

כיצד תופסים מורים למתמטיקה בתיכון, המעידים על עצמם כי הם מתקשים לראות במרחב, את הוראתם בנושא הגאומטריה במרחב



מירלה יודר

ד"ר מירלה יודר

בוגרת תואר ראשון במתמטיקה באוניברסיטת תל-אביב, תואר שני בחינוך מתמטי באוניברסיטה הפתוחה ותואר שלישי בפקולטה לחינוך למדע ולטכנולוגיה בטכניון.

מרצה במכללת שאנן ובפקולטה לחינוך למדע ולטכנולוגיה בטכניון.

תחומי מחקר עיקריים: תפיסה תלת-ממדית בהוראת גאומטריה במרחב, התפתחות מקצועית של מורים ומורי מורים למתמטיקה, שילוב טכנולוגיה בהוראת מתמטיקה ותהליך התפתחותן של קהילות מחקר המשלבות מורים למתמטיקה מהשטח עם חוקרים בחינוך המתמטי.

תקציר

מתוך הבנה כי חשוב לפתח כישורים מרחביים אצל התלמידים, תוכנית הלימודים במתמטיקה בתיכון בכל רמות הלימוד (3-5 יח"ל), כוללת את נושא הגאומטריה במרחב. מתוך כך נדרשים המורים למתמטיקה בתיכון להיות בעלי יכולת ויזואליזציה מרחבית מפותחת, הנחוצה לשם הוראת נושא זה. אולם יכולת הויזואליזציה המרחבית והיכולת הלוגית-מתמטית אינן בהכרח חופפות זו לזו, ולעיתים מורים, אף ותיקים ומוכשרים, שהמתמטיקה היא תחום הידע שהם בקיאים בו, מעידים על עצמם כי הם מתקשים "לראות" במרחב. מורים אלה סובלים מתחושת מסוגלות עצמית נמוכה ומדימוי מקצועי ירוד, והם מצויים בתחושה של תסכול, חוסר אונים וחרדה בכל פעם שהם ניצבים לפני משימה המערבת גאומטריה במרחב, והדבר משליך על ההוראה בכיתות. מטרת המחקר המוצג במאמר לבחון "בזכוכית מגדלת" את המציאות בשיעורי גאומטריה במרחב, מתוך חשיפת תפיסותיהן ותחושותיהן של שלוש מורות למתמטיקה, המעידות על עצמן כי הן מתקשות "לראות" במרחב, החל מחוויותיהן כתלמידות וכלה בהתמודדות שלהן עם ההוראה העכשווית ועם השימוש באמצעי המחשה טכנולוגיים בתלת-ממד. מדובר במחקר איכותני שאינו יוצא מהשערות ברורות, אלא מנסה ללמוד, לאפיין ולהגיע לידי תובנות על המציאות באמצעות ראיונות עומק, יומנים מתמטיים, תצפיות ודיווחים רפלקטיביים של המורות עצמן. הדיון מתמקד במספר הבחנות הקשורות בהיבט הרגשי, בדרכי ההתמודדות ובתפיסת הטכנולוגיה.

מילות מפתח: גאומטריה במרחב; יכולת מרחבית; יכולת לוגית-מתמטית; דימוי עצמי מקצועי; תחושת מסוגלות עצמית.

מבוא

תאוריית "האינטליגנציות המרובות" של גרדנר (Gardner, 1983), מציבה את יכולת הויזואליזציה המרחבית ביסוד התפתחותן של תאוריות מדעיות עיקריות, המתבססות על שימוש במודלים מרחביים חזותיים לצורך עיבוד מידע והמחשה וויזואלית של תהליכים מורכבים. מקגי (McGee, 1979) הגדיר כישורי ויזואליזציה

שיש ללימוד נושא הגאומטריה במרחב בבית הספר (Ferrara & Mammana, 2014).

כמו כן כדי לתרום להתפתחות יכולות מרחביות אצל התלמידים, חשוב שהמורים למתמטיקה עצמם יהיו בקיאים בתחום הגאומטריה המרחבית ובעלי מיומנויות מרחביות מפותחות. הלימודים המקצועיים וההכשרה של מורי המתמטיקה בישראל מדגישים מאוד את יכולתם הלוגית-מתמטית. מחקרים בפסיכולוגיה קוגניטיבית הראו כי יכולת הוויזואליזציה המרחבית והיכולת הלוגית-מתמטית אינן בהכרח חופפות זו לזו (Friedman, 1995; Gardner, 1983; Mohler, 2008; Tuvi-Arad & Gorsky, 2007). יכולת לוגית-מתמטית גבוהה אינה מראה בהכרח יכולת מרחבית גבוהה, ממש כשם שיכולת מרחבית גבוהה אינה מבטיחה יכולת לוגית-מתמטית תואמת. כיוון שהדרישות המתמטיות הגבוהות אינן ערוכה למיומנויות מרחביות מפותחות, כמה מהמורים, אפילו מורים למתמטיקה המומחים בתחום הידע שלהם, מתקשים "לראות" במרחב. חוקרים מצאו כי יכולת המרחבית האינדיבידואלית של מורים למתמטיקה משליכה על תחושת המסוגלות העצמית שלהם ועל יעילותם המקצועית (פסקין ומלאת, 1999), ומשתקפת בהוראת נושא הגאומטריה במרחב בכיתתם (Kahle, 2008; Ramirez, 2008; Gunderson, Levine, & Beilock, 2012). מורים בעלי יכולת מרחבית נמוכה סובלים מתחושת מסוגלות עצמית נמוכה ומדימוי מקצועי נמוך; הם מרגישים מתוסכלים, חסרי ישע וחרדים בכל פעם שהם עומדים לפני משימה שמעורבת בגאומטריה מרחבית, ויש לכך השלכות שליליות על ההוראה בכיתה (פסקין ומלאת, 1999).

בעיית החקר

כאמור, במהלך לימודיהם והכשרתם המקצועית של מורי מתמטיקה מושם דגש רב על יכולת לוגית-מתמטית. עם זה היותם מורים מוכשרים במתמטיקה אינה הופכת אותם אוטומטית לבעלי יכולת מרחבית גבוהה הנחוצה להוראת הגאומטריה במרחב, בו בזמן שתוכנית הלימודים במתמטיקה בתיכון ותוכנית ההיבחנות בבחינות הבגרות מחייבות גם מורים המתקשים "לראות" במרחב, ללמד גאומטריה במרחב. הדבר מעלה תהיות באשר לאופן שבו נוגע היעדר היכולת של המורה לראות במרחב בטיב הוראתו, בתחושת המסוגלות העצמית המקצועית שלו כמורה, בדימוי העצמי שלו בכיתה ובתמודדות של תלמידיו עם נושא הגאומטריה במרחב. מעניין להבין כיצד מורה המעיד על עצמו כמתקשה "לראות" במרחב, תופס את התנסותו בנושא הגאומטריה במרחב כתלמיד, לעומת התנסותו העכשווית בהוראת הנושא, וגם כיצד הוא תופס את התנהלותו בסביבת למידה שבה הוא יכול להשתמש באמצעי המחשה טכנולוגיים.

חטרת החקר

מחקר זה צמח מתוך ההכרה כי כדי לקדם את הוראת הגאומטריה במרחב כחלק מהוראת המתמטיקה, חשוב לבחון ולהבין לעומק את נקודת המבט של המורה למתמטיקה על הוראת גאומטריה במרחב, במיוחד של זה המתקשה בראייה מרחבית. מתוך כך, מטרת המחקר היא לאפיין את התפיסות של מורים למתמטיקה המעידים על עצמם שהם מתקשים לראות במרחב, בעניין מקצועיותם כמורים, הוראתם את נושא הגאומטריה במרחב בכיתות והתנהלותם בסביבת למידה המכילה אמצעי המחשה טכנולוגיים.

שאלות החקר

• כיצד תופסים מורים למתמטיקה את הקושי שלהם לראות במרחב,

מרחביים כמיומנויות שכליות המאפשרות ביצוע של מניפולציות מנטליות, כגון סיבוב, עיוות, הזזה או היפוך של ייצוגים תמונתיים לאובייקטים תלת-ממדיים. בעידן המודרני, מיומנויות אלו חיוניות לא רק לביסוס ההבנה והשליטה בנושאים מדעיים מורכבים, אלא גם לתפקוד ההולם של הפרט ברמה האינטלקטואלית היום-יומית (McGee, 1979). מתוך כך תוכניות הלימודים במתמטיקה, החל בגיל הרך, דרך בית הספר היסודי וכלה בחטיבת הביניים והתיכון, מדגישות את הנחיצות שבלימוד נושא הגאומטריה במרחב כאמצעי לפיתוח כישורי ויזואליזציה מרחביים (Duval, 2003; Ferrara & Mammana, 2014; McGee, 1979; Parzys, 1988).

המכשולים ללימוד גאומטריה מרחבית תועדו ונחקרו בכמה מדינות. כך למשל, מצאו פרארלו, ממאנה ופניסי (Ferrarello, Mammana, & Pennisi, 2014), כי באיטליה יש נטייה לדחות את הוראת הגאומטריה במרחב לסוף שנת הלימודים, וללמד את הנושא בשטחיות בלבד, אם בכלל מגיעים אליו. לדעתם, מצב זה התפתח כתוצר של דרישות נמוכות ובעיות הנדסת המרחב בבחינות הסופיות באיטליה. בקו (Bakó, 2003) מביאה במאמרה את תוצאות סקר שעשה משרד החינוך הצרפתי, המראה כי נושא הגאומטריה במרחב נכלל בין הנושאים המתמטיים המרתיעים ביותר את הלומדים ואת המורים כאחד, כאשר רק כ-10% מהמורים דיווחו כי הם אכן מלמדים גאומטריה מרחבית בכיתות, בעוד האחרים נמנעים מללמד את הנושא באמתלות למיניהן. בישראל, התלמידים נחשפים לנושא הגאומטריה במרחב כבר מגיל הגן. מבנה תוכנית הלימודים במתמטיקה, כמו מבנה בחינות הבגרות, כמעט שאינו מאפשר הימנעות מהוראת הגאומטריה במרחב, ומחייב את מורי המתמטיקה ללמד את הנושא בכל רמות הלימוד (3-5 יח"ל). עם זאת ההישגים הנמוכים של תלמידי תיכון ישראליים בשאלות המרחב, הן בבחינות הבגרות והן במבחני PISA (OECD, 2007; OECD, 2006), מעידים כי גם בישראל ההוראה והלמידה של הגאומטריה במרחב מזמנות אתגרים (פסקין ומלאת, 1999).

בקו (Bakó, 2003) עומדת על הקושי של מורים ותלמידים רבים "לראות" במרחב. לדעתה, קושי זה הנובע מן הצורך לדמיין סיטואציות גאומטריות תלת-ממדיות מתוך שרטוטים דו-ממדיים משוטחים על גבי הלוח, הדף בספר או גיליון הבחינה, הוא אחד הקשיים העיקריים בהוראה ובלמידה של גאומטריה במרחב (Bakó, 2003). השימוש בשרטוטים דו-ממדיים לתיאור סיטואציות גאומטריות תלת-ממדיות מסתמך על ההנחה הנאיבית כי לקוגניציה האנושית יכולת גבוהה של זיהוי תבניות וסיתתה, המאפשרת להשלים בנקל אינפורמציה שאבדה במעבר מתלת-ממד אל דו-ממד (Gutiérrez, 1996). אולם לומדים רבים אינם מודעים כלל לאובדן המידע, ונמצאים באשליה שהשרטוט הדו-ממדי אכן מייצג נאמנה את האובייקט התלת-ממדי (Gutiérrez, 1996; Parzys, 1988). מחקרים אמפיריים רבים הראו כי הוויזואליזציה של מצבים גאומטריים תלת-ממדיים מתוך שרטוטים משוטחים במישור הדו-ממדי של הדף אינה קלה וטבעית ללומד (Bakó, 2003; Christou, Pittalis, Mousoulides, & Jones, 2005; Gutiérrez, 1996; Kali & Orion, 1996; McGee, 1979; Parzys, 1988; Yeh & Nason, 2004; Tuvi-Arad & Gorski, 2007; Widder & Gorsky, 2013; Widder, Berman, & Koichu, 2014).

בקו (Bakó, 2003) זיהתה כי בגאומטריה במרחב הלומדים מרבים להסתמך על היבטים ויזואליים בשרטוט, ונוטים להתעלם מהיקשים לוגיים ודידקטיים. נראה כי במרחב, לקונפליקט שבין היבטים צורניים וקונספטואליים של סיטואציה גאומטרית, נוסף גם קונפליקט עם התפיסה הוויזואלית, והדבר רק מדגיש את החשיבות

על סמך התנסותם בנושא הגאומטריה במרחב כתלמידים?

- כיצד תופסים מורים למתמטיקה, המעידים על עצמם שהם מתקשים לראות במרחב, את ההוראה העכשווית שלהם בגאומטריה במרחב?
- כיצד תופסים מורים למתמטיקה, המעידים על עצמם שהם מתקשים לראות במרחב, את חלקם בפיתוח כישורים מרחביים אצל תלמידיהם?
- כיצד תופסים מורים למתמטיקה, המעידים על עצמם שהם מתקשים לראות במרחב, את התנהלותם בסביבת למידה המכילה אמצעי המחשה טכנולוגיים?

מסקרת תאורטית

מורים למתמטיקה המעידים על עצמם שהם מתקשים לראות במרחב, נאלצים ללמד גאומטריה במרחב, ובתוך כך משתמשים במונחים מרחביות שאינן תמיד בשליטתם. בבסיס רעיון הוויזואליזציה של מצבים גאומטריים תלת-ממדיים מתוך שרטוטים דו-ממדיים משוטחים עומדת הנחה סמויה כי הראייה והקוגניציה האנושית הן בעלות יכולות גבוהות של סינתזה ושל זיהוי תבניות, ומאפשרות על כן להשלים בנקל אינפורמציה החסרה בשרטוט (Christou et al., 2005; Gutiérrez, 1996). אולם הנחה נאיבית זו הוראה לנגד עיניה



המורה הוא דמות מפתח בקידום הלימודי והרגשי של התלמידים בכל מקצועות הלימוד, ובפרט במקצוע המתמטיקה.

תפקודו והצלחתו המקצועית של המורה למתמטיקה נשענים לא רק על ידע מקצועי, ידע דידיקטי-פדגוגי וידע קוריקולרי, אלא גם על תחושת המסוגלות העצמית ועל הדימוי העצמי המקצועי של המורה

מורים ותלמידים בעלי כישורי השיבה ויזואלית מפותחים היטב, המסוגלים להפעיל אותם נכונה בשעת הצורך, הוכחה על ידי חוקרים רבים כמוטעית (Christou et al., 2005; Gutiérrez, 1996; Hershkowitz, Parzys, & Van Dormolen, 1997; Kali & Orion, 1996; Parzys, 1988). קשיים אלה מועצמים בשל מחסור בכלים להמחשה: בתוכניות הלימודים הקיימות אין כמעט דיון בהתפתחות טכנולוגיית המחשב ובתרומתה הפוטנציאלית לוויזואליזציה המרחבית, ובשיעורי הגאומטריה במרחב,



בגאומטריה במרחב.

ההדגמה של עקרונות ומושגים נעשית בעיקר בעזרת גופים שקופים, שמטבע הדברים מייצגים אופק מצומצם מאוד של מצבים גאומטריים, או באמצעות שרטוטים דו-ממדיים שמספקים את האמצעי היחיד להמחשה בספרי הלימוד, על גבי לוח הכיתה ובבחינות (Clements & Sarama, 2000).

המורה הוא דמות מפתח בקידום הלימודי והרגשי של התלמידים בכל מקצועות הלימוד, ובפרט במקצוע המתמטיקה. תפקודו והצלחתו המקצועית של המורה למתמטיקה נשענים לא רק על ידע מקצועי, ידע דידיקטי-פדגוגי וידע קוריקולרי (Shulman, 1987), אלא גם על תחושת המסוגלות העצמית ועל הדימוי העצמי המקצועי של המורה (Kahle, 2008). גיבסון ודמבו (Gibson & Dembo, 1984) ובנדורה (Bandura, 1997), הגדירו תחושת מסוגלות אישית מקצועית בהוראה כאמונה של המורה בעצמו שיש לו את הכישורים הדרושים לקידום ההישגים הלימודיים של תלמידו. מדובר בתחושת הכוח האישי שהמורה מאמין שהוא קיים בקרבו, וכי באמצעותו יוכל להשפיע על הביצוע וההתנהגות של התלמידים בכיתה בדרכים הרצויות לו. תחושה זו היא המבחינה בין מורה שחש כי בכוחו

לממש את הפוטנציאל המקצועי שלו ולהתמודד במקצועיות וביעילות עם אתגרי ההוראה, ובין מורה שחש כי אינו מסוגל לתפקד ברמה מיטבית (קס, 2000). לטענת קס (2000), תחושת המסוגלות העצמית המקצועית נוגעת להיבטים עיקריים בהוראה, כמו למשל מידת הדיוק, השפה המקצועית שבה הוא משתמש בכיתה, מידת האחריות של המורה להישגי תלמידיו, מידת הנינוחות והגמישות של המורה בשיעורים, יכולתו של המורה לספק לתלמידיו משובים למיניהם, מידת הנכונות של המורה להתמודד עם מצבים קשים ועוד. על פי פרידמן וקס (2000), תחושת המסוגלות המקצועית האישית של המורה נבנית בין השאר מתפסותיו באשר ליכולתו לקדם את הישגי התלמידים ובאשר להיבטים מקצועיים, כגון שליטה בידע, תכנון השיעור וביצועו ותיקון של ביצועי התלמידים. מתוך כך יתמקד מחקר זה באופן שבו תופסים מורים למתמטיקה, המעידים על עצמם שהם מתקשים לראות במרחב, את ההוראה שלהם ואת תחושת המסוגלות העצמית שלהם בהוראת גאומטריה במרחב, לעומת הוראת נושאים מתמטיים אחרים. התמקדות זו עולה בקנה אחד עם אבחנתו של בנדורה כי תחושת המסוגלות העצמית המקצועית היא תלויה נסיבות, ולפיכך חשוב לבחון את המסוגלות בכל תחום תפקוד בנפרד (Bandura, 1997).

כיוון שבני אדם מפתחים כישורים מרחביים מתוך התנסות יום-יומית ממשית ולאורך זמן (Robichaux & Guarino, 2000),

אפשר לראות את שורשי הקשיים בוויזואליזציה מרחבית כנעוצים וכמשתקפים מתוך החוויות שעברו המורים עוד בצעירותם כתלמידים. בהוראת המדעים נמצא כי למורים רבים יש תחושת מסוגלות נמוכה מכיוון שחוו בעברם התנסויות לא מוצלחות בלימוד מדעים (Ramey-Gassert & Shroyer, 1992). מתוך כך מעניין לבחון כיצד תופסים מורים למתמטיקה, המעידים על עצמם שהם מתקשים לראות במרחב, את הקושי שלהם על סמך התנסותם בנושא המרחב כתלמידים, לעומת תפיסתם את ההוראה העכשווית שלהם

בגאומטריה במרחב. יתרה מזו, בעידן הטכנולוגיה שאנו חיים בו, מצפים מהמורים להיות מסוגלים לשלב ביעילות עזרי למידה והמחשה ממוחשבים בהוראתם. עוד סוגיה שמחקר זה מבקש להתמקד בה, נוגעת לתפיסות המורים באשר לשימוש בתוכנות מחשב בהוראת הגאומטריה במרחב. מצד אחד חוקרים רבים מכירים ביתרון שיש בשילוב של אפליקציות תלת-ממדיות ממוחשבות, אינטראקטיביות ודינמיות בסביבת הלמידה, ככלי רב עוצמה לוויזואליזציה ולקידום החשיבה הגאומטרית במרחב (Christou et al., 2005; Gutiérrez, 1996); מצד אחר נמצא כי מורים בעלי תחושת מסוגלות נמוכה במתמטיקה אינם בוטחים ביכולתם להשתמש במחשבים לצורך ההוראה (Olivier, 1985 in Bandura, 1997). ראסל ובראדלי אבחנו את חרדת המחשב כסיבה העיקרית שמנעה מורים מלאמץ טכנולוגיה בכיתה (Russell & Bradley, 1997). בנדורה (Bandura, 1997) נתן דעתו על השינויים הטכנולוגיים המהירים של תקופתנו,

המשפיעים גם על תחום החינוך, וטען כי תחושת המסוגלות של המורה משפיעה על יכולתו לאמץ חידושים טכנולוגיים. נשאלת אפוא השאלה: כיצד תופסים מורי המתמטיקה, המעידים על עצמם שהם מתקשים לראות במרחב, את התנהלותם בסביבת למידה המכילה אמצעי המחשה טכנולוגיים בתלת-ממד? האם הם רואים בטכנולוגיה הזדמנות או איום?

מתודולוגיה

מחקר זה נעשה בגישה איכותנית-קונסטרוקטיביסטית, בלי לצאת מתוך השערות ראשוניות ברורות. המחקר מבקש לבחון מקרוב את המציאות בשיעורי גאומטריה במרחב, מתוך חשיפת תפיסותיהן ותחושותיהן של שלוש מורות למתמטיקה, המעידות על עצמן שהן מתקשות "לראות" במרחב, החל מהוויותיהן כתלמידות וכלה בהתמודדות שלהן עם ההוראה העכשווית ועם השימוש באמצעי המחשה טכנולוגיים בתלת-ממד. מתוך כך מטרת המחקר ושאלות המחקר הן באופיין פתוחות ומזמנות חיפוש גמיש אחר תובנות (Lincoln & Guba, 1985). שיטת המחקר היא אינדוקטיבית, צומחת ומגבשת תובנות מתוך המציאות המאפיינת מורות אלו, כפי שזו משתקפת מתוך הראיונות, התצפיות והמסמכים הנאספים.

אוכלוסיית המחקר

במחקר השתתפו שלוש מורות מנוסות למתמטיקה בתיכון, המעידות על עצמן שיש להן קושי "לראות" במרחב, העולה בכל פעם שהן נדרשות ללמד את הנושא (השמות בדויים):

- ניצה, מלמדת מתמטיקה בתיכון זה שלושים שנה, במהלכן לימדה מתמטיקה בכל רמות הלימוד 3-5 יח"ל, ושימשה רכות מקצועי. ניצה, בעלת תואר ראשון במתמטיקה באוניברסיטת תל-אביב, היא מורה בעלת ניסיון ונוקפות לזכותה הצלחות מוכחות בבחינות הבגרות לאורך השנים.

- סמדר, בעלת תואר שני בהוראת המתמטיקה באוניברסיטה הפתוחה, מלמדת מתמטיקה בתיכון בכל רמות הלימוד 3-5 יח"ל, זה עשרים ואחת שנה. לסמדר יש ניסיון והצלחות מוכחות בבחינות הבגרות לאורך השנים. בארבע השנים האחרונות סמדר מלמדת באוניברסיטה ובמכללה, ובזמן האחרון היא עוסקת גם בהדרכת מורים למתמטיקה.

- ורד, בעלת תואר ראשון בהוראת המתמטיקה בסמינר הקיבוצים, מלמדת מתמטיקה בתיכון זה שלושים ואחת שנה, בעיקר ברמת 3 יחידות לימוד, וגם בכיתות מב"ר ואתגר. לורד יש ניסיון והצלחות מוכחות בבחינות הבגרות ב-3 יח"ל לאורך השנים. ורד מדריכה פרחי הוראה בבית ספרה, ובזמן האחרון היא מדריכה גם מורים חדשים שהגיעו להוראה לאחר הסבה מקצועית.

את ניצה פגשתי כשהגיעה להשתלמות של גאומטריה במרחב. באותה השתלמות התבקשו המשתתפים לכתוב קטע רפלקטיבי קצר על התנסותם בגאומטריה במרחב כתלמידים וכמורים. ניצה הייתה אז המורה היחידה שהעידה על עצמה, בדיון רפלקטיבי בכתב, שהיא מתקשה לראות במרחב. את ורד ואת סמדר פגשתי שנתיים לאחר מכן, שוב בהשתלמות מורים, כאשר חיפשתי עוד מורים המעידים על קושי בראייה המרחבית שלהם.

כלי המחקר

- ראיון עומק – נעשה עם כל אחת משלוש המורות. מטרת הראיון לחשוף תפיסות קיימות של המורות באשר להוראת גאומטריה במרחב. הראיון מכיל שאלות רקע כלליות ושאלות שמטרתן לחשוף את הנרטיב האישי בהקשר של גאומטריה במרחב, החל בילדות, דרך התפקוד היומיומי העכשווי וכלה בתפקוד המקצועי. בחלקו השלישי והאחרון, הראיון מכיל שאלות להערכה עצמית כמורה לגאומטריה במרחב בשיטת ה-SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats),

טבלה 1: מבנה ראיון עומק אישי

שאלות רקע כלליות	שאלות שמטרתן לחשוף את הסיטואציה העכשווית	SWOT אישי כמורה לגאומטריה במרחב
מהו הרקע האקדמי והמקצועי שלך?	כיצד היית מאפיינת את היכולת המרחבית שלך?	מהן החוזקות שלך כמורה כשאת מלמדת גאומטריה במרחב?
כיצד היית מאפיינת את היכולת המתמטית שלך?	תוכלי בבקשה לספרי לי סיפור על אחד משיעורי הגאומטריה במרחב שלך כתלמידה?	מהן לדעתך נקודות החוזק של תוכנית הלימודים בגאומטריה מרחבית?
ספרי על הוראת המתמטיקה שלך – מני מספר מאפיינים אישיים שלך בהוראה.	תארי את תחושותייך כאשר את ניצבת לפני בעיה חדשה בגאומטריה במרחב, שאותה לא הכרת קודם?	במה היית רוצה לשפר את הוראת הגאומטריה במרחב שלך?
	איזה חלק את לוקחת בתכנון מטבח חדש, ריהוט חדש לחדר או בעיצוב תלת-ממדי אחר?	אילו חולשות את מזהה בתוכנית הלימודים הקיימת בגאומטריה במרחב?
	ספרי בבקשה על אחד משיעורי הגאומטריה במרחב שהעברת כמורה.	בהקשר של הוראת הגאומטריה במרחב, מהם האיומים שאת חוששת מפניהם כמורה?
	כיצד היית מאפיינת את הוראת הגאומטריה במרחב שלך?	בהקשר של הוראת הגאומטריה במרחב, אילו הזדמנויות את רואה לפניך כמורה?
	תארי את תחושותייך כשאת מלמדת גאומטריה מרחבית כיום?	לאור ההתפתחות הטכנולוגית העצומה, אילו הזדמנויות את רואה עבור הוראת הגאומטריה במרחב?
	עד כמה חשובה לדעתך הוראת הגאומטריה במרחב?	
	כיצד ניתן לדעתך לפתח יכולות מרחביות אצל תלמידים?	
	איזה חלק יש לך לדעתך בפיתוח היכולות המרחביות של תלמידייך?	

אינטראקציה קלה וחלקה. תוכנת 3D Cabri עוצבה כדי לאפשר בנייה, צפייה ומניפולציה של אובייקטים גאומטריים תלת-ממדיים, כדי לצמצם את הקשיים הוויזואליים בהוראה ובלמוד הגאומטריה במרחב בחטיבת הביניים ובתיכון. מטרת ההדמיה לאפשר ללומד התבוננות בממד השלישי באמצעות סיבוב ושינוי של נקודת המבט, וגם באמצעות בנייה דינמית של צורות גאומטריות מתוך קבלת משוב ויזואלי מן התוכנה וחקר של תכונות ושל עקרונות גאומטריים. 3D Cabri נמצאה כאפליקציה גמישה, המאפשרת שיקול דעת בבחירת דרגת החופש המוענקת למשתמש. מתוך כך בחרו המורות, שזו להן ההתנסות הראשונה בשילוב של טכנולוגיית מחשב בשיעוריהן, להשתמש בתוכנה לצורך הדגמה. סביבת הלמידה שהוכנה עבור שיעורי הגאומטריה במרחב שצפיתי בהם, שילבה בין הדגמות ויזואליות שנועדו להמחשה ולהבנה, ובין פתרון תרגילים מתוך ספר הלימוד. את מהלך השיעור תכננו המורות עצמן, ואילו את הדגמים התלת-ממדיים הממוחשבים בנינו ביחד.

מהלך המחקר

בשלב הראשון רואיינה כל אחת מהמורות ראיון עומק, כדי לחשוף תפיסות קיימות שלהן באשר להיבטים מגוונים של הוראת הגאומטריה במרחב. שלושת הראיונות הוקלטו ותומללו. נוסף על הריאיון, התבקשה כל אחת מהמורות להעלות בכתב את התנסותה, רשמיה ותחושותיה סמוך לפני השיעור בגאומטריה במרחב ומיד לאחריו.

בשלב השני עברה כל אחת מהמורות סדנת למידה והתנסות קצרה עם התוכנה הממוחשבת Cabri 3D. במהלך סדנה זו תכננו המורות את שיעורן הבא בגאומטריה במרחב, ובנו בהדרגתי דגמים תלת-ממדיים שבאמצעותם ביקשו המורות להמחיש לתלמידים כל מיני בעיות. הכוונה הייתה שהמורות תתנסנה ותתיידדנה עם התוכנה כדי שתהיינה מסוגלות להדגים באמצעותה במהלך השיעורים שהתכוונתי לצפות בהם. אף ששלוש המורות הסכימו שאצפה בהן בשיעור גאומטריה במרחב, בסופו של דבר הצלחתי לצפות רק בשתי מורות, מכיוון שהמורה השלישית התחמקה מכך בשיטתיות ובאמתלות מגוונות, עד שלבסוף הודיעה כי לא תאפשר לי לצפות בה. שתי המורות שצפיתי בהן כתבו ביומן האישי את מה שחוו והרגישו סמוך לשיעור זה. במהלך המחקר כולו ניהלתי גם אני יומן חוקר שבו, ובו פירטתי הוויות, תחושות ותובנות.

ממצאים

ניתוח הנתונים נעשה באמצעות תהליך של קטגוריזציה ממוקדת (שקדי, 2003), ונגע למילים ולתיאורים העולים מתוך המסמכים, הראיונות והתצפיות, כמשקפים את התפיסות, התחושות, המחשבות, האמונות, והידע של המורות על הוראת הגאומטריה במרחב. השוואת הנתונים, מיונם וניתוחם נעשו לצד איסוף הנתונים וכמובן גם לאחריו. ממצאי המחקר מסוכמים להלן בטבלה מספר 3, המופיעה בסוף פרק הממצאים.

הנתונים המצטברים חולקו לארבע קטגוריות ראשוניות, על פי הנושאים האלה:

- התנסותן של המורות במתמטיקה ובגאומטריה במרחב כתלמידות.
- היבט רגשי – דימוי עצמי מקצועי ותחושת מסוגלות עצמית.
- דרכי ההתמודדות של המורות עם הוראת הגאומטריה במרחב.
- התנהלות המורות בסביבה המכילה אמצעי המחשה טכנולוגיים.

המשמשת כדרך לזיהוי הזדמנויות ולניהול סיכונים בעולם העסקי. כאן ניתוח ה-SWOT נועד לחשוף את תפיסות המורות, המעידות על עצמן שהן מתקשות בראייה מרחבית, באשר לחזקות ולחולשות שלהן, וגם באשר להזדמנויות הנפתחות לפנייהן באמצעות הטכנולוגיה וכמובן האיומים והפחדים שלהן עצמן כמורות למתמטיקה המלמדות גאומטריה במרחב. מבנה כללי של ראיון העומק מובא בטבלה 1.

- תצפיות – צפייה בכל אחת מהמורות במהלך שיעור גאומטריה במרחב, שבו משולב אמצעי המחשה ממוחשב אינטראקטיבי ודינמי, כדי לראות כיצד מתמודדות המורות בסביבת הלמידה הטכנולוגית.
 - יומן המחקר שלי כחוקרת – ובו מחשבות, תהיות ותובנות על הנושא הנחקר ועל התנהלות המרואיינות מושאות המחקר שלי.
 - דיון רפלקטיבי בכתב – של ניצה, אחת המורות נשואות המחקר, באשר להתמודדותה האישית עם הקושי בראייה מרחבית במהלך השנים.
 - יומן אישי מוכוון שאלות בנושא הוראת גאומטריה במרחב – כל אחת מהמורות התבקשה לנהל יומן אישי מכוון שאלות (ראו טבלה 2), ולרשום בו לפני שני שיעורים בגאומטריה במרחב ולאחריהם (שיעור אחד היה שיעור רגיל בגאומטריה במרחב, ואילו השיעור השני לווה באמצעי המחשה ממוחשב), כדי לחשוף מחשבות ותחושות המורות סמוך לשיעורים אלו.
- טבלה 2:** יומן אישי שמילאה כל מורה לפני שני שיעורים בגאומטריה במרחב ולאחריהם

יומן אישי - גאומטריה במרחב

אנא מלאי תאריך ושעה ועני על השאלות במשפטים קצרים וברורים, לפני תחילת השיעור בגאומטריה מרחבית, ומיד לאחריו (20 דקות +/-)

שם: _____

תאריך: _____ שעה: _____ לפני השיעור / אחרי השיעור

איזו תחושה פזיזת את חוהי?

אילו רגשות את חוהי?

מהן המחשבות שלך?

כיצד את מעריכה שתעבירי (או שכבר העברת) את השיעור?

מהו לדעתך הגורם החשוב ביותר בשיעור?

כיצד לדעתך יתפקדו / תפקדו תלמידייך במהלך השיעור? מדוע את חושבת כך?

- תוכנת Cabri 3D V2 - כדי לבחון את התפיסה של המורות באשר להתנהלותן בסביבת למידה המאפשרת שימוש בטכנולוגיה ממוחשבת להמחשת סיטואציות גאומטריות תלת-ממדיות, בהרתי בתוכנת 3D Cabri (Bainville & Laborde, 2004), שנמצאה כתוכנה פתוחה וגמישה במידה מספקת כדי לאפשר למורות

התנסותן של המורות במתמטיקה ובגאומטריה במרחב כתלמידות

הניסיון להיזכר בהתנסותן כתלמידות בגאומטריה במרחב, היה קשה ולא ממש נעים עבור שלוש המורות. הדבר התבלט במיוחד על רקע זיכרון הצלחתן ואהבתן למקצוע המתמטיקה. סמדר מתארת זאת כך:

[...] למדתי מתמטיקה כי אהבתי אותה [...] בזה הרגשתי שאני טובה [...] דווקא המתמטיקה חיכה אלי [...]

אולם בד בבד, סמדר מתארת קושי בגאומטריה במרחב, קושי שעל פי תיאורה, ייתכן שהיה שותף לו גם המורה שלה עצמו:

[...] אני רק זוכרת שהיה לי קשה עם הקווים והזוויות. אבל המורה שלי התאים לי [...] גם הוא לא היה ממחיש דבר בכיתה. היה משרטט על הלוח, שולף את המשולשים החוצה, ועובר מהר מאוד להיבט האנליטי יותר של הדברים. עשינו את המינימום הנדרש - ממש רק את התרגילים הבסיסיים והפשוטים.

ורד תיארה את הצטיינותה בלימודי המתמטיקה בתיכון ואחר כך בתואר הראשון, וגם תיארה את תסכולה בניסיונות ההתמודדות שלה עם גאומטריה במרחב:

[...] אני רק זוכרת שנתקעתי ברוב השאלות שהיו קשורות איכשהו למרחב [...] עד כמה שאני זוכרת, הייתי די מנסה להדחיק את זה מרוב תסכול [...] ברחתי מהמרחב כי האמנתי בצורה עיוורת למורה שלי שאמרה כי "בחינים שלך לא תדעי הנדסת המרחב", והמשפט הזה מלווה אותי עד עצם היום הזה.

ניצה תיארה את התסכול שלה בדרך ספרותית במיוחד בדבריה הרפלקטיביים:

[...] הכול התחיל ביום בהיר ושטוף שמש כשצעדתי בכיתה י"א, ברגליים קלות לשיעור מתמטיקה, אחד מהשיעורים האהובים עלי במיוחד. הנושא הפעם היה "הנדסת המרחב". זו הייתה תחילתו של רומן ארוך, מתסכל ומקרע. נכנסתי לרומן הזה מאד אופטימית: ידעתי ואהבתי מתמטיקה [...] כל שאלה הייתה פגישה חדשה שתחילתה אופטימית זהירה ואחריתה מפח נפש [...]

במהלך הריאיון עימה תיארה ניצה תחושה של עלבון צורב, הזכורה לה בשל הכינוי "סתומה" שהדביק לה אחיה הגדול לאחר ניסיונות לא מוצלחים לעזור לה בגאומטריה במרחב. למרות התיאור החי של התחושות והקשיים, לא זכרו שלוש המורות להוסיף פרטים על שיעורי גאומטריה במרחב שלהן כתלמידות. סמדר פטרה אותם בשל חוסר זיכרון:

"[...] אני לא ממש זוכרת. אני רק זוכרת שהיה לי קשה [...]" ניצה טענה כי "[...] השיעורים עצמם נמחקו - delete - מהזיכרון [...]"

ואילו ורד הסבירה את חוסר הזיכרון כהדחקה:

"[...] אני לא יודעת אם לא הדחקתי את זה, עד כדי חוסר זיכרון מוחלט [...]"

היבט רגשי - דימוי עצמי מקצועי ותחושת מסוגלות עצמית

כמורות למתמטיקה, שלוש המורות רואות עצמן בעלות ידע מתמטי המתאים להוראה בכיתות שהן מלמדות בתיכון.

להלן טענתה של ורד:

[...] מבחינת יכולות מתמטיות, אני חושבת שיש לי יכולות מצוינות, ואני מביאה כיתות לתוצאות מאוד טובות [...]

סמדר משתפת בתחושותיה:

[...] פשוט אוהבת מתמטיקה [...] אני לא פרופסור למתמטיקה [...] אבל בעיקרון אני מרגישה שהיכולות שלי הן מעט יותר משל תלמיד 5 יחידות במתמטיקה [...]

אלה דבריה של ניצה:

[...] יש לי ידע מתמטי טוב. ברמת העיקרון, אין לי פחד משאלות מאתגרות במתמטיקה [...] אני נהנית מזה! אבל [...] אני לא

מגדירה עצמי כמתמטיקאית! [...]

אחד המאפיינים הבולטים של ההוראה שעלה אצל שלוש המורות, קשור באישיותן של המורה ובקשר האישי שהוא יוצר עם תלמידיו, להלן הסברה של ניצה:

[...] המון נעוץ בפרסונה [...] מי המורה, איזו דמות הוא? אם הוא דמות שניעים איתה וטוב איתה, אז הוא יסחוב אותך להרבה מקומות [...] יש לי קשר טוב בדרך כלל עם התלמידים שלי, השיעורים הם באווירה מאוד נינוחה, אנחנו צוחקים בשיעורים [...] אני משתדלת לנסות להעביר את הלימוד לפן האישי [...]

להלן דעתה של סמדר:

[...] קודם כל יצירת החיבורים החברתיים מול התלמיד [...] שהוא ירגיש שאני כל הדרך לידו [...] מבחינתי, היכולות שלנו בשיעור זהות: מה שאני יכולה גם אתה יכול! [...] ליצור איזשהו מין חיבור טוב ונעים [...]

ורד משתפת אותנו בשאיפתה ליצור קשר עם כל תלמידיה:

[...] קודם כל, הרבה הומור [...] יש הרבה הומור בצורת העבודה שלי. אני חושבת שזאת הדרך הטובה ביותר להגיע לכולם, גם לאלה שמתקשים ביותר במתמטיקה [...] כל מיני דברים שככה עושים את השיעור ליותר נעים ומעניין. אני מלמדת מאוד צבעוני. אני חושבת שאני מאוד צבעונית באישיות שלי [...]

שלוש המורות מעידות על עצמן כי הן מתקשות לראות במרחב. הן מזכירות מקומות שבהם הן נתקלות בקשיים בשל כך, ונוקקות לעזרה גם בחיי היומיום. ורד, למשל, מספרת על קשיים שהיא נתקלת בהם במהלך תחביב הציור או שרטוט אחר בפרספקטיבה:

[...] דווקא שמה אני כן טובה. זה מוזר אבל באופן פרדוקסלי, אני מציירת עם פרספקטיבה, כאילו ראייה מרחבית, ומציירת בצורה נכונה [...] גם כשאתכננת את המטבח [...] תכננתי את זה בצורה נכונה [...] באופן כללי, כן מצליחה, אבל לפעמים אני מרגישה שמשוה לא בסדר, ושם אני זקוקה לעזרה [...] נראה כי גם בכך מעורבת מדי פעם הראייה המרחבית החלשה שלי [...]

סמדר מתארת קושי בהבנת שרטוטים אדריכליים:

[...] השרטוטים למשל, של האדריכליות [...] לא יודעת. לא מבינה אותם. לא מדברים אליי. זה במישור וכיצד פותחים את זה למרחב? [...] נאלצתי לסמוך על אחרים, שהבינו טוב יותר מה רואים בשרטוטים [...]

ניצה קושרת במטפורה בין יכולת ההתמצאות הטובה שלה, ובין הקושי שלה לאמוד גדלים במרחב או להבין שרטוטים דו-ממדיים:

[...] אני יכולה להיות באולימפיאדה, אבל יכול להיות שאני צריכה אולימפיאדה של נכים! [...] יכול להיות שיש איזשהו קושי שיש לי אישית [...] ואני צריכה כלים בשביל הקושי הזה [...]

שלוש המורות חשות במהלך העבודה בבית הספר תחושות של אי-נוחות, איום, לחץ, חרדה, בושה, כעס, תסכול וחוסר אונים בהוראת הגאומטריה במרחב:

[...] אני בלחץ, ממש בלחץ [...] יש לי גם אי-נוחות [...]

ניצה מגדירה את תחושותיה כאשר היא ניצבת לפני בעיה חדשה בגאומטריה במרחב שלא ראתה אותה קודם לכן, ומביעה חשש:

[...] אני חוששת שאני לא אראה את הדברים [...] לפעמים על הלוח זה עוד יותר קשה [...]

ניצה עצמה רואה בהוראת הגאומטריה במרחב "חור שחור" ו"משהו לא סגור".

ורד מגדירה את נושא הגאומטריה במרחב כטראומטי עבורה, ומעידה על עצמה כי היא "מסתובבת עם הטראומה העצמית [...] שלה; היא חשה פחד וחוסר ביטחון כאשר היא מלמדת את הנושא:

[...] בור כזה [...] לפעמים בור של פחד כזה [...] אתה מרגיש חוסר ביטחון! [...]

כאשר סמדר ניצבת לפני בעיה חדשה בגאומטריה במרחב, היא

"מתחילה בחשש גדול" וחשה אי נעימות ואי נוחות כאשר אינה מצליחה לפתור אותה:

[...] אני נאבקת עם עצמי כי לא נעים, ואני מנסה עוד קצת ועוד קצת, ואז לפעמים אני מוצאת את עצמי בפלונטר כזה, ואני רואה שאני לא מוצאת ככה את הכיוון [...] התחושה לא נוחה [...] אם הכיתה חדשה, ואני לא יודעת [...] ואני נתקעת - אבוי, זוועה! בושה! אז אני מתוסכלת וכועסת על עצמי ממש. מאוד. הרס לי את היום!

סמדר מתארת תחושה של חוסר שליטה:

[...] אני מרגישה שזה כאילו "יש לך את זה" או "אין לך את זה", ובעצם אין לי שליטה על זה [...]

לפני הכניסה לשיעורי הגאומטריה במרחב, שלוש המורות מתארות תחושות פיזיות המאפיינות חדרה. להלן וידויה של ניצה:

[...] הבטן שלי מתהפכת, פשוט ככה [...] הכנתי את השיעור הזה לכל פרטיו, ועדיין אני בחדרה. אני מרגישה כאילו משהו תקוע לי בגרון [...]

סמדר רוטנר:

[...] אני מאוד עצבנית היום [...] בנוסף לכול, גם שן הבינה שלי מתחילה להציק לי [...] אולי בגלל שקר מדי [...]

כאן נראה את תחושותיה של ורד:

[...] כמו תמיד, הכנתי היטב את כל התרגילים שאציי בשיעור [...] לא הפסקתי לחשוב על זה לרגע כבר יומיים!!! אני אפילו חולמת על קוביות [...] מרוב לחץ, נתפס לי הגב [...] אני מרגישה חשש. אפשר לומר חשש לא הגיוני [...]

המורות רואות בקושי לראות במרחב איום על מעמדן המקצועי בכיתה ועל הדימוי העצמי המקצועי שלהן. ניצה מתארת זאת כך:

[...] יש לי אי נוחות מזה שהתלמידים חושבים ומרגישים שאני תותח, ופתאום אני מגומגמת אפילו בעיני עצמי, גם אם הם לא רואים [...] אני לא יכולה לבוא ולהגיד שאני מלמדת נושא ואני לא שולטת בו. זה משהו בעייתי בעיני [...] אין מה לעשות - מבחינת התלמידים אנחנו יודעים מתמטיקה, אנחנו וירטואוזים, זה איזושהי אוטוריטה מקצועית [...]

סמדר עוסקת אף היא בדימוי המקצועי העצמי שלה:

הרבה פעמים נורא קשה לי ואני נאבקת [...] זו תחושה לא נוחה [...] כי אני חושבת שאני צריכה להיות יותר מקצועית. אני מצליחה לעשות זאת בכל נושא אחר, פרט לגאומטריה במרחב, שם אני לפעמים מרגישה חוסר ביטחון כי אני לא רואה את הדברים. מבחינה מקצועית, אני המורה למתמטיקה [...] ואני אמורה לדעת לפתור את כל התרגילים בנושא הזה! [...] אני מרגישה לא מספיק מקצועית. אני מרגישה מאוד לא טוב עם זה [...]

ורד מתארת תחושה של חוסר ביטחון מקצועי, שאף כיוונה את הקריירה שלה כמורה וגרמה לה שלא ללמד מתמטיקה ברמות הגבוהות:

[...] יכול להיות שאחת הסיבות בגללן נמנעתי לעבור ללמד ב-4-5 יח"ל זה הגאומטריה במרחב [...] תמיד השאלה הבאה מפחידה אותי: לחשוב מה יהיה אם יבוא תלמיד בכיתה וישאל אותי שאלה, ואני לא אדע [...] זה מפחיד כשאתה לא יודע משהו, אז גם לא נעים לך, אתה המורה! [...] בגאומטריה במרחב, אני מרגישה שהידיעה שלי פחותה - ושם אני מרגישה חלשה. שם אני מרגישה פגיעה, ואני מפחדת [...] זאת תחושה של חוסר ביטחון. זה לא נעים. אתה מעדיף תמיד להיות ב-zone המוכר שלך [...] יחסית אני בסדר, זאת אומרת, בגלל שזה 3 יח"ל ואתגר ומב"ר, שמה פחות מרגישים את החולשות שלי [...] אם הייתי צריכה ללמד ברמה יותר גבוהה, ב-4-5 יח"ל מיד היו מרגישים [...] אני הייתי מגמגמת לדעת, או משהו כזה [...]

כפועל יוצא, תחושת המסוגלות העצמית של שלוש המורות בהוראת הגאומטריה במרחב היא נמוכה, וזאת בניגוד לתחושת המסוגלות העצמית הגבוהה שלהן בנושאים מתמטיים אחרים. ניצה חשה כי הוראת הגאומטריה במרחב היא מעבר לכוחותיה:

[...] הדבר הראשון שחשבתי, שאין לי כוח להתמודד עם זה עכשיו,

כי אני יודעת כמה אנרגיות זה דורש ממני [...]

היא מתארת את ההשקעה הרבה הנדרשת ממנה בשיעורי הגאומטריה במרחב:

[...] אם אני מלמדת את זה, ואי! אני תמיד מכינה את השיעור מלפני ולפנים, אני תמיד משתמשת בעוזרים. תמיד, תמיד, תמיד! הם לא מבינים שהעוזרים הם בשבילי ולא בשבילם [...] הילדים בטוחים שאני עושה את זה בשביל שהם יראו את זה. הם לא מבינים שאני עושה את זה בשביל שאני אראה את זה [...]

סמדר חשה מאוד לא בטוחה במקצועיות ההוראה שלה בגאומטריה במרחב, ואף חושבת כי מוטב לתלמידים בלעדיה:

[...] אם תראי לי שאלות שהן פשוטות, אסתדר, אבל אם יעבירו בפנים כל מיני קווים הזויים, אני לא רואה את הדברים! את מבינה? אז אני משתדלת להימנע, בטח בנוכחות התלמידים, משאלות שלא פתרתי אותן קודם בבית, מה שבכל נושא אחר לא קורה לי [...] בנושאים אחרים אני אומרת: "תביאו כל מה שאתם לא יודעים" [...] פה אני אגיד "בואו נחזור מפה עד לפה" [...] משהו כזה [...] מצאתי שגם אם אני לא מלמדת גאומטריה במרחב כמו שאני מלמדת בדרך כלל באופן מובנה, אבל אני נותנת בסיס ושולחת את התלמידים לדרך, כאשר אין להם את המעצורים שלי, הם מסתדרים עם זה נהדר [...] אין לי עם זה שום בעיה [...] כי אני לא יכולה לבוא ולהגיד שאני מלמדת נושא ואני לא שולטת בו [...] זה בעייתי מבחינת הביטחון של התלמידים - "אם היא לא מצליחה לראות את זה, איך אני אמור להצליח?" [...]

תחושת המסוגלות העצמית הנמוכה של ורד הביאה אותה להתמקד ברמה הנמוכה של 3 יח"ל מתמטיקה, ולפקפק ביכולתה ללמד ברמה גבוהה יותר:

[...] יש איזושהי דמות מסוימת שיש לילדים כשהם רואים אותי, אני רוצה להאמין שהם לא מזהים שדווקא בנושא הזה יש איזו נפילה בידע [...] זאת אומרת, בגלל שזה 3 יח"ל ואתגר ומב"ר, שמה פחות מרגישים את החולשות האלה שלי [...] אם הייתי צריכה ללמד ברמה גבוהה יותר, מייד היו מרגישים [...]

אולם גם ברמה הנמוכה יותר של 3 יח"ל, ורד חוששת משאלות בגאומטריה במרחב:

[...] בעצם כל אחד יכול להתקיל אותי באיזושהי שאלה לגבי גאומטריה במרחב [...] הדבר המוזה מבחינתי איום, ואני חוששת ממנו כמורה. זה תמיד השאלה הבאה בתור שמישהו ישאל [...] מה אם זה משהו שלא אדע לענות עליו? [...]

סמדר מתארת את חששה:

כל אותם שרטוטים שבהם יש אלף קווים והתלמיד נדרש לזהות זוויות בין ישרים ומישורים ובין מישורים לבין עצמם. אני לא יודעת, אותי זה מפחיד [...] זה מפחיד מפני שזה לוקח הרבה זמן עד שאני רואה את זה, אם בכלל [...] אני יכולה להגיד שקשה לי יחסית ודורש ממני הרבה מאד עבודה. אני מתגלצת על הדיפרנציאלי, לא צריכה להכין את עצמי, יכולה לענות בלי בעיה על כל שאלה שתבוא כי אני שולטת שליטה מלאה באנליזה [...] אבל פה אני יכולה, לא משנה כמה אני יודעת את הפרק, אני יכולה ליפול, לא לראות ולא להצליח לפתור, מה שפחות סביר שיקרה לי בפרקי לימוד אחרים [...]

סמדר רואה בהדרגתיות כלי שיכול לאפשר לה ללמד גאומטריה במרחב בכל זאת:

[...] כשזה מוגש בצורה מדרגת, אז אתה קולט לאט, לאט, אולי קודם צורות פשוטות יותר, כמו המנסרות, התיבות, הקוביות [...] אחר כך, לאט, לאט, יותר שרטוטים מפחידים [...] החיסרון הוא באיטיות; מובן שזה לוקח לי הרבה יותר זמן לצעוד צעד קטן קדימה, לעומת נושאים מתמטיים אחרים [...]

דרכי ההתמודדות של המורות עם הוראת הגאומטריה במרחב

למרות הקושי האישי שלהן, המורות מאמינות כי אפשר לקדם ראייה מרחבית ולפתח אותה אצל תלמידיהן. סמדר מאמינה כי אפשר לשפר ראייה מרחבית [...] דרך תרגול רב והרבה התעסקות בזה [...].

אני חושבת שזה הפרק שהייתי מוותרת עליו, מסיבות שקשורות ברמת הקושי האישי שלי [...]

למרות מחשבותיה אלה, נראה כי דרישותיה הגבוהות מעצמה אינן מניחות לה לוותר, והדבר ניכר גם בשיעור שצפיתי בו, כאשר סמדר מצליחה לשמור על שפה מתמטית ועל חזות מקצועיות מאוד בכיתה.

ניצה, המלמדת מתמטיקה זה 30 שנה, הצליחה לרוב לחמוק מללמד גאומטריה במרחב בכל מיני דרכים:

[...] אני רוצה לחדד את העניין הזה, שאני לא מלמדת את זה. זה לא ששלושים שנה אני מלמדת ואיך אני לא מסתדרת עם זה. אני שלושים שנה לא מלמדת את זה. אני לא מלמדת את זה וככה אני מסתדרת עם זה [...] כשאני יודעת שאני צריכה ללמד את זה, אני קודם כל חושבת על אלטרנטיבות - מי ילמד במקומי [...] אני בכל פעם חושבת מי ילמד במקומי [...] בשנה שעברה למשל, יאיר לקח את שתי הכיתות [...] אני תמיד מוצאת פתרונות: שנה אחת הייתה אנה, החלפנו בינינו כיתות [...] תמיד היו לי פתרונות איך לא ללמד גאומטריה במרחב. ואם לא היה לי פתרון, אז דחיתי את זה עד סוף השנה. אז היה לי פחות זמן, ונתתי רק את הבסיס, והילדים הסתדרו טוב מאוד בלעדיי [...]

את הוראתה במעט השיעורים שלימדה בהם ניצה גאומטריה במרחב, היא מאפיינת כזהירה וכתמכת בתלמידים עצמם:

[...] להבדיל מנושאים אחרים בהם אין לי בעיה כשאני אומרת [...] תשאלו מה שאתם רוצים, לא חשוב מאיזה ספרים [...] פה אני יותר זהירה, ועוד משהו - אני יותר נעזרת בהם. זאת אומרת, אם בשיעור לפני מבחן, השאלות מופנות אליי, ואני זאת שעונה, אם יופנו אלי שאלות במרחב, אני בהחלט אגיד "מי רוצה לנסות?" כי אני שמה לב לפעמים, שיש ילדים שרואים את זה בשנייה הרבה יותר מהר ממני. אז אני פשוט נעזרת בהם. אני כאילו מטילה עליהם את העבודה [...]

חוסר הניסיון המקצועי של ניצה בהוראת הגאומטריה במרחב ניכר גם במהלך השיעור הפרונטלי שצפיתי בו. בשיעור זה היא השתמשה בשפה אינטואיטיבית מאוד ולא מדייקת, והתמקדה בדוגמאות בסיסיות ביותר. הרושם שלי בשיעור היה כי ניצה התרכזה מאוד בהעברת הנושא, והתמקדה פחות בתלמידים עצמם ובהבנה שלהם.

כאשר החליטה ורד ללמד מתמטיקה ברמה נמוכה בלבד, היא בעצם ויתרה מראש על ההתמודדות עם שאלות המרחב המסובכות שנדרשים להן תלמידי הרמות הגבוהות במתמטיקה. למרות זאת, ורד מאפיינת את הוראת הגאומטריה במרחב שלה כמינימלית, ועדיין חשה חוסר ביטחון ורצון לצמצם עוד יותר את הוראת נושא הגאומטריה במרחב:

[...] לימדתי תיבה וקובייה, והסברתי לתלמידים איך מוצאים שטח פנים, מה זה מקצוע, ומה זה נפח [...] אבל בבסיס, ממש הכי בסיסי שיכול להיות. כשלימדתי על פרישות, מורה אחרת הכינה ונתנה לנו [...] זהו, כמה שפחות להתעסק עם זה, ככה אני מרגישה יותר טוב [...] יש פשוט מורה שמגיעה ומדגימה [...]

נוסף על כך, ורד מתארת כיצד היא נאלצת לפעמים להתמודד בתחום עם שאלות תלמידים:

[...] אם אני במקרה הבנתי את השאלה והכול בסדר, יופי, אני אסביר והכול, ואם לא, אז בדרך כלל אני אמצא לזה פתרון כמו "אני אחשוב על זה ואני אחזיר לך תשובה מחר" או אנסה להרוויח זמן באופן אחר, ובינתיים אנסה להתייעץ עם מישהו [...]

מתוך החרדה, התסכול והכעס שהמורות חשות, הן מפנות אצבע מאשימה הן כלפי עצמן והן כלפי חוץ. ניצה נוטה להאשים את עצמה בפינוק יתר ובהזנחה:

[...] זה סוג של פינוק. אני מוותרת לעצמי, וזה סוג של פינוק. כאילו, אני אומרת: "O.K. אני תותחית בשאר, אז בסדר, אני לא יודעת הנדסת המרחב..." [...] אולי זה סוג של פינוק [...] זאת הזנחה שלי. ברור לי, לא נדרשתי לזה. תמיד הסתדרתי בלי זה [...]

עם זאת ניצה חושבת שחלק מן הקשיים נובעים מכך שתוכנית

ורד מציעה לשנות את דרכי ההוראה ולהיעזר בהמחשה באמצעות תוכנת מחשב. לניצה, לעומת זאת, אין מרשמים להצליחה:

[...] אם הייתי יודעת את הסוד, אז הייתי מיישמת אותו על עצמי קודם כל [...] בשנים שלימדתי [...] הסתדרתי גם בלי הנושא הזה [...] אז אין לי טיפים להגיד לאנשים אחרים [...]

עם זה ההתייחסות של המורות למקומן בפיתוח היכולות המרחביות של תלמידיהן מציאותית מאוד, כאן נראה את דבריה של ורד:

...אני לא חושבת שאני מפתחת יותר מדי כישורים מרחביים אצל התלמידים שלי, כי לי בעצמי יש לקונה מהסיפור הזה...

בהמשך נראה את וידויה של ניצה בעניין:

...אני לא מלמדת את זה... הרבה פעמים אין לי כל חלק בפיתוח היכולות המרחביות של תלמידי...

ואת הרגשתה של סמדר:

[...] אני מרגישה שזה כאילו "יש לך את זה" או "אין לך את זה" ובעצם אין לי שליטה על זה. ואז יש ילדים שבאמת "יש להם את זה". אז הם כאילו [...] בהקשר של ללמד אותם, אני חושפת אותם לתרגיל חדש [...] אני כן מרגישה שנעשית שם למידה, גם אם אני לא מומחית להנדסת המרחב [...]

עם זה שלוש המורות רואות את הוראת הגאומטריה במרחב חשובה. ורד רואה בגאומטריה במרחב כלי בעל חשיבות להכרת מרחב המחיה שלנו.

ניצה מסייגת זאת:

[...] מרחב הוא לא מדע בדיוני. את חיה בתוך מרחב. זה משהו שחשוב ללמוד. השאלה היא עד איזה רמה זה חשוב: האם זה חשוב ברמה של להכיר קיבולת ולהכיר מעטפת, שטח פנים [...] או באמת הזוויות הנוצרות בפנים?

במחשבה אחרת, ניצה מציינת שהגאומטריה במרחב [...] מגוונת את דמות המתמטיקה [...] עוד משהו שהתלמידים לא ראו כמוהו".

סמדר עוסקת בוויזואליות שבגאומטריה במרחב ורואה חשיבות בהנדסת המרחב כהכנה ללימודים מתקדמים יותר:

[...] אם נחלק את זה לאלגברה ולהסתכלות, צריך גם את ההסתכלות [...] אם הם יצטרכו ללמוד אחר כך משהו כזה באוניברסיטה, באחד מתחומי המדעים או ההנדסה [...] גאומטריה במרחב הוא גם סוג של כלי, שאם הם יחשפו אליו בתיכון, הם ידעו להשתמש בו גם אחר כך [...]

מתוך תפיסה זו שלוש המורות מנסות להתמודד, כל אחת בדרכה, עם ההוראה של גאומטריה במרחב בכיתות. לסמדר דרישות גבוהות מעצמה ומתלמידיה:

"[...] אני דורשת רמה טובה ורמת הבנה גבוהה [...]"

כיוון שסמדר אינה מתפשרת על איכות ההוראה, היא מצאה דרך מילוט "מכובדת": היא רותמת לעזרתה את הניסיון שלה בהוראה ואת היכולות המתמטיות והאנליטיות הגבוהות שלה, ומגבשת לעצמה תוכנית הוראה הדרגתית מאוד, בדרך שדוחה את השאלות הקשות ממש לסוף. סמדר רואה את תפקידה בחשיפת התלמידים לנושא הגאומטריה במרחב, כאשר בשלבים המתקדמים של ההוראה היא נעזרת בראייתם המרחבית הטובה של כמה מתלמידיה:

[...] גם אם אני לא מומחית להנדסת המרחב [...] בא תלמיד והוא רואה ומראה פתאום [...] הוא מלמד את האחרים [...] אני לוקחת את הרעיון שלו וברגע שאני רואה ומבינה, אז אני חושבת שאני כן יכולה להסביר להם, והם מבינים [...] אני כבר לא אשפר את הראייה המרחבית שלי, אבל חשוב לחשוף אותם לגופים ולהגדרות. לי נראה שאם יש תלמידים עם ראייה מרחבית טובה, הם כבר יתקדמו משם בעצמם [...]

סמדר מודה כי חשבה לא אחת שלא ללמד גאומטריה במרחב:

[...] אני שמתעשעת במחשבה לוותר על הפרק הזה [...] יכול להיות שאם הייתה לי בחירה כמורה ויכולתי לבחור לוותר על איזשהו פרק,

[...] תמיד הנדסת המרחב נכנסת בדלת האחורית - מתבוננים בצורות במרחב, אבל לא רכשנו כלים לכך כי הגאומטריה במרחב היא לא נושא בפני עצמו. מראש לא נותנים לגאומטריה במרחב מספיק מקום בתוכנית הלימודים [...]

לסמדר ביקורת נוקבת כלפי תוכנית הלימודים שאינה משתמשת בטכנולוגיה:

[...] אני בהחלט חושבת שאילו הייתה לי תוכנה שמדמה זאת ומקלה על הראייה, אפשר היה לשאול גם שאלות מורכבות יותר בגאומטריה במרחב. בגאומטריה במישור נניח, התרגיל הרבה יותר מורכב מאשר כל הזמן למצוא זוויות בין ישרים. לעומת זאת, במרחב, פרטואר השאלות שלי מאוד מצומצם, רק בגלל שלא מראים לי את זה. ברגע שיראו לי את זה, השאלות תוכלנה להיות יותר מעניינות [...]

לטענת סמדר:

[...] השאלות פשטניות, לא מעניינות ומאתגרות בעצם רק את מי שמתקשה לראות במרחב [...]

ורד מציינת כי היא לא היחידה שמתקשה לראות במרחב:

[...] וזה קשה לכולם, אני לא היחידה, לבוד שקשה לה. אני מרגישה את אותו קושי גם אצל מורים אחרים. בישיבות זה פתאום יוצא החוצה. פתאום זה לא יודע, והוא לא יודע, והרבה מתביישים להגיד שהם לא יודעים [...]

מתוך כך ורד מפנה אצבע מאשימה כלפי גורמים רבים, החל במורה שלה:

[...] זה בטוח קשור למורה שהייתה לי, שלימדה אותי ושלא הפנימה אצלי את הנושא הזה [...]

דרך התנהלות מערכת החינוך:

[...] אני חושבת שאפשר היה לתקן את זה בצורה מאוד ברורה, כמו שמתקנים ראייה עם משקפיים, אני חושבת שאפשר היה לתקן את זה מאוד פשוט, ולא עשו את זה במערכת החינוך, ועד היום לא עושים [...]. אולי זה לא ממש כמו תיקון ראייה. אבל יכול להיות, אם היו נותנים לי הזדמנות לעשות שינוי, אז הייתי רואה אם זה משהו שקשור להוראה של גאומטריה במרחב, שלא נעשתה כמו שצריך, ואני בטראומה, או שאני לא רואה במרחב, וזהו [...]

וכלה בתוכנית הלימודים:

[...] אתה אומר "זוואלה, אני לא לבד. משהו לא בסדר?" [...] איפה מה שלא בסדר? מאיפה זה מגיע? אני חושבת שזה כרוך בזה שבגן משחקים בקוביות, ובעצם מה הלאה? אחרי זה מפסיקים לשחק בקוביות, ומתחילים לעבור לשרטוטים דו-ממדיים, ושם אני חושבת שיש איזשהו נתק, בין מה ששיחקנו בגן לבין מה שהתחילו ללמד אותנו ב"סודי". פתאום איכשהו, התלת-ממד הפך להיות משהו אחר, זה כבר לא התלת-ממד המוכר. ולא מלמדים אותו בצורה נכונה [...]

מתוך היומנים המתמטיים שכתבו, נדמה כי המורות מדגישות את השיבות תפקודן בכיתה בשיעורי גאומטריה במרחב לא פחות, ואפילו יותר את תפקודם של התלמידים, כך ניצה כותבת לקראת שיעור הגאומטריה במרחב שהסכימה להעביר לצורך מחקר זה:

[...] הכי חשוב שאני אהיה רגועה ואצליח לראות את הדברים מתוך הדגמים, כפי שעשיתי בבית. חשוב שהם התלמידים יצליחו לראות מתוך הדגמים [...]

סמדר מנסה להתבונן התבוננות רפלקטיבית בשיעור שהעבירה. מבחינתה של סמדר חשוב לחשוף את התלמידים לגופים ולהגדרות ויהי מה:

[...] חשוב לי שלא להעביר את המצוקה והפחדים שלי לתלמידים. נראה לי ששידירתי ביטחון עצמי והתלמידים לא הרגישו שיש כאן רגישות כלשהי ושיש לי קושי אישי עם הנושא [...] אם יש תלמידים עם ראייה מרחבית טובה, הם כבר יתקדמו משם בעצמם [...]

התנהלות המורות בסביבה המכילה אמצעי המחשה טכנולוגיים

ברמה ההצהרתית, שלוש המורות תולות תקוות רבות בשילוב הטכנולוגיה בהוראת הגאומטריה במרחב, ורואות בכך הזדמנות עבור עצמן, עבור התלמידים ועבור המקצוע. ורד מדברת בהתלהבות:

[...] כשראיתי את זה, אמרתי לעצמי: הנה ההזדמנות שלי להבין משהו בגאומטריה במרחב. פשוט הזדמנות מדהימה לקחת ולראות את הדברים as is [...] סובבנו, הזננו, הרמנו [...] דבר יוצא מן הכלל, שצריך להיות דבר נפוץ בכל מערכת החינוך, החל מן הגן [...]

כאן סמדר מעזה להביע את תקוותה:

[...] אני בהחלט חושבת שאילו הייתה לי תוכנה שמדמה זאת ומקלה על הראייה, אפשר היה לשאול גם שאלות מורכבות יותר בגאומטריה במרחב [...] במרחב, פרטואר השאלות מאוד מצומצם, רק בגלל שלא מראים לי את זה. ברגע שיראו לי את זה, השאלות תוכלנה גם להיות יותר מעניינות. צריך לחשוב על זה [...] נוסף על זה, הייתי שמחה שלי תהיה ראייה מרחבית טובה יותר. ואולי השימוש בתוכנה מדמה כזאת הייתה גם עוזרת לי ומשפרת את הראייה המרחבית שלי [...]

להלן מתוארת השערתה של ניצה:

[...] ההמחשה תהיה הרבה יותר קלה עם טכנולוגיה כי את לא צריכה להעביר את כל השיפודים והמקלות בתוך ה [...] זה פרימיטיבי, זה של דב המערות! ברור לי שיש אמצעי המחשה הרבה יותר מתקדמים [...]

עם זה עלו גם הרבה חששות כלפי הטכנולוגיה. ניצה העלתה שאלה נוקבת מאוד הנוגעת לכלי המחשה טכנולוגיים:

[...] האם השימוש בכלי לאורך זמן מלמד אותך משהו, שבבוא הזמן המוח שלך כבר ידע לעשות בעצמו, ללא כלי המחשה? זאת השאלה [...] או שזה נהיה קביום שאתה כבר לא יכול ללכת בלעדיהם? זאת השאלה שלי ברמת העיקרון. עד כמה, הקביום האלה [...] אתה הופך להיות תלוי בהם? כי הרי בחיים האמיתיים, אין לך אותם. אתה לא תתחיל להעביר בתוך החדר שיפודים ועניינים [...] או לחלופין לרוץ אל הטכנולוגיה בכל פעם [...]

במהלך הסדנה שבה נחשפה ניצה לתוכנת ה-Cabri 3D, כמו ביומן האישי שרשמה, הביעה ניצה חשש כי ניהול השיעור בגאומטריה במרחב, בצירוף הצורך להתמצא בתוכנה עצמה, יקשו עליה מאוד. חשש זה גבר אצלה גם בשל חוסר הצלחתה להתמודד לבדה עם התוכנה במהלך היום שלפני השיעור. כך היא אמרה:

[...] אני לא לימדתי אף פעם שיעור כזה בגאומטריה במרחב - עם כל ההגדרות והזוויות בדגמים ממוחשבים, אז אני ממש מפחדת [...]

כדי להפחית חרדה, החלטתי להשתתף בשיעור עצמו ולנהל תצפית מעורבת (שקדי, 2003). במהלך השיעור לימדה ניצה גאומטריה במרחב, ואילו אני הדגמתי את התרגילים באמצעות התוכנה, וביצעתי סיבובים, מדידות ובניות בהתאם לבקשותיה של ניצה ושל התלמידים. למרות זמינות התוכנה הממוחשבת והעזרה שלי, שמתי לב כי ניצה הרבתה לנצל את הדגמים הממוחשבים בעיקר כתחליף לשרטוטים שלה על גבי הלוח.

לעומתה, סמדר הסתדרה נפלא עם התוכנה ואף פיתחה עצמאות בהדגמות באמצעותה, כך שלא נעזרה בי כלל במהלך השיעור כולו. שליטתה בתוכנה והידיעה שזה היה שיעור בסיסי בנושא המרחב, תרמו לכך שסמדר חשה רגועה גם לפני תחילת השיעור:

[...] אין לי ניסיון קודם בהמחשה ממוחשבת, אך נראה לי שאסתדר [...]

לאחר השיעור סיכמה סמדר את חוויותיה בהתלהבות:

[...] אני אף פעם לא נעזרתי באמצעי המחשה בשיעורי גאומטריה

במרחב, אבל עכשיו אני חושבת שזה משהו מאוד חשוב, אולי הכי חשוב. זה עוזר לא רק לתלמידים, אלא גם למורה. ככה אפשר להקרין את הדגם, לשוב ולמדוד ולהמחיש את הכול. זה עולם אחר!

שלא כניצה וסמדר שנענו לאתגר, דחתה ורד באמתלות למיניהן שלוש מועדים שבהם קבענו כי אצפה בה מלמדת גאומטריה במרחב בשילוב תוכנת ה-Cabri 3D. לבסוף היא התוודתה לפניי כי היא חשה מאוד לא נוח לגבי שיעור כזה ואין בכוונתה לקיימו מאחר שאינה מאמינה שיש בכוחה להתמודד עם המשימה. בדיעבד חזרה לתודעתי נימת הייאוש בדבריה של ורד:

[...] מבחינתי [...] לא יודעת. אני לא רואה מקום לשינוי. אצלי, באופן אישי אני לא רואה מקום לשינוי, אלא אם כן [...] יקרה נס [...]

במחקר זה נשמע קולן של שלוש מורות למתמטיקה המעידות על עצמן שהן מתקשות לראות במרחב. היותן שלוש מורות בלבד אפשר לנו לבחון ב"זכוכית מגדלת" את תחושותיהן ותפיסותיהן. עם זה חשוב להסתייג מניסיון להגיע להכללות כלשהן, שכן אין לשכוח כי מדובר רק בשלוש מורות מסוימות, וחשוב שלא לטעות ולהגיע להכללות יתר. מתוך מודעות זו לחוזקות המחקר ולמגבלותיו, בטבלה 3 להלן ניסיון לסכם את ממצאי שלוש המורות, מתוך השוואה שיטתית בין תפיסת הוראת גאומטריה במרחב לתפיסת ההוראה בתחומי מתמטיקה אחרים, כפי שאלו עולות מתוך ממצאי המחקר. השוואה זו נעשתה על פי ארבע קטגוריות שעלו מתוך ניתוח הממצאים: התנסות בעבר כתלמידה, ההיבט הרגשי, ההתמודדות עם ההוראה והתפיסה של הטכנולוגיה.

טבלה 3: סיכום ממצאי המחקר

קטגוריה	תפיסות באשר להוראת גאומטריה במרחב	תפיסות באשר להוראת מתמטיקה	יכולת מתמטית טובה
התנסות בעבר כתלמיד	התנסות שלילית כתלמיד: חוויית כישלון	התנסות חיובית כתלמיד: חוויית הצלחה והצטיינות	אהבה למקצוע
היבט רגשי	מצוקה, אי-נוחות, פחד, חשש, חרדה, לחץ, איום, תסכול, כעס, בושה, תשישות, חוסר מקצועיות, חוסר ביטחון, חוסר אונים דימוי עצמי מקצועי נמוך תחושת מסוגלות עצמית נמוכה, אמונה כי רמת הידע הקיימת אינה מספקת, חשש משאלות חדשות	דימוי עצמי מקצועי גבוה תחושת מסוגלות עצמית גבוהה ביטחון ברמת הידע המקצועי, אין חששות, אין פחד משאלות חדשות ומאתגרות	
התמודדות	התמודדות באמצעות בריחה, הדחקה, דחיית מענה בניסיון "להרוויח זמן", אחיזת עיניים, העברת אחריות לאחרים, האשמה, פטליזם, נטישת האחריות להישגי התלמידים, תפקוד בסיסי ומינימלי, שפה עמומה וחוסר דיוק מקצועי, שימוש ביכולות המתמטיות החזקות	התמודדות באמצעות מקצועיות המורה כוורטואז, כאוטוריטה מקצועית	
טכנולוגיה	חיפוש אחר עזרים שונים מתוך רצון לשנות: הטכנולוגיה כתופת פלא	השיעורים אינם מערבים טכנולוגיה ועזרים אחרים	

תולדה של מסרים, מפורשים או סמויים, שקיבלו כתלמידות מתוך ההבדלים בין חוסר תפקודן בהנדסת המרחב ובין הישגיהן המרשימים בשאר הנושאים המתמטיים? זו סוגיה מעניינת למחקר עתידי.

מכל מקום, שחזור חוויית מן העבר איפשר למורות העמקת ההבנה העצמית, אם מתוך השלמה עם המצב ואם מתוך רצון ומוטיבציה להשתתף במחקר מתוך תקווה לשינוי. תפיסתן העצמית של שלוש המורות כבעלות קושי בראייה מרחבית, מתקשרת אצלן לתחושות קשות מאוד: מצוקה, אי-נוחות, חשש, חרדה, פחד, לחץ, איום, תסכול, כעס, בושה, תשישות, חוסר ביטחון, חוסר אונים וחוסר מקצועיות. תחושות אלו עולות בקנה אחד עם תחושת המסוגלות העצמית הנמוכה ועם הדימוי העצמי המקצועי הנמוך המשתקפים מדבריהן של שלוש המורות על הוראת גאומטריה במרחב (קס, 2000). חוסר הביטחון בידע ובתפקוד המקצועי שלהן בגאומטריה במרחב, עומד בניגוד מוחלט לתחושת המסוגלות העצמית הגבוהה שלהן בנושאים מתמטיים אחרים, תחושה המושתת על ידע מקצועי, קוריקולרי ופדגוגי ועל ניסיון מקצועי עשיר בכיתות שהן מלמדות בהן.

נראה כי דווקא ניגוד זה מעמיד את המורות במצב בלתי אפשרי מבחינתן בכיתותיהן: מצד אחד נחשפו התלמידים למורות למתמטיקה

חסכות ודין

שלוש המורות קשרו את התנסותן בהנדסת המרחב כתלמידות וגם את התנסותן העכשווית בהוראת הגאומטריה במרחב בכיתה, אל התפיסה שלהן את עצמן כמתקשות לראות במרחב. תפיסה זו כלפי הזיקה בין הדברים, היא טבעית ומוכנת, במיוחד על פי התאוריה ההתפתחותית ארוכת השנים של הכישורים המרחביים (Robichaux & Guarino, 2000). מתוך ההתנסות והחווייה השלילית בעברן, אין זה מפליא כי שלוש המורות פיתחו תחושת מסוגלות עצמית נמוכה כלפי הוראת גאומטריה במרחב (Ramey-Gassert & Shroyer, 1992). שלושתן זכרו את הקושי שליווה אותן כתלמידות המנוגד לחוויית המתמטיקה החיובית שהייתה להן, וסברו כי שורשי הבעיה בוויזואליזציה המרחבית שלהן נעוצים בחוויית עבר אלו. מאז ילדותן ועד עצם היום הזה, ראו שלוש המורות בגאומטריה המרחבית חלק אינטגרלי מתוכנית הלימודים במתמטיקה. למרות זאת, מתוך דברי המורות בולטת ההנגדה המקצועית, המחשבתית והרגשית בין הוראת גאומטריה במרחב להוראת הנושאים המתמטיים האחרים. מהו מקור הפרדה זו וכיצד קרה שהמורות המשיכו באהבת המתמטיקה שלהן, ואף פיתחו קריירה מקצועית בהוראת המתמטיקה על אף הקושי שחוו בגאומטריה במרחב? האם אפשר לומר שזו

סיכום

המסקנות המובאות כאן הן למעשה פרשנויות שלי כחוקרת לסיטואציות שנחשפתי אליהן במהלך התצפיות, ולדברים שעלו מתוך המסמכים למיניהם שאספתי או שעלו מתוך אמירותיהן של שלוש המורות, מושאות המחקר שלי במהלך הראיונות. מתוך כך השתדלתי לספק תיאור מעובה ועשיר הסובב על הקטגוריות המוצעות, והוא כולל ציטוטים מתוך הראיונות והמסמכים שנאספו, כמו רשמים מתוך התצפיות. כמו כן דאגתי לבקש את הסכמת שלוש המורות הנחקרות לפרשנות שלי, כפי שזו מופיעה בניתוח הנתונים, בהסקת המסקנות ובדיון. להערכתי יש בכך כדי לחזק את התוקף והמהימנות של ניתוח הנתונים, כמו את הצד האתי שבמחקר. עם זה יש לזכור כי מדובר בשלוש מורות מסוימות שנבחרו מלכתחילה ככאלה שמתקשות לראות במרחב, ולהיזהר מהכללות יתר.

רשימת מקורות

פטיקין, ד' ומלאח, ש' (1999). ידע עצמי בהנדסת המרחב של מורים למתמטיקה בבית הספר היסודי. **דפים**, 28, 91-106.

פרידמן, י' וקס, א' (2000). **תחושת המסוגלות העצמית של המורה: המושג ומדידתו**. ירושלים: מכון הנרייטה סאלד.

קס, א' (2000). **תחושת המסוגלות המקצועית של המורה – סקירת ממצאי הספרות בחלוקה תלת ממדית של המושג**. **מעוף ומעשה במכללת אחוה**, 6, 73-103.

שקדי, א' (2003). **מילים המנסות לגעת: מחקר איכותני – תאוריה ויישום**. תל-אביב: רמות - אוניברסיטת תל אביב.

Bakó, M. (2003). Different projecting methods in teaching spatial geometry. In M. A. Mariotti (Ed.), *European Research in Mathematics Education III: Proceedings of the Third Conference of the European Society for Research in Mathematics Education*. Bellaria, Italia. Retrieved from http://www.dm.unipi.it/~didattica/CERME3/proceedings/Groups/TG7/TG7_Bako_cerme3.pdf

Bainville, E., & Laborde, J. M. (2004). *Cabri 3D (version 2.0)* [Software]. Grenoble: Cabrilog. Retrieved from <http://www.cabri.com>

Bandura, A. (1997). *Self efficacy: The exercise of control*. New York: Freeman.

Christou, C., Pittalis, M., Mousoulides, N., & Jones, K. (2005). **Developing 3D dynamic geometry software: Theoretical perspectives on design**. In F. Olivero & R. Sutherland (Eds.), *Visions of mathematics education: Embedding technology in learning: Proceedings of the 7th international conference on technology in mathematics teaching* (pp. 69-77). Bristol, UK: University of Bristol.

Clements, D. H., & Sarama, J. (2000). Young children's ideas about geometric shapes. *Teaching Children Mathematics*, 6(8), 482-488.

Duval, R. (2003). "Voir" en mathématiques. In E. Filloy (Ed.), *Matemática educativa: Aspectos de la investigación actual* (pp. 41-76). México, México: Cinvestav y Fondo de Cultura Económica.

Ferrara, F., & Mammana, M. F. (2014). Seeing in space is difficult: An approach to 3d geometry through a dge. In S. Oesterle, P. Liljedahl, C. Nicol, & D. Allan (Eds.), *Proceedings of the 38th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education and the 36th conference of the North American Chapter of the Psychology of Mathematics Education* (Vol. 3, pp. 57-64). Vancouver, Canada: PME.

מנוסות ומקצועיות המאמינות ביכולתן ומפגינות אותה בשיעורים; מצד אחר הן מתקשות בהוראת הגאומטריה במרחב, אינן מאמינות ביכולתן ללמד את הנושא בדרך מובנית ומעמיקה שבה הן רגילות ללמד נושאים אחרים, וחוששות כי "חרפתן" תגלה בכיתה. הן רואות זאת כחוסר מקצועיות מצדן להודות בקושי שלהן לראות במרחב לפני התלמידים, ומעדיפות להעמיד פנים "כאילו הכול כשורה" ולנצל את כישוריהן האנליטיים החזקים כדי "לשחק את המשחק" עד הסוף. הטקטיקות שהן מאמצות כדי להתמודד עם הוראת הגאומטריה המרחבית, כוללות הדחקה הקשיים באמצעות הוראה תוחמת המערבת תרגול בקושי בסיסי בלבד, דחייה מתוחכמת של פרק הלימוד לסוף שנת הלימודים כדי להספיק ללמד כמה שפחות, ניסיונות "להרוויח זמן" בשיעור כדי לשאול עמיתים באותם מקרים שבהם לא מצליחות לענות על שאלות, העברת האחריות על הידע לתלמידים, במיוחד לקראת סוף הנושא, והעברת האחריות על ההוראה אל עמיתים למקצוע, עד כדי התחמקות מלאה מהוראת הנושא.

לי נראה כי טקטיקת הברחה מללמד גאומטריה במרחב מאפיינת במידה זו או אחרת את כל אחת משלוש המורות הנבדקות: 1. ורד ברח מללמד גאומטריה במרחב ברמה גבוהה בכך שבחרה במודע ללמד מתמטיקה רק ברמה הנמוכה של 3 יח"ל; 2. סמדר מלמדת גאומטריה במרחב ברמה בסיסית ב-5 יח"ל בדרך כה מתמשכת ומדורגת, עד שבסופו של דבר, כשכבר מגיעים לתרגילים המסובכים, היא כבר יכולה להסתמך על הידע שרכשו התלמידים, ולהעביר אליהם את האחריות; 3. ניצה מצליחה להתחמק שנה אחר שנה מללמד את הנושא וממנה מורה אחר שילמד במקומה. בשנים שפתרון כזה אינו מתאפשר, דוחה ניצה במודע את הוראת הנושא ממש לשיעורים האחרונים, ומשאירה מעט מאוד זמן להוראה בסיסית ביותר. ממצאים אלו עולים בקנה אחד עם ממצאיה של קס (2000) באשר ל"ברחה מאחריות" על הישגי התלמידים אצל מורים בעלי תחושת מסוגלות עצמית נמוכה; כמו אצל קס (2000), גם מתוך ממצאי מחקר זה עולה תחושה כי המורות עסוקות יותר בעצמן ובהתמודדותן עם הקושי שלהן בגאומטריה במרחב, ופחות עסוקות בתלמידים, בהבנה שלהם ובהישגים שלהם.

בד בבד עולה מתוך הממצאים תחושה כי תפיסת המורות את התנהלותן בסביבה המכילה אמצעי המחשה טכנולוגיים נגזרת מתוך חרדת המחשב שלהן (Russell & Bradley, 1997). התלהבותן של שלוש המורות מרעיון שילוב הטכנולוגיה בשיעורי הגאומטריה במרחב, ברמה ההצהרתית, לא זכתה אצל כולן לאותה התלהבות גם ברמה המעשית, וזאת כנראה בשל מידת האוריינות הטכנולוגית השונה של שלוש המורות. נוסף על כך, בהתחשב בכך שאף אחת מהמורות לא הזכירה שימוש בטכנולוגיה בהוראת נושאים מתמטיים אחרים, עולה המחשבה כי למעשה תופסות המורות את השימוש בטכנולוגיה בגאומטריה במרחב כאמצעי לשעת חירום, כקביים או כתרופת פלא העשויה לעזור להן עזרה מקומית בהוראת הנושא הבעייתי. תפיסות אלו תואמות את הרצון שהביעו המורות לשנות ולשפר את אופן התמודדותן עם הוראת נושא הגאומטריה במרחב. אולם, על פי בנדורה (Bandura, 1997), ייתכן שדווקא תחושת המסוגלות העצמית הנמוכה של המורות, היא שתמנע מהן לאמץ באורח קבע את השימוש בטכנולוגיה שהוצגה לפניהן, על אף התלהבותן הראשונית. בהיבט הפרקטי, רצוי שהעוסקים בהכשרת מורים למתמטיקה יפתחו מודעות לתחושת המסוגלות הנמוכה של חלק מן המורים כלפי הוראת הגאומטריה במרחב, ויכוונו את תוכנית ההכשרה לשיפור תחושה זו.

- Ramirez, G., Gunderson, E. A., Levine, S. C., & Beilock, S. L. (2012). [Spatial anxiety relates to spatial skills as a function of working memory in children](#). *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(3), 474-487. doi: 10.1080/17470218.2011.616214
- Robichaux, R. R., & Guarino, A. J. (2000). [Predictors of visualization: A structural equation model](#). Paper presented at the annual meeting of the Mid-South Educational Research Association. Bowling Green, KY.
- Roschelle, J. M., Pea, R. D., Hoadley, C. M., Gordin, D. N., & Means, B. M. (2000). [Changing how and what children learn in school with computer-based technologies](#). *The Future of Children*, 10(2), 76-101.
- Russell, G., & Bradley, G. (1997). [Teachers' computer anxiety: Implications for professional development](#). *Education and Information Technologies*, 2(1), 17-30. doi: 10.1023/A:1018680322904
- Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-23. doi: 10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411
- 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. doi: 10.1039/B6RP90020H
- Widder, M., & Gorsky, P. (2013). How students solve problems in spatial geometry while using a software application for visualizing 3D geometric objects. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 32(1), 89-120.
- Widder, M., Berman, A., & Koichu, B. (2014). Dismantling Visual Obstacles to Comprehension of 2-D Sketches Depicting 3-D Objects. In C. Nicol, S. Oesterle, P. Liljedahl, & D. Allan (Eds.), [Proceedings of the 38th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education and the 36th conference of the North American Chapter of the Psychology of Mathematics Education](#) (Vol. 5, pp. 369-376). Vancouver, Canada: PME.
- Yeh, A., & Nason, R. (2004). VRMath: A 3D microworld for learning 3D geometry. In L. Cantoni & C. McLoughlin (Eds.), *Proceedings of EdMedia 2004: World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications* (pp. 2183-2194). Chesapeake, VA: AACE. Retrieved from <http://www.editlib.org/p/12323>
- Yerushalmy, M., & Chazan, D. (1990). Overcoming visual obstacles with the aid of the supposer. *Educational Studies in Mathematics*, 21(3), 199-219. doi: 10.1007/BF00305090
- Ferrarello, D., Mammanna, M. F., & Pennisi, M. (2014). *From 2D to 3D geometry: Discovering, conjecturing, proving*. In A. Rogerson (Eds.), *Proceedings of the 12th International Conference of The Mathematics Education into the 21st Century Project: The future of mathematics education in a connected world* (pp 21-26). Montenegro. Retrieved from <http://directorymathsed.net/montenegro/Ferrarello.pdf>
- Friedman, L. (1995). The space factor in mathematics: Gender differences. *Review of Educational Research*, 65(1), 22-50. doi: 10.3102/00346543065001022
- Gardner, H. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. New York: Basic Books.
- Gibson, S., & Dembo, M. H. (1984). Teacher efficacy: A construct validation. *Journal of Educational Psychology*, 76, 569-582. doi: 10.1037/0022-0663.76.4.569
- Gutiérrez, A. (1996). Visualization in 3-dimensional geometry: In search of a framework. In L. Puig & A. Gutiérrez (Eds.), [Proceedings of the 20th conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education](#) (Vol. 1, pp. 3-19). Valencia: Universidad de Valencia.
- Hershkowitz, R., Parzysz, B., & van Dormolen, J. (1997). *Shape and space*. In A. J. Bishop, K. Clements, C. Keitel, J. Kilpatrick, & C. Laborde (Eds.), *International handbook of mathematics education* (pp. 161-204). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Kahle, D. K. B. (2008). *How elementary school teachers' mathematical self-efficacy and mathematics teaching self-efficacy relate to conceptually and procedurally oriented teaching practices* (Doctoral dissertation). Ohio State University. Retrieved from https://etd.ohiolink.edu/pg_1070::NO:10:P10_ACCESSION_NUM:osu1211122861
- Kali, Y., & Orion, N. (1996). Spatial abilities of high-school students in the perception of geologic structures. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(4), 369-391. doi: 10.1002/(SICI)1098-2736(199604)33:4<369::AID-TEA2>3.0.CO;2-Q
- Laborde, C. (2000). Dynamic geometry environments as a source of rich learning contexts for the complex activity of proving. *Educational Studies in Mathematics*, 44(1-2), 151-161. doi: 10.1023/A:1012793121648
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Beverly Hills, CA: Sage. doi: 10.1037/0033-2909.86.5.889
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), 889-918. doi: 10.1037/0033-2909.86.5.889
- Mohler, J. L., (2008). [A review of spatial ability research](#). *Engineering Design Graphics Journal*, 72(3), 19-30.
- OECD. (2006). *Assessing scientific, reading and mathematical literacy: A framework for PISA 2006*. Retrieved from http://www.oecd-ilibrary.org/education/assessing-scientific-reading-and-mathematical-literacy_9789264026407-en
- OECD. (2007). *ISA 2006 – Advanced Details*. Retrieved from <http://www.oecd.org/pisa/pisa-2015-results-in-focus.pdf>
- Parzysz, B. (1988). 'Knowing' vs. 'seeing': Problems of the plane representation of space geometry figures. *Educational Studies in Mathematics*, 19(1), 79-92. doi: 10.1007/BF00428386
- Ramey-Gassert, L., & Shroyer, M. G. (1992) Enhancing science teaching self-efficacy in preservice elementary teachers. *Journal of Elementary Science Education*, 4(1), 26-34. doi: 10.1007/BF03173752