

תוכנית רוטשילד-ויצמן למצוינות בהוראת המדעים
שילוב מיקרוסקופ AFM בהוראת הכימיה

שילוב מיקרוסקופ AFM בהוראת הכימיה
מגישה: פאדיה חטיב
מנחים: ד"ר רון בלונדר וד"ר סידני כהן

תאריך הגשה: 17.5.2011

תוכן העניינים

1	תוכן עניינים
2	רשימת נספחים
3	תקציר
4	פרק א- רקע מדעי
4	הקדמה
4	מיקרוסקופ אטומי (AFM)
5	מבנה ה-AFM
6	עקרון הפעולה של AFM
7	AFM בהוראת המדעים
8	מודלים בהוראת המדעים
10	פרק ב' - מטרת המחקר
10	שאלות המחקר
10	השערות
12	פרק ג' - תיאור הפעולה
12	אוכלוסיית היעד
12	תיאור ההפעלה, חומרי למידה
14	כלי משוב והערכה
16	פרק ד' - ממצאים
16	שאלון העמדות
16	תצפיות מתוך השיעורים
17	שאלון הידע
19	מפת המושגים
21	פרק ה' - דיון ומסקנות
24	דיון ביקורתי
24	המלצות להוראת הכימיה
25	כווני מחקר המשכיים
26	מקורות

רשימת נספחים

נספח מס' 1: שקפים מודפסים של המצגת בנוכימיה ומיקרוסקופ AFM

נספח מס' 2: ניסוי מס' 1 (בניית מודל המתאר מיקרוסקופ AFM)

נספח מס' 3: שאלון העמדות

נספח מס' 4: שאלון הידע

נספח מס' 5: מפת המושגים

תקציר

מחקר זה דן בהעברת הנושא המתקדם, ננוכימיה ומיקרוסקופ AFM לשדה החינוכי בבית הספר, ובוחן את הקשר בין לימוד נושאים מתקדמים וחדשניים להעמקת הבנת נושאים בסיסיים הנלמדים לפי תוכנית הלימודים בכימיה, כמו כוחות בין מולקולריים. AFM משמש ככלי יסודי בחקר החומר בסקאלות הננומטריות למטרות דימות ומדידה, הזזה וחיתוך מולקולות במיוחד לחקירת פני שטח של חומרים. מיקרוסקופ AFM בעל רזולוציה גבוהה מאד, וכושר ההגדלה שלו גבוה פי אלף ממיקרוסקופ אופטי רגיל. בסריקה פשוטה של פני השטח של החומר באמצעות המיקרוסקופ מתקבלת טופוגרפיה תלת ממדית של הדגם שנותנת את מבנה פני השטח, או מולקולות הספוחות על פני השטח ברזולוציה גבוהה.

על מנת לחשוף את התלמידים למדע מתקדם, ליצור מוטיבציה ולחזק את עמדותיהם החיובית של התלמידים כלפי הנושא הנלמד, פותחה במחקר זה יחידת הוראה בית ספרית מגוונת מתבססת על ננומדע. ובמקביל פותחו כלי הערכה ומשוב מתאימים. יחידת ההוראה הועברה לקבוצת תלמידים מכתה י"א אשר למדו כוחות בין מולקולריים. ממצאי המחקר מאששים את השערות המחקר ומצביעים על כדאיות וחשיבות החדרת נושא ננוכימיה ומיקרוסקופ AFM לשעורי הכימיה. הלמידה של נושא זה, הובילה להעמקת ההבנה בתכנים כימיים של המבנה הננומטרי של החומר ושל הכוחות בין מולקולות, אטומים ואטומי ה-Tip כיוון שמיקרוסקופ AFM הציג באופן מוחשי את הנושא של כוחות בין מולקולריים שהוא נושא מופשט.

מסקנות המחקר מדגישים, שחשיפה לחומרים בקני מידה זעירים ביחס לחומרים מאקרוסקופיים, הסבר על תכונותיהם המיוחדות של הננוחומרים והסבר רחב על מיקרוסקופ שיכול לדמות חומרים מסוג זה, גרמו לתלמידים להתעניין יותר ולקדם את הבנתם למושגי בסיס בכימיה. נכתבו המלצות למורים, שהן פרי המחקר הזה, אשר נותנות מידע חיוני למורים שרוצים ליישם יחידת הוראה זו. המלצות אלה מיועדות לעזור בהעברת הפעילות באופן מוצלח ופורה. בהמלצות ישנה גם התייחסות לקשיים ספציפיים שאובחנו אצל התלמידים, כמו התמודדות עם רמות חשיבה שונות, הצגת חלקיק בודד במקום צבר, חוסר אבחנה בין פריטי מידע של אותו הפרק, והוצעו פתרונות לקשיים אלה.

הקדמה

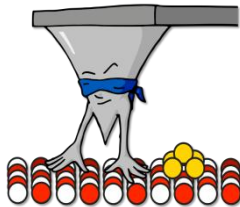
ננוטכנולוגיה הינה היכולת ליצור חומרים התקנים ומערכות בעלות תכונות ושימושים חדשים על ידי עבודה ברמות האטומית והמולקולארית (Roco, 2001).

ננוטכנולוגיה עתידה לשנות את העתיד שלנו באופן משמעותי, תחזיות עתיד בתחום הננוטכנולוגיה צופות כי השפעת הננוטכנולוגיה תהיה במגוון תחומי החיים: חשמל, אלקטרוניקה, תקשורת, רפואה, סביבה ועוד. כאשר עוסקים בסקלות ננו מטריה, שהן בממדים של אטומים ומולקולות, הבחנה בין חומרים ואפילו בין דסצפלינות מדעיות תחדל להתקיים (Planinsic, & Kova, 2008).

ננוחומרים, עם תכונותיהם המדהימות והיוצאות דופן, הופכים ליותר ויותר נפוצים בחיי היום יום שלנו. למשל, מוצרי קוסמטיקה של אנטי איג'ינג, ציפויים אנטי בקטריאליים במקררים, ציפויים שונים שהופכים את הטקסטילים והרהיטים עמידים לכתמים, כל אלה ועוד הרבה אחרים הינם מוצרי הננוטכנולוגיה. חשיפה לעולם הננו ודרך הדמית חומרים בעזרת מיקרוסקופ כוח אטומי (AFM), ניסיון יכול להיות טריגר להטמעת הנושא בחינוך הבית ספרי. עקרונות הפעולה הפשוטים של מיקרוסקופ AFM הופכים אותו לכלי אינטראקטיבי המתאים להוראה בתיכון, בניגוד לכלי אפיון אחרים בעלי רזולוציה אטומית ומולקולרית, דבר ההופך אותו לכלי מעניין שבאמצעותו אפשר להציג את עולם הננו לתלמידים.

מיקרוסקופ כוח אטומי (AFM)

AFM הוא אחד הכלים החשובים והשימושיים במחקר ופתוח בתחום הננוטכנולוגיה. ה-AFM הראשון הומצא בשנת 1986, ע"י המדענים Binnig, Rohrer, & Gerber והוא משמש מאז ככלי יסודי בחקר החומר בסקאלות הננומטריות למטרות דימות ומדידה, הזזה וחיתוך מולקולות במיוחד לחקירת פני שטח של חומרים (בלונדר, 2010). מיקרוסקופ AFM בעל רזולוציה גבוהה מאד, וכושר ההגדלה שלו גבוה פי אלף ממיקרוסקופ אופטי רגיל. בסריקה פשוטה של פני השטח של החומר באמצעות המיקרוסקופ מתקבלת טופוגרפיה תלת ממדית של הדגם שאמנם לא ניתן להסיק ממנה את הרכב החומר*, אבל נותנת את מבנה פני השטח, או מולקולות הספוחות על פני השטח ברזולוציה גבוהה, איור 1.1 מציג בהומור את אופן הפעולה של מיקרוסקופ ה-AFM.



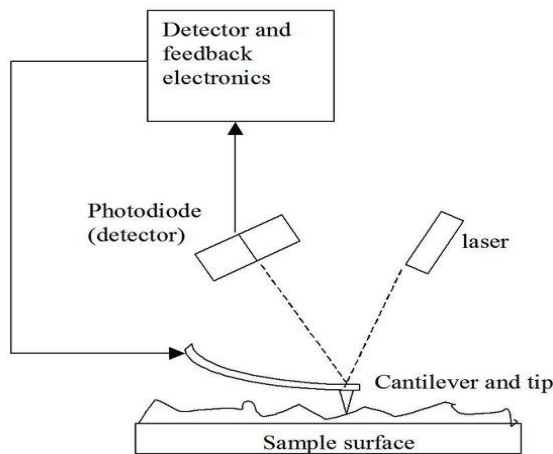
איור 1.1: תיאור סכמטי של AFM אשר סורק את פני השטח של דוגמה

*בשיטות מתקדמות יותר המשלבות AFM עם עידן נוסף כגון הרכב החומר, הסתברות מטען ועוד. ניתן להשיג מידע כימי נוסף.

יתרון נוסף של המיקרוסקופ הוא ביכולת לדמות פני שטח של חומרים מסוגים שונים אשר אינם חייבים להוליך זרם חשמלי, למשל: פולימרים, זכוכית וחומרים ביולוגיים, וגם יכולתו למדוד אינטראקציות עם המשטח באותו זמן. כמו כן, ניתן לבצע את המדידות במדיום שונה. רוב החסרונות של מיקרוסקופ כוח אטומי נוגעים לזמן הרב, יחסית, שאורכת מדידת דגימה אחת. בנוסף, שטח הדגימה וטווח הגבהים הטופוגרפיים הניתנים למדידה קטנים מאוד. לכן שיטה זו מתאימה רק לדגמים בעלי שינויי גובה קטנים במיוחד.

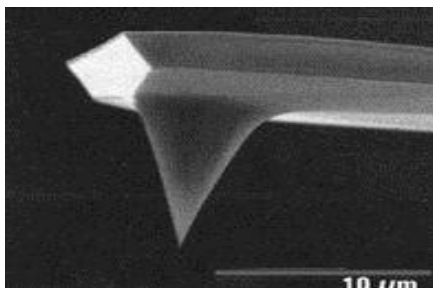
מבנה ה-AFM

ה-AFM כולל את החלקים הבאים (קריגר, וסלע, 2010): מחט דקה (Tip), זרוע (cantilever), מערכת משוב, לייזר, גלאי הכולל דיודה רגישה לאור ומערכת קבלה ותרגום נתונים, כפי שמתואר באיור 1.2.



איור 1.2: דגם כללי של AFM המכיל: מחט סורקת (Tip) זרוע, (cantilever) לייזר ודיודה הרגישה לאור שתפקידם לתת משוב וביטוי.

המחט (Tip) הוא הרכיב שבא במגע עם הדוגמה והוא עשוי בדרך כלל מסיליקון או סיליקון נטריד. צורתו של ה-Tip פירמידאלית או טטרהדרלית של שני מיקרון. הרדיוס של קצה ה-Tip בין 5 ל-10 ננומטר (בערך 100 אטומים) איור 1.3 מציג תמונה של Tip של AFM.



איור 1.3: מציג תמונת Tip של AFM

ישנן מספר דרישות מה-Tip על מנת שיתפקד היטב:

הטיפ צריך להיות חד ודק כדי שיוכל להיכנס לכל השקעים שבדוגמה. וגם למפות את הפליטות באופן מדוייק. מבחינה מכאנית, חשוב שה-Tip יהיה חזק כדי שלא ישבר או יתכופף בזמן הסריקה כדי שרק הקנטיליבר יתכופף באופן זה, נוכל לפרש את התנודות של ה-Tip כתוצאה מאינטראקציה פסיקלית שבין ה-Tip לפני השטח, ולא בגלל כיפוף של ה-Tip. מבחינה כימית דרושה יציבות לסביבה, שלא תהיה תגובה עם הסביבה הנסרקת.

הזרוע, *cantilever*: היא הזרוע שמחזיקה את ה-Tip היא גמישה אך חזקה, באורך של 100 מיקרונים רוחב 20-50 מיקרון ועובי 0.3-2 מיקרונים, ותנועתה מתורגמת לשינוי בתבליט פני השטח של הדגם. קרן לייזר: מוטלת על הזרוע כך שכל שינוי בגובה הזרוע יגרום לשינוי במיקום קרן הלייזר המוחזרת ממנו ונופלת על גלאי.

גלאי: מתרגם את השינוי במיקום קרן הלייזר לשינוי גובה בדגם. כל האינפורמציה המתקבלת נאספת על מסך אלקטרוני.

עקרון הפעולה של AFM

AFM פועל ע"י סריקת פני שטח של דוגמה באמצעות Tip חד הדומה למחט של פטפון הסורקת תקליטור מוסיקה. ה-Tip מוחזק בסוף הזרוע, *Cantilever*, שצורתו כמו מקפצה בבריכה. כשה-Tip נדחה או נמשך לפני השטח ע"י אינטראקציות בין מולקולות או אטומי ה-Tip לאלה הנמצאים על פני שטח הדוגמה הנסרקת, ה-*Cantilever* מוסח יחסית, גודל הסטייה נתפס ע"י מערכת זיהוי ותרגום הנתונים, בדרך כלל הלייזר נשקף אל הגלאי, *photo detector*, בזווית אלכסונית מהסוף הקיצון של ה-*Cantilever* (Blonder, Joselevich, & Cohen, 2010).

כשה-Tip סורק את פני השטח מערכת משוב מעלה ומורידה את הדוגמה הנסרקת על מנת לשמור על כוח קבוע בין ה-Tip ופני השטח. העלילה של תנועה זו כלפי מעלה וכלפי מטה כפונקציה של מיקום ה-Tip על פני שטח הדוגמה מספק תמונה טופוגרפית ברזולוציה גבוהה. עקרון פעולה זה נקרא "contact mode".

לחלופין ה-Tip יכול לרטוט במהירות מעלה ומטה כאשר הוא נצמא בטווח מגע עם פני השטח בעת סריקתו. עקרון פעולה זה נקרא "tapping" "semi contact" או "dynamic" והוא בעצם עקרון הפעולה הנפוץ ביותר (Blonder, Joselevich, & Cohen, 2010), עקרון פעולה זה מוביע נזק שעלול להגרם ע"י גרירת אטומים או מוליקולות על פני השטח הנסרק. התמונה על המסך מייצגת את הטופוגרפיה של פני השטח ולא השתקפות תמונה כתוצאה מהעברת אור כמו במיקרוסקופ אופטי.

AFM יכול גם כן להיות מצויד במצלמת וידאו שמאפשרת למשתמשים לצפות איך ה-*cantilever* ניגש וסורק את פני השטח. במעבדה המצלמה הזו היא בעלת פונקציה שימושית המאפשר לראות את המקום הנסרק, אך בשילוב ה-AFM בהוראה יש למצלמת הווידאו פונקציה חינוכית בכך שהיא נותנת תחושה על קנה המידה של הניסוי. ומאפשרת לראות בו זמנית את פני השטח בסקלה מקרוסקופית ואת

התצורות המיקרוסקופיות (ואף אטומים ומולקולות), פעילות המתווכת בין עולם המקרו ועולם הננו בהבנת התלמידים.

הערך החינוכי של AFM כבר הוצג במספר מאמרים בספרות החינוכית של הוראת הכימיה. למשל פותחו עבור תלמידי תיכון מודלים להסברת והבהרת עקרונות הפעולה של מיקרוסקופ AFM, וכן ניסויי מעבדה שיש בהם שימוש ב-AFM (Hingant, & Able, 2010). בעבודת הגמר השתמשתי בפיתוחים אלה על מנת להעביר את הנושא המדעי המתקדם, ננוכימיה, לשדה החינוכי בבית הספר, ועל מנת להעמיק את ההבנה של תלמידי בנושאים בסיסיים הנמצאים בתוכנית הלימודים בכימיה.

AFM בהוראת המדעים

התפקיד המרכזי שממלא המכשור בפתוח ננומדעים וטכנולוגיות, הודגש במהלך סדנאות NSF בשנת 2006 כחלק מן החלקים המרכזיים שהוגדרו "הרעיון הגדול" של ננוטכנולוגיה (Hingant & Able, 2010). האפשרות להתבונן ולמדוד אובייקטים בגודל ננו מהווה צעד מכריע לקראת פתוח ננומדע וננוטכנולוגיה (NNI, 2007; Schank et al., 2007; Vinck, 2009). כתוצאה מהשימוש הרב בכלים חדשים אלה, ובמיוחד AFM, מוקנה להם מקום נכבד בקורסים ממורכזים ננו באוניברסיטה או בהוראה מתמשכת על מדעי ננו סקלה בבתי ספר תיכוניים (Introduction to materials and nanotechnology, 2009). עם זאת, המגבלה הגדולה בשימוש במכשור זה, היא העלות הגבוהה מאד, אשר הופכת את השימוש בהם ללא אפשרי עבור מרבית בתי הספר (Madden et al., 2007). כדי לבדוק את השפעת השימוש במיקרוסקופ AFM על הלמידה והמעורבות של התלמידים, נעשו שלושה מחקרים. כל שלושת המחקרים נטו להסכים כי ההשפעה היא חיובית: חוויות חינוכיות שבועיות בתחום הזה לתלמידי בית ספר, משפיעות לחיוב על עמדות התלמידים לגבי המדע (Hingant, & Able, 2010). כמו כן, עולה כי השימוש ב-AFM וההדמיות שהוא נותן, הם כלים שעשויים להציע גישה משמעותית כדי להתמודד עם מושגים של סדרי גודל וקנה מידה. בהנחה שכוחות ואינטראקציות הינם מושגים מרכזיים, המאפשרים ללמד ולהבין כמה תופעות בקנה מידה ננומטרי, כלים כמו AFM יכולים באופן ישיר לעזור בהבניית יכולת הבנה של מושגים אלה. אחד הקשיים המרכזיים בהוראת כימיה הוא הצורך לגשר בין המאקרו (התופעה) והמיקרו (הרמה של האטומים והמולקולות) (Dori & Hameiri, 2003; Johnstone, 1991). מיקרוסקופ AFM יכול לגשר ולמזער את הפער בין עולם המאקרו ועולם המיקרו. ע"י השימוש במצלמת וידאו שאפשר להוסיף למיקרוסקופ (רמת מאקרו) ותמונת הסריקה (רמת מיקרו) התלמידים יכולים להתבונן בעת ובעונה אחת על ה-Cantilever של ה-AFM סורק את השטח של הדוגמה (כפי שמצולם במצלמת וידאו) ועל ההדמיה של פני השטח ברזולוציה ננומטרית (ע"י ה-Tip של ה-AFM) (Blonder, Joselevich, & Cohen, 2010). בנוסף לחיזוק מושגים כימיים כמו כוחות בין מולקולריים, מאקרו, מיקרו, ה-AFM יכול לשמש בהוראת כימיה מודרנית מתקדמת למשל לתת הדמיה מולקולארית של החומר התורשתי DNA. וכן

הוא יכול לשמש לויזואליזציה מבנים ננומטרים כמו ננו צינוריות של פחמן, ננו חלקיקים של זהב שנחשבים ננוחומרים הכי פופולאריים ובתחומים אלה משמש ה-AFM כמכשיר מדידה, המסייע בקביעת הצורה הננומטרית: אורך, קוטר וכדומה (Blonder, Joselevich & Cohen, 2010). שאלה נוספת שחשוב להתייחס אליה בהוראת ננוטכנולוגיה היא כיצד אפשר להוסיף ולשלב תופעות ננומטריות בשעורי המדע? בעיה זו אינה ספציפית לננומדע וננוטכנולוגיה. עם זאת, בעיה זו בולטת במיוחד כשזה הכרחי לחזק את הקשרים בין דסצפלינות מסורתיות כדי ללמד מושגים בנושא הננו. בנושא הזה חוקרים מציעים שימוש ב-"מדע הננו, סקלה והנדסה" כנקודת מוצא ליצירת קישור בין ננוטכנולוגיה לבין הדסצפלינות המסורתיות (Hutchinson et al., 2009). רעיון זה תואם לתובנות המסמך "הרעיונות הגדולות של ננומדע והנדסה" (Stevens et al., 2009), אשר טוען כי הננומדע יכול לטפח ולתמוך בשאר הדסצפלינות המדעיות בתוכנית הלימודים. בנוסף, Bryan et al. (2007) מדגישים שלא ניתן להפריד בין הצגת ננומדע וננוטכנולוגיה בכיתות בבתי ספר תיכוניים ובין טיפול בפדגוגיה המתאימה לכך על ידי חוקרים בהוראת המדעים ומורים.

מודלים בהוראת המדעים

שילוב מודלים בהוראת הכימיה מסייע לתלמידים להבין באופן מוחשי את התופעות ואת התהליכים המוסברים במהלך שיעורי הכימיה, למשל הסבר על תהליכים שקשה להבינם. חוקרים רבים ממליצים על שימוש במודלים בהוראה כדי לעזור ללומדים לדמיין תופעות ולפשט מושגים (Gabel & Sherwood, 1980). החוקרים טוענים כי המודלים הם מתווכים חזותיים בין העולם הדמיוני של התיאוריה לבין העולם המוחשי (Gilbert, 1997).

The National Science Education Standards קבעו סטנדרטים אודות מודלים:

- המודלים הם סכמה או מבנה ניסיוני שמתאים לאובייקטים אמיתיים, אירועים או סוגים שונים של אירועים ומשמשים ככוח הסבר.
- מודלים עוזרים למדענים ומהנדסים להבין איך הדברים עובדים.
- למודלים ישנם כמה צורות, כולל אובייקטים פסיקליים, תוכניות, מבנים מנטאליים, משוואות מתמטיות וסימולציות ממוחשבות (NRC, 1996:117).

המדע כחקר הדגיש את חשיבות ההבנה של התלמידים וכיצד הם יודעים מה שהם יודעים במדע. יתר על כן התלמידים צריכים להבין מדוע נבנו המודלים. מה שמשתמע מהסטנדרטים הקודמים הוא שהתלמידים צריכים לפתח הבנה למידע הפרוצדורלי בתוך מרחב המדע שמשמש במודלים (Erduran & Duschl, 2004). הסטנדרטים מדגישים את חשיבות דרך השימוש במודלים בשיעורי הכימיה. כשאנחנו בוחנים את אופן השימוש במודלים כימיים בהוראה, ראשית, מודלים כימיים ניתנים לתלמידים כגרסה אחרונה למידע שלנו. שנית, ספרי הלימוד אינם מבחינים בין סוגים שונים של מודלים, (Glynn, Britton, Semrud-Clickman & Muth, 1989) ובמקום זה מציינים "מודלים היברידיים" לא מדויקים (Justi & Gilbert, 2000). שלישית, מודלים נרדפים בכימיה לעיתים

מוחלפים במודלים פיזיים, למשל, של כדור מקל שמשמש בהם לצורך ויזואליזציה (Grosslight *et al.*, 1994; Leisten, 1994).
העובדות מציעות, שמודלים הסברתיים יכולים להיות לא תוצר של פעילות מעבדתית אם בנייה מפורשת של מודלים לא מומצת (Schauble *et al.*, 1991).
לפי אופן השימוש במודלים לא מפתיע שהתלמידים מתקשים בהם. הבנת מודלים כימיים אצל התלמידים, מאופיינת בשלושת דרכי הבנה (Grosslight *et al.*, 1991):
הדרך הראשונה, התלמידים חושבים שמודלים הם משחקים, או עותק של המציאות שיכולה להיות לא מושלמת בגלל צורת עיצוב המודל. דרך ההתייחסות השנייה, שלמודלים צריכה להיות מטרה ספציפית עם השלכות מסוימות למציאות, מוגבלות או משופרות. הדרך השלישית, מודלים נבנו כדי לפתח רעיונות ולא להיות עותק של המציאות.
לקורס קצר בתחום של ננוטכנולוגיה יש פוטנציאל גבוהה לגרום רמה גבוהה של תסכול ומידה נמוכה של למידה אצל התלומדים. התלמידים מוצפים במספר עצום של מושגים ומונחים חדשים ועלולים ללכת לאיבוד בתוך ים המושגים החדשים (Novak, Rivet & Fahlman, 2010). כדי לבדוק יעילות קורס כזה, יש ללוות את הקורס באמצעים פשוטים של הערכה, כמו מפת מושגים שתאמוד את רמת ההבנה של המושגים בכל נושא מכוסה בקורס. מאז היישום הראשון של מפת המושגים ע"י Novak ועמיתים לעבודה, באמצע שנות השמונים (Novak & Gowin, 1983; Novak & Gowin, 1984), נמצא כלי פדגוגי זה כבר בשימוש רחב ומיושם על מנת להעריך את מידת הלמידה של התלמידים במגוון רחב של תוכניות לימודים (Tergan, Keller, Burkhard & Inform, 2006). בנוסף להיותו כלי הערכה ישנן דוגמאות רבות לשימוש מוצלח של מפות מושגים כדי לסייע בהבנה מושגית, בעיקר בתומי מדעי הטבע.

פרק ב' - מטרת המחקר

חשיפת התלמידים למדע מתקדם וכלים במחקר עכשווי בתחום של ננוטכנולוגיה על מנת לעודד את התלמידים ללמוד כימיה בהמשך. ההוראה תתמקד במיקרוסקופ כוח אטומי, AFM, כהקשר מדעי מתקדם לקידום הבנת התלמידים בנושאים בסיסיים בכימיה, וככלי המסייע ללומדים לקשר בין הרמה המקרוסקופית לרמת המיקרו והננו.

שאלות המחקר

1. האם הוראת הנושא ננוכימיה תעלה את המוטיבציה ההמשכית של התלמידים ללמוד כימיה?
2. האם הוראת נושא ננוכימיה תקדם את הידע של התלמידים בנושא ננוכימיה?
3. כיצד הוראת הנושא ננוכימיה בכלל, ומיקרוסקופ כוח אטומי AFM בפרט משפיעה על הבנת המושג כוחות בין מולקולריים?

השערות

מספר מחקרים מצביעים על הכדאיות והחשיבות של החדרת הנושא ננוכימיה לתוכנית הלימודים בבתי ספר תיכוניים, בגלל חשיבתו הרבה של נושא ננוכימיה וננוטכנולוגיה שהולכת וגוברת כל יום. נושא עתידי זה, דורש אינטגרציה והבנה בין דיסציפלינות שונות כמו פיסיקה, כימיה ומדעי חומרים, ביולוגיה, מדעי מחשב וכדומה, אשר מתחברים יחד כדי ליצור מחקר המוביל לטכנולוגיה חדשה. בנוסף, מדינות העולם זקוקות לעתודה של מדענים צעירים מעולים, ולפיכך יש ללמד בבית-הספר התיכון מקצועות חדישים ו"רלוונטיים" כגון ננוטכנולוגיה. וישפיע בבוא העת על בחירת מסלול הלימודים האקדמיים שלהם.

הנושא ננוכימיה וננוטכנולוגיה הוא נושא חדש ועדיין נמצא בהתפתחות מתמדת, עד כדי כך שמרבית מורי המדעים לא נחשפו לתחום זה בלימודיהם האקדמיים ולכן אני משערת שאף תלמידי תיכון עדיין לא נחשפו לתחום. כל מידע חדש בהוראת הנושא יוסיף להם ידע בראש ובראשונה בנושא ננוכימיה.

בנוסף, למידה שיטתית של נושא ה-AFM, תוביל להעמקה בתכנים כימיים והבנת תכונות החומר מתוך מבנהו בסקלה ננומטרית, אשר עליהם מבוסס אופן פעולתו של המיקרוסקופ. מיקרוסקופ AFM כהתקן המאפשר לדמות ננוחומרים, בעזרתו ניתן למדוד כוחות ואן-דר-ולס בין אטומי ה-Tip ובין אטומי הדוגמה הנסרקת באופן אנלוגי למה שמתרחש בין שתי מולקולות. ואכן, מספר מאמרים טוענים כי הוראת עקרון הפעולה של מיקרוסקופ כוח אטומי בעלת פוטנציאל להמחיש ולהרחיב את הבנת הנושא כוחות בין מולקולריים אצל תלמידי תיכון (Blonder, Joselevich, & Cohen, 2010).

חיבור הנושא הנלמד כוחות בין מולקולריים עם נושא מרתק מעולם המדע החדשני תחזק העמדות החיוביים של התלמידים כלפי הנושא ותגביר את תפיסתו בצורה נכונה אצל התלמידים.

תלמידי תיכון בדרך כלל משננים חומר לבגרות ללא הבנה אמיתית. הם לומדים לפתור בעיות מסוג מסוים ומאבדים את העשתונות כשהם נתקלים בבעיה המנוסחת בדרך בלתי-שגרתית. חשיפתו של

המבנה הלוגי-קונספטואלי של תחום מדעי מעניקה לתלמידים הזדמנות להתגבר על תחושת הניכור מהתחום ולהפנים אותו בצורה ראשונית דרך האינטלקט חשיבותו הרבה של נושא בנוכימיה והננוטכנולוגיה בעולם, גוברת בשנים האחרונות והוא זוכה להכרה רחבה בגלל השלכותיו החברתיות והכלכליות. הוא נושא שנחשב כעוגן של המהפכה התעשייתית ולכן מדינות העולם עושות מאמצים כדי להיות בחד החזית של המדע ומחקר הננו סקלה. פתוח מדעים וטכנולוגיות, מעלה הרבה שאלות ובפרט את השתקפות החינוך, ולכן הרבה מדינות כעבור כמה שנים מנסות להציג את הננומדע בתוך מערכת החינוך של בתי הספר התיכוניים. האפליקציות העתידיות של התחום יחדדו אצל התלמידים את קישור נושאי הלימוד בכימיה לחיי היומיום של הלומד.

פיתוח תוכניות לימודים לבית הספר התיכון הכוללות ננומדע וננוטכנולוגיה ברמה טובה מחייב מחקר על אופן העברת הנושא בבתי הספר, על שיטות ההוראה שישמשו בהם, חיבור הנושא עם הנושאים הנלמדים בקוריקולום וכדומה. לפיכך, בחרתי לבדוק האם חיבור הננוכימיה והננוטכנולוגיה כנושא עדכני וחשוב לנושא כוחות בין-מולקולריים אשר נלמד לפי תוכנית הלימודים בכימיה, יעזור לתלמידים להבין טוב יותר את הנושא הנלמד וגם לצבור ידע בנוכימיה, וישפיע על המוטיבציה של התלמידים ללמוד כימיה בעתיד.

פרק ג' - תיאור הפעילות

אוכלוסיית היעד

אוכלוסיית היעד היא כיתה י"א המורכבת מ- 41 תלמידים בני 17 (30 בנות ו- 11 בנים) מבית ספר תיכון טירה עמל 1 מהעיר טירה המשולש, ישראל. הכיתה היא כיתה מדעים: כל התלמידים לומדים 5 יחידות כימיה. חלק מהתלמידים לומדים בנוסף לכימיה גם ביולוגיה, ומעטים לומדים בנוסף לכימיה, גם ביולוגיה וגם פיסיקה. התלמידים מסיימים בסוף 2011 שלוש יחידות בכימיה לפי התוכנית החדשה של משרד החינוך. עד תחילת מחקר זה התלמידים למדו בכימיה מושגי יסוד, מבנה האטום, שפת הכימאים, המערכה המחזורית, מבנה וקישור כולל כוחות בין מולקולריים.

תיאור ההפעלה, חומרי למידה

לשם מחקר זה פותחה יחידת הוראה בעלת מספר שלבים בעלי מטרות שונות. במקביל, פותחו כלי הערכה ומשוב כדי להעריך את יעילות היחידת ההוראה על שלביה השונים. להלן רצף הוראה כפי שהתקיים:

1. הרצאה בנושא: "נוכימיה ומיקרוסקופ AFM" שנמשכה שלוש שעות בית ספריות.

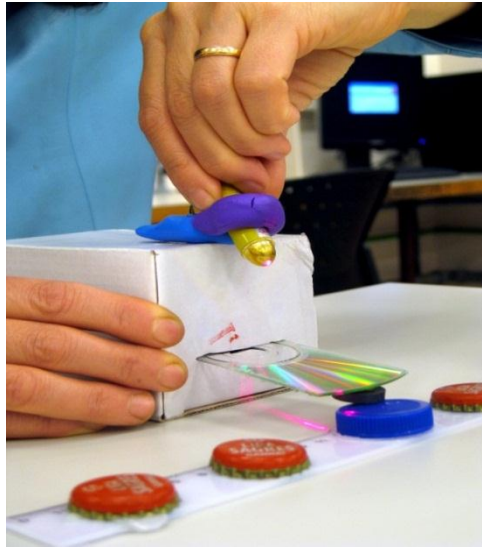
להרצאה היו שתי מטרות, הראשונה הכרות עם נושא חדש מחזית המדע והעברתו לשדה החינוכי של בית ספר תיכון בצורה פשוטה וברורה, והשנייה חיבור נושא זה עם נושא נלמד לפי תוכנית הלימודים שהוא כוחות בין מולקולריים.

ההרצאה נעשתה בליווי מצגת שהתחילה בהגדרת המושגים ננומטר וננסקאלה, דוגמאות של חומרים ננומטרים וחלק מתכונותיהם, יישומים ננוטכנולוגיים ואיך אפשר לראות חומרים ננומטרים. חלק זה היה חלק נכבד בהרצאה והוא כלל תיאור המרכיבים של מיקרוסקופ כוח אטומי AFM, עקרון הפעולה שלו עם סימולציות שמתארות את פעולתו ודוגמאות מהדמיות שהתקבלו ע"י המיקרוסקופ. בהרצאה הוצגו שני סרטונים קטנים שהמחישו ממדים קטנים ואחת התכונות המיוחדות של הננוחומרים. ההרצאה כללה גם כן קישור עם הנושא הנלמד כוחות בין מולקולריים כך שהוצגה עקומת האנרגיה ליצירת כוחות בין מולקולריים אשר מוצגת בנספח מס' 1.

2. ניסוי לבניית דגם AFM, בניית מודל המתאר מיקרוסקופ כוח אטומי AFM לפי הנחיות

מהמאמר (Planinšič & Kovač, 2008). *Nano goes to school.*

המודל מתאר בצורה מאקרוסקופית את המרכיבים של AFM, לתיאור גוף המיקרוסקופ שימש קרטון קשיח, ה-Cantilever הודגם ע"י חתיכה מקומפקט דיסק, את ה-Tip הוחלף במגנט, הלייזר בפוינטר ובמקום הגלאי שימש נייר מילימטרי שנתלה על הקיר. הדוגמה הנסרכת נבנתה מסרגל שהודבק עליו פקקים ממתכת שהם דימוי לאטומים ומולקולות וביניהן היו מרווחים שסימלו את המרווח בין האטומים (נספח מס' 2), כפי שמוצג באיור 3.1



איור מס' 3.1: מציג את הדגם של ה-AFM ואת הסרגל עם הפקקים שמדמה אטומים.

מודל ה-AFM עובד על עקרון כוחות משיכה מגנטיים בין המגנט (אטומי ה-Tip) ובין הפקקים המתכתיים (אטומי הדוגמה הנסרקת) עקרון זה שונה מעקרון פעולתו של מיקרוסקופ AFM אמיתי שעובד על עקרון של כוחות משיכה ודחייה חשמליים, זו היא אחת המגבלות של המודל. המטרה מכלי למידה זה היא ויזואליזציה ומידול פעיל למיקרוסקופ ולאופן פעולתו. מודלים בדרך כלל מבהירים את המציאות ומובילים את התלמידים להבנה טובה יותר. הם מתארים בצורה מאקרסקופית מה שנמצא במציאות המיקרוסקופית.

3. המשך לבניית מודל AFM, היה ביקור במעבדה במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע, רחובות – הכוללת מיקרוסקופ AFM. מטרתה הכרות מקרוב של המיקרוסקופ האמיתי וצפייה בעבודתו.

הפעילות התחילה בהרצאה על עולם הננוכימיה והננוטכנולוגיה יישומים בתחום וצפיות לעתיד, מאת ד"ר רון בלונדר-מכון ויצמן, תחת הכותרת "מהמד הזעיר לעתיד מזהיר". ההרצאה כללה חזרה על הגדרות בסיסיות כמו ננוסקאלה, חומרים ננוכימיים, והתמקדה בתכונותיהם המיוחדות של חומרים ננוכימיים ויישומן בתחום הננוטכנולוגיה. ההרצאה הציגה שנית את מיקרוסקופ AFM ואופן פעולתו ושימוש נוסף שיש ל-AFM בנוסף להיותו כלי הדמיה מולקולארית והוא היכולת להזיז ולארגן אטומים מחדש במקומות שאנו רוצים. הפעילות נמשכה בסריקה אמיתית לשתי דוגמאות אחת היא נייר אלומיניום והשנייה היא חתיכה מקומפקט דיסק של מוסיקה. התלמידים ישבו בחדר אחר והתבוננו בלוח החכם שהציג שתי תמונות: האחת שצולמה מצלמת וידאו המחוברת למיקרוסקופ אופטי המראה את פני השטח בהגדלה, בתמונה זו ניתן לראות הגדלה של ה-Tip הסורק ואופן תנועתו (הגדלה מיקרוסקופית). התמונה השנייה הציגה את הטופוגרפיה המתקבלת באופן דינאמי והדרגתי מן הסריקה. לבסוף התלמידים ראו את מכשיר ה-AFM האמיתי ואז בכך הייתה המחשה לשלוש סקאלות מאקרו מיקרו וננו .

כלי משוב והערכה

להערכת הפעילויות שתוארו ובדיקת השפעתן על התלמידים ואישוש השערות המחקר פותחו ויישמו ארבעה כלי מחקר: שני שאלונים, תצפיות במהלך השיעורים ומפת מושגים.

1. שאלון עמדות, פותח כדי לבדוק האם ישנם מוטיבציה ועניין ללמוד כימיה בקרב תלמידים בבית הספר ובעתיד והאם מוטיבציה ועניין אלה השתפרו כתוצאה מהעברת ההפעלה שפותחה. בראש השאלון מופיע הנושא (כימיה), לאורך העמוד ומשני צדדיו מופיעות זוגות מילים (או אמירות) המתארות את הנושא. שתי המילים בכל זוג הפוכות במשמעותן, בין שתי המילים יש חמש משבצות הממוספרות במספרים 1-5. כל תלמיד התבקש לסמן את המשפצת המביעה את עמדתו כלפי המילים, בקשר לנושא שבכותרת. השאלון פותח ועבר תיקוף ע"י שבע מורות מנוסות העוסקות שנים רבות בהוראת הכימיה בבתי ספר תיכוניים בהנחיית חוקרת מתחום הוראת המדעים במכון ויצמן. במטרה לבדוק שש קטגוריות: רלוונטיות, עניין, התלמיד במרכז, מימניות קוגניטיביות, מוטיבציה וכימיה מודרנית. כל שאלה בשאלון שייכת לאחת הקטגוריות (נספח מס' 3). השאלון הועבר לתלמידים לפני תחילת ההפעלה (Pre) ואחריה (Post).

מהימנות השאלון: המהימנות מתייחסת לדרגת הדיוק של המדידות או ההערכות שהתקבלו, וזה למעשה חלק ממחקר התיקוף. מהימנות השאלון נבדקה באמצעות מקדם אלפא של קרונבך (α -cronbach), מדד לעקיבות פנימית). מדד זה של מהימנות מבוסס על ההנחה שהמבחן הוא מדגם של פריטים. שימוש במקדם מהימנות זה מתאים למבחן הומוגני בו כל הפריטים בודקים אותו תחום תוכן. מקדם אלפא גבוה מצביע על עקיבות פנימית בתגובות התלמידים על פריטי המבחן, כלומר אם כל הפריטים בודקים אותו תחום תוכן נקבל מתאים גבוהים ביניהם, ולכן מהימנות גבוהה. מהימנות כל קטגוריה בשאלון נבדקה ע"י חישוב המקדם אלפא קרונבך עבור 280 תלמידים משבעה בתי ספר שונים, התוצאות מסוכמות ומוצגות בטבלה 3.1.

טבלה מס' 3.1: ערכי α -cronbach, מדד לעקיבות פנימית של ששת הקטגוריות בשאלון העמדות

α -cronbach	מס' היגדים	הגד דוגמה	קטגוריה	
0.818429	6	מלמד אותי נושאים רלוונטיים לי. נושאים הנוגעים לחיי	רלוונטיות	1
0.820271	5	מקדם את העניין שלי במדע	עניין	2
0.626159	3	נותן לי הזדמנויות להשתתף בפעילות	תלמיד במרכז	3
0.613116	4	קשה להבנה	מיומנויות חשיבה	4
0.780567	6	מעורר רצון להמשיך ללמוד בצורה זו	מוטיבציה	5
0.700773	4	להתעדכן בחידושים במדע	כימיה מודרנית	6

הערכים של α -cronbach בטבלה 1 גבוהים מהערך 0.6 מדד המצביע על מהימנות השאלון.

הבדיקה נעשתה על 281 תלמידים מבתי ספר שונים, של מורות עמיתות שערכו מחקרים אישיים במסגרת עבודות הגמר של תוכנית רוטשילד-ויצמן.

2. תצפיות במהלך השעורים, במהלך השעורים נרשמו משפטים שנאמרו על ידי התלמידים שהיו רלוונטיים לשאלות המחקר. המשפטים שנרשמו מוינו על פי שאלות המחקר.

3. שאלון ידע, נבנה על מנת לבדוק שני היבטים, הראשון הוא ידע התלמידים בתחום הננוכימיה ומיקרוסקופ AFM. והשני הוא ידע התלמידים בנושא כוחות בין מולקולריים. השאלון פותח במטרה לבדוק את מידת השפעת הוראת הנושא ננוכימיה על הבנת הנושא כוחות בין מולקולריים.

השאלון נבנה בצורת מבחן והוא כולל עשר שאלות (סעיפים) מכל תחום. השאלות פתוחות ובודקות ידע, כל תלמיד התבקש לענות על כל שאלה במלים שלו ולפעמים רק במלים כן ולא (נספח מס' 4). התלמיד שלא ענה כלל קבל ניקוד 1, התלמיד שענה חלקית קבל ניקוד 2 והתלמיד שענה מלא קיבל ניקוד 3. שאלון הידע הועבר לתלמידים לפני תחילת הפעילות (Pre) ואחריה (Post).
דוגמאות לשאלות משאלון הידע:

מה זה ננומטר?

מה זה ננוטכנולוגיה? תן דוגמה/ דוגמאות

CO_2 הוא חומר גזי בתנאי החדר, אם מקררים אותו מתחת לטמפרטורה של $-78\text{ }^{\circ}C$ הוא הופך למוצק (קרח יבש) ואז משתמשים בו לצורך קירור.
תאר בצורה מיקרוסקופית מה השוני בין גז למוצק.

צייר מספר מולקולות של אמוניה נוזלית קשורות ביניהן בקשרים בין-מולקולריים

4. מפת המושגים, כלי ההערכה הרביעי, פותח במטרה לבדוק האם הידע של התלמידים בנושא ננוכימיה השתפר והאם הבנת התלמידים לנושא כוחות בין מולקולריים השתפרה.
המפה מורכבת מדף בראשו כתובים 14 מושגים מתחום הננוכימיה והכוחות הבין מולקולריים, כל תלמיד התבקש לבנות מפת מושגים שתכלול כמה שיותר מושגים ממה שקבל וליצור כמה שיותר חיבורים נכונים בין המושגים (נספח מס' 5). מפת המושגים הועברה לתלמידים פעמיים. בפעם הראשונה לאחר ההרצאה: אחרי שהם ידעו והכירו מושגים ננו כימיים, ופעם נוספת בסוף ההפעלה. לנתוח השאלון נספרו המושגים שהשתמש בהם כל תלמיד בבנית המפה, מספר החיבורים הנכונים בין המושגים, וכמה מושגים מתחום הננו וכמה מתחום הכוחות הבין מולקולריים ששמשו כל תלמיד לבנית המפה, הכל נעשה לפני Pre ואחרי Post. לנתונים נעשה ניתוח סטטיסטי שיוצג בממצאים.

פרק ד' - ממצאים

בהצגת הממצאים של מחקר זה בחרתי להתייחס לתוצאות של כל שאלון, ולאחר מכן בדיון אבחן את המשמעות של התוצאות המוצגות בחלק זה לשאלות המחקר.

1. שאלון העמדות

שאלון העמדות בחן שש קטגוריות שונות כפי שהוצג בפרק כלי המחקר. טבלה מס' 4.1 מציגה את הממוצע בכל קטגוריה בשאלון ה-Pre ושאלון ה-Post ותוצאות מבחן t, אשר נעשה על מנת לבחון האם היו הבדלים מובהקים בין תוצאות שאלוני ה-Pre וה-Post, בעקבות ההפעלה. טבלה מס' 4.1: ריכוז ממוצע Pre ו-Post, ערך p וערך t לששת הקטגוריות בשאלון העמדות.

קטגוריה	ממוצע Pre	ממוצע Post	ערך t	ערך p
רלוונטיות	4.118	4.254	1.55	0.1291
עניין	4.351	4.474	1.66	0.1048
תלמיד במרכז	3.661k	3.683	0.20	0.8390
מיומנויות חשיבה	3.478	3.844	4.34	<.0001
מוטיבציה	4.124	4.307	2.61	0.0128
כימיה מודרנית	3.394	3.537	1.18	0.2441

לפי התוצאות אנו רואים כי לשאלות השייכות לקטגוריות מיומנויות חשיבה ומוטיבציה ישנה מובהקות $p < 0.05$, כלומר, אלו שתי קטגוריות אשר הושפעו בצורה מובהקת מההפעלה שנעשתה. ההפעלות הלימודיות שנעשו קידמו את מיומנויות החשיבה של התלמידים וגם את המוטיבציה ההמשכית שלהם בצורה מובהקת.

2. תצפיות מתוך השעורים:

להלן מוצגים מספר ציטוטים מתוך דברי התלמידים שנאמרו במהלך הפעילות:

"בניית הדגם של מיקרוסקופ AFM גרמה לי להבין איך הוא עובד, אבל אני סקרן לראות את

המכשיר האמיתי!"

"מה צריך ללמוד באוניברסיטה כדי ללמוד על ננוחומרים ולהשתמש במיקרוסקופים כמו AFM

שראינו במכון ויצמן?"

"הסרטונים והאנימציות שהבאת לנו ממש עזרו בהבנת הנושא"

"נכון שלמדנו איך נוצר קשר כימי וכל העניין של בור האנרגיה, אבל עכשיו אני יכולה לדמות

אותו לעקרון פעולתו של מיקרוסקופ AFM ולהזכר בזה יותר טוב"

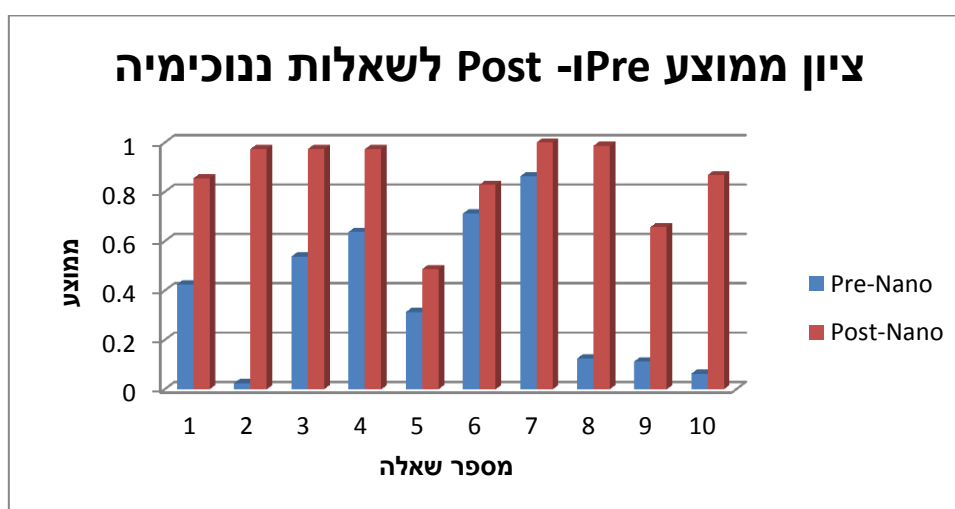
3. שאלון הידע

השאלון מורכב מעשר שאלות ידע בנושא ננוכימיה ומיקרוסקופ AFM ועשר שאלות ידע בנושא כוחות בין מולקולריים. השאלון הוצג לפני ואחרי הפעילות כדי לבחון אם התלמידים רכשו ידע בנושא ננוכימיה ומיקרוסקופ AFM בעקבות הפעילות ואם הידע שלהם בנושא כוחות בין מולקולריים השתפר, וגם מידת השפעת הוראת הנושא ננוכימיה על הבנת הנושא כוחות בין מולקולריים.

על מנת לבדוק את המובהקות בין שאלוני ה-Pre וה-Post, נעשה מבחן t לכל נושא בנפרד עבור כל אוכלוסיית המחקר. התוצאות הסטטיסטיות עבור שאלות הננוכימיה ומיקרוסקופ AFM, מרוכזות בטבלה מס' 4.2. בנוסף נעשה עיבוד גרפי של ממוצע Pre וממוצע Post פר שאלה והוא מתואר בגרף מס' 4.1.

טבלה מס' 4.2: ריכוז נתונים על ערך t, ערך p, ממוצע Pre ו-Post וההפרש ביניהם לשאלות ננוכימיה ומיקרוסקופ AFM בשאלון הידע. אשר חושבו לפי 1 תשובה מלאה, ½ תשובה חלקית ו-0 תשובה שגויה.

מספר שאלה	ממוצע Pre	ממוצע Post	Δ ממוצע	ערך t	ערך p
1	0.425	0.855	0.419	6.67	<.0001
2	0.025	0.974	0.946	25.10	<.0001
3	0.538	0.974	0.419	5.17	<.0001
4	0.638	0.974	0.338	4.35	<.0001
5	0.313	0.487	0.135	1.38	0.1769
6	0.713	0.829	0.122	1.50	0.1411
7	0.863	1	0.122	2.48	0.0179
8	0.125	0.987	0.865	18.78	<.0001
9	0.113	0.658	0.554	9.65	<.0001
10	0.063	0.868	0.797	15.07	<.0001



גרף מס' 4.1: ציון ממוצע Pre ו-Post לשאלות בתחום הננוכימיה ומיקרוסקופ AFM משאלון הידע. ציון 1 ניתן לתשובה מלאה, ציון ½ ניתן לתשובה חלקית וציון 0 עבור תשובה שגויה.

להלן דוגמאות לתשובות שנתנו התלמידים לשאלה מס' 1, מה זה ננומטר?
 תשובה מלאה: יחידת מידה ששווה 10^{-9} מטר (מליארדית המטר) משתמשים בה למדידת חומרים או דברים ננומטרים.

תשובה חלקית: יחידת מידה קטנה.

תשובה שגויה: יחידה מולקולרית.

מהנתונים אפשר לראות מובהקות, שישנו הבדל מובהק בין תוצאות התלמידים במבחן שנעשה לפני ההתערבות (Pre) והמבחן שנעשה בתום ההתערבות (Post) בכל השאלות מלבד שאלות 5 ו-6 שהן שאלות שמדברות על חומרים שמוכרים לתלמידים מלימודי הביולוגיה ואליהן אני אתייחס בדיון.

התוצאות הסטטיסטיות עבור השאלות בנושא כוחות בין מולקולריים מרוכזות ומוצגות בטבלה מס' 4.3

ובגרף מס' 4.2. הן מצביעות על הבדל מובהק בכל השאלות מלבד השאלות 5 ו-6, שבהן נדרש

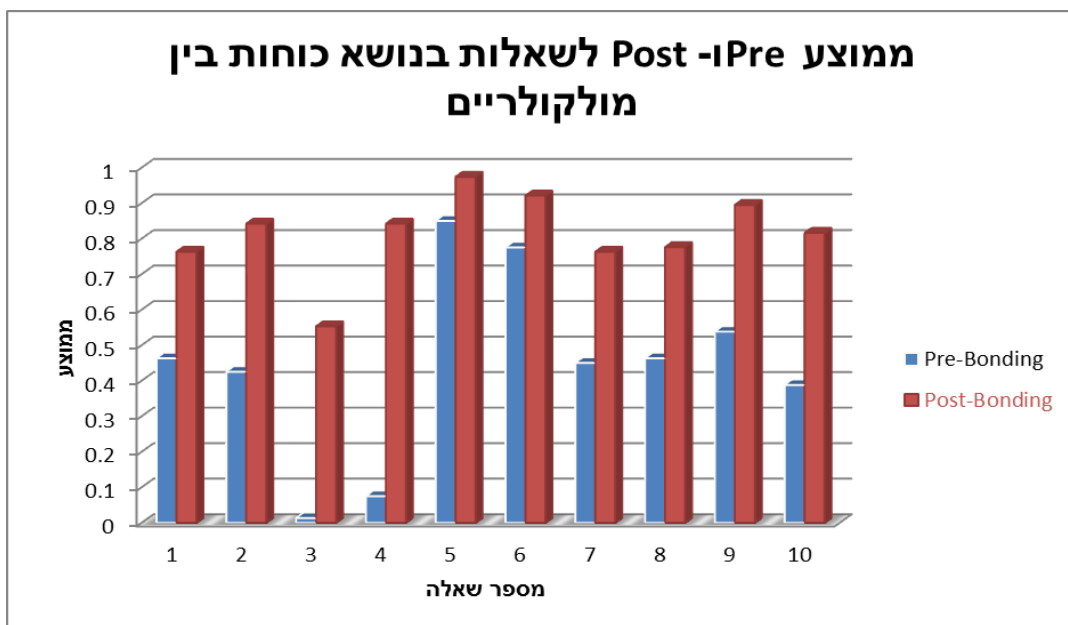
התלמיד לרשום נוסחה מולקולרית ונוסחת ייצוג אלקטרונית למולקולת האמוניה.

טבלה מס' 4.3: ריכוז נתונים על ערך t , ערך p , ממוצע Pre ו-Post וההפרש ביניהם לשאלות בנושא

כוחות בין-מולקולריים בשאלון הידע. אשר הושבו לפי 1 תשובה מלאה, $\frac{1}{2}$ תשובה

חלקית ו-0 תשובה שגויה.

מספר שאלה	ממוצע Pre	ממוצע Post	Δ ממוצע	ערך t	ערך p
1	0.463	0.763	0.284	4.13	0.0001
2	0.425	0.842	0.405	5.10	<.0001
3	0.013	0.553	0.527	6.61	<.0001
4	0.075	0.842	0.770	13.56	<.0001
5	0.85	0.974	0.108	1.67	0.1032
6	0.775	0.921	0.135	1.96	0.0576
7	0.45	0.763	0.297	2.98	0.0051
8	0.463	0.776	0.324	3.24	0.0026
9	0.538	0.895	0.419	5.51	<.0001
10	0.388	0.816	0.595	5.49	<.0001



גרף מס' 4.2: ציון ממוצע Pre וממוצע Post עבור השאלות מתחום הכוחות הבין מולקולריים בשאלון הידע. ציון 1 ניתן לתשובה מלאה, ציון ½ ניתן לתשובה חלקית וציון 0 עבור תשובה שגויה.

נעשתה גם כן בדיקת קורלציה של השפעת ההעשרה בנוכימיה על הנושא הנלמד כוחות בין מולקולריים. לצורך בדיקת הקורלציות נעשה מבחן פירסון. הממצאים מרוכזים בטבלה מס' 4.4 שלהלן:

טבלה מס' 4.4: חישוב קורלציה על פי מבחן פירסון (Pearson Correlation Coefficients) לבחינת השפעת לימוד בנוכימיה על הבנת הנושא קישור בין מולקולרי על לפי שאלון הידע, המספר העליון מצביע על הקורלציה, המספר התחתון מצביע על מובהקות הקורלציה.

קישור בין מולקולרי Post	נוכימיה Post	קישור בין מולקולרי Pre	נוכימיה Pre	
0.24075 0.1512	0.53342 0.0007	0.36448 0.0208	1.00	נוכימיה Pre
0.44062 0.0063	0.40181 0.0137	1.00	0.36448 0.0208	קישור בין מולקולרי Pre
0.45284 0.0043	1.00	0.40181 0.0137	0.53342 0.007	נוכימיה Post
1.00	0.45284 0.0043	0.44062 0.0063	0.24075 0.1512	קישור בין מולקולרי Post

ניתן לראות כי ישנה קורלציה מובהקת בין כל המשתנים מלבד בין נוכימיה Pre וקישור בין מולקולרי Post.

4. מפת המושגים:

כלי מחקר שפותח על מנת לבדוק את השפעת הוראת הנושא בנוכימיה על התקדמות הבנת הנושא. הכלי הועבר באמצע הפעילות, אחרי ההרצאה Pre ובסוף הפעילות Post. התלמידים התבקשו לבנות מפת משגים ע"י חיבור 14 מושגים, מהם 9 מושגים בנוכימיים ו-5 מושגים מתחום הקישור הכימי. הניתוח הסטטיסטי נעשה בעזרת סיכום מספר המושגים הכולל, מספר מושגי הנוכימיה, מספר מושגי הקישור הכימי, ומספר החיבורים הנכונים שהשתמשו בהם התלמידים במפה שהכינו אחרי ההרצאה ובמפה שהכינו אחרי שהסתיימה הפעילות. הממצאים של כלי מחקר זה מרוכזים ומוצגים בטבלה הבאה:

טבלה מס' 4.5: הממוצעים של מפת המושגים של Pre ו- Post, הפרש הממוצע, ערך t, והמובהקות P

ערך P	ערך t	ממוצע Δ	ממוצע Post	ממוצע Pre	
0.0127	2.63	0.722	13.243	12.514	מס' מושגים כולל
0.2570	1.15	0.139	8.757	8.0595	מס' מושגים בנוכימיה
					מס' מושגים

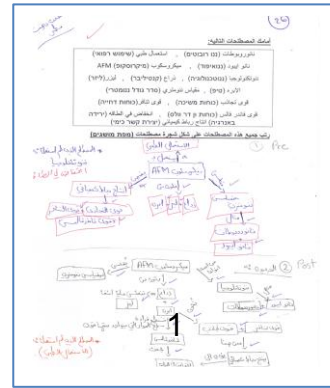
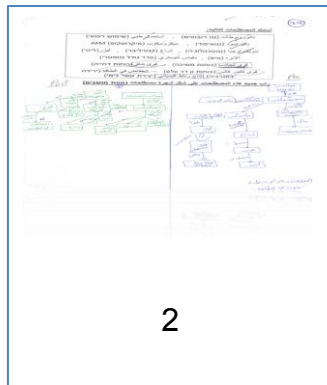
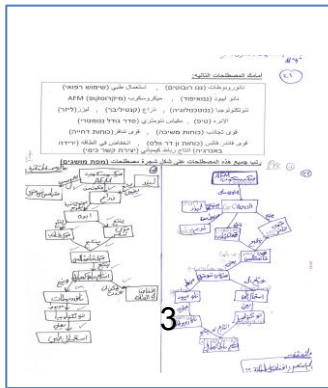
0.0291	2.28	0.583	4.486	3.919	בקיזור כימי
<.0001	11.91	4.694	12.027	70351	מס' חיבורים נכונים

הממצאים מראים שינוי מובהק במספר המושגים הכללי שהשתמשו בהם התלמידים, גם במספר מושגי הקיזור הבין מולקולרי ובמספר החיבורים הנכונים שנכתבו ע"י התלמידים גדלו באופן מובהק בעקבות הפעילות. במספר המושגים הננוכימיים לא חלה עלייה מובהקת.

להלן דוגמאות ממות מושגים שציירו התלמידים, והן מראות הפרש בצורת המפה ובחיבורים בין המושגים ב- Pre וב- Post

איור 4.1: דוגמאות של ממות מושגים שהכינו התלמידים, בכל דף מופיעה המפה Pre ו- Post, בדוגמה

מס' 1 המפה Pre מופיעה למעלה והמפה Post למטה. בדוגמאות 2 ו- 3 המפה Pre מופיעה מצד ימין של הדף והמפה Post מצד שמאל.



פרק ה' - דיון ומסקנות

בדיון אתייחס למשמעות הממצאים בהקשר של שאלות המחקר ואנסה לבדוק את מידת תמיכתם בהשערות. ממצאים אלה הם פרי הפעילות שפותחה לבדיקה זו וכללה הרצאה בנושא ננוכימיה ומיקרוסקופ AFM, ניסוי לבניית דגם של המיקרוסקופ וביקור במכון ויצמן על מנת לראות את המיקרוסקופ האמיתי ולפגוש את הננוכימיה מקרוב.

תחילה אדון בשאלה: האם הוראת הנושא ננוכימיה תעלה את המוטיבציה ההמשכית של התלמידים ללמוד כימיה? כדי לענות על השאלה ולבדוק האם הוראת נושא חדש מחזית המדע, ננוכימיה ומיקרוסקופ AFM, יכולה לתרום לעליית המוטיבציה ההמשכית של התלמידים ללמוד כימיה בעתיד פותח כלי מחקר מתאים, שאלון עמדות, אשר עבר תיקוף וגם נבדקה מהימנותו. השאלון הועבר לפני תחילת הפעילות (Pre) ואחריה (Post). הממצאים של שאלון העמדות מראים שינוי מובהק בקטיגוריה מוטיבציה ללמידת כימיה, ובקטיגוריה מיומנות חשיבה אצל התלמידים. שאר הקטיגוריות הנמצאות בשאלון העמדות לא הושפעו רבות מהפעילות. ממצאים אלה מעידים על השפעה חיובית של הפעילות ליישום הנושא, וגם על השפעה חיובית של שיטות הלימוד אשר ננקטו כדרך לא פורמאלית בלימוד נושא חדש וחיבורו לנושא נלמד מתוכנית הלימודים, על המוטיבציה ההמשכית, ועל מיומנות החשיבה שלהם. לכן אפשר להסיק שחשיפה לחומרים בקני מידה זעירים ביחס לחומרים מאקרוסקופיים, הסבר על תכונותיהם המיוחדות של הננוחומרים והסבר רחב על מיקרוסקופ שיכול לדמות חומרים מסוג זה, גרמו לתלמידים להתעניין ולהבין יותר. תוצאות אלה מאשרות את הממצאים של Hingant ו-Able על הוראת נושאים מחוץ לתוכנית הלימודים שהם משפיעים חיובית על עמדות התלמידים כלפי המדע (Hingant & Able, 2010) בנוגע לתוכניות שונות בתחום הננוטכנולוגיה. גם הציטוטים מהתצפיות בשיעורים מחזקים את הדברים לדוגמה: "מה צריך ללמוד באוניברסיטה כדי ללמוד על ננוחומרים ולהשתמש במיקרוסקופים כמו AFM שראינו במכון ויצמן? וכן "בניית הדגם של מיקרוסקופ AFM גרמה לי להבין איך הוא עובד, אבל אני סקרן לראות את המכשיר האמיתי". לכן כמסקנה, הוראת הנושא ננוכימיה ומיקרוסקופ AFM כן השפיעה על הדיעות של התלמידים לגבי נושא הכימיה, על הסקרנות שלהם ועל המוטיבציה ההמשכית.

דיון בשאלת המחקר השנייה: האם הוראת נושא ננוכימיה תקדם את הידע של התלמידים בנושא ננוכימיה?

על מנת לבדוק את התקדמות הידע של התלמידים בנושא ננוכימיה, תחילה הועברה אותה פעילות קודמת אשר נגעה במימד הננומטריים, בתכונותיהם של חומרים ננומטרים ובמכשיר אשר מאפשר לנו לדמות חומרים זעירים כאלה. לפני הפעילות ובעקבותיה הועבר שאלון הידע אשר בחלקו בדק ידע התלמידים בננוכימיה. החלק הזה של השאלון פותח בצורת מבחן בנושא ננוכימיה ומיקרוסקופ AFM וכלל שאלות מגוונות. שתי השאלות הראשונות עסקו בהגדרת יחידת הננומטר, הממצאים שמרוכזים

בטבלה 4.2 ומוצגים בגרף מס' 4.1 הראו מובהקות בשתי השאלות, זה מאפשר לנו ללמוד על רמת הידע הגבוהה שרכשו התלמידים בעקבת הפעילות בהשוואה לידע הקודם. ידע התלמידים בשאלה מס' 2 לפני הפעילות היה נמוך בצורה מיוחדת.

השאלות 3-7 היו שאלות בדיקת ידע על מימדים וקנה מידה של דברים ואיך אפשר לראות אותם, כלומר מיונם לאלה שאפשר לראות בעין, במיקרוסקופ אופטי או במיקרוסקופ אחר. הממצאים הראו מובהקות בכל השאלות מלבד השאלות 5 ו-6 ששאלו על גודלו של התא וגודלו של החומר התורשתי DNA, כך שיש לציין שקבוצת התלמידים הנבדקת היא כתת ביולוגיה והם נגעו בשני הדברים בלימודי הביולוגיה, ולכן מספר רב מהתלמידים כבר בשאלון ה-Pre ידעו את התשובה. אבל גם אפשר להבחין שמספר התלמידים שידעו את התשובה עלה בעקבות הפעילות. בשאלות מסוג זה הרבה תלמידים חשבו בשאלון ה-Pre שכל מה שלא רואים בעין או במיקרוסקופ אופטי לא רואים בכלל, חלק השתמשו במלה מיקרוסקופ אלקטרוני בלי לדעת מה זה בכלל. לעומת זאת תשובותיהם בשאלון ה-Post היו חד משמעיות וידעו לפי המימדים של הדברים במה אפשר לראות אותם.

השאלות 8-10 התייחסו לננוטכנולוגיה ומיקרוסקופ AFM וממצאיהם הצביעו על מובהקות משמעותית, רוב התלמידים לא שמעו ולא ידעו מה זה ננוטכנולוגיה לפני הפעילות אבל כן ידעו אחריה, כלומר היתה התקדמות משמעותית בידע של התלמידים לגבי שאלות העוסקות בהגדרות בסיסיות בנוכימיה, וגם בעניין מבנה של מיקרוסקופ AFM וזה היה ברור מתשובות התלמידים לשאלה: מהו תפקידו של מיקרוסקופ AFM? מהו עקרון הפעולה שלו? רוב התלמידים ענו תשובות ברורות ויפות, ידעו לתאר במילים ברורות את תפקיד המיקרוסקופ, לפעמים נעזרו בתמונות שראו במצגת ולפעמים במודל שבנו, כלומר הם נעזרו במאקרו על מנת לתאר את המיקרו, ציטוטים שנאמרו ע"י התלמידים מחזקים את העניין: "הסרטונים והאנימציות שהבאת לנו ממש עזרו בהבנת הנושא"

"נכון שלמדנו איך נוצר קשר כימי וכל העניין של בור האנרגיה, אבל עכשיו אני יכולה לדמות

אותו לעקרון פעולתו של מיקרוסקופ AFM ולהיזכר בזה יותר טוב"

כלי אחר שבדק את רמת הידע הוא מפת המושגים שהתלמידים התבקשו להכין אחרי ההרצאה, כלומר אחרי שכבר היו אמורים לרכוש כמה מושגים בנוכימיה ולהכיר את הנושא. ניתוח הממצאים הסטטיסטי המסכם בטבלה מס' 4.5, מראה שאחרי ההרצאה כבר התלמידים באמת הכירו מושגים בנוכימיים, אבל גם מראה שהמספר הלך וגדל בהמשך הפעילות, כלומר הייתה עלייה במספר המושגים מה-Pre ל-Post ולא הייתה מובהקות. הניתוח הסטטיסטי גם כן מראה שהתלמידים השתמשו ביותר מושגים מתחום הקישור הכימי וחיברו ביניהם בצורה מוצלחת יותר. הם ידעו לאפיין את מרכיבי המיקרוסקופ, את תפקידו וגם לחבר דוגמאות לננוחומרים שהוא יכול לדמות.

ולכן לפי הניתוח אפשר להסיק שגם תוצאות כלי מחקר זה מצביעות על התקדמות בידע של התלמידים בנושא בנוכימיה, בנושא הנלמד בכתה שהוא הקישור הכימי ועלייה ברמה הקוגניטיבית של התלמידים.

דיון בשאלת המחקר השלישית: כיצד הוראת הנושא ננוכימיה בכלל, ומיקרוסקופ כוח אטומי AFM בפרט משפיעה על הבנת המושג כוחות בין מולקולריים?

השאלה עוסקת בתחום הקוגניטיבי של התלמיד המתחיל עם ידע פשוט על מדע ותהליכים דרך מעבר לרמות גבוהות: הבנה, יישום, ניתוח, סינתזה והערכה.

כלומר התלמידים חייבים להכיר את המושג המדעי לפני שהם מיישמים אותו.

מובקות במיומנויות החשיבה נצפתה בשאלון העמדות, דבר המעיד על עליה בתחום הקוגניטיבי של התלמידים לאורך הפעילות.

הממצאים בחלק של הקישור הכימי של שאלון הידע, שכלל עשר שאלות מבנה וקישור, הראו מובקות בכל השאלות מלבד השאלות: (5) רשום את הנוסחה המולקולארית של אמוניה (6) רשום את נוסחת הייצוג של אמוניה על פי לואיס.

שיטות ייצוג של מולקולות נלמדות וחוזרות על עצמן ברוב הנושאים הנלמדים במקצוע הכימיה בבית הספר התיכון, ולכן היו ברורות לפני הפעילות ותוצאותיהן לא הראו מובקות אלא רק הראו עלייה ברמת הידע שזה מציין את ההשפעה של כל הפעילות שנעשתה על הבנת הנושא כוחות בין מולקולריים. השאלות פותחו במטרה להקדים את השאלה מס' 10 שהיא:

צייר מספר מולקולות של אמוניה נוזלית קשורות ביניהן בקשרים בין-מולקולריים

שאר השאלות עסקו בהבדל המיקרוסקופי בין גז למוצק, סוג הכוחות הבין מולקולריים במצב צבירה מוצק-ון דר וולס במקרה של הקרח היבש וקשרי מימן במקרה של האמוניה, יכולת ציור קשרים בין מולקולריים והדגש היה על המטענים החלקיים והסבר כללי ליצירת קשר כימי- עקומת האנרגיה המקשרת את עקרון פעולתו של מיקרוסקופ AFM, כוחות המשיכה והדחייה, עם אופן יצירתם של קשרים בין מולקולריים וזו בעצם היא נקודת החיכוך בין נושא הננוכימיה עם נושא הכוחות הבין מולקולריים. לפי הממצאים כל השאלות האלה הראו מובקות, כלומר היה שיפור משמעותי בהבנת נושא חשוב בתוכנית הלימודים בעקבות הפעילות שנעשתה. לבדיקת קורילציה בין זה שהתלמידים לומדים ננוכימיה ומיקרוסקופ AFM לבין הבנתם למושג כוחות בין מולקולריים נעשה ניתוח סטטיסטי מתאים, מהממצאים שבטבלה 4.4 אפשר להבחין במובקות בין ננוכימיה Post ובין קישור בין מולקולרי Post כלומר זה מחזק את התוצאות של שאלון הידע ונותן אנפורמציה שאכן הפעילות השפיעה בצורה יפה על הבנת התלמידים לנושא כוחות בין מולקולריים.

למפת המושגים לא נעשה ניתוח של קורלציה ולכן אי אפשר ללמוד ממנה על השפעת ננוכימיה על כוחות בין מולקולרי.

כמסקנה, הבנת נושאים מדעיים של תחומים אחרים הקשורים לנושא הנלמד מעלה את המודעות של התלמידים ברמות הגבוהות של עובדות מדעיות ולאחר מכן להישגים וביצועים גבוהים יותר.

לפי הדיון, ממצאי העבודה מתקשרים עם ממצאי מחקרים אחרים, למשל ראינו ששימוש במודילים בהוראת הכימיה היה עזר לתלמידים לדמיין ולהבין את המבנה של מיקרוסקופ AFM והבנת עקרון הפעולה שלו וזה מה שטען Gilbert במאמרו (Gilbert, 1997) כשדבר על המודלים כמתווכים

חזותיים בין העולם הדמיוני של התיאוריה לבין העולם המוחשי. וגם שימוש במודלים בהוראה כדי לעזור ללומדים לדמיין תופעות ולפשט מושגים (Gabel & Sherwood, 1980).
לגבי מפת המושגים, אפשר להסיק שהיא העריכה את מידת הטמעת מושגים כימיים ומונחים חדשים אצל התלמידים ובדקה את רמת הבנתם, היא עזרה להם לארגן שטף המושגים ששמעו לראשונה וזה מה שטענו (Tergan, Keller, Burkhard & Inform, 2006).

דיון ביקורתי

בעבודה זו נעשתה השוואה בין ללמד כוחות בין מולקולריים בשיטה פורמלית לבין הכנסת נושא העשרה המתקשר עם הנושא הנלמד לתוכנית.

אימוץ ממצאי עבודה זו מחייב התייחסות למגבלות הבאות:

1. במטרה להכניס פעילות העשרה מתאימה לתוכנית הלימודים יש צורך בפתוח תוכנית שלמה רלוונטית לנושאים הנמצאים בתוכנית הלימודים, וזה נחשב לדבר קשה לבצוע מבחינת מפתחי התוכניות כי הם לא בהכרח מכירים הרבה נושאים מחזית המדע שאפשר לחבר אותם לתוכנית הלימודים, וגם הדבר קשה מבחינת הזמן המוגדש לכל נושא ונושא.
2. מדגם התלמידים שנבחר לצורך ביצוע המחקר אינו בהכרח מייצג את האוכלוסייה. היה עדיף שתהיה כיתה נוספת להשוואת תוצאות.
3. היה צורך בכלי מחקר אחר שייחזק את הממצאים לגבי השפעת הוראת ננוכימיה על הבנת הנושא כוחות בין מולקולריים. למשל קורלציה לפי ממצאי מפת המושגים שלא נעשתה במחקר זה בגלל שהעברת המפה ההתחלתית היתה באמצע הפעילות ולא בהתחלתה.

המלצות להוראת הכימיה

המלצות למורי הכימיה:

1. לפני הוראת כל נושא צריך לחשוב טוב מה המניעים היכולים לתרום למוטיבציה של התלמידים ולהגביר את עניינם בנושא הנלמד, כי בדרך זו הם יפתחו יכולת הבנה יותר גדולה לחומר הנלמד.
2. להכניס לתוכנית הלימודים הקיימת נושאים כימיים אקטואליים שדרכם אפשר להתחבר לאותו נושא מתוכנית הלימודים, על מנת להגביר את דרכי החשיבה של התלמיד ולאפשר לו לזכור טוב את התוכן ולייחס אותו לדברים המיושמים בחיי היום יום.
3. בחינת הידע של התלמידים בנושאים ממוקדים יכולה להעשות גם בעזרת השלמת מפות מושגים.
4. שימוש באנלוגיות או מודל תוך התייחסות מיוחדת להיבטים הלא משותפים בין המודל למושג המטרה. דיון בהבדלים בין מושג המטרה והאנלוגיה עוזר בהבנת המושג.
5. להרגיל את התלמידים לכתוב הסברים מלאים וברמות הבנה שונות, במיוחד בשאלות הדורשות השוואה בין תכונות של חומרים שונים ולהתייחס לכל אחד מהחומרים.
6. שימוש במצגות כעזר הוראה, הדבר עוזר בהטמעת הנושא אצל התלמיד.

7. ישנם כמה קשיים אצל התלמידים שבלטו בתשובותיהם, בצורה ספציפית בשאלון הידע, ועל המורים לשים אליהם לב:

לא למדר את חומר הלימוד לפי פרקים ונושאים ללא קישור ביניהם. לחלק מהתלמידים חסרה המיומנות המאפשרת לקשר בין פריטי מידע שנלמדים בפרקים שונים באותו תחום תוכן, למשל כוחות בין מולקולריים וקשרים תוך מולקולריים. בשאלות על תכונות החומר, התלמידים מציגים חלקיק בודד ולא מתייחסים לחומר שהוא מורכב מצבר חלקיקים, לכן כדאי שהמורה ייציר תמיד הרבה חלקיקים, ובמידת הצורך, בדיון בחלקיק הבודד יבחר אותו מתוך הכלל. קושי בהתמודדות עם שלושת רמות החשיבה הדרושות להבנת החומר, כלומר קושי ביכולת הקישור בין התופעות המוכרות לתלמיד ברמת המאקרו, ובין תהליכים כימיים הנלמדים ברמת המיקרו וברמה הסמלית של החומר. שילוב דוגמאות מחיי היומיום עוזר לתלמיד לפתח הסברים לתופעות שסביבו מתבססים על ידע מדעי, תוך שילוב מיומנויות חשיבה במספר רמות. כלומר, תיאור של החומר במושגים של תכונות מאקרוסקופיות ובו זמנית גם במושגים של הרכבים מיקרוסקופיים.

המלצות למפתחי תוכניות הלימודים:

1. מפתחי התוכניות צריכים להיות מודעים לחשיבות החדרת נושאים מדעיים אקטואליים וחיבורם עם נושאים בסיסיים בכימיה הנלמדים לפי תוכנית הלימודים.
2. בדיקת הלימה בין מטרות המפתחים לתפיסות המורים בשלבי הפתוח עשויה לשפר את תהליך ההטמעה של תכנית לימודים מוגמרת.

כווני מחקר המשכיים

לאור התוצאות כדאי להרחיב את הפעילות בכוונים הבאים:

- האם אפשר ללמוד על צפיפות אטומים של חומרים מוצקים מההדמיות שנותן מיקרוסקופ AFM?
- אם מלמדים את יחידת ההוראה הנ"ל לקבוצת תלמידים שטרם למדו כוחות בין מולקולריים בהשוואה לקבוצה אחרת שכן למדה, האם יתקבלו אותן תוצאות?
- לקחת אחת האפליקציות של הננוטכנולוגיה ולבנות יחידת העשרה סביבה, למשל הכנסת ננוחומרים בתעשיית הטקסטיל משפיעה על תכונות הטקסטיל דבר אשר מתחבר עם נושא הפולמרים.

- Blonder, R., Joselevich, E., & Cohen, S. (2010). Atomic force microscopy: Opening the teaching laboratory to the nanoworld. *Journal of Chemical Education*, 82, 1290-1293. doi:10.1021/ed100963z.
- Blonder, R. (2011). The story of nanomaterials in modern technology: An advanced course for chemistry teachers. *Journal of Chemical Education*, 88, 49-52.
- Bryan, L. A., Daly, S., Hutchinson, K., Sederberg, D., Benaissa, F., & Giordano, N. (2007, April). A design-based approach to the professional development of teachers in nanoscale science. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, New Orleans, LA.
- Dori, Y. J., & Hameiri, M. (2003). Multidimensional analysis system for quantitative chemistry problems: Symbol, macro, micro, and process aspects. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 278-302.
- Drexler, K. E. (2005). Productive nanosystems: The physics of molecular fabrication. *Physics Education*, 40, 339-346. doi: 10.1088/0031-9120/40/4/003
- Erduran, S. (2004). Beyond magic. *Education in chemistry*, 41, 84.
- Gilbert, J. K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, part 1: Horses for courses. *International Journal of Science Education*, 20, 83-97.
- Gilbert, J. K., & Reiner, M. (2000). Thought experiments in science education: Potential and current realization. *International Journal of Science Education*, 22, 265-283.
- Glynn, S. M., & Duit, R. (1995). Learning science meaningfully: Constructing conceptual models. In S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), *Learning science in the schools* (pp. 3-33). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Glynn, S. M., Law, M., Gibson, N. M., & Hawkins, C. H. (1994). *Teaching science with analogies: A resource for teachers and textbook writers*. (Instructional Resource, 7). Atlanta, GA: University of Georgia, National Reading Research Center. (ERIC Document Reproduction Service No. ED378554)

- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991) Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799–822.
- Gyalog, T. (2007). Nanoscience education in Europe. *Europhys. News* 38, 13. (also available online at <http://www.europhysicsnews.org>)
- Hingant, B., & Albe, V. (2010). Nanosciences and nanotechnologies learning and teaching in secondary education: A review of literature. *Studies in Science Education*, 46, 121-152. doi:10.1080/03057267.2010.504543
- Hutchinson, K., Bryan, L., & Bodner, G. (2009, June). *Supporting secondary teachers as they implement new science and engineering curricula: Case examples from nanoscale science and engineering education*. Paper presented at the conference of the American Society for Engineering Education, Austin, TX.
- Jones, M. G., Andre, T., Kubasko, D., Bokinsky, A., Tretter, T., Negishi, A., ...Superfine, R. (2004). Remote atomic force microscopy of microscopic organisms: Technological innovations for hands-on science with middle and high school students. *Science Education*, 88, 55–71.
- Jones, M. G., Andre, T., Superfine, R., & Taylor, R. (2003). Learning at the nanoscale: The impact of students' use of remote microscopy on concepts of viruses, scale and microscopy. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 303–322.
- Jones, M. G., Minogue, J., Tretter, T., Neigishi, A., & Taylor, R. (2006). Haptic augmentation of science instruction: Does touch matter? *Science Education*, 90, 111–123.
- Leisten, J. (1994). Teaching alchemy? *Chemistry in Britain*, 30, 552-552.
- Madden, A. S., Knefel, A. M. C., Grady, J. R., Glasson, G. E., Hochella Jr., M. H., Eriksson, S. C.,...Schreiber, M. E. (2007). Nano2earth: Incorporating cutting-edge research into secondary education through scientist-educator partnerships. *Journal of Geoscience Education*, 55, 402–412.
- Mironov, V. L. (2004). *Fundamentals of scanning probe microscopy*. Nizhniy Novgorod: The Russian Academy of Sciences, Institute of physics of microstructures. Retrieved from <http://physics.gu.se/~popok/SPM/Mironov.pdf>

- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Novak, J. D., Gowin, D. B., & Johansen, G. T. (1983). The use of concept mapping and knowledge vee mapping with junior high school science students. *Science Education*, 67, 625–645.
- Planinsic, G., & Kova, C. P. (2008). Nano goes to school: A teaching model of the atomic force microscope. *Physics Education*, 43, 37–45.
- Roco, M. C. (2001). From vision to the implementation of the U.S. national nanotechnology initiative. *Journal of Nanoparticle Research*, 3, 5-11.
- Schank, P., Krajcik, J., & Yunker, M. (2007). Can nanoscience be a catalyst for education reform? In F. Allhoff, P. Lin, J. Moor, & J. Weckert (Eds.), *Nanoethics: The ethical and social implications of nanotechnology* (pp. 277-289). Hoboken, NJ: Wiley.
- Schauble, L., Glaser, R., Duschl, R., Schulze, S., & John, J. (1994). Experimentation in science classroom. *The Journal of the Learning Sciences*, 4, 131-166.
- Shain, Y., & Linz, J. J. (1995). *Between states: Interim governments and democratic transitions*. New York: Cambridge University Press.
- Stevens, S., Sutherland, L., & Krajcik, J. (2009). The 'big ideas' of nanoscale science and engineering. Arlington, VA: National Science Teachers Association Press.
- Stevens, S. Y., Delgado, C., & Krajcik, J. S. (2009). Developing a hypothetical Multidimensional learning progression for the nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*. 39, 35-62.
- Tergan, S.-O., Keller, T., Burkhard, R. A. (2006). Integrating knowledge and information: Digital concept mapping models. *Information Visualizations*, 5, 167–174.
- Tobin, K. G., & Capie, W. (1981). The development and validation of a group test of logical thinking. *Educational and Psychological Measurement*. 41, 413–423.
- Vinck, D. (2009). *Les nanotechnologies*. Paris: Le Cavalier Bleu.

רשימת מקורות בעברית

קריגר, נ., וסלע, ל. (2010). מיקרוסקופ כוח אטומי (AFM): ננוכימיה – מן המחקר אל הכיתה.

על כימיה, 16, 26-27. אוחזר מ

<http://stwww.weizmann.ac.il/chemcenter/img/news/104.pdf>

בלונדר, ר. (2010). ננוכימיה – מן המחקר אל הכיתה. על כימיה, 16, 24. אוחזר מ

<http://stwww.weizmann.ac.il/chemcenter/img/news/104.pdf>

רשימת אתרים

http://academickids.com/encyclopedia/index.php/Atomic_force_microscope

http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/afm/tip_surface_interaction.php

נספח מס' 1: שקפים מודפסים של המצגת בנוכימיה ומיקרוסקופ AFM

ניסוי מס' 1

בניית מודל המתאר מיקרוסקופ AFM

החומרים:



1. קוביות לגו / קרטון קטן
2. חתיכת קומפקט דיסק אלסטית וישלה רפלקטיביות טובה
3. טיפ העשוי ממגנט
4. לייזר (מקור אור)
5. פלסטלינה
6. אטב כביסה
7. סרגל מפלסטיק
8. מכסים של בקבוקים עשויים ממתכת ומפלסטיק
9. דבק
10. נייר שורות

תכנון המערכת (המתקן)

נתכנן מיקרוסקופ הנקרא: AFM - contact mode

1. מדביקים את המגנט לשטח התחתון של חתיכת הדיסק שזה הקנטילבר (cantilever) ומשחילים אותו לתוך הקרטון/ מהדקים מעל לקוביות הלגו
2. מחזיקים את הליזר מעל ללגו באמצעות פלסטלינה, כך שהאור של הליזר נוגע בחלק המחזיר קרני אור של הקנטילבר

תכנון הדוגמה של האטומים "atomic landscape"

מדביקים מכסים עשויים ממתכת  ואחד עשוי מפלסטיק  במרחקים שווים אחד



מהשני מעל סרגל הפלסטיק בצורה:

***אפשר לשנות את סדר הפקקים ולגוון בסוגים שלהם**

מהלך הניסוי

1. מניחים את המתקן מול קיר לבן
2. מדביקים נייר עם שורות על הקיר
3. מפעילים את הלייזר ומחזיקים אותו מופעל במשך הניסוי באמצעות אטב הכביסה, מזיזים את המערכת (שימו לב שלא לכוון לעיניים של המשתתפים בניסוי) עד שהאור המוחזר יעשה פיק בקצה העליון של הסקאלה (הנייר) ומסמנים נקודת ההתחלה ושומרים את המערכת קבועה
4. מזיזים את דוגמת האטומים באיטיות (זזה עקרון פעולתו של מיקרוסקופ כוח אטומי עם מוד מגע) ובמרחקים שווים ובכל פעם מסמנים על הנייר את המקום של אור הלייזר
5. אוספים את התוצאות ומעבדים אותן



"תכנית רוטשילד-ויצמן למצוינות בהוראת המדעים"
במימונה של קרן קיסריה אדמונד בנימין דה רוטשילד

שאלון עמדות Pre

אנא מלא/י את הפרטים הבאים:

שם התלמיד _____ שם המורה _____
שם בית הספר _____ כיתה _____

בן/בת (סמן/י בעיגול)

לפניך שאלון עמדות. שאלון זה איננו מבחן וכל תשובה שתתן/י היא נכונה. בראש העמוד מופיע נושא, לאורך העמוד ומשני צדדיו נמצאים זוגות של מילים (או אמירות) המתארות את הנושא. שתי המילים בכל זוג הפוכות במשמעותן, בין שתי המילים יש חמישה ריבועים. הינך מתבקש/ת לבחור ריבוע אחד ברצף, המביע את עמדתך כלפי המילים, בקשר לנושא שבכותרת.

לדוגמה: הבעת עמדה כלפי סרט שראית:

מעניין	1	2	3	4	5	משעמם
--------	---	---	---	---	---	-------

אם לדעתך הסרט מאוד מעניין סמן/י X במשבצת הקרובה ביותר למילה מעניין (1). אם הסרט מאוד משעמם סמן/י X במשבצת הקרובה ביותר למילה משעמם (5). יתר המשבצות מהוות דרגות ביניים שונות למילים הרשומות בקצות השורה.

ללמוד כימיה זה

	5	4	3	2	1		
1						לא חשוב בשבילי	חשוב בשבילי
2						לא ברור	ברור
3						מהנה	לא מהנה
4						מעודד אותי לבחור בכימיה בהמשך לימודי	משכנע אותי <u>לא</u> ללמוד כימיה בהמשך
5						משעמם	מעניין
6						להתעדכן בחידושים במדע	ללמוד על מודלים ישנים
7						נותן לי הזדמנויות להשתתף בפעילות	לא נותן לי הזדמנות להשתתף בפעילויות
8						קשה להבנה	קל להבנה
9						מעודד אותי לחלוק את הרעיונות שלי עם חברים ומשפחה	<u>לא</u> משהו שאני מדבר עליו מחוץ לבית הספר
10						מקדם את העניין שלי במדע	מוריד את העניין שלי במדע
11						מעודד אותי לשאול שאלות בשעור	לא מעודד אותי לשאול שאלות בשעור
12						גורם לי לדלג על כתבות בנושאים כימיים בעיתון ובטלוויזיה	מושך אותי לקרוא ולראות כתבות בנושאים מדעיים בעיתון ובטלוויזיה
13						שימושי ללימודים שלי	לא שימושי ללימודים שלי
14						מלמד אותי נושאים רלוונטים לי- נושאים שנוגעים לחיי.	מלמד נושאים שאינם רלוונטים עבורי
15						השיעור נשלט ומנוהל על ידי המורה	גם אני משפיע על מהלך השיעור
16						כולל פעילויות מגוונות המסייעות להבנה	הלמידה נעשית באותה דרך בכל השיעורים
17						מכין אותי לחיי בעתיד, כשאגדל	לא קשור לחיי בעתיד, כשאגדל
18						מרחיב את האופקים שלי	לא משפיע על הרחבת האופקים שלי
19						חושף אותי למחקר שקורה עכשיו	מלמד אותי ידע <u>ישן</u> בכימיה
20						לא מספק תשובות לשאלות שמעניינות אותי	מספק הזדמנויות לקבל תשובות לשאלות שלי
21						מעורר רצון להמשיך ללמוד בצורה כזו	הייתי רוצה ללמוד כימיה בצורה אחרת
22						פשוט מידי	מאתגר
23						ללמוד על דברים שגילו <u>מזמן</u>	ללמוד על <u>גילויים</u> מדעים וחידושים טכנולוגיים
24						חדשני	מיושן

תודה רבה על שיתוף הפעולה!!

נספח מס' 4

שאלון מס' 2

שם התלמיד:-----

כיתה:-----

I. אינטל מציגה שלב חדש במזעור השבבים שלה: המעבר ל- **32 ננומטר** יאפשר לה להוזיל ולהאיץ את מעבדיה, להוריד את צריכת החשמל או להכפיל את מספר הליבות

1. מה זה ננומטר?-----

2. כמה ננומטר יש במטר?-----

האם אפשר לראות בעין או במיקרוסקופ אופטי את:

ענה בכן/לא אם כן באיזה מהם

3. חלקיקים ננומטרים?-----

4. אטומים ומולקולות?-----

5. התורשתי בתוך התא DNA?-----

6. תא?-----

7. נמלה?-----

8. איך אפשר לראות או לזהות את החומרים שלידם ענית **לא** בשאלה 3

9. מה זה ננוטכנולוגיה? תן דוגמה/דוגמאות

10. מהו תפקידו של מיקרוסקופ AFM? מהו עקרון הפעולה שלו?

II. א) CO_2 הוא חומר גזי בתנאי החדר, אם מקררים אותו מתחת לטמפרטורה של -78°C

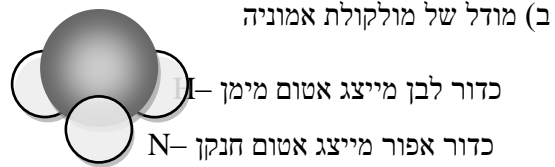
הוא הופך למוצק (קרח יבש) ואז משתמשים בו לצורך קירור.

1. תאר בצורה מיקרוסקופית מה השוני בין גז למוצק.

2. מהו סוג הקישור הבין-מולקולרי שמתרחש בין מולקולות CO_2 (הקרח היבש)? פרט

3. צייר מספר מולקולות של CO_2 קשורות ביניהן בקשרים בין-מולקולריים

4. איך נוצר קשר בין מולקולרי? תאר בקצרה והעזר בסרטוט



5. רשום את הנוסחה המולקולרית של אמוניה

6. רשום את נוסחת הייצוג על פי לואיס.

7. ציין איזה מטען חלקי (δ^+ , δ^-) יש על כל אחד מהאטומים במולקולת האמוניה.

8. האם מולקולת האמוניה קוטבית? הסבר כיצד קבעת.

9. מהן האינטראקציות הקימות בין מולקולות אמוניה נוזלית? הסבר

10. צייר מספר מולקולות של אמוניה נוזלית קשורות ביניהן בקשרים בין-מולקולריים.

أمامك المصطلحات التالية (לפניך רשימת המושגים):

נאנורובוטאט (ננו רובוטים) , استعمال طبي (שימוש רפואי)
נאנו איבוד (ננואיפוד) , ميكروسكوب (מיקרוסקופ) AFM
ננוטכנולוגיה (ננוטכנולוגיה) , ذراع (קנטיליבר) , ليزر (ליזר)
الايبره (טיפ) , مقياس نومتري (סדר גודל ננומטרי)
قوى تجاذب (כוחות משיכה) , قوى تنافر (כוחות דחייה) قوى فاندر فالس (כוחות ון דר וולס) ,
انخفاض في الطاقة (ירידה באנרגיה) انتاج رباط كيميائي (יצירת קשר כימי)

رتب جميع هذه المصطلحات على شكل شجرة مصطلحات (סדר את המושגים בצורת מפת מושגים)