

## התערבות ותחרות בשוק התחבורה המוטורית IV. הרכבת – חולצת הפקקים של המדינה

מאת

ראובן גרונאו  
האוניברסיטה העברית בירושלים

### תקציר

שני העשורים האחרונים היו שנות עדנה לשירותי הנוסעים ברכבת ישראל. לאחר שנים רבות, בהן הלך הביקוש לשירותיה הלוך והתדרדר, התהפכה המגמה ובעשרים השנים האחרונות גדל מספר הנוסעים ברכבת פי 10. הגדלת הביקוש הייתה תוצאה של שדרוג הרשת והרחבתה ושדרוג הציוד בהשקעה של 17 מיליארד ₪. על אף המשקל המצומצם שיש להובלה המסילתית בתחבורה הבינעירונית (כ-3.5 אחוז), נתפסת הרכבת, לא אחת, כפיתרון לכל תחלואי המערכת המוטורית: מפגעי סביבה ותאונות דרכים ואמצעי לחילוץ הפקקים בשעות העומס בכניסה לערים הגדולות. מעבר לכך, הרכבת נתפסת כפתרון למצוקת התעסוקה בפריפריה, וההשקעה במסילה מוצגת כתחליף להשקעה במקומות תעסוקה בצפון ובדרום. בדיון הציבורי לא מוזכרת העלות שמטילה הפעלת הרכבת על המשק ועל משלם המסים המממן את ההשקעה וגירעונות התפעול. הבדיקה מראה שגם לאחר עשרים שנות צמיחה קו הרכבת היחידי שעומד בקריטריונים של כדאיות כלכלית הוא הקו הוותיק נהריה-תל אביב. הקו באר שבע-תל אביב מתקרב לסף הכדאיות הכלכלית, אך הקווים הפרבריים החדשים רחוקים מאד מסף זה. מיעוט נוסעים הופך הפעלת קווים אלו לבלתי כדאית מנקודת ראות המשק, והשירות הרכבתי אינו עומד בצפיות של שירות מהיר מאמצעי התחבורה המוטוריים המתחרים בו (הרכב הפרטי והאוטובוסים). החיסכון העקיף בזמן כתוצאה מההקלה בגודש הוא אמנם מקור החיסכון העיקרי למשק בתפעול הרכבת, אך אין בחיסכון זה לכסות את פערי העלויות הישירים (עלויות תפעול ונייד ועלויות זמן). אם נוסיף לעלויות אלו את עלות המסילה הרי שהעלות השנתית למשק מתפעול שירותי הרכבת בהיקפם הנוכחי היא 0.8-1.4 מיליארד ₪.

המכון למחקר כלכלי בישראל על-שם מוריס פאלק בע"מ (חל"צ)  
ירושלים, דצמבר 2010 • מאמר לדיון מס' 10.07

## התערבות ותחרות בשוק התחבורה המוטורית

### IV. הרכבת – חולצת הפקקים של המדינה\*

#### פתח דבר בנימה אישית

נושא הגודש בכבישים לא ירד משולחן הדיון הציבורי זה למעלה מעשרים שנה. הפיגור בהשקעות בתשתית הכבישים אחרי הגידול בנסועת הרכב המוטורי הביא להחמרה הולכת וגדלה במצוקה בה חשים משתמשי הכביש. לפני תשע שנים ניסיתי בסדרה של שלושה מאמרים (גרונאו 1997, א', ב', ג') להתחקות אחר היקף הבעיה, והגורמים שתורמו לה.

במאמר הראשון בסדרה "התערבות ותחרות בשוק התחבורה המוטורית" (גרונאו, 1997 א') הראיתי שאין לתלות את הבעיה בגידול חריג בנסיעות. תוצר הענף לא גדל בצורה יוצאת דופן בהשוואה לשאר המשק: הגידול בהובלת הנוסעים גדל על פני ארבעים השנים האחרונות בקצב זהה לגידול הצריכה הפרטית, והגידול בהובלת המשאות גדל בקצב גידול התוצר. את המקור לכשלי שוק יש לחפש, על כן, במאפיינים ספציפיים של שוק הובלת נוסעים ובמחדליה של הממשלה בהתייחסותה למאפיינים אלה.

תהליך הצמיחה והעלייה בשכר ובהכנסה הביאו לעליית ערך הזמן ולהגדלת הביקוש לניידות ופרטיות בתחבורה. לאלה נוספו השינויים במחירים היחסיים. שלושים השנים האחרונות עמדו בסימן ירידת עלות הפעלת הרכב הפרטי (מנקודת ראותו של בעל הרכב) לעומת התחבורה הציבורית. בשינוי זה היה לממשלה תפקיד מכריע. שני העשורים הראשונים לקיום המדינה אופיינו על ידי שיעורי מיסוי גבוהים ביותר על הרכב הפרטי. הקטנת המיסוי הביאה לירידה בעלויות תפעול הרכב בשנים 1973-1991 ב-15 אחוז. מדיניות סובסידיות נדיבה לתחבורה הציבורית תרמה להעלאת שכר ועלויות אחרות בקואופרטיבים לתחבורה. ניסיון לצמצום הסובסידיה בסוף שנות ה-80 הביא להכפלת תעריפי הנסיעה הריאליים באוטובוסים (גרונאו, 1997 ג').

הגידול בהכנסה והשינוי במחירים היחסיים תרמו לגידול חד בתחבורה הפרטית ולשחיקת הביקוש לתחבורה הציבורית. התחלופה מתחבורה ציבורית לרכב פרטי הביאה לירידה חדה ב"פריזון" המערכת. אם ב-1961 הסיע רכב נוסעים (רכב פרטי, מוניות ואוטובוסים) בממוצע 5 נוסעים לכלי רכב, הרי ב-1995 היה מספר הנוסעים לרכב רק 2.2. לשון אחרת נדרשו ב-1995 (בהשוואה ל-1961) פי 2.3 רכבים להסעת אותו מספר נוסעים. אם נוסף לאלה את הגידול בק"מ-נוסעים שגדל באותה תקופה פי 9, ואת הפיגור בהשקעה בכבישים, ששטחם גדל רק פי 3, נבין את הפרמטרים המרכזיים התורמים למצוקת הגודש.<sup>1</sup>

הממשלה לא הצליחה להתמודד עם בעיה זו. על אף ההאצה בהשקעה בכבישים מאז שנות ה-90 פיגר הגידול בשטח הכביש אחרי הגידול בנסיעה, וישראל ניצבת עדיין במקום הראשון בעולם המערבי במונחי ק"מ-רכב לשטח כביש. הממשלה לא ניסתה עד כה לאכוף על הרכב הפרטי אגרות גודש (המקום

---

\* במהלך מחקר זה נהניתי מעזרתם הנדיבה של חיים אבירם, יוסי ברכמן, שוקי כהן, ויהודה מלול, עזרה שהתבטאה הן בהספקת נתונים והן בהערות. מחקר זה לא היה יכול להיכתב אלמלא עזרתו של שלמה בכור שסייע לידי בסבלנות וחריצות בחישוב חלק מהפרמטריים הקריטיים להערכת כדאיות הרכבת. על כל אלה אני מודה להם.

<sup>1</sup> המסקנה באשר לפיגור בהשקעה בתשתיות אחרי הגידול בביקוש לא משתנה גם אם ניקח בחשבון יתרונות לגודל בהשקעה (הכפלת רוחב הכביש מגדילה את קיבולתו ביותר מפי 2) והשקעות המגדילות את הקיבולת אך לא משתקפות במדד שטח הכבישים (כגון, ההשקעה במחלפים).

היחידי בו נאכפה אגרה הוא בכביש מס' 6, אך זו אגרת מימון). כתחליף הסתפקה הממשלה במיסים גבוהים המוטלים על רכישת הרכב והשימוש בו. כפי שהראה מחקרי (גרונאו, 1997 ב') מסי השימוש (ובראש ובראשונה מסי הדלק) היו גבוהים מהנדרש כדי להתמודד עם הגודש בכבישים הבינעירוניים, ונמוכים בצורה משמעותית מהנדרש כדי שעלויות הגודש יגולמו בהחלטות המשתמש בכבישים העירוניים.

מחקריי בשנת 1997 התייחסו רק באופן שולי להובלת הנוסעים באמצעות הרכבת. הטעם להשמטה זו היה פשוט – בשנת 1995 דווחה הרכבת על כרבע מיליארד ק"מ-נוסעים, שהיוו באותה עת פחות מחצי אחוז מתנועת הנוסעים הכללית, ופחות מאחוז מתנועת הנוסעים הבינעירונית. מאז 1988, עת הועברה הרכבת מפיקוחו של משרד התחבורה לרשות הנמלים, חלה אמנם התאוששות בביקוש להובלת נוסעים, שגדל ביותר ממחצית, אך מספר הנוסעים עדיין לא עלה באופן משמעותי על זה של תחילת שנות ה-60, והק"מ-נוסעים היה אף נמוך ממנו.

מאז כתיבת המאמרים חל מהפך בהתפתחותה של רכבת ישראל ובמקום שהיא תופסת בשיח הציבורי. תחת כנפיה של רשות הנמלים (או בשמה החדש, רשות הנמלים והרכבות) גדל מספר הנוסעים פי שמונה. משקלה של הרכבת בהובלת הנוסעים הבינעירוניים, אמנם, עדיין צנוע, אך חל שינוי חד בתדמיתה ובתפישת מקומה בשוק ההובלה היבשתי על ידי מקבלי ההחלטות.

קווי הרכבת מנתניה ומרחובות לתל-אביב הצביעו על הפוטנציאל הגלום ברכבת בפיצוח פקקי התנועה בכניסות לתל-אביב בשעות השיא. השפל הכלכלי בתחילת שנות ה-2000, שפגע בצורה חמורה בפריפריה, הביא לקריאה לחיבור הפריפריה עם המרכז ברשת מסילתית שתאפשר לתושבי אותם אזורים לעבוד במרכז, כתחליף להקמת מקומות עבודה ביישוביהם. בעקבות קו הרכבות מבאר שבע לתל-אביב, הוצע להרחיב מודל זה על ידי חיבור דימונה, כרמיאל, בית שאן ועפולה לרשת הנוסעים הארצית. התדרדרות מצב המסילה הביאה בשנת 1998 להפסקת התנועה של הרכבות לירושלים. העדנה לה זכתה הרכבת עוררה מחדש את תכניות החיבור המסילתי של ירושלים לשפלה, ולא רחק היום בו צצה מחדש התוכנית לחיבור אילת לרשת, תכנית שנפסלה אין סוף פעמים בשנות ה-60 וה-70. על כל אלה נוספה הקריאה של חסידי איכות הסביבה שראו ברכבת פתרון הן לבעיות סביבתיות (רעש וזיהום אויר) והן לבעיית תאונות הדרכים.

תכנית הפיתוח השאפתנית של הרכבת הייתה כבדה מדי גם למשאביה של רשות הנמלים והרכבת הוחזרה לרשות הממשלה. אגף התקציבים במשרד האוצר שבמשך כל השנים היווה גורם בולט לפיתוחה של הרכבת, הפך להיות לשובין תכנית פיתוח רכבות שהתמודדה בהיקפה עם זו של רשת הכבישים הבינעירוניים. על פניו נראה שבהחלטות אלה לא ניתנה תשומת לב מספקת לעובדה שתחת כנפיה של רשות הנמלים גדל הגרעון התפעולי פי 3, ושאם היו תשומות ההון זוכות לתמחור נכון היו הפסדי הרכבת גדלים פי 10 ויותר. המתבונן מהצד עשוי להתרשם שבהכרעות אלו גברו שיקולי פיזור אוכלוסין, איכות סביבה ושיקולים אחרים הקשים לכימות, על השיקול הכלכלי הפשוט. בדיון נשכחה העובדה שפתיחת קווי רכבת חדשים שאינם עומדים במבחן הכלכלי מהווה מחויבות רבת שנים שהממשלה נוטלת על עצמה לסייע לקווים המפסידים. לא הופעל השיקול הסלקטיבי באילו תנאים עדיף לתגבר את מערך הכבישים באלטרנטיבה מסילתית, ובאילו תנאים יש להתבסס באופן בלעדי על מערך הכבישים. במילים אחרות, מעולם לא נבדק בישראל היתרון היחסי של הפתרון המסילתי לעומת זה של כבישים. בדיקה זו היא הנושא של מאמר זה, הרביעי בסדרה.

אסיים בנימה אישית: נושא הכדאיות הכלכלית של רכבות בישראל מהווה עבורי "חזרה למקורות". בשנת 1963 סיימתי את עבודת הגמר במסגרת לימודי המ.א. בכלכלה שעסק בכדאיות

הרכבת באותם ימים. בעבודה הצבעתי על עוותי תמחור שיצרו מצג שווא של כדאיות, כאשר אף אחד מהגופים המעורבים בתהליך: הממשלה, הנהלת הרכבת, הנהלת הנמלים והמובילים לא רואה בפניו את עלות ההובלה למשק. כתוצאה נוצר גל של כשלים, כאשר כל אחד מהגופים מנסה לתקן את העיוותים שהוכנסו על ידי קודמיו בשרשרת ההובלה. הפגמים שנחשפו באותה עבודה לא תוקנו והביאו לדרדורה של רכבת ישראל לשפל ממנו נגאלה על ידי סיפוחה לרשות הנמלים.

למי שעקב אחרי נפילתה ופריחתה של רכבת ישראל על פני השנים נראה שמדיניות ההשקעות הלא מבוקרת זורעת את הזרעים שיניבו את השפל הבא. מן הראוי שתכנית זו תזכה לבדיקה ביקורתית יותר כדי שלא תהיה זו בכייה לדורות.



## א. רכבת ישראל – רקע היסטורי

בעת הקמת המדינה נכלל בשטח מדינת ישראל חלק הארי של רשת המסילות המנדטוריות בארץ ישראל (כ-80 אחוז). במקביל ירשה רכבת ישראל את מרבית הציוד הנייד של הרכבת הארץ ישראלית. עם זאת נדרשו לרכבת כעשור שנים כדי להתאים את קוויה לפיזור האוכלוסין החדש ולסילת מסילת החוף והקו תל-אביב-באר שבע. הרחבת הרשת ושדרוג הציוד לוו בגידול מתמיד בתפוקות, הן בהובלת נוסעים והן בהובלת משאות. הרכבת נהנתה מהמעבר בהובלת מטענים ממשאיות קלות לרכב כבד (גרונאו 1997 א'). בשנים 1960-1987 גדלה הובלת המטענים פי 3.5, והרכבת ביצרה את מעמדה כמוביל למרחקים ארוכים (בעיקר מחצבים והובלות בצובר), כאשר המרחק הממוצע להובלה מגיע ל-150 ק"מ. מאידך, תנועת הנוסעים שגדלה בקצב מהיר בשנות ה-50, נבלמה בתחילת שנות ה-60.<sup>2</sup> מספר הנוסעים הלך והצטמצם ובמקביל הלך והצטמצם מרחק הנסיעה (לוח 1). הירידה בשימוש ברכבת מוסברת על ידי המעבר מרכב ציבורי לרכב פרטי<sup>3</sup> ובהתדרדרות שחלה באיכות השירות של הרכבת (תכיפות הרכבות ומהירותן).

קצבי השינוי השונים בביקושים משתקפים בשינוי חד בהרכב הכנסות הרכבת: אם ב-1960 הוו הכנסות ממטענים מחצית מהכנסות הרכבת, ב-1977 הם הוו 3/4 מהכנסה. במקביל, התדרדר חלקן של הכנסות מנוסעים מ-42 ל-15 אחוז. השינוי הקיצוני בהרכב הכנסות תרם להחלטה ב-1988 להעביר את הרכבת מבעלות ממשלתית לבעלותה של רשות הנמלים. השותפים להחלטה זו היו אגף התקציבים באוצר ורשות הנמלים. משרד האוצר נלאה לכסות את הפסדי הרכבת. ההפסד התפעולי שהציגה הרכבת אמנם לא היה גדול (בודאי, בהשוואה לסובסידיה שקיבלו הקואופרטיבים לתחבורה), אך הפסד זה לא כלל בעלויות השכר את ההפרשה לגמלאות, ולא כלל את עלויות ההון. רשות הנמלים שמחה לאמץ את הרכבת, כאשר ההסבר הרשמי הוא שאחד מהיעדים העיקריים של המטענים (בעיקר המחצבים) הם הנמלים. לא פחות חשוב בעיני הנהלת הרשות היה השיקול שאימוץ הרכבת יסיר מעל הרשות את האיום שאגף התקציבים יפקיע את הרווחים הגדולים שהרשות צברה על פני השנים.<sup>4</sup> השנים הראשונות לתפעולה של הרכבת על ידי הרשות (שהחליפה את שמה ל"רשות הנמלים והרכבות" – רנ"ר) לא היו שנות בשורה לרכבת. מספר הנוסעים אמנם התייצב (כ-2.5 מיליון), אך תוספת המטענים לא הביאה לגידול בהובלה (במונחי טון-ק"מ בתשלום), כתוצאה מקיצור מרחקי הנסיעה.<sup>5</sup> המהפך היחידי היה בתחום ההוצאה. עובדי הרכבת מיהרו להסתגל לסביבתם המונופוליסטית החדשה, ותוך 4 שנים הוכפל השכר הריאלי הממוצע לעובד, ועלויות השכר גדלו ב-70 אחוז. כתוצאה גדל ההפסד התפעולי פי חמישה (לוח 2).

<sup>2</sup> ב-1962/3 דווחה הרכבת על 5.2 מיליון נוסעים ו-417 מיליון נוסע-ק"מ, תפוקה אותה הצליחה הרכבת לשחזר רק במחצית השניה של שנות ה-90.

<sup>3</sup> בתקופה 1960-1990 גדלה התנועה (ק"מ-נוסע) ברכב פרטי פי 20 בעוד התנועה באוטובוסים גדלה רק פי 3 (גרונאו 1997 א', לוח 10).

<sup>4</sup> בשנות ה-80, ובעיקר לאחר הפעלת המדיניות לבלימת האינפלציה עלו הכנסות המימון של הרשות על הכנסותיה מתפעול.

<sup>5</sup> התוספת העיקרית למטענים הייתה הפחם שהובל למרחק קצר – מאשדוד לאשקלון.

לוח 1. מדדי תפעול רכבת ישראל 1949-2007

מדדים (100=1987)		נוסעים			מטענים			אורך המסילה (ק"מ)	
נוסע - ק"מ	טון - ק"מ	מרחק ממוצע לנוסע (ק"מ)	נוסע - ק"מ (מיליונים)	מספר הנוסעים (אלפים)	מרחק ממוצע לטון (ק"מ)	טון - ק"מ (מיליונים)	טון נטו בתשלום (אלפים)		
21.8	3.7	37	38	1,008	78	40	520	290	1949
202.9	20.2	80	350	4,386	111	216	1,949	420	1960
206.1	43.3	87	356	4,113	138	463	3,355	470	1970
182.8	39.0	85	316	3,660	124	417	3,361	484	1975
152.6	77.6	77	264	3,428	154	829	5,392	516	1980
117.9	87.3	72	204	2,814	155	932	6,016	528	1985
100.0	100.0	68	173	2,544	156	1,068	6,851	529	1987
93.3	96.9	64	161	2,495	157	1,035	6,589	575	1988
88.0	96.8	66	152	2,312	155	1,033	6,651	573	1989
98.2	98.1	67	170	2,524	145	1,048	7,219	574	1990
102.9	102.4	62	178	2,883	141	1,093	7,742	574	1991
114.6	102.8	58	198	3,439	131	1,098	8,403	573	1992
123.9	100.4	57	214	3,777	124	1,072	8,668	577	1993
137.8	101.1	56	238	4,281	122	1,079	8,909	596	1994
154.6	110.2	55	267	4,845	125	1,176	9,382	609	1995
169.7	107.9	54	293	5,463	126	1,152	9,111	609	1996
200.4	92.9	58	346	5,918	115	992	8,639	609	1997
221.8	98.3	60	383	6,382	115	1,049	9,155	647	1998
306.3	105.7	60	529	8,785	113	1,128	9,936	663	1999
452.2	109.9	62	781	12,698	114	1,173	10,293	670	2000
556.5	102.8	64	961	15,057	136	1,098	8,100	684	2001
646.2	103.3	64	1,116	17,540	139	1,102	7,889	676	2002
740.0	104.1	65	1,278	19,826	144	1,112	7,731	615	2003
823.9	109.9	62	1,423	22,907	148	1,173	7,920	643	2004
936.9	107.6	60	1,618	26,767	153	1,149	7,492	655	2005
931.7	105.2	57	1,609	28,351	147	1,123	7,642	677	2006
1,062.0	110.2	58	1,834	31,791	148	1,177	7,929	685	2007

מקור: נתוני למ"ס, שנים שונות

**לוח 2. פדיון ועלויות במחירים קבועים 1987-2007**  
(מיליוני ש"ח במחירי שנת 2007)

הפסד תחשיבי	עלויות הון (מיליוני ₪)			הפסד תפעולי	הוצאות תפעול		פדיון	
	עלויות הון תחשיביות	פחת תחשיבי (3.20%)	מלאי הון "חדש"		מזה: שכר	סה"כ		
34.3	4.8	1.5	47.7	29.5	136	265.5	236.0	1987
86.8	11.5	3.7	115.5	75.3	137	302.5	227.2	1988
104.9	15.7	5.0	156.7	89.2	136	315.6	226.4	1989
87.6	23.9	7.6	238.6	63.8	189	346.4	282.7	1990
194.6	44.9	14.4	449.5	149.7	235	401.9	252.2	1991
91.3	91.3	29.2	912.8		241		262.5	1992
197.2	118.9	38.1	1,189.3	78.3	237	325.0	246.7	1993
189.5	129.2	41.3	1,291.7	60.3	237	342.0	281.7	1994
235.4	155.9	49.9	1,559.5	79.4	243	382.3	302.9	1995
253.6	187.7	60.1	1,877.4	65.8	236	386.5	320.7	1996
291.6	220.5	70.5	2,204.5	71.1	204	367.0	295.9	1997
351.9	278.1	89.0	2,780.9	73.8	211	376.7	302.9	1998
377.1	337.3	107.9	3,372.8	39.8	253	407.2	367.4	1999
408.5	388.8	124.4	3,887.7	19.7	242	467.7	448.0	2000
475.4	439.2	140.5	4,392.1	36.2	265	466.6	430.4	2001
600.6	558.4	178.7	5,584.2	42.1	270	556.1	513.9	2002
798.0	708.9	226.8	7,088.7	89.1	313	651.1	562.0	2003
989.3	915.3	292.9	9,153.2	74.0	365	703.0	628.9	2004
1,301.1	1,201.0	384.3	12,009.8	100.1	441	778.9	678.8	2005
1,642.3	1,483.5	474.7	14,835.5	158.7	488	826.3	667.6	2006
1,870.3	1,769.1	566.1	17,690.7	101.3	491	829.2	727.9	2007

**הערה:** מאז שנת 2005 חדלה הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה לפרסם את נתוני הגרעון התפעולי של הרכבת. בהעדר נתונים הנחתי שהעלויות שאינן עלויות שכר לא השתנו מאז 2004.  
מקור: פדיון ועלויות תפעול - נתוני למ"ס שנים שונות, מלאי הון - נתוני בנק ישראל 2007.

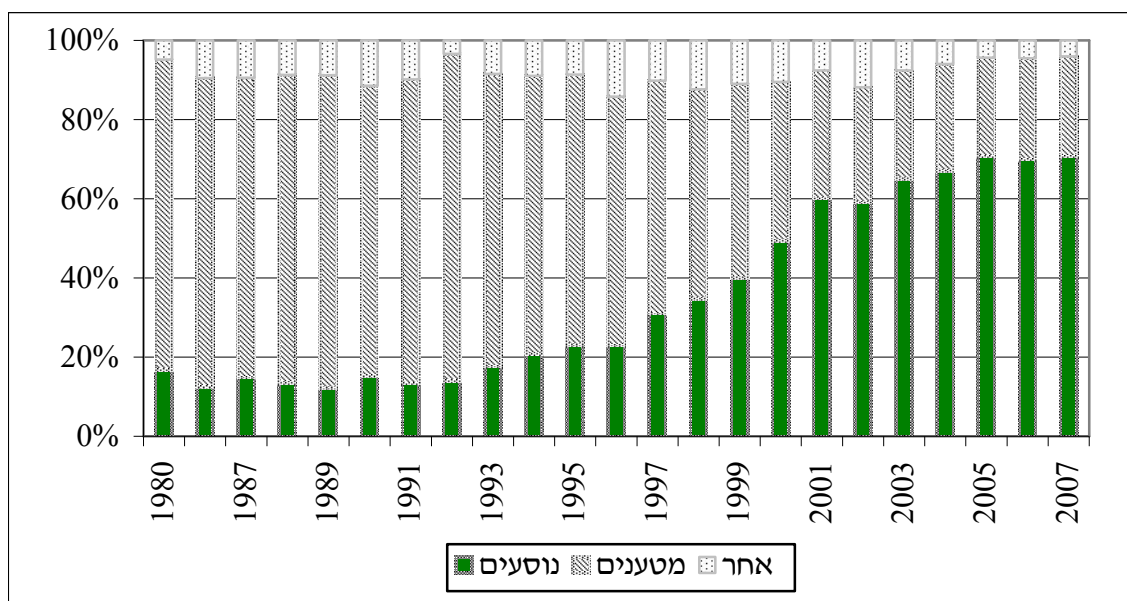
בלימת הצמיחה בהובלת המטענים וההוצאות ההולכות וגדלות הביאו לשינוי באוריינטציה של הנהלת הרשות. הרכבת שאומצה על ידי הרשות משיקולי סינרגיה בין ההובלה היבשתית והימית של המטענים, שינתה כיוון והפנתה פניה לנוסע. הנהלת הרכבת זיהתה את הפקקים ההולכים ומתארכים בכניסות לערים הגדולות ואת בעיית תאונות הדרכים כשתי בעיות שביכולתה לתת להן מענה. דו"ח שהוכן עבור רני"ר על ידי חברת ייעוץ צרפתית המליץ על שינוי אסטרטגי והתמקדות בענף הנוסעים.<sup>6</sup> בדו"ח שהוגש ב-1990 (Sofretu, 1990) הוחלט להשקיע ברכבת קרוב למיליארד דולר בכל אחד משני העשורים הבאים. תכנית הפיתוח כללה סלילת מסילה כפולה שתחבר (דרך נתיב האיילון) את באר שבע עם נהריה, הקמת מערכת פרברית באזור תל-אביב, שתכלול את פתח תקוה, נמל התעופה בן גוריון, רעננה-כפר סבא, ואת חולון-בת ים-ראשון לציון, הקמת מערכת פרברית שתקשר את חיפה והקריות, ופתיחת קו ישיר מתל-אביב לאשדוד ואשקלון. לפי תחזיות היועצים תביא תכנית זו תוך עשור להכפלת המטענים ולזינוק במספר הנוסעים (גידול של פי 24). שיעור התשואה למשק על ההשקעה אמור היה להיות, לפי חוות דעת זו, כ-25 אחוז.

<sup>6</sup> הדו"ח הוכן על ידי Sofretu, חברת בת של חברת הרכבות הצרפתית S.N.C.F.



יישום התכנית החדשה הביא למהפך בפעילות הרכבת ובהרכב הכנסותיה (ציור 1), אך לאחר כתריסר שנים גילתה גם הנהלת הרשות שתחזיותיה היו ורודות מדי ושצורכי ההשקעה של הרכבת גדולים גם ביחס למשאבי הרשות.<sup>7</sup> הרשות החלה במשא ומתן עם הממשלה להחזרת הנדוניה, ובשנת 2003 חזרה והפכה הרכבת לחברה ממשלתית. אלא שלא כבסוף שנות ה-80 ותחילת שנות ה-90 שבהן ניצב אגף התקציבים במשרד האוצר בראש הספקנים באשר לפוטנציאל הגלום ברכבת, בשנות ה-2000 המוקדמות הפך אגף התקציבים לאחד מחסידיה הנלהבים של הרכבת. למרות שעשור של השקעות היה רחוק מלממש את התקוות שנתלו בו, הורחבה תכנית ההשקעות לעשור הבא פי חמישה, מ-5 מיליארד ₪ ל-25 מיליארד ₪ (במחירי 2005). לאותם חלקים מתכנית הרכבת המקורית שטרם מומשו (הקווים הפרבריים לכפר-סבא-רעננה, ראשון לציון ומודיעין, הכפלת המסילה לבאר שבע ומחיפה לנהריה, והמסילה הישירה לאשדוד ואשקלון), נוספו ארבע מסילות חדשות: הכשרת המסילה מבאר שבע לדימונה להובלת נוסעים, פתיחת קו שיחבר את עכו (וחיפה) לכרמיאל, חידושה של רכבת העמק מחיפה לבית שאן, וגולת הכותרת - קו מהיר מירושלים לתל-אביב. בניגוד לקווים הפרבריים והבינעירוניים שנכללו בתכנית הרכבת המקורית שהם כולם בעלי פוטנציאל נוסעים גבוה (שלא ברור שיתממש) שלושה מבין ארבעת הקווים החדשים הם בעלי פוטנציאל נוסעים דל, והשלכותיהם על בעיית הגודש קטנות ביותר.<sup>8</sup> התכנית הרביעית – הרכבת לירושלים, היא בוודאי בעלת פוטנציאל נוסעים משמעותי, אך התוואי ההררי מציב בפני המתכננים אתגרים שלא ברור שפתרון מסילתי הוא הפתרון המתאים להם.

ציור 1. הרכב הפדיון של רכבת ישראל 1980-2007



<sup>7</sup> תחזית Sofretu, תחזית נגדית שהוכנה על ידי מומחי משרד האוצר, והביצוע בפועל נידונים בפירוט בנספח לפרק זה.

<sup>8</sup> כרמיאל, בית שאן, עפולה ודימונה אינן סובלות מגודש.

בשנים 1990-2007 הושקעו בפיתוח הרכבת כ-17.5 מיליארד ₪ (במחירי 2007).<sup>9</sup> באותה תקופה הושקעו בכבישים 69 מיליארד ₪. פירות השקעה זו מתוארים בלוח 3. המאמץ האינטנסיבי שהושקע בפיתוח שירותי הנוסעים ברכבת הביא לגידול פי 11 בק"מ-נוסעים ולגידול פי 4 במשקל הקילומטראז' של נוסעי הרכבת בתנועת הנוסעים הבינעירונית.<sup>10</sup> עם זאת לא עולה משקל הרכבת בתנועה על המשקל שהיה לה בתחילת שנות ה-70. יתרה מזו, למרות שהרכבת פועלת בקווים סלקטיביים עתירי נוסעים, מספר הנוסעים לק"מ מסילה הוא רק כרבע – שליש ממספר הנוסעים לק"מ כביש בינעירוני, וההשקעה השולית לק"מ-נוסע גדולה פי 5.<sup>11</sup> מאחר והרכבת נתפשת כאמצעי תחבורה עצים-הון יחסית לתחבורה המוטורית, מחייבים נתונים אלה הסתכלות מחודשת על היתרון היחסי של הרכבת בהשוואה לרכב המוטורי.

האם הניבה ההשקעה ברכבת את הפירות שציפו ממנה? את התשובה לשאלה בסיסית זו לא ניתן למצוא בדו"חות הכספיים של הרכבת. אף שהרכבת מוגדרת כעצים ההון מבין אמצעי התחבורה היבשתית, הדו"חות הכספיים של רכבת ישראל אינם כוללים את עלויות ההון. ניסיון לשחזר נתונים אלו (לוח 2) מראה שאף שהגרעון התפעולי גדל רק באופן מתון יחסית לגידול התפוקה, עלויות ההון גדלו בקצב שנתי של 20 אחוז ויותר.<sup>12</sup> לפי חישובינו (המבוססים על עלות הון שנתית של 10 אחוז על מלאי ההון), עלות ההון השנתית הגיעה בשנת 2007 ל 1.8 מיליארד ₪, אך עלות זו מתייחסת כמובן למכלול פעילויות הרכבת, הן בהובלת נוסעים והן בהובלת מטענים.

הדו"חות הכספיים אין בהם גם לספר את התועלת שצמחה למשק מקיום הרכבת. שירותי הרכבת מסובסדים ועל כן אין בפדיון מנוסעים ללמדנו על התועלת שצמחה למשק מהסעת הנוסעים. אין בו ללמדנו על החיסכון בהוצאות תפעול ונייד כתוצאה ממעבר מרכב מוטורי לרכבת, אין בו ללמדנו על החיסכון בזמן נסיעה, ואין בו, באופן טבעי, ללמדנו על החיסכון בעלויות הגודש וחיסכון עקיף אחר. השקעה מושכלת ברכבת מחייבת חישוב מאזן כולל של תועלות ועלות של ההשקעה ותפעול הרכבת. מטרת מחקר זה היא הצגת המאזן החסר.

---

<sup>9</sup> נתוני בנק ישראל (מבוסס על לוח ב' נ-26 בנספח, דו"ח בנק ישראל 2007). נתוני בנק ישראל כוללים את ההשקעה בשנת 2007 ואת השינויים בהשקעה הריאלית (באחוזים) בשנים קודמות. ההשקעה בתקופה 1990-2007 חושבה על ידי שרשור.

<sup>10</sup> לא קיימת סדרה המתארת את התפתחות הק"מ-נוסעים הבינעירוני על פני זמן. האומדן רגיש להנחות ביחס למקדמי המילוי של סוגי הרכב השונים בתחבורה הבינעירונית (ובמיוחד זה של הרכב הפרטי והאוטובוסים). דרך חישוב הסדרה מתוארת בהערות ללוח 4.

<sup>11</sup> ההשקעה השולית מחושבת כהשקעה מחולקת בתוספת הק"מ-נוסעים. ההשקעה לתוספת נוסע-ק"מ בשנים 1990-2007 הייתה 1.7-2.2 ש"ח בכבישים ו-10.5 ש"ח ברכבת. השוואה זו סובלת מהטיה שמקורה בהכללת ההשקעה בצידוד במלאי ההון של הרכבת. חלק מהמסילה אינו משמש להובלת נוסעים. מספר הנוסעים לק"מ מסילה המשמשת להובלת נוסעים הוא 4,300 – מחצית מספר הנוסעים לק"מ כביש.

<sup>12</sup> מאז שנת 2003 לא פרסמה רכבת ישראל דו"חות כספיים כך שחישוב הגרעון התפעולי בשנים האחרונות מבוסס על ההנחה שהוצאות הרכבת שאינן שכן לא השתנו מאז 2003.

לוח 3. קילומטראז' נוסעים בינעירוניים ברכב מוטורי וברכבת 1960-2007

רכבת					כבישים בינעירוניים									דרכים לא-עירוניות	1960
משקל בסך נוסע - ק"מ (%)		נוסע - ק"מ מסילה	נוסע - ק"מ	אורך המסילה	נוסעים לק"מ כביש (אלפים)		כלי רכב לק"מ כביש	נוסע - ק"מ (מיליונים)		נוסעים לכלי רכב		נסועה לא-עירונית	(ק"מ)		
אומדן ב'	אומדן א'	(אלפים)	(מיליונים)	(ק"מ)	אומדן ב'	אומדן א'	(אלפים)	אומדן ב'	אומדן א'	אומדן ב'	אומדן א'	(מילי ק"מ-רכב)			
6.9%	6.9%	834	350	420	1,548	1,534	354	4,757	4,713	4.38	4.34	1,087	3,073	1960	
3.5%	3.5%	757	356	470	3,015	3,075	916	9,765	9,960	3.29	3.36	2,966	3,239	1970	
2.1%	1.9%	511	264	516	3,613	4,067	1,503	12,221	13,754	2.40	2.71	5,083	3,382	1980	
1.3%	1.1%	386	204	528	3,927	4,510	1,629	15,353	17,633	2.41	2.77	6,368	3,910	1985	
0.8%	0.7%	295	170	574	5,109	6,092	2,371	20,905	24,929	2.15	2.57	9,701	4,092	1990	
0.8%	0.7%	310	178	574				21,338	25,452	2.12	2.53	10,054		1991	
0.9%	0.7%	346	198	573	5,237	6,290	2,519	22,466	26,985	2.08	2.50	10,807	4,290	1992	
0.9%	0.7%	371	214	577	5,233	6,288	2,540	23,578	28,335	2.06	2.48	11,447	4,506	1993	
1.0%	0.8%	399	238	596	5,145	6,221	2,550	24,249	29,319	2.02	2.44	12,019	4,713	1994	
1.0%	0.8%	438	267	609	5,459	6,592	2,761	26,449	31,937	1.98	2.39	13,375	4,845	1995	
1.0%	0.8%	481	293	609	5,891	7,104	2,917	29,378	35,426	2.02	2.44	14,546	4,987	1996	
1.1%	0.9%	568	346	609	5,949	7,192	2,997	30,358	36,701	1.98	2.40	15,296	5,103	1997	
1.2%	1.0%	592	383	646.5	6,139	7,540	3,137	31,964	39,259	1.96	2.40	16,334	5,207	1998	
1.6%	1.3%	798	529	662.5	6,147	7,571	3,177	32,638	40,204	1.93	2.38	16,871	5,310	1999	
2.1%	1.7%	1,166	781	670	6,733	8,249	3,451	36,768	45,048	1.95	2.39	18,846	5,461	2000	
		1,405	961	684								5,622	2001		
2.6%	2.1%	1,651	1,116	676	7,187	8,985	3,799	42,036	52,552	1.89	2.37	22,219	5,849	2002	
2.9%	2.3%	2,078	1,278	615	7,133	8,965	3,810	43,232	54,338	1.87	2.35	23,091	6,061	2003	
3.1%	2.4%	2,213	1,423	643	7,348	9,253	3,913	45,153	56,857	1.88	2.36	24,044	6,145	2004	
3.4%	2.7%	2,470	1,618	655	7,488	9,436	4,032	46,522	58,629	1.86	2.34	25,052	6,213	2005	
3.2%	2.6%	2,377	1,609	677	7,714	9,680	4,136	48,338	60,657	1.87	2.34	25,916	6,266	2006	
3.4%	2.7%	2,677	1,834	685	8,187	10,294	4,356	51,765	65,088	1.88	2.36	27,540	6,323	2007	

מקור: נתוני הרכבת והנתונים המתאימים לאורך הדרכים הלא-עירוניות, והנסועה הבינעירונית מבוססים על נתוני למ"ס (שנתונים שונים). מספר הנוסעים לכלי רכב בתחבורה המוטורית הבינעירונית חושב בשתי הנחות. אומדן א' מתבסס על אומדני מקדמי המילוי הרווחים בשנות ה-90 ששימשו בחישובי גרונאו 1997 א'. אומדן ב' מתבסס על ספירות תנועה במטרופולין ת"א, של חברת נת"ע בנובמבר 2004 שנערכו בדרך מס' 1, ממערב למחלף גנות. שני האומדנים מבוססים על ההנחה שהרכב התנועה העירונית והבינעירונית (במונחי כלי רכב) הוא זהה.

## נספח 1:

### תכניות הפיתוח של הרכבת 1987-2000: חזון ומציאות

בשנת 1988 הוחלט להעביר את הרכבת מבעלות ממשלתית לבעלותה של רשות הנמלים. ההסבר הרשמי לשינוי היה הסינרגיה שבין ההובלה היבשתית של המחצבים (שרובם ככולם מובלים ברכבת) וההובלה הימית, אך דו"ח כלכלי שהוכן לפי בקשת הנהלת הרכבת בסמוך להעברה הצביע על הפוטנציאל המוגבל להרחבת הובלת המטענים והמליץ על שינוי אסטרטגי. לפי דו"ח זה שהוכן על ידי חברת ייעוץ צרפתית (חברת Sofretu) פוטנציאל הצמיחה אינו בהובלת מטענים, אלא דווקא בענף שהוזנח עד כה בפעילות הרכבת - ענף הנוסעים. בדו"ח שהוגש ב-1990 (Sofretu, 1990) הוחלט להשקיע ברכבת קרוב למיליארד דולר בכל אחד משני העשורים הבאים. תכנית הפיתוח כללה סלילת מסילה כפולה שתחבר (דרך נתיב האיילון) את באר שבע עם נהריה, הקמת מערכת פרברית באזור תל-אביב, שתכלול את פתח תקווה, נמל התעופה בן גוריון, רעננה-כפר סבא, ואת חולון-בת ים-ראשון לציון, הקמת מערכת פרברית שתקשר את חיפה והקריות, ופתיחת קו ישיר מתל-אביב לאשדוד ואשקלון. לפי תחזיות היועצים תביא תכנית זו תוך עשור לגידול של פי 24 במספר הנוסעים ולהכפלת המטענים (הגידול הצפוי במספר הנוסעים עד שנת 2010 אמור היה להיות פי 45). שיעור התשואה למשק על ההשקעה אמור היה להיות, לפי חוות דעת זו, כ-25 אחוז.

דו"ח נגדי שהוכן על ידי יועץ מקומי לפי בקשת אגף התקציבים (אלנבוגן, 1990) פסל את תכנית הפיתוח של הרכבת בקבעו "שהתכנית המוצעת אינה עומדת בקריטריונים מינימאליים של הצדקה להשקעות בהיקף כזה". מרכיב עיקרי בתועלות לפי חברת הייעוץ הצרפתית אמור היה להיות ערך החיסכון בזמן נסיעה (כ-70 אחוז מכלל התועלות). לפי טענות היועץ הישראלי חישוב זה מבוסס על "ניפוח" פי 2 של תחזיות הנוסעים, "ניפוח" חסכון הזמן לנוסע ב-67 אחוז ושימוש בערך זמן הגבוה פי 4 מזה הנהוג בישראל.<sup>13</sup> כתוצאה מתיקונים אלו הצטמק ערך הזמן הנחסך ל-7 אחוז מהערך שעמד בפני הנהלת הרכבת. תיקונים דומים הוכנסו במרכיבי התועלת האחרים (חסכון בחניה ובהוצאות כלי רכב פרטיים, חסכון בתאונות ובאחזקת כבישים). היועץ הפנה את תשומת הלב לשני ליקויים נוספים בדו"ח הרכבת: א. אומדני ההשקעה כמעט והוכפלו (ממיליארד ל-1.8 מיליארד דולר) בין דו"ח הביניים והדו"ח הסופי; ב. עיתוי ההשקעות המוצעות אינו בהכרח לפי מסדר הקדימויות הכלכלי.

מאחר ותחזיות החברה הצרפתית ותחזיות היועץ הישראלי התייחסו לשנת 2000 יש עניין לבדוק איזו משתי התחזיות הייתה קרובה יותר למציאות. לוח נ-1 כולל את הפרמטרים העיקריים של ההשוואה. קיימת טענה שתכניות פיתוח רכבות סובלות באופן שיטתי מאומדן חסר של השקעות ותחזית יתר של ביקושים (Flyvbjerg et al. 2004, Pickrell 1990). תכנית ההשקעות של הרכבת משנת 1990 היא דוגמא אופיינית לחריגות אלה. ההשקעה בפועל של הרכבת בעשור 1990-2000 אמנם לא חרגה באופן משמעותי מההצעה, אלא שחלק מהתכנית לא מומש (חשמול הקו ת"א-נהריה נדחה על ידי הנהלת הרשות, והקמת הקו לנתב"ג והמסילה הכפולה בקו חיפה-נהריה נדחו לעשור השני של התכנית).

<sup>13</sup> לטענת היועץ היה הערך ששימש את החברה הצרפתית לחישוביה בישראל גבוה ב-25 אחוז מזה הנהוג בצרפת.

**לוח נ-1. תחזית תפעול ותחזית פיננסית לשנת 2000 והביצוע בפועל  
(ביצוע במיליוני דולר של 2000, תחזיות במיליוני דולר של 1990)**

ביצוע בפועל	תחזית אלנבוגן	תחזית סופרטו	
10.3		15.1	טון נטו בתשלום (מיל')
13	28	61	מספר הנוסעים (מיל')
846	1000	817	השקעות 2000-1991
50	43	102	הכנסות מנוסעים
52	50	38	הוצאות הפעלה
-3	-7	64	רווח תפעולי
27	32	26	פחת
-30	-39	38	סה"כ רווח
<b>-3.5%</b>	<b>-3.9%</b>	<b>4.7%</b>	<b>אחוז הרווח מההשקעה</b>
			<b><u>עלות/תועלת</u></b>
	5	239	תועלת שנתית
	22	1067	ערך נוכחי של התועלת
	550	449	ערך נוכחי של ההשקעה
	-528	618	ערך נוכחי נקי
	<b>0.04</b>	<b>2.38</b>	<b>יחס עלות/תועלת</b>

מקורות: תחזיות- דו"ח סופרטו (עמ' 15) ודו"ח אלנבוגן (עמ' 2)  
ביצוע בפועל – לוחות 1 ו-2. שער החליפין של הדולר לשנת 2000 חושב לפי 4 ₪ לדולר.

היקף המטענים שהיה אמור להיות מוכפל, גדל רק ב-50 אחוז. אך ההחמצה הגדולה ביותר הייתה זו של תחזית הנוסעים. מספר הנוסעים גדל פי 4 – הישג נאה בפני עצמו, אך רחוק מהתחזית של המומחה הישראלי שצפה גידול פי 9, לא כל שכן מתחזית הרכבת – גידול פי 24.<sup>14</sup> יתר על כן, קו רחובות-תל-אביב, שנפתח ב-1991, שלו תרומה משמעותית לגידול במספר הנוסעים, לא נכלל כלל בתכניות החברה הצרפתית.

יועצי רני"ר חזו לרכבת רווח תפעולי בשנת 2000 של 64 מיליון דולר, ורווח (בניכוי פחת) בשיעור של 38 מיליון דולר. בפועל הייתה הפעלת מערכת שירות הנוסעים כרוכה (כפי שצפה היועץ הישראלי) בהפסד תפעולי קטן, ובהפסד (לאחר פחת) של כ-30 מיליון דולר.<sup>15</sup> (הפסד זה היה גדל ל-90 מיליון, אם הייתה נזקפת ריבית תחשיבית של 7 אחוז על ההשקעה).

<sup>14</sup> בדיקה מדוקדקת יותר הייתה מראה שחברת סופרטו כללה בתחזית 2000 בין 61 מיליון הנוסעים 21 מיליון נוסעים במסדרון האיילון. מאחר והנסיעות במסדרון זה הן חלק מנסיעה ארוכה יותר, זהו מקרה ברור של ספירה כפולה.

<sup>15</sup> באופן מפתיע, למרות הטעות המשמעותית בתחזית, דייק המומחה הישראלי בתחזית ההכנסות מנוסעים. תוצאה מפתיעה זו נובעת משמוש באומדן הכנסה לנוסע קטן מדי (1.5 דולר לנוסע במקום 3 דולר ב-1990), ובעליה בהכנסה לנוסע במונחי דולרים על פני העשור (ההכנסה לנוסע בשנת 2000 הייתה 3.9 דולר).

היועץ הצרפתי צפה שהתועלת למשק בשנת 2000 תסתכם ב-240 מיליון דולר, הערך הנוכחי של התועלות יעלה על מיליארד דולר והערך הנוכחי הנקי יעלה על 600 מיליון דולר. היועץ הישראלי העריך את סך התועלות כזניח, והגיע על כן למסקנה שיחס עלות/תועלת שואף לאפס. בהינתן אומדן היתר שבתחזיתו, מסקנת היועץ הישראלי נראית בדיעבד כמסקנה הקרובה יותר למציאות. לא היינו נדרשים לניתוח כה מפורט של הויכוח שהתרחש ב-1990, אלמלא סימל דו"ח סופרטו את המפנה במדיניות הרכבת, ואלמלא החשש שחלק מהליקויים מהם סבל דו"ח זה התגנבו גם לתכניות השקעה מאוחרות יותר.

## ב. היתרון היחסי של הרכבת – שיקולים תיאורטיים

היתרון היחסי של הרכבת בהשוואה לכלי הרכב המוטורי מתבטא בשני היבטים: בלעדיות בשימוש בנתיב וקיבולת (כמעט) בלתי מוגבלת. שני מאפיינים אלה מאפשרים לרכבת לשמר מהירות תפעול קבועה ללא קשר למספר הנוסעים, ועושים אותה לכלי התחבורה המועדף להסעת המונים. ברכבת, בניגוד לרכב המוטורי, תוספת העלויות למפעיל כתוצאה מהוספת נוסעים היא שולית, ובהעדר בעיות גודש, תוספת העלויות למשק אף היא זניחה. מאידך, עצימות ההון של הטכנולוגיה המסילתית מעמידה אותה בחסרון יחסי כאשר היא אמורה להתמודד עם הטכנולוגיה המוטורית בקווים דלילי נוסעים שבהם לא קיימות בעיות גודש. כדאיות הרכבת תלויה על כן בצורה קריטית במספר הנוסעים שישתמש בה.<sup>16</sup>

### 1. שני מודלים אלטרנטיביים

בהפשטה נוכל להניח שבפני הצרכן עומדת בחירה בין שני אמצעי הובלה: הרכבת (R) והובלה מוטורית (M). בניתוח של שיווי משקל חלקי של הבחירה בין שני האמצעים ניתן להבחין בין שני מודלים.<sup>17</sup> מאפייני המודלים מוצגים בלוח הבא:

מודל ב'	מודל א'	
הטרוגניות מושלמת קשיח לחלוטין	צרכן מייצג מושלמת גמיש	הומוגניות הצרכנים תחלופה בין אמצעים גמישות הביקוש לנסיעות

לפי מודל א' קיים שוק אחיד לנסיעות כאשר הבחירה בין האמצעים תלויה באופן כמעט בלעדי בעלויותיהם. הצרכן יעדיף רכבת על רכב מוטורי כאשר  $C_M > C_R$ , כאשר  $C_i$  הן עלויות הנסיעה השולית באמצעי  $i$ , הכוללות את העלות הכספית ועלויות הזמן.<sup>18</sup> כל עוד עלות הנסיעה ברכב המוטורי אינה רגישה לתנאי הגודש (כל עוד  $C_M$  קבוע) ישתמשו כל הצרכנים באותו אמצעי – האמצעי "הזול", ותנאי לפיצול נסיעות בין שני האמצעים הוא קיום תנאי גודש (ציור 2).

בהעדר שירותי רכבת יהיה מספר הנוסעים ברכב המוטורי  $X^0$ , ועלות הנסיעה לנוסע היא  $C_M^0$ . הפעלת הרכבת מוזילה את העלות ל- $C_R$  וכתוצאה עוברים  $X^0 - X_M^1$  נוסעים מהרכב המוטורי לרכבת, ונוספים  $X^1 - X^0$  נוסעים לקו. התועלת מפתחת הקו לשירות רכבתי מורכבת מחסכון העלויות של אלו שנותרו בכביש  $X_M^1 * (C_M^0 - C_R)$ , חסכון העלויות של אלו שעברו לרכבת  $(X^0 - X_M^1) * (C_M^0 - C_R)$ , ותוספת עודף הצרכן של  $X^1 - X^0$  הנוסעים החדשים בקו.<sup>19</sup>

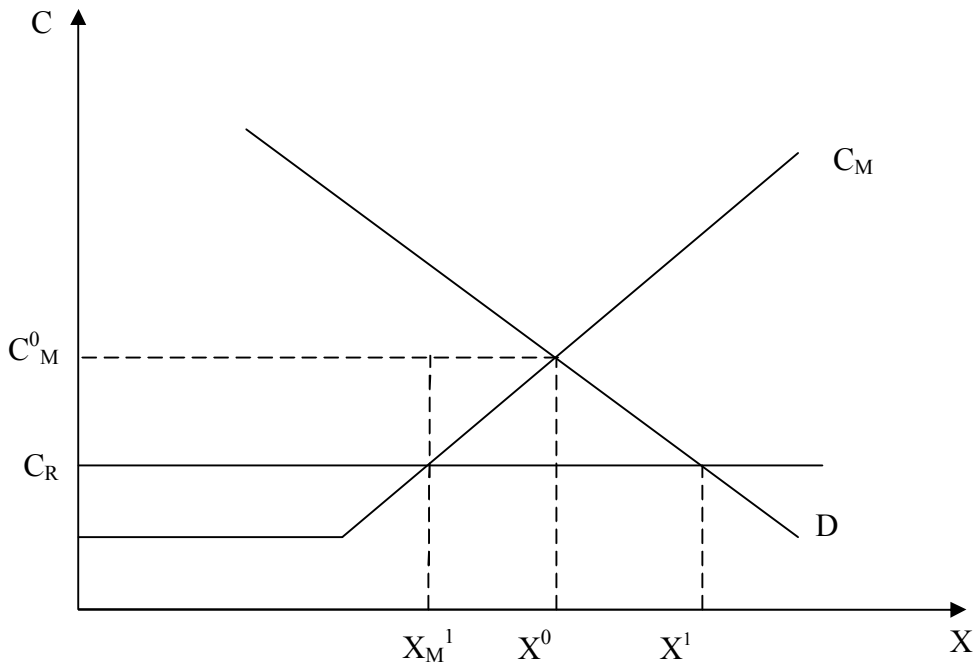
<sup>16</sup> בניתוח התיאורטי אנו מתעלמים מיתרונות שעשויים להיות לרכבת בהיבט סביבתי (זיהום ורעש) או תאונות דרכים. אך גם יתרונות אלה קשורים קשר ישיר במספר הנוסעים שיעבור מהכביש למסילה.

<sup>17</sup> במודל של שיווי משקל מלא ישליכו עלויות הנסיעה על בחירת מקום המגורים והעבודה, נתיב הנסיעה ושעת הנסיעה. במודל רחב יותר קיימת תחלופה לא רק בין אמצעי הנסיעה אלא גם בין שעות הנסיעה, ובין קטעים שונים ברשת. הקלה בגודש כתוצאה מפתוח נתיבים אלטרנטיביים (כבישים או מסילות ברזל) עשויה להתגלות כזמנית כתוצאה מהתחלופה בין שעות ובין נתיבים.

<sup>18</sup> במודל זה שיעור התחלופה בין זמן ומוצרים ("מחיר הזמן") הוא קבוע וזהה לכל הנוסעים אך הוא עשוי להיות שונה לשימושי זמן שונים (נסיעה, המתנה, הליכה לתחנה, חיפוש מקום חניה וכדומה).

<sup>19</sup> אומדן מקרוב לתוספת זו הוא  $0.5 * (X^1 - X^0) * (C_M^0 - C_R)$ .

ציור 2.



מרכיב קריטי בחסכון הוא החיסכון בעלויות הגודש  $X_M^1 * (C_M^0 - C_R)$  - חסכון העלויות לאלו שנותרו בכביש. מרכיב זה תלוי במישורין בגמישות פונקציית העלות המוטורית  $\mathcal{E}_{CmX} = X \Delta C_M / C_M \Delta X$ . הגמישות קובעת גם את התחלקות החיסכון בין החיסכון בעלויות הגודש  $X \Delta C_M$  ועלויות הרכב המוטורי של אלו שעברו לרכבת  $C_M \Delta X$ .

כדאי לשים לב שבמודל זה מרבית המידע הנדרש לכימות התועלות מהקו מתייחס לעלויות: פונקציית העלות של הרכב המוטורי ועלויות הפעלת הרכבת. המידע היחיד המתייחס לביקוש הוא מידע על הביקוש הכולל לנסיעות בקו- מידע הנדרש לחישוב עודף הצרכן של הנוסעים החדשים.

לפי מודל ב' קיימים שני שווקים נפרדים שסכום הנוסעים בהם קבוע ( $\bar{X}$ ). מספר הנסיעות של כל נוסע אינו רגיש לעלות הנסיעה, אך הנוסע מיחס לנסיעה בשני האמצעים תועלות שונות. התנאי

$$\text{לבחירת הצרכן } k \text{ ברכבת הוא } (U_{Rk} / \lambda) - C_R > (U_{Mk} / \lambda) - C_M$$

$$\text{כלומר } C_R < C_M + (U_{Rk} - U_{Mk}) / \lambda$$

כאשר  $U_i$  מסמן את התועלת ששואב הנוסע מנסיעה באמצעי  $i$ , ו-  $U_i / \lambda$  היא הערך הכספי של אותה התועלת, כאשר  $\lambda$  היא התועלת השולית של ההכנסה.<sup>20</sup>

תהיה תוחלת התועלת של כלל הנוסעים מהשימוש באמצעי  $i$ ,  $\xi_i$ , אזי  $U_{ik} = \xi_i + \varepsilon_{ik}$  והתנאי לבחירת הרכבת הוא

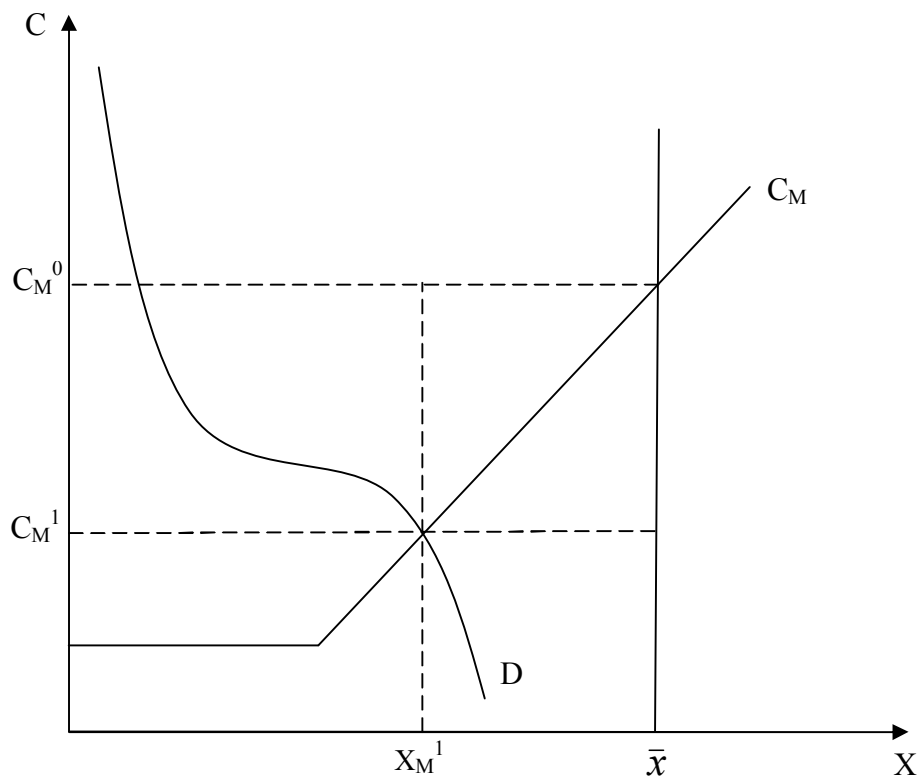
$$(1) \quad [C_M - (\xi_M / \lambda)] - [C_R - (\xi_R / \lambda)] > [(\varepsilon_{Mk} - \varepsilon_{Rk}) / \lambda]$$

<sup>20</sup> ההנחה הסמויה היא ש- $\lambda$  זהה לכלל הצרכנים.



בהינתן עלויות הרכבת והרכב המוטורי ותוחלת התועלת של אמצעים אלו יהיה אחוז המשתמשים ברכבת תלוי בהתפלגות הגורמים המקריים  $(\varepsilon_M - \varepsilon_R)$ . כאשר התפלגות זו סימטרית, וכאשר  $[C_R - (\xi_R / \lambda)] = [C_M - (\xi_M / \lambda)]$  יתפלגו הנוסעים בין האמצעים בצורה שווה. לחילופין, כל עוד  $[C_R - (\xi_R / \lambda)] > [C_M - (\xi_M / \lambda)]$  פלח השוק של הרכב המוטורי גדול ממחצית מתקיים  $F(\varepsilon_M - \varepsilon_R)$ , עקומת הביקוש לנסיעות ברכב מוטורי (ציור 3 א') משקפת את התפלגות הגורמים המקריים  $F(\varepsilon_M - \varepsilon_R)$ , כאשר  $F$  היא ההתפלגות המצטברת. שיפור באיכות השירות של הרכבת (הקטנת  $C_R$ ) תביא לתזוזה כלפי מטה של עקומה  $D$ , להקטנת השימוש ברכב מוטורי ולירידה בעלויותיו. בהעדר רכבת ישתמשו כל  $\bar{X}$  הנוסעים ברכב מוטורי ועלות הנסיעה תהיה  $C_M^0$ .

ציור 3 א'.



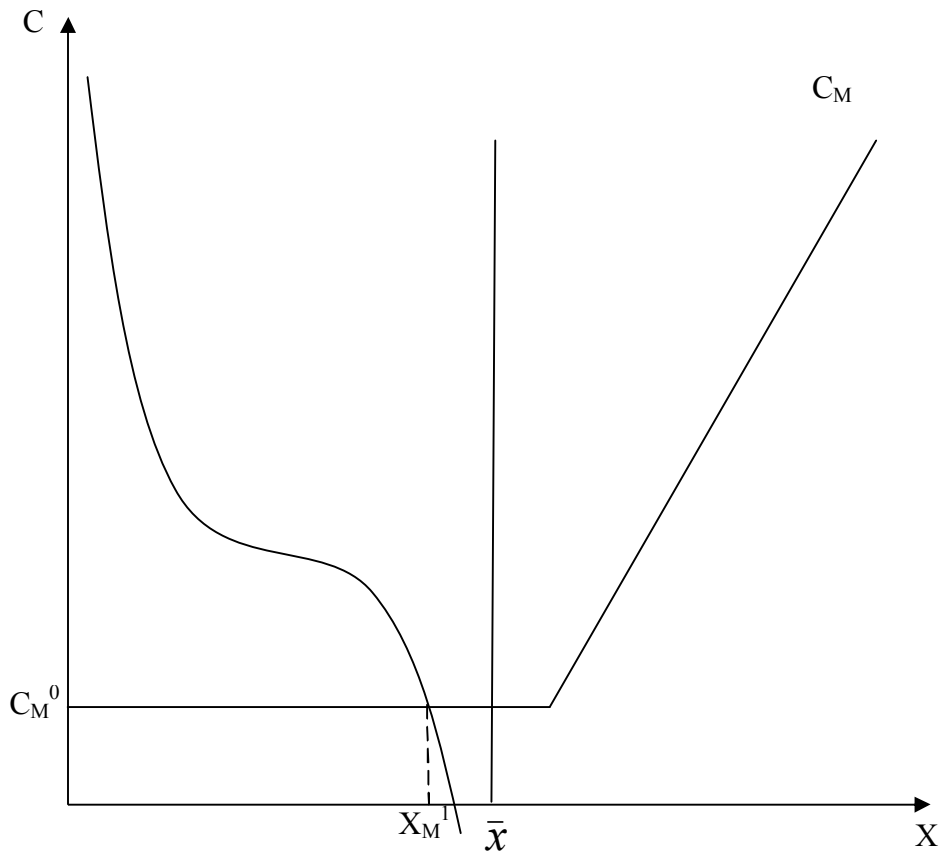
פתיחת הקו לשירותי רכבות תקטין את מספר הנוסעים ברכב המוטורי ל  $X_M^1$ , כאשר כל אחד מהנוסעים הנותרים בכביש חוסך  $C_M^0 - C_M^1$  (ציור 2 א'). תוספת התועלת שצמחה לאלה שהחליטו לעבור לרכבת היא  $[(\xi_R + \varepsilon_R) - (\xi_M + \varepsilon_M)] / \lambda - (C_R - C_M)$ <sup>21</sup>. במודל זה אומדן התועלת תלוי באופן קריטי בפונקציה פיצול הנסיעות בין שני אמצעי הנסיעה. מספר הנוסעים שיישאר נאמן למוביל המוטורי  $X_M^1$  קובע את עלויות הנסיעה של הרכב  $C_M^1$ . במקביל

<sup>21</sup> תוספת זו היא, לפי הגדרה, חיובית כאשר נתח השוק של הרכב המוטורי עולה על מחצית  $[ (\xi_M / \lambda) - C_M ] > [ (\xi_R / \lambda) - C_R ]$ .

קובע מספר הנוסעים שהחליט לעבור לרכבת  $\bar{X} - X_M^1$  את עודף הצרכן כתוצאה מהמעבר. בניגוד למודל א' שבו ניתן היה לאמוד את התועלות תוך התבססות כמעט מוחלטת על נתוני העלויות (בתוספת מידע על הביקוש הכולל לנסיעות), במודל ב' לא ניתן לאמוד את התועלות ללא אמידה של פונקציית הפיצול בין האמצעי המוטורי והאמצעי החדש (אמצעי שעדיין לא מופעל).

ציור 3א' מבוסס על ההנחה שכאשר המוביל המוטורי הוא המוביל הבלעדי בקו מתקיימים תנאי גודש והעלות לנוסע גדלה עם מספר הנוסעים. הנחה זו אינה מתקיימת כאשר מספר הנוסעים קטן, או קיבולת הכביש מספיק גדולה. ציור 3ב' מתאר את השינויים בענף כאשר במצב ההתחלתי לא מתקיימים תנאי גודש. במצב זה פתיחת הקו לשירות רכבתי אינה משנה את עלויות אלו שממשיכים להשתמש ברכב המוטורי, והנהנים היחידים הם  $\bar{X} - X_M^1$  הנוסעים שעברו מהרכב המוטורי לרכבת.<sup>22</sup>

ציור 3ב'.



תנאי הגודש משתנים על פני שעות היממה ועל פני ימי השבוע. מספר השעות בשבוע בו מתקיימים תנאי גודש הוא, על כן, מספר מפתח בקביעת כדאיות הקו מנקודת ראות כלל משקית.

<sup>22</sup> תוספת התועלת של העוברים היא, לפי הנחה, חיובית, גם אם הנתונים מראים שמתקיים  $C_R > C_M$ .

פונקצית הפיצול הנפוצה ביותר בספרות היא הפונקציה הלוגיסטית

$$(2) \quad \theta_M = \exp(\xi_M - \lambda C_M) / \sum_i \exp(\xi_i - \lambda C_i)$$

כאשר  $\theta_M$  הוא אחוז הנוסעים המשתמש ברכב המוטורי.<sup>23</sup>

תוספת הרווחה כתוצאה משינוי העלויות היא (Small and Rosen, 1981)

$$(3) \quad \Delta W = (X^0 / \lambda) * [ \ln \sum \exp(\xi_i - \lambda C_i^1) - \ln \sum \exp(\xi_i - \lambda C_i^0) ]$$

מניפולציה של משוואות (2) ו-(3) מלמדת שניתן ללמוד על השיפור ברווחה תוך התמקדות בשינויים בפלח השוק ובעלויות של הרכב המוטורי בלבד

$$(4) \quad \begin{aligned} \Delta W &= (X^0 / \lambda) * \{ \ln [\exp(\xi_M - \lambda C_M^1) / \theta_M^1] - \ln [\exp(\xi_M - \lambda C_M^0) / \theta_M^0] \} = \\ &= X^0 * [ (C_M^0 - C_M^1) + (1 / \lambda) * \ln(\theta_M^0 / \theta_M^1) ] \end{aligned}$$

כאשר במצב ההתחלתי לא קיימים תנאי גודש  $C_M^1 = C_M^0$  תוספת הרווחה כתוצאה משיפור שירותי הרכבת ישתקף בשינוי בנתח השוק של האמצעי המוטורי

$$(5) \quad \begin{aligned} \Delta W &= (X^0 / \lambda) * \ln(\theta_M^0 / \theta_M^1) = (X^0 / \lambda) \{ \ln [1 - (\frac{1}{2} \Delta \theta_M / \theta_M)] - \ln [1 + (\frac{1}{2} \Delta \theta_M / \theta_M)] \} = \\ &\approx - (X^0 / \lambda) * (\Delta \theta_M / \theta_M) \end{aligned}$$

כאשר  $\Delta \theta_M = \theta_M^1 - \theta_M^0 < 0$  הוא השינוי בפלח השוק של הרכב המוטורי, ו- $\theta_M$  הוא פלח השוק הממוצע בשתי התקופות  $\theta_M = \frac{1}{2} (\theta_M^0 + \theta_M^1)$ .<sup>24</sup> השינוי במספר המשתמשים ברכבת הוא  $X^0 \Delta \theta_R$ , ועל כן, אומדן מקורב של השינוי ברווחה הממוצעת לנוסע נוסף ברכבת הוא

$$(6) \quad \Delta W / X^0 \Delta \theta_R \approx - (X^0 / \lambda) (\Delta \theta_M / \theta_M) / X^0 \Delta \theta_R = - (1 / \lambda) (\Delta \theta_M / \Delta \theta_R) / \theta_M .$$

השינוי הממוצע ברווחת הנוסעים החדשים ברכבת נקבע, אפוא, על ידי מרכיב נוסעי הרכבת שעבר מהרכב הפרטי  $(\Delta \theta_M / \Delta \theta_R)$ , נתח השוק הממוצע של הרכב הפרטי  $\theta_M$ , והמקדם  $\lambda$  המתרגם תועלות למונחים כספיים.

כאשר הרכבת והרכב הפרטי הם שני אמצעי ההובלה היחידים  $\Delta \theta_R = -\Delta \theta_M$  והשינוי ברווחה הממוצעת לנוסע נוסף ברכבת הוא  $(1 / \lambda) (1 / \theta_M)$ , אך משוואה (6) תופסת גם כאשר מספר אמצעי התחבורה העומד לבחירת הצרכן עולה על 2, וכאשר פונקצית פיצול הנסיעות מורכבת יותר (כאשר פונקצית הפיצול היא Nested Logit).<sup>25</sup>

<sup>23</sup> בדוגמא שלנו קיימים שני אמצעים  $i=M,R$ , אך ניתן להרחיב את הדוגמא ליותר משני אמצעים (Nested logit, Multinomial logit) וכדומה).

<sup>24</sup> משוואה (6) מהווה, בדרך כלל, קירוב טוב יותר מהקירוב המבוסס על פיתוח טיילור

$$\ln(\theta_M^0 / \theta_M^1) = -\ln [1 + (\Delta \theta_M / \theta_M^0)] = (\Delta \theta_M / \theta_M^0) + \frac{1}{2} (\Delta \theta_M / \theta_M^0)^2$$

<sup>25</sup> ראה נספח 2 בפרק ג'.

מרכיב הנוסעים ברכבת שמקורו ברכב הפרטי הוא משתנה מפתח בקביעת השלכות הרווחה של הפיתוח המסילתי. הוא שקובע את תוספת התועלת והוא שקובע את השיפור בגודש.

## 2. השפעת מרחק הנסיעה על פיצול הנסיעות

בתחבורה הבינעירונית הגודש הוא תופעה המאפיינת בעיקר את הכניסות לערים הגדולות. ככל שקו הנסיעה ארוך יותר כך קטן אחוז הק"מ הסובל מתנאי גודש, וכך בממוצע לק"מ קטן השיפור בעלויות  $C_M^0 - C_M^1$ . מרחק הנסיעה עשוי להשפיע גם על שני הפרמטרים האחרים במשוואה (4) מספר הנוסעים בקו  $X^0$  ופלח השוק של הרכב המוטורי  $\theta_M$ .

למרחק יש השפעה מצמצמת על מספר הנוסעים הכולל. מודל הביקוש הבסיסי המשמש לאמידת השפעת המרחק על מספר הנוסעים הוא מודל הגרביטציה. לפי מודל זה מספר הנוסעים בין הערים A ו-B פרופורציוני לאוכלוסיית שתי הערים (G), וביחס הפוך למרחק (D)  $X^{AB} = kG^A * G^B / D_{AB}^\eta$ . היקף הביקוש לנסיעות בינעירוניות יושפע בצורה קריטית על ידי גמישות הביקוש ביחס למרחק  $\eta$ . כך לדוגמא, ירושלים גדולה פי 3 מראשון לציון, אך מרחק הנסיעה מירושלים לתל-אביב גדול פי 3 מזה מראשון. מתקיים  $X^{AB} / X^{AC} = (G^B / G^C) / (D^{AB} / D^{AC})^\eta$  ועל כן כאשר  $\eta > 1$  יהיה מספר הנוסעים מראשון לתל-אביב גדול מזה מירושלים.<sup>26</sup>

רגישות פלח השוק לשינויים במרחק (הפרמטר  $\eta$ ) נגזרת מהשפעת המרחק על עלויות הנסיעה של האמצעים השונים, ותלויה, במידה רבה, במהירות הנסיעה של הרכב המוטורי יחסית לרכבת. עלות הנסיעה מורכבת ממרכיב קבוע וממרכיב המשתנה עם המרחק. המרכיב הקבוע בעלויות רכב פרטי משקף את עלויות החניה (זמן חיפוש חניה ודמי החנייה), ואת משך הזמן הנדרש ליציאה מהעיר (זמן הנסיעה בתנאי גודש). המרכיב הקבוע בעלויות המוביל הציבורי משקף בעיקר את זמן ועלות הנגישות לתחנה ומהתחנה (כולל המתנה), ואת משך הנסיעה בתנאי גודש. בהנחה שבתנאים "חופשיים" מהירות הנסיעה קבועה, משתנה עלות הנסיעה באופן ליניארי עם המרחק (D)

$$(7) \quad C_i = \gamma_i + \beta_i D.$$

פלח השוק של הרכבת יהיה על כן

$$(8) \quad \theta_R = \exp(\alpha_R - \beta_R D) / \sum \exp(\alpha_i - \beta_i D)$$

כאשר  $\alpha_i = (\xi_i / \lambda) - \gamma_i$ . השפעת המרחק על פלחי השוק תלויה בהשוואה שבין  $\beta_R$  והערך הממוצע של  $\beta_i$  מקדמי

$$(9) \quad \partial \theta_R / \partial D = \theta_R (\beta - \beta_R)$$

<sup>26</sup> במטרופולין תל-אביב קיימים 10 יישובים (פרט לתל-אביב) שאוכלוסייתם עולה על 100 אלף תושבים, ו-5 יישובים נוספים שאוכלוסייתם היא 50-100 אלף תושבים. ההחלטה אם לתת עדיפות לפתרון בעיית היממים מערי הלוויין לתל-אביב על פני פתרון מסילתי מירושלים לתל-אביב תלויה, על כן, במידה רבה בפרמטר  $\eta$ .

כאשר  $\beta = \theta_R \beta_R + (1 - \theta_R) \beta_M$ . השפעת המרחק על פלח השוק של הרכבת תלויה על כן ביכולתה להתמודד במונחי מהירות עם הרכב המוטורי בקטעי הקו בהם לא קיים גודש. מהירותה האפקטיבית של הרכבת תלויה במספר התחנות בהן היא עוצרת. ככל שגדל מספר התחנות גדל אמנם מספר הנוסעים הפוטנציאלי, אך קטן יתרונו של הרכבת במונחי זמן נסיעה. כאשר מספר העצירות גדול הרכבת אינה מסוגלת להתמודד עם הרכב המוטורי (ובעיקר הרכב הפרטי) במונחי מהירות "חופשית", וכפי שמראה משוואה (9), יש לצפות שפלח השוק של הרכבת יקטן ככול שגדל מרחק הנסיעה.<sup>27</sup> הרכבת הופכת מאמצעי להובלת המונים למרחקים גדולים לאמצעי הובלה שעיקר יתרונו בהובלה פרברית בתנאי גודש.

### 3. הבחירה בין אמצעי תחבורה ציבורית- השפעת תדירות הנסיעה

בבחירה בין הרכבת והרכב המוטורי לא פחות חשובים מגורם המהירות ( הגורם הקובע את המקדם  $\beta_i$ ) הם הגורמים הקובעים את המרכיב הקבוע  $\gamma_i$  ( ואת  $\alpha_i$ ), ובראש וראשונה גורמי הנגישות והתדירות. הרכבת מנועה מלהיכנס למרכזי הערים ופועלת בלוח זמנים קבוע. שני גורמים אלה מאריכים את משך הזמן הנדרש להגיע לתחנה (ומהתחנה ליעד הסופי) ואת זמן ההמתנה. ככל שמשך הזמן גדול יותר, גדל  $\gamma_R$ , קטן  $\alpha_R$  וכתוצאה קטן פלח השוק הרכבתי

$$(10) \quad \partial \theta_R / \partial \gamma_R = - \partial \theta_R / \partial \alpha_R = - \theta_R (1 - \theta_R) < 0$$

מגבלות דומות חלות אמנם גם על האוטובוסים, שכן במקומות יישוב רבים תחנות האוטובוסים הבינעירוניות ממוקמות בסמיכות לתחנות הרכבת. עם זאת רבים מקווי האוטובוס הפרבריים נכנסים לתוך הערים הגדולות וחוסכים לנוסע את הצורך להחליף אמצעי בנסיעה. הקיבולת היותר קטנה של האוטובוס היא חסרון בקו עתיר נוסעים, אך היא יתרון בקו דליל נוסעים. כך יכולה חברת האוטובוסים להציע קוים ישירים מהערים הגדולות לערי הלויין במטרופולין תל-אביב (למשל הקו ירושלים-בני ברק), בעוד הרכבת יכולה רק לספק שרות עקיף.

גורם נוסף הפועל לטובת האוטובוס הוא יתרון התדירות. בהתאם למודל של מורינג ( Mohring, 1972) כאשר עלות סבב היא C עלות זמן המתנה היא w לשעה, התדירות היא F לשעה (וזמן ההמתנה הממוצע הוא  $\frac{1}{2} F$ ) ומספר הנוסעים X, עלויות התפעול הן CF ועלויות ההמתנה  $\frac{1}{2} (w X/F)$ . התדירות האופטימאלית המביאה את סך העלויות (תפעול והמתנה) למינימום היא

$$(11) \quad F^* = (wX/2C)^{1/2}$$

והעלות לנוסע היא

$$(12) \quad AC = TC/X = (2C w/X)^{1/2}$$

<sup>27</sup> ככול שמהירות הנסיעה קטנה יותר המקדם  $\beta_i$  גדול יותר.

מאחר ועלות הסבב C גדולה ברכבת מאשר באוטובוס תהיה התדירות האופטימאלית של הרכבת קטנה יותר, ועלות ההמתנה והתפעול גדולה יותר. העלות הכוללת של הרכבת תהיה, על כן, נמוכה מזו של האוטובוס רק אם הפרשי זמן הנסיעה מפצים על הפרש בעלות ההמתנה והתפעול.<sup>28</sup>

במודל הבסיסי של מורינג קיבולת האוטובוס Y נגזרת מהתדירות האופטימאלית

$Y^* = X/F^* = (2CX/w)^{1/2}$ . תנודתיות במספרי הנוסעים בין הקווים ובין שעות היום, ומגבלות בטיחותיות על קיבולת אוטובוס הנוסע במהירויות גבוהות בקווים בינעירוניים תביא לשימוש באוטובוסים שקיבולתם אינה, בהכרח, אופטימאלית. כתוצאה ממגבלות אלו יצטמצם היתרון שיש לאוטובוס על הרכבת במונחי עלויות תפעול וזמן המתנה בקווים עתירי נוסעים.

באופן ספציפי, כאשר הנהלת הרכבת מפעילה את מערך הרכבות בתדירות אופטימאלית כך שהוצאות התפעול וההמתנה לנוסע הן  $AC_R = (2C_R w/X)^{1/2}$ , בעוד האוטובוס מוגבל לקיבולת  $Y_B$  וההוצאות לנוסע הן  $AC_B = (C_B/Y_B) + (wY_B/2X)$ , ניתן להראות שעבור מספר נוסעים העולה על

$$(13) \quad X^* = (wY_B^2) / 2 [(C_R)^{1/2} - (C_R - C_B)^{1/2}]^2$$

תהיה הרכבת זולה מהאוטובוס במונחי עלויות תפעול והמתנה.

לבסוף, מאחר ומקדם המילוי של האוטובוס גדול משמעותית מזה של רכב פרטי (נהוג לחשוב שאוטובוס בינעירוני ממוצע מסיע 25-35 נוסעים ורכב פרטי בנסיעה בינעירונית מסיע 1.3-2), החיסכון בעלויות התחבורה המוטורית, והשלכות הפעלת הרכבת על הגודש בכבישים, תלויים במידה רבה בכוח המשיכה של הרכבת עבור נוסעי רכב פרטי בהשוואה לשירות האוטובוסים.

הניתוח התיאורטי מצביע על שורה ארוכה של נתונים הנדרשת כדי לגזור את מפת התחבורה האופטימאלית ואת חלקה של הרכבת במפה זו. הנתונים הנדרשים מתייחסים לעלויות אמצעי התחבורה השונים, לפרמטרים של הביקוש ופיצול הנסיעות, ולהשתנות עוצמת הגודש על פני הקווים השונים ועל פני שעות היום. החוקר הישראלי לא התברך בעושר נתונים זה, ועל כן חלק מהשיקולים לקביעת היתרון היחסי של הרכבת נותר בתחום התיאוריה, והמחקר האמפירי נדרש להתבסס על נתונים חלקיים בלבד.

### ג. הנתונים ובעיות מדידה

נקודת התורפה בכל בדיקה של כדאיות הרחבת רשת המסילות של רכבת ישראל היא איכות הנתונים. לבדיקה מסוג זה נדרשים נתונים על עלויות הרכבת, עלויות אמצעי התחבורה המוטוריים, תחזיות על מספר הנוסעים במהלך 25-30 השנים הבאות ופיצול התנועה בין האמצעים השונים.

<sup>28</sup> במודלים מורכבים יותר מפעיל המוביל הציבורי יותר מסוג רכב אחד, כאשר סוגי הרכב השונים נבדלים בעלות התפעול ובקיבולת (ראה, Gronau, 2000). אימוץ מודל מסוג זה היה רק מחדד את המסקנות ביחס ליתרון האוטובוס על הרכבת במונחי עלויות תפעול ונייד וזמן ההמתנה.

## 1. עלויות תפעול ונייד

במערכת העלויות המסילתית יש להבחין בין שני מרכיבים עיקריים: עלויות הקשורות בנתיב ועלויות הקשורות בתנועה. בקבוצת העלויות הראשונות יכללו עלויות ההון הקשורות בהנחת המסילה ובניין התחנות, ועלויות האחזקה השוטפות של המסילה והתחנות (כולל מערכת האיתות). בעלויות התנועה יכללו העלויות הכרוכות ברכישת הציוד הנייד, אחזקתו ותפעולו. עלויות הנתיב אינן תלויות בהיקף התנועה, אלא אם כן הגדלת התדירות מחייבת את הכפלת המסילה. ההשפעה הישירה של מספר הנוסעים על העלויות היא קטנה (עלויות כרטוס וכדומה), כאשר עיקר ההשפעה של השינוי במספר הנוסעים על העלות הוא עקיף – דרך השפעתו על תדירות הרכבות.

הדו"חות הכספיים של הרכבת אינם מאפשרים לפרק את העלויות המדווחות לפי המרכיבים לעיל. השתמשנו על כן בחישובינו במקדמי הבקרה התקציבית המשמשים את משרד התחבורה בפקוח על עלויות הרכבת.<sup>29</sup> עלויות הציוד וההשקעות בתשתית מבוססים על נתוני הרכבת ואגף התקציבים.<sup>30</sup> אומדני עלויות כלי הרכב המוטוריים מתעדכנים באופן שוטף, וההבדלים בין אומדני חוקרים שונים הם יחסית קטנים. אם קיים קושי באומדן העלות האלטרנטיבית הרי שקושי זה אינו קושי טכני אלא קושי מושגי, שמקורו בהבחנה בין עלויות קבועות ומשתנות. מקובל להניח שפתיחת קו רכבת חדש, או שדרוגו, אינו משפיע על החלטות רכישת רכב פרטי על ידי הצרכנים. העלות האלטרנטיבית של רכב פרטי היא על כן עלות התפעול של רכב זה (דלק ומרכיב האחזקה הרגיש לקילומטראז').<sup>31</sup> הנחה זו אינה תופשת כאשר מדובר באוטובוסים. צמצום במספר הנוסעים באוטובוסים והקטנת התדירות של שירות זה תביא בטווח הארוך לצמצום ברכישת אוטובוסים (או מעבר לכלי רכב קטנים יותר). שינוי זה מן הראוי שייקח בחשבון בחישוב החיסכון כתוצאה מהרחבת שירות הרכבות.

לבסוף, אחד ממרכיבי העלות הקבועים העיקריים בתחבורה המוטורית היא עלות הנתיב (עלות הרחבת הכביש). באופן היסטורי נקבעה תכנית ההשקעות בכבישים במנותק מתכנית ההשקעה ברכבות. מקור הנתק בעבר היה במשקל הקטן שהיה לרכבת בתנועה, השינויים בכוח המשיכה של הרכבת יחסית לכביש על פני שעות היממה, והפיצול בתהליך קבלת החלטות לגבי מערך הכבישים ומערך הרכבות. נהוג על כן להתייחס למערך הכבישים כמערך נתון שאינו מושפע מהיקף השימוש ברכבות. ייתכן ובעתיד, עם הרחבת השימוש ברכבות, יהיה מקום לבדיקת כדאיות הרחבות מסוימות ברשת הכבישים, בהינתן המערך המסילתי.

## 2. עלויות הזמן

מרכיב חשוב בעלויות הנסיעה הן עלויות הזמן. לפי הערכות גרונאו (1997 ב') הוּו עלויות הזמן כ-45 אחוז מהעלויות לנוסע בנסיעות בינעירוניות (כאשר המהירות הממוצעת היא 70 קמ"ש), ו-60 אחוז

<sup>29</sup> מקדמים אלה משמשים בחישוב הסובסידיה השוטפת של רכבת ישראל והם קרובים מאד לעלויות בפועל. הנתונים סופקו לי בעזרתם האדיבה של אברהם ירושלמי, ממשרד התחבורה, ורואה החשבון יהודה מלול.

<sup>30</sup> עלויות הנתיב תלויות באורך הקו, ברוחב הנתיב (מסילה אחת או מסילה כפולה) ובטופוגרפיה של השטח (הצורך בגשרים או מנהרות). האומדן שאימצנו הוא העלות הממוצעת לק"מ מסילה כפולה.

עלות הציוד משתנה עם סוג הציוד. בעבר השקיעה הרכבת בסוגי ציוד מגוונים שלא תמיד הוכחו כיעילים. גם במקרה זה אמצנו את האומדן העדכני של הרכבת המתייחס לסוג הציוד המועדף בעת הזו.

<sup>31</sup> אומדן עלות הרכב הפרטי יהיה, על כן, מוטה כלפי מטה במידה וזמינות השירות הרכבתי מקטינה את הנטייה לרכישת רכב (ובאופן ספציפי, רכב שני) על ידי משק הבית.

בנסיעה עירונית (כאשר המהירות היא רק 25 קמ"ש)<sup>32</sup>. לפי חישוב זה היה מרכיב הזמן (כולל זמן הנהג) בנסיעה באוטובוס כ-45 אחוז ו-75 אחוז בהתאמה. אחד השיקולים המכריעים בהעדפת הרכבת על פני הרכב המוטורי הוא החיסכון בזמן. יתר על כן, אחד השיקולים המרכזיים בהסטת ההשקעות מהכבישים לרכבת הוא החיסכון בזמן, לא רק למי שמשמש ברכבת אלא גם לאלה שממשיכים להשתמש בכביש. קיימת, אפוא חשיבות רבה לאומדן החיסכון בזמן.

זמן הנסיעה ברכבת נחלק לשני חלקים: המרכיב הקבוע והמרכיב המשתנה עם מרחק הנסיעה. המרכיב הקבוע מורכב מהזמן הנדרש להגיע לתחנת הרכבת, הזמן הנדרש להגיע מהתחנה ליעד הנסיעה הסופי, וזמן ההמתנה. בעוד שלגבי המרכיב המשתנה – זמן הנסיעה ברכבת עצמה, ניתן להתבסס על לוחות הזמנים של הרכבת, נצטרך באשר למרכיב הקבוע להתבסס על השערות.

המדידה מורכבת אף יותר כאשר מדובר בזמן הנסיעה ברכב המוטורי. לא קיים גוף נתונים שיטתי המרכז את הנתונים על מהירות הנסיעה בכבישים הבינעירוניים בישראל. איסוף נתונים על מהירות הנסיעה הוא מורכב, ועל אף השכלולים בשיטות איסוף המידע בשנים האחרונות (שימוש ברכבים בעלי התקן GPS ושימוש ברכבים שבהם נמצא טלפון סלולארי) הוא מוגבל רק לגזרות מצומצמות של מערכת הכבישים הבינעירונית, ובעיקר לאותן גזרות הסובלות מבעיות גודש חריפות. בחישוב החיסכון הישיר בזמן (החיסכון לנוסעים העוברים מרכב מוטורי לרכבת) התבססנו על מערכת הנחות על חלק הנסיעה של הרכב המתבצע בתנאי גודש והחלק המתבצע ללא הפרעות גודש ועל הנחות ביחס למהירות בשני המצבים. לחילופין, השתמשנו בתוצאות של מודל הצבת הנסיעות הארצית והתוצאות המתקבלות ממודל זה לגבי מהירויות הנסיעה.

מרכיב חיסכון זמן לא פחות חשוב (בודאי בשעות השיא) הוא החיסכון העקיף – החיסכון בזמן למשתמשים בכביש כתוצאה מהסטת חלק מהתנועה מהכביש לרכבת. מהחיסכון בזמן נהנים המשתמשים בכבישים העוברים בפרוזדור בו עוברת הרכבת, אך עשויים ליהנות ממנו גם נוסעי רכב מוטורי באגן ההיקוות של הפרוזדור במידה והתנועה באגן ההיקוות קטנה כתוצאה מפעילות הרכבת. מדידת החיסכון העקיף מחייבת הערכות על צמצום התנועה המוטורית והשפעתה על זמן הנסיעה. גם במקרה זה נאלץ להתבסס על הנחות תיאורטיות לגבי פונקציות המהירות של הרכב המוטורי (פונקציות העכבה), ולחילופין, על הצבות של מודל הצבת הנסיעות הארצית.

### 3. פיצול הנוסעים

כדאיות הרכבת נגזרת באופן ישיר ממספר הנוסעים המשתמש באמצעי זה, אך גורם לא פחות חשוב הוא אמצעי התחבורה אותו נטשו המשתמשים לטובת הרכבת: אוטובוס או רכב פרטי. החיסכון בעלויות תפעול והחיסכון בעלויות זמן (ובמיוחד עלויות הזמן העקיפות) נקבעים על ידי תמהיל הרכב המוטורי בו השתמשו נוסעי הרכבת בעבר. כדאיות הרכבת תלויה על כן באופן קריטי בפונקציות פיצול הנסיעות. הבעיות בהן נתקל החוקר באומדן העלויות מתגמדות בהשוואה לבעיות המתעוררות כאשר מדובר בתחזית הנוסעים וחלוקתם בין אמצעי התנועה השונים. הסקר הארצי האחרון שהתייחס להרגלי הנסיעה של תושבי ישראל נערך לפני למעלה מעשור שנים ("סקר הרגלי נסיעה 1996/7"). על אף הליקויים שנמצאו בו ולמרות הזמן שחלף מהווים נתוני סקר זה (בתיקונים מסוימים) את התשתית לכל אומדני הביקוש לנסיעות בישראל.

<sup>32</sup> העלויות חושבו בהנחה שמקדם המילוי של הרכב הפרטי בתנועה הבינעירונית הוא 2, בעוד שבתנועה העירונית הוא רק 1.35. אם היה אותו מקדם מילוי משמש בשני החישובים היה הפער בין מרכיבי הזמן גדול יותר.



ב-1996 היו תכניות הפיתוח של הרכבת עדיין בחיתוליהן. אין ביכולתם של נתוני הסקר לסייע, על כן, כאשר מדובר בתחזית פיצול התנועה בין הרכבת והרכב המוטורי. למרות סכומי העתק שעומדת הממשלה להשקיע ברשת התחבורה (כבישים, רכבת ורכבות קלות) הושקעו רק משאבים מזעריים להעשרת תשתית הנתונים המשמשת את המתכנן. חלק גדול ממשאבים אלה הושקע בסקרי אד-הוק שנועדו לבדוק תכניות השקעה ספציפיות, ורק מיעוט מבוטל מסקרים אלו יש בו להטיל אור על הביקוש לרכבות.

מודל הפיצול הסטנדרטי מתבסס על הפונקציה הלוגיסטית. בהרחבה למשוואה (8), נתח השוק

של אמצעי j בהתאם למודל זה הוא

$$(14) \quad \theta_j = \exp\{\alpha_j + \beta_j Z_j\} / \sum \exp\{\alpha_i + \beta_i Z_i\}$$

כאשר  $Z_j$  הוא וקטור של מאפיינים הקובע את עלות הנסיעה באמצעי j (זמן נסיעה, נגישות, מספר מעברים, עלות כספית וכדומה) ו  $\alpha_j$  ו  $\beta_j$  הם פרמטרים. הקשיים באומדן פונקצית הפיצול מקורם בקשיים באמידת הפרמטרים ובמגבלותיה של פונקצית הפיצול הלוגיסטית.

בהעדר מחקר על בחירת הנוסע בין הרכב המוטורי והרכבת נאלץ החוקר בחפשו אומדן לפרמטרים להשתמש במקורות מידע עקיפים. בהנחה שהשפעת מאפייני הנסיעה על העלות היא בלתי תלויה באמצעי הנסיעה (למשל, "מחיר הזמן" בלתי תלוי באמצעי שנבחר), מתקיים  $\beta_i = \beta$  עבור כל i. בהינתן הנחה זו ניתן להשתמש באומדני הפרמטר  $\beta$  שנמצאו במחקרי ביקוש לנסיעות ברכב מוטורי (ובאופן ספציפי, באוטובוסים) לחישוב השפעת מרכיבי העלות על הביקוש לרכבת. אך פתרון זה אינו ישים באומדן הפרמטר  $\alpha_j$ . מרכיב קריטי בקביעת הפרמטר  $\alpha_j$  הוא התועלת שמפיק הנוסע משימוש באמצעי j ( $\xi^j / \lambda$ ). בהעדר מחקר ספציפי המתייחס לביקוש לרכבות לא ניתן, על כן, באמידת הפרמטר להתבסס על אומדנים עקיפים.<sup>33</sup>

חשובות לא פחות לבדיקת כדאיות הרכבת הן ההנחות הגלומות בפונקציה הלוגיסטית: רגישותה לקיומן של אלטרנטיבות שאינן רלבנטיות, וההנחה הגלומה במשוואה (14) לגבי גמישות התחלופה בין הרכבת והרכב הפרטי יחסית לזו שבין הרכבת והאוטובוס. פיצול התנועה במודל הלוגיסטי רגיש למספר האמצעים המתחרים על בחירת הנוסע ללא קשר למאפייניהם. כך למשל, הפעלת רכבת (R) שמאפייניה זהים לאלו של האוטובוס (B)  $[(\xi_B / \lambda) - C_B] = [(\xi_R / \lambda) - C_R]$  תביא להגדלת נתח השוק של התחבורה הציבורית ולצמצום חלקו של הרכב הפרטי.<sup>34</sup>

<sup>33</sup> את הקושי בחיזוי הביקוש לשירותי הרכבת נוכל להמחיש באמצעות הפתרון שאומץ על ידי אבירם (2004). בהעדר פונקצית פיצול נסיעות בין רכבת, רכב פרטי ואוטובוסים, השתמש אבירם בפונקצית הפיצול ששימשה את חברת נת"ע באומדן פיצול התנועה בתל-אביב בין הרכבת הקלה וכלי הרכב המוטוריים, תוך תיקונים שהתבססו על ספירות נוסעים בתחנות הרכבת. אלא שגם לפונקציה של נת"ע לא היה ביסוס אמפירי, שהרי הרכבת הקלה נמצאת עדיין בשלבי תכנון. כדי להתגבר על קושי זה נעזרו יועצי נת"ע באומדן המבוסס על שיטת ה"העדפות המוצהרות" (stated preferences), כאשר המראיינים נשאלים מה הסבירות שישתמשו ברכבת קלה.

תחזיות הביקוש של אבירם מושפעות במידה רבה מאומדן הגורם הקבוע  $\alpha_R$ , בעוד שלמאפייני העלויות וזמן הנסיעה יש רק השפעה משנית על תחזית נתח השוק של הרכבת (במודל של אבירם אומצה ההנחה שהשפעת מאפייני הנסיעה על העלות היא זהה ברכבת ואוטובוסים אך שונה מזו של הרכב הפרטי).

<sup>34</sup> בעגה המקצועית נהוג לומר שהמודל הלוגיסטי אינו עומד בדרישות "אי התלות באלטרנטיבות לא רלבנטיות" (IIA – Independence of Irrelevant Alternatives).

נסמן את "התועלת העקיפה" מנסיעה באמצעי  $i$   $V_i = [(\xi_i / \lambda) - C_i]$  אזי חלקו של הרכב הפרטי בהעדר רכבת הוא

$$(15) \quad \theta_M^0 = 1/[1+\exp(V_B-V_M)]$$

הפעלת רכבת שמאפייניה זהים לאלו של האוטובוס ( $V_R = V_B$ ) תביא לצמצום פלח השוק של הרכב הפרטי ל -

$$(16) \quad \theta_M^1 = 1/[1+2\exp(V_B-V_M)] = \theta_M^0 / (2-\theta_M^0) < \theta_M^0$$

ולהגדלת פלח השוק של התחבורה הציבורית.

בחישוב כדאיות הרכבת יש לתמהיל הנוסעים המוטוריים (נוסעי רכב פרטי ואוטובוסים) העוברים לרכבת חשיבות שאינה נופלת מפלח השוק של הרכבת. גם בהקשר זה כרוך השימוש בפונקציה הלוגיסטית במגבלות קשות. בהתאם למודל הלוגיסטי בגרסתו הפשוטה [משוואות (2) או-(14)] יקטן פלח השוק של שני האמצעים המוטוריים בשיעור זהה  $\theta_B^1 / \theta_B^0 = \theta_M^1 / \theta_M^0$ . לשון אחרת, הרכבת תשאב  $\theta_M^0$  מנוסעיה מקרב נוסעי הרכב הפרטי, ו-  $(1 - \theta_M^0)$  מהאוטובוסים.<sup>35</sup> להמחשה, לפי מודל הצבת הנסיעות הארצי 69 אחוז מהנוסעים (שאינם נוסעי הרכבת) משתמשים ברכב פרטי, ו-31 אחוז – באוטובוס.<sup>36</sup> בהתאם למודל הלוגיסטי, הפעלת רכבת שמאפייניה זהים לאלו של האוטובוס תביא לצמצום פלח השוק של הרכב הפרטי ל-53 אחוז, ולהגדלת פלח השוק של התחבורה הציבורית ל-47 אחוז (המתחלקים באופן שווה בין הרכבת והאוטובוס). לשון אחרת, גם אם נניח שהרכבת אינה מציעה כל שיפור על הנסיעה באוטובוס ינבא המודל הלוגיסטי שהרכבת תתפוש נתח שוק של כ-24 אחוז מציבור הנוסעים הפוטנציאלי, ושלמעלה משני-שליש מציבור נוסעיה יבוא מקרב נוסעי הרכב הפרטי.

כדי להתגבר על מכשלה זו נהוג לאמץ פונקצית פיצול מורכבת יותר, כדוגמת ה- Nested Logit. פונקצית פיצול זו מניחה שנוסעי האוטובוסים רגישים יותר לשינוי במאפייני הרכבת (רמת השירות והתעריפים) מאשר נוסעי הרכב הפרטי. פונקצית הפיצול של נוסעי התחבורה הציבורית (אוטובוסים ורכבות) היא הפונקציה הלוגיסטית הפשוטה (משוואה 14), אך פיצול הנוסעים בין התחבורה הציבורית והפרטית מושפע ממקדם רגישות  $\mu$

$$(17) \quad \theta_M = 1/[1+\exp \mu (W_P-V_M)]$$

כאשר  $W_P = \ln [\exp(V_B) + \exp(V_R)]$  היא "התועלת העקיפה" מנסיעה באמצעי תחבורה ציבורי. ככל שמקדם הרגישות קטן יותר ( $\mu < 1$ ) תקטן רגישות נוסעי הרכב הפרטי לשינויים במאפייני הרכבת, השינוי במספר המשתמשים ברכבת יהיה קטן יותר, וחלק גדול יותר מקרבם יהיו נוסעי אוטובוסים. לוח 4 ממחיש את רגישות השינויים בתנועה המוטורית כתוצאה מהפעלת הרכבת להנחות ביחס ל  $\mu$ . הלוח מתאר את פיצול התנועה (לאלף נוסעים) בהינתן שיעורי החדירה של הרכבת. החלק העליון

<sup>35</sup> כאשר מאפייני הרכבת והאוטובוס זהים יקטן פלח השוק של כלי הרכב המוטוריים בשיעור

$\theta^1 / \theta^0 = 1/(2-\theta^0)$  ופלח השוק של הרכבת יהיה  $(1-\theta^0)/(2-\theta^0) = 1 - (\theta^1 / \theta^0)$ .

<sup>36</sup> לפי נתוני הלמ"ס ששימשו בחישוב לוח 4 מרכיב המשתמשים ברכב פרטי בנסיעות בינעירוניות הוא 54-71 אחוז, ותלוי בהנחות לגבי מקדמי המילוי של כלי הרכב השונים.

של הלוח מתאר את התחזית המבוססת על המודל המולטינומיאלי הפשטני  $\mu = 1$  (משוואה 15). לפי מודל זה שואבת, כאמור, הרכבת את נוסעיה בשיעורים קבועים מהרכב הפרטי ומהאוטובוסים, שיעורים אלה הם להתחלקות התנועה ההתחלתית (69 אחוז מהרכב הפרטי ו-31 אחוז מהאוטובוסים), וכתוצאה קטן מספר כלי הרכב בכבישים בשיעור זהה לשיעור החדירה של הרכבת. ככל שקטן מקדם הרגישות  $\mu$  כך קטן מרכיב הנוסעים ברכבת שמקורו ברכב הפרטי, וכך מצטמצמת הירידה בתנועה בכבישים. לדוגמה, בעוד מודל המבוסס על ההנחה  $\mu = 1$  מנבא שהרכבת תקלוט כ-70 אחוז מהרכב הפרטי, מצטמצם מרכיב זה ל-50 אחוז כאשר  $\mu = 0.7$ , ל-40 אחוז כאשר  $\mu = 0.5$ , ול-20 אחוז בלבד כאשר  $\mu = 0.2$ . כתוצאה מהתמתנות הירידה במספר הנוסעים ברכב הפרטי עם הירידה ב  $\mu$  קטנה הירידה בתנועה המוטורית. שיעור חדירה של הרכבת של 25 אחוז מביא לירידה במספר כלי הרכב בכבישים של 25 אחוז כאשר  $\mu = 1$ , אך רק לירידה של 20, 16 ו-9 אחוז כאשר מקדם הרגישות  $\mu$  הוא 0.7, 0.5 ו-0.2 בהתאמה.<sup>37</sup>

**לוח 4. רגישות התנועה המוטורית לשינויים בנתח השוק של הרכבת בהנחות שונות לגבי מקדם הרגישות  $\mu$**

כלי רכב	מרכיב נוסעי רכב פרטי ברכבת	אוטובוסים		רכב פרטי		אחוז הנוסעים ברכבת	$\mu$	
		מזדד	נוסעים	מזדד	נוסעים			
100	472		100	310	100	690	0.00	<b>1</b>
90	425	0.69	90	279	90	621	0.10	
85	402	0.69	85	264	85	587	0.15	
80	378	0.69	80	248	80	552	0.20	
75	354	0.69	75	233	75	518	0.25	
100	472		100	310	100	690	0.00	<b>0.7</b>
92	437	0.50	84	261	93	640	0.10	
88	418	0.52	77	238	89	613	0.15	
84	398	0.53	70	216	85	585	0.20	
80	378	0.54	63	195	80	555	0.25	
100	472		100	310	100	690	0.00	<b>0.5</b>
94	445	0.37	80	247	95	652	0.10	
91	430	0.39	70	218	92	631	0.15	
88	413	0.40	62	191	88	609	0.20	
84	396	0.42	53	165	85	584	0.25	
100	472		100	310	100	690	0.00	<b>0.2</b>
97	458	0.16	73	226	98	674	0.10	
95	450	0.17	60	186	96	664	0.15	
93	441	0.19	48	148	95	652	0.20	
91	430	0.21	36	112	92	638	0.25	

הנחה: מקדם המילוי של רכב פרטי הוא 1.5 ושל אוטובוסים הוא 2.5.

<sup>37</sup> מספר כלי הרכב בלוח 4 חושב בהנחה שמקדם המילוי של רכב פרטי הוא 1.5 ושל אוטובוסים הוא 2.5.

מספר המחקרים על מקדם הרגישות בפונקצית פיצול התנועה בישראל הוא מצומצם. נצטרך, אפוא, להיעזר במקדמים המבוססים על הספרות הבינלאומית.

## נספח 2:

### השפעת כניסת אמצעי תחבורה ציבורי נוסף לשוק - אומדן מבוסס על Nested Logit

במצב ההתחלתי שני אמצעים M ו B

$$\theta_M^0 = 1 / \{ 1 + \exp[\mu(V_B^0 - V_M^0)] \}$$

$$\theta_B^0 = 1 / \{ 1 + \exp[-\mu(V_B^0 - V_M^0)] \}$$

כאשר  $\theta_j^1$  הוא פלח השוק של אמצעי j בתקופה t, ו  $V_j^1$  היא התועלת העקיפה מהשימוש באמצעי j.

$$\partial \theta_M / \partial \mu = \theta_M \theta_B^* (V_M - V_B) \quad \text{מתקיים}$$

פלח השוק של הרכב הפרטי גדל עם  $\mu$  כל עוד  $V_B < V_M$  [דהיינו, כל עוד  $\theta_M < 0.5$ ], וקטן עם  $\mu$  כאשר  $V_B > V_M$ .

בעקבות כניסת R לענף

$$\theta_M^1 = 1 / \{ 1 + \exp[\mu(W_P^1 - V_M^1)] \}$$

כאשר  $W_P$  היא התועלת מנסיעה בתחבורה ציבורית

$$W_P^1 = \ln [\exp(V_B^1) + \exp(V_R^1)] = V_B^1 + \ln \{ 1 + \exp[V_R^1 - V_B^1] \}$$

$$\theta_B^1 = 1 / \{ 1 + \exp[-\mu(W_P^1 - V_M^1)] \} * [\exp(V_B^1 - W_P^1)]$$

כאשר כניסת הרכבת לענף אינה משנה את מאפייני הנסיעה ברכב המוטורי  $V_j^0 = V_j^1$

$$\theta_M^1 = \theta_M^0 / [\theta_M^0 + (1 - \theta_M^0) * k]$$

כאשר k קובע את עצמת השינוי  $k = \{ 1 + \exp[V_R^1 - V_B^1] \}^\mu > 0$ . פרמטר השינוי גדל עם מקדם

הרגישות  $\mu$  וככל שהשירות שמציעה הרכבת עדיף על זה של האוטובוס. כאשר שני האמצעים הם

תחליפים מושלמים  $V_B = V_R^1$  יהיה מקדם השינוי שווה ל-  $k = 2^\mu$ .

באופן דומה,  $\theta_B^1 = \theta_B^0 k^{[1 - (1/\mu)]} / [\theta_M^0 + (1 - \theta_M^0) k] = \theta_B^0 k^{[1 - (1/\mu)]} (\theta_M^1 / \theta_M^0)$

כאשר  $\mu = 1$  שיעור הירידה של האמצעים M ו B הוא זהה. כאשר  $\mu < 1$  תהיה הירידה במספר

המשתמשים באוטובוס חדה יותר מזו של מספר המשתמשים ברכב פרטי.

לבסוף, חלקה של הרכבת יהיה  $\theta_R^1 = \{ [(1 - \theta_M^0) * k * (1 - k^{-(1/\mu)})] / [\theta_M^0 + (1 - \theta_M^0) * k] \}$

חלקה יהיה קטן יותר ככל שמקדם הרגישות קטן.

בהינתן  $\mu < 1$  יהיה השינוי ברווחה

$$\Delta W = (X^0 / \lambda) * \{ \Delta \ln \Sigma_h [\exp (\mu W_h)] \}$$

כאשר  $h=M,P$ . ניתן גם במקרה זה לחשב את השינוי ברווחה בהתבסס על השינויים בעלויות ופלח

השוק של הרכב הפרטי בלבד

$$\Delta W = X^0 * \{ \mu (C_M^1 - C_M^0) - (1/\lambda) \ln [1 + (\Delta \theta_M / \theta_M^0)] \}$$

#### ד. התפוקה – מפת הנסיעות של הרכבת

קצבי הגידול בתנועת הנוסעים ברכבת בעשור האחרון (18 אחוז לשנה) בודאי מרשימים בכל קנה מידה. שיעורי הגידול בחומש האחרון אמנם איטיים יותר (10 אחוז לשנה), אך גם הם כפולים משיעור הגידול של תנועת הנוסעים בכבישים (לוח 4). עם זאת מצביע לוח 1, שבהשוואה בינלאומית, מרחק הנסיעה הממוצע ברכבת הוא יחסית קצר (פחות מ-60 ק"מ), ונשאלת השאלה האם הצליחה רכבת ישראל להגיע להיקף נוסעים כזה המצדיק את ההשקעות שנעשו בה.

בשנת 2007 נסעו ברכבת כ-32 מיליון נוסעים. לוח 5 מתאר את מפת הנסיעות ברכבת לפי מוצא ויעד. נתוני התפלגות הנסיעות לפי מוצא ויעד מבוססים על מכירת כרטיסים. מאחר ונוסעים רבים רוכשים כרטיסי "הלוך-ושוב" וכרטיסי "חפשי-חודשי" והנוסע נרשם לפי התחנה בה נרכש הכרטיס, קיימת בנתונים אסימטריה שהיא בודאי גדולה מזו שקיימת במציאות.<sup>38</sup> כך למשל, לפי הלוח מספר הנוסעים מחיפה לתל-אביב הוא פי 1.5 ממספר הנוסעים מתל-אביב לחיפה. קשה להאמין ששליש מהנוסעים בקו נוסע ברכבת רק כיוון אחד. למרות ליקוי זה יש בנתוני לוח 5 ללמד על מפת הנסיעות ברכבת ובראש וראשונה על מרכזיותה של תל-אביב, ובמידה פחותה – חיפה, במפה זו. בכ-60 אחוז מהנסיעות מהווה תל-אביב נקודת מוצא או יעד, בחמישית מהנסיעות המוצא או היעד הוא חיפה, עשירית מהנסיעות הן פנים-אזוריות, ורק בעשירית מהנסיעות ממשיך הנוסע ברכבת מעבר לתל-אביב (למשל מהצפון, מחיפה, או מהשרון לתחנות דרומה מתל-אביב). בתבנית זו לא חל שינוי בשלוש השנים האחרונות. מרכזיותה של תל-אביב בתנועת הרכבת היא בעלת חשיבות רבה בבדיקת כדאיות הרכבת.

ציר מרכזי בפעילות הרכבת הוא הקו נהריה-באר שבע. מוצאן ויעדן של כשני-שליש מהנסיעות בקו זה (לעומת 27 אחוז בקווים האחרים), ומרחק הנסיעה הממוצע בקו (63 ק"מ) כפול מזה בקווים האחרים (חלוקת הק"מ-נוסעים היא 70 ו-14 אחוז, בהתאמה).<sup>39</sup>

לפי האומדנים המוצגים בלוח 3 מהווה הרכבת רק כ-3 אחוז מהתנועה הבינעירונית (במונחי נוסע-ק"מ). הרכבת משרתת אוכלוסייה של למעלה מ-4 מיליון נפש, ושני שלישי מ-50 מקומות היישוב הגדולים במדינה נמצאים על מפת הרכבות. עם זאת אורכם של קווי הרכבת הוא רק כעשירית מזו של מערכת הכבישים הבינעירונית, ורמת השירות לחלק מהיישובים (ובראש וראשונה לשתי הערים הגדולות ירושלים וראשון לציון) מגבילה את כושר התחרות שלה ברכב המוטורי. באופן טבעי עולה השאלה מהו משקלה של הרכבת בתנועת הנוסעים שמוצאם ויעדם נמצאים על מפת הרכבת.

התשובה לשאלה זו רחוקה מלהיות פשוטה. מסילת הברזל עוברת, בדרך כלל, בשולי הערים, והגישה לתחנה כרוכה, על פי רוב, בנסיעה ברכב מוטורי (אוטובוס או רכב פרטי). משכך שם התחנה אינו מעיד בהכרח על נקודת המוצא או היעד של הנוסעים. נוסעים העולים על הרכבת בתחנת הרצליה עשויים לבוא מהרצליה באותה סבירות שהם באים מרמת השרון. יתר על כן, הגידול בשימוש ברכבת מוסבר בחלקו על ידי מספר הולך וגדל של נוסעים המגיע לתחנה ברכבו הפרטי ("חנה וסע"). נוסעים לתל-אביב מתחנת עכו עשויים לבוא מעכו אך ייתכן שהגיעו מכרמיאל. כדי להתגבר על קושי זה חושב מספר הנוסעים הבינעירוניים הפוטנציאלי ברדיוס של 20 ק"מ מהתחנה.<sup>40</sup> אלא שבנקודה זו נתקל החוקר במגבלת המידע על מפת הנסיעות הארצית. "סקר הרגלי נסיעה 1996/97" מהווה בסיס רעוע לחישוב

<sup>38</sup> לפי דו"ח שנערך עבור הרכבת על ידי חברת "אביב", המתבסס על ספירות נוסעים ברכבת בנובמבר 2005, היוו כרטיסים לכיוון אחד רק 40 אחוז מהכרטיסים.

<sup>39</sup> הנסיעות בקווים האחרים כוללות את הנסיעות לתל-אביב וממנה. נסיעות שמקורן בקו נהריה-באר שבע לתחנות בקווים האחרים או בכיוון ההפוך מהוות רק 10 אחוז מכלל הנסיעות.

<sup>40</sup> לצרכי החישוב הנהייתי מעזרתו הנדיבה של פרופ' שלמה בכור מהטכניון.

מטריצת מוצא-יעד לנסיעות הבינעירוניות, והעדכונים והתיקונים שיושמו במודל ההצבה המבוסס על נתונים אלו הם רק תחליף רעוע למידע מעודכן.

**לוח 5. התפלגות נוסעי הרכבת בשנת 2007 לפי מוצא ויעד**

<b>א. אלפי נוסעים</b>							
מוצא/יעד	צפון	חיפה	שרון	ת"א	דרום	מזרח	סה"כ
צפון	180	1,144	308	1,242	310	213	3,396
חיפה	696	242	478	1,931	361	203	3,911
שרון	283	536	816	4,702	706	209	7,252
ת"א	860	1,291	2,985	426	2,319	667	8,548
דרום	297	388	773	4,290	969	169	6,885
מזרח	116	135	168	966	141	225	1,752
<b>סה"כ</b>	<b>2,432</b>	<b>3,735</b>	<b>5,528</b>	<b>13,556</b>	<b>4,806</b>	<b>1,687</b>	<b>31,744</b>

<b>ב. התפלגות הנוסעים לפי מוצא ויעד</b>							
מוצא/יעד	צפון	חיפה	שרון	ת"א	דרום	מזרח	סה"כ
צפון	0.6%	3.6%	1.0%	3.9%	1.0%	0.7%	10.7%
חיפה	2.2%	0.8%	1.5%	6.1%	1.1%	0.6%	12.3%
שרון	0.9%	1.7%	2.6%	14.8%	2.2%	0.7%	22.8%
ת"א	2.7%	4.1%	9.4%	1.3%	7.3%	2.1%	26.9%
דרום	0.9%	1.2%	2.4%	13.5%	3.1%	0.5%	21.7%
מזרח	0.4%	0.4%	0.5%	3.0%	0.4%	0.7%	5.5%
<b>סה"כ</b>	<b>7.7%</b>	<b>11.8%</b>	<b>17.4%</b>	<b>42.7%</b>	<b>15.1%</b>	<b>5.3%</b>	<b>100.0%</b>

<b>ג. התפלגות הנוסעים לפי יעד</b>							
מוצא/יעד	צפון	חיפה	שרון	ת"א	דרום	מזרח	סה"כ
צפון	5.3%	33.7%	9.1%	36.6%	9.1%	6.3%	100.0%
חיפה	17.8%	6.2%	12.2%	49.4%	9.2%	5.2%	100.0%
שרון	3.9%	7.4%	11.3%	64.8%	9.7%	2.9%	100.0%
ת"א	10.1%	15.1%	34.9%	5.0%	27.1%	7.8%	100.0%
דרום	4.3%	5.6%	11.2%	62.3%	14.1%	2.5%	100.0%
מזרח	6.6%	7.7%	9.6%	55.1%	8.1%	12.9%	100.0%
<b>סה"כ</b>	<b>7.7%</b>	<b>11.8%</b>	<b>17.4%</b>	<b>42.7%</b>	<b>15.1%</b>	<b>5.3%</b>	<b>100.0%</b>

**הגדרות:** האזורים כוללים את התחנות הבאות:

צפון: נהריה, עכו, קרית מוצקין, קרית חיים.

חיפה: חוצות המפרץ, לב המפרץ, חיפה (מרכז), בת גלים וחוף הכרמל).

שרון: עתלית, בנימינה, פרדס חנה, חדרה, נתניה, בית יהושע, הרצליה; כ"ס - הוד השרון, ראש העין, פי"ת, בני ברק.

ת"א: האוניברסיטה, ת"א מרכז (סבידור), השלום, ההגנה.

דרום: כפר חב"ד, לוד, קרית גת, להבים, באר שבע, דימונה; באר יעקב, רחובות, יבנה, אשדוד, אשקלון; ראשונים.

מזרח: רמלה, בית שמש, ירושלים.

מקור: נתוני הכרטוס של רכבת ישראל לשנת 2007

מודל ההצבה אמור לשקף את תנועת הנוסעים הממוצעת בשעת שיא בוקר. המודל מצליח אמנם לחזות בצורה מדויקת את מספר הנוסעים הכולל ברכבת, אך קיימת בו הטיה שיטתית, כאשר מספרן של הנסיעות הקצרות (ברכב המוטורי וברכבת) מוטה כלפי מעלה, ומספרן של הנסיעות הארוכות מוטה כלפי מטה.<sup>41</sup> כתוצאה, מהווה תחזית הנוסע-ק"מ המבוססת על מודל ההצבה רק 35 אחוז מאומדן הנוסע-ק"מ המבוסס על מכירות הכרטיסים.

הטיה זו במודל ההצבה משתקפת בתוצאות הניסיון לחשב את מרכיב הרכבת בקווים הבינעירוניים אותם היא משרתת. תוצאות החישוב מופיעות בלוח 6. לפי חישוב זה מהווה הרכבת כ-7 אחוז מכלל הנסיעות, כאשר היא מהווה 10-11 אחוז בנסיעות מתל-אביב ואליה, ו-8.5 אחוז מכלל הנוסעים מחיפה ואליה.<sup>42</sup> ההטיה במטריצת ההצבה מתגלית בניסיון לחשב את משקל הרכבת בתאים הבודדים. כתוצאה מההטיה כלפי מטה בנסיעות הבינעירוניות הארוכות נמצא לא אחת שבקווים אלו מספר הנסיעות ברכבת עולה על אומדן מודל ההצבה לכלל הנסיעות (ברכבת וברכב המוטורי). תאים אלו סומנו בלוח כאומדן "לא אמין". בין תאי הנסיעות הארוכות ש"נפגעו" מתקלה זו בולט הקו מתל-אביב לחיפה. גם האומדן של מרכיב הרכבת בנסיעות מחיפה לתל-אביב (65 אחוז) נראה "חשוד".

**לוח 6. מרכיב הנסיעות ברכבת בנסיעות הבינעירוניות בקווי הרכבת, 2007**

צפון	חיפה	שרון	ת"א	דרום	מזרח	סה"כ
1.1%	7.7%	לא אמין	לא אמין	לא אמין	לא אמין	9.8%
6.6%	0.7%	22.1%	65.1%	לא אמין	לא אמין	8.5%
51.7%	7.7%	1.1%	6.5%	24.3%	6.8%	4.4%
לא אמין	לא אמין	6.7%	לא אמין	13.1%	8.5%	11.4%
לא אמין	לא אמין	27.0%	11.6%	1.3%	1.6%	5.1%
לא אמין	לא אמין	9.9%	6.9%	1.1%	2.5%	4.5%
9.2%	8.4%	4.6%	10.4%	5.0%	5.4%	6.7%

הביקוש לנסיעות מאופיין על ידי תנודות שיטתיות: תנודות בביקוש על פני השנה, תנודות בין ימי השבוע ותנודתיות על פני שעות היום. הנסיעות ברכבת לא נמלטו מתנודתיות זו. אין בידינו נתונים על הביקוש לנסיעות לפי ימים ושעות בקווים השונים ונצטרך להסתפק בנתונים אגרגטיביים. 24 אחוז מנוסעי הרכבת (חלק גדול מהם חיילים) משתמשים בה ביום א'. בשאר ימי החול נוסעים 70 אחוז, ורק 6 אחוז משתמשים ברכבת בימי ו' ומוצאי שבת. באופן דומה, 28 אחוז מהנוסעים משתמש בה בשעות שיא הבוקר 7-9, ו-46 אחוז מכלל הנוסעים משתמש בה בשעות הבוקר 10-6. אחוז כמעט דומה משתמש ברכבת בשעות 10 בבוקר עד 8 בערב ורק 7 אחוזים משתמשים ברכבת בשעות הלילה ושעות הבוקר המוקדמות.<sup>43</sup> בעשרים השעות שבין 6 ו-10 בימים א'-ה' נוסעים 43 אחוז מכלל המשתמשים ברכבת. אחוז זה כמעט זהה לאחוז הנוסעים בימים אלה בחמישים השעות שבין 10 ל-8 בערב. מספר הנוסעים לשעה בשעות השיא גדול, אפוא, פי 2.5 ממספרם בשעות השפל באותם ימים. תנודתיות זו מתבטאת בשיעורי התפוסה של הרכבות בשיא ובשפל.

<sup>41</sup> לפי נתוני הרכבת מהווה תנועת הנוסעים בשעת שיא בוקר ממוצעת 1/2500 מהתנועה השנתית בקו. טעות התחזית של מודל ההצבה של מספר הנוסעים הכולל בשעת שיא היא 2.5 אחוז בלבד.

<sup>42</sup> לצרכי החישוב השתמשנו בנתוני הכרטוס של הרכבת ואמצנו את ההנחה שמטריצת מוצא-יעד היא סימטרית.

<sup>43</sup> על פי נתוני ספירות התנועה של חברת "אביב" התנודתיות בפועל גדולה אף מזו המשתקפת בנתוני מכירות הכרטיסים.



לוח 7 מפרט את שיעורי התפוסה בשנת 2007 לפי קווים. נתונים אלו מבוססים על נתוני מכירות הכרטיסים ועל לוחות הזמנים של הרכבת. נתוני הכרטוס נותנים תמונה מהימנה של מפת הנוסעים במהלך התקופה ולוחות הזמנים מאפשרים חישוב של מספר הרכבות שהופעלו להסעתם. נתוני הכרטוס, כפי שהוסבר לעיל, פחות מהימנים בבואם לתאר את התנודתיות בביקוש על פני שעות היום וימי השבוע. כתוצאה, קיימות הטיות באומדן שיעורי התפוסה בשעות השיא ושעות השפל.

שיעור התפוסה הממוצע לרכבת בשנת 2007 היה 200 נוסעים. לוח 7 חוזר ומדגיש את מרכזיותו של הקו חיפה-באר שבע בפעילות הרכבת. שיעור התפוסה הממוצע בקו, 260 נוסעים, כפול מזה בקווים האחרים. במקביל בולטים שיעורי התפוסה הנמוכים בקווים הפרבריים המשרתים את תל-אביב: תל-אביב-כפר סבא, תל-אביב-ראשון לציון (תחנת ראשונים), ותל-אביב-נתב"ג שבהם שיעורי התפוסה נמוכים בממוצע מ-100 נוסעים לרכבת (התפוסה בקו תל-אביב-אשקלון היא כ-150 נוסעים).<sup>44</sup> שיעורי התפוסה הנמוכים בקווים אלו מוסברים בחלקם על ידי התקופה הקצרה שקווים אלו מופעלים, והמסלול העקיף של המסילה. שיעורי התפוסה בקווים אלו לעת הזו בוודאי אינם עקביים עם הדימוי של הרכבת כאמצעי להובלת המונים.

לפי נתוני הכרטוס הביקוש לנסיעות ברכבת בשעת שיא כפול מזה שבשעות השפל. לוח רכבות צפוף יותר בשעות השיא מצמצם את הפערים בשיעורי התפוסה בין השיא והשפל. כך, לפי לוח 7 שיעור התפוסה הממוצע בימי א'-ה' בשעות השיא הוא 274 נוסעים בעוד שבשעות השפל הוא 166 נוסעים.<sup>45</sup> גם בשעות אלה בולט שיעור התפוסה הגבוה בקו תל-אביב – חיפה ותל-אביב – באר שבע (370 ו-315 נוסעים, בהתאמה) ושיעורי התפוסה הנמוכים בקווים הפרבריים.

---

<sup>44</sup> ראוי לציין ששיעור התפוסה הממוצע בקטע לוד-רחובות מגיע ל-220 נוסעים. מאידך, מספר הנוסעים לרכבת בקטע לוד-בית שמש-ירושלים הוא 66, ואינו עולה משמעותית על קיבולת אוטובוס.

<sup>45</sup> גורם התורם לממוצע הנמוך הוא התנועה הדלילה ברכבת בימי ו' ושבית. השמטת ימים אלה הייתה מעלה את הממוצע בשעות השפל ל-190 נוסעים.

לוח 7. שיעורי התפוסה לפי קווים 2007, שעות שיא ושפל

שאר שעות השבוע			ימי א' - ה', שעות 6 - 10			סה"כ			
נוסעים לרכבת 2007	ק"מ- רכבות (אלפים)	ק"מ- נוסעים (מליונים)	נוסעים לרכבת 2007	ק"מ- רכבות (אלפים)	ק"מ- נוסעים (מליונים)	נוסעים לרכבת 2007	ק"מ- רכבות (אלפים)	ק"מ- נוסעים (מליונים)	
<u>213.4</u>	<u>3,353.27</u>	<u>715.48</u>	<u>356.4</u>	<u>1,531.66</u>	<u>545.85</u>	<u>258.2</u>	<u>4,884.93</u>	<u>1,261.33</u>	<u>חיפה מרכז - באר שבע</u>
210.6	2744.78	578.03	368.0	1198.33	440.98	258.4	3943.11	1019.01	חיפה מרכז - ת"א מרכז
225.9	608.49	137.45	314.6	333.32	104.87	257.3	941.82	242.32	לוד - באר שבע
<u>110.8</u>	<u>2,917.06</u>	<u>323.14</u>	<u>181.4</u>	<u>1,359.29</u>	<u>246.53</u>	<u>133.2</u>	<u>4,276.35</u>	<u>569.67</u>	<u>שאר הקווים</u>
133.3	561.30	74.80	253.0	225.55	57.06	167.6	786.85	131.86	נהריה - חיפה מרכז
163.5	751.47	122.88	260.2	360.29	93.75	194.9	1111.76	216.63	ת"א מרכז - לוד
75.4	354.45	26.73	120.1	169.85	20.39	89.9	524.29	47.13	ת"א אוניברסיטה - כפר סבא
125.8	451.71	56.83	185.0	234.32	43.36	146.0	686.03	100.19	לוד - אשקלון
56.6	412.91	23.36	86.3	206.52	17.82	66.5	619.44	41.18	לוד - ירושלים
62.1	68.70	4.27	89.2	36.50	3.26	71.5	105.20	7.52	לוד - ראשון לציון
63.2	183.93	11.62	203.4	43.58	8.87	90.1	227.52	20.49	ת"א ההגנה - נתב"ג
<b>165.6</b>	<b>6,270.3</b>	<b>1,038.6</b>	<b>274.09</b>	<b>2,890.94</b>	<b>792.38</b>	<b>199.86</b>	<b>9,161.27</b>	<b>1,831.00</b>	<b>סה"כ</b>

הערה: הסה"כ כולל גם את הקטעים באר שבע- דימונה ונתב"ג- מודיעין, שני קטעים דלילי נוסעים שלא נכללו בקווים שבלוח.

התנודתיות בביקוש על פני שעות היום משליכה ישירות על רווחיות הרכבת בהכתיבה את קיבולת הנייד הנדרש להפעלת המערכת, אך אין בה לתת תמונה מלאה של הגורמים הקובעים את כדאיות הרכבת מנקודת ראות המשק. לעניין זה חשוב לא רק שיעור התפוסה הממוצע אלא גם האסימטריה בהיקף הנסיעות בשני כיווני הנסיעה. באופן ספציפי, בהינתן משקלה המרכזי של תל-אביב במפת הנסיעות של הרכבת, ובעיות הגודש בכניסות לתל-אביב בשעות השיא, חשוב לבדוק את שיעורי התפוסה ברכבות המובילות לתל-אביב בשעות אלו. לוח 8 מחדד את התמונה. הלוח מתאר את שיעור התפוסה הממוצע של הרכבות בשעות השיא מצפון לדרום בואכה תל-אביב מחיפה וכפר סבא, ואת שיעור התפוסה של הרכבות מדרום לצפון של הרכבות העוברות דרך לוד ואלו המגיעות לתל-אביב מנתב"ג.

**לוח 8. שיעורי התפוסה לפי קווים 2007, שעות שיא בכיוון לתל-אביב**

מספר נוסעים בכניסה לת"א	נוסעים לרכבת 2007	ק"מ- רכבות (אלפים)	ק"מ- נוסעים (מליונים)		
				יום א' 7-8	שעת שיא ממוצעת ב'-ה'
	257.6	127.80	32.93		נהריה - חיפה מרכז
7,179	438.5	582.59	255.48		חיפה מרכז - ת"א מרכז
1,391	162.86	79.87	13.01		כפר סבא - ת"א אוניב'
	305.17	192.04	58.60		לוד - ת"א מרכז
5,479	326.98	173.68	56.79		באר שבע - לוד
	202.27	130.93	26.48		אשקלון - לוד
	74.17	128.37	9.52		ירושלים - לוד
	96.23	21.19	2.04		ראשון לציון - לוד
731	212.71	19.27	4.10		נתב"ג - ת"א ההגנה
<b>14,780</b>	<b>315.27</b>	<b>1,455.73</b>	<b>458.95</b>		<b>סה"כ</b>

שיעור התפוסה הממוצע של רכבות מחיפה לתל-אביב בשעות השיא הוא 440 נוסעים, והוא גבוה משמעותית משיעור התפוסה ברכבות המגיעות מלוד שהוא 305 נוסעים בלבד. להשלמת התמונה חשוב לוח 8 גם מספר הנוסעים המגיעים לתל-אביב ברכבת בשעת שיא ממוצעת (6-10) בימי ב'-ה'. לפי חישוב זה מגיעים ברכבת 3700 נוסעים מצפון ו-2700 נוסעים מדרום.<sup>46</sup> הלוח מצביע גם על התנודתיות בביקוש בין שעות השיא ובין ימי השבוע. לפי האומדן מספר הנוסעים ברכבת המגיע לתל-אביב מצפון ביום א' בין השעות 7 ו-8 כפול מהממוצע של ימי ב'-ה' ומגיע ל-8,600 נוסעים, ומספר הנוסעים המגיע מדרום הוא 6,200.

הנתונים בלוחות 7 ו-8 סובלים לא רק מהמגבלות של נתונים המבוססים על מכירת כרטיסים, אלא גם מהעדר מידע ספציפי על התפלגות הנוסעים בקווים השונים לפי שעות. בהיעדר מידע זה נאלצנו להניח שההתפלגות בכל הקווים זהה. יש, אפוא, עניין בהשוואת נתונים אלו עם נתוני ספירת הנוסעים

<sup>46</sup> מספר הנוסעים מצפון נקבע על סמך מספר הנוסעים הממוצע בשעת שיא בקטעים הרצליה-אוניברסיטה ובני ברק-אוניברסיטה. מספר הנוסעים מדרום נקבע על סמך מספר הנוסעים הממוצע בשעת שיא בקטעים כפר חבד-ההגנה ונתב"ג-ההגנה.

במדגם רכבות שנערך על ידי הרכבת.<sup>47</sup> נתוני ספירות הנוסעים מבוססים אמנם על מדגם מצומצם של רכבות אך הם מחדדים את תמונת התודתיות בביקוש. לפי נתונים אלו בימים ב'–ד' היה שיעור התפוסה הממוצע בכניסה לתל-אביב של הרכבות המגיעות מחיפה למעלה מ-800 נוסעים (הספירה המכסימלית הייתה 960 נוסעים) ושל הרכבות המגיעות מבאר שבע למעלה מ-500 נוסעים. בימי א' עולה שיעור התפוסה הממוצע 940 ו-580 נוסעים בהתאמה, כאשר הרכבת העמוסה ביותר מסיעה בכניסה לתל-אביב 1,260 נוסעים (שליש מהם בעמידה). שליש מהנוסעים בימי ב'–ד' היו חיילים, ומספרם גדל ל-60 אחוז בשעות השיא ביום א'.

קיימת הסכמה בין נתוני הכרטוס ונתוני ספירות התנועה ששיעורי התפוסה ברכבות המגיעות לתל-אביב בקו החוף מכיוון צפון גדולים מאלו ברכבות המגיעות לתל-אביב מדרום, אך קיימים פערים משמעותיים בין שני גופי הנתונים. פערים אלו מוסברים בחלקם על ידי ההנחות החזקות ששימשו בחישוב העונתיות ברכבת על בסיס נתוני הכרטוס, ובחלקם על ידי האופי המדגמי של ספירות התנועה.<sup>48</sup> עם זאת יש לזכור שנתוני הכרטוס נותנים תמונה מהימנה של שיעורי התפוסה הממוצעים השנתיים. במידה וקיימת הטיה כלפי מטה במדידת שיעורי התפוסה בקווים לתל-אביב בשעות השיא, היא "מפוצה" על ידי הטיה כלפי מעלה בשיעור התפוסה בקווים אחרים ובשיעורי התפוסה בשעות השפל.

#### ה. עלויות תפעול ונייד

עלויות הרכבת נחלקות לעלויות תפעול ונייד ועלויות תשתית. עלויות הנייד והתשתית, בתורן, מורכבות מעלויות הון ועלויות אחזקה. בפרק זה נעסוק בעלויות התפעול והנייד של הרכבת ונשווה אותם עם העלויות האלטרנטיביות של הרכב מוטורי.

אומדן עלויות התפעול של רכבות הנוסעים מבוסס על חישוב העלויות התקניות לשנת 2007. עלויות אלו מתוארות בלוח 9.<sup>49</sup> בשנת 2007 הייתה העלות המשתנה לק"מ רכבת נוסעים 26.8 ש"ח. כ-40 אחוז מהעלות המשתנה היא ההוצאה לדלק,<sup>50</sup> אחוז דומה מהוות עלויות התפעול, האחזקה והביטוחים, וחמישית מהעלות המשתנה מקורה בגידול בהוצאות התשתית כתוצאה מהגדלת התנועה. העלות השנתית הקבועה ליחידת כוח מתניע הייתה 3.1 מיליון ש"ח. הקילומטראז' הממוצע של יחידת כוח מתניע בהובלת נוסעים היה 172.6 אלף ק"מ, כך שהעלות הקבועה לק"מ הייתה 18.1 ש"ח, והעלות הכוללת 44.9 ש"ח.

---

<sup>47</sup> נתוני ספירות התנועה לחודש נובמבר 2005 רוכזו על ידי חברת "אביב" (ינואר 2007). במדגם נכללו 32 רכבות בוקר בימים ב'–ד', 37 רכבות בוקר ביום א', ו-40 רכבות אחה"צ ביום ה'. שעות הבוקר בהן נערכה הספירה הוגבלו ל-6-9.

<sup>48</sup> נתוני ספירות התנועה מתייחסים לשעות 6-9 בעוד נתוני הכרטוס כוללים גם את הנוסעים ברכבות בין השעות 9-10 שבהן התנועה כבר דלילה יותר. הבדל זה עשוי לתרום להפרש של 10-15 אחוז במספר הנוסעים השעתי.

<sup>49</sup> בחישוב זה, המהווה את הבסיס לחישוב הסובסידיה השנתית של הרכבת, קיימת הבחנה בין רכבות המותנעות בעזרת קטרים ובין קרונועים. נהוג להתייחס למערך המורכב מ-3 קרונועים כשקול לרכבת נוסעים. מפתח זה שימש גם לחישוב לוח 9.

<sup>50</sup> העלויות המחושבות הן העלויות למשק, ועל כן חושבה ההוצאה לדלק בניכוי מסי הבלו.

לוח 9. העלויות התקניות של הרכבת לשנת 2007 בהובלת נוסעים

עלות קבועה ליחידה (אלפי ₪)	עלות משתנה לק"מ (ש"ח)	
		<b>אחזקת תשתית</b>
	2.39	אחזקת תשתית
	2.17	אחזקת ותפעול תחנות
	0.68	ביטחון
		<b>תפעול ואחזקת נייד</b>
1,624.6	5.13	אחזקת נייד
1,102.2	4.52	תפעול
	10.52	דלק
396.1	1.40	ביטוחים ונזקים
<b>3,122.9</b>	<b>26.80</b>	<b>סה"כ</b>
		ק"מ ממוצע ליחידת כוח מתניע
172,664	<b>18.09</b>	<b>עלות קבועה לק"מ כוח מתניע נוסעים</b>
	<b>44.89</b>	<b>סה"כ עלות לק"מ כוח מתניע נוסעים –שפל</b>
<b>4,256.5</b>		עלות הון שנתית ליחידת כוח מתניע (ש"ר 7%)
54,395	<b>78.25</b>	ק"מ ממוצע ליחידת כוח מתניע -שעות שיא
	<b>78.25</b>	<b>עלות הון לק"מ כוח מתניע נוסעים -שיא</b>
	<b>123.14</b>	<b>סה"כ עלות לק"מ כוח מתניע נוסעים –שיא</b>

הרחבת פעילות הנוסעים של הרכבת כרוכה בהגדלת מצבת הנייד, ומרכיב חשוב בעלויות השוליות לטווח ארוך הן עלויות ההון. ההשקעה הכרוכה במערך נוסעים המורכב מקטר וחמישה קרונות דו-קומתיים היא 52 מיליון ש"ח (10 מיליון יורו).<sup>51</sup> אורך חיי הציוד הוא 25 שנה וערך השרידים מוערך כרבע מההשקעה. בשער ריבית של 7 אחוז תהיה עלות ההון השנתית 4.3 מיליון ש"ח, והעלות לק"מ 24.7 ש"ח.

מצבת הנייד מוכתבת על ידי הביקושים בשעות השיא. מן הראוי, אפוא, לזקוף את עלויות ההון להובלת הנוסעים בשעות השיא. לפי אומדנינו הקילומטראז' לרכבת בשעות אלו (בימים א'-ה' בשעות 6-10) הוא 54.4 אלף ק"מ, ועלות ההון לק"מ בשעות השיא היא 78.3 ש"ח. בחישובי הנחתי, על כן, שהעלות השולית בטווח הארוך של ק"מ רכבת הוא 44.9 ש"ח בשעות השפל ו-123.1 ש"ח בשעות השיא.

<sup>51</sup> אומדן זה, המבוסס על תחשיבי הרכבת, נמוך משמעותית מאומדנים קודמים של הרכבת ששימשו את אבירס בבדיקת תכנית הפיתוח של הרכבת בשנת 2004.

העלות לק"מ נוסע ברכבת תלויה באופן קריטי בשיעור התפוסה. כפי שמראה לוח 7 שיעור התפוסה בשעות השיא כמעט כפול מזה בשעות השפל, ושיעור התפוסה בקו הבינעירוני חיפה-באר שבע כפול מזה בשאר הקווים. הפער בתפוסה בין שעות היום ממתן את פער העלויות לנוסע (שמקורו בחיוב נוסעי השיא בעלויות ההון), מאידך הפער בשעורי התפוסה בין הקווים משליך ישירות על העלות לנוסע. העלות לנוסע ברכבת בקווים הדלילים כפולה מזו בקווים המבוקשים.<sup>52</sup>

בחישוב העלויות האלטרנטיביות – עלויות הרכב המוטורי – התבססנו על אומדן פונקציות העלויות של חברת מת"ת לשנת 2007. לפי פונקציות אלו עלויות תפעול הרכב קטנות עם הגידול במהירות (S) כל עוד המהירות קטנה מ-60 קמ"ש (50 קמ"ש באוטובוס), אך מעבר למהירות אלה מביאה האצת המהירות לגידול בתצרוכת הדלק ובעלויות. בדומה לפונקציות העלויות של הרכבת, תוקנה פונקציות העלות של האוטובוס כך שהעלות בשעות השיא כוללת את עלויות ההון ועלויות הנהג.<sup>53</sup>

פונקציות העלות לק"מ של כלי הרכב המוטורי לשנת 2007 הן:

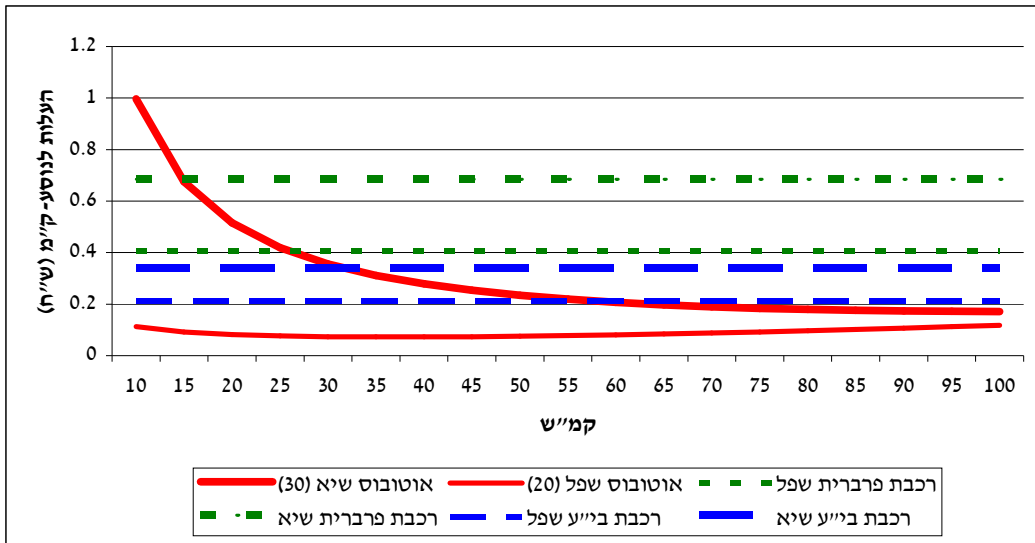
$C_M = 0.25 + (10.95/S) + 0.0000276 S^2$	רכב פרטי
$C_{B1} = 0.91 + (289.83/S) + 0.0001323 S^2$	אוטובוס – שיא
$C_{B0} = 0.91 + (13.36/S) + 0.0001323 S^2$	אוטובוס – שפל

פונקציות אלו מתוארות בציורים 4 ו-5. לחישוב העלות לנוסע-ק"מ הנחנו שמקדם התפוסה של רכב פרטי הוא 1.5 נוסעים (ולחילופין – 2), ושל אוטובוס – 30 נוסעים בשיא ו-20 בשפל. הציורים כוללים לצרכי השוואה את עלויות הרכבת לנוסע-ק"מ כפי שחושבו בלוח 9. ציור 4 מדגיש את יתרונותיו של האוטובוס בהשוואה לרכבת בתחום התפעול. עלויות התפעול של האוטובוס (עלויותיו בשעות השפל) הן רק כמחצית מעלויות התפעול של הרכבת הבינעירונית לנוסע-ק"מ, וכרבע מהעלות של הרכבת הפרברית דלילת הנוסעים. כאשר מוסיפים לעלויות התפעול של האוטובוס את עלויות ההון ושכר הנהג לחישוב העלות לנוסע-ק"מ בשעות השיא שומר האוטובוס על יתרוננו לעומת הרכבת הבינעירונית כל עוד מהירותו גדולה מ-30 קמ"ש, והוא זול יותר מהרכבת הפרברית בכל מהירות העולה על 15 קמ"ש. הפרש העלויות רחוק מלהיות זניח: בשעות השפל, כאשר האוטובוס נוסע במהירות "חופשית", ההפרש לנוסע-ק"מ בין האוטובוס והרכבת הבינעירונית הוא כ-10 אגורות, וההפרש בהשוואה לרכבת הפרברית אף גדול יותר (30 אגורות). בשעות השיא ההפרש בהשוואה לרכבת בינעירונית הוא כ-15 אגורות, ובהשוואה לרכבת פרברית 50 אגורות.

<sup>52</sup> בלוח 10 התייחסנו לקו נהריה-באר שבע כקו בינעירוני, למרות שחלק מנוסעיו משתמש בו למרחקים קצרים, ואילו לשאר הקווים התייחסנו כקווים פרבריים למרות שהם כוללים קווים "ארוכים" כגון ירושלים-תל-אביב ואשקלון-תל-אביב.

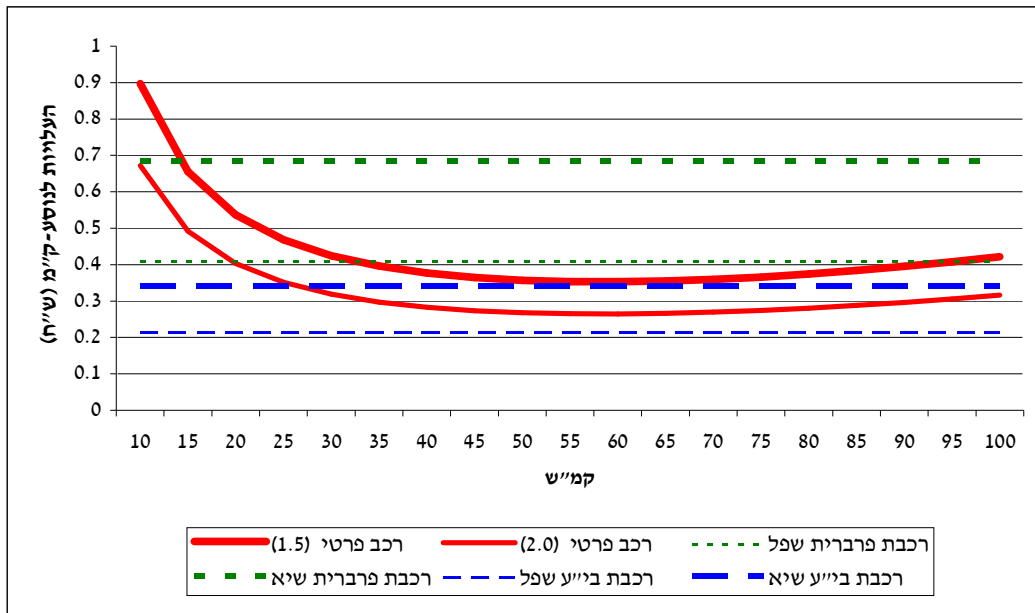
<sup>53</sup> העלויות חושבו במחירים למשק. הנתונים ביחס למחיר האוטובוס ושכר הנהג מבוססים על מת"ת. לחישוב העלות לשעה הנחנו (בדומה להנחות המתייחסות לרכבת) שקיימות 4 שעות שיא יומי ו-270 ימי עבודה בשנה. לפי מת"ת קיימת הטיה קלה באומדן העלויות שכן המהירות שבה העלויות מתחילות לגדול עם המהירות גדולה מ-60 קמ"ש.

ציור 4. העלות לנוסע-ק"מ באוטובוס וברכבת בשיא ובשפל



תמונה מורכבת יותר מתקבלת מציור 5 המשווה את עלויות הרכבת עם אלו של הרכב הפרטי. עלויות התפעול של רכב פרטי המסיע 1.5 נוסעים גבוהות מעלויות הרכבת הבינעירונית לנוסע-ק"מ הן בשעות השפל והן בשעות השיא. מאידך אם נשווה את עלויות הרכב עם עלויות הרכבת הפרברית יהיה הרכב הפרטי זול יותר להפעלה בשעות השפל כל עוד מהירותו עולה על 35 קמ"ש, והוא יהיה זול יותר בשעות השיא כל עוד מהירותו עולה על 15 קמ"ש. יתרונו של הרכב הפרטי גדל, כמובן, ככל ששיעור התפוסה שלו גדול יותר.

ציור 5. העלויות לנוסע-ק"מ ברכב פרטי ורכבת (ש"ח)



הציורים 4 ו-5 ממחישים את תלותו של פער העלויות בשלושה גורמים שלגביהם המידע הוא מקוטע:

- א. מקדמי התפוסה של הרכב המוטורי;
- ב. תמהיל הרכב המוטורי – מרכיב הנוסעים ברכב פרטי ובאוטובוסים מבין נוסעי הרכבת;
- ג. מהירות הרכב המוטורי.

לצרכי החישוב אמצנו את מקדמי התפוסה של ציורים 4 ו-5. מהירות הרכב תלויה בראש ובראשונה בתנאי הגודש. לצרכי החישוב הנחנו שבשעות שפל הרכב אינו נתקל בגודש והמהירות הממוצעת שלו היא 70 קמ"ש בנסיעה פרברית ו-90 קמ"ש בנסיעה בינעירונית.<sup>54</sup> בשעות השיא, הנחנו, שרכב בנסיעה פרברית מבצע מחצית מהמרחק בתנאי גודש, כאשר המהירות היא 20 קמ"ש, ומחצית מהמרחק במהירות של 50 קמ"ש. בנסיעות בינעירוניות היחס הוא 30 : 70, והמהירויות הן 20 ו-70 קמ"ש בהתאמה. בלוח 10 מחושב פער עלויות התפעול והנייד לק"מ בין הרכבת והרכב המוטורי בשלושה תרחישים: 1. הרכבת "מושכת" 15 אחוז מנוסעיה מקרב נוסעי הרכב הפרטי (והשאר מאוטובוסים), 2. הרכבת "מושכת" 30 אחוז מנוסעיה מקרב נוסעי הרכב הפרטי, 3. מחצית מנוסעי הרכבת מקורם ברכב הפרטי.

בהינתן שיעורי התפוסה הגבוהים של הרכבת בקווים הבינעירוניים רק לאוטובוס הנוסע במהירות "חופשית" יש יתרון על הרכבת. כתוצאה, כפי שמראה הלוח, פער העלויות בין הרכב המוטורי והרכבת הוא קטן (פחות מ-10 אגורות לנוסע-ק"מ), ופער זה נעלם כאשר הרכבת מצליחה "לגייס" מחצית מנוסעיה מקרב נוסעי הרכב הפרטי. מאידך, הרכבות הפרבריות ששיעור התפוסה שלהן בשלב זה נמוך (פחות מ-200 נוסעים) יקרות משמעותית מהרכב המוטורי. גם בתרחיש אופטימי שבו הרכבת מצליחה "לגייס" מחצית מנוסעיה מקרב נוסעי הרכב הפרטי העלות לנוסע-ק"מ גבוהה ב-25 אגורות מזו של הרכב המוטורי. כפי שמראה חישוב מספר הנוסעים המביא לאיזון (מספר הנוסעים של BE –Break Even) תידרש כמעט הכפלה של שיעור התפוסה ברכבות אלו כדי להביא לשוויון עלויות.

---

<sup>54</sup> ההנחה על העדר גודש בשעות השפל היא הנחה חזקה כי שעות השפל כוללות גם את שעות אחה"צ בהם היממים חוזרים למקום מגוריהם, אך אין בהנחה זו להשפיע על התוצאות.



לוח 10. השוואת העלות לנוסע-ק"מ ברכבת וברכב מוטורי בשנת 2007 בתרחישים שונים (מ)

רכבת פרברית			רכבת בינעירונית			משקל רכב פרטי
שפל	שיא	סה"כ	שפל	שיא	סה"כ	
68.5%	31.5%		68.5%	31.5%		משקל ק"מ שיא עלות לק"מ - רכבת מספר נוסעים לרכבת
44.89	123.14	69.54	44.887	123.139	69.539	
110	180	130	210	360	260	
0.408	0.684	0.535	0.214	0.342	0.267	<u>עלות לנוסע-ק"מ - רכבת</u>
						<u>עלות לק"מ - רכב פרטי</u> מהירות חופשית מהירות פקק
1.5	1.5		1.5	1.5		מקדם תפוסה - רכב פרטי <u>עלות לנוסע-ק"מ - רכב פרטי</u> מהירות חופשית מהירות פקק
0.359	0.357		0.395	0.359		
	0.537			0.537		
1.749	7.037		2.130	5.698		<u>עלות לק"מ - אוטובוס</u> מהירות חופשית מהירות פקק
	15.454			15.454		
20	30		20	30		מקדם תפוסה - אוטובוס <u>עלות לנוסע-ק"מ - אוטובוס</u> מהירות חופשית מהירות פקק
0.087	0.235		0.106	0.190		
	0.515			0.515		
100%	50%		100%	70%		משקל נהיגה "חופשית"
0.128	0.386	0.209	0.150	0.306	0.199	עלות לנוסע-ק"מ - מוטורי
-0.280	-0.298	-0.326	-0.064	-0.036	-0.068	הפרש רכב מוטורי- רכבת
350	319	332	300	402	349	מספר נוסעים ברכבת של BE
0.169	0.397	0.241	0.193	0.325	0.235	עלות לנוסע-ק"מ - מוטורי
-0.239	-0.288	-0.294	-0.021	-0.017	-0.033	הפרש רכב מוטורי- רכבת
266	311	289	232	379	296	מספר נוסעים ברכבת של BE
0.223	0.411	0.283	0.251	0.350	0.282	עלות לנוסע-ק"מ - מוטורי
-0.185	-0.273	-0.252	0.037	0.008	0.015	הפרש רכב מוטורי- רכבת
201	300	246	179	352	247	מספר נוסעים ברכבת של BE
						15%
						30%
						50%

## ו. חיסכון ישיר בזמן

הממצא שעלויות התפעול והנייד של הרכבת עולות על אלו של הרכב המוטורי אין בהן כדי להפגיע. הרכבת נתפסת כאמצעי להובלת המונים, וכל עוד היא אינה עומדת בקריטריון זה אין לצפות שתביא לחיסכון בעלויות. מרכיב אחר בתדמית הרכבת הוא שהיא מהירה מהרכב המוטורי, תדמית הזוכה לחיזוק כל אימת שהרכבת חולפת על פני רכב התקוע בפקק בכניסה לערים הגדולות. האם לתדמית זו יש ביסוס בנתונים?

לוח 11. מהירות הרכבת במדגם של קווים 2007

מהירות (קמ"ש)	משך נסיעה ממוצע (דקות)	משך זמן (דקות)	רכבות	מרחק (ק"מ)		
76.3	96.5	5,889	61	122.8	ת"א סבידור מרכז	נהרייה
49.9	46.2	2,816	61	38.4	חיפה חוף הכרמל	נהרייה
98.7	51.3	5,491	107	84.4	ת"א סבידור מרכז	חיפה חוף הכרמל
102.0	19.0	1,538	81	32.3	בנימינה	חיפה חוף הכרמל
84.6	37.0	5,029	136	52.1	ת"א סבידור מרכז	בנימינה
71.5	23.0	2,253	98	27.4	ת"א סבידור מרכז	נתניה
40.9	31.2	2,372	76	21.3	ת"א סבידור מרכז	כפר סבא
60.4	28.5	2,194	77	28.7	רחובות (א.הדר)	ת"א סבידור מרכז
64.7	57.7	2,998	52	62.2	אשקלון	ת"א סבידור מרכז
67.5	95.6	3,633	38	107.5	באר שבע מרכז	ת"א סבידור מרכז
38.1	31.1	1,401	45	19.8	ראשלי"צ - הראשונים	ת"א סבידור מרכז
65.2	46.8	1,499	32	50.9	בית שמש	ת"א סבידור מרכז
56.6	92.3	2,677	29	87.1	ירושלים מלחה	ת"א סבידור מרכז
43.8	38.0	2,319	61	27.8	מודיעין מרכז	ת"א סבידור מרכז

מקור: לוחות הזמנים של הרכבת חורף וקיץ 2007.

כדי לבדוק שאלה זו נעזרנו בלוחות הזמנים של הרכבת לשנת 2007 תוך שאנו מתעלמים מכל חריגה מהלוח המתוכנן. לוח 11 מפרט את מהירות הרכבת במדגם רחב של קווים. הלוח מראה שתדמית הרכבת כאמצעי המהיר מבין אמצעי ההובלה היבשתיים זוכה רק לביסוס חלקי בנתונים, והתמונה מורכבת יותר. רכבת החוף מנהריה בואכה תל-אביב אמנם מהירה (מהירות ממוצעת מעל ל-80 קמ"ש) אך ככל שקטע הנסיעה קצר יותר כך המהירות הממוצעת בקו זה קטנה יותר. כך המהירות הממוצעת בקטע נתניה-תל-אביב היא רק 70 קמ"ש, והמהירות בקטע נהריה-חוף הכרמל היא רק 50 קמ"ש. המהירות הנמוכה מוסברת במקרים רבים על ידי ריבוי התחנות. מספר הנוסעים המצומצם מחייב את הרכבת לעצור במספר גדול של תחנות כדי לשמר שיעור תפוסה גבוה, והעצירות פוגעות במהירות. אורכם של קווי הנוסעים הוא 426 ק"מ. במפת הנוסעים פזורות 47 תחנות, שפירושן עצירה לכל 9 ק"מ של נסיעה.<sup>55</sup> מספר גדול של תחנות ביניים ומגבלות מהירות שמקורם במגבלות התשתית תורמים למהירות נמוכה בשאר קווי הרכבת. המהירות בקו תל-אביב-באר שבע קטנה מ-70 קמ"ש, המהירות בקטע תל-אביב-רחובות היא רק 60 קמ"ש, ובקו תל-אביב-כפר סבא – 40 קמ"ש. בהיתן מהירויות אלו

<sup>55</sup> בקטע חיפה מרכז-תל-אביב מרכז שאורכו 92 ק"מ יש עשר תחנות ביניים. בקו נהריה-תל-אביב שאורכו 123 ק"מ יש 16 תחנות ביניים. אך בקווים אלה, עקב שיעור התפוסה הגבוה, רב יותר מספרן של הרכבות הישירות. המדלגות על חלק מתחנות הביניים.

הרכבת מתקשה להתמודד עם הרכב המוטורי בתנאי נסיעה "חופשית", ויתרון המהירות בא לידי ביטוי רק בתנאי גודש.

כדי לבדוק את הפער בזמני נסיעה בין הרכבת והרכב המוטורי בתנאי נסיעה חופשית ובתנאי גודש נעזרנו במודל ההצבה הארצי.<sup>56</sup> לוחות 12 א' וב' מתארים את הפרש הזמנים הכולל, הפרש הזמנים לנוסע והפרש הזמנים לנוסע-ק"מ בין אזורי הארץ השונים כאשר הרכב המוטורי נוסע באופן חופשי וכאשר הוא פועל בתנאי גודש. לפי החישוב בהינתן מפת הנסיעות של הרכבת בשנת 2007 בתנאי נסיעה חופשית כרוכה הנסיעה ברכבת בממוצע בתוספת של 4.4 דקות לנסיעה (0.076 דקות לק"מ). מאידך בתנאי גודש הרכבת מהירה יותר וכרוכה בחסכון בזמן ממוצע של 8.5 דקות לנסיעה (0.148 דקות לק"מ). בהנחה ש-43.3 אחוז מהנסיעות הן בשעות גודש תורמת הרכבת לחיסכון ישיר של 633 אלף שעות נסיעה (חיסכון של 1.95 מיליון שעות בשעות הגודש והפסד של 1.32 מיליון שעות בשעות האחרות). החיסכון לק"מ הוא 0.021 דקות, ובהנחה שערך הזמן של נוסעי הרכבת הוא 20 ש"ש לשעה (33 אגורות לדקה) מדובר בחיסכון זניח של 0.7 אגורות.

תרומת הקווים השונים לחיסכון בזמן אינה זהה ומשקפת את ההבדלים במהירות הרכבות בקווים אלה. לפי לוח 12 המקור הבלעדי לחיסכון בזמן ישיר הוא קו תל-אביב-חיפה בעוד קווי השפלה הם המקור העיקרי לפגיעה בחיסכון זה.<sup>57</sup> לפי מודל ההצבה קווי השפלה (ובאופן ספציפי הקווים מהשפלה לתל-אביב) אינם יכולים להתמודד עם הרכב המוטורי במונחי מהירות אפילו בתנאי גודש. ההפרשים הקטנים בזמן הנסיעה בין הרכבת והרכב המוטורי אינם מגלים את מלוא ההפרש בזמן הנדרש כדי להגיע מנקודת המוצא לנקודת היעד. תחנות הרכבת ממוקמות בשולי הערים ועל כן רק חלק קטן מנוסעי הרכבת מגיע לתחנה ברגל. מרבית הנוסעים נדרשים לשימוש באמצעי תחבורה נוסף (רכב פרטי או אוטובוס) בדרך לתחנה וממנה. תוספת הזמן הכרוכה בנסיעה לתחנה וממנה (כולל המתנה) הופכת את הרכבת לאמצעי נחות במונחי זמן בהשוואה לרכב הפרטי גם בתנאי גודש, אלא אם כן התנועה לתחנה נעשית ברכב פרטי. לגורם זה יש להוסיף את דרך העקלתון שעושה הרכבת לתל-אביב בקווים הפרבריים (קווי השפלה והקו מכפר סבא) בגלל מגבלות של זכויות דרך, ואת המגבלה שיש בקיום רשת מסילות בעלת קודקוד (Hub) יחיד על אורך הדרך ברכבת בהשוואה לרכב פרטי.<sup>58</sup>

<sup>56</sup> ראה פרק ה'. גם לחישוב זה נעזרנו בעזרתו הנדיבה של פרופ' שלמה בכור מהטכניון.

<sup>57</sup> קווים אלה כוללים את הקטעים תל-אביב (ההגנה)-לוד, לוד-אשקלון, ולוד-ראשון לציון (תחנת הראשונים). הנסיעה בקווים אלה כאשר לא קיים גודש בכבישים כרוכה בתוספת זמן של 10 דקות לנוסע.

<sup>58</sup> כך כל נוסע הרוצה להשתמש ברכבת בנסיעה מכפר סבא צפונה חייב לעבור דרך תל-אביב, ונוסע מבאר שבע לאשקלון חייב לעבור דרך לוד. בעיה זו אינה קשורה בהכרח במבנה הנוכחי של הרשת – ספק עם מספר הנוסעים הפוטנציאלי בקו באר שבע - אשקלון מצדיק סלילת קו ישיר בין שתי הערים.

לוח 12א'. ההפרש הכולל בזמן נסיעה בתנאי נסיעה "חופשית" (באלפי שעות)  
רכב מוטורי-רכבת לפי מוצא-יעד

סה"כ	מזרח	באר שבע	שפלה	ת"א	כפר סבא	חוף השרון	חיפה	צפון	
-310	-34	-31	-42	-86	-7	-19	-95	6	צפון
-5	-10	-19	-34	93	-3	17	-11	-38	חיפה
253	-3	-11	-37	259	1	41	20	-19	חוף השרון
-94	-9	-12	-21	-44	5	0	-4	-8	כפר סבא
-360	-33	-39	-208	-7	-38	58	11	-103	ת"א
-585	-3	-2	-2	-420	-23	-56	-37	-43	שפלה
-110	0	3	-1	-51	-11	-7	-15	-28	באר שבע
-105	-10	-1	-2	-55	-8	-3	-7	-20	מזרח
-1,315	-102	-113	-346	-310	-84	31	-139	-252	סה"כ

ההפרש בזמן נסיעה לנוסע בתנאי נסיעה "חופשית" (בדקות) רכב מוטורי- רכבת לפי מוצא- יעד

סה"כ	מזרח	באר שבע	שפלה	ת"א	כפר סבא	חוף השרון	חיפה	צפון	
-9.7	-17.1	-23.7	-26.0	-7.3	-17.8	-7.6	-8.8	3.3	צפון
-0.1	-5.4	-12.8	-17.5	5.1	-6.7	4.2	-4.6	-5.7	חיפה
5.0	-1.6	-5.8	-10.2	8.2	3.8	8.3	4.4	-8.1	חוף השרון
-5.3	-25.2	-27.3	-25.4	-3.5	2.3	-0.7	-6.7	-20.6	כפר סבא
-4.4	-5.3	-7.4	-12.5	-1.7	-5.3	2.8	0.9	-12.7	ת"א
-11.9	-3.4	-1.1	-0.4	-13.0	-23.7	-13.3	-16.6	-26.3	שפלה
-6.8	-0.3	5.2	-0.3	-6.1	-25.5	-4.2	-10.7	-23.6	באר שבע
-6.3	-4.6	-1.9	-2.6	-6.0	-21.1	-2.1	-5.5	-18.0	מזרח
-4.4	-6.4	-8.4	-10.8	-2.4	-6.9	0.8	-3.9	-11.0	סה"כ

ההפרש בזמן נסיעה לנוסע-ק"מ בתנאי נסיעה "חופשית" (בדקות) רכב מוטורי- רכבת לפי מוצא- יעד

סה"כ	מזרח	באר שבע	שפלה	ת"א	כפר סבא	חוף השרון	חיפה	צפון	
-0.12	-0.13	-0.11	-0.18	-0.07	-0.14	-0.10	-0.35	0.24	צפון
0.00	-0.05	-0.07	-0.14	0.06	-0.07	0.08	-0.47	-0.25	חיפה
0.11	-0.03	-0.04	-0.16	0.24	0.09	0.32	0.08	-0.10	חוף השרון
-0.18	-0.43	-0.22	-0.49	-0.18	0.20	-0.02	-0.07	-0.16	כפר סבא
-0.09	-0.16	-0.07	-0.39	-0.45	-0.28	0.08	0.01	-0.11	ת"א
-0.27	-0.08	-0.01	-0.02	-0.40	-0.48	-0.21	-0.13	-0.18	שפלה
-0.06	0.00	0.15	0.00	-0.06	-0.21	-0.03	-0.06	-0.11	באר שבע
-0.12	-0.13	-0.02	-0.06	-0.16	-0.37	-0.04	-0.05	-0.13	מזרח
-0.08	-0.10	-0.07	-0.22	-0.05	-0.21	0.02	-0.06	-0.13	סה"כ

לוח 12ב'. ההפרש הכולל בזמן נסיעה בתנאי גודש (באלפי שעות)  
רכב מוטורי-רכבת לפי מוצא-יעד

סה"כ	מזרח	באר שבע	שפלה	ת"א	כפר סבא	חוף השרון	חיפה	צפון	
287	31	10	10	183	3	25	14	13	צפון
475	36	18	16	352	6	49	-1	-1	חיפה
749	27	21	16	551	5	77	45	7	חוף השרון
24	-3	-5	-10	29	12	2	2	-2	כפר סבא
270	28	6	-95	1	-4	200	119	16	ת"א
-53	5	11	25	-88	-10	7	4	-7	שפלה
81	6	4	12	42	-4	15	9	-3	באר שבע
115	12	4	3	65	-3	15	15	4	מזרח
1,948	141	69	-24	1,135	3	390	206	28	סה"כ

ההפרש בזמן נסיעה לנוסע בתנאי גודש (בדקות) רכב מוטורי-רכבת לפי מוצא-יעד

סה"כ	מזרח	באר שבע	שפלה	ת"א	כפר סבא	חוף השרון	חיפה	צפון	
11.7	19.9	9.9	7.8	20.4	8.6	12.9	1.7	9.9	צפון
16.8	24.8	16.5	10.6	25.3	15.1	16.1	-0.7	-0.3	חיפה
19.3	21.9	14.6	5.8	22.7	17.8	20.7	13.1	4.2	חוף השרון
1.8	-11.8	-15.9	-16.6	3.0	7.4	7.2	4.5	-7.2	כפר סבא
4.4	5.7	1.4	-7.5	0.4	-0.8	12.4	12.7	2.6	ת"א
-1.4	7.2	7.8	6.7	-3.6	-14.2	2.3	2.3	-5.3	שפלה
6.6	11.2	11.1	8.5	6.7	-13.9	11.2	8.1	-3.0	באר שבע
9.1	7.2	9.4	5.9	9.3	-8.9	15.6	15.1	5.2	מזרח
8.5	11.6	6.8	-1.0	11.6	0.3	12.7	7.6	1.6	סה"כ

ההפרש בזמן נסיעה לנוסע-ק"מ בתנאי גודש (בדקות) רכב מוטורי-רכבת לפי מוצא-יעד

סה"כ	מזרח	באר שבע	שפלה	ת"א	כפר סבא	חוף השרון	חיפה	צפון	
0.14	0.15	0.05	0.05	0.18	0.07	0.16	0.07	0.70	צפון
0.22	0.23	0.09	0.08	0.29	0.15	0.29	-0.07	-0.01	חיפה
0.44	0.37	0.11	0.09	0.66	0.40	0.81	0.24	0.05	חוף השרון
0.06	-0.20	-0.13	-0.32	0.15	0.66	0.17	0.05	-0.06	כפר סבא
0.09	0.18	0.01	-0.23	0.10	-0.04	0.37	0.15	0.02	ת"א
-0.03	0.16	0.09	0.29	-0.11	-0.29	0.04	0.02	-0.04	שפלה
0.06	0.10	0.32	0.10	0.07	-0.11	0.09	0.04	-0.01	באר שבע
0.17	0.20	0.09	0.14	0.25	-0.16	0.27	0.13	0.04	מזרח
0.15	0.19	0.06	-0.02	0.23	0.01	0.28	0.11	0.02	סה"כ

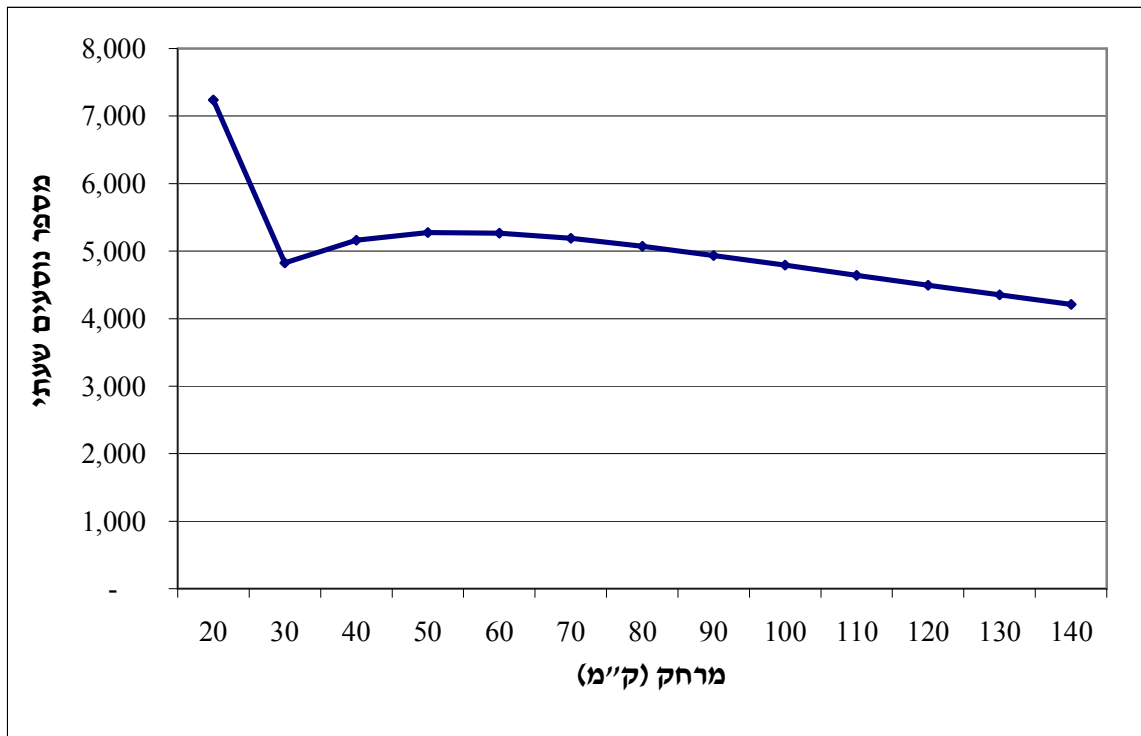
נגישות וגמישות תפעולית הם שני המאפיינים המקנים לרכב הפרטי יתרון על הרכבת במונחי זמן הנסיעה הכולל. האוטובוס אינו יכול להתברך במאפיינים אלו בתחרות עם הרכבת. התחנות הבינעירוניות של האוטובוס נמצאות לעתים קרובות, בדומה לרכבת, מחוץ לטווח ההליכה של הנוסע. הנוסע נדרש, על כן, בדומה לרכבת, להשתמש בכלי רכב נוסף כדי להגיע לתחנה וממנה.<sup>59</sup> יתרונו של האוטובוס נעוץ בתדירות הנסיעה שהוא יכול להציע. עלויות תפעול נמוכות יותר מאפשרות לרכב הקטן להציע תדירות גדולה מזו של הרכבת בקווים דלילי נוסעים ולקצר בצורה זו באופן משמעותי את זמן

<sup>59</sup> בשתי הערים הגדולות, תל-אביב וחיפה, תחנת האוטובוס הבינעירונית היא בסמיכות לתחנת הרכבת.

ההמתנה. בקווים עתירי נוסעים יפעל האוטובוס בתפוסה מלאה ויוזיל הן את עלויות התפעול והן את עלויות ההמתנה.

נוסחה (13) בפרק ג' מגדירה את מספר הנוסעים הקריטי הנדרש לרכבת כדי להיות זולה יותר מהאוטובוס במונחי עלויות תפעול (כולל עלויות נייד) ועלויות המתנה. לחישוב הנוסחה אמצנו את הפרמטרים של לוח 10: הנחנו שהאוטובוס נוסע בתנאי גודש במהירות של 20 קמ"ש ובמהירות חופשית של 70 קמ"ש, שבשעות השיא 30 ק"מ מכל נסיעה הם בתנאי גודש והשאר במהירות חופשית, שערך זמן המתנה הוא פי 3 מערך זמן הנסיעה ( $w = 60$ ), ושקיבולת האוטובוס היא 50 נוסעים.<sup>60</sup> מאחר ועלויות התפעול גדלות עם מרחק הנסיעה חושב מספר הנוסעים הקריטי כפונקציה של מרחק הנסיעה. תוצאות החישוב עבור נסיעות בינעירוניות בשעות השיא מוצגות בציור 6. הציור ממחיש שבמרחקים שבין 30 – 140 ק"מ רק כאשר מספר הנוסעים השעתי עולה על 4,200-5,200 נוסעים תהיה הרכבת זולה יותר מהאוטובוס במונחי עלויות תפעול ועלויות זמן המתנה.<sup>61</sup> קו הרכבת היחיד העומד בדרישה זו הוא קו תל-אביב-חיפה בשעות השיא. בשעות השפל או בקווים למרחקים קצרים יותר האוטובוס זול משמעותית מהרכבת במונחי עלויות תפעול והמתנה. קו תל-אביב-חיפה הוא גם הקו היחיד שהוא מהיר יותר במונחי זמן נסיעה. בקווים האחרים השיקול המכריע בהעדפת הרכבת על האוטובוס מוגדר, קרוב לוודאי, לא במונחי יתרון בעלויות אלא במונחי תועלת – הנוחיות הרבה יותר שמציעה רכבת מודרנית המופעלת כהלכה בהשוואה לאוטובוס המשמש בקווים הקבועים.

ציור 6. מספר נוסעים שנתי קריטי בשעות העומס בנסיעות בינעירוניות



<sup>60</sup> נהוג לחשוב שהנוסע מייחס לזמן המתנה והליכה לתחנה ערך הגדול פי 3-4 מהערך שהוא מייחס לזמן נסיעה (ראה Gronau 2000).

<sup>61</sup> במהלך השנה יש כאלף "שעות שיא" ( $4 \times 250 =$ ), ולפי הנחותינו התנועה בשעות השיא היא 43.3 אחוז מכלל התנועה בקו, כך שבמונחים שנתיים רק קווים שבהם היקף התנועה עולה על 10-12 מיליון יכולים להתמודד עם האוטובוס במונחי עלויות תפעול ונייד ועלות המתנה.

## ז. השפעות עקיפות

הטיעון הנפוץ ביותר להצדקת ההשקעה בהרחבת רשת הרכבות הארצית בישראל קושר את כדאיות ההשקעה בהשפעות החיצוניות. תרומתה העקיפה של הרכבת מתבטאת בשני תחומים: א. תרומתה להרחבת שוק העבודה, ב. תרומתה לתיקון העיוותים הקשורים בתפעול הרכב המוטורי.

לטענת חסידי הרכבת מאפייני הרכבת (מהירות, נוחות, וודאות) תורמים להגדלת המרחב הגיאוגרפי שבו הפרט מחפש עבודה. כתוצאה מחיבור מקום היישוב לרשת המסילתית נפתחות בפני תושבי היישוב אפשרויות תעסוקה שלא עמדו בפניהם קודם לכן, וכתוצאה גדל השוויון בהזדמנויות התעסוקה בין המרכז והפריפריה וגדל פיזור האוכלוסין. הביסוס האמפירי לטענה זו בישראל הוא רעוע.

### 1. תרומת הרכבת להרחבת שוק העבודה

דפוסי היוממות בישראל נחקרו על ידי פרסמן וארנון (Presman and Arnon, 2006). מחקרם של פרסמן וארנון התמקד בעובדים שאזור מגוריהם שונה מהאזור של מקום עבודתם. לעניין זה חולקה ישראל ל-16 אזורים וחושבה מטריצה של המועסקים בישראל בשנים 1991-2004 לפי מקום המגורים ומקום התעסוקה.<sup>62</sup> תופעת היוממות, לפי מחקר זה, היא תופעה נפוצה בישראל ונמצאת במגמת עליה. כ-40 אחוז מהמועסקים בשנת 1991 עבדו מחוץ למקום מגוריהם וכרבע עבדו מחוץ לאזור מגוריהם. מאז 1991 גדלו שיעורים אלו ב-10 אחוז. אזורי תל-אביב, רמת גן ורמלה עומדים בראש רשימת האזורים שהם "יבואניים" תעסוקה, ואילו חולון, יהודה ושומרון ורמת גן עומדים בראש רשימת ה"יצואנים". בתחתית שתי הרשימות נמצאים אזורי באר שבע, ירושלים וצפת-כנרת אשר בהם שיעור המועסקים בחוץ ושיעור הבאים מן החוץ קטן מ-10-15 אחוז. אומדן של מודל גרביטציה (Gravity Model) מראה ששיעור המועסקים בחוץ מתוך האוכלוסייה בגילאי העבודה אינו רגיש לגודל האוכלוסייה, ובאופן דומה שיעור הבאים מבחוץ אינו רגיש לגודל האוכלוסייה, אך היוממות רגישה ביותר למרחק – גמישות היוממות למרחק היא 1.6 – (דהיינו, גידול במרחק הבין-אזורי באחוז מקטין את היוממות ב-1.6 אחוז).<sup>63</sup> הגורם המרתיע שמהווה מרחק הנסיעה והרכב היוממים עומדים בבסיס המלצת המדיניות העיקרית של המחקר (בתרגום חופשי): "ממשלה הרואה כמטרתה את צמצום האבטלה בקרב הקבוצות הנכשלות של כוח העבודה אינה יכולה לסמוך על יוממות כאמצעי לצמצום הפערים בשיעורי האבטלה. יוממות אינה מהווה פתרון תעסוקה לבעלי השכלה נמוכה ולעובדים מבוגרים בפריפריה, ובמיוחד לתושבי עיירות הפיתוח ובדרום ובצפון. טיפול יעיל בבעיות האבטלה מחייב התערבות ישירה, כגון מערך תמריצים להקמת מרכזי תעסוקה באזורי הפריפריה שבהם יוצע מרחב מגוון של אפשרויות תעסוקה לבעלי כישורים נמוכים, או שיפור מערכות התחבורה הציבורית למרכזי התעסוקה הקיימים".

נתוני סקר כוח אדם אינם מכילים מידע על אמצעי הנסיעה שבאמצעותו מגיע העובד למקום עבודתו, ועל כן לא ניתן להקיש ממחקרם של פרסמן וארנון ישירות על תרומת הרכבת לתופעת היוממות. המרחק מתל-אביב הוא בודאי אחד הגורמים העיקריים המסביר את שיעורי היוממות

<sup>62</sup> מקורות הנתונים הם סקרי כוח האדם של הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה לשנים המתאימות.

<sup>63</sup> מודל הגרביטציה מניח שמספר הנוסעים בין שני יישובים הוא פונקציה של מכפלת האוכלוסיות (G) ונמצא

ביחס הפוך למרחק (D<sub>ij</sub>):  $X_{ij} = A [G_i * G_j]^\alpha / D_{ij}^\beta$  . לפי האומדן של פרסמן וארנון  $\alpha = 1$  ו-  $\beta = 1.6$ .

הנמוכים באזורי צפת-כנרת ואזור באר שבע,<sup>64</sup> אך ראוי לציין שלמרות שבמרבית אזורי הארץ חל בעשור האחרון גידול בשיעור היוממים, באזור באר שבע נשאר שיעור זה יציב ודליל (פחות מ-5 אחוז) על אף הפיתוח המסילתי.

השפעת הפיתוח המסילתי על דפוסי נסיעות הקשורות בעבודה עמדה במרכז מחקרה של נטלי כץ (2008). מחקר זה מתבסס על מדגם של 860 נוסעים שהשתמשו ברכבת בחודש מאי 2005. המחקר מאשש את ממצאי פרסמן וארנון שקבוצת הנוסעים למטרות עבודה נמנית על שכבות האוכלוסייה המבוססות – כ-60 אחוז מהם בעלי השכלה אוניברסיטאית ולמעלה מ-60 אחוז הם בעלי מקצוע מדעי, אקדמי, חופשי, טכני או מנהלי. לא ייפלא על כן שרק מיעוטם של הנשאלים (פחות מעשירית) מדווחים שאין להם רכב בבית, ושחלק גדול מהם השתמש לנסיעה בעבר ברכב פרטי. המחקר מרחיב את הגדרתם של פרסמן וארנון בהתייחסו לכל מי שנסע ברכבת בקשר לעבודה.<sup>65</sup> רק 35 אחוז מהמשתתפים במדגם עומדים בהגדרה הצרה של יומם ומדווחים שהם נוסעים ברכבת כל יום, ו-25 אחוז נוספים מדווחים שהם נוסעים "כמעט כל יום". לפחות 40 אחוז מהנשאלים לא היו עומדים בהגדרתם של פרסמן וארנון בדווחם שתכיפות הנסיעה שלהם קטנה יותר ("פעם-פעמיים בשבוע", "פעם-פעמיים בחודש", ו"לעיתים רחוקות"). המדגם במחקר זה אינו מדגם מקרי (בדומה למדגם שבבסיס מחקרם של פרסמן וארנון) אלא סקר יירוט מטרתו. התפלגות מקום המגורים והתעסוקה במחקר נקבעה על ידי קווי הרכבת ומספר הרכבות בכל קו שנבחרו להשתתף במדגם. המדגם מכיל מידע רק על מי שדווח שהוא נוסע בקשר לעבודה ואין כל מידע על המשקל שמהווים נוסעים אלה בכלל הנוסעים ברכבת. כתוצאה לא ניתן במדגם זה לבדוק את השפעת מרחק הנסיעה על הביקוש. אינדיקציה חלקית לשאלה האם תורמת הרכבת לאפשרויות התעסוקה של תושבי הפריפריה ניתן למצוא בתשובות הנוסעים שמקום מגוריהם בבאר שבע לשאלה המתייחסת לתדירות הנסיעה. פחות מעשירית מהנשאלים תושבי באר שבע מדווחים שהם נוסעים ברכבת כל יום ו-30 אחוז מדווחים שהם נוסעים לעתים רחוקות (ממוצעי המדגם הם 35 ו-12 אחוז, בהתאמה).<sup>66</sup>

אינדיקציה נוספת ניתן למצוא במסקנה ש"ממצאי הניתוח הראו כי הציון הגבוה ביותר קיבל המדד של השפעת השינויים במערכת המסילתית על הרגלי נסיעה. ההשפעה על החלפת מקום עבודה ו/או מגורים עדיין לא באה לידי ביטוי בעמדות מוצהרות של היוממים. אחת הסיבות האפשריות לכך נעוצה בעובדה כי פרק הזמן הקצר שחלף מתחילת הפיתוח הרכבתי המואץ אינו מאפשר להשלים תהליכים מורכבים של הגירה מלאה, אלא לשנות הרגלי נסיעה בלבד. בחירת מקום העבודה ו/או מגורים תלויה במגוון גורמים רחב, כאשר נושא הנגישות התחבורתית הוא רק אחד מהם" (כץ, 2008, עמ' 130). כץ אמנם מזהה מגמה של עליה בהשפעת המערכת המסילתית על החלפת מקום מגורים, אך אופי המדגם אינו מאפשר לתת למגמה זו מדד כמותי ונראה שיעקר ההשפעה הוא על ההגירה לאזור חדרה. אין ספק שהרחבת הרשת המסילתית, בדומה לכל שיפור בתשתיות התחבורתיות משליכה בטווח הארוך על שימושי הקרקע. אלא שלא ניתן לקבוע מראש מה תהיה השפעת השיפור המערכת על בחירת מקום המגורים והעבודה ועל דפוסי היוממות. כץ מדגישה את אפשרויות התעסוקה האטרקטיבית בליבת שדה התעסוקה הלאומי שנפתחו בפני תושבי גלעין חיפה, ואזורי באר שבע

<sup>64</sup> אזור תל-אביב הוא היעד העקרי של מרבית היוממים. "מאזן היוממות" (הפער בין הבאים מן החוץ למועסקים בחוץ) של אזור זה הוא כ-170 אלף מועסקים. ירושלים אוטרקית מבחינת התעסוקה.

<sup>65</sup> במדגם נכלל רק מי שענה על השאלה "האם נסיעתך קשורה לעבודה?" תשובה חיובית.

<sup>66</sup> בהשוואה, למעלה מ-40 אחוז מתושבי אזור חדרה מדווחים שהם נוסעים כל יום, ופחות מ-5 אחוז מהם מדווח שהוא נוסע רק לעתים רחוקות.



ואשקלון-קרית גת, אך במקביל היא מדווחת על המרכיב הגבוה של הנוסעים מאזור המרכז לחיפה ובאר שבע העובדים במוסדות ההשכלה הגבוהה ובאזורי ההיי-טק במקומות אלה. ההתרשמות של צופה חיצוני היא שחלק מנוסעים אלה התגורר בעבר בסמוך למקום עבודתו, ובעקבות הפיתוח המסילתי היגר לאזור המרכז. באופן דומה לא ניתן לקבוע האם הרכבת המהירה מירושלים לתל-אביב תביא להקטנת ההגירה הפנימית מירושלים למטרופולין תל-אביב של עובדים שמקום עיסוקם באזור החוף, או שתגרום להאצת ההגירה של עובדי ממשלה המועסקים בירושלים שיעתיקו את מקום מגוריהם לאזור החוף. להשלמת התמונה אמדנו מודל גרביטציה המבוסס על כלל הנוסעים ברכבת בשנת 2007 (נוסעים למטרת עבודה ולמטרות אחרות). הרגרסיה נאמדה בשני מדגמים : א. מדגם של כל הנוסעים ברכבת, ב. מדגם שהושמטו ממנו הנוסעים שנקודות המוצא או היעד שלהם הן ירושלים, ראשון לציון, מודיעין וקופר סבא-תל-אביב. קווי הרכבת לירושלים וראשון לציון ארוכים ברבע-שליש מנתיב הנסיעה המוטורי, וכתוצאה מספר הנוסעים בקווים אלה עשוי שלא לשקף את גודל האוכלוסייה. אשר לקווים לכפר סבא ומודיעין, אלה קווים חדשים יחסית וייתכן שטרם מיצו את פוטנציאל הנוסעים ביישובים שלאורך הקו. משקלם הייחודי של תל-אביב וחיפה במפת הנסיעות של הרכבת מוצא ביטוי במשתנה דמי כאשר נקודת המוצא או היעד הם בערים אלו.<sup>67</sup> אומדני משוואת הגרביטציה מוצגים בלוח 13.

**לוח 13. אומדן מודל הגרביטציה – נסיעות ברכבת 2007**

$$X_{ij} = A [ G_i * G_j ]^\alpha / D_{ij}^\beta$$

מדגם ב' - "קווים וותיקים"		מדגם א' - כל הקווים		המשתנה המסביר
המקדם	המקדם	המקדם	המקדם	
3.26 (4.95)	2.60 (4.04)	5.49 (9.37)	4.01 (6.21)	קבוע [ ln(A) ]
0.92 (13.67)	1.11 (18.44)	0.53 (9.86)	0.78 (14.02)	מכפלת האוכלוסיות (α)
-0.53 (5.46)	-0.67 (7.55)	-0.47 (5.20)	-0.55 (5.43)	מרחק (β)
2.11 (5.82)		3.44 (10.22)		תל-אביב (משתנה דמי)
1.15 (3.37)		2.10 (6.51)		חיפה (משתנה דמי)
0.63	0.59	0.48	0.33	adj R <sup>2</sup>
276	276	465	465	מספר תצפיות
26.1 215.8 82.7	13.5	242.3 7549.5 1988.7	54.9	כופל כללי (A) כופל תל-אביב (A ת"א) כופל חיפה (A חיפה)

הערות: האוכלוסיות הן במונחי אלפים.  
הערכים בסוגריים הם ערכי t.

<sup>67</sup> אוכלוסיית תל-אביב ברגרסיה כוללת גם את אלו של רמת גן וגבעתיים.

תוצאות הרגרסיה ממחישות את ההבדלים בין "הקווים הוותיקים" (קווי נהריה-באר שבע ותל-אביב-אשקלון) ושאר הקווים. עוצמת ההסבר של מודל הגרביטציה המוגבל ל"קווים הוותיקים" גבוהה משמעותית מזו בכלל המדגם. ההבדל במקדם מכפלת האוכלוסיות ( $\alpha$ ) בין שני המדגמים מצביע על אי מיצוי הפוטנציאל של הרכבת בקווים לירושלים, ראשון לציון, מודיעין וכפר סבא. בעוד שהמקדם הרלבנטי במדגם "הקווים הוותיקים" הוא יחידתי (בדומה לתוצאות של פרסמן וארנון) המקדם בכלל המדגם נמוך משמעותית מאחד.

מרחק הנסיעה הוא גורם מרתיע, אך השפעתו קטנה משמעותית מזו במודל היוממים של פרסמן וארנון. להבדל בין תוצאות שני המחקרים עשויים להיות שני הסברים: א. למרחק יש השפעה גדולה יותר על יוממים מאשר על נוסעים מזדמנים שנסיעתם אינה לצרכי עבודה, ב. נוסעים ברכבת מושפעים פחות מהמרחק בהשוואה לנוסעים בתחבורה מוטורית. בין כך ובין כך, למרחק יש גם לפי אומדנינו השפעה מרתיעה על מספר הנוסעים: הכפלת מרחק הנסיעה תביא לצמצום מספר הנוסעים ב-30 אחוז.

## 2. חיסכון עקיף בזמן

בעוד שהשלכות הפיתוח המסילתי על שימושי הקרקע מהוות השפעה ארוכת טווח, תרומת המסילה לצמצום נזקים סביבתיים שמקורם ברכב המוטורי היא מיידית. מרכיב מרכזי בנזק הוא הפסד הזמן שמקורו בגודש. הפסד הזמן הכרוך בהצטרפות נוסע נוסף למערכת הכבישים תלוי במקום, בזמן ובסוג הרכב בו יבחר הנוסע לביצוע הנסיעה. אומדן החיסכון העקיף בזמן כתוצאה מהמעבר מרכב מוטורי לרכבת תלוי בתמהיל הרכב המוטורי (רכב פרטי לעומת אוטובוסים) ובשעת הנסיעה (שיא, שפל).

כדי לאמוד את חיסכון הזמן העקיף חזרנו והשתמשנו במודל ההצבה הארצי. באמצעות מטריצת הנסיעות הבינעירוניות הארצית נבדקה תוספת הזמן שהייתה נגרמת לנוסעים ה"וותיקים" אם נוסעי הרכבת בשנת 2007 היו משתמשים בכביש.<sup>68</sup> באופן דומה נבדק חיסכון הזמן העקיף הנובע מהפעלת קו ספציפי על ידי הוספה למטריצה של כל הנוסעים שנקודת המוצא או נקודת היעד שלהם נמצאות על הקו.<sup>69</sup> מערכת הנסיעות הבינעירוניות מוגדרת לשעת שיא בוקר, והחישוב מבוסס על ההנחה ש-43.3 אחוז מנוסעי כל קו נוסעים בשעת שיא ושמספר שעות השיא השנתי הוא  $1040 (= 5 \times 4 \times 52)$ .<sup>70</sup> לצרכי ההצבה הנחנו שמקדם המילוי של רכב פרטי הוא 1.35 נוסעים ומקדם המילוי של האוטובוסים הוא 1.30.<sup>71</sup> נבדקו שלושה תרחישים: ש-15 אחוז מנוסעי הרכבת עברו לרכבת מרכב פרטי והשאר מאוטובוסים, וש-אחוז העוברים מרכב פרטי הוא 30 ו-50, בהתאמה. תוצאות ההצבה מוצגות בלוח 14.

<sup>68</sup> החישוב בוצע על ידי פרופ' שלמה בכור. הנוסעים ברכבת נוספו למטריצה בהתאם למוצא והיעד שדווחו על ידי מערכת מכירת הכרטיסים.

<sup>69</sup> החישוב מתעלם מהאפשרות שהנוסע יחליט לבצע חלק מהדרך ברכבת ולהמשיך את שארית הדרך באוטובוס. לדוגמה, בחישוב ההשלכות שיש לסגירת קו תל-אביב-באר שבע החישוב מניח שנוסע מחיפה לבאר שבע ישתמש לכל אורך הדרך ברכב מוטורי. הוא מתעלם מהאפשרות שהנוסע ייסע לתל-אביב ברכבת וימשיך לבאר שבע באוטובוס. כתוצאה מדרך חישוב זו עולה סכום החסכונות של הקווים השונים משמעותית על סה"כ חיסכון הזמן העקיף.

<sup>70</sup> מספר הנוסעים בשעת שיא הוא, אפוא, 0.04161 אחוז ממספר הנוסעים השנתי.

<sup>71</sup> 1.35 הוא מקדם המילוי של הרכב הפרטי המשמש בתכנית ההצבה. אם היינו משתמשים במקדם 1.5 (המקדם ששימש אותנו בחישוב בפרק ו') היה החיסכון קטן בעשירית.

לוח 14. החיסכון העקיף בזמן לנוסעי רכב מוטורי בשעת שיא בוקר, 2007

חיסכון עקיף/ חיסכון ישיר בזמן	החיסכון העקיף בזמן במערכת המוטורית				החיסכון הישיר במערכת המוטורית		המערכת המסילתית		הקו
	לק"מ נוסעים (דקות)	לנוסע רכבת (דקות)	שעות נוסעים	שעות רכב	שעות רכב	כלי רכב (יר"מ)	ק"מ נוסעים	נוסעים	
<b>תרחיש א': משקל נוסעי הרכב הפרטי בקרב נוסעי הרכבת = 15 אחוז</b>									
0.65	0.181	10.3	2,278	1,299	2,004	2,203	754,617	13,209	<b>סה"כ</b> נהריה - תל-אביב נהריה - חיפה כפר סבא - תל-אביב <u>קווי הדרום</u> באר שבע - תל-אביב אשקלון - תל-אביב
0.71	0.200	13.9	1,826	1,042	1,461	1,315	547,157	7,867	
0.72	0.196	16.6	788	449	621	477	241,493	2,842	
0.43	0.114	3.5	70	40	94	200	36,955	1,221	
0.55	0.121	7.9	743	424	766	778	367,513	5,669	
0.47	0.114	12.8	292	166	354	214	153,790	1,363	
0.59	0.151	7.7	273	156	263	357	108,122	2,129	
<b>תרחיש ב': משקל נוסעי הרכב הפרטי בקרב נוסעי הרכבת = 30 אחוז</b>									
0.66	0.302	17.3	3,798	2,166	3,262	3,531	754,617	13,209	<b>סה"כ</b> נהריה - תל-אביב נהריה - חיפה כפר סבא - תל-אביב <u>קווי הדרום</u> באר שבע - תל-אביב אשקלון - תל-אביב
0.72	0.329	22.9	2,998	1,710	2,384	2,107	547,157	7,867	
0.71	0.312	26.5	1,257	717	1,005	764	241,493	2,842	
0.31	0.133	4.0	82	47	151	320	36,955	1,221	
0.56	0.197	12.8	1,209	690	1,235	1,247	367,513	5,669	
0.50	0.196	22.2	503	287	570	342	153,790	1,363	
0.57	0.234	11.9	421	240	424	572	108,122	2,129	
<b>תרחיש ג': משקל נוסעי הרכב הפרטי בקרב נוסעי הרכבת = 50 אחוז</b>									
0.66	0.458	26.2	5,759	3,285	4,997	5,302	754,617	13,209	<b>סה"כ</b> נהריה - תל-אביב נהריה - חיפה כפר סבא - תל-אביב <u>קווי הדרום</u> באר שבע - תל-אביב אשקלון - תל-אביב
0.71	0.497	34.6	4,531	2,584	3,663	3,164	547,157	7,867	
0.71	0.473	40.2	1,903	1,085	1,527	1,147	241,493	2,842	
0.47	0.305	9.2	188	107	227	481	36,955	1,221	
0.57	0.303	19.7	1,857	1,059	1,869	1,872	367,513	5,669	
0.50	0.295	33.3	757	432	861	514	153,790	1,363	
0.60	0.373	18.9	672	383	641	859	108,122	2,129	

לפי אומדננו סה"כ הזמן הנחסך לנוסעי הרכב המוטורי בשעת שיא כתוצאה מתפעול הרכבת מסתכם ב- 2300 עד 5800 שעות נוסע. חיסכון זה עשוי להיראות שולי מנקודת הראות של תפעול המערכת המוטורית, אך הוא קרדינאלי לכדאיות התפעול המסילתי. המעבר לרכבת מצמצם את הנסועה בכבישים אמנם רק ב-1-3 אחוז, ואת זמן הנסיעה בכבישים ב-0.5-1.2 אחוז, אך כאשר מדובר בכדאיות הרכבת החיסכון העקיף הוא המרכיב העיקרי של החיסכון בזמן. השוואה של לוח 14 עם לוח 12 מראה שחיסכון הזמן העקיף בשעת השיא גבוה ב-20 אחוז מחסכון הזמן הישיר, כאשר 15 אחוז מנוסעי הרכבת באים מקרב נוסעי הרכב הפרטי, וגדול פי 3 כאשר מחצית מנוסעי הרכבת באים מקרב נוסעי הרכב הפרטי.

לוח 14 מפרט גם את החיסכון הישיר בשעות רכב כתוצאה ממעבר הנוסעים מהמערכת המוטורית לרכבת, דהיינו שעות הרכב שהיו נדרשות אם היו נוסעי הרכבת מחליטים להמשיך ולהשתמש ברכבם הפרטי או באוטובוסים. במקביל מתאר הלוח את היחס בין החיסכון העקיף בזמן והחיסכון הישיר. יחס זה נקבע על ידי גמישות הזמן ביחס להיקף התנועה  $\epsilon_{ix} = X \Delta t / t \Delta X$ .

כאשר  $X \Delta t$  הוא החיסכון בזמן עקיף ו-  $t \Delta X$  הוא הזמן הישיר שנדרש לביצוע הנסיעות באמצעות הרכב המוטורי. גמישות הזמן משתנה עם תנאי הנהיגה בקטעי הדרך השונים, ומשקפת את תנאי הגודש. תהיה  $\epsilon_{ixi} = X_i \Delta t_i / t_i \Delta X_i$  גמישות הזמן בקטע הדרך  $i$ . גמישות הזמן הכוללת היא ממוצע משוקלל של הגמישויות בקטעים השונים, כאשר המשקלות נקבעים על ידי מרכיב הזמן הישיר בקטע יחסית לזמן הישיר הכולל  $\epsilon_{ix} = \sum (t_i \Delta X_i / t \Delta X) \epsilon_{ixi}$ . באופן ספציפי בקטעי

דרך בהם לא קיים גודש  $\epsilon_{ixi} = 0$  ועל כן  $\epsilon_{ix} = \tau \epsilon_{ix}$ , כאשר  $\tau$  הוא מרכיב זמן הנסיעה בתנאי

גודש ו-  $\epsilon_{ix}$  היא גמישות הזמן הממוצעת בקטעי הדרך בהם קיים גודש. היחס הנמוך הקיים בין החיסכון העקיף בזמן נסיעה והחיסכון הישיר (0.50 – 0.70) מצביע על קטעי הדרך הארוכים בתנועה הבינעירונית שבהם לא קיימים תנאי גודש.<sup>72</sup>

הממצאים חוזרים ומדגישים את מרכזיותו של הקו נהריה-תל-אביב בכדאיות הרכבת. עיקר החיסכון העקיף בזמן מקורו בהפעלתו של קו זה. מאידך החיסכון העקיף בזמן שמקורו בהפעלת קווי הדרום הוא הרבה יותר מצומצם. שני הקווים העיקריים באזור זה הם הקווים מבאר שבע ומאשקלון לתל-אביב. חסכון הזמן העקיף הכרוך בהפעלת שני הקווים הוא דומה, אך החיסכון לנוסע-ק"מ גדול יותר בקו מאשקלון מאשר מבאר שבע. הפער (כ-20 אחוז) משקף את היתרון שיש למסילה על הכביש באזורים גדושים. הנוסע מאשקלון נוסע בשעת שיא חלק גדול יותר מהדרך בתנאי גודש ולכן חיסכון הזמן העקיף לק"מ גבוה מזה של נוסע מבאר שבע, שחלק גדול מדרכו נוסע במהירות חופשית. ההשוואה היא מאלפת, משום שכפי שמראה לוח 12 ב'

<sup>72</sup> גמישות הזמן בקטעי הדרך בהם קיים גודש לפי מודל ההצבה הארצי היא 4. בהתאם לנוסחה מרכיב זמן הנסיעה בתנאי גודש הוא, על כן, 10-20 אחוז בלבד. החישוב מתעלם מקיומו של "ביקוש סמוי" (Induced Demand) – תחלופה בין שעות או נתיבי נסיעה שתביא לצמצום החיסכון העקיף בזמן בשעות השיא.

הנסיעה ברכבת בקו אשקלון אינה כרוכה בממוצע בחיסכון זמן ישיר. ממצא זה רלבנטי גם לקווים אחרים העוברים באזורים דלילי אוכלוסייה שאינם סובלים מבעיות גודש.

#### ח. סיכום ביניים – כדאיות ההשקעה בתשתית המסילתית

החיסכון בעלויות תפעול ועלויות זמן הם המרכיבים העיקריים בחיסכון הישיר כתוצאה מתפעול המערכת המסילתית, והחיסכון בעלויות הגודש הוא המרכיב העיקרי בתועלות העקיפות שמקורן ברכבת. החיסכון הישיר והעקיף תלויים בהרכב הנוסעים ברכבת, ובאופן ספציפי במרכיב הנוסעים ברכבת שנטשו את הרכב הפרטי. על אף חשיבותו לא נערך בישראל מחקר שיאפשר אמידת פרמטר זה ונאלץ, אפוא, להיעזר במידע עקיף.

במסגרת הבדיקה לגבי כדאיות הרכבת הקלה במטרופולין תל-אביב נבדק פיצול התנועה החזוי בין רכב פרטי ותחבורה ציבורית, כאשר פונקציית הפיצול היא מבוססת על Nested Logit (Polydoropoulou and Ben-Akiva, 2001), וכאשר בתחבורה הציבורית קיימות שתי אלטרנטיבות (שני "ענפים") – אוטובוסים ורכבת קלה. אומדן פיצול התנועה בין הרכב הפרטי והאוטובוסים התבסס על הנתונים בפועל (על בסיס סקר הרגלי נסיעה), ופיצול התנועה בין שלושת האמצעים (אשר אחד מהם עדיין לא קיים) התבסס על נתוני סקר העדפות מוצהרות (stated preferences). באומדן המבוסס על נתוני ההעדפות המוצהרות נמצא מקדם רגישות

$\mu = 0.52$ <sup>73</sup>. אומדנים דומים נמצאו במחקר של דפוסי יוממות בברצלונה (Assenio, 2002)

ובסידיני (Hensher and Rose, 2007).<sup>74</sup> לצרכי מחקרנו הנחתי שהמקדם הוא 0.5-0.7.

שליש מנוסעי הרכבת הם חיילים שהבחירה אינה נתונה בידם אלא מוכתבת על ידי גוף חיצוני. לוח 5 מראה שבהנחה שנוסעי הרכבת מהווים 10-25 אחוז מכלל הנוסעים בקו אזי, בהינתן  $0.5 < \mu < 0.7$ , 37 – 54 אחוז מקרב "בעלי זכות הבחירה" שיבחרו ברכבת יהיו נוסעי רכב פרטי. לצרכי הבדיקה הנחתי ש-30 אחוז מכלל הנוסעים ברכבת (כלומר, 45 אחוז מקרב הנוסעים שאינם חיילים) מקורו ברכב הפרטי.

לחישוב תרומת הרכבת לחיסכון בעלויות תפעול חושבה העלות הממוצעת של רכב מוטורי לכל קטע מקטעי המסילה בהנחה ש-30 אחוז מנוסעי הקטע היו משתמשים, בהעדר רכבת, ברכב פרטי, ויתרתם – באוטובוסים. מהירות הרכב המוטורי משתנה מקטע לקטע ושונה בין שעות השיא ושעות השפל.<sup>75</sup> עלויות הרכבת חושבו בהנחה ששער הריבית העומד בפניה הוא 7 אחוז. תוצאות החישוב מושפעות בצורה קריטית משיעורי התפוסה של הרכבת בקטעים השונים. הבחנו, על כן בין הקו נהריה-תל-אביב, הקו באר שבע-תל-אביב ושאר הקווים (הקווים מתל-אביב לכפר סבא, לאשקלון, לירושלים, לראשון לציון, ולנתב"ג).<sup>76</sup> אומדן החיסכון בזמן ישיר לפי קווים

<sup>73</sup> האומדן המבוסס על נתוני ההעדפות הנגלות היה קרוב יותר ל-1.

<sup>74</sup> לפי אסניו המקדם הוא 0.57-0.68, ולפי הנשר ורוז המקדם הוא 0.68-0.88.

<sup>75</sup> מהירות הממוצעת בקטע נקבעה באופן שרירותי. המהירויות שלפיהן חושבה העלות של הרכב המוטורי הן בשעות השיא 70-80 קמ"ש בנסיעה בינעירונית ו-30 קמ"ש בכניסה לערים הגדולות. בשעות השפל המהירויות הן 80-90 קמ"ש, ו-50 קמ"ש, בהתאמה.

<sup>76</sup> קטע המסילה בין באר שבע ודימונה, קטע שהתנועה בו דלילה במיוחד, וקטע המסילה מנתב"ג למודיעין, שנפתח רק בשנת 2007, לא נכללו ב"אחרי" אך נכללו בסה"כ.

מבוסס על נתוני לוח 12, ונתוני החיסכון בזמן עקיף (אותם לא ניתן לחלק לקווים) מבוססים על נתוני לוח 14. ערך הזמן חושב לפי 20 ש"ש לשעה.

לוח 15 מרכז את אומדנינו לתרומת הרכבת לחיסכון בעלויות תפעול ובעלויות זמן לשנת 2007 בשעות השיא ובשפל. מנתוני הלוח עולה מסקנה ברורה – רכבת ישראל ברמת הביקוש לשירותיה בשנת 2007 לא תרמה לחיסכון ישיר בעלויות תפעול וזמן. מסקנה זו תופסת הן לגבי שעות השיא והן לגבי שעות השפל, והיא נכונה לגבי כל מערך הקווים, כולל הקווים המבוקשים נהריה-תל-אביב ובאר שבע-תל-אביב.<sup>77</sup> בולטים בחישוב הקווים "האחרים", קווי הפרברים. קווים אלה מסייעים רק 12 אחוז מנוסעי הרכבת אך הם תורמים למעלה ממחצית החיסכון השלילי. עיקר החיסכון למערכת מקורו בחיסכון בזמן עקיף – הקטנת הגודש בכבישים בשעות השיא. חיסכון זה (כ-4 מיליון שעות לשנה) כפול מחיסכון הזמן הישיר בשעות השיא, אך כל עוד הרכבת מושכת את מרבית נוסעיה מהאוטובוסים, ההקלה בגודש אינה מפצה על תוספת עלויות התפעול. חיסכון הזמן (הישיר והעקיף) מפצה על תוספת עלויות התפעול בשעות השיא, אך אין בו לכסות את תוספת העלויות בשעות השפל. כתוצאה, גם אם נתעלם מעלויות התשתית, כרוך תפעול הרכבת בעלות למשק של כ-100 מיליון ש"ש לשנה.<sup>78</sup>

החיסכון בעלויות תפעול וחיסכון הזמן הישיר מושפעים ביותר מתמהיל הנוסעים העובר לרכבת. ככל שמרכיב נוסעי הרכב הפרטי גבוה יותר יהיה החיסכון בעלויות תפעול וגודש גדול יותר. לוח 16 מציג את תרומת הרכבת לחיסכון בעלויות כאשר אנו מניחים שמחצית מנוסעי הרכבת מקורם ברכב הפרטי.<sup>79</sup> שער הריבית ששימש לחישוב עלויות ההון הוא 4 אחוז. הלוח ממחיש את חשיבות מרכיב נוסעי הרכבת שמקורם ברכב הפרטי בקביעת כדאיותה הכלכלית של הרכבת. הגדלת מרכיב נוסעי הרכב הפרטי ברכבת מ-30 ל-50 אחוז מגדילה את החיסכון בעלויות תפעול ב-100 מיליון ש"ש. במקביל גדל החיסכון בזמן עקיף כתוצאה מצמצום הגודש. בהנחות ה"נדיבות" יותר על שיעור ההסבה ושער הריבית הופכים שני קווי האורך, מנהריה לתל-אביב ומתל-אביב לבאר שבע, לכדאיים הן בשעות השיא והן בשעות השפל. מאידך גם בהנחות החדשות הקווים הפרבריים אינם כדאיים ברמת הביקושים הנוכחית וכרוכים בעלות שוטפת נוספת למשק של כ-100 מיליון ש"ש לשנה. עם זאת אין באי כדאיות הקווים האחרים לפגוע בהערכה הכוללת: כאשר תצליח הרכבת לגייס מחצית מנוסעיה מנוסעי הרכב הפרטי יהיה תפעול הרכבת כרוך בחיסכון עלויות למשק (ללא עלויות תשתית) של כ-100 מיליון ש"ש לשנה.<sup>80</sup>

---

<sup>77</sup> הקו נהריה-תל-אביב הוא כמעט "מאוזן", כאשר החיסכון בזמן ישיר כמעט שווה לתוספת עלויות התפעול. תוצאה זו מתחדדת כאשר שער הריבית המשמש לחישוב עלויות ההון (עלויות הנייד) הוא 4 אחוז. עם זאת גם בשער רבית של 4 אחוז תפעולם של הקווים בשעות השפל (כאשר לא קיים חיסכון בזמן נסיעה) אינו כרוך בחיסכון.

<sup>78</sup> מסקנה זו הייתה תופסת גם אם היו עלויות ההון מחושבות לפי שער ריבית של 4 אחוז.

<sup>79</sup> ההנחה שמחצית מנוסעי הרכבת מקורם ברכב פרטי, כאשר שליש מנוסעי הרכבת הם חיילים שעברו לרכבת מאוטובוסים, פירושה ש-75 אחוז מנוסעי הרכבת ה"אזרחיים" מקורם ברכב הפרטי.

<sup>80</sup> החיסכון היה כפול אלמלא קיומם של הקווים ה"אחרים".

לוח 15. מאזן עלות/תועלת רכבת ישראל 2007 (שער רבית = 7%, 30 אחוז מנוסעי הרכבת נוסעי רכב פרטי)

סה"כ				שפל				שיא				
סה"כ	אחר	תל-אביב-באר שבע	נהריה - ת"א	סה"כ	אחר	תל-אביב-באר שבע	נהריה - תל אביב	סה"כ	אחר	תל-אביב-באר שבע	נהריה - תל אביב	
1,830.9	216.5	458.9	1,150.9	1,038.6	122.8	260.3	652.8	792.3	93.7	198.5	498.0	ק"מ נוסעים (מיל)
632.5	142.4	146.4	323.7	281.5	62.3	61.0	148.4	351.0	80.1	85.4	175.3	עלויות תפעול ונייד -רכבת (מיל ₪)
430.8	50.9	111.7	267.3	205.5	24.2	50.5	130.3	225.3	26.7	61.2	137.0	עלויות תפעול ונייד -רכב מוטורי (מיל ₪)
<b>-201.7</b>	<b>-91.5</b>	<b>-34.7</b>	<b>-56.4</b>	<b>-76.0</b>	<b>-38.1</b>	<b>-10.6</b>	<b>-18.1</b>	<b>-125.7</b>	<b>-53.5</b>	<b>-24.2</b>	<b>-38.3</b>	חיסכון עלויות תפעול ונייד (מיל ₪)
632.5	(1,112.1)	22.6	1,722.0	(1,315.4)	-1,040.4	-131.7	-143.2	1,947.9	(71.7)	154.3	1,865.2	חיסכון זמן ישיר (אלפי שעות)
<b>12.7</b>	<b>(22.2)</b>	<b>0.5</b>	<b>34.4</b>	<b>-26.3</b>	<b>-20.8</b>	<b>-2.6</b>	<b>-2.9</b>	<b>39.0</b>	<b>-1.4</b>	<b>3.1</b>	<b>37.3</b>	ערך חיסכון זמן ישיר (מיל ₪)
<b>-189.0</b>	<b>-113.8</b>	<b>-34.3</b>	<b>-22.0</b>	<b>-102.3</b>	<b>-58.9</b>	<b>-13.2</b>	<b>-20.9</b>	<b>-86.7</b>	<b>-54.9</b>	<b>-21.1</b>	<b>-1.0</b>	סה"כ חיסכון ישיר (מיל ₪)
3,950								3,950				חיסכון זמן עקיף (אלפי שעות)
<b>79.0</b>								<b>79.0</b>				ערך חיסכון זמן עקיף (מיל ₪)
<b>-110.1</b>				<b>-102.3</b>				<b>-7.7</b>				סה"כ חיסכון ישיר ועקיף (מיל ₪)
436.2	149.5	107.5	125.1					436.2	149.5	107.5	125.1	ק"מ מסילה
<b>1423.6</b>	<b>487.8</b>	<b>350.7</b>	<b>408.2</b>					<b>1,423.6</b>	<b>487.8</b>	<b>350.7</b>	<b>408.2</b>	עלויות תשתית -רכבת (מיל ₪)

לוח 16. מאזן עלות/תועלת רכבת ישראל 2007 (שער רבית = 4%, 50 אחוז מנוסעי הרכבת נוסעי רכב פרטי)

סה"כ				שפל				שיא				
סה"כ	אחר	תל-אביב-באר שבע	נהריה - תל אביב	סה"כ	אחר	תל-אביב-באר שבע	נהריה - תל אביב	סה"כ	אחר	תל-אביב-באר שבע	נהריה - תל אביב	
1,830.9	216.5	458.9	1,150.9	1,038.6	122.8	260.3	652.8	792.3	93.7	198.5	498.0	ק"מ נוסעים (מיל)
567.5	127.6	130.6	291.3	281.5	62.3	61.0	148.4	286.0	65.3	69.6	142.9	עלויות תפעול ונייד -רכבת (מיל ₪)
531.9	63.3	137.5	329.8	273.9	32.3	67.5	173.4	258.0	31.1	70.0	156.4	עלויות תפעול ונייד -רכב מוטורי (מיל ₪)
<b>-35.6</b>	<b>-64.2</b>	<b>6.9</b>	<b>38.5</b>	<b>-7.6</b>	<b>-30.0</b>	<b>6.5</b>	<b>25.0</b>	<b>-28.0</b>	<b>-34.2</b>	<b>0.4</b>	<b>13.5</b>	חיסכון עלויות תפעול ונייד (מיל ₪)
632.5	(1,112.1)	22.6	1,722.0	(1,315.4)	(1,040.4)	(131.7)	(143.2)	1,947.9	(71.7)	154.3	1,865.2	חיסכון זמן ישיר (אלפי שעות)
<b>12.7</b>	<b>(22.2)</b>	<b>0.5</b>	<b>34.4</b>	<b>(26.3)</b>	<b>(20.8)</b>	<b>(2.6)</b>	<b>(2.9)</b>	<b>39.0</b>	<b>(1.4)</b>	<b>3.1</b>	<b>37.3</b>	ערך חיסכון זמן ישיר (מיל ₪)
<b>-22.9</b>	<b>-86.5</b>	<b>7.4</b>	<b>73.0</b>	<b>-33.9</b>	<b>-50.8</b>	<b>3.9</b>	<b>22.1</b>	<b>11.0</b>	<b>-35.7</b>	<b>3.5</b>	<b>50.8</b>	סה"כ חיסכון ישיר (מיל ₪)
5,989								5,989				חיסכון זמן עקיף (אלפי שעות)
<b>119.8</b>								<b>119.8</b>				ערך חיסכון זמן עקיף (מיל ₪)
<b>96.8</b>				<b>-33.9</b>				<b>130.7</b>				סה"כ חיסכון ישיר ועקיף (מיל ₪)
436.2	149.5	107.5	125.1					436.2	149.5	107.5	125.1	ק"מ מסילה
<b>776.2</b>	<b>266.0</b>	<b>191.2</b>	<b>222.6</b>					<b>776.2</b>	<b>266.0</b>	<b>191.2</b>	<b>222.6</b>	עלויות תשתית -רכבת (מיל ₪)



חישוב חיסכון העלויות הכולל מחייב התייחסות להשקעות הנוספות בתשתית כתוצאה מהרחבת הרשת המסילתית. ההשקעה בתשתית תלויה במידה רבה בתוואי המסילה (שיפועים, עיקולים, גשרים, מנהרות, צמתי כבישים וכדומה). הנחנו לצרכי החישוב שההשקעה לק"מ היא 35 מיליון ₪, שהיא ההשקעה הממוצעת במסילה בשטח מישורי פתוח (לדוגמת הקו מבאר שבע לאשקלון). עלויות התחזוקה השנתיות של המסילה הן 295 אלף ₪ לק"מ.<sup>81</sup>

תוספת עלויות המסילה מצביעה על כך שבהיקף התנועה הנוכחי, גם בהנחות נדיבות, אין בחיסכון השוטף לכסות את עלויות התשתית. כפי שמראה לוח 16, גם במחיר הון של 4 אחוז כאשר מחצית נוסעי הרכבת מקורם ברכב הפרטי, העלות של הפעלת מערכת הרכבות היא 650 מיליון ₪ לשנה. כפי שמראה לוח 15, אומדן העלות הכוללת למשק יוכפל ל 1.5 מיליארד ₪ אם נאמץ מערכת הנחות מחמירה יותר (שער ריבית של 7 אחוז ומרכיב נוסעי מקרב נוסעי הרכב הפרטי של 30 אחוז).

### ט. סיכום ביניים – מאזן עלות/תועלת – חשבון הצרכן וחשבון המשק

לוח 17 משחזר בחלקו העליון את מאזן עלות/תועלת של הפעלת הרכבת במתכונתה בשנת 2007, הפעם במונחי העלות והתועלת למשק לנוסע-ק"מ. בשער רבית של 7% וכל עוד הרכבת מושכת רק 30 אחוז מנוסעיה מהרכב הפרטי, כרוך התפעול השוטף של הרכבת בתוספת עלויות למשק של 6 אג' לנוסע-ק"מ. אם נוסיף לעלויות התפעול והנייד גם את עלויות התשתית גדל אומדן זה ל-84 אג' עיקר העלות השוטפת נובעת מתפעולם של הקווים "האחרים" דלי הנוסעים, אשר הפעלתם כרוכה בעלות שוטפת למשק של כ-0.5 ₪ לנוסע-ק"מ, ועלות כוללת של 2.8 ₪ לנוסע-ק"מ, אך גם הקווים עתירי הנוסעים אינם מכסים את עלויות התשתית. מסקנות אלו אינן משתנות גם אם נאמץ הנחות נדיבות יותר להערכת תרומת הרכבת: שער רבית של 4% וההנחה שמחצית מנוסעיה הם נוסעי רכב פרטי לשעבר. בהנחות אלו מצטמצמת העלות הכוללת למשק לנוסע-ק"מ ל-0.4 ₪.

מאזן זה מעורר תמיהה, שכן, לכאורה, הוא אינו מתיישב עם קצב הגידול המהיר במספר הנוסעים ברכבת בשני העשורים האחרונים. תמיהה זו נמוגה כאשר מאזן עלות/תועלת מוצג מנקודת ראות הצרכן. הפער מוסבר, במידה רבה, על ידי הפער שבין המאזן מנקודת ראותו של המשק והמאזן מנקודת ראות הנוסע ברכבת, אך הוא מעורר גם חשש שחשבון התועלות במאזן אינו ממצה, ולא ניתן משקל הולם למגוון השיקולים של הנוסע בבחורו ברכבת, ובראש וראשונה, נוחיות הנסיעה.

מאזן עלות/תועלת של הצרכן משקף את מערך המחירים העומד בפניו. רכבת ישראל נהנית כל השנים מסובסידיה לכיסוי הוצאותיה השוטפות, ועלויות ההון הקשורות בהפעלתה (נייד ותשתיות) מוטלות על הממשלה. כתוצאה נהנה הצרכן מסובסידיה משמעותית שמשליכה על החלטת הנוסע ביחס לאמצעי הנסיעה בה יבחר.

<sup>81</sup> לא ניכינו מעלות זו את העלות הנחסכת בתחזוקת הכבישים, שכן תחזוקת הכבישים מושפעת בעיקר ממעבר משאיות ומפגעי מזג אוויר, ומושפעת רק באופן שולי ממעבר כלי רכב פרטיים.

לוח 17. מאזן עלות/תועלת והסובסידיה לנוסע-ק"מ 2007 (ש"ח)

מרכיב רכב פרטי 50%, ש"ר 4%				מרכיב רכב פרטי 30%, ש"ר 7%				
סה"כ	אחר	תל-אביב - באר שבע	נהריה - תל-אביב	סה"כ	אחר	תל-אביב - באר שבע	נהריה - תל-אביב	
<b>מאזן עלות/תועלת מנקודת ראות המשק</b>								
-0.02	-0.30	0.02	0.03	-0.11	-0.42	-0.08	-0.05	חיסכון עלויות תפעול ונייד לנוסע-ק"מ
0.01	-0.10	0.00	0.03	0.01	-0.10	0.00	0.03	ערך חיסכון זמן ישיר לנוסע-ק"מ
<b>-0.01</b>	<b>-0.40</b>	<b>0.02</b>	<b>0.06</b>	<b>-0.10</b>	<b>-0.53</b>	<b>-0.07</b>	<b>-0.02</b>	<b>סה"כ חיסכון ישיר לנוסע-ק"מ</b>
0.07				0.04				ערך חיסכון זמן עקיף לנוסע-ק"מ
<b>0.05</b>				<b>-0.06</b>				<b>סה"כ חיסכון ישיר ועקיף לנוסע-ק"מ</b>
<b>0.42</b>	1.23	0.42	0.19	<b>0.78</b>	2.25	0.76	0.35	עלויות תשתית לנוסע-ק"מ
<b>-0.37</b>	<b>-1.63</b>	<b>-0.40</b>	<b>-0.13</b>	<b>-0.84</b>	<b>-2.78</b>	<b>-0.84</b>	<b>-0.37</b>	<b>סה"כ חיסכון לנוסע-ק"מ</b>
<b>מאזן עלות/תועלת מנקודת ראות הנוסע ברכבת</b>								
0.27	0.51	0.23	0.23	0.27	0.51	0.23	0.23	עלויות תפעול לנוסע-ק"מ
0.31	0.59	0.28	0.25	0.35	0.66	0.32	0.28	עלויות תפעול ונייד לנוסע-ק"מ
0.42	1.23	0.42	0.19	0.78	2.25	0.76	0.35	עלויות תשתית לנוסע-ק"מ
<b>0.73</b>	<b>1.82</b>	<b>0.70</b>	<b>0.45</b>	<b>1.12</b>	<b>2.91</b>	<b>1.08</b>	<b>0.64</b>	<b>סה"כ עלויות רכבת לנוסע-ק"מ</b>
0.28	0.32	0.24	0.28	0.28	0.32	0.24	0.28	תעריף לנוסע-ק"מ
<b>0.45</b>	<b>1.50</b>	<b>0.47</b>	<b>0.17</b>	<b>0.84</b>	<b>2.60</b>	<b>0.85</b>	<b>0.36</b>	<b>סובסידיה לנוסע-ק"מ</b>
62%	83%	66%	37%	75%	89%	78%	56%	שיעור הסבסוד

הכנסות הרכבת משירותי נוסעים בשנת 2007 היו 515 מיליון ₪ (71 אחוז מסך הכנסות הרכבת). ההכנסה הממוצעת לנוסע הייתה 16.2 ₪, וההכנסה הממוצעת לנוסע-ק"מ הייתה 0.28 ₪. בלוח 18 נעשה ניסיון לפצל את הכנסת הרכבת מנוסעים לפי מוצא ויעד. בהיעדר מידע ישיר חושבה ההכנסה הנורמטיבית המבוססת על התפלגות הנוסעים (לפי נתוני הכרטוס) בשנת 2007 ותעריפי הנסיעה (בכיוון אחד ללא הנחות) ב 1.1.2010. נתוני ההכנסה הנורמטיבית הותאמו להכנסה בפועל בשנת 2007.<sup>82</sup> התעריף הממוצע לנוסע-ק"מ מוכתב על ידי התעריף בקו נהריה-תל-אביב, כאשר התעריף הממוצע לק"מ בקו באר שבע נמוך יותר, ובקווים האחרים גבוה יותר.

**לוח 18. הכנסות הרכבת, התעריף הממוצע, והתעריף הממוצע לנוסע-ק"מ לפי קווים 2007**

נהריה-ת"א	ת"א-ב"ש	אחר	סה"כ
<b>פדיון מתוקן (אלפי ₪)</b>			
252,469	37,185	35,425	325,079
22,370	29,969	5,958	58,298
31,041	5,561	94,671	131,273
<b>305,881</b>	<b>72,715</b>	<b>136,054</b>	<b>514,650</b>
<b>נוסעים (אלפים)</b>			
15,541	1,628	1,288	18,457
668	2,052	381	3,101
1,160	355	8,671	10,186
<b>17,368</b>	<b>4,036</b>	<b>10,340</b>	<b>31,744</b>
<b>מחיר לנוסע (₪)</b>			
16.2	22.8	27.5	17.6
33.5	14.6	15.6	18.8
26.8	15.7	10.9	12.9
<b>17.6</b>	<b>18.0</b>	<b>13.2</b>	<b>16.2</b>
<b>מרחק נסיעה ממוצע (ק"מ)</b>			
55.6	100.8	102.1	62.8
146.2	61.4	63.3	79.9
99.8	62.2	32.0	40.8
<b>62.0</b>	<b>77.3</b>	<b>41.9</b>	<b>57.4</b>
<b>מחיר לנוסע-ק"מ (₪)</b>			
0.29	0.23	0.27	0.28
0.23	0.24	0.25	0.24
0.27	0.25	0.34	0.32
<b>0.28</b>	<b>0.23</b>	<b>0.31</b>	<b>0.28</b>

<sup>82</sup> ההכנסה הנורמטיבית מתעלמת ממערך ההנחות המקיף של הרכבת ומהשתנות התעריפים בתקופה 2007-2010. ההכנסה הנורמטיבית, לפי חישובינו הסתכמה ב-727 מיליון ₪ ונדרש מקדם תיקון של 71% כדי לחשב את לוח 17.

כפי שמראה לוח 17 בחלקו התחתון, מכסה התעריף הממוצע את עלויות התפעול והנייד בקו נהריה-תל-אביב ואת הוצאות התפעול בקו באר שבע-תל-אביב, אך הוא מכסה רק כמחצית עלויות התפעול והנייד בקווים האחרים (כ-2/3 מעלויות התפעול). באף אחד מהקווים אין בהכנסות לכסות את עלויות התשתית, וכתוצאה מהוות ההכנסות מנוסעים רק רבע מהעלויות, כאשר עלויות ההון מחושבות בשער רבית של 7%, ו-40 אחוז, כאשר עלויות ההון מחושבות בשער רבית של 4.8%<sup>83</sup> גם במקרה זה בולט עומק הסבסוד של הקווים האחרים המגיע ל-80-90 אחוז.

חלקו העליון של לוח 17 משקף את מאזן העלות והתועלות בעולם שבו קיים צרכן מייצג והרכבת וכלי התחבורה המוטוריים הם תחליפים מושלמים (מודל אי' בפרק ב').<sup>84</sup> מודל ריאליסטי יותר כרוך בניסיון לכמת את התועלות שצומחות לנוסע מהשימוש ברכבת, מעבר לחיסכון בזמן. בכל ניסיון מסוג זה יש מרכיב שהוא בהכרח ספקולטיבי. בהעדר ניסיון לאומדן פונקציה ביקוש הדונית לשירותי הרכבת אין לנו אומדן ישיר של תועלות אלו. בפונקציות פיצול הנסיעות המשמשות לחיזוי הביקוש לרכבת מופיעים בעיקר גורמים מרתיעים (זמן נגישות לתחנה, מספר מעברים וכדומה) אך אין ניסיון לכמת את גורמי המשיכה, המגולמים בגורם הקבוע של פונקציות הפיצול. כדי להתגבר על כשל זה נקטנו בגישה עקיפה המבוססת על מרכיב נוסעי הרכבת שעבר מהרכב הפרטי  $(\Delta\theta_M / \Delta\theta_R)$ , נתח השוק הממוצע של הרכב הפרטי  $\theta_M$ , ואומדן המקדם  $\lambda$  המתרגם תועלות למונחים כספיים<sup>85</sup>

$$\Delta W / X^0 \Delta\theta_R = -(1/\lambda) (\Delta\theta_M / \Delta\theta_R) / \theta_M$$

כאשר מרכיב נוסעי הרכב הפרטי בנוסעי הרכבת הוא 30 אחוז (ולחילופין, 50 אחוז) ובהינתן נתח שוק ממוצע של הרכב פרטי של 70 אחוז,<sup>86</sup> אנו נדרשים רק לאומדן של  $\lambda$  לכימות תוספת התועלת במונחים כספיים. אומדן התועלת השולית של ההכנסה  $\lambda$  הוא מקדם המחיר הכספי בפונקציות הפיצול. בפונקציות הפיצול ששימשה באמידת הביקוש לרכבת הקלה באזור תל-אביב נמצא מקדם למחיר הנסיעה באוטובוס -0.164.<sup>87</sup> אבירם (2004) דוחה אומדן זה כגבוה מדי כאשר מדובר בנסיעות בינעירוניות והוא מאמץ את האומדן -0.09. מקדם המחיר תלוי ביחידות בהן נמדד המחיר ובמרחק הנסיעה. אם נשתמש באומדן  $\lambda$  של אבירם, ובהינתן מרחק נסיעה ממוצע של 57 ק"מ יהיה התרגום הכספי של התועלת לנוסע-ק"מ ברכבת 0.08 שם  $[ (1/0.09) * (.3/.7) / 57 ]$ . אומדן זה גדל ל-0.14 שם כאשר מחצית מנוסעי הרכבת באים מקרב נוסעי הרכב הפרטי. גם אם נכפיל את אומדן "מחיר התועלת"  $(1/\lambda)$  – לא יהיה בשינוי לשנות את מסקנותינו באשר למאזן העלות/תועלת למשק.

<sup>83</sup> יש להדגיש שגם נוסעי התחבורה הציבורית המוטורית מסובסדים וחברות האוטובוסים אינן משלמות עבור השימוש בתשתית, אך בהינתן מספר הנוסעים בתחבורה הבינעירונית המוטורית שיעור הסבסוד נמוך משמעותית מזה ברכבת.

<sup>84</sup> מודל זה עומד בבסיס בדיקות הכדאיות המשמשות את משרד התחבורה והאוצר (נוהל פר"ת).

<sup>85</sup> ראה משוואה (6) בפרק ב'.

<sup>86</sup> לפי חישובינו (לוח 6) נתח השוק של הרכבת בקווים שהיא משרתת הוא 6.7 אחוז. אם 30 אחוז מציבור הנוסעים בא מקרב נוסעי הרכב הפרטי הרי שהירידה במספר הנוסעים ברכב הפרטי היא זניחה (כ-2 אחוז) וניתן להשתמש לצרכי האומדן בנתח השוק ההתחלתי של הרכב הפרטי (70 אחוז). חישוב זה דורש תיקון בקווים שבהם כוח המשיכה של הרכבת גדול יותר.

<sup>87</sup> המקדם של עלות הנסיעה ברכב פרטי הוא משמעותית יותר נמוך – -0.022.

## י. סיכום ומסקנות מדיניות

רכבת ישראל הצליחה לבצר לעצמה בעשור האחרון מעמד חשוב בהובלת הנוסעים הבינעירוניים. הרכבת הצליחה לבצר לעצמה מעמד דומיננטי בקו הרכבת הוותיק חיפה-תל-אביב וחשיבותה בקו הארוך השני שלה, קו באר שבע-תל-אביב הולכת וגדלה. מאידך, בקווי הרכבת הפרבריים בואך תל-אביב (הקווים מאשקלון, כפר סבא, ראשון לציון-מערב, ומודיעין) מעמדה עדיין מקרטע. הגידול המהיר במספר הנוסעים ברכבת בא במידה רבה על חשבון האוטובוסים, אך ככל שמעמיקה חדירתה של הרכבת כך גדל והולך חלקם של הנוסעים ברכב פרטי העובר לרכבת. השינוי במעמדה של הרכבת לא בא מאליו. הוא תוצאה של תכנית השקעות עתירת משאבים שפירוטה עדיין לא מומשו במלואם. מתבונן מהצד עשוי להתרשם שתכנית ההשקעות סובלת מחוסר איזון מסוים: בעוד מיליארדי ₪ מושקעים בהון פיזי (תשתית מסילתית וציוד) הושקעו רק סכומים זניחים במידע המתייחס לכדאיות ההשקעה. וכך בתום שני עשורים של השקעות אינטנסיביות עומד חוקר המנסה לבדוק את כדאיות ההשקעה כאשר ארגו הכלים העומד לרשותו אינו עשיר יותר מזה שעמד לרשות חוקרי Sufretu כאשר התוו את תכנית הפיתוח הראשונה של הרכבת.

לרשות החוקר עומדת אמנם מערכת מידע סבירה באשר לעלויות השוטפות של הרכבת, אך בהעדר דו"חות כספיים מוסדרים לשנים האחרונות הנתונים המתייחסים לעלויות ההון מתבססים על עלויות נורמטיביות, שבינן לבין העלות בפועל עשוי להיות פער ניכר. חמור יותר הוא היעדר נתונים לגבי התפוקות. ספירת הנוסעים מתבססת על נתוני כרטוס, אך נתונים אלו אינם מציינים את השעה בה נסע הנוסע. לשעת הנסיעה חשיבות רבה בחישוב מידת הניצול של הציוד בשעות השונות (מקדמי המילוי), ולחישוב ההשלכות שיש לקיום הרכבת על הגודש בכבישים. ליקויים דומים קיימים לגבי מפת הנסיעות הארצית. בהעדר מידע מהימן על מספר הנוסעים וכלי הרכב בתחבורה הבינעירונית בשעות השונות לא ניתן לחשב את נתח השוק של הרכבת בקווים השונים. לבסוף, בהעדר מחקר מהימן על דפוסי הביקוש לרכבת לא ניתן לחשב את מספר הנוסעים שהרכבת שואבת מצורות תחבורה ציבורית אחרות ואיזה חלק מנוסעי הרכבת עבר אליה מכלי רכב פרטיים. בהיעדר מידע מדויק נסינו להשלים את החסר על ידי אומדנים המבוססים על הספרות הבינלאומית בנושא, אך לא פעם נדרשנו להנחות שרירותיות.

תפעול הרכבת מבוסס על טכנולוגיה עצימת הון ועל כן אומדן חסכון עלויות התפעול והנייד כתוצאה מהפעלת הרכבת רגיש ביותר לשלושה פרמטרים: מידת הניצול של הציוד, האלטרנטיבה המוטורית לנסיעה ברכבת ומחיר ההון. ברמת הביקושים הנוכחית קיים רק קו אחד – קו חיפה תל-אביב הכרוך בחיסכון בהוצאות תפעול ונייד. גם לגבי קו זה נדרשות הנחות נדיבות באשר למחיר ההון (שער רבית של 4 אחוז) ובאשר לתמהיל הנוסעים (ההנחה שמחצית מנוסעי הרכבת באים מקרב נוסעי הרכב הפרטי) כדי שניתן יהיה להצדיק את ההשקעה בציוד על ידי חיסכון בעלויות שוטפות. בכל שאר הקווים מספר הנוסעים עדיין רחוק מלהצדיק את ההשקעה בציוד היקר.

יתרונה של הרכבת אינו, אפוא, בחסכון בעלויות תפעול ונייד (כפי שעולה לעתים מבדיקות כדאיות של קווים חדשים) אלא בחיסכון בעלויות זמן. הרכבת משתמשת בנתיב בלעדי, ועל כן, תיאורטית מספר הנוסעים המשתמש ברכבת אינו צריך להשפיע על מהירותה. תיאורטית,

מהירות הנסיעה של הרכבת מאפשרת לה להתמודד עם הרכב המוטורי בכל שעות היום, לא כל שכן בשעות השיא כאשר הרכב המוטורי נאלץ להתמודד עם בעיית הגודש.

לוח הזמנים של רכבת ישראל לשנת 2007 מצביע על כך שהתיאוריה אינה מתיישבת תמיד עם המציאות: א. בחלק מהקווים החדשים (שהבולט ביניהם הוא הקטע נען-באר שבע) הרכבת נעה על מסילה המורכבת מפס בודד (במקום שני פסים מקבילים). במצב זה תוספת נוסעים ותוספת רכבות כרוכה בהשיית רכבות הבאות מהכיוון הנגדי, ב. כאשר מספר הנוסעים קטן עוצרת הרכבת בתחנות רבות כדי להגדיל את ניצול הציוד.

כתוצאה משתי מגבלות אלו אנו מוצאים שבמרבית הקווים המהירות האפקטיבית של הרכבת קטנה מ-70 קמ"ש. למעשה הקו היחיד שבו הרכבת מממשת את פוטנציאל המהירות שלה (100 קמ"ש) הוא הקו עתיר הנוסעים חיפה-תל-אביב שבו מפעילה הרכבת מספר גדול של רכבות ישירות שמספר העצירות שלהן מצומצם. בקווים הפרבריים מכפר סבא וראשון לציון- מערב מהירות הרכבת האפקטיבית אינה עולה על 40 קמ"ש, ואם נוסיף לזה את התוואי העקלקל בו נעה הרכבת בואכה תל-אביב אין פלא שהרכבת מתקשה להתמודד על לבו של הנוסע ברכב פרטי. הקו היחיד שבו הנסיעה עשויה לתרום לחיסכון ישיר בזמן, הן בשעות השיא והן בשעות השפל הוא, על כן, קו נהריה-תל-אביב. קו זה מציע חיסכון בזמן נסיעה, והחיסכון הכולל בזמן הנוסעים תלוי במידת נגישותם לתחנת הרכבת בנקודת המוצא והיעד ובזמן ההמתנה לרכבת. קו באר שבע-תל-אביב אינו מציע חיסכון בזמן נסיעה. קיים אמנם חיסכון זמן חיובי בשעות השיא, אך חיסכון זה מקוּוֹזֵז על ידי תוספת הזמן הנדרשת לנסיעה בקו בשעות השפל. כל שאר הקווים (כקבוצה) אינם מציעים חיסכון ישיר בזמן. החיסכון בזמן בשעות השיא, ככול שהוא קיים, הוא שולי, והנסיעה בשעות השפל כרוכה בתוספת של מיליון שעות נסיעה בשנה (תוספת של עשרת אלפי שעות לכל מיליון ק"מ-נוסעים).

האם עומדת הרכבת בצפיות שתהיה חולצת הפקקים של המדינה, ובמיוחד הפקקים בכניסה לתל-אביב וחיפה? הבדיקה מאששת את ההשערה שהתועלת העיקרית למשק מהפעלת הרכבת היא צמצום הגודש בכבישים. תועלת זו תלך ותגדל ככל שהרכבת תצליח למשוך אחוז גדול יותר מנוסעיה מקרב נוסעי הרכב הפרטי. בהעדר מידע על אחוז הנוסעים ברכבת שהשתמש בעבר ברכב פרטי לא ניתן לתת אומדן מדויק למרכיב תועלת זה. בהנחה שהאחוז הוא 30 אחוז חסכון הזמן העקיף הוא 3.8 מיליון שעות לשנה, והוא גדול פי 6 מחיסכון הזמן הישיר. אם היינו מניחים שהרכבת שואבת מחצית מנושאייה מהרכב הפרטי היה אומדן זה קופץ ל 6 מיליון שעות שנתיות. גם חיסכון זה נובע רובו ככולו מהתנועה בציר נהריה-תל-אביב. להסטת התנועה מהרכב המוטורי לרכבת יש תרומה מסוימת להקלת הגודש בכניסות הדרומיות של תל-אביב, אך התרומה של הקו מכפר סבא עדיין שולית.

החיסכון בעלויות גודש הוא בודאי מרכיב החיסכון העיקרי למשק מתפעולה של רכבת ישראל,<sup>88</sup> אך חישובינו מראים שברמת הביקושים לשירותי הרכבות כפי שהייתה בשנת 2007 וכל עוד הרכבת שואבת רק 30 אחוז מנוסעיה מהרכב הפרטי אין בחיסכון זה לקזז את התוספת בעלויות תפעול הכרוכה בהפעלת הרכבת. ברמת הביקושים הנוכחית היה תפעולה של הרכבת

---

<sup>88</sup> לא נסינו לכמת את החיסכון למשק כתוצאה מהקטנת זיהום האוויר, מפגעים סביבתיים אחרים וצמצום פוטנציאלי של תאונות הדרכים. אומדנים קודמים (אבירם 2004) והניסיון הבינלאומי (Berechman et al., 2010) מראים שחיסכון זה הוא משני בחשיבותו.

כרוך בחיסכון למשק רק אם מחצית מנוסעיה היו באים מקרב נוסעי הרכב הפרטי. שליש מנוסעי הרכבת הם חיילים. ההנחה ש-30 אחוז מנוסעי הרכבת מקורם ברכב פרטי פירושה שכמחצית מהנוסעים שאינם חיילים (ליתר דיוק, 45 אחוז) מקורם ברכב פרטי. בהינתן מספר הנוסעים הנוכחי, ההנחה שמחצית נוסעי הרכבת מקורם מקרב נוסעי הרכב הפרטי פירושה ש- $\frac{3}{4}$  מהנוסעים שאינם חיילים באים מקרב נוסעי רכב פרטי, הנחה שבדאי אין לה ביסוס במציאות.

מרכיב נוסעי הרכב הפרטי בקרב נוסעי הרכבת הוא פונקציה של מספר הנוסעים. יש להניח שהרכבת מיצתה את פוטנציאל הנוסעים מקרב החיילים. יתר על כן, מאחר ומידת התחלופה בין הרכבת והאוטובוסים גדולה ממידת התחלופה שבין הרכבת והרכב הפרטי, ניתן להניח שהראשונים שנטשו את הרכב המוטורי לטובת הרכבת הם נוסעי האוטובוסים, ושכל גידול נוסף במספר הנוסעים ברכבת בקווים המבוססים חייב לבוא על חשבון נוסעי הרכב הפרטי. עם זאת היעד שמחצית נוסעי הרכבת יבואו מקרב נוסעי הרכב הפרטי אינו יעד קל להשגה. גם אם נניח ששיעור נוסעי הרכבת מקרב הרכב הפרטי במצב הנוכחי הוא 30 אחוז (45 אחוז מקרב הנוסעים שאינם חיילים), ונניח שכל הנוסעים שיתווספו לרכבת יבואו מקרב נוסעי הרכב הפרטי, יידרש גידול של 40 אחוז במספר הנוסעים הכולל (גידול של 60 אחוז במספר הנוסעים שאינם חיילים וגידול של 133 אחוז במספר הנוסעים העוברים מהרכב הפרטי) כדי שאחוז נוסעי הרכבת מקרב נוסעי הרכב הפרטי יגיע למחצית.

חישובינו מראים שההפרש בעלויות התפעול והנייד בין הרכבת והרכב המוטורי כאשר מדובר ברכבות הבינעירוניות (קווי נהריה-תל-אביב ובאר שבע-תל-אביב) הם קטנים, מאידך קיימים עדיין הפרשים משמעותיים בעלות הפעלתם של קווי הפרברים (לוח 11). שיעורי התפוסה הנמוכים בקווים הפרבריים הם נקודת התורפה בפעילות הרכבת. שיפור רמת שירות בקווים אלה והגדלת מספר הנוסעים מקרב נוסעי הרכב הפרטי היא המפתח לביסוסה של הרכבת כחולצת הפקקים בכניסות לערים הגדולות.

הקווים הפרבריים הם יחסית חדשים, חלקה של הרכבת בכלל הנוסעים בקווים אלה הוא עדיין זעום, ופוטנציאל הצמיחה הוא משמעותי. קו נהריה-תל-אביב הוא קו ותיק שבו הרכבת משרתת חלק משמעותי מהנוסעים בקו. פוטנציאל הצמיחה בקו זה הוא, על כן, מוגבל ומתבסס, בין השאר, על תהליכים אטיים של שינוי מקום המגורים והתעסוקה.

המרכיב הגדול של החיילים בקו זה, לא רק שאינו תורם להגדלת כדאיות הרכבת אלא שהוא פוגע בה. נסיעות החיילים מאופיינות על ידי תנודתיות חריפה. נסיעות החיילים מרוכזות במספר קטן של שעות, בימי א' בבוקר וימי ה' אחה"צ. היענות לביקושי היא המרוכזים במספר כה קטן של שעות בשבוע אינו מצדיק הרחבה במצבת הציוד, וכתוצאה נוסעות הרכבות בשעות אלה כאשר הן גדושות, ורמת השירות הנמוכה מרתיעה את הנוסעים שהאלטרנטיבה שלהם לנסיעה ברכבת היא נסיעה ברכב הפרטי. מנקודת ראות משקית ראוי היה שנסיעות החיילים בשעות אלו יבוצעו באמצעות אוטובוסים, ויתפנו יותר מקומות להסעת נוסעים מקרב נוסעי הרכב הפרטי.

תכנית הפיתוח האמביוזית של רכבת ישראל רחוקה מהבשלה. היקף הנוסעים בקווים הפרבריים החדשים עדיין רחוק מלהצדיק את ההשקעות בקווים אלו. עם זאת מושמעות חדשות

לבקרים הצעות להרחיב את רשת הרכבות ליעדים נוספים. הצעות אלו מתעלמות מעלויות התשתית הגדולות הכרוכות בסלילת קווים חדשים ומפוטנציאל הצמיחה הזעום שבהקמתם. ההשקעה הנדרשת להקמת ק"מ קו היא 35 מיליון ₪ לק"מ. עלות ההון והאחזקה השנתית של המסילה היא 1.78 מיליון ₪ לק"מ כאשר מחיר ההון הוא 4 אחוז, ו- 3.26 מיליון ₪ לק"מ כאשר מחיר ההון הוא 7 אחוז. עלות התשתית השנתית של המסילה הקיימת היא 750 מיליון ₪ כאשר מחיר ההון הוא 4 אחוז, ו- 1.4 מיליארד ₪ כאשר מחיר ההון הוא 7 אחוז. כפי שראינו, לעלות זו אין כיסוי בחיסכון בעלויות תפעול ונייד או בחיסכון בעלויות זמן (ישיר ועקיף). לפי חישובינו רק קו נהריה-תל-אביב מתקרב לנקודה בה החיסכון בעלויות תפעול וזמן מצדיק את ההשקעות בתשתית.<sup>89</sup> כל שאר הקווים רחוקים מנקודת האיזון. עלות ה"ייצור" השנתית למשק של 220 מיליון ק"מ-נוסעים ברכבות ה"אחרות" (הקווים למעט קו נהריה-באר שבע) היא 340 מיליון ₪ במחיר הון של 4 אחוז ו-600 מיליון ₪ כאשר מחיר ההון המשמש בחישוב הוא 7 אחוז. העלות לק"מ-נוסע בקווים אלה, שחלקם טרם הגיע להבשלה, היא 1.5-2.8 ₪. העלות בקווים החדשים המוצעים תהיה משמעותית גבוהה יותר.

רשת הרכבות הנוכחית מחברת 34 מ-50 מקומות היישוב הגדולים במדינה (מקומות יישוב שאוכלוסייתם עולה על 30 אלף נפש). ביישובים אלה מתגוררת אוכלוסייה של למעלה מ-4 מיליון נפש. ב-16 מקומות היישוב שאינם מחוברים לרשת מתגוררת אוכלוסייה של 860 אלף נפש, ומתוכם 300 אלף מתגוררים בחולון ובת ים, האמורים להתחבר לתל-אביב על ידי מסילת רכבת קלה. מרבית הקווים החדשים המוצעים נועדו לחבר נקודות ישוב קטנים ומרוחקים (חלקם לא נמנה ברשימת 50 היישובים הגדולים). התפלגות הנסיעות של הרכבת מראה שמפת הנסיעות מבוססת על מודל של "סרן וחיבורים" ("Hub and Spokes"). 60 אחוז מהנסיעות מקורן ויעדן הוא בתל-אביב ו-20 אחוז מקורן ויעדן הוא בחיפה. אחוז הנסיעות הפנים-אזוריות הוא קטן (כעשירית) וכך גם אחוז הנסיעות הבין-אזוריות שיעדן אינו שתי הערים הגדולות. מודל הגרביטציה מראה שפוטנציאל הנוסעים של היישוב תלוי בגודלו ושהמרחק מהווה גורם מרתיע לנסיעה. הגדלת מספר הנוסעים בקווים הקיימים כתוצאה מהרחבת הרשת אינה שווה את עלות ההשקעה וההפעלה של הקטעים החדשים.

פוטנציאל הצמיחה של הרכבת אינו נעוץ, על כן, בהרחבה, אלא בשדרוג ו"השבחת" הרשת הקיימת. מקומות יישוב רבים מחוברים לתל-אביב במסלול מתעקל ומתפתל שהוכתב על ידי מפת זכויות הדרך המנדטורית.<sup>90</sup> קיצור תוואים והגדלת מספר הרכבות הישירות הם תנאי להאצת מהירות הרכבת והגדלת כוח המשיכה שלה לנוסעי הרכב הפרטי.<sup>91</sup> לא פחות (ואולי יותר) חשובה היא הנגישות לתחנות. מרבית תחנות הרכבת נמצאות בשולי העיר ואינן בטווח הליכה

<sup>89</sup> בהינתן מספר הנוסעים בקו בשנת 2007, ובהנחה שמחציתם באו מקרב נוסעי הרכב הפרטי, הרי במחיר הון של 4 אחוז מצטמצם ה"גירעון" השנתי מתפעול הקו נהריה – תל-אביב ל-30 מיליון ₪.

<sup>90</sup> במפת הרכבות המנדטורית שיחקה לוד תפקיד של צומת מרכזית במזרח התיכון.

<sup>91</sup> פתיחת קו הרכבת מראשון לציון מערב בודאי עומדת בהגדרה זו, וכך אולי הקו מאשקלון דרך יבנה-מערב. הקו הישיר לירושלים יתרום להגדלה משמעותית במספר הנוסעים ברכבת (נוכחותה של ירושלים במפת הרכבות הנוכחית היא סמלית), אך בהינתן העלות הגדולה להקמת הקו ספק אם ניתן להצדיקו במדדי הכדאיות הכלכלית המקובלים. הקו הישיר מבאר שבע לאשקלון הוא דוגמא לקו שאין הצדקה כלכלית להקמתו.



מאזורי המגורים.<sup>92</sup> הנגישות לתחנה מחייבת, אפוא, שימוש בכלי רכב נוסף, פרטי או ציבורי. עד כה לא הוסדרו פתרונות חנייה ארוכי טווח לרכב פרטי, ורשת האוטובוסים המשרתת את התחנות לוקה בחסר.<sup>93</sup> פתרון בעיית הנגישות הוא קריטי להגדלת חלקה של הרכבת במפת הנסיעות. אך גם אם צעדים אלה יביאו להגדלת האטרקטיביות של הרכבת ספק אם יביאו להגדלת ביקוש בהיקף שיצדיק את ההשקעות ברשת המסילתית בשני העשורים האחרונים. כדי להביא להסטת ביקושים מהרכב המוטורי לרכבת בהיקף הנדרש יש להפעיל, במקביל להגדלת כוח המשיכה של הרכבת, מדיניות מרתיעה לשימוש ברכב הפרטי. רק מדיניות משולבת הכוללת אגרות גודש ומדיניות חניה מגבילה מחד, ושיפור שירותי הרכבת מאידך תציב את הרכבת במעמד של חולצת הפקקים של המדינה.

---

<sup>92</sup> ההתדרדרות בשירותי הרכבת הביאה ל"הגלייתה" ממרכז תל-אביב וירושלים. באופן דומה, השיפור בשירותי הרכבת בשנים האחרונות הביא לגידול במספר מקומות העבודה הממוקם בטווח הליכה מהתחנה (בעיקר באזור תל אביב).

<sup>93</sup> הדבר בולט במיוחד בקווים החדשים המתוכננים לירושלים וראשון לציון-מערב. גם אזורי החנייה בתחנות הקיימות מתוכננים בטווח ארוך להפוך לשטחי בניה.

## מקורות:

- אבירם, חיים (2004). " בחינה ראשונית השוואתית של קווי מסילה עתידיים" (ספטמבר). אלנבוגן, בני (1990). "חוות דעת על תכנית אב לפיתוח השירות הרכבתי בישראל 1990 – 2010 – דו"ח SOFRETU" (ספטמבר).
- גרונאו, ראובן (1997 א'). "התערבות ותחרות בשוק התחבורה המוטורית-I. ענף התחבורה המוטורית – סיפור של כשל שוק", ירושלים: המכון למחקר כלכלי על שם מוריס פאלק, מאמר לדיון מס' 97.03i (יולי).
- (1997 ב'). "התערבות ותחרות בשוק התחבורה המוטורית-II. מיסוי הרכב הפרטי ואגרת הצפיפות", ירושלים: המכון למחקר כלכלי על שם מוריס פאלק, מאמר לדיון מס' ii 97.03.
- (1997 ג'). "התערבות ותחרות בשוק התחבורה המוטורית-III. סבסוד התחבורה הציבורית והתערבות בשוק המוניות", ירושלים: המכון למחקר כלכלי על שם מוריס פאלק, מאמר לדיון מס' 97.03iii (יולי).
- כץ, נטלי (2008). " פיתוח מערכת מסילתית - מנוף להעצמת ליבת שדה התעסוקה של ישראל", עבודת דוקטוראט, אוניברסיטת חיפה.
- רשות הנמלים והרכבות-SOFRETU (1990), "תכנית אב לפיתוח השירות הרכבתי בישראל 1990 – 2010" (מרץ)
- J. Asensio, "Transport Mode Choice by Commuters to Barcelona CBD", *Urban Studies*, 39:10, 2002.
- Berechman Joseph., Bartin B., Yanmaz-Tuzel O., and Ozbay K.,(2010).” “The Full Marginal Costs of Highway Travel: Methods and Empirical Estimation for North America”, in *Handbook in Transport Economics* ( Chapter 12)
- Flyvbjerg B., and Skarmis M., and Buhl S. (2004). "What Causes Cost Overrun in Transport Projects", *Transport Reviews*, 24:1, 3-18.
- Gronau, Reuben (2000). "Optimum Diversity in the Public Transport Market," *Journal of Transport Economics and Policy* 34:1 ( January).
- Hensher, David A. and J.M. Rose, "Development of Commuter and Non-Commuter Choice Models for the Assessment of New Public Transport Infrastructure Projects: A Case Study", *Transportation Research Part A, Policy and Practice*,41:5, June 2007.
- Mohring, Herbert (1972),”Optimization and Scale Economies in Urban Bus Transportation”, *American Economic Review*, 62: 4 (September), 591-604.
- Pickrell Don. (1990). "Urban Transit Rail Projects: Forecast Versus Actual Ridership and Cost", Washington DC: US Department of Transportation

- Polydoropoulo, Amelia and Moshe Ben-Akiva, "Combined Revealed and Stated Preference Nested Logit Access and Mode Choice for Multiple Mass Transit Technologies", *Transportation Research Record* 1771 (Paper No. 01-3271)
- Pressman, Natalia and Arie Arnon (2006). "Commuting Patterns in Israel 1991 – 2004", Bank of Israel Discussion Paper 2006.04 (August)
- Small, Kenneth A., and Harvey S. Rosen (1981), "Applied Welfare Economics with Discrete Choice Models", *Econometrica*, 49:1 (January), 105-130.