

"יש לי כימיה עם הסביבה"

דפנה מנדלר*

הוא יכולתם של התלמידים לקשר בין מושגים הקשורים לכימיה, לאיכות הסביבה ולתהליכים המתרחשים בסביבה הקרובה שלהם. אין די בהבנת התגובות כשלעצמן, אלא כחלק ממערכת שלמה שבה מתקיימים יחסי גומלין והדדיות בין התגובות לבין עצמן ובין הכימיה לבין סביבתנו.

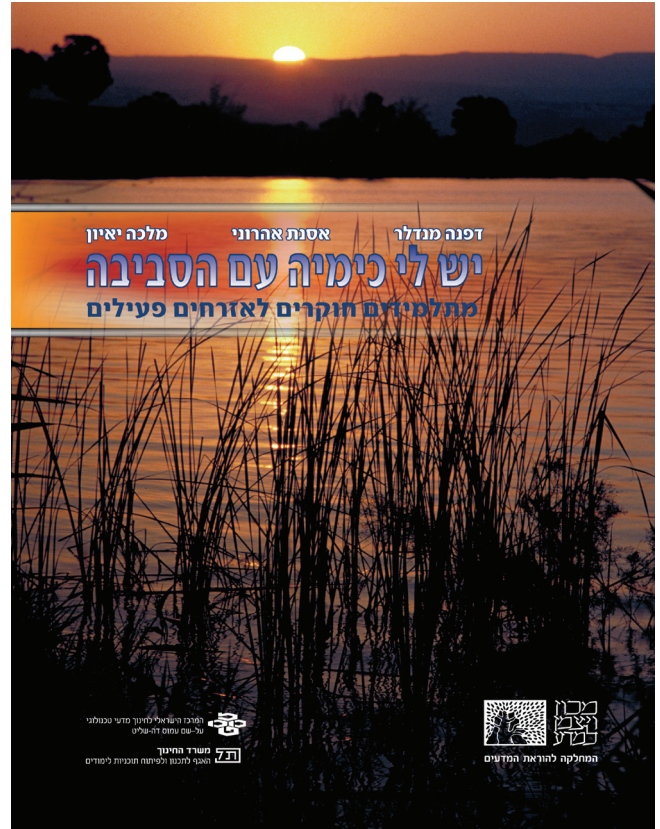
הספר "יש לי כימיה עם הסביבה" מציע מגוון רחב של היבטים מדעיים, חברתיים, כלכליים ואחרים. השילוב בין הוראה בדרך עיונית ובין התנסות מעשית במעבדה, סיורים, הרצאות ופעילויות נוספות, מקנה תמונה כוללת יותר ושלמה של הסתכלות סביבתית. בדרך זו התלמידים זוכים בהבנה מעמיקה יותר של העולם סביבם. היכולת לקשר בין נושאים ושיטות כימיות לתהליכים סביבתיים משרתת את כולנו כחברה. הידע הכימי-מדעי שהתלמידים רוכשים מרחיב את מידת התעניינותם גם בנושאים מדעיים נוספים ומסייע להם בהבנת חשיבותו של המדע בחיינו.

התכנית "יש לי כימיה עם הסביבה" מזמנת אפשרות ייחודית להפוך את התלמידים לאזרחים פעילים. בעזרת התנסות מודעת בנושאים סביבתיים, ואגב שימת דגש על המרכיבים המדעיים של נושא איכות הסביבה, התכנית מחברת את עולמם הפרטי של התלמידים לנושאים המעסיקים אותנו כחברה. באמצעות הוראת המדע וההתנסות ביחידה זו נוכל גם לחנך. זוהי הזדמנות יוצאת דופן להפוך את התלמידים לאזרחים משכילים, פעילים ומשפיעים, כמו גם להביא למודעות שהידע הכימי הוא כוח שבו יוכלו להשתמש כדי לשפר את איכות חייהם ולהשפיע על איכות הסביבה שבה הם חיים. ביחידה זו נוצרת הזדמנות להמחיש כיצד התייחסות של הפרט יכולה לשפר את איכות החיים של קהילה שלמה.

פרקי היחידה

פרק ראשון - "המים ואנחנו"

השנה החולפת היא השנה החמישית ברציפות שבה כמות הגשמים שירדה בארץ קטנה מהממוצע הרב-שנתי. התוצאה ניכרת בכל מאגרי המים בישראל. בכינרת, כמו גם באקוויפר



ל החומרים באשר הם – אלה שמקורם בתעשייה, במטבח, בחדרי השירותים או בכל מקום אחר – עומדים במרכז הווייתנו. במהלך חיינו אנו משתמשים בחומרים ומייצרים חומרים שונים. שימוש בחומרים אלה משפר את איכות חיינו. אך לאחר השימוש בהם, הם הופכים לפסולת. המודעות להשפעתה של הפסולת הביתית והתעשייתית על סביבתנו הקרובה והרחוקה היא בעלת חשיבות עצומה בכל הנוגע לשיפור איכות חיינו. בסופו של תהליך מגיעים חומרי הפסולת אל הסביבה. רשויות המדינה הן אלו הקובעות מהן רמות המלחים המותרות במי-שתייה. הן גם קובעות אילו גזי פליטה מותר לחברת החשמל לפלוט מהארובות בחדרה או באשקלון, ומהי הכמות המותרת. איכות הסביבה שלנו נקבעת במידה רבה על ידי היכולת של הרשויות לאכוף תקנות וחוקים אלה וכן תודות למודעות הציבור להשפעות של מעשיו על סביבתו הקרובה והרחוקה. לכימאים תפקיד מפתח בהבנת התהליכים החלים על החומרים בסביבה. מתפקידם להפוך "זבל לזהב", כלומר, לא לכלות את החומרים, אלא להשתמש בהם ולמחזרם בחכמה.

מכאן אנו מגיעים למטרת הספר "יש לי כימיה עם הסביבה"**. המטרה היא לתת לתלמידים בוגרי מגמת הכימיה בתכנית מורחבת את היכולת לקשר בין שלושת המשתנים האלה לבין עצמם: כימיה, סביבה וחברה. מה שעומד במרכז התעניינותנו

*עורכת עמיתה עיתון "על-כימיה", הספר פותח במסגרת עבודת הדוקטורט במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע, בהנחיית פרופ' אבי הופשטיין ודר' רחל ממלוק-נעמן. **הספר נכתב ע"י אסנת אהרונים, מלכה יאיון ודפנה מנדלר

פרק א: המים ואנחנו - נושאים ותכנים

הנושא	פירוט הנושא ומושגים
תכונות המים	• טמפרטורת הרתיחה הגבוהה של המים • יכולת ההמסה של המים: חומרים יונים • חומרים מולקולריים • חומרים קשי תמס • תהליכי חומצה-בסיס עם תחמוצות של אל-מתכות • תהליכי חמצון-חיזור עם מתכות • צפיפות גבוהה של המים הנוזליים יחסית לקרח (ידע קודם מכיתה י"א)
חישובים בתמיסות	• ppm (מ"ג/ליטר), ו-ppb
מומסים במים	• יונים: Ca^{2+}, Na^+, F^-, Mg^{2+}, Cl^- • תרכובות של ארסן • קשיות מים – כיצד היא נמדדת כולל חישובים • רעילות כימית (ברמה העקרונית)
כימיה אנליטית	• יסודות הכימיה האנליטית ○ מהות המדידה ○ כיצד מודדים מרכיב נעלם ○ מה רצוי לדגום (איכותית) ○ כיצד בוחרים שיטת מדידה (השוואה בדיוק של שיטות מדידה) ○ דיוק ומהימנות של תוצאות ○ כימות של מדידה: חישובי שגיאה, ממוצע וסטטיית תקן • טיטרציה • ספקטרוסקופיה ברמה המאקרוסקופית ○ גרף כיוול ○ חוק בר למבר • גורמים המפריעים למדידה • מיומנויות עבודה במעבדה
תהליכי טיהור	• שיטות טיהור ○ ספיחה ושקוע במחליף יונים ○ סינון ○ זיקוק ○ חמצון-חיזור ○ אוסמוזה הפוכה • גורמים המשפיעים על יעילות שיטת הטיהור (גודל חלקיקים, קצב זרימה, משך השימוש, סוגי מזהמים)
תקינה	• מהו תקן ישראלי • ריכוז מעל התקן • ריכוז מתחת לתקן

החוף ובאקוויפר ההר, כמות המים בכנרת יורדת במהירות מתחת לקו האדום ומתקרבת לקו השחור, שזו הנקודה שבה הנוזל שייגרם כתוצאה משאיבה נוספת הוא נזק בלתי הפיך. אין זה סוד שישראל נמצאת כיום במשבר המים החמור ביותר שידעה מעודה. נושא המים נוגע להיבטים רבים בחיי היום-יום, נמצא במרכז סדר היום הלאומי והוא רכיב מוכר מאוד בלימודי המדעים בכלל ובלימודי הכימיה בפרט.

נושא המים כולל בתוכו מושגים רבים כמו ריכוז, קישור כימי, דיוק בשיטת המדידה ועוד. לכן בחרנו בנושא המים להעמקה ולהקניה של מיומנויות אנליטיות שעומדות במרכז של יחידה זו. בתהליך הלמידה, התלמידים נחשפים לשיטות אנליטיות מגוונות שמהוות כלי לבחינת השאלה המובילה של הפרק כולו: "האם המים שאנו שותים ראויים לשתיה?" במהלך הלמידה התלמידים מתנסים בשיטות אנליטיות מגוונות ועדכניות כדי לבחון את המרכיבים השונים במי השתייה. תהליך הבדיקה של מי השתייה הופך את התלמידים למעורבים פעילים בקביעת איכות המים ממקורות שונים מסביבם. בסיומו של תהליך הלמידה התלמידים יכולים לנקוט עמדה פעילה מול הרשויות המספקות את המים וזאת מתוך הבנה וידע מתאימים. תהליך זה נמצא בהתאמה עם העקרונות שהתוותה ועדת מקצוע הכימיה שעל פיהם התלמידים צריכים ללמוד אודות תפקידה של הכימיה בחברה ואודות תפקידם שלהם כאזרחים אחראיים. תלמידינו נחשפים מדי יום באמצעות התקשורת לחוסר במים בישראל ולמצבם הקריטי של מאגרי המים בישראל. ולכן ההנחה היא שהנושא נתפס כרלוונטי, עדכני וחיוני בעיני התלמידים (כפי שניתן לראות מתגובות התלמידים בהמשך). שיקול נוסף שהנחה אותנו להעמיק בנושא המים היה שבחינת איכות מים הופכת לפעילות חקר שאותה התלמידים יכולים לבצע באופן עצמאי, ושהמעבדות מהוות חלק מיחידת החקר.

פרק שני - "מעגל הפחמן"

מאז המהפכה התעשייתית עלתה הטמפרטורה הממוצעת על פני כדור הארץ ב-0.8 מעלות. עלייה זו באה לביטוי בפיחות שכבות השלג בהרים ושל שטחי כיפות הקרח ובעלייה במפלס המים באוקיינוסים. מדעני אקלים מעריכים כי יש קשר ישיר בין ההתחממות העולמית לבין שינויים מרחיקי לכת במזג האוויר בעולם: מקרי בצורת, גשמים בעוצמה גבוהה, גלי חום וסופות טרופיות. בישראל, למשל, הטמפרטורה הממוצעת בחודשי הקיץ עולה באופן עקבי בשנים האחרונות. אך שינויים אלה מחוירים לעומת השינויים שצופים המדענים באקלים כדור הארץ כבר בשנים הקרובות. הפאנל לשינוי אקלים בחן כמה תרחישים ברמות שונות של פסימיות, ולפיהם צפויים שינויי אקלים בהתאם לקצב פליטת גזי החממה. לפי אחד מתרחישי הביניים, ריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה יגיע עד סוף המאה הנוכחית ל-200 אחוז יותר מריכוזו לפני

המהפכה התעשייתית. במקרה זה ההתחממות הממוצעת תהייה של 2.8 מעלות.

עם זאת נתונים מצטברים באחרונה מראים כי תוצאותיו של הקמפיין האקולוגי של השנים האחרונות היו דלות ביותר. חרף הדיון התקשורתי והפוליטי חסר התקדים במשבר הסביבתי, קצב הפליטה של פחמן דו-חמצני עלה לא רק בסין, בהודו ובארצות הברית של ממשל בוש, שהעדיף לא לשתף פעולה עם בעיית ההתחממות הגלובלית; הוא עלה גם בנורווגיה – המדינה הראשונה שהטילה קנס על פליטה של פחמן דו-חמצני לאטמוספירה כבר בשנת 1991. מכאן שבבעיה בוערת זו יש לטפל גם באמצעות חינוך. מסיבות אלה נבחר נושא "מעגל הפחמן", ובתוכו אפקט החממה, כנושא מרכזי בלימוד היחידה "יש לי כימיה עם הסביבה".

המעבדה בתכנית "יש לי כימיה עם הסביבה"

מוקד הפרק הראשון הוא כימיה אנליטית, ולכן הושם דגש רב לניסויי המעבדה. כדי להקנות מיומנויות אנליטיות פותחה סדרה של ניסויים. הניסויים מאפשרים לתלמידים ללמוד את דרכי העבודה במעבדה אנליטית ולרכוש מיומנויות אנליטיות ובנוסף לשלב בין גישת החקר לבין ניסויי המעבדה. אחת המטרות של המעבדה היא להעשיר את חומר הלימוד בכיתה. המעבדה משמשת ככלי חשוב ביותר כדי להדגיש ולהדגים את המושגים התאורטיים וליישם אותם בהתנסויות אוטנטיות מחיי היום-יום. לצורך כך התלמידים נחשפים למכשור מתקדם ולשיטות עיבוד תוצאות ממוחשבות וזאת במטרה להמחיש לתלמידים כיצד מחקר מדעי חדשני מתרחש.

מעגלי ההשפעה של התכנית

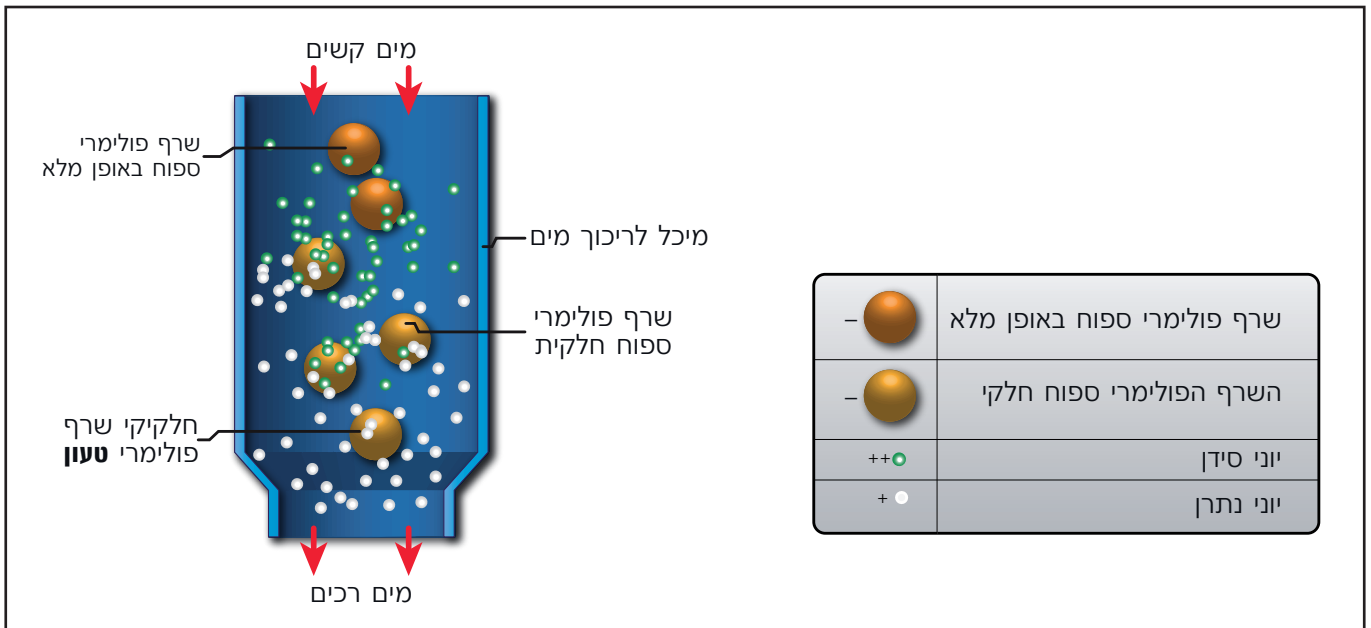
- **המעגל הראשון:** בני-נוער מבתי-ספר ספר שונים ברחבי הארץ הלומדים את התכנית "יש לי כימיה עם הסביבה". התכנית מתמקדת באיכות המים ובסוגיית ההתחממות כדור הארץ. התכנית כוללת התנסות מעשית באיכות המים באזור מגורי התלמידים כמו גם מחקר ופיתוח רעיונות ופרויקטים יישומיים התורמים לאיכות הסביבה.
 - **המעגל השני:** התכנית מעלה סוגיות ערכיות, חברתיות ואתיות בנושא איכות הסביבה ביישובים שבהם מתגוררים התלמידים.
 - **המעגל השלישי:** משתתפי "יש לי כימיה עם הסביבה" יציגו את עבודותיהם בפני הקהילה שבתוכה הם מתגוררים, כמו גם בפני קובעי המדיניות באזור מגוריהם.
- מטרת העל** בהוראת הנושא "יש לי כימיה עם הסביבה" היא להוביל לשינוי אמתי וישים הן בבתי הספר ובקהילה והן ברמה האישית של התלמידים. זאת על ידי כך שנגביר את מעורבותם של התלמידים בסביבתם הקרובה ונעודד אותם לחולל שינוי גם ברמה האישית וגם ברמת הקהילה.
- אנו מאמינים במתן בסיס מדעי לאזרחות פעילה של בני הנוער אשר מצדם ישפיעו על המקום שבו הם חיים. אנו מאמינים כי יש לפתח בהם אחריות לפעול לשיפור החיים והסביבה של הפרט ושל החברה כולה, על ידי הסתמכות על ידע מדעי מבוסס.

מתוך דברי המורים שמלמדים את התכנית:

"בתחילה היו חששות גדולים מהכנסה של נושא חדש שעדיין איני שולטת בו היטב. בדרך כלל אינני פוחדת משום שאני יודעת שככל שאני יודעת יותר אני יודעת פחות.

פרק ב: מעגל הפחמן - נושאים ותכנים

הנושא	פירוט הנושא ומושגים
תהליכים מחזוריים	• שיווי משקל - גורמים המשפיעים על שיווי משקל: לחץ, ריכוז, טמפרטורה. • בחינת השאלה כיצד גורמים מיקרוסקופיים משפיעים על גדלים מקרוסקופיים כמו רמת pH, ריכוז מומסים במים וטמפרטורה. • חישובים תרמודינמיים.
מעגל הפחמן	• שינויים בריכוז $CO_2(g)$ באטמוספירה כתוצאה מתהליכים טבעיים ומתהליכים מעשה ידי אדם. • אפקט החממה.
ספקטרוסקופיה	• קרינה אלקטרומגנטית. • גלים - אורך גל, אנרגיה, מהירות הגל, תדירות. • ברמה הנונסקופית ההתייחסות בעיקר לבליעה שמתרחשת אך ורק כאשר האנרגיה של הפוטון הנבלע שווה להפרש האנרגיה בין רמות קוויטציה של האנרגיה: האנרגיה של הפוטון הנפלט שווה להפרש באנרגיה בין הרמות. • החזרה. • העברה. • הבנת המשמעות של ספקטרום, החלון האטמוספרי של קרינת ה-IR. • הבנת הקשר בין בליעה ובין עלייה בטמפרטורה. • מעברים בין יחידות (מיקרון, ננומטר).



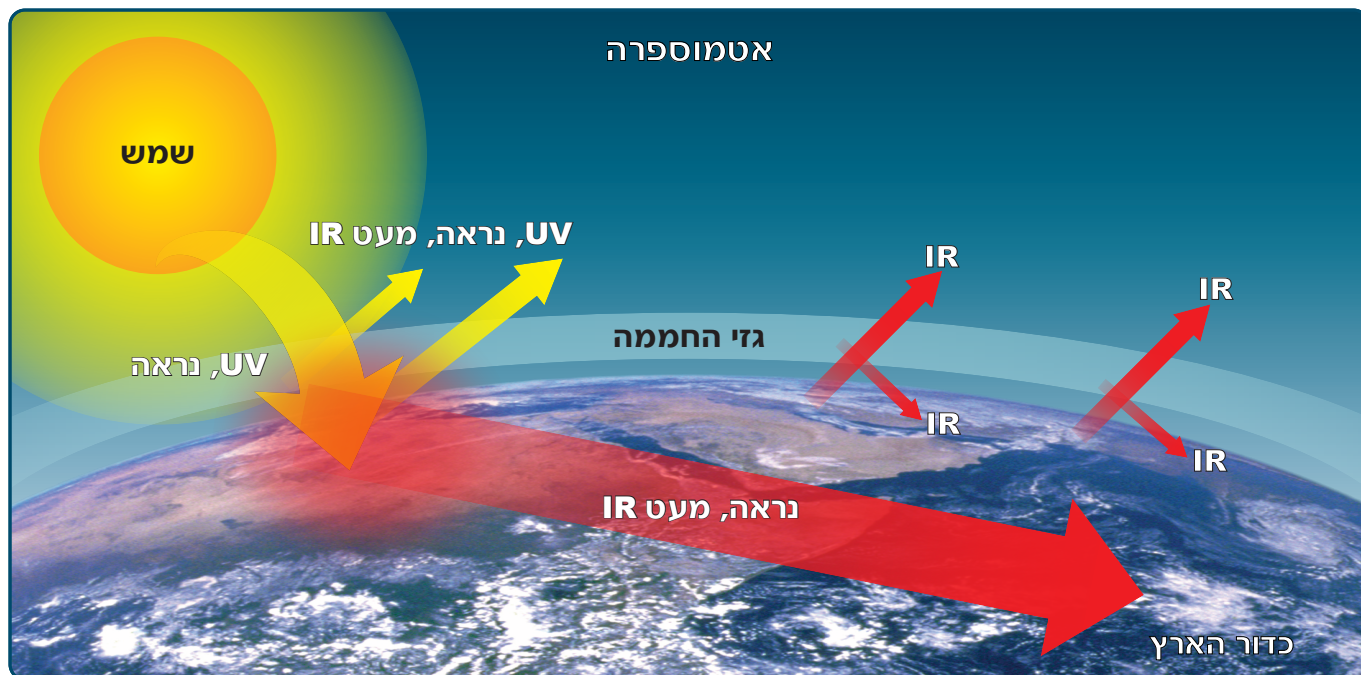
- אין יום שאת פותחת את העיתון ואת רואה בעמוד האחרון במקרה הגרוע ובעמוד הראשון במקרה הטוב שרואים שכדור הארץ מתחמם.
- זה נורא על סדר היום הציבורי. מהבחינה הזו זה כן חשוב זה גם מגדיל את המודעות שלנו כאזרחים.
- וגם כמו שלומדים אזרחות בגלל שאנחנו הולכים להתמודד עם הדברים האלה אני חושבת שגם הכימיה הסביבתית מכינה אותנו לחיים. הכימיה הסביבתית – צריך להכניס אותה משום שזה מאוד מתאים לתקופה.
- בדקנו איך דברים משפיעים עלינו.
- האמת שהתעניינתי, אבל עכשיו אני מרגישה שאני יודעת, ולכן זה יותר מעניין.
- כאן המעבדות נתמכו על הרקע התאורטי, אבל זה היה משהו אחר.
- פעם ראשונה שבאמת התמקדנו בשאלת מחקר, השערה וגם בתוכנית אקסל, ונתנו לזה את המקום המתאים.
- מדי פעם אני זורקת הערות על הסרט של אל גור, כי זה היה מעניין, זה באמת היה משהו מדכא. דיברתי פה ושם עם ההורים שלי, הייתי במכון ויצמן וגם ראיתי את הסרט של אל גור.
- הניסויים היו מהשורה הראשונה, הדברים הכי מתקדמים היום. דברים שמשתמשים בהם, זה לא שיטה מימי קוקוס.
- המעבדות היו ברמה אחרת לגמרי ממה שמתאפשר במעבדות של בית הספר.
- זה מקנה שיטות מחקר מאוד חשובות. היה דגש על תהליך החקר, אפילו שזה היה בקטן.
- נותנים להרגיש אחריות שאתה עושה משהו, שאתה לא סתם לומד.

אבל הרגשתי אחריות מאוד גדולה משום ששכנעתי גם את עמיתתי וחברתי ללמד את התכנית. בסופו של תהליך אני מאוד שלמה עם בחירת התכנית ואני וגם עמיתתי ממישכות ללמד את התכנית גם בשנה הבאה.

”אחרי שהשתתפתי בהשתלמות הקיץ הייתי משוכנעת שאני בוחרת את התכנית גם בגלל ההכשרה שלי וגם בגלל שהנושא נראה לי מאוד מעניין. אני משוכנעת שהבחירה שלי נכונה. התכנית מאוד מובנית וחוסכת זמן לאלה מבינינו שמלמדים חקר. זו הייתה השנה הראשונה שלא הייתי בלחץ של זמן. בגלל שהמעבדות משולבות בתוך התכנית, יש חיסכון בזמן, ואני סיימתי את ההוראה ממש בזמן, וכך נשאר לי מספיק זמן לתרגול אחרי בחינת המעבדה. התלמידים גם אם לא מיד התחברו לנושא, בהמשך הם ראו את הרלוונטיות ואת הקשר של הנושא לחיי היום-יום. הם ראו הלכה למעשה את הקשר בין הכימיה וחיי היום-יום. תלמיד אחד שלי לא כל כך התלהב במהלך הלימוד של הנושא. בתום בחינת הבגרות הוא בא אליי והודה לי מאוד, אמר שעכשיו הוא יודע שהוא טעה, ושאל אותי כיצד הוא יכול להמשיך בלימודים בנושא הקושר בין כימיה וסביבה. הוא לא היה היחיד. היו תלמידים נוספים שהביעו עניין להמשיך גם בעתיד לעסוק בנושא זה. דבר נוסף היה שבערב הורים התלמידים בחרו להציג מתוך היחידה דברים שהם למדו.”

מתוך דברי התלמידים שלמדו את התכנית:

- בעקרון זה נושא שמאוד חשוב משום שכל הזמן שומעים בחדשות בטלוויזיה, בכל אמצעי התקשורת שומעים על אל גור ועל מה שהוא אומר.



איור 2 | אפקט החממה והקרינה המלווה את תהליכי הבליעה והפליטה

עקרונות מדעיים. בעזרת המודעות שהגיעו אליה, יוכלו התלמידים להוביל לשינוי אמתי וישים בבתי הספר ובקהילה. זאת ע"כ שיגבירו את מעורבותם של התלמידים בסביבתם הקרובה, ינקטו פעולה כדי לחולל שינוי גם בקהילה. זהו למעשה חינוך ערכי במלוא מובן המילה יחד עם דגש של עשייה מתוך מחויבות והבנה.

בנוסף, לימוד והתנסות במושגים כמו כמות וריכוז הם חשובים מאוד בהתמודדות יום-יומית. מחקרים הראו שאין הפרט מבין מושגים בסיסיים כמו כמה ועד מתי. עקב כך פותחה תכנית בארה"ב בשם CPAP שאחת ממטרותיה הייתה לחנך להבנת המושגים ריכוז וכמות. הוגי התכנית ויוזמיה הבינו שאין זה מספיק לדעת שיש גורם שיכול להועיל, אלא חשוב לדעת כמה יש מאותו גורם. אם הריכוז קטן מדי, הרי שהשפעתו זניחה, ואילו ריכוז גדול מדי יכול להיות רעיל. מכאן שהתכנית הנ"ל, כמו גם התכנית "יש לי כימיה עם הסביבה", מחנכת לאזרח שהוא ביקורתי ושיש לו הידע המתאים לכך. בימינו אנשים ניזונים מאמצעי התקשורת ומקבלים מהם מידע רב שברובו אינו מדויק. מטרתנו היא לתת כלים כדי להתמודד עם שטף מידע זה.



לסיכום, כאשר מסתכלים על הדרך החינוכית בנושא איכות הסביבה, יש להתייחס לשני היבטים: האחד הוא העלאת המודעות לנושאים שהתלמידים לא חשבו עליהם קודם; האחר הוא נקיטת עמדה. כלומר, מתוך ידיעה והבנה, התלמידים יכולים לבסס את טיעוניהם ולהציע הצעות מושכלות. ידע והבנה חדשים אלה צריכים להמשיך וללוות את התלמידים גם אחרי שעזבו את המערכת הבית-ספרית. **ההיבט הראשון** – כאמור, כלי התקשורת מציפים ומוצפים בידיעות הקשורות לאיכות הסביבה. אך מרבית תלמידי החטיבה העליונה כלל אינם עוסקים בעניינים אלה. בגילם הם עוסקים בנושאים שנוגעים בעיקר לחייהם היום-יומיים. מטרתנו בתכנית "יש לי כימיה עם הסביבה" היא יצירת קונפליקט בנושא הסביבה. הקונפליקט נוגע לחיי היום-יום של התלמידים, ומכאן גם עולה רמת העניין של התלמידים בנושא. כבר בתחילת היחידה מוצגת בפני התלמידים שאלה מובילה. מטרת ההוראה וההתנסויות המלוות היא מתן כלים לתלמידים להתמודד עם השאלה הנוגעת לחיי היום-יום שלהם ולגרות את סקרנותו.

ההיבט השני – נקיטת עמדה. רק בסוף לימוד הנושא התלמידים מסוגלים לענות על השאלה ולהביע עמדה ביקורתית. לדוגמה, לאחר איסוף מידע על ידי הקבוצה כולה ביחס לאיכות המים בסביבה שבה הם גרים, הם יוכלו לנסח מסמך תגובה לרשות שבה הם גרים. בדרך זו קיימת הנעה עצמית של התלמידים ללמוד ולחקור את הנושא. בדרך זו התלמידים מגבשים עמדה אובייקטיבית בנושא, עמדה שאינה מושפעת רק מאמצעי התקשורת אלא מבוססת על