

ביטוי מילולי לתפיסה מרחבית של סימטריה מולקולרית (מאמר קצר)

ענבל טובי-ערד
האוניברסיטה הפתוחה
inbaltu@openu.ac.il

נג'לא מדבק
האוניברסיטה הפתוחה
najlam@openu.ac.il

Verbal Expression of Spatial Perception of Molecular Symmetry (Short Paper)

Najla Madback **Inbal Tuvi-Arad**
The Open University of Israel The Open University of Israel
najlam@openu.ac.il inbaltu@openu.ac.il

Abstract

Spatial perception of molecular structures is a fundamental skill in chemistry, encompassing the capacity to visualize, mentally manipulate, and grasp spatial interrelationships among molecular components. Technological tools for molecular visualization aid in understanding the spatial structure by transforming a two-dimensional representation into a three-dimensional interactive model, and thereby enhance spatial perception and improve achievements in chemistry. This study focuses on molecular symmetry and the ability to draw and describe symmetry elements (such as rotation axes and reflection planes) of a three-dimensional structure using specially designed online visualization tools. The study aims to examine whether using this technology improves students' ability to express symmetry elements verbally. The research population included 9 undergraduate chemistry students enrolled in an advanced course on symmetry. Throughout the study, students' assignments were analyzed, each containing several questions related to drawing and describing reflection planes and rotation axes of various molecules. Our preliminary findings reveal a significant gap between visual representation, the ability to draw symmetry elements using the online tools, and the verbal representation expressed by the textual description of these elements. Further research is needed to examine the sources of this gap, examine students' levels of understanding of molecular symmetry, and develop methods to enhance teaching and assessment of spatial perception in chemistry within a technological environment.

Keywords: Spatial Perception, Molecular Visualization, Symmetry, Visual Representation, Verbal Representation.

תקציר

תפיסה מרחבית של מבנה מולקולרי מתבטאת ביכולת לדמיין את המבנה, לסובב אותו ולהבין את היחסים המרחביים בין כל חלקיו. השימוש בכלים טכנולוגיים העוסקים בוויזואליזציה מולקולרית מסייע בהבנת המבנה המרחבי על ידי הפיכת מבנה דו-ממדי למודל תלת-ממדי ואינטראקטיבי, ובכך מוביל לשיפור בתפיסה המרחבית וההישגים בכימיה. מחקר זה מתמקד בסימטריה מולקולרית וביכולת לשרטט ולתאר אלמנטי סימטריה (צירי סיבוב ומישורי שיקוף) של מבנה מרחבי תוך שימוש בכלים מקוונים יעודיים. מטרת המחקר היא לבחון האם השימוש בטכנולוגיה משפר את יכולת הסטודנטים לתאר באופן מילולי את אלמנטי הסימטריה. אוכלוסיית המחקר כללה תשעה סטודנטים לתואר ראשון בכימיה הלומדים קורס מתקדם

בסימטריה. במסגרת המחקר נותחו תשע מטלות, אשר עסקו בשרטוט ותיאור מישורי שיקוף וצירי סיבוב במגוון מולקולות. ממצאים ראשוניים של המחקר מעידים על פער משמעותי בין הייצוג הוויזואלי והיכולת לשרטוט אלמנטי סימטריה באופן מקוון, לבין התיאור המילולי של אלמנטים אלו. נדרשים מחקרים נוספים כדי להבין את מקור הפער, לבחון את רמות ההבנה של סטודנטים בנושאי סימטריה מולקולרית, לפתח דרכים לשיפור ההוראה וההערכה של הלמידה בהקשר של תפיסה מרחבית בכימיה בסביבה טכנולוגית.

מילות מפתח: תפיסה מרחבית, ויזואליזציה מולקולרית, סימטריה, ייצוג ויזואלי, ייצוג מילולי.

מבוא

ויזואליזציה היא מרכיב חשוב בהבנת תופעות כימיות שונות בפרט בהקשר של תפיסה מרחבית של מבנים מולקולריים בתלת-ממד. המיומנויות הנדרשות לתפיסה מרחבית וליכולת לראות את המבנה המרחבי קשורות ביכולת לדמיין את המבנה, לסובב אותו ולהבין את היחסים המרחביים בין כל חלקיו (Buckley et al., 2018). מחקרים מוכיחים שסטודנטים בעלי תפיסה מרחבית טובה יותר נוטים להצליח יותר בפתרון בעיות בכימיה (Jose & Williamson, 2005; Wu & Shah, 2004). אימון ותרגול של פתרון בעיות המבוססות על תפיסה מרחבית עשויים לשפר את התפיסה המרחבית (Mohler J. L., 2006).

במהלך לימודי הכימיה ישנה חשיפה לייצוג דו-ממדי ותלת-ממדי של מבנה מולקולרי. בייצוג דו-ממדי ניתן לזהות את הקשרים בין האטומים במולקולה ובייצוג תלת-ממדי המידע המרחבי מפורש יותר, בפרט כאשר מדובר במודל אינטראקטיבי שבו אפשר לסובב את המודל על מנת להבין את סידור האטומים במרחב לשם כך, נעזרים בכלים טכנולוגיים המתמקדים בוויזואליזציה מולקולרית (Goddard & Ferrin, 2007).

אחד הנושאים המבוססים על מבנה מרחבי של מולקולות ותפיסה מרחבית הוא סימטריה מולקולרית. במחקרם של Tuvi-Arad & Gorsky (2007) השתמשו באתר לסימטריה מולקולרית ברשת (<http://telem.openu.ac.il/symmetry>) ככלי טכנולוגי שליווה לימוד קורס בסימטריה לסטודנטים לתואר ראשון בכימיה. האתר משמש להצגה תלת-ממדית ואינטראקטיבית של מגוון מולקולות ולמתן כלים לשרטוט אלמנטי הסימטריה באופן ממוחשב. במחקר נמצא כי השימוש באתר עזר לסטודנטים להתגבר על קשיים בתפיסה מרחבית של מולקולות, הקל על זיהוי אלמנטי הסימטריה והוביל לעליה באחוז ההצלחה בשרטוט. בנוסף לכך, הסטודנטים שלא העידו על קושי בתפיסה מרחבית של מולקולות העדיפו לעבוד עם האתר, במיוחד עבור מולקולות מורכבות. מחקר המשך התמקד במורי כימיה שהשתתפו בסדנה בנושא סימטריה בכימיה על בסיס אותו אתר. ממצאי המחקר הראו כי הבנת הסימטריה יכולה לפתוח ערוצי חשיבה חדשים להתבוננות על מולקולות, ולהבנה מעמיקה יותר של המבנה שלהן. בנוסף, למרות שנושא הסימטריה לא נלמד בתכנית הלימודים בכימיה בתיכון, הידע עזר למורים להבין ולהסביר מושגים שונים כגון קוטביות וכירליות (Tuvi-Arad & Blonder, 2010).

מחקרים נוספים הראו עליה באחוז ההצלחה של סטודנטים בהבנת המבנים המרחביים של מולקולות והתגברות על תפיסות שגויות וזאת בעת השימוש במעבדות וירטואליות (VL – virtual laboratory) (Achuthan, 2018) (Kolil & Diwakar, 2018) ובעת הלמידה בסביבה הוירטואלית כגון מציאות מדומה (Kufák et al., 2023). במחקר אחר ראינו סטודנטים לכימיה אשר התבקשו לקבוע ולתאר אלמנטי סימטריה למגוון מולקולות. במהלך הריאיון זוהו תנועות שונות בידיים, כגון השטחת יד באוריינטציות שונות לתיאור מישורי שיקוף, והפיכת היד וקיפולה לתיאור סיבוב ופעולות סימטריה. החוקרים הצביעו על שימוש בידיים כאמצעי תקשורת לתיאור אלמנטי הסימטריה ללא אחידות מסוימת (Markut & Wink, 2024). מהמחקרים אשר הוצגו, נראה שהבנת הסימטריה היא תהליך מחשבתי מורכב, ושילוב טכנולוגיה בהוראה תורם לשיפור בתפיסה המרחבית של מולקולות. עולה השאלה, האם השימוש בטכנולוגיה משפר את יכולת הסטודנטים בביטוי מילולי של תכונות הסימטריה של מולקולות?

שאלת המחקר

מהם דפוסי התיאור המילולי של ייצוג ויזואלי של תופעות המבוססות על תפיסה מרחבית בסימטריה?

מתודולוגיה

אוכלוסיית המחקר כללה תשעה סטודנטים לתואר ראשון בכימיה שהשתתפו בקורס מתקדם בסימטריה במהלך 2023 במוסד להשכלה גבוהה. במהלך ההרצאות המרצים השתמשו באתר סימטריה מולקולרית

(<http://telem.openu.ac.il/symmetry>) כאתר נלווה ללימוד סימטריה, ולכל הסטודנטים ניתנה האפשרות להשתמש באתר במהלך הלמידה בבית והכנת המטלות. האתר מאפשר למשתמש לשרטט בעצמו את אלמנטי הסימטריה. הממשק מחייב את המשתמש להגדיר באופן מתמטי היכן עוברים הצירים והמישורים על ידי בחירת אטומים/קואורדינטות דרכם עוברים האלמנטים כדי שאפשר יהיה לשרטט אותם. המשתמש יכול להיעזר בהצגה של מספרים סידוריים של האטומים במולקולה וגם מערכת צירים קרטזית. פעולות אלו מספקות למשתמש שפה לתיאור מילולי של אלמנטי הסימטריה שכן הם מוגדרים כעת באופן גאומטרי. ניתוח המטלות מאפשר לבחון האם יש שימוש בשפה זו בתיאור המילולי בפועל.

כלי המחקר

ניתוח תשובות סטודנטים לשאלות במטלות בנושאים: סימטריה של מולקולות, קביעת אלמנטי סימטריה תוך שימוש באתר לסימטריה מולקולרית, תיאור האלמנטים וקביעת כירליות של מולקולה.

ממצאים

במסגרת המחקר נותחו תשע מטלות. בכל מטלה היו חמש שאלות אשר עסקו בזיהוי מישורי שיקוף וחמש שאלות נוספות עסקו בזיהוי צירי סיבוב במולקולות שונות. הסטודנטים נדרשו לשרטט את אלמנטי הסימטריה דרך האתר הנלווה ולתאר במילים את מה ששרטטו. התוצאות מסוכמות בטבלה 1. הממצאים מצביעים על פער בין היכולת לזהות ולשרטט אלמנטים של סימטריה לבין היכולת להסביר אותם באופן מילולי. את התיאור באופן חלקי אפיינו לסוגים שונים המיוצגים בטבלה 2.

טבלה 1. סיווג תשובות בשאלות העוסקות בזיהוי אלמנטי סימטריה

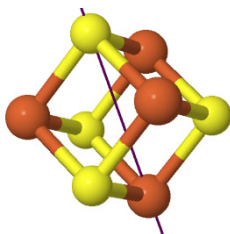
תיאור שגוי של אלמנט הסימטריה	תיאור חלקי של אלמנט הסימטריה	תיאור מדויק של אלמנט הסימטריה	שרטוט נכון של אלמנט הסימטריה	
24%	60%	16%	100%	מישור שיקוף (N=45)
35%	45%	20%	93%	ציר סיבוב ראשי (N=45)

טבלה 2. סוגי טעויות בתיאור מילולי של אלמנט סימטריה

מישור שיקוף (N=45)	ציר סיבוב (N=45)	סוגי טעויות
/	2%	הגדרת ציר על ידי 2 נקודות שהישר המחבר ביניהן לא יוצר ציר סימטריה
2%	/	הגדרת מישור על ידי שלוש נקודות במרחב הנמצאות על אותו ציר
22%	18%	אין התייחסות לאלמנט ספציפי
49%	22%	תיאור נכון, תחביר שגוי
7%	7%	התייחסות לאלמנטים נוספים שלא הוגדרו
0%	13%	שימוש שגוי במונחים גאומטריים

לדוגמה, באחת השאלות התבקשו הסטודנטים לשרטט ולתאר ציר סיבוב במולקולה Fe_4S_4 . איור 1 מציג שרטוט שהציג אחד הסטודנטים עבור ציר סימטריה מסוג C_3 במולקולה המייצג סיבוב ב- 120° . בתיאור הציר הוא כתב: "ציר סיבוב C_3 העובר בין אטום גפרית לאטום הברזל שמולו". על פי התיאור לא ברור לאיזה אטום ברזל התכוון הסטודנט. כל אטום גפרית בתרכובת נמצא מול ארבעה אטומי ברזל שונים, אך לא כל ציר העובר

דרך שני אטומים כאלה מתאר פעולת סימטריה במולקולה. כדי לדייק את התאור, הסטודנט היה יכול להציג את המספרים הסימטריים של האטומים ולהשתמש בהם, או להשתמש במונחים גאומטריים כגון אלכסון בקוביה. כך, למרות שהשרטוט עונה לשאלה, לא ברורה מהי רמת ההבנה של הסטודנט. לו השאלה הייתה נשאלת ללא תצוגה תלת-ממדית, ניתוח רמת ההבנה של הסטודנט היה מורכב יותר, היות ושרטוט מבנה מרחבי דו-ממד עשוי להטעות בשל פרספקטיבה לא נכונה או שרטוט לא מדויק.



איור 1. ציר סיבוב מסוג C_3 במולקולה Fe_4S_4 כפי שהוצג על ידי הסטודנט. אטומי ברזל צבועים בחום ואטומי גפרית – בצהוב.

דיון וסיכום

ממצאי המחקר מצביעים על כך שאחוז התיאורים המדויקים של אלמנטי הסימטריה הוא נמוך משמעותית בהשוואה ליכולת לשרטט. מניתוח דפוסי התיאור המילולי ובדיקת סוגי השגיאות, נראה כי סוג השגיאה הנפוץ ביותר הוא שגיאה תחבירית (כמחצית מהמקרים של תיאור מישור, וכחמישית מהמקרים של תיאור ציר). תיאור ללא התייחסות לאלמנט ספציפי הופיע בחמישית המקרים הן של ציר והן של מישור. שגיאה זו לא מאפשרת לשרטט את האלמנט המדובר על סמך התיאור המילולי בלבד. במקרה של ציר הופיע מינוח גיאומטרי שגוי ב-13% מהמקרים. שגיאות אלו, עשויות להעיד על חוסר במיומנויות הדרושות לתיאור מילולי מדויק. מנגד, אחוז השגיאות הנובעות מהגדרה שגויה של הנקודות במרחב המגדירות את הציר או המישור נמוך מאוד, מה שמעיד על תרומת הטכנולוגיה שכן זוהי שפה המוטמעת באתר.

מחקרי המשך ירחיבו את אוכלוסיית המחקר, יבדקו את הפער בביטוי המילולי והויזואלי בסביבה ללא טכנולוגיה (למשל – סביבת בחינה) ויבחנו את רמות ההבנה של הסטודנטים בעקבות השימוש בטכנולוגיה, במטרה לפתח דרכים לשיפור ההוראה וההערכה של הלמידה בהקשר של תפיסה מרחבית בכימיה.

מקורות

- Achuthan, K., Kolil, V., & Diwakar, S. (2018). Using virtual laboratories in chemistry classrooms as interactive tools towards modifying alternate conceptions in molecular symmetry. *Education and Information Technologies*, 23(6), 2499-2515.
- Buckley, J., Seery, N. & Canty, D. (2018). A Heuristic Framework of Spatial Ability: a Review and Synthesis of Spatial Factor Literature to Support its Translation into STEM Education. *Educ Psychol Rev* 30, 947-972.
- Goddard, T. D., & Ferrin, T. E. (2007). Visualization software for molecular assemblies. *Current opinion in structural biology*, 17(5), 587-595.
- Jose T. J., & Williamson V. M. (2005). Molecular Visualization in Science Education: An Evaluation of an NSF-Sponsored Workshop. *Journal of Chemical Education*, 82(6), 937-943.
- Kutak, D., Vázquez, P.P., Isenberg, T., Krone, M., Baaden, M., ... & Miao, H. (2023). State of the art of molecular visualization in immersive virtual environments. *In Computer Graphics Forum*, 42(6), e14738.
- Markut, J. J., & Wink, D. J. (2024). Symmetry Elements Embodied by Students' Hands: Systematically Characterizing and Analyzing Gestures in Inorganic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 101(3), 819-830.
- Mohler, J. L. (2006). Computer graphics education: Where and how do we develop spatial ability? In *Proceedings of Eurographics, Education Papers* (pp. 79-86). Eurographics Association.

- Tuvi-Arad I., & Blonder R. (2010). Continuous symmetry and chemistry teachers: Learning advanced chemistry content through novel visualization tools. *Chemistry Education Research and Practice*, 11, 48-58.
- Tuvi-Arad I., & Gorsky P. (2007). New visualization tools for learning molecular symmetry: A preliminary evaluation. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(1): 61-72.
- Wu, H. K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science education*, 88(3), 465-492.