

באילו תנאים נאפשר החלפה של חלונות בית הספר בתאים סולאריים מבוססי-פרובסקיט?



רון בלונדר, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע
אלון שחם, גן המדע ע"ש קלור, מכון דוידסון לחינוך מדעי, מכון ויצמן למדע
אסתי זמלר, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע

בכל מדינה מפתחים יחידה בנושא מדעי שונה אשר רלוונטי לקונטקסט המקומי.

במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע בישראל פותחה יחידה במהלכה התלמידים מתבקשים לקבל החלטה לגבי הסוגיה של החלפת חלונות בית הספר בתאים סולאריים מבוססי-פרובסקיט¹.

במסגרת פרויקט אירופאי בהוראת המדעים, פותחה במכון ויצמן יחידה ייחודית העוסקת בהיבטים חברתיים של מחקר ופיתוח עכשווי. הפרויקט נקרא *Irresistible*, בלתי ניתן לעצירה – והשם משקף את השאלה מי יכול, אם בכלל, לעצור פיתוח מדעי שעלולות להיות לו השלכות שליליות על הסביבה או על החברה שבתוכה המחקר מתבצע. הפרויקט מתקיים בעשר מדינות באירופה.

1. היחידה פותחה על ידי קהילה לומדת הכוללת מורי כימיה מובילים, חוקרים מהמחלקה להוראת המדעים ומומחים לחינוך לא פורמלי מגן המדע על שם קלור. צוות הפיתוח (על פי סדר אלף-ביתי): ד"ר רון בלונדר, רונית ברד, זיוה בר-דב, אסתי זמלר, פאדיה חטיב, סוהיר סחיניני, ד"ר שרמן רוזנפלד, שלי רפ ואלון שחם.

כדי לקבל את ההחלטה בסוגיה של החלפת חלונות בית הספר בתאים סולאריים מבוססי-פרובסקיט, התלמידים מתנסים וחווים מגוון פעילויות כגון:

- סיור בגן המדע
- הכנת תא סולרי בניסוי חקר
- פאנל של תלמידי מחקר במכון ויצמן
- מהדורת חדשות ייחודית.

התלמידים מונחים כיצד לבחון את הבעיה המוצבת בפניהם מנקודות מבט שונות, ולהחליט כיצד לנהוג עם הטכנולוגיה החדשה שהובאה לבית הספר. את כל התהליך מציגים התלמידים בתערוכה שהם מתכננים במהלך הפעילות ובונים בבית הספר לאחר הביקור במכון. בתערוכה התלמידים מביאים לידי ביטוי את כל המידע הרלוונטי לדעתם לגיבושה של החלטה בנוגע לסוגיית החלפת חלונות בית הספר בחלונות סולאריים מבוססי-פרובסקיט. המבקרים בתערוכה – תלמידים עמיתים מאותו בית ספר ומבתי ספר אחרים אשר ישתתפו בתכנית – מונחים לקבל החלטה בסוגיית החלונות הסולאריים בעצמם.

מחקר וחדשנות אחראיים

מחד, מחקר ופיתוח מדעי הם עמודי התווך המניעים קיימות, שגשוג, צמיחה ומענה לצרכים חברתיים. מאידך, עם התפתחותו של המדע וכתוצאה מההאצה הטכנולוגית, מתרבים גם אירועים בעלי השלכות חברתיות, אתיות, סביבתיות ובריאותיות רחבות היקף חלקם בעלי השפעה שלילית. מתוך תפיסה הגורסת שלמדענים יש מחויבות מוסרית להביא בחשבון את השפעותיו של המחקר המדעי שהם עורכים, פיתח האיחוד האירופי את גישת RRI (Responsible Research and Innovation). בבסיס הגישה מוצב חזון של שיתוף פעולה בין המדע לחברה אשר יביא לידי ביטוי היבטים ערכיים, חברתיים וסביבתיים של מחקר ופיתוח עכשווי.

תיאור הפעילות

היחידה שפותחה במכון ויצמן כוללת הוראה מקדימה בכיתה ופעילות חוץ-בית-ספרית במכון

ששת ממדי ה-RRI

(Responsible Research and Innovation)

RRI כולל שישה ממדים אשר נגזרים מתפיסת האחריות ההדדית שיש למגוון השחקנים בחברה בכל הנוגע למחקר וחדשנות מדעית:

1. מחויבות ומעורבות (engagement) של כל בעלי התפקידים בחברה - הסכמה רחבה מתוך למידה משותפת ובחירה משותפת של אתגרים חברתיים הראויים לפיתוח מדעי-טכנולוגי, תביא למצינות במחקר ולפיתוחים טכנולוגיים הנותנים מענה ראוי לאתגרים חברתיים.

2. שיוויון מגדרי (gender equality) כזה שיאפשר לממש את מלוא הפוטנציאל האנושי.

3. חינוך מדעי (science education) - יש לצייד את דור העתיד בידע ובכלים הנדרשים לגיבוש תפיסת עולם במונחים של RRI. יש לעורר בקרב מי שיהיו מדעני המחר מודעות לפיתוחה של חברה בעלת אוריינות מדעית, ולעודד את כל שחקני המחר לחשיבה יצירתית כאמצעי לתועלת החברה.

4. נגישות למידע (open access) - שקיפות וגישות תפחית חשדנות בדבר מניעים בלתי כשרים, תאפשר לשחקנים חברתיים לעשות שימוש בתוצאות מחקרים, לחלוק מסקנות עם שאר השחקנים ולהתקדם הלאה לעבר פיתוחים חדשים.

5. אתיקה (ethics) - על מנת להיענות לאתגרים חברתיים, יש לפעול על בסיס ערכים ועקרונות משותפים. תהליכי המחקר והפיתוח חייבים לכבד זכויות בסיסיות ולפעול עפי סטנדרטים גבוהים של אתיקה. אין לראות באתיקה גורם מעכב לתהליכי מחקר כי אם אמצעי להבטחתן של תוצאות באיכות גבוהה.

6. פיקוח (governance) - מטריית-העל אשר תבטיח מודל הרמוני המשלב בין כל שאר הממדים ותמנע התפתחויות מסוכנות ובלתי אתיות בתהליכי מחקר ופיתוח.

ויצמן. במסגרת היחידה התלמידים נחשפים לפיתוח חדשני הניצב כיום בחזית המדע – תאים סולאריים מבוססי-פרובסקיט. באופן הדרגתי התלמידים רוכשים במהלך הפעילות ידע וכלים אשר יסייעו להם לבחון סוגיה הנגזרת מן הפיתוח: האם לאפשר התקנתם של חלונות סולאריים מבוססי-פרובסקיט בבית ספרם? טבלה 1 מציגה את רצף הפעילויות של היחידה שפותחה. ניתן לראות כי החלק הראשון והחלק האחרון של בניית התערוכה מתקיימים בבית הספר.

טבלה 1: מרכיבי הפעילות

הפעילות		משך הזמן הנדרש	מקום הפעילות
שיעור מקדים	סיפורה של העופרת	שעתיים	בית הספר
	עקרונות ה-RRI	שעתיים	
יום פעילות במכון ויצמן	סיור בגן המדע	45 דקות	מכון ויצמן
	מהדורת חדשות והצגת הסוגיה	30 דקות	
	הכנת תא סולרי - מעבדת חקר	שעתיים	
	סריקת פני השטח של התא במיקרוסקופ AFM		
	דיון להצגת טיעונים ולקבלת החלטות	30 דקות	
	פאנל דוקטורנטים	45 דקות	
	תכנון תערוכה ראשונית והצגתה בפני הדוקטורנטים	בזמנים קצובים במהלך כל היום	
הקמת תערוכה		נתון לשיקול המורה	בבית הספר ו/או כמטלת הערכה חלופית בבית
הצגת תערוכה וקבלת החלטות		נתון לשיקול בית הספר	בית הספר

עופרת חמצנית PbO (שנוצרת כתוצאה מחימום כלי העופרת באוויר) מגיבה עם חומצה אצטית שנוצרת בין ליצירת עופרת אצטט בעלת טעם מתוק

$$\text{PbO}_{(s)} + 2\text{CH}_3\text{COOH}_{(aq)} \rightarrow \text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_{2(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$$

באופן זה מורידה העופרת את חומציות היין ואף ממתיקה ומשפרת את טעמו. המידע שהיה חסר לרומאים הוא התכונות הרעילות של העופרת אשר עלולות להוביל לפגיעה נוירולוגית, לירידה במנת המשכל, להזיות, לטירוף ואף למוות. בהמשך השיעור התלמידים לומדים על השימוש בעופרת בתעשיית הצבעים, וצופים בסרטון על מאבקו של קלייר פטרסון בתעשיית הנפט בשל תוספי העופרת לדלקים. במסגרת השיעור דנים התלמידים בסוגיות אתיות, חברתיות וסביבתיות שעולות מסיפור

ממדי RRI וסיפור הרעילות של היסוד עופרת

הפעילות מתחילה, כאמור, בשיעור מקדים, שבו המורים לכימיה מלמדים את התלמיד בכיתה על היסוד עופרת, שימושו השונים לאורך ההיסטוריה. סיפור העופרת מתחיל בתקופת הרומאים שהשתמשו בעופרת הן במערכת הובלת המים שפרסו במדינה, והן ככלי אוכל ושימור מזון. במסגרת הסיפור באים לידי ביטוי היבטים מגוונים של תהליכים כימיים שבהם מעורב היסוד עופרת. כך לדוגמה ניתן להתחקות אחר הסיבות שבגינן העדיפו הרומאים לשמור את היין בבקבוקי עופרת. מבחינתם – הייתה זו דרך לשפר את טעמו. בחינת התהליכים הכימיים מגלה את הסיבות לכך:

(תמונה 1) אשר מנצל את אנרגיית השמש על מנת להגיע לטמפרטורות גבוהות; מגל לחשמל (תמונה 2) אשר עושה שימוש במשאב טבעי אחר שניתן לנצל - גלי ים; מזרקה סולארית (תמונה 3) אשר עושה שימוש באנרגיית השמש; דוד שמש אשר ממיר את אנרגיית השמש לחום ולא לחשמל; טורבינת רוח (תמונה 4) אשר מדגימה שימוש בכוח הרוח לשאיבת מים; בוי - דרך מוחשית (וכיפית) לחוות שימור ואגירת אנרגיה. במוצג זה מותקן גלגל תנופה אשר אוגר את האנרגיה אשר משקיעים במשיכת הידית למטה. האנרגיה שמוסיפים למערכת נאגרת בכל פעם עוד ועוד, כך שניתן אפילו להתרומם באוויר לגובה של מספר מטרים. במכוניות היברידיות יש גם גלגל תנופה אשר אוגר את האנרגיה המתבזבזת בבלימה על מנת לחסוך באנרגיה בזמן האצה ממנוחה. גם תלמידים שכבר ביקרו בעבר בגן המדע נהנים מן ההדרכה הממוקדת בנושא של אנרגיות מתחדשות ומרגישים שהסיור הינו בעל ערך מוסף.

העופרת, ובשאלות כגון: מה היה ניתן לעשות באופן שונה כדי למנוע את האסון החמור שנגרם בגלל חשיפות גבוהות לעופרת? אילו קווים אדומים נחצו? כיצד ניתן להימנע מתופעות דומות בעתיד? מתוך הדיון ובהנחיית המורה מוגדרים ששת ממדי ה-RRI (ראה מסגרת). לסיכום השיעור, התלמידים מתנסים בניתוח היגדים ובאיפיונם עפ"י ממדי ה-RRI. זהו הידע המקדים שעמו מגיעים התלמידים ליום הפעילות במכון ויצמן.

סיור בגן המדע - אנרגיות חלופיות

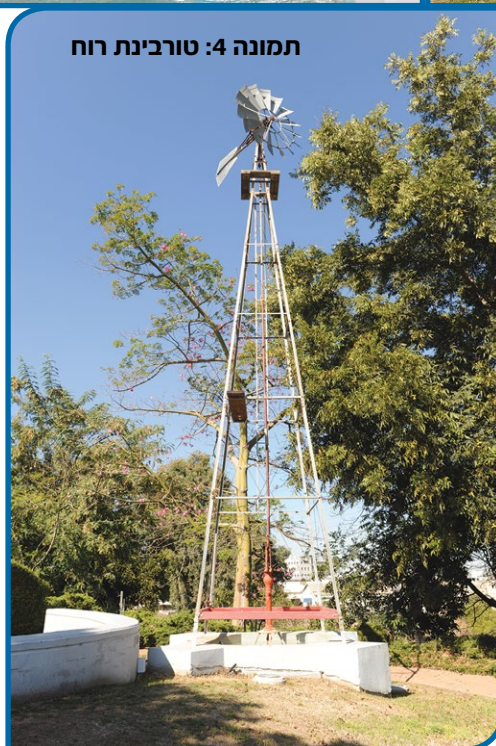
בשנים האחרונות קיים דיון מתמשך על מקורות אנרגיה מתחדשים. אנרגיה נשמרת כמובן בכלתה ליק פיזיקלי וכימי; הבעיה נובעת מהיכולת שלנו להשיג אנרגיה זמינה (בצורת אנרגיה כימית) במינימום השפעה על הסביבה. במוזיאון גן המדע התלמידים נחשפים למקורות אנרגיה מתחדשים ולשימושים שלהם בחיינו בתיוכם של מגוון מוצגים: תנור שמש



תמונה 2: מגל לחשמל



תמונה 1: תנור שמש

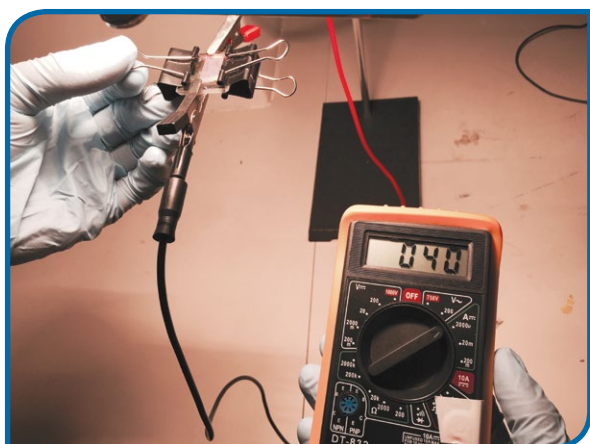


תמונה 4: טורבינת רוח



תמונה 3: מזרקה סולארית

אוקסיד באמצעות מיקרוסקופ ה-AFM, ממחישה לתלמידים את שטח הפנים הגדול עליו מתרחש תהליך המרת האנרגיה. באופן זה מתבהר הקשר בין מידת החספוס של שטח פני הטיטניום אוקסיד לבין יעילותו של התא.



תמונה 5: תא סולארי מרוגש צבע

לאחר הסיור בגן התלמידים צופים במהדורת חדשות מיוחדת שהופקה בערוץ 2 ואשר עוסקת בסוגיה: "האם לאפשר את החלפת חלונות בית הספר בחלונות סולאריים מבוססי-פרובסקיט?" התלמידים מקבלים על עצמם את האחריות לסייע לבית הספר בקבלת ההחלטה. המשך הפעילות יתמקד בתאים הסולאריים הללו. בהמשך יום הפעילות התלמידים צופים במבזקים מיוחדים המעלים סוגיות סביבתיות ובריאותיות הקשורות לשאלה המובילה של היום. בחלק זה התלמידים שואלים את עצמם: "האם מהדורת החדשות 'אמיתית?'", "האם הסיפור מציאותי?". הניסיון מלמד כי סיפור המסגרת המוצג באמצעות מהדורת החדשות גורם לתלמידים להיות מעורבים מאוד בהמשך תהליך הלמידה של היום ויוצר אצלם מוטיבציה ללמוד את הנושא לעומקו.

קבלת ההחלטה

בשלב הבא המורה מזכירה לתלמידים את ממדי ה-RRI שנלמדו בכיתה בהקשר של "סיפור העופרת" ונערך דיון לגבי השאלה המובילה של היום בהקשר של ממדי ה-RRI השונים. התלמידים מעלים שאלות שהיו רוצים לשאול כדי להחליט אם לקבל את הפיתוח.

להלן דוגמאות למספר שאלות שהעלו התלמידים:

מי צריך לפתור את בעיית האנרגיה?

האם אנשים שלא יודעים מדע צריכים להשתתף בהחלטות מדעיות?

ומה אם אין ייצוג נשים בצוות הפיתוח. האם בכל זאת נקבל את ההחלטות?

לד כמה המדען צריך להגדיל את חשבושיו כדי להבטיח את הפיתוח? ציבור שאינו מורכב מחוקרים?

האם חייבים גם לפרסם את החלטותנו של המחקר?

האם המוצר והפיתוח אוקרים בחשבון זכויות חברתיים וסביבתיים?

האם הפיתוח הוא בר-קיימא נאמחשבה בהשקעה על העתיד?

האם יש פיתוח? מי יפקח? באיזה שלבים של הפיתוח והמחקר יש לעצור את הפיתוח?

בתהליך דינמי התלמידים בוחרים עמדה ומציגים את הטענות שלהם לעמדתם בנושא. הם מוזמנים

ניסוי הכנת תאים סולאריים

כדי ללמוד את הנושא של תאים סולאריים, התלמידים מכינים תא סולארי ולומדים על מרכיביו. הניסוי מתקיים כניסוי חקר ברמה 2 חלקי, ובסופו התלמידים מפעילים את התא הסולארי הקטן שהכינו ומודדים את הזרם החשמלי שמתקבל במערכת. תמונה 5 מציגה את התא הסולארי שנוצר בניסוי. ניתן לקרוא את המאמר שכתב פרופ' דורון אורבך בעלון מורי הכימיה כדי להבין לעומקו את עקרון הפעולה של תא סולארי "מרוגש צבע" אשר מכינים התלמידים בניסוי.

התלמידים מכינים טיוטה ראשונית שבה הם מציגים את המידע שלמדו על תאים סולאריים. המידע יספק כלים לקבלת ההחלטה בשאלה "האם לאפשר החלפת חלונות בית הספר בחלונות סולאריים מבוססי-פרובסקיט?" הטיטה תהווה בסיס לבניית תערוכה שתבקש מן המבקרים בה לנקוט עמדה בסוגיה האם לקבל את הפיתוח ולהתקין בבית הספר?

סריקת התא הסולארי במיקרוסקופ AFM

התא הסולארי שמכינים התלמידים בנוי מננו-חלקיקים של טיטניום אוקסיד, שעל שטח הפנים שלהם מתרחש תהליך המרת אנרגיית האור לאנרגיה חשמלית. סריקת שטח הפנים של הטיטניום



תמונה 6: תלמידים במהלך יום הפעילות במכון ויצמן

הכנת תערוכה

התלמידים משתמשים בטיטות שהכינו בשלביו השונים של היום ומכינים בבית הספר תערוכה. התערוכה מתייחסת לסוגיה שבה עסקו התלמידים לאורך כל היום הן מבחינת התכנים המדעיים והן מבחינת ההשלכות הסביבתיות-חברתיות (ממדי ה-RRI). את הטיטות של התערוכה התלמידים מציגים לדוקטורנטים (תלמידים לתואר שלישי) במכון ויצמן, אשר מגיעים לסופו של היום במכון ויצמן כדי לספר לתלמידים על המחקר שלהם. אנו מציעים למורים המשתתפים בתכנית להמשיך את בניית התערוכה בשיעור ולהציגה בבית הספר (תמונה 7). התערוכה - כתוצר לימוד רב-ממדי של הנושא - מהווה דוגמה להערכה חלופית במסגרת 30% מתכנית הלימודים החדשה אשר מוערכים בהערכה בית ספרית. יחידה זו יכולה לשמש כיחידת הוראה והערכה חלופית במבנית "כימיה מכל וחול".

לשקול את עמדתם לאחר צפייה במבזקי חדשות המאירים עוד צדדים של הפיתוח, לדוגמה: מבזק מס' 1 מציג את הסיבות להתנגדות ועד ההורים המרכזי לפיתוח; מבזק מס' 2 מציג את המקום שבו מיוצרים התאים ואת התנהלותו של מפעל הייצור כלפי התושבים המקומיים וכו'.

"בשלב זה התלמידים מכינים טיטה ראשונית שבה הם מציגים את המידע הרלוונטי לממדי RRI בסוגיית שילוב תאים סולאריים מבוססי-פרובסקיט על חלונות בית הספר?" כלומר, האם לקבל את הפיתוח בבית הספר?



תמונה 7: תערוכת תוצרים בביה"ס "קציר" ברחובות

ו-4 שעות בבית הספר. הפעילות מתאימה לתלמידי כיתות י"ב, לדוברי עברית או ערבית.

ומה אומרים המורים שהשתתפו בפעילות?

"הגאומידים מאט" נכנסו לזה". ניסו לשכנע אחד אחר פשוט אפילו טיפולנים מורכבים מבוססים על הידע המדעי שלמדו".

"בניסוי החקר הגאומידים שלי הגרפם מאוד שהצליחו להפיק חשמל מאוד בגא פסולתי שהם הכינו. הם שלאו אולי אם אפשר להכין גא כזה גם בבית כדי להראות אחרים".

"הגאומידים שלי פגשו אפילו אדא אולי באור חדש. הם הגרשו מכך שאני מכירה חוקרים במכון ויצמן ומביאה אליהם אפילו המיחזג הזה".

יחידת הלימוד "האם לאפשר החלפת חלונות בית הספר בחלונות סולאריים מבוססי-פרובסקיט?" משלבת פעילות בבית הספר עם פעילות חוץ בית ספרית במכון ויצמן. הפעילות עוסקת בנושא מדעי של פיתוח תאים סולאריים חדשנים כמו גם בהשלכות של הפיתוח על החברה והסביבה. יום הפעילות במכון ויצמן משלב סיור בגן המדע וניסוי חקר ברמה 2 חלקי. תוצרי הפעילות המוצגים כתערוכה בבית הספר יכולים להוות חלק מ-30% של לימודי הכימיה הניתנים להערכה חלופית בית ספרית.

ההשתתפות בפרויקט מצריכה למידה של המורים המובילים את הכיתה, וכוללת יום מלא במכון ויצמן



תמונה 8: צוות פיתוח יחידת הלימוד, בסיור בגן המדע