

פיתוח יכולות מרחביות באמצעות שילוב טכנולוגיות ידע עם אמצעים פיזיים פשוטים

מיטל הנס, יעל קלי ויואב יאיר*

יכולות מרחביות דרושות בתחומים רבים, כגון מדעים, הנדסה וארכיטקטורה. מחקרים מראים שאפשר לשפר יכולות אלה באמצעות התנסויות למידה. עם זאת, מרבית המחקרים התמקדו במידת הרכישה של יכולות מרחביות, ולא בתהליך הרכישה שלהן. אחד הנושאים שזכו למעט מאוד מחקר הינו המעבר בין מערכות ייחוס (למשל, המעבר בין ראיית מערכת תלת-ממדית מלמעלה ומבפנים) והקשר שלו ליכולות מרחביות. נושא זה מעניין במיוחד בהקשר של שימוש במודלים ממוחשבים, הפותחים בפני לומדים אפשרויות חדשות להתנסות במעברים כאלה.

במחקר זה בחנו לעומק תהליך של רכישת יכולות מרחביות ושל מעבר בין מערכות ייחוס בהקשר של למידת נושא מופעי הירח בחטיבת ביניים. פיתחנו מבנית מתוקשבת, שמטרתה לעזור לתלמידים לפתח את התפיסה המרחבית הדרושה להבנת התופעה. המבנית מאפשרת ללומדים לבצע משימות חקר תוך כדי שימוש במודל פיזי פשוט, המציג את מופעי הירח מנקודת מבט פנימית (גיאוצנטרית) ובמודל ממוחשב אינטראקטיבי, הממחיש את המערכת שמש-כדור הארץ-ירח מנקודת מבט חיצונית (מהחלל). הפעלנו את המבנית בתשע כיתות ז'–ט' (N=183).

ניתוח כמותי הצביע על שיפור מובהק של הבנת הקשר בין מבט פנימי למבט חיצוני, הן בהקשר של מופעי הירח והן בשאלון כללי הבוחן מעבר בין מערכות ייחוס, כתוצאה מהלמידה עם המבנית. ניתוח איכותני של תהליך הלמידה הראה שבשלב ראשון התלמידים רוכשים הבנה של המבט הגיאוצנטרי בלבד, בעזרת השימוש במודל הפיזי. לאחר מכן הם רוכשים הבנה של הקשר בין שני המבטים בעזרת מעברים בין המבט הפנימי (המודל הפיזי) למבט החיצוני (המודל הממוחשב). עוד נמצא כי הנחיות תומכות ומשא ומתן דיאלוגי עם לומדים אחרים ועם המורה הינם קריטיים לתמיכה בתהליך זה.

* ד"ר מיטל הנס ופרופ' יעל קלי, המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים, הטכניון; פרופ' יואב יאיר, המחלקה למדעי הטבע והחיים, האוניברסיטה הפתוחה. מחקר זה נתמך על ידי הטכניון וקרן המחקר של האוניברסיטה הפתוחה.

תהליכי הלמידה שתוארו מאפשרים ללמוד על היתרונות והמגבלות של למידה באמצעות טכנולוגיות ידע בהקשר של פיתוח יכולות מרחביות, ועל האופן שבו רצוי לשלב טכנולוגיות מתוחכמות עם עזרים פיזיים פשוטים.

רציונל ומטרות המחקר

האסטרונומיה היא תחום דעת, הקיים בסילבוס של תוכנית הלימודים הפורמלית בישראל בבית הספר היסודי ובחטיבת הביניים. מחקרים רבים שנעשו בעשרות השנים האחרונות מראים, שתלמידים מתקשים בהבנת תופעות אסטרונומיות ומחזיקים במסגרות הבנה חלופיות (לדוגמה: Fanetti, 2001). אחת הסיבות לכך היא, שהבנת התופעות האסטרונומיות כרוכה ביישום יכולות מרחביות. קיימות גישות אחדות לגבי האופן שבו יש לסווג יכולות מרחביות. פיאז'ה ואינהלדר (Piaget & Inhelder, 1956) התייחסו למעבר בין מערכות ייחוס כאל אחד המרכיבים של יכולות מרחביות, מבחינת היכולת לצאת מנקודת המבט האגוצנטרית (decentration) ולהתבונן בעצמים מנקודות מבט שונות. בעבר הייתה נטייה לחשוב שאי אפשר לפתח מיומנויות מרחביות, ושיכולת זו היא מולדת בלבד (לדוגמה: McFie, 1973). ואולם, כיום מראים מחקרים רבים שאפשר לשפר יכולות מרחביות באמצעות התנסויות למידה (לדוגמה: Kali, Orion & Mazur, 1997).

במהלך השנים האחרונות פותחו חומרי למידה מגוונים, הכוללים שימוש בעזרים פיזיים וממוחשבים. אף על פי שיש מחקרים המראים, שלעזרים אלו יתרונות בתמיכה בלמידה ובהוראה של אסטרונומיה (לדוגמה: Barab et al., 2000; Bell & Trundle, 2008), רק מחקרים בודדים התייחסו לקשר בין ההבנה של תופעות אסטרונומיות לבין יכולות מרחביות כלליות (מועלם, 2002; Callison & Wright, 1993; Hansen, 2004). Barnett, MaKinster & Keating, 2004) ועד כה אין ממצאים חד-משמעיים בנושא. במחקר זה פיתחנו מבנית מתוקשבת לתלמידי חטיבת ביניים, שמטרתה לעזור לתלמידים לרכוש את היכולות המרחביות הדרושות להבנה של תופעת מופעי הירח. שני מרכיבים חשובים של המבנית הם מודל ממוחשב ומודל פיזי, המדגימים את התופעה. מטרת המחקר הייתה לבחון את היכולות המרחביות הכלליות ואת התפיסה המרחבית הספציפית שתלמידי חטיבת ביניים מפתחים בהקשר של תופעת מופעי הירח כתוצאה מאינטראקציה עם שני המודלים במבנית, ולאפיין את התהליך שבו התלמידים מפתחים יכולות אלה.

רקע תיאורטי

גוף הידע שהצטבר בעשרות השנים האחרונות לגבי תפיסות תלמידים ביחס לתופעות באסטרונומיה מראה כי תלמידים רבים, במדינות שונות בעולם, מתקשים בהבנת

תופעות אלה, ומחזיקים במסגרות חלופיות, בהן הם מסבירים לעצמם את התופעות באופן שונה ומנוגד להסברים המדעיים המקובלים (לדוגמה: Stahly, Krockover & Shepardson, 1999; Trumper, 2001).

התיאוריה הקונסטרוקטיביסטית מניחה שלומדים מפתחים את הרעיונות שלהם לגבי נושאים שונים מתוך התבוננות בסובב אותם והתנסות עמו, עוד לפני שהם מקבלים הדרכה פורמלית (Piaget, 1970). פיאז'ה טען שתפיסותיהם של ילדים בגילים 3–11 את מופעי השמש והירח נובעות מפירוש שלהם למה שהם רואים וכן מהשפעות של רמזי מבוגרים (פיאז'ה, 1967). הצופה על כדור הארץ מתבונן בתופעות אסטרונומיות רק מפרספקטיבה אחת: מכדור הארץ. לכן, באופן אינטואיטיבי, מתפתחת אצלו תפיסה נאיבית שהוא ממוקם במרכז העולם (מועלם, 2002), תפיסה שנוגדת את ההסבר המדעי המקובל. בנוסף, התופעות האסטרונומיות הן תופעות דינמיות המתרחשות במרחב תלת־ממדי, בממדים מרחביים עצומים ובסקאלת זמן ארוכת טווח. הצופה מכדור הארץ אינו יכול לצפות בכל המערכת הזאת בו־זמנית ולכן עליו לבנות מודל מנטלי שלה ולבצע עליו מניפולציות מנטליות מורכבות (מועלם, 2002; Callison & Wright, 1993).

היכולת להבין כיצד מערכת תלת־ממדית נראית ממערכות ייחוס שונות נבחנה על ידי חוקרים רבים בפסיכולוגיה קוגניטיבית. פיאז'ה תיאר את היכולת הזאת כשלב בהתפתחות הקוגניטיבית של ילדים. הוא טען, שילדים בשלב הקונקרטי רואים את העולם מנקודת מבט אגוצנטרית, ומתקשים לדמיין אותו מנקודות מבט אחרות. כאשר הם עוברים לשלב הפורמלי, הם יכולים "לצאת מהמרכז" ("decenter") ולדמיין אותו מנקודות מבט אחרות (Piaget, 1960; Piaget & Inhelder, 1956). אנחנו טוענים שהמעבר בין מערכות ייחוס, ובפרט המעבר מנקודת מבט אגוצנטרית לנקודות מבט אחרות, מהווה היבט חשוב בהבנה של הקשיים של לומדים להבין את תופעת מופעי הירח.

סביבת הפיתוח ותיאור כללי של המבנית

פיתוח המבנית נעשה באמצעות סביבת WISE, Web-based Inquiry Science Environment, שהינה סביבה מבוססת אינטרנט הזמינה לכול, שפותחה באוניברסיטת ברקלי שבקליפורניה, בקבוצתה של פרופ' מרשה לין (Marcia Linn). הסביבה מיועדת לעבודה בזוגות, והיא בנויה כך שהיא מאפשרת עבודה עצמאית ובקצב אישי, כאשר המורה מנחה את הלמידה ועובר בין התלמידים לצורך מתן עזרה. כל מורה יכול בקלות רבה לרשום את תלמידיו לכל אחת מהמבניות ולהפעילן בכיתתו, תוך כדי שמירת עבודתם על השרתים של WISE. השימוש בסביבה לצורך פיתוח מכוון לבניית מבניות בעלות אופי של חקר ולמידה שיתופית (Slotta & Linn, 2009; <http://wise.berkeley.edu>).

המבנית שפותחה במחקר זה כוללת חמש פעילויות WISE, בכל אחת כמה שלבים. כל פעילות נמשכת כ-2-5 שעות (בסך הכול כ-16 שעות למבנית כולה). המשימות בפעילויות אלה כוללות בעיות הלקוחות מחיי היום-יום של התלמידים, שכדי לפתור אותן הם צריכים להבין את הקשר בין נקודת המבט הפנימית – האופן שבו הירח נראה מכדור הארץ, לבין נקודת המבט החיצונית – המבנה המרחבי של השמש, כדור הארץ והירח בחלל (לדוגמה: איור 1). כדי לפתור את הבעיות הללו משתמשים התלמידים בשני עזרים ויזואליים: מודל פיזי (איור 2) ומודל ממוחשב (איור 3). המודל הפיזי נבנה על סמך עבודתם של נוסבוים ומועלם (נוסבוים ומועלם, 2002) והוא כולל כדור קלקר, חציו צבוע שחור וחציו השני לבן, המהווה את דגם הירח. תלמיד אחד מחזיק בדגם הירח ומסתובב סביב תלמיד שני, המהווה צופה מכדור הארץ. התלמיד הצופה מכדור הארץ יכול לראות כיצד נוצרים מופעי הירח מכדור שחציו מואר. המודל הממוחשב כולל שתי נקודות מבט מסונכרנות על המערכת שמש-כדור הארץ-ירח: אחת בניצב למישור המילקה (מישור הסיבוב של כדור הארץ סביב השמש) והשנייה במקביל אליו. רצף הפעילויות במבנית מסוכם באיור 4.

איור 1: דוגמה למשימה במבנית הכוללת בעיה הלקוחה מחיי היום-יום של התלמידים – סיפור רקע לחקירה של מופע רבע אחרון



איור 2: הנחיות לעבודה עם המודל הפיזי

הנחיות לעבודה עם המודל הפיזי

כדי לנצור לנגה ויבל למצוא את חצי השמאלי של הירח מואר, נשתמש תחילה במודל פיזי שיקודו לנו להבין מדוע אנו רואים מופעים שונים לירח בהביטם מכדור-הארץ. המודל הפיזי כולל כדור-הארץ המייצג את הירח ובו נעוץ קיסם. חצי צבוע שחור - והוא מייצג את הצד החשוך של הירח. וחצי צבוע לבן - והוא מייצג את הצד המואר של הירח. חלוקת הספקטים. תלמיד אחד או תלמידה אחת תפקידו ככדור-הארץ. התלמיד או התלמידה האחרים יחזיקו בדגם הירח. המטרה שלהם: לפצוא היכן צריכים לעמוד התלמיד או התלמידה המחזיקים בירח, על-פני שהתלמיד הנוסף מכדור-הארץ יוכל לראות את חצי השמאלי של הירח מואר (הצד השמאלי של הירח יהיה לבן). הסתדרו כפי שמתואר באיור:

שימו לב לנקודות הבאות:

- התלמיד או התלמידה המחזיקים את דגם הירח יסומבו סביב פי שמיים את האופק מכדור-הארץ (הם יסומבו נגד כיוון השעון. במציאות זהו גם הכיוון מתערב למדוד).
- החצי המואר של הירח חייב להיות מופנה כל הזמן לכיוון השמש (בבית, למשל, שזה כיוון החלון).

איור 3: נקודות למחשבה לעבודה עם המודל הממוחשב המודל הממוחשב מציג שתי נקודות מבט חיצוניות למערכת (מבט מהחלל): בניצב למישור סיבוב כדור הארץ סביב השמש ובמקביל למישור זה.

<http://wise.berkeley.edu> - WIS...

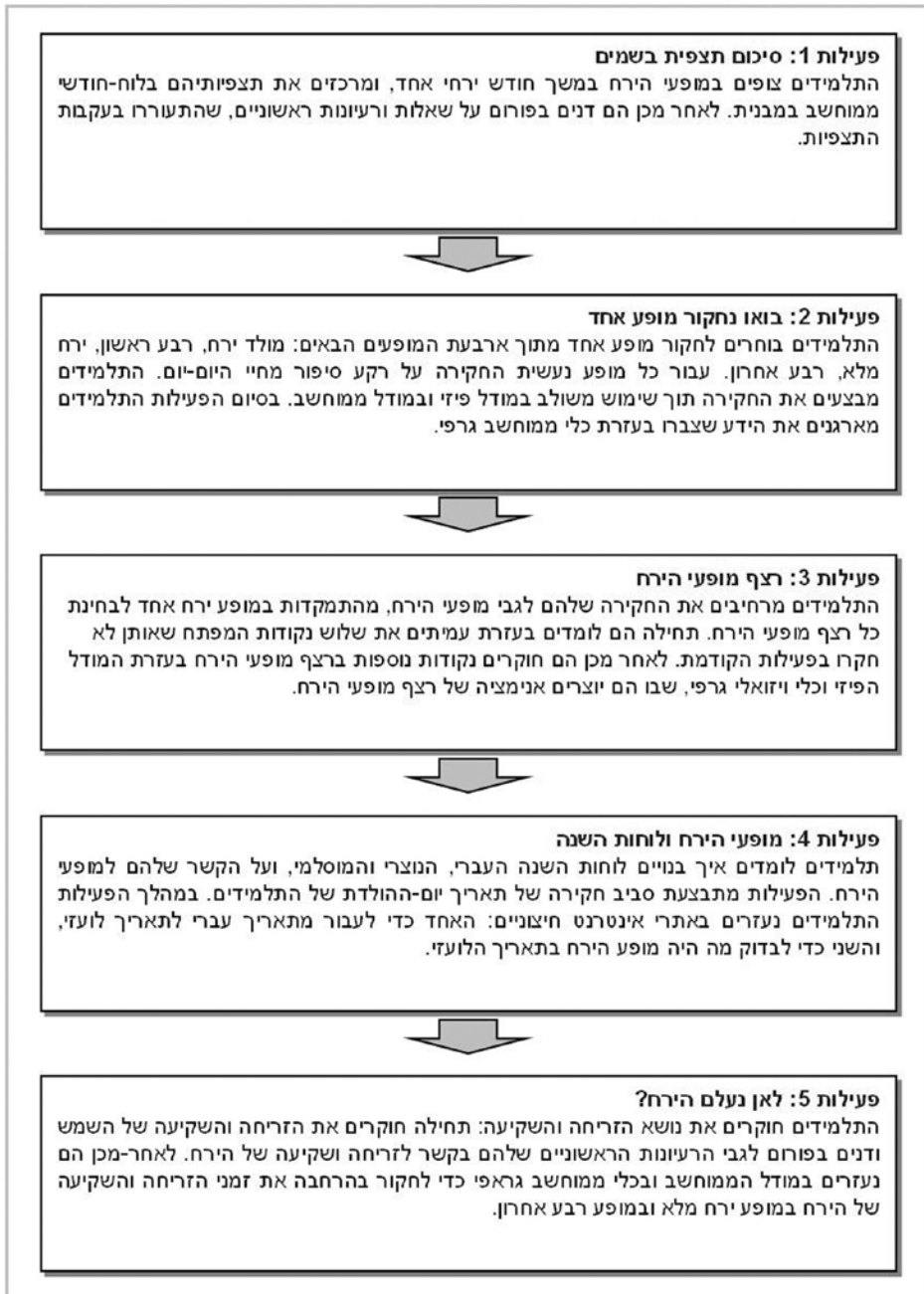
לפינים מספר נקודות למחשבה שיעזרו לנו להסתכל על פרטים חשובים, להבין את התמונה המוצגת במודל הממוחשב, ולדווק גם כשרואו ניצב וראית המערכת שמש - כדור הארץ - ירח בליה שמיטל נוסע מחפשות. כתבו תשובותיכם בחלון הריק (בתחתית עמוד זה).

(הקישו במקלות על המקשים הימניים Ctrl+Shift על-מנת ליישר לימין את הטקסט בחלון גו אתם סתמים את החשונה).

- זוהו את שלשת הגופים במודל הממוחשב (שמש, ירח, כדור-הארץ). אילו תנועות סיבוביות רואים במודל הממוחשב? אילו תנועות לא רואים?
- אילו מבין שלשת הגופים מאירים בעצמם, ואילו מאירים על-ידי גוף אחר?
- האם כל כדור-הארץ מואר במשך תנועתו? אם לא, איזה חלק של כדור-הארץ מואר במשך תנועתו? האם כל כדור הירח מואר במשך תנועתו? אם לא, איזה חלק של הירח מואר במשך תנועתו?
- מאיפה, לדעתכם, כדור-הארץ והירח נראים כפי ש"מצולם" בכל אחד מחלקי המודל הממוחשב (בחלון העליון ובחלון התחתון)? במילים אחרות: היכן היה צריך להציב את ה"מצלמה" כדי שידו את התמונות המוצגות?
- תצרו איך נראה הירח לטורף כל המסלול בשני חלקי המודל הממוחשב. האם התצורה עליו משתנה? האם ניתן לראות בשני חלקי המודל הממוחשב את מופעי הירח כפי שאתם מכירים אותם?
- החלק העליון והתחתון של המודל הממוחשב מציגים נקודות מבט שונות. נסו להבין את הקשר ביניהן. שימו לב, למשל, היכן נמצא הירח בחלון העליון של המודל הממוחשב. האם בחלון התחתון יאלו לראות אותו

התחל סיבוב

איור 4: תיאור רצף הפעילויות במבנית מופעי הירח



שיטות

ניתוח הנתונים נעשה תוך שימוש בפרדיגמה של הגישה המערבת, שמשלבת שיטות של ניתוח איכותני וניתוח כמותי (Guba & Lincoln, 2005; Morgan, 2007). גישה זו גורסת כי יש לנקוט גישה פרגמטית למחקר, כאשר שאלות המחקר מכתיבות את כלי המחקר, ולא להיפך. גישה זו מדגישה כי שילוב שיטות כמותיות ואיכותניות עשוי לתת תמונה מלאה יותר על התופעה הנחקרת.

המשתתפים במחקר

קבוצת המחקר כללה 183 תלמידי כיתות ז'–ט', שלמדו את המבנית עם מורים שהוכשרו לצורך העניין. כמו־כן נכללו במחקר שתי קבוצות ביקורת. קבוצת ביקורת אחת כללה 30 תלמידי כיתה ח', שלמדו באחד מבתי הספר מקבוצת המחקר. כיתה זו למדה את נושא האסטרונומיה בשיטת הוראה מסורתית. קבוצת ביקורת שנייה כללה 17 סטודנטים באחת המכללות לחינוך בארץ, שלמדו את נושא מופעי הירח במסגרת קורס מתוקשב באסטרונומיה, תוך שימוש במבנית במפגש אחד בן שעתיים. בנוסף הופעלה המבנית עם שמונה זוגות של תלמידים, שהתנדבו ללמוד אותה בבתיהם ושימשו כחקרי-מקרה במחקר (case-studies). הגילים שלהם (כיתות ו'–ח') היו דומים לגילים של תלמידי קבוצת המחקר. תלמידים אלו עבדו באופן עצמאי כאשר החוקרת הראשונה שימשה כמנחה, והתערבה אם ראתה כי התלמידים מתקשים, או כאשר הם ביקשו את עזרתה. הפעלות אלה, שארכו כארבע-חמש שעות כל אחת, הוקלטו בווידיאו לצורך הניתוח האיכותני.

ניתוח הנתונים

ניתוח כמותי: שאלון מופעי הירח ויכולות מרחביות

כדי להעריך את מידת הבנתם של התלמידים את נושא מופעי הירח, וכדי לבחון את הקשר בין הבנה זו לבין היכולת לעבור בין מערכות ייחוס בהקשר כללי, פיתחנו שאלון שכלל 20 שאלות, שאפשר לחלקן לשלושה תת-שאלונים: (א) פתרון בעיות בנושא מופעי הירח (7 שאלות): שאלות הדורשות הבנה מלאה של הקשר בין המיקום היחסי של השמש, כדור הארץ והירח במבט-על מהחלל לבין מופע הירח הנראה מכדור הארץ (לדוגמה: איור 5).

איור 5: דוגמה לשאלה מתת-שאלון א' של שאלון מקדים ומסכם – פתרון בעיות בנושא מופעי הירח

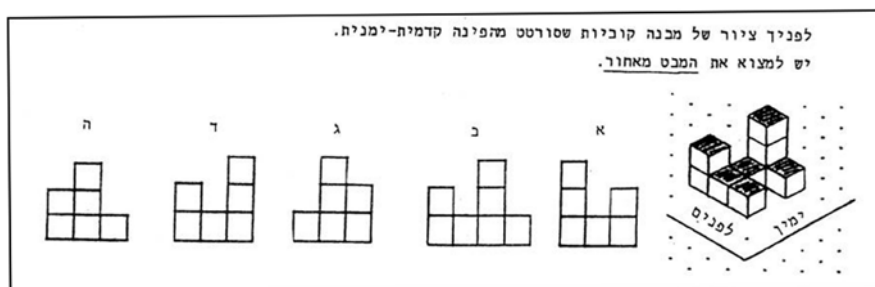
שאלה 5:
האיור הבא מתאר מבט-על מהחלל על השמש, כדור-הארץ והירח:

דמיינו שאתם עומדים על כדור-הארץ במקום שניתן לראות ממנו את הירח. מה יהיה מופע הירח שתראו מכדור-הארץ? (בחרו את התמונה הנכונה היחידה מבין התמונות הבאות):

ב) פתרון בעיות בנושא זריחה ושקיעה של הירח (6 שאלות): שאלות הדורשות הבנה של מיקום הירח בכיפת השמים של הצופה כאשר נתון מבט-על מהחלל על המערכת שמש-כדור הארץ-ירח.

ג) פתרון בעיות בנושא יכולות מרחביות בהקשר כללי – מעבר בין מערכות ייחוס (6 שאלות): שאלות הדורשות הבנה של המראה של מבנה קוביות מנקודות מבט שונות (לדוגמה: איור 6). שאלות אלה נלקחו מתוך מבחן ויזואליזציה מרחבית לתלמידי חטיבת ביניים שפותח על ידי בן-חיים, לפאן והואנג (Ben-Chaim, Lappan & Houang, 1986).

איור 6: דוגמה לשאלה מתת-שאלון ג' של שאלון מקדים ומסכם – פתרון בעיות בנושא יכולות מרחביות בהקשר כללי – מעבר בין מערכות ייחוס (Ben-Chaim et al., 1986)



השאלונים ניתנו לתלמידים בכל אחת מהקבוצות כשבוע לפני תחילת העבודה עם המבנית (שאלוני ה-Pre), וכשבוע לאחר סיום העבודה עמה (שאלוני ה-Post). (הפעלת המבנית ארכה בין חודשיים לשלושה חודשים) סטטיסטיקה תיאורית של הציונים בשאלון המקדים של קבוצת המחקר בכל אחד מהתת-שאלונים ובשאלון כולו הראתה, שהציונים אינם מתפלגים התפלגות נורמלית. לפיכך, כדי להשוות בין הישגי התלמידים בשאלוני ה-Pre וה-Post היה צורך להשתמש במבחן אי-פרמטרי (מבחן Wilcoxon).

ניתוח איכותני: מיקרו-אנליזה של סרטי וידיאו

קלטות הווידאו המתעדות את האינטראקציה של שמונת זוגות התלמידים, ששימשו כחקרי-המקרה עם המבנית, נותחו באופן איכותני מעמיק, ואיפשרו לנו ללמוד על התהליך שבו התלמידים פיתחו את ההבנה שלהם והתפיסה המרחבית שלהם בהקשר למופעי הירח. ניתוח הנתונים נעשה בשיטה של מיקרו-אנליזה של סרטי וידיאו (Pea, 2006). ראשית תומללה כל קלטת (כארבע וחצי שעות הקלטה) באופן חלקי, ומתוכה תומללו אפיזודות מסוימות באופן מלא. כל הווידאו חולק למקטעים, כל אחד באורך של כמה דקות, על-פי אפיזודות למידה (למשל, אפיזודת למידה הייתה יכולה להיות דיון של התלמידים לגבי פתרון בעיה במבנית). בשלב הבא, ניתנה פרשנות לאפיזודות לפי סדר הופעתן. כל פרשנות נבחנה מחדש בניתוח האפיזודות הבאות, ולעתים נשללה פרשנות שניתנה בתחילה בעקבות אפיזודה שבאה אחריה. במקרה כזה, חזרנו אחורנית והתחלנו את הפרשנות מהתחלה. תהליך זה נעשה על ידי שלושת כותבי פרק זה במשותף עבור כמה אפיזודות בודדות, כדי להגיע להסכמה לגבי אופן הניתוח. לאחר מכן נערך הניתוח על ידי הכותבת הראשונה של הפרק, כאשר תיקוף הממצאים נעשה באמצעות תיקוף בין-שופטי של שני הכותבים הנוספים עבור כ-50% מהמקרים, שנבחרו באופן אקראי. בכל המקרים ההסכמה בין השופטים הייתה 95% ומעלה.

ממצאים

ממצאי הניתוח הכמותי

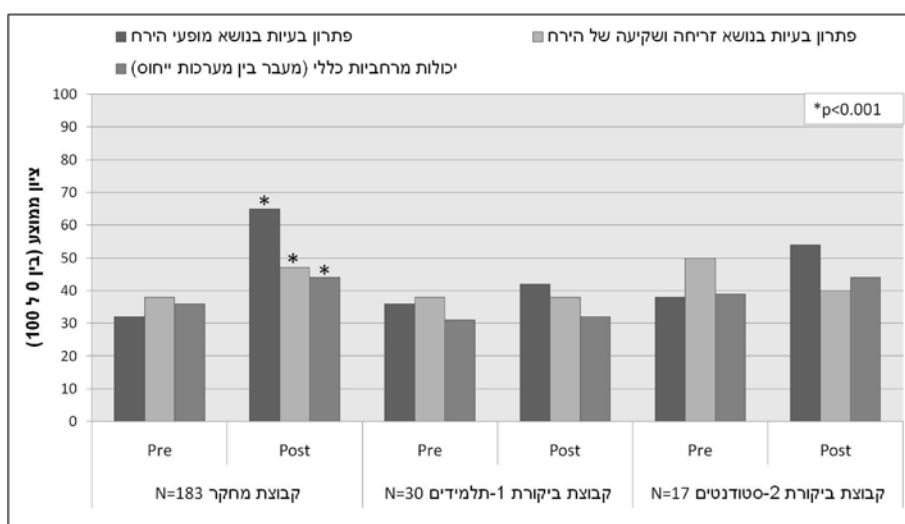
איור 7 מציג את ממוצעי הציונים של קבוצת המחקר ושתי קבוצות הביקורת בכל אחד מהתת-שאלונים בשאלון המקדים ובשאלון המסכם. ההשוואה הסטטיסטית העלתה כי השיפור שחל בכל אחד מהתת-שאלונים אצל תלמידי קבוצת המחקר הינו ניכר ומובהק ($p < 0.001$). לעומת זאת, השיפור שחל בציונים של שתי קבוצות הביקורת בכל התת-שאלונים היה קטן יותר, ואף שלילי בקבוצת ביקורת 2 בתת-שאלון זריחה ושקיעה, וממילא לא מובהק. ייתכן שחוסר המובהקות אצל קבוצות הביקורת נובע מכך, שהן קבוצות קטנות יחסית. עם זאת, השוואה איכותנית בין קבוצת המחקר וקבוצות הביקורת מעלה ממצאים חשובים. השוואה של ממצאי קבוצת המחקר עם ממצאי קבוצת הביקורת הראשונה (תלמידי כיתה ח'), מראה כי ההבדלים בין ציוני השאלון המקדים והשאלון המסכם הינם גדולים בהרבה אצל קבוצת המחקר מאשר אצל קבוצת הביקורת. ממצא זה מעיד על כך, שחלק ניכר מההבדלים שנמצאו בקבוצת המחקר קשורים ישירות בעבודה שלהם עם המבנית ולא בהתנסויות אחרות, שייתכן שתלמידים עוברים בתקופה זו (אחרת, היינו מוצאים הבדלים כאלו גם אצל קבוצת הביקורת הראשונה). כלומר, בעקבות העבודה עם המבנית המתוקשבת, תלמידי קבוצת המחקר לא רק שיפרו את היכולת שלהם לפתור בעיות הדורשות מעבר בין מערכות ייחוס בהקשר של מופעי הירח, אלא גם פיתחו את היכולת הכללית שלהם לפתור בעיות מרחביות הדורשות מעברים שכאלו.

השוואה של ממצאי קבוצת המחקר עם ממצאי קבוצת הביקורת השנייה (סטודנטים לחינוך במכללה) מראה שני דברים נוספים: (א) לא קיימים הבדלים גדולים בין הציונים של הסטודנטים במכללה לבין הציונים של תלמידי קבוצת המחקר בשאלון המקדים, למעט בתת-שאלון "פתרון בעיות בנושא זריחה ושקיעה של הירח" (בו תלמידי המכללה השיגו ציונים גבוהים יותר בשאלון המקדים). העובדה שהסטודנטים הלומדים במכללה הגיעו להישגים דומים לאלו של תלמידי בתי הספר בשאלון המקדים מראה, שהיכולת להבין את תופעת מופעי הירח והיכולת לפתור בעיות מרחביות כלליות בנושא מעבר בין מערכות ייחוס אינן עולות עם הגיל באופן אוטומטי. כפי שמעידים מחקרים נוספים (לדוגמה: Hsi, Linn, 1999; Barnea & Dori, 1999; Bell, 1997; Kali et al., 1997), היכולת לפתור בעיות הדורשות יכולות מרחביות ניתנת לשיפור כתוצאה מהתנסויות מתאימות, ולכן היא תלויית התנסות ולא תלויית גיל. (ב) ההבדל בין ציוני השאלון המקדים והשאלון המסכם בתת-שאלון "פתרון בעיות בנושא מופעי הירח" היה גדול בהרבה אצל תלמידי קבוצת המחקר (דלתא של 33 אצל תלמידי קבוצת המחקר לעומת דלתא של 16 אצל הסטודנטים). העובדה שהסטודנטים של המכללה, שלמדו קורס שלם באסטרונומיה שכלל רק מפגש אחד בן שעתיים עם המבנית, שיפרו את הישגיהם במידה פחותה מזו של תלמידי קבוצת

המחקר בתת-שאלון "פתרון בעיות בנושא מופעי הירח", מעידה על כך שהשימוש במבנית המתוקשבת הוא יעיל במיוחד להוראת הנושא.

עם זאת, יש לציין כי הציונים בשאלון המסכם בשני התת-שאלונים העוסקים במופעי הירח (תת-שאלונים א' ו-ב'), ובמיוחד בנושא שקיעה וזריחה של הירח, גם אצל קבוצת המחקר אינם גבוהים, דבר המעיד על המורכבות של הנושא. כדי להבין לעומק את המורכבות הזאת, ואת האופן שבו הטכנולוגיה יכולה לעזור לתלמידים להתמודד עמה, נציג עתה את הממצאים מהניתוח האיכותני.

איור 7: השוואה בין הציונים בשאלון המקדים והמסכם עבור קבוצת המחקר, קבוצת ביקורת 1 וקבוצת ביקורת 2



ממצאי הניתוח האיכותני

התפתחות ההבנה של תופעת מופעי הירח

ניתוח איכותני של תהליך הלמידה של שמונת חקרי-המקרה העלה, שהתלמידים פיתחו את ההבנה שלהם לגבי תופעת מופעי הירח באמצעות המבנית בתהליך, שכלל התקדמות ב"קפיצות" בין ארבע רמות הבנה (טבלה 1).

טבלה 1: רמות בהתפתחות ההבנה של תופעת מופעי הירח באמצעות הלמידה עם המבנית, כפי שעלו משמונת חקרי-המקרה

רמה בתהליך התפתחות ההבנה	פירוט
1 הבנה של נקודת מבט פנימית בלבד	הבנה כיצד נוצרים מופעי הירח מכדור שחציו תמיד מואר
2 הבנה כי קיים קשר בין מבט חיצוני למבט פנימי	הבנה שבמעבר ממבט חיצוני למבט פנימי מראה הירח יהיה שונה: הבנה שהירח יכול להיות מואר בחציו לכל אורך מסלולו, בעוד שמכדור הארץ הוא יראה במופעים שונים
3 הבנה מלאה של הקשר בין מבט חיצוני למבט פנימי	הבנה של הקשר בין המיקום היחסי של השמש, כדור הארץ והירח בחלל לבין מופע הירח הנראה מכדור הארץ. הבנה זו דורשת להביא בחשבון פרטים רבים: (א) מהו המיקום היחסי של השמש, כדור הארץ והירח עבור מופע מסוים הנראה מכדור הארץ; (ב) מהו הכיוון של הצד המואר של כדור הארץ; (ג) מהו הכיוון של הצד המואר של הירח במבט מהחלל; (ד) מהו מופע הירח הנראה מכדור הארץ; (ה) ההשפעה של הממדים העצומים שבהם מתרחשת התופעה
4 הבנה מלאה של תופעת הזריחה והשקיעה של הירח	הבנה באיזה חלק של היממה אפשר לראות את הירח. לצורך כך יש לחבר כמה פרטים: (א) מאיזה אזור על כדור הארץ אפשר לראות את הירח במופע מסוים; (ב) כיצד סיבוב כדור הארץ סביב צירו משפיע על האופן שבו הצופים רואים את הירח, או על מיקום הירח בכיפת השמים של הצופה. זו יכולת לעבור לנקודת מבט פנימית, אך הפעם על תמונה דינמית ולא סטטית; (ג) תנועה יחסית: סיבוב הירח סביב כדור הארץ הוא זניח ביחס לסיבוב כדור הארץ סביב צירו; (ד) כיצד השינוי במיקום הירח משנה את החלק ביממה שבו אפשר לראות את הירח עבור כל מופע; (ה) ההשפעה של הממדים העצומים שבהם מתרחשת התופעה

איור 8 כולל תיאור של התפתחות ההבנה במהלך הלמידה של שמונת זוגות התלמידים בחקרי-המקרה (בסעיף הבא נתאר בפירוט שתי אפיזודות של מעברי רמות

מחקרי-המקרה הללו). כפי שאפשר לראות, ההבנה של נקודת המבט הגיאוצנטרית (רמה 1) מתרחשת יחסית מהר. מיד כאשר התלמידים עובדים עם המודל הפיזי, הם מבינים כיצד רואים מכדור הארץ את מופעי הירח כאשר הירח שחציו מואר מסתובב סביב כדור הארץ. לעומת זאת, הבנה מלאה של הקשר בין נקודות המבט (רמה 3) מתרחשת בתהליך אטי יותר, והיא מתפתחת כאשר התלמידים עובדים עם המודל הממוחשב בשילוב עם המודל הפיזי, ועושים מעברים של הלוך ושוב בין שני המודלים (ובכך, בין מערכות הייחוס הפנימית והחיצונית). לזוגות שונים של תלמידים נדרש מספר שונה של התנסויות עד להגעה להבנה יציבה.

לדוגמה, כפי שאפשר לראות באיור 8, הזוגות ל' ו-נ', ו-מ' ו-ע', הגיעו לרמה 3 כבר לאחר המשימה הראשונה, שבה הם נדרשו למצוא את הקשר בין נקודת המבט הפנימית לנקודת המבט החיצונית ("בואו נצייר את הירח"). בהמשך, הצליחו את המשימה "רצף מופעי הירח", והבנה זו נשארה אצלם יציבה לאורך כל הלמידה עם המבנית. לעומת זאת, ש' ו-א', א' ו-א', ו-י' ו-מ', הצליחו גם הם את המשימה הראשונה "בואו נצייר את הירח", אבל הבנה זו לא הייתה יציבה והם הזדקקו להתנסויות נוספות כדי להבין את הקשר בין המבט הפנימי למבט החיצוני עבור מופע הירח שהם בחרו ועבור מופעי ירח נוספים. לעומת זאת, ר' ו-ט', ו-א' ו-י', לא הצליחו את המשימה "בואו נצייר את הירח", ולכן נשארו ברמה 1 עד שנעזרו בהנחיה של החוקרת לחזור ולהשתמש שוב במודל הפיזי, ורק לאחר מכן הם הבינו את הקשר בין המבט הפנימי למבט החיצוני עבור המופע שהם בחרו וגם עבור מופעים אחרים (לכן הקפיצה אצלם לרמה 3 היא חדה יותר).

רמה 4 היא כאמור מורכבת יותר, ולכן הפעילות בנויה באופן הדרגתי, כך שרק בשני הצעדים האחרונים ("מתי ניתן לראות את הירח המלא?", "מתי ניתן לראות את הירח במופע רבע אחרון?") דרושה הבנה מלאה של זריחה ושקיעה של הירח. לכן אפשר לראות בגרף שהתלמידים שהגיעו לרמה 4 הגיעו אליה רק בצעד האחרון של הפעילות על זריחה ושקיעה של הירח, וזוג אחד של תלמידות (י' ו-מ') הגיע לרמה 4 צעד אחד לפני כן. אפשר לראות, כי על אף שהפעילות בנויה נדבך-נדבך, יש תלמידים שלא הגיעו לרמה 4. עוד אפשר לראות באיור, ששבעה זוגות תלמידים מתוך שמונת חקרי-המקרה מדלגים על הרמה השנייה, כלומר, הרמה השנייה (הבנה כי הירח צריך להיראות שונה כאשר מסתכלים עליו במבט מהחלל או במבט מכדור הארץ) ברורה להם, והם אינם צריכים לעבור תהליך כדי לבסס הבנה זו. תלמידים אלו עוברים ישירות מרמה 1 לרמה 3, ובתהליך הלמידה שלהם אפשר לראות בדרך החשיבה שלהם, שהם מבינים את רמה 2.

להלן נציג שתי אפיוזודות מחקרי-המקרה, המתארות את ההתפתחות בהבנה, ואת המעבר בין הרמות שתיארנו למעלה. האפיוזודות ממחישות את תהליך הלמידה ואת האופן שבו מתפתחת הבנתם של התלמידים את תופעת מופעי הירח תוך כדי אינטראקציה עם המבנית שפיתחנו, ובמיוחד עם שני המודלים שבה.

תיאור המעברים בין רמות ההבנה של מופעי הירח

תיאור המעבר מרמה 1 לרמה 2

נ' ו-ר' בחרו לחקור מופע של מולד ירח. הם החלו את החקירה תוך שימוש במודל הפיזי, הצליחו להבין כיצד נוצרים מופעי הירח, ומצאו בעזרתו מה המיקום היחסי של השמש, כדור הארץ והירח במופע של מולד ירח. בהמשך הם עברו לעבוד עם המודל הממוחשב. הם קיבלו משימה לעצור את המודל הממוחשב בנקודה המתאימה למולד ירח, ועצרו אותו במצב המתאים לירח מלא. לאחר מכן הם עברו לענות על ה"נקודות למחשבה" – המהוות "פיגומים" (scaffolds) במבנית, שמטרתן לעזור לתלמידים לבצע תצפית נכונה על המערכת שמש-כדור הארץ-ירח מנקודת מבט חיצונית (איור 3). בדוגמה כאן, נ' ו-ר' מנסים לענות על השאלה השלישית, "האם כל הירח מואר במשך תנועתו?" שאלה זו באה למקד את הלומדים בתצפית שהירח מואר בחציו לאורך כל מסלולו.

ר': ... חצי. אותו דבר (מתכוונת אותו דבר כמו כדור הארץ)...

נ': אבל את טועה... הנה, חכי שנייה (מסתכל על המודל הממוחשב, ועוצר אותו בנקודה שמתאימה לירח מלא). 'סתכלי למעלה (מצביע על התמונה העליונה של המודל הממוחשב שמתארת את מבט-העל). הוא מואר? זה מה שעשינו שם (מצביע לחדר בו הם עבדו עם המודל הפיזי). כשהירח חשוך לגמרי. כשלא רואים אותו, החלק הזה לפחות (מסמן עם המצביע של העכבר על החלק החשוך של כדור הארץ).

ר': (חושבת) נכון...

נ' מבין שמנקודות מבט שונות הירח נראה אחרת. הוא מנסה מיד לקשור בין המבט החיצוני למבט הפנימי, אולם הוא אינו מבצע את הקשר בצורה נכונה (הוא עוצר את המודל הממוחשב במצב של ירח מלא ואומר שלא רואים את הירח מכדור הארץ). ייתכן שחלק מהקושי בקישור בין נקודות הייחוס הוא, שהתופעה מורכבת ודורשת תשומת לב להרבה פרטים: הצד המואר והחשוך של כדור הארץ; הצד המואר והחשוך של הירח; הצד של כדור הארץ ש"רואה את הירח"; איזה חלק של הצד המואר של הירח רואים מכדור הארץ. נראה שכרגע נ' מתמקד בעיקר בשאלה איפה על כדור הארץ רואים את הירח ולא איזה חלק של הירח מואר.

כדי לעזור להם, החוקרת מנחה אותם להתמקד בשלב זה רק במראה הירח המוצג במודל הממוחשב. זה מוביל את נ' לנסות ולקשר בין שני החלקים של הבעיה: איזה

חלק של כדור הארץ "רואה את הירח" (במילים שלו), ואיך הירח ייראה ממיקום זה. כלומר, נ' מבין שהוא צריך לעשות קישור בין שתי מערכות הייחוס וטוען ש"זה מסובך".

חוקרת: תסתכלו עכשיו רק על המודל הממוחשב... כמה מהירח מואר?
נ' ו-ר': (מסתכלים על המודל הממוחשב וחושבים) תמיד חצי.

...

חוקרת: ועכשיו תחזרו למודל הפיזי. גם שם תמיד חצי ירח מואר?
נ': תלוי מאיפה... הנה, למשל ככה (עוצר את המודל הממוחשב במצב שמתאים למופע שבין רבע ראשון לירח מלא), אלה שפה (מצביע על הצד החשוך של כדור הארץ) לא רואים את כל הירח, נכון?... אוי, אז בעצם... (חושב) אוי זה מסובך... אבל זה לא נראה לי הגיוני שתמיד חצי מואר.

נ' ו-ר' ממשיכים לבצע את התצפית במודל הממוחשב, ומתחילים להבין שבמבט החיצוני הירח מואר בחציו לאורך כל מסלולו, בעוד שבמבט הפנימי הירח ייראה כל פעם אחרת:

ר': אה! הבנתי (מדברת בהתלהבות), תמיד דרך החלל... נ', תקשיב, בחלל זה יהיה תמיד חצי מואר, אבל דרך כדור הארץ אנחנו נראה כאילו...
נ': זה מה שאמרת, שתמיד רואים חלק שונה אבל תמיד מואר חצי.
ר': אצלנו (מתכוונת למבט מכדור הארץ).
נ': (מהנהן) אצלנו, אמרתי, אצלנו תמיד רואים חלק אחר אבל תמיד מואר חצי.
ר': אז עכשיו תקשיב, במודל (מתכוונת למודל הפיזי) אנחנו עשינו איך רואים מכדור הארץ ולא איך זה נראה מהחלל.

אפשר לראות, שההבנה של נ' ו-ר' מתפתחת בשלבים, ושהם מגיעים לתובנה לאחר ההתערבות של החוקרת והתצפית הממוקדת במודל הממוחשב. בסיום הדיאלוג הזה גם ל-ר' וגם ל-נ' קיימת התובנה שהירח יכול להיות מואר בחציו לאורך כל מסלולו, ועם זאת להיראות אחרת במבט פנימי. התובנה הזאת מתבססת על הפעילות עם המודל הפיזי שהם כל הזמן מזכירים, "כמו שעשינו שם".

אף שהשאלה שהייתה אמורה להוביל את נ' ו-ר' לעשות תצפית במודל הממוחשב היא מאוד פשוטה (תצפית לגבי כך שלאורך כל מסלולו הירח כל הזמן מואר בחציו), היה להם קשה לעשות את התצפית. נראה שהקושי נובע מכך שהם (נראה שבמיוחד נ') אינם מתרכזים בתצפית הפשוטה, אלא מנסים כבר לעשות קישור בין שני המבטים – המבט הפנימי שאותו הם ראו עם המודל הפיזי, והמבט החיצוני המומחש באמצעות המודל הממוחשב.

כלומר, המעבר בין המודלים הינו קריטי להבנה; הוא יוצר באופן טבעי צורך להבין את הקשר ביניהם, ואת הקשר בין המבט הפנימי והחיצוני. מצד שני, הקישור הזה הוא מורכב מאוד, ומפריע לתלמידים להתרכז בשאלות, שמובילות אותם להבין מה הם רואים. למורה יש תפקיד קריטי לעזור לתלמידים להתרכז בשאלות שמנחות אותם לעשות תצפיות במבט החיצוני במודל הממוחשב, ולעודד דיאלוג ביניהם. ברגע שהתלמידים התרכזו בשאלה לגבי איזה חלק של הירח מואר, היה להם קל יותר לעשות את התצפית. עבור נ' זה עזר לקבל תמונה מלאה יותר של המערכת: לא רק איזה צד של כדור הארץ "רואה את הירח", אלא גם איזה חלק של הירח מואר. התובנה הזאת איננה מייצגת יכולת מלאה לעבור בין שני המבטים (רמה 3 באיור 8), אבל היא שלב חשוב בהבנה.

תיאור המעבר מרמה 1 לרמה 3

י' ו-מ' בחרו לחקור מופע של רבע אחרון (איור 1). הן ביצעו את המשימה עם המודל הפיזי, הבינו את המבט הגיאוצנטרי, ומצאו בעזרת המודל הפיזי את המיקום היחסי של השמש, כדור הארץ והירח כאשר מופע הירח הנראה מכדור הארץ הוא רבע אחרון. בנוסף, הן הבינו מה ההבדל בין המיקום של הירח במופע רבע ראשון ובמופע רבע אחרון. החלק של חקר-המקרה המוצג כאן מתאר את השלב, שבו הן עברו למשימה "בואו נצייר את הירח", והוא ממחיש כיצד הן פיתחו במהלך פתרון המשימה את ההבנה שלהן את הקשר בין המבטים עבור מופע רבע אחרון.

הפרט הראשון ש-י' ו-מ' דואגות לייצג בתחילת הפתרון הוא, שהצד השמאלי של הירח יהיה מואר, וכן, שהירח ייראה מוטה מעט, כפי שהוא נראה באיור שמתאר את סיפור הרקע למשימה (איור 1). נראה כי י' ו-מ' מבינות את המשימה אבל לא מצליחות "להיפטר" מהצגת הירח כפי שהוא נראה במבט הפנימי, והן מנסות לייצג את מופע הירח הנראה מכדור הארץ במקום שבו הן אמורות לייצג את מבט-העל מהחלל. ברור כי בשלב זה י' ו-מ' נמצאות ברמת הבנה 1, הבנה של מבט גיאוצנטרי בלבד.

מ': זה הירח, נכון? (גוררת את הירח לחלון השמאלי של כלי הגרירה. הצד המואר של הירח, כפי שרואים על המסך, הוא הצד הימני)

י': כן, אבל הוא הפוך. (מתכוונת לכך שצריך שהצד השמאלי שלו יהיה מואר)

מ': כן, צריך לשובב אותו... (מסובבת את הירח כך שהצד המואר שלו, כפי שרואים על המסך, יהיה צד שמאל)

י': כן. אבל באיור מקודם (מתכוונת לאיור בסיפור הרקע, איור 1)... הוא היה קצת שוכב, לא? (מתכוונת לנטייה של הירח)

מ': א... זה אמור לשכב, לא? (מסובבת את הירח קצת, כך שהוא נראה נטוי. הצד המואר שלו כלפי מטה) הנה. כדור הארץ (גוררת את כדור הארץ לאזור הגרירה)... שמש (גוררת את השמש לאזור הגרירה)... (השמש נמצאת בצד ימין של החלון, הירח בצד שמאל וכדור הארץ ביניהם, הצד החשוך של כדור הארץ פונה אל השמש, והירח

קצת נטוי עם הצד המואר שלו כלפי מטה)... לא, אז צריך לסובב את כדור הארץ, כי השמש מאירה עליו (מסובבת את כדור הארץ כך שהצד המואר שלו יהיה לכיוון השמש). והנה הירח, הוא צריך להיות ככה (מזיזה את הירח כך שיהיה בקו ישר עם השמש וכדור הארץ, ומסובבת אותו, כך שהצד החשוך שלו פונה לשמש). נכון? י': כן.

בהמשך, כשהן מתקדמות בפתרון, י' חשה כי המיקום היחסי של שלושת הגופים אינו נכון, והיא מבקשת להזיז את הירח מעט, על אף שהיא מתקשה להסביר מדוע. נראה כי ההערה הזאת גורמת ל-מ' לחשוב מחדש על המיקום של הירח, והיא מזיזה אותו למיקום הנכון (אך עדיין לא באוריינטציה הנכונה – הצד המואר של הירח עדיין אינו פונה לשמש). כדי להסביר ל-י', מ' קמה ומציגה בעזרת המודל הפיזי את מה שלפני כן היא עשתה בחשיבה שלה: כיצד נראה המיקום היחסי של שלושת הגופים במודל הפיזי. י' טוענת שהיא מבינה, ובהמשך אפשר לראות חיזוק לכך. כאשר מ' חוזרת למחשב היא שמה לב שהאוריינטציה של הירח, כפי שהן ייצגו אותו במשימה, אינה נכונה; אפשר לראות כי היא מדמינת את עצמה עומדת על כדור הארץ בחלון המתאר את מבט-העל מהחלל, ו"בודקת" אם היא רואה את צדו השמאלי של הירח מואר. הבדיקה הזאת, כפי שאפשר לראות מהשיחה ביניהן, עוזרת לה לכוון את הצד המואר של הירח לכיוון הנכון. אפשר לראות כיצד המשא-ומתן על ההבנה גורם ל-מ' להדגים את החשיבה שלה ל-י', ועל ידי כך להבין יותר טוב את התופעה בעצמה. בנוסף אפשר לראות כי גם י' מבינה. ה"הבנת י" שלה מאוד משכנע כ"נקודת הארה".

מ': זה אמור להיות ככה, אבל? זה לא אמור להיות ככה? (מתייחסת לאוריינטציה, ומסובבת את הירח כך שהצד המואר שלו יהיה לצד שמאל כשמסתכלים על המסך, הצד החשוך שלו פונה אל השמש, כלומר, אוריינטציה הפוכה מזו של התשובה הנכונה).

י': כן, זה יותר הגיוני, אבל זה לא נראה כאילו...

מ': ... כי צריכים לראות את החצי השמאלי שלו, נגיד את מסתכלת מכדור הארץ (מסובבת את הראש שלה כדי לראות איך רואים את הירח מכדור הארץ בחלון המתאר את מבט-העל מהחלל), אני רואה את החצי ה... לא!!! (מתלהבת) הימני שלו אני רואה! (מסובבת את הירח כך שהצד המואר שלו יהיה מכוון לכיוון השמש – האוריינטציה הנכונה) זה צריך להיות ככה. י': לא...

מ': (מסבירה ל-י' על ידי כך שהיא קמה מהכיסא, עומדת עם הגב אל המסך ומכופפת את הראש כדי להדגים שהיא עומדת על כדור הארץ בחלון המתאר את מבט-העל מהחלל ומסתכלת לכיוון הירח) כי נגיד את מסתכלת מכדור הארץ, אז את צריכה לראות את החצי השמאלי, נכון?

י': אה!!! (מתלהבת), הבנתי, הבנתי... (מחייכת בשמחה) כן, הבנתי, זה ככה.

משימה זו הייתה המשימה הראשונה שבה י' ו-מ' נדרשו ליצור קשר בין נקודת המבט הפנימית לנקודת המבט החיצונית. אפשר לראות כיצד החשיבה על המבט הפנימי השפיעה תחילה על ההבנה של י' ו-מ', ולאט לאט הן חיברו את הפרטים יחד והתקדמו בדרך לפתרון, תחילה תוך התייחסות רק לאחד הפרטים – המיקום היחסי של השמש, כדור הארץ והירח, ולאחר מכן בהתייחסות לפרט נוסף – האוריינטציה של הצד המואר של הירח. המודל הפיזי והכלי הגרפי (כלי הגרירה למופע ירח אחד) שימשו כלים למשא ומתן על החשיבה ולהבניה של ידע שיתופי. אפשר לראות באופן בולט שההחצנה של החשיבה של י' ושל מ' קידמה הן את ההבנה של מ' והן את ההבנה של י'. העובדה ש-י' ו-מ' היו צריכות להחצין את החשיבה ולהסביר זו לזו דברים, גרמה לכך שהן נעזרו במודל הפיזי ובכלי הגרפי הממוחשב כדי להזגים את החשיבה שלהן לגבי דברים, שאחרת הן היו עושות רק בחשיבה. מ' ו-י' נעזרו בכלים אלו כדי לעשות מעברים חוזרים ונשנים מנקודת מבט גיאוצנטרית (המומחשת באמצעות המודל הפיזי) לנקודת מבט חיצונית (מבט-על מהחלל, שמומחש באמצעות הכלי הגרפי הממוחשב), ובדרך זו הבינו את הקשר בין שתי נקודות המבט עבור מופע של רבע אחרון.

הרצון של י' ו-מ' לראות את המבט הפנימי בתוך המבט החיצוני מיסך גם על המודעות שלהן לכך, שהירח יכול להיראות שונה מנקודת מבט חיצונית ומנקודת מבט פנימית (רמת הבנה 2), ולכן בתחילת הפתרון הן היו עדיין ברמת הבנה 1. המודעות הזאת התפתחה יחד עם ההבנה של הקשר בין המבטים (רמת הבנה 3). ייתכן שההבנה הזאת הייתה קיימת אצלן, והיא לא היוותה שלב מקדים בדרך להבנה של רמה 3 כפי שהיא הייתה בחקר-המקרה של נ' ו-ר'.

עוד אפשר לראות בדוגמה זו, שההבנה של י' ושל מ' התפתחה בקצב שונה במהלך פתרון המשימה, אבל הן סיימו את המשימה רק לאחר ששתיהן הבינו את הפתרון – הקשר בין נקודת המבט הפנימית לנקודת המבט החיצונית עבור מופע רבע אחרון, שאותו הן בחרו לחקור.

כפי שאפשר לראות באיור 6, ההתנסות הזאת לא הספיקה ל-י' ו-מ' כדי להבין באופן מלא את הקשר בין נקודת המבט הפנימית לנקודת המבט החיצונית (בשונה מ-ר' ו-ט', שאצלם ההבנה נשארה יציבה לאחר הפעילות), והבנה מלאה נרכשה רק לאחר שלבים נוספים.

דיון ומסקנות

הממצאים הכמותיים מראים, כאמור, שתלמידי קבוצת המחקר שיפרו, בעקבות הלמידה עם המבנית המתוקשבת, את היכולת שלהם לפתור בעיות הדורשות תפיסה

מרחבית של תופעת מופעי הירח, ואת היכולת המרחבית הכללית שלהם לפתור בעיות הדורשות מעבר בין מערכות ייחוס. כמו-כן, הם מצביעים על המורכבות הכרוכה בהבנה של נושא מופעי הירח בכלל, ונושא הזריחה והשקיעה של הירח בפרט. הממצאים האיכותניים שופכים אור על טיב המורכבות הזאת. כמו-כן הם מאפשרים להסביר את האופן, שבו התפתחה ההבנה של התלמידים בנושא. כפי שעולה מחקרי-המקרה, נראה כי כדי להבין את תופעת מופעי הירח במלואה, כולל זמני הזריחה והקיעה של הירח (רמת ההבנה הרביעית), יש לקחת בחשבון את כל הפרטים שיוצרים ביחד את התופעה.

אם נתייחס למורכבות הזאת במונחים של עומס קוגניטיבי, (Gerjets, Scheiter, 2002; Kirschner, & Catrambone, 2004), אפשר להסביר את הקושי בהבנת התופעה בכך, שהיא דורשת מהלומד להחזיק בזיכרון הקצר ולעבד בו-זמנית פרטים רבים: (א) מהו המיקום היחסי של השמש, כדור הארץ והירח עבור מופע מסוים הנראה מכדור הארץ; (ב) מהו הכיוון של הצד המואר של כדור הארץ; (ג) מהו הכיוון של הצד המואר של הירח במבט מהחלל; (ד) מהו מופע הירח הנראה מכדור הארץ; (ה) מהי ההשפעה של הממדים העצומים שבהם מתרחשת התופעה על האופן שבו אנו רואים אותה מכדור הארץ; (ו) כיצד משפיעה תנועת הירח סביב כדור הארץ ביחס לתנועת כדור הארץ סביב צירו על האופן שבו אנו רואים את התופעה מכדור הארץ; (ז) כיצד משפיע השינוי במיקום הירח סביב כדור הארץ על החלק ביממה שבו אפשר לראות את הירח עבור כל מופע? עיבוד כל הנתונים האלו בו-זמנית בזיכרון הקצר מהווה עומס קוגניטיבי עצום, במיוחד כאשר לתלמידים אין ידע קודם בתחום ואין מבני ידע, שיעזרו להם לבצע אינטגרציה של הידע החדש עם הידע הקיים.

המבנית בנויה מפעילויות ושלבים שמפרקים את הנושא לגורמים ובדרך זו היא עוזרת לתלמידים להבנות את הידע שלהם שלב אחר שלב. ניתוח תהליך הלמידה של שמונת חקרי-המקרה הראה, שהתלמידים שלמדו עם המבנית פיתחו את ההבנה שלהם בתהליך שכלל ארבע רמות הבונות זו על זו, כל רמה מוסיפה היבט נוסף של התופעה על הרמה הקודמת לה, והמעבר בין הרמות כולל התקדמות בקפיצות בהבנה, המהוות "נקודות הארה" עבור הלומדים. העובדה שכל שמונת זוגות התלמידים המתנדבים עברו את אותן הקפיצות בהבנה (למעט המעבר לרמה השנייה, שאותה זיהינו רק אצל זוג בודד), הינה מעניינת. המחקרים שנעשו עד כה בהוראת אסטרונומיה מתארים את ההבנה של התלמידים לאחר הלמידה, לרוב בעזרת ראיונות שלאחר הלמידה (לדוגמה: Barnett & Moran, 2002). ארבע הרמות שנמצאו במחקר זה מהוות חידוש משמעותי לגוף הידע בהוראת אסטרונומיה.

מחקרים רבים בנושא הוראת האסטרונומיה בוצעו כדי לבחון את ההשפעה של עזרים פיזיים או ממוחשבים על ההבנה של תלמידים לגבי תופעות בסיסיות באסטרונומיה (לדוגמה: Gazit, Yair & Chen, 2005; Baxter & Preece, 2000). במחקר הנוכחי נעשה שימוש משולב במודל פיזי ומודל ממוחשב. כל אחד מהמודלים מהווה ייצוג שונה של המערכת שמש-כדור הארץ-ירח, ומייצג את התופעה מנקודת מבט שונה,

פנימית או חיצונית. הספרות המחקרית מראה כי שימוש בריבוי ייצוגים בסביבות למידה ממוחשבות הוא דרך יעילה לעזור לתלמידים להבין תופעות מורכבות, ויש להם יתרון גדול יותר כאשר הם מקושרים זה לזה באופן דינמי ומסונכרנים (Kali & Linn, 2008). ממצאי המחקר הנוכחי מצביעים על כך שהחשיבות של שילוב המודל הפיזי והמודל הממוחשב היא קודם כל בכך, שהם המחישו שתי נקודות מבט שונות. במחקר זה היה חשוב דווקא לבחור את שני המודלים באופן כזה, שנקודת המבט הפנימית ונקודת המבט החיצונית לא תהיינה מקושרות, כדי שהתלמידים ימצאו את הקשר בין שתי נקודות המבט בעצמם. תהליך הלמידה שבו הם רכשו את הבנת הקשר בין נקודות המבט מראה, שהמעברים החוזרים ונשנים בין נקודות המבט היו משמעותיים בהבניית הידע.

יחד עם זאת, הממצאים מראים גם שקיים יתרון לכך, שדווקא המודל הפיזי מייצג את נקודת המבט הפנימית והמודל הממוחשב את נקודת המבט החיצונית. המודל הפיזי איפשר לתלמידים לראות את השלכה של הצורה התלת-ממדית של החלק המואר של הירח הפונה אל כדור הארץ על הצורה הדו-ממדית של מופע הירח הנראה מכדור הארץ. השלכה זו קשה להמחשה באמצעות המסך הדו-ממדי של המחשב. לעומת זאת, היתרון של המודל הממוחשב בהצגה של נקודת המבט החיצונית היה בכך, שהוא מציג שתי זוויות ראייה מסונכרנות. הקישור בין שתי נקודות מבט אלה איפשר לתלמידים לראות דברים, שאי אפשר לראות בהצגה של זווית ראייה חיצונית אחת. בנוסף, הדינמיות של המודל הממוחשב, והקלות שבה יכלו התלמידים לגרור את הגופים בכלים הגרפיים, עזרו להם להשתמש בכלים אלו כדי להחצין את החשיבה שלהם.

לבסוף, ניתוח תהליך הלמידה איפשר לנו לזהות את הגורמים, שאיפשרו לתלמידים להתמודד עם הקשיים שבהם הם נתקלו ולרכוש את התפיסה המרחבית של תופעת מופעי הירח: (א) פירוק הנושא לגורמים שיאפשרו לתלמידים להתמודד בכל שלב עם היבט אחד נוסף של התופעה, תוך כדי מתן אפשרות לחזור ולבסס את ההיבט הקודם ולקשור אותו להיבט החדש; (ב) מתן הנחיות תומכות לביצוע תצפית נכונה במודלים שמייצגים את נקודות המבט הפנימית והחיצונית. הנחיות אלה יכולות להיות בחומרי הלמידה עצמם, או להינתן על ידי המורה; (ג) מתן הנחיות תומכות לביצוע מעברים חוזרים ונשנים בין נקודות המבט הפנימית והחיצונית ולהבנת הקשר ביניהן; (ד) תמיכה בלמידת עמיתים ועידוד משא ומתן על ההבנה; (ה) תפקידו של המורה הוא קריטי בתהליך. המורה למעשה תומך בכל אחד מסעיפים א' עד ד' שלעיל.

המאפיינים של סביבת הלמידה, שעזרו לתלמידים לרכוש את ההבנה של תופעת מופעי הירח, הם משמעותיים מאוד ואנחנו מאמינים שהם יעזרו לתלמידים להתגבר גם על קשיים קוגניטיביים בלמידה של נושאים אחרים, הקשורים בתופעות בסיסיות באסטרונומיה, או נושאים אחרים שדורשים יכולות מרחביות. מעצבים של סביבות למידה צריכים להביא בחשבון מאפיינים אלו גם בתחומי תוכן מורכבים אחרים הדורשים יכולות מרחביות.

אחד הדברים שאפשר ללמוד מהמאפיינים של סביבת הלמידה שעליהם דנו לעיל הוא שהטכנולוגיה לבדה, על כל יתרונותיה, אינה יכולה לתמוך בלמידה. ראשית, השימוש בטכנולוגיה חייב להיות מלווה בהנחיות תומכות, שתעזורנה לתלמידים להפיק את מירב המידע הדרוש כדי להבין את הנושא. שנית, קיימת חשיבות רבה לתפקיד המורה בתמיכה בתהליך הלמידה, וכן לתפקיד של הלמידה השיתופית להבניית הידע. בנוסף, סביבת הלמידה שתוארה כללה שימוש במודל פיזי פשוט. חשוב להשתמש בהמחשות ממוחשבות רק במקרים שבהם יש להן ערך מוסף על פני המחשות פיזיות, ולזכור, שיש מקרים שבהם השילוב בין העזרים הממוחשבים לעזרים הפיזיים הוא בעל ערך רב.

מקורות

- מועלם, ר' (2002). **פיתוח והפעלה של יחידת הלימוד באסטרונומיה "כדור הארץ בחלל"**, ובדיקת השפעתה על הבנת "עונות השנה". חיבור לשם קבלת תואר "מוסמך במדעים", המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות.
- נוסבוים, י' ומועלם, ר' (2002). **כדור הארץ בחלל: פעילויות ומושגים**. המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות.
- פיאז'ה, ז' (1967). **תפיסת העולם של הילד**. תל-אביב: ספרית פועלים.
- Barab, S.A., Hay, K.E., Squire, K., Barnett, M., Schmidt, R., Karrigan, K., Yamagata-Lynch, L., & Johnson, C. (2000). Virtual solar system project: Learning through a technology-rich, inquiry-based, participatory learning environment. *Journal of Science Education and Technology*, 9(1), 7–25.
- Barnea, N., & Dori, Y.J. (1999). High-school chemistry students' performance and gender differences in a Computerized Molecular Modeling learning environment. *Journal of Science Education and Technology*, 8(4), 257–271.
- Barnett, M., & Morran, J. (2002). Addressing children's alternative frameworks of the Moon's phases and eclipses. *International Journal of Science Education*, 24(8), 79–859.
- Baxter, J.H., & Preece, P.F.W. (2000). A comparison of dome and computer planetaria in the teaching of astronomy. *Research in Science and Technological Education*, 18(1), 63–69.
- Bell, R.L., & Trundle, K.C. (2008). The use of a computer simulation to promote scientific conceptions of moon phases. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(3), 346–372.
- Ben-Chaim, D., Lappan, G., & Houang, R.T. (1986). Development and analysis of a spatial visualization test for middle school boys and girls. *Perceptual & Motor*

- Skills*, 63, 659–669.
- Callison, P.L., & Wright, E.L. (1993). *The effect of teaching strategies using models on Preservice elementary teachers' conceptions about Earth–Sun–Moon Relations*. a paper presented at the Annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Atlanta.
- Fanetti, T.M. (2001). *The relationships of scale concepts on college age students' misconceptions about the cause of the lunar phases*. Unpublished Thesis, Iowa State Univeristy, Ames, Iowa.
- Gazit, E., Yair, Y., & Chen, D. (2005). Emerging conceptual understanding of complex astronomical phenomena by using a virtual solar system. *The Journal of Science Education and Technology*, 14(5–6), 459–470.
- Gerjets, P., Scheiter, P., & Catrambone, R. (2004). Designing instructional examples to reduce intrinsic cognitive load: Molar versus modular presentation of solution procedures. *Instructional Sciences*, 32, 33–58.
- Guba, E., & Lincoln, Y. (2005). Paradigmatic controversies, contradictions and emerging confluence. In N. Denzin & Y. Lincoln. (Eds.), *Handbook of qualitative research* (3rd ed.) (pp. 191–215). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Hansen, J.A., Barnett, M., MaKinster, J.G., & Keating, T. (2004). The impact of three-dimensional computational modeling on student understanding of astronomy concepts: A quantitative analysis. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1365–1378.
- Hsi, S., Linn, M.C., & Bell, J.E. (1997). The role of spatial reasoning in engineering and the design of spatial instruction. *Journal of Engineering Education*, 86(2), 151–158.
- Kali, Y., Orion, N., & Mazur, E. (1997). Software for assisting high school students in the spatial perception of geological structures. *Journal of Geoscience Education*, 45, 10–21.
- Kali, Y., & Linn, M.C. (2008). Designing effective visualizations for elementary school science. *Elementary School Journal*, 109(2), 181–198.
- Krischner, P.A. (2002). Cognitive load theory: Implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning and Instruction*, 12(1), 1–10.
- McFie, J. (1973). Intellectual imbalance: A perceptual hypothesis. *British Journal of Social Clinical Psychology*, 12, 433–434.
- Morgan, D.L. (2007). Paradigms lost and pragmatism regained: Methodological implications of combining qualitative and quantitative methods. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(1), 48–76.
- Pea, R.D. (2006). Video-as-data and digital video manipulation techniques for

- transforming learning sciences research, education, and other cultural practices. In J. Weiss, J. Nolan, J. Hunsinger & P. Trifonas (Eds.), *The International Handbook of Virtual Learning Environments* (pp. 1321–1393). The Netherlands: Springer.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1956). *The child's conception of space*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Piaget, J. (1960). *The Psychology Of Intelligence*. Retrieved April 10, 2009 from <http://www.archive.org/details/psychologyofinte002598mbp>
- Piaget, J. (1970). *Structuralism*. New York, NY: Basic books.
- Slotta, J.D., & Linn, M.C. (2009). *WISE Science: Web-based inquiry in the classroom*. New York, NY: Teachers College Press.
- Stahly, L., Krockover, G.H., & Shepardson, D.P. (1999). Third grade students' ideas about the lunar phases. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(2), 159–177.
- Trumper, R. (2001). A cross-age study of junior high school students' conceptions of basic astronomy concepts. *International Journal of Science Education*, 23(11), 1111–1123.