

התערבות ותחרות בשוק התחבורה המוטורית

II. עלות הצפיפות

מאת

ראובן גרוונאו

המכון למחקר כלכלי בישראל על שם מורייס פALK
THE MAURICE FALK INSTITUTE FOR ECONOMIC RESEARCH IN ISRAEL
Discussion Paper Series

ירושלים, מאי 1997 ♦ מאמר לדין מס' 97.03

המכון למחקר כלכלי בישראל על-שם מורייס פאלק

המכון למחקר כלכלי בישראל על-שם מורייס פאלק הינו מוסד בלתי-תלוי שלא למטרת רווח, שהוקם לשם עידוד מחקר כלכלי, תוך תשומת-לב מיוחדת למשק הישראלי. המכון נוסד בשנת 1964, כמשמעותו של מרכז פאלק למחקר כלכלי בישראל. האחריות לניהולו הכללי של המכון מוטלת על חבר נאמנים, שהרכבו הראשון נקבע על-ידי האוניברסיטה העברית בירושלים בהתייעצות עם קון נאמנים, לאורנה פאלק בפילטסבורג, פנסילבניה. החלטתו של חבר נאמנים לפרסם מחקר משקפת את הערכתו, שהמחקר עונה על הדרישות של עובודה מדעית; אולם פירוש העבודות וכן מסקנות הממחקר מיצגים את דעתם של המחבר או המחברים, ואינם משקפים בהכרח את דעתיהם של עובדי המכון האחרים או של חבר הנאמנים.



חבר הנהוגים

**יושב-ראש : מאיר חת
מנהל המכון : שלמה יצחקי**

דני פרמן	יוסף יהב	יהושע בן-אריה
מייכאל קרן	יואב כסלו	צבי גריליכס
חיים שטסל	ויקטור לביא	פרדי ויידר
עמנואל שרונו	ויקטור מדינה	נתן זוסמן
יוסף תמיר	יעקב מצר	גיורא חנוּך
	סטנלי פישר	



האוניברסיטה העברית בירושלים, בניין פרץ נפתלי, חדר 5213
הר הצופים, ירושלים 91905

טל' : (02) 588-3130
fax : (02) 581-6071

דו"ר אלקטרוני : msfalkin@pluto.huji.ac.il
דף אינטרנט : <http://pluto.huji.ac.il/~msfalkin/home-1.htm>

התערבותות ותחרות בשוק התחרורה המוטורית

II. עלות הצפיפות

מאת

ראובן גורנאו

תמצית

המעבר מתחבורה ציבורית לרכב פרטי, והפגיעה בהשקעות בככישים אחרים גידול צי הרכבת הביא לעלייה משמעותית בצפיפות בככישים ב-35-35 השנים האחרונות. בתנאי צפיפות עלות הנסעה לפרט קטן מהעלות למשק, שכן הפרט מתעלם בשיקוליו מעלות הזמן הנוספת לנוסעים האחרים במערכת כתוצאה מהאחת התנוועה בעקבות כניסה לתיב.

נסוין לאמוד את עלויות הצפיפות כרוכך בסדרה ארוכה של הנחות על פונקציית המהירות, עלויות הזמן, רכיבי העלות הרגשיים לזמן הנסעה, גמישיות ביקוש לנוסעים ועוד. חישובים המבוססים על סימולציה של רשות הנסיעות בתל-אביב מראים שב-1991 היה כרוכך כל ק"מ-רכב בתוספת זמן לשימושים האחרים של 1-9 דקות. במנוחים כספיים הייתה העלות לפרט רק עשרית עד מחצית מהעלות למשק. מסי השימוש (והח温情 — מס הדלק) היו בשיעורים קטנים במידה משמעותית מזוקי הצפיפות בתחום העירוני.

לפי הערכתנו אם ניתן היה להטיל אגרות צפיפות דיפרנציאליות שתתגשנה על הפער בין העלות לרכב ולמשך הייתה תנועת הרכבת הפרטוי באזורי הצפיפות העירונית הכבודה מצטטמת במחצית, והתחרורה הציבורית הייתה גדלה ברבע-שליש. אגרות אלו היו מביאות לירידה קטנה בלבד במספר הנוסעים הכלול והוא חוסכות למשך כ-150 מיליון שעות נסעה שערכן במחצית 1995 הוא למעלה מ-2 מיליארד ש"ח. אך האגרות במרקחה זה היו צרכות להיות בשיעורים כה מפליגים שקשה להאמין שהן יישומות. מיסי הדלק לא מצלחים להתמודד עם בעיית הצפיפות, ויש לאמץ מגוון רחב של אמצעי מדיניות נוספים כדי למנוע את הנזק.

המכון למחקר כלכלי בישראל ע"ש מorris פאלק

ירושלים, מאי 1997 ♦ מאמר לדיוון מס' נז 97.03

התרבותות ותחרות בשוק התחרורה המוטורית — עלות הציפיות.

א. הקדמה

הפיגור בהשקעות בתשתיות עמד שנים האחרונות במרכז הדיון הציבורי. ב-25 השנים האחרונות גדל צי הרכב פי 6, בעוד שטח הכבישים גדל רק פי 1.8. היחס ק"מ-רכב לשטח כביש שלוש, וגדלה בדומה משמעותית הציפיות בדרכיס.¹ הלחץ הציבורי להגדלת החשיבות בכבישים נטה להשכית שתי עבדות יסוד: (א) כמחצית מהתנועה המוטורית היא בכבישים עירוניים שאפשרויות הרחבות מוגבלות, ו-(ב) גם בערך אופטימלי מבחינה חברתית אמורה לתקיים ציפיות, כך שהרחבת הכבישים (הדרישה שלעצמה) אין להנה מענה מלא לביעית הציפיות.

בתנאי ציפיות המחיר המכון את ההצלחות הנסעה של הפרט שונה מהמחיר למשק. הפרט מתעלם בשיקוליו מהשפעת פעולתו על עלויות הנסעה (במנוחי זמן וכסף) של המשתמשים האחרים במערכת. כתוצאה אין לצפות שמנגנון התחרות החופשית יביא, בהדר התערבות, להקצתה מקורות אופטימלית בתחרורה המוטורית. העיוות בהקצתה מתבטא בחלוקת הנוסעים בין סוגי הרכב השונים (רכב פרטי, מוניות, אוטובוסים), במספר הנסיעות הכלול, ובהילוך התשתיית הנדרש לביצוע נסיעות אלה.

אחד הדרכים שימושיות בספרות הכלכלית להתמודד עם בעיית החדש היא הטלת אגרה. אגרה זו אין מטרתה לגייס משאבים מהציבור, אלא לשר על הפער בין המחיר לפרט והמחיר למשק. הטלת אגרה מסווג זה תעמיד את המשתמשים במערכת בפני המתרירים הנכונה, ותביא לפתרון הקצائي טוב יותר.

העקרון השימוש בכביש אינו חופשי וחיבר בתשלום הוא עקרון שהציבור ונציגו מתקשים לעכל (כשם שהעקרון השימוש בכביש כבגרש חניה פטור מתשולם, היה עקרון קשה לעיכול). ישומו, ואפיו באופן חלקי, מחייב אומדן של הנזק הכרוך בציפיות. המאמר מנסה לתת תשובה מקורבת לשאלת.

באופן טבעי, הציפיות שונה מנטייב לנטייב ומשעה לשעה, ותלויה באופי הנטייב ובמספר המשתמשים. לא ניתן לומר את כל הנסיבות שבחן מתקיימת ציפיות. כאמור נבחן בין תנועה עירונית ובין עירונית וננסה למדוד את נזקי הציפיות כתוצאה ממשוני מספר כלי הרכב לנטייב.

כפי שהצביע במאמר קודם (גרונאו, 1997א), הגדלת השימוש ברכב פרטי הייתה הגורם העיקרי להגדלת הציפיות. בעשרות וחמש השנים האחרונות חל שינוי חד בהרכב התנועה. הרכב הptrsi שהוביל בשנת 1970 כשליש מהנוסעים, משורת כיוום נתח כפול; במקביל קטן נתח השוק של

* ברצוני לחזור ולהזכיר לעוזרי הממחקר שסייעו בידי במחקר זה — יונה רובינשטיין, ניצן מלמד ואבידע טור-סיני. כמו כן נתונים תודהי ליושע כהן מחברת מתיית', ולחוקר המכוון היישראלי לתכנון ומחקר תחבורה, בהם עוזרתי בשלבים שונים של הממחקר. הממחקר נהנה מסוייע כספי של מכון ורשות לחקר ישראל ומשרד התחבורה.

¹ הנתונים לא כוללים אופניים. ב-35 השנים 1961-1995 גדל צי הרכב פי 24, שטח הכבישים פי 3 והמדד ק"מ-רכב לשטח כביש — פי 6.

התחברה הציבורית בחצי.² קילומטראי' הרכיב גדול בעשרות וחמש השנים האחרונות פי חמשה, אך קילומטראי' הנוסעים גדול רק פי שלושה. לשון אחרת, אלמלא המעבר מרכיב ציבוררי לרכיב פרטי, הייתה הצפיפות גדלה רק ב-60 אחוז מהגידול בפועל.

השימוש ברכב פרטי כרוך בתשלומים מיסים בשיעור הגבוה מהמס המוטל על כל מוצר לצורכי בר-קיימא אחר. נשאלת על כן השאלה; האם אין המס משמש תחליף לאגרה. האם המחיר לפרט (הכולל את המיסים) גבוה או נמוך מהמחיר למשק? על שאלה זו אני מנסה לענות בשתי רמות:

ברמה מצרפתית, עברו כלל כלי הרכבת, וברמה הפרטנית, עברו כל סוג רכב בנפרד.

מדיניות אגירות אופטימלית מחייבת מיסוי דיפרנציאלי. מערכת זו האגרה על כל סוג רכב תלוייה בתרומותיו לצפיפות. האגרה המוטלת על כל נוסע היא ביחס הפוך למספר הנוסעים ברכבת. ברמה הפרטנית נבדקת השאלה כיצד ישפייע המיסוי הדיפרנציאלי על הרכבת התונואה ועל הצפיפות, והאם מסי השימוש (ובראש וראשונה, מס הדלק) המוטלים על הרכבת הפרטית, גבוהים מדי מנקודות ראות הקצאיות.

כמו במחקרנו הקודם (גרונאו, 1997א), גם מחקר זה סובל מתשתיות נתונים רועעה. אלא שבקרה זה אין זה יהודי למשך הישראלי ונבע מחוסר הטכמה בספרות לגבי כמה מהפרמטרים החשובים למחקר (פונקציית מהירות, ערך זמן וכדומה). בכלל מגבלות נתונים מקומיים (שפורטו בגרונאו 1997א), תקופת ההתייחסות של המחקר היא שנת 1991. קרובה לוודאי שרוב התופעות עליהן מצביע המחקר הוחמרו בחמש השנים החלפו מאז.³

ב. תיאוריה

מערכת התחבורה המוטורית היא מערכת מבודרת. המערכת מייצרת שרוטי הסעה תוך שימוש מגוון רחב של גורמי ייצור: שרוטי כביש, שרוטי רכב וזמן נוסעים. אלא שבניגוד למערכת ייצור רגילה, בה כל גורמי הייצור הם בשליטת גורם אחד (הנהלת הפירמה), לא קיים במערכת התחבורה המוטורית גורם מרכזי מכוון. כל אחד מה משתתפים בתהליך הייצור שואף להביא את רוחתו (או רוחחו) למיכסמים, ואשר מערך המחרירים והעלויות שעומד בפניו סוטה ממערך המחרירים והעלויות החברתי, לא תהיה התוצאה אופטימלית מבחינה חברתית. אחת התולדות של פיצול החלטות היא בעיית הצפיפות במרכזיים עירוניים.

הנוסע, בשיקולו בבחירה אמצעי ונתיב הנסיעה, ובהחלטהו ביחס למספר הנסיעות, לוקח בחשבון את העלות היישירה (תעריף הנסיעה או עלויות התפעול של כל הרכבת), ואת עלויות הזמן הקשורות בנסיעה, אך מתעלם מההשלכה שיש לכניסתו לנתייב על משך הנסיעה של נוסעים אחרים. כתוצאה, כאשר משך הנסיעה מושפע ממספר המשתמשים, נוצר פער בין העלות השולית

² המדידה נעשתה במונחי נסע-ק"מ בהנחה שמקדמי התפוצה לא השתנו על פני זמן. ברכבת הפרט נכל גם הרכבת המסחרי, שהוא תחליף קרוב לרכב הפרט. בתחבורה הציבורית נכללו המוניות והאוטובוסים (כולל האוטובוסים בעלות פרטית).

³ עליית מדד המחרירים לצרכן בתקופה 1991-1996 הייתה בשיעור של 70 אחוז.

הפרטית והעלות השוליתת החברתית. פער זה תלוי במספר המשתמשים ובהשפעה שיש לתוספת גושע על עלות הנסיעה.

באופן פורמלי, כאשר העלות לפרט היא (X) $v = v$, העלות החברתית הכוללת תהיה $Xv = Xv + v$. כאשר העלות פרט גדלה עם מספר המשתמשים במערכת, X , העלות השוליתת החברתית עולה על העלות השולית הפרטית: $v > X(\partial v / \partial X) = v + X(\partial v / \partial X)$. הפער בין העלות השוליתת החברתית הפרטית והחברתית היא ההשפעה החיצונית: $Xv - v = X(\partial v / \partial X)$.

כדי לחשב את היקף ההשפעה החיצונית דרושה אינפורמציה על מספר המשתמשים X , ועל v — ההשפעה שיש לכלי רכב נוסף על עלויות הנסיעה של שאר המשתמשים. למקרה זו דרושה אינפורמציה על השפעת כלי רכב על מהירות הנסיעה בתניב (פונקציית מהירות) ועל השפעת מהירות על עלויות הנסיעה. כל אחד ממרכיבי חישוב זה כרוך במידה רבה של אידיקום.

מספר המשתמשים משתנה ממקום למקום ומשעה לשעה. לא נעה בשנים האחרונות כל נסיעון לאמוד את פונקציית המהירות של כלי רכב במרכזי עירוניים בישראל, ועל התוקף להשתמש בפרמטרים המתפללים מן החוץ. באופן דומה, הערךת ההשפעה שיש ל מהירות הנסיעה על עלויות הנסיעה באמצעות תחבורת שוניות תלויות בהנחות רבות.

עלויות הנסיעה שלושה רכיבים: עלויות שוטפות, עלויות קבועות (עלויות הקשורות במספר כלי הרכב המופעלים), ועלויות זמן נסיעים. כל שלושת הרכיבים רגילים ל מהירות הנסיעה. לא קיים קשר מונוטוני בין העלות השוטפות ומהירות הנסיעה. נסיעה אטית (הכרוכה בעיריות רבות) מוגילה את עלויות התפעול של כלי הרכב השונים (במיוחד עלויות הדלק והאחזקאה). מאידך, נסעה גבוהה מביאה אף היא להגדלת עלויות אלו. לשם פשוטות, התעלמתי במחקר זה, בדומה למחקרים הקודמים (גרונאו-ויס, 1982), מהקשר שבין העלות השוטפות ומהירות.

מהירות הנסיעה משפיעה על העלות הקבועות במידה ושינוי ב מהירות מביא לשינוי במספר כלי הרכב המופעל במערכת. הביקוש לנסיעות מואפיין על ידי תנוזות גדולות על פני זמן (תנוזות שיטתיות וקרניות). כתוצאה לכך הרכב אינו מופעל חלק גדול מהזמן. השפעת מהירות על מספר כלי הרכב תלויות במידה התחולفة הקיימת בביקושים בין עונות שיא ושפלה. אותן המהירות בעונת השיא מביאה להקטנת מספר הסבבים שמסוגל כל רכב לבצע במשך התקופה. היא עשויה להביא להגדלת צי הרכב כאשר לא קיימת התחולفة בין ביקושים בשעות שיא ושעות שפל, אך היא לא תשפיע על גודל הצי אשר ניתן לדוחות את הנזילות לשעות השפל (והאטות מהירות תצמצם את מסטר השעות בהן כלי הרכב חונה).

השפעת המהירות על מספר הסבבים שכלי רכב מסוגל לעשות בשעות השיא תלויות בחלוקת זמנו של הרכב בין נסעה לבין טעינה ופריקה, וגדלה ככל שהזמן המוקדש לטעינה ופריקה (של נסעים ומטען) קטן יותר.

קיים רק אומדן גסים על חלוקת זmeno של הרכב בין נסעה זmeno אחר (אומדנים המבוססים בעיקר על קילומטראי הרכיב והנחות על מהירות המסתורית שלו) ולא קיים כל מידע

על חלוקת הזמן בין נסיעה וחניה בפרד בשעות שיא ושפלה. נctrיך על כן להזכיר אינפורמציה זו בהנחות.

ג. ההנחות

הנחנו שישקוoli הרכישה של רכב פרטי אינט מושפעים ממחירות הנסיעה של הרכב לעומת אמצעים חלופיים (מוניות ואוטובוסים), ומהkilometrai של הרכב. לגבי כל הרכב האחרים' אומצה ההנחה שرك זמן הנהגים רגש למהירות. הנהגה זו מתעלמת, על כן, מהשפעת המהירות על סיבב כל הרכב ומינחה שהמהירות אינה משפיעה על מספר כלי הרכב (הנחה, עם זאת, שמספר כלי הרכב משתנה עם הקילומטראי). להנחה זו הצדקה רבה יותר כמשמעותה בהובלת מאות מאשר במקרה של הובלות נסעים, והיא עשויה להביא לתמיהה כלפי מטה בעלות הציפיות של האוטובוסים.⁴

ערך זמני של הנסעים (ובעיקר של יממים, Commuters) היה נושא לסדרה ארוכה של מחקרים בעולם. הניסיון שנცבר בישראל בנושא מצומצם ביותר,⁵ ועל כן נאלץ להתבסס על הניסיון העולמי. לפי ניסיון זה הערך שנסעים מייחסים זמני הוא 4% - 5% משכרים לשעת עבודה.

ההנחה לשעה ב-1991 הייתה 15.2 ש"ח (למ"ס, שנתון 1992, לוח 12.35). בהנחה שכרכם של נסעים ברכב פרטי גבוהה ב-25 אחוז מהמוצע, של נסעים במוניות גבוהה בשליש, ושל נסעים אוטובוס שווה למוצע, ושער הזמן הוא שליש מהשכר, יהיה ערך זמני של נסיעי הרכב פרטי 6.33 ש"ח לשעה, של נסיעי מוניות – 6.76 ש"ח, ושל נסיעי אוטובוסים – 5.07 ש"ח.⁶

גם האינפורמציה על מקדמי התפוצה של כל הרכב אינה מעודכנת. הנחנו שמספר הנסעים המוצע ברכב פרטי הוא 1.35 (בנסיבות עירוניות ו-2 בנסיבות בינלאומיות, שמספר הנסעים באוטובוסים הוא 40 ו-25, ומספר הנסעים במוניות הוא 3 ו-1,5, בהתאם⁷.

בלוח 1 חולקו עלויות הנסיעה לפי עלויות המשנות באופן פרופורציוני לקילומטראי (ז) ועלויות המשנות עם זמן הנסיעה (v_1 , $S/v_1 + z_0 = z$, כאשר S היא מהירות הנסיעה. במרכז הרכיב הראשון נכללו עלויות התפעול והרכב (להוציא עלויות נהיגה), פרט לרכב פרטי שלגביו הנחנו שرك עלויות התפעול תלויות בקילומטראי. המרכיב השני הוא סכום של עלויות נהיגה וכן

⁴ לפיסקר המשאיות 1990, מספר השעות בחן משאית ממוצעת נמצאת בתנועה (עומסה או ריקה) הוא כ-200, שעות בלבד. ביום עבודה ממוצע (יום שאינו يوم בטלה) נוסעת המשאית רק כ-150 ק"מ. לגבי המוניות יש לזכור שמספר המוניות קבוע באופן בלעדי על ידי מדיניות הרישי של משרד התחבורה, במונתק משיקולים כלכליים.

⁵ ניוון אחד נעשה על ידי שלמה אלישר בשנים 1980-60. אלישר ניסה לאמוד את ערך זמני של הנסעים בקו תל-אביב-אילת. מחקרים אחרים נערכו ע"י מות"י במסגרת בדיקת כדו-יות כביש חוצה-ישראל.

⁶ השוואת אומדן ערך הזמן במחקר זה עם אומדנים אחרים כולל בנספח 1. לאחר וככל נתוני התפעול חשובו (גרונאו, 1996, לשנת 1991 חשבנו נתוני ערך הזמן לשנה זו. עלית המחרים בתקופה 1996-1991 הייתה פי 1.7 (השכר המוצע לשירות שכיר במחירים קבועים עליה באותה תקופה ב-5.8 אחוזים).

⁷ למספרים אלה אין בסיס אמפירי עדכני. האומדן לרכב פרטי מבוסס על הערכות המכון לחקר התחבורה, האומדנים לאוטובוסים ומוניות הם אלו ששימשו במחקר גראנו-ויס (1983).

הנוסעים. מרכיב עליות הנהיגה תלוי בשכר הנהגים בкли הרכב השונים ובמספר שעות הנהיגה. ערך זמן הנוסעים תלוי בערך הזמן לשעה ובמקדם התפוצה. הטוור האחרון בלוח מתאר את מרכיבי העלות לרכב ממוצע, כאשר הממוצע מחושב לפי משקל הרכב בק"מ-רכב הכלול.⁸

לוח 2 מפרק את עליות הרכב המשנות למרכיביהם: עליות תפעול, זמן נהגים וזמן נסעים. מאחר ועליות הזמן תלויות במהירות, חשבו העלות לשושן רמות מהירות: 15 קמ"ש (מהירות טיפוסית למרכזי הערים הצפופות), 25 קמ"ש (מהירות טיפוסית לנסעה עירונית), ו-70 קמ"ש (מהירות טיפוסית לנסעה ביןעירונית). הלוח מצביע על חשיבותו בזמן הנהגים בעלות הנסעה העירונית (במיוחד ברכב פרטី ובאוטובוסים, בהם הוא מוחוה 70-60 אחוז מכלל העלות) וחשיבותם עלות זמן הנהגים (בעיקר במוניות וברכב להובלת משאות). חשיבותו ערך הזמן כਮון פוחתת ככל שגדלה המהירות. מרכיב זמן הנוסעים מוחוה 70 אחוז מעליות רכב פרטី בנסעה איטית בתנועה העירונית (15 קמ"ש) אך רק 45 אחוז בנסעה ביןעירונית מהירה.⁹ עליות הזמן (נהג ונוסעים) מוחות 70 אחוז מכלל העליות בהנעה איטית ורק שליש מהעלויות בנסעה מהירה.

צידו השני של המטبع הוא משקלם הקטן של עליות התפעול ורכיב המש בנסיעות העירונית. המש מהווה כשייטת מכלל עליות רכב פרטី בנסעה עירונית (במהירות 25 קמ"ש) אך רק 7 אחוז מעליות המוניות ו-4 אחוז מעליות האוטובוסים. מרכיב המש מוחה כמעט רבע מעליות רכב ממוצע בנסעה ביןעירונית.

עלית השכר הראל על פני התקופה (1991-1970) והורדת המסוי הביאו לירידת חשיבות המש ועלית חשיבות ערך הזמן במרכבי העלות של התחרותה המוטורית בעשורים האחרונים ה先后ות.¹⁰ מוגמה זו, כפי שנראה, היא רבת חשיבות לדין בשאלת באיזו מידת מוחווים מסי השימוש תחליף/agrorot ציפיות.

⁸ נתוני הרכב ממוצע מושפעים במידה רבה מנתוני הרכב המסתורי ששמשקלו בק"מ-רכב עולה במידה ניכרת על משקלו בק"מ-נוסעים. לגבי רכב זה, המשמש לעתים קרובות כתחליף לרכב פרטី, ניתן והנחהות אל עלות הזמן מוטות כלפי מעלה (עלות זמן הנהג המשמש ברכב לצרכיו הפרטיים נמוכה מהעלות כאשר הוא משמש ברכב לצרכי עבודה). דרך חישובם של נתונים התפעול ועליות הנהיגה מתחזרת בגרונאו (1997א, נספח).

⁹ ההבדל היה גדול יותר אם היו מינחים אותו מקדם מילוי בשני סוגים נסיעות.

¹⁰ השוואת מרכיב הזמן בעלות רכב פרטី בנסעה עירונית (25 קמ"ש) עם נתונים גראונאו-ויס (1982) מצביעה על עלייה מ-50-ל-60 אחוז (אם יהיו מינחים, כפי שהניחו גראונאו-ויס, שמקדמת התפוצה הוא 1.7 היה משקל הזמן עולה ל-3/2).

לוח 1. מרכיבי הוצאות לפי סוג רכב ואיזור הנסיעה, 1991

היחידה						
שכר נהגים שניyi	אלפי ש"ח	רכב פרטי	מוניות	אוטובוס-	bosim	מושאיות
59.3	47.4	74.3	59.3			
2700	2400	2500	2700			
21.96	19.75	29.72	21.96			
0	5.07	5.07	6.76	6.33		
						הוצאות זמן נסע
נסיעה עירונית						
מקדים תפוצה	נוסעים לכלי רכב					
עלות משתנה לק"מ-רכב						
למפעיל	שיעור לק"מ					
למשק	שיעור לק"מ					
עלות משתנה עם הזמן						
ערך זמן נוסעים	שיעור לשעה					
ערך זמן נהגים	שיעור לשעה					
סה"כ ערך זמן	שיעור לשעה					
משקל בק"מ רכב	אחוז					
משקל בק"ם נוסע	אחוז					
נסיעה בינעירונית						
מקדים וטפסה	נוסעים לכלי רכב					
עלות משתנה לק"מ-רכב						
למפעיל	שיעור לק"מ					
למשק	שיעור לק"מ					
עלות משתנה עם הזמן						
ערך זמן נוסעים	שיעור לשעה					
ערך זמן נהגים	שיעור לשעה					
סה"כ ערך זמן	שיעור לשעה					
משקל בק"מ רכב	אחוז					
משקל בק"ם נוסע	אחוז					

מקור: עלויות הרכב ושכר הנהגים — גראנוו (1996); ערך זמן נוסעים וקדמי מלאוי — ראה גוף המאמר.

לוח 2 : רכיבי העלות לפי סוג הרכב ומהירות הנסיעה, 1991

רכב פרטני		מנועיות		אוטובוסים		רכב מסחרי		משאיות		מכועץ	
ש"ח אחוז	לק"מ	ש"ח אחוז	לק"מ	ש"ח אחוז	לק"מ	ש"ח אחוז	לק"מ	ש"ח אחוז	לק"מ	ש"ח אחוז	לק"מ
הוצאות עירוניות (מהירות 15 = קמ"ש)											
עלות תפעול למשק											
0.177	0.316	0.419	1.548	0.178	0.456	0.135	2.490	0.116	0.393	0.159	0.127
0.120	0.216	0.185	0.683	0.175	0.448	0.028	0.517	0.051	0.171	0.127	0.101
0.250	0.447	0.396	1.464	0.515	1.317	0.107	1.981	0.433	1.464	--	--
0.453	0.811	--	--	0.132	0.338	0.730	13.520	0.400	1.352	0.714	0.570
1.000	1.789	1.000	3.695	1.000	2.559	1.000	18.508	1.000	3.380	1.000	0.798
הוצאות עירוניות (מהירות 25 = קמ"ש)											
עלות תפעול למשק											
0.246	0.316	0.498	1.548	0.240	0.456	0.202	2.490	0.174	0.393	0.223	0.127
0.168	0.216	0.220	0.683	0.236	0.448	0.042	0.517	0.076	0.171	0.177	0.101
0.208	0.268	0.282	0.878	0.416	0.790	0.097	1.189	0.390	0.878	--	--
0.378	0.487	--	--	0.107	0.203	0.659	8.112	0.360	0.811	0.600	0.342
1.000	1.286	1.000	3.109	1.000	1.897	1.000	12.308	1.000	2.254	1.000	0.570
הוצאות ביןעירוניות (מהירות = 70 קמ"ש)											
עלות תפעול למשק											
0.412	0.402	0.608	1.548	0.343	0.456	0.475	2.490	0.279	0.393	0.311	0.127
0.238	0.233	0.268	0.683	0.337	0.448	0.099	0.517	0.121	0.171	0.247	0.101
0.110	0.108	0.123	0.314	0.212	0.282	0.081	0.425	0.223	0.314	--	--
0.239	0.234	--	--	0.109	0.145	0.345	1.811	0.377	0.531	0.442	0.181
1.000	0.977	1.000	2.545	1.000	1.331	1.000	5.242	1.000	1.409	1.000	0.409

מקור: חישוב הוצאות לרכיב-ק"מ מבוסס על לוח 1.

ד. עלויות הצפיפות

עלויות הצפיפות תלויות באופן קרייטי בהנחותינו לגבי פונקציית המהירות. בספרות התחרבורתית לא קיימות הסכמתם ביחס לפונקציות המהירות והביניורוניות. הקשר בין מהירות ו_nf_{sf} התנועה תלוי באופיה הטעמי של רשות הכבישים (גורמים טופוגרפיים, צמחיים וכדומה), ניהול התנועה (Traffic management) : רמזורים, נתיבים ייחודיים, כבישים חד-סטרתיים), כישורי הנהגים, הרכב התנועה ועוד. קשה להאמין שקיימת פונקציה מתמטית פשוטה המסוגלת לשקר מכלול גורמים אלה. לא ייפלא, איפואו, שבמספרות הוצע מגוון של פונקציות. חלקן קשור את המהירות בבודש התנועה בכיביש (מספר כל הרכב לק"מ) וחלקו בעומס התנועה (מספר כלי רכב העובר בכביש בשעה). חלקן של הפונקציות מתמקד ב מהירות וחלקו משך הנסיעה. ¹¹ מהפונקציות השונות נגזרים אומדן שונים להשפעה שיש לרכיב שולי על משך הנסיעה בתיב (X/t), להיקף תנועה נתון, או לחילופין, אומדן שונים למישות הזמן ביחס לנפח התנועה (x²) כאשר משך זמן הנסיעה נתון.¹²

כל יחסית לענות על השאלה האם ברמותו הנוכחית (m) גובה או נמוך מעליות הצפיפות $X_t = \frac{t}{m}$. משתנה מפתח בקביעה זו הוא היחס \hat{w} / m — מרכיב המסלול יחסית לאומדן ערך הזמן. כל עוד מותקיים ($\hat{w} / m > X_t = \frac{t}{m}$) המסלול מעלות הצפיפות. לפי לוח 1, המסלול ק"מ-רכיב בנסיעה עירונית (הפער בין העליות למפעיל ולמשק) היה ב-1991 ב ממוצע 0.22 ש"ח (והמס בנסיעה בין-עירונית כמעט זהה). ערך הזמן לפי הנחותינו הוא 18.9 ש"ח לכל רכב (זהה כ-2/3 מן עלויות זמן הנהגים, ושליש עלות זמן הנהגי). היחס \hat{w} / m עבר רכוב ממוצע הוא, איפואו, 0.011 בתחבורה העירונית ($0.010 - 0.012$ בתחרורה הביניורונית). יכול של פונקציות מהירות בתחרורה העירונית מראה שבמהירות הקטנה מ-35-45 קמ"ש גודלות עלויות הצפיפות ממס הקיימים. בתחרורה הביניורונית עלות עלויות הצפיפות על המסלול הקיימים כאשר המהירות קטנה מ-50-70 ק"מ.¹³

הגורם העיקרי לצפיפות בכבישים הם כל הרכיב הפרטימי. ככל רכב אלו מהווים (לפי לוח 1 כ-3/2 מהתנועה (במנוחה ק"מ-רכיב) אך מוביילים רק 45 אחוז מהנוסעים (במנוחה ק"מ-נוסעים). המסלול על הוצאה השוטפת של רכב פרטי היה ב-1991 0.10 ש"ח לק"מ. היחס \hat{w} / m עבר רכב פרטי בתנועה העירונית היה 0.0054 ובתנועה הביניורונית 0.0042. כאשר מהירות התנועה

¹¹ הנוסחה הקושרת את היקף התנועה (X) בוגdash (D) היא $DS = X$, כאשר S היא המהירות. משך הנסיעה t מקיטס, כמובן, $S = t/1$.

¹² השפעה החיצונית שווה ל- $X_{esd} = \frac{t}{m(X)}$, כאשר x_{esd} היא הגימות של t ביחס ל-X. כאשר רק מרכיב זמן הנסיעה רגish לנפח התנועה, $X_{esd} = \frac{t}{m(X)} \cdot \hat{w}$ כאשר \hat{w} הוא מחור הזמן ו- x_{esd} היה גימות הזמן ביחס ל-X. מתקיים $(\frac{t}{m(X)} - 1) \cdot \hat{w} = X_{esd}$ כאשר x_{esd} היא גימות t ביחס לגודש (0- x_{esd}). דיוון מפורט יותר בפונקציות המהירות כלל בנספה 2.

¹³ החישוב מפורט בסוף 2.

העירונית יורדת מתחת ל-45 קמ"ש יהיה נזק הצפיפות הנגרם על-ידי הרכב הפרטி גדול (בשוליים) מהמש שהוא משלם. בתנועה בייעורונית נזקי הצפיפות שגורמים כלפי הרכב הפרטיים גדולים מהמס כאשר המהירות יורדת מתחת ל-70 קמ"ש.¹⁴

מצאים דומים מתובלים כאשר משתמשים בסימולציה. השתמשו לצורך הסימולציה בראשת הכבישים של מטרופולין תל-אביב, ובדקו ההשלכות של תוספת 5 אחוז בכל רכב הפרטיים (על המצב הנוכחי ב-1993) על נשיעת הנסיעה ברכב פרטוי ובטובוסים ברחבי העיר.¹⁵

توزאות הצבה והסימולציה מופיעות בלוח 3. הלוח מתרטש שתי הצבות: הצבה אחת מתארת שעת בוקר ממוסעת (בין השעות 6:00 ל-00:00) והשנייה את שעת השיא בבוקר (00:00-7:00). הנתונים מווינו לפי שני אפיונים: המרחק ממרכז העיר וסוג הדרך בה משתמש הרכב. לפי נתונים אלה מהירות הנסיעה הממוצעת ברכב פרטוי בשעת בוקר ממוסעת היא 34 קמ"ש והמהירות יורדת ל-30 קמ"ש בשעת השיא. המהירות יורדת ככל שמתקרבים למרכז העיר — היא 62 קמ"ש בטבעת החיצונית יורדת ל-14 קמ"ש בגלען (בשעת השיא המהירות בגלען יורדת עד 12 קמ"ש). המהירות תלויות גם בסוג הדרך: המהירות הממוצעת של רכב פרטוי בדרך מהירה באוזור תל-אביב היא 83 קמ"ש ובדרך עropicית (משנית או ראשית) המהירות הממוצעת היא רק כ-20 קמ"ש.

השוואת מהירותים תנשעה בכל טבעת ובכל סוג דרך במצב הנוכחי בהשוואה למצב בו יתווסף 5 אחוז נוספים לתנועת הרכב הפרטוי באמצעות חישוב עלות נזקי הצפיפות המופיע בשני הטורים האחורוניים (הчисוב נעשה לנושע שלויל ורכב שלויל, כאשר לפי הנחה מוקדם התפוסה של כל הרכב זהה — 1.3 נסעים לרכב פרטוי). לפי תוצאות הסימולציה עלות עלויות הצפיפות בשעת בוקר ממוסעת באוזור תל-אביב על המס שמשלם הרכב הפרטוי בכל סוג הדרך (פרט, אול', לדרכים מהירות). הפער בין עלויות הצפיפות וחמס גדיל בשעת השיא. בגלען, לשם דוגמא, עלות עלויות הצפיפות על המס פי 30 — נזקי הצפיפות עולים על 3 ש"ח לכל רכב לק"מ. לא פחות חשוב הוא הממוצע שבמטרופולין תל-אביב אףלו בדרך מהירה (דרך בה המהירות הממוצעת היא כ-80 קמ"ש) המס המוטל על העלות השוטפת של רכב פרטוי אינו "מוגום" — דהיינו, הוא אינו עולה על נזקי הצפיפות לחן גורם הרכב.¹⁶

¹⁴ בחישוב נזקי הצפיפות הנגרמים על ידי הרכב הכבדים (טוטובוסים ומשאיות) נדרש להתחשב במקדמי החפרעה של כל רכב אלה. לדוגמה: לפי לוח 1 המס המוטל על קי-איוטובוס הוא 0.52 ש"ח. אך מאוחר ומקדם החפרעה של אוטובוס שווה ל-2 (טוטובוס שקול לשני כל רכב פרטיטים) יהיה ערך $\frac{1}{2}$ הכספי (מתוקן במקדם החפרעה) $0.014 = \frac{0.52}{2} \cdot 18.865$.

¹⁵ הבדיקה נעשתה על-ידי המכון הישראלי לתכנון ומחקר תחבורה. תוצאות הסימולציה משקפות, כמובן, את התוצאות הבסיסיות של המודל המשמש בהצבות אלו. לפי התוצאות בוחר הנושע בדרך המהירה ביותר מהמושג לעיד, אין תחלופה בין רכב פרטיטים וטוטובוסים, והמודל מועלם מהבלת נסעים במוניות ברכב מסחרי. פונקציית משך הנסיעה המשמשת את המכון בהצבות התונעה היא פונקציה לוגיסטיבית. הנתונים שעלייהם מבוססת הסימולציה מופיעים במכון (1994).

¹⁶ אומדן המכון הישראלי לתכנון ומחקר תחבורה ביחס למהירות הממוצעת במטרופולין (למעלה מ-30 קמ"ש בשעת בוקר ממוסעת), גובה במידה מסוימת מאונדים אחרים. לפי מתי"ת (מרכז תכנון תחבורה) המהירות הממוצעת בשעת שיא היא 22.4 קמ"ש ובין השעות 6:00 עד 9:00 המהירות קטינה מ-29 קמ"ש. אומדן מתי"ת מבוסס על סקר הרגלי נסיעה (חישוב "מספר לשער", בעוד אומדן המכון מבוסס על הצבות נפחית תנועה ממוחשבות).

לוח 3. נזקי צפיפות לפי טבעות (לק"מ-רכב)

זמן בשעות/ שיח/ כל רכב)	זמן במשך/ שיח/ כל רכב)	כטפיים במנוחים	עלות צפיפות רכב פרטי	שעות לנסע/ק"מ		מהירות (קמ"ש)		נוסעים לק"מ		כלי	ק"מ דרך
				רכב פרטי bosim'	רכב אוטו- bosim'	רכב פרטי bosim'	רכב אוטו- bosim'	סה"כ רכב פרטי bosim'	רכב פרטי bosim'		
א. שעות בוקר ממוצעת											
2.72	0.144	0.075	0.070	13.3	14.2	730	790	1,520	620	157.8	260
0.85	0.045	0.048	0.037	21.0	27.4	410	700	1,110	540	355.9	660
0.62	0.033	0.035	0.026	28.9	38.7	310	710	1,020	550	704.8	1290
0.23	0.012	0.021	0.016	47.3	61.6	210	570	780	440	440.5	1000
				0.042	0.030	22.5	33.6	330	670	1,000	520
										1659.0	3210
ב. שעת שיא בוקר											
3.17	0.168	0.082	0.081	10.3	12.4	970	910	1,880	710	181.2	260
1.17	0.062	0.051	0.041	17.0	24.6	530	810	1,340	620	412.0	660
0.83	0.044	0.037	0.029	23.4	34.9	410	820	1,230	630	812.8	1290
0.30	0.016	0.022	0.017	36.7	57.9	270	670	940	510	512.1	1000
				0.046	0.033	18.3	30.2	430	780	1,210	600
										1918.1	3210
סה"כ											

א. שיעורי התפוצה באוטובוסים אינם אחידים ומשתנים לפי סוג הדרך והmphרחק ממרכז העיר. כתוצאה יש הבדל בין המהירות של כלי הרכב והמהירות לנסע.

מקורו: הצבות המכון הישראלי לתכנון ומחקר תחבורה.

לוח 3 (המשך). נזקי ציפויות לפי סוג דרך (לק"מ-רכב)

רכב פרטי במנוגני קספיים זמן (שעות/ שיה/ כלי רכב) רכב	עלות ציפויות רכב פרטי במנוגני קספיים זמן (שעות/ שיה/ כלי רכב) רכב	徒歩 (קמ"ש)										徒歩 רכב פרטי לק"מ דרך	徒歩 רכב פרטי (אלפים) דרך
		שעות לносע/ק"מ	徒歩 רכב פרטי בוסים										
א. שעת בוקר ממוצעת													
0.56	0.030	0.054	0.042	19.1	23.8	80	200	280	150	165.8	1,100	מקומית	
1.29	0.068	0.071	0.052	15.3	19.3	270	400	670	310	179.2	580	עורקיות משנה	
0.31	0.023	0.023	0.019	43.7	52.9	140	420	570	320	114.1	350	אזורית	
1.55	0.082	0.050	0.044	20.7	22.8	910	970	1,880	740	349.3	470	עורקיות ראשית	
0.46	0.024	0.024	0.020	43.0	49.1	410	1,160	1,560	900	462.6	520	ראשית	
0.43	0.023	0.020	0.020	59.0	49.1	940	4,220	5,160	3,130	196.4	60	פרברית מהירה	
0.11	0.006	0.012	0.012	76.7	83.2	590	1,920	2,500	1,430	191.6	130	מהירות	
ב. שעת שיא בוקר													
0.85	0.046	0.056	0.045	17.9	22.1	110	230	340	180	196.9	1,100	מקומית	
1.76	0.093	0.076	0.058	13.1	17.3	350	470	820	360	207.9	580	עורקיות משנה	
0.34	0.018	0.025	0.021	40.9	48.9	190	500	690	380	134.6	350	אזורית	
1.81	0.096	0.054	0.050	18.7	20.2	1,190	1,110	2,300	850	400.5	470	עורקיות ראשית	
0.60	0.031	0.026	0.022	39.2	44.6	520	1,340	1,860	1,030	533.7	520	ראשית	
0.83	0.044	0.023	0.023	44.0	43.2	1,200	4,850	6,060	3,600	224.0	60	פרברית מהירה	
0.20	0.011	0.013	0.013	77.3	79.6	770	2,200	2,970	1,650	220.4	130	מהירות	

א. שיעורי התפוצה באוטובוסים אינם אחידים ומשתנים לפי סוג הדרך והמרקם המרכזי העיר. כתוצאה יש הבדל בין המהירות של כלי הרכב והמהירות לנוסע.

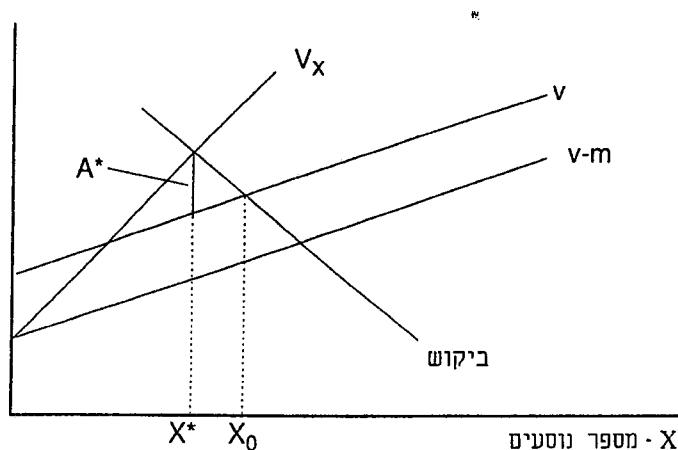
הקביעה שבתנוועה בינוירונית המוטל על העליות השוטפות של רכב פרטי עולה על נזקי הצפיפות כל עוד מהירות התנועה אינה נופלת מ-70 קמ"ש, עשויה שלא להיות כוננה באזור גדוש כמו מטרופולין תל-אביב.

גרונו-ויס, שהשו את נזקי הצפיפות עם המס שהיה קיים ב-1974, הגיעו למסקנות דומות. במחקרם נמצא שהמס המוצע קטן מעלות הצפיפות כאשר המהירות העירונית יורדת מתחת ל-40 קמ"ש, וכאשר המהירות הבינוירונית בכבישים הרחבים יורדת מתחת ל-60 קמ"ש (גרונו-ויס, 1982, עמ' 22-23). מסקנה זו תלויה באופן קרייטי באומדן היחס \hat{w}/\hat{m} . (התוצאה תלויה גם בהנחות לגבי פונקציית המהירות. גרונו-ויס אימצו ההנחה שהמהירות היא פונקציה ליניארית של נפח התנועה. במחקר זה נבדק מגוון רחב של צורות פונקציונליות.) השוואת פרמטר זה עם האומדן ל-1991 מראה שבממוצע לא חלה ירידת ביחס זה במהלך 17 שנה (ואולי הוא אף גדול). עליית המיסים על התחבורה המוטורית הדביקה את עליית השכר ועליית ערך הזמן. יוצא דופן מבחינה זו הוא הרכב הפרטி, כאשר הגידול במספר הרכב הפרטי מפגר אחורי עליית ערך הזמן.

ה. אגרות צפיפות אופטימליות

חישוב עלות הצפיפות במצב הקיימים אין בו למד על אגרות הצפיפות והאופטימליות כאשר הביקוש לנסיעות אינו קשור לחולTON. האגרה האופטימלית היא אגרה שתשווה את המחריר למשתמש עם העלות השולית החברתית. אם הנוסף רואה בפניו את הערות החברתיות הממוצעת (\bar{v}) אגרה זו תהיה שווה ל- $\bar{v} - v^*$, כאשר הערות מחושבות בנקודת האופטימום X^* (ואיה ציור 1). לחישוב אגרות אלו נדרש מידע על גמישויות הביקוש (כולל גמישויות הצלבות), ועל פונקציית המהירות (הקובעת את גמישות היצע ואת הערות השולית החברתית).

צייר 1



חישוב האופטימום החברתי דורש מידע על גמישיות הביקוש ביחס למחיר הכלול, כאשר מחיר זה מורכב מסכום העלות הכספיות ועלות הזמן. מרבית החוקרים האמפיריים עוסקים בגמישות הביקוש ביחס לעלות הכספי (תעריף הנסיעה). קיימת הסכמה שגמישות זו נמוכה (בסביבות 0.3) ושגמישות הביקוש לנסיעות ברכב פרטי ביחס לתערIFI הנסיעה באוטובוס נמוכה אף יותר (אומדן נפוץ הוא 0.05). הגמישות ביחס לעלות הכספי תלויה בגמישות ביחס למחיר הכלול ובמרכיב שמהווה העלות הכספיות במחיר הכלול. לפי לוח 2 מהוות העלות הכספיות 40-45 אחוז מהמחיר הכלול של הפעלת רכב פרטי בתנועה עירונית וכ-55 אחוז מהמחיר להפעלתו בכבי-שים בינויוניים. העלות הכספיות של אוטובוס (כולל שכר נהגי) מהוות 35-35 אחוז מהעלות הכוללת בתנועה עירונית וכ-3/2 מהעלות בכבישים בינויוניים. הסימולציה מבוססת על ההנחה שגמישות המחיר העצמי לנסיעות ברכב פרטי, מוניות ואוטובוס היא בין 0.5-1.0-1.0.1, שגמישות הביקוש הצולבת בין רכב פרטי ומונית היא 0.25 ובין רכב פרטי ואוטובוס היא 60 קמ''ש, שהמהירות הירוקת המירבית של רכב קל (רכב פרטי, מוניות ורכב מסחרי) היא 60 קמ''ש, שהמהירות בה נפח התנועה מכיסימי היא 10 קמ''ש, והמהירות הירוקת הבינעירונית מבוססת על ההנחה שהמהירות המירבית היא 100 קמ''ש והמהירות בה תפוקת המערכת מכיסימי היא 50 קמ''ש.

עלויות הנסיעה באמצעות התחבורה השונות נגזרים מהעלות המופיעות בלוח 1 ומתקדמי התפוצה (ראה לוח 4). החישוב מניח שנוסעי המוניות והאוטובוסים משלמים מחיר השווה לעלות המוצעת; לשון אחרת, הוא מתאר מצב שבו שירותים אלו לא מסובדים. החישוב נערך עבור סדרה של ערכים המתייחסים למספר כלי הרכב (המתוקנים) המשמש כביש בשעה. קיבולת הכביש העירוני היא לפי הנחה 1,000 כלי רכב לשעה, וקיבולת הכביש הבעירוני היא 2,000 כלי רכב לשעה. התפלגות נוסעים מספר הנוסעים לפי כלי הרכב במצב הקיימים (ש בלוח 4) מבוססת על לוח 5 מתאר את תוכנות הסימולציה בכבישים עירוניים ובינויוניים, כפי שהיא מופיעה בלוח 1¹⁷.

לוח 5 מתאר את תוכנות הסימולציה עבור תנופה עירונית, כאשר פונקציית המהירות ופונקציית הביקוש הן ליניאריות. כאשר שער ניצול הקיבולת נמוך (20 אחוז – 200 כלי רכב), והמהירות קרובה למהירות המירבית (רכב פרטי נע ב מהירות של 50 קמ''ש), המט הקיטם מהוות תחלף קרוב לאגירה האופטימלית, והפרטן האופטימלי קרוב מאד למצב הקיימים. אך עלייה בשיעור ניצול הקיבולת ל-50 אחוז (500 כלי רכב) וירידת המהירות ל-35 קמ''ש, דינם ליצירת פער משמעותי בין המצב הנוכחיים והאופטימום החברתי.

¹⁷ בסימולציה "משתפים" גם רכב מסחרי ומשאיות. לפי ההנחה, גמישות המחיר העצמי לרכב מסחרי היא -0.25, ולמשאיות -0.1. אין תחלופה בין רכב זה ורכב הנוסעים.

¹⁸ צורת החישוב מותוארת ב佐ה מפורטת יותר בנספח 3.

לוח 4. מרכיבי ה

- עלויות לנסע
- תנועה עירונית ובעירונית

משאיות	רכב מסחרי	רכב מסחרי	אוטובוסים	מניות	רכב פרטי	רכב פרטי	מקדים הפעעה ($\hat{\rho}_i$) תנועה עירונית הרכב תנועה
2.5	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
0.035	0.239	0.023	0.024	0.679			מקדם בק"מ-רכב (α_i) מקדם תפוצה (r_i) מקדם הפעעה מותוקן ($\hat{\rho}_i$) ^a
(2.500)	1.00	40.00	3.00	1.35			
(0.032)	1.000	0.050	0.333	0.740			
2.2310	0.9040	0.0752	0.1880	0.1689			המקדים $\hat{\Psi}_i$ ^b <u>עלויות לנסע (ש"ח)</u> עלות משתנה לק"מ-נסע
0.6830	0.4480	0.0129	0.0570	0.0748			מרכיב המס לק"מ-נסע ערך זמן לשעה לנסע
21.96	24.82	5.81	14.08	6.33			<u>תנועה בעירונית</u> הרכיב תנועה
0.080	0.193	0.037	0.040	0.650			מקדם בק"מ-רכב (α_i) מקדם תפוצה (r_i) מקדם הפעעה מותוקן ($\hat{\rho}_i$) ^a
0	2.00	25.00	5.50	2.00			
(2.500)	0.500	0.080	0.182	0.500			
(0.069)	0.333	0.800	0.191	1.123			המקדים $\hat{\Psi}_i$ ^b <u>עלויות לנסע (ש"ח)</u> עלות משתנה לק"מ-נסע
2.231	0.452	0.1203	0.1025	0.1140			מרכיב המס לק"מ-נסע ערך זמן לשעה לנסע
0.683	0.274	0.0207	0.0311	0.0455			
21.96	14.94	6.26	10.75	6.33			

^a מקדם הפעעה המותוקן = מקדם הפעעה מחולק במקדם התפוצה $\hat{\rho}_i = \rho_i / r_i$.

^b המקדים $\hat{\Psi}_i$ מודד את היחס בין מספר הנסעים באמצעות i (X_i) ומספר כלי הרכב (המטעןנים) במערכת (Y) בהעדר אגרות שימוש $\chi_i / Y_i = \hat{\Psi}_i$. מתקיים $\hat{\Psi}_i = \sum \hat{\rho}_j X_j / r_j = \sum \hat{\rho}_j X_j / r_i = \hat{\rho}_i$. יהו α_i – משקל אמצעי החובלה i בק"מ-רכב, \bar{k} – מקדם הפעעה הממוצע ($\hat{\rho}_i = \sum \alpha_i \hat{\rho}_i / i$), ו- \bar{r}_i – מקדם התפוצה, אז $\hat{\Psi}_i = \alpha_i / \bar{r}_i = \alpha_i / \bar{r}_i = \hat{\Psi}_i$. מקדם הפעעה הממוצע בתנועה העירונית הוא 1.076 ובסוגה הבינעירונית 1.157. כאשר מקדם התפוצה r_i הוא אפס (למשל במקרה), חישוב $\hat{\Psi}_i$ כמשקל הרכב בק"מ-רכב מותוקן במקדם הפעעה הממוצע ($\bar{\rho} / \alpha_i = \hat{\Psi}_i = \hat{\Psi}$).

מקור: הרכיב תנועה – לוח 1. עלויות לנסע – עלויות לנק"מ רכב (לוח 1) מחולק במקדם התפוצה.

לוח 5. אגרות צפיפות והקצאה אופטימלית של רכב פרטי ואוטובוסים — תנועה עירונית

		אגורה (ש"ח לק"מ)		מחיר (ש"ח לק"מ)			מספר נוסעים (לשעה)			מספר כלי רכב		תנאי צפיפות
		רכב פרטי	אוטובוסים	רכב פרטי	אוטובוסים	רכב פרטי	אוטובוסים	סה"כ	(יר"ם לשעה)			תנאי צפיפות
כללה												
0.013	0.075	0.22	0.30	41	50	171	170	406	200	מצב התחלתי	אופטימום	יחס
0.004	0.059	0.21	0.28	41	50	173	172	411	202			
0.31	0.79	0.96	0.95	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01			
ביןעירונית												
0.013	0.075	0.29	0.35	28	35	428	426	1015	500	מצב התחלתי	אופטימום	יחס
0.017	0.244	0.27	0.50	30	38	459	333	957	434			
1.31	3.25	0.94	1.44	1.11	1.10	1.07	0.78	0.94	0.87			
כבדה (א)												
0.013	0.075	0.49	0.48	14	20	684	682	1623	800	מצב התחלתי	אופטימום	יחס
0.041	0.602	0.34	0.90	24	31	845	362	1478	575			
3.15	8.03	0.70	1.85	1.73	1.56	1.24	0.53	0.91	0.72			
כבדה (ב)												
0.013	0.075	0.69	0.59	10	15	770	767	1826	900	מצב התחלתי	אופטימום	יחס
0.055	0.807	0.38	1.12	22	29	1,011	363	1683	618			
4.23	10.76	0.55	1.90	2.34	1.94	1.31	0.47	0.92	0.69			

זוקי הцеיפות של הרכב הפרטיגזרים גדולים במידה ניכרת מהמס המוטל על עלויות התפעול. הטלת אגרת צפיפות אופטימלית תצמצם בربע את מסטר כל הרכב הפרטיגרים הנעים בכיביש, ותביא להאצת התנועה ב-10 אחוז. האצת המהירות של האוטובוסים יותר מאשר מפча את נוסעי התחבורה הציבורית על העלאת האגרה, ותביא לירידה במחיר הכלול של השימוש באוטובוסים, ולהגדלת מסטר נוסעים. מסטר נוסעים הכלול, לפי הסימולציה, ירד במידה זעומה בלבד (כ-5%). האגרה הנדרשת כדי להביא לתוצאה זו גדולה פי 3 ויותר מהמסים המוטלים על התפעול השוטף של הרכב הפרטיגרי, ותביא ליקור השימוש בו במעט 50 אחוז.

הפער בין האגרה האופטימלית והמס הקיים גדול כאשר שיעור ניצול הקיבולת עולה ל-80-90 אחוז ומהירות יורדת ל-15-20 קמ''ש. במקרה זה נדרשת אגרה שהיא פי 8-10 משיעור המס הקיימים, אגרה שתביא כמעט להכפלת עלות השימוש ברכב הפרטיגרי. אגרה גבוהה זה תביא להקטנת השימוש ברכב הפרטיגרי בחצי ועליה במאהיות הנסעה של 60-100 אחוז. האצת המהירות של האוטובוסים תביא לגידול במסטר נוסעים בתחבורה הציבורית בربע עד שלישי. הגידול במסטר נוסעים בתחבורה הציבורית מפча במידה רבה על הירידה בה שימוש נסעי הרכב הפרטיגרי (הירידה במסטר נוסעים הכלול קטנה מ-10 אחוז). מסקנות אלו, בוצרת הכלכלה, אין רגשות לשינויים בהנחות לגבי צורת פונקציית המהירות או הפרמטרים של הביקוש.¹⁹

לוח 6 מתראר את השלכות אגרת צפיפות אופטימלית על הקצת התנועה בכבישים הבני-עירוניים. ראיינו שבמקרה זה המס הנוכחי עולה על האגרה האופטימלית כל עוד המהירות לא נופלת מתחת ל-70 קמ''ש. ואמנם כל עוד שיעור ניצול הקיבולת קטן מחצי (דהיינו, 1,000, 1 כלי רכב בשעה) לא תביא הטלת אגרה אופטימלית לשינויים משמעותיים בתנועה. גם כאשר שיעור ניצול הקיבולת עולה ל-80 אחוז (1,600 כלי רכב לשעה), האגרה האופטימלית לא מביאה לשינויים קיצוניים. אגרה הגבוהה פי 2 מהמס הנוכחי מצמצמת את מסטר כל הרכב הפרטיגרים בכ-10 אחוז, השיפור בmahירות הוא מזער, ועל כן רק גידול קטן במסטר נוסעים בתחבורה הציבורית, וחליה ירידת קלה במסטר נוסעים הכלול.²⁰

באופן טבעי עולה השאלה מהו החסוך במונחי זמן אם היה ניתן למש את הפתרון האופטימי בתחבורה העירונית. בהעדר נתונים על חלוקת התנועה בין תנאים הצפיפות השונים, ניתן לחת לשאלת זו רק תשובה מקורבת. תשובה תהיה מבוססת על ההנחה שמסטר נוסעים הכלול איינו משתנה, אך שהרכב התנועה (ליתר דיוק, מרכיב האוטובוסים בתנועה) ומהירות האופטימלית הם אלה המתוארים בלוח 5.²¹

¹⁹ מבחני הרגשות שנערך למסקנות אלו מתוários בסוף 3.

²⁰ מסקנות אלו מבוססות על ההנחה שפונקציית המהירות היא לינארית. אם היו מינחים פונקציית משך נסעה מערכית (כאשר גמישות זמן הנסעה ביחס לשיעור ניצול הקיבולת היא 3) הייתה נדרשת אגרה הרבה יותר גבוהה (פי 6 מהמס הקיימים) והירידה במסטר כל הרכב הפרטיגרים הייתה יותר חזקה (כרבע מוגנות הרכב הפרטיגרי). ראה סוף 3.

²¹ לפי לוח 5 בתנאי צפיפות כבда תביא האגרה האופטימלית לירידה של 40-30 אחוז במסטר כל הרכב ורק של 9 אחוז במסטר נוסעים. אם הייתה מנתה בתשובי שטטרף נוסעים הוא קבוע ורק חל שינוי בהרכב התנועה, היה השיפור ב מהירות קטן יותר. כמו כן יש לזכור של תלולפה בין רכב פרטיגרי לאוטובוס יש רק משקל קטן בשינויים המתוários בלוח 5.

לוח 6. אגרות צפיפות והקצאה אופטימלית של רכב פרטי ואוטובוסים — תנועה בינוירונית

תנאי צפיפות כליה	אגרה (מ"ש) (שייח' לק'מ')	מחיר (שייח' לק'מ')			סה"כ (קמ"ש)			מספר נוסעים (לשעה)			(יר'ם לשעה)	מספר כלי רכב
		רכב פרטי	אוטובוסים	רכב פרטי	אוטובוסים	סה"כ	רכב פרטי	אוטובוסים	סה"כ	רכב פרטי		
מצב הinitialי												
אופטימום												
יחס												
בינוית												
מצב הinitialי												
אופטימום												
יחס												
כוזה												
מצב הinitialי												
אופטימום												
יחס												
0.021	0.046	0.19	0.18	90	90	320	449	1006	400			
0.002	0.013	0.17	0.15	90	90	330	471	1045	415			
0.10	0.29	0.90	0.83	1.00	1.00	1.03	1.05	1.04	1.04			
0.021	0.046	0.20	0.20	75	75	800	1123	2516	1000			
0.007	0.046	0.19	0.20	75	75	827	1097	2535	997			
0.34	1.01	0.93	1.00	1.00	1.00	1.03	0.98	1.01	1.00			
0.021	0.046	0.23	0.22	60	60	1280	1797	4026	1600			
0.017	0.104	0.22	0.27	62	62	1335	1569	3886	1500			
0.82	2.29	0.96	1.25	1.04	1.04	1.04	0.87	0.97	0.94			

לוח 7. אומדן חסכון שעות נסעה בעקבות הטלת אגרת צפיפות אופטימלית

				סה"כ		סה"כ		סה"כ		סה"כ		סה"כ	
				סה"כ		רכב פרטיו ורכב אוטובוסים		רכב פרטיו		רכב אוטובוסים		הפרשים	
				קטן אחר									
				קטן אחר									
124.0	255.5	379.5	75	75	9,300	19,161	28,461	תנועה בינויו-רונית	תנועה עירונית	מגב התחלתי	אופטימום	תנועה בינויו-רונית	תנועה עירונית
45.8	61.0	106.8	50	50	2,290	3,052	5,342					מגב התחלתי	מגב התחלתי
81.8	87.2	169.0	28	35	2,290	3,052	5,342					אופטימום	אופטימום
85.4	73.2	158.6	30	38	2,562	2,780	5,342					מגב התחלתי	מגב התחלתי
245.4	228.9	474.3	14	20	3,435	4,578	8,013	אופטימום	אופטימום	מגב התחלתי	מגב התחלתי	אופטימום	אופטימום
190.9	110.7	301.6	24	31	4,581	3,432	8,013					מגב התחלתי	מגב התחלתי
114.5	101.7	216.2	10	15	1,145	1,526	2,671					אופטימום	אופטימום
72.9	36.8	109.7	22	29	1,604	1,067	2,671					מגב התחלתי	מגב התחלתי
611.5	734.3	1,345.8			18,460	31,369	49,829	הפרשים	הפרשים	הפרשים	הפרשים	הפרשים	הפרשים
519.0	537.2	1,056.2			20,337	29,492	49,829						
-92.5	-197.1	-289.6			-1,877	-1,877	0						
124.0	255.5	379.5	75	75	9,300	19,161	28,461	תנועה בינויו-רונית	תנועה עירונית	מגב התחלתי	אופטימום	תנועה בינויו-רונית	תנועה עירונית
91.6	122.1	213.7	50	50	4,580	6,104	10,684					מגב התחלתי	מגב התחלתי
81.8	87.2	169.0	28	35	2,290	3,052	5,342					אופטימום	אופטימום
85.4	73.2	158.6	30	38	2,562	2,780	5,342					מגב התחלתי	מגב התחלתי
122.7	114.5	237.2	14	20	1,717	2,289	4,006	מגב התחלתי	מגב התחלתי	מגב התחלתי	מגב התחלתי	מגב התחלתי	מגב התחלתי
95.4	55.4	150.8	24	31	2,290	1,716	4,006					אופטימום	אופטימום
57.2	50.9	108.1	10	15	573	763	1,336					אופטימום	אופטימום
36.5	18.4	54.9	22	29	808	534	1,336					מגב התחלתי	מגב התחלתי
477.3	630.2	1,107.5			18,460	31,369	49,829	הפרשים	הפרשים	הפרשים	הפרשים	הפרשים	הפרשים
432.9	524.6	957.5			19,534	30,295	49,829						
-44.4	-105.6	-150.0			1,074.0	-1,074.0	0						

לפי חלופה א' חלוקת התוג�ה העירונית בין התנאי צפיפות קלה, בינונית וכבדה היא $0.25 - 0.5$; לפי חלופה ב' — $0.5 - 0.25$, בהסתממה.

תוצאות החישוב מתוארות בלוח 7. הלוח חושב בשתי הנחות. לפי ההנחה הראשונה רק רביעית התנועה הירונית היא בתנאי צפיפות קלה, רביע בתנאי צפיפות בינונית, ומחצית התנועה היא בתנאי צפיפות כבדה. לפי ההנחה השנייה, המשקלות הן $1/2 : 1/4 : 1/4$, בהתאם. בשני המקרים הנחנו שה坦ינה היבינעירונית היא בתנאי צפיפות בינונית (במהירות ממוצעת של 75 קמ"ש), ושרבע מהצפיפות הכבודה היא כאשר הרכב הפרטி נע ב מהירות ממוצעת של 15 קמ"ש, $1 - 3/4$ אשר הוא נע ב מהירות של 20 קמ"ש. חלוקת הנוסעים בין הרכב הפרטி, המסחרי והמוניות ("הרכב הקל") לבין האוטובוסים במצב החתחלתי היא, לפי המצב הנוכחיים, ובאופטימום – לפי המtauר בלוח 5.

האצת התנועה בעקבות הטלת אגרות צפיפות אופטימליות מביאה, לפי חישובינו, לחסכו של כ-40 אחוז זמן "המצביע" במסעות יירונית מבייה, לפי חישובינו, לחסכו של מטרازي' הירוני הוא בתנאי צפיפות כבדה (החלק העליון של לוח 7) יביאו האגרות לחסכו של כ-290 מיליון שעות נסיעים לשנה (למעלה מחמשית הזמן המוקדש לנסיעות). כאשר משקל הנסיעות בתנאי צפיפות כבדה הוא רק רבע מהנסיעות הירונית, קטן האומדן ל-150 מיליון שעות (שchan כשמינית הזמן המוקדש לנסיעות).

לפי סקר דפוסי השימוש בזמן בישראל 1991/92 (למי"ס, 1995) הקדים כל פרט בגילאי + 14 מידי יום 68 דקות להליכה ונסעה (זמן 20 דקות נסעה לעבודה). אם נניח שההליכה מהוועה מחצית הזמן זה בקבוצת הגיל עד 19, ושליש מהזמן בגילאי + 20, יהיה אומדן זמן הנסעה הכלול באוכלוסייה 1,110 מיליון שעות בשנה. אומדן זה עקבי עם האומדן התחתון בלוח 7. לפי אומדן זה, הייתה עלות הצפיפות בשנת 1991 (לפי 5.7 ש"ח לשעת נסעה) 855 מיליון ש"ח (במחורי 1991). בתקופה 1991-1995 גדל הקילומטראי ב-53 אחוז, והשכר הממוצע למשרת שכיר ב-61 אחוז.

עלות הגודש הירוני בשנת 1995 (במחורי אותה שנה) הייתה, איפוא, 2.1 מיליארד ש"ח. חישוב זה מתעלם מההחמרה בתנאי הצפיפות במשך התקופה.²²

ו. סיכום

כל ניסיון לאמוד את עלויות הצפיפות נתקל במחסור חמוץ בנתונים. לכל ארכו של החישוב נאלצנו להמיר מידע לבדוק בהנחות. עם זאת ממציאות בדיקות הרגשות המופיעות בספקים שישית האומדן שאומצה במאמר זה היא שמרנית. שמרנות זו מtabטאת בבחירה פונקציית המהירות, באומדן ערך הזמן, בהנחה לגבי נזקי צפיפות אחרים (עלויות הרכב), ולבסוף בהנחה על התכיפות בה נתקל נוג ב坦ינה הירונית בתנאי צפיפות כבדה. גם באומדן שמרני זה התוצאות רוחקות מלהיות "צנעות". לפי הערכתנו לעלה ממשנית הזמן המוקדש לנסעה הוא "مبוזבז" — הקצתה יותר גבוהה של הנסיעות בין אמצעי הנסעה השונים יכולה לחסוך (בנתוני 1991) כ-150 מיליון שעות נסעה לשנה, תוך פגיעה מזערית בהיקף הנסיעות. שכלל זמן זה בערך

²² בתקופה 1995-1991 נגדל ממד ק"מ-רכב לשטח כביש בתנינה הירונית ביוטר מחצית (גרונאו 1997, לוח 6). בחישוב עלות הגודש לשנת 1995 השתמשתי באומדן הגידול בkilometrazi' הכללי. לפי אומדן (גרונאו, 1997, לוח 4) עליה הקילומטראי הירוני ביוטר מ-70 אחוז. השימוש בכולל הגובה היה מגדיל את אומדן עלות הצפיפות ב-1995 ל-2.3 מיליארד ש"ח.

شمיניתים לו הנוסעים מציבו על נזקי צפיפות העולים בהיקף של 2 מיליארדי ש"ח לשנה (במחצית 1995). בכך זה לא נכללו עלויות זמן הנגיגים ועלויות הרכב.

הניתוח מציב על אופייה הנקוטי של הביעיה. מרבית נזקי הצפיפות מקורם במצב צפיפות קשה כאשר מהירות התנועה של הרכב הפרטி יורדת מתחת ל-25-20 קמ"ש. מערך מסי השימוש (בראש ובראונה, מס הדלק) חסרי אוניס להתמודד עם הביעיה. לפי חישובינו מסי השימוש על הרכב הפרטி דיים לגשר על הפער בין המחיר לפרט והמחיר למשק בתנועה הבינעירונית (להוציא מקרים נדירים של תנאי צפיפות כבדה), אך הם נמכרים מכדי שיוכלו להתמודד עם תנאי הצפיפות העירונית הכבודה.

הסתמוכזיה של רשות הנטיות בתל-אביב מראה שבשבוע בוקר ממוצעת היה נזק שגרם כלי רכב נסוף למערכת במונחי האטוט כל' הכב ההארטס 8.6-0.7 דקוט לק"מ. במונחים כספיים הסתכום נזק זה (במחצית 1991) ב-2.7-0.2 ש"ח. זאת כאשר ה"מחצית" שארה הזכרן בפנוי היה 0.2 ש"ח לק"מ, ומרכיב המס רק 0.1 ש"ח. הפער בין המחיר לפרט והמחיר למשק הוא, איפוא, ביחס של 2:1 עד 1:1. כאשר הזכרן מגבש את החלוטותיו על סמך מחיר שהוא ורק חלק מזעיר מהמחיר לשק — "בזבוז מקורות" הוא תוצאה מתבקשת.

הकצתה אופטימלית אין פירושה ביטול הצפיפות ונסעה במתירות המירבית. הקצתה אופטימלית פירושה שינוי הרכב התנועה והאצתה. לפי הערכה שמרנית, רכב פרטி ממוצע נוסע שמיינית מהקלומטראי השנתי שלו בתנאי צפיפות כבדה, אך לנסעה זו מוקדים 30% מכלל הזמן המשמש לנסיעות. האצת התנועה במקטע זה הפטור, איפוא, חלק גדול מביעות הצפיפות. לפי חישובינו נדרש צמצום בנסיעות הרכב הפרטி במקטע זה במחצית, והגדלה בנסיעות האוטובוסים ברבע עד שליש.

נסيون להתבסס על מגנון המחיר שיביא לשינוי זה היה מחיבב הCAPEX והCAPEX כולל (לרבות עלות הזמן) של הנסעה ברכב הפרטי. נישור הפער בין העלות לפרט והעלות החברתית מחיבב במקרה זה העלתה שיעורי מסי השימוש הקיימים פי 8-10. קשה להאמין שההזדקק יאזור אומץ להטיל על הרכב הפרטי מס בשיעורים כה מפליגים.²³ יתר על כן, הטלת מס כה כבד תביא לKİצוץ לא נדרש במקטעים אחרים של השוק, בראש ובראונה בתנועה הבינעירונית, שבה רמת הצפיפות נמוכה, והמס, ברמתו הנוכחית, מגשר על הפער בין העלות לפרט ולמשק.

לא מס הדלק אין הגמישות הנדרשת מהאגירה. האגרה חייבה להשתנות משעה ומנטיב לנתיב עם השתנות הצפיפות. מס הדלק לק"מ-רכב תלוי בתצרוכת הדלק לק"מ והשתנותה עם תנאי הצפיפות. לאחר ותצרוכת הדלק היא בעלת וגישה נמוכה לצפיפות, שיעור ההשתנות של המס לק"מ הוא מוגבל.²⁴ התמודדות עם מפעג הצפיפות בנסיעות העירונית מחייבת, איפוא,

²³ האגרה שהוצע להטילה על השימוש ב"כביש חוצה ישראל" הייתה 5 סנט לק"מ — דהיינו כ-15 אגורות לק"מ.

²⁴ אם נניח לשם פשוטות שהוצאות הנסעה מורכבות מהוצאות דלק ומהוצאות זמן בלבד יהיו הוצאות הדלק αX^k , כאשר k מחיר הדלק, A מקדם המשקף את תצרוכת הדלק לק"מ, X מספר כלי הרכב ו- α

שימוש בסדרה של אמצעי עזר מינימליים בנוסף למס: הגבלת שימוש לרכיב פרט依 בנתיבים מסוימים ויחודם לתחבורה ציבורית, אגרות חניה או איסורי חניה, מסי רכב ועוד. אמצעי נפוץ, שבא לפצוח על הקושי בהטלת אגרה בגובה הדרוש על הרכב הפרט依, הוא סבוסוד התחבורה הציבורית (ובעיקר שירות האוטובוסים). מאז תחילת שנות ה-70 הפעילה ממשלה ישראל מכשיר זה, בעלות הולכת וגדרה, כדי "להחזיר" את הנוסעים מהרכב הפרט依 לרכיב הציבורי. נתוני התפעול של שירות האוטובוסים בתחבורה הציבורית (גראנוו, 1997) מראים שהצלחת הממשלה בניסיון זה הייתה קטנה ביותר. במאמר הבא בסדרה (גראנוו, 1997ב) נבדוק מהם הגורמים שהביאו לכשלון מדיניות העידוד של התחבורה הציבורית.

מקדם המשקף את רגשות תצרוכת הדלק לתנאי הציפיות, יהיו הוצאות הזמן wBX^β כאשר w הוא ערך הזמן, איז הוצאות לנוסף הן

$$v = pAX^\alpha + wBX^\beta$$

ההוצאות השוליות הן

$$V_x = (\alpha + 1)pAX^\alpha + (\beta + 1)wBX^\beta$$

ואגרה האופטימלית

$$V_x - v = \alpha pAX^\alpha + \beta wBX^\beta = pAX^\alpha [\alpha + \beta(wB/pA)]X^{\beta-\alpha}$$

הביטוי בסוגרים הוא שיעור המס שיש להטיל על הדלק. שיעור זה גדול עם הציפיות כאשר $\beta > \alpha$. כאשר $\alpha = 0$ מן הדין היה להטיל מס שיעלה עם משך הנסיעה.

נספח 1. אומדן ערך הזמן בתחרורה

החסכון בזמן הנוסעים הוא מרכיב חשוב בתשואה של כל תוכנית לשיפור תשתיות התחרורה המוטורית.¹ הערך הזקוף של שעת נסעה עשוי, איפוא, להשפיע בצורה משמעותית על שיקול הכספיות של ההשקעה בתכניות תשתיות שונות. באופן דומה, הוא ישפיע על הערך בהיחס למיסוי האופטימי על התחרורה המוטורית, ולחילופין — על גובה אגרות שימוש (אגרות כביש), במידה ויכולת על גביה ישירה של אגרות עבור השימוש בתיבים מסוימים (למשל, כביש חוצה-ישראל, או מנהרת הכרמל).

אומדן ערך זמן בתחרורה מבוססים במידה רבה על הנתננות ימים (commutes): בחירותם בין אמצעי תחבורה ובין מסלולי נסעה. ערך הזמן נגור מהשוואת השפעת משתנה המחיר ומשתנה הזמן על הבחירה.²

רובית אומדני ערך הזמן הם בתחום שבין 25 ל-85 אחוז מהשכר, ונחוג לצרכי בדיקות עלות-תועלת להשתמש באומדנים שהסתובב בין 1.3-1/4 ל-1.3. המהשכר לשעה. בהעדר אומדנים ישרים של ערך הזמן, המבוססים על הנסיען הישראלי, לא עוסוק בספר זה ביחס ערך הזמן/שכר, אלא ברישיות של אומדן ערך הזמן לאומדנים שונים של השכר.

אומדן השכר הרלבנטי תלוי במקבל החלטות (הישיר או העקיף) ביחס לנסעה, יהיה תלוי, על כן, במטרת הנסעה. בנסיבות לצרכי עבודה מקבל החלטות (ולו בעקביפfn) הוא המעבד. החזאה האלטרנטיבית מבחינתו היא עלות העבודה השעתית (השכר ברוטו בתוספת החוצאות הנלוות). לעומת זאת שקווי העבודה ביחס לנסיעותיו לעבודה או נסיעותיו הפרטיות מושפעות מהשכר שהוא בפניו, שהוא השכר בניכוי מסים. עלות העבודה לשעה כפולה מהשכר נטו.³

קיים מתאם חיובי בין נסיעות ושכר. הנקודות הממציאות של משקי בית כאשר השקלול הוא

¹ ביחסוב כדאיות כביש חוצה-ישראל שנערך כל ידי חברת מתיית (1994) תרם חסכון הזמן למעלה מ-3% מהערך הנוכחי של ההשקעה בכביש. היישוב שהויה מוגעל מערך זמן הנוסעים הנוכח היה מקטין את שעור התשואה הפנימי של ההשקעה בחצי.

² הניתוח בסיס החישוב היא שתחרורה (Z) תלויות בהפרש המחיר (ΔP) בין האלטרנטיבות השונות (אמצעי הוללה, נתיבים) ($\Delta \Pi$), כאשר המחיר (P) מורכב מעליות כספיות (P) ועלות זמן (\hat{t}), כאשר \hat{t} הוא הערך שמייחס הזמן לזמן. לפיכך,

$$Z = f(\Delta \Pi) = f[\Delta(P + \hat{t})] = f(\Delta P + \hat{t} \Delta)$$

$$\text{ועל-כן: } \hat{t} = (\partial Z / \partial P) / (\partial Z / \partial \hat{t})$$

³ לפי הערכות המכון הישראלי לתכנון ומחקר תחבורה (1988), המסים מהווים כרבע מהשכר ברוטו, בעוד החוצאות הנלוות הן 52 אחוז מהשכר ברוטו. השכר נטו מהוראות, איפוא, 75 אחוז מהשכר ברוטו בעוד עלות העבודה לשעה היא פי 1.5 מהשכר ברוטו. לפי נתוני מינהל הכנסות המדינה (1994, לוח כיב 9) היה נטול המס בין 1991-1990 על משק בית בעל הכנסה שנתיות של 30,000 דולר (68,000 ש"ח) – 17 אחוז (נטול המס על משק בית בעל הכנסה של 60,000 דולר היה 30 אחוז). ב-1991 הייתה הכנסה השנתית של משק בית שבראשו שכיר 57,000 ש"ח (למ"ס, 1993, לוח 11.2).

לפי מספר הנסיעות גבוהה ב-30 אחוז מההכנסה של משק בית עירוני ממוצע.⁴ מאידך, יש לחתה בחשבו שכשליש מהנסיעות מבוצע על ידי נסיעים שאינם מועסקים, וכרבע מהנסיעות על ידי מועסקים אינו קשור בעבודתם.⁵ אם נניח שהערך שמייחס המעובד לזמן העבודה בנסיעות לצרכי עבודה שווה לעלות העבודה לשעה, שהערך שמייחס העובד לזמן העבודה הוא שליש מהשכר לאחר מס, וערך הזמן בכל שאר הנסיעות הוא רביע מהשכר לאחר מס, יהיה ערך הזמן הממוצע שווה ל-35-40 אחוז מהשכר הממוצע במשק.⁶

בחישובינו אימצנו הנחה פשטנית יותר: שהשכר הקבוע לנוסעים אוטובוס שווה לשכר הממוצע (ברוטו) ושכר נסעי הרכב הפרטני גבוה ב-25 אחוז מהשכר הממוצע. הנוסעים מתחלקים בזורה שווה בין הרכב הפרטני והאוטובוס, ומיחסים לזמן ערך השווה לשיש מהשכר. לפי הנחות אלו, ערך הזמן שווה ל-37.5 אחוז מהשכר הממוצע במשק.⁷

היחס בין הערך שמייחס הנושא לזמן והשכר תלוי במידה רבה ביכולתו להמיר שעות נסיעה בשעות עבודה. בעיה דומה קיימת בהערכת השפעת חסכוון בזמן נסיעה על עלות שכר הנהגים ברכב מסחרי (רכב מסחרי, מוניות, אוטובוסים ומשאיות). הנהגים אלה מחלקים את זמנה בין נסיעה לבין המתנה לטעינה ופריקה או המתנה להובלה. השפעת שניים בנסיבות הנסיעה על עלויות הנהיגה תלולה במשמעותה הנטענית. במידה והמתנה להובלה מהוועה מרכיב חשוב בזמן הנהגים, והאצת מהירות הנסיעה אינה גוררת הגדלה במספר הסביבים שעשו כלי הרכב לשעה, אלא רק מגדילה את זמן המתנה, אין למהירות השפעה על עלויות הנהיגה. במידה וכל סבב כרוכן בזמן מסויים המוקדש לטעינה, פריקה והמתנה, זמן זה בלתי תלוי במשקל הנסיעה, אז העלות

⁴ החישוב מבוסס על נתוני סקר הרגלי נסיעה 1984 (למייס, 1987). הנתונים מתיחסים לשכירים בשלושת הערים הגדולות. הפער מסווג כמעט כולו מצורת השקלול. השוואת ההכנסה הממוצעת של משקי הבית בסקר עם נתוני סקר ההכנסות באותה שנה מראה שאין הבדל משמעותי בתוצאות שני הסקרים. תוצאה דומה התקבלה על ידי המכון (1988) כאשר החישוב התיחס רק לנסיעות בענייני עבודה.

⁵ לפי סקר הרגלי נסיעה 1984 התפלגות הנסיעות בשלוש הערים הגדולות היא:

%	אלפי נסיעות יומיות	
13	508	בני 17 או פחות
87	3,368	בני 18 או יותר
22	854	מחס : לא מועסקים
65	2,514	ousing : מועסקים
34	1,327	莫זה : לעבודה וחזרה
7	267	בענייני עבודה
24	920	למטרות אחרות
100	3,875	סה"כ נסיעות

⁶ אם נניח שבנסיעות אחרות השכר הקבוע הוא השכר הממוצע, יתקבל האומדן הנמוך, ואם נניח שהשכר הוא השכר המשוקל במספר נסיעות, יתקבל האומדן הגבוה.

⁷ בחישוב שנעשה לאחרונה (מת"ת, 1994) נמצא היחס שערך הזמן הוא 38 אחוז מהשכר (מתת הניחו שערך הזמן בנסיעות לעבודה שווה למחצית השכר). בחישוב זה, השתמשו המחברים בתמורה לשעת עבודה (התמורה לעבודה בהכנסה הלאומית מחולקת במספר שעות העבודה השנתיות) כמודד לשכר. מודד

לק"מ קטנה עם גידול המהירות.⁸ המצב הראשון מאפיין את המשאיות, שחלק גדול מזמן מוקדש להמתנה. המקרה השני מאפיין אוטובוסים בתנועה עירונית שזמן המתנה בתחנות אינו תלוי במהירות נסיעתם.⁹

שיקולים דומים קיימים בהערכות השפעת המהירות על עלויות הרכב (עלויות הון, ביטוח, וangered).

זה גבוה ב-90 אחוז מהשכר לשעה כפי שהוא נמדד בסקרים הconduct.

⁸ כאשר כל סబב כרוך ב- k ק"מ נסעה, ובהתנה של γ שעות (לטינה, פריקה והמתנה בין שני סבבים), אז מספר הסבבים שייבצע כדי הרכבת בשעה הוא $[k/(s + 1/\gamma)]$, והק"מ לשעה הוא $1 - [1/(s + 1/\gamma)] = Fk$. עלות שכר נהגים לק"מ היא על כן $[1/(s + 1/\gamma)]w$, כאשר w הוא שכר הנהגים.

⁹ מצב שלישי הוא מצב שבו זמן המתנה פרופורציוני לזמן הנסעה. יהיה γ חלק הזמן שהרכב בתנועה, ו- k אורך הסבב בק"מ. מספר הסבבים שהרכבת מבצע בשעה הוא $k/w = F$, והkilometrage' הוא $w/Fk = \gamma$. כאשר w הוא שכר הנהגתו יהיה עלות הנהגתו לק"מ במקרה זה $w'/s = w$, כאשר $\gamma/w = w'$.

נספח 2. אומדן פונקציית המהירות

מהירות התנועה (S) היא פונקציה יורדת של הגודש בכביש – מספר כלי הרכב לק"מ כביש. פונקציה זו תלויות בטיב הכביש (רוחבו, שיפועו, כמות עיקולים, רוחב שלילים, שימוש ורימוזו), מינונות הנהגים והרכב התנועה. נפח התנועה – מספר כלי הרכב העובר בכביש בשעה – הוא כפולה של הגודש ומהירות התנועה: $DS = X$. גידול בגודש התנועה מלאה בירידה ב מהירות הזורמה, ועל כן לא יביא, בהכרח, להגדלה בנפח התנועה. נסמל ב- ϵ את הגמישות, אז מתקיים

$$\epsilon_{SD} = 1 + \epsilon_{SD}$$

כאשר $0 < \epsilon_{SD}$. רק כאשר רגישות המהירות לשינויים בגודש היא קטנה, $1 < |\epsilon_{SD}|$, יביא גידול במספר כלי הרכב בנתיב לגידול במספר כלי הרכב העובר בנתיב בשעה. כאשר $1 > |\epsilon_{SD}|$ יביא גידול בגודש להקטנת מספר כלי הרכב העובר בנתיב בכל יחידת זמן. באופן דומה, לא קיים קשר חד-כיווני בין המהירות לנפח התנועה. גמישות S ביחס ל- X שווה $\frac{\epsilon_{SD}}{1 + \epsilon_{SD}}$. כל עוד $1 < |\epsilon_{SD}|$, גידול בגודש מלאה בגידול בנפח התנועה וירידה ב מהירות התנועה, אלא בירידתו: $0 > \epsilon_{SD}$. תהיה S^* המהירות בה מתקיים $-1 = \epsilon_{SD}$, אז בכל מהירות הנמוכה מ- S^* מתקיימים תנאי גודש-יתר (hypercongestion), כאשר הגדלת הגודש מביאה לירידה גם ב מהירות וגם בנפח התנועה (כאשר $S > S^*, \epsilon_{SD} > 0$).

fonקציות המהירות השונות שהוצעו בספרות נבדלות זו מזו באיפיון ההשפעה שיש בגודש או לנפח התנועה על המהירות כאשר זו גדולה מ- S^* , ובקיים (או אי-קיים) תחום המותאר גודש-יתר. חלון של פונקציות אלו מתואר את הקשר בין המהירות והגודש, חלון את הקשר בין המהירות לנפח התנועה, וחלון מתחמקד במשמעותו ($t = 1/S$).

בספרו *Urban Transportation Economics* Kenneth Small את פונקציות המהירות

שנאמדו בספרות (לוח נ-1):

לוח נ-1. פונקציות מהירות

1)	$S = \alpha - \delta D = S_m - \delta D$	$S^* = S_m / 2$
2)	$S = \alpha - \gamma \ln D = -S^* \ln(D/D_m)$	
3)	$S = \alpha \pm [\gamma - \delta X]^\beta = S^* \pm [\gamma - \delta X]^\beta$	$S_m = \alpha + \gamma^\beta$
4)	$t = \alpha \pm [\gamma - \delta X]^\beta = t^* + [\gamma - \delta X]^\beta$	$t_m = \alpha - \gamma^\beta$
5)	$t = \alpha + \delta X^\beta = t_m + \delta X^\beta$	
		— מהירות — זמן נסעה — מהירות מירבי — זמן נסעה מזערי — מהירות "קריטית" ($t = 1/S^*$) — זמן נסעה "קריטית" ($t = 1/\epsilon_{SD}$)
	t	S
	t_m	S_m
	t^*	S^*
	X	D_m
	α	D_m
	β	— פרמטרים
	γ	γ
	δ	δ

הפונקציות השכיחות ביותר המתארות את הקשר בין המהירות והגודש הן הפונקציה הליניארית והחצ-לוגריתמית. (Payne, 1984) אמד פונקציה לינארית ($\delta > 0$)

$$S = \alpha - \delta D \quad (1)$$

בפונקציה זו α היא המהירות המירבית, $\alpha = S_m$, ומתקיים $S_m = S^*/2$. גמישות המהירות ביחס לגודש היא $\varepsilon_{SD} = 1 - (S_m / S)$ (כאשר $S \leq S_m$), והגמישות ביחס לנפח התנועה היא

$$\varepsilon_{SX} = \frac{1 - (S_m / S)}{2 - (S_m / S)}$$

Walters (1961) במחקריו ההיסטורי הניח פונקציה חצ-לוגריתמית

$$S = \alpha - \gamma \ln D \quad (2)$$

במקרה זה, $\gamma = S^*/(S-S^*)$ ו- $\varepsilon_{SD} = -S^*/S$.
Boardman-Lave שורה ארוכה של חוקרים קושרים את המהירות ביחס התנועה X [למשל, (1977) Keeler-Small, (1977)]

$$S = \alpha \pm [\gamma - \delta X]^{\beta} \quad (3)$$

בפונקציה זו המהירות המירבית היא $S_m = \alpha + \gamma^{\beta}$ ומתקיים $\alpha = S^*$.¹¹ הגמישות ביחס לנפח התנועה היא

אחרים משתמשים באותה צורה פונקציונלית כאשר המשטנה המוסף הוא משך הנסיעה t
[למשל, (1961) Coleman]

$$t = \alpha \pm [\gamma - \delta X]^{\beta} \quad (4)$$

¹⁰ בניסוחו של Walters: $D_0 = e^{\alpha/\beta}$ ו- $S = -\beta \ln(D/D_0)$

¹¹ ניסוח אלטרנטיבי של פונקציה זו הוא: $S = \alpha \pm [\gamma - \delta'(X/X_0)]^{\beta}$ או $S = \alpha \pm [\gamma - \delta(X/X_0)]^{\beta}$.
כאשר X_0 היא "קבולת הכביש" ומתקיים $\delta' = (\delta')^{\beta}$, $\delta'' = (\delta'')^{\beta}$, $\gamma = \gamma/\delta'$ ו- $a = \gamma/\delta$.
לחלופין: $b = 1/\delta$ ו- $b = b(S - \alpha)^{1/\beta}$.

כאשר המהירות המירבית היא $S^* = 1/\alpha + \gamma^{1/2}$ גמישות המהירות ביחס לנפח

$$\varepsilon_{SX} = -\beta \frac{S - S^*}{S} \left[\left(\frac{S}{S_m} \frac{S_m - S}{S - S^*} \right)^{1/\beta} - 1 \right]$$

התנועה היא

לבסוף, במחקרים מסוימים [למשל, Dewees (1978)] אומצה פונקציה שאינה נותנת ביטוי
לקיום תנאי גודש-יתר, ושלפיה הקשר בין S ו- X הוא קשר שלילי (הקשר בין S ו- X חיובי) עבור כל

ערכי X

$$t = \alpha + \delta X^\beta \quad (5)$$

כאשר $S_m = 1/\alpha$ ומתקיים $\varepsilon_{SX} = \beta(S - S_m)/S_m$.

גמישות המהירות ביחס לנפח התנועה תלויות במספר פונקציות אלו בטוחה שבין S
ומהירות המירבית S_m , ובמיוחד היחס של מהירות בתוך זה. אם נסמן את הטווח
(היחס) $Z = (S_m - S^*)/(S_m - S) = (\alpha - \gamma^{1/2})/(\alpha - \gamma)$. נוכל
לכתוב את הגמישיות השונות בפונקציות של Z ו- μ . למשל, בפונקציה החזי-לוגריתמית (2)
 $\varepsilon_{SX} = \alpha Z - \mu Z^{1-\beta}$ ובפונקציה המעריכית (5) $\varepsilon_{SX} = \alpha Z(1-\mu)/(1+Z)$. עבור הפונקציות (3) ו-(4) הנוסחה
מורכבת יותר:

$$\text{כאשר הפונקציה היא (3): } \varepsilon_{SX} = -\beta \frac{\mu z}{1+\mu z} \left[(1/\mu)^{1/\beta} - 1 \right]$$

$$\text{וכאשר היא (4): } \varepsilon_{SX} = -\beta \mu z \left[\left(\frac{1+\mu z}{\mu + \mu z} \right)^{1/\beta} - 1 \right]$$

אומדני המהירות הקритית S^* שונים ממחקר למחקר. הפיזור הגדל בנסיבות מסוים
בחילקו על ידי הבדלים בבחירה הפונקציה, אך בעיקר על ידי תנאי זרימה שונים בכבישים
שימושו למדידת פונקציית המהירות. בעוד שבתחבורה העירונית, במרכז הערים, נמצא ערבי
 S^* בין 20-30 קמ"ש Ardekani-Herman (1968), Coleman (1961) ו-Walters (1987), נאמדו עבור

¹² גם במקרה זה [בדומה ל-(3)] בחלק מהניסוחים המשנה המסביר הוא לפעמים שיעור ניצול
הקיום $X_0/X = \alpha$ השימושים המתחייבים בצורה הפונקציה מתוארים בהערה 11.

¹³ גם פונקציה זו מנוסחת לעיתים בצורה $\delta'(X/X_0)^\beta + \delta' = t$ כאשר $\delta' = \delta/\alpha$. Small מציין קירוב
ליינארי לפונקציה זו

$$t = \begin{cases} \alpha & X < X_0 \\ \alpha + \delta''[(X/X_0) - 1] & X > X_0 \end{cases}$$

ובן גם, שאם היו מניחים לגבי פונקציה (3) שמתוקים $0 = \alpha = S^*$ הפונקציה לא הייתה אפשרית
ביטוי לתנאי גודש-יתר — מותקם $\varepsilon_{SX} < 0$ עבור כל $S > X_0$ [Smeed (1968)].

כבישים מהירים (expressways) בשטחים עירוניים ערכים הרבה יותר גבוהים $S^* > S_m > 75$.
 Boardman-Lave (1977), Keeler-Small (1977).
 המהירות המידנית בתנועה עירונית נקבעת במידה רבה על ידי הגבלות המהירות החוקיות (65-50 קמ"ש). אך עבור תנועה ביןעירונית אומדי S^* גבוהים במידה משמעותית מהמהירות המותרת. לבסוף, אומדן הפרמטר β תלוי בצורת הפונקציה: בפונקציות מהצורה (3) ו-(4) נמצא בד"כ הערך $\beta = 1/2$ ובפונקציה המעריכית (5) אמדו (α הניכון) חוקרים ערכיהם בתחום 4.0-2.5.
 בישראל נעשו מספר נסיוונות למדוד פונקציית מהירות. רמון הראל (1974) ניסח למדוד פונקציה זו אך נכשל. במחקרו הוא מנה פונקציית מהירות לנארית (דוחינו פונקציה (3) כאשר $\beta = 1$). יכולת של פונקציה זו הتبessa על שתי נקודות. ארד, פינס וקוברינסקי (1977) אמדו פונקציית מהירות עירונית נפרדות לכלי רכב פרטיטים ולאוטובוסים (מדידותיהם מבוססות על נתונים תנועה ומהירות ברחובות בן-יהודה בתל אביב). גם חוקרים אלו העדיפו את הפונקציה הלינארית. המכון לחקר התחבורה משתמש במודל הצבות התנועה שלו בפונקציה לוגיסטיבית.¹⁴ פונקציה זו לא נבדקה בישראל אלא הותאמת לצרכי מודל הצבה. חבי מתית' משתמשת בהערכותה בפונקציה מהצורה (3) כאשר $\beta = 0.5$. בכביש מהיר (נתיבי איילון) אומדי מתית' הם $S_m = 105$ ו- $S^* < 15$.

לנוכח אי-הסתכמה ביחס לצורת פונקציית המהירות והפרמטרים בפונקציה זו (בעיקר הפרמטר β) נשאלת השאלה באיזו מידת דרישים אומדי השפעה החיצונית

$$\hat{V}_X = \hat{v} - \frac{\partial t}{\partial X}$$

לבחירה הפונקציה. כדי לענות על שאלת זו הנחתנו שקיימת הסכמה ביחס לגבולות טווח המהירות S^* ו- S_m ושփונקציות נבדלות במשתנה המוסבר (מהירות או משך נסיעה) ובפרמטר β . בצדדים נ-1(א-D) הנחנו תנאי תנעה עירונית $S^* = 10$, $S_m = 60$, ובצדדים נ-2(א-D) תנאי תנעה ביןעירונית $S^* = 50$ ו- $S_m = 100$. בחלק אי מוגדרות מהירות כפונקציה של המשנה "ינצול קיבולת" $(X/X_0) = x$ כאשר $x = 0$ מתקיים $S^* = S_m$ וכאשר $x = 1$ מתקיים $S^* = S$. חלק ב' מתרחאת משך הנסיעה $S = 1/x$. בחלק ג' מופיע אומדן השפעה החיצונית (A) כפונקציה של ניצול הקיבולת, ובחילק ד' מופיע האומדן של A כפונקציה של המהירות.

¹⁴ פונקציה זו מתחשבת בזרחה ממורשת במספר הצמותים הקיימים בכל קטע כביש. המהירות בקטע לפי

$$\frac{S}{S_m} = \frac{1 + e^\beta}{e^\beta} \left(\frac{e^{\beta(1-x)}}{1 + e^{\beta(1-x)}} \right)$$

נוסחת המכון היא $\beta = 3 - 1 - x = X/X_0$.

בצירורים מתוארים שלושה סוגים פונקציות (הפונקציות מוגדרות בצורה מפורשת בלוח נ-2):

- פונקציה מהצורה (3) [פונקציה A ו-B כאשר פונקציה A מקיימת $1 = \beta$ ופונקציה B $\frac{1}{2} = \beta$].
- פונקציה מהצורה (4) [פונקציה C ו-D, כאשר פונקציה C מקיימת $1 = \beta$ ופונקציה D $\frac{1}{2} = \beta$].
- פונקציה מהצורה (5) [פונקציה E כאשר $3 = \beta$.¹⁵]

לוח נ-2. פונקציות מהירות

I. תנוצה עירונית ($S_m = 100, S^* = 50$) צירור (2-כ)		II. תנוצה בינלאומית ($S_m = 60, S^* = 10$) צירור (1-כ)	
A)	$S = 100 - 50x$	A)	$S = 60 - 50x$
B)	$S = 50 + 50(1-x)^{1/2}$	B)	$S = 10 + 50(1-x)^{1/2}$
C)	$t = 0.01 + 0.01x$	C)	$t = 1/60 + 5/60x$
D)	$t = 0.02 - 0.01(1-x)^{1/2}$	D)	$t = 0.1 - 5/60(1-x)^{1/2}$
E)	$t = 0.01 + 0.01x^3$	E)	$t = 1/60 + 5/60x^3$

S — מהירות (קמ"ש)
t — זמן נסיעה (שעות לקמ"ש)
x — שיעור ניצול קיבולת

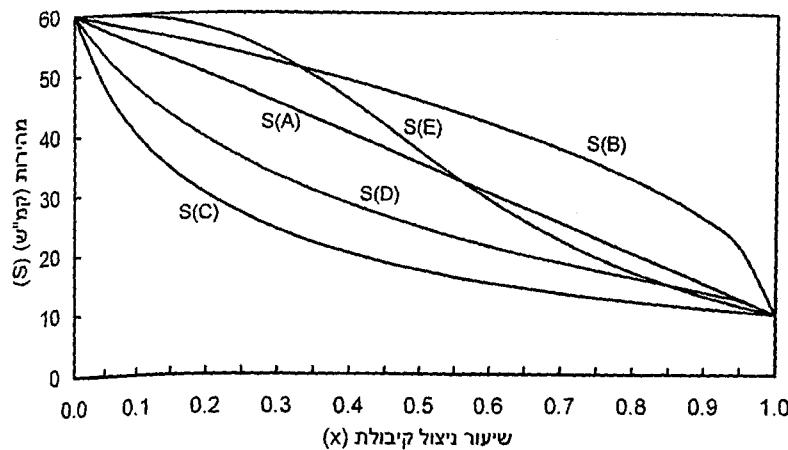
בשני הצירורים (נ-1 ו- נ-2) בולטות פונקציות המהירות B (הפונקציה של Boardman-Lave¹ ו- Keeler-Small המשמשת את מתיית') כפונקציה היפוכית לרגשה לשינויים בנפח התנוצה.¹⁶ כתוצאה davon הנסעה ז מגיב רק במעט לשינויים בנפח התנוצה ורק כאשר הקיבולת מנוצלת כמעט במלואה ($x > 0.8$) מתחילה זמן הנסעה לעלות בצורה חדה. פונקציית זמן הנסעה הלינארית (C) מהוות בדוגמה חסם עליון לאומדן משך הזמן עבור כל ערך של x. אין קשר שיטתי בין אומדן משך הנסעה לפי פונקציות A (פונקציות המהירות הלינארית) ופונקציה D. הפונקציה האמריקאית (E) "חותכת" את הפונקציות האחרות.

צירורים נ-1ג ו- נ-2ג מראים שאין הבדלים גדולים באומדן ההשפעה החיצונית (במונחי זמן) בין חמיש הפונקציות כל עוד שיעור ניצול הקיבולת קטן מ-0.6. ההבדלים מתגilib כאשר $x < 0.6$ ובולטים כאשר שיעור ניצול הקיבולת עולה על 0.8. שוב מתגללה פונקציה B כיוצא דופן: לפי פונקציה זו ההשפעה החיצונית קטנה יחסית כל עוד $x < 0.8$, אך היא עולה באופן תלול כאשר שיעור ניצול הקיבולת מתקרב לאחד. אומדנים דומים להשפעה החיצונית מתקובלים כאשר פונקציית המהירות היא פונקציה D (פונקציה בה השתמש Coleman).

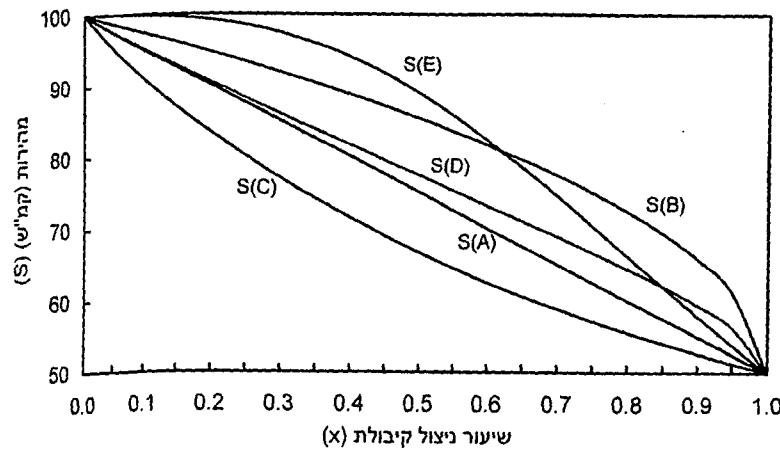
¹⁵ פונקציית משך הנסעה הלינארית (פונקציה ג') היא כפופה גם ל蹶ה פרטיל של צורה (5) כאשר $1 = \beta$.

¹⁶ פונקציה זו היא היחידה מבין החמש שהיא קבועה לכל אורכה ללא קשר לערכי S ו- S_m .

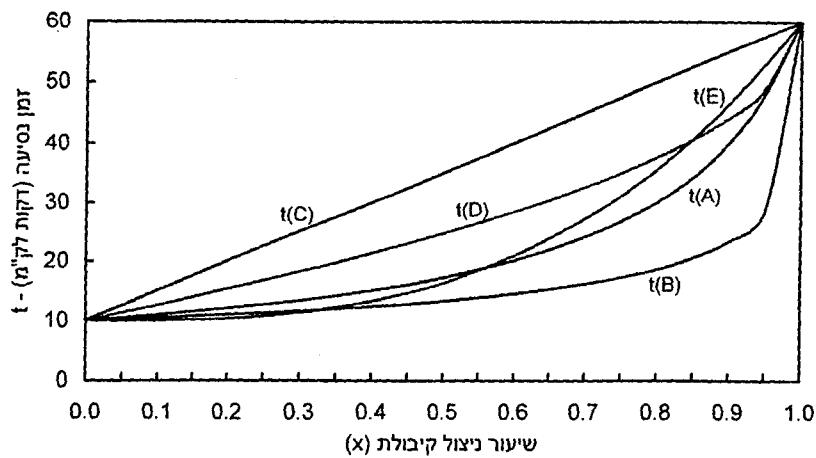
ציור ג-1א. פונקציית מהירות עירונית



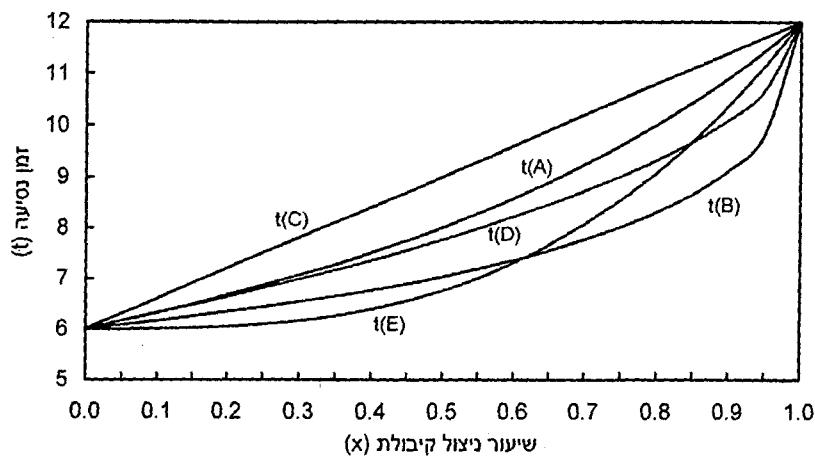
ציור ג-2א. פונקציית מהירות ביןעירונית



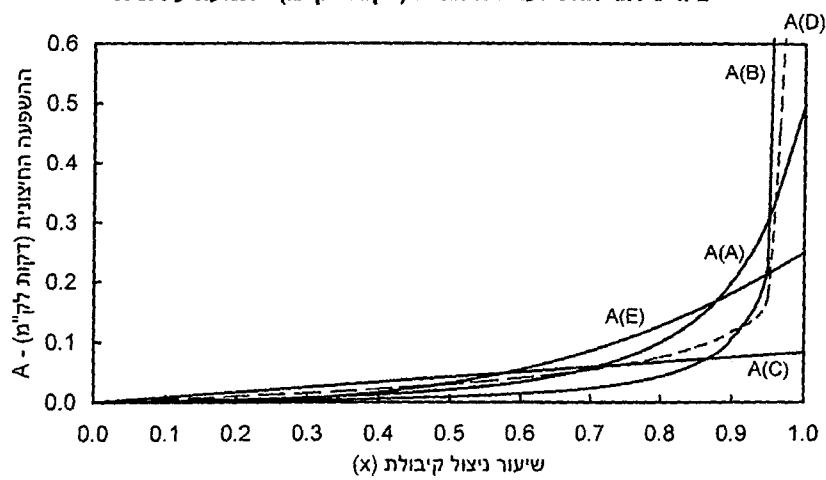
ציור ג-1ב. פונקציית זמן נסעה עירונית



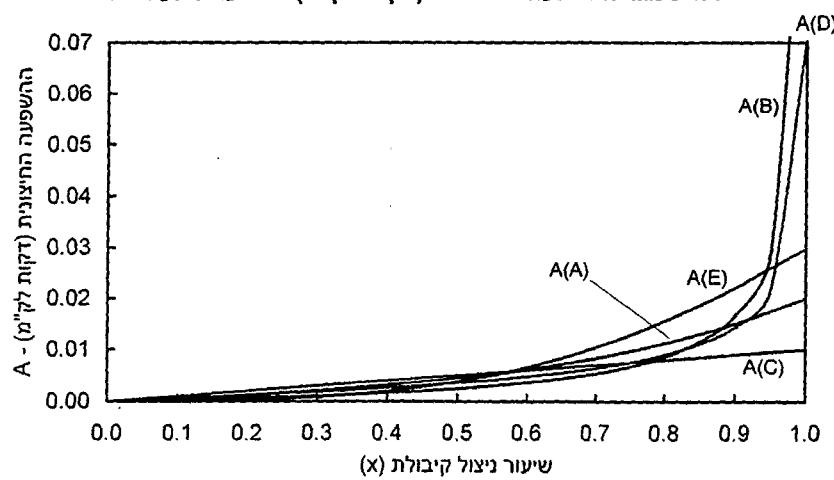
ציור ג-2ב. פונקציית זמן נסעה ביןעירונית



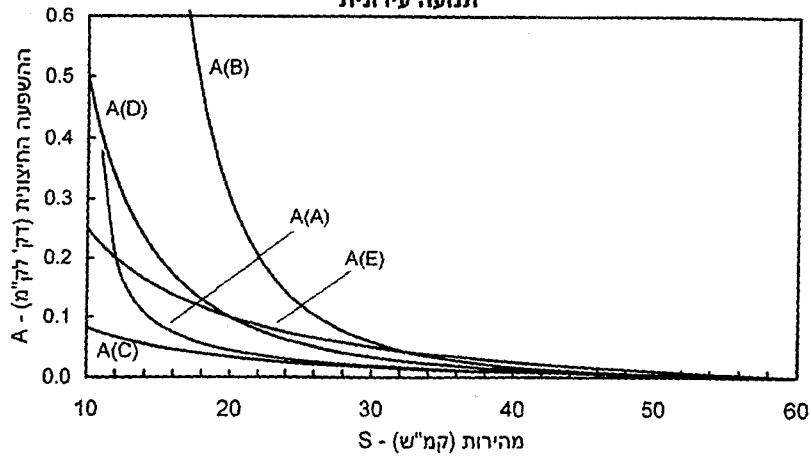
ציור ג-1ג. ההשפעה החיצונית (דקות לק"מ) - תנוצה עירונית



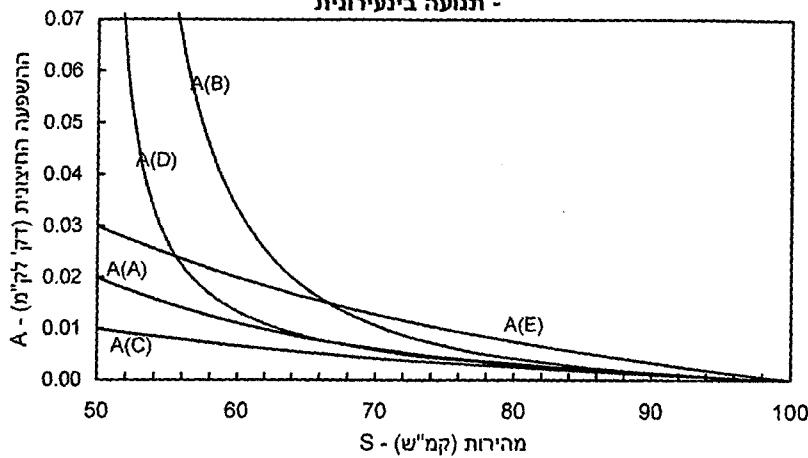
ציור ג-2ג. ההשפעה החיצונית (דקות לק"מ) - תנוצה ביןעירונית



ציור ג-1ד. ההשפעה החיצונית כפונקציה של המהירות -
תגובה עירונית



ציור ג-2ד. ההשפעה החיצונית כפונקציה של המהירות
- תגובה בין-עירונית



פונקציית זמן הנסעה הילינארית (פונקציה C) מהווה אמצע ושם לעליון להערכת משך זמן הנסעה, אך מביאה לamodelנים נזוכים של ההשפעה החיצונית. שתי הפונקציות A-E (פונקציית המהירות הילינארית ופונקציית זמן הנסעה המערכית) על אף ההבדלים ביניהם (במיוחד עבור הפרמטרים הביניירוניים), נותנות אומדן קרובים להשפעה החיצונית. אומדן אלה הם ערכי ביניים בין האומדן הגבוהים המתקבלים כאשר משתמשים בפונקציות B ו-D והאומדן הנזוכים של פונקציה C.

כדי לבדוק האם מסי התחבורה גבוהים או נזוכים מזקי הцеיפות להם גורמים כל הרכיב

$$\text{נזהינו האם } \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right)_{\text{m}} \text{ נនן להשווות את אומדן ההשפעה החיצונית במוני זמן עט היחט}$$

\hat{w}/m — המס יחסית לערך הזמן. לפי לוח 1 עבור רכב "ממוצע" ערך זה הוא 0.011 בתחבורה עירונית ו-0.010 בתחבורה ביןעירונית. המס החל על התוצאות השוטפות של רכב פרטני נזוק יחסית למס על רכב "ממוצע" (הכולל עבור סוג הרכב האחרים גם את מסי הרכישה). עבור רכב פרטני \hat{w}/m הוא 0.0054 בתנועה עירונית ו-0.0042-0.0042 בתנועה ביןעירונית. בלוח נ-3 מתוארים

$$\text{ערכי } \frac{\partial t}{\partial X} = x \text{ ו- } S \text{ שעוברים מתקיים השווין } x = \frac{\partial t}{\partial x} \text{ עבור פונקציות מהירות שונות.}$$

כאשר נצול הקיבולת גדול מערכיהם אלו, ומהירות נזוכה יותר, יהיו נזקי הцеיפות גבוהים מהמס. מהלות עולה שלמרות שקיים פיזור גדול בערכי x ה"קריטיים" בין פונקציות המהירות השונות, קיימת הסכמה (מעט מפתיעה) ביחס למחריות ה"קריטית". בתנועה עירונית, כאשר המהירות יורדת מתחת ל-35-45 קמ"ש, המס הממוצע על רכב נזוק מזקי הцеיפות להן גורם הרכב. בתנועה הביניירונית ערכי המהירות הקריטית הם בטוחות 50-70 קמ"ש. המס המוטל על רכב פרטני קטן מזקי הцеיפות כאשר מהירות התנועה העירונית יורדת מתחת למחריות של 50-45 קמ"ש, וחתנועה הביניירונית מתנהלת ב מהירות הנזוכה מ-70-80 קמ"ש.¹⁷

¹⁷ בכל המקרים נותנת פונקציית זמן הנסעה המערכית ($3 = \beta$) אומדן הגובה במידה משמעותית מאשר האומדן.

לוח נ-3. חישוב ערכי שיעור ניצול קבוע (x) ומהירות (a) שעבורם המס "مسפיק" — תנואה עירונית ובעירונית^a

(S* = 50, S _m = 100) תנואה בעירונית (a)				(S* = 10, S _m = 60) תנואה עירונית (a)				פונקציית המהירות $S = \alpha + \gamma[1 - x]^{\beta}$	
רכב פרטיה רכב ממוצע $m / \hat{w} = 0.0042$		רכב פרטיה רכב ממוצע $m / \hat{w} = 0.10$		רכב פרטיה רכב ממוצע $m / \hat{w} = 0.0054$		רכב פרטיה רכב ממוצע $m / \hat{w} = 0.011$			
S	x	S	x	S	x	S	x		
75.8	0.48	61.8	0.76	47.7	0.25	41.3	0.37	$\beta = 1$ (A)	
79.9	0.64	70.7	0.83	48.8	0.40	43.4	0.55	$\beta = 1/2$ (B)	
70.4	0.42	50.0	1.00	45.3	0.06	36.1	0.13	$t = \alpha - \gamma[1 - x]^{\beta}$ $\beta = 1$ (C)	
74.8	0.56	63.0	0.83	45.7	0.12	37.1	0.23	$\beta = 1/2$ (D)	
87.7	0.52	75.0	0.69	54.2	0.28	49.2	0.35	$t = \alpha + \gamma(x)^{\beta}$ $\beta = 3$ (E)	

^a המס מספיק כאשר $m = \hat{w}x(\partial t / \partial x)$

נספח 3. חישוב אגרות הכספיות האופטימליות

כאשר קיימים אמצעי הובלה אחד בלבד תחיה אגרת הכספיות האופטימלית, $A^* = V_x - v = X^* - v$, כאשר העליות מוחושבות בנקודת האופטימום. כאשר פועלים במערכת מספר אמצעי הובלה תחיה האגרה האופטימלית המומלצת על אמצעי :

$$A_i^* = V_{X_i} - v_i = \sum_{j=1}^n X_j^* \left(\frac{\partial v_j}{\partial X_i} \right),$$

כאשר זה הוא מספר אמצעי הנסיעה ו- X_j^* הוא מספר המשמשים באמצעי i באופטימום החברתי. ההשפעה החיצונית שיש לנouse באמצעי i תליה במקדמי התפוצה r_i (מספר הנוסעים) בכל רכב מסווג i ובשפעה שיש לרכב מסווג i על האטת התנועה. רכב כבד (אוטובוסים, משאיות) הוא בעל השפעה רבה יותר על האטת התנועה מאשר רכב קל (רכב פרטי, מסחרי או מוניות), ונוהג לשקף הבדל זה על ידי גורם הפרעה ρ_i . יהיה X_i מספר הנוסעים, אז מספר כל הרכב המתוקנים (יריעם) Y הוא

$$Y = \sum_{i=1}^n \left(\rho_i / r_i \right) X_i = \sum \hat{\rho}_i X_i$$

כאשר $\hat{\rho}_i$ הוא מקדם ההפרעה המתוקן (במספר הנוסעים). האגרה האופטימלית על אמצעי i היא

$$A_i^* = \hat{\rho}_i \sum_{j=1}^n X_j^* \left(\frac{\partial Y}{\partial X_j} \right) = \hat{\rho}_i A^*$$

כאשר A^* הוא הנזק שגורם כל רכב מתוקן בנקודת האופטימום (האגירה שיש להטיל על כל רכב מתוקן). נסעים באמצעי תחבורה שונים חייכים באגרות שונות בהתאם למקדמי ההפרעה המתוקנים שלהם.

חישוב A^* מותנה בחישוב פיצול התנועה האופטימלי (חישוב X_i^*), תלוי בבחירה לאמצעי i והעלות השולית החברתית V_{X_i} .

כדי לחשב את X_i^* נדרשות תוצאות ביקוש

$$X_i = X_i(\Pi_1, \dots, \Pi_n)$$

כאשר Π_i הוא המחיר למשתמש באמצעי i , וזה מושוואות המותארות את העלות השולית $V_{X_i} = v_i + \hat{\rho}_i A^*$.

בהתנחת מספר כל הרכב במצב התחלתי Y^0 ופיצול התנועה בין סוגי הרכב השונים

$$Y^0 = \sum_i X_i^0, \text{ חושבה העלות החברתית ממוצעת בנסיעה באמצעי } i$$

$$v_i = v_{0i} + (v_{lj} / S)$$

כאשר S המהירות v היא פונקציה של Y (בהתאם לפונקציית המהירות).

המבחן לשימוש הוא

$$\Pi_i = v_i + m_i$$

כאשר m_i הוא נטל המש מוטל על הנוסע.

בhinzen נמיישות הביקוש וgemäßישות המהירות הכלולות $[v_i]$, כאשר X_i^0 , ניתן לחשב את הפרמטרים של משוואות הביקוש.¹⁸ הפתרון האופטימלי מקיים $\Pi_i = V_{xi}$ וכורז בפתרון α משוואות לא-lienarיות.

הפתרון עבור משוואות ביקוש לינאריות ופונקציית מהירות $Y_{ii} - \beta_{ii} S_i$ מתואר

בגוף המאמר בלוחות 5 ו-6. לוח 5 מבוסס על פונקציית מהירות עירונית:

$$S_i = 60 - 50(Y / 1000)$$

$$\text{ולרכב כבד (אוטובוסים ומשאיות): } S_i = 50 - 45(Y / 1000)$$

לוח 6 מבוסס על פונקציית מהירות ביןעירונית (משותפת לכל אמצעי ה嚮holbah):

$$S_i = 100 - 50(Y / 2000)$$

קיובות כביש עירוני היה, לפי הנהלה – 1000, ושל כביש ביןעירוני – 2000 כלי רכב לשעה.

מטריצת הגמישויות היה:

רכב פרטי	מוניות	אוטובוסים	רכב מסחרי	משאיות
0	0	0.10	0.25	-0.50
0	0	0	-0.50	0.25
0	0	-0.50	0	0.10
0	-0.10	0	0	0
-0.05	0	0	0	0

¹⁸ חישוב נעשה בשתי אלטרנטיבות:

א. פונקציית ביקוש לינאריות:

$$X_i = \alpha_{i0} + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \Pi_j \quad i = 1, \dots, n$$

כאשר:

$$\alpha_{ij} = \eta_{ij} X_i^0 / \Pi_j^0 = \eta_{ij} \Psi_i Y^0 / \Pi_j^0$$

$$\alpha_{i0} = X_i^0 - \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \Pi_j^0 = \left(1 - \sum_{j=1}^n \eta_{ij} \right) \Psi_i Y^0.$$

ב. גמישות קבועה לכל אורך העוקמה:

$$X_i = A_{0i} \Pi_1^{\eta_{i1}} \Pi_2^{\eta_{i2}} \dots \Pi_n^{\eta_{in}}$$

כאשר

$$A_{0i} = \Psi_i Y^0 / \Pi_1^{\eta_{i1}} \Pi_2^{\eta_{i2}} \dots \Pi_n^{\eta_{in}}$$

כדי לבדוק את רגישות המסקנות להנחהינו חשובו האגרות האופטימליות ופיקול התנועה האופטימי בנסיבות שונות על מטריצת הגמישיות ועל צורת פונקציית הביקוש. לוחות נ-4 ו-נ-5

מתארים את תוצאות הסימולציה של התנועה העירונית כאשר:

א. כל הפרמטרים במטריצת הגמישיות מוכפלים ב-2.

ב. כל הפרמטרים במטריצת הגמישיות מוכפלים ב-¹⁹ 2.

כפי שניתן לצפות, השינויים (הירידה במספר כלי הרכב הפרטיים, הגידול במספר הנוסעים בתחבורה הציבורית, הירידה במספר הכלול של כלי הרכב והגידול במקומות) גדולים יותר ככל שהנוסעים רגשים יותר לשינוי מחיר. ככל שגדלה רגשות זו תידרש, על כן, אגרה נמוכה יותר כדי להביא לתוצאות הרצויות, אך המסקנות המתוארות בגוף הפרק אין משתנות.

בלוחות נ-6, נ-7, נ-8, נ-9 מתוארות תוצאות הסימולציה כאשר פונקציית המהירות היא מעירפית וכאשר פונקציית זמן הנסעה היא מעירפית. הפונקציות מיניות אותן מירבית (60 קמ"ש בתחבורה עירונית ו-100 קמ"ש בתחבורה בינעירונית) ואלה מירבית קרייטית * S (10 קמ"ש ו-50 קמ"ש בהתאם). בלוחות נ-6-נ-7 מתוארות התוצאות עבור התנועה העירונית, כאשר

²⁰ פונקציות המהירות העירוניות הן:

$$A. \text{ פונקציית המהירות } S = 10 + 50[1 - (Y/1,000)]^{1/2}$$

$$B. \text{ פונקציית הזמן } t = (1/60) + (5/60)(Y/1,000)^3$$

בלוח נ-8-נ-9 מתוארות התוצאות עבור התנועה הבינעירונית, כאשר פונקציות המהירות הן:

$$A. \text{ פונקציית המהירות } S = 50 + 50[1/2000]^{1/2} - [1/Y]$$

$$B. \text{ פונקציית הזמן } t = 0.01 + 0.01(2000)^3 / Y$$

תוצאות הסימולציה משקפות את תוכנות פונקציות המהירות (כפי שנתחו בסוף 2). פונקציית המהירות המירפית (לוח נ-6) פחות רגילה לשינויים בשעור ניצול הקיבולת מאשר הפונקציה הלינארית והפער בין המצב הקיים והאופטימום בתנועה העירונית קטן יותר (כאשר שיעור ניצול הקובלות עולה ל- 80-90 אחוז, נדרש רק רידיה של 30-25 אחוז בתנועה הרכב הפרט). באופטימום, נדרשת על כן אגרה נמוכה יותר (אך גם במקרה זה האגרה האופטימלית בתנאי עומס היא פי 5-7 מהמס הקיים). פונקציית הזמן המירפית (לוח נ-7) אמנים רגישה יותר מהפונקציה הלינארית לשינויים בעומס התנועה, אך תוצאות הסימולציה ביחס לתנועה העירונית דומות מאד לאלו המופיעות בגוף הפרק (אך ידרשו אגרות גבוהות יותר וירידה דלה יותר בכמות הרכב הפרט). גם בرمות עומס תנועה בינוני - כאשר שעור ניצול הקיבולת הוא חצי).

¹⁹ חושבה גם ההказאה כאשר גמישות המחיר הצולבת בין רכב פרטי ואוטובוס היא 0.25, אך השינוי היה מוערוי.

²⁰ גם פה אומצה ההנחה שבתחבורה העירונית המהירות המירבית של רכב כבד היא 50 קמ"ש ומהירותם הקרייטית היא 5 קמ"ש. בלוחות נ-6-נ-9 אומצה גם הנחה נוספת נוספת והיא שגמישיות הביקוש קבועה לכל אורך העקבות וראה הערת 1 בסופה ות'.

הסימולציות לגבי התנועה הבינעירונית דומות לאלו המתקבלות כאשר פונקציית המהירות לינארית. שוב ממחישה פונקציה זמן הנסעה המערכית (לוח נ-9) את רגשותה לעומס התנועה, ובאשר לשיעור ניצול הקבולת עולה ל-80 אחוז (1,600 כלי רכב) מספר kali הרכב הפרטיאו-אופטימי קפן מהקיים ב-25 אחוז והאגירה האופטימלית גוזלה כמעט פי 3 מזו המופיע בלוח 6 עבור פונקציית מהירות לינארית (פי 6 מהמס הנוכחי).

הרכב המסתורי מוחוו בחלוקת תחליף לרכיב פרטיא ובחילוקו תחליף למשאיות. הנחנו שכמחצית kali הרכב המסתוריים נהגים כרכב פרטיא וממחצית המשאיות. מצום מספר אמצעי ההובלה מחמישה לארבעה לא שינוי את מסקנותינו במידה משמעותית.

ЛОЧ 4. АГРОТ ЦПИФОТ וּהΚצאה אופטימלית בתנועה הירונית בתנאי ביקוש גמישא

תנאי צפיפות	מספר כלי רכב (יריעם לשעה)										תנאי צפיפות קללה בינוניות כבדה (א) כבדה (ב)	
	אגורה – מס (ש"ח לק"מ)		מחיר (ש"ח לק"מ)		מהירות (קמ"ש)		מספר נוסעים (לשעה)		סה"כ פרטי			
	רכבי פרטי	רכבי אוטובוסים	רכבי פרטי	רכבי אוטובוסים	רכבי פרטי	רכבי אוטובוסים	רכבי פרטי	רכבי אוטובוסים	סה"כ פרטيء	סה"כ פרטי		
雅黑	0.013	0.075	0.22	0.30	41	50	171	170	406	200	מצב התחלתי	
אופטימום	0.004	0.060	0.21	0.28	41	50	176	172	415	204		
יחס	0.31	0.80	0.96	0.95	1.00	1.00	1.03	1.01	1.02	1.02		
בינוניות	0.013	0.075	0.29	0.35	28	35	428	426	1015	500	מצב התחלתי	
אופטימום	0.015	0.218	0.26	0.47	32	40	502	267	940	390		
יחס	1.15	2.91	0.89	1.34	1.18	1.16	1.17	0.63	0.93	0.78		
כבדה (א)	0.013	0.075	0.49	0.48	14	20	684	682	1623	800	מצב התחלתי	
אופטימום	0.032	0.468	0.30	0.74	28	36	1023	210	1521	480		
יחס	2.46	6.24	0.61	1.52	2.03	1.80	1.50	0.31	0.94	0.60		
כבדה (ב)	0.013	0.075	0.69	0.59	10	15	770	767	1826	900	מצב התחלתי	
אופטימום	0.041	0.610	0.32	0.89	27	34	1259	190	1779	515		
יחס	3.15	8.13	0.47	1.51	2.82	2.28	1.64	0.25	0.97	0.57		

^a גמישיות הביקוש כפולות מלא בלו 5.

ЛОЧ Н-5. АГРОУЧЕСТВО И КАЧЕСТВО ОПТИМИЗАЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ УГЛЯ В УСЛОВИЯХ БИКОША КШИИ^а

Технология	Масса топлива (кг/т)										Технические характеристики	
	Масса топлива (кг/т)		Масса топлива (кг/т)		Масса топлива (кг/т)		Масса топлива (кг/т)		Масса топлива (кг/т)			
	Безопасность	Качество										
Комплексная оценка												
Безопасность	0.013	0.075	0.22	0.30	41	50	171	170	406	200	Минимальный	
Качество	0.004	0.058	0.21	0.28	41	50	172	171	408	201	Максимальный	
Износ	0.31	0.78	0.96	0.94	1.00	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	Средний	
Безопасность												
Безопасность	0.013	0.075	0.29	0.35	28	35	428	426	1015	500	Минимальный	
Качество	0.018	0.266	0.28	0.53	29	37	441	374	978	462	Максимальный	
Износ	1.38	3.55	0.97	1.52	1.06	1.06	1.03	0.88	0.96	0.92	Средний	
Качество												
Безопасность	0.013	0.075	0.49	0.48	14	20	684	682	1623	800	Минимальный	
Качество	0.052	0.773	0.39	1.09	21	28	761	469	1494	646	Максимальный	
Износ	4.00	10.31	0.80	2.26	1.50	1.39	1.11	0.69	0.92	0.81	Средний	
Износ												
Безопасность	0.013	0.075	0.69	0.59	10	15	770	767	1826	900	Минимальный	
Качество	0.073	1.082	0.45	1.43	19	25	891	485	1675	697	Максимальный	
Износ	5.62	14.43	0.65	2.42	1.96	1.68	1.16	0.63	0.92	0.78	Средний	

^а Геометрические параметры биоксера не включены в таблицу.

לוח נ-6. אגרות צפיפות והקצאה אופטימליות בתנועה העירונית — פונקציה מהירות מעריכית, $S = 10 + 50[1 - (Y/1000)]^{1/2}$

תנאי צפיפות	ס.ה"כ	רכב	מספר כלי רכב	מספר נוסעים (לשעה)								אגירה – מס (ש"ח לק"מ)	מחיר (ש"ח לק"מ)		
				מכב התחלתי		מכב אוטובוסים		מכב אוטובוסים+		מכב אוטובוסים+					
				פרטי	רכב	פרטי	רכב	פרטי	רכב	פרטי	רכב				
כללה															
מכב התחלתי	0.013	0.075	0.20	0.29	45	55	171	170	406	209					
מכב אוטובוסים	0.002	0.028	0.19	0.24	45	54	172	181	419	209					
מכב אוטובוסים+	0.15	0.37	0.95	0.84	1.00	1.00	1.01	1.06	1.03	1.05					
בינוניות															
מכב התחלתי	0.013	0.075	0.23	0.31	37	45	428	426	1015	500					
מכב אוטובוסים	0.008	0.119	0.23	0.35	37	46	440	397	1002	481					
מכב אוטובוסים+	0.62	1.59	0.97	1.14	1.02	1.02	1.03	0.93	0.99	0.96					
כבדה (א)															
מכב התחלתי	0.013	0.075	0.31	0.37	25	32	684	682	1623	800					
מכב אוטובוסים	0.024	0.361	0.28	0.62	30	38	755	525	1545	689					
מכב אוטובוסים+	1.85	4.81	0.91	1.71	1.20	1.17	1.10	0.77	0.95	0.86					
כבדה (ב)															
מכב התחלתי	0.013	0.075	0.38	0.41	19	26	770	767	1826	900					
מכב אוטובוסים	0.036	0.529	0.31	0.80	28	35	911	546	1756	744					
מכב אוטובוסים+	2.77	7.05	0.81	1.94	1.44	1.37	1.18	0.71	0.96	0.83					

$$S = 5 + 45[1 - (Y/1000)]^{1/2}$$

§

לוח נ-7 . אגרות צפיפות והקאה אופטימלית בתנועה העירונית — פונקציה זמן נסיעה מעריכית,³ $t = (1/60) + (5/60)[1 - (Y/1000)]^3$

תנאי צפיפות	מספר כלי רכב (יר"ם לשנה)										מצב התחלתי אופטימום	
	מספר נוסעים (לשנה)					סה"כ						
	מחיר (ש"ח לק"מ)		אגירה — מס (ש"ח לק"מ)			מחיר (ש"ח לק"מ)		רכב אוטו-				
	רכב פרט i	רכב בוסים j	רכב פרט i	רכב בוסים j	רכב פרט i	רכב פרט i	רכב בוסים j	רכב פרט i	רכב בוסים j	רכב סה"כ		
קלה												
מצב התחלתי	0.013	0.075	0.20	0.28	47	58	171	170	406	200		
אופטימום	0.008	0.114	0.19	0.32	47	58	175	158	401	192		
יחס	0.61	1.52	0.97	1.14	1.01	1.00	1.03	0.93	0.99	0.96		
בינוני												
מצב התחלתי	0.013	0.075	0.32	0.34	24	37	428	426	1015	500		
אופטימום	0.051	0.760	0.29	0.99	33	47	503	267	931	383		
יחס	3.92	10.13	0.90	2.91	1.41	1.27	1.18	0.63	0.92	0.77		
כבד (א)												
מצב התחלתי	0.013	0.075	0.73	0.54	9	17	684	682	1623	800		
אופטימום	0.140	2.078	0.50	2.37	20	32	957	346	1561	556		
יחס	10.77	27.71	0.69	4.36	2.20	1.92	1.40	0.51	0.96	0.70		
כבד (ב)												
מצב התחלתי	0.013	0.075	0.95	0.66	7	13	770	767	1826	900		
אופטימום	0.186	2.746	0.61	3.07	16	28	1125	373	1789	615		
יחס	14.31	36.61	0.64	4.67	2.45	2.15	1.46	0.49	0.98	0.68		

³ עבור אוטובוסים הפונקציה היא $t = (1/50) + (9/50)[1 - (Y/1000)]^3$

$$S = 50 + 50[1 - (Y/2000)]^{1/2}$$

תנאי צפיפות	מספר כלי רכב (יריעם לשעה)										קללה מצב הthermalti אופטימום יחס	
	אגירה – מס (ש"ח לק"מ)		מחיר (ש"ח לק"מ)		מהירות (קמ"ש)		מספר נוסעים (לשעה)		סה"כ			
	רכב פרטי	רכב בוסים	רכב פרטי	רכב בוסים	רכב פרטי	רכב בוסים	רכב פרטי	רכב בוסים	פרט	יריעם לשעה)		
בינויות												
0.021	0.046	0.19	0.18	95	95	320	449	1006	400	מצב הthermalti		
0.001	0.007	0.17	0.14	94	94	330	483	1060	423	אופטימום		
0.05	0.15	0.90	0.79	1.00	1.00	1.03	1.08	1.05	1.06	יחס		
כבדה												
0.021	0.046	0.19	0.19	85	85	800	1123	2516	1000	מצב הthermalti		
0.004	0.026	0.18	0.17	85	85	827	1145	2587	1024	אופטימום		
0.19	0.57	0.92	0.90	1.00	1.00	1.03	1.02	1.03	1.02	יחס		
0.021	0.046	0.21	0.20	72	72	1280	1797	4026	1600	מצב הthermalti		
0.013	0.079	0.20	0.23	74	74	1331	1653	3967	1545	אופטימום		
0.62	1.72	0.95	1.16	1.02	1.02	1.04	0.92	0.99	0.97	יחס		

לוח נ-9 . אגרות צפיפות והקצאה אופטימלית בתנועה הביניירונית – פונקציית זמן נסיעה מערכית³ [ז/ז/2000] $t = 0.01 + 0.01[1 - e^{-t}]$

	תנאי צפיפות	רכב (יר"ם לשעה)	מספר נוסעים (לשעה)										מחיר כלי רכב (יר"ם לשעה)
			ס"ה	פרטי	bosim	רכבי-	bosim	פרטי	bosim	רכבי-	bosim	פרטי	bosim
קלה													
מצב התחלתי	0.021	0.046	0.18	0.18	99	99	320	449	1006	400			
אופטימום	0.002	0.010	0.16	0.14	99	99	331	480	1057	421			
יחס	0.10	0.22	0.90	0.80	1.00	1.00	1.03	1.07	1.05	1.05			
בינוגרא													
מצב התחלתי	0.021	0.046	0.19	0.19	89	89	800	1123	2516	1000			
אופטימום	0.016	0.100	0.19	0.24	90	90	834	991	2440	944			
יחס	0.76	2.17	0.97	1.29	1.01	1.01	1.04	0.88	0.97	0.94			
בגדה													
מצב התחלתי	0.021	0.046	0.22	0.21	66	66	1280	1797	4026	1600			
אופטימום	0.044	0.278	0.23	0.43	76	76	1339	1317	3636	1367			
יחס	2.10	6.04	1.05	2.05	1.15	1.15	1.05	0.73	0.90	0.85			

ביבליוגרפיה

- ארד ב', ד' פינס ושי קוברינסקי (1977). "מיסויי הרכב במרכז עירוני," *רביעון לכלכלה*, כרך 24, מס' 94 (ספטמבר) : 221-213.
- גורונאו ראובן, צבי וייס (1982), "אגרות צפיפות ומיסוי הרכב בישראל," *סקר בנק ישראל*, 55 (אוקטובר) : 40-3.
- (1997). "התערבותות ותחרות בשוק התחבורה המוטורית. I. ענף התחבורה המוטורית — סיפור של של שוק," ירושלים: המכון למחקר כלכלי בישראל ע"ש מורייס פאלק, מאמר לדיוון מס' 97.03.
- (1997). "התערבותות ותחרות בשוק התחבורה המוטורית. III. טיבודו של תחבורה הציבורית וההטערבות בשוק המוניות," ירושלים: המכון למחקר כלכלי בישראל ע"ש מורייס פאלק, מאמר לדיוון מס' 97.03iii (בחכנה).
- המכון הישראלי לתכנון ומחקר תחבורה (1988). אומדן ערך הזמן בסיטואות בעניין עבודה (ספטמבר).
- (1994). "בסיס נתונים ממוחשב לצורכי תכנון תחבורה, עדכון רשותות ומטריצות לשנת 1993," דוח בינויים מס' 1, דוח מס' 181 (יוני).
- לשכה מרכזית לסטטיסטיקה (למ"ס). (1992, 1993, 1994). *נתוני סטטיסטי לישראל*. ירושלים.
- (1988). סקר הרגלי נסיעה 1984. ירושלים: פרסום מיוחד מס' 811.
- (1993). סקר משאיות 1990. ירושלים: פרסום מיוחד מס' 924.
- (1995). *დפוסי השימוש בזמן בישראל: סקר תיקצוב זמן 1991/92*. ירושלים: פרסום מיוחד מס' 996 (יוני).
- מינימל הכנסות המדינה, דוח שנתי 1994.
- מת"ת (1994). ניתוח תנועה והערכתה כלכלית. חמ"כ בביש חוצה ישראל (ספטמבר) (פורסם גם בתנועה ותחבורה, 41, יולי 1995).

- Boardman, Anthony E., and Lester B. Lave (1977). "Highway Congestion and Congestion Tolls," *Journal of Urban Economics*, 4: 340-359.
- Coleman, Robert R. (1961). "A Study of Urban Travel Time in Pennsylvania Cities," *Highway Research Board Bulletin*, 303: 62-75.
- Deweese, Donald N. (1978). "Simulations of Traffic Congestion in Toronto," *Transportation Research*, 12: 153-165.
- Harel, R. (1974). "Road User Charges Policy, the Case of Israel." Unpublished Ph.D. dissertation, Harvard University.

- Keeler, Theodore E., and Kenneth A. Small (1977). "Optimal Peak-Load Pricing, Investment, and Service Levels on Urban Expressways," *Journal of Political Economy*, 85: 1–25.
- Payne, Harold J. (1984). "Discontinuity in Equilibrium Freeway Traffic Flow," *Transportation Research Record*, 971: 140–146.
- Smeed, R. J. (1968). "Traffic Studies and Urban Congestion," *Journal of Transportation Economics and Policy*, 2: 33–70.
- Small, Kenneth A. (1992). *Urban Transportation Economics*. Harwood Academic Publishers, Chur.
- Watlers, Allen A. (1961), "The Theory and Measurement of Private and Social Cost of Highway Congestion," *Econometrica*, 29: 676–699.

סדרת מאמרים מחקר

- יעקב מצר, "צמיחה ומבנה המשק הערבי בארץ-ישראל - מבט היסטורי", *רבון לכלכלה*, 137 (מרץ 1988): 129-145.
200. Ephraim Kleiman, "Benefits and Burdens of Indexed Debt: Some Lessons from Israel's Experience," in Kenneth J. Arrow and Michael J. Boskin (eds.), *The Economics of Public Debt*. London: The Macmillan Press, 1988, pp. 264-291.
201. Michael Keren and David Levhari, "Decentralization, Aggregation, Control Loss and Costs in a Hierarchical Model of the Firm," *Journal of Economic Behavior and Organization*, 11 (1989): 213-236.
202. Haim Barkai, "The Notion of Economic Democracy: Its Relevance to and Impact on the Socialist Endeavor in Palestine and Israel," combined reprint of two articles: (a) "Economic Democracy and the Origins of the Israeli Labor Economy," *The Jerusalem Quarterly*, 49 (Winter 1989): 17-39; (b) "Fifty Years of Labor Economy: Growth, Performance, and the Present Challenge," *The Jerusalem Quarterly*, 50 (Spring 1989): 81-109.
203. חיים ברקאי, "שוק הנפט - רוב מהומה על לא מאומה", *רבון לכלכלה*, 146 (נובמבר 1990): 241-263.
204. Jacob Metzer, "What Kind of Growth? A Comparative Look at the Arab Economies in Mandatory Palestine and in the Administered Territories," *Economic Development and Cultural Change*, 40 (No. 4, July 1992): 843-65.
205. Don Patinkin, "Israel's Stabilization Program of 1985, Or Some Simple Truths of Monetary Theory," *Journal of Economic Perspectives*, 7 (No. 2, Spring 1993): 103-28.
206. Nachum T. Gross and Jacob Metzer, "Palestine in World War II: Some Economic Aspects," in *The Sinews of War: Essays on the Economic History of World War II*, edited by Geofrey T. Mills and Hugh Rockoff. Ames: Iowa State University Press, pp. 59-82.
207. Nachum T. Gross, "The Economic Regime During Israel's First Decade," in *Israel: The First Decade of Independence*, edited by S. Ilan Troen and Noah Lucas. New York: State University of New York Press, 1995.

סדרת מאמרים לדין

- A96.04 Shmuel Amir, *Unemployment in Israel, 1964–1989: An Analysis Based on the Beveridge-Curve Model*
- 96.05 איתן הוכמן, איל בריל וגל הוכמן, הפרטה ובקרה של משק מים אזורי
- 96.06 Saul Lach and Daniel Tsiddon, *I. Staggering and Synchronization in Price-Setting: Evidence from Multiproduct Firms; II. Small Price Changes and Menu Costs*
- 96.07 Reuben Gronau, *Who Needs Cabs Anyway? Optimum Diversity in the Public Transport Market*
- A96.08 Nachum T. Gross, *Herzl's Economic Conception*
- 96.09 Judith Hellerstein and David Neumark, *Wages and Productivity Differences Within and Between Plants: Evidence from Israeli Panel Data*
- 96.10 Eugene Kandel and Ben-Zion Zilberfarb, *Differential Interpretation of Information in Inflation Forecasts*
- 96.11 יורם גבאי ואבי לבון, אוניברסליות וסלקטיביות בתשלומי העברה בישראל
- 96.12 Michael Beenstock and Ruth Klinov, *Why Did the Probability of Exiting Unemployment Decline? Israel, 1969–1992*
- ראובן גרונאו וחימס רגב, הביקוש לעובדים וסבב משרות בתעשייה הישראלית: 1994–1970
- 97.02 שלמה יצחקי, מודל המס של מכון פאלק
- 97.03i ראובן גרונאו, התערבות ותחרות בשוק התחרורה המוטורית: I. ענף התחרורה המוטורית — סיפור של כשל שוק
- 97.03ii ראובן גרונאו, התערבות ותחרות בשוק התחרורה המוטורית: II. עלות הציפויות
- A97.04 Nachum T. Gross, *Herbert Samuel's Advisory Committee of 1919*
- 97.05 Eli Berman and Ruth Klinov, *Human Capital Investment and Non-participation: Evidence from a Sample with Infinite Horizons (or: Jewish Father Stops Going to Work)*
- 97.06 Haim Regev, *Innovation, Skilled Labor, Technology and Performance in Israeli Industrial Firms, 1982–1993*
- 97.07 (Jointly with the National Insurance Institute) Lea Achdut, Yasser Awad, Yakov Shaul, and Jacques Silber, *Marginal Tax Rates and the Measurement of the Tax Progressivity of Israel's National Insurance Tax System*