



עבודת גמר לקראת תואר "מוסמך למדעי הרוח" (MA)
החוג לחינוך מיוחד - המגמה ללקויות למידה

**כיצד ילדים לומדים לקרוא מספרים: רכישת ידע פורמלי
לעומת התפתחות קוגניטיבית**

How do children read numbers?

**Explicit-knowledge acquisition versus
cognitive development**

מוגש על ידי אלה שליט
בהנחייתו של דרור דותן

ספטמבר 2022

16,082 מילים

תודות

ראשית תודה לדי"ר דרור דותן, על המון עבודה קשה, סבלנות, הכלה, הכוונה, תשומת לב לפרטים והכל תמיד עם חיוך ורצון אמיתי לחקור וללמוד. על היכולת מצד אחד לדרוש, ללמד ולהדריך ומצד שני להכיל ולהבין. תהליך הכתיבה המשותף לימד אותי המון ועזר לי לכתוב בצורה מדויקת, ללא "במידה ו" ו"זה" מיותרים. המון המון תודה על הליווי הצמוד ווהכוונה מההתחלה ועד הסוף.

תודה לכל הילדים שהשתתפו במחקר והמחקר לא היה יכול להתקיים בלעדיהם. היה לי כיף לעבוד עם הילדים ועם ההורים, וזה כלל לא מובן מאליו בתוך החיים העמוסים להשתתף במחקר אחר הצהריים.

תודה לטל מציל על שעות של עבודה משותפת, מקרוב ומרחוק, מתן תמיכה אינסופית והתעניינות בהתקדמות של כל שלב במחקר.

ותודה למשפחה הפרטית שלי, להורים שלי ולאחיות שלי שתמיד שם שצריך, לטל, בן זוגי שתמיד, עודד, הצחיק, ייעץ בחכמה, עזר ברגעים קשים ותמיד הסכים לוותר על חדר העבודה בשבילי.

תוכן עניינים

5	.....	תקציר	
10	.....	מבוא	1
10	.....	חשיבותה של קריאת מספרים	1.1
10	.....	מה דרוש על מנת שילדים יצליחו לקרוא מספרים רב ספרתיים?	1.2
10	.....	רכישת ידע קונספטואלי	1.2.1
11	.....	רכישת ידע פרוצדורלי	1.2.2
11	.....	הידע הנלמד בבתי הספר בישראל	1.2.3
12	.....	התפתחות קוגניטיבית	1.2.4
13	.....	טעויות בקריאת מספרים	1.3
14	.....	המחקר הנוכחי	1.4
15	.....	שיטה	2
15	.....	משתתפים	2.1
15	.....	מהלך המחקר	2.2
15	.....	תבניות מילוליות: סימון וטרמינולוגיה	2.3
15	.....	כלים	2.4
15	.....	מטלות שהועברו לכלל המשתתפים	2.4.1
17	.....	מטלות המשך	2.4.2
19	.....	ניתוחים סטטיסטיים	2.5
19	.....	חישוב דיסוציאציה בין תנאים (2 מטלות או 2 קבוצות פריטים)	2.5.1
21	.....	תוצאות	3
21	.....	ילדים בכיתה ג' עושים הרבה טעויות בקריאת מספרים	3.1
22	.....	הקושי העיקרי: עיבוד מבנה המספר	3.2
22	.....	רוב הטעויות היו טעויות תחביריות	3.2.1
23	.....	איזה מספרים קשים יותר? הגורם העיקרי שמשפיע הוא התחביר	3.2.2
26	.....	איך לומדים מבנים תחביריים?	3.3
26	.....	למידה קונספטואלית-מתמטית – היכרות עם המבנה העשרוני של המספר לא מבטיחה הצלחה בקריאת מספרים	3.3.1
28	.....	המבנים התחביריים לא נלמדים נדבך על נדבך	3.3.2
30	.....	מה מקור הטעויות בקריאת מספרים אצל ילדים?	3.4
30	.....	האם הטעויות נובעות מחוסר ידע?	3.4.1
33	.....	מקור הטעויות מסוג שבירת התבנית המילולית	3.4.2
34	.....	מקור הטעויות העשרוניות	3.4.3
39	.....	סיכום מקור הטעויות התחביריות	3.4.4
41	.....	דיון	4
41	.....	מסקנות מרכזיות	4.1
41	.....	לילדים בכיתה ג' לא קל לקרוא מספרים	4.1.1
41	.....	שוונות גבוהה בין הילדים	4.1.2
42	.....	קשה במיוחד לקרוא מספרים מורכבים תחבירית	4.1.3

42 ...	התבניות המילוליות לא נרכשות בסדר לינארי – יש ללמוד כל תבנית מילולית בנפרד ...	4.1.4
	ידע פורמלי לא מבטיח יכולת קריאה – אפילו כאשר מדובר על חוקים תחביריים ספציפיים 43	4.1.5
43	יש מספר גורמים שיכולים להביא לקושי אינדיווידואלי בקריאת מספרים	4.1.6
44	היכרות עם מבנים תחביריים היא קריטית בתהליך של קריאת מספרים	4.2
45	הקריאה מורכבת משלושה חלקים : הבנה קונספטואלית, ידע פרוצדורלי ויכולת ביצוע	4.3
46	המסר הפדגוגי : חשוב ללמד קריאת מספרים באופן מפורש וספציפי	4.4
47	תרומה מתודולוגית	4.5
47	אחרית דבר	4.6
48	רשימה ביבליוגרפית	4.7

תקציר

קריאת מספרים היא יכולת חשובה ביותר, ואף מנבאת יכולות אריתמטיות. למרות שקריאת מספרים נשמעת כמו פעולה בסיסית וקלה, בפועל זהו תהליך מורכב מבחינה קוגניטיבית, וכלל לא פשוט ללמידה. המחקר הנוכחי ביקש לבדוק האם קריאת מספרים קשה לילדים, ואם כן מהם הגורמים לקושי.

במחקר השתתפו 100 ילדים בכיתה ג', ללא לקויות למידה מאובחנות. כל המשתתפים ביצעו מטלת קריאה בקול של מספרים בני 2-5 ספרות, מטלות שבדקו ידע פורמלי לגבי המערכת העשרונית ולגבי החוקים של קריאת מספרים, ומטלות שבדקו מה המקור הקוגניטיבי שגרם לטעויות בקריאה.

לילדים היו הרבה טעויות בקריאת מספרים, גם באופן אבסולוטי (26% במוצע) וגם בהשוואה לילדים בכיתה ד'. השונות בין הילדים הייתה גבוהה מאד: היו ילדים שעשו טעויות רבות (למעלה מ-70%), והיו ילדים שקראו כמעט ברמה של מבוגרים.

על מנת להבין מה הגורמים שעומדים בבסיס הקושי לקרוא מספרים, ניתחנו את טעויות הקריאה של המשתתפים. הם עשו הרבה יותר טעויות תחביריות (שינוי של מבנה המספר) מאשר טעויות לקסיקליות (החלפת ספרות במספר) או טעויות שיכול ספרות. בנוסף, ככל שהמספר היה מורכב יותר מבחינה תחבירית, כך הוא היה קשה יותר לקריאה – למשל, היו מעט טעויות במספרים עגולים (4000) ויותר טעויות במספרים עם 0 אחד בלבד במספר (4503). הסקנו שהטעויות בקריאת מספרים נובעות מקושי בעיבוד המבנה התחבירי של המספר.

בהשוואה בין מספרים עם מבנים תחביריים שונים, נמצאה דיסוציאציה כפולה בין מספרים באורכים שונים: היו משתתפים שהתקשו יותר במספרים ה-5 ספרתיים, הארוכים יותר, והיו משתתפים שהתקשו יותר במספרים ה-4 ספרתיים. כמו כן, אפילו בתוך מספרים באורך מסוים, נמצאה דיסוציאציה בין מבנים תחביריים אי-רגולריים לרגולריים: היו יותר טעויות במספרים ממשפחת 2000 לעומת שאר המספרים ה-4 ספרתיים, ויותר טעויות במספרים ממשפחת 10,000 לעומת שאר המספרים ה-5 ספרתיים. מכך הסקנו כי התבניות התחביריות השונות נפרדות זו מזו ויש לרכוש כל תבנית באופן ספציפי. יתר על כן, התבניות האי-רגולריות קשות יותר או נלמדות מאוחר יותר, אבל מלבד זאת התבניות לא נרכשות בהכרח לפי סדר המספרים (מהגדול לקטן), אלא בסדר שונה אצל משתתפים שונים.

בדקנו, עבור כל משתתף, מה הגורמים האינדיווידואליים שגרמו לטעויות שלו. ראשית, בדקנו גורמים הקשורים לידע של המשתתפים – חוסר ידע של המבנה העשרוני של המספר (אחדות, עשרות, מאות), וחוסר ידע של תבניות תחביריות ספציפיות. אכן היו משתתפים רבים שהתקשו גם בקריאה וגם באחת ממטלות הידע או בשתייהן. אצל משתתפים אלה, נראה שהקושי נובע מידע לא מספיק. עם זאת, היו גם משתתפים ששלטו במבנה העשרוני ובתבניות התחביריות של המספר ובכל זאת עשו טעויות בקריאת מספרים. אצל משתתפים אלה, מקור הקושי הוא אחר.

בהמשך בדקנו גורמים קוגניטיביים לקושי בקריאה: קושי בשלב הניתוח הויזואלי של המספר, וקושי בשלב הפקת המספר המילולי. נמצאה קבוצה גדולה של ילדים (כ-20%) שהתקשו בקריאה, נמצאו כבעלי ידע של המבנה העשרוני והתבניות התחביריות, והתקשו במטלות שבדקו את היכולות

הקוגניטיביות. אצל קבוצה זו, נראה שמקור הטעויות הוא חוסר בשלות קוגניטיבית של המנגנונים התחביריים ברמת הניתוח הויזואלי או הפלט המילולי. נראה שכדי לקרוא מספרים דרוש שילוב של ידע בסיסי על המספרים והתפתחות המנגנונים הקוגניטיביים הרלוונטיים.

המחקר מראה שחשוב לרכוש מיומנות בחוקים תחביריים ספציפיים של קריאת מספרים, ושהמיומנות לגבי חוק תחבירי לא מגיעה רק מידע קונספטואלי, למשל שליטה בקטגוריות העשרוניות של המספר, ואפילו ידע תיאורטי לגבי מבנה המספר המילולי אינו מספיק. יתר על כן, היכולת לקרוא מספר במבנה תחבירי מסוים לא מבטיחה יכולת לקרוא מספרים במבנה אחר, למשל הצלחה בקריאת מספרים 4 ספרתיים לא מבטיחה הצלחה במספרים 5 ספרתיים. על מנת לקרוא מספרים, יש ללמוד כיצד לקרוא כל משפחת מספרים באופן ספציפי. בעקבות זאת אנו ממליצים להוסיף את נושא קריאת המספרים, עם דגש על המבנה התחבירי שלהם, לתכנית הלימודים.

Abstract

Reading numbers is an important ability, both in itself and as means to improve other mathematical skills, including arithmetic. Reading numbers may sound simple and easy, nevertheless this is a complex skill, which is anything but easy to learn. The present study examined whether number reading is difficult for children, and if so, what causes this difficulty.

We examined 100 third-grade children without reported learning disorders. They performed a task of reading aloud 2- to 5-digit numbers, tasks that examined whether they were familiar with the structure of the decimal system rules and with the rules of constructing verbal numbers, and tasks to identify the cognitive origins of number-reading errors.

The participants made many errors when reading numbers, both in absolute terms (26%) and compared to slightly older children, in 4th grade. The variance among the participants was very high: some children had a lot of errors (over 70%), whereas others read numbers almost like adults.

To identify the core of the difficulty in number reading, we analyzed the participants' error types. They made more syntactic errors (incorrect number structure) than digit substitutions or transpositions. Moreover, there were more errors in syntactically-complex numbers than in syntactically-simpler numbers. For example, there were only a few errors in round numbers (4000), but more errors in non-round numbers with zero (4503). We concluded that the main origin of difficulty in number reading lies in the need to process the number's syntactic structure.

When comparing the reading of numbers that have different syntactic structures, we found a double dissociation between numbers of different lengths. There were participants who had difficulty with 5-digit numbers, the longer ones, but read well the 4-digit numbers, the shorter ones. There were also participants who showed the opposite pattern: good reading of 5-digit numbers and difficulty in 4-digit numbers. Even within numbers of a given length, we observed a dissociation between numbers with regular and irregular syntactic structures: there were more errors in numbers in

the range 2,000-2,999, whose verbal form in Hebrew is irregular, than in other 4-digit numbers; and more errors in numbers in the numbers 10,000-10,999, which are irregular too, than in other 5-digit numbers. We concluded that the different syntactic patterns are separate from each other and each must be acquired specifically. Irregular patterns are harder or learned later, but other than that, the syntactic patterns are not necessarily learned according to the numerical order (small to larger) – they can be learned in arbitrary order, presumably according to the specific child's characteristics and experience.

We also tested the origin of reading errors for each participant. We examined several possible origins. First, we examined factors related to the participants' knowledge – lack of knowledge of the decimal structure of numbers (units, decades, hundreds, ...), and lack of knowledge of specific syntactic-verbal structures. Indeed, some participants had difficulty both in number reading and in these knowledge tasks. For these participants, the errors seem to originate from insufficient knowledge. Critically, however, other participants had number-reading errors although they performed well in the knowledge tasks and showed good mastery of the decimal system and verbal-syntactic structures. For these participants, the number reading errors do not originate in lack of knowledge but have a different reason.

We then examined potential cognitive origins of the number reading errors: difficulty at the visual analysis stage, responsible for parsing digit strings, and at the verbal production of the numbers. We found a large group of children (20%) with reading errors who had knowledge of the decimal structure of numbers, of verbal-syntactic structures, and had difficulty in tasks that tested the cognitive mechanisms. For these children, the origin of the number-reading errors seems to be cognitive immaturity of the syntactic mechanisms at the visual-analysis level or verbal-production level. It therefore seems that reading numbers requires a combination of syntactic knowledge about numbers and sufficient development of relevant cognitive processes.

Overall, the study shows that it is important to acquire proficiency in specific syntactic rules of number reading. It further shows that proficiency in a specific syntactic rule cannot arise merely from conceptual knowledge, e.g., mastering the

decimal categories, and even not from theoretical-procedural knowledge about the syntactic structure of the verbal numbers. Moreover, proficiency in one syntactic structure/rule does not guarantee proficiency in another syntactic structure – e.g., being able to read 4-digit numbers does not guarantee good reading of 5-digit numbers. To read numbers, one must learn each type of numbers specifically. Following these conclusions, we recommend to add number reading, with specific focus on their syntactic structure, as a new, independent topic in elementary school math curriculum.

1 מבוא

1.1 חשיבותה של קריאת מספרים

קריאת מספרים יכולה להיתפס כעניין פשוט ויומיומי. אנו נדרשים בסך הכל להרכיב, מ-10 סמלים שחוזרים על עצמם, מספרים רב ספרתיים. אך אין זה עניין פשוט כלל: מערכת המספרים בה משתמשים ברוב העולם המערבי מורכבת מ-10 ספרות בלבד, ועם זאת מצליחה לייצג אינסוף מספרים, כיוון שהיא כוללת לא רק את 10 הספרות (והמילים התואמות) אלא גם אוסף חוקים ותחביריים שקובעים כיצד לחבר אותן וכיצד לתרגם רצף ספרות לרצף מילים או למשמעות מספרית. היכולת לקרוא מספרים מהווה את הבסיס לעולם המספרים ונחשבת מיומנות בסיסית. כבר בגיל הגן ילדים לומדים להכיר ולשיים את המספרים (Yuan et al., 2019). היכולת לשיים מספרים, שמשקפת ידע שנרכש לגבי מספרים, יכולה להשפיע על עיבוד המספר ועל הבנתו (Rinsveld & Schiltz, 2016).

אמנם אנו מייחסים יכולת קריאה ושיום מספרים לתחומים מתמטיים, אך היא מושפעת גם מתחום השפה ומחוקיה הספציפיים של כל שפה (Steiner et al., 2021). יש לכך מספר דוגמאות. למשל, נמצאו הבדלים בכמות הטעויות בקריאת מספרים ובקצב קריאת המספר בין שפות בהן מערכת המספרים היא דצימלית, כלומר מורכבת מ-10 פריטים, לבין שפות בהן מערכת המספרים היא ויגסטימלית, מורכבת מ-20 פריטים (Rinsveld & Schiltz, 2016). בנוסף, בשפות בהן המבנה התחבירי של מספרים נחשב מורכב יותר מבחינה שפתית, נעשות יותר טעויות בקריאה בהשוואה לשפות מורכבות פחות. כמו כן ישנה השפעה של התכונות המילוליות של המספר על מהירות העיבוד שלו (Seron & Fayol, 1994; Steiner et al., 2021; Zuber et al., 2009).

החשיבות של קריאת מספרים חורגת מהיכולת הספציפית לקרוא מספר בקול: היא מהווה חלק מסוללת יכולות אשר יכולות לנבא הצלחה בתחום החשבון (Yuan et al., 2019). אוטומטיזציה בקריאת מספרים גם מנבאת יכולות מתמטיות עתידיות (Lin & Göbel, 2019) – ספציפית, קריאת מספרים בגיל 4 מנבאת הצלחה בחשבון שנתיים לאחר מכן, בגיל 6 (Habermann et al., 2020).

1.2 מה דרוש על מנת שילדים יצליחו לקרוא מספרים רב ספרתיים?

ילדים מתחילים להכיר מספרים כבר בגיל צעיר מאוד. כבר בגילאי טרום חובה הם לומדים לספור ולשיים ספרות בודדות, ובסיום גן חובה רובם כבר יצליחו לקרוא את 9 הספרות הראשונות ולהתאים את הספרה לכמות (Yuan et al., 2019). על מנת שיצליחו לקרוא מספרים רב ספרתיים, יש צורך ברכישה של עקרונות וחוקים מסוימים. ניתן לחלק את הידע שעל הילדים לרכוש לשני סוגים: ידע קונספטואלי וידע פרוצדורלי. ידע קונספטואלי הוא ההבנה שיש לנו על נושא מסוים – כולל עקרונות, חוקים בסיסיים מסוימים, מושגים וכד'. ידע פרוצדורלי הוא הידע איך לבצע תהליך הקשור לאותו נושא. זהו בעצם ידע אלגוריתמי – מה צריך לעשות בפועל כדי לבצע פעולה (Per, 2020).

1.2.1 רכישת ידע קונספטואלי

הידע הקונספטואלי הנחוץ לקריאת מספרים כולל חוקים ועקרונות כלליים על מספרים רב ספרתיים – גם ברמת הספרות, גם ברמת המילים. למשל כבר בגיל הגן הילדים לומדים כי כאשר מצמידים ספרות זו לזו, הן מייצגות מספר אחד ולא שניים (Yuan et al., 2019). אחד מהעקרונות שיש ללמוד הוא עיקרון "place-value": ההבנה כי מיקום הספרה משפיע גם על הערך הכמותי

שלה וגם על דרך הביטוי המילולי שלה. בעצם זוהי ההבנה כי כאשר ספרה נמצאת במיקום שונה במספר, יש לה משמעות שונה (ולענייננו – היא גם נהגית אחרת). גם כשילדים לא מבינים את המשמעות הכמותית של המספר, הם מבינים שהמיקום של הספרה קובע את גודל המספר ואת צורת ההגייה שלו, וככל שמספר ארוך יותר ומכיל יותר ספרות, הוא בהתאמה יותר גדול (Cheung & Daniel, 2020; Yuan et al., 2019). להבנה של עיקרון place-value השפעה על ההבנה של מספרים רב ספרתיים, וככל שילדים מבינים את עיקרון זה מוקדם יותר, ככה הם מפתחים הבנה של מבני-מספר מורכבים מוקדם יותר, ומצליחים במטלות המערבות מספרים בצורה טובה יותר (Mix et al., 2022).

בישראל, על מנת לבסס את עיקרון place-value אצל התלמידים, תכנית הלימודים במתמטיקה בגילאי יסודי שמה דגש על היכרות עם המבנה העשרוני של המספר. המבנה העשרוני הוא כלי אשר עוזר לנו לייצג את המבנה של מספר רב ספרתי – איזה ערך כמותי מייצגת כל ספרה במספר, או לאיזה קטגוריה עשרונית ניתן לשייך את המספר (Krebs et al., 2003). בפועל, בבתי הספר התלמידים לומדים לפרק את המספר לקטגוריות לפי אחדות, עשרות, מאות וכו' (משרד החינוך, 2022). זוהי הדרך ללמד את המספרים הרב ספרתיים, ואין הוראה של קריאת מספרים באופן ישיר.

1.2.2 רכישת ידע פרוצדורלי

Power & dal Martello (1997) ו-Barrouillet et al. (2004) טענו כי בנוסף לעקרונות ולחוקים הקונספטואליים הנדרשים לקריאת מספרים רב ספרתיים, יש צורך בלמידת חוקים תחביריים ספציפיים וברכישת התבניות המילוליות השונות. התבנית המילולית מתארת את מבנה המספר המילולי באופן מלא פרט לערכי הספרות הספציפיות: היא מציינת את רצף הקטגוריה של מילות המספר (אחדות, עשרות, מאות וכו') ואת מיקומם של חלקים מילוליים נוספים המרכיבים את המספר – ו' החיבור, ומילים עשרוניות כמו "עשרה", "מאות", "אלפים" (Cohen & Dehaene, 1995; Dehaene & Cohen, 1991; Dotan & Friedmann, 2018). לדוגמה, התבנית המילולית עבור המספר 613 היא [מאות] ו[עשרה]. התבנית המילולית בעצם מזהה את מבנה המספר המילולי, להבדיל מייצוגים תחביריים טרום-מילוליים של המספר.

חלק מהמודלים המתארים קריאת מספרים מתייחסים אל התבנית המילולית כאל יכולת קוגניטיבית אחת (Dehaene & Cohen, 1991; Dotan & Friedmann, 2018). מודלים אחרים, למשל ADAPT (Barrouillet et al., 2004), מדגישים שהתבנית המילולית מתבססת על מבנים תחביריים שונים, כאשר יש ללמוד ולתרגל כל אחד מהם בנפרד ולשלוף אותם מהזיכרון לטווח ארוך.

1.2.3 הידע הנלמד בבתי הספר בישראל

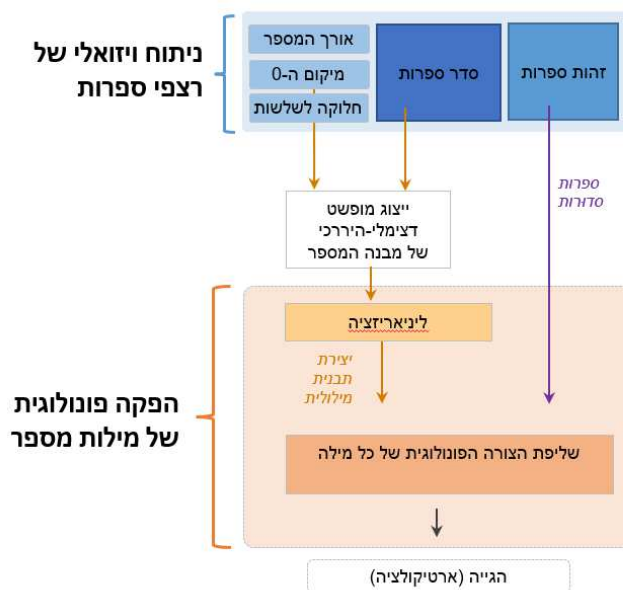
תכנית הלימודים במתמטיקה בבתי הספר היסודיים בישראל נבנתה בהתאם לתפישות המקובלות על אילו עקרונות וחוקים נדרשים התלמידים לדעת על מנת להצליח במתמטיקה. לפי תכנית הלימודים במתמטיקה לכיתות א-ו (2022), עד סיום כיתה א' התלמידים לומדים לקרוא ולהבין מספרים בתחום המאה, בכיתה ב' עד 1,000, בכיתה ג' עד 10,000 ובכיתה ד' התלמידים אמורים להכיר את כלל המספרים. הדגש הוא על הבנת ההיבט הכמותי של המספר והשימוש בו, על חישוב ועל פירוק המספר לקטגוריות העשרוניות – יחידות, עשרות, מאות וכו' (משרד החינוך, 2022). תכנית הלימודים לא מקדישה פרק ספציפי לקריאה של מספרים רב ספרתיים, ואין למידה ספציפית של

התבניות המילוליות השונות, אלא התלמידים נחשפים למספרים רב ספרתיים באמצעות היכרות עם המבנה העשרוני של המספר. במחקר הנוכחי רצינו, בין השאר, לבדוק את הנחות היסוד של תכנית הלימודים – האם למידה של המבנה העשרוני והשימוש במספרים רב ספרתיים מסייעים לכך שהילדים יצליחו לקרוא מספרים רב ספרתיים בצורה טובה, והאם הסדר הנכון ללמוד את המספרים הוא מהקטן לגדול.

1.2.4 התפתחות קוגניטיבית

אמנם זה נשמע פשוט לקרוא מספר, במיוחד כשאנו חושבים על פעולות חשבוניות מורכבות בתור נקודת השוואה, אך בפועל זוהי פעולה קוגניטיבית מורכבת. זהו תהליך בו אנו רואים רצף ספרות כתובות ומפיקים מילות מספר בהתאם, מה שדורש שילוב של כמה מנגנונים קוגניטיביים. מנגנונים אלה ייחודיים ואינם משותפים למנגנוני קריאת מילים, למרות שבשני המקרים מדובר בתהליך בו נעשה עיבוד של סימן כתוב למלל (Dotan & Friedmann, 2019). אכן ישנם מספר הבדלים מהותיים בין קריאת מספרים למילים. למשל, בקריאת מספרים, למספר יש משמעות כמותית ולא רק מילולית, רצף אותיות מתורגם למילה אחת ורצף מספרים לכמה מילים, והמבנה התחבירי של מספרים ומילים שונה לחלוטין (Cohen & Dehaene, 1995; Dehaene & Cohen, 1991; McCloskey et al., 1986; Dehaene, 1992; Dotan & Friedmann, 2018).

דוֹתן ופרידמן (Dotan and Friedman, 2018) תיארו מודל קוגניטיבי לקריאת מספרים. המודל מפרק את תהליך קריאת המספרים לשני חלקים עיקריים, ניתוח ויזואלי של רצף ספרות והפקה מילולית של מילות המספר. שני תהליכים אלו מתבצעים ע"י שני מנגנונים נפרדים (תרשים 1).



תרשים 1: גרסה מקוצרת של המודל הקוגניטיבי לקריאת מספרים של דוֹתן ופרידמן (2018)

השלב הראשון במודל הוא שלב הניתוח הויזואלי של המספר. שלב זה מורכב מרכיב שאחראי על זיהוי הספרות, רכיב שאחראי לזהות את סדר היחסי של הספרות במספר, ו-3 רכיבים שמעבדים

את המבנה התחבירי של המספר: רכיב שמזהה את אורך המספר, רכיב שמזהה את מיקום ה-0, ורכיב שמחלק את רצף הספרות לשלוש. המידע התחבירי מאפשר לבנות ייצוג מופשט של מבנה המספר, וממנו את התבנית המילולית של המספר (רצף הקטגוריות של מילות המספר).

בהמשך, הספרות מתמזגות עם התבנית לכדי ייצוג אבסטרקטי (טרום-פונולוגי) של רצף מילות המספר. השלב הבא הוא שליפת הצורה הפונולוגית של כל מילה. הרצפים הפונולוגיים שנשלפו נשלחים למערכת ההגייה, שאינה ספציפית למספרים אלא משמשת כל פלט מילולי.

לא כל ספרה הנקלטת בקלט הויזואלי תתורגם באופן ישיר למילת מספר. לדוגמא, לספרה 0 אין ביטוי מילולי והיא לא נהגית. התבנית המילולית היא ספציפית לכל שפה, לדוגמא בעברית התבנית כוללת גם את ו' החיבור, ובמנדריין אין מספרי עשרה.

1.3 טעויות בקריאת מספרים

Power & Dal Martello (1997) בדקו איזה טעויות ילדים איטלקים בכיתה ב' (גיל 7) עשו בקריאת מספרים. הם מצאו כי עיקר הטעויות שעשו הילדים היו טעויות תחביריות (שיבוש של מבנה המספר) ולא טעויות לקסיקליות (החלפת ספרה באחרת). החוקרים הסיקו כי אם חסר לילדים את הידע התחבירי הנחוץ על מנת לקרוא את המספר, הם ימצאו אסטרטגיות חלופיות על מנת להתמודד עם כך. למשל, חלק מהילדים חילקו את המספר למספרים קטנים יותר שידעו להגות (2,984 ← "עשרים ותשע שמונים וארבע"). תוצאות דומות התקבלו במחקרים נוספים שניתחו טעויות בקריאת מספרים אצל ילדים (Rinsveld & Schiltz, 2016; Barrouillet et al., 2004; Seron & Fayol, 1994).

Power & dal Martello הדגישו את הצורך ברכישת ידע מסוים, ואת האסטרטגיות שנוקטים הילדים על מנת להתמודד עם חוסר הידע. המחקר הנוכחי בא לבדוק האם מעבר לצורך בידע בסיסי של עקרונות וחוקים תחביריים, ישנו צורך גם בהתפתחות של מנגנונים קוגניטיביים. האם התפתחות הקוגניטיבית מהווה גורם המשפיע על הטעויות בקריאת מספרים שעושים הילדים, והאם יש צורך בבשלות קוגניטיבית על מנת שתלמידים בבי"ס יסודי יצליחו לקרוא מספרים רב ספרתיים.

רוב המחקרים הקוגניטיביים על קריאת מספרים התמקדו במבוגרים. מחקרים אלה הראו שליקויים ברכיבים השונים במודל קריאת המספרים יגרמו לקושי בקריאת מספרים (Starrfelt & Behrmann, 2011). ליקוי בנתח הויזואלי יגרום לטעויות לא רק בקריאת מספרים בקול אלא גם במטלות הבנה, שלא דורשות קריאה בקול, למשל להכריע אם שני רצפי ספרות הם זהים או שונים. ליקוי בפלט המילולי יגרום לטעויות במטלות שדורשות לומר את המספר בקול, גם אם המספר לא הוצג ויזואלית בתור רצף ספרות – למשל כאשר נדרשים לחשב בעל פה.

דרך אחרת לחלק את מנגנוני העיבוד של מספרים למנגנונים לקסיקליים, שמעבדים את הזהות של כל ספרה או מילת מספר (למשל, זיהוי ספרות בנתח הויזואלי, שליפה פונולוגית), ומנגנונים תחביריים, שמעבדים את הקשרים בין האלמנטים הלקסיקליים. בהתאמה, מקובל לחלק את הטעויות בקריאת מספרים לטעויות לקסיקליות וטעויות תחביריות (Barrouillet et al., 2004; Dotan & Friedmann, 2018; Power & dal Martello, 1997;

Rinsveld & Schiltz, 2016; Seron & Fayol, 1994). טעויות לקסיקליות הן טעויות בהן יש החלפה של הספרות ומילות המספר, לדוגמה לקרוא את 745 כ-746. טעויות תחביריות הן טעויות שמשבשות את מבנה המספר, לדוגמה לקרוא 659 כ-6059.

במחקר הנוכחי, כדי לבדוק מקור קוגניטיבי אפשרי לקושי בקריאת מספרים, השתמשנו במטלות הכוללות קלט ויזואלי בלבד ללא פלט מילולי, ובמטלות הכוללות פלט מילולי ללא קלט ויזואלי. בנוסף, הבחנו בין טעויות תחביריות ללקסיקליות.

1.4 המחקר הנוכחי

המחקר הנוכחי בא לחקור כיצד מתפתח תהליך קריאת מספרים באופן תקין אצל ילדים שעוד לא סיימו לרכוש את מיומנות קריאת המספרים. עד כה, רוב המחקרים שעסקו בקריאת מספרים אצל ילדים התמקדו ברכישת הידע של חוקים תחביריים (Barrouillet et al., 2004; Power & Dal Martello, 1997; Power & dal Martello, 1997). טרם נבדק אופן ההתפתחות של הרכיבים הקוגניטיביים השונים של קריאת מספרים, כפי שתוארו במודלים שפותחו על סמך תפקוד של מבוגרים. שתי שאלות מנחות עיקריות הובילו את בניית המחקר: (1) האם נדרשת קודם כל למידה של ידע מסוים, בהתאם למודל ADAPT (Barrouillet et al., 2004) ולמודל החוקים של Power & Dal Martello, ואם כן מהו אותו ידע הנחוץ לקריאת מספרים רב ספרתיים? (2) מתי מתפתחים המנגנונים הקוגניטיביים השונים, ואיך ההתפתחות הקוגניטיבית משפיעה על היכולת לקרוא מספרים?

המשתתפים היו תלמידים בכיתה ג'. מחקרים קודמים (Barrouillet et al., 2004; Power & dal Martello, 1997; Rinsveld & Schiltz, 2016), כולל מחקרי פיילוט שלנו, הראו שזהו גיל קריטי בו מתרחשת התפתחות משמעותית של היכולת לקרוא מספרים. ע"פ תכנית הלימודים, ילדים בכיתה ג' כבר רכשו את בסיס הקריאה ואמורים להיות בעלי ידע בסיסי בקריאה של מספרים רב ספרתיים, אך עדיין לא למדו באופן פורמלי לקרוא את כלל המספרים. ספציפית, עד סיום כיתה ב' ילדים לומדים מספרים בני 1-3 ספרות, ובמהלך כיתה ג' גם מספרים 4 ספרתיים. מצב זה מאפשר לבדוק האם הם יצליחו לקרוא מספרים, כולל מספרים שטרם למדו במסגרת ביה"ס איך לקרוא, בהתבסס על הידע הבסיסי שקיים אצלם. אם לא יצליחו, נוכל לבחון אם הטעויות נובעות מחוסר ידע או ממנגנון קוגניטיבי שטרם התפתח.

2 שיטה

2.1 משתתפים

במחקר השתתפו 100 תלמידי כיתה ג' שלומדים בבתי ספר ממלכתיים בכיתה רגילה, ולא מאובחנים כבעלי לקות למידה ו/או קשיי קשב וריכוז. המטלות הועברו במפגשים פרטניים אשר התקיימו באופן מקוון באמצעות תוכנת זום. המדגם היה מדגם נוחות, והמשתתפים גויסו באמצעות מודעה שהופצה ברשתות החברתיות. המחקר אושר ע"י ועדת האתיקה של אוניברסיטת תל אביב. כל המשתתפים והוריהם נתנו הסכמה מדעת להשתתף במחקר.

30 ילדים השתתפו במחקר גם כעבור שנה כשהיו בכיתה ד', על מנת להוות קבוצת ביקורת. משתתפי כיתה ד' ביצעו רק את מטלת קריאת מספרים בקול, והנתונים שלהם נותחו בנפרד.

2.2 מהלך המחקר

כל המשתתפים במחקר ביצעו 2 מטלות בסיסיות: מטלת לבדיקת היכרות עם המבנה העשרוני, ומטלת קריאת מספרים בסיסית. לאחר מכן הועברו מטלות המשך, שנבחרו עבור כל משתתף לפי התפקוד שלו במטלת קריאת מספרים. מטרת המטלות האלה הייתה למצוא מה מקור הטעויות שביצעו המשתתפים: האם הן נובעות מחוסר ידע הנדרש לקריאת המספר, ואם כן איזה ידע חסר, או ממנגנון שטרם התפתח או לקוי, ואם כן, מהו אותו מנגנון.

2.3 תבניות מילוליות: סימון וטרמינולוגיה

חלקים ניכרים במחקר עסקו בניחות תבניות מילוליות ספציפיות. בעברית, הגורמים שקובעים את התבנית המילולית הם אורך המספר (כמה ספרות יש בו), מיקומי הספרה 0, נוכחות הספרה 1 במיקום העשרות בכל שלשה, ובמובן מסוים גם הספרה 2 בתפקיד "אלפיים" או "מאתיים". בהתאמה, התבניות המילוליות יסומנו להלן בתור רצף של הסימנים 0,1,2,x, כאשר x מציין כל ספרה שאין לה השפעה מיוחדת על התבנית המילולית (הספרות 9-3, ובחלק מהמקרים גם 1,2). למשל מספרים ארבע ספרתיים ללא אפס מיוצגים ע"י התבנית xxx,x, כשכל x יכול להוות מספר בין 3-9 (6,893).

בנוסף, השתמשנו בסימונים 4d, 5d כדי להתייחס לכל המספרים בני 4 או 5 ספרות, והסימונים הבאים מציינים משפחות מספרים ספציפיות: $2k$ – מספרים 4-ספרתיים שמתחילים בספרה 2 (במילה "אלפיים", מבנה אי-רגולרי), $3+k$ – כל שאר המספרים ה-4 ספרתיים (9,999 – 3,000, מבנה רגולרי יותר), $10k$ – מספרים 5-ספרתיים שמתחילים ב-10 ("עשרת אלפים"), $20+k$ – מספרים 5-ספרתיים בטווח 99,999 – 20,000 (מבנה תחבירי רגולרי-יותר).

2.4 כלים

השתמשנו במטלות שבדקו ידע בלבד, מטלות המערבות קלט ויזואלי של מספר ופלט מילולי, מטלות המערבות קלט ויזואלי בלבד ומטלות המערבות פלט מילולי בלבד.

2.4.1 מטלות שהועברו לכלל המשתתפים

מטלה 1: היכרות עם המבנה העשרוני: מטרת המטלה הייתה לבדוק האם המשתתפים מזהים ספרות במיקומים עשרוניים ספציפיים (אחדות, עשרות, מאות, ...) במספרים רב ספרתיים בעלי 3-5 ספרות. המטלה חולקה לשני חלקים: בחלק הראשון, בכל שקופית הוצג מספר אחד ומעליו שאלה. לדוגמה הוצג המספר "3,628" ומעליו השאלה "מהי ספרת המאות?" למשתתפים הוקראה השאלה,

והם התבקשו לענות בקול ולהגיד מהי ספרת האחדות/עשרות/מאות/אלפים בהתאם לשאלה במספר המוצג. לדוגמא: מהי ספרת המאות במספר 8,563? התשובה היא 5 (גם התשובה 500 התקבלה כנכונה). בחלק השני, המשתתפים התבקשו להפיק מספר רב ספרתי בעצמם באופן חופשי, בהתאם להנחיה לגבי ספרה אחת במספר. למשל: "תגיד מספר שיש בו את הספרה '4' בספרת האחדות", "תגיד מספר שיש בו את הספרה '6' בספרת האלפים". ביקשנו כי הספרה שצוינה תופיע במספר פעם אחת בלבד, במקום המבוקש. בחלק הראשון של המטלה היו 12 פריטים בסדר הבא: 3 פריטים תלת ספרתיים, 5 פריטים 4-ספרתיים ו-5 פריטים 5-ספרתיים. בחלק השני של המטלה ניתנו 5 הנחיות, כאשר כל מיקום עשורני (עד 5-ספרתי) מופיע פעם אחת: אחדות, עשרות, מאות, אלפים ועשרות אלפים.

2. מטלה **מטלת קריאת מספרים**: מטרת המטלה היתה לבדוק כיצד המשתתפים קוראים מספרים רב ספרתיים, ואילו טעויות הם מבצעים בקריאת מספרים. המספרים הוצגו ב-PowerPoint, 10 מספרים בכל שקופית, בשני טורים של 5 מספרים. לא הייתה הגבלת זמן. אם המשתתף לא ידע לקרוא חלק מהמספרים, ביקשנו ממנו לנסות לנחש. הרשימה כללה 115 מספרים רב ספרתיים עם 2-5 ספרות, בסדר אקראי (זהה לכל המשתתפים). במטלה היו 8 פריטים דו ספרתיים, 18 פריטים תלת ספרתיים, 49 פריטים ארבע ספרתיים ו-42 פריטים 5 ספרתיים. 33 פריטים כללו את הספרה 0 במיקומים שונים. 26 פריטים כללו את הספרה 1 במיקומים שונים. הספרה 2 הופיעה ב-6 פריטים כספרת מאות/אלפים, בהם היא גורמת לאי-רגולריות מסוימת במבנה המילולי של המספר (לדוגמה המילה "מאתיים" לא תואמת את המבנה הרגיל "א-מאות"). בשאר הפריטים, אם הופיעה הספרה "2", היא הופיעה כספרת האחדות. הספרות 3-9 הופיעו בכמויות שוות ברשימה. לפני העברת המטלה הועברו 5 פרטי אימון שכללו מספר דו ספרתי, מספר תלת ספרתי, מספר ארבע ספרתי ושני מספרים חמש ספרתיים. בפריטי האימון בלבד תיקנו את המשתתפים אם עשו טעויות, והדגמנו כיצד נכון לקרוא את המספר.

קידוד הטעויות במטלה נעשה ע"פ סוגי הטעויות שהציגו Dotan and Friedmann (2018), עם תוספות בהתאם לסוגי טעויות שנצפו בפועל אצל הילדים:

- טעות בזהות של הספרה: החלפה של ספרה אחת באחרת 23 ← 43, ללא טעות בקטגוריה של הספרה.
- טעות בסדר הספרות: שינוי בסדר של הספרות במספר 1234 ← 1324, תוך שמירה על הקטגוריות. מדובר במקרים בהם אין אפס במספר.
- טעויות עשרוניות: טעויות בהן המשתתף אמר את המספר בקטגוריה עשרונית (אחדות, עשרות, מאות) שגויה. הבחנו בין הזזה עשרונית במילת המספר הראשונה (230 ← 2030) לבין הזזה במילת מספר שלא נמצאת בתחילת המספר (754 ← 7504).
- שינוי מילה עשרונית: המשתתפים שמרו על המבנה של המספר, אך שינו את המילים המרכיבות אותו: 5,600 ← "חמש אלף שש מאות" או 56,800 ← "חמישים ושש אלפים שמונה מאות".

- **שבירת תבנית מילולית**: שיבוש של המבנה התחבירי של המספר, המשתתפים לא שמרו על מבנה השלשות של המספר: $34,520 \leftarrow 345$ אלף 20 או שלוש מאות ארבעים וחמש עשרים אלף.

2.4.2 מטלות המשך

לאחר סיווג הטעויות המשתתפים עברו מטלות המשך המפורטות להלן, במטרה לקבוע מהו הגורם לביצוע הטעויות:

2.4.2.1 מטלות הבודקות את שלב הקלט הויזואלי

מטלה 3: קריאה עם פסיק: מטרת המטלה היתה לבדוק האם טעויות בקריאת מספרים נבעו מקושי ברכיבים התחביריים של הנתח הויזואלי שאחראים על זיהוי אורך המספר ועל החלוקה לשלשות. המשתתפים התבקשו לקרוא בקול את אותם פריטים שהוצגו במטלה 2 (קריאת מספרים), אך כאן הפריטים הוצגו עם פסיק מפריד בין ספרת המאות לאלפים (25,800). הוספת הפסיק אמורה לסייע לנתח הויזואלי לזהות את אורך המספר ולחלק אותו משלשות, ובכך להפחית את כמות הטעויות העשורוניות בתחילת המספר. לכן, אם המשתתפים הצליחו לקרוא את המספרים עם פסיק יותר טוב מאשר את אותם מספרים בלי פסיק (פחות טעויות עשורוניות בתחילת המספר), ככל הנראה הטעויות נבעו משלב הניתוח הויזואלי, ספציפית מהרכיב המחלק את המספר לשלשות או מזהה את אורך המספר. אם הוספת הפסיק לא עזרה, והמשתתפים עשו שיעור דומה של טעויות עשורוניות בתחילת המספר כאשר הוא הוצג עם פסיק ובלעדיו, ככל הנראה הטעות לא נבעה מהניתוח הויזואלי אלא משלב הפלט המילולי. השווינו את 2 המטלות באמצעות מבחן Mcnemar, כאשר נותחו רק הפריטים בעלי 4 ו-5 ספרות, בהם מופיע פסיק.

מטלה 4: זהה/שונה: מטרת מטלה זו היתה לבדוק האם יש קושי ברכיב שאחראי על זיהוי אורך המספר בשלב הניתוח הויזואלי של קריאת מספרים. בכל צעד הצגנו זה לצד זה שני מספרים שהיו או זהים או שונים זה מזה באורך המספר. למשל, פריט אחד היה תלת ספרתי ואחד 4 ספרתי והם נבדלו זה מזה בספרה אחת בלבד (6524-654). כל זוג מספרים הוצג למשך 2.5 שניות. המשתתפים התבקשו לומר אם המספרים המוצגים זהים זה לזה או לא. על מנת להקשות על שימוש באסטרטגיות ויזואליות (למשל הסתמכות על האורך הפיזי של כל מספר), שני המספרים שהוצגו היו שונים זה מזה מבחינה ויזואלית (ההבדלים היו בסוג הפונט, גודלו, נטוי/לא, מודגש/לא). המשתתפים התבקשו להכריע רק ע"פ המספרים הכתובים ולהתעלם מהפונט והצורה. במטלה 50 פריטים: 20 פריטים זהים, 10 כוללים 0, ו-10 ללא 0, 15 פריטים נבדלים באורך המספר עם 0, 15 פריטים נבדלים באורך המספר ללא 0. בתחילת המטלה המשתתפים צפו בשתי דוגמאות, אחת שונה ואחת זהה. לאחר מכן הם התנסו ב-5 פרטי אימון ללא הגבלת זמן. לאחר שהצליחו הם המשיכו להתנסות ב-5 פרטי אימון עם הגבלת זמן, ולאחר מכן התחילו את המטלה. ממוצע הטעויות במטלה היה 11% (SD = 10%). כיוון שהפריטים נבדלו זה מזה לא רק בארכם אלא גם בפרמטרים אחרים (למשל זהות ספרה), קושי במטלה עשוי להצביע גם על ליקויים אחרים בנוסף לקושי ברכיבים שאחראי על זיהוי אורך המספר או על החלוקה לשלשות, למשל קושי ברכיב זיהוי הספרות או קשיי קשב וריכוז. משום כך, המטלה היוותה חלק מסוללת מטלות שבדקו אם טעויות תחביריות נובעות משלב הניתוח הויזואלי של קריאת מספרים.

מטלה 5: קריאה מפוצלת: מטרת המטלה היא לבדוק האם טעויות עשרוניות בקריאת המספרים נובעות מהשלב הניתוח הויזואלי או משלב הפקת הפלט המילולי. למשתתפים הוצגה רשימת מספרים ללא פסיק, והיה עליהם לקרוא כל מספר בצורה מפוצלת, בהתאם לשלוש אשר מרכיבות את המספר. לדוגמא אם הוצג המספר 73900 היה על המשתתפים לקרוא "שבעים ושלוש ואז תשע מאות". קריאה מסוג זה מקלה על העיבוד התחבירי בפלט המילולי, מכיוון שהמבנה התחבירי של המספר המילולי פשוט יותר. לעומת זאת, הפיצול לא אמור להקל על הנתח הויזואלי. הרשימה שהוצגה היתה זהה לרשימה שהוצגה במטלה 2 (קריאת מספרים), ללא מספרים דו ספרתיים ותלת ספרתיים. על מנת לבדוק אם מקור הקושי הוא בשלב הפלט המילולי, השוונו את שיעור הטעויות העשרוניות בתחילת המספר בין מטלה זאת לבין מטלת קריאת מספרים באמצעות מבחן מקנמר (McNemar). אם המשתתפים הצליחו לקרוא את הפריטים במטלה זו יותר טוב מאשר במטלת קריאת מספרים, שיערנו כי הקושי לא נובע מהנתח הויזואלי אלא מהפלט המילולי. על מנת לבדוק האם הטעויות נובעות משלב הקלט הויזואלי, בדקנו את שיעור אחוזי הטעויות במטלה בפני עצמה. אם המשתתפים עשו טעויות עשרוניות גם כאשר התבקשו לקרוא בצורה מפוצלת, ככל הנראה הקושי נובע משלב הניתוח הויזואלי.

2.4.2.2 מטלות הבדקות את שלב הפלט המילולי

מטלה 6: מיזוג ספרות: מטרת המטלה היתה לבדוק את מנגנוני הפלט המילולי, ספציפית את יצירת התבנית המילולית. בכל צעד הוקרא למשתתפים רצף של ספרות עוקבות והיה עליהם לחבר אותן למספר אחד. לדוגמא הקריאו למשתתפים את הרצף 1,2,3,4 והמשתתפים היו צריכים להגיד "אלף מאתיים שלושים וארבע". במטלה הוקראו רצפים של ספרות עוקבות בלבד (3-4-5-6-7, 5-6-7-8), לעתים עם 0 בתור ספרה אחרונה, במטרה מנת להקל על זיכרון העבודה של המשתתפים. במטלה היו 21 פריטים: 2 פריטים 3 ספרתיים, 9 פריטים 4 ספרתיים, מתוכם 4 עם הספרה 0 בסוף הרצף, ו-10 פריטים 5 ספרתיים, מתוכם 5 עם 0 בסוף הרצף. בתחילת המטלה הודגמה דוגמא אחת תלת ספרתית, והועברו 2 פריטי אימון תלת ספרתיים. אם המשתתפים הצליחו למוזג את הספרות, שיערנו כי הקושי לא נובע מהמנגנונים התחביריים בפלט המילולי (יצירת תבנית מילולית, מיזוג). אם התקשו, שיערנו כי קיים קושי בשלב הזה.

2.4.2.3 מטלות הבדקות היכרות עם ידע תחבירי

מטלה 7: השלמת סדרה: מטרת המטלה היתה לבדוק אם למשתתפים היה ידע לקסיקלי של התבניות המילוליות של מספרים רב ספרתיים, כלומר האם הם יודעים כיצד להפיק את המספרים. בכל צעד. למשתתף הושמעו 3 מספרים ראשוניים בסדרה, והיה עליו לומר את המספר הבא. למשל:

מה המספר הבא בסדרה: 1000, 2000, 3000...

מה המספר הבא בסדרה: 11,000, 12,000, 13,000...

במטלה היו 18 סדרות: 10 סדרות עם מספרים 4 ספרתיים ו-8 סדרות עם מספרים 5 ספרתיים. לפני תחילת המטלות הצגנו שני פרטי אימון שדרשו להשלים סדרות תלת ספרתיות. אם המשתתפים לא הצליחו להשלים את הסדרות, הנחנו שאינם מכירים את התבניות המילוליות.

מטלה 8: הכרעת לקסיקלית של מילות מספר: מטרת המטלה היא לבדוק האם למשתתפים ידע של התבניות המילוליות של המספרים במספרים 4 ו-5 ספרתיים. למשתתפים הוצגו מספרים רשומים כמילים, והיה עליהם להגיד האם המספר מנוסח בצורה נכונה או לא. אם הם קבעו כי התבנית אינה נכונה, היה עליהם לתקן ולהגיד כיצד נכון להגיד את מספר.

דוגמא: שני אלפים - לא נכון. תיקון: אלפיים

חמשת אלפים - נכון

במטלה היו 54 פריטים עם התבניות הבאות: X אלף, X אלפים, $10k$ (עשרת אלפים ומשהו), $2k$, X מאות, XX אלף, XX אלפים, $X0$ אלף, $X0$ אלפים. כל תבנית הופיעה 6-8 פעמים. סדר הפריטים היה אקראי (וזהה לכל הנבדקים). הצלחה במטלה מצביעה על ידע של התבניות המילוליות השונות.

מטלה 9. הכרעת לקסיקלית נכון או לא נכון 10000: מטרת מטלה זו לבדוק אם למשתתף ידע לקסיקלי תקין של התבנית $10k$. מטלה זו זהה למטלה הקודמת, אך מתוך 36 פריטים, 10 פריטים היו בתבנית "עשרת אלפים".

2.5 ניתוחים סטטיסטיים

2.5.1 חישוב דיסוציאציה בין תנאים (2 מטלות או 2 קבוצות פריטים)

ניתוח זה נועד לבדוק דיסוציאציה ברמת הקבוצה בין שני תנאים שונים (למשל, בין מספרי 4d ל-5d, או בין שתי מטלות שונות) – האם יש משתתפים שעושים יותר טעויות בתנאי א' לעומת תנאי ב' או להיפך. להלן נתאר את התהליך שנועד למצוא דיסוציאציה בכיוון אחד, כלומר לענות על השאלה האם קיימת, באופן מובהק, תופעה בה חלק מהילדים מתפקדים טוב יותר בתנאי א' מאשר בתנאי ב' (להלן, "מעדיפי תנאי א'"). הניתוח לא מתייחס לסוגי טעויות, אלא רק לשאלה האם התשובה לכל פריט היתה נכונה או שגויה.

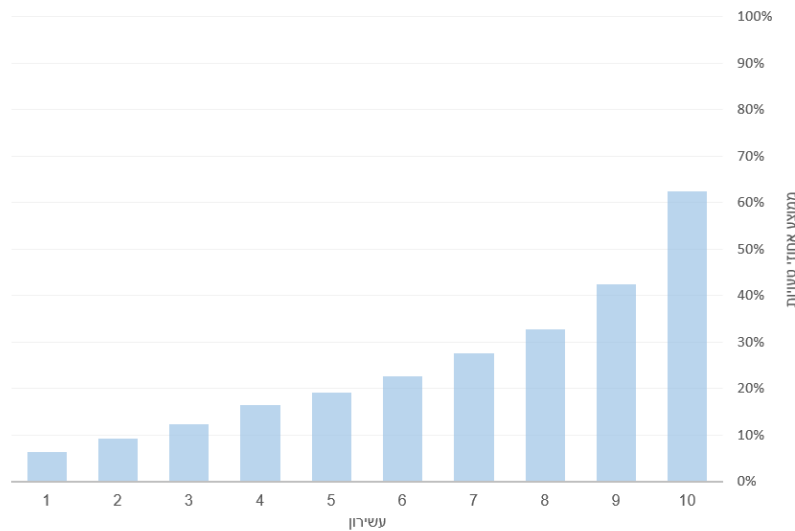
ראשית, השתמשנו בתהליך bootstrap כדי לחשב, על סמך תפקוד המשתתפים, את ההתפלגות של מספר "מעדיפי תנאי א'" תחת הנחת H_0 לפיה אין הבדל בין תנאי א' ל-ב'. לשם כך הרצנו 50,000 איטרציות, כאשר בכל איטרציה הוגרל דפוס תוצאות אפשרי של הניסוי כולו עבור כל הילדים. בנינו את תהליך ההגרלה כך שישמור על 2 מאפיינים של הנתונים האמיתיים כמו שהם: כמות הטעויות של כל ילד, והאחוז הכולל (בקרב כל הילדים ביחד) של טעויות בתנאי א' לעומת תנאי ב'. הדבר היחיד שהוגרל הוא החלוקה הספציפית של הטעויות בין תנאי א' לבין תנאי ב' אצל כל ילד ספציפי. לשם כך, חישבנו את האחוז הכולל של טעויות בתנאי א' ספרתיים בקרב כל הילדים (P_{global}). לאחר מכן הרצנו 50,000 איטרציות, שבכל אחת מהן הגרלנו טעויות באופן הבא: עבור כל ילד, חילקנו את הטעויות שלו (שמרנו על הכמות המקורית שלהן) באופן אקראי בין תנאי א' לתנאי ב', לפי התפלגות בינומית עם הסתברות P_{global} . תהליך ההגרלה הזה מביא לכך שחלוקת הטעויות הכוללת (בקרב כל הילדים) בין תנאי א' לתנאי ב' תהיה דומה מאד לחלוקה המקורית. כדי לוודא שהחלוקה לא רק דומה אלא זהה, בסיום ההגרלה שינינו את כמות הטעויות של כל ילד לפי פקטור ליניארי (זהה לכל הילדים), כך שהחלוקה בין תנאי א' לתנאי ב' תהיה בדיוק כמו בנתונים האמיתיים. בסיום תהליך ההגרלה, ספרנו כמה ילדים יוצאים "מעדיפי תנאי א'" באותה איטרציה, כאשר הקריטריון לקביעת ילד בתור "מעדיף תנאי א'" היה הפרש מינימלי כלשהו (בסביבות 30%) בין אחוזי הטעויות בתנאי א' ובתנאי ב'. המובהקות של הדיסוציאציה (ערך p) הוגדרה בתור אחוז האיטרציות בהן הכמות של "מעדיפי תנאי א'" הייתה כמו בנתונים האמיתיים או גבוהה יותר.

בניתוח נפרד, שנעשה באותו אופן, בדקנו את קיומו של הדפוס ההפוך : האם יש ילדים שמצליחים בתנאי ב' יותר טוב מתנאי א'.

3 תוצאות

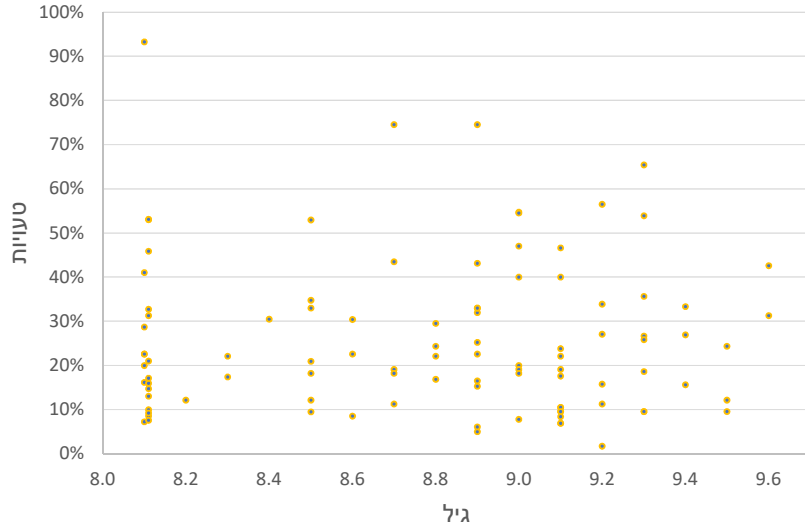
3.1 ילדים בכיתה ג' עושים הרבה טעויות בקריאת מספרים.

ראשית ניתחנו את דפוסי הביצוע של המשתתפים במטלת קריאת המספרים הבסיסית (מטלה 2). שיעור הטעויות במטלה היה גבוה יחסית: ממוצע הטעויות של המשתתפים היה 26% (SD = 17%), (תרשים 2). לשם השוואה, אצל משתתפים בכיתה ד' ממוצע הטעויות היה 12% (SD = 7%). אצל מבוגרים ללא לקויות, שקראו רשימת מספרים קשה יותר, ממוצע הטעויות הוא 5.8% (SD = 3.5%). כלומר, ילדים בכיתה ג' עדיין עושים הרבה טעויות בקריאת מספרים. במקביל לכך, הייתה שונות גבוהה בין הילדים: הילדים בעשירון הגבוה עשו בממוצע 6% טעויות, דומה לשיעור הטעויות במספרים קשים יותר אצל מבוגרים, בעוד הילדים בעשירון הנמוך עשו בממוצע 62% טעויות.

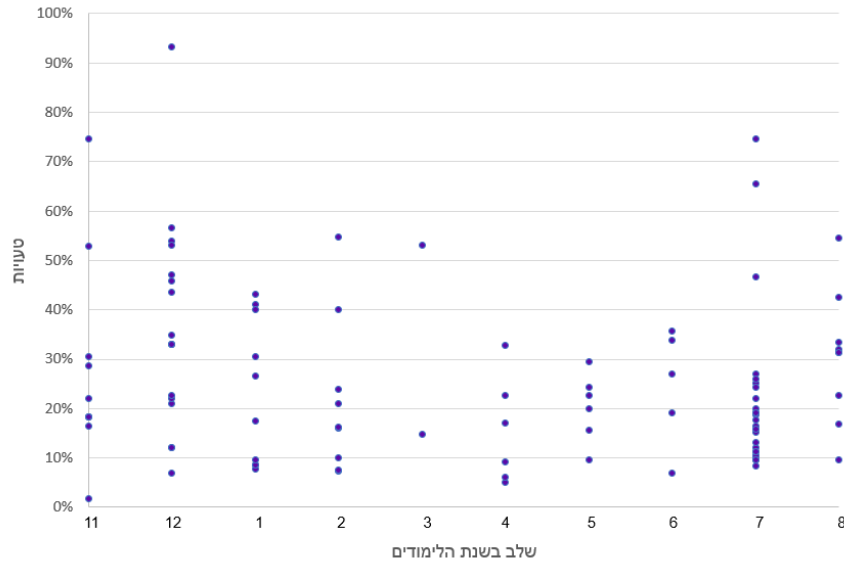


תרשים 2: שיעור הטעויות בקריאת מספרים. כל עמודה מייצגת עשירון (10 משתתפים). השונות בין המשתתפים הייתה גבוהה מאד: ממוצע הטעויות אצל המשתתפים בעשירון התחתון היה גדול פי 10 מהמשתתפים בעשירון העליון.

בדקנו האם המשתתפים הדמוגרפיים הבאים – המגדר של המשתתף/ת, הגיל בו השתתפו במחקר, והשלב במהלך שנת הלימודים בו נערכו המבדקים – השפיעו על אחוז הטעויות. שלושת הפרמטרים נבדקו באמצעות רגרסיה ליניארית. לא נמצאה השפעה של גיל המשתתף (3 תרשים), וגם לא לחודש במהלך שנת הלימודים בו הילד נבחן ($p = 1.0$, 1-tailed, $|b| < 0.001$), וכן לא לחודש במהלך שנת הלימודים בו הילד נבחן (4 תרשים), לעומת זאת, נמצאה השפעה מובהקת של המגדר ($p = .15$, 1-tailed, $b = 0.01$). היה גבוה משיעור הטעויות אצל בנות (31%) היה גבוה משיעור הטעויות אצל בנות (20%). ממצא זה אינו תואם מחקרים קודמים, אשר הראו ברוב המקרים כי בגילאי היסודי, בנים מצליחים יותר מבנות במבחנים אריתמטיים שונים (Han, 2019; Hill et al., 2016). ייתכן שההבדל נובע מכך שבמחקר הנוכחי, המשתתפים נדגמו ב"דגימת נוחות" ע"י גיוס וולונטרי ברשתות חברתיות, ולא נבחרו באופן שיטתי.



תרשים 3: שיעור הטעויות בקריאה בקול של מספרים לפי גיל המשתתף. לא הייתה השפעה לגיל המשתתף.



תרשים 4: שיעור הטעויות בקריאה בקול של מספרים לפי החודש בשנת הלימודים בו הועברה המטלה – מחודש נובמבר בתחילת כיתה ג' ועד חודש אוגוסט שאחרי סיום כיתה ג'. רמת התפקוד לא הושפעה מהמועד הספציפי במהלך שנת הלימודים.

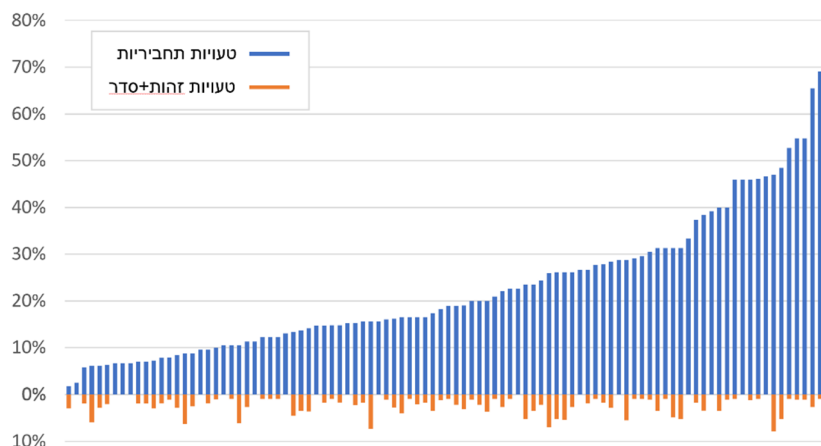
3.2 הקושי העיקרי: עיבוד מבנה המספר

3.2.1 רוב הטעויות היו טעויות תחביריות

סיווגנו את הטעויות בקריאת מספרים ל-3 סוגים: טעות בזהות (החלפה של ספרה בספרה אחרת, למשל קריאת 23 בתור 24); טעות בסדר הספרות (למשל קריאת 23 בתור 32); וטעות תחבירית – טעות במבנה המספר (למשל קריאת 203 בתור 2003 או 230, פרק השיטה, סעיף 2.3.1). הרוב המכריע של הטעויות (90% מהן) היו טעויות תחביריות, ורק 10% היו טעויות של זהות וסדר. ההבדל בין סוגי הטעויות היה מובהק: ב-23% מהפריטים היו טעויות תחביריות, ורק ב-2% מהפריטים היו טעויות זהות או סדר ($\text{paired } t(96) = 14.25, \text{ two-tailed } p < .001$). גם כשבדקנו כל

משתתף בנפרד, כל המשתתפים מלבד אחד עשו יותר טעויות תחביריות מטעויות זהות + סדר (תרשים 5). כלומר, האתגר המשמעותי עבור הילדים היה עיבוד המבנה התחבירי של המספרים.

ממצא זה תואם מחקרים נוספים אשר בדקו מטלת קריאת מספרים אצל ילדים ומצאו כי רוב הטעויות היו תחביריות (Rinsveld & Schiltz, 1997; Power & Dal Martello, 2004; Barrouillet et al., 2004). דפוס דומה, עם שיעורי טעויות נמוכים יותר, נמצא גם אצל מבוגרים: בקריאת מספרים בקול, מבוגרים עשו טעויות תחביריות ב-4.46% מהפריטים, טעויות זהות ב-1.63% מהפריטים, וטעויות סדר ב-0.77% מהפריטים (Dotan & Handelsman, in prep.). גם אצל אנשים עם לקויות בקריאת מספרים (דיסנומריה), הליקוי הנפוץ ביותר הוא במנגנונים תחביריים: במחקר שבדק 40 אנשים עם דיסנומריה שנבחרו אקראית, ל-39 אנשים היה ליקוי תחבירי, ל-14 אנשים היה ליקוי בעיבוד זהות הספרות/מילים, ול-18 אנשים היה ליקוי בעיבוד סדר הספרות (Dotan & Handelsman, in prep.).



תרשים 5: שיעור הטעויות התחביריות (כחול) היה גבוה משיעור טעויות זהות וסדר ביחד (כתום). כל עמודה מייצגת משתתף אחד.

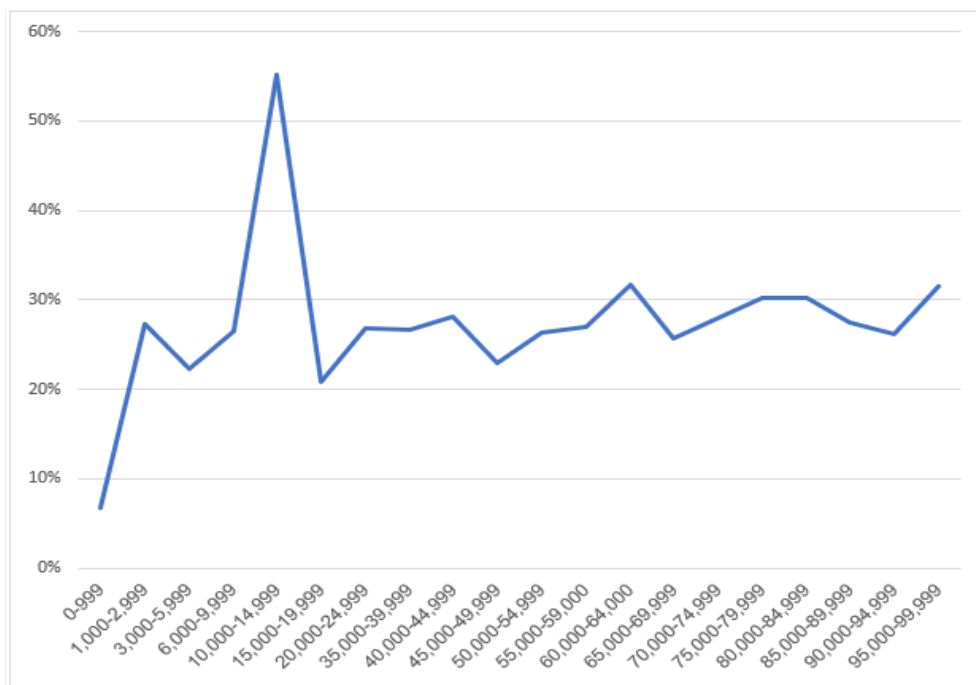
3.2.2 איזה מספרים קשים יותר? הגורם העיקרי שמשפיע הוא התחביר

לפי תכנית הלימודים של ביה"ס היסודי, למידת המספרים נעשית לפי הסדר: תחילה לומדים את המספרים הקטנים, ובהמשך עולים בגודל המספר בהדרגה (משרד החינוך, 2022). סדר הלמידה הזה תואם את ההנחה המקובלת, שעבוד המספר קשה יותר ככל שהוא גדול יותר – למשל במטלות חישוב (Brysbart, 1995; Rinsveld & Schiltz, 2016). הנחה זו נבדקה בעיקר במטלות אריתמטיות, ולא דווקא בקריאת מספרים. האם גודל המספר הוא הגורם המרכזי שמשפיע על כמות הטעויות בקריאת מספרים? האם באמת יתבצעו טעויות רבות יותר בקריאת מספרים במספרים גדולים יותר?

על מנת לענות על השאלות הללו בדקנו האם גודל המספר משפיע על כמות הטעויות. אם זה המצב, נצפה לראות יותר טעויות בפרטי 5d, שהיו הגדולים ביותר במטלה, מאשר בפרטי 4d¹. אמנם היה

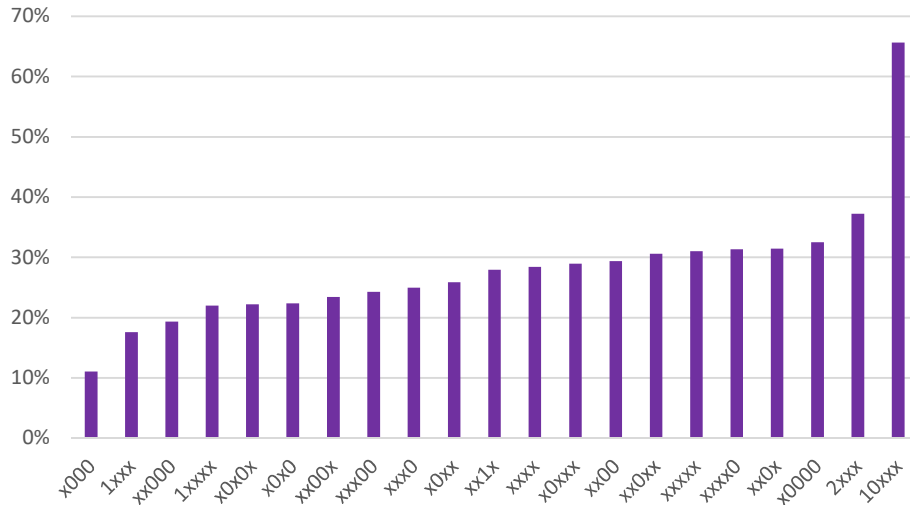
¹ תזכורת: 4d - מספרים 4 ספרתיים, 5d - מספרים 5 ספרתיים

הבדל מובהק בין שיעור הטעויות בפרטי 4d (12%) לשיעור הטעויות בפרטי 5d (13%), $p = 2.225$, one-tailed, $t(96) = 0.01$, אבל ההבדל לא היה גדול – כלומר, לא נראה שגודל המספר הוא הגורם המרכזי שמשפיע על הטעויות. חיזוק נוסף לטענה זו מתקבל גם מניתוח של שיעור הטעויות לפי גודל המספר באופן רציף: אם גודל המספר הוא הגורם הקריטי, נצפה לראות מגמת עליה ברורה באחוז הטעויות ככל שערך המספרים עולה. בפועל, אחוז הטעויות נשמר אחיד באופן יחסי עבור המספרים בטווח 1,000-99,999, פרט לעלייה המשמעותית בכמות הטעויות במספרים בקטגוריית 10k (תרשים 6). בטווח זה, המתאם בין גודל המספר לבין שיעור הטעויות היה נמוך מאוד ($r = 0.0008$, $p = 0.47$, one-tailed, $t(7807) = 0.07$). כלומר, המתאם בין גודל המספר לבין כמות הטעויות לא מתקיים ברצף אלא נובע בעיקר מכמות הספרות במספר. ממצאים אלה מראים שגודל המספר הוא לא הגורם שמשפיע על הקושי בקריאת המספר, אלא יש גורם אחר.



תרשים 6: אחוז טעויות בקריאת מספרים לפי גודל המספר של הפריטים.

מהו, אם כן, אותו גורם שמשפיע על רמת הקושי לקרוא מספר ספציפי? בדקנו האם למבנה התחבירי של המספר השפעה על אחוז הטעויות. בחרנו במשתנה זה מכיוון שרוב הטעויות בקריאה היו טעויות תחביריות. ספציפית, בדקנו את שיעור הטעויות עבור כל תבנית מילולית (תבנית המציינת את דרך ההגייה של המספר) שהופיעה במטלת קריאת מספרים (תרשים 7).



תרשים 7: אחוז טעויות בקריאת מספרים לפי תבנית מילולית.

אחוז הטעויות הגבוה ביותר היה בפריטים ממשפחת 10k וממשפחת 2k² (תרשים 7) – כלומר במבנים התחביריים האי-רגולריים, שנאמרים באופן שונה משאר המספרים באותו אורך. כדי להראות שהאפקט מובהק סטטיסטית, ערכנו השוואה בין פרטי 2k לבין שאר הפריטים ה-4 ספרתיים (3+k), ובין פרטי 10k לבין שאר הפריטים ה-5 ספרתיים (20+k). ההבדל היה מובהק בפריטים ה-5 ספרתיים (20+k): 27% טעויות, 10k: 65% טעויות, $t(96) = 2.12$ (paired one tailed $p = .01$). במספרים ה-4 ספרתיים ההבדל לא היה מובהק (3+k): 25% טעויות, 2k: 36% טעויות, $t(96) = 0.412$, one tailed $p = .34$).

נראה שהמספרים האי-רגולריים דורשים ידע ספציפי לעומת שאר המספרים בקטגוריה ולכן הם קשים יותר ללמידה. חשוב לשים לב שבפרטי 5d, ואולי גם בפרטי 4d, הקושי היה דווקא במספרים הקטנים, שהם בעלי תבנית מילולית אי-רגולרית, ולא המספרים הגדולים, כפי שניתן היה לצפות אילו גודל המספר היה הגורם המכריע. ממצא זה מחזק את כי הגורם המרכזי המשפיע על הקושי בקריאת מספרים הוא המבנה התחבירי של המספר ולא הגודל שלו.

כדי להשוות באופן ישיר את ההשפעה של גודל המספר והמבנה התחבירי שלו על הקושי בקריאה, לא רק עבור המבנים התחביריים ה"מיוחדים" (2k, 10k) אלא עבור כל המספרים, השתמשנו ב-logistic linear mixed model. המשתנה התלוי היה האם בפריט הייתה טעות או לא. המשתתף היה הגורם אקראי. המשתנים הבלתי-תלויים, כולם תוך-נבדקיים, נחלקו לשתי קבוצות: קבוצה אחת כללה משתנה אחד – גודל המספר (לוג של מספר המטרה). הקבוצה השנייה כללה אוסף משתנים המייצגים את המבנה התחבירי: אורך המספר (4d או 5d); האם המספר היה בטווח 2000-2999 (תבנית מילולית "2k"), בטווח 10000-10999 (תבנית מילולית "10k"), או אחר; והאם היה בו 0 ובאיזה דפוס: אין בכלל (למשל 6,723), כל השלשה הימנית היא אפסים (45,000), יש 0 או רצף

² תזכורת: 2k – פריטים בטווח 2000-2999, 3+k – פריטים בטווח 3000-9999, 10k – פריטים בטווח 10,000-10,999, 20+k – פריטים בטווח 20,000-99,000

אפסים בסוף המספר (5,300), מספר עגול (4,000), אפס בספרת המאות (7,021), או 0 במקום אחר (ספרת העשרות או האלפים). לא נכללו בנייתו זה מספרים עם הספרה 1. כדי לבדוק את המובהקות של גורם גודל המספר השוויוני, בעזרת מבחן יחס לוג-נראות, את המודל המלא למודל ממנו הורדנו את גורם גודל המספר. כדי לבדוק את המובהקות של מבנה המספר, השוויוני את המודל המלא למודל ממנו הורדנו את כל הגורמים התחביריים.

הן המבנה ($\chi^2(1) = 465.9, p < .001$) והן גודל המספר ($\chi^2(1) = 11.2, p = .001$) השפיעו על אחוז הטעויות באופן מובהק, אך המבנה השפיע בצורה משמעותית יותר. כלומר, שיעור הטעויות מושפע גם מגודל המספר והן מהתבנית המילולית הספציפית שלו, אך התבנית המילולית היא הגורם המשמעותי יותר. על מנת לוודא שההשפעה של המבנה לא נובעת רק מהשפעתם של המבנים המיוחדים (2k, 10k) הרצנו את אותו ניתוח סטטיסטי פעם נוספת ללא הפריטים השייכים למבנים אלו. גם בהרצה השנייה הייתה השפעה מובהקת לשני הגורמים – המבנה ($\chi^2(1) = 71.10, p < .001$) וגודל המספר ($\chi^2(1) = 12.73, p < .001$), וגם פה ניתן לראות כי המבנה הוא הגורם העיקרי שהשפיע.

המסקנה כי המבנה התחבירי של המספר והגודל שלו משפיעים על רמת הקושי שלו תואמת מחקרים נוספים (Barrouillet et al., 2004; Brysbaert, 1995; Power & dal Martello, 1997; Rinsveld & Schiltz, 2016; Seron & Fayol, 1994). המחקר הנוכחי מדייק ומוסיף כי מבין שני אלה, הגורם היותר משמעותי הוא התחביר. בתוך המבנה התחבירי, התופעה הבולטת ביותר היתה שהתבניות המילוליות האי רגולריות, תבניות אשר שונות בתוך קטגוריה מסוימת, הן קשות יותר ונראה שיש צורך ללמוד חוקים ספציפיים על מנת להצליח לקרוא אותן בצורה נכונה.

3.3 איך לומדים מבנים תחביריים?

איך נכון ללמוד מבנים תחביריים? תכנית הלימודים כיום שמה דגש רב על למידת מספרים, ואף ספציפית על למידת מבנה המספר, וניתן לזהות בה 2 עקרונות:

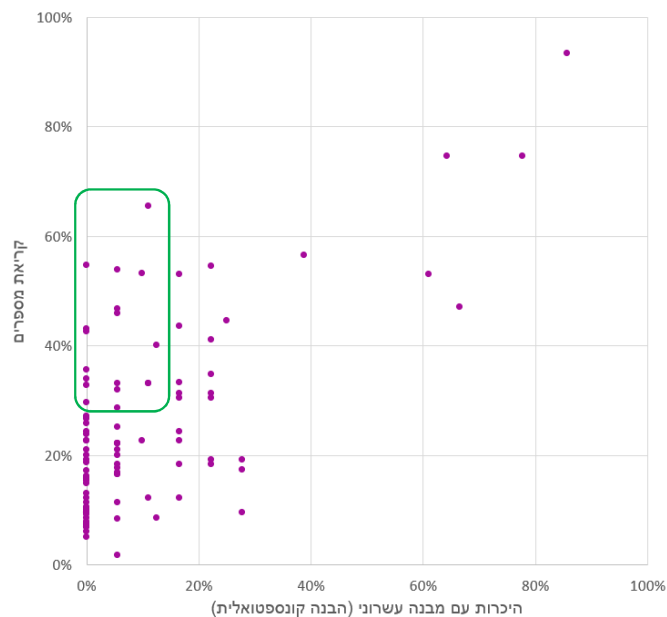
1. יש דגש על היכרות עם המבנה העשרוני של המספר ברמה הקונספטואלית-מתמטית, עם דגש מיוחד על עיקרון place-value. לא לומדים ספציפית איך לקרוא מספרים, וההנחה המובלעת היא שאם הילדים יבינו אם המבנה העשרוני, הם כנראה גם יידעו לקרוא את המספרים.
2. הלמידה של המספרים נעשית לפי הסדר, מהמספרים הקטנים למספרים הגדולים יותר (משרד החינוך, 2022).

האם שני העקרונות הללו מובילים לשיטת לימוד טובה לרכישת קריאת מספרים?

3.3.1 למידה קונספטואלית-מתמטית – היכרות עם המבנה העשרוני של המספר לא מבטיחה הצלחה בקריאת מספרים

על מנת לבדוק האם היכרות עם המבנה העשרוני של המספר ברמה הקונספטואלית-מתמטית מביאה להצלחה בקריאת מספרים, כל המשתתפים עברו מטלה שבדקה היכרות עם המבנה העשרוני של המספר, בדומה למטלות שעושים בבית הספר (סעיף 2.3.1, מטלה 1). הראינו למשתתפים מספרים בעלי 3-5 ספרות וביקשנו, לגבי כל מספר, לומר מה ספרת האחדות / מאות / אלפים / עשרות אלפים. החשבנו כתשובה נכונה גם אם הם אמרו ספרה בלבד (מילת יחידות), וגם אם אמרו את מילת המספר המתאימה. למשל במספר 356 שאלנו "מהי ספרת המאות", והתשובות 3 או 300 נספרו כנכונות. הרוב הגורף של המשתתפים עשו אחוז טעויות קטן של טעויות (82 מהם

עשו פחות מ-17% טעויות). 11 משתתפים עשו בין 20% ל-30% טעויות ו-5 משתתפים עשו מעל 60% טעויות (תרשים 8).



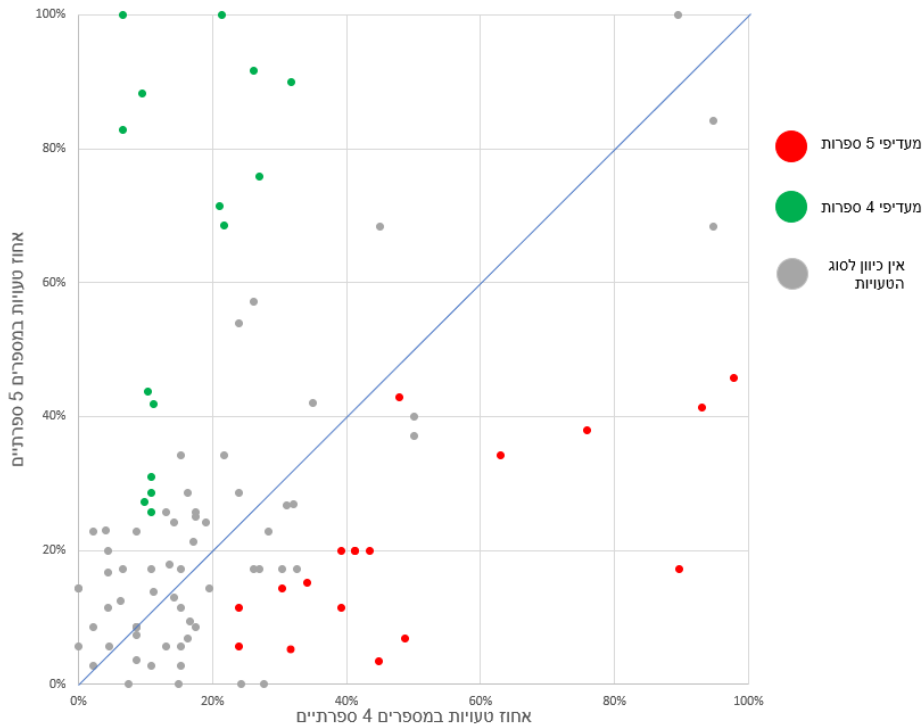
תרשים 8: השוואה בין אחוז טעויות במטלת היכרות עם המבנה העשרונית – הבנה קונספטואלית (ציר X) לאחוז טעויות במטלת קריאת מספרים (ציר Y).

המתאם בין אחוזי הטעויות בשתי המטלות (היכרות עם המבנה העשרוני, קריאת מספרים) היה מובהק ($r = .65$, $p < .001$, one tailed), בהתאמה להנחה ששליטה במבנה העשרוני של המספר מסייעת גם לקריאת מספרים. עוד בהתאמה לכך, היכרות עם המבנה העשרוני נמצאה כמיומנות חשובה להתמודדות עם מספרים בגילאים צעירים (Mix et al., 2022). עם זאת, הצלחה במטלת היכרות עם המבנה העשרוני לא מבטיחה הצלחה בקריאת מספרים. היתה קבוצה של 14 משתתפים שהצליחו במטלת היכרות עם המבנה העשרוני, עם פחות מ-10% טעויות, ולמרות זאת עשו מעל 30% טעויות במטלת קריאת מספרים (תרשים 8, מוקפים בירוק). בנוסף, כאשר בדקנו התאמה בין היכרות עם המבנה העשרוני לבין קריאת מספרים ולא הכללנו בבדיקה את המשתתפים שעשו אחוז גבוה של טעויות במטלת היכרות עם המבנה העשרוני (מעל 25%), המתאם היה נמוך משמעותית ($r = .38$). המשמעות היא שהיכרות עם המבנה העשרוני אינה תנאי מספיק ליכולת קריאת מספרים. היא אולי תורמת לחלק מהילדים, אבל היא לא תרמה לכולם, וככל הנראה אותם ילדים זקוקים לידע ספציפי אחר על מנת להצליח לקרוא מספרים.

הילדים שעשו טעויות רבות במטלת היכרות עם המבנה העשרוני (מעל 30%) התקשו גם בקריאת מספרים – כלומר, למרות שידע קונספטואלי של המבנה העשרוני אינו תנאי מספיק כדי להצליח לקרוא מספרים, נראה שידע קונספטואלי מינימלי הוא תנאי הכרחי לקריאה. לחליפין, ייתכן שהקשר בין שני המשתנים אינו סיבתי, אלא שקיימת קבוצת ילדים שתפקודם היה נמוך בשתי המטלות בגלל סיבה אחרת (התפתחות איטית יותר, או גורם כללי שיוצר קושי במספרים). סוגיה זו תוכל להיבדק במחקרי המשך.

3.3.2 המבנים התחביריים לא נלמדים נדבך על נדבך

האם יש סדר מסוים בו לומדים את התבניות המילוליות השונות? האם הן נלמדות לפי סדר המספרים, כפי שלומדים אותם בבית הספר? כדי לבדוק זאת, התמקדנו במאפיין מרכזי של המבנה התחבירי של המספר – כמות הספרות. ספציפית, ערכנו השוואה בין אחוז הטעויות אצל כל משתתף בפרטי 4d לעומת פרטי 5d. בניתוח זה לא נכללו מספרים מהתבניות האי-רגולריות (2k ו-10k). אם קריאת המספרים נרכשת בסדר אחיד לפי גודל המספר, נצפה שרוב הילדים יטעו יותר בפרטי 5d מאשר בפרטי 4d. בפועל, נראה שהדפוס שונה: היו ילדים שטעו בעיקר בפרטי 5d והיו גם ילדים שטעו בעיקר בפרטי 4d (תרשים 9).



תרשים 9: השוואה בין אחוזי הטעויות במספרים באורכים שונים. כל נקודה היא משתתף. המשתתפים האדומים עשו באופן מובהק יותר טעויות במספרים 4 ספרתיים, והמשתתפים הירוקים עשו באופן מובהק יותר טעויות במספרים 5 ספרתיים. המשתתפים האפורים נטולי כיוון מובהק.

כדי לבדוק סטטיסטית האם יש דיסוציאציה בין הביצוע בפרטי 4d לבין פרטי 5d, כלומר האם יש ילדים שהצליחו לקרוא מספרים 4 ספרתיים יותר מ-5 ספרתיים ולעומתם יש ילדים שהראו דפוס הפוך, השתמשנו בניתוח ה-bootstrap שתואר בפרק (מס' פרק). ניתוח זה כלל את פרטי 4d ו-5d, לא כולל המבנים בעלי אחוזי הטעויות הגבוהים במיוחד (2k, 10k) ולא כולל מספרים עגולים (למשל 6,000), שהיו קלים מאד. כמו כן, כדי למנוע הטיות סטטיסטיות שנובעות מכמות טעויות קטנה אצל ילד ספציפי, לא הכנסנו לניתוח זה את הילדים שעשו פחות מ-15 טעויות קריאה בכל הרשימה. בסך הכל נכנסו לניתוח 72 משתתפים.

ביצענו 2 ניתוחים נפרדים, אחד לכל כיוון של הדיסוציאציה: ניתוח אחד בדק האם יש דפוס מובהק לפיו קיימים ילדים שמצליחים את פרטי 4d יותר מאשר את פרטי 5d, והניתוח השני בדק

דיסוציאציה בכיוון ההפוך. לצורך כך, "יותר טוב" הוגדר בתור פער של לפחות 35% בין אחוזי הטעויות בקריאת פריטים באורך אחד לבין אחוזי הטעויות בקריאת פריטים באורך השני.

הדיסוציאציה הייתה מובהקת בשני הכיוונים: מספר המשתתפים שעשו יותר טעויות בפרטי 5d מאשר ב-4d היה גבוה במובהק מהמספר האקראי הצפוי ($p = 0$), וגם מספר המשתתפים שעשו יותר טעויות בפרטי 4d מאשר ב-5d היה גבוה במובהק מהמספר האקראי הצפוי ($p = .03$). המסקנה אם כן היא שלפחות במצב בו הילדים לומדים את המספרים באופן "טבעי" וללא הוראה מפורשת בביה"ס (כזכור, מספרים רב ספרתיים בני 4-5 ספרות אינם חלק מתכנית הלימודים עד כיתה ג'), אין סדר קבוע בו נלמדות התבניות המילוליות. חלק מהילדים לומדים קודם כל את המספרים ה-4 ספרתיים, וחלק את המספרים ה-5 ספרתיים.

כדי לבדוק סטטיסטית האם ילד ספציפי הפגין דיסוציאציה בין הביצוע בפרטי 4d לבין 5d, כלומר האם הצליח לקרוא מספרים 4 ספרתיים יותר מ-5 ספרתיים או להיפך, השתמשנו בניתוח bootstrap דומה לניתוח לעיל. בניתוח זה נכללו 70 המשתתפים שעשו יותר מ-10 טעויות במטלת קריאת מספרים. בניתוח נכללו אותם מספרים שנכללו בניתוח הקודם – פרטי 4d ו-5d ללא המבנים של 2k,10k וללא מספרים עגולים.

התהליך המתואר להלן הורץ עבור כל המשתתפים ביחד, אבל חישוב ערך p נפרד לכל משתתף. עבור כל משתתף בדקנו כיוון אחד בלבד של דיסוציאציה, לפי אורך הפריטים שהוא קרא טוב יותר. להלן נתאר את הניתוח עבור ילדים שקראו את פרטי 4d טוב יותר מפרטי 5d (הניתוח ההפוך התבצע באופן דומה).

ראשית, חישבנו עבור כל משתתף את אפקט האורך: ההבדל בין אחוזי הטעויות בפרטי 4d לאחוזי הטעויות בפרטי 5d. לאחר מכן, השתמשנו בתהליך bootstrap כדי לחשב, עבור כל משתתף בנפרד, את ההתפלגות של אפקט האורך תחת הנחת H_0 לפיה אין הבדל בביצוע בין מספרים בשני האורכים, וההבדל שנמצא אצל אותו משתתף היה אקראי.

תהליך ההגרלה התבצע באותו אופן בו התבצע ב-bootstrap שתואר לעיל. ההגרלה שמרה על 2 מאפיינים של הנתונים האמיתיים כמו שהם: כמות הטעויות הכוללת של כל ילד ספציפי (במספרים שהוכנסו לניתוח), והאחוז הכולל (בקרב כל הילדים ביחד) של טעויות בפרטי 4d לעומת 5d. הדבר היחיד שהוגרל הוא החלוקה הספציפית בין טעויות בפרטי 4d לעומת 5d אצל כל ילד ספציפי.

לשם כך, חישבנו את $P_{4Global}$, האחוז הכולל של טעויות בפרטי 4d בקרב כל הילדים. הרצנו 50,000 איטרציות, שבכל אחת מהן הגרלנו טעויות קריאה באופן הבא: עבור כל ילד, חילקנו את טעויות הקריאה שלו (שמרנו על הכמות המקורית שלהן) באופן אקראי בין פרטי 4d ל-5d, לפי התפלגות בינומית, כאשר הסיכוי להגריל טעות בפרטי 4d הייתה $P_{4Global}$. תהליך ההגרלה הזה מביא לכך שחלוקת הטעויות הכוללת (בקרב כל הילדים) בין מספרים בני 4,5 ספרות תהיה דומה מאד לחלוקה המקורית. כדי לוודא שהחלוקה לא רק דומה אלא זהה, בסיום ההגרלה שינינו את כמות הטעויות של כל ילד לפי פקטור ליניארי קבוע לכולם, כך שהחלוקה בין 4-5 תהיה בדיוק כמו בנתונים האמיתיים.

בסיום תהליך ההגרלה הגדרנו, עבור כל משתתף בנפרד, את ערך p בתור אחוזי ההגרלות (מתוך 50,000) בהן התקבל אפקט אורך מוגרל שהיה גדול יותר מאפקט האורך האמיתי שנצפה אצל אותו משתתף (אפקט אורך = ההפרש בין אחוזי הטעויות במספרים בני 4 ו-5 ספרות).

אצל 34 משתתפים מתוך ה-70 שהורצו התקבלה דיסוציאציה מובהקת באחד הכיוונים ($p < .05$), משתתפים אלה צבועים באדום/ירוק בתרשים 9). כלומר, לא רק שהייתה דיסוציאציה בין אורכי המספרים, כך שהיו ילדים שהצליחו לקרוא מספרים באורך אחד ולא באורך אחר, אלא גם ברמת המשתתף הבודד, הדיסוציאציה הזאת לא הייתה מקרה יוצא-דופן אלא נפוצה ביותר: מחצית מהמשתתפים הצליחו לקרוא מספרים באורך מסוים משמעותית יותר טוב ממספרים באורך השני. התוצאות שהתקבלו מחזקות את הטענה כי לא גודל המספר הוא הסיפור, אלא דווקא התחביר. באופן מפתיע, לא הייתה נטייה ברורה לטובת אחד האורכים: היו 17 ילדים שהצליחו יותר באופן מובהק בפרטי 4d לעומת פרטי 5d (תרשים 9, מסומנים בירוק), ו-17 ילדים שהצליחו יותר באופן מובהק בפרטי 5d לעומת פרטי 4d (תרשים 9, מסומנים באדום). כלומר, המבנים התחביריים השונים לא נלמדים נדבך על נדבך; הם נלמדים באופן בלתי-תלוי זה בזה (לפחות לגבי חלק מהמבנים). ישנם ילדים שבאמת מתקשים בפריטים הגדולים יותר, אך ישנם ילדים שככל הנראה התבנית המילולית של מספרים 5 ספרתיים קלה להם יותר, או שהם למדו את התבנית המילולית הזאת קודם, והם טועים במספרים ה-4 ספרתיים, דווקא הקצרים יותר.

3.4 מה מקור הטעויות בקריאת מספרים אצל ילדים?

עד כה ראינו כי ישנם גורמים הקשורים למספר עצמו אשר משפיעים על הקושי לקרוא אותו. האם יש גם גורמים הקשורים למשתתפים עצמם? מכיוון שהיו משתתפים שעשו אחוז טעויות גבוה ומשתתפים שקראו טוב כמעט כמו מבוגרים (תרשים 2), אנו משערים שאכן קיימים גורמים כאלה. מהם, אם כן, אותם מאפיינים של הילדים שמשפיעים על הביצוע שלהם בקריאת מספרים?

בהתאם למודלים השונים של קריאת מספרים, ישנם מספר גורמים אפשריים לטעויות האינדיבידואליות בקריאת מספרים אצל ילדים. בין הגורמים האפשריים נכללים חוסר בידע הדרוש לקריאת מספרים, חוסר בתרגול מספק וחוסר בשלות קוגניטיבית, כלומר מנגנונים קוגניטיביים שטרם סיימו את התפתחותם (Barrouillet et al., 2004; Dotan & Friedmann, 2018; Power & dal Martello, 1997). אנו התייחסנו לגורמים הבאים: חוסר ידע של תבניות מילוליות הנחוץ לקריאת מספרים, וחוסר בשלות קוגניטיבית של מנגנוני הקלט הויזואלי או הפלט המילולי המעורבים בקריאת מספרים. רצינו לבדוק האם גורמים אלו אכן יכולים להוות הסבר לקושי לקרוא מספרים אצל המשתתפים במחקר. בנוסף, כיוון שילדים שונים הפגינו דפוסים שונים של טעויות תחביריות, שעשויים לנבוע ממקורות שונים, בדקנו בנפרד את המקור של כל אחד מדפוסי הטעויות התחביריות. ספציפית, בדקנו תחילה (בסעיף 3.4.1) האם הטעויות התחביריות באופן כללי נובעות מחוסר ידע, מכיוון שחוסר ידע של תבניות מילוליות עשוי להביא לשימוש באסטרטגיות חלופיות לקריאת המספרים – למשל שינוי המילים לתבנית מילולית מוכרת, או קיצור המספר לקטגוריה שידועים איך לקרוא. לאחר מכן (סעיפים 3.4.2 עד 3.4.3) זיהינו 3 דפוסי טעויות מרכזיים של טעויות תחביריות, המפורטים להלן, ובדקנו בנפרד את המשתתפים שעשו את כל אחד מהדפוסים האלה.

3.4.1 האם הטעויות נובעות מחוסר ידע?

תכנית הלימודים בישראל לא כוללת למידה מפורשת של האופן בו יש לקרוא מספרים, אלא מתמקדת בעקרונות המערכת העשרונית, במשמעות המספר ובאופן השימוש בו. במהלך כיתה ג' הילדים לומדים לעבוד עם מספרים בתחום 10,000-1000 (משרד החינוך, 2022). לפיכך המשתתפים במחקר למדו זה עתה, לפחות באופן פורמלי, לעבוד עם חלק מהמספרים ה-4 ספרתיים, וטרם למדו

באופן מסודר את המספרים הגדולים יותר. על כן רצינו לבדוק אם חלק מהטעויות במטלת קריאת המספרים נבעו מכך שהם פשוט עדיין לא מכירים את התבנית המילולית של המספר הספציפי, ולכן לא יודעים להפיק אותה. לשם כך העברנו מטלת הכרעה לקסיקלית (סעיף 2.3.2 מטלה 8), שבדקה את רמת הידע של המשתתף לגבי תבניות מילוליות ספציפיות, והשווינו את הביצוע במטלה זו לביצוע במטלת קריאת מספרים.

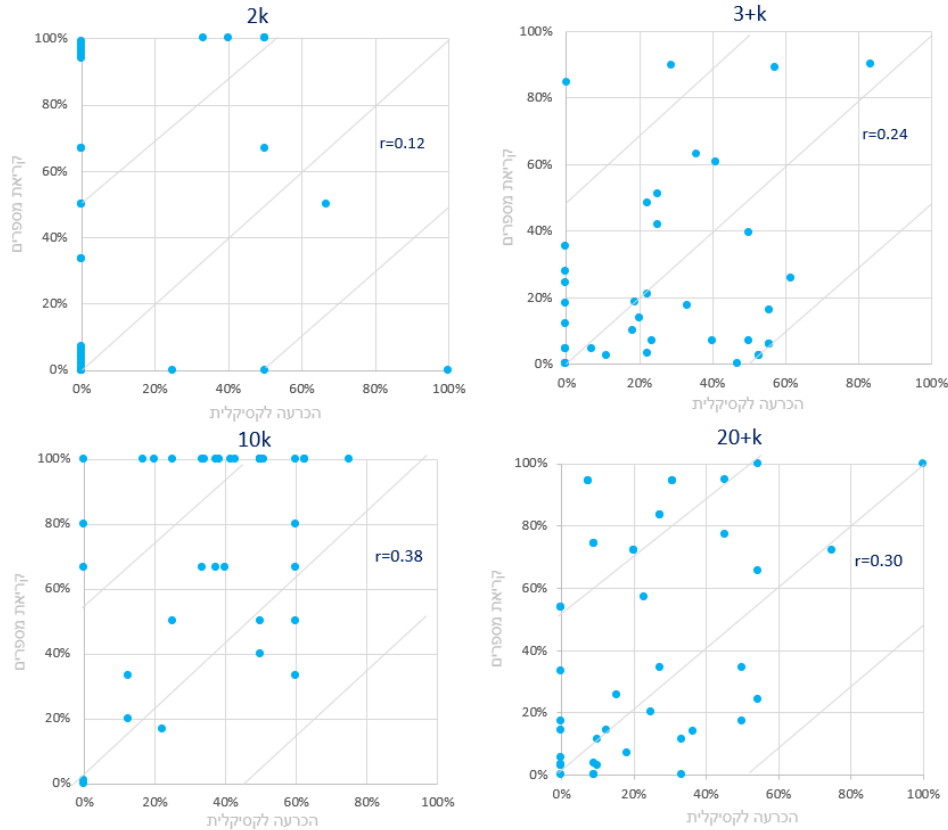
במטלה הוצגו למשתתפים מילות מספר המייצגות מספר שלם, והיה עליהם להגיד האם המספר המוצג מנוסח בצורה נכונה או לא. אם הם קבעו כי התבנית אינה נכונה, היה עליהם לתקן ולהגיד כיצד נכון להגיד את המספר.

המטלה בדקה 4 מבנים תחביריים ספציפיים (טבלה 1): מספרים 4 ספרתיים $(3+k)$, מספרים בטווח 2000-2999 $(2k)$, מספרים 5 ספרתיים $(20+k)$, ומספרים בטווח 10,000-10,999 $(10k)$

טבלה 1: התבניות המילוליות שהוצגו למשתתפים במטלת הכרעה לקסיקלית

תבנית מילולית	תבנית מילולית תקינה	תבנית מילולית שגויה
3+k	ששת אלפים שמונה מאות	תשע אלף וחמש מאות
2k	אלפיים שבע מאות	שני אלף שלוש מאות
20+k	עשרים ותשע אלף	שלושים ושישה אלפים
10k	עשרת אלפים מאתיים	עשר אלף ארבע מאות

השווינו את אחוזי הטעויות של המשתתפים בין מטלת הכרעה לקסיקלית לבין מטלת קריאת מספרים, בנפרד לכל תבנית מילולית (מאלה שצוינו בטבלה 1). המתאם בין שתי המטלות היה נמוך בכל אחת מהתבניות (תרשים 10). גם המתאם הכללי בין שתי המטלות, בכל המבנים התחביריים יחד, היה לא גבוה ($r = .30$).



תרשים 10: אחוז טעויות בקריאת מספרים לעומת אחוז בטעויות במטלת ידע (הכרעה לקסיקלית של מילות מספר), עבור כל תבנית מילולית בנפרד. המתאם בין המטלות היה נמוך.

בשלב הבא בדקנו האם הדיסוציאציה בין 2 המטלות, כפי שנראית בתרשים 10, היא מובהקת עבור חלק מהתבניות. כלומר, האם יש ילדים שהצליחו לקרוא מספרים למרות שלא היה להם ידע, ולעומתם יש ילדים שהראו דפוס הפוך. לשם כך השתמשנו בניתוח הדיסוציאציה בשיטת bootstrap (פרק השיטה סעיף 2.5.1). הניתוח התבצע על כל התבניות התחביריות ביחד. הפריטים שנכללו בניתוח היו כל הפריטים במטלת ההכרעה הלקסיקלית, והפריטים מתוך קריאת מספרים שהיו בעלי אותם מבנים שנבדקו במטלת ההכרעה הלקסיקלית – כל פרטי 4d וכל פרטי 5d. הכללנו בניתוח 38 משתתפים שעשו את 2 המטלות והיו להם לפחות 2 טעויות בשתי המטלות ביחד.

ניתוח זה העלה דיסוציאציה חד כיוונית: היו משתתפים שהצליחו במטלת הכרעה לקסיקלית יותר מאשר במטלת קריאת מספרים ($p = .001$). פירוש הדבר שלמרות שהיה להם את הידע של התבניות המילוליות, הם לא הצליחו לקרוא את המספרים. לעומת זאת, לא נמצאה דיסוציאציה מובהקת לכיוון ההפוך ($p = .23$) – דפוס לפיו משתתפים מצליחים במטלת קריאת מספרים יותר מאשר במטלת הכרעה לקסיקלית. מהנתונים שבידנו קשה לקבוע האם דיסוציאציה כזאת אכן לא קיימת מבחינה מהותית, או שלא נמצאה כאן בגלל מגבלות מתודולוגיות של המחקר, לדוגמה מספר פריטים קטן מדי. מחקרי המשך יוכלו לבדוק יותר לעומק האם מתקיימת גם דיסוציאציה בכיוון

ההפוך (ביצוע טוב יותר במטלה שבודקת ידע, כגון הכרעה לקסיקלית, מאשר במטלה שבודקת את יכולת לקרוא מספרים בפועל).

כאשר הרצנו את ניתוח הדיסוציאציה על כל תבנית מילולית בנפרד (עם דרישה נוספת – רק עבור משתתפים שעשו לפחות 3 פריטים מאותה תבנית בכל מטלה), בתבנית מילולית של מספרים 4 ספרתיים ללא פריטי 2000 (3+k) נמצאה דיסוציאציה מובהקת בשני הכיוונים: היו משתתפים שעשו טעויות בקריאת מספרים אך הצליחו במטלת הכרעה לקסיקלית ($p = 0$), והיו משתתפים שטעו במטלת הכרעה לקסיקלית אך הצליחו במטלת קריאת מספרים ($p = .03$). בשאר התבניות המילוליות (10k; 20+k; 2k) לא נמצא כיוון מובהק לדיסוציאציה ($p \geq .90$).

הדיסוציאציה בין 2 המטלות מעידה על כך שידע של התבניות המילוליות הוא לא תנאי מספיק בשביל להצליח לקרוא מספרים, אם כי ייתכן שהוא תנאי הכרחי.

3.4.2 מקור הטעויות מסוג שבירת התבנית המילולית

סוג הטעויות השני שבדקנו היה שבירת התבנית המילולית. הכוונה למקרים בהם המשתתף שיבש את אופן חלוקת המספר המילולי לשלוש (למשל 37,986 ← שלוש, שבעת אלפים תשע מאות שמונים ושש), או אמר את המילה "אלף" במקום הלא נכון (42,340 ← ארבעים ושתיים, שלושים וארבע אלף).

6 משתתפים הציגו את דפוס הטעויות הזה – הם עשו מעל 50% טעויות במספרים מאורך מסוים (4d או 5d), כאשר לפחות 50% מהטעויות באותו אורך מספר היו טעויות מהסוג הנ"ל. מתוכם, 4 משתתפים ביצעו את מטלות ההמשך הדרושות, ומתוארים להלן.

תחילה בדקנו האם טעויות שבירת-תבנית נבעו מחוסר ידע של תבניות מילוליות. השוינו את אחוז הטעויות במטלת קריאה מספרים לאחוז הטעויות במטלת הכרעה לקסיקלית, שבודקת את הידע לגבי תבניות מילוליות ספציפיות. הסף לביצוע טוב במטלת הכרעה לקסיקלית נקבע להיות עד 40% טעויות.

טבלה 4. השוואה בין אחוזי הטעויות במטלת קריאת מספרים למטלת הכרעה לקסיקלית אצל משתתפים שעשו טעויות של שיבוש מילה עשונות. מסומנים באפור הנבדקים שעשו מעל 40% טעויות במטלת הכרעה לקסיקלית, ומעל 25% במטלת קריאת מספרים

משתתף	פרטי 4d		פרטי 5d	
	קריאת מספרים	ידע	קריאת מספרים	ידע
17	19%	70%	91%	30%
88	2%	53%	94%	8%
90	89%	57%	14%	36%
91	81%	40%	28%	18%

אצל 2 משתתפים (90, 91) נראה כי הקושי בקריאת המספרים נבע מחוסר ידע: הם עשו אחוז גבוה של טעויות בפרטי 4d במטלת קריאת מספרים, ובהתאם עשו גם אחוז גבוה של טעויות במטלת הכרעה לקסיקלית בפריטי 4d (טבלה 4). אצל שני המשתתפים הנוספים (17, 88) לא הייתה התאמה בין יכולת הקריאה לבין הידע הפורמלי: דווקא בסוג המספרים אותם קראו באופן משובש במטלת

קריאת מספרים, הם ענו נכון במטלת הידע, ואילו בתבנית שקראו בצורה טובה יותר, לא הצליחו במטלת הידע.

אצל משתתף 88, שהתקשה בקריאת מספרים 5 ספרתיים, ערכנו בדיקה נוספת על מנת לבדוק אם הקושי בקריאת מספרים לא נובע בהכרח מחוסר ידע, אלא דווקא מחוסר מיומנות. על מנת לבדוק זאת, הוספנו מפגש בו לימדנו אותו כיצד נכון לקרוא את המספרים ה-5 ספרתיים ("צריך להגיד את המילה "אלף" בין זוג המספרים הראשון לשלושה הבאים" + דוגמא), ולאחר מכן נערכו 15 פרטי אימון. בעקבות האימון, הביצוע שלו במטלת קריאת מספרים השתפר ועמד על 10% טעויות בפרטי 5d בהשוואה ל-94% טעויות לפני מפגש הלמידה (בפרטי 4d : 2% טעויות לפני האימון, 3% אחריו). השיפור בפרטי 5d משמעותי מאד, ולכן לא סביר להסביר אותו בתור רגרסיה לממוצע. הנחה סבירה היא שהלמידה השפיעה והקנתה למשתתף ידע שהיה חסר לו. עם זאת, ישנה אפשרות שהשיפור לא נובע מהשלמת ידע חסר אלא מקפיצה התפתחותית קוגניטיבית: ייתכן שלמשתתף היה את הידע הנחוץ כבר מראש, והיכולת הקוגניטיבית של הילד התפתחה בשבועיים שחלפו בין 2 המפגשים, או במהלך מפגש האימון עצמו. הסבר זה שם דגש על הצורך בתרגול על מנת להצליח להפיק את המספרים בצורה נכונה, מה שתואם את מודל ADAPT (Barrouillet et al., 2004).

3.4.3 מקור הטעויות העשרוניות

סוג הטעויות השלישי שבדקנו היה טעויות עשרוניות. אלה הן טעויות של החלפת מילת מספר באחרת ע"י שינוי הקטגוריה (אחדות, עשרות, מאות וכד'), לא כולל שינוי מ/אל קטגוריית עֶשְׂרֵה (למשל 305 ← שלוש מאות חמישים, 350).

43 משתתפים ביצעו את דפוס הטעויות הזה – היו להם יותר מ-10% טעויות במטלת קריאת מספרים, ולפחות 75% מהן היו טעויות עשרוניות. בדקנו האם מקור הטעויות הוא חוסר ידע, קושי בשלב הניתוח הויזואלי, או קושי בשלב הפלט המילולי.

3.4.3.1 האם מקור הטעויות העשרוניות הוא חוסר ידע?

ראשית בדקנו האם הטעויות נובעות מכך שהילדים לא מכירים מבנים תחביריים מסוימים ולכן טועים במספרים אלה. לשם כך, התמקדנו בשני מבנים תחביריים ספציפיים, שעדיין לא נלמדו באופן מסודר בכיתה ג' – המבנה המילולי של פרטי 4d ("X אלפים") והמבנה של פרטי 5d ("XX אלף"). הנחנו שאם ילד עשה טעויות עשרוניות בגלל שהוא לא יודע את אחד משני המבנים התחביריים הנ"ל, הטעות עשויה לבוא לידי ביטוי באמירת מבנה תחבירי אחר – מספר באורך אחר. בהתאמה, התמקדנו ב-6 ילדים שבאופן עקבי עשו טעויות עשרוניות מסוג קיצור או הארכה של המספר (בסעיף 2.2 הוגדרו כ"טעויות עשרוניות בתחילת המספר"), למשל 420 ← 4200 או 42 במטלת קריאת מספרים, ועשו אותן באופן עקבי במבנים תחביריים קבועים (בפרטי 4d, 5d או שניהם; מעל 30% טעויות במספרים באורך מסוים).

כדי לבדוק את הידע של מבנה המספר, השתמשנו גם כאן במטלת הכרעה לקסיקלית (סעיף 3.4.1). הסף לביצוע טוב במטלה נקבע כפחות מ-40% טעויות.

אם הטעויות של ילד מסוים במטלת הקריאה נבעו מחוסר-ידע, נצפה שהוא יטעה באופן עקבי גם במטלת ההכרעה הלקסיקלית, וספציפית במספרים באורך המסוים שאותו לא הצליח לקרוא. אם הילד הצליח לקרוא מספרים באורך מסוים, נצפה שגם במטלת ההכרעה הלקסיקלית יצליח

במספרים באורך זה. כלומר, אמורה להיות התאמה בין אורך המספר בו הילד מתקשה בקריאה לבין אורך המספר בו הוא מתקשה בהכרעה לקסיקלית.

טבלה 5. השוואה בין אחוזי הטעויות במטלת קריאת מספרים למטלת הכרעה לקסיקלית אצל משתתפים שעשו טעויות עשרוניות בתחילת המספר באורך מסוים בעקביות. מסומנים הנבדקים שעשו מעל 40% טעויות במטלת הכרעה לקסיקלית, ומעל 30% טעויות במטלת קריאת מספרים.

משתתף	פרטי 4d		פרטי 5d	
	קריאת מספרים	ידע	קריאת מספרים	ידע
20	33%	0%	45%	0%
93	37%	27%	95%	25%
32	53%	20%	37%	42%
60	30%	42%	52%	22%
56	10%	42%	41%	42%
81	49%	59%	88%	48%

משתתף אחד (מס' 81) הפגין את הדפוס הזה (טבלה 5): הוא התקשה לקרוא פרטי 4d ו-5d וגם התקשה במטלת ההכרעה הלקסיקלית בשני אורכי המספרים. אצל משתתף זה נראה שהמקור לטעויות העשרוניות הוא חוסר ידע של המבנים המילוליים (אם כי לא בהכרח זהו המקור היחיד).

אצל שני משתתפים נוספים (32, 56) הייתה התאמה חלקית לדפוס הזה – הם התקשו בפרטי 5d, גם במטלת הקריאה וגם במטלת הידע, אבל בפרטי 4d לא הייתה התאמה בין שתי המטלות. אצל משתתפים אלה, ייתכן שחוסר ידע פגע ביכולת הקריאה, אבל הוא כנראה לא המקור היחיד לטעויות העשרוניות.

אצל שאר המשתתפים לא הייתה התאמה בין שתי המטלות באף אורך מספר, ומתוכם אצל משתתף 20 הדפוס הזה היה ממש חד משמעי – לא היו כלל טעויות במטלת הידע. אצל משתתפים אלה, המקור לטעויות העשרוניות הוא לא חוסר-ידע, וייתכן שהוא קוגניטיבי ונובע מחוסר בשלות של מנגנוני הקלט הויזואלי או הפלט המילולי.

יש להסתייג ולומר שמטלת ההכרעה הלקסיקלית בדקה ספציפית את הידע המילולי של צורת האלפים (X אלף, XX אלפים). עקרונית, ייתכן שקריאת מספרים דורשת סוגים אחרים של ידע, שלא נבדקו כאן – למשל הידע לגבי ההתאמה בין מבנה מילולי ספציפי לכמות ספרות ספציפית.

3.4.3.2 האם הטעויות העשרוניות נובעות מחוסר בשלות קוגניטיבית?

שנית בדקנו האם הטעויות העשרוניות נבעו מכך שהילדים טרם הבשילו מבחינה קוגניטיבית. עקרונית, טעויות עשרוניות יכולות לנבוע מחוסר בשלות הן בשלב הקלט הויזואלי של קריאת מספרים והן בשלב הפקת הפלט המילולי. על מנת לבדוק מהו הגורם לביצוע טעויות עשרוניות אצל כל משתתף, המשתתפים ביצעו מספר מטלות המשך המפורטות להלן. הפרדנו בין מטלות הבודקות קושי בשלב הניתוח הויזואלי למטלות הבודקות קושי בשלב הפלט המילולי.

3.4.3.2.1 האם טעויות עשרוניות נובעות מחוסר בשלות הניתוח הויזואלי?

מטרת המטלות המפורטות בסעיף זה היא לבדוק אם טעויות באורך המספר במטלת קריאת מספרים נבעו מקושי בשלב הניתוח הויזואלי, ספציפית ברכיבים שאחראים על זיהוי אורך המספר ועל קריאת המספר. 22 משתתפים ביצעו את מטלות המשך המפורטות להלן:

קריאה עם פסיק (סעיף 2.3.2, מטלה 3) : המשתתפים קראו את אותם מספרים שהוצגו במטלת קריאת מספרים הרגילה (סעיף 2.3.2, מטלה 2), אך הפעם המספרים הוצגו עם פסיק מפריד בין ספרת המאות לאלפים. למשל, מספר שהוצג במטלת קריאת מספרים בתור 12345 הוצג כאן בתור 12,345. הוספת הפסיק היא מניפולציה ויזואלית שמיועדת לעזור לפעולת הנתח הויזואלי, וספציפית למנגנונים התחביריים שמזהים את אורך המספר ומחלקים את רצף הספרות לשלוש. לכן, אם למשתתף יש פחות טעויות עשרוניות בתחילת המספר במטלת קריאה עם פסיק לעומת מטלת קריאת מספרים, ניתן לייחס את הטעויות הללו במטלת הקריאה הרגילה לקושי בשלב הניתוח הויזואלי. ההשוואה נעשתה באמצעות מבחן מקנמר (McNemar), וכללה רק את הפריטים שהוצגו עם פסיק, כלומר מספרים בעלי 4-5 ספרות.

זהה/שונה (סעיף 2.3.2, מטלה 4) : מטלה זו בודקת באופן ספציפי קושי ברכיב האחראי על זיהוי אורך המספר בנתח הויזואלי, כיוון שהיא כוללת קלט ויזואלי של רצפי ספרות ללא פלט מילולי. בכל צעד הצגנו למשתתפים שני מספרים זה לצד זה, וביקשנו מהם לומר אם הם זהים או שונים. על מנת להקשות על שימוש באסטרטגיות ויזואליות (למשל הסתמכות על האורך הפיזי של כל מספר), שני הפריטים נכתבו בפונטים שונים (ההבדלים היו בסוג הפונט, גודלו, נטוי/לא, מודגש/לא) והוצגו למשך זמן מוגבל (2.5 שניות). הבהרנו למשתתפים שעליהם להכריע אם המספרים זהים/שונים רק על פי המספרים הכתובים ולהתעלם מהפונט. הסף לביצוע טוב במטלה נקבע כעד 15% טעויות.

קריאה מפוצלת (סעיף 2.3.2, מטלה 5) : מטלה זו בדקה האם המשתתפים עושים טעויות עשרוניות בקריאת מספרים אפילו כשהמבנה התחבירי של המספר המילולי הוא פשוט במיוחד. כדי ליצור מבנה מילולי פשוט, ביקשנו מהמשתתפים לקרוא את המספרים בצורה מפוצלת – למשל לקרוא את 73,900 כ"שבעים ושלוש ואז תשע מאות". באופן זה, המשתתפים לעולם לא נדרשים להפיק תבנית מילולית של מספר בן יותר מ-3 ספרות. אם פישוט המבנה התחבירי-מילולי לא סייע להם, ככל הנראה המקור של הקושי הוא לא בשלב הפקת הפלט המילולי אלא בשלב הניתוח הויזואלי : או בזיהוי אורך המספר, או בזיהוי השלוש. הסף לביצוע טוב במטלה נקבע כעד 20% טעויות.

טבלה 6. טעויות עשרוניות במטלות קריאה עם פסיק בהשוואה לקריאה רגילה (רשימה מאוזנת, כמות פריטים זהה בשתי המטלות), זהה שונה אורך, קריאה מפוצלת וקריאת מספרים (כל הפריטים). סומנו באפור הבדל מובהק בין מטלות הקריאה ($p < .05$), מעל 15% טעויות במטלת זהה שונה ומעל 20% טעויות במטלת קריאה מפוצלת.

קריאת מספרים (כל הפריטים)	קריאת מספרים (4-5 ספרות)					
	קריאה מפוצלת	זהה-שונה	p	עם פסיק	בלי פסיק	משתתף
23%	3%	19%	< .001	0%	26%	85
15%	18%	19%	.01	5%	20%	89
31%	17%	23%	.004	5%	21%	72
23%	-	19%	.00	3%	24%	84
17%	12%	19%	.30	10%	16%	67
12%	8%	23%	5.5	6%	10%	71
11%	12%	3%	1.0	14%	14%	83
10%	12%	-	.30	6%	12%	98
14%	2%	-	.58	10%	15%	77
12%	5%	3%	.09	5%	17%	78
16%	8%	-	.18	8%	20%	80
23%	58%	19%				64
38%	22%	-				31
43%	20%	42%				37
16%	5%	10%				40
10%	5%	6%				62
15%	11%	3%				66
14%	6%	13%				39
14%	13%	10%				50
13%	8%	13%				51
12%	13%	6%				61
20%	9%	-				65

תוצאות. אצל 5 משתתפים נראה כי מקור הטעויות העשרוניות היה קושי בשלב הניתוח הויזואלי (טבלה 6). אצל 4 מתוכם (85,89,72,84), קיומו של פסיק במספר הפחית באופן מובהק את שיעור הטעויות התחביריות, והם עשו הרבה טעויות במטלת זהה-שונה. משתתף נוסף (64) עשה הרבה טעויות במטלת זהה-שונה ובמטלת קריאה מפוצלת. אמנם, במטלת זהה-שונה, כיוון שהפריטים נבדלו זה מזה לא רק בארכם אלא גם בפרמטרים אחרים (למשל זהות ספרה), קושי במטלה יכול להצביע על קושי נרחב יותר בנתח הויזואלי, לא רק ברכיבים הספציפיים שאחראים על זיהוי אורך המספר ועל החלוקה לשלוש, אלא אולי גם קושי ברכיב זיהוי הספרות. עם זאת, המטלה מצביעה גם על קושי ברכיב זיהוי אורך או חלוקה לשלוש, ובדיעבד ממצאי המטלה מתיישבים יפה עם המסקנות ממטלות אחרות.

אצל שאר המשתתפים לא נמצא קושי במטלות שבדקות את הניתוח הויזואלי, כלומר זהו אינו המקור לטעויות.

3.4.3.2.2 האם טעויות עשירוניות נובעות מחוסר בשלות בשלב הפקת הפלט המילולי?

כעת בדקנו אם הטעויות העשירוניות במטלת קריאת מספרים נבעו מקושי בעיבוד תחבירי בשלב הפקת הפלט המילולי. 32 משתתפים ביצעו את מטלות ההמשך המפורטות להלן:

קריאה מפוצלת (ר' סעיף קודם): במטלה זו המשתתפים קוראים מספרים במבנה תחבירי פשוט, כלומר היא מקלה על שלב הפלט המילולי בהשוואה לקריאה רגילה. אם קריאת המספר באופן זה עזרה למשתתפים, והם עשו פחות טעויות עשירוניות מאשר במטלת הקריאה הרגילה, סימן שהקושי במטלת הקריאה הרגילה נבע מעיבוד המבנה התחבירי של המספר בשלב הפקת הפלט המילולי. ההשוואה נעשתה באמצעות מבחן מקנמר (McNemar).

מטלת מיזוג ספרות (סעיף 2.3.2, מטלה 6): מטלה זו בודקת ספציפית את עיבוד התחביר בפלט המילולי, כיוון שהיא דורשת פלט מילולי אבל לא מערבת קלט ויזואלי. למשתתפים הוקרא רצף של ספרות והם התבקשו לחבר אותן למספר אחד. לדוגמא: הוקרא למשתתפים הרצף 1,2,3,4 והיה עליהם להגיד "אלף מאתיים שלושים וארבע". הסף לביצוע טוב במטלה נקבע כעד 21% טעויות.

קריאה עם פסיק (ר' סעיף קודם): במטלה זו המשתתפים קוראים מספרים עם פסיק מפריד בין ספרת המאות לאלפים, דבר שמקל על הניתוח הויזואלי. אם ההקלה הויזואלית לא סייעה להם, ככל הנראה המקור של הקושי התחבירי הוא לא בשלב הניתוח הויזואלי אלא בשלב הפקת הפלט המילולי. הסף לביצוע טוב במטלה נקבע כעד 15% טעויות.

תוצאות. אצל 8 משתתפים (21,32,64,85,33,37,65) נראה כי מקור הטעויות העשירוניות הוא קושי בשלב הפלט המילולי (טבלה 7). בקריאה באופן מפוצל היו להם פחות טעויות עשירוניות בהשוואה לקריאה רגילה, והם עשו הרבה טעויות עשירוניות במטלת מיזוג ספרות.

אצל 10 משתתפים נוספים הייתה עדות חלקית לכך שמקור הטעויות העשירוניות הוא קושי בשלב הפלט המילולי. ל-2 משתתפים (39,77) הקריאה באופן מפוצל הפחיתה את כמות הטעויות העשירוניות בהשוואה לקריאת מספרים רגילה. אצל 2 משתתפים נוספים (89,93) היו טעויות עשירוניות בקריאת מספרים עם פסיק. לבסוף, 6 משתתפים (40,66,22,20,51,67) עשו הרבה טעויות במטלת מיזוג ספרות. עם זאת, מטלת מיזוג ספרות הייתה מטלה מאתגרת עבור המשתתפים, ולכן לא ניתן לקבוע בבירור כי למשתתפים קושי בשלב הפקת הפלט המילולי, אלא יכול להיות שהמטלה קשה לחלק מהילדים בכיתה ג'.

אצל שאר המשתתפים לא נמצא קושי בשלב הפקת הפלט המילולי ועל כן ככל הנראה זהו אינו המקור לטעויות.

טבלה 7. השוואה בין אחוזי הטעויות העשרוניות במטלות קריאה מפוצלת לעומת קריאה רגילה (רשימה מאוזנת, כמות פריטים זהה בשני המטלות), מיזוג ספרות, קריאה עם פסיק וקריאת מספרים (כל הפריטים). אפור = הבדל מובהק בין מטלות הקריאה ($p < .05$), מעל 15% טעויות במטלת קריאה עם פסיק, מעל 21% טעויות במטלת מיזוג ספרות.

טעויות עשרוניות בקריאת מספרים בקול

משתתף	רגילה	מפוצלת	p	מיזוג ספרות	קריאה עם פסיק	קריאת מספרים
10	36%	2%	0	100%	-	33%
21	23%	2%	.002	21%	-	12%
32	38%	2%	0	50%	-	26%
64	30%	58%	.004	22%	-	23%
85	29%	2%	0	43%	2%	23%
33	24%	4%	.01	30%	-	19%
37	45%	19%	.05	100%	-	43%
65	24%	9%	.01	65%	-	20%
39	18%	0%	.00	13%	-	14%
77	15%	2%	.02	0%	10%	14%
40	21%	5%	.07	43%	-	16%
66	16%	11%	.77	40%	-	15%
22	18%	10%	.344	40%	-	14%
20	28%	14%	.344	100%	-	18%
51	18%	10%	.42	26%	-	13%
67	22%	17%	.54	35%	-	18%
89	20%	18%	1.0	-	18%	15%
93	50%	64%	.265	-	20%	37%
72	21%	8%	.043	-	6%	17%
62	7%	5%	1.0	0%	-	10%
17	22%	8%	.092	-	-	19%
30	18%	6%	.109	13%	-	10%
35	16%	12%	.754	21%	-	12%
83	12%	12%	1.0	5%	14%	11%
95	3%	3%	.109	-	3%	11%
16	8%	8%	.18	15%	-	13%
28	25%	25%	.42	7%	-	10%
31	22%	22%	.09	0%	-	30%
50	14%	14%	1.0	7%	-	14%
61	15%	15%	1.0	9%	-	12%
78	5%	5%	.09	-	1%	12%
80	8%	8%	.18	0%	3%	13%

היו 18 משתתפים עבורם לא מצאנו את מקור הטעויות העשרוניות: לא ידע, לא ניתוח ויזואלי ולא פלט מילולי עלו כגורמי קושי. נראה שלבירור מלא של מקור הטעויות העשרוניות נדרשת בדיקה מעמיקה יותר מזו שהתאפשרה במסגרת מחקר זה.

3.4.4 סיכום מקור הטעויות התחביריות

בדקנו 3 מקורות אפשריים לטעויות התחביריות בקריאת מספרים: חוסר ידע מספק של התבניות המילוליות, קושי בשלב הניתוח הויזואלי וקושי בשלבי הפקת הפלט המילולי. שלושתם נמצאו

כמקורות אפשריים לטעויות התחביריות, ונראה שמקורות קושי שונים גורמים לסוגי טעויות שונים. הטעויות מסוג שיבוש המילה העשרונית אלף/אלפים נבעו בעיקר מחוסר ידע. גם הטעויות מסוג שבירת התבנית המילולית, בהם המשתתפים אמרו מספר במבנה שגוי לחלוטין, נבעו בעיקר מחוסר ידע. לעומת זאת, נראה שהטעויות העשרוניות נבעו בעיקר מחוסר בשלות של המנגנונים הקוגניטיביים התחביריים, לפעמים בנתח הויזואלי ולפעמים בפלט המילולי, ולעתים פחות תכופות נבעו מחוסר ידע.

המחקר הנוכחי בדק כיצד מתפתח תהליך קריאת מספרים אצל ילדים שטרם סיימו לרכוש את מיומנות קריאת המספרים. רצינו לבדוק האם על מנת לקרוא מספרים נדרשת קודם כל למידה של ידע מסוים, ואם כן מהו אותו ידע הנחוץ לקריאת מספרים רב ספרתיים. לחלופין, האם נדרשת תחילה התפתחות של המנגנונים הקוגניטיביים השונים, כפי שתוארו עבור קוראים מבוגרים אצל (Dotan and Friedmann, 2018).

4.1 מסקנות מרכזיות

4.1.1 לילדים בכיתה ג' לא קל לקרוא מספרים

אחוז הטעויות במטלת קריאת מספרים אצל הילדים, תלמידי כיתה ג', היה גבוה (26%). מסקנה זו יכולה להישמע טריוויאלית, כי הילדים טרם למדו את כל המספרים, אבל היא כלל לא מובנת מאליה. אמנם ילדים בכיתה ג' עוד לא למדו לקרוא באופן פורמלי את כל המספרים שנכללו בניסוי, אך גם במספרים שהם כבר למדו הם לא שלטו לגמרי. אחוז הטעויות היה דומה במספרים שלמדו בביה"ס (4 ספרתיים, 12%) ובמספרים שטרם למדו (5 ספרתיים, 13%). אחוז הטעויות במספרים תלת ספרתיים היה נמוך (5%) – נראה שבכיתה ג' הילדים כבר שולטים במספרים אלה.

בכיתה ד' רמת הקריאה כבר השתפרה משמעותית, עם 12% טעויות בלבד. פירוש הדבר הוא שגילאי 8-10 הם גילאים קריטיים להתפתחות של קריאת מספרים. משתמע מכך, בין השאר, שלפני כיתה ד' יהיה קשה מאד לאבחן ליקוי בקריאת מספרים, כי הילדים בגילאים האלה לא בהכרח סיימו את ההתפתחות הנדרשת על מנת לקרוא מספרים, הן מבחינה קוגניטיבית והן מבחינת הידע של התבניות המילוליות הנדרשות.

4.1.2 שונות גבוהה בין הילדים

הייתה שונות גבוהה מאד בין הביצועים של המשתתפים השונים. היו משתתפים שכמעט לא טעו כלל, ונראה שרמת הביצוע שלהם התקרבה לזו של מבוגרים (גם אם לא יכולנו לערוך השוואה מדויקת, כי הילדים קראו רשימת מספרים קלה יותר מהמבוגרים). לעומתם, היו משתתפים שעשו הרבה מאד טעויות. המקור לשונות הגבוהה הזאת לא נבדק במחקר הנוכחי. ייתכן שהשונות נובעת ממקור קוגניטיבי, קצב התפתחות שונה אצל כל ילד, ייתכן שהיא נובעת מגורמים סביבתיים שהשפיעו על רמת הידע (רקע סוציאקונומי, מיקום גיאוגרפי, סוג ביי"ס, מתן עזרה פרטנית בבית וכד') או מגורמים אחרים. עם זאת, ראינו שלא ניתן להסביר את השונות ע"י הסבר פשוט כמו גיל המשתתפים או השלב במהלך שנת הלימודים. חשוב לציין כי באופן מפתיע דווקא המגדר נמצא כגורם שהשפיע, כאשר בניגוד למחקרים קודמים (Han, 2019; Hill et al., 2016) הבנות שהשתתפו במחקר הצליחו לקרוא מספרים טוב יותר מהבנים.

מקורות השונות בין ילדים ביכולת קריאת מספרים, ומידת ההשפעה של מקורות השונות המגוונים, עשויים להיות שאלות חשובות למחקר המשך. בניגוד למחקר הנוכחי, בו המדגם היה מדגם נוחות והמשתתפים נאספו באמצעות מודעה שהועברה ברשתות חברתיות שונות, יהיה מעניין לראות במחקרים נוספים האם יימצאו הבדלים כה משמעותיים ברמת הקריאה בין תלמידים גם כאשר

המשתתפים יבואו מרקע דומה. במחקרים מסוג זה יהיה ניתן לברר אם השוני בין ילדים נבע מגורמים סביבתיים, או שאכן הגורם המשפיע הוא דווקא שוני התפתחותי בין אדם לאדם.

4.1.3 קשה במיוחד לקרוא מספרים מורכבים תחבירית

מודלים קוגניטיביים העוסקים בקריאת מספרים מדברים על שלושה סוגי עיבוד מידע הקשורים לקריאת מספרים: עיבוד זהות הספרות, עיבוד סדר הספרות במספר ועיבוד המבנה התחבירי של המספר. הקושי העיקרי של הילדים בקריאת מספרים היה בעיבוד המבנה התחבירי של המספר, ולא בעיבוד זהות הספרות או סדרן. מסקנה זו נתמכת ע"י 2 ממצאים: ראשית, ניתוח סוגי הטעויות הראה שהרוב המוחלט של הטעויות בקריאת מספרים היו טעויות תחביריות, וחלק קטן מאוד היו טעויות של החלפת ספרה ושיכול הספרות. ממצא זה תואם מחקרים קודמים, שהראו כי רוב הטעויות שילדים מבצעים בקריאת מספרים הן טעויות תחביריות (Barrouillet et al., 2004; Power & Dal Martello, 1990; Power & Dal Martello, 1990; Rinsveld & Schiltz, 2016; Seron & Fayol, 1994; Steiner et al., 2021). שנית, הגורם העיקרי שהשפיע על שיעור הטעויות היה המבנה התחבירי של המספר: ככל שהמספר היה מורכב יותר מבחינה תחבירית, כך הוא היה קשה יותר לקריאה. גם ממצא זה תואם מחקרים קודמים על קריאת מספרים אצל ילדים (Barrouillet et al., 2004; Power & dal Martello, 1997; Rinsveld & Schiltz, 2016; Seron & Fayol, 1994).

4.1.4 התבניות המילוליות לא נרכשות בסדר לינארי – יש ללמוד כל תבנית מילולית בנפרד

התבניות המילוליות של מספרים שונות ונפרדות זו מזו. ישנם מספר ממצאים המחזקים את טענה זו: ראשית, נמצאה דיסוציאציה כפולה בין משתתפים שהתקשו במיוחד במספרים 4 ספרתיים והצליחו לקרוא מספרים 5 ספרתיים, לבין משתתפים שהראו את הדפוס ההפוך. הדיסוציאציה הכפולה בין קריאת מספרים 4 ו-5 ספרתיים לא הייתה תופעה שולית, אלא להיפך – היא התקיימה לגבי מחצית מהילדים שנבדקו. ממצא זה מראה כי כל תבנית עומדת בפני עצמה ונרכשת בנפרד. הדבר מחזק את המסקנה כי קריאת מספרים מבוססת על ידע של חוקים תחביריים נפרדים, השונים זה מזה, כפי שמציגים מודלים של קריאת מספרים המבוססים על למידת חוקים (Barrouillet et al., 2004; Power & dal Martello, 1997).

יתר על כן, לא הייתה עדיפות למספרים באחד האורכים: מספר הילדים שהצליחו לקרוא טוב יותר את המספרים ה-4 ספרתיים היה זהה למספר הילדים שהצליחו לקרוא טוב יותר את המספרים ה-5 ספרתיים. כלומר, סדר רכישת התבניות המילוליות אינו אחיד, ומשתנה בין משתתף למשתתף. נראה כי בהשוואה בין מספרים בני 4 ל-5 ספרות בעברית, אין מבנה תחבירי אחד קל יותר מהשני, וילדים שונים לומדים בשלב מוקדם יותר מבנים שונים. ספציפית, למרות שבאופן פורמלי לומדים בביה"ס תחילה את המספרים ה-4 ספרתיים ולאחר מכן מספרים 5 ספרתיים, בפועל היכולת לקרוא מספרים לא נרכשת בהכרח לפי הסדר (מהמספרים הקטנים למספרים הגדולים). הגורמים לכך שילד ספציפי למד קודם מספרים 4 או 5 ספרתיים לא נבדקו במחקר זה, ויש לשקול גם את האפשרות שבהיעדר למידה מסודרת בביה"ס של מבנים תחביריים ספציפיים, סדר הלמידה שלהם הוא אקראי למדי.

גם בתוך המספרים באורך נתון היו דיסוציאציות בין מבנים תחביריים שונים: המשתתפים עשו יותר טעויות במספרים עם תבניות מילוליות אי-רגולריות (מספרים ממשפחת "אלפיים" ו"עשרת

אלפים") מאשר במספרים אחרים באורך זהה. ממצא זה מחזק את המסקנה שמבנים תחביריים ספציפיים דורשים למידה ספציפית. במקרה זה, ידע של מספרים 4 ספרתיים "רגילים" לא מבטיח ידע של מספרים בתבנית "אלפיים", וידע של מספרים 5 ספרתיים רגילים לא מבטיח ידע של מספרים בתבנית "עשרת אלפים". בעברית, למספרים ממשפחות "אלפיים" ו"עשרת אלפים" יש מבנה תחבירי-מילולי אי-רגולרי באופן מיוחד, ולכן הם המספרים הקשים יותר. בשפות אחרות, המבנים האי-רגולריים הם אחרים, והם אלה שצפויים להיות קשים יותר. לדוגמה בצרפתית המספרים 79-70 ו-99-90 הם אי רגולריים, ואכן הם קשים יותר ממספרים אחרים (Rinsveld & Schiltz, 2016). המכנה המשותף בין השפות הוא שככל הנראה יש צורך ללמוד חוקים תחביריים ספציפיים על מנת להצליח לקרוא מספרים בצורה נכונה. באנלוגיה, ניתן להשוות זאת ללמידת אופן ההטיה של פעלים אי-רגולריים (באנגלית למשל), שגם הם נלמדים כמקרים ספציפיים, בנפרד מהחוקים הכלליים (Safaie, 2021).

4.1.5 ידע פורמלי לא מבטיח יכולת קריאה – אפילו כאשר מדובר על חוקים תחביריים ספציפיים

הימצאותו של ידע פורמלי לגבי המבנה התחבירי-מילולי של המספר לא הבטיחה הצלחה במטלת קריאת מספרים. בהשוואה בין תוצאות מטלת הכרעה לקסיקלית, הבודקת ידע של תבניות מילוליות ספציפיות, למטלת קריאת מספרים, היו משתתפים שהצליחו במטלת הידע, אך לא הצליחו לקרוא כמו שצריך את המספרים.

גם ידע "תחבירי" לגבי מבנה המערכת העשרונית ברמה הקונספטואלית לא הבטיח יכולת קריאה. רוב המשתתפים שלטו במבנה העשרוני של המספר וידעו להגיד מה המשמעות העשרונית של כל ספרה במספר, ובכל זאת רבים מהם התקשו לקרוא מספרים. כלומר, בחלק מהמקרים מתן ידע של חוקים, ו/או ידע קונספטואלי של המבנה העשרוני לא הספיקו על מנת להצליח לקרוא מספרים, על אף שנמצא קשר בין יכולות אלו ליכולת לקרוא מספרים. הדיסוציאציות הללו מצביעות באופן ברור על כך שידע פורמלי בלבד אינו מספיק כדי להצליח לקרוא מספרים. קריאה תקינה של מספרים דורשת פעולתם של מגוון מנגנונים קוגניטיביים (Cohen & Dehaene, 1995; Dehaene & Cohen, 1991; Dotan & Friedmann, 2018; Seron & Fayol, 1994), ונראה שהידע הפורמלי לבדו אינו מספיק כדי להבטיח את פעולתם התקינה. עם זאת, ייתכן שידע תחבירי פורמלי, לפחות ברמה מסוימת, הוא הכרחי לצורך קריאת מספרים.

ייתכן שהדבר שהיה חסר למשתתפים שלא הצליחו לקרוא מספרים הוא לא ידע מסוג מסוים אלא דווקא אימון. אימון משפיע על הרבה יכולות קוגניטיביות ומביא לשיפור בביצועים, אפילו על יכולות שנחשבות כיכולת מולדת (Posner et al., 1997). מודל ADAPT של Barrouillet et al. (2004) שם דגש על התרגול כחלק מתהליך רכישת קריאת מספרים. ע"פ מודל זה, המספר בנוי מיחידות שפתיות שיוצרות מעין תבניות של מספרים כאשר אנו קוראים מספר, שנשלפות מהזיכרון לטווח ארוך. על מנת להגיע לשליטה מלאה במספרים יש צורך בלמידה ותרגול של המספרים, בשביל להטמיע את התבניות המילוליות בזיכרון.

4.1.6 יש מספר גורמים שיכולים להביא לקושי אינדיווידואלי בקריאת מספרים

אחת ממטרות המחקר הייתה לבדוק מהם הגורמים לקשיים בקריאת מספרים. מצאנו שני גורמים עיקריים שיכולים להסביר את הקושי התחבירי. הראשון הוא חוסר ידע מספק של התבניות

המילוליות – חלק מהמשתתפים לא הצליחו במטלת הכרעה לקסיקלית שבודקת ידע, ובמקרים רבים (גם אם לא בכולם) חוסר הידע היה מלווה בטעויות בקריאת מספרים. נראה שלפחות אצל חלק מהילדים, חוסר הידע הביא לשימוש עקבי באסטרטגיות שונות, כמו הפקת מספר קצר/ארוך יותר או שינוי התבנית המילולית שלו – אולי למבנה תחבירי אחר שהילד כן מכיר. מידת העקביות של האסטרטגיות השגויות השונות להתמודדות עם חוסר ידע, והסיבה לכך שילד מסוים בחר באסטרטגיה שגויה ספציפית, לא נבדקו במחקר זה, וייתכן גם שהבחירה של הילדים היתה אקראית.

הגורם השני הוא חוסר בשלות קוגניטיבית: או בשלב הניתוח הויזואלי של המספר או בשלב הפקת הפלט המילולי. נראה שאצל חלק מהילדים, למרות שכבר רכשו את הידע הנדרש, המנגנונים הקוגניטיביים הנדרשים לקריאת מספרים (תרשים 1) טרם התפתחו דיים, כך שפעולתם עדיין לא הפכה להיות יעילה ו/או אוטומטית במידה הנדרשת.

כל הגורמים הנ"ל – ידע, קושי בקלט ויזואלי, וקושי בפלט מילולי – נמצאו כגורמי-קושי אצל המשתתפים במחקר, כאשר משתתפים שונים הראו שילובים שונים של הגורמים. יש צורך בהעמקה נוספת על מנת לקבוע היכן מצוי הקושי הספציפי אצל כל ילד והאם יש סדר התפתחות מסוים למודל בגילאים אלו. הבנה של מקור הקושי בקריאת מספרים תאפשר דיוק של העזרה שניתנת לתלמידים המתקשים. אם הקושי נובע מחוסר ידע מסוים, הבנה של מהו אותו ידע שחסר תוכל לסייע בהשלמתו. אם המקור הוא קוגניטיבי, ההבנה של מקור הקושי המדויק תאפשר מתן אסטרטגיות שיעזרו לפצות על הקושי, ועבודה על חיזוק המקור שטרם הבשיל, במידת האפשר.

4.2 היכרות עם מבנים תחביריים היא קריטית בתהליך של קריאת מספרים

הראינו שהמבנים התחביריים שונים זה ומזה ונלמדים בנפרד, מה שתואם מודלים מבוססי-חוקים של קריאת מספרים (Barrouillet et al., 2004; Power & dal Martello, 1997). מודלים אלה מתייחסים לכל חוק תחבירי בנפרד ומסבירים באופן מאד טבעי את הדיסוציאציה בין המבנים התחביריים. לעומת זאת, מודלים קוגניטיביים (Dotan & Friedmann, 1991; Dehaene & Cohen, 1991; McCloskey et al., 1986, 2018), לא מסבירים את ההבחנה בין המבנים התחביריים. ראינו שלמבנים התחביריים חשיבות גדולה, וכאשר למשתתפים לא היה את הידע הנחוץ לגבי המבנים התחביריים, הם לא הצליחו לקרוא מספרים. לפיכך, גם במודלים הקוגניטיביים חשוב לתת ביטוי לשונות בין מבנים תחביריים ספציפיים.

לדוגמא, במודל של Dotan & Friedmann (2018) אפשר לשער קיומם של חוקים תחביריים ספציפיים בשלב הליניאריזציה: תהליך זה, ששייך לשלב הפקת הפלט המילולי, הופך את הייצוג התחבירי המרכזי של המספר לתבנית מילולית. התהליך הזה עשוי לעבוד לפי חוקים תחביריים ספציפיים, שמיושמים באופן נפרד זה מזה.

גם ברמת הייצוג התחבירי המרכזי (Dotan & Brutmann, 2022) ניתן להתייחס למבנים תחביריים ספציפיים. למשל, ייתכן שהתחביר המרכזי לא מתפתח בבת אלא בשלבים, ובגלל איך שהייצוג הזה בנוי, כל עוד הוא לא התפתח דיו, הוא עלול להגביל את היכולת של הילד לייצג מבנים תחביריים מסוימים. לדוגמה, ייתכן שיהיה קשה לייצג מספרים 5 ספרתיים, כי זה מבנה תחבירי גדול יותר שדורש משאבים רבים יותר. לחליפין ייתכן שיהיה קשה לייצג מספרים 4 ספרתיים, שבעברית הם

מורכבים יותר במובן מסוים כיוון שהם דורשים להכניס 4 ספרות למבנה תחבירי אחד (Mendelson- Barash & Dotan, 2020).

גם ברמת הנתח הויזואלי ניתן להתאים את המודל להתייחס למבנים תחביריים ספציפיים. למשל, כל עוד לא התפתח המנגנון שמחלק את רצף הספרות לשלוש, זה עלול להגביל את היכולת של הילד לקרוא מספרים בני יותר מ-3 ספרות. לחליפין, כל עוד היכולת לזהות את אורך המספר לא התפתחה דיה, זה עלול לגרום לטעויות אורך, ואולי ספציפית לטעויות במספרים הארוכים יותר. חלק מההתאמות הנ"ל מתייחסות לשלב התפתחותי זמני, לכן הן רלוונטיות רק לתקופה בה ילדים רוכשים את היכולת לקרוא מספרים. התאמות אחרות (למשל, חוקים תחביריים בליניאריזציה) רלוונטיות גם לאופן הקריאה של מבוגרים ולטעויות שלהם בקריאה.

4.3 הקריאה מורכבת משלושה חלקים: הבנה קונספטואלית, ידע פרוצדורלי ויכולת ביצוע

ניתן לחלק תהליכים שקשורים למתמטיקה לשלוש רמות של יכולת: הבנה קונספטואלית, ידע פרוצדורלי והיכולת לבצע. ידע קונספטואלי כולל כמות של ידע מוקדם והבנה שיש לנו על נושא מסוים. ידע זה כולל עקרונות, חוקים בסיסיים מסוימים, מושגים וכד'. ידע פרוצדורלי הוא הידע הנדרש כדי לבצע תהליך הקשור לאותו נושא. זהו בעצם ידע אלגוריתמי – מה צריך לעשות בפועל כדי לבצע פעולה (Per, 2020). ככל שהידע הקונספטואלי והידע הפרוצדורלי שלנו מפותחים יותר, הם מאפשר לנו לעבור בין פעולות שונות ולבחור בין מגוון פתרונות או אסטרטגיות כשאנו נתקלים בבעיה מסוימת (Cragg et al., 2017).

בעוד שידע פרוצדורלי נדרש על מנת להצליח לבצע פעולה מסוימת, לא תמיד נדרש ידע קונספטואלי. למשל אפשרי לבצע פעולת חישוב כמו כפל מבלי להבין את מהות הכפל, או לבצע חיבור של שברים ללא הבנה עמוקה של מהו שבר. עם זאת, ביצוע המסתמך על ידע פרוצדורלי בלבד הוא בעצם ביצוע של פעולה חשבונית באופן טכני, מבלי להבין את ההיגיון העמוק העומד מאחוריה. ככל שנשפר את הידע הקונספטואלי תהיה הבנה מעמיקה יותר של הנושא וכך הביצועים לטווח ארוך יהיו טובים יותר (Braithwaite et al., 2018; Per, 2020).

גם על קריאת מספרים אפשר להסתכל בחלוקה לשלושת החלקים הנ"ל. הידע הקונספטואלי כולל עקרונות בסיסיים כמו עיקרון ה-place-value, הבנה של המערכת העשרונית, הבנה שיש למספר משמעות כמותית, הבנה שאמנם לספרת ה-"0" אין ערך מספרי או משמעות מילולית בהכרח, אך יש לה משמעות בתוך המספר. רבים מהנושאים האלה נכללים בתכנית הלימודים (משרד החינוך, 2022). הידע הפרוצדורלי כולל את התבניות המילוליות הנדרשות כדי לקרוא מספר בצורה תקינה – למשל הידיעה כי אשר קוראים מספר חמש ספרתי צריך להגיד את המילה "אלף" בין השלשה הראשונה למספרי האלפים והעשרות אלפים. יכולת הביצוע היא היכולת לקרוא בפועל מספר בצורה נכונה, והיא תלויה בשורה של מנגנונים קוגניטיביים. ניתן לייחס את שלושת המודלים שהוזכרו לשלושת השלבים הנ"ל: Power and dal Martello (1997) במודל החוקים שמים דגש על ההבנה הקונספטואלית ועל הידע הפרוצדורלי הנדרש לקריאת מספרים. מודל ADAPT של Barrouillet et al (2004) שם דגש על רכישת התבניות המילוליות ותרגול שלהן במטרה להטמיע אותן בזיכרון לטווח רחוק ולהפוך את הקריאה לאוטומטית. תהליך זה הוא בעצם הטמעה של הידע הפרוצדורלי הנדרש לקריאת מספרים. מודלים קוגניטיביים של קריאת מספרים

(Dehaene & Cohen, 1991; Dotan & Friedmann, 2018; McCloskey, 1992; Seron & Fayol, 1994) מתארים את המנגנונים הקוגניטיביים הספציפיים הנדרשים על מנת לקרוא מספרים.

במחקר הנוכחי ראינו כי הימצאות של ידע, הן קונספטואלי והן פרוצדורלי, לא מבטיחה הצלחה בקריאת מספרים. מצאנו כי ידע של המבנה העשורוני, אותו הגדרנו כידע קונספטואלי, היה בעל חשיבות לקריאת מספרים, אך הוא לא תנאי מספיק להצלחה בקריאת מספרים אצל כל הילדים. אצל המשתתפים החלשים יותר ראינו כי לא שלטו במבנה העשורוני של המספר ובהתאם לא הצליחו לקרוא מספרים. היו משתתפים אחרים אשר הצליחו במטלת היכרות עם המבנה העשורוני, ועדיין עשו טעויות רבות בקריאת מספרים. תוצאה דומה התקבלה גם כשבדקנו ידע של תבניות מילוליות, המהוות ידע פרוצדורלי, באמצעות מטלת הכרעה לקסיקלית. היו משתתפים אשר שלטו בתבניות המילוליות, משמע שהיו עם הידע הפרוצדורלי הנדרש, ולמרות זאת התקשו במטלת הקריאה – כלומר גם הידע הפרוצדורלי אינו תנאי מספיק לקריאת מספרים.

נראה שבמקרה של קריאת מספרים, שלושת המרכיבים: ידע קונספטואלי, ידע פרוצדורלי ויכולת ביצוע, לא תלויים זה בזה באופן מוחלט. יהיה מעניין לבדוק במחקר עתידי מהו סל הידע הספציפי שאכן הכרחי לקריאת מספרים, והאם הוא כולל רק ידע פרוצדורלי או גם ידע קונספטואלי. סביר להניח ש"סל הידע" הזה מורכב ממספר "חוקים" ועקרונות, ולא דווקא חוק ספציפי אחד. כמו כן יכול להיות שהגורם המשפיע על כך שאין התאמה מוחלטת בין הידע שרכשו המשתתפים להצלחתם בקריאת מספרים הוא דווקא היכולת הקוגניטיבית השונה מילד לילד בגילאים אלו.

4.4 המסר הפדגוגי: חשוב ללמד קריאת מספרים באופן מפורש וספציפי

מכיוון שמחקר זה עוסק בקריאת מספרים אצל ילדים, אי אפשר לנתק אותו מתחום הפדגוגיה. בהיבט זה, המסקנה המרכזית של המחקר היא שצריך לתת את הדעת בתכנית הלימודים לא רק על הבנה קונספטואלית של המבנה העשורוני אלא גם על היכולת הספציפית לקרוא מספרים, ויש לתת מספיק זמן תרגול והעמקה של כל תבנית מילולית שנלמדת. כיום ע"פ תכנית הלימודים אין למידה פורמלית של קריאת מספרים, אלא לומדים את המספרים הגדולים מ-1000 ע"י מטלות שלא מתמקדות בקריאה של המספר אלא בשימוש בו לצורך חישובים ובמשמעות המספר כמייצג כמות מסוימת. למשל: זיהוי של המבנה העשורוני, חילוק וכפל ב-10, שאלות מילוליות של חיבור וחסור ועוד (משרד החינוך, 2022). מטלות אלו חשובות ומחזקות את התחומים בהם הן עוסקות, אך הן לא מלמדות באופן ישיר איך לקרוא מספרים. אנו סבורים כי צריך להקדיש זמן ותשומת לב לקריאת מספרים באופן ספציפי. למידה כזאת תכלול, כנראה, היכרות מעמיקה עם התבניות המילוליות השונות בכל קטגוריה ועם חוקים תחביריים ספציפיים שמתארים כיצד להמיר מבנה ספרתי מסוים למבנה מילולי מסוים, על מנת לבסס את הידע הקונספטואלי והידע הפרוצדורלי הנחוצים לקריאת מספרים, וגם אימון של התבניות והחוקים האלה, על מנת לבסס את יכולת הביצוע. כיוון שראינו שכל תבנית מילולית נרכשת בנפרד ולא בהכרח לפי הסדר, אנו סבורים צריך להקדיש זמן לכל תבנית מילולית ספציפית וללמד אותה כיחידה נפרדת.

חשוב לציין כי למרות שמצאנו שאצל חלק מהילדים סדר למידת המספרים לא תאם את הסדר המתמטי שלהם, איננו טוענים שצריך לשנות את סדר לימוד המספרים הקיים מהקטן לגדול. להיפך: המסקנה הסבירה יותר היא שאין מגבלה קוגניטיבית שתומכת בסדר למידה מסוים, ולפיכך

הגיוני לקבוע את סדר למידת המספרים לפי שיקולים אחרים, שלא בהכרח קשורים ליכולת קריאת מספרים – למשל, לפי ההתאמה של המספרים לחלקים אחרים בתכנית הלימודים, כמו חישוב.

4.5 תרומה מתודולוגית

מבחינה מתודולוגית, למחקר חשיבות בכך שהוא מציג סוללת מטלות, המותאמות לילדים בגילאים צעירים, לבדיקת המנגנונים השונים המעורבים בקריאת מספרים. במהלך העבודה על המחקר עלה הצורך לבנות מטלות ייעודיות למשתתפים בכיתה ג', מכיוון שראינו שמטלות המיועדות למבוגרים שרק עברו התאמה היו לעיתים קשות מדי או שלא הצליחו לאבחן את רמת המשתתף באופן מדויק מספיק. באופן לא מפתיע, ההתאמה של מטלת מבוגרים לגיל צעיר היא לא תמיד פשוטה, ולא מספיק לבצע במטלה שינויים קלים (למשל הקטנת המספרים) אלא יש צורך ממש לבנות מטלות ייעודיות. במחקר זה נבנו 17 מטלות אשר הותאמו לרמתם של ילדים בכיתה ג', ובודקות את היכולות הקוגניטיביות השונות הדרושות לקריאת מספרים. מטלות אלה יוכלו לשמש בעתיד כבסיס לסוללת אבחון מדויק של הקושי הקוגניטיבי הספציפי אצל ילדים המתקשים בקריאת מספרים, בין אם הקושי נובע ממנגנון שטרם הבשיל או מלקות למידה. זיהוי מוקדם של מוקדי קושי כאלה עשוי לסייע בהכוונת תהליך הלמידה כך שיהיה מותאם לכל ילד.

4.6 אחרית דבר

קריאת מספרים נשמעת יכולת בסיסית ופשוטה, אך מחקר זה מדגיש כי מיומנות זו כלל לא טריוויאלית ואף קשה לחלק גדול מהילדים בכיתה ג'. הראינו שיש גורמים שונים המשפיעים על הקושי לקרוא מספרים: ישנם גורמים אשר קשורים למספר עצמו, למשל אורך המספר, התבנית המילולית הספציפית המרכיבה אותו, האם יש או אין אפס, אם יש היכן ממוקם ועוד. ככל שהמספר מורכב יותר מבחינה תחבירית כך הוא יהיה קשה יותר לקריאה. בנוסף ישנם גורמים אשר קשורים לקורא הספציפי: איזה ידע קונספטואלי ופרוצדורלי רכש, כמה ואם תרגל ובאיזה שלב בהתפתחות הקוגניטיבית הוא נמצא כעת. בעקבות כך השונות בין המשתתפים הייתה גבוהה.

דווקא בגלל שקריאת מספרים היא מיומנות בסיסית, שמלווה אותנו רבות ביום-יום ויש לה השפעה על יכולות אריתמטיות נוספות, יש לתת עליה את הדעת ולא לקחת תהליך זה כמובן מאליו. יש צורך להקנות קריאת מספרים בצורה ישירה, ולא "על הדרך" כפי שקורה היום. בנוסף יש חשיבות להבנה מדוע זה קשה, מהו המקור הקוגניטיבי שיכול לגרום לקושי אצל ילדים בכיתה ג', ואיזה ידע עליהם לרכוש על מנת להצליח לקרוא מספרים בצורה טובה. קריאת מספר מהווה לרוב את המפגש הראשון של התלמידים עם עולם מספרים, שלחלקם מהווה חוויה מורכבת לא תמיד פשוטה. כדי לאפשר לאותם תלמידים חווית הצלחה, יש חשיבות גבוהה להשקעה בבסיס, וללמד קריאת מספרים בבתי הספר. כך אותם ילדים שהתקשו לקרוא מספרים ירגישו ביטחון בעבודה עם מספרים, וידעו שאם עשו טעות, היא בוודאי לא נבעה מכך שקראו את המספר באופן שגוי.

- Barrouillet, P., Camos, V., Perruchet, P., & Seron, X. (2004). ADAPT: *A Developmental, Asemantic, and Procedural Model for Transcoding From Verbal to Arabic Numerals*. *Psychological Review*, *111*(2), 368–394. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.111.2.368>
- Braithwaite, D. W., Tian, J., & Siegler, R. S. (2018). *Do Children Understand Fraction Addition?* *Developmental Science*, *21*(4), 1–9. <https://doi.org/10.1111/desc.12601>
- Brysbaert, M. (1995). *Arabic Number Reading: On the Nature of the Numerical Scale and the Origin of Phonological Recoding*. *Journal of Experimental Psychology: General*, *124*(4), 434–452. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.124.4.434>
- Cheung, P., & Daniel, A. (2020). *Cracking the code of place value: the relationship between pace and value takes years to master*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/zqpdw>
- Cohen, L., & Dehaene, S. (1995). *Number Processing in Pure Alexia: The Effect of Hemispheric Asymmetries and Task Demands*, *Neurocase*, *1*, 121–138.
- Cragg, L., Keeble, S., Richardson, S., Roome, H. E., & Gilmore, C. (2017). *Direct and indirect influences of executive functions on mathematics achievement*. *Cognition*, *162*, 12–26. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.01.014>
- Dehaene, S., & Cohen, L. (1991). *Two Mental Calculation Systems: A Case Study of Severe Acalculia with Preserved Approximation*. *Neuropsychologia*, *29*, 1045–1074.
- Dehaene, Stanislas. (1992). *Varieties of numerical abilities*. *Cognition*, *44*, 1–42.
- Dotan, D., Breslavskiy, I., Diab-copty, H., & Yousefi, V. (2021). *Syntactic priming reveals an explicit syntactic representation*. *Cognition*, 215.
- Dotan, D., & Brutmann, N. (2022). *Syntactic chunking reveals a core syntactic representation of multi - digit numbers , which is generative and automatic. 2*. <https://doi.org/10.1186/s41235-022-00409-2>
- Dotan, D., & Friedmann, N. (2018). *A cognitive model for multidigit number reading: Inferences from individuals with selective impairments*. *Cortex*, *101*, 249–281. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.10.025>
- Dotan, D., & Friedmann, N. (2019). *Separate mechanisms for number reading and word reading: Evidence from selective impairments*. *Cortex*, *114*, 176–192. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.05.010>
- Habermann, S., Donlan, C., Göbel, S. M., & Hulme, C. (2020). *Child The critical role of Arabic numeral knowledge as a longitudinal predictor of arithmetic development*. *Journal of Experimental Child Psychology*, *193*, 104794. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.104794>
- Han, F. (2019). *Self-concept and achievement in math among australian primary students: Gender and culture issues*. *Frontiers in Psychology*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00603>
- Hill, F., Mammarella, I. C., Devine, A., Caviola, S., Passolunghi, M. C., & Szucs, D. (2016). *Maths anxiety in primary and secondary school students: Gender differences, developmental changes and anxiety specificity*. *Learning and Individual Differences*, *48*, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.02.006>
- Krebs, G., Squire, S., & Bryant, P. (2003). *Children ' s understanding of the additive composition of number and of the decimal structure : what is the relationship ?*.

- Internatioaml Journal of Educational Reasearch, 39, 677–694.
<https://doi.org/10.1016/j.ijer.2004.10.003>
- Lin, C., & Göbel, S. M. (2019). *Arabic Digits and Spoken Number Words : Timing Modulates the Cross-Modal Numerical Distance Effect*. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 72 <https://doi.org/10.1177/1747021819854444>
- Mccloskey, M. (1992). *Cognitive Mechanisms in numerical processing : Evidence from acquired dyscalculia*. *cognitiom* 44, 107–157.
- Mccloskey, M., Sokol, S. M., & Goodman, R. A. (1986). *Cognitive Processes in Verbal-Number Production : Inferences From the Performance of Brain-Damaged Subjects*. Journal of Experimental Child Psychology 115(4), 307–330.
- Mix, K. S., Bower, C. A., Hancock, G. R., Yuan, L., & Smith, L. B. (2022). *The Development of Place Value Concepts: Approximation Before Principles*. Child Development, 1–16. <https://doi.org/10.1111/cdev.13724>
- Per, N. (2020). *A Framework for Investing Qualities of Procedural and Conceptual Knowledge in Mathematics- an Inferentialist Perspective*. Journal for Reasearch in Mathamatics Education, 51(5), 547–599. <https://doi.org/10.1021/ed085p1019>
- Posner, M. I., DiGirolamo, G. J., & Fernandez-Duque, D. (1997). *Brain Mechanisms of Cognitive Skills*. Consciousness and Cognition, 6 (2–3), 267–290. <https://doi.org/10.1006/ccog.1997.0301>
- Power, R., & dal Martello, M. (1990). *The dDictation of Italian Numerals*. Language and Cognitive Processes, 5(3), 237–254. <https://doi.org/10.1080/01690969008402106>
- Power, R., & dal Martello, M. (1997). *From 834 to Eighty Thirty Four: The Reading of Arabic Numerals by Seven-year-old Children*. Mathematical Cognition, 3(1), 63–85. <https://doi.org/10.1080/135467997387489>
- Rinsveld, A. Van, & Schiltz, C. (2016). *Sixty-Twelve = Seventy-Two ? A Cross-Linguistic Comparison of Children ' s Number Transcoding*. British Journal of Developmental Psychology 10, 461–468. <https://doi.org/10.1111/bjdp.12151>
- Safaie, E. (2021). *Sensitivity to Regular and Irregular Past Tense Morphology in Native Speakers and Second Language Learners of English : Evidence From Intermediate - to - Advanced Persian Speakers of L2 englisp*. Journal of Psycholinguistic Research, 50 (5), 1107–1135. <https://doi.org/10.1007/s10936-021-09790-3>
- Seron, X., & Fayol, M. (1994). *Number Transcoding in Children: A Functional Analysis*. British Journal of Developmental Psychology, 12(3), 281–300. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835x.1994.tb00635.x>
- Starrfelt, R., & Behrmann, M. (2011). *Neuropsychologia Number Reading in Pure Alexia — A Review*. Neuropsychologia, 49, 2283–2298. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.04.028>
- Steiner, A. F., Finke, S., Clayton, F. J., Banfi, C., Kemény, F., Göbel, S. M., & Landerl, K. (2021). *Language Effects in Early Development of Number Writing and Reading*. Journal of Numerical Cognition, 7(3), 368–387. <https://doi.org/10.5964/jnc.6929>
- Yuan, L., Prather, R. W., Mix, K. S., & Smith, L. B. (2019). *Preschoolers and Multi-Digit*

Numbers : A Path to Mathematics Through the Symbols Themselves. *Cognition*,
189(September 2018), 89–104. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.03.013>

Zuber, J., Pixner, S., Moeller, K., & Nuerk, H. C. (2009). *On the Language Specificity of Basic Number Processing: Transcoding in a Language with Inversion and its Relation to Working Memory Capacity*. *Journal of Experimental Child Psychology*, 102(1), 60–77.

<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2008.04.003>

משרד החינוך (2022) תכנית הלימודים במתמטיקה לכיתות א-ו

https://meyda.education.gov.il/files/Tochniyot_Limudim/Math/Yesodi/mavo1.pdf