

איך נשמעת חשיבה חישובית בשיעורי כימיה?

אפיון תהליכי חשיבה חישובית בשיח של תלמידים במהלך פיתוח של מודלים לחקירת המבנה החלקיקי של החומר

מרוא לביב עליאן¹, ד"ר תום ביאליק², ד"ר עידית אדלר³

מבוא ורקע תאורטי

המבנה החלקיקי של החומר הוא נושא מרכזי בלימודי הכימיה, המאפשר לתלמידים לפתח הבנה מעמיקה של מושגים כמו אטומים, מולקולות, כוחות בין-מולקולריים ומבני חומרים, על מנת להסביר תופעות מורכבות בעולם (Dori & Hameiri, 2003; Margel, Eylon & Scherz, 2008; Samon & Levy, 2017). תלמידי החינוך המדעי, ובמיוחד תלמידי הכימיה, מתמודדים עם אתגר לא פשוט: להבין את הקשר בין הרמה המקרוסקופית לרמה המיקרוסקופית, כלומר: כיצד האינטראקציות ברמה המולקולרית מתורגמות לתכונות פיזיקליות וכימיות, שבתורן משפיעות על תופעות בחיי היום-יום. כדי להתמודד עם אתגר זה, חשוב לפתח תוכניות לימוד שבמסגרתן יתמודדו התלמידים עם התופעה בשלושה היבטים: הרמה המיקרוסקופית, הרמה המקרוסקופית, ואופן הייצוג שלהן (רמת הסמל) (Johnstone, 1993).

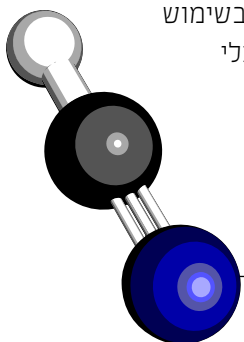
כדי לחבר בין רמות ההבנה המקרוסקופית, המיקרוסקופית והסמל, הספרות המחקרית ממליצה להשתמש במגוון אמצעים הכוללים בין היתר מודלים מדעיים (Levy & Wilensky, 2009). מידול הוא פרקטיקה מדעית מרכזית, הכוללת פיתוח ייצוגים לתיאור תופעות, הסבר שלהן וחזיון (Schwartz et al., 2022). מודלים עשויים לכלול ייצוגים פיזיים, ויכולים להיות מילוליים, מתמטיים או חישוביים (Schwartz et al., 2009). מודלים אינם יכולים להכיל את כל הרכיבים של המערכת, אלא רק את אותם רכיבים שבאמצעותם אפשר להסביר את התופעה הספציפית שהם בוחנים (Gouvea & Passmore, 2017).

ממחקרים עולה כי חשיבה חישובית, הכוללת שימוש בכלים חישוביים כדי לפתור בעיות מורכבות (Shute et al., 2017), יכולה לסייע לתלמידים להתמודד עם האתגרים הכרוכים בפיתוח מודלים (Eidin et al., 2020; Weintrop et al., 2016). חשיבה חישובית כוללת מגוון מיומנויות הנדרשות על מנת לפתור בעיות באופן יעיל ואפקטיבי באמצעות פתרונות הניתנים לשימוש חוזר בהקשרים שונים. סוג זה של חשיבה יכול לקדם את תהליכי המידול של התלמידים, את הבנת הקשרים בין התופעות

המיקרוסקופיות והמקרוסקופיות, ואת הבנת הקשר בין המבנה החלקיקי של החומר לבין תופעות מורכבות בחיי היום-יום. במסגרת מחקר שנערך בחוג לחינוך מתמטי, מדעי וטכנולוגי, באוניברסיטת תל אביב, פותחה היחידה "[מסע למבנה החומר](#)" עבור תלמידי כיתה י', ובה הוטמעו פיגומים (Scaffolds) לתמיכה בתהליכי חשיבה חישובית (Peel & Irgens, 2024; Saig & HersHKovitz, 2024). מטרת הפיגומים היא לספק לתלמידים תמיכה בביצוע משימות מורכבות, המצטמצמת בהדרגה בהתאם להתקדמות (Puntambekar & Hubscher, 2005). במחקר הנוכחי נועדו הפיגומים לסייע לתלמידים להתמודד עם המשימה המורכבת של פיתוח מודלים של המבנה החלקיקי של החומר, ולעודד אותם לחלק את המשימה לחלקים קטנים, לפתח את שלבי ההגעה לפתרון, להתמודד עם ההיבטים המופשטים של הכימיה, ולבסוף, לבחון שגיאות בתהליך ולהכליל את מה שלמדו כך שיוכלו ליישם זאת בבעיות נוספות. מטרת המחקר הייתה לאפיין את ההיבטים של חשיבה חישובית כפי שבאו לידי ביטוי בשיח התלמידים במהלך הלמידה, בעת ניסיונם לפתח מודלים עבור המבנה החלקיקי של החומר.

יחידת הלימוד – מסע למבנה החומר: ממבנה מולקולרי למצבי צבירה

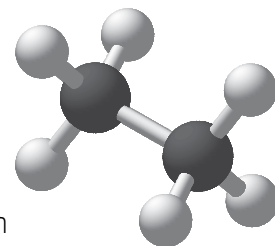
היחידה "[מסע למבנה החומר](#)" פותחה עבור תלמידים בכיתה י', במטרה לסייע להם להבין את הקשר בין המבנה המולקולרי של החומר ובין מצבי צבירה, באמצעות תמיכה בהיבטים של חשיבה חישובית במסגרת פעילות המשלבת שימוש במודלים ופיתוח של מודלים. ייחודיות התוכנית היא בשימוש שנעשה בה פיגומים, באמצעות שילוב של כלי פדגוגי בצורת תרשים זרימה (נמצא ביחידה "[מסע למבנה החומר](#)") המספק תמיכה ועידוד לתהליכי חשיבה חישובית – פירוק למשימות קטנות, תמיכה בתהליכי הפשטה, פיתוח צעדים



1 החוג לחינוך מתמטי, מדעי וטכנולוגי, בית הספר לחינוך, אוניברסיטת תל אביב.

2 המכון לחינוך מדעי, אוניברסיטת ראדבאוד, הולנד.

3 החוג לחינוך מתמטי, מדעי וטכנולוגי, בית הספר לחינוך, אוניברסיטת תל אביב.



תוצאות

פרק זה מתאר את ההיבטים של חשיבה חישובית כפי שבאו לידי ביטוי בשיח התלמידים.

היבט 1: פירוק

היבט זה נמצא בעיקר בתחילתו של השיח, בבואם של התלמידים לפתור את השאלה. התלמידים דנו בפירוק השאלה המקורית לשלבים המרכיבים אותה, ותכננו יחדיו את הדרך הנכונה ביותר ואת השלבים הנדרשים על מנת לפתור את הבעיה. לדוגמה, התלמידים בקבוצה 1 ניסו לפתור שאלה שעסקה בקביעת מבנה לואיס ובמבנה גאומטרי של חומרים שונים. תחילה, תלמיד א' הציע: "חברים, בואו נתחיל, **אני חושב שאנחנו צריכים לפרק את השאלה**". הצעה זו הובילה לדיון שבו כל אחד מהתלמידים הציע דרך אחרת לפרק את השאלה למרכיביה. לאחר הדיון, החליטו התלמידים לחזור אל תרשים הזרימה כדי לזהות את שלבי התהליך ולהבין את השלכות כל שלב על הפתרון הכולל.

היבט 2: הפשטה

שלושת ההיבטים של תהליכי הפשטה באו לידי ביטוי במהלך רבים מהדיונים של הקבוצות:

היבט הפשטה מסוג איסוף וניתוח נתונים בא לידי ביטוי כאשר התלמידים בחנו את כלל הנתונים שהיו בידיהם, ודנו על האופן שבו יש לחלץ את הנתונים הרלוונטיים כדי לפתור את הבעיה. לדוגמה, התלמידים בקבוצה 2 ניסו לפתור שאלה שעסקה במבנה לואיס ובמבנה גאומטרי. כל התלמידים היו מעורבים בשיח הקבוצתי, תוך כדי ניסיון להבין **אילו נתונים דרושים להם על מנת לשרטט את המבנה המולקולרי**: "אנו מחפשים את האטום בעל המספר הגדול ביותר של אלקטרוני קשר" (תלמיד ב'). תלמיד ד' הציע להתמקד במבנה לואיס של המולקולה ולהתחשב בנקודות המסמנות האלקטרונים של כל אטום. תלמיד ג' הזכיר את הצורך לזהות את האטום המרכזי, ויחד עם תלמיד ב', הם הסבירו ליתר חברי הקבוצה כיצד לבחור את האטום המרכזי, וזאת על פי מספר הקשרים שהוא יכול ליצור. תלמיד א' הסביר את מבנה לואיס בהקשר של מספר הקשרים של כל אטום, ותרם להסבר על זוג האלקטרונים הלא קושרים סביב אטום החנקן. הדיון שבו השתתפו כל התלמידים בקבוצה הוביל אותם לשימוש בכללי המבנה הגאומטרי עד אשר קבעו יחד את מבנה המולקולה. היבט הפשטה מסוג זיהוי דפוסים בא לידי ביטוי בשיח, בעיקר כאשר **התלמידים דנו ביניהם על אופן ניתוח ועיבוד המידע הנתון, וחיפשו קשרים או חוקיות בין הנתונים** שאפשרו להם לפתור את השאלה. למשל, התלמידים בקבוצה 6 ניסו להבין את הדפוסים או הכללים שיאפשרו להם לפתח את המבנה

(אלגוריתם) למידול המבנה המולקולרי של החומרים, הקלה בחזרה על התהליך ואיתור שגיאות, ולבסוף – הכללה של הצעדים הנדרשים לפתרון משימות דומות. השיעורים ביחידה פותחו בהלימה לתהליכים המופיעים בתרשים הזרימה המלווה את היחידה, כך שיעודדו אף הם את תהליכי החשיבה החשובית. היחידה מתמקדת במספר נושאים הקשורים למבנה החלקיקי של החומר: נוסחת ייצוג אלקטרוני (מבנה לואיס), מבנה תלת־ממדי של מולקולות, וקוטביות מולקולרית⁴. היא כוללת תשעה שיעורים המבוססים על יצירת קשרים בין תופעה ברמה המקרוסקופית (מצבי צבירה) ובין מבנה החומר ברמה המיקרוסקופית. במסגרת היחידה, נחשפים התלמידים תחילה לתופעה המקרוסקופית: הבדלים בטמפרטורות הרתיחה של חומרים שונים, לאחר מכן הם לומדים על אודות התהליכים המולקולריים המשפיעים עליה, ולבסוף מקשרים בין התופעה ובין התהליכים המתרחשים ברמה המולקולרית. חלק מהשיעורים ביחידה כוללים הקניה של נושאים חדשים, וחלקם כוללים תרגול של הנלמד בקבוצות, על פי החלוקה הבאה: (1) הצגת התופעה הכימית; (2) היכרות עם מבנה לואיס; (3) היכרות עם המבנה הגאומטרי של מולקולות; (4) תרגול מבנים מולקולריים; (5) הבנת האופן שבו נקבעת קוטביות מולקולרית; (6) תרגול קביעת מבנה וקוטביות מולקולרית; (7) הבנת הקשר בין קוטביות מולקולרית לבין עוצמת כוחות משיכה בין־מולקולריים ומצבי צבירה; (8) תרגול הקשר בין קוטביות מולקולרית, כוחות משיכה בין־מולקולריים ומצבי צבירה; (9) קישור בין תהליכים ברמה המיקרוסקופית לבין התופעה ברמה המקרוסקופית.

מתודולוגיה

במחקר השתתפו 32 תלמידים (15 בנות ו-17 בנים) הלומדים בכיתות י' בבית ספר תיכון במגזר הערבי בצפון הארץ. במהלך הלמידה, התלמידים התחלקו לשמונה קבוצות בנות ארבעה תלמידים. לצורך המחקר הוקלטו באמצעות תוכנת זום שיחות התלמידים בארבעה מתוך תשעת השיעורים שבהם תרגלו התלמידים את החומר הנלמד, וזאת על מנת לתעד את ניסיונם לפתור משימות תוך כדי פיתוח מודלים ולאחר את ההיבטים של חשיבה חישובית בשיח. שיחות התלמידים נעו בין 8 ל-45 דקות למפגש. התהליך המחקרי כלל ניתוח רב־שלבי. תחילה תומללו ההקלטות באמצעות תוכנה ייעודית ותורגמו לשפה העברית. צוות המחקר ערך דיונים על אודות כל אחת מהשיחות, במטרה לאפיין את התהליכים של חשיבה חישובית כפי שבאו לידי ביטוי. במהלך הדיונים הללו פותח מחוון המדגים את האופן שבו ההיבטים של חשיבה חישובית באים לידי ביטוי בשיח התלמידים (טבלה 1).

4 לפני הוראת היחידה הנוכחית בכיתה, על התלמידים להכיר את הנושאים הבאים: מצבי צבירה בשלוש רמות ההבנה (מיקרו, מקרו וסמל); סוגי חומרים (מולקולריים, אטומים, יוניים ומתכתיים); קשרים בין־מולקולריים; כוחות תוך־מולקולריים; חוק האוקטט.

היבטים של חשיבה חישובית (Shute et al., 2017)	הגדרת היבטים של חשיבה חישובית (Shute et al., 2017)	כיצד בא לידי ביטוי במהלך שיח התלמידים?
פירוק	פירוק הבעיה הגדולה לחלקים שאפשר לנהל. החלוקה אינה אקראית, אלא כוללת אלמנטים פונקציונליים המרכיבים יחד את המערכת / הבעיה כולה.	התלמידים דנים בפירוק השאלה המקורית לשלבים המרכיבים אותה, חושבים יחד ומתכננים מה צריך לעשות כדי לפתור את הבעיה.
הפשטה	חילוץ המהות של מערכת מורכבת. להפשטה יש שלוש קטגוריות משנה: (1) איסוף וניתוח נתונים: איסוף המידע הרלוונטי והחשוב ביותר והבנת הקשרים בין מערכי נתונים רב־שכבתיים; (2) זיהוי דפוסים: זיהוי דפוסים / כללים העומדים בבסיס מבנה הנתונים / מידע; (3) מידול: בניית מודלים או סימולציות כדי לייצג את אופן הפעולה הנוכחי או העתידי של מערכת.	(1) איסוף וניתוח נתונים התלמידים דנים על האופן שבו אפשר לחלץ את מהות הבעיה. התלמידים מחפשים מתוך הנתונים שבידיהם את הנתונים הרלוונטיים ביותר לפתרון הבעיה לאור הקשר בין הנתונים השונים. (2) זיהוי דפוסים התלמידים דנים על אופן הניתוח והעיבוד של המידע הנתון בשאלה, מוצאים קשרים או חוקיות (דפוסים) בין הנתונים, המאפשרים לפתור את הבעיה. (3) מידול התלמידים דנים באופן השימוש במודלים וייצוגים מופשטים לצורך הבנת המידע ותהליך פתרון הבעיה.
אלגוריתמים	עיצוב הנחיות הגיוניות (שלבים) ומסודרות לעיבוד פתרון לבעיה. ההוראות יכולות להתבצע על ידי אדם או מחשב. יש ארבע קטגוריות משנה: (1) עיצוב אלגוריתם: יצירת סדרה של שלבים לפתרון בעיה; (2) מקביליות: ביצוע מספר מסוים של צעדים בו־זמנית; (3) יעילות: תכנון מספר השלבים המועט ביותר לפתרון בעיה, הסרת שלבים מיותרים; (4) אוטומציה: שימוש חוזר בתהליכים שנלמדו לפתרון בעיות דומות.	(1) עיצוב אלגוריתם התלמידים מפתחים סדרה של שלבים לפתרון הבעיה. (2) מקביליות ביצוע מספר מסוים של תהליכים: התלמידים מבינים שצעד אחד או פעולה אחת במהלך פתרון הבעיה יכולים לקדם אותם במקביל במספר שלבים בתהליך פתרון הבעיה. (3) יעילות התלמידים מתייחסים ליעילות של השלבים באלגוריתם שלהם, ולדרכי יעול של פתרון בעיה: בין אם בצורתו הנוכחית ובין אם בפעילות של יעול ושיפור פתרון בעיות בעתיד. (4) אוטומציה התלמידים מתייחסים לאפשרות השימוש בדרך שלמדו לצורך פתרון בעיות דומות בעתיד.
איתור שגיאות	זיהוי, איתור ותיקון שגיאות שבוצעו בתהליך פתרון הבעיות.	(1) התלמידים דנים באופן זיהוי שגיאות תוך כדי פתרון הבעיה. (2) התלמידים מזהים, משתפים, מציפים את השגיאות. (3) התלמידים דנים בקשר בין תהליך הפתרון לבין שגיאות אפשריות.
חזרה	חזרה על תהליכים, עד להשגת התוצאה האידיאלית.	(1) התלמידים מציעים לחזור על שלבים בתהליך. (2) התלמידים דנים על הצורך לחזור על תהליכי פתרון הבעיה כדי לאתר את השגיאה ולתקן אותה. (3) התלמידים מריצים שוב את תהליכי פתרון הבעיה כדי לדייק את תשובותיהם.
הכללה	העברת מיומנויות חשיבה חישובית למגוון רחב של מצבים / תחומים כדי לפתור בעיות ביעילות וביעילות.	התלמידים מתייחסים לעקרונות כלליים הנוגעים להעברת תהליכי חשיבה חישובית לנושאים אחרים בכימה או לתחומי תוכן אחרים.



הגאומטרי והקוטביות של המולקולה CH_4 . תחילה, תלמיד א' הסביר את מספר האלקטרונים הערכיים ושרטט את מבנה לואיס, שהראה ארבעה קשרים קוולנטיים ללא אלקטרונים בלתי קושרים. תלמיד ב' זיהה את המבנה הגאומטרי של המולקולה והדגיש את הסימטריה שלה. תלמיד ג' הסיק מכך כי המולקולה סימטרית מכיוון שיש לה ציר סימטריה, נקודה שהובילה את תלמיד ד' לקבוע כי "...אז המולקולה אינה קוטבית", ולהוסיף שאי-הקוטביות מצביעה על כוחות בין-מולקולריים חלשים. אפשר לראות כיצד כל אחד מהתלמידים בקבוצה הציע תהליך או כלל שונה לקביעת המבנה, והדיון שהתפתח סביב ההסברים השונים הוביל את התלמידים לזהות מגוון דפוסים אשר סייעו להם להגיע לפתרון. ההיבט השלישי של הפשטה – הפשטה מסוג מידול – בא לידי ביטוי בשיח התלמידים בעת הדיונים על אופן השימוש במודלים ובייצוגים המופשטים על מנת להבין את המידע שברשותם ולפתור את השאלה. לדוגמה, התלמידים בקבוצה 3 ניסו לפתור שאלה שעסקה במבנה לואיס ובמבנה גאומטרי ולהציע את המבנה המולקולרי של C_2H_6 . **כל אחד מהתלמידים השתתף בניסיון לפתור את השאלה תוך שימוש במודלים שונים** (טבלה מחזורית, מבנה לואיס). עם תחילת הדיון, ציין תלמיד ב' כי "מהטבלה המחזורית עולה כי לאטום הפחמן יש ארבעה אלקטרונים ערכיים, ארבעה אלקטרונים קושרים, אפס קשרים לא-קושרים וארבע נקודות לואיס, בעוד שלאטום המימן יש אלקטרון ערכי, נקודת לואיס אחת, אחד קשרים-קושרים ואפס קשרים בלתי קושרים". תלמיד א' המשיך בניתוח המולקולה, וזיהה כי היא מורכבת משני אטומי פחמן. תלמיד ב' הצטרף לדיון והסביר את הצורך בקביעת מספר האלקטרונים הערכיים, הקשרים המקשרים והלא-קושרים, ואת נוסחת לואיס בהתאם למיקום האטומים בטבלה המחזורית. תלמיד ג' פירט את המידע על אלקטרוני הערכיות של אטומי הפחמן והמימן, והסביר את תרשים לואיס עבורם. תלמיד ד' הציע לצייר את נוסחת לואיס ואת מבנה הסטריאו של המולקולה. בסופו של דבר, תלמיד א' סיכם את תהליך פיתוח המבנה המולקולרי שאותו ביצעו בהצלחה, ותלמיד ד' עודד את הקבוצה להמשיך לשאלה הבאה.

היבט 3: אלגוריתמים

ארבעת ההיבטים של תהליכי האלגוריתמים באו לידי ביטוי בשיח התלמידים. היבט האלגוריתמים מסוג עיצוב אלגוריתמים בא לידי ביטוי לאחר קריאת השאלה, כאשר התלמידים ניסו לפתח סדרה של שלבים, בהקפדה שכל שלב ייבנה באופן הדרגתי על קודמו – עד להשגת פתרון מלא ומדויק. לעיתים הציעו התלמידים צעדים על פי הרצף המופיע בתרשים הזרימה, אך במקרים מסוימים הם החליטו על רצף שונה מעט. לדוגמה, בקבוצה 8 התלמידים התמודדו יחד עם שאלה שעסקה במבנה לואיס ובמבנה הגאומטרי

של המולקולה Br_2 . בתחילת הדיון, כל אחד מהם הציע הצעות הנוגעות לקשרים האפשריים בין האטומים, כשהם מעלים שאלות ותובנות. הדיון היה שוטף, **וכל אחד מהתלמידים בקבוצה הציע את נקודת המבט שלו וסייע בגיבוש סדרת צעדים מובנית ומדויקת לפתרון המשימה**. במהלך השיחה, תלמיד א' הציע: "עכשיו מתעסקים באטום המרכזי, כאן זה ברום". הוא הציע לפרק את התרכובת למרכיביה ולזהות את האטום המרכזי. בהמשך לרעיון זה, תלמיד ב' הסביר את המיקום של האטומים בטבלה המחזורית ואת האופן שבו יש לקבוע את מספר האלקטרונים הערכיים ואת מבנה לואיס, ותלמיד ג' הדגיש את יצירת הקשר היחיד להשלמת האוקטט. לבסוף, תלמיד ד' חיזק את דברי חבריו וטען שמבנה לואיס מראה שבע נקודות סביב כל אטום. כך, תוך כדי שיחה, קבעו התלמידים יחד את המבנה הגאומטרי וסיכמו את השאלה.

גם היבט אלגוריתמים מסוג מקבילות בא לידי ביטוי בשיח, כאשר התלמידים הבינו שצעד אחד או פעולה אחת יכולים לקדם אותם במקביל במספר שלבים בתהליך פתרון הבעיה. כלומר, התלמידים זיהו שכאשר הם משלימים שלב מסוים בפיתוח מבנה המולקולה, הם גם משלימים שלב נוסף במקביל, ובכך חוסכים זמן ומאמץ. לדוגמה, התלמידים בקבוצה 1 ניסו לקבוע את המבנה הגאומטרי של המולקולה BF_3 . במהלך הניסיון לענות על השאלה ולפתח את שלבי ההגעה לפתרון, **התלמידים הבינו כי ברגע שהם מזהים את מספר הקשרים האלקטרוניים הערכיים הם מזהים במקביל את מספר הקשרים הקושרים עבור כל אטום**. כך ציין תלמיד ב': "אם הבנתי אותך נכון, אתה מתכון שאם אנחנו מגלים את מספר האלקטרונים הערכיים, אנחנו מייד מגלים את המספר של הקשרים הקושרים לכל אטום?" במענה לטענה זו, תלמיד ג' הסביר את הקשר בין מספר האלקטרונים הערכיים למספר הקשרים לכל אטום. הדיון שהתפתח בעקבות הטענה בסופו של דבר הוביל את התלמידים להבין את הקשר בין שני השלבים.

היבט אלגוריתמים מסוג יעילות בא לידי ביטוי בשיח בעיקר כאשר התלמידים הגיעו לפתרון השאלה, עסקו ברפלקציה על הדרך שלהם לפתרון וביעילות השלבים באלגוריתם שלהם, וכן הגיעו למסקנות הנוגעות לצורך להשאיר או לשנות את הדרך שבה עבדו, כדי לייעל את התהליך. לדוגמה, התלמידים בקבוצה 1 פתרו שאלה שבה נדרשו לפתח את המבנה הגאומטרי של המולקולה PH_3 . בתום התהליך ערכו התלמידים רפלקציה על דרך ההגעה לפתרון, **והתפתח דיון על מידת היעילות של השלבים המופיעים בתרשים הזרימה בפתרון השאלה**. במהלך הדיון כל אחד מהתלמידים שיתף את דעתו על היתרונות של שימוש בתרשים זרימה, כגון: סיוע בהבנת התהליך או אמצעי לזכור את השלבים השונים.

ההיבט הרביעי של אלגוריתמים, אלגוריתמים מסוג אוטומציה, בא לידי ביטוי כאשר התלמידים זיהו שאלה הדומה לשאלה שפתרו בעבר, והתייחסו לאפשרות להשתמש בתבנית פתרון של שאלה

תרם או סייע להם להגיע לפתרון, וזיהו את הפוטנציאל שבו ליישום בנושאים אחרים בכימיה או בתחומי תוכן נוספים. לעיתים הם אף הכירו בכך שהתהליך המחשבתי שעברו – שכלל את ההיבטים של חשיבה חישובית, לרבות פירוק למשימות קטנות, חילוף ההיבטים הרלוונטיים לפתרון הבעיה, יצירת שלבים (אלגוריתם) לפתרון, איתור שגיאות, וחזרה – רלוונטי גם לחיי היום-יום, וקשרו אותו למשימות שעליהם לבצע במציאות. למשל, התלמידים בקבוצה 7 התמודדו עם שאלה מאתגרת בנושא במבנה לואיס ובמבנה הגאומטרי של המולקולה NH_2Cl . הם התחילו בשלב הפירוק של הבעיה למשימות קטנות, ולאחר מכן ניסו להבין את הקשרים בין האטומים ולזהות את מבנה המולקולה והקוטביות שלה.

כאשר הגיעו התלמידים לפתרון, הם **דנו ביעילות השימוש בתרשים זרימה לפעילויות בחיי היום-יום**. תלמיד ד' סיכם את הדיון: "אני רואה שאנחנו יכולים להבין את רעיון התרשימים וליישם אותם גם בנושאים אחרים, כמו למשל בתכנון מסיבת יום הולדת".

סיכום

מתוצאות המחקר עולה כי השתתפות התלמידים ביחידה "מסע למבנה החומר" הובילה לביטוי כלל ההיבטים של חשיבה חישובית בשיח ביניהם. תרשים הזרימה, ששימש פיגום מרכזי להיבטים של חשיבה חישובית, כמו גם מערך השיעורים שנבנה בהתאמה, סיפקו לתלמידים מסגרת להבניית הידע בצורה הדרגתית, תוך שימוש במודלים. הדבר תרם ליכולת של התלמידים להבין את הקשר בין תופעות ברמות המקרוסקופיות והמיקרוסקופיות. השימוש בתרשים הזרימה עודד את התלמידים לדון בשלבים לפתרון השאלות, לייעל ולשפר את הצעדים שנקטו, וכן אפשר להם לאתר שגיאות ולחזור באופן מסודר על הצעדים הנדרשים לפתרון. עוד סייע תרשים הזרימה לתלמידים להכליל את דרך החשיבה שלהם לשאלות אחרות בכימיה, בתחומי תוכן נוספים, ואף לפתרון בעיות בחיי היום-יום שלהם. מחקר זה מצטרף למחקרים נוספים המצביעים על החשיבות של שילוב פיגומים לתמיכה בתהליכי חשיבה חישובית במהלך הוראה של תהליכים מורכבים (Saig & HersHKovitz, 2024; Dagiene & Dolgopolas, 2022), ומדגיש את חשיבות התמיכה בתהליכים אלו גם במסגרת הוראת הכימיה. חשוב לציין כי אף על פי שכל ההיבטים של חשיבה חישובית הופיעו בשיחות התלמידים, נצפו הבדלים בתדירות הופעתם בקבוצות השונות. בעתיד, מומלץ לבחון את הגורמים להבדלים הללו.

מקורות

לצפייה ברשימת המקורות למאמר זה יש להיכנס [לקישור](#).

קודמת לצורך פתרון שאלות דומות בעתיד. זיהוי זה אפשר להם לייעל את תהליך פתרון השאלות. לדוגמה, בקבוצה 1 התלמידים ישבו יחד לנתח שאלה חדשה שעסקה במבנה לואיס ובמבנה הגאומטרי של המולקולה CCl_4 . תוך כדי קריאת השאלה, אחד התלמידים הבחין שהיא מזכירה מאוד שאלה קודמת, שעסקה במולקולה CH_4 . **לאור הזיהוי, התלמידים הבינו שאפשר להשתמש בתבנית הפתרון שפיתחו עבור שאלה קודמת כדי לסייע בפתרון שאלה חדשה**. תובנה זו הובילה את תלמיד א' לומר בקול: "זה בדיוק כמו השאלה של CH_4 שפתרנו קודם!" הקבוצה עצרה לרגע, ואווירת ההבנה החלה להתגבר.

היבט 4: איתור שגיאות

היבט זה בא לידי ביטוי בשני מקרים: (1) כאשר התלמידים החליטו שכל אחד מחברי הקבוצה יפתור את השאלה בעצמו תחילה, השווו בין הפתרונות שקיבלו, הבחינו בקיומה של תשובה שונה משאר הפתרונות, וניסו באמצעות דיון ביניהם לאתר אצל מי אירעה השגיאה; (2) במקרים שבהם התלמידים הבחינו בשגיאות בעת תהליך פתרון משותף של הבעיה, והציפו אותן כדי לדון בהן ולהבין את מקורן. לדוגמה, התלמידים בקבוצה 5 פתרו שאלה שבה נדרשו להציע את המבנה המולקולרי של המולקולה BF_3 . **כל אחד מהתלמידים השתתף בפתרון השאלה, ותוך כדי התהליך הם נתקלו בשגיאה, שאותה זיהו ותיקנו יחד**. בתוך כך, חידדו לעצמם התלמידים את תהליך הפתרון הנכון ואת הדרכים להימנע משגיאות בעתיד.

היבט 5: חזרה

היבט זה בא לידי ביטוי במספר מקרים במהלך פתרון שאלה: בחלק מהמקרים התלמידים נתקלו בשגיאה, וכתוצאה מכך הציעו לחזור על שלבים בתהליך ולתקן את השגיאה; ובמקרים אחרים – לאחר שהגיעו לפתרון – התלמידים הריצו מחדש את כל תהליכי הפתרון, במטרה לדייק את תשובותיהם. לדוגמה, התלמידים בקבוצה 5 ניסו לפתור שאלה שעסקה במבנה לואיס ובמבנה גאומטרי של המולקולה HCN . כל אחד מהתלמידים השתתף באופן פעיל בפתרון השאלה. כבר במהלך הפתרון, **הציעו התלמידים לחזור על שלבים מסוימים בתהליך כדי לוודא שאין טעויות ולהגיע לתשובה נכונה ומדויקת**, כגון הערתו של תלמיד ג', שאמר: "אני כבר קובע את מספר הקשרים הקושרים והבלתי קושרים, אבל תחזרו על הפתרון אחריי". כאשר התלמידים סיימו והגיעו למבנה המולקולה, הם הבינו כי עשו טעות בדרך וחזרו על השלבים השונים המפורטים בתרשים הזרימה כדי להבין את המקור לשגיאה. בתום הדיון תיקנו התלמידים את הטעות שלהם והגיעו לפתרון נכון.

היבט 6: הכללה

היבט זה בא לידי ביטוי בעיקר בסופו של השיח בקבוצות, כאשר התלמידים סיימו לפתור את השאלה, הבינו כיצד תרשים הזרימה

