



כתב עת אלקטרוני
בהוצאת המכללה האקדמית לחינוך ע"ש דוד ילין, ירושלים

גיליון 10, כסלו, תשפ"ב, דצמבר 2021

ניתן לקריאה באתר המכללה
<http://www.dyellin.ac.il>

**"הוראה קשובה" כדרך לקידום ההבנה
של המושג "שבירת אור"**

ירון שור, עינת גוברמן וסבטלנה אובסיאניקוב

תקציר

מחקר זה בחן את השפעתה של שיטת ההוראה דיאלוגית בשם 'הוראה קשובה' על ההבנה של המושג "שבירת אור". שיטה: המשתתפים במחקר היו חמישה תלמידים (ארבע בנות וכן אחד) שלמדו פיזיקה בכיתה י' רגילה. הם התבקשו לצייר את העולם כפי שהוא נראה מתוך טיפת מים ולהסביר את הציורים שהפיקו לפני ההוראה ואחריה. נוסף על כך, הם התבקשו לצייר ולהסביר אלו רגשות התעוררו אצלם במהלך מילוי המשימה. ממצאים: כל תלמיד ביצע את המשימה באופן ייחודי, והבין את המושג "שבירת אור" בדרך משלו. בעקבות ההוראה, ארבעה תלמידים התקדמו וייצגו מושגים מדעיים שרכשו בטקסטים המולטי-מודליים (ציורים והסברים) שהפיקו. תלמידה אחת חוותה בלבול רב מדי, והציור שלה מבטא נסיגה. למידה של תכנים מאתגרים מאפשרת לחוות תהליכי אי-ודאות. מסקנות: 'הוראה קשובה' מאפשרת ללומדים להגיע לשינוי תפיסתי. ציורים והסברים הם כלים שמאפשרים ללומדים להעריך את האופן שבו תלמידים מבינים את המושגים הנלמדים, לעמוד על התהליכים שהם עוברים במהלך הלמידה ולהשוות בין רמות ההבנה של תלמידים שונים.

מבוא

בעשורים האחרונים התגבשה המודעות כי ההוראה צריכה להיות מכוונת להבנה (Perkins, 1993). הבנה מאפשרת ללומדים לראות שהידע שרכשו רלוונטי לחייהם, וליישם אותו בהצלחה בהקשרים חדשים. אף שהמודעות לחשיבותה של ההוראה המכוונת להבנה היא גבוהה, מחקרים רבים מראים כי לעיתים קרובות, תלמידים אינם מאמצים את המושגים המדעיים שלמדו במלואם, וכי תפיסות שגויות, סתירות פנימיות והבנה חלקית שכיחות בקרב תלמידים בכל הגילים (Sherin, 2017; Vosniadou, 2017; diSessa, 2017). מטרתו של מחקר זה היא להראות כיצד אפשר לקדם את ההבנה של המושג "שבירת אור" באמצעות ההוראה הקשובה להמשגותיהם של תלמידים, וכן באמצעות משימות הדורשות "ביצועי הבנה", כלומר - חשיבה, ויציאה מן ההקשרים המוכרים (Perkins, 1993). התלמידים התבקשו לקשר את "שבירת האור" (בתחום הפיזיקה) עם ראיית העולם שסביבם. הם יצאו למסע חשיבתי אל תוך טיפה של מים, ומתוכה התבוננו בעולם שמסביבם. בדרך זו נתנו ביטוי לנקודות המבט הייחודיות שלהם על סביבתם. במהלך המחקר נעשה שימוש בכלי שפותח לאחרונה (אשר נועד לתאר התפתחות של רמת הבנה של המושג 'מערכות אקולוגיות חברתיות' אצל לומדים מבוגרים) לבחינת רמת הבנה מושגית, באמצעות ניתוח ציורים, במטרה להעריך את התקדמות ההבנה של הלומדים בתחום "שבירת אור" (שור, נבו, גל וגן, 2021).

הקשיים הכרוכים בהבנת המושג "שבירת אור"

כדי להבין את המושג "שבירת אור", יש להתייחס לכך שלאור יש מהירות סופית. דבר זה אינו ברור מאליו, ומנוגד להתנסות היום-יומית. על פני כדור הארץ, נדמה שברגע שאור נדלק, הוא מגיע אל העין באופן מיידי. גם גדולי הפילוסופים כמו אריסטו ודקארט חשבו שהאור מגיע לעיניים באופן מיידי. גליליאו ערך ניסוי לקביעת מהירות האור, ולא הצליח לקבוע אם האור מגיע לעין באופן מיידי או שמהירותו היא גדולה באופן יוצא דופן" (Clegg, 2002, p. 155). רק ברבע האחרון של המאה ה-17 הצליחו מדענים לקבוע את מהירות האור בסדר גודל דומה למהירות שאנחנו מכירים כיום (Clegg, 2002). תכונה אחרת הקשורה בנושא "שבירת אור", שיש להבינה, היא העובדה שהאור משנה את מהירותו כשהוא עובר בתוך חומרים שקופים שונים. ככול שהחומר צפוף יותר, מהירות האור בתוכו תהיה קטנה יותר. השינוי במהירות האור במעבר מתווך אחד למשנהו מביא לשינוי בכיוון ההתקדמות של האור בנקודת המעבר. במעבר מאוויר למים ולהפך, העצמים נראים כאילו הם "נשברים". ההתייחסות אל תופעת האור על מרכיביה השונים אינה קלה להבנה. האתגר הוא לאפשר ללומדים לקשר בין "שבירת אור" ובין הדרך שבה אנחנו רואים את העולם סביבנו, כדוגמת תופעת המראה ה"שבור" של כפית בכוס תה (Hewitt, 1993).

הוראה קשובה

הוראה קשובה (שור, 2015; Schur, 2019) היא הוראה דיאלוגית, שבה המורה קשוב לדרך שבה כל תלמיד ממשיג את הנושא הנלמד. במהלך השיעורים, מתקיים שיח בין התלמידים לבין עצמם, ובין לבין המורה. התלמידים מציגים את ההמשגות שלהם, חושפים אותן לעיון ביקורתי, ומנמקים את עמדותיהם. תפקידו של המורה הוא להקשיב ולהציע תיווך שיועיל להם לשנות את ההמשגות הראשוניות שלהם ולהתקדם לקראת ההמשגות המדעיות המקובלות. הוראה קשובה מתבססת על שלושה רכיבים מרכזיים:

1. תיווך כיתתי אינטראקטיבי.
2. אינטראקציה מתמשכת.
3. צפייה בהמשגות ובהשתנות שלהן לאורך זמן. להלן נדון מעט בכל אחד מן הרכיבים הללו:

תיווך כיתתי אינטראקטיבי

המורה והתלמידים משתתפים בשיח כיתתי אינטנסיבי. התהליך מתחיל בגיבוש נקודות המבט של התלמידים על הנלמד - כרגיל, בשילוב של ייצוג חזותי עם הסבר מילולי. בהמשך הם מציגים את תוצריהם בפני חבריהם ובפני המורה, שמקשיבים ומגיבים. השיח מאפשר לכל תלמיד לבטא את הידע האישי שלו, את נקודת המבט הייחודית שלו על הנלמד, את החווקות, הלבטים, התהיות שלו ואת העולם שממנו הוא בא. השיח מחייב את כל הלומדים להיות פעילים, להעמיק את חשיבתם, ולהגיב לדברי הזולת. כך, הם הופכים להיות שותפים להוראה, ובעזרת המורה נוצרת בכיתה הבנה משותפת של הנושא הנלמד. המורה הוא שותף פעיל בשיח. במהלך השיח משתנות הדרכים שבהן הוא מבין את הלך החשיבה של תלמידיו. ההבנה של הנושא הנלמד מתרחבת ומתענגת, משום שבזכות התלמידים, הנושא נקשר לעולמות שונים משל המורה.

אינטראקציה מתמשכת

כדי להבין נושאים מאתגרים יש צורך בהתנסויות מגוונות לאורך זמן. כל התנסות שכזו מאפשרת ללומדים נקודת מבט אחרת על הנושא הנלמד. הצטברות של התנסויות מאפשרת לגבש תפיסה רחבה וקוהרנטית של הנושא הנלמד שנקשרת אל עולמם של הלומדים בדרכים שונות ובהקשרים שונים. בדרך זו נמנעת יצירה של "קפסולות" מבודדות ומנותקות של "ידע" משונן (Perkins, 1993). כדי להבין נושאים מאתגרים יש צורך בהתנסויות מגוונות לאורך זמן. התנסויות אלה מתרחשות במהלך של אינטראקציות מתמשכות בין המורה ותלמידיו. ההתנסויות שהמורה יוזם מזמינות את התלמידים להתבונן בעולם מנקודות מבט שונות מזו שהם רגילים אליה. נקודות המבט השונות מזמנות השוואה, ומדגישות את המשותף בין המופעים השונים של המושג הנלמד. ההתבוננות מנקודות מבט שונות יוצרת "מרחב למידה" (Marton, 2004; et al., 2004) ומעמיקה את ההבנה של המושג הנלמד (Carey, 2009). ההתבוננות יכולה להיעשות בכוח החשיבה, ואינה מחייבת מסע פיזי. החשיבה יכולה להיות על שאלות כגון: האם אדם העומד על הירח חווה "יום" ו"לילה"? ואם כן - כמה זמן הם נמשכים, ובמה הם שונים מיום ולילה על פני כדור הארץ. צורה זו של התבוננות בנושא הנלמד ("יום ולילה") בהקשרים מגוונים ומנקודות מבט משתנות, מכונה "מסע חשיבתי", והיא מאפשרת השוואה בין נקודות מבט שונות על הנושא הנלמד ויצירת הבנייה של המושגים הנלמדים אצל התלמידים (שור ונבו, התקבל לפוסט; Schur & Galili, 2009; Schur, Galili & Shapiro, 2009; Schur, 2015; Stein, Galili & Schur, 2015).

ההוראה משנה גם את דרך ההתבוננות בנושא הנלמד

ההבנה משתנה בכל פעם שחוזרים אל הנושא ולומדים עליו משהו חדש. התבוננות מתמשכת בסביבה או בטקסט כלשהו מאפשרת ללומדים לשנות את תפיסתם החזותית ואת הבנת הנלמד, והיא מכונה "למידה דינמית". השיח האינטראקטיבי, כפי שתואר בסעיף הקודם מתקיים בכל אחת מן ההתנסויות במהלך האינטראקציה המתמשכת (שור ואקסלרוד-טייר, 2014; Schur & Valanides, 2005). נקודות המבט השונות, וההתבוננות המתמשכת בסביבות רלוונטיות לנלמד, מאפשרות לתלמידים לחוות תהליכי אי-ודאות, שנודעת להם חשיבות בתהליך המוביל לשינוי תפיסתי של הנלמד (שור ונבו, 2018; שור, 2019).

צפייה בהמשגות ובהשתנות שלהן לאורך זמן.

ההוראה הקשובה מעודדת שימוש בציורים המלווים בהסברים. התלמידים מציגים ציורים אלה בפני חבריהם, ובדרך זו מתעורר שיח כיתתי על החומר הנלמד. כאשר תלמידים מתבקשים לייצג את ההמשגות שלהם בשפה דבורה או כתובה, הם נוטים לשחזר טקסטים ששמעו או קראו בלי להבין אותם כאמת (Perkins, 1993). לעומת זאת, להצגה של ידע באמצעות ציור יש יתרונות רבים (Ainsworth, Prain & Tytler, 2011; Quillin & Thomas, 2015):

1. ציור מבטא המשגה. ציור מחייב בחירה של אלמנטים שבעיני התלמיד הם מרכזיים, והצגת מכלול היחסים ביניהם בתוך שימוש במרחב של הדף ככלי מארגן.
 2. ציור מתאים במיוחד לייצוג של יחסי גודל ומידע מרחבי.
 3. ציור הוא כלי תקשורת. העובדה שציור מייצג מושגים באופן מפורש, הופכת אותו למצע נוח לשיח ולבחינה ביקורתית של התכנים המיוצגים מבחינת הבהירות שלהם, מידת ההתאמה לתפיסות המדעיות המקובלות והקוהרנטיות שלהם.
 4. ציור הוא כלי למידה. מאחר שציור מארגן בצורה בהירה ותמציתית פיסות מידע מרובות, הוא מעודד שאילת שאלות, הסקת מסקנות ושינוי בהמשגה.
 5. ציור מחייב את הלומדים להיות פעילים ומעורבים. מידע מילולי ששונן באופן פסיבי אינו מספיק כדי לצייר, משמע, להציג על הדף אובייקטים היחסים שביניהם. ציור הוא אם כן כלי שיכול לבטא את הדרך הייחודית שבה כל לומד ממשיג את הנושא הנלמד. עם זאת, הוא אינו יכול לשאת בכל הנטל של העברת המשמעות, שכן האופן שבו יש לפרש את האלמנטים המצוירים ואת היחסים שביניהם עשוי להיות בלתי ברור לצופים. לשם כך, יש צורך לעיתים קרובות לשלב בין דימויים גרפיים לבין שפה דבורה או כתובה (Kress, 2015).
- עיון בציורים והקשבה להסברים המילוליים שמתארים אותם, מאפשרים למורה להבין את הדרך האישית והייחודית שבה כל תלמיד מבין את הנושא הנלמד (שור, 2019; Acher & Arca, 2009; Best, 2019; Teubal & Guberman, 2014; Dockrell & Braisby, 2006; Brooks, 2009; Ehrlén, 2009; Vosniadou, 1994; Paquette, Fello & Renck Jalongo, 2007; McConnell, 1993). כאשר חוזרים על משימת הציור וההסבר ככל משך ההוראה של הנושא הנלמד, אפשר לעקוב אחרי שינויים מושגיים שחלים אצל התלמידים. ההוראה הקשובה מעודדת מאוד שימוש בציורים ובהסבריהם כדי ליצור שיח מתוך ככיתות הלימוד ולהגיע להמשגה של נושאי לימוד מגוונים בגילים שונים. הציורים והסבריהם יחד עם השיח הכיתתי הנלווה והתייחסות לידע הנדרש הם אמצעים שמאפשרים ללומדים לחוות תהליכי שינוי אישיים בהבנתם (שור, 2019).

ציורים ככלי לאבחון רמת ההבנה של מושגים

במאמר שהתפרסם לאחרונה (שור, נבו, גל וגן, 2021) הועלתה הטענה כי אפשר להשתמש בציורים גם כדי לאבחן את רמת ההבנה של הלומדים בהשוואה לאחרים, ולא רק כדי להבין את ההמשגות הייחודיות לכל לומד. המודל פותח בהקשר של תפיסות המושג 'מערכות חברתיות-אקולוגיות' אצל לומדים מבוגרים. הוא מחלק את התפיסות הללו לחמש רמות.

- רמה 1: הבנה פרה-מערכתית. ברמה זו, הציור הוא כללי ואינו משקף מקום ספציפי.
- רמה 2: הבנה חלקית של רכיבי המערכת. ציורים שנמצאים ברמה זו מציגים רק חלק מן הרכיבים שבאים לידי ביטוי במערכת החברתית-אקולוגית.
- רמה 3: הבנת רכיבי המערכת. ברמה זו, כל רכיבי המערכת החברתית-אקולוגית באים לידי ביטוי בציור או בהסבר שמלווה אותו.
- רמה 4: ברמה הרביעית רואים את כל רכיבי המערכת, ואת קשרי הגומלין שביניהם.
- רמה 5: הרמה החמישית היא הגבוהה ביותר. ברמה זו, ההבנה היא מופשטת וכוללת מסר רעיוני כוללני, המקשר את ההתבוננות המקומית עם תפיסה כללית של מערכות דומות. במחקר הנוכחי, ננסה ליישם את המודל גם על ניתוח התפתחות ההבנה של "שבירת אור".

הקשר בין היבטים קוגניטיביים להיבטים רגשיים בלמידה

רגשות הם חלק בלתי נפרד מתהליכי חשיבה ולמידה (שור ונבו, 2018, Schur, 2015). למידה אופטימלית מתרחשת במצבים שאינם מעוררים דאגה או חרדה גבוהות מדי, מצד אחד, ושעמום, מצד אחר (Pekrun, & Garcia-Linnenbrink, 2012). הצגת משימות שמחייבות חשיבה עמוקה וכיצועי הבנה עשויה לעורר אצל התלמידים רגשות שליליים של חוסר ביטחון, ספקות בנוגע ליכולתם לעמוד במשימה, תחושת בושח מחשיפת חוסר הידע בפני המורה ושאר התלמידים ובלבול. אך הצגה כזו עשויה גם לאתגר את התלמידים, לפתח בהם סקרנות, להפתיע אותם, ולנתב אותם לחשיבה על דרכי התמודדות לא שגרתיות. מורים קשובים ערים להיבטים המורכבים הללו, מטפחים אקלים כיתתי תומך שמאפשר לכל לומד להתבטא באופן חופשי, ועם זאת, אינם מוותרים על עיון ביקורתי ובדיקה של הטענות והעדויות שהתלמידים מביאים. תהליכי אי-ודאות ברמה הרצויה חשובים כדי שתתחולל למידה המובילה להבנה (שור ונבו, 2018).

המחקר הנוכחי

מחקר זה בא לעקוב אחרי התפתחות הבנת המושג "שבירת אור" אצל תלמידים. המושג נלמד בכיתה י' הטרוגנית, כחלק מתוכנית הלימודים הרגילה. המורה לימדה את הנושא על פי העקרונות של הוראה קשובה ותיעדה את עבודתה במסגרת לימודים לתואר שני.

לצורך המחקר הנוכחי נבחרו חמישה מתלמידי הכיתה. שאלות המחקר הן: (1) כיצד הבינו הלומדים את המושג "שבירת אור" לפני הלמידה ואחריה? (2) כיצד השפיע התיווך שהתרחש במהלך ההוראה על הבנת המושג? (3) מה הקשר בין תהליכי הלמידה של הלומדים לבין הרגשות שבטאו?

שיטה

המחקר זה נערך במתודולוגיה של חקר מקרה (Flyvbjerg, 2011).

חומרים: במהלך המחקר השתמשנו בחומרים האלה:

1. ציורים של העולם כפי שהוא נראה מבעד לטיפת מים, לפני הלמידה ואחריה. התלמידים התבקשו "לשים את עצמם" בתוך טיפה ולצייר כיצד נראה העולם שבחוץ
2. ראיונות עם התלמידים על הציורים, שבהם הם הסבירו מה ציירו ומדוע.
3. ציורים של הרגשות שהתלמידים חשו במהלך הלמידה.
4. ראיונות עם התלמידים על הרגשותיהם במהלך הלמידה.
5. ציורים שהתלמידים הפיקו בקבוצות קטנות במהלך ההוראה, כדי להתמודד עם שתי משימות שניתנו לשם הבנת העקרונות של "שבירת אור".
6. תכנון השיעורים, תיעוד השיעורים ויומן רפלקטיבי שהמורה כתבה. החומרים נאספו במהלך ההוראה, ושימשו את המורה בהוראת הנושא.

תלמידים אחדים בחרו מיוזמתם לשלב בציורים שתיארו את העולם מבעד לטיפת מים, טקסטים מילוליים וייצוגים של תהליכים פיזיקליים, אף על פי שהדבר לא נדרש בהנחיות. התייחסות להיבטים פיזיקליים הייתה במהלך ההוראה ובראיונות שבהם התלמידים הסבירו את הציורים שהפיקו. בהמשך המאמר נראה כי להוראה הייתה השפעה על שינויים שחלו בציורים ובהסבריהם, כלומר על דרכם של התלמידים להתבונן בעולם שסביבם מתוך התייחסות לעקרונות שבירת האור.

משתתפים: במחקר השתתפו חמישה מתוך 14 תלמידי הכיתה. לפני שניתחנו את החומרים שנאספו, פנתה המורה (כותבת 3) אל התלמידים וביקשה את רשותם להשתמש בחומרים הללו לצורך המחקר. הפנייה אל התלמידים נעשתה שלוש שנים לאחר שסיימו ללמוד עם המורה, כשהיו בגירים וכבר סיימו את לימודיהם בתיכון. השמות במאמר הם פסאודונים.

ניתוח הנתונים: ניתוח הנתונים מתבסס על ניתוח הציורים ועל תהליכי התיווך כפי שתועדו על ידי המורה. ציורי הלומדים נותחו בהשוואה לטקסט שכתבו ליד הציורים ולהסברים המילוליים שסיפקו במהלך הראיונות. בכל ציור נבחנו האלמנטים שמופיעים בו והיחסים ביניהם (Jewitt, Kress, Ogborn, & Tsatsarelis, 2001; Kenner, 1999; Kress & van Leeuwen 2006). לאחר מכן, השתמשנו במודל שפיתחו שור ועמיתיו (2021), כדי למקם את רמת ההבנה היחסית שהציורים מבטאים:

1. רמה 1. הבנה פרה-מערכתית: ציור שאינו מאפשר לזהות שמדובר בהתבוננות בעולם מתוך טיפת מים.
2. רמה 2. הבנה חלקית של רכיבי המערכת: ציורים שמציגים רק חלק מהרכיבים שבאים לידי ביטוי במערכת כולה, לדוגמה: הקיעור של הדמויות שנוצר בהתבוננות של הלומדים מבעד לטיפת המים במקרה הנוכחי, ביטא רכיב אחד של השפעת שבירת אור על ההתבוננות בסביבה.
3. רמה 3. הבנת רכיבי המערכת: כל הרכיבים של המערכת באים לידי ביטוי בציור או בהסבר שמלווה אותו, אך הציור אינו מתאר את קשרי הגומלין ביניהם, כלומר את התהליך של שבירת קרני האור.
4. רמה 4. ברמה זו רואים את כל רכיבי המערכת, ואת קשרי הגומלין שביניהם: קרני האור, האופן שבו הן נשברות בטיפה, והדמויות שהן יוצרות.
5. רמה 5. הרמה החמישית היא הגבוהה ביותר. ברמה זו, ההבנה מופשטת. התהליך הפיזיקלי של שבירת קרני האור מאפשר להתבונן בתופעה של "שבירת האור" מתוך קישור רחב אל האופן שבו היא באה לידי ביטוי בעולם. היומן הרפלקטיבי, תכנון השיעורים ותיעוד השיעורים שימשו לתיאור תהליכי התיווך.

תמצאים

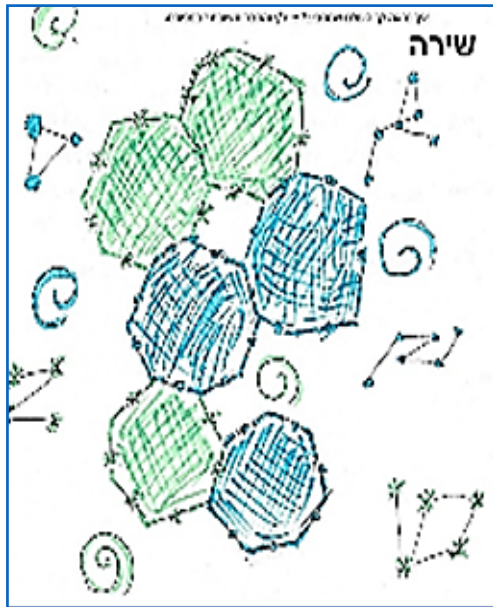
נקודת ההתחלה היא שונה ואישית לכל תלמיד

מייד בתחילת הלמידה, התבקשו התלמידים לצייר את סביבתם, כפי שהיו רואים אותה מבעד לטיפת מים שנמצאת על דשא. כל תלמיד תיאר בציור את נקודת מבטו על הדרך שבה יראה את העולם מתוך טיפת המים, והסביר באופן מילולי את תהליכי החשיבה שהנחו את הציור. הניתוח מתייחס לטקסטים המולטי-מודליים שהילדים הפיקו, כלומר לשילוב שבין השפה הדבורה, השפה הכתובה והייצוגים הגרפיים האחרים. תמונות 1-5 מציגות את נקודות ההתחלה של כל תלמיד.



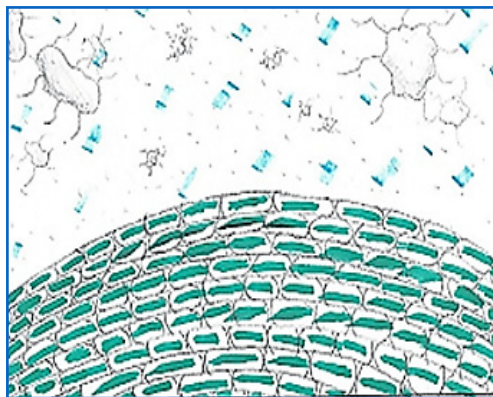
תמונה 1:
עלה מתוך טיפת מים, חן

חן (תמונה 1) מתחילה מהידוע: טיפת מים מצויה על עלה של דשא. אם היא נמצאת בתוך טיפה - פרטים קטנים ייראו לה גדולים. ואומנם, הציור של העלה תופס את כל העמוד. בתיאור המילולי היא אומרת: "בהתחלה חשבתי אולי אני רואה מולקולת קטנות, כי אני קטנה, אז מה אני בדיוק רואה? אולי משהו קטן... ואז אולי אמרתי טוב, אולי זה בעצם יותר גדול מה שאני רואה. ואז התחלתי לצייר משהו כזה שאיפה טל... איפה טיפה יכולה להימצא? אז טל בדשא איפשהו אולי. ואז הבנתי שזה יכול להיות יותר גדול מאשר מולקולות או משהו". התהליך הפיזיקלי שמעורב בראייה אינו בא לידי ביטוי בציור. בהסבר המילולי של הציור אפשר לראות שחן רואה במים את מקור האור. "איך אנחנו רואים את העולם מחומר אחר שהוא מים, כמו שאיך שהאור יוצא מתוך המים, ואז מגיע לבחור". טיפת מים משנה את המראה, אך לא ברור לה איך, ונדמה לה שיש קשר בין שינוי המראה לגודל: "ואז חשבתי, אם זה מתוך טיפת מים אז מה הקשר לבחור? כאילו אם אני במשהו כזה קטן וזה. טיפת מים זה תמיד איכשהו משנה את המציאות". מאחר שהקשרים בין הגודל, מקור האור והמראה אינם ברורים לה - היא לא מציירת אותם. הטקסט של חן מצוי ברמה 1, שכן שהוא אינו מאפשר לצופה לדעת שהעלה מתואר מתוך טיפת מים.



תמונה 2: מולקולות של מים, שירה

שירה (תמונה 2) מציירת וחושבת תוך כדי ציור. גם כשציירתי זה היה כזה מהראש ואז כשהתחלתי להסביר יותר הבנתי מה אני ציירתי... זה כאילו כמו ליצור עולם ואז לתת לו חוקים כאלה." כדי לצייר את העולם הזה, היא מסתמכת על מושגים שרכשה בכימיה. "נו, אני יודעת שבמים החלקיקים הם לא מפוזרים כמו באוויר, אבל גם לא כל כך מסודרים כמו במוצק." שירה תיארה את המבנה המולקולרי של מים. לכן היא ציירה מולקולות שחלקן מסודרות, וחלקן לא. תוך כדי הציור היא חשבה על גוליבר, אבל הגיעה למסקנה שהעולם בתוך טיפת מים נראה אחרת: "תמיד התעניינתי בדברים של התכווצות וכל זה. וכאן זה היה אפילו יותר להתכווץ וכאילו להסתכל בעולם עוד יותר שונה. אתה לא רואה את העולם שלנו כקטן, אתה רואה עולם שהוא יותר עמוק." גם הטקסט של שירה נמצא ברמה 1 בהבנה של "שבירת אור". התיאור של המולקולות יכול להתאים באותה מידה לאדם שמתבונן במים מבחוץ. המחשבה שמתוך טיפת מים אפשר לראות מולקולות מצביעה על כך ששירה אינה מבינה את סדרי הגודל של מולקולות וגם אינה מתייחסת לתהליכים שעובר האור בדרכו אל העין, הנמצאת בתוך טיפת המים.



תמונה 3: תאים של עלה, בקטריה, חיידקים ואבק בתוך טיפת מים, בן

בן (תמונה 3) צייר תאים של דשא, חיידקים, בקטריה ואבק. החיידקים והבקטריות גדולים יחסית לתאים, דימוי שאינו מתאים למציאות: "אז תהיה כמו רצפה של דשא מקרוב מאוד, שיראו את התאים... ומסביב כל מיני קבוצות של חיידקים או בקטריה ואבק וכל מיני דברים קטנים שקשה לראות בדרך כלל." בן היה מודע לכך שתהיה שבירה של האור בשל טיפת המים, אך אינו בטוח כיצד לייצג זאת: "והייתה לי מחשבה אחת שאולי אני אראה את זה... שהאור טיפה ישבר בגלל המים וזה. אבל לא ציירתי את זה ככה בסוף." עם זאת, בציור אפשר לראות שהעלה קמור. מאחר שבן מתייחס אל שבירת האור בטיפה ומצייר התעגלות, הוא נמצא ברמה 2. אפשרות אחרת לפרש את הציור של בן היא שהוא מתבונן על העלה שעליו הטיפה נמצאת, ובשל המגע ביניהם - אין "שבירת אור", שכן אין מעבר תווך.



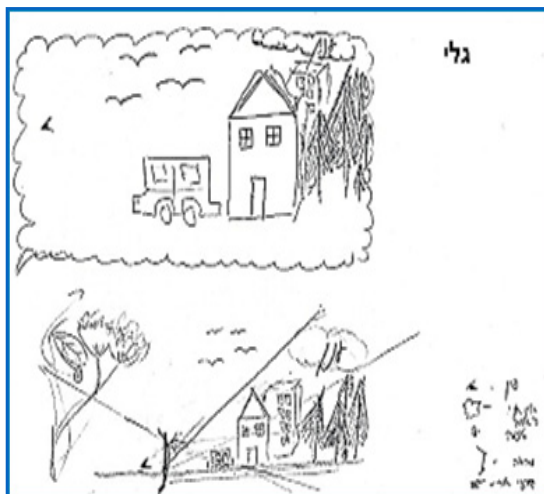
תמונה 4: רחוב מבעד לטיפה, אביטל

הציור של אביטל (תמונה 4) מתאר עולם קעור ומוגדל מבעד לטיפת מים. אביטל התעניינה בטיפות של טל בגלל הקרבה הפונולוגית לשמה, ואספה הרבה מידע על טל ועל מים. הטקסט הרבה לעומת זאת, מצביע על ניסיון לארגן סביבה שיש בה רכיבים רבים ולתאם בין שיקולים ומשתנים מרובים.

מה זה טל? על כך הייתה לה תשובה ברורה: טל זה מים, ככל הנראה, היא אינה זוכרת כיצד טל נוצר: "גדלתי ואז למדתי איך זה נוצר בגלל המשקעים וערפל ומדעים כיתה ו'". בהנחה שטיפת מים היא עגולה, האם העולם שמחוץ לטיפה צריך להיראות עגול? "אם היא עגולה היא אמורה לראות אותי עגולה, נכון? או שלא..." האם טיפת מים היא בהכרח עגולה? מצד אחד, טיפת מים, כשהיא מטפטפת אותה היא קמורה, אבל מצד שני - כשכמות גדולה של מים נשפכת המים נראים שטוחים, וכך גם באקווריום שצורתו תיבה: "אז בעיקרון טיפה.. כאילו איך שלקחתי זה... [וטפטפת, ולא משנה כאילו באיזה ניסוי או איפה עשיתי את זה, זה תמיד נוצר עגול או שטוח אחרי שנשפך נגיד מים. שזה גם, בסוף רואים בקצוות שזה נסגר. ובאקווריום מרובע לא רואים קימור". אביטל לא הגיעה לתשובה ברורה. האם מים מעוותים את הראייה בהכרח? אביטל העלתה כמה שיקולים שתומכים בתשובה חיובית: ההתנסות שלה בים, והניסויים שמדגימים "שבירה" של מקל וכפית כאשר מכניסים אותם לכוס תה. "נגיד אם את בתוך ים ואת פותחת את העיניים ומסתכלת למעלה אז את רואה כזה הכול שברים ומים ואת השמש עקומה. אז התחלתי להבין שגם עם טיפה... תראי עקום. אז כמו שהראיתם את הניסוי עם המקל, התחלתי לראות את זה לפעמים עם כפית תה או דברים פשוטים של היום יום". מאידך גיסא, אפשר שההתנסות בים נובעת מהתנועה, ואילו המקל והכפית תלויים בזווית ההסתכלות: "כאילו במים זה נשבר איך שבא לו ובמקורי את יכולה לראות את זה מהצה. אז התחלתי לחשוב כזה... כי נגיד ים זה הכול זו ובתנועה, ואמבטיה זה לא. וטיפה אני אמורה לדעת אם היא באמצע החלקה מהרשא או פשוט נחה?" בנקודה זו הטיעון נעצר, משום שגם אם בתשובה לשאלה אם העיוות בראייה נובע מתנועה היא תגיע למסקנה, הדבר לא יעזור לה להתמודד עם השאלה המקורית, שכן היא אינה יודעת אם הטיפה נעה או לא. אביטל שמה לב שהמבנה העגול של הטיפה מעוות את הראייה ומגדיל את העצמים: "נגיד במרובע את רואה את זה אותו דבר, חוץ מזה שזה קצת נשבר וזה. אז מהעגול אם את מכניסה את היד את מתחילה לראות שהיא יותר גדולה. אז הזווית של ה.. הצורה שאת שמה את המים שם זה גם משנה. ואם טיפה עגולה אז כנראה שאת רואה את הדברים יותר מורחב". היא גם רואה את הדמיון שבין טיפת מים לבין עדשת עין דג: "אז ניסיתי לעשות את התמונה לא כזאת ישרה וניסיתי לעשות אותה כאילו יותר כזה.. כמו עין הדג שרואים כזה".

אביטל רואה אפוא מספר משתנים שיכולים להשפיע על התשובה: החומר שדרכו מתבוננים (מים), צורת הטיפה ('עגולה' או 'ישרה'), זווית ההסתכלות (מלמעלה או מהצד), והתנועה (האם הטיפה נעה או ניחתה). היא אינה מצליחה להגיע לכללים ברורים בנוגע לאופן שבו כל אחד מהמשתנים הללו משפיע על הצורות הנראות, ואיך תיאור נכון של כל אחד מהמשתנים הללו יביא למסקנה כיצד יש לתאר את העולם מתוך הטיפה. הציור נותן תשובות טובות לשאלות שאביטל מעלה, אך נשאר ברמה האימפליציטית: אביטל יודעת שדברים ייראו עגולים ומעוותים, כמו מתוך אקווריום עגול, או עדשת עין דג. נקודת המבט המצוירת היא מלמטה. היא מגדילה מאוד את הקרקע הסמוכה לטיפה, ומקטינה את העצמים היותר מרוחקים. הטקסט של אביטל נמצא ברמה 3: הציור מתאר כיצד העולם נראה מבעד לטיפת מים, אולם היא לא הבינה את התהליך במלואו.

גלי (תמונה 5) ציירה את "שבירת האור" והתעניינה בתהליך הראייה. הציור מראה קרני אור שנשברות בטיפה, מגיעות אל העין, שרואה את הסביבה בהגדלה. גלי הדגישה שהמחשבה שהעולם יראה גדול יותר אינה נובעת מתפיסה



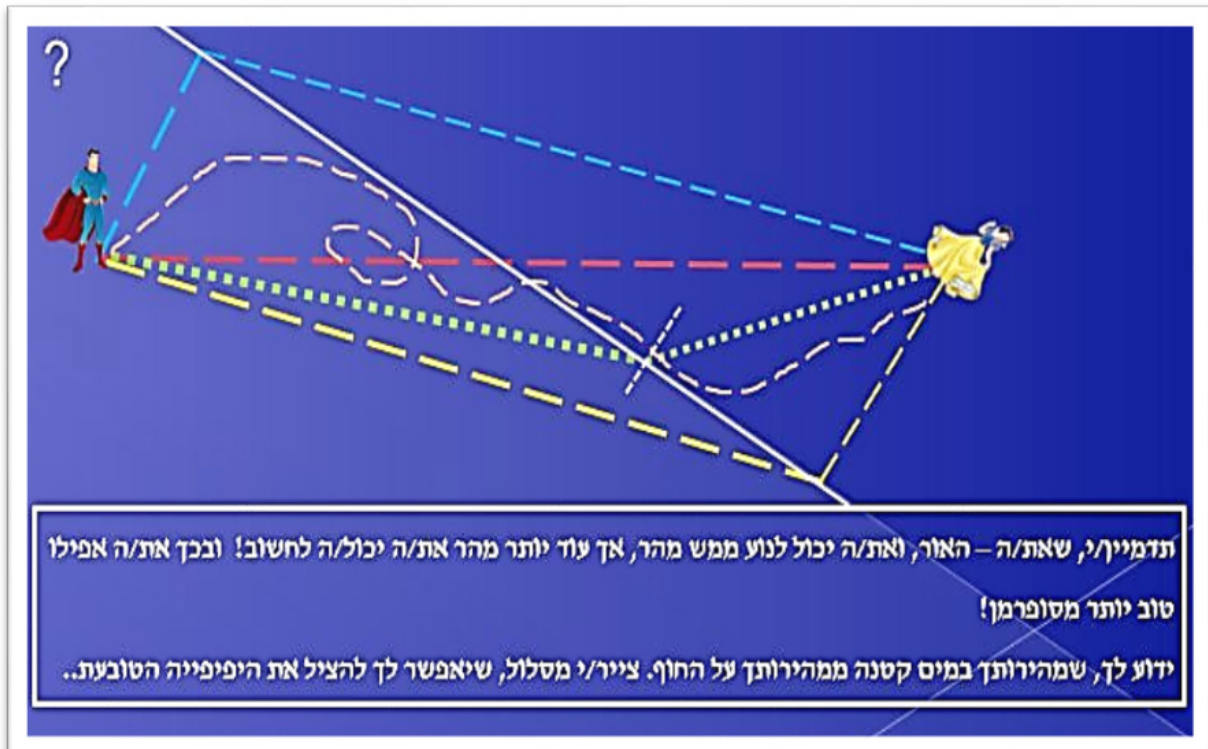
תמונה 5: בתים ועצים מבעד לטיפה, גלי

אינטואיטיבית: "אם אני הייתי כאילו בן אדם רגיל, יכולתי לחשוב שזה ככה. בגלל שאני בטיפה או שאני קטן יותר אז הכול יראה לי גדול יותר". גלי ייחסה לעצמה חשיבה מדעית. "אני חושבת שכל דבר מבוסס על מדע". בצורה מקור האור הוא בחוץ, קרני האור מגיעות אל העין, ויוצרות דמות מוגדלת. אף על פי שהקימור לא בא לידי ביטוי בצורה, היה לו ביטוי בטקסט הדבור: "לפי דעתי הייתי משווה את זה לעדשה. כאילו מעוגלת, נגיד ככה". המאמץ לייצר ציור מדעי בא לידי ביטוי במקרא שגלי מוסיפה, ובציור של העין, במנותק משאר הגוף, כפי שמקובל באיורים מדעיים. הטקסט המשולב שגלי מפיקה הוא ברמה 4. מהלך הקרניים מהשמש, מקור האור, פגיעתן בבתים והחזרת האור מהם בדרך אל הטיפה ואל העין, חסרים לתיאור השלם של התהליך.

לסיכום: כל אחד מהתלמידים ראה את העולם מבעד לטיפת מים באופן שונה וברמות ידע שונות. כדי לעמוד על האופן שבו התלמידים מבינים את "שבירת האור" יש צורך בשילוב של הייצוג החזותי עם ההסבר המילולי. התלמידים העלו שאלות רבות באשר לאופן שבו יראו את העולם מבעד לטיפת מים. מהסבריהם אפשר ללמוד שהתמונה שציירו היא חלקית, שכן היו גורמים אחרים שהם לא ידעו איך להתייחס אליהם בציור. היה חסר להם ידע מדעי על "שבירת אור" ועל הקשר בין "שבירת אור" לבין היכולת להבין מה יראו מבעד לטיפת המים.

תהליך התיווך

תהליך התיווך כלל שתי אינטראקציות של "מסע חשיבתי". האינטראקציה הראשונה הייתה עיבוד של תרגיל החשיבה שיצר פרמה ב-1661 (Clegg, 2002 pp. 85–87), המתוארת בספרו של היואיט (1997). התלמידים התבקשו לדמיין את האור כסופרמן שעומד על קו החוף וצריך להציל נסיכה שטובעת במים. בהנחה שתנועתו על החוף מהירה מתנועתו במים, התלמידים התבקשו לצייר את הדרך שבה עליו לנוע כדי להגיע אל הנסיכה הטובעת במהירות המקסימלית. הם התייחסו אל המשימה כאל משחק, ושיתפו זה את זה במחשבותיהם. תמונה 6 מציגה את ההצעות שהועלו בכיתה. תלמידים אחדים ביקשו מן המורה להגדיר מהו היחס בין מהירויות הסופרמן על החוף ובתוך המים. במקום לקבל תשובה, הם החליטו לנסות יחסים שונים, וכך התקיים מעבר מתיאור איכותני, בלתי פורמלי, להצגה האלגברית של המושג "מקדם השבירה". השינוי במהירות האור במעברו בתווכים שונים, הוא היוצר את תופעת "שבירת האור". מהירותו באוויר גדולה ממהירותו במים. לכן האנלוגיה של סופרמן המציל את הנסיכה מתאימה ל"שבירת האור" במעבר מאוויר למים.



תמונה 6: דרכים שונות שבהן סופרמן יכול להגיע אל הנסיכה הטובעת.
 הדרך המהירה ביותר מסומנת בנקודות.

המשימה השנייה, שנבנתה גם היא בעקבות היואיט (1997), הייתה להתבונן בתצלומים שמופיעים בתמונה 7 ולקבוע, לאחר דיון בקבוצות בנות 2-3 תלמידים, איזו משתיהן היא התמונה המזויפת.



תמונה 7: מבט אל דמות שנמצאת בחלקה במים

כל הלומדים הגיעו לתשובה הנכונה והצליחו להסביר את הבחירה שלהם. הם הגיעו למסקנה, שדמות הנראית כגוף שלם ולא שבור אינה אפשרית, שהרי מדובר במעבר האור בין חומרים שקופים בעלי צפיפות אופטית שונה. תהליכי ההגעה לפתרון היו שונים בשתי הקבוצות. קבוצה אחת, של שירה ואביטל, התייחסה אל המקרה של מקל הנמצא בתוך כוס מים, ונראה שבור, והסיקה מכך שגם גוף האדם ייראה שבור. קבוצה שנייה, של גלי, בן וחוץ, התייחסה אל הקביעה הקלאסית של "עומק מדומה", כלומר אל העובדה, שאם מסתכלים על עצם ארוך הנמצא בתוך מים, רואים אותו שבור. לכן גם אדם המצוי בתוך מים, לא ייראה שלם, וכך הגיעו בדרך השלילה למסקנה שלא ייתכן שהגוף המצולם ייראה שלם, כלומר שהראש ייראה מופרד מהגוף (ראו תמונה 8).



תמונה 8: הסברים של שתי קבוצות לומדים

בעקבות ההוראה חל שינוי בהמשגה, והוא שונה אצל כל לומד

ציורים 9-13 צוירו לאחר הלמידה. בשלושה מתוך החמישה אפשר לראות ביטוי למושגים חדשים שנלמדו בשיעורי הפיזיקה. הציור של חן (ראו תמונה 9) מראה קווים שמייצגים ככל הנראה את קרני האור. הקווים יוצאים במאונך מהשמיים (ולא מהשמש, אף שהיא מצוירת), וברקע התמונה (אולי - על דופן הטיפה) מצוירים קווים אופקיים. הציור מראה פיזור של קרני האור, ושינוי כיוון. לעלים יש נטייה להתעקל לימין, וייתכן שבכך הציור מבטא את ההשפעה של המבנה הקמור של הטיפה על הצורה הנראית של העלים. אפקט ההגדלה בא לידי ביטוי גם בציור וגם בהסבר המילולי שמתחתי: "... אחרי שלמדנו על אופטיקה אני יודעת שכאשר אור עובר דרך חומרים שונים הוא משנה את כיוונו. במים כאשר האור עובר דרכו אז קרני האור מתפזרים ומגדילים את העצם".

השוואה בין שני הציורים, שצוירו לפני הלמידה ואחריה, מראה שלתפיסה הראשונית נוספה התייחסות לקרני אור ולהשפעת הטיפה על קרני האור ועל מראה העלים. הציור של חן, אחרי הלימוד, נמצא ברמה 3, ומבטא התקדמות יחסית למצב ההתחלתי.



תמונה 10: נפיצה, שירה



תמונה 9: עלים מתוך טיפת מים, חן

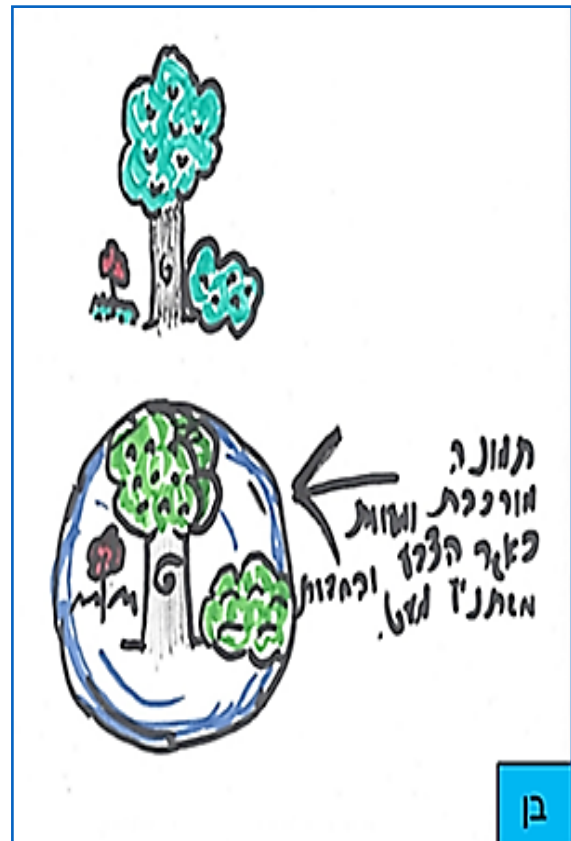
בציור של שירה (תמונה 10) רואים קרני אור מקבילות שנשברות בטיפת המים לגלי אור בצבעים שונים. שירה מתארת היטב את תופעת הנפיצה, אולם נמנעת מלתאר כיצד העולם נראה מתוך טיפת מים. היא נשארת באזור הבטוח, ואינה מצטרפת אל המסע החשיבתי המתייחס לעולם הנראה מבעד לטיפה. הציור של שירה נמצא ברמה 4 ביחס להבנת האינטראקציה בין האור לבין טיפת המים.

הציור של בן (תמונה 11) מבטא התקדמות כיוון שהוא מתייחס אל העולם הנראה מבעד לטיפה. הוא מתייחס אל השינוי בצבע ובגודל ואל יצירת העיוות, הנוצרים כפועל יוצא מ"שבירת האור" בטיפת המים. בציור הראשון (לעיל, תמונה 3) הוא תיאר עולם מיקרוסקופי, שאין בו קשר אל העולם הניבט באופן ריאלי מתוך טיפה של מים. גם בציור של בן באו לידי ביטוי העקרונות המדעיים של "שבירת אור", כמו אצל חן ושירה. כמו חן, הוא מנסה לבטא את האופן הריאלי שבו תיראה הסביבה הקרובה מתוך טיפת המים. עם זאת, הוא כותב שיתרחש שינוי בחדות ובצבע, אך אינו מספק הסבר לאופן שבו התהליך מתרחש. הטקסט של בן נמצא אפוא בין רמה 3 לרמה 4, וגם הוא מבטא התקדמות.



אביטל

תמונה 12: רסיסי מים, אביטל

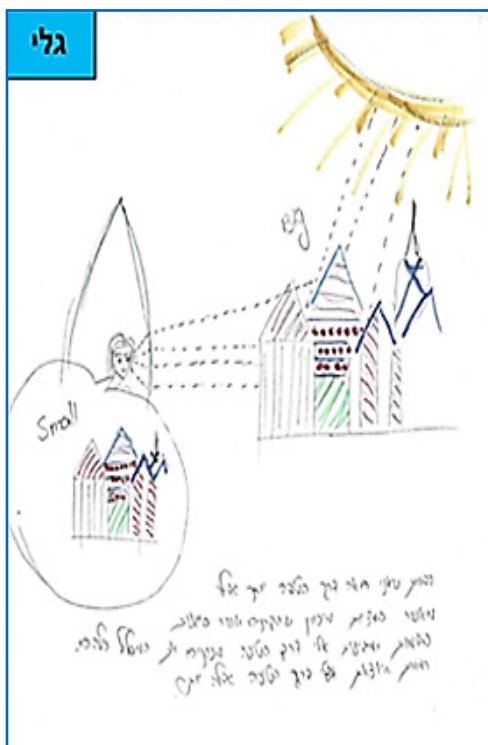


בן

תמונה 11: עצים מתוך טיפה, בן

הציור של אביטל אינו מבטא תובנות חדשות. נראה שאביטל לא הצליחה להתגבר על הבלבול שחשה נוכח כל המידע שאליו נחשפה. היא נטשה את הציור הריאליסטי והאינטואיטיבי, שהיה אולי המדויק ביותר מבין כל הציורים שצוירו לפני הלמידה, ומבטאת בציור מצב רגשי (ראו תמונה 12). תחושת הבלבול וחוסר הוודאות שעולה מן הטקסט הדבור שליווה את הציור הראשון ומן הציור השני, מצביעה אולי גם על רצון ללמידה, ונכונות לוותר על התפיסה האינטואיטיבית שנראית בציור הראשון. הציור של אביטל אחרי הלמידה נמצא ברמה 1 ומבטא נסיגה.

הציור של גלי (ראו תמונה 13) מבטא למידה רבה. הציור מראה את קרני האור שיוצאות מהשמש, פוגעות בבתים, מוחזרות אל השטח החיצוני של הטיפה, ונשברות בדרך אל העין. העין מצוירת בהגדלה מתחת לרמות הרואה, ונוצרת בה דמות מוקטנת של עצמים. גלי חושבת שיהיה עיוות בקרניים ולא רק בדמות: "קרני אור שפוגעות בחפצים אחר כך הן בטיפה ודרכה הן מגיעות לעיניים שלי מתעוותות בדרך". היא מתלבטת גם בנוגע לגודל הדמות. מצד אחד היא אומרת



תמונה 13:

בתים מבעד לטיפת מים, גלי

"הדמות מוגדלת ובמיקום שונה מהאמיתית... המרחקים שונים". מצד אחר, היא כותבת באנגלית על הציור שתהיה הקטנה. הציור של גלי מבטא את ההמשגות שלה בצורה מפורשת, ומציג הן את החוויה של האדם הרואה הן את התהליכים המדעיים שאינם ניתנים לצפייה ישירה. המבט הרחב של גלי על תהליך המסע של האור מהשמש ועד להגעתו אל העין של הצופה, המצויה בתוך טיפת המים שמצוירת כעדרה קמורה, מאפשר להבין את תהליך הראייה האנושי, את הקשר שלו עם תנועת האור והמפגש שלו עם העין. משום כך, הטקסט של גלי נמצא ברמה 5.

לסיכום, חמישה תלמידים חוו תהליכי הבנה אישיים. כולם נכחו באותם השיעורים שעסקו בנושא "שבירת האור". כל אחד מהם התחיל את הלמידה מנקודת מבט אישית וייחודית. ארבעה מתוך חמשת התלמידים סיימו את התהליך בתוך שהם מתייחסים לידע מדעי שנלמד ובהתקדמות יחסית למצב שבו התחילו את הלמידה. התפיסות של התלמידים אינן חזרה על מה שלמדו בכיתה, אלא עיבוד אישי של הנלמד. הציורים של ארבעת התלמידים הללו מתארים תהליכים שקשורים אל "שבירת האור", ואפשר ללמוד מתוכם גם על מה שטרם נלמד ויכול להיות בסיס לתיווך ולמידה נוספת.

למידה קשורה ברגשות מעורבים



תמונה 14:

שמש מפציעה מבעד לעננים, חן

ציורים 14-17 מתארים את הרגשות שהתלמידים חוו במהלך הלמידה. כל התלמידים מבטאים תחושות של אי-ודאות שמשלכות חוסר ביטחון וספקות יחד עם סקרנות ורצון ללמוד (שור, 2019; שור ונבו 2018; Schur, 2015). דווקא סימני השאלה מאפשרים להם לבטא את סקרנותם ואת יכולותיהם, ולהגיע לידי ביטוי אישי של הנלמד. הציור של חן (ראו תמונה 14) מראה עננים על רקע של שמיים כהים. מעליהם בוקעת שמש גדולה בצבע צהוב, וקרנייה ורודות. חן הסבירה, שהרגשות שלה בדרך כלל מבולבלים וכבדים, אבל כאשר היא מרגישה שהבינה משהו חדש, הדבר מאיר לה את הראש ואת הלב. חן הייתה מודעת לכך שלמדה וקיבלה תשובה על שאלות שהטרידו אותה במהלך הציור הראשון, והיא בטאה את הספקות מזה ואת תחושת הסיפוק שהלמידה הסבה לה מזה.

בן הרגיש שהנושא לא ברור לו עד תומו. הוא צייר שביל ואמר שהוא מרגיש שנמצא באמצע הדרך, והסוף אינו נראה כבירור, אולם הוא מקווה שבסופו של התהליך הוא יגיע להבנה (ראו תמונה 15).

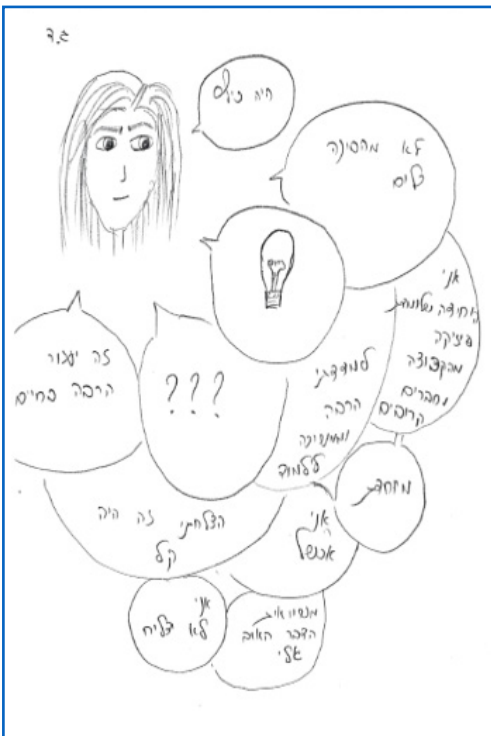


תמונה 16: רגשות כדמויות, אביטל



תמונה 15: שביל מטושטש, בן

גם אביטל ציירה שילוב של רגשות שליליים עם תקווה ואופטימיות (ראו תמונה 16), אולם לרגשות השליליים שהיא ביטאה יש עוצמה רבה. היא תיארה את רגשותיה כקבוצה של דמויות שכל אחת מהן מבטאת רגש אחר. רוב הדמויות מבטאות תחושות קשות: פחד, עצבנות, דיכאון וגועל (מן ההתנהגות של חבריה לכיתה). הדמות שבמרכז מבטאת אופטימיות. היא נהנית ללמוד משהו שהיא אוהבת, מאמינה שהוא חשוב, ומקווה להשתפר ולהצליח.



תמונה 17: רגשות מעורבים, גלי

גלי אהבה לדעת שיש פתרון, ושיש דרך מסודרת להגיע אליו. הבקשה להיכנס לתוך טיפת מים עוררה אצלה תחושות של חוסר ביטחון וספק: "למה אני עושה את זה, למה אני צריכה את זה ולמה אין פה תרגיל נורמלי במתמטיקה או משהו בסגנון... זה יותר קל לי, כי אני פשוט אוהבת יותר דברים כאלה, אני יותר אוהבת שזה מסודר ומאורגן מאשר... לפתח מחשבה אני אוהבת, אני אוהבת לחשוב, אבל אני אוהבת גם שיש לי את ה... שאני יודעת שיש לי פתרון בסוף. כאילו אני יכולה לא לדעת אותו אבל אני יודעת שיש אותו. שהוא קיים. כאילו זה מרגיע אותי" גם גלי ציירה רגשות מעורבים (ראו תמונה 17): ערך לפיזיקה: "זה יעזור הרבה בחיים", אהבה לנושא: "היה כיף", "משוואות הדבר האהוב עלי", חשש מכישלון: "אני לא יצליח", אי הבנה: "???" "לא הבנתי כלום", למידה: "למדתי הרבה, ממשיכה ללמוד". גלי הרגישה בדידות חברתית מסוימת: אני [הבת] היחידה שלומדת פיזיקה מקבוצת החברים הקרובים. אך גם "מיוחדת". מאחר שהיא מודעת להישגיה הגבוהים, היא הייתה מסוגלת לעמוד בלחצים חברתיים, למרות הספקות העצמיים: "אבל כשהבנתי שאני כן... הייתי לחוצה, אבל הבנתי שאני כן צודקת, ולמרות שכל הכיתה כאילו אמרה לא, לא, זה טעות... היה לי כזה מחשבה של מה, אני טעיתי? ואז הבנתי שלא, ואז רציתי להסביר את זה גם מול הכיתה כאילו".

לסיכום, ההתייחסות לתהליכי אי הוודאות של הלומדים מרחיבה את השיח על התהליך שחוו בדרך להבנה של "שבירת האור". תיאור התהליכים הרגשיים חשוב כי מאפשר להתייחס אל מה שחווה כל תלמיד כפרט. עבור גלי, היכולת שלה לבלוט בהבנתה הפיזיקלית, משייכת אותה מבחינה חברתית אל קבוצת הבנים. עצם ההצטיינות בתחום אינה נתפסת אצלה ככרורה מאליה. היא לומדת להכיר את עצמה. אצל חן בולט המאבק בדרך אל ההבנה. השמש מפציעה אחרי לבטים רבים מאוד. ממש לפני שחשבה שההבנה כבר לא תגיע, היא ראתה את השמש מפציעה. תהליך של גילוי מרגש. עבור אביטל, התיאור של היחסים החברתיים הלא פשוטים עם חבריה לכיתה יכול להסביר את הירידה בהבנה שחווה במשך התהליך. מתלמידה הבולטת בידע שלה ובנכונות לשאול שאלות ולהתייחס למורכבות של התופעה היא עברה תהליך של ירידה במוטיבציה, שבא לידי ביטוי בציוור מאוד פשוט בסיום תהליך הלמידה. בן התקשה לבטא את רגשותיו, והתייחס יותר לתהליכי ההבנה המתייחסים אל שינויים בידע שחווה.

דיון

תהליכי למידה והמשגה

תהליך הלמידה נבנה כך שהתלמידים חוו, בתחילת התהליך ובסופו, למידה דינמית שבה הם נכנסו בחשיבתם אל טיפה של מים, וראו דרכה את העולם. בין שתי האינטראקציות המתווכות של ראיית העולם מבעד לטיפת מים, חוו הלומדים תיווך, דרך מסע חשיבתי, שנבנה באמצעות שתי אינטראקציות מתווכות נוספות, ואפשר ללומדים ללמוד את העקרונות של "שבירת האור".

כל חמשת התלמידים חוו תהליכי שינוי תפיסתי אישיים בהבנתם את "שבירת האור". כדי שיוכלו לבטא נקודות מבט אישיות, היה צריך לאפשר להם לחוות משימות לימודיות מאתגרות בתחילת תהליך הלמידה ובסופו. הלומדים נדרשו להשתמש בדמיון בכדי להכניס עצמם לתוך טיפה של מים, ולראות את העולם מבעדה. הכניסה לתוך הטיפה באמצעות הדמיון הייתה תחילתו של תהליך הלמידה הדינמית שחוו, וגם סיומו של אותו תהליך. בתחילת התהליך הופתעו התלמידים, ונדרשו לחשוב באופן לא שגרתי.

החזרה על אותה משימה בתחילת התהליך ובסופו, כאשר בשתי נקודות זמן אלה נדרשו התלמידים לצייר ולהסביר את מה שציירו, אפשרה לעקוב אחר השינוי התפיסתי שחוו, ולנתח את התהליך האישי שחווה כל אחד מהם. הציורים מראים כי כל תלמיד התחיל מנקודת מוצא שונה, ולכל אחד היו המשגות שונות. בזכות התיווך, ארבעה מתוך חמשת התלמידים התקדמו, והתחילו להתייחס לעקרונות המדעיים של מהות האור ותנועתו בתיאור העולם. הלמידה הייתה כרוכה ברגשות של אי-ודאות. כאשר אי הוודאות של אחת התלמידות הייתה רבה מדי - הציור שלה ביטא נסיגה.

מטרת ההוראה, המתבססת על עקרונות ההוראה הקשובה, הייתה לאפשר לתלמידים לחשוב על עקרונות "שבירת האור" מתוך התייחסות אל העולם שסביבם. משום כך, לא ציפינו מהתלמידים לבצע חישובים, וגם לא סיפקנו להם נתונים שיאפשרו חישוב כזה. התלמידים נדרשו לבטא את נקודת מבטם האישית, ולא להגיע לתשובה מוסכמת אחת המתייחסת לפתרון בעיה בנושא "שבירת האור". ציפינו שהמשימה תעורר חשיבה ומעורבות בקרב התלמידים, וכי בעקבות הלימוד, יותר עקרונות מדעיים יבואו לידי ביטוי בציורים ובהסברים הנלווים אליהם. ואומנם, בעקבות ההוראה היה אפשר להיווכח באופן ברור כיצד שינו התלמידים את תפיסותיהם: הם הבינו שהאור מגיע מהסביבה אל העין, הנמצאת בתוך טיפת המים, ושברך, מתרחש בעולם הטבעי התהליך של "שבירת אור". ההסברים הללו אפשרו למורה להעריך את מידת ההבנה של התלמידים בנוגע לעקרונות שנלמדו. בתהליך הרחב והפתוח של הלמידה ההנחה הייתה שלא כל התלמידים יתקרבו להבנה המדעית, אבל יחוו חוויה של התנסות בייצוג העולם באמצעות עקרונות פיזיקליים. במהלך תהליך ההוראה והלמידה לא היה ניסיון לדייק בקביעת גודל הטיפה של המים או בקביעת האפיון הפיזיקלי של הדמויות שהתקבלו בתהליך "שבירת האור". המטרה הייתה לאפשר לתלמידים לבטא את מה שלמדו בכיתה. נדרשה הבנה עקרונית של התהליך, גם אם בתיאורי התלמידים לא כל הפרטים הפיזיקליים היו מדויקים.

תהליכי הלמידה הייחודיים לפרט, שנמצאו במחקר זה, מתיישבים עם טענותיו של דיססה (diSessa, 2017) כי אנשים חושבים על סיטואציות מדעיות בדרכים ייחודיות ושונות, וכי התובנות האינטואיטיביות אינן קוהרנטיות (diSessa, 2017; Sherin, 2017; Vosniadou, 2017). קיים פער בין הוראה ובין למידה. חשיפה להוראה פורמלית אינה מביאה להמרת תובנות אינטואיטיביות בתובנות מדעיות, אלא ליצירה של מושגי ביניים, בין המושגים המדעיים

לבין המושגים הראשוניים שהיו ללומדים לפני התחלת הלמידה (Vosniadou, 2017). מושגים אלה אינם יציבים: הלומדים חשים כי התוכנות השונות שלהם אינן קוהרנטיות, ומנסים לשנות אותן כך שיתיישבו זו עם זו (Sherin, 2017; Vosniadou, 2017). במחקר זה, חוסר הקוהרנטיות בא לידי ביטוי בייצוג של יחסי הגודל שבין מולקולות לבין חיידקים ותאים של צמחים (תמונות 2 ו-3), בתיאור הדמויות שבתוך הטיפה כקטנות וגדולות בו בזמן (תמונה 13), ובתיאור קרני האור כמנותקות מן השמש, שמופיעה בציור (תמונות 9 ו-10).

המודל של שור ועמיתיו (2021) שפותח כדי לתאר את ההתפתחות של תפיסות אקולוגיות חברתיות אצל לומדים מבוגרים נמצא מתאים גם לתיאור התפתחות ההבנה של "שבירת האור" אצל בני נוער. השימוש בציורים ובהסברים מילוליים, והניתוח שלהם באמצעות המודל של שור ועמיתיו מאפשרים לתאר באופן שיטתי את רמות ההבנה של תלמידים שונים בנקודת זמן מסוימת, בלי לוותר על ההתייחסות לאופי האישי והייחודי של המשגות של כל תלמיד. בעתיד כדאי לבחון אפשרות להשתמש במודל זה גם בהקשרים נוספים.

מהו הקשר שבין ההתקדמות שחוו התלמידים לבין התיווך שקיבלו?

התיווך נעשה באמצעות מסע חשיבתי שבו נפגשו התלמידים עם עקרונות בסיסיים של "שבירת האור" מנקודות מבט מגוונות. מסע זה אפשר לתלמידים לחוות בחשיבתם את שלושת סוגי הייצוג הקשורים בשלוש דרכי למידה, שאליהם מתייחס ברונר (1): (Bruner, 1966) למידה דרך התנסות פיזית שמתווכת באמצעות חפצים, מחוות והבעות פנים (Enactive learning). לדוגמה - צפייה בתנועה של כדור. (2) למידה איקונית באמצעות ציורים (Iconic learning). (3) למידה באמצעות שפה וסמלים מופשטים אחרים, כגון נוסחאות פיזיקליות (Symbolic learning). באמצעות השילוב בין שלוש הדרכים הללו - התנסות פיזית, דימויים וסמלים - התנסויות הופכות לידע. השילוב שלהן חיוני גם בלמידה פורמלית. בהקשר של הוראת המדעים, כאשר ההוראה משתמשת בסמלים מופשטים באופן בלעדי, הלמידה מתבטאת במלל ריק ובפתרון "טכני" של תרגילים שאין להם משמעות עבור הלומד (Tang, 2016). במהלך המסע החשיבתי, המורה השתמשה בהתנסויות הפיזיות של התלמידים - תנועה על היבשה ובמים, בייצוגים גרפיים ובשיח כיתתי על אודותיהם, כדי לקדם את ההבנה של הלומדים ביחס למהות האור ולשינויי המהירות שלו בתווכים שונים, שיוצרים את "שבירת האור". הבנת העקרונות המדעיים אפשרה ללומדים לשנות את הבנתם בנוגע להשתקפות של העולם מבעד לטיפת המים.

מורטימר וסקוט (Mortimer & Scott, 2003) תיארו את השיח בכיתה כרצף שמתחיל בשיח דיאלוגי אינטראקטיבי. בהמשך, השיח הופך לאינטראקטיבי סמכותני (מתן הסברים), ומסתיים כשיח סמכותני לא דיאלוגי (סיכום). באופן כללי, השיח שהתקיים בין המורה לבין הלומדים בשלב התיווך, שנעשה כמסע חשיבתי בהקשר של "שבירת האור", התנהל לפי התיאור שלעיל: המורה הציגה חידות, ולאחר מכן התנהל דיון אינטראקטיבי שבו התלמידים העלו רעיונות שונים ודנו בהם. השיח בין התלמידים חשוב, משום שהוא מאפשר להם להציג את המשגות הייחודיות שלהם, לקבל עליהן משום, להתמודד עם ביקורת וטעויות נגדיים, להעמיק את החשיבה ולטפח את כישורי ההסבר וההנמקה. הקשבה לשיח בין התלמידים אפשרה למורה להציע הסברים ולוונטיים שהתייחסו ישירות להתנסויות, לדימויים ולקשיים שהם העלו. השיח בעת הלמידה הדינמית, בתחילת התהליך ובסופו, אפשר לתלמידים להציג את נקודות המבט שלהם על "שבירת האור" שבאה לידי ביטוי בהתבוננות בעולם מתוך טיפת המים. השיח בלמידה הדינמית היה דיאלוגי ואינטראקטיבי לכל אורכו, והסברי התלמידים היו חשובים לעיצוב ההבנה הכיתתית של "שבירת האור". המורה הקשיבה לכל התלמידים בראשית התהליך, והקפידה להתייחס לדרך שבה הבינו את "שבירת האור". עם זאת, חוסר המודעות של המורה לכל הקשיים שאביטל העלתה לא אפשר לה להתקדם, והביא בסופו של דבר לתחושת ייאוש ולויתור שלה על הניסיון להבין. הקישור שעשו התלמידים בין העקרונות המדעיים של "שבירת האור" לבין הדרך שהם באו בה לידי ביטוי בראיית הסביבה הטבעית מבעד לטיפת המים, אפשרו להם להרחיב את ההבנה של שבירת האור אל מעבר לעקרונות הפורמליים והרחיבו את אפשרויות התפיסה של שבירת האור. ההבנה שנוצרה בכיתה היא ייחודית ומתייחסת לאופן שבו שילבו התלמידים את הנלמד עם עולמם (שור, 2019).

ציורים היו אמצעי מרכזי, אך לא יחיד, לייצוג של המשגות הלומדים. במהלך ההוראה, הלומדים שילבו הסברים מילוליים, נוסחאות מתמטיות וציורים. לכל אחד מן האופנים הללו יש זמינויות ומגבלות משלו, וכל אחד מהם מעביר חלק מהמסר. השילוב ביניהם הוא "אנסמבל מולטי מודלי" (Kress, 2015). דוגמה בולטת לכך היא הטקסט

שהפיקה אביטל לפני הלמידה: הציור אינו מסגיר את המבוכה שחשה, ואילו הטקסט המילולי אינו מבטא את הראייה האינטואיטיבית המדויקת שלה. צפייה בציורים והאזנה להסברים שמלווים אותם, מעניקות למורים הזדמנות ללמוד על ההמשגה הייחודית של כל תלמיד ולהעניק לתלמידים את התיווך הספציפי שהם זקוקים לו באותה עת (שור, 2019).

המעורבות של רגשות במהלך הלמידה

התלמידים חווים תהליכים רגשיים במהלך הלמידה בדרך להבנה, שמביאים אותם למצבים של אי-ודאות. תהליכים אלו יכולים להוביל לתחושות סיפוק ולהיות אתגר, אך יכולים גם לעורר תחושות שליליות, כמו חששות וספקות. תהליכי אי-ודאות מתייחסים באופן ממוקד לתהליכי הבנה הקשורים ללמידה, ומאפשרים להתמקד בקשר בין הרגשות לבין הבנה של נושאים אקדמיים. אי הוודאות מצויה בבסיס תהליכי השינוי בתפיסה שחווים לומדים. הם מאפשרים ללומדים לחוש צורך לצאת מאזור הנוחות שלהם ולהגיע אל מחוזות חדשים בהבנה. התהליכים הרגשיים מעתיקים תחושות אי-ודאות אל מרחבים של למידה והבנה. המטרה של הוראה קשובה היא שהתלמיד ילמד מתוך חוויית הלמידה, שאליה נלווים תהליכים רגשיים שמאפיינים שינויי תפיסה, ויוכל לראות בחיוב את השלב התודעתי של אי הוודאות, ואף ליהנות ממנו.

בתהליך הלמידה שחוו התלמידים בדרך להבנה אישית של מושג "שבירת אור", הם התבוננו בעולם מתוך נקודת מבט לא מוכרת שחייבה אותם להשתמש במושג הנלמד. הם חוו צורך ליצור חיבור אל נקודת המבט האישית שלהם על הסביבה. תהליך זה הביא אותם לחשוב על עצמם ועל הקשר שלהם אל הנלמד. הם התנסו בתהליך שתחילתו הייתה כרוכה בקושי, אך בסופו היו מסוגלים להבין את היכולת שלהם לשנות את תפוסתיהם, וגם להתייחס אל דרכי הלמידה שלהם. תמונה 14 ממחישה את התהליך של אי הוודאות שחווה חן, שבסופו הגיעה לידי הבנה של הנלמד. היא הרגישה שהתהליך הוביל אותה לתחושות של יום מעונן, עד שחווה שינוי בהבנה, אותו דימתה לאור הבוקע מתוך העננים. (שור ונבו, 2018; שור, 2019). כאמור, למידה אופטימלית מתרחשת במצבים שאינם מעוררים דאגה או חרדה גבוהות מדי, מצד אחד, ושעמום - מצד אחר (Pekrun, & Garcia-Linnenbrink, 2012). השאלות שהמורה הציבה לתלמידים הן שאלות שמבקשות "ביצועי הבנה", היינו, יישום של ידע פיזיקלי בסיטואציות חדשות (Perkins, 1993). משימות אלה מחייבות חשיבה מעמיקה (כהנמן, 2013), ומעוררות תחושות של אי-ודאות (Shulman, 2005). הממצאים מראים שכל התלמידים חשו רגשות מעורבים: תחושות שליליות של בלבול וחוסר ודאות, לצד רגשות חיוביים - סיפוק מן ההתקדמות וההבנה, תקווה וגאווה על כך שהם מתמודדים בהצלחה עם חומר קשה וחשוב. אצל תלמידה אחת אי הוודאות והבלבול היו רבים מדי. למרות זאת, יכולתה לנסח את השיקולים והתוכנות שאינם מתיישבים אלה עם אלה מהווה נקודת פתיחה מצוינת לתיווך וללמידה נוספת. ההתייחסות אל תהליכי אי הוודאות של התלמידים מקשרת את הידע הנרכש בכיתה אל הדימוי העצמי שלהם. הצלחה בתחום פתרון בעיות בפיזיקה הביאה את גלי להרהר על מקומה החברתי ולהיות מודעת לכוחותיה האינטלקטואליים. עבור חן, תהליך ההתמודדות עם הבנה פיזיקלית חיוק את תחושת המסוגלות שלה להתנהל בעולם.

לסיכום, המחקר הראה כיצד ניתן לאפשר לתלמידים לבטא את הבנתם האישית בתהליך הלמידה של הנושא הפיזיקלי "שבירת אור" באמצעות שימוש בעקרונות ההוראה הקשובה. כל אחד מהלומדים ביטא את נקודת מבטו על התהליך מתוך קישור אל ראיית העולם מבעד לטיפה של מים, וחווה שינויים בהבנתו. המחקר מראה שאפשר לאבחן כיצד כל תלמיד תופס את הנושא הנלמד באמצעות ציורים והסברים שמלווים אותם. תיווך שמשלב משימות לא שגרתיות המזמנות חשיבה מעמיקה, שיח כיתתי באווירה תומכת שמעודדת דיון ביקרתי וכן הנמקה והסברים שמתייחסים ישירות להמשגות הקיימות של התלמידים - כל אלה מאפשרים שינוי מושגי (שינוי תפיסתי). אפשר ללמוד על השינוי המושגי שהתרחש אצל כל אחד מהתלמידים כתוצאה ממהלך ההוראה באמצעות ניתוח של הציורים שהם הציגו וההסברים המילוליים שמתלווים אליהם. המודל של שור ועמיתיו (2021) מאפשר למורה להעריך את רמת הידיעות היחסית של הלומדים, נוסף על ההערכה הייחודית של כל לומד. לימוד של תכנים חדשים כרוך בתחושות של אי-ודאות וחששות, ויש להיזהר מ"הצפה" רגשית וקוגניטיבית של הלומדים.

מגבלות המחקר הם המספר המצומצם של התלמידים והגישה הפרשנית לניתוח הציורים. בעתיד כדאי לבחון את הרעיונות הללו במדגם רחב ומגוון יותר של תלמידים, ובמגוון נושאי לימוד.



מקורות

- כהנמן, ד' (2013). לחשוב מהר לחשוב לאט. (תרגום: י' סלע-שפירו וע' נבו; עריכה מדעית של המהדורה העברית: מ' בר-הלל) תל אביב: מטר וכנרת.
- שור, י' (2019). אומנות ההוראה הקשובה: מסע לימודי דיאלוגי המקדם הבנה. תל אביב: מכון מופ"ת.
- שור, י' ואקסלרוד-טייה, נ' (2014). למידה דינמית - ראייה, חשיבה, התבוננות והבנה מושגית. במעגלי החינוך, 4, 96-127.
- שור, י' ונבו, א' (2018). תהליכי אי-ודאות בלמידה לצורך הבנה. דפים, 67, 41-81.
- שור, י' ונבו, א' (התקבל לפרסום). הוראה קשובה - תיווך להבנה. בתוך: י' הרפז, (עורך). חזונות חינוך. דביר.
- שור, י', נבו, א', גל, א', וגן, ד' (2021). הוראה קשובה כבסיס ליצירת שינוי תפיסתי אישי בהכנה של מערכות חברתיות-אקולוגיות. דפים, 75, 163-190.
- Archer, A., & Arca, M. (2009). Children's representations in modelling scientific knowledge construction. In: C. Andersen, N. Scheurer, M. del Puy, L. Pérez Echeverría and E. Teubal (Eds.) *Representational systems and practices as learning tools* (pp. 109–131). Rotterdam, The Netherlands: Sense / Brill.
- Ainsworth, S., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science*, 333, 1096–1097.
- Best, R. M., Dockrell, J. E., & Braisby, N. R. (2006). Real-world word learning: Exploring children's developing semantic representations of a science term. *British Journal of Developmental Psychology*, 24(2), 265–282.
- Brooks, M. (2009). Drawing, visualisation and young children's exploration of "big ideas". *International Journal of Science Education*, 31(3), 319–341.
- Bruner, J. (1966). *Toward a Theory of Instruction*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Carey, S. (2009). *The origins of concepts*. New York: Oxford.
- Clegg, B. (2002). *Light Years*. London. Mcmillan Paperback.
- diSessa, A. A. (2017). Knowledge in pieces. In: T. G. Amin & O. Levrini (Eds.) *Converging perspectives on conceptual change: mapping an emerging paradigm in the learning sciences* (pp. 9-16). London: Routledge.
- Ehrlén, K. (2009). Drawings as Representations of Children's Conceptions. *International Journal of Science Education*, 31(1), 41-57.
- Flyvbjerg, B. (2011). Case study. In: N. K. Denzin and Y. S. Lincoln (Eds.). *The sage handbook of qualitative research* (4th ed., pp. 301–316). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Hewitt, P. G. (1993). *Conceptual physics* (7th ed.). New York: Harper Collins College
- Jewitt, C., Kress, G., Ogborn, J., & Tsatsarelis, C. (2001). Exploring learning through visual, actional and linguistic communication: The multimodal environment of a science classroom. *Educational Review*, 53(1), 5-18.
- Kenner, C. (1999). Children's understandings of text in a multilingual nursery. *Language and Education*, 13(1), 1-16.
- Kress, G. (2015). Semiotic work: Applied Linguistics and a social semiotic account of multimodality. *AILA Review*, 28, 49–71.
- Kress, G., & Jewitt, C. (2003). Introduction. In: G. Kress & C. Jewitt (Eds.), *Multimodal literacy* (pp. 1-18). NY: Peter Lang.
- McConnell, S. (1993). Talking drawings: A strategy for assisting learners. *Journal of Reading*, 36(4), 260–269.



- Marton, F., Tsui, A. B. M., Chik, P. P. M., Ko, P. Y., & Lo, M. L. (2004). *Classroom discourse and the space of learning*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Mortimer, E. F., & Scott, P. H. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. Buckingham: Open University Press.
- Paquette, K. R., Fello, S. E., & Renck Jalongo, M. (2007). The talking drawings strategy: Using primary children's illustrations and oral language to improve comprehension of expository text. *Early Childhood Education Journal*, 35(1), 65 -73.
- Pekrun, R., & Garcia-Linnenbrink, L. (2012). Academic emotions and students' engagement. In: S. L. Christenson, A. L. Reschly & C. Wylie (Eds.) *The handbook of research on student engagement* (pp. 259-282). New York: Springer.
- Perkins, D. (1993). Teaching for understanding. *American Educator*, 17(3), 28-35.
- Quillin, K., & Thomas, D. (2015). Drawing-to-learn: A framework for using drawings to promote model-based reasoning in biology. *CBE—Life Sciences Education*, 14(1), es2, 1-16.
- Schur, Y. (2015). Thinking journeys in the classroom: The power of uncertainty and mediation. *Professional Development Today - PDT*, 18(1), 44-53.
- Schur, Y., & Valanides, N. (2005). Dynamic learning and perceptual changes. In D. Koliopoulos & A. Vavouraki (Eds.), *Science education at the crossroads: Meeting the challenges of the 21st century* (pp. 121-134). Athens: EDIFE.
- Schur, Y., & Galili, I. (2009). Thinking journey: A new mode of teaching science. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 627-646.
- Schur, Y., Galili, I., & Shapiro, T. (2009). Multiple perspectives of science learners using thinking journey for understanding the day-night concept. *Journal of Science Education*, 10(2), 94-98.
- Sherin, B. (2017). Synthesis I: Elements, ensembles, and dynamic constructions. In: T. G. Amin & O. Levrini (Eds.) *Converging perspectives on conceptual change: mapping an emerging paradigm in the learning sciences* (pp. 61-78). London: Routledge.
- Shulman, L. S. (2005). Pedagogies of uncertainty. *Liberal Education*, 91(2), 18-25.
- Stein, H., Galili, I., & Schur, Y. (2015). Teaching a new conceptual framework of weight and gravitation in middle school. *Journal of Research in Science Teaching*, 52, 1234-1268.
- Tang, K. -S., (2016). The interplay of representations and patterns of classroom discourse in science teaching sequences. *International Journal of Science Education*, 38(13), 2069-2095.
- Teubal, E., & Guberman, A. (2014). *Graphic texts: Literacy enhancing tools in early childhood*. Rotterdam, Rotterdam, The Netherlands: Sense / Brill.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45–69.
- Vosniadou, S. (2017). Initial and scientific understandings and the problem of conceptual change. In: T. G. Amin & O. Levrini (Eds.) *Converging perspectives on conceptual change: mapping an emerging paradigm in the learning sciences* (pp. 17-23). London: Routledge.