

שיפור הוראת המדעים בבתי הספר סומנה כמטרה חשובה בישראל כמו במדינות רבות אחרות בעולם המערבי ובכלל. בארצות הברית, החלו בשנות ה 90 של המאה הקודמת לפתח תכניות חינוך שהדגישו את הוראת המקצועות Science, Technology, Engineering and Mathematics, וכך נולדו להם ראשי התיבות STEM. המטרה המוצהרת של תכניות אלה הייתה, הכשרת תלמידים וסטודנטים במקצועות אלה, באופן שיקנה להם יתרון תחרותי בעולם התעסוקתי. המונח STEM היה למטבע לשון בקרב אנשי חינוך וגורמים מדינתיים אחרים בעלי אינטרסים במערכות החינוך. אך, נראה שהשימוש במונח STEM נתון לפרשנויות רבות (Martín-Páez et al., 2019).

מטרת אוגדן זה, היא להציג לכם המורים למדעים בחטיבת הביניים, סקירה ספרותית עדכנית של מחקרים העוסקים בהוראת STEM ולבדוק כיצד ניתן ונכון לשלב הוראה המבוססת על STEM בינתחומית בחטיבת הביניים. הכוונה היא לשילוב של שתי דיסציפלינות STEM או יותר בשיעורי המדעים בחטיבת הביניים. אבל כדי שנוכל לקיים דיון כן בנושא זה, עלינו להראות, תוך שימוש בדוגמאות, כיצד כל דיסציפלינה מאלה הנכללות ב-STEM מתייחסת לאותן תופעות.

מטרות האוגדן

1. להסביר את הגישות השונות להוראת STEM.
2. להדגים את התרומה של הוראת STEM ללימודי המדעים.
3. להציג את החסמים יתרונות וחסרונות בהוראה מבוססת STEM אינטגרטיבי.
4. להציע מסגרת פדגוגית להטמעה של STEM אינטגרטיבי בכיתה.
5. להציע יחידות הוראה המבוססות על STEM.

בראשית שנות ה-90 של המאה הקודמת, וביתר שאת בתחילת המאה העשרים ואחת, החלו בארצות הברית, ובמקומות נוספים בעולם, לתת את הדעת לכך, שיש חשיבות בעידוד תלמידים להעמיק בלימודי מקצועות ה-STEM כבר מבית הספר היסודי. זאת מתוך כוונה שבעתיד, תלמידים רבים יותר יבחרו להעמיק בלמידה של מקצועות אלה גם באוניברסיטה. במקביל לכך החלו להתפתח יוזמות חדשות שהדגישו את החשיבות של למידה בין-תחומית של מקצועות ה-STEM. כאן ניתן להתייחס לשתי גישות בולטות: הגישה האינטגרטיבית והגישה הדיסציפלינארית. הגישה האינטגרטיבית תובעת התייחסות לכלל הדיסציפלינות המרכיבות את ה-STEM כיחידה אורגנית אחת (Sanders, 2009; Bybee, 2013). פרוש ה-STEM בגישה זו הוא חינוך לפתרון בעיות, תוך שימוש בעקרונות מתמטיים ומדעיים, ויכולות מתחום ההנדסה והטכנולוגיה (Sanders and Wells, 2006). לצד התפתחות גישה ה-STEM האינטגרטיבית, התפתח המושג "אוריינות STEM" שהיא היכולת לזהות וליישם עקרונות STEM כדי לפתור בעיות שלא יכלו להיפתר בגישה חד-דיסציפלינרית (Group, no date) (קבוצת המחקר בווינגטון, 2011). כדי להצליח בכך על התלמידים להצליח לשלב בין ידע קונספטואלי, לידע פרוצדורלי (Zollman, 2012) ויכולת פתרון בעיות (Barlax, 2017). בהתאם לגישה זו גובשו במשרד החינוך ארבעה עקרונות לשילוב גישה ה-STEM הבינתחומי באופן מיטבי. לפי עקרונות אלו, מומלץ להתמקד בתהליכי חשיבה של חקר ופתרון בעיות הכוללים לפחות ארבע מיומנויות STEM:

1. אוריינות מדעית

2. אוריינות טכנולוגית והנדסית

3. עבודת צוות

4. הכוונה עצמית בלמידה

הגישה האלטרנטיבית, הדיסציפלינרית, מדגישה שכדאי ונחוץ לשמר את החינוך הדיסציפלינרי ולשלב ולהעצים אותו בהוראה על פי עקרונות (Shaughnessy, 2013). על פי גישה זו, STEM תהווה פלטפורמה ליישום הידע הדיסציפלינרי שנלמד בהקשרים המתאימים (Bybee, 2013). בהתאם לכך, מזהה (Bybee, 2013) דרכים שונות להוראת STEM בגישה בין-תחומית. החל משילוב של מדע עם מתמטיקה, שילוב של מדע, מתמטיקה עם טכנולוגיה או הנדסה, ועד שילוב של כלל הדיסציפלינות ביחד. בבדיקה שסקרה מעל 30 עבודות מחקריות בנושא - "שילוב מתמטיקה ומדע" - נמצאו הבדלים בהישגי התלמידים במדעים (ולא במתמטיקה), כאשר המורים בחרו ללמד בשיטה מוגברת (דיסציפלינרית מרכזית אחת, מובילה את הלמידה והדיסציפלינה השנייה מלווה את השיעורים לאורכם), או בלמידה משולבת לגמרי בין מתמטיקה למדע (Hurley, M. 2001). בהתאם לכך, נטען כי דרוש מידע אמפירי בנוגע לשילוב של מתמטיקה ומדע, יש צורך בפיתוח של חומרים ותוכניות לימוד מתאימות, וצריך להשקיע בהכשרת מורים מתאימה. עוד נטען, כי צריך לבחון האם השילוב תורם להבנה של התלמידים, וכיצד נכון לשלב בין השניים (Hurley, M. 2001). ניתן להניח ששתי שאלות אלו נכונות גם באופן כללי.

ביולוגיה, הוא מדע העוסק בהרכבו של עולם הטבע, דיסציפלינה זו היא בינתחומית מטבעה. שכן הבנת המנגנונים של תופעות ביולוגיות תלויה בהבנה של תחומי דעת נוספים כמו כימיה, פיזיקה ומתמטיקה. אולם, בחטיבת הביניים ביולוגיה בדרך כלל נלמדת במנותק מתחומי דעת אחרים דבר שמציב קושי כאשר רוצים ליצור למידה בינתחומית. במקרים רבים הדבר נכון גם לקורסי הליבה בביולוגיה לסטודנטים לתואר ראשון. קורסים אלה הנדרשים להטמיע בסטודנטים עקרונות חשובים כגון "הדוגמה המרכזית" של התא (DNA-RNA-חלבון), תיאוריית אב קדום משותף, עקרונות "הכלכלה של הטבע" ואחרים מתארים את עקרונות אלה, פעמים רבות, כאוסף של נתונים בדידים ובלתי תלויים. בהתאם לכך, סטודנטים לביולוגיה מתארים ידע ביולוגי כמאגר עובדות המועבר על ידי המרצה ושאותו יש לשנן (Walker et al., 2008; Hall et al., 2011). לטענתם של חלק מהסטודנטים, מודלים ונוסחאות מתמטיות שייכות לדיסציפלינות כמו פיזיקה, כימיה ומתמטיקה ולא לביולוגיה. מן הצד השני, סטודנטים רבים לביולוגיה, הלומדים פיזיקה כקורס מבוא, מחזיקים בדעה, שפיזיקה מבוססת על נוסחאות בדידות, לעומת הבנה של פיזיקה כמכלול אינטגרטיבי של מושגים, שמטרתם הסבר כולל של חוקי הטבע, והצלחתם בקורסים אלה נסמכת אף היא על שינון ולא הבנה. (Hammer, 1994; Redish, 1998; Saul and Steinberg, 1998).

תיאורים ותפיסות אלה מצביעים על שתי בעיות עיקריות הדורשות רפורמה (Handelsman et al., 2004; Allen and Tanner, 2005). ראשית, הגישה האקדמית הרווחת ללימוד הדיסציפלינה הביולוגית היא גישת "הלומד הסביל". גישה זו מעודדת שינון ומדכאת הבנה אפיסטמולוגית מעמיקה והבנה קוגניטיבית. אכן, במקרים בהם תפיסת הסטודנטים את הידע הייתה דינמית וקשורה לחיי היום-יום, לעומת תפיסת ידע בדידה, ההצלחות הלימודיות שלהם היו רבות יותר (Songer and Linn, 1991; Schommer, Crouse and Rhodes, 1992). בדומה, תלמידים שהיו שותפים ביצירת הידע ובהגיון שהוביל ליצירתו, הצליחו בצורה גבוהה יותר בהשוואה לסטודנטים שהסתמכו על הוראה מפורשת על ידי המרצה (May et al., 2005). שנית, הסטודנטים לביולוגיה תופסים את המתמטיקה, הפיזיקה והכימיה כאלמנטים חיצוניים למערכת הידע שלהם. זאת למרות שכלל הידע הביולוגי נשען על ניסוח מודלים מתמטיים, כימיים ופיסיקליים אינטגרטיביים. למעשה, הבנה של מושגים בפיזיקה ומודלים (כלומר נוסחות) מתמטיות חיוניות להבנתם של עקרונות ביולוגיים בסיסיים ולצורך הסבר של תופעות ביולוגיות (chemistry, and physics) (Redish and Cooke, 2013; Watkins and Elby, 2013). Physics has lagged behind math and chemistry in creating new, biologically oriented curricula, although much activity is now taking place, and significant progress is being made. In this essay, we consider a case study: a multiyear conversation between a physicist interested in adapting his physics course for biologists (E.F.R.). ניתן רק להניח שמה שנכון לסטודנטים לביולוגיה יהיה נכון גם עבור תלמידי חטיבת הביניים.

ומה לגבי הנדסה?

בדו"ח של האקדמיה למדעים של ארצות הברית, שיצא לאור בשנת 2009, נטען שמאחר ובעולם האמיתי פתרונות לבעיות מתחום ההנדסה, ידרשו ידע מתחומי מדע אחרים, הרי שגם בבית הספר כדי לשלב בין לימודי ההנדסה לשאר תחומי המדע. באמת, החל מאותה השנה, החלו בארצות הברית, לשלב את הוראת לימודי ההנדסה כחלק אינטגרלי משיעורי

המדעים ולא כמקצוע נפרד. לפי Moore, לימודי הנדסה יכולים לעודד את המעבר ללמידה בין-תחומית, שכן הן יעודדו את הסטודנטים ללמוד את המתמטיקה והעקרונות המדעים מאחורי פיתוחים טכנולוגיים. יחד עם זאת חשוב לזכור, שאחד האתגרים של מורים למדעים הוא כיצד לשלב בין לימודי הנדסה ללימודי מדעים בכלל וביולוגיה בפרט. העדויות לגבי התמורה של לימודי הנדסה בלמידה בין תחומית הן מגוונות. נמצא למשל, שתוכנית לימוד בהנדסה ששילבה הדגמות ספציפיות תרמה לתפיסות התלמידים את הנושאים של מעבר חום, ואנרגיה בצורה משמעותית יותר בהשוואה ללמידה סטנדרטית, וגם בהשוואה ללימודי הנדסה ללא דגש על הדגמות ספציפיות (Schnittka and bell, 2011). לעומת זאת, מחקרים אחרים מראים שתלמידים שעוסקים בתכנון הנדסי לא תמיד לומדים ומבינים מושגים מדעיים (McRobbie et al, 2007; Silk et al, 2000). מכאן ששילוב קוריקולום המבוסס הנדסה בתוכנית הלימוד אינו דבר פשוט.

חשיבה מערכתית (system thinking) ושימוש במודלים בהוראת מדע וטכנולוגיה

אחד מהיעדים המופיעים במסמך דמות הבוגר הוא פיתוח אוריינות מדעית, שאחד ממרכיביו הוא חשיבה מערכתית (de Bono 1976). חשיבה מערכתית היא אחד מכישורי החשיבה מסדר גבוה והיא מאופיינת ביכולת לראות את המערכת השלמה, את מרכיביה, את יחסי הגומלין בין רכיבי המערכת ואת דרך הפעולה הכללית של המערכת. חשיבה מערכתית חשובה כדי להתמודד עם בעיות מורכבות ובמיוחד כאלה המערבות תחומי מדע שונים. אחת הטענות היא, שפיתוח חשיבה מערכתית בהוראת מדע יסייע לפיתוח מיומנויות אחרות של חשיבה מסדר גבוה. בעבודה שבדקה את יכולת החשיבה המערכתית של תלמידי ביולוגיה בתיכון, לאחר שלמדו את היחידה העוסקת בגוף האדם והומאוסטזיס, נמצא שהחשיבה המערכתית של רוב התלמידים הייתה בסיסית ביותר. התלמידים הצליחו להבחין בין מרכיבי המערכת, אבל לא לבצע מיזוג או הכללה בין רכיבי המערכת דבר שהיה מעיד על חשיבה מערכתית ברמה גבוהה יותר (Assraf et al, 2013). כדי לפתח חשיבה מערכתית ניתן להשתמש במתודולוגיה של מערכות מורכבות (complex systems). לפי גישה זו, בוחנים כיצד יחסי הגומלין בין מרכיבי המערכת מובילים להופעתן של תכונות מתהוות (emergent properties), וכיצד המערכת יוצרת קשרים עם הסביבה (Jacobson & Wilensky, 2006). לפי גישה זו, למערכת בכללותה יש מאפיינים שלא ניתנים להבחנה על ידי התבוננות בכל אחד ממרכיבי המערכת בנפרד. פיתוח חשיבה מערכתית ותיאור מערכות בצורה של "מערכות מורכבות", הוא אחד מיעדי מערכת החינוך. וגם אחד מהמושגים "חוצי הדיסציפלינות" המתוארים במסמך ה- NGSS. (Next Generation Science Standards). בחטיבת הביניים נחשפים התלמידים לנושאי לימוד רבים הניתנים לתיאור בדרך של מערכות מורכבות. תהליכי דיפוזיה, מערכות הובלה, מערכות אקולוגיות ושינויי אקלים, הם רק דוגמה קטנה לכך. תיאור ואפיון תהליכים אלה הוא אתגר מורכב קוגניטיבי והבחנה ברמות המורכבות השונות במערכת תאפשר הבנה טובה יותר של נושאים חשובים אלה.

כלים לשימוש או בנייה של מודלים ממוחשבים.

אחת הדרכים לפיתוח חשיבה מערכתית בגישה של מערכות מורכבות היא שימוש במודלים. שימוש במודלים מאפשר לתלמידים לראות את המדע כרצף מתהווה של רעיונות לעומת ידע ודאי וקבוע. מודל יכול להיות פיזי או ממוחשב, ותלמיד יכול להתנסות במודל קיים או לבנות/ לתכנת מודל בעצמו. כך ששימוש במודלים כחלק מרצף ההוראה יכול לתת מענה גם לשונות לומדים.

קיימים כלים רבים המאפשרים עבודה סביב מודלים ממוחשבים. חלקם מאד ספציפיים לנושא מסוים כמו CTSiM המיועד לטומוגרפיה ממוחשבת, EvoBuild סביבה מבוססת בלוקים ליצירת מודלים בנושאי אבולוציה (Wagh and Wilensky, 2018), גאוגברה, סביבה מתמטית המאפשרת תכנון של סימולציות הנדסיות, מתמטיות ופיזיקליות. כלי נוסף הוא SageModeler המאמץ את הגישה הדינמית בה למערכת יש סך אנרגיה מסויים ובעזרת לולאות משוב, משתנה האנרגיה של כל רכיב במערכת. שתי סביבות פיתוח כלליות יותר הן סקראץ' ו-NetLogo (Resnic et al, 2009) (Wilensky, 1999), אלו סביבות פיתוח קוד כלליות המצריכות היכרות בסיסית עם עולם התכנה. באוגדן זה ניישם בנייה ושימוש במודלים פיזיים וממוחשבים.

עקרונות פדגוגים להטמעת הוראת STEM בגישה בין-תחומית בחטיבת הביניים

מעבר ללמידה בין תחומית הוא תהליך לא פשוט. המרכיב המרכזי ברפורמות שהוצגו, לפחות עבור קורסים לתואר ראשון, היה שינוי של תכני הקורסים, מפגשים בין מרצים בתחומי הדיסציפלינות השונים וליווי מחקרי של התהליך. ניתן להניח, שגם בחטיבת הביניים, כדי ששינוי זה יצליח, יש חשיבות בהטמעה הן של הידע והן של גישה ה-STEM בקרב מורים. כמו כן יש לשקול התאמה של תכנית הלימודים שתאפשר הוראה בין תחומית בצורה קלה יותר. מאחר וקיימות דרכים רבות להוראה של STEM בצורה בין תחומית, היה עלינו להתמקד. לכן בחרנו באוגדן להתמקד בשלושה מרכיבים (איור 2).

שילוב של היבטים כמותיים ומתמטיים:

בעידן של מהפכת המידע בו נתוני עתק (Big-Data) נוצרים בקצב מהיר, כאשר העולם צועד לעבר מערכות אוטונומיות מבוססות בינה מלאכותית (AI), ובמיוחד בתקופת הקורונה, בה מושגים כמו מקדם הדבקה ושכיחות מוטציות, קובעים הלכה למעשה את סדר היום, יש חשיבות רבה של שילוב תכנים כמותיים בהוראת הביולוגיה. בכלל, לא תתכן הוראה בין-תחומית ללא בסיס מתמטי טוב, וללא ההבנה שהיבטים כמותיים מתחומי המתמטיקה והפיזיקה הם חלק אינטגרלי ממדעי הטבע. אולם, כשבוחנים את השימוש בחשיבה כמותית בהוראת המדעים בישראל, נראה שהגישה הכמותית מודגשת פחות. מכאן עולה השאלה, כיצד נכון ליישם למידה בין תחומית במדעים תוך שילוב של היבטים כמותיים. שילוב של מושגים מתמטיים ונוסחאות בלימודי המדעים צריך להיעשות בחכמה, כדי למנוע התנגדויות. אחרת התלמידים עלולים להתייחס למושגים המתמטיים כמושגים שיש לשנן, והשימוש בהם עלול להיות טכני באופן הדומה להצבה בנוסחה ופתרון בלבד. יש לתת את הדעת להתפתחות הקוגניטיבית של תלמידים בגילאים הצעירים. שילוב של מתמטיקה בצורה אינטנסיבית מדי, עלול להרתיע ולהוביל לתסכול. עבור חלק מהם, ההבנה המתמטית עלולה להתפתח דווקא בשלבים מאוחרים יותר, לכן חשוב לבחור בקפידה את ההיבטים המתמטיים המתאימים לגילאים הצעירים. לדעתנו מושגים בסיסיים כמו, ממוצע, חציון, סטיית תקן, ערך R2 ושונות בתיווך מתאים, הם בהחלט בטווח ההבנה של תלמידים בגילאי חטיבה. חשוב גם לבחור בקפידה את הנושאים הביולוגיים בהם נרצה לשלב היבטים כמותיים. במחקר שבדק שאלה זו בקרב סטודנטים נמצא שלנושאי הלימוד, מורכבות המתמטיקה, או המטלה הספציפית, יש השפעה על מידת הרתיעה של סטודנטים לביולוגיה משילוב של עקרונות מתמטיים ופיזיקליים בלימודי הביולוגיה. מכאן, שחשוב לבחור בצורה נכונה את הנושאים הביולוגיים בהם נרצה לשלב מתמטיקה או פיזיקה להוראתם (Watkins and Elby, 2013).