

קשיים בשליפת עובדות הכפל: פרספקטיבה נורו-פדגוגית¹

אילת קצוף, ניצה מרק זיגדון ושרית אשכנזי

תקציר

תלמידים רבים מתקשים בזיכרון של עובדות הכפל, וחוקרים שונים ניסו להסביר את הגורמים לקשיים אלו. המחקר הנוכחי משלב בין ידע מתחום הפדגוגיה המתמטית הקשור בקשיים בזיכרון עובדות הכפל לידע מתחום מדעי המוח על הפרעות בשלבי הלמידה והזיכרון השונים, זאת בהתאם לדיסציפלינה הנורו-פדגוגית. מחקרי זיכרון הראו שבמהלך יצירת זיכרון קיימים שלבים אשר רגישים להפרעות: גיבוש וגיבוש מחדש. המחקר הנוכחי בחן את השפעת ההתערבות של לימוד מידע דומה (לימוד שתי רשימות של עובדות כפל) לעומת השפעת התערבות של לימוד מידע שונה (לימוד רשימת עובדות כפל ורשימת מילים) על זיכרון של עובדות הכפל לאחר שלבים אלו.

במחקר השתתפו 115 תלמידי כיתה ג והוא כלל שני ניסויים שהתבצעו במסגרת שיעורי מתמטיקה בכיתה. בניסוי הראשון נבדקה השפעת התערבות של לימוד מידע דומה על לימוד המידע הראשוני לעומת השפעת התערבות של לימוד מידע שונה במהלך שלב גיבוש הזיכרון. בניסוי השני נבדקו השפעות של התערבויות אלו במהלך שלב הגיבוש מחדש של הזיכרון. בשני הניסויים התוצאות נמדדו על פי מדדים של דיוק ומהירות השליפה של רשימת עובדות הכפל שנלמדו בתחילת הניסוי. התוצאות שהתקבלו מצביעות לראשונה, בהקשר של תוכן מתמטי, שהתערבות באמצעות מידע דומה גורמת להפרעה משמעותית יותר בשליפה של העובדות מאשר התערבות באמצעות מידע שונה הן בשלב הגיבוש הן בשלב הגיבוש מחדש. תוצאות אלו נמצאו הן ברמת הדיוק של התשובות הן ברמת מהירות השליפה שלהן.

התוצאות שהתקבלו מרחיבות את ההבנה באשר לגורמי קושי אפשריים נוספים העומדים בבסיס הקשיים של שליפת עובדות הכפל משלב הקידוד בלבד (שלב הלמידה) כפי שנחקר עד כה, לשלבים נוספים ביצירת הזיכרון: שלב הגיבוש ושלב הגיבוש מחדש. למחקר זה חשיבות

¹ המחקר התבצע במימון של מכון מופ"ת ושל המרכז האקדמי לוינסקי-וינגייט.

רבה בהוראה-למידה מיטבית של עובדות כפל, וכן בהדגשת החשיבות של יישום הדיסציפלינה הנורו-פדגוגית במחקר וביישום בכיתה.

מילות מפתח: קשיים בשליפת עובדות הכפל, שלב הגיבוש של הזיכרון, שלב הגיבוש מחדש של הזיכרון, הפרעה לזיכרון, הפרעה דומה, הפרעה שונה

מבוא

נורו-פדגוגיה

נורו-פדגוגיה (Neuroeducation/Educational Neurosciences) היא תחום דעת אינטרדיסציפלינרי המשלב בין מדעי המוח, לפסיכולוגיה קוגניטיבית ולפדגוגיה. התחום מזמן דיאלוג בין חוקרי חינוך, חוקרי מוח, פסיכולוגים ולומדים בכל הגילים כדי להעמיק, לשפר ולדייק את ההבנה התיאורטית והיישומית בפיתוח תהליכי הוראה-למידה המבוססים על ידע נורו-פדגוגי (Dubinsky et al., 2019). עם ההתפתחות המואצת של מדעי המוח (Neuroscience), התחזקה ההבנה שהיכרות עם דרכי הפעולה של המוח יכולה לסייע לשיפור ההוראה ולשיפור דרכי הלמידה, להעמקת ההבנה של צרכי התלמידים ולהעצמת המורים ותפקודם. מטרותיו המרכזיות של תחום זה מתמקדות בהבנה טובה יותר של האופן שבו אנו לומדים, בפיתוח שיטות הוראה ותוכניות לימודים, בפיתוח אסטרטגיות למידה ובתרומה להתוויית מדיניות חינוכית, על בסיס מדעי ועל סמך ממצאים אמפיריים (Shvarts-Serebro et al., 2024). המחקר הנוכחי משלב בין ידע מתחום הפדגוגיה המתמטית הקשור בקשיים בזיכרון עובדות הכפל וידע מתחום מדעי המוח על הפרעות בשלבי הלמידה והזיכרון השונים, זאת בהתאם לדיסציפלינה הנורו-פדגוגית.

זיכרון של עובדות הכפל וגורמי הפרעה לזיכרון

עובדות הכפל הוא אחד הנושאים הנלמדים בשנים הראשונות של לימודי המתמטיקה בבית הספר היסודי. עובדות הכפל הן תרגילים עם גורמים חד-ספרתיים 2 עד 9 (למשל, $3 \times 4 = 12$).

תרגילים אלו מהווים מרכיב יסודי וחשוב הן כבסיס לחישובים מתמטיים מורכבים יותר הן לשימושים ויישומים מגוונים בחיי היומיום. מחקרים מצביעים על כך שבסופו של תהליך הלמידה, עובדות הכפל נפתרות בעיקר בדרך של שליפת התשובות באופן מהיר מהזיכרון המילולי, המבוסס על מערכת סמנטית (Dehaene & Cohen 1995; Butterworth, 2010; Feigenson et al., 2004; Stoianov & Zorzi, 2012). בהשוואה לעובדות בפעולות אריתמטיות אחרות, שליפה של עובדות הכפל מסתמכת יותר על קוד של עיבוד שמיעתי-מילולי והן נשלפות לעתים קרובות יותר באופן מהיר ישירות מהזיכרון לטווח ארוך (Campbell 1995; Dehaene & Cohen, 1996; Tarling, 1996). לשליפת התשובות באופן מהיר ומדויק יתרון רב מאחר שמצב זה מאפשר לתלמידים להקדיש משאבים קוגניטיביים ולעיתים גם רגשיים ללימוד מיומנויות מתמטיות מורכבות יותר ולבצע משימות מתקדמות יותר (Campbell & Xue, 2001).

בדרך כלל ההתייחסות לעובדות הכפל היא באופן גורף לכל התרגילים המופיעים בלוח הכפל. אולם, נמצא כי בין התרגילים השונים קיימים כאלה עם מאפיינים ואפקטים ייחודיים אשר משפיעים ומקלים על הזיכרון, על המהירות ועל דיוק השליפה: (1) אפקט השוויון: תרגילים עם גורמים זהים (למשל, 6×6) נחשבים קלים יותר מאשר תרגילים עם גורמים שונים (למשל, 8×6) (Campbell & Gunter, 2002); (2) אפקט החמש: תרגילים עם הגורם 5 נפתרים מהר יותר ובפחות שגיאות (Siegler, 2001; Masse & Lemaire, 1999; Lemaire & Reder, 1999); (3) אפקט גודל הגורמים: תרגילים עם גורמים קטנים (3×4) נפתרים מהר יותר ובדיוק רב יותר מאשר תרגילים עם גורמים גדולים (7×8) (Campbell & Tarling, 1996; Stazyk, 1982).

מודלים תיאורטיים מניחים כי עובדות הכפל מאורגנות בזיכרון ברשת אסוציאטיבית מקושרת, המאפשרת שליפה מהירה (Campbell, 1995; LeFevre et al., 1996). עוצמת הקשרים בין התרגיל לפתרון נקבעת על פי תדירות התרגול והשימוש בו. ככל שאלו יהיו תכופים יותר כך יתחזקו הקשרים בין התרגיל לפתרון. על פי מודל "השכנים האינטראקטיביים" (Verguts & Fias, 2005) התשובות לתרגילי כפל נשלפות באמצעות תהליכים מקבילים של שיתוף פעולה

ותחרות בין תרגילים עם גורמים דומים. הצגת תרגיל מסוים מעוררת במוח כמה צמתים שכנים ברשת האסוציאטיבית, דבר העלול להפריע לשליפת התשובה הנכונה. כך למשל, כאשר מוצג התרגיל 8×4 תתקיים עוררות מוחית גם של התרגילים 8×3 וכן 8×5 ולכן, במקרים רבים התשובות השגויות יהיו שייכות לתרגילים שכנים וכך התשובה לתרגיל 8×4 יכולה להיות 24. ככל שהתרגול והחשיפה לתרגיל יהיו רבים יותר כך יתחזק הקשר שבין התרגיל והתוצאה 32 וקשר זה יגבר על התרגילים המתחרים האחרים.

דה וישר ונואל (De Visscher & Noël, 2014a, 2014b) הציעו אפקט נוסף העשוי לשפוך אור על הבנת תהליך הזיכרון בשליפת עובדות הכפל, המבוסס על תיאוריית ההפרעה הפרואקטיבית. לפי תיאוריה זו, תרגילים שנשמרו בזיכרון עלולים להפריע לתהליך השינון של תרגיל חדש אם תרגיל זה דומה לתרגילים שנלמדו קודם לכן. ככל שעובדת כפל חולקת יותר מאפיינים דומים עם אלו שנלמדו בעבר, כך עקבות הזיכרון שלה יהיו חלשות יותר. מכיוון שכל עובדות הכפל מורכבות מעשר ספרות בלבד, למעשה, קיים דמיון רב בין התרגילים השונים. לפיכך, יש חוקרים הטוענים כי ההפרעה הפרואקטיבית נובעת מהדמיון הרב הקיים בין מרכיבי תרגילי הכפל (De Visscher et al., 2015, 2018; Dotan & Zviran-Ginat, 2022).

נוסף על הגורמים הקשורים למאפיינים של עובדות הכפל ולאופן השפעתן על הזיכרון, קיימים גורמים נוספים הקשורים במאפייני התלמידים. נמצא כי קיימים הבדלים אינדיבידואליים משמעותיים ביכולתם של התלמידים לשלוף את עובדות הכפל. הבדלים אלו נובעים ממגוון רחב של גורמים, כגון יכולות קוגניטיביות בסיסיות שונות. לדוגמה, נמצא כי ככל שזיכרון העבודה של התלמידים טוב יותר, שליפת עובדות הכפל שלהם טובה יותר (Zhang et al., 2022). תלמידים עם תובנה מספרית מפותחת יותר מצליחים טוב יותר בשליפת העובדות (Jordan et al., 2003) והבדלים בחשיפה לתרגול איכותי ורב יותר משפיעים אף הם על שליפה יעילה יותר של התרגילים (Geary et al., 2012). דה וישר ונואל (De Visscher & Noël, 2014a) טוענות, כי קיימים הבדלים אינדיבידואליים בין תלמידים הקשורים לרגישות של הפרט להפרעה פרואקטיבית, וכאשר הרגישות נמוכה יותר להפרעה זו, הביצועים של שליפה ודיוק יהיו טובים יותר (De Visscher & Noël, 2014a).

במחקר הנוכחי ניסינו להאיר פן נוסף של גורמי קושי אפשריים בשליפת עובדות הכפל הקשורים לשלבים השונים של יצירת הזיכרון לטווח ארוך שנוצר לאחר למידה ראשונית (קידוד) ולאחר תזכורת של הלמידה הראשונית של תרגילי הכפל.

שלבים ביצירת זיכרון

תהליך יצירת הזיכרון וקיומו לטווח ארוך מורכב מכמה שלבים מובחנים אך מקושרים: קידוד, גיבוש, אחסון, שליפה וגיבוש מחדש. הקידוד מתייחס לתהליך הלמידה הראשוני של המרת מידע חושי לייצוג עצבי באמצעות תפיסה. לאחר קידוד המידע בקורטקס המוחי ישנו תהליך של גיבוש, אשר מהווה שלב קריטי בהפיכתו של מידע חדש לזיכרון יציב לטווח ארוך (McGaugh, 2000; Takashima et al., 2006). במהלך הגיבוש, המידע עובר שינויים מבניים ותפקודיים ברמה התאית והמולקולרית, כולל חיזוק קשרים סינפטיים וביטוי גנים ספציפיים. תהליך זה רגיש להפרעות במיוחד בשלבים המוקדמים, ככל שהגיבוש מתמשך וקרוב לסיומו כך השלב הרגיש של תהליך הגיבוש קטן (Dudai et al., 2015; Squire & Wixted, 2011). מגוון הפרעות יכולות לשבש את הזיכרון בשלב רגיש זה, לדוגמה, קידוד מידע חדש אשר יפריע בזמן הגיבוש של המידע הראשוני שקודד. הפרעה זו תהיה משמעותית ותפגע בזיכרון רק אם תילמד זמן קצר לאחר הלמידה הראשונית ולא אם תילמד מאוחר יותר (Lee et al., 2015; Bisaz et al., 2014; Darby & Sloutsky, 2015). המנגנונים שבאמצעותם הפרעות גורמות לפגיעה בזיכרון לטווח ארוך נחקרו בהרחבה בהיבט של זיכרון סמנטי בהקשר שפתי (Wei & Schnur, 2016). אחד הניסיונות להסביר פגיעה בזיכרון לטווח ארוך לאחר הפרעה הוא אפקט ההפרעה הדומה (Dewar et al., 2007; Hanseeuw et al., 2012). אפקט ההפרעה הדומה (similarity interference effect) מהווה גורם משמעותי בהפרעה לתהליך גיבוש הזיכרון. מחקרים עדכניים מצביעים על כך שחשיפה למידע דומה במהלך שלב הגיבוש עלולה לפגוע ביציבות ובדיוק של הזיכרון המקורי. תופעה זו מוסברת בכך שמידע חדש דומה מתחרה על משאבי העיבוד והאחסון עם המידע הראשוני, יותר מאשר מידע שונה. ברמה הנוירו־ביולוגית נמצא, כי הפרעה דומה עשויה לשבש את תהליכי החיזוק הסינפטי ואת

ביטוי הגנים הקשורים לגיבוש הזיכרון (Blank, 2005; Darby & Sloutsky, 2015; Dudai et al., 2015). בסיום תהליך הגיבוש הזיכרון מאוחסן בקורטקס ואינו פעיל אלא אם כן ישנו תהליך של שליפת אותו זיכרון (McGaugh, 2000). בעקבות שליפה של הזיכרון, הזיכרון שעבר גיבוש הופך להיות שוב רגיש בדומה לשלב שהיה לאחר הקידוד. כלומר, זיכרונות שנשלפו ועברו הפעלה מחדש חוזרים שוב לשלב רגיש של הזיכרון (Haubrich & Nader, 2018). תהליך זה מחייב גיבוש מחדש של הזיכרון כדי לשמר אותו לטווח ארוך, והוא עשוי לאפשר עדכון של הזיכרונות במידע חדש, אך גם לפגוע בהם במקרה של למידה מפריעה (Nader & Hardt, 2009). מנגנון זה נתמך בממצאים נוירוביולוגיים המצביעים על שינויים בביטוי חלבונים ובפעילות סינפטית בעקבות שליפת זיכרון (Dudai, 2012). קיומו של תהליך הגיבוש מחדש מעלה את השאלה: איזה תפקיד הוא משרת, אם בכלל? רבים הציעו כי פלסטיות הנגרמת משליפת הזיכרון מאפשרת לזיכרונות להתעדכן במידע חדש אך לאחר הפעלה מחדש הזיכרון בזמן הרגיש עלול לא רק להתעדכן או להתחזק אלא גם להשתבש (Dudai et al., 2015; Nader & Hardt, 2009). עם זאת, אם הפעלה מחדש של הזיכרון אינה מלווה מיד בהפרעה של מידע לימודי נוסף, היא עשויה לשמש לחיזוק הזיכרון בלבד (Schwabe et al., 2014). במחקרים על גיבוש מחדש שנערכו על בני אדם לגבי סוגים שונים של זיכרונות, נמצא כי בזיכרונות סמנטיים גיבוש מחדש רגיש להפרעות (Hupbach et al., 2009; Parks et al., 2022). בהתחשב בממצאים אלו, בדקנו במחקר קודם אם גיבוש מחדש מתרחש בהקשר של תוכן מתמטי ואם הוא רגיש להפרעות. הממצאים העידו לראשונה על קיומו של תהליך הגיבוש מחדש בהקשר של תוכן מתמטי והראו שהוא אכן רגיש להפרעה במהלך תהליך הגיבוש מחדש (Katzoff et al., 2020).

המחקר הנוכחי

בעקבות הממצאים שהתקבלו לגבי קיומו של תהליך הגיבוש מחדש בהקשר של תוכן מתמטי (Katzoff et al., 2020), במחקר הנוכחי נבדקה ההשפעה של התערבות באמצעות מידע דומה ושונה במהלך תהליך הגיבוש והגיבוש מחדש על השליפה של עובדות הכפל. כדי לבחון

התערבויות אלו התבצעו שני ניסויים: האחד במהלך שלב הגיבוש והשני במהלך שלב הגיבוש מחדש של הזיכרון במסגרת לימודי מתמטיקה בכיתה. הממצאים שהתקבלו עשויים להרחיב את ההבנה של הגורמים לקושי בלימוד עובדות הכפל בכל הנוגע לשלבי זיכרון נוספים שטרם נחקרה השפעתם על יכולת השליפה. לממצאים ישנן השלכות מעשיות לאופן ההוראה המיטבית של עובדות הכפל בכיתה.

הצהרה אתית

ועדת האתיקה של משרד החינוך אישרה את המחקר. התקבלה הסכמה בכתב מההורים בהתאם להצהרת הלסינקי. המשתתפים נתנו הסכמה מדעת בכתב וההורים מילאו את טופס ההסכמה להשתתפות ילדם במחקר.

ניסוי 1: גיבוש

מבוא

בעקבות ממצאי מחקר שהצביעו על הדמיון בין הפרעה ללמידה של מידע מילולי להפרעה ללמידה של מידע מתמטי (Katzoff et al., 2020) המטרה העיקרית של המחקר הראשון היא להבין את ההשפעה של: (1) הפרעה של מידע דומה (עובדות תרגילי כפל נוספים); (2) הפרעה של מידע שונה (רצף מילים) על הגיבוש.

מחקרים קודמים אשר בדקו את הזיכרון לטווח ארוך על למידה של מידע מילולי הצביעו על כך שלמידת מידע דומה חדש במהלך תהליך הגיבוש מפריעה לזיכרון לטווח ארוך של המידע הראשוני שנלמד יותר מאשר למידת מידע שונה (Dewar et al., 2007; Hanseeuw et al., 2012). כדי לבדוק השפעה זו בהקשר של ידע מתמטי חולקו התלמידים שהשתתפו במחקר לשתי קבוצות. בכל קבוצה: (1) לימדנו עובדות כפל חדשות; (2) הפרענו בלימוד של עובדות כפל חדשות או במידע מילולי חדש המותאם במאפייניו לעובדות הכפל; (3) לאחר 48 שעות מתום הלמידה וההפרעה בדקנו את מידת הזכירה של עובדות הכפל הראשונות שנלמדו.

שיטה

משתתפים

במחקר השתתפו תלמידי כיתה ג משתי כיתות בבתי ספר יסודיים דוברי עברית משכונה במעמד סוציו-אקונומי בינוני בעיר במרכז הארץ. גודל המדגם נקבע אפריורי באמצעות תוכנת G*power. עבור ניתוחי ANOVA חוזרים (אינטראקציה בין-נבדקית) ופרמטרי המבחן (גודל אפקט נמוך בינוני $= 0.25$, שגיאת $\alpha = 0.05$, עוצמה $= 0.90$ ומתאם בינוני בין מדידות חוזרות, $= 0.40$), המדגם הכולל הנדרש הוא 54 משתתפים. כדי להגביר את העוצמה והרגישות, המחקר הנוכחי כלל 61 תלמידי כיתות ג (34 בנים ו-27 בנות).

גיל התלמידים נע בין 8.10 ל-9.9 ($M = 8.54$, $SD = 0.27$).

התלמידים חולקו לשתי קבוצות ניסוי ונבחרו באופן אקראי, תוך שמירה על הפרופורציה בין מספר הבנים למספר הבנות. הקבוצה הראשונה כללה 30 תלמידים ששובצו לקבוצת ההפרעה הדומה (16 בנים ו-14 בנות). הקבוצה השנייה כללה 31 תלמידים ששובצו לקבוצת ההפרעה השונה (18 בנים ו-13 בנות). שתי קבוצות המחקר לא היו שונות בהתפלגות המחקרית $\chi^2(1) = .14$, $p = .710$. מבחן T עבור שני מדגמים בלתי-תלויים הצביע גם על כך שממוצע גיל התלמידים ששובץ להפרעה הדומה ($M = 8.52$, $SD = 0.27$) לא היה שונה בצורה מובהקת מממוצע גיל התלמידים ששובץ להפרעה השונה ($M = 8.55$, $SD = 0.28$), $t(59) = .49$, $p = .626$.

כלי המחקר

שלב הלמידה

המורה לימדה עשר עובדות כפל באמצעות כרטיסים בגודל A4. על כל כרטיס נכתב תרגיל כפל ותוצאתו מהכפולות שבין 2-9. במחצית מהתרגילים הגורם הראשון היה עד 5 ובמחצית מהתרגילים הגורם הראשון היה יותר מ-5 (ראו נספח 1).

שלב הפרעה

שלב הפרעה דומה

המורה לימדה עשר עובדות כפל נוספות שהוצגו באותם תנאים כמו בשלב הלמידה (ראו נספח 1).

שלב הפרעה שונה

המורה לימדה רצף של חמש או שש מילים בעברית שלהן מאפיינים דומים לתרגילי הכפל. לכל עובדה הותאמו מילים על פי המאפיינים הבאים:

1. מספר המילים בתרגיל. לדוגמה, התרגיל $3 \times 4 = 12$ מורכב משש מילים ולכן המורה הציגה בפני התלמיד רצף של שש מילים.
2. מספר ההברות בכל מילה. לדוגמה, הספרה שש מורכבת משתי הברות ולכן נבחרה בהתאמה המילה עץ שגם לה שתי הברות (ראו נספח 2).
3. כל המילים שנבחרו הוגדרו לאחר הסכמה בין שני שופטים מומחים בשפה העברית, כמילים ניטרליות.

הליך המחקר

המחקר נערך בתחילת שנת הלימודים (נובמבר-דצמבר), כך שהתלמידים בכיתות אלו כבר למדו את משמעות הכפל כחלק מתוכנית הלימודים במתמטיקה, אך טרם למדו את עובדות הכפל. המורה שביצעה את הניסוי קיבלה הנחיות מפורטות לגבי אופן הביצוע של הניסוי במסגרת שיעורי המתמטיקה במהלך שעות הלימודים. כל הניסויים נערכו באותן שעות במהלך הבוקר. במהלך ימי הניסוי התלמידים לא תרגלו את תרגילי הכפל לאחר הלימודים. לניסויים היו שלושה שלבים: אימון, הפרעה ובדיקה. המשתנה הבלתי-תלוי היה הפרעה בשלב ההתערבות. המשתנה התלוי היה דיוק: מספר התרגילים שנשלפו מהזיכרון בצורה נכונה, וזמן תגובה RT: הזמן של שליפת התשובות בשניות.

הליך הניסוי של שלב הלמידה ושל שלב הבדיקה היו זהים בניסוי של הגיבוש והגיבוש מחדש, מלבד זמן הבדיקה לאחר הלמידה. שלב ההתערבות בזמן הפרעה היה שונה בכל ניסוי.

שלב הלמידה

בכל קבוצה למדו התלמידים רשימה של עשר עובדות כפל פשוטות, תרגיל אחד בכל פעם. במשך 20 דקות המורה לימדה לפי פרוטוקול עקבי, שכלל הנחייה ללמד ולתרגל את עובדות הכפל בעל פה ולא באמצעות אסטרטגיות. הליך ההדרכה היה כדלקמן: (1) המורה הציגה וקראה את התרגיל ואת התשובה בקול רם שלוש פעמים; (2) התלמידים קראו וכתבו את התרגיל ואת התשובה שלוש פעמים; (3) בכל קבוצה התלמידים תרגלו את התרגילים על ידי משחקי קלפים הכוללים קלפים לעובדות הכפל וקלפים לתשובות. בתום שלב הלמידה המורה נתנה לתלמידים דף נייר עם התרגילים והם התבקשו לכתוב את התשובות של תרגילי הכפל כדי לבדוק את הזיכרון לטווח קצר (STM). תלמידים שענו תשובות נכונות על 70% מהתרגילים עברו לשלב הבא (כל התלמידים עברו לשלב הבא). הבחירה בשבעה תרגילים התבססה על המתודולוגיה של זיכרון מילים במבחן של הפרעות לגיבוש מחדש (Hupbach et al., 2007).

שלב ההתערבות

הפרעת מילים לעומת הפרעת תרגילי כפל נוספים

חמש דקות לאחר שלב האימון, גיבוש הזיכרון הופרע על ידי לימוד של עשרה תרגילי כפל נוספים (קבוצה 1), או על ידי לימוד רצף של חמש או שש מילים (קבוצה 2). הליך שלב ההפרעה: (1) המורה קראה את התרגילים ואת התשובות או את המילים בקול שלוש פעמים, תרגיל/מילה אחת בכל פעם; (2) התלמידים קראו וכתבו את התרגילים ואת התשובות או את המילים שלוש פעמים.

שלב הבדיקה

זיכרון לטווח ארוך (LTM) נבדק 48 שעות לאחר שלב ההתערבות. המורה נתנה לתלמידים דף נייר עם אותם תרגילים שלמדו בזמן הלמידה הראשונית. התלמידים התבקשו לכתוב את התשובות ונמדד הזמן. שגיאה נרשמה כאשר הייתה טעות או שלא נכתב כלום (לפרטים מלאים ראו תרשים 1).

קבוצות המחקר	שלב האימון	משך ההפסקה	שלב ההתערבות	משך ההפסקה	שלב הבדיקה
קבוצה 1: הפרעה דומה	לימוד רשימה A של 10 תרגילי כפל	5 דקות	הפרעה: לימוד רשימה B של 10 תרגילי כפל	48 שעות	בדיקת זיכרון רשימה A של 10 תרגילי כפל
קבוצה 2: הפרעה שונה	לימוד רשימה A של 10 תרגילי כפל	5 דקות	הפרעה: לימוד רשימה של 10 רצפי מילים	48 שעות	בדיקת זיכרון רשימה A של 10 תרגילי כפל

תרשים 1: הליך ניסוי הפרעה דומה ושונה לתהליך הגיבוש

ממצאים

כדי לבחון אם ההתפלגות של המשתנים התלויים הייתה נורמלית, נערכו מבחני שפירו-וילק לכל קבוצת מחקר. המשתנים התלויים היו שיעורי הדיוק של זכירת עובדות הכפל וזמני התגובה של השליפה (RT). התוצאות הצביעו על כך שהמשתנים התלויים בכל קבוצת מחקר לא היו מבוזרים באופן נורמלי ($p < .05$). לכן נערכו ניתוחים אפרמטריים ופרמטריים, תוך שימוש במבחן Mann-Whitney לאחרון. מבחני Wilcoxon בחנו את ההבדלים בין שתי נקודות הזמן בכל קבוצת מחקר, ואילו מבחן מאן-וויטני בחן את ההבדלים בין שתי קבוצות בכל נקודת זמן. הממצאים ורמת המובהקות של הניתוחים האפרמטריים תאמו את ממצאי הניתוחים הפרמטריים לגבי ההבדלים בין שתי נקודות הזמן בכל קבוצת מחקר, וכן את ההבדלים בין שתי קבוצות המחקר בכל נקודת זמן. לפיכך, הוצגו הממצאים של ניתוחי mixed ANOVA's, במקום להשתמש בניתוחים אפרמטריים, כיוון שניתוחי mixed ANOVA's כוללים את האינטראקציה בין הפקטורים. כדי לבחון אם ימצאו הבדלים מובהקים בדיוק של התלמידים ובזמן השליפה בבדיקה של זיכרון עובדות הכפל ביחס לקבוצה ולזמן התבצעה אנליזת (2x2) mixed ANOVA. המשתנים הבלתי-תלויים היו קבוצה (הפרעה דומה, הפרעה שונה) כגורם חוץ-נבדקי, וזמן (זיכרון לטווח קצר STM, זיכרון לטווח ארוך LTM) כגורם תוך-נבדקי.

שיעור הדיוק: ההשפעה העיקרית של הזמן לא הייתה מובהקת $F(1,59) = .24, p = .629$, $\eta^2_p = .00$. עם זאת, ההשפעה העיקרית של הקבוצה הייתה מובהקת $F(1,59) = 9.32, p = .003$, $\eta^2_p = .14$, מה שמצביע על שיעור דיוק גבוה יותר בקרב תלמידים שקיבלו הפרעה

שונה. לבסוף, האינטראקציה של זמן וקבוצה הייתה מובהקת $F(1,59) = 15.74, p < .001$, $\eta^2 = .21$. (ראו לוח 1).

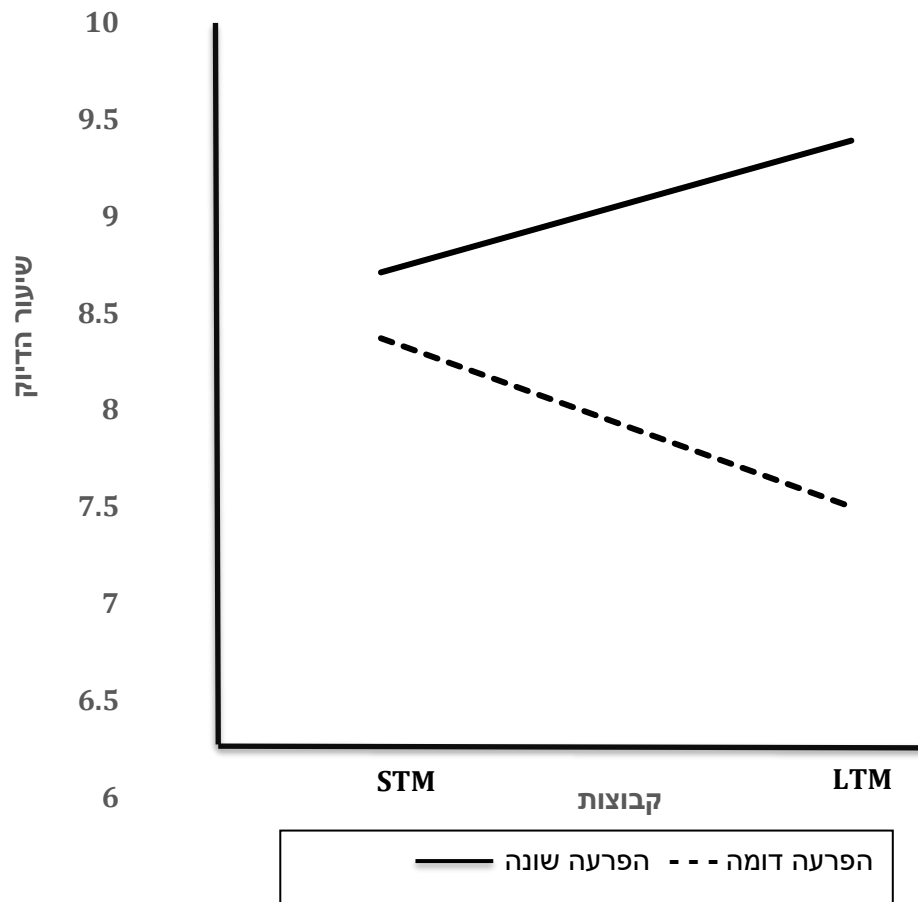
לוח 1: ממוצע, סטיית תקן וערכי F של דיוק וזמן שליפה של בדיקת עובדות הכפל של

התלמידים							
קבוצת	זיכרון	זיכרון	ערך F (בסוגריים η^2)	ערך t	גודל		
הפרעה	קצר טווח	ארוך			להשוואות	אפקט	
	טווח						
			זמן	קבוצה	אינטראקציה		
דיוק מספר תשובות נכונות (בסוגריים סטיית תקן)							
דומה	8.37	7.5	.24	9.32**	15.74***	2.42*	0.44
	(1.52)	(2.06)					
שונה	8.71	9.39	(.00)	(.14)	(.21)	4.15***	0.75
	(1.55)	(1.23)					
זמן תגובה בשניות (בסוגריים סטיית תקן)							
דומה	174	230	.61	1.21	15.32***	3.11**	0.57
	(113)	(131)					
שונה	188	151	(.01)	(.02)	(.21)	2.37*	0.43
	(127)	(122)					
$p < .05$, $**p < .01$, $***p < .001$ *							

$p < .05$, $**p < .01$, $***p < .001$

כדי לבחון את מקור האינטראקציה, ערכנו מדגם זוגי של מבחן t כדי לחקור את השפעת הזמן לכל קבוצת מחקר. התוצאות הצביעו על כך שהאינטראקציה בין זמן לקבוצה אינה מסודרת. בעוד שיעור הדיוק היה גבוה באופן מובהק בזיכרון לטווח ארוך בהשוואה לזיכרון לטווח קצר

בקרב התלמידים שקיבלו הפרעה שונה, התלמידים שקיבלו הפרעה דומה ביצעו טוב יותר את התרגילים בזיכרון לטווח קצר (STM) לעומת הזיכרון לטווח ארוך (LTM) (ראו תרשים 2).

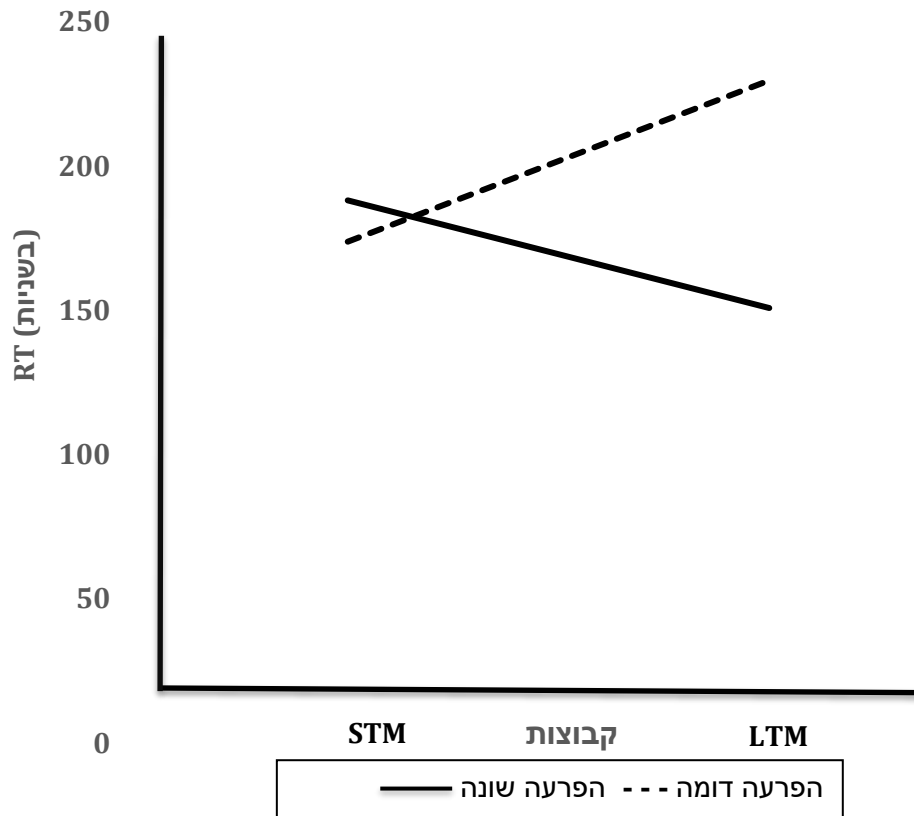


תרשים 2: שיעורי הדיוק של התלמידים במבחן עובדות הכפל ביחס לזמן ולקבוצה

שיעור זמן התגובה (RT) בשניות: ההשפעה העיקרית של זמן לא הייתה מובהקת, $F(1,59) = 1.61$, $\eta_p^2 = .01$, $p = .439$. על כל פנים, ההשפעה העיקרית של הקבוצה הייתה מובהקת, $F(1,59) = 1.21$, $\eta_p^2 = .02$, $p = .275$. מה שמצביע על שיעור זמן תגובה קצר יותר בקרב תלמידים שקיבלו הפרעה שונה. לבסוף, האינטראקציה של זמן וקבוצה הייתה מובהקת $F(1,59) = 15.32$, $\eta_p^2 = .21$, $p < .001$ (ראו תרשים 3).

מדגם זוגי של מבחן t הראה שהאינטראקציה בין זמן וסוג קבוצה אינה מסודרת. בעוד שיעור זמן התגובה היה קצר באופן מובהק בזיכרון לטווח ארוך בהשוואה לזיכרון לטווח קצר בקרב

התלמידים שקיבלו הפרעה שונה, התלמידים שקיבלו הפרעה דומה ביצעו זמן תגובה קצר יותר בזיכרון לטווח קצר לעומת הזיכרון לטווח ארוך (ראו טבלה 1).



תרשים 3: שיעורי זמן תגובה (בשניות) בבדיקת עובדות הכפל ביחס לזמן ולקבוצה

סיכום

הניסוי בשלב הגיבוש בחן את השפעת סוג ההתערבות של מידע דומה או מידע שונה על שליפה של עובדות כפל במדדים של דיוק התשובות וזמן תגובה. לימוד רשימת עובדות כפל נוספות שימש התערבות של לימוד מידע דומה למידע הראשוני שנלמד, בעוד לימוד רצף מילים שימש התערבות של לימוד מידע שונה. בשתי קבוצות הניסוי הזיכרון לטווח קצר (STM) של שליפת עובדות הכפל נבדק מיד לאחר הלמידה ולא נמצאו הבדלים משמעותיים בין שתי הקבוצות. הזיכרון לטווח ארוך (LTM) נבדק 48 שעות לאחר הלימוד בשתי קבוצות הניסוי. בהיבט של הדיוק, הקבוצה שלמדה מידע דומה בזמן תהליך הגיבוש זכרה פחות תרגילים בצורה מובהקת בהשוואה ללמידה הראשונית, לעומת הקבוצה שלמדה מידע שונה. זמן

התגובה של הקבוצה שלמדה מידע דומה היה ארוך יותר באופן מובהק לעומת הקבוצה שלמדה מידע שונה. הממצאים מצביעים על כך שלימוד של מידע דומה הפריע לשליפה של עובדות הכפל הראשונות ומכאן שאפקט הדמיון משפיע גם בהקשר של תוכן מתמטי.

ניסוי 2: גיבוש מחדש

מבוא

בעקבות ממצאי מחקר, שהצביעו על הדמיון בין הפרעה ללמידה של מידע מילולי להפרעה ללמידה של מידע מתמטי (Katzoff et al., 2020), המטרה העיקרית של המחקר השני הייתה להבין את ההשפעה של: (1) הפרעה של חומר דומה (עובדות תרגילי כפל נוספים); (2) הפרעה של חומר שונה (רצף מילים) על הגיבוש מחדש.

טרם נעשו מחקרים הבודקים את השפעת ההפרעה הדומה לעומת השונה על השליפה של הזיכרון לטווח ארוך של מידע מילולי ומתמטי. כדי לבדוק השפעה זו, בשתי קבוצות של תלמידים: (1) לימדנו עובדות כפל חדשות; (2) לאחר 48 שעות הזכרנו את עובדות הכפל ולאחר מכן הפרענו בלימוד של עובדות כפל חדשות נוספות או במידע מילולי חדש המותאם במאפייניו לעובדות הכפל; (3) לאחר 48 שעות נוספות אחרי התזכורת וההפרעה בדקנו את זכירת עובדות הכפל הראשונות שנלמדו.

שיטה

משתתפים

במחקר השתתפו תלמידי כיתה ג משתי כיתות בבתי ספר יסודיים דוברי עברית משכונה במעמד סוציו-אקונומי בינוני בעיר במרכז הארץ. גודל המדגם נקבע אפריורי באמצעות תוכנת G*power. עבור ניתוחי ANOVA חוזרים (אינטראקציה בין-נבדקית) ופרמטרי המבחן (גודל אפקט נמוך בינוני = 0.25, שגיאת $\alpha = 0.05$, עוצמה = 0.90 ומתאם בינוני בין מדידות חוזרות = 0.40), המדגם הכולל הנדרש הוא 54 משתתפים.

גיל התלמידים נע בין 8.10 ל-9.9 ($M = 8.54$, $SD = 0.27$). המחקר הנוכחי כלל 54 תלמידי כיתות ג (30 בנים ו-24 בנות). גיל התלמידים נע בין 8.10 ל-9.9 ($M = 8.5$, $SD = 0.2$, $3M = 8.5$). התלמידים חולקו לשתי קבוצות ניסוי ונבחרו באופן אקראי, תוך שמירה על הפרופורציה בין מספר הבנים למספר הבנות. הקבוצה הראשונה כללה 27 תלמידים ששובצו לקבוצת ההפרעה הדומה (15 בנים ו-12 בנות). הקבוצה השנייה כללה 27 תלמידים ששובצו לקבוצת ההפרעה השונה (15 בנים ו-12 בנות). שתי קבוצות המחקר לא היו שונות בהתפלגות המחקרית χ^2 (1) = 0.00, $p = 1.00$. מבחן T עבור שני מדגמים בלתי-תלויים הצביע גם על כך שממוצע גיל התלמידים ששובץ להפרעה הדומה ($M = 8.52$, $SD = 0.27$) לא היה שונה בצורה מובהקת מממוצע גיל התלמידים ששובץ להפרעה השונה ($M = 8$, $SD = 0.2$, 48 , $t(52) = 1.41$, $p =$.165).

כלי המחקר

זהה לניסוי 1.

הליך המחקר

זהה לניסוי 1. עם זאת, נוסף שלב הגיבוש מחדש. בשני הניסויים בתהליך הגיבוש והגיבוש מחדש המשתנה הבלתי-תלוי שהשתנה בין הקבוצות הוא ההפרעה בשלב ההתערבות.

שלב ההתערבות

הפרעת מילים לעומת הפרעת תרגילי כפל נוספים

לאחר שחלפו 48 שעות משלב האימון, התלמידים נזכרו בעשרת תרגילי הכפל הראשונים שנלמדו. המורה הציגה וקראה את התרגילים ואת תשובותיהם בקול פעם אחת, תרגיל אחד בכל פעם. גיבוש מחדש של הזיכרון לאחר התזכורת הופרע על ידי לימוד של עשרה תרגילי כפל נוספים (קבוצה 1), או הופרע על ידי לימוד רצף של חמש או שש מילים (קבוצה 2). הליך שלב ההפרעה: (1) המורה קראה בקול את התרגילים ואת התשובות או את המילים שלוש

פעמים, תרגיל/מילה אחת בכל פעם; (2) התלמידים קראו וכתבו את התרגילים ואת התשובות או את המילים שלוש פעמים.

קבוצת המחקר	שלב האימון	משך ההפסקה	שלב ההתערבות	משך ההפסקה	שלב הבדיקה
קבוצה 1: הפרעה דומה	לימוד רשימה A של 10 תרגילי כפל	48 שעות	תזכורת: חשיפה נוספת לרשימה A של 10 תרגילי כפל הפרעה: לימוד רשימה B של 10 תרגילי כפל	48 שעות	בדיקת זיכרון רשימה A של 10 תרגילי כפל
קבוצה 2: הפרעה שונה	לימוד רשימה A של 10 תרגילי כפל	48 שעות	תזכורת: חשיפה נוספת לרשימה A של 10 תרגילי כפל הפרעה: לימוד רשימה של 10 רצפי מילים	48 שעות	בדיקת זיכרון רשימה A של 10 תרגילי כפל

תרשים 4: הליך ניסוי הפרעה דומה ושונה לתהליך הגיבוש מחדש

ממצאים

כדי לבחון אם התפלגות המשתנים התלויים נורמלית, נערכו מבחני שפירו-וילק לכל קבוצת מחקר. המשתנים התלויים היו שיעורי הדיוק של זכירת עובדות הכפל וזמני התגובה של השליפה (RT). התוצאות הצביעו על כך שהמשתנים התלויים בכל קבוצת מחקר לא היו מבוזזים באופן נורמלי ($p < .05$). לכן, נערכו ניתוחים אפרמטריים ופרמטריים, תוך שימוש במבחן Mann-Whitney עבור הראשון. מבחני Wilcoxon בחנו את הבדלים בין שתי נקודות הזמן בכל קבוצת מחקר ואילו מבחני מאן-וויטני בחנו את ההבדלים בין שתי קבוצות בכל נקודת זמן. הממצאים ורמת המובהקות של הניתוחים האפרמטריים תאמו את ממצאי הניתוחים הפרמטריים לגבי ההבדלים בין שתי נקודות הזמן בכל קבוצת מחקר וכן את ההבדלים בין שתי קבוצות המחקר בכל נקודת זמן. לכן הוצגו הממצאים של ניתוחי mixed ANOVA, במקום להשתמש בניתוחים אפרמטריים, כיוון שניתוחי mixed ANOVA כוללים את האינטראקציה בין הפקטורים. כדי לבחון אם ימצאו הבדלים מובהקים בדיוק של התלמידים ובזמן השליפה בבדיקה של זיכרון עובדות הכפל ביחס לקבוצה ולזמן התבצעה אנליזת mixed ANOVA (2x2). המשתנים הבלתי-תלויים היו קבוצה (הפרעה דומה, הפרעה שונה) כגורם חוץ-נבדקי, וזמן (זיכרון לטווח קצר STM, זיכרון לטווח ארוך LTM) כגורם תוך-נבדקי.

שיעור הדיוק: ההשפעה העיקרית של הזמן הייתה מובהקת, $F(1,52) = 17.32$, $p < .001$, $\eta^2_p = .24$. נוסף על כך, ההשפעה העיקרית של הקבוצה הייתה מובהקת $F(1,52) = 16.25$, $p < .001$, $\eta^2_p = .16$. מצביע על דיוק גבוה יותר ב-LTM לעומת STM. נוסף על כך, ההשפעה העיקרית של הקבוצה הייתה מובהקת $F(1,52) = 10.01$, $p = .003$, $\eta^2_p = .16$. (ראו לוח 2).

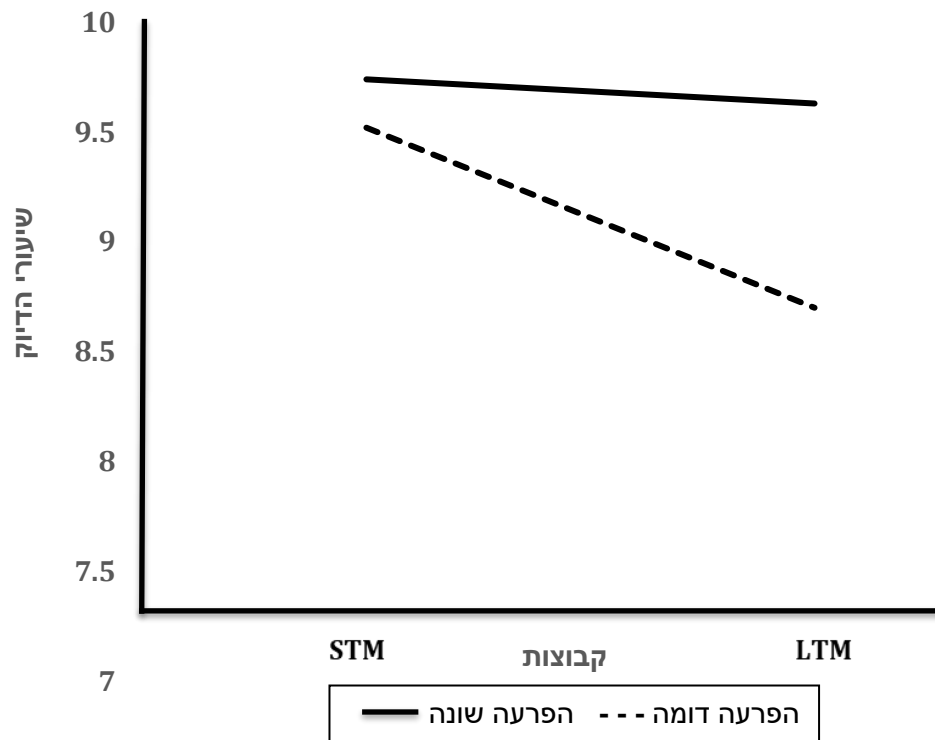
לוח 2: ממוצע, סטיית תקן וערכי F של דיוק וזמן שליפה של בדיקת עובדות הכפל של

התלמידים

קבוצת הפרעה	קצר טווח	ארוך טווח	ערך F (בסוגריים η^2_p)	ערך t	גודל אפקט
זמן					
אינטראקציה					
השוואות					
דיוק מספר תשובות נכונות (בסוגריים סטיית תקן)					
דומה	9.52 (0.58)	8.70 (0.99)	17.32*** (.25)	16.25*** (.24)	10.01** (.16)
שונה	9.74 (0.45)	9.63 (0.49)	(.25)	(.24)	(.16)
זמן תגובה בשניות (בסוגריים סטיית תקן)					
דומה	173 (85)	190 (77)	1.47 (.03)	0.3 (.01)	7.24** (.12)
שונה	193 (87)	149 (72)	(.03)	(.01)	(.12)

$p < .05$, $**p < .01$, $***p < .001$

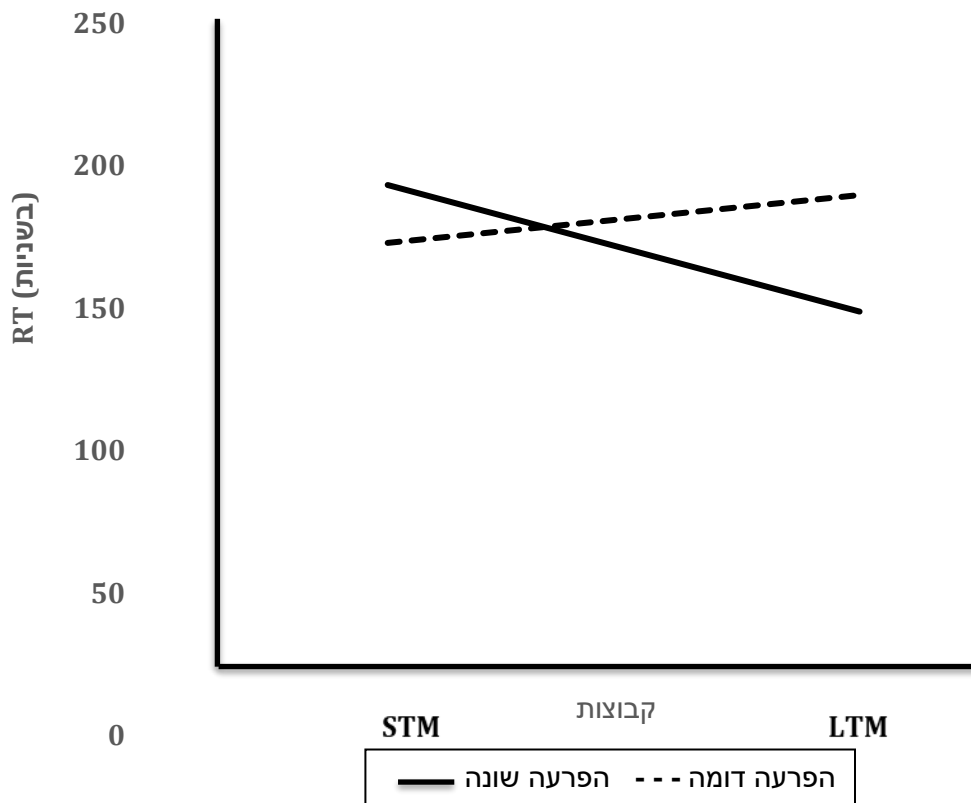
כדי לבחון את מקור האינטראקציה, נערך מדגם זוגי של מבחן t כדי לחקור את השפעת הזמן על כל קבוצת מחקר. התוצאות הצביעו על כך שבעוד שיעור הדיוק היה שונה באופן מובהק ב-LTM לעומת STM בקרב התלמידים שקיבלו הפרעה שונה, התלמידים שקיבלו הפרעה דומה הצליחו יותר מבחינת דיוק ב-LTM לעומת STM (ראו תרשים 5).



תרשים 5: שיעורי הדיוק של התלמידים במבחן עובדות הכפל לפי זמן וקבוצה

שיעור זמן התגובה (RT) בשניות: ההשפעה העיקרית של זמן לא הייתה מובהקת, $F(1,52) = 1.47$, $\eta_p^2 = .03$, $p = .230$. נוסף על כך, ההשפעה העיקרית של הקבוצה לא הייתה מובהקת $F(1,52) = .30$, $p = .584$, $\eta_p^2 = .01$. לבסוף, האינטראקציה של זמן וקבוצה הייתה מובהקת $F(1,52) = 7.24$, $p = .010$, $\eta_p^2 = .12$ (ראו לוח 2).

מדגם זוגי של מבחן t הראה ש-RT היה קצר יותר באופן מובהק ב-LTM בהשוואה ל-STM בקרב התלמידים שקיבלו הפרעה שונה, ב-RT בקרב תלמידים שקיבלו הפרעה דומה לא היה הבדל מובהק בין שתי נקודות הזמן (ראו תרשים 6).



תרשים 6: שיעורי זמן תגובה (בשניות) בבדיקת עובדות הכפל ביחס לזמן ולקבוצה

סיכום

הניסוי בשלב הגיבוש מחדש בחן את השפעת סוג ההתערבות של מידע דומה או מידע שונה על שליפה של עובדות הכפל בטווח הארוך לאחר תזכורת של התרגילים שנלמדו בתחילה. התוצאות נמדדו במדדים של דיוק התשובות וזמן תגובה. בדומה לניסוי הגיבוש, לימוד רשימת עובדות כפל נוספות שימש הפרעה דומה למידע הראשוני שנלמד ותזכר, בעוד לימוד רצף מילים שימש הפרעה של מידע שונה. בשתי קבוצות הניסוי, הזיכרון לטווח קצר של שליפת עובדות הכפל נבדק מיד לאחר הלמידה ולא נמצאו הבדלים משמעותיים בין שתי הקבוצות. הזיכרון לטווח ארוך נבדק 48 שעות לאחר התזכורת של התרגילים שנלמדו בלימוד הראשוני. בהיבט של הדיוק, הקבוצה שלמדה מידע דומה לאחר התזכורת בזמן תהליך הגיבוש מחדש זכרה פחות תרגילים בצורה מובהקת בהשוואה לקבוצה שלמדה מידע שונה לאחר התזכורת. זמן התגובה של הקבוצה שלמדה מידע דומה לאחר התזכורת היה ארוך יותר באופן מובהק לעומת הקבוצה שלמדה מידע שונה לאחר התזכורת. הממצאים מצביעים על כך שלימוד של

מידע דומה לאחר התזכורת הפריע לשליפה של עובדות הכפל הראשונות, ומכאן שאפקט הדמיון משפיע גם בהקשר של תוכן מתמטי בשלב הגיבוש מחדש.

דיון

אחד הנושאים שבהם תלמידים מתקשים בלימוד המתמטיקה בבית הספר היסודי הוא זיכרון ושליפה של עובדות הכפל. חידושו של מחקר זה הוא בניסיון לחקור ולהרחיב את ההבנה של הגורמים לקושי זה תוך יישום הגישה הנירו־פדגוגית. נוסף על כך, חידושו של המחקר הוא בכך שבחן למידה של תרגילי הכפל בתנאי למידה טבעיים של תלמידים בכיתה ולא בתנאי מעבדה. מחקרים שונים הצביעו על גורמי קושי בזכירת עובדות כפל. מחקרים אלו התמקדו בגורמי הפרעה שונים בשלב הקידוד של הזיכרון, כלומר, בשלב שבו התלמידים לומדים לראשונה את עובדות הכפל. חוקרים בדקו את ההשפעה של למידת תרגילי כפל דומים על יכולת השליפה שלהם וגילו שככל שהתרגילים היו דומים יותר, כך עלתה רמת הקושי בשליפה (Verguts & Fias, 2005). מחקרים שבדקו זיכרון של מידע סמנטי גילו שייתכנו הפרעות לזיכרון גם בשלבים אחרים, כמו גיבוש וגיבוש מחדש. בשלב הגיבוש, נמצא שההפרעה משמעותית יותר ככל שהמידע המקודד והמידע הנוסף שנלמד דומים יותר, והיא מכונה "אפקט ההפרעה הדומה" (Dewar et al., 2007; Hanseeuw et al., 2012). מחקר קודם (Katzoff et al., 2020) מצא שבמהלך שלב הגיבוש מחדש הפרעות אכן מתרחשות, בדומה לשלב הגיבוש, אך עדיין לא נערכו מחקרים על השפעת אפקט ההפרעה הדומה בהפרעה לגיבוש מחדש, כאשר לומדים מידע דומה לעומת מידע שונה. במחקר הנוכחי נבדקה השפעת ההפרעה של למידת מידע דומה (עובדות כפל נוספות) לעומת מידע שונה (מילים) על שלבי הגיבוש והגיבוש מחדש של הזיכרון בשליפת עובדות כפל.

תוצאות מחקר זה מצביעות על כך שאפקט ההפרעה הדומה אכן מפריע גם בשלבי הגיבוש והגיבוש מחדש של עובדות הכפל. כאשר נבדקים למדו רשימה של עובדות כפל ולאחר מכן הוצגה להם הפרעה דומה (רשימה נוספת של עובדות כפל), יכולת השליפה של עובדות הכפל הראשונות נפגעה באופן משמעותי יותר לעומת הפרעה של מידע שונה (קבוצת מילים). ממצא

זה התקבל הן בשלב הגיבוש הן בשלב הגיבוש מחדש, תוך כדי מדידת דיוק התרגילים ומהירות שליפתם. העובדה שאפקט ההפרעה התקבל בשני הפרמטרים שנבדקו מחזקת את קיומו של אפקט ההפרעה הדומה בשלבים אלו. הממצאים מחזקים את התפיסה שתהליך יצירת הזיכרון לטווח ארוך כולל כמה שלבים הרגישים להפרעות (Dudai, 2012; Nader & Hardt, 2009) ולא רק את שלב הקידוד הראשוני, כפי שנחקר עד כה (De Visscher & Noël, 2014b). כמו כן, התוצאות מראות שהשפעת אפקט ההפרעה הדומה אינה מוגבלת לזיכרון סמנטי בלבד, אלא רלוונטית גם להקשר של זיכרון מתמטי. העובדה שהתוצאות שהתקבלו בהקשר של עובדות כפל דומות לתוצאות שהתקבלו בהקשר של זיכרון סמנטי, תומכת בהנחה שזיכרון עובדות הכפל נמצא באזורי מוח הקשורים לעיבוד סמנטי. עם זאת, חשוב להמשיך ולבדוק סוגיה זו בהקשרים מספריים וחשבוניים נוספים כדי לבחון אם הפרעת הדמיון לגיבוש או לגיבוש מחדש ייחודית לתוכן מתמטי הנמצא באזורי מוח הקשורים לעיבוד סמנטי, ולפיכך ייחודית לזיכרון עובדות כפל, או שאפקט זה ימצא גם בהקשרים של תכנים מתמטיים נוספים. החשיבות של המשך חקירת הנושא בהקשר המתמטי נובעת מההשלכות שיש לקיום הפרעה כזו על הזיכרון לטווח ארוך של מידע מתמטי הנלמד בכיתה. הבנת גורמי הקושי בשליפת עובדות כפל קשורה, בין היתר, לעובדה שהיכולת לשלוף מידע זה מהזיכרון לטווח ארוך מאפשרת לתלמידים לבצע משימות מתמטיות מורכבות יותר. מכיוון שקיימים תלמידים רבים המתקשים בשליפת מידע זה, חשוב להמשיך ולחקור נושא זה גם בשלבי הגיבוש והגיבוש מחדש.

כמו כן, במחקר זה, שהתבסס על מחקרי זיכרון שבחנו הפרעות במהלך הגיבוש והגיבוש מחדש, בחרנו להשתמש בהפרעה שונה: מילים לעומת עובדות כפל. בעקבות ממצאי המחקר, שהצביעו על קיומו של אפקט ההפרעה הדומה, ובהתבסס על הממצאים של דה וישר (De Visscher & Noël, 2014b) ודוטן (Dotan & Zviran-Ginat, 2022), המצביעים על הפרעה הנובעת מהדמיון בין התרגילים במהלך הקידוד, ראוי לבחון רמות דמיון שונות של עובדות הכפל והפרעתן לתהליכי הגיבוש והגיבוש מחדש.

השלכות פדגוגיות

מחקר זה מנסה לגשר בין מידע ממחקרי זיכרון לבין מרחב הכיתה בהקשר של לימוד עובדות כפל. לפיכך, המחקר התבצע על ידי מורים בשיעורי מתמטיקה בכיתה. מכיוון שמחקר זה מצא שאפקט ההפרעה הדומה גורם גם להפרעה בשלבים העוקבים של גיבוש וגיבוש מחדש של הזיכרון לטווח ארוך, יש להתחשב בממצאים אלו בתכנון ההוראה של עובדות הכפל בכיתה. בהתאם לכך, יש לשים לב שלאחר רכישת עובדות הכפל (שלב הקידוד) יש תהליך הרגיש להפרעות (שלב הגיבוש) ולכן למידת חומר דומה עלולה לפגוע בזיכרון לטווח ארוך של העובדות שנלמדו ראשונות. נוסף על כך, גם כאשר ימים ספורים לאחר מכן חוזרים על אותם התרגילים, בעקבות חזרה זו, הזיכרון נכנס שוב לשלב רגיש (שלב הגיבוש מחדש). חזרה על אותו המידע במהלך תקופה רגישה זו עשויה לחזק את הזיכרון לטווח ארוך, אך תרגול חומר דומה חדש נוסף עלול לפגוע בזיכרון לטווח ארוך של העובדות הראשונות. לפיכך, מומלץ לשמור על "זמן השהייה" בין זמן הלימוד הראשוני לבין החזרה עליו ולימוד עובדות דומות חדשות.

לסיכום, מחקר זה מרחיב את הידע בקוגניציה מספרית, בפדגוגיה של המתמטיקה ובמחקרי זיכרון. מבחינת הקוגניציה המספרית, הממצאים תומכים בהנחה שעובדות הכפל נמצאות באזורים מילוליים סמנטיים. מבחינת הפדגוגיה של המתמטיקה, הממצאים מצביעים על גורמי קושי אפשריים נוספים בזיכרון של עובדות כפל. לפיכך, על המורה להתחשב בהם בעת ההוראה של עובדות הכפל ושינון. הממצאים תומכים בהנחה שתהליך הגיבוש מחדש אכן מתרחש בזיכרון הדקלרטיבי הסמנטי, ומרחיבים את הידע על קיומו של תהליך זה גם בהקשר של תוכן מתמטי, ולא רק בהקשר לשוני, כפי שנחקר עד כה.

מגבלות המחקר

מחקר זה בוצע בחלל כיתתי בבית הספר והיה משולב בתוכנית הלימודים הרגילה במתמטיקה, ולכן נוצרו מגבלות מחקריות. תנאי הניסוי לא היו נטולי הפרעות לחלוטין, והיו רעשים, הסחות

דעת ואינטראקציות בין התלמידים. נוסף על כך, התלמידים התבקשו שלא לתרגל תרגילי כפל במהלך תקופת הניסוי, אך לא הייתה דרך לבדוק אם הם פעלו בהתאם להנחיה זו. למרות המגבלות, החלטנו לבצע את הניסוי בדרך זו לנוכח חשיבות המחקר הנירופדגוגי במסגרת מערכת החינוך בנושא השייך לתוכנית הלימודים.

רשימת מקורות

- Bisaz, R., Travaglia, A., & Alberini, C. M. (2014). The neurobiological bases of memory formation: From physiological conditions to psychopathology. *Psychopathology*, 47(6), 347-356. <https://doi.org/10.1159/000363702>
- Blank, H. (2005). Another look at retroactive and proactive interference: A quantitative analysis of conversion processes. *Memory*, 13(2), 200-224. <https://doi.org/10.1080/09608210344000698>
- Butterworth, B. (2010). Foundational numerical capacities and the origins of dyscalculia. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(12), 534-541. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.09.007>
- Campbell, J. I. D. (1995). Mechanisms of simple addition and multiplication: A modified network-interference theory and simulation. *Mathematical Cognition*, 1(1), 121-164.
- Campbell, J. I. D., & Gunter, R. (2002). Calculation, culture, and the repeated operand effect. *Cognition*, 86(1), 71-96. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(02\)00138-5](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(02)00138-5)
- Campbell, J. I. D., & Tarling, D. P. M. (1996). Retrieval processes in arithmetic production and verification. *Memory & Cognition*, 24(2), 156-172. <https://doi.org/10.3758/BF03200878>

- Campbell, J. I. D., & Xue, Q. (2001). Cognitive arithmetic across cultures. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 299-315. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.130.2.299>
- Darby, K. P., & Sloutsky, V. M. (2015). The cost of learning: Interference effects in memory development. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144(2), 410–431. <https://doi.org/10.1037/xge0000051>
- De Visscher, A., Berens, S. C., Keidel, J. L., Noël, M.-P., & Bird, C. M. (2015). The interference effect in arithmetic fact solving: An fMRI study. *NeuroImage*, 116, 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.04.063>
- De Visscher, A., & Noël, M.-P. (2014a). Arithmetic facts storage deficit: The hypersensitivity-to-interference in memory hypothesis. *Developmental Science*, 17(3), 434-442. <https://doi.org/10.1111/desc.12135>
- De Visscher, A., & Noël, M.-P. (2014b). The detrimental effect of interference in multiplication facts storing: Typical development and individual differences. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(6), 2380–2400. <https://doi.org/10.1037/xge0000029>
- De Visscher, A., Vogel, S. E., Reishofer, G., Hassler, E., Koschutnig, K., De Smedt, B., & Grabner, R. H. (2018). Interference and problem size effect in multiplication fact solving: Individual differences in brain activations and arithmetic performance, *NeuroImage*, 172, 718-727. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.01.060>
- Dehaene, S., & Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition*, 1(1), 83-120.

- Dewar, M. T., Cowan, N., & Della Sala, S. (2007). Forgetting due to retroactive interference: A fusion of Müller & Pilzecker's (1900) early insights into everyday forgetting and recent research on anterograde amnesia. *Cortex*, 43(5), 616–634.
[https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70492-1](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70492-1)
- Dotan, D., & Zviran-Ginat, S. (2022). Elementary math in elementary school: The effect of interference on learning the multiplication table. *Cognitive Research Principles and Implications*, 7, Article 101.
<https://doi.org/10.1186/s41235-022-00451-0>
- Dubinsky, J. M., Guzey, S. S., Schwartz, M. S., Roehrig, G., MacNabb, C., Schmied, A., & Ellingson, C. (2019). Contributions of Neuroscience Knowledge to Teachers and Their Practice. *The Neuroscientist*, 1073858419835447.
- Dudai, Y. (2012). The restless engram: Consolidations never end. *Annual Review of Neuroscience*, 35, 227–247.
<https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-062111-150500>
- Dudai, Y., Karni, A., & Born, J. (2015). The consolidation and transformation of memory. *Neuron*, 88(1), 20-32.
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.004>
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), 307-314.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.05.002>

Geary, D. C., Hoard, M. K., & Bailey, D. H. (2012). Fact retrieval deficits in low achieving children and children with mathematical learning disability. *Journal of Learning Disabilities, 45*(4), 291-307.

<https://doi.org/10.1177/0022219410392046>

Hanseeuw, B. J., Seron, X., & Ivanoiu, A. (2012). Increased sensitivity to proactive and retroactive interference in amnesic mild cognitive impairment: New insights. *Brain and Cognition, 80*(1), 104-110.

<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.04.002>

Haubrich, J., & Nader, K. (2018). Memory reconsolidation. *Current Topics in Behavioral Neuroscience, 37*, 151-176.

https://doi.org/10.1007/7854_2016_463

Hupbach, A., Gomez, R., Hardt, O., & Nadel, L. (2007). Reconsolidation of episodic memories: A subtle reminder triggers integration of new information. *Learning Memory, 14*(1-2), 47–53.

<https://doi.org/10.1101/lm.365707>

Hupbach, A., Gomez, R., & Nadel, L. (2009). Episodic memory reconsolidation: Updating or source confusion? *Memory, 17*(5), 502–510.

<https://doi.org/10.1080/09658210902882399>

Jordan, N. C., Hanich, L. B., & Kaplan, D. (2003). Arithmetic fact mastery in young children: A longitudinal investigation. *Journal of Experimental Child Psychology, 85*(2), 103-119.

[https://doi.org/10.1016/S0022-0965\(03\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S0022-0965(03)00032-8)

- Katzoff, A., Zigdon, N. M., & Ashkenazi, S. (2020). Difficulties in retrieval multiplication facts: The case of interference to reconsolidation. *Trends in Neuroscience and Education*, 20, Article 100137.
<https://doi.org/10.1016/j.tine.2020.100137>
- Lee, J. L. C., Nader, K., & Schiller, D. (2017). An update on memory reconsolidation updating. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(7), 531–545.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.04.006>
- LeFevre, J.-A., Bisanz, J., Daley, K. E., Buffone, L., Greenham, S. L., & Sadesky, G. S. (1996). Multiple routes to solution of single-digit multiplication problems. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125(3), 284–306. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.125.3.284>
- Lemaire, P., & Reder, L. (1999). What effects strategy selection in arithmetic? The example of parity and five effects on product verification. *Memory & Cognition*, 27(2), 64-82. <https://doi.org/10.3758/bf03211420>
- Masse, C., & Lemaire, P. (2001). Do people combine the parity-and five-rule checking strategies in product verification? *Psychological Research*, 65(1), 28–33. <https://doi.org/10.1007/s004260000030>
- McGaugh, J. L. (2000). Memory-A century of consolidation. *Science*, 287(5451), 248–251. <https://doi.org/10.1126/science.287.5451.248>
- Nader, K., & Hardt, O. (2009). A single standard for memory: The case for reconsolidation. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(3), 224–234.
<https://doi.org/10.1038/nrn2590>
- Parks, C. M., Mohawk, K. D., Werner, L. L. S., & Kiley, C. (2022). The time window of reconsolidation: A replication. *Psychonomic Bulletin & Review*, 29(5), 2008-2013. <https://doi.org/10.3758/s13423-022-02102-3>

- Schwabe, L., Nader, K., & Pruessner, J. C. (2014). Reconsolidation of human memory: Brain mechanisms and clinical relevance. *Biological Psychiatry*, 76(4), 274–280.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2014.03.008>
- Shvarts-Serebro, I., Ben-Yehudah, G., Elgavi-Hershler, O., Grobgeld, E., Katzoff, A., Luzzatto, E., Shalom, M. & Zohar-Harel, T. (2024). Agents of change: integration of neuropedagogy in pre-service teacher education. *Frontiers in Education* 9, 1-6.
<https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1369394>
- Siegler, R. S. (1988). Strategy choice procedures and the development of multiplication skill. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117(3), 258–275. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.117.3.258>
- Squire, L. R., & Wixted J. T. (2011). The cognitive neuroscience of human memory since H.M. *Annual Review of Neuroscience*, 34, 259-288.
<https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-061010-113720>
- Stazyk, E. H., Ashcraft, M. H., & Hamann, M. S. (1982). A network approach to mental multiplication. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 8(4), 320-335.
<https://doi.org/10.1037/0278-7393.8.4.320>
- Stoianov, I., & Zorzi, M. (2012). Emergence of a "visual number sense" in hierarchical generative models. *Nature Neuroscience*, 15(2), 194-196.
<https://doi.org/10.1038/nn.2996>

- Takashima, A., Petersson, K.M., Rutters, F., Tendolkar, I., Jensen, O., Zwarts, M. J., Mcnaughton, B. L., & Ferná, G. (2006). Declarative memory consolidation in humans: A prospective functional magnetic resonance imaging study. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(3), 756–761. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507774103>
- Verguts, T., & Fias, W. (2005). Neighbourhood effects in mental arithmetic. *Psychology Science*, 47(1), 132–140.
- Wei, T., & Schnur, T. T. (2016). Long-term interference at the semantic level: Evidence from blocked-cyclic picture matching. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 42(1), 149-157. <https://doi.org/10.1037/xlm0000164>
- Zhang, Y., Tolmie, A., & Gordon, R. (2022). The relationship between working memory and arithmetic in primary school children: A meta-analysis. *Brain Sciences*, 13(1), 22. <https://doi.org/10.3390/brainsci13010022>

נספח 1

לוח 3: תרגילי הכפל שנלמדו בשלב הלימוד הראשוני ובשלב ההפרעה

מאפייני התרגילים	תרגילי כפל בשלב הלמידה הראשונה		תרגילי כפל בשלב ההפרעה הדומה	
	תרגילי כפל	תוצאות	תרגילי כפל	תוצאות
גורמים עד 5 כולל 5	5X2	10	2X3	6
	3X4	12	2X5	10
	4X4	16	5X3	15
	3X2	6	4X2	8
	5X4	20	3X3	9
גורמים מעל 5	6X7	42	6X8	48
	9X6	54	7X6	42
	8X7	56	9X7	63
	6X6	36	6X9	54
	7X9	63	8X8	64

נספח 2

לוח 4: רשימת המילים שבהן נעשה שימוש בשלב ההפרעה השונה, בהתאמה למספר

ההברות בשם של כל מספר בתרגיל

המילה שנבחרה	מספר ההברות בשם המספר	הספרה בתרגיל
שמיים	4	2
חלון	3	3
מחק	3	4
חצר	3	5
עץ	2	6
צלע	2	7
תמונה	3	8
רגע	2	9
גמור	3	X
עבה	2	=