



שילוב "מייקינג" בהוראת הכימיה הפורמלית בישראל

בן אושר*

שירות חדש, תהליך עבודה יעיל וגם כלי בפיתוח ובהטמעה של תוכניות לימודים חדשניות.

כמורה לכימיה ומגיש לבגרות בעשור האחרון, יצאתי לדרך במחשבה על הבוגרים שלנו. על אותם אזרחים ואזרחיות שלא בהכרח בוחרים בקריירה מדעית, ושאלתי מה המשמעות של מה שאנחנו מלמדים אותם לחיים שלהם כבוגרים? מתי הם משתמשים בידע ובמיומנויות שהם רכשו בשיעורי הכימיה? וכיצד מה שאנחנו מלמדים משרת אותם בבואם לקבל החלטות מושכלות בנוגע לכימיה שסובבת את מוצרי הצריכה ולרשימת המרכיבים שלהם: אם הם מותאמים להם, בריאים להם וכו'. בימויום שלנו אנחנו מרבים לצרוך מוצרים עתירי

תנועת המייקרים: עוד משחר ההיסטוריה עסקו אנשים במלאכה וביצירה. בתחום העיצוב ניתן למנות את תנועת "ארטס אנד קראפטס" ו-OY (עשה זאת בעצמך) מהמאות הקודמות. הגרסה העכשווית נקראת תנועת המייקרים, וניתן להגדיר אותה "כמספר הולך וגדל של אנשים המעורבים באופן פעיל בתהליכי ייצור והכנה של חפצים פיזיים ודיגיטליים תוך כדי שיתוף של ידע, תהליכים ומוצרים עם אנשים אחרים" (Halverson & Sheridan, 2014). המייקרים הם חלק מתנועה חובקת עולם של קהילות ובהן אנשים צעירים ומבוגרים לומדים להכין בעצמם מוצרים במגוון רחב של טכניקות ופרקטיקות ובחרים להסתכל על העולם מנקודת מבט יצרנית ולא רק צרכנית. החל ממוצרים דיגיטליים הכוללים מיני מעבדים וחיישנים, דרך מדפסות תלת ממד וחיתוך לייזר וכלה בבישול, אפייה, נגרות ותפירה.

מאמר זה סוקר פרויקט גמר בתכנית לתואר שני בעיצוב תעשייתי בבצלאל במסלול ניהול עיצוב. הלימודים בתואר השני בעיצוב בבצלאל מתייחסים למושג עיצוב בצורה רחבה יותר מאשר עיצוב של מוצרים או אובייקטים. במהלך הלימודים הסטודנטים רוכשים כלי מחקר מעולם העיצוב כדי לבחון עולמות תוכן מגוונים כמו רפואה, חקלאות צרכנות וחינוך מנקודת המבט של מקבל השירות או הצרכן הסופי (human centered research), כדי לאתר כשלים או בעיות בתוך מערכות אנושיות מורכבות ולתרגם אותם להזדמנויות עיצוב של פתרונות העולים מן השטח. התוצר העיצובי יכול להיות

* **מר בן אושר** - עוסק בשילוב בין חינוך מדעי לעיצוב, מפתח תוכניות הדרכה במזיאון ננו לאמנות ומדע ע"ש פטר בבר אילן, עורך שותף בעיתון "על כימיה" ומורה לכימיה במרכז לחינוך מדעי בתל אביב.

- למורים רבים אין מספיק ניסיון והכשרה בפיתוח של יוזמות חדשניות בהוראה.
- מורים ממעטים לפתח ו/או לשלב יוזמות חדשניות בהוראתם אם אין להם קשר לסילבוס לבגרות.
- מורים אינם מתוגמלים על יוזמות חינוכיות שהם מפתחים.
- מורים רבים הורגלו להיות צינורות ידע המועבר באמצעות ספרים ופרויקטים מוכנים.
- קיים עומס גדול על התלמידים בביצוע פרויקטים במקצועות אחרים.

"אני לא חושב פרויקט חלופי משום שזה מרדד את האמירה. אנחנו בדרך פשוט - את המצגת שלם נראית יפה, ואם בסופו? קדחה!". א' ייש מורים מכלני מטרם להפילם פרויקט שלם פיא שלם מכינים אצלנו, וכל מה שחשוב הוא להאמין ויצאנו בכלל". ד'

לצורך דיוק הפרקטיקות השונות שיש במייקינג (עשינויות בעברית) לקונטקסט של הוראת הכימיה, בוצעו תצפיות בשתי מעבדות מייקרים שבהן אוריינטציה מייקרת דיגיטלית (שימוש במיני מעבדים וחיישנים, מדכסות תלת ממד ומכונות לחיתוך לייזר). המעבדות ממוקמות במרכזים לחינוך מדעי ברחובות ובתל אביב. תוך כדי התייחסות למשאבים ולמגבלות המחקר, התמקד פרויקט זה בפרקטיקות מייקרות של הכנת מוצרי צריכה יומיומיים עתירי כימיה שמצד אחד מאפשרים הזדמנות לחקר מגוון ופתוח של התלמידים, ומצד שני אינם מצריכים מרחב עבודה ייעודי, הצטיידות בכלי עבודה וחומרים יקרים ובלתי נגישים למורי הכימיה.

שאלות המחקר שליוו אותי בתהליך היו:

1. כיצד אפשר ללמד כימיה לבגרות באמצעות מייקינג של מוצרי צריכה מחיי היומיום?
2. באילו דרכים משתלבים התכנים והמיומנויות הקוריקולריים בתוך פרויקט מייקרי?
3. כיצד ניתן לעודד מורים לכימיה ללא ניסיון והכשרה מוקדמים לשלב מייקינג בכיתתם?

הפרויקט שילב בין שתי גישות איכותניות לאיסוף ועיבוד מידע: מחקר עיצוב ומחקר פעולה. במרכזן של שתי הגישות מתקיים מהלך איטרטיבי, מעגלי: במחקר פעולה המורה-חוקר מבצע שינויים קטנים בפדגוגיה על מנת לבחון כיצד הדבר משפיע על הכיתה והתלמידים; השינוי הולך ומדייק את עצמו עם שיפור מתמיד של פעולת ההתערבות תוך כדי איסוף מידע רפלקטיבי של החוקר. מחקר עיצוב כולל אף הוא מסלול מעגלי שבו בונים אבטיפוס (פרוטוטיפ) ראשוני באמינות נמוכה, בודקים אותו בשטח (בכיתה) ומשפרים אותו בכל מהלך.

כימיה ולהשתמש בהם. החל ממוצרי היגינה וקוסמטיקה, צבעים, דבקים, חומרי ניקוי. הרשימה ארוכה. תופעות כימיות מסתתרות ברוב תהליכי הכנת המזון שלנו: יין, גבינה, שוקולד ולחם. רוב בני האדם צורכים מוצרים אלו בלי הרבה יכולת להבין את רשימת המרכיבים, את ההשפעה שיש להם על הבריאות שלהם ושל קרוביהם ואת טביעת הרגל הפחמנית שהם מותירים על הסביבה. לרוב הם אינם מודעים לאנרגיה שדרושה בהפקה של חומרי הגלם, בתהליכי הייצור, בשינוע ואף אינם מודעים להשלכות של המוצרים שבהם הם עושים שימוש כל חייהם.

הוראה בגישה יצרנית, "מייקרת", בכיתת הכימיה, סביב מוצרי הצריכה הסובבים אותנו, עשויה להביא בני נוער להתחשב יותר בסוגיות מעין אלו בהווה ולהביא אחדים מהם להפעיל שיקולים אחראיים יותר בנוגע למוצרי הצריכה שלהם בחייהם כבוגרים. ההשערה היא שהוראה מתמשכת של כימיה בדרך של הכנת מוצרים יומיומיים מאפסת תפתח בלומדים מסוגלות וביטחון לעשות שינויים בהרכב או בדרך ההכנה של המוצרים ותהפוך את התאוריה והמיומנויות שנרכשות בשיעורי הכימיה לרלוונטיות לכל חייהם.

צעד חשוב בעיצוב של מוצר או בשירות חדש הוא זיהוי של מאקרו גמגמות חברתיות וכלכליות המתעוררות בעולם ושעשויות להשפיע באופן משמעותי על סוגי המוצרים שהצרכנים ירצו בעתיד הנראה לעין. בחינת המגמות העלתה מספר דוגמאות המעידות על תהליכי עומק חברתיים, כלכליים ופוליטיים המקלים על אזרחים ובני נוער בכל העולם בבואם לקחת חלק פעיל ומגוון במאבק לצדק אקלימי ולהצלת כדור הארץ. (פרויקט שעת אפס [zero hour](#), אזרח חכם [smart citizen](#)). בנוסף נמצא כי ישנה התנגדות הולכת וגוברת של אנשים, בעיקר בעולם המערבי, להשפעה שיש לתרבות הצריכה ולתאגידים על החברה והסביבה, וכי התנגדות זו באה לידי ביטוי במגוון התארגנויות, שתנועת המייקרים היא רק אחת מהן.

על מנת להבין לעומק את הפוטנציאל הטמון בשילוב גישה מייקרת בתוך הוראת הכימיה, בוצעו ריאיונות ושיחות עם מורים לכימיה, מפתחי תוכניות לימוד חדשניות, חוקרים בתחום הוראת המדעים, מייקרים מהחינוך הבלתי פורמלי וגורמים בכירים בפיקוח להוראת הכימיה במשרד החינוך. מטרת הריאיונות הייתה לברר מהן התפיסות של השחקנים השונים במערכת בנוגע להטמעה של יוזמות חדשניות בהוראת הכימיה הפורמלית. עלו מספר תובנות שממצות את הסיבות לכך שמורים ממעטים לשלב בהוראה שלהם פרויקטים חדשניים או לפתחם בעצמם. תרגום התובנות להזדמנויות אפשרו להשתמש בחלק מהן כעקרונות עיצוב (design principles) בשלבים מתקדמים יותר של הפיתוח.

טבלה 1 מסכמת את הנושאים והתכנים שנלמדו במהלך היחידה. התלמידים נתבקשו לגדל כל אחד בביתו מחמצות במשך שבוע ימים, לאסוף תצפיות ולהעלות חוויות, תצפיות ותמונות לוואטסאפ הכיתתי. 11 תלמידים גידלו מחמצות, ובאירוע שיא שארך 24 שעות ונערך בזום הכינו תשעה תלמידים בצק מחמצת, ושישה מהם אפו לחמים. בנוסף להתכתבות בוואטסאפ איסוף המידע כלל גם הקלטות של שיעורי הזום, ונערך **סרטון וידאו** שמסכם את מהלך היחידה עם התלמידים מהבית.

כמהלך עיצובי אחרון פותח (באופן חלקי) משחק קופסה: "כמייקס" (הלחם בין CHEMISTRY & MAKING). "כמייקס" מזמין מורים יחידים, צוותים או קהילות מורים לכימיה לפתח בעצמם יחידות לימוד מייקרות המבוססות על ארבעת הממדים: שימוש, התנסות, עשייה ושיתוף. הפעילויות בקופסה פותחו בהשראת כלים של חשיבה עיצובית כמו סיעור מוחות (Brain storming) ומפת אמפתיה (Empathy map). הסדנה אינה ספר לימוד, והכרטיסיות אינן מכילות מידע תאורטי או הוראות לביצוע של ניסוי חקר אלא מבקשות לתת כבוד להון הידע ולניסיון של מורי הכימיה ולייצר עבורם מרחב פעולה כך שיעצבו בעצמם ולעצמם פדגוגיה חדשה, מבוססת מייק, במסגרת תוכני הלימוד והמימונויות הנדרשים של משרד החינוך. הקופסה היא רק אחת האפשרויות לשיתוף של קהל מורי הכימיה עם המודל שפותח במהלך הפרויקט ומבקשת להוות פלטפורמה נוספת להתפתחות המקצועית של מורי הכימיה בישראל.



המוצר: כמייקס סדנה בקופסה לפיתוח פעילויות מייקרות המחקר אודות הפוטנציאל שיש לתרבות המייקרים בחינוך הביא חוקרים ואנשי פרקטיקה לארגן את העקרונות ואת דרכי הפעולה של המייקרים בתוך מודלים תאורטיים (**יוצרים שינוי exploratorium learning dimensions**). על פי מודלים אלו זוהו ארבעה שלבים מרכזיים שמתרחשים בכל פעולה מייקרת ושנחשבים כערכי ליבה של הפעולה המייקרת:

- שימוש **Using** חקר אודות המוצר: הוראה בטכניקות מגוונות (כיתה הפוכה, מחקר עצמאי ולמידת עמיתים) אודות מרכיבי המוצר ואופני הכנתו תוך כדי התאמת המידע לנושאים הקוריקולריים של הברגרות בכתב.
- התנסות **Experimenting** התנסות במעבדה - ביצוע של ניסויי חקר ברמות שונות עם המוצר ומרכיביו כך שיתאימו למבנה הדרישות של הברגרות בעל פה.
- עשייה **Making** תכנון של אירוע מייקינג שכלל תכנון והכנה של המוצר על בסיס הידע שנצבר בחלקים הקודמים.
- שיתוף **Sharing** יצירת הזדמנויות לשיתופי פעולה בתוך הכיתה ושיתוף המידע שנוצר עם מעגלים חברתיים חיצוניים לכיתה: בית ספר, משפחה ועוד.



ניסוח ראשוני של המשמעות של כל אחד מהשלבים אפשר בניית פרוטוטיפי של יחידת לימוד מייקרת סביב מוצר כימי והעברתו בכיתה. לצורך דיוק המשמעות שיש לכל אחד מהערכים של המייקרים בתוך הקונטקסט של מבנה הלימודים בכימיה, הועברו 2 יחידות לימוד מייקרות. משתתפי המחקר היו 17 תלמידי מגמת הכימיה שלומדים במרכז לחינוך מדעי (11 בנות ו-6 בנים משלושה בתי ספר שונים בתל אביב).

פרוטוטיפי: הכנת מחמצת ולחם מחמצת - יחידה זו נבנתה והועברה במהלך סגר הקורונה (מרץ 2020) וכללה הכנה של מצגת הוראה אודות הכימיה שבמרכיבי הלחם והיבטים כימיים בשלבי ההכנה של לחמי מחמצת.



דוגמאות לפעילויות מתוך סדנת כמייקריס:

בחירת המוצר: כל משתתף בסדנה בוחר כרטיסיה עם מוצר מחיי היומיום אליו הוא מתחבר וממלא מפה (קובץ מוכן מראש המצורף לסדנה באמצעות כונן נייד) על המוצר ומתאר מדוע בחר במוצר, מה הוא כבר יודע על המוצר, ומה הוא עוד צריך ללמוד על מנת לדעת לייצר אותו בעצמו.

פעילות לדוגמא מתוך הסדנה: בחירת המוצר, משחק כרטיסיות

ולהדביקם מסביב למעגל החיצוני. צבעי הפתקיות מחולקים לפי הקשרים לתכנים עבור שכבות גיל שונות. כל משתתף מתבקש לכתוב רעיונות להקשרים רבים ככל האפשר. לאחר פעילות זו ישנו איסוף וסינון של רעיונות ובחירה של שכבת הגיל המתאימה למוצר הנבחר ולמבנה הלימודים.

סיעור מוחות כימי: בפעילות זו משתתפי הסדנה מתבקשים להתאים תכנים ומושגים מתוכנית הלימודים הקיימת עם המוצר שנבחר. יש להדפיס דף סיעור מוחות כימי מתוך הכונן הנייד. במעגל החיצוני רשומים כל נושאי הלימוד מתוכנית הלימודים הנוכחית בכימיה: מבנה האטום סטוכיומטריה, חומצות ובסיסים וכו'. במעגל הפנימי כותבים את הרכיבים ושלבי ההכנה העיקריים שיש למוצר שנבחר. יש לגזור את מעגל הרכיבים והשלבים ולהניחו בתוך המעגל החיצוני לפי הסימון. לצורך הפעילות מורים מתחלקים לקבוצות ועובדים בשיתוף פעולה. כל עשר דקות חברי קבוצה אחרת מופנים לאזור אחר מתוכנית הלימודים, והם מתבקשים לכתוב על פתקיות דביקות ובהן כמה שיותר הקשרים לתוכנית הלימודים



פעילות לדוגמא מתוך הסדנה: סיעור מוחות כימי, התאמת תכנים מתכנית הלימודים למוצר

1. Affeldt, F., Tolppanen, S., Aksela, M. & Eilks, I. (2017). The potential of the non-formal educational sector for supporting chemistry learning and sustainability education for all students—a joint perspective from two cases in Finland and Germany. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(1), 13-25.
2. Anderson, C. (2012). *Makers: The new industrial revolution*. Random House.
3. Childs, P. E., Hayes, S. M., & O'dwyer, A. (2015). Chemistry and everyday life: Relating secondary school chemistry to the current and future lives of students. In *Relevant chemistry education* (pp. 33-54). Brill Sense.
4. Fernández, C. (2015). The origins of the maker movement. *OpenMind*. Retrieved on August 20, 2018.
5. Halverson, E. R., & Sheridan, K. (2014). The maker movement in education. *Harvard educational review*, 84(4), 495-504
6. Hofstein, A., Eilks, I., & Bybee, R. (2011). Societal issues and their importance for contemporary science education—a pedagogical justification and the state-of-the-art in Israel, Germany, and the USA. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9(6), 1459-1483.
7. Holbrook, J. (2005). Making chemistry teaching relevant. *Chemical education international*, 6(1), 1-12.
8. Ingold, T. (2012). *Thinking through making*. Presentation from the Institute for Northern Culture 'Tales from the North.' Viewed at: <https://www.youtube.com/watch?v=Ygne72-4zyo>
9. Martin, L. (2015). The promise of the maker movement for education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 5(1), 4.
10. Sheridan, K., Halverson, E. R., Litts, B., Brahms, L., Jacobs-Priebe, L., & Owens, T. (2014). Learning in the making: A comparative case study of three makerspaces. *Harvard Educational Review*, 84(4), 505-531.
11. Rosenfeld, S., Yayon, M., Halevi, R., & Blonder, R. (2019). Teachers as Makers in Chemistry Education: an Exploratory Study. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(1), 125-148.
12. Van Driel, J. H., Bulte, A. M., & Verloop, N. (2005). The conceptions of chemistry teachers about teaching and learning in the context of a curriculum innovation. *International Journal of Science*
13. Zeichner, K. (2001). Educational action research. *Handbook of action research: Participative inquiry and practice*, 273-283