



הוראת מנגנוני תגובות כאמצעי להעמקת למידה ולפיתוח הבנה כוללת אצל תלמידי תיכון המתמכים בכימיה

תמי ירון*

יחידת המנגנונים נלמדה שלוש פעמים במשך שלוש שנים ע"י שלוש קבוצות של תלמידי י"ב בבתי ספר שונים.

בסיום כל תקופת לימוד נערך ניתוח הממצאים שנאספו במהלך המחקר והוסקו מסקנות אשר לדרכי השיפור של הבנת התלמידים לקראת התקופה הבאה.

במהלך כל תקופת לימוד נערכו מבדקים בכתב ובע"פ שנועדו לבחון אם חלה העמקה בתפישות הכימיות של התלמידים, ובתום כל שנה נערכה בחינת בגרות שבדקה את הנקודות הבאות:

1. כיצד מסתכלים התלמידים על תגובה כימית כתהליך וכיצד הם מנתחים מהלך תגובה כימית.

2. האם רכשו התלמידים כלים לשימוש מדעי ומעמיק במושגים של מבנה וקישור.

3. האם ניתן לזהות אצל התלמידים שינוי במידת ההעמקה שבה הם מתייחסים ל- תופעות כימיות.

בתחילת המחקר הועבר שאלון לתלמידי כיתה י"ב שמתמחים בכימיה בבתי ספר שונים ברחבי הארץ.

מטרת השאלון הייתה לבדוק את מידת ההעמקה שבה תופשים התלמידים מושגים בסיסיים במבנה וקישור.

אותו שאלון הועבר פעם שנייה לתלמידים שלמדו את הנושא של מנגנוני תגובות.

בניתוח סטטיסטי שנערך לשאלונים נמצא הבדל מובהק במידת ההעמקה בין תשובותיהם של תלמידים שלא נחשפו לנושא המנגנונים לבין תשובותיהם של אלה שלמדו את הנושא.

כיצד מנחים תלמידי תיכון המתמכים בכימיה את הנושא של מנגנוני תגובות? תחת הנושא של מנגנוני תגובות יכולנו לדון בכיתה במושגים במבנה וקישור אך בצורה מעמיקה יותר.

יכולנו לקשר את המושגים זה לזה ולהראות דרך הדינמיקה של המנגנונים כיצד המושגים משתלבים זה

מורי כימיה רבים וכן חוקרים מתחום הוראת המדעים קובלים על כך שתלמידים הבוחרים להתמחות בכימיה עוברים את בחינת הבגרות בציונים גבוהים למרות שהבנתם המשמעותית בכימיה דלה.

העוסקים בהוראת המדעים תולים את האשם בתכנית הלימודים שהיא אלגוריתמית במהותה ואינה מובילה להבנה מעמיקה של תפישות בכימיה (Zoller et Lubezky 1995).

הטענה הרווחת היא שהוראת הכימיה מבוססת בעיקר על שינון עובדות ולא על ביסוס והעמקה של רעיונות כימיים מרכזיים (Donnelly 2001; Phelps 1996; Walsh et Ottewill 1997; Posner 1982; Johnstone 1993 and Dierks 1985).

כיום המגמה בהוראת המדעים היא לצמצם את כמות העובדות והאינפורמציה על חשבון ביסוס עקרונות ותפישות מרכזיות.

מתוך סקירת הספרות המקצועית ומתוך ניסיון בהוראה בשטח עלה הצורך לבסס ולהעמיק את ההבנה הכימית בפרט והמדעית בכלל בקרב תלמידים המתמחים בכימיה.

במחקר שהחל באוניברסיטה העברית בירושלים בשנת 2003 נעשה ניסיון לבסס ולהעמיק את המושגים העוסקים במבנה וקישור שנלמדו בכיתה י' ע"י חזרה עליהם בכיתה י"ב בצורה מעמיקה יותר. במסגרת מחקר זה פותחה יחידה העוסקת במנגנוני תגובות שסיפקה הזדמנות לימודית לחזרה על הנושא של מבנה וקישור בדרך דינמית תוך כדי דיון מעמיק במושגים השונים.

המחקר נערך כמחקר פעולה, משמע, המורה שימשה גם כמי שמלמדת את נושא מנגנוני התגובות בכיתה וגם כחוקרת ההשלכות של מחקר זה על מידת העמקת ההבנה של התלמידים. בצורה זו ניתן היה לשלוט על מהלך המחקר ולכוונו בכל פעם שהורגש צורך בשינוי כיוון בהתאם להלך הרוח בכיתה ולמידת ההבנה של התלמידים.

המחקר נערך כמחקר פעולה, משמע, המורה שימשה גם כמי שמלמדת את נושא מנגנוני התגובות בכיתה וגם כחוקרת ההשלכות של מחקר זה על מידת העמקת ההבנה של התלמידים. בצורה זו ניתן היה לשלוט על מהלך המחקר ולכוונו בכל פעם שהורגש צורך בשינוי כיוון בהתאם להלך הרוח בכיתה ולמידת ההבנה של התלמידים.

* תמי ירון, רכזת כימיה בתיכון מקיף השרון "רוטברג". המאמר נכתב במסגרת עבודת הדוקטורט בחוג להוראת מדעים באוניברסיטה העברית בירושלים, בהנחייתם של פרופ' מנחם שטיינברג וד"ר צחי מילגרום.

בזה ועל ידי כך לקבל תמונה מעמיקה יותר של תגובות כימיות. מטרת הטיפול במנגנוני תגובות הייתה להעניק לתלמידים כלים להסתכל על מושגים במבנה וקישור בצורה מעמיקה יותר ואף לפתוח להם חלון להסתכלות על נושאים נוספים בכימיה בעזרת הכלים שרכשו. הוראה מחודשת של מושגים במבנה וקישור דרך מנגנוני תגובות שימשה למעשה דרך להעניק לתלמידים את היכולת להסתכל על מושגים נוספים בכימיה בצורה מעמיקה וע"י כך לרכוש תפישות כימיות מעמיקות יותר.

כיצד מוגדרת החוכמה הכימית?

תוך כדי התבוננות במנגנון תגובה נערכים דיונים סביב השינויים החלים במהלך התגובה. הקישור המשתנה, אי יציבות של מצב המעבר, אוריינטציה, מבנה של חלקיקים שונים והשפעתו על מידת היציבות של החלקיק. במהלך ניתוח המחקר צצו ועלו מספר תפישות אלטרנטיביות אצל התלמידים ועלה הצורך לתקן תוך כדי ביצוע המחקר. בעקבות התיקון ניכר או התגלה שיפור בתפישות התלמידים וניכר שרכשו תפישות מדעיות יותר.

מהלך המחקר העלה את התפישות האלה:

1. תלמידים אינם רואים מולקולות טעונות כסוג של יונים, מאחר שאינם מבינים את המשמעות של פרישת המטען על פני המולקולה.
2. תלמידים אינם מבדילים בין רדיקל חופשי ויון מאחר שלא נחשפו למשיכה שאינה אלקטרוסטטית.
3. תלמידים חסרים את מימד הזמן והמרחב של התרחשות תגובה כימית, מאחר שאינם מודעים למגבלות הטמונות בנוסחאות הייצוג של לואיס.
4. תלמידים אינם מקשרים בין מושג היציבות ובין מושג הפעילות (כמו בקשר כפול), מאחר שהם יודעים מלימוד קודם שגזים אצילים, לדוגמה, אדישים מבחינה כימית שכן אוקטט מלא מקנה להם יציבות ללא צורך בקישור.
5. תוך כדי המחקר תלמידים מבינים שיש מצבים של אוקטט לא מלא, זאת למרות שהם למדו בעבר שקשר כימי נוצר רק כאשר מתמלא האוקטט של האטומים שמשתתפים בקשר.

6. תלמידים תופשים את הקשר הכפול כטעון מטען שלילי מאחר שהם לומדים שיש צפיפות אלקטרוניים גבוהה בין האטומים הקשורים, וריבוי אלקטרוניים משוין בתפישתם למטען שלילי.

בנוסף לתפישות אלטרנטיביות שהתגלו במהלך המחקר, נחשפו התלמידים למושגים חדשים. מושגים אלה תרמו להשלמת תמונת העולם הכימית החדשה שנוצרה בתפישתם. את התרומה הלימודית ניתן לסכם כך:

1. תלמידים תפשו בקלות יחסית את המושגים אורך וחוזק הקשר שהיו זרים להם.

2. תלמידים נחשפו בפעם הראשונה להיבט האנרגטי של התרחשות תגובות ולשינויי אנרגיה כטריגר להתרחשות תגובה.

בנוסף למסקנות בתחום הקוגניטיבי באשר לשיפור תפישות התלמידים בתחילת המחקר, נמצא כי תלמידים חשו חוסר ביטחון הן בשל חוסר בתרגול חוזר והן בשל תרגילי החשיבה החדשים שהוצבו בפניהם.

כדי להתגבר על חוסר הביטחון בוצעו פעולות הוראה אקדמיות ופדגוגיות. נכתבה חוברת שהכילה הסברים ודוגמאות לכל המנגנונים שנלמדו ונערכו שיחות ודיונים בכיתה. הדיונים התבססו על הסברים מפורטים לגבי מנגנוני התגובות השונים שנלמדו, תוך שימוש במושגים מדעיים ובריבוי דוגמאות של התנהגות חומרים שונים בתגובות שונות ובתנאים שונים.

כמו כן כללו הדיונים שיחות מוטיבציה והסברה לגבי מידת ההצלחה בבחינת הסיום ללא צורך בתרגול חוזר, אלא תוך יישום החומר בעזרת הכלים שנרכשו במהלך הוראת הנושא.

מאחר שהכימיה עוסקת ברמת האטומים והמולקולות שהיא קשה לתפישה, תלמידים נוטים לקבל מודלים והגדרות שהמורים משתמשים בהם בכיתה כפשוטם, במקום להסיק מהם לגבי התנהגות כימית של חומרים. אחת התוצאות המשמעותיות יותר של ההוראה המסורתית היא שתלמידים רוכשים ומפתחים תפישות עפ"י חוקים ומודלים שלמדו בלימודי הכימיה הקודמים. ככלל, לתלמידים חסרה המודעות לכך שתגובה כימית היא דינמית, ושענן האלקטרוניים נמצא בתנועה מתמדת ועובר שינויים במהלך תגובה. הדוגמאות הבאות

בהקשר למושג היציבות דיברנו בכיתה גם על אל-איתור. תלמידים תפשו את התופעה כתופעה שמערערת את יציבות המולקולה מכיוון שהאלקטרונים נמצאים "פעם פה ופעם פה", כפי שהגדיר זאת אחד התלמידים. הדיון שנערך בהקשר למנגנוני SN1 גרם להבנת התרומה של אל-איתור ליציבות.

מהו רדיקל חופשי?

כאשר חשפנו בכיתה את מנגנון הרדיקלים החופשיים התברר כי תלמידים אינם מבדילים בין רדיקל ליון שלילי. הם מאמינים שרדיקל מגיב עם יון חיובי כפי שנוהג יון שלילי מכיוון שעל פי תפישתם חלקיק שמסוגל להגיב חייב להיות טעון במטען חשמלי. לאחר שהצגנו בכיתה מנגנון של רדיקלים חופשיים, ראו התלמידים שהרדיקל החופשי תוקף מולקולות ניטרליות, ובכך נחשפו לסוג תגובות שהטריגר שלהן אינו דווקא משיכה חשמלית.

לבד ממושגים שנידונו באופן ישיר מתוך מנגנוני תגובות, חזרנו ושאלנו תלמידים בתום לימוד הנושא לגבי מושגים שלמדו בכיתה י'. תפישתם של התלמידים את רוב המושגים שחזרנו אליהם הייתה מעמיקה ומדעית הרבה יותר מזו שהציגו לפני לימוד הנושא.

לדוגמה: המושג קשר קוולנטי אינו נלמד בצורה מפורשת במסגרת הנושא של מנגנוני תגובות, אולם דרך הוראת המנגנונים השונים רוכשים התלמידים כלים להסביר מהו קשר קוולנטי מעבר להגדרה שנלמדת בכיתה י'.

תלמיד שלא למד מנגנוני תגובות מגדיר קשר קוולנטי קוטבי כך: קשר שבו אטום אחד מושך את האלקטרונים הקשר חזק יותר מהאטום השני.

כך מתאר תלמיד שלמד מנגנוני תגובות קשר קוולנטי קוטבי: ענן האלקטרונים על אטום הכלור (במולקולת HCl) גדול בהרבה מענן האלקטרונים של אטום המימן. כך נוצר מצב שבו רוב הזמן האלקטרונים המשותפים נעים סביב אטום הכלור. כך נוצר קיטוב על פני המולקולה.

בדוגמאות הנוספות הבאות נוכל לראות התייחסות של תלמיד שלמד מנגנוני תגובות לתגובה כימית לעומת תלמיד שלא נחשף לנושא.

ממחישות ביתר פירוט חלק מתפישות אלה, וניתן ללמוד מהן עד כמה התלמידים משתמשים במושגים בצורה חד משמעית ללא הבנה אמיתית של משמעותם המדעית. נוסף גם שבתחילת הלימוד חשו התלמידים חסרי ביטחון מכיוון שאופי ההוראה דרש חשיבה במקום תרגול, וחלק מתפקידי כמורה היה לחזק את בטחונם יחד עם שיפור התפישות הכימיות שלהם.

דוגמאות

האנקה הוולג'יק מוסק ואורך הקשר

העמקנו במושגים אלה מתוך דיון במנגנון SN2. במצב המעבר במנגנון זה ישנו קישור חלקי של אטום הפחמן המרכזי לקבוצה העוזבת מצד אחד ומצד שני לקבוצה התוקפת. בהמשך הקשר לקבוצה העוזבת נחלש עד להתנתקות, והקשר לקבוצה התוקפת מתחזק. תוך כדי דיון בשינויים החלים בקישור במהלך התגובה העלינו בכיתה את המושגים אורך וחוזק הקשר. מדדים אלה לא נלמדו קודם לכן בכיתה י', ובבדיקות שנערכו לתלמידים נראה כי הם רכשו הבנה של מושגים אלה. דנו בהתארכות ובהיחלשות קשרים לעומת התחזקותם, ובמשמעות של שינוי באורך הקשר לאטומים הקשורים. מכאן יכולנו לעבור לדיון בקשרים שונים תוך שימוש במושגים בצורה מעמיקה.

נושא היציבות

בבדיקה שערכנו בכיתה התברר שתלמידים מגדירים כיציב אטום בעל אוקטט מלא. כבסיס להמחשת המשמעות האמתית של מושג היציבות השתמשנו במנגנון SN1. תוצר הביניים במנגנון זה הוא יון קרבוניום שיציבותו תלויה בקבוצות הקשורות לאטום הפחמן המרכזי. לאחר שערכנו היכרות עם המנגנון הצגנו דוגמאות של מצבי מעבר שונים והסברנו באמצעותם את הגורמים שתורמים ליציבות כגון קבוצות שדוחפות אלקטרונים ואלה שמקטינים אותה כגון קבוצות שמושכות אלקטרונים.

לאחר שנחשפו התלמידים לסוגים שונים של מולקולות בעלות דרגות שונות של יציבות, הם הבינו שיש גורמים אחדים שמשפיעים עליה, ויתרה מזאת - שהמושג יציבות הוא מושג יחסי.



השאלה: הסקר אג המגוימת בגובה כין אמוניה אמיס:

תלמיד שלמד לפי התכנית המסורתית ענה כך: זו תגובת חומצה-בסיס שבה המים מעבירים H^+ לאמוניה ונוצרים NH_4^+ ו- OH^- . וכך ענה תלמיד שלמד מנגוני תגובות: ישנה משיכה בין אטום חנקן טעון δ^- במולקולת אמוניה לאטום מימן טעון δ^+ במולקולת מים. המשיכה ביניהם תגרום להתרחשות תגובה. התהליך של יצירת קשר H-N וניתוק קשר H-O בו זמנית עובר דרך תוצר ביניים שבו המימן קשור חלקית לאטום החמצן וחלקית לאטום החנקן. מצב זה אינו יציב ולכן מתפרק מיידית. אטום המימן עוזב את מולקולת האמוניה ללא האלקטרון שלו והופך ליון OH^- בסופו של דבר.

השאלה: הסקר אהו קשר קוואנטי

תשובתו של תלמיד שלמד לפי התכנית המסורתית: שיתוף של זוג אלקטרונים כדי להגיע לאוקטט מלא. תשובתו של תלמיד שלמד מנגוני תגובות: זהו קשר של שיתוף בין שני אטומים שמשותפים את האלקטרונים שלהם ע"י חפיפת ענני אלקטרונים.

באופן כללי אופי ההוראה צריך לגרום להעמקת תפישות התלמידים מעבר לשימוש בחוקים ובהגדרות. משום כך יש להרבות בדיונים ובדוגמאות בכיתה ובעיקר להדגיש מהלך של תגובות ולא דווקא מצבים סטטיים כדי להמחיש את האופי הדינמי של תגובות כימיות. בשנה האחרונה פותחה במסגרת תכנית הלימודים החדשה מבנית העוסקת בתרכובות הפחמן ומשלבת בתוכה מנגוני תגובות, מה שמעיד על הכרה בחשיבות הנושא.

משום כך אנו מבקשים לשתף את ציבור מורי הכימיה במסקנות המחקר.

המלצות מפורטות להוראה בכיתה בעקבות מסקנות מהמחקר

1. קישור מבנה של מולקולות שונות למנגונים שדרכם הן עשויות לעבור יש בכוחו להדגיש את משמעותה וחשיבותה של הכרת המבנה.

2. לשם הדגשת ההבדל בין ניתוק המוליטי והטרוליטי של קשרים, כדאי להציג מגוון של יונים ומולקולות טעונות.

3. יש להדגיש את האופי הדינמי של מנגון תגובה המערב מעברי אלקטרונים.

4. כדי להעמיק את הבנת התלמידים במושג היציבות, יש להציג מגוון של תוצרי ביניים ומצבי מעבר.

5. המושגים אורך וחוזק הקשר התגלו כקלים יחסית לתפישה ויש לדון בהם.

6. כדי לשרש תפישות אלטרנטיביות לגבי הקשר הכפול יש להדגיש את יציבותו לעומת פעילותו.

7. רצוי להרבות בדיונים כיתתיים שעוסקים במנגוני תגובות כדי להשיג ביסוס והעמקה של מושגים מדעיים שהוזכרו במהלך הלימוד וכדי להעלות את תחושת הביטחון של התלמידים שנתקלים בצורת לימוד שונה מהמקובלת בביה"ס ברוב המקצועות, לרבות כימיה.

יש להמליץ על תוך כדי הוראה עשוי לקדם הבנה מעמיקה של התלמידים בכל הנוגע למהותה ומהלכה של התגובה הכימית.

ביבליוגרפיה

1. Dierks W., Weninger J., Herron, D. J. (1985) Mathematics in the Chemistry Classroom Part 2. Elementary Entities Play Their Part, Journal of Chemical Education 62(11) pp 1021- 1023.
2. Donnelly J.(2001) Contested terrain or unified project? The nature of science in the National Curriculum for England and Wales International Journal of Science Education 23(2) pp.181-195
3. Johnstone A. H. (1993) The Development of Chemistry Teaching Journal of Chemical Education 70 (9) pp 701- 705 .
4. Ottewill G. A. & Walsh F. C. (1997) Consultancy in the Classroom Using Industrial Chemistry in Teaching Exercise Journal of Chemical Education 74(12) pp. 1426-1430
5. Phelps J. J. (1996) Teaching to Enhance Problem Solving Journal of Chemical Education 73(4) pp. 301-304
6. Posner G. J. Strike K. A. Hewason P. W. & Gertzog W. A. (1982) Accomodation of a Scientific conception Toward a Theory of conceptual change Science Education 66 (2) pp 211- 227
7. Zoller U. & Lubezky A. (1995) Success on Algorithmic and LOCS vs. Conceptual Chemistry Exam Questions Journal of Chemical Education 72(11) 987-989