

כיצד ללמד מדע בדרך מעניינת יותר
שילוב עקרונות מתורת האילוצים בלימודי המדעים
דר' רמי קאליר* ומיה קאליר-מירב

צו השעה! הוא עיצוב אורח חיים נכון ותרבות אכילה בריאה. מחקרים שנערכו במשרד הבריאות ובגופים רפואיים אחרים תומכים בממצאים המצביעים על קשר ישיר בין חברת השפע ותרבות האכילה ובין תחלואת מבוגרים וילדים. חינוך מדעי וטכנולוגי יכול להעניק את התשתית ההשכלתית המדעית והטכנולוגית לעיצוב אורח חיים ותרבות אכילה נכונים ובריאים. צו השעה! הוא עיצוב אורח חיים נכון ותרבות אכילה בריאה. מחקרים שנערכו במשרד הבריאות ובגופים רפואיים אחרים תומכים בממצאים המצביעים על קשר ישיר בין חברת השפע ותרבות האכילה ובין תחלואת מבוגרים וילדים. חינוך מדעי וטכנולוגי יכול להעניק את התשתית ההשכלתית המדעית והטכנולוגית לעיצוב אורח חיים ותרבות אכילה נכונים ובריאים.

לפני מספר שנים התחלתי ללמד שיעורי מדע כחלק מפעילות העשרה באחד מבתי-הספר. אוכלוסיית התלמידים שנבחרה על ידי צוות בית-הספר, כללה ילדים בעלי הישגים גבוהים במקצוע המדעים. ראשית לכול, נפגשתי לשיחה עם הוריהם על מנת להציג את תכנית ההעשרה שהם היו אמורים לקחת בה חלק. פתיחת השיחה נראתה מבטיחה: הצגתי את עצמי, סיפרתי על הניסיון המצטבר הרב שלי בעבודה עם ילדים מחוננים ומאותרים במשך למעלה מעשר שנים במסגרות המחוננים של משרד החינוך ועל היותי בוגר קורס "יונה" של תורת האילוצים. ניסיון זה היווה את הרקע לתכניות ההעשרה שפיתחתי. הורי התלמידים נראו מעוניינים ... אלא, בטרם סיימתי את דבריי, החלו להעלות שאלות שהטרידו אותם:

- כיצד אתה יכול ללמד מדע, אם אינך מורה למדעים?
- כיצד אתה יכול ללמד מדע אם אין מעבדות מסודרות בבית הספר?
- מדוע הילדים צריכים עוד העשרה במדעים אם הם לומדים מדעים כחלק מתכנית הלימודים בבית-הספר?

הבטחתי לענות על השאלות בהמשך, ובינתיים ביקשתי מהם לספר לי מעט על ילדיהם: מהם תחומי העניין שלהם? האם התעניינו בהעשרה מדעית מחוץ למסגרת בית הספר בעבר? לצורך העניין אביא קטע מדבריו של אחד ההורים, שתיאר דברים ששמע מבנו: "הבן שלי מעולם לא הראה עניין כלשהו במדעים. למעשה, הוא שונא את שיעורי המדעים. אם יכול היה "להשתמט" מהם, היה עושה זאת". הורים אחרים חיזקו את טענותיו: "הם משועממים", "אין להם אתגרי חשיבה", "הנוסחאות והמושגים מפחידים אותם".

במהלך השנים שחלפו מאז, קיימתי שיחות דומות עם תלמידים ומורים למדעים ונוכחתי לדעת שלא מדובר בתופעה בודדת, חד פעמית. פעמים רבות, אפשר לשמוע מפי התלמידים טענות על כך שאין הם מוצאים עניין בשיעורי המדע, ושהנושאים לא מעניינים ולא רלוונטיים לחייהם. אמנם חלקם נהנים לבצע ניסויים, אך אלו נדירים יחסית, וממילא כל ניסוי מלווה בדו"ח מעבדה מייגע.

* דר' רמי קאליר, מנהל "מדע אקטיבי", חברה לפיתוח תוכניות העשרה במדעים

שאלות השאלות: האם וכיצד אפשר להפוך את תכני הלימוד למרתקים יותר? כיצד ניתן בתנאי בית-הספר (תכנית לימודים נוקשה, מחסור בציוד, מחסור במעבדות) להתחרות בהצלחה בעולם הידע המרתק, הדינמי, המוחשי והצבעוני שהילדים חשופים אליו באמצעות הטלוויזיה והמחשב?

מטרתה של כתבה זו היא להציע דרך להתמודדות עם הבעיה שהועלתה. במהלך 10 השנים האחרונות עסקנו בפיתוח תכניות לימוד ייחודיות במדעים אשר מדגישות את הלמידה ההקשרית: לימודי המדעים יילמדו בהקשר לתחומי ידע אחרים ויהיו רלוונטיים ככל האפשר לחיי היומיום של הילדים. כך, סיפורי התנ"ך, אירועים בהיסטוריה, סיפורי המיתולוגיה היוונית ועוד, מוצגים לתלמידים דרך הזווית המדעית שלהם, לדוגמה:

- יוכבד הבונה תיבה למשה התינוק משתמשת בחומרים דוחי מים ובחומרים בעלי מסה סגולית נמוכה משל המים.
 - דוד הנלחם בגוליית בעזרת אבן קלע משתמש באבן עגולה שמאבדת יחסית מעט מהתנע הקווי לטובת תנע סיבובי, ולכן היא עפה למרחק גדול יותר ובדייקנות רבה יותר.
 - איקרוס מאבד את כנפיו אחרי שחוס השמש התיך את השעווה שאיחדה את הנוצות.
- התכניות שפיתחנו מוצגות כתהליכי פתרון בעיות: אסטרטגיית למידה המציבה את התלמידים בסיטואציה לא מוכרת, שהדרך לפתרונה אינה ידועה להם מראש, ולכן היא מחייבת אותם לחפש פתרונות, לבחון אותם בתהליכי חקירה ולהחליט על הפתרון הראוי. לאסטרטגיית פתרון בעיות מאפיינים אחדים:

- הגורם המזמן ללמידה הוא הבעיה
 - הבעיה המתוכננת מספקת כמה שפחות מידע (עמימות)
 - המורה משמש בתפקיד של מאמן-מנחה
- אנו מאמינים כי על מנת ללמד מדע בדרך יעילה יותר, יש להפוך את שיעורי המדע לחוויה לימודית מהנה, מרתקת, שובת-לב, מעוררת יצירתיות ומגרת-חשיבה. אנו מאמינים שאם **תמונה שווה אלף מילים**, הרי **התנסות שווה אלף תמונות**. כפי שלא ניתן ללמוד לרכוב על אופניים, לטוס, לבשל, לשלוט בשפות זרות מבלי לעשות זאת בפועל, כך אי אפשר ללמוד מדע, מבלי להתנסות באופן מעשי. זוהי הנחת היסוד של התכנית שפיתחנו "מדע אקטיבי".

לצורך פיתוח התכנית "מדע אקטיבי" שילבנו את כלי החשיבה של תורת האילוצים (TOC- Theory of Constraints): תורה ניהולית שפותחה על ידי ד"ר אליהו גולדרט. תורת האילוצים הנה תיאורית ניהול המכוונת לשיפור הביצועים, בתחומים מגוונים. לצורך כך עושים שימוש בכלי חשיבה לוגיים בתהליכי הזיהוי וההגדרה של הבעיות, מציאת הפתרונות ותכנון דרך פעולה ליישום הפתרון. לדוגמה: הצגת ענף קונפליקט בתוך סיפור הנקשר לנושא המדעי: נציג קונפליקט ונבקש מן הילדים להגדיר את הבעיה, להעלות דרכים לפתרונה ולשקול את ההשלכות החיוביות והשליליות שלהם. לדוגמה: הגדרת "ענף לוגי" כאמצעי להבנייה של תהליך רב שלבי תוך כדי התייחסות לעקרונות המדעיים העומדים מאחוריהם.

לשימוש בכלי החשיבה של תורת האילוצים מספר יתרונות:

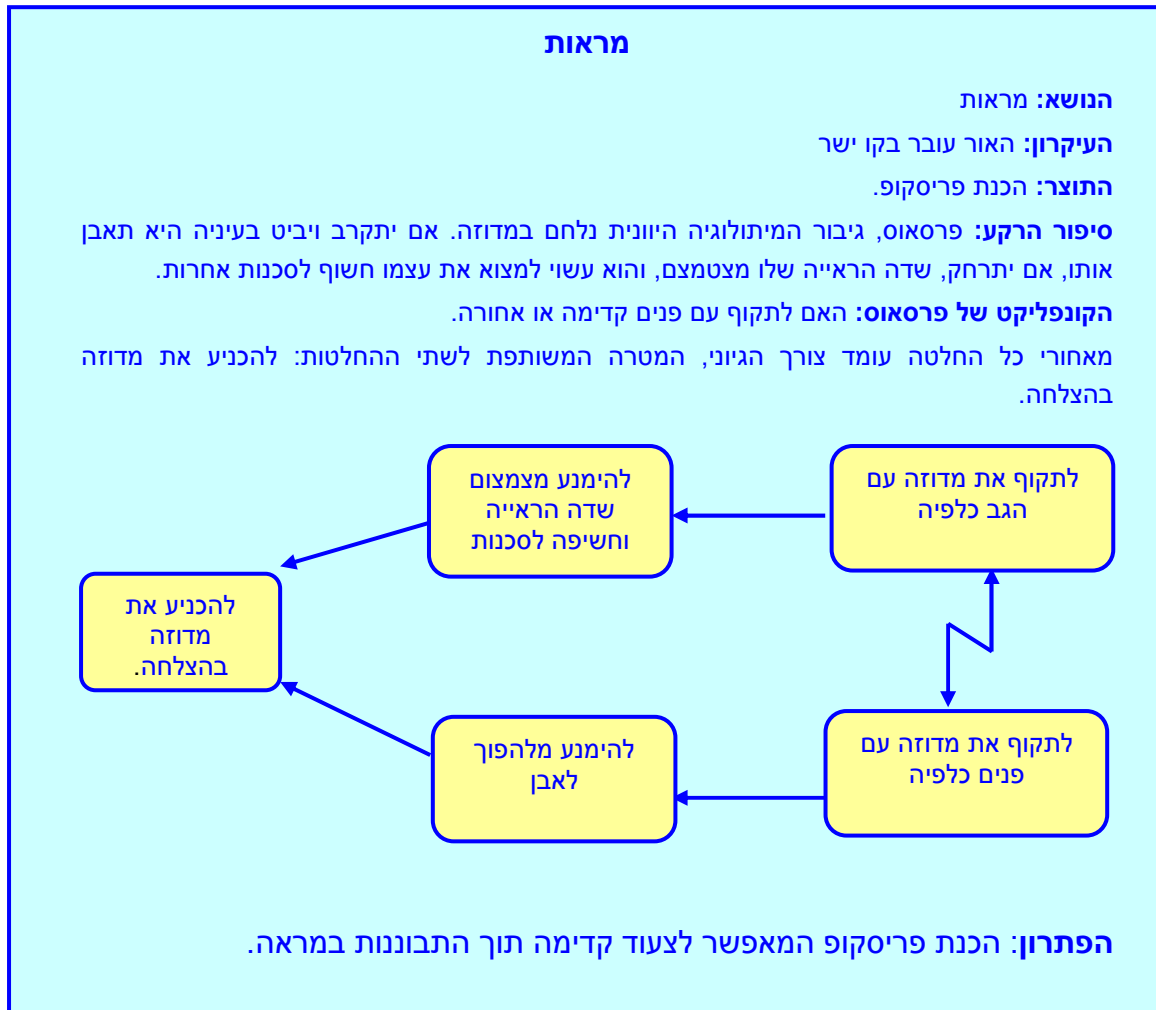
- הקישור בין הבעיה לבין פתרונה המדעי הוא ברור. בדרך זו ניתן לגשר בין בעיות יום יומיות לפתרונות מדעיים.

- כאשר תופעה מדעית מורכבת מפורקת לשלבים, היא מקלה על התלמידים להתייחס לכל שלב בנפרד, ובסוף התהליך מנסחים התלמידים הכללות שהחיבור ביניהם הוא הביטוי לידע.
 - פיתוח חשיבה סוקרטית או "המצאת הידע" מחדש: התלמידים נחשפים להיגדים המתארים תוצאות מחקרים (ידע גולמי) בנושא ותוך כדי בחינת ההנחות והעובדות, מבנים את הידע בנושא.
- בתכנון הפעילויות הגדרנו כמטרה: "ללמד מדע בדרך מעניינת יותר". מטרה זו כשלעצמה היא מטרת ביניים בלבד בדרך להשגת מטרת העל – לומד בעל מכוונות עצמית המפיק הנאה מתהליך הלמידה. הטבלה הבאה מתארת אתגרים שאיתרנו בדרך אל המטרה והמענה שהצענו:

ללמד מדע בדרך מעניינת יותר	
המענה	האתגר
<ul style="list-style-type: none"> ▪ הלמידה מתבססת על שילוב התנסויות מאתגרות חשיבה ו/או התנסויות מעשיות בכל שיעור: כתיבת סיפורים, פעילויות יצירה 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ תלמידים רבים אינם מוצאים עניין אישי בחומר הנלמד
<ul style="list-style-type: none"> ▪ שימוש בניסויים ממחיש תופעות מורכבות וממשיג עקרונות שלעתים מנוגדים לתפיסות האינטואיטיביות. לדוגמה, רבים מן התלמידים חושבים כי שני גופים בעלי מסה שונה יפלו במהירות שונה. ניסוי פשוט ימחיש כי תפיסה הזו שגויה ▪ שימוש בכלי החשיבה של תורת האילוצים כחלק מתהליך פתרון בעיות, מערב את התלמידים ויוצר הנעה פנימית להתמודדות עם קשיים ואתגרים (ראו דוגמאות במסגרת) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ פעמים רבות חומר הלימוד במדעים נתפס כמורכב וקשה להבנה
<ul style="list-style-type: none"> ▪ דגש על התנסות פעילה ושילוב כל התלמידים בתהליכי חשיבה ובעריכת ניסויים 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ תלמידים רבים מתקשים לשמור על ערנות וקשב לאורך זמן בכיתה
<ul style="list-style-type: none"> ▪ דגש על שילוב חשיבה יצירתית במסגרת ההתמודדות עם הבעיה, הקוחה מעולמם של התלמידים, כך שבפועל "העולם החיצוני נכנס" לכיתה 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ העולם "החיצוני" מושך ומציג אתגרים רבים יותר מאלו הקיימים בכיתה
<ul style="list-style-type: none"> ▪ התוצר שהוכן בשיעור ממחיש עיקרון/מושג שנלמד. לדוגמה - הדגמת פעולתו של פריסקופ עוזרת לתלמידים להראות כיצד הם מסוגלים להתבונן מעבר למכשול בעזרת מערכת מראות 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ תלמידים רבים מתקשים לבטא את הידע שרכשו במילים, ונדמה כאילו לא למדו דבר בשיעור
<ul style="list-style-type: none"> ▪ קישור ניסויים ותוצרים לבעיות ואתגרים בחיי היום-יום 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ תלמידים ומורים רבים אינם מוצאים קשר בין נושאי הלימוד לבין חיי היום-יום
<ul style="list-style-type: none"> ▪ פיתוח ערכות ניסוי המכילות את החומרים והכלים הדרושים ללימוד הנושא. הערכות ניתנות לשימוש בכל מקום ואינן מחייבות חדר מעבדה או ציוד מיוחד 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ יש צורך במעבדה ובציוד מיוחד כדי ללמד מדעים
<ul style="list-style-type: none"> ▪ כל ערכת פעילות, מלווה במערכי שיעור מפורטים. המערכים כתובים כך שכל מורה ומדריך(ה) יוכלו להנחות שיעור מדעים 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ כדי ללמד מדעים, צריך להיות בעל השכלה נרחבת במדעים
<ul style="list-style-type: none"> ▪ העשרת תכנית הלימודים הקיימת בשפע ניסויים המותאמים לתכנים הקיימים 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ תכנית הלימודים קבועה ולא ניתן לשנות את התכנים המוכתבים בה

הפעילויות הממוקדות, כאמור, בפתרון בעיות מציגות סוגיות מדעיות, מוסריות וחברתיות. דרך כלי החשיבה הלוגית של תורת האילוצים אנו מעודדים את המשתתפים לחשיבה יצירתית, לפיתוח סקרנות, לטיפול כישורי חשיבה, להעשרה אישית, להגדלת התבוננות ולפיתוח לומד עצמאי. ההתנסות המעשית מזמנת למידה חווייתית, המקרבת את התלמידים לעולם המדע ומגבירה את ההנאה שלהם מלימודים גם בתחומים מרתיעים כביכול, כמו כימיה ופיסיקה.

דוגמה 1:



מסה סגולית

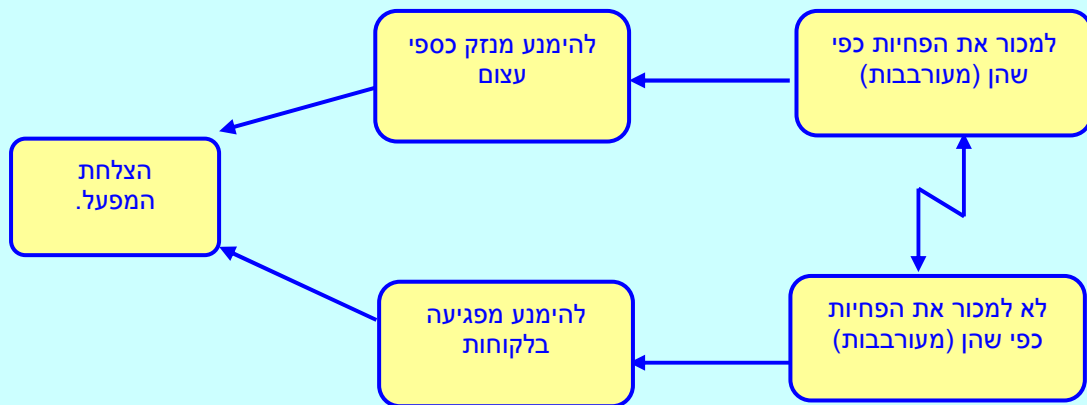
הנושא: מסה סגולית

העיקרון: לכל חומר מסה סגולית ייחודית (המסה של 1 סמ"ק חומר)

התוצר: ניסוי בחומרים צפים ושוקעים.

סיפור הרקע: במפעל גדול ייצרו בטעות מספר לא ידוע של פחיות משקה דיאט, ועל אריזתן רשמו: "משקה רגיל" ולהפך, "משקה רגיל" באריזה של משקה דיאט. בקו הייצור יש גם פחיות תקינות. האם תוכלו להציע דרך לזהותן?

הקונפליקט של מנהלי המפעל: האם להתעלם מכך שקימת אפשרות להטעיית הציבור, ולמכור את הפחיות כפי שהן או למנוע פגיעה בלקוחות ולבטל את המכירה. מאחורי כל החלטה יש שיקול דעת, ומטרה משותפת – הצלחת המפעל.



לאחר ניתוח הבעיה, התלמידים מתבקשים להעלות פתרונות. הפתרונות הללו נבחנים באופן לוגי – האם הם פותרים את הבעיה? מהן השלכותיהם? האם לפתרון המוצע השלכות חיוביות/שליליות?

הפתרון: שימוש בתכונת המסה הסגולית כדי לזהות את תכולת הפחיות מבלי לפתוח אותן.