

מעבדת הכימיה כסביבת למידה התומכת בבניית טיעונים

דבורה קצביץ *

רקע תאורטי

בניית טיעונים בחינוך

בניית טיעונים היא מיומנות הקשורה להרבה מאוד תחומים החל מתחומים מקצועיים וכלה בחיי השגרה של היום יום: עבודות אקדמיות, פוליטיקה, בתי משפט ועוד. נשאלות מספר שאלות: האם ניתן ללמד תלמידים לבנות טיעונים? האם ניתן לשפר יכולת זו בעזרת אסטרטגיות הוראה מסוימות? האם שיפור יכולת הטיעון מלווה בשיפור היכולות הקוגניטיביות בהקשר לתכנים שבהם הפעילות מתבצעת?

בעבר בניית טיעונים הייתה שייכת לתחום הלוגיקה, והיא התמקדה בכללים ליצירת הקשר בין הנחות למסקנות. טולמין¹ הרחיב את תחום העיסוק בבניית טיעונים אל מעבר לגבולות הלוגיקה וטען שבניית טיעונים היא התנהגות של האדם (Human practice) שקשורה לסיטואציות חברתיות. קוהן² מרחיבה את ההיבט החברתי ומתייחסת לשני סוגי טיעונים: טיעון רטורי (rhetorical) וטיעון דיאלוגי (dialogic). הראשון נועד לשכנע את האחר שמהו הוא נכון, והשני נוצר בדרך כלל תוך כדי שיח, כאשר משתתפים בו בעלי דעות שונות, או כאשר אדם אחד צריך לבחור בין דעות שונות. הטיעון הרטורי יכול לבוא לידי ביטוי כאשר מורים מנסים לבסס טענה על-ידי עדויות והסברים מדעיים מתאימים, אך בפעולה זו לתלמיד אין חלק פעיל. יתרונו של טיעון רטורי זה הוא בעובדה שהמורים מהווים מודל לחיקוי לתלמידים. כדי שהלומדים ילמדו את המיומנות הזו, עליהם להיות שותפים - לא רק לשמוע את הצגת הטיעונים - עליהם לבנות נימוקים מבוססים, לנסות

מילון מונחים

טענה (Claim) - אמירה שניתן להתווכח על צדקתה, נכונותה, אמתותה או תקפותה. טענה עשויה להיות קביעה, עמדה, דעה, החלטה מסוימת, השערה, מסקנה, תאוריה או פתרון מסוים לבעיה.

טיעון (Argument) - טענה מבוססת עדויות ומלווה בהסבר מדעי המבהיר מדוע העדויות תומכות בטענה.

עדויות (Evidence) - ממצאים שיכולים לתמוך בטענה, תוצאות ניסוי, תוצאות חישוב, נתונים מטבלאות וספרי נתונים.

הסבר מדעי (בהקשר למחקר זה) - הסבר תאורטי המסביר מדוע העדויות תומכות בטענה. הוא נועד לחזק את הטענה ולשכנע בנכונותה.

הפרכה (Rebuttal) - כל הוכחה שטענה (מסקנה) כלשהי אינה תקפה אם מפני שההסבר המדעי המבסס את הטיעון המקורי אינו נכון (ולכן הטענה אינה נכונה) או אם משום שהעדויות שהוצגו אינן תומכות בטענה.

טענה נגדית (Counter claim) - הצעה לטענה אחרת באותו הקשר אשר נוגדת את הטענה המקורית.

לשכנע אחרים, להעלות ספקות, לשאול שאלות ולברר מה אינם יודעים עדיין. ולכן הדרך הטובה ביותר לתמוך בהקניית המיומנות של בניית טיעונים היא על-ידי מתן אפשרות לשיח קבוצתי³. במהלך השיח הקבוצתי נבנים הידע המשותף של הקבוצה והידע של הפרט בקבוצה. בניית הידע בדרך זו היא דוגמה ללמידה קונסטרוקטיביסטית סוציו-תרבותית, כפי שתוארה על-ידי ויגוצקי⁴. למעשה,

* ד"ר דבורה קצביץ, מורה לכימיה, תיכון אזורי גדרה, פוסט דוקטורנטית בקבוצת הכימיה, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע. כתבה זו היא חלק מעבודת הדוקטורט בהנחיית פרופ' אבי הופשטיין וד"ר רחל ממלוק-נעמן, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.



טיעונים הדרים בכפיפה אחת עם טיעונים נגדיים⁶. אוסבורן וחבריו⁷ (Osborne et al) מציעים מספר אסטרטגיות המשלבות פעילויות לפיתוח מיומנות הטיעון, לדוגמה: חשיפת תלמידים למספר טענות בנושא מדעי מסוים: על התלמידים להסכים עם הטענות או לדחותן בגיבוי של נימוקים מתאימים; חשיפת תלמידים לשתי תאוריות מתחרות אשר יכולות להסביר תופעה מסוימת ולמספר עדויות הקשורות בתאוריות אלו. על התלמידים לנמק אילו עדויות יכולות לתמוך בשתי התאוריות, באחת מהן או באף אחת מהן; תלמידים מתבקשים לבנות טיעונים בעזרת תבנית מובנית הכוללת שאלות מנחות; תלמידים מתבקשים לחזות מה יהיו תוצאותיו של ניסוי מסוים בהתבסס על נימוקים מתאימים, לאחר מכן הם צופים בניסוי ונדרשים להסביר את תוצאותיו (Predict, Observe, Explain); תלמידים נדרשים לתכנן ניסוי, לבצע אותו ולדון בתוצאותיו.

הטיעון במחקר זה מתבסס על המודל של טולמין¹. הטיעון על-פי טולמין כולל שלושה מרכיבים הכרחיים: טענה (claim), ממצאים (data) והצדקה (warrant) - הקשר בין הטענה והמצאים. הטענה אמורה להתבסס על ממצאים, וההצדקה (הסבר מדעי) מסבירה את הקשר בין הממצאים ובין הטענה ואמורה לשכנע אותנו לקבל את הטענה. רמה גבוהה יותר של טיעון כוללת ביסוס תאורטי או ביסוס ברמת העיקרון להצדקה (backing). כמו גם טיעון מותנה (qualifier) או טיעון נגדי הבא להפריך טיעון מסוים (rebuttal) (ראו איור 1). הערכת טיעונים המתבססת על מודל טולמין מתייחסת להיבט המבני - למרכיבי הטיעון וליחס ביניהם כשהדגש בא לידי ביטוי בביסוס הטענה על ממצאים ובהסבר המדעי המפרט מדוע ממצאים אלו תומכים בטענה. כמו כן כאשר מדובר בהערכה של שיח טיעוני, גם אלמנט ההפרכה יבוא לידי ביטוי.

הוראה בדרך החקר נמצאה כאסטרטגיית הוראה מתאימה להקניה ולפיתוח מיומנות של בניית טיעונים⁸. בהנחה שפעילות החקר מדמה את עבודת התלמידים לעבודת המדענים שמחפשים תשובות לתופעות בלתי ברורות

בניית טיעונים מאפשרת לפתח את הבנתם של התלמידים לגבי היווצרות עולם הידע, ובמיוחד לגבי התפתחות הידע המדעי. תוך כדי בניית ידע והערכתו מתפתחת תפיסתם האפיסטמית של התלמידים בכל הנוגע להתפתחות ידע בכלל ולמדע בפרט⁵.

בניית טיעונים (Argumentation) בלימודי מדע

אחת המטרות של החינוך המדעי היא להקנות לתלמידים את יכולת הנימוק והביקורת לגבי טיעונים בהקשרים מדעיים. בשני העשורים האחרונים מחקרים רבים בהוראת המדעים עוסקים בבניית טיעונים, (ומהם עולה שלימודי מדע מקנים בדרך כלל תכנים וטענות שתלמידים צריכים לדעת ולהאמין בהם, ואינם מתמקדים בלמה צריכים להאמין בתכנים אלו. התקדמות המדע מתבססת על בניית טיעונים והפרכתם, משום כך (או: ההיגיון מחייב שהקניה של תכנים מדעיים ושל מהות ההתפתחות המדעית תיעשה בדרך של בניית טיעונים והפרכתם.

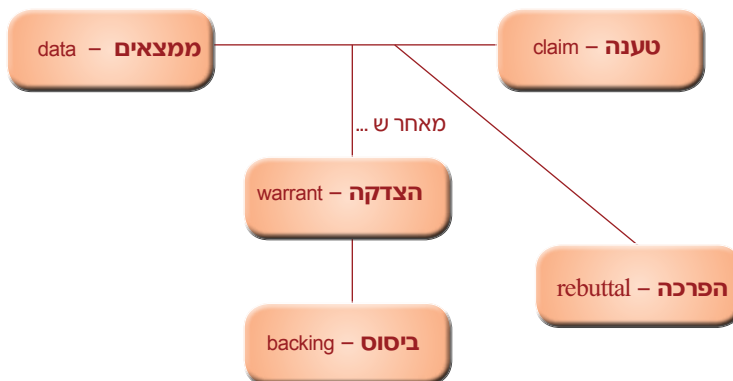
מן ההיבט הקוגניטיבי, בניית טיעון הוא תהליך מחשבתי שבעזרתו מתפתחת הבנת מושגים. שיח שבמהלכו מתעוררים חילוקי דעות או קונפליקטים קוגניטיביים, יכול להוביל לשינוי בתפיסה המושגית של התלמידים. בניית טיעונים מפתחת את מיומנות הנימוק, נימוק-מבוסס-עדויות, ודורשת יצירת קשר בין טענות לעדויות. תלמידים מתקשים באיסוף ובבחירת ממצאים אשר יכולים לשמש עדויות התומכות בטענתם. נוסף על כך תלמידים אינם בונים מיוזמתם טיעונים ברמה גבוהה. יש צורך ליזום פעילויות המעודדות בניית טיעונים ותומכות בה, במיוחד פעילויות בעלות תכנים מעוררי מחלוקת, וכאלו שניתן לפתור אותן במספר דרכים. לבניית טיעון יש חשיבות רבה גם בהיבט החברתי; זוהי מיומנות לחיים (Skills for life), כי פרט לתכנים ולמיומנויות, תלמידים רוכשים הבנה חברתית תרבותית של ניהול דיון. הם יידרשו למיומנות זו במהלך דיונים בסוגיות לאו דווקא מדעיות. דילמות בתחומים סוציו-מדעיים מספקות קרקע פורייה לבניית טיעונים, כי מעצם היותן דילמות - הן מזמנות נקיטת עמדה שאינה חד-משמעית ומאפשרות לתלמידים להתנסות בבניית



הפתוח (ניסוי חקר ברמה II).

ניסוי חקר פתוח הינו הוא ניסוי שבו התלמידים נחשפים לתופעה מסוימת, שואלים שאלות לגביה, בוחרים שאלת חקר שתחקור את התופעה, מעלים השערה, מתכננים ניסוי כדי לבדוק את ההשערה, מבצעים אותו, רושמים ומארגנים את התוצאות, מנתחים את התוצאות ומסיקים מסקנות¹³. ניסוי חקר הוא משימה פתוחה שבה התלמידים מחליטים בעצמם מה לחקור וכיצד. הפעילות במעבדה מתבצעת בקבוצות קטנות (3-4 תלמידים). פירוט המיומנויות הנדרשות הן: ביצוע ניסוי על-פי הנחיות, רישום תצפיות, שאלת שאלות, ניסוח שאלת חקר, ניסוח השערה מנומקת, תכנון מערך ניסוי, ביצוע הניסוי שתוכנן על ידי התלמידים, ארגון התוצאות, עיבוד וניתוח התוצאות, הסקת מסקנות ודיון מסכם. הפעילות בסגנון זה של מעבדה מעודדת תלמידים לשיח קבוצתי שכולל מתן הסברים לתופעות, וכתוצאה מכך מעודד תלמידים להעלות טיעונים. יתר על כן, בדומה למדענים, התלמידים צריכים לטעון את טענותיהם בעקבות הניסוי שביצעו, להסיק מסקנות המבוססות על ממצאי הניסוי ולקשור אותן לרקע המדעי הרלוונטי.

לקריאה נוספת בעלון המורים "על-כימיה" על ניסוי חקר פתוח והשלכותיהם על מיומנויות התלמידים והמורים, ניתן לפנות למאמר של ד"ר מירה קיפניס ["שיפור המיומנויות של שאלת שאלות חקר במעבדת החקר"](#) ולמאמרה של ד"ר דורית טייטלבוים ["מוצגים, עדויות, כימיה ומעבדה - האם זה המפתח להתפתח?"](#).



איור 1: מרכיבי הטיעון על-פי טולמין והקשרים ביניהם.

ומבקשים להציע להן הסברים על סמך עדויות שאספו לטעון טיעונים). אחת מסביבות הלמידה המציעה הוראה בדרך החקר, וכבר מוטמעת בבית הספר בארץ, היא יחידת המעבדה הכוללת ניסוי חקר.

בניית טיעונים במעבדת המדעים

למרות שמחקרים הצביעו על למידה בדרך החקר כדרך ראויה להקניית מיומנות הטיעון, בספרות מדווחים על מעט מאוד מחקרים הבודקים בניית טיעונים במעבדה שבה מתבצע חקר, על אף שנראה שמעבדות חקר פתוח הן קרקע מצוינת לפעילות זו. גוט ודוגן⁹ מראים שלפעילויות שונות במעבדה יש פוטנציאל בעידוד בניית טיעונים החל ממעבדה הבודקת קשר בין שני משתנים, דרך פעילות שטח שבה אוספים ממצאים רבים וכלה במעבדה שנועדה לזהות חומרים. חוקרים אחרים^{10, 11} מציעים מודל לחקר במעבדה, "חקר מונע טיעון" (Argument-driven inquiry), שמטרתו לאפשר למורים לביולוגיה ולכימיה לשלב מעבדות חקר במערך הלמידה הכולל, אגב שימת דגש על הבנת מושגים, חשיבה ביקורתית ובניית טיעונים כדרך לבניית ידע ובדיקת תקפותו. דיווח על מעקב אחר בניית טיעונים בפועל במעבדה לא הציג חזית אחידה. בחלק מהניסויים דווח על בניית טיעונים ברמות שונות¹², ובחלקם דווח על שיח הקשור לפרוצדורות ולתוצאות, אך לא לתכנים.

מן הראוי לציין, שהדיווחים על בניית טיעונים במעבדה מתייחסים לניסויים מסוגים שונים, ברמות חקר שונות. במאמר זה נתייחס לבניית טיעונים במעבדות החקר





המחקר

מטרת המחקר

במחקר המתואר כאן ביקשנו לאפיין את ניסויי החקר הפתוח, ולבדוק אם מתפתח במהלך הדיונים בקבוצות שיח טיעוני ובאיזו רמה של טיעונים. עוד רצינו לבדוק מספר פרמטרים אשר עשויים להשפיע על היקף השיח הטיעוני: מורכבות הניסוי, ההלימה בין תוצאות הניסוי שהתלמידים מבצעים לבין ההשערה שהם העלו וכן שאלות שתלמידים שואלים במהלך השיח.

אוכלוסיית המחקר

במחקר השתתפו תלמידי י"א ו-י"ב משש כיתות ומחמישה בתי ספר שונים (N=116). נבחרו כיתות שבהן יחידת המעבדה היא ברוח התכנית "כימיה בגישה חוקרת", ושהמורים המלמדים בהן עברו השתלמות להוראת יחידת המעבדה ומנוסחים בהוראת היחידה.

כלי המחקר ושיטות הניתוח

תצפיות במעבדה

התצפיות התבצעו בשיעורי המעבדה והתמקדו בשיח הלימודי שהתקיים במעבדה במהלך ביצוע הניסויים. השיח הוקלט, וחלקים רלוונטיים ממנו תומללו (ניסוח השערה מנומקת, ניתוח התוצאות וכתובת המסקנות). השיח נותח לפי הקריטריונים האלה:

- **זיהוי מרכיבי הטיעון הבסיסיים:** טענה, עדויות, הסבר מדעי, ביסוס ברמת העקרונות והתאוריות, טיעון מותנה והפרכה (ראו את ההגדרות של מילון המונחים). הניתוח לצורך זיהוי מרכיבי הטיעונים נעשה על-פי המודל של Toulmin¹.
- **רמת הטיעון:** על מנת להעריך את רמת הטיעון חולק התמליל למקטעים, כך שבכל מקטע מתפתח טיעון מסוים. רמת הטיעון הקבוצתי בכל מקטע נקבעה על-פי כלי המתבסס על היקף המרכיבים השונים של הטיעון ועל היבטים הקשורים בהפרכות. הכלי שנבחר מבוסס על כלים שנעשה שימוש בהם במחקרים קודמים⁶. טבלה 1 שבעזרתה נקבעה רמת הטיעון מתייחסת לשני היבטים עיקריים: האחד קשור

למרכיבים שמבססים את הטענה (עדויות והסברים מדעיים), והאחר מתייחס לנוכחות של הפרכה או טיעון נגדי. ככל שיש יותר מרכיבי טיעון, רמתו של הטיעון גבוהה יותר. טיעון ברמה 3 כולל את המרכיבים הקלסיים של טיעון: טענה, עדויות והסבר מדעי המקשר ביניהן. (עם זאת השיח טיעוני בנוי מממד נוסף הכולל טענה נגדית או הפרכה שנוכחותן מעידה על רמה גבוהה של שיח טיעוני, לכן מרכיב זה מובא בחשבון בקביעת רמת הטיעון. טיעון ברמה 4 כולל הסברים הכוללים הכללה וקישור מפורש לעקרונות ולתאוריות מדעיות; טיעון ברמה הגבוהה ביותר, רמה 5, כולל הפרכה המבוססת על עדויות והסברים מדעיים נלווים. יש לציין שבמהלך הניתוח של מרכיבי הטיעון השתמשנו בביטוי "הסבר מדעי" במקום "הצדקה" (warrant), כי המושג הצדקה אינו חלק מהשפה השגורה בפי התלמידים, והנחנו שהביטוי הסבר מדעי - שמטרתו להצדיק את הקשר בין העדות ובין הטענה - יהיה ברור יותר. ניתן למצוא בטבלה 1 מפתח להערכת הטיעונים בהתאם למרכיבי הטיעון.

גורמים נוספים שנבדקו בתצפיות בכיתה:

- גורמים המזמנים העלאת טיעונים במהלך השיח - אילו גורמים קשורים ישירות לבניית טיעונים?
- מאפיינים של השיח שבו התפתחו דיונים. האם ניתן לאפיין סיטואציות שבהן מתפתח שיח טיעוני? אם כן, מהן הסיטואציות הללו?

ניתוח דו"חות מעבדה של תלמידים

דו"חות המעבדה של תלמידים - "דו"חות חמים" - הם דו"חות קבוצתיים. דו"חות אלו נכתבו במהלך המעבדה או מיד אחריה ונאספו לאורך יחידת המעבדה. סעיפי הדו"חות, כתיבת ההשערה וניסוח מסקנות מנומקות נותחו בדומה לטיעונים בשיח המתומלל.

ריאיונות עם תלמידים

הריאיונות עם התלמידים בוצעו בסיום יחידת המעבדה והתנהלו בזוגות, על מנת לאפשר לתלמידים להתייחס



רמת הטיעון	סימול	מרכיבי הטיעון
1	C	טענה - Claim
2	CD/CW	טענה + ממצאים - Data או טענה + הסבר מדעי - Warrant
3	CDW/CDR/CWR	טענה+ממצאים + הסבר מדעי או טענה נגדית - Rebuttal + ממצאים או טענה נגדית + הסבר מדעי.
4	CDWB	טענה + ממצאים + הסבר מדעי + הסבר ברמת העקרונות והתאוריות - Backing
5	CDWR	הפרכה הכוללת טענה+ממצאים+הסבר מדעי

בהתבסס על הניתוח המפורט של השיח שנעשה ב-16 תצפיות שביצעתי ב-6 כיתות וב-6 ניסויים שונים של חקר-פתוח, ניתן לציין שניסויי החקר הפתוח עוררו את חברי הקבוצות שנתחוו ועודדו בניית טיעונים, במיוחד בשלבים של ניסוח ההשערה, ניתוח התוצאות וכתובת המסקנות. חלק מהטיעונים שעולים נבנים על ידי הפרט, וחלקם - על ידי הקבוצה. שני סוגי הטיעונים כוללים טענות, עדויות והסברים מדעיים. טיעונים נגדיים והפרכות הופכים להיות חלק מהשיח, כאשר הקבוצה מקבלת תוצאות לא ברורות שאינן עומדות בהלימה להשערה שהעלו, או כאשר השאלה הנחקרת תלויה במשתנים רבים אשר יכולים להשפיע בדרכים מנוגדות על המשתנה הנבדק. מצבים אלו גורמים לחילוקי דעות בין משתתפי השיח, כמאפיין שיח טיעוני.

להלן התפלגות הטיעונים ורמתם בשיח המתנהל במהלך החלקים השונים של הניסויים. נמצאו בסך הכול 75 טיעונים אשר התפלגותם בין השיח שלב ההשערה לבין זה של שלב ניתוח התוצאות והסקת המסקנות היא 38.7% ו-61.3% בהתאמה. בראייה כוללת, היקף הטיעונים בשלב ניתוח התוצאות והסקת המסקנות גדול יותר, אם כי בראייה פרטנית ובהתייחס לניסוי (יחיד - לעתים זה הפוך. אם הדיון בשלב ההשערה הוא מעמיק ותוצאות הניסוי תואמות את ההשערה - הדיון בשלב ניתוח התוצאות קצר יותר. איור 2 מתאר את התפלגותם של 29 טיעונים בשלב ההשערה ו-46 טיעונים בשלב ניתוח התוצאות והסקת

טבלה 1: מפתח להערכת רמת טיעונים (מבוסס על מספר מחקרים קודמים)⁶

לדברי עמיתיהם ולפתח שיח במהלך הריאיון (6-8 תלמידים בכיתה).

בני הזוג נבחרו מקבוצות עבודה שונות. מטרת הריאיון הן לקבל מידע על האופן שבו התלמידים תופשים את סוגי הניסויים השונים ביחידת המעבדה, את היקף הדיונים במעבדה ואת אפיוניהם. רצינו לבדוק אם הריאיונות של התלמידים יחזקו את הממצאים שהתקבלו מהתצפיות שלנו בכיתה ובמעבדה. המדגם של התלמידים אשר נבחר לריאיונות הוא בעל שונות מרבית - תלמידים בעלי רמת הישגים נמוכה, בינונית וגבוהה - על-מנת לקבל מידע מגוון רחב של תלמידים. הריאיון הוא מובנה למחצה המאפשר, מחד, שמירה על מסגרת ושאלות שאלות מתוכננות, אך מאידך - העלאת שאלות נוספות המתבקשות מדברי המרואיינים והדורשות הבהרה והרחבה.

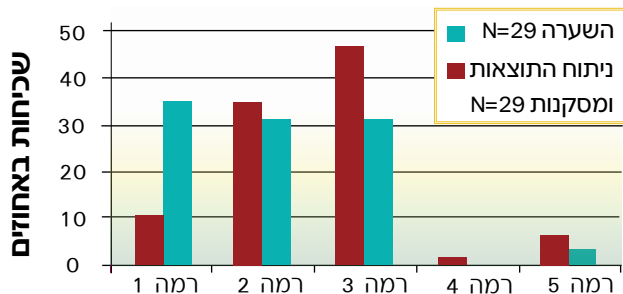
ממצאי המחקר ודיון

שיח טיעוני

כפי שהוזכר לעיל, השיח במהלך הניסוי הוקלט, והקטעים העוסקים בניסוח ההשערה, בניתוח התוצאות ובכתובת המסקנות תומללו, נותחו והוערכו על פי המפתח המוצג בטבלה 1. לצפייה בדוגמה לניתוח שיח במהלך הניסוי "מפגש בין נוזלים" [לחצו כאן](#).



התפלגות הטיעונים, לפי רמות, בחלקים שונים של השיח במהלך ניסויי החקר הפתוח



איור 2: התפלגות הטיעונים, לפי רמתם, בחלקים שונים של השיח במהלך 6 ניסויי חקר פתוח ב-16 קבוצות עבודה. 29 טיעונים במהלך ניסוח ההשערה ו-46 טיעונים בשלב ניתוח התוצאות והמסקנות

את מה שיש לו ודיברנו כולנו לאבי החלטות, כמו בחירת שאלת מחקר, ביסוס מדעי של ההשערה, אם כן – רשמנו. אם לא הייתה הסכמה – ניסינו לשכנע אחד את השני. אם היו מצבים ששם חשכתי שהביסוס המדעי לא היה מספיק מעמיק, אז המשכנו לחפש פתרונות ואם נאלצנו כאמור:

יש לציין שתלמידים ספורים דיווחו על שיח שאינו מאופיין כשיח טיעוני; מה שעולה מדבריהם של תלמידים אלו הוא שהאתגר שעמד בפניהם לא היה גבוה, ולכן תלמיד אחד מהקבוצה היה יכול להציע את ההסבר הנדרש, ולא היה צורך לערוך דיון על הנאמר. נקודה נוספת שעלתה מדבריו של לוי היא החשיבות של בניית הקבוצות, כדי שלתלמיד יהיו שותפים מתאימים לניהול דיון.

רון: מישהו נתן את ההשערה שלו. בעיקרון, אם מסכימים, כמעט אין דיון, אבל לפעמים כשאין הסכמה – יש דיון. ארנון: אני חייב להגיד שהקבוצה שלנו היא קבוצה של חכמים, אם מותר לי להגיד, אז בדרך כלל אנחנו מסכימים על תוכן ההשערה, אנחנו חושבים ביחד איך לנסח את זה. קורה שיש דיונים, אבל בדרך כלל מסכימים.

לוי: רוב הפעמים קיבלו את דעתי ולא ויכוח ולא מאש לא בסדר; הייתי מעדיף להיות עם תלמידים שיכולים לתת לי "קונטרה", ושיכולתי ללמוד מהם.

המסקנות. בשלב ניתוח התוצאות היו הטיעונים מבוססים יותר. עיקר הביסוס התבטא בשימוש בעדויות, שהיו זמינות מאוד לאחר ביצוע הניסוי. כ-14% מהטיעונים בשלב ההשערה כללו שימוש בעדויות לעומת כ-56% בשלב ניתוח התוצאות והסקת המסקנות. ממצא זה מחזק את הטענה שהמעבדה היא סביבת למידה מתאימה לבניית טיעונים-מבוססי עדויות.

מן הראוי לציין שרמת השיח הטיעוני שמתפתחת תלויה מאוד בשאלת החקר שהקבוצה בחרה לחקור. לפעמים התשובה לשאלת החקר ברורה לחברי הקבוצה לפני ביצוע החקר, ולכן לא מתפתח דיון בקבוצה ודאי לא שיח טיעוני.

גם הריאיונות עם התלמידים (N=40) שהתקיימו בסיום יחידת המעבדה סיפקו עדויות לשיח הטיעוני המתנהל בקבוצות במהלך מעבדת החקר. לשון אחרת, שיח שכולל חילוקי דעות, ניסיונות שכנוע חשיבה ביקורתית, העלאת

טענות וביסוסן. השאלה שהתלמידים נשאלו היא "האם אתם יכולים לתאר כיצד התנהלו הדיונים בקבוצה במהלך הניסוי?". מתשובות התלמידים ומניתוחן עולים מספר מאפיינים של הדיונים המתנהלים במהלך ניסויי החקר:

1. קיימים חילוקי דעות בשיח ויש ניסיון של חברי הקבוצה לשכנע אלה את אלה.
2. התלמידים מפעילים חשיבה ביקורתית במהלך השיח.
3. תרומה הדדית לשיח ושיתוף פעולה להשגת מטרה משותפת.
4. במהלך הדיון מבססים את הטענות שעולות.
5. הדיון תורם לתהליך הלמידה.

95% מהמראיינים דיווחו שהדיון מתנהל במטרה לתרום הדדית לתוצר הקבוצתי – דו"ח המעבדה. ממצא זה מעיד על עבודת צוות פרודוקטיבית המתנהלת במהלך ניסויי החקר. כ-70% תיארו את הדיון כשיח טיעוני שכולל מגוון של דעות, ניסיון שכנוע ו/או שיח הדורש חשיבה ביקורתית.

שני: "היו הרכה פעמים חילוקי דעות, אתה אמרת ככה וככה, ואני טענתי אחרת. מנקודת מבט שלי, כל אחד אמר

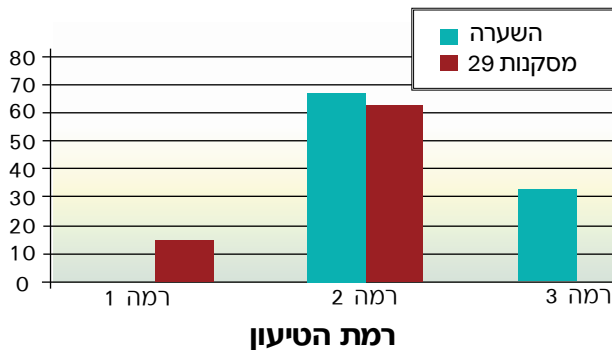
ניתוח דו"חות תלמידים

ניתוח הדו"חות מתייחס לטיעונים הכתובים, בשונה מבניית הטיעון שבאה לידי ביטוי תוך כדי שיח בקבוצה. הטיעון הכתוב יכול לשקף את השיח שהתנהל בקבוצה; הוא למעשה מסכם את השיח בשתי נקודות זמן: בשלב כתיבת ההשערה ובשלב כתיבת המסקנות. הטיעון הכתוב אינו כולל את חילוקי הדעות או את ההפרכות, אלא את התוכן שהוסכם עליו בקבוצה בסופו של דבר.

לדוגמה:מסקנה: ההתנגדות בין האתנול לחומרים מושפעת ממתח הפנים שקיים בחומר [טענה]. כאשר הוספו מים לאתנול, נראתה התנגדות בין החומרים [עדויות], וזאת בגלל שלמים קשרי מימן חזקים ומתח פנים גדול הגורמים למולקולות לשמור על גבול מסוים בינן לבין האתנול וובינן לבין המתנגדים לו [הסבר מדעי].

באיור 3 מוצגת התפלגות הטיעונים בדו"חות המעבדה שנאספו מ-6 ניסויי חקר שונים (בסך הכול 12 קבוצות עבודה) כל ההשערות שנבדקו (N=12) היו טענות המבוססות על הסבר מדעי או על עדויות או על שניהם גם יחד (CD/CW/CDW). אשר למסקנות שנבדקו (N=21) - ניתן לראות שרובן ברמה 2 (CD/CW); 61.5% מתוך אלו שברמה 2 הן מבוססות עדויות, ואילו 38.5% מבוססות על הסבר מדעי. כל המסקנות המהוות טיעון ברמה 1 הן מסקנות הנלוות למסקנה המרכזית בניסוי, שהיא ברמה גבוהה יותר. מסתמן שתלמידים משקיעים יותר בכתיבת ההשערה ובביסוסה מאשר בכתיבת המסקנות. הסבר אפשרי לממצא זה נעוץ בעובדה, שכתובת ההשערה היא המשימה היחידה הדורשת ביסוס בחלק הראשון של מעבדת החקר, המתבצע במפגש הראשון והעוסק במעבדת חקר כלשהי. בעוד שבחלק השני של מעבדת החקר המתנהל במפגש השני, התלמידים נדרשים לפרש ולנתח את התוצאות ולבסס ניתוח זה בעזרת רקע מדעי; לאחר מכן הם נדרשים שוב לרשום מסקנות מנומקות; העומס המוטל עליהם בכתיבה ובהנמקה בחלק זה הוא רב יותר, ולכן ייתכן שהתלמידים כבר עייפים מביסוס טענותיהם.

התפלגות הטיעונים הכתובים בדוחות המעבדה השערות N=12 ומסקנות N=21 לפי רמתם



איור 3: התפלגות הטיעונים הכתובים בדו"חות המעבדה (השערות N=12 ומסקנות N=21) לפי רמתם.

גורמים המעודדים בניית טיעונים בניסויי החקר הפתוח במעבדה החוקרת בכימיה

כפי שראינו, סביבת הלמידה של המעבדה שכוללת ניסויי חקר פתוחים היא סביבת למידה-תומכת בניית טיעונים. בסעיף זה נאפיין גורמים שניתן לזהותם כמעודדים בניית טיעונים ונביא לכך ראיות מהשיח. כמו כן נצטט מתוך הריאיונות עם התלמידים כדי לבסס את טענותינו.

א. דרישות המשימה והמחונן להערכת המשימה

"נסחו בצורה בהירה ועניינית השערה המתייחסת לשאלה שבחרתם לחקור. נמקו את השערתכם על בסיס ידע מדעי, רלוונטי ונכון ... פרשו ונתחו את תוצאות הניסוי ... הסיקו מסקנות, רבות ככל האפשר, בהתבסס על תוצאות הניסוי, נמקו את מסקנותיכם בעזרת ידע מדעי רלוונטי".

דרישות המשימה הבאות לידי ביטוי בהוראות העבודה לתלמידים ובמחונני ההערכה, מאלצות את התלמידים לפעול להשגתן ותוך כדי כך לבנות טיעונים. במהלך הניסוי נמצאו עדויות מפורשות בשיח שהתלמידים מודעים לדרישות המשימה ולדרישות המורה לביצועה. העדויות נאספו מ-14 קבוצות עבודה ב-7 ניסויי חקר אצל 4 מורים שונים. ב-12 מתוך 14 הקבוצות יש עדויות מהשיח שתלמידים מודעים לדרישות המשימה. להלן דוגמאות:

רות: "עשין השערה לניסוי".



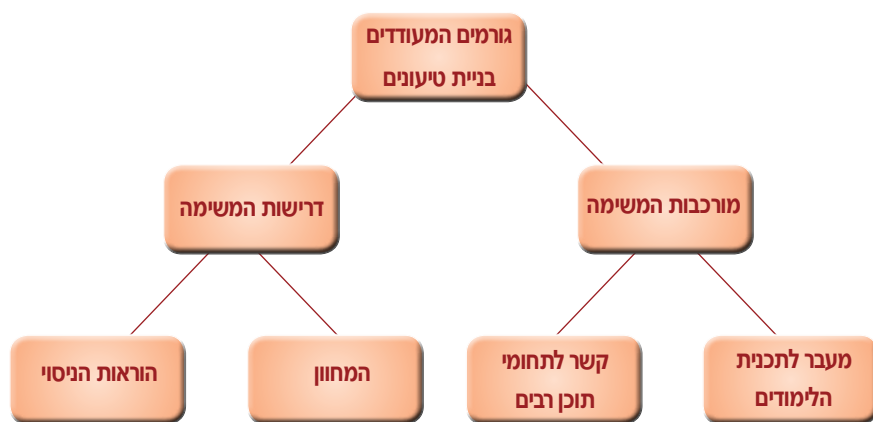
שזה עתה נלמד בכיתה. נמצא כי בניסויים שמוינו כמורכבים, המספר הממוצע של טיעונים שעלו בניסוי גבוה בצורה מובהקת ממספר הטיעונים הממוצע שעלה בניסויים שמוינו כפשוטים ($\chi^2=12$ ($p=0.001$)).

ג. מאפיינים נוספים של השיח בפעילות החקר שבה התפתח שיח טיעוני

1. שאלות שמעלים לדיון במהלך השיח העלו התלמידים והמורה שאלות מסוגים שונים: שאלות לדיון, שאלות הבהרה ושאלות לקבלת מידע. שאלות השייכות לשתי הקטגוריות הראשונות מניעות את השיח הקבוצתי, מקדמות בניית טיעונים או משדרגות את רמת הטיעונים. דוגמאות לשאלות שתלמידים מעלים לדיון:

- **עודד:** ככל שיש יותר שאלות, יהיה מהר או לאט יותר?
- **גלעד:** השאלה היא לו היינו מסאירים על הכל יותר לאן, מה היה קורה?

62 שאלות תלמידים אותרו בשיח במהלך כתיבת ההשערה וניתוח התוצאות של 14 קבוצות עבודה בניסויי חקר פתוח. 41 מתוכן הן שאלות לדיון או שאלות הבהרה (ממוצע של 2.9 שאלות לקבוצה בניסוי בודד). אך כאשר ממיינים את השאלות לכאלה שנשאלו ב-8 קבוצות עבודה שביצעו ניסויים מורכבים ($N=34$), וב-6 קבוצות עבודה שביצעו ניסויים פשוטים ($N=7$), נמצא שמספר השאלות



איור 4: גורמים המעודדים בניית טיעונים בניסויי חקר פתוח

אלונה: "אבל כתוב", נאמן את השערותכם על כסיס ידע מדעי".

כמו כן המורות, בהתערבותן בשיח הקבוצתי, "דואגות" לחזק את המודעות לדרישות המשימה ומפנות למחונן (זוהי דרישה מפורשת לביסוס ההשערה) או דורשות לשלב הסבר מדעי בנימוק המסקנה.

אורלי: "שבו כיח? ודון כיח? נסו לשלב ידע תאורטי".
רינת: "לפזיא את המחונן ולעבור על פיו (מקריאה את הקריטריונים ומסבירה)".

ב. מורכבות המשימה

ככל שהמשימה פתוחה יותר ומציגה תופעה מורכבת יותר הכוללת מושגים שהם מעבר לתכנית הלימודים או ניסוי חקר פתוח שהרקע המדעי שלו מקשר מספר נושאי תוכן - כך השיח משמעותי יותר ומזמן טיעונים רבים יותר. מיינו 6 ניסויים - שבוצעו על-ידי 14 קבוצות עבודה ב-4 כיתות שונות - למורכבים/פשוטים והתייחסנו למאפיינים הבאים: (1) הניסוי "צבוע" נושא בתכנית הלימודים, (2) הרקע המדעי של הניסוי כולל מושגים שמעבר לתכנית הלימודים. ניסוי הוגדר כמורכב אם הוא כולל מאפיין אחד לפחות מבין המאפיינים האלה: הניסוי אינו "צבוע" נושא בתכנית הלימודים ו/או מתבסס על רקע מדעי שמעבר לתכנית הלימודים. לדוגמה, ניסוי כמו "ניסוי הצימוקים" הוגדר כמורכב, כי הוא אינו "צבוע" נושא מסוים בתכנית הלימודים. בנוסף לכך הניסוי מזמן תופעות של ספיחת גזים וציפה שאינן כלולות בתכנית הלימודים, ולבסוף - החומרים המשתתפים בניסוי הם נעלמים, ואלמנט זה מוסיף למורכבותו של הניסוי. לעומת זאת ניסוי "האיקס הנעלם", המבוצע בדרך כלל בצמוד להוראת הנושא "קצב תגובה", מוגדר כפשוט, כי הניסוי "צבוע" תחום תוכן מסוים שהתלמידים למדו בכיתה, ולכן הדיונים סביב הנושא ממוקדים ומבוססים היטב על הרקע המדעי



גדול בצורה מובהקת ממספרם בניסויים שבהם התקבלו תוצאות צפויות ($\chi^2=5.7$ ($p=0.015$). בנוסף על כך, בניסויים שבהם התקבלו תוצאות צפויות, רק 7% מהטיעונים כללו אפיזודות של הפרכה במהלך הניתוח של התוצאות. לעומת זאת, בניסויים שבהם התקבלו תוצאות לא צפויות, כ-30% כללו אפיזודות של הפרכה. ממצא זה מחזק את הטענה שתוצאות לא צפויות משמשות טריגר להעלאת טיעונים רגילים, ובודאי טיעונים הכוללים הפרכות. ראינות התלמידים מחזקים את הטענה שתוצאות בלתי צפויות הן אחד המאפיינים של דיונים בעלי אופי טיעוני:

נורית: "...יש דיון סביב הסבר התוצאות והתוצאות. כל אחד מסתכל על מה אחרת. מישהו מתחיל להסביר, אולי לה באופן זה ... מנסים לחשוב אם לה תואם את הכסיס המדעי, אם לה היציב, אם כן - אל מקבלים, אם לא - מציבים משהו אחר... בפירוש התוצאות, בעיקר כשלתוצאות אין מראה אחידה, פתאום יש תוצאות מפתיעות, למה לה יצא ככה? ואל כאמת יש דיונים."

רות: "הדיונים המשמעותיים היו אלו שהתקשמו. כשניסו להסביר למה לה לא יצא - להסביר את התוצאות הכעיייתות..."

הממוצע לניסוי מורכב גבוה יותר באופן מובהק מהממוצע לניסוי פשוט. כמו כן נמצא מתאם גבוה ומובהק בין מספר השאלות שעולות בניסוי ובין מספר הטיעונים שעולים בניסוי, ($r_s=0.80$ $p<0.001$). לכן ניתן להניח שקיים קשר בין שלושת הגורמים האלה לבין עצמם: מורכבות הניסוי, מספר השאלות הנשאלות על-ידי התלמידים ומספר הטיעונים המועלים בשיח.

2. תוצאות הניסוי

כאשר מתקבלות תוצאות צפויות שמאששות את ההשערה, בדרך-כלל הדיון קצר ואינו מתפתח לשיח טיעוני. אך כאשר התוצאות אינן ברורות, הקבוצה מנהלת שיח שבו עולים טיעונים המנסים לפרש ולהסביר את התוצאות הבלתי צפויות.

הניסויים של 14 קבוצות תלמידים ב-4 כיתות מוינו לשתי קטגוריות: ניסויים שבהם התקבלו תוצאות ניסוי התואמות את ההשערה ($N=7$), וניסויים שתוצאותיהם בלתי צפויות ואינן תואמות את ההשערה ($N=7$). בשלב ניתוח התוצאות של ניסויים אלה, ניתוח השיח מלמד כי מספר הטיעונים לקבוצה בניסויים שבהם התקבלו תוצאות בלתי צפויות



איור 5: מאפיינים של השיח בפעילות החקר שבה התפתח שיח טיעוני



ברצף ההוראה של התכנים השונים. הפעילויות יכולות להיות סביב נושא המעבדה, אך גם סביב סוגיות סוציו-מדעיות המעלות דילמות, ולכן מעודדות חילוקי דעות וניסיונות שכנוע.

2. מומלץ לשלב פרטי הערכה הדורשים שליטה במיומנות הטיעון, בבחינות בכיתה ובבחינת הבגרות, וזאת כדי לעודד מורים לשלב פעילויות מסוג זה במהלך ההוראה.

מקורות

1. Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
2. Kuhn, D. (1991). *The skills of argument*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
3. Osborne, J. F. (2010). Arguing to learn in science: The role of collaborative, critical discourse. *Science*, 328, 463-466.
4. Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
5. Duschl, R. A. (2008). Quality argumentation and epistemic criteria. In: S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research* (pp. 159-175). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
6. Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 35-62.
7. Osborne, J. F., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argument in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 994-1020.
8. Wilson, C. D., Taylor, J. A., Kowalski, S. M., & Carlson, J. (2010). The relative effects and equity of Inquiry-based and commonplace science teaching on students' knowledge, reasoning, and argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 276-301.
9. Gott, R., & Duggan, S. (2007). A framework for practical work in science and scientific literacy through argumentation. *Research in Science & Technological Education*, 25, 271-291.
10. Sampson, V., & Gleim, L. (2009). Argument-driven inquiry to promote the understanding of important concepts & practices in biology. *American Biology Teacher*, 71, 465-472.
11. Walker, J. P., Sampson, V., & Zimmerman, C.O. (2011). Argument-driven inquiry: An introduction to new instructional model for use in undergraduate chemistry labs. *Journal of Chemical Education*, 88, 1048-1056.
12. Katchevich, D., Hofstein, A., & Mamlok-Naaman, R. (2011). Argumentation in the chemistry laboratory: inquiry and confirmatory experiments. *Research in Science Education*, DOI: 10.1007/s11165-011-9267-9.
13. Hofstein, A., Shore, R., & Kipnis, M. (2004). Providing high school chemistry students with opportunities to develop learning skills in an inquiry-type laboratory: A case study. *International Journal of Science Education*, 26, 47-62.

לסיכום, ניסויי החקר ביחידת המעבדה בכימיה נותנים במה לבניית טיעונים. דרישות המשימה והערכתה מהוות גורם עיקרי לבניית הטיעונים, אם כי מורכבות המשימה היא גורם נוסף. כמו כן מצאנו שתוצאות ניסוי בלתי צפויות ושאלות שתלמידים מעלים במהלך תהליך החקר קשורים בקיומו של שיח טיעוני. יש לציין שברמת הטיעונים הממוצעת לא נמצא הבדל מובהק בין הניסויים המורכבים ובין אלו שהוגדרו כפשוטים. נראה שרמת הטיעון הגבוהה בניסויים הפשוטים נובעת משליטה של התלמידים ברקע המדעי של הניסוי. התלמידים למדו את התכנים בכיתה, התשובות לשאלות החקר ידועות בדרך כלל לתלמידים, ולכן הם מבטאים תוך כדי הניסוי את הידע שנרכש בכיתה, ולא בהכרח בונים ידע חדש. ראוי לציין שגם לארגון הידע מחדש במהלך הניסוי יש יתרונות בתהליך הלמידה.

בניית טיעונים בכיתה ומעבדה – המלצות המחקר

א. הכשרת מורים

1. מומלץ לבנות מערך השתלמויות ארצי להקניית המיומנות של בניית טיעונים למורים. אם מורים לא ישלטו במיומנות, לא יהיו פעולות הקניה ו"מודלינג" לתלמידים, והסיכוי שהתלמידים ירכשו את המיומנות הוא נמוך מאוד.
2. מומלץ להתייחס בצורה מפורשת לחשיבות הדיון הקבוצתי במהלך ניסויי החקר ובפעילויות בכיתה, אגב התבססות על תאוריות למידה.
3. מן הראוי שמורים יכירו את המאפיינים של ניסויים אשר מעודדים בניית טיעונים, כדי שיתייחסו לפרמטר זה בבחירת רצף הניסויים ליחידת המעבדה.
4. מן הראוי שמורים ישלבו בקריטריונים שלהם לבניית קבוצות עבודה שיקולים הקשורים לשיח הקבוצתי, לזורבליות של חברי הקבוצה או לדומיננטיות של אחרים אשר עלולה להשתלט על השיח.

ב. חומרי למידה

1. מומלץ ליצור דגמי הוראה המשלבים פעילויות במעבדה ובכיתה המעודדות בניית טיעונים. פעילויות של הקניה ותרגול בסולם עולה של דרישות שישלבו