

פרויקט סימולציה

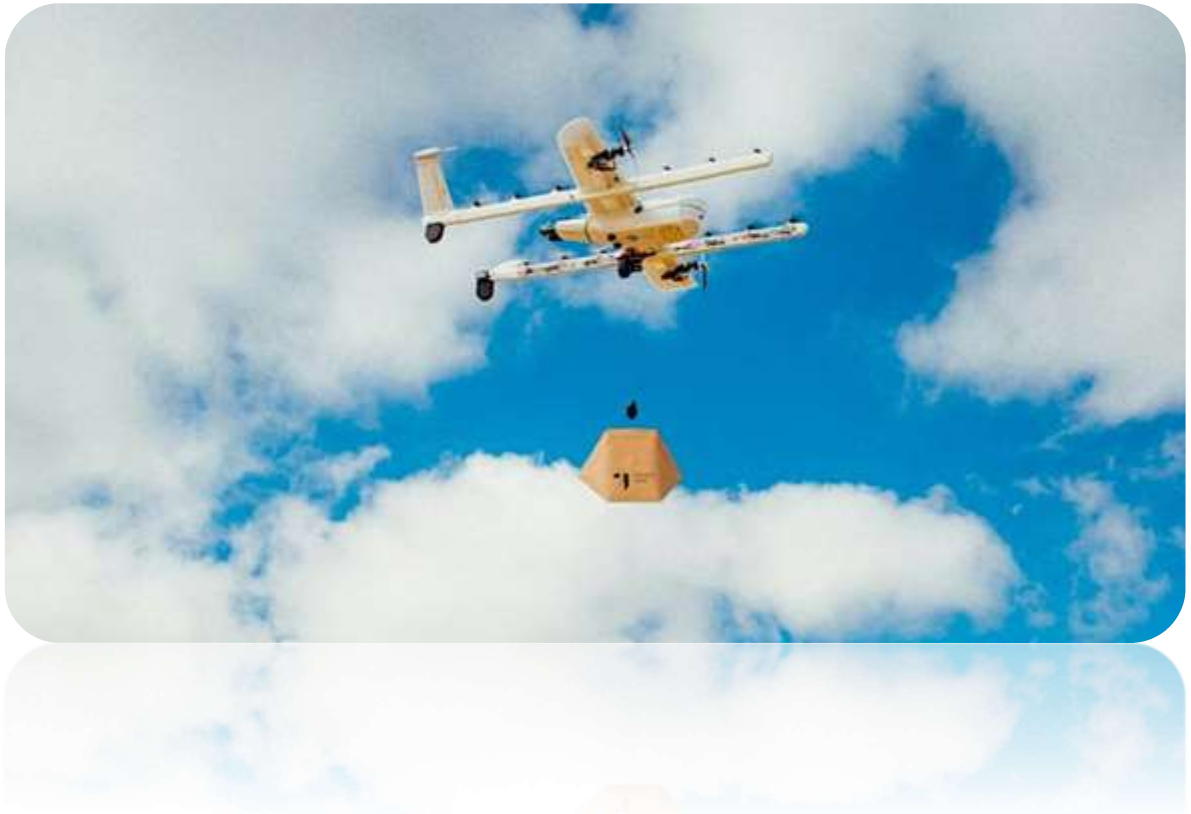
חלק ב'

מגישות:

חן לוי 313473993

גבריאלה אגס 313248544

גפן מעין 312252794



1. אימות ותיקוף:

- שינוי שהסימולציה תרוץ עד אחרון הלקוחות (רשימת האירועים ריקה) בקובץ הפיתוח.
לאחר השינוי בקוד תוצאות הסימולציה לא השתנו. אין זה מפתיע כיוון שההזמנות מפסיקות להגיע בחמישי בלילה ולפי זמני השירות שבדקנו במערכת, כל ההזמנות מסופקות לפני שבת בלילה. לכן, תנאי הריצה עד שבת בלילה או עד שרשימת האירועים ריקה הינו תנאי שקול עבורינו.
- מעתה נתייחס רק להיסטוגרמה של האחוזים.
- הסבר על פונקציית הפיצוי: $C = 50 * ((T_{now} - O_{AT}) - 2)$, כאשר $T_{now} - O_{AT}$ מייצג את הזמן בו ההזמנה התקבלה פחות הזמן בו ההזמנה הוזמנה, כלומר משך זמן ההמתנה של הלקוח עבור ההזמנה. כיוון שלא נתון מה המוצר אותו אנו משלחים (למשל פיצה שצריכה להימסר מהר לעומת הזמנות של מוצרים שונים שזמן ההמתנה שלהם יכול להיות מספר ימים), החלטנו להעניק קופון בעל ערך ממוצע של 50 שקלים עבור כל שעת איחור של ההזמנה. הנחנו שזמן אספקה של שעתיים הינו בגבול הסביר וכי החברה לא תפצה על המתנה של עד שעתיים (שכן נאמר שנפצה לקוחות שחיכו מעל שעתיים) ולכן חיסרנו מזמן ההמתנה את השעתיים הראשונות. הפונקצייה הינה לינארית שכן הרציונל הוא שככל שאדם יחכה זמן רב יותר להזמנתו נרצה לפצות אותו בצורה פרופורציונלית לזמן המתנתו.

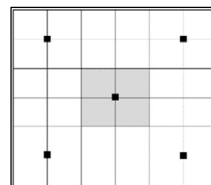
2. הגדרת תצורות:

- **תצורה ראשונה** – בתצורה זו התבססנו על מיקומם המקורי של ארבעת מרכזי ההפצה מחלק א' והחלטנו לשנות את כמות הרחפנים מכל סוג עבור כל מרכז בהתאם לנתונים שהתקבלו לאחר הרצת הסימולציה. ניתן לראות תחת נספח 4 בגרף 3 בחלק א' כי כמות ההזמנות של חבילות רגילות באיחור של יותר משעתיים תופסת נתח גדול יותר באחוזים לעומת שאר סוגי החבילות. בעקבות זאת, הסקנו כי יש צורך בכמות גדולה יותר של רחפנים המטפלים בחבילות מסוג זה בכל מרכז תפעול. בחרנו להגדיל את מספרם של רחפני העל היכולים לטפל הן בחבילות כבדות והן בבינוניות כדי לייעל את התהליך. בשל מגבלת התקציב, נאלצנו להקטין כמות רחפנים מסוג אחר ועל כן בחרנו להקטין את מספר הרחפנים הבסיסיים בהתבסס על כך שרחפן בסיסי יכול לטפל אך ורק בחבילה קטנה.
 - יוקמו 4 מרכזי תפעול בקצות מרכז העיר, בקואורדינטות: (2,2), (2,4), (4,2), (4,4).
 - עבור כל מרכז נמקם 11 רחפנים בסיסיים, 5 רחפנים רגילים ו3 רחפני על.
 - מדיניות הקצאת ההזמנות למרכזי התפעול: המדיניות החדשה אותה ביצענו בחלק א'. בחרנו במדיניות זו מכיוון שנצפה בה שיפור בכל המדדים לעומת המדיניות הראשונה.
- **תצורה שניה** – בתצורה זו התבססנו על הנתונים שנצפו בנספח 4 בגרף 4 בחלק א', המראים כי עלויות שהינן תלויות מרחק תופסות אחוז קטן מאוד ואף מזערי מכלל עלויות החברה. על כן החלטנו להקים מרכז תפעול יחיד במרכז העיר, על אף שהרחפנים יאלצו לעבור מרחקים ארוכים יותר מבמקור בכדי להגיע לכל ההזמנות בעיר, כדי שנוכל להשקיע את הכסף שנחסוך (מאי הקמת מרכזים נוספים) ברכישת כמות גדולה יותר של רחפנים מכל סוג. חילקנו את הסכום שהושקע ברכישת הרחפנים בין הסוגים השונים ביחס דומה ליחס בין סוגי החבילות (61.43% בסיסי, 30% רגיל, 8.57% על), תוך עיגול כמויות כך שינוצל התקציב כולו ללא עודף.
 - יוקם מרכז תפעול אחד במרכז העיר, בקואורדינטה: (3,3).
 - עבור מרכז זה נמקם 86 רחפנים בסיסיים, 28 רחפנים רגילים ו4 רחפני על.
 - מדיניות הקצאת ההזמנות למרכזי התפעול: המדיניות הראשונה.

בחרנו במדיניות זו מכיוון שלא קיימים מרכזי תפעול אחרים אליהם ניתן לפנות בהתאם למדיניות החדשה שביצענו בחלק א'.

- **תצורה שלישית** - בתצורה זו התבססנו על הנתונים שנצפו במיפוי החזותי (בקוד המציג את היוזואליזציה בחלק א') של ההזמנות אשר שלא סופקו ביום בו הזמנו. ניתן לראות כי קיימת צפיפות גדולה מאוד של הזמנות מאחרות במרכז העיר. הדבר נובע כתוצאה מכך שמחצית ההזמנות מתקבלות ממרכז העיר ושטחה קטן משמעותית לעומת פאתיה. בכדי לייצר פיזור אחיד של הזמנות בטיפול על פני שטח העיר, החלטנו להקים ארבעה מרכזי תפעול בפאתי העיר, אשר יטפלו אך ורק בהזמנות מחלק זה. כמות ההזמנות במרכז העיר גדולה פי 8 מכמות ההזמנות בכל אחד מהרבעים בפאתי העיר (נובע מחישוב בעקבות הסתברות ההזמנות בכל חלק) ועל כן מרכז התפעול האחראי על מרכז העיר יכיל כמות רחפנים הגדולה פי 8 מכמות הרחפנים בכל מרכז תפעול בפאתי העיר.
- יוקמו 5 מרכזי תפעול, אחד במרכז העיר וארבעה בפאתיה, בקואורדינטות: (1,1), (1,5), (5,1), (5,5), (3,3) לצורך מזעור עלויות מרחק.

- עבור מרכז התפעול במרכז העיר: נמקם 17 רחפנים בסיסיים, 16 רחפנים רגילים ו-9 רחפני על. עבור מרכז התפעול בפאתי העיר: נמקם 2 רחפנים בסיסיים, 2 רחפנים רגילים ורחפן על 1.
- מדיניות הקצאת ההזמנות למרכזי התפעול: הזמנות ממרכז העיר יטופלו רק ע"י מרכז התפעול שאחראי למרכז (לפי אופן טיפול ההזמנות המוגדר במדיניות הראשונה), שאר ההזמנות יטופלו לפי המדיניות החדשה אותה ביצענו בחלק א'.



3. מבנה הניסוי:

במהלך הניסוי ביצענו השוואה בין 3 החלופות לתצורה המקורית שבוצעה בחלק א' עם המדיניות החדשה.

כיוון שרצינו שהמבחן יהיה מאוזן, שכן מבחן מאוזן הינו בעל כוח סטטיסטי יותר גדול וכן הסטטיסטי פחות רגיש לשינויים, השתמשנו באותו מס' חזרות עבור כל התצורות.

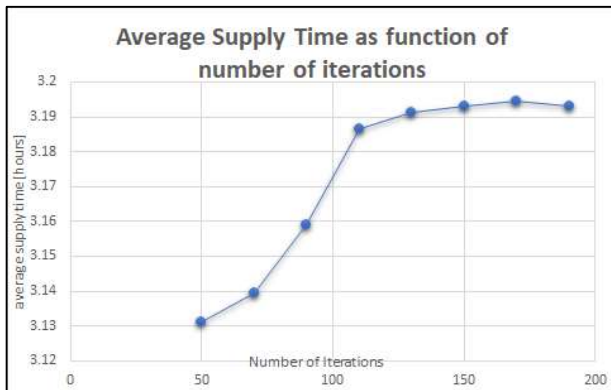
כדי לקבוע את מספר החזרות הרצוי השתמשנו בנוסחה למציאת גודל המדגם כתלות ברמת המובהקות והשגיאה הרצויה. כיוון שצפינו שגודל המדגם יהיה גדול, התפלגות t מתכנסת להתפלגות הנורמלית הסטנדרטית ולכן השתמשנו בהתפלגות נורמלית.

$$n = \left(t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\varepsilon} \right)^2 \approx \left(z_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\varepsilon} \right)^2$$

s לא נתון, לכן נאלצנו לאמוד את סטיית התקן. על מנת לאמוד את סטיית התקן, התחלנו מגודל מדגם התחלתי של 5 חזרות. הרצנו את התצורה 5 חזרות, שמרנו לכל חזרה את תוחלת זמן האספקה הממוצע וחישבנו את סטיית התקן על התוחלות.

קיים טרייד-אוף בין הרצון להגדיל את כמות החזרות במטרה לשפר את מהימנות התוצאות, לבין משך זמן ההרצה שאותו נשאף למזער. על מנת לקבל תוצאות אמינות, תחילה בדקנו את מס' האיטרציות הרצוי עבור רמת מובהקות של 5% ושגיאה של 0.1%, וקיבלנו כי $n=410284.7733588347$. מספר זה, לעניות דעתנו, אינו סביר להרצה בהינתן המשאבים שברשותנו (מחשבים פרטיים). ניסינו לבצע התאמות שונות, ע"י התפשרות על המובהקות והדיוק, אך עדיין לא הצלחנו להגיע למס' שסביר בעינינו לביצוע מבחינת משך זמן הרצה וגם רמת המובהקות וגודל השגיאה יעידו על תוצאות איכותיות.

לכן, בחרנו לבחון את משך זמן האספקה הממוצע עבור מס' איטרציות שונה, ובדקנו עבור איזה ערך של מס' איטרציות ניכר כי משך האספקה הממוצע מתכנס, הצבנו בגרף את הערכים על מנת לזהות באופן איכותני היכן הערכים מתייצבים: לפי הערכה ויזואלית, ניכר כי עבור $n=150$



הערכים מתכנסים וישנה התייבבות במשך זמן האספקה הממוצע ולכן בחרנו בערך זה. כדי להקטין את השונות במבחן ולצמצם את הרעש האקראי שנובע מההבדל בין החזרות בחרנו לעבוד עם גרעין משותף לכל חזרה בין כל התצורות השונות. איתחלנו רשימה גלובאלית של גרעינים עבור כל חזרה והרצנו את כל החזרות בכל התצורות לפי גרעינים משותפים אלו. ביצענו שינוי זה גם במדיניות המקורית מחלק א' כדי שנוכל להשוות את כל התצורות אליה בצורה מהימנה יותר.

לאחר שהחלטנו על מספר החזרות ועל הגרעינים המשותפים, הרצנו את כל אחד מקבצי הפייתון של התצורות השונות עם פרמטרים אלו. לאחר שהתקבלו כל הפלטים, ביצענו השוואת חלופות לפי המדדים והגרפים שצויינו בחלק א' וכן השוואה סטטיסטית לבחינת המדד תוחלת זמן האספקה. תחילה ביצענו ניתוח שונות חד כיווני עם מדידות חוזרות כדי לראות האם קיימת שונות בין התצורות ולאחר מכן ביצענו שני רב"סים מזווגים להפרש תוחלות כדי לבדוק את מהו ההבדל בין התצורות השונות.

4. השוואת חלופות:

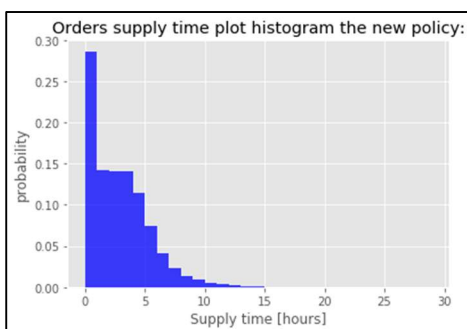
תצורה 1 –

זמן האספקה הממוצע: **2.91 שעות**.

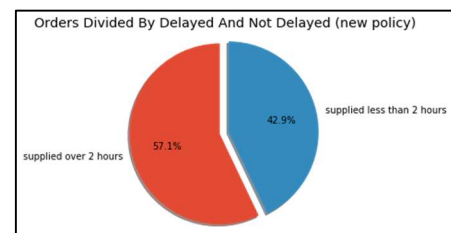
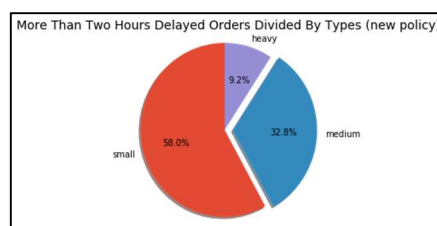
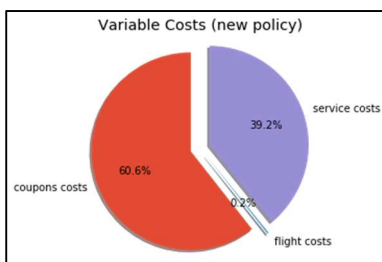
תוחלת מספר ההזמנות שלא סופקו במהלך היום בו הוזמנו עבור 150 הרצות: **1,012.37 (כ-8.3% מסך ההזמנות)**.

תוחלת העלות הכוללת עבור 150 הרצות: **2,472,793.13 ₪**.

ניתן לראות כי קיימת ירידה במדדים אלו לעומת חלק א'. בעקבות הגדלת כמות רחפני העל, אחוז החבילות הבינוניות באיחור של יותר משעתיים קטן בגרף הפילוח לפי סוגים כפי שרצינו. תוחלת עלות הקופונים קטנה באופן משמעותי,



דבר העומד בקנה אחד עם העובדה שזמן האספקה קטן (ובהתאם תוחלת מספר החבילות הלא מסופקות באותו היום קטנה). כתוצאה מכך, תוחלת העלות הכוללת קטנה גם היא. ע"פ ההיסטוגרמה ניתן לראות כי לא קיימת הזמנה המסופקת מעל 15 שעות (בניגוד להיסטוגרמה מחלק א'), כי רוב ההזמנות מסופקות בטווחי זמן קצרים יותר וכי קיימת צפיפות גדולה בזמנים אלו (דבר המסביר את העלייה באחוזי ההזמנות שסופקו מעל שעתיים וכן לא סותר את העובדה שזמן האספקה ההממוצע קטן).



תצורה 2 –

זמן האספקה הממוצע: 8.69 שעות.

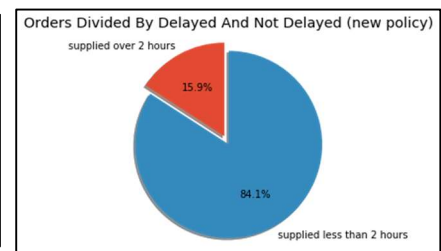
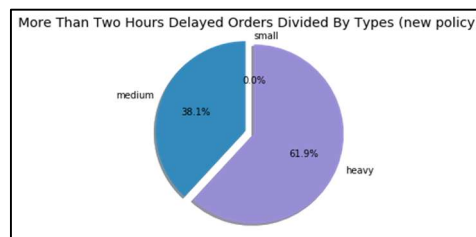
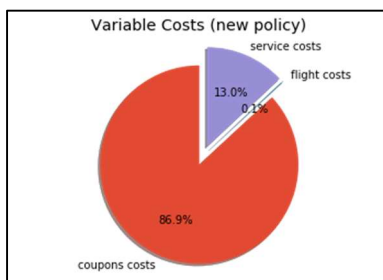
תוחלת מספר ההזמנות שלא סופקו במהלך היום בו הוזמנו עבור 150 הרצות: 1130.25 (כ-9.3% מסך ההזמנות).

תוחלת העלות הכוללת עבור 150 הרצות: 6,787,928.89.

ניתן לראות כי קיימת עליה במדדים זמן אספקה ממוצע ותוחלת העלות הכוללת לעומת חלק א' ואילו ירידה במדד תוחלת מספר ההזמנות שלא סופקו במהלך היום בו הוזמנו. כפי שציפינו, עלויות התעופה גדלו אך לא באופן משמעותי, אולם עלויות הקופונים גדלו בצורה משמעותית (כ-פי 4), דבר שהגדיל בהתאמה את תוחלת העלות



הכוללת. ע"פ ההיסטוגרמה ניתן לראות כי אכן קיימת כמות נמוכה יותר של הזמנות המסופקות מעל שעתיים אולם זמן האספקה שלהן גדול מאוד ועל כן הדבר מסביר את העלייה בזמן האספקה הממוצע ובעלויות הקופונים. ניתן לראות מגרף העוגה בחלוקה לסוגי חבילות, כי החבילות הכבדות תופסות נתח גדול מהעוגה. נסיק כי הדבר נובע מכך שקיימים רק 4 רחפני על בכל המערכת, דבר היוצר תורים ארוכים מאוד עבור הזמנות של חבילות כבדות.



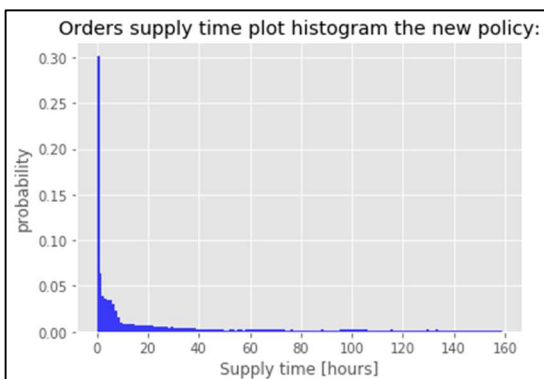
תצורה 3 –

זמן האספקה הממוצע: 29.28 שעות.

תוחלת מספר ההזמנות שלא סופקו במהלך היום בו הוזמנו עבור 150 הרצות: 5,083.21 (כ-41.79% מסך

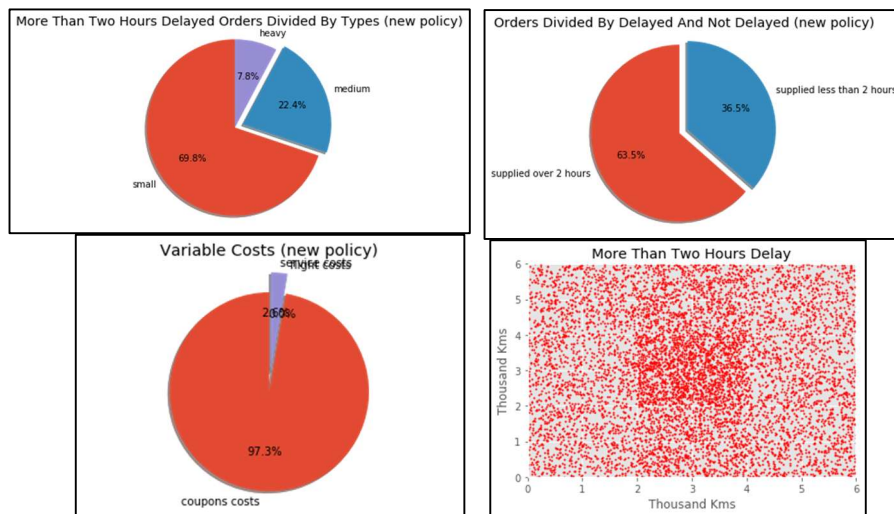
ההזמנות). תוחלת העלות הכוללת עבור 150 הרצות: 18,163,580.67 ₪.

ניתן לראות כי קיימת עלייה במדדים אלו לעומת חלק א'. כפי שציפינו, צפיפות ההזמנות המאחרות מעל שעתיים בעיר



התפלגה בצורה אחידה יותר מבחלק א' אך עובדה זו באה על חשבון כמות הרחפנים במרכזים האחראיים על פאתי העיר. הדבר גרר עיכובים רבים בזמני האספקה אשר הגדילו את זמן האספקה הממוצע, את תוחלת מספר ההזמנות שלא סופקו במהלך היום בו הוזמנו (כ-פי 4) ובהתאם את עלויות הקופונים ותוחלת העלות הכוללת. ע"פ ההיסטוגרמה ניתן לראות כי קיימים זמני אספקה גבוהים רבים ביחס לחלק א'.

ע"פ הגרף המציג עוגה בחלוקה לסוגי חבילות, ניתן לראות כי החבילות הקטנות תופסות חלק גדול מהעוגה ועל כן נסיק שלא היו מספיק רחפנים המטפלים בסוג זה.



המדד על פיו בחרנו להשוות בין התצורות בצורה סטטיסטית ובעזרתנו לבחור את התצורה המיטבית הינו זמן האספקה הממוצע. בחרנו במדד זה כיוון שלחברה יש אינטרס לשמור על שביעות רצון לקוחותיה בכדי שיחזרו לבצע הזמנות בעתיד ובנוסף, ככל שזמן האספקה נמוך יותר, זמני ההמתנה יהיו נמוכים יותר ועל כן עלויות הקופונים של החברה ירדו. תחילה ביצענו ניתוח שונות חד כיווני עם מדידות חוזרות (בגלל הגרעין המשותף): חישובנו בעזרת אקסל (מצורף) את האנובה וקיבלנו שעבור רמת מובהקות של 5%, הערך האמפירי גדול בהרבה מהערך הקריטי ולכן דחינו את השערת האפס שאין הבדל בין התוחלות, כלומר התוחלות אינן שוות. לאחר מכן כדי שנוכל למצוא בנוסף את דירוג התוחלות ביצענו רב"ס מזווג להפרש תוחלות ברמת מובהקות של 5% עבור כל שני מדגמים כדי לראות למי התוחלת הנמוכה ביותר. תחילה ביצענו רב"ס להפרש תוחלות של תצורה 3 מול תצורה 2, מהר"בס המזווג קיבלנו שתוחלת ההפרש בין תצורה 3 לתצורה 2 אינה כוללת את הערך 0 וכן חיובית גדולה ומכך ניתן להסיק כי תוחלת זמן האספקה בתצורה 3 גדולה מתצורה 2. בהמשך ביצענו רב"ס להפרש תוחלות בין תצורה 2 לתצורה 1, וגם פה קיבלנו שרב"ס תוחלת ההפרש לא מכיל את ערך ה-0 וכן חיובי מה שמראה על כך שתוחלת זמן האספקה בתצורה 1 נמוכה מתצורה 2 (ולכן נמוכה גם מתצורה 3), כלומר בסה"כ לפי המדד שבחרנו, תצורה 1 היא התצורה המיטבית ברמת מובהקות של 5% עם זמן האספקה הנמוך ביותר.

5. סיכום ומסקנות:

ע"פ הנתונים שהתקבלו בהשוואת החלופות ראינו כי תצורה 1 מציגה את הערכים הנמוכים ביותר עבור שלושת המדדים הנבדקים ובנוסף ערכים הנמוכים מערכי חלק א'. בעקבות הגדלת כמות רחפני העל, זמן האספקה הממוצע קטן ותוחלת מספר החבילות הלא מסופקות באותו היום קטנה, דברים העומדים בקנה אחד עם העובדה שתוחלת עלות הקופונים קטנה ובהתאם תוחלת העלות הכוללת קטנה גם היא. רוב ההזמנות בתצורה זו מסופקות בטווחי זמן קצרים (של 0-5 שעות) והדבר מסביר את העלייה באחוזי ההזמנות שסופקו מעל שעתיים וכן לא סותר את העובדה שזמן האספקה הממוצע קטן. בנוסף, לפי המדד אותו בחרנו להשוות בצורה סטטיסטית (תוחלת זמן האספקה), דירגנו את התצורות כך שהראשונה היא המיטבית, אחריה השניה ולבסוף השלישית. בעקבות הנתונים שנצפו, נציע ליצור תצורות שיכללו כמות גדולה יותר של רחפני על. ניתן לצמצם מרכזי תפעול ולנצל את הכסף הנחסך עבור כמות גדולה יותר של רחפנים (בדגש על רחפני על) תוך ניסיון לשמור על היחסים הקיימים בין סוגי הרחפנים השונים בדומה לתצורה 1.