

פרויקט בסימולציה

מערך בדיקות קורונה

קבוצה 41

מאיה זקן 208308288

רועי ניצן 311451231

מתן ספירו 205731748

| | | |
|-------|------------------------------------------------------|----|
| 1. | תקציר..... | 3 |
| 2. | מבוא..... | 3 |
| 2.1. | תיאור המערכת הנחקרת..... | 3 |
| 2.2. | מטרות..... | 4 |
| 3. | מודל הסימולציה..... | 4 |
| 3.1. | תיאור המודל..... | 4 |
| 3.2. | הנחות המודל..... | 7 |
| 4. | ניתוח המצב הקיים והצעת חלופות לשיפור המצב הקיים..... | 8 |
| 4.1. | בחירת מדדים לניתוח..... | 8 |
| 4.2. | סוג המערכת..... | 9 |
| 4.3. | ניתוח המצב הקיים..... | 9 |
| 4.4. | תיאור החלופות..... | 10 |
| 4.5. | השוואה סטטיסטית בין המצב הקיים לחלופות..... | 11 |
| 5. | מסקנות..... | 11 |
| 6. | נספחים..... | 12 |
| 6.1. | נספח א'-נתונים..... | 12 |
| 6.2. | נספח ב'- התפלגות הנתונים..... | 13 |
| 6.3. | נספח ג'- תכונות, משאבים וישויות..... | 19 |
| 6.4. | נספח ד'- קטעי קוד לבחינת המדדים..... | 21 |
| 6.5. | נספח ה'- בדיקת נכונות המודל..... | 22 |
| 6.6. | נספח ו'- גרפים וקוד למציאת זמן חימום..... | 32 |
| 6.7. | נספח ז'- טבלאות דיוק יחסי וקוד רלוונטי..... | 34 |
| 6.8. | נספח ח'- החלופות..... | 36 |
| 6.9. | נספח ט'- המעבדה העמוסה ביותר..... | 37 |
| 6.10. | נספח י'- הקופ"ח העמוסה ביותר..... | 37 |
| 6.11. | נספח י"א - תוצאות ההרצות..... | 38 |

| | | |
|---------|------------------------------------|-------|
| 41..... | נספח י"ב- הקוד לקבלת תוצאות ההרצות | 6.12. |
| 41..... | נספח י"ג- פלטי מבחני t | 6.13. |

1. תקציר

בפרויקט זה חקרנו את מערך בדיקות הקורונה של ישראל תוך שימוש במודל בתוכנת RStudio. מערך הקורונה עובד בשני שלבים כאשר השלב הראשון הוא שלב הבדיקה שיכול להתבצע במתחמי Drive In, בקופות חולים או באמבולנסים של מד"א, והשלב השני הוא שלב פענוח הבדיקות במעבדות. בנינו מודל סימולציה שיתאר את מערך בדיקות הקורונה, בחנו את נכונותו ואת המצב הקיים על בסיס שלושה מדדים: זמן המתנה ממוצע עד לקבלת תוצאות בדיקה, זמן המתנה ממוצע בקופת חולים וזמן המתנה ממוצע לאמבולנס.

לאחר מכן, חקרנו כיצד המדדים משתנים בהתאם לחלופות שנועדו לייעל את מערך בדיקות הקורונה. לרשותנו עמד תקציב של 3,000,000 ₪ והתמקדנו בבניית חלופות שיעזרו בצמצום המדדים. **החלופה הראשונה** כללה הגדלת כ"א במעבדות, הוספת אמבולנס והשתלמות עבור העובדים במערך הבדיקות, **והחלופה השנייה** כללה הוספת אמבולנס והכשרת סניף קופ"ח נוסף לביצוע בדיקות. נמצא כי החלופה הראשונה היא שמצמצמת את ערכי המדדים באופן המשמעותי ביותר לעומת המצב הקיים: זמן ההמתנה הממוצע לקבלת תוצאות קטן בכ-23 דקות, הזמן ההמתנה הממוצע לאמבולנס קטן בכ-3 דקות וזמן ההמתנה הממוצע בקופות החולים קטן בכ-21 דקות.

אנו מאמינים כי בחירה בחלופה הראשונה תניב את התוצאות הטובות ותשפר את מערך הקורונה בצורה יעילה ביותר.

2. מבוא

2.1. תיאור המערכת הנחקרת

בפרויקט זה נחקר את מערך בדיקות הקורונה במדינת ישראל. ממשלת ישראל פועלת לבלום את התפשטות מגפת הקורונה במדינה, ולשם כך מבצעת בדיקות נרחבות בכל רחבי המדינה. כלל הנתונים שנוגעים לזמנים ולקצבי ההגעה של הנבדקים במערכת הנחקרת מפורטים ב**נספח ב'**. מערך הבדיקות מתפרש על 3 מחוזות: דרום, מרכז וצפון. כאשר 35% מהאזרחים צפוניים, 23% מהאזרחים דרומיים ו-42% מהאזרחים מתגוררים המרכז. הוחלט על 3 דרכים בהן יילקחו הבדיקות:

- א. בדיקות במתחמי דרייב-אין: בכל אזור בארץ קיים מגה-מתחם. מגה-המתחמים הדרומיים והצפוניים כוללים 3 מיני מתחמים, ומגה-המתחם במרכז כולל 4 מיני מתחמים. כל מיני מתחם כולל 3 עמדות בדיקה שמקבלות נבדקים במקביל.
- ב. בדיקה ע"י מד"א: האמבולנסים של מד"א עובדים 24/7 בכל רחבי הארץ. הם מגיעים לבתי אזרחים כיוון שאסור להם לצאת מהבית (בהוראת רופא). התפלגות הגעת הנבדקים והקצב שלה מפורטים ב**נספח א'**.

ג. קופות חולים: בצפון ובדרום ישנן 4 קופות ובמרכז יש 7 קופות. קופות החולים אחראיות על בדיקות דחופות (נבחרי ציבור, אנשי עסקים לפני טיסות וכו'). נתוני התפלגות ההגעה מפורטים בנספח א'.

בדיקה יכולה להימצא כ"גבולית", "חיובית" או "שלילית" לפי הסתברויות כמפורט בנספח א'. במידה ובדיקה התגלתה כגבולית, על האזרח להיבדק שוב, ובמידה ומתגלה כגבולי שוב- הוא יוגדר כחולה. כאשר אדם נמצא חולה נשלחים 2 אנשים נוספים לעבור בדיקת קורונה. הבדיקות נשלחות למעבדות, כאשר בכל מחוז ישנה מעבדה אחת ובכל מעבדה 20 עמדות בדיקה במקביל. אמבולנסים של מד"א עם הבדיקות יוצאים בכל 4 שעות למעבדות, ובדיקות של מתחמי הדרייב-אין נלקחות למעבדה בכל 4 שעות או כאשר קופסת הקירור מכילה 100 בדיקות.

2.2. מטרות

מטרת המערכת היא שיפור מערך בדיקות הקורונה וייעול התהליכים, כדי למגר את המגפה ועל מנת למנוע סגר נוסף.

מטרת הפרויקט היא ייעול וזירוז תהליך בדיקת הקורונה מרגע ההמתנה להיבדק (כניסה לאחד התורים) ועד קבלת תוצאות הבדיקה. נבחן זאת ע"י המדדים שיפורטו בהמשך. מטרת הסימולציה היא מציאת הנקודות בהן נוכל לשפר את המדדים שלנו (צווארי בקבוק).

3. מודל הסימולציה

3.1. תיאור המודל

מודל הסימולציה נבנה בעזרת ספריית Simmer בתוכנת RStudio וכמו כן משתמש בספריות נוספות. המודל ממומש על ידי הקוד שמצורף בקובץ R, ובסופו נמצאות שאלות SQL (נספח ד') שמשמשות אותנו בעת בחינת המדדים בהמשך הדו"ח. זמני התפלגות ההגעה של הישויות והמסלולים אליהן הן נשלחות, תיאור המשאבים ותכונות הישויות מפורטות בנספח ג'. זמני השירות וזמנים נתונים נוספים מפורטים בנספח א'.

תיאור המסלולים:

מסלולי הבדיקות

מסלול הנבדקים בדרייב אין (mainDI):

כל ישות שמגיעה למסלול זה מקבלת תחילה את התכונות הבאות: `times=1`, `TypeOfTest` ו- `DI` District. בזמן הזה, הנבדק עובר בדיקה באחד מהמיני מתחמים במחוז בו הוא גר באופן רנדומלי. מיד בסוף הבדיקה, היא מקבלת תכונה `TestedTime` ומכאן שאר המסלול

שייך לבדיקה עצמה והנבדק בעצם ממתין לבדיקה. לאחר מכן, עוברת הבדיקה למסלול Dlbox לפי המחוז בו הוא גר.

מסלול קופסאות הקירור לכל מחוז (DlboxCenter / DlboxSouth / DlboxNorth):

כל בדיקה שנלקחה, מאוחסנת בקופסת קירור לפי מחוז אשר בכל 4 שעות או בכל פעם שהתיבה מתמלאה (100 בדיקות) היא מועברת ע"י רכב למעבדה של אותו מחוז.

מסלול הנבדקים בקופות החולים (mainKupah):

כל ישות שמגיעה למסלול זה נוצרת עם עדיפות (Priority) גבוהה מכל שאר הישויות ומקבלת תחילה את התכונות הבאות: TypeOfTest, times=1 ו-KupahDistrict. הנבדק הולך באופן אקראי לאחת מעמדות הבדיקה שפזורות במחוז שבו הוא גר ומבצע בדיקה. לאחר מכן מקבל תכונה TestedTime ומכאן שאר המסלול שייך לבדיקה עצמה והנבדק בעצם ממתין לבדיקה. לאחר מכן מועברת הבדיקה למעבדה של אותו מחוז.

מסלול נבדקים עם סימפטומים (mainMDA):

כל ישות שמגיעה למסלול זה מקבלת תחילה את התכונות הבאות: TypeOfTest, times=1 ו-MDADistrict, ומיד נכנסת למסלול של אחד מהאמבולנסים באופן רנדומלי.

מסלולי האמבולנסים (TrajAmbulance1-20):

במסלול זה כל נבדק קורא לפונקציה שמקבלת משאב אמבולנס מסוים כפרמטר בהתאם למסלול. בפונקציה הנבדק מזמין אמבולנס של מד"א ומחכה לו, כאשר מגיעים אנשי מד"א מתבצעת הבדיקה והיא מקבלת תכונה TestedTime. לאחר מכן היא מוכנסת לקופסת קירור באמבולנס. בכל 4 שעות מתחילת סימולציה האמבולנס עוצר את עבודתו, נוסע למעבדה, ושם הוא מעביר את קופסת הבדיקות למעבדה ואוסף ציוד חדש.

מסלולי מעבדות (TrajLabCenter / TrajLabSouth / TrajLabNorth):

למסלולי המעבדות מגיעות כל סוגי הבדיקות. בדיקות אשר הגיעו מהאמבולנסים וממתחמי הדרייב אין יוצאות מקופסאות הקירור (Separate) ונכנסות לתור לשם פיענוח הבדיקה. מכאן מועברות הבדיקות למסלולים לפי הפיענוח שלהן (חיובי, שלילי, גבולי).

מסלול בדיקות חיוביות (TrajSick):

בדיקה חיובית מקבלת תכונה Result=0 ומייצרת שתי ישויות בעזרת המסלולים Generate2DI ו-Generate2DIInight, ומסיימת את מסלולה.

מסלול יצירת נבדקים בעקבות חשיפה לחולה (Generate2DI):

במסלול זה ישות הבדיקה מייצרת 2 ישויות שנשלחות למסלול הדרייב אין באותו רגע.

מסלול יצירת נבדקים בעקבות חשיפה לחולה מחוץ לשעות הפעילות

(Generate2DInight):

למסלול זה מגיעות ישויות שקיבלנו תוצאה חיובית מחוץ לשעות הפעילות של מתחמי הדרייב אין ולכן כל ישות מייצרת 2 ישויות חדשות שישלחו למסלול הדרייב אין למחרת בשעת הפתיחה.

מסלול בדיקות שליליות (TrajHealthy):

בדיקה שלילית מקבלת תכונה Result=1 ומסיימת את מסלולה.

מסלול הבדיקות הגבוליות (TrajInconclusive):

בדיקה גבולית מקבלת תכונה Result=2, במידה וזו הפעם הראשונה שהנבדק ביצע בדיקה (times=1) והיא יצאה גבולית הבדיקה שלו נשלחת למסלול Split, ובמידה וזו הפעם השנייה של אותו נבדק (times=2) והיא יצאה גבולית **שוב**- הבדיקה נשלחת למסלול TrajSick.

מסלול שממין את הבדיקות הגבוליות (Split):

כל בדיקה שמגיעה למסלול זה, כלומר קיבלה תוצאה גבולית **בפעם הראשונה**, מעדכנת את התכונה times=2. לאחר מכן בעזרת התכונה TypeOfTest כל בדיקה נשלחת למסלול הבדיקה החוזרת המתאים.

מסלולי בדיקה חוזרת (mainMDArep / mainKupahrep / mainDIrep):

בכל אחד מהמסלולים האלה הבדיקה הרלוונטית מקבלת פקודת חזרה לאחור (rollback) לפי מס' צעדים שיוביל אותה למסלול הראשי לפי סוג הבדיקה בדיוק לשורת הקוד הבאה אחרי קבלת תכונה של מחוז (MDADistrict / KupahDistrict / DIDistrict). כלומר, נבדק שיוצא גבולי **בפעם הראשונה**, חוזר להיבדק שוב ביום למחרת מיד בשעת הפתיחה (בוחר מחדש משאב, לאו דווקא אותו משאב שתפס בפעם הראשונה) וממשיך את המסלול שלו כרגיל.

מסלולי תזמונים ושינוי הגדרות המערכת

מסלול המוריד עמדת בדיקה בשעה 18:00 בדרייב אין (ChangeDIworkstationCAP):

בכל יום בחצות מיוצרת ישות, מחכה 18 שעות לשעה 18:00 משנה אתה הקיבולת של כל משאבי המיני מתחמים ל-2, ולאחר 11 שעות בשעה 5:00 למחרת (שעה לפני הפתיחה) היא מחזירה את הקיבולת ל-3.

מסלול תזמון יצירת הישויות שמגיעות לקופות החולים (KupahSchedule):

בכל יממה בשעה 9:00 הישות במסלול מפעילה (Activate) את מחולל הישויות שמגיעות לקופ"ח ועוצרת את המחולל (Deactivate) בשעה 13:00 (הפסקה). באופן דומה הישויות חוזרות להיווצר בשעה 14:00 ומפסיקות בשעה 18:00.

**מסלול עזר לתזמון הנסיעה של האמבולנסים וקופסאות הקירור בדרייב-אין למעבדות
(batchScheduleTrj):**

בכל 4 שעות נוצרת ישות שמשנה את התכונה הגלובלית timeForBatch כמפורט **בנספח ג'.**

**מסלול שמסנכרן בין הנסיעה למעבדה של האמבולנסים ולנבדקים שנמצאים בתהליך
בדיקה ע"י אנשי מד"א (SendAmbulancesToLabs):**

למסלול זה נשלחת כל 4 שעות ישות, בעלת עדיפות (Priority) גבוהה יותר מהנבדקים של אנשי מד"א, תופסת את כל האמבולנסים ומיד משחררת את כולם. הסיבה שעשינו את זה היא – אם אמבולנס צריך לנסוע למעבדה כי עברו 4 שעות מהפעם האחרונה שנסע, והוא כעת במהלך נסיעה ללקוח או בדיקת לקוח, האמבולנס לא "ייקח" איתו את המטופל למעבדה ויוריד אותו באמצע הדרך, אלא יפסיק את מה שהוא עושה, ייסע למעבדה ויחזור בדיוק לאותו נבדק.

3.2. הנחות המודל

א. הנחות לגבי המערכת הנחקרת שעליהן מתבסס מודל הסימולציה:

1. יחידת זמן הסימולציה שנקבעה היא דקה (1 יחידת זמן = 1 דק').
2. הסימולציה מתחילה בזמן 0 ומסתיימת לאחר $60 \times 48 = 2,880$ יחידות זמן.
3. הזמן הבין מופעי של הגעת הנבדקים לדרייב אין מתפלג מעריכית עם פרמטר $\lambda = 0.5788541$, והזמן הבין מופעי לקריאות למד"א מתפלג מעריכית עם $\lambda = 0.463138$ (כפי שפורט **בנספח ב'**).
4. נבדק יזמין אמבולנס אחד מתוך ה-20 באופן אקראי, ללא תלות במקום מגוריו ובמיקום האמבולנס.
5. כל אמבולנס מתוך ה-20, נוסע לאחת המעבדות לפי התפלגות מגוריי הנבדקים ע"מ ליצור תורים שמדמים את המציאות במעבדות.
6. כאשר נסגרים קופות החולים (כולל שעת ההפסקה של קופ"ח) ומתחמי הדרייב אין, מי שכבר נמצא בתור יקבל טיפול.
7. בשל מגע עם חולה נוצרות 2 ישויות חדשות אותן בחרנו לשלוח לדרייב אין. במידה והיצירה מתבצעת לא בשעות הפעילות של המתחמים, הן יגיעו להיבדק למחרת בפתיחת המתחם (6 בבוקר).
8. במידה ונבדק מתגלה כגבולי בקופ"ח או במתחמי הדרייב אין, הוא יגיע לבצע בדיקה חוזרת למחרת בעת הפתיחה.
9. נבדקים מגיעים רק במשך שעות הפעילות.
10. האמבולנסים תמיד מקבלים פניות מנבדקים, גם כאשר הם לא פעילים (בעת מילוי מלאי או העברת בדיקות למעבדה).

11. כאשר אמבולנסים נמצאים במהלך נסיעה לנבדק, או במהלך הבדיקה עצמה,

ועוברות 4 שעות כך שיש צורך לנסוע למעבדה כדי להעביר את הבדיקות

שנאספו- האמבולנס יעצור את פעולתו, ייסע למעבדה כדי למלא את משימתו,

ואז יחזור לנבדק בו טיפל.

12. הבחירה בין העמדות בתוך הדרייב אין ובין העמדות בתוך קופות החולים נעשית

בצורה אקראית.

ב. ההנחות לצורך הניתוח הסטטיסטי וחישוב המדדים:

יש מתאם בין ריצות מקבילות בין כל שתי סדרות, אין מתאם בין ריצות בכל חלופה

בפני עצמה, קיים שוויון שונויות בין כל שתי סדרות והתוצאות מתפלגות נורמאלית.

4. ניתוח המצב הקיים והצעת חלופות לשיפור המצב הקיים

בדיקת נכונות המודל מפורטת **בנספח ה'**.

4.1. בחירת מדדים לניתוח

בנספח ד' אנו מציגים את אופן חישוב המדדים.

זמן המתנה ממוצע לקבלת תוצאת הבדיקה (מסיום ביצועה): מדד זה בוחן את משך הזמן מהרגע שבו הנבדק מסיים את הבדיקה ועד שמקבל תוצאה (סיום האבחנה במעבדה). בחרנו במדד הזה בכדי להקטין את כמות האנשים שעלולים להדבק מאדם חולה בפרק הזמן שעובר עד שמקבל תשובה. לצורך החישוב, בכל פעם שמישהו מסיים להיבדק הוא מקבל תכונה בשם `testedTime`, וכאשר בדיקה מסיימת פענוח היא מקבלת את התכונה `Result`. עבור כל בדיקה חישבנו את זמן ההמתנה באופן הבא: הזמן שבו התקבלה התכונה `Result` פחות הזמן שבו התקבלה התכונה `testedTime`.

זמן המתנה ממוצע לאמבולנס (מרגע הקריאה אליו): מדד זה בוחן את משך זמן ההמתנה של הנבדק מהרגע שבו הוא מזמין אמבולנס ועד שהאמבולנס מגיע אליו. המדד נותן פרספקטיבה טובה האם זמני ההמתנה ארוכים מדי ויש לייצל את מערך האמבולנסים של מד"א, או שהמערך עובד טוב ובצורה יעילה. לצורך החישוב, חיסרנו את זמן הכניסה לתור של אותו אמבולנס ואת זמן השירות (1.5 דק') מזמן סיום השירות של משאב האמבולנס.

זמן המתנה ממוצע בקופות החולים: מדד זה בוחן את הזמן שממתינים הלקוחות של קופות החולים להיבדק. באמצעות מדד זה ניתן להעריך האם התור בקופות החולים לוקח זמן רב מדי והאם יש לפעול על מנת לצמצמו. מדד זה רלוונטי מאחר ואנו מאמינים כי כאשר יש תורים ארוכים אזרחים נוטים להימנע מהגעה לקופ"ח לשם בדיקות ובכך עשויים להמשיך

ולחפץ את הנגיף. לצורך חישוב המדד, חיסרנו את זמן הכניסה לתור ואת זמן השירות (1.5 דק') מזמן סיום השירות של משאב קופת החולים.

4.2. סוג המערכת

המערכת הקיימת היא מסוג "מערכת לא מסתיימת" ולכן יש צורך בבחינת זמן החימום. החלטנו שזמן החימום הוא 30 ימים, לפי הגרפים שמצורפים בנספח ו'. בחרנו להוסיף לזמן החימום 10 ימים נוספים בהם המערכת יציבה (על אף שלפי התיאוריה יש להכפיל פי 7 את זמן החימום), מכיוון שלהערכתנו כך נוכל להפיק נתונים איכותיים שיאפשרו לנו לנתח את המודל ומכיוון שהתוכנה לא עומדת בכמות נתונים גדולה יותר.

משך זמן הריצה של המודל הוא $30+10$ ימים $= 960$ שעות $= 57,600$ דק'. מס' הריצות הראשוני שבוצע הוא $n_0=15$ ונקבע באופן שרירותי כדי לקבוע את מס' הריצות שנדרש עבור כל ריצה: לכל אחד מהמדדים שבחרנו, חישבנו ממוצע, סטיית תקן ורווח סמך.

נקבע רמת מובהקות של $\alpha_{tot} = 0.15$ ולכן רמת המובהקות של כל מדד תהיה:

$$\alpha_i = \frac{\alpha_{tot}}{N} = 0.05$$

רמת הדיוק היחסי שקבענו באופן שרירותי היא $\gamma=0.1$. כדי למצוא את מס' הריצות המינימאלי נקבע את החסם:

$$\frac{\delta(\alpha, n)}{\bar{x}} < 0.0909, \quad \frac{\gamma}{1 + \gamma} = 0.0909$$

ניתן לראות שאנו עומדים ביעדי הדיוק היחסי (נספח ז') ולכן מס' החזרות (n) של המצב הקיים יישאר 15.

4.3. ניתוח המצב הקיים

כדי לעמוד במטרת הפרויקט שהיא ייעול וזירוז תהליך בדיקת קורונה מרגע ההמתנה להיבדק (כניסה לאחד התורים) ועד קבלת תוצאות הבדיקה, נבחן את המדדים שבחרנו תחת המצב

הקיים. להלן נתוני המדדים:

| זמן המתנה ממוצע לקבלת טיפול ע"י מד"א (בדק') | זמן המתנה ממוצע בתור של קופ"ח (בדק') | זמן המתנה ממוצע עד לקבלת תוצאת בדיקה (בדק') | מצב קיים |
|---------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|----------|
| 33.48802 | 28.25473 | 94.2564 | |

ניתן לראות שזמן עד לקבלת תשובה יחסית ארוך, ולכן נבדק שנמצא חיובי עלול להדביק יותר ויותר אזרחים. כמו כן אנו מאמינים כי ככל שזמני התורים והזמנים לקבלת תשובה יותר

ארוכים, אנשים נמנעים מהגעה לבדיקות קורונה. כדי לעודד אנשים ללכת להיבדק אנו שואפים לצמצם את הזמנים הללו. לדעתנו תוצאות המצב הקיים מעידות על זמני המתנה ארוכים ולכן נשאף למזער אותם באמצעות בחינת חלופות.

4.4. תיאור החלופות

בכדי לשפר את המצב הקיים נבחן שתי חלופות במסגרת התקציב 3,000,000 ₪. טבלאות המידע על החלופות מפורטות [בנספח ח'](#).

חלופה ראשונה:

החלופה מכילה את השיפורים הבאים: הגדלת כ"א במעבדות, הוספת אמבולנס והשתלמות עבור העובדים במערך הבדיקות. בחלופה זו ניסינו לשפר את כל אחד מן המדדים שהצגנו במהלך הפרויקט. אנו סבורים כי הגדלת כוח האדם במעבדות תצמצם משמעותית את מדד הזמן הממוצע עד לקבלת תשובה במצב הקיים שעומד על 94.2564 דק'. לאחר בחינת טבלת arrivalData ראינו כי מעבדת המרכז היא העמוסה ביותר ([נספח ט'](#)), ולכן בחרנו להוסיף שם את העמדה החדשה. בנוסף הוספת האמבולנס תקטין את מדד זמן ההמתנה הממוצע לאמבולנס שעומד על 33.48802 דק' במצב קיים, וההשתלמות עבור העובדים תשפר את הזמן ההמתנה בכלל התורים במערכת.

להלן תוצאות המדדים תחת חלופה 1:

| זמן המתנה ממוצע לקבלת טיפול ע"י מד"א (בדק') | זמן המתנה ממוצע בתור של קופ"ח (בדק') | זמן המתנה ממוצע עד לקבלת תוצאת בדיקה (בדק') | חלופה 1 |
|---------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|---------|
| 30.39995 | 7.190191 | 72.72021 | |

חלופה שנייה:

החלופה מכילה את השיפורים הבאים: הוספת אמבולנס והכשרת סניף קופ"ח לביצוע בדיקות קורונה.

באופן דומה לחלופה הראשונה, גם בחלופה זו ניסינו לצמצם כל אחד מהמדדים של הפרויקט. בחלופה זו נוסיף סניף קופ"ח חדש בצפון, שם במצב הקיים התור הוא העמוס ביותר ([בנספח י'](#)). נצפה לראות כי הוספת האמבולנס והכשרת הסניפים יגרמו לקטנת הזמן עד לקבלת

תשובה של הנבדק.

להלן תוצאות המדדים תחת חלופה 2:

| זמן המתנה ממוצע לקבלת טיפול ע"י מד"א (בדק') | זמן המתנה ממוצע בתור של קופ"ח (בדק') | זמן המתנה ממוצע עד לקבלת תוצאת בדיקה (בדק') | חלופה 2 |
|---------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|---------|
| 31.77035 | 16.78658 | 90.70423 | |

4.5. השוואה סטטיסטית בין המצב הקיים לחלופות

רמת המובהקות לכל מבחן סטטיסטי:

$$\alpha_i = \frac{\alpha_{total}}{\text{Num of alternatives} * \text{Num of measures}} = \frac{0.15}{9} = \frac{1}{60} = 0.0166$$

נבצע מבחן t מזווג עבור כל מדד כדי לבחון את רווח הסמך, ולבסוף נבחר עבור כל מדד את החלופה הטובה ביותר. תוצאות ההרצות מפורטות בנספח י"ג.

| החלופה הנבחרת | תוצאות המבחן | גבול תחתון | גבול עליון | השוואה | מדד |
|---------------|--------------|------------|------------|-------------------|--------------------------------------------|
| חלופה 1 | חלופה 1 | 20.23297 | 22.83941 | מצב קיים וחלופה 1 | זמן המתנה ממוצע עד לקבלת תוצאת בדיקה |
| | חלופה 2 | 1.588394 | 5.520019 | מצב קיים וחלופה 2 | |
| | חלופה 1 | -19.12279 | -16.84117 | חלופה 1 וחלופה 2 | |
| חלופה 1 | חלופה 1 | 2.744046 | 3.432109 | מצב קיים וחלופה 1 | זמן המתנה ממוצע בתור של קופ"ח |
| | חלופה 2 | 1.297494 | 2.135923 | מצב קיים וחלופה 2 | |
| | חלופה 1 | -1.8401415 | -0.9025965 | חלופה 1 וחלופה 2 | |
| חלופה 1 | חלופה 1 | 20.65848 | 21.47058 | מצב קיים וחלופה 1 | זמן המתנה ממוצע לקבלת טיפול ע"י מד"א |
| | חלופה 2 | 10.95849 | 11.98974 | מצב קיים וחלופה 2 | |
| | חלופה 1 | -10.116656 | -9.064179 | חלופה 1 וחלופה 2 | |

5. מסקנות

מטרת הפרויקט היא ייעול וזירוז תהליך בדיקת הקורונה מתחילתו ועד סופו. בכדי לשפר את המצב קיבלנו תקציב של 3 מיליון ₪, ובעזרתו בחנו שתי חלופות על בסיס מבחן t מזווג להשוואה. תוצאות המבחן מעידות שחלופה 1 עדיפה על פני שאר החלופות בכל המדדים, ולכן אנו ממליצים להוסיף עמדה במעבדת המרכז, להוסיף אמבולנס נוסף ולשלוח את העובדים להשתלמות ע"מ להקטין את זמן לקיחת הדגימה. בעזרת חלופה 1 נקטין את זמן ההמתנה הממוצע לקבלת תוצאות בכ-23 דק' והזמן הממוצע להגעת אמבולנס בכ-3 דק'. כמו כן חלופה 1 תקטין את זמן ההמתנה הממוצע בתור בקופות החולים בכ-21 דק'. נמליץ לגורמים האחראיים לשקול הוספת אמבולנס נוסף כדי להקטין עוד יותר את זמני ההמתנה של הנבדקים.

6.1. נספח א'-נתונים

נתונים המערכת הנחקרת

| זמן | פעולה |
|--------------------|--------------------------------------|
| 1.5 | זמן ביצוע בדיקת קורונה |
| 5 | זמן פענוח הבדיקה |
| Norm(15,5) | זמן העברת בדיקה מקופת החולים למעבדות |
| Norm(15,5) | זמן נסיעה מהדרייב-אין למעבדות |
| Norm(15,5) | זמן נסיעה אנשי מד"א למעבדות |
| Triangle(10,20,15) | זמן נסיעה אנשי מד"א לבית הנבדק |
| 10 | זמן לקבלת ציוד חדש |
| 10 | זמן להעברת הבדיקות למעבדה |

התפלגות האזרחים הנבדקים: 35% צפוניים, 23% דרומיים ו-42% מהמרכז.

סיכויים לכל תוצאה אפשרית של בדיקת קורונה:

$$f(x) = \begin{cases} \text{negative,} & 0.75 \\ \text{inconclusive,} & 0.15 \\ \text{positive,} & 0.1 \end{cases}$$

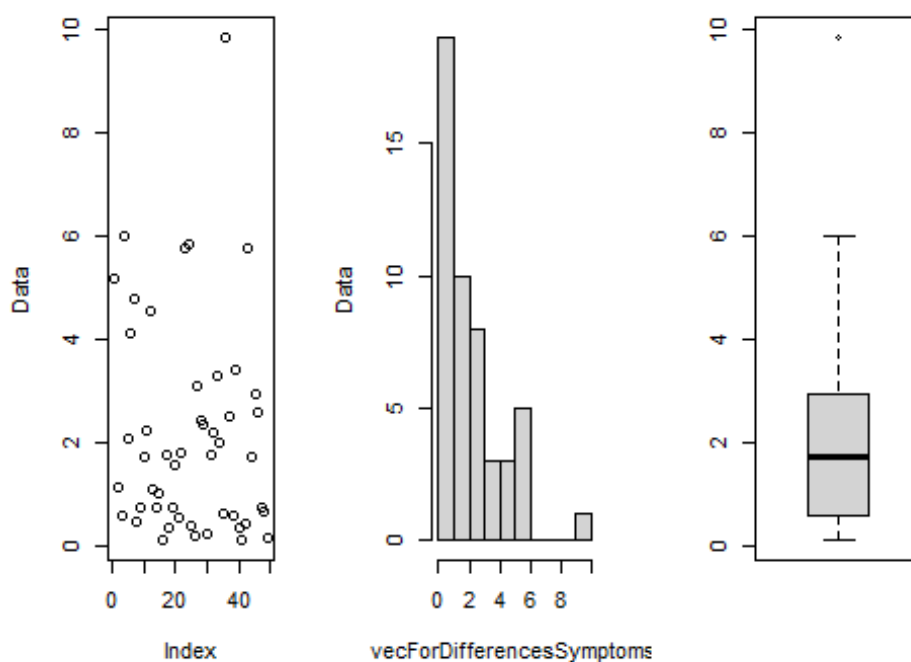
6.2. נספח ב'- התפלגות הנתונים

| וקטור | התפלגות | פרמטר הקצב |
|---------------------|---------------|------------|
| נבדקים עם סימפטומים | אקספוננציאלית | 0.463138 |
| דרייב-אין | אקספוננציאלית | 0.5788541 |

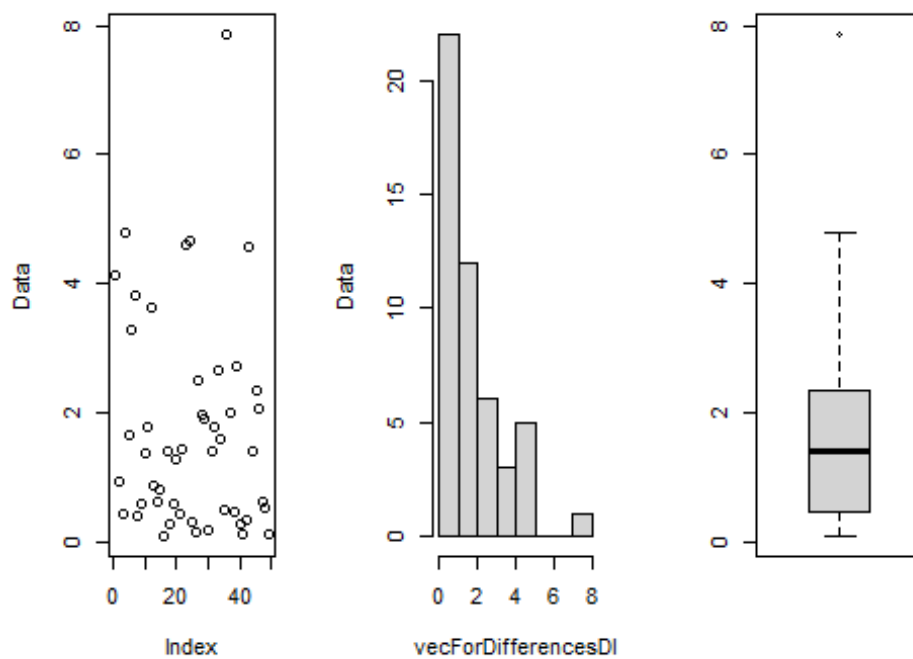
כדי להבין מהנתונים שקיבלנו את סוג התפלגות הגעת הנבדקים והפרמטרים שלה (נבדקי מד"א ונבדקי ה-Drive-In), ביצענו חישובים באמצעות RStudio (Rmarkdown). הקוד המלא מצורף בתיקיית ההגשה.

לכל וקטור נתונים ביצענו תהליך של רושם ראשוני- ובשניהם לא הצלחנו לקבוע מאיזו התפלגות הנתונים מגיעים.

וקטור הנבדקים עם סימפטומים:



וקטור דרייב אין:



לאחר מכן, התאמנו את הנתונים להתפלגויות מוכרות (נורמאלית ואקספוננציאלית) וגילינו ששני הווקטורים מתפלגים אקספוננציאלית.

לוקטור הנבדקים עם סימפטומים ניתן לראות שההתפלגות האקספוננציאלית מתאימה יותר מכיוון שמדדי AIC ו-BIC נמוכים יותר ומדד ה-loglikelihood גבוה יותר ביחס להתפלגות הנורמאלית.

```
Fitting of the distribution ' exp ' by maximum likelihood
Parameters :
Loglikelihood: -86.71678 AIC: 175.4336 BIC: 177.3254
Fitting of the distribution ' norm ' by maximum likelihood
Parameters :
Loglikelihood: -104.2786 AIC: 212.5572 BIC: 216.3409
Correlation matrix:
      mean sd
mean   1  0
sd     0  1
```

פרמטר הקצב שנמצא הוא 0.463138:

| | estimate <dbl> | Std. Error <dbl> |
|-------|--------------------------|----------------------------|
| rate | 0.463138 | 0.06616226 |
| 1 row | | |

לוקטור דרייב-אין ניתן לראות שההתפלגות האקספוננציאלית מתאימה יותר מכיוון שמדדי

AIC ו-BIC נמוכים יותר ומדד ה-loglikelihood גבוה יותר מאשר בהתפלגות הנורמאלית.

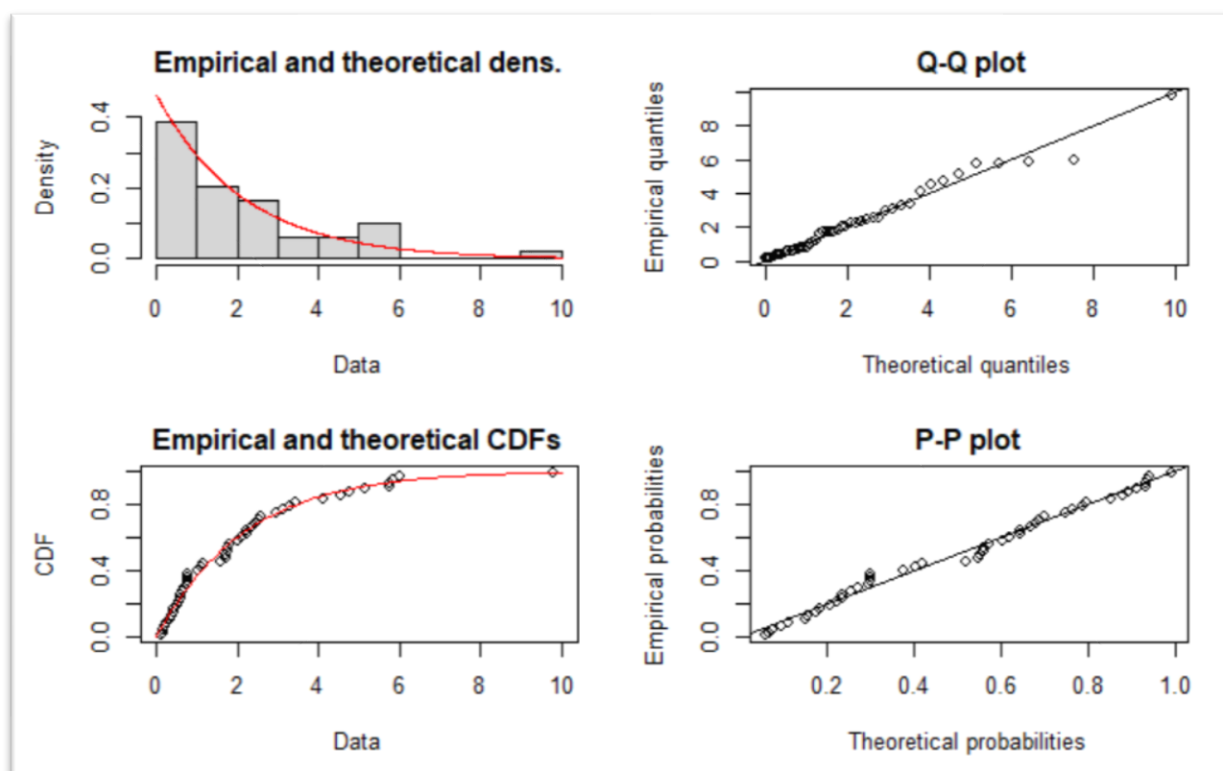
```
Fitting of the distribution ' exp ' by maximum likelihood
Parameters :
Loglikelihood: -75.78854   AIC: 153.5771   BIC: 155.4689
Fitting of the distribution ' norm ' by maximum likelihood
Parameters :
Loglikelihood: -93.36909   AIC: 190.7382   BIC: 194.5218
Correlation matrix:
              mean      sd
mean 1.000000e+00 1.356635e-10
sd    1.356635e-10 1.000000e+00
```

פרמטר הקצב שנמצא הוא 0.5788541:

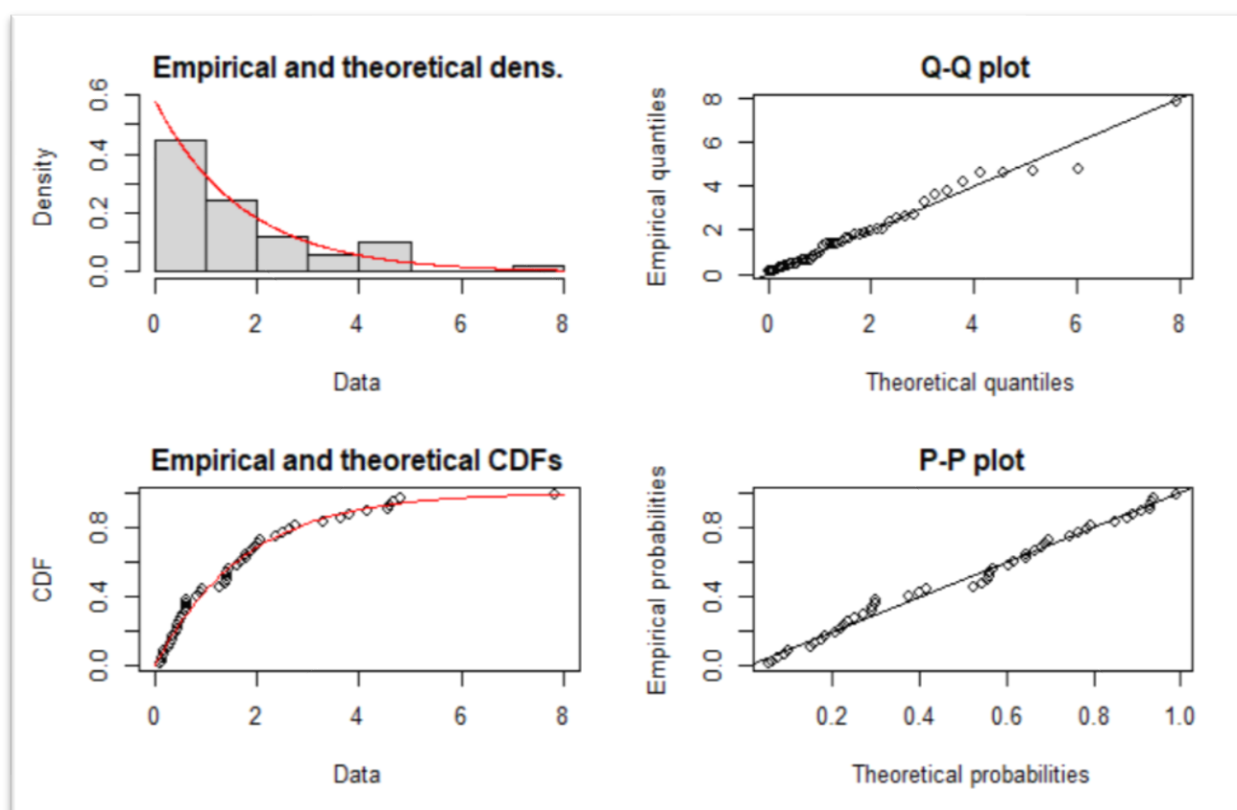
| | estimate <dbl> | Std. Error <dbl> |
|-------|-------------------|---------------------|
| rate | 0.5788541 | 0.0826932 |
| 1 row | | |

נבחן את נראות הגרפים בהתאם להתפלגות האקספוננציאלית ונראה שההתפלגות מתאימה לגרפים.

וקטור נבדקים עם סימפטומים:



וקטור דרייב-אין:



בשלב הבא, בחנו את טיב ההתאמה של הנתונים להתפלגות האקספוננציאלית:
 וקטור נבדקים עם סימפטומים- P_{VAL} של 8.3% מה שמחזק את השערתנו בכך שמדובר
 בהתפלגות אקספוננציאלית (מכיוון שהמבחן נעשה ברמת מובהקות של 5% כברירת מחדל):

```
Chi-squared statistic: 11.19287
Degree of freedom of the Chi-squared distribution: 6
Chi-squared p-value: 0.08259539
the p-value may be wrong with some theoretical counts < 5
Chi-squared table:
      obscounts theocounts
<= 0.35      6.000000    7.332477
<= 0.5833    6.000000    4.268055
<= 0.7667    6.000000    3.044458
<= 1.717     6.000000   12.228714
<= 2.083     6.000000    3.455707
<= 2.583     6.000000    3.859435
<= 4.567     6.000000    8.900103
> 4.567      7.000000    5.911050

Goodness-of-fit criteria
                                1-mle-exp
Akaike's Information Criterion  175.4336
Bayesian Information Criterion  177.3254
```

וקטור דרייב-אין- P_{VAL} של 14.5% מה שמחזק את השערתנו בכך שמדובר בהתפלגות
 אקספוננציאלית (מכיוון שהמבחן נעשה ברמת מובהקות של 5% כברירת מחדל):

```
Chi-squared statistic: 9.5407
Degree of freedom of the Chi-squared distribution: 6
Chi-squared p-value: 0.1453746
the p-value may be wrong with some theoretical counts < 5
Chi-squared table:
      obscounts theocounts
<= 0.2833    6.000000    7.412001
<= 0.45      6.000000    3.824766
<= 0.6167    7.000000    3.473010
<= 1.4       6.000000   12.500803
<= 1.783     6.000000    4.336090
<= 2.367     6.000000    5.001525
<= 3.817     6.000000    7.072672
> 3.817      6.000000    5.379132

Goodness-of-fit criteria
                                1-mle-exp
Akaike's Information Criterion  153.5771
Bayesian Information Criterion  155.4689
```

תכונות

| שם תכונה | תיאור תכונה |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Times | התכונה מייצגת את כמות הפעמים שהנבדק עבר בדיקה: 1 – פעם אחת 2 – פעמיים (לאחר שיצא inconclusive בבדיקה הראשונה) |
| TypeOfTest | התכונה מייצגת את מיקום לקיחת הבדיקה: 1 – בדיקה במתחם Drive-in 2 – בדיקה בקופת חולים 3 – בדיקה ע"י מד"א |
| MDADistrict\ KupahDistrict\ DIDistrict | תכונה שנועדה להצמיד לכל אחת מהנבדקים את המחוז בו הוא גר, בהתאם להתפלגות הנתונה: 35% צפון, 42% מרכז, 23% דרום |
| Result | תכונה שמייצגת את תוצאת הבדיקה שנעשתה: 0 – חולה 1 – בריא 2 – גבולי |
| timeForBatch | תכונה גלובלית שערכה משתנה כל 4 שעות, לכפולה של ה-4 שעות הבאות. לדוג' בזמן 480 דק' ערך התוכנה ישתנה ל-720 |
| testedTime | תכונה שמתארת את הזמן בו הסתיימה הבדיקה 1 – בעת סיום הבדיקה הראשונה 2 – בעת סיום הבדיקה השנייה |
| endOfDay | תכונה גלובלית שערכה משתנה כל 24 שעות, לכפולה של ה-24 שעות הבאות. לדוג' בזמן 1,440 דק' ערך התוכנה ישתנה ל-2,880 דק' |

משאבים

| שם המשאב | קיבולת | אורך תור | Preemptive |
|------------------------------|--------|----------|------------|
| Ambulance 1-20 | 1 | Inf | TRUE |
| LabNorth\South\Center | 20 | Inf | FALSE |
| KupahNorth 1-4 | 1 | Inf | FALSE |
| KupahSouth 1-4 | 1 | Inf | FALSE |
| KupahCenter 1-7 | 1 | Inf | FALSE |
| Ambulance 1-20 | 1 | Inf | TRUE |

ישויות

| Trajectory | קצב יצירה | PRIORITY | משמעות | שם הישות |
|------------------------|--------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| mainDI | exp(8) | 0 | בדיקה שנדגמה במתחם DI | DItest |
| mainMDA | rexp(0.463138) | 0 | בדיקה שנדגמה ע"י מד"א | MDAtest |
| mainKupah | rexp(0.5788541) | 1 | בדיקה שנדגמה בקופ"ח | KupahTest |
| ChangeDIworkstationCAP | החל מזמן 0- היצירה תתבצע כל 24 שעות | 0 | הישות אחראית לשנות את ה- Capacity של Drive--ה- מתחמי ה- In לפי שעות הפעילות שלהם | DIworkstationCAP |
| KupahSchedule | החל מזמן 0- היצירה תתבצע כל 24 שעות | 0 | הישות אחראית לשנות את ה- Capacity של קופות החולים לפי שעות הפעילות שלהן | KupahSchedule |
| mainDI | יצירה של 2 ישויות תתבצע רק כאשר נבדק התגלה כחולה | 0 | בדיקות שנדגמות כאשר התגלה חולה מאומת | Exposed_To_Positive |
| batchScheduleTrj | החל מזמן 0- היצירה תתבצע כל 4 שעות | 0 | ישות זו עוזרת לנו לוודא שבכל 4 שעות האמבולנסים נוסעים למעבדות | batchSchedule |
| DayScheduleTraj | החל מזמן 0- היצירה תתבצע כל 24 שעות | 0 | ישות זו עוזרת לנו לחשב זמנים במערכת ביחס ליממה שבה אנו נמצאים | DaySchedule |
| SendAmbulancesToLabs | היצירה תתבצע כל 4 שעות | 1 | ישות זו עוזרת לנו לוודא שהאמבולנסים נוסעים למעבדות | StopTesting |

6.4. נספח ד' - קטעי קוד לבחינת המדדים

זמן ההמתנה לקבלת תוצאת הבדיקה (מרגע ביצועה):

```
ViewResults <-sqldf("select * from attributeData where key='Result'")
Waiting_for_results <- sqldf("select AR.'name', AT.'time',(case
    when AT.key='TestedTime' and AT.value=2 then AR.'end_time'
    when AT.key='TestedTime' and AT.'value'=1 then V.'time'
    else 0 end) as END,
    (case when AT.key='TestedTime' and AT.value=2 then (AR.'end_time'-AT.time)
    when AT.key='TestedTime' and AT.'value'=1 then (V.'time'-AT.time)
    else 0 end) as 'Wait For Result'
    From arrivalData as AR join attributeData as AT on AR.name=AT.name
    join ViewResults as V on AT.name=V.name
    WHERE AT.key='TestedTime' GROUP BY AT.time")
Mean_of_WaitForResult <- mean(Waiting_for_results$`Wait For Result`)
```

זמן ההמתנה לאמבולנס (מרגע הקריאה אליו):

```
Waiting_for_ambulance <- sqldf("select *,A.'end_time'-A.'start_time'-1.5 as 'wait for ambulance'
    FROM arrivalData3_RUN as A WHERE resource LIKE '%Ambulance%' AND name LIKE '%MDA%'")
Mean_for_waitForAmbulance <- mean(Waiting_for_ambulance$`Wait for ambulance`)
```

זמן ההמתנה בקופות החולים:

```
waiting_In_KupatHolim <- sqldf("select *,A.'end_time'-A.'start_time'-1.5 as 'wait for Kupah'
    FROM arrivalData3 as A WHERE resource LIKE '%Kupah%'")
Mean_for_waitInKupahLine <- mean(Waiting_In_KupatHolim$`Wait for Kupah`)
```

6.5. נספח ה'- בדיקת נכונות המודל

בדיקת נכונות המודל

לצורך בדיקת נכונות המצב הקיים, נציג תיעוד של כל המסלולים ואת הישויות שעוברות בהם, לפי סוגי הישויות. נציג את כל המקרים האפשריים במודל ונציג את התאמתם להנחיות ולהנחות שלנו.

ישות DIttest

נעקוב אחרי בדיקה ספציפית שנבדקה פעמיים (אדם שנבדק פעמיים), כדי לעקוב אחרי כל המסלולים האפשריים. נעקוב אחרי DIttest18. כאשר הישות נוצרה היא מקבלת 3 תכונות:

Attribute table

| | time | name | key | value | replication |
|-------|-----------|-----------|------------|-------|-------------|
| | All | DIttest18 | All | All | All |
| 1024 | 399.3536 | DIttest18 | DIDistrict | 2 | 1 |
| 1022 | 399.3536 | DIttest18 | times | 1 | 1 |
| 1023 | 399.3536 | DIttest18 | TypeOfTest | 1 | 1 |
| 1038 | 400.8536 | DIttest18 | TestedTime | 1 | 1 |
| 1459 | 498.5025 | DIttest18 | Result | 2 | 1 |
| 1472 | 498.5025 | DIttest18 | times | 2 | 1 |
| 32771 | 1801.5000 | DIttest18 | TestedTime | 2 | 1 |
| 33777 | 1938.5025 | DIttest18 | Result | 1 | 1 |

Arrivals Per Resource table

| | name | start_time | end_time | activity_time | resource | replication |
|-------|-----------|------------|-----------|---------------|----------|-------------|
| | DIttest18 | All | All | All | All | All |
| 347 | DIttest18 | 399.3536 | 400.8536 | 1.5 | DINorth3 | 1 |
| 489 | DIttest18 | 493.5025 | 498.5025 | 5.0 | LabNorth | 1 |
| 12906 | DIttest18 | 1800.0000 | 1801.5000 | 1.5 | DINorth3 | 1 |
| 13381 | DIttest18 | 1933.5025 | 1938.5025 | 5.0 | LabNorth | 1 |

ניתן לראות ש-DIDistrict=2, כלומר הנבדק גר בצפון. כמו כן, times=1 כלומר זה הפעם הראשונה שהנבדק הגיע להיבדק וכן TypeOfTest=1 ז"א שהבדיקה נעשתה

בדרייב אין. מיד לאחר מכן הנבדק מגיע לאחת עמדות הבדיקה בצפון לפי התכונה DIDistrict שקיבל. דקה וחצי לאחר שתפס את המשאב, כלומר מיד בתום הבדיקה, הנבדק מקבל את התכונה testedTime=1 לצורך חישוב המדדים בעתיד. מכאן, הבדיקה מועברת ל-DIbox ונכנסת ל-Batch. מאחר והישות נוצרה בזמן 399.35, היא תצטרך לחכות ב-Batch עד זמן 480 (לפי התכונה הגלובלית timeForBatch שנוצרת ע"י הישות batchSchedule).

| | time | name | key | value | replication |
|-------|------|------|--------------|-------|-------------|
| | All | All | timef | All | All |
| 2 | 0 | | timeForBatch | 240 | 1 |
| 452 | 240 | | timeForBatch | 480 | 1 |
| 1334 | 480 | | timeForBatch | 720 | 1 |
| 11016 | 720 | | timeForBatch | 960 | 1 |

כעת קופסת הבדיקות תבצע נסיעה למעבדה בזמן מפולג נורמלית כפי שנדרש בהנחיות, תתפצל לבדיקות בודדות, והבדיקה הנבחרת תתפוס את המשאב מעבדת צפון. בטבלה מטה ניתן לראות שבאותו זמן יחד עם הבדיקה המתועדת הגיעו מס' רב של בדיקות נוספות למעבדת הצפון.

| | resource | time | server | queue | capacity | queue_size | system | limit |
|------|----------|----------|--------|-------|----------|------------|--------|-------|
| | labn | All | All | All | All | | All | |
| 1015 | LabNorth | 493.5025 | 2 | 0 | 20 | Inf | 2 | Inf |
| 1016 | LabNorth | 493.5025 | 3 | 0 | 20 | Inf | 3 | Inf |
| 1017 | LabNorth | 493.5025 | 4 | 0 | 20 | Inf | 4 | Inf |
| 1018 | LabNorth | 493.5025 | 5 | 0 | 20 | Inf | 5 | Inf |
| 1019 | LabNorth | 493.5025 | 6 | 0 | 20 | Inf | 6 | Inf |
| 1020 | LabNorth | 493.5025 | 7 | 0 | 20 | Inf | 7 | Inf |
| 1021 | LabNorth | 493.5025 | 8 | 0 | 20 | Inf | 8 | Inf |
| 1022 | LabNorth | 493.5025 | 9 | 0 | 20 | Inf | 9 | Inf |
| 1023 | LabNorth | 493.5025 | 10 | 0 | 20 | Inf | 10 | Inf |
| 1024 | LabNorth | 493.5025 | 11 | 0 | 20 | Inf | 11 | Inf |
| 1025 | LabNorth | 493.5025 | 12 | 0 | 20 | Inf | 12 | Inf |
| 1026 | LabNorth | 493.5025 | 13 | 0 | 20 | Inf | 13 | Inf |

ע"ס התכונה Result=2, הבדיקה קיבלה תוצאה גבולית ומכיוון שבשלב הזה התכונה times=1, הבדיקה נשלחת למסלול Split שבו היא מקבלת את התכונה times=2. שם הבדיקה מועברת למסלול לפי typeOfTest שקובע כמה חזרות לאחר (rollback) עליה לבצע. כפי שהנחנו, נבדק דרייב אין שקיבל תוצאה גבולית יחזור להיבדק שוב למחרת בשעת הפתיחה כפי שניתן לראות ב- Arrivals Per Resource table (זמן 1800=30 שעות=6 בבוקר למחרת). לכן הנבדק נכנס חזרה לתור של המשאב DINorth3 (באותה מידה הנבדק יכול היה לבחור עמדה שונה מזאת שבחר קודם לכן). מכאן עוברת הבדיקה אותו תהליך, רק שהפעם אין לה אפשרות לקבל תוצאה גבולית בשנית.

כמו כן ניתן לראות שבזמן 1080=6 בערב, ה-Capacity יורד מ-3 ל-2, ובזמן 1740=5 בבוקר למחרת, כשעה לפני הפתיחה, ה-Capacity חוזר להיות 3.

Resource data

| | | | | | |
|-------|-----------|------|---|---|---|
| 26479 | DINorth1 | 1740 | 0 | 0 | 3 |
| 26480 | DINorth2 | 1740 | 0 | 0 | 3 |
| 26481 | DINorth3 | 1740 | 0 | 0 | 3 |
| 26482 | DISouth1 | 1740 | 0 | 0 | 3 |
| 26483 | DISouth2 | 1740 | 0 | 0 | 3 |
| 26484 | DISouth3 | 1740 | 0 | 0 | 3 |
| 26485 | DICenter1 | 1740 | 0 | 0 | 3 |
| 26486 | DICenter2 | 1740 | 0 | 0 | 3 |
| 26487 | DICenter3 | 1740 | 0 | 0 | 3 |
| 26488 | DICenter4 | 1740 | 0 | 0 | 3 |

| | | | | | |
|-------|-----------|----------|---|---|---|
| 22308 | DINorth1 | 1078.527 | 0 | 0 | 3 |
| 22309 | DICenter3 | 1078.546 | 1 | 0 | 3 |
| 22327 | DINorth3 | 1079.116 | 0 | 0 | 3 |
| 22349 | DINorth2 | 1079.841 | 0 | 0 | 3 |
| 22355 | DICenter3 | 1079.894 | 0 | 0 | 3 |
| 22358 | DINorth1 | 1080.000 | 0 | 0 | 2 |
| 22359 | DINorth2 | 1080.000 | 0 | 0 | 2 |
| 22360 | DINorth3 | 1080.000 | 0 | 0 | 2 |
| 22361 | DISouth1 | 1080.000 | 0 | 0 | 2 |
| 22362 | DISouth2 | 1080.000 | 0 | 0 | 2 |
| 22363 | DISouth3 | 1080.000 | 0 | 0 | 2 |
| 22364 | DICenter1 | 1080.000 | 0 | 0 | 2 |
| 22365 | DICenter2 | 1080.000 | 0 | 0 | 2 |
| 22366 | DICenter3 | 1080.000 | 0 | 0 | 2 |
| 22367 | DICenter4 | 1080.000 | 0 | 0 | 2 |

חולה יוצר 2 נבדקים חדשים

לפי ההוראות, כאשר נבדק מתגלה כחיובי, הוא שולח 2 ישויות להיבדק בעקבות חשיפה. החלטנו לשלוח את הנבדקים למסלול mainDI כפי שפורט בהנחות. ראשית, נעקוב אחרי נבדק שמתגלה כחולה. ברגע קבלת התוצאות, הבדיקה מקבלת

| | time | name | key | value |
|------|----------|---------|--------|-------|
| | All | st1 | All | All |
| 1348 | 496.8236 | DItest1 | Result | 0 |

תכונה Result=0.

| | name | start_time | end_time | activity_time | resource |
|-----|----------------------|------------|----------|---------------|-----------|
| | All | All | All | All | All |
| 464 | Exposed_To_Positive0 | 496.8236 | 498.3236 | 1.50000 | DIcenter1 |
| 465 | Exposed_To_Positive1 | 496.8236 | 498.3236 | 1.50000 | DINorth3 |

כפי שניתן לראות, בזמן 496.8236 בדיקת DItest1 מתגלה כחיובית, ובאותו רגע 2 ישויות נשלחות לבדיקה בדרייב אין. כעת, כפי שהנחנו, ישות שמתגלה כחיובית מחוץ לשעות העבודה של הדרייב אין יוצרת 2 ישויות יוצרת 2 ישויות למחרת ברגע הפתיחה.

| | time | name | key | value |
|-------|----------|-----------|--------|-------|
| | All | dite | re | All |
| 14268 | 772.5198 | DItest119 | Result | 0 |

| | name | start_time | end_time | activity_time |
|------|-------------------------|------------|----------|---------------|
| | ex | All | All | All |
| 5577 | Exposed_To_Positive1241 | 1800.000 | 1948.848 | 20.34759 |
| 5578 | Exposed_To_Positive1242 | 1800.000 | 1948.848 | 20.34759 |

ישות MDAtest

נעקוב אחרי אדם ספציפי שנבדק בביתו ע"י מד"א, לצורך הדוגמה נעקוב אחרי MDAtest1.

Attribute table

| | time | name | key | value |
|-----|-----------|----------|-------------|-------|
| | All | MDAtest1 | All | All |
| 6 | 6.02043 | MDAtest1 | times | 1 |
| 7 | 6.02043 | MDAtest1 | TypeOfTest | 3 |
| 8 | 6.02043 | MDAtest1 | MDADistrict | 2 |
| 31 | 24.35304 | MDAtest1 | TestedTime | 1 |
| 605 | 285.96953 | MDAtest1 | Result | 1 |

Arrivals Per Resource table

| | name | start_time | end_time | activity_time | resource |
|-----|------------|------------|-----------|---------------|------------|
| | mdate | All | All | All | All |
| 2 | MDateTest1 | 6.02043 | 24.35304 | 18.33261 | Ambulance9 |
| 219 | MDateTest1 | 280.96953 | 285.96953 | 5.00000 | LabCenter |

כאשר הישות נוצרת היא מקבלת 3 תכונות. ניתן לראות ש-MDADistrict=2, כלומר הנבדק גר בצפון. כמו כן, $times=1$ כלומר זה הפעם הראשונה שהנבדק עבר בדיקה וכן $TypeOfTest=3$ ז"א שהבדיקה נעשתה ע"י מד"א.

ניתן לראות שזמן השירות של האמבולנס כולל בתוכו את זמן הנסיעה אל הנבדק ואת זמן הבדיקה. לאחר ביצוע הבדיקה, היא נכנסת ל-Batch. מאחר והישות נוצרה בזמן 6.02, היא תצטרך לחכות ב-Batch עד זמן 240 (לפי התכונה הגלובלית timeForBatch).

בדיוק בזמן 240 ניתן לראות שהאמבולנס משנה את ה-Capacity שלו ל-0 ולכן לא יכול לקבל נבדקים חדשים, וכן מצב זה קורה אחת ל-4 שעות.

| | resource | time | server | queue | capacity | queue_size |
|-----|------------|-----------|--------|-------|----------|------------|
| | ambulance | All | All | All | All | |
| 239 | Ambulance9 | 240.00000 | 0 | 0 | 1 | Inf |
| 252 | Ambulance9 | 240.00000 | 0 | 0 | 0 | Inf |

במידה והיה נבדק שהמתין לאמבולנס או תוך כדי בדיקה, ישות stopTesting שנוצרת כל 4 שעות עם Priority גבוה יותר, תוציא את הנבדק מה-server של המשאב, וכך האמבולנס יחזור לבית הנבדק לאחר הנסיעה למעבדה.

| | resource | time | server | queue | capacity | queue_size | system | limit | replication |
|------|------------|-----------|--------|-------|----------|------------|--------|-------|-------------|
| | ambulance | [...] | All | All | All | | All | | All |
| 876 | Ambulance9 | 475.86121 | 1 | 2 | 1 | Inf | 3 | Inf | 1 |
| 887 | Ambulance9 | 480.00000 | 1 | 3 | 1 | Inf | 4 | Inf | 1 |
| 907 | Ambulance9 | 480.00000 | 1 | 2 | 1 | Inf | 3 | Inf | 1 |
| 929 | Ambulance9 | 480.00000 | 0 | 3 | 0 | Inf | 3 | Inf | 1 |
| 942 | Ambulance9 | 482.00478 | 0 | 4 | 0 | Inf | 4 | Inf | 1 |
| 1202 | Ambulance9 | 511.02289 | 0 | 5 | 0 | Inf | 5 | Inf | 1 |
| 1287 | Ambulance9 | 515.54700 | 0 | 6 | 0 | Inf | 6 | Inf | 1 |
| 1434 | Ambulance9 | 520.96953 | 1 | 5 | 1 | Inf | 6 | Inf | 1 |

האמבולנס ייסע למעבדה, יעביר את הבדיקות ויאסוף ציוד לפני שיחזור לבית הנבדק שעזב או לקבלת נבדקים חדשים. כאשר האמבולנס מוכן לנסיעה, ה-Capacity שלו יחזור ל-1 כפי שמתואר בטבלה מעלה בזמן 520.96953.

ישות KupahTest

נעקוב אחרי אדם ספציפי שנבדק בקופ"ח, לצורך הדוגמה נעקוב אחרי KupahTest1029.

Attribute table

| | time | name | key | value |
|------|----------|---------------|---------------|-------|
| | All | kupah | All | All |
| 8308 | 669.3737 | KupahTest1029 | times | 1 |
| 8309 | 669.3737 | KupahTest1029 | TypeOfTest | 2 |
| 8310 | 669.3737 | KupahTest1029 | KupahDistrict | 3 |
| 8510 | 674.5121 | KupahTest1029 | TestedTime | 1 |
| 8805 | 680.0093 | KupahTest1029 | Result | 1 |

Arrivals Per Resource table

| | name | start_time | end_time | activity_time | resource |
|------|---------------|------------|----------|---------------|--------------|
| | st1029 | All | All | All | All |
| 3052 | KupahTest1029 | 669.3737 | 674.5121 | 1.5 | KupahCenter2 |
| 3154 | KupahTest1029 | 674.5121 | 680.0093 | 5.0 | LabCenter |

כאשר הישות נוצרת היא מקבלת 3 תכונות. ניתן לראות ש-KupahDistrict=3, כלומר הנבדק גר במרכז. כמו כן, times=1 כלומר זה הפעם הראשונה שהנבדק עבר בדיקה וכן TypeOfTest=2 ז"א שהבדיקה נעשתה בקופ"ח. הנבדק נכנס לתור של KupahCenter2 באופן אקראי וביצע בדיקה, בזמן כולל של כ-5 דק'. בשלב הזה במעבדת המרכז ישנם תורים ארוכים:

| | resource | time | server | queue |
|------|-----------|----------|--------|-------|
| | Labc * | All | All | All |
| 6368 | LabCenter | 674.0964 | 20 | 98 |
| 6373 | LabCenter | 674.1598 | 20 | 97 |
| 6376 | LabCenter | 674.4211 | 20 | 98 |
| 6380 | LabCenter | 674.5121 | 20 | 99 |
| 6391 | LabCenter | 674.8170 | 20 | 100 |
| 6392 | LabCenter | 674.8701 | 20 | 99 |
| 6399 | LabCenter | 675.0093 | 20 | 98 |

ניתן לראות שבזמן 674.5121 הבדיקה נכנסת לתור של 98 בדיקות, ובזמן 675.0093 (5-680.0093) היא מתחילה לקבל שירות. כלומר, היא עקפה את שאר הבדיקות שהגיעו מהדרייב-אין וממד"א.
עם זאת, לפי הטבלה הבאה ניתן לראות שכל בדיקה שהגיעה מקופ"ח לא עוקפת בתור את בדיקות הקופ"ח שהגיעו לפנייה.

| | name | start_time | end_time | activity_time | resource |
|------|---------------|------------|----------|---------------|-----------|
| | All | All | All | All | labce * |
| 3154 | KupahTest1029 | 674.5121 | 680.0093 | 5 | LabCenter |
| 3155 | KupahTest1056 | 674.8170 | 680.0121 | 5 | LabCenter |
| 3161 | KupahTest1040 | 675.0727 | 680.2014 | 5 | LabCenter |
| 3164 | KupahTest1061 | 675.4574 | 680.5727 | 5 | LabCenter |
| 3182 | KupahTest1034 | 676.0121 | 681.5121 | 5 | LabCenter |

בדיקת נכונות נוספת בנושא קופות החולים, היא כאשר בדיקת קופ"ח מקבלת תשובה גבולית היא מגיעה בעת הפתיחה ביום למחרת כפי שפירטנו בהנחות.

| | time | name | key | value |
|-------|----------|---------------|--------|-------|
| | All | st1639 * | re * | All |
| 14196 | 782.8895 | KupahTest1639 | Result | 2 |

| | name | start_time | end_time | activity_time | resource |
|-------|---------------|------------|-----------|---------------|-------------|
| | upahTe ✕ | All | All | All | All |
| 5078 | KupahTest1639 | 750.5773 | 776.8895 | 1.5 | KupahNorth3 |
| 5205 | KupahTest1639 | 776.8895 | 782.8895 | 5.0 | LabNorth |
| 14649 | KupahTest1639 | 1980.0000 | 2011.5000 | 1.5 | KupahNorth3 |
| 14774 | KupahTest1639 | 2011.5000 | 2016.5000 | 5.0 | LabNorth |

קופות החולים נפתחות ב-09:00. ניתן לראות שהנבדק הראשון מגיע לקופ"ח בזמן 540.1962, ז"א קצת אחרי 09:00.

| | name | start_time |
|-----|------------|------------|
| | Kup ✕ | All |
| 235 | KupahTest0 | 540.1962 |

בנוסף, לקופות החולים יש הפסקה בין השעות 13:00 ל-14:00. ניתן לראות שבדיקות נוצרות עד זמן 780 (13:00) וממשיכות להיווצר לאחר מכן בזמן 840 (14:00).

| | name | start_time | end_time |
|------|---------------|------------|----------|
| | ku ✕ | All | All |
| 2083 | KupahTest1919 | 779.4379 | 792.6797 |
| 2298 | KupahTest1920 | 779.6339 | 818.6896 |
| 2366 | KupahTest1921 | 840.1430 | 846.6430 |
| 2367 | KupahTest1922 | 840.1622 | 846.6622 |

כמו כן, בשעה 18:00 קופות החולים נסגרות ולכן ניתן לראות שבדיקות מפסיקות להיווצר בזמן 1080 (18:00), וממשיכות להיווצר לאחר מכן בזמן 1980 שהוא זמן הפתיחה 09:00.

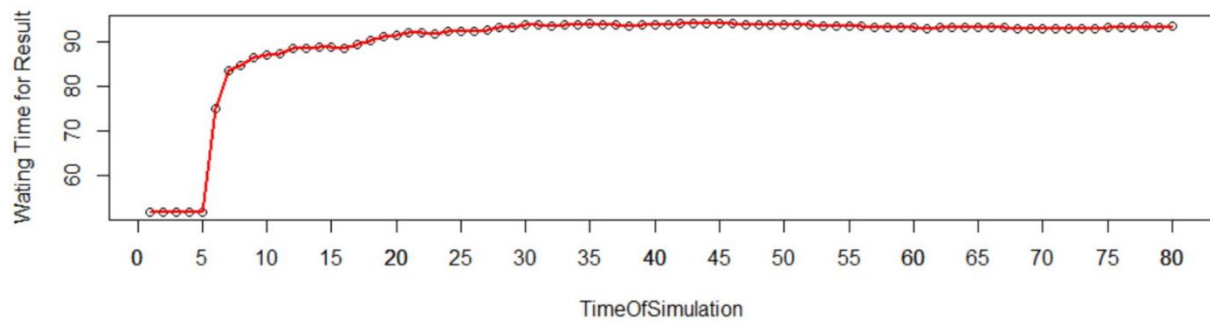
| | name | start_time |
|------|---------------|------------|
| | kupah† | All |
| 4438 | KupahTest3842 | 1079.541 |
| 6354 | KupahTest3843 | 1079.730 |
| 6576 | KupahTest3845 | 1980.232 |
| 6367 | KupahTest3846 | 1980.438 |

שליחת הנבדקים בתחילת הבוקר למחרת לפי התנאים שפורטו מעלה, מחושבת בעזרת הישות DaySchedule שמקבלת את התכונה endOfDay.

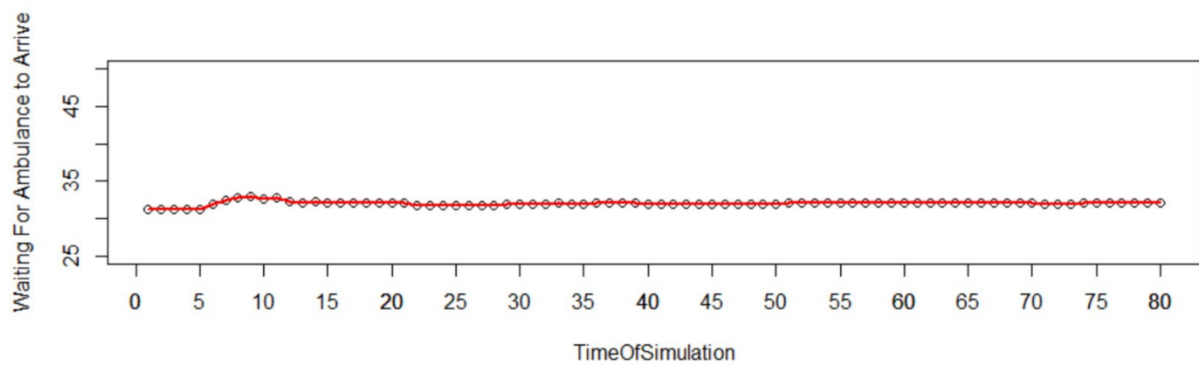
| | time | name | key | value |
|-------|------|------|----------|-------|
| | All | All | en† | All |
| 1 | 0 | | endOfDay | 1440 |
| 32327 | 1440 | | endOfDay | 2880 |

6.6. נספח ו'- גרפים וקוד למציאת זמן חימום

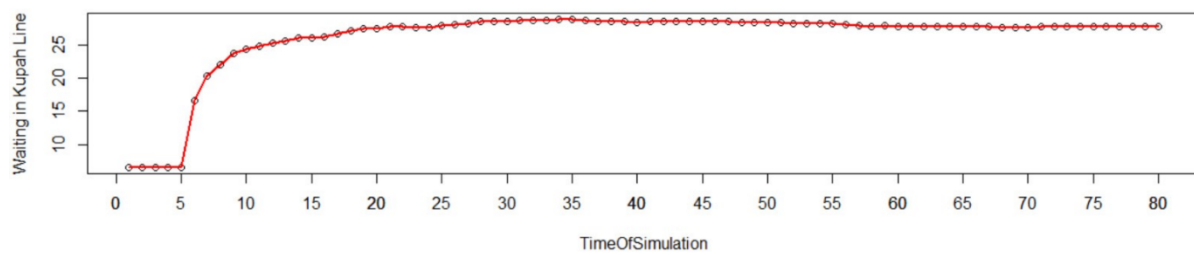
מציאת זמן חימום לזמן שהייה ממוצע:



מציאת זמן חימום לזמן המתנה ממוצע למד"א:



מציאת זמן חימום לזמן המתנה ממוצע בקופ"ח:



קטע הקוד הרלוונטי :

```

reset(SimuCorona)%>%run(until=80*60*24)

Mean_of_waitForResult <- c()
Mean_for_waitForAmbulance <- c()
Mean_for_waitInKupahLine <- c()
Mean_for_waitInLine <- c()
TimeofSimulation <- c()

arrivalData_RUN <- get_mon_arrivals(SimuCorona)
arrivalData2_RUN <- get_mon_arrivals(SimuCorona,ongoing = T)
arrivalData3_RUN <- get_mon_arrivals(SimuCorona,T)
resourceData_RUN <- get_mon_resources(SimuCorona)
attributeData_RUN <- get_mon_attributes(SimuCorona)

viewResults <- sqldf("select * from attributeData_RUN where key='Result'")
waiting_for_results <- sqldf("select AR.'name', AT.'time',(case
                                when AT.key='TestedTime' and AT.value=2 then AR.'end_time'
                                when AT.key='TestedTime' and AT.'value'=1 then V.'time'
                                else 0 end) as END,
                                (case when AT.key='TestedTime' and AT.value=2 then (AR.'end_time'-AT.time)
                                when AT.key='TestedTime' and AT.'value'=1 then (V.'time'-AT.time)
                                else 0 end) as 'wait For Result'
                                From arrivalData_RUN as AR join attributeData_RUN as AT on AR.name=AT.name
                                join viewResults as V on AT.name=V.name
                                WHERE AT.key='TestedTime' GROUP BY AT.time")
waiting_for_ambulance <- sqldf("select *,A.'end_time'-A.'start_time'-1.5 as 'wait for ambulance'
                                FROM arrivalData3_RUN as A WHERE resource LIKE '%Ambulance%' AND name LIKE '%MDA%'")
waiting_in_KupahHolim <- sqldf("select *,A.'end_time'-A.'start_time'-1.5 as 'wait for kupah'
                                FROM arrivalData3_RUN as A WHERE resource LIKE '%Kupah%'")

```

```

MovingAVG <- function(vec1){
  vec2 <- c()
  for(i in 1:80){
    if(i==1)
      vec2[i] <- vec1[i]
    else if (i==2)
      vec2[i] <- mean(vec1[i-1:i])
    else if (i==3)
      vec2[i] <- mean(vec1[i-2:i])
    else if (i==4)
      vec2[i] <- mean(vec1[i-3:i])
    else
      vec2[i] <- mean(vec1[i-4:i])
  }
  return (vec2)
}

plot(x=TimeofSimulation , y=MovingAVG(Mean_of_waitForResult) , ylab="wating Time for Result")
axis(1, seq(0,80,5))
lines(MovingAVG(Mean_of_waitForResult),col="red",lwd=2)
plot(x=TimeofSimulation , y=MovingAVG(Mean_for_waitForAmbulance) , ylab = "waiting For Ambulance to Arrive" , ylim=c(25,50))
axis(1, seq(0,80,5))
lines(MovingAVG(Mean_for_waitForAmbulance),col="red",lwd=2)
plot(x=TimeofSimulation , y=MovingAVG(Mean_for_waitInKupahLine) , ylab = "waiting in Kupah Line" )
axis(1, seq(0,80,5))
lines(MovingAVG(Mean_for_waitInKupahLine),col="red",lwd=2)

```

6.7. נספח ז'- טבלאות דיוק יחסי וקוד רלוונטי

| מצב קיים | דיוק יחסי עבור מדד זמן המתנה ממוצע עד לקבלת תוצאת בדיקה | דיוק יחסי עבור זמן המתנה ממוצע בתור של קופ"ח | דיוק יחסי עבור זמן המתנה ממוצע לקבלת טיפול ע"י מד"א |
|----------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| חלופה 1 | 0.009312082 | 0.008950746 | 0.006431038 |
| חלופה 2 | 0.004073482 | 0.01085793 | 0.005007327 |
| | 0.01170627 | 0.01605637 | 0.00831394 |

```
FindN <- mclapply(1:15, function(i) {
  set.seed(i+200)
  reset(SimuCorona)%>%run(until=40*60*24)%>%
  wrap()
})
```

```
Mean_of_waitForResult_Present <- c()
Mean_for_waitForAmbulance_Present <- c()
Mean_for_waitInKupahLine_Present <- c()
for(i in 1:15){
  arrivalData <- get_mon_arrivals(FindN[i])
  arrivalData2 <- get_mon_arrivals(FindN[i],ongoing = T)
  arrivalData3 <- get_mon_arrivals(FindN[i],T)
  attributeData <- get_mon_attributes(FindN[i])
  arrivalData_RUN <- sqldf(paste0("SELECT T.* from arrivalData as T where T.'start_time'>30*60*24"))
  arrivalData2_RUN <- sqldf(paste0("SELECT T.* from arrivalData2 as T where T.'start_time'>30*60*24"))
  arrivalData3_RUN <- sqldf(paste0("SELECT T.* from arrivalData3 as T where T.'start_time'>30*60*24"))
  attributeData_RUN <- sqldf(paste0("SELECT T.* from attributeData as T where T.'time'>700"))
  ViewResults <-sqldf("select * from attributeData_RUN where key='Result'")
  waiting_for_results <- sqldf("select AR.'name', AT.'time',(case
    when AT.key='TestedTime' and AT.value=2 then AR.'end_time'
    when AT.key='TestedTime' and AT.'value'=1 then V.'time'
    else 0 end) as END,
    (case when AT.key='TestedTime' and AT.value=2 then (AR.'end_time'-AT.time)
    when AT.key='TestedTime' and AT.'value'=1 then (V.'time'-AT.time)
    else 0 end) as 'wait For Result'
    From arrivalData_RUN as AR join attributeData_RUN as AT on AR.name=AT.name
    join ViewResults as V on AT.name=V.name
    WHERE AT.key='TestedTime' GROUP BY AT.time")
  Mean_of_waitForResult_Present[i] <- mean(waiting_for_results$`wait For Result`)
  waiting_for_ambulance <- sqldf("select *,A.'end_time'-A.'start_time'-1.5 as 'wait for ambulance'
    FROM arrivalData3_RUN as A WHERE resource LIKE '%Ambulance%' AND name LIKE '%MDA%'")
  Mean_for_waitForAmbulance_Present[i] <- mean(waiting_for_ambulance$`wait for ambulance`)
  waiting_In_KupathHolim <- sqldf("select *,A.'end_time'-A.'start_time'-1.5 as 'wait for Kupah'
    FROM arrivalData3_RUN as A WHERE resource LIKE '%Kupah%'")
  Mean_for_waitInKupahLine_Present[i] <- mean(waiting_In_KupathHolim$`wait for kupah`)
}
```

```

Mean_WFR_Present <- mean(Mean_of_WaitForResult_Present)
Mean_WFA_Present <- mean(Mean_for_waitForAmbulance_Present)
Mean_WFK_Present <- mean(Mean_for_waitInKupahLine_Present)

sd_WFR_Present <- sd(Mean_of_WaitForResult_Present)
sd_WFA_Present <- sd(Mean_for_waitForAmbulance_Present)
sd_WFK_Present <- sd(Mean_for_waitInKupahLine_Present)

#function that calculate the relative accuracy
relativeAccuracy <- function(mean,sd,n){
  gamma <- 0.1
  alfa_tot <- 0.15
  alfa_i <- alfa_tot/3
  t <- qt(1-(alfa_i)/2,n-1)
  gamma_tag <- gamma/(1+gamma)
  (t*sd/sqrt(n))/mean
}

#Relative accuracy:

#Present
relative_accuracy_PRESENT_WFR <- relativeAccuracy(Mean_WFR_PRESENT,sd_WFR_PRESENT,15)
relative_accuracy_PRESENT_WFA <- relativeAccuracy(Mean_WFA_PRESENT,sd_WFA_PRESENT,15)
relative_accuracy_PRESENT_WFK <- relativeAccuracy(Mean_WFK_PRESENT,sd_WFK_PRESENT,15)

```

6.8. נספח ח' - החלופות

חלופה ראשונה

| שיפור | תיאור | עלות (בש"ח) |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| הגדלת כוח אדם- מעבדות | הוספת עמדה (עובד) למעבדה מסוימת. | 1,250,000 |
| הוספת אמבולנס- מד"א | הוספת אמבולנס למערך הבדיקות של מד"א. כולל אנשי מד"א שיתפעלו אותו, וישמש אותם לנסיעה לבתי נבדקים וביצוע בדיקות קורונה. | 900,000 |
| השתלמות עבור העובדים במערך הבדיקות – הקטנת זמן לקיחת דגימה | ביצוע השתלמות עבור בודקי הקורונה על ידי מומחים בסין שהתמחו בתהליך לקיחת דגימות עבור בדיקת קורונה. ההשתלמות תצמצם זמן בדיקת הקורונה לדקה אחת בלבד. | 850,000 |
| | סה"כ עלות | 3,000,000 |

חלופה שנייה

| שיפור | תיאור | עלות (בש"ח) |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| הוספת אמבולנס- מד"א | הוספת אמבולנס למערך הבדיקות של מד"א. כולל אנשי מד"א שיתפעלו אותו, וישמש אותם לנסיעה לבתי נבדקים וביצוע בדיקות קורונה. | 900,000 |
| הכשרת סניף קופת חולים לביצוע בדיקות קורונה | הכשרת סניף קופת חולים באחד מהאזורים בארץ (צפון/דרום/מרכז) לביצוע בדיקות קורונה. ההכשרה כוללת הכשרת צוות, הכשרת המקום ואספקת ציוד מתאים. | 1,750,000 |
| | סה"כ עלות | 2,650,000 |

6.9. נספח ט'- המעבדה העמוסה ביותר

| | resource | time | server | queue | capacity | queue_size | system | limit | replication |
|-------|-----------|----------|--------|-------|----------|------------|--------|-------|-------------|
| | lab | All | All | All | All | | All | | All |
| 52769 | LabCenter | 2521.033 | 20 | 474 | 20 | Inf | 494 | Inf | 1 |
| 52466 | LabCenter | 2514.350 | 20 | 473 | 20 | Inf | 493 | Inf | 1 |
| 52538 | LabCenter | 2516.094 | 20 | 473 | 20 | Inf | 493 | Inf | 1 |
| 52760 | LabCenter | 2520.594 | 20 | 473 | 20 | Inf | 493 | Inf | 1 |
| 52463 | LabCenter | 2514.254 | 20 | 472 | 20 | Inf | 492 | Inf | 1 |
| 52531 | LabCenter | 2515.850 | 20 | 472 | 20 | Inf | 492 | Inf | 1 |
| 52620 | LabCenter | 2517.594 | 20 | 472 | 20 | Inf | 492 | Inf | 1 |
| 52692 | LabCenter | 2519.094 | 20 | 472 | 20 | Inf | 492 | Inf | 1 |

6.10. נספח י'- הקופ"ח העמוסה ביותר

| | resource | time | server | queue | capacity | queue_size | system | limit | replication |
|-------|-------------|----------|--------|-------|----------|------------|--------|-------|-------------|
| | kupat | All | All | All | All | | All | | All |
| 38304 | KupahNorth2 | 2175.386 | 1 | 70 | 1 | Inf | 71 | Inf | 1 |
| 39819 | KupahNorth2 | 2201.333 | 1 | 70 | 1 | Inf | 71 | Inf | 1 |
| 40465 | KupahNorth2 | 2215.109 | 1 | 70 | 1 | Inf | 71 | Inf | 1 |
| 40490 | KupahNorth2 | 2215.736 | 1 | 70 | 1 | Inf | 71 | Inf | 1 |
| 38015 | KupahNorth2 | 2168.552 | 1 | 69 | 1 | Inf | 70 | Inf | 1 |
| 38120 | KupahNorth2 | 2171.031 | 1 | 69 | 1 | Inf | 70 | Inf | 1 |
| 38253 | KupahNorth2 | 2174.487 | 1 | 69 | 1 | Inf | 70 | Inf | 1 |

הקוד המלא מפורט בנספח הבא. ייצאנו את התוצאות לאקסל לשם נוחות.

בכל מציאת הפרש- ביצענו חיסור של העמודה הימנית פחות השמאלית.

מדד 1: זמן המתנה ממוצע עד לקבלת תוצאת בדיקה

| מדד 1 : זמן המתנה ממוצע עד לקבלת תוצאת בדיקה | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| מס' ריצה | מצב קיים | חלופה 1 | הפרש | מצב קיים | חלופה 2 | הפרש | חלופה 1 | חלופה 2 | הפרש |
| 1 | 95.97628 | 71.79664 | 24.17964 | 95.97628 | 86.83548 | 9.140808 | 71.79664 | 86.83548 | -15.0388 |
| 2 | 93.34569 | 72.11275 | 21.23295 | 93.34569 | 89.78489 | 3.560807 | 72.11275 | 89.78489 | -17.6721 |
| 3 | 94.79513 | 73.04887 | 21.74626 | 94.79513 | 91.56405 | 3.231084 | 73.04887 | 91.56405 | -18.5152 |
| 4 | 92.81427 | 73.01193 | 19.80234 | 92.81427 | 92.17632 | 0.637954 | 73.01193 | 92.17632 | -19.1644 |
| 5 | 96.76031 | 73.1765 | 23.58381 | 96.76031 | 92.87256 | 3.887751 | 73.1765 | 92.87256 | -19.6961 |
| 6 | 93.59574 | 72.82562 | 20.77012 | 93.59574 | 91.96711 | 1.628627 | 72.82562 | 91.96711 | -19.1415 |
| 7 | 95.32384 | 72.1968 | 23.12703 | 95.32384 | 90.97155 | 4.352284 | 72.1968 | 90.97155 | -18.7748 |
| 8 | 95.26882 | 73.43467 | 21.83414 | 95.26882 | 91.72762 | 3.541197 | 73.43467 | 91.72762 | -18.2929 |
| 9 | 92.992 | 72.40985 | 20.58215 | 92.992 | 91.05226 | 1.93974 | 72.40985 | 91.05226 | -18.6424 |
| 10 | 96.46172 | 73.25924 | 23.20248 | 96.46172 | 88.09046 | 8.371262 | 73.25924 | 88.09046 | -14.8312 |
| 11 | 91.11592 | 73.33712 | 17.7788 | 91.11592 | 91.25305 | -0.13713 | 73.33712 | 91.25305 | -17.9159 |
| 12 | 93.24575 | 72.53084 | 20.71491 | 93.24575 | 89.05284 | 4.192914 | 72.53084 | 89.05284 | -16.522 |
| 13 | 95.28208 | 72.68431 | 22.59777 | 95.28208 | 91.45262 | 3.829458 | 72.68431 | 91.45262 | -18.7683 |
| 14 | 92.99177 | 71.90785 | 21.08392 | 92.99177 | 90.55241 | 2.439362 | 71.90785 | 90.55241 | -18.6446 |
| 15 | 93.87664 | 73.07017 | 20.80647 | 93.87664 | 91.17966 | 2.696975 | 73.07017 | 91.17966 | -18.1095 |
| ממוצע | | | 21.53619 | | | 3.554206 | | | -17.982 |
| סטיית תקן | | | 1.644743 | | | 2.480973 | | | 1.439771 |

מדד 2: זמן המתנה ממוצע להגעת מד"א

| מדד 2 : זמן המתנה ממוצע להגעת מד"א | | | | | | | | | |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| הפרש | חלופה 2 | חלופה 1 | הפרש | חלופה 2 | מצב קיים | הפרש | חלופה 1 | מצב קיים | מס' ריצה |
| -0.43763 | 30.75879 | 30.32116 | 2.600473 | 30.75879 | 33.35927 | 3.038105 | 30.32116 | 33.35927 | 1 |
| -2.235 | 32.19492 | 29.95991 | 1.83964 | 32.19492 | 34.03456 | 4.074643 | 29.95991 | 34.03456 | 2 |
| -1.83385 | 32.18028 | 30.34643 | 1.714994 | 32.18028 | 33.89527 | 3.548844 | 30.34643 | 33.89527 | 3 |
| -1.09744 | 31.72322 | 30.62578 | 2.065596 | 31.72322 | 33.78882 | 3.163039 | 30.62578 | 33.78882 | 4 |
| -1.34714 | 31.97205 | 30.62491 | 1.530563 | 31.97205 | 33.50261 | 2.877702 | 30.62491 | 33.50261 | 5 |
| -1.3676 | 31.66497 | 30.29736 | 1.108462 | 31.66497 | 32.77343 | 2.476066 | 30.29736 | 32.77343 | 6 |
| -1.34479 | 31.84867 | 30.50388 | 1.044669 | 31.84867 | 32.89334 | 2.389457 | 30.50388 | 32.89334 | 7 |
| -1.28624 | 32.04492 | 30.75868 | 1.693772 | 32.04492 | 33.7387 | 2.980015 | 30.75868 | 33.7387 | 8 |
| -0.11672 | 31.15033 | 31.03361 | 2.454148 | 31.15033 | 33.60448 | 2.570869 | 31.03361 | 33.60448 | 9 |
| -2.02793 | 32.16531 | 30.13739 | 0.914478 | 32.16531 | 33.07979 | 2.942407 | 30.13739 | 33.07979 | 10 |
| -1.5272 | 31.92831 | 30.40112 | 1.535888 | 31.92831 | 33.4642 | 3.063083 | 30.40112 | 33.4642 | 11 |
| -0.68901 | 30.95704 | 30.26803 | 2.570961 | 30.95704 | 33.528 | 3.259972 | 30.26803 | 33.528 | 12 |
| -1.73689 | 31.99576 | 30.25887 | 1.383374 | 31.99576 | 33.37913 | 3.120264 | 30.25887 | 33.37913 | 13 |
| -1.92246 | 32.01448 | 30.09202 | 1.455112 | 32.01448 | 33.46959 | 3.377577 | 30.09202 | 33.46959 | 14 |
| -1.60062 | 31.97067 | 30.37005 | 1.838494 | 31.97067 | 33.80917 | 3.439117 | 30.37005 | 33.80917 | 15 |
| -1.37137 | | | 1.716708 | | | 3.088077 | | | ממוצע |
| 0.591619 | | | 0.529074 | | | 0.434188 | | | סטיית תקן |

מדד 3: זמן המתנה ממוצע בקופ"ח

| מדד 3 : זמן המתנה ממוצע בקופ"ח | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| מס' ריצה | מצב קיים | חלופה 1 | הפרש | מצב קיים | חלופה 2 | הפרש | חלופה 1 | חלופה 2 | הפרש |
| 1 | 28.73593 | 7.114315 | 21.62161 | 28.73593 | 16.5159 | 12.22003 | 7.114315 | 16.5159 | -9.40158 |
| 2 | 28.34004 | 7.097012 | 21.24303 | 28.34004 | 16.56496 | 11.77508 | 7.097012 | 16.56496 | -9.46795 |
| 3 | 28.10972 | 7.127162 | 20.98256 | 28.10972 | 16.77387 | 11.33586 | 7.127162 | 16.77387 | -9.64671 |
| 4 | 27.91774 | 7.310235 | 20.6075 | 27.91774 | 17.2204 | 10.69734 | 7.310235 | 17.2204 | -9.91016 |
| 5 | 28.68332 | 7.248496 | 21.43483 | 28.68332 | 16.07357 | 12.60976 | 7.248496 | 16.07357 | -8.82507 |
| 6 | 27.98864 | 7.085373 | 20.90326 | 27.98864 | 17.40769 | 10.58095 | 7.085373 | 17.40769 | -10.3223 |
| 7 | 28.88885 | 7.186657 | 21.70219 | 28.88885 | 16.8549 | 12.03395 | 7.186657 | 16.8549 | -9.66825 |
| 8 | 28.34757 | 7.147652 | 21.19992 | 28.34757 | 17.5889 | 10.75867 | 7.147652 | 17.5889 | -10.4412 |
| 9 | 27.92944 | 7.218939 | 20.71051 | 27.92944 | 16.31363 | 11.61581 | 7.218939 | 16.31363 | -9.09469 |
| 10 | 28.54174 | 7.47396 | 21.06778 | 28.54174 | 16.55202 | 11.98972 | 7.47396 | 16.55202 | -9.07806 |
| 11 | 27.35593 | 7.130791 | 20.22514 | 27.35593 | 15.99254 | 11.36339 | 7.130791 | 15.99254 | -8.86175 |
| 12 | 28.3395 | 7.231639 | 21.10786 | 28.3395 | 16.99998 | 11.33952 | 7.231639 | 16.99998 | -9.76834 |
| 13 | 28.08705 | 7.268575 | 20.81847 | 28.08705 | 15.91743 | 12.16962 | 7.268575 | 15.91743 | -8.64885 |
| 14 | 28.92915 | 6.858739 | 22.07041 | 28.92915 | 17.93487 | 10.99427 | 6.858739 | 17.93487 | -11.0761 |
| 15 | 27.62626 | 7.353322 | 20.27294 | 27.62626 | 16.99847 | 10.62779 | 7.353322 | 16.99847 | -9.64515 |
| ממוצע | | | 21.06453 | | | 11.47412 | | | -9.59042 |
| סטיית תקן | | | 0.51246 | | | 0.650753 | | | 0.664144 |

6.12. נספח י"ב- הקוד לקבלת תוצאות ההרצות

```

1 FindDifferenceVector <- function(vec1,vec2){
2   difvec <- c()
3   for (i in 1:20){
4     difvec[i] <- vec1[i]-vec2[i]
5   }
6   return (difvec)
7 }
8
9 difference_waitForResult_P_01 <- FindDifferenceVector(Present_measurements[,1],OPTION1_measurements[,1])
10 difference_waitForAmbulance_P_01 <- FindDifferenceVector(Present_measurements[,2],OPTION1_measurements[,2])
11 difference_waitInKupahLine_P_01 <- FindDifferenceVector(Present_measurements[,3],OPTION1_measurements[,3])
12 difference_waitForResult_P_02 <- FindDifferenceVector(Present_measurements[,1],OPTION2_measurements[,1])
13 difference_waitForAmbulance_P_02 <- FindDifferenceVector(Present_measurements[,2],OPTION2_measurements[,2])
14 difference_waitInKupahLine_P_02 <- FindDifferenceVector(Present_measurements[,3],OPTION2_measurements[,3])
15 difference_waitForResult_O2_01 <- FindDifferenceVector(OPTION1_measurements[,1],OPTION2_measurements[,1])
16 difference_waitForAmbulance_O2_01 <- FindDifferenceVector(OPTION1_measurements[,2],OPTION2_measurements[,2])
17 difference_waitInKupahLine_O2_01 <- FindDifferenceVector(OPTION1_measurements[,3],OPTION2_measurements[,3])
18
19 mean_Res_P_01 <- mean(difference_waitForResult_P_01)
20 sd_Res_P_01 <- sd(difference_waitForResult_P_01)
21 mean_Amb_P_01 <- mean(difference_waitForAmbulance_P_01)
22 sd_Amb_P_01 <- sd(difference_waitForAmbulance_P_01)
23 mean_Kupah_P_01 <- mean(difference_waitInKupahLine_P_01)
24 sd_Kupah_P_01 <- sd(difference_waitInKupahLine_P_01)
25 mean_Res_P_02 <- mean(difference_waitForResult_P_02)
26 sd_Res_P_02 <- sd(difference_waitForResult_P_02)
27 mean_Amb_P_02 <- mean(difference_waitForAmbulance_P_02)
28 sd_Amb_P_02 <- sd(difference_waitForAmbulance_P_02)
29 mean_Kupah_P_02 <- mean(difference_waitInKupahLine_P_02)
30 sd_Kupah_P_02 <- sd(difference_waitInKupahLine_P_02)
31 mean_Res_O2_01 <- mean(difference_waitForResult_O2_01)
32 sd_Res_O2_01 <- sd(difference_waitForResult_O2_01)
33 mean_Amb_O2_01 <- mean(difference_waitForAmbulance_O2_01)
34 sd_Amb_O2_01 <- sd(difference_waitForAmbulance_O2_01)
35 mean_Kupah_O2_01 <- mean(difference_waitInKupahLine_O2_01)
36 sd_Kupah_O2_01 <- sd(difference_waitInKupahLine_O2_01)
37
38
39
40

```

6.13. נספח י"ג- פלטי מבחני t

מדד 1: זמן המתנה ממוצע עד לקבלת תוצאת בדיקה

מצב קיים - חלופה 1:

```

data: Present_measurements[, 1] and OPTION1_measurements[, 1]
t = 50.713, df = 14, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
99.16667 percent confidence interval:
 20.23297 22.83941
sample estimates:
mean of the differences
 21.53619

```

מצב קיים – חלופה 2:

```

data: Present_measurements[, 1] and OPTION2_measurements[, 1]
t = 5.5484, df = 14, p-value = 7.176e-05
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
99.16667 percent confidence interval:
 1.588394 5.520019
sample estimates:
mean of the differences
 3.554206

```

חלופה 1 – חלופה 2:

```
data: OPTION1_measurements[, 1] and OPTION2_measurements[, 1]
t = -48.372, df = 14, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
99.16667 percent confidence interval:
 -19.12279 -16.84117
sample estimates:
mean of the differences
 -17.98198
```

מדד 2: זמן המתנה ממוצע להגעת מד"א

מצב קיים – חלופה 1:

```
data: Present_measurements[, 2] and OPTION1_measurements[, 2]
t = 27.546, df = 14, p-value = 1.352e-13
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
99.16667 percent confidence interval:
 2.744046 3.432109
sample estimates:
mean of the differences
 3.088077
```

מצב קיים – חלופה 2:

```
data: Present_measurements[, 2] and OPTION2_measurements[, 2]
t = 12.567, df = 14, p-value = 5.161e-09
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
99.16667 percent confidence interval:
 1.297494 2.135923
sample estimates:
mean of the differences
 1.716708
```

חלופה 1 – חלופה 2:

```
data: OPTION1_measurements[, 2] and OPTION2_measurements[, 2]
t = -8.9776, df = 14, p-value = 3.492e-07
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
99.16667 percent confidence interval:
 -1.8401415 -0.9025965
sample estimates:
mean of the differences
 -1.371369
```

מדד 3: זמן המתנה ממוצע בקופ"ח

מצב קיים – חלופה 1:

```
data: Present_measurements[, 3] and OPTION1_measurements[, 3]
t = 159.2, df = 14, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
99.16667 percent confidence interval:
 20.65848 21.47058
sample estimates:
mean of the differences
      21.06453
```

מצב קיים – חלופה 2:

```
data: Present_measurements[, 3] and OPTION2_measurements[, 3]
t = 68.289, df = 14, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
99.16667 percent confidence interval:
 10.95849 11.98974
sample estimates:
mean of the differences
      11.47412
```

חלופה 1 – חלופה 2:

```
data: OPTION1_measurements[, 3] and OPTION2_measurements[, 3]
t = -55.927, df = 14, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
99.16667 percent confidence interval:
 -10.116656 -9.064179
sample estimates:
mean of the differences
      -9.590417
```