

בית הספר לחינוך
ע"ש חיים וג'ואן קונסטנטינר
הפקולטה למדעי הרוח
ע"ש לסטר וסאלי אנטין
אוניברסיטת תל אביב



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

מודל לכתיבת מספרים רב-ספרתיים, המבוסס על ייצוג היררכי תחבירי של המספר

A multi-digit number writing model based on a
hierarchical representation of the number
syntax

מוגש על ידי תמר מנדלסון-ברש
בהנחייתו של ד"ר דרור דותן

דצמבר 2020

מספר מילים: 17,393

הבעת תודה

לד"ר דרור דותן, תודה מיוחדת על הזכות ללמוד ממך מהי המשמעות של מחקר אקדמי. תודה על הזמינות, על הפידבקים המדויקים ועל-כך שלימדת אותי שאפשר לכתוב דברים מורכבים בשפה פשוטה וברורה.

להורים שלי, **גילה ובן-עמי מנדלסון**, שמאמינים בי לכל אורך הדרך, בלי התמיכה והסיוע שלכם זה לא היה קורה. העבודה הזו מוקדשת לכם באהבה ובהערכה.

לבנות הנפלאות שלי, **שקד, עומר ונעמי**, אתן ההשראה לעבודה הזו, כל אחת מהכיוון הייחודי שלה. תודה על הסבלנות, ההבנה וההתחשבות לאורך תקופה ארוכה כל-כך.

ולבסוף, **לאורי**, השותף המלא שלי לעבודה הזו ולחיים בכלל, העבודה הזו היא בזכותך. כמו בכל דבר, היה כיף, מרגיע ומעשיר לעשות איתך גם את הדרך הזו. קדימה לפרוייקט הבא...

תוכן עניינים

3.....	תוכן עניינים	
4.....	תקציר	
5.....	Abstract	
8.....	מבוא	1
8.....	תהליכי כתיבת מספרים	1.1
9.....	הייצוג של מבנה המספר	1.2
10.....	ניתוח קינמטי של כתיבת מספרים	1.3
11.....	המחקר הנוכחי	1.4
14.....	שיטה	2
14.....	משתתפים	2.1
14.....	מטלות הכתבת מספרים	2.2
15.....	ניתוח הנתונים	2.3
16.....	בדיקות וניבויים ספציפיים	2.4
17.....	הסתייגויות מתודולוגיות והתייחסות לסוגיות אתיות במחקר	2.5
18.....	תוצאות	3
18.....	ייצוג היררכי (עץ) של המספר בכתיבת מספרים	3.1
28.....	השפעת ספרות מיוחדות על ייצוג המספר	3.2
38.....	דיון	4
38.....	דפוס עיבוד היררכי בכתיבת מספרים	4.1
41.....	השפעת הספרה 0 על עיבוד המספר	4.2
43.....	השפעת הספרה 1 בעשרות על פערי הזמנים בעשרת השניה	4.3
44.....	הצעה למודל לתהליכי העיבוד בכתיבת מספרים רב-ספרתיים	4.4
46.....	היבטים מתודולוגיים	4.5
47.....	שימושים מעשיים במחקר	4.6
48.....	מחקרי המשך	4.7
50.....	סיכום	4.8
51.....	רשימה ביבליוגרפית	5
53.....	נספחים	6
53.....	נספח 1 – רשימת המספרים במטלות ההכתבה	6.1

תקציר

מחקר זה עוסק בדק את התהליכים הקוגניטיביים המעורבים בכתיבת מספרים. הבנה של תהליכים אלה חשובה כדי לחזק את הידע התיאורטי בתחום זה, וכדי לסייע לפתח כלים ושיטות הוראה שעשויים לשפר את האופן בו אנו מלמדים מתמטיקה, ובמיוחד את אלה שמתקשים בה. כיום, הידע שקיים לגבי תהליכי כתיבת מספרים הוא מצומצם ביותר: ידוע כי קיימים תהליכים נפרדים לעיבוד מבנה המספר ולעיבוד ספרות או מילות מספר בודדות, אך טיבם המדויק של תהליכים אלה עדיין אינו ברור. במחקר זה התמקדתי בתהליכים שמעבדים את מבנה המספר.

הכתבתי מספרים עם 3-6 ספרות ל-21 מבוגרים ללא לקויות למידה. הנבדקים שמעו כל מספר וכתבו אותו על-גבי לוח דיגיטלי שמקליט את כתב היד בזמן כתיבת המספרים. בדקתי את פערי הזמנים בין כל שתי ספרות סמוכות. בכך הסתמכתי על מחקרים קודמים שזיהו כי המבנה התחבירי של המספר המילולי משפיע על האופן בו אנשים כותבים אותו בתור רצף ספרות, וספציפית על זמן העיבוד לפני כתיבת כל ספרה.

מצאתי דפוס היררכי של פערי הזמנים: הפער בין השלשות היה ארוך יותר מהפערים לפני ספרות העשרות בכל שלשה, ובשלשה הימנית, הפער לפני ספרות העשרות היה ארוך יותר מהפער לפני ספרות האחדות. הדפוס ההיררכי הזה נצפה גם בנייתוחים בהם עשיתי בקרה על אורך מילות המספר בפונמות. דפוס זה תומך ברעיון שקיים ייצוג היררכי דמוי-עץ של המבנה התחבירי של המספר. מצאתי דפוסים פוערים שונים כאשר אותם מספרים הוכתבו בתור סדרת ספרות ("אחת, שתיים, שלוש"), כלומר כאשר לא קיים מבנה תחבירי של המספר המילולי, בהשוואה למצב בו הם הוכתבו כמספר רב-ספרתי ("מאה עשרים ושלוש"). ההבדל הזה מחזק עוד יותר את ההשערה כי הייצוג ההיררכי משקף את המבנה התחבירי של המספר המילולי הרב-ספרתי, ולא תכונות כלשהן של רצף הספרות. בנוסף, הפער בין השלשות היה שונה כאשר המספר הוכתב בתור צמד שלשות (ללא המילה "אלף" ביניהן) וכאשר אותו מספר הוכתב בתור מספר 6-ספרתי. מכאן הסקתי שהייצוג ההיררכי כולל גם חיבור בין שתי השלשות.

בניתוח פערי הזמנים לפני ספרות האחדות או העשרות בשלשה הימנית, ולפני ספרות המאות במספרים עם 4 ספרות, נמצא כי פערי הזמנים לפני הספרה 0 היו קצרים בהשוואה לפערים לפני ספרות אחרות באותו מיקום. לעומת זאת, במספרים עם 5 ו-6 ספרות, פער הזמנים לפני ספרות המאות היה דווקא ארוך יותר כאשר היא היתה 0 בהשוואה לספרות מאות אחרת. הסקתי מכך שהמספרים מעובדים בצ'אנקים: עיבוד הספרה 0 מהיר מעיבוד ספרות אחרות כאשר מופיעה באמצע צ'אנק, אבל איטי יותר כאשר היא מופיעה בתחילת הצ'אנק. הסיבה לכך היא כנראה שהספרה 0 בתחילת צ'אנק יוצרת מבנה אי-רגולרי של הצ'אנק. בכל מקרה, ממצאים אלה מראים מעבר לכל ספק שהשפעת ה-0 על זמני הכתיבה קשורה למעמד התחבירי שלה ולא לתכונות הגרפו-מוטוריות שלה.

השפעת מבנה המספר באה לידי ביטוי לא רק בספרה 0 אלא גם בספרה 1: הפער לפני ספרות האחדות היה קצר יותר כאשר ספרות העשרות היתה 1 בהשוואה למספרים בהם היא היתה 9-2. הסקתי מכך שמספרי X-עשרה (11-19) מעובדים כיחידה אחת.

הדפוסים של פערי הזמנים בשלשה השמאלית היו שונים מהשלשה הימנית. הדפוס ההיררכי – פער זמנים ארוך יותר לפני ספרות העשרות מאשר לפני האחדות – לא נמצא בתוך השלשה השמאלית. בניתוח השפעת הספרה

0, לא נמצאה השפעה של ספרה זו על פערי הזמנים בתוך השלשה השמאלית, ובמספרים בני 5-6 ספרות עם מבנה אי-רגולרי (0 בספרת המאות), פערי הזמנים בתוך השלשה היו ארוכים יותר בשלשה השמאלית מאשר בימנית. הסקתי מכך שאופן העיבוד של השלשה השמאלית שונה מהשלשה הימנית. אני מציעה שעיבוד מבנה המספר מתחיל עוד בזמן ששומעים אותו, ולפני שמתחילים לכתוב אותו על הדף.

לסיכום, מחקר זה מציע שכתובת מספרים רב-ספרתיים מערבת ייצוג של המבנה התחבירי של המספר בייצוג היררכי. תהליכי העיבוד של המבנה התחבירי של המספר מתרחשים "בזמן אמיתי" תוך כדי שמיעתו, ומושפעים מהספרות 0 ו-1. המודל לכתובת מספרים שמוצע כאן מפורט יותר ממודלים קודמים. הוא מתאר את תהליך הכתיבה אצל מבוגרים ללא לקויות למידה, ויוכל להוות בסיס לניתוח דפוסי הכתיבה גם אצל ילדים או אצל אנשים עם לקויות למידה.

Abstract

This study examined the cognitive processes involved in writing numbers. Understanding these processes is important to extend the theoretical knowledge in this area, and to help develop tools and methods that may improve how we teach mathematics, especially to those who experience math difficulties. The existing knowledge about the number writing processes is limited: we know there are separate processes for handling the number structure and for handling individual digits or number words, but the exact nature of these processes is still unclear. In this study I focused on the processing of the number's structure.

I dictated numbers with 3-6 digits to 21 adults with no learning disorders. The participants heard each number and wrote it on a digital tablet that recorded the pen movement. I analyzed the time gaps between adjacent digits. In doing so I relied on previous studies that have identified that the syntactic structure of the verbal number affects how people write it as a sequence of digits, and specifically affects the processing time before writing each digit.

I found a hierarchical pattern of time gaps: the gap between the triplets was longer than the gaps before the decade digit in each triplet; in the right triplet, the gap before the decade digit was longer than the gap before the unit digit. This hierarchical pattern was observed also when controlling for each number word's phonological length. This pattern supports the idea that there is a tree-like hierarchical representation of the syntactic structure of the number. I found different patterns of gaps when the same numbers were dictated as a series of digits

("one, two, three"), i.e. when there was no syntactic structure, compared to when they were dictated as a structured multi-digit number ("one hundred and twenty-three"). This difference further supports the conclusion that the hierarchical representation reflects the syntactic structure of the multi-digit verbal number rather than some features of the digit sequence. Furthermore, the gap between the triplets was different when the number was dictated as a pair of triplets (without the word "thousand" between them) and when the same number was dictated as a 6-digit number. I concluded that the hierarchical representation merges the two triplets.

In the analysis of the time gaps before the decade and unit digits in the right triplet, and before the hundred digit in 4-digit numbers, I found shorter time gaps before the digit 0 than before other digits in the same positions. In contrast, in 5- and 6-digit numbers, the time gap before the hundred digit was longer when the hundred digit was 0 than when it was another digit. I concluded that the numbers are processed in chunks: the processing of 0 is faster than the processing of other digits when the 0 appears in the middle of a chunk, but slower when it appears at the beginning of the chunk. This is probably because the digit 0 at the beginning of the chunk creates an irregular structure of the chunk. In any case, these findings show unequivocally that the effect of 0 on writing times originates in its syntactic status and not in the grapho-motor properties of writing the digit 0.

The effect of the number structure was reflected not only in the digit 0 but also in the digit 1: the gap before the units digit was shorter when the decade digit was 1 than when it was 2-9. I concluded that a teen numbers (11-19) is processed as a single unit.

The patterns of time gaps in the left triplet were different from the right triplet. The hierarchical pattern - a longer gap before the decade digit than before the units - was not observed in the left triplet. Furthermore, the effect of the digit 0 was not found within the left triplet, and in 5-6 digit numbers with an irregular structure (0 in the hundred digit), within-triplet time gaps were longer in the left triplet than in the right one. I concluded that the processing of the left triplet is different from the right triplet. I propose that the participants started processing the number's structure while they were still hearing it, before they started writing it on paper.

Overall, this study indicates that writing multi-digit numbers involves a hierarchical representation of the syntactic structure of the number. The number's syntactic structure is processed "in real time", as it is being heard, and is affected by the digits 0 and 1. The number writing model proposed here is more detailed than any previous models. This model describes the writing process in adults without learning disorders, and can form the basis for analyzing writing patterns also in children or adults with learning disorders.

היכולת לקרוא ולכתוב מספרים היא מיומנות בסיסית ושימושית בחיי היום יום בחברה המודרנית. ליכולת זו יש תפקיד משמעותי במרבית תחומי האקדמיה והמדע והיא מסוגלת לחזות הצלחות אקדמיות ותעסוקתיות, ואף בריאות מנטלית ופיסית (Ritchie & Bates, 2013; Duncan et al., 2007). עם זאת, המחקר בתחומים אלה עדיין לא מפותח כמו בתחומים קוגניטיביים אחרים כגון שפה וקריאת מילים. אמנם בעשורים האחרונים המחקר בתחום התפיסה הכמותית התפתח מאוד (Dehaene, 2011), אך התחום של הייצוג הסימבולי של מספרים באמצעות ספרות ומילים נחקר פחות, למרות שחשיבותו לפיתוח יכולות מתמטיות מהותית (Schneider et al., 2017). כמו כן, כמות המחקרים בתחום של כתיבת מספרים היא קטנה, ועדיין לא הוצע מודל קוגניטיבי מפורט לתהליכים המעורבים בכתיבת מספרים.

המטרה של מחקר זה היא להבין את התהליכים הקוגניטיביים המעורבים בכתיבת מספרים – תרגום של רצף מילות מספר מושמעות למחרוזת ספרות כתובה. להבנת התהליכים האלה יש לא רק חשיבות תיאורטית אלא גם חשיבות קלינית: היא עשויה לאפשר לנו להבין איזה לקויות ספציפיות ייתכנו בתהליכי הכתיבה, ולהצביע על דרכים אפשריות לאבחון לקויות כאלה ולטיפול בהן.

1.1 תהליכי כתיבת מספרים

במחקר הקוגניטיבי, המונח "כתיבת מספרים" מתייחס לתהליכי ההמרה של מספר מייצוג מילולי (רצף מילות מספר) לרצף ספרות – כלומר, לייצוג הספרתי שלו. מחקרים קודמים (McCloskey, Caramazza, & Basili, 1985) הראו דיסוציאציה בין מטלות קלט מילולי של מילות מספר לבין מטלות פלט ספרתי בתהליך של עיבוד מספרים. במחקרים אלה נמצאו נבדקים שקריאת המספרים אצלם היתה שמורה, לעומת יכולת הפקת המספר בכתיבה או בהפקה מילולית, שהיתה לקויה.

מספר מחקרים העוסקים בתהליכי כתיבת מספרים הבחינו בין תהליכים לקסיקליים לבין תהליכים תחביריים ואף הראו דיסוציאציה ביניהם (Power & Dal Martello, 1990; Lochy, Domahs, Bartha & Delazer, 2004; McCloskey et al., 1985). תהליכים לקסיקליים עוסקים בעיבוד של כל ספרה או מילת מספר (למשל זיהוי מילה, כתיבת ספרה בודדת). ליקויים בתהליכים אלה יבואו לידי ביטוי בכך שהנבדק יבצע טעויות של החלפה של ספרות (לדוגמה: יכתוב את הספרה 8 במקום הספרה 6), אך ישמור על מבנה המספר תקין (למשל ישמר את אורך המספר כמו שהוא). לעומת זאת, תהליכים תחביריים אחראים על עיבוד הקשרים בין האלמנטים הלקסיקליים. ליקויים בתהליכים אלה יבואו לידי ביטוי בשיבוש מבנה המספר המוכתב – למשל, שינוי אורך המספר על-ידי הוספה או השמטה של אפסים (לדוגמה, לכתוב את המספר 3609 בתור 369 או 30609).

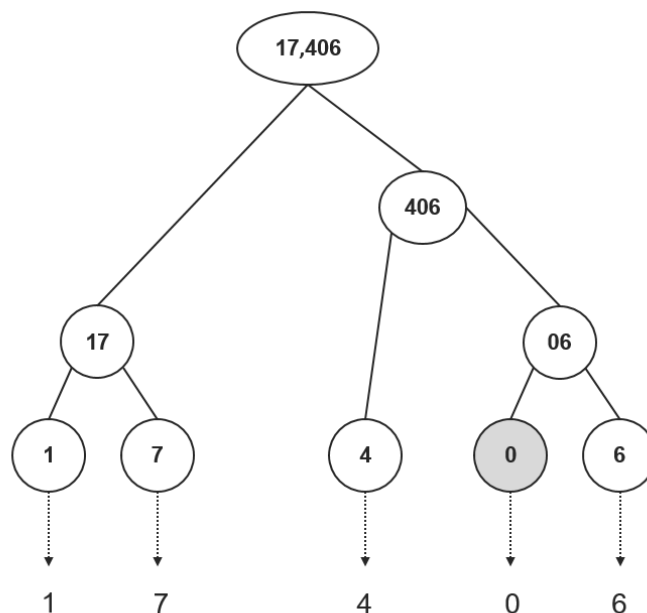
מחקרים שהתמקדו בתהליכים התחביריים בתהליך כתיבת מספרים (Lochy, Pillon, Zesiger & Seron, 2002; Power & Dal Martello, 1990; Lochy et al., 2004) טענו כי קיים ייצוג מילולי קוגניטיבי בתהליך הכתיבה מאחר והם מצאו כי המבנה המילולי של המספר המוכתב משפיע על סוגי הטעויות המופקות בעת ביצוע מטלות הכתבה – המרת מילות המספר המוקראות בדיבור למספר כתוב.

עיבוד תחבירי בכתיבת מספרים. כתיבת מספרים היא לא סתם כתיבה של רצף ספרות (כלומר, לתרגם כל מילה ששומעים לספרה המתאימה), אלא היא מחייבת גם עיבוד של המבנה התחבירי של המספר. כראייה לכך, Power and Dal Martello (1990) הציגו מחקר התפתחותי שנערך על ילדים בכיתה ב', שהתבסס על ניתוח איכותי של טעויות בכתיבת מספר. הם מצאו כי הטעות השכיחה ביותר של הילדים היתה הוספת אפסים מיותרים, כגון כתיבת המספר 'מאה עשרים וחמש' כ-10025. הם הסיקו שטעות זו עשויה להצביע על כך שהילד לא הצליח לתרגם את המספר "מאה עשרים וחמש" כיחידה אחת אלא פירק אותו לשתי יחידות ("מאה", "עשרים וחמש") ותירגם כל אחת מהן בנפרד לספרות. להערכת החוקרים, טעויות אלה נבעו מכך שהילדים עדיין לא רכשו את היכולת התחבירית לעבד מספר תלת-ספרתי. במקרים אחרים, טעויות דומות נצפו אצל מבוגרים עם ליקוי ספציפי בעקבות פגיעה מוחית (Cipolotti, Butterworth, & Warrington, 1994). מחקרים אלה מצביעים על כך שלתחביר יש תפקיד משמעותי בתהליך כתיבת מספרים.

המעמד הייחודי של הספרה 0. לספרה 0 יש תפקיד תחבירי כיוון שהיא לא באה לידי ביטוי במספר המילולי. הגישה המקובלת היא שספרה זו מיוצגת כחלק ממבנה המספר, ואילו שאר הספרות אינן חלק ממבנה המספר אלא רק חלק ממנגנוני העיבוד הלקסיקליים. אחת העדויות למעמד הייחודי של הספרה 0 מגיעה ממחקרם של Lochy et al. (2004): הם חקרו נבדקת עם פגיעת ראש נרכשת, ובדקו את התפקוד שלה במטלת הכתבה. הם מצאו כי היו לה יותר טעויות במספרים עם 0 מאשר במספרים ללא 0. בנוסף, היו יותר טעויות באפסים פנימיים מאשר באפסים שהופיעו בסוף המספר. המחקר של Lochy מראה שלספרה 0 יש השפעה ייחודית על תהליכי כתיבת המספר. במחקר הנוכחי אמשיך לבדוק את השפעת ה-0 כאלמנט תחבירי בתהליכי העיבוד של כתיבת מספרים רב ספרתיים. כל המחקרים לעיל מצביעים על השפעה של תחביר המספר על תהליכי כתיבת המספר. עם זאת, המחקר בתחום זה עדיין לא הציע מודל עקבי לייצוג התחבירי הקוגניטיבי של המספר בתהליך הכתיבה.

1.2 הייצוג של מבנה המספר

מודל לקריאת מספרים. לעומת תחום כתיבת המספרים בו לא קיים עדיין מודל מפורט, המחקר אודות תהליכי קריאת מספרים מגובש יותר ומציע מספר מודלים המסבירים את תהליכי ההמרה מייצוג ספרתי לייצוג מילולי פונולוגי, באמצעות ייצוג מילולי קוגניטיבי שנוצר בתהליך ההמרה. על בסיס מודלים אלה, הציעו Dotan and Friedman (2018) מודל קוגניטיבי לקריאת מספרים רב ספרתיים. אחת ההשערות שהועלו במודל זה היתה קיומו של ייצוג היררכי של מבנה המספר המילולי בתהליכי ההמרה של קריאת המספר (תרשים 1.1). לפי השערה זו, מבנה המספר המילולי מקודד במבנה דמוי עץ ואז מומר למבנה סידרתי של מילות מספר, בדומה למבנה תחבירי של משפטים. מבנה זה מושפע מקיומם ומיקומם של אפסים במספר.



תרשים 1.1: ייצוג היררכי לקריאת מספרים רב ספרתיים המבוסס על המודל של Dotan and Friedman (2018).

לפי מודל זה, ליקוי בעיבוד המבנה ההיררכי עלול לגרום לקושי בעיבוד הרמות הגבוהות יותר בעץ, ולכן במספרים בעלי מורכבות גבוהה נראה טעויות במבנה המילולי. לדוגמה, במספר בן 6 ספרות, חוסר יכולת לעבד את הרמה העליונה בעץ עלול לגרום לעיבוד המספר בעזרת שני תת-עצים (בדוגמה בתרשים 1: תת-עץ אחד בשביל 17, ואחד בשביל 406). התוצאה עלולה להיות השמטת המילה 'אלף' בין השלוש, וקריאת המספר כמו שני מספרים בני 3 ספרות. במחקר הנוכחי שיערתי שקיים ייצוג מילולי היררכי גם בתהליך הכתיבה של מספרים רב ספרתיים. כדי לבדוק זאת, בדקתי את דפוסי הכתיבה של נבדקים ללא לקויות. שיערתי שבקרב נבדקים ללא לקויות המבנה ההיררכי יבוא לידי ביטוי בעיבוד ארוך יותר ככל שהצומת גבוה יותר, מאחר והמרחק במודל בין ספרות סמוכות במספר יהיה גדול יותר.

1.3 ניתוח קינמטי של כתיבת מספרים

על מנת לחקור את השפעת המבנה המילולי של המספר בתהליך כתיבת מספרים, אפשר לבדוק את השפעתו של מבנה זה על דפוסי כתיבת המספר במטלת הכתבת מספרים. אחת השיטות היא מדידת פערי הזמן בין סיום כתיבת ספרה במספר עד תחילת כתיבת הספרה שאחריה. פער זמנים זה משקף את משך העיבוד בין 2 הספרות הסמוכות. מספר מחקרים שבחנו את השפעת התחביר בתהליכי כתיבת מספרים השתמשו בשיטה זו:

ניתוח הפלט הספרתי מלמד על המבנה המילולי. במחקרם של Lochy et al. (2002) נמצא כי כאשר אותו מספר הוכתב בשתי צורות תחביר שונות באנגלית, פערי הזמנים בין אותן ספרות סמוכות היו שונות בכל אחת

מצורות התחביר. לדוגמא, כאשר מספר כמו 1,200 הוכתב בתור twelve hundred, פער הזמן הארוך ביותר היה לפני ספרת העשרות (00|12, כאן ובהמשך הסימן | מציין את המיקום בו נמדד פער הזמנים בין הספרות). לעומת זאת, כאשר אותם מספרים הוכתבו בתור one thousands and two hundred, פער הזמן הארוך ביותר היה לפני ספרת המאות (00|1). מכאן הסיקו החוקרות כי קיים מבנה קוגניטיבי שונה לעיבוד המספר כתלות בייצוג המילולי של המספר המוכתב. באותו מחקר נמצא כי כאשר הוכתב רצף של ספרות ללא מבנה תחבירי כלל (one, two, zero, zero), פער הזמן בין הספרות היה ארוך יותר מהמקרים בהם הוכתב מספר בשני סוגי התחביר השונים. הממצא של Lochy et al. מראה שהמבנה התחבירי של המספר המילולי משפיע על דפוסי הכתיבה של מחרוזת הספרות: כאשר שתי מילות מספר סמוכות נמצאות במבנה תחבירי שמלכד אותן, פער הזמנים בין הספרות התואמות קטן יותר. לפיכך, ניתוח דפוסי הכתיבה יכול לשפוך אור על המבנה התחבירי של המספר המילולי.

השפעתו המיוחדת של האפס. בשיטה וכלים דומים, Guerrero, Orozco-Hormaza & Hurtado (2014) בדקו את דפוסי הכתיבה של ילדים בכיתה א' במספרים תלת-ספרתיים. גם כאן נמצאו דפוסי כתיבה שונים בהתאם לתפקיד התחבירי של הספרות במספר: פער הזמן בין ספרת המאות וספרת העשרות היה ארוך יותר מפער הזמן בין ספרת העשרות לספרת היחידות ($\text{delay}(X|XX) > \text{delay}(XX|X)$). כמו כן, הם מצאו שהימצאותו של 0 משפיעה באופן מהותי על דפוסי הכתיבה: משך העיבוד לפני הספרה 0 קצר יותר מאשר לפני ספרות אחרות. הם ייחסו את התופעה למערכת הגרפ-מוטורית המבצעת את הכתיבה בפועל, ולא למורכבות התחבירית של המספר המסוים. לטענתם, מאחר וכתבת הספרה 0 היא פשוטה יותר, ההתארגנות לקראת כתיבתה קצרה יותר. במחקר הנוכחי אראה שהשפעת הספרה 0 על זמני הכתיבה קשורה דווקא למעמד התחבירי שלה, ולא לתכונות הגרפ-מוטוריות שלה.

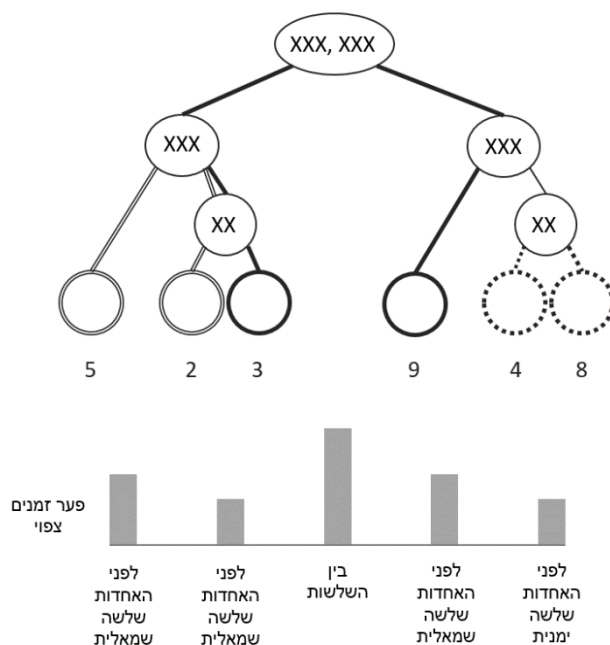
שני המחקרים מראים שהמדד המשמעותי למשך העיבוד של שלבים בכתיבת המספר הוא פער הזמן לפני הספרה ולכן השתמשתי במדד זה במחקר הנוכחי.

1.4 המחקר הנוכחי

מחקר זה בדק את מאפייני הייצוג המילולי של המספר בתהליך כתיבת מספרים רב ספרתיים. התמקדתי בשתי השאלות הבאות:

השאלה הראשונה היא האם יש ייצוג מילולי של המספר במבנה היררכי (עץ) כחלק מתהליך הכתיבה. אם קיים ייצוג כזה, נצפה שכאשר מספר יוקרא בתור מספר רב-ספרתי (למשל "חמש מאות עשרים ושלושה אלף תשע מאות ארבעים ושמונה"), פערי הזמנים והמרחקים בין ספרות סמוכות יושפעו ממבנה המספר וישקפו את מבנה העץ (תרשים 1.2). הניבוי הקריטי כאן הוא שפערי הזמן והמרחק בין ספרות סמוכות יהיו קטנים יותר ככל שהספרות מגיעות מצמתים קרובים יותר בעץ. למשל, הפער בין ספרת העשרות לספרת היחידות (צומת XX בכל אחת מהשלשות בתרשים 1.2) יהיה קטן יותר מהפער בין ספרת העשרות למאות (צומת XXX בכל אחת מהשלשות בתרשים 1.2), כיוון שבעץ התחבירי צומת העשרות קרוב לצומת היחידות יותר מאשר לצומת המאות. הפער בין ספרת המאות לאלפים (צומת XXX,XXX המחבר בין השלשות בתרשים 1.2) יהיה גדול עוד יותר, כיוון שצמתים אלה

רחוקים זה מזה עוד יותר. דפוס כזה, של מבנה עץ, לא צפוי להימצא כאשר המספר יוקרא בתור רצף ספרות ללא מבנה תחבירי ("שבע, שתיים, חמש, תשע, ארבע, שש").



תרשים 1.2: מודל אפשרי המבוסס על הייצוג המילולי של המספר, לניבוי פערי הזמנים בין הספרות בכתיבת מספרים

כמו כן, ספציפית עבור מספרים עם 6 ספרות, בדקתי אם המספר מיוצג במבנה תחבירי אחד, שכולל את המספר כולו, או ע"י 2 מבנים נפרדים של 2 שלשות. השאלה הזאת חשובה כדי להבין האם המבנה התחבירי מיוצג באופן שכולל כמה רמות של היררכיה (חלוקה לשתי שלשות, ובתוך כל שלשה – חלוקה של עשרות + יחידות לעומת מאות). שאלה זו נבדקה באמצעות השוואה בין דפוסי הכתיבה של מספרים 6 ספרתיים ("שש מאות ארבעים ושתיים אלף, תשע מאות שלושים ושבע") לבין דפוסי הכתיבה של אותם מספרים המפורקים לשתי שלשות ("שש מאות ארבעים ושתיים אלף ואז תשע מאות שלושים ושבע"; המילה "ואז" הופכת את רצף המילים הזה להיות דומה למספר ה-6-ספרתי מבחינה פונולוגית, אבל שונה ממנו מבחינה תחבירית). אם יש ייצוג תחבירי שמאחד את שתי השלשות, נצפה שהפער בין 2 השלשות יהיה שונה בין התנאי הראשון (הכתבת מספר 6-ספרתי) לבין התנאי השני (הכתבת המספר מפורק).

השאלה השניה היא **האם ייצוג מבנה המספר כולל מידע לגבי ספרות מסוימות, וספציפית לגבי 0, 1, או שתייהן.** שתי הספרות האלה משפיעות על מבנה המספר: כאמור, לספרה 0 יש תפקיד תחבירי כיוון שהיא לא באה לידי ביטוי בייצוג המילולי, ואילו הספרה 1 גורמת לשימוש במילת X-עשרה כאשר היא מופיעה במיקום העשרות. מכאן ניתן לשער שהספרות 0, 1 מיוצגות כחלק ממבנה המספר, לעומת שאר הספרות שניתן ומיוצגות רק כחלק ממנגנוני העיבוד הלקסיקליים. Dotan and Friedmann (2018) הניחו שאי-הרגולריות של הספרה 0 באה לידי ביטוי במבנה העץ, אבל אי-הרגולריות של הספרה 1 באה לידי ביטוי רק בתהליכים חיצוניים לעץ.

אם הספרה 0 מיוצגת כחלק ממבנה המספר, פערי הזמנים לפני הספרה 0 צפויים להיות שונים מהפערים לפני ספרות אחרות, כפי שנמצא ע"י Guerrerro et al. (2014) במספרים תלת-ספרתיים. באופן דומה, אם הספרה 1 מיוצגת כחלק ממבנה המספר, פערי הזמנים לפני הספרה 1 צפויים להיות שונים מהפערים לפני הספרות 2-9. לעומת זאת, אם פערי הזמנים משקפים את מבנה המספר ולא תהליכים אחרים, לא אמורים להיות הבדלים בין הספרות האחרות לבין עצמן.

בנוסף, הספרה 0 עשויה לגרום לדפוס עיבוד ייחודי כאשר היא מופיעה במיקום המאות. אני משערת שמספרים ארוכים יחולקו לשני צ'אנקים, בין אם בגלל מבנה העץ, שמפריד בין 2 השלשות, ובין אם בגלל מגבלת הזיכרון של 3-4 פריטים לכל צ'אנק (Mathy & Feldman, 2012; Barrouillet, Thevenot & Fayol, 2010), מה שיגרום לכך שבחלק מהפריטים יהיו צ'אנקים שמתחילים בספרה 0 (לדוגמה המספר 234,056 יחולק כנראה ל-234 ו-056). אותם אפסים מובילים יוצרים אי-רגולריות במספר (מכיוון שהצ'אנק 056 אינו מספר תקין בפני עצמו, או לחליפין כיוון שהוא יוצר תת-עץ אי-רגולרי במובן זה שלא יכול היה לעמוד בפני עצמו, כיוון שיש 0 בתחילתו). כתוצאה מכך, באותם מקרים פער הזמנים לפני הספרה 0 עשוי להיות דווקא ארוך יותר בהשוואה לספרות 2-9 באותו מיקום (ולא קצר יותר כפי שנמצא אצל Guerrerro). ממצא כזה יוכיח כי השפעת הספרה 0 על פערי הזמנים לא נובעת מהצורה שלה ומהיבטים מוטוריים, אלא מהמעמד התחבירי הייחודי שלה במערכת המספרים. הניבוי הנ"ל רלוונטי למספרים בני 5-6 ספרות בהם ספרת המאות היא 0 (למשל 23,045). לעומת זאת, במספרים 4-ספרתיים עם 0 בספרת המאות (למשל 2034), ייתכן שהמספר כולו יעובד כצ'אנק אחד, ולכן הפער לפני 0 יהיה קטן יותר, כמו לפני 0 בספרת העשרות.

דרך נוספת לבדוק את הייצוג של 0 ו-1 היא על-ידי תופעת ההטרמה. הרעיון הוא שיהיה קל יותר להפיק מספר במבנה תחבירי נתון אם לפני כן הפקנו מספר באותו מבנה. מחקרים בתחום השפה מצאו סוג כזה של הטרמה תחבירית לגבי המבנה של משפטים (Scheepers et al., 2011). אם מבנה המספר מיוצג באופן שמחולק לשלשות, והמבנה משקף את מיקום הספרה 0, הרי שבמספרים בהם שתי השלשות במבנה זהה (למשל 203,405 או 560,780) הפער בין השלשות אמור להיות קצר בהשוואה למספרים בהם מבנה השלשות שונה (למשל 230,405 או 506,780).

2 שיטה

2.1 משתתפים

במחקר השתתפו 21 נבדקים בגילאי 18-45, ללא לקות למידה או הפרעות קשב וריכוז מדווחות. כל המשתתפים ביצעו את כל המטלות הרשומות להלן. המשתתפים הוכללו במחקר רק אם עמדו בשני הקריטריונים הבאים:

2.1.1 זיכרון לטווח קצר (ספאן ספרות)

במטלה זו (גביעון ופרידמן, 2008) הוקראו לנבדקים רצפי ספרות ברמת קושי עולה – מ-3 עד 9 ספרות, 5 רצפים בכל רמת קושי – והם התבקשו לכתוב את המספרים על גבי דף מיד בתום הקראת כל רצף. המעבר לרמת הקושי הבאה התבצע רק אם הנבדק הצליח לזכור 3 רצפים (מתוך 5) ברמה הנוכחית. הקריטריון לסינון היה להגיע לרמת קושי של 6 ספרות (כלומר, הצליחו לכתוב לפחות 5 ספרות). המטרה הייתה להימנע מהכללת משתתפים עם טווח זיכרון קצר מדי, שלא יאפשר להם לזכור את הפריטים שהוכתבו במחקר.

2.1.2 הכתבת מספרים על דף

הוקראו לכל נבדק 50 מספרים בני 3, 4 ו-5 ספרות, והנבדק כתב כל מספר על דף מייד עם סיום השמעתו. משתתפים עם יותר מ-10% טעויות לא נכנסו למחקר. המטרה היא להימנע מהכללת משתתפים עם ליקוי בכתיבת מספרים.

2.2 מטלות הכתבת מספרים

2.2.1 כלים

המשתתפים כתבו את המספרים עם עט על נייר שהונח על גבי לוח קלט מסוג Creative Pen Tablet, PTH-860 (Wacom Intuos-4). בכל מטלות הכתיבה, המשתתפים התבקשו לכתוב את המספרים שהוקראו מיד בתום הקראת המספר (ולא לפני), ללא פסיק בין השלשות ובלי לבצע תיקונים. רשימת הפריטים ואופן הקראתם שונה ממטלה למטלה, כמפורט להלן. רשימות הפריטים המלאות מצורפות כנספח.

2.2.2 ניסוי 1 – הכתבת מספרים רב-ספרתיים

הנסיינית הקריאה כל פריט בתור מספר שלם (למשל 456,123 – "מאה עשרים ושלושה אלף, ארבע מאות חמישים ושש") והנבדק כתב אותו רק אחרי סיום ההקראה. המטלה כללה 318 מספרים עם 3-6 ספרות (20 מספרים עם 3 ספרות, 72 מספרים עם 4 ספרות, 86 – מספרים עם 5 ספרות, 140 מספרים עם 6 ספרות). מתוך המספרים עם 6 הספרות, נכללו גם 21 מספרים בהם התבנית של שתי השלשות זרה מבחינת מיקום הספרות 0 ו-1 (למשל 306,802) לצורך בדיקת אפקט ההטרמה.

הספרה 0 הופיעה ב-200 פריטים (40, 91, 121, 68, 50 פעמים בספרות היחידות עד עשרות האלפים בהתאמה). הספרה 1 הופיעה ב-141 פריטים (20, 43, 23, 18, 24, 7 פעמים בספרות היחידות עד מאות האלפים בהתאמה). ב-38 פריטים לא הופיעה אף אחת מהספרות 0, 1. להוציא הספרה 0, אף מספר לא כלל את אותה ספרה פעמיים. הספרה 0 הופיעה ב – 84 פריטים יותר מפעם אחת.

המספרים הוצגו בסדר פסאודו-אקראי (אך זהה לכל הנבדקים), בכפוף למגבלות הבאות: בכל זוג מספרים רצופים היתה לכל היותר ספרה אחת זהה באותו מיקום, לכל היותר ספרה אחת זהה במיקומים סמוכים, ולכל היותר 3 ספרות זהות. אם המשתתף טעה בכתיבת פריט, התשובה השגויה לא נכללה בניתוח, והפריט הועבר שוב בסוף הרשימה (עד 3 ניסיונות לכל פריט).

2.2.3 ניסוי 2 - הכתבת זוגות שלשות

במטלה זו הוקראו 20 פריטים בני 6 ספרות מתוך ניסוי 1. כאן, כל פריט הוקרא בתור זוג מספרים תלת-ספרתיים, וביניהם המילה 'ואז' (בתור תחליף למילה "אלף", לדוגמה, המספר 586,972 יכתב כ: חמש מאות שמונים ושש ואז תשע מאות שבעים ושתיים). המטרה של מטלה זו היתה להשוות את דפוסי הכתיבה של אותם רצפי ספרות במבנים תחביריים שונים: מספר 6 ספרתי לעומת שתי שלשות.

2.2.4 ניסוי 3 - הכתבת ספרות

במטלה זו הוכתבו 24 מספרים בני 5 ו-6 ספרות מתוך ניסוי 1 כל פריט הוקרא כרצף של ספרות בודדות (לדוגמה, 1234 = "אחת, שתיים, שלוש, ארבע"). המטרה היתה להשוות את דפוסי הכתיבה בהיעדר מבנה תחבירי של המספר (כאן) לעומת הקראה של מספר רב ספרתי בעל מבנה תחבירי (ניסוי 1).

2.3 ניתוח הנתונים

המדד בו השתמשתי לניתוח דפוס הכתיבה הוא פער הזמן בין כל שתי ספרות סמוכות במספר. פער זה הוגדר בתור משך הזמן בין הרמת העט בסוף ספרה אחת לבין הנחתו לכתיבת הספרה הבאה. כדי לזהות את הגורמים שמשפיעים על פערי הזמנים, ניתחתי אותם בעזרת LMM (Linear Mixed Model). הפקטורים היו שונים מניתוח לניתוח, כמפורט בהמשך. בכל הניתוחים, הנבדק נכלל בתור פקטור אקראי. כדי לבדוק את רמת המובהקות של פקטור מסויים, השתמשתי ב-Log likelihood test והשוויתי את הנראות של המודל המלא (שכולל את אותו פקטור) לנראות של מודל מקביל, שהיה זהה פרט לכך שהושמט ממנו אותו פקטור ספציפי. כדי לבדוק אם אינטראקציה בין פקטורים מסוימים היתה מובהקת, השתמשתי ב-Log likelihood test כדי להשוות את הנראות של המודל המלא (שכולל את האינטראקציה) לנראות של מודל מקביל, שנכללו בו כל הפקטורים אבל בלי האינטראקציה.

2.4 בדיקות וניבויים ספציפיים

2.4.1 שאלת מחקר 1. האם יש ייצוג מילולי במבנה היררכי (עץ) של המספר כחלק מתהליך הכתיבה.

אם הייצוג המילולי של המספר הוא דמוי עץ, דפוס פערי הזמנים בין הספרות במטלת הכתיבה המספרים הרב-ספרתיים (ניסוי 1), בפריטים בני 4-6 ספרות ללא 0, עשוי לשקף את מבנה העץ: משך הקפיצה לפני ספרת העשרות יהיה גבוה יותר ממשך הקפיצה לפני ספרת היחידות, ומשך הקפיצה בין השלוש (לפני ספרת המאות) יהיה גבוה יותר ממשך הקפיצה לפני ספרת העשרות בכל אחת מהשלוש (תרשים 1.2).

כמו כן, אם בייצוג מבני של מספר רב-ספרתי שתי השלוש כלולות במבנה תחבירי אחד, נצפה לראות הבדל בדפוס הכתיבה בין מטלת הכתיבה מספר רב-ספרתי (ניסוי 1), בה שתי השלוש ממוזגות למבנה תחבירי אחר, לבין מטלת הכתיבה שלש (ניסוי 2), בה השלוש לא ממוזגות. ספציפית, משך הקפיצה בין השלוש יהיה שונה בין שני הניסויים. לעומת זאת, בתוך השלוש עצמן נצפה לראות פערי זמנים דומים בשתי המטלות.

במטלת הכתיבה ספרות, בה למספר המוכתב אין מבנה תחבירי, לא צפוי להימצא הדפוס המתואר בתרשים

1.2

2.4.2 שאלת מחקר 2. האם ייצוג מבנה המספר כולל מידע לגבי ספרות מסוימות, וספציפית לגבי 0, 1, או שתיהן.

2.4.2.1 הספרה 0

Guerrero et al. (2014) מצאו כי במספרים בני 3 ספרות, משך הקפיצה לפני 0 היה קצר יותר ממשך הקפיצה לפני ספרות אחרות. ציפיתי למצוא דפוס דומה גם כאן: בתוך כל שלשה, משך הספרה יהיה קצר יותר לפני הספרה 0 מאשר לפני ספרות אחרות.

לעומת זאת, עשוי להיות דפוס שונה לפני ספרת המאות במספרים עם 5,6 ספרות. אם אפס מוביל בשלשה השנייה הוא אי-רגולרי, ניתן לצפות שהוא יאט את עיבוד השלשה השנייה. לפיכך, הפער לפני ספרת המאות יהיה גדול יותר במספרים בהם ספרת המאות היא 0 מאשר במספרים בהם היא 2-9.

בניגוד למספרים עם 5, 6 ספרות, במספרים 4 ספרתיים ספרת האלפים עשויה להיות "מחוברת" לשאר הספרות בתור צ'אנק אחד (Barrouillet et al., 2010; Mathy & Feldman, 2012). אם זה אמנם המצב, במספרים 4 ספרתיים פער הזמנים לפני 0 בספרת המאות יהיה קצר, כמו לפני 0 פנימי בשלשה. ממצא כזה ילמד על ההבדל בין המבנה התחבירי של מספרים בני 4 ו-5/6 ספרות, ובנוסף יראה שאפקט ה-0 הוא תחבירי ולא מוטורי.

בדקתי אם הפער בין השלוש שונה במקרה של רצף של אפסים חוצה שלשות (למשל 230,097) לעומת רצף אפסים באותו אורך שמובילים את השלשה השנייה (למשל 239,007). בנוסף, בדקתי האם ככל שרצף האפסים שחוצה את השלוש יתארך, כך יקטן הפער בין השלוש כתוצאה ממעבר לעיבוד של "צ'אנק" בדומה למספרים עם 4 ספרות עם 0 או לשלוש עם 0 פנימי.

2.4.2.2 הספרה 1

הספרה 1 במיקום ספרת העשרות משפיעה על הייצוג המילולי של המספר: היא יוצרת מילת X-עשרה. לפיכך היא עשויה להשפיע על פערי הזמנים, בדומה לספרה 0. לעומת זאת, (Dotan and Friedmann (2018) שיערו כי הספרה 1 לא מהווה חלק מהייצוג ההיררכי של מבנה המספר. אם השערותם נכונה, ואם פערי הזמנים משקפים את אותו ייצוג היררכי, לספרה 1 במיקום העשרות לא אמורה להיות השפעה מיוחדת על פערי הזמנים. לפיכך בדקתי אם פער הזמנים לפני הספרה 1 כספרת עשרות שונה מפער הזמנים לפני ספרות אחרות (9-2) במיקום זה: השווייתי את משך הקפיצה לפני ספרת העשרות בשלשה הימנית במספרים עם 6 ספרות, כאשר הספרה הבאה היתה 1 לעומת מקרים שהספרה הבאה היתה 9-2. המשמעות של הבדל בין 1 לספרות אחרות היא שעיבוד הספרה 1 כספרת עשרות במספר רב ספרתי שונה מעיבוד ספרות אחרות – אולי כיוון שייצוג מבנה המספר משקף את הספרה 1. לעומת זאת, אם לא ימצא הבדל, הדבר יחזק את הסברה שהספרה 1 לא מיוצגת כחלק ממבנה המספר.

2.4.2.3 השפעת הטרמה על מבנה המספר

לצורך הבדיקה אם הטרמה במבנה השלשה (שתי שלשות במבנה תחבירי זהה) יאיץ את עיבוד השלשה הימנית, השווייתי את פערי הזמנים בין הספרות בתוך השלשה הימנית, במספרים עם 6 ספרות בהם שתי השלשות בנויות מאותה תבנית תחבירית (X1X, X0X, XX0, X00) לעומת מספרים עם 6 ספרות ללא הטרמה אבל עם שלשה ימנית באותן תבניות. השערות מבנה המספר מנבאות כי הפערים בשלשה הימנית יהיו קצרים יותר במקרה של מספרים עם הטרמה. בנוסף, השווייתי את הפערים בין השלשות במספרים עם 6 ספרות עם הטרמה למספרים עם 6 ספרות ללא הטרמה. השערות מבנה המספר מנבאות כי פער הזמן בין השלשות בתנאי עם הטרמה יהיה קצר יותר מהתנאי ללא הטרמה.

2.5 הסתייגויות מתודולוגיות והתייחסות לסוגיות אתיות במחקר

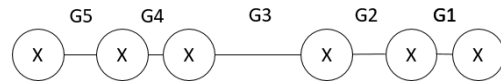
כל הנבדקים במחקר היו מעל גיל 18 על מנת לנטרל רכיב התפתחותי וכדי להמנע ממחקר על קטינים. על מנת לשמור על פרטיות הנבדקים, לכל נבדק שויך מזהה ושמות הנבדקים הוסרו מכל הקבצים הכוללים את נתוני המטלות.

המחקר אושר ע"י ועדת האתיקה של האוניברסיטה.

3.1 ייצוג היררכי (עץ) של המספר בכתיבת מספרים

3.1.1 ייצוג מילולי במבנה היררכי (עץ) של המספר כחלק מתהליך הכתיבה

בהשערה זו בדקתי האם, בתהליך כתיבת מספרים רב ספרתיים, קיים ייצוג קוגניטיבי דמוי עץ המבוסס על המבנה המילולי של המספר. ניתן יהיה לומר שקיים מבנה דמוי עץ אם נמצא דפוס היררכי בפערי זמנים בין מיקומים שונים בתהליך הכתיבה, כתוצאה מהבדלים במשך זמן העיבוד של ספרות הנמצאות במיקומים המשקפים קטגוריות שונות של מבנה המספר המילולי - אחדות, עשרות או מאות. במצב כזה, משך הקפיצה לפני ספרות העשרות יהיה גבוה יותר ממשך הקפיצה לפני ספרות היחידות, ומשך הקפיצה בין השלשות (לפני ספרות המאות) יהיה גבוה יותר ממשך הקפיצה לפני ספרות העשרות בכל אחת מהשלשות (תרשים 3.1).

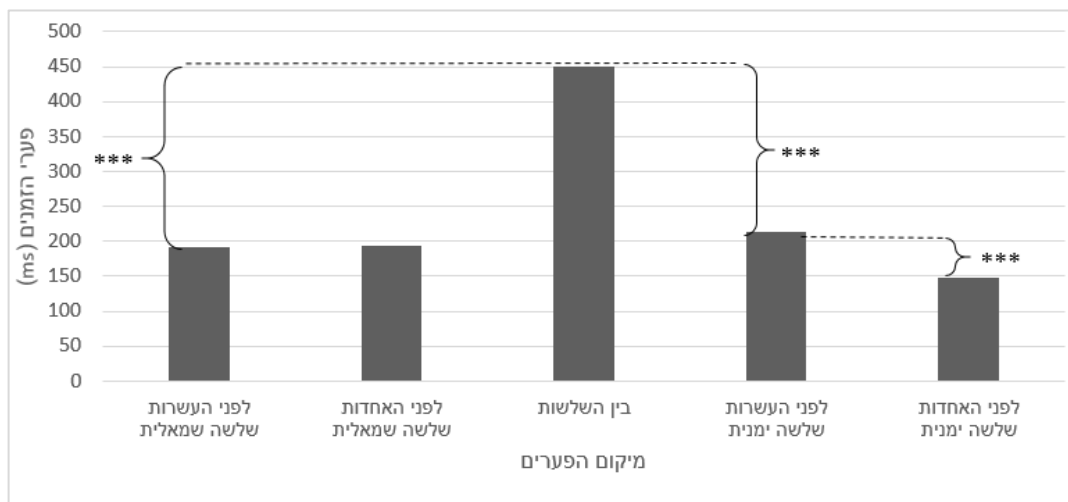


G=Gap

השערות: $G5 > G4$ $G2 > G1$ $G3 > G2$ $G3 > G5$

תרשים 3.1: דפוס פערי הזמנים הצפוי אם קיים עיבוד היררכי של מבנה המספר

תרשים 3.2 מציג את פערי הזמנים שנמצאו בין הספרות במספרים עם 3-6 ספרות ללא 0 שהוכתבו בניסוי 1 (הכתבת מספרים רב-ספרתיים). כפי שניתן לראות, הדפוס שנמצא תואם את השערת העץ.

*** $p < .001$

תרשים 3.2: פערי הזמן בין הספרות במספרים ללא 0 כל האורכים (3-6 ספרות)

כדי לבדוק את דפוסי הכתיבה מבחינה סטטיסטית ניתחתי את המספרים ללא 0 מתוך ניסוי 1 בעזרת Linear Mixed Model (LMM). המשתנה התלוי היה פער הזמנים לפני כל ספרה, המשתתף היה גורם אקראי, והיה גורם תוך-נבדקי אחד: מיקום הספרה במספר כגורם קטגורי. הרצתי סדרת ניתוחים כדי לערוך השוואות ספציפיות בין מקומות עשרוניים שונים, כאשר בכל ניתוח כזה נכללו פערי הזמנים לפני 2 המקומות שהשוו. ראשית בדקתי אם משך העיבוד בין השלוש ארוך יותר באופן מובהק ממשך העיבוד בין ספרת המאות לספרת העשרות, בנפרד עבור השלשה הימנית והשמאלית. שנית בדקתי אם פער הזמן לפני ספרת העשרות ארוך יותר באופן מובהק מפער הזמן לפני ספרת האחדות בכל אחת מהשלשות. לבסוף, בדקתי אם קיימת אינטראקציה בין השלשה (שמאלית או ימנית) לבין מיקום הספרה בתוך השלשה (אחדות או עשרות) בהשפעה על פער הזמן לפני הספרה. לשם כך השתמשתי ב-LMM שכלל (בנוסף למשתתף) את השלשה ואת המיקום בתור 2 גורמים נפרדים, ואת האינטראקציה ביניהם.

הפער בין השלוש נמצא גדול באופן מובהק מהפערים שלפני ספרת העשרות בכל אחת מהשלשות במספרים בני 4-6 ספרות (במספרים עם 3 ספרות יש רק שלשה אחת). הפער היה מובהק גם כאשר הבדיקה הסטטיסטית בוצעה לכל אורך מספר בנפרד. כמו כן, בשלשה הימנית הפער לפני ספרת העשרות נמצא גדול מהפער שלפני ספרת האחדות במספרים בני 3-6 ספרות. הפער היה מובהק גם כאשר הבדיקה הסטטיסטית בוצעה ביחד ובכל אורך בנפרד. פער הזמנים בין השלוש ובתוך השלשה תואמים למודל של ייצוג היררכי של המספר בתהליך הכתיבה (טבלה 3.1).

טבלה 3.1. ההבדלים בפער הזמנים בתוך מספרים עם 3-6 ספרות ללא 0

χ^2	ההפרש בין שני פערי הזמנים (ms)*	שני המיקומים שהשוו (מסומנים ע"י קו אנכי)	אורכי מספר	
130.08***	258	X XX, XXX	כל המספרים 4-6 ספרות	השוואה לפער שבין השלוש
347.38***	236	XXX, X XX	6 ספרות	
130.76***	255	X XX, XXX	5 ספרות	
135.65***	260	XXX, X XX	4 ספרות	
178.80***	297	XX, X XX	4 ספרות	
28.80***	143	X, X XX	כל המספרים 3-6 ספרות	השוואת הפער בתוך שלשה
116.03***	64	XXX,X X X	6 ספרות	
25.22***	38	XXX,X X X	5 ספרות	
0.01	1	X X X,XXX	4 ספרות	
32.52***	49	XX,X X X	4 ספרות	
44.23***	110	X,X X X	3 ספרות	
25.05***	50	X X X	3 ספרות	
19.86***	44	XX X,XX X	6 ספרות	השוואת שלשות
0.23		X XX,X XX		

*** $p < .001$

* הפרש חיובי מצוין פער בכיוון הצפוי

לעומת זאת, דפוס פערי הזמנים בתוך השלשה השמאלית היה שונה. במספרים עם 6 ספרות לא נמצא הבדל בין הפער שלפני ספרת העשרות בשלשה השמאלית לבין הפער שלפני ספרת האחדות באותה שלשה ($\delta = 1$ ms, $\chi^2 = 0.01$, $p = .92$). העיבוד של השלשה השמאלית היה איטי יותר מעיבוד השלשה הימנית: הפער לפני האחדות בשלשה השמאלית ארוך יותר מהפער לפני האחדות בשלשה הימנית ($\delta = 44$ ms, $\chi^2 = 19.86$, $p < .001$), אם כי לא נמצא הבדל בין הפער לפני ספרת העשרות בשלשה השמאלית לבין הפער לפני ספרת העשרות בשלשה הימנית ($\delta = 5$ ms, $\chi^2 = 0.23$, $p = .62$). לא נמצאה אינטראקציה בין השלשה (ימנית או שמאלית) לבין מיקום הספרה בתוך השלשה (אחדות או עשרות) ($\chi^2 = 3.13$, $p = .14$).

דפוסים דומים מאוד נמצאו גם כשבצעתי את הניתוח על מספרים שלא כוללים את הספרה 1 וגם בניתוח שכלל, בנוסף למספרים אלה, גם שלשות ללא 0 או 1 מתוך מספרים שיש בהם 0 או 1 בשלשה האחרת (שהושמטה במקרה זה מהניתוח).

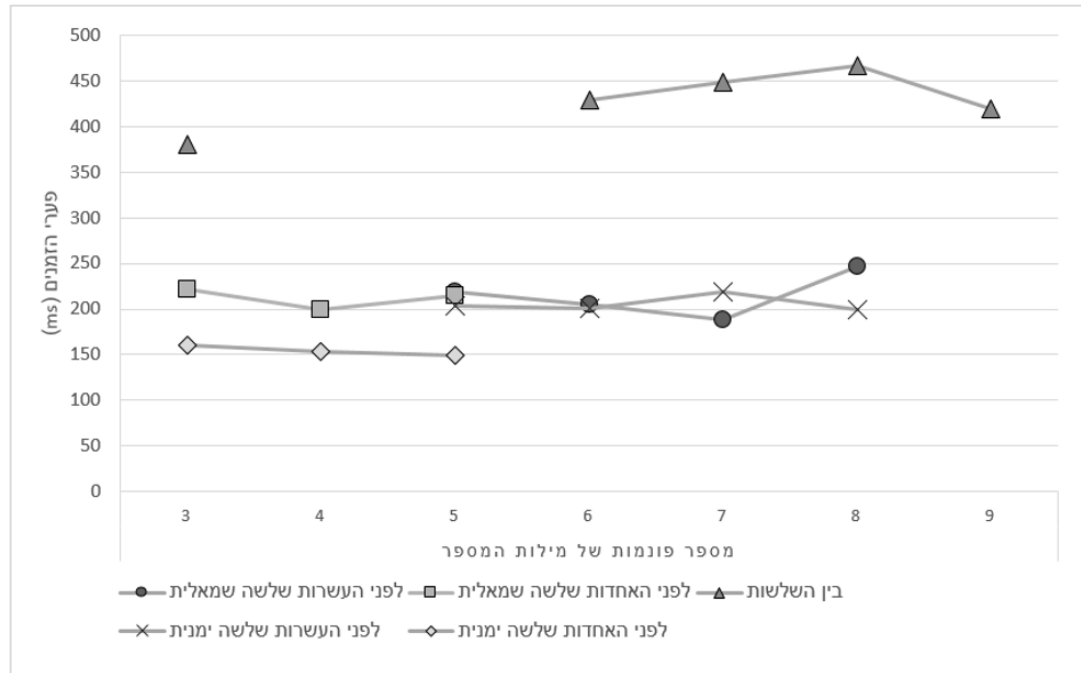
ממצאים אלה מראים כי קיים דפוס היררכי בכתיבת מספרים רב ספרתיים: פער הזמנים בין השלשות גדול יותר מפערי הזמנים שלפני ספרת העשרות בשתי השלשות, ובשלשה הימנית פער הזמנים לפני ספרת העשרות גדול מהפער לפני ספרת האחדות. דפוס זה תואם את הרעיון של תהליך המבוסס על מבנה תחבירי דמוי-עץ של המספר: זמן העיבוד של הספרה ארוך יותר ככל שהצומת בעץ התחבירי גבוה יותר.

היעדר הדפוס ההיררכי בתוך השלשה השמאלית (בין ספרת העשרות ליחידות במספרים בני 6 ספרות) מצביע על כך שיש תהליכים נוספים, מעבר לתהליך התחבירי, המשפיעים על עיבוד המספר. למשל, יתכן שבעת כתיבת השלשה השמאלית מתבצע במקביל גם עיבוד או תכנון של יתר המספר ותהליך זה גורם לזמן עיבוד ארוך יותר של שלשה זו לעומת השלשה הימנית. הסבר אפשרי נוסף הוא שכבר בזמן הקראת השלשה הימנית, הנבדק מתכנן איך לכתוב את השלשה השמאלית ולמעשה כבר "רושם" אותה בבאפר הפלט הספרתי. ברגע שהקראת המספר הסתיימה, הנבדק שולף ישר את השלשה מהבאפר וכותב אותה. בשלב זה העיבוד התחבירי של המספר כבר הסתיים (הבאפר אינו רכיב תחבירי), ולכן לא נצפה דפוס היררכי בשלשה השמאלית. אפשרות שלישית היא שבעת הקראת השלשה הימנית במספר בן 6 ספרות, נוצרת "הפרעה" לייצוג של השלשה השמאלית שהוקראה ראשונה, ולוקח זמן רב יותר להיזכר בה בעת הכתיבה.

3.1.2 התוצאות משקפות אפקט תחבירי, לא פונולוגי

הסבר אלטרנטיבי לדפוס ההיררכי בפערי הזמנים בין הספרות בכתיבת מספרים הוא אפקט של אורך מילות המספר. הסבר זה מניח שתוך כדי כתיבת המספר הנבדק חוזר (אולי בחזרה דמומה) על המספר המוכתב, ולכן האורך של כל מילת המספר משפיע על פערי הזמנים שלפני כתיבת הספרה התואמת. לפי הסבר זה, הדפוס ההיררכי לא נובע ממבנה תחבירי, אלא מכך שמילות המספר המייצגות את ספרת העשרות ארוכות יותר ממילות המספר המייצגות את ספרת היחידות, ומילות המספר של ספרת המאות ארוכות יותר ממילות המספר של ספרת העשרות. עם זאת, כפי שנראה להלן, הממצאים מפריכים את ההסבר האלטרנטיבי הזה.

על מנת לבדוק האם אורך מילות המספר בפונמות משפיע על משך העיבוד, בדקתי את פערי הזמנים לפני כל ספרה בכל אחד מהמיקומים כתלות במספר הפונמות במילת המספר והמיקום במספר, עבור כל המספרים ללא 0. במקרה של ספרת המאות, חישוב האורך כלל גם את המילה "מאות" (למשל $sh/l/o/sh/m/e/o/t = 300$, כלומר 8 פונמות). כפי שניתן לראות בתרשים 3.3, פערי הזמנים לא הושפעו מהאורך הפונולוגי של מילות המספר אלא ממיקום הספרה במספר. כלומר, ההסבר הפונולוגי לא מסביר את הדפוס ההיררכי שנוצר בכתיבת מספרים.



תרשים 3.3: פער הזמן הממוצע לפני כל ספרה, כתלות במיקום הספרה ובמספר הפונמות במילת המספר. פערי הזמנים הושפעו ממיקום הספרה במספר, אבל לא ממספר הפונמות במילה, בהתאם לרעיון שהפערים משקפים את המבנה התחבירי של המספר ולא אסטרטגיה פונולוגית.

כדי לבחון את האפקטים המוצגים בתרשים 3.3 מבחינה סטטיסטית, בדקתי את כל המספרים עם 5-6 ספרות בעזרת LMM בו המשתנה התלוי היה פער הזמנים לפני כל ספרה, המשתתף היה גורם אקראי, והיו 3 גורמים תוך-נבדקיים: מספר הפונמות במילת המספר שתואמת את הספרה (גורם נומרי), מיקום הספרה במספר ואורך המספר כגורמים קטגוריאליים. בכל ההשוואות שהופיעו בתרשים 3.2 לא נמצא אפקט עיקרי לאורך המילה בפונמות על זמני העיבוד, ולא היה שינוי במובהקות של הגורם "מיקום הספרה" – כלומר, השוואה שהיתה מובהקת בתרשים 3.2 נשארה מובהקת גם בניחוח החדש, ולהיפך – השוואות לא מובהקות נותרו כאלה.

ממצאים אלה מראים שדפוסי העיבוד בתהליך הכתיבה, כפי שראינו קודם, והוסברו על-ידי השפעתו האפשרית של תחביר המספר, אינם מוסברים על-ידי האורך הפונולוגי של מילות המספר.

3.1.3 דפוס הכתיבה כאשר המספר מוקרא בצורות שונות

הממצאים המתארים דפוס היררכי בין השלוש ובתוך השלושה הימנית במטלת הכתבת המספרים תומכים בקיומו של ייצוג היררכי של המספר שמשפיע על תהליך הכתיבה. על מנת לבסס את ההסבר התחבירי הזה עוד יותר, השוויתי את הממצאים הללו למקרים בהם המספר המילולי הוצג במבנה תחבירי חלקי. לצורך כך השוויתי את דפוס הפערים שנוצר במקרה של כתיבת מספרים 6 ספרתיים (ניסוי 1) לדפוסים שנוצרו במטלת הכתבת השלוש (ניסוי 2), בה המספרים הוקראו באופן שלא יצר קשר תחבירי בין זוג השלוש, ולתוצאות מטלת הכתבת רצף הספרות (ניסוי 3), בה המספרים הוקראו ללא מבנה תחבירי.

3.1.3.1 דפוס כתיבת מספרים רב-ספרתיים לעומת צמדי שלשות

רציתי לבדוק אם המספר מיוצג במבנה תחבירי אחד, שכולל את המספר כולו, או ע"י 2 מבנים נפרדים של 2 שלשות. לצורך כך השוויתי את דפוס הכתיבה במספרים עם 6 ספרות לעומת צמדי שלשות, והשוויתי את דפוס הפערים בכל שלשה בנפרד (ימנית ושמאלית) במטלת השלוש לעומת מספרים עם 3 ספרות.

ראשית, לפני שבחנתי את ההבדלים בין שתי המטלות, בדקתי את ייצוג מבנה המספר בפריטים ממטלת השלוש בלבד (ניסוי 2). השוויתי בין המיקומים השונים ובדקתי אם קיים דפוס היררכי בדומה לניתוח מספרים עם 6 ספרות. שיטת הניתוח היתה זהה לאופן בו ניתחתי את תוצאות ניסוי 1: LMM בו המשתנה התלוי היה פער הזמנים לפני כל ספרה, המשתתף היה גורם אקראי, והיה גורם תוך-נבדקי אחד: מיקום הספרה במספר כגורם קטגוריאלי.

בדומה לממצאים של הכתבת מספרים בני 6 ספרות, גם במטלת הכתבת זוגות שלשות נמצא כי הפער שבין השלוש היה גדול באופן מובהק מהפער לפני העשרות בשלושה השמאלית ($\Delta = 164 \text{ ms}$, $\chi^2 = 79.05$, $p < .001$) וגם מהפער לפני העשרות בשלושה הימנית ($\Delta = 136 \text{ ms}$, $\chi^2 = 44.32$, $p < .001$). כמו כן, במטלת השלוש, בדומה לדפוס שנמצא במספרים עם 6 ספרות ובהתאם להשערת ההיררכיה בתוך שלשה, הפער שלפני העשרות בשלושה הימנית היה גדול באופן מובהק מהפער שלפני האחדות בשלושה זו ($\Delta = 49 \text{ ms}$, $\chi^2 = 17.89$, $p < .001$). לעומת זאת, בשלושה השמאלית הפער שלפני העשרות היה קטן באופן מובהק מהפער שלפני האחדות בשלושה זו ($\Delta = 16 \text{ ms}$, $\chi^2 = 4.79$, $p < .05$). ממצא זה מעניין מאחר שבמספרים רב-ספרתיים לא נמצא פער מובהק במיקום זה כלל. במקרה זה הפער שנמצא הוא אפילו הפוך לכיוון הצפוי, אם כי רמת המובהקות חלשה ולא שורדת תיקון סטטיסטי לצורך השוואות מרובות.

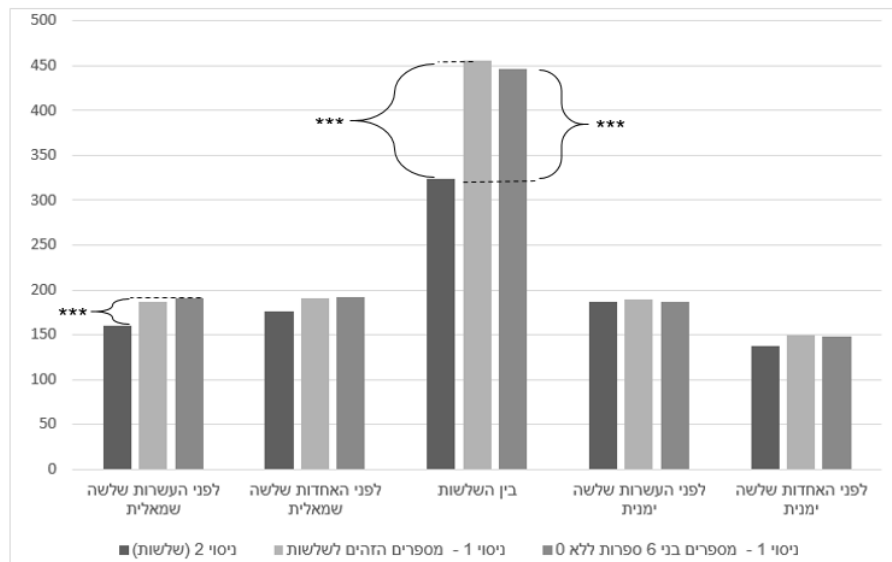
המטרה העיקרית של הכתבת זוגות שלשות היתה להשוות את דפוס הפערים במטלה זו לדפוס הפערים בהכתבת מספרים 6-ספרתיים בניסוי 1. שיערתי שבמטלת השלוש ובניסוי 1 ייצאו דפוסים דומים בתוך השלוש, כיוון שבשתי המטלות כל שלשה הוצגה באותו אופן, כלומר מבנה השלושה היה זהה בשתייהן. לעומת זאת, שיערתי שדפוס הפערים בין השלוש יהיה שונה בין שתי המטלות, מאחר שבמטלת הכתבת שלשות המספר פורק לשתי שלשות שלא מתקיים חיבור תחבירי ביניהן - למעשה מדובר במעין ניתוק בין שתי השלוש.

השתמשתי ב-LMM בו המשתנה התלוי היה פער הזמנים לפני כל ספרה, המשתתף היה גורם אקראי, והיו שני גורמים תוך נבדקיים: מיקום הספרה במספר וסוג המטלה (שלשות או מספרים) כגורמים קטגוריאליים. הרצתי ניתוח נפרד עבור כל מיקום.

הפער בין השלשות במטלת השלשות נמצא קטן באופן מובהק מהפער במיקום זה במספרים עם 6 ספרות ומהפער במיקום זה בהשוואה למספרים רב-ספרתיים עם אותן ספרות בניסוי 1 (תרשים 3.4). נראה שייצוג המספר שנוצר במקרה של הכתבת מספר עם 6 ספרות בו קיים קשר תחבירי בין השלשות שונה ממקרה של צמדי שלשות בו לא מתקיים קשר כזה. כלומר, הממצאים מצביעים על כך שקיים ייצוג תחבירי של מבנה המספר ה-6-ספרתי המלא, ולא רק ייצוג תחבירי של שתי שלשות נפרדות. ספציפית, יתכן וההבדל נובע מכך שבכתיבת שתי שלשות הנבדק מסיים לכתוב את השלשה השמאלית ועובר מיד לכתיבת השלשה הימנית, ואילו במספר עם 6 ספרות, עם סיום כתיבת השלשה השמאלית מתבצע "טיפוס" לשלב גבוה יותר בייצוג ההיררכי על מנת להגיע לכתיבת השלשה הימנית, ואותו "טיפוס" מתבטא בזמן עיבוד ארוך יותר.

הממצאים בתרשים 3.4 גם מאששים את הניבוי לגבי דפוסי הפערים בתוך השלשה הימנית: בבחינת הפערים לפני העשרות בשלשה הימנית, לא נמצא הבדל בין מטלת השלשות לבין אותם מספרים בניסוי 1 ($\Delta = 2 \text{ ms}$), $\chi^2 = 0.03$, $p = .87$ או לכלל המספרים עם 6 ספרות ($\Delta = 1 \text{ ms}$, $\chi^2 = 0.01$, $p = .92$). גם בבחינת הפערים לפני ספרת האחדות בשלשה הימנית, לא נמצא הבדל בין מטלת השלשות לבין אותם מספרים בניסוי 1: גם במספרים רב-ספרתיים עם אותן ספרות ($\Delta = 12 \text{ ms}$, $\chi^2 = 3.77$, $p = .052$) וגם בכלל המספרים עם 6 ספרות ($\Delta = 10$) $\chi^2 = 2.97$, $p = .08$). המשמעות היא שעיבוד השלשה הימנית במספרים רב-ספרתיים או בצמדי שלשות, ככל הנראה אינה תלויה בשלשה השמאלית או באופן החיבור המוקרא בין השלשות.

לעומת זאת, בבחינת הפערים לפני העשרות בשלשה השמאלית, הפער לפני העשרות ($M = 159 \text{ ms}$) נמצא קטן יותר לעומת הפער שלפני העשרות בשלשה השמאלית במספרים עם 6 ספרות ($M = 190 \text{ ms}$), ($\Delta = 31 \text{ ms}$) $\chi^2 = 12.84$, $p < .001$, ולעומת מספרים רב-ספרתיים עם אותן ספרות ($M = 186$) ($\Delta = 27 \text{ ms}$, $\chi^2 = 11.06$, $p < .001$).



*** $p < .001$

תרשים 3.4 : מטלת השלוש מול מספרים רב-ספרתיים עם אותן ספרות ומול כלל המספרים עם 6 ספרות (ללא 0)

על מנת לבדוק אם ההבדלים שראינו בפערים בין השלוש בצמדי שלשות לעומת מספרים עם 6 ספרות אכן מצביעים על תהליכי עיבוד שונים בכל אחת מהמטלות, בדקתי אם קיימת אינטראקציה בין סוג המטלה (מספרים או שלשות) לבין מיקום הספרה. לצורך הבדיקה השתמשתי במספרים שהוכתבו במטלת השלוש ובמספרים עם 6 ספרות ללא 0 שהוכתבו במטלת הכתבת המספרים הרב-ספרתיים (ניסוי 1). השתמשתי ב-LMM בו המשתנה התלוי היה פער הזמנים לפני כל ספרה, המשתתף היה גורם אקראי, סוג המטלה ומיקום הספרה במספר היו שני גורמים קטגוריאליים תוך-נבדקיים, ובנוסף הוכללה האינטראקציה בין סוג המטלה לבין מיקום הספרה במספר. הרצתי ניתוח נפרד עבור כל זוג מיקומים. אפקט האינטראקציה נמצא מובהק באופן ברור, גם בהשוואת הפער בין השלוש לעומת הפער לפני העשרות בשלשה הימנית ($\chi^2 = 17.17, p < .001$), וגם בהשוואת הפער בין השלוש לעומת הפער לפני העשרות בשלשה השמאלית ($\chi^2 = 10.29, p < .01$). כלומר, דפוס הפערים במיקומים השונים היה שונה בין שתי המטלות.

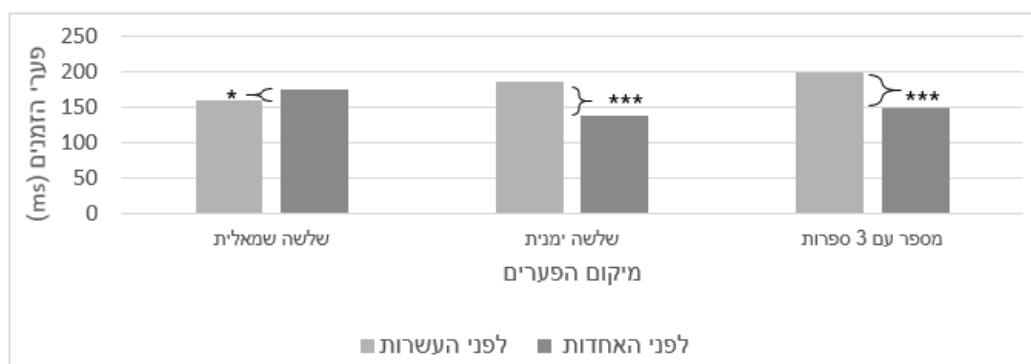
ראינו כי בשלשה השמאלית נמצאו פערי זמנים קצרים יותר במטלת השלוש בהשוואה לניסוי 1, אבל בשלשה הימנית לא היה הבדל בין 2 המטלות. הסבר אפשרי הוא שבמספר עם 6 ספרות נוצר ייצוג הכולל את שתי השלוש, ובניית העץ כולו מתבצעת כבר בעת כתיבת השלשה השמאלית, דבר שמאריך את זמן העיבוד. לעומת זאת, בצמדי שלשות לא נוצר ייצוג ש-ספרתי כזה, וכל שלשה מיוצגת בפני עצמה. לפי הסבר זה, השלשה הימנית משקפת את העיבוד התוך-שלשתי באופן מהימן יותר מהשלשה השמאלית.

חיזוק נוסף לטענה זו מגיע מהשוואת דפוסי הכתיבה של כל אחת מהשלשות לבין דפוסי הכתיבה של מספרים תלת ספרתיים. כדי לראות זאת, השוויתי את דפוס הפערים בתוך שלשה בין כל אחת מהשלשות במטלת השלוש (ימנית או שמאלית) לבין מספרים עם 3 ספרות שהוכתבו במטלת הכתבת המספרים הרב-ספרתיים (ניסוי 1). בגלל

הפירוק של המספר לשתי שלשות נפרדות, ציפיתי למצוא את דפוס הפערים ההיררכי שראינו במספרים עם 3 ספרות גם בתוך כל אחת מהשלשות במטלת הכתבת השלשות. השתמשתי ב-LMM בו המשתנה התלוי היה פער הזמנים לפני הספרה, המשתתף היה גורם אקראי, והיה גורם אחד תוך נבדקי: מיקום הספרה בשלשה (אחדות או עשרות). בצעתי ניתוח נפרד עבור השלשה הימנית, השלשה השמאלית ומספרים עם 3 ספרות.

בבדיקה זו נמצא כי גם בשלשה הימנית של מטלת השלשות הפער שלפני ספרת העשרות גדול מהפער לפני ספרת האחדות בדומה למספרים עם 3 ספרות (תרשים 3.5). דפוס הכתיבה בשלשה זו מצביע על כך שעיבוד השלשה מתאים למודל ההיררכי לכתיבת מספרים, וספציפית למקרה הפשוט של מבנה עם 3 ספרות (שלשה או מספר), בו עיבוד ספרת העשרות ארוך יותר מעיבוד ספרת האחדות.

לעומת זאת, הדפוס שנמצא בשלשה השמאלית במטלת השלשות היה הפוך מהמספרים עם 3 ספרות (תרשים 3.5). במקרה של הכתבת מספר עם שלוש ספרות הנבדק נדרש לכתוב המספר מיד עם סיום הקראת השלשה ולכן המספר נכתב בהתאם לייצוג המספר. לעומת זאת בהקראת צמדי שלשות עובר זמן ארוך יותר בין הקראת השלשה השמאלית לבין כתיבתה בדומה למספרים עם 6 ספרות. יתכן שגם כאן בעת הקראת השלשה הימנית מתרחש תהליך של כתיבת השלשה השמאלית לבאפר הפלט הספרתי, כך שבסיום ההקראת כתיבת השלשה השמאלית היא מיידית ולכן השפעת ייצוג מבנה המספר נמוכה יותר.



* $p < .05$ *** $p < .001$

תרשים 3.5: השוואה בין השלשה הימנית במטלת השלשות, השלשה השמאלית במטלה זו, ומספרים עם 3 ספרות מתוך ניסוי 1

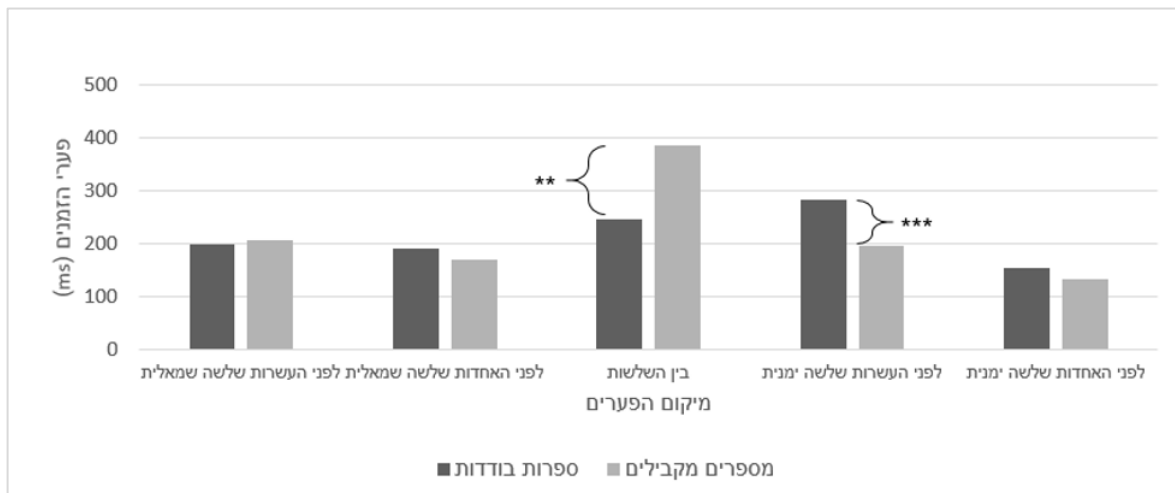
לסיכום, דפוס הכתיבה ה"היררכי" (פער זמן ארוך יותר לפני העשרות מאשר לפני האחדות) בשלשה הימנית במטלת השלשות מקביל לדפוס ההיררכי שנמצא בשלשה הימנית במספרים עם 6 ספרות (ניסוי 1), ולדפוס הכתיבה של מספרים עם 3 ספרות בניסוי 1. ממצא זה מצביע על כך שבכל המקרים האלה, תהליך העיבוד של ספרת העשרות ארוך יותר מאשר תהליך העיבוד של ספרת האחדות, בהתאם לרעיון שחיבור המילים של עשרות ויחידות מתרחש בצומת נמוך בעץ, ואילו מילת המאות מתחברת אליהן בצומת גבוה יותר. לעומת זאת, זמני העיבוד הקצרים יותר בין השלשות במטלת השלשות לעומת ניסוי 1 מצביעים על כך שתהליך העיבוד במספר עם 6 ספרות בו קיים קשר תחבירי בין השלשות שונה ממקרים בהם לא קיים קשר כזה. יתכן שקל יותר לעבד את השלשה השמאלית במטלת השלשות מאשר בניסוי 1 מאחר שבניסוי 1 יש עיבוד של ייצוג המספר כולו בזמן כתיבת השלשה השמאלית,

אבל במטלת השלשות אין צורך בכך. בנוסף, משך העיבוד הקצר של ספרת העשרות בשלשה השמאלית במטלת השלשות לעומת מספרים עם 3 ספרות, עשוי להצביע עיבוד מוקדם יותר של השלשה השמאלית המתבצע עוד בזמן ההקראה של השלשה הימנית (אפקט מקצר נוסף בצמדי שלשות).

3.1.3.2 דפוסי הכתיבה של מספרים רב-ספרתיים לעומת רצף ספרות בודדות

אם הדפוס ההיררכי בפערי הזמנים נובע מייצוג של מבנה המספר, נצפה שדפוס זה יופיע כאשר הנבדק שומע מספר רב-ספרתי במבנה תחבירי (למשל "מאה עשרים ושלוש"), אבל לא יופיע כאשר הנבדק שומע את אותו מספר בתור רצף ספרות ("אחת, שתיים, שלוש"). בדקתי את ההבדלים בדפוסי הכתיבה כאשר מספר רב-ספרתי הוכתב כמספר (בניסוי 1) לעומת הדפוס הנוצר כאשר הוא הוכתב כרצף ספרות (בניסוי 3). ציפיתי שבמקרה של רצף ספרות לא ימצא דפוס כתיבה היררכי כמו שראינו במקרה של הכתבת מספר.

בניגוד לניסוי 1, במקרה של הכתבת ספרות (ניסוי 3) לא ראינו דפוס היררכי ברור (תרשים 3.6). תוצאות דומות נמצאו גם בהשוואת הסדרות של הספרות לכלל המספרים עם 5 ו- 6 ספרות ללא 0.



** $p < .01$ *** $p < .001$

תרשים 3.6: דפוס הכתיבה של סדרות ללא 0 לדפוס הכתיבה של מספרים רב-ספרתיים בניסוי 1 (הכתבת מספרים רב-ספרתיים)

על מנת לבדוק מבחינה סטטיסטית את דפוס הפערים שנוצר במטלת הכתבת הספרות (ניסוי 3) השתמשתי בניתוח LMM בו המשתנה התלוי היה פער הזמנים לפני כל ספרה, המשתתף היה גורם אקראי, והיה גורם תוך-נבדקי אחד: מיקום הספרה במספר כגורם קטגוריאלי. לאחר מכן השוויתי את דפוסי הכתיבה במטלת הספרות לדפוס של אותם מספרים בניסוי 1. השתמשתי בניתוח LMM בו המשתנה התלוי היה פער הזמנים לפני כל ספרה, המשתתף היה גורם אקראי, והיו שני גורמים תוך-נבדקיים: מיקום הספרה במספר וסוג המטלה כגורמים קטגוריאליים.

במטלת הכתבת הספרות נמצא כי פער הזמן לפני ספרת האחדות היה קצר יותר מפער הזמן לפני ספרת העשרות, אך ההבדל היה מובהק רק בקושי ($\chi^2 = 6.09, p < 0.05$, $\Delta = 128$ ms). בהשוואת דפוס הפערים בין המטלות הפער בין השלוש היה ארוך יותר באופן משמעותי בהכתבת מספרים (ניסוי 1) לעומת הכתבת ספרות (ניסוי 3), והפער לפני ספרת העשרות בשלושה הימנית היה ארוך יותר באופן משמעותי בהכתבת סדרות (ניסוי 3) של ספרות לעומת הכתבת מספרים (ניסוי 1) (תרשים 3.6). הבדלים אלה מהווים "שבירה" ברורה של הדפוס ההיררכי, ככל הנראה בגלל שהספרות לא הוכתבו במבנה של מספר. הסבר אפשרי לפער הגדול יותר לפער הגדול לפני העשרות בניסוי 3 הוא שחלק מאסטרטגיות הזכירה של הסדרות כוללות שינון של חלק מהסדרה כצמדים ושלוש, לכן רואים בדפוס הכתיבה גם תופעות שראינו במספרים. לדוגמה, יתכן שחלק מהנבדקים זוכרים את רצף הספרות 2-8-9-3-2, כ: 7-2-8-9-32. מחקר זה לא כלל מספיק פריטים מכל אורך כדי לבדוק אפשרות זו לעומק. מחקר המשך יוכל לבדוק את הנושא באופן מעמיק.

3.1.3.3 סיכום ביניים - דפוס עיבוד היררכי

בפרק זה ראינו כי פערי הזמנים בין הספרות במספרים רב ספרתיים יוצרים דפוס כתיבה היררכי בין השלוש ובתוך השלושה הימנית. היררכיה זו באה לידי ביטוי בפערי זמן ארוכים יותר בין השלוש לעומת הפער שלפני העשרות בשלושה הימנית ולעומת הפער שלפני העשרות בשלושה השמאלית, וכן בפער ארוך יותר לפני ספרת העשרות בשלושה הימנית לעומת הפער שלפני האחדות בשלושה זו. הדפוס הזה היה ייחודי להכתבת מספרים רב-ספרתיים: כאשר המספר הוכתב ספרה-ספרה, לא נמצא דפוס היררכי מלא. מכאן שהדפוס ההיררכי לא נובע מהספרות עצמן, אלא מכך שמילות המספר הופיעו במבנה תחבירי של מספר רב-ספרתי. בנוסף, לא נמצאה השפעה של אורך מילות המספר על פערי הזמנים בין הספרות במספרים רב-ספרתיים – כלומר, הדפוס ההיררכי לא נובע מאפקט פונולוגי של אורך מילות המספר.

ממצאים אלה תומכים ברעיון לפיו קיים ייצוג היררכי דמוי-עץ של מבנה המספר, כאשר צמתים גבוהים יותר באותו עץ דורשים זמן עיבוד ארוך יותר מאשר צמתים נמוכים יותר.

לעומת השלושה הימנית, בשלושה השמאלית לא נמצאו הבדלים בפערי הזמנים שלפני העשרות לעומת הפערים שלפני האחדות. מכאן ניתן להסיק שככל הנראה מתקיימים תהליכים נוספים שמשפיעים על עיבוד המספר. לדוגמה, ייתכן שבזמן כתיבת השלושה השמאלית מתקיימים במקביל גם תהליכי תכנון של המשך המספר ועיבוד השלושה הימנית, או היזכרות בשלושה השמאלית שהוקראה ראשונה.

מטלת הכתבת צמדי השלוש (ניסוי 2) ומטלת הכתבת הספרות הבודדות (ניסוי 3) נועדו לשמש כבקרה על ההשערה שקיים ייצוג היררכי של מבנה המספר בעת כתיבה של מספרים רב-ספרתיים. ואכן, ראינו שכאשר המספר הוכתב כמספר רב-ספרתי, משך העיבוד בין השלוש היה גדול באופן משמעותי מאשר במקרים בהם המספר הוכתב בלי מבנה תחבירי מלא. תופעה זו, שנמצאה גם במקרה של הכתבת זוגות שלשות וגם במקרה של הקראת סדרות של ספרות בודדות, מחזקת את ההשערה שבעת הכתיבה של מספרים נוצר ייצוג היררכי המושפע מהמבנה התחבירי של המספר. מכאן ניתן לשער כי בהשוואה למספרים רב-ספרתיים, במקרים בהם לא קיים תחביר של מספר מלא בין השלוש, אין "טיפוס" לצומת תחבירי גבוה יותר בעץ ולכן העיבוד במיקום זה מהיר יותר.

3.2 השפעת ספרות מיוחדות על ייצוג המספר

3.2.1 השפעת הספרה 0 על עיבוד המספר בתהליך הכתיבה

0 היא ספרה מיוחדת מאחר ויש לה תפקיד תחבירי הנובע מכך שהיא לא קיימת בייצוג המילולי של המספר. משום כך, הספרה 0 יוצרת אי-רגולריות במספר. האפיון המדויק של אי-רגולריות זו תלוי בהנחה שלנו לגבי מבנה המספר. במחקר זה תיארו שני מודלים אפשריים לעיבוד המספר, והאי-רגולריות של 0 תוגדר באופן מעט שונה בכל אחד מהם. מודל אחד עוסק בייצוג המספר במבנה של עץ וכולל חלוקה לתת מבנים – שלשות. מודל זה מניח שהמבנה הבסיסי (הרגולרי) הוא עץ ללא אפסים וכל 0 יוצר אי-רגולריות במובן מסוים, אבל 0 במיקום ספרת המאות (בשלשה הימנית, XXX,0XX) עשוי ליצור אי-רגולריות בולטת יותר. המודל השני מניח עיבוד של הספרות בתור צ'אנקים של 3-4 ספרות (Chekaf, 2016). במקרה זה, 0 בתוך השלשה, בספרת האחדות או העשרות, עשוי דווקא להקל על העיבוד של השלשה, כפי שעולה ממחקרם של Guerrero et al. (2014), אבל 0 בתחילת השלשה (בספרת המאות) יוצר אי-רגולריות. הפרק הנוכחי ינסה לאפיין את המעמד המיוחד של 0. נשים לב ששני המודלים מנבאים קושי מיוחד כאשר הספרה 0 מופיעה בספרת המאות. אכן, כמו שנראה להלן, הממצאים לא יכריעו בין שני המודלים, אבל כן יצליחו לאפיין באופן מדויק יותר את השפעת הספרה 0. למעשה, שני המודלים – מודל הצ'אנקים ומודל העץ – כלל לא סותרים, אלא משלימים זה את זה: גם במודל העץ, אפשר לראות את החלוקה הראשונית לשני תתי-עצים (שתי שלשות) בתור חלוקה לשני צ'אנקים, כאשר רמת הלכידות בתוך כל תת-עץ / צ'אנק גבוהה יותר מהלכידות ביניהם.

עיבוד צ'אנק

במקרה של 0 בתוך שלשה, בספרת האחדות או העשרות, ציפיתי לשחזר את ממצאיו של Guerrero et al. (2014) לגבי מספרים תלת-ספרתיים ולמצוא שגם לפני העשרות וגם לפני האחדות, פער הזמן לפני 0 יהיה קצר יותר לעומת ספרות אחרות (1-9). מאחר וראינו בפרק הקודם שהשלשה השמאלית מתנהגת שונה מהשלשה הימנית במספרים ללא 0, בדקתי תחילה את השלשה הימנית. על השלשה השמאלית אדון בהמשך.

0 בתוך השלשה הימנית. על מנת לבדוק את השפעת ה-0 על פערי הזמנים בשלשה הימנית, ביצעתי ניתוחים סטטיסטיים באמצעות LMM על המספרים עם 4, 5 ו-6 ספרות מתוך מטלת הכתבת המספרים הרב-ספרתיים (ניסוי 1). בניתוח נכללו מספרים ללא 0 ומספרים עם 0 יחיד במקומות שונים במספר. בצעתי ניתוח עבור כל אחד משני המיקומים, עשרות ואחדות. המשתנה התלוי היה פער הזמנים לפני הספרה הנוכחית, המשתתף היה גורם אקראי, והיו 3 גורמים תוך-נבדקים: הגורמים הקריטיים היו גורמים קטגוריאליים שמציינים עבור כל ספרה בשלשה, אחדות או עשרות, אם היתה 0 או לא. בנוסף, אורך המספר הוכנס כגורם קטגוריאלי.

כאשר הספרה 0 הופיעה במיקום האחדות או העשרות, פער הזמנים לפני ה-0 קצר בהשוואה למספרים בהם לא היה 0 באותו מקום. דפוס זה התקיים עבור כל אורך מספר - 4, 5 ו-6 ספרות. כמו כן, במספרים עם 4 ספרות (אך לא במספרים הארוכים יותר), קיומו של 0 באחדות או בעשרות קיצר גם את פערי הזמנים לפני הספרה האחרת: 0 בעשרות קיצר את הפער לפני ספרת האחדות ו-0 באחדות קיצר את הפער לפני העשרות (טבלה 3.2).

טבלה 3.2 השפעת 0 בתוך השלשה הימנית על הפערים בתוך השלשה, במספרים עם 4, 5 ו- 6 ספרות

השפעה על עשרות	השפעה על אחדות	מיקום ה- 0 בשלשה הימנית	אורכי מספר
(ms)	(ms)		
** -73	*** -35	אחדות	4 ספרות
*** -112	* -15	עשרות	
-15	** -23	אחדות	5 ספרות
* -47	2	עשרות	
-23	*** -37	אחדות	6 ספרות
** -59	-5	עשרות	

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

קיצור הפערים במקרה של שלשה ימנית הכוללת 0 מצביע על עיבוד של יחידות שלמות בבת אחת – עיבוד צ'אנק. נראה שהמבנה של שלשות כאלה הוא פשוט יותר, קל יותר לזכור אותן ולכן הן מעובדות מהר יותר.

4 ספרות עם 0 במאות. אם מספרים 4 ספרתיים מעובדים בתור צ'אנק אחד, נצפה שכאשר הספרה 0 מופיעה במיקום המאות במספרים אלה (כלומר בתחילת צ'אנק) פערי הזמנים לפניו יהיו קצרים יותר בהשוואה לספרה אחרת באותו מיקום, בדומה לאפקט של 0 באמצע שלשה. במספרים ארוכים יותר (5-6 ספרות), יש לשער שהמספר מחולק ל-2 צ'אנקים (שלשה ימנית + זוג/שלשה שמאלית), כלומר 0 בספרת המאות כבר לא מופיעה באמצע צ'אנק אלא בתחילתו, לכן ייתכן שהאפקט שלה יהיה שונה. בהמשך נראה שזהו אכן המצב. כרגע אתמקד רק בנייתוח המספרים בני 4 ספרות.

כדי לבדוק את השפעת ה-0 במאות, בדקתי מספרים עם 4 ספרות – מספרים ללא 0 ומספרים עם 0 יחיד במקומות שונים במספר מתוך מטלת הכתבת המספרים הרב-ספרתיים (ניסוי 1). ביצעתי ניתוח סטטיסטי באמצעות LMM בו המשתנה התלוי היה פער הזמנים לפני כל ספרה (ניתוח נפרד לכל אחד מהמיקומים במספר), המשתתף היה גורם אקראי, והיה גורם אחד קטגוריאלי תוך-נבדקי: האם ספרת המאות היתה 0 או לא. הפער לפני ספרת המאות אכן היה קצר יותר כאשר ספרת המאות היתה 0, והשפעת ה-0 היתה קרובה למובהקות ($\Delta = 55$ ms, $\chi^2 = 3.07$, $p = .08$).

בנוסף, הופעת הספרה 0 במאות קיצרה באופן מובהק את הפער לפני ספרת העשרות (כלומר, אחרי ה-0) בהשוואה למספרים בלי 0 בכלל ($\Delta = 94$ ms, $\chi^2 = 20.75$, $p < .001$). מכאן ניתן להסיק כי מספר עם 4 ספרות מעובדים כיחידה אחת (עיבוד צ'אנק). ספרת המאות היא באמצע הצ'אנק, וכאשר ספרה זו היא 0, זמן העיבוד שלה מתקצר, בדיוק כמו כש-0 מופיעה ביחידות או בעשרות.

0 בתחילת שלשה יוצר אי-רגולריות

במספרים ארוכים (5 ו-6 ספרות), הופעת 0 כספרת המאות יוצרת למעשה מבנה מספר אי-רגולרי (0XX), עם 0 בתחילת צ'אנק. אם אכן נוצר ייצוג מילולי הכולל מבנה אי-רגולרי בשלשה הימנית יתכן שפערי העיבוד לפני ה-0

(בין השלוש) יהיו ארוכים יותר בהשוואה למספרים ללא 0 במיקום זה. כדי לבדוק השערה זו, ביצעתי ניתוחים סטטיסטיים באמצעות LMM על המספרים עם 5 ו-6 ספרות מתוך מטלת הכתבת המספרים הרב-ספרתיים (ניסוי 1). בניתוח נכללו מספרים ללא 0 ומספרים עם 0 יחיד במקומות שונים במספר. המשתנה התלוי היה פער הזמנים בין השלוש, המשתתף היה גורם אקראי, והיו 2 גורמים תוך-נבדקיים: הגורם הקריטי היה האם ספרת המאות היא 0 או לא כגורם קטגוריאלי, וגורם קטגוריאלי נוסף היה אורך המספר. הפער בין השלוש היה ארוך יותר באופן מובהק כאשר היה 0 בספרת המאות בהשוואה למספרים ללא 0 במאות ($\chi^2 = 22.41, p < .001, \text{delta} = 111 \text{ ms}$).

בניתוח של כל אורך מספר בנפרד נמצא כי במספרים עם 5 ספרות, 0 בספרת המאות מאריך את הפער בין השלוש (לפני ה-0) באופן משמעותי מאוד ($\chi^2 = 14.12, p < .001, \text{delta} = 135 \text{ ms}$). במספרים עם 6 ספרות, גודל האפקט היה זהה אבל רמת המובהקות היתה נמוכה יותר ($\chi^2 = 3.10, p = .07, \text{delta} = 135 \text{ ms}$).

הניתוח הנ"ל מראה כי הופעת 0 בספרת המאות גרמה להארכת הפער בין השלוש. בניגוד לכך, במספרים בני 4 ספרות ראינו לעיל ש-0 בספרת המאות קיצר את הפער בין השלוש. כדי לבדוק אם ההבדל בין הארוכים השונים מובהק, השתמשתי בניתוח LMM על כל המספרים (4-6 ספרות) עם 0 במאות או ללא 0 בכלל. המשתנה התלוי היה פער הזמנים בין השלוש, המשתתף היה גורם אקראי, והיו 3 גורמים קטגוריאליים תוך-נבדקיים – אורך המספר, האם ספרת המאות היא 0 או לא, והגורם הקריטי – האינטראקציה ביניהם. אפקט האינטראקציה נמצא מובהק ($\chi^2 = 11.15, p < .05$), גם כאשר השוויתי בנפרד את המספרים ה-4-ספרתיים למספרים ה-6-ספרתיים ($\chi^2 = 8.55, p < .05$) או ה-5-ספרתיים ($\chi^2 = 24.12, p < .001$). ממצאים אלה מראים באופן ברור את ההבדל בדפוס הפערים בין מספרים בני 4 ספרות למספרים הארוכים יותר, ומחזקים את המסקנה שמספרים עם 4 ספרות עם 0 במאות מעובדים כצ'אנק אחד, בניגוד למספרים ארוכים יותר – שמעובדים בשני צ'אנקים. כמו כן, יתכן שהמובהקות של האינטראקציה חלשה יחסית במספרים עם 6 ספרות, מאחר שחלק מהעיבוד של ה-0 מתבצע עוד בזמן כתיבת השלשה השמאלית כמו שנראה בהמשך.

תהליכים בשלשה השמאלית

0 בתוך השלשה השמאלית. בפרק הקודם, שעסק בדפוס הכתיבה ההיררכי, ראינו דפוס כתיבה שונה בשלשה השמאלית לעומת השלשה הימנית: פערי הזמנים הראו דפוס היררכי בשלשה הימנית אבל לא בשלשה השמאלית. הסברתי זאת כאינדיקציה לקיומם של תהליכים נוספים שמשפיעים על עיבוד השלשה השמאלית. לכן בדקתי את השפעת ה-0 גם בתוך השלשה השמאלית על מנת לבדוק אם ה-0 משפיע על שתי השלוש באופן דומה או שגם במקרה זה מתקיימים תהליכים נוספים בשלשה השמאלית.

על מנת לבדוק את השפעת ה-0 על פערי הזמנים בשלשה השמאלית, ביצעתי ניתוחים סטטיסטיים באמצעות LMM על המספרים עם 5 ו-6 ספרות מתוך מטלת הכתבת המספרים הרב-ספרתיים (ניסוי 1). בניתוח נכללו מספרים ללא 0 ומספרים עם 0 יחיד במקומות שונים במספר. מאחר שהשלשה השמאלית לא זהה מבחינת המבנה במקרה של 5 ו-6 ספרות, הניתוח התבצע מראש על כל אורך בנפרד ועל כל ספרה בנפרד. המשתנה התלוי היה פער הזמנים לפני כל ספרה בשלשה, המשתתף היה גורם אקראי, והיו 2 גורמים תוך-נבדקיים: האם כל אחת מהספרות, אחדות או עשרות בשלשה השמאלית, היא 0 או לא.

לעומת קיצור הפער לפני 0 שראינו בשלשה הימנית, הממצאים של 0 בשלשה השמאלית היו שונים: לא נמצא אפקט לקיומו של 0 ומיקומו בשלשה על פערי העיבוד לפני ה-0 או על פערי עיבוד לפני ספרות אחרות בשלשה זו (טבלה 3.3). הממצאים חזרו על עצמם גם ב-5 ספרות וגם ב-6 ספרות. כלומר, משך עיבוד ה-0 אינו קצר יותר מעיבוד ספרות אחרות בשלשה השמאלית. הבדלים אלה בדפוסי הפערים בין השלשה הימנית לשלשה השמאלית מקבילים להבדלים בין השלוש שראינו בדפוסי הזמנים של מספרים ללא 0, והם תומכים באפשרות שקיימים תהליכים נוספים המשפיעים על עיבוד השלשה השמאלית.

טבלה 3.3. השפעות 0 בתוך השלשה השמאלית במספרים עם 5 ו-6 ספרות

השפעה על זמני העיבוד (ms)				
עשרות		אחדות		מיקום ה 0 בשלשה
<i>p</i>	delta (ms)	<i>p</i>	delta (ms)	
.71	-15	.32	48 (6 ספרות)	אחדות
		.81	9 (5 ספרות)	
.15	23	.5	-12	עשרות

השפעת 0 במאות על העיבוד בתוך השלשה השמאלית. על מנת לבדוק אם 0 בתחילת שלשה במספרים ארוכים (5 ו-6 ספרות) משפיע גם על פערי הזמנים לפני ספרות אחרות במספר (בנוסף להשפעה על הפער לפני ה-0 עצמו), ביצעתי ניתוחים סטטיסטיים באמצעות LMM על המספרים עם 5 ו-6 ספרות מתוך מטלת הכתבת המספרים הרב-ספרתיים (ניסוי 1). בנייתו נכללו מספרים ללא 0 ומספרים עם 0 יחיד במקומות שונים במספר. המשתנה התלוי היה פער הזמנים לפני כל ספרה במספר, המשתתף היה גורם אקראי, והיו 2 גורמים תוך-נבדקיים: האם ספרת המאות היא 0 או לא כגורם קטגוריאלי, ואורך המספר כגורם קטגוריאלי. ביצעתי ניתוח נפרד עבור כל מיקום של המשתנה התלוי.

במספרים עם 6 ספרות, הפער לפני ספרת העשרות בשלשה השמאלית היה ארוך יותר במספרים עם 0 במאות בהשוואה למספרים ללא 0 ($\chi^2 = 17.18$, $p < .001$, $\text{delta} = 79$ ms) (ב-5 ספרות הניתוח הזה לא רלבנטי בגלל שספרת העשרות היא הראשונה ולא יכולה להיות 0). גם הפער לפני ספרת האחדות בשלשה השמאלית היה ארוך יותר במספרים עם 0 במאות בהשוואה למספרים ללא 0 ($\chi^2 = 8.86$, $p < .01$, $\text{delta} = 64$ ms). ההשפעה הזו היא ייחודית לפערים לפני האחדות ולפני העשרות בשלשה השמאלית במקרה של 0 במאות במספרים עם 6 ספרות. האפקט של 0 במאות על השלשה השמאלית לא נמצא במספרים עם 5 ספרות (לפני האחדות בשלשה השמאלית). הספרה 0 במאות קיצרה את הפערים בתוך השלשה הימנית במספרים בני 4 ספרות (כפי שתואר לעיל), אך לא במספרים הארוכים יותר.

מכאן ניתן להסיק כי במספרים עם 6 ספרות, 0 במאות (כלומר בתחילת צ'אנק) מאריך את משך העיבוד בשלשה השמאלית. ההסבר שלי לדפוס הזה הוא שמתבצע תכנון מראש של השלשה הימנית האי-רגולרית (0XX) כבר בזמן כתיבת הספרות הראשונות של המספר. במקרה של 6 ספרות זה משפיע על הפערים בתוך השלשה השמאלית

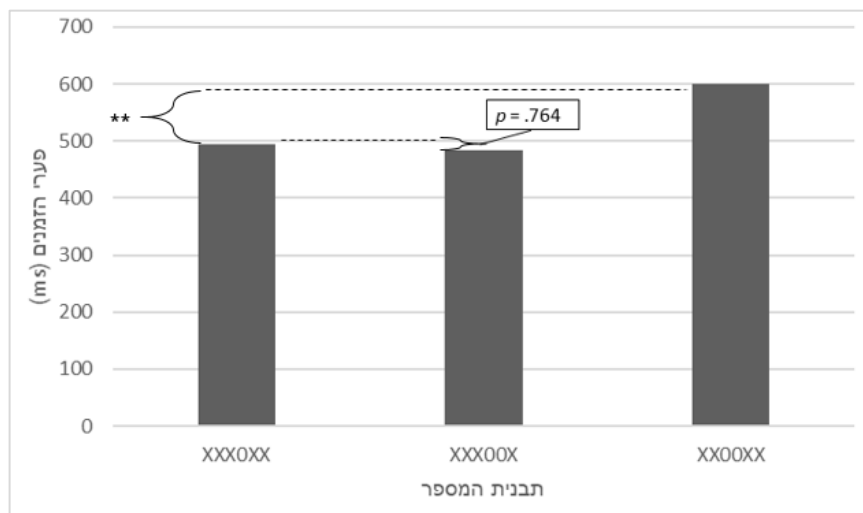
ובמקרה של 5 ספרות זה משפיע על הפער בין השלשות (מאחר והשלשה השמאלית קצרה יותר במקרה הזה).
 יתכן וזו הסיבה לכך שהשפעת 0 במאות על הפער בין השלשות היתה רק קרובה להיות מובהקת במספרים עם 6 ספרות. בנוסף, ההשפעה ב-6 ספרות על פערי העיבוד בספרות שלפני ה-0 במאות (אחדות ועשרות שלשה שמאלית) לעומת 4 ספרות כאשר יש השפעה על ספרות אחרי ה-0 במאות (עשרות שלשה ימנית), עשויה להצביע על תהליכי עיבוד שונים בכל אחד מהמקרים (צ'אנק ב-4 ספרות לעומת עיבוד היררכי ב-6 ספרות).

3.2.1.1 רצף אפסים חוצה שלשות

בדקתי מה קורה לדפוס הכתיבה כאשר המספר כולל רצף של מספר אפסים, ובמיוחד כאשר הרצף חוצה את השלשות. אם המספר עדיין מעובד במבנה העץ הרגיל גם כאשר יש בו רצף אפסים, נצפה שרצף האפסים יגדיל את מידת האי-רגולריות של המספר, ובהתאמה את פער הזמנים בין השלשות. לעומת זאת, אם רצף האפסים יעובד דווקא כיחידה אחת (כלומר, מתייחסים למספרים כאלה בתור מקרה מיוחד שחורג ממבנה העץ הרגיל), פערי הזמנים בין הספרות ברצף (כולל הפער בין השלשות) עשויים להיות דווקא נמוכים. כדי להכריע בין שתי האפשרויות הללו, בדקתי את ההשפעה של רצף אפסים באורכים שונים על פערי הזמנים בתוך הרצף ולפניו.

ראשית, בדקתי מספרים עם 6 ספרות עם 0 בספרת המאות בלבד (XXX0XX) בהשוואה למספרים עם 0 נוסף מימין או משמאל לספרת המאות (XX00XX, XXX00X) מתוך מטלת הכתבת המספרים הרב-ספרתיים (ניסוי 1). הניתוח התבצע באמצעות LMM בו המשתנה התלוי היה פער הזמנים בין השלשות, המשתתף היה גורם אקראי, והיה גורם תוך-נבדקי אחד: תבנית המספר, (בספרת העשרות או בספרת האלפים) כגורם קטגוריאלי.

בהשוואה בין מספרים עם 0 יחיד במאות (XXX,0XX) לבין מספרים עם 0 בודד נוסף מימין (XXX,00X), לא נמצא הבדל בפערי הזמנים בין השלשות. עם זאת, נמצא הבדל בפערי הזמנים בין השלשות בין מספרים עם 0 יחיד במאות (XXX,0XX) לבין מספרים עם 0 נוסף משמאלו (XX0,0XX) (תרשים 3.7).



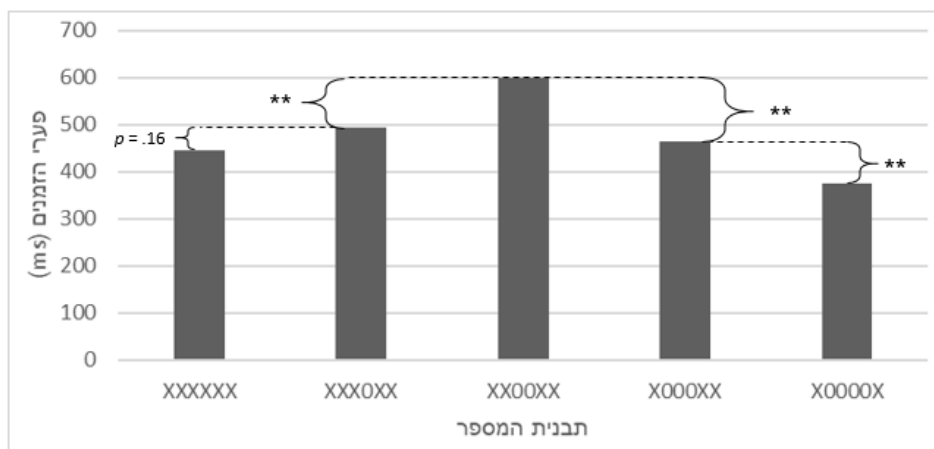
** $p < .01$

תרשים 3.7: הפער בין השלשות כאשר יש 0 במאות – הוספת 0 משמאל (0 באלפים) מגדילה את הפער והוספת 0 מימין (0 בעשרות) לא משנה את הפער.

ככל הנראה ה-0 הנוסף בשלשה הימנית אינו גורם לעיבוד שונה בין השלשות. לעומת זאת נראה שהוספת ה-0 הצמוד בשלשה השמאלית (שהופכת להיות במבנה XX0 במקום במבנה XXX) מעלה את זמן העיבוד בין השלשות. מעניין במיוחד לראות ש-0 נוסף משמאל לספרת המאות הגדיל את פער הזמנים בין השלשות, אבל לא היתה השפעה כזאת ל-0 מימין. הממצא הזה מצביע על כך שהגדלת הפער בין השלשות לא נבעה רק מעצם העובדה שהיה במספר רצף של 2 אפסים, אלא מהמבנה התחבירי הספציפי של המספר. כנראה שהאי-רגולריות הנובע מהיעדר ייצוג מוקרא של ספרת המאות מועצם עקב היעדרה מהייצוג המוקרא גם של ספרת האחדות בשלשה השמאלית. ממצא זה מחזק את מסקנתי הקודמת, שהמספר מעובד כמבנה אחד ולא בתור 2 שלשות בלתי תלויות.

על מנת לבחון כיצד רצף אפסים ארוך יותר מ-2 ספרות משפיע על משך העיבוד בין השלשות, בדקתי מספרים עם 6 ספרות עם 0 בספרת המאות בלבד, ומספרים עם אפסים נוספים היוצרים רצף חוצה שלשות (תבניות: XXX0XX, XX00XX, X000XX, X0000X), מתוך מטלת הכתבת המספרים הרב-ספרתיים (ניסוי 1). הניתוח התבצע באמצעות LMM בו המשתנה התלוי היה פער הזמנים בין השלשות, המשתתף היה גורם אקראי, והיה גורם תוך-נבדקי אחד: תבנית המספר, כגורם קטגוריאלי.

בתרשים 3.8 אפשר לראות שפער הזמנים הארוך ביותר בין השלשות נצפה במקרה שתואר לעיל – 2 אפסים (XX0,0XX). ברצפים ארוכים יותר, ככל שרצף האפסים ארוך יותר, כך פער הזמן בין השלשות מתקצר.



** $p < .01$

תרשים 3.8: הפער בין השלשות – רצף של 2 אפסים מגדיל את הפער בין השלשות אך התארכות הרצף ל-3 ו-4 אפסים מקצרת את הפער בין השלשות כנראה כתוצאה ממעבר לעיבוד צ'אנק של רצף האפסים.

הממצאים הללו מעלים מסקנות מעניינות לגבי 2 האפשרויות שהועלו בתחילת הפרק – עיבוד של רצפי אפסים במבנה העץ הרגיל או בתור "מקרה מיוחד". נראה שהמציאות מורכבת יותר מאשר חלוקה דיכוטומית בין שתי האפשרויות הנ"ל, ושכדי לעבד מספרים עם אפסים אנחנו משתמשים בשילוב של שתי האסטרטגיות הללו. כאשר במספר יש 0 בודד או רצף של שני אפסים, אנחנו משתמשים במבנה העץ הרגיל. במצב כזה, רצף של 2 אפסים

הוא יותר אי-רגולרי מאפס בודד, ומגדיל את פער הזמנים בין השלשות. במקרה של רצף אפסים ארוך, מתבצע עיבוד של רצף האפסים כיחידה אחת, לכן פער הזמנים בין השלשות קטן יותר.

אם רצף של 3 אפסים ומעלה מעובד כיחידה אחת, ניתן לשער שהתכנון של כתיבת הרצף יתחיל לפני ה-0 הראשון ברצף. כתוצאה מכך, פער הזמנים לפני תחילת רצף האפסים עשוי להיות ארוך במיוחד. כדי לבדוק זאת, ביצעתי ניתוח סטטיסטי נוסף על מספרים עם 6 ספרות עם רצפים של 2, 3 או 4 אפסים (תבניות: X000XX, X000XX, X000XX), מתוך מטלת הכתבת המספרים הרב-ספרתיים (ניסוי 1). הניתוח התבצע באמצעות LMM בו המשתנה התלוי היה פער הזמנים לפני ספרת העשרות בשלשה השמאלית, המשתתף היה גורם אקראי, והיה גורם תוך-נבדקי אחד: תבנית המספר, כגורם קטגוריאלי. השווייתי את התבניות X000XX ו-X000XX לתבנית X000XX בה רצף האפסים מתחיל מאוחר יותר על מנת לראות אם פער הזמנים לפני ספרת העשרות גדל כאשר מתחיל בה רצף אפסים.

ניתן לראות כי במקרה של שלושה אפסים (X000XX) פער הזמן לפני העשרות בשלשה השמאלית ארוך במקצת לעומת מספרים עם שני אפסים רצופים (XX00XX) ($\chi^2 = 4.53, p < .05, \text{delta} = 57\text{ms}$), ובמקרה של ארבעה אפסים (X0000X) הפער ארוך אף יותר ($\chi^2 = 9.36, p < .01, \text{delta} = 73\text{ms}$). במקרה זה ניתן לשער שיש הסטה של העיבוד לשלב מוקדם יותר, לתחילת רצף האפסים ולכן הרצף עצמו מעובד כיחידה אחת.

הסבר אפשרי נוסף לקיצור פער העיבוד בין השלשות הוא שלמעשה תכנון מספר עם רצף אפסים ארוך מתבצע עוד לפני תחילת הכתיבה של המספר, באמצעות צורת עיבוד שונה שאינה מבוססת על הייצוג התחבירי הקלאסי של המספר. במקרה כזה, הנבדק מגיע למסקנה לגבי מספר האפסים במספר עוד לפני שהחל לכתוב וזה יכול להסביר את פערי הזמנים הקצרים יותר בין השלשות. המחקר הנוכחי לא נבנה כדי להכריע בין שתי האפשרויות האלה, אך זה נושא מעניין למחקר המשך. עם זאת, נשים לב שההסבר הראשון מסביר יותר טוב את השפעת אורך רצף האפסים על פער הזמנים לפני תחילת הרצף.

סיכום השפעת הספרה 0 על עיבוד המספר. בפרק זה ראינו שקיומו של 0 במספר גורם להארכה או לקיצור פערי הזמנים גם לפני ה-0 וגם במקומות אחרים במספר, כתלות במיקום ה-0 המספר.

ראינו שהפער לפני הספרה 0 קצר יותר מהפער לפני ספרות אחרות באותו מיקום. תופעה זו נצפתה בתוך השלשה הימנית (0 באחדות או בעשרות) במספרים עם 5 ו-6 ספרות, ובמספרים עם 4 ספרות בכל המיקומים (אחדות, עשרות ומאות). קיצור הפער מצביע על עיבוד של יחידות שלמות בבת אחת – עיבוד צ'אנק, שגדלו 4 ספרות במקרה של מספרים 4 ספרתיים, או שלשה במקרה של מספרים ארוכים יותר. נראה שכאשר הספרה 0 מופיעה באמצע הצ'אנק, המספר פשוט יותר לעיבוד.

לעומת זאת, הפער לפני הספרה 0 היה ארוך בהשוואה לספרות אחרות במספרים עם 5-6 ספרות עם 0 במאות (בתחילת השלשה הימנית). הסבר אפשרי לפער הארוך יותר הוא שבמצבים כאלה, לשלשה הימנית יש מבנה אי-רגולרי (0XX), שקשה יותר לעיבוד, ולכן משך העיבוד ארוך יותר במיקום זה.

דפוס הפערים הייחודי של 0 נמצא באופן ברור בניתוח השלשה הימנית, אבל בשלשה הימנית הדפוס היה שונה. במקרה של 0 בתוך השלשה השמאלית (אחדות או עשרות) לא נמצא אפקט הקיצור ל-0 בתוך השלשה כמו שראינו בשלשה הימנית. כמו כן, ראינו השפעה משמעותית של 0 במאות על הארכת הפער בתוך השלשה השמאלית (אחדות ועשרות). תופעות אלה מצביעות על כך שיתכן ועיבוד המספר כולו מתבצע כבר בעת כתיבת השלשה השמאלית, כך שלמעשה זמני העיבוד שמדדנו בעת כתיבת השלשה השמאלית, כללו גם את עיבוד המשך המספר. מסקנה זו נתמכת גם ע"י הממצאים שתוארו בפרק הקודם לגבי ניתוח המבנה ההיררכי של המספר: גם שם דפוס פערי הזמנים היה שונה בשלשה השמאלית, ותאם את האפשרות שעיבוד המספר מתחיל כבר

במקרה של רצף אפסים ניתן לראות מצד אחד אפקטים של עיבוד צ'אנק בכך שככל שרצף האפסים מתארך כך הפער בין השלשות מתקצר. מצד שני ראינו שבמקרה של רצף אפסים ארוך (3 או 4 אפסים) פער הזמן לפני ספרת העשרות (0 במקרה זה) בתוך השלשה השמאלית, ארוך יותר לעומת מספרים עם רצף של 2 אפסים כאשר ספרת העשרות אינה 0. יתכן וממצא זה הוא עדות לכך שיתכן וחלק מהעיבוד של המספר כולו, וספציפית עיבוד רצף האפסים, מתבצע כבר בעת כתיבת השלשה השמאלית, לפני ה-0 הראשון ברצף.

3.2.2 השפעת הספרה 1 במיקום העשרות על ייצוג מבנה המספר

כאשר הספרה 1 מופיעה במיקום העשרות, היא גורמת לשינוי במבנה המספר המילולי: במקום המבנה הרגיל של "עשרות ויחידות", יהיה מבנה של "X-עשרה". כדי לבדוק אם השינוי הזה משפיע על ייצוג מבנה המספר, השוויתי את הפערים לפני ספרת העשרות במספרים בהם ספרה זו היתה 1 לעומת מספרים עם ספרה אחרת (2-9) במיקום זה. לצורך הבדיקה השתמשתי ב-LMM על המספרים עם 4, 5, ו-6 ספרות ללא 0. המשתנה התלוי היה פערי הזמנים לפני ספרת העשרות בשלשה הימנית, המשתתף היה גורם אקראי, והיה גורם תוך-נבדקי אחד: קיום הספרה 1 בספרת העשרות בשלשה הימנית. השפעת הספרה 1 לא היתה מובהקת ($\Delta = 12 \text{ ms}$, $\chi^2 = 0.64$, $p = .426$). לעומת זאת, הספרה 1 במיקום העשרות הקטינה את הפער לפני ספרת האחדות (אותו LMM עם הפער לפני האחדות בתור משתנה תלוי, $\Delta = 10 \text{ ms}$, $\chi^2 = 5.53$, $p < .05$). יש לציין שהאפקט לא היה גדול – ההפרש בין הפערים לפני 1 ($M = 141 \text{ ms}$) לעומת ספרות אחרות ($M = 151 \text{ ms}$) היה קטן (10 ms בלבד, פחות מ-7%).

לסיכום, למרות שהספרה 1 במיקום העשרות יוצרת מבנה תחבירי שונה, X-עשרה, אין לה השפעה על פער הזמנים לפני ספרת העשרות, ויש לה השפעה זניחה על פער הזמנים לפני ספרת היחידות. למעשה הייצוג שנוצר במקרה של 1 בספרת העשרות הוא דומה מאוד לייצוג במספרים ללא 1 במיקום זה.

3.2.3 שלשות עם מבנה זהה – הטרמה

אם יש ייצוג מפורש של המבנה התחבירי של כל שלשה, ייתכן שיהיה קל יותר לעבד מספר 6-ספרתי כאשר שתי השלשות בו במבנה תחבירי זהה. תופעה דומה – הטרמה של המבנה התחבירי – נמצאה במחקרים בתחומים אחרים (Scheepers et al., 2011). באופן ספציפי, בדקתי אם קל יותר להפיק את השלשה הימנית אם מבנה השלשה השמאלית זהה בהשוואה למצב בו מבנה השלשה השמאלית היה שונה.

3.2.3.1 דפוס העיבוד בתוך השלשות

אם מתקיים אפקט הטרמה, הרי שבמספר הבנוי משתי שלשות עם תבנית זהה (הטרמה) עיבוד השלשה הימנית יהיה מהיר יותר בהשוואה למספרים בהם תבנית השלשות שונה. השווייתי את דפוס הכתיבה בתוך השלשה הימנית במבנה תחבירי ספציפי (1XX, X1X, X0X, XX0) ב-16 מספרים עם 6 ספרות ובהם שתי השלשות בנויות מאותה תבנית, וב-26 מספרים עם מבנה שונה של 2 השלשות (בשלשה השמאלית לא היה 0), מתוך ניסוי 1. ביצעתי ניתוח LMM בו המשתנים התלויים היו פערי הזמנים לפני ספרת העשרות ולפני ספרת האחדות בכל אחת מהשלשות, המשתתף היה גורם אקראי, והיו 2 גורמים תוך-נבדקיים: מיקום הספרה והאם לשלשות במספר יש אותה תבנית תחבירית (הטרמה), כגורמים קטגוריאליים.

בניגוד להשערת הטרמה, הפער לפני העשרות בשלשות ימניות היה דווקא גדול יותר כאשר 2 השלשות היו במבנה זהה ($\Delta = 24$). גם הפער לפני ספרת האחדות בשלשות הימניות היה מעט ארוך יותר כאשר שתי השלשות היו במבנה זהה ($\Delta = 8$).

3.2.3.2 דפוס העיבוד בין השלשות

באופן דומה, בדקתי גם אם פער הזמנים בין השלשות במספרים עם 6 ספרות יהיה קצר יותר כאשר שתי השלשות במבנה זהה. הבדיקה נעשה עבור תבניות הכוללות 0 ותבניות הכוללות 1 בנפרד, מאחר ומדובר בהשוואות לקבוצות בקרה שונות. עבור תבניות עם 0 השווייתי מספרים בהם שתי השלשות בנויות מאותה תבנית תחבירית (X0X, XX0) כאשר X יכול להיות 1), למספרים ללא תבנית חוזרת בהם אחת השלשות בנויה מהתבניות הנ"ל (X0X, XX0) והשלשה השניה לא כוללת אפסים (XXX), למספרים עם 0 יחיד בספרת המאות ולמספרים ללא 0 כלל. עבור תבניות עם 1 השווייתי מספרים עם תבנית מספר חוזרת הכוללת 1 (X1X) למספרים ללא 1 כלל. ביצעתי ניתוח LMM בו המשתנה התלוי היה פער הזמנים בין השלשות, המשתתף היה גורם אקראי, והיה גורם 1 תוך נבדקי: סוג תבנית המספר כגורם קטגוריאלי. גם לגבי 0 וגם לגבי 1, לא נמצא פער קצר יותר בין השלשות במקרה של מספרים עם תבנית שלשות חוזרת לעומת מספרים בהם תבנית השלשות שונה (טבלה 3.4.1, 3.4.2).

טבלה 3.4. פער בין השלשות במספרים עם תבנית שלשות חוזרת לעומת מספרים עם שלשות בתבניות שונות

3.4.1 פריימינג עם 0: XX0,XX0 ו-X0X,X0X		
p	χ^2	תבניות להשוואה
.13	2.26	XXX,XX0
		XXX,X0X
		XX0,XXX
		X0X,XXX
.672	0.18	XXX,0XX
.512	0.43	XXX,XXX
p	χ^2	
3.4.2 פריימינג עם 1: X1X,X1X		
p	χ^2	תבניות להשוואה
.274	1.20	XXX,XXX

לסיכום, הממצאים לא מצביעים על כך שקל יותר להפיק מספר כאשר המבנה התחבירי של השלשה חוזר על עצמו בשתי השלשות.

לכתיבת מספרים רב-ספרתיים יש חוקי תחביר מוגדרים, אשר כמו בכל שפה קובעים מהו קשר תקין בין המילים במשפט. במקרה של מספרים, התחביר בא לידי ביטוי בקשרים שבין מילות המספר (שתיים, חמש, שמונים...). ומילים המציינות את קטגוריות המספר (עשרה, מאות, אלפים...). במחקר זה השתמשנו בפערי הזמנים בין הספרות על-מנת לבדוק אם ייצוג המספר הנוצר בעת הכתיבה משקף את חוקי התחביר האלה. מטרת המחקר היתה לבחון אם קיים ייצוג מילולי המשקף את תחביר המספר בתהליכי הכתיבה של מספרים רב-ספרתיים, ולבדוק אילו תהליכים תחביריים משפיעים על ייצוג זה.

4.1 דפוס עיבוד היררכי בכתיבת מספרים

בניתוח המספרים ללא הספרה 0 נמצאו הממצאים העיקריים הבאים:

(1) דפוס היררכי של פערי הזמנים. במספרים עם 4-6 ספרות שהוכתבו במטלת הכתבת מספרים (ניסוי 1), פערי הזמנים בין השלוש נמצאו ארוכים יותר מהפערים לפני העשרות בשלשה הימנית ומהפערים לפני העשרות בשלשה השמאלית. ראינו ממצאים דומים גם בניתוח של כל ארכי המספרים ביחד וגם עבור כל אורך בנפרד. בנוסף, נמצאו פערים ארוכים יותר לפני העשרות בשלשה הימנית לעומת הפערים שלפני האחדות בשלשה זו, גם בכל המספרים עם 3-6 ספרות וגם בכל אורך מספר בנפרד.

(2) בתוך השלשה השמאלית אין דפוס היררכי. במספרים עם 6 ספרות לא נמצאו הבדלים בפערים לפני העשרות ולפני האחדות בתוך השלשה השמאלית. עם זאת, לא נמצאה אינטראקציה בין השלשה ומיקום הספרה בתוך השלשה.

(3) הפערים בין הספרות בתוך השלשה השמאלית היו גדולים יותר מהפערים בתוך השלשה הימנית. בהשוואת מיקומים ספציפיים בשלשה השמאלית למיקומים המקבילים בשלשה הימנית נמצא כי הפער לפני האחדות בשלשה השמאלית ארוך יותר מהפער לפני האחדות בשלשה הימנית. לא נמצא הבדל בין הפער לפני ספרת העשרות בשלשה השמאלית לבין הפער לפני ספרת העשרות בשלשה הימנית. סך כל הפערים בתוך השלשה השמאלית היה ארוך יותר מאשר בשלשה הימנית, בגלל פער הזמן הארוך יותר לפני ספרת האחדות בשלשה השמאלית.

(4) אורך מילת המספר (בפונמות) לא השפיע על פערי הזמנים בין הספרות. פערי הזמנים לפני מיקום ספציפי היו דומים עבור ארכי מילה שונים באותו מיקום. במספרים עם 5 או 6 ספרות, בכל הבדיקות המשוות בין הפערים במיקומים שונים, לא נמצא אפקט של אורך מילות המספר בפונמות. בנוסף, הדפוס ההיררכי שתואר לעיל ב-(1) נשמר גם כשהוספתי את אורך מילות המספר כגורם נוסף לניתוח הסטטיסטי.

(5) פער הזמנים בין השלוש: דפוסים שונים בהכתבת מספרים 6-ספרתיים ובהכתבת צמדי שלשות. במטלת הכתבת צמדי השלוש נמצאו פערי זמנים קצרים יותר בין השלוש לעומת מספרים עם 6 ספרות. גם במטלה זו נצפה דפוס היררכי (הפערים שבין השלוש היו ארוכים יותר מהפערים שלפני העשרות בשלשה הימנית

ומהפערים שלפני העשרות בשלשה השמאלית), אבל הוא היה פחות משמעותי בהשוואה להכתבת מספרים שלמים. דפוס פוערי הזמנים בתוך השלשה הימנית במטלת השלשות היו דומים לדפוס הפוערי בשלשה הימנית במספרים עם 6 ספרות ולפעריים במספרים עם 3 ספרות. בכל המקרים האלה, נמצא הדפוס ההיררכי: פערי הזמנים לפני האחדות היו קצרים יותר לעומת פערי הזמנים לפני העשרות. בשלשה השמאלית הדפוס היה הפוך: פער הזמן לפני העשרות היה קצר יותר מפער הזמן לפני האחדות בשלשה זו.

(6) דפוס שונה במטלת הכתבת הספרות הבודדות. במטלת הכתבת רצף ספרות, בניגוד לממצאים במספרים ובצמדי שלשות, לא נמצאו הבדלים בפער בין השלשות לעומת הפועריים לפני העשרות בשלשה הימנית ולעומת הפועריים שלפני העשרות בשלשה השמאלית – כלומר לא נמצא דפוס היררכי. עם זאת, כן נמצא פער גדול יותר לפני ספרות העשרות בשלשה הימנית במטלת הספרות לעומת המיקום המקביל בהכתבת מספרים שלמים.

מהממצאים הללו ניתן להסיק מספר מסקנות:

(ו) ייצוג היררכי מבוסס תחביר. דפוס הפועריים העקבי בין הספרות ספרות מעיד על קיומו של תהליך עיבוד היררכי המשקף את תחביר המספר בזמן כתיבת מספרים. המבנה ההיררכי הזה, דמוי עץ, דומה למבנה התחבירי של ייצוג המספר שהוצע על-ידי Dotan and Friedman (2018) לגבי תהליכי קריאת מספרים. בתהליך זה זמן העיבוד בין השלשות הוא הארוך ביותר במספר, מה שעשוי להצביע על "טיפוס" לצומת גבוה יותר בעץ התחבירי. דפוס הפועריים השונה בין השלשות במטלת כתיבת צמדי שלשות מבסס עוד יותר את המסקנה שהייצוג הנוצר בכתיבת המספר מבוסס על תחביר המספר שהוקרא.

הדפוס של פער קצר יותר לפני האחדות לעומת הפער שלפני העשרות, שראינו בתוך השלשה הימנית וחזר על עצמו באופן עקבי במספרים בכל אורך (3-6 ספרות) ובמטלת צמדי השלשות, מצביע גם הוא על עיבוד מהיר יותר של ספרות האחדות לעומת העשרות במבנה של כל שלשה נתונה, בין אם היא חלק ממספר ארוך יותר או שהיא מהווה בעצמה מספר עם 3 ספרות. כלומר, נראה שקיים מבנה היררכי לא רק בין השלשות אלא גם בתוך השלשה: יש לכידות גבוהה יותר בין ספרות היחידות ולכידות נמוכה יותר של ספרות העשרות למאות. העקביות בדפוס במספרים באורכים שונים מצביעה על כך שלמעשה עיבוד השלשה הימנית במספרים ללא 0 אינו תלוי באורך השלשה השמאלית, ואפילו לא בקיומה של שלשה שמאלית.

ממצאים אלה מחזקים את מסקנתם של Lochy et al. (2002), שהראו שצורת התחביר בו מוצג הקלט המילולי של המספר משפיעה על אופן העיבוד בו נכתב המספר. בעוד שהם הצליחו להדגים את השפעות התחביר בין ייצוגים מילוליים שונים של אותו מספר בן ארבע ספרות, במחקר הנוכחי הראתי איך תחביר המספר משתקף בעיבוד הספרות בתוך אותו מספר ובמספרים ארוכים יותר.

הממצאים שוללים את ההסבר האלטרנטיבי לדפוס ההיררכי שנצפה כאן, לפיו ההבדל בפוערי הזמן בין הספרות נובע מההבדלים בין אורכי מילות המספר במיקומים השונים (מילות העשרות ארוכות ממילות היחידות, ומילות המאות ארוכות עוד יותר). בניגוד להסבר זה, לא היה קשר בין אורך מילות המספר בפונמות לבין הפועריים לפני הספרות במספר, והדפוס ההיררכי נמצא גם בניתוחים שעשו בקרה על אורך מילות המספר בפונמות.

(II) הייצוג ההיררכי מחבר את שתי השלשות. בהכתבת צמדי השלשות, הפערים בין השלשות היו קצרים יותר מאשר במספרים. ממצא זה מצביע על דפוס עיבוד שונה בכל אחד מהמקרים, ומחזק את ההשערה שבתהליך כתיבת מספרים רב-ספרתיים נוצר ייצוג קוגניטיבי של מבנה המספר שמאחד את שתי השלשות. ראינו גם שבמספרים עם 0 יש השפעה למיקום ה-0 או רצף אפסים על דפוס העיבוד של המספר כולו ולא רק בתוך השלשה (דיון מפורט בהמשך). המסקנה מכל אלה היא שבמקרה של מספר, הייצוג התחבירי הוא לא רק של שלשה בודדת, אלא כולל את שתי השלשות ואת החיבור ביניהן.

(III) הייצוג הנוצר בכתיבת רצף ספרות שונה מהייצוג הנוצר בכתיבת מספר. במטלת הספרות הבודדות נמצא דפוס כתיבה שונה מאשר במספרים הרב-ספרתיים עם אותן הספרות: במקרה של ספרות בודדות, לא נמצא הדפוס ההיררכי. מאחר שבשני המקרים נכתבו אותן ספרות בדיוק, וההבדל היחיד היה שרצפי הספרות הוקראו ללא מבנה תחבירי, ניתן לייחס את ההבדל בין דפוס הכתיבה למעורבותו של התחביר. בשני המקרים יש כנראה ייצוג של הספרות בתהליך הכתיבה, אך במקרה של מספר שלם הייצוג מבוסס על מבנה תחבירי היררכי, ובמקרה של רצף ספרות הייצוג הוא אחר. הבדלים אלה מחזקים עוד יותר את המסקנה שמספר רב-ספרתי מיוצג באופן היררכי. לעומת זאת, כאשר המספר מוכתב בתור רצף ספרות, האינטגרציה של הספרות לא נעשית באמצעות ייצוג היררכי.

(IV) קיימים תהליכים נוספים המשפיעים על עיבוד השלשה השמאלית. השלשה השמאלית במספרים עם 6 ספרות היא מעניינת דווקא בגלל שלא נמצאו בה הבדלים בפערי הזמנים לפני העשרות ולפני האחדות (כלומר לא נמצא דפוס היררכי). כמו כן ראינו שהפער לפני ספרות האחדות ארוך יותר בשלשה זו מאשר בשלשה הימנית. ההתנהגות השונה של השלשה השמאלית מצביעה על קיומם של תהליכים נוספים, פרט לתחביר המספר, המשפיעים על עיבוד השלשה השמאלית. יתכן ותהליכים אלה קשורים לעיבוד השלשה השמאלית בלבד, למשל תהליך של היזכרות בשלשה השמאלית שהוקראה ראשונה ועלול להאריך את כתיבתה. ייתכן גם שבזמן כתיבת השלשה השמאלית מתרחשים תהליכי עיבוד של השלשה הימנית או של המספר כולו, ועל-כן העיבוד של השלשה הזו איטי יותר מהשלשה הימנית, שבה לא מתבצע תהליך תכנון כזה. תופעה דומה, המחזקת את ההסבר הזה, נצפתה במספרים עם 6 ספרות: כאשר ספרות המאות היתה 0, כלומר כאשר מבנה השלשה הימנית היה אי-רגולרי, פערי הזמנים לפני ספרות העשרות בשלשה השמאלית היו ארוכים יותר לעומת מספרים ללא 0. גם ממצא זה עשוי להעיד על עיבוד של השלשה הימנית או מבנה המספר כולו כבר בעת כתיבת השלשה השמאלית. אדון בהרחבה בנקודה זו בהמשך.

ההתנהגות השונה של השלשה השמאלית במטלת צמדי השלשות, שם דווקא ראינו פער קצר יותר לפני העשרות לעומת האחדות, עשויה להיות מוסברת גם היא על-ידי ריבוי התהליכים בעת כתיבת השלשה השמאלית. במקרה של צמד שלשות, יתכן שבשום שלב לא מתבצע בניית ייצוג המספר כולו אלא רק ייצוג של כל שלשה בנפרד, ולכן תהליך בניית הייצוג של השלשה השמאלית התבצע מוקדם יותר ואולי אפילו עוד בעת הקראת המספר.

4.2 השפעת הספרה 0 על עיבוד המספר

כאמור, הספרה 0 היא ספרה מיוחדת כי היא אינה באה לידי ביטוי בייצוג המילולי המוקרא. עם זאת יש לה תפקיד תחבירי חשוב במבנה המספר הכתוב. במחקר זה בחנתי את השפעת ה-0 על פערי הזמנים במספר וראינו כי הספרה 0 משפיעה באופן שונה על פערי הזמנים כתלות במיקומה ובאורך המספר.

במחקר נמצאו מספר ממצאים המצביעים על השפעת ה-0. ראשית, היו כמה ממצאים שנוגעים להימצאותו של 0 בודד במספר:

(1) פער זמן קצר לפני 0 בשלשה הימנית. במספרים עם 4-6 ספרות, כאשר 0 הופיע בספרת העשרות או האחדות בשלשה הימנית, פער הזמנים לפניו היה קצר בהשוואה לאותם מיקומים במספרים שלא כללו 0 במיקום זה.

(2) פערי זמנים קצרים במספרים 4 ספרתיים עם 0 בספרת המאות. 0 במאות במספרים עם 4 ספרות קיצר גם את פערי הזמנים לפני ה-0 עצמו וגם לפני הספרות האחרות במספר.

(3) פער זמן ארוך יותר לפני 0 במאות במספרים עם 5 ו-6 ספרות. במספרים עם 5 ו-6 ספרות, 0 בספרת המאות האריך את פער הזמנים לפניו בהשוואה לאותו מיקום במספרים ללא 0 בספרת המאות.

(4) לא נמצא פער זמן קצר יותר לפני 0 בשלשה השמאלית. 0 בספרת העשרות או האחדות בשלשה השמאלית לא קיצר את פער הזמנים שלפניו, בניגוד למה שראינו בשלשה הימנית.

(5) פער זמן ארוך יותר בתוך השלשה השמאלית במספרים עם 6 ספרות כאשר יש 0 במאות. במספרים עם 6 ספרות, הפערים לפני ספרת העשרות ולפני ספרת האחדות בשלשה השמאלית היו ארוכים יותר במספרים עם 0 במאות בהשוואה למספרים עם 6 ספרות ללא 0.

בנוסף, היו 2 ממצאים לגבי מספרים שכללו יותר מ-0 אחד:

(6) זוג אפסים חוצה-שלשה האריך את פער הזמנים בין השלוש. במקרים של רצף של שני אפסים, בספרת המאות ובספרת האלפים, פער הזמנים בין השלוש היה ארוך יותר מאשר במספרים עם 0 בספרת המאות בלבד.

(7) רצפי אפסים ארוכים: זמן עיבוד ארוך לפני הרצף, קצר באמצעו. במקרה של רצף שך 3 אפסים ומעלה, פער הזמנים בין השלוש (בתוך הרצף) היה קצר יותר ככל שרצף האפסים התארך. פער הזמנים לפני ה-0 הראשון ברצף היה ארוך יותר ככל שהרצף התארך.

מהממצאים נובעות המסקנות הבאות:

(i) המספרים מעובדים בצ'אנקים. 0 באמצע צ'אנק מקצר את משך העיבוד, ו-0 בתחילת צ'אנק מאריך את משך העיבוד. כאשר הספרה 0 הופיעה בתוך השלשה הימנית, במיקום האחדות או העשרות, היא גרמה לקיצור פער הזמן לפני ה-0 לעומת מספרים ללא 0. במספרים בני 4 ספרות, 0 באחדות או בעשרות קיצר גם את הפער לפני הספרה האחרת בתוך השלשה. בנוסף, כאשר הספרה 0 הופיעה בתור ספרת המאות במספרים 4 ספרתיים, היא קיצרה גם את הפער לפני הספרה 0 עצמה וגם את הפערים לפני העשרות ולפני האחדות. במספרים ארוכים

יותר (5 ו-6 ספרות) האפקט של 0 במאות היה בדיוק הפוך: היא האריכה את הפער שלפניה, ובמקרים מסוימים גם את הפערים בתוך השלשה השמאלית. כלומר, השפעת ה-0 אינה קבועה, אלא תלויה במיקום שלו ובאורך המספר. הממצאים הללו מצביעים על כך שעבוד המספרים מתרחש בצ'אנקים של עד 4 ספרות. במספרים 4 ספרתיים, המספר כולו הוא צ'אנק אחד. מספרים קצרים יותר מחולקים לצ'אנקים לפי השלשות. בתוך כל צ'אנק, העיבוד של המבנה מתבצע בבת-אחת, וזמן העיבוד לפני הספרה 0 קצר יותר בהשוואה לספרות אחרות. לעומת זאת, 0 בתחילת הצ'אנק הוא אי-רגולרי, וזמן העיבוד שלו ארוך יותר. נראה ש-0 היוצר מבנה שאינו מוכר כתבנית מספר סטנדרטית (0XX) בשלשה הימנית, גורם לעיבוד ארוך יותר של המספר לעומת מבנה של מספר מוכר (XXX). כיוון שכבר ראינו לעיל שהמספר מיוצג במבנה היררכי של עץ, ה"צ'אנק" הוא למעשה תת-עץ.

האופן השונה בו מעובד 0 בכתיבת מספרים זוהה גם על-ידי Lochy et al. (2004) אשר מחקרים הצביע על המורכבות בעיבוד הספרה 0 כאשר היא מופיעה בתוך המספר ובאה לידי ביטוי בהשמטות של ספרה ובזמני עיבוד ארוכים יותר. אמנם המחקר שלהם הוא מחקר נירופסיכולוגי שבדק את תהליכי הכתיבה אצל נבדקת פגועת ראש בתהליך ההחלמה, אך ניתן להסיק ממנו לגבי המורכבות הייחודית של עיבוד ה-0. בנוסף, Lochy et al. (2004) התייחסו במחקרן גם לתהליכי עיבוד ביחידה אחת (whole form) – בדומה לרעיון הצ'אנקים שעלה כאן – לעומת תהליכי עיבוד המבוססים על חוקי תחביר. הן הציעו שתבניות מוכרות המאיצות את העיבוד נלמדות לאורך הזמן ולכן נבדקים שונים עשויים להיות בשלבי למידה שונים. לפיכך, יתכן שלמרות שראינו במחקר הנוכחי כי אצל נבדקים ללא לקויות העיבוד לפני 0 במספרים קצרים מתקצר, אם נבצע את אותו ניסוי על ילדים או נבדקים עם לקויות נראה דוקא תופעות של הארכת העיבוד לפני 0 כמו שראינו אצל נבדקים ללא לקויות במספרים רב-ספרתיים.

הממצא ש-0 בשלשה הימנית מקצר את זמן העיבוד לפני הספרה מהווה שחזור לממצאים של Guerrero et al. (2014) לגבי מספרים עם 3 ספרות. המחקר הנוכחי מרחיב את הממצאים של Guerrero בכמה דרכים. ראשית, שחזרתי את הממצאים שלו בשלשה הימנית גם כשהיא המהווה חלק ממספר רב-ספרתי ארוך יותר. שנית, כאן הראיתי השפעה דומה של 0 (קיצור הפערים) גם במספרים עם 4 ספרות, כאשר ה-0 נמצא בספרת המאות. שלישית, הראיתי ש-0 במספר מקצר לא רק את הפער לפני ה-0 עצמו, אלא במרבית המקרים גם את הפערים לפני ספרות אחרות במספר. רביעית, הראיתי כאן שפער הזמנים לפני הספרה 0 הוא לא תמיד קצר יותר, אלא לפעמים דווקא ארוך יותר, באופן שתומך ברעיון של עיבוד המספר בצ'אנקים. לבסוף, מחקרם של Guerrero et al. התבצע על ילדים קטנים. המחקר הנוכחי הוא מחקר על מבוגרים ללא לקויות ידועות, לכן הוא נותן תמונת מצב של דפוסי העיבוד הבוגרים והתקינים בכתיבת מספרים רב-ספרתיים, ומהווה תשתית למחקרי המשך גם על נבדקים ללא לקויות וגם למחקרים נירופסיכולוגיים.

(ii) השפעת הספרה 0 על זמני הכתיבה קשורה למעמד התחבירי שלה ולא לתכונות הגרפ-מוטוריות שלה.

ראינו שפערי הזמנים לפני 0 עשויים להתארך או להתקצר בהתאם למיקום ה-0 במספר, אורך המספר ומיקום השלשה בה נמצא הוא (ימנית או שמאלית). מכאן ניתן להסיק כי פערי הזמנים משקפים את התהליכים התחביריים של עיבוד הספרה 0, ולא התארגנות גרפ-מוטורית לקראת כתיבתה כמו שטענו Guerrero et al. (2014).

(III) בזמן כתיבת השלשה השמאלית של מספרים עם 5 ו-6 ספרות מתקיימים מספר תהליכי עיבוד. דפוס

התוצאות בשלשה השמאלית שונים מהשלשה הימנית. בשלשה השמאלית לא נמצא אפקט לקיומו של 0 ומיקומו בתוך השלשה על פער הזמן לפני ה-0. הבדלים אלה בין השלוש נמצאו כאן, בנייתוח השפעת ה-0, ונמצאו גם בנייתוח הדפוס ההיררכי במספרים ללא 0. ההבדלים העקביים האלה בין שתי השלוש מצביעים על כך שבעת כתיבת השלשה השמאלית מתרחשים תהליכים נוספים המשפיעים על עיבוד השלשה – למשל, היזכרות בשלשה השמאלית שהוקראה ראשונה, או תהליכי עיבוד של המשך המספר או של המספר כולו (הצומת הגבוה ביותר בעץ התחבירי).

במספרים עם 6 ספרות עם 0 במאות, הפערים לפני ספרות העשרות ולפני ספרות האחדות בשלשה השמאלית היו ארוכים יותר במספרים עם 0 בספרות המאות מאשר במספרים ללא 0. מכאן ניתן לשער שבמספרים 6 ספרתיים עיבוד השלשה הימנית מתחיל כבר בעת כתיבת השלשה השמאלית. כאשר מבנה השלשה הימנית הוא אי-רגולרי, יש פערים ארוכים יותר בתוך שלשה זו. במספרים עם 5 ספרות ה"שלשה" השמאלית קצרה יותר – היא זוג ספרות בלבד – וזמן העיבוד והכתיבה שלה קצר יותר ממספרים 6 ספרתיים. לפיכך, במספרים 5 ספרתיים אותו "עיבוד מקדים" של השלשה הימנית משפיע לא רק על הפער בין הספרות ב"שלשה" (הזוג) השמאלית, אלא גם על הפער בין השלוש.

(IV) אפס בודד או זוג אפסים (במאות ובאלפים) מעובד כחלק ממבנה המספר; רצף אפסים ארוך יותר

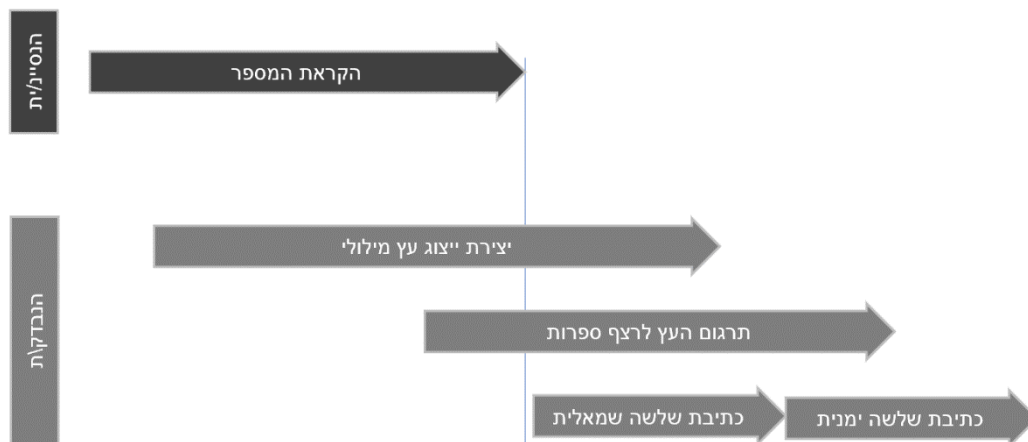
מעובד כ"מקרה מיוחד". כאשר המספר כלל רצף של שני אפסים, בספרות המאות ובספרות האלפים, פער הזמנים בין השלוש היה ארוך יותר מאשר במספרים עם 0 בספרות המאות בלבד. ייתכן שזוג אפסים מגדיל את רמת האי-רגולריות של מבנה המספר, ובהתאמה – את משך העיבוד בין השלוש. לעומת זאת, במקרה של רצפי אפסים ארוכים יותר (3-4 אפסים), דפוס התוצאות מצביע על עיבוד של כל הרצף כיחידה אחת: פער הזמנים בין האפסים ברצף (ספציפית, לפני ספרות המאות) מתקצר ככל שרצף האפסים מתארך, ופער הזמנים לפני ה-0 הראשון ברצף (ספציפית, לפני ספרות העשרות בשלשה השמאלית) גדל ככל שרצף האפסים מתארך. נראה שבמקרה של רצף אפסים ארוך, המשתתפים לא עיבדו את המספר בעזרת המבנה התחבירי ההיררכי הרגיל, אלא באמצעות ייצוג אחר, שתופס את האפסים בתור רצף. ככל שהרצף כולל יותר אפסים, התכנון שלו ארוך יותר (וזה משתקף בפער הזמנים לפני תחילת הרצף), אבל הכתיבה שלו מהירה יותר (וזה משתקף בפערי הזמנים בין הספרות ברצף).

4.3 השפעת הספרה 1 בעשרות על פערי הזמנים בעשרת השניה

בהשוואה למספרים ללא 1 במיקום העשרות, הספרה 1 כספרות עשרות לא השפיעה על פערי הזמנים לפני ה-1 אך קיצרה את הפערים לפני האחדות. מכאן ניתן להסיק כי מספרי X-עֶשְׂרֵה (19-11) מעובדים כיחידה אחת.

4.4 הצעה למודל לתהליכי העיבוד בכתיבת מספרים רב-ספרתיים

תהליך כתיבת מספרים רב-ספרתיים משלב הקראת המספר בצורתו המילולית עד לכתיבתו בכתב-יד בספרות. זוהי פעולה מורכבת, שכלל הנראה משלבת מספר תהליכים שחלקם אף מתרחשים בחפיפה. תרשים 4.1 מציע מודל לתהליך כתיבת מספרים רב-ספרתיים.

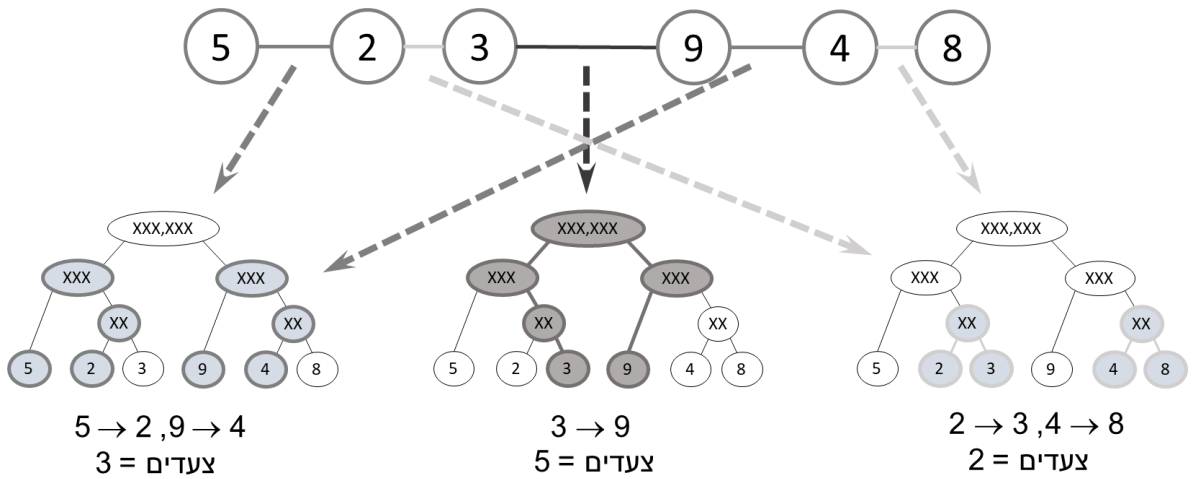


תרשים 4.1: מודל משוער לתהליך כתיבת מספרים רב-ספרתיים

תהליך 1: יצירת ייצוג היררכי של המספר המילולי. בשלב זה מתבצע עיבוד של הקלט המילולי ונוצר מבנה תחבירי-היררכי של המספר. תהליך זה מתחיל כבר בזמן הקראת המספר וממשיך גם בזמן כתיבת הספרות הראשונות. **תהליך 2: תרגום לספרות (לינארזציה).** בשלב זה, הייצוג המילולי במבנה עץ מתורגם לרצף ספרות, שמאוחסן בבאפר הפלט הספרתי. תהליך זה מתחיל עוד בזמן ההקראה וחלקו חופף את יצירת הייצוג, והוא יכול להמשיך גם עד סיום הקראת המספר ואפילו אח"כ, בזמן הכתיבה. **תהליך 3: כתיבת הספרות.** בשלב זה מתבצע תהליך הכתיבה המוטורית של הספרות שבבאפר ("העתקה" של הספרות מהבאפר אל הדף). בניסוי שלנו, התבקשו הנבדקים להתחיל בכתיבה רק אחרי גמר ההקראה ולפי סימן, ולכן בניסוי זה תהליך זה מתחיל רק לאחר סיום ההקראה. תהליך זה מסתיים עם סיום כתיבת הספרה האחרונה במספר.

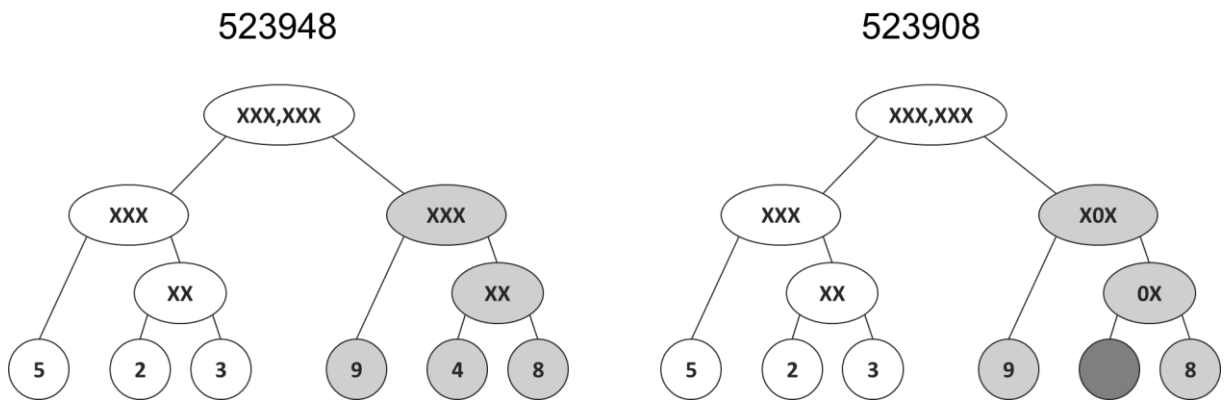
למודל המוצע יש מספר מאפיינים המסבירים תופעות שראינו במחקר זה:

ייצוג היררכי. הייצוג שנוצר בתהליך הכתיבה הוא היררכי. תהליך הלינארזציה בו מתורגם הייצוג ההיררכי לרצף ספרות משקף את הייצוג הזה. בתהליך זה בו מתבצע עיבוד הייצוג ההיררכי והכנסת הספרות לבאפר הפלט הספרתי, יש תלות גבוהה בין מבנה הייצוג שנוצר קודם לכן לבין פערי הזמנים המשקפים את זמן העיבוד. ניתן להסביר את פערי הזמנים במספר דרכים: האחת היא שפערי הזמנים לפני ספרה תלוי בגובה צומת העץ בייצוג ההיררכי, המחברת אותה לספרה שלפניה. השנייה היא ספציפית יותר ומתייחסת להתאמה בין מספר החיבורים בעץ לבין פערי הזמנים. לדוגמה: במקרה של מספר עם 6 ספרות ללא אפסים הייצוג שנוצר הוא היררכי ומספר הצעדים במעבר בין העשרות לאחדות בכל אחת מהשלשות הוא 2, מספר הצעדים במעבר בין המאות לעשרות בכל אחת מהשלשות הוא 3, והמעבר בין השלשות כולל 5 צעדים (תרשים 4.2).



תרשים 4.2: סריקת הייצוג ההיררכי בתהליך כתיבת המספר

ייצוג מפורש של ספרות מסוימות. הניתוח של השפעת הספרות 0 ו-1 מראה שגם תהליך יצירת הייצוג וגם תהליך תרגום הייצוג לרצף ספרות מושפעים מתבניות מספר המכילות 0 או 1 (כספרת עשרות). יתכן שההסבר לכך הוא קיומו של ייצוג מפורש של הספרה 0 והספרה 1 בשלב עיבוד מבנה המספר: בעץ התחבירי עצמו, בשלב הליניאריזציה או בשניהם. תרשים 4.3 מדגים כיצד 0 בשלשה הימנית (908) מיוצג כחלק ממבנה תת-העץ ויתכן שמסיבה זו עיבוד השלשה מהיר יותר. ראינו תופעה דומה גם במספרים עם 1 כספרת עשרות בהם ספרת העשרות והאחדות בשלשה הימנית מעובדות כיחידה אחת.



תרשים 4.3: ייצוג 0 במבנה המספר (מימין) לעומת ייצוג מבנה ללא אפסים (משמאל)

ייצוג צ'אנק. הניתוח של השפעת ה-0 על עיבוד המספר חושף דפוס המאיץ את העיבוד של תבניות מספר מסוימות (עיבוד צ'אנק). לכאורה מדובר במודל אלטרנטיבי למודל העץ. אך למעשה ניתן להתייחס לצ'אנק כאל תת-עץ בייצוג ההיררכי, המתקיים בכל מספר ובכל תבנית. במספרים רב-ספרתיים הצ'אנקים המשמעותיים הם

השלשות, כלומר, החלוקה הנובעת מהצומת העליון בעץ. עבור תבניות מספר שונות נוצרים שינויים במבנה הייצוג וזה משפיע ככל הנראה על תהליך המרת הייצוג לספרות. ראינו שבמקרים רבים מתבצעת האצה של כתיבת המספרים כתוצאה מעיבוד מהיר יותר של מבנים פשוטים יותר. ראינו זאת בשלשה הימנית עם 0 באחדות או בעשרות, ראינו זאת גם במספרים עם 4 ספרות עם 0 בספרות המאות וראינו זאת במספרים עם רצפי אפסים ארוכים.

תהליכי עיבוד חופפים. תהליכי יצירת הייצוג, תרגומו לרצף ספרות וכתיבת הספרות קורים בחלקם במקביל ומושפעים מטיבם המוגבל של משאבי הזיכרון והעיבוד במוח. יתכן והחפיפה בין התהליכים הללו בשלבים שונים של כתיבת המספר יוצרים את ההבדלים בדפוסים שראינו בין השלשה השמאלית לשלשה הימנית. באופן ספציפי, יתכן שבמהלך כתיבת השלשה השמאלית מתבצעים במקביל גם תהליכים של עיבוד המספר כולו, יצירת הייצוג של תת-העץ הימני ואולי גם חלק מהליניאריזציה של השלשה הימנית. כל אלה גורמים להאטה בכתיבת השלשה השמאלית (אפקט קלאסי של dual task). לעומת זאת, בעת כתיבת השלשה הימנית, ייצוג המספר השלם כבר מוכן ולכן התהליכים שנותרים לביצוע הם לינאריזציה של תת-העץ של השלשה הימנית, המייצרת את הדפוס ההיררכי, וכתיבת הספרות של השלשה הימנית.

בנוסף, מערך הניסוי ייצר אילוץ שדחה את תחילת כתיבת המספר עד לסיום הקראת המספר המלא. נראה שדחיה זו גרמה לכך שתהליך הלינאריזציה של השלשה השמאלית התבצע כבר בשלב הקראת המספר, ולכן בזמן כתיבת השלשה השמאלית, הספרות חיכו בבאפר הפלט הספרתי וכל שנותר היה לכתוב אותן באופן סדרתי, ללא עיבוד מבנה השלשה השמאלית (שכבר עובד לפני תחילת הכתיבה). כתוצאה מכך, בשלשה השמאלית לא ראינו דפוס היררכי או את ההשפעה המקצרת של 0, שני אפקטים שנובעים מעיבוד מבנה המספר.

רצף אפסים משנה את הייצוג. כאשר יש רצף אפסים ארוך חוצה שלשות המספר ככל הנראה מעובד באופן שונה מהמודל ההיררכי מבוסס-התחביר, ולמעשה נוצר ייצוג שונה של המספר. ייצוג זה מכיל, כך נראה, רכיב חדש של רצף אפסים ומספרם. כתוצאה מכך, אנחנו רואים איטיות לפני כתיבת ה-0 הראשון בסדרה.

4.5 היבטים מתודולוגיים

מחקרים קודמים בתחום כתיבת המספרים (Lochy et al., 2002; Lochy et al., 2004; Guerrero et al., 2014) ניתחו את מאפייני תהליך העיבוד בעת כתיבת מספרים, באמצעות השוואות של משך הפערים בין ספרות במיקומים שונים במספר. המחקר הנוכחי תורם להבנת מנגנוני הכתיבה באמצעות שימוש בשיטות דומות באופן רחב יותר מבחינת כמות המספרים, צורות התחביר של המספר המוקרא, אורך המספר והשוואות של המיקומים בתוך אותו מספר.

הניסויים במחקר הנוכחי כללו הקראה של מעל 400 מספרים (שתי מטלות הסינון ו-3 הניסויים במחקר). המפגשים עם כל נבדק נמשכו כשעתיים וחצי. כמות המספרים הגדולה ומשך הזמן הארוך של הניסוי דרשו מהנבדקים סבלנות וריכוז לאורך זמן, ולא אפשרו לי להוסיף חלק של תשאול איכותני של הנבדקים לגבי רמת הניסיון שלהם בכתיבת מספרים בחיי היומיום, אסטרטגיות הזיכרון שלהם, והאתגרים המיוחדים בכתיבה שחוו בעת הניסוי. מידע כזה יכול היה להוסיף למחקר ולסייע בנייתוח התוצאות באופן איכותני. לדוגמה, לנבדק שבחיי היומיום שלו עוסק בתיעוד נתונים הכוללים מספרים רב-ספרתיים, יש היכרות עמוקה יותר עם מבנה מספרים כאלו מאשר לנבדק

ששנים רבות לא הזדמן לו לכתוב מספרים ארוכים. כמו כן, מידע על אסטרטגיות זיכרון שונות יכול היה לסייע בניתוח תוצאות מטלת רצף הספרות. נבדקים יכולים לזכור את הסדרה כרצף של ספרות או כמספרים עם 2-3 ספרות. יתכן ששיטת ההיזכרות השפיעה על פערי הזמנים לפני הספרות במטלה זו. בנוסף, תשאול הנבדקים על אתגרים בכתיבת המספרים היה יכול לתת מידע נוסף על התמודדות הנבדקים עם מספרים עם 0, התמודדות עם מספרים ארוכים לעומת מספרים קצרים והשוואת אסטרטגיות כתיבה בסוגים שונים של מטלות, למשל מטלת השלשות מול מטלת הכתבת המספרים הרב-ספרתיים (ניסוי 1). אני ממליצה שמחקרי המשך יהיו ממוקדים בנושאים ספציפיים ויהיו קצרים יותר וכך ניתן יהיה להוסיף גם חלק איכותני למחקר. אפשר כמובן גם לחלק את הניסוי לשתי פגישות, אם כי צריך לזכור שמדובר בניסוי קשה עבור הנבדקים, מבחינת ריכוז ותשומת הלב הנדרשת. החשש הוא שלאחר המפגש הראשון חלקם לא יהיו מעוניינים להמשיך את הניסוי במפגש נוסף.

במחקר זה התגלו דפוסים שונים בין השלשה השמאלית לימנית. אחד הניתוחים שעשוי היה לשפוך אור נוסף על מקורם של דפוסים אלה הוא ניתוח פער הזמנים בין סיום הקראת המספר לבין תחילת הכתיבה של הספרה הראשונה. למרבה הצער, מידע זה לא היה זמין לי, כיוון שהמספרים לא הוקראו מתוך הקלטה אלא ע"י הנסיינית בזמן אמיתי. מחקרי המשך יוכלו למדוד גם את פער הזמנים הנוסף הזה.

נקודה נוספת שכדאי להתייחס אליה במחקרי המשך היא תיעוד סוגי הטעויות שהנחקרים עשו בכל מטלה. מחקר זה התמקד בניתוח דפוסים הזמנים בין הספרות, לפיכך לא ניתחתי את דפוס הטעויות, ולמעשה, כלל לא הכנסתי לניתוח מספרים בהם נעשתה טעות. מחקרי המשך יוכלו לבדוק את סוגי הטעויות, את מיקומן במספר, ואת הקשר בין טעויות לפערי הזמנים. כלים דיגיטליים הכוללים אפשרות לתיעוד מהיר של מידע על טעויות, עשויים לסייע מאוד במחקרים עתידיים שיאפשרו לנתח את הנתונים גם בהתאם לכמות הטעויות וסוגיהן.

בניסויים במחקר הנוכחי, הנבדקים התחילו לכתוב את המספר רק אחרי שסיימתי להקריא להם אותו. בדיעבד, נראה שאופן ההעברה הזה השפיע על התוצאות באופן משמעותי. כפי שראינו, סביר להניח שהמשתתפים התחילו לעבד את המספר עוד בזמן ששמעו אותו, לפני שהתחילו בכתיבתו: ייתכן שזו הסיבה לכך שחלק מהאפקטים שמשקפים את אותו עיבוד נמצאו רק בשלשה הימנית ולא בשלשה השמאלית. על מנת לקבל תמונה מלאה של תהליכי עיבוד המספר, מחקרי המשך יוכלו להשוות בין אופן הכתיבה כפי שהיה כאן לבין מצב בו מותר למשתתפים להתחיל לכתוב תוך כדי שמיעת המספר.

4.6 שימושים מעשיים במחקר

במהלך המחקר נבנתה תשתית נתונים שכוללת רשימת מספרים באורכים שונים ובתבניות שונות, ואוסף נתונים המשקפים את דפוסים הפערים בין הספרות עבור מספרים אלו אצל נבדקים תקינים. תשתית זו עשויה לשמש לשתי מטרות עיקריות:

4.6.1 אבחון לקויות בתחום כתיבת מספרים

ניתן להשתמש במתודולוגיה של המחקר, ואף ברשימת המספרים הספציפית שהעברתי כאן, עבור אבחון לקויות בכתיבת מספרים. דפוס הביצוע בתבניות שונות ובאורכי מספר שונים עשויים לחשוף לקויות בתחומים ספציפיים.

אבחון של לקויות בכתיבה יכול להתבצע בשתי שיטות. השיטה ה"רגילה" מתבססת על ניתוח טעויות. מן הסתם, שיטה זו אפשרית רק אם המאבחן עושה טעויות. במקרים רבים, זהו לא המצב: גם אנשים עם לקויות מצליחים לפעמים לכתוב את המספר באופן תקין, ע"י כך שהם משתהים בזמן הכתיבה. במקרים כאלה, ניתוח התוצר הסופי לא יסייע לחשוף את הלקות. לעומת זאת, ניתוח קינמטי של דפוס הכתיבה, כפי שנעשה כאן, יכול לחשוף את הקושי אצל אותם אנשים. הרעיון הוא להשוות את דפוס הפערים בין הספרות אצל נבדק מסוים אל דפוס הפערים של הנבדקים התקינים שנמצאו במחקר זה, ולזהות סטיות מהנורמה. למשל, פערי זמנים ארוכים יותר לעומת הפערים שנמצאו במחקר זה עשויים להצביע על קושי, ועל כתיבת המספר על-ידי שימוש בתהליכים פחות אוטומטיים – למשל, תכנון הכתיבה לפי המבנה העשרוני של המספר. דפוס פערים לא היררכי גם הוא עשוי להצביע על תהליך של כתיבת מספר המתבסס יותר על זיכרון הספרות ולא על המבנה התחבירי של המספר, בדומה לדפוס שראינו במטלת הספרות הבודדות. ניתן לשער שאצל חלק מהמאובחנים יהיו גם סטיות אחרות מהנורמה, למשל, יתכן ונראה הבדלים בפערים רק לפני 0, רק בין השלשות או רק במספרים מעל 4 ספרות.

4.6.2 תרגול ואימון כתיבת מספרים בתחומי הקושי

תבניות המספר בהן השתמשנו במחקר זה מאפשרות לאמן מטופלים עם קשיים בתחומים ספציפיים על-ידי תרגול חוזר של כתיבת מספרים בתבניות ובאורכי המספרים בהם קיים הקושי. התבניות השונות יכולות גם להוות בסיס לפיתוח כלי ממוחשב ואפילו מבוסס משחק, לתרגול כתיבת מספרים בתבניות ואורכים שונים. במקרה זה נוכל לעקוב אחר ההתקדמות והשיפור – גם באמצעות מעקב אחר כמות הטעויות וסוגיהן, וגם באמצעות ניתוח קינמטי של דפוס הכתיבה.

4.7 מחקרי המשך

4.7.1 מחקרים נירופסיכולוגיים

כאמור, המטרה העיקרית של המחקר הנוכחי היתה ליצור תמונת מצב של דפוס הכתיבה אצל נבדקים מבוגרים ללא לקויות, בין השאר כדי לאפשר מחקרי המשך נירופסיכולוגיים שיתבססו על תשתית נתונים זו. במחקר נירופסיכולוגי יהיה מעניין לבדוק אם מבנה העץ בין השלשות ובשלשה הימנית נשמר או נשמר בחלקו אצל נבדקים לקויים. שימור המבנה יצביע על ייצוג מילולי ותהליכי עיבוד דומים ואילו דפוס פערים שונים יצביעו על תהליכי עיבוד אחרים ויתכן שפחות אוטומטיים. כמו כן, השוואה של דפוס הכתיבה במטלת השלשות לעומת מספרים עם 6 ספרות במחקר נירופסיכולוגי תאפשר לבדוק את השפעת התחביר ואולי אף למקד את אופי הקושי.

במחקר זה ראינו כי במספרים קצרים עם 0 ובתוך שלשות בודדות, קיימים תהליכים שמקצרים את הפערים בתוך השלשה וגם ספציפית את הפער לפני ה-0. במחקר נירופסיכולוגי ניתן יהיה לבדוק אם תהליכים אלה מתקיימים גם אצל נבדקים עם לקויות שונות. אפשרות מעניינת היא שאצל נבדקים לקויים, נראה בדיוק את הדפוס ההפוך: הארכת הפער לפני 0 גם כאשר הוא מופיע באמצע השלשה / הצ'אנק, כמו שראינו במספרים עם 5 ו-6 ספרות עם 0 בספרת המאות. ממצא כזה עשוי, למשל, לחשוף ליקוי ספציפי בעיבוד ה-0, או לחליפין אסטרטגיה לא תקינה של חלוקת המספר לצ'אנקים / תתי-עצים.

במחקר הנוכחי ראינו עדויות לכך שייצוג מבנה המספר הנוצר בעת כתיבת מספרים רב-ספרתיים כולל את מבנה המספר כולו, כולל את החיבור בין השלשות. ראינו זאת בעיקר בהבדלים בדפוס הכתיבה שבין השלשות במטלת השלשות לעומת מספרים, כאשר הפער הזה היה קצר יותר במקרה של הכתבת שלשות. מכאן הסקתי שבמקרה של מספר עם 6 ספרות מתבצע תהליך נוסף של סריקת הייצוג גם בחיבור של השלשות, תהליך שלא קורה בכתיבת צמד שלשות ללא קשר תחבירי ביניהן. כמו כן ראינו שבמספרים עם 0 במאות (בחיבור שבין השלשות), היוצר מבנה אי-רגולרי של השלשה השניה, פערי הזמנים בין השלשות ארוכים יותר לעומת מספרים ללא 0. גם מכאן הסקתי שהפער ארוך יותר במקרה של 0 במיקום זה בגלל הסריקה הארוכה יותר של ייצוג המספר בצומת אי-רגולרי במיקום זה. על מנת לחזק את המסקנות שלי לגבי החיבור בין השלשות בייצוג הנוצר בתהליך הכתיבה של מספרים רב-ספרתיים, יש צורך להמשיך את המחקר ספציפית בנושא הזה, ולנסות למצוא עדויות נוספות לחיבורים בייצוג המילולי של מבנה המספר. אחת הדרכים לבדוק זאת היא באמצעות מחקר נורופסיכולוגי על נבדקים עם לקות תחבירית בכתיבת מספרים ובדיקת סוגי הטעויות שהם מבצעים בחיבור שבין השלשות. השמטות או תוספות של ספרות במיקום זה עשויות להצביע על קושי בחיבור שבין השלשות. כמובן שמחקר כזה צריך להתייחס בהרחבה גם למספרים עם 0 בספרת המאות וגם למספרים ללא 0 כלל.

ניסוי נוסף ומעניין שכדאי לבצע, ושעשוי להצביע על תהליכים תחביריים תקינים, הוא לבחון משתתפים עם קיבולת נמוכה של זיכרון לטווח קצר, ולנתח את תפקודם בכתיבת מספרים עם 5 ו-6 ספרות. כתיבה תקינה של מספרים ארוכים גם בהינתן קיבולת זיכרון מוגבלת עשויה להצביע על דיסוציאציה בין תהליכי הזיכרון לתהליכים תחביריים בכתיבת מספרים ולחזק את ההשערה שכתובת מספרים רב-ספרתיים מתבססת על תחביר המספר.

4.7.2 ניתוח זמן תגובה ראשוני

מדד נוסף, שעשוי לתרום להבנה של תהליכי תכנון כתיבת המספר במספרים עם 0 או ללא 0, הוא פער הזמנים בין סיום הקראת המספר לתחילת כתיבתו על ידי הנבדק. ייתכן ובשלב זה חלק מהנבדקים מבצעים תכנון מוקדם של כתיבת המספר ונראה השפעות של הפער הזה על דפוס הכתיבה בתוך המספר. יתכן ומידע כזה יתן הסברים נוספים לגבי דפוס הכתיבה השונים בשלשה השמאלית לעומת השלשה הימנית. במחקר הנוכחי, בגלל מגבלות טכניות, לא מדדתי את הפער הזה.

4.7.3 שחזור הממצאים עם יותר פריטים

המחקר הנוכחי כלל כמות קטנה יחסית של סדרות של 6 ספרות ללא 0. מתוך הנתונים במחקר ראינו דפוס כתיבה שונים בהכתבת הספרות לעומת הכתבת מספרים, בעיקר בין השלשות, ומכאן הסקתי שבתהליך של כתיבת מספר, לעומת כתיבה של רצף ספרות ללא קשר תחבירי, נוצר ייצוג קוגניטיבי המבוסס על תחביר המספר. מטלת הכתבת ספרות במחקר המשך, שתתוכנן ספציפית על-מנת להשוות את דפוס הכתיבה של סדרות עם 6 ספרות ללא 0 למספרים עם 6 ספרות, ותכלול כמות גדולה יותר של סדרות מספרים, עשויה להציג תוצאות מדויקות יותר של דפוס הכתיבה. מטלה כזאת עשויה גם לתת מידע נוסף על פערי הזמנים הגבוהים שראינו במיקום ספרות העשרות בשלשה הימנית בסדרות של ספרות בודדות לעומת מספרים שלמים. מחקר המשך מסוג זה צריך, לדעתי, לכלול גם תשאול של הנבדקים לגבי אסטרטגיות הזכירה של הספרות. יתכן וחלק מהנבדקים זוכרים מספר רב-

ספרתי כסדרה של מספרים עם 2 או שלוש ספרות וזה עשוי להסביר תופעה של פערים ארוכים יותר לפני מיקום העשרות בשלשה הימנית לעומת מיקום האחדות בשלשה זו.

4.7.4 ניתוח המרחק הפיזי בין הספרות

במחקר הנוכחי התמקדתי בבדיקת פערי הזמנים בין הספרות. מדד נוסף, שניתן לבדוק גם לגבי הנתונים הקיימים, הוא המרחק הפיסי בין הספרות הכתובות. ניתן לבדוק מדד זה ישירות, ואף להשוות אותו לדפוסים של פערי הזמנים. דפוס כתיבה היררכיים המשקפים את תחביר המספר גם במונחים של מרחק פיסי בין הספרות, יחזקו את ההשערה שקיים ייצוג תחבירי בכתיבת מספרים רב-ספרתיים.

4.7.5 השפעת הספרה 1

לבסוף, יש מקום להמשיך ולבדוק את השפעת הספרה 1 על עיבוד המספר. במחקר זה, לא היו פערי זמנים יותר לפני הספרה 1 במיקום העשרות, אבל פער הזמנים אחריה (בין העשרות ליחידות) היה קצר יותר מבמספרים ללא 1 בעשרות. מכאן הסקתי שמילות "א-עשרה" מעובדות כיחידה אחת. המחקר הנוכחי לא נועד לבחון את השפעת הספרה 1 במיקומים אחרים, לכן הוא לא כלל מספיק מספרים עם 1 בכלל המיקומים במספר. במחקרי המשך כדאי לבצע מטלות ספציפיות שמטרתן להשוות בין מספרים עם 1 במיקומים שונים לעומת ספרות אחרות במיקומים הללו.

4.8 סיכום

המחקר הנוכחי הוא מחקר ראשוני בתחומי שממצאיו מאפשרים להבין את תהליכי העיבוד בעת כתיבת מספרים רב-ספרתיים בקרב אנשים ללא לקויות ולכן הוא תנאי הכרחי למחקרי המשך נירופסיכולוגיים.

המחקר תומך במודל ייצוג היררכי המשקף את תחביר המספר הנוצר בעת כתיבת מספרים רב-ספרתיים והשפעותיהם של ספרות מיוחדות כמו 0 ו-1 על דפוס הכתיבה. בנוסף המחקר הצליח למדוד את השפעתם של תהליכים נוספים המתבצעים בתהליך הכתיבה, כגון, תהליכי תכנון ויצירת הייצוג. בנוסף המחקר יצר תשתית רחבה של נתונים המאפשרת מחקרי המשך בתחום כתיבת מספרים רב-ספרתיים. המידע שנצבר במחקר זה פותח אפשרויות לבניית כלים לאבחון ולימוד של מיומנויות כתיבת מספרים.

- גביעון, א., פרידמן, נ. (2008). פריגבי – סוללה לאבחון זיכרון עבודה פונולוגי. *שפה ומוח*, 7, 161-181.
- Barrouillet, P., Thevenot, C., & Fayol, M. (2010). Evidence for knowledge of the syntax of large numbers in preschoolers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 105(3), 264-271.
- Chekaf, M., Cowan, N., & Mathy, F. (2016). Chunk formation in immediate memory and how it relates to data compression. *Cognition*, 155, 96-107.
- Cipolotti, L., Butterworth, B., & Warrington, E. K. (1994). From “one thousand nine hundred and forty-five” to 1000, 945. *Neuropsychologia*, 32(4), 503-509.
- Dehaene, S. (2011). *The number sense: How the mind creates mathematics*. Oxford University Press USA.
- Dotan, D., & Friedmann, N. (2018). A cognitive model for multidigit number reading: Inferences from individuals with selective impairments. *Cortex*, 101, 249-281.
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., & Huston, A. C. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental psychology*, 43 (6), 1428-1446.
- Guerrero, D. F., Orozco-Hormaza, M., & G Hurtado, R. (2014). Writing times in three digit numerals: Relation between times and syntactic structure of verbal expressions dictated. *Pensamiento Psicológico*, 12(2), 57-64.
- Gvion, A., & Friedmann, N. (2012). Phonological short-term memory in conduction aphasia. *Aphasiology*, 26(3-4), 579-614.
- Lochy, A., Domahs, F., Bartha, L., & Delazer, M. (2004). Specific order impairment in arabic number writing: A case-study. *Cognitive Neuropsychology*, 21(5), 555-575.
- Lochy, A., Pillon, A., Zesiger, P., & Seron, X. (2002). Verbal structure of numerals and digits handwriting: New evidence from kinematics. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 55(1), 263-288.
- Mathy, F., & Feldman, J. (2012). What's magic about magic numbers? Chunking and data compression in short-term memory. *Cognition*, 122(3), 346-362.
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Basili, A. (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation: Evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition*, 4(2), 171-196.

Power, R. J. D., & Dal Martello, M. F. (1990). The dictation of Italian numerals. *Language and Cognitive Processes*, 5(3), 237-254.

Ritchie, S. J., & Bates, T. C. (2013). Enduring links from childhood mathematics and reading achievement to adult socioeconomic status. *Psychological Science*, 24(7), 1301-1308.

Scheepers, C., Sturt, P., Martin, C. J., Myachykov, A., Teevan, K., & Viskupova, I. (2011). Structural priming across cognitive domains: From simple arithmetic to relative-clause attachment. *Psychological Science*, 22(10), 1319-1326.

Schneider, M., Beeres, K., Coban, L., Merz, S., Susan Schmidt, S., Stricker, J., & De Smedt, B. (2017). Associations of non-symbolic and symbolic numerical magnitude processing with mathematical competence: A meta-analysis. *Developmental Science*, 20(3), e12372.

6.1 נספח 1 – רשימת המספרים במטלות ההכתבה

מטלת פריימינג	מטלת הכתבת שלשות	מטלת רצף ספרות	תבנית	מספר להכתבה	מספר סידורי
			XXX0	9,640	1
			1X0XX	15,067	2
	1		XXXXXX	642,937	3
1			X00X00	500,200	4
			XXXX	8,475	5
			X01X	2,016	6
			XXX0X	93,804	7
			XXX0	3,260	8
			XXXX	9,845	9
			X00X	7,004	10
			XX0X	3,502	11
			XXXX0	36,980	12
			X100XX	410,095	13
			XXX	468	14
		1	XXX00X	793,005	15
			XXXX0X	256,407	16
			X00X	5,009	17
	1	1	XXXXXX	725,946	18
			X0XX	5,042	19
			XXXXX0	874,560	20
			X0XX	6,032	21
			XXX0X	84,906	22
			XX0X	5,904	23
			XXX	975	24
			XXXX0X	729,504	25
			X000X	70,005	26
			XX1X	5,817	27
			XX0XX	62,039	28
			XX1XX	57,148	29
		1	X0XX1X	309,218	30
			1XX	137	31
			XXX1X	27,913	32
			1XX	165	33
			XXX0X	24,905	34
			X00XX1	800,941	35
			X10X	3,105	36

מטלת פריימינג	מטלת הכתבת שלשות	מטלת רצף ספרות	תבנית	מספר להכתבה	מספר סידורי
			XXX	345	37
			XX00XX	280,059	38
			XX0X	8,402	39
			XX00XX	460,053	40
			XXX	673	41
			XXXX	6,549	42
			XX00X1	980,031	43
		1	XX0XX	84,075	44
			X1XX	4,189	45
			XXXXX	75,246	46
			X0000X	400,009	47
	1		1XXXXX	179,356	48
	1		XXXX1X	584,312	49
			XXX	892	50
			XXXX0	69,830	51
			XXX0	7,490	52
			XXXX	6,932	53
			1X0X	1,206	54
		1	XXX0X	92,804	55
			X01X	2,019	56
			X0XX	6,045	57
			X01X	4,012	58
			XX0XX	53,076	59
	1		XXXX1X	827,516	60
			X001	2,001	61
			XXXX0	65,370	62
			XX00XX	940,062	63
			XXXXX0	536,280	64
			X00X	7,002	65
			X1X01X	914,012	66
			XXX00X	837,004	67
			X1XX	6,135	68
			XXXXX	89,476	69
	1		XX1XXX	251,643	70
			XXXX0	58,920	71
	1		XXXXXX	294,786	72
			X000X	20,005	73
		1	XXX01X	823,015	74
			XX0XX	73,096	75
			XXXXX0	592,460	76

מטלת פריימינג	מטלת הכתבת שלשות	מטלת רצף ספרות	תבנית	מספר להכתבה	מספר סידורי
			X10X1	61,071	77
			X0XX	9,063	78
	1	1	XXX1XX	237,165	79
			XX1X	6,413	80
1			X0XX0X	507,908	81
			1XX1XX	145,136	82
			X000X	60,002	83
			XX1X	8,614	84
			X1XX	7,129	85
			XX0XX	75,069	86
			XXX	935	87
			XXX1X	27,613	88
			X01X	9,018	89
			X000XX	400,065	90
			XXXX0	94,350	91
			X0XXXX	206,847	92
			XXXX1	45,891	93
			X00XXX	600,725	94
			1XXXX	19,728	95
		1	XXX00X	346,002	96
			XX0X	4,209	97
1			X1XX1X	813,419	98
			XXX1X	43,617	99
			XX0X	4,203	100
			X1X0XX	716,082	101
			X0XX	2,039	102
	1	1	XXX1XX	867,125	103
			XXX01X	732,014	104
		1	XX10XX	981,036	105
			XXX1X	72,418	106
		1	XXXX10	539,710	107
	1		XXXXXX	269,473	108
			XXXX0X	487,905	109
			X00XXX	900,237	110
			1XX	156	111
			X10XX	91,057	112
			XXXX01	643,701	113
	1		XXXXXX	524,836	114
			XXXX	5,896	115
			XXX1X	36,219	116

מטלת פריימינג	מטלת הכתבת שלשות	מטלת רצף ספרות	תבנית	מספר להכתבה	מספר סידורי
			1XX0	1,980	117
			X0000X	500,004	118
			X0X1	6,031	119
			X000XX	400,078	120
	1		XXXXXX	243,679	121
1			X00X00	800,300	122
			XXX	456	123
			X00XXX	400,673	124
	1		XX1XXX	561,893	125
			X0000X	600,008	126
			XXX1X	49,213	127
			X10XX	81,063	128
			XXX1XX	432,178	129
			X0000X	400,002	130
			X1X0XX	219,084	131
			XXX	694	132
			XXXXX	98,675	133
			XX0XXX	290,456	134
			XX1X	6,513	135
			1000X	10,009	136
			XXX0X	59,608	137
			X1X00X	812,004	138
			XXXX0	32,450	139
			XXXX	8,539	140
			XX00XX	970,024	141
			XXX1X	46,517	142
			X10XX	21,094	143
			1XXXX	18,297	144
			X000X	40,003	145
			X0XXXX	709,456	146
			X1X	318	147
			XXX0XX	962,034	148
			X000XX	500,072	149
			XXXX0X	368,209	150
			XXX	498	151
			X000X	80,007	152
			X0XXXX	503,862	153
		1	XXX1XX	432,178	154
			X0001	90,001	155
			XX1XX	67,134	156

מטלת פריימינג	מטלת הכתבת שלשות	מטלת רצף ספרות	תבנית	מספר להכתבה	מספר סידורי
			X000X	20,006	157
			XX1X	6,714	158
	1		1XXXXX	154,968	159
			X1X	719	160
			X00XXX	400,275	161
			XX1X	9,718	162
			XXX0XX	783,096	163
	1		1XXXXX	184,672	164
			XXX0X	37,205	165
			X00001	800,001	166
		1	XXXX0X	763,209	167
			XXX	465	168
			XXX00X	867,009	169
			XXX1	7,261	170
			XX0XX	29,083	171
			XXXX	9,673	172
			X1X1X	41,613	173
			X00X	5,002	174
	1		XX1XXX	241,568	175
			X0000X	800,007	176
			XX0X	3,504	177
			XXX0	2,590	178
			X00X	8,007	179
1			X1XX1X	819,216	180
			X00X	2,004	181
			XXXXX	58,324	182
			10XXXX	109,536	183
			XXXXX0	784,520	184
1			XX0XX0	250,390	185
			X1X0XX	418,065	186
			XXX1	7,531	187
			X00XXX	200,836	188
			10XXX	10,734	189
1			XX0XX0	270,860	190
			XXX0	2,930	191
			X000X	80,004	192
			XXXX0X	326,407	193
			XXXX	4,967	194
			X000XX	800,027	195
			X01X	7,019	196

מטלת פריימינג	מטלת הכתבת שלשות	מטלת רצף ספרות	תבנית	מספר להכתבה	מספר סידורי
			X000XX	500,078	197
			XXXX	9,674	198
			1X0XX	17,043	199
			XX0X1	48,061	200
			X0XX	5,092	201
	1		XXXXXX	586,972	202
			XXX0X	97,408	203
			XX0XX	48,035	204
			XXXX0	89,640	205
			1000XX	100,073	206
			XXXX0	65,940	207
			XXX0	5,420	208
			X0X1	5,031	209
			X1XX	8,165	210
			X0000X	200,007	211
			X1X	412	212
			XXXX0	46,920	213
			X000XX	600,093	214
			XXXX	6,547	215
1			X00X00	300,900	216
			XX1	461	217
			100X	1,003	218
			XX1	891	219
			10XX	1,049	220
			XXX1X	75,319	221
			XXX0X	97,605	222
1			X0XX0X	708,604	223
			X00X	2,007	224
			XXXX0X	782,403	225
			X000X	80,005	226
			XXX01	67,201	227
1			X1XX1X	418,917	228
			XXX0	6,250	229
			1X0XX	12,086	230
		1	XXXX0	85,460	231
			XX0XX	65,073	232
			XXX1X	82,413	233
			XX00XX	260,057	234
			1XX0	1,280	235
	1		1XXXXX	164,597	236

מטלת פריימינג	מטלת הכתבת שלשות	מטלת רצף ספרות	תבנית	מספר להכתבה	מספר סידורי
			X0000X	800,004	237
			XXX0	9,260	238
			X00X	6,008	239
			XXX0X	58,402	240
			X000X	60,007	241
			1XX1X	15,814	242
			XXX00X	692,003	243
			X00XXX	500,762	244
1			X0X10X	706,104	245
			XX0XX	49,068	246
			XXXX	5,938	247
		1	XXX0XX	463,075	248
		1	XX1XX	84,126	249
1			XX01X0	250,190	250
			XXXXX0	473,250	251
		1	XX01X	29,017	252
			XXX1X0	847,160	253
			X0XXXX	805,973	254
			X000X	20,004	255
			X0XXXX	804,576	256
			X0000X	900,002	257
			1XXXX	16,923	258
			X000X	70,003	259
			X0XXXX	503,924	260
			X1X00X	714,002	261
			X0XXXX	508,963	262
1			X1XX1X	412,316	263
		1	XXX0XX	957,086	264
			XXX	592	265
			XX0XX	86,049	266
1			X0XX01	804,701	267
			XXXXX0	634,920	268
	1		XXXXXX	954,678	269
			X0000X	700,004	270
			XXXXX0	784,390	271
			X0XXXX	406,529	272
1			X1XX1X	914,317	273
			X000X	40,006	274
	1	1	XXXXXX	289,367	275
			XX0XX	73,025	276

מטלת פריימינג	מטלת הכתבת שלשות	מטלת רצף ספרות	תבנית	מספר להכתבה	מספר סידורי
		1	XXX001	578,001	277
			XXXXX	63,287	278
			X100XX	610,035	279
			XX0XX	24,036	280
			X001XX	600,197	281
			XXXX	3,658	282
			X000X	90,004	283
			XX0X	4,706	284
			X0000X	700,002	285
			X01X	8,017	286
			XXX1X	82,615	287
			XX0X	3,704	288
1			X00X00	700,600	289
			1X0XX	14,096	290
1			XX0XX0	490,530	291
			X0XXXX	604,729	292
			X0000X	300,007	293
			XXX1XX	793,145	294
			X0000X	300,002	295
		1	X1X0XX	715,046	296
			XX01X	53,019	297
			XX00XX	490,025	298
			XXXX0X	536,809	299
			X00X	3,006	300
		1	XXXXX0	659,830	301
			XX001X	680,017	302
1			XX0XX0	430,280	303
			XX00XX	270,095	304
		1	XXXX01	369,701	305
1			X00X00	500,800	306
			XXX00X	397,004	307
1			X01X0X	501,402	308
			100X	1,009	309
			XX1	591	310
			XX100X	351,007	311
			XX00XX	940,068	312
			XX01X	35,019	313
			XXX00X	872,003	314
			X1XXX	41,978	315
		1	XX1XX	65,138	316

מטלת פריימינג	מטלת הכתבת שלשות	מטלת רצף ספרות	תבנית	מספר להכתבה	מספר סידורי
			XXXX	8,354	317
			X001XX	400,137	318