

נייר מדיניות כלכלית

**2040: האם הפרויקטים
התחבורתיים צפויים להפחית
את שיעור הבעלות על רכב
בישראל?**

**רון נוראל 315781724
אלחנדרו מוסנברג 324470459
מנחה: ד"ר אסנת ליפשיץ**

10/06/2022

**אוניברסיטת
רייכמן**

תוכן עניינים

1. חלק ראשון – הקדמה

- 2.1 שאלת המדיניות 3
- 2.2 מטרות הנייר 3

2. חלק שני – תקציר מנהלים

- עיקרי ההמלצות והממצאים 4-5

3. חלק שלישי - רקע וסקירת הספרות

- 3.1 חשיבות ההשקעה בתחבורה הציבורית 6
- 3.2 הפרויקטים התחבורתיים ל-2040 6-8
- 3.3 שיעור הבעלות על רכבים פרטיים בישראל 8
- 3.4 מודל שיעור הבעלות על רכבים פרטיים והשימוש בהם 8
- 3.5 מודל התחבורה של מטרופולין ת"א 9
- 3.6 הבדל זמני הנסיעה בין תחבורה ציבורית לפרטית 9-10

4. חלק רביעי – ניתוח

- 4.1 שיטת המחקר 10
- 4.2 המודל הכלכלי 10-11
- 4.3 השערות המחקר 11
- 4.4 הליך בניית מסד הנתונים 11-13
- 4.5 אופן ביצוע המחקר 13-14
- 4.6 תוצאות המחקר 15-17

5. חלק חמישי – דיון והמלצות

- 5.1 מסקנות 17-18
- 5.2 המלצות למדיניות 18

6. רשימת מקורות

19

7. נספחים

20-21

1. חלק ראשון - הקדמה

2.1 . שאלת המדיניות

החשיבות לתחבורה ציבורית איכותית, נגישה ומגוונת בקרב מטרופולינים ברחבי העולם היא רבה, ויש בהשקעתה תרומה משמעותית להעלאת איכות החיים של תושבי הערים הגדולות. ברוב המוחלט של מטרופולינים במדינות ה-OECD שמונים 5 מיליון תושבים לפחות, יש את כל אפשרויות התחבורה הציבורית. כידוע מדינת ישראל שרויה צעד אחד מאחור בהיצע התחבורה הציבורית ואיכותה, באופן כלל ארצי ובפרט במטרופולין גוש דן, אשר ממוקם סביב המרכזים העסקיים בת"א. כתוצאה מכך הגודש בכבישי ישראל הולך ומחריף ולו נזק כלכלי כבד על המשק (זיו ושפיר, 2020). בנוסף, לגודש זה עלויות חיצוניות סביבתיות וחברתיות רבות כגון: היעדר מקומות חנייה, עליה ברמות זיהום אוויר והרעש וזמן נסיעה ארוך ביחס למרחק ממיקום בית העסק. יתר על כן, שוק העבודה בנוי כך שרוב המרכזים העסקיים ממוקמים בגוש דן, ובפרט בתל אביב ומסביב לה, לכן בעיה נוספת שהעומס יוצר היא נגישות מוגבלת למרכזים עסקיים, חינוכיים וחברתיים שונים אשר נמצאים במרכזי העיר.

בשנים האחרונות החלו בבניית מספר פרויקטים תחבורתיים משמעותיים כאשר בראשם: בניית רכבת קלה וקווי מטרו בגוש דן, הארכת מסילות רכבת ישראל בכל חלקי הארץ, וכן הארכת מסילת הרכבת הקלה בירושלים. ע"פ הערכות משרד התחבורה, בשנת 2040 תשתיות הכבישים והתחבורה הציבורית במדינת ישראל ישנו את פניהן באופן מכונן למדי.

השאלה העומדת בראש המחקר היא כיצד התכנון התחבורתי ארוך הטווח, המכוון לשיפור היצע התחבורה הציבורית ואיכות התשתיות ישפיע על כמות הרכבים הפרטיים במדינת ישראל.

2.2 . מטרות הנייר

שיעור הבעלות על רכבים פרטיים מוגדר כמספר הרכבים בבעלות פרטית לכל 1,000 אנשים. מטרת המחקר היא לבדוק כיצד הרחבת התחבורה הציבורית בישראל ובגוש דן בפרט, עשויה להשפיע על שיעור הבעלות על רכבים פרטיים בישראל ובכך להבין האם הגודש בכבישים צפוי לרדת ולפתור את כלל הכשלים הנגרמים מגודש זה, המפורטים מעלה.

המחקר יעריך את מגמת שיעור הרכבים בבעלות פרטית על פני זמן ויבחן כיצד יושפע בתרחישים תחבורתיים שונים (איכות תשתיות ומדדי כמות תחבורה ציבורית) החזויים על ידנו.

לכן, המחקר בוחן את כדאיות ההשקעה בפרויקטים תחבורתיים המתוכננים לעתיד. זאת נעשה על ידי חיזוי כמות הרכבים הפרטיים במדינת ישראל בשנים הבאות. לפיכך, באופן דיגיטלי, מדד היצע התחבורה הפרטית משפיע באופן ישיר על הגודש בכבישים ובכך על מדדים חברתיים, כלכליים וסביבתיים המתורגמים לרמת חיים של תושבי המטרופולין.

2. חלק שני – תקציר מנהלים

תחבורה ציבורית טובה ואיכותית במטרופולין נמדדת במגוון האפשרויות של סוגי התחבורה הקיימות. כיום ברוב המטרופולינים ברחבי העולם ישנם את כלל אפשרויות התחבורה הציבורית לרשות התושבים. נכון לשנת 2021 מערכת התחבורה הציבורית ותשתיות והתשתיות במדינת ישראל לוקות בחסר ביחס למדינות ה-OECD. כמו כן, ברמת המטרופולין, בתל אביב ומסביב לה ישנו פער בהיצע ואיכות התחבורה הציבורית. מתניידי המטרופולין אל ומחוץ לתל אביב הם בעיקר עובדים במרכזים העסקיים, מערכת החינוך, תלמידים וכן תושבי תל אביב המתניידים בתוכה לצרכים חיוניים.

לפני כעשור החלו תכנונים של מספר פרויקטים משמעותיים שצפויים להסתיים עד 2040. העיקריים הם קווי המטרו, רכבת קלה ו-BRT. בעת זו, הפרויקטים מתקדמים וכן קוו מטרו אחד מתקרב לסיומו וצפוי להיחנך בקרוב. כמו כן, במהלך העשור נבנו תשתיות כמו נתצ"ם, הוקמו קווי רכבת ישראל חדשים וכן חניונים מהירים בכניסה למטרופולין, ועוד פרויקטים משמעותיים שמטרתם להקל על הגודש בכבישים שקיים ברחבי מדינת ישראל ובעיקר בקרבת המטרופולונים.

בנייר זה נבדק האם כמות הרכבים הפרטיים במדינת ישראל וכן השימוש בהם צפוי להשתנות בעקבות החלת הפרויקטים התחבורתיים בעתיד. במחקר נבדקו שני מדדים עיקריים: שיעור הבעלות על רכב פרטי, המוגדר כמספר הרכבים הפרטיים לכל 1,000 תושבים ושיעור השימוש ברכב פרטי המוגדר כנסועה ממוצעת (בק"מ) לרכב פרטי.

על מנת לבדוק שאלה זו פותח מודל אקונומטרי ייחודי למדינת ישראל מסוג רגרסיה לינארית אשר תוצאותיו מספקות אומדן למדדים הנ"ל לאחר החלת הפרויקטים התחבורתיים (לפי המתוכנן) בשנת 2040. כאשר המשתנה התלוי נבדק בתרחיש "אופטימי" שבו הפרויקט יוצא לפועל כפי שתוכנן באופן מלא לשנת 2040. בנוסף נאמדה השפעת צעדים וכלים שונים במדיניות תחבורתית המשפיעים ביותר על הפחתת שיעור הבעלות על רכבים פרטיים, ובכך על הגודש בכבישים.

לאחר אמידת המודל בוצעה תחזית למדד המרכזי - שיעור הבעלות על רכב פרטי בישראל לשנת 2040, ולמדד המשני, שיעור השימוש ברכב, זאת ע"י איתור והצבת השינויים הצפויים עקב הרחבת התחבורה הציבורית (להלן – "התקופה הבאה"), בארבע משוואות שונות. באופן די גיוני, ההשקעה הרבה בתחבורה הציבורית והתשתיות אמורה להקטין את אלו, אך חלק מתוצאות המחקר מטילות ספק בכך ולכן גורסות כי נדרשת השקעה רבה באיכות התחבורה הציבורית ולא רק בהיצע.

אנו סבורים כי יש להתמקד באיכות התחבורה הציבורית מכיוון שיש בכך קיצור זמני הנסיעה למתניידי המטרופולין לכל צורך. השקעה בתשתיות אלו כוללת: סלילת נת"צ, הרחבת מספר נתיבים בכבישים הראשיים, סלילת כבישים מהירים להתניידות במטרופולין ("מהיר לעיר"), סלילת שבילי אופניים, הגדלת מספר תחנות האוטובוס ופריסתן ברחבי המטרופולין באופן יעיל וכן יצירת מערכת נגישה לתושב המשלבת את כלל אמצעי התחבורה הציבורית הקיימים בעיר אשר באמצעותה ניתן לבחור אמצעי תחבורה ושעת נסיעה ע"י צורכו. כל אלו מייצגים פתרונות יעילים לשורש הבעיה שגורמת לגודש בכבישים, לכן אנו סבורים שיש להתמקד

בפתרונות "איכות", טרם מתייחסים לפתרונות "היצע" כמו הגדלת מספר החניונים בת"א, סלילת כבישים לתחבורה פרטית וכל השקעה ה"מעודדת" נסיעה פרטית. לאור זאת מוצגות להלן רשימת מסקנות נייר מדיניות והמלצות לשיפור מערכת התחבורה הציבורית והתשתיות להפחתת הגודש בכבישים על כל השלכותיו:

1. שיעור הבעלות על רכב: ירידה משמעותית בשיעור הבעלות ב-2040 הינה מוטלת בספק למרות הפרויקטים התחבורתיים הצפויים. ניתן לחזות תרחיש "אופטימי" בו תהיה ירידה בשיעור הבעלות אך הקו הכללי לא מרמז על כך ברוב משוואות המודל, וגורס כי קיים צורך ממשי בהשקעה באיכות התחבורה הציבורית ולא רק בהיצע.

2. שיעור השימוש ברכב: מדד זה מתואם עם שיעור הבעלות ולכן ככל שירכשו יותר רכבים סביר כי השימוש בהם ילך ויגבר. לפיתוח איכות התשתיות והכבישים יש משמעות רבה בהפחתת שיעור השימוש ברכב, שכן אמנם אזרחי ישראל לא יוותרו כלל על בעלות רכב פרטי אך כן יבחרו להשאירו בבית ביציאתם ליום עבודה במידה והתשתיות יהיו מספיק טובות.

3. קצב גידול האוכלוסייה: ע"פ התחזיות אוכלוסיית ישראל צפויה לגדול לכ-13 מיליון תושבים בשנת 2040. דבר זה מתבטא במודל בעליית הצפיפות העירונית. כפי שראינו למשתנה זה השפעה חיובית על שיעור השימוש ברכב פרטי במדינת ישראל, ולכן גם משתנה זה מרמז על כך שיש להשקיע רבות בפיתוח התשתיות והנגישות לתחבורה ציבורית כך שהם "יחפזו" על הצפיפות שתשרור בשטח המטרופולין.

4. חניונים במטרופולין ת"א: פרויקטים השקעה ופיתוח בחניונים גדולים הנמצאים בפתח שטחי המטרופולין הינם הכרחיים וצפויים להקל על הצפיפות העירונית והגודש בכבישים. ראינו כי ישנה השפעה שלילית למספר החניונים בת"א על שיעור השימוש ברכב פרטי, ולכן השקעה בחניונים גדולים, מרווחים ונוחים (כגון "חנה וסע" של הנתבי המהיר לת"א) הם הכרחיים ומהווים פתרון משלים לפיתוח קווי המטרו והרכבת הקלה.

5. עלות התחבורה הציבורית לציבור: ניתן לאפיין את הביקוש לשימוש ברכבים פרטיים בישראל כביקוש קשיח לחלוטין, ולכן סביר כי לא תהיה כל השפעה להורדת מחירי התחבורה הציבורית על השימוש בו, ואף סביר כי אפילו הורדת מחירי התחבורה הציבורית לרמה חנימית לא תשפיעה על שיעור השימוש ברכב פרטי בישראל.

6. הכנסה למשק בית: גם ההכנסה הריאלית הממוצעת אשר נמצאת במגמת עליה ממחישה את הצורך בהשקעה הרבה באיכות ותשתיות התחבורה. באם לא תהיה השקעה מספיק גדולה, קצב הגידול בהכנסה יעודד את הפרטים לשמור על יחס של רכב אחד לנפש.

7. השקעה באיכות התחבורה הציבורית: ההמלצה העיקרית כאמור הינה להתמקד בהשקעה בצד איכות התחבורה הציבורית ולא רק בצד ההיצע, כפי שפורט מעלה.

8. שילוב אגרות גודש: יש לשלב אגרות גודש עם החלת הפרויקטים התחבורתיים ב-2040 כפתרון משלים אליהם. אנו סבורים כי רק השקעה בפרויקטים אינה מספיקה כדי להקל בגודש בכבישים והשלכותיו ולכן יש לבחון שילוב אמצעי.

3. חלק שלישי - רקע וסקירת הספרות

3.1. חשיבות ההשקעה בתחבורה הציבורית

תחבורה ציבורית טובה במטרופולין נמדדת במגוון האפשרויות של סוגי התחבורה הקיימות. כיום ברוב המטרופולינים ברחבי העולם ישנם את כלל אפשרויות התחבורה הציבורית לרשות התושבים. אפשרויות אלו כוללות: אוטובוס, רכבת קלה, מטר, BRT, רכבת כבדה (ליציאה מחוץ לעיר) ומוניות. בנוסף, לרמת השירות בתחבורה הציבורית חשיבות רבה. מרכיבי רמת השירות הם: זמינות השירות (ימים ושעות הפעלה ותדירות) אמינות (איחורים לתחנות וזמן הגעה ליעד), נוחות ובהירות השירות (האם קל למצוא את התחנה, צפיפות ברכב, צפיפות בתחנה, מחסה מהשמש או מהגשם ועוד).

כמו כן, גם לאיכות התשתיות והנגשתן לתחבורה ציבורית יש חשיבות רבה, מכיוון שיש בכך קיצור זמני הנסיעה לנוסעים בתחבורה ציבורית. השקעה בתשתיות אלו כוללת: סלילת נתיבים, הרחבת מספר נתיבים בכבישים הראשיים, סלילת כבישים מהירים להתניידות במטרופולין ("מהיר לעיר") וסלילת שבילי אופניים.

במדינת ישראל נדרש שינוי רחב היקף, וניכר כי קובעי המדיניות הפנימו בכך ופועלים להחלת פרויקטים מכוננים בכל הנוגע לתשתיות ותחבורה ציבורית. מדו"ח בנק ישראל שפורסם בשנת 2017¹ הועלו שתי מסקנות עיקריות הממחישות את חשיבותה של התחבורה הציבורית בישראל:

1. שיפור התחבורה הציבורית בישראל יאפשר להעלות את רמת החיים במשק ויפחית את הפערים בינה לבין המדינות המפותחות.

2. שביעות הרצון מהתחבורה הציבורית במטרופולינים במדינת ישראל נמוכה משל הערים המרכזיות באירופה.

לפיכך, היעד המרכזי של הפרויקטים המתוכננים הוא היכולת ליצור הרמוניה בין כלל מרכיבי המערכת, כך שהיא תוכל לשמש כשלד תחבורתי מרכזי לתושבי מטרופולין הערים הגדולות.

3.2. הפרויקטים התחבורתיים ל-2040

בעשור האחרון הממשלה ערכה שינוי מהותי במדיניות התחבורה הציבורית. הממשלה החלה ביישום של מערכות עתירת נוסעים במטרופולינים, הקימה קווי רכבת חדשים ועד מספר פעולות כדי לפתח את התחבורה בישראל. למרות מגוון הפעולות שהממשלה עשתה, ישראל עדיין נמצאת בפיגור משמעותי אחרי המדינות המפותחות, הן בתחום הקמת תשתיות לתחבורה ציבורית והן בתחום המדיניות. לכן הממשלה החליטה לגבש תוכנית לפיתוח התחבורה הציבורית כדי לצמצם את הפיגור אשר ישראל נמצא מול המדינות המפותחות.

¹ בנק ישראל, "דין וחשבון 2017", ניסן התשע"ח, מרץ 2018

- (1) הרשת הבינעירונית המרכזית מתבססת על שירות רכבתי מהיר בין ארבעת המטרופולינים ירושלים, תל אביב, חיפה ובאר שבע, ברמת שרות גבוהה, ויעד מרכזי של הסעת 40%-50% מהנוסעים בפרוודורים אלו בתחבורה הציבורית.
- (2) הרשת הארצית המהירה – פיתוח וחיבור ארבעת המטרופולינים ברשת רכבות מהירה במהירות תקן 160 קמ"ש ובהפרדה מלאה.
- (3) תכנית אב לתחבורה הציבורית – תכנון ופיתוח הרשת צריך להיעשות בכפוף למסגרת של תוכנית אב לתחבורה הציבורית לטווח 30 שנה, אשר תבחן את פיתוח התחבורה הציבורית בצורה הוליסטית אינטגרטיבית תוך הקצאה מיטבית של סדרי העדיפויות. התוכנית תרוכז בידי משרד התחבורה ובמסגרתה תקבע האסטרטגיה, המדיניות וסדרי העדיפויות של ביצוע הפרויקטים תוך התייחסות להיררכיה ברורה של אמצעי הנסיעה.
- (4) רשת מסילות פרברית/אזורית משלימה - חיבור המרכזים העירוניים האחרים לרשת המהירה באמצעות קוים פרבריים/ מטרופולינים/אזוריים: תפעול באמצעות רכבות אזוריות ומטרופוליניות, תדירות גבוהה (מינימום 4 רכבות לשעה בשיא), ריבוי תחנות במרכזי הביקוש, ככל שניתן, הקוים צריכים לעבור בתוך הערים ולשרת את מרכזה והפרדה בין השרות הפרברי/אזורי לקווי הרשת הארצית המהירה.
- (5) מערכת עתירת נוסעים תהיה מורכבת משילוב של אמצעי ההסעה הבאים:
 - א. רכבות פרבריות - מטרופוליניות - רכבות הפועלות באזור המטרופולינים עם זכויות דרך מופרדות לחלוטין מתנועת כלי הרכב במהירויות גבוהות יחסית עם מרווחי תחנות של כ- 2 ק"מ. רכבות אלה יופעלו ע"י ציוד נייד (השונה מהנייד המופעל כיום) בעל תכונות המאפשרות עליה וירידה מהירה של הנוסעים, כלומר ריבוי דלתות ועלייה במפלס הרציף, וכן תאוצות ותאטות גבוהות המקטינות את זמן העיכוב בתחנה. רכבות אלה מחברות את כל ערי המטרופולין במהירות ותדירות גבוהים, ומתחברות לתחנות של הרכבות הארציות ולמרכזי התחבורה העירוניים.
 - ב. רכבות קלות (LRT) - רכבות הפועלות ברחובות של ערי המטרופולין עם הפרדה חלקית בזכויות הדרך, קרי, פרוודורי תנועה בלעדיים עם מעברים בצמתים מרומזרים המשותפים לשאר התנועה. בקטעים מסוימים רכבות אלה יכולות להיות במפלס מתחת או מעל לקרקע על מנת להתגבר על בעיות תנועה מקומיות.
 - ג. מערכות אוטובוסים רבי קיבולת (BRT) – מערכת המבוססת על קוים עורקיים בהם פועלים אוטובוסים יחודיים, תחנות, ואמצעים טכנולוגיים ברכב ובתחנה הדומים לאלה שברכבות הקלות. קוים אלה נוסעים בזכויות דרך בלעדיות עם מעבר בצמתים מרומזרים עם העדפה. ניתן לחלק את מסלולי ה-BRT לשניים: א. קוים מהירים הנוסעים בעיקר במערכת כבישים בין עירונית ומתאפיינים במיעוט תחנות ולפיכך בנסיעה מהירה בין חלקים שונים שאין בהם שרות רכבתי. ב. קוים עירוניים הנוסעים בעורקי התנועה בערים ומשרתים את שימושי הקרקע הגובלים ע"י תחנות בצפיפות גבוהה-בינונית.
 - ד. קטעים תת קרקעיים – כדי לאפשר רמת שירות גבוהה במונחים של זמני הנסיעה, יהיו חלק מקטעי הרשת תת קרקעיים. יתכן שחלק מהקטעים התת קרקעיים יוגדרו עבור

התנועה הכללית, כדי לאפשר מעבר ללא הפרעה של התחבורה הציבורית במפלס הרחוב, וזאת למען נוחיותם ורווחתם של נוסעי התחבורה הציבורית.

- 6) פיתוח התחבורה הציבורית בפריפריה כאזור בעל עדיפות לאומית: התחבורה הציבורית בפריפריה תספק נגישות טובה במונחים של זמן ותדירות למרכזים האזוריים, למרכזי המטרופולינים ולרשת לישוברים בפריפריה תתוכנן רשת תדירה מאוד לכמה יעדים מרכזיים.
- 7) לעודד שילוב של פיתוחים חדשניים כגון רכבים היברידיים וחשמליים, רכבות מהירות, Personal Rapid Transit וכדומה, כמועמדים משמעותיים להיכלל ברשת התחבורה העתידית.

3.3. שיעור הבעלות על רכבים פרטיים בישראל:

כאמור, מדד זה הוגדר במחקר כמספר רכבים הנמצאים בבעלות פרטית לכל 1,000 אנשים במדינת ישראל. מדד זה עולה על פני זמן, שכן הודות לעליה ברמת החיים, משפחות רבות אינן מסתפקות בחלוקת רכב פרטי אחד בין בני המשפחה, כפי שהיה בעבר. כתוצאה מכך, הצפיפות בכבישי ישראל עלתה בשני העשורים האחרונים.

חשיבותו של המדד במחקרנו היא רבה, ויש לו השלכה ישירה על הכשלים התחבורתיים בישראל. מחקרים רבים מראים כי הפחתת העומס בכבישים על ידי שיפור התחבורה הציבורית והתשתיות תביא לעליה ברמת החיים והפריור, וכן להקטנת אי השוויון. כמו כן, הפחתת הגודש בכבישים נגזרת מירידת כמות הרכבים הפרטיים. לאור זאת, אנו מזהים את חשיבותה של בחינת המדיניות האופטימלית אשר משפיעה על שיעור הבעלות בישראל, ומביאה להקטנת כמות הרכבים הנמצאים בבעלות פרטית בכבישי ישראל. מדינת ישראל ניצבת בפני שינויים רבים במערכת התחבורה הציבורית ותשתיות הכבישים (ראה פרק 3.2). שינויים אלו צפויים להשפיע רבות על כלל התחומים הנפגעים כיום מכשלי תחבורה, ולכן ע"י מדד זה נוכל לבחון איך שינויים אלו צפויים להשפיע על כמות הרכבים וכן על אופן השימוש ברכב פרטי בקרב הישראלים.

3.4. מודל שיעור בעלות על רכבים פרטיים:

אכריה ומוריצי (2007) הינם חוקרים יפנים מטוקיו אשר ניסו לבדוק את הגורמים המשפיעים על שיעור הבעלות על רכב פרטי ושיעור השימוש בו. לשם כך בוצע במחקרם (2007) ניתוח רגרסיה שבו נאמדה השפעת אמצעים נפוצים של מדיניות תחבורה עירונית (טבלה 1-מודל המקור של אכריה ומוריצי) על כמות הרכבים פרטיים והשימוש בהם. המודל נאמד על 54 "מגה" ערים במזרח אסיה ואזורים נוספים כמו: בנגקוק, שנחאי וטוקיו, ובדק את הקשר בין משתנים שונים (המפורטים בפרק הניתוח) לבין שיעור הבעלות על רכב, והשימוש בו.

תוצאות הרגרסיה מצביעות על קשר שלילי בין נקיטת צעדי מדיניות שונים ליעול התחבורה והתשתיות לבין שיעור הבעלות על רכב השימוש בו. נמצא בעיקר כי לשיפור רמת השירות של תחבורה ציבורית יש השפעה רבה על הפחתת השימוש ברכב פרטי. בנוסף, נמצא כי ככל שההכנסה עולה, בעלות על רכב הינו דבר בלתי נמנע ואף השימוש בו הולך וגדל.

3.5. מודל התחבורה של מטרופולין ת"א :

מודל זה הינו מודל לחיזוי הביקוש לתחבורה המבוסס על גישה לא מצרפית, אשר מסבירה את פעילויות הפרט ואת הנסיעות הנובעות מביצוע פעילויות אלה. המודל מניח שהנסיעות השונות אשר מתחילות בבית הפרט ומסתיימות בביתו מהוות סיור, כאשר נסיעה מייצגת עצירה בסיור לצורך ביצוע פעילות. למעשה מודל זה מכיל שרשרת של מודלי "Logit". היישום שלו מתבצע באמצעות סימולציה, ואוכלוסיית המודל הינה אוכלוסייה סינטטית שמיוצרת מתוך סקרים – אוכלוסייה זו אמורה לאפיין את אוכלוסיית המטרופולין בגודל ובמאפיינים, כמובן בבחינת התחזיות נלקחים בחשבון שינויי האוכלוסייה החזויים. המודל לוקח כנתון את זמני הנסיעות באמצעים השונים והאוכלוסייה הסינטטית, ומייצר כפלט את הביקוש היומי לרכב ואמצעים לאוכלוסייה הסינטטית ולבסוף המודל נותן את מערכת הפעילות היומית של האנשים ואת הנסיעות מציבים במערכת הכבישים.

במסגרת זו, הפרט מקבל החלטות מרובות המיוצגות על ידי מודלי משנה, כולל בחירת יעדים, שעות יציאה, עצירות ביניים ואמצעי נסיעה, כאשר קיימת תלות הדדית בין החלטות אלה לבחירה הכוללת של מבנה הסיור היומי. המודל ניזון מנתוני קלט הכוללים תחזיות אוכלוסייה ומועסקים ורשתות התחבורה, וכולל גם מודל משנה לחיזוי רמת הזמינות לרכב פרטי במשק הבית. המודל נועד לחזות את הנסיעות באמצעים המנועיים ביום ממוצע, עבור תרחיש מסוים המוגדר על ידי תחזית אוכלוסייה ושימושי קרקע ("תחזית אורבנית") (ורשת תחבורה בראייה רב-אמצעית). האמצעים במודל כוללים את הרכב הפרטי, אוטובוס ואמצעי הסעת המונים : רכבת, מטר, רק"ל ו-BRT.

במסגרת העבודה נעשה שימוש בתרחיש הבסיס של המודל לשנת 2040. יחד עם זאת, בשל מורכבות הפרויקט הנוכחי (מתע"ן ברמת המטרופולין), היקפו ועלותו, נבחנו בנוסף לתרחיש הבסיס הקיים במודל מספר תרחישים נוספים, הנותנים ביטוי לחלק מהנחות המודל שזוהו כהנחות קריטיות במסגרת תהליך קבלת ההחלטות של הפרויקט. המודל עודכן על ידי צוות המודל, כדי לאפשר ניתוח של רשת מתע"ן הכוללת גם רק"ל וגם מטר, וזאת על ידי שינוי הפרמטרים המייצגים את האטרקטיביות היחסית ביניהם. הסיבה לכך הייתה כי פרמטרים אלה לא נכללו בגרסה הבסיסית של המודל, היות ותכנית תמ"א/23/א/4 לא כללה רכבת תחתית.

3.6. ההבדל בין מהירות רכב פרטי לתחבורה ציבורית :

בעשורים האחרונים התאפיינה מדינת ישראל בצמיחה כלכלית מואצת, בגידול במספר התושבים ובהרחבת הערים. תשתית התחבורה בכלל והתשתיות המיועדות לתחבורה ציבורית בפרט אינן עומדות בביקושים בשעות שיא הפעילות, ואנו עדים לגידול מתמיד בעומסים בכבישי ישראל. הדבר גורם לפגיעה של ממש בכלכלה ובאיכות החיים של התושבים, עקב אובדן שעות העבודה ושעות הפנאי, הגדלת זיהום האוויר וריבוי תאונות דרכים.

רמת המינוע הנמוכה יחסית שאפיינה (וכנראה עודה מאפיינת) את ישראל, התפתחות מחירה היחסי של הנסיעה ברכב פרטי, הקצב המהיר של גידול האוכלוסייה והתעסוקה, והעובדה שתושבים רבים בחרו להתגורר הרחק ממקומות התעסוקה – כל אלה הולידו לכך שהשימוש בתשתית הכבישים לשם נסיעה ברכב פרטי צמח מהר במרוצת השנים האחרונות. בשני העשורים האחרונים גדלה מצבת כלי הרכב הפרטיים ב-4.2% לשנה והנסועה בהם גדלה ב-4.0%; קצבי

הגידול בעשור האחרון גבוהים מקצביו בעשור שקדם לו. קצבי גידול אלה גבוהים יחסית לנתונים במדינות המפותחות העשירות, והם מחייבים השקעה רבה בתשתיות – אם בתשתיות תחבורה ציבורית שנועדו להאט את קצב הגידול של הנסועה הפרטית ואם בתשתיות כבישים – כדי שהיחס בין רמת התשתית להיקף השימוש בה לא ייפגע, או לפחות לא יידרדר לרמה שבה יעילות הנסיעה בכביש תרד מאוד. עיקר הגודש בדרכים נגרם בשל נסיעה של יוממים בשעות העומס למוקדי התעסוקה המרכזיים ברכב הפרטי. ההערכות הידועות כיום הן שפיצול הנסיעות לעבודה הוא 58% ברכב פרטי, 9% בהסעות, 11% בהליכה, 18% בתחבורה הציבורית (תח"צ, כולל רכבת). הניסיון האמפירי מראה כי יעילות הכביש – במונחי מהירות הנסיעה בו או במונחי מספר המכוניות העוברות בו ביחידת זמן – יורדת באופן לא-לינארי ברגע שהעומס בו חוצה סף מסוים. הירידה ביעילות מובילה לפגיעה הולכת ומחריפה בכלל המשתמשים בכבישים, וכדי להימנע ככל האפשר משיווי משקל בלתי יעיל יש לשנות את המדיניות. המדיניות החדשה צריכה לכלול שילוב בין תמריצים להאט את קצב הגידול של הנסועה במכוניות פרטיות – ייקור של הנסיעה ברכב פרטי והוזלה (בעיקר במונחי זמן) של הנסיעה בתחבורה ציבורית – לבין התאמת קצב הגידול של ההיצע לקצב הגידול של הביקוש. ככל שתינקט מדיניות משמעותית יותר לצמצום הביקוש לנסיעה ברכב פרטי כך יצטמצם הצורך להגדיל את תקציב ההשקעה בתשתיות הכבישים.

4. חלק רביעי-ניתוח:

4.1. שיטת המחקר:

על מנת לבחון את ההשפעות של הרחבת התחבורה הציבורית על שיעור הבעלות על רכבים פרטיים בישראל פותח מודל אקונומטרי ייחודי למדינת ישראל מסוג רגרסיה לינארית אשר תוצאותיו מספקות אומדן לכמות הרכבים לכל 1,000 תושבים (שיעור הבעלות על רכבים פרטיים בישראל) בתרחיש התשתיות והיצע התחבורה הציבורית בשנת 2040. כאשר המשתנה התלוי נבדק בתרחיש "אופטימי" שבו הפרויקט יוצא לפועל כפי שתוכנן באופן מלא לשנת 2040. בנוסף נאמדה השפעת צעדים וכלים שונים במדיניות תחבורתית המשפיעים ביותר על הפחתת שיעור הבעלות על רכבים פרטיים, ובכך על הגודש בכבישים. לאחר אמידת המודל בוצעה תחזית למדד המרכזי - שיעור הבעלות על רכב פרטי בישראל לשנת 2040, ע"י איתור והצבת השינויים הצפויים עקב הרחבת התחבורה הציבורית (להלן – "התקופה הבאה"). כמו כן נעריך תרחיש תחבורתי (תשתיות ותחבורה ציבורית) צפוי בעתיד ונראה את שיעור הבעלות על רכב פרטי הצפוי בישראל בעקבות ההרחבה. לבסוף נוכל להשליך מסקנות על נושאים כלכליים, חברתיים וסביבתיים שונים.

4.2. המודל הכלכלי:

בנייר זה בוצע שימוש במודל שיעור הבעלות על רכב של אכריה ומוריצי (המוצג בפרק הרקע). כאמור מטרת מחקרם הייתה לבדוק גורמים המשפיעים על שיעור הבעלות על רכב פרטי ועל שיעורי השימוש ברכב במטרופולונים שונים בעיקר ברחבי אסיה. במודל קיימים משתנים בלתי תלויים המאפיינים את כמות ואיכות התחבורה הציבורית והתשתיות. כל זאת במטרה לבחון כיצד שינוי של אחד או יותר מן המשתנים צפוי להשפיע על המשתנה התלוי - שיעור הבעלות על רכב פרטי, וכן על המשתנה המשני-שיעור השימוש ברכב פרטי.

בנייר זה בוצעו התאמות שונות על מנת שנוכל להשתמש במודל זה במדינת ישראל. לשם כך נדרשנו לערוך מחקר על פני זמן אשר לוקח כקלט את משתני המודל בנתונים הישראליים. כל זאת במטרה לבדוק איך שינוי של משתנים אלו בשנת 2040 כתוצאה מהפרויקטים התחבורתיים הצפויים ישפיע על כמות הרכבים הפרטיים בישראל בתקופה זו, וכן תדירות השימוש בהם.

המשתנים המסבירים במודל הישראלי הם: צפיפות עירונית (UD), הכנסה ממוצעת ריאלית (INC), מהירות ממוצעת בכבישים (RDS), עלות שימוש עבור רכב פרטי - UCC (שקל/ק"מ), רשת רכבת ישראל (RLN - ק"מ), מספר אוטובוסים (BUS), מספר חניונים בת"א (PRK) וההבדל בין עלות השימוש ברכב פרטי לעלות השימוש בתחבורה ציבורית (UCD). כמו כן המשתנה המוסבר: שיעור הבעלות על רכבים פרטיים (CW) ובנוסף כמשתנה מוסבר משני נבחן שיעור השימוש בהם (CU).

המדגם כולל את נתוני המשתנים המפורטים מעלה באופן רבעוני במדינת ישראל לאורך השנים 2005-2021.

לאחר הסבתו של המודל האסימטרי למודל ישראלי בדקנו את השאלה העומדת בראש המחקר באמצעות מודל אמפירי.

4.3. השערות המחקר:

ממחקרים קודמים עולה קשר שלילי בין איכות תחבורה ציבורית לבין בעלות על רכב. באופן הגיוני כשיש תחבורה ציבורית טובה, שאכן יכולה להוות תחליף לרכב פרטי, ייתכן כי חלק מהאנשים יוותרו על בעלות רכב ובעיקר על רכב שני במשפחה. ממחקר המקור האסימטרי נמצא כי קיים קשר שלילי מובהק בין אורך מסילות הרכבת לבין שיעור בעלות על רכב והשימוש בו. ממצא זה הגיוני כך שבבסיס השערת מחקרנו נניח קשר שלילי בין משתני תחבורה ציבורית כמותיים (כמו: אורך מסילות רכבת ישראל ומספר אוטובוסים) לבין שיעור הבעלות.

כמו כן, במחקר האסימטרי נמצא כי רמת ההכנסה משפיעה חיובית על שיעור הבעלות על רכב, ולכן גם במחקרנו נניח כי ככל שההכנסה לנפש בישראל גבוהה יותר, כך יותר פרטים יכולים להרשות לעצמם לרכוש רכב פרטי.

לסיכום, לאור הממצאים שמצאנו בסקירת הספרות ובפרט במודל "הדגל" האסימטרי, ההשערה המרכזית במחקר היא הפרויקטים התחבורתיים ל-2040 צפויים להוריד את שיעור הבעלות וכן את שיעור השימוש ברכבים פרטיים.

4.4. הליך בניית מסד הנתונים:

לשם ביצוע המחקר נדרשנו להעריך את היקף הביקושים וההיצעים לתחבורה ציבורית ופרטית בהיסטוריית מדינת ישראל, וכן את איכות התשתיות בדרכים. בנייר זה בוצע שימוש במקורות שונים המפרסמים נתונים תחבורתיים היסטוריים במדינת ישראל. מקורות אלו כוללים את הלמ"ס, משרד התחבורה, הרשות הארצית לתחבורה ציבורית, המכון לחקר התחבורה (הטכניון), מערכות "תלתן" ו"חצב" – מאגרי מידע ממשלתיים המכילים נתוני תשתיות, דרכים ופריסת תחבורה ציבורית לפי מיקום. במאגרים אלו ניתן למצוא מפה חזויה

לשנת 2040 ע"פ תרחיש הצלחה מלאה של הפרויקט התחבורתי המתוכנן - (כפי שפורט בפרק הרקע בתת פרק 3.2) .

מאחר ומודל "הדגל" של המחקר נאמד בשנת 2007 (ראה הרחבה בפרק 4.2) באזור אסיה, נדרשנו לבצע התאמות ייחודיות למדינת ישראל בבניית מסגרת הנתונים. התאמות אלו כוללות בעיקר מעבר ליחידות המידה הרלוונטיות לישראל (לדוגמא: לשם מדידת הצפיפות-השתמשנו ביחידת מידה קמ"ר במחקרנו כתחליף להאקטר במודל המקורי). כמו כן, בוצעו מספר שינויים ממשיים במשתנים בהתאם לנתונים הקיימים במדינת ישראל (לדוגמא: בהתייחס למשתנה המודד היצע חניה- במחקרנו הוא מספר החניונים בעיר ת"א כתחליף למספר חניות לכל 1000 מטר במרכזים העסקיים במודל המקורי) .

יש לציין כי ישנם מספר משתנים להם אין נתונים רבעוניים (ואף שנתיים) בתקופה הנאמדת במדינת ישראל ולכן הם לא הוכנסו למודל. משתנים אלו הם: ההבדל בין מהירות ממוצעת של חלופה פרטית לציבורית, ולפיכך התייחסנו להבדל זה באופן כוללני בפרק הרקע (ראה 3.6) .

משתנה נוסף שלגביו לא אין נתונים לאורך השנים הוא אורך נת"צ בק"מ ובמקומו נאמד המשתנה - אורך סלילת כבישים חדשים בק"מ (RD). אנו סבורים כי משתנה זה אינו מהווה אומדן אופטימלי למשתנה הנת"צ .

רוב משתני המודל הינם משתנים אשר חושבו ממשתני בסיס. לדוגמא: צפיפות (UD) - מספר אנשים לכל ק"מ. לשם כך, חילקנו את מספר האנשים בכל רבעון בשטח מדינת ישראל. לבסוף קיבלנו מסד נתונים ע"פ זמן לתקופות רבעוניות בשנים 2005-2021 אשר בו 11 משתנים על פני 68 רבעונים- קרי, 748 תצפיות.

להלן כלל המשתנים **הבסיסיים** שאותרו לצורך חישובי משתני המודל:

משתנה	תיאור	משתנה	תיאור
Population	אוכלוסייה	RD	אורך סלילת כבישים חדשים (ק"מ)
BUS	מספר אוטובוסים	RDS	מהירות ממוצעת בכבישים (קמ"ש)
CAR	מספר כלי רכב פרטיים	USB	עלות שימוש באוטובוס (ש"ח/ק"מ)
INC	הכנסה ממוצעת ריאלית (ש"ח)	UCC	עלות שימוש ברכב פרטי (ש"ח/ק"מ)
RLN	אורך מסילות רכבת ישראל (בק"מ)	PRK	מספר חניונים בת"א
		ACU	נסועה ממוצעת לכלי רכב פרטי (ק"מ)

להלן המשתנים הסופיים שהוכנסו לרגרסיות, לאחר חישובים והמרות נדרשות המפורטים בטבלה:

משתנה	תיאור	חישוב	משתנה	תיאור
CW	שיעור בעלות על רכבים פרטיים (מספר רכבים לכל 1,000 אנשים)	CAR/Population	INC	הכנסה ממוצעת ריאלית (ש"ח)
CU	שיעור השימוש ברכב פרטי	Car/ACU	PRK	מספר חניונים בת"א
UD	צפיפות	קמ"ר 22,145/Population	RLN	אורך מסילות רכבת ישראל (בק"מ)
BUS	מספר אוטובוסים לכל מיליון אנשים	קמ"ר 22,145/Population	RDS	מהירות ממוצעת בכבישים (קמ"ש)
UCD	הפרש עלויות חלופה פרטית וציבורית	USB-UCC	UCC	עלות שימוש ברכב פרטי (ש"ח/ק"מ)
RD	אורך סלילת כבישים חדשים (ק"מ)			

4.5. אופן ביצוע המחקר:

על מנת לבחון כיצד תשפיעה הרחבת התחבורה הציבורית על שיעור הבעלות על רכב פרטי, הוחלט בשלב הראשון לאמוד מודל של רגרסיה לינארית ובשלב השני לחשב את ערך המשתנה המנובא ($\hat{Y}$) של שיעור הבעלות על רכבים פרטיים בשנת 2040 כתלות בתרחיש שבו כלל הפרויקטים התחבורתיים המתוכננים אכן יוצאים לפועל. כדי לבדוק את הקשר בין שיעור הבעלות (CW) למשתנים השונים, ואת שיעור השימוש בו (CU), ועל מנת להימנע ממולטי-קולינאריות בוצעו מספר רגרסיות שונות, בחלקן המשתנה המנובא הינו שיעור הבעלות (CW) וביתר שיעור השימוש ברכב פרטי (CU):

1. משוואות הרגרסיה:

$$a) \quad CW_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot INC_t + \beta_2 \cdot BUS_t + \beta_3 \cdot UCC_t + \beta_4 \cdot RDS_t + u_t$$

$$b) \quad CW_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot PRK_t + \beta_2 \cdot UCD_t + \beta_3 \cdot RD_t + u_t$$

$$c) \quad CU_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot UD_t + \beta_2 \cdot INC_t + \beta_3 \cdot RLN_t + \beta_4 \cdot UCC_t + \beta_5 \cdot RDS_t + u_t$$

$$d) \quad CU_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot UD_t + \beta_2 \cdot PRK_t + \beta_3 \cdot UCD_t$$

כאשר: האינדיקטור t מציין רבעון וכן יהיה $t=1,2,\dots,68$

בשלב השני ביצענו חישוב של הערך המנובא בכל משוואה נאמדת ($\hat{Y}$) בהינתן התרחיש התחבורתי הצפוי בשנת 2040 ("התקופה הבאה"), תרחיש זה נמדד באיכות והיצע התחבורה הציבורית והתשתיות המתוכננים לעתיד. כלומר פותח המודל הבא לכל משוואה.

2. משוואות הערך המנובא:

- a) $\widehat{CW}_{2040} = Y_0 + Y_1 \cdot INC_{2040} + Y_2 \cdot BUS_{2040} + Y_3 \cdot UCC_{2040} + Y_4 \cdot RDS_{2040} + \Psi_{2040}$
- b) $\widehat{CW}_{2040} = Y_0 + Y_1 \cdot PRK_{2040} + Y_2 \cdot UCD_{2040} + Y_3 \cdot RD_{2040} + \Psi_{2040}$
- c) $\widehat{CU}_{2040} = Y_0 + Y_1 \cdot UD_{2040} + Y_2 \cdot INC_{2040} + Y_3 \cdot RLN_{2040} + Y_4 \cdot UCC_{2040} + Y_5 \cdot RDS_{2040} + \Psi_{2040}$
- d) $\widehat{CU}_{2040} = Y_0 + Y_1 \cdot UD_{2040} + Y_2 \cdot PRK_{2040} + Y_3 \cdot UCD_{2040} + \Psi_{2040}$

מודל זה נבדק תחת תרחיש תחבורתי צפוי של הפרויקטים התחבורתיים המתוכננים ל-2040. כלומר, המודל נבדק תחת ערכי משתנים חזויים לשנת 2040. ערכי המשתנים המסבירים לשנת 2040 יובאו למודל בשתי דרכים:

1. למשתנים אשר היה לגביהם מידע לשנת 2040 במאגרים השונים, הצבנו את הערך החזוי להם במשוואות הנ"ל.
2. למשתנים אשר לגביהם לא היה כל מידע לשנת 2040 במאגרים השונים ביצענו תחזית רגילה ל-2040 ע"פ שיעור השינוי הממוצע לאורך השנים שנבדקו במסגרת.

לבסוף, כאשר נמצאו בידנו ערכים מספריים של כלל המשתנים לשנת 2040, בוצע חישוב (ידני) של הערך המנובא על ידי הצבה בכל משוואה בנפרד. כך התקבלו שיעור הבעלות (CW) ושיעור השימוש (CU) החזויים לשנת 2040. כמו כן, הערך המנובא במשוואה השנייה לכל מודל מחושב לפי כמות הרכבים והנסועה הצפויים לשנת 2040, כפי שחושבו במודל (1) בתקופת האמידה.

יש לציין כי במחקרנו יושם דגש רב יותר על תוצאות המשוואה הראשונה וכיווני המקדמים במשוואות השונות לשם חיזוי המשתנים המוסברים ל-2040. תוצאות המשוואה השנייה מראות נתונים מספריים ממשיים של שיעור הבעלות והשימוש ברכב ולכן יש לראותן כמסייעות לקבלת אומדן שיעור הבעלות והשימוש לשנת 2040 בהינתן המחקר שבוצע.

4.6. תוצאות המחקר :

טבלה 1 - תוצאות הרגרסיה (סדרת משוואות 1):

Table 1 Reression results for car ownership and car use				
	Dependent Variables			
	Car ownership (CW)		Car Use rate (CU)	
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Const	*** -0.002	*** -0.004	*** -1.71	*** -0.947
INC	* 0.00000008		*** 0.00002	
BUS	*** 1.098			
UCC	*** 0.0003		0.0333	
RDS	** 0.0000009			
PRK		*** 0.0001		*** -0.017
UCD		*** 0.0002		*** 0.015
RDS		0.0000001	*** -0.0052	
UD			* 0.0078	** 0.001
RLN			*** 0.0001	

כפי שניתן לראות בטבלה 1, במשוואה הראשונה (Model 1) שנבדקה כל המשתנים יצאו מובהקים ברמת מובהקות של לפחות 95%. ניתן לראות כי מקדם המשתנה BUS הינו חיובי וממצא זה נוגד את השערת המחקר שמתבססת על מודל המקור האסימטרי. כאמור, ציינו כי באופן די הגיוני ככל שיש יותר אמצעי תחבורה (כגון אוטובוסים) שיעור הבעלות צפוי לרדת ולכן המקדם צפוי להיות שלילי. במודל שבדקנו ניתן לראות כי המקדם חיובי. כל שאר המשתנים אכן תואמים להנחות הבסיסיות: ההכנסה מתואמת חיובית עם שיעור הבעלות, כך גם המהירות הממוצעת בכבישים וכן עלות השימוש ברכב פרטי.

באשר לשיעור הבעלות החזוי תחת המודל הראשון, ניתן לראות כי הפרויקטים

התחבורתיים לשנת 2040 אינם צפויים להשפיע באופן ממשי על שיעור הבעלות. נכון לרבעון השלישי של שנת 2021 שיעור הבעלות עומד על 0.00352, כמו כן ע"פ תוצאות החיזוי מדד זה צפוי לגדול ולעמוד על 0.00385 בשנת 2040 (חישוב התחזית בנספחים), ביחס ל-0.00352 בשנת 2021.

תוצאות המודל השני (Model 2), אשר גם בו נבדק הקשר בין משתנים תחבורתיים כמו: מספר החניונים בת"א (PRK), הבדל בין עלות שימוש של חלופה ציבורית לפרטית (UCD) ואורך סלילת כבישים חדשים בק"מ (RD), כאשר המשתנה המוסבר הוא שיעור הבעלות על רכב פרטי בישראל, מצביעות על כך שלמספר החניונים יש השפעה חיובית על שיעור הבעלות - באופן די הגיוני ככל היצע החניות במטרופולין גדל, כך ישנה לגיטימציה לתושביו להשתמש ברכבם הפרטי. כך גם לגבי משתנה אורך סלילת כבישים חדשים, נמצא קשר חיובי בינו לבין שיעור הבעלות על רכב שכן גן הוא משתנה היצע. לגבי הבדל עלויות בין חלופה פרטית לציבורית נמצא קשר חיובי - כאמור משתנה זה חושב כעלות השימוש ברכב פרטי בניכוי עלות השימוש באוטובוס. לפיכך, באופן הגיוני ככל שהפרש זה גדל כך שיעור הבעלות על רכבים פרטיים עולה. תוצאות החיזוי של מודל זה לשנת 2040 מצביעות, בניגוד למודל הראשון, על ירידה בשיעור הבעלות במודל זה. מדד זה צפוי לקטון ולעמוד על 0.00313 בשנת 2040 בהינתן המשתנים המפקחים שבחרנו (חישוב התחזית בטבלה 2), ביחס ל-0.00352 בשנת 2021.

טבלה 2 - חישוב תוצאות החיזוי ל-2040 (סדרת משוואות 2):

בכל משוואה ("model"):

העמודה השמאלית בכל משוואה - ערך המשתנה החזוי ל-2040

העמודה הימנית בכל משוואה - האומדן למקדם של המשתנה מהמשוואה הראשונה

2021Q3				2021Q3			
CW= 0.00352				CU= 2.350811			
2040-Model 1		2040-Model 2		2040-Model 3		2040-Model 4	
	-0.002		-0.004		-1.71		-0.947
14115.94	0.00000008			14115.94	0.00002		
0.003668	1.098						
2.095363	0.0003			2.095363	0.0333		
77	0.0000009						
		70	0.0001			70	-0.017
		0.13663541	0.0002			0.136635	0.015
		993.8424307	0.0000001	993.8424	-0.0052		
				587.04	0.0078	587.04	0.001
				3021	0.0001		
CW= 0.00385		CW= 0.0031267		CU= -1.64487		CU= -1.54791	
Car ownership (CW)- 2040				Car Use rate (CU)-2040			

לאחר שנבדקו שתי רגרסיות בעלות משתנים מפקחים שונים כאשר בהן המשתנה המוסבר היה המשתנה הראשי של המחקר, קרי שיעור הבעלות, בחרנו לבדוק שני מודלים נוספים אשר בהם המשתנה המוסבר הוא שיעור השימוש ברכב פרטי (CU) שכן גם מדד זה צפוי לתת הערכה כוללת לגבי תמונת המצב התחבורתית לשנת 2040.

במודל השלישי (Model 3) נבדק הקשר בין שיעור השימוש ברכב פרטי (CU) לבין מספר משתנים מפקחים כמו: הכנסה ריאלית

ממוצעת, אורך פסי רכבת, מהירות ממוצעת בכבישים, צפיפות ועלות שימוש ברכב פרטי (משוואה c בפרק 4.5). תוצאות המודל מצביעות על קשר חיובי בין כלל משתני המודל לבין שיעור השימוש ברכב פרטי. הצפיפות במדינת ישראל הוא אחד הגורמים הראשיים לגודש בכבישים (כפי שהוצג בפרק הרקע) ולכן באופן צפוי התוצאות מצביעות על השפעה חיובית ומובהקת על שיעור השימוש ובאופן הגיוני גם על שיעור הבעלות. באשר למשתנה ההכנסה, נמצא קשר חיובי ומובהק בין ההכנסה ההכנסה הריאלית הממוצעת לבין שיעור השימוש ברכב פרטי, ממצא זה נגזר מהקשר החיובי בין משתנה זה לבין המשתנה הראשי במחקר - שיעור הבעלות, שכן באופן הגיוני ובהתאם להשערות המחקר - ככל שהכנסתו של פרט גבוהה יותר כך סביר שירכוש רכב וכך גם לגבי הכנסה כוללת של משק בית המעלה את הסיכוי לרכישת יותר מרכב אחד במשפחה. לכן סביר כי שיעור השימוש ברכב יהיה גבוה יותר בהתאמה. בנוסף, נמצא קשר חיובי בין אורך פסי רכב ישראל עלות השימוש ברכב לבין שיעור השימוש בו. כמו כן, נמצא קשר שלילי ומובהק בין המהירות הממוצעת בכבישי ישראל לבין שיעור השימוש ברכב פרטי. נזכור כי המהירות הממוצעת מתייחסת לכלל כלי הרכב בישראל כולל תחבורה ציבורית. תחזית מודל זה מרמזת על ירידה בשיעור השימוש ברכב, מדד זה יעמוד ע"פ תוצאות המודל על -1.6 וזאת לעומת 2.3 בשנת 2021.

במודל הרביעי והאחרון (Model 4) נבדק הקשר בין שיעור השימוש ברכב פרטי לבין הצפיפות, מספר החניונים בת"א וההבדל בין עלויות החלופות (תחבורה ציבורית ופרטית). גם במודל זה נמצא קשר חיובי ומובהק בין משתנה השימוש ברכב לבין הצפיפות, כמו כן נמצא קשר שלילי בין מספר החניות בת"א לבין שיעור השימוש ברכב פרטי. באשר למשתנה העלויות, נמצא קשר חיובי בינו לבין משתנה המודל.

תחזית מודל זה מרמזת על ירידה בשיעור השימוש ברכב, לפי תוצאות התחזית מדד זה יעמוד ע"פ תוצאות המודל על -1.5 וזאת לעומת 2.3 בשנת 2021.

5. חלק חמישי -דיון ומסקנות :

5.1. מסקנות

1. שיעור הבעלות על רכב : מסקירת הספרות וכן מתוצאות המודל ניתן להבחין כי הביקוש לתחבורה פרטית במדינת ישראל הינו קשיח . אזרחי מדינת ישראל אינם מוותרים על רכב בבעלות פרטית ואינם מסתפקים ברכב משפחתי שיתופי כפי שהיה בעבר. לכן ירידה דרסטית בשיעור הבעלות ב-2040 הינה מוטלת בספק למרות הפרויקטים התחבורתיים הצפויים. ניתן לחזות תרחיש "אופטימי" בו תהיה ירידה בשיעור הבעלות אך הקו הכללי לא מרמז על כך ברוב משוואות המודל .

2. שיעור השימוש ברכב : מדד זה מתואם עם שיעור הבעלות ולכן ככל שירכשו יותר רכבים סביר כי השימוש בהם ילך ויגבר. לפיתוח איכות התשתיות והכבישים יש משמעות רבה בהפחתת שיעור השימוש ברכב, שכן אמנם אזרחי ישראל לא יוותרו כלל על בעלות רכב פרטי אך כן יבחרו להשאירו בבית ביציאתם ליום עבודה במידה והתשתיות יהיו מספיק טובות , במיוחד אלו של התחבורה הציבורית, כך שהם יוכלו להגיע לעבודה בזמן קצר יותר. יש לציין כי גם לאיכות השירות והנגישות בתחבורה הציבורית יש משמעות רבה בבחירת הפרט בתחילת היום האם לבחור ברכב או פרטי או להשאירו בבית ולהשתמש בשירותי תחבורה ציבורית . באם שירותים אלו יהיו מספיק איכותיים ונגישים הסיכוי שהפרט יבחר בכך יעלה .

3. קצב גידול האוכלוסייה : ע"פ התחזיות אוכלוסיית ישראל צפויה לגדול לכ-13 מיליון תושבים בשנת 2040. דבר זה מתבטא במודל בעליית הצפיפות העירונית. כפי שראינו למשתנה זה השפעה חיובית על שיעור השימוש ברכב פרטי במדינת ישראל , ולכן גם משתנה זה מרמז על כך שיש להשקיע רבות בפיתוח התשתיות והנגישות לתחבורה ציבורית כך שהם "יחפזו" על הצפיפות שתשרור בשטח המטרופולין.

4. חניונים במטרופולין ת"א : פרויקטים השקעה ופיתוח בחניונים גדולים הנמצאים בפתח שטחי המטרופולין הינם הכרחיים וצפויים להקל על הצפיפות העירונית והגודש בכבישים. ראינו כי ישנה השפעה שלילית למספר החניונים בת"א על שיעור השימוש ברכב פרטי, ולכן השקעה בחניונים גדולים , מרווחים ונוחים (כגון "חנה וסע" של הנתבי המהיר לת"א) הם הכרחיים ומהווים פתרון משלים לפיתוח קווי המטרו והרכבת הקלה.

5. עלות התחבורה הציבורית לציבור : ע"פ ממצאי המחקר נמצא קשר חיובי והפוך מהצפוי בין המשתנה המתייחס להבדל העלויות בין החלופות (ציבורית ופרטית) - UCD לבין המשתנה שיעור השימוש ברכב פרטי . ניתן להסיק כי אין כל השפעה להורדת מחירי התחבורה הציבורית על שיעור השימוש ברכב בקרב הציבור הישראלי . כמו כן , ניתן לאפיין את הביקוש לשימוש ברכבים פרטיים בישראל כביקוש קשיח לחלוטין , ולכן סביר כי לא תהיה כל השפעה להורדת מחירי התחבורה הציבורית על השימוש בו , ואף סביר כי אפילו הורדת מחירי התחבורה הציבורית לרמה חנימית לא תשפיעה על שיעור השימוש ברכב פרטי בישראל .

6. הכנסה למשק בית: באופן הגיוני למדי, ככל שההכנסה הממוצעת למשק הבית תעלה כך שיעור הבעלות על רכב יעלה וכן השימוש בו. ההכנסה הממוצעת מרמזת על מגמת עליה עתידית ולכן גם משתנה זה מהווה "טריגר" משמעותי נוסף לכך ששיעור הבעלות לא יקטן לנוכח ולמרות הפרויקטים התחבורתיים הצפויים ב-2040. הפתרון לכך הוא השקעה במערכת הציבורית בכל הפרמטרים שנאמרו לעיל.

5.2. המלצות למדיניות

1. השקעה באיכות התחבורה הציבורית: יש להתמקד בהשקעה בצד איכות התחבורה הציבורית ולא רק בצד ההיצע. הגדלת כמות קווי הרכבת, האוטובוסים ומספרם כפי שמתוכנן אכן צפויה להטיב עם ההשלכות של הגודש בכבישים, אך אנו סבורים כי התמקדות יעילה תהיה באיכותה. למשל: נגישות לתחנות האוטובוסים והרכבות, תדירות וזמנים נוחים לאזרחים, מיקום תחנות בצורה נוחה ונגישה, בירוקרטיה קלה יותר לשימוש בתחבורה ציבורית - למשל "חופשי חודשי" בכל מערכת התחבורה הציבורית כפי שיש באוסטרליה, השקעה בתשתיות ודרכים ואף שבילי אופניים ונת"צ.

2. הסברה והכוונה: על משרד התחבורה והרשות הארצית לתחבורה ציבורית בפרט להיות הגוף האחראי להסברה והכוונה הציבור להפחתת השימוש ברכב פרטי כל עוד זה מתאפשר לתושב. כמו כן, עליו להסביר את החשיבות בהסתפקות בכמות מינימלית לרכבים פרטיים למשק בית וכן את ההשלכות ההרסניות ברכישת רכב פרטי לכל נפש במשק בית. בנוסף, מוטב שיסביר את החשיבות בצמצום השימוש ברכב פרטי במידת האפשר (למשל קו קבוע למקום העבודה).

3. הפרדה מוחלטת בין נסיעות צבאיות לאזרחיות בימי ראשון וחמישי: כידוע אנשי ביטחון וצבא תופסים נתח רחב מאזרחי ישראל בשל אופי צבא החובה והקבע הקיים במדינתנו. מאז ומתמיד ישנה תנועה גדולה מאוד של חיילים בשירות סדיר השבים לבסיסים או לחילופין עושים דרכם הביתה בתחילת ובסופי שבוע. המלצתנו היא להקים רשת תחבורה צבאית ייחודית הכוללת בעיקר אוטובוסים ו/או קווי רכבת היוצאים אך ורק בשעות הבוקר המוקדמות בהן יש תנועת אזרחים דלילה. כל זאת על מנת לווסת את תנועת המתניידים ברחבי המטרופולין לצמצום מקסימלי של הגודש בכבישים.

4. חניה במטרופולין בת"א: יש להתמקד בניהול הביקוש לחניה ולא רק בהגדלת ההיצע. ע"פ פרופ' עומר מואב, הגדלת כמות החניות בת"א הינה פתרון שאינו מספיק מאחר ותושבי העיר מתנהגים כבעלי ביקוש קשיח לחניה בקרבת ביתם. ניהול צד הביקוש עשוי להתבצע על ידי ביטול חניה חינם לבעלי תו תושב ת"א וקביעת מחיר חניה סמלי גם לתושבי ת"א (למשל 0.5 ש"ח לשעת חניה). כך ע"י קביעת "תג מחיר" לחניות ברחבי המטרופולין נוכל לקבל הקצאה יעילה שבה הפרטים שלהם הנכונות לשלם מחיר מזערי זה יחננו את רכבם לזמן מוגבל, ואלו שלא, ישאירו חניה פנויה לבאי המטרופולין מבחוץ.

5. שילוב אגרות גודש: יש לשלב אגרות גודש עם החלת הפרויקטים התחבורתיים ב-2040 כפתרון משלים אליהם. אנו סבורים כי רק השקעה בפרויקטים אינה מספיקה כדי להקל בגודש בכבישים והשלכותיו ולכן יש לבחון שילוב אמצעי זה.

6.רשימת מקורות

- בנק ישראל-חטיבת המחקר, התחבורה הפרטית בישראל: ניתוח ההתפתחויות בשני העשורים האחרונים, 2019
- הלמ"ס. רבעון לסטטיסטיקה של תחבורה, כלי רכב מנועיים, 2000-2021
- הלמ"ס. סלילת, הרחבה ושיקום כבישים, סלילת כבישים חדשים, 2000-2021
- הלמ"ס. תעסוקה ושכר, על פי המוסד לביטוח לאומי, שכר חודשי ממוצע למשרת שכיר (עובדים ישראלים בלבד), נתונים על סמך מערכת עיבודים משנת 2005
- הלמ"ס. תחבורה ותקשורת, שירותי אוטובוסים בקוויים קבועים, פדיון ממוצע לק"מ נסיעה, 2008-2021
- המכון לחקר התחבורה. הטכניון. סקר ארצי של מהירויות נסיעה בישראל
- הרשות הארצית לתחבורה ציבורית, מערכת תלתן
- זיו, ס. שפיר, א. (2020). ההשפעות הכלכליות של ההשקעה במטרו על פריון והתוצר, 3-4
- משרד האוצר, מטרו גוש דן ההשפעות הכלכליות, החברתיות והאורבניות, 6, 106-109
- משרד האוצר, אגף התקציבים, התכנית להפחתת הגודש בגוש דן, כנס יום תחבורה ציבורית 2021
- משרד התחבורה והבטיחות בדרכים, מערכת חצב
- משרד ראש הממשלה, לקראת 2040-פיתוח כלכלי בראייה מטרופולינית, 2018
- AchARYA, S. R., & MoRichi, S. (2007). Motorization and role of mass rapid transit in East Asian megacities. *IATSS research*, 31(2), 6-16.
- Kreindler, G. E. (2018). Essays on the economics of urban transportation (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology), 13-20.
- Mulalic, I., Pilegaard, N., & Rouwendal, J. (2016). Does improving public transport decrease car ownership? Evidence from the Copenhagen Metropolitan Area, 3
- Van Oort, N. (2011). Service reliability and urban public transport design, 1-5

7. נספחים

1. תוצאות מודל המקור - אכריה ומוריצי (2007):

Table 1 Regression results for car ownership and car use rate

	Dependent variables			
	Car ownership rate (CW)		Car use rate (CU)	
	Model-1	Model-2	Model-3	Model-4
Const	141 (85)*	317 (55)**	9476 (3373)**	14439 (1649)**
UD	-0.66 (0.22)**	-1.36 (0.27)**	-4.80 (8.88)	-19.07 (7.95)**
INC	0.012 (0.002)**		0.205 (0.080)**	
RDS	2.88 (1.96)		169.5 (78.2)**	
UCC	-149 (131)		-15118 (5221)**	
RLN	-0.10 (0.03)**		-2.80 (1.38)**	
BUS	-0.0002 (0.030)		-0.7037 (1.185)	
PRK		0.078 (0.07)		3.62 (2.07)*
PT		0.0029 (0.0045)		-0.2247 (0.1343)*
UCD		264.28 (177)		-6994.04 (5269)
SPD		4.07 (2.5)*		142.05 (74.1)*
R2	0.77	0.53	0.5	0.43
No of obs	54	54	54	54

Numbers in parentheses are standard errors

** Significant at 5 % confidence level

* Significant at 10 % confidence level

2. תוצאות המחקר בתוכנת R-ה:

משוואה 1: (משתנה מוסבר – שיעור הבעלות (CW)

call:

```
lm(formula = CW ~ INC + BUS + UCC + RDS, data = data)
```

Residuals:

```
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.000042492 -0.000020467  0.000003423  0.000018901  0.000041138
```

Coefficients:

```
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.00145092175  0.00032305569  -4.491  0.000119
INC          0.00000008469  0.00000003877   2.184  0.037785
BUS          1.09802219641  0.07369901476  14.899  0.00000000000000152
UCC          0.00030240629  0.00005122792   5.903  0.0000027317578026
RDS          0.00000913921  0.00000328393   2.783  0.009711
```

(Intercept) ***

INC *

BUS ***

UCC ***

RDS **

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

משוואה 2: (משתנה מוסבר – שיעור הבעלות (CW)

```
Call:
lm(formula = CW ~ PRK + UCD + RD, data = data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.000136437 -0.000041678  0.000009992  0.000031271  0.000145441

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.0039950923  0.0005452559  -7.327  0.00000001228 ***
PRK          0.0001084695  0.0000072054  15.054 < 0.0000000000000002 ***
UCD          0.0001548233  0.0000204316   7.578  0.00000000582 ***
RD           0.0000011996  0.0000008622   1.391    0.173
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.00007008 on 36 degrees of freedom
(27 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.9229,    Adjusted R-squared:  0.9165
F-statistic: 143.6 on 3 and 36 DF,  p-value: < 0.00000000000000022
```

משוואה 3: (משתנה מוסבר – שיעור השימוש (CU)

```
Call:
lm(formula = CU ~ UD + INC + RLN + UCC + RDS, data = data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.0120885 -0.0034355  0.0009206  0.0031274  0.0101964

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -1.71002268  0.21218769  -8.059 0.0000000154078127 ***
UD           0.00779166  0.00051262  15.200 0.0000000000000189 ***
INC           0.00001618  0.00001337   1.210    0.237261
RLN           0.00038268  0.00009136   4.189    0.000286 ***
UCC           0.03327780  0.01534124   2.169    0.039398 *
RDS          -0.00516409  0.00099656  -5.182 0.0000208055954066 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.006123 on 26 degrees of freedom
(35 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.9992,    Adjusted R-squared:  0.9991
F-statistic: 6744 on 5 and 26 DF,  p-value: < 0.00000000000000022
```

משוואה 4: (משתנה מוסבר – שיעור השימוש (CU)

```
Call:
lm(formula = CU ~ UD + PRK + UCD, data = data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.018996 -0.007314  0.001217  0.006727  0.018450

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.9467211  0.1061451  -8.919  0.000000000012 ***
UD           0.0099691  0.0002694  37.011 < 0.0000000000000002 ***
PRK          -0.0170897  0.0028816  -5.931  0.00000086004 ***
UCD           0.0152990  0.0045756   3.344    0.00194 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.009995 on 36 degrees of freedom
(27 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.9977,    Adjusted R-squared:  0.9975
F-statistic: 5136 on 3 and 36 DF,  p-value: < 0.00000000000000022
```