



מרכז ארצי לבחינות ולהערכה (ע"ר)
NATIONAL INSTITUTE FOR TESTING & EVALUATION
المركز القطري للامتحانات والتقييم
מיסודן של האוניברסיטאות בישראל

הערכת האפקטיביות של התאמות הניתנות לסטודנטים לקויי למידה הלומדים לתואר הנדסה ומדעים

nit
RR
16-09

נובמבר 2016

מיה גולן | גונן זינגר | נטע רבין | דביר קלפר

דוח מאלו RR-16-09

ISBN:978-965-502-202-5

© All rights reserved
NITE

© כל הזכויות שמורות
מרכז ארצי לבחינות ולהערכה

**הערכת האפקטיביות של
התאמות הניתנות לסטודנטים לקויי למידה
הלומדים לתואר הנדסה ומדעים**

***Evaluating the Effectiveness of Accommodations
Given to Engineering and Science Students
with Learning Disabilities***

ד"ר מיה גולן*

ד"ר גונן זינגר*

ד"ר נטע רבין*

ד"ר דביר קלפר**



*אפקה המכללה האקדמית להנדסה בתל אביב



**מרכז ארצי לבחינות ולהערכה

נובמבר 2016

פאחקר נעשה במיאון קרן פאחקר של מאל"ו

תוכן עניינים

4.....	1. תקציר
5.....	2. מבוא
5.....	2.1 רקע
7.....	2.2 ממצאי עבר
8.....	2.3 מטרת המחקר וחשיבותו
9.....	3. שיטה
9.....	3.1 בניית קובץ הנתונים
12.....	3.2 המדגם
13.....	3.3 המדדים
15.....	4. תוצאות
15.....	4.1 גישה א' – הסקה סטטיסטית
23.....	4.2 גישה ב' – אלגוריתמי כריית מידע
29.....	4.3 גישה ג' – הפחתת ממדים ומפות דיפוזיה
39.....	5. דיון
42.....	6. מקורות
45.....	7. נספח: תוקף ניבוי לממוצע הלימודים

רשימת טבלאות

- טבלה 1 – סוגי לקויות המוכרות על ידי מכללת אפקה..... 10
- טבלה 2 – התאמות לסטודנטים לקויי למידה במכללת אפקה..... 11
- טבלה 3 – חלוקה למחלקות לתואר ראשון..... 12
- טבלה 4 – השוואת ממוצע ציונים בקבוצות המדגם..... 15
- טבלה 5 – השוואת מובהקות ההבדלים בממוצע הציונים בקבוצות המדגם..... 15
- טבלה 6 – פרופיל הציונים בשלושת קבוצות המדגם..... 16
- טבלה 7 – ציון הפסיכומטרי של הקבוצות במדגם..... 18
- טבלה 8 – מובהקות ההבדלים בציון הפסיכומטרי בקבוצות המדגם..... 18
- טבלה 9 – השוואת אחוז השיפור בממוצע הציונים לפני ואחרי קבלת ההתאמה בקבוצת "התאמה במהלך" לעומת "ללא לקות"..... 19
- טבלה 10 – אחוז השיפור בממוצע הציונים בארבעת הסמסטרים הראשונים ללימודים בקבוצת "התאמה לפני" לעומת "התאמה במהלך" ו"ללא לקות"..... 19
- טבלה 11 – מספר המבחנים שנכתבו על ידי בעלי התאמה ומספר בעלי התאמה מתוך מדגם הנבחנים בסמסטר אביב 2014..... 21
- טבלה 12 – ממוצע וסטיית תקן של ציוני המבחנים במדגם..... 22
- טבלה 13 – השוואת אחוז ניצול זמן בקורסים מתמטיים ובאנגלית בקרב בעלי התאמה וללא התאמה..... 22
- טבלה 14 – תוקף ניבוי של ממוצע בלימודים..... 46

רשימת תרשימים

- תרשים 1 – פרופיל ציונים של סטודנט 13
- תרשים 2 – ייצוג ביצועי סטודנט כרצף של אחוזי שיפור בממוצע הציונים בין סמסטרים עוקבים 14
- תרשים 3 – ממוצע ציונים לפי סמסטר בשלושת קבוצות המדגם 17
- תרשים 4 – טופס מעקב אחר זמני הגשת בחינה 20
- תרשים 5 – התפלגות אחוז שיפור בממוצע הציונים בסוף סמסטר 2 וטבלת סטטיסטיים 24
- תרשים 6 – התפלגות אחוז השיפור לפי שיטת דיסקרטיזציה 25
- תרשים 7 – ניתוח חד ממדי לבחינת השפעת משתני סטודנטים על אחוז השיפור בממוצע הציונים 25
- תרשים 8 – ניתוח חד ממדי לבחינת השפעת משתנה קוד לקוח על אחוז השיפור בממוצע הציונים 26
- תרשים 9 – שיטות לפיצול בסיס נתונים כתהליך מקדים להפעלת מודלים של כריית מידע 26
- תרשים 10 – תוצאות מודל C4.5 לחיזוי אחוז השיפור בממוצע הציונים לאחר תום סמסטר 2 27
- תרשים 11 – מטריצת אמת של התוצאות (CONFUSION MATRIX) 27
- תרשים 12 – מדדי ביצוע לטיב הסיווג של סטודנטים לרמת השיפור בלימודים 28
- תרשים 13 – תמונות המייצגות נתונים רב ממדים שניתן לצמצם לממד נמוך יותר באמצעות הזוית 30
- תרשים 14 – ערכים ממוינים של מפת הדיפוזיה הראשונה 32
- תרשים 15 – תמונות מסודרות על פי הערכים שחושבו במפת הדיפוזיה הראשונה 32
- תרשים 16 – הצגה תלת ממדית של פרופילי הסטודנטים 34
- תרשים 17 – ניבוי התנהגות הסטודנט על סמך ביצועיו מהשנה השנייה ואילך 34
- תרשים 18 – חלוקת המדגם לשתי קבוצות (כחול וירוק) 35
- תרשים 19 – ייצוג פרופילי הסטודנטים בעזרת מפות דיפוזיה לשתי הקבוצות המוצגות בתרשים 18 ... 35
- תרשים 20 – שיכון תלת ממדי של ביצועי סטודנט החל מהשנה השנייה כאשר כל נקודה צבועה על פי ציוני הסטודנט בסמסטר א' 36

1. תקציר

מטרת מחקר זה היא לבדוק את האפקטיביות של תוספות הזמן הניתנות לסטודנטים לקויי למידה הלומדים הנדסה על ידי בדיקת השפעת מתן תוספות הזמן על ביצועיהם האקדמיים של סטודנטים אלו. בדיקה זו בוצעה על ידי השוואת ביצועיהם האקדמיים של סטודנטים לקויי למידה אשר נבחנים תוך מתן תוספת זמן, לאלה של סטודנטים שאינם לקויי למידה ונבחנים ללא תוספת זו. המחקר נערך בקרב מדגם של 2,315 סטודנטים שלמדו במכללת אפקה בין השנים 2004–2014.

ביצועיהם האקדמיים של הסטודנטים נמדדו באמצעות ארבעה מדדים שונים: ממוצע ציונים סמסטריאלי, ממוצע ציונים כולל, פרופיל ציונים ואחוז שיפור. מדדים אלה נותחו באמצעות שלוש גישות שונות: הסקה סטטיסטית, אלגוריתמי כריית מידע והפחתת ממדים ומפות דיפוזיה.

מניתוח הנתונים בגישת ההסקה הסטטיסטית עולה כי ממוצע הציונים של סטודנטים ללא לקות גבוה באופן מובהק ממוצע הציונים של סטודנטים שקיבלו התאמה במהלך לימודיהם. בנוסף, בקרב לקויי הלמידה נמצא הבדל מובהק לטובת סטודנטים שקיבלו את ההתאמה לפני תחילת הלימודים לעומת סטודנטים שקיבלו אותה במהלך הלימודים. כמו כן, נמצא כי אחוז השיפור בקרב סטודנטים לקויי למידה שקיבלו התאמה במהלך הלימודים גבוה בהרבה בהשוואה לאחוז השיפור של סטודנטים שאינם לקויי למידה.

בניתוח הנתונים בגישת כריית המידע זוהה משתנה לקות הלמידה כמסביר ראשון לאחוז השיפור וזאת מתוך עשרות משתנים אחרים. ממצא זה תומך בממצאי גישת ההסקה הסטטיסטית.

מניתוח הנתונים בגישת הפחתת ממדים ומפות דיפוזיה התקבל ניבוי יתר לסטודנטים לקויי למידה לאחר שקיבלו את תוספת הזמן, כלומר נובאו ביצועים דומים לאלה של סטודנט ללא לקות. ממצא נוסף מניתוח זה הוא שההתאמות משפרות את ביצועי הסטודנטים החל מהשנה השנייה ללימודים ואין כמעט השפעה בשנה הראשונה.

שלושת הגישות לניתוח הנתונים מספקות תמיכה בדבר האפקטיביות של תוספות הזמן לפי המדדים שנבדקו.

במחקר זה בוצע ניתוח נוסף ובו נבדק ניצול זמן הבחינה בפועל. נמצא כי לא קיים הבדל מובהק בין סטודנטים לקויי למידה לסטודנטים שאינם לקויים, כלומר סטודנטים לקויי למידה אכן מנצלים בפועל את תוספת הזמן שניתנת להם.

2. מבווא

2.1 רקע

מחקר זה עוסק בשאלת האפקטיביות של התאמות מסוג תוספת הזמן הניתנות לסטודנטים לקוי למידה. לצורך הדיון בהתאמות יש להגדיר תחילה מהי לקות למידה. משרד החינוך הישראלי אימץ שתי הגדרות של ארגונים ממשלתיים אמריקאיים. הראשונה היא של המדריך להבחנות פסיכיאטרית של הארגון הפסיכיאטרי האמריקאי (DSM) לפיה: "אדם מאובחן כלקוי למידה כאשר הישגיו במבחנים סטנדרטיים בקריאה, בחשבון או בהבעה בכתב, המועברים לו באופן אינדיבידואלי, נמוכים במידה משמעותית מהמצופה על פי גילו, רמת השכלתו ורמת המשכל שלו, ובעיות הלמידה גורמות להפרעות משמעותיות בהישגיו האקדמיים או בפעילויות יום-יום אחרות הדורשות מיומנויות קריאה, חשבון או כתיבה". ההגדרה השנייה היא של ארגון ה (National Joint Committee on Learning) NJCLS: "ליקוי למידה הוא מונח כללי המתייחס לקבוצת הפרעות הטרוגניות המתבטאות בקשיים משמעותיים ברכישת הקשבה, דיבור, קריאה, כתיבה, המשגה ו/או יכולות מתמטיות ובשימוש בהם. הפרעות אלו הן פנימיות, ומניחים שהן נובעות מדיספונקציה נוירולוגית מרכזית, ויכולות להתגלות לאורך מעגל החיים" (מתוך חוזר מנכ"ל משרד החינוך תשס"ד/4(ב), 2003). בפועל, במרבית המוסדות האקדמיים בארץ, סטודנט נדרש להמציא אישור ממכון אבחון מוכר על היותו לקוי למידה. לאחר שמתקבל אישור זה, זכאי הסטודנט לקבל את ההתאמות התואמות את הלקות שאובחנה והנהוגות באותו מוסד אקדמי.

אין בנמצא נתונים מדויקים על שכיחות לקויות הלמידה באוכלוסייה. ניתן להסביר זאת על ידי ריבוי ההגדרות ללקות למידה, או על ידי ניגוד האינטרסים בין אנשי מקצוע והורים המעוניינים להצביע על שכיחות גבוהה וזאת לצורך מתן סיוע, לבין אנשי הממסד הממשלתי והאקדמי אשר מעוניינים להפחית את השכיחות בשל שיקולים תקציביים (Vellutino, 1979). הערכה מקובלת בעולם, שאושרה ע"י דו"ח של משרד החינוך הישראלי (ועדת מרגלית, 1997), היא שכעשרה אחוז מהאוכלוסייה בישראל הינם בעלי לקות למידה. מאוחר יותר, בדו"ח של המועצה הלאומית לשלום הילד (2007) הוערך כי עשרים אחוז מהניגשים לבגרות בשנת תשס"ה היו לקויי למידה. לא קיימים נתונים מסודרים על שכיחות לקויי הלמידה בקרב סטודנטים בכל מוסד להשכלה גבוהה. אם כי ההערכה הכוללת היא שמדובר בערך ב-7% בכל המוסדות. נציין עוד כי בדו"ח האחרון של מבקר המדינה (מאי 2013), צוין כי ישנו גידול של מאות אחוזים במספר הסטודנטים המאובחנים כלקויי למידה.

לאורך השנים פותחו במוסדות החינוך השונים התאמות בבחינות שנועדו לעקוף את הלקויות ולאפשר ללקויי הלמידה לבטא את היכולת שלהם באופן הטוב ביותר מבלי לפגוע בידע או היכולות הנמדדים במבחן. בחוזר מנכ"ל משרד החינוך תשס"ד/4(ב) (2003), נקבע כי תלמידים לקויי למידה זכאים להתאמות במהלך בחינות וזאת במטרה לתת ביטוי הולם לידע שרכשו. בחוזר זה מפורטות ארבע התאמות אפשריות לתלמידים לקויי למידה: שינויים באופן הצגת הבחינה לתלמיד (למשל

הקראת שאלות), שינויים באופן מתן התשובות על ידי התלמיד (למשל התעלמות משגיאות כתיב), שינויים בהקצאת זמן, כלומר מתן תוספת זמן ושינויים במהות הבחינה, למשל בחינה בעל פה או צמצום היקף החומר. במרבית המוסדות להשכלה גבוהה בארץ מיושמות חלק מההתאמות הללו עבור סטודנטים לקויי למידה ונעשים מאמצים להקל על השתלבותם בלימודים. חשיבות רבה ניתנת לנושא עוד טרם תחילת הלימודים האקדמיים, בעת ביצוע הבחינה הפסיכומטרית, בכדי להבטיח את הוגנות מערכת המיון להשכלה גבוהה עבור אוכלוסייה זו. ואכן, דו"ח שפורסם לאחרונה ע"י המרכז הארצי לבחינות והערכה (קלפר, טרוול, קנת-כהן ואורן, 2013), בדק לעומק סוגיה זו ומצא כי ההתאמות בבחינה הפסיכומטרית מביאות להוגנות הרצויה. נראה כי יש צורך לבצע מחקרים נוספים הבודקים את הוגנות התהליכים במוסדות האקדמיים עצמם וזאת נוכח הדו"ח של מבקר המדינה, שהתפרסם לפני כשנתיים (מאי 2013), ובו ביקורת על הפעילות המבוצעת בארץ בתחום הטיפול בסטודנטים לקויי הלמידה. להלן תמצית הביקורת:

א. חרף חקיקה בנושא משנת 2008, טרם הותקנו התקנות הנדרשות לשילוב בעלי לקויות למידה בהשכלה גבוהה בארץ.

ב. ברובם המכריע של המוסדות האקדמיים בארץ קיימת פעילות תמיכה בסטודנטים לקויי למידה, אך קיימת שונות גבוהה בנתונים על אודות שיעור לקויי הלמידה, בנהלים המפרטים את חובות המוסד והסגל האקדמי כלפי סטודנטים אלה ובסוג הפעילות שמקיימים מוסדות התמיכה בסטודנטים לקויי למידה.

ג. חרף גידול במאות אחוזים של שיעור הסטודנטים לקויי הלמידה, לא חל גידול בתקציב המל"ג והות"ת לנושא והתקיימו דיונים מועטים בנושא, וזאת רק במסגרת פגישות התקציב השנתיות.

ד. העדר תהליכי פיקוח וביקורת על מאל"ו כגוף היחידי המרכז בארץ את הבחינות הפסיכומטריות המותאמות ואת הבחינה לאבחון לקות למידה (מת"ל).

נוכח ביקורת זו, המליץ מבקר המדינה כי:

"ראוי שכל המוסדות להשכלה גבוהה יפרסמו נהלים לחברי הסגל האקדמי והמנהלי שיכללו בין היתר את הדרכים שבהן יכולים חברי הסגל לסייע לסטודנטים לקויי הלמידה. כמו כן ראוי שהמוסדות יבחנו גם פעולות להטמעת דרכי הוראה אשר יהיה בהן כדי לסייע לסטודנטים בעלי לקויות למידה להתגבר על קשיים שהם מתמודדים עמם. מוצע גם כי נושא זה ישולב בטופסי המשוב שממלאים הסטודנטים. על מל"ג וות"ת לבחון את הצרכים התקציביים של המוסדות להשכלה גבוהה בנושא הטיפול בלקויי הלמידה ולבדוק את האפשרויות לתת מענה לצרכים אלה."

נוכח ביקורת זו, עולה הצורך לבדוק ולחקור באופן יסודי את אופן ויעילות ההתמודדות של המוסדות להשכלה גבוהה בארץ עם סטודנטים לקויי למידה ובפרט את השפעתן של התאמות מסוג תוספת זמן על ביצועיהם האקדמיים של הסטודנטים, כפי שבוצע במחקר הנוכחי.

המחקר הנוכחי נערך במכללת אפקה להנדסה. מכללת אפקה הוקמה בשנת 1996 ומונה מעל ל-2,000 סטודנטים להנדסה הלומדים בחמישה מסלולים לתואר ראשון בהנדסה וארבע מסלולים לתואר שני. במכללה מלמדים מעל 200 חברי סגל ומרצים ובמרוצת השנים סיימו את לימודיהם במכללה מעל 4,000 בוגרים. מועמדים למכללה מתקבלים על סמך ציוני הבגרות או הציון הפסיכומטרי.

תהליך הטיפול בסטודנטים לקויי למידה במכללת אפקה כולל הגשת איבחון עדכני של לקות למידה המבוסס על מערכת מת"ל (מערכת לאבחון תפקודי למידה) או ממכון אבחון אחר המאושר על ידי המכללה. לאחר קבלת האבחון, הסטודנט נדרש לקיים פגישה עם רכזת לקויות למידה בדיקנאט אשר קובעת את ההתאמות להן יהיה זכאי הסטודנט בהתבסס על שיחה אישית, מאפייני הלקות, חומרת הקשיים והמלצות האבחון. פירוט נוסף על הליך זה יובא בפרק 3.1.

2.2 ממצאי עבר

מעט מחקרים ניסו לענות ישירות על שאלת יעילותן של התאמות ללקויי למידה ובפרט השפעתן של תוספות זמן. במאמר סקירה בנושא (Thompson, Blound & Thurlow, 2002) דווח על שבעה מחקרים שבדקו שאלה זו, אך רק בארבעה מתוכם נמצאה השפעה חיובית של ההתאמות על הביצועים (לדוגמה (Fuchs et al., 2000; Huesman & Frisbie, 2000)). כותבי הסקירה מסבירים כי קיים קושי בבדיקת השפעתן של ההתאמות הניתנות ללקויי למידה על ביצועיהם, נוכח מגוון לקויות הלמידה וריבוי הקריטריונים להערכתן. לאחרונה, תמכו בעמדה זו Berkely | Stephanie (2012) כאשר טענו במאמרם כי העדות האמפירית לגבי השפעתן של התאמות על ביצועים איננה מוצקה, וכן שקיימת שונות גדולה בנהלים וביישום של התאמות אלה בארה"ב. זרם מחקרי נוסף (לדוגמה (Fuchs & Fuchs, 2001)) ניסה לתת מענה לשונות זו על ידי פיתוח כלי המיועד למורים, המאפשר לבחור באופן אישי את ההתאמה המתאימה לכל תלמיד בהתאם למאפייני לקותו. גישה כזו, סבורים החוקרים, אמורה להגביר את תוקף ההתאמות.

כיוון שתוספת הזמן היא ההתאמה הנפוצה ביותר (Gregg, 2009), מרבית המחקרים שמתפרסמים בשנים האחרונות מתמקדים בה. ישנן שלוש גישות תיאורטיות לבדיקת השפעתן של תוספות הזמן על ביצועים: לפי הגישה הראשונה ההתאמה נועדה להשפיע לחיוב על ביצועי הניבחן הזקוק לה, אך לא להעניק לו יתרון (Sireci & Parker, 2005). לפי הגישה השנייה המכונה "The interaction hypothesis", ההתאמה אמורה לשפר רק את ביצועיהם של אלו שזקוקים לה (Zuriff, 2000) ואילו לפי הגישה השלישית, המכונה "Differential boost hypothesis", ההתאמה צפויה לשפר את ביצועיהם של כל הנבחנים, אבל באופן משמעותי יותר את ביצועיהם

של הזקוקים לה, כלומר של לקויי הלמידה (Fuchs & Fuchs, 1999). בניתוח על שפורסם לפני כארבע שנים (Gregg & Nelson, 2012), נערכה השוואה בין ביצועיהם של נבחנים ללא לקות ונבחנים בעלי לקות למידה תחת תנאי תוספת זמן וללא תוספת זמן. המחקר מצא כי הביצוע הממוצע של נבחנים ללא לקות היה תמיד טוב יותר מזה של נבחנים בעלי לקות, אך גודל האפקט השתנה כתלות בקיומה של תוספת הזמן. התקבל אפקט קטן כאשר נבחנים ללא לקות נבחנו ללא תוספת זמן ונבחנים בעלי לקות נבחנו עם תוספת זמן, אפקט בינוני כאשר ניתנה תוספת זמן לכולם ואפקט גדול כאשר לא ניתנה תוספת זמן לאף אחד. כלומר, ממצאי סקירה זו, עולה תמיכה בגישה השלישית לפיה מתן תוספת זמן מועיל לכל הנבחנים, אך במיוחד ללקויי למידה. ממצאים אלה מהווים מענה ראוי לביקורת של Gregg (2011) לפיה מחקרים אודות התאמות זמן אינן עושים שימוש מספק בקבוצות בקרה של נבחנים ללא לקות המקבלים תוספת זמן.

נוכח מיעוט המחקרים בנושא, בולט במיוחד העדרם של מחקרים המתמקדים בהשפעה של תוספת הזמן במבחנים אקדמיים שונים ובפרט במבחנים בתחום ההנדסה. למעשה Ofiesh (2000) המליץ למוסדות אקדמיים לנתח את ביצועיהם של סטודנטים לקויי למידה בכדי לקבוע את ההתאמות הנדרשות ובכללן משך תוספת הזמן שנדרש לתת לסטודנטים לקויי למידה, ובכך העלה את האפשרות שיש לבחון את שאלת יעילותן של תוספות הזמן שלא באופן כללי, אלא בהקשרים אקדמיים שונים.

2.3 מטרת המחקר וחשיבותו

מטרת המחקר הנוכחי היא לבדוק את האפקטיביות של תוספות הזמן הניתנות לסטודנטים להנדסה לקויי למידה על ידי בדיקת השפעת מתן ההתאמה על ביצועיו האקדמיים של סטודנט. בדיקה זו תבוצע על ידי השוואת ביצועיהם האקדמיים של סטודנטים לקויי למידה אשר נבחנים תוך מתן התאמה של תוספת זמן, לאלה של סטודנטים שאינם לקויי למידה ואינם זכאים להתאמה זו.

חשיבות המחקר:

- א. ממצאי המחקר מהווים בסיס כמותי התחלתי לגיבוש מענה לביקורת של מבקר המדינה (מאי 2013) לפיה יש לבחון את נושא הטיפול בהתאמות לליקויי למידה במוסדות להשכלה גבוהה.
- ב. מחקר זה מתמקד באוכלוסייה של סטודנטים להנדסה ובכך נותן מענה לצורך להתמקד באוכלוסיות ייחודיות לצורך בדיקת האפקטיביות של תוספות זמן ללקויי למידה.
- ג. במחקר זה נעשה שימוש בשלוש גישות שונות לניתוח הנתונים: סטטיסטיקה היסקית, כריית נתונים ומפות דיפוזיה. יתרון של שתי השיטות האחרונות הוא שאינן מסתמכות על השערות המנוסחות מראש, אלא מייצרות תובנות מתוך הנתונים. שיטות אלה אינן מקובלות בשימוש בתחום הפסיכומטריקה ובפרט בתחום לקויות הלמידה, ולמיטב ידיעתנו, מחקר זה הוא הראשון ליישמן, ובכך ישנה חשיבות מתודולוגית למחקר המשך בתחום.

3. שיטה

3.1 בניית קובץ הנתונים

קובץ הנתונים ששימש לצורך המחקר כולל רשומות של כל הסטודנטים שלמדו במכללת אפקה להנדסה משנת 2004 ועד שנת 2014, כולל סטודנטים שטרם סיימו את לימודיהם. בכדי לשמור על האנונימיות של הסטודנטים, הוחלפו תעודות הזהות במספרים סידוריים בעת שליפת הנתונים ממאגר המידע וטבלת ההמרה נשמרה בידי בעלת התפקיד במכללה, אשר רק לה הרשאה לנתונים האישיים וזו לא הועברה לחוקרים. לצורך ניתוח הנתונים היה נדרש לבצע איחוד וחיתוך של הנתונים הגולמיים בכדי להגיע למסד נתונים שיאפשר עבודה נוחה. תהליך זה בוצע בעזרת תוכנת Access. להלן שתי דוגמאות שימחישו תהליך זה:

- א. במערכת המידע לא היו נתונים לגבי ממוצע הציונים המצטבר של סטודנטים בכל סמסטר. לצורך חישוב מדד זה, הוכפלו נתוני הציונים בכל קורס לכל סטודנט במספר נקודות הזכות של אותו קורס וחושב ממוצע נפרד לכל סמסטר בו למד הסטודנט.
- ב. נתוני הציונים שהופיעו במערכת המידע היו לפי תאריך (חודש ושנה) בו נלמדו, אך לצורך המחקר נדרשה השוואה לפי מספר הסמסטר (למשל השוואה בין הסמסטר השני ללימודים של סטודנט שהתחיל ב-2008 לבין הסמסטר השני ללימודים של סטודנט שהתחיל ב-2010). לצורך כך הוחלף התאריך באינדקס המציין את מספר הסמסטר ביחס לתאריך תחילת הלימודים. אותו תהליך בוצע גם לגבי מועד קבלת התאמה עבור סטודנטים לקוי למידה, כך שניתן יהיה להשוות בין סטודנטים שקיבלו התאמה באותו סמסטר ביחס למועד תחילת לימודיהם, גם אם לא התחילו ללמוד באותה שנה.

להלן פירוט הנתונים שאוחזרו ממערכת המידע של המכללה או חושבו באמצעות חיתוכי טבלאות ושאליות בתוכנת Access עבור כל סטודנט:

- א. שנת תחילת לימודים
- ב. מחלקה
- ג. גיל
- ד. מין
- ה. פסיכומטרי: ציון פסיכומטרי כולל, ציון פסיכומטרי כמותי
- ו. בגרות: סוג בגרות, ציון בגרות, מספר יחידות וציון בפיזיקה, מספר יחידות וציון במתמטיקה, מספר יחידות וציון באנגלית
- ז. לקות למידה (ראה פירוט בטבלה 1)
- ח. סוג התאמה (ראה פירוט בטבלה 2)
- ט. מועד קבלת התאמה (תאריכי ויחסי)

י. קורסים: שם הקורס, מועד שנלמד (תאריך ויחסי), ציון, נקודות זכות
 יא. ציונים: ממוצע בסמסטר, ממוצע מצטבר עד לסמסטר מסוים, ממוצע מצטבר החל
 מסמסטר מסוים ועד לסוף הלימודים (או תאריך שליפת הנתונים עבור סטודנטים שטרם
 סיימו לימודיהם), ממוצע בלימודים

אבחנה בסיסית בתוך מסד הנתונים היא היותו של סטודנט לקוי למידה או לא. לצורך כך הוגדר
 שדה "מועד קבלת התאמה" ובו סטודנטים ללא לקות למידה קיבלו ערך ריק, סטודנטים שהתחילו את
 לימודיהם עם התאמה קיבלו ערך של מספר שלילי (מייצג את מספר החודשים שחלפו בין תאריך
 הגשת האבחון למכללה לבין מועד תחילת הלימודים) וסטודנטים שקיבלו התאמה במהלך הלימודים
 קיבלו ערך חיובי (מייצג את מספר החודשים שחלפו ממועד תחילת הלימודים ועד מועד קבלת
 ההתאמה).

במחקר זה, לא בוצעה אבחנה בין סוגי לקויות הלמידה השונות ומגוון ההתאמות האפשריות
 וההתייחסות הייתה ללקות למידה באופן כללי ולהתאמה של תוספת זמן של 25% למשך הבחינה.
 הנחות אלה נדרשו בשל אופי הנתונים, גודל המדגם וחוסר האפשרות לבצע פילוח לתתי קבוצות של
 לקויות למידה שונות והתאמות שונות. אם זאת יש לציין כי במכללת אפקה קיימת אבחנה בין לקויות
 למידה ותוספות הזמן המתאימות להן וכן בחינה עיתית של הזכאות להתאמה עבור סטודנטים לקוי
 למידה.

בטבלה מספר 1 מופיע פירוט של סוגי הלקויות המוכרות על ידי מכללת אפקה. יש לציין כי
 עבור חלקן (למשל בעיה רפואית) יכולה להינתן התאמה באופן זמני, במידה ואכן מדובר במצב זמני.
 במקרה כזה לא סווג הסטודנט כלקוי למידה לצרכי מחקר זה. כמו כן לא נכללו בקבוצת בעלי לקות
 למידה סטודנטים שאינם דוברי עברית שפת אם.

טבלה 1 – סוגי לקויות המוכרות על ידי מכללת אפקה

קוד לקות	תיאור
1	דיסלקציה
2	דיסגרפיה
3	דיסקלקוליה
4	הפרעת קשב וריכוז
5	חרדת בחינות
6	בעיה פסיכיאטרית
7	בעיה רפואית
8	לקות שמיעה
9	לקות ראייה

10	נכות
11	אחר
12	עולה חדש
13	לקות שפתית
14	לקות מרחבית
15	קצב עיבוד מידע איטי
16	דוברי ערבית שפת אם

טבלה 2 מפרטת את סוג ההתאמות הניתנות במכללת אפקה. הסיווג במחקר נעשה לפי טבלה 1, בהנחה שסטודנט לקוי למידה מקבל התאמה של 25% תוספת זמן בבחינה. אם זאת, ניתן לראות בטבלה 2 שמגוון אפשרויות ההתאמה רב יותר. יש לציין כי חלק מהסטודנטים לקוי למידה זכאים ליותר מסוג התאמה אחד.

טבלה 2 – התאמות לסטודנטים לקויי למידה במכללת אפקה

קוד	אופי ההתאמה	תיאור ההתאמה
1	תוספת זמן בבחינה	לקות למידה – אישור קבוע 25%
2	תוספת זמן בבחינה	עולה חדש עד 5 שנים בארץ 25%
3	תוספת זמן בבחינה	אישור רפואי זמני 25%
4	תוספת זמן בבחינה	הקראה באנגלית 25%
5	תוספת זמן בבחינה	אישור חריג זמני 25%
6	תוספת זמן בבחינה	אישור רפואי קבוע 25%
7	ציוד בבחינה	הקראת שאלון באנגלית
8	ציוד בבחינה	הקלדת מבחן במחשב
9	אחר	בחינה בעל פה
10	ציוד בבחינה	דפי נוסחאות
11	ציוד בבחינה	אטמי אוזניים
12	תוספת זמן בבחינה	תוספת זמן 25% בבחינות קדם
13	ציוד בבחינה	התעלמות משגיאות כתיב באנגלית
14	תוספת זמן בבחינה	תוספת 50% זמנית
15	תוספת זמן בבחינה	תוספת 50% קבועה
16	תוספת זמן בבחינה	25% לאנגלית בלבד
17	ציוד בבחינה	כתיבה בעיפרון

18	תוספת זמן בבחינה	25% אנגלית + הקראה
19	תוספת זמן בבחינה	אישור רפואי זמני 12.5%
20	אחר	אחר
21	אחר	לא אושר
22	תוספת זמן בבחינה	50% לאנגלית בלבד
23	תוספת זמן בבחינה	25% בגין גיל

3.2 המדגם

2,315 סטודנטים מתוכם 1,976 (85%) גברים ו-339 (15%) נשים אשר החלו את לימודיהם בין השנים 2004-2014 במכללת אפקה נכללו במחקר. הגיל הממוצע של הסטודנטים במדגם הוא 24.5. הסטודנטים למדו באחת משבע המחלקות במכללה לפי ההתפלגות המתוארת בטבלה 3.

טבלה 3 – חלוקה למחלקות לתואר ראשון

מספר סטודנטים (אחוזים)	מחלקה
698 (30%)	הנדסת חשמל
650 (28%)	הנדסה מכנית
526 (23%)	הנדסת תוכנה
342 (15%)	הנדסת תעשייה וניהול
78 (3%)	הנדסה רפואית
17 (1%)	הנדסת מערכות
4 (0.17%)	הנדסת אנרגיה
2,315	סה"כ

לצורך ניתוח הנתונים חולק המדגם לשלוש הקבוצות הבאות:
 קבוצה א' – סטודנטים שאינם לקוי למידה ובה 2,019 סטודנטים (87%).
 קבוצה ב' – סטודנטים לקויי למידה שקיבלו התאמה לפני תחילת הלימודים ובה 149 סטודנטים (6%).
 קבוצה ג' – סטודנטים לקויי למידה שקיבלו התאמה במהלך הלימודים ובה 147 סטודנטים (6%).
 למען הפשטות, נכנה בדו"ח זה את קבוצה א' קבוצת "ללא לקות", את קבוצה ב' "התאמה לפני" וקבוצה ג' "התאמה במהלך".

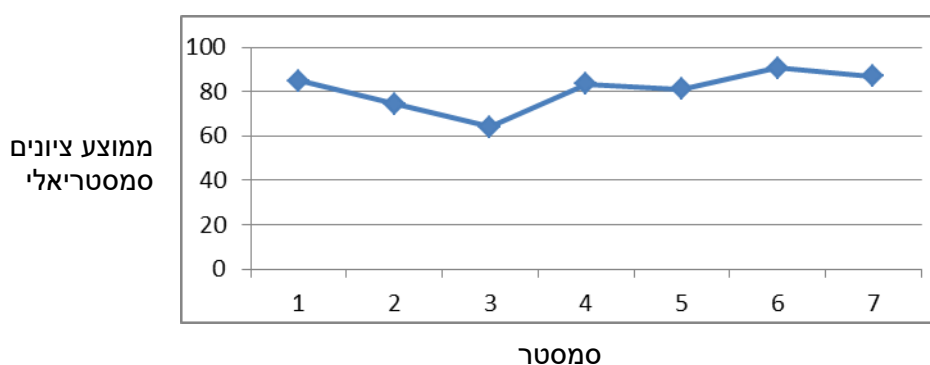
3.3 המדדים

כפי שהוזכר קודם, במחקר זה נעשה שימוש בשלוש שיטות שונות לניתוח הנתונים. בכדי לאפשר השוואה של תוצאות שלוש השיטות, הוגדרו מדדים משותפים לפיהם ינתחו הנתונים. להלן פירוט המדדים בהם נעשה שימוש:

א. ממוצע ציונים סמסטריאלי – עבור כל סטודנט חושב ממוצע משוקלל (לפי מספר נקודות זכות אקדמיות הנקבע לפי מספר שעות ההרצאה התרגול ו/או המעבדה) בסמסטר מסוים. החישוב בוצע על ידי מכפלת הציון בקורס במספר נקודות הזכות שאותו קורס מקנה וחלוקה במספר נקודות הזכות שנלמדו באותו סמסטר.

ב. ממוצע ציונים כולל – עבור סטודנטים שסיימו את לימודיהם במועד שליפת הנתונים, חושב ממוצע ציונים כולל המורכב משקלול ממוצעי הציונים הסמסטריאליים.

ג. פרופיל ציונים – עבור כל סטודנט נאסף ממוצע הציונים המשוקלל במשך מספר סמסטרים עוקבים של לימודיו. בתרשים 1 ניתן לראות פרופיל ציונים של סטודנט במשך שבעה סמסטרים, כאשר בציר X מופיע מספר הסמסטר ובציר Y ממוצע הציונים הסמסטריאלי.



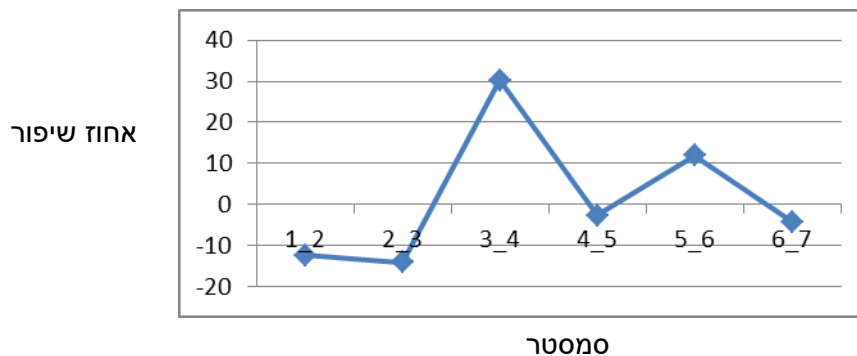
תרשים 1 – פרופיל ציונים של סטודנט

ד. אחוז שיפור – בכדי שניתן יהיה להשוות את השפעתן של תוספות הזמן על סטודנטים בעלי ממוצעי ציונים שונים, נדרש היה לבצע נרמול של ערך הממוצע וזאת במקום להסתכל על ערכו המספרי של ממוצע הציונים בין סמסטר לסמסטר. השימוש באחוז שיפור במקום בציון עצמו נעשה בכדי לנטרל את השפעת רמתו של התלמיד, דהיינו, מטרת מדד זה לבדוק את השיפור של כל סטודנט ביחס לעצמו מבלי שתהיה השפעה לרמתו ביחס לאחרים. אחוז השיפור חושב על ידי חלוקת ההפרש בין ממוצע הציונים עד לסמסטר מסוים לבין ממוצע הציונים מאותו סמסטר ועד לסוף הלימודים (או למועד שליפת הנתונים) בממוצע הציונים עד לסמסטר מסוים. יש לציין כי מדד זה מושפע מאפקט "רגרסיה לממוצע" כך שכל שציון ההתחלתי של הסטודנט גבוה יותר, השיפור שיוכל להשיג קטן יותר. למרות זאת בחרנו להשתמש בו בשל הצורך לנטרל

את רמת כל סטודנט כפי שהוסבר לעיל. להלן דוגמה לאופן החישוב של אחוז השיפור עבור סטודנט מסוים בסמסטר השלישי ללימודיו:

$$\text{אחוז שיפור בסמסטר שלישי} = \frac{(avg3until8) - (avg1until2)}{(avg1until2)}$$

בתרשים 2 ניתן לראות כיצד הומר פרופיל הציונים שמופיע בתרשים 1 לשש נקודות המציינות את אחוז השיפור בין כל שני סמסטרים עוקבים. ציר X בתרשים זה הוא הסמסטר, וציר Y הוא אחוז השיפור. למשל, ניתן לראות כי עבור סטודנט זה ממוצע הציונים בסמסטר השלישי היה קרוב ל 60 ובסמסטר הרביעי היה קרוב ל 80, אחוז השיפור בין הסמסטרים הינו $((80-60)/60)*100$ והערך, שהוא בקירוב 33 אחוז, מופיע בתור הנקודה השלישית בפרופיל המנורמל.



תרשים 2 – ייצוג ביצועי סטודנט כרצף של אחוזי שיפור בממוצע הציונים בין סמסטרים עוקבים

4. תוצאות

4.1 גישה א' – הסקה סטטיסטית

בחלק זה נעשה שימוש בבדיקת השערות וחישוב מתאמים בכדי לאתר הבדלים בין שלושת קבוצות המדגם: "ללא לקות", "התאמה לפני", "התאמה במהלך" (ראה סעיף 3.2). נבדקו הבדלים לגבי ממוצע ציונים כולל, פרופיל ציונים, אחוז שיפור (ראה סעיף 3.3) וציון פסיכומטרי.

ממוצע ציונים כולל

ממוצע הציונים של קבוצת "התאמה לפני" גבוה משל קבוצת "התאמה במהלך" ואילו ממוצע הציונים של קבוצת "ללא לקות" גבוה משל קבוצת "התאמה במהלך". תוצאות אלה מפורטות בטבלה 4.

טבלה 4 – השוואת ממוצע ציונים בקבוצות המדגם

התאמה במהלך	התאמה לפני	ללא לקות	גודל מדגם
147	149	2,019	
(8.24) 73.99	(7.54) 78.06	(8.81) 77.45	ממוצע ציונים (סטיית תקן)

נמצאו הבדלים מובהקים בין ממוצע הלימודים של קבוצת "התאמה לפני" לבין קבוצת "התאמה במהלך" ובין קבוצת "התאמה במהלך" לקבוצת "ללא לקות". לא נמצא הבדל מובהק בין קבוצת "התאמה במהלך" לקבוצת "ללא לקות". תוצאות מבחן t לצורך בדיקת השערה זו מפורטות בטבלה 5.

טבלה 5 – השוואת מובהקות ההבדלים בממוצע הציונים בקבוצות המדגם

P value	סטטיסטי t	השוואה
<0.0001	4.44	התאמה לפני / התאמה במהלך
0.40	0.82	התאמה לפני / ללא לקות
<0.0001	-4.62	התאמה במהלך / ללא לקות

פרופיל ציונים

לצורך בדיקה של פרופיל הציונים (ראה סעיף 3.3), נעשתה חלוקה משתנה של המדגם לפי סמסטר באופן הבא:

- קבוצה 1 – קבוצת "ללא לקות" (איננה משתנה לפי סמסטר).
- קבוצה 2 – סטודנטים לקוי למידה לפני קבלת ההתאמה (גודלה יורד עם הסמסטרים), מכונה קבוצת "לפני התאמה".

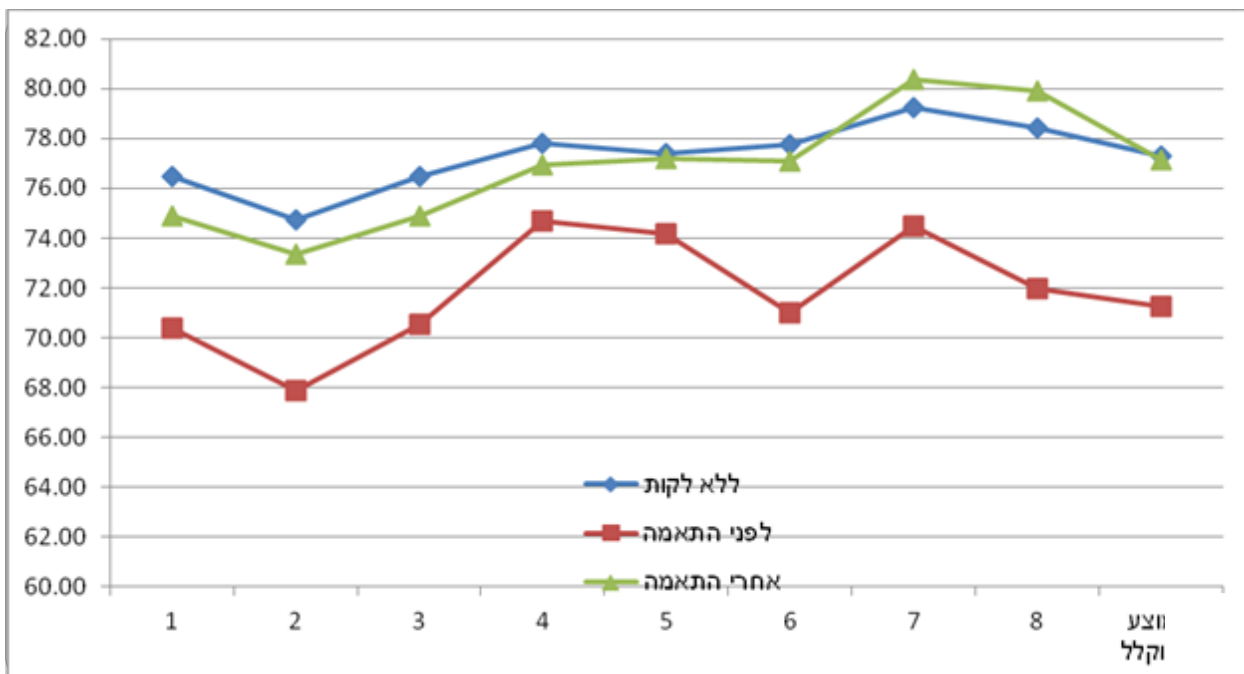
לדוגמא סטודנט שקיבל התאמה בסמסטר השני ללימודיו, נכלל בניתוח של הסמסטר הראשון במדגם של קבוצת "לפני ההתאמה" ואילו בניתוח של הסמסטר השלישי עובר לקבוצת "אחרי התאמה".

בטבלה 6 מוצגים גודל המדגם וממוצע הציונים בשלושת קבוצות המדגם.

טבלה 6 – פרופיל הציונים בשלושת קבוצות המדגם

מובהקות ההשוואה			אחרי התאמה		לפני התאמה		ללא לקות		
ללא לקות ואחרי התאמה	לפני ואחרי התאמה	ללא לקות ולפני התאמה	ממוצע (ס"ת)	מדגם	ממוצע (ס"ת)	מדגם	ממוצע (ס"ת)	מדגם	
0.21	0.00	0.00	78.07(7.54)	149	69.63(11.56)	33	77.46(8.82)	2,019	ממוצע כולל
0.05	0.00	0.00	74.89(11.81)	149	70.36(12.05)	114	76.47(10.92)	2,019	סמסטר 1
0.05	0.00	0.00	73.33(9.20)	190	67.87(9.93)	73	74.73(11.03)	2,019	סמסטר 2
0.06	0.01	0.00	74.90(12.02)	208	70.52(15.09)	55	76.46(12.98)	2,019	סמסטר 3
0.12	0.06	0.01	76.92(9.43)	224	74.67(11.51)	39	77.78(10.54)	2,019	סמסטר 4
0.40	0.04	0.03	77.18(11.21)	238	74.15(11.81)	25	77.39(12.03)	2,019	סמסטר 5
0.26	0.01	0.00	77.09(14.20)	248	70.99(16.00)	15	77.76(14.28)	2,019	סמסטר 6
0.06	0.00	0.01	80.35(8.71)	256	74.50(13.18)	7	79.24(11.13)	2,019	סמסטר 7
0.03	0.00	0.00	79.92(9.90)	263	71.96(15.73)	33	78.44(12.22)	2,019	סמסטר 8

- קיים הבדל מובהק בין קבוצת "ללא לקות" לבין קבוצת "לפני התאמה" בכל סמסטר שנבדק, לסטודנטים שאינם לקוי למידה ממוצע ציונים גבוה יותר בכל סמסטר בהשוואה לסטודנטים בעלי לקות למידה טרם קבלת ההתאמה.
- קיים הבדל מובהק בין קבוצת "לפני התאמה" לבין קבוצת "אחרי התאמה" בכל הסמסטרים פרט לסמסטר הרביעי 4 ($p \text{ value} = 0.06$). סטודנטים לקויי למידה שטרם קיבלו התאמה הינם בעלי ממוצע ציונים נמוך יותר בהשוואה לסטודנטים לקויי למידה בעלי התאמה.
- ההבדלים בין קבוצת "ללא לקות" לקבוצת "אחרי התאמה" משתנים במהלך הלימודים. בסמסטרים הראשונים קבוצת "ללא לקות" הינם בעלי ממוצע ציונים גבוה יותר בהשוואה לקבוצת "אחרי התאמה". בתקופת אמצע הלימודים אין הבדל מובהק בין הקבוצות ובסמסטר האחרון ללימודים קיים הבדל מובהק אך בכיוון ההפוך – קבוצת "אחרי התאמה" מגיעה לממוצע ציונים גבוה יותר בהשוואה לקבוצת "ללא לקות". תוצאות אלה מוצגות בתרשים 3 ובו ציר X הינו מספר הסמסטר וציר Y הינו ממוצע ציונים סמסטריאלי.



תרשים 3 – ממוצע ציונים לפי סמסטר בשלושת קבוצות המדגם

ציון פסיכומטרי

ציון הפסיכומטרי של קבוצת "התאמה במהלך" נמוך מעט מציון הפסיכומטרי של קבוצת "ללא לקות" ומציון הפסיכומטרי של קבוצת "התאמה לפני", אך הבדלים אלה אינם מובהקים; ראה טבלאות 7 ו 8.

טבלה 7 – ציון הפסיכומטרי של הקבוצות במדגם

התאמה במהלך	התאמה לפני	ללא לקות	גודל מדגם
147	149	2,019	
(45.4) 583.1	(51.7) 592.7	(57.3) 592.5	ציון (סטיית תקן)

טבלה 8 – מובהקות ההבדלים בציון הפסיכומטרי בקבוצות המדגם

P value	סטטיסטי t	השוואה
0.10	1.35	התאמה לפני / התאמה במהלך
0.97	0.04	התאמה לפני / ללא לקות
0.12	-1.55	התאמה במהלך / ללא לקות

אחוז שיפור

בכדי לבדוק האם קבלת התאמה משנה את הביצועים ללא תלות ברמתו של הסטודנט, נערכה השוואה בין אחוז השיפור לאחר קבלת ההתאמה בקבוצת "התאמה במהלך" לבין קבוצת "ללא לקות". השימוש באחוז שיפור במקום בציון עצמו נעשה בכדי לנטרל את השפעת רמתו של התלמיד, דהיינו, מטרת ניתוח זה לבדוק את השיפור של כל סטודנט ביחס לעצמו מבלי שתהיה השפעה לרמתו ביחס לאחרים. (ראה פירוט אופן החישוב בסעיף 3.3). יש לסייג טענה זו בכך שכל סטודנט למד קורסים שונים אצל מרצים שונים.

בטבלה 9 מוצגים אחוזי השיפור של קבוצת "התאמה במהלך" לעומת קבוצת "ללא לקות" בתקופה המקבילה. לדוגמא, בשורה הראשונה מופיע אחוז השיפור של הסטודנטים שקיבלו התאמה בסמסטר השני ללימודיהם. כלומר, אחוז השיפור מתייחס לממוצע הציונים בסמסטר 1 לעומת ממוצע הציונים בסמסטרים 2 עד 8. בקבוצת "ללא לקות", מופיע אותו אחוז שיפור, אך כמובן עבור קבוצה זו לא ניתנה התאמה.

טבלה 9 – השוואת אחוז השיפור בממוצע הציונים לפני ואחרי קבלת ההתאמה בקבוצת "התאמה במהלך" לעומת "ללא לקות"

אחוז שיפור לפי סמסטרים	התאמה במהלך	ללא לקות	סטטיסטי t	P value
1 לעומת 2 עד 8	0.10	0.03	2.16	0.03
1 עד 2 לעומת 3 עד 8	0.10	0.04	2.10	0.03
1 עד 3 לעומת 4 עד 8	0.10	0.03	2.50	0.01
1 עד 4 לעומת 5 עד 8	0.09	0.02	2.12	0.03

ניתן לראות שאחוז השיפור בקבוצת "התאמה במהלך" הוא 9%-10% בכל ארבעת המועדים שנבדקו. אחוז השיפור המקביל בקרב קבוצת "ללא לקות" באותה תקופת זמן נמוך בהרבה ונע בין 2% ל 4%. הבדלים אלו נמצאו כולם מובהקים. לצורך ההשוואה, נערכה בדיקה של אחוז השיפור באותם ארבעה מועדים גם בקרב קבוצת "התאמה לפני". טבלה 10 מציגה את תוצאות בדיקה זו.

טבלה 10 – אחוז השיפור בממוצע הציונים בארבעת הסמסטרים הראשונים ללימודים בקבוצת "התאמה לפני" לעומת "התאמה במהלך" ו"ללא לקות"

השוואה ל"לא לקות"			השוואה ל"התאמה במהלך"			התאמה לפני	אחוז שיפור לפי סמסטרים
P value	סטטיסטי t	אחוז שיפור	P value	סטטיסטי t	אחוז שיפור		
0.02	2.32	0.03	0.40	-0.83	0.10	0.07	1 לעומת 2 עד 8
<0.0001	3.93	0.04	0.60	-0.5	0.10	0.08	1 עד 2 לעומת 3 עד 8
<0.0001	4.00	0.03	0.23	-1.19	0.10	0.07	1 עד 3 לעומת 4 עד 8
<0.0001	4.00	0.02	0.30	-1.03	0.09	0.06	1 עד 4 לעומת 5 עד 8

ניתן לראות שאחוז השיפור בארבעת המועדים בקרב קבוצת "התאמה לפני" גבוה באופן מובהק בהשוואה לקבוצת "ללא לקות". הסטודנטים בעלי ההתאמה שיפרו את ציוניהם ב-6% עד 8% ואילו אחוז השיפור בקרב הסטודנטים ללא התאמה היה בין 2%-4%. לעומת זאת לא נמצאו הבדלים מובהקים בין קבוצת "התאמה לפני" לבין קבוצת "התאמה במהלך" בארבעת המועדים שנבדקו. כיוון שניכר שיפור בהישגים גם בקבוצת "התאמה לפני" ייתכן שגורמים נוספים שאינם קשורים להתאמות מסבירים את השיפור.

ניצול בפועל של זמן בחינה

ברוב המחקרים שעוסקים בתחום של לקויות למידה (לדוגמא Gregg, 2011) מצביעים החוקרים על מגבלה מרכזית והיא חוסר היכולת להעריך באופן ישיר את היעילות של תוספת הזמן בשל העובדה שהיא ניתנת רק ללקוויי הלמידה ולא לכלל הנבחנים. כלומר, אין אפשרות להשוות את התוצאות (הביצוע במבחן) לקבוצת ביקורת של סטודנטים שאינם לקויים וקיבלו תוספת זמן, וזאת כדי לבחון האם לקוויי למידה מפיקים תועלת רבה יותר מתוספת הזמן ביחס לסטודנטים שאינם לקוי למידה. כיוון שנתוני מחקר זה מתבססים על תוצאות מבחנים אמיתיים שנעשו במסגרת לימודים לתואר אקדמי, ולא על ניסוי מעבדה, לא הייתה אפשרות לתת תוספת זמן לסטודנטים שאינם בעלי לקות למידה. במקום זאת, הוחלט לבדוק את אחוז הניצול בפועל של זמן הבחינה בקרב קבוצות המדגם מתוך הנחה שהערכה כמותית של אחוז ניצול תוספת הזמן תאפשר ללמוד על יעילותה בקבוצת השונות. בנוסף נבדק המתאם בין אחוז הזמן שנוצל לציון במבחן בקרב קבוצות המדגם. לצורך כך, נערך רישום של זמני הגשת בחינות על גבי טופס רשימת נבחנים בו נעשה שימוש באופן שגרתי במכללה. המשגיח בכיתה מילא עבור כל סטודנט בשורה המתאימה את השעה בה החזיר את הטופס למשגיח. שעת תחילת הבחינה ידועה עבור כל בחינה ומופיעה בסמוך לתאריך הבחינה, כך שניתן היה לחשב עבור כל סטודנט כמה זמן ניצל מתוך הזמן שעומד לרשותו. ראה תרשים 4 – דוגמא לטופס מעקב אחר זמני הגשת בחינה.

מבוא לכימיה 303 פינים
030001008144
201400909082

רשימת נבחנים

חדר : 303 פיק : קוד הבחינה : 1008144 המרצה : [redacted]
הקורס : **מבוא לכימיה 90908**
סוג מקצוע : 34 מבחן קורס
שנה : 2014 סמסטר : 2 מועד : א קבוצה : 422309081 מבוא לכימיה קב' 01
סוג בחינה : 26 פרונטל
תאריך : 09/06/2014 ב' שעה : 17:00 משך : 05:00

מונה	שם הנבחן	ת.ז.	במות מחברות מוחזרות נ"י סטודנט	חתימת הסטודנט
1	[redacted]	[redacted]	אמ	אמ
28	[redacted]	[redacted]	אמ	אמ
32	[redacted]	[redacted]	אמ	אמ
40	[redacted]	[redacted]	אמ	אמ
21	[redacted]	[redacted]	אמ	אמ
60	[redacted]	[redacted]	אמ	אמ
7	25%	[redacted]	אמ	אמ
45	[redacted]	[redacted]	אמ	אמ
64	[redacted]	[redacted]	אמ	אמ
2	[redacted]	[redacted]	אמ	אמ
56	[redacted]	[redacted]	אמ	אמ
15	[redacted]	[redacted]	אמ	אמ

2140
1833
1822
1940
1825
1925
1400
25
1822
12

9 (בחן נ"י)

תרשים 4 – טופס מעקב אחר זמני הגשת בחינה

לצורך הכנת מסד הנתונים לניתוח זה, נשלפו ממאגרי המידע של המכללה הנתונים הבאים עבור כל הבחינות שהתקיימו בסמסטר אביב 2014: תעודת זהות, מחלקה, קוד קורס, שם קורס, תאריך בחינה, מועד בחינה (א' או ב'), האם זכאי להתאמה, משך ההתאמה וציון במבחן. לתוך מסד הנתונים הוקלדו באופן ידני הנתונים הבאים מתוך טופס המעקב: שעת התחלת המבחן, שעת סיום המבחן ומועד הגשה. מועד ההגשה היה שונה בין הסטודנטים, ואילו שעת ההתחלה והסיום הייתה שונה בין מבחנים. כך התקבל מסד נתונים ובו רשומות נפרדות לכל סטודנט בכל מבחן. בנוסף לנתונים שנאספו, חושבו שני שדות לכל רשומה:

א. משך כתיבת הבחינה בפועל – חושב על ידי ההפרש בין זמן התחלת הבחינה לזמן ההגשה.

ב. אחוז ניצול זמן – חושב על ידי חלוקת משך כתיבת הבחינה בפועל בזמן הבחינה. בחישוב זה נלקח בחשבון הערך בשדה זכאות להתאמה. סטודנט אשר איננו זכאי להתאמה, זמן הבחינה עבורו היה ההפרש בין זמן ההתחלה לזמן הסיום, ואילו סטודנט אשר זכאי להתאמה, זמן הבחינה עבורו היה 125% (תוספת של 25%) ביחס לסטודנט ללא התאמה.

במרבית הבחינות, משך הזמן הוא 180 דקות, כך שעבור סטודנטים בעלי התאמה משך הזמן היה 225 דקות.

רשומות עבורן היו חסרים נתונים כלשהן או שהתגלו בהם ממצאים חריגים (לדוגמה רישום לא סביר של זמן הגשה, או הגשה לאחר מספר דקות), הושמטו מהניתוח.

הנתונים נאספו במהלך תקופת המבחנים של סמסטר אביב 2014 וכללו שני מועדים בכל קורס. בסך הכול נבחנו בתקופה זו מעל 1,900 סטודנטים במעל 8,000 בחינות (4.2 בחינות בממוצע לסטודנט). בטבלה 11 ניתן לראות את מספר המבחנים שנכתבו על ידי מקבלי ההתאמה ומספר בעלי ההתאמה מתוך המדגם.

טבלה 11 – מספר המבחנים שנכתבו על ידי בעלי התאמה ומספר בעלי התאמה מתוך מדגם הנבחנים בסמסטר אביב 2014

ללא התאמה	מקבלי התאמה	סה"כ	
6,594 (82%)	1,498 (18%)	8,092	מבחנים
1,570 (83%)	338 (17%)	1,908	סטודנטים

ממוצע הציונים בכל המבחנים שנערכו בתקופת המחקר הוא 69.59. ממוצע הציונים בקרב קבוצת "ללא לקות" (69.88) גבוה במובהק ממוצע הציונים בקרב סטודנטים בעלי התאמה (68.34) ($t=3, p \text{ value} < 0.05$). טבלה 12 מציגה את ממוצע הציונים בקרב כלל המדגם, בקרב סטודנטים בעלי התאמה וסטודנטים ללא התאמה. יחידת הניתוח בטבלה זו היא סטודנט במבחן.

טבלה 12 – ממוצע וסטיית תקן של ציוני המבחנים במדגם

ממוצע (סטיית תקן)	N	
69.88 (20.40)	6,600	ללא התאמה
68.34 (20.87)	1,492	בעלי התאמה
69.59 (20.45)	8,092	סה"כ

לא נמצא הבדל מובהק בניצול זמן הבחינה בפועל בין סטודנטים ללא התאמה אשר ניצלו 91% מהזמן שעמד לרשותם (סטיית תקן 1.70) לעומת סטודנטים בעלי התאמה אשר ניצלו 89% מהזמן שעמד לרשותם (סטיית תקן 0.17).

נבדק האם קיים הבדל באחוז ניצול הזמן בקורסים עיונים לעומת מתמטיים. לצורך כך בוצעה השוואה בין מבחנים בחשבון דיפרנציאלי ואינטגרלי ואלגברה לינארית (להלן, קורסים מתמטיים) לבין קורסים באנגלית. נמצא כי אחוז ניצול הזמן בקורסים מתמטיים נמוך במקצת אם כי באופן מובהק (91.11%) מאחוז ניצול הזמן בקורסים באנגלית (94.7%), ($t=4.56$, $p<0.001$). בקורסים המתמטיים, סטודנטים בעלי התאמה מנצלים יותר זמן (94.7%) באופן מובהק בהשוואה לסטודנטים ללא התאמה (90.4%). מגמה דומה נמצאה בקורסים באנגלית, לפיה סטודנטים בעלי התאמה מנצלים יותר זמן (99.9%) בהשוואה לסטודנטים ללא התאמה (95.9%), אם כי הבדל זה איננו מובהק. תוצאות ניתוח זה מסוכמות בטבלה 13.

טבלה 13 – השוואת אחוז ניצול זמן בקורסים מתמטיים ובאנגלית בקרב בעלי התאמה וללא התאמה

מובהקות	בעלי התאמה		ללא התאמה		סה"כ		קורסים
	N	אחוז ניצול (ס"ת)	N	אחוז ניצול (ס"ת)	N	אחוז ניצול (ס"ת)	
$t=-3.08$ ($p=0.002$)	111	94.7% (0.11)	538	90.4% (0.13)	649	91.1% (0.13)	מתמטיים
$t=-1.84$ ($p=0.060$)	31	99.9% (0.09)	98	95.9% (0.10)	129	96.9% (0.10)	אנגלית

לא נמצא מתאם בין אחוז ניצול הזמן לבין הציונים וזאת בכלל המדגם וגם בקרב בעלי התאמה וללא התאמה.

בנוסף לממצאים שדווחו לעיל, הנתונים שנאספו במחקר זה אפשרו חישוב של תוקף הניבוי של הבגרות והפסיכומטרי מול ממוצע ציוני הלימודים בקרב סטודנטים הלומדים הנדסה. כיוון שממצא זה איננו קשור ישירות לנושא המחקר הנוכחי, התוצאות מדווחות בנספח (פרק 7).

4.2 גישה ב' – אלגוריתמי כריית מידע

רקע תיאורטי

כריית מידע מוגדרת כתהליך של גילוי תבניות בצורה אוטומטית או חצי אוטומטית. תבניות אלה שימושיות כאשר ישנה כמות גדולה של מידע ויתרון בכך שהן מאפשרות לבצע חיזויים שאינם מובנים מאליהם תוך שימוש במידע חדש. כריית נתונים הינו מושג כולל לסדרה של תהליכי ניתוח, הנעשים על ידי אנליסטים, למסדי נתונים גדולים במטרה לזהות דפוסים קבועים ומערכות יחסים בין משתנים, ובכך הופכים את המידע הרב ליעיל ושישי. מטרתו של התהליך האנליטי הוא ליצור מודל מסביר או מודל חיזוי, אשר בעזרתו ניתן לקבל החלטות אודות הסבירות להתרחשות אירוע מסוים. תחום כריית הנתונים הינו תחום מתקדם בימינו לניתוח מסדי נתונים גדולים ולשליפת מידע שמיש מתוכם (על פי ניתוחי חברת גרטנר בשנים 2008-2010). היתרון העיקרי של כריית נתונים בא לידי ביטוי בניתוח מסדי נתונים גדולים בעלי רשומות רבות, כאשר המטרה העיקרית של היישום היא לבחון האם הגדרות של תכונות ומאפיינים יתגלו כבעלי חשיבות וערך פרקטי, ואם כן – לגלות מהם הקשרים בין התכונות הנ"ל. כריית נתונים הוגדרה בעבר כמיזוג של אינטליגנציה מלאכותית וחקר מסדי נתונים (Berry & Linoff, 1997). כיום ההגדרות למונח זה נוטות יותר לכיוון של "המדע של הפקת מידע שימושי ממסדי נתונים גדולים" (למשל ראה, 2005, Ian & Eibe; 2006, Jiawei & Micheline).

ניתוח אשכולות (cluster analysis) וסיווג (classification), הינם מהיישומים הנפוצים בתחום כריית מידע. מטרת ניתוח האשכולות, היא לקבץ ישויות (או רשומות) על פי מידת הדמיון ביניהן על מנת לפשט וליעל את התהליכים הקשורים באשכול ולהפיק ממנו מידע. האלגוריתמים הטכניים מנסים במקרים רבים למצוא את אותם מוקדים המצמצמים את המרחק בין חברי הקבוצה זה מזה, ומגדילים את המרחק בין קבוצה אחת לקבוצות אחרות (Baning 2000). מטרת הסיווג היא לשייך ישויות חדשות לאחת מכמה קבוצות מוגדרות מראש שנבנו על סמך מידע היסטורי (supervised learning), לדוגמה לצורך חיזוי. ניתוח אשכולות וסיווג קשורים לקבוצה גדולה של שיטות, המשמשות לסיווג ישויות לקבוצות. ניתן לחלק את השיטות הללו לשתי קבוצות עיקריות: ניתוח אשכולות היררכי וניתוח אשכולות לא-היררכי. ברוב הגישות המקובלות, החלוקה לאשכולות מתבצעת בעזרת ערכים אבסולוטיים של פרמטרים וזאת ע"י בחינה של המרחקים (אוקלידים בד"כ) ומזעורם, לדוגמה שיטת K-means (Kantardzic, 2003). טכניקות סיווג נוספות כוללות עצי החלטה, שיטות גראפיות רב ממדיות, מכונת וקטורים תומכים (Support Vector Machine) ורשתות עצביות (neural networks) (Berry & Linoff, 1997; Rokach & Maimon, 2008, Witten & Frank 2005).

בחלק זה של המחקר נעשה שימוש באלגוריתמים של כריית מידע בכדי להשוות בין שלושת קבוצות המדגם מבחינת ממוצע בלימודים, ציון פסיכומטרי ואחוז שיפור. יחידת הניתוח עבור ביצועים בלימודים הייתה מספר הסמסטר. לצורך כך נעשה שימוש בתוכנת WEKA 3.6 EXPLORER.

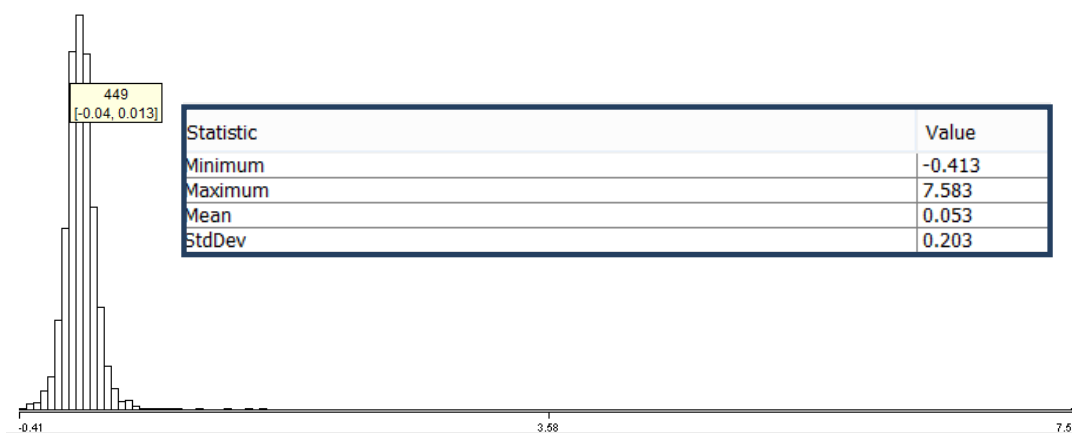
שיטה

להלן תיאור שלבי הניתוח שבוצעו. המטרה בשלב הראשון המכונה sample and explore הייתה ללמוד את הנתונים לצורך תיקופם ולבחור את הפרמטרים המתאימים לניתוח הנתונים בהמשך. בשלב זה נאספים נתונים מפורטים ככל האפשר בכדי לזהות דפוסים ברורים וקשרים עיקריים בין משתנים רלבנטיים למשתנה אותו רוצים להסביר. הנתונים שנאספו במחקר זה מתוארים בפרק 3.1.

בשלב השני בוצעה הכנה של בסיס הנתונים באמצעות תהליכי עיבוד מקדים המכונה Extract Load and Transform – ETL. בשלב זה בוצעו על הנתונים מניפולציות שונות על מנת להתאים למבנה הרצוי לצורך הפעלת אלגוריתמי כריית מידע. למשל, בכדי להשוות בין ביצועי סטודנטים, חושב עבור כל קורס הציון הממוצע בקורס ועבור כל סטודנט חושב ביצועיו בקורס באופן יחסי לכיתה. בצורה זו, ניתן לבדוק האם חל שיפור בביצועי הסטודנט לאורך זמן. בשלב זה בוצע תיקון של שגיאות אופייניות בנתוני המקור, לרבות: ערכים לא עקביים (לדוגמה תאריך לידה במקור מידע אחד לעומת גיל במקור מידע אחר), פורמטים שונים של נתונים, ערכי נתונים לא מדויקים ועוד.

בנוסף, בוצע בשלב זה תיוג של בסיס הנתונים, קרי, לכל סטודנט שויך אחוז שיפור המאפיין אותו (משתנה המטרה). להלן דוגמה לתהליך עיבוד מקדים שמטרתו להמיר את בסיס הנתונים למתוייג (Supervised) על פי מידת השיפור בציון:

א. חושב אחוז שיפור (ראה סעיף 3.3) של ממוצע ציונים בסוף סמסטר 2 ביחס לשאר הלימודים, כפי שמוצג בתרשים 5. ניתן לראות שאחוז השיפור בממוצע הציונים הינו 5.3% בממוצע.



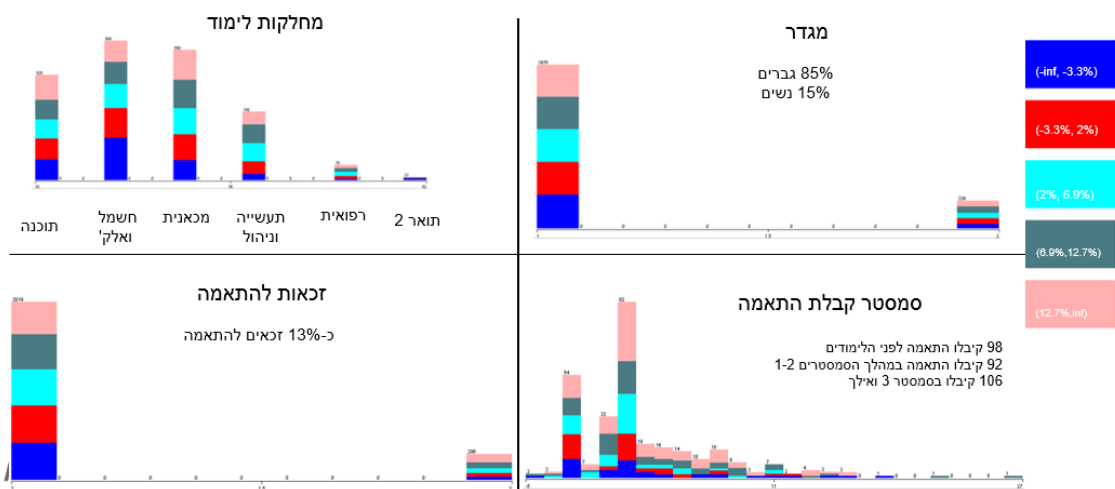
תרשים 5 – התפלגות אחוז שיפור בממוצע הציונים בסוף סמסטר 2 וטבלת סטטיסטיים

ב. אחוזי השיפור שהתקבלו מחולקים לחמש רמות, כך שמספר הסטודנטים בכל רמה זהה. שיטה זו מכונה שיטת דיסקרטיזציה שוות התפלגות בעלת 5 טווחים (Equal probability with 5 bins), כפי שמוצג בתרשים 6. לדוגמה, עבור 20% מהסטודנטים חלה הרעה של למעלה מ-3.3% בביצועים בלימודים. באופן דומה ניתן לראות שעבור 20% מהסטודנטים חל שיפור של למעלה מ-12.7% בביצועים בלימודים. תהליך הדיסקרטיזציה נקבע על 5 רמות, לאחר בחינה של מספר אפשרויות שונות של מספר רמות. הבחירה נקבעה על בסיס אחוזי דיוק החיזוי.

No.	Label	Count
1	'(-inf--0.032869]'	463
2	'(-0.032869-0.019664]'	463
3	'(0.019664-0.0688]'	463
4	'(0.0688-0.126988]'	463
5	'(0.126988-inf)'	463

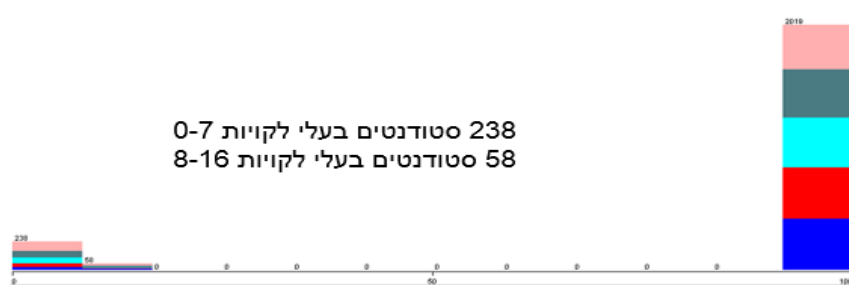
תרשים 6 – התפלגות אחוז השיפור לפי שיטת דיסקרטיזציה

לאחר שלב זה, נבדקה מידת ההשפעה של כל משתנה (ניתוח חד ממדי) על אחוז השיפור בציונים. תרשימים 7 ו-8 מציגים את השפעת המשתנים מגדר, מחלקת לימוד, סמסטר קבלת התאמה וזכאות להתאמה על אחוז השיפור. ניתן להסיק, כיוון שהתפלגות משתנה המטרה בהינתן משתנה מסביר חד ממדי דומה להתפלגות משתנה המטרה של האוכלוסייה כולה, שאף אחד מהמשתנים הנ"ל אינו משפיע באופן יחיד על משתנה המטרה (אחוז השיפור).



תרשים 7 – ניתוח חד ממדי לבחינת השפעת משתני סטודנטים על אחוז השיפור בממוצע הציונים

1. דיסלקציה - 77 סטודנטים
2. דיסגרפיה - 16 סטודנטים
4. הפרעת קשב וריכוז - 107 סטודנטים
6. בעיה פסיכיאטרית - 3 סטודנטים
7. בעיה רפואית - 32 סטודנטים



תרשים 8 – ניתוח חד ממדי לבחינת השפעת משתנה קוד לקות על אחוז השיפור בממוצע הציונים

בשלב הבא, בוצע תהליך של פיצול בסיס הנתונים לתתי קבוצות כאשר בכל קבוצה אחוז הסטודנטים לקויי הלמידה ישקף את האחוז שלהם באוכלוסייה. תרשים 9 מציג שיטות שונות לפיצול בסיס הנתונים.

- הרצה 1:
בניית מודל DM עבור ה-Training (כלל בסיס נתונים)

- הרצה 2:
בניית מודל DM עבור Training 66% ובחינה על 34% Testing

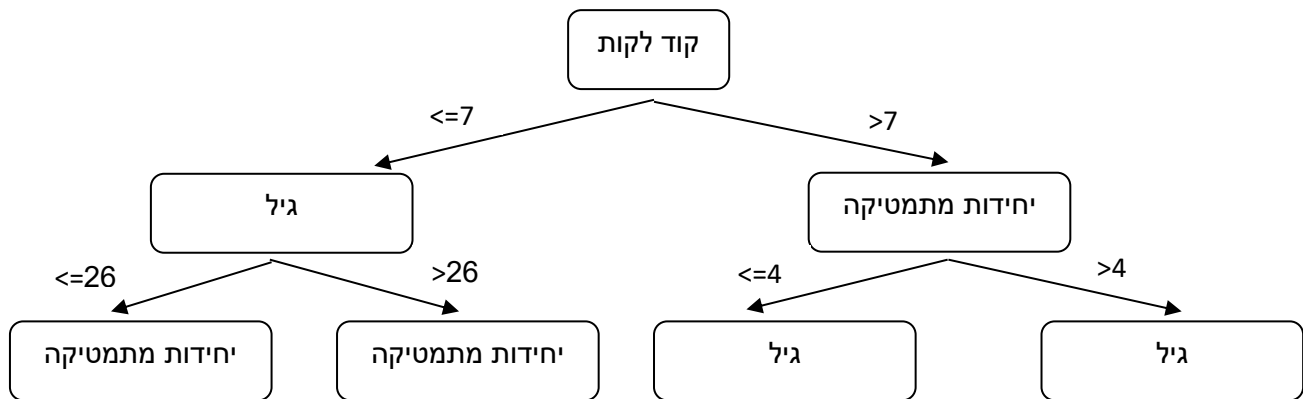
- הרצה 3:
בניית מודל DM עבור Cross Validation 10


תרשים 9 – שיטות לפיצול בסיס נתונים כתהליך מקדים להפעלת מודלים של כריית מידע

תוצאות

לאחר הכנת קבצי הקלט הופעלו אלגוריתמי כריית מידע לזיהוי תבניות הקשרים בין קיום וסוג ההתאמה, נתונים נוספים של הסטודנט ומציאת הקשר למשתנה ההחלטה – אחוז שיפור. בשלב זה האלגוריתמים הופעלו על בסיס ערכי ברירת המחדל למידול, לימוד ובחינת טיב תוצאות ראשוני. תוצאות אלגוריתם C4.5, שהינו אחד מהאלגוריתמים שנבחנו, מופיעות בתרשים 10, כאשר משתנה הסיווג (המטרה) הינו אחוז השיפור. ניתן לראות שהמשתנים אשר נמצאו מסבירים את אחוז השיפור הינם על פי סדר עדיפות: קוד לקות (ראה טבלה 1), מספר יחידות לימוד במתמטיקה/גיל וציון מתמטיקה. כלומר משתנה קוד לקות נמצא מסביר ראשון של אחוז שיפור בציון. לדוגמה, נמצאה תבנית ההתנהגות הבאה: סטודנטים בעלי קוד לקות 0-7 (ראה טבלה 1) מעל גיל 26, בעלי ציון בגרות

מתמטיקה מעל 54 הינם בעלי סבירות גבוהה לאחוז שיפור גבוה מ 12.7%. 77 מתוך 208 סטודנטים, (המכונים Support, כלומר מספר הישגיות שעונות על התבנית), קרי 37% (Confidence Level) עונים לתבנית הזו, ביחס ל-20% מהאוכלוסייה הנבדקת אשר אחוז השיפור שלהם גבוה מ-12.7%, קרי $Lift=100*(37/20)=185\%$.



תרשים 10 – תוצאות מודל C4.5 לחיזוי אחוז השיפור במוצע הציונים לאחר תום סמסטר 2

בשלב הבא רוכזו התוצאות וחושבו מדדי ביצוע על ידי אופטימיזציה מקומית של פרמטרי המודלים של כריית מידע על בסיס שגיאות סטטיסטיות ומדדי ביצוע. בנוסף בשלב זה הופקו הממצאים והמסקנות. לצורך הפקת ממצאים ותובנות, בסיס הנתונים חולק לעשרה חלקים זהים בגודלם (Partitions), כאשר בכל הרצה, נבנה מודל C4.5 על תשעה מהחלקים, והחיזוי בוצע על החלק העשירי שלא השתתף בבניית המודל (ניתוח צולב). תהליך זה חזר עשר פעמים, כאשר בכל פעם נבחר חלק אחר שלא שימש לבניית המודל, אלא למטרת חיזוי (סיווג של סטודנט לאחת מרמות אחוז השיפור מול הסיווג האמיתי של הסטודנט).

תרשים 11 מציג את מטריצת האמת (confusion matrix) עבור הניתוח ובה סיכום של תוצאות עשר החזרות. העמודות בטבלה מציינות את חיזוי הסיווג של המודל לאחת מרמות השיפור, והשורות מציגות את השיוך האמיתי של הסטודנטים לרמת השיפור. ניתן להבחין לדוגמא, ש-146 סטודנטים סווגו נכון לאחוז שיפור גבוה (מעל 12.7%).

a	b	c	d	e	<-- classified as
232	74	34	64	59	a = '(-inf--0.032869]'
146	96	52	78	91	b = '(-0.032869-0.019664]'
118	102	48	94	101	c = '(0.019664-0.0688]'
99	78	45	104	137	d = '(0.0688-0.126988]'
88	69	36	124	146	e = '(0.126988-inf)'

תרשים 11 – מטריצת אמת של התוצאות (Confusion Matrix)

בתרשים 12 ניתן לראות את מדדי הביצוע השונים עבור טיב הסיווג של סטודנט לאחוז שיפור מתאים.

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	ROC Area	Class
	0.501	0.244	0.34	0.501	0.405	0.64	'(-inf--0.032869]'
	0.207	0.174	0.229	0.207	0.218	0.534	'(-0.032869-0.019664]'
	0.104	0.09	0.223	0.104	0.142	0.53	'(0.019664-0.0688]'
	0.225	0.194	0.224	0.225	0.224	0.541	'(0.0688-0.126988]'
	0.315	0.21	0.273	0.315	0.293	0.6	'(0.126988-inf)'
Weighted Avg.	0.27	0.182	0.258	0.27	0.256	0.569	

תרשים 12 – מדדי ביצוע לטיב הסיווג של סטודנטים לרמת השיפור בלימודים

ניתוח התוצאות

במחקר זה יושמו שיטות של כריית מידע לצורך חיזוי הצלחה בלימודים על בסיס משתנים מסבירים ובכללם משתנים הקשורים ללקויות למידה. השימוש בכריית נתונים נועד לבחון האם משתנים הקשורים ללקויות למידה ייבחרו כמשתנים מסבירים ראשונים לחיזוי אחוז השיפור בביצועי הלמידה. באמצעות תהליכי הסיווג (לאחר הגדרת משתני מטרה כתהליכי Pre-Process) משתנה לקות למידה נמצא כמסביר ראשון באלגוריתם C4.5. מדדי הביצוע הראו שמודל C4.5, מאפשר לזהות בדיוק (Precision) של 25.8% את השייך של הסטודנט לרמת אחוז שיפור מתאימה, בדיוק של 34% שייך לרמת אחוז שיפור נמוכה (הרעה גדולה מ-3.3%) ובדיוק של 27.3% שייך לרמת אחוז שיפור גבוהה (שיפור של למעלה מ-27.3%), וזאת ביחס לאחוזי דיוק אפרוריים של 20% הנובעים מהחלוקה לחמש רמות.

כמו כן המודל אפשר לזהות 27% מהסיווגים הנכונים בבסיס הנתונים (True Positive Rate), ולזהות 50.1% מהאוכלוסייה שאחוז השיפור שלה נמוך (הרעה גדולה מ-3.3%) אשר מהווה 20% מהאוכלוסייה ו-31.5% אחוז מאוכלוסיית הסטודנטים שאחוז השיפור שלהם גבוה (למעלה מ-12.7%) אשר מהווה 20% מהאוכלוסייה. כלומר משתנה לקות הלמידה נמצא כמשתנה מסביר ראשון כחלק מתבנית התנהגות (מתוך עשרות משתנים נוספים) למשתנה המטרה אחוז שיפור בלימודים. משתנים נוספים בתבנית ההתנהגות נמצאו יחידות לימוד במתמטיקה, ציון במתמטיקה וגיל. יש לציין, שקיימות תבניות בעלות אחוז חיזוי גבוה מאחוז הממוצע של המודל, כפי שמוצג לעיל.

4.3 גישה ג' – הפחתת ממדים ומפות דיפוזיה

למידה חישובית והצורך בהורדת ממדים

בשנים האחרונות קיימת מגמה מתפתחת של שימוש בכלים מתחום מדעי המחשב ובפרט מתחום הלמידה החישובית לצורך ניתוח נתונים מעולם התוכן של מדעי החברה. שיטות אלו שונות במהותן משיטות סטטיסטיות שכן לא מתבצע תהליך של השערת מחקר אפריורי ומבחני הסקה, אלא יש ניסיון לנתח את הנתונים בצורה כללית יותר ולהסיק מסקנות מתוך מבנה הנתונים והקשרים ביניהם. ענף מסוים בלמידה חישובית מתמקד בשיטות להורדת ממדים. שיטות אלו מתאימות לניתוח של נתונים בהם כל דגימה מכילה מספר גדול של משתנים, ובאופן טיפוסי אנו מצפים שתהיה תלות בין המשתנים הנמדדים. ניתן להתייחס לבעיה מסוג זה כאל בעיה רב-ממדית, שבה עבור כל דגימה נאסף מספר רב של משתנים (במחקר זה עבור כל סטודנט נאספו נתונים על ביצועיו בכל סמסטר). מטרת אלגוריתמי הורדת הממדיות היא למצוא תיאור חדש של הנתונים, הנאמן לנתונים המקוריים אך מוריד את הממד. הורדת הממדיות מפשטת את הבעיה ומאפשרת לבצע ניתוח בייצוג החדש. בנוסף, הורדת הממד מאפשרת להציג את הנתונים באופן ויזואלי.

במחקר זה נעשה שימוש בשיטות לא ליניאריות להורדת ממדים. שיטות אלו יוצרות פרמטרים חדשים לתיאור המידע המקורי. פרמטרים אלו הם צירופים לא-ליניאריים של המשתנים המקוריים ובדרך כלל לא קל לומר מה הם מייצגים. מצד שני, הייצוג החדש נאמן למקור בכך שהוא שומר על מבנה הנתונים. לדוגמא, שתי נקודות שהיו קרובות בממד המקורי, הרב-ממדי, יישארו קרובות גם בייצוג החדש, הקומפקטי. נאמר ששיטות אלו שומרות על המבנה הגיאומטרי של הנתונים ובכך יתרון הגדול. בנוסף, שיטות אלו אינן מניחות שיש קשרים ליניאריים בין הנתונים.

הדוגמא הבאה מתארת נתונים רב ממדיים וממחישה את התועלת בשימוש בשיטה המתוארת. בתרשים 13 ישנן 15 תמונות של משאית; כל משאית עומדת בזווית מעט שונה ביחס לנקודת מבטו של הצופה. ניתן להתייחס לכל תמונה כאל וקטור ארוך של פיקסלים. וקטור זה הוא נקודה המכילה מספר רב של משתנים, כמספר הפיקסלים בתמונה. כלומר, ניתן לייצג כל תמונה כנקודה בממד גבוה (למשל תמונה בגודל 200X100 פיקסלים תהפוך לווקטור ארוך בגודל 20,000). למרות שהנתונים המקוריים נמצאים בממד גבוה, ניתן למצוא באופן אוטומטי ארגון קומפקטי לתמונות. המטרה היא למצוא ארגון שיזהה את התכונה העיקרית שמבדילה בין התמונות, דהיינו הזווית. בהמשך יוסבר כיצד מוצאים ייצוג כזה.



תרשים 13 – תמונות המייצגות נתונים רב ממדים שניתן לצמצם לממד נמוך יותר באמצעות הזוית

רקע מתמטי - מפות דיפוזיה

בקהילת הלמידה החישובית ובעיקר ביישומים בתחום מדעי המחשב וההנדסה ישנו שימוש נרחב בשיטות לא-ליניאריות להורדת ממדים. כמה שיטות מקובלות בתחום הן:

Local linear embedding (Roweis & Sual, 2000), Laplacian Eigenmaps (Belkin & Niyogi, 2003; 2004), Local tangent space alignment (Zhang & Zha, 2002).

השיטה בה נעשה שימוש במחקר זה נקראת מפות דיפוזיה, היא הוצגה בשנה 2006 ע"י Coifman and Lafon ויושמה מאז במספר גדול של עבודות בתחומים שונים. להלן הסבר לאופן בו נעשה שימוש במפות דיפוזיה במחקר זה. בשיטה זו מניחים כי סט שבו n נקודות (נתונים) המסומן $S = \{x_1, \dots, x_n\}$ ובו כל נקודה או דגימה מורכבת מ- D משתנים, כלומר $x_i \in R^D, 1 \leq i \leq n$. כל נקודה רב ממדית x_i מכילה את הנתונים הרלבנטיים עבור סטודנט מסוים. סט הנתונים הוא בממד גבוה, ממד השווה למספר המשתנים שנאספו. יש לארגן את הנתונים בממד נמוך המסומן d המקיים $d \ll D$ (לצרכי ויזואליזציה רצוי להוריד את הנתונים לממד 2 או 3). עיבוד הנתונים והסקת המסקנות יתבצעו על סמך ארגון זה. אין הנחות לגבי גודל המדגם, אך כמובן שרצוי שמספר נקודות הקלט יהיה לפחות כמה עשרות.

להלן השלבים הדרושים על מנת לחשב פרמטרים חדשים לייצוג המידע: ראשית, הוגדר גרף $G = (S, W)$ שבו סט הנתונים S מגדיר את סט הצמתים בגרף, כלומר כל סטודנט מהווה צומת. המטריצה W היא מטריצה המתארת את קשתות הגרף. מטריצה מסוג זה נקראת גרעין ובהינתן n צמתים גודל הגרעין הוא $n \times n$. באופן תיאורטי ישנה קשת המחברת בין כל זוג סטודנטים. ערך הגרעין בכל נקודה $W = w(x_i, x_j)$ מגדיר את המרחק בין זוג הצמתים x_i ו- x_j . מרחק זה יתורגם למשקל על פני הקשת המחברת בין הצמתים. פונקציית המשקל שבעזרתה מוגדר הגרעין צריכה לקיים את התכונות הבאות:

א. סימטריות, כלומר עבור כל זוג צמתים w_i ו- w_j מתקיים: $w(x_i, x_j) = w(x_j, x_i)$

ב. positive-preserving, כלומר $w(x_i, x_j) \geq 0$ לכל $x_i, x_j \in S$

ג. positive semi-definite, כלומר עבור כל פונקציה ממשית וחסומה f המוגדרת על S מתקיים

$$\sum_i \sum_j w(x_i, x_j) f(x_i) f(x_j) \geq 0$$

במחקר זה נעשה שימוש בגרעין גאוסיאני. נגדיר את המרחק בין שתי נקודות (שני צמתים) x_i ו- x_j על

ידי $W = w(x_i, x_j) = e^{-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\varepsilon}}$, כאשר ε הוא המשתנה השולט על רוחב הגאוסיאן. המרחק המוגדר

על ידי הגרעין הגאוסיאני הוא קרוב ל-1 עבור שני צמתים דומים וקרוב ל-0 עבור צמתים הרחוקים זה מזה. שני סטודנטים בעלי פרופיל נתונים דומה יחוברו על ידי קשת עם משקל גבוה (קרוב ל-1) ושני סטודנטים בעלי פרופיל שונה יהיו רחוקים זה מזה ויחוברו על ידי קשת עם משקל הקרוב ל-0. הגרעין שנבנה בשלב זה אוסף אינפורמציה מקומית עבור כל סטודנט על ידי מציאת הסטודנטים הקרובים אליו בנתונים, כאשר הערך של ε נותן אפשרות לשלוט על גודל הסביבה המקומית. בשלב הבא, ניתן להשתמש באינפורמציה שאוסף הגרעין בשביל לייצר פרמטרים חדשים המתארים את הנתונים בממד נמוך.

הגרעין שנוצר מתאר מרחק בין כל זוג נתונים (סטודנטים) במאגר S . ניתן להסתכל על מרחק

זה כעל מרחק הסתברותי המודד את ההסתברות לעבור מסטודנט אחד לשני. עבור שני סטודנטים בעלי פרופיל דומה, ההסתברות היא גדולה והמרחק הוא קרוב לאחד. בשלב הבא, יש לנרמל את הגרעין כך שסכום כל שורה יהיה שווה לאחד. המטריצה המתקבלת היא מטריצת מרקוב. כל שורה בה מתייחסת לנקודה x_i (הסטודנט ה- i) ומתארת את ההסתברות לעבור מהנקודה x_i לכל אחת מהנקודות האחרות x_j .

הגרעין המנורמל P נתון על ידי $P = p(x_i, x_j) = s^{-1}(x_i)w(x_i, x_j)$ כאשר $s(x_i) = \sum_j w(x_i, x_j)$

זהו סכום השורה ה- i במטריצה W . המטריצה שנוצרה P היא מטריצת מרקוב (סכום כל שורה הוא 1) והיא מכילה את האינפורמציה הגיאומטרית לגבי מבנה וסידור הנתונים בממד הגבוה. כעת יש ליצור מהמטריצה P פרמטרים או קואורדינאטות חדשות לייצוג סט הנתונים S על ידי פירוק המטריצה P לערכים עצמיים ולוקטורים עצמיים. סט הערכים העצמיים מסומן ב- $\{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\}$ והווקטורים העצמיים הימניים יסומנו ב- $\{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n\}$ (ראה הסבר מורחב ב Coifman & Lafon, 2006).

אופייה של המטריצה P מבטיח כי ישנם n ערכים עצמיים חיוביים אשר דועכים לאפס, לכן ניתן

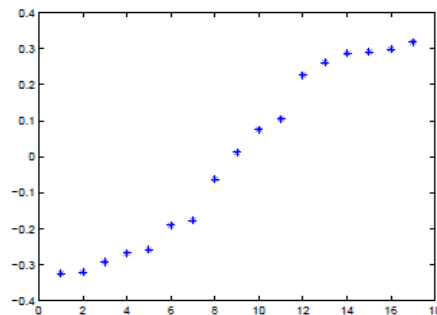
לתאר את התנהגות המטריצה P על סמך מספר קטן של ערכים עצמיים ווקטורים עצמיים ומכאן הורדת הממד. ניתן להגדיר פרמטריזציה חדשה לנתונים, הנקראת מפות דיפוזיה על ידי

הפרמטריזציה החדשה משכנת את הנתונים בממד נמוך תוך כדי שמירת $\Phi = \{\mu_1\varphi_1, \mu_2\varphi_2, \mu_3\varphi_3, \dots\}$

המרחקים ההדדיים. ניתן להוכיח כי מרחק הדיפוזיה בממד המקורי, המוגדר על ידי סכימת סך כל

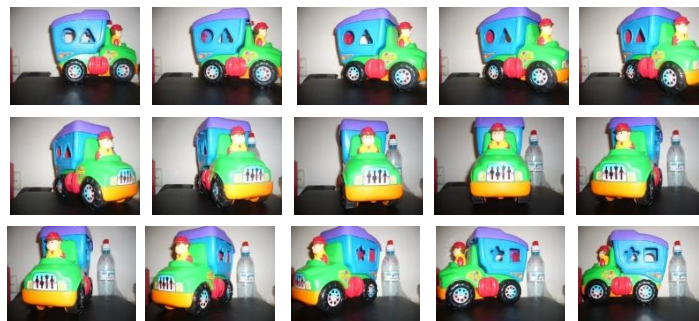
המרחקים המחברים בין שתי נקודות שקול למרחק האוקלידי בפרמטריזציה החדשה שיוצרות מפות הדיפוזיה (לפרטים מתמטיים ראה Coifman & Lafon, 2006).

ניתן להמחיש את תהליך בניית מפות הדיפוזיה באמצעות המשאיות המסתובבות שהוצגו בתרשים 13. ראשית יש לבנות גרעין גאוסיאני בגודל 15X15. הגרעין מנורמל למטריצה P ופירוק ספקטרלי של P מייצר את מפות הדיפוזיה. הקואורדינטה הראשונה במפות הדיפוזיה מתאימה לכל תמונה ערך כלשהו. תרשים 14 מציג את ערכי מפת הדיפוזיה הראשונה לאחר שמיונו לפי הערכים (מן הקטן לגדול).



תרשים 14 – ערכים ממוינים של מפת הדיפוזיה הראשונה

ניתן לסדר את התמונות לפי הערכים של מפת הדיפוזיה הראשונה. כפי שרואים בתרשים 15, התמונות כעת מסודרות על פי זווית הסיבוב. כלומר, מפת הדיפוזיה הראשונה הצליחה לחלץ את הארגון ה"טבעי" של התמונות בממד הגבוה. בממד המקורי בו כל תמונה היא נקודה בודדת במערכת צירים בעלת 20,000 ממדים, התמונות היו ככל הנראה מסודרות על עקום חד ממדי והסדר היה לפי זווית הסיבוב.



תרשים 15 – תמונות מסודרות על פי הערכים שחושבו במפת הדיפוזיה הראשונה

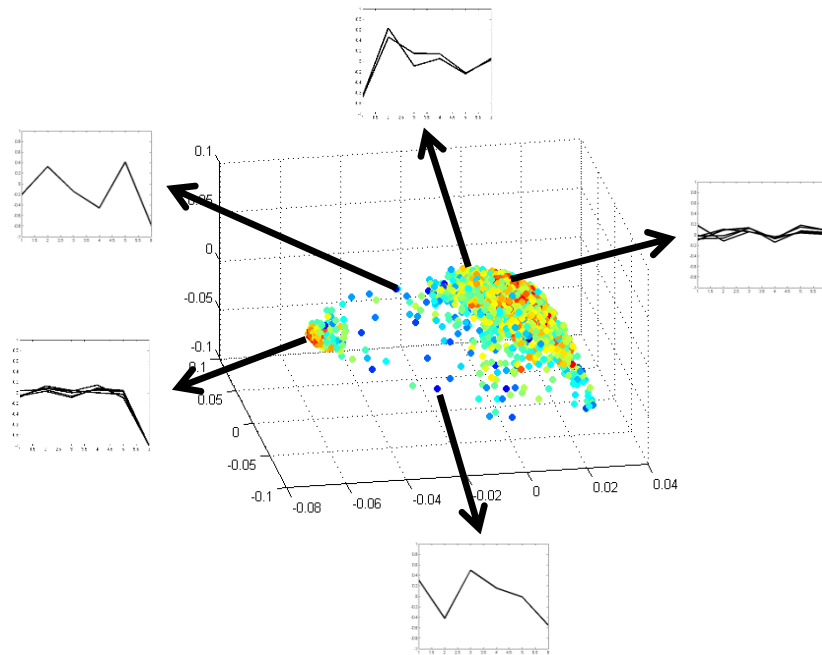
בחלק זה יתואר השימוש במודל של הורדת ממדים ומפות דיפוזיה לצורך ארגון הנתונים, למידתם והסקת מסקנות. בשלב הראשון יוסבר כיצד ניתן להציג את הנתונים ואת הקשר בין ביצועי סטודנט לבין הציון הממוצע שלו בתואר בממד נמוך ובשלב השני יעשה שימוש בשיטת מפות הדיפוזיה בכדי לבדוק את השפעת ההתאמות על ביצועי הסטודנט. במסגרת המחקר הנוכחי הופעלו מפות הדיפוזיה בכדי לבדוק האם פרופיל ההישגים הלימודיים של סטודנטים בעלי התאמות שונה מפרופיל ההישגים של סטודנט ללא התאמות. במהלך התהליך בוצע מידול של כלל הפרופילים של הסטודנטים (עם ובלי התאמות) ונבדק האם ניתן לחזות את ביצועי הסטודנט בשנה הראשונה על סמך ביצועיו החל מהשנה השנייה ואילך. ההבדל בין התחזית לנתונים בפועל יאפשרו ללמוד על השפעת ההתאמות. יתרונה של שיטה זו הוא בכך שיחידת הניתוח היא רצף נתונים (וקטור) ולא ציון בדיד. כמו כן מתאפשרת ויזואליזציה של הנתונים תוך שמירה על היחסים ביניהם. יש לציין כי לא מדובר בשיטה סטטיסטית אלא בשיטה של למידה חישובית, מתוך דוגמאות. רצוי שיהיו כמה שיותר נתונים, אך מונחי ה"מובהקות" ו"גודל מדגם" אינם באים לידי ביטוי במובנם הרגיל.

עיבוד ראשוני של הנתונים

עבור כל סטודנט נאספו נתונים לגבי ממוצע הציונים המשוקלל במשך 7 סמסטרים עוקבים של לימודים. הנתונים עברו תהליך של עיבוד מקדים, כפי שמתואר בפרק 3. מטריצת הנתונים הניתנת כקלט לאלגוריתם מפות הדיפוזיה מכילה פרופיל של אחוזי שיפור עבור כל סטודנט. מטריצת הקלט סומנה ב-S ומכילה את הפרופילים המנורמלים של כלל הסטודנטים, קלט של כל סטודנט מהווה שורה באורך 6 במטריצה S. שיטת מפות הדיפוזיה הופעלה על מטריצת הקלט S. נבנתה מטריצת מרקוב המסומנת כ-P וגודלה $2,315 \times 2,315$. מטריצה זו מתארת את המרחקים בזוגות של פרופילי הסטודנטים. בוצע פירוק ספקטרלי של המטריצה P תוך שימוש בשלושת הקואורדינטות הראשונות שמייצרות מפות הדיפוזיה כדי להציג את הנתונים בממד נמוך.

בתרשים 16 ניתן לראות את תוצאות השיטה. כל נקודה מייצגת פרופיל של סטודנט. הנקודות נצבעו לפי ממוצע הציונים של כל סטודנט. ניתן לראות כי הפרופיל המנורמל (שלא מכיל את ממוצע הציונים, אלא רק את אחוזי השיפור בין הסמסטרים) קורלטיבי לממוצע ציוני הסטודנט, כאשר הצבע האדום מעיד על ממוצע ציונים גבוה והכחול על ממוצע ציונים נמוך. הפרופילים מחולקים לשתי קבוצות עיקריות. מצד ימין ישנה הקבוצה הגדולה אשר במרכזה נמצאים סטודנטים עם ממוצע ציונים גבוה. סטודנטים אלו מאופיינים על ידי פרופיל יציב, הם ככל הנראה קיבלו ציון ממוצע גבוה בסמסטר א' ושמרו על הישג זה לאורך כל התואר. מצד שמאל ישנה קבוצה קטנה יותר, שבה סטודנטים ששמרו על פרופיל יציב במהלך שלשת השנים הראשונות, אך הידרדרו בשנה האחרונה, וזה בא לידי ביטוי בירידה החדה באחוזי השיפור בנקודת הפרופיל האחרונה. עוד ניתן לראות כי סטודנטים בעלי ממוצע

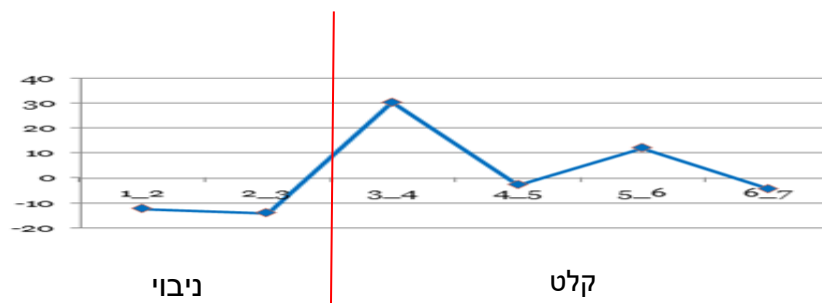
נמוך, הצבועים בכחול כהה, מאופיינים על ידי פרופיל לא יציב – ממוצע ציונים עולה ויורד באופן חד בין סמסטרים.



תרשים 16 – הצגה תלת ממדית של פרופילי הסטודנטים

ניבוי ולמידה בעזרת מפות דיפוזיה

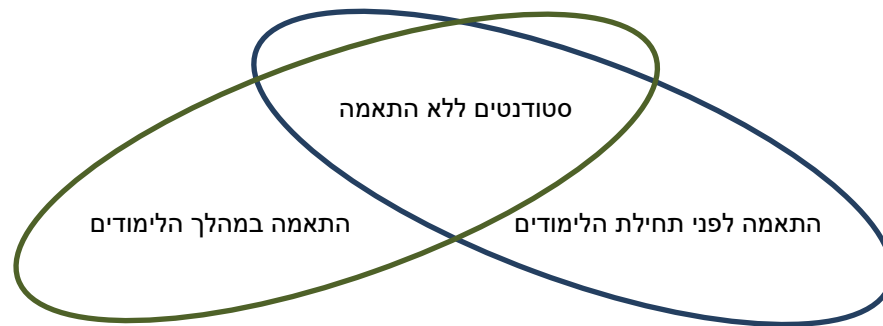
נעשה שימוש באלגוריתם לצורת בחינת השפעת התאמות על ביצועיו של סטודנט לקוי למידה. נבנה מודל על סמך חלק מהפרופיל (סמסטר 3 ואילך), כפי שמוצג בתרשים 17.



תרשים 17 – ניבוי התנהגות הסטודנט על סמך ביצועיו מהשנה השנייה ואילך

מודל זה מכיל את ביצועי הסטודנטים החל מהשנה השנייה ועד סוף התואר. ניתן לבדוק האם על סמך מידע זה ניתן לנבא את ביצועי הסטודנט בסמסטר הראשון והאם יש הבדל בתוצאות הניבוי בין סטודנטים ללא התאמות ובין סטודנטים עם התאמות. לצורך הניתוח חולק המדגם (קבוצת "ללא לקות", קבוצת "לפני" וקבוצת "במהלך") לשתי קבוצות, כפי במתואר בתרשים 18. מטרת החלוקה

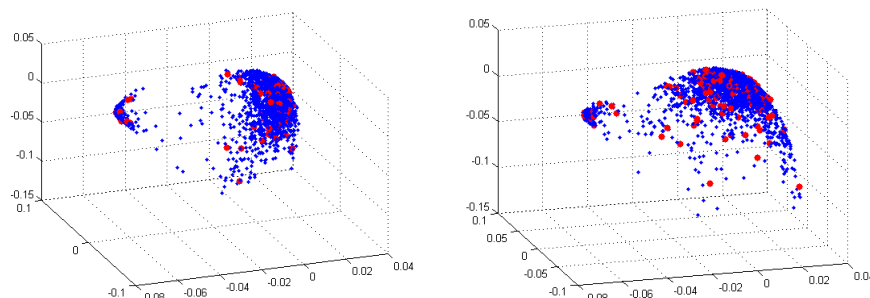
היא לבחון את ביצועי הסטודנטים בעלי התאמה לעומת הסטודנטים ללא לקות וכן לבדוק האם יש הבדל בין ביצועי סטודנטים שקבלו התאמה לפני תחילת הלימודים לעומת סטודנטים שקבלו התאמה במהלך הלימודים.



תרשים 18 – חלוקת המדגם לשתי קבוצות (כחול וירוק)

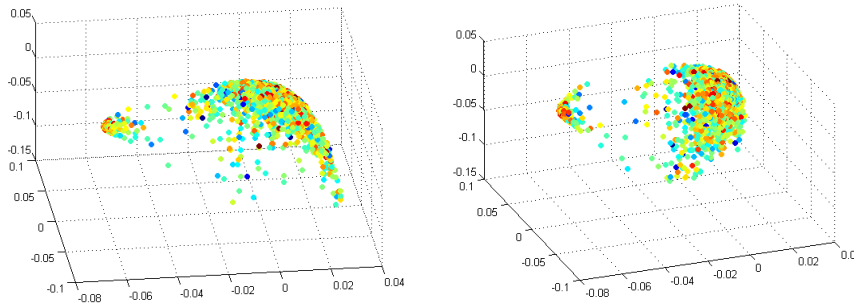
ניבוי ציוני סמסטר א' עבור סטודנטים בקבוצה הירוקה ובקבוצה הכחולה

הקלט שמתואר בתרשים 17 נאסף עבור שתי הקבוצות של הסטודנטים. הקבוצה הראשונה מורכבת מכל הסטודנטים ללא התאמה ומסטודנטים שקבלו התאמה לפני תחילת הלימודים. הקבוצה השנייה מורכבת מסטודנטים ללא התאמה ומסטודנטים שקבלו התאמה במהלך הלימודים. בעזרת מפות דיפוזיה הפרופיל החלקי של כל סטודנט מיוצג כנקודה בממד 3. תרשים 19 מציג את תוצאות הפעלת מפות דיפוזיה הפרופיל החלקי של כל סטודנט מיוצג כנקודה בממד 3. בתמונה הימנית, הנקודות האדומות שייכות לקבוצת "ללא לקות". בתמונה הימנית, הנקודות האדומות שייכות לקבוצת "התאמה לפני" ובתמונה השמאלית הנקודות האדומות שייכות לקבוצת "התאמה במהלך". ניתן לראות כי אין התנהגות מייצגת עבור הסטודנטים עם ההתאמות וכי הם מפוזרים בכל אזורי המפה.



תרשים 19 – ייצוג פרופילי הסטודנטים בעזרת מפות דיפוזיה עבור שתי הקבוצות המוצגות בתרשים 18

לצורך הניבוי יש תחילה, עבור כל נקודה ששייכת לסטודנט, למצוא את חמשת השכנים הקרובים ביותר בממד הנמוך, שכנים שאינם בעלי התאמות. לאחר מכן יש למצע את ציוני סמסטר א' של כל אחד מחמשת השכנים ותוצאה זו היא הניבוי עבור הנקודה. תרשים 20 מציג את השיכונים התלת ממדיים של שתי הקבוצות (כפי שמוצג בתרשים 18) כאשר כל נקודה צבועה בערך הפונקציה שאותה יש לנבא – ממוצע ציוני הסטודנט בסמסטר א', שנה א'. ניתן לראות כי באופן לוקאלי ההתנהגות היא דומה.



תרשים 20 – שיכון תלת ממדי של ביצועי סטודנט החל מהשנה השנייה כאשר כל נקודה צבועה על פי ציוני הסטודנט בסמסטר א'

תוצאות ומסקנות:

עבור הקבוצה הירוקה, כלומר קבוצת "ללא לקות" וקבוצת "התאמה במהלך": עבור סטודנטים ללא לקות טעות הניבוי הממוצעת לציון סמסטר א' היא 9.3 נקודות. עבור סטודנטים בעלי התאמה טעות הניבוי הממוצעת לציון סמסטר א' היא 10.2 נקודות. הטעות נובעת מסטיות חיוביות ושליליות, כלומר יש סטודנטים שעבורם הניבוי היה גבוה מהערך האמיתי ויש סטודנטים שעבורם הניבוי היה נמוך מהערך האמיתי. ניתן לבדוק את סכום הטעויות החיוביות והשליליות בערך מוחלט.

עבור סטודנטים ללא לקות הטעות המצטברת בעלת סימן חיובי היא 9,443 נקודות והטעות המצטברת בעלת סימן שלילי היא 8,872. היחס בין הטעויות המצטברות קרוב לאחד: $9,443/8,872 = 1.06$, כלומר כמחצית מטעויות הניבוי היו בגלל הערכה גבוהה מדי של ציון סמסטר א' וכמחצית מטעויות הניבוי היו בגלל הערכה נמוכה מדי של ציון סמסטר א'.

עבור סטודנטים שקבלו התאמה במהלך הלימודים, הטעות החיובית המצטברת היא 402 נקודות והטעות השלילית המצטברת היא 340 נקודות. היחס ביניהן הוא $402/340=1.18$, כלומר היו יותר מקרים בהם הניבוי של ציוני סמסטר א' עבור סטודנט עם התאמות היה גבוה מהציון האמיתי, כלומר ניבוי יתר.

ניתן להסיק מכך כי בעקבות ההתאמות סטודנטים אלו שיפרו את הישגיהם החל מהשנה השנייה, והפרופיל שלהם דמה לסטודנטים ללא לקות, להם ציונים גבוהים יותר גם בסמסטר א'.

עבור הקבוצה הכחולה: קבוצת "ללא לקות" וקבוצת "התאמה לפני": עבור סטודנטים ללא לקות טעות הניבוי הממוצעת לציון סמסטר א' היא 9.32 נקודות. עבור סטודנטים עם התאמה טעות הניבוי

הממוצעת לציון סמסטר א' היא 10.01 נקודות. ניתן לבדוק את סכום הטעויות החיוביות והשליליות בערך מוחלט. עבור סטודנטים ללא לקות הטעות המצטברת בעלת סימן חיובי היא 9,193 נקודות והטעות המצטברת בעלת סימן שלילי היא 9,239. היחס בין הטעויות המצטברות קרוב לאחד: $9,193/9,239=0.99$, כלומר כמחצית מטעויות הניבוי היו בגלל הערכה גבוהה מדי של ציון סמסטר א' וכמחצית מטעויות הניבוי היות בגלל הערכה נמוכה מדי של ציון סמסטר א'.

עבור קבוצת "התאמה לפני", הטעות החיובית המצטברת היא 869 נקודות והטעות השלילית המצטברת היא 613 נקודות. היחס ביניהן הוא $869/613=1.41$, כלומר היו הרבה יותר מקרים בהם הניבוי של ציוני סמסטר א' עבור סטודנט עם התאמות היה גבוה מהציון האמיתי.

ניתן להסיק מכך כי ההתאמות משפרות את ביצועי הסטודנטים החל מהשנה השנייה, אך נראה כי אין להתאמות השפעה אמיתית בשנה הראשונה ללימודים, זאת בדומה לתוצאות הסטטיסטיות שמוצגות בטבלה 10. אילו הייתה השפעה לתוספת הזמן, ניתן היה לראות טעות ניבוי דומה עבור סטודנטים ללא לקות ביחס לסטודנטים שקבלו התאמות לפני תחילת הלימודים. ניבוי ביצועי סמסטר א' של סטודנט בעל התאמות על פי ביצועיו מהשנה השנייה ואילך הוא של ממוצע ציון גבוה מהציון האמיתי, וזאת למרות שקבוצת הסטודנטים קבלו התאמות לפני תחילת הלימודים והיו אמורים להתנהג, מבחינת טעות הניבוי, כסטודנטים ללא לקות.

שיטות להורדת ממדים כגון מפות דיפוזיה מאפשרות לבצע מבחנים על יחידות ניתוח רב ממדיות כגון פרופיל רב-שנתי של ביצועי סטודנט ובכך חוזקן. החלק הראשון, המארגן את הסטודנטים במפה תלת-ממדית (תרשים 16), מציג התנהגות כללית שאינה קשורה דווקא ללקויות והתאמות ולפיה ניתן ללמוד על ממוצע ציוני הסטודנט רק על סמך אחוזי השיפור שלו מסמסטר לסמסטר. סטודנט טוב הוא סטודנט בעל פרופיל יציב, כלומר כבר בסמסטר הראשון קבל ציונים גבוהים והצליח לשמור על הישג זה לאורך כל התואר. מנגד, סטודנט עם ממוצע ציונים נמוך מאופיין על ידי פרופיל אחוז שיפור משתנה, ממוצע ציוניו שונה מסמסטר לסמסטר. בחלק השני של הניתוח הופעלו מפות הדיפוזיה בכדי לבדוק את האפקטיביות של ההתאמות. לצורך בדיקה זו נבנה מודל הלוקח בחשבון את ביצועי הסטודנט רק מהשנה השנייה ואילך. בסט נתונים זה הרוב הגדול של הסטודנטים המותאמים כבר קבלו התאמה. עבור כל סטודנט התבצע ניבוי (שחזור) של ממוצע ציוניו בשנה א' סמסטר א' וזאת רק על סמך מידע מסטודנטים שאינם בעלי התאמות. התוצאות הראו כי ישנם יותר מקרים בהם הערך המנובא (לציון ממוצע בסמסטר א' בשנה א') עבור תלמיד מותאם היה גבוה מהציון האמיתי שלו. תופעה זו חוזרת על עצמה גם עבור סטודנטים שקבלו התאמות במהלך הלימודים וגם עבור סטודנטים שקבלו התאמות לפני תחילת הלימודים. עבור הקבוצה שקבלה התאמות במהלך הלימודים, ניתן להסביר תופעה זו ולומר שברגע שניתנו התאמות היה שיפור בביצועים. התוצאה המעט יותר מפתיעה היא עבור קבוצת הסטודנטים שקבלו התאמות לפני תחילת הלימודים, גם סטודנטים אלו אינם מתנהגים כסטודנטים ללא התאמות ונראה שביצועיהם החל מהשנה השנייה טובים יותר מביצועיהם בשנה הראשונה. יתכן שתוספות הזמן אינן מספיק יעילות בכדי להתגבר על הלקות בקורסים בשנה הראשונה. יש לציון כי בשנה א' הקורסים הם באופיים מתמטיים, אך אופי המבחן שונה ממבחני

המתמטיקה שפגשו בתיכון, שכן הסטודנט נדרש להציג תהליך לוגי מוסבר היטב ולא תשובה מספרית. כלי זה כן יעיל החל מהשנה השנייה (אופי הקורסים בהמשך התואר לעיתים שונה ופחות מתמטי). אחד ההסברים האפשריים לתופעה זו היא שללקויי למידה לוקח זמן רב יותר להסתגל ללימודים אקדמיים והשיפור בין שנה א' לשנה ב' נגזר מכך. יש לסייג אמירה זו בכך שאין אבחנה בין סוגי לקויות שונים, והסבר מדויק יותר היה מתאפשר לו היו נתונים על אופי הלקות של כל סטודנט וסטודנט.

5. דיון

במרביית המוסדות האקדמיים בארץ ובעולם מקובל לתת לסטודנטים לקויי למידה התאמות בבחינות אקדמיות במהלך לימודיהם במטרה לעקוף את הלקות ולאפשר להם לבטא את יכולותיהם בצורה הטובה ביותר. ההתאמה הנפוצה ביותר היא תוספת זמן בבחינה. נוכח שכיחותה הגבוהה של התאמה זו, עולה השאלה בדבר השפעתה על ביצועי הסטודנטים. במחקר הנוכחי נבדקה השפעתה של תוספת הזמן בשלוש גישות: הסקה סטטיסטית, כריית מידע והפחתת ממדים.

מתוצאות הניתוח בגישת ההסקה הסטטיסטית עולה כי ממוצע הציונים של סטודנטים ללא לקות גבוה באופן מובהק ממוצע הציונים של סטודנטים שקיבלו התאמה במהלך לימודיהם. בקרב לקויי הלמידה, נמצא הבדל מובהק לטובת סטודנטים שקיבלו את ההתאמה לפני תחילת הלימודים לעומת סטודנטים שקיבלו אותה במהלך הלימודים (ראה טבלה 4). בהנחה שמטרתה של תוספת הזמן לאפשר לסטודנטים עם ליקויי למידה לבטא את יכולותיהם תוך עקיפת הלקות, הריי שהעובדה שהישגיהם של סטודנטים ליקויי למידה שקיבלו התאמות בבחינות כמעט זהים לאלו של סטודנטים ללא לקות מעידה על יעילות ההתאמה.

ממצאים דומים התקבלו גם בבדיקה שנעשתה לפי סמסטרים ובה נמצא ממוצע ציונים גבוה יותר בקרב סטודנטים שאינם לקויי למידה לעומת סטודנטים לקויי למידה לפני קבלת ההתאמה בכל סמסטר שנבדק. בקרב לקויי הלמידה, נמצא ממוצע ציונים גבוה יותר לאחר קבלת ההתאמה בהשוואה לממוצע הציונים לפני קבלת ההתאמה (ראה טבלה 6). גם בניתוח זה נמצא יתרון קל לסטודנטים לקויי למידה בעלי התאמה בהשוואה לסטודנטים שאינם לקויי למידה בסמסטרים האחרונים ללימודים (ראה תרשים 3). ממצאים אלה מחזקים את שתי המסקנות המפורטות לעיל: תוספת הזמן בבחינה אכן מביאה לשיפור בביצועיהם של לקויי הלמידה וייתכן גם שמעניקה להם יתרון מסוים על פני סטודנטים שאינם לקויים. ניתוח לפי אחוזי שיפור מספק עדות נוספת ליעילות של תוספת הזמן כיוון שאחוז השיפור בקרב סטודנטים לקויי למידה שקיבלו התאמה במהלך לימודיהם גבוה בהרבה בהשוואה לאחוז השיפור של סטודנטים שאינם לקויי למידה בכל נקודות הזמן שנבדקו (ראה טבלה 9).

מבדיקת אחוז ניצול זמן הבחינה בפועל עולה כי לא קיים הבדל מובהק בין סטודנטים לקויי למידה לסטודנטים שאינם לקויים. משמעות הדבר היא שסטודנטים לקויי למידה אכן מנצלים את תוספת הזמן שניתנת להם וייתכן שיש בכך עדות נוספת ליעילות שלה. ממצא מעניין הוא ההבדל המובהק בין קורסים עיוניים לעומת מתמטיים באחוז ניצול הזמן, בעוד שאחוז ניצול הזמן בקורסים עיוניים היה גבוה יותר מאשר בקורסים מתמטיים באופן כללי, נמצא הבדל מובהק לטובת סטודנטים לקויי למידה לעומת סטודנטים ללא לקות רק בקורסים המתמטיים (ראה טבלה 13). כלומר, ההבדל באחוז ניצול זמן הבחינה בין סטודנטים לקויים לסטודנטים שאינם לקויים, היה גבוה יותר בבחינות כמותיות מאשר עיוניות. ממצא זה מהווה תמיכה לטענה שיש לבחון את האפקטיביות של תוספות הזמן בהקשרים

שונים (למשל לפי סוג התואר, סוג הבחינה וכו'), ואין להסיק על השפעתה באופן כללי. העובדה שלא נמצא מתאם בין אחוז ניצול הזמן לציון בבחינה, איננה עולה בקנה אחד עם שאר הממצאים המעידים על אפקטיביות של תוספות הזמן. יש לסייג זאת בכך שאחוזי ניצול הזמן היו גבוהים מאוד ברוב הבחינות שנבדקו, כך שיתכן וקיים אפקט תקרה.

תוצאות הניתוח בגישת כריית המידע מספקות תמיכה נוספת לאפקטיביות של תוספות הזמן. לאחר הפעלת אלגוריתם C4.5, ניתן היה לזהות בדיוק גבוה שיוך של סטודנט לרמה מסוימת של אחוז שיפור תוך שימוש במשתנה לקוח למידה כמסביר ראשון. יש לציין כי בנתוני מחקר זה, סטודנט לקוי למידה הינו בהכרח בעל תוספת זמן ולכן בניתוח כריית המידע, משמעותו של משתנה לקוח למידה הינו מתן תוספת זמן. בהתאם לעקרונות כריית המידע, הבחירה במשתנה לקוח הלמידה לא נעשתה מתוך השערה אפריורית, כפי שנעשה בגישת ההסקה הסטטיסטית, אלא מהווה תוצאה של הפעלת האלגוריתם. העובדה שאלגוריתם כריית המידע, זיהה את משתנה לקוח הלמידה כמסביר ראשון לאחוז השיפור מתוך עשרות משתנים אחרים, מגבירה את מהימנות המסקנה בדבר האפקטיביות של תוספות הזמן.

תוצאות הניתוח בגישת הפחתת הממדים ומפות הדיפוזיה עולות גם הן בקנה אחד עם המסקנה שתוספות הזמן אפקטיביות. לאחר הפחתת הממדים והפעלת תהליך הניבוי, התקבל ניבוי יתר לסטודנטים לקויי למידה, כלומר המודל ניבא לסטודנט לקויי למידה (לאחר שקיבל את תוספת הזמן) ביצועים דומים לאלה של סטודנט ללא לקוח. ממצא מעניין שעלה מניתוח זה הוא העדר ההשפעה של תוספות הזמן בשנה הראשונה ללימודים גם בקרב סטודנטים שקיבלו התאמה לפני תחילת הלימודים. דבר זה עשוי לרמז על כך שיש לתוספת הזמן השפעה מצטברת על הסטודנט ולא רק במבחן מסוים. הסבר אחר יכול להיות תמהיל הקורסים השונה בשנה הראשונה, ובה יש דגש מתמטי חזק יותר בהשוואה לשאר התואר. לפי הסבר זה, תוספות הזמן הינן פחות יעילות במקרה של מבחן כמותי, מסקנה שאיננה עולה בקנה אחד עם ההבדלים שנמצאו בגישת ההסקה הסטטיסטית באחוזי ניצול הזמן של מבחנים עיוניים לעומת כמותיים.

לסיכום, שלושת הגישות לניתוח הנתונים שהופעלו במחקר זה מספקות תמיכה בדבר האפקטיביות של תוספות הזמן הן לפי ממוצע הציונים בלימודים והן לפי אחוז השיפור בציונים עבור סטודנטים להנדסה. יש לסייג מסקנה זו בשלוש מגבלות של המחקר הנוכחי: ראשית, כיוון שנתוני המחקר כוללים ציונים במבחנים אמיתיים שנכתבו לצורך קבלת תואר אקדמי, לא ניתן היה לבצע מניפולציות על תנאים שונים בקבוצות המדגם. למשל, מעניין היה להשוות בין הקבוצות בתנאי בו גם הסטודנטים שאינם לקויי למידה מקבלים תוספת זמן. תנאי נוסף שהיה מעניין לבדוק הוא מבחן ללא מגבלת זמן שהיה מסיר את החשש מאפקט התקרה שהוזכר לעיל. במחקרים עתידיים שאינם מתבססים על מבחני אמת, מעניין יהיה לבדוק אפקטיביות של תוספות זמן בתנאים אלה. שנית, קיים הבדל גדול בין גודל המדגם בכל שלושת הקבוצות שנבדקו (מעל ל-2,000 סטודנטים שאינם לקויים בהשוואה לכ-150 סטודנטים

בשתי קבוצות לקויי הלמידה). מגבלה זו נובעת גם היא מהעובדה שמדובר בנתוני אמת, ולא ניתן היה לשלוט על גודל הקבוצות. לבסוף הניתוח בוצע ללא הבחנה בין סוגי הלקות. ייתכן שהבחנה מסוג זה הייתה מסייעת לזהות את הלקויות שתוספת הזמן בבחינה תורמת להן באופן משמעותי יותר.

ניתן לסכם את תרומתם של ממצאי מחקר זה בשלושה מישורים האישי, הארגוני והארצי:

א. ברמה האישית (רמת הסטודנט), נראה כי מתן תוספת הזמן לסטודנט להנדסה לקויי למידה מאפשר לו למצות את יכולתו האקדמית טוב יותר ומעניק לו תנאים השקולים לאלה של סטודנט ללא לקות תחת ההסתייגויות שצויינו.

ב. ברמה הארגונית (רמת המוסד האקדמי), נראה כי מתן תוספות הזמן הכרוכות במשאבים רבים של זמן וכסף מוצדק ויש להמשיך ולקיים נוהג זה.

ג. ברמת מדיניות ארצית, נראה כי יש להמשיך לאפשר לסטודנטים לקויי למידה לקבל את תוספת הזמן להם זקוקים. הטענה הנשמעת פעמים רבות כי אחוז ניכר מהפונים למכונים אלה אינם לקויי למידה ובכל זאת נמצאים זכאים לתוספת זמן, לא נבדקה במחקר זה ולא ניתן להתייחס אליה במסגרת עבודה זו.

6. מקורות

- דו"ח הועדה לבחינת מיצוי יכולתם של תלמידים עם ליקויי למידה (ועדת מרגלית), יוני 1997.
- המועצה הלאומית לשלום הילד (2007). ילדים מיוחדים בישראל, לקט נתונים.
- חוזר מנכ"ל משרד החינוך תשס"ד/4(ב), 2003.
- קלפר, ד., טורוול, א., אורן, כ. (2014), *תוקף הניבוי של כלי המיון לאוניברסיטאות בישראל מול ממוצע תואר בוגר* (דו"ח מספר 403), ירושלים: מרכז ארצי לבחינות ולהערכה.
- קלפר ד., טורוול א., קנת-כהן ת., אורן כ. (2013). *הוגנות מערכת המיון להשכלה הגבוהה כלפי מבקשי תנאים מותאמים בבחינה הפסיכומטרית (בשפה העברית)*. ירושלים: מרכז ארצי לבחינות ולהערכה.
- Banning, E.B. (2000). *The Archaeologist's Laboratory – The Analysis of Archaeological Data*, New York.
- Belkin, M. & Niyogi, P. (2003). Laplacian eigenmaps for dimensionality reduction and data representation, *Neural Computation*, vol. 15, 1373-1396.
- Belkin, M. & Niyogi, P. (2004). Semi-supervised learning on riemannian manifolds, *Machine Learning*, vol. 56, 209-239.
- Ben-Gal I., Shani A., Gohr A., Grau J., Arviv S., Shmilovici A., Posch S. & Grosse I. (2005). Identification of Transcription Factor Binding Sites with Variable-order Bayesian Networks, *Bioinformatics*, vol. 21 (11), 2657–2666.
- Ben-Gal, I. & Singer, G. (2004). SPC via Context Modeling of Finite State Processes: An Application to Production Monitoring, *IIE Transactions on Quality and Reliability*, Vol 36, 401-415.
- Berry, M. J. A & Linoff, G. (1997), *Data Mining Techniques*, New York.
- Coifman, R.R. & Lafon, S. (2006). Diffusion maps, *Applied and Computational Harmonic Analysis*, vol. 21, pp. 5–30.
- Fuchs, L. S., & Fuchs, D. (1999). Fair and unfair testing accommodations. *School Administrator*, 56, 24–29.
- Fusch, L.S. Fusch, D., Eaton, S.b., Hamlett, C.L., & Karns, K.M. (2000). Supplementing teacher judgments of mathematics test accommodations with objective data sources.

School Psychology Review, 29, 65-85.

Fusch, L.S. & Fusch, D., (2001). Helping Teachers Formulate Sound Test Accommodation Decisions for Students with Learning Disabilities. *Learning Disabilities Research & Practice*, vol 16 (3). 174-181.

Gregg, N. (2009). Accommodations: Evidence-based accommodation research specific to the adolescent and adult population with learning disabilities. In J. Taymens (Ed.). *Learning to Achieve: A Review of the Research Literature on Serving Adults with Learning Disabilities*. (pp.119-180). National Institute for Literacy: Washington, DC.

Gregg, N. (2011). Increasing Access to Learning for the Adult Basic Education learner with learning disabilities: evidence-based accommodation research. *Journal of learning disabilities*, 45 (1), 47-63.

Gregg, N., & Nelson, J.M, (2012). Meta-Analysis on the Effectiveness of Extra Time as a Test accommodation for transitioning adolescents with learning disabilities: More questions than answers. *Journal of Learning Disabilities*, 45(2) 128–138.

Huesman, R., & Frisbie, D (2000). The validity of ITBS reading comprehension test scores for learning disabled and non learning disabled students under extended-time conditions. Paper presented at the annual meeting of the national council on Measurement in Education, New Orleans, LA.

Ian H.W. & Eibe F., (2005). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques* (Second Edition), San Francisco: Diane Cerra

Jiawei H. & Micheline K.(2006). *Data Mining: Concepts and Techniques*, Second Edition, San Francisco: Diane Cerra

Kantardzic & Mehmed (2003). *Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms*. John Wiley & Sons. ISBN 0471228524.

Meloy, L.L., Deville, C. & Frisbie, D.A. (2002). The effect of a read aloud accommodation on test scores of students with and without a learning disability in reading. *Remedial and Special education*, vol 23 (4) 248-255.

Ofiesh, N. S. (2000). Using processing speed tests to predict the benefit of extended test time for university students with learning disabilities. *Journal of Postsecondary Education and Disability*, 14, 39-56.

- Rokach & Maimon (2008). *Data Mining with Decision Trees: Theory and Applications*, World Scientific
- Roweis, S.T. & Sual, L.K. (2000). Nonlinear dimensionality reduction by locally linear embedding, *Science*, vol. 290 , pp. 2323-2326.
- Sireci, S. G., & Parker, P. (2005). Validity on trial: Psychometric and legal conceptualizations of validity, *Educational Measurement: Issues and Practice*, 25, 27–34.
- Witten I., & Frank E. (2005). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques* (Second Edition).
- Singer G. & Ben-Gal I. (2007). The Funnel Experiment: A Markov-Based SPC Approach, *Quality and Reliability Engineering International*, Vol 23, 889-913.
- Stephanie A.L. & Berkely, S. (2012). High-Stakes test accommodations research and practice. *Learning and disability Quarterly*, vol 35 (3) 158-169.
- Thompson, S. Blount, A. & Thurlow, M (2002). A summary of research on the effects of tests accommodations: 1999 through 2001 (Technical Report 34). Minneapolis, MN: University of Minnesota, National Center on Educational Outcomes.
- Vellutino, F. R. (1979). *Dyslexia: Theory and Research*, Cambridge, Ma: MIT Press.
- Zhang, Z. & Zha, H. (2002). *Principal manifolds and nonlinear dimension reduction via local tangent space alignment*, Technical report CSE-02-019 Department of Computer Science and Engineering, Pennsylvania State University.
- Zuriff, G. E. (2000). Extra examination time for students with learning disabilities: An examination of the maximum potential thesis. *Applied Measurement in Education*, 13, 99–117.

7. נספח: תוקף ניבוי לממוצע הלימודים

התוקף נבדק בנפרד מול המנבאים הבאים:

- א. ציון פסיכומטרי
- ב. ציון כמותי בפסיכומטרי
- ג. ציון בגרות כללי
- ד. ציון בגרות במתמטיקה (עבור 5 יחידות 125%, עבור 4 יחידות 120%).
- ה. ציון בגרות באנגלית (עבור 5 יחידות 125%, עבור 4 יחידות 120%).
- ו. ציון בגרות בפיזיקה (עבור 5 יחידות 125%, עבור 4 יחידות 120%).

המתאמים חושבו ברמת מחלקה בכל שנה בנפרד ולאחר מכן חושב מתאם משוקלל לכל שנה בכל המחלקות. החישוב בוצע עבור סטודנטים שהחלו את לימודיהם בין השנים 2004 ועד 2010, כיוון שרק עבור סטודנטים שסיימו את הלימודים (2014) היה אפשרות לדעת את ממוצע הלימודים. בטבלה 14 מוצגים ערכי תוקף הניבוי.

יש לציין את ההסתייגויות הבאות:

- א. בחלק מהשנים והמחלקות חסרים נתונים לגבי חלק ממרכיבי הפסיכומטרי והבגרות.
- ב. לא נעשה תיקון לקיצוץ תחום כיוון שלא נשמרו נתונים לגבי מועמדים שלא התחילו את לימודיהם.
- ג. למחלקה לתעשייה וניהול היו בוגרים החל משנת 2007 ולמחלקה להנדסה רפואית החל משנת 2008. לכן, בשנים קודם, לא מופיעות מחלקות אלה בטבלה.

מנתוני טבלה 14 עולה כי המנבא הטוב ביותר לממוצע הלימודים היה ציון הבגרות בפיזיקה (0.36), שני לו ציון הבגרות במתמטיקה (0.34) ושלישי ציון הפסיכומטרי הכמותי (0.29). ניתן להשוות ממצאים אלה לממצאיהם של קלפר, טורוול ואורן (2014) אשר בדקו תוקף ניבוי לאוניברסיטאות בישראל מול ציון בוגר ומצאו כי (תוצאות ללא תיקון לקיצוץ תחום כפי שמופיעות בלוח 28 שם) ציון הסכם הוא המנבא הטוב ביותר (0.38), שני לו הוא ציון הפסיכומטרי הכללי (0.32) ושלישי הוא ציון הבגרות (0.28), כאשר החלק הכמותי והמילולי לאחר מזה (0.26). מהשוואה זו עולות שתי מסקנות מעניינות: ראשית, ערכי תוקף הניבוי במחקר הנוכחי דומים יחסית בגודלם לאלו של קלפר ועמיתים ושנית, עבור סטודנטים להנדסה מרכיבי הבגרות שכוללים את הבגרות במתמטיקה והפיזיקה מנבאים את ההצלחה בלימודים האקדמיים טוב יותר מאשר הציון הפסיכומטרי הכללי, אולי בגלל אופי המקצועות אותם מלמדים במכללה. נוכח השוואה זו נראה כי קיימת שונות רבה בתוקף הניבוי של החזאים עבור מקצועות אקדמיים ומוסדות אקדמיים שונים, מסקנה אשר נמצאה גם אצל קלפר ועמיתים.

טבלה 14 – תוקף ניבוי של ממוצע בלימודים

פיזיקה	בגרות			פסיכומטרי		מדגם		
	אנגלית	חשבון	כללי	כמותי	כללי			
לא ידוע	0.27	0.24	0.48	לא ידוע	0.40	75	מכנית	2004
0.35	0.14	0.26	-0.13	לא ידוע	0.24	138	חשמל	
0.31	0.05	0.47	0.27	לא ידוע	0.14	73	תוכנה	
0.34	0.15	0.31	0.13	לא ידוע	0.26	286	משוקלל	
0.28	0.03	0.39	-0.06	0.15	0.35	140	מכנית	2005
0.41	0.19	0.35	0.29	0.86	0.24	229	חשמל	
0.23	0.17	0.45	0.02	לא ידוע	0.26	101	תוכנה	
0.33	0.14	0.38	0.13	0.59	0.28	470	משוקלל	
0.18	0.18	0.18	0.04	לא ידוע	0.42	181	מכנית	2006
0.39	0.36	0.31	0.28	לא ידוע	0.35	268	חשמל	
0.33	0.05	0.22	0.19	לא ידוע	0.27	142	תוכנה	
0.31	0.23	0.25	0.19	לא ידוע	0.35	591	משוקלל	
0.33	0.17	0.21	0.22	לא ידוע	0.49	174	מכנית	2007
0.43	0.41	0.35	0.44	לא ידוע	0.37	181	חשמל	
0.43	0.13	0.35	0.20	לא ידוע	0.29	161	תוכנה	
0.15	0.00	0.23	0.10	0.09	0.18	52	תעו"נ	
0.38	0.22	0.30	0.27	0.09	0.37	568	משוקלל	
0.24	0.27	0.27	0.32	0.21	0.09	115	מכנית	2008
0.35	0.03	0.26	0.02	0.23	0.10	45	רפואית	
0.52	0.27	0.45	0.48	0.24	0.13	146	חשמל	
0.35	0.08	0.16	0.15	0.09	0.01	114	תוכנה	
0.10	0.25	0.17	0.23	0.30	0.29	104	תעו"נ	
0.32	0.21	0.27	0.28	0.21	0.12	524	משוקלל	
0.39	0.12	0.06	0.06	0.15	0.25	165	מכנית	2009
-0.27	0.33	0.36	0.45	0.23	0.42	23	רפואית	
0.49	0.40	0.36	0.34	0.18	0.13	115	חשמל	
0.48	0.32	0.34	0.38	0.16	0.27	143	תוכנה	
0.06	0.13	0.00	0.09	0.18	0.15	146	תעו"נ	
0.32	0.24	0.18	0.21	0.17	0.22	592	משוקלל	
0.26	0.23	0.25	0.15	0.05	0.08	150	מכנית	2010
-0.79*	-0.25	0.30	0.45	0.63	0.20	23	רפואית	
0.30	0.15	0.39	0.30	0.18	-0.02	90	חשמל	
-0.24	-0.03	0.04	-0.09	0.43	0.10	102	תוכנה	
-0.30**	0.18	0.33	0.31	0.04	-0.09	107	תעו"נ	
-0.02	0.12	0.25	0.18	0.18	0.03	472	משוקלל	
0.36	0.21	0.34	0.22	0.29	0.28	3,503		

* מבוסס על 6 סטודנטים בלבד ** מבוסס על 16 סטודנטים בלבד