

תרגול שליפה, תרגול מרווח ותרגול משולב בהוראת מתמטיקה

ד"ר דורית נריה

מנהלת תחום דעת מתמטיקה ביסודי ובקדם-יסודי במשרד החינוך. בעבר עבדה בהוראת מתמטיקה בבתי ספר יסודיים ועל-יסודיים בבאר-שבע, שימשה מדריכה להוראת מתמטיקה, ועבדה כמרצה בהשתלמויות מורים ובמסלול להוראת המדעים והטכנולוגיה באוניברסיטת בן-גוריון.



תרגול שליפה, תרגול מרווח ותרגול משולב בהוראת מתמטיקה

דורית נריה

תקציר

למחקרים במדעי המוח פוטנציאל רב לקידום ההבנה על אופן הלמידה ועל דרכי הוראה ולמידה מיטביים. אחד העקרונות הנוירולוגיים החשובים שאפשר ליישם בהוראה הוא הנוירופלסטיות – קליטת מידע חדש או שליפת ידע מהזיכרון מובילים ליצירת קשרים חדשים (סינפסות) בין תאי עצב (נוירונים) ומחזקים קשרים קיימים. מאמר זה דן בשלוש אסטרטגיות חשובות בלמידה בכלל ובלמידת מתמטיקה בפרט, שמומלץ ליישם מתוך מסקנות של מחקרים נוירולוגיים: **תרגול שליפה** (אחזור ידע מהזיכרון), **תרגול מרווח** (מפגש עם התוכן בזמנים מרווחים ולא בזמנים צפופים) ו**תרגול משולב** (תרגול שבו יש שילוב של נושאים והקשרים). שלוש האסטרטגיות קשורות לחלוקת התוכן למנות קטנות, למפגשים חוזרים ומרווחים על פני זמן ולמפגשים עם תכנים משולבים. אסטרטגיות אלו יכולות לקדם למידה משמעותית והבנה עמוקה יותר של הנושאים הנלמדים.

מילות מפתח: תרגול שליפה, תרגול מרווח, תרגול משולב.

מבוא – מה בין נוירולוגיה לפדגוגיה

בשנים האחרונות העניין במדעי המוח הולך וגובר, ויש המכנים את המאה ה-21 בשם Century of the Brain (Leysen, 2021). התחום המנסה לגשר בין מדעי המוח לפרקטיקות ההוראה והלמידה הוא נוירופדגוגיה. זה נשמע מובן מאליו שמחקרים במדעי המוח יהיו שימושיים למורים, הרי המוח הוא האיבר החיוני ביותר ללמידה. אבל איך אותות חשמליים או זרימת דם במוח יכולים לספר למורים משהו על האופן שיש ללמד היסטוריה, לשון או מתמטיקה?

הפדגוגיה ומדעי המוח מדברים בשפות שונות זו מזו (Howard-Jones, 2011; Willingham, 2009):

- פדגוגיה עוסקת בתלמידים ובלומדים, ואילו מדעי המוח עוסקים במבנה המוח, בנוירונים ובתהליכים ביולוגיים, כימיים ופיזיקליים.
- מחקרים בפדגוגיה עוסקים במיומנויות מורכבות (הבניית ידע, גמישות מחשבתית, יצירתיות ועוד),

ולעומתם מחקרים במדעי המוח עוסקים בביטויים ביולוגיים, כימיים ופיזיקליים מבודדים של המיומנויות הנזכרות לעיל.

- הפרקטיקה הפדגוגית נעשית בכיתות מרובות תלמידים ובתנאים הרחוקים מלהיות אידיאליים, ואילו מחקרי מוח נעשים לרוב במעבדה בתנאים אידיאליים ומבודדים.

אז איך אפשר לגשר על הפערים ולהיעזר בממצאים של מחקרי מוח להוראה? כפי שניסח זאת הפסיכולוג הווארד-ג'ונס (Howard-Jones, 2011): איך עושים את המעבר from brain scan to lesson plan?

האם אפשר להכליל ממצאים ממחקרים על מוחות מעטים וליישמם בכיתה? יש חוקרים הטוענים שהפער בין נוירולוגיה לפדגוגיה גדול מדי ואי אפשר לגשר בין שני התחומים. הם ממשיכים וטוענים שלמרבית אנשי החינוך אין הידע הנדרש להבין מחקרים נוירולוגיים (למשל, Bruer, 1997; Howard-Jones, 2011; Leysen, 2021). למעשה הבנה שטחית של מחקרים עלולה להביא לידי היווצרות נויר-מיתוסים שקשה מאוד למגר, דוגמת הסברה השגויה שלכל תלמיד יש סגנון הלמידה המתאים לו ויש ללמד אותו על פי סגנון זה (Privitera, 2021).

על אף ההסתייגויות האלו, למחקרים במדעי המוח פוטנציאל רב בקידום ההבנה של אנשי הוראה על דרכי הוראה ולמידה מומלצות. אומנם נוירולוגיה עוסקת במחקרים שרובם נעשו בתנאי מעבדה, אך היא מלמדת אותנו על האופן שבו לומדים, על האופן שידע נשמר בזיכרון ועל שליפה ואחזור מיטביים של ידע ועל דרכים להעמקת ההבנה.

מהמחקרים הנוירולוגיים אפשר להעלות מסקנות יישומיות המובילות להוראה ולמידה טובות יותר. אחת התובנות המרכזיות של מחקרי מוח היא שהמוח הוא גמיש (neuroplasticity) ומשתנה בהתאם לגירויים מהסביבה החיצונית. לסביבה ולהתנסויות הלימודיות יש השפעה על טיב הלמידה וההבנה. למורים יש דרכים רבות להשפיע על הלמידה של התלמידים בהיבטים הקוגניטיביים ובהיבטים הרגשיים. לדרך ההוראה, למשימות שניתנות לתלמידים,



הגיבוש (consolidation) הוא השלב הבא בתהליך הלמידה. שלב זה נעשה בזיכרון לטווח ארוך. המידע המגיע למוח מתאי החישה מתורגם למידע שאופיו נקבע על פי האזור במוח שהגיע אליו. למשל, מידע המתקבל מגירוי אור (מידע ויזואלי) מגיע אל מרכז הראייה ומתורגם לתמונה. המידע המתורגם עובר עיבוד נוסף המסתמך על מידע קיים בזיכרון. לאחר תהליכי עיבוד המידע מתנהלת אינטגרציה של המידע החדש עם הידע הקיים. לזיכרון לטווח ארוך יש יכולת עצומה הנוצרת מתהליכים עצביים חשמליים וכימיים המשנים את חוזק הקשרים בין תאי העצב. ככל שכמות גדולה יותר של תאי עצב משתתפת בתהליך היווצרות הזיכרון, כך תהליך הלמידה יהיה טוב יותר. הלמידה מתבטאת בין השאר ביצירת קשרים עצביים חדשים ובארגון מחדש של קשרים עצביים קיימים כך שנוצרות רשתות המשקפות את הלמידה.

בדומה לספרייה גדולה, לא די שיהיו בה ספרים רבים, אלא חשוב גם לדעת למצוא את הספר המתאים בזמן ובקוֹשֶׁר שבו אנו זקוקים למידע שבו, כך גם בלמידה, היכולת לשלוף ולאחזר את הידע הקיים היא קריטית בתהליך החשיבה. שליפת הידע מביאה לידי עיבוד נוסף של הידע ולגיבושו מחדש.

למיצוי היכולת הנוירופלסטיות (neuroplasticity) יש עקרונות חשובים, ששלושה מהם מפורטים כאן:

- use it or lose it – כדי שנוכל להשתמש בידע, עלינו לשמר את היכולת לשלוף אותו. תאי העצב שבמוח שולחים אותות זה לזה, ומתקשרים זה עם זה באמצעות מוליכים עצביים (נוירטרנסמיטורים). באופן פשטני, אפשר לומר שאם התאים אינם בשימוש או לא מתקשרים עם תאים אחרים, הקשרים בין התאים האלו נחלשים ויכולת השליפה נחלשת.
- ריבוי קשרים מקל על ההיזכרות ומעמיק את הלמידה. שימוש בידע בהקשרים שונים ובדרכים מגוונות הוא חלק מתהליך הלמידה והוא מעמיק את ההבנה. המשמעות של העיקרון הזה בלמידה בכלל ובלמידת מתמטיקה בפרט, היא שיש לגוון את דרכי הלמידה, את הייצוגים, את אמצעי ההמחשה ואת ההקשרים בין הנלמד לתחומים אחרים במתמטיקה ומחוץ לעולם המתמטי.
- use it and improve it – הטמעת מידע בזיכרון אורכת זמן, ועל כן מומלץ להרבות בחזרות של שימוש בידע שכבר נבנה. החזרות חיוניות ליצירת קשרים חדשים במוח, לחיזוק קשרים קיימים וליכולת לשלוף את הידע.

ליחס כלפי תלמידים ולאווירה בכיתה יש השפעה ניכרת על קידום ההבנה ועל אהבת הדעת של התלמידים. החשיבות של מאפייני הסביבה הלימודית לא פוסחת גם על הוראת מתמטיקה ולמידתה (Booth et al., 2017; Silver & Libertus, 2022) ויש לה השפעה מכרעת על היבטים חשובים כמו ההבנה וההכרה בתפקיד המרכזי של המתמטיקה בחינוך, על הבניית ידע מתמטי עשיר ומעמיק המבוסס על ידע קונספטואלי ועל ידע פרוצדורלי וגם על היבטים אֶפֶקְטִיבִּיים – תחושת מסוגלות, סקרנות והרצון להמשיך ולהעמיק את הידע וההבנה המתמטיים.

למידה ונוירופלסטיות

למידה היא תהליך המוביל לשינוי בידע ובהבנה הנוירופלסטיות (neuroplasticity) היא אחד הביטויים של הלמידה. קליטת מידע חדש או שליפת ידע מהזיכרון גורמות ליצירת קשרים חדשים (סינפסות) בין תאי עצב (נוירונים) ולחיזוק קשרים קיימים. הפלסטיות מאפשרת למערכת העצבים להתאים את פעילותה לשינויים בתנאים הסביבתיים ולהשתנות בהתאם להתנסויות. למעשה זו התכונה המאפשרת למוח שלנו ללמוד דברים חדשים וזה גם הביטוי הפיזיולוגי של הלמידה.

במוח האנושי יש מיליארדי נוירונים שתפקידם לקלוט, לעבד ולהעביר מידע. אם ננסה לתאר את תהליך הלמידה באופן פשטני, נוכל לומר שהלמידה מורכבת משלושה תהליכים עיקריים הקשורים זה בזה: רכישת ידע חדש, קונסולידציה (consolidation – איחוד, עיבוד וגיבוש הידע) והיכולת לשלוף ולאחזר את הידע. זה תהליך מעגלי בחלקו, שכן שליפת הידע מביאה לידי גיבושו מחדש.

תהליך הלמידה מתחיל כשגירוי חיצוני נקלט במערכת החישה. הגירוי החיצוני יכול להיות חוויה שאנו עוברים, למידה מפורשת כמו הרצאה, למידה באמצעות התבוננות באחרים, ניהול שיחה, האזנה להסכת או כל פעילות אקטיבית או פסיבית שבמהלכה נקלט מידע. מידע שנראה לנו חשוב, מפתיע או בעל משמעות בדרך זו או אחרת, עובר לזיכרון העבודה. אם נתאר את הזיכרון כיכולת לאחסן, לשמור ולאחזר מידע, אזי זיכרון העבודה (working memory) נוגע לאחסון בעל קיבולת מוגבלת ולטווח קצר וליכולת לעשות מניפולציות על הידע (למשל – לזכור שני מספרים ולחשב את ההפרש ביניהם). חשוב לציין שעומס יתר על זיכרון העבודה מפחית במידה ניכרת את ההזדמנות ללמידה יעילה. זיכרון העבודה רגיש להסחות דעת ויש לו תפקיד קריטי בתהליכים קוגניטיביים כי הוא האחראי בין השאר על סינון שפע המידע המתקבל ועל עיבוד המידע הרלוונטי (Zelazo & Carlson, 2020).



תרגול שליפה, תרגול מרווח ותרגול משולב

הידע המתמטי נבנה באופן היררכי וספירלי ומרבית הנושאים הנלמדים בבית הספר היסודי נבנים זה על זה ויוצרים תשתית להמשך לימוד מתמטיקה; אי אפשר לדלג על לימוד כפל מספרים טבעיים, למשל, ולהמשיך ללימוד מציאת מכנה משותף או ללימוד אלגברה. שימור הידע חיוני להמשך הלמידה ולכן בהוראה ובלמידה צריך להקדיש זמן להבניית ידע חדש, אך חשוב באותה המידה להקדיש זמן ותשומת לב רבה לשימור הידע כדי שיהיה זמין להמשך הלמידה ולשליפה בהקשרים המתאימים. את התרגול החוזר יש לתזמן בשיקול דעת ולא להניח שהתזמון לא משנה כל עוד הלומדים מקבלים כמות מספקת של תרגול.

העקרונות הנורופדגוגיים מכוונים לשלוש אסטרטגיות חשובות בלמידה בכלל, ובלמידת מתמטיקה בפרט: תרגול שליפה (שליפה ואחזור של ידע קודם), תרגול מרווח (מפגש עם התוכן בזמנים מרווחים ולא בזמנים צפופים) ותרגול משולב (שילוב נושאים והקשרים). שלוש האסטרטגיות קשורות לחלוקת התוכן למנות קטנות, למפגשים חוזרים ומרווחים על פני זמן ולמפגשים עם תכנים משולבים.

אחת האסטרטגיות הבסיסיות ביותר בלמידת מתמטיקה היא תרגול. יש לכך סיבה טובה – תרגול ואימון יכולים לשפר את הביצועים של מיומנויות מתמטיות, וכנראה לא בכדי אומרים *practice makes perfect*. איכות הלמידה במתמטיקה מושפעת בין השאר מכמות התרגול (כלומר מספר הפעמים שהידע נשלף מהזיכרון) ומריווח התרגול לאורך זמן (Lyle et al., 2020).

אומנם בספרות המחקר המונח המשמש את דרכי הלמידה האלה הוא תרגול, אך אין הכוונה רק לתרגילים פרוצדורליים שגרתיים אלא גם לשילוב שאלות ברמות חשיבה שונות, בהקשרים שונים כמו גם לשאלות לא שגרתיות וכמובן גם לגיוון בדרכי הלמידה. תרגול אינו מתמקד רק בשאלות שגרתיות, אלא גם בגיוון האופן שבו חוזרים על הנושאים (שאלות שאלות, משחקים, חידונים, שימוש ביישומנים ועוד).

כאמור, אחזור ידע מהזיכרון מגדיל את הסבירות שהידע ייזכר מאוחר יותר. השליפה והאחזור של ידע קודם הכרחיים לא רק להעמקת ההבנה אלא גם ליצירת תשתית להמשך הלמידה. אחזור ידע קיים חשוב במיוחד לפני הצגת נושא חדש משום שעל מנת שהידע החדש יהיה

משמעותי ויישמר בזיכרון הוא חייב להיות מקושר, בדרך זו או אחרת, לידע הקיים. יש דרכים מגוונות שאפשר לתרגל בהן שליפה ואחזור של ידע קודם. למשל, בתרגול מסוג *recall* מבקשים מהתלמידים להיזכר ולכתוב מה שהם יודעים על מושג/נושא, ובתרגול מסוג *recognition* מבקשים מהתלמידים לזהות את הפריטים הנכונים מתוך מקבץ. אפשר לשלב תרגול כזה בתחילת שיעור (כרטיס כניסה) או כסיכום שיעור (כרטיס יציאה). אפשר לשלב מגוון אופנים נוספים של תרגול שליפה כל עוד מקפידים שהלומדים יהיו פעילים (Agarwal et al., 2021). מחקרים מסוימים (למשל, Richland et al., 2009; Seabrooke et al., 2022) מצאו שהשלמת שאלון ידע קצר לפני הלמידה של נושא חדש יכולה להעצים את היכולת לזכור ולשמר את הידע אחרי הלמידה, גם אם היו בו טעויות רבות. חשוב לציין שיש מחקרים שהסיקו שתלמידים בכיתות הנמוכות של בית הספר היסודי מתקשים בשליפה מסוג *recall* וממליצים לשלב רמזים ושאלות מנחות (Evidence Based Education, 2023; Karpicke et al., 2016).

כמעט בכל ספרי הלימוד במתמטיקה נושאי הלימוד מחולקים ליחידות הוראה/לימוד קצרות וכל יחידה מלווה במקבץ תרגילים ומשימות הקשורות לנושא הנלמד. אף שיתכן שיש משימות ברמות קושי שונות, ברמות חשיבה משתנות ומשימות הדורשות אסטרטגיות פתרון שונות, רוב המשימות בכל פרק עוסקות באותו נושא. ארגון התרגול באופן שכל נושא מלווה בתרגול ממוקד שלאחריו ממשיכים לנושא הבא, וגם אותו מתרגלים באופן ממוקד נקרא *blocked practice* או *massed practice*. תרגול מסוג זה הכרחי בשלבי הלמידה הראשונים כי הוא מאפשר להתמקד ולהתעמק בנושא ספציפי (Barzagar, Nazar & Ebersbach, 2019; Mielicki & Wiley, 2022). גם בתרגול המתמקד בנושא ספציפי, יש לגוון את דרכי הלמידה, את הייצוגים, את אמצעי ההמחשה ואת ההקשרים בכל הנושאים הנלמדים וזאת משום ששימוש בידע בהקשרים שונים ובדרכים מגוונות ובאופנים שונים יכול להעמיק את ההבנה. למשל, בתרגול בנושא משמעות השבר כחלק משלם אפשר לשלב תרגול המורכב ממקבץ שאלות הקשורות לנושא, ולשלב ייצוגים מגוונים, שאלות ברמות קושי וברמות חשיבה שונות (ראו דוגמה למגוון שאלות באיור 1).



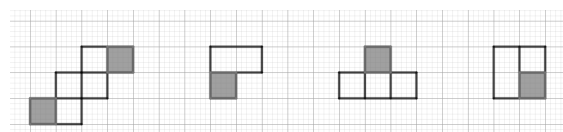
מקבץ תרגילים שבהם מתרגלים את הנושאים החדשים שנלמדו עם נושאים שנלמדו בעבר נקרא תרגול משולב (interleaved practice) ויש המתרגמים לעברית 'תרגול שזור' או 'תרגול משורג'. סוג זה של תרגול מורכב מקובצי שאלות שבהם יש שילוב של כמה נושאים, והוא מהווה אחת הטכניקות העוצמתיות להעמקת ההבנה (Agarwal & Agostinelli, 2020; Nemeth et al., 2021). בשיטת תרגול זו הלומדים צריכים לשלוף ממאגר הידע שיש במוחם את הידע הרלוונטי למטלה באמצעות מציאת מאפיינים משותפים או שונים לשאלות שנלמדו בעבר (Mielicki & Wiley, 2022). תהליך זה מעמיק את ההבנה ומאלץ את הלומדים להפעיל מחדש (reactivate) ולאחזר ידע הנמצא בזיכרון לטווח ארוך. בדרך זו יכולת השליפה משתפרת והקשרים העצביים מתחזקים (Rau et al., 2013). מחקרים מצאו שההישגים במתמטיקה עלו בקרב תלמידים שלמדו ותרגלו בשיטה של תרגול משולב (למשל, (Nemeth et al., 2021; Rohrer et al., 2015).

כאמור, בתרגול מסוג blocked practice יש חזרתיות על אותה פרוצדורה או על אותו נושא. תרגול כזה יכול להתאים להתחלת לימוד של נושא חדש. אך בהמשך הלמידה רצוי להיעזר גם בתרגול משולב הכולל מגוון שאלות מנושאים מגוונים, כולל כאלו שהתלמידים לא ראו לאחרונה. תרגול כזה מאלץ את התלמידים לחשוב על כל אחת מהשאלות ולשלוף מהזיכרון את הידע על השאלה ולבחור את האסטרטגיה המתאימה. זה תהליך מחשבתי מורכב ההופך את הלמידה למשמעותית יותר (Nemeth et al., 2021). נושאי התרגול המשולב לא חייבים להיות שונים לגמרי. למשל, שילוב של שאלות כפל ושאלות חילוק יכול להדגיש ולהעמיק את ההבנה של משמעות כל אחת מהפעולות ולסייע לפותרים להבחין איזו דרך פתרון מתאימה לכל משימה. כל התרגולים חייבים להיות מלווים במשוב, אך במיוחד יש ללוות את התרגול המשולב בדיונים ולאפשר לתלמידים לבדוק את הפתרונות, לשאול שאלות ולתקן את הטעויות (Agarwal & Agostinelli, 2020; Rohrer & Hartwig, 2023).

בהלימה ליעילות התרגול המשולב, מומלץ לשלב בשיעורי הבית או בתרגול בכיתה שאלות הקשורות לנושאים שנלמדו בעבר. באיור 2 יש הצעה לתרגול משולב המתאים לתלמידי כיתה ג'. השאלות נוגעות לנושאים מתמטיים אלה: המבנה העשרוני ומושגים בסיסיים (ספרות, סכום, מכפלה, מספרים עוקבים ועוד), סדר פעולות החשבון, קשרים בין תרגילים, חשיבה כפליית וחשיבה חיבורית. במקבץ השאלות יש שאלות ברמות חשיבה שונות (פתרון

שאלה 1

סמנו את הצורות ששליש מהן צבוע באפור:¹



שאלה 2

יואב אכל חצי חבילת גלידה. גם עידו ותומר אכלו מאותה חבילה

שלושתם אכלו את כל הגלידה שבחבילה.

כתבו אפשרות לחלק שאכל כל אחד מהילדים:

• עידו אכל _____ מחבילת הגלידה

• תומר אכל _____ מחבילת הגלידה

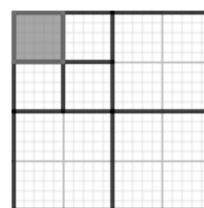
כתבו אפשרות נוספת לחלק שאכל כל אחד מהילדים:

• עידו אכל _____ מחבילת הגלידה

• תומר אכל _____ מחבילת הגלידה

שאלה 3

איזה חלק משטח הריבוע צבוע באפור?



א. $\frac{1}{4}$ ב. $\frac{1}{7}$ ג. $\frac{1}{8}$ ד. $\frac{1}{16}$

שאלה 4

נועה אומרת ש- $\frac{1}{3}$ עוגה הוא פחות מ- $\frac{1}{4}$ של אותה העוגה כי 3 קטן מ-4.

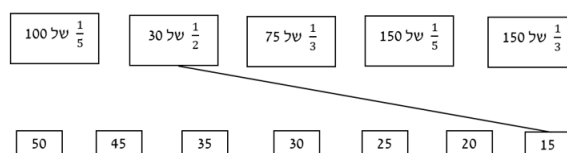
• האם נועה צודקת?

• הסבירו את תשובתכם (תוכלו להסביר בעזרת מילים, תרגילים

או ציור).

שאלה 5

חברו זוגות מתאימים:



עבור שני המספרים הנותרים השלימו היגד וחברו בין הזוגות המתאימים:

של של

איור 1: משימות בנושא משמעות השבר כחלק משלב

1. המשימה עובדה מתוך Metcalfe, 2018.



(Wiley, 2022). כמו כן יש לשקול בקפידה את אופן השילוב של תרגול שליפה ואחזור, ובייחוד לשקול אילו נושאים חדשים נציג בזמן השליפה, ולזכור שהצגת נושאים קרובים מדי בעיקר בתחילת הלמידה עלולה לגרום לגיבוש ידע מוטעה (interference).

תרגול מיטבי צריך לכלול את כל תלמידי הכיתה. תרגול שליפה בעל פה שבו תלמידים מצביעים ועונים עלול לגרום להשתתפות חלקית. אפשר, למשל, להשתמש בלוחות מחיקים ומתוך כך להבטיח מעורבות של כל התלמידים. יש להקפיד להקצות זמן לחשיבה וגם זמן למשוב כדי שהתרגול ימנע חזרה על טעויות בעתיד. ומילת אזהרה נוספת – שילוב תרגולי שליפה מרווחים או משולבים לא צריך להתבטא בריבוי מבחנים או בחנים. אפשר לשלב תרגולי שליפה, לרווח את התרגול ולשלב בין נושאים בדרכים מגוונות, שאינן בהכרח אירועי הערכה העלולים להוסיף ממד של לחץ וחרדה ללימודי המתמטיקה. אפשר לשלב את סוגי התרגול האלה בדרך של משחקים, שעשועונים, הערכה עצמית ועוד.

במאמר זה הוצגו שלושה אסטרטגיות חשובות בהוראה ובלמידה – תרגול שליפה המזמן חלוקת תוכן למנות קטנות, תרגול מרווח המזמן מפגש עם התוכן בזמנים מרווחים ותרגול משולב המזמן שילוב של נושאים והקשרים. דרכי התרגול האלה נשענות על עקרונות נורופדגוגיים שיעילותם אוששה במחקרים רבים (למשל, Agarwal & Bain, 2019; Evidence Based Education, 2023; Rohrer & Hartwig, 2023) והם ניתנים ליישום בעבודת ההוראה בתחומי דעת מגוונים בכלל ובלמוד מתמטיקה בפרט.

רשימת מקורות

- Agarwal, P. K., & Agostinelli, A. (2020). Interleaving in math: A research-based strategy to boost learning. *American Educator*, 44(1), 24–28, 40.
- Agarwal, P. K., & Bain, P. M. (2019). *Powerful teaching: Unleash the science of learning*. Jossey-Bass.
- Agarwal, P. K., Nunes, L. D., & Blunt, J. R. (2021). Retrieval practice consistently benefits student learning: A systematic review of applied research in schools and classrooms. *Educational Psychology Review*, 33(4), 1409–1453. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09595-9>

פרוצדורלי; הנמקה; פתרון שאלות בעלות יותר מפתרון אחד) וייצוגים למיניהם (חזותיים, מספריים ומילוליים):

שאלה 1

מצאו את המספר שעונה על כל התנאים:

- המספר הוא דו־ספרתי;
- שתי הספרות הן זוגיות;
- המספר הוא מכפלה של שני מספרים עוקבים;
- סכום הספרות גדול ממכפלת הספרות.

שאלה 2

פתרו את התרגילים:

$$(80 + 30) : 10 =$$

$$28 - 4 : 4 =$$

$$12 + 3 \times (16 - 6) =$$

שאלה 3

השלימו את הסימן החסר (>, <, או =) בין שני התרגילים:

$$479 + 63 \quad \square \quad 479 + 65$$

הסבירו איך אפשר לדעת מהו הסימן החסר (>, <, או =) מבלי לפתור את התרגילים.

שאלה 4

- בציור שלפניכם אפשר לראות שמשקולת שמשקלה 600 גרם כבדה יותר מ־3 פחיות זהות.



- מה יכול להיות המשקל של כל פחית?
- הציעו פתרון נוסף.

איור 2: דוגמה לתרגול משולב לתלמידי כיתה ג'

אחרי שפירטתי את היתרונות הרבים בלמידה משולבת ובלמידה מרווחת, אוסיף גם מילות אזהרה. תרגול משולב מיטבי מחייב בחירה מושכלת של הנושאים. תרגול משולב של כימיה והיסטוריה אינו יעיל כי הנושאים רחוקים זה מזה והלומדים אינם צריכים להפעיל שיקול דעת באבחנה בין הנושאים (Agarwal & Agostinelli, 2020; Hausman & Kornell, 2014; Mielicki &



- Lyle, K. B., Bego, C. R., Hopkins, R. F., Hieb, J. L., & Ralston, P. A. S. (2020). How the amount and spacing of retrieval practice affect the short- and long-term retention of mathematics knowledge. *Educational Psychology Review*, 32(1), 277–295. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09489-x>
- Metcalfe, G. (2018). *I see reasoning – LKS2. I See Maths Ltd*. https://www.sandbach-pri.cheshire.sch.uk/serve_file/443398
- Mielicki, M. K., & Wiley, J. (2022). Exploring the necessary conditions for observing interleaved practice benefits in math learning. *Learning and Instruction*, 80(3), Article 101583. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2022.101583>
- Nemeth, L., Werker, K., Arend, J., & Lipowsky, F. (2021). Fostering the acquisition of subtraction strategies with interleaved practice: An intervention study with German third graders. *Learning and Instruction*, 71, Article 101354. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101354>
- Privitera, A. J. (2021). A scoping review of research on neuroscience training for teachers. *Trends in Neuroscience and Education*, 24, Article 100157. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2021.100157>
- Rau, M. A., Aleven, V., & Rummel, N. (2013). Interleaved practice in multi-dimensional learning tasks: Which dimension should we interleave? *Learning and Instruction*, 23, 98–114. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.07.003>
- Richland, L. E., Kornell, N., & Kao, L. S. (2009). The pretesting effect: Do unsuccessful retrieval attempts enhance learning? *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 15(3), 243–257. <https://doi.org/10.1037/a0016496>
- Rohrer, D., Dedrick, R. F., & Stershic, S. (2015). Interleaved practice improves mathematics learning. *Journal of Educational Psychology*, 107(3), 900–908. <https://doi.org/10.1037/edu0000001>
- Barzagar Nazari, K., & Ebersbach, M. (2019). Distributing mathematical practice of third and seventh graders: Applicability of the spacing effect in the classroom. *Applied Cognitive Psychology*, 33(2), 288–298. <https://doi.org/10.1002/acp.3485>
- Booth, J. L., McGinn, K. M., Barbieri, C., Begolli, K. N., Chang, B., Miller-Cotto, D., Young, L. K., & Davenport, J. L. (2017). Evidence for cognitive science principles that impact learning in mathematics. In D. C. Geary, D. B. Berch, R. Ochsendorf, & K. M. Koepke (Eds.), *Acquisition of complex arithmetic skills and higher-order mathematics concepts* (pp. 297–325). Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805086-6.00013-8>
- Bruer, J. T. (1997). Education and the brain: A bridge too far. *Educational Researcher*, 26(8), 4–16. https://www.jsmf.org/about/j/education_and_brain.pdf
- Evidence Based Education. (2023). *Retrieval practice: Myths, mutations and mistakes*. <https://did.li/Ja6w5>
- Hausman, H., & Kornell, N. (2014). Mixing topics while studying does not enhance learning. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 3(3), 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2014.03.003>
- Howard-Jones, P. A. (2011, February 25). From brain scan to lesson plan. *The Psychologist*. <https://www.bps.org.uk/psychologist/brain-scan-lesson-plan>
- Karpicke, J. D., Blunt, J. R., & Smith, M. A. (2016). Retrieval-based learning: Positive effects of retrieval practice in elementary school children. *Frontiers in Psychology*, 7(104). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00350>
- Leysen, J. (2021). Confusions that make us think? An invitation for public attention to conceptual confusion on the neuroscience-education bridge. *Educational Philosophy and Theory*, 53(14), 1464–1476. <https://doi.org/10.1080/00131857.2020.1865920>



- Rohrer, D., & Hartwig, M. K. (2023). Spaced and interleaved mathematics practice. In C. E. Overson, C. M. Hakala, L. L. Kordonowy, & V. A. Benassi (Eds.), *In their own words: What scholars and teachers want you to know about why and how to apply the science of learning in your academic setting* (pp. 111–121). Society for the Teaching of Psychology. <https://teachpsych.org/ebooks/itow>
- Seabrooke, T., Mitchell, C. J., Wills, A. J., Inkster, A. B., & Hollins, T. J. (2022). The benefits of impossible tests: Assessing the role of error-correction in the pretesting effect. *Memory & Cognition*, 50(2), 296–311. <https://doi.org/10.3758/s13421-021-01218-6>
- Silver, A. M., & Libertus, M. E. (2022). Environmental influences on mathematics performance in early childhood. *Nature Reviews Psychology*, 1(7), 407–418. <https://doi.org/10.1038/s44159-022-00061-z>
- 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>
- Zelazo, P. D., & Carlson, S. M. (2020). The neurodevelopment of executive function skills: Implications for academic achievement gaps. *Psychology & Neuroscience*, 13(3), 273–298. <https://doi.org/10.1037/pne0000208>