



השפעת קיומם של ערוצי קבלה
"עוקפי פסיכומטרי" על איכות האמידה
של תוקף הבחינה הפסיכומטרית

דוח מחקר

RR
23-01

אוגוסט 2023

דוח מחקר

RR-23-01

ISBN:978-965-502-227-8

השפעת קיומם של ערוצי קבלה "עוקפי פסיכומטרי" על איכות האמידה של תוקף הבחינה הפסיכומטרית

דביר קלפר
תמר קנת-כהן
צור קרליץ

אוגוסט 2023

תוכן עניינים

1.	תקציר	4
2.	מבוא	5
2.1	רקע	5
2.2	סקר ערוצי קבלה	6
2.3	מטרת המחקר הנוכחי	6
3.	שיטה	7
3.1	כללי	7
3.2	משתני המחקר וההנחות שבבסיסם	7
3.3	חוסרים בקריטריון	9
3.4	סיבות לחוסרים בחזאי הפסיכומטרי	9
3.4.1	ערוץ קבלה ישירה לפי בגרות גבוהה	10
3.4.2	ערוץ קורסים	10
3.4.2.1	דירוג על סולם משותף לשתי הקבוצות	11
3.4.2.2	דירוג בכל קבוצה בנפרד וקבלה לפי מכסות קבלה לקבוצות	11
3.5	אפיון הבוחרים בקורסים	12
4.	תוצאות	14
4.1	ערוץ קבלה ישירה לפי בגרות גבוהה	14
4.2	ערוץ קורסים	16
4.2.1	דירוג על סולם משותף	16
4.2.2	דירוג בכל קבוצה בנפרד וקבלה לפי מכסות לקבוצות	17
4.2.2.1	הקבלה בכל קבוצה הינה בהתאם לפרופורציה של הקבלה הכללית	17
4.2.2.2	משתתפי הקורסים הינם 10% מהמתקבלים	18
4.2.2.3	משתתפי הקורסים הינם 50% מהמתקבלים	20
4.3	סיכום כללי	21
5.	סיכום ודיון	25
5.1	השוואה בין שתי הגישות לטיפול בנתונים חסרים – תיקון לקיצוץ תחום ומקסום התוחלת	25
5.2	השוואה בין האופציות השונות של אפיון הבוחרים בקורס	25
5.3	המלצות מעשיות	26
5.4	מגבלות המחקר וחשיבותו	26
5.5	מחקרי המשך	27
6.	מקורות	28

30.....	נספחים	7.
30.....	שיטת מקסום התוחלת (EM – Expectation Maximization)	7.1.
32....	התלות בין שני משתני המחקר כאשר המנגנון הוא אחוז משתתפי הקורסים קבוע	7.2.
33.....	ביצוע הסימולציות בפועל	7.3.
35.....	נוסחאות התיקון הרב-משתני לקיצוץ תחום	7.4.
37.....	קוד מטלב עבור תוכנית המחשב	7.5.

רשימת איורים

- איור 1: ממוצעים וסטיות תקן מעבר ל-1,000 הסימולציות עבור ערוץ קבלה ישירה לפי בגרות גבוהה 15
- איור 2: ממוצעים מעבר ל-1,000 הסימולציות עבור ערוץ קורסים בשיטת דירוג על סולם משותף לשתי הקבוצות 16
- איור 3: ממוצעים מעבר ל-1,000 הסימולציות עבור ערוץ קורסים בשיטת דירוג בכל קבוצה בנפרד וקבלה בכל קבוצה בהתאם לפרופורציה של הקבלה הכללית 18
- איור 4: ממוצעים מעבר ל-1,000 הסימולציות עבור ערוץ קורסים בשיטת דירוג בכל קבוצה בנפרד וריאציה שמשותפי הקורסים מהווים 10% מהמתקבלים 19
- איור 5: ממוצעים מעבר ל-1,000 הסימולציות עבור ערוץ קורסים בשיטת דירוג בכל קבוצה בנפרד וריאציה שמשותפי הקורסים מהווים 50% מהמתקבלים 20

רשימת טבלאות

- טבלה 1: ממוצעים מעבר לסריג של ערכי הממוצע וסטיית התקן מעבר ל-1,000 החזרות 21

1. תקציר

בין 5-10% מהמועמדים ללימודים גבוהים בישראל מתקבלים שלא על בסיס הציון בבחינה הפסיכומטרית. בערוצי קבלה אלו אפשר למנות למשל, קבלה ישירה על פי ממוצע בגרות וביצוע קורסים המהווים תחליף לפסיכומטרי. חלק מהאנשים שהתקבלו באופן זה מעולם לא נבחנו בבחינה הפסיכומטרית, ולכן חסר להם נתון במשתנה זה בבסיס הנתונים המשמש למחקר התוקף.

במחקר תוקף ניבוי משתמשים בנוסחת התיקון לקיצוץ תחום על מנת לנטרל את ההשפעה של הליך הקבלה על המתאם בין החזאי לקריטריון. חישובי תוקף שנעשים במאל"ו מתעלמים הלכה למעשה ממועמדים שאין להם ציון בחזאי שעבורו רוצים לחשב את התוקף. במקרה זה נוצר עיוות באומדן של המתאם האמיתי שקיים באוכלוסיית המועמדים. עם זאת, למועמדים אלה יש ציון קריטריון (למשל, ציון סופי לתואר) וגם חזאי אחד מהשניים (בגרות). בהתאם לכך, ניתן להפעיל שיטות של טיפול בנתונים חסרים, כלומר להכליל מועמדים אלה בחישוב התוקף. המחקר הנוכחי בודק את יישום שיטת מקסום התוחלת (EM) במחקר תוקף ניבוי בהם יש חוסר באחד החזאים.

מטרת המחקר היא להשוות את טיב אמידת המתאם בשיטה הסטנדרטית של התיקון לקיצוץ תחום ובשיטה מתקדמת לטיפול בנתונים חסרים כאשר יש גם חוסרים בחזאי. כל המחקר מבוסס על סימולציות מרובות חזרות.

במחקר אנו מציעים שני ערוצים שיכולים ליצור חוסרים בחזאי:

- א. ערוץ קבלה ישירה לפי בגרות.
- ב. ערוץ קבלה תחליפי לפסיכומטרי (קורסים מקוונים, מכינה, וכו'). במסגרת ערוץ זה נבחנו ארבעה מודלים של מאפייני המשתתפים במנגנון זה: מועמדים בעלי בגרות גבוהה, מועמדים בעלי בגרות נמוכה, מועמדים אקראיים, ומועמדים שצפויים לקבל ציון פסיכומטרי נמוך יחסית.

הממצא המרכזי של המחקר הינו ששיטת מקסום התוחלת מתקנת את התוקף הנצפה באופן כמעט מושלם בכל תנאי המחקר פרט למקרה בו ההשתתפות בערוץ תחליפי לפסיכומטרי נובעת מצפייה לקבלת ציון נמוך בבחינה. עוד נמצא שהתיקון לקיצוץ תחום (התיקון הסטנדרטי) משפר את התוקף הנצפה בכיוון הנכון, אבל כמעט אף פעם לא מגיע לערך האמיתי באוכלוסייה כאשר ישנם חוסרים בחזאי. המקרה היחיד בו התיקון לקיצוץ תחום מתקן את המתאם באופן מושלם הינו התנאי בו השתתפות בערוץ תחליפי לפסיכומטרי של קורסים נעשה באופן אקראי. שיטת מקסום התוחלת עדיפה על השיטה הסטנדרטית בכל התנאים, וגם במקרה של השתתפות אקראית בערוץ תחליפי, למקסום התוחלת יש טעות תקן קטנה יותר מזו של התיקון לקיצוץ תחום.

2. מבוא

2.1. רקע

בבדיקת תוקף הניבוי של מבחן המשמש לברירת מועמדים ללימודים אקדמיים מחשבים מתאם פירסון בין הציון בחזאי (לדוגמה, הציון במבחן הפסיכומטרי) ובין הציון בקריטריון – הביצוע שהמבחן מתעתד לנבא (לדוגמה, ציון הגמר לתואר בוגר). בפועל, המיון ללימודים מתבצע על סמך ציון הסכם (המורכב מהציון הפסיכומטרי וממוצע הבגרות, במשקלות שווים). מועמדים שציון הסכם שלהם נמוך מסף הקבלה לא מתקבלים ללימודים, ולכן אין להם ציון קריטריון (ציון שנה א' או סוף תואר), והם לא נכללים בחישוב המתאם.

אובדן תצפיות אלו מקטין את שונות המשתנים הנכללים בחישוב המתאם, ועל כן פוגע בחישוב המתאם האמיתי בין החזאי לקריטריון (כלומר, המתאם הנצפה אילו כל המועמדים היו מתקבלים ללימודים). במקרים כאלה נהוג לבצע תיקון לקיצוץ תחום שהינו פרוצדורה סטטיסטית שנועדה להתגבר על הפגיעה במתאם המחושב על בסיס האוכלוסייה "המקוצצת". גישה אחרת לטיפול בתופעה מתייחסת להליך הברירה כהליך שגורם לחוסר במשתנה הקריטריון ובמקרה זה אפשר להפעיל שיטות של טיפול בנתונים חסרים. מחקרים קודמים הראו ששימוש בשיטות אלו מתקן את המתאם ברמה שקולה לזו המתקבלת מהפרוצדורה הסטנדרטית של תיקון לקיצוץ תחום (Wiberg, Sundström, 2009; Pfaffel, Kollmayer, Schober & Spiel 2016; Zimmermann, Klusmann & Hampe, 2017).

חוסר נוסף שיכול להיווצר במסד הנתונים הוא חוסר בחזאי, כלומר בציון הפסיכומטרי. מצב זה ייתכן במקרים בהם ישנם ערוצי קבלה ללימודים שאינם מחייבים ציון בבחינה הפסיכומטרית. ניתוחי התוקף שנעשו עד כה במאל"ו מתעלמים ממקרים של חוסר בחזאי, כיוון שניתוחים אלה מבוססים על נתונים מלאים בחזאים – listwise deletion. תצפיות אלו לא תורמות לחישוב, שהרי אין להם ציון בחזאי שעבורו אנו רוצים לחשב את תוקף הניבוי. סביר להניח שמחיקה של תצפיות כאלו יוצרת עיוות באומדן המתקבל עבור המתאם האמיתי באוכלוסיית המועמדים. כמו כן, סביר להניח שאפשר להשתמש בנתוני המועמדים האלו, משום שיש להם ציון קריטריון וגם חזאי אחד מהשניים (בגרות), ושני המשתנים האלה מתואמים במידה כלשהי עם החזאי החסר.

בדרך כלל, החוסר שנגרם בחזאי נובע ממשנתנה אחר שקיים בבסיס הנתונים. לדוגמה, סביר להניח שחלק מהמועמדים שאין להם ציון פסיכומטרי התקבלו ללימודים על סמך ממוצע בגרות גבוה במיוחד. מנגנון כזה של חוסרים נקרא חוסרים באקראי¹ – MAR=Missing At Random. היות שהליך הקבלה למוסד (כלומר, דחייה של מועמדים חלשים על בסיס החזאים), מתבטא בחוסר במשתנה

¹ להרחבה על מנגנוני חוסרים, ראו נספח לדוח מחקר 22-01 (קלפר, קנת-כהן, כהן וקרליץ, 2022), או ספרו של אנדרס (Enders, 2010).

הקריטריון, ניתן לומר שגם הוא משקף מנגנון חוסרים מסוג MAR. כלומר, בתהליך הקבלה יש מצב של חוסרים בשני משתנים (החזאי ו/או הקריטריון), ששניהם חוסרים מסוג MAR. ישנן שתי שיטות מתקדמות לטיפול בנתונים חסרים שאמורות להתמודד היטב עם מקרים כאלו: שיטת ההשלמות המרובות (MI=Multiple Imputation) ושיטת מקסום התוחלת (EM=Expectation Maximization). יישום של שיטות אלו יאפשר לנו לחקור את התוקף גם במצבים בהם לנבחן אין ציון בבחינה הפסיכומטרית, כך שהמסקנות יתבססו על בסיס נתונים יותר מלא ומקיף.

2.2. סקר ערוצי קבלה

כאמור, המחקר הנוכחי עוסק במקרים בהם קיים חוסר בחזאי, ובאופן ספציפי, העדר ציון פסיכומטרי. על מנת להבין טוב יותר את המנגנונים השונים המובילים למצב כזה, ביצענו סקר של ערוצי קבלה "עוקפי פסיכומטרי" (קנת-כהן, 2022). הסקר כלל שאלון אינטרנטי לנציגים של יחידות המיון במוסדות להשכלה גבוהה, ושיחות אישיות עם אותם נציגים. להלן הממצאים העיקריים: באופן כללי, קיימים שלושה ערוצי קבלה ללא ציון פסיכומטרי:

1. קבלה ישירה על פי ציוני הבגרות (ממוצע הציונים ו/או ציונים במקצועות בגרות מסוימים) – בין 2%-20% מהמועמדים, כתלות במוסד.
 2. קבלה על פי ציוני הבגרות + חלופה לציון הפסיכומטרי (ממוצע ציון בקורסים מקוונים, ציון במבחן חלופי וכו') – בין 1%-10%, כתלות במוסד.
 3. קבלה על פי חלופה לציוני הבגרות ולציון הפסיכומטרי – פחות מ 2.5% בכל המוסדות.
- נושא נוסף שנבדק הוא אפיון המתקבלים בערוצי קבלה ללא פסיכומטרי. תוצאות הסקר ממחישות שמדובר באוכלוסייה מגוונת מבחינת רמת ההישגים בבגרות או בפסיכומטרי.

2.3. מטרת המחקר הנוכחי

מטרת המחקר הנוכחי היא להשוות את טיב התיקון לקיצוץ תחום (השיטה הסטנדרטית) לבין תיקון בשיטת טיפול בנתונים חסרים, במקרה בו קיים חוסר בחזאי שעבורו רוצים לחשב את תוקף הניבוי. התיקונים מנסים לענות על השאלה הבאה: מה היה המתאם (תוקף הניבוי) בין הציון הפסיכומטרי לבין ציוני שנה א' לו האוניברסיטה הייתה מקבלת את כל המועמדים ובנוסף, לא הייתה מאפשרת קבלה ללא ציון פסיכומטרי?

ידוע מכבר ששתי השיטות, תיקון לקיצוץ תחום וזו של טיפול בנתונים חסרים, יודעות להתמודד עם החלק הראשון בשאלה, ונשאלת השאלה כיצד מתמודדות שתי שיטות אילו עם החלק השני בשאלה שהוא החידוש במחקר הנוכחי.

3. שיטה

3.1. כללי

המחקר הנוכחי בודק את איכות האמידה של המתאם בין החזאי לקריטריון באוכלוסייה תחת תנאים שונים של חוסר באחד החזאים. כלומר, המחקר ידגים את השפעת ההיקף ואפיונים נוספים של הנתונים החסרים וכן שיטת הטיפול בהם, על המתאם הנאמד. במחקר נשתמש בשיטה הסטנדרטית שמיישמת את נוסחת התיקון לקיצוץ תחום וכן בשיטת מקסום התוחלת לטיפול בנתונים חסרים (עוד על שיטת מקסום התוחלת ניתן לקרוא בנספח 7.1). המחקר משתמש בסימולציות כדי לדמות מצבים שונים בהם חסר ציון פסיכומטרי עבור חלק מהמועמדים בבסיס הנתונים. כמקובל במחקרי הדמיה, יש לחזור על הסימולציות מספר רב של פעמים בכל תנאי, על מנת שתתקבלנה תוצאות יציבות (מספר החזרות נקבע על 1,000). בפרק זה נציג את משתני המחקר, נסביר מהם המנגנונים השונים שיכולים ליצור חוסרים בציון הפסיכומטרי, וכיצד בחרנו למדל את המנגנונים האלה במחקר. בנספח 7.3 מובא פירוט טכני של ביצוע הסימולציות בפועל עבור אחת האופציות של המידול.

3.2. משתני המחקר וההנחות שבבסיסם

לצורך המחקר הוגדרו שלושה משתנים בסיסים ברמת התצפית (מועמד ללימודים), משתנה רביעי הוגדר רק עבור ערוץ קבלה הכולל השתתפות בקורסים², ומשתנה חמישי אשר מייצג את ציון הסכם המחושב מתוך החזאים:

- **משתנה חזאי X_1** – מייצג את **הציון בבחינה הפסיכומטרית**. בהמשך נפרט את המנגנונים שיכולים להוביל לחוסר במשתנה זה.
- **משתנה חזאי X_2** – מייצג את **ציון הבגרות** אשר משמש כמרכיב של ציון הסכם עליו מתבצע תהליך המיון. ציון הבגרות יכול להוות סיבה לחוסרים בפסיכומטרי (באופן ישיר או עקיף). משתנה זה תמיד נמצא במלואו עבור כל המועמדים בבסיס הנתונים.
- **משתנה קריטריון Y** – מייצג עבורנו **ציון סופי לתואר** (או ציון שנה א'). המשתנה קיים רק עבור אלו שסיימו את התואר כולו (או לפחות את שנה א').
- **משתנה סמוי Z** – בערוץ קבלה המבוסס על השתתפות בקורסים, משתנה זה מייצג את **הציון הסופי במסגרת הקורסים**. המשתנה הוא סמוי כיוון שאינו קיים במאגר הנתונים של מאל"ו אלא רק בנתונים של מקבלי ההחלטות בכל מוסד. על כן, לא נעשה בו שימוש לאמידת התוקף, אלא רק לצורך חישוב הסכם לצורך קבלת החלטות מיון. בהמשך נסביר כיצד נקבע מי מבין המועמדים משתתף בערוץ מבוסס קורסים, ועל כן מקבל נתון במשתנה Z .
- **משתנה חזאי C** – משקף את **ציון הסכם** המשמש למיון. משתנה זה מחושב כממוצע (במשקולות שווים) של משתנה החזאי בגרות X_2 עם משתנה חזאי X_1 (פסיכומטרי) או

² ערוץ 2 בתת-פרק 2.2.

משתנה ציון הקורסים Z (במידה והמועמד השתתף במסגרת זו). לפני החישוב אנו מתקננים את כל אחד משני המשתנים (על החלק המשותף) המרכיבים את הסכם בנפרד לממוצע 0 ושונות 1. קבלה למוסד לימודים מתבססת על ציון הסכם בכל המקרים פרט למקרה של קבלה ישירה לפי בגרות.

לצורך דגימת הנתונים בסימולציות נקבעו מספר הנחות בסיס לגבי אוכלוסיית המחקר. בכל הסימולציות נקבע ערך קבוע המייצג את המתאם בין הבגרות לפסיכומטרי באוכלוסיית המועמדים למוסדות להשכלה גבוהה והוא 0.65. המתאם בין הבגרות לציוני סוף התואר והמתאם של הציון הפסיכומטרי וציון סוף התואר נקבעו לערכים הממוצעים שהתקבלו במחקרי התוקף של מאל"ו (קלפר, טורוול ואורן, 2014; קנת-כהן, ברנרן ואורן, 2021), כלומר מתאם מתוקן של 0.4. קביעת ערכים אלו משקפת את המיקוד של המחקר בטיב התיקונים שמתקבלים בשיטות שונות ובתנאים שונים של חוסרים ולא בהשתנות של התיקונים כפונקציה של מתאמים שונים. בהתאם לגישה זו, קבענו את גודל האוכלוסייה במחקר על גודל של $N=500$ מועמדים. הנחה נוספת היא ש-3 המשתנים הבסיסים (X_1, X_2, Y) באים מתוך התפלגות רב-נורמלית סטנדרטית (ממוצע 0 ושונות 1) עם המתאמים שהוזכרו לעיל.

המתאם של הציון הפסיכומטרי עם ציון סוף התואר הינו הערך שאליו אנו משווים את אומדן התוקף שמתקבל לאחר ביצוע הפרוצדורות השונות (נוסחת תיקון/טיפול בחסרים). בהתאם לכך, ביצירה של הנתונים עבור סימולציה מסוימת יש לדאוג שהמתאם המתקבל בנתונים הוא קרוב מספיק למתאם המבוקש. לשם כך דרשנו דיוק של 0.005, כלומר שהשתמשנו רק במדגמים בהם המתאם בין הציון הפסיכומטרי לציון סוף התואר היה בין 0.395 ל-0.405. דגימה זו מאפשרת לנו להתייחס לערך 0.4 כמשקף את המתאם האמתי באוכלוסייה. על מנת לזרז את הסימולציה והיות ושני המתאמים האחרים פחות מהותיים לפרשנות התוצאות, נדרוש עבורם דיוק בדגימה של 0.02. נשים לב שאנחנו לא דורשים רמת דיוק כלשהיא לגבי שאר הפרמטרים בהתפלגות הרב-נורמלית (כלומר לא דורשים דיוק דומה עבור הממוצעים והשונות). בהתאם לכך, תהיה שונות בין המדגמים השונים, ומכאן החשיבות של ביצוע מספר רב של חזרות על כל תנאי בסימולציה.

לבסוף, המשתנה המשקף ציון בקורסים, Z , יהיה גם הוא נורמלי עם ממוצע 0 ושונות 1, כאשר המתאם שלו עם הבגרות (X_2) נשאר קבוע כל הסימולציות על ערך של 0.7³. כלומר, משתנה זה מסביר כ-50% מהשונות במשתנה הבגרות.

³ בהתאם לכך המשתנה יבנה לפי הנוסחה הבאה: $Z = 0.7X_2 + \sqrt{1 - 0.7^2}N$, כאשר N הינו משתנה נורמלי סטנדרטי בלתי תלוי. בנייה שכזו של המשתנה Z מבטיחה שיש לו מתאם 0.7 עם X_2 , ושהינו עם ממוצע 0 ושונות 1 והיותו נורמלי אף הוא.

3.3. חוסרים בקריטריון

בתהליך המיון מתבצעת ברירה של הטובים ביותר מבין המועמדים, כך שלא כל המועמדים מתקבלים בסופו של דבר. כיוון שהמחקר עוסק, בין היתר, בהשפעת היקף הנתונים החסרים בקריטריון על המתאם הנאמד, אנו נמדל את אחוז הנדחים מקרב המועמדים. פרמטר זה יסומן כ- $rej=rejected$. לדוגמה, ערך 0 בפרמטר זה משקף 0% נדחים, או במילים אחרות, קבלה מלאה של כולם. לעומתו, ערך של 1 בפרמטר זה מתאים לדחייה מלאה של כולם. כמובן שדחייה מוחלטת של כל המועמדים אינה סבירה, ולכן קבענו את הערך המקסימלי של rej על 0.6. פרמטר זה משתנה בצורה רציפה, בקפיצות של 0.05, מערך של 0 עד לערך של 0.6. בנוסף, rej הינו פרמטר המשותף לשני הערוצים הגורמים לנתונים חסרים בחזאי הפסיכומטרי, וזאת כפי שיוסבר בהמשך.

3.4. סיבות לחוסרים בחזאי הפסיכומטרי

הנחת הבסיס במחקר זה היא שלמועמדים שהתקבלו ללימודים בערוץ עוקף פסיכומטרי, אין ציון פסיכומטרי בנתונים. מסקר יחידות המיון עולה שלחלק גדול מקרב המתקבלים בערוצים אלה יש ציון פסיכומטרי, ואין בנתונים שום אינדיקציה לגבי הערוץ בו התקבלו ללימודים. על כן, הנחה שלנו מהווה פישוט פרקטי של מציאות מורכבת הרבה יותר.

הסוגיה האחרת בהקשר זה היא מאפייני המנגנונים של קבלה עוקפת פסיכומטרי. בהתאם לסקר ערוצי הקבלה (פרק 2.2), אנו מציעים שני ערוצי קבלה שיכולים ליצור חוסרים בפסיכומטרי: ערוץ אחד המבוסס על קבלה ישירה⁴ לפי בגרות גבוהה וערוץ שני המבוסס על קבלה על בסיס השתתפות בקורסים מחליפי פסיכומטרי (מעתה ולצורך קיצור – יקרא ערוץ קורסים). לערוץ השני המוצע קיימות שתי שיטות לדירוג המועמדים: דירוג על סולם משותף לשתי הקבוצות בו כולם מתחרים מול כולם, והשני דירוג בכל קבוצה בנפרד ומכסות קבלה לקבוצות (להלן, מכסות קבלה לקבוצות). נרחיב על שתי שיטות דירוג המועמדים האלה בהמשך. בעיקרון, קיימת גם אפשרות של עשיית קורסים עומדים בפני עצמם⁵. כיוון שבסקר ערוצי הקבלה (פרק 2.2) נמצא שאפשרות זו (אפשרות 3 שם) כמעט ואינה מתממשת בפועל, החלטנו לא לכלול את הערוץ הזה במחקר.

משמעות הנחת הבסיס עבור הערוץ של קבלה ישירה זה שאם אין לך ציון פסיכומטרי בבסיס הנתונים סימן שהתקבלת ללימודים. לעומת זאת, בערוץ הקורסים, בהחלט יתכן מצב שלמועמדים אין ציון פסיכומטרי, אולם הם לא התקבלו ללימודים.

⁴ הכוונה במינוח "ישירה" הוא שהמועמד לא צריך לעשות שום דבר נוסף (סוג של קבלה אוטומטית), וזאת בניגוד לערוץ הקבלה השני שאנו מציעים בו המועמד צריך לעשות עוד משהו (למשל קורסים).

⁵ לדוגמה, כשהאוניברסיטה דורשת רק קיום בגרות לקבלה לערוץ הקורסים או להליך קבלה של "אפיק מעבר" בו המועמד נרשם לחוג שקל להתקבל אליו (או למשל לאוניברסיטה הפתוחה שבה אין שום תנאים לקבלה), ודרכו הוא מתקבל ללימודים בחוג אחר לאחר השלמת שנת לימודים.

לבסוף נעיר ששני הערוצים שנתאר להלן הינם הליכי קבלה מורכבים בהם לא מתבצעת קבלה לפי משתנה יחיד (סכם למשל). הנוסחה לתיקון עבור ברירה רב-משתנית (Gulliksen, 1987) מתאימה לנסיבות אלה. על כן, במחקר זה, התיקון הסטנדרטי מיושם על ידי שימוש בתיקון הרב-משתני והוא ישווה לשיטת מקסום התוחלת לטיפול בנתונים חסרים.

3.4.1. ערוץ קבלה ישירה לפי בגרות גבוהה

בתהליך המיון ללימודים גבוהים, מועמדים מתקבלים בהתאם לגובה ציון הסכם שלהם. בערוץ קבלה ישירה לפי בגרות, מועמדים עם ציון בגרות גבוה מתקבלים באופן אוטומטי ללימודים. במקרה זה נגדיר פרמטר נוסף לצורך מידול הערוץ. פרמטר זה הינו אחוז המועמדים שהתקבלו באופן אוטומטי (כלומר רק על בסיס בגרות גבוהה) מתוך כלל המתקבלים ללימודים⁶. נסמן פרמטר זה ב- $aafa = \text{automatic acceptance from acceptance}$. לדוגמה, נניח שישנם 500 מועמדים, ומתקבלים רק 300 (כלומר דחייה של $rej = 0.4$), אזי משמעות ערך של $aafa = 0.2$ היא כי $0.2 * 300 = 60$ בעלי הציונים הגבוהים ביותר בבגרות יתקבלו אוטומטית. למועמדים אלה לא יהיה ציון פסיכומטרי בבסיס הנתונים. שאר המתקבלים (כלומר $300 - 60 = 240$ מועמדים) יתקבלו לפי הסכם הגבוה ביותר. במקרה זה, החוסרים בחזאי הפסיכומטרי מהווים $(1 - rej) * aafa = 0.6 * 0.2 = 0.12$ מהמועמדים, והינם לינארים במשתנה $aafa$. אחוז החוסרים הכללי בנתונים במקרה זה מורכב מאחוז החוסרים בקריטריון (rej) ואחוז החוסרים בחזאי הפסיכומטרי $(1 - rej) * aafa$, או במקרה זה $0.4 + 0.6 * 0.2 = 0.52$ מכלל המועמדים⁷. בדומה ל rej , הערכים של $aafa$ ינועו בין 0 ל-0.6 בקפיצות של 0.05.

3.4.2. ערוץ קורסים

מדיניות הקבלה קובעת שציוני הקורס ישמשו כתחליף לציון הפסיכומטרי בחישוב הסכם. כלומר מחושב ציון סכם עבור המועמדים כממוצע של בגרות ופסיכומטרי עבור מי שלא השתתף בקורסים, וכממוצע של בגרות וציון הקורס עבור אלו שבחרו בערוץ זה. כמו תמיד מועמדים יתקבלו ללימודים על בסיס גובה ציון הסכם שלהם.

כאמור, אנו נמדל את ערוץ הקורסים בשתי שיטות של דירוג המועמדים – (א) דירוג על סולם משותף לשתי הקבוצות, (ב) דירוג בכל קבוצה בנפרד וקבלה לפי מכסות קבלה לקבוצות.

⁶ לו זה היה מתוך המועמדים (דבר שעל פניו יותר טבעי ונוח להבנה), שני הפרמטרים היו תלויים ולא חופשיים להשתנות באופן עצמאי, וזאת משום שלא ייתכן שהחלק של אנשים שמתקבלים אוטומטית ($aafa$) יהיה יותר גדול מאשר החלק הכללי של המתקבלים $(1 - rej)$.
⁷ נעיר שלמרות שהחוסר במשתנה הפסיכומטרי יורד ככול ש- rej גדל, כמות החוסרים הכללית: $rej + aafa - rej * aafa$ גדלה כתלות בשני משתני החוסר בנפרד: $aafa$ ו- rej .

3.4.2.1. דירוג על סולם משותף לשתי הקבוצות

ההחלטה כיצד לבחור את המתקבלים מקרב המועמדים מתבצעת לפי העיקרון שכולם מתחרים מול כולם: מועמדים מתקבלים לפי גובה ציון הסכם שלהם, ללא קשר לקבוצה בה השתתפו. ההנחה כאן היא שציון תקן בקורס שקול לציון תקן בפסיכומטרי.

במקרה זה נשתמש בפרמטר שמשקף את אחוז המשתתפים בקורסים מקרב המועמדים. פרמטר זה יסומן ב- $cc=chose\ courses$, וינוע בקפיצות של 0.05, מערך של 0 עד לערך של 0.6. פרמטר זה אינו תלוי בערכו של הפרמטר הראשון (דחייה= rej) ולכן התחום שעבורו יסומלצו נתונים הינו סריג ריבועי $[0,0.6] \times [0,0.6]$.

3.4.2.2. דירוג בכל קבוצה בנפרד וקבלה לפי מכסות קבלה לקבוצות

בדומה לשיטה הקודמת, גם כאן הפרמטר הנוסף משקף את אחוז המשתתפים בקורסים מקרב המועמדים, ויסומן ב- $cc=chose\ courses$. פרמטר זה ינוע בקפיצות של 0.05, מערך של 0 עד לערך של 0.6.

כאן ההחלטה כיצד לבחור את המתקבלים מקרב המועמדים מתבצעת לפי דירוג בתוך כל קבוצה בנפרד, כלומר המועמדים מתקבלים לפי גובה ציון הסכם שלהם בנפרד בכל קבוצה (סכם רגיל או סכם על בסיס בגרות וקורסים) ותתכנה 3 וריאציות בהתאם למכסה קבועה המגדירה את אחוז משתתפי הקורסים שהתקבלו ללימודים מתוך כלל המתקבלים:

- אחוז משתתפי הקורסים בקרב המתקבלים = פרופורציית משתתפי הקורסים במועמדים. תנאי זה שקול לכך שהקבלה בכל קבוצה הינה בהתאם לפרופורציה של הקבלה הכללית⁸. כלומר, אם בסך הכל מתקבלים 60%, אזי יתקבלו 60% מהמועמדים בכל אחת משתי הקבוצות.
- אחוז משתתפי הקורסים בקרב המתקבלים = 10% בדיוק – ערך ראלי, בהתבסס על תוצאות סקר הקבלה⁹.
- אחוז משתתפי הקורסים בקרב המתקבלים = 50% בדיוק – ערך מקסימלי, בהתבסס על תוצאות סקר הקבלה.

שתי הווריאציות האחרונות נועדו לבדוק באופן ישיר כיצד מושפעים שתי השיטות מאחוז חסרי הציון הפסיכומטרי בקרב המתקבלים על ידי כך שהם יוצרים מגבלה על אחוז משתתפי הקורסים מקרב המתקבלים.

⁸ מדוע זה שקול? בהנחה שהקבלה בכל קבוצה הינה בהתאם לפרופורציית הקבלה הכללית $(1-rej)$, והיות ומספר משתתפי הקורסים הוא $N*cc$, מתקבלים במשתתפי הקורסים $N*cc*(1-rej)$. לכן משתתפי הקורסים שהתקבלו $N*cc*(1-rej)$ חלקי המתקבלים $N*(1-rej)$ הוא cc שזה בדיוק (לפי הגדרתנו) פרופורציית משתתפי הקורסים במועמדים.

⁹ שקול לתנאי הפרקטי שהמתקבלים מתוך משתתפי הקורסים מהווים בדיוק 10% מסך המתקבלים הכללי.

בווריאציה הראשונה לעיל אין תלות בין שני הפרמטרים cc ו- rej . בהתאם לכך התחום שעבורו יסומלצו הנתונים הינו סריג ריבועי $[0,0.6] \times [0,0.6]$.

לעומת זאת, שתי הווריאציות האחרונות יוצרות תלות בין שני הפרמטרים, כפי שמפורט להלן, וביתר הרחבה בנספח 7.2.

עבור הווריאציה שבה 10% מהמתקבלים השתתפו בקורס

$$0.1 * (1 - rej) \leq cc \leq 0.1 + 0.9 * rej$$

עבור הווריאציה שבה 50% מהמתקבלים השתתפו בקורס

$$0.5 * (1 - rej) \leq cc \leq 0.5 + 0.5 * rej$$

המשמעות של שני התנאים לעיל היא שהתחום שעבורו יסומלצו הנתונים יהיה משולש (בניגוד לתחום ריבועי שיתקבל בווריאציה הראשונה). עוד נעיר ששתי הווריאציות לעיל יוצרות שני משולשים שונים בצורתם.

3.5 אפיון הבוחרים בקורסים

עד כה הגדרנו את ההשתתפות בערוץ הקורסים רק בעזרת הפרמטר cc שקובע את אחוז משתתפי הקורסים מקרב המועמדים. אולם, מי הם המועמדים הבוחרים להשתתף בקורסים? נזכיר שהמשתנה Z קובע את הציון בקורסים עבור המשתתפים בערוץ זה. כדי לקבוע לאיזה מועמד יסומלץ ערך במשתנה זה ולאיזה מועמד לא¹⁰, הגדרנו ארבעה אפיונים אפשריים של הבוחרים להשתתף בקורסים:

- ציון בגרות גבוה – מועמדים חזקים עשויים לבחור בקורסים מתוך אמונה שיש להם סיכוי טוב להצליח בקורס עם פחות השקעה (לעומת ההשקעה הנדרשת להצלחה בפסיכומטרי). ערך במשתנה Z יינתן רק לגבוהים בבגרות (X_2).
- ציון בגרות נמוך – מועמדים חלשים עשויים לבחור בקורסים מתוך חשש שלא יצליחו בבחינה הפסיכומטרית, ולא משתלם להם לשפר את ציון הבגרות. הם יעדיפו להשקיע בקורס קצר ומרוכז. ערך במשתנה Z יינתן רק לנמוכים בבגרות.
- אקראי – מועמדים שבוחרים להשתתף בקורסים עושים זאת ממגוון סיבות שאינן קשורות בהכרח להישגיהם בבגרות. על כן, קיים מתאם 0 בין אלו שבחרו בקורסים לבין ציון הבגרות שלהם. ערך במשתנה Z יינתן באופן אקראי למועמדים.

¹⁰ בפועל זה יבוצע על ידי מחיקת ציונים של אלו שלא עשו קורסים. כלומר, לכול מועמד ניתן בהתחלה ציון קורסים Z (כמו שלכול אחד יש ציון פסיכומטרי בהתחלה), כאשר אנו נמחוק בסימולציה את ציון הקורסים לאנשים שהחליטו שלא לעשות קורסים (ואז בפועל נשאיר ציון קורסים רק לאלו שהחליטו לעשות). נזכיר בעניין זה שבכול מקרה ציון הקורס הינו משתנה סמוי ואינו נכנס בשום מקרה לאמידת התוקף.

- צפי לציון נמוך בבחינה הפסיכומטרית – מועמדים שמאמינים שלו היו נבחנים בבחינה הפסיכומטרית, ציונם היה נמוך מדי, ולכן מעדיפים להשתתף בקורס. בגלל המתאם הגבוה בין בגרות לפסיכומטרי, תנאי זה דומה למקרה של בגרות נמוכה. ערך במשתנה Z יינתן למועמדים בעלי ציון פסיכומטרי נמוך.

4. תוצאות

בחלק זה מוצגות תוצאות הסימולציות השונות שערכנו. הפרק מחולק לשני חלקים בהתאם לערוצים השונים אותם הצענו למידול החוסרים בפסיכומטרי: ערוץ קבלה אוטומטית וערוץ קורסים. ערוץ הקורסים מחולק לשניים לפי שיטת הדירוג: דירוג המועמדים על סולם משותף ודירוג בכל קבוצה בנפרד ומכסות קבלה לקבוצות. שיטת הדירוג האחרונה מחולקת בעצמה לשלושה ווריאציות קבלה שונים לפי אחוז משתתפי הקורסים מתוך המתקבלים: שווה לאחוז שלהם בקרב המועמדים, שווה ל-10% או שווה ל-50%.

עבור ערוץ הקורסים אנו מציגים ארבעה סטים של גרפים בהתאם לאפיון הבוחרים בקורסים: בגרות גבוהה, בגרות נמוכה, אקראי ופסיכומטרי נמוך. לבסוף, תת-הפרק האחרון כולל טבלה המהווה סיכום כמותי (מיצוע מעבר לסריג של אחוז דחייה ואחוז קבלה ישירה/משתתפי קורסים) עבור כל מידול בנפרד.

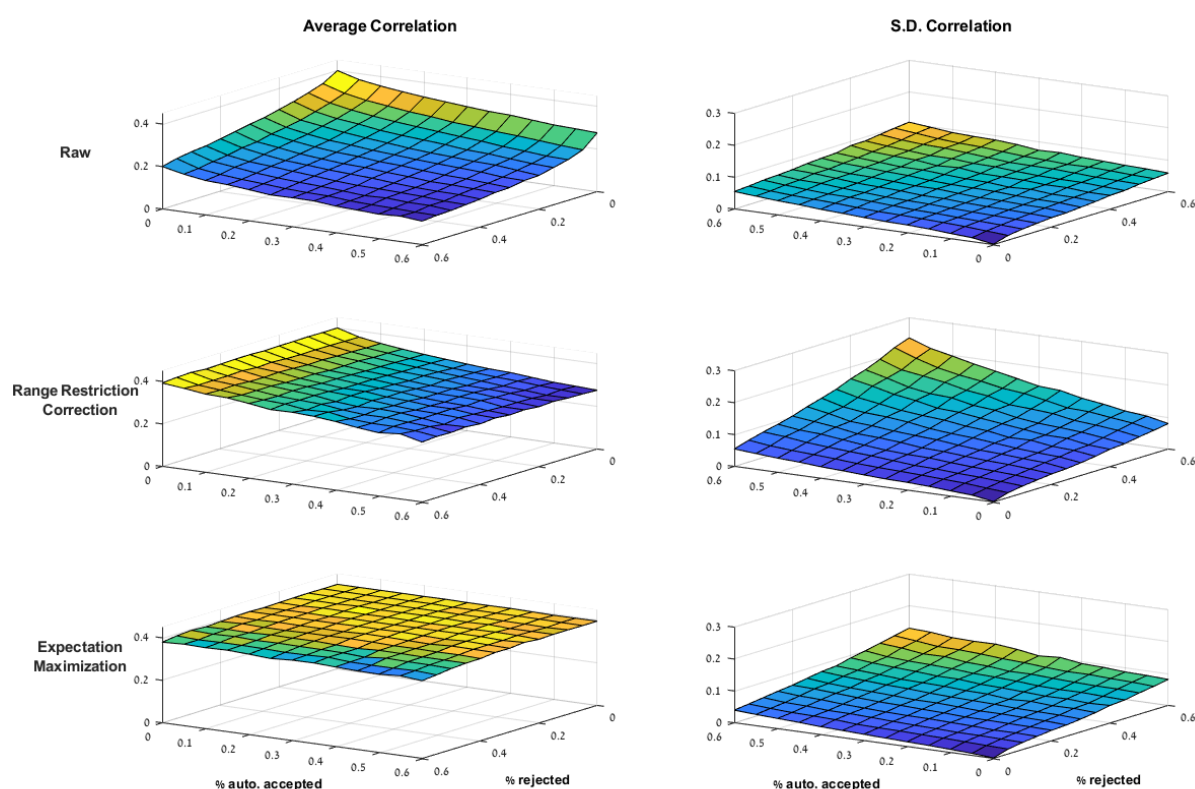
עבור כל אחד מהתנאים לעיל יוצגו שלושה גרפים: גרף התוקף הנצפה, גרף התוקף לאחר התיקון לקיצוץ תחום וגרף התוקף לאחר הפעלת שיטת מקסום התוחלת. כל נקודה בסריג המופיעה בגרף הינה תוצאה של מיצוע 1,000 חזרות על תנאי הסימולציה. בנוסף, חושבו גם סטיות התקן של 1,000 החזרות השונות בסימולציה, וזאת כדי לקבל אומדן של טעות התקן. כדי לא להעמיס על הקורא, אנו נציג את סט הגרפים עבור סטיות התקן רק עבור הערוץ של קבלה אוטומטית. בטבלה המסכמת בחלק האחרון של התוצאות נציג את סטיות התקן עבור כל המקרים.

4.1 ערוץ קבלה ישירה לפי בגרות גבוהה

באיור 1, מוצגים גרפים המסכמים את התוצאות מעבר ל-1,000 החזרות של הסימולציות. הצירים מייצגים את אחוז הדחייה מלימודים, אחוז המועמדים שהתקבלו אוטומטית ללימודים וגודל תוקף הניבוי. הגרפים בשורות 1-3 מציגים את התוצאות עבור התוקף הנצפה, התיקון לקיצוץ תחום וטיפול בשיטת מקסום התוחלת, בהתאמה. בעמודה השמאלית מוצגים ממוצעי הסימולציות מעבר ל-1,000 חזרות ובעמודה הימנית מוצגות סטיות התקן¹¹.

¹¹ שימו לב שהצירים עבור גרפי סטיות התקן (עמודה ימנית) הפוכים בכיוונם מאלו של הממוצעים; הסיבה לכך היא שכדי שיהיה ניתן לראות גרף תלת מימדי על משטח דו-מימדי בצורה ברורה, הערך הגבוה בו צריך כמובן להיות רחוק מהצופה.

איור 1: ממוצעים וסטיית תקן מעבר ל-1,000 הסימולציות עבור ערוץ קבלה ישירה לפי בגרות גבוהה



בעמודה השמאלית אפשר לראות שהתוקף הנצפה יורד ככל שאחוז הדחייה עולה וככל שאחוז הקבלה האוטומטית עולה. לעומת זאת, התוקף המתוקן לקיצוץ תחום אינו מושפע מאחוז הדחייה ויורד רק עם העלייה באחוז הקבלה האוטומטית. התוצאות הטובות ביותר מתקבלות עבור התוקף המתוקן בשיטת מקסום התוחלת. כאן התוקף כמעט שאינו משתנה בעקבות שינוי באחוז הדחייה או אחוז הקבלה האוטומטית. נציין שאם היינו מרחיבים את טווח הפרמטרים אכן הייתה מתקבלת ירידה בתוקף המתוקן בעקבות עלייה באחוז הדחייה. שני הממצאים האחרונים מראים למעשה שהתיקון לקיצוץ תחום מצליח להתגבר על חוסרים בקריטריון שנוצרים בעקבות דחיית מועמדים, אך אינו מצליח להתגבר על החוסרים בחזאי שנובעים מהקבלה האוטומטית. לעומתו, שיטת מקסום התוחלת מצליחה לתקן את המתאם שנובע מחוסרים הן בקריטריון והן בחזאי.

מהסתכלות על סטיות התקן בעמודה הימנית אפשר לראות שכמצופה, הנקודה בה $rej=aafa=0$ הינה בעלת הערך הנמוך ביותר של סטיית התקן. זאת משום שאם אין דחייה בכלל (כלומר מקבלים את כולם) ואין מועמדים בערוץ הקבלה האוטומטית, אז אין למעשה חוסרים בנתונים¹². באופן דומה

¹² זהו מצב ללא חוסרים בכלל וההבדל היחידי בין 1,000 הסימולציות נובע מן המדגמים השונים. למשל נזכיר שאנו דאגנו לכך שהמתאם בכל אחד מ-1,000 המדגמים בין החזאי לקריטריון ינוע רק בטווח של $[0.395, 0.405]$, כלומר ± 0.005 מהערך האמיתי של 0.4. דרישה זו (ודומותיה) יוצרות את סטיית התקן המינימלית בין המדגמים שהינה מאוד קרובה לערך 0.

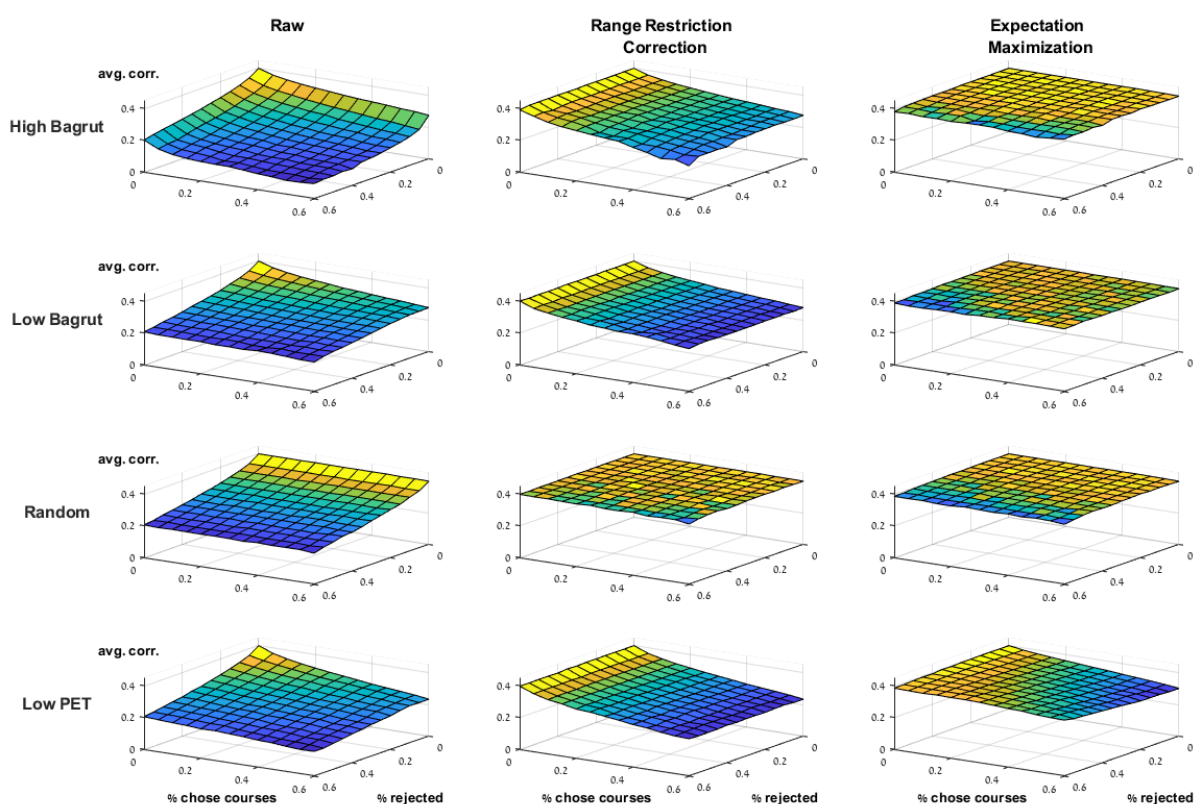
הנקודה $rej=aa\alpha=0.6$ הינה בעלת הערך המקסימלי של סטיית התקן היות ועבור ערכי פרמטרים אלו יש הכי הרבה שונות בין המדגמים השונים. עוד ניתן לראות שלגרף של תיקון לקיצוץ תחום יש שיפוע גדול יחסית לגרף של מקסום התוחלת. שיפוע זה נובע מכך שסטיית התקן המקסימלית עבור התיקון לקיצוץ תחום הינה גדולה הרבה יותר מזו שמתקבלת עבור שיטת מקסום התוחלת. לעומת זה, סטיית התקן המקסימלית של שיטת מקסום התוחלת גדולה רק במקצת מזה של המקסימום שמתקבל עבור התוקף הנצפה (עוד על כך בטבלה המסכמת בפרק 4.4).

4.2. ערוץ קורסים

4.2.1. דירוג על סולם משותף

באיור 2 ניתן לראות את גרפי ממוצע המתאם מעבר ל-1,000 חזרות הסימולציה עבור ערוץ קורסים בשיטת דירוג המועמדים על סולם משותף לשתי הקבוצות. הצירים מייצגים את אחוז הדחייה מלימודים, אחוז המועמדים המשתתפים בקורסים וגודל תוקף הניבוי. העמודות מייצגות (משמאל לימין): תוקף נצפה, תוקף מתוקן לקיצוץ תחום ותוקף מטופל בשיטת מקסום התוחלת. השורות מייצגות את אפיון הבוחרים בקורס (מלמעלה למטה): ציון בגרות גבוה, ציון בגרות נמוך, החלטה אקראית וצפי לציון פסיכומטרי נמוך.

איור 2: ממוצעים מעבר ל-1,000 הסימולציות עבור ערוץ קורסים בשיטת דירוג על סולם משותף לשתי הקבוצות



שתי השורות הראשונות (בגרות גבוהה ובגרות נמוכה) דומות אחת לשנייה מבחינת צורת הגרף ודומות אף לעמודה הראשונה באיור 1 (ששם המשתנה השני aafa מתפקד דומה למשתנה cc פה). התוקף הנצפה יורד עם עליה בכל אחד מהפרמטרים (אחוז דחייה, אחוז משתתפים בקורסים). איכות התיקון לקיצוץ תחום מושפעת רק מאחוז המשתתפים בקורסים, ואילו שיטת מקסום התוחלת מתקנת לערך קרוב לאמתי כמעט בכל המקרים. עבור אפיון הבוחרים בקורס בו ההחלטה לעשות קורס הינה אקראית, גרף התוקף הנצפה יורד עם עליה באחוז הדחייה בלבד ואינו מושפע מאחוז המשתתפים בקורסים. הירידה בתוקף מתקנת במלואה בשתי השיטות לטיפול בנתונים חסרים. ממצא זה צפוי, שהרי ברור שמתאם "אדיש" לחוסרים אקראיים, ולכן בהחלט צפוי שהתוקף הנצפה לא יפגע ממשתנה שחסר בצורה אקראית (cc) ורק יפגע ממשתנה שחסר בצורה מגמתית (rej). התיקון לקיצוץ תחום מצליח להתגבר על שני סוגי החוסרים.

לבסוף, עבור משתתפי קורסים שמאופיינים בצפי לקבל ציון נמוך בבחינה הפסיכומטרית, התוקף הנצפה יורד עם עלייה בדחייה ובאחוז המשתתפים בקורסים. התיקון לקיצוץ תחום וגם שיטת מקסום התוחלת יורדים רק עם עלייה באחוז משתתפי הקורסים, אם כי הירידה מתונה יותר בשיטת מקסום התוחלת. הירידה הפעם בשיטת מקסום התוחלת נובעת מהעובדה שהחוסר שנגרם בחזאי הוא סוג של חוסר לא אקראי (MNAR=Missing Not At Random), שעבורו שיטה זו פחות מתאימה.

4.2.2. דירוג בכל קבוצה בנפרד וקבלה לפי מכסות לקבוצות

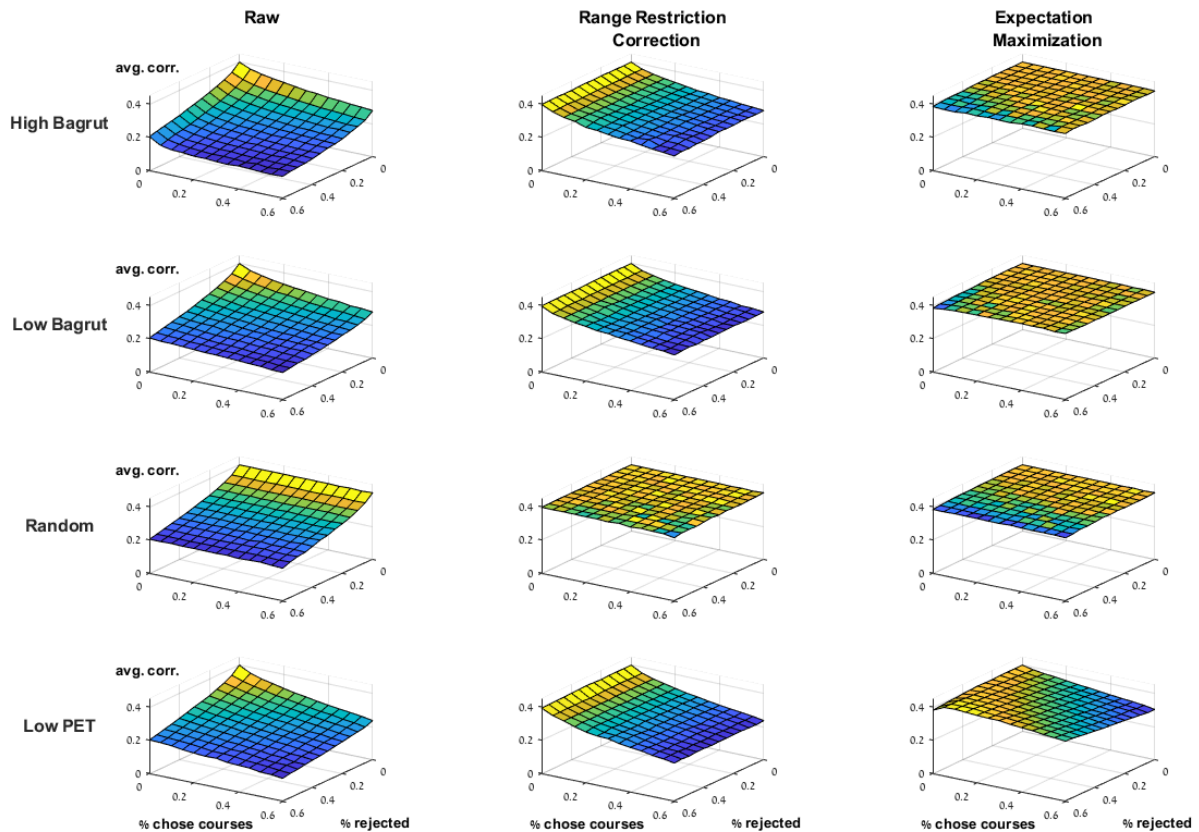
סעיף זה מחולק בהתאם לשלוש הווריאציות שהוגדרו למנגנון זה: הקבלה בכל קבוצה הינה בהתאם לפרופורציה של הקבלה הכללית והמתקבלים על בסיס ציונם בקורסים מהווים בדיוק 10% או 50% ממספר המתקבלים הכללי.

4.2.2.1. הקבלה בכל קבוצה הינה בהתאם לפרופורציה של הקבלה הכללית

באיור 3 ניתן לראות את גרפי ממוצע המתאם מעבר ל-1,000 חזרות הסימולציה עבור ערוץ קורסים בשיטת דירוג בכל קבוצה בנפרד וקבלה בכל קבוצה בהתאם לפרופורציה של הקבלה הכללית. העמודות והשורות הן בדיוק כמו באיור 2.

אפשר לראות שצורת הגרפים המופיעים כאן דומה מאוד לצורתם באיור 2. כלומר, המתאם הנצפה ושני התיקונים שלו מתנהגים דומה בין אם כולם מתחרים בכולם ובין אם הקבלה נעשית בנפרד בכל קבוצה (כאשר מקבלים בכל קבוצה לפי הפרופורציה של הקבלה הכללית). למרות הדמיון בצורת הגרפים, קיימים הבדלים בערכים של המתאמים; קשה להבחין בהבדלים בתצוגה הגרפית ולכן נשאיר את הדיון בהם לסיכום התוצאות (תת-פרק 4.4) בו נביא טבלה מסכמת של הערכים מעבר לכל הסריג.

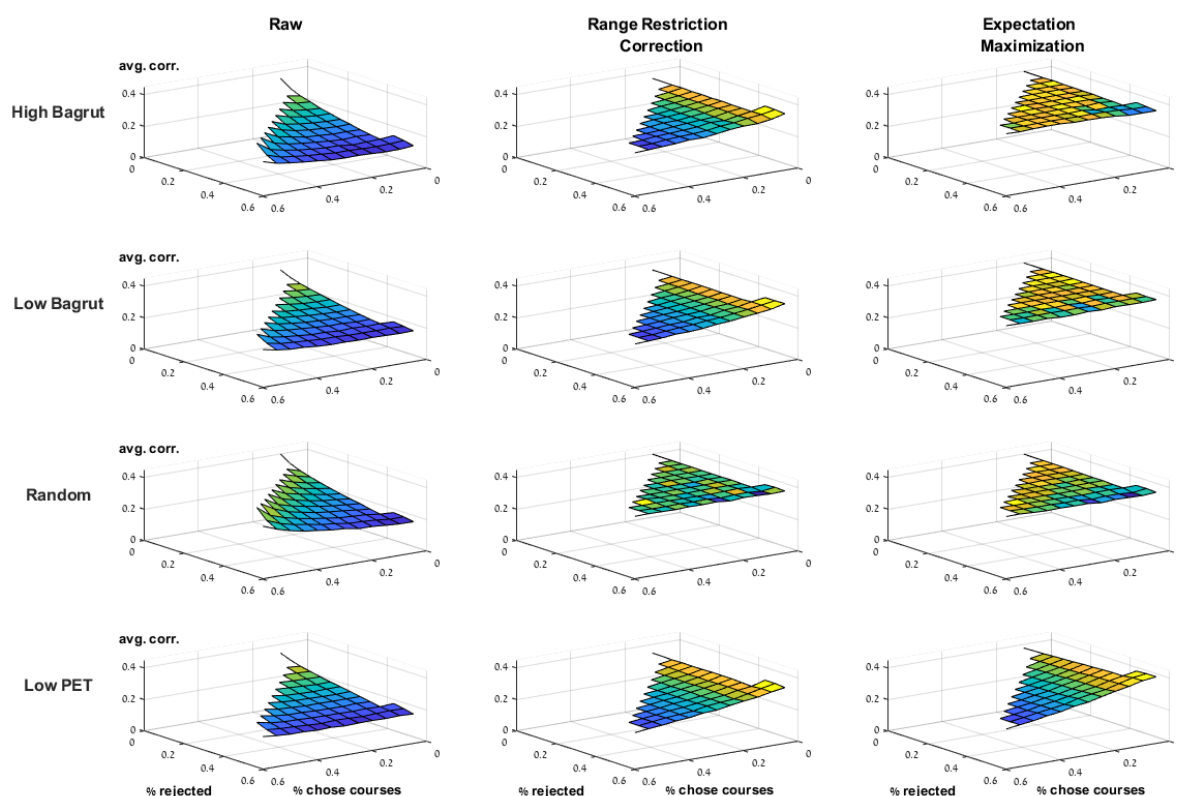
איור 3: ממוצעים מעבר ל-1,000 הסימולציות עבור ערוץ קורסים בשיטת דירוג בכל קבוצה בנפרד וקבלה בכל קבוצה בהתאם לפרופורציה של הקבלה הכללית



4.2.2.2. משתתפי הקורסים הינם 10% מהמתקבלים

באיור 4 ניתן לראות את גרפי ממוצע המתאם מעבר ל-1,000 חזרות, עבור ערוץ הקורסים בשיטת דירוג בכל קבוצה בנפרד כאשר משתתפי הקורסים מהווים בדיוק 10% מהמתקבלים. העמודות והשורות הן בדיוק כמו באיור 2. כפי שהסברנו בתת-פרק 3.4.2.2 במידול זה קיימת תלות בין שני הפרמטרים שקובעים את הסריג. עקב כך, התחום במישור ה-X-Y ששעליו משורטט הגרף הוא בצורת משולש והפרספקטיבה של הגרף השתנתה יחסית לזו שהייתה מוגדרת על תחום מלבני. על מנת שנוכל לראות את הגרף בצורה מיטבית, מיקום הצירים התחלף כך שאחוז הדחייה הוא בצד שמאל ואחוז המשתתפים בקורסים בצד ימין.

איור 4: ממוצעים מעבר ל-1,000 הסימולציות עבור ערוץ קורסים בשיטת דירוג בכל קבוצה בנפרד וריאציה שמשתתפי הקורסים מהווים 10% מהמתקבלים



סט הגרפים שבאיור 4, דומה בצורתו לשני הסטים הקודמים בהבדל עיקרי אחד: ניתן לראות שהתוקף הנצפה עולה עם עליה במשתנה אחוז המשתתפים בקורסים¹³, וזאת בניגוד לציפייה האינטואיטיבית שהתוקף הנצפה ירד ככל שיש יותר אנשים שהשתתפו בקורסים (דבר שגורם ליותר חוסרים בחזאי פסיכומטרי). ניתן להסביר ממצא זה באופן הבא: אחוז חסרי הציון הפסיכומטרי במתקבלים הוא קבוע. במילים אחרות, היקף החוסר במשתנה זה אינו משתנה על פני הסריג. מה שמשתנה זה המידה שבה בעלי הציון הפסיכומטרי במתקבלים מהווים מדגם מקוצץ יחסית לבעלי הציון הפסיכומטרי במועמדים. ככל שאחוז המשתתפים בקורסים מבין המועמדים עולה, אזי אחוז בעלי הציון הפסיכומטרי מבין המועמדים יורד, ובהינתן ששיעורם במתקבלים הוא קבוע (90%), אזי ככל שאחוז בעלי הציון הפסיכומטרי מבין המועמדים יורד, יחס הברירה מתוכם גדל (כלומר, אחוז גבוה יותר מתוכם מתקבל) ולכן ממדי קיצוץ התחום קטנים יותר.

התיקון על בסיס מקסום התוחלת מצליח לתקן את התוקף הנצפה ללא תלות באחוז הדחייה ואחוז המשתתפים בקורסים בכל המקרים מלבד המצב של צפי לציון נמוך בבחינה הפסיכומטרית. במקרה

¹³ העלייה מתרחשת בכל אחד ממאפייני המחליטים להשתתף בקורסים, אם כי במצב של ציפייה לציון פסיכומטרי נמוך התופעה פחות בולטת.

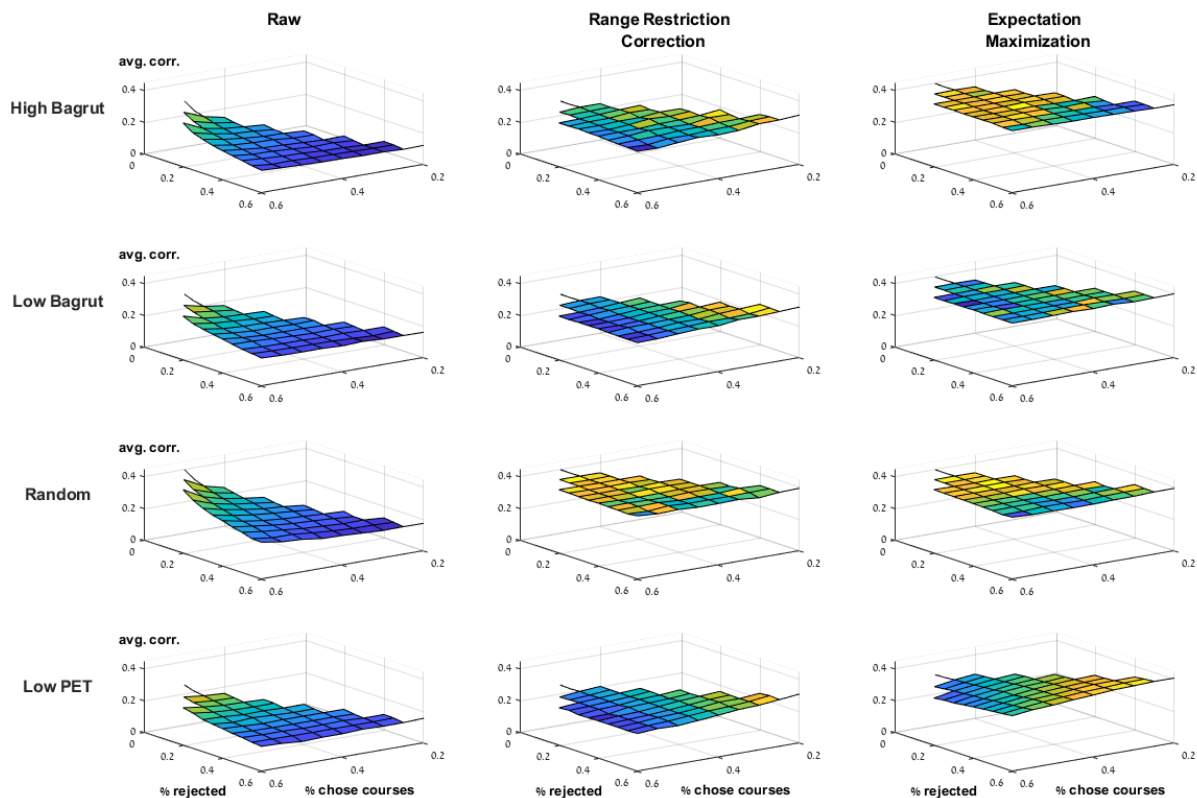
זה, ככל שיש יותר משתתפים בקורסים, התיקון עובד פחות טוב. התיקון לקיצוץ תחום מושפע רק מאחוז המשתתפים בקורסים, חוץ ממצב של אפיון אקראי של הבוחרים בקורס.

4.2.2.3. משתתפי הקורסים הינם 50% מהמתקבלים

באיור 5 ניתן לראות את גרפי ממוצע המתאם מעבר ל-1,000 חזרות, עבור ערוץ הקורסים בשיטת דירוג בכל קבוצה בנפרד כאשר משתתפי הקורסים מהווים בדיוק 50% מהמתקבלים. העמודות והשורות הן כמו באיור 2, והצירים הם כמו באיור 4.

גם כאן ישנה תלות בין שני הפרמטרים שקובעים את הסריג ולכן הגרף הוא בצורת משולש (אם כי שונה בצורתו מהגרפים באיור 4)¹⁴.

איור 5: ממוצעים מעבר ל-1,000 הסימולציות עבור ערוץ קורסים בשיטת דירוג בכל קבוצה בנפרד וריאציה שמשתתפי הקורסים מהווים 50% מהמתקבלים



בדומה למקרה שבו משתתפי הקורסים מהווים 10% מהמתקבלים, גם כאן התוקף הנצפה עולה עם עלייה באחוז משתתפי הקורסים (הדבר בולט בעיקר בערכים נמוכים של אחוז הדחייה). ביחס לאיור 4, התיקון לקיצוץ תחום מראה ירידה מתונה של התוקף עם עלייה באחוז משתתפי הקורסים, במצב בו השתתפות בקורסים מאופיינת בציון בגרות גבוה או נמוך. שיטת מקסום התוחלת עובדת מצוין עבור כל המצבים, מלבד השתתפות בקורסים של בעלי צפי לציון פסיכומטרי נמוך. במקרה זה הגרף

¹⁴ בפרט פרמטר ה-cc תמיד גדול מ-0.2 ולכן הציר שלו מתחיל כאן מ-0.2 ולא מ-0.

יורד במשתנה אחוז משתתפי הקורסים, אך עולה עם עלייה באחוז הדחייה. זהו ממצא פחות אינטואיטיבי כי ככל שיש יותר דחייה יש יותר חוסרים ולכן נצפה ששיטת התיקון תעבוד פחות טוב. הסתכלות מדוקדקת באיורים הקודמים מראה שתופעה דומה קיימת גם במגננונים האחרים, אולם ברמה מתונה יותר מהמקרה הנוכחי.

4.3 סיכום כללי

בטבלה 1 מוצגים הערכים הממוצעים מעבר לכל הסריג עבור כל אחד מערוצי הקבלה על שיטות דירוג המועמדים והווריאציות השונות בתוכן כפי שהוגדרו. הממוצעים המוצגים הם עבור הממוצע ועבור סטיית התקן שחושבו מעבר ל-1,000 הסימולציות בכל ערוץ/שיטת דירוג/ווריאציה.

טבלה 1: ממוצעים מעבר לסריג של ערכי הממוצע וסטיית התקן מעבר ל-1,000 החזרות

ערך ממוצע מעבר לסריג של					
ממוצע אומדני התוקף מעבר ל-1,000 החזרות	סטיית התקן של אומדני התוקף מעבר ל-1,000 החזרות	שיטה			
0.203	0.054	תוקף נצפה	ערוץ קבלה ישירה לפי בגרות		
0.331	0.084	תיקון לקיצוץ תחום			
0.394	0.059	מקסום תוחלת			
0.190	0.064	תוקף נצפה	בגרות גבוהה	דירוג על סולם משותף לשתי הקבוצות (כולם מול כולם)	
0.314	0.104	תיקון לקיצוץ תחום			
0.393	0.067	מקסום תוחלת			
0.257	0.047	תוקף נצפה	בגרות נמוכה		
0.322	0.055	תיקון לקיצוץ תחום			
0.397	0.044	מקסום תוחלת			
0.281	0.052	תוקף נצפה	אקראי		
0.397	0.062	תיקון לקיצוץ תחום			
0.395	0.052	מקסום תוחלת			
0.236	0.053	תוקף נצפה	פסיכומטרי נמוך		
0.299	0.057	תיקון לקיצוץ תחום			
0.360	0.045	מקסום תוחלת			
0.211	0.053	תוקף נצפה	בגרות גבוהה	קבלה בכל קבוצה לפי פרופורציית הקבלה הכללית	דירוג בכל קבוצה בנפרד
0.319	0.077	תיקון לקיצוץ תחום			
0.397	0.053	מקסום תוחלת			
0.240	0.053	תוקף נצפה	בגרות נמוכה		
0.321	0.064	תיקון לקיצוץ תחום			
0.399	0.042	מקסום תוחלת			
0.281	0.052	תוקף נצפה	אקראי		
0.397	0.062	תיקון לקיצוץ תחום			
0.395	0.052	מקסום תוחלת			
0.227	0.056	תוקף נצפה	פסיכומטרי נמוך		
0.299	0.061	תיקון לקיצוץ תחום			
0.371	0.042	מקסום תוחלת			

0.048	0.214	תוקף נצפה	בגרות גבוהה	משתתפי הקורסים הינם 10% מהמתקבלים		
0.066	0.322	תיקון לקיצוץ תחום				
0.051	0.397	מקסום תוחלת				
0.048	0.247	תוקף נצפה	בגרות נמוכה			
0.057	0.324	תיקון לקיצוץ תחום				
0.048	0.397	מקסום תוחלת				
0.046	0.289	תוקף נצפה	אקראי			
0.054	0.398	תיקון לקיצוץ תחום				
0.051	0.395	מקסום תוחלת				
0.051	0.236	תוקף נצפה	פסיכומטרי נמוך			
0.056	0.304	תיקון לקיצוץ תחום				
0.049	0.346	מקסום תוחלת				
0.073	0.168	תוקף נצפה	בגרות גבוהה	משתתפי הקורסים הינם 50% מהמתקבלים		
0.118	0.286	תיקון לקיצוץ תחום				
0.072	0.394	מקסום תוחלת				
0.072	0.202	תוקף נצפה	בגרות נמוכה			
0.090	0.292	תיקון לקיצוץ תחום				
0.050	0.399	מקסום תוחלת				
0.070	0.252	תוקף נצפה	אקראי			
0.089	0.395	תיקון לקיצוץ תחום				
0.062	0.395	מקסום תוחלת				
0.076	0.183	תוקף נצפה	פסיכומטרי נמוך			
0.084	0.261	תיקון לקיצוץ תחום				
0.050	0.360	מקסום תוחלת				

טבלה 1 מאפשרת לנו להשוות כמותית בין המצבים השונים בסימולציה. ניתן לראות שלמרות שהתקבלו גרפים מאוד דומים בערוץ קורסים בדירוג על סולם משותף (כולם מתחרים מול כולם) וערוץ קורסים בדירוג בכל קבוצה בנפרד כאשר הקבלה בכל קבוצה היא לפי פרופורציית הקבלה הכללית, כאשר אפיון הבוחרים בקורסים הם אלו עם בגרות גבוהה או נמוכה, למעשה יש הבדלים קטנים בממוצעים של התוקף בשני המצבים. במצב שההשתתפות בקורסים נובעת מציון גבוה בבגרות, ערכי התוקף הממוצע בקבלה בדירוג נפרד (0.21) גבוהים יותר מהערכים במצב בו הדירוג משותף (0.19). לעומת זאת, במצב בו ההשתתפות בקורסים נובעת מבגרות נמוכה המצב הפוך, התוקף הנצפה נמוך יותר בקבלה בנפרד בכל קבוצה (0.24) לעומת במצב בו הדירוג ביחד (0.26). בשני המקרים התיקון לקיצוץ תחום ושיטת מקסום התוחלת מובילות לתוצאות דומות עבור שתי שיטות דירוג המועמדים ושתי הסיבות להשתתפות בקורסים (0.31-0.32 עבור התיקון לקיצוץ תחום ו-0.39-0.40 עבור מקסום התוחלת).

כאשר אפיון עושי הקורסים הוא אקראי, התוקף הנצפה זהה בשתי שיטות דירוג המועמדים (0.28) וגבוה יותר מכל שאר סיבות עשיית הקורסים (0.19-0.26), כאשר במקרה זה, התיקון לקיצוץ תחום ושיטת מקסום התוחלת מתקנות לערכים מושלמים (0.4).

כאשר אפיון עושי הקורסים הוא צפי לציון פסיכומטרי נמוך, התקפים הנצפים דומים בשתי שיטות דירוג המועמדים (0.23-0.24) ודומים למצב של בגרות נמוכה בקבלה נפרדת. גם כאן התיקון לקיצוץ תחום ושיטת מקסום התוחלת מובילות לתוצאות דומות עבור שתי שיטות דירוג המועמדים, אם כי לתוצאות תיקון הנמוכות יותר בהשוואה להשתתפות בקורסים שקשורה לציון בגרות גבוה או נמוך (0.30 עבור התיקון לקיצוץ תחום ו-0.36-0.37 עבור מקסום התוחלת).

ממצא נוסף הוא שהתוצאות בערוץ הקבלה האוטומטית לפי בגרות, הינן הכי קרובות לתוצאות ערוץ קבלה לפי קורסים בשיטת דירוג המועמדים בנפרד וקבלה לפי פרופורציית הקבלה הכללית עם אפיון הבוחרים בקורסים שהם עם ציון גבוה בבגרות. תוצאה זו הגיונית כיוון שבמקרה שההשתתפות בקורסים נובעת מבגרות גבוהה, הליך הקבלה דומה קונספטואלית למצב של קבלה אוטומטית לפי בגרות.

עבור שתי הווריאציות בשיטת הדירוג המועמדים בנפרד בו קיים אחוז קבלה קבוע מקרב משתתפי הקורסים (10% או 50%) ועבור כל מאפייני עושי הקורסים, התוקף הנצפה והמתקון לקיצוץ תחום תמיד גבוהים יותר בווריאציית קבלה של 10% ממשתתפי הקורסים לעומת ווריאציית קבלה של 50% מהמשתתפים. בתוך כל ווריאציה, התוקף הנצפה גבוה יותר עבור עשיית הקורסים עם בגרות נמוכה, לעומת בגרות גבוהה (0.25 לעומת 0.21 ב-10% ו-0.20 לעומת 0.17 ב-50%), בעוד שהתיקון לקיצוץ תחום מגיע לערכים דומים עבור שתי הווריאציות (0.32 ב-10% ו-0.29 ב-50%). המצב שבו עשיית הקורסים קשורה לצפי לציון פסיכומטרי נמוך נמצא, מבחינת ערכי התוקף הנצפה והתיקון לקיצוץ תחום, בין מצב בו עשיית הקורסים קשורה לבגרות גבוהה למצב בו היא קשורה לבגרות נמוכה. בדומה לשני המקרים הקודמים (כולם מול כולם וקבלה בכל קבוצה לפי פרופורציית הקבלה הכללית), גם בשתי הווריאציות הללו התוקף הנצפה שמתקבל במצב בו השתתפות בקורסים היא אקראית הוא הגבוה ביותר מעבר לכל המצבים (0.29 עבור 10% ו-0.25 עבור 50%). לבסוף, גם בשתי הווריאציות הללו שיטת מקסום התוחלת מצליחה לתקן לערך התוקף האמיתי במרבית המקרים. יוצאי הדופן הם מקרים בהם עושי הקורסים מאופיינים בצפי לפסיכומטרי נמוך, במקרה של קבלה של 50% ממשתתפי הקורסים, ששם התיקון מוביל לערך גבוה יותר ממצב של קבלה של 10% ממשתתפי הקורסים (0.36 לעומת 0.35).

סטיית התקן מייצגת את מידת היציבות של התוצאות מעבר לחזרות, ומעבר לכל הנקודות בסריג. בערוץ המבוסס על קורסים בשיטת דירוג משותף ובשיטת דירוג בנפרד בווריאציה הראשונה של קבלה לפי פרופורציית הקבלה הכללית מתקבלות תוצאות מעורבות. כאשר משתתפי הקורסים הם בעלי בגרות גבוהה, סטיות התקן הן נמוכות יותר בווריאציה של קבלה לפי פרופורציית הקבלה הכללית לעומת מצב בו כולם מתחרים בכולם. כאשר משתתפי הקורסים הם בעלי בגרות נמוכה או צפויים לקבל ציון נמוך בבחינה הפסיכומטרית, סטיות התקן הן נמוכות יותר דווקא במצב שבו כולם מתחרים מול כולם, עבור התוקף הנצפה ועבור התיקון לקיצוץ תחום, וגבוהות יותר עבור שיטת

מקסום התוחלת. עבור התיקון לקיצוץ תחום ושיטת מקסום התוחלת, סטיית התקן הגדולה ביותר נצפית במצב בו המשתתפים בקורסים הם בעלי הבגרות הגבוהה וביתר שאת במצב שבו כולם מתחרים מול כולם. בדומה לתוצאות בהקשר של הממוצע, במצב של בחירה אקראית אין הבדל בין שתי שיטות הדירוג.

בערוץ של קבלה מקורסים בשיטת דירוג מועמדים בנפרד בו משתתפי הקורסים מהווים אחוז קבוע מהמתקבלים (וריאציות 2 ו-3 שם), סטיות התקן הן גבוהות הרבה יותר בכל המצבים כאשר אחוז הקבלה הוא 50% לעומת 10%. בכל המקרים, סטיית התקן בשיטת מקסום התוחלת היא שווה או קטנה מסטיית התקן בתיקון לקיצוץ תחום.

לבסוף נשים לב, שבלי יוצא מן הכלל, בתוך כל שיטת דירוג (על תתי הווריאציה בדירוג בנפרד) ועבור כל אפיון של עושי הקורסים, סטיית התקן של התיקון לקיצוץ תחום גבוהה יותר מזו של שיטת מקסום התוחלת.

5. סיכום ודיון

5.1. השוואה בין שתי הגישות לטיפול בנתונים חסרים – תיקון

לקיצוץ תחום ומקסום התוחלת

ממצאי המחקר מראים ששיטת מקסום התוחלת עדיפה על התיקון לקיצוץ תחום. שיטת מקסום התוחלת מתקנת את התוקף הנצפה קרוב מאוד לערך האמתי שלו בכל טווח החוסרים האפשריים וכל תנאי המחקר. יוצא הדופן היחידי הוא המצב בו המשתתפים בקורסים מאופיינים בצפי לציון פסיכומטרי נמוך. במצב זה שיטת מקסום התוחלת מתקנת את התוקף טוב יותר מהתיקון לקיצוץ תחום, אך הפער בין התוקף המתוקן לערך האמתי גדול יותר לעומת כל המקרים האחרים. התיקון לקיצוץ תחום מתקן את התוקף הנצפה בכיוון הנכון, אבל, פרט למקרה אחד של השתתפות אקראית בקורסים, תוצאותיו רחוקות מהערך האמתי באוכלוסייה. גם במקרה זה עדיפה שיטת מקסום התוחלת עליו וזאת משום שהיא מביאה לטעות תקן קטנה יותר של אמידת התוקף.

ממצאים אלה מתיישבים עם המטרה והרציונל שעליהם מבוססות שתי השיטות לטיפול בנתונים חסרים. נוסחת התיקון לקיצוץ תחום מיועדת לתקן את המתאם בגין ההשפעות של תהליך הברירה, כלומר: בגין העובדה שמדגם המתקבלים, שבו מחושב המתאם הנצפה, הוא מדגם שעבר ברירה שהתבססה על החזאים (Gulliksen, 1987). לכן אין זה מפתיע שבתנאים שבהם החוסר בערכים מקורו בסיבות אחרות, הנוסחה עובדת פחות טוב (אלא אם כן החוסר הוא אקראי).

שיטת מקסום התוחלת מיועדת להתמודד עם טווח רחב יותר של מקורות לחוסר, ולכן היא מתפקדת טוב יותר בתנאי המחקר השונים, אך גם היא מוגבלת. שיטה זו אמורה להתמודד עם חוסרים מסוג MAR (Enders, 2010), אך לא עם חוסרים מסוג MNAR, שבהם ההסתברות לנתון חסר במשתנה קשורה לערכים של המשתנה עצמו. במצב שבו הנטייה להשתתף בקורס קשורה לציפייה לגבי גובה הציון הפסיכומטרי עצמו, החוסר יחשב כסוג MNAR, דבר שמסביר את העובדה ששיטת מקסום התוחלת עובדת פחות טוב במצב זה.

5.2. השוואה בין האופציות השונות של אפיון הבוחרים בקורס

הקשר בין מאפייני הבוחרים בערוץ הקורסים לבין איכות האמידה של התוקף הוא כדלקמן: התיקון לקיצוץ תחום מתקן היטב רק במצב של בחירה אקראית (מתאם ממוצע של 0.40), ופחות טוב בשלושת המצבים האחרים – בגרות גבוהה, בגרות נמוכה, פסיכומטרי נמוך (מתאם ממוצע סביב 0.30).

שיטת מקסום התוחלת מתקנת היטב באפיונים של בגרות גבוהה, בגרות נמוכה ובחירה אקראית (מתאם ממוצע של 0.40) ופחות טוב כאשר הבוחרים בקורסים הם בעלי פסיכומטרי נמוך (מתאם ממוצע של 0.36).

בהתייחס לתוקף הנצפה, המתאמים הממוצעים הם סביב 0.22 כאשר הבחירה אינה אקראית (עם דפוס קבוע מעבר לשיטת דירוג המועמדים והווריאציות שלהם: המתאם הנצפה הוא הכי נמוך כאשר הבוחרים בקורסים הם בעלי בגרות גבוהה, והכי גבוה כאשר הם בעלי בגרות נמוכה) ו-0.28 כאשר הבחירה היא אקראית.

5.3. המלצות מעשיות

המסקנה המעשית-יישומית שעולה מן הממצאים השונים היא ששימוש בשיטת מקסום התוחלת תמיד עדיפה על התיקון לקיצוץ תחום הן מבחינת שחזור המתאם האמיתי באוכלוסייה והן מבחינת גודל טעות התקן של אומדן זה. רק במקרה של השתתפות אקראית בקורסים אין הבדל בין השיטות מבחינת טיב התיקון של התוקף, ושתייהן משחזרות את התוקף בצורה כמעט מושלמת. אולם, גם במקרה זה עדיפה השיטה של מקסום התוחלת כיוון שטעות התקן בה קטנה יותר. כיוון שבכל המקרים מלבד המצב האקראי קיים הבדל בתוצאות שתי השיטות, אפשר לבחון אם זה המצב המתקיים בפועל על ידי השוואת ערך התוקף המתוקן בשתי השיטות.

עם זאת, יש לזכור ששיטת מקסום התוחלת דורשת מידע מלא על המועמדים (כלומר בסיס נתונים ובו רשומה לכל מועמד) בעוד שבתיקון לקיצוץ תחום יש רק צורך במטריצת השונות של המועמדים (בפועל רק 3 מספרים).

5.4. מגבלות המחקר וחשיבותו

ההנחה הבסיסית במחקר זה היא שלמועמדים בערוץ עוקף פסיכומטרי אין ציון פסיכומטרי. אחת מהמסקנות שעלו מתוך סקר ערוצי קבלה "עוקפי פסיכומטרי" (פרק 2.2), היא שאין בהליך המיון מושג של "מועמדות בערוץ קבלה" כזה או אחר, שכן המועמדים שולחים את כל נתוני הקבלה הרלוונטיים שברשותם, והחלטת הקבלה מתבססת על הערוץ הראשון שעל פיו המועמד יכול להתקבל. בפרט נובע מכך שבקרב המתקבלים בערוצי קבלה ללא פסיכומטרי קיים שיעור לא מבוטל של בעלי ציון פסיכומטרי.

בנוסף, אחת המגבלות של המחקר היא שהוא התמקד בגודל אחד עבור אוכלוסיית המועמדים (500 איש), בסט אחד של מתאמים בין המשתנים השונים ותוך הנחה שהם מתפלגים נורמלית. בהתאם לכך, יכולת ההכללה של מחקר זה מוגבלת למצבים דומים בלבד.

למיטב ידיעתנו, זהו המחקר הראשון שעוסק באפשרות של המצאות חוסרים בחזאי, והראשון שבודק במקרה זה את נוסחת התיקון לקיצוץ תחום מול שיטות של טיפול בחוסרים כגון שיטת מקסום התוחלת. מחקרים אחרים בתחום עסקו בעיקר במערך הרגיל של חוסרים בקריטריון כתוצאה מהליך הקבלה או לכל היותר בחוסרים שנוצרו כתוצאה מנשירה (קלפר, קנת-כהן, כהן וקרליץ, 2022).

5.5. מחקרי המשך

להלן מספר הצעות למחקרי המשך אפשריים:

1. לבדוק כיצד מושפעות תוצאות המחקר משינוי בגודל האוכלוסייה, משינוי בגודל המתאמים בין המשתנים, ומהקלה בהנחת הנורמליות.
2. לבדוק כיצד מושפעות תוצאות המחקר אם לחלק מהאנשים בערוצים עוקפי הפסיכומטרי יש ציון פסיכומטרי. במקרה זה יש למדל את העובדה שבנתונים המתקבלים במאל"ו אין אינדיקציה על הערוץ בו התקבל כל מועמד ללימודים.
3. מחקר זה "זיקק" את הסיבות לחוסרים בחזאי. כמובן שבמציאות המצב הוא יותר מורכב וקיימים חוסרים מסיבות שונות. במחקר המשך אפשר לשלב בין האופציות השונות לחוסרים או להוסיף חוסר בקריטריון שנובע מנשירה של תלמידים.
4. המידול במחקר זה בחר את משתתפי הקורסים בצורה דטרמיניסטית (פרט למקרה של בוחרים באקראי), ובהתאם לאפיון הבוחרים בקורסים. למשל, במקרה של משתתפי קורסים שהם בעלי בגרות נמוכה, מוין בסיס הנתונים לפי משתנה הבגרות בסדר עולה וכל X הרשומות הראשונות שויכו לקבוצת משתתפי הקורסים, כאשר X השתנה לפי תנאי המחקר. מחקר המשך ישתמש בסיווג הסתברותי, כך שלכל המועמדים יש סיכוי להשתתף בקורסים, אך הוא גדול יותר עבור אלו שעומדים בתנאי הרלבנטי (בדוגמה לעיל, לבעלי בגרות נמוכה יהיה סיכוי גבוה יותר להשתתף בקורסים מבעלי בגרות גבוהה).

6. מקורות

- קלפר, ד., טורוול, א. ואורן, כ. (2014). **תוקף הניבוי של כלי המיון לאוניברסיטאות בישראל מול ממוצע תואר בוגר** (דוח מס' 403). ירושלים: מרכז ארצי לבחינות ולהערכה.
- קלפר ד., קנת-כהן, ת., כהן, א., וקרליץ, צ. (2022). **אמידת תוקף ניבוי באוכלוסייה לפני הליך קבלה ונשירה – השוואה בין שלוש שיטות לטיפול בנתונים החסרים** (דוח מס' 22-01). ירושלים: מרכז ארצי לבחינות ולהערכה.
- קנת-כהן, ת. (2022). **ערוצי קבלה ללא פסיכומטרי – ממצאי סקר ביחידות המיון באוניברסיטאות** (נייר עבודה מס' 50). ירושלים: מרכז ארצי לבחינות ולהערכה.
- קנת-כהן, ת., ברנרן, מ. ואורן, כ. (2021). **תוקף והוגנות מערכת המיון לאוניברסיטאות בישראל** (דוח מס' 21-05). ירושלים: מרכז ארצי לבחינות ולהערכה.
- קנת-כהן, ת., קלפר, ד. וטורוול, א. (2016). **תיקון לקיצוץ תחום עבור ברירה חד-משתנית (במקרה התלת-משתני) ועבור ברירה רב-משתנית: השוואה בנתונים הדמייתיים ובנתונים אמפיריים** (דוח מס' 16-07). ירושלים: מרכז ארצי לבחינות ולהערכה.
- קנת-כהן, ת. וקלפר, ד. (2017). **תיקון לקיצוץ תחום עבור ברירה רב-משתנית: יישום המקרה הכללי** (דוח מס' 17-04). ירושלים: מרכז ארצי לבחינות ולהערכה.
- Dempster, A.P., Laird, N.M., & Rubin, D.B. (1977). Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM Algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B.* 39 (1): 1–38. JSTOR 2984875. MR 0501537.
- Enders, C. K. (2010). *Applied missing data analysis*. New York, NY: Guilford Press.
- Gulliksen, H. (1987). *Theory of mental tests*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. (Original work published 1950).
- McLachlan, G. J., & Krishnan, T. (1997). *The EM algorithm and extensions*. New York: Wiley.
- Pfaffel A., Kollmayer M., Schober B., & Spiel C. (2016). A Missing Data Approach to Correct for Direct and Indirect Range Restrictions with a Dichotomous Criterion: A Simulation Study. *PLoS ONE* 11(3): e0152330. DOI:10.1371/journal.pone.0152330.

Wiberg, M., & Sundström, A. (2009). A comparison of two approaches to correction of restriction of range in correlation analysis. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*: Vol. 14, Article 5. DOI: <https://doi.org/10.7275/as0k-tm88>.

Zimmermann, S., Klusmann, D., & Hampe, W. (2017). Correcting the predictive validity of a selection test for the effect of indirect range restriction. *BMC Med. Educ.* 17, 246 <https://doi.org/10.1186/s12909-017-1070-5>.

7. נספחים

7.1 שיטת מקסום התוחלת (EM – Expectation Maximization)

נספח זה מפרט על אחת משתי שיטות לטיפול בנתונים חסרים באקראי (MAR – Missing At Random). השיטה השנייה שעליה לא נפרט הינה שיטת ההשלמות המרובות (MI – Multiple Imputation)¹⁵.

אלגוריתם מקסום התוחלת הינו שיטה כללית מאוד לקבלת אומדני נראות מקסימלית (ML – Maximum Likelihood) כאשר חלק מהנתונים חסר (Dempster et al., 1977, McLachlan & Krishnan, 1977). אומדני נראות מקסימלית הם אומדנים לפרמטרים של מודל, שהם בסבירות הגבוהה ביותר, הערכים שהובילו ליצירת הנתונים שהתקבלו. האלגוריתם נקרא "מקסום התוחלת" בגלל שהוא מורכב משני שלבים: שלב תוחלת ושלב מקסום.

במקום לתאר את שני השלבים של האלגוריתם באופן כללי, אנו נתאר רק את היישום שלו עבור המקרה של התפלגות רב-נורמלית כפי שמתואר בדוח זה. בשלב ה-E (תוחלת-Expectation) מתבצעת השלמה של נתונים על ידי רגרסיה המנבאת את הערכים החסרים. נניח שהנתונים שלנו מכילים 4 משתנים $X_1, \dots, X_4$, ונניח עוד שיש נתונים חסרים בכל אחד מהמשתנים, ללא דפוס מסוים. אנו מתחילים על ידי כך שאנו בוחרים ערך התחלתי עבור הפרמטרים הבלתי ידועים של ההתפלגות, כלומר עבור הממוצעים ועבור מטריצת השונות המשותפת; ערכים הללו יכולים להתקבל על ידי הנוסחאות הרגילות של ממוצע ושונות תוך כדי מחיקה של שורות (Listwise deletion) עם נתון חסר או מחיקה רק בזוגות (Pairwise deletion).

בהתבסס על ערכי התחלה אלו, אנו יכולים לחשב את מקדמי הרגרסיה עבור כל אחד מה- X -ים על תת קבוצה כלשהי של השלושה האחרים. לדוגמא: נניח שבחלק מדפוס החוסר יש נתונים עבור X_1 ועבור X_2 , אבל לא עבור X_3 או עבור X_4 . אנו נשתמש בערכי ההתחלה שקיבלנו לצורך ביצוע רגרסיה של X_3 על X_1 ו X_2 , ורגרסיה של X_4 גם על X_1 ו X_2 . לאחר מכן אנו משתמשים במקדמי הרגרסיה הללו כדי להשלים ערכים עבור X_3 ועבור X_4 בהתבסס על ערכים של X_1 ו X_2 . עבור המקרים של חוסרים רק עבור משתנה אחד, אנו משתמשים בהשלמות שמתקבלות מרגרסיה שמתבססת על כל שלושת המשתנים האחרים.

לאחר שכל הנתונים החסרים הושלמו בדרך זו, שלב ה-M (מקסום-Maximization) הינו למעשה חישוב מחדש של הממוצע ושל מטריצת השונות המשותפת, תוך כדי שימוש בערכים שהשלמנו והערכים שהיו קיימים מראש. עבור הממוצע, אנו משתמשים בנוסחה הרגילה. עבור שונות ושונות

¹⁵ להרחבה על מנגנוני חוסרים כללי ועל השיטה הנוספת לטיפול בחוסרים באקראי, ראה נספח לדוח מחקר 01-22 (קלפר ד., קנת-כהן, ת., כהן, א., וקרליץ, צ., 2022), או ספרו של אנדרס (2010).

משותפת, יש להשתמש בנוסחאות אחרות במקצת מאלו הרגילות. בפרט, יש להוסיף איברים הקשורים לשארית של השונות ושל השונות המשותפת, בהתבסס על משוואות הרגרסיה שהשתמשנו בהם בתהליך ההשלמה. למשל, נניח שעבור תצפית i , X_3 הושלם בעזרת X_1 ו X_2 . אזי, בכל מקרה של שימוש ב- $(x_{i3})^2$ עבור ההשלמה בעזרת נוסחת השונות הרגילה, אנו מחליפים את האיבר לעיל ב- $(x_{i3})^2 + s_{3 \cdot 21}^2$, כאשר $s_{3 \cdot 21}^2$ הינו שארית השונות שמתקבל מרגרסיה של X_3 על X_1 ו X_2 . התוספת של איבר השארית מתקן את הערכת החסר הרגילה של השונות שנובעת מביצוע השלמה רגילה. נניח ש- X_4 חסר גם עבור תצפית i , אזי כאשר מחשבים את השונות המשותפת בין X_3 ל- X_4 , כשיש צורך להשתמש באיבר מסוג $x_{i3}x_{i4}$ בנוסחת השונות המשותפת הרגילה, נחליף אותו ב- $x_{i3}x_{i4} + s_{34 \cdot 21}$. האיבר האחרון הוא שארית השונות המשותפת בין X_3 ל- X_4 כאשר שומרים על X_1 ו X_2 קבועים.

כשיש לנו אומדנים לממוצע ולמטריצת השונות המשותפת, אנו חוזרים שוב לשלב ה-E. כלומר, אנו משתמשים באומדנים החדשים כדי לייצר על ידי רגרסיות השלמות לנתונים החסרים. אנו ממשיכים לבצע את השלבים E ו-M לסירוגין עד אשר האומדנים שמתקבלים מתכנסים, כלומר עד שהאומדנים כמעט ולא משתנים מאיטרציה נוכחית לזו שבאה אחריה.

נשים לב שאלגוריתם מקסום התוחלת מצליח להימנע מאחד הקשיים הקיימים בהשלמה על ידי רגרסיה רגילה, והיא ההחלטה באיזה משתנים להשתמש כחזאים. כך האלגוריתם מתמודד עם העובדה שלדפוס חוסרים שונים ישנו סט שונה של חזאים. בגלל שהאלגוריתם תמיד מתחיל ממטריצה שונות משותפת מלאה, אפשר לקבל אומדני רגרסיה עבור כל סט של חזאים, ללא תלות במספר המקרים הקיימים עבור דפוס חוסרים מסוים. לכן, אלגוריתם זה תמיד משתמש בכל המשתנים האפשריים כחזאים לצורך השלמת הנתונים.

7.2. התלות בין שני משתני המחקר כאשר המנגנון הוא אחוז משתתפי

הקורסים קבוע

כאמור בפרק 3.4.4.2 הצגנו את התלות שקיימת בין שני המשתנים rej ו- cc כאשר הקבלה היא לפי התנאים: אחוז משתתפי הקורסים שהתקבלו מתוך המתקבלים = 10% בדיוק או 50% בדיוק. בנספח זה נסביר את הנוסחאות שציטטנו שם.

נסביר את התלות שנוצרת תוך כדי שאנו מדגימים עבור המקרה של 10%. נתחיל במקרה קיצוני שבו כולם ($N=500$) התקבלו, וכאמור בדיוק 10% מהם השתתפו בקורסים. נניח לחילופין שהתקבלו 80% (כלומר 400 אנשים). במקרה זה צריכים להתקבל 40 אנשים ממשתתפי הקורסים ובפרט צריכים להיות לפחות 40 משתתפי קורסים. כלומר, המינימום של משתתפי הקורסים הוא $N * (1 - rej) * 0.1$, וזאת כדי שיהיו מספיק משתתפים בקורסים שמתוכם נקבל.

יש גם בעיה עם הצד השני: האם כולם יכולים להשתתף בקורסים? ברור שלא, צריך לקבל 360 איש מהקבוצה שלא השתתפה בקורסים, ולכן מקסימום המשתתפים בקורסים הוא 140. באופן כללי, צריך לקבל מהקבוצה שלא השתתפה בקורסים

$$N * (1 - rej) - N * (1 - rej) * 0.1 = N * (1 - rej) * 0.9$$

כלומר, סך הקבלה פחות המספר שהתקבלו מקרב במשתתפי הקורסים.

זו הכמות שצריכה להישאר בקבוצה שלא השתתפה בקורסים, ולכן החלק של משתתפי הקורסים לא יכול להיות יותר גדול מהמספר $N - N * (1 - rej) * 0.9$ ובכתיב מפושט $N * (0.1 + 0.9 * rej)$.

לסיכום קיבלנו את צמד התנאים הבא (כאשר כמובן אפשר לצמצם ב- N).

$$N * (1 - rej) * 0.1 \leq N * cc \leq N * (0.1 + 0.9 * rej)$$

בדיקה קצרה מראה שאם מציבים $rej=0$, מקבלים ש cc יכול לקבל רק ערך אחד, ולכן לפחות החישוב שלנו תומך במסקנה מקודם. נציב גם $rej=0.2$ ונקבל שהגבולות הם: (40, 140) בדומה למה שקיבלנו מקודם. כמובן שעבור המקרה של בדיוק 50% מתקבלת נוסחה דומה והיא:

$$N * (1 - rej) * 0.5 \leq N * cc \leq N * (0.5 + 0.5 * rej)$$

7.3. ביצוע הסימולציות בפועל

להלן תיאור מפורט של השלבים בביצוע הסימולציה בפועל. השלבים יודגמו עבור הערוץ של קבלה לפי קורסים בשיטת דירוג המועמדים על סולם משותף (כלומר בה כולם מתחרים מול כולם), ואפיון הבוחרים בקורסים הם המועמדים בעלי ציונים גבוהים בבגרות. השלבים בסכמה המתוארת דומים לשלבים בביצוע הסימולציות של ערוצי הקבלה האחרים, על שיטות דירוג המועמדים והווריאציות שלהם, כפי שתוארו לעיל, ואנו רואים באופציה שבחרנו לפרט עליה כמקרה מייצג. בנספח 7.5 מופיע קוד תוכנית מחשב בשפת התכנות מטלב (Matlab) לביצוע סימולציה עבור הערוץ של בחירה ישירה לפי בגרות.

נזכיר שיש לנו 5 משתנים: X_1 משתנה חזאי שמייצג את הציון בפסיכומטרי, X_2 משתנה חזאי שמייצג את ציון הבגרות, Y משתנה קריטריון שמייצג את הציון הסופי לתואר, Z משתנה סמוי עבור ציוני הקורסים, ו- C משתנה עבור ציון הסכם.

הסימולציות מבוצעות בתוך מערך בעל $13 \times 13 = 169$ תאים, הנובעים מהשילובים של פרמטר אחוז הדחייה $0 \leq rej \leq 0.6$ (בקפיצות של 0.05) ופרמטר אחוז השתתפות בקורסים $0 \leq cc \leq 0.6$ (בקפיצות של 0.05). בתוך כל תא במערך הזה בוצעה הסימולציה המפורטת להלן 1,000 פעמים לפי השלבים הבאים:

1. נדגמו 500 שלשות X_1, X_2, Y מההתפלגות הרב נורמלית הבאה (ראו סעיף 3.2 לעיל):

$$(X_1, X_2, Y) \sim MVN \left(\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0.65 & 0.4 \\ 0.65 & 1 & 0.4 \\ 0.4 & 0.4 & 1 \end{pmatrix} \right)$$

2. חושבו המתאמים שהתקבלו בדגימה בפועל: $r_{X_1 X_2}, r_{X_1 Y}, r_{X_2 Y}$. מדגם שלא עמד ברמת הדיוק המפורטת בשלושת התנאים הבאים נזרק ונדגם מחדש:

$$|r_{X_1 X_2} - 0.65| < 0.02, |r_{X_1 Y} - 0.4| < 0.005, |r_{X_2 Y} - 0.4| < 0.02$$

3. חושב משתנה ציון קורסים, Z , שמחושב תחילה עבור כל 500 הרשומות, בהתאם לנוסחה

$$Z = 0.7X_2 + \sqrt{1 - 0.7^2}N$$

הבאה: N נדגם מתוך התפלגות נורמלית סטנדרטית.

4. בערוץ הנדון, המשתתפים בקורסים הם בעלי הציונים הגבוהים בבגרות. על כן, בסיס הנתונים מוין בסדר יורד לפי המשתנה X_2 ולאחר מכן נמחקו ממשתנה Z $[500 * cc] - 500$ הרשומות האחרונות¹⁶ (כל המחיקות כאן ובהמשך מתבצעות על ידי כך שהוזן בהם ערך חסר (NaN=Not a Number). אלו רשומות של מי שלא השתתף בקורסים ולכן אין להם ציון במשתנה. בנוסף, כיוון שההנחה היא שלכל מי שהשתתף בקורס אין ציון פסיכומטרי, מחקנו ממשתנה X_1 את $[500 * cc]$ הרשומות הראשונות.

¹⁶ $[X]$ הוא פונקציית הרצפה של X , כלומר הינו הערך השלם הגדול ביותר שקטן מהערך X .

5. חושבה מטריצת השונות המשותפת $C_{X_1X_2}$ בין שני המשתנים X_1 ו X_2 . מטריצה זו נחוצה בהמשך לצורך ביצוע התיקון הרב-משתני לקיצוץ תחום.
6. שני המשתנים X_1, Z תוקננו (ונזכיר שמשתנה X_2 כבר מתוקנן), כל אחד בנפרד. חושב משתנה סכם C כממוצע של שני המשתנים X_2, Z עבור הרשומות של משתתפי הקורסים, וכממוצע של שני המשתנים X_1, X_2 עבור הרשומות של מועמדים שלא השתתפו בקורסים.
7. לצורך ביצוע הליך הקבלה מוין בסיס הנתונים בסדר עולה לפי משתנה C , ונמחקו ממשתנה Y הערכים של $[500 * rej]$ הרשומות הראשונות (אלו רשומות של מועמדים שלא התקבלו ללימודים ולכן אין להם ציון סוף תואר).
8. חושב תוקף הניבוי הנצפה של הבחינה הפסיכומטרית, r , על ידי חישוב מתאם פירסון בין המשתנה X_1 לבין המשתנה Y .
9. לצורך חישוב התיקון לקיצוץ תחום רב-משתני חושבו שלוש מטריצות: $c_{X_1X_2}$ = שונות משותפת בין X_1 לבין X_2 , $c_{[X_1X_2]Y}$ = שונות משותפת בין X_1, X_2 (בנפרד) ובין Y , ו c_{YY} = שונות משותפת של Y עם עצמו¹⁷. בעזרת 3 מטריצות אלו והמטריצה שחושבה בשלב 5 ובהתאם לנוסחאות שמופיעות בנספח 7.4, חושב מתאם r_{mr} שהינו המתאם בין X_1 ל- Y לאחר התיקון הרב-משתני.
10. על בסיס הנתונים שמכיל את שלושת המשתנים X_1, X_2, Y הפעלנו את הפרוצדורה של מקסום התוחלת¹⁸ לחישוב הממוצע והשונות המשותפת כפי שהיה מתקבל אילו בסיס הנתונים היה מלא. בעזרת ערכים אלו חושב המתאם r_{em} שהינו המתאם בין X_1 ל- Y לפי שיטה זו.
11. בוצעו 1,000 חזרות של השלבים 1-10 בתוך כל תא המייצג שילוב של rej ו- cc או aa .
12. חושבו ממוצעים וסטיות תקן של 3 הערכים r, r_{mr}, r_{em} מעבר ל 1,000 החזרות, לצורך הצגה בגרפים ובטבלאות בדוח.

¹⁷ למעשה, במקרה זה מדובר במספר בודד (סקלר) שהינו השונות של משתנה זה.
¹⁸ מוסברת ומתוארת מתמטית בנספח 7.1.

7.4. נוסחאות התיקון הרב-משתני לקיצוץ תחום

בנספח זה נביא את הנוסחאות של התיקון הרב-משתני לקיצוץ תחום. חשוב לציין שאנו מביאים את המקרה הכללי ביותר המתאים לכל מספר של משתנים מסבירים, וזאת כפי שישמנו אנו בתוכנית המחשב שלנו (ראה תת-פרק 7.5). היות ובסופו של דבר מדובר אצלנו בשני משתנים מסבירים בלבד, ניתן לכתוב את המקרה הכללי בצורה יותר פשוטה ללא שימוש בכתובי מטריצוני. למעוניינים במקרה הפרטי אנו מפנים לדוח המחקר 16-07 (קנת-כהן, ת', קלפר ד' וטורוול, א', 2016). נציין שתת-פרק זה עוקב בקצרה אחרי הנספח לדוח המחקר¹⁹ 17-04 (קנת-כהן, ת' וקלפר ד', 2017).

תיקון לקיצוץ תחום רב-משתני – המקרה הכללי:

נסמן באותיות גדולות את הגדלים של האוכלוסייה לפני הברירה (עליהם יש לנו מידע חלקי בלבד) ובאותיות קטנות את כל הגדלים של האוכלוסייה שעברה ברירה (ועליהם אנו מניחים שיש לנו מידע מלא).

אנו מניחים שיש לנו A משתנים שלפיהם התבצעה בחירה ישירה $X = (X_1, X_2, \dots, X_A)$, ושיש לנו B משתנים שעברו ברירה לא ישירה $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_B)$ (בפרט נעיר שאחד ממשתנים אלו יכול להיות הקריטריון עמו אנו מעוניינים לחשב את המתאם). כמובן שמספר המשתנים לפני/אחרי הברירה הוא זהה ולכן בפרט מתקיים $A=a, B=b$ והסימונים באותיות גדולות וקטנות גם כאן הם רק לצורך בהירות.

בהתאם להנחה על מידע מלא לאחר הברירה, אנו יכולים לחשב את 3 מטריצות השונות המשותפות $c_{aa}(xx), c_{bb}(yy), c_{ab}(xy)$ של המשתנה שעבר ברירה ישירה עם עצמו, המשתנה שעבר ברירה לא ישירה עם עצמו והמשתנה שעבר ברירה ישירה עם המשתנה שעבר ברירה לא ישירה בהתאמה.

עבור הגדלים לפני הברירה ההנחה היא שידועה רק המטריצה $C_{AA}(XX)$ עבור השונות המשותפת של המשתנה שעבר ברירה ישירה עם עצמו.

הדברים שאנו מעוניינים למצוא, הן שתי המטריצות הבאות: $C_{BB}(YY), C_{AB}(XY)$.

לאחר שמניחים מספר הנחות (ראו דוח 17-04 לפירוט) קיים רק פתרון יחיד עבור שתי מטריצות אלו, והוא נתון בשתי הנוסחאות הבאות:

$$C_{AB}(XY) = C_{AA}(XX)c_{aa}^{-1}(xx)c_{ab}(xy)$$

$$C_{BB}(YY) = c_{bb}(yy) + c'_{ba}(xy)c_{aa}^{-1}(xx)C_{AA}(XX)c_{aa}^{-1}(xx)c_{ab}(xy) - c'_{ba}(xy)c_{aa}^{-1}(xx)c_{ab}(xy)$$

¹⁹ שמתבסס בעצמו על Gulliksen, H. (1987).

נעיר שבעזרת שלוש המטריצות של השוניות המשותפות באוכלוסיית המועמדים ניתן ליצור מטריצה אחת גדולה עבור השוניות המשותפות:

$$\mathbf{C}_{(A+B)(A+B)} = \begin{pmatrix} \mathbf{C}_{AA}(XX) & \mathbf{C}_{AB}(XY) \\ \mathbf{C}_{BA}(XY) & \mathbf{C}_{BB}(YY) \end{pmatrix}$$

שבעזרה ניתן לקבל את מטריצת המתאמים:

$$\mathbf{R}_{(A+B)(A+B)} = (\text{diag}(\mathbf{C}))^{-1/2} \cdot \mathbf{C} \cdot (\text{diag}(\mathbf{C}))^{-1/2}$$

7.5 קוד מטלב עבור תוכנית המחשב

בחלק זה נביא את הקוד בו השתמשנו כדי ליצור את הסימולציות במחקר זה. הקוד כתוב בשפת תוכנת מטלב (Matlab). חשוב לציין שעבור הפעלת השיטה של מקסום התוחלת אנו משתמשים בפרוצדורה מוכנה בשם ecmnml ²⁰, כלומר אנו משתמשים בקוד מוכן ולא כתבנו את האלגוריתם בעצמנו.

החלטנו להביא רק את הקוד עבור המידול של סיבת החוסרים בפסיכומטרי שהינו קבלה אוטומטית בזכות בגרות גבוהה, וזאת כדי לחסוך במקום וגם משום שאנו רואים בקוד זה אב טיפוס שכל חלקי הקוד האחרים דומים אחד לו.

הקוד מחולק לשני חלקים, חלק ראשון של ביצוע הסימולציה עצמה, וחלק שני שמתעסק בחישובים והכנות בשביל ציור הגרפים, וכמובן ציור הגרפים עצמם.

בקוד המובא להלן הוספנו כותרות עבור כל חלק בתוכנית, ואנו תקווה שבעזרת זה הוא יהיה אף יותר מובן לקורא.

לבסוף נעיר שמנגנון זה מאפשר גם אופציה של ביצוע תיקון עקיף. לכן, בתוכנית המחשב אנו מיישמים גם את הסוג תיקון הזה. התוצאות של התיקון הזה דומות מאוד לזה של התיקון הרב-משתני ולכן אינן מופיעות בדוח.

```
N=500;
Mu=[0 0 0]';
Sigma= [1 0.65 0.4; 0.65 1 0.4; 0.4 0.4 1];

final=zeros(1,7);

ll=0.6;
repeat=1000;

for i=1:repeat

for rej=0:0.05:ll;
for aafa=0:0.05:ll;

%% generate the full data X
feasible=0;
while feasible==0;
X=mvnrnd(Mu,Sigma,N);
%1=pet, 2=bagrut, 3=sco
cor=corr(X);
if abs(corr(1,2)-0.65)<0.02 & abs(corr(1,3)-0.4)<0.005 & abs(corr(2,3)-0.4)<0.02
feasible=1;
end
```

²⁰ הפונקציה קיימת ב-Financial Toolbox, וניתן לקרוא עליה כאן: <https://www.mathworks.com/help/finance/ecmnml.html>


```

end

%% High bagrut have no pet and automatic acceptance
X=sortrows(X,2,'descend');
aa=floor(N*(1-rej)*aafa);
if aa>=1
X(1:aa,1)=NaN;
end

%% standardize pet & bagrut before calculating the composite score and then
Calculate composite score
X(:,4)=(X(:,1)+X(:,2))/2;
if aa>=1
    X2=zeros(500-aa,2);
    X2(:,[1,2])=zscore(X(aa+1:end,[1,2]));
    X2(:,3)=(X2(:,1)+X2(:,2))/2;
    X(aa+1:end,4)=X2(:,3);
end
%4=comp

%% Calculate CXX & S for multi + indirect range restriction
CXX=nancov(X(:,1:2));
S=nanvar(X(:,4));

%% People with Low composite score aren't accepted and thus don't have
final score
X=sortrows(X,4,'ascend');
REJ=floor(N*rej);
if REJ >=1
X(1:REJ,3)=NaN;
end

%% Indirect Range Restriction Correction;
X_study=X(~any(isnan(X),2),:);
s=var(X_study(:,4));
w=S/s-1;

r2=corr(X_study(:,[1,3:4]));

r=r2(1,2);
r_rr=(r2(1,2)+w*r2(1,3)*r2(2,3)) / (sqrt((1+w*r2(1,3)^2)*(1+w*r2(2,3)^2)));

%% Multie Range Restriction Correction;
q=cov(X_study(:,1:3));
cxx=q(1:2,1:2);
cyy=q(3,3);
cxy=q(1:2,3);

CXY=CXX*inv(cxx)*cxy;
CYY=cyy+cxy'*inv(cxx)*CXX*inv(cxx)*cxy-cxy'*inv(cxx)*cxy;
C=[CXX,CXY;CXY',CYY];
R2=diag(diag(C)).^0.5;
R=inv(R2)*C*inv(R2);
r_mr=R(1,3);

%% EM
pre=X(:,1:3);
Mean0=nanmean(pre);

```

```

Covar0=nancov(pre);

[Mean,Covar] = ecmmle(X(:,1:3),'nanskip',500, 1e-3,Mean0,Covar0);
r_em=Covar(1,3)/sqrt(Covar(1,1))/sqrt(Covar(3,3));

%% Make a vector of the result + Ssse it
final=[final; rej aafa i r r_rr r_mr r_em];
save('Afinal.mat','final');

end
end
end

%% Make a vector of the final result + Save it
final=final(2:end,:);
save('Afinal.mat','final');

%% Calculate group statistics (mean + std) by rej+aafa
load Afinal;
A=array2table(final);
B=grpstats(A,{'final1','final2'},{'mean','std'},'DataVars',{'final4','final5','final6','final7'});

%% extract relevant statistics and convert to square matrix
M_r=B(:,4);
M_rr=B(:,6);
M_mr=B(:,8);
M_em=B(:,10);

S_r=B(:,5);
S_rr=B(:,7);
S_mr=B(:,9);
S_em=B(:,11);

m=sqrt(length(M_r));

Z_r=reshape(M_r,m,m);
Z_rr=reshape(M_rr,m,m);
Z_mr=reshape(M_mr,m,m);
Z_em=reshape(M_em,m,m);

Z2_r=reshape(S_r,m,m);
Z2_rr=reshape(S_rr,m,m);
Z2_mr=reshape(S_mr,m,m);
Z2_em=reshape(S_em,m,m);

%% draw 3-d grpahs
%prepare the grid
z1=[0:0.05:11];
z2=z1;
[Z1,Z2] = meshgrid(z1);

%graphs of the mean
figure
surf(Z1,Z2,Z_r)
xlabel('rej')

```

```

ylabel('aafa')
zlim([0.0 0.45]);
view(-236,34);

figure
surf(Z1,Z2,Z_rr)
xlabel('rej')
ylabel('aafa')
zlim([0.0 0.45]);
view(-236,34);

figure
surf(Z1,Z2,Z_mr)
xlabel('rej')
ylabel('aafa')
zlim([0.0 0.45]);
view(-236,34);

figure
surf(Z1,Z2,Z_em)
xlabel('rej')
ylabel('aafa')
zlim([0.0 0.45]);
view(-236,34);

%graphs of the std
figure
surf(Z1,Z2,Z2_r)
xlabel('rej')
ylabel('aafa')
zlim([0.0 0.4]);

figure
surf(Z1,Z2,Z2_rr)
xlabel('rej')
ylabel('aafa')
zlim([0.0 0.4]);

figure
surf(Z1,Z2,Z2_mr)
xlabel('rej')
ylabel('aafa')
zlim([0.0 0.4]);

figure
surf(Z1,Z2,Z2_em)
xlabel('rej')
ylabel('aafa')
zlim([0.0 0.4]);

```

RR-23-01
אוגוסט 2023