

פרויקט סימולציה

הכנת המשלחת הישראלית בהתעמלות קרקע לאולימפיאדה



קבוצה 30

דולב סולומון 316297480

משה כהן 316161694

ירדן פלנברג 318511417

תאריך הגשה:

11/01/2022

תוכן עניינים

3	3.תקציר.....
3	4.מבוא.....
3	4.1 תיאור המערכת הנחקרת.....
4	4.2 מטרות.....
4	5.מודל הסימולציה.....
5	5.1 תיאור המודל.....
6	5.2 ההנחות.....
6	6. ניתוח מצב קיים והצעת חלופות לשיפור המצב הקיים.....
6	6.1 בחירת מדדים לניתוח.....
7	6.2 סוג המערכת.....
8	6.3 ניתוח מצב קיים ביחס למדדים ולמטרות.....
9	6.4 תיאור חלופות.....
10	6.5 השוואה סטטיסטית בין מצב קיים לחלופות המוצעות.....
11	7. מסקנות.....
12	8. נספחים.....
12	נספח 1.....
16	נספח 2.....
19	נספח 3.....
19	נספח 4.....
25	נספח 5.....
27	נספח 6.....
32	נספח 7.....
33	נספח 8.....
36	נספח 9.....
36	נספח 10.....

3. תקציר

בפרויקט זה התבקשנו לחקור את יום האימון של מתעמלים אולימפיים במרכז הספורט הלאומי אשר מעניק שירותים ומתקנים לשימוש המתעמלים האולימפיים, תוך שימוש בתוכנת R-studio וכלי ה-Markdown. מטרת הפרויקט העיקרית הייתה לגבש אסטרטגיה אשר תגרום לייעול יום האימון ותשפר את טיב השירות הניתן למתעמלים בתקציב של עד 50,000 ₪. ההנחה העיקרית שגרמה לנו לגבש את האסטרטגיה הייתה שככל שהמתאמנים יתאמנו ויתנסו במכשירים רבים, הם יפיקו את המירב מאימוניהם, וכך גם תוצאותיהם באולימפיאדה יהיו טובות יותר. לצורך גיבוש החלופה החלטנו להתמקד בארבעה מדדים שדרכם נבחן את העמידה במטרות. המדדים שנבחרו הם: אחוז המתעמלים המסיימים את המערכת, זמן המתנה הממוצע למכשיר, אורך תור ממוצע למכשיר הקרקע, ואחוז המתעמלים שנוטשים עקב עייפות. במצב הקיים המדדים הניבו את התוצאות הבאות: **6.48%** מהמתעמלים סיימו את התהליך, זמן המתנה ממוצע למכשיר הוא **142.3379** דקות, אורך תור ממוצע למכשיר הקרקע הוא **235.1711**, ו**14.31%** מהמתעמלים נוטשים עקב עייפות. על מנת לבחון את מדדים אלו בחנו שתי חלופות. בחלופה הראשונה בחרנו להוסיף שעת עבודה של פיזיותרפיסט, מכשיר קפיצה ומכשיר קרקע לאולם ההתעמלות. בחלופה השנייה בחרנו להוסיף עמדת קפה, להביא את יו"ר הוועד האולימפי לביקור ולהוסיף מכשיר קרקע לאולם ההתעמלות. לאחר בחינת שתי החלופות, נמליץ ליישם את החלופה השנייה, מאחר והיא גורמת לשינוי חיובי מהותי במדדים: **7.98%** מהמתעמלים יסיימו את התהליך, זמן המתנה ממוצע למכשיר הוא **96.6707** דקות, אורך תור ממוצע למכשיר הקרקע יהיה **56.2026**, ו**7.36%** מהמתעמלים יינטשו עקב עייפות.

4. מבוא

4.1 תיאור המערכת הנחקרת:

במהלך פרויקט זה ננתח את הפעילות היומית של מרכז הספורט הלאומי של ישראל בו מתאמנים מתעמלים שמטרתם להגיע להישגים אולימפיים. המרכז פתוח בין השעות 06:00-20:00, ומגיעים אליו מתעמלים ומתעמלות, כאשר מהשעה 15:00 נפסקת הגעת המתעמלים. המרכז פועל על בסיס יומי בו המתעמלים מתאמנים במתקנים שונים, ומשתמשים בשירותי המרכז הכוללים 20 חדרי הלבשה ו-5 מקלחות (לכל מגדר), חדרי וידאו לצפייה באימון (5 סה"כ), הרצאות תזונה וטיפול פיזיותרפיסט. אנשי המקצוע הקיימים במרכז כוללים שני תזונאים, חמישה פיזיותרפיסטים ועשרה מאמני וידאו. בהגעתו של מתעמל למרכז, הוא פונה אל חדרי ההלבשה בהתאם למינו ומשם יעבור לאולם ההתעמלות לביצוע אימון במכשירים שטרם ביצע באופן רנדומלי. במרכז קיימים 10 מכשירים בסך הכל בהם מתאמנים המתעמלים, כך שקיים מכשיר אחד מכל דגם, למעט שני מכשירי קפיצה וקורה. הגברים מתאמנים

בששת המכשירים הבאים: מקבילים, טבעות, מתח, סוס סמוכות, קרקע וקפיצות, והנשים מתאמנות בארבעת המכשירים הבאים: קרקע, מקבילים מדורגים, קורה וקפיצות. לא קיימת הפרדה באולם ההתעמלות לפי מין כך שגם מתעמלים וגם מתעמלות מחכים בתורים אחידים. לאחר כל אימון במכשיר נצברת רמת עייפות, כך שבמידה ורמת העייפות גבוהה (בהתאם למין המתעמל) המתעמל לא יחזור לבצע אימון במכשירים. בסיום האימון המתעמל יעבור לאנשי המקצוע השונים הנותנים שירות. כל אנשי המקצוע מגיעים למרכז בשעה 08:00 ויוצאים להפסקה בשעה 13:00.

(1) בוחן וידאו - עשרה בוחנים, כל שני בוחנים נמצאים בחדר נפרד. לאחר ביצוע אימון במכשיר יגיע המתעמל לחדר הוידאו הקבוע במהלך כל יום על מנת לצפות בסרטון. אצל מאמן הוידאו ניתן לצפות במספר סרטונים במקרה של צבירת סרטונים. לאחר הצפייה בסרטון האחרון המתעמל יבחר אם להמשיך להרצאת תזונה או לקבל טיפול ע"י פיזיותרפיסט.

(2) תזונאים - קיימים שני תזונאים הנמצאים בחדרים נפרדים. למתעמלים יש אפשרות להצטרף להרצאת תזונה שמועברת ע"י התזונאים המתקיימת בכל שעה עגולה החל מהשעה 8:00 (68% מהמתעמלים בוחרים באפשרות זו). במידה והגיעו 10 מתעמלים להרצאה (ללא תלות במגדר שלהם) היא תתחיל מוקדם מהמתוכנן, לאחריה כל המתעמלים ימשיכו אל הפיזיותרפיסט.

(3) פיזיותרפיסט - חמישה פיזיותרפיסטים העובדים ביניהם במשמרות בחלל משותף. הפיזיותרפיסטים מקבלים את המתעמלים לפי התור, אלא אם מגיע מתעמל שרמת העייפות שלו גבוהה, ועוקף את התור. לאחר קבלת הטיפול מפיזיותרפיסט ימשיך המתעמל למתחם המקלחות.

4.2 מטרות

מטרות הארגון - מטרת הוועד האולימפי בישראל, האחראי על מרכז הספורט הלאומי, היא להכשיר את המתעמלים לקראת האולימפיאדה בצורה הטובה ביותר, תוך טיפול בצרכיהם והעמדת מערכת מקצועית ככל הניתן למטרה זו. כתוצאה מזו, מטרתם היא לבנות מרכז ספורט איכותי הכולל תוכנית אימונים מיטבית של ספורטאים בהתעמלות מכשירים, ובכך להגדיל את הסיכוי לזכות במדליה בענף.

מטרת הפרויקט - ייעול ימי האימון המתבצעים במרכז הספורט בכדי למקסם את טיב השירות הניתן למתעמלים ולאפשר לכמה שיותר מתעמלים לבצע אימון אופטימלי.

מטרות הסימולציה - בחינת החלופות המצמצמות את אורך התור וזמני ההמתנה למכשירים ולבעלי המקצוע על מנת להגדיל את מספר המתעמלים המתאמנים ומקבלים שירות במהלך יום האימון.

5. מודל הסימולציה

5.1 תיאור המודל:

את בניית המודל ביצענו באמצעות תוכנת R Studio תוך שימוש בחבילת Simmer. על מנת למדל את יום האימון במרכז יצרנו ישויות, משאבים ומסלולים. הישויות הינם מתעמל ומתעמלת המגיעים להתאמן בקצבי הגעה שונים בהתאם למגדר שלהם ([נספח 1](#)), המשאבים כוללים את כל המכשירים הקיימים באולם ההתעמלות, חדרי ההלבשה, המקלחות, ובעלי המקצוע השונים ([נספח 2](#)). כמו כן, ידועים התפלגויות זמני האימון וזמני השירות של כלל המשאבים. ([נספח 3](#))

מסלול ראשי-מסלול מתעמל ומסלול מתעמלת ([נספח 4.1](#)) - מיד לאחר אתחול הישויות, כל ישות נשלחת למסלול ראשי בהתאם למגדר שלה. שני המסלולים זהים מלבד התכונות המאותחלות בתחילתם. עם הגעתה למסלול הישות תופסת את חדר ההלבשה, ולאחר מכן מגיעה לאולם ההתעמלות בכדי להתאמן במכשירים השונים, דבר אשר מהווה את התהליך העיקרי במסלול. הישות תבחר באופן רנדומלי אחד מן המכשירים הקיימים במרכז ותישלח למסלול של המכשיר הרלוונטי. מתעמל יתאמן בכל יום במכשיר מסויים פעם אחת בלבד, ובסבירות שווה יבחר להתאמן בכל אחד מהמכשירים שטרם ביצע ([נספח 4.2](#)). לאחר מכן, הישות תמשיך למסלול חדר וידיאו. במידה והיישות לא סיימה את כל המכשירים ואינה ברמת עייפות גבוהה, היא תחזור לתהליך העיקרי של בחירת מתקן לאימון עד שאחד משני התנאים לא יתקיים. לאחר שהיישות מסיימת את האימון, במידה ומאמן הוידאו טרם הגיע אל המרכז, תופנה הישות למסלול צפייה מאוחרת בוידאו, ולאחר מכן בסיכוי 68% הישות תשלח למסלול ההרצאה. לישות שתמשיך במסלול תוגדר תכונת קדימות בהתאם לרמת העייפות המצטברת שלה ([נספח 4.3](#)), ובניסיון לתפוס את הפיזיותרפיסט, הישויות בעלות עדיפות גבוהה יותר יעקפו את התור ויתפסו מוקדם יותר את המשאב (LIFO). בסופו של התהליך הישות תתפוס את משאב המקלחת ותסיים את המסלול הראשי.

מסלולי משאבי המכשירים ([נספח 4.4](#)) – מספר מסלולי המכשירים הם כמספר סוגי המכשירים הקיימים במרכז. בעת הגעת הישות לאחד מהמסלולים היא מבצעת את הפעולות הבאות ללא קשר למגדר שלה: עדכון ביצוע המכשיר, חישוב ועדכון רמת העייפות המצטברת בהתאם להתפלגות ידועה ([נספח 5](#)), והגדלה באחד את כמות הסרטונים שטרם נצפו. ישות שהגיעה אל מסלול מכשיר, תבצע את המתקן בזמן המפולג נורמלית ותחזור למסלול הראשי.

מסלול חדר וידאו ([נספח 4.5](#)) – במסלול זה מבוצעת צפייה בסרטוני הוידאו של המתאמן. במידה ומאמן הוידאו טרם הגיע למרכז תופנה הישות למסלול ההמתנה לחדר הוידאו ותשוב לביצוע מתקנים נוספים. במידה והמאמן כבר הגיע, תצפה הישות שהגיעה בסרטוני הוידאו שטרם ראתה ("ייתכן אחד או יותר). לאחר הצפייה בוידאו התכונה המצביעה על כמות סרטונים שטרם נראו תתאפס.

מסלול צפייה מאוחרת בוידאו ([נספח 4.6](#)) – במסלול זה הישות מחכה להגעת מאמן הוידאו על ידי תפיסת משאב "wait for workers" עד להגעת המאמן, ולאחר מכן תישלח למסלול חדר הוידאו.

מסלול הרצאה (נספח 4.7) - בתחילת המסלול הישויות מתקבצות לקבוצה. לאחר שלמסלול מגיעות עשר ישויות או ברגע שזמן הסימולציה מצביע על שעה עגולה, הקבוצה נשלחת לתור הקצר מבין שני התזונאים. לאחר ההרצאה הישויות נפרדות וחוזרות למצבם הקודם.

5.2 הנחות המודל:

- ההרצאה של התזונאי משותפת למתעמל ומתעמלות כאשר קיימים עד עשרה מקומות בכל הרצאה.
- הפיזיותרפיסט לא מפסיק טיפול באמצע - מתעמל שהתחיל טיפול יסיים אותו.
- במידה ואחד מבעלי המקצוע נותן שירות למתעמל בזמן ההפסקה שלו, הוא יסיים לטפל בו ורק לאחר מכן יצא להפסקה. זמן הטיפול מתקזז מזמן ההפסקה שלו.
- המתעמלים בוחרים באופן רנדומלי את המכשירים עליהם הם יתאמנו.
- שני מתעמלים עם אותה רמת עייפות לא עוקפים אחד את השני בתור של הפיזיותרפיסט.
- כל המתעמלים שסיימו להתאמן לא ממשיכים במסלול עד שלא עברו אצל בוחן וידאו.

הנחות לצורך ניתוח סטטיסטי:

על מנת לבחון את ההבדל בין החלופות יצרנו תלות בין ריצות מקבילות בין הסדרות ע"י שימוש באותו seed לכל אחת מהריצות. בנוסף, לא קיימת תלות בין הריצות בכל חלופה לעצמה, מכיוון שה-seed משתנה. קיים שיוויון שונויות בין הסדרות והתוצאות מתפלגות נורמלית. עבור כל המדדים שלנו ניתן להניח התפלגות נורמלית (פרופורציה או ממוצע).

3. ניתוח המצב הקיים והצעת חלופות לשיפור המצב הקיים

6.1 בחירת מדדים לניתוח (מטרות הסימולציה)

תחילה ערכנו בדיקה כי המודל אכן מתאר את המצב הקיים כראוי ומצאנו כי הינו תקין (נספח 6). לאחר מכן, בהתאם למטרות הארגון והפרויקט הגדרנו את המדדים הבאים:

(1) אורך תור ממוצע למכשיר הקרקע (floor) - למרות ששני המינים מתאמנים על מכשיר הקרקע, במרכז הספורט קיים רק מכשיר אחד מסוג זה. על כן, ייתכן ומתעמלים רבים ממתינים שמכשיר זה יתפנה ומעוכבים באימונם. משום שאנו שואפים למקסם את כמות המכשירים שמתעמלים מתאמנים עליהם ביום, נרצה להקטין מדד זה ביחס לחלופות אחרות. את המדד חישבנו בעזרת פונקציית `avgQueue()` (נספח 7).

(2) אחוז המתעמלים שנוטשים עקב עייפות - המתעמלים אשר נוטשים עקב עייפות אינם משלימים את האימון במכשירים המיועדים להם.. נרצה למזער את מספר האנשים שנוטשים עקב עייפות ביחס

לחלופות אחרות שנבחן. מדד זה מחושב כך: $\text{Left Precent} = \frac{\text{Leavers}}{\text{Leavers} + \text{Succed}}$ כאשר Leavers מוגדר כמספר המתעמלים הנוטשים עקב עייפות. Succed מוגדר ככמות המתעמלים שסיימו את כל המתקנים שלהם ורמת העייפות שלהם קטנה מרמת העייפות המקסימלית.

(3) אחוז המתעמלים המסיימים את המערכת - נרצה להגדיל מדד זה ככל הניתן על מנת לאפשר לכמות

גדולה של מתעמלים להשתתף ביום אימון מלא ויעיל. מדד זה מחושב כך: $\text{Finish Precent} = \frac{\text{Finish}}{\text{Total}}$ כאשר Finish מוגדר כמספר המתעמלים שסיימו את המסלול (ערך True בעמודת finished של טבלת Total)(get mon arrival) הוא מספר כולל של המתעמלים שהגיעו באותו יום (מספר הישגיות שבטבלה).

זמן המתנה ממוצע למכשיר - נרצה שמרבית המתעמלים יתאמנו בכלל המכשירים על מנת שישפרו את ביצועיהם. זמן ההמתנה הממוצע למכשיר משפיע על הספקי המתעמל, וכן על זמן סיום האימון ועל כמות בעלי המקצוע שיעניקו לו שירות בהמשך. מכיוון שנרצה להגדיל ככל הניתן את אפקטיביות של יום אימון, נרצה להקטין את מדד זה ביחס לחלופות אחרות שנבחן. את המדד נחשב באמצעות הוספת עמודת זמן המתנה לטבלת get mon arrival באופן הבא: $\text{waiting time} = \text{end time} - \text{start time}$ activity time . נחשב זמן המתנה ממוצע למכשיר לפי סוג ולאחר מכן על נתונים אלו נחשב ממוצע לזמן המתנה הממוצע למכשיר באולם התעמלות.

6.2 סוג המערכת

המערכת אותה אנו ממדלים היא מערכת מסתיימת - Terminating System משום שאנו בוחנים את הפעילות של מרכז הספורט לאורך זמן מוגדר של יום אחד (840 דק'), ולכן אין צורך בהגדרת זמן חימום. בתחילת כל הרצה הסימולציה תיצור ישויות חדשות, כך שישויות שלא סיימו את היום הקודם לא יעברו מיום ליום. מספר הריצות הראשוני הוא $n_0 = 30$ אשר נקבע באופן שרירותי על מנת לבדוק את מספר החזרות הנדרש. עבור כל אחד מהמדדים חישבנו ממוצע וסטיית תקן וחצי רווח סמך עבור 30 ההרצות (נספח 8.1). לצורך קביעת מספר הריצות המינימלי עבור מערכת בודדת נבצע בדיקה האם מתקיים האילוץ של הדיוק היחסי עבור כל מדד על פי הנוסחה $\frac{\delta_{(n,a)}}{\bar{x}} \leq \frac{\gamma}{1+\gamma}$. נבחר את הדיוק היחסי להיות $\gamma = 0.1$, אשר ייתן את החסם של 0.0909. רמת המובהקות הכוללת היא $\alpha_{\text{total}} = 0.08$, ועבור כל מדד תהיה $\alpha_i = \frac{\alpha_{\text{total}}}{4} = \frac{0.08}{4} = 0.02$. כך, רמת הביטחון של כל מדד היא $1 - \alpha_i = 0.98$. עבור כל

חלופה נבצע בדיקה האם עומדת בדיוק היחסי על פי הנוסחה $\frac{\delta}{\bar{x}} = t_{(30-1), (1-0.02/2)} * \frac{\text{sd}/\sqrt{30}}{\text{ממוצע}}$

אורך תור ממוצע	אחוז המתעמלים	אחוז לקוחות	זמן המתנה ממוצע
למכשיר הקרקע	שנוטשים עקב עייפות	שסיימו את המסלול	למכשיר
מצב קיים	0.0260	0.1125	0.0525
חלופה 1	0.0408	0.0698	0.0173
חלופה 2	0.0521	0.0841	0.0141

עבור המדד "אחוז המתעמלים שנוטשים עקב עייפות" מדד הדיוק היחסי אינו עומד באילוף, ולכן נחשב את כמות הריצות הנוספות שיש לבצע בכדי שנעמוד בדיוק שהגדרנו.

$$N = n_0 \cdot \left(\frac{\delta_0}{\bar{x} \cdot \frac{\gamma}{1+\gamma}} \right)^2 = 30 \cdot \left(\frac{t_{(30-1), (1-0.02/2)} \cdot sd / \sqrt{3}}{0.0909 \cdot \text{ממוצע}} \right)^2$$

נצטרך לבצע עוד 16 הריצות נוספות - 46 ריצות בסה"כ (נספח 8.2) עבור מספר ריצות זה, עבור כל המדדים בכל אחת מהחלופות, עמדנו באילוף הדיוק היחסי שהגדרנו (נספח 8.3).

6.3 ניתוח מצב קיים: להלן תוצאות של 46 ריצות במצב הקיים:

ממוצע	אורך תור ממוצע	אחוז המתעמלים	אחוז המתעמלים	זמן המתנה ממוצע
ממוצע	למכשיר הקרקע	שנוטשים עקב עייפות	שסיימו את המסלול	למכשיר
ממוצע	235.1711	0.1431	0.0648	142.3379
סטיית תקן	11.7185	0.0348	0.0073	5.1311

אורך תור ממוצע למכשיר הקרקע - אורך התור ממוצע למכשיר זה הוא 235.1711 והינו האורך ביותר מבין כל המכשירים במרכז הספורט (נספח 9). התור למכשיר זה מהווה צוואר בקבוק במרכז וגורם להתנתה ארוכה מאוד של כל המתעמלים. מצב זה מעיד על בזבז זמן יקר של המתעמלים, וכמו כן משפיע על אחוז המתעמלים שמסיימים את היום לאחר מעבר אצל כל נותני השירות והמתקנים במרכז.

זמן המתנה ממוצע למכשיר - זמן ההמתנה ממוצע למכשיר הוא 142.3379. להערכתנו, זמן זה הוא ארוך ולא סביר להתנה בין מכשירים שונים. מטרת הפרויקט היא למקסם את טיב השירות שניתן למתעמלים ובמצב זה השירות לא יעיל וגורם לאימון לא אפקטיבי.

אחוז המתעמלים שנוטשים עקב עייפות - אחוז המתעמלים שנוטשים את האימון עקב עייפות גבוה מאוד ועומד על 14.31%. נרצה לצמצם את אחוז זה בכדי לאפשר לכמה שיותר מתעמלים להתאמן בכלל המכשירים. נרצה לבחון חלופות המאפשרת שמירה על רמת עייפות מצטברת מינימלית של המתעמלים.

אחוז המתעמלים המסיימים את המערכת - אחוז המתעמלים שמסיימים את המערכת ביחס לכלל המתעמלים המגיעים ביום הוא 6.48%. אחוז זה הינו מזערי המעיד על חוסר יעילות של המערכת. נשאף למקסם ככל הניתן את מדד זה בכדי לתת את כלל השירותים למספר רב של מתעמלים.

6.4 תיאור החלופות

חלופה 1

במסגרת החלופה הראשונה בחרנו להוסיף מכשיר קרקע למרכז הספורט, להוסיף מכשיר קפיצה, ולהוסיף שעת עבודה לפיזיותרפיסט בשעה 16:00. חלופה זו בעלת ערך כספי של 48,000. משום שבמצב הקיים אורך התור עבור מכשירי הקרקע והקפיצות הוא ארוך מאוד, נבחר להוסיף מכשירים אלו לאולם ההתעמלות. לאחר הוספת המכשירים מתאמנים נוספים יוכלו להגיע לאנשי המקצוע האחרים ולכן ייתכן ויווצר עומס אצלם. לכן, נבחר להוסיף שעת עבודה לאחד הפיזיותרפיסטים בשעה 16:00, בה קיים תור גדול. בשעה זו מתעמלים רבים סיימו את האימון במכשירים והם ממתנים לקבל שירות מאחד הפיזיותרפיסטים, כך נצמצם את צוואר בקבוק במשאב ומתעמלים נוספים יוכלו לסיים את האימון.

אורך תור ממוצע	אחוז המתעמלים שנוטשים עקב עייפות	אחוז המתעמלים שסיימו את המסלול	זמן המתנה ממוצע למכשיר
ממוצע	80.2786	0.1379	0.0819
סטטיית תקן	6.9720	0.0208	0.0031
	6.3787		103.1663

אורך תור ממוצע למכשיר הקרקע - ניתן לראות כי אורך התור הממוצע הוא 80.2786. מדובר בשיפור מהותי המקצר את אורך התור בכשליש מהמצב הקיים.

אחוז המתעמלים שנוטשים עקב עייפות - 0.1379, זאת לעומת 0.1431 במצב הקיים, כלומר לא קיים שיפור מהותי עבור מדד זה.

אחוז המתעמלים שסיימו את המסלול - המדד המתקבל בחלופה זו הוא 0.0819 לעומת 0.00648 במצב הקיים. ניתן לומר כי חלה עלייה קלה במדד זה, אך אינה מובהקת בצורה מהותית.

זמן המתנה ממוצע למכשיר - נמוך משמעותית מזמן ההמתנה למכשיר במצב הקיים.

חלופה 2

במסגרת חלופה זו בחרנו להוסיף עמדת קפה במרכז, לתאם את ביקו"ר היו"ר במרכז, והוספת מכשיר מסוג floor. חלופה זו בעלת ערך כספי של 50,000 ש"ח.

חלופה זו בוחנת את המטרה לפיה נרצה שהמתעמלים יתאמנו בכמה שיותר מכשירים, לצד כמות מתעמלים רבה ככל הניתן שתשלים את יום האימון. נבחר שיו"ר הועד האולימפי יגיע לביקור בשעה 13:00, מכיון שזו שעה שבה ישנם יחסית הרבה מתאמנים במרכז הספורט, ובצורה כזו ייותר מספיק זמן כדי שהמתעמלים יסיימו את יום האימון בשלמותו. בנוסף, רמת העייפות שתתאפס אצל המתעמלים, עלולה לגרום למצב בו יוצר עומס על המכשירים, עקב מתעמלים נוספים שיגיעו אליו. נרצה לקצר את זמני האימון במכשירים ואת זמני ההמתנה אצל בעלי המקצוע. לכן, החלטנו להוסיף עמדת קפה הגורמת להקטנת תוחלת זמן האימון במכשיר, ומכשיר קרקע המהווה צוואר בקבוק במרכז. התוצאות שהתקבלו:

אורך תור ממוצע	אחוז המתעמלים	אחוז המתעמלים	זמן המתנה ממוצע
למכשיר הקרקע	שנוטים עקב עייפות	שסיימו את המסלול	למכשיר
ממוצע	56.2026	0.0736	96.6707
סטיית תקן	6.4572	0.0142	6.0349

אחוז מתעמלים שנוטים עקב עייפות - 0.0736, ובמצב הקיים מדד זה מקבל את 0.143. מדד זה משתפר אף הוא בחלופה זו וניתן לראות כי גם אחוז הנוטים עקב עייפות קטן, כפי שרצינו.

אחוז מתעמלים שסיימו את המסלול - ניתן לראות כי במצב זה המדד עומד על 0.0798, זהו מדד אשר נרצה למקסם וניתן לראות כי חלופה זו אכן מאפשרת מקסום לעומת המצב הקיים שעומד על 0.0648

זמן המתנה ממוצע למכשיר - מדד זה גורם לצוואר בקבוק במערכת. ניתן לראות כי במצב הקיים המדד עומד על 96.6707, ולעומת זאת בחלופה זו נקבל 142.3379, שאכן מוזער כפי שרצינו.

6.5 השוואה סטטיסטית בין מצב קיים לחלופות מוצעות

לאחר שבחנו את כל המדדים שבחרנו ביחס למדדים ולחלופות נרצה לקבוע איזו מהחלופות היא הטובה ביותר. נבצע מבחן t מזווג ל-12 השוואות שונות בין החלופות שהצענו עבור כל מדד ברמת מובהקות

$$\alpha_i = \frac{\alpha_{total}}{\text{number of comparisons}} = \frac{0.08}{3*4} = \frac{1}{150} \text{ של } \alpha_i \text{ (נספח 10)}.$$

מדד	השוואה	רווח סמך	תוצאות המבחן	חלופה מועדפת עבור כל מדד
אורך תור ממוצע למכשיר קרקע	מצב קיים-חלופה 1	[148.6832, 161.1015]	חלופה 1	חלופה 2
	מצב קיים-חלופה 2	[172.9175, 185.0194]	חלופה 2	
	מצב קיים-חלופה 2	[19.8277, 28.3243]	חלופה 2	
אחוז המתעמלים שסיימו את המסלול	מצב קיים-חלופה 2	[-0.0203, -0.0139]	חלופה 1	חלופה 1
	מצב קיים-חלופה 2	[-0.0184, -0.1156]	חלופה 2	
	מצב קיים-חלופה 2	[0.0004, 0.0037]	חלופה 1	

חלופה 2	אדישות	[-0.0128,0.0232]	מצב קיים-חלופה 1	אחוז המתעמלים שעוזבים מעייפות
	חלופה 2	[0.0527,0.0861]	מצב קיים-חלופה 2	
	חלופה 2	[0.0528,0.0756]	חלופה 1- חלופה 2	
חלופה 2	חלופה 1	[35.5692,42.7738]	מצב קיים-חלופה 1	זמן המתנה ממוצע למכשיר
	חלופה 2	[42.1341,49.2000]	מצב קיים-חלופה 2	
	חלופה 2	[2.5939,10.3972]	חלופה 1- חלופה 2	

בניתוח התוצאות של המבחן הסטטיסטי נמצא כי בכל המדדים נעדיף את אחת החלופות על פני המצב הקיים. בהסתכלות נקודתית על המדדים **אורך תור ממוצע למכשיר קרקע, אחוז המתעמלים שעוזבים מעייפות, וזמן המתנה ממוצע למכשיר** נמליץ על חלופה 2 ביחס לחלופה 1 ולמצב הקיים. מנגד, עבור המדד **אחוז המתעמלים שמסיימים את המסלול** נמליץ על חלופה 1 ביחס לחלופה 2 ולמצב הקיים.

4. מסקנות

מטרת הפרויקט היא לייעל את ימי האימון המתבצעים במרכז הספורט בעלות של עד 50,000 ₪ בכדי למקסם את טיב השירות הניתן למתעמלים, הייעול נמדד בשיפור ערכי המדדים שנבחרו. בחנו שתי חלופות אפשריות: (1) הוספת שעת עבודה של פיוזתרפיסט, הוספת מכשיר קפיצות ומכשיר קרקע לאולם ההתעלמות בעלות של 48,000 ₪. (2) הוספת עמדת קפה המשפיעה על תוחלת זמן אימון במכשיר, ביקור יו"ר הועד האולימפי המשפיע על רמת העייפות של המתעמלים והוספת מכשיר קרקע לאולם ההתעלמות בעלות של 50,000 ₪. התוצאות שהתקבלו בעת בחינת המצב הקיים והחלופות באמצעות הסימולציה הן כי יישום חלופה 2 עשוי להביא לשיפור של המדדים **אורך תור ממוצע למכשיר קרקע, אחוז המתעמלים שעוזבים מעייפות, וזמן המתנה ממוצע למכשיר**. לעומת זאת, יישום חלופה 1 עשוי להביא לשיפור את המדד **אחוז המתעמלים שמסיימים את המסלול**. עם זאת, בביצוע המבחן סטטיסטי עבור מדד זה נמצא כי רווח הסמך מאוד קרוב לערך אפס המבטא פער שאינו משמעותי בין שתי החלופות. לכן, בראייה כוללת על הסתכלות על כלל המדדים, נמליץ ליישום חלופה 2 על פני חלופה 1 והמצב הקיים. נציין כי שיערנו שמכשיר הקרקע מהווה צוואר בקבוק באולם ההתעלמות, וכן כי הוספת מכשיר קרקע יחד עם קיצור זמני האימון במכשירים והורדת רמת העייפות, ישפרו את המדדים שנבחרו וייעלו את המערכת.

לדעתנו, החלופה השנייה שהצענו אכן תייעל את מרכז הספורט, וניתן לראות זאת בכך ששיפרנו את כל המדדים ביחס למצב הקיים. נמליץ למרכז הספורט הלאומי ליישם את המודל שהצענו, שכן הוא עתיד לייעל את ימי האימון של המתעמלים ובכך להגדיל את סיכויי המתעמלים באולימפיאדה.

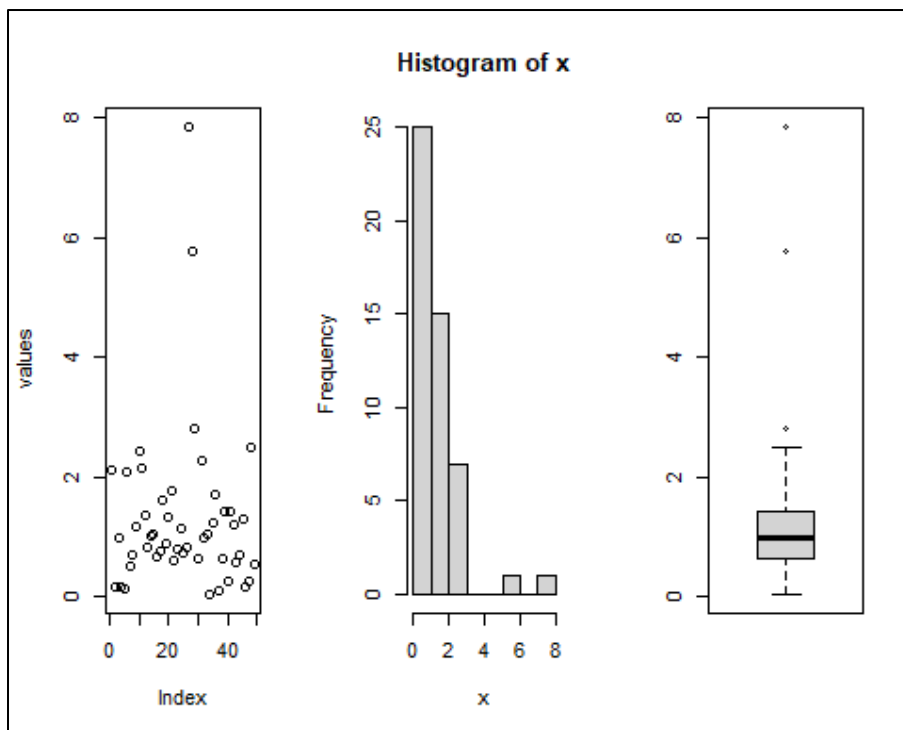
נספח 1 : קצבי הגעה של המתעמלים והמתעמלות .

Females Trainers

ניתוח נתוני הגעה של מתעמלות :

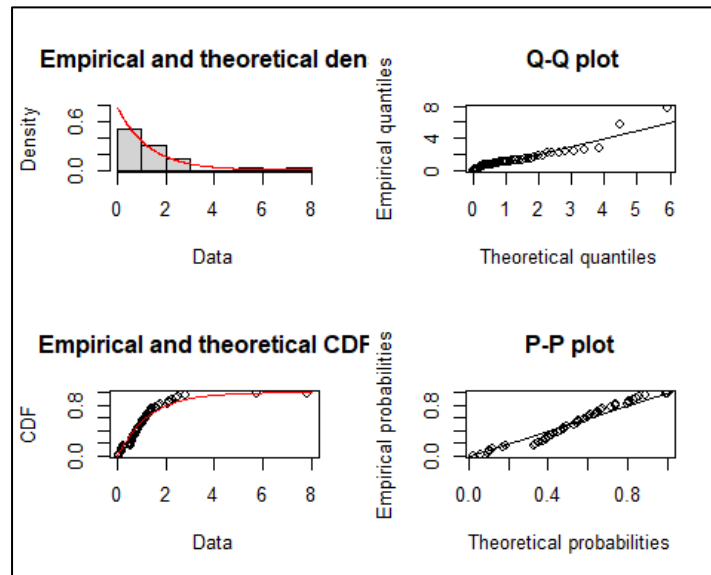
כצעד מקדים נעשה פילוח נתונים לנתוני קצבי הגעה של המתעמלות. נפיק תרשימי פיזור ועמודות כדי לקבל הבנה כללית של התפלגות נתוני קצבי הגעה של המתעמלות וגם לצורך בדיקת התצפיות הנתונות אפשר לראות מגרף העמודות שהנתונים עם זנב ימני גדול דבר שיכול להעיד על התפלגות מעריכת. ניתן לראות כי קיימות שתי תצפיות חריגות ביחס לכל השאר. בחרנו שלא להוציא אותן מכיוון שמספר התצפיות שלנו קטן ומייצג שעה אחת בלבד, יתכן שהם מאפיינות את "מצב הטבע" של התפלגות הגעת המתעמלות.

נעשה מבחן טיב התאמה להתפלגות מערכית לצורך בדיקת התפלגות הנתונים .



מבחיני טיב התאמה להתפלגות קצבי הגעה של מתעמלות :

התאמת הנתונים להתפלגות מערכית:



```
## Fitting of the distribution ' exp ' by maximum likelihood
## Parameters :
##      estimate Std. Error
## rate 0.7744995  0.1106426
## Loglikelihood: -61.52138  AIC: 125.0428  BIC: 126.9346

##      rate
## 0.7744995
```

נבצע מבחן השערות לבדיקת התפלגות הנתונים :

מבחן KS על השערה שהתפלגות הנתונים מגיעה מהתפלגות מערכית .

```
## Goodness-of-fit statistics
##      1-mle-exp
## Kolmogorov-Smirnov statistic 0.1665206
## Cramer-von Mises statistic  0.2230086
## Anderson-Darling statistic  1.2385506
##
## Goodness-of-fit criteria
```

```
## 1-mle-exp
## Akaike's Information Criterion 125.0428
## Bayesian Information Criterion 126.9346

## 1-mle-exp
## "not rejected"
```

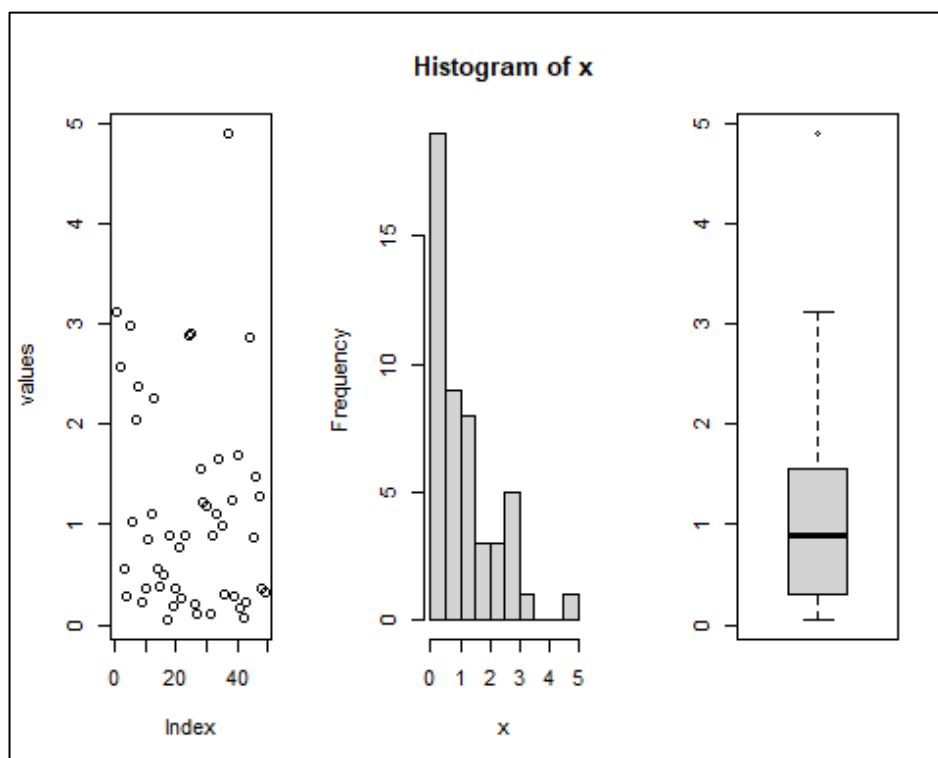
For exp Fit - H0 is not rejected.

ניתן לראות שלא דחינו את השערת האפס ולכן נאמר כי נתוני התפלגות הנתונים מגיעים מהתפלגות מערכית ברמת מובהקות של 5%.

ולכן קצת הגעת המתעמלות הינו: $\text{Exp} \sim (0.7744)$

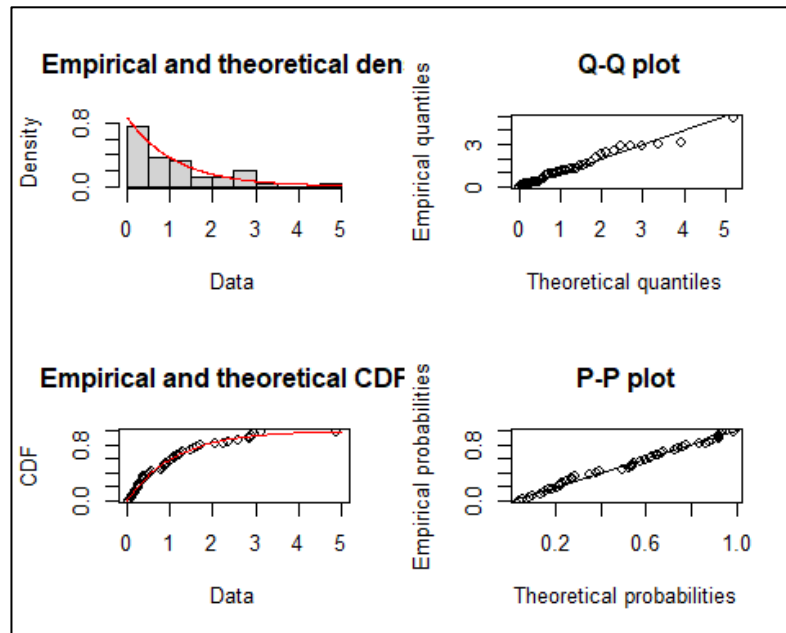
Males Trainers

באופן דומה לנעשה עם המתעמלות גם כאן בחנו את הנתונים הגעת המתעמלים ובחרנו באופן דומה לא להוציא את התצפית החריגה הקיימת לנו.



מבחני טיב התאמה להתפלגות קצבי הגעה של מתעמלות :

התאמת הנתונים להתפלגות מערכית



```
## Fitting of the distribution ' exp ' by maximum likelihood
## Parameters :
##      estimate Std. Error
## rate 0.8815592 0.1259369
## Loglikelihood: -55.17709 AIC: 112.3542 BIC: 114.246

## rate
## 0.8815592
```

נבצע מבחן השערות לבדיקת התפלגות הנתונים :

מבחן KS על השערה שהתפלגות הנתונים מגיעה מהתפלגות מערכית .

```
## Goodness-of-fit statistics
##      1-mle-exp
## Kolmogorov-Smirnov statistic 0.08059141
## Cramer-von Mises statistic 0.04580558
## Anderson-Darling statistic 0.34756679
##
```

```
## Goodness-of-fit criteria
##          1-mle-exp
## Akaike's Information Criterion 112.3542
## Bayesian Information Criterion 114.2460

## 1-mle-exp
## "not rejected"
```

For exp Fit - H0 is not rejected.

ניתן לראות שלא דחינו את השערת האפס ולכן נאמר כי נתוני התפלגות הנתונים מגיעים מהתפלגות מערכית ברמת מובהקות של 5%.

ולכן נאמר כי נתוני התפלגות המתעמלים הינה : $Exp \sim (0.8815)$

- נספח 2 – משאבים, תכונות של ישויות

- נספח 2.1: המשאבים במערכת

```
sport_center<- simmer("sport_center")%>%
  add_resource("video_room_1",capacity=video_schedule_capacity,queue_size=schedule_size)%>%
  add_resource("video_room_2",capacity=video_schedule_capacity,queue_size=schedule_size)%>%
  add_resource("video_room_3",capacity=video_schedule_capacity,queue_size=schedule_size)%>%
  add_resource("video_room_4",capacity=video_schedule_capacity,queue_size=schedule_size)%>%
  add_resource("video_room_5",capacity=video_schedule_capacity,queue_size=schedule_size)%>%
  add_resource("dietician1",capacity=dietician_schedule_capacity,queue_size=schedule_size)%>%
  add_resource("dietician2",capacity=dietician_schedule_capacity,queue_size=schedule_size)%>%
  add_resource("physiotherapist",capacity=physiotherapist_schedule_capacity,queue_size=schedule_size)%>%
  add_resource("man_changing_room",capacity=20,queue_size=Inf)%>%
  add_resource("woman_changing_room",capacity=20,queue_size=Inf)%>%
  add_resource("man_shower",capacity=5,queue_size=Inf)%>%
  add_resource("woman_shower",capacity=5,queue_size=Inf)%>%
  add_resource("rafter1",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
  add_resource("rafter2",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
  add_resource("floor",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
  add_resource("parallel",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
  add_resource("cascading_parallel",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
  add_resource("rings",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
  add_resource("pommel_horse",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
  add_resource("horizontal_bar",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
  add_resource("jumping1",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
  add_resource("jumping2",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
  add_resource("wait_for_workers",capacity=wait_capacity,queue_size=Inf)
```


• פירוט המשאבים הקיימים במערכת :

משאב	קיבולת	אורך תור מקסימלי
חדר וידאו 1	2 : 08:00-13:00	אינסוף: 08:00-20:00
	2 : 13:00-20:00	
חדר וידאו 2	2 : 08:00-13:00	אינסוף: 08:00-20:00
	2 : 13:00-20:00	
חדר וידאו 3	2 : 08:00-13:00	אינסוף: 08:00-20:00
	2 : 13:00-20:00	
חדר וידאו 4	2 : 08:00-13:00	אינסוף: 08:00-20:00
	2 : 13:00-20:00	
חדר וידאו 5	2 : 08:00-13:00	אינסוף: 08:00-20:00
	2 : 13:00-20:00	
דיאטן 1	1 : 08:00-20:00	אינסוף
דיאטן 2	1 : 08:00-20:00	אינסוף
פיזיותרפיסטים	2 : 08:00-12:00	אינסוף
	5 : 12:00-16:00	
	3 : 16:00-20:00	
תאי הלבשה למתעמלים	20	אינסוף
תאי הלבשה למתעמלים	20	אינסוף
מקלחת למתעמלים	5	
מקלחת למתעמלות	5	אינסוף
קורה 1	1	אינסוף
קורה 2	1	אינסוף
ריצפה	1	אינסוף
מקבילים	1	אינסוף
מקבילים מדורגים	1	אינסוף
טבעות	1	אינסוף
סוס סמוכות	1	אינסוף
מתח	1	אינסוף
מקפצה 2	1	אינסוף
מקפצה 2	1	אינסוף
חדר המתנה (מידול)	08:00-20:00 : אינסוף	אינסוף

נספח 2.2 : תכונות הישויות במערכת

תכונות של מתעמלות :

```
woman_line<-trajectory("woman_line")%%
set_attribute(keys = c("floor","cascading_parallel","rafter","jumping","parsonly_tried_level", "video_room", "lecture", "unseen_video"),
```

floor- האם המתעמלת התאמנה על מכשיר הקרקע 0- לא הייתי 1-כן.

Cascading_parallel – האם המתעמלת התאמנה על מכשיר המקבילים המדורגים 0- לא הייתי 1-כן.

Rafter – האם המתעמלת התאמנה על מכשיר הקורה 0- לא הייתי 1-כן.

Jumping – האם המתעמלת התאמנה על מכשיר המקפצה 0- לא הייתי 1-כן.

Parsonly_tired_level – תכונה השומרת את רמת העייפות המצטברת של מתעמלת במשך היום. מאותחלת כ-0.

Video_room- מספר החדר של החדר וידאו, נרצה שמתעמלת תגיע לאותו חדר וידאו במהלך כל היום.

Lecture – האם הייתי בהרצאה או לא הייתי 0- לא הייתי 1-כן.

Unseen_video – כמה סרטונים נשארו למתעמלת לצפות.

תכונות של מתעמלים :

```
man_line<-trajectory("man_line")%>%
  set_attribute(keys = c("parallel","rings","horizontal_bar","pomel_horse","floor","jumping","parsonly_tired_level", "video_room", "lecture",
    "unseen_video"), values = c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0))%>%
```

parallel – האם המתעמל התאמן על מכשיר המקבילים 0- לא הייתי 1-כן.

Rings- האם המתעמל התאמן על מכשיר הטבעות 0- לא הייתי 1-כן.

Horizontal_bar- האם המתעמל התאמן על מכשיר המתח 0- לא הייתי 1-כן.

Pomel_horse – האם המתעמל התאמן על מכשיר סוס סמוכות 0- לא הייתי 1-כן.

Floor – האם המתעמל התאמן על מכשיר הקרקע 0- לא הייתי 1-כן.

Jumping – האם המתעמל התאמן על מכשיר המקפצה 0- לא הייתי 1-כן.

Parsonly_tired_level – תכונה השומרת את רמת העייפות המצטברת של המתעמל במשך היום. מאותחלת כ-0.

Video_room – מספר החדר של החדר וידאו, נרצה המתעמל תגיע לאותו חדר וידאו במהלך כל היום.

Lecture – האם המתעמל היה בהרצאה או לא. 0- לא היה 1-כן.

Unseen_video – כמה סרטונים נשארו למתעמל לצפות.

בחלופה 2 נוספו שתי תכונות נוספות, אשר משויכות לכל הישויות במערכת :

```
set_attribute(keys = "arrival_time", values=function() now(sport_center))%>%
set_attribute(keys = c("reset_done", "parallel","rings","horizontal_bar", "pomel_horse"), values = c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0))%>%
```

Arrival_time – זמן הגעה של כל ישות במהלך הסימולציה.

Reset_done- האם בוצע על הישות איפוס במהלך הסימולציה 1- בוצע איפוס 0-לא בוצע.

נספח 3 : התפלגויות זמנים

פעולה	התפלגות
קצב הגעת מתעמלים	Exp (0.7744)
קצב הגעת מתעמלות	Exp (0.8815)
התארגנות בתאי הלבשה (לשני המגדרים)	U(3,5)
זמן מקלחת (לשני המגדרים)	U(8,14)
זמן אימון במכשיר	norm(mean = 5 minute, sd =1.7 minutes)
משך צפייה בווידאו (זמן אימון ווידאו)	norm(mean=3 minute, sd=45 second)
משך הרצאת תזונה	U(30,40)
משך טיפול פיזיותרפיה	משולשית עם c=40 b=25 a=33 דקות
התפלגות הפסקה של בעלי מקצוע	norm(mean=6, sd= 50 second)

• נספח 4 – מסלולים במערכת

המסלולים שהישות עוברת בהגיעה למרכז הספורט

כצעד ראשון, הישויות נוצרות על פי ההתפלגות הנתונה.

```

sport_center%%
  add_generator("woman_training", woman_line, from_to(0,9*60,function () rexp(1,0.7744)) , mon=2, priority=0, preemptible =2.4, restart= FALSE) #
sport_center%%
  add_generator("man_training", man_line, from_to(0,9*60,function () rexp(1,0.8815) ) , mon=2, priority=0, preemptible =2.9, restart= FALSE) ###
sport_center%%
  add_generator("break_time", break_time, at(420), mon=2,priority=2)

```

לאחר מכן, הישויות נשלחות למסלול על פי מינם. הגברים למסלול אחד והנשים למסלול אחר.

נספח 4.1 : מסלולי המתעמל והמתעמלת

מסלול מתעמלת:

המסלול הראשי אותו עוברת כל מתעמלת שמגיעה למרכז. כולל בתוכו את המכשירים שהיא מבצעת ואת אנשי המקצוע שאצלם היא מבקרת.

```
woman_line<-trajectory("woman_line")%>%
  set_attribute(keys = c("floor","cascading_parallel","rafter","jumping","parsonly_tried_level", "video_room", "lecture", "unseen_video"),
    values = c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0))%>%
  set_attribute("video_room", function () {rdiscrete (1 ,c(0.2,0.2,0.2,0.2,0.2), c(1,2,3,4,5))} )%>%#define the video room for all day
  addService("woman_changing_room", function()runif (1,3,5))%>% #changing room

#branch that send the training to the device, give a 0 probability for device that the trainer did, and calculate equal probability for the other
branch(option = function () rdiscrete(1, prob_woman(),c(0,1,2,3,4)),continue = c(TRUE, TRUE, TRUE, TRUE),floor_line,cascading_parallel_line,
  rafter_line,jumping_line)%>%

#try to go to video trainer to watch all video he didn't seen yet, if the video trainer didn't in the room he go to
#reject traj and come back and continue the main traj
simmer::select(function()paste0("video_room_",get_attribute(sport_center,"video_room")))%>%
seize_selected(amount=1,id=0,continue = c(TRUE,TRUE),post.seize=video_available ,reject =video_wait_line )%>%

#return as device number or if the trainer getting tired
rollback(amount=6,check =function() woman_need_go_back () )%>%

#all the people that here with positive number of unseen video, come at the morning before the trainer
# arrive- so they need to wait till he come
branch(option= function () {rdiscrete (1,check_about_see_video(), c(0,1))}, continue=c(TRUE), late_video_available) %>%
branch( function () {rdiscrete (1,c(0.32, 0.68), c(0,1))}, continue=c(TRUE), lecture_line) %>%
set_prioritization (function () set_priority_woman() )%>%
seize("physiotherapist",1)%>%
timeout(function () rtriangle (1,25,40,33))%>%
release("physiotherapist",1) %>%
addService("woman_shower", function() runif(1,8,14))## all training go to shower
```

מסלול מתעמל :

המסלול הראשי אותו עובר כל מתעמל שמגיע למרכז. כולל בתוכו את המכשירים שהוא מבצע ואת אנשי המקצוע שאצלם הוא מבקר.

```
man_line<-trajectory("man_line")%>%
  set_attribute(keys = c("parallel","rings","horizontal_bar","pomel_horse","floor","jumping","parsonly_tried_level", "video_room", "lecture",
    "unseen_video"), values = c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0))%>%
  set_attribute("video_room", function () {rdiscrete (1 ,c(0.2,0.2,0.2,0.2,0.2), c(1,2,3,4,5))} )%>%#define the video room for all day
  addService("man_changing_room", function()runif (1,3,5))%>% #changing room

#branch that send the training to the device, give a 0 probability for device that the trainer did, and calculate equal probability for the other
branch(option = function () rdiscrete(1, prob_man(),c(0,1,2,3,4,5,6)),continue = c(TRUE, TRUE, TRUE, TRUE, TRUE, TRUE),parallel_line,
  rings_line,horizontal_bar_line,pomel_horse_line,floor_line, jumping_line)%>%

#try to go to video trainer to watch all video he didn't seen yet, if the video trainer didn't in the room he go to reject traj
#and come back and continue the main traj
simmer::select(function()paste0("video_room_",get_attribute(sport_center,"video_room")))%>%
seize_selected(amount=1,id=0,continue = c(TRUE,TRUE),post.seize=video_available ,reject =video_wait_line )%>%

#return as device number
rollback(amount=3,check =function() man_need_go_back () )%>%
##for the people that arrive here and the video training didn't come yet - they wait till 8:00 and go to see them
branch(option= function () {rdiscrete (1,check_about_see_video(), c(0,1))}, continue=c(TRUE), late_video_available) %>%
branch( function () {rdiscrete (1,c(0.32, 0.68), c(0,1))}, continue=c(TRUE), lecture_line) %>%
set_prioritization (function () set_priority_man() )%>%
seize("physiotherapist",1)%>%
timeout(function () rtriangle (1,25,40,33))%>%
release("physiotherapist",1) %>%
addService("man_shower", function() runif(1,8,14))## all training go to shower
```

נספח 4.2 : הסבר פונקציית branch

```
branch(option = function () rdiscrete(1, probwoman(),c(0,1,2,3,4)),continue = c(TRUE, TRUE, TRUE, TRUE)
|,floor_line,cascading_parallel_line,rafter_line,jumping_line)%>%
```

הפיצול מתבצע בעזרת פונקציה probwoman() (למתעמלים קיימת פונקציה שקולה- probman()) המחשבת את הסתברויות לבחור כל מכשיר באופן שווה בהתאם למכשירים שנותרו לאותו מתעמל/ת לבצע, ומחזיר וקטור בהתאמה .

פונקציית Probwoman :

```
prob_woman <- function (){
  floor <- get_attribute(sport_center,"floor")
  cascading_parallel <- get_attribute(sport_center,"cascading_parallel")
  rafter <- get_attribute(sport_center,"rafter")
  jumping <- get_attribute(sport_center,"jumping")
  use_device <- floor+cascading_parallel+rafter+jumping

  temp <- c(1,floor,cascading_parallel,rafter,jumping)
  ans <- c()
  for (i in 1:5){
    if (temp[i] == 1){
      ans[i] = 0
    }
    if(temp[i] == 0){
      ans[i] =(1/(4-use_device))
    }
  }
  return (ans)
}
```

נספח 4.3 : קדימויות של ישויות

Add generator

```
sport_center%>%
  add_generator("woman_training", woman_line, from_to(0,9*60,function () rexp(1,0.7744)) , mon=2, priority=0, preemptible =2.4, restart= FALSE)
sport_center%>%
  add_generator("man_training", man_line, from_to(0,9*60,function () rexp(1,0.8815)) , mon=2, priority=0, preemptible =2.9, restart= FALSE) ##
sport_center%>%
  add_generator("break_time", break_time[, at(420), mon=2,priority=2)
```

- Priority מתעדכן להיות רמת עייפות של מתעמל
- Preemptible רמת העייפות שממנה אפשר לעקוף את הישות

בעת הגעה לפיזיותרפיסט ניתנת עדיפות למתעמל שעבר את רמת העייפות האפשרית בהתאם למינם (2.4 למתעמלות ו-2.9 למתעמלים).נבצע זאת באמצעות פונקציית set_priority() שמעדכנת את ה-priority של המתעמל.

```
set_priority_woman <- function(){
  n <- get_attribute(sport_center,"parsonly_tried_level")
  if (n>2.4){
    ans <- (c(n,n,FALSE))
  } else {
    ans <- c(n,2.4,FALSE)
  }
  return (ans)}

```

```
set_prioritization (function () set_priority_man() )%>%

```

```
set_priority_man <- function(){
  n <- get_attribute(sport_center,"parsonly_tried_level")
  if (n>2.9){
    ans <- (c(n,n,FALSE))
  } else {
    ans <- c(n,2.9,FALSE)
  }
  return (ans)}

```

```
set_prioritization (function () set_priority_woman() )%>%

```

נספח 4.4 : מסלולי המכשירים

מסלולי מתעמלות :

המכשירים הרלוונטיים למתעמלות. בעת הגעה למסלולי המכשירים המתעמלות מעדכנת את השדות הרלוונטיים, מבצעת את האימון במכשיר ומוסיפה סרטון ברשימת הסרטונים הלא נצפים.

```
floor_line<-trajectory("floor_line")%>%
  set_attribute(keys = "floor", values = 1) %>%
  addService(sname = "floor", function() trimmedNorm (5,1.7))%>%
  set_attribute(keys = "parsonly_tried_level",function()get_attribute(sport_center,"parsonly_tried_level")
    + tired_level() )%>% ## update parsonly tried level
  set_attribute("unseen_video",function()get_attribute(sport_center,"unseen_video") + 1)

cascading_parallel_line<-trajectory("cascading_parallel_line")%>%
  set_attribute(keys = "cascading_parallel", values = 1) %>%
  addService(sname = "cascading_parallel", function() trimmedNorm (5,1.7))%>%
  set_attribute(keys = "parsonly_tried_level",function() get_attribute(sport_center,"parsonly_tried_level")
    + tired_level() )%>% ## update parsonly tried level
  set_attribute("unseen_video",function()get_attribute(sport_center,"unseen_video") + 1)

rafter_line<-trajectory("rafter_line")%>%
  set_attribute(keys = "rafter", values = 1) %>%
  simmer::select(resources=c("rafter1","rafter2"),policy=c("shortest-queue"))%>%
  seize_selected(amount = 1)%>%
  timeout (function() trimmedNorm (5,1.7)) %>%
  release_selected(amount = 1) %>%
  set_attribute( "parsonly_tried_level",function() get_attribute(sport_center,"parsonly_tried_level")
    + tired_level() )%>% ## update parsonly tried level
  set_attribute("unseen_video",function()get_attribute(sport_center,"unseen_video") + 1)

jumping_line<-trajectory("jumping_line")%>%
  set_attribute(keys = "jumping", values = 1) %>%
  simmer::select(resources=c("jumping1","jumping2"),policy=c("shortest-queue"))%>%
  seize_selected(amount = 1)%>%
  timeout (function() trimmedNorm (5,1.7)) %>%
  release_selected(amount = 1) %>%
  set_attribute(keys = "parsonly_tried_level",function()get_attribute(sport_center,"parsonly_tried_level")
    + tired_level() )%>% ## update parsonly tried level
  set_attribute("unseen_video",function()get_attribute(sport_center,"unseen_video") + 1)

```

מסלולי המתעמלים :

```
floor_line<-trajectory("floor_line")%>%
  set_attribute(keys = "floor", values = 1) %>%
  addService(sname = "floor", function() trimmedNorm (5,1.7))%>%
  set_attribute(keys = "parsonly_tried_level",function()get_attribute(sport_center,"parsonly_tried_level")
    + tired_level() )%>% ## update parsonly tried level
  set_attribute("unseen_video",function()get_attribute(sport_center,"unseen_video") + 1)

jumping_line<-trajectory("jumping_line")%>%
  set_attribute(keys = "jumping", values = 1) %>%
  simmer::select(resources=c("jumping1","jumping2"),policy=c("shortest-queue"))%>%
  seize_selected(amount = 1)%>%
  timeout (function() trimmedNorm (5,1.7)) %>%
  release_selected(amount = 1) %>%
  set_attribute(keys = "parsonly_tried_level",function()get_attribute(sport_center,"parsonly_tried_level")
    + tired_level() )%>% ## update parsonly tried level
  set_attribute("unseen_video",function()get_attribute(sport_center,"unseen_video") + 1)

parallel_line<-trajectory("parallel_line")%>%
  set_attribute(keys = "parallel", values = 1) %>%
  addService(sname = "parallel", function() trimmedNorm (5,1.7))%>%
  set_attribute(keys = "parsonly_tried_level",function() get_attribute(sport_center,"parsonly_tried_level")
    +tired_level() )%>% ## update parsonly tried level
  set_attribute("unseen_video",function()get_attribute(sport_center,"unseen_video") + 1)

rings_line<-trajectory("rings_line")%>%
  set_attribute(keys = "rings", values = 1) %>%
  addService(sname = "rings", function() trimmedNorm (5,1.7))%>%
  set_attribute(keys = "parsonly_tried_level",function() get_attribute(sport_center,"parsonly_tried_level")
    +tired_level() )%>% ## update parsonly tried level
  set_attribute("unseen_video",function()get_attribute(sport_center,"unseen_video") + 1)

horizontal_bar_line<-trajectory("horizontal_bar_line")%>%
  set_attribute(keys = "horizontal_bar", values = 1) %>%
  addService(sname = "horizontal_bar", function() trimmedNorm (5,1.7))%>%
  set_attribute(keys = "parsonly_tried_level",function() get_attribute(sport_center,"parsonly_tried_level")
    +tired_level() )%>% ## update parsonly tried level
  set_attribute("unseen_video",function()get_attribute(sport_center,"unseen_video") + 1)

pommel_horse_line<-trajectory("pommel_horse_line")%>%
  set_attribute(keys = "pommel_horse", values = 1) %>%
  addService(sname = "pommel_horse", function() trimmedNorm (5,1.7))%>%
  set_attribute(keys = "parsonly_tried_level",function() get_attribute(sport_center,"parsonly_tried_level")
    +tired_level() )%>% ## update parsonly tried level
  set_attribute("unseen_video",function()get_attribute(sport_center,"unseen_video") + 1)
```

נספח 4.5: מסלול לחדר וידאו

מסלול זה רלוונטי רק לאחר הגעת מאמן הוידאו למרכז , במסלול זה המתעמלים צופים בסרטונים שצברו שטרם ראו, ומאפסים את מספר סרטונים זה להיות חזרה 0.

```
#video room
video_available <- trajectory("video_available")%>%
  timeout(function() trimmedNorm (3*(get_attribute(sport_center,"unseen_video")),0.75*get_attribute(sport_center,"unseen_video")))
  release_selected()%>%
  set_attribute("unseen_video",0) #when he succeed to get into the video room - change to 0
```


נספח 4.6: מסלול צפייה מאוחרת בוידאו

מסלול זה רלוונטי לאנשים אשר סיימו את האימון במכשירים השונים ומאמן הוידאו עדיין לא הגיע למרכז הספורט ולמתעמלים לא הייתה את היכולת לצפות באימוניהם.

במסלול זה הם תופסים את המשאב הפיקטיבי עד לרגע הגעת מאמן הוידאו ולאחר מכן צופים בסרטונים שצברו עד להגעתו.

```
#traj for the people that come into the video room late- when they finish before 8
late_video_available <- trajectory("late_video_available")%>%
  seize(resource = "wait_for_workers", amount = 1)%>%
  release(resource = "wait_for_workers", amount = 1)%>%
  simmer::select(function() paste0("video_room_", get_attribute(sport_center, "video_room")))%>%
  seize_selected(amount=1, id=0, continue = c(TRUE), post.seize = video_available)
```

נספח 4.7: מסלול הרצאה הכולל את פונקציית batch

במסלול זה הישויות מתאספות לקבוצה, והולכות כמקשה אחת להרצאה. הזמן ההמתנה הוא או עד שמגיעות 10 ישויות או בשעה עגולה.

```
#dietician
lecture_line <- trajectory("lecture_line")%>%
  #people that come to the lecture wait maximum 1 hour, if 10 people didnt come
  batch(n=10, timeout=function() waiting_time(sport_center), permanent = FALSE, name = ' ')
  simmer::select(resources=c("dietician1", "dietician2"), policy=c("shortest-queue")) %>%
  ##the trainer go to the lecture that have the shortest queue
  seize_selected()%>%
  timeout(function() runif(1, 30, 40))%>%
  release_selected()%>%
  separate()
```

נספח 4.8: מסלולי הפסקת צהרים :

למסלול זה מגיעה היישות הפיקטיבית הנוצרת בזמן ההפסקה. הישות מגרילה מספר שישים כזמן ההפסקה של הישויות ולאחר מכן מעדכנת את כל הקיבולות של המשאבים להיות 0, ומחכה את זמן הפסקה שהגרילה בתחילת המסלול. לאחר מכן מחזירה את כל הקיבולות של המשאבים להיות הקיבולות הרלוונטיות למהלך היום, וכמו כן משנה את קיבולות הפיזיותרפיסטים.


```
#Lunch break traj - entity set the capacity of all resources to 0 according to the break time
break_time <- trajectory("break_time")%>%
  set_global("breaktime",function() trimmedNorm(6,5/6))%>%
  set_global("last_capactiy_change",180 - get_global(sport_center, "breaktime"))%>%
  set_capacity("video_room_1",0)%>%
  set_capacity("video_room_2",0)%>%
  set_capacity("video_room_3",0)%>%
  set_capacity("video_room_4",0)%>%
  set_capacity("video_room_5",0)%>%
  set_capacity("physiotherapist",0)%>%
  set_capacity("dietician1",0)%>%
  set_capacity("dietician2",0)%>%
  timeout_from_global("breaktime")%>%
  set_capacity("video_room_1",2)%>%
  set_capacity("video_room_2",2)%>%
  set_capacity("video_room_3",2)%>%
  set_capacity("video_room_4",2)%>%
  set_capacity("video_room_5",2)%>%
  set_capacity("physiotherapist",5)%>%
  set_capacity("dietician1",1)%>%
  set_capacity("dietician2",1)%>%
  timeout_from_global("last_capactiy_change")%>%
  set_capacity("physiotherapist",3)
```

נספח 5 חישוב פונקציית עייפות - חושב באמצעות טרנספורם הופכי

רמת העייפות בסיום כל מכשיר נתונה ע"י ההתפלגות הבאה:

$$f(x) = \begin{cases} 8x^2, & 0 \leq x \leq \frac{1}{2} \\ 2, & \frac{1}{2} \leq x \leq \frac{2}{3} \\ 6 - 6x, & \frac{2}{3} \leq x \leq 1 \end{cases}$$

חישוב $F(X)$:

$$\int_0^x 8x^2 dx = \frac{8x^3}{3} \quad .1$$

$$\frac{1}{3} + \int_{0.5}^x 2 dx = 2x - \frac{2}{3} \quad .2$$

$$\frac{2}{3} + \int_{\frac{2}{3}}^x 6 - 6x dx = -3x^2 + 6x - 2 \quad .3$$

$$F(x) = \begin{cases} 0, & X < 0 \\ \frac{8x^3}{3}, & 0 \leq X < 0.5 \\ 2x - \frac{2}{3}, & 0.5 \leq X < \frac{2}{3} \\ -3x^2 + 6x - 2, & \frac{2}{3} \leq X < 1 \\ 1, & X \geq 1 \end{cases}$$

האלגוריתם:

דגום $u \sim U(0,1)$

$$x = \sqrt[3]{\frac{8}{3}u} \quad \text{אם } 0 \leq u < \frac{1}{3} \text{ החזר}$$

$$x = \frac{u}{2} + \frac{1}{3} \quad \text{אם } \frac{1}{3} \leq u < \frac{2}{3} \text{ החזר}$$

$$x = -\frac{-6 + \sqrt{-12u + 12}}{6} \quad \text{אם } \frac{2}{3} \leq u \leq 1 \text{ החזר}$$

פונקצית התפלגות מצטברת:

$$F_1\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{3}$$

$$F_2\left(\frac{2}{3}\right) - F_2\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{3}$$

$$F_3(1) - F_3\left(\frac{2}{3}\right) = \frac{1}{3}$$

מציאת $F^{-1}(X)$:

$$\frac{8x^3}{3} = u \quad .1$$

$$x^3 = \frac{8}{3}u$$

$$x = \sqrt[3]{\frac{8}{3}u}$$

$$2x - \frac{2}{3} = u \quad .2$$

$$2x = u + \frac{2}{3}$$

$$x = \frac{u}{2} + \frac{1}{3}$$

$$-3x^2 + 6x - 2 = u \quad .3$$

$$x = -\frac{-6 \pm \sqrt{-12u + 12}}{6}$$

נספח 6:בדיקות נכונות ואימות הקוד

נספח 6.1 בדיקת נכונות מצב קיים:

- ישויות: בדיקה שכל ישות נכנסת לתור, מגיע לכל מתקן, מבצעת את ה- rollback והולכת לאנשי המקצוע :

0: man_training0: im in man line 3.51372: man_training0: jumping_line 7.15392: man_training0: im not in the video room 7.15392: man_training0: my room is 5 7.15392: man_training0: i didnt see 1 7.15392: man_training0: my parsonly_tried_level is: 0.380375156742654 7.15392: man_training0: parallel_line 9.3228: man_training0: im not in the video room 9.3228: man_training0: my room is 5 9.3228: man_training0: i didnt see 2 9.3228: man_training0: my parsonly_tried_level is: 0.745201675796307 9.3228: man_training0: floor_line 14.0991: man_training0: im not in the video room 14.0991: man_training0: my room is 5 14.0991: man_training0: i didnt see 3 14.0991: man_training0: my parsonly_tried_level is: 1.09235770999486 14.0991: man_training0: rings_line 20.6863: man_training0: im not in the video room 20.6863: man_training0: my room is 5 20.6863: man_training0: i didnt see 4 20.6863: man_training0: my parsonly_tried_level is: 1.18673987944573 20.6863: man_training0: horizontal_bar_line 24.1333: man_training0: im not in the video room 24.1333: man_training0: my room is 5 24.1333: man_training0: i didnt see 5 24.1333: man_training0: my parsonly_tried_level is: 1.70015877494862 24.1333: man_training0: pommel_horse_line 31.6194: man_training0: im not in the video room 31.6194: man_training0: my room is 5 31.6194: man_training0: i didnt see 6 31.6194: man_training0: my parsonly_tried_level is: 2.45930865734278 31.6194: man_training0: my tried level is: 2.45930865734278 31.6194: man_training0: finish_rollback 31.6194: man_training0: im at the late video 120: man_training0: my video room is 5 120: man_training0: im in the video room 136.626: man_training0: i finish the video room 136.626: man_training0: lecture_line 136.626: man_training0: i need to wait for the lecture 43.3741628607962 180: batch_ : were a batch! 180: batch_ : we select the dietician 180: batch_ : we seiz the dietician 215.272: batch_ : we go out from dietician 215.272: batch_ : we releasae the dietician 215.272: man_training0: we separete again! 215.272: man_training0: physiotherapist_line 258.074: man_training0: man_shower 258.074: man_training0: I finished the day	0: woman_training0: im in womenline 3.03635: woman_training0: rafter_line 4.89441: woman_training0: im not in the video room 4.89441: woman_training0: my room is 5 4.89441: woman_training0: i didnt see 1 4.89441: woman_training0: my parsonly_tried_level is: 0.461563937512401 9.02306: woman_training0: cascading_parallel_line 13.4215: woman_training0: im not in the video room 13.4215: woman_training0: my room is 5 13.4215: woman_training0: i didnt see 2 13.4215: woman_training0: my parsonly_tried_level is: 0.890865128485134 18.0917: woman_training0: floor_line 23.8658: woman_training0: im not in the video room 23.8658: woman_training0: my room is 5 23.8658: woman_training0: i didnt see 3 23.8658: woman_training0: my parsonly_tried_level is: 1.39559923888273 27.6433: woman_training0: jumping_line 34.3404: woman_training0: im not in the video room 34.3404: woman_training0: my room is 5 34.3404: woman_training0: i didnt see 4 34.3404: woman_training0: my parsonly_tried_level is: 1.84370293500732 34.3404: woman_training0: my tried level is: 1.84370293500732 34.3404: woman_training0: finish_rollback 34.3404: woman_training0: im at the late video 120: woman_training0: my video room is 5 120: woman_training0: im in the video room 136.337: woman_training0: i finish the video room 136.337: woman_training0: lecture_line 136.337: woman_training0: i need to wait for the lecture 43.6633422339839 180: batch_ : were a batch! 180: batch_ : we select the dietician 180: batch_ : we seiz the dietician 214.518: batch_ : we go out from dietician 214.518: batch_ : we releasae the dietician 214.518: woman_training0: we separete again! 214.518: woman_training0: physiotherapist_line 255.504: woman_training0: woman_shower 255.504: woman_training0: I finished the day
--	---

	name	start_time	end_time	activity_time	resource	replication	waiting_time
1	man_training0	0.000000	4.792667	4.792667	man_changing_room	1	0.000000e+00
2	man_training0	4.792667	7.321971	2.529303	pommel_horse	1	0.000000e+00
3	man_training0	7.321971	13.706561	6.384590	jumping1	1	0.000000e+00
4	man_training0	13.706561	18.578445	4.871884	parallel	1	-1.776357e-15
5	man_training0	18.578445	23.558821	4.980376	rings	1	0.000000e+00
6	man_training0	23.558821	29.839574	6.280753	floor	1	0.000000e+00
7	man_training0	29.839574	120.000000	0.000000	wait_for_workers	1	9.016043e+01
8	man_training0	120.000000	137.361601	17.361601	video_room_1	1	3.552714e-15
9	man_training0	180.000000	216.057194	36.057194	dietician1	1	0.000000e+00
10	man_training0	216.057194	253.220047	37.162853	physiotherapist	1	7.105427e-15
11	man_training0	253.220047	265.285952	12.065905	man_shower	1	0.000000e+00

	name	start_time	end_time	activity_time	resource	replication	waiting_time
1	woman_training0	0.000000	3.036353	3.036353	woman_changing_room	1	0.000000e+00
2	woman_training0	3.036353	4.894409	1.858056	rafter1	1	0.000000e+00
3	woman_training0	4.894409	9.023064	4.128656	woman_changing_room	1	-8.881784e-16
4	woman_training0	9.023064	13.421504	4.398440	cascading_parallel	1	0.000000e+00
5	woman_training0	13.421504	18.091655	4.670151	woman_changing_room	1	1.776357e-15
6	woman_training0	18.091655	23.865783	5.774128	floor	1	-1.776357e-15
7	woman_training0	23.865783	27.643347	3.777564	woman_changing_room	1	0.000000e+00
8	woman_training0	27.643347	34.340389	6.697042	jumping1	1	3.552714e-15
9	woman_training0	34.340389	120.000000	0.000000	wait_for_workers	1	8.565961e+01
10	woman_training0	120.000000	136.336658	16.336658	video_room_5	1	1.065814e-14
11	woman_training0	180.000000	214.518266	34.518266	dietician1	1	0.000000e+00
12	woman_training0	214.518266	244.705122	30.186856	physiotherapist	1	-3.552714e-15
13	woman_training0	244.705122	255.503545	10.798423	woman_shower	1	0.000000e+00

כפי שניתן לראות בטבלת get_mon_arrivals ובהדפסות שביצענו במהלך המסלול, הסימולציה ממדלת כנדרש את מסלול של הישויות:

- הישות מגיעה רק אל מכשירים המתאימים למגדר שלה.
- חדר הוידאו אליה היא נכנסת הוא קבוע (במקרה זה - חדר 5)
- במקרה ובו היישות סיימה את כלל המכשירים וטרם הגיע מאמן וידיאו, היא תמתין להגעתו.
- מספר סרטוני הוידאו שהישות טרם צפתה בהם עולה לאחר שחרור משאב עד הגעת משאב "בוזן וידאו" בשעה 10:00 (120 דק זמן סימולציה).
- רמת העייפות של הישות עולה לאחר אימון בכל מכשיר.
- הישות מגיעה למסלול הרצאה, שם היא מתקבצת לקבוצה ובשעה 09:00 (שעה העגולה) היא נכנסת להרצאה ולאחריה נפרדת מהקבוצה.

- לאחר שחרור המשאב האחרון הישות מסיימת את המערכת.
- משאבים:

- תחילת יום עבודה:

resource	time	server	queue	capacity	queue_size	system	limit	replication
dietician1	120.0000	0	0	1	0	0	1	1
dietician1	120.0000	0	0	1	Inf	0	Inf	1
dietician2	120.0000	0	0	1	0	0	1	1
dietician2	120.0000	0	0	1	Inf	0	Inf	1
physiotherapist	120.0000	0	0	2	0	0	2	1
physiotherapist	120.0000	0	0	2	Inf	0	Inf	1
video_room_1	120.0000	0	0	2	0	0	2	1
video_room_1	120.0000	0	0	2	Inf	0	Inf	1
video_room_2	120.0000	0	0	2	0	0	2	1
video_room_2	120.0000	0	0	2	Inf	0	Inf	1
video_room_3	120.0000	0	0	2	0	0	2	1
video_room_3	120.0000	0	0	2	Inf	0	Inf	1
video_room_4	120.0000	0	0	2	0	0	2	1
video_room_4	120.0000	0	0	2	Inf	0	Inf	1
video_room_5	120.0000	0	0	2	0	0	2	1
video_room_5	120.0000	0	0	2	Inf	0	Inf	1

כפי שניתן לראות בטבלת get_mon_resources כל בעלי המקצוע (משאבים) מגיעים בשעה 08:00 אל מרכז הספורט (120 דק' - זמן סימולציה)

- שני משאבי תזונאים - לכל תזונאי חדר ותור שונה (1= capacity).
- משאב פיזיותרפיסט - חלל משותף לשני פיזיותרפיסטים בשלב זה של היום (2= capacity).
- חמישה משאבי חדרי וידאו – בכל חדר שני בוחנים (2= capacity).

- הפסקת בעלי מקצוע:

resource	time	server	queue	capacity	queue_size	system	limit	replication
video_room_1	420.000000	0	0	0	Inf	0	Inf	1
video_room_2	420.000000	0	0	0	Inf	0	Inf	1
video_room_3	420.000000	0	0	0	Inf	0	Inf	1
video_room_4	420.000000	0	0	0	Inf	0	Inf	1
video_room_5	420.000000	0	0	0	Inf	0	Inf	1
physiotherapist	420.000000	0	0	0	Inf	0	Inf	1
dietician1	420.000000	0	0	0	Inf	0	Inf	1
dietician2	420.000000	0	0	0	Inf	0	Inf	1
video_room_1	425.585434	0	0	2	Inf	0	Inf	1
video_room_2	425.585434	0	0	2	Inf	0	Inf	1
video_room_3	425.585434	0	0	2	Inf	0	Inf	1

כפי שניתן לראות בטבלת `get_mon_resources` כל בעלי המקצוע יוצאים להפסקה בשעה 13:00 (420 דק' זמן סימולציה) - שדה `capacity` שווה ל-0, כלומר המשאב לא מעניק שירות.

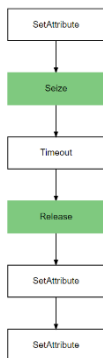
• חילוף משמרות הפיזיותרפיסטים:

resource	time	server	queue	capacity	queue_size	system	limit	replication
physiotherapist	120.0000	0	0	2	0	0	2	1
physiotherapist	120.0000	0	0	2	Inf	0	Inf	1
physiotherapist	360.0000	5	0	5	Inf	5	Inf	1
physiotherapist	600.0000	2	0	3	Inf	2	Inf	1

כפי שניתן לראות בשדה `capacity` שבטבלת `get_mon_resources` כמות הפיזיותרפיסטים משתנה במהלך היום:

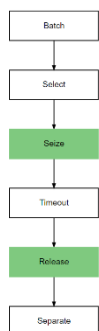
- בין השעות 08:00-16:00 נמצאים שני פיזיותרפיסטים (0-120 דק' זמן סימולציה).
- בין השעות 12:00-16:00 נמצאים חמישה פיזיותרפיסטים (120-360 דק' זמן סימולציה).
- בין השעות 16:00-20:00 נמצאים שלושה פיזיותרפיסטים (600-840 דק' זמן סימולציה).

מסלולים:



• מסלול תפיסת משאב מכשיר:

1. עדכון התכונה בישות המציינת שהישות הגיעה אל המכשיר
2. תפיסת משאב מכשיר
3. זמן האימון במכשיר
4. שחרור משאב מכשיר
5. עדכון רמת העייפות של המתעמל
6. עדכון התכונה בישות המציינת את כמות סרטוני הוידאו שטרם נצפו



• מסלול הרצאה (lecture_line)

1. איחוד קבוצה של עשרה מתעמלים או המתנה לשעה עגולה
2. תפיסת משאב תזונאי
3. זמן הרצאה
4. שחרור משאב תזונאי

• בדיקת נכונות עקיפה בתור לפיזיותרפיסט:

ראשית נסתכל על הישגיות man_training2 ו-man_training8

נשים לב בטבלת get_mon_attribute שמתעמל מספר 8 מגיע מאוחר יותר ממתעמל 2 לפיזיותרפיסט ויוצא מוקדם יותר ממנו.

	name	Start_time	End_time	Activity_time	resource	replication	Waiting_time
2258	man_training2	202.4431	393.2634	33.26342	physiotherapist	1	1.575569e+02
1398	man_training8	217.3004	262.8000	30.98740	physiotherapist	1	1.451228e+01

כדי לאמת שאכן מדובר במתעמל שרמת העייפות שלו גבוהה נסתכל על מספר המתקנים שביצע כל אחד וכמו כן נשים לב לרמת העייפות שלהם.

מתקנים - מתעמל מספר 8 :

345	19.543355	man_training8	jumping	1.0000000	1
631	33.386539	man_training8	horizontal_bar	1.0000000	1
943	45.812057	man_training8	pommel_horse	1.0000000	1
1567	73.799352	man_training8	rings	1.0000000	1
1914	93.958765	man_training8	parallel	1.0000000	1
3063	142.424188	man_training8	parsonly_tried_level	3.1522804	1

אפשר לראות שמתעמל 8 לא ביצע את כל המתקנים אבל דבר זה נובע מכך שרמת העייפות שלו גבוהה מ-2.9 (3.125) ולכן לא המשיך לבצע מתקנים נוספים.

מתעמל מספר 2 ביצע את כל המתקנים כנדרש ובסופם רמת העייפות שלו היא 2.89 ולא עולה רמת העייפות המקסימלית לביצוע המכשירם. ולכן, מתעמל 8 עוקף את מתעמל 2 בתור לפיזיותרפיסט.

253	14.3437141	man_training2	horizontal_bar	1.0000000	1
392	21.7699471	man_training2	parallel	1.0000000	1
475	26.6940191	man_training2	floor	1.0000000	1
1643	77.51911	man_training2	rings	1.0000000	1
2011	97.08537	man_training2	pommel_horse	1.0000000	1
160	8.7651894	man_training2	jumping	1.0000000	1
4375	186.10431	man_training2	parsonly_tried_level	2.8940420	1

נספח 6.2 עדכון הקוד נכונות חלופה 1:

הוספת מתקן קרקע נוסף לסימולציה :

```
add_resource("floor1",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
add_resource("floor2",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
```

הוספת מקפצה נוספת לסימולציה :

```
add_resource("jumping1",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
add_resource("jumping2",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
add_resource("jumping3",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
```

הוספת פיזיותרפיסט בשעה 16:00 ניתן לראות שהקיבולת השתנתה מ-3 במצב הקיים ל-4.

```
physiotherapist_schedule_capacity <- schedule(c(0,120,360,420,600,660), c(0,2,5,5,4,3),period = Inf )
```

נספח 6.3 עדכון הקוד ובדיקת נכונות חלופה 2 :

ניתן לראות את ישות אישה 118 ורמת העייפות האישית שלה, במשך הזמן הסימולציה הישות צוברת רמת עייפות וכאשר יו"ר בוועד האולימפי מגיע רמת העייפות שלה מתאפס חזרה לאפס .

136.5127	woman_training118	parsonly_tried_level	0.0000000	5
224.5871	woman_training118	parsonly_tried_level	0.5658286	5
224.5871	woman_training118	parsonly_tried_level	0.5658286	5
420.5968	woman_training118	parsonly_tried_level	1.2973389	5
420.5968	woman_training118	parsonly_tried_level	0.0000000	5
492.7222	woman_training118	parsonly_tried_level	0.7252530	5

עמדת הקפה תוריד את תוחלת זמן האימון בכ-25% . לכל מתקן בסימולציה כפלנו ב-0.75% כדי לממש זאת :

```
addService(sname = "rings", function() trimmedNorm (5*0.75,1.7))%>%
```

הוספת מתקן קרקע נוסף לסימולציה :

```
add_resource("floor1",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
add_resource("floor2",capacity=1,queue_size=Inf)%>%
```

נספח 7: avgQueue

```
#avg queue per resource
avgQueue <- function(time, queueLength, simTime){
  Lavg = 0;
  L = queueLength[1];
  Tnow = time[1];
  Llast = time[1];
  TL = 0;
  Tmax = simTime;
  if (length(time) == length(queueLength)){
    for (i in 2:length(time)){
      if(queueLength[i] != queueLength[i-1]){
        Tnow = time[i];
        TL = TL+L*(Tnow-Llast);
        L = queueLength[i];
        Llast = Tnow;
      }#if
    }#for
  }#end if
  TL=TL+L*(Tmax-Llast);
  Lavg = TL/Tmax;
  return (Lavg);
}
```

חישוב אורך התור הממוצע, הוא חישוב הדומה לממוצע משוכלל כאשר הוא מתחשב בכמות הישיות בתור ומשך הזמן בו הם חיו בתור .

עבור המתקן floor נשתמש בפונקציה הבאה:

```
avg_qforn<-function () {
  result <-matrix(0:0,nrow=number,ncol=1)
  for (i in 1:number){
    test<-filter(Resourcedata <- get_mon_resources(mm1envs), replication == as.character(i) )
    time <- as.matrix(subset(test, resource == "floor", select = c(time)));
    queueLength <- as.matrix(subset(test, resource == "floor", select = c(queue)));
    avgResQueue <- avgQueue(time, queueLength, simulationTime)
    paste("Average queue len for floor was ",avgResQueue, "people")

    result[i,1]<-avgResQueue
  }
  return (result)
}
```

הפונקציה רצה כמספר ההרצות, לוקחת את מספר החזרה, ומקבלת את הוקטורים הרלוונטים של התור והזמן ומכניסה לפונקציה שמחשבת אורך תור ממוצע.

נספח 8: מדדים ודיוק יחסי

נספח 8.1 ממוצע המדדים וסטיית התקן לאחר 30 הרצות .

טבלת נספחים – ממוצע וסטיית תקן למדדים -מצב קיים–

זמן המתנה ממוצע למכשירים	אחוז לקוחות שסיימו את המסלול	אחוז המתעמלים שנוטשים עקב עייפות	אורך תור ממוצע למכשיר הקרקע (floor)	
142.0003	0.0655	0.1488	234.2287	ממוצע
5.519	0.0076	0.0372	13.5514	סטיית תקן

נספח לחלופה 1 –

אורך תור ממוצע למכשיר הקרקע (floor)	אחוז המתעמלים שנוטשים עקב עייפות	אחוז לקוחות שסיימו את המסלול	זמן המתנה ממוצע למכשירים
ממוצע	80.5293	0.1392	0.0082
סטית תקן	7.3171	0.0216	0.0031
			102.9869
			6.7089

נספח לחלופה 2-

אורך תור ממוצע למכשיר הקרקע (floor)	אחוז המתעמלים שנוטשים עקב עייפות	אחוז לקוחות שסיימו את המסלול	זמן המתנה ממוצע למכשירים
ממוצע	56.3641	0.0748	0.0796
סטית תקן	6.5416	0.0140	0.0025
			96.4075
			5.7953

נספח 8.2 : חישוב דיוק יחסי ומספר ריצות נדרש.

```
#relative_accuracy
calc_relative_accuracy <- function(mean,sd){
  (t*sd/sqrt(n0))/mean
}

#replications-number
calc_needed_replications <- function(relative_accuracy){
  n0*((relative_accuracy/gamma_check_if_smaller)^2)
}

n0 <- number
num_of_mesured <- 4
gamma <- 0.10
a_total <- 0.08
a_i <- a_total/num_of_mesured
t <- qt(1-(a_i)/2,n0-1)
gamma_check_if_smaller <- gamma/(1+gamma)
```

"relative accuracy for tired trainers is : 0.112511306458903 replication number is 45.9514225143539"

ניתן לראות שמספר הריצות שנצטרך לעשות הינו $[45.9514] = 46$

כלומר מספר הריצות שנצטרך לעשות בנוסף יהיה: $46 - 30 = 16$

נספח 8.3 : דיוק יחסי לאחר 46 ריצות


אחוז דיוק של מצב קיים לאחר 46 הרצות :

[1] "relative accuracy for tired trainers is : 0.086616853435997"

[1] "relative accuracy for avrage waiting time is: 0.012820708532108"

[1] "relative accuracy for avrage queue lenght is : 0.0177218199286809"

[1] "relative accuracy for finish precent is: 0.0404638601088533"




אחוז דיוק של חלופה 1 לאחר 46 הרצות :

[1] "relative accuracy for tired trainers is : 0.0536922258945076"

[1] "relative accuracy for avrage waiting time is: 0.0219897296649702"

[1] "relative accuracy for avrage queue lenght is : 0.0308874437026538"

[1] "relative accuracy for finish precent is: 0.0138077999911539"




אחוז דיוק של חלופה 2 לאחר 46 הרצות :

[1] "relative accuracy for tired trainers is : 0.0688280268167468"

[1] "relative accuracy for avrage waiting time is: 0.0222023287808931"

[1] "relative accuracy for avrage queue lenght is : 0.040861340466124"

[1] "relative accuracy for finish precent is: 0.0117429895360663"



כפי שניתן לראות אנו עומדים בדיוק יחסי.

נספח 9 : אורך תור ממוצע לכלל המכשירים :

	Resource	Avrage.Queue
1	floor	235.1711
2	parallel	37.4944
3	cascading_parallel	65.5228
4	rings	35.1923
5	jumping	50.1645
6	horizontal	38.0088
7	rafter_rafter	0.6346
8	pommel_horse	36.4088

נספח 10 : מבחן t מזווג

כל ההנחות לביצוע מבחן t מזווג מתקיימות:

- יש תלות בין ריצות מקבילות בשתי החלופות .
- אין תלות בין ריצות בכל חלופה בפני עצמה.
- קיים שוויון שוניות בין החלופות .
- המדדים מתפלגים נורמאלית – ממוצע ופרופורציה.

-----Average Queue length-----#

```
PairedTTestAvgQ1<- t.test(x=
dataset$current_avrage_queue,y=dataset$alternative1_avrage_queue,
alternative="two.sided",paired=TRUE,var.equal=TRUE,conf.level=0.99666)
```

```
PairedTTestAvgQ2<- t.test(x=
dataset$current_avrage_queue,y=dataset$alternative2_avrage_queue,
alternative="two.sided",paired=TRUE,var.equal=TRUE,conf.level=0.99666)
```

```

PairedTTestAvgQ3<- t.test(x=
dataset$alternative1_avrage_queue,y=dataset$alternative2_avrage_queue,
alternative="two.sided",paired=TRUE,var.equal=TRUE,conf.level=0.99666)

print(PairedTTestAvgQ1)
print(PairedTTestAvgQ2)
print(PairedTTestAvgQ3)

-----Finish Precent-----#

paired t-test#

PairedTTestFinishPrecent1<- t.test(x=
dataset$current_finished_precent,y=dataset$alternative1_finished_precent,
alternative="two.sided",paired=TRUE,var.equal=TRUE,conf.level=0.99666)

PairedTTestFinishPrecent2<- t.test(x=
dataset$current_finished_precent,y=dataset$alternative2_finished_precent,
alternative="two.sided",paired=TRUE,var.equal=TRUE,conf.level=0.99666)

PairedTTestFinishPrecent3<- t.test(x=
dataset$alternative1_finished_precent,y=dataset$alternative2_finished_precent,
alternative="two.sided",paired=TRUE,var.equal=TRUE,conf.level=0.99666)

print(PairedTTestFinishPrecent1)
print(PairedTTestFinishPrecent2)
print(PairedTTestFinishPrecent3)

-----Percent of Tired Leaving-----#

PairedTTestTiredLeaving1<- t.test(x= dataset$current_tired_leaving_precent,y=
dataset$alternative1_tired_leaving_precent,
alternative="two.sided",paired=TRUE,var.equal=TRUE,conf.level=0.99666)

PairedTTestTiredLeaving2<- t.test(x=
dataset$current_tired_leaving_precent,y=dataset$alternative2_tired_leaving_precent,
alternative="two.sided",paired=TRUE,var.equal=TRUE,conf.level=0.99666)

PairedTTestTiredLeaving3<- t.test(x=
dataset$alternative1_tired_leaving_precent,y=dataset$alternative2_tired_leaving_prece
nt, alternative="two.sided",paired=TRUE,var.equal=TRUE,conf.level=0.99666)

print(PairedTTestTiredLeaving1)
print(PairedTTestTiredLeaving2)
print(PairedTTestTiredLeaving3)

```

-----Average waiting time-----#

paired t-test#

```
PairedTTestWaitingTime1<- t.test(x=
dataset$current_avg_waiting_time,y=dataset$alternative1_avg_waiting_time,
alternative="two.sided",paired=TRUE,var.equal=TRUE,conf.level=0.99666)
```

```
PairedTTestWaitingTime2<- t.test(x=
dataset$current_avg_waiting_time,y=dataset$alternative2_avg_waiting_time,
alternative="two.sided",paired=TRUE,var.equal=TRUE,conf.level=0.99666)
```

```
PairedTTestWaitingTime3<- t.test(x=
dataset$alternative1_avg_waiting_time,y=dataset$alternative2_avg_waiting_time,
alternative="two.sided",paired=TRUE,var.equal=TRUE,conf.level=0.99666)
```

```
print(PairedTTestWaitingTime1)
```

```
print(PairedTTestWaitingTime2)
```

```
print(PairedTTestWaitingTime3)
```

פלט לדוגמא של R :

Paired t-test

```
data: dataset$current_avrage_queue and dataset$alternative1_avrage_queue
t = 77.315, df = 45, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
99.666 percent confidence interval:
 148.6832 161.1015
sample estimates:
mean of the differences
      154.8924
```