



## התנסות קינסתטית וההבנה של מושג המהירות

שרה דרויאן

המחקר המוצג במאמר זה מנתח את הקושי בהוראת מושגים מדעיים ובוחר דרכים חילופיות לקידום הבנתם. המחקר מתמקד בקידום הבנתו של מושג המהירות ונערך בשני שלבים. בשלב אי נבדקה ההשפעה של פעילות גומלין חברתית-קוגניטיבית על הבנתו של מושג המהירות. ממצאי המחקר הנחו את עיצובו של שלב ב', שבו נבדקה השפעתה של התנסות קינסתטית על קידום הבנתו של המושג.

### הבעייתיות בהוראת מושגים מדעיים

מחקרים רבים, שבוצעו בשנים האחרונות בתחום הבנתם של מושגים מדעיים, מצביעים על קיומם המתמיד של מושגים טבעיים-יומיומיים (intuitive Concepts), (להלן אינטואיטיביים), המתפתחים באופן טבעי, אשר אינם תואמים את עקרונות המדע. המסקנה המשותפת, שאליה הגיעו החוקרים, קובעת, כי הוראת המדעים אינה מצליחה להשיג את היעד הניצב בפניה, שהוא גרימת שינוי בארגון החשיבה של הלומד. המחקרים פורשים קשת רחבה של ממצאים, המצביעים על כך שתלמידי תיכון, סטודנטים באוניברסיטאות ומבוגרים הטמיעו את הידע הפורמלי שלמדו בבית-הספר רק באופן חלקי, אם בכלל, וכאשר הם נדרשים להתמודד עם בעיות איכותיות, שאין בהן נתונים כמותיים, הם חוזרים להסתמך על הידע האינטואיטיבי, שאותו רכשו באופן טבעי במהלך התנסותם בעולם הפיזיקלי (Clement, 1982; Disessa, 1983; Driver, 1983; Gunstone & Watts, 1985; Watts, 1983).

הידע המדעי, הנלמד באופן שיטתי במסגרת פורמאלית, נדחק או נמחק, ואילו הידע האינטואיטיבי היומיומי חוזר לשלוט בתגובותיו של הפרט. שון (Schoen, 1982),

---

תאריכים: מהירות <מושג>; יחסים בינאישיים; למידה תפיסתית; מדעי הטבע, הוראתם; מטה-קוגניציה.

מציע הסבר לתופעה זו: **הידע הנלמד מאוחסן במדור נפרד, והוא מאופיין בשפה פורמלית**, שאין לה שימוש בפרשנות השוטפת של העולם. האחסון הנפרד נובע מאופיים ומדרך התפתחותם השונה של שני סוגי הידע: האחד, התפתחות של מושגים אינטואיטיביים המתרחשת בשל הצורך של הילד להבין את המציאות וליישב סתירות בין מקורות הידע השונים, והשני, לימוד מושגים מדעיים הנכפים על הילד מבחוץ. רכישת המושגים האינטואיטיביים היומיומיים נעשית **בתהליך הטמעה**, שהפרט אינו מודע לו, ואילו הקניית מושגים מדעיים היא **תהליך מכוון ומבוקר** על ידי אחרים (Russel, 1986). מושגים אינטואיטיביים נרכשים על ידי הילד **כאלמנטים בודדים**, שאותם הוא מרכיב באופן עצמאי, ואילו מושגים מדעיים מועברים לילד **כמערכות שלמות** (Pines & West, 1986). נראה, אם כן, כי הבעיה של אחסון נפרד נובעת מהעדר היכולת של הילד ליצור תיאום בין שני סוגי הידע, היומיומי והמדעי, וייתכן, כי מקורה של הבעיה הוא בהתייחסות הבלתי-נכונה של ההוראה אל מאגר המושגים היומיומיים, שאותו מביא עמו הילד לבית-הספר.

המושגים האינטואיטיביים של הילד עשויים להיות **מושגים-מוקדמים** (preconceptions). הווה אומר, הייצוג היומיומי של המושגים תואם במידה זו או אחרת את הייצוג המדעי שלהם, או **מושגים-מוטעים** (misconceptions), כאשר הייצוגים סותרים זה את זה. כך או כך, הייצוג היומיומי, שאותו מביא הילד לבית-הספר, הינו הבסיס ללמידת המושג המדעי, אך ההוראה נוטה להתעלם מידע זה, ולחתייחס אל הילד כאילו היה לוח חלק (Vygotsky, 1962). כאשר ההוראה מושתתת על תפיסה זו, לא ניתנת ללומד ההזדמנות לעמת או לאמת את הייצוג היומיומי של המושג עם הייצוג המדעי הנלמד, והשניים נתפסים על ידיו כשני תחומים נפרדים, שאין קשר ביניהם. ויגוצקי (Vygotsky, 1962) טוען, כי יש לתת לגייטימציה לידע היומיומי, וכי יש להביא אותו בחשבון בעת הוראת הייצוג המדעי של מושגים, לא רק כשלב מעבר הכרחי בדרך אל הייצוג המדעי "הנכון" של המושגים, אלא כבעל תרומה מכרעת לתהליך השלם של עיצוב המושג. רק אם הלומד מסוגל ליצור אינטגרציה של שני סוגי הייצוגים, היומיומי והמדעי, הוא עתיד לרכוש הבנה אמיתית של המושג ולשמור את הידע לאורך זמן.

רוב המחקרים, אשר בתנו את המושגים האינטואיטיביים, שיש לתלמידים אודות העולם, התמקדו בתחום המכניקה, ובמיוחד בקשר בין כוח ובין תנועה. שני חלקי המחקר שיוצגו להלן ביקשו לחשוף את הידע האינטואיטיבי, שיש לתלמידים אודות אחד המושגים הבסיסיים הקשורים לכוח ולתנועה, מושג **המהירות**, ולבחון את השפעתם של שתי דרכי התערבות על קידום הבנתו של המושג.

## התפתחות ההבנה של מושג המהירות

נציג תחילה את הגדרתו המדעית של מושג המהירות, ובמקביל נבחן את התפתחותו הטבעית של תפיסת המושג, כפי שנחשפה במחקרים הרבים שעסקו בכך.

### הייצוג המדעי של מושג המהירות

מושג המהירות המדעי מוגדר כשיעור השינוי במיקומו של גוף עם הזמן. מהגדרה כללית זו נגזרות שתי מסגרות התייחסות פורמאליות ספציפיות:

- ★ **מהירות קווית** (linear velocity), המוגדרת כשיעור השינוי במיקומו של גוף בתנועה קווית, ומבוטאת ביחידות אורך מחולקות בזמן;
- ★ **מהירות זוויתית** (rotational or angular velocity), המאפיינת תנועה סיבובית, ומוגדרת כשיעור של שינוי זווית הסיבוב של גוף מסתובב. מהירות זו ניתנת למדידה באמצעות מעלות, רדיאנים או סיבובים.

### הייצוג האינטואיטיבי של מושג המהירות

חוקרים שונים בדקו את ההתפתחות של תפיסת מושג המהירות אצל ילדים. רוב החוקרים השתמשו במטלות המציגות עצמים נעים **בתנועה קווית** (Piaget, 1970; Siegler & Richards, 1979) ומקצתם בעצמים נעים **בתנועה סיבובית** (Ehri & Muzio, 1974; Levin & Simons, 1986; Piaget, 1970).

### מושג המהירות הקווית

ראשיתו של המחקר בנושא התפתחות האופן שבו נתפס מושג המהירות, מיוחס לעבודותיו של פיאזיה (Piaget, 1970). מחקריו מתבססים בעיקר על מטלות המציגות תנועה קווית של שני גופים. לדוגמה: שתי רכבות נכנסות ויוצאות מבעד למנהרות מקבילות. המנהרות היו באורך שונה והרכבות נכנסו ויצאו בעת ובעונה אחת. הילדים התבקשו להשיב, האם הרכבות נסעו במהירות זהה או אחת מהן נסעה מהר יותר. פיאזיה מצא, כי בהתפתחות התפיסה של מושג המהירות ישנם שלושה שלבים מרכזיים: **השלב הראשון** בהתפתחות הוא **התפיסה האינטואיטיבית** הנמשך עד גיל שש-שנים. בשלב זה, הרמז העיקרי, שעל פיו משווים ילדים מהירות של שני גופים

הוא רמז העקיפה. גוף, אשר חלף על פני האחר או הגיע ראשון לנקודת הסיום, נתפס כגוף הנע מהר יותר, גם אם עבר בדרכו מרחק קצר יותר. **השלב השני** בהתפתחות הוא בגילים שש עד שבע שנים. בשלב זה ניתן לראות **מעבר הדרגתי מהאינטואיציה הראשונית לכיוון של התאמה**, המובילה לאינטגרציה של הזמן והמרחק שעברו הגופים. הילד מתחיל להבין, כי המרחק הרב יותר, שעובר אחד הגופים (באותו זמן), מרמז על העובדה שמהירות גוף זה גדולה יותר, גם אם לא התרחשה עקיפה. הילד תופס, כי בשוויון זמנים המהירות היא יחסית למרחק שעברו הגופים. תשומת הלב עוברת מנקודת הסיום של התנועה לנקודות ההתחלה והסיום גם יחד, ולבסוף למרחק שבין הנקודות. **השלב השלישי** בהתפתחות, המתגלה מגיל שבע שנים ואילך, הוא **שלב האופרציות הקונקרטיות**. בשלב זה ממשיגים הילדים את המהירות על ידי קישור בין הגורמים הנתונים של מרחק ושל זמן. נוצרים מבנים של סדר זמני וסדר מרחבי המותאמים זה לזה. מחקרים נוספים **הרחיבו וביססו את ממצאיו של פיאזיה** (Tanaka, 1971; Siegler & Richards, 1979; Acredolo & Schmid, 1981).

### מושג המהירות הסיבובית

דרך נוספת, שבה נחקרה ההתפתחות בתפיסת מושג המהירות היא על-ידי שימוש בגופים הנעים בתנועה סיבובית. במחקרים אלו הוצגו בפני הנבדקים גופים, הנעים במסלולים קונצנטריים (ברדיוסים שונים, אך במסלולים בעלי אותו מרכז). פיאזיה (1970) הציג בפני נבדקים שתי מכוניות הנעות במעגל, כאשר רדיוס הסיבוב של מכונית אחת כפול מזה של השנייה. פיאזיה טוען, כי מצב זה מציג בפני הנבדק קושי מיוחד, מכיון ששני הגופים נעים זה לצד זה באותו הזמן. פיאזיה ביקש לדעת, האם ייחסו הנבדקים מהירויות שונות לגופים השונים, אף על פי שגוף אחד לא חלף על פני האחר ומסלולי התנועה היו דומים זה לזה. כאשר ילד תופס את המהירות כיחס בין המרחק לבין הזמן, הוא קובע, כי הגוף החיצוני נע מהר יותר, מאחר שהגוף החיצוני עובר דרך ארוכה יותר באותו פרק זמן. תוצאות מחקריו אלו היו דומות לתוצאות מחקריו הקודמים. הנבדקים בשלב הראשון טענו, כי מהירויות הגופים זהות ובשלב השלישי (בין גיל שבע לתשע שנים) קבעו, כי מהירות הגוף החיצוני רבה יותר. בניסוי אחר הציג פיאזיה שתי בובות המחוברות למקל. המקל היה קבוע בקצהו האחד ונע בתנועה סיבובית, כך שקצהו השני יצר גזרה של 45 מעלות. בובה אחת הייתה מחוברת קרוב לקצה אחד של המקל והשנייה חוברה לקצה השני. פיאזיה מצא, כי בניסוי זה ניתן הפתרון הנכון (דהיינו, שהבובה החיצונית נעה מהר יותר) רק

בגיל אחת עשרה שנים, (שלב האופרציות הפורמליות), וכיון ההתפתחות בכל שלב מתמשכת לגיל מבוגר יותר מאשר במחקרים האחרים (Piaget, 1970).

פיאזיה והחוקרים האחרים השתמשו במחקריהם בהצגת גופים בעלי תנועה טבעית קווית (מכונית, רכבות, בובות), ולכן נטו לעקוב אחרי התפתחותו של מושג המהירות הקווית. אולם, נשאלת השאלה, כיצד יעריכו ילדים את מהירותם של גופים בעלי תנועה טבעית סיבובית, כמו מהירותו של תקליט.

ליין וגרדוש (Levin & Gardosh, 1990) השוו את תגובותיהם של נבדקים למהירותם של גופים בעלי תנועה טבעית קווית (מכונית ונמלה) לעומת גופים בעלי תנועה טבעית סיבובית (מיקסר ומקדחה). הנבדקים במחקר זה התבקשו להעריך את מהירותם של גופים אלו ולהסביר, כיצד ניתן לדעת מהי מהירותם. הממצאים הראו, כי פרופיל התגובות השכיח ביותר הוא הפרופיל המבחין בין תנועה קווית לבין תנועה סיבובית, ולפיו מהירות הגופים נקבעת על פי אופי התנועה של הגופים. מהירותם של גופים בעלי תנועה טבעית קווית נמדדת על-פי המרחק שהגוף עובר, ואילו מהירותם של עצמים בעלי תנועה טבעית סיבובית נמדדת על-פי מספר הסיבובים שמבצע הגוף.

המחקרים שנסקרו, מצביעים על התפתחותו של הידע האינטואיטיבי, התואם בחלקו להיבטים השונים של מושג המהירות המדעי. מחקרים אחרים, אשר השתמשו במטלות מסוג אחר, חושפים ידע אינטואיטיבי מוטעה, הקשור לחוקים האינטואיטיביים אודות כוח ותנועה.

### מושג המהירות המוטעה

החוקרים ארי ומוציו (Ehri & Muzio, 1974) ביקשו מסטודנטים להשוות מהירויות של שני סוסי-קרוסלה, הקבועים על גבי פלטפורמה מסתובבת, האחד במעגל הפנימי והאחר בחיצוני. רק כשליש מהסטודנטים הנשאלים השיבו נכון, שהסוס במעגל החיצוני מהיר יותר. האחרים השיבו, ששני הסוסים נעו במהירות שווה. ההסברים שסופקו היו כגון אלה: "הפלטפורמה היא הדבר היחיד שנע, לא הסוסים המחוברים אליה", או "קיים רק מנוע יחיד היוצר תנועה יחידה ולא שתי תנועות" (שם, 570). בשלב השני של המבחן הוצגו בפני הנבדקים שלוש שאלות נוספות במטרה לסייע

להם להתמקד בהיבטים הרלבנטיים של שאלת הקרוסלה: **בשאלה הראשונה** נדרשו הנבדקים **לשים לב להבדלים במרחק** שהסוסים עוברים; **בשאלה השנייה, לחשוב על סיטואציה אנלוגית** של ילדים הרצים במעגל; **בשאלה השלישית, לשקול את נוסחת המהירות**. בעקבות התגובות לבעיות אלו, התבקשו הנבדקים לחשוב שוב על תשובותיהם לשאלת הקרוסלה ולהחליט, האם הם עדיין חושבים שתשובתם נכונה או היו רוצים לשנות אותה. קרוב למחצית מהנבדקים, אשר ענו תחילה, כי הסוסים נעים במהירות שווה, שינו את דעתם וקבעו, שהסוס החיצוני נע מהר יותר. האחרים, למרות שהתייחסו נכון לשאלות המנחות, חשבו ששאלת הקרוסלה מעמידה מצב פיזיקלי שונה: "הילדים רצים, אך הסוסים אינם רצים". נראה כי הסבר זה מצביע על הקושי בתפיסה, הנגרם על ידי העובדה שהסוסים נחשבו כפסיביים, אשר אינם מניעים את עצמם.

ידע אינטואיטיבי מוטעה זה נמצא גם במחקרים, שעסקו בקשר בין כוח לבין תנועה. קלמנט (Clement, 1983) מצא, כי סטודנטים מבחינים בין שני סוגי תנועה. תנועה **אקטיבית** – תנועה של גופים הנדחפים או הנהדפים, ותנועה **פסיבית** – תנועה גופים, הנישאים על ידי גוף נע. על פי תגובות הסטודנטים ניתן היה להסיק, כי גוף בתנועה אקטיבית קיבל **דחף** (impetus), ולכן ימשיך לנוע בכיוון התנועה, ואילו גוף בתנועה פסיבית, לא קיבל דחף ולכן יעצור (אם נע על מישור אופקי), או יפול ישר מטה (אם נע במטוס, למשל). במחקר של ארי ומוציו (Ehri & Muzio, 1974) הסוסים הם פסיביים, ולכן תנועתם אינה אלא תנועת הפלטפורמה. הכוח המניע במקרה זה הוא כוח אחד, ועל פי החוק האינטואיטיבי, שלפיו שיעור התנועה של גוף תלוי בשיעור הכוח המופעל עליו, מהירותם של הסוסים זהה.

לויין, סיגלר ודרואן (Levin, Siegler & Druyan, 1990) ביקשו מנבדקים בסדרה של מטלות, להשוות את מהירותם של שני גופים. המטלות כללו תנועה סיבובית של **גופים נעים** ושל **גופים נישאים** (גופים בעלי תנועה עצמית וגופים חסרי תנועה עצמית, הנעים בעזרת גוף שלישי). ניתוח תגובותיהם של הנבדקים הצביע על הבחנה ברורה בין שני סוגי התנועה, אשר נבעה, לדעת החוקרים, מאינטואיציה, שלפיה לגוף אחד מהירות אחת. מאחר שתנועתם של גופים נישאים נזונה מתנועתו של הגוף הנושא, ומאחר שגוף זה הינו יחיד, **הרי שמהירותו אחת וכן גם מהירות הגופים הנישאים עליו**. אינטואיציה מוטעית זו יכולה אף היא להיות מוסברת באמצעות אותה מערכת אינטואיטיבית, הקושרת כוח לתנועה. לפי אותה מערכת, תנועתו של

גוף מעידה על הימצאותו של כוח, ושיעור התנועה של הגוף הינו פונקציה של שיעור הכוח המופעל עליו. מכאן יכולה לנבוע האינטואיציה, שלגוף אחד מהירות אחת.

לסיכום, הידע האינטואיטיבי אודות מושג המהירות כולל בתלקו **מושגים-מוקדמים** (preconceptions), התואמים את מושג המהירות המדעי, ובחלקו **מושגים-מוטעים** (misconceptions) המנוגדים לו. כדי להשיג הבנה מלאה של המושג יש לחשוף ידע זה בפני הלומד, ולאפשר לו עימות עם מושג המהירות המדעי כדי לאמת אותו.

### שלב א' של המחקר: פעילות-גומלין חברתית-קוגניטיבית

ייחודה של פעילות-הגומלין החברתית-קוגניטיבית כפעילות המעודדת למידה והתפתחות, מבוססת מצד אחד על **המחשבה החברתית** של ויגוצקי (1978), ומן הצד האחר על **ההנחות הביולוגיות** של פיאזיה (1954). ויגוצקי קובע, כי תהליך התפתחותם של התפקודים המנטליים הגבוהים מתבצע בשתי רמות. האחת, **ברמה החברתית**, דרך פעילות גומלין בין אנשים, ורק אחר-כך בתוך האדם, ברמה השנייה, **הפסיכולוגית**. פיאזיה, לעומתו, מדגיש את חשיבותו של מנגנון ה**ויסות הפנימי** בהתפתחות החשיבה, ורואה ב**קונפליקט הקוגניטיבי** כוח מניע ראשוני. שילובן של שתי העמדות מוצא את ביטויו בפעילות גומלין בין עמיתים. בדגם זה, קבוצה של עמיתים, בעלי עמדות שונות כלפי הבעיה, מתבקשים לשתף פעולה כדי להגיע לפתרון משותף. פעילות כזו, הדורשת מהמשתתפים לא רק לשכנע את עצמם באשר לפתרון הטוב ביותר, אלא גם לשכנע את החברים האחרים בקבוצה, מחייבת את הפרט לבנות מחדש את הידע ולהיות מודע לתהליכי החשיבה שלו ביחס לאלו של האחרים. תנאים אלו מתאימים להיווצרותו של קונפליקט קוגניטיבי יעיל, אשר עשוי להביא בעקבותיו את השינוי הקוגניטיבי המצופה. רוב המחקרים, אשר בחנו את השפעתו של דגם זה על קידום החשיבה, התמקדו ביכולת השימור ובתיאום בין פרספקטיבות מרחביות (Ames & Murray, 1982; Bearison, Magzamen & Filardo, 1986; Doise, 1978; Mugny & Perret-Clermont, 1975; Light & Glachan, 1985; Mugny & Doise, 1978).

בשלב א' של המחקר נבחנת השפעתה של פעילות-הגומלין על קידום הבנתו של מושג המהירות. פעילות גומלין חברתית-קוגניטיבית בין ארגוני חשיבה שונים אודות מושג המהירות, עשויה ליצור תנאים הולמים לחשיפת הידע האינטואיטיבי, שיש ללומד, ולסייע לו בגיבוש המושג המדעי על ייצוגיו השונים.

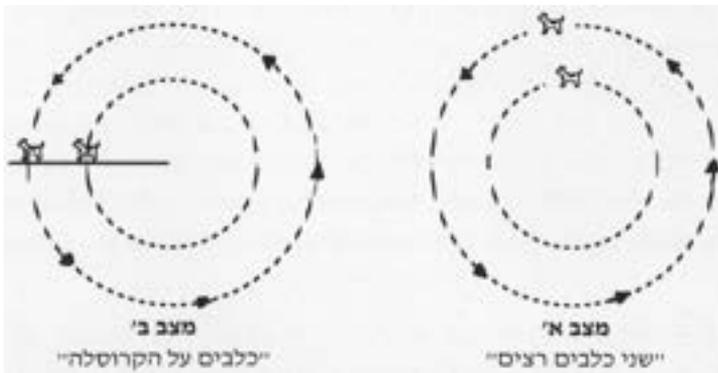
## שיטת המחקר: שלב א'

### הנבדקים

בשלב א' של המחקר השתתפו 360 נבדקים משלוש קבוצות גיל, תלמידי כיתות ו', ח' ו-י', שגילם נע מ-11 עד 17 שנים. הנבדקים היו מבית-הספר היסודי, מחטיבת הביניים ומהחטיבה העליונה בעיר כפר-סבא. כל הנבדקים היו בני מעמד סוציו-אקונומי בינוני עד גבוה. הרציונל לבחירת גילאים אלו מתבסס על תכנית הלימודים במתמטיקה הנהוגה ברוב בתי הספר, המציעה בסוף שנת הלימודים השישית (כיתה ו') עיסוק בבעיות חשבון הכוללות את המושגים זמן, מרחק, ומהירות. לפיכך, אוכלוסיה זו מאפשרת את בחינת הידע האינטואיטיבי, אשר טרם הושפע מידע פורמלי, את התפתחות הבנת מושג המהירות ויכולת יישומו ואת השמעתו של הידע הפורמלי בהתמודדות עם מצבי תנועה, החסרים נתונים מספריים.

### השאלות לנבדקים

על גבי צג מחשב הוצגו בפני הנבדקים שני מצבי תנועה, כאשר כל אחד מהם מורכב מתנועה סינכרונית של זוג עצמים. הנבדקים התבקשו לשפוט, האם שני העצמים נעים באותה המהירות או האם אחד מהם נע מהר יותר. כן נדרשו הנבדקים לנמק את שיפוטם.  
שני מצבי התנועה מוצגים באיור 1.



איור 1:  
מצבי התנועה

מצב א' – **שאלת הכלבים הרצים**: המצג מתאר שני כלבים רצים במקביל במעגלים קונצנטריים.

מצב ב' – **שאלת הקרוסלה**: המצג מתאר שני כלבים מעץ, הקבועים במיקום שונה על גבי מוט קרוסלה מסתובב (בהתאמה למיקומם של הכלבים הרצים במצב א').

ההתייחסות הפורמלית לשאלות אלו עשויה להיות משני סוגים: האחד, התייחסות למושג **המהירות הקווית** (הליניארית), שלפיה הכלב החיצוני נע מהר יותר, מאחר שהוא עובר מרחק רב יותר באותו פרק זמן. הסוג השני, התייחסות למושג **המהירות הזוויתית**, שלפיה הכלבים נעים במהירות זהה, מאחר שהם עוברים מרחק זוויתי שווה בזמן שווה.

ההתייחסות האינטואיטיבית למצבים אלו עשויה להתבטא בהצגת מושג אינטואיטיבי **מוקדם**, המבוסס על רמז העקיפה בשאלת הכלבים הרצים או בהצגת מושג אינטואיטיבי **מוטעה**, שלפיו לגוף אחד מהירות אחת, בשאלת הקרוסלה. בשני המקרים, על פי ההערכה האינטואיטיבית, תהיה התשובה שמהירות הגופים שווה. בשאלה הראשונה, מאחר שאין מתרחשת עקיפה, ובשאלה השנייה, מאחר שהם קבועים על מוט אחד בעל מהירות אחת.

## תהליך המחקר בשלב א'

המחקר כלל ארבעה שלבים:

א. שלב המדידה הקדם-טיפולית. בשלב זה הוצגו בכפי כל אחד מהנבדקים שני מצבי התנועה. על-פי שיפוטם מוינו הנבדקים לשלוש קבוצות דומות מבחינת ייצוג השיפוטים וההסברים למצבי התנועה: שתי קבוצות ניסוי וקבוצת ביקורת.

ב. שלב הטיפול. הנבדקים חולקו לשלוש קבוצות: שתי קבוצות ניסוי, האחת **פעילות-גומלין**, השנייה **בחירה** והשלישית קבוצת ביקורת.

1. קבוצת פעילות-הגומלין הורכבה מ-30 חבורות דיון, שבכל אחת מהן היו ארבעה נבדקים בני אותו גיל, שייצגו רמות הבנה שונות כלפי מושג המהירות. המשימה של חבורות הדיון הייתה לבחון מחדש כל אחד ממצבי התנועה, ולנסות להגיע לפתרון משותף.

2. קבוצת הבחירה. בפני כל אחד מ-120 הנבדקים, שהשתתפו בקבוצת טיפול זו הוצגו שוב מצבי התנועה, הפעם בליווי סדרת תגובות אפשריות, המבוססות על שיפוט זעל הנמקה. הנבדק התבקש לבחור בתגובה הנראית לו כנכונה ביותר. בדרך זו נחשף הנבדק לעמדות שונות, הדומות לאלו שהועלו בפעילות-הגומלין.
- שתי קבוצות הניסוי נבדלו זו מזו בטיב הקונפליקט שעמו נדרשו להתמודד. "פעילות-גומלין" חשפה את הנבדקים לקונפליקט בין-אישי (inter-personal conflict), ואילו "בחירה" חשפה אותם לקונפליקט תוך-אישי (intra-personal conflict).
3. קבוצת הביקורת לא קיבלה כל טיפול.

- ג. שלב מדידה בתר-טיפולית (post test) מיידית. בשלב זה נבדקה השפעת הטיפול על ההתקדמות בהבנת מושג המהירות. הבדיקה נעשתה באמצעות מבחן חוזר לכלל הנבדקים על שני מצבי התנועה המקוריים יחד עם שני מצבי תנועה נוספים, בעלי רמת קושי גבוהה יותר. שילובן של בעיות נוספות במדידה הבת-טיפולית נועד לבחון את מידת יכולת ההעברה ובכך את רמת השינוי הקוגניטיבי אשר הושג.
- ד. שלב מדידה בתר-טיפולית מאוחרת. שלב זה נערך כעבור חודשיים והתבסס על מבחן חוזר הזהה למבחן הבת-המיידית. מטרת המבחן הייתה לבחון את מידת ההשפעה של הטיפול לאורך זמן.

### תיעוד מהלך המחקר

כל אחד משלושת שלבי המדידה – המדידה הקדם-טיפולית, המדידה הבת-טיפולית המיידית והמדידה הבת-טיפולית המאוחרת – התנהל באמצעות ראיון אישי, אשר הוקלט ותועתק. הנתונים בשלבי הטיפול נאספו בשני אופנים, בהתאם לאופיה של קבוצת הטיפול. ההתרחשות בחבורות, אשר הרכיבו את קבוצת פעילות-הגומלין, תועדה במצלמת וידאו ותועתקה לאחר מכן. תגובות הנבדקים, אשר הרכיבו את קבוצת הבחירה, נרשמו על גבי שאלון אישי. כל התעתיקים והשאלונים רוכזו ביומן המחקר ושימשו לניתוח ממצאי המחקר.

## ממצאי שלב א' של המחקר

### השפעת הגיל על הבנת מושג המהירות

במטרה לבחון את התפתחות מושג המהירות, נבחנה בשלב הראשון השפעת הגיל על הביצוע בכל אחת משתי המטלות. בלוח מס' 1 מוצגים אחוזי הנבדקים שהגיבו "תגובה נכונה" (התייחסות פורמאלית), לפי כיתה ולפי מצבי התנועה ("כלבים רצים" ו"קרוסלה").

#### לוח 1:

אחוזי הנבדקים שהגיבו בצורה נכונה, לפי כיתה ולפי השאלה  
(n = 360)

שאלת "הקרוסלה"	שאלת "הכלבים הרצים"	כיתה
12%	42%	ו'
22%	47%	ח'
24%	64%	י'
<b>19%</b>	<b>51%</b>	<b>סה"כ</b>

מן הנתונים המוצגים בלוח משתקף אופיים השונה של שתי המטלות, המתבטא בהבדלים ברמת הקושי ובהשפעת משתנה הגיל על שיעור בעלי התגובה הנכונה (51% בשאלת הכלבים הרצים, לעומת 19% בשאלת הקרוסלה). השפעת הגיל על התפתחות מושג המהירות נמצאה מובהקת בשאלת הכלבים ( $\chi^2(2) = 12.70; P < .002$ ), אך לא בשאלת הקרוסלה. ייתכן שההבדל נובע מהאינטואיציה השונה, שעליה מתבססת עמדתם של הנבדקים בשתי השאלות. בשאלת הכלבים הרצים, הנבדקים אשר העריכו כי המהירות שווה, נימקו את הערכתם באמצעות המושג האינטואיטיבי המוקדם המבוסס על רמז העקיפה. לעומת זאת, 66% הנבדקים, אשר העריכו כי מהירות הכלבים בקרוסלה שווה, נימקו זאת תוך שימוש באינטואיציה המוטעית לפיה לגוף אחד מהירות אחת, ורק 14% נימקו את קביעתם באמצעות המושג המוקדם של רמז העקיפה.

### השפעת פעילות הגומלין על קידום הבנת מושג המהירות

הניסוי, בכל ארבעת השלבים עקב אחרי השינוי הקוגניטיבי שחל אצל הנבדקים. הובחנו שני סוגי שינויים. האחד, שינוי שטיבו **התקדמות**, כלומר, שינוי מתגובה אינטואיטיבית לתגובה נכונה, התואמת את מושג המהירות המדעי, והסוג השני שינוי שטיבו **נסיגה**, הווה אומר, שינוי מתגובה נכונה לתגובה אינטואיטיבית. בעזרת הבחנה זו נקבעו שלוש קטגוריות של שינויי תגובה אצל הנבדקים; **שינוי עיקבי**, נבדקים אשר שינו את תגובותיהם במדידה הבת-טיפולית המיידית והחזיקו בדעתם גם במדידה הבת-טיפולית המאוחרת; **שינוי לא עיקבי**, נבדקים אשר שינו את תגובותיהם במדידה הבת-טיפולית המיידית, אך חזרו בהם במדידה הבת-טיפולית המאוחרת, או לא שינו את תגובתם במדידה הבת-טיפולית המיידית, אך שינו אותה במדידה המאוחרת; **אין שינוי**, בקטגוריה זו לא שינו הנבדקים את דעתם בכל שלוש המדידות.

לוחות 2 ו-3 מתייחסים לשינוי בתגובותיהם של הנבדקים בכיוון של התקדמות, ומציגים את התפלגות הנבדקים לפי רמת השינוי ולפי תנאי הטיפול, לגבי כל אחת מהשאלות בנפרד.

#### לוח 2:

**התפלגות הנבדקים אשר הציגו במדידה הקדם-אימונית תגובה אינטואיטיבית לשאלת "הכלבים הרצים", לפי רמת השינוי ולפי קבוצת הטיפול (n = 176)**

קבוצת הטיפול	שינוי עיקבי	שינוי בלתי-עיקבי	אין שינוי	סה"כ
פעילות-גומלין	23	26	11	60
בחירה	13	19	25	57
ביקורת	7	21	31	59
<b>סה"כ</b>	<b>43</b>	<b>66</b>	<b>67</b>	<b>176</b>

לוח 3:

התפלגות הנבדקים אשר הציגו במדידה הקדם-אימונית תגובה אינטואיטיבית לשאלת "הקרוסלה", לפי רמת השינוי ולפי קבוצת הטיפול (n = 290)

קבוצת הטיפול	שינוי עיקבי	שינוי בלתי-עיקבי	אין שינוי	סה"כ
פעילות-גומלין	6	23	65	94
בחירה	0	15	80	95
ביקורת	3	14	84	101
סה"כ	9	52	229	290

מלוח 2 מתברר, כי שיעור השינוי העיקבי הגבוה ביותר התרחש בעקבות פעילות-הגומלין (38%), והשיעור הנמוך ביותר של שינוי עיקבי התרחש בקבוצת הביקורת (12%). לעומת זאת, השיעור הגבוה ביותר של אין-שינוי, מופיע בקבוצת הביקורת (46%), והשיעור הנמוך ביותר בפעילות הגומלין (16%). שינוי בלתי עיקבי הופיע בשיעור כללי גבוה יותר משינוי עיקבי (37.5% לעומת 24.4%), אך ההבדלים בין הקבוצות השונות קטן יחסית (39% בפעילות-הגומלין, 29% בבחירה ו-32% בביקורת). בנייתוח חי בריבוע נמצא הבדל מובהק בין קבוצת פעילות-הגומלין לבין קבוצת הביקורת ( $\chi^2 = 18.58; P < .001$ ). לא נמצא הבדל מובהק בין קבוצת פעילות-הגומלין בין קבוצת הבחירה ובין קבוצת הביקורת לקבוצת הביקורת.

לוח 3 מציג שיעור שינוי עיקבי כללי נמוך בכל שלוש קבוצות הטיפול, ללא הבדל מובהק ביניהן. נראה, כי המושג המוטעה, שלפיו לגוף אחד מהירות אחת, קשה לשינוי.

השוני, שנצפה לגבי השפעת הטיפול על שיעור השינוי בכיוון התקדמות בשתי השאלות, התבטא גם בשיעור השינוי בכיוון נסיגה (מתגובה פורמלית לתגובה אינטואיטיבית). בשאלת הכלבים נמצא שיעור נמוך של מקרי נסיגה בכל קבוצות

הטיפול: 0 מתוך 58 (0%) בפעילות הגומלין; 2 מתוך 63 (3%) בבחירה; ו-2 מתוך 59 (3%) בביקורת. ולעומת זאת, בשאלת הקרוסלה נמצא שיעור גבוה יחסי של מקרי נסיגה: 11 מתוך 26 (42%) בפעילות-הגומלין; 5 מתוך 25 (20%) בבחירה; ו-3 מתוך 19 (16%) בביקורת.

ההשפעות ההפוכות המאפיינות את שתי השאלות, מצביעות על מהותם השונה של שני סוגי המושגים האינטואיטיביים, המושג-המוקדם והמושג-המוטעה. בעוד המושג המוקדם (המבוסס על רמז העקיפה) נושא אופי התפתחותי וניתן לשינוי באמצעות התערבות קוגניטיבית מתאימה, הרי שאת המושג המוטעה (המבוסס על האינטואיציה, שלפיה לגוף אחד מהירות אחת), קשה יותר לשנות.

פעילות הגומלין, אשר התרחשה בין הנבדקים במטרה לגבש פתרון משותף, אילצה את המשתתפים לחשוף את מבנה הידע שלהם ואת מקורותיו, וכך לגלות את מקורות עצמתו של המושג המוטעה, ואת הגורמים לקושי בהמרת המושג המוטעה במושג הפורמלי הנכון.

### ניתוח פעילות-הגומלין

תיעוד פעילות הגומלין איפשר מעקב אחר התהליכים הקוגניטיביים והחברתיים, אשר אפיינו פעילות זו. ניתוח התהליכים גילה, כי הנבדקים, שרצו להוכיח את נכונות עמדתם, השתמשו במגוון אסטרטגיות אינטואיטיביות, שבאמצעותן שיכנעו את עמיתיהם לקבוצה. אסטרטגיות אלו התבססו במקרים רבים על התנסויות ועל דימויים קינסטטיים, המאפיינים את תהליכי פתרון הבעיות של מומחים (Clement, 1983). להלן כמה דוגמאות:

- ★ שימוש בדימוי קינסטטי בדיון בשאלת הכלבים הרצים:  
נבדק: "זה כמו שאחד צריך לרוץ מסביב לביה"ס ואחד מסביב לכיתה, אז זה שמסביב לביה"ס צריך לרוץ יותר מהר כדי להגיע יחד".
- ★ שימוש בהתנסות קינסטטית בדיון בשאלת הקרוסלה:  
המשתתפים הדגימו את תנועת מוט הקרוסלה באמצעות סיבוב זרוע היד, וזאת בניסיון להוכיח, כי כל חלקי היד נעים במהירות זהה.
- ★ שימוש בדימוי קינסטטי בדיון בשאלת הקרוסלה:  
נבדק: "תראי, אם אני הייתי יושב על קרוסלה בדיוק כמו שפה, ואתה היית יושב

בסוף הקרוסלה, היית מסתובב בשיא המהירות... היית מרגיש שאתה מסתובב הרבה יותר מהרי".

מן הממצאים האלה עולה, כי השימוש באסטרטגיות שתוארו לעיל, במהלך פעילות-הגומלין, מצביע על כוחה של ההתנסויות הקינסטטיות בבנייתו של הידע האינטואיטיבי ועל מקומה בעיצובם של מושגים פיזיקליים.

### דיון בממצאי שלב א' של המחקר

שתי השאלות שהוצגו בפני הנבדקים בשלב זה של המחקר, נועדו לבחון בעיות מסוגים שונים. האחד, בעיות בתפיסת מושגים התפתחותיים והסוג השני, בעיות המערבות מושגים מוטעים. אופיין השונה של הבעיות מתבטא בממצאים. ניתן לראות (לוח 1), כי בשאלה מן הסוג הראשון, שיעור הפותרים נכונה גדול יותר בקרב הבוגרים מאשר בקרב הצעירים, ואילו בשאלה מן הסוג השני, שיעור הפותרים נכונה בקרב הצעירים ובקרב הבוגרים דומה.

בדיקת התפתחות מושג המהירות, כפי שהיא מתבטאת בתגובות לשאלת הכלבים הרצים, הינה בכיוון התואם את הייצוג המדעי של מושג המהירות. אולם, אף על פי שמחקרים קודמים הראו, כי ילדים מגיל 7 ומעלה תופסים את המושג המדעי של המהירות, המבוסס על המשתנים מרחק וזמן, נמצא במחקר זה, כי למעלה מ-50% של ילדים בגילאי 12 ו-14 מתקשים עדיין ליישם את מושג המהירות הנכון.

בדיקת ההבנה של מושג המהירות, כפי שהיא מתבטאת בתגובות לשאלת הקרוסלה, המבוססת על המושג המוטעה, שלפיו גוף אחד הוא בעל מהירות אחת, מלמדת, כי אפילו בקרב הילדים הבוגרים ביותר (בגילאי 16), למעלה מ-70% אינם תופסים את הייצוג המדעי של מושג המהירות.

המטרה המרכזית של המחקר בשלב א' הייתה לבחון את יעילותה של פעילות-הגומלין החברתית-קוגניטיבית בקידום מושג המהירות. נמצא, כי יעילות זו משתנה בהתאם לאופי הבעיות הכלולות בתהליך. בדומה למחקרים קודמים, גם מחקר זה מצביע על כוחה של פעילות-הגומלין החברתית-קוגניטיבית בקידום הבנתם של מושגים התפתחותיים. אולם, מחקר זה מראה, כי פעילות-הגומלין החברתית-קוגניטיבית אינה מציעה תנאים מספיקים לקידום הבנתם של מושגים מוטעים.

ניתוח התהליכים הקוגניטיביים והחברתיים שהנחו את פעילות-הגומלין מצביע על חשיבותן של אסטרטגיות השכנוע שהשתמשו בהן הנבדקים בגרימת השינוי הקוגניטיבי. נמצא, שבעוד הדיון בשאלת הכלבים הרצים עורר שימוש בהתנסויות ובדימויים קינסטטיים, התואמים את המושג הנכון של המהירות, הרי שהדיון בשאלת הקרוסלה עורר שימוש בהתנסויות ובדימויים קינסטטיים התומכים במושג המוטעה, שלפיו לגוף אחד מהירות אחת. ממצאים אלו תומכים בתפיסה של ויגוצקי, שלפיה פעילות גומלין חברתית-קוגניטיבית מוליכה להטמעה של מושגים, אשר התקבלו בחברה כתקפים.

### שלב ב' של המחקר: אימון קינסטטי\*

הקינסטזיה הינה תהליך הכרתי בסיסי המאפשר קליטה ועיבוד של מידע, הקשור בתנועה. מרטניוק וזייס (Marteniuk & Hayes, 1975) טוענים, כי הקינסטזיה מספקת מידע הבנוי על שני סוגי מרכיבים: מרכיבים תיאוריים של התנועה, הכוללים תיאור מיקום, טווח, מהירות ותאוצה; ומרכיבים הגורמים לתנועה, והקשורים למתח ולכוח השריר. שני סוגי המרכיבים מועברים יחד כקינסטזיה תחושתית המשמשת כמקור מידע לתכונות של תנועות עתידיות. שלב ב' של המחקר בוחן את השפעתה של התנסות קינסטטית על קידום הבנת מושג המהירות, יחד עם שינוי המושג המוטעה (לפיו לגוף אחד מהירות אחת).

### שיטת המחקר: שלב ב'

#### הנבדקים

72 נבדקים מתלמידי כיתה ו' השתתפו בניסוי.

#### כלי הניסוי

הניסוי בוצע באולם רחב-ידיים, שבמרכזו הוצבה קרוסלה בעלת מוט באורך 2 מטר, המחובר באחד מקצותיו לציר מסתובב. הקרוסלה הייתה ללא מושבים.

\* מקצת ממצאי שלב ב' של המחקר פורסמו כחלק ממאמר ב-1990, *Child Development*, 61.

## תהליך המחקר בשלב ב'

המחקר כלל שלושה שלבים:

**שלב מדידה קדם-אימונית.** בפני כל אחד מהנבדקים הוצגו שני מצבי תנועה, שהיו זהים לאלה שהוצגו בשלב א' של המחקר. מצב תנועה אחד הציג שני כלבים רצים במקביל, צד בצד, במסלולים קונצנטריים. מצב התנועה השני הציג שני כלבים מעץ הממוקמים על מוט קרוסלה מסתובב, המבצעים סיבובים זהים לאלו שביצעו הכלבים הרצים. הנבדקים התבקשו להשוות את המהירות של שני הכלבים בשני המצבים ולנמק את תשובותיהם.

הנבדקים חולקו לשלוש קטגוריות לפי תגובותיהם:

★ קטגוריה א': **תגובה אינטואיטיבית.** הנבדקים בקטגוריה זו הציגו תגובה אינטואיטיבית לשאלה הראשונה (כלבים רצים), שלפיה הכלבים נעים במהירות זהה כי הם נעים במקביל ואין מתרחשת עקיפה, ותגובה אינטואיטיבית לשאלה השנייה (כלבים על קרוסלה), שלפיה "לגוף אחד מהירות אחת". כלומר, בשתי הבעיות נתפסה מהירות הכלבים כשווה, וזאת על בסיס התפיסה האינטואיטיבית.

★ קטגוריה ב': **תגובה מבחינה.** הנבדקים בקטגוריה זו הציגו תגובה קווית לשאלה הראשונה, שלפיה הכלב התיצוני נע מהר יותר, כי הוא עובר באותו זמן מרחק רב יותר, ותגובה אינטואיטיבית לשאלה השנייה, שלפיה "לגוף אחד מהירות אחת". כלומר, נבדקים אלו מבינים את מושג המהירות הקווית, אך אינם מיישמים אותו במקרה המבוסס על האינטואיציה, שלפיה לגוף אחד מהירות אחת.

★ קטגוריה ג': **תגובה קווית.** הנבדקים בקטגוריה זו הציגו תגובה קווית נכונה לשתי השאלות. נבדקים אלו הוצאו מן המדגם, כיוון שהאימון אינו רלבנטי לגביהם.

36 נבדקים מקטגוריה א' (תגובה אינטואיטיבית) ו-36 נבדקים מקטגוריה ב' (תגובה מבחינה) השתתפו באימון.

**שלב האימון.** שליש (12 = n) מקבוצת התגובה האינטואיטיבית ושליש (12 = n) מקבוצת התגובה המבחינה, נבחרו באופן אקראי לאחד משלושת תנאי האימון: **אימון קינסטטי, אימון ויזואלי ותנאי ביקורת.** האימון הוצג מייד אחרי המדידה הקדם-אימונית.

★ **באימון הקינסטטי**, ביצעו הנבדק והנסיין יחדיו ארבעה ניסיונות של הליכה עם המוט. בשני הניסיונות הראשונים אחזו הנבדק והנסיין כל אחד בקצה אחר של המוט, האחד במרחק 20 ס"מ מהציר המרכזי והאחר במרחק 20 ס"מ מקצה המוט. בניסיון הראשון אחזו הנבדק את המוט בקצהו, וכך נדרש לעבור מסלול ארוך יותר. בניסיון השני החליפו הנסיין והנבדק את מקומותיהם, כך שהפעם נדרש הנבדק לעבור מסלול קצר יותר. בשני הניסיונות האחרים התקרבו הנבדק והנסיין למרכז המוט ובמרחק 20 ס"מ זה מזה הסתובבו עם המוט, פעם כשהנבדק חיצוני יותר ופעם כשהנבדק פנימי יותר מהנסיין. בעקבות כל אחד מארבעת הניסיונות התבקש הנבדק להשוות את המהירות שלו עם זו של הנסיין, ולנמק את תשובתו.

★ **באימון הויזואלי**, נתלו שני דובונים, באורך 25 ס"מ כל אחד, על גבי מוט הקרוסלה במיקומים זהים לאלו שתוארו בתנאי האימון הקינסטטי. בכל אחד מארבעה הניסיונות, דחף הנסיין את מוט הקרוסלה, כך שהמוט ביצע סיבוב מלא, והנבדק התבקש להשוות את מהירותם של שני הדובונים, ולנמק את תשובתו. באופן זה, תנאי האימון הקינסטטי ותנאי האימון הויזואלי היו זהים, למעט שינוי אחד. באימון הקינסטטי נדרש הנבדק **לבצע** את התנועה בעצמו, ואילו באימון הויזואלי נדרש הנבדק **לצפות** בתנועתם של הדובונים. נבדקים בקבוצת הביקורת לא קיבלו כל אימון.

**שלב מדידה בתר-אימונית.** הנבדקים בשתי קבוצות האימון השתתפו במדידה בתר-אימונית מייד אחרי האימון. מדידה זו כללה את שתי השאלות אשר הוצגו במדידה הקדם-אימונית, ובכל המקרים, שבחם הציג הנבדק במדידה הבתר-אימונית תגובה שונה מהתגובה שהציג במדידה הקדם-אימונית או באימון, ביקש הנסיין הסבר לשינוי.

### תיעוד מהלך המחקר

כל אחד משלבי המחקר התנהל באמצעות ראיון אישי, אשר הוקלט והועתק ליומן המחקר לצורך ניתוח ממצאי המחקר.

## ממצאי שלב ב' של המחקר

התפלגות הנבדקים אשר שינו את עמדתם מוצגת בלוח 4.

לוח 4:

התפלגות הנבדקים, אשר שינו את עמדתם, לפי סוג התגובה במדידה הקדם-אימונית, לפי האימון ולפי השאלה (n = 72)

ביקורת		אימון ויזואלי		אימון קינסטטי		תנאי האימון
שאלת הקרוסלה	שאלת הכלבים	שאלת הקרוסלה	שאלת הכלבים	שאלת הקרוסלה	שאלת הכלבים	
0	2	1	1	6	9	רמת התגובה במדידה הקדם-אימונית: תגובה אינטואיטיבית (36)
0	(4)*	4	(2)*	6	(2)*	תגובה מבחינה (36)

\* נסיגה מעמדה קווית במדידה הבתר-אימונית.

### השפעת האימון על שאלת הכלבים

הממצאים מראים כי האימון הקינסטטי הוביל לשיעור גבוה יותר של תשובות נכונות מאשר האימון הויזואלי ומאשר קבוצת ביקורת: 9 מתוך 12 (75%) לעומת 1 מתוך 12 (8%) ו-1 מתוך 12 (17%) תגובות נכונות, בהתאמה. התבדל בביצוע בתנאי האימון הקינסטטי לעומת תנאי הביקורת היה מובהק ( $\chi^2(1) = 8.22; P < .001$ ). לא נמצאו הבדלים מובהקים אחרים.

כפי שניתן לראות, נסוגו נבדקים מספר (8 מתוך 36, שהם 22%) במדידה הבתר-אימונית מעמדתם הנכונה, כפי שהובעה במדידה הקדם-אימונית. בקרב הנבדקים שקיבלו אימון ויזואלי או בקבוצת הביקורת, היה אחוז הנקטים תגובה אינטואיטיבית שהתקדמו לתשובה נכונה לבעיית הכלבים נמוך יותר מאשר אחוז בעלי התגובה המבחינה, שנסוגו לתשובה לא נכונה (12% לעומת 25%). בניגוד לכך, האימון הקינסטטי הוביל להתקדמות רבה יותר בקרב בעלי התגובה האינטואיטיבית מאשר לנסיגה בקרב בעלי התגובה המבחינה (75% לעומת 17%).

## השפעת האימון על שאלת הקרוסלה

בניתוח השפעת האימון על הביצוע בשאלת הקרוסלה נכללו כל הנבדקים ( $n = 72$ ). בעלי התגובה האינטואיטיבית ובעלי התגובה המבחינה. בקרב הנבדקים, אשר קיבלו אימון קינסטטי, ענו נכון 12 מתוך 24 (50%) על שאלת הקרוסלה, לעומת 5 מתוך 24 (21%) בקרב אלו שקיבלו אימון ויזואלי, ו-0% בתנאי הביקורת. ההבדל בביצוע בתנאי האימון הקינסטטי לבין תנאי הביקורת היה מובהק ( $\chi^2(1) = 16.00; P < .001$ ). הביצוע בתנאי האימון הויזואלי לא היה שונה באופן מובהק מכל אחד מהתנאים האחרים.

הנבדקים, אשר השיבו במדידה הבתר-אימונית תשובות שונות מאשר במדידה הקדם-אימונית, התבקשו להסביר את השינוי. להלן שתי ציטטות, המדברות בעד עצמן, של שני נבדקים אשר שינו את דעתם אחרי ההתנסות הקינסטטית: נבדק: "מפני ששיחקתי עם הקרוסלה. לפני כן לא התנסיתי ולא חשבתי על כך. עכשיו אחרי שהתנסיתי אני יודע שכאשר הייתי במעגל החיצוני הייתי צריך ללכת מהר יותר". נבדק: "כאשר עשינו את הניסוי עם הקרוסלה, שמתי לב שהפנימי צריך ללכת צעדים קטנים יותר והחיצוני צריך לעשות צעדים גדולים יותר. לפני זה לא הבנתי את זה".

## דיון וסיכום

האינטואיציה, שלפיה לגוף אחד מהירות אחת שייכת לקבוצה רחבה של מושגים מוטעים בתחום הפיזיקה, אשר מתפתחים מתוך המסקנות שסטודנטים מסיקים אודות הקשר בין תנועה, בין כוח ובין מהירות. גנסטון ווטס (Gunstone & Watts, 1985) סקרו מחקרים רבים, אשר בחנו את המושגים המוטעים שיש לסטודנטים אודות מושגים אלו, והגיעו למסקנה כי ההשערות בעניין התופעות הפיזיקליות וההסברים הניתנים להם בקרב נבדקים בגילאים שונים וברמות לימוד שונות, **מעידים על קיומם של אמונות אינטואיטיביות**. ארבע האמונות הרווחות ביותר הן: (א) **תנועה מצביעה על קיום כוח**. אדם המחליק על גבי מזחלת במדרון ההר חייב להמשיך ולדחוף, אם הוא רוצה לשמור על התנועה לאורך המדרון, ולא – יחדל הכוח והוא ייעצר. (ב) **שיעור התנועה יחסי לשיעור הכוח**. ככל שהעצם נדחף חזק יותר, הוא יגיע רחוק יותר. (ג) **אם גוף לא נע, לא קיים שום כוח הפועל עליו**. כאשר תלמידים מתבקשים להסביר, מה גורם לכדור המתגלגל על הרצפה לעצור, הם משיבים, כי הכדור מתגלגל למרחק היחסי לחוזק הדחיפה, ואחר כך חוזר למצבו הקודם. (ד) **אם**

גוף נע, קיים כוח הפועל עליו בכיוון התנועה. סטודנטים תופסים את כיוון הכוח הפועל על עצם על-פי כיוון תנועתו. אמונות אלו עשויות להוביל להנחה, שאם עצם נע, התנועה שלו מיוצרת על-ידי כוח אחד, ולכן תנועה זו היא בעלת מהירות אחת עבור העצם כולו. ואכן, החסברים של הנבדקים במחקר הזה כללו שימוש ברור במונחים של כוח ושל מקור תנועה. לדוגמה, ההסבר הבא: "הכלבים מחוברים למוט, ולכן הם נעים באותה המהירות. זה לא המקרה שבו לכל אחד כוח משלו. הם על אותו מוט המסובב אותם באותה המהירות" (יומן המחקר). הסבר כזה מבוסס על האמונה, שמאחר שכל תנועת המוט מיוצרת על-ידי כוח אחד, המהירות בכל הנקודות על-פני המוט חייבת להיות שווה.

החוקר דיססה (Disessa, 1983) טוען, שהאמונות האינטואיטיביות שיש לנו הן מבני ידע ראשוניים (phenomenological primitives), או בקיצור P-prims. אלו הן סכמות המארגנות ידע המבוסס כולו על התנסויות ראשוניות החוזרות ונישנות בעולם הפיזיקלי שלנו. המאפיין אותם הוא היותם ראשוניים הן מבחינת זמן התפתחותם והן בשל העדר צורך להסבירם כדי שיובנו. אלו הם בבחינת אקסיומות, ולכן בעלי עצמה ועדיפות על פני מבני ידע אחרים. באמצעות המאפיינים המוצעים על-ידי דיססה, ניתן להסביר את הכישלון של ההוראה הפורמלית להמיר מושגים אינטואיטיביים מוטעים במושגים מדעיים. המושג המדעי, שהינו מופשט ותהליך הבנייתו שונה מזה של המושג הטבעי, מתפתח בצידו ואינו מעורר את הקונפליקט הקוגניטיבי ההכרחי לשינוי מבנה הידע. נראה, כי כדי להתמודד באורח יעיל עם מושגים מוטעים אלו, יש לעמתם עם סכמות ראשוניות סותרות, שאופיים דומה לאלו שבנו את המושג המוטעה.

על-פי פיאזיה, הרמה האינטלקטואלית הבסיסית היא הרמה החיטתית-תנועתית. ההתנסות באמצעות החושים ובאמצעות התנועה מאפשרת לילד לגלות ולחקור את העולם, וכך לפתח מודלים אינטואיטיביים אודות טבע הדברים בעולם. אולם, מאחר שההתנסות הטבעית של הילד מוגבלת, אין היא מספקת לו את כל המידע אודות התנהגותם של העצמים בטבע. חלק גדול ממידע זה הוא חזותי ומוגבל, ולכן גם מוטעה. לדוגמה, ילד המגלגל כדור על הרצפה מגלה, כי הכדור המתגלגל מאט בהדרגה ולבסוף נעצר. המידע החזותי שהילד קולט בהתנסות זו אינו חושף בפניו את גורם החיכוך, האחראי לעצירתו של הכדור. האמונה האינטואיטיבית, אשר מתפתחת בעקבות התנסויות מן הסוג הזה, מסבירה את התופעה באופן הבא: הפעולה המעוררת עצם לתנועה מוסרת לעצם כח מניע, מעין דחף (Impetus) אשר מסייע לשמירת התנועה. כח מניע זה מתפוגג בהדרגה, ולכן העצם מאט עד אשר נעצר (מקלוסקי, 1983).

כדי לערער אמונות אינטואיטיביות מוטעות אלו יש צורך בהבנייה של התנסויות ברמה החישתית-תנועתית, אשר תסתורנה אותן, ותגרומנה לשינוי קוגניטיבי ולבנייתם מחדש של המושגים באופן התואם את הידע המדעי. ההתנסות הקינסטטית, אשר נמצאה יעילה במחקר זה בהשגת שינוי המושג המוטעה, שלפני לגוף אחד מהירות אחת, נראית עונה על דרישות אלו.

ביצוע התנועה של החזקת המוט והליכה מסביב למעגלים בנקודה מרכזית ונקודה היקפית סיפק מידע קינסטטי, הנוגד את המושג המוטעה. מאחר שהנבדקים החזיקו את המוט בשעה שפסעו, הם נאלצו לזנוח את התפיסה, שכל חלקי המוט חייבים לנוע באותה המהירות. הקונפליקט ההכרתי בין המושג המוטעה ובין המידע הקינסטטי התואם את המושג המדעי נוצר ברמה של **התהליכים ההכרתיים הבסיסיים, והצורך בפתורנו איפשר הבנייה מחדש של המושג**. השינוי הקוגניטיבי, אשר שיקף את ההבנייה מחדש של המושג, בא לידי ביטוי לא רק בהתייחסות אל ההתנסות עצמה, אלא גם בהכללה למוצב התנועה הדומם, שהוצג על גבי המחשב. כמחצית מן הנבדקים אשר הציגו מושג מוטעה במדידה הקדם-אימונית שינו את תגובתם בעקבות ההתנסות הקינסטטית והגיבו באורח התואם את המושג המדעי במדידה הבתר-אימונית. רוב הנבדקים הסבירו את השינוי בעמדותיהם על בסיס הזיכרון התנועתי, שנוצר בעקבות ביצוע התנועה.

ממצאי המחקר מראים, כי עימות ישיר בין הערכות אינטואיטיביות אודות מהירות, ובין התנסות קינסטטית הנוגדת את האינטואיציה, מצליחה במקום, שבו שנות הלימודים בביה"ס וההתנסות היומיומית אינם מצליחים. רכישתו של ידע מדעי דורשת התמודדות עם שני תהליכים המשלימים זה את זה: **ערעור הביטחון בתקפותו של המושג האינטואיטיבי המוטעה**, אשר נרכש בעת ההתנסות בעולם הפיזיקלי, **ומתן תמיכה לתקפותו של המושג המדעי** באמצעות ייצוגים פורמליים של נתונים מספריים ונוסחאות. האימון הקינסטטי מושתת על התהליך הראשון של ערעור הביטחון בתקופתה של האינטואיציה המוטעית. תכנית הלימודים הנהוגה בדרך כלל בביה"ס מושתתת בעיקרה על התהליך השני של מתן תמיכה לתקפותו של המושג המדעי באמצעות ייצוגים פורמליים. **שילוב שני התהליכים, ההתנסות הקינסטטית והייצוגים הפורמליים, עשוי לסייע בידי תלמידים לבנות מחדש את מושגיהם הפיזיקליים, ולהבטיח את השליטה בהם.**

מחקרים נוספים בעתיד צריכים להמשיך ולבחון את הפוטנציאל הטמון בהתנסות הקינסטטית בקידום הבנתם של מושגים מוטעים נוספים בתחום הפיזיקה, ובמיוחד של אלו הנובעים מההסקה המוטעית אודות היחס בין כוח ובין תנועה.

## רשימת המקורות

- Acredolo, C. & Schmid, J. (1981). The understanding of relative speeds, distances and durations of movement. *Developmental Psychology*, 17, 490-493.
- Ames, G. J. & Murray, F. B. (1982). When two wrongs make a right: Promoting cognitive change by social conflict. *Developmental Psychology*, 18, 894-897.
- Bearison, D. J. Magzamen, S. & Filardo, E. K. (1986). Socio-cognitive conflict and cognitive growth in young children. *Merrill-Palmer Quarterly*, 32(1), 51-72.
- Clement, J. (1982). Student's preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, 66-71.
- Clement, J. (1983). Use of analogies and spatial transformations by experts in solving mathematics problems. *Proceedings of the Fifth Annual Meeting of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, North American Chapter, Montreal.
- Disessa, A. (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. In: D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental models* (15-33). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Doise, W. Mugny, G. & Perret-Clermont, A.N. (1975). Social interaction and the development of cognitive operations. *European Journal of Social Psychology*, 9, 105-108.
- Driver, R. (1983). *The pupil as a scientist?* New-York Open University Press.
- Ehri, L. C. & Muzio, I. M. (1974). Cognitive style and reasoning about speed. *Journal of Educational Psychology*, 66, 569-571.
- Gunstone, R. & Watts, M. (1985). Force and motion. In: R. Driver, E. Gunstone & A. Tiberghiem (Eds.), *Children ideas in science* (85-104). Philadelphia: Open University Press.
- Levin, I. & Gardosh, R. (1990). Everyday concepts and formal concepts: Do children distinguish between linear and rotational speed? In: D. Tirosh (Ed.), *Implicit and explicit knowledge: An educational approach*. Norwood NJ: Ablex.
- Levin, I. & Simons, H. (1986). The nature of children's and adults' concepts of time, speed and distance and their sequence in development: Analysis via circular motion. In: I. Levin (Ed.), *Stage and structure: opening the debate* (77-105). Norwood NJ: Ablex.

- Levin, I. Siegler, R. S. & Druyan, S. (1990). Misconceptions about motion: Development and training effects. *Child Development*, **16**, 1544-1557.
- Light, P. & Glachan, M. (1985). Facilitation of individual problem solving through peer interaction. *Educational Psychology*, **5**, 217-225.
- Marteniuk, R. G. & Hayes, K. C. (1975). Kinesthetic information and the control of movement. In: H. T. A. Whiting (Ed.), *Readings in Human Performance* (117-137). London, Lepus Books.
- Mugny, G. & Doise, W. (1978). Socio-cognitive conflict and structure of individual and collective performances. *European Journal of Social Psychology*, **8**, 181-192.
- Piaget, J. (1954). *The origins of intelligence in children* (rev. ed.). New York: Basic Books.
- Piaget, J. (1970). *The child's conception of movement and speed* (rev. ed.). (trans. G. E. T. Holloway & M. J. Mackenzie). New York: Basic Books.
- Pines, A. L. & West, L. H. T. (1986). Conceptual understanding and science learning: An interpretation of research within a sources of knowledge framework. *Science Education*, **70** (5), 583-604.
- Russel, T. (1986). *An alternative conception: Representing representations*. Unpublished manuscript. University of London.
- Schoen, D. A. (1982). Intuitive thinking: A digression stimulated by U-Shaped curves. In: S. Strauss (Ed.), *U-Shaped behavioral growth* (227-247). New York: Academic Press.
- Siegler, R. S. & Richards, D. D. (1979). The development of time, speed and distance concepts. *Developmental Psychology*, **15**, 288-298.
- Tanaka, M. (1971). The development of the concept of speed. *Journal of Child Development*, **7**, 1-11.
- Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and Language*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Vygotsky L. S. (1978). Interaction between learning and development. In: *Mind in society* (79-91). Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Watts, D. M. (1983). A study of school children's alternative frameworks of the concept of force. *European Journal of Science Education*, **5** (2), 217-230.