש הסיכום, והעבודות המושקעות שהוגשו, שיקפו את מה שנעשה במהלך השנה.

להלן נסקור בקצרה את הקורס, לרבות הרציונל שבבסיסו, הסיבות שהובילו לפתיחתו, דרך ההתנהלות בקורס, תוצריו וכן חשיבה על שילוב הטכנולוגיה של המאה העשרים ואחת בהוראת הכימיה בבתי הספר העל-תיכוניים.

הקורס מטעם המרכז הארצי למורי הכימיה התקיים במכון דוידסון, בהשתתפות מורים חדשים וותיקים במערכת החינוך.

הרציונל של הקורס והסיבות שהובילו לפתיחתו

שינויים דרמטיים מתרחשים לנגד עינינו בתחום התקשוב, האינטרנט והתקשורת. הנוער מכיר ומתרגל לשינויים אלו בקלות יחסית, ולעומת זאת, אנחנו המורים פחות מעורבים בשינויים הללו גם אם אנו מודעים לקיומם. חשוב מאוד להכיר את העולם הווירטואלי החדש, וליתר דיוק: המתחדש מרגע לרגע.

1. תמר אליאש, מורה לכימיה, בית ספר איזורי ברנר, גבעת ברנר.

2. רחל אידלמן, מורה ורכזת המגמה לכימיה, תיכון ע"ש יצחק רבין, מודיעין.

3. שרה אקונס, מורה לכימיה, מדריכה מקיף למדעים תיכון על"ה רמלה-לוד, ומרכזת השתלמות במרכז מורים הארצי למורי הכימיה.

4. מלכה יאיון, מורה לכימיה, תיכון קציר רחובות, מרכזת השתלמות במרכז מורים הארצי למורי הכימיה.

או שהתלמידים נדרשים להיעדר מבית הספר, למשל לצורך זמן מיקרוסקופ במעבדה. חשוב לאפשר לתלמידים להקדיש זמן לעבודה המעשית במעבדה, גם על חשבון לימודים לפי הצורך.

השלב הבא הוא שלב ההטבות: הצגת הפרויקט בכנס ארצי – בהרצאה בליווי מצגת. זו חוויה מיוחדת ומתגמלת, שבה אנשי המחקר המכובדים, המורים והאורחים רואים את העבודה ומשבחים את התלמידים.

תלמידים אחדים אף זוכים בפרסים על עבודותיהם, ואלה המובילות זוכות לייצג את ישראל בתחרויות או אירועים בינלאומיים. למשל הוזכר כי התלמידה שהעבודה שלה זכתה במקום ראשון הוזמנה לטקס הענקת פרס נובל באותה שנה.

התלמידים ציינו כי המפגש עם בני נוער נוספים, הדומים להם כל כך ועם זאת שונים, לרבות הקשרים שנוצרים והחוויות המשותפות – כל אלה יוצרים חוויה עוצמתית המותירה חותם.

בסיכום הפאנל ביקשו המשתתפים ממורי הכימיה בבתי הספר להעלות את אפשרות הכנת עבודת הגמר בפני התלמידים. כמו כן הודגש כי מי שמעוניין בתמיכה ימצא נכונות לדיאלוג, שכן השאיפה היא להגדיל את מספר התלמידים המבקשים לבצע עבודות גמר.

בפאנל נטלו חלק הגב' אפרת טל, מפמ"רית עבודות גמר; ד"ר דורית טייטלבוים, מפמ"רית כימיה; ד"ר סמדר זיידמן, רכזת עבודות גמר (דאז) במכון ויצמן למדע; ד"ר איליה שרמן, מנחה אקדמי לעבודות בכימיה במכון ויצמן למדע; ד"ר מירי קסנר, אשת הקשר לתעשייה הכימית בישראל; ויטל בר יוסף, רכזת עבודות גמר בבית הספר תיכון דה-שליט ברחובות; הגב' פנינה שפירא, לשעבר מדריכה ארצית בנושא עבודות גמר; אמילי חכים, בוגרת תיכון אוהל שם ברמת גן; ונדב רייכמן, בוגר הגימנסיה הראלית בראשון לציון.

לתלמיד לצורך תיקונים. הצעות נפסלות רק לעתים רחוקות, ועל פי רוב עקב בעיות אתיות. ביתר המקרים תוחזר ההצעה בליווי פירוט הדברים הדורשים תיקון ושיפור. חברי הפאנל ממליצים למורים לפתוח דיאלוג מקדים עם הפיקוח ועם המנחים האקדמיים כדי להבין לעומק את מהות הנושא הנחקר, את התאמתו לדרישות וכיצד כותבים את ההצעה כך שתתקבל.

השלב הבא הוא ביצוע המחקר, ובו מעורבותו של המנחה האקדמי גבוהה ממעורבותו של המורה, אם כי תפקידו של המורה אינו מסתיים. חברי הפאנל ממליצים למורים לעקוב אחר ביצוע העבודה, לבדוק את התלמיד, לשאול שאלות, ולהיות בקשר עם המנחה האקדמי ועם התלמיד – הכול כדי לזהות מהמורות ולהרים את התלמיד מעליהן.

לבסוף מגיע שלב כתיבת העבודה, ובו חלקו של המורה משמעותי מאוד. כיצד מארגנים את החומר? איך מנתחים את התוצאות? מהם הכללים לכתיבת רשימה ביבליוגרפית? ועוד מרכיבים של כתיבת עבודה – הנחייה צמודה של המורה מסייעת לתלמידים לסיים את המסע המרתק שעברו.

והחוויה מנקודת מבטו של התלמיד?

בפאנל נטלו חלק שני תלמידים שכתבו עבודות גמר. התלמידים ציינו כי החוויה הייתה מסע מרתק ומאתגר שבחן את המוטיבציה שלהם ואת יכולותיהם. בהתחלה ציינו השניים כי בשלב כלשהו היו מבולבלים ואובדי עצות. בהתחלה עמדו מול מאמרים באנגלית בשפה מקצועית שלא הבינו מילה בה, או מול מערכת ניסוי שעליהם לשלוט בה, ולא היה להם מושג איך מתחילים. בהמשך גילו מסביבם אנשים רבים שרצו לעזור – המורה בבית הספר, המנחה האקדמי, הסטודנטים במעבדה. כך הצליחו לאט-לאט לפלס את דרכם בביצוע המחקר ובכתיבת העבודה. לדבריהם הדבר אורך זמן, אבל כשהוא קורה – התחושה מדהימה ומשמחת.

התלמידים ציינו את הצורך בגמישות מצד בית הספר. לעתים נדרש זמן כדי להעמיד ניסוי, לעתים נדרש מעקב אחר ניסוי,



תיאור פיתוח הפעילות:

בחרתי ליצור סרטונים המבוססים על מצגת PowerPoint, בתוספת דיבוב.

תחילה מאיה מני חזן ואני כתבנו מצגת תוך שימוש בחומרים הקיימים ברשת. לאחר הערכת עמיתים וביצוע תיקונים הקלטנו הסברים, ובעזרת PowerPoint הפכנו את המצגת ל"מצגת חיה" (סרטון). כדי לוודא שהתלמידים אכן צופים בסרטון ומבינים את החומר כתבנו בטופס של גוגל דוקס דף עבודה מלווה.

כדוגמה ראשונה בחרנו במושג "[אנרגיית יינון](#)". מאחר שהוא מושג מהותי בכימיה וחשוב להמשך הבנת נושאים חיוניים בתחום.

לפי החזון שלי, את כל חומר הלימוד בכימיה אפשר יהיה ללמוד בעזרת סרטונים; וזאת לא רק במצגות מדובבות, אלא במגוון דרכים, ובהן צילום ניסויים תוך כדי הסברים מפורטים, שימוש באנימציות ועוד. כמו כן יוכלו התלמידים ללמוד נושאים שהפסידו או שהתקשו להבין. השיעורים יוכלו להיות ברמה גבוהה יותר, תוך כדי ביצוע ניסויים רבים יותר, והמורה יוכל להיות פנוי יותר ולהתמקד בהוראה פרטנית לפי הצורך.

פעילות מתוקשבת בנושא שיווי משקל כימי – רחל אידלמן

ראשית אספר כי בסוף שיעור זה הודיעו לי התלמידים שזה היה השיעור הכי מהנה שחוו אי פעם.

בעבור התלמידים הפעילות מנצלת בד בבד כמה דברים מבחינה טכנולוגית:

1. שימוש באינטרנט – חיפוש רגיל של ערכים ומידע (דבר שלא תמיד מובן לתלמידים, אשר בדרך כלל מנצלים את האינטרנט לשימושים אחרים בתכלית, ולא לחיפוש חומרי לימוד כמו אוכלוסיית המורים).

תוצרי הקורס וחשיבה על שילוב הטכנולוגיה של המאה ה-21 בהוראת הכימיה בבתי הספר העל-תיכוניים.

נתאר מספר תוצרים שפותחו, המדגימים את הכלים המתוקשבים שהמורים הכירו בקורס. אנחנו מאמינות שפעילויות אלו, יחד עם אחרות שתפותחנה בעתיד, תוכלנה לשדרוג הוראת הכימיה בתיכון וגיוונה.

"שיעור מוקלט" – תמר אליאש

תוך כדי שיטוט באינטרנט וחיפוש חומרי לימוד נתקלתי באתר [ברקמיה](#) – אתר שלא כולו רק כימיה שבו הכרתי את רעיון "בית הספר ההפוך", ומיד התחברתי אליו.

כך כתוב באתר:

"בית ספר הפוך היא גישת הוראה שבה מתהפכים תפקידים של ה- 'בית' ו- 'בית הספר'. בבית – נחשף התלמיד לתוכן החומרי ולפעילויות באמצעות סרטונים ומידע בדפי האתר (מה שבדרך כלל 'מועבר' בכיתה הרגילה בבית הספר ע"י הוראה פרונטאלית של המורה). בכיתה בבית הספר – 'עושים את שיעורי הבית' ומרחיבים את הידע וההבנה של הנושא כך שהמורה מדריך ומסביר לקבוצות תוך כדי עבודת תלמידים בכיתה".

כמורה חדשה במערכת הפריע לי מאוד לחזור שוב ושוב על אותו החומר בעבור תלמידים שאינם מרוכזים או פנויים בזמן ההסבר הראשון, השני או השלישי. חשבתי שבדרך זו, של בית ספר הפוך, אוכל לפתור את הבעיה. כמו כן, חשבתי שרעיון זה עשוי להיות פתרון נהדר לכיתה הטרוגנית: כל תלמיד ותלמידה יוכלו להקדיש את הזמן הדרוש להם להבנת הנושא.

כמובן לא חייבים להשתמש בסרטונים רק כתחליף ללימוד פרונטלי. הסרטונים או כל שיעור אודיו-ויזואלי (visual-audio) יכולים לשמש גם כלי עזר לחזרה על החומר, או השלמה בעבור תלמידים שנעדרו מהשיעור.

גוגל ישראל, מכון דוידסון ללימוד מדעים, מומחים בכתיבת מבחן מתוקשב ועוד.

תכנית הקורס הייתה גמישה, ו"נתפרה" בהתאם למסקנות שהוסקו במהלך הקורס, וזאת בהתייחסות והקשבה לקצב ולעניין שגילו המורים שהשתתפו בקורס.

הקבוצה העריכה פעילויות מגוונות הנמצאות ברשת ופעילויות שפותחו בקורס וערכה מיפוי שלהן. בשנה הקרובה תופעלנה פעילויות אלו בכיתה; ותוסקנה מסקנות בנוגע לפדגוגיה המתאימה לשילוב פעילויות מסוג זה בהוראת הכימיה.

מורי הקורס נעזרו בכלים מתוקשבים מגוונים (טופס גוגל, גוגל דוקס, עריכת סרטונים, מעבדה וירטואלית ועוד) להוראה בכיתה גם במהלך השנה, וזכו להתפעלות מצד תלמידיהם על המיומנות שהפגינו בתקשוב.

מתוך משוב משתתפי הקורס עלה שכולם מעוניינים להפעיל את הפעילויות שפותחו בכיתותיהם בשנת הלימודים הקרובה. בכך מומשה אחת ממטרות הקורס העיקריות: הטמעת תקשוב בהוראת הכימיה.



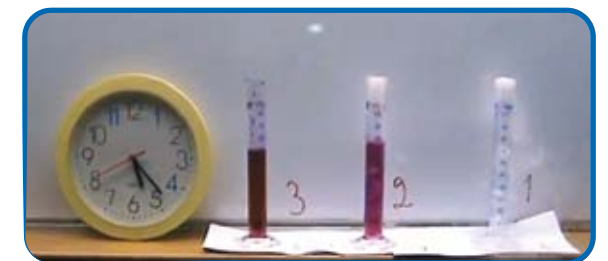
תמונה 2: סירין סלמה ומירה תמיר עוסקות בטכנולוגיה גם בהפסקות

קשה לנו להשתמש באתר בית הספר כדי להכין לעצמנו אתר שישמש סביבת למידה למקצוע שאותו אנחנו מלמדים, ועוד יותר קשה לנו לחשוב על תפעול ה-moodle, שיש לו קישור במשוב אבל רובנו אפילו לא שמנו לב שהוא שם.

הפחד מלימוד טכנולוגיה הוא לא רק פחד מהטכנולוגיה עצמה, אלא פחד מהזמן שנדרש על מנת ללמוד את השימוש בטכנולוגיה וליישמה. אנחנו נוטים לשקוע אל תוך דפוסי הוראה ישנים, מתקשים להתעדכן ודואגים בעיקר מבזבז הזמן – שיגרום להספק נמוך בלימוד החומר לבגרות.

מכיוון שיש לי 'פטיש' לטכנולוגיה, נרשמתי בשמחה ובששון לקורס שפתחו בשנה שעברה מלכה יאיון ושרה אקונס: "מורים מובילים להטמעת טכנולוגיה בהוראת הכימיה".

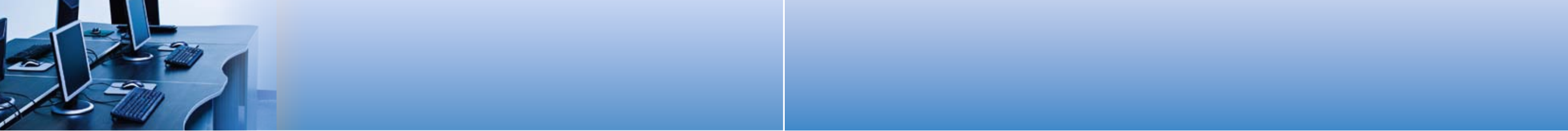
מטרת הקורס הייתה לחשוף מורים לטכנולוגיות הקיימות בימינו ולנסות ולבנות שיעורים המבוססים על טכנולוגיות אלה ולהשתמש בהן לרווחת המורים לכימיה. לשמחתי, למדתי כמה יישומים חדשים ואף זכיתי ליישם כמה מהם בכיתה כבר בשנת הלימודים החולפת.



תמונה 1: מסך מתוך סרטון שצולם ונערך ע"י רחל אידלמן ורות ולדמן

דרך התנהלות הקורס

קבוצת מורים נלהבת התכנסה אחת לשבועיים כדי להכיר יישומונים, סרטונים, אפליקציות, כלים שונים וכיוצא באלה, ולהעריך אותם בהיבט החינוכי. היקפם הגדול של יישומונים ותוכנות חינוכיות שהאינטרנט מציע חייב את מרכזי ההשתלמות לבחור באילו מהם להתמקד. על מנת לבחור נכון תוכן שלד הקורס לאחר התייעצות עם מומחים שונים:



2. שימוש ביישומנים גרפיים (אפלטים) להמחשת הנושא – כאלה שאפשר לשנות בהם משתנים ולצפות בשינויים במערכת כתוצאה מכך.
3. צפייה בסרטון ביו-טיוב – תלמידים אמנם צופים בסרטונים ביו-טיוב, אך אלה בדרך כלל קליפים או מערכונים...

הערך המוסף בעבור המורה:

הפעילות מגוונת בהתאמה לטווח הקשב הנמוך של התלמיד הממוצע, ובכל שלב בביצועה נדרשים התלמידים להפעיל מיומנות אחרת. הדבר מונע שיעור חדגוני ומשעמם שבו חוזרים ומבצעים פעמים רבות פעולה מסוג אחד. התלמידים השתמשו בחושי הראייה והשמיעה, השתמשו במיומנויות מחשב המוכרות להם ונחשפו למיומנויות מחשב חדשות. הם חישוב חישובים כמותיים (סטויכיומטריים), קראו ולמדו על הנושא הנלמד (שיווי משקל כימי) וניבאו מה יקרה לאחר שינוי במערכת התגובה (שינוי בתנאי התגובה). כמו כן צפו התלמידים ביו-טיוב בניסוי שאי אפשר לבצעו במעבדה מאחר שהחומרים רעילים ואסורים לשימוש. ראוי להדגיש כי אפשר לנצל את הפעילות לביצוע מעבדה ברמה 1, על-ידי התאמת השאלות לצורך זה.

לסיכום, כל מורה בישראל חייב להתעדכן ביישום טכנולוגיות שונות. הדבר תורם להוראה שלנו ומעשיר אותה, גורם לתלמידים ללמוד בהנאה גדולה יותר (שכן הם מפעילים מיומנויות שהם מכירים משעות הפנאי שלהם, ומשלבים אמצעי מחשוב למיניהם, סמארטפונים וטאבלטים).

החשש שלנו שהתלמידים מעודכנים יותר מאיתנו בשימוש בעזרים אלה אינו מבוסס, שכן תלמידים אינם מיומנים בשימוש בטכנולוגיה לצורכי לימודים. רובם אינם מסוגלים לבנות גרף אקסל או אפילו להשלים מיומנות פשוטה כמו בדיקת איות בוורד בלא הדרכה מאיתנו המורים. כמו כן, מורה המיישם טכנולוגיות שונות בכיתה יכול להיתפס בעיני התלמידים כידען, ודבר זה תורם לצמצום הפער הבין-דורי בין המורה לתלמיד. מורים המיישמים טכנולוגיות בכיתה מעצמים את חוויית הלמידה של התלמידים. הדבר מסב

לתלמידים הנאה משהותם בשיעור ומעודד אותם לבחור את המקצוע כמקצוע מוגבר.

פעילויות מתוקשבות נוספות

תמר אליאש ורחל אידלמן הציגו שתיים מפעילויות שהוכנו במסגרת הקורס. פעילויות נוספות נמצאות באתר של המרכז הארצי למורי הכימיה, ולהלן רשימה חלקית של פעילויות אלה.

השימוש באינדיקטור לקביעת נקודת סיום הטיטרציה

$Ca^{2+}(aq) + EDTA^{4-}(aq) \rightarrow Ca(EDTA)^{2-}(aq) + 2H^+(aq)$

- תמיסה מימית המכילה יוני סידן הינה חסרת צבע.
- כאשר האינדיקטור קשור ליוני הסידן $Ca^{2+}(aq)$ לתמיסה צבע אדום יין.
- יוני הסידן נקשרים בהעדפה ליוני ה-EDTA תוך קבלת אנדיקטור חופשי.
- בנקודת הסיום, כאשר לא נותרו יוני סידן הקשורים לאנדיקטור-יוני $Ca^{2+}(aq)$ וכל יוני האינדיקטור חופשיים H^+ , צבע התמיסה חוזר להיות כצבע האינדיקטור כחול.



תמונה 4: מתוך המבנית "כימיה עם הסביבה" מצגת מדובבת המסבירה את הניסוי לקביעת קשיות המים והחישובים הנלווים

• מטען גרעיני – מספר הפרוטונים : ככל שמספר הפרוטונים בגרעין האטום גדול יותר, כוח המשיכה החשמלי בין האלקטרון לגרעין יהיה גדול יותר. האנרגיה הדרושה להוצאת האלקטרון תהיה גדולה יותר.

אנרגיית יינון עולה



תמונה 5: מתוך הסרטון על אנרגיית יינון

שם הפעילות	תיאור קצר	יוצרי הפעילות
אנרגיית יינון	שיעור מוקלט המסביר את המושג אנרגיית יינון, לרבות גורמים המשפיעים עליה, והשתנות בטבלה המחזורית.	תמר אליאש ומאיה מני חזן
שיווי משקל כימי	הבנת הנושא סביב ניסוי. הפעילות כוללת חיפוש באינטרנט, עבודה עם אפלט (יישומון) גרפי וצפייה בסרטון.	רחל אידלמן
מבחן מתוקשב ליחידת לימוד אחת	מבחן בגרות תשע"ב בגרסה מתוקשבת.	ענת פלדנקרייז
קרח יבש וטיטרציה	פעילות במעבדה ממוחשבת הכוללת סרטון לשם הדגמת ניסוי שאין יכולת לבצעו בכיתה. את הניסוי ביצעו וצילמו במכון דוידסון.	רות ולדמן ורחל אידלמן
קביעת קשיות המים	מצגת מדובבת המסבירה את הניסוי לקביעת קשיות המים והחישובים הנלווים.	סירין סלמה
אנזימים, המכונות המופלאות	פעילות מתוקשבת על אנזים הקטלאז עבודה אינטראקטיבית עם יישומון גרפי במטרה להקנות ידע בנושא אנזימים וגורמים המשפיעים על פעילותם. הפעילות כוללת תרגול והמחשה של השינויים המתרחשים באנזים תוך כדי שינוי הגורמים השונים.	רותי בינס
ריכוז	פעילות מתוקשבת בנושא ריכוז תמיסות עבודה אינטראקטיבית עם אפלט (יישומון) גרפי ומעבדה מתוקשבת, צפייה בסרטון שרותם ושושי צילמו.	רותם מרום ושושי מנור
גרף רציף וגרף עמודות	דגם למבחן מעבדה מתוקשב המתמקד בסוגי גרפים. המבחן בנוי כטופס Google. התלמיד צופה בסרטון ערוך ונדרש לשרטט גרף באקסל.	אסתי זמלר ומירה תמיר
סופרים קלוריות	טופס Google שמלווה צפייה בסרטון ערוך. הסרטון עוסק במושגים של אנרגיה $Q = mc\Delta T$ ובחישוב ΔH	אמיל אידין

שינוי פרופיל בעזרת PROFILES

צוות PROFILES ישראל*



האם שמן משומש הוא הדלק של הדור הבא?

ליאורה עזרא, בלה שקולניק וג'ואד אגבאריה*

תהליך הפיתוח של המודולות

הסיפור נפתח בתחילת השנה. ממעמד של מורים הגענו לתכנית רוטשילד-ויצמן, והפכנו באחת לתלמידים. בקורס למדנו על פרויקט פרופילס ומטרותיו, ראינו מודולות קיימות בעברית ובאנגלית ולמדנו מה משמעות המילה "מודול". התחלנו את התהליך כלמידה לכל דבר ועניין: למדנו את הדרישות, את המבנה וכולי.



השלב המשמעותי ביותר, שבו הרגשנו להפתעתנו כי התהליך קשה, היה בחירת הנושא. מעבר לכך שצריך ללמוד על נושא נבחר, צריך גם לדעת לבנות פעילויות יש מאין, ממש כמו באמנות (רק מסובך יותר). כמו כן, יש לבחור נושא

שיעניין את התלמידים, שיתקשר לחייהם, ושאפשר למצוא עליו מידע. נושא שאפשר להגיש ללומדים, למורים, ואף למצוא פעילויות שתוכלנה להיות בגישת החקר.

ליאורה: "הגמושה היא שהמונה לא רק צריך להעביר ידע דרך פעילויות שאמורים כגון השאלות, אלא גם איזו. זוהי הנקודה שונה, אמנם. עבודה קשה, אבל אין ספק שההבדל של המורה נשאל ופיתוח הוא נקל מאוד."

ג'ואד: "ההגמושה נחשפנו אפריקט האירופי פדופילס ואס נחשפנו אפריקט האירופי פדופילס ואס. הייתה האפריקט האירופי פדופילס ואס. נשא אפריקט האירופי פדופילס ואס. כי הפיתוח צריך לענות על מטרת הפדופילס. מהכנו נשא שיש לו היבטים כימי, מהכנו, מוסרי וכאכא. אבל זה לא אגם בכך, כי אחר המורה הנשא אגמיל אהליך נוסף של המורה סיפוק, ניסוי..."

נשמע כמו משימה בלתי אפשרית?

הכול אפשרי עם קצת רצון, יכולת, עבודת צוות, שימוש במודלים קיימים, עזרה הדדית וחשיבה.

מאיפה המוטיבציה?

כולנו מסכימים שהמוטיבציה הגיעה קודם כל מדבורה ומרחל,

בכתבה זו נסקור את פיתוחן של שתי מבניות לימוד (מודולות) על ידי קבוצת מורי כימיה הלומדים בתכנית רוטשילד-ויצמן במסגרת מסלול לתואר שני במכון ויצמן. פיתוח המודולות נעשה ברוח הרציונל של PROFILES.

PROFILES הוא פרויקט אירופי של האיחוד האירופאי, כדי לקדם את ההוראה בדרך החקר (Inquiry Based Science Education). בפרויקט משתתפות תשע-עשרה מדינות, וישראל מוכן ויצמן, היא אחת מארבע המדינות המובילות. הגישה בפרויקט רואה במורים מפתח לקידום חינוך דרך מדע. לכן הפרויקט שם

לו למטרה לפעול להתפתחות מקצועית של מורים תוך כדי שיתופם בפיתוח חומרי למידה לתלמיד ולמורה והפעלתם בכיתה. תהליך ההתמקצעות הוא מתמשך ומלווה בכתיבה רפלקטיבית של המורים לגבי תהליך הפיתוח וההפעלה בכיתה.

את נושאי המודולות בוחרים המורים כך שיותאמו לאוכלוסיית

לצפייה בפוסטר לחץ [פילסטיק](#)

היעד שלהם; הקווים המנחים הם בחירת נושא רלבנטי לתלמיד וסביבתו, היום או בעתיד; נושאים עם נגיעה חברתית; נושאים הדורשים מהתלמידים לקבל החלטה כלשהי בעקבות החקר שיבצעו. לפרטים נוספים על הפרויקט אפשר לקרוא באתר [PROFILES ישראל](#) וכן בכתבתם של בעז הדס ואורלי פלוטקין, [כנס PROFILES בברלין](#).

המודולות אשר נסקור את פיתוחן הן: ["האם שמן משומש הוא הדלק של הדור הבא?"](#) ו- ["פילסטיק - טוב או רע?"](#)



לצפייה בפוסטר לחץ [ביודיזל](#)

* צוות PROFILES בישראל: ד"ר דבורה קצביץ, ד"ר מלכה יאיון, ד"ר רחל ממלוק-נעמן, פרופ' אבי הופשטיין, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.



הניסוי יפה למראית עין ועוזר מאוד בקבלת ההחלטות במודולה; ועם זאת, במהלכו מופץ ריח לא נעים (הרי שורפים שלושה דלקים בחדר סגור, בבת אחת). אחרי שהתנסו בכך בעצמנו ועם התלמידים הבריק לנו רעיון לצלם את הניסוי וללמדו באמצעות סרטון.

ג'ואד: "נגאלנו באלא מט קשיים אלגיסטיים, אבל היצוה הניסוי בעצמו הטרם ניסונו זאלא בבינה היה מרגש. אפילו פופ' אבי הופשטיין חיכה בקוצר רוח אלגע שריפג הדלקים. חשוב להדגיש שהניסוי נעשה גם אלגאמידיים, אבל פחות נעשה אל האבונטינג. אולי נעשה מאוד המפגש האשון עם הביו-דיזל כאלא, ופפוט המעבדה."

ליאורה: "קושי נוסף היה בהשגת הביו-דיזל המופק משמן משומש. אנחנו ביו-דיזל נמכר המדינה אינפוז ואנחנו הבדיה, אבל בישאל אין שימוש גלשייג' נחמה המנע'י הביו-דיזל. יש מגבונים ביגיים רבים להכנה ביו-דיזל, והגמילה משקנו להפיקו בעצמו משמן משומש, אך הגהליך אינו נאכאך. אכן חיפשו ממי אקנוג ומצאו באינטרנט אדם נמחד בשם ברוך המפיק אל הביו-דיזל, ודבורה נסעה לאשקלון להביא אנו."

דבורה: "נסעתי לרכוש אל הביו-דיזל. היצוה במוך בסענון בוקר אמריקאי, עם טנדר גדול. לפני שהוא נגן אי במוך של דלק הוא מילא אל המכל של הדלק והגניע אל האוטו. הוא עשה זאלא אל מנהג להוכיח אי שאכן האוטו נסע על ביו-דיזל. האמנה השבנעג' נציג' כמובן אשמן או על כך, אך הוא אמר אי שזה אמען המדע, וסיבה אקמה גלשום."

פיתוח הסצנה ההתחלתית הוא משמעותי לאין ערוך, שכן זוהי תחילת הדרך להגברת המוטיבציה ההתחלתית של הלמידה. כתבנו יחד כקבוצה סיפור מעניין וקצר שיכול להפוך לדיון משמעותי ופתוח.

פיתוח ניסויים



צוות הפיתוח בודק את הניסוי שפיתחו



הדלקים שנבדקו בניסוי שמטרתו לקבוע מיהו הדלק היעיל ביותר.

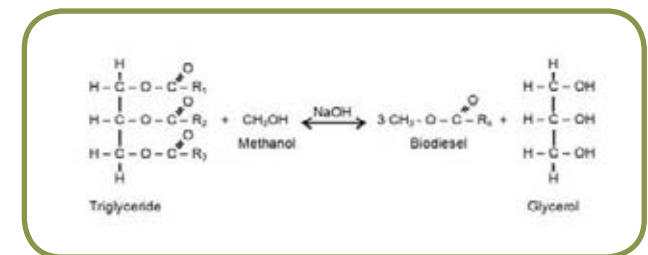
כמורים לכימיה, אחד מהאתגרים הגדולים ביותר שעמדו לפנינו היה לפתח ניסוי. כולנו יודעים שמראה עין שווה הרבה יותר מאלפי מילים. לאחר חשיבה מעמיקה החלטנו לאמץ ניסוי קיים ממודולה תוצרת חו"ל, ולשלבו כפעילות מסכמת. היו לנו מטרות ברורות מאוד בניסוי.

- תכנון ניסוי במטרה להשוות בין יעילותם של דלקים שונים.
- ניתוח טקסט מדעי: קריאה מונחית של טקסט העוסק במקורות אנרגיה.
- מדרש תמונה: במטרה להציף קונפליקט הנוגע לשימוש בגידולים חקלאיים לצורך הפקת דלק.
- ניסוי בכיתה על מנת לקבוע מהו הדלק היעיל ביותר.
- קבלת החלטות: איזה דלק הוא היעיל ביותר.

במהלך הפיתוח החלפנו כמה "כובעים", אשר יפורטו להלן:

המורה כלומד

זהו אחד מהדברים החשובים לפני שאנו כמורים מעבירים חומר כלשהו: עלינו ללמוד אותו בעצמנו. זוהי אחת הסיבות שבעטיין בחרנו בנושא הביו-דיזל. בנושא זה יש מידע מדעי רב. היה עלינו ללמוד את הנושא הרבה יותר לעומק מהמוצע בפעילויות לתלמידים, וזאת בכל מיני היבטים. כידוע, מורה חייב ללמוד היטב כל נושא שהוא מלמד, על מנת שיוכל להרגיש ביטחון לענות על שאלות שתעלינה בכיתה, וכמובן גם על מנת לאפשר פיתוח דיונים משמעותיים שיאפשרו לתלמידים ללמוד בצורה הטובה ביותר.



תהליך הפקת הביודיזל מטרילצירידים

המורה כמפתח

פיתוח הפעילויות היה לא קל, אך מהנה. החלק המרגש בו היה החשיבה המשותפת. לכולנו היה חשוב לערוך את הפעילות בצורה מובנית והדרגתית, ואכן זו משימה אמיתית. התחלנו בסיפור רקע בסצנה המעוררת עניין ומוטיבציה.

שנתנו לנו תחושת שייכות ותמכו בתהליך הפיתוח, מתחילתו ועד סופו. יתרה מכך, כל מפגש בקורס התנהל בצורה נעימה ובשיחות צוות, לרבות העלאת רעיונות וכתובתם, גם על ידי צוות הפיתוח. העובדה שיש מי ששומע ועוזר, ויש מי שרוצה ללמוד – מכאן קיבלנו את פירות המוטיבציה להמשך גם ברגעים של תחושת אין מוצא. אי אפשר לכמת את ההרגשה במילים, כי זהו תהליך ארוך מאוד, לא פשוט, אך שכרו בצדו!

בלה: "היגיון בקבוצה הפיגמו הקטנה שלנו הוא שכולנו מוכים, ואנו יודעים אילו נעשים יוכלו לעניין אלגאמידינו. גם גבנו כך שבמאדולה ישנם שלבים השונים זה מזה ונפנים זה על גבי זה כדי שבסוף המאדולה יוכלו אלגאמידיים אקבל המאטה על סמך כלים שקיבלו לאורך כל הפעילויות."

איך התחלנו?

אחד מהנושאים שריתקו אותנו בהתחלה הוא הכימיה שמאחורי השוקולד. חשבנו שהנושא מעניין ומקורי. במשך שבועיים היינו בטוחים שזה הנושא שלנו, אך לאחר שיטוט באתרי מידע הבנו שאכן יש כימיה מאחורי השוקולד, אך אין די מידע כדי לבנות פעילות מעבדה סביב נושא זה.

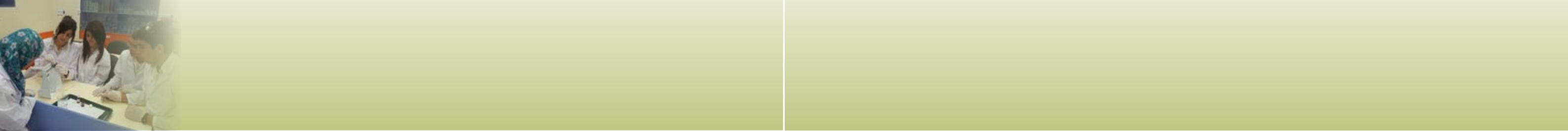
לאחר חיפוש נושא רלבנטי וחינוכי החלטנו לפתח מודולה סביב נושא הביו-דיזל.

בלה: "כאילו שאמנה מהפעילות הכוללת ביוג' של המאה העשירים ואמנה היא משהי האנציה... כך שהמאקדנו בנושא שלבנטי אדונו. נצינו אמשוף אלגאמידיים אדלק מלופי המבוסס על שמן משומש."

נתנו למודולה את השם: **"האם שמן משומש הוא הדלק של הדור הבא?"**

המודולה שלנו נפתחת בדיון סביב משבר האנרגיה העולמי, ויש בה חשיפה לנושא תוך כדי מגוון פעילויות:

- דיון סביב סיפור העוסק במשבר האנרגיה.
- השוואה בין סוגי דלקים שונים, כולל ביו-דיזל.



פיתוח מדרש תמונה

במהלך פיתוח הפעילויות ניסינו לחשוב על דרך ליצור פעילות חדשה שתאפשר להביע קונפליקטים רלבנטיים, תוך כדי הבעה אישית ויצירתית של קבוצת התלמידים. חשוב לציין כי הרעיון עלה תוך כדי חיפוש נמרץ בגוגל, והיה אבן הדרך ליצירת פעילות חדשה בקרב שתי קבוצות הפיתוח ברוטשילד ויצמן של שנה א'.



תמונה שהוצגה בפעילות מדרש תמונה

במהלך הפעילות התלמידים מקבלים תמונות הקשורות לנושא, שכן כמו שאמרנו כבר לפנינו, "תמונה אחת שווה אלף מילים". המורים העבירו את הפעילות, כל אחד קצת אחרת – תוך הבעת הפן האישי שלהם – והתלמידים קיבלו שאלות פתוחות, שבעזרתן היה עליהם ליצור עניין סביב הנושא שהתמונה מביעה.

עבודת צוות

עבודת הצוות היא חלק בלתי נפרד מפרויקט פרופיילס. ללא הצוות כולו אי אפשר היה לפתח את המודולה. עבודת הצוות מאפשרת להתייעץ עם עמיתים כל העת, ולשתף בגילויים ובדילמות. ההרגשה היא שאנחנו לא לבד ויש מי שתומך בנו. מעבר לכך, פיתוח מודולה הא תהליך שדורש שילוב של

כמה מוחות בו זמנית, וכל אחד תורם את חלקו. כמובן, לאחר שהושג השלד העיקרי היו גם רגעים שבהם חילקנו מטלות בינינו ועבדנו באופן אישי.



תמונה שהוצגה בפעילות במדרש תמונה

ליאורה: "יש גמושג ביטחון בידיעה שיש גמיד עם מי אהגיועה. נמחד מאוד אשמוע יחד דעיוונג ש' כל אחד וא' אמצוא דרך א'גש בין הדעיוונג ואפגמ אוגמ. אני מושג שזהו גהאיך מיוהי ג'ם כי מוים גמיד צריכים קהילה גומכג. ה'י הכיגה אנחנו אבה, מול גלמדיים, וכאן היה מקום אשפוך אג האה, אשג' בדילמוג ואספר מוויג."

רפלקציה על ההפעלה

מודולה היא יחידת לימוד. יחידת לימוד מפותחת בעבור תלמידים, ומכיוון שזהו תחום חדש וסוג למידה והוראה די חדש, אשר חשוב לבחון אותו בקרב התלמידים, הרי הרגעים המכוננים ביותר היו בהעברת המודולה בכיתה. כולנו פיתחנו את אותה המודולה ושכפלנו את אותם הדפים, אך כל אחד נתן את המגע האישי שלו, ועשה זאת אחרת לגמרי מהשני. אין אחד מאיתנו שהעביר את המודולה באופן זהה לאחר. לכן כל אחד מהצוות כתב רפלקציה שבה סיפר על תחושותיו האישיות. ואכן למדנו המון מהחוויית של כל אחד, למדנו מה אפשר לשפר, מה אפשר לשמר ומה הסגנון של כל אחד; וכפי שנאמר: "מכל מלמדי השכלתי".

ממצאים מהראיונות

"דברים שרואים מכאן לא רואים משם": משפט ידוע זה מקבל משמעות יתרה לאחר ביצוע הראיונות.

לפעמים אנו לא יכולים לדעת מה התלמידים חושבים, גם אם אנחנו בטוחים בעצמנו מאוד. כל עוד לא שמענו את התלמידים לא נוכל לדעת מהי עמדתם האמתית לגבי אופן העברת הפעילויות. דרך הראיונות יכולנו לשמוע חוויות אישיות של תלמידים מכל קבוצה. מהחוויית של התלמידים נוכל להפיק תובנות שתוכלנה לעזור לנו כמורים לשפר את המודולה ולשדרג פעילויות עתידיות.

בלה: "לאחר ביצוע הראיונות השגכנעתי יוג' מהצלמח הפעילויות. רוב הג'קובג הראיונות היו מיוהיג. אמש גלמדיה אמג אמרה אי אג הדבר הבא:

'אין מה אהשווג בין שיעור ג'יל אבין שיעור כמ' המודולה. כי כאן היינו במחק פעיל שיעור, לא ישבע סגמ והסגכאנו על האומ. השגגפנו ככל גההאיך מהגממה. אהשגג' ולהיג פעיל זה הבה יוג' כיל' ומאפשר אמדיה יוג' כיפ'ג. לא הנגשג' עומס בעבודה, ג'ם אס היו המון מ'אוג, כי ככה יכולנו אהקדמ יוג' וא'מור יוג'. אמג אני לא אשגמש בעשא בעגיד, אך זה גימג אפיגמ הידע האינטלקטואלי ואפיגמ גאייה כ'אליג על העזאמ. הייגה כאן משיבה ש'נו ממוחל אקופסה'."

ליאורה: "היה אי גלמיד שהייג' בטומה שהוא לא נהנה מהפעילויות. אך הוא הגנדב אספר על גמושגיו. הוא הכאה הגלמיה מביצוע הפעילויות. כאומר הראיון הביא אוג' אגבהה ש'לא גמיד אני צודקת בגמושגיו, ולעגיס אפילו טוב שכך.

קצג גמושגיו: 'העשא היה מעניין, כי לא פוגמים ישר ספנים וצריך קצג אהגאמח כדי אמצוא אג המידע. זה ג'ם לא היה ק' אהמאיט מה גיגיונע ומה המסיונע ש' כל דאק. נכאה אי שבקבוצות יוג' יעיל, כי יוג' מגקדמים בעבודה כאשג עובדים בקבוצות. זה יוג' יעיל ש'אומדים בקבוצה'."

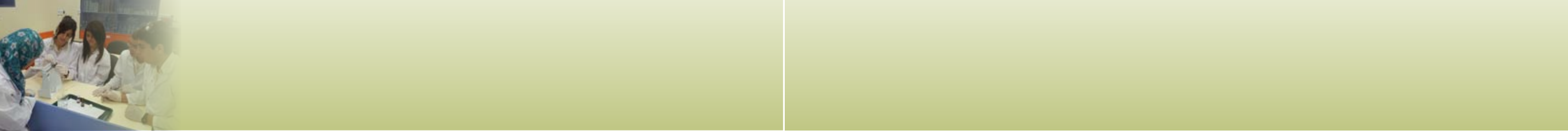
בלה: "כשמן ההפעלה הייגה ההנגשג' גדולה מאוד, משגי סיבוג: א'ל'ג, זהו דבר חדש בשבילי, ובי'ג, הנגשג' שאני עושה משהו שאני פוגמתי בעצמי, משהו ש'י שאני יכולה אהעביר האאה אגלמדיי. ג'גך עש' דקוג נע'אמ המגמ והגמלג' אכרומ עם העשא. הגמלג' בדיון פורה. היה אי מוסר מאוד שאני לא במככ הכיגה, ובעצמ מסגובמג בין הקבוצות. ככל פעם שהפעלתי אג המודולה, השמן פשוט עבר מהי. בסך הכול הייגה הנגשג' סיפוק והצלמה."

דיווחים מהשטח

כולנו חוונו ממצאים יפים מאוד בביצוע בכיתה. המשותף לכולנו היה שלא עוד המורה במרכז, אלא התלמידים במרכז. התלמידים שיתפו פעולה ועבדו יפה.

ליאורה: "הנגשג' שהכימיה נעשגה מסקנה. הגלמדיים קיב'א דילמוג מהגיוג והגמורדו איגן. אכן אמג ממטרוג הדג' ש' פרופיילס היא: "מיונך דרך מדע", וזאג הייגה הגמושג. הגלמדיים נהנו מאוד מהאפשרות אשומח בשמן שיעור ועוד א'אמור מכך. גמושג' הייגה כי זו הייגה מווייה אמג עבדומ. הם יכולים אהביע אג דעגמ ואקב' המלטוג בצורה גוגנה. והכול בעבודה עצמי. פמדג' מכך שהגלמדיים לא גי'יחסו אעבודת בדיונע, אך הם הפגילו אוג' אטובה."

בלה: "כאיג' המון הגלמיה, הם ניה'אנו אג הדיון והפיקו מסקנע. הנציונע ש'אמס הייגה מפגעה. היה מקום אכל גלמיד אבטא אג עצמו בצורה בדונה. הגלמדיים מילקו בעצמם אג הגפקידיים א'לל כל הגעבוג מצדי, וכל קבוצה עבדה אמג. הייגה קבוצג בנים שהגמקדה בסוג הדאקים, וקבוצג בנע שהגמקדה יוג' בהש'כובג הסביגיוג ש' גיפג דאק."



"פלסטיק טוב או רע?"

עאסי אפראח, אזואלוס כץ סנדרה*

שזה הנושא התחלנו לעבוד עליו ולאסוף מידע על פלסטיק ועל חומרים פלסטיים, וכיוונו את רמת ההעמקה של רקע המדעי לתלמידי כיתה י' מדעית (כימית).

מטרות העל שלנו בבחירת נושא זה:

- להגביר את מודעות התלמידים להשלכות השליליות של הצטברות פסולת פלסטיק שאינה מתכלה: בעיות אקולוגיות והכחדת יצורים ימיים. זאת במטרה לפתח אזרח האחראי על מעשיו כלפי החברה והסביבה.
- לפתח תלמיד אורייין וצרכן נבון, שיודע באילו שקיות להשתמש ובאילו לא להשתמש.
- לפתח יכולת נקיטת עמדה וקבלת החלטה: באיזו חלופה להשתמש כדי למזער את פסולת הפלסטיק? המעטה בצריכה, מעבר לשימוש בשקיות מתכלות, השתתפות באיסוף בקבוקים למחזור, הגבלה בייצור, מס על הייצור, סבסוד מפעלים המייצרים חומרים מתכלים, ואף איסור שימוש בשקיות פוליאתילן.



את תהליך פיתוח המודולה התבקשנו לבצע על ידי המדריכות שלנו ד"ר דבורה קצביץ' וד"ר רחל ממלוק-נעמן, אשר ליוו, הדריכו, תיקנו ושיפרו את התוצר לאורך כל הפיתוח. מבחינתנו כמורים זו הייתה הפעם הראשונה שבה נאלצנו לעמוד בצד המפתחים. כמובן זה היה מלווה בחשש, אך התקדמנו שלב אחר שלב בעזרתן הנאמנה של המנחות.

זה הזמן להחליט:
כיצד אנחנו רוצים שהסביבה שלנו
תראה בשנת 2100??



השלב הראשון היה בחירת נושא למודולה, ולשם כך נעזרנו באתר של "PARSEL", ובו עיינו במספר רב של מודולות, ובחרנו לפתח מודולה העוסקת בנושא הפלסטיק: החומר שפלש לחיינו בהיקף רחב, ולעתים אף מוגזם. השימושים הנוחים במוצרי הפלסטיק ומחרים הסביר מובילים להפרזה בשימוש בו על ידי כלל הציבור. הפרזה זו אינה מביאה בחשבון את ההשלכות לטווח הרחוק. כאמור לקחנו את הרעיון מאתר PARSEL ושינינו אותו לחלוטין. מרגע שהקבוצה החליטה

* עאסי אפראח, אזואלוס כץ סנדרה, סטודנטיות במסלול לתואר שני במסגרת תוכנית רוטשילד ויצמן, מכון ויצמן למדע.

לתלמידים בעלי אופי שונה בכיתה, כך שלכל תלמיד יש מקום.

מסר כללי לציבור המורים

אנו ממליצים בחום, פה אחד, לכל מורה למקצוע מדעי להשתתף בהשתלמות פרופיילס. תמיד אפשר להתלונן על המצב הקיים, אך כאן יש לכם כמורים הזדמנות אמיתית להשפיע על ציבור התלמידים, הזדמנות להביע את עצמכם, הזדמנות להתפתח בקהילת המורים, הזדמנות ליטול חלק בכתובת יחידות לימוד.

אם ברצונכם לחנך דרך מדע, פרויקט זה הוא המקום המתאים לכם. נכון, זה לא קל, והעבודה דורשת השקעה, אך יש תמורה. אין תחליף לתחושה הטמונה בהפיכת המדע רלבנטי לחיים. בתוך כך תשכילו ותעמיקו גם בידע שלכם, ותהפכו ללומדים עצמאיים.

יתרון נוסף הטמון בפרויקט הוא הקהילה הלומדת והתומכת. האווירה תמיד חיובית, ולכל אחד יש מקום.

ולסיום, היופי הגדול ביותר בפרופיילס ובלמידה דרך מודולות הוא היכולת של המורה להורות את הכימיה במגוון דרכי הוראה, ולשלב רמות שונות של תלמידים.

אחת מהפעילויות אשר זכתה להדים חיוביים מצד התלמידים הייתה פעילות 'מדרש תמונה'. חששנו מהעברת פעילות זו, שכן היא אינה קשורה ישירות לכימיה ולא ידענו מה תהיה תגובת התלמידים לנושא. אנו שמחים שהחשש התפוגג, ולמרבה הפלא זו הייתה אחת מהפעילויות האהובות.

מציטוטי תלמידים:

"השאלה שהכי אהבתי היה ביצוע הפעילות עם הגמיונה. היה ממש כיף, אהבתי למשוך בצורה יצירתית." (תלמידה של בלה)
"נהניתי הכי הרבה מפעילות מדע הגמיונה, כי זה פיגמ אצלי אה הדמיון והמשיכה" (תלמיד של ליאורה).

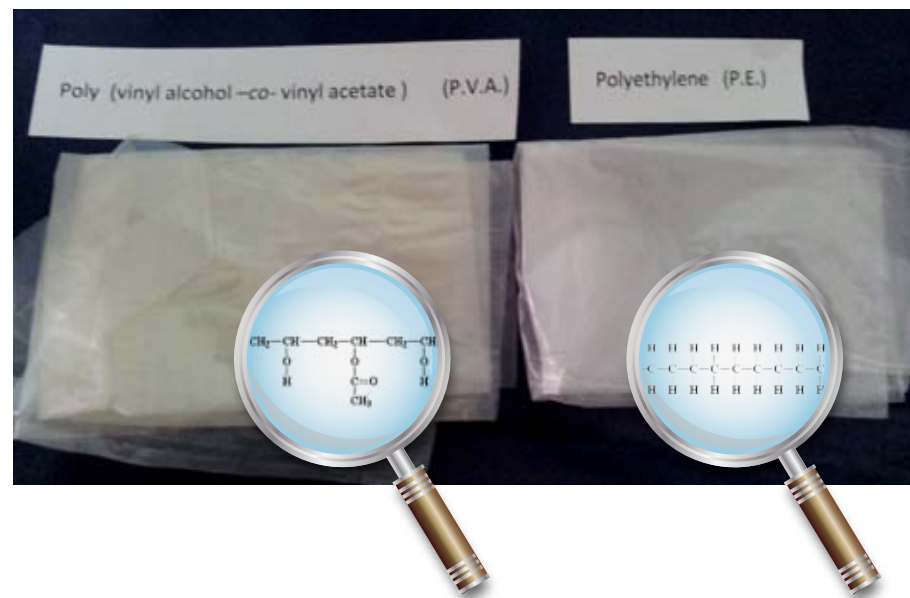
"עם זאת, לא כל האלמנטים אהבו את פעילות מדע הגמיונה. אמרתי, אלמנט אחד אהבתי כי היה מוכן אוויר על פעילות זאת: 'היינו מוויג' על הגמיונה, לא כל כך הגמיונה אלא הנה. אדעתי זהו שאלה יאדעתי" (תלמיד של בלה).

מניתוח הראיונות הסקנו כי באופן כללי התלמידים נהנו מאוד מביצוע המודולה. אך עם זאת תלמידים שונים התחברו לפעילויות שונות. זהו אחד מהיתרונות הבולטים בפיתוח תכניות לימודים ברוח פרופיילס, שכן הלמידה מתאפשרת במגוון דרכי הוראה ובכך מאפשרת להתאים את העבודה





בתמונה: תלמידה בודקת את מסיסות השקיות



מימין: שקית פוליאטילן שאינה נמסה במים, משמאל: שקית פוליאלכוהול וניל אצטט אשר נמסה במים

חלופות להמעטת פסולת הפלסטיק הלא מתכלה, כמו: המעטה בצריכה, מעבר לשימוש בשקיות מתכלות, השתתפות באיסוף בקבוקים למחזור, הגבלה בייצור, מס על הייצור, סבסוד מוצרים מתכלים ואף איסור שימוש בשקיות פוליאטילן. בממד השני של הטבלה נמצאים קריטריונים שיתכן כי החלופות השונות תשפיענה עליהם לטוב או לרע, כמו: שטח אתרי פסולת, שטחים ירודים, פרנסה של העובדים במפעלים לייצור שקיות פוליאטילן,

איכות הסביבה, מחירם של מוצרים שימושיים... התלמידים מתבקשים לחשוב איך כל חלופה מוצעת יכולה להשפיע על כל קריטריון נתון. נוסף על כך, הם מתבקשים להציע עוד חלופות ועוד קריטריונים. בסוף פעילות זו כל קבוצה אמורה להגיע להחלטה באיזו חלופה או הכלאה של כמה חלופות הם בוחרים במטרה להמעיט את הנזק הסביבתי הנגרם מחומרי פלסטיק שאינם מתכלים. בסיום התהליך כל קבוצה מציגה את החלטתה המנומקת.

ניסויים:

1. בדיקת מסיסות פולימרים במים

- שקיות פוליאטילן.
- שקיות פוליוניל אלכוהול. שקיות אלה משמשות לאיסוף כביסה בבתי חולים, הן נמסות במים בזמן הכביסה, ולכן נחשבות למתכלות. ברצוננו לציין שאת הרעיון לשימוש בשקיות אלה קיבלנו מראש אגודת מורי הכימיה ד"ר יהושע סיוון, ששלח אותן במתנה למורי הכימיה בשנים שעברו. יבורך עמלו.

2. ייצור סיבי ניילון

התלמידים מתבקשים לכתוב תצפיות ברמה המקרוסקופית בניסוי הראשון, ולתת הסבר ברמה המיקרוסקופית (היווצרות קשרי מימן) וכן לנסח תגובת המסה ברמת הסמל.

- כלי לקבלת החלטה** – "ניתוח רווח והפסד". התלמידים מקבלים טבלה דו-ממדית. בממד הראשון מוצעות כמה



אחת התמונות מתוך מדרש התמונות

- מצגת** אשר מטרתה להקנות את התכנים המדעיים הנדרשים. הרקע המדעי יוצג בצורת שאלות רבות ברירה, והתלמידים נדרשים לבחור את התשובה הנכונה. ברקע המדעי אנו מתייחסות להגדרות של פלסטיק, פולימר, יחידה חוזרת וכן לסוגים שונים של פולימרים, כמו פוליאטילן, פוליסטירן, פוליוניל כלורי – והשימושים שלהם בחיי היום-יום. נוסף על כך, המצגת מציפה את הבעיות האקולוגיות הנגרמות עקב שימוש מופרז במוצרי פלסטיק לא מתכלים. המצגת מכילה גם עובדות על פלסטיק בעולם: "הידעת?", כמו כמות הפלסטיק שבה אנו משתמשים בשנה ועוד.
- קריאת טקסט** מלווה בשאלות – "סיפור עצוב שאירע בחוף" מאת ד"ר רמי קליין. סיפור המדווח על צב ים שאכל המון שקיות פלסטיק.



התלמידים של אפרח מבצעים את הניסויים

אם תלמיד מהכיתה יצמח להיות ראש מועצה או חבר כנסת, הוא יהיה השגריר שלנו במערכת פוליטית שזכתה ללמוד כימיה: תלמיד אשר יטה את המערכת לכיוון חיובי מתוך ידע, מודעות ומדע.

פיתוח המודולה

המודולה "**פלסטיק - טוב או רע?**" מיועדת לתלמידי כיתה י' שלמדו את נושא מסיסות החומרים המולקולריים במים, קשרים בין-מולקולריים, קשרי מימן וקשרי ואן-דר-ואלס. לא דרוש ידע מוקדם בנושא פולימרים, וההגדרות הבסיסיות ניתנות במהלך הפעילות.

כקבוצה הרגשנו שאנו מפתחים מודולה העוסקת בבעיה המקשרת בין כימיה ובין איכות הסביבה. אף על פי שבמידה רבה כיוונו את הרעיון לבעיית פסולת הפלסטיק בארץ וביקום, ניסינו לשלב גם צדדים חיוביים בשימוש בפלסטיק, ולכן שם המודולה שלנו הוא "פלסטיק – טוב או רע?" השם נבחר לאחר התלבטויות לא מעטות, וזאת כדי לא לתת לתלמידים היבט אחד בלבד לשימוש בפלסטיק, אלא לאפשר להם להגיע להחלטה לגבי שימוש בפלסטיק והיתרונות והחסרונות שבו.

הפעילויות במודולה

- פתיחה, מדרש תמונה** – התלמידים מתחלקים לקבוצות. כל קבוצה מקבלת תמונה אחת וחווה את דעתה עליה. מטרת הפעילות היא להעלות את בעיית פסולת הפלסטיק למודעות בצורה ויזואלית, ועשינו זאת על ידי תמונות המראות את כמות פסולת הפלסטיק בארץ ובעולם: ערמות, הרים של פסולת פלסטיק, נהרות ואגמים המכוסים בבקבוקי פלסטיק, חופים מזהמים בשקיות פלסטיק (**ראו בתוך המצגת**).



המודולה כוללת גם:

- מחוון להערכת התלמידים.
- הערות למורה, כמו: המלצות לאסטרטגיות הוראה, חומר רקע וקישורים מומלצים.

הפעלה בכיתה/ אפראח עאסי

לאחר שסיימנו לפתח את המודולה הגענו לשלב המעשי, הוא הפעלה בכיתה: "יום הדין והחשבון" של המודולה. לפני שהפעלתי את המודולה בכיתה שלי, כיתת י' בבית ספר על יסודי אלקאסמי-באקה, היו לי כמה חששות: האם הפעילות באמת תעניין את התלמידים? אולי הם יראו בה בזבוז של שיעורים יקרים הדרושים להשלמת חומר הלימוד לבחינת הבגרות בכימיה? ומה אם לא ישכילו לראות את הקשר בין מבנה החומר, יכולת ההתכלות, המחזור, הפן הכספי והכימיה שמאחורי כל זה? ייתכן כי הציפיות שלי מהפעלת המודולה בכיתה היו קשורות לאופי האישי שלי. אך במהרה הופתעתי לגלות שהתלמידים נהנו ונתרמו מהפעילות הרבה יותר ממה שציפיתי.

לאחר הפעלת המודולה, העברת שאלונים לכל תלמידי הכיתה וביצוע ראיונות עם חלק מהתלמידים הגעתי לכמה **תובנות**, ואמנה חלק מהן:

- הפעילות מצאה חן בעיני תלמידים רבים. הם באמת נהנו מפעילות יוצאת דופן ושונה משיעורים רגילים בכימיה.

□ ג'יאנא: "הפעילות מאוד מעניינת, כי יש שילוב בין פן מהימני וניסוי מעשי."

- מיקום הפעלת המודולה ברצף ההוראה (אחרי נושא ההמסה של חומרים מולקולריים במים) עזר בהבנת הרקע המדעי של הניסוי בכל הרמות. יתר על כן, הניסוי עזר לקשר בין רמות ההבנה השונות: מקרו (השקית נעלמת), מיקרו (סוגי חלקיקים, קשרים בין-מולקולריים, קשרי מימן), וסמל (ניסוח תגובת המסה).

□ עאמר: "הניסוי מסביר לנו טוב את נושא המסיסה."

□ ג'ואד: "הניסוי עזר לנו להבין את הרקע המדעי ואת הכימיה שמאחוריו."

- הכלי לקבלת החלטה נתן לתלמידים תחושה שדעתם נחשבת. הם חשובים. הם הדור הצעיר של העתיד, דור שיעשה את השינוי בחברה. דור שדעותיו, מחשבותיו, הצעותיו, מסקנותיו ומעשיו הם אלה שיציירו את פניו של העתיד.

□ ג'יאנא: "הפעילות באי אקבאל המאלה והצלג הצלג אשינו - הנקשג' שאני עשויה אצרום אשינו, דעג' חשונה. אני יכולה אצרום אשינו בסביבה ובמבנה, אני יכולה להציע ולגרום."

- לתלמידים יש יכולת הערכה טובה: הם יודעים לבקר ולמצוא נקודות טעונות שיפור. הם הציעו לקצר בהפעלה, ולעשות אותה רק בשני שיעורים בלבד! ולפיהם מוטב כי שני השיעורים האלה יהיו רצופים, באותו יום. לדעתי הם צודקים, ולכן כדאי לקצר במצגת, להמעיט בשאלות אחרי הטקסט ומדרש תמונה, לקצר בהצגה בעל פה.

- עאמר: "לדעתי הפעילויות לקחו יותר זמן ממה שצריך. אפשר היה להעביר את הפעילות בפחות זמן."

- הרצינות שהתלמידים הפגינו בזמן הפעלת המודולה גרמה לי לחשוב שאני צודקת: פעילות כזאת לא צריכה מרכיב בציון הסופי כדי שהתלמידים יתייחסו אליה ברצינות. המודולה כל כך טובה, מעניינת, מעוררת מוטיבציה, קושרת לחי היום-יום, משלבת ניסוי הקשור לחומר הלימוד - כל זאת בצורה שהתלמיד ירצה להשתתף בהפעלתה מתוך רצון ולא מתוך חובה ודאגה לציון.

□ המסה: "הפעילות מאוד הנקשג' אג האבנטיג' של הכימיה אחי היום-יום. המיוחד המלק המעשי המיוצג הנסוי. שיעור כימיה נח' לא אחיד מחמיש אג הקישוריות אחי היום-יום."

- המטרה הנכספת מהמודולה הושגה. שלחנו הביתה את השגרירים שלנו! תלמידים-כימאים אחראים, שיודעים מה הרקע המדעי לבעיות אקולוגיות קיימות.

□ עאמר: "אני אחג' אאימא שלי אקנע שקיוג מחבאל - ידידוגיוג אסביבה. אמה אהציק אסביבה אג אפג' אלא? הן כאל מקרה שקיוג דומה."

□ ג'יאנא: "אני מקשג' מאימא שלי אקנע שקיוג יוקוג באבד, ושקיוג אאמסון מנזן שהן ידידוגיוג אסביבה. אני גמ כן מושגת פלמייס אפני שאני מלמלשג בשקיוג הפלסטיק."

□ ג'ואד: "אני סיפג' אהויגם שלי אג הנעלס והס אהבו אג זה, והגמלנו אקנע שקיוג מחבאל. אנחנו כאל מקרה קונוס שקיוג, אג אמה אלא נקנה שקיוג כאלה אלא מציקוג?! אין הבדל גדול במחיר."

- התלמידים מעוניינים בהפעלות לפחות פעם אחת בכל שליש.

□ ג'ואד: "הסוף כל נעלס, אדעתי, צריכה להיות פעילות כזו, מסכמת, מקשרת אחי היום-יום וכוללת ניסוי."

רפלקציה לאחר הפעלה בכיתה/ סנדרה

את המודולה הנוכחית העברתי לתלמידי כיתה ט', מופת, שאותם לימדתי במהלך השנה. תלמידים אלו הם אכן בעלי יכולת ומוטיבציה גבוהה. החיסרון בהעברת המודולה לתלמידי ט' הוא שהרקע המדעי שלהם היה מצומצם יותר. התגברתי על כך בעזרת הקניית התכנים המדעיים לפני הפעלת המודולה ובמהלכה. בתוך כך ניתנו גם מושגים והסברים שסייעו לתלמידים להבין את הכימיה שבמודולה.

לאחר העברת המודולה חילקנו שאלונים לתלמידים (שאלוני רפלקציה) שאותם חיברנו בהנחיית מדריכות הפרויקט. השאלון שחולק כלל שאלות פתוחות ושאלות סגורות. ניתוח השאלונים עזר לי לבצע את הרפלקציה שנדרשתי לערוך

ולהציג בפני חברי בקורס. הרפלקציה שלי התמקדה בקשיים שהתעוררו בהעברת המודולה בכיתה, התרשמות של התלמידים מהמודולה ומשיטת ההוראה שלה, והיא לוותה בדיון בהשתתפות חבריי. השאלות הפתוחות בשאלון עזרו לחוש מעט יותר את השטח: התרשמות התלמידים מהמודולה כמו גם היתרונות והחסרונות בהעברתה בכיתה. ובסופה של הרפלקציה יכולתי לצאת עם רשימה של מסקנות לגבי הפעלת התלמידים, איך הם תפקדו, האם הם אהבו את המודולה, שיתפו פעולה, למדו מהפעילות והפנימו את החומר.



מיכל לאיסוף בקבוקי פלסטיק למיחזור

נוסף לשאלונים ערכנו ריאיון שמטרתו קבלת מידע נוסף שיאפשר לנו להתרשם מהחווייה שעברו התלמידים במהלך הפעילות, שאותו בנינו כריאיון חצי מובנה, כלומר שיש בו שאלות בסיסיות המוכנות מראש אך אפשר לשנותן בהתאם לתשובות התלמידים. הראיונות חשפו בפנינו כי לחלק מהתלמידים הייתה זו דרך לימוד חווייתית, אך באופן טבעי חלק מהתלמידים - דווקא החזקים שבהם - מעדיפים את השיעורים הפרונטליים. סביר ששיעורים אלה פחות מאיימים בעבורם, שכן זה החלק שהם טובים בו ומבחינתם דבר טוב לא משנים.

לכל סוף יש גם התחלה...

תעשייה
פימית בישראל

צוות הפרויקט "יש לנו כימיה!"*



תלמידי תיכון שמעון בן צבי בגבעתיים מציגים את נושא החקר - בקבוקים חסרי מנוח

מכתבו של בועז הדס, מורה לכימיה מתיכון שמעון בן-צבי, שתלמידיו זכו השנה במקום הראשון בקטגוריה ניסוי חקר במעבדה:

ש"לם מירי, אורית וצביה!

רציתי לשתף אתכן בתוצאה מאוחרת שנתקבלה מהבחינה

בתחרות "יש לנו כימיה".

היום התקיים הבית הספר שלנו בן-צבי (ש"צ) טקס הסיום

של תלמידי ו"ב.

בצבירי המנהלות - כאשר היא החלה לציין את הישג המהפכני

- ההישג הראשון שהוצג היה זכייתם של ארבעה תלמידי

במסגרת הפרויקט לעידוד לימודי הכימיה "יש לנו כימיה!" אנחנו, המנחות האזוריות, מגיעות מדי שנה בתחילת הלימודים לבתי ספר שונים ברחבי הארץ למפגש עם מורים ועם תלמידים.

המפגש נפתח בקשר עם מורי הכימיה ועידודם לשתף את תלמידיהם בתחרויות. אנחנו פוגשות מורים ממגזרים שונים ומאזורים שונים בארץ: כאלה שכבר השתתפו בתחרות פעם אחת או יותר וכאלה שזו השתתפותם הראשונה, מורים מלאי התלהבות, המגיעים מוכנים לחוויות חדשות ומורים מלאי ספקות וחששות.

במפגש החשיפה לתלמידים אנחנו מספרות על סוגי התחרויות (כתבות, תצלומים, סרטונים, כרזות, חקר במעבדה) הפתוחות בפני תלמידים משכבות גיל שונות (מכיתה ט עד יב), ומראות דוגמאות לתוצרים מעניינים. כמו כן אנחנו מציגות את הערך המוסף הכרוך בהשתתפות - היכרות עם כימיה המקיפה אותנו בחיי היומיום, חוויה מיוחדת ואפשרות לקבל הנחיה מאנשי הצוות, מאנשי תעשייה ומדע ומאנשי מדיה.

כאשר חשבנו במה לשתף אתכם ומה לכתוב בכתבה החלטנו לספר תחילה על חוויותיהם של שני מורים שזו שנה הראשונה להשתתפותם בתחרות, ועל חוויות של שניים מתלמידיהם - כי כל סוף הוא גם התחלה:

* ד"ר מירי קסנר, אורית מולוידזון, דבורה ברוט, ד"ר מירה קיפניס, ד"ר יעל שורץ, צוות הפרויקט יש לנו כימיה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.

מסקנות מהפעילות כמו שדווחו בשיחת הסיכום של הפעילות, וכן מתשובות התלמידים לריאיון, ומהתרשמות שלי מעבודתם בכיתה:

- התלמידים נהנו מאוד מהפעילות.
- הפעילות הראשונה - מדרש תמונה - הכניסה את התלמידים לרעיון המודולה ומטרתה.
- התלמידים התפלאו והופתעו לגלות שקיים פלסטיק הנמס במים.
- התלמידים אהבו פחות לקבל החלטה, וטענו כי ברור להם מה יש - או יותר נכון אין - לעשות, אבל הצורך לקבל החלטה הכניס אותם לדילמה.
- העבודות שהגישו התלמידים היו מעמיקות מאוד, ובחלקן באה לידי ביטוי הדילמה שלהם.

אור הנר לעולם אינו פוחת... אם מדליקים ממנו נרות אחרים!

לכן רצינו לשתף אתכם, ציבור מורי הכימיה, במודולה שפיתחנו. אין לנו ספק ששילוב המודולות בתכנית הלימודים יעורר עניין בקרב התלמידים. ייתכן כי בקרב חלק מהמורים יתעוררו חששות, בדיוק כמו שקרה אצלנו, אך הסיפוק הטמון ביצירה של משהו, העברתו לתלמידים וצפייה בהתלהבותם ובשיתוף הפעולה שלהם - אכן שווה את המאמץ.

אנו מקווים שתבחרו להפעיל את המודולה בכיתתכם ולהאיר את עיניהם של התלמידים...

המון הנאה והצלחה.

תודה

לד"ר יהושע סיוון, ראש אגודת מורי הכימיה, על הספקת הפלסטיק המסיים (שקיות P.V.A.), במהירות וביעילות

□ "בסך הכול מאוד נהניתי מהפעילות על אף שמאק מהנעלאים היו ברויים אי עוד קודם."

□ "נהניתי מהכול, הכי הנהנה נהניתי מההכרזה בקבוצות ומהניסויים."



חלק מהתלמידים אוהבים עבודה בקבוצות וחלקם לא.

□ "נהניתי מהכול, הכי הנהנה נהניתי מההכרזה בקבוצות ומהניסויים."

□ "הייגה פעילות שונה ולא נחלה, שזה נחמד. אי זה נהן אפשרות לאחיד מחברי הקבוצה שלי, בלי אחר."

במהלך העברת המודולה לתלמידים הציעו רעיונות רבים ומגוונים לגבי הדרכים שיש לנקוט על מנת לגרום לשימוש מבוקר בחומרים פלסטיים, וכן כדי להדגיש את חשיבות המחזור והשמירה על חופים על מנת לשמור על בעלי החיים, שהם עיקר הנפגעים בחופים. עוד דובר על הטלת מס על השימוש בשקיות פלסטיק, שלטענת התלמידים אפקטיבי מאוד:

□ "מה שנעץ לאנשים בכיס מקבל הגיימסון משמעותי."

□ לאור הנאמר והגמול של התלמידים לקבי העברת המודולה, המארגי היא מד-משמעותי: שיש אלה את המודולות במהלך האיחוד הפנוטאי בביגה. כך גלמדיים אומדים בצורה חווייתית יוגה, זוכים יוגה ומפנימים את הנקע הכימי (המקרה שלנו) במידה רבה יוגה.

□ "הידע שלי בנושא הפלסטיק הגרמה. ישנם דברים על הפלסטיק שלא ידעתי, בייחוד בהקשר הכימי."



כל התלמידים שניגשו לתחרות עלו לאלה הזמנה והזדמנות לכנס הסיום במכון ויצמן למדע בסוף מרס 2012. הכנס היה חוויה אדירה, ושני דברים היו מאוד משמעותיים עבורם:

במהלך הכנס כל קבוצה נתנה הרצאה מדעית בנושא שלה, וגם שמעה הרצאות של תלמידים אחרים.

אחת התלמידות מספרת: "ישא הפעילות מבחינתי היה יום התחרות. אבא שלי הוא פיזיקאי במכון, יש לו הרבה פעמים כנסים בחו"ל. הוא לקח אותי מספר פעמים לכנסים. התחרות מאוד הכירה לי את הכנסים האלה. הרגשתי שלם אני מדענית וחוקרת כמו אבא" (טלי).

ב. חידון הטריילור היה מצוין. התלמידים התרגלו מאוד כשראו את נלס העבודה שלהם מוסבר ומובן בשאלון הטריילור, וגם נתנו להם לענות לפני כולם על שאלות ולהסביר את התפוצה.

אסיכום דברי התלמידים על השתתפותם בפדיוקט:

"בכיתי 5 פעמים בפדיוקט הזה:

- האמירה
- ההנאה
- מקום שני בכל הארץ
- פרס כספי
- הכרזה תלויה בבית הספר שלי, 'עתידי', אני ואנשים אחרים רואים אותה כל יום, מה שמסביר לי לאוהר רבה."

"מי יודע, אולי הם גם למדו משהו, אולי גם הם הסתקרנו מהנלסא, ואולי הכרזה הזאת משכה אותם להיות דור העתיד על מדעני מדינת ישראל" (ירון);

"בזמן שצמדנו על הכתבה למדתי להעריך את הכימיה ואת הטכנולוגיות החזקות שניתן להשיג בעזרתה" (נבט).

להשתתף, ולחפש חומר על הנלסא. אורית ואני עברנו בין הקבוצות, ועברנו לתלמידים לגבש את הרעיון.

אחת מהתלבות של התלמידים לאחר המפגש:

"כשאורית באה לכיתה שלי בבית הספר כדי להסביר על התחרות בתחילת אוקטובר, היא הצליחה להחזיר בקבוצתי הרבה מאוד מוטיבציה ועודדה אותנו להכין עבודה טובה שתגיע לאלה הזמנה בתחרות. התחלנו את העבודה בהתלהבות – לא רק בלל שהיינו צריכים, אלא מתוך רצון ללמוד על נלסא כה חדשני ומעניין" (עדי).

להערכתו, הזמנתה של אורית לכיתה קידמה בצורה משמעותית את המוטיבציה להגישת הפרויקט. רוב התלמידים שניגשו לתחרות המשיכו עם הנלסאים שהם קבעו במהלך הסדנה, ואילו הזמן שניתן להם להעביר בקביעות הנלסא היו זורם מאוד משמעותי בהצלחתם.



חידון בנושא הכימיה בחיי היומיום

השיעור הראשון אורית הסבירה על התחרות, והשיעור השני התקיימה סדנה, שבה התלמידים חולקו לקבוצות, חשבו על רעיון, והתחילו לחפש חומר בנושא.



פוסטר בנושא "אפקט הלוטוס" שהוכן על-ידי ירון ולס מתיכון למדעים עלה לוד

ההרצאה של אורית הייתה מצוינת. היא גרמה לתלמידים להתלהב מהתחרות ולהבין שמדובר בשילוב ידע והנאה. אורית ההחירה לתלמידים שכמעט כל דבר קשור לכימיה, הראתה להם דוגמאות שונות, וכדי להקטין חרדה סיפרה בהתלהבות על עבודות שהצליחו וכו'. היא נתנה להם את ההרגשה שם מוטיבציה וגם התמיכה הזדולה שהם יקבלו מצוות המכון ומבית הספר, כל אחד יכול להצליח.

אורית הדגישה את החשיבות של בכייה בפדיוקט כאבן דרך בקורות החיים של התלמידים, שיכולה לקרר אותם להתקבל לתפקידים שונים בצבא ובאקדמיה/מסלול.

לאחר מכן התארגנו התלמידים בקבוצות, וניתן להם זמן לחשוב על רעיון לעבודה, על סוג התחרות שבה הם רוצים

במקום הראשון בתחרות הארצית של מכון ויצמן, "יש לנו כימיה". בהמשך הוזכר שאלתה רביעית התלמידים התקדמה לאלה השני ב"כימיה", שתלמידה אחת העפילה לאלה הזמנה, ואחר כך הגיעה למחר בתחרות הכספות, ובכיתה במקום השלישי באולימפיאדת הביולוגיה

רק לאחר כל השיחה הזו – ותזכורת שתיכון מעון בן-צבי מכון לתחום המצוינות המדעית – הצביחו את ההישגים הספיקט ובזמנה.

דורית המפח"רית יסבה ליצי הטקס, ותנועת הראש שלה כאשר שמעון יחד את הכרת המנהלת הייתה "אפא". התפעלות רבה מהמקום שבהם המדעים והכימיה הפרט בסדר היום של ההישגים הבית-ספריים.

אני כמובן מאוד שמחתי עבורי ועבור תלמידים על הקרדיט והמסקל המכובד שבהחירה מנהלת בית הספר לתת לך. חשוב היה לי מאוד לשלף אתכן בכך – ולהודות על ההזדמנות להשתתף, ולהתחרות.

השנה הבאה אני מתכנן להגדיל את המעורבות הבית-ספרית ולהשתתף במאון רב יותר של סוגי עבודות ב"יש לנו כימיה".

תודה וחופשה נעימה, הצד



ניסוי הדגמה במהלך הצגת אפקט הלוטוס על-ידי ירון ולס מתיכון למדעים עלה לוד

קטע ממכתבה של רות ולדמן מתיכון "עתידי" למדעים בלוד:

בחודש אוקטובר הזמנתי את אורית מולוויצ'בון מצוות הפדיוקט למפגש על שיעור כפול עם כיתות הכימיה.

כנס PROFILES בברלין

בעז הדס* אורלי פלוטקין**

קצרות המבוססות על רלבנטיות לחי" היומיום ועל הוראה בגישת החקר. בתוך כך התלמידים חופשיים לשאול את השאלות הסקרניות, להוביל את תהליך הלמידה, ובסופו של דבר להגיע לתהליך קבלת החלטות ביחס לנושא המוצג, המבוסס על ההתנסויות, על המידע החדש, ועל התהליך שעברו תוך כדי מפגש עם הנושא המוצג.

- **חינוך דרך המדע** – במכוון אין משתמשים במונח "חינוך מדעי" בשם הפרויקט. התפיסה היא שעל מנת להיות אזרח מעורב ומודע נדרשת הבנה מדעית. המטרה היא רחבה יותר מהכשרה של תלמידים בתחום המדעים, ידע ומיומנויות, ומורי המדעים - עוסקים למעשה בחינוך.

כדי להבין את PROFILES לעומק ראוי לבחון את העשייה, ואז לפרשה דרך הרוח והחזון של הפרויקט. (אנו מורי הכימיה מתורגלים היטב לתת דגש נפרד לתצפיות לפני שאנו ניגשים לפרשנות על פי תאוריה כזו או אחרת). נתייחס לקורס שלנו שמעבירה קבוצת הכימיה במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן (בשפת הפרויקט – CPD).

התחלנו את הקורס בקיץ 2011 במסגרת השתלמויות הקיץ. הקורס פורסם כ"הוראה בדרך החקר". חלק מהמשתתפים הגיעו כדי לשדרג את ההוראה ביחידת החקר במעבדה או את ההוראה בכיתה בכלל. אנחנו, כבוגרי קורס המורים

בשבוע האחרון של ספטמבר, קצת לפני היציאה לחופשת סוכות, השתתפנו בכנס של פרויקט PROFILES שהתקיים באוניברסיטה החופשית של ברלין. בכנס השתתפו חוקרים בתחום הוראת המדעים וכן מורים מתשע-עשרה מדינות אירופאיות המשתייכות לפרויקט. זהו אחד מתוך מגוון פרויקטים שהאיחוד האירופי מממן במטרה לשפר את החינוך המדעי ולקדמו.

PROFILES הם ראשי התיבות של

Professional Reflection Oriented Focus on Inquiry-based Learning and Education through Science;

לפרויקט כמה אבני יסוד:

- **התפתחות מקצועית למורים** – מבוססת על ההבנה כי מורה טוב, היכול לקדם את החינוך המדעי, הוא מורה שלומד לכל אורך הקריירה שלו (Life Long Learner) ולכן נוסף על מיקוד בתלמידים וצוריהם, יש להתמקד בקידום המורה. הפרויקט שם דגש במושג CPD שפירושו התפתחות מקצועית מתמשכת, כלומר שינוי גישה של מובילי החינוך המדעי מהכשרה של מורים אל עבר פיתוחם המקצועי לכל אורך הדרך.
- **IBSE – חינוך מדעי המבוסס על גישת החקר** – במסגרת הפרויקט, מורים מפתחים יחידות פעילות

* בעז הדס, תיכון ע"ש שמעון בן-צבי, גבעתיים, מורה לכימיה ורכז המגמה המדעית.

** אורלי פלוטקין, תיכון שיטים, ערבה תיכונה, מורה לכימיה וביולוגיה, רכזת מדעים.

כמה תובנות שלי, כמורה, על הפרויקט:

אחת המטרות שלנו כמורים היא להיות משמעותיים עבור התלמידים, וליצור אצלם חוויות מפתח, חוויות שישפיעו עליהם גם שנים רבות לאחר מכן. חוויות רבות עוצמה של הנאה מלמידה, גילוי יכולות אישיות ומחשבתיות, ראו במסגרת פרויקט קריירה.

במחקרו של ד"ר גד יאיר מהאוניברסיטה העברית על חוויות כאלו, הוא הצליח למצוא את מאפייני הפעילויות שיצרו חוויות אלו.

המאפיינים הם: **בחירה, אתגר, חקירה אישית, דרישת כישרים, תחרותיות, רלבנטיות, אותנטיות, נוכחות קהל, התקדמות לשיא, הפתעה**

(מספרו "מחוויות מפתח לנקודת מפנה" עמוד 11).

את כל המאפיינים האלה אפשר לדעתי למצוא בתחרות. הרגשתי שתלמידים רבים עברו חוויה עוצמתית, רבים מהם בחרו בכימיה כתוצאה מכך, ותודה על כך לכל צוות הפרויקט שטרח רבות. תודה לד"ר מירי קסנר, לאורית מולוידזון, לד"ר מירה קיפניס ולדבורה ברוט.



תערוכת תצלומים בכנס הסיכום

פרויקט מקדים לתחרות - פרויקט קריירה

מאחר שזהו בית ספר למדעים ידעתי שהרבה הורים עוסקים במדע, וכבר במפגש הראשון עם ההורים ביקשתי מהם להתנדב, ולאחר קבוצה של שישה תלמידים במקום העבודה שלהם. היו מתנדבים רבים, והעדפתי לבחור את ההורים העוסקים במדע. חילקתי את הכיתה לקבוצות, ושלחתי את התלמידים למקום העבודה של ההורים בסוכות. לאחר הביקור הם נדרשו לספר על מקום העבודה בעזרת מצגת, בשיעורי חינוך, וזאת בהתאם לקריטריונים שניתנו מראש. המטרות היו מגוונות: גיבוש הכיתה, הכרת מקצועות שונים, אופק לקריירה אפשרית והכנה לתחרות "יש לנו כימיה".

כך נולד הרעיון לעבודה הראשונה בנושא מכוניות חשמליות. אבא של אחד התלמידים עובד בבטר-פלייס, וכאשר הרצתה הקבוצה לפני הכיתה, ההרצאה הייתה מצוינת, התלמידים היו מרותקים לנושא ושאלו שאלות רבות. התלמידים שהרצו היו מרוצים מאוד, וכולם עברו חוויה טובה.

לסיכום, תוכלו לעיין באתר הפרויקט, וכן במספר תוצרים מהשנה החולפת, וכמובן לפנות אלינו כדי שתלמידכם יוכלו להשתתף בתחרויות בשנה הקרובה.

בהוראה הקריקולרית; הפצת תוצרי הפרויקט ושיתוף ביחס ללקחים מהפעלת המודולות; התפתחות תחושת בעלות/ שייכות (ownership) בקרב המורים – מהם הסממנים לכך וכיצד אפשר להשפיע על התהליך; רפלקציה, תפקידה ודרכים שונות לערוך אותה, ועוד.

במהלך הכנס התקיים מושב פוסטרים אינטראקטיבי מיוחד, שאפשר לרבים להציג תוצרים מהפרויקט או תוצאות מחקר בדרך שאינה הרצאה. במושב זה הצגנו שתי עבודות שפותחו בישראל: אורלי הציגה את הפוסטר "To drink or not to drink" שהציג מודול בנושא שתיית אלכוהול. בעז הציג את הפוסטר "Hazard from above" שעסק במודול בנושא קרם הגנה מפני נזקי קרינה, והפעלתו בכיתה. זכינו לתגובות חיוביות הן ביחס לתכנים וחיבותם והן ביחס למבנה המודול וסוגי ההפעלות. מתברר שבקורס PROFILES הישראלי היינו יוצאי דופן בכך שכולם בחרו ליצור מודולות חדשות לגמרי, ולא לעשות התאמות למודולות של PARSEL (הפרויקט הקודם).



תמונה 4: אורלי מציגה את הפוסטר שלה בכנס

בין המודולות שהציגו משלחות אחרות היו כמה שמשכו את תשומת הלב:

מודול שעסקה במחזור טלפונים סלולריים.

"The treasure in my drawer – what to do with old cell phone".

תלמידים ביצעו סקר בעיתון. מקוון שבו אספו נתונים על

נוספים לפרויקט. פגשנו את המשלחת מקפריסין שהייתה מורכבת מחוקרת אחת וארבעה מורי מדעים מתחומים שונים. עם המשלחת הזו נוצר קשר מיוחד בשל הרצון ליצור שיתוף פעולה אזורי בין שתי המדינות, ואולי מפגש נוסף בישראל או בקפריסין לשם עבודה משותפת. עוד בשלב הזה גילינו את השפה המשותפת שעיסוק במסגרת PROFILES יוצרת בקרב המורים.



תמונה 3 – אבי הופשטיין, רחל ממלוק נעמן, דבורה קצביץ, אורלי פלוטקין ובעז הדס בכנס בברלין.

אחת ההרצאות הראשונות ששמענו בכנס הייתה של מדען סקוטי מאוניברסיטה בשוודיה, ד"ר פיטר גריי. בהרצאתו הדגיש ד"ר גריי את הצורך לראות את התמונה המלאה – מגוון רחב של פרויקטים המתקיימים בד בבד, חלקם מטעם האיחוד האירופי וחלקם במסגרות אחרות. ד"ר גריי עסק בגישת החקר העומדת בבסיס פרויקט PROFILES וטען שאין מדובר רק בטכניקה חינוכית כי אם בפילוסופיה; אין מדובר בסדרת מיומנויות, אלא בגישה שמטרתה לפתח סקרנות, להרחיב את ההקשרים של תחומי הדעת הקיימים – ואלו דורשים מהמורים המלמדים שינוי בגישת ההוראה. נקודה משמעותית נוספת שעלתה היא הצורך להתמקד גם בקובעי המדיניות החינוכית.

לאורך הכנס הציגו חוקרים ממדינות שונות נתונים וגישות הנוגעים במספר תחומים: קיום מסגרות להתפתחות מקצועית במדינות השונות; שילוב הוראה בגישת החקר

השלב האחרון בקורס (שאינו קצוב בזמן) הוא כניסתנו לשנה השנייה בפרויקט. השלב האחרון בקורס (שאינו קצוב בזמן) ממוקד **במורים כמנהיגים**. כשנכנסנו לשנה השנייה ניתנה לנו הזדמנות לבטא **מנהיגות** – אלה מאיתנו שבחרו להמשיך את הפעילות מהשנה הראשונה נכנסו למחזור נוסף של פיתוח מודולות. בקורס הקיץ של 2012 יכולנו לשתף את המשתתפים החדשים בחוויותינו ובהתנסותנו מפיתוח מודולה והפעלתה. גולת הכותרת שלנו, כותבי הכתבה, הוא ההזמנה להשתתף בכנס PROFILES.



תמונה 2 – בתיה שרון וסמדר שוקדות על הכנת פוסטר בנושא במודול שלהן.

לכנס יצאנו כחלק מקבוצה של חמישה. אנחנו – אורלי פלוטקין, מורה לכימיה וביולוגיה מבית הספר בערבה, בעז הדס, מורה לכימיה בתיכון שמעון בן-צבי בגבעתיים – ואיתנו ד"ר דבורה קצביץ, מרכזת הקורס בשנתיים האחרונות, ד"ר רחל ממלוק-נעמן ופרופ' אבי הופשטיין, ממובילי הפרויקט ומרכזי הפרויקט בארץ וחברי סגל במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע. מדינת ישראל, באמצעות מכון ויצמן, היא אחת מחמש המדינות המובילות את הפרויקט הנוכחי, ואחראית על חקירה ופיתוח של אחד מהתחומים החשובים בפרויקט, "Teacher's Ownership".

הכנס נפתח בראשון בערב, בהתכנסות בלתי פורמלית של כל המשתתפים שהגיעו מרחוק. מעבר לגיבוש החשוב כל כך של חברי המשלחת מישראל, התחלנו להכיר שותפים

המובילים לכימיה של המרכז הארצי למורי הכימיה, קיבלנו מראש הצגה רחבה יותר של PROFILES, וידענו שאנו מגיעים למסלול מתמשך. ד"ר דבורה קצביץ, שהנחתה אותנו בקורס הקודם יחד עם ד"ר יעל שוורץ, הובילה את הפרויקט, וכיום שותפה לה ד"ר מלכה יאיון.

השלב הראשון של קורס הקיץ היה **לימודי**, התמקד **במורים כלומדים** ועסק בהכרת פרויקט PROFILES, לרבות עקרונותיו, הרוח של המודולות, ודרך הפעולה שבה הוזמנו ליטול חלק.

בשלב השני, שהתחיל בקיץ ונמשך במפגשים לאורך השנה, הדגש עבר להיותנו **מורים**, ולעבודה על יצירת מודולות (פעילויות ברוח PROFILES). ההכשרה עסקה בהעמקה והעשרה בתכנים שבחרה כל קבוצה, ובנוסף העמקה פדגוגית המתאימה להקשרים התוכניים. במסגרת קורס הקיץ נוצרו צוותי עבודה, וכל צוות בחר נושא למודולה והתחיל לעבוד על בנייתה.

השלב השלישי של הקורס עסק **במורה הרפלקטיבי** – לכל אורך השנה עסקנו בפיתוח המודולות, בהתאמתן לצורכי הכיתות שבהן בחרנו להעביר אותן, בהפקת לקחים ביחס למודולות ושיפורן. כל תהליך הפיתוח והיישום היה מלווה ברפלקציה, שהיא אחת מאבני היסוד בפרויקט: קבוצת המורים המשתתפת בקורס מהווה קבוצת-מיקוד, וכל מורה כשלעצמו עושה מחקר-פעולה בזעיר אנפין ביחס לפיתוח המודולה והפעלתה.



תמונה 1 – הכנת פוסטר למודולה על קרם הגנה במסגרת הקורס

זכרים לזכרה של דליה

רחל ממלוק-נעמן*



את דליה הכרתי כמורה אשר בכל פעם מחדש התלהבה מהוראת הכימיה ומתלמידיה. אהבתה הגדולה לכימיה, ידיעותיה הנרחבות והדרך המקצועית שבה לימדה, תוך יישום שיטות הוראה חדשניות ומגוונות – כל אלה היו מודל בעבור מורים עמיתים בתחילת דרכם בהוראה מחד גיסא, ומניע מוטיבציוני ללמידת הכימיה בעבור תלמידים רבים מאידך גיסא. סבלנותה הרבה של דליה, יחסה החם והרצון העז לתרום, לסייע ולקדם את עמיתיה ואת תלמידיה ניכרו בכל מעשיה. היא חיברה חוברות עבודה והדרכה לתלמידים, וכן ספר לימוד שזכה להצלחה בקרב מורים ותלמידים.



דליה ז"ל במפגש עם תלמידים (2010)

התפתחותה המקצועית של דליה ונכונותה להתנסות בשיטות הוראה חדשניות באו לידי ביטוי במעורבות רבה בהשתלמויות מורים, אשר העיקרית בהן הייתה השתלמות מורים מובילים שארכה שנתיים. דליה ראתה בהשתלמות זו הזדמנות לקדם את הוראת הכימיה ולקרב את המקצוע אל לב תלמידיה. בזכות כישוריה כמורה מובילה הצליחה דליה לסחוף אחריה בעשייה מורים רבים.

במרוצת השנים דליה ואני התיידדנו, ולמדתי להכיר אותה כאשת משפחה למופת וכאם שהתמסרה לילדיה ללא גבולות.

יהי זכרה ברוך!

* רחל ממלוק-נעמן, מנהלת המרכז הארצי למורי הכימיה, מכון ויצמן למדע.

למים ומבנה אוורודינמי של חרקים ושל עופות. במהלך הפעילות התלמידים תכננו ובנו רפסודה המסוגלת לשאת משקל שנקבע מראש (משקלו של אחד התלמידים). מודולה זאת אף היא אינטרדיסציפלינרית ומקיפה תחום רחב של ידע.

בסדנאות שניתנו ביום השלישי של הכנס, במסגרת קבוצת עבודה שעסקה בתקשוב, הכרנו את Webquest – סביבת הוראה שפותחה בארצות הברית, ומתאימה מאוד ל-PROFILES, בעיקר כשהכוונה שתלמידים יעשו חקירה באמצעות הרשת.

תוכנה מעניינת מאוד פותחה בקפריסין מכונה Stochasmos, וחלק מהפעילויות בה אף תורגמו לעברית. זוהי תוכנה אינטרנטית המלמדת להשתמש בנתונים בצורה מבוקרת על מנת לבנות טיעונים.

בסיום הכנס עלה לדבר אורח מיוחד, פרופ' צ'ילדס, שהוזמן לשאת דברים כ"חבר ביקורתי". אחרי יומיים וחצי של חיבור חזק לחזון PROFILES היה מעניין לשמוע קול שונה. פרופ' צ'ילדס הזכיר שהוראה בדרך החקר (IBSE) לא יכולה לעמוד בזכות עצמה, ולכן ראוי לאיחוד האירופי לחקור גם אפיקי הוראה אחרים ולהשקיע בהם.

החווייה החזקה ביותר מימי הכנס הייתה תחושת השייכות לפרויקט בין-לאומי. היה נחמד לגלות שהשאלות והבעיות העומדות בפני מורים במדינות אחרות זהות לאלה העומדות בפנינו: כיצד לעורר סקרנות אצל תלמידים, לגרום להם לחקור תופעות שונות מחי היום ויום וללמוד דרך החקר. מצאנו אפשרויות לשיתוף פעולה בין המורים במדינות שונות, כי חלק מהמודולות שפותחו במדינות שהשתתפו בכנס עסקו בנושאים דומים. אנו מקווים שהקשרים שיצרנו בימי הכנס יניבו פרי ושנוכל לשלב מאמצים בפיתוח מודולות גם עם מורים ממדינות אחרות.

לאחר שלושה ימים שבהם היינו נציגי המורים לכימיה במדינת ישראל בקורס PROFILES, שמחנו להחליף כובעים ולחזור להיות שגרירי החזון של PROFILES בבתי הספר שלנו, בקורס בארץ – ובכלל בפני כל מי שמוכן לשמוע ומתעניין. חזרנו מרוצים.

מספר טלפונים סלולריים ישנים השוכבים במגרות של חבריהם. בשלב הבא הם בדקו את סוגי החומרים שמהם המכשירים בנויים ולמדו באילו דרכים אפשר למחזר חומרים אלה. בסיום הפעילות היה משחק תפקידים ובו תלמידים מילאו תפקידים של מפתחי הטלפונים, של נציגי משרד האוצר ומשרד התעשייה ושל נציגי המבקרים.



תמונה 5: בעז מציג את הפוסטר שלו בכנס

מודולה שעסקה בהפקת האנרגיה בדרכים אלטרנטיביות, "Energy around the house", הוצגה על-ידי צוות חינוכי מהעיר ברמן שבגרמניה. המודולה כוללת חקר תופעת ההתחממות הגלובלית וניצול אנרגיית חום ובניית תא סולרי. הנושא האקטואלי של המודולה ושילוב בין ידע בפיזיקה, באקולוגיה ובפיזיולוגיה עשו את הפעילות למעניינת מאוד. תלמידים בנו תא סולרי והתנסו בהפעלתו. הם ניסו לעסוק בשאלה: כיצד שינוי טמפרטורה על פני כדור הארץ ישפיע על חייו של דוב לבן שחי בקוטב הצפוני.

צוות חינוכי מנורבגיה הציג מודולה שעסקה ב**ביוניקה** (שימוש במבנים ייחודיים של יצורים חיים לפיתוחים הנדסיים)

"Bionics – Ideas on Teaching for Different Levels of Education".

התלמידים למדו על מבנים מיוחדים המקנים ליצורים חיים יכולות ייחודיות: עלים של צמחי מים המסוגלים להחזיק עופות שמטיילים עליהם, ציפוריות מלאות בבועות אוויר המאפשרות להעלות עלים של צמחי מים מעומקי מקווה המים לפני השטח, מבנה הידרודינמי של בעלי החיים מתחת

