



שילוב טכניקה חדשנית "ניקוי עצמי" self-cleaning בכיתה י"א, כמבנה מארגן של נושאי בסיס בתכנית הלימודים בכימיה

חנין בשארה* מורה לכימיה, בית חינוך ומדעים תיכון ג'לג'וליה

מבוססי-הננו הולך וגדל, ובהתאם לך גם הצורך לחנך וללמד אזרחים ותלמידים בכל הנוגע לסיכונים, ליתרונות ולהשלכות החברתיות והאתיות הקשורים בננוטכנולוגיה. חשיבות הנושא הובילה מספר מדינות לפתח תכניות לימוד חדשות בנושא חשוב זה במטרה לחנך את הדור הבא של המדענים והאזרחים. מחקרן של פרופ' רון בלונדר וסוהיר סחיני (Sakhnini & Blonder, 2016), התמקד בזיהוי יישומים ננוטכנולוגיים מומלצים ללימוד בתיכון, וממצאיו יכולים לשמש להוראה בהקשר של הוראת מושגים ננומטריים חיוניים במדע וטכנולוגיה (nanoscale science and technology) ונמציאם (NST) ואפליקציות מומלצות להוראה בתיכון. הממצאים מצביעים על כך שגם המורים וגם החוקרים מסכימים בדבר חשיבותם של חמשת היישומים הבאים: (1) ננו-רפואה, (2) ננו-אלקטרוניקה, (3) תאים פוטו ווולטאיים, (4) ננו-רובוטים, (5) ניקוי עצמי. גם Jones et al (2013) ציינו

כתבה זו תופיע בשני חלקים: האחד יתאר יחידת התערבות בנושא "ניקוי עצמי" self-cleaning כמבנה מארגן של הנושאים: מבנה וקישור, חומרים הידרופוביים, חומרים הידרופיליים וחמצון חוזר בכימיה וכן את הבסיס המדעי ליחידת התערבות זו. החלק השני יופיע בגיליון הבא ובו אתאר מחקר שערכתי על השפעת יחידת ההתערבות על ארגון הידע של התלמידים, העמקת הבנתם לנושאים שנלמדים, קישור הנלמד לחיי היומיום והעלאת המוטיבציה ההמשיכית של התלמידים.

ננוטכנולוגיה מכונה גם "המהפכה התעשייתית" של העידן המודרני (Jones, Blonder, Gardner, Albe, Flavo, & Chevrier, 2013). ההתפתחות המהירה של תחום הננוטכנולוגיה הביאה להתפתחות יישומים חדשניים ומדהימים ומפתיעים במגוון תחומים כגון: רפואה, אלקטרוניקה, אנרגיה סולרית. בכל שנה מספר המוצרים

* המאמר מתאר יחידה שפותחה על ידי חנין בשארה במסגרת עבודת הגמר לתואר שני בתוכנית רוטשילד-ויצמן בהנחיית פרופ' רון בלונדר, במחלקה להוראת המדעים.

שיישום הניקוי העצמי הוא דוגמה של חומר 'חכם' שנושא הבטחה להשגת עולם יעיל יותר.

היכולת המדהימה של עלה הלוטוס להישאר נקי שימשה השראה לפיתוח חומרים בעלי כושר ניקוי עצמי.



פרח הלוטוס



טיפת מים מתגלגלת על פני העלה, אינה נדבקת אליו ונושאת עמה לכלוך.



גבשושיות מיקרוסקופיות (בגודל של כמה מיקרונים), המכסות את כל שטח העלה, הן המפתח לכושרו לדחות מים. כיסוי מחוספס של גבישי שעווה ננוסקופיים המצפה את הגבשושיות האלה מגביר עוד יותר את האפקט.

איור 1: משטחים סופר הידרופובים

להלן כמה ציטוטים מתורגמים שכתבו מורים וחוקרים על החשיבות שבלימוד היישום ניקוי עצמי. הציטוטים לקוחים ממחקרן של פרופ' רון בלונדר וסוהיר סח'ניני (Sakhnini & Blonder, 2016). "היישום ממחיש את התועלת של הננו-חומרים בשמירה על סביבה ירוקה" (חוקר).

"היישום מדגים את העיקרון ששינויים בסקלה הננומטרית יכולים להיות בעלי השפעה מועילה על פעילויות יומיומיות" (מורה). "חומרי הניקוי העצמי כבר קיימים בשווקים המסחריים; ולכן לקוחות צריכים לדעת על המאפיינים שלהם ולהבין את

העקרונות המדעיים מאחורי הפעילות הייחודית שלהם" (מורה). כלומר, היישום של "ניקוי עצמי" גם קשור למושגי יסוד במדע - כגון סדרי גודל - גם מתקשר לתופעות מחיי היומיום של ניקיון ויעילות, וגם חשוב להשכלה של אזרחי העתיד בתור צרכנים של הטכנולוגיה הזו שכבר משווקת בחנויות. מהו "ניקוי עצמי" self-cleaning? היכולת המרהיבה של עלי הלוטוס לדחות לכלוך ולהישאר נקיים שימשה השראה לפיתוח חומרים בעלי יכולת לניקוי וחיתוי עצמי "ניקוי עצמי" self-cleaning (ביומימטיקה - חיקוי הטבע). החוקרים פיתחו חומרים מלאכותיים בעלי כושר ניקוי עצמי, מקצתם מבוססים על "אפקט הלוטוס". במאמר זה נציג שלוש שיטות של ניקוי עצמי (Ragesh, Venkatesan, Nair, & Nair, 2014).

1. **משטחים סופר הידרופוביים:** בדומה לעלי הלוטוס, שפני השטח שלהם מכוסים בגבשושיות מיקרוסקופיות (עם כיסוי מחוספס של גבישי שעווה ננוסקופיים המצפה את הגבשושיות ומגביר את אפקט דחיית המים), גם המשטחים הסינטטיים הדומים לעלי הלוטוס מכוסים בשכבה הידרופובית דוחה מים, ופני שטחם אינם חלקים. פני השטח המוחוספסים מגדילים את שטח הפנים והופכים את המשטח לסופר הידרופובי עם זווית מגע של 160 מעלות עם מים. הטיפות הנוצרות על פני השטח מקבלות צורה כדורית ומתגלגלות בקלות תוך כדי נשיאת הכלוך (פורבס, 2008).

הבסיס - הפיסיקה של הלוטוס

אפקט הניקוי העצמי של הלוטוס נובע מכך שפני השטח של העלה הידרופוביים (דוחי מים) ביותר. ההידרופוביות או ההידרופיליות (משכה למים) של החומר קובעות את זווית המגע בין החומר לשטח הפנים של המים.

כיצד הלוטוס מנקה את עצמו

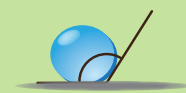


טיפת מים מחליקה על משטח טיפוס (לא הידרופובי ולא הידרופילי במיוחד) ומותירה את רוב הכלוך מאחור.

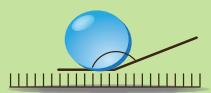
זוויות מגע



משטח הידרופילי:
פחות מ-30°



משטח הידרופובי:
יותר מ-90°



משטח סופר-הידרופובי:
יותר מ-150°



טיפת המים מתגלגלת על פני המשטח הסופר-הידרופובי, אוספת את הכלוך ונושאת אותו עמה. הזיקה בין המים לכלוך גדולה מן הזיקה שיש לכל אחד מהם למשטח.

הזווית הקהה טבעת מגבשושית הלוכדות אוויר בין המים למשטח ומקטינות את שטח המגע ביניהם.

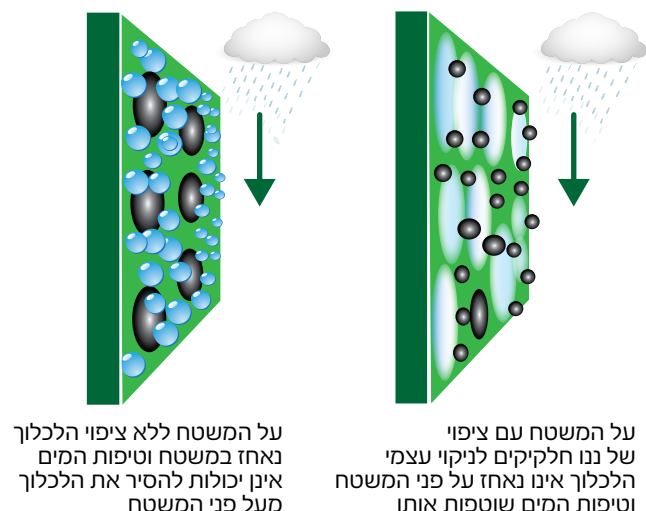
איור 2: זווית המגע של המים והשפעתה על הניקוי של העלה

השימושי וטושייה וטובה, שאור אולטרה-סגול המוקרן על שכבות טיטניה (TiO_2) בעובי ננומטרי, משפיע על חלקיקי הטיטניה ומאפשר להם לזרז תגובות כימיות של פירוק חומרים אורגניים (אפקט פוטו-קטליטי) - ובהם מרכיבי דופן התא של חיידקים - לפחמן דו-חמצני ולמים (פורבס, 2008).

הטיטניה מפגינה פעילות פוטו-קטליטית מפני שהיא חומר מוליך למחצה, ופוטון של אור אולטרה-סגול באורך גל של כ-388 ננומטר גורם לעירור אלקטרונים מרמות האנרגיה המלאות של "פס הערכיות" במינרל, ומעלה אותו אל פס ההולכה הריק שבו יכולים האלקטרונים לזרום ולהוליך זרם חשמלי. כתוצאה מכך נוצרים שני נושאי מטען ניידים: האלקטרון שהוקפץ אל פס ההולכה, ו"החור" שנותר בפס הערכיות. כאשר מטענים אלה חופשיים, הם יכולים לפעול על מולקולות מים וחמצן המצויות על פני השטח של הטיטניה וליצור יונים רדיקליים על-חמצניים (סופראוקסידים - O_2^-) ורדיקליים הידרוקסיליים ($\text{OH}^\cdot$). צורנים אלה מפרקים חומרים אורגניים לפחמן דו-חמצני ולמים (פורבס Ragesh, Venkatesan, Nair, & 2008; (Nair, 2014;

השימוש בציפויי טיטניה הופך את המשטח לסופר הידרופילי עם כושר הרטבה מוחלט ויוצא דופן, בזווית מגע של אפס מעלות למים. המשטח אינו מתערפל, והפעילות הפוטו-קטליטית של הטיטניה מוסיפה גם כושר חיטוי והפגת ריח טוב שכן היא מפרקת חומרים אורגניים והורגת חיידקים. שכבות הטיטניה הננומטריות שקופות, ולכן ניתן לצפות בהן גם זכוכית (פורבס, 2008).

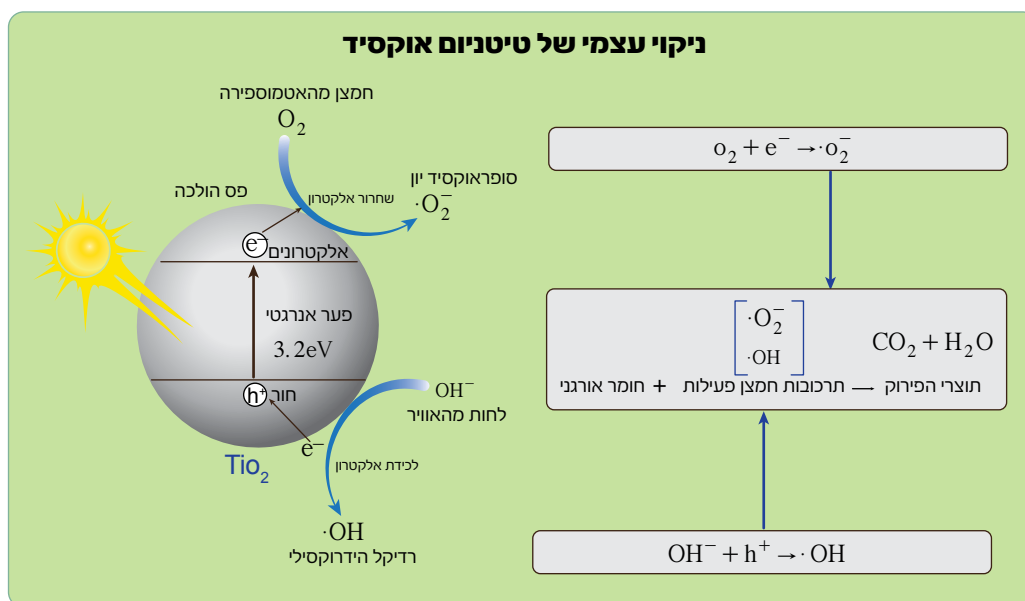
2. **משטחים הידרופיליים:** השיטה השנייה לניקוי עצמי מבוססת על משטחים שפני השטח שלהם הידרופיליים. זווית המגע בין טיפת המים למשטח קטנה מ-30 מעלות, ולכן המשטחים מסירים את הלכלוך תוך כדי קשירת המים. המים נוטים להימרח על פני השטח, ושכבת המים הזורמים נושאת את הלכלוך הלאה (פורבס, 2008).



איור 3: משטחים ננו-הידרופיליים לניקוי עצמי

3. **ניקוי מכאני על ידי אור השמש - אפקט פוטו-קטליטי (Photocatalytic effect):**

השיטה השלישית לניקוי עצמי מבוססת על משטחים שאפקט הניקוי העצמי בהם מבוסס על קטליזה של תגובה כימית בהשפעת אור אולטרה-סגול. ב-1990 גילו שלושה חוקרים יפניים: אקירה פוג'ישימה, קזוהיטו



איור 4: פעילות פוטו-קטליטית של TiO_2

ב-20 שנה האחרונות הוראת המדעים בכלל, וכימיה בפרט, מתמודדות בכל העולם עם הבעיות הבאות: תכניות הלימוד מוצפות בתוכן הכולל עובדות שאינן מקושרות זו לזו. התלמידים אינם מצליחים למצוא משמעות במה שהם לומדים ואינם מצליחים לקשור בין העובדות המבודדות. צורת לימוד זו יכולה להוביל להשתתפות נמוכה בכיתה, לקשיים ביצירת סכמה מנטלית (שכלית), לשכחה של התכנים ולחוסר יכולת העברה. התלמידים יכולים לפתור בעיות שהוצגו בפניהם בדרכים שלמדו אותן ונתקלו בהן ונכשלים בפתרון בעיות באמצעות אותם מושגים עצמם כאשר הבעיות מוצגות להם בדרכים שונות. בנוסף כמעט ואין העברה של התוכן הנלמד לחיי היומיום, ורובם הגדול של התלמידים בוחר לא להמשיך בלימודי הכימיה כי אינם רואים את הרלוונטיות של תחום הדעת לחיי היומיום.

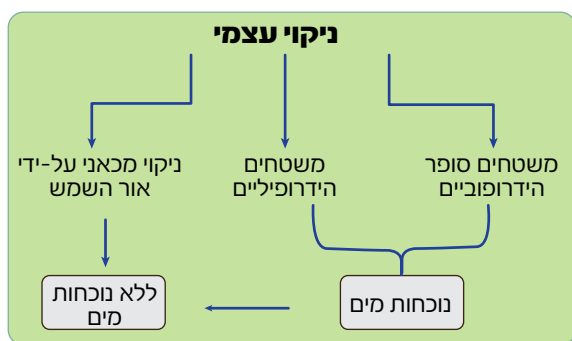
אחת הדרכים להתמודד בפני אתגרים אלה היא באמצעות ההוראה בהקשר שמתייחסת לסביבה החברתית והתרבותית שבה התלמידים נמצאים (Gilbert, 2006). ההוראה בהקשר מאופיינת על ידי השימוש בהקשרים חברתיים, טכניים או מדעיים כנקודת מוצא לפיתוח הבנה בכימיה ויצירת כימיה רלוונטית יותר לחיי היומיום של התלמידים (Sakhnini & Blonder, 2016). גילברט (2006) ניסה לאפיין ולהעריך ארבעת דגמים של "ההקשר" העומדים בבסיס הניסיונות האחרונים לבצע רפורמה בתכנון קורסים לחינוך כימאים. הוא הציג תאוריות ליישום תכניות לימוד מבוססות-הקשר והגיע למסקנה שתפקידה של ההוראה בהקשר היא לאפשר לתלמידים להעניק משמעות למה שהם לומדים בכימיה ולחוות את החוויה מתוך תחושת רלוונטיות לכמה אספקטים בחייהם.

כתוצאה מכניסת הגישה של הוראה בהקשר חלו שינויים רבים בחינוך המדע, פותח מגוון רב של חומרים שמשתמשים בהקשרים וביישומים כנקודת מוצא ליצירת הבנה של רעיונות ומושגים מדעיים. הספרות עשירה בתיאורים של תכניות מבוססות הקשר (Sakhnini & Blonder, 2016).

יישומי ננוטכנולוגיה הם מועמדים טובים להוראה בהקשר בחינוך המדעי, מאחר שיש להם קשרים ברורים לחיי היומיום של התלמידים, יש להם היבטים תעשייתיים וכולם מייצגים סביבה עשירה המערבת מחקר, חברה ותעשייה. יישומים ננוטכנולוגיים מייצגים הקשרים שיכולים להפיק מהמדע היבטים רלוונטיים, מעניינים ומשמעותיים יותר לתלמידים ולחיי היומיום שלהם. הוראה בהקשר שעושה שימוש ביישומי ננוטכנולוגיה, מספקת לתלמידים הזדמנות ללמוד איך עובד

המדע המודרני ויכולה לעודד את התלמידים לחשוב על קריירה במדעים (Jones, et al., 2013).

במאמר הנוכחי נחקרה הוראת כימיה בהקשר בתיכון באמצעות שילוב הטכניקה החדשנית "ניקוי עצמי" self-cleaning בכיתה י"א, כמבנה מארגן של הנושאים: מבנה וקישור, חומרים הידרופוביים, חומרים הידרופיליים וחמצון-חיזור בכימיה. מטרת העבודה היא לבדוק כיצד השימוש בטכניקה החדשנית "ניקוי עצמי" self-cleaning, שמבוססת על ננוטכנולוגיה וקשורה למספר מושגים מרכזיים בכימיה הנלמדים בתיכון, יכולה לשמש כמבנה מארגן. מבנה מארגן שיעזור לתלמידים לקשור בין הנושאים שנלמדים בדרך כלל כנושאים נפרדים, להעמיק את הבנת התלמידים בנושאים הנלמדים, לקשור את הנלמד לחיי היומיום ולהעלות את המוטיבציה ההמשכית של התלמידים.



איור 5: שלוש שיטות לניקוי עצמי במגנטונים שונים

תיאור יחידת ההתערבות

להלן תיאור של יחידת ההתערבות שפיתחת. ההתערבות התחילה מסוף הנושא מבנה וקישור ועד סיום הנושא חמצון-חיזור, והיא נמשכה כחודשיים, שבעה שיעורים בשבוע במשך 8 שבועות במהלך השליש הראשון ותחילת השליש השני. הפעילויות התבצעו בשלבים עם קבוצת הניסוי בלבד. להלן יוצגו השלבים, מטרתו של כל אחד מהם לפי רצף ההוראה והנושאים שנלמדים, ולבסוף תאור התצפיות בשיעורים (טבלה מס' 1).

מס' השלב	השלב	מטרת השלב	הערות ותצפיות מהשיעורים
1	סיפורו של עלה הלוטוס וסרטונים שמראים איך עלה הלוטוס מנקה את עצמו. סרטון ראשון סרטון שני את הסרטון השני עצרתי לפני שמתחילים לדבר על יישומים בתעשייה.	● לחשוף את התלמידים ליכולת המרהיבה של עלה הלוטוס לדחות לכלוך ולנקות את עצמו.	● התלמידים התלהבו מאוד מכל העניין, במיוחד אלה שיש להם עלי לוטוס בבית.
2	מה זה ביומימטיקה (חיקוי הטבע): היכולת המרהיבה של צמח הלוטוס לדחות לכלוך שימשה השראה לטכנולוגיות ניקוי וחיטוי עצמי. הערה: המשכתי להראות לתלמידים את החלק השני של הסרטון השני שמופיע בשלב מס' 1. בנוסף לסרטון Superhydrophobic coating !- Repels almost any liquid	● שהתלמידים יכירו את המושג ביומימטיקה. ● הכרת המושג: "ניקוי עצמי" - self-cleaning שהוא אחד הפיתוחים המעניינים בנושא ננוטכנולוגיה. ● יישומי הטכניקה בחיי היומיום ובתעשייה.	● התלמידים הראו התעניינות רבה בנושא הננוטכנולוגיה, דבר שבא לידי ביטוי בשאלות הרבות והמגוונות. הם שאלו הרבה שאלות ולא הייתה להם הסבלנות לחכות קצת עד לקבלת התשובה. ● שקט מוחלט בכיתה וריכוז שלא ראיתי כמוהו. התלמידים נראו כשענייהם פעורות וחיוך על הפנים. ● התלמידים זיהו שמדובר במשטחים הידרופוביים שדוחים מים. ● השארתי את התלמידים עם הסקרנות וההתלהבות לדעת איך עובד הניקוי העצמי. ● הרבה תלמידים ביקשו לראות שוב את הסרטונים. ● ביום למחרת רבים אמרו שהראו את הסרטונים לבני משפחותיהם.
3	חשיפה למצגת בנושא "ניקוי עצמי" self-cleaning והצגת המבנה המארגן כפי שניתן לראות באיור 5. (מצגת הניקוי העצמי)	● חשיפה לשלוש שיטות הניקוי העצמי ● ההתמקדות בשיטה הראשונה: משטחים הידרופוביים. ● להמחיש לתלמידים מה היא זווית הרטבה ומהי התרומה של המשטח הגבשושי בהקטנת שטח המגע עם המים ובהגדלת זווית ההרטבה עד כ- 150 מעלות. ● לקשור את מה שנלמד במבנה וקישור לחיי היומיום ולפיתוחים ויישומים חדשניים.	● הופתעתי שהתלמידים הבינו מהר את העניין של זווית ההרטבה וההבדל בין סוגי המשטחים: הידרופובי וסופר הידרופובי.

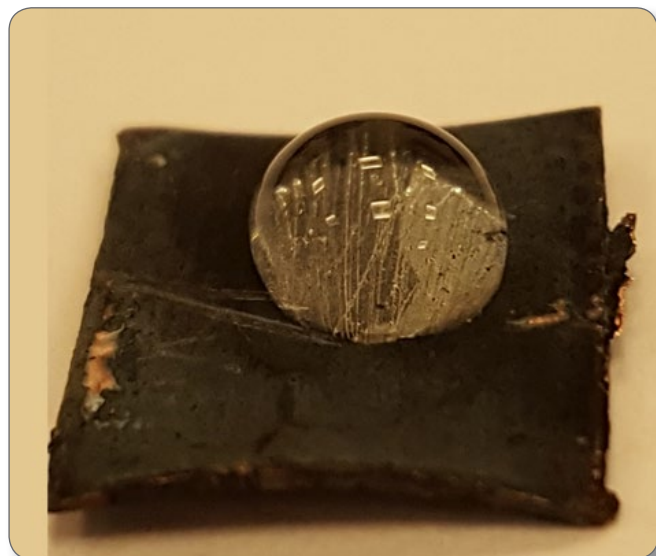
מס' השלב	השלב	מטרת השלב	הערות ותצפיות מהשיעורים
4	התמקדות במשטחים הסופר הידרופוביים ובאופן ספציפי על מה זה ננוטכנולוגיה וסקלת הננו ראה איור 1 Powers of Ten - סרטון	לתת לתלמידים להבין עד כמה ממדי הננו המזעריים תורמים בהקטנת שטח הפנים ובהגדלת זווית המגע שהופכת את המשטחים לסופר הידרופוביים.	התלמידים שמעו על המושג ננוטכנולוגיה בטלוויזיה אך הם לא הבינו מה זה ועל מה מדובר. הם לא ידעו מהו הגודל ננומטר.
5	משימת ביצוע - החול מחול קישור להוראות הניסוי	עבודה והתנסות עם חומר שדוחה מים.	- התלמידים התלהבו מאוד מהחול, קראו עליו ועל השימושים שלו באינטרנט. - שמחה גדולה הייתה בכיתה, כל התלמידים עבדו והפגינו מוטיבציה ויצירתיות יוצאת דופן. - תלמיד אמר לי: "איזה כיף ללמוד כימיה, היום אני אספר לכולם על החול הזה ואפילו אזמין אותו שיהיה לי בבית וכך אוכל לתת להורים ולאחים שלי לשחק אתו."
6	התמקדות בסוג השני של המשטחים שעושים ניקוי עצמי: משטחים הידרופיליים ואופן פעילותם. ראה איור 3. הכרת הצמח כובע הנזיר וניסויים להרטיבו. 	- הכרת שיטה שנייה של ניקוי עצמי. - לעמוד על ההבדלים ברמת המיקרו בין משטחים ההידרופיליים וההידרופוביים. - לקשור בין מה שנלמד במבנה וקישור לחיי היומיום ולפיתוחים חדשניים. - התחלת הקישור בין המושגים הידרופובי והידרופילי.	- התלמידים שאלו שאלות מעמיקות יותר. - הפגינו התעניינות בכל הנושא של ניקוי עצמי וננוטכנולוגיה. - תלמיד אחד שעובד בחנות של כלי בית וריהוט לגן קם ואמר לי: "אתמול שמו למישהו על הזכוכית הקדמית של האוטו חומר ששומר על הזכוכית נקייה, ואז אני הסברתי להם איך החומר הזה עובד והייתי מאוד גאה בעצמי, והאנשים התלהבו ממני מאוד."
7	ניסוי לוחות הנחושת+ מצגת - הכנת משטח שפעם אחת עושים אותו הידרופילי ולאחר מכן הופכים אותו להידרופובי. (קישור להוראות הניסוי) ראו איור 6	להמחיש יותר את ההבדלים בין משטחים הידרופיליים ובין הידרופוביים ברמת המיקרו וזווית ההרטבה.	- התלמידים התנסו בקסם הכימיה. - צעקות ההתלהבות והצחוקים מילאו את המעבדה. - תמונות מהניסוי (ראו איור 6). Qinmin, P., Haizu, J., & Hongbo, W. (2007). Fabrication of superhydrophobic surfaces on interconnected Cu(OH) 2 nanowires via solution-immersion. Nanotechnology, 18(35), 355605. Retrieved from http://stacks.iop.org/0957-4484/18/i=35/a=355605

מס' השלב	השלב	מטרת השלב	הערות ותצפיות מהשיעורים
8	פוטו-קטליזה ברמת ההגדרה הדרישה לנוכחות מים לצורך הניקוי העצמי תוביל לדבר על השיטה השלישית של הניקוי העצמי שאינה מחייבת נוכחות מים. פוטו-קטליזה.	- להכיר את המושג. - לקשור בין הנושאים שנלמדים.	- בהתחלה רק הסברתי מה זה פוטו-קטליזה בלי להיכנס למנגנון הניקוי העצמי בפוטו-קטליזה. וכששאר התלמידים ביקשו להבין איך השיטה עובדת, הסברתי שבגלל זה צריכים בהתחלה ללמוד חמצון-חיזור ורק אחר כך נבין איך הטכניקה עובדת. - התלמידים התלהבו ללמוד את הנושא של חמצון-חיזור כי ידעו שבזכותו הם יבינו את השיטה.
9	חמצון-חיזור לפי התכנית הרגילה	הכרת הנושא על כל פרקיו ונושאים במטרה לענות על שאלות הבגרות הקשורות בנושא.	התלמידים הפגינו הבנה טובה מאוד לנושא מאחר שלמדו אותו מתוך "הצורך לדעת".
10	חזרה למצגת ולמבנה המארגן - לעמוד על שיטת הפוטו-קטליזה ותכונות הטיטניה	- להכיר את המושג מוליך למחצה. - תיאור מנגנון הפוטו-קטליזה בעזרת ציפוי הטיטניה.	- צפיתי שהתלמידים יתקשו בהבנת עירור האלקטרונים ויצירת מטענים ניידיים והופתעתי לטובה. - התלמידים נדהמו מהאופן שבו הדברים מתרחשים.
11	תכונות הטיטניה שמשתנות עם שינוי גודל החלקיקים	לעמוד על התכונות הבסיסיות של הטיטניה שמשתנות עקב השינוי בגודל החלקיקים לגודל של ננו.	
12	גישה מנוגדת - הטיטניה שמתנקה מעצמה ראה איור 4. סרטון - Nano Titanium Dioxide TiO₂	- תיאור מנגנון עבודת ציפוי הננו-טיטניה. - קישור בין הנושאים שנלמדים בכימיה כנושאים נפרדים.	התלמידים התלהבו מאוד ממנגנון הפעולה.
13	שימושים בחיי היומיום	חשיפה למגוון הגדול של שימושי החומר שמתנקה מעצמו.	

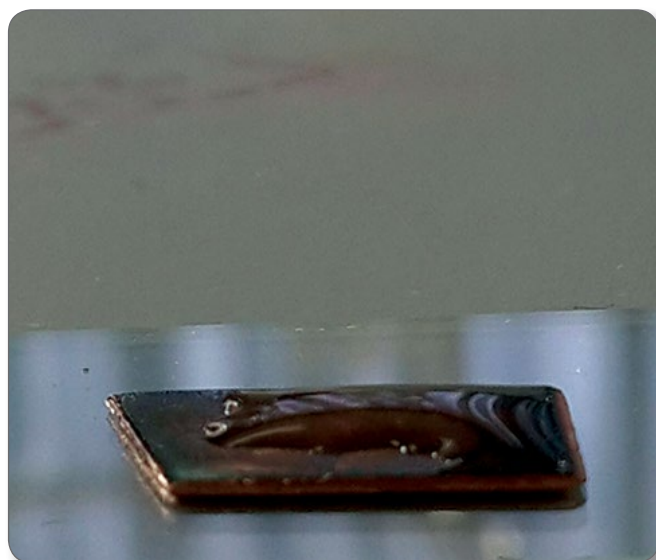
מס' השלב	השלב	מטרת השלב	הערות ותצפיות מהשיעורים
14	פעולת סיכום - רשימה מרכזת על הלוח של כל המושגים שנלמדו במהלך כל הפעילויות ויצירת מפת מושגים.	המחשת למידת הקישוריות בין המושגים והנושאים.	- התלמידים התלהבו מאוד והעלו מושגים שלא חשבתי שיעלו אותם כמו: חור שטעון חיובית, עירור אלקטרונים, שמש, זווית הרטבה... - תלמיד אחד אמר שהוא מאוד גאה בעצמו שיודע ומבין כל כך הרבה מושגים ונושאים.
15	השתתפות בכנס השלישי של תלמידי הכימיה שהתקיים בטירה - התלמידים הציגו את היישום ניקוי עצמי ופעילות החול.		התלמידים נתנו לקהל הסברים מפורטים ודיברו בשפה מדעית גבוהה מאוד.

חלקו השני של המאמר יתאר בהרחבה את המחקר שערכתי בשתי קבוצות לימוד, קבוצת ניסוי וקבוצת בקרה. נעזרתי במחקר במספר כלים: מבחן ידע, שאלון עמדות וראיונות עם תלמידים. עיקרי הממצאים של המחקר הראו שהשימוש בטכניקה החדשנית self-cleaning (מבוססת על ננו חלקיקים) כמבנה מארגן סייע לתלמידים לקשור בין הנושאים שנלמדים בכימיה בנושאים נפרדים. התלמידים הצליחו להכניס עוד נושאים למבנה המארגן, דבר שמעיד על קישור מוצלח בין הנושאים. ההוראה בהקשר תרמה מאוד להבנת התלמידים של הנושאים הנלמדים, והתלמידים בחרו להציג את הנושאים האלה בכנס השלישי של תלמידי הכימיה שהתקיים במרץ 2016 בעיר טירה. התלמידים קשרו את מה שנלמד לחיי היומיום וחלק מהם התחילו לתת הסברים מדעיים לתופעות מדעיות הן להורים שלהם והן לחברים. חדשנות הטכניקה, הרלוונטיות שלה והיותה נושא מחזית המדע הלהיבו מאוד את התלמידים. עקב כך סיפרו התלמידים לכל מכריהם על הטכניקה ואפילו הראו להם סרטונים. כמו כן רבים הפגינו רצון להמשיך בלימודי המדעים, דבר שמעיד על מוטיבציה המשכית.

העבודה שתוארה במאמר זה מחזקת את חשיבות השיטה עבור התלמידים ואת תרומתה הרבה להבנה שגילו התלמידים בנושאים הנלמדים, ליכולתם לקשור בין הנושאים שנלמדים בכימיה בנושאים נפרדים כמו גם ליכולתם לקשור את הנושאים שנלמדים בכימיה לחיי היומיום ולשימושים ופיתוחים חדשניים. כמו כן נמצא שהשיטה תורמת להעלאת המוטיבציה ההמשכית של התלמידים.



איור 6. טיפת מים על משטח נחושת שעבר טיפול והפך להיות משטח סופר-הידרופובי



איור 6א. טיפת מים על משטח נחושת



איור 7. מגדל חול שנבנה מהחול ההידרופובי

מקורות

Gilbert, J. K. (2006). On the Nature of "Context" in Chemical Education. International Journal of Science Education, 9, pp. 957-976.

Greenberg, A. (2009). Integrating nanoscience into the classroom: Perspectives on nanoscience education projects. ACS Nano, 3(4), pp. 762-769.

Jones, G., Blonder, R., Gardner, G., Albe, V., Falvo, M., & Chevrier, J. (2013). Nanotechnology and Nanoscale Science: Educational challenges. International Journal of Science Education, 5, pp. 1490-1512.

Ragesh, P., Venkatesan, A., Nair, S., & Nair, A. (2014). A review on 'self-cleaning and multifunctional materials. Journal of Materials Chemistry A, 2, pp. 14773-14797.

Sakhnini, S., & Blonder, R. (2016). Nanotechnology applications as a context for teaching the essential concepts of NST. International Journal of Science Education, 38, pp. 521-538.

פורבס, פ'. (דצמבר 2008). חומרים המתנקים מעצמם. סיינטיפיק אמריקן ישראל, עמ' 38-45.

איורים מס' 1 ו-2 מבוססים על פורבס, פ. (2008). חומרים המתנקים מעצמם, מגזין סיינטיפיק אמריקן ישראל, גיליון דצמבר, 38-45.