

אימות ותיקוף

בחלק א' של הפרויקט הרצנו סימולציה על מנת לנתח ארבעה מדדים המושפעים מאופן תהליך השכרת הגלגיליים בעיר, אופן השינוע והמצב ההתחלתי בכל בוקר בעיר תל אביב. לא ניתנו לנו הערות מהותיות על חלק א' ולכן לא ביצענו שינויים במודל. בכתבת חלק זה נסתמך על התוצאות והדיון שהתקבלו בחלק א'.

את חלק זה של הפרויקט בחרנו לנתח באמצעות שיטת הבחירה המחושבת שהצענו בחלק א' של הפרויקט מכיוון שבתור נותני השירות, שיטה זו תוביל לתוצאות טובות יותר וכתוצאה מכך לרווחים גבוהים יותר.

המדד המשקלל בתוכו את רמת השירות ועלויות התפעול

רמת שירות - $s = rent_profit * mean_rent - reputation_cost * leavers$. את רמת השירות החלטנו לייצר ע"י תוחלת מספר ההשכרות כפול הרווח להשכרה ותוחלת מספר הנטישות כפול העלות לפגיעה במוניטין. ככל שמספר ההשכרות יגדל כך הרווח מרמת שירות יהיה טוב יותר וככל שמספר הנטישות יגדל כך הרווח של רמת השירות יקטן. נציב את הערכים הבאים:

עלויות התפעול - $m = mean_transports_per_day * cost_per_transport$. את עלויות התפעול נחשב ע"י מספר השינועים והעלות לשינוע.

מדד - $s - m$ פונקציית המדד מייצגת את הרווח הנוצר מתועלת רמת שירות ועלויות תפעול.

לשם פתרון הבעיה הצבנו את הערכים הבאים:

cost_per_transport	rent_profit	reputation_cost
0.01	0.03	0.02

הערכים מעלה נבחרו כנרמול לעלויות שינוע ומוניטין ולרווחי השכרה משוערים. כך למשל, השכרת גלגיליים תעלה למשכיר 30 שקלים, עלות שינוע של גלגיליים יחיד תעלה 10 שקלים והפסד על מוניטין ליחידה יעלה 20 שקלים.

הגדרת תוכניות שינוע

1. שינוע לפי ההפרש בין הביקוש ליציאה מאזור והגעה אליו בשעות הבוקר: על מנת לקבוע את השינוע נתבונן

על המערכת בשעות הבוקר. בכדי להגדיר את תכנית השינוע נחלק את המערכת לשני חלקים - שעה ראשונה

בבוקר, שאר שעות הביקוש בבוקר. נרצה להימנע מנטישת לקוחות ולכן נוודא כי בשעה הראשונה לא

יחסרו גלגיליים באזורים בעלי הפרשי ביקושים שליליים (דלתא שלילית) כלומר, אזורים אליהם הגיעו

יותר גלגיליים לעומת אלו שיצאו מהם (ראה טבלה מטה). נוודא זאת באמצעות התבוננות ביחס הקריטי-

ההסתברות שלקוח יגיע לאזור מסוים לפני שיכנסו אליו גלגיליים: $\frac{DD_m}{DD_m + DA_m}$. את היחס הקריטי של כל

אזור נשווה לערך 0.31. ערך זה נקבע כך שיתקיים איזון בין מספר הנטישות לבין כמות ההשכרות

באזורים בעלי דלתא שלילית. כאשר $\frac{DD_m}{DD_m + DA_m} < 0.31$ לאזור זה נשנע 0 גלגיליים בסוף כל יום. לאחר

שחילקנו לאזורי הדלתא השליליים את כל הגלגיליים הנדרשים, נעבור לחלוקה בשאר האזורים. החלק

היחסי של כל אזור הנקבע לפי הדלתא שלו לעומת סכום הדלתאות של שאר האזורים בעלי דלתא חיובית.

להלן חישובים:

DD - הביקוש השעתי ליציאה מהאזור, **DA** - הביקוש השעתי להגעה לאזור, Δ - ההפרש בין הביקושים

לשעה: קצב יציאת (חיובי) / כניסת (שלילי) גלגיליים מאזור (חיובי) / לאזור (שלילי). M - בוקר, e - ערב.

312	313	314	315	316	317	321	322	323	324	325	326	331	332	333	341	
4.3	10.7	5.2	5.6	10.0	4.5	4.2	10.6	5.8	5.2	9.3	2.5	2.5	2.9	8.4	8.3	DDm
9.6	3.1	2.5	2.8	4.8	9.3	9.1	5.7	2.6	2.1	2.9	10.1	13.5	9.7	8.1	4.1	DAm
-5.3	7.6	2.7	2.8	5.2	-4.8	-4.9	4.9	3.2	3.1	6.4	-7.6	-11	-6.8	0.3	4.2	Δ_m

331	326	312	321	317	332	
0.156	0.198	0.31	0.316	0.326	0.23	$\frac{DD_m}{DD_m + DAm}$
0	0	1	1	1	0	Decision

נותרו 237 גלגיליים לחלוקה שיחולקו באופן הבא :

נסכום את כלל הדלתאות החיוביות - 40.4. נחשב את החלק היחסי של כל אזור בצורה הבאה : $\frac{\Delta_m}{40.4}$.

דוגמא : אזור 341 - $237 = 24.63 \cdot \frac{4.2}{40.4}$. נעגל מטה/מעלה לפי מדרג השאריות.

313	314	315	316	322	323	324	325	333	341	
44.58	15.84	16.42	30.5	28.74	18.77	18.18	37.54	1.76	24.63	$\frac{\Delta_m}{40.4}$
45	16	16	30	29	19	18	37	2	25	\cong

אנו משערים כי תכנית שינוע זו תוביל לביצועים טובים יותר מכיוון שחלוקת הגלגיליים לוקחת בחשבון את מגמות הביקוש להגעה ולעזיבה של אזורים ובכך, תפחיתה את הסיכוי להצטברות גלגיליים באזורים לא מבוקשים ולהתרוקנות שלהם מאזורים מבוקשים בכך מקטינה את הסיכוי לנטישה.

2. שינוע לפי פיזור הגלגיליים בכל האזורים בסוף היום : על מנת לבחור תכנית שינועים נוספת, הרצנו את הסימולציה 350 ימים וביצענו מדד תוחלת על כמות הגלגיליים בכל אזור בסוף כל יום. עם הכמות הזו אתחלנו את הסימולציה בכל בוקר. שיערנו כי אם נאתחל את הסימולציה לפי כמות הגלגיליים הקיימים בכל אזור בכל יום נצטרך לבצע כמות מועטה של שינועים בכל יום.

	312	313	314	315	316	317	321	322	323	324	325	326	331	332	333	341
Scooters	3	41	13	16	31	5	3	20	10	18	31	0	1	7	16	25

3. שינוע לפי ההפרש בין הביקוש ליציאה מאזור והגעה אליו בשעות הבוקר וכמות השכנים של אזור : בכדי לנסות לצמצם את כמות הנטישות ולייעל את חלוקת הגלגיליים לאזורים השונים נחלק משקל זהה לביקוש בכל אזור בשעות הבוקר ולכמות השכנים הקיימים לכל אזור. לאזורים בהם כמות השכנים קטנה נרצה להעביר יותר גלגיליים כך שבתחילת כל יום, כמות הצעידות לאזורים שכנים באזורים אלו תקטן ולהפך. משקלנו את האזורים כך שבאזור עם 2 שכנים יקבל 4, ואזור עם 5 שכנים יקבל 1. את החלק היחסי של כל אזור כפלו ב-240 וכך הגענו לכמות הגלגיליים בכל אזור לפי כמות השכנים. (בטבלה כפלו בחצי את מה שיצא לנו כדי לתת משקל של 50% לשכנים)

	312	313	314	315	316	317	321	322	323	324	325	326	331	332	333	341
Half from alternative 1	0.5	22.5	8	8	15	0.5	0.5	14.5	9.5	9	18.5	0	0	0	1	12.5
Round data	0	23	8	8	15	0	0	14	10	9	19	0	0	0	1	13
Half of neighbors	9	9	12	9	6	6	6	6	6	12	3	3	3	9	9	12
Total (rows 2 + 3)	9	32	20	17	21	6	6	20	16	21	22	3	3	9	10	25

הגדרת מבנה הניסוי

על מנת לבחון את ההשערות שהצענו לתוכניות שינוע, הרצנו את הסימולציה על כל אחת משלוש ההשערות כאשר אתחלנו את כמות הגלגיליים בכל אזור לפי ההשערה הרלוונטית. נציין כי לא שינינו אף גורם אחר באלגוריתם על מנת לבחון אך ורק את ההשפעה של ההשערה אותה הרצנו. כמות ההרצות שנבחר תהיה כמות ההרצות המקסימלית שהתקבלה מהרצת הסימולציה עם אחת משלוש ההשערות. נאמוד את כמות ההרצות הנדרשות ע"י

$$\text{הנוסחה } n \approx \left(Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{s}{h} \right)^2 \text{ כאשר } h = 0.1, z = 1.96$$

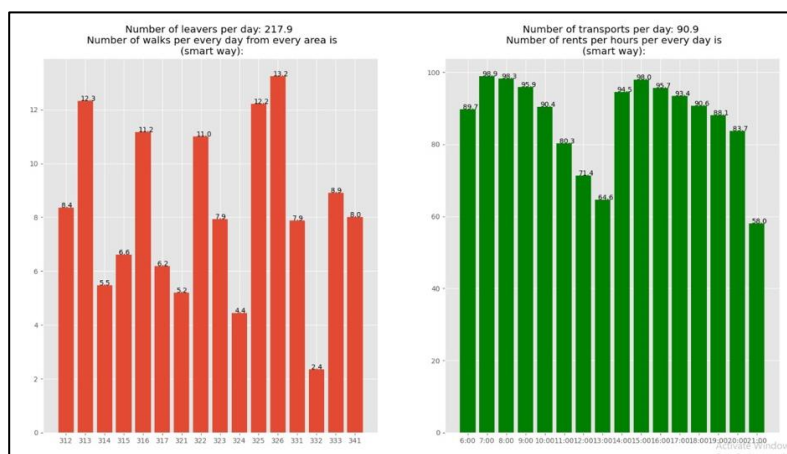
תוצאת כמות הרצות לפי מדד 5: $s^2 = 1.547$, $n = 576$

השוואת חלופות

על מנת להשוות בין החלופות שהוצעו, הרצנו את הסימולציה 576 הרצות. קבענו את seed(1) על מנת למזער את השונות בניסוי והרצנו את המודל עם בחירת השכן המחושבת שקבענו בחלק א' של הפרויקט. בכל הרצה אתחלנו את כמות הגלגיליים בתחילת כל יום להיות הכמות שהוחלטה בכל שלוש ההשערות שפירטנו מעלה.

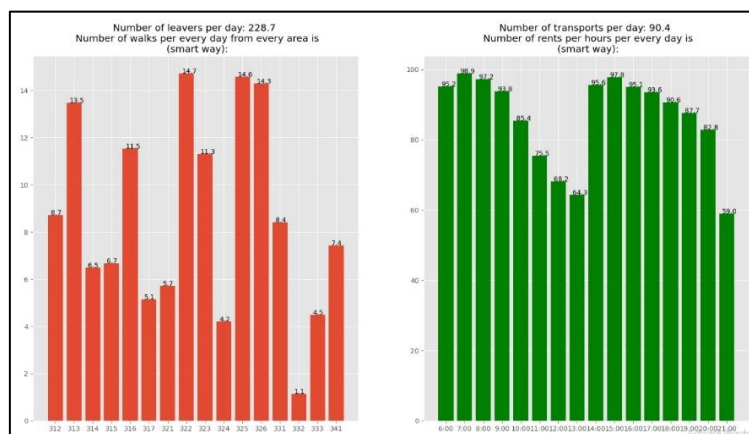
להלן הנתונים שהתקבלו מכל שלוש ההרצות המפרטים את תוחלות מספר הפעמים בהם משתמשים מוותרים על השירות בשל חוסר זמינות או תקלה, תוחלת מספר פעולות השינוי שהמפעילים נדרשים לבצע ביום, תוחלת הרווח שנובע מרמת השירות ועלויות התפעול.

תוצאות הסימולציה (עזיבות ושינועים) בהינתן אתחול הגלגיליים על פי השערה 1:



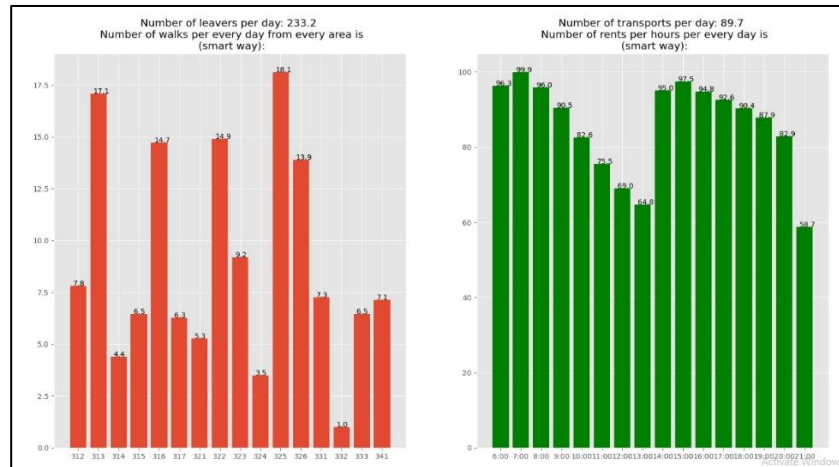
ניתן לראות כי מספר השינועים ליום הינו 90.9. בנוסף, מספר העזיבות היומי הוא 217.9. הגרף הימני מציג את מספר ההשכרות לשעה בכל יום והגרף השמאלי מייצג את מספר הצעידות לאזורים שכנים בכל יום.

תוצאות הסימולציה (עזיבות ושינועים) בהינתן אתחול הגלגיליים על פי השערה 2:



ניתן לראות כי מספר השינועים ליום הינו 90.4. בנוסף, מספר העזיבות היומי הוא 228.7. הגרף הימני מציג את מספר ההשכרות לשעה בכל יום והגרף השמאלי מייצג את מספר הצעידות לאזורים שכנים בכל יום.

תוצאות הסימולציה (עזיבות ושינועים) בהינתן אתחול הגלגילים על פי השערה 3:



ניתן לראות כי מספר השינועים ליום הינו 89.7. בנוסף, מספר העזיבות היומי הוא 233.2. הגרף הימני מציג את מספר ההשכרות לשעה בכל יום והגרף השמאלי מייצג את מספר הצעידות לאזורים שכנים בכל יום.

ממד 1 (השכרות)	השערה 1	השערה 2	השערה 3
ממד 2 (צעידות)	86.96	86.29	85.9
ממד 3 (עזיבות)	8.21	8.65	8.96
ממד 4 (שינועים)	217.9	228.7	233.2
ממד 5 (רווח)	90.9	90.4	89.7
	36.475	35.94	35.671

First and second samples comparison:
H0: mean of the first sample = mean of the second sample
H1: mean of the first sample > mean of the second sample
t stat: 7.318096076729838
p value: 0.508591004447342e-13
Reject H0
The mean of the first sample is greater than the mean of the second sample

First and third samples comparison:
H0: mean of the first sample = mean of the third sample
H1: mean of the first sample > mean of the third sample
t stat: 10.753095577943734
p value: 1.0664750863301716e-24
Reject H0
The mean of the first sample is greater than the mean of the third sample

Second and third samples comparison
H0: mean of the second sample = mean of the third sample
H1: mean of the second sample > mean of the third sample
t stat: 3.742913739227064
p value: 0.00020017340030867755
Reject H0
The mean of the second sample is greater than the mean of the third sample

על מנת לבצע השוואה בין החלופות הצבנו את הממוצעים שנלקחו מפלט הסימולציה במבחן בדיקת השערות על הפרש תוחלות בעלות מדגמים תלויים ושונות לא ידועות.

סטטיית תקן	השערה 1	השערה 2	השערה 3
	1.6	1.51	1.69

t_{α}^{n-1}	t_{stat}	בדיקת השערות על הפרש תוחלות בין השערה 1 ל-2
$t_{\alpha}^{n-1} \approx 1.64$	$t_{stat} = 7.318$	

$t_{\alpha}^{n-1} \approx 1.64$	$t_{stat} = 10.753$	בדיקת השערות על הפרש תוחלות בין השערה 1 ל-3
$t_{\alpha}^{n-1} \approx 1.64$	$t_{stat} = 3.743$	בדיקת השערות על הפרש תוחלות בין השערה 2 ל-3

המבחנים הסטטיסטיים שביצענו הניבו תוצאות שמעידות על דחיית השערת האפס בכל הצעת שינוע. על פי הנתונים והמבחנים הסטטיסטיים ניתן לראות כי השערה 1 היא האופטימלית מבין כל שלוש ההשערות, כלומר, תכנית שינוע המסתמכת על יציאת גלגיליים אל מול כניסת גלגיליים בשעות הבוקר היא המועדפת ביותר וזו שתביא לרווחים הגדולים ביותר.

סיכום ומסקנות

בחלק זה של הפרויקט הצענו שלוש חלופות אפשריות לתוכנית שינוע שמגדירה את פעולות השינוע שיש לבצע בתחילת כל יום. החלופות שהוצעו התבססו על הממצאים שהתקבלו מחלק א' של הפרויקט וניתוחם. בחלק א', מדדנו את כמות ההשכרות, כמות הצעידות לאזור שכן, כמות העזיבות של צרכנים וכמות השינועים של גלגיליים בכל סוף יום על מנת לבחון שתי חלופות לדרך בה משכיר גלגיליים יבחר לצעוד לאזור שכן כאשר אין גלגיליים פנויים באזור בו הוא נמצא. על פי הממצאים היה ניתן להסיק כי השיטה המועדפת לבחירת האזור אליו נצעד בעת הצורך היא השיטה המחושבת שהצענו- השכן בעל כמות הגלגיליים המרבית ברגע נתון. בסיום ניתוח הנתונים בחלק א' של הפרויקט, שיערנו כי על מנת להיטיב את המודל, שינוע הגלגיליים בסוף כל יום יבוצע בהלימה לביקושי הבוקר בכל אזור.

בחלק זה, בשלוש החלופות האפשריות התמקדנו במטרה לבצע הלימה בין ביקושי הבוקר בכל אזור לשינוע הגלגיליים בסוף כל יום, לבחון אפשרות כי שינוע הגלגיליים יתחשב בכמות הגלגיליים בכל אזור בסוף כל יום ובעובדה כי קיים קשר בין כמות הכניסות לאזור וכמות היציאות מכל אזור לאזורים שכנים. השונו את החלופות על ידי הרצת מודל הסימולציה 576 ימים. פלט הסימולציה כלל את מדד הרווח אותו הגדרנו, שמאזן בין הרצון לטייב את רמת השירות הניתן למשמשם ובין העלויות התפעוליות שנובעות משינועי הגלגיליים באזורים השונים בעיר. את תוצאות שלוש ההרצות שהתקבלו מפלט הסימולציה השונו והשתמשנו במבחנים סטטיסטיים על מנת לאשש אותן.

על פי כלל המבחנים שבוצעו, ניתן לומר כי תכנית שינוע שתיטיב את רמת השירות הניתן למשתמשים ותצמצם עלויות שינוע היא התוכנית הראשונה שהוצעה, בה נחלק את הגלגיליים בין האזורים השונים בעיר לפי ההפרש בין כמות הגלגיליים שיוצאים מאזור מסוים לבין כמות הגלגיליים שנכנסים לאזור זה, לפי הביקוש בשעות הבוקר. בצורה כזו ניתן יהיה לפזר את הגלגיליים כך שלאזורים בעלי הפרש חיובי (כמות יציאות גדולה מכמות כניסות) נשנע יותר גלגיליים ולאזורים בעלי הפרש שלילי (כמות כניסות גדולה מכמות יציאות) נשנע פחות גלגיליים. מבחינת המלצות, על חברת הגלגיליים להמשיך ולעקוב אחר הביקוש לגלגיליים באזורים שונים בעיר ולהתאים את תוכנית השינוע בהתאם. בנוסף, על החברה לשקול ליישם אסטרטגיית תמחור דינמית כדי לייעל את הרווחים ולהבטיח כי גלגיליים יהיו זמינים במקום בו הם נחוצים ביותר. בנוסף, שילוב של מדדים כמו שיעור השימוש והמרחק הממוצע שעבר גלגיליים יכול לספק מידע חשוב לחברה כדי לייעל את הפעילות שלה. לסיכום, הסימולציה מספקת תובנות חשובות לגבי חלוקה מיטבית של גלגיליים בעיר ויכולה לשמש בסיס למחקר וקבלת החלטות עתידיות של חברת הגלגיליים. עם זאת, חשוב לזכור שהסימולציה מבוססת על הנחות מסוימות ומועיל לאמת את הממצאים על ידי ביצוע מחקרים נוספים בתחום.