

**פיצויים:** שונתה מדיניות הפיצוי כך שלקוח יפוצה על איחור לפי מספר הדקות מעבר לשעתיים, וסכום הפיצוי מוגבל ב־50 ₪. המוטיבציה לכך נבעה מרצון לשלב פונקציה שתעניק פיצוי משמעותי ללקוח אשר היא קלה לחישוב וכן תלויה במידה מסוימת במידת איחור המשלוח.

**שינויים בקוד:** חלו שני שינויים מרכזיים בקוד בהתאם להוראות הבדוק והם:

א. בעת יישום המדיניות השנייה (לפי בחירתנו) נבדקה אפשרות המשלוח בעזרת רחפן פשוט או בינוני בלבד ללא בדיקה עבור רחפן גדול, בנוסף לכך לאחר בדיקה האם קיים מרכז פנוי לביצוע המשלוח, ברירת המחדל הייתה כי ההזמנה תשובץ במרכז הראשון על בסיס קבוע. השינוי שבוצע היה שינוי בהתאם להערות קרי, הוסף רכיב עומס הרחפן הגדול. בנוסף, שונה הקוד כך שהמרכז הראשוני שבדקים לפיו יבחר בצורה רנדומלית ולא יקבע בתור המרכז הראשון כברירת מחדל.

ב. בעת יצירת חבילה דגמנו את השעות לפי הגעת החבילה ואם זו לא הייתה אחת מהשעות הגדרנו כי יש להמתין זמן מסוים. בתיקון הקוד בוטלה ההמתנה.

יש לציין כי גם לאחר תיקון שני סעיפים אלו, ללא שינוי בפונקציית הפיצויים, לא היה ניתן לראות שינוי משמעותי ויוצא דופן בין התצורה הישנה לבין התצורה המתוקנת של המודל. הסיבה לחוסר זה נובעת לדעתנו מן העובדה כי השינויים שבוצעו בקוד היו מינוריים מבחינת סדר גודלם אל מול מעט המדד להפסד שבועי שבוודאי השתנה משמעותית לאחר שהוגבלה מידת הפיצוי המקסימלית ללקוח 50 שקלים למשלוח.

פלט המערכת המתוקנת ל־100 שבועות ריצה(חלק א):

Average expense per week: 6012336.921381231

Average of over a day late drones per week: 1277.03

Average duration of delivery per week: 203.3310053100878

## תצורות

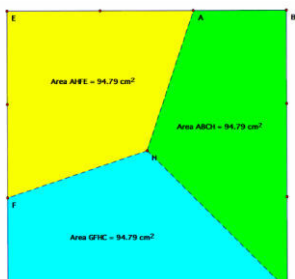
בחרנו לייצר שלוש תצורות שונות של מערכת הסימולציה. כיוון ועלות הקמת מתקן שילוח הינה משמעותית בחרנו כי כל מדיניות תכלול מספר שונה של מתקני שילוח.

**מדיניות שלושה מתקנים:**

בתצורה זו ישנם שלושה מתקני שילוח אשר ממוקמים בנקודות (1636,4636), (2727,1636), (4636,3545). לכל מתקן מסופחים רחפנים לפי הפירוט הבא: 22 בסיסים, 6 רגילים,

3 על. מיקום המתקנים נבחר לאחר חלוקה של השטח לשלושה חלקים והערכה של נקודת המרכז של כל תת שטח (הערכה בלבד בעקבות מורכבות החישוב). החלוקה לשטחים שווים בוצעה בעזרת האיור הבא ובאמצעות המרה של הנקודות שנמדדו מאיור זה לטווח בו אנו עושים שימוש בסימולציה זו (0,6000). אנו מאמינים כי בתצורה זו ניתן לשפר את ביצועי המערכת אל מול חלק א של הפרויקט משום שהגדלנו את מספר הרחפנים הבסיסיים הכולל שבשימוש. בגלל שמרבית המשלוחים המתקבלים על ידי החברה ניתנים לביצוע בעזרת רחפנים בסיסיים

(40% מהמשלוחים) הגדלת מספר רחפנים אלו מ־60 רחפנים בחלק א ל־66 בתצורה זו עשויה לתרום



איור 1 – חלוקת שטח ריבוע ל-3 שטחים שווים

להקטנת זמן האספקה וכתוצאה מכך להקטין את ההוצאות בגין פיצויים ולהגביר את שביעות הרצון אצל לקוחות החברה.

#### מדיניות ארבעה מתקנים :

בתצורה זו ישנם ארבעה מתקני שילוח אשר ממוקמים בנקודות (2000,2000) , (2000,4000) , (4000,2000) , (4000,4000). לכל מתקן מסופחים רחפנים לפי הפירוט הבא: 14 בסיסים , 7 רגילים , 1 על. מיקום המתקנים נשאר במיקומים המקוריים שלהם בחלק א של הפרוייקט מכיוון שמירב המשלוחים מתקבלים מאזור מרכז שטח הסימולציה, ומצאנו כי פריסה זו של המתקנים מספקת מענה יעיל למצב זה. מהסימולציה המקורית בחלק א למדנו כי רחפני העל פנויים יחסית לביצוע משימות השילוח ולכן נגרע רחפן מהתמהיל המקורי של הרחפנים שסופקו לכל מתקן שילוח בו בחלק א של הפרוייקט ונוסיף 2 רחפנים רגילים לכל מתקן שילוח.

#### מדיניות חמישה מתקנים :

בתצורה זו ישנם ארבעה מתקני שילוח אשר ממוקמים בנקודות 1- (2000,2000) , 2- (2000,4000) , 3- (4000,2000) , 4- (4000,4000) ומתקן נוסף במרכז בנקודה 5- (3000,3000). לכל מתקן מסופחים רחפנים בכמות משתנה בעקבות מגבלת התקציב.

- מתקן 1 - 13 רחפנים בסיסים 3 רגילים ו 1 על. ■ מתקן 2 - 12 רחפנים בסיסים 3 רגילים ו 1 על.
- מתקן 3 - 12 רחפנים בסיסים 3 רגילים ו 1 על. ■ מתקן 4 - 13 רחפנים בסיסים 2 רגילים ו 1 על.
- מתקן 5 - 14 רחפנים בסיסים 3 רגילים ו 1 על.

מדיניות זו נבחרה בכדי לתת מענה לכך שמרבית ההזמנות מתקבלות במרכז שטח הסימולציה, לכן נמקם מתקן שילוח במרכז השטח בנקודה (3000,3000) למתקן זה נספח את המספר הגדול ביותר של רחפנים.

#### מבנה הניסוי

הגורם לפיו בחרנו לבצע את ההשוואה בין התוצרות הינו תוחלת זמן האספקה. גורם זה נבחר כיוון והוא המשפיע על מדיניות הפיצויים אותה בחרנו וכיוון שהלקוחות מעריכים גורם זה כמרכזי ביותר בבואם לבחור חברת שילוחים לביצוע הזמנה (מקור -

[https://www.mhlnews.com/transportation-distribution/article/22051729/delivery-time-\(top-priority-for-online-shoppers\)](https://www.mhlnews.com/transportation-distribution/article/22051729/delivery-time-(top-priority-for-online-shoppers)).

על מנת לבצע את ההשוואה ביצענו שורת הרצות לכל תצורת מערכת (50 שבועות, 60, 80, 100, 120...) כאשר בסיום כל הרצה חישבנו את תוחלת זמן האספקה. תנאי העצירה שבחרנו על מנת לוודא כי המערכת הגיעה לכדי התכנסות בתוחלת זמן האספקה כאשר השינוי בתוחלות בין ההרצה הנוכחית להרצה הקודמת היה קטן מאחוז. זמן הסימולציה המקסימלי מבין שלושת המדיניות הינו 120 שבועות , על מנת לבצע השוואת תוחלות לזמן האספקה הרצנו כל מדיניות במשך 120 שבועות כאשר ממוצע זמן האספקה בכל שבוע נדגם וכך קיבלנו 120 דגימות לכל אחת משלושת תצורת המערכת.

נבצע מבחן השערות על תוחלת זמן האספקה באמצעות מבחן Repeated Measures Anova – ניתוח שונות למדגמים תלויים, במידה ונקבל את השערת האפס (התוחלות שוות) נבחר בתצורה בעלת תוחלת זמן האספקה המינימלית. במידה ונדחה את השערת האפס נבצע דירוג של המדיניות בעזרת מבחן השערות על הרב"ס של תוחלת זמן האספקה ברמת מובהקות 5% וכך נוכל לדעת מי מהתצורות שנבדקו בעלת תוחלת זמן האספקה המינימלית.

### השוואת חלופות

לאחר ביצוע מבחן Repeated Measures Anova לבדיקת השערות על תוחלת זמן האספקה התקבל  $p_{value}$  השואף ל-0 לכן עבור כל רמת מובהקות שנבחר נקבל כי קיימת מובהקות סטטיסטית בתוחלות של תצורות המערכת השונות. בשל עובדה זו ערכנו דירוג של התצורות על פי הגורם- תוחלת זמן האספקה באמצעות מבחן השערות על הרב"ס.

Between groups (effect):	SS_bg = 7318843.9250,	df_bg = 2,	MS_bg = 3659421.9625
Within groups:	SS_wg = 375906.9534,	df_wg = 357	
Error:	SS_er = 253198.3190,	df_er = 238,	MS_er = 1063.8585
Subjects:	SS_sb = 122708.6344,	df_sb = 119	
TOTAL:	SS_t = 7694750.8784,	df_t = 359	
F = 3439.7639, p = 0.0000			

איור 2 – פלט מבחן Repeated Measures Anova

### השוואה מדיניות 5 מתקנים , מדיניות 4 מתקנים

בהשוואה זו התקבל הרב"ס (324.36,340.36). מכיוון והרב"ס מכיל ערכים חיוביים בלבד נסיק כי מדיניות 4 מתקנים עדיפה.

### השוואה מדיניות 5 מתקנים , מדיניות 3 מתקנים

בהשוואה זו התקבל הרב"ס (249.34,268.90). מכיוון והרב"ס מכיל ערכים חיוביים בלבד נסיק כי מדיניות 3 מתקנים עדיפה.

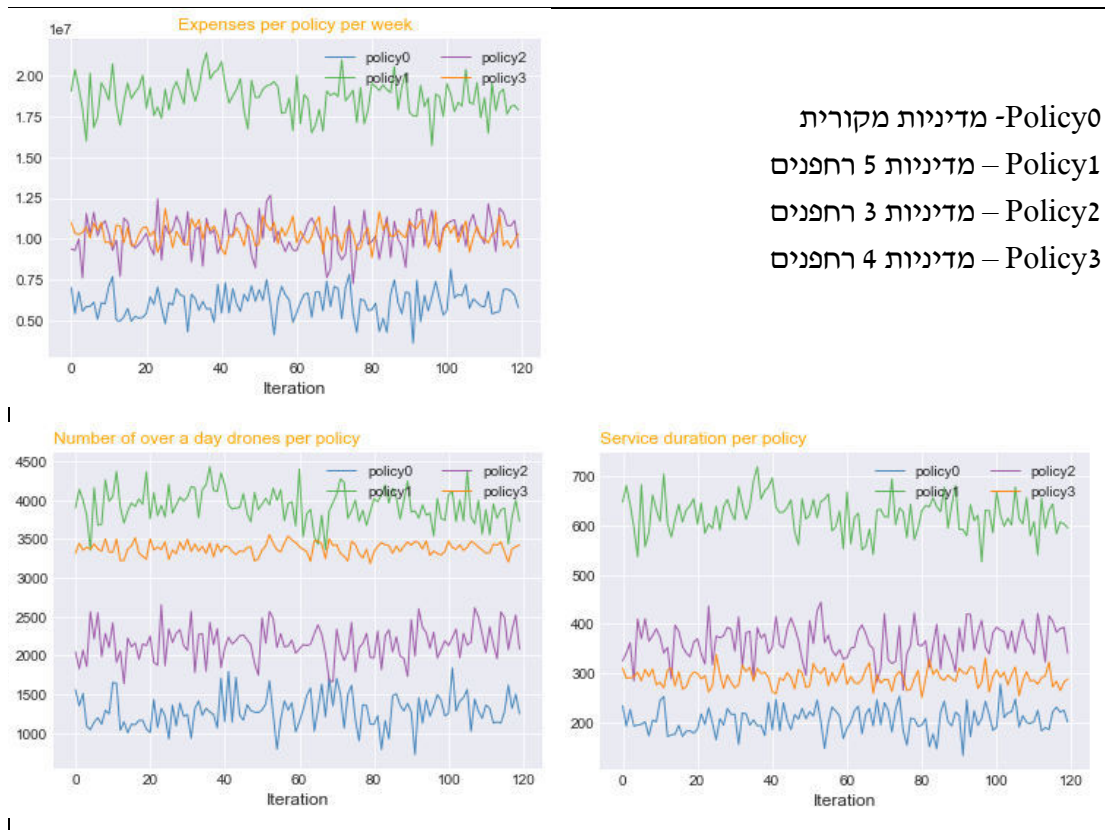
### השוואה מדיניות 4 מתקנים , מדיניות 3 מתקנים

בהשוואה זו התקבל הרב"ס (66.25,80.23). מכיוון והרב"ס מכיל ערכים חיוביים בלבד נסיק כי מדיניות 4 מתקנים עדיפה.

לכן, מדיניות 4 מתקנים היא הטובה ביותר לשם מזעור תוחלת זמן האספקה של המערכת.

### דירוג החלופות שהצענו :

1. מדיניות 4 מתקנים
2. מדיניות 3 מתקנים
3. מדיניות 5 מתקנים



Policy0 - מדיניות מקורית  
 Policy1 - מדיניות 5 רחפנים  
 Policy2 - מדיניות 3 רחפנים  
 Policy3 - מדיניות 4 רחפנים

מדדי המערכת עבור התצורות השונות:

Average duration of delivery per week:	Average of over a day late drones per week:	Average expense per week:	
204.89	1287.9	6061818.66	מדיניות מקורית
619.39	3908.25	18863465.20	מדיניות חמישה מתקנים
365.40	2159.90	10585681.58	מדיניות שלושת מתקנים
291.61	3378.50	10343286.96	מדיניות ארבעה מתקנים

#### ניתוח פלט הסימולציה

ניתן לראות כי מדיניות חמשת המתקנים נחותה בכל שלושת המדדים לעומת שתי המדיניות האחרות ונכשלת במיוחד במדד בו בחרנו להתמקד, זמן אספקה במדיניות זאת היה פי 3. במדיניות שלושת המתקנים ניתן לראות מדדים גבוהים ממדיניות ארבעת המתקנים כמו שציפינו בניתוח הסטטיסטי מלבד כמות הרחפנים שמאחרים מעבר ליום, במדד זה ניתן לראות יתרון משמעותי למדיניות שלושת המרכזים. מלבד מדד כמות הרחפנים המאחרים מעבר ליום מדיניות ארבעת המרכזים הפיקה את המדדים הטובים ביותר. עם זאת נשים לב שהמדיניות המקורית (חלק א) הפיקה את המדדים הטובים ביותר, נתייחס לכך בחלק הסיכום.

לאחר התמקדות במדד תוחלת זמן אספקה ביצענו השוואה של מדד זה בתצורות המערכת השונות. ביצענו מבחנים סטטיסטיים על מנת לבדוק מי מהתצורות עדיפה בהתייחס למדד תוחלת זמן האספקה, התקבל כי מדיניות 4 מתקנים הינה הטובה ביותר. לעלות הקמת מתקן שילוח משקל רב כיוון והקטנת מספר הרחפנים המסופחים לכל מתקן עלולה ליצור עומס במערכת שיוביל להרעה במדדים שנבדקו (ניתן להבחין בכך בהבדלים במדיניות 5 המתקנים) מצד שני מדיניות ארבעת המתקנים הפיקה מדדים טובים יותר מאשר מדיניות שלושת המתקנים. נסיק מכך שקיים מספר אופטימלי של מרכזי הפצה בתקציב הנוכחי. קיימת עדיפות למדיניות המקורית(חלק א) על פני כלל החלופות שהוצעו בחלק זה. לדעתנו הדבר נובע מכך שבמדיניות ארבעת המרכזים שלנו יצרנו עומס על רחפני העל ונוצר עומס על הרחפני העל ולכן ההרעה במדדים שנבדקו. מדיניות שלושת המרכזים אשר מתמקדת במיקום מחדש של שלושה מרכזים ושימוש בחיסכון הקמת המרכז הרביעי עבור מספר רב של רחפנים נוספים השיגה את התוצאות הטובות ביותר מבחינת מדד הרחפנים שאיחרו מעבר ליום. לדעתנו מיקום שלושה מרכזים בנקודות שונות בתוספת רחפנים נוספים עלולה לעזור לשפר את זמן האספקה הכללי. כלומר מצד אחד זמן האספקה יהיה יותר ארוך, אך מצד שני במדיניות זאת נוכל להבטיח משלוח עד זמן גג מסוים. לסיום נציע מספר חלופות לבדיקה עתידית:

- בדיקת מדיניות ארבעת המתקנים עם מספר שונה של רחפנים.
- בדיקת כדאיות בהגדלת תקציב ההקמה כך שהדבר יאפשר הקמת מתקן נוסף תוך השארת מספר הרחפנים המקורי בכל מרכז. לדעתנו המדיניות כדאית כלכלית כיוון שהחיסכון בעלויות הפיזיות עבור איחורי משלוחים יפצה עבור בניית המרכז החדש והוספת הרחפנים.
- בדיקת של מתקן יחיד במרכז שטח הסימולציה בעל מספר רב של רחפנים מכל סוג עם עדיפות לרחפנים רגילים ובסיסיים על פני רחפני על).