

"מוזימטיקה" ו"מוזיקה אקדמית" - שתי תוכניות התערבות מוזיקליות ללימוד שברים בקרב ילדי כיתות ד'

ליבי עזריהו, סוזן קורי, רבקה אלקושי ואסתר עדי-יפה

ד"ר ליבי עזריהו

מוזיקאית ומרצה בפקולטה לחינוך מוזיקלי במכללת לוינסקי לחינוך. מורה למוזיקה בבתי ספר מעל 23 שנה, מדריכה פדגוגית לפרחי הוראה בחינוך מוזיקלי ומנחת סדנת סטאז' למורים חדשים. במחקרה היא מתמקדת בלמידה רב-תחומית המשלבת מתמטיקה ומוזיקה. פרסומיה כוללים שירים ללימוד לוח הכפל ומאמרים בכתבי עת בין-לאומיים בנושא למידה רב-תחומית.



ד"ר סוזן קורי

יו"ר התוכנית לחינוך כללי ומיוחד לגיל הרך בבית הספר ללימודים מתקדמים במכללת טורו בניו יורק. קורי היא חוקרת ראשית בפרויקט במימון פדרלי בשם מוזיקה "אקדמית צעירה וחשיבה חישובית בגן". היא עובדת עם מורים בבתי ספר ועמיתים כדי ללמד מושגים מתמטיים באמצעות מוזיקה. פרסומיה כוללים מאמרים בכתבי עת בין-לאומיים בנושא למידה רב-תחומית.



ד"ר רבקה אלקושי

פסנתרנית ומרצה בכירה למוזיקה. היא לימדה מוזיקה לתואר ראשון ושני, העבירה סדנאות למחנכי מוזיקה מטעם משרד החינוך, והנחתה תלמידי דוקטורט. אלקושי מתמקדת בחקר התפיסה והאוריינות המוזיקלית, פדגוגיה לפסנתר, ויישום שיטת אורף. פרסומיה כוללים יצירות מוזיקליות, ספרים בנושא הוראת פסנתר, פדגוגיית אורף ואוריינות מוזיקלית. פרסומיה כוללים מאמרים בכתבי עת בין-לאומיים בנושא תפיסה מוזיקלית וחקר האוריינות המוזיקלית.



פרופ' אסתר עדי-יפה

פרופסור חבר בבית הספר לחינוך, אוניברסיטת בר-אילן, ראש התוכנית להתפתחות הילד וחברה במרכז הרב-תחומי לחקר המוח ע"ש לסלי וסוזן גונדה (גולדשמיד) בבר-אילן. עדי-יפה מנהיגה קבוצת חוקרים הכוללת מורות וגננות בחינוך הרגיל והמיוחד, ואנשי מקצועות הבריאות (קלינאות תקשורת, ריפוי בעיסוק ופיזיותרפיה) החוקרים רכישת מיומנות אצל ילדים צעירים בתחום המוטורי, השפתי הקוגניטיבי והחברתי, והקשרים בין למידה והתפתחות בתחומים אלו. לעדי-יפה מעל 50 פרסומים בנושאים של למידה וזיכרון, והיא ממחברות תוכנית הלימודים לגיל הרך בישראל.



הקשר בין מוזיקה למתמטיקה הוכר מאז ימי פיתגורס, אפלטון ואריסטו, שכתבו על החפיפה וההקבלה בין שני התחומים (Bamberger & Disessa, 2003). שתי הדיסציפלינות באות לידי ביטוי באמצעות השימוש בשפה ייצוגית ובסמלים (Papadopoulos, 2002). מחקרים עדכניים דנים בשאלה האם פעילויות מוזיקליות בבית הספר מגבירות את כישורי המתמטיקה של התלמידים.

מחקרים שחקרו את השפעת המוזיקה על כישורי המתמטיקה של התלמידים הניבו תוצאות מעורבות. רוב המחקרים בחנו את השפעת הנגינה בכלים אינסטרומנטליים והראו ראיות מועטות להעברה מסוג זה (לסקירה, ראו Sala & Gobet, 2017). אחרים קישרו בין הידע המושגי והפרוצדורלי הטמון במוזיקה ובמתמטיקה, כאשר התוצאות העידו על השפעות חיוביות (An & Tillman, 2015; Courey et al., 2012). לפיכך במחקר זה עשינו רפליקציה לתוכנית התערבות שנעשתה בארצות הברית והוכיחה השפעה חיובית של חיבורים מפורשים על לימוד מקצבים ושבירים, "מוזיקה אקדמית" (Courey et al., 2012), והשווינו אותה לתוכנית חדשנית, "מוזיקטיקה", המסתמכת על יצירות מוזיקליות ומתמקדת בלימוד מקצבים ומנגינות. מטרת מחקר זה היא לבחון האם תוכניות התערבות מוזיקליות, בדגש על לימוד מקצבים ומנגינות, תורמות לשיפור הישגי התלמידים בתחום השבירים בכיתה ד'.

מילות מפתח: שבירים; למידה רב-תחומית; העברה; מוזיקה.

רקע תאורטי

מחקרים מעידים כי ידע מוקדם בתחום השבירים מנבא הישגים מתמטיים לאחר מכן. הבנת שבירים הכרחית להצלחת התלמידים באלגברה. עם זה שבירים הם בין המושגים המתמטיים הקשים ביותר להבנה וללמידה בתוכנית הלימודים בבית הספר היסודי (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2016). בכיתה ד' התלמידים נדרשים להבין את מהות השבר וגודלו, לייצג שבירים בסמלים, איוורים ובציר מספרים, להשוות בין שבירים למיניהם ולחבר ולחסר שבירים בעלי מכנים זהים או מוכלים. חלוקת הזמן במוזיקה עומדת בהקבלה טבעית לשבירים מתמטיים. לדוגמה, במשקל של 4/4 תו שלם שווה לארבע פעימות, תו החצי שווה לשתי פעימות ותו הרבע שווה לפעימה אחת. במוזיקה אנו משתמשים בטרמינולוגיה זהה למתמטיקה כאשר מדובר בחלוקת הזמן: שלם, חצי, רבע, שמינית וכו'.

העברה של מיומנויות

העברה בלמידה מתרחשת כאשר ידע שנרכש בתחום אחד מוכלל לתחומים חדשים או מגביר את היכולות הקוגניטיביות הכלליות. יעילות המעבר משדה אקדמי אחד למשנהו תלויה בדמיון של תהליך הלמידה. העברה קרובה מתרחשת כאשר לשני חומרי הלמידה יש הקשר דומה מאוד. העברה רחוקה מתרחשת כאשר המיומנויות והמושגים הנלמדים בדרך מסוימת יכולים להיות מנוצלים ביעילות בדרך אחרת לחלוטין. תלמידים נוטים להציג העברה קרובה הרבה יותר מהעברה רחוקה (Hallam, 2015; Sala & Gobet, 2017). במחקר זה נבחן העברה בין חלוקת הזמן במוזיקה ובין שבירים. ישנה הקבלה מוזיקלית בין מקצב לשבירים $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$ (חלוקת הצליל

השלם). לעומת זאת כאשר מדובר בשבירים שהמכנה שלהם אינו חזקה של 2 (למשל $\frac{1}{5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{3}$) ההקבלה למקצב מוזיקלי נדירה. בשל הבדל זה נראה בקשר הראשון העברה קרובה ואילו בקשר השני העברה רחוקה (Courey et al., 2012; Jaschke et al., 2013).

העברה של ידע וכישורים אקדמיים ממוזיקה למתמטיקה

ממצאים הקשורים להעברה משיעורי מוזיקה להישגים במתמטיקה אינם חד-משמעיים. לדוגמה קוסטה-גיאומי (Costa-Giomi, 2004) לימדה 117 ילדים בבית הספר היסודי שיעורי פסנתר שלוש שנים. ילדים בקבוצת הביקורת לא השתתפו בהוראת מוזיקה רשמית. התוצאות הראו שהוראת פסנתר לא השפיעה על הישגי התלמידים במתמטיקה. לעומת זאת תוכניות התערבות מוזיקליות הכוללות במפורש מושגים מתמטיים במסגרת שיעורים משולבים ומאפשרות תרגול רלוונטי, מספקות ראיות להעברה וקשר חיובי בין המוזיקה לשיפור בהישגי המתמטיקה (An & Tillman, 2015; Courey et al., 2012; Ribeiro & Santos, 2017). לדוגמה קואורי ועמיתיה (Courey et al., 2012) בחנו את השפעתה של תוכנית התערבות "מוזיקה אקדמית" על לימוד שבירים בכיתה ג'. ההתערבות המוזיקלית כללה 12 מפגשים שהעביר פעמיים בשבוע במשך שישה שבועות מורה למוזיקה וחוקר באוניברסיטה. בקבוצת הביקורת למדו שיעורי מתמטיקה סטנדרטים. התוצאות הראו שתלמידי "מוזיקה אקדמית" השתמשו במושגים מוזיקליים כדי לפתח הבנה של השלם וחלקיו, ואלה סייעו להם לפתור בעיות חישוב בשבירים (Courey et al., 2012). תוכנית זו הובאה כהוכחה להעברה קרובה מהוראת מקצב לידע בתחום השבירים (Jaschke et al., 2013).

שתי גישות בחינוך מוזיקלי

כאשר שוקלים העברה מהוראת מוזיקה להבנה מתמטית יש להביא בחשבון שתי גישות שונות זו מזו בחינוך מוזיקלי: א. הגישה האקוסטית הפשוטה; ב. הגישה ההוליסטית. הגישה האקוסטית הפשוטה מתמקדת ברכיבי המוזיקה (למשל מנגינה, קצב וכו') ותורמתם להבנת מוזיקה. מחקרים המשתמשים בגישה זו כללו קטעים קצרים של תבניות מקצב, הרמוניה או צלילים מעטים ובחנו את תהליך פיתוח ההבנה של 'אבני היסוד' של המוזיקה (Bamberger, 1999; Barrett, 2005; Steinbeis, 1987; Upitis, 2008; Koelsch, 2008). מחקרים המשתמשים בגישה ההוליסטית מדגישים את הצורך לגשת להוראת מוזיקה באמצעות ראייה רחבה יותר המאמצת איכויות הוליסטיות של מוזיקה (Elkoshi, 2002, 2017; Kaschub & Smith, 2009; Serafine, 1988). תלמידים שמקבלים הדרכה מוזיקלית הוליסטית מאזינים למוזיקה, מנגנים ויוצרים אותה לצד התמקדות במרכיבים מוזיקליים. בעוד בגישה האקוסטית הפשוטה חומרים מוזיקליים מתמקדים במיוחד באלמנטים מוזיקליים (למשל קצב), בגישה ההוליסטית משתמשים ביצירות מוזיקליות אותנטיות בשיעורים (Wiggins & Espeland, 2012).

היתרון של מלודיה על קצב בהעברה ממוזיקה למיומנויות אחרות

חוקרים טוענים כי גובה הצליל והקצב במוזיקה מייצגים שני ממדים בלתי תלויים של מוזיקה, ומעובדים בחלקים של המוח

שאינם חופפים (Carroll-Phelan & Hampson, 1996). האלאם (Hallam, 2015) סקרה מחקרים שבדקו את השפעת הקצב לעומת קצב משולב עם מלודיה על אימון בהבנת הנקרא. ממצאי המחקר הראו שההוראה המוזיקלית המפתחת הבנה של המלודיה תומכת גם בשטף הקריאה ומגבירה את הבנת הנקרא. דאיר ועמיתיו (Dyer, 2017) בדקו את השפעת הקצב והמלודיה על פיתוח מיומנויות מוטוריות מורכבות וממצאי המחקר הראו שהמלודיה מספקת יתרון על פני הקצב בלבד.

שלב המחקר

במחקר זה בחנו את ההשפעה של שתי תוכניות התערבות, "מוזיקה אקדמית" (Courey et al., 2012) ו"מוזיקה" כדי לשפר את הישגי התלמידים בתחום השברים. התוכנית "מוזיקה אקדמית" שחזרה את הניסוי שנעשה בארצות הברית והתמקדה בהוראת מקצבים בלבד בעוד התוכנית החדשה, "מוזיקה", שילבה לימוד של מקצבים ומנגינות. התלמידים נבחנו במתמטיקה לפני ההתערבות ואחריה, וגם שלושה ושישה חודשים לאחר ההתערבות. תלמידי כיתה ד' למדו לכתוב מקצבים מוזיקליים ולעשות תבניות קצביות באמצעות מחיאות כפיים והקשה על תופים. הם חיברו תווים יחד כדי לייצר מספר אמיתי (שבר), ויצרו בעיות חיבור וחסור עם תווים. בדקנו את ההעברה הקרובה מתווים לשברים $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$ כלומר שברים מתורגלים. התוכנית "מוזיקה" כללה האזנה ליצירות מוזיקליות הטומנות בחובן חלוקות טבעיות אחרות במלודיה וכך היה אפשר לבחון העברה רחוקה לשברים שאינם מתורגלים (לדוגמה $\frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6}$).

השערות המחקר

1. תלמידים שישתתפו בתוכנית ההתערבות "מוזיקה אקדמית" (Courey et al., 2012) וישוו את ערכי המקצב לשברים $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$ ישתפרו בהישגיהם הלימודיים בשברים המתורגלים.
2. תלמידים שישתתפו בתוכנית ההתערבות "מוזיקה" שבה משווים את ערכי המקצב לשברים $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$ ואת חלוקת המלודיה ל"שברים אחרים" $(\frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6})$, ישתפרו בהישגיהם הלימודיים בשברים המתורגלים והלא מתורגלים.

שיטת המחקר משתתפים

המשתתפים הם 77 תלמידי כיתה ד' בני תשע בלי הכשרה מוזיקלית קודמת, הלומדים בשלוש כיתות של בית ספר יסודי אחד במרכז הארץ המופעל ומפוקח מטעם משרד החינוך, בעלי רקע סוציו-אקונומי בינוני. האישור התקבל ממשרד החינוך (10.32/399/2016) והורי התלמידים חתמו על הסכם השתתפות ילדיהם במחקר. הכיתות חולקו באקראי לשלוש קבוצות: כיתת "מוזיקה" (n=30), כיתת "מוזיקה אקדמית" (n=25) וכיתה שלישית (n=22) ששימשה קבוצת ביקורת.

מהלך המחקר

כל שלוש קבוצות המחקר קיבלו 12 שיעורים של 40 דקות בנושא שברים שנלמדו פעמיים בשבוע במסגרת מערכת בית הספר הרגילה (התלמידים למדו 6 שיעורים במתמטיקה בכל שבוע, 2 שיעורים בנושא שברים ועוד 4 שיעורים בנושאים אחרים). כל השיעורים נלמדו על פי תוכנית הלימודים

במתמטיקה של משרד החינוך והדגישו את משמעותם של שברים, שמות שונים לשבר, הבנת החלקים השווים של השלם, שוויון ואי שוויון בין שברים למיניהם וחיבור וחסור של שברים עם מכנים זהים או מוכלים. מורה למתמטיקה מצוות בית הספר העבירה שיעורי מתמטיקה בכל שלוש הקבוצות. בקבוצות המחקר הצטרפה למורה זו מורה למוזיקה אחת (חוקרת מהאוניברסיטה) שלימדה את החלק המוזיקלי של השיעור. צמד המורות קיבלו מראש הנחיה כיצד ללמד בכל קבוצה.

שתי תוכניות ההתערבות המוזיקליות, "מוזיקה" ו"מוזיקה אקדמית" מסתמכות על שיטת קודאי (שיטה מקובלת בחינוך המוזיקלי המדגישה את הלמידה בכמה דרכים: חזותי, שמיעתי וקניססטי) (Wheeler & Raebeck, 1985). בתוכניות ההתערבות אלה נכחו שני מורים בכיתה, מורה למוזיקה (20 דקות) ומורה למתמטיקה (20 דקות). בחלק המוזיקלי התלמידים למדו לקרוא ולכתוב מקצבים והתמקדו בקשר שבין תווי המוזיקה לשברים $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$ בעוד בחלק המתמטי המורה למתמטיקה לימדה גם שברים עם מכנים אחרים. המורה למוזיקה הדגימה כיצד לדקלם, למחוא ולכתוב תבניות מקצב, שכל אחת מהן מורכבת מארבע פעימות. ראשית, התלמידים למדו את מקצב הרבע (ארבעה מחיאות כפיים שמרכיבות תיבה אחת). לאחר מכן הם למדו להחזיק את הפעמה השנייה, השלישית והרביעית כדי ליצור תו שלם. בדומה התלמידים למדו לדקלם, למחוא ולכתוב את תווי החצי ותווי השמיניות.

ככל שהתקדמה ההוראה, המשיכה המורה למוזיקה להראות כיצד לתופף את תבניות הקצב באמצעות טמבורין ומקלות מקצב. התלמידים התאמנו בבניית תבניות מקצב בתחום תיבה של 4/4. הם השוו את הערכים של מקצבי המוזיקה לשברים (ראו איור 1). התלמידים הונחו כיצד להקביל את שפת המוזיקה לשפה המתמטית ולייצוגים וסמלים של שברים (ראו איור 2). נוסף על ייצוג השברים בתווים, התלמידים למדו לייצג שברים באמצעות מעגלים, טבלאות וצייר המספרים. התלמידים למדו לחבר ולחסר ערכי מקצב מגוונים ולהשוותם לשברים מתמטיים (ראו איור 3). נוסף על כך, באופן זה התלמידים למדו לחבר ולחסר שברים בעלי מכנים מוכלים (ראו איור 4). בעוד התלמידים למדו כיצד לחבר ולחסר תווים, המורה למתמטיקה הראתה כיצד הם יכולים להוסיף ולחסר את השברים בעלי אותו מכנה, וגם שברים עם מכנים מוכלים. התלמידים מילאו בכל שיעור דף עבודה מוזיקלי ומתמטי. עקבנו אחר ההבנה של התלמידים בדפי העבודה ודפי העבודה בכיתה נאספו ונבדקו בכל יום.

1. ציורו את התווים והשברים בכל תיבה

שלים	1	שלם					
חצי	2	חצי $\frac{1}{2}$		חצי $\frac{1}{2}$			
רבע	4	רבע $\frac{1}{4}$		רבע $\frac{1}{4}$		רבע $\frac{1}{4}$	
שמינית	8	שמינית $\frac{1}{8}$	שמינית $\frac{1}{8}$	שמינית $\frac{1}{8}$	שמינית $\frac{1}{8}$	שמינית $\frac{1}{8}$	שמינית $\frac{1}{8}$

איור 1: דוגמה למעבר התלמידים בין ייצוגי שברים בתווים ובמספרים

2. ציירו את התו ואת השבר המתאים.

הדוגמה הראשונה נכתבה בשבילכם.

$$\frac{1}{2} = \text{half note} \quad \frac{1}{2} = \text{half note}$$

$$\frac{1}{4} = \text{quarter note} \quad 1 = \text{whole note}$$

$$\frac{1}{8} = \text{eighth note} \quad \frac{1}{8} = \text{eighth note}$$

$$1 = \text{whole note} \quad \frac{1}{4} = \text{quarter note}$$

איור 2: דוגמה למעבר התלמידים בין ייצוגי שברים בטבלאות, בעיגולים, בתווים ובמספרים

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$$

$$\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{4}{4} = 1$$

Add or subtract the following fractional quantities. Draw the notes to help you answer the questions.

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = 1$$

$$\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{2}{8} = \frac{6}{8}$$

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{8} = \frac{5}{8}$$

$$\frac{2}{4} + \frac{4}{8} = \frac{8}{8} = 1$$

איור 3: דוגמה לחיבור שברים עם מכנים מוכלים בעזרת תווים



$$\frac{2}{8} + \frac{2}{8} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = 1 \quad \frac{2}{8} + \frac{2}{8} + \frac{1}{2} = 1 \quad \frac{1}{4} + \frac{2}{8} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = 1 \quad \frac{2}{8} + \frac{2}{8} + \frac{1}{2} = 1$$

איור 4: דוגמה למעבר התלמידים בין תווים לשברים

תוכנית ההתערבות "מוזיקה": במהלך ההתערבות הקשיבו התלמידים לכמה יצירות מוזיקליות: חלק מן הקונצ'רטו גרוסו מאת הנדל, אופ. 6 מס' 7; חלק מן "גן עדן וגהנום" מאת ונגליס; ושירים עממיים. יצירות מוזיקליות אלה הדגישו את חלוקת הזמן במוזיקה, והתלמידים יכלו לשמוע את הערכים היחסיים של המקצבים המופיעים בזמן שלמדו לכתוב את תבניות המקצב. המורות למוזיקה ולמתמטיקה השתמשו באותו מינוח של שמות השבר כדי להבין את חלוקת הזמן ואת המספר. בכל אחד מ-12 השיעורים היו הפעילויות האלה: ראשית, התלמידים מחאו כפיים ותופפו את תבניות הקצב כדי לחזור על השיעור האחרון (5–7 דקות). לאחר מכן נלמד קטע מוזיקלי חדש (13–15 דקות) והתלמידים התאמנו לכתוב מקצבים בתיבה של 4/4. בחלק השני של השיעור התלמידים למדו להקביל את סמל השבר לסמל התו באמצעות דפי עבודה. נוסף על כך, התלמידים למדו לחבר ולחסר שברים עם מכנים זהים או מוכלים באמצעות תווים.

תוכנית ההתערבות "מוזיקה אקדמית": היא רפליקציה של מחקר שערכו בארצות הברית קוארי ועמיתיה (Courey et al., 2012). ששת השיעורים הראשונים (40 דקות כל אחד) התמקדו בכתובת מקצבים ובלמידת הערך הטמפורלי שלהם במשקל של 4/4. ששת השיעורים האחרונים התמקדו בהקבלת המקצבים לשברים מתמטיים. רצף ההוראה היה כזה: התלמידים מחאו ותופפו תבניות מקצב בתיבות של 4/4 (2–3 דקות); המורה למוזיקה חזרה על השיעור הקודם והציגה את מטרות היום (10 דקות) והתלמידים התאמנו בכתובת מקצבים; התלמידים למדו חומר חדש (8 דקות); ב-20 הדקות הנשארות השלימו התלמידים דפי עבודה על פי התכנים הנלמדים בכל שיעור.

קבוצת הביקורת: תלמידים בקבוצת הביקורת למדו את נושא השברים בדרך רגילה עם המורה בכיתה במשך 12 שיעורים של 40 דקות. התלמידים עבדו בספרי הלימוד ובמחברות אישיות. בשני השיעורים הראשונים החלה המורה למתמטיקה ללמד את משמעות השברים. בשיעורים 3–4 למדו התלמידים לייצג חלקים משלם באמצעות איורים ולהבין שברים עם מונה גדול מ-1. בארבעת השיעורים האלה התמקדו התלמידים בגודל השבר ושוויון בין שברים שונים. לבסוף בארבעת השיעורים האחרונים למדו התלמידים לחבר ולחסר שברים עם מכנים זהים ומוכלים. כל שיעור התחיל עם סקירה קצרה של השיעור האחרון והמשיך עם נושא חדש. המורה השתמשה בייצוגים גרפיים וציר מספרים כדי להדגים את נושא השברים. השיעורים כללו 20 דקות של הוראה ואחריה 20 דקות של עבודה במחברות ובספרי הלימוד.

כלי המחקר

מיומנויות מתמטיות כלליות: ניתנה גרסה עברית של מבחן המתמטיקה WISC R-95 (Ryan et al., 1988; Wechsler, 1998). זהו מבחן בעל דרגות קושי עולות ובו 24 שאלות. כל תשובה נכונה מזכה בנקודה אחת, והמבחן נעצר לאחר שלוש טעויות רצופות.

מבחן שברים: מבחן השברים נלקח מתוך תוכנית הלימודים של משרד החינוך לכיתה ד' (Mevarech & Kramarski, 1997). המבחן כלל שאלות של ייצוג השבר באיור ובמספר,

דפי עבודה בשברים: 12 גיליונות עבודה בנושא שברים ניתנו לקבוצות המחקר, בעוד התלמידים בקבוצת הביקורת עבדו בספרי הלימוד ובמחברות אישיות. הידע הוערך באמצעות בחינת היחס בין השלם וחלקיו לייצוגים הגרפיים המגוונים של השברים. פרוצדורות חישוב השברים כללו חיבור וחסור של שברים עם מכנים דומים ומוכלים (Courey et al., 2012).

מבחן מוזיקה: מבחן המוזיקה אומץ ממחקרה של קואורי ועמיתיה (Courey et al., 2012), וכלל פריטים המבקשים מהתלמידים לזהות תווים מוזיקליים, להתאים את השבר המקביל לערך של התו ולהוסיף ולחסר תווים בעלי ערכי מקצב מגוונים כדי לשמור על 4/4 בכל תיבה (ראו איור 6). הציון המקסימלי למדד זה היה 100.

1. כתבו את השבר הנכון לכל תו וחברו את השברים:

לדוגמה:

$$\text{♪} + \text{♪} = \text{♪♪} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{2}{8} = \frac{1}{4}$$

$$\text{♪} + \text{♪} = \text{♪♪} =$$

$$\text{♩} =$$

$$\text{♩} =$$

$$\text{♩} =$$

$$\text{♪} + \text{♪} =$$

$$\text{♩} + \text{♩} =$$

$$\text{♪} + \text{♩} + \text{♩} =$$

$$\text{♪} + \text{♪} + \text{♪} = \text{♪♪♪} =$$

$$\text{♪} + \text{♪} + \text{♪} + \text{♪} =$$

איור 6: חלק ממבחן המוזיקה

שוויון שברים, שברים על ציר המספרים, וכן חיבור וחסור של שברים עם מכנים זהים או מוכלים. המבחן מתוקנן עם ערך אלפא של קרונבך שנע בין 73 ל-79. ציון הניקוד המרבי במבחן היה 100, עם 8 שאלות המספקות הזדמנות ליותר מתשובה אחת (ראו איור 5).

דפי עבודה מוזיקליים: שנים עשר דפי עבודה מוזיקליים ניתנו לתלמידים בקבוצות הניסוי, אחד בכל מפגש. התלמידים התבקשו לכתוב מקצבים, לכתוב תבניות מקצב במשקל של 4/4 ולהמיר תווים מוזיקליים בתווים בעלי אותו משך. פרוצדורות של חישוב שברים כללו חיבור וחסור של סמלים מוזיקליים ופענוח התוצאה במונחים של משך המוזיקה (Courey et al., 2012).

1. כתבו שתי דוגמאות לכל משפט

שבר שווה ל-1

 ,

שבר קטן מ-1

 ,

שבר גדול מ-1

 ,

שבר גדול מ-1/4

 ,

2. סמנו >, <, =.

 $\frac{1}{8}$ $\frac{1}{4}$
 $\frac{2}{2}$ $\frac{4}{4}$
 $\frac{9}{10}$ $\frac{1}{5}$
 $\frac{7}{8}$ $\frac{1}{3}$
 $\frac{2}{6}$ $\frac{5}{6}$
 $\frac{2}{4}$ $\frac{1}{2}$

3. ענו על השאלות:

א. $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} =$

ה. $\frac{1}{8} + \frac{1}{4} =$

ב. $\frac{1}{6} + \frac{3}{6} =$

ו. $\frac{7}{7} - \frac{3}{7} =$

ג. $\frac{1}{2} + \frac{1}{4} =$

ז. $1 - \frac{1}{3} =$

ד. $\frac{3}{8} + \frac{5}{8} =$

ח. $1 - \frac{2}{8} =$

איור 5: חלק ממבחן השברים

תכנון הניסוי וניתוח נתונים

ניתוח מדידות חוזרות 2X3 ANOVA של קבוצה (מוזיקה/מוזיקה אקדמית) X זמן (לפני ההתערבות/לאחר ההתערבות) בוצע כדי לנתח את השיפור בציוני מבחן השברים כשהזמן הוא המשתנה החוזר. בדיקת אינטראקציה (Keppel, 1991) בוצעה כדי לחקור את האינטראקציה בין הקבוצה לזמן. ניתוח מדידות חוזרות 2X2 ANOVA של קבוצה (מוזיקה/מוזיקה אקדמית) X זמן (לפני ההתערבות/אחרי ההתערבות) בוצע כדי להשוות בין ציוני המוזיקה של קבוצת "מוזיקה" לעומת קבוצת "מוזיקה אקדמית". שלושה ושישה חודשים לאחר ההתערבות, ANOVA חד-כיוונית שימשה להשוואה בין ציוני מבחני השברים בין שלוש הקבוצות. הניתוחים השוו

בין שלוש הקבוצות בשלושה תנאים: מבחן שברים כללי, מבחן שברים מתורגלים, מבחן שברים לא מתורגלים. ניתוחי התוצאות שלושה ושישה חודשים לאחר ההתערבות השוו שני תנאים: מבחן שברים מתורגלים ומבחן שברים לא מתורגלים.

תוצאות

טבלה 1 מציגה נתוני סטטיסטיקה תיאורית וציונים ממוצעים של תלמידים וסטיות תקן למבחנים המקדימים. מבחן ANOVA חד-כיווני המשווה את הניקוד הממוצע של שלוש הקבוצות לא הראה הבדלים מהותיים. לא היו הבדלים בין המינים בין הקבוצות ($\chi^2 (2) = 0.16, p = .88$).

טבלה 1: סטטיסטיקה תיאורית – תוצאות מבחן מקדים וסטיות תקן

	Comparison group (n=22)		MusiMath group (n=30)		Academic music group (n=25)		η^2	F	p
Measures	M	SD	M	SD	M	SD			
Gender %male	.50		.46		.52				
Age	115.2	4.01	114.6	5.21	113.9	3.51	.01	.52	.60
Pre-Math	23.05	17.74	17.53	8.68	22.32	19.32	.03	1.03	.36
Pre – $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$ fractions	22.03	17.01	17.59	8.97	21.09	19.76	.02	0.61	.54
Pre – other fractions	28.45	27.37	16.63	15.50	29.02	21.24	.07	2.97	.06
Pre-Music			6.53	3.85	7.68	4.75	.02	.97	.33
Wisc-Math	14.91	1.57	14.90	1.90	15.04	1.74	.00	0.65	.95

Pre* = Pretest, מבחן מקדים. Age = גיל בחודשים.

ידע מתמטי

תוצאות לפני התערבות ואחריה: רפליקציה של מחקרה של קואורי ועמיתיה (Courey et al., 2012)

ציוני המתמטיקה של שלוש הקבוצות מוצגים בטבלה 2. יש לציין כי לא היו הבדלים מובהקים בין הקבוצות לפני ההתערבות (טבלה 1). הניתוח של הפער בין לפני ההתערבות ובין הפער אחריה (ראו טבלה 3) עמד על עליות ניכרות בציוני המתמטיקה, וחשף שכל הקבוצות שיפרו את ביצועיהן. עם זה גודל השיפור היה שונה בין הקבוצות, כאשר ההישגים הגדולים

ביותר נמצאו בקבוצת "מוזיקה" וההישגים הנמוכים ביותר נמצאו בקבוצת הביקורת. ניתוח אינטראקציה הראה שיפור גדול בקבוצת "מוזיקה" מאשר בקבוצת הביקורת ($F(1,50) = 10.00$, Bonferroni, $p < .01$, $\eta^2 = .17$). הפערים שנמצאו בקבוצת "מוזיקה אקדמית" היו גבוהים מאלה שנמצאו בקבוצת הביקורת. עם זה הניתוח הראה רק מגמה שלא עמדה בתיקון סטטיסטי ($F(1,45) = 4.70$, Bonferroni, $p = .12$). לא נמצא הבדל בין שתי קבוצות ההתערבות (שתיים מתוך שלוש הקבוצות).

טבלה 2: ציוני מתמטיקה – לפני ההתערבות ואחריה

Groups	Pre		Post	
	M	SD	M	SD
Music scores				
"MusiMath"	6.53	3.85	88.73	11.77
"Academic Music"	7.68	4.75	86.76	12.50
Math scores				
"MusiMath"	17.53	8.68	82.10	16.20
"Academic Music"	23.32	8.68	82.72	15.15
Comparison	23.05	17.74	73.05	12.73

	Pre-to post-intervention				Specific group effects		
	df	F	η^2	p		df	t
<i>Overall test scores</i>							
Group	2, 74	0.74	.02	.48	MusiMath	29	22.64***
Time point	1, 74	957.40	.93	.001	Academic Music	24	16.52***
Group X Time Point	2, 74	5.01	.12	.008	Comparison	21	15.47***
<i>$\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$ fractions</i>							
Group	2, 74	0.69	.02	.50	MusiMath	29	19.52***
Time point	1, 74	815.44	.92	.001	Academic Music	24	15.21***
Group X Time Point	2, 74	4.29	.10	.017	Comparison	21	15.54***
<i>Other fractions</i>							
Group	2, 74	2.05	.05	.13	MusiMath	29	25.60***
Time point	1, 74	692.15	.90	.001	Academic Music	24	15.84***
Group X Time Point	2, 74	4.51	.11	.014	Comparison	21	9.25***
<i>Music scores</i>							
Group	1, 53	0.05	.00	.83	MusiMath	29	41.24***
Time point	1, 53	2848.92	.98	.000	Academic Music	24	34.55***
Group X Time Point	1, 53	1.07	.02	.31			

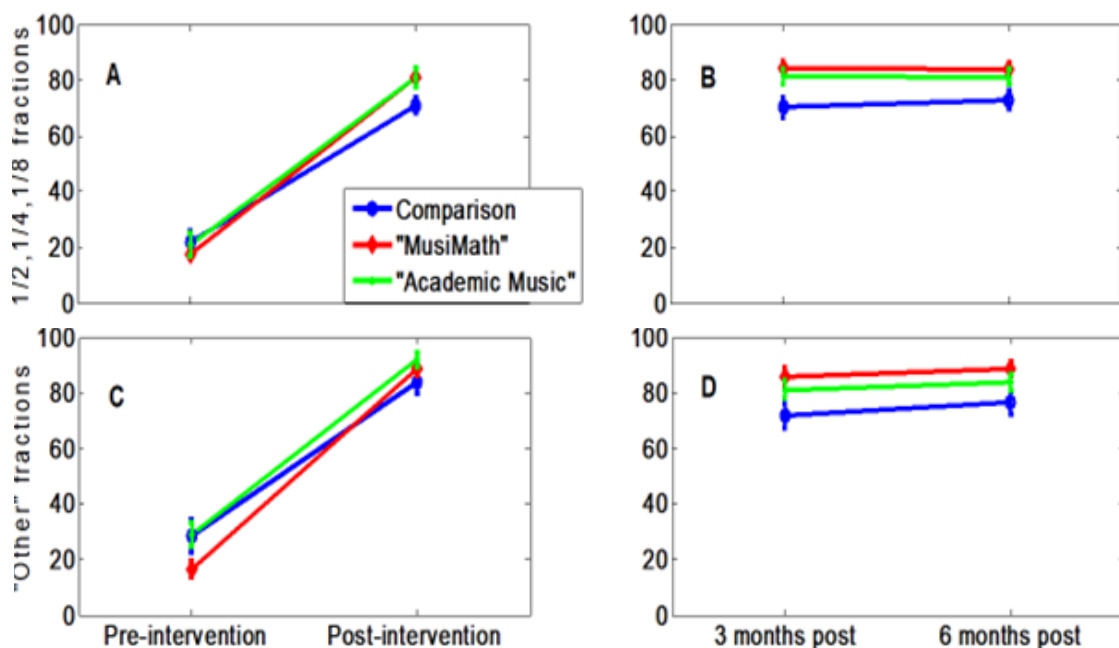
***p<.001

תוצאות לפני ההתערבות ואחריה בשברים שלא התאמנו עליהם

לפני ההתערבות לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הקבוצות (טבלה 1, איור 7 C). הניתוח של הפרשי ציוני השברים שלא התאמנו עליהם מלפני ההתערבות עד לאחריה זהה לתוצאות ציוני המבחנים הכוללים, כולל אינטראקציה מובהקת של קבוצה X נקודת זמן (טבלה 3). ניתוח אינטראקציה הראה שיפור גדול בקבוצת "מוזיקה" מאשר בקבוצת הביקורת $(F(1,50) = 8.83, Bonferroni, p < .05, \eta^2 = .15)$. לא היה הבדל בין קבוצת "מוזיקה אקדמית" ובין קבוצת הביקורת או קבוצת "מוזיקה".

תוצאות לפני ההתערבות ואחריה בשברים שהתאמנו עליהם

לפני ההתערבות לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הקבוצות (טבלה 1, איור 7 A). הניתוח של הפרשי ציוני השברים שהתאמנו עליהם מלפני ההתערבות ואחריה זהה לתוצאות של ציוני המבחנים הכוללים, כולל אינטראקציה מובהקת של קבוצה X נקודת זמן (טבלה 3). ניתוח אינטראקציה הראה שיפור גדול בקבוצת "מוזיקה" מאשר בקבוצת הביקורת $(F(1,50) = 8.18, Bonferroni, p < .05, \eta^2 = .14)$. קבוצת "מוזיקה אקדמית" השתפרה יותר מקבוצת הביקורת. עם זה הניתוח הראה רק מגמה שלא עמדה בתיקון $(F(1,45)) (= 4.46, Bonferroni, p = .12)$. לא היה הבדל בין שתי קבוצות ההתערבות (שתיים מתוך שלוש הקבוצות).



איור 7: ציוני מבחן השברים (ממוצע וסטיית תקן). A-1 וב-2 שברים מתורגלים, C-1 וב-2 שברים שאינם מתורגלים. ציוני השברים הותאמו לציון מקסימלי 100

תוצאות לאחר שלושה ושישה חודשים אחר ההתערבות בשברים שהתאמנו עליהם

שלושה ושישה חודשים לאחר ההתערבות, שתי קבוצות ההתערבות עלו בביצועיהן על קבוצת הביקורת (שלושה חודשים אחר כך: $F(2,74) = 6.19, p < .01, \eta^2 = .14$; שישה חודשים אחר כך: $F(2,74) = 4.98, p < .01, \eta^2 = .12$, Bonferroni $p < .01, .05$; $p < .025$). לא נמצא הבדל מהותי בין שתי קבוצות ההתערבות בציוני מבחן השברים שהתאמנו עליהם.

תוצאות לאחר שלושה ושישה חודשים אחר ההתערבות בשברים שלא התאמנו עליהם

שלושה ושישה חודשים לאחר ההתערבות, קבוצת "מוזיקה" עלתה בביצועיה על קבוצת הביקורת ($F(2,74) = 3.88, 4.15, ps < .025, \eta^2 = .10, .09$; Bonferroni, $ps < .05$) ללא הבדל מהותי בין קבוצת "מוזיקה אקדמית" ובין קבוצת "מוזיקה" או קבוצת הביקורת בציוני שברים שלא התאמנו עליהם.

ידע מוזיקלי בתוכניות ההתערבות

שתי הקבוצות, מוזיקה ומוזיקה אקדמית, השתפרו בציוני המבחנים (טבלה 2), דבר המלמד על כך שתוצאות התלמידים לאחר ההתערבות היו גבוהות מהציונים שלהם לפני ההתערבות (טבלה 3). לא הופיעו הבדלים קבוצתיים או אינטראקציה של קבוצה X זמן.

תווים מוזיקליים בידע תחום השברים

בתוכניות ההתערבות המתוארות, כתיבת המקצבים נוצלה להשגת העברה בין מוזיקה למתמטיקה. לכן חשוב ללמוד את הקשר בין השיפור בכתיבת התווים לשיפור בציונים במתמטיקה מתחילת ההתערבות ועד סופה. מניתוחי קורלציה עולה כי קיים מתאם בין השיפור במוזיקה לשיפור בציוני מתמטיקה מלפני ההתערבות ואחריה בשתי קבוצות ההתערבות. המתאם היה גבוה במובהק בקבוצת "מוזיקה" מאשר בקבוצת "מוזיקה אקדמית" ($r(30) = .74, p < .001$ "MusiMath"; $r(25) = .42, p < .05; z = 1.75$, "Academic Music" $(p = .08)$).

תלמידים משתי תוכניות התערבות מילאו דפי עבודה במוזיקה ובמתמטיקה. השוואה בין דפי העבודה בין שתי קבוצות ההתערבות לא הראתה הבדלים בציונים ($t's < 1.38, p's > .05$). ניתוח קורלציה הראה קשר בין ציוני דפי העבודה במוזיקה ובמתמטיקה ("MusiMath") $r(30) = .46, .47, p < .05, .01$; "Academic Music": $r(25) = .49, r(25) = .42, .46, p < .05$.

נתונים אלה מדגישים את הרעיון של התקדמות מקבילה במוזיקה ובמתמטיקה.

דיון

במחקר הנוכחי השווינו שתי תוכניות להוראת המוזיקה, "מוזיקה" ו"מוזיקה אקדמית", המקשרות בין היבטים מקבילים זה לזה הטמונים במקצבים ובשברים, כדי לשפר את הידע בנושא שברים בכיתה ד'. בעוד התוכנית "מוזיקה אקדמית" הסתמכה על הוראת קצב בלבד, תוכנית "מוזיקה"

כללה יצירות מוזיקליות אותנטיות המתמקדות במקצבים בתוך המנגינה. שתי תוכניות המוזיקה השתמשו בתוכניות מקצב במשקל 4/4, בשתייהן התלמידים למדו לכתוב תווים מוזיקליים המקבילים לשברים של $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$ ובשתייהן התלמידים השוו מקצבים לשברים ופתרו באמצעותם בעיות חיבור/חיסור. נבדקה העברת ידע מושגי וחשובים נלווים לשברים מתורגלים, וכן לשברים שאינם מתורגלים (למשל, $\frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6}$). שתי קבוצות המוזיקה השתפרו במובהק בציוני מבחן השברים הכלליים (אם כי קבוצת ה"מוזיקה אקדמית" הראתה רק מגמה) ועלו בציוני קבוצת הביקורת בין שלושה לשישה חודשים לאחר ההתערבות בשברים המתורגלים. במבחן השברים שאינם מתורגלים, קבוצת "מוזיקה" השתפרה במובהק לעומת קבוצת הביקורת בין מבחן הקדם למבחן שאחרי ההתערבות ובין המבחנים שלושה ושישה חודשים לאחר ההתערבות. נתונים אלה מראים כי היתרון שנצבר בהתערבות בשברים המתורגלים על ידי שתי קבוצות ההתערבות המוזיקלית, כמו היתרון שנצבר בשברים לא מתורגלים על ידי קבוצת "מוזיקה" על פני קבוצת ההשוואה, נמשך שלושה ושישה חודשים לאחר התערבות.

רפליקציה של התוכנית מוזיקה אקדמית

במחקר הנוכחי, מצאנו השפעה חיובית על רפליקציה של תוכנית ההתערבות "מוזיקה אקדמית" שהציגו קואורי ועמיתיה (Courey et al., 2012). עם זה בקבוצת הביקורת הייתה רק מגמה של שיפור בציוני השברים לפני ההתערבות ואחריה. תוצאה זו חוזרת על הממצאים המדווחים במחקר של קואורי ועמיתיה (Courey et al., 2012).

לימוד שברים מתורגלים בשתי תוכניות ההתערבות

המחקר הנוכחי התמקד בהשוואת ההשפעה של שתי גישות מוזיקליות (אקוסטית לעומת הוליסטית) על הישגי המתמטיקה בתחום השברים. העברה קרובה נבדקה באמצעות בדיקת היכולת להקביל מקצבים מוזיקליים לשברים $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$. השוואת פערי הציונים בשברים המתורגלים הראתה שקבוצות ההתערבות השתפרו יותר מקבוצת הביקורת מלפני ההתערבות ואחריה, וכן משלושה עד שישה חודשים לאחר ההתערבות. ממצאים אלה מדגישים את האפקטיביות של העברה קרובה. העברה קרובה ממוזיקה לידע מתמטי מתרחשת כאשר הוראת המוזיקה מדגישה את היחס המפורש בין ידע מתמטי ספציפי ובין תכונות של אלמנטים מוזיקליים (Jaschke et al., 2013).

לימוד שברים שאינם מתורגלים בשתי תוכניות ההתערבות

ההעברה הרחוקה נבדקה באמצעות בדיקת היכולת להקביל את התווי המוזיקלי לשברים עם מכנים הנשענים על חלוקה אחרת מ-2 (למשל $\frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6}$). שלא תורגלו בהתערבות המוזיקה. המחקר הנוכחי השווה בין שתי גישות מוזיקליות, הגישה האקוסטית והגישה ההוליסטית, בהנחה שהגישה ההוליסטית תציג השפעות רבות יותר. ההשוואה בין ציוני מבחני השברים על פני שלוש קבוצות המחקר הראתה שהשיפור מלפני ההתערבות

בתוך יצירה מוזיקלית מחזק את ההבנה המושגית של שברים (Perry et al., 2010) באמצעות אנלוגיה גדולה בין היחסים המוזיקליים למתמטיים. במיוחד חלוקות משנה שונות זו מזו המוטבעות בקצב (כלומר $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$) והמנגינה (כלומר $\frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6}$) תרמו להבדלים.

חסקנות ומגבלות המחקר

לסיכום, תוצאות המחקר הנוכחי מדגימות את הפוטנציאל של השימוש במוזיקה כדי ללמד שברים בתוכנית הלימודים היסודית. ההוראה המוזיקלית כנושא בלתי נפרד מתוכנית הלימודים היסודית תורמת לידע המושגי והפרוצדורלי של שברים. עם זה במהלך עריכת רפליקציה של המחקר של קואורי ועמיתיה (Courey et al., 2012), נמצא כי קבוצת ה"מוזיקה האקדמית" עלתה בביצועיה על קבוצת הביקורת רק בשברים המתורגלים. ממצא זה מעיד על מגבלות להעברת ידע משיעורי מוזיקה למתמטיקה. המורים צריכים לשקול את ההקבלות המדויקות בין מוזיקה למתמטיקה בעת עיצוב תוכנית משולבת. ממצאי המחקר הנוכחי תומכים בשימוש בגישה ה'הוליסטית' ולא בגישה ה'אקוסטית', כאשר הראשונה עשויה להקל על העברה משוכללת יותר.

המסקנות המדווחות כאן חייבות לבוא בחשבון במגבלות המחקר. גודל המדגם היה קטן, וכל השיעורים היו מבית ספר יסודי אחד כדי למזער את ההבדלים. בתי הספר היסודיים כוללים בדרך כלל 2–4 כיתות לכל קבוצת גיל, עם דרגות מסוימות של הטרוגניות בקרב ילדים בתוך השיעורים. מחקרים קודמים שבחנו את ההשפעות של תוכניות התערבות מוזיקליות על כישורי המתמטיקה כללו משתתפים מעטים יחסית (An & Tillman, 2015; Courey et al., 2012). כמו כן קבוצת הביקורת קיבלה את תוכנית הלימודים הסטנדרטית לשברים,

רשימת מקורות

- An, S. A., & Tillman, D. A. (2015). Music activities as a meaningful context for teaching elementary students mathematics: A quasi-experiment time series design with random assigned control group. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 3(1), 45-60. <https://doi.org/10.30935/scimath/9420>
- Bamberger, J. (1999). Learning from the children we teach. *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 142, 48-74.
- Bamberger, J., & Disessa, A. (2003). Music as embodied mathematics: A study of a mutually informing affinity. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 8(2), 123-160. <https://doi.org/10.1023/B:IJCO.0000003872.84260.96>
- Barrett, M. S. (2005). Representation, cognition, and communication: Invented notation in children's musical communication. In D. Miell, R. MacDonald, & D. J. Hargreaves (Eds.),

ואחריה ניכר בקבוצת "מוזימטיקה" מאשר בקבוצת הביקורת, ורק תלמידים בקבוצת "מוזימטיקה" עלו על הביצועים של התלמידים בקבוצת הביקורת בשברים שלא תורגלו שלושה ושישה חודשים לאחר ההתערבות. ממצאים אלה מרחיבים את תוצאות ההעברה הקרובה להעברה רחוקה ועולים בקנה אחד עם מחקרים קודמים המצינים יתרון בהוראת מוזיקה המדגישה שילוב של מלוויה ומקצב על המקצב בלבד (Dyer et al., 2017; Hallam, 2015; Patscheke et al., 2018). הוספה של ממד מוזיקלי אחר, מלוויה, שמעבירה חלוקות טבעיות אחרות הקשורות לצורה המוזיקלית, עשויה להקל על ההעברה המרוחקת לשברים עם מכנים הנשענים על חלוקה אחרת מ-2. לדוגמה, בקבוצת "מוזימטיקה", התלמידים האזינו לקונצ'רטו גרוסו של הנדל אופ. 6 מס' 7, המכיל שלושה משפטים מלווים. קטע זה מתוך הקונצ'רטו נותח כמקשה שלמה, המחולקת לשלושה חלקים שווים. התלמידים הקבילו את אורך כל הקטע ל- $\frac{3}{3}$, נוסף על למידה של ערכי המקצב המרכיבים את היצירה. שיעור המתמטיקה נגע לפעילות זו מתוך התחשבות בתפיסת החלק השלם בשבר $\frac{1}{3}$.

היעילות של תוכניות ההתערבות

בשתי קבוצות ההתערבות השיפור בציוני המתמטיקה היה בקורלציה עם עלייה מקבילה בציוני המוזיקה. כמו כן נמצא מתאם בין ציוני דפי העבודה השבועיים במוזיקה ובמתמטיקה. נתונים אלה מראים שהתלמידים בקבוצות הניסוי הוכיחו יכולת לייצג את הידע המושגי שנרכש בתווים מוזיקליים בשברים. תוכניות ההתערבות המוזיקליות קשרו במפורש מקצבים ושברים, והעניקו לתלמידים את היכולת לרכוש ידע במרומז באמצעות פעילות חוזרת של מחיאות כפיים, דקלומים ותיפופים קצביים, שעודדו לכתוב תווים המבטאים את ערך הצליל. פעילויות אלה משפיעות ככל הנראה על יכולת ההכללה של הידע של השלם וחלקיו (Rittle-Johnson et al., 2001), ועולות בקנה אחד עם הרעיון שילדים לומדים מחוויות הכוללות למידה משולבת ומפורשת (Adi-Japha, 2016; Nemeth et al., 2013).

ממצאי המחקר עולים בקנה אחד עם מחקרים קודמים התומכים בתוכניות התערבות מוזיקליות המשפרות מיומנויות קוגניטיביות ואקדמיות אחרות לא מוזיקליות, במיוחד אם הקשר בין מוזיקה למתמטיקה מתבטא במפורש (An & Tillman, 2015; Courey et al., 2012; Ribeiro & Santos, 2017). לדוגמה נמצא כי אימונים מוזיקליים שאינם אינסטרומנטליים והשתמשו בהוראה מפורשת של אסטרטגיות כדי לזהות תכונות מוזיקליות, שיפרו את הקוגניציה בתחום המספרי והיו כלי שימושי לשיקום ילדים עם הישגים נמוכים במתמטיקה (Ribeiro & Santos, 2017). מנגד, המטא-אנליזה של סאלה וגובט (Sala & Gobet, 2017) שהתמקדה באימון מוזיקלי אינסטרומנטלי, טענה כי העברה רחוקה מהמוזיקה לכישורים שאינם מוזיקליים הייתה מוגבלת ונמצאה רק לכמה מיומנויות קוגניטיביות (כלומר אינטליגנציה וזיכרון) ולא לכישורים אקדמיים. בקבוצת "מוזימטיקה" לעומת קבוצת "מוזיקה אקדמית", נמצא מתאם גבוה בין הידע של כתיבת התווים ובין הידע בשברים. השיפור בציוני מבחני המוזיקה היו במתאם עם מבחני השברים הלא מתורגלים לאחר התערבות רק בקבוצת "מוזימטיקה". ייתכן שהמגוון הגדול של תת-חלוקות

Neurosciences, 24(6), 665-675. <https://doi.org/10.1515/revneuro-2013-0023>

- Julius, M. S., & Adi-Japha, E. (2016). A developmental perspective in learning the mirror-drawing task. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, Article 83. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00083>
- Kaschub, M., & Smith, J. P. (2009). A principled approach to teaching music composition to children. *Research & Issues in Music Education*, 7(1), Article 5. <https://commons.lib.jmu.edu/rime/vol7/iss1/5>
- Keppel, G. (1991). *Design and analysis: A researcher's handbook* (3rd ed.). Prentice-Hall.
- Nemeth, D., Janacsek, K., & Fiser, J. (2013). Age-dependent and coordinated shift in performance between implicit and explicit skill learning. *Frontiers in computational neuroscience*, 7, Article 147. <https://doi.org/10.3389/fncom.2013.00147>
- Mevarech, Z. R., & Kramarski, B. (1997). Improve: A multidimensional method for teaching mathematics in heterogeneous classrooms. *American Educational Research Journal*, 34(2), 365-394. <https://doi.org/10.3102/00028312034002365>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2016). *OECD, PISA 2015 Results: What students know and can do - student performance in Mathematics, reading, and science*. OECD Publishing.
- Papadopoulos, A. (2002). Mathematics and music theory: From Pythagoras to Rameau. *The Mathematical Intelligencer*, 24(1), 65-73. <https://doi.org/10.1007/BF03025314>
- Patscheke, H., Degé, F., & Schwarzer, G. (2018). The effects of training in rhythm and pitch on phonological awareness in four- to six-year-old children. *Psychology of Music*, 47(3), 376-391. <https://doi.org/10.1177/0305735618756763>
- Perry, L. K., Samuelson, L. K., Malloy, L. M., & Schiffer, R. N. (2010). Learn locally, think globally: Exemplar variability supports higher-order generalization and word learning. *Psychological science*, 21(12), 1894-1902. <https://doi.org/10.1177/0956797610389189>
- Ribeiro, F. S., & Santos, F. H. (2017). Enhancement of musical communication (pp. 117-142). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198529361.003.0006>
- Carroll-Phelan, B., & Hampson, P. J. (1996). Multiple components of the perception of musical sequences: A cognitive neuroscience analysis and some implications for auditory imagery. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 13(4), 517-561. <https://doi.org/10.2307/40285701>
- Costa-Giomi, E. (2004). Effects of three years of piano instruction on children's academic achievement, school performance and self-esteem. *Psychology of music*, 32(2), 139-152. <https://doi.org/10.1177/0305735604041491>
- Courey, S. J., Balogh, E., Siker, J. R., & Paik, J. (2012). Academic music: Music instruction to engage third-grade students in learning basic fraction concepts. *Educational Studies in Mathematics*, 81(2), 251-278. <https://doi.org/10.1007/s10649-012-9395-9>
- Dyer, J. F., Stapleton, P., & Rodger, M. (2017). Transposing musical skill: Sonification of movement as concurrent augmented feedback enhances learning in a bimanual task. *Psychological Research*, 81(4), 850-862. <http://doi.org/10.1007/s00426-016-0775-0>
- Elkoshi, R. (2002). An investigation into children's responses through drawing, to short musical fragments and complete compositions. *Music Education Research*, 4(2), 199-211. <https://doi.org/10.1080/1461380022000011911>
- Elkoshi, R. (2017). What are the most colorful sounds you ever saw? Exploring children's and adults' chromasthetic responses to classical music. In R. Elkoshi, G. Russo-Zimet, D. Cohen, & Y. Shohat (Eds.), *Rainbow inspirations in art: Exploring color as metaphor in poetry, visual art and music* (pp. 183-222). Nova.
- Hallam, S. (2015). *The power of music: A research synthesis of the impact of actively making music on the intellectual, social and personal development of children and young people*. Institute of Education University College.
- Jaschke, A. C., Eggermont, L. H. P., Honing, H., & Scherder, E. J. A. (2013). Music education and its effect on intellectual abilities in children: A systematic review. *Reviews in the*

- Upitis, R. (1987). Children's understanding of rhythm: The relationship between development and music training. *Psychomusicology: A Journal of Research in Music Cognition*, 7(1), 41-60. <http://dx.doi.org/10.1037/h0094187>
- Wechsler, D. (1998). *Wisc-R95//Wechsler intelligence scale for Children-Revised-Manual* [Psychological tests kit]. Ministry of Education. (Hebrew version).
- Wheeler, L., & Raebeck, L. (1985). *Orff and Kodaly adapted for the elementary school* (3rd ed.). W. C. Brown.
- Wiggins, J., & Espeland, M. I. (2012). Creating in music learning contexts. In G. E. McPherson & G. F. Welch (Eds.), *The Oxford handbook of music education* (Vol. 1, pp. 341-360). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199730810.013.0021>
- of numeric cognition in children with low achievement in mathematic after a non-instrumental musical training. *Research in Developmental Disabilities*, 62, 26-39. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.11.008>
- Rittle-Johnson, B., Siegler, R. S., & Alibali, M. W. (2001). Developing conceptual understanding and procedural skill in mathematics: An iterative process. *Journal of Educational Psychology*, 93(2), 346-362. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.93.2.346>
- Ryan, J. J., Utley, A. P., & Worthen, V. E. (1988). Comparison of two IQ conversion tables for the Vocabulary-Block Design short form. *Journal of Clinical Psychology*, 44(6), 950-952. [https://doi.org/10.1002/1097-4679\(198811\)44:6<950::AID-JCLP2270440616>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/1097-4679(198811)44:6<950::AID-JCLP2270440616>3.0.CO;2-6)
- Sala, G., & Gobet, F. (2017). When the music's over. Does music skill transfer to children's and young adolescents' cognitive and academic skills? A meta-analysis. *Educational Research Review*, 20, 55-67. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.005>
- Serafine, M. L. (1988). *Music as cognition: The development of thought in sound*. Columbia University Press.
- Steinbeis, N., & Koelsch, S. (2008). Comparing the processing of music and language meaning using EEG and fMRI provides evidence for similar and distinct neural representations. *PloS one*, 3(5), e2226. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002226>