

# להרחיב את השביל ולהרחיק את הגבול

ניסיונות ליישום רעיונות תאורטיים מפסיכולוגיה חינוכית וקוגניטיבית  
בהכשרה להוראה ובתוכניות לתואר שני (M.Ed.) בהוראת מתמטיקה

## ד"ר תקוה עובדיה

מרצה בכירה במכללת אורנים, מלמדת בתואר ראשון  
ושני קורסים מגוונים בחינוך מתמטי.





# להרחיב את השביל ולהרחיק את הגבול

## ניסיונות ליישום רעיונות תאורטיים מפסיכולוגיה חינוכית וקוגניטיבית בהכשרה להוראה ובתוכניות לתואר שני (M.Ed.) בהוראת מתמטיקה

### תקוה עובדיה

#### תקציר

מחקרים העוסקים במבנה התודעה האנושית מכוונים להעמיק את ההיכרות עם ההיבטים של תפקוד המוח כמו חשיבה, זיכרון, למידה, רגשות ועוד. אנשי חינוך מגלים עניין בממצאי המחקר הפסיכולוגי הכללי ובתחום הפסיכולוגיה הקוגניטיבית. נירופדגוגיה יוצרת חיבורים בין תוצאות מחקרים בתחום מדעי המוח, פסיכולוגיה ופדגוגיה כדי להיטיב את דרכי ההוראה והלמידה, כך שסביבות הלמידה ותהליכים שיעוצבו יגבירו את הפוטנציאל הלימודי של הפרט ושל הקבוצה הלומדת הן מתוך החוויה הקוגניטיבית הן מתוך החוויה הרגשית.

המאמר המצורף מתאר שלוש דוגמאות מתוך שלושה מחקרים שונים זה מזה שבהם נעשה ניסיון לעצב סביבת למידה ודרכי הוראה על פי רעיונות שנהגו במחקרים העוסקים בפסיכולוגיה קוגניטיבית או אחרת כדי למקסם תהליכי למידה של הפרט והקבוצה. ניתוח האירועים המוצגים מנסה למקד את פרשנות מצבי הלמידה באמצעות רעיונות תאורטיים שנהגו בתחומי מדעי המוח ופסיכולוגיה. בשלוש הדוגמאות המוצגות במאמר זה התמקדות החוקרת היא בתשומת הלב של המשתתפים כדי להבין מה מושך את תשומת ליבם, ומהן הפעולות שהם עושים כתוצאה של שימת לב זו.

בדוגמה הראשונה מתבוננת החוקרת בתשומת הלב של מורה ששינתה את סביבת הלמידה לתלמידה כך שהם פועלים בחלק גדול מהשיעור לבדם והמורה מנסה למקד את תשומת ליבה בתפקידה החדש בכיתה, בדוגמה השנייה מתמקדת החוקרת בתשומת הלב של היחיד כאשר הוא פועל ופותר בעיה מתמטית לא שגרתית בקבוצת עבודה. בדוגמה השלישית מתמקדת החוקרת בתשומת לב של מורה שמתעדת את הוראתה, בפרשנות של המורה לאירועים שהסבו את תשומת ליבה, ובאירועים שלא שמה לב אליהם.

התבוננות בתשומת הלב של הלומד בתהליך למידה, או של המלמד בתהליך ההוראה, מקדמת את המודעות להבנת הפרקטיקות שנוקטים לומדים ומלמדים בתהליכי למידה הוראה שנובעים משימת ליבם, וגם את המודעות לאיפיון אירועים שזנחים משימת לב. מודעות זו מעוררת לעיצוב תהליכי וסביבות למידה הוראה המגבירים את תשומת

הלב של המלמדים והלומדים לאירועים חשובים הנזנחים מתשומת לב. התבוננות בדוגמאות המוצגות במאמר בעדשות מושאלות מתאוריות מתחומים שאינם חינוך מתמטי מקדמת הבנת עומק לתהליכים שהתרחשו בהם.

**מילות מפתח:** שימת לב (Noticing); נירופדגוגיה; עומס קוגניטיבי; זיכרון אפיוזי; קולבורציה; גאומטריה; סביבת פולפרוף; פתרון בעיות; זיכרון עבודה שיתופי.

#### מבוא

Between stimulus and response there is a **space**.  
In that space is our power to choose our response.  
In our response lies our **growth** and our **freedom**.  
(Viktor Frankl)

כבני אנוש נוצרנו רגישים לגירויים, ואנו מגיבים בזריזות על כל רחש כחלק מתכונת הישרדות אנושית. אנו חיים בעידן שבו גירויים ותגובות מסיטים את תשומת ליבנו ולא בהכרח לצרכים חיוניים. גזאלי ורוזן (Gazzaley & Rosen, 2016) מזכירים לנו שככל שאנו צורכים בלא מודע טכנולוגיה, אנו מאתגרים את שורשי האנושיות שלנו ומחלישים את התודעה:

Know that the more we **unconsciously consume technology**, the more we're splintering the very roots of our humanity. (p. 49)

אם נחבר בין הרעיון של פרנקל לשלוט במוח שבין גירוי לתגובה לאזהרה של גזאלי ורוזן לצורך טכנולוגיה מתוך מודעות, נאחד את שני הרעיונות באמצעות ההבנה שהיתרון האנושי שלנו בעניינם נוגע ל"תשומת הלב" או ליתר דיוק למיקוד תשומת הלב שלנו בעשיית פעולות שהן תוצאה של גירויים מגוונים.

המשימה של שליטה בתשומת הלב, או במילה אחרת מיקוד "מערכת התודעה" או מיקוד פעולות קוגניטיביות (ואולי גם מטא-קוגניטיביות, נדון בזה בהמשך) מורכבת מאוד לטענתם של פסיכולוגים אבולוציוניים, מאחר שיש לנו הטיות טבעיות כבני אנוש הנובעות מעצם אנושיותנו. הטיות אלה הן עדות למיקוד תשומת הלב בדרך אחרת בכל מיני מצבים. כבני אנוש קל מאוד להסיח את התודעה שלנו מבחור, עד כדי כך שאנו לא מודעים להסחה זו (גודמן, 2021). לעובדה זו יש השפעה על דרכי הוראה ולמידה שנדון בהן במאמר הנוכחי.



ב"תשומת לב" מתנהלות בזכות פעולות קוגניטיביות ותייתי אם כדי לחשוב על הפעולה, צריך חשיבה ביקורתית שהיא קוגניטיבית שמשרתת מטא-קוגניציה.

זה כעשור שאני עוקבת אחר גילויים מדעיים ומסקנות שאפשר ליישם בחינוך מתחומי הפסיכולוגיה הקוגניטיבית, הפסיכולוגיה החינוכית והפסיכולוגיה האבולוציונית ומנסה ליישם מסקנות מחקר בקורסים בהכשרה להוראה ותוכניות להתפתחות מקצועית של מורים למתמטיקה (ופיזיקה).

במאמר שלפנינו אציג שלוש דוגמאות הממחישות כיצד עקרונות שנלמדו מתוצאות מחקרים (בחקר המוח, כגון הבנת תהליכי היווצרות הידע, תאוריית העומס הקוגניטיבי בלמידה, נפלאות הזיכרון ועקרונות מפסיכולוגיה ארגונית כגון תאוריית U (Otto Scharmer), תורגמו לפרקטיקות שיושמו בהכשרה להוראת מתמטיקה (ופיזיקה).

המסע במאמר להלן מתאר את המוטיבציה שלי כמרצה ללכוד את תשומת ליבו של הלומד, כדי למקד אותה בתהליכי למידתו במודע ומתוך כך לכוון אותו לחולל יצירה חדשה שלו בעבורו, כזאת שגם אם היא מנצלת את היישומים הטכנולוגיים למיניהם, היא אינה מאבדת את היתרונות הקוגניטיביים שלו כלומד, כיוצר ואולי ממקסמת אותם.

חינוך 4.0 (Education 4.0) כולל יישום רעיונות דידקטיים שהם תוצאות של מחקרים בפסיכולוגיה ופסיכולוגיה קוגניטיבית, שמקדמים את מיקוד תשומת לב הלומד בנלמד באמצעות עיצוב סביבות למידה מתאימות. במאמר הנוכחי מוצעות דוגמאות צנועות לעיצוב סביבות למידה ברוח זו וחקירתן על פי שאלות מחקר מסוימות. במאמר הנוכחי אני מתמקדת בהתבוננות בתשומת הלב של המורים, מתוך פרספקטיבות מגוונות כדי להבין את הסיטואציות הנחקרות בעניין של "תשומת לב".

אחתום את המבוא בדבריו של אוטו שארמר (Otto Scharmer):

The power of attention is the real superpower of our age. attention, aligned with intention, can make mountains move. (Otto Scharmer, 2018).

## רקע תאורטי למחקר

בחלק זה אעסוק בחמישה נושאים: נירופדגוגיה מהמחקר לשדה, תשומת לב (noticing), תאוריית העומס הקוגניטיבי בלמידה, קולבורציה וזיכרון עבודה שיתופי ותשומת הלב והבחירה בזיכרונות. בכל נושא אזכיר ספרות מחקרית בנושא שתסייע להסביר כמה מהמצאים משלושה מחקרים שנעשו ומתוארים במאמר זה באופן תמציתי.

במאה ה-21 נראה שללומד הסביר הוכנו אפשרויות מגוונות להתפתחות הידע (והמיומנויות הנדרשות). אם הוא לא אוהב לקרא ספר, הוא יכול להאזין להסכת (פודקאסט), אם המאמר לא קריא בעבורו, יש תוכנת PDF שתקריא לו אותו בעת אימון בחדר כושר. אם הוא לא די מיומן כדי לכתוב, הוא יקריא למחולל כתיבה את דבריו והמחולל יכתוב בעבורו. אם הוא לא רהוט בחישוב, יש מחשבון מרמה אריתמטית ועד רמה אלגברית או גרפית מורכבת שיציג בעבורו פתרונות בייצוגים מגוונים. המיג'רני (Midjourney) יצייר ויעצב עבורו, ומחוללי AI למיניהם יסכמו בעבורו תשובות לשאלות, יקודדו לו קודים, וזו רק ההתחלה. אם הלומד יהיה "מודע" ו"ישים לב" לתהליכים קוגניטיביים (ומטא-קוגניטיביים), אולי הוא ירתום את הכלים ללמידה מודעת ועמוקה. ומה אם לא?

הדרך ללמידה במאה ה-21 נעשית שביל רחב וכמעט חסר שוליים – "גבולות", הגבול מצטמצם עם כל התפתחות טכנולוגית שמקדמת הנגשה של ידע או מיומנויות. **כמעט כולם יכולים: לקרוא, לכתוב, לחשב, לעצב, לצייר, לסכם, להשיב ולתכנת באמצעות כתיבת דרישות ממוקדות למחוללים טכנולוגיים למיניהם. האומנם?**

האם אכן אנו מוכנים לוותר לעצמנו על חוויית הלמידה המרגשת, חוויית ההמצאה, הגילוי, היצירה, החוללות של הזיכרון, ניסוח פתרון יצירתי שלנו, ציור שעיצבנו ללא כלים חיצוניים? האם נכנה את התוצרים של המחוללים למיניהם יצירות שלנו? האם אכן נסכים שהם יבטאו אותנו? את מחשבתנו? את הלוגיקה האנושית? האם המיומנויות הקוגניטיביות (והמטא-קוגניטיביות) שלנו עשויות להשתפר באמצעותם או עלולות חלילה להתנוון? במרחב שבו יש שפע של הזדמנויות ליצירה כהרף עין, כנראה עדיין מפעמת רוח האדם להטביע את חותמו שלו ביצירה אנושית, שנובעת מכוחו האינטלקטואלי, **משימת הלב שלו** לדעת, להבין וליצור.

במרחב שבו נפגשים האדם, החינוך והחברה במאה הנוכחית, מתעצם האתגר של אנשי החינוך לחולל עם המשאבים ההולכים ומתפתחים, שינוי תודעתי עמוק המכוון להחלשת הסחת הדעת מבחוץ, הגברת המודעות ותשומת הלב מבפנים כדי לחולל את השינוי המכונה "למידה" באמצעות יצירה אנושית אינדיווידואלית מושכלת.

המושג המרכזי שאדון בו במאמר זה הוא "Noticing" הקשור למגוון של פעולות קוגניטיביות, כגון תפיסה, פרשנות, הנמקה, תגובה, קבלת החלטות, בניית קשרים ועוד. בכל אחת מהדוגמאות שיוצגו במאמר אנתח את "תשומת הלב" (Noticing) על פי תאוריה נבחרת. בעת הניתוח הבחנתי שגם פעולות מטא-קוגניטיביות הקשורות



## נירופדגוגיה - מהמחקר אל השדה - האומנם?

על אף שמדעי המוח החינוכיים פורסמו לפני למעלה מ-30 שנה היו שטענו שאי אפשר לתרגם את מדעי המוח החינוכיים לחינוך (Bowers, 2016; Bruer, 1997). יש הטוענים שחוקרים חינוכיים משתמשים במדעי המוח כדי להבין נתונים התנהגותיים. מדעי המוח השפיעו על הפרקטיקה החינוכית בכמה דרכים. לדוגמה, הם פענחו את המנגנונים המזהים של דיסלקציה והתערבויות לדיסלקציה (Shaywitz & Shaywitz, 2008) ותובנות על האופן שחרדה, תשומת לב ורגשות נוספים משפיעים על התוצאות החינוכיות (Carew & Magsamen, 2010). החסמים ליישום מחקר נירופדעי בחינוך מבוססים היטב וכוללים מחסומים תאורטיים מאחר שלשתי הדיסציפלינות יש מטרות אחרות מבחינה מהותית וסולמות של חקירה השונים זה מזה (Devonshire & Dommett, 2010; Willingham, 2009). כדי להמחיש חוסר התאמה שכזה, כדאי לשאול "מה נחשב לשיטות עבודה מומלצות למחקר" לפי כל דיסציפלינה. אף שאין תשובה ברורה לשאלה זו, אפשר לדמיין מצב שבו יישום מיטבי בהוראה כרוך בהתאמות גמישות מרגע לרגע ויש תגובות על הסביבה הקרובה ועל צורכי התלמידים הלומדים. זה עומד בסתירה למה שרבים יראו בו ראיה של השיטות המדעיות הטובות ביותר. כלומר, הפקת ידע מדעי שאפשר לשכפל ולשחזר אותו.

מחסום תאורטי נוסף נובע מקשיים בתרגום ממצאים גם כאשר הם משרתים מטרות רלוונטיות ומתנהלים ברמת חקירה מתאימה. קורצס ועמיתיו (Churches et al., 2020) מציעים כי מדעי המוח יכולים לעמוד בבסיס החינוך באותה דרך שבה הביולוגיה עומדת בבסיס הרפואה, כלומר כל תחום משמר את היצירתיות שלו אך אינו יכול לפעול נגד החוק של התחום האחר. הקש זה בנוי על הקביעה שמדעי המוח הם מדע טבע שמוטל עליו לחקור את פעולתו של המוח, בדיוק כפי שהביולוגיה מבינה את פעולתו של גוף האדם. לעומת זאת, החינוך שואף לפתח פדגוגיות ולכן יש לו יותר במשותף עם האופן שהרפואה משתמשת בביולוגיה כדי לעגן מחקר ותרגול בטיפולים, או האופן שהארכיטקטורה משתמשת בפיזיקה.

פסיכולוגים בית ספריים מאומנים במדידת תוצאות ברמת הפרט, הקבוצה והמערכת, מה שהופך אותם למומחים לתמוך בתרגום של ממצאים נירופדעיים ולמדוד יעילות של שינויים בהוראה. מחקר אחרון של קורצס ועמיתיו (Churches et al., 2020) הוכיח כי מורים בכיתה יכולים לקדם מחקרים מבוקרים ומחקרים משוחזרים המתמקדים בהשערות שנשענות על מדעי המוח, ותורמים לבסיס

ראיות חזק ליישום באמצעות עשיית מחקר בסביבה בית ספרית. פסיכולוגים בבית הספר הם אחד מאנשי בית הספר המעטים שיש להם די ידע בתכנון ניסוי כדי לתמוך במורים במאמץ זה.

פסיכולוגים בית ספריים סייעו בפיתוח התערבויות אקדמיות ופרקטיקות הוראה לשיפור הלמידה והתוצאות של התלמידים בתחומי ליבה כולל קריאה ומתמטיקה (Bramlett et al., 2010). הכשרה במדעי המוח החינוכיים מפיקה ממצאים עיקריים שאפשר למנף אותם לפיתוח ושכלול התערבויות ופרקטיקות בהוראה. לדוגמה, ילדים עם דיסלקציה, שלא כעמיתיהם הלא-דיסלקטים, אינם מצליחים לגייס את הקורטקס הקדם-מצחתי הגבי בעת משימות של מודעות פונולוגיות (Kovelman et al., 2012). ממצא זה מראה שהתערבויות המכוונות לתפקוד ניהולי כמו מודעות פונולוגית עשויות להיות יעילות בשיפור תוצאות הקריאה של ילדים דיסלקטיים מאשר התערבויות המכוונות למודעות פונולוגית בלבד. בדומה, יחסית לעמיתים נורמטיביים, ילדים עם דיסקלקוליה התפתחותית מציגים הפעלה תפקודית חלשה יותר בסולקוס תוך-פריאטלי ימני, באינסולה ובאונה קדמית תחתונה במהלך משימת זיכרון עבודה מרחבית וכן פגיעה בזיכרון העבודה (Rotzer et al., 2009). ממצא זה מלמד על החשיבות הפוטנציאלית של התמקדות בזיכרון עבודה מרחבי בהתערבויות במתמטיקה לילדים עם דיסקלקוליה. ואכן, עדויות מתכנסות מתחומי מדעי המוח והפסיכולוגיה כאחד מעידות על קשרים חזקים ומהימנים בין עיבוד מרחבי ומתמטי (Hawes & Ansari, 2020). זה מספק הדגמה נוספת לאופן שרמות שונות של ניתוח (מוח והתנהגות) יכולות לקדם הבנה עשירה יותר של ביצועים לימודיים ספציפיים לתחום (למשל, מתמטיקה) כמו המנגנונים שעשויים לעמוד בבסיס התערבויות מוצלחות. לאחרונה מינפו חוקרים את בסיס הידע הזה כדי לתכנן הן התערבויות אימון מבוססות מעבדה הן בכיתה לשיפור המיומנויות המרחביות של ילדים והביצועים המתמטיים שלהם (Gilligan et al., 2019, לדוגמה).

לסיכום יש מקום לומר כי מדעי המוח החינוכיים ספגו ביקורת על כך שיש להם השפעה מועטה על הפרקטיקה החינוכית. היעדר מנגנונים קונקרטיים המגשרים על מדעי המוח והחינוך היה תורם מרכזי לפער הזה.

במאמר הנוכחי אני מציגה שלוש דוגמאות של שימוש מקומי וצנוע בתוצאות מחקרים מתחומים מגוונים של הפסיכולוגיה כגון פסיכולוגיה קוגניטיבית, לצורך בניית סביבות למידה בתוכניות להכשרת מורים למתמטיקה.

בדוגמה הראשונה תלמידים (או סטודנטים) לומדים לכתוב הוכחה פורמלית דדוקטיבית בגאומטריה באמצעות תוכנת



קריטיים) בכיתה ופירוש והיגיון של אירועים אלו (Kaiser et al., 2015). קיסר ועמיתיו (Sherin & Star, 2011). הגדירו תפיסה, פרשנות וקבלת החלטות כהיבטים של תשומת לב. לפי קוניג (König et al., 2022) רוב המחקרים העוסקים בתשומת לב, ובפרט אלה מתחום החינוך המתמטי מתמקדים בפרספקטיבה הקוגניטיבית-פסיכולוגית.

2. פרספקטיבה חברתית-תרבותית (Socio-cultural perspective of teacher noticing) של תשומת לב המורה מוזכרת לעיתים קרובות בשילוב עם המונח 'חזון מקצועי' (Goodwin, 1994). הפרספקטיבה החברתית-תרבותית של "שימת לב" המורים נשענת על המבנה החברתי-תרבותי והמסתמך על הפרקטיקה של ראייה מקצועית שפיתח גודוויין (Goodwin, 1994) בתחום האנתרופולוגיה הלשונית. בבסיס גישה זו עומדת האמונה כי היכולת לשים לב לאירוע משמעותי היא פעילות חברתית (Goodwin, 1994) שפותחה באמצעות פרקטיקות דיסקורסיביות של אנשי מקצוע המדגימים את מומחיותם באמצעות השיח. לאחרונה צצו גישות פוליטיות-חברתיות מוכוונות שוויון, שקוראות לשים לב לשיח על גירעון בהקשר של לומדים ומדגישות את הצורך לשים לב לפרקטיקות שמעריכות את היכולות של תלמידים מוחלשים וממקדת תשומת לב בתלמידים למען חינוך שוויוני (Dominguez, 2019; Louie et al., 2021) לעומת גישת שימת לב לגירעון ומוחלשות, שיינר (Scheiner, 2023) מדגיש את תשומת הלב של המורה לחזקות של תלמידים בחשיבה מתמטית.

3. פרספקטיבת הדיסציפלינה הספציפית (Discipline-specific perspective of teacher noticing) עוסקת בתשומת לב המורים כפרקטיקות להעלאת מודעות המורה בהוראה בתחומי (Mason, 2002). את הפרספקטיבה פיתח מייסון (Mason, 2002) בהקשר של חינוך מתמטי. אף שמדובר בפרספקטיבה כללית, המפתחת את הדיסציפלינה של ההתבוננות, הדוגמאות שמייסון משתמש בהן (Mason, 2002) הן מתמטיות, ולכן השפעתה של פרספקטיבה זו יושמה בעיקר בידי חוקרי חינוך מתמטי. גישה מכוונת פרקטיקה זו מספקת המלצות למחקר על הפרקטיקה של האדם עצמו: "בלב כל הפרקטיקות טמונה תשומת לב: לשים לב להזדמנות לפעול כראוי. כדי להבחין בהזדמנות לפעול נדרשים שלושה דברים: נוכחות ורגישות ברגע, צורך – סיבה לפעול ומעשה אחר שעלה בראש" (Mason, 2002, p. 1). מייסון (Mason, 2002) פיתח מערכת של פרקטיקות

פולפרוף הכוללת משוב שיוצר בעבורם כעין דוגמאות פתורות, ורמזים שהם כעין מאגר משאבים שמקילים על העומס הקוגניטיבי על זיכרון העבודה בזמן אמת. מבנה זה של התוכנה גם מאריך את זמן מיקוד הקשב של הלומדים לביצוע המשימה, וגם מייצר מודל תודעתי של מבנה צורני ומהותי של הוכחה דדוקטיבית גאומטרית שמשרת אותם לקראת כתיבת ההוכחה בפתרון הבא. תפקיד המורה המלמדת בכיתה לא ברור לה ותשומת ליבה המתמקדת במשתנים מסוימים של למידת התלמידים, מקדמת את הבנתה על הפרקטיקות החדשות הייחודיות למצב שעליה לנקוט בהוראה.

בדוגמה השנייה עוצבה סביבת למידה על פי התאוריה העוסקת בקולבורציה וזיכרון עבודה קבוצתי, ותאוריית U המתארת גם לקבוצת לומדים העושים יחד משימה מתוך נוכחות עמוקה. הלומדים בקבוצה זו מיקדו את תשומת ליבם ברעיונות של עצמם וברעיונות של עמיתיהם, ובעת הפניית תשומת הלב מרעיון לרעיון וקבלת החלטות יצרו פתרון קבוצתי. הלומדים בקבוצה הגיעו להישגים של פתרון בעיות לא שגרתיות יותר מלומדים עצמאיים שהתמודדו עם אותן בעיות ללא רבי-שיח קבוצתי.

בדוגמה השלישית השתמשתי בוידאו ככלי להחיות זיכרונות אפיזודיים נכחדים על פי תאוריות המגדירות זיכרון אפיזודי, לצורך למידה מאירועים משמעותיים בכיתה שנכחדו מתשומת הלב של המורה המלמדת. בחנתי את מהות הקשב הסלקטיבי של המורה בבחירת האירועים לדיווח ביומנה.

בכל הדוגמאות יש התמקדות בתשומת לב המורה באמצעות פרדיגמות המתייחסות לתשומת לב כפי שאפרט להלן.

## תשומת לב (Noticing)

יש ארבע נקודות מבט עיקריות שעיצבו את המחקר על "תשומת לב" (Noticing) של מורים במהלך שני העשורים האחרונים:

1. פרספקטיבה קוגניטיבית (Cognitive-psychological perspective of teacher noticing): התייחסות פסיכולוגית קוגניטיבית יוצאת מנקודת הנחה שהקשב האנושי מוגבל וכדי לשים לב, יש להתאמן בתשומת לב, ובפרט בהוראה. "תשומת לב" של מורה מגדירה את האופן שהמורים מגיבים על חשיבה של תלמידיהם (van Es & Sherin, 2002). הפרספקטיבה הקוגניטיבית-פסיכולוגית של שימת לב המורה מאפיינת את תשומת הלב, כמכלול של תהליכים או תהליכים קוגניטיביים המתנהלים במוחם של מורים, כגון קליטת אירועים בולטים (או



כאשר בכל דוגמה אני מנסה להתבונן ב"תשומת הלב" באמצעות פרספקטיבה מתאימה.

### תאוריית העומס הקוגניטיבי בלמידה

עומס קוגניטיבי מתבטא במאמץ המנטלי המוקדש לעיבוד, לבנייה, לארגון ולאוטומטיזציה של המידע בתבניות חשיבה. עומס קוגניטיבי נוצר על זיכרון העבודה של הלומד בזמן ביצוע משימת לימוד מסוימת. תהליכים אוטומטיים של למידה מתפתחים לאחר התנסויות חוזרות ונשנות של האדם הלומד, ואלו מאפשרים לו לעבד מידע ביעילות ובחסכנות מבחינת משאבי הקשב המודע (Sweller et al., 1998).

סוולר (Sweller, 2011) הגדיר את תאוריית העומס הקוגניטיבי בלמידה כזו שנוגעת לרכישת ידע בסביבות למידה מותאמות מתוך הורדת העומס הקוגניטיבי שאינו הכרחי ללומד קרי המיותר. העיקרון המרכזי שסוולר משתית עליו את התאוריה נשען על רעיון הברירה הטבעית – "החזק תמיד ישרוד", ובעניין של ידע – הידע "החזק" ולא "החלש" הוא שישרוד בזיכרון לטווח ארוך. סוולר (Sweller, 2015, 2016a) הגדיר את הארכיטקטורה של מבנה התודעה האנושית באמצעות חמישה עקרונות, משלב אחסון המידע ועד ארגונו כמובנה לשימוש חוזר:

(1) אחסון המידע בזיכרון באמצעות זיכרון לטווח קצר וארוך; (2) באמצעות תשומת הלב של הלומד הוא מסגל (אדפטציה) ידע ישן למצב חדש או לגיבוש ידע חדש; (3) הידע מתפתח באקראי לכאורה, בעיקר באמצעות יישום ויצירה של אסטרטגיות היוריסטיות בזמן פתרון בעיה; (4) הגבלת קיבולת הזיכרון הגורמת לאדם לברור את החיוני לשמירה וסינון הלא רלוונטי; (5) תשומת לב של הלומד לארגן את סביבת הידע החדש באמצעות קשרים בין מושגים או חלקי ידע לכדי סכמת ידע חדש מובנה. על פי סוולר (Sweller, 1988), האדם מרחיב את גבולות הזיכרון והאחסון באמצעות בנייה של ידע מקושר שמאוחסן "בצפיפות" ובאמצעות סכמות מרוכזות מובנות, וכך מתפנה מקום בזיכרון לבנייה ולאחסון של ידע חדש.

עיקרון זה מרחיב את הרעיון של מילר (Miller, 1956) הטוען לנפח פריטים בזיכרון עבודה הכולל יחידות מידע המאורגנות בשבע פלוס מינוס שתיים, ואת הרעיון של קוואן (Cowan, 2001) הטוען לעיבוד ארבעה פריטים ב-30 שניות. סוולר (Sweller, 2016b) הוכיח שעומס קוגניטיבי מושפע ממשאבי הזיכרון הפועלים בזמן עיבוד המשימה וביצועה, ועל פי עקרונות מבנה התודעה. כהמשך להתפתחות התאוריה נעשו מחקרים שעסקו במדידה של העומס הקוגניטיבי בזמן פתרון בעיות (Paas et al., 2003). העומס הוגדר מצב שיש בו שני ממדים: ממד סיבתי המשקף את האינטראקציה בין

לפיתוח מקצועי של מורים המהווים את הדיסציפלינה של "תשומת לב" כשהן נעשות בדרך שיטה בהקשר של מחקר פעולה. בדרך כלל דיסציפלינה של שימת לב מאופיינת בארבע פעולות הקשורות זו בזו: (1) רפלקציה שיטתית הכוללת ניהול דוחות באמצעות זיהוי ורישום של רגעים חשובים, זיהוי בדיעבד; (2) הכרה המבוססת על תהליכים הקשורים זה בזה של זיהוי ותיוג מצבים טיפוסיים, הבחנה בין בחירות וחלופות; (3) הכנה לתשומת לב המורכבת מתהליכי רגישות של דמיון אפשרויות והגברת ההזדמנויות להבחין; (4) אימות עם אחרים המסתמך על תיאור רגעים וחיזוק תרגילי משימות כדי להדגיש נושאים או רגישויות חשובות (Mason, 2002). אף שהמיקוד של גישה זו הוא להעלות את המודעות והרגישות של אינדיבידואלים, ההיבט של אימות עם אחרים מרמז על תרגול חברתי באמצעות הכנסת שלושה עולמות שונים זה מזה, כלומר עולם החוויה האישית של האדם עצמו, עולם החוויה של עמיתיו (שבו ניתנת תמיכה מהתבוננות) ועולם התצפיות והתאוריות (Mason, 2002).

4. נקודת מבט הקשורה למומחיות של "תשומת לב" של מורה (expertise-related perspective of teacher noticing) המתמקדת בהבדלים בין מומחים לטירונים. הפרספקטיבה הרביעית והאחרונה הרלוונטית לחקר שימת לב המורים פותחה בתחום חקר המומחיות באמצעות עבודתו החלוצית של ברלינר (Berliner, 1987, 2001, 2004) והמחקרים האמפיריים של קבוצות המחקר בניהולו שיישמו מחקר מומחיות על קבוצת היעד של מורים. בתיאורו על התפתחות המומחיות בהוראה, הבחין ברלינר (Berliner, 1987) בין שלבים שונים של פיתוח מיומנויות, החל ממורה מתחיל למורה מומחה. אף שלא נעשה שימוש במושג "תשומת לב" הוא זיהה הבדלים בין טירונים למומחים. לדוגמה, בפירוש תופעות בכיתה, טירונים התקשו לפרש את התצפיות שלהם בכיתה ולפתח הסברים למה שקורה בכיתה. הבדלים נוספים קיימים בחיזוי תופעות בכיתה, כמו היכולת להניח הנחות והשערות על תופעות בכיתה והתנהגות תלמידים, בייחוד בנושא טעויות של תלמידים ושימוש באלגוריתמים שגויים.

לסיכום, ארבע נקודות המבט חולקות מאפיינים משותפים והבדלים מגוונים בבחינת המושג noticing. במאמר הנוכחי אני מדגישה את "תשומת הלב" של המורים או פרחי ההוראה כרכיב חשוב בניתוח מצבים שהתנהלו בסביבות למידה מגוונות של הכשרה להוראת מתמטיקה,



## קולבורציה - זיכרון עבודה שיתופי וחלוקה משותפת בעומס קוגניטיבי

למידה שיתופית (קולבורטיבית) מתנהלת כאשר שני תלמידים או יותר תורמים תרומה פעילה ללמידה הדדית ומנסים לחלוק במאמץ הנדרש כדי להשיג את מטרת הלמידה. ההבדל בין למידה שיתופית (קואופרטיבית) פעולה שיש בה חלוקת עבודה ותפקידים) ובין למידה קולבורטיבית קשור למידת התרומה של המשתתפים. כך שהשתתפות שיש לה תרומה מוכחת לדיון או לפתרון הבעיה היא שיתוף פעולה (קואופרציה), והשתתפות שיש בה תרומה לפתרון בעיה והשגת יעד במהלך עבודה משותפת שאין בה בהכרח חלוקת עבודה ותפקיד מוגדרים מראש היא עבודה בשיתוף (קולבורציה) (Schäfer et al., 2013).

חוקרים (Scheuer et al., 2010; Stahl, 2015, 2017) של למידה קולבורטיבית שיתופית ממוחשבת (המכונה CSCL – Computer Support Collaborative Learning – הדגישו את מאפייני המשימה והלמידה בלמידה בקבוצות כאשר מיקוד המשימה הוא פתרון בעיות מתמטיות. המשימה צריכה להתאים לעבודה בקבוצה, והקבוצה לומדת את תרבותה ותפקודה כקבוצת למידה (Stahl, 2017). יש סיבות תאורטיות להשערה כי השימוש בלמידה קולבורטיבית יכול להפחית את האינטראקטיביות של האלמנטים ואת העומס הקוגניטיבי שלהם. על פי העיקרון הקוגניטיבי ההדדי, למידה קולבורטיבית "מארגנת" זיכרון עבודה קולקטיבי (Kirschner et al., 2011). זיכרון עבודה קולקטיבי זה הוא חלק ממרחב עבודה קולקטיבי שנוצר באמצעות תקשורת ותיאום של ידע שמחזיק בו כל חבר בקבוצה הלומדת יחד. באמצעות תקשורת ותהליכים סוציוקוגניטיביים המתקבלים בתוך הקבוצה נוצר מבנה ידע קולקטיבי או קוגניציה משותפת הדדית, המורכבת מהקוגניציה המשותפת. מחקרים מראים שמבני הידע הקולקטיביים האלה מותנים ביעילות של שיתוף פעולה (Gavali & Banu, 2020; Van den Bossche et al., 2006), אפשר לומר כי שיתוף פעולה מותנה בתשומת הלב של כל משתתף להגיב תגובה מתאימה לסיטואציה מתמטית כדי לקדם את הרעיון. תשומת הלב היא זו שתלכוד את הרעיון שעליו להגיב בהסכמה והרחבה או באי-הסכמה ונימוק. המושג של זיכרון עבודה קולקטיבי קשור לתאוריה של קוגניציה קבוצתית (Stahl, 2014), הנוגעת לנפח זיכרון העבודה של כל החברים בקבוצת פתרון הבעיה. בלמידה אישית כל האלמנטים האינטראקטיביים חייבים להיות מעובדים בזיכרון יחיד של אותו אדם. לעומת זאת, בלמידה קולבורטיבית יש חלוקה של אלמנטים אינטראקטיביים

המשימה (עיצובה החיצוני ותוכנה הפנימי) למאפייני הלומד, וממד ההערכה המשקף מושגים מדידים של עומס נפשי, מאמץ נפשי וביצועים. במחקרים שנעשו על אינטראקציות בין כמה משתתפים, לדוגמה מאפייני משימה עם מאפייני לומד, נמצאו תוצאות ומסקנות להמלצות על עיצוב משימות בהוראה. מקובל להבחין בין שני סוגים של עומס קוגניטיבי: עומס קוגניטיבי פנימי ועומס קוגניטיבי חיצוני. עומס פנימי (מובנה – intrinsic) קשור במשימה והוא משתנה מאדם לאדם על פי מידת המומחיות שלו בתחום המשימה; עומס חיצוני (extraneous) תלוי באופן שהמשימה מוצגת, ולפיכך אפשר לשנותו ולהקטינו בעיצוב המותאם ללומד (Pollock et al., 2002). חן ועמיתיו (Chen et al., 2023) הוכיחו כי מורכב מאוד למדוד עומס קוגניטיבי של מטלות לימודיות. הם טוענים שמורכבות המשימות שהלומדים חווים נשענת על אינטראקטיביות של אלמנטים. יש מקום לקבוע אינטראקטיביות של אלמנטים מתוך התחשבות בו בזמן במבנה המידע המעובד ובידע המוחזק בזיכרון לטווח ארוך של האדם המעבד את המידע. אף שאפשר לכמת בקלות את מבנה המידע במשימת למידה באמצעות ספירת מספר רכיבי המידע המקיימים אינטראקציה, אפשר להעריך ידע המוחזק בזיכרון לטווח ארוך רק באמצעות שיקול דעת של מורה או מבחני ידע. כלומר האינטראקציה של הלומד והידע הקודם שלו משנים את המדידה של מורכבות המשימה. ככל שהעומס הקוגניטיבי הפנימי והחיצוני גבוהים בסביבת ההוראה, מורכב יותר למורה לשים לב למכלול היבטים שהוא אמור לשים לב אליהם בהוראתו. ואם לא ישים לב כנראה גם לא יגיב כנדרש. תשומת הלב היא נגזרת של משאב זיכרון העבודה, וככל שהעומס על זיכרון העבודה יגבר, תשומת הלב כנראה תקטן. במאמר הנוכחי בדוגמה הראשונה אתמקד בהצגה של רעיון לסביבת למידה-הוראה התורמת להפחתת עומס קוגניטיבי פנימי וחיצוני בזמן ביצוע משימה, הלומדים מתנסים בכתיבת הוכחה פורמלית דדוקטיבית לבעיות גאומטריות בסביבה אינטראקטיבית שמספקת משאבים לפתרון הבעיה כגון רמזים ומשוב מיידי (למשל Tindall-Ford et al., 2015). נראה שהעומס על הלומד במהלך למידה הוא רלוונטי (germane) ו"מדוד" כמתאים כי התוכנה מגיבה בהסתגלות ללומד, ומתוך כך מגבירה את המשאבים שלו לפתרון הבעיה. בדוגמה זו אתמקד במאפייני תשומת הלב של המורה בכיתה, ותשומת ליבו למאפייני הלמידה של תלמידיו בפתרון בעיות גאומטריות באמצעות הוכחה דדוקטיבית כפי שהוא חווה אותם בזמן אמת וגם באמצעות איסוף המשוב במסכי פתרונות תלמידיו.



מרכזי שבו נפגשים מדעים מתחומים מגוונים – נוירולוגיה, ביולוגיה, פסיכולוגיה וסוציולוגיה (אייל, 2004). כדי להבין את הזיכרון בהקשר של חוויות הוראה של מורים, התבוננתי בהיבטים פסיכולוגיים, חינוכיים וקוגניטיביים של הזיכרון ובייחוד בעניין הוראת מתמטיקה. בהיבט הפסיכולוגי היה זה טולווינג (Tulving, 2002) שהבחין ראשון בין הזיכרון של החוויות האישיות (אפיזודי) ובין הזיכרון של הידע הכללי (סמנטי) ועיגן את התאוריה בתחום. הזיכרון הסמנטי כולל לטענתו ידע עובדתי שלא ישתנה כמו ידיעת לוח הכפל או נוסחאות, והוא אינו מוגדר לא בזמן ולא במקום שבו האדם למד את הדבר. לעומתו, הזיכרון האפיזודי הוא התנסותי ורגשי, פגיע לשכחה ומורכב לשחזור. כל אירוע אישי מתרחש פעם אחת בזמן מסוים ובמקום מוגדר. למרות המאפיינים השונים שלהם, נמצאים הזיכרון של הידע הכללי והזיכרון של החוויה האישית בקשרים הדוקים ולרוב הם מחזקים זה את זה: נזכור טוב יותר ידע כללי אם ייתמך בזיכרונות של חוויות אישיות. טולווינג (Tulving, 2002) טוען כי בשלושים שנות מחקר על שני סוגי הזיכרונות, התקדמנו לקראת הבנה כי מערכת הזיכרון האפיזודי היא אחת המערכות המורכבות של הזיכרון. הזיכרון האפיזודי מאפשר לאדם להחיות אירועים מהעבר, לחשוב עליהם בהווה ולראות בהם בהקשר של חייו 'כאן ועכשיו'. הזיכרון האפיזודי גם מאפשר לתכנן באמצעותו חידושים והתפתחויות לקראת העתיד. עיבוד החוויה באמצעות הזיכרון האפיזודי נתמך באמצעות מקום, תרבות והרגלים שאנשים יוצרים לעצמם ונשענים עליהם. כך שתמיכה זו שייכת להגדרה של נורמות אובייקטיביות ויכולה להיחשב חלק מהזיכרון הכללי של האדם. בהיבט החינוכי מייסון (Mason, 2002) עוסק במציאות שבה האדם חוקר את תהליכי הוראתו באמצעות הזיכרון, באמצעות הטבעת המושג noticing – מתן תשומת לב. לטענתו, מיקוד תשומת הלב של המורה לאירועים שהוא זוכר ופרשנות האירועים, הם שמעצבים את תפיסות ההוראה שלו כמורה. אי לכך, לטענתו, כחלק מעבודת ההוראה יש לעבוד עם מורים על המחקרים שלהם (או רפלקציות כתובות) במפורש ובמודע לצד התבוננות בבחירת האירועים שמשכו את תשומת ליבם ונבחרו מזיכרונותיהם, מאופן חקירתם ומהלך גיבוש הבנתם. מייסון (Mason, 2002) טוען כי ההרהור של המורים על עבודתם, בזמן אמת או לאחר מעשה, מונע לעיתים קרובות מרגשות שהם חווים בשל האירוע ובחשיבה על מה הביא אותם לקבלת החלטה בזמן האירוע, ופחות מניתוח מעמיק של הסיטואציה והבנת משמעותה. לשם קידום ההוראה באמצעות הזיכרונות, הוא מציע לעבוד עם המורים על כתיבת דוחות (accounts) רפלקטיביים ומדגיש שני

בין זיכרונות עבודה מרובים, ומתוך כך מופחת העומס הקוגניטיבי בזיכרון היחיד (Kirschner et al., 2018). זיכרונות העבודה יוצרים יחדיו זיכרון עבודה קולקטיבי שהוא גדול מזיכרון יחיד. תהליך היצירה של זיכרון עבודה משותף יכול להיתמך בפעולות הקבוצה, למשל הצעות לפעולות שאפשר לעשות, רעיונות ליישום פתרון, קבלה, בקרה ואיסכמה, תיקון של רעיונות והוצאה לפועל משותפת (Stahl, 2014). למידה קולבורטיבית מוצלחת דורשת תקשורת בתוך צוות ותיאום של רעיונות ופעילויות משותפות. דבר זה כרוך בהשגת הסכמה על אסטרטגיות הקשורות למשימות, חלוקת תמישימות בין המשתתפים, זיהוי ופתרון רעיונות מנוגדים וקונפליקטים ובניית רעיונות בהסכמה. פעולות אלה "מתורגמות" בתודעה במונחים של עומס קוגניטיבי (Popov et al., 2017). תקשורת עם אחרים שנועדה לתאם את הפעילויות היא מיומנות מולדת ראשונית בעיקרה, ולכן סביר שלא תטיל עומס קוגניטיבי כבד. לעומת זאת, מיומנויות הקשורות בידע מולד משני, למשל מיומנויות של ידע תוכן ספציפי לתחום שעוסקים בו, יש מקום להניח שידרשו מניפולציה על מידע מסוים ופעילויות קוגניטיביות מורכבות (Geary, 2012). תיאום רכישת מידע משני ביולוגי (מידע בתחום הדעת) צפוי להטיל עומס קוגניטיבי כבד. שיתופי פעולה לצורכי למידת תכנים מצריכים מיומנות של תקשורת (שמקורן בתשומת לב) ותיאום של עשיית המשימות המורכבות כדי לייעל את הפעילות של זיכרון עבודה משותף קבוצתי (הטרנס-אקטיבית) ולבנות סכמות ידע ומיומנויות טובות יותר (Kirschner et al., 2018).

הלמידה המשותפת מורכבת משלושה רכיבים: האינטראקציה בין משימת הלמידה, הלומדים כפרטים והצוות. כל מצב למידה שיתופי מסוים מושפע מהמאפיינים של כל אחד משלושת המרכיבים האלה, ומזמן ויסות למידה של כל משתתף (Hadwin, 2021). שיתוף פעולה יתרחש כאשר המשימה מורכבת דייה כדי להצדיק את הזמן הנוסף והמאמץ הכרוך בשיתוף פעולה עם אחרים, וכאשר תשומת הלב של הפרט מופנית לרעיונותיו ובו בזמן מופנית לרעיונות של אחרים בקבוצה. למידה קולבורטיבית מגבירה את המודעות של המשתתפים לתהליכי הלמידה שלהם ושל אחרים, תומכת בבניית ידע ומאפשרת שימוש יעיל באסטרטגיות (Isohätälä et al., 2020). במחקר הנוכחי אציג את דוגמה 2 שמתארת עיצוב סביבת למידה שבה סטודנטים פתרו יחד בעיה מתמטית בסגנון שפחות מוכר להם כדי לזמן, לזהות ולאפיין למידה קולבורטיבית.

**הבחירה בזיכרונות - תשומת לב ואי-תשומת לב**  
ריצ'רד רסטאק, נוירולוג ונוירופסיכיאטר, טוען כי הזיכרון הוא היכולת הקוגניטיבית החשובה ביותר במוחנו, צומת



אחרות, מטרה מרכזית של זיכרון העבודה עשויה לעזור להתכונן לעתיד פוטנציאלי (Nasrawi & van Ede, 2022; van Ede et al., 2019). כאשר תחזיות משתנות או חוסר הוודאות מתמוסס, תשומת לב סלקטיבית בוחרת ומתעדפת את התכנים שנמצאים ממש קרוב למציאות רלוונטית עתידית. צפייה בגבולות יכולת זיכרון העבודה מנקודת מבט פונקציונלית משנה את הנרטיב מזה של ליקוי ביכולת הקוגניטיבית של החזקת תכנים מוגבלים לזו של חוזק ביכולת לתמוך ברפרטואר עשיר של מצבי הכנה להתממשקות יעילה עתידית עם מצבים אקטואליים ורלוונטיים לאדם. תשומת לב סלקטיבית פנימית אפוא אינה משרתת רק כדי לשפר את האיכויות או הנגישות של הזיכרונות לרגע זה, אבל גם כדי לשפר את היכולת שלהם לשרת את ההתנהגות העתידית הצפויה (van Ede & Nobre, 2023).

במאמר הנוכחי אציג דוגמה שבה המורים נדרשו לתעד אירועים מהוראתם באמצעות וידאו ואחר כך לכתוב רפלקציה ממוקדת באירועים משמעותיים שהם בוחרים. לאחר הכתיבה התנהל דיון במליאת הכיתה על הרפלקציה הכתובה ונעשתה צפייה חוזרת בווידאו לצורך זיהוי אירועים שנעלמו מתשומת הלב, וניסיון להבין את הסיבה לכך.

## מבנה המאמר

המאמר הנוכחי מציג יישום של רעיונות מפסיכולוגיה קוגניטיבית חינוכית וחקר המוח והלמידה, שיושמו בתוכניות התערבות במחקרים שהתנהלו בסביבות של הכשרה להוראה או בתוכניות להתפתחות מקצועית של מורים למתמטיקה (ופיזיקה).

מטרת המחקרים הייתה ליישם רעיונות מדעיים מהתחומים הנזכרים לצרכים דידקטיים ופדגוגיים.

בכל דוגמה שאציג להלן אדגיש את ההתבוננות ב"תשומת הלב" של המשתתפים במחקר בהקשר של פרדיגמות מגוונות הנוגעות ל"Noticing".

שאלת המחקר: לכל דוגמה הייתה שאלת מחקר תואמת שתוצג בפתח הדוגמה.

הנתונים: לכל דוגמה אציין את הנתונים שנאספו בהקשר של מחקרה במקור ואופן ניתוחם.

המאמר הנוכחי מדגיש מצד אחד את ההשאלה של ממצאי מחקרים ויצירת דידקטיקה ופדגוגיה שמעצבת סביבה בהשראתם, ומצד אחר הניתוח של הדוגמאות הוא מתוך נקודת מבט ששמה את המיקוד בתשומת הלב של המשתתפים בדוגמה, וגם כאן אנסה להתבונן ולפרש את הדוגמה מתוך פרדיגמות מגוונות למושג Noticing.

היבטים של כתיבה רפלקטיבית (Mason, 2002). האחד נוגע על account of – דיווח על אירוע המתאר תיאור עובדתי וחיוני את היבטי אירוע ההוראה בקצרה וללא רגשות ופרשנות, לעומת account for העוסק בדיווח הכולל פרשנות והסבר. הדגש של שונפלד (Schoenfeld, 2011) על תאוריה זו הוא ששימת הלב (noticing) היא תוצאה של מה המורה "רואה ושם לב" או "לא רואה ולא שם לב", מעצב את מה שהוא עושה או לא עושה. כלומר היכולת להתבונן בהוראה, ברבדים מגוונים, מקדמת את היכולת של המורה ליישם פרקטיקות לפי הפרשנות שלו מתוך מה שהבחין. מייסון (Mason, 2002) טוען כי אירועים שנשארים בזיכרון הם בדרך כלל אירועים שאנו מחויבים להם רגשית או אינטלקטואלית והם 'חשובים' לנו מסיבה כלשהי. בחירת אירועים מושפעת הן מהחוויית שעבר הבוחר הן מהידע הקודם שלו בתחום. רגע הבחירה קשור במודעות אישית תלוית הקשר רגשי של הבוחר.

## זיכרון רב־היבטי

מחקרים בתחום הנורווגניטיבי מקשרים לזיכרון תכונה של סלקטיביות. כלומר יש מנגנון פיזיולוגי הגורם לאדם להעדיף זיכרון בעל רושם מסוים אחד על פני זיכרונות אחרים. למשל, במחקרם של וימבר ועמיתיו (Wimber et al., 2015) נמצא כי יש מנגנון בזיכרון שגורם לנו לשכוח זיכרונות ואירועים. כלומר עצם הבחירה לזכור אירועים מסוימים, יוצרת שכחה של אחרים. הם מסבירים שיש מעין תחרות בין הזיכרונות, ואלו שבסופו של דבר אנו מחיים, מדחיקים ומשכיחים את האחרים. אומנם אנשים רגילים לחשוב שלשכוח זה דבר פסיבי, אך המחקר מוכיח שאנשים עוסקים יותר ממה שהם מבינים ומרגישים בעיצוב מה שהם זוכרים מחייהם. הרעיון שעצם הזיכרון יכול לגרום לשכחה מפתיע ויכול לספר לנו יותר על זיכרון סלקטיבי ואפילו הטעיה עצמית. ככל שדנים באירוע ספציפי יחיד מחיים אותו, ומכחידיים מהזיכרון אירועים אחרים. גם פסיכולוגים קוגניטיביים, כמו סוולר (Sweller, 2015) למשל, סבורים כי שכחה או קושי להיזכר אינם מקריים. לטענתם, לזיכרונות שונים דפוסי שכחה בהתאם למאפייניהם. מערכת הזיכרון מגינה על עצמה באמצעות תהליך השכחה. תכנים שאינם חשובים עוד מנופים ומשאבי עיבוד מפונים לטיפול בתכנים רלוונטיים להווה. מחקרים עדכניים רואים כי זיכרון העבודה משרת גם עתיד פוטנציאלי. בהקשרים דינמיים, העתיד הקרוב מורכב מאפשרויות רבות. מנקודת מבט פרגמטית זו מה שאנו מאחסנים בזיכרון העבודה עשוי להיות מאוחסן לא בגלל שאנו יודעים שזה יהפוך לרלוונטי (פעולה מושהית) אלא בגלל שאנו צופים שזה עשוי להיות רלוונטי (פעולה פוטנציאלית). במילים



(<https://www.cet-c-etalogue.cet.ac.il/full-proof>)

שאלת המחקר הייתה: האם וכיצד מתפתחת מבחינה מקצועית מורה המלמדת לראשונה פתרון בעיות הוכחה בגאומטריה בכיתות התיכון באמצעות תוכנת פולפרוף?

הנתונים נאספו ביומן המורה החוקרת בשלוש נקודות זמן: תיעוד ההכנה לשיעור, תיעוד השיעור ותיעוד רפלקציה שלאחר השיעור. הניתוח נעשה לאחר שבעה חודשי הוראה שבהם נאספו כ-50 שיעורים מתועדים בשלוש הנקודות לעיל. הניתוח כלל מציאת מאפיינים דומים ושונים בין השיעורים על פי פרקטיקות הוראה ייחודיות לסביבת ההוראה הייחודית החדשה למורה. כחלק מהממצאים עלו כמה תופעות מעניינות שהתבטאו ביומן המורה. ג'וני שמיה לב אליה בשלב די מוקדם של ההוראה באמצעות התוכנה. היא מיקדה את תשומת ליבה כדי ללמוד מהתוכנה את מאפייני המשוב כדי להמשיך את ה"חינוך" וה"דידקטיקה" של התוכנה באירועים שבהם הלמידה לא כללה שימוש בתוכנה, וכדי לייצר סביבת למידה לכידה (קוהרנטית) ללומדים. להלן אציג קטע קטן שבו ג'וני מבטאת איך תשומת ליבה ממקדת אותה ללמוד ממשותב התוכנה.

### מאפייני תשומת הלב של המורה בהוראת גאומטריה באמצעות פולפרוף

ג'וני מסתובבת בין התלמידים בכיתה ושמה לב שאצל כולם התוכנה מגיבה על כל שורה שהם כתבו לא מדויק דדוקטיבית. ג'וני מנסה למקד את תשומת ליבה במשוב כדי להבין אותו וכדי ללמוד ממנו איך לנהל משוב המקדם כתיבת פתרונות הוכחה לבעיות גאומטריות. נתבונן בצילום מסך להלן ובקטע מתוך יומן החוקר של ג'וני:

ג'וני כותבת ביומן המחקר שלה על האיור לעיל:

רוני התחילה בשאלה דרך סימון הצלע DE ב"א. לאחר מכן היא הסיקה דרך המשפט של קטע האמצעים במשולש, ש- $BC=2x$ . מכתיבת שלבי הפתרון ברור שרוני הבינה כי אין צורך לרשום את העובדות אודות קטע האמצעים. בשלב 4 ניתן לראות שההיסק שלה היה נכון, אך היא לא רשמה שהנימוק הוא שקטע האמצעים במשולש שווה לחצי הבסיס. כמו כן בשלב 6 נראה שהיה על רוני לנמק שקטע האמצעים הוא תיכון לשתי צלעות המשולש שהוא חותך. בנוסף רוני חזרה על אותה טעות שביצעה בשלב 6 גם בשלב 8. [...] בנוסף היא הניחה שהקטע האמצעי במשולש הוא תיכון לשתי הצלעות האחרות, אך היא לא סיפקה הסבר נכון ומדויק לקביעה זו ולא כתבה על איזה כלל היא התבססה. [...] רוני גם הגיעה למסקנה שיש לה זוויות נגדיות שוות, בטרם קבעה מי הקווים

## שלוש דוגמאות המציגות חיבורים "נירופדגוגיים" בעיצוב ובניתוח

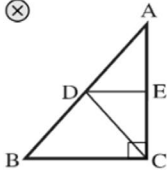
### דוגמה 1: הוראת גאומטריה באמצעות תוכנת פולפרוף – מה למד המורה?

הוראת התחום של הוכחה בגאומטריה מאתגרת את המורים מאחר שהם נדרשים לייצר בקרב התלמידים צורך אינטלקטואלי להוכיח בעיה גאומטרית, שלעיתים מובנת להם בגרפים והם לא מרגישים צורך לכתוב הוכחה. נוסף על כך המורים צריכים ללמד תלמידים לבנות באופן דדוקטיבי רעיונות לוגיים לכדי תיאור לוגי מקושר המשמש הוכחה לבעיה. שתי משימות אלה כוללות תתי-משימות (כגון הנמקה לכל עובדה, כתיבה בדרך מסוימת, הוספת קווי עזר ועוד) שחוקרים רבים דנו בהן ומצאו אותן מורכבות להוראה, כך שתוכניות להתפתחות מקצועית של מורים לקידום הוראה של הוכחה גאומטרית עדיין שכיחות (למשל: Stylianides & Stylianides, 2022). בדוגמה להלן מוצג אירוע שבו מורה לגאומטריה מלמד לראשונה פתרון בעיות הוכחה בגאומטריה באמצעות תוכנה שמלווה את התלמיד וממשיבת אותו על כל פרט שהוא כותב בהוכחה. תהליך המשוב הקפדני אמור לשמש "דוגמה" או מודל סכמטי לתלמיד בכתיבת פתרון לבעיה הבאה. אפשר להסביר את האימון שהתוכנה עושה לתלמיד על פי תאוריית העומס הקוגניטיבי. תאוריה זו גורסת כי המוח זקוק ללמידה באמצעות אנלוגיות, הקבלות, השוואות והסקת מסקנות שעל פיהן נוצרות תבניות בזיכרון. בשלב שהתלמיד למד ויודע את התוכן ומבין אותו אפשר להתקדם לרמות למידה גבוהות יותר של הקבלה והשוואה שנוצרות מתוך הידע הקודם, ומתוך כך מייצרים תבניות חדשות לידע המתקדם. תהליך זה של למידה מותנה בתשומת הלב של התלמיד להפנים את דוגמאות המשוב שקיבל מהתוכנה, כדי ליישם אותן בבעיה החדשה הבאה. בד בבד תהליך זה מאתגר את המורה לעצב את תהליך הלמידה בכיתה בהתאם, ולנהל כיתה באמצעות פרקטיקות שממקדות את תשומת הלב של התלמיד במאפייני המשוב של התוכנה כדי להתפתח מהוכחה להוכחה, וגם למקד את תשומת הלב שלו לאופן שהוא מייצר דיונים כיתתיים מהמשוב.

ג'וני היא מורה לגאומטריה בתיכון בצפון הארץ. השנה היא שילבה בהוראתה את התוכנה פולפרוף וחקרה את פרקטיקות הוראתה בשיעורי הגאומטריה על רקע מחקר פעולה. מטרת המחקר הייתה להבין את מאפייני פרקטיקות ההוראה של ג'וני כמשתנים לאחר יישום הוראה באמצעות התוכנה. (באיורים להלן יהיה אפשר להתרשם כיצד התוכנה מסיבה את תשומת לב התלמיד לכתיבת הוכחה דדוקטיבית וגם כאן:



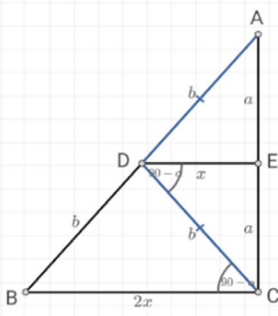
⊗



הוכח (בעזרת קטע האמצעים) את המשפט:  
**התיכון ליתר במשולש ישר זווית**  
**שווה למחצית היתר.**  
(הדרכה: העבר את קטע האמצעים DE והוכח ש- $CD = AD$ .)

סעיף א'

| לפי טענות | נימוק                                                                              | טענה                                                      |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|           | נתון                                                                               | 1 $\triangle ABC$ הוא ישר-זווית ( $\angle C = 90^\circ$ ) |
|           | נתון                                                                               | 2 $DE$ הוא קטע אמצעים ב- $\triangle ABC$                  |
|           | סימון                                                                              | 3 נסמן את $DE = x$                                        |
| 3,2       | קטע אמצעים במשולש מקביל לצלע השלישית ושווה לה.                                     | 4 $BC = 2x$                                               |
|           | סימון                                                                              | 5 נסמן את $AD = b$                                        |
| 5,2       | הגדרה: קטע אמצעים במשולש (חוצה שתי צלעות במשולש)                                   | 6 $BD = b$                                                |
|           | סימון                                                                              | 7 נסמן את $AE = a$                                        |
| 7,2       | הגדרה: קטע אמצעים במשולש (חוצה שתי צלעות במשולש)                                   | 8 $CE = a$                                                |
|           | סימון                                                                              | 9 $\angle BCD = 90^\circ - a$                             |
|           | נראה שהטענה מבוססת על טענה אחרת שמופיעה בהמשך ההוכחה. כדאי לבדוק שסדר הטענות נכון. | 10 $BC \parallel DE$                                      |
| 9,2       | קטע אמצעים במשולש מקביל לצלע השלישית ושווה לה.                                     | 11 $\angle CDE = 90^\circ - a$                            |
| 8,5,4,11  | כל נקודה הנמצאת על האנך האמצעי של קטע נמצאת במרחקים שווים מקצות הקטע.              | 12 $CD = b$                                               |
| 12        |                                                                                    | 13 $AD = CD$                                              |



### איור 1: משוב מפורט להוכחה השלמת חלקים חסרים

הבא, אלא היא מיקדה את תשומת ליבה בתהליך כדי להבין את מהות המשוב של התוכנה כדי ללמוד ממנו למשב במשימת הערכה שאינה באמצעות פולפרוף. נוסף על כך היא הייתה עסוקה בהכללת מאפייני המשובים של תלמידה, כדי לבנות באמצעותם דיון כיתתי משמעותי ללומדים. מתברר שזה דיון אחר מהדיונים שהיו עד כה בכיתה. בהמשך היום ג'וני מציגה צילום מסך נוסף מתוך השיעור ומסבירה כי מעיון בפתרון של התלמיד דני, היא הבינה שהתלמיד הגיב על משוב הפולפרוף באופן דינמי על כל הערה. כאשר המשוב הציג "חסר שלב", חזר דני לבדוק את ההוכחה מתחילתה כדי לבחון מה עליו להוסיף. ג'וני שמרה לב כי פעולה זו נעשתה ארבע פעמים במהלך הפתרון, ובכל הפעמים התלמיד דני חזר לתקן. ג'וני מבינה כעת שלתוכנה יש יתרון עליה בכך שהיא לא יכולה לספק משוב דינמי פרטי לכל לומד בזמן השיעור או כאשר היא מעריכה פתרונות במשימות הערכה. ג'וני כותבת:

עכשיו אני מזהה את היתרון הגדול של התוכנה. בשלב הראשון למדתי מהתוכנה שעליי למשב כל שורה. אחרי שהבנתי זאת חשבתי שזה יתרונה המובהק של התוכנה. היום כשחקרתי את פתרונות התלמידים שהתוכנה אספה עבורי, והתמקדתי בדני, הבנתי שהתוכנה ממשבת באופן דינמי את כל 27 תלמידי בו זמנית [...] את זה

המקבילים. רוני נוטה לקפוץ לשלבים מתקדמים בפתרון התרגיל, בטרם היא בונה את הנדבכים הבסיסיים שעליהם יש להתבסס [...] אבל הוא תלמיד עם חשיבה טובה גאומטרית כי מצליח לתקן עצמו. ומה למדתי מהפולפרוף? במצב זה התוכנה ביצעה דבר שלא נהגתי עד היום לעשות מול תלמידי בעת שהדרכתי אותם לפתור את הבעיה. התוכנה מוסיפה רישום על יד כל טענה שאינה מוכחת כדי שהפותר "יזכור בפעם הבאה" להוכיח אותה. מנקודת מבטי כמורה, המשוב של פולפרוף מקדם את רוני להבין את הבעייתיות בדילוג על שלבים, וכך היא מקפידה להבא לשלבים שעליה לסדר את השלבים בסדר הגיוני, ואת ההיגיון הזה היא רואה בדוגמה של המשוב [...] לפני היכרותי עם התוכנה, תשומת הלב שלי להערכת פתרון הייתה כללית, זיהיתי אי סדר, אי דיוק ושקללתי את הניקוד להפחתה. כעת אני יודעת שתשומת הלב שלי להבין כל שורה, למשב כל שורה, וגם לשאול את עצמי איך אני אוספת מהמשוב במסכים שראיתי דיון שמתאים ומקדם את תלמידי? מה משותף לכל הפתרונות החלקיים? לכל אי הדיוקים [...] אי הנימוקים [...]

קטע היום של ג'וני מלמד שהיא לא הניחה לתוכנה לעשות את העבודה בעבורה בהערכת הפתרון של התלמיד, ובהקניית אימון ו"דוגמה" לכתיבת הפתרון



בהמשך היא מציגה את תשומת ליבה לפרקטיקות שעליה ליישם בהוראה בכיתה בזמן אמת כשהתלמידים עסוקים בפתרונות בתוכנה. נוסף על כך אפשר להתבונן בהערה של המורה על התלמיד כבעל חשיבה גאומטרית, באמצעות הפרספקטיבה החברתית. המורה שמה לב לחזקה של התלמיד (Scheiner, 2023).

בדוגמה הזו התוכנה מרחיקה את הגבול של התלמיד. תלמיד שלא ידע לכתוב הוכחה מיומן לעשות זאת באמצעות משוב שמסב את תשומת ליבו לחלקים החסרים בהוכחה, ובאמצעות מאגר רמזים, עד כדי הצלחה לכתוב הוכחה מאורגנת ומנומקת דוקטיבית. התלמיד מפתח קשב סלקטיבי פנימי באמצעות הערות שהוא מקבל בצבע ירוק. גם המורה ג'ני הרחיקה לעצמה את הגבולות מתוך כך שלמדה מהתוכנה דרכי משוב יעילים יותר משנהגה לעשות בעבר, ופיתחה פרקטיקות לניהול דיון המתמקד בהיבטים של המשובים השכיחים של תלמידה כפי שהיא הסבה את תשומת ליבה אליהם, וכפי שהם משכו את תשומת ליבה באופן הצגתם החיצוני. כאן לכלי הטכנולוגי, על מאפייניו הייחודיים, משוב דינמי בצבע ומאגר רמזים יש פוטנציאל ללכוד את תשומת לב התלמיד והמורה להיבטים מהותיים של למידה והוראת הוכחה. עוד ראוי לומר כי לפי תאוריית העומס הקוגניטיבי, המשימה מופיעה באופן שהעומס החיצוני שלה קטן בהרבה מהעומס הפנימי, ולכן הקשב הסלקטיבי של הלומד ממוקד במשימה.

## דוגמה 2: תשומת הלב של הפרט בקבוצה כתנאי לבניית זיכרון עבודה משותף לפתרון משימה קבוצתית

כדי להיות בטוחים שקבוצה תגייס משאבי זיכרון עבודה קבוצתיים יש לאתגר אותה בבעיה מוכרת לה פחות. כדי לזהות שקבוצה אכן בונה זיכרון עבודה קבוצתי, יש להתבונן במהות תשומת הלב של כל פרט בקבוצה, כדי לזהות שתשומת ליבו אכן לרעיונות שהביע עמית בקבוצה ומחשבתו ממשיכה את הרעיון שהובע בקבוצה באמצעות הסכמה, תיקון ודיוק או אי-הסכמה.

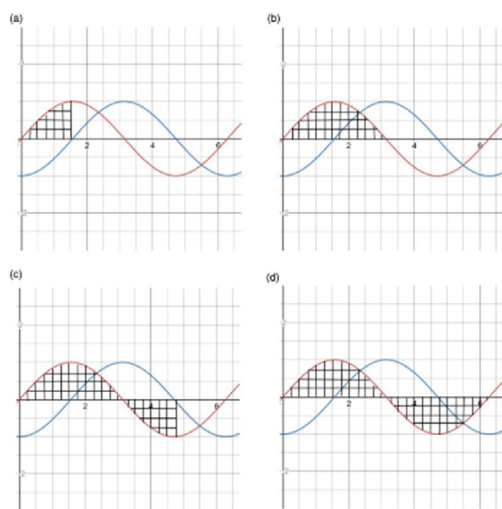
שאלת המחקר הייתה: מה מאפיין תהליך למידה קולבורטיבי של פתרון בעיות לא שגרתיות במתמטיקה בקרב סטודנטים (שהם כבר מורים)?

הנתונים נאספו באמצעות שלושה כלים: יומני למידה של הלומדים, יומן מחקר של החוקרת וקובצי אודיו שתיעדו פתרון בעיות קבוצתי.

הממצא המרכזי שאדון בו בדוגמה הנוכחית עוסק בזיהוי הפתרון קולבורטיבי ובהתפתחות הידע המתמטי של הפרט בזכות זיכרון עבודה קולקטיבי.

אני בהחלט לא יכולה לעשות [...] ואני בכלל לא מודעת לכך שיש צורך ביותר משוב אחד לשורה [...] התוכנה הגיבה שוב ושוב עד הכתיבה הנכונה המלאה. הדינמיקה הזו חסרה אצלי כפרקטיקה. עוד למדתי שהמשוב הזה מהכלי הטכנולוגי שאינו מכיר את התלמיד מתקבל בברכה, פעמים רבות שמתי לב שהמשוב שלי בכיתה לתלמיד, מבייש אותו למרות שנעשה בצורה מכובדת [...].

הקטע הזה של היום מציג את תשומת ליבה של ג'וני לשני היבטים: האחד נוגע לעובדה שג'וני מזהה שהמשוב יוצר דינמיקה של דיאלוג עם הלומד, והדינמיקה היא הכרחית לצורך שיפור התגובה של התלמיד, הלומד מתקן את עצמו עד שהתוכנה מפסיקה להגיב; השני נוגע לעובדה שהתלמיד ממשיך לשתף פעולה למרות "הערות" חוזרות של משוב התוכנה, כי "האינטימיות החברתית" שבינו לכלי במרחב שבו רק שניהם נמצאים לכאורה, שונה מהדינמיקה שבינה כמורה לבינו במרחב ציבורי שהוא הכיתה. התבוננות בתשומת ליבה של ג'וני במונחים של מייסון (Mason, 2002; Discipline-specific perspective of teacher noticing המתמקדים בהבנת תשומת הלב בהקשר המסוים הדיסציפלינרי, מקדמים את ההבנה כי תשומת הלב של המורה היא בכמה "שכבות". הרמה הכללית היא ללמוד מהתוכנה ללמד הוכחה. הרמות הנגזרות מרמה זו מציגות תשומת לב של הפעולות: ניתוח המשוב, השוואת המשוב של התוכנה למשוב של המורה, בחינה מחדש של תפקיד המורה בניהול דיונים, בחינה מחדש של מאפייני הדיון, השוואה בין המשובים של כלל התלמידים, הבנת מהות התקשורת שבין הלומד לתוכנה ועוד. הפעולות הנזכרות נובעות מתשומת לב המורה להעמיק ולהתבונן בכל היבטי המשוב, בכל היבטי הלמידה, ובהיבט הפרקטיקות שלה כמורה. פעולות אלה מקדמות את התפיסה של המורה כלפי כתיבת פתרונות הוכחה ודינמיקת הלמידה עם התוכנה, וגם דינמיקת ההוראה שעליה לחדש. החיפוש אחר תשומת הלב של המורה בדבריה ביומן, מסייע לזהות את השכבות הרבות של היבטי ההתבוננות שלה בסיטואציות הלימודיות, כטריגרים להתפתחותה בהבנת דרכים ללמד הוכחה, ותובנותיה על היבטים רגשיים של לומד עם הכלי הטכנולוגי. בשלבים הראשונים בכתיבה ביומן ג'וני מתארת ביומנה התבוננות רבה במסכי התלמידים ותגובה מעטה שלה במליאת הכיתה, היא מנצלת את העובדה שהיא לא חייבת להגיב כי הכלי הטכנולוגי ממלא את מקומה. בשלב הבא בתיעוד ביומן ג'וני מודעת לתשומת ליבה ללמוד מהתוכנה ללמד כתיבת הוכחה והיא מתארת את המוטיבציה שלה "להתנהג" כמו התוכנה כאשר היא מעריכה פתרונות שמוגשים כמבחנים.



איור 2 (Sauerheber & Muñoz, 2020, p. 633)

במאמר הנוכחי אתבונן בממצא הנזכר באמצעות ניתוח "תשומת הלב" של הפרט בקבוצה, והבנת הדינמיקה שמחוללת את הידע הקבוצתי החדש שנוצר בקבוצה בשל "תשומת הלב" של הפרט ושל הקבוצה.

### תשומת הלב של הפרט בניתוח תמונה של גרפים כמשימה קולבורטיבית

המשימה שניתנה לסטודנטים הייתה בהשראת המאמר "Teaching demonstration of the integral" (Sauerheber & Muñoz, 2020). הסטודנטים נדרשו לנתח בקבוצה של ארבעה לומדים את ארבעת הגרפים ולכתוב עליהם את מקסימום המידע המתמטי שאפשר להפיק מהשרטוט המוצג:

עקבתי אחר הדיון הקבוצתי ותמללתי אותו כדי לזהות את שינוי מיקוד תשומת הלב של הפרט בקבוצה, כחלק מהשתתפות בחשיבה קולבורטיבית על המשימה, וכדי לזהות את תהליך היווצרותו של מבנה הידע הקולקטיבי החדש ללומדים (ראו טבלה 1).

טבלה 1: ניתוח תשומת הלב ברבי-שיח

| רבי-שיח                                                                                                                                                                                 | תשומת הלב של הדובר Noticing                                                                                           | תפקיד הדובר                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 10: יש פה ארבעה גרפים                                                                                                                                                                | תמונה - גירוי חושי - עובדה נראית לעין                                                                                 | יזמה                                                                                                           |
| 2. 20: אלה פונקציות מחזוריות                                                                                                                                                            | ידע - מיקוד קשב פנימי - תשומת לב של הסטודנטית לשרטוטים מחזוריים                                                       | העלאת רעיון מתמטי                                                                                              |
| 3. 30: זה $2\sin x$ ו- $\sin x$                                                                                                                                                         | פרשנות של סוג הפונקצייה המחזורית                                                                                      | קידום הרעיון המתמטי                                                                                            |
| 4. 10: מה? (בשפת גוף של אי-הסכמה)                                                                                                                                                       | שאלה                                                                                                                  | ערעור                                                                                                          |
| 5. 40: אני לא מסכימה עם 30.                                                                                                                                                             | הטלת ספק, אי-הסכמה עם 30 אולי גם כתגובה על שאלה של 10.                                                                | אי-הסכמה                                                                                                       |
| 6. 20: למה? כפול 2 לפונקציית $\sin$ לא פוגם במחזוריות.                                                                                                                                  | תגובה ל-40. ניסיון להנמקה שהפונקצייה $2\sin x$ נשארת מחזורית אחרי הכפלה ב-2. מיקוד תשומת הלב בהכפלה.                  | נימוק רעיון                                                                                                    |
| 7. 10: כי אנחנו צריכים להסכים מי הגרפים? ומה מסמל קווקו השטח. הגרף האדום הוא $\sin x$ והגרף הכחול הוא $\cos x$ .                                                                        | 10 שקודם שאלה והביעה אי-הבנה כעת מדויקת את המידע שהציגו לפני הקבוצה ומקבלת החלטה שהגרפים הם הפונקציות סינוס וקוסינוס. | העלאת רעיון חדש                                                                                                |
| 8. 30: אני משרטטת (GeoGebra) את $2\sin$ ורואה שטעיתי. חבל שאני לא יודעת לזהות את זה בלי לשרטט.                                                                                          | לא מקבלת את מה שנאמר בקבוצה ובודקת נימוק אחר לדעתה                                                                    | נימוק רעיון קודם באמצעות תוכנה וקבלת החלטה שהרעיון שגוי.                                                       |
| 9. 10: כי את עדיין לא מורה. אם היית מורה, התמונות של הזזות של פונקצייה $\sin$ היו רצות לך בראש והיית זוכרת שהכפלה ב-2 מגדיל את ערכי הפונקצייה. בשרטוטים פה ערכי הפונקצייה הם מקסימום 1. | נימוק והסבר ל-30                                                                                                      | נימוק וניסיון לסגור רעיון הכפלת הפונקצייה סינוס, כדי להתקדם עם הרעיון החדש של 10 הקשור לשמות לשני סוגי הגרפים. |



| תפקיד הדובר                                                      | תשומת הלב של הדובר Noticing                                             | רב־שיח                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| יוזמה לרעיון שממשיך רעיון קודם. הסבת תשומת הלב לגרף d.           | הסכמה עם 10 לרעיון בשורה 7 והצעת רעיון חדש להתבוננות בגרפים.            | 10. 40: נראה לי שאת החלק של זיהוי הפונקציות סיימנו. עכשיו צריך להבין את השטחים בשרטוט d. אני חושב שהשטח מסמל שניתן להזיז חלקי שטח וכך להשוות בין השטחים הכלואים בין שתי הפונקציות. |
| שאלת הבהרה ליוזמה                                                | שאלת הבנה                                                               | 11. 30: למה להתחיל משרטוט d?                                                                                                                                                       |
| נימוק לס3                                                        | ניסיון להסביר את 40                                                     | 12. 20: 40 חשב שזה השרטוט הכי שקוף.                                                                                                                                                |
| הסטת הדיון לרעיון חדש מדויק יותר המתייחס לפונקציות. חשיבה לאחור. | רעיון חדש המתמקד במבנה צורני של $-\cos$                                 | 13. 20: זה לא $\cos$ זה $-\cos$                                                                                                                                                    |
| יוזמה לרעיון חדש העוסק בשטחים.                                   | נראה שהדיוק מתקבל כי 30 ממשיכה את המחשבה, ומקדמת את כולם לשים לב לשטחים | 14. 30: אהה... אני חושבת שהשרטוטים לפי הסדר ממחישים שטחים שונים אבל יש קשר בין כולם. השאלה מה הקשר?                                                                                |
| המשך הרעיון של תשומת הלב לשטחים והכללתו                          | אפיון השטחים באמצעות הכללה                                              | 15. 10: לא חשבתי על זה אבל נכון, בכל שרטוט השטח המסומן גדל מהקיצון ועד... עד נקודת החיתוך עם ציר ה־x                                                                               |
| יוזמה להתבוננות במערכת הצירים באמצעות סימון $\pi$ .              | התבוננות בגרפים של פונקציות טריגונומטריות באמצעות $\pi$ .               | 16. 20: אני בעד לסמן אחרת את המספרים. בואו נוסיף לציר ה־x את $\pi$ .                                                                                                               |
| המשך הרעיון העוסק בקשר בין ארבעת השטחים                          | תשומת לב לגבולות השטחים                                                 | 17. 30: רגע רגע רגע... עכשיו לדעתי הבנתי אותך (פנייה לס1) ויש לי רעיון מתמטי:                                                                                                      |
|                                                                  |                                                                         | 18. נתונים גרפים של פונקציות $\sin(x)$ ו־ $\cos(x)$ , כאשר אזורים מוצללים בין הציר האופקי $\sin(x)$ ל־7                                                                            |
| ס3 יוצרת רעיון שלם לארבעת הגרפים                                 | תשומת לב לגבולות השטחים                                                 | 19. מ־0 x = עד $x = \frac{\pi}{2}$ , $a(x)$                                                                                                                                        |
|                                                                  | תשומת לב לגבולות השטחים                                                 | 20. מ־2 x = עד $x = \pi$ , $b(x)$                                                                                                                                                  |
|                                                                  | תשומת לב לגבולות השטחים                                                 | 21. מ־0 x = עד $x = \frac{3\pi}{2}$ , $c(x)$                                                                                                                                       |
|                                                                  | תשומת לב לגבולות השטחים                                                 | 22. מ־0 x = עד $x = 2\pi$ , $d(x)$                                                                                                                                                 |
| דיוק הניסוח                                                      | תשומת הלב לניסוח                                                        | 23. 40: כן אומרים את זה הפוך.                                                                                                                                                      |
| המשך הרעיון של ס3 עם חיבורו לרעיון הקודם הקשור לגרף d            | המשך הרעיון הקודם                                                       | 24. 40: יש לי רעיון בוא נבדוק את מה שאמרתי קודם. האם השטח של שרטוט d המקווקו לכל אחת מהפונקציות שווה? אני משרטט (GeoGebra)...                                                      |
| רעיון חדש המתחבר לרעיון הקודם                                    | רעיון חדש שמנסה לאפיין את הזוגות של הפונקציות והקשר לשטחים              | 25. 20: לא אל תשרטטי יש לי רעיון אני כותבת תעקבו אחרי שאני לא טועה. אני חושבת שהפונקציות הן פונקצייה נגזרתה. לא לא פונקצייה נגזרתה אלא....                                         |
| תהייה                                                            |                                                                         | 26. 10: אהה                                                                                                                                                                        |
| הזמנה לפעולת חישוב                                               | הערכת הרעיון באמצעות חישוב                                              | 27. 30: אם כך אז חושב שנחשב שטחים                                                                                                                                                  |
| חישוב                                                            |                                                                         | 28. הערך $-\cos\frac{\pi}{2} - [-\cos(0)] = 0 - -1 = 1$ עבור איור a, כאשר השטח הנסחף החוצה על ידי הפונקצייה הנגזרת $\sin(x)$ מהציר האופקי הוא יחידת גודל ריבועית אחת.              |
|                                                                  |                                                                         | 29. 10: אהה אפשר להמשיך ככה:                                                                                                                                                       |



| רבי־שיח                                                                                                                                              | תשומת הלב של הדובר Noticing                                            | תפקיד הדובר                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 30. $-\cos -(\pi) = \cos 0 = 1 - (-1) = 2$                                                                                                           | יישום הרעיון באמצעות חישוב                                             | חישוב                                  |
| 31. $\cos \frac{3\pi}{2} - \cos 0 = 0 - (-1) = 1$                                                                                                    | יישום הרעיון באמצעות חישוב                                             | חישוב                                  |
| 32. לבסוף, שינוי הגובה עבור $-\cos(x)$ ל־ $2\pi$ שווה ל־ $0 = 1 - (1 - 1) = 1$ שהוא...                                                               | יישום הרעיון באמצעות חישוב                                             | חישוב                                  |
| 33. 20: האמת שהקווקו מזכיר לי את סכום המלבנים שנוצרים ומסתכמים לשטח שהוא האינטגרל...?                                                                | רעיון חדש המתייחס לשטחים ולסכום המלבנים<br>תשומת הלב היא למושג אינטגרל | יוזמה לרעיון המשך                      |
| 34. 40: אהה מה? אני בעד להבין שוב את השטחים. מה חישובנו? מה יצא? מה ההכללה? חישובנו אינטגרל מסוים וקיבלנו את השטח הכלוא בין הגבולות והפונקצייה? נ... | שאלה לצורך הבנת החישוב ואולי נימוק והכללה                              | חשיבה לאחור                            |
| 35. 10: השטח של האינטגרל שווה לנגזרת?                                                                                                                | שאלה לצורך הבהרה                                                       | חשיבה לאחור                            |
| 36. 30: לא מה שעשינו [...] זה מזכיר לי משפט [...]                                                                                                    | תגובה ל־10 וגם מחשבה עצמאית על החישובים                                | הזמנה להכללה                           |
| 37. 40: המשפט השני של [...]                                                                                                                          | מחשבה                                                                  | המשך ניסיון ההכללה                     |
| 38. 10: המשפט היסודי של החדו"א המקשר בין נגזרת לאינטגרל.                                                                                             | רעיון מכליל                                                            | המשך ניסיון ההכללה                     |
| 39. 20: עכשיו אני לא מוותרת נכנסת לאתר...                                                                                                            | חיפוש אחר המשפט המדויק                                                 | המשך ניסיון ההכללה                     |
| 40. 10: כן אפשר אבל אני יכולה להסביר אותו כאן בשרטוטים ובחישובים.                                                                                    | תשומת הלב בחזרה לגרפים                                                 | חשיבה קדימה להסבר המשפט באמצעות הגרפים |

שתשומת הלב היא סלקטיבית, והגירוי לתשומת הלב הוא פנימי, כלומר האפיון של המשימה, וכפי שנמצא אצל ואן אד ונובר (van Ede & Nobre, 2023) יש במחשבה זו עדות ורמז על קשב שמשרת את העתיד במובן של התקדמות לקראת פתרון הנוגע לשטחים. בשורה 13 ס2 שיעקבה אחר השיח ולא השמיעה קול במהלך הדיון, מזהה כי הגרף הוא  $-\cos x$  ולא  $\cos x$ . עובדה זו מלמדת שס2 שנעה בין הרעיונות של הקבוצה לרעיון שלה חשבה על הרעיונות שנאמרו ואז הגיבה. היא שוכנעה שלא זיהתה נכון את הגרפים אבל לא שוכנעה בתשובה של ס1 בשורה 7. במהלך כל השיח אין הבעה של רעיונות מתמשכים, כל דובר בקבוצה אומר רעיון ומצפה לתגובת הקבוצה, המשתתפים ממשיכים את הרעיון או מתחילים רעיון חדש שנובע מתשומת ליבם. בשיח המוצג אי אפשר לזהות אי סימטרייה של רעיונות מתמטיים לטובת משתתף מסוים. כן נבחין כי תשומת הלב ממקדת ברעיונות מתמטיים בלבד, וכי הרעיונות לרוב מתקדמים לקראת הרעיון הבא ומעט נסוגים לרעיון קודם. התבוננות בשיח מתוך נקודת מבט המתמקדת בתשומת הלב מהפרדיגמה של הפסיכולוגיה

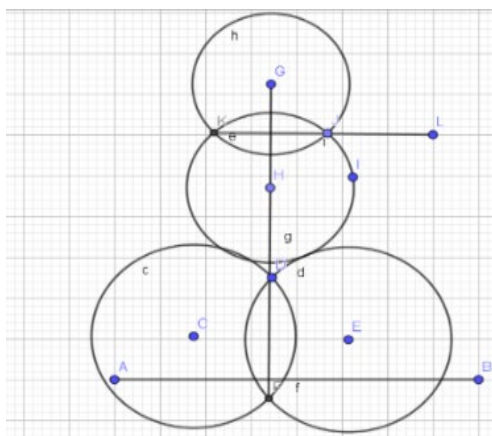
התבוננות בתשומת הלב לפי ההגדרה של קוניג ועמיתיו שהגדירו תפיסה, פרשנות וקבלת החלטות כהיבטים של תשומת לב (König et al., 2022), מקדמת את ההבנה שתשומת הלב של כל משתתף בשיח באמצעות פרשנות וקבלת החלטות מקדמת את הפתרון המתמטי של הבעיה. הניסיון להגדיר את תשומת הלב של כל דובר בעבודה הקבוצתית מקדם את ההבנה כי תשומת הלב של הפרט נעה לעיתים מהרעיון המתמטי הפרטי שלו לרעיון המתמטי של העמית, כאשר קבלת ההחלטה באיזה רעיון למקד את תשומת הלב תלויה במשתתף. למשל בשורות 5–6 ס4 לא מסכימה עם הרעיון של ס3 שמציעה את שמות הפונקציות  $\sin x$  וגם  $2\sin x$ . מי שמגיבה לה היא ס2 שממקדת את תשומת ליבה של ס4 לרעיון שהביעה בעצמה בשורה 2 בקביעתה שהגרפים מתארים פונקציות מחזוריות. כלומר במקום לערער על הקביעה שהפונקציות לא זוהו נכון, תשומת הלב של ס2 היא רק לתכונת המחזוריות. ס1 שמקשיבה לשתייהן ממקדת את כולן ברעיון אחר העוסק בזהות הגרפים. הדיון על זהות הגרפים נזנח לטובת תשומת לב לשטחים הכלואים. מידע זה מקדם את ההבנה



כשאנחנו לא שמים לב, מייסון (Mason, 2011) טוען כי לא התכוונו לשים לב או כי אנחנו שמים לב למשהו אחר. הדוגמה שאציג להלן עוסקת בניתוח וידאו של מורים שנעשה כחלק ממחקר פעולה שלהם כשתיעדו את עצמם כדי להבחין ולאפיין אירועים בכיתת מתמטיקה שהם לא שמו לב אליהם בזמן אמת כדי להבין מדוע לא שמו לב. במחקר זה רצינו להרחיק את הגבול של נקודות העיוורון של המורה בשיעור, להעלות את המודעות למאפייני האירועים שלא זוכים לתשומת לב למרות חשיבותם כדי להגביר את מודעות המורה לחוסר תשומת ליבו והסיבות לה.

שאלת המחקר הייתה: מה מאפיין אירועים של חוסר תשומת לב של מורה שנכחדו מדיווחי רפלקציה הנכתבת מזיכרונה על שיעורי מתמטיקה? את הנתונים אספו שמונה מורות שתיעדו שיעורים נבחרים במשך שישה חודשים. התיעד כלל יומני מחקר של המורות שתיעדו את הרפלקציה שלאחר השיעור ותמלול סרטי וידאו של הוראתן. הניתוח עסק באירועים שהמורות חשבו שהם בעלי משמעות ושנצפו בווידאו, אך המורות לא אזכרו אותם בכתיבה הרפלקטיבית ביומני המחקר שלהן. לפי המורות, כל האירועים היו "אירועים של חוסר תשומת לב". להלן אציג דוגמה אחת לצורך בחינת חוסר תשומת לב הנובע כנראה מחוויה רגשית לא נעימה של המורה:

מרים החליטה ללמד את תלמידיה לכתוב הוכחה פורמלית בגאומטריה מתוך הוראה של בניית גאומטריות באמצעות סרגל ומחוגה פיזיים בלוח הכיתה וגם וירטואליים באמצעות גאוגברה. באחד השיעורים היא בנתה בנייה גאומטרית על הלוח וביקשה מתלמידיה לעקוב אחר הפעולות שהיא עושה. במהלך פעולותיה היא ביקשה מהם לנסח הוכחה פורמלית גאומטרית להצדקת הבנייה. להלן השרטוט שהציגה מרים בלוח הכיתה:



איור 3

הקוגניטיבית כפי שמציג אותה קירשנר (Kirschner et al., 2018) ממקדת את תשומת הלב במאפיינים שיוצרים תהליך שיתופי (ראו טבלה 2 בנספח 1).

זיכרון עבודה קולקטיבי הוא חלק ממרחב עבודה קולקטיבי שנוצר מתוך תקשורת ותיאום של ידע שמחזיק בו כל חבר בקבוצה הלומדת יחד. באמצעות תקשורת ותהליכים סוציאלקוגניטיביים המתקבלים בתוך הקבוצה נוצר מבנה ידע קולקטיבי או קוגניציה משותפת הדדית המורכבים ממודלים מנטליים משותפים. ברב־שיח שהוצג לעיל מבחינים בהתפתחות הידע הקבוצתי כך שכל אחד מחברי הקבוצה תרם בזמן קריטי, זמן שבו לא ידעו מה לחשוב הלאה, רעיון שנבע מתשומת ליבו לתמונת הגרפים, להתקדמות החשיבה הקבוצתית. בין שהרעיון היה נכון מתמטית בין לאו הוא גרם לחברי הקבוצה להסב את תשומת ליבם לרעיון ולהגיב עליו. המושג "זיכרון עבודה קולקטיבי" מקדם את ההבנה של מורים ומורי מורים בעניין עיצוב משימות קבוצתיות לתלמידיהם. כאן המשימה עוצבה כך שהיא תקדם קולבורציה של קבוצה ועזרה להם לגבש יחד רעיונות מתמטיים שסטודנטים שעבדו בלי קבוצה לא גיבשו אותם. (משימה זו ניתנה כמשימה יחידנית בקורס אחר באותה השעה שעבדה בה הקבוצה הנוכחית, וסטודנטים שעבדו לבד לא הצליחו לגבש רעיונות לפתרון המשימה חוץ מרעיונות כלליים מאוד.)

מצד אחד בדוגמה הזו הסביבה של עבודה בקבוצה עם המשימה הפתוחה אתגרה את תשומת לב המשתתפים, כך שכל משתתף היה עסוק ברעיון שלו ובשיפוט וקבלת החלטות על הרעיונות של עמיתיו בו בזמן, והיה צריך לקבל החלטה לבחור מבין הרעיונות את הרעיון המתאים. מצד אחר מציאות זו הרחיבה את גבולות ההבנה של המשתתפים. לפי ניתוח הרב־שיח נראה שרעיונות שהעלה חבר בקבוצה עוררו אסוציאציות לרעיונות אחרים בקרב המשתתפים, ריבוי הרעיונות הפך להיות ריבוי של משאבים לפתרון המשימה, ומתוך כך הצטמצם הגבול של "אי־הידעה".

### דוגמה 3: אי־תשומת לב - תשומת לב סלקטיבית - שגיאה של מורה בשרטוט בנייה גאומטרית

...In fact, there is a great deal that we do not notice, either because we are not attuned or sensitized or because our attention is directed and occupied elsewhere. Sometimes people do not notice, do not realize that they need to pay attention to some feature in a situation,... (Mason, 2011, p. 35)



הבנייה היא פורמלית, תהיה הוכחה פורמלית, ואם לא, הרי הוא אינו יכול להוכיח פורמלית. תשומת הלב של התלמיד הייתה ממוקדת בכתיבת הוכחה פורמלית, כזו שמתאימה לשרטוט פורמלי. כלומר גם הקשב של התלמיד היה סלקטיבי. הוא מוכן לכתוב הוכחה פורמלית לשרטוט ששומר על הכללים הפורמליים. המורה בזמן אמת פירשה את תגובתו של התלמיד כהתנגדות לעשיית משימה. רק ניתוח שלאחר הוראה הסב את תשומת ליבה של המורה למהות האירוע, וגרם לה לפרש אותו כאירוע המלמד כי התלמיד הבין את מהות ההוכחה הפורמלית. טולווינג (Tulving, 2002) טוען שהזיכרון האפיזודי הוא התנסותי ורגשי, קל לשכחה ומורכב לשחזור, וזו כנראה הסיבה לחוסר תשומת הלב של המורה לאירוע בזמן ששחזרה את השיעור ביומן הכתיבה. כפי שטענו ואן אד ונוברה (van Ede & Nobre, 2023), תשומת לב סלקטיבית פנימית אפוא אינה משרתת רק כדי לשפר את האיכויות או הנגישות של הזיכרונות לרגע זה, אבל גם כדי לשפר היכולת שלהם לשרת את ההתנהגות העתידית הצפויה. בדוגמה זו נראה כי גם התלמיד בזמן אמת השתמש בזיכרון הסלקטיבי של בחירתו בטענה "אי אפשר להוכיח" כדי לשרת התנהגות עתידית של כתיבת הוכחה.

בדוגמה זו ראינו כי אפשר להרחיק את הגבול של הזיכרון האפיזודי הנשכח באמצעות דיון רפלקטיבי המלווה בתיעוד וידאו, בהנחיית מנחה. פעילות זו מאפשרת למורה להחיות אירועים שלא לכדו את תשומת ליבו בזמן אמת, כי תשומת ליבו הייתה ממוקדת בהיבט אחר של הסיטואציה המתמטית. עוד ראינו כי מטרה מרכזית של זיכרון העבודה עשויה לעזור להתכונן לעתיד פוטנציאלי (Nasrawi & van Ede, 2022; van Ede et al., 2019). כאשר המצב אינו ודאי, תשומת לב סלקטיבית בוחרת ומתעדפת את התכנים שנמצאים ממש קרוב למציאות רלוונטית עתידית, וזה מה שעשה התלמיד.

## דיון

לפני כעשור וחצי במהלך כתיבת הדוקטורט בטכניון למדתי וכתבתי עבודה לקורס בהנחייתו של פרופסור אורי לירון (שלא היה קשור למחקר הדוקטורט). בעבודתי למדתי לעומק תאוריות הקשורות להבנת התפקוד הקוגניטיבי באמצעות תאוריות מהפסיכולוגיה האבולוציונית (למשל Cosmides & Tooby, 1998). כחלק מהבנת התאוריה ודרכי הניתוח עשיתי מיני מחקר מתמטי בקרב תלמידים בגילים מגוונים, וגם בקרב חברות, חברים ועמיתים לעבודה. מתוך כך התוודעתי לאופן ניתוח ופרשנות לפתרונות נכונים ושגיאות בתחומים מתמטיים מגוונים, באמצעות נימוקים מתאוריות הפסיכולוגיה הקוגניטיבית והאבולוציונית. פרופסור לירון ואני נסחפנו

ברפלקציה שכתבה מרים מהזיכרון, היא לא הזכירה כלל את המידע שהיה תלמיד שטען שהשרטוט ששרטטה הוא שגוי. התלמיד טען שהמורה יצרה קו מקביל מבלי לבנות אותו לפי כללי הבנייה המקובלים בסרגל ומחוגה. זהו אירוע משמעותי מאחר שאם המורה דורשת לנתח שרטוט שהוא תוצר מוגמר כדי לכתוב הוכחה פורמלית, והשרטוט שגוי, הרי שתהיה בעיה לכתוב הוכחה לבנייה שגויה. מרים כתבה לעצמה ברפלקציה מהזיכרון שהמשימה הייתה מורכבת להבנה עבור התלמידים ולא פירשה את מקור הקושי. בצפייה בקטע השיעור בווידאו, המנחה הסבה את תשומת ליבה של מרים להערתו של התלמיד, ואף שלא הבחינה בכך בשיעור עצמו, בווידאו שלאחר השיעור ובצפיית העמיתים הבחינה מרים בשרטוט השגוי ובהערת התלמיד. לאחר הרפלקציה מהווידאו שעשתה בליווי המנחה, כתבה מרים: "התלמיד זיהה שהקו שנוצר כמקביל לא נוצר כבנייה גאומטרית על פי כללי הבנייה. אלא שורטט סתם כך. הוא הבין שהשרטוט שגוי". ההתמקדות שלה בתגובת התלמיד אפשרה לה להיווכח ולכתוב ביומן ש"הסיטואציה מלמדת שהתלמיד הפנים את כללי הבנייה מתוך הבנה שאין אפשרות להעביר סתם כך קו ולהחליט על הקבלה שלו לקו אחר [...] איך לא שמתי לב לכך?".

כשדנתי באירוע זה עם מרים הבנו את הסיבות לאי אזכור האירוע ברפלקציה שנכתבה מהזיכרון. ראשית, מרים לא חוותה את ההערה של התלמיד כעוצמתית לעומת כלל ההערות שהיו בכיתה. כלומר הקשב של מרים היה סלקטיבי והתמקד בהערות הלומדים האחרים אף שהערת התלמיד הייתה דומיננטית ברקע. נוסף על כך בזמן אמת היא פירשה את תגובתו של התלמיד בשטחיות: כטענה הנוגדת את הפתרון שלה, שגרמה לה לרגשות לא נעימים. האם בשל כך פירשה טענה זו כהתחמקות מכתובת הוכחה פורמלית? כמו כן בסוף אותו שיעור מיקוד תשומת הלב של מרים היה כללי: "כתיבת הוכחה פורמלית מצדיקה לבנייה", ואילו כאשר כתבה רפלקציה מהזיכרון וסיכמה את השיעור כמקדם את התפיסה של ההוכחה הפורמלית, תשומת הלב שלה הופנתה מההתנהלות בכיתה לתפיסה העצמית שלה כמורה המקנה לתלמידיה את תפיסת המושג "הוכחה" בגאומטריה. לעומת זאת, כאשר התבוננו בווידאו ביחד ברמת המיקרו, ראינו שיש למקד את תשומת הלב בכל פרט שהיה בשיחה בכיתה כדי לעבד הכול יחד לכדי הבנה עמוקה של מה שהתנהל בכיתה. ניתוח מעמיק של חלקי כל השיח שהיה בכיתה בסיוע צפייה בווידאו הביא את המורה לידי הבנה מהו הדבר שהפריע לתלמיד: התלמיד לא הסכים לכתוב הוכחה לבנייה שחלקה לא נעשה לפי הכללים הגאומטריים של בנייה בסרגל ומחוגה וירטואליים. לטענתו, אם



בתרומה לרעיונות המתמטיים תהיה בולטת כל כך. שארמר (2022/2018) טוען כי "חמישה אנשים מסוגלים לשנות את העולם" (עמ' 142). קבוצת אנשים מכוונת מטרה משותפת ומשאבים מאפשרים לתוצאה לקרות. כשמיניתי את הפעולות שנעשו בקבוצה והיו בעבורי עדות למיקוד תשומת הלב של המשתתפים ברבי-שיח הן היו אלה: יוזמה, ערעור, הרהור, המשך רעיון מתמטי, הסכמה, נימוק רעיון של עמית אחר, נימוק רעיון של עמית, הסבר, הסבר על הסבר, הזמנה לחישוב, הערכת רעיון, דיוק רעיון וניסוח הכללה. כשניסיתי למיין את הפעולות לפי משתתפים נמצא שכמעט את כל הפעולות עשו כל המשתתפים בזמנים מגוונים של רב השיח. האם אני יכולה ללמוד מכך שקולבורציה מקדמת "הזדמנויות שווה לתרומת רעיון מתמטי בפתרון בעיות" בקבוצות הטרוגניות? או מיקוד תשומת לב לרעיונות מתמטיים מהותיים? שקולבורציה מקדמת מיקוד תשומת לב של מורים להיבטים מדויקים יותר של משאבים לפתרון בעיה? אולי כן, כי חקרתי די קבוצות בביצוע בעיות מגוונות. ואולי לא, כי אני לא מעיזה לחדש מסקנה על התאוריה הקולבורטיבית שהושאלה משדה מחקר אחר, חידוש עבור שדה החינוך המתמטי, מבלי ליצור מחקר כזה עם חוקר מהתחום. אבל אני כן מעיזה להמשיך ליישם פרקטיקה של פתרון קבוצתי למשימה מתמטית לא שגרתית, כעיקרון חינוך 4.0.

בדוגמה השלישית הצגתי את ההנחיה לתשומת לב לאירועים בווידאו המתעד שיעור מתמטי כהזדמנות למיקוד תשומת הלב באירועים המתמטיים שנכחדו מתשומת הלב ברפלקציה הכתובה. גם בדוגמה זו ההבנה של התופעה התאפשרה בזכות הבנת תאוריות פסיכולוגיות המקשרות בין זיכרון לרגשות (Tulving, 2002). וגם בזכות התאוריות על זיכרון העבודה המסבירות שתשומת לב סלקטיבית אינה משרתת רק כדי לשפר את האילויות או הנגישות של הזיכרונות לרגע זה, אבל גם כדי לשפר את היכולת שלהם לשרת את ההתנהגות העתידית הצפויה גם על המחקר בתחום וגם על ההכשרה לקידום ופיתוח תשומת לב לאירועים בכיתה.

במחקרי (עובדיה וגולדברג, בפרסום) אפיינתי פרקטיקות הוראה של מכשירי מורים בישראל. בניתוח שעשיתי לנתונים שעלו מקבוצת מכשירי המורים למתמטיקה נמצא שהם מיישמים פרקטיקות קהילתיות שחוזרות על עצמן, אך אף לא אחד מהם עסק בפרקטיקות הכשרה להוראה בעניין של מאפייני הלומד, או הבדלים במאפייני למידה בין המורים הלומדים. ממצא זה נובע אולי מאמונה שהמורים למתמטיקה הם קבוצה הומוגנית או מעיסוק

לדיוני עומק, ומאז אני משתעשעת בספרות המחקר הזו, הדומות לה והקרובות לה, וניסיתי לעצב סביבות למידה בקורסי מתמטיקה מסוימים לפי תוצאות מחקרים, וגם לאסוף נתונים ולחקור את סביבות למידה (למשל: עובדיה, 2018; עובדיה, 2020). עיצוב סביבות למידה בהכשרה להוראת מתמטיקה לאחר יישום ממצאים משדות מחקר אחר מוצג במאמר הנוכחי באמצעות שלוש דוגמאות. בכל דוגמה התבוננתי בתשומת לב של המורה, וניסיתי לזהות עד כמה הרחקנו את הגבול העליון של תשומת הלב, עד שהיא נעשתה ממוקדת יותר ומספקת עושר של תובנות למורה על הפרקטיקות של הוראתו, על מאפייני הלמידה של הלומדים ועוד. בדוגמה הראשונה בתייעוד של השיעורים הראשונים המורה מציינת שהיא לא יודעת היכן למקד את תשומת ליבה: "האם להתמקד בתלמיד חלש ולעקוב אחר פעולותיו? האם לעבור ביעף בין כולם ואצל כל תלמיד להרגיש מעט מעשייתו? האם לשבת בכיסא המורה ולתת לתלמידים לחשוב עצמאי ולבסוף לנהל דיון על פתרון מודגם מאחד מהם?" המורה נימקה את מאפייני תשומת ליבה בתייעוד ההוראה. בהמשך היא מתפתחת למקד את תשומת ליבה במבנה המשוב שהתוכנה מספקת כדי ללמוד ממנו, ועוד יותר בהמשך היא ממקדת את תשומת ליבה בשינוי הפרקטיקות שעליה לעשות בהוראה באמצעות התוכנה כדי לקדם את התלמידים לכתיבת הוכחה פורמלית בגאומטריה. השינוי שחל בקרב תלמידיה בזמן תהליך הלמידה מפעים אותה, והיא בוחרת לאמץ את כללי המשוב של התוכנה גם בתרגילי הערכה ללא תוכנה, עד כמה שאפשר באמצעים אנושיים. מתברר שתאוריית העומס הקוגניטיבי בלמידה (Phan et al., 2017) העוסקת בעומס חיצוני של המשימה כמכביד על העומס הפנימי ומעכב תהליך התמקדות במשימה, חלה גם על מורים. המורה שלימדה באמצעות פולפרוף ראתה במשוב המאורגן החוזר על עצמו, מבנה צורני שמקל עליה להבין כיצד התוכנה מעריכה את תהליך כתיבת הפתרונות של תלמידיה.

בדוגמה השנייה מיקדתי את תשומת הלב של קבוצות לומדים בתמונה של גרפים וביקשתי מקסימום תובנות מתמטיות על הגרפים. המשאב המרכזי שהענקתי למשימה כשעיצבתי אותה, היה הקבוצה. הנחתי כי ארבעה לומדים בעלי רקע מתמטי מגוון ורקע הוראתי שונה יביאו למרחב הדיון משאבים מגוונים. עוד הנחתי כי ריבוי המשאבים הטמונים בכל משתתף יסייע להם כלומדים להגיע לפתרון יצירתי שמעניין אותם, ושהוא יצירה משותפת. לא הנחתי כי הקבוצה שעבדה כל אחד לבד על אותה משימה, לא תצליח כמעט בכלל לייצר משאבי ידע לפתרון המשימה. הדבר העיקרי שלא הנחתי שאיסימטריית ההשתתפות

de Didàctica de la Llengua de la Literatura i de les Ciències Socials, Universitat Autònoma de Barcelona. [https://www.researchgate.net/publication/255666969\\_Expert\\_Teachers\\_Their\\_Characteristics\\_Development\\_and\\_Accomplishments](https://www.researchgate.net/publication/255666969_Expert_Teachers_Their_Characteristics_Development_and_Accomplishments)

Berliner, D. C. (1987). Ways of thinking about students and classrooms by more and less experienced teachers. In J. Calderhead (Ed.), *Exploring teachers' thinking* (pp. 60–83). Cassell.

Berliner, D. C. (2001). Learning about and learning from expert teachers. *International Journal of Educational Research*, 35(5), 463–482. [https://doi.org/10.1016/S0883-0355\(02\)00004-6](https://doi.org/10.1016/S0883-0355(02)00004-6)

Bowers, J. S. (2016). The practical and principled problems with educational neuroscience. *Psychological Review*, 123(5), 600–612. <http://dx.doi.org/10.1037/rev0000025>

Bramlett, R., Cates, G. L., Savina, E., & Lauinger, B. (2010). Assessing effectiveness and efficiency of academic interventions in school psychology journals: 1995–2005. *Psychology in the Schools*, 47(2), 114–125. <https://doi.org/10.1002/pits.20457>

Bruer, J. T. (1997). Education and the brain: A bridge too far. *Educational Researcher*, 26(8), 4–16. <https://doi.org/10.3102/0013189X026008004>

Carew, T. J., & Magsamen, S. H. (2010). Neuroscience and education: An ideal partnership for producing evidence-based solutions to Guide 21<sup>st</sup> Century learning. *Neuron*, 67(5), 685–688. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.08.028>

Chen, O., Paas, F., & Sweller, J. (2023). A cognitive Load theory approach to defining and measuring task complexity through element interactivity. *Educational Psychology Review*, 35, Article 63. <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09782-w>

עמוק וחיובי בתאוריה ומחקר בחינוך מתמטי, מבלי להתדיין עם תאוריות פדגוגיות גנריות שאינן בהכרח מעולם החינוך המתמטי. כנראה כדי שמכשירי מורים יישמו המלצות מתחומי הפסיכולוגיה המגוונים צריכה להיות אמונה שקהילות חוקרים קרובות או רחוקות עשויות להגיע לשיתופי פעולה מחקריים, לדיוני עומק מחקריים, שיישום תוצאותיהם יקדם יישום פדגוגיות חדשניות כפרקטיקות הכשרה המשלבות פסיכולוגיה ומדעי המוח עם חינוך מתמטי. אולי אנו בתחילתו של עידן של עיצוב היוזמה בין קהילות החוקרים לשיתוף פעולה מחקרי ויישומי בין חינוך מתמטי לענפי הפסיכולוגיה.

## רשימת מקורות

אייל, נ' (2004). **נפלאות הזיכרון ותעתועי השיכחה**. א. ניר.

גודמן, מ' (2021). **מהפכת הקשב: העידן הדיגיטלי – השבר והתיקון**. דביר.

עובדיה, ת' (2018). אפיון סביבה של לימוד מדוגמאות פתורות סטטיות ואינטראקטיביות לבעיות מתמטיות בחדו"א באמצעות גישת העומס הקוגניטיבי בלמידה ותאוריית ה-APOS. **דברים**, 11, 142–111.

עובדיה, ת' (2020). בין רפלקציה הנכתבת מזיכרון לרפלקציה מצפייה בתיעוד וידאו: ניתוח מחקרי פעולה בהוראת מתמטיקה. **דברים**, 13, 109–127.

עובדיה, ת' וגולדברג, צ' (בפרסום). פרקטיקות רווחות בהכשרת מורים בישראל: תמונת מצב. בתוך ע' זוהר, מ' רזניק וש' פיימן-נמסר (עורכות), **אתגרים בהתחדשות הכשרת המורים בישראל: תובנות ממחקר על תהליכי שינוי שהתרחשו באוניברסיטה העברית**. הוצאת ספרים ע"ש י"ל מאגנס.

שארמר, ק"א (2022). **היסודות של תיאוריית U: עקרונות ליבה ויישומים** (ד' בלישה, מתרגמת). גורדון ספרים. (המקור פורסם ב-2018)

Berliner, D. (2004). Expert teachers: Their characteristics, development and accomplishments. In R. Batllori, E. Gómez Martínez, M. Oller, & J. Pagès Blanch (Eds.), *De la teoria...a l'aula: Formacio del professorat ensenyament de las ciències socials* (pp. 13–28). Departament



- Gilligan, K. A., Hodgkiss, A., Thomas, M. S. C., & Farran, E. K. (2019). The developmental relations between spatial cognition and mathematics in primary school children. *Developmental Science*, 22(4), Article e12786. <https://doi.org/10.1111/desc.12786>
- Goodwin, C. (1994). Professional vision. *American Anthropologist*, 96(3), 606–633.
- Hadwin, A. F. (2021). Commentary and future directions: What can multi-modal data reveal about temporal and adaptive processes in self-regulated learning? *Learning and Instruction*, 72(2), Article 101287. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101287>
- Hawes, Z., & Ansari, D. (2020). What explains the relationship between spatial and mathematical skills? A review of evidence from brain and behavior. *Psychonomic Bulletin & Review*, 27, 465–482. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01694-7>
- Isöhätälä, J., Näykki, P., & Järvelä, S. (2020). Cognitive and Socio-Emotional interaction in collaborative learning: Exploring fluctuations in students' participation. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 64(6), 831–851. <https://doi.org/10.1080/00313831.2019.1623310>
- Kaiser, G., Busse, A., Hoth, J., König, J., & Blömeke, S. (2015). About the complexities of video-based assessments: Theoretical and methodological approaches to overcoming shortcomings of research on teachers' competence. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(2), 369–387. <https://doi.org/10.1007/s10763-015-9616-7>
- Kirschner, F., Paas, F., & Kirschner, P. A. (2011). Task complexity as a driver for collaborative learning efficiency: The collective working-memory effect. *Applied Cognitive Psychology*, 25(4), 615–624. <https://doi.org/10.1002/acp.1730>
- Churches, R., Dommett, E. J., Devonshire, I. M., Hall, R., Higgins, S., & Korin, A. (2020). Translating laboratory evidence into classroom practice with Teacher-Led randomized controlled trials—A perspective and Meta-Analysis. *Mind, Brain, and Education*, 14(3), 292–302. <https://doi.org/10.1111/mbe.12243>
- Cosmides, L., & Tooby, J. (1998). *Evolutionary psychology: A primer*. <http://cogweb.ucla.edu/ep/EP-primer.html>
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87–114. <https://doi.org/10.1017/s0140525x01003922>
- Devonshire, I. M., & Dommett, E. J. (2010). Neuroscience: Viable applications in education? *The Neuroscientist*, 16(4), 349–356. <https://doi.org/10.1177/1073858410370900>
- Dominguez, H. (2019). Theorizing reciprocal noticing with non-dominant students in mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 102(1), 75–89. <https://doi.org/10.1007/s10649-019-09896-5>
- Frankl, V. E. (1963). *Man's search for meaning*. Pocket Books.
- Gavali, P., & Banu, J. S. (2020). Improving problem solving ability of student through cooperative learning. *Journal of Engineering Education Transformations*, 33(Special Issue), 567–570. <https://dx.doi.org/10.16920/jeet/2020/v33i0/150118>
- Gazzaley, A., & Rosen, L. D. (2016). *The distracted mind: Ancient brains in a high-tech world*. The MIT Press.
- Geary, D. C. (2012). Evolutionary educational psychology. In K. R. Harris, S. Graham, T. Urdan, C. B. McCormick, G. M. Sinatra, & J. Sweller (Eds.), *APA educational psychology handbook, Vol. 1. Theories, constructs, and critical issues* (pp. 597–621). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/13273-020>



- Nasrawi, R., & van Ede, F. (2022). Planning the potential future during multi-item visual working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 34(8), 1534–1546. <https://doi.org/10.1101/2021.12.17.473138>
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive Load measurement as a means to advance cognitive Load theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63–71. [https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801\\_8](https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_8)
- Phan, H. P., Ngu, B. H., & Yeung, A. S. (2017). Achieving optimal best: Instructional efficiency and the use of cognitive Load theory in mathematical problem solving. *Educational Psychology Review*, 29(4), 667–692. <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9373-3>
- Pollock, E., Chandler, P., & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, 12(1), 61–86. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(01\)00016-0](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00016-0)
- Popov, V., van Leeuwen, A., & Buis, S. C. A. (2017). Are you with me or not? Temporal synchronicity and transactivity during CSCL. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(5), 424–442. <https://doi.org/10.1111/jcal.12185>
- Rotzer, S., Loenneker, T., Kucian, K., Martin, E., Klaver, P., & von Aster, M. (2009). Dysfunctional neural network of spatial working memory contributes to developmental dyscalculia. *Neuropsychologia*, 47(13), 2859–2865. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.009>
- Sauerheber, R. D., & Muñoz, B. (2020). Teaching demonstration of the integral calculus. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 51(4), 631–642. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2019.1614689>
- Kirschner, P. A., Sweller, J., Kirschner, F., & Zambrano R. J. (2018). From cognitive Load theory to collaborative cognitive load theory. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 13(2), 213–233. <https://doi.org/10.1007/s11412-018-9277-y>
- König, J., Santagata, R., Scheiner, T., Adleff, A. K., Yang, X., & Kaiser, G. (2022). Teacher noticing: A systematic literature review of conceptualizations, research designs, and findings on learning to notice. *Educational Research Review*, 36, Article 100453. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100453>
- Kovelman, I., Norton, E. S., Christodoulou, J. A., Gaab, N., Lieberman, D. A., Triantafyllou, C., Wolf, M., Whitfield-Gabrieli, S., & Gabrieli, J. D. E. (2012). Brain basis of phonological awareness for spoken language in children and its disruption in dyslexia. *Cerebral Cortex*, 22(4), 754–764. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr094>
- Louie, N., Adiredja, A. P., & Jessup, N. (2021). Teacher noticing from a sociopolitical perspective: The FAIR framework for anti-deficit noticing. *ZDM – Mathematics Education*, 53(1), 95–107. <https://doi.org/10.1007/s11858-021-01229-2>
- Mason, J. (2002). *Researching your own practice: The discipline of noticing*. Routledge Farmer.
- Mason, J. (2011). Noticing: Roots and branches. In M. Sherin, V. Jacobs, & R. Philipp (Eds.), *Mathematics teacher noticing: Seeing through teachers' eyes* (pp. 35–50). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203832714>
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>



- Stahl, G. (2014). The constitution of group cognition. In L. Shapiro (Ed.), *The Routledge handbook of embodied cognition* (pp. 335–346). Routledge.
- Stahl, G. (2015). Conceptualizing the intersubjective group. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 10, 209–217. <http://doi.org/10.1007/s11412-015-9220-4>
- Stahl, G. (2017). Group practices: A new way of viewing CSCL. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 12, 113–126. <http://doi.org/10.1007/s11412-017-9251-0>
- Stylianides, A. J., & Stylianides, G. J. (2022). Introducing students and prospective teachers to the notion of proof in mathematics. *The Journal of Mathematical Behavior*, 66, Article 100957. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmathb.2022.100957>
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202\\_4](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4)
- Sweller, J. (2011). Cognitive load theory. In J. P. Mestre & B. H. Ross (Eds.), *The psychology of learning and motivation: Cognition in education* (Vol 55, pp. 37–76). Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387691-1.00002-8>
- Sweller, J. (2015). In academe, what is learned, and how is it learned? *Current Directions in Psychological Science*, 24(3), 190–194. <https://doi.org/10.1177/0963721415569570>
- Sweller, J. (2016a). Working memory, long-term memory, and instructional design. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 5(4), 360–367. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2015.12.002>
- Sweller, J. (2016b). Working memory, long-term memory, and instructional design. *Journal of Applied Research in Memory*
- Schäfer, A., Holz, J., Leonhardt, T., Schroeder, U., Brauner, P., & Ziefle, M. (2013). From boring to scoring – A collaborative serious game for learning and practicing mathematical logic for computer science education. *Computer Science Education*, 23(2), 87–111. <https://doi.org/10.1080/08993408.2013.778040>
- Scharmer, C. O. (2018). *The essentials of Theory U: Core principles and applications*. Berrett-Koehler Publishers.
- Scheiner, T. (2023). Shifting the ways prospective teachers frame and notice student mathematical thinking: From deficits to strengths. *Educational Studies in Mathematics* 114(1), 35–61. <https://doi.org/10.1007/s10649-023-10235-y>
- Scheuer, O., Loll, F., Pinkwart, N., & McLaren, B. M. (2010). Computer-supported argumentation: A review of the state of the art. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 5(1), 43–102. <https://doi.org/10.1007/s11412-009-9080-x>
- Schoenfeld, A. H. (2011). Noticing Metters. A lot. Now what? In M. G. Sherin, V. R. Jacobs, & R. A. Philipp (Eds.), *Mathematics teacher noticing: Seeing through teachers' eyes* (pp. 223–238). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203832714>
- Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2008). Paying attention to reading: The neurobiology of reading and dyslexia. *Development and Psychopathology*, 20(4), 1329–1349. <https://doi.org/10.1017/S0954579408000631>
- Sherin, B., & Star, J. R. (2011). Reflections on the study of teacher noticing. In M. Sherin, V. Jacobs, & R. Philipp (Eds.), *Mathematics teacher noticing: Seeing through teachers' eyes* (pp. 66–78). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203832714>



- van Ede, F., & Nobre, A. C. (2023). Turning attention inside out: How working memory serves behavior. *Annual Review of Psychology*, 74, 137–165. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-021422-041757>
- van Ede, F., Chekroud, S. R., Stokes, M. G., & Nobre, A. C. (2019). Concurrent visual and motor selection during visual working memory guided action. *Nature Neuroscience*, 22(3), 477–483. <https://doi.org/10.1038/s41593-018-0335-6>
- van Es, E. A., & Sherin, M. G. (2002). Learning to notice: Scaffolding new teachers' interpretations of classroom interactions. *Journal of Technology and Teacher Education*, 10(4), 571–596.
- Willingham, D. T. (2009). Three problems in the marriage of neuroscience and education. *Cortex*, 45(4), 544–545. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.05.009>
- Wimber, M., Alink, A., Charest, I., Kriegeskorte, N., & Anderson, M. C. (2015). Retrieval induces adaptive forgetting of competing memories via cortical pattern suppression. *Nature Neuroscience*, 18(4), 582–589. <https://doi.org/10.1038/nn.3973>
- and Cognition, 5(4), 360–367. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2015.12.002>
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296. <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>
- Tindall-Ford, S. K., Agostinho, S., Bokosmaty, S., Paas, F., & Chandler, P. (2015). Computer-based learning of geometry from integrated and split attention worked examples: The power of self-management worked examples: The power of self-management. *Educational Technology and Society*, 18(4), 89–99.
- Tulving, E. (2002). Episodic memory: From mind to brain. *Annual Review of Psychology*, 53, 1–25. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135114>
- Van den Bossche, P., Gijssels, W. H., Segers, M., & Kirschner, P. A. (2006). Social and cognitive factors driving teamwork in collaborative learning environments: Team learning beliefs and behaviors. *Small Group Research*, 37(5), 490–521. <https://doi.org/10.1177/1046496406292938>

## נספח 1:

### טבלה 2: ניתוח הדיאלוג על פי העקרונות לניתוח שיח שיתופי

| מאפיין                | מיקומו ומשמעותו בביצוע המשימה                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| מורכבות המשימות       | ארבעת הסטודנטים במשימה הנוכחית נזכרים ומזהים פונקציות הנתונות באמצעות שרטוט ללא ביטוי אלגברי, המשימה די מורכבת בעבורם כקבוצה, מאחר שהיא פתוחה ועליהם לייצג אותה באמצעות מקסימום רעיונות מתמטיים.                        |
| הדרכה ותמיכה במשימות  | בהוראות למשימה ניתן שרטוט הכולל את תנאי הבעיה ויכולת להשתמש בכל חומר עזר. המשימה ניתנת למשחק ביישומון כהבנת המשתתפים, והם עושים זאת בכמה שלבים (שורה 8, שורה 24)                                                        |
| מומחיות בתחום         | מידת המומחיות של המשתתפים בנושא ובסגנון הבעיה אינה זהה, לא כולם מורים בפועל, לא כולם סיימו תואר ראשון באותו מוסד לימודי. כולם למדו מתמטיקה או הוראת מתמטיקה לתואר ראשון.                                                |
| מיומנויות שיתוף פעולה | זהו הסמסטר השני שבו המשתתפים לומדים יחד, והם בחרו לעבוד בהרכב זה, התפקידים והפעולות ביניהם הם ספונטניים.                                                                                                                |
| גודל הקבוצה           | מלכתחילה חשבתי כי הקבוצה קטנה ולכן העומס הקוגניטיבי שיכול לנבוע מגודל הקבוצה לא שייך לסיטואציה זו. בדיעבד היה נראה שמורכב לכולם להקשיב, להבין ולהגיב. בזמן שמישהו הגיב עדיין אחרים תהו על הנאמר. (למשל שורה 17 שורה 34) |



| מאפיין              | מיקומו ומשמעותו בביצוע המשימה                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| תפקידים קבוצתיים    | <p>אין תפקידים קבוצתיים פורמליים, אבל כל פעם מישוהו אחר מעז ליזום שינוי בפעילות, ובאופן טבעי הדיון ותשומת הלב מופנים אליו.</p> <p>אין דומיננטיות של הסטודנט בעל הרעיונות. מאחר שמיקוד תשומת הלב של הקבוצה בדובר, המשך הרעיונות נע מדובר לדובר. אפשר לסמן שלושה או ארבעה רעיונות שהפנו את תשומת הלב של הקבוצה, והביעו אותם משתתפים אחרים. למשל:</p> <p>שורה 7: 10: כי אנחנו צריכים להסכים מי הגרפים? ומה מסמל קווקו השטח.</p> <p>שורה 01: 40: נראה לי שאת החלק של זיהוי הפונקציות סיימנו עכשיו צריך להבין את השטחים. בשרטוט d. אני חושב שהשטח מסמל שניתן להזיז חלקי שטח וכך להשוות בין השטחים הכלואים בין שתי הפונקציות.</p> <p>שורה 41: 30: אהה...אני חושבת שהשרטוטים לפי הסדר ממחישים שטחים שונים אבל יש קשר בין כולם. השאלה מה הקשר?</p> <p>שורה 52: 20: לא אל תשרטטי יש לי רעיון אני כותבת תעקבו אחרי שאני לא טועה. אני חושבת שהפונקציות הן פונקצייה ונגזרתה. לא לא פונקצייה ונגזרתה אלא....</p> <p>אי־הדומיננטיות של משתתף אחד מציגה תנועה כמעט סימטרית בין הדוברים כאשר דובר אחד מפנה לתשומת לב לרעיון והקבוצה בודקת אותו. מי שמפנים את הרעיון ממשיך אותו, או סותר אותו או מרחיב.</p> |
| הרכב הקבוצה         | <p>הרכב הצוות הטרוגני מבחינת הניסיון התעסוקתי, גם מבחינת ידע קודם והכשרה להוראת מתמטיקה. הטרוגניות מקדמת קולבורציה כי תשומת הלב של כל משתתף אינה זהה לשל עמיתיו.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| חווית משימות מוקדמת | <p>לקבוצה יש היכרות עם משימות דומות בסגנון העבודה ולא בתוכן המתמטי משיעורים קודמים באותו קורס.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| ניסיון קודם בקבוצה  | <p>הקבוצה עבדה יחד כקבוצה קולבורטיבית בפעם הראשונה.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |