

העברה, משכי למידה ו-IQWST (*)

דוד פורטס

מכון ויצמן למדע

תקציר

לסקירה זו שלושה מוקדים. ראשית היא מספקת מבט קצר על תולדות המחקר בנושא העברה ומדגישה את ההבדל בין לימוד משמעותי לבין לימוד בדרך של שינון, בין העברה "גבוהה" ל"נמוכה" (high-road/ low-road), בין העברה-פנימה להעברה-החוצה (transferring-in/ transferring-out), וכן את חשיבותה של חריפות (sagacity) בטיפול העברה גבוהה. שנית היא מעמידה זה מול זה שני יעדים חינוכיים חשובים – לימוד עומק ולימוד לצורך הרחבה – ומעלה את האפשרות שאין ניגוד קוטבי בין שני היעדים אף על פי שזמן ההוראה הוא משאב מוגבל. שלישית היא מביאה כדוגמה תכנית ללימוד מדעים בחטיבת הביניים, תכנית שמנסה לפשר בין הציפייה לטפח העתקה גבוהה מצד אחד, ובין לימוד רחב ועומק מצד שני. פשרה כזאת אפשר להשיג על ידי בנייה של לכידות (קוהרנטיות) "פנימית", בתוך גורם אחד, ושל לכידות "חיצונית", בין הגורמים השונים.

הסקירה בנושא העברה מבוססת על מסמך שכתב המחבר בעבור הקרן הלאומית למדע (NSF).

Time-to-learn מבוסס על כתב יד שהוגש ל-Journal of Research in Science Education
IQWST מצוטט מתוך פרק ב-Handbook of Research in Science Education, שעתיד לראות אור בקרוב.

(*) סקירה מדעית זו הוזמנה על ידי ועדת מומחים לנושא: "מחקר מתווה דרך: הצעה לארגון לימודים מחודש", מטעם היזמה למחקר יישומי בחינוך, כדי שתשתמש חומר רקע לדיוני הוועדה.

- הדברים מתפרסמים על דעת המחבר ובניסוחו.
 - זהו תרגום לסקירה שנכתבה במקור באנגלית. התרגום נעשה ע"י יניב פרש.
 - בכל שימוש בסקירה או ציטוט ממנה, יש לאזכר את המקור כדלקמן: ד"ר פורטס ד., (2011), העברה, משכי למידה ו-IQWST, סקירה מוזמנת כחומר רקע לעבודת ועדת מחקר מתווה דרך: הצעה לארגון לימודים מחודש, <http://education.academy.ac.il>
- © כל הזכויות שמורות לאקדמיה הישראלית הלאומית למדעים

העברה

באופן מסורתי, החינוך הבית-ספרי המודרני התמקד בהעברה – בשכפול וביישום של ידע בהקשרים שונים מאלה שבהם נלמד (Broudy, 1977). במקרה הראשון (שכפול), תלמידים משננים את לוח הכפל ואז משתמשים בו לפי הצורך בחישובים שונים. במקרה השני (יישום), תלמיד פותר בעיה על סמך עובדות ועקרונות שלמד. כך אפשר ליישם את עקרונות הפיזיקה, למשל, לצורך תיקונו של רכב. מבחינת שני המוקדים הללו עולה שחלק נכבד מן החינוך הבית-ספרי נחל כישלון, כי כמות הלמידה בעל-פה שמתמרת – בהיעדר הזדמנויות לשחזור תדיר – היא זעומה (Healy & Sinclair, 1996; R. A. Schmidt & Bjork, 1992). בה במידה, מרביתנו איננו מיישמים את לימודי הפיזיקה שלנו לתיקון מכוניותינו. יש פער בין הבנתם של עקרונות מדעיים לבין היכולת ליישם ליצירת שינויים בעולם.

אף שנדמה כי ההעברה אינה אוטומטית כפי שהיינו רוצים, "אמונה בכוח ההעברה עומדת בלב מערכת החינוך שלנו" (Bransford & Schwartz, 1999, p. 61). למה ממשיכים להשקיע הרבה כל כך בחינוך בית-ספרי שדומה כי אינו משתלם? תשובה ראשונה היא פוליטית: הסתמכות על העברה נחשבת למאפיין המרכזי המבחין בין חינוך לחשיבה ביקורתית לבין הכשרה ליישום ישיר של מיומנויות שהאזרח הממוצע נתקל בהן תדיר. הסרת ההתמקדות בהעברה "עלולה לקטב את החינוך הבית-ספרי בין לימודי חשיבה לאליטות לבין לימודי עשייה להמונים. זו... [תהיה] בושה לתרבות המחויבת לביטול ההבחנה הזו" (Broudy, 1977, p. 8). תשובה שנייה היא פדגוגית: אולי ההעברה אינה חזון נפרץ כיוון ששיטות הוראה מסורתיות לא קידמו אותה. ביתרת החלק הזה במאמר ארחיב בעניין זה.

היסטורית הוסברה ההעברה באמצעות דוקטרינת "הדיסציפלינה הפורמלית" (formal discipline), שלפיה הדעת או השכל מורכבים מכמה יכולות מנטליות כלליות – למשל התבוננות, הבחנה, וחשיבה הגיונית. תפקוד הדעת עשוי להשתפר באמצעות תרגול היכולות הללו. טיב התרגילים אינו משפיע רבות על התפתחות "שריר המוח"; חשובה רק רמת המאמץ המושקע בתרגילים (Anderson, 1982). זה מקור הסברה שלמידת מקצועות קשים כמו לטינית או גיאומטריה מביאה תועלת. מנקודת מבט זו, ההעברה היא תופעה כללית המקיפה תחומים שאין חפיפה ביניהם. תיורנדייק, לעומת זאת (Thorndike, 1906), הדגים שההעברה מוגבלת יותר מכפי שנחזה בדוקטרינת הדיסציפלינה הפורמלית, והציע במקומה את תיאוריית "הגורמים הזהים" (identical-elements theory). על פי תיאוריה זו, ישנם אינספור גורמים מנטליים, ולכל אחד

מהם התמחות ספציפית. גם כאן, כפי שמציעה דוקטרינת "הדיסציפלינה הפורמלית", העברה מתרחשת בין שני מצבים כאשר הם נסמכים על גורמים מנטליים זהים; אבל כתוצאה מהתמחותם של הגורמים המנטליים, מדובר בהתרחשות נדירה בלבד.

הלמידה שבה עסקו מחקריו של תיורנדייק הורכבה כולה משינון – בלא שילוב תהליכי חשיבה מסדר גבוה יותר. אחת הביקורות המרכזיות שנמתחו על תיורנדייק היתה שמחקריו לא הראו שהעברה היא בהכרח ספציפית וצרה מאוד, אלא רק שכך קורה בהיעדרה של למידה אפקטיבית (Woodrow, 1927). במחקר קלאסי אחד, ג'אד (Judd, 1908) הראה את חשיבות השילוב בין

הוראה משמעותית והתנסות:

שתי קבוצות תלמידים מכיתות ה' ו-ו' התבקשו להטיל חצים קטנים אל מטרות שכוסו במים. הקושי לפגוע במטרה נובע, כמובן, מן הסטייה שעובר האור כתוצאה מן ההשתברות. המטרה אינה נמצאת היכן שנדמה שהיא נמצאת, והילד נדרש להתאים את הכיוון לתנאים שונים מאלה שמוכרים לו מן החיים הרגילים. במסגרת הניסוי קיבלה אחת מקבוצות הבנים הסבר תיאורטי מלא של עקרון ההשתברות. קבוצה שנייה נאלצה ללמוד מן הניסיון, בלא הכשרה תיאורטית. שתי הקבוצות החלו להתאמן כשהמטרה מכוסה ב-30 סנטימטרים מים. חשוב לומר שבסדרת הניסיונות הראשונה, הילדים שהכירו את תיאוריית ההשתברות ואלה שלא הכירו או השיגו תוצאות דומות פחות או יותר. כלומר נדמה היה שלתיאוריה אין כל ערך בבדיקות הראשונות. כל הילדים היו צריכים ללמוד כיצד להשתמש בחץ, ולא היה בכוחה של התיאוריה להחליף את התרגול. בנקודה זו שונו התנאים. 30 הסנטימטרים הופחתו ל-10 סנטימטרים בלבד. כעת עלה בבירור ההבדל בין שתי קבוצות התלמידים. הילדים שלא למדו תיאוריה התבלבלו מאוד. התרגול שצברו תחת 30 סנטימטרים של מים לא סייע להם עם 10 סנטימטרים. סטיותיהם מן המטרה היו גדולות ועקביות. לעומת זאת, הילדים שלמדו תיאוריה הסתגלו לעומק החדש במהירות רבה. ודוק, שלתיאוריה לא היה ערך עד שגובתה בתרגול, אבל כאשר התרגול והתיאוריה התקיימו שניהם, פוצחה ההתאמה המיטבית במהירות... תיאוריה אינה יכולה להחליף את ההתנסות

הישירה; היא אינה אלא מסגרת שבתוכה אפשר להחזיק את

ההתנסויות בנפרד זו מזו ובמקביל להחזיקן יחדיו (Judd, 1908, pp.

37-38).

מסתבר אפוא שההעברה היא אפשרית, אבל תלויה מאוד בסוג ההוראה ובהתנסויות המסופקות בצדה. מחקרים רבים הראו גם שסיכויי ההעברה תלויים לא מעט בסוג הייצוגים הנבנים ובטיב ההוראה. פסיכולוגים מאסכולת הגשטלט הבחינו בין **למידה חסרת טעם** – מן הסוג שחקר תיורנדייק, לבין **למידה בעלת משמעות**, המתרחשת כתוצאה מהתפתחות הבנה של היחסים המבניים בתוך בעיה (Katona, 1940). תיאוריית הגורמים הזוהים, למשל, חוזה שלמידת מנגינה אחת לא תאפשר זיהוי של מנגינה זהה שעברה טרנספוזיציה, כיוון שמספר התווים המשותפים לשתי המנגינות יהיה קטן מאוד. אנשי הגשטלט, לעומת זאת, תפשו שאופייה של המנגינה טמון ב**יחסים הפונקציונליים** בין התווים ולא בתווים עצמם (Wertheimer, 1945). אפשר לפרש זאת ולומר שלמרות החפיפה הטונאלית הקלושה בין המנגינה המקורית לזו שעברה טרנספוזיציה, ייצוגיהן הקוגניטיביים דומים מאוד.

מחקרים רבים מצאו שהכללת ייצוג מנטלי באמצעות בנייתו בהקשרים מרובים מבליטה קווי דמיון אפשריים בין הקשרי הלמידה וההעברה, וכך מגדילה את סיכויי התרחשותה של העברה. גיימס (James, 1890, p. 335) הגדיר באמצעות המונח **חריפות** (sagacity) את היכולת לבחור "היבט חלקי של דבר אשר **למטרותינו** ייחשב כהיבט המהותי, וכמייצגו של הדבר כולו". למידה **משמעותית** (Katona, 1940) ניתנת להבנה כלמידה שמתמקדת בהבנת יחסים מבניים ובחריפות, כלמידה שמתמקדת בפיתוח ייצוגים מוכללים המזהים ומבהירים את אותם היבטים בחומר החדש שעשויים להיות רלוונטיים לשימוש עתידי.

המחקרים בנושא סוכם בידי סלומון ופרקינס, אשר הבחינו בין העברה בדרך עוקפת להעברה בדרך המלך (Salomon & Perkins, 1989). העברה בדרך עוקפת (low-road transfer) מוגדרת כיכולתם של בני אדם להשתמש אוטומטית ובלי כוונה בכישורים שלמדו ותרגלו שוב ושוב בהקשרים מרובים. המאפיינים המרכזיים של ההעברה בדרך עוקפת הם **תרגול מגוון** ו**אוטומטיות**. היכולת לקרוא את הכתוב כאן בלי להתעכב על משמעותה ועל איותה של כל מילה היא תוצאה של העברה בדרך עוקפת. מנהלת שמרימה את ידה בישיבה כדי לאותת ליושב הראש מפגינה העברה בדרך עוקפת של התנהגות שנלמדה בבית הספר. אף על פי שהעברה מסוג זה אינה זוכה להערכה רבה, תהליכים מנטליים מורכבים יותר היו נעשים מסורבלים בלא זמינותה

הגבוהה.

העברה בדרך המלך (high-road transfer) מוגדרת כיכולתם של בני אדם ליישם את הידע הנוכחי שלהם באופן קשוב (mindfully) בסביבות עתירות ידע, שם למידה חדשה נדרשת לפתרון בעיות. ההיבט החשוב ביותר של העברה בדרך המלך הוא **הפשטה קשובה**. **קשיבות** פירושה הפעלה רצונית, בהדרכה מטה-קוגניטיבית, של תהליכים לא-אוטומטיים. **הפשטה** פירושה חילוץ או זיהוי של סגולות, תכונות או תבניות כלליות או בסיסיות כלשהן ביחידת חומר נלמד, במצב כלשהו או בהתנהגות כלשהי. לאחר "חילוץ" מיוצגות הסגולות הללו באופן קוגניטיבי בדרך שנעדרת ספציפיות הקשרית כלשהי, וכך ניתן להחילן על מקרים אחרים.

לסיכום מה שהוצג עד כה, התרחשותה של העברה בדרך המלך תלויה בכמה תנאים:

1. ראשית נדרשת למידה משמעותית – כזו שתוליך לבנייתם של ייצוגים של הבעיה המקורית אשר יתמודדו עם יחסיה המבניים ולא רק עם מאפייניה השטחיים.
2. הלמידה צריכה להתקיים בהקשרים שונים כדי לסייע בבנייתם של ייצוגים מוכללים ומופשטים שניתן יהיה לשבצם בנסיבות חדשות.
3. במידת האפשר, הלמידה צריכה להיעשות בהקשר של בעיות – כדי לפתח את חריפותם של תלמידים ולמקדם בהיבטים של הבעיה הקונקרטית שהם רלוונטיים ליישום הלמידה.
4. תלמידים צריכים לקבל הזדמנויות ליישם את למידתם בהקשרים שונים הדורשים למידה חדשה.

ברנספורד ושוורץ הבחינו בין העברה **החוצה** לבין העברה **פנימה** (Bransford & Schwartz, 1999). בהעברה, ידע קודם משמש במצבים חדשים. כל שתואר עד כה הדגים העברה **החוצה**. הקונסטרוקטיביזם מסתמך על כך שנשאב מידע קיים לבנייתו של ידע חדש, כלומר שנעביר **פנימה**. כך, היכולת ללמוד משהו חדש תלויה בזמינות ובאיכות של הלמידה הקודמת. כיוון שבסביבה הכלכלית הנוכחית, חלק גדול מן החינוך הבית-ספרי הרשמי נועד לספק בסיס ללמידה מתמדת לכל אורך החיים, אין להתעלם ממקומה של העברה **פנימה** כהכנה ללמידה עתידית. אם את העברה **החוצה** נהוג להעריך באמצעות פתרון בעיות מבודדות, בנסיבות שבהן תלמידים מנותקים ממקורות מידע חיצוניים ומיחסים בין-אישיים, את העברה **פנימה** מוטב להעריך בסביבות עתירות-ידע הדורשות למידה חדשה לפתרון בעיות. ישנו קונצנזוס רחב על כך שהחינוך הבית-ספרי בכלל והחינוך המדעי בפרט צריכים להתמקד לא רק בהעברה בדרך המלך של ידע תוכן, אלא גם בהעברה של פרקטיקות מדעיות. אינספור

מחקרים הדגימו שאף כי תלמידים מסוגלים להשיב נכונה לשאלות מבחן, ייתכן שלא יוכלו להסתמך על אותו ידע תוכן לשם הסברת תופעה, תכנון ניסוי או פיתוח מודל. כדי שתלמידים יוכלו לעסוק בפרקטיקה מדעית תוך הסתמכות על ידע מדעי רלוונטי, עליהם ללמוד למידה משמעותית של הפרקטיקות המדעיות – בדיוק כפי שגם התוכן המדעי צריך להילמד לימוד משמעותי (Perkins, 1993). למרבה המזל, למידת הפרקטיקות המדעיות הללו אינה דורשת בהכרח זמן הוראה נוסף. שילוב הולם של ידע תוכן עם פרקטיקות מתאימות עשוי להביא ללמידה משמעותית של שניהם מבלי להאריך שלא לצורך את זמן ההוראה (McNeill & Krajcik, 2009; Schwarz et al., 2009).

משך הלמידה במדעים

הרחבה והעמקה הן שתי תכליות חינוכיות ראויות – וסותרות, כיוון שהזמן הוא משאב מוגבל. התקנים שנקבעו ברוב מדינות ה-OECD חותרים לכך שתלמידים יבנו הבנה עמוקה במגוון רחב של נושאים מדעיים. בארצות הברית אמור הדבר לקרות בגדרי אילוף של 1,000 שעות הוראה לכל היותר (כ-180 ימי לימוד בשנה בבית ספר פרברי, כפול 7 שנות לימוד (מכיתה ה' ואילך), כפול שיעור מדעים אחד בן 50 דקות ביום). בסביבות עירוניות רבות, רק 65% מזמן ההוראה המוקצב הופך לזמן הוראה בפועל, ופירוש הדבר שלמורים ולתלמידים בערים יש רק 650 שעות הוראה להשגת המטרה הזו (Smith, 2000). אני מוצא כי מדובר במטרה אופטימית, כמעט פנטסטית. מובן שהיינו רוצים שתלמידים יפתחו הבנה עמוקה ומשמעותית – ולא שטחית בלבד – בכל נושא שהם לומדים. מובן גם שבנייתה של הבנה עמוקה נמשכת זמן רב יותר מבנייתה של הבנה שטחית. כמה זמן נדרש כדי לבנות הבנה עמוקה בנושא יחיד?

ראו את הדוגמה הבאה. קבוצת מחקר באוניברסיטת קליפורניה בברקלי פיתחה יחידה ללימוד תרמודינמיקה בתיכון (Clark & Linn, 2003). את היחידה העביר מורה מומחה בארבע גרסאות שונות, שכל אחת מהן "רזה" מקודמתה. הוצאתה לפועל של הגרסה המלאה נמשך 61 שעות (כלומר כחמישית מסך השעות השנתיות המוקצות לחינוך מדעי לא מתקדם בתיכון!), בעוד הגרסה הרזה ביותר ארכה 32 שעות – או כמחצית מן הגרסה המלאה. בסביבות עירוניות מדובר בכמחצית מן השעות השנתיות המוקדשות להוראת המדעים. תוצאות המחקר, שבו השתתפו 3,000 תלמידים, גילו מתאם חזק בין הפחתת זמן הלימוד לבין הבנה חלשה יותר. לצורך הטיעון הבה נניח שכל נושא מדעי אחר בהיקף דומה אפשר ללמוד ולהבין לעומקו בזמן דומה לזה שנקוקו

לו התלמידים במחקר של קלרק ולין לבניית ידע כולל בתרמודינמיקה. פירוש הדבר שבתנאים אידיאליים, כאשר כל הזמן המוקצה להוראה אכן מוקדש לה בפועל, אפשר לכסות עוד 8 נושאים בלבד לכל אורך הלימודים בתיכון. בהנחה שרק 65% מן הזמן המוקצב להוראה אכן משמש לה בפועל, אפשר לכסות רק 4 נושאים נוספים. אם נתבונן בתקנים הארציים הנוכחיים בארצות הברית (National Research Council, 1996) נראה שבשנות התיכון אמורים להילמד לפחות עוד 20 נושאים שונים בהיקף דומה לחומר בתרמודינמיקה. כפי שעולה אפוא מן התרגיל החשבוני הזה, אי אפשר גם להרחיב וגם להעמיק. ההרחבה וההעמקה תבואנה זו על חשבון זו – אם לא תיפגענה שתיהן כאחת.

חישוב זה מבוסס על שתי הנחות: א) שאין כל העברה **פנימה** בין מקצועות, כך שמשך הלמידה של כל מקצוע אינו תלוי בשאלה אם אחרים נלמדו כבר; ו-ב) שהיחידה שפותחה בברקלי היתה יעילה מאוד, כלומר שאין דרך קצרה יותר לבנות ידע משמעותי בתרמודינמיקה. החישוב מניח גם, אמנם במשתמע, שכל 20 הנושאים הכלולים בתקני החינוך האמריקאיים חיוניים לאוריינות מדעית. אני סבור שכל שלוש ההנחות מוטלות בספק.

מועצת המחקר הלאומית של ארצות הברית (NRC) הכירה בכך שהתקנים הנוכחיים בתחום החינוך המדעי עמוסים יתר על המידה, שהם מובילים לתוכניות לימודים רחבות מאוד אך שטחיות ביותר, שהבנה משמעותית של כמה רעיונות מרכזיים עדיפה על הבנה שטחית של רעיונות רבים (Duschl, Schweingruber, & Shouse, 2007). בטיטת התקנים החדשים לחינוך במדעים, שאמורים להתפרסם בפברואר 2011, מציעה המועצה ש"גישה אפקטיבית יותר ללמידה ולהוראה במדעים היא הוראה ופיתוח שיטתי של הבנת **רעיונות הליבה** [ההדגשה שלי – ד.פ.]. במדע לאורך כמה שנים במקום לאורך שבועות או חודשים... מאמצינו לצמצם את מספרם של רעיונות הליבה בתחומי המדע וההנדסה עלולים לאכזב אי-אלו מדענים ואנשי חינוך שלא ימצאו במסגרת זו רבים (אם בכלל) מן הנושאים המדעיים החביבים עליהם. [יחד עם זאת], המועצה משוכנעת שבניית בסיס חזק של ידע וכשירויות ליבה, אשר יובנו ברמה עמוקה מספיק לשימוש וליישום, תאפשר לתלמידים לצאת את בית הספר עם יסודות איתנים יותר בידע ובפרקטיקות מדעיות ועם התעניינות רבה יותר בלימודים נוספים במדעים, בהשוואה למי שלימודיהם "יכסו" פיסות מידע רבות ומנותקות, המשוננות ונשכחות מיד עם סיום המבחן" (Committee on Conceptual Framework for New Science Education Standards, 2010). המועצה נקטה אפוא צעד ראשון לקראת תעדופם של רעיונות מסוימים על פני אחרים, דבר שיאפשר למורים להקדיש זמן

הוראה נוסף לכל רעיון ליבה, תוך הגדלת הסיכויים שתלמידים אכן יבנו ידע משמעותי של הרעיונות הללו.

תוכניות לימודים מסורתיות בתחומי המדעים מאורגנות בדרך כלל בהתאם למבנה הלוגי של הדיסציפלינה שאותה הן מבקשות ללמד – כלומר הולכות על פי רוב מלמטה למעלה: ראשית הן מגדירות רעיונות ומונחים בסיסיים, אחריהם מושגי יסוד, וכן הלאה לדרגות מורכבות גבוהות יותר ויותר. ספרי לימוד בפיזיקה, לדוגמה, מתחילים כרגיל בקינמטיקה חד-ממדית, עוברים לקינמטיקה דו-ממדית, משם ליחס בין כוחות לתנועה, משם לתנע ליניארי, ואז לגלגולי אנרגיה, שימור אנרגיה וכן הלאה. אבל המבנה הלוגי של הדיסציפלינה אינו בהכרח הדרך הפסיכולוגית הטובה ביותר ללמוד אותה. ההתקדמות מלמטה למעלה אינה תורמת למוטיבציה של התלמידים משום שאינה מבהירה להם את הרלוונטיות והחשיבות של מה שמוצג בפניהם. היא אינה יוצרת אצלם את הצורך ללמוד. באופן טיפוסי אנחנו מיטיבים ללמוד כשיש לנו צורך לדעת, כמו למשל אם ישנה שאלה אישית שאנחנו מחפשים לה תשובה או בעיה שעלינו לפתור (Adams et al., 2000; Bransford, Brown, Cocking, Donovan, & Pellegrino, 1988). השאלות שמעניינות ילדים קטנים אינן אותן שאלות שמעניינות ילדים גדולים יותר (Baram-Tsabari & Yarden, 2009). יתר על כן, דרך למידה זו מציגה את הפיזיקה במנותק מן הכימיה, הביולוגיה ומדעי כדור הארץ, ואינה בונה על מה שהתלמיד כבר חושב – אם בצדק ואם בטעות – על סמך חוויות היומיום שלו ודברים שכבר למד. חלק גדול מחומר הלימוד במדעים מנוגד לאינטואיציות של מי שאינם בקיאים בו, ואם לימודי המדע אינם כוללים התמודדות עם תופעות מוכרות מחיי היומיום, הידע הבית-ספרי נוטה להישאר ידע בית-ספרי בלבד – נרפה ומבודד מהקשרים יומיומיים רלוונטיים. על כן, כדי שתוכניות לימודים במדעים תהיינה **יעילות** עליהן להיכתב עבור שנות לימוד מרובות ודיסציפלינות מרובות, ולא רק עבור אשכולות גילאים. מתווים של צמיחת הבנתם של מושגי ליבה לאורך תקופות זמן ארוכות נקראים **מהלכי למידה** (learning progressions). גישה זו לשיפור החינוך המדעי היא חדשה יחסית, וכיוון שפיתוחה כרוך בהכרח במחקרי אורך, פורסמו בנושא מחקרים מעטים בלבד (Duschl, et al., 2007).

IQWST

מזה 8 שנים אני משתתף בפרויקט לפיתוח תוכניות לימודים במימון הקרן הלאומית למדעים בארצות הברית (NSF) שנקרא "חקירה מדעית וטכנולוגית של עולמנו" (Investigating and

Questioning our World through Science and Technology או IQWST; מבוטא "איי-קוֹ'סְט". במסגרת הפרויקט פותחה תוכנית לימודים שלמה לחטיבת הביניים (כיתות ו' עד ח') במקצועות הפיזיקה, הכימיה, הביולוגיה ומדעי כדור הארץ, ונבדקה על אלפי תלמידים מכל רחבי ארצות הברית. איי-קוֹ'סְט היא ייחודית: למיטב ידיעתי זו הפעם הראשונה שבה נעשה ניסיון לפתח תוכנית לימודים לכידה במדעים. ישנם כמה סוגי לכידות קוריקולרית, אבל לצורכי הדיון בהעברה ובמשכי למידה, החשובים ביותר הם לכידות בתוך יחידות וביניהן. לכידות תוך-יחידתית היא פרי תיאום בין ארבעה ממדים: מטרות הלמידה התוכניות של היחידה, פרקטיקות מדעיות, משימות חקר והערכות – רצוי תוך עבודה בפרויקטים (Fortus & Krajcik, in print). ביחידה לכידה, הלמידה מתפתחת לאורכו של כל אחד מן הממדים הללו. אם תכנון מהלכי הלמידה לאורך כל ממד וממד אינו מטלה פשוטה, הרי התיאום בין ארבעת מסלולי ההתקדמות הוא קשה ביותר וכרוך בחזרות רבות אל שולחן השרטוט.

לכידות בין-יחידות דומה ללכידות בתוך יחידות, אלא שהיא מתייחסת לרצפי חקירה גדולים יותר, לפרקטיקות מדעיות מרובות ולתחומי תוכן שונים על פני כמה שנות לימוד. לכידות בין יחידות עניינה תיאום התומך בפיתוחו של ידע משמעותי של רעיונות ופרקטיקות מליבת התוכן על פני כמה שנות הוראה. תוכנית לימודים לכידה מורכב מיחידות נפרדות, שכל אחת מהן לכידה בפני עצמה, אבל שכולן כפופות לעוד אילוצים ודרישות המאפשרים להן להיבנות זו מזו, להעביר רעיונות זו אל זו, ולתלמידים להשיג רמה גבוהה יותר של מיזוג הידע (Roseman et al. 2008) מכפי שהיה מתאפשר אילו היחידות היו עומדות בפני עצמן, בלא קשרים מפורשים ביניהן. כדי לתאר כיצד ניתן הדבר לביצוע אני מציג דוגמה לאופן שבו יושם באיי-קוֹ'סְט מהלך למידה בנושא **זרימת חומר ואנרגיה בין אורגניזמים לסביבתם** על פני כמה שכבות לימוד וכמה דיסציפלינות, ביחידות לימוד רבות, שכל אחת מהן סיפקה את אחת מאבני היסוד לרעיון (Shwartz et al. 2008, p. 214). הטבלה המובאת להלן מזהה תקני תוכן שונים שנלקחו מן התקנים הארציים בארצות הברית (National Research Council, 1996) ומראה כיצד שובצו בתוכנית הלימודים לשם תמיכה בהבנת הרעיון.

רעיון המפתח	היכן הוא מטופל
כל חומר מורכב מאטומים.	כימיה לכיתות ו'
המזון מספק דלק וחומר בנייה לכל	ביולוגיה לכיתות ו' – מבט מקרוסקופי

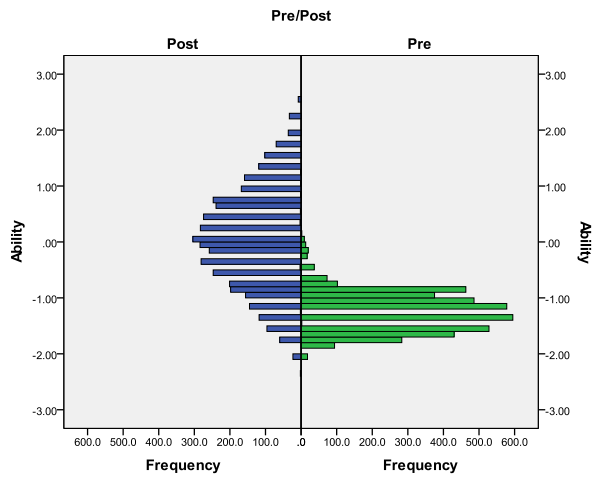
כימיה לכיתות ח' – רמה מולקולרית	האורגניזמים. צמחים משתמשים באנרגיה שבאור כדי להרכיב סוכרים מפחמן דו-חמצני וממים.
כימיה לכיתות ז'	אטומים שמרכיבים מולקולות של חומרים קיימים מתארגנים מחדש ליצירת מולקולות חדשות של חומרים חדשים.
כימיה לכיתות ז'	שימור החומר בתגובה כימית.
פיזיקה לכיתות ז'	גלגולי אנרגיה ושימור אנרגיה ביצורים חיים.
כימיה לכיתות ח' – תגובות חמצון	בעלי חיים משיגים אנרגיה מחמצון מזונם ומשחררים חלק מן האנרגיה שבו כחום.
ביולוגיה לכיתות ו' פיזיקה לכיתות ז' – אנרגיה מן השמש כימיה לכיתות ח' – פוטוסינתזה	האנרגיה שבמזון מגיעה במקורה מאור השמש.
ביולוגיה לכיתות ו' כימיה לכיתות ח' – נשימה תאית ופוטוסינתזה	חומר ואנרגיה עוברים כל העת מאורגניזם אחד לאחר ובין אורגניזמים לסביבתם הפיזית.

מהלכי הלמידה של הרעיונות אינם ליניאריים. הם מספקים הזדמנויות לבחון מחדש, להרחיב, לבנות קומות נוספות וליישם ידע ביחידות דיסציפלינריות שונות ובגילאים שונים לשם בנייתה של הבנה משמעותית של גלגולי חומר ואנרגיה במערכות אקולוגיות, וכדי ליצור ראייה חזקה להסברת העולם. אותם רעיונות מפתח מטופלים תכופות ביחידות שונות, ברמות תחום שונות ובדגש על היבטים שונים, תוך תמיכה מפורשת בהעברה פנימה של רעיונות שנלמדו כבר. לכידות תוך-יחידתית כזו מבטיחה שרעיונות המפתח לא יטופלו בקצרה ובחטף, אלא יישארו בתוכנית הלימודים ויעלו שוב ושוב מנקודות מבט שונות. כך יכולים התלמידים לכוון קשרים בין מושגים ובהדרגה לבנות ידע משמעותי של רעיונות הליבה.

גישה זו שונה מן המצוי בתוכניות לימודים מסורתיות לא-לכידות, או ממה שנקרא "תוכניות לימוד סליליות" (spiral curricula). היא מדגישה את העובדה שתופעות בעולם האמיתי הן מורכבות, שהידע הדרוש להבנתן אינו מוגבל לדיסציפלינה יחידה ושהבנה זו מתפתחת לאורך זמן. בתוכנית לימודים מסורתית, פוטוסינתזה מוצגת לרוב כנושא מתחום הביולוגיה. ההיבטים המולקולריים של התהליך, כמו גם הבנת חשיבותו של גלגול אנרגיית האור לאנרגיה כימית אינם מודגשים כלל. מעטות תוכניות הלימודים למקצועות הכימיה והפיזיקה בחטיבת הביניים שמטפלות בהיבטים השונים של הפוטוסינתזה (Schmidt, Wang, & McKnight, 2005).

מבדקי השטח הארציים של איי-קֶנְסֶט הסתיימו, ועמיתיי ואני מנתחים כעת את התוצאות.

הגרף המצורף משווה בין הבנות התלמידים לפני העברת התוכנית ואחריה במושגים הקשורים באור, בהתפשטותו ובתגובותיו עם החומר, ובאופני קליטתו ותפישתו. הבחינות היו קשות והשאלות שהציגו לתלמידים דרשו הבנה מורכבת. מיוצגים כאן אלפי תלמידים מכל רחבי ארצות הברית, רבים מהם מבתי ספר עירוניים בשכונות עניות. התוצאות נותחו תוך שימוש ב-IRT ("תורת התגובה לפריטי"), ולכן הגרף מראה את יכולות התלמידים ולא את ציוניהם. גודל האפקט גדול מאוד – מעל 3.0 – וניכר הפוטנציאל הרב של גישה זו לתוכניות לימודים.



- Adams, L., Kasserian, J., Yearwood, A., Perfetto, G., Bransford, J. D., & Franks, J. J. (1988). Memory access: The effects of facts versus problem-oriented acquisition. *Memory and Cognition*, *16*, 167-175.
- Anderson, J. R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological Review*, *89*(4), 369-406.
- Baram-Tsabari, A., & Yarden, A. (2009). Identifying Meta-Clusters of Students' Interest in Science and Their Change With Age. *Journal of Research in Science Teaching* (Early view).
- Bransford, J. D., Brown, A. L., Cocking, R. R., Donovan, S. M., & Pellegrino, J. W. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Bransford, J. D., & Schwartz, D. L. (1999). Rethinking transfer: A simple proposal with multiple implications. *Review of Research in Education*, *24*, 61-100.
- Broudy, H. S. (1977). Types of knowledge and purposes of education. In R. C. Anderson, R. J. Spiro & W. E. Montague (Eds.), *Schooling and the acquisition of knowledge* (pp. 1-17). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Clark, D., & Linn, M. C. (2003). Designing for knowledge integration: The impact of instructional time. *Journal of the Learning Sciences*, *12*(4), 451-494.
- Committee on Conceptual Framework for New Science Education Standards. (2010). *A framework for science education: Preliminary public draft*. National Research Council.
- Duschl, R. A., Schweingruber, H. A., & Shouse, A. W. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington, DC: National Academy Press.

- Fortus, D., & Krajcik, J. S. (in print). Curriculum Coherence and Learning Progressions. In B. J. Fraser, C. McRobbie & K. G. Tobin (Eds.), *Second International Handbook of Science Education*. Dordrecht, The Netherlands: Springer Verlag.
- Healy, A. F., & Sinclair, G. P. (1996). The long-term retention of training and instruction *Memory: Handbook of perception and cognition (2nd ed.)*. San Diego, CA: Academic Press.
- James, W. (1890). *The principles of psychology (vol. 2)*. New York, NY: Dover.
- Judd, C. H. (1908). The relation of special training to general intelligence. *Educational Review, 36*, 28-42.
- Katona, G. (1940). *Organizing and memorizing*. New York: Columbia University Press.
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. S. (2009). Synergy between teacher practices and curricular scaffolds to support students in using domain specific and domain general knowledge in writing arguments to explain phenomena. *Journal of the Learning Sciences, 18*(3), 416-460.
- National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Perkins, D. N. (1993). Teaching for understanding. *American Educator, Fall*, 28-35.
- Roseman, J. E., Linn, M. C., & Koppal, M. (2008). Characterizing curriculum coherence. In Y. Kali, M. C. Linn & J. E. Roseman (Eds.), *Designing coherent science education: Implications for curriculum, instruction, and policy* (pp. 13-36). New York, NY: Teachers College Press.
- Salomon, G., & Perkins, D. N. (1989). Rocky roads to transfer: Rethinking mechanisms of a neglected phenomenon. *Educational Psychologist, 24*(2), 113-

- Schmidt, R. A., & Bjork, R. A. (1992). New conceptualizations of practice: Common principles in three paradigms suggest new concepts for training. *American Psychological Society, 3*(4), 207-217.
- Schmidt, W. H., Wang, H. C., & McKnight, C. C. (2005). Curriculum Coherence: An Examination of US Mathematics and Science Content Standards From An International Perspective. *Journal of Curriculum Studies, 37*(5), 525-559.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Fortus, D., Davis, E. A., Kenyon, L., & Shwartz, Y. (2009). Developing a learning progression of scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching, 46*(6), 632-655.
- Shwartz, Y., Weizman, A., Fortus, D., Krajcik, J. S., & Reiser, B. J. (2008). The IQWST experience: Using coherence as a design principle for a middle school science curriculum. *Elementary School Journal, 109*(2), 199-219.
- Smith, B. (2000). Quantity matters: Annual instructional time in an urban school system. *Educational Administration Quarterly, 36*(5), 652-682.
- Thorndike, E. L. (1906). *Principles of teaching*. New York: A. G. Seiler.
- Wertheimer, M. (1945). *Productive thinking*. New York: Harper & Row.
- Woodrow, H. (1927). The effect of the type of training upon transference. *Journal of Educational Psychology, 18*, 159-172.