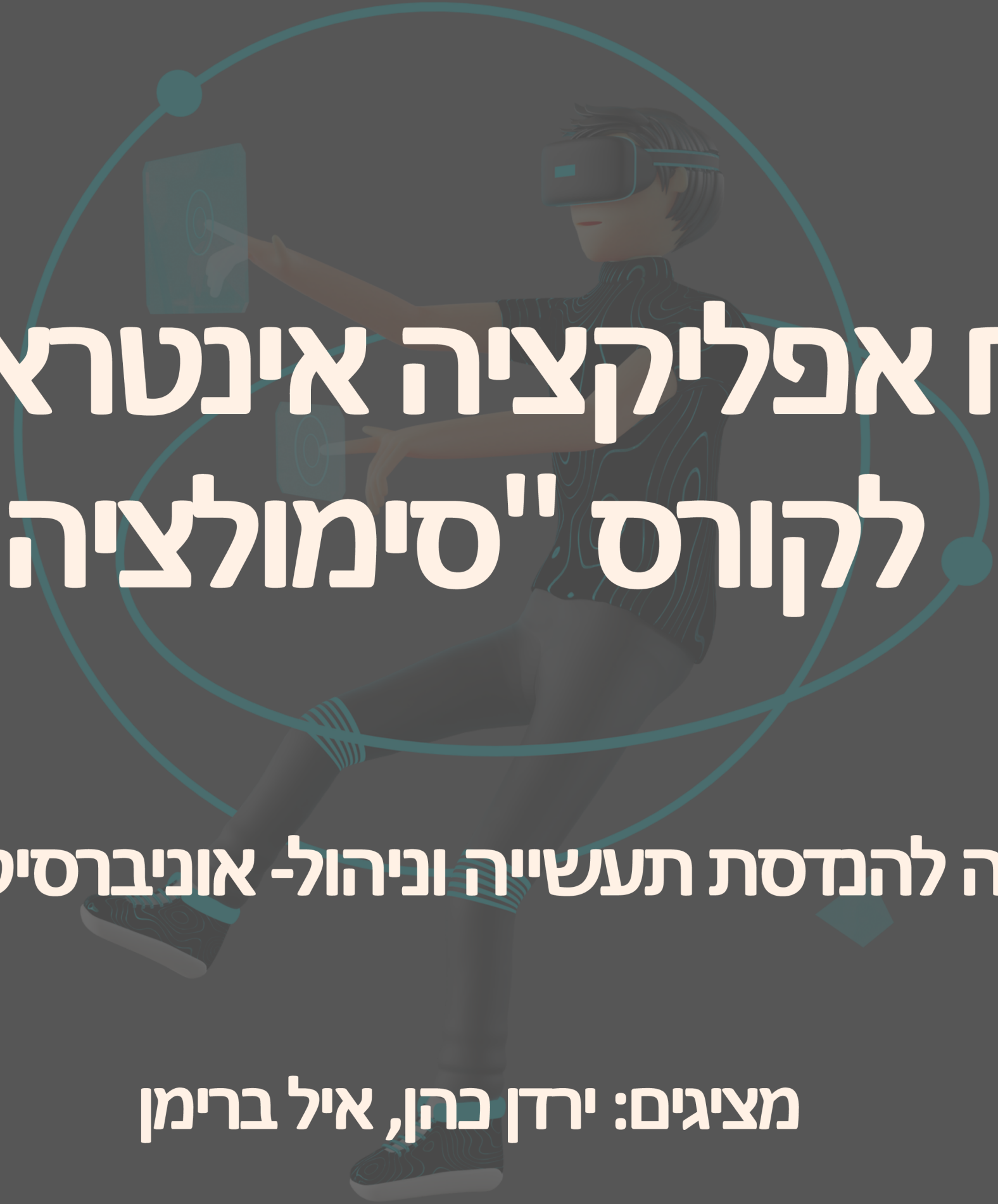




פיתוח אפליקציה אינטראקטיבית לקורס "סימולציה"

המחלקה להנדסת תעשייה וניהול - אוניברסיטת בן גוריון

מציגים: ירון כהן, איל ברימן

מהי סימולציה?

הקורס "סימולציה" הוא קורס ליבה במחלקה, נלמד על ידי כ-200 סטודנטים בשנה.

סימולציה היא כלי חיוני ומהותי בעבודת מהנדס תעשייה וניהול.

היא מאפשרת להשוות בין חלופות ולבחור את הפתרון היעיל ביותר.

מה לומדים בקורס?

בקורס "סימולציה" הסטודנטים רוכשים כלים תיאורטיים ומעשיים לצורך:

- מידול מערכות וניתוח הביצועים שלהן באמצעות סימולציית מונטה קרלו.
- בחינת השפעת שינויים במערכת באמצעות כלים סטטיסטיים.

רקע

הקורס מחולק לחמישה חלקים מרכזיים:

1. התאמת התפלגות לדאטה - מציאת התפלגות מוכרת שמתאימה לנתונים
2. אלגוריתמי דגימה ופסודו אקראיות- דגימה באמצעות מחשב
3. תכנון הניסוי באמצעות פרדיגמת תכנות אירועים
4. ניתוח תוצאות הניסוי
5. השוואה בין חלופות

אתגרים

- פער בין התאוריה לפרקטיקה.
- קושי לחבר בין שלבי הסימולציה לתהליך שלם ומשמעותי.

פיתוח האפליקציה

בתמיכת המחלקה לקידום איכות ההוראה באוניברסיטת בן גוריון יצרנו אפליקציה אינטראקטיבית המתבססת על מקרה בוחן של בעל משאית מזון שמעוניין ליעל את עסקיו.

האפליקציה נועדה לקשר בין ההרצאות לבין התרגולים ולהוות דוגמא לפרויקט סימולציה.

עקרונות מנחים

- חיבור כלל מרכיבי הסימולציה לתהליך שלם ומובנה – מהתחלה עד הסוף.
- אינטרקטיביות ולמידה מבוססות התנסות
- חוויה משחקית וסיפורית
- שימוש בפייתון וקוד פתוח
- ויזואליזציה להמחשה ברורה של מושגים סטטיסטיים.
- ניהול עומס קוגניטיבי



ברוכים הבאים
לפלטפורמת קורס
סימולציה!

דרך עמודי האפליקציה נחקור סיפור מקרה מהחיים האמיתיים, עליו
נפעיל את השלבים הנלמדים בקורס עבור פיתוח פרויקט סימולציה,
תוך יישום והבנת חומר הקורס.

דוגמאת הקורס

סימולצית "לוקו טאקו"

סיפור המקרה איתו נתמודד, יתן לכם הצצה לחיהם של משפחת לוקו ומשאית המזון המשפחתית האהובה שלהם.

איתם, תצעו להרפתקה משוגעת של סימולציות ממוחשבות בכדי להציל את משאית המזון המשפחתית מחוסר יעילות והפסדי רווחים!



תוכן עניינים

אפליקציה זו בנויה באופן מובנה ומתודולוגי, המשקף את תהליך הלמידה והיישום של קורס סימולציה. הנה כיצד נתקדם יחד:

1

הבנת המציאות



הבנת הסיפור והתהליכים שמתרחשים במשאית

איסוף מדידת קצבי שירות והגעה במשאית

2

מידול המערכת

אירועים משנים את מצב המערכת מאופן "מייד" לדוגמא:
• כניסת לקוח
• סיום שירות לקוח
• סיום משמרת פקיד

הבנת הישויות, המשאבים והאירועים שמשנים את מצב המערכת

התאמת התפלגויות לדגימות השונות שאספנו על ידי בדיקות ויזואליות ומבחנים סטטיסטיים.

3

מימוש



בניית אלגוריתמי דגימה מההתפלגויות שהתאמנו

בניית קוד שמתחזק יומן אירועים ויודע לטפל בכל סוגי האירועים במערכת תוך שמירת כל המידע הרלוונטי להצגת תובנות

4

הרצה וניתוח



מציאת זמן חימום/ מציאת מספר הרצות עבור עמידה ברמת הבטחון המבוקשת.

הרצת סימולציה שבאופן חוזר מזיזה את שעון הסימולציה באופן בדיד לזמן האירוע הבא ביומן, וטיפול באירוע

ניתוח פלט והשוואה בין חלופות (ביצוע מידול לכל חלופה, הרצת החלופות והשוואה ביניהם)

סיפור האפליקציה

סיפורו של אוצ'ו לוקו



אוצ'ו לוקו היה נער חביב שגדל וחונך בניו מקסיקו שבאלברקקלי, בן להוריו האוהבים חולייטו והנרייטה.

בתור נער שגדל בשכונת מהגרים קשת יום, אוצ'ו לוקו כבר הספיק לקבל כמה החלטות לא נכונות במהלך חייו. עוד לפני שמלאו לו עשרים שנים, הברנש הצעיר כבר הספיק להסתבך עד מעל הראש עם הקרטל המקומי.



באירוע מצער ופוקח עיניים, נתפס אוצ'ו על ידי הבולשת הפדרלית ונשלח לאחד עשר חודשי מחבוש.

הגעתו של אוצ'ו לקלבוש הגדול הייתה חוויה מטלטלת ומבעיתה בפני עצמה.



בתקופה שהובילה לתפיסתו המצערת, אוצ'ו הרגיש שגל גדול עומד לשטוף אותו. אוצ'ו היה מהורהר מתמיד. הוא הרגיש שהשליטה בחיים נקלחה ממנו לחלוטין. הוא הגיע למצב שבו אחרים הם אלו שנהגו במכונית שנוסעת לאורך ציר הזמן של חייו.

הכל החל להתדרדר עבור אוצ'ו כשהחל לעבוד למחייתו במסעדת המזון המהיר "פיקו זה פוז'ן". משמרתו הראשונה הייתה כשבוע לאחר יום הולדת 17 שלו והוא הרגיש בעננים. רק שבוע קודם לכן בכיבו נרות יום הולדתו, אוצ'ו גמר בליבו שמעתה הוא מתחיל להיות מהבחורים שמפרנסים את עצמם בכבוד.



תכניתו של אוצ'ו הייתה להתחיל כעובד פשוט מן המניין ומשם למצוא את דרכו להנהלה הבחירה. לאוצ'ו הייתה מטרה אחת לנגד עיניו: להפוך לאיש עסקים מצליח ונהנתן.



תכניתו המבלבלת אך נאיבית של אוצ'ו, ירדו לטמיון כאשר משפחת סלמנקה הארורה סימנה את "פיקו זה פוז'ן" כטריטוריה שתחת שליטונם. הסלמנקות היו משפחה של מאפיונרים שמקדם הימים כבר הטילה אימה על רחובות ניו מקסיקו.

אוצ'ו ידע בדיוק מה עלול לקרות לו ולמשפחתו אם יעיד לסרב לדרישותיהם.

לאורך כל הדרך, אוצ'ו ראה לנגד עיניו את דמויותיהם של הוריו היקרים, חולייטו והנרייטה ולבו נמלא פחד. הוא היה מבועת מהמחשבה שהתנגדות למשפחת סלמנקה האיומה תגרום לפגיעה בהוריו התמימים והאהובים. לוקו אוצ'ו לא יכל בשום אופן לסכן את אהוביו, ולכן הסכים לכל דרישותיהם של המשפחה הרודנית.



סיפור האפליקציה

מהרגע שנכנע לרעים, הדרך לאירוע התפיסה של אוצ'ו, בתקרית העגומה ההיא, בלילה העגום ההוא, בשכונה העגומה ההיא, הייתה קצרה.



חלפו להם שבועות וחודשים, ואוצ'ו לוקו עדיין אסיר בבית הכלא המחוזי "אל קאסטינו". היא זה ערב סגרירי כאשר אוצ'ו לוקו החל מהרהר ונזכר בתקופה העגומה ההיא, קצת לפני שנכלא. שבריר שנייה בודד היה הוא זה ששינה הכל בעיניו של אוצ'ו.

אוצ'ו לוקו לפתע הבין שתמיד היה זה הוא עצמו! הוא זה שמחזיק במפתחות למכונית שנוסעת בציר הזמן של חייו. כעת, הבטיח אוצ'ו לעצמו שמעתה, לא יתן שוב לאיש מלבדו לנהוג בה.

המסע המטלטל והמצמרר שהוביל את אוצ'ו לוקו לאותם חודשים בתוך כותלי בית הסוהר, היה בדיוק המסע המטלטל והמצמרר שאוצ'ו היה צריך. כעת אוצ'ו מבין מהם הדברים החשובים ביותר בחייו:

1. משפחתו המקסימה
 2. משאית המזון המשפחתית.
- אותה משאית שתמיד תישאר תוססת ומתסיסה בזכרונו, המשאית שבה פעם נהג סביו בר הדעת, "אל קאטשו" הזקן.



אוצ'ו לוקו החל מתכנן את החזרה הגדולה שלו לשוק העבודה, שם יחל לרדוף אחר חלומותיו עד שישלים משימת חייו. במשימה זו הוא יוצב בפני כמה מהאתגרים הגדולים בקריירה שלו, ולא יעצור רגע עד שיגשים את החלום הגדול ביותר שלו:

שיפור היעילות של משאית ה-"טאקו לוקו"
והפיכתה למשאית המזון המשפחתית האהובה ביותר באלברקלי.

To be continued

הבנת המערכת

המשאית עובדת בין השעה 12:00 בצהריים עד 17:00, ולפי חולייסיתו, מגיעים בערך 10 לקוחות בשעה בממוצע.

הלקוחות שמגיעים למשאית "לוקו טאקו" עוברים בין 3 עמדות שירות באופן תורי:

- עמדת הזמנה
- עמדת בישול
- עמדת אריזה

כאשר לכל סוג מנה יש את זמן ההכנה שלה.

כל לקוח מתחיל את דרכו בדפלק ההזמנה, שם מזמין אחת מבין שלוש אפשרויות:

- טאקולוקוסיטו
- טאקולוקוסיצימו
- מתקטאקו

לפי חולייסיתו, כמעט לכל לקוח יש גבול לזמן שהוא מוכן לשהות במתחם המשאית. בגלל שהתשלום מתבצע רק באיסוף האוכל, אחרי 5 עד 20 דקות מרגע ההגעה, אם לא קיבלו את הזמנתם, מחליטים לקוחות לעזוב לפני קבלת מנתם, כי ממהרים לעבודה.

חולייסיתו מוסיף ומספר שחצי מההזמנות הם למנה לוקוסיטו וזמן ההזמנה לוקח בין 3-4 דקות בערך, עוד רבע בערך מההזמנות הם למנות לוקוסיצימו, ורבע נוסף למנות מתקטאקו.

לפי חולייסיתו, זמן ההזמנה למנת לוקוסיטו לוקח בין 4-6 דקות אבל בדרך כלל 5 דקות. הזמנות למנת לוקוסיצימו יחסית פשוטות ולוקחות בין דקה לשתיים, ולמתאקטאקו בין 3-4 דקות. חולייטו אומר ש-30 אחוז ממנות מתקטאקו, מקבלות תלונות מלקוחות על שלא היו מבושלות מספיק.

ההזמנה נשלחת לעמדת ההכנה, שם בישול כל מנה לוקח זמן שונה לפי כמות המנות שהטבח מכין במקביל: מנה בודדת לוקחת בערך 5 דקות, מנה כפולה לוקחת בערך 8 דקות ומנה משולשת לוקחת בערך 10 דקות.

ברגע שההזמנה מוכנה, היא מועברת לאריזה בעמדת החלוקה, שם מצרפים שתייה ורטבים, ואורזים כל מנה לשמירה על טריות מיטבית. כל מנה שיוצאת לעמדת האיסוף נארזת בזמן שלוקח בין 2-4 דקות בערך, עד שהיא מוכנה לאיסוף על ידי הלקוח שממתין בנתיים ברחבת המשאית.

המנהל שוקל להוסיף עוד עובד אחד ורוצה להבין לאיזו עמדה כדאי להוסיף אותו אם בכלל.

עמדות השירות

		
אריזה	הכנה	הזמנה

זמני הכנה במטבח

זמן ההכנה המוערך תלוי בכמות המנות שמכינים במקביל:
מנה בודדת: 5 דקות שתי מנות במקביל: 8 דקות שלוש מנות במקביל: 10 דקות

הערה: זמנים אלו תקפים לכל סוגי המנות

סבלנות לקוחות

לקוחות מוכנים להמתין בין 5 ל-20 דקות לפני עזיבה

התשלום מתבצע רק בעת איסוף ההזמנה

תפריט "לוקו טאקו"

טאקו לוקוסיטו זמן הזמנה: 4-6 דקות (בממוצע 5 דקות) 50% מההזמנות	
טאקו לוקוסיצימו זמן הזמנה: 1-2 דקות 25% מההזמנות	
מתקטאקו זמן הזמנה: 3-4 דקות 25% מההזמנות	
⚠️ תלונות על בישול חסר ב-30% מהמקרים	

מעבנה האפליקציה

תפריט ניווט עם שלבים בחורים:

הגדרת בעיה ונתונים.

התאמת התפלגויות.

פיתוח אלגוריתם דגימה.

בניית סימולציה מונחית אירועים.

תכנון ניסוי.

הרצות סימולציה.

ניתוח ואופטימיזציה.

אפשרות ל"drill down" בכל שלב.

דף הבית

הקדמה לסיפור דוגמאת
הקורס

סיפור מערכת טאקו לוקו

התאמת התפלגות למודל

אלגוריתמי דגימה

תכנות אירועים

השוואה בין חלופות

התאמת התפלגות למודל

יצירת מדגם מהתפלגות רנדומלית (עבור תרגול עצמי)

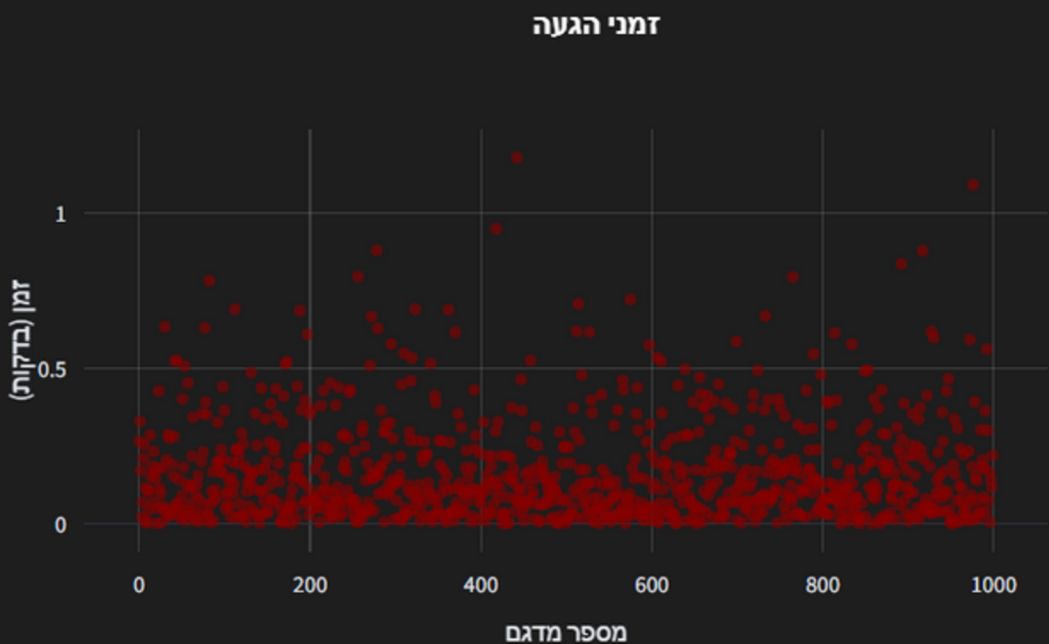
יצירת מדגם מזמני ההגעה

תוצאות הדגימה הנוכחית:

הנתונים שנאספו מוצגים להלן. בחרו את ההתפלגות המתאימה ביותר עבור הנתונים וודעו אם התאמתכם מייצגת בצורה מדויקת את דפוס ההגעה של הלקוחות.

סטטיסטיקה תיאורית של דגימות זמני ההגעה שנמדדו

מרכיב	מדדי מרכז	מדדי פיזור	ערכי קיצון
מינימום: 0.00 דקות	מספר מדידות: 1000	סטיית תקן: 0.16 דקות	מקסימום: 1.18 דקות
ממוצע: 0.16 דקות	מוצא: 0.16 דקות	טווח בין-רבעוני: 0.17 דקות	טווח: 1.18 דקות
שונות: 0.03	חציון: 0.11 דקות		

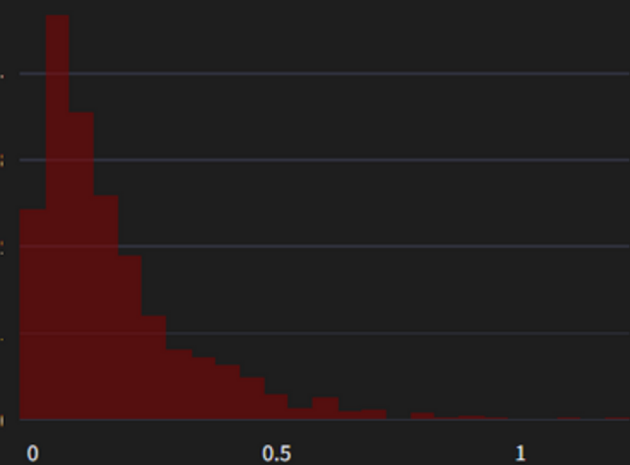


זמני ההגעה שנמדדו (בדקות):

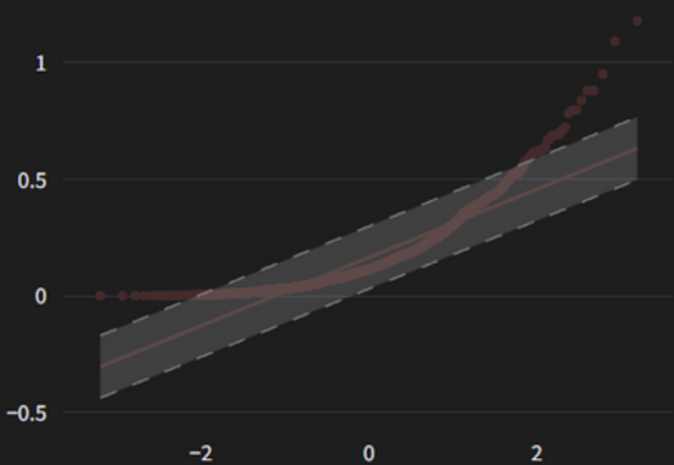
Sample #	Time (minutes)
7	0.25
8	0.12
9	0
10	0.01
11	0.11
12	0.04

ניתוח גרפי של התפלגות הנתונים

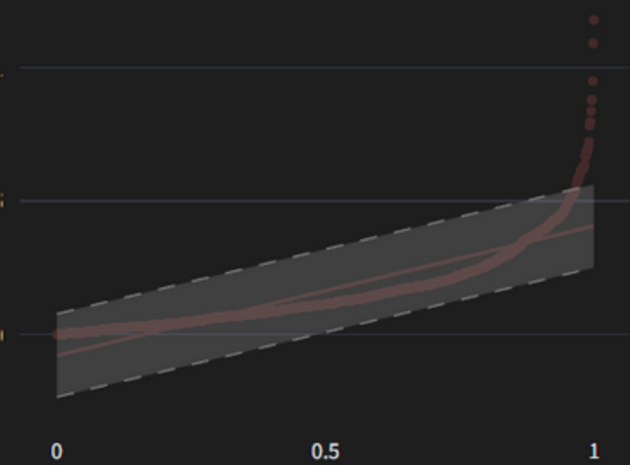
התפלגות זמני הגעה



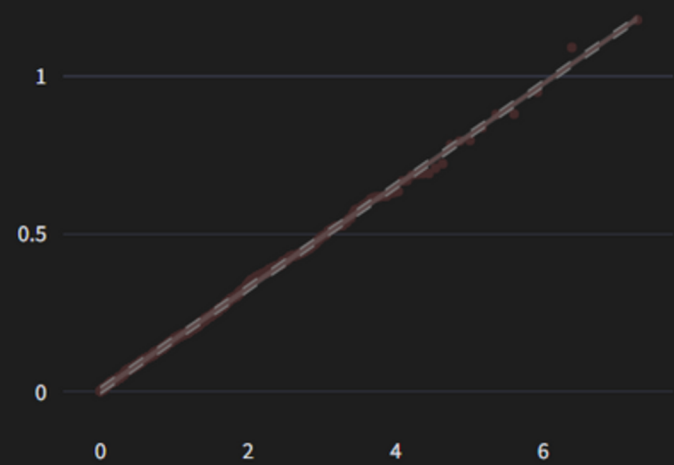
התפלגות נורמלית



התפלגות אחידה



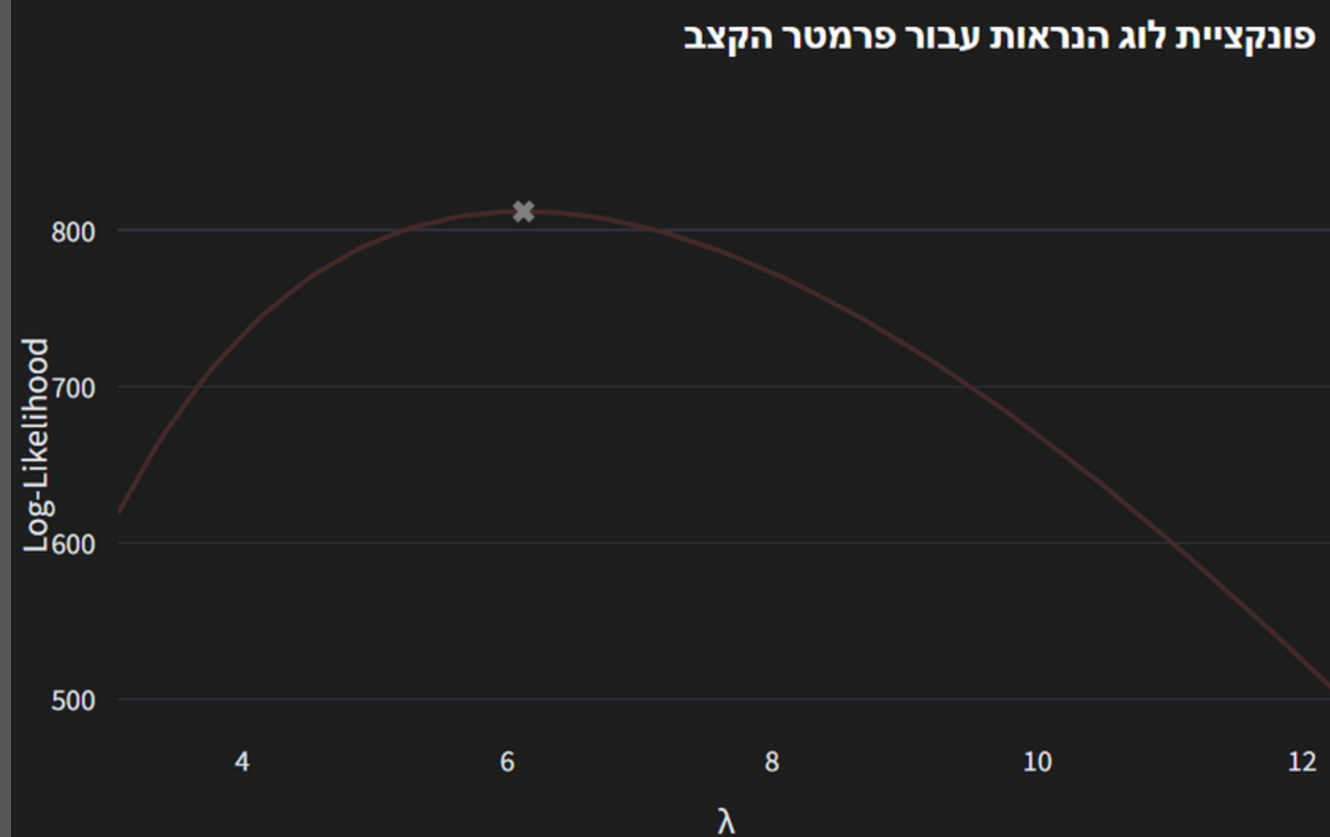
התפלגות מעריכית



התאמת התפלגות למודל

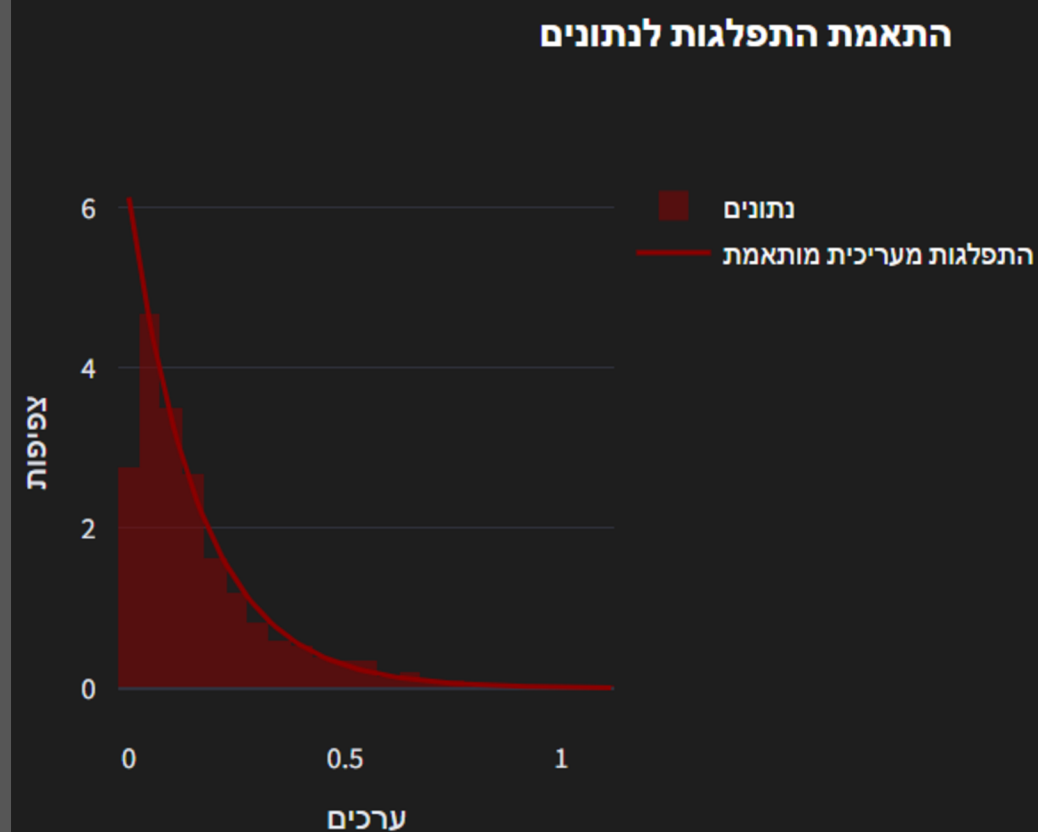
אמידת פרמטרים לסימולציה

כדי לייצר זמני הגעה מציאותיים בסימולציה, נבצע אמידה של הפרמטרים המרכזיים של ההתפלגות הנבחרת ונחשב רווחי בר-סמך לכל אחד מהם:



בדיקת התאמת המודל

לפני שימוש במודל בסימולציה, נוודא שהוא מתאר היטב את המציאות. נבצע מבחני טיב התאמה לבדיקת מידת ההתאמה:



מבחן Kolmogorov-Smirnov

סטטיסטיקה: 0.0332

ערך-p: 0.2157

מסקנה: כשלון לדחות H_0

מבחן Chi-Square

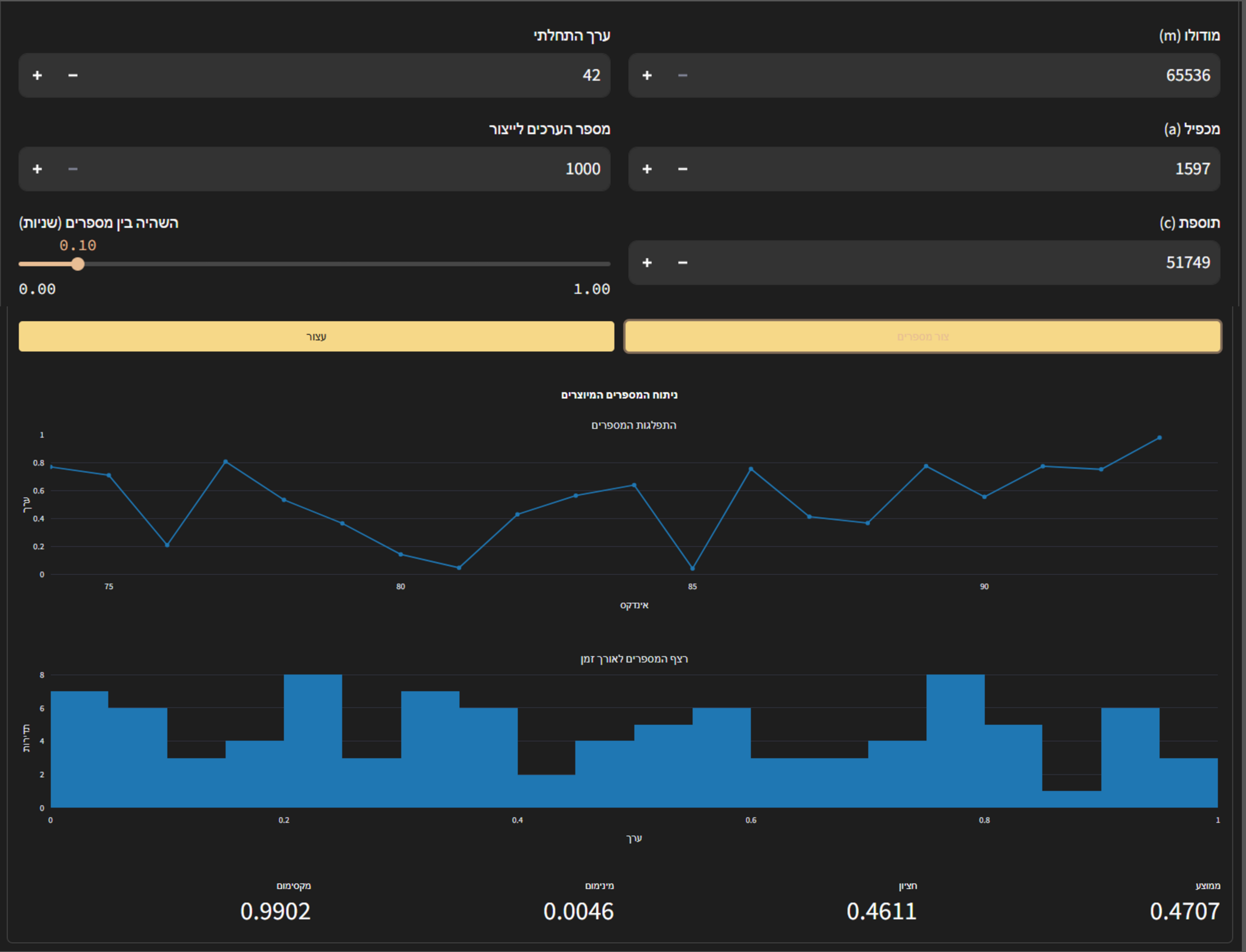
סטטיסטיקה: 20.7182

דרגות חופש: 32

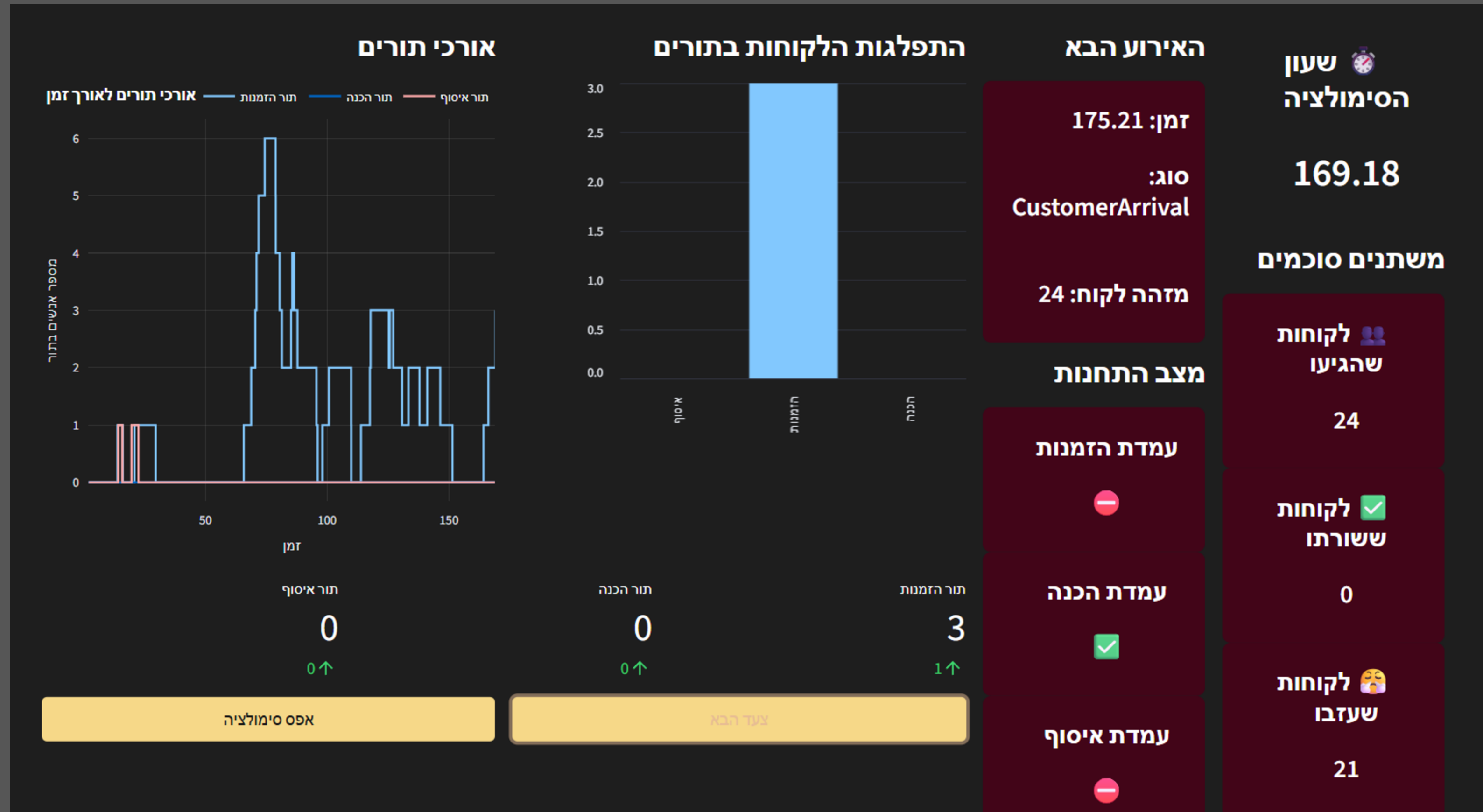
ערך-p: 0.9376

מסקנה: כשלון לדחות H_0

מחולל מספרים אקראיים



תכנות אירועים בדידים צעד אחר צעד



כעת נבחר את העמדה אליה נרצה לצרף עובד נוסף ונריץ את סימולצית המצב הקיים אל מול החלופה

הגדרות סימולציה

מיקום העובד הנוסף

עמדת הזמנות

עמדת הכנה

עמדת איסוף

מספר הרצות התחלתי

רמת מובהקות (α)

רמת דיוק יחסי (γ)

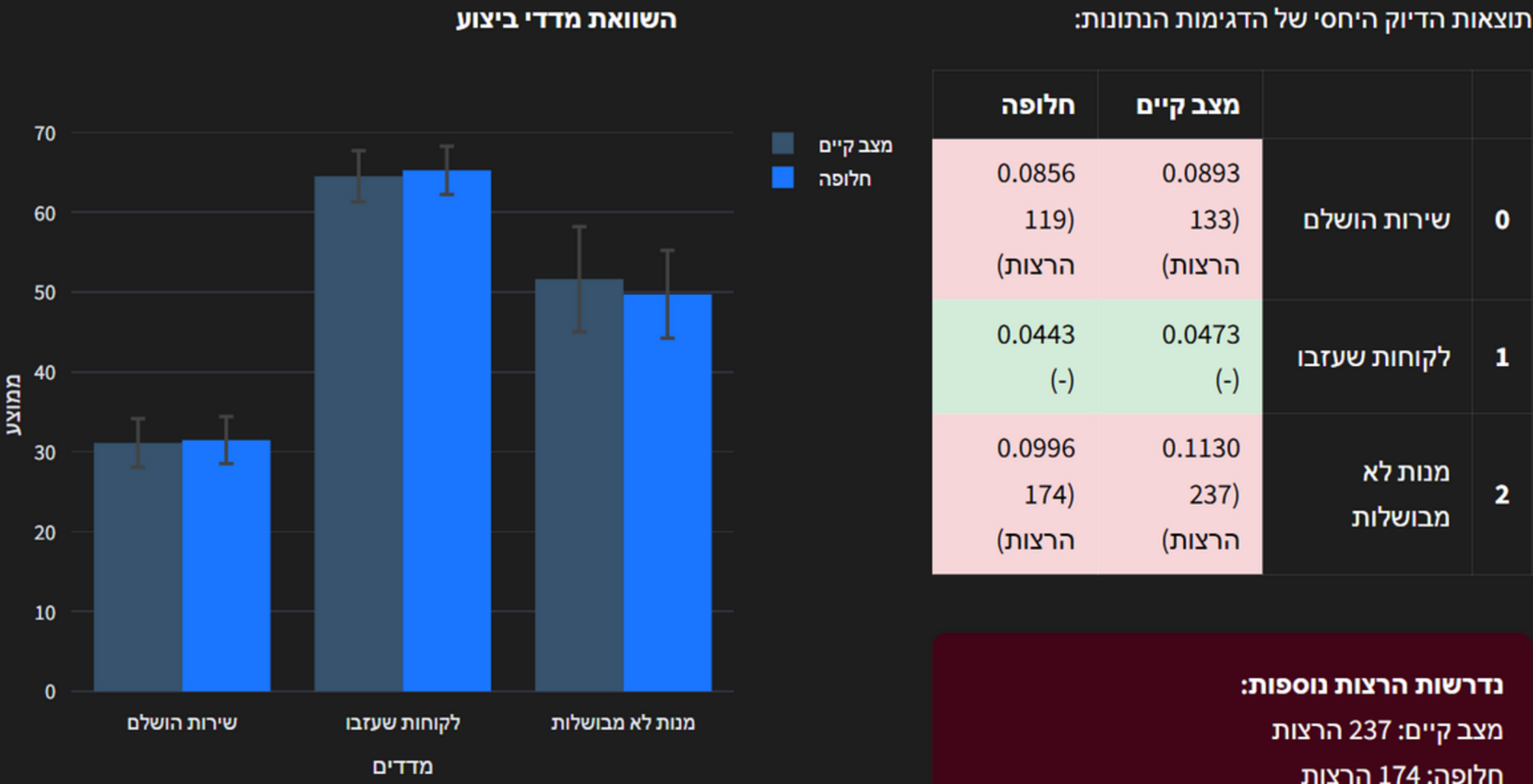
+ - 20

+ - 0.05

+ - 0.05

אפס סימולציה

הרץ סימולציה



בצע הרצות נוספות

ניתוח חלופות

משוב

להלן כמה תגובות מסקרי ההוראה בסמסטר א 2025:

" האפליקציה עזרה לי כי ללמוד מדוגמאות עוזר לי לחבר את התיאוריה."

" למידה מדוגמאות והתנסות עזרה לי להבין טוב יותר את החומר וגם מה מצופה ממני בפרויקט"

" תודה על האפליקציה אני חושבת שקורסים אחרים יכולים גם לממש כלים כאלו"

" האינטראקטיביות באפליקציה ממש עזר להמחיש את החומר"

" האפליקציה ממש שימשה אותי ביישום ותכנון הפרויקט תודה על זה"

רפלקציה

- הכנסת קורס יסוד מבוסס פייתון למחלקה הוא דבר חשוב ומבורך גם מפידבק מהסטודנטים.
- פרויקטי סימולציה ברמה גבוה יותר וניכר כי ההבנה של הסטונדטים השתפרה מאוד.
- הדוקמטנציה לאפליקציה נעשתה בצורה בהירה- מאפשרת למתרגלים חדשים ללמוד להפעילה, להוסיף מודלים או לערוך שינויים ולתקן באגים במידת הצורך.

תודה על
ההקשבה!



שאלות?