

אגרות צפיפות ומסי הרכב בישראל

ראובן גרונאו וצבי וייס*

1. מבוא ועיקר הממצאים

מסי הרכב ומדיניות הממשלה בנושא השימוש ברכב פרטי ומסחרי עומדים במרכזו של דיון ציבורי זה שלוש שנה, ואין תימה בדבר, בהתחשב בגידולה המהיר של מצבת הרכב (בעיקר הרכב הפרטי), במסים הכבדים המוטלים על הרכב הפרטי (מסי רכישה ומסי שימוש) ובמשקלם של מסים אלו בכלל המסים. הצדקה למסים אלה נמצאה בטענה שהם משמשים מכשיר לשיפור במאזן התשלומים, בחלוקת ההכנסה ובפריסה האורבנית, וכן לספיגת כספים מהציבור. ספק אם המסים השיגו את היעדים שעמדו לעיני מתכניהם, אך בכך לא נעסוק במסגרת זו¹. במחקר זה קבענו מסגרת לתשובה על שאלה אחת: באיזו מדה עשויים המסים הקיימים לפתור את אחת הבעיות החמורות בתחום התחבורה המוטורית – בעיית הצפיפות בדרכים².

הצפיפות בדרכים גברה, כתוצאה מהעלייה המהירה ברמת המינוע (מספר כלי הרכב הפרטיים לאלף תושבים) בצד הפיגור בהרחבת התשתית. מחמת הצפיפות ירדה רמת השירות של המערכת המוטורית, ואחד המדדים העיקריים לכך הוא הירידה במהירות הנסיעה.

בתנאי צפיפות נוצר פער בין העלויות לפרט לבין העלויות למשק, ואחת הדרכים לגשר על הפער הזה היא הטלת מסים. הפער בין העלויות לפרט לבין העלויות לחברה בתפעול הרכב המוטורי מקורו בפיצול הבעלות על הגורמים השונים המשתתפים בתהליך ייצור הנסיעות. בתהליך זה שותפים שלושה גורמים: הנהיג, הרכב והנוסעים. כאשר מדובר ברכב פרטי – יש הפרדה בין הבעלות על הנהיג לבעלות על שני הגורמים האחרים, וכאשר מדובר ברכב ציבורי – מתחלקת הבעלות בין שלושת הגורמים. פיצול זה מביא לפיצול בתהליך קבלת ההחלטות בעניין השימוש ברכב – היקפו ואופיו. כך נוצרים פערים בין העלויות למשתמש הבודד לבין העלויות לחברה, המביאה בחשבון את המערכת כולה. פערים אלו קיימים הן לגבי ההשקעה בתשתית והן לגבי תפעול כלי הרכב.

* ראובן גרונאו הוא פרופסור במחלקה לכלכלה של האוניברסיטה העברית בירושלים. צבי וייס הוא כלכלן בכיר במחלקת המחקר של בנק ישראל.

עבודה זו, במתכונת מורחבת, תופיע כפרסום מיוחד מטעם מחלקת המחקר של בנק ישראל (גרונאו וייס 1982).
1 הטענות, המסבירות את הצורך במסוי הרכב הפרטי ובהגבלות אחרות על רכישתו ועל השימוש בו, פורטו בהרחבה במאמרו של ברוצקוס (1974). במדת ההצלחה של המדיניות דנו חסון (1965), הראל (1974) וגרונאו (1975).

2 הראל (1974) ניסה להתמודד עם שאלה זו במסגרת עבודת הדוקטוראט שלו. כיוון שעבודתו לא איפשרה עדכון שוטף, היה צורך בבנייה שיטתית של בסיס נתונים, שיאפשר עדכון בעתיד. מעבר ליצירת הבסיס ולעדכון מנסה מחקר זה לתת תשובות מפורטות מחשבותיו של הראל בשני תחומים – בהבחנה בין סוגי הרכב ובכדיקת ההקצאה בין רכב פרטי לציבורי.

הפער בין עלויות התפעול המשתנות מנקודת ראות הפרט לעלויות אלה מנקודת ראות החברה מתמקד בשלושה תחומים: בהערכת הוצאות ההחזקה המשתנות של הכבישים, בהערכת נזקי התאונות ובהערכת ההוצאות שמקורן בצפיפות. מאחר שבשני הגורמים הראשונים דן אחד המחקרים במקומות אחרים, נעסוק הפעם רק באספקט השלישי – גורם הצפיפות. התגברות צפיפות התנועה מעבר לנקודה מסוימת מביאה להאטת הנסיעה וכתוצאה ממנה – לגידולן של הוצאות תפעול הרכב ושל עלויות הזמן של הנהג ושל הנוסעים.

הפרט הנוסע (או נהג הרכב הפרטי) מתעלם מתרומתו לצפיפות; בשיקוליו אין הוא מביא בחשבון לא את השפעת נסיעתו על מהירות הנסיעה של נוסעים אחרים במערכת ולא את ההוצאות הכרוכות בהאטתה. אחת ממטרות המסים (או הסובסידיות) היא לגשר על פער זה שבין הוצאות הפרט להוצאות הכלל, ולהשוות את המחיר לצרכן למחיר לחברה. מחקרנו בודק, באיזו מדה עשויה המערכת הקיימת של מסי הרכב והסובסידיות לפתור את בעיית הצפיפות בדרכי הארץ.

פרק 2 מתאר את התפתחות התעבורה המוטורית בישראל בעשרים השנים האחרונות (את השינויים במצבת הרכב, בקילומטראז' ובהיצע התשתית) ואת מערכת המסים והסובסידיות, שהפעילה הממשלה כדי לווסת את גידול הביקוש. פרק 3 עוסק באופן פורמלי בבעיית הצפיפות ובקריטריונים לקביעת אגרת שימוש אופטימלית. הפרק פותח במקרה הפשוט, שבו פועל במערכת רק סוג רכב אחד, ומרחיב את המודל למקרה, שבו פועלים סוגי רכב שונים. לבסוף אנו בודקים, כיצד מגבלות על גובה האגרה המוטלת על סוג רכב אחד (למשל, הרכב הפרטי) משפיעות על האגרה שיש להטיל על כלי הרכב האחרים (או על הסובסידיה).

יישומו של המודל בפרק 4 מלמד, שיש להבחין בין השלכות הצפיפות בכבישים עירוניים להשלכותיה בכבישים בינעירוניים. ההבדל מתגלה כבר בבדיקה ראשונה, הנסבה על מיצרך כלי הרכב: בכבישים בינעירוניים הספיקו המסים שהיו קיימים ב-1973/74 כדי לגשר על הפער שבין העלויות לפרט לבין העלויות לחברה; לעומת זאת בכבישים עירוניים עלתה האגרה האופטימלית על המס הקיים במדה ניכרת.

בדיקה מורכבת יותר, המבחינה בין תרומותיהם של כלי הרכב השונים (בעיקר רכב פרטי לעומת אוטובוס) לצפיפות, מלמדת שאין מקום להעלאת מסים על הרכב הפרטי, ואין הצדקה לסובסידיות לתחבורה הציבורית – כאשר מדובר בתנועה הבינעירונית. מאידך גיסא, לא ניתן להתמודד עם בעיית הצפיפות בערים באמצעות מסים וסובסידיות, אלא תוך העלאה ניכרת בשיעורי המסים על רכב פרטי בשטח עירוני. העלאה כזאת תביא לתחלופה בין רכב פרטי לאוטובוסים ולהחשה ניכרת של התנועה בערים, בלי להוריד את מספרם הכולל של הנוסעים במדה משמעותית. הבדיקה מראה, שסובסידיה לאוטובוסים העירוניים אינה יכולה לשמש תחליף למסוי כזה.

כיוון שלא ניתן להפריד את המסים על רכב בערים מן המסים על רכב בכבישים הבינעירוניים, הרי הטלת מסים בשיעורים המתחייבים בתחבורה העירונית תגרום עיוותים חמורים בהקצאת המקורות בנסיעות בינעירוניות. מכאן שבאמצעי מדיניות יחיד (למשל מסי הדלק) אין כדי להביא להקצאה אופטימלית בשני המגזרים, ויש לתגבר אותו באמצעים מפלים. הסובסידיה לתחבורה הציבורית היא אמצעי מפלה,

אך כאמור יעילותה מוגבלת. יש לבדוק אפוא את יעילותם של צעדים נוספים כגון אגרות חנייה ואמצעים מינהליים (נתיבים נפרדים לרכב ציבורי, איסורי חנייה ברחוב, איסורי כניסה למרכזי הערים וכו'), ואת זאת לא עשינו במסגרת מחקר זה.

2. ההתפתחויות בתחבורה המוטורית; מערכת המסים והסובסידיות

אחת מתופעות הלוואי של הצמיחה הכלכלית בישראל בעשרים השנים האחרונות היא העלייה ברמת המינוע. בתקופה שמ־1961 עד 1978 עלתה רמת המינוע מ־13 ל־87 כלי רכב פרטיים (ל־1,000 נפש). מספר כלי הרכב גדל פי 6, ומספר כלי הרכב הפרטיים — פי 11. ההתרחבות במצבת הרכב, שנכלמה בשנות ה־50 באמצעות תקנות אדמיניסטרטיביות, הואצה בשנות ה־60 הראשונות, עם ביטול ההגבלות הכמותיות על יכוא הרכב; בשנים 1961 עד 1965 התרחבה מצבת הרכב הפרטי כ־20 אחוזים ומעלה לשנה, וקצב גידולה נשאר מהיר (14 אחוזים לשנה) עד מלחמת יום הכיפורים. רק ההאטה בפעילות הכלכלית ובעלייה אחרי מלחמת יום הכיפורים, ואולי גם הרפורמה בתקנות מס ההכנסה, האטו את קצב התרחבותה של מצבת הרכב, והוא ירד ל־5 אחוזים לשנה.

קצב ההתרחבות של מצבת הרכב הפרטי עלה במדה ניכרת על זה של מצבת הרכב הציבורי. (מספר האוטובוסים עלה בכ־6 אחוזים לשנה, ומספר המוניות — רק כ־4 אחוזים לשנה.) רק במצבת הרכב המסחרי, המשמש לעתים תחליף קרוב לרכב הפרטי, היו שיעורי התרחבות קרובים לאלה של מצבת הרכב הפרטי (11 אחוזים לשנה).

לוח 1

שיעור הגידול השנתי של מצבת כלי הרכב בישראל, לפי סוג הרכב, 1961 עד 1978 (אחוזים)

התקופה	סך הכול	מכוניות פרטיות	מסחריות ¹	מוניות	אוטובוסים	משאיות	אופנועים וקטנועים
1978 — 1961	11.0	15.3	11.5	4.4	5.9	2.8	1.0
1965 — 1961	20.8	28.6	21.1	1.3	7.8	5.7	17.7
1974 — 1965	10.1	14.3	11.4	5.8	6.3	3.7	— 2.7
1978 — 1974	3.8	5.4	2.9	4.5	3.4	— 2.0	— 5.7

(1) מסחריות הן מכוניות משא בעלות מטען מורשה כן 2.4 טון ומטה. ומשאיות הן מכוניות משא בעלות מטען מורשה כן 2.4 טון ומעלה. המקור: גרנאו ורס (1982).

עד 1973 היתה התרחבות מצבת הרכב מלווה בעליית הקילומטראז' הממוצע של כלי הרכב השונים (במיוחד של האוטובוסים, המוניות, כלי הרכב המסחריים והמשאיות), וכתוצאה מכך היה קצב גידולו של הקילומטראז' הארצי מהיר מקצב התרחבותה של מצבת הרכב. (סך כל הקילומטראז' עלה בתקופה 1963 עד 1972 כ־15 אחוזים לשנה, וקילומטראז' הרכב הפרטי — כ־19 אחוזים לשנה.) אחרי 1975 הביאו עליית מחירי הדלק והאטת הצמיחה לירידה

בקילומטראז' הממוצע של כלי הרכב הפרטיים והאוטובוסים. (בתקופה שמ־1972 עד 1978 ירד הקילומטראז' הממוצע של כלי רכב אלה כ־20 אחוזים). מגמה זו, ועמה ההאטה בגידול מצבת הרכב, האטו את קצב גידולו של הקילומטראז' הארצי, והוא הגיע ל־5 אחוזים לשנה⁴.

לוח 2

שיעור הגידול השנתי של ק"מ־הרכב לפי סוגי הרכב ואזור הנסיעה, 1961 עד 1978
(אחוזים)

התקופה	סך הכול	בכביש עירוני	בכביש בינעירוני	מכוניות פרטיות	מוניות	אוטובוסים ומשאיות	מסחריות
1978 — 1961	11.9	12.1	9.6	14.0	5.8	6.0	11.6
1972 — 1961	16.0	17.3	12.8	18.9	5.7	9.3	15.2
1978 — 1972	4.8	4.8	4.8	5.5	5.9	0.4	5.2

המקור: גרנאו וויס (1982).

אף־על־פי שרמת המינוע בישראל אינה גבוהה יחסית⁵, גברה הצפיפות מאוד, שכן פיתוחה של מערכת התשתית לא הדביק את הגידול המהיר בביקוש. הכבישים נתארכו בתקופה שמ־1961 עד 1978 רק בקצב של 3.5 אחוזים לשנה, וגם אם יובא בחשבון הגידול המתמיד ברוחב המסעה, הרי שטח הכבישים לא גדל ביותר מ־5 אחוזים לשנה בממוצע.

לוח 3

אינדיקטורים לצפיפות התנועה בכבישים, 1963 עד 1978
(אחוזים)

התקופה	סך הכול	בכביש עירוני	בכביש בינעירוני	ק"מ־רכב לשטח כביש		
				סך הכול	בכביש עירוני	בכביש בינעירוני
1978 — 1963	7.0	6.9	8.5	5.7	5.7	6.7
1972 — 1963	10.2	10.4	11.6	8.4	8.7	9.6
1978 — 1972	2.5	1.9	4.0	1.7	1.3	2.5

המקור: גרנאו וויס (1982).

4 גורמים נוספים, העשויים להסביר את הירידה בקילומטראז' של כלי הרכב הפרטיים, הם תוספת כלי רכב שבעליהם ממעטים לנסוע בהם (לדוגמה, במקרה של שני כלי רכב למשפחה) והרפורמה במס הכנסה, לפיה מוטל על הוצאות הרכב מס מלא.

5 כ־1977 היתה רמת המינוע בספרד 178, בבריטניה — 262, ובגרמניה — 346. יש לציין, שנתוני רמת המינוע בישראל מוטלים כלפי מטה, בגלל המספר הגדול יחסית של כלי רכב מסחריים, המשמשים תחליף לרכב פרטי.

הצפיפות לא גברה במדה אחידה בכל חלקי המערכת: התרחבות היקף התנועה בכבישים עירוניים היתה מהירה יותר מאשר בכבישים בינעירוניים, והשפעת הצפיפות היתה חמורה יותר במגזר העירוני⁶.

התגברות הצפיפות ותוצאותיה — האטת מהירות הנסיעה (בעיקר בערים הגדולות) והפגיעה באיכות הסביבה — הטרידו את הרשויות המופקדות על הנושא (הממשלה, רשויות מקומיות ועוד), והן התמודדו עם הבעיה באמצעים שונים — כמישור המקומי (איסור חנייה, רימזור ושילוט, קביעת רחובות חד-סטריים, איסור תנועה לכלי רכב פרטיים ועוד) וכמישור הארצי. מערכת המסים והסובסידיות בתחבורה היא אחד המכשירים העיקריים שבעזרתם מנסים לפתור את בעיית הצפיפות.

מסי הרכב מהווים 9 עד 13 אחוזים מכלל המסים והאגרות בישראל וכ-3 עד 4 אחוזים מכלל התוצר הלאומי הגולמי. במסים אלה שלושה רכיבים עיקריים: (א) מסי רכישה — מכס (והיטלים שונים), מס קנייה-ומס ערך מוסף. (ב) מסים תקופתיים — אגרת רשיון רכב, מס רכוש, אגרת רשיון נהיגה ומסים על ביטוח. (ג) מסים שוטפים — מסים המוטלים על התשומות ודמי חנייה. משקלם של רכיבים אלה בסך המסים אינו קבוע, והוא משתנה במשך התקופה. הרכיב החשוב ביותר במסים הוא מס הדלק. מס זה, שחלקו גלוי וחלקו סמוי, היווה כ-45 אחוזים מכלל מסי הרכב בתקופה שמ-1969 עד 1978, ובשנים האחרונות עלה חלקו על 50 אחוזים. הוא חל בשיעורים שונים על נסיעה בכלי הרכב השונים. ההבדל בשיעורי המס האפקטיביים בין כלי הרכב השונים תלוי בתצרוכת הדלק לק"מ ובסוג הדלק הנצרך (בגלל ההבדלים בשיעורי המסים על תזיקי הדלק השונים). שיעור המס על בנזין 94 היה בתקופה שמ-1973 עד 1977 כ-70 אחוזים מהמחיר לצרכן, אך אם נביא בחשבון שהמס שימש בחלקו לגישור על הפער בין שער החליפין הרשמי לשער החליפין האפקטיבי — יצטמצם שיעורו ל-64 אחוזים (ב-1973/74). בשנים האחרונות נוטה שיעור זה לרדת, ובמחצית הראשונה של 1980 הוא ירד מתחת ל-60 אחוזים⁷. שיעור המס על הסולר, המשמש את התחבורה הציבורית (אוטובוסים ומוניות) ואת המשאיות הכבדות, נמוך הרבה יותר (כ-7 אחוזים ב-1973/74), והוא נשחק והפך לסובסידיה בתחילת 1980.

ההכנסות ממסי הדלק מושפעות מקצב הגידול המהיר בקילומטראז', משינוי אחוז המכוניות הגדולות (הצורכות יותר דלק), מהמעבר ההדרגתי מבנזין 83 לבנזין 94 ומעליית מחירו הריאלי של הדלק (בעקבות משבר האנרגיה של 1973). התחלקות נטל המס בין המשתמשים השונים מושפעת ממשקלם של המשתמשים בתצרוכת הדלק ומשיעורי המס השונים המוטלים על בנזין וסולר. כך נמצא, שמשקל המכוניות הפרטיות בהכנסות ממסי דלק היה בשנת 1973/74 63 אחוזים, בעוד שמשקלן בקילומטראז' הארצי (כולל אופנועים וקטנועים) היה באותה שנה 55 אחוזים בלבד.

מסי הרכישה היוו בתקופה 1969 עד 1978 39 אחוזים מכלל מסי הרכב (פרט למס ערך מוסף). חישוב שיעור המס האפקטיבי במחיר הרכב לצרכן מסובך, מכמה סיבות: ההבדלים

6 בתקופה 1963 עד 1972 גדל הקילומטראז' העירוני ב-17 אחוזים לשנה, ואילו הקילומטראז' הבינעירוני גדל רק ב-13 אחוזים. שני קצבי הגידול השתוו אחרי 1973. מן הראוי לציין, שק"מ-הרכב לק"מ-כביש (או לשטח כביש) לא גדלו במגזר העירוני יותר מאשר במגזר הבינעירוני, אך בעיית הצפיפות החמירה יותר דווקא במגזר הראשון.

7 תהליך דומה של ירידה בשיעור המס מתנהל בשנים האחרונות גם במדינות אחרות במערב אירופה (ראה Tait & Morgan, 1979). שיעורי המס על בנזין 83 היו נמוכים יותר בתחילת התקופה, אך הפער בין המס על בנזין 83 לבנזין 94 הצטמצם במשך התקופה. עם זאת, מן הראוי לציין, שההתפתחויות בשיעורי המס אינן רציפות, וחלים בהן שינויים ניכרים מדי חודש בחודשו.

3. אגרות שימוש אופטימליות

$$(1) \quad C = \Pi - t$$

9 ראה: Walters (1961) ו-Mohring (1976).

כשהנוסע שוקל אם לנסוע, באיזה אמצעי נסיעה ובאיזה נתיב להשתמש, הוא עשוי להביא בחשבון את התוספת לעלות הנסיעה ($\Delta\Pi$) בעקבות הגברת הצפיפות, אך מתעלם מהשינוי שחל בעלויות הנסיעה של זולתו. כתוצאה מכך יש פער בין C לבין העלות השולית של הנסיעה מנקודת ראות המשק (M).

$$(2) \quad M = \frac{\partial(CX)}{\partial X} = C + X \frac{\partial C}{\partial X} = C(1 + \eta_{cx}) > C$$

כאשר X הוא מספר הנוסעים המשתמשים בנתיב, η_{cx} היא גמישות העלות C ביחס למספר הנוסעים. העלות C היא העלות הממוצעת מנקודת ראות המשק, ומשוואה (2) אינה אלא ביטוי לכלל הידוע, שהעלות השולית גבוהה מהעלות הממוצעת, כאשר העלות הממוצעת גדלה עם התפוקה.

כדי לגשר על הפער, שבין המחיר השולי לפרט לבין מחיר זה למשק, יש להטיל אגרה בגודל T

$$(3) \quad T = M - C = C\eta_{cx}$$

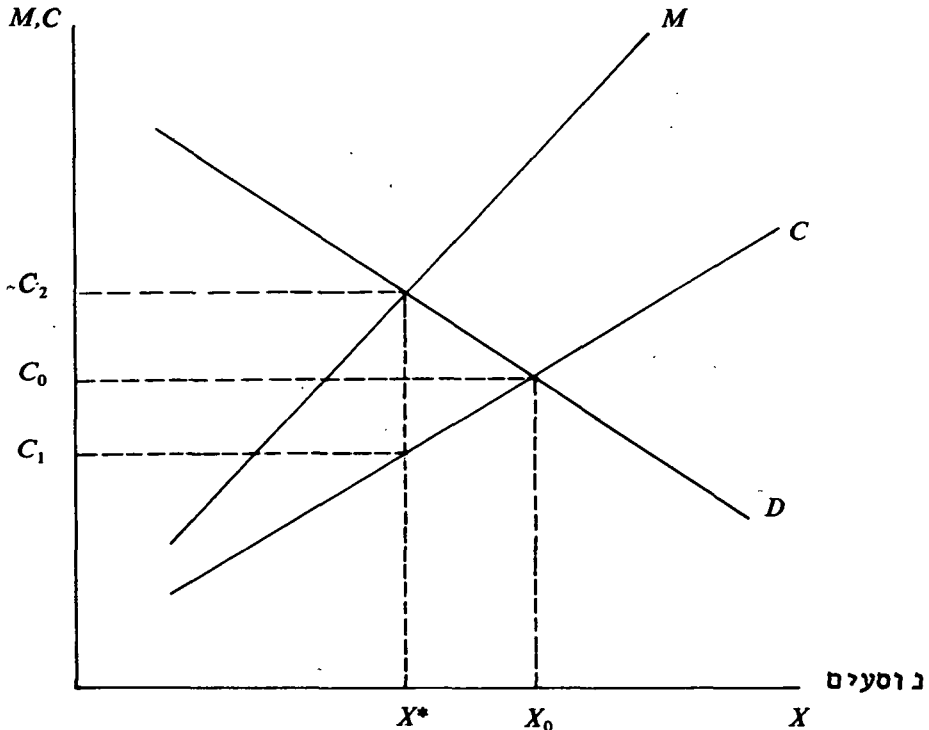
כלומר להעלות את המסים הקיימים בגודל

$$(4) \quad \Delta T = T - t = C\eta_{cx} - t$$

כאשר C הן ההוצאות החברתיות הממוצעות באופטימום (ראה דיאגרמה 1).

דיאגרמה 1

ל"י לק"מ-נוסע



הניתוח אינו משתנה באופן משמעותי, כאשר בנתיב משתמש יותר מסוג רכב אחד, וכאשר יש הבדלים בתרומתם של הנוסעים בכלי רכב שונים לצפיפות. יהי X_i מספר הנוסעים בכלי הרכב i ו- Π_i , ו- C_i — ההוצאות הממוצעות לפרט ולמשק, בהתאמה. ההוצאה השולית החברתית לנסיעה ברכב i היא M_i

$$(5) \quad M_i = \frac{\partial \Sigma C_j X_j}{\partial X_i} = C_i + \Sigma X_j \frac{\partial C_j}{\partial X_i}$$

אם נוסיף את ההנחה המקובלת בספרות, שהעלות היא פונקציה של מספר כלי הרכב המתוקננים המשתמשים בכביש¹⁰ (q)

$$(6) \quad C_j = C_j(q)$$

וש- q הוא סכום משוקלל של מספר הנוסעים בכלי הרכב השונים

$$(7) \quad q = \Sigma \rho_i X_i$$

אזי

$$(8) \quad M_i = C_i + \rho_i \Sigma X_j \frac{\partial C_j}{\partial q}$$

האגרה שיש להטיל על כל יחידת רכב מתוקנן (להלן: יר"מ) היא אחידה. האגרה על סוגי הרכב השונים צריכה להיות תלויה במדת ההפרעה שהם גורמים לתנועה. (כלי רכב אטיים או כלי רכב שמהירותם משתנה תכופות מפריעים לתנועה יותר מכלי רכב מהירים, או מכלי רכב שמהירותם קבועה.) האגרה על נוסעים בכלי רכב שונים צריכה להיות תלויה במקדם המילוי (מספר הנוסעים לכלי רכב) ובמקדם ההפרעה של סוג הרכב.

$$(9) \quad T_i = M_i - C_i = \rho_i \Sigma X_j \frac{\partial C_j}{\partial q} = \rho_i T$$

האגרה צריכה להיות תלויה בתרומת הנוסע בכלי רכב i לנפח התנועה המתוקנן (ρ_i) ובעלות למשק, הנובעת מתוספת כלי רכב מתוקנן למערכת

$$\left(T = \Sigma X_j \frac{\partial C_j}{\partial q} \right)$$

לעתים קרובות מנועות הרשויות המוסמכות מלשנות את המסים כרצונן, על-פי הקריטריון של הקצאה אופטימלית. מגבלה זו מקורה באילוצים פוליטיים, או באמצעים העומדים לרשות מקבל ההחלטות — היקפם ועוצמתם. כתנאי הצפיפות השוררים במרכזי הערים הגדולות, הרי הקצאה אופטימלית מחייבת לעתים קרובות העלאת מסים, בשיעורים שהרשות המבצעת תתקשה לעמוד בהם. יתר על כן, מכשיר המסוי המקובל העומד לרשות הרשות המבצעת בנסותה לווסת את היקף התנועה — מסוי הדלק — אינו מבחין כמעט בין נסיעות כתנאי צפיפות לנסיעות שלא כתנאי צפיפות, בין נסיעות עירוניות לכינעירוניות ובין נסיעות ביום לנסיעות בלילה¹¹. התאמה של מסי הדלק לתנאי הצפיפות העירונית תביא אפוא להעלאת מסים אלה בתחבורה הכינעירונית — לעתים מעבר לנדרש.

ניתן להראות, שכאשר האגרה שיש להטיל על נוסעים בשטח עירוני גדולה מזו שיש להטיל בשטח בינעירוני — אך הרשות המרכזית מנועה מלהפלות בין הנוסעים השונים — יהיה המס האופטימלי נמוך מהאגרה האופטימלית בשטח עירוני, אך גבוה מהנדרש בשטח בינעירוני¹². הפער בין המס שיוטל לבין האגרה האופטימלית תלוי בגמישות המחר של הנסיעה בשטח

10 לפי הנחה זו, C הוא פונקציה בלעדית של מספר כלי הרכב המתוקנן, אך מספר זה אינו תלוי בהרכב התנועה כאשר q נתון.

11 מדת הרגישות של מסי הדלק לתנאי הצפיפות תלויה ברגישותם של השינויים בתצרוכת הדלק לתנאי הצפיפות.

12 ההוכחה הפורמלית נמצאת אצל גרונאו וויס (1982) בנושאים דומים עסקו Mohring, (1968) Sherman, (1970), (1971, 1972) Sandmo (1976).

עירוני ובינעירוני, וכן ברגישות העלויות לשינויים בהיקף התנועה ובמקדמי המילוי וההפרעה של כלי הרכב בנסיעות עירוניות ובינעירוניות. האגרה הטובה ביותר בנסיבות אלו, מנקודת ראות החברה, תאזן בין הנוק שמקורו בהגדלת מספר הנוסעים – בשטח העירוני, לנוק שמקורו בצמצום מספר הנוסעים מעבר לנדרש – בנסיעות בינעירוניות.

לרשות המבצעת נתונה דרגת חופש גבוהה יחסית בקביעת תעריפי התחבורה הציבורית – ובעיקר תעריפי האוטובוסים. קביעת התעריפים ומערכת הסובסידיות לאוטובוסים מאפשרת מסוי המפלה בין התחבורה הציבורית העירונית לבינעירונית. נשאלת השאלה: מה צריכה להיות מדיניות התעריפים והסובסידיות לתחבורה הציבורית, כאשר מערכת המסים על הרכב הפרטי מופעלת על-פי אילוצים פוליטיים ואחרים? קביעת המס או הסובסידיה לרכב הציבורי תושפע מהעיוות שגורמת הטלת מס אחד על הרכב הפרטי בנסיעות עירוניות ובינעירוניות. אם שינויים במחיר הנסיעה ברכב הציבורי משפיעים על השימוש ברכב פרטי, תהיה האגרה הרצויה על נסיעה ברכב ציבורי שונה מזו הנגזרת ממשוואה (9). אם האגרה על נסיעה ברכב פרטי בשטח עירוני נמוכה מהאופטימלית, תתבקש אגרה נמוכה מהאופטימלית גם על נסיעה ברכב ציבורי, כדי להביא להסטת נוסעים מהרכב הפרטי לציבורי. מאידך גיסא, אם ככבישים בינעירוניים משלמים נוסעי רכב פרטי אגרה גבוהה מהאופטימלית, יש להגדיל גם את האגרה על נוסעי רכב ציבורי. המס (או הסובסידיה) על השירות הציבורי צריך לאזן בין הנוק שבאי הטלת מס ברמה אופטימלית על רכב פרטי, לנוק שבהטלת מס ברמה תת-אופטימלית על השירות הציבורי

$$(10) \quad (\rho_1 T - T_1^*) \frac{\partial X_1}{\partial T_2^*} = -(\rho_2 T - T_2^*) \frac{\partial X_2}{\partial T_2^*}$$

כאשר T ו- T_1^* מציינים רכב פרטי וציבורי, בהתאמה, T_1^* הוא המס התת-אופטימלי (בשטח עירוני או בינעירוני), ו- $\rho_i T$ הוא המס האופטימלי, שהיה נקבע בהעדר מגבלות חיצוניות¹³. במשוואה (9) ראינו, שכאשר המס על כלי הרכב השונים מוטל ברמתו האופטימלית, יהיה היחס בין המסים המוטלים על ק"מ-נוסע באוטובוס למסים המוטלים על ק"מ-נוסע ברכב פרטי שווה ל- ρ_2/ρ_1 (דהיינו, ליחס שבין מקדמי המילוי, מחולק ביחס שבין מקדמי ההפרעה). כאשר המס על רכב פרטי נקבע ברמה תת-אופטימלית (או באופן שרירותי), כלל זה אינו בהכרח נכון.

$$(11) \quad \frac{\rho_2 T - T_2^*}{\rho_1 T - T_1^*} = - \frac{\partial X_1 / \partial T_2^*}{\partial X_2 / \partial T_2^*}$$

ממשוואה (10) נובע

אם בתחבורה העירונית המס על רכב פרטי נמוך מהאופטימלי $\rho_i T > T_1^*$, מתקיים

$$(12) \quad \frac{\rho_2}{\rho_1} \geq - \frac{\partial X_1 / \partial T_2^*}{\partial X_2 / \partial T_2^*} \quad \text{כאשר} \quad \rho_2 / \rho_1 \geq T_2^* / T_1^*$$

כלומר: היחס שבין המסים על כלי הרכב הציבוריים למסים על כלי הרכב הפרטיים תלוי בהשפעת השינוי בתעריפי הנסיעה ברכב הציבורי על היקף התנועה.

$$(13) \quad \rho_1 \frac{\partial X_1}{\partial T_2^*} + \rho_2 \frac{\partial X_2}{\partial T_2^*} = \frac{\partial q}{\partial T_2^*} \geq 0 \quad \text{כאשר} \quad \rho_2 / \rho_1 \geq T_2^* / T_1^*$$

13 ראה הערה 12. משוואה זו מגדירה את המס האופטימלי באילוצים הקיימים בתחבורה העירונית והבינעירונית בנפרד. (לשם פשטות הסימון לא הוספנו את האינדקס j לציון המערכת). משוואה זו תופשת, בין אם T_1^* נקבע באופן שרירותי, ובין אם הוא נקבע כמס האופטימלי במגבלות הקיימות.

כאשר המס על רכב פרטי נמוך יתר על המדה, יהיה מספר הנוסעים המשתמשים במערכת הכבישים העירונית גבוה יתר על המדה. הפחתת המס המוטל על רכב ציבורי תביא (א) להגדלת מספר הנוסעים ברכב זה, ו-(ב) לצמצום מספר הנוסעים ברכב פרטי. אם ההשפעה השנייה היא הדומיננטית, יקטן מספר כלי הרכב (q), והצפיפות תפחת; אך אם ההשפעה הראשונה חזקה יותר, יביא הגידול במספר הנוסעים ברכב הציבורי לגידול מספר כלי הרכב, והצפיפות תחמיר. השפעת השינוי במחיר שירותי הרכב הציבורי על מספר הנוסעים בכלי הרכב השונים תלויה בהשפעת המחיר העצמי ובהשפעת המחיר הצולבת. תנאי הכרחי לסבסוד ($0 > T_2^*$) הוא, שהורדת מחיר הנסיעה ברכב ציבורי תביא לצמצום היקף התנועה¹⁴.

$$(14) \quad \partial q / \partial \Pi_2 = \rho_1 X_{12} + \rho_2 X_{22} > 0$$

$$(15) \quad \eta_{q\Pi_2} = \gamma_1 \eta_{12} + \gamma_2 \eta_{22} > 0$$

או במונחי גמישויות

$$\text{כאשר} \quad X_{i2} = \frac{\partial X_i}{\partial \Pi_2} \quad \text{ו-} \quad \eta_{i2} = X_{i2} \Pi_2 / X_i \quad \text{הן השפעות המחיר וגמישות המחיר}$$

(העצמית או הצולבת), ו- γ_i הוא משקל כלי הרכב (המתוקננים) i בכלל התנועה¹⁵. התנאי ההכרחי לסבסוד הוא אפוא, שהממוצע המשוקלל של הגמישויות ביחס למחיר הנסיעה באמצעי המסובסד יהיה חיובי. קיומו או אי-קיומו של תנאי זה תלוי לא רק בגמישויות אלא גם במשקלם של האמצעים השונים בכלל התנועה.

לבסוף נחזור ונדגיש, שמדובר פה רק בתנאים ההכרחיים לסבסוד. גם אם תנאים אלה מתקיימים, לא ברור שמתקיימים התנאים המספיקים לסבסוד, וייתכן שהמס האופטימלי על ק"מ-רכב ציבורי הוא חיובי, אך בשיעור נמוך מזה המוטל על ק"מ-רכב פרטי (כלומר: $0 < T_2^* / \rho_2 < T_1^* / \rho_1$).

4. המערך האופטימלי של הסעת נוסעים

בשנת 1973/74 היה סך הקילומטראז' השנתי של כלי הרכב המוטורי האזרחי (למעט אופנועים, קטנועים ורכב מיוחד) כ-8.4 מיליארד ק"מ (ראה לוח 4). משקל הרכב הפרטי בקילומטראז' היה כ-60 אחוזים, משקל הרכב המסחרי התקרב לרבע, משקלן של המשאיות היה כ-10 אחוזים, ומשקל האוטובוסים — 6 אחוזים. משקל הרכב הפרטי והאוטובוסים היה גבוה

14 תנאי זה הוא תנאי הכרחי לסובסידיה ($T_2^* < 0$). רק כאשר אין מוטלים כלל מסים על הרכב הפרטי, יהיה זה תנאי מספיק לסבסוד התחבורה הציבורית. מקרה מיוחד זה עומד במוקד מאמריי של Sherman (1971, 1972).

15 אם n_i הוא מספר הנוסעים בכלי רכב i ו- m_i הוא מקדם ההפרעה של אמצעי i , אזי $\gamma_i = m_i \frac{X_i}{n_i} / q = \rho_i \frac{X_i}{a}$

שכן $\rho_i = m_i / n_i$. אם נציב את η_{ij} ואת γ_i במשוואה (14), מתקיים $\eta_{ij} = \frac{\rho_i X_{ij}}{q} \Pi_j$. ועל כן $\sum \gamma_i m_i \geq 0 \iff \sum \rho_i X_{i2} \geq 0$.

בניסוח זה X_{ij} ו- η_{ij} מורדים את השפעת המחיר ואת גמישות המחיר המפוצה, אך אנו השתמשנו באומדני הגמישויות הכוללות.

יותר בק"מ-הרכב העירוני, ואילו משקלם של הרכב המסחרי והמשאיות היה גבוה יותר בק"מ-הרכב הבינעירוני. משקלם הנמוך של האוטובוסים בק"מ-הרכב אין בו כדי להעיר על משקלם בשוק הנסיעות. בגלל מקדם המילוי הגבוה (40 בנסיעות עירוניות ו-25 בנסיעות בינעירוניות) נמצא, שהאוטובוסים תורמים למעלה ממחצית ק"מ-הנוסעים, ומשקלם בתנועת הנוסעים העירונית מגיע עד 70 אחוזים. (משקל הרכב הפרטי בק"מ-הנוסעים קטן משליש). וכך, אף-על-פי שקילומטראז' הרכב של האוטובוסים הוא רק עשירית מזה של הרכב הפרטי, הרי קילומטראז' הנוסעים של האוטובוסים עולה ב-2/3 על זה של הרכב הפרטי.

הבדלים במקדמי המילוי, בעלויות התפעול לק"מ ובמהירות הנסיעה קובעים את הבדלי עלויות הנסיעה באמצעי התחבורה השונים (לוח 5). ההבדל במהירות בין הרכב הפרטי לאוטובוס אין בו כדי לפצות על ההבדל בעלויות התפעול הממוצעות לנוסע (שמקורו בהבדל במקדמי המילוי), וכתוצאה מכך נמצא שהעלות הממוצעת של הנסיעה לנוסע באוטובוס נמוכה מעלות זו ברכב פרטי, והאחרונה נמוכה מהעלות במונית¹⁶. ההבדלים בעלויות לנוסע בנסיעות הבינעירוניות קטנים יותר מאשר בנסיעות העירוניות, וכתוצאה מכך גדל משקל הרכב הפרטי בנסיעות הבינעירוניות. (משקל האוטובוסים בק"מ-הנוסעים העירוני הוא 69 אחוזים, לעומת 27 אחוזים שמהווה הרכב הפרטי; בתנועה הבינעירונית המשקלות הם 34 אחוזים, לעומת 38 אחוזים, בהתאמה¹⁷).

מיסדר העלויות לנוסע אינו משקף את מיסדר העלויות הממוצעות למשק לק"מ-נוסע. רכיב המס בעלות לנוסע ברכב פרטי בתנועה העירונית מהווה למעלה מ-20 אחוזים, ואילו לשירותי האוטובוסים ניתנה (כ'74/1973) סובסידיה בשיעור של 5 אחוזים. פער דומה קיים בתנועה הבינעירונית. פערים אלה משנים, כמובן, את המחירים היחסיים. כאשר מנכים את רכיב המס, הרי עלות הנסיעה הממוצעת ברכב פרטי נמוכה מזו של האוטובוס – במדת מה בכבישים עירוניים ובמדדה ניכרת בכבישים בינעירוניים.

לבסוף כדאי להדגיש את משקלן הגדול של עלויות זמן הנוסעים בעלויות הנסיעה הממוצעות. בכבישים עירוניים מהוות עלויות אלו למעלה ממחצית העלויות-לנוסע ברכב פרטי, ולמעלה מ-70 אחוזים מהעלויות-לנוסע באוטובוס. ההפרש במהירות בין נסיעה בכבישים עירוניים לנסיעה בכבישים בינעירוניים ומקדמי מילוי גבוהים יותר בתחבורה המסחרית (בכל סוגי הרכב, למעט אוטובוסים) מורידים במדה ניכרת את עלויות הנסיעה בכבישים בינעירוניים, בהשוואה לאלו בכבישים עירוניים. (הירידה בעלות לק"מ-נוסע היא

16 משפט זה נכון, כמובן, רק אם נתייחס למהירות, לערך הזמן ולמקדמי המילוי הממוצעים. בחישוב זה אנו מתעלמים מזמן ההמתנה, וכן מהעובדה שהנסיעה באוטובוסים מוגבלת לקווים קבועים ומתנהלת לפי לוח זמנים נתון. בניגוד לנסיעה ברכב פרטי ובמוניות. (כך, למשל, עלות הנסיעה במונית עשויה להיות נמוכה מזו של אוטובוס, כאשר הנסיעה באוטובוס כרוכה בנסיעה ביותר מקו אחד, או כאשר האוטובוס נוסע בתדירות נמוכה). מיסדר זה תלוי במדה קריטית בהגדרת עלויות הנסיעה המשחנות (למשל, בהגדרת הוצאות ההון, הביטוח, האגרות והרשיונות כעלות קבועה – במקרה של הרכב הפרטי, וכעלות משתנה – במקרה של האוטובוסים והמוניות). את דרך חישובן של העלויות ראה בנספח. דיון מפורט בנתונים נמצא אצל גרונאו ווייס (1982).

17 חלק מן ההבדל בעלויות הנסיעה מסביר ההבדל בהנחות לגבי ערך הזמן הממוצע של הנוסעים בכלי הרכב השונים, כפי שפורטו בנספח. אילו הנחנו, שערך זמן הנוסעים באוטובוסים שווה לערך הזמן הממוצע של נוסעי רכב פרטי (דהיינו ל-35 אחוזים מהשכר לשעה במשק) – היתה עלות הנסיעה לנוסע באוטובוס בנסיעה בינעירונית שווה לעלות הנסיעה ברכב פרטי. הסבר נוסף להבדל שבפיצול הנסיעות בתחבורה העירונית והבינעירונית הוא ההבדל בערך הזמן: הכנסתם הממוצעת של הנוסעים בנסיעות בינעירוניות גבוהה יותר מאשר בנסיעות עירוניות; כתוצאה ממנה גם הערך הממוצע של זמן הנוסעים גבוה יותר בנסיעות בינעירוניות, והדבר מביא להעדרת הרכב הפרטי על האוטובוס בנסיעות אלה.

לוח

התחלקות התנועה והמהירות הממוצעת

סך הכול					
סך הכול	רכב פרטי	רכב מסחרי	מוניות	אוטו- כוסים	משאיות
8,355.6	4,865.1	1,939.1	333.6	484.8	733.0
(1) ק"מ שנתי (מיליוני ק"מ)					
3.7	2.1	1.0	4.0	34.1	1.8
(2) מקדם המילוי					
1,303.0	9,903.2	1,939.0	1,319.3	16,527.0	1,303.0
(3) ק"מ-נוסעים (מיליונים)					
44.0	44.8	47.5	35.3	31.8	41.3
(4) המהירות הממוצעת					
1.2	1.0	1.0	1.0	2.0	2.4
(5) מקדם ההפרעה					
$\rho_i = \frac{\text{מקדם ההפרעה}}{\text{מקדם המילוי}}$	0.640	0.476	1.000	0.250	0.059
(6)					
(7) משקל הק"מ העירוני והבינועירוני בסך הקילומטראז' של כלי הרכב	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
(8) משקל קילומטראז' כלי הרכב בקילומטראז' הכולל	1.000	0.582	0.232	0.040	0.058
(9) $\gamma_i = \text{משקל מתוקנן}$	1.000	0.493	0.196	0.034	0.098
(10) משקל קילומטראז' הנוסעים בכלי הרכב בסך קילומטראז' הנוסעים	1.000	0.327	0.062	0.042	0.532
(11) $\psi_i = \frac{X_i}{q}$	3.164	1.036	0.196	0.136	1.661

המקור: שורות (1), (2), (4), (5) ראה: גרונאו וריס (1982)

שורה (1) $\times$ (2) = (3)

שורה (5)/(2) = (6)

שורה (5) $\times$ (8) = (9)שורה (11) $\psi_i = (9)/(6)$ מודד את היחס בין מספר הנוסעים ברכב i לנפח התנועה ביחידת זמן.

4

בכבישים עירוניים וכינעירוניים

בכבישים בינעירוניים						בכבישים עירוניים					
משאיות	אוטו- בוסים	מוניות	רכב מסחרי	רכב פרטי	סך הכול	משאיות	אוטו- בוסים	מוניות	רכב מסחרי	רכב פרטי	סך הכול
521.2	191.0	127.4	969.5	2,140.6	3,949.7	211.8	293.8	206.2	969.6	2,724.5	4,405.9
2.5	25.0	5.5	2.0	2.5	3.6	0	40.0	3.0	0	1.7	3.9
1,303.0	4,775.0	700.7	1,939.0	5,351.5	4,069.2	0	11,752.0	618.6	0	4,631.7	17,002.3
50	50	60	70	70	66.1	20	20	20	25	25	24.2
2.4	2.0	1.0	1.0	1.0	1.2	2.4	2.0	1.0	1.0	1.0	1.1
0.960	0.080	0.182	0.500	0.400	0.476	(2.400)	0.050	0.333	(1.000)	0.588	0.720
0.711	0.394	0.382	0.500	0.440	0.473	0.289	0.606	0.618	0.500	0.560	0.527
0.132	0.048	0.032	0.246	0.542	1.000	0.049	0.067	0.047	0.220	0.618	1.000
0.257	0.078	0.026	0.200	0.440	1.000	0.102	0.118	0.041	0.194	0.545	1.000
0.093	0.339	0.050	0.138	0.380	1.000	0.000	0.691	0.036	0.000	0.272	1.000
0.268	0.975	0.143	0.400	1.100	2.886	0.042	2.360	0.123	0.194	0.927	3.646

לוח 5

עלות התפעול ועלות הזמן לנוסע ולמשק בנסיעות עירוניות ובינעירוניות¹

יחידת המדידה	רכב פרטי		רכב מסחרי ²		מוניות		אוטובוסים		משאיות		
	לנוסע	למשק	לנוסע	למשק	לנוסע	למשק	לנוסע	למשק	לנוסע	למשק	
נסיעות עירוניות											
המהירות הממוצעת	קמ"ש	25	25	25	20	20	20	20	20	20	
עלות התפעול	ל"י לק"מ-נוסע	0.1094	0.0629	0.8546	0.7126	0.3545	0.3372	0.0489	0.0586	0.0573	1.8782
עלות זמן הנוסעים	ל"י לק"מ-נוסע	0.1148	0.1148	—	—	0.1645	0.1645	0.1230	0.1230	0.1230	—
סך כל העלות לק"מ-נוסע	ל"י לק"מ-נוסע	0.2242	0.1777	0.8546	0.7126	0.5190	0.5017	0.1719	0.1815	0.1803	1.8782
רכיב זמן הנוסעים בעלות	אחוזים	0.51	0.65	—	—	0.32	0.33	0.72	0.66	0.68	—
רכיב המס בעלות	אחוזים	0.21	0.17	—	—	0.03	—	—	0.01	0.08	—
רכיב מס הדלק בעלות	אחוזים	0.18	0.10	—	—	0.01	—	0.00	0.00	0.02	—
נסיעות בינעירוניות											
המהירות הממוצעת	קמ"ש	70	70	70	60	60	50	50	50	50	
עלות התפעול	ל"י לק"מ-נוסע	0.0744	0.0428	0.3046	0.2236	0.1066	0.0971	0.0582	0.0582	0.0560	0.5796
עלות זמן הנוסעים	ל"י לק"מ-נוסע	0.0410	0.0410	0.0410	0.0410	0.0547	0.0547	0.0492	0.0492	0.0492	0.0492
סך כל העלות לק"מ-נוסע	ל"י לק"מ-נוסע	0.1154	0.0838	0.3456	0.2746	0.1613	0.1518	0.1074	0.1074	0.1052	0.6288
רכיב זמן הנוסעים בעלות	אחוזים	0.36	0.49	0.12	0.15	0.34	0.36	0.45	0.45	0.47	0.09
רכיב המס בעלות	אחוזים	0.27	0.21	—	—	0.06	—	0.02	0.02	0.09	—
רכיב מס הדלק בעלות	אחוזים	0.24	0.13	—	—	0.02	—	0.00	0.00	0.02	—

(1) העלויות מבוססות על לוח 6. החישוב נערך בהנחה, שהרכב נוסע במהירות הממוצעת.
 (2) המסחריות והמשאיות אינן מסיעות נוסעים בנסיעות עירוניות, ולכן חישוב העלות הוא לק"מ.

לוח 6

פונקציית העלות לק"מ-נוסע מנקודת ראות הפרט והמשק, לפי סוג הרכב והאזור

יחידת המדידה	רכב פרטי		רכב מסחרי		מוניות		אוטובוסים		משאיות	
	לנוסע	למשק	לנוסע	למשק	לנוסע	למשק	לנוסע	למשק	לנוסע	למשק
(1) עלויות התפעול הקבועות לק"מ-רכב	0.186	0.107	0.473	0.331	0.348	0.296	—	0.863	0.811	1.163
(2) עלויות התפעול המשתנות עם המהירות	—	—	9.54	9.54	14.31	14.31	—	29.56	29.56	14.31
(3) ערך זמן הנוסעים	2.87	2.87	2.87	3.87	3.28	3.28	—	2.46	2.46	2.46
בנסיעות עירוניות										
(4) מקדם המילוי	1.7	1.7	0	0	3.0	3.0	40	40	40	0
(5) העלויות הקבועות לק"מ-נוסע	0.1094	0.0629	0.4730	0.3310	0.1160	0.0987	0.0489	0.0216	0.0203	1.1627
(6) העלויות המשתנות עם מהירות הנסיעה	2.87	2.87	9.54	9.54	8.05	8.05	2.46	3.20	3.20	14.31
בנסיעות בינעירוניות										
(7) מקדם המילוי	2.5	2.5	2.0	2.0	5.5	5.5	25	25	25	2.5
(8) העלויות הקבועות לק"מ-נוסע	0.0744	0.0428	0.2365	0.1655	0.0633	0.0538	0.0582	0.0345	0.0324	0.4652
(9) העלויות המשתנות עם מהירות הנסיעה	2.87	2.87	7.64	7.64	5.88	5.88	2.46	3.64	3.64	8.18

(1) העלות לפרט שונה מהעלות למפעיל באוטובוסים בגלל הסובסידיות (שלפי הנחתנו ניתנו רק לתחבורה העירונית), ומפני שמחיר כרטיס הנסיעה אינו מושפע במישרין ממהירות הנסיעה.
המקור: שורות (1) ו-(2) — לוח 1, בנספח;

שורה (3) — ראה נספח;

שורות (4), (7) — ראה גרנאו וויס (1982);

שורות (5), (8) — $(1)/(7)$, $(8) = (1)/(4)$, $(5) = (1)/(4)$;

שורות (6), (9) — $(9) = (2)/(7) + (3)$, $(6) = (2)/(4) + (3)$. כאשר הנוסע היחיד הוא הנהג, ומקדם המילוי הוא אפס. מחקיים: (2) = (6), (1) = (5).

לוח 7

פונקציות המהירות והעלויות של כלי הרכב המיצרפי בסוגי כביש שונים
(בל"י לק"מ-נוסע)

בתחבורה בינעירונית				
פונקציית המהירות	בתחבורה עירונית	בכבישים דו-מסלוליים	בכבישים חד-מסלוליים רחבים	בכבישים חד-מסלוליים צרים
$S=50-0.0687q$	$S=89.3-0.0149q$	$S=83.0-0.0234q$	$S=76.7-0.0552q$	
העלות לנוסע ח	$\Pi=0.0764+\frac{8.8408}{S}$	$\Pi=0.1190+\frac{4.4327}{S}$	$\Pi=0.1190+\frac{4.4327}{S}$	$\Pi=0.1190+\frac{4.4327}{S}$
העלות הממוצעת למשק C	$C=0.0540+\frac{3.7408}{S}$	$C=0.0906+\frac{4.4327}{S}$	$C=0.0906+\frac{4.4327}{S}$	$C=0.0906+\frac{4.4327}{S}$
העלות השולית למשק M	$M=C+3.7408 \frac{50-S}{S^2}$	$M=C+4.4327 \frac{89.3-S}{S^2}$	$M=C+4.4327 \frac{83.0-S}{S^2}$	$M=C+4.4327 \frac{76.7-S}{S^2}$
האגרה האופטימלית T	$T=3.7408 \frac{50-S}{S^2}$	$T=4.4327 \frac{89.3-S}{S^2}$	$T=4.4327 \frac{83.0-S}{S^2}$	$T=4.4327 \frac{76.7-S}{S^2}$

בשיעור של 50 אחוזים (יותר). המהירות המוגדלת מורידה את משקל עלויות הזמן בסך העלויות. עם זאת נשאר רכיב הזמן רכיב חשוב, והוא מהווה — ברכב הפרטי, במוניות ובאוטובוסים — שליש עד 45 אחוזים מסך העלות לנוסע.

המס הממוצע לק"מ-נוסע ברכב פרטי היה 4.65 אג' בתנועה העירונית ו-3.16 אג' בתחבורה הבינעירונית. נוסעי האוטובוסים נהנו מסובסידיה בשיעור של 0.84 אג' לק"מ-נוסע בתחבורה העירונית, ושילמו מס בשיעור של 0.20 אג' לק"מ-נוסע בתחבורה הבינעירונית¹⁸.

באיזו מדה היה במסים אלו (ובמיוחד במסי הדלק) כדי לגשר על הפער שמקורו בצפיפות, בין העלות השולית הפרטית לעלות השולית החברתית? נענה על שאלה זו בשלושה שלבים: בשלב הראשון נתעלם מההבדל שבין כלי הרכב, ונבדוק את היחס שבין המס הקיים לבין האגרה האופטימלית בתנועה העירונית והבינעירונית. בשלב השני נבחין בין תרומות כלי הרכב השונים לצפיפות, ונבדוק באיזו מדה מהווים המסים המוטלים עליהם תחליף לאגרה האופטימלית. בשלב השלישי נבחן את יעילותה של מערכת המסים הקיימת, בהתחשב במגבלות הכובלות את הרשות המבצעת, ונבדוק במיוחד באיזו מדה משמשת הסובסידיה לאוטובוסים תחליף להעלאת מסים על השימוש ברכב פרטי בתנועה העירונית.

אם נתעלם מההבדלים בשיעורי המסים המוטלים על כלי הרכב השונים, ונניח, שפיצול התנועה בין כלי הרכב השונים נתון ואינו מושפע מהאגרה — נוכל לדון בכל כלי הרכב באופן מיצרפי. אנו מניחים, שהעלות לק"מ-נוסע כוללת רכיב קבוע, שאינו תלוי במהירות — Π_0 ורכיב קבוע ליחידת זמן — Π_1 . העלות לק"מ-נוסע תהיה אפוא

$$(16) \quad \Pi = \Pi_0 + \frac{\Pi_1}{S}$$

כאשר S היא המהירות. באופן דומה נוכל לפרק את העלות הממוצעת לק"מ למשק

$$(17) \quad C = C_0 + \frac{C_1}{S}$$

לכן תהיה העלות השולית החברתית

$$(18) \quad M = C + X \frac{\partial C}{\partial X} = C - \frac{XC_1}{S^2} \frac{\partial S}{\partial X} = C - \frac{qC_1}{S^2} \frac{\partial S}{\partial q}$$

כאשר q הוא נפח התנועה ביר"מ¹⁹, והאגרה האופטימלית היא

$$(19) \quad T = \frac{qC_1}{S^2} \frac{\partial S}{\partial q}$$

רכיבי העלות C_1, C_0, Π_1, Π_0 לכלי הרכב השונים מתוארים בלוח 6, ודרך חישובם מתוארת בנספח²⁰. כדי לחשב את רכיבי העלות של הרכב המיצרפי, שקללנו רכיבים אלו במשקל כלי

18 שיעורי המסים על הנסיעה במוניות היו 1.73 ו-0.95 אג' לק"מ-נוסע. בהתאמה. את ההבדלים במסים בין התחבורה העירונית לבינעירונית מסבירים אך ורק ההבדלים במקדמי המילוי ובסובסידיה הממשלתית. הניתנת לפי הנחתנו לשירותי האוטובוסים העירוניים בלבד. חישוב זה מתעלם מההבדלים בתצרוכת הדלק לק"מ-רכב בין נסיעה עירונית לנסיעה בינעירונית. לעניין זה ראה: גרונאו ווייס (1982).

19 לכל אורך הניתוח נניח, שמקדמי המילוי אינם משתנים עם השינויים בהיקף התנועה, ואינם מושפעים משינויים באגרה. מאחר שהנחנו, כי האגרה אינה מבאה לתחלופה בין כלי רכב, הרי בהרכב תנועה נתון, יהיה מקדם המילוי הממוצע (X/q) קבוע.

20 דיון מפורט בחישוב העלויות ראה: גרונאו ווייס (1982).

הרכב השונים בק"מ-הנוסעים²¹. כדי לאמוד את המהירות, השתמשנו בפונקציות המהירות שהוצעו במחקרו של הראל (1974) על נושא זה²². פונקציות המהירות ופונקציית העלויות של כלי הרכב המיצרפיים בסוגי כביש שונים מוצגות בלוח 7.

העלויות לפרט ולמשק והאגרה האופטימלית (T, M, C, Π) לנפחי תנועה שונים (q) מתוארות בדיאגרמה 2, ופונקציות המהירות מתוארות בדיאגרמה 3. ההבדל באגרות האופטימליות בין התחבורה העירונית לבינעירונית בולט לעין. בניגוד לפער הניכר בין העלות לנוסע (Π) לבין העלות השולית למשק (M) בתחבורה העירונית, פער זה בתחבורה הבינעירונית מצומצם ביותר. רכיב המס הממוצע בעלות (t) היה כרביע הראשון של 0.0224 1974 ל"ק"מ-נוסע. כפי שמראות דיאגרמות 2 (א) ו-3 (א), היתה האגרה האופטימלית גבוהה ממס זה, בכל מקרה שבו המהירות הממוצעת יורדת מתחת ל-40 קמ"ש. המהירות הממוצעת של כלי הרכב בתחבורה העירונית היתה 23.7 קמ"ש²³, במהירות זו, כאשר היקף התנועה הוא כ-380 יר"מ לנתיב לשעה, הפער בין העלות השולית לבין העלות הממוצעת למשק הוא 0.175 ל"ק"מ-נוסע $[3.7408 \cdot (50 - 23.7) / 23.7]$. כלומר יותר מפי 7.5 מהמס הקיים. הפער בין העלות השולית לעלות הממוצעת גדל בקצב מוגבר עם הירידה במהירות. הוא עולה ל-0.58 ל"ק"מ-נוסע כאשר המהירות היא 15 קמ"ש, וקופץ ל-1.50 ל"ק"מ-נוסע כאשר המהירות יורדת ל-10 קמ"ש. במהירות זו, שאינה נדירה בנסיעה במרכזי הערים הגדולות (כאשר נפח התנועה הממוצע הוא 580 יר"מ לשעה), הפער גדול פי 67 מהמס הקיים. הטלת אגרה בגובה זה היתה מגדילה את העלות לנוסע פי 2.7²⁴.

רכיב המס הממוצע המוטל על ק"מ-נוסע בינעירוני הוא 0.0284 ל"ק"מ-נוסע. כפי שמראות הדיאגרמות 2 (ב) עד 2 (ד) ו-3 (ב) עד 3 (ד), מס זה קטן מהאגרה האופטימלית רק כאשר מהירות הנסיעה יורדת מתחת ל-63 — 56 קמ"ש²⁵. בכבישים בינעירוניים דר-מסלוליים דרושה אגרה

21 את ההבדל בין פונקציית העלות בתנועה העירונית והבינעירונית מסבירים הן ההבדל במקדמי המילוי בשני האזורים (כפי שהוא משחק בלוח 6) והן הבדלים בהרכב התנועה. לצורך חישוב עלות הרכב המיצרפי בתנועה העירונית, הנחנו שמקדם המילוי של כלי רכב מסחריים ומשאיות הוא 1. המשקל שניתן לרכיבי העלות בתחבורה העירונית שונה אפוא במדת מה מהמשקל בק"מ-הנוסעים, המופיע בלוח 4.

22 דיון מפורט באומדן פונקציות המהירות ראה: גרונאו וויס (1982). הראל מאמץ בחישוביו פונקציות מהירות ליניאריות $S = a - bq$. ההשפעה השולית של שינוי בנפח התנועה (q) על המהירות (S) היא, לפי הנחה זו,

קבועה $(\frac{\partial S}{\partial q} = -b)$ העלות השולית החברתית תהיה משום כך $M = C_0 + C_1 \frac{bq}{S^2} = C_0 + C_1 \frac{a - S}{S^2}$

והאגרה האופטימלית תהיה $T = C_1 \frac{a - S}{S^2}$

23 ממוצע זה מתקבל, אם משקללים את המהירויות בלוח 4 במשקל הרכב בק"מ-רכב המתוקנים. לפיכך ממוצע זה שונה במדת מה מהמהירות הממוצעת המופיעה בלוח 4, שחושבה כאשר לכל סוג רכב ניתן משקלו בק"מ-רכב (לא מתוקן).

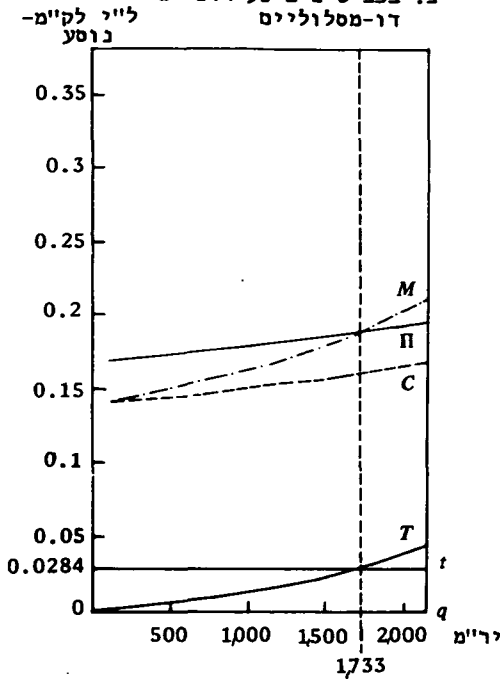
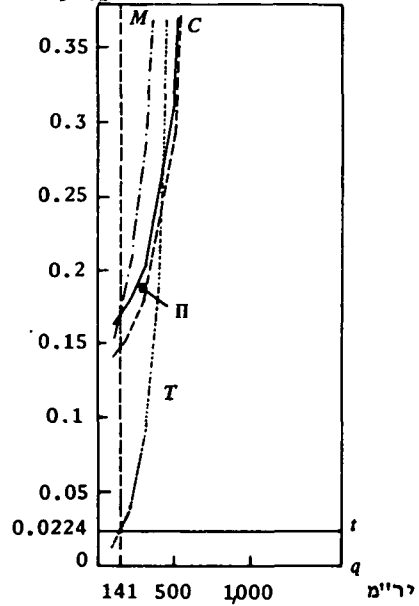
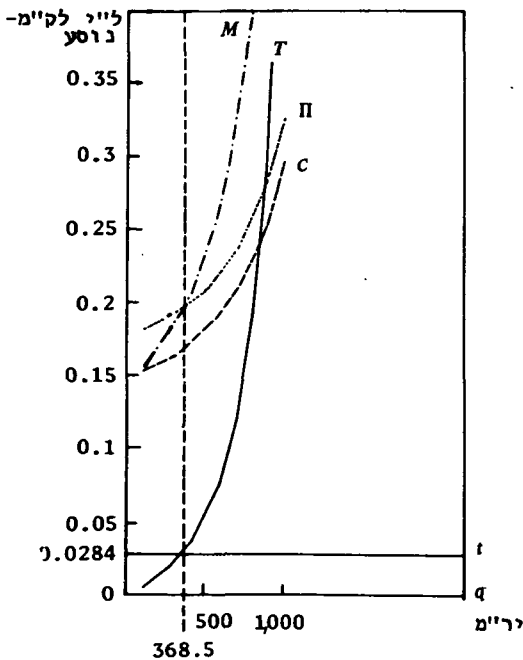
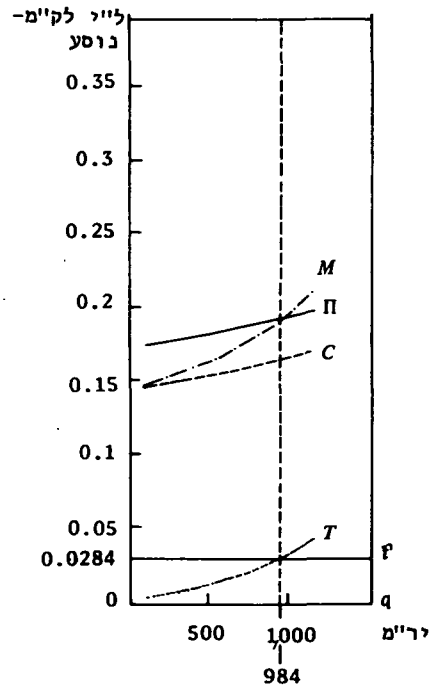
24 בהערכת מספרים אלו יש לזכור, שפונקציית המהירות שמציג הראל רגישה לשינויים בהיקף התנועה יותר מפונקציות אחרות. האגרה שיש להטיל היא, כמובן, קטנה יותר, משום שהיא צריכה להיקבע לפי הפער באופטימום.

25 את המהירות S^* , שבה האגרה האופטימלית T שווה למס הקיים t , נחשב באמצעות פתרון המשוואה הריבועית

$T = C_1 \frac{a - S^*}{S^{*2}} = t$ לפי הנחותינו, כדי לבדוק אם המס הקיים גבוה או נמוך מהאופטימלי. מספיקה האינפורמציה על המס הקיים (t), על רכיב העלות המשתנה עם הזמן (C_1), על המהירות (S) ועל המהירות המידית (a)

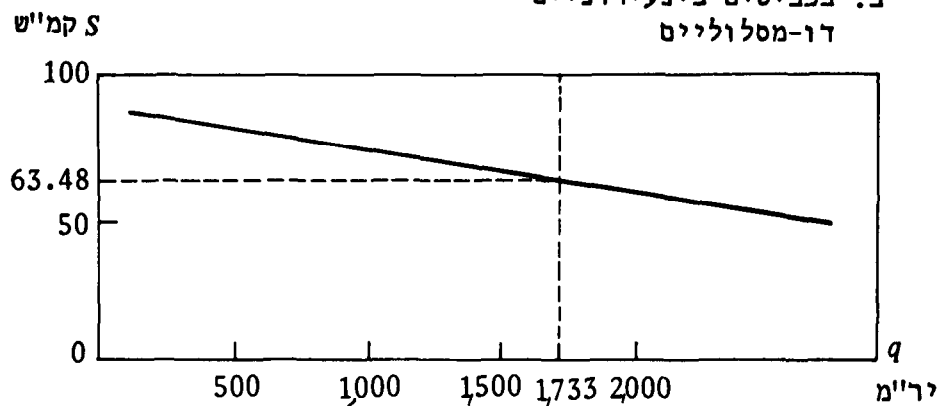
דיאגרמה 2

עלויות הנסיעה של כלי הרכב המיצרניים לנוסע ולמשק והאגרה האופטימלית

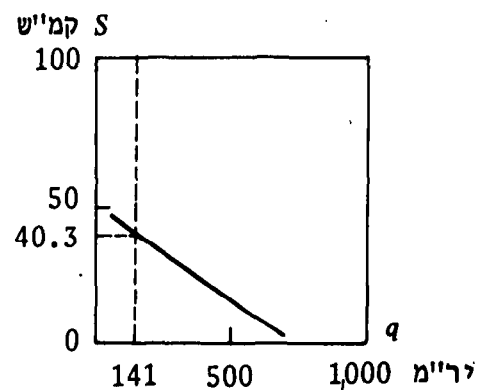
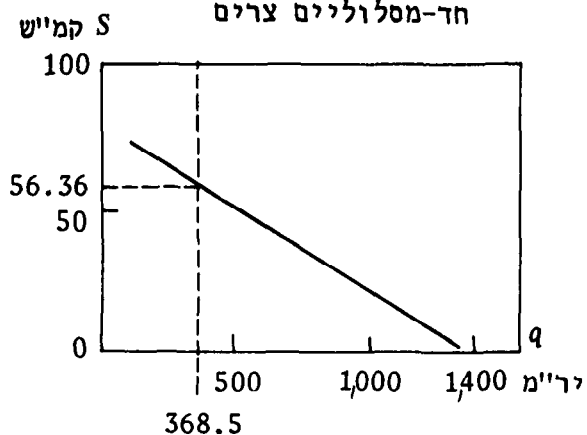
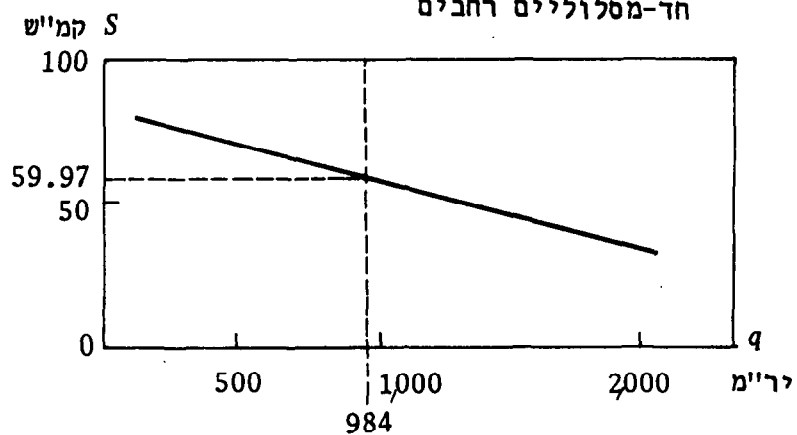
ב. בכבישים בינעירוניים
דו-מסלולייםא. בכבישים עירוניים
לי"י לק"מ-
נוסעד. בכבישים בינעירוניים
חד-מסלוליים צריםג. בכבישים בינעירוניים
חד-מסלוליים רחבים

דיאגרמה 3

נמח התנועה והמהירות האופטימלית של כלי הרכב המיצרניים

ב. בכבישים בינעירוניים
דו-מסלוליים

א. בכבישים עירוניים

ד. בכבישים בינעירוניים
חד-מסלוליים צריםג. בכבישים בינעירוניים
חד-מסלוליים רחבים

העולה על המס הקיים, רק כאשר המהירות יורדת מ-63 קמ"ש, והיקף התנועה למסלול עולה על 1,700 יר"מ לשעה. בכבישים חד-מסלוליים רחבים דרושה אגרה גבוהה יותר, רק אם המהירות יורדת מ-60 קמ"ש, והיקף התנועה עולה על 980 יר"מ לשעה, ובכבישים חד-מסלוליים צרים — רק אם המהירות יורדת מ-58 קמ"ש, ונפח התנועה עולה על 370 יר"מ. במדגמנו מצאנו, שבשעות השפל היתה המהירות הממוצעת בכבישים אלה 75, 72 ו-69 קמ"ש, בהתאמה (סטיות התקן היו 8.5, 8.4 ו-7.0 קמ"ש, בהתאמה). הסבירות שתידרש אגרה הגדולה מהמס הקיים היא אפוא נמוכה ביותר²⁶. במרבית הכבישים הבינעירוניים אין הבדל ניכר בנפח התנועה בין שעות השיא לשעות השפל²⁷. מכאן שהמס הקיים מספיק כדי לגשר על הפער שבין העלות לפרט לבין העלות למשק, שמקורו בצפיפות בכבישים הבינעירוניים.

ההנחה, שהרכב התנועה אינו תלוי בגובה המס, היא כמובן מגבילה יתר על המדה. באופטימום צריכה האגרה המוטלת על כלי הרכב לעמוד ביחס הפוך למקדם המילוי (מתוקן במקדם ההפרעה) של כלי הרכב. לפי הנחותינו צריכה אפוא האגרה האופטימלית, המוטלת על ק"מ-נוסע ברכב פרטי, להיות גדולה פי 12 מזו המוטלת על ק"מ-נוסע באוטובוס — בתחבורה העירונית, ופי 5 — בתחבורה הבינעירונית²⁸. יש להניח, שאגרה דיפרנציאלית מסוג זה תביא לא רק לשינויים בהיקף התנועה, אלא גם לשינויים בהרכבה.

כדי לחשב את הרכב התנועה באופטימום, עלינו לדעת את עקומות הביקוש. לשם פשטות החישוב הנחנו, שעקומות הביקוש הן ליניאריות במחירים, שגמישויות המחיר העצמי של נוסעי רכב פרטי, מוניות ואוטובוסים היא 0.5 —, ושגמישויות הצולבות הן 0.25 (בין מונית לרכב פרטי) ו-0.1 (בין אוטובוס לרכב פרטי)²⁹. הפתרון האופטימלי חושב לערכים שונים של q (היקף התנועה במונחי יר"מ למסלול לשעה) במצב הקיים, בהנחה שהרכב התנועה ההתחלתי אינו תלוי בהיקף התנועה³⁰. לפונקציות המהירות שהשתמשנו בהן בחישובינו הקודמים הוספנו

26 למסקנה חדה יותר נגיע, אם נבחן את היקף התנועה הממוצע למסלול בכבישים אלו, שהוא 286, 185 ו-238 יר"מ לשעה, בהתאמה. במדגם המבוסס על סקר המהירות בכבישים בינעירוניים בשעות השפל נמצא, שרק ב-8.6 אחוזים מהתנועה ירדה המהירות מתחת למהירות הקריטית.

27 ההבדל בין השיא לשפל אינו עולה על 10 עד 20 אחוזים.

28 בהתאם למשוואה (9) האגרה האופטימלית שווה ל- T_i , כאשר T היא תוספת העלות החברתית

כתוצאה מהוספת כלי רכב (מתוקן) נוסף, ו- ρ_i מקדם הפרעה מקדמי המילוי של רכב פרטי ואוטובוסים

הם 1.7 ו-40 בתחבורה העירונית, ו-2.5 ו-25 בתחבורה הבינעירונית. הנחנו, שמקדם ההפרעה של האוטובוס

הוא 2.

29 ליתר פירוט הנחנו, שמטריצת גמישויות התחלופה היא:

$$\begin{matrix} & X_1 & X_2 & X_3 & X_4 & X_5 \\ \left. \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \end{matrix} \right\} & \begin{pmatrix} -0.5 & 0 & 0.25 & 0.1 & 0 \\ 0 & -0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0 & -0.5 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0 & 0.1 & -0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.05 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$X_1, \dots, X_5$ הם רכב פרטי, מסחרי, מונית, אוטובוסים ומשאיות, בהתאמה.

30 כדי לחשב את מבנה התנועה באופטימום ואת חלוקת הנוסעים בין חמשת אמצעי ההובלה, יש לפתור מערכת משוואות המורכבת: (א) מפונקציות ביקוש ($M_1, M_2, \dots, M_5$) (ב) מפונקציות עלויות

שוליות $M_i = M_i(q)$ (ג) ממשוואת התנועה $q = \sum_{i=1}^5 \rho_i X_i$ לשם הפשטות הנחנו,

שעקומות הביקוש הן ליניאריות $X_i = \alpha_{i0} + \sum_{j=1}^5 \alpha_{ij} M_j$

כאלטרנטיבה את פונקציית המהירות העירונית שהציעו ארד, פינס וקוברינסקי. פונקציה זו מבחינה בין מהירות רכב פרטי, מוניות ורכב מסחרי לבין המהירות של אוטובוסים ומשאיות, והיא רגישה פחות לשינויים בהיקף התנועה.³¹

לוח 8 מתאר את ההרכב האופטימלי של התנועה העירונית, ולוח 9 מתאר את שיעורי האגרה שיש להטיל, כדי להביא להקצאה האופטימלית.³² לוחות אלה חוזרים ומאשרים את ממצאינו בדבר הפער הניכר, הקיים בתנועה העירונית בין העלות לנוסע לבין העלות השולית למשק. כאשר היקף התנועה עולה על 200 יר"מ, הרי הפתרון לבעיית הצפיפות הוא חד-משמעי: חלוקה אופטימלית של התנועה מחייבת הטלת אגרות דיפרנציאליות, שיביאו למעבר נוסעים מכלי הרכב הפרטיים לאוטובוסים.

בעוד שבהיקף תנועה הקטן מ-200 יר"מ, כאשר מהירות כלי הרכב הפרטיים עולה על 40 קמ"ש (מצב המאפיין את שעות הלילה), ההיקף וההרכב האופטימליים של התנועה אינם שונים במדה נכרת מאשר במצב הקיים — הרי ככל שהיקף התנועה במצב ההתחלתי גדול יותר, כן גדל הפער בין המצב הקיים לאופטימום. בהנחה שפונקציית המהירות היא זו של ארד, פינס וקוברינסקי, וכאשר במצב ההתחלתי היקף התנועה הוא $q = 300$ — מחייב הפתרון האופטימלי קיצוץ של כ-10 אחוזים במספר כלי הרכב הפרטיים (ובמספר הנוסעים בכלי רכב אלה), בלי שישתנה מספר האוטובוסים. כאשר מספר כלי הרכב עולה ל-500 יר"מ, יש לקצץ במספר הנוסעים ברכב פרטי למעלה מ-35 אחוזים, ולהגדיל את מספר הנוסעים באוטובוסים בכ-5 אחוזים. כאשר המהירות יורדת ל-10 קמ"ש (והיקף התנועה הוא 800 — 700 יר"מ), יש לקצץ את מספר כלי הרכב הפרטי בלמעלה ממחצית, ולהגדיל את מספר האוטובוסים בכ-5 עד 7 אחוזים. חשוב להדגיש, שהשינוי בהרכב התנועה כרוך רק בשינוי קטן במספר הנוסעים הכולל במערכת (שינוי שאינו עולה בכל מקרה על 8 אחוזים), אך מלווה בשינוי דרסטי בהיקף התנועה (ירידה של למעלה מ-25 אחוזים, כאשר היקף התנועה במצב ההתחלתי הוא 700 יר"מ לשעה).

α_{ij} חושבו על סמך האינפורמציה על הגמישויות במצב ההתחלתי η_{ij} לכל ערך של q כאשר

$$\alpha_{i0} = X_i - \sum_{j=1}^5 \alpha_{ij} \Pi_j = \left(1 - \sum_{j=1}^5 \eta_{ij}\right) \psi_i q \quad \alpha_{ij} = \eta_{ij} X_i / \Pi_j = \eta_{ij} \psi_i q / \Pi_j$$

Π_j הם המחירים במצב ההתחלתי (Π_j נקבע על-ידי q) ו- $\psi_i = X_i/q$ הוא היחס נוסעים בסוג רכב i חלקי היקף תנועה במונחי יר"מ במצב ההתחלתי. M_i חושב בנפרד לכל q בהתאם למשוואה (8)

$$M_i = C_i - \rho_i \sum_{j=1}^5 X_j \frac{C_{1j}}{S_j^2} \frac{\partial S_j}{\partial q} = C_i + \rho_i \sum_{j=1}^5 C_{1j} b_j X_j / S_j^2$$

b_j הוא המקדם בפונקציית המהירות. אנו מניחים ש- ψ_i אינו תלוי בהיקף התנועה במצב ההתחלתי. (הנתונים על ρ_i ו- ψ_i מופיעים בלוח 4. בשורות 6 ו-11, בהתאמה). מערכת המשוואות היא מערכת לא-ליניארית, והפתרון חושב בשיטה איטרטיבית.

31 הפונקציה שאמדו ארד, פינס וקוברינסקי היא:

$$S_1 = 50.47 - 0.0522 q \\ S_2 = 22.50 - 0.0162 q$$

S_1 ו- S_2 מציינים את מהירות הרכב הפרטי והאוטובוסים, בהתאמה, ו- q הוא נפח התנועה למסלול (כיר"מ). פונקציה זו הותאמה להבדל בהגדרת q בין מאמרו למאמרם של ארד, פינס וקוברינסקי. כמאמר זה מוגדר q כנפח התנועה (המתוקן) למסלול, ואילו במקור הוגדר q כנפח התנועה ככביש. (המידה נערכה ברחוב בן-יהודה בתל-אביב, שהוא כביש תלת-מסלולי).

32 בלוחות 8 ו-9 מפורטים הנתונים רק לגבי הרכב הפרטי והאוטובוסים. בחישובינו נכללו גם המוניות, הרכב המסחרי ומשאיות, אך מאחר שהשינויים הצפויים בעקבות האגרה בהיקף התנועה של מובילים אלה הם מצומצמים, לא נעסוק בהם בהמשך הפרק.

ובהאצת התנועה (עלייה מ-14 ל-24 קמ"ש במהירות הרכב הפרטי, ומ-11 ל-14 קמ"ש במהירות האוטובוסים).

בשנת 1973/74 היה המס המוטל על ק"מ-נוסע ברכב פרטי בכביש עירוני 0.0465 ל"י. בכל היקף תנועה העולה על 200 יר"מ, תהיינה האגרות האופטימליות גבוהות מהמסים הקיימים. כאשר נפח התנועה הוא 500 יר"מ לשעה, האגרה האופטימלית שיש להטיל על רכב פרטי גבוהה פי 5 מן המס הקיים, וכאשר היקף התנועה עולה ל-700 עד 800 יר"מ לשעה, יש להגדיל את המס הנוכחי ביותר מפי 10.

באופטימום, המס, שיש להטיל על ק"מ-נוסע ברכב פרטי בנסיעה עירונית, צריך לעלות פי 12 על המס, שיש להטיל על ק"מ-נוסע באוטובוס. ב-1973/74 היה המס המוטל על מפעיל האוטובוס 0.0013 ל"י. היחס בין שיעורי המס על רכב פרטי לשיעורי המס על אוטובוס היה אפוא 1:36. לפיכך שיעור הגידול המתחייב במסים על אוטובוס גדול פי 3 מזה המתחייב במסים על הרכב הפרטי. כאשר נפח התנועה ההתחלתי הוא 500 יר"מ לשעה, תהיה האגרה האופטימלית על ק"מ-נוסע באוטובוס פי 16 מהמס הקיים (למפעיל), וכאשר היקף התנועה הוא 700 עד 800 יר"מ לשעה, יש להגדיל את המס פי 30 עד 40.

מדיניות אופטימלית מחייבת להגדיל את המס המוטל על ק"מ-נוסע באוטובוס בשטח עירוני בשיעור העולה על הגדלת המס המוטל על נוסעי רכב פרטי³³, אך בגלל רכיב המס הנמוך באוטובוס, תהיה השפעת האגרה על עלות הנסיעה ברכב פרטי גדולה יותר מהשפעתה על עלות הנסיעה באוטובוסים. באופטימום מהווה האגרה כ-60 אחוזים מהעלות לנוסע ברכב פרטי — כאשר המצב ההתחלתי הוא $q = 500$, ולמעלה מ-70 אחוזים מהעלות לנוסע — כאשר המצב ההתחלתי $700 \leq q \leq 800$. משקל האגרה האופטימלית בעלות למפעיל האוטובוס יהיה באופטימום קטן מ-10 אחוזים, כאשר המצב ההתחלתי $q = 500$ וכ-15 אחוזים — כאשר $700 < q < 800$. הגידול במהירות לא יוכל לפצות את נוסעי הרכב הפרטי על העלאת האגרה, והעלות לנוסע ברכב פרטי באופטימום (M) תהיה גבוהה מהעלות במצב ההתחלתי (Π). מאידך גיסא, גידול מהירות הנסיעה באוטובוס יקוז את העלאת האגרה, וכתוצאה מכך הרי המחיר לנוסע באוטובוס בנסיעה עירונית כמעט לא ישתנה.

מסקנות אלו מקבלות משנה תוקף, אם מאמצים את פונקציית המהירות העירונית שמציע הראל (ראה כלוחות 8 ו-9). לפי פונקציה זו רגישה המהירות בשטח עירוני לשינויים בהיקף התנועה יותר מאשר לפי הפונקציה של ארד. פינס וקוברינסקי. (הראל מניח, שכבר כנפח של $q = 728$ מגיעה התנועה לכדי עצירה: $S=0$). כתוצאה מכך, יש לנקוט אמצעי מדיניות חריפים יותר (הטלת אגרות גבוהות יותר) כדי להביא להקצאה האופטימלית. באופטימום תהיה הירידה במספר הנוסעים ברכב פרטי תלולה יותר, והגידול במספר הנוסעים באוטובוס — רב יותר, כאשר מספר הנוסעים הכללי כמעט לא ישתנה³⁴. הירידה במספר הכולל של כלי הרכב תהיה במקרה זה תלולה, והשיפור במהירות — גדול יותר.

33 מסקנה זו תהיה נכונה במיוחד, כאשר האגרה תוטל בצורת מס דלק: זאת מחמת ההבדל בין משקל מסי הדלק בכלל המסים המוטלים על התשומות המשתנות ברכב פרטי לבין משקל זה באוטובוס. מסי הדלק מהווים כ-90 אחוזים מכלל המסים המוטלים על הרכב הפרטי, אך רק כ-15 אחוזים מכלל המסים המוטלים על האוטובוס. התאמת האגרה באמצעות מסי דלק תחייב משום כך להעלות את מסי הדלק המוטלים על האוטובוס בשיעור הגדול פי 16 משיעור גידול המס על רכב פרטי. כך, למשל, כאשר היקף התנועה הוא 500 יר"מ לשעה, יירדו גידול פי 6 במסי דלק על רכב פרטי, בעוד שהאגרה האופטימלית על ק"מ-נוסע באוטובוס היא, ב-1973/74, פי 95 ממסי הדלק על ק"מ-נוסע.

34 כאשר המהירות במצב ההתחלתי קטנה מ-15 קמ"ש ($q \geq 500$), עשוי מספר הנוסעים אף לגדול.

לוח
פיצול התנועה האופטימלי (רכב פרטי ואוטובוסים)

מספר			מספר כלי הרכב (יר"מ לשעה)			מספר כלי הרכב (יר"מ לשעה)		
רכב פרטי			סך הכול			אופטימלי		
אופטימלי	התחלתי	אופטימלי	התחלתי	אופטימלי	התחלתי	אופטימלי	התחלתי	אופטימלי
התחלתי	אופטימלי	התחלתי	אופטימלי	התחלתי	אופטימלי	התחלתי	אופטימלי	התחלתי
ל פ י פ ו נ ק צ י י ת ה מ ה י ר ו ת ש ל								
200	197	.985	729	713	.978	185	182	.984
300	280	.933	1,094	1,055	.964	278	245	.881
500	408	.816	1,823	1,718	.942	463	304	.656
700	513	.733	2,552	2,364	.926	649	320	.493
ל פ י פ ו נ ק צ י י ת								
200	195	.975	729	704	.966	185	179	.968
300	271	.903	1,094	1,045	.955	278	230	.827
500	375	.750	1,823	1,767	.969	463	239	.516
700	545	.779	2,552	2,818	1.104	649	322	.496

8
והשפעתו על המהירות בתחבורה העירונית

המהירות (קמ"ש)						הנוסעים		
אוטובוסים			רכב פרטי			אוטובוסים		
אופטימלית			אופטימלית			אופטימלי		
התחלתית	אופטימלית	התחלתית	התחלתית	אופטימלית	התחלתית	התחלתית	אופטימלי	התחלתית
א ר ד , פ י נ ס ו ק ו ב ר י נ ס ק י								
1.000	19	19	1.000	40	40	.972	459	472
1.000	18	18	1.029	36	35	.990	701	708
1.143	16	14	1.208	29	24	1.042	1,229	1,180
1.273	14	11	1.714	24	14	1.074	1,775	1,662
ה מ ה י ר ו ת ש ל ה ר א ל								
			1.028	37	36	.960	453	472
כמו רכב פרטי			1.069	31	29	.997	706	708
			1.500	24	16	1.135	1,339	1,180
			6.500	13	2	1.340	2,214	1,652

לוח 9
האגרה האופטימלית והמחיר למשק בתחבורה העירונית (ל"י לק"מ-נוסע)

אוטובוסים				רכב פרטי				מספר כלי הרכב ההתחלתי (יר"מ לשעה) q
המחיר לנוסע				המחיר לנוסע				
אגרה אופטימלית T	אופטימלי התחלתי M/Π	אופטימלי M	התחלתי Π	אגרה אופטימלית T	אופטימלי התחלתי M/Π	אופטימלי M	התחלתי Π	
לפי פונקציית המהירות של ארד, פינס וקוברינסקי								
.005	1.079	.191	.177	.062	1.083	.196	.181	200
.009	1.106	.208	.188	.109	1.312	.252	.192	300
.021	1.100	.242	.220	.244	1.784	.405	.227	500
.040	1.059	.285	.269	.455	2.029	.639	.315	700
לפי פונקציית המהירות של הראל								
.006	1.111	.130	.117	.070	1.116	.211	.189	200
.012	1.113	.148	.133	.141	1.425	.295	.207	300
.034	.937	.193	.206	.398	1.976	.579	.293	500
.196	.335	.449	1.340	2.307	1.613	2.600	1.612	700

(1) כולל סובסידיה.

לוח 10
פיצול התנועה האופטימלי (רכב פרטי ואוטובוסים) והשפעתו על המהירות בתחבורה בינעירונית

מספר כלי הרכב (יר"מ לשעה)		מספר הנוסעים		המהירות (קמ"ש)											
		סך הכול		רכב פרטי		אוטובוסים									
								אופטימלי	התחלתי	אופטימלי	התחלתי	אופטימלי	התחלתי	אופטימלי	התחלתי
אופטימלי	התחלתי	אופטימלי	התחלתי	אופטימלי	התחלתי	אופטימלי	התחלתי	אופטימלי	התחלתי	אופטימלי	התחלתי	אופטימלי	התחלתי	אופטימלי	התחלתי
בכביש דו-מסלולי															
400	421	1,053	1,154	1,211	1,040	400	483	1,098	390	402	1,031	83	83	1,000	1,000
1,000	1,034	1,034	2,886	2,978	1,031	1,100	1,170	1,064	975	994	1,019	74	74	1,000	1,000
1,800	1,798	.999	5,194	5,194	1,000	1,980	1,972	.996	1,755	1,766	1,006	62	63	1,016	1,016
בכביש חד-מסלולי רחב															
400	417	1,043	1,154	1,199	1,035	440	476	1,082	390	397	1,018	73	73	1,000	1,000
1,000	1,001	1,001	2,886	2,887	1,000	1,100	1,101	1,000	975	976	1,001	60	60	1,000	1,000
1,800	1,640	.911	5,194	4,808	.926	1,980	1,621	.819	1,755	1,735	.989	41	45	1,098	1,098
בכביש חד-מסלולי צר															
200	207	1,035	577	594	1,029	220	234	1,064	195	197	1,010	66	65	.985	.985
300	305	1,017	866	877	1,013	330	341	1,033	293	293	1,000	60	60	1,000	1,000
500	484	.968	1,443	1,402	.972	550	517	.940	488	481	.986	49	50	1,020	1,020
700	635	.907	2,020	1,861	.921	770	626	.813	683	671	.982	38	42	1,105	1,105

לוח 11

האגרה האופטימלית והמחיר למשק בתחבורה הבינעירונית (ל"י לנוסע-ק"מ)

אוטובוסים				רכב פרטי				מספר כלי הרכב (יר"מ לשעה) q
מחיר לנוסע				מחיר לנוסע				
אגרה	אופטימלי	אופטימלי M	התחלתי Π	אגרה	אופטימלי	אופטימלי M	התחלתי Π	
אופטימלית T	התחלתי M/Π			אופטימלית T	התחלתי M/Π			
בכביש דו־מסלולי								
.001	.875	.077	.088	.005	.752	.082	.109	400
.003	.934	.085	.091	.014	.850	.096	.113	1,000
.007	1.000	.098	.098	.035	1.033	.124	.120	1,800
בכביש חד־מסלולי רחב								
.002	.913	.084	.092	.009	.805	.091	.113	400
.007	1.010	.100	.099	.034	1.016	.125	.123	1,000
.021	1.144	.135	.118	.103	1.448	.210	.145	1,800
בכביש חד־מסלולי צר								
.003	.948	.091	.096	.014	.847	.100	.118	200
.005	.990	.098	.099	.024	.943	.115	.122	300
.011	1.074	.116	.108	.056	1.173	.156	.133	500
.021	1.154	.142	.123	.108	1.467	.220	.150	700

תמונה שונה לחלוטין מתקבלת, כאשר בודקים את הקצאת התנועה האופטימלית בכבישים בינעירוניים (לוחות 10 ו-11), ובמיוחד בכבישים הבינעירוניים המהירים (כבישים דר-מסלוליים וחד-מסלוליים רחבים). בכל היקף תנועה הקטן מ-1,000 יר"מ לשעה, המסים המוטלים על הרכב הפרטי עולים על האגרה האופטימלית, וכתוצאה מכך היקף התנועה ההתחלתי קטן מהיקף התנועה האופטימלי. (בכבישים דר-מסלוליים דבר זה נכון כל עוד $1800 \leq q$). בכבישים אלה יש להפחית אפוא את מסי הרכב הפרטי, ולהתאים במדת מה את מסי האוטובוסים, כדי להגיע לאופטימום. בכבישים חד-מסלוליים צרים המהירות רגישה יותר לשינויים בתנאי הצפיפות, אך בכבישים אלה מספיקות האגרות הקיימות, כל עוד היקף התנועה קטן מ-400 יר"מ לשעה, וההתאמה הנדרשת עם גידול היקף התנועה קטנה יחסית. כך, למשל, אם במצב ההתחלתי $q = 700$, הרי כדי להקטין את מספר הנוסעים ברכב פרטי ב-20 אחוזים, יש להגדיל את האגרות המוטלות על נוסעי רכב פרטי ועל נוסעי אוטובוסים פי 3 ופי 10. שינויים אלו קטנים במדה ניכרת מן השינויים הנדרשים במצב דומה כתנועה העירונית.

כאשר היקף התנועה העירוני במצב ההתחלתי הוא 500 יר"מ לנתיב לשעה, תהיה האגרה האופטימלית על רכב פרטי 0.244 ל"י לק"מ-נוסע, או 0.415 ל"י לק"מ-רכב (ראה לוח 9). אגרה זו גבוהה פי 5.3 מכלל המסים על הוצאות התפעול המשתנות לק"מ-רכב פרטי, והיא תביא להגדלת הוצאות התפעול לצרכן פי 2.8. אם יוחלט לגבות את תוספת האגרה בצורת מסי דלק, יידרשו העלאה פי 5.9 במסי הדלק והתייקרות פי 4.1 במחיר הדלק לצרכן. ניסיון להתמודד עם בעיית הצפיפות בכבישים העירוניים באמצעות מסים (ובמיוחד באמצעות מסי דלק) כרוך אפוא בעיוות ניכר בהקצאת המקורות בכבישים הבינעירוניים, וקרוך לוודאי שאינו ניתן לביצוע, מטעמים פוליטיים. נשאלת השאלה, באיזו מדה יכולות סובסידיות לתחבורה הציבורית העירונית לשמש תחליף למסים בהתמודדות עם בעיה זו?³⁵

כדי לענות על שאלה זו, אימצנו הנחה קיצונית, שנסיעה באוטובוס תהיה חינם; במלים אחרות: הנחנו שהסובסידיה לק"מ-נוסע גודלה כגודל העלות הכספית לצרכן (0.0489 ל"י לק"מ-נוסע). נסיעה חינם באוטובוס עירוני כרוכה בהגדלת הסובסידיה לחברות האוטובוסים פי 4.6 (הגדלה מ-160 מיליון ל"י ל-733 מיליון ל"י ב-1973/74) ובהוזלת העלות לנוסע (כולל עלויות הזמן) — ב-30 אחוזים בקירוב; אך הגידול הדרסטי בסובסידיה מביא רק לשינוי מזערי בהיקף התנועה. את הירידה במספר כלי הרכב הפרטיים (ב-2 עד 3 אחוזים), כתוצאה מהתחלופה, מקוזת העלייה בשימוש באוטובוסים (8 עד 14 אחוזים), ולכן היקף התנועה אינו משתנה (לוח 12)³⁶.

5. סיכום ומסקנות

הניתוח בפרק הקודם חוזר ומאשר את המסקנה, שמכשיר המסוי, ובמיוחד מס הדלק, הוא מכשיר קהה לצורך ההתמודדות עם בעיית הצפיפות בדרכים. המס, הנדרש כדי לגשר על הפער שבין העלות לפרט לבין העלות למשק בתנועה העירונית, גדול עשרת מונים מזה הנדרש בתנועה

35 כמאמר זה לא ניסינו לענות על השאלה, מהו המס האופטימלי, שיביא למינימיזציה של העיוותים בתחבורה העירונית והבינעירונית גם יחד.

36 תוצאה זו לא תפתיע אותנו, אם נזכור את התנאי לתיקון הקצאת המקורות באמצעות סובסידיה: בהתאם למשוואה (15), תנאי הכרחי לסיבסוד הוא $\eta_{q\Pi_B} = \sum \gamma_i \eta_{iB} > 0$ כאשר $\eta_{q\Pi_B}$ היא גמישות המחיר ביחס למחירי האוטובוס. לפי הנחותינו ביחס לגמישויות (הערה 29) ולערכי γ_i המופיעים בלוח 4 (שורה 9), יהיה $\eta_{q\Pi_B} = -0.0004$. הורדת מחיר הנסיעה באוטובוס ב-28 אחוזים תגדיל את מספר כלי הרכב המתקנים ב-0.01 אחוזים.

לוח 12

השפעת ביטול התשלום בעד נסיעה באוטובוסים עירוניים על היקף התנועה העירונית ועל הרכבה

מספר הנוסעים									מספר כלי הרכב (י"מ לשעה)		
באטובוסים			ברכב פרטי			סך הכול					
כשהנסיעה			כשהנסיעה			כשהנסיעה			כשהנסיעה		
יחס	התחלתי	חינם	יחס	התחלתי	חינם	יחס	התחלתי	חינם	יחס	התחלתי	חינם
1.138	537	472	.973	180	185	1.082	789	729	1.000	200	200
1.130	800	708	.975	271	278	1.077	1,178	1,094	1.000	300	300
1.111	1,311	1,180	.978	453	463	1.066	1,943	1,823	.998	499	500
1.091	1,802	1,652	.982	637	649	1.054	2,689	2,552	.999	699	700

(1) פונקציית הצפיפות היא זו של ארד, פינס וקוברנסקי.

לוח 13

עלויות התשתית המשתנות ועלויות נזקי תאונות דרכים

רכב פרטי					מסחריות		מוניות	אוטובוס	משאיות
(1) הוצאות התשתית המשתנות לק"מ-רכב					0.16	0.16	0.16	3.32	8.02
(2) נזקי תאונות הדרכים לק"מ-רכב					4.77	9.14	5.25	6.91	3.44
(3) הוצאות הביטוח לק"מ-רכב					(5.09)	6.74	3.49	4.60	9.36
(4) נזקי התאונות שאינם מכוסים ¹ (3) - (2)					4.77	2.40	1.76	2.31	(-)5.92
(5) עלות התאונות והתשתית (1)+(4)					4.95	2.56	1.92	5.63	2.10
תחבורה עירונית:									
(6) מקדם המילוי					1.7	0	3.0	40.0	0
(7) עלות לק"מ-נוסע (5)/(6)					2.90	(2.56)	0.64	0.14	(2.10)
(8) מס לק"מ-נוסע ²					4.65	14.20	1.73	0.12	14.29
תחבורה בינעירונית									
(9) מקדם המילוי					2.5	2.0	5.5	25.0	2.5
(10) עלות לק"מ-נוסע (5)/(9)					1.97	1.28	0.35	0.23	0.84
(11) מס לק"מ-נוסע ²					3.16	7.10	0.95	0.22	5.72

(1) עלויות ביטוח ברכב פרטי הוגדרו כהוצאה קבועה, ועל כן הוגדרו כל התאונות כנזקי תאונות לא-מכוסים.

(2) המס לק"מ-נוסע חושב כהפרש, שבין העלות לק"מ-נוסע למפעיל ובין עלות זו למשק (ראה לוח 5).

המקור: (1) - רייס (1979), לוח 2, עמ' 15.

(4), (3), (2) - רייס (1977), לוח 7, עמ' 56.

(10), (8) - לוח 5.

הבינעירונית. כך, לדוגמה, כאשר היקף התנועה העירונית הוא 500 יר"מ לנתיב (המהירות לפי ארד, פינס וקוברינסקי 25 קמ"ש), יידרש (כתנאי שנת 1973/74) מס בסך 0.414 ל"י לק"מ-רכב פרטי. בהיקף תנועה דומה בכבישים בינעירוניים חד-מסלוליים רחבים תהיה המהירות 71 קמ"ש, והאגרה האופטימלית על רכב פרטי — 0.03 ל"י לק"מ-רכב. ההבדל במדת הרגישות של המהירות לתנאי התנועה מחייב אפוא, שהאגרה על ק"מ-רכב פרטי בכביש עירוני תעלה פי 13 על זו הנדרשת: בנסיעה בינעירונית³⁷. גם אם נביא בחשבון את ההבדלים בתצורות הדלק בין נסיעה עירונית לבינעירונית, לא ניתן למלא את דרישות המסוי של סקטור אחד, בלי להביא לעיוות חמור בהקצאה בסקטור השני: קביעת המסים לפי צורכי התנועה העירונית תביא לפגיעה חמורה בתנועה הבינעירונית, וקביעתם לפי צורכי התנועה הבינעירונית (או השארתם ברמתם הקיימת) תותיר בנסיעות עירוניות פער ניכר בין העלות לפרט לבין העלות למשק. סובסידיה לתחבורה הציבורית איננה, לפי ממצאינו, תחליף למסוי, בגלל התחלופה הנמוכה שבין אמצעי ההובלה הפרטיים לציבוריים.

מהי רגישותן של מסקנות אלו להנחותינו? לא כל הנתונים מהימנים באותה מדה: משרירותיות רבה סובלים הנתונים על ערך הזמן ונתוני פונקציות הצפיפות. עם זאת אין להניח, ששינויים בהנחות אלו יביאו לשינוי מהותי במסקנות³⁸.

כאמור, בהעדר מחקרים מפורטים נאלצנו להשתמש בניחוש לשם אומדן גמישויות הביקוש. נראה לנו, שהנחותינו בדבר גמישויות המחיר עולות בקנה אחד עם תוצאותיהם של מחקרים על גמישות הביקוש לדלק³⁹, אך בגלל המהימנות הנמוכה של נתון זה חזרנו ובדקנו את מסקנותינו בהנחות אלטרנטיביות.

הכפלת כל הגמישויות (דהיינו אימוץ ההנחה, שגמישות המחיר העצמי לנוסעי רכב פרטי, מוניות ואוטובוסים היא יחידתית, הגמישויות הצולבות בין אוטובוס לבין מוניות ורכב פרטי הן 0.2 וכו') אינה משנה את המסקנות במדה ניכרת. בגלל הרגישות הגדולה יותר של התנועה למחיר, יידרש באופטימום גידול צנוע יותר באגרה, שיביא לידי צמצום חריף יותר בתנועה. כך, למשל, כאשר היקף התנועה העירונית במצב הקיים הוא 500 יר"מ, תידרש באופטימום אגרה של 0.211 ל"י לק"מ-נוסע ברכב פרטי ו-0.018 ל"י לק"מ-נוסע באוטובוס (במקום 0.244 — 0.21 ל"י, בהתאמה). אגרה זו תביא לירידה של 57 אחוזים במספר הנוסעים ברכב פרטי, לגידול של 9 אחוזים במספר הנוסעים באוטובוסים (בהשוואה ל-34 ו-4 אחוזים, בהתאמה, בהנחותינו הקודמות) ולירידה כוללת של 30 אחוזים בהיקף התנועה (במקום 18 אחוזים). הירידה במספר הכולל של הנוסעים כמעט לא תושפע מהשינוי בהנחות.

מסקנתנו בדבר אי יעילותה של סובסידיה לאוטובוסים עירוניים כמכשיר למלחמה בצפיפות תלויה בהנחותינו לגבי גמישויות הביקוש הצולבות. בחישובינו הנחנו, שהגמישויות הצולבות בין אוטובוסים לבין רכב פרטי ומוניות הן 0.1. (גמישות המחיר העצמי היא 0.5 — ⁴⁰).

37 הפרש האגרות הוא אף גדול יותר, מאחר שהיקף התנועה הממוצע בכבישים בינעירוניים נמוך במדה ניכרת מ-500 יר"מ לנתיב לשעה.

38 אורכה, שימוש בהנחות של הראל לגבי פונקציית הצפיפות העירונית היה מביא להקצנת מסקנותינו.
39 אומדן גמישות הביקוש לנסיעות פרטיות תואם את הממצאים בדבר גמישות הביקוש לדלק לרכב פרטי בישראל. אומדן גמישות הביקוש לדלק שווה לגמישות הביקוש ביחס למחיר הכולל, כפול משקל הדלק במחיר הכולל. משקל הדלק במחיר הכולל של נסיעה הוא כ-30 אחוזים ברכב פרטי בנסיעות עירוניות וכ-40 אחוזים בנסיעות בינעירוניות. בהתאם להנחותנו יהיה אפוא אומדן גמישות הביקוש לדלק שווה ל-0.19 — 0.14. שטראוס ובן-יהושע (1978) מצאו, שגמישות הביקוש לדלק בטווח הקצר היא 0.16, ובטווח הבינוני — 0.25. במחקר של לב (1980) נמצא, שגמישות הביקוש בטווח הקצר היא 0.19, ובטווח הארוך — 0.32.

40 ראה הערה 29.

כדי לבדוק את רגישות המסקנות לשינויים בפרמטרים, קבענו את הגמישויות הצולבות ברמה של 0.2 ו-0.5. במקרה הראשון, יביא ביטול כל תשלום על נסיעה באוטובוס לצמצום מספר כלי הרכב בתנועה העירונית ב-1 עד 2 אחוזים; במקרה השני (כאשר הגמישות הצולבת שווה לגמישות המחיר העצמי), תביא הסובסידיה לצמצום של 5 עד 7 אחוזים בתנועה. בכל מקרה השינוי קטן במדה ניכרת מזה המתחייב ממסוי אופטימלי.

לבסוף, הצפיפות אינה המקור היחיד לפער בין העלות לפרט לבין העלות למשק בתחבורה המוטורית; שני גורמים נוספים הם העלויות המשתנות הקשורות בתשתית ונזקי תאונות הדרכים. גורמים אלו נידונו במקום אחר⁴¹, אך להשלמת התמונה כללנו בלוח 13 את העלויות המשתנות הקשורות בתשתית ואת נזקי התאונות שאינם מכוסים בתשלומי ביטוח⁴². השוואת העלות לק"מ נוסע עם המס מראה, שבחוספת עלויות אלו אין כדי לשנות את מסקנותינו. הכללת עלויות התשתית ונזקי תאונות הדרכים בתמונה רק מחדדת את המסקנה, שמסי הרכב אין בהם כדי לגשר על הפער בין העלות לפרט לבין העלות למשק בתנועה העירונית. מאידך גיסא, גם אם נביא עלויות אלו בחשבון, הרי בתחבורה הבינעירונית המסים הקיימים מגשרים בדרך כלל על הפער, כפי שמראים החישובים בלוח 11⁴³.

לא נותר לנו אלא לסכם את מסקנותינו: מערכת המסים והסובסידיות, בצורתה הקיימת, אינה יכולה להתמודד עם בעיית הצפיפות בתחבורה העירונית. העלאת מסים מעבר לנקודה מסוימת תגרום פגיעה חמורה בתנועה הבינעירונית. מערכת הסובסידיות הממשלתית אינה מפלה די הצורך: אין הצדקה לסבסוד התחבורה הציבורית הבינעירונית; את כל המשאבים יש להפנות לסבסוד התחבורה הציבורית בערים הראשיות. לסבסוד עצמו תהיה השפעה מועטה, אם לא ילווה בצעדים כשיפור השירות, שיגבירו את התחלופה בין הרכב הפרטי לציבורי. בהעדר אפשרות להעלאת מסים, יש לנקוט אמצעים משלימים כגון הטלת אגרות חנייה וקביעת מגבלות אדמיניסטרטיביות, שיביאו למעבר נוסעים מכלי הרכב הפרטיים לאוטובוסים בתחבורה העירונית ולהקטנת הצפיפות במגזר זה.

6. סוף דבר

מערכת הרכב המוטורי היא מערכת דינמית, וקצב גידולה (לפחות של הרכב הפרטי) עולה על קצב הגידול של הפעילות הכלכלית הכוללת. (מסוף 1973 עד סוף 1980 גדלה מצבת כלי הרכב ב-45 אחוזים, ומצבת כלי הרכב הפרטיים — ב-75 אחוזים). יתר על כן, מסי הרכב משתנים לבקרים, ואין מחקר שיוכל להדביק את קצב שינויים. עבודה זו מתווה מסגרת לניתוח יעילותם של מסי הרכב, ובזאת חשיבותה העיקרית. נקווה שמסגרת זו תמלא בתוכן, על-ידי עדכון שוטף של הנתונים.

עם זאת אין החוקר פטור מדיון בהשלכות מחקרו על המדיניות בתחום מסי הדלק, הקושי העיקרי בדיון מסוג זה, נוסף על הקשיים שגורמת התרחבות המערכת, נעוץ בקצב עליית

41 וייס (1977, 1979).

42 בשיקוליו אין מפעיל הרכב מושפע במישרין מעלויות נזקי תאונות הדרכים, ובמיוחד לא מנזקים לזולת. נזקים אלו עשויים להשפיע על שיקוליו דרך השפעתם על תשלומי הביטוח, כאשר תשלומי הביטוח משתנים עם מרחק הנסיעה. במקרה של אוטובוס, רכב מסחרי, מוניות ומשאיות מניח וייס, שהוצאות הביטוח גדלות עם גידול מרחק הנסיעה, שכן הגדלת הקילומטראז' כרוכה (לפחות בטווח הארוך) בהגדלה במספר כלי הרכב וכן בהעלאת תשלומי הביטוח. במקרה של רכב פרטי נחשבת עלות הביטוח בעיני הצרכן לעלות קבועה, ועל כן אינה משפיעה על שיקוליו.

43 ההסתיוגות היחידה היא לגבי כבישים בינעירוניים צרים וצפופים ($q \geq 300$).

המחירים בשנים האחרונות, שרוקן את הנתונים הנומינליים של 1973/74 מכל תוכנם. בתקופה שבין 1973/74 ל-1980 עלה מדד המחירים לצרכן פי 20⁴⁴. מחיר הבנזין, שהיה ב-1973/74 בממוצע כ-1 ל"י לליטר, עלה עד סוף שנת 1980 ל-69 ל"י לליטר. (הממוצע לשנת 1980 היה 38.4 ל"י). בין שתי התקופות (ממוצע 1973/74 לעומת ממוצע 1980) חלה אפוא עלייה ריאלית של כ-90 אחוזים במחיר הבנזין. העלייה הריאלית במחיר הסולר היתה אף חריפה יותר. הסולר התייקר בין שתי התקופות פי 47 (מ-0.32 ל"י ל-15.21 ל"י לליטר), כלומר בכ-140 אחוזים, ריאלית⁴⁵.

מדד מחירי התשומות באוטובוסים (ללא שכר חברי הקואופרטיבים) עלה בין מארס 1974 ל-1980 פי 22 (בממוצע שנתי) — עלייה ריאלית של כ-35 אחוזים. בשל העמקת הסבסוד הישיר, פיגרו מחירי הנסיעה באוטובוס אחרי הגידול בעלויות. הנסיעה העירונית התייקרה פי 19.2 (עלייה ריאלית של 16 אחוזים), והנסיעה הבינעירונית — פי 17.6 (עלייה ריאלית של 7 אחוזים). ברכיב זה של המחירים היחסיים חל אפוא שינוי, שפעל להוזלת השימוש ברכב הציבורי לעומת השימוש ברכב הפרטי. מאידך גיסא חלה עלייה בשכר הריאלי ובערך זמנם של הנוסעים⁴⁶, שהביאה להסטת נוסעים נוספים מהאוטובוסים לרכב הפרטי. הגורם האחרון היה הגורם הדומיננטי, כפי שמראה לוח 14, ומשקלם של כלי הרכב הפרטיים בסך ק"מ-הרכב הלך וגדל במשך התקופה.

מאחר שמחירי הדלק לצרכן משתנים אחת לכמה חודשים, ואילו המחיר ליצרן משתנה מדי יום ביומו (בעקבות השינויים בשער החליפין) — משתנים שיעורי מסי הדלק באופן מתמיד. בהשוואה ל-1973/74 חלה ב-1980 ירידה מסוימת ברכיב המס שבמחיר הבנזין, אך ירידה זו לא פיצתה על העלייה הגדולה במחירי הבנזין, ולכן גדל מס הבנזין, ריאלית, ביותר מ-75 אחוזים. הסולר היה מסובסד במשך חודשים רבים ב-1980, ועל-כן, למרות העלייה התלולה במחירי הסולר לצרכן, ירדו המסים על הסולר, ריאלית.

לבסוף, אין בידנו נתונים ישירים על השינויים בצפיפות ובמהירות הנסיעה במשך העשור האחרון. הנתונים העקיפים שהוצגו בפרק 2 מראים, שההאטה בגידול הקילומטראז' הביאה להאטת ההרעה במצב הצפיפות; עם זאת ברור, שלא חל שיפור במהירות התנועה.

בעדכון הנתונים אין כדי לשנות את מסקנותינו העיקריות: עליית ערך זמנם של הנוסעים וגידול משקל הרכב הפרטי בכלל התנועה מחייבים להגדיל את האגרות האופטימליות הריאליות; הגידול במסי הדלק (בעיקר הבנזין) רחוק מסגירת הפער, שבין המסים האופטימליים בתחבורה העירונית לבין המסים למעשה. לדוגמה: גם אם נתעלם מהשינוי שחל בהרכב התנועה, הרי בהיקף תנועה עירונית של 500 יר"מ היתה האגרה האופטימלית המוטלת על כלי רכב פרטיים (במחירי 1980) 4.42 ל"י לק"מ-נוסע. כאשר היקף התנועה הוא 700 יר"מ, היתה האגרה (במחירי 1980) 8.23 ל"י לק"מ-נוסע⁴⁷. מס הבנזין הממוצע ב-1980 היה 1.41 ל"י לק"מ-נוסע. העלייה שחלה במסי הדלק יחסית לשכר צמצמה את הפער שבין האגרה הרצויה למס, אך עדיין הותירה פער שקשה לגשר עליו באמצעות העלאת מסי הדלק, בלי לפגוע בהקצאה במגזרים אחרים של המשק (ובמיוחד בתחבורה הבינעירונית).

מהם האמצעים המשלימים שעמדו לרשות המערכת לגישור על הפער בין העלות הפרטית לחברתית בתחבורה העירונית? אחד האמצעים המאפשר אפליה בין תנועה בעיר לתנועה

44 המדד ב-1973/74 (על בסיס ספטמבר 1969) היה 173.7, והמדד ל-1980 הוא 3,433.1, דהיינו פי 19.76.

45 כדאי לציין, שבחוקה ש-1974 עד 1980 חלה במחירי רכב פרטי ירידה ריאלית של כ-20 אחוזים.

46 השכר הממוצע למשרת שכיר עלה בחוקה ש-1974 עד 1980 בכ-20 אחוזים, ריאלית.

47 האגרה מתקבלת מהכפלת האגרה במחירי 1973/74 (0.244 ו-0.455 ל"י, בהתאמה) במדד עליית השכר הריאלי (18.1).

לוח 14
הקילומטראז' השנתי, לפי סוג רכב

סוג הרכב	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
(מיליוני ק"מ)							
קילומטראז' ארצי – סך הכול	9,006	9,232	9,264	9,272	9,959	10,380	10,750
פרטי	4,924	5,025	5,084	5,100	6,238	6,427	6,544
משאיות ומסחריות	2,945	3,067	3,107	3,032	2,565	2,794	3,105
אוטובוסים	409	453	436	447	403	431	442
מוניות	349	320	323	366	429	420	351
אופנועים וקטנועים	305	273	224	225	221	208	213
אחר	74	94	90	102	103	100	95
קילומטראז' בינעירוני – סך הכול	4,250	4,339	4,502	4,635	5,036	5,144	5,083
(אחוזים)							
סך הכול	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
פרטי	54.7	54.7	54.9	55.0	62.6	61.9	60.9
משאיות ומסחריות	32.7	33.4	33.5	32.8	25.8	26.9	28.9
אוטובוסים	4.5	4.4	4.7	4.8	4.0	4.2	4.1
מוניות	3.9	3.5	3.5	3.9	4.3	4.0	3.3
אופנועים וקטנועים	3.4	3.0	2.4	2.4	2.2	2.0	2.0
אחר	0.8	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	0.8

(1) לאוכלוסיית הכבישים הבינעירוניים אשר נפקדים במסגרת "ספירת תנועה בכבישים בינעירוניים".
התפלגות הקילומטראז' לפי סוגי הרכב בלוח זה שונה, במדה מסוימת, מן ההתפלגות בלוח 4, בגלל הברל בהגדרות.
המקור: הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, רבעון לסטטיסטיקה של תחבורה, כרך ו', 1, טבת תשמ"ב.

בינעירונית הוא אגרת החנייה. אגרת החנייה היא תחליף לא מושלם לאגרת הדרכים, שכן היא תלויה במשך החנייה ולא במשך הנסיעה בתנאי צפיפות. את הבעיות, שמעורר השימוש באגרת החנייה כאמצעי משלים למסי הדלק, ניתן להמחיש על-ידי השוואת אגרת החנייה אל הפער שבין העלות לפרט ובין העלות למשך בנסיעה עירונית ב-1980. בשנת 1980 היתה אגרת החנייה בתל-אביב 8 ל"י לשעה וכירושלים — 4 ל"י לשעה. (מאז מאי 1981 אוחדו התעריפים בשתי הערים). הפער בין העלות החברתית והפרטית (באופטימום) היה 3 ל"י לק"מ-נוסע ברכב פרטי בתנאי צפיפות של 500 יר"מ לשעה, ו-6.80 ל"י לק"מ-נוסע בתנאי צפיפות של 700 יר"מ לשעה. בהנחה, שמקדם המילוי הממוצע לכלי רכב פרטי הוא 1.7 נוסעים, היה הפער כ-5 ל"י ו-11.5 ל"י לק"מ-רכב, בהתאמה. באיזו מדה עשויה אגרת החנייה לגשר על הפער הזה? הדבר תלוי בכמה גורמים: באורך הנסיעה של כלי הרכב בתנאי צפיפות, במשך החנייה ובתרומתה של מכונית חונה לצפיפות העירונית.

גם אם נניח, שהרכב החונה אינו תורם לצפיפות (כלומר נתעלם מתרומת הרכב החונה לסתימת עורקי הנסיעה), וכן נניח שרירותית, שמרחק הנסיעה לעבודה הוא 5 ק"מ (בכיוון אחד)⁴⁸, ספק אם אגרות החנייה היו גבוהות דיין כדי לסגור את הפער. בירושלים נדרשו 12.5 שעות חנייה כדי לגשר על הפער, כשהרכב הנכנס למרכז העיר נסע בתנאי צפיפות של 500 יר"מ, ולמעלה מ-24 שעות — כאשר פעל בתנאי צפיפות של 700 יר"מ, ובתל-אביב נדרשו לשם כך למעלה מ-6 ומ-14 שעות חנייה, בהתאמה.

חישובים אלו בוודאי מוטים כלפי מטה, שכן הם מתעלמים מהשפעת הרכב החונה על הצפיפות ומגורמים נוספים⁴⁹, אך הם מצביעים על מגבלותיה של אגרת החנייה: האגרה תהיה נמוכה יתר על המדה לרכב הנכנס לאזור הצפוף לתקופת שהייה קצרה (מקרה קיצוני — רכב הנוסע באזור הצפוף בלי לחנות), ולרכב הנוסע בתנאי צפיפות מרחק רב. אם המטרה היא הרתעה מכניסה לאזורי צפיפות פוטנציאליים, יש לבדוק את האפשרות של אגרת חנייה שבה התעריף לשעה יקטן עם התארכות משך החנייה. אגרה מסוג זה תהיה מבוססת על רכיב קבוע התלוי באורך הנסיעה הממוצע ובתנאי הצפיפות, ורכיב המשתנה עם משך החנייה ותלוי בהשלכותיה של מכונית חונה על הצפיפות. אגרה זו תהיה גבוהה יותר במרכזי הערים, והיא תלך ותקטן ככל שמקום החנייה ירחק יותר ממוקדי הצפיפות.

יהיה מבנה אגרת החנייה מתוחכם ככל שיהיה, קשה להאמין ביכולתו להתמודד עם הבעיה המורכבת; יידרשו אפוא אמצעים נוספים — מהם מינהליים (איסור חנייה בשעות מסוימות ובנתיבים מסוימים, נתיבים מיוחדים לרכב ציבורי) ומהם פיסקליים (סובסידיה לתחבורה הציבורית העירונית, המיועדת במישרין לשיפור רמת השירות ולהגדלת התחלופה בין רכב פרטי לציבורי). ניתוח האמצעים הללו מחייב מחקר לעצמו.

48 לפי דוח "דפוסי נסיעה לעבודה 1980", היה משך הנסיעה הממוצע ברכב פרטי 20 דקות. אם נניח מהירות נסיעה ממוצעת של 15 קמ"ש, יהיה מרחק הנסיעה 5 ק"מ. (אם נניח 20 קמ"ש — יהיה המרחק 6 ק"מ.) לפי דוח "הרגלי נסיעה בישראל 1971–1958" והיה אורך נסיעה ממוצע (בנסיעות פנים-פנים) ברכב פרטי — בתל-אביב ב-1964 4.2 ק"מ. יש להניח, שמאז התאריך מסלול הנסיעה.

49 בחנייה לזמן ארוך תעריף החנייה חל אפקטיבית על 1.5 שעות ולא על שעה, וקרוב לוודאי שקיימת הטיה כלפי מטה באומדן מרחק הנסיעה הממוצע.

נספח 1 עלויות הנסיעה ברכב מוטורי

בעלויות הרכב המוטורי יש להבחין בין שלושה סוגי הוצאה: עלויות קבועות שאינן משתנות עם מרחק הנסיעה, עלויות המשתנות עם מרחק הנסיעה אך אינן תלויות במהירות הנסיעה, ועלויות התלויות במרחק הנסיעה ובמהירות הנסיעה גם יחד⁵⁰. הבחנה זו משמשת בסיס לחלוקת ההוצאות בלוח נ"1.

ההנחות הספציפיות שהתבססו עליהן בהקצאת העלויות הן⁵¹:

(א) הוצאות ההון, הוצאות הביטוח, האגרות והרשיונות הן הוצאה קבועה מנקודת ראות בעל רכב פרטי, אך הוצאה משתנה (לפי מרחק הנסיעה) — מנקודת ראותם של בעלי רכב מסחרי, אוטובוסים, מוניות ומשאיות.

(ב) עלויות השכר של הנהגים משתנות עם זמן הנסיעה כאשר מדובר באוטובוסים, אך מהוות, לפחות בחלקן, עלות קבועה כאשר מדובר ברכב מסחרי, במוניות ובמשאיות (שכן זמן ההמתנה אינו תלוי במרחק הנסיעה).

(ג) עלויות הדלק, השמן והצמיגים תלויות בקילומטראז', אך אינן מושפעות ממהירות הנסיעה.

(ד) עלות התפעול לק"מ-רכב ועלות התפעול לשעת נסיעה שווה בנסיעה עירונית ובינעירונית. (ההבדל בין העלויות לק"מ-נוסע בשני המגזרים תלוי אך ורק במקדמי המילוי של הרכב בשטח עירוני ובינעירוני).

(ה) תעריפי הנסיעה במוניות משקפים את עלויות התפעול למפעיל. מהסובסידיה לאוטובוסים נהנים אך ורק הנוסעים בקווים העירוניים.

(ו) ערך זמנם של הנוסעים באוטובוסים הוא 30 אחוזים משכרם, ברכב פרטי — 35 אחוזים, ובמוניות — 40 אחוזים. השכר הממוצע נטו ב-1973/4 היה 8.2 ל"י לשעה.

50 בדיון זה אנו מתעלמים מהעלויות הקשורות בנתיב עצמו. עלויות אלה רובן קבועות, ולפחות בטווח הקצר והבינוני אין הן משתנות עם מספר הנסיעות (ק"מ-רכב או ק"מ-נוסעים). רכיב מסוים בעלויות אלו (חלק מהוצאות האחזקה) תלוי כמדת השימוש בנתיב. דיון מפורט בנושא זה ראה: וייס (1979).
51 הסבר להנחות אלו ראה: גרנאו וייס (1982).

לוח נ"ו
עלות התפעול הממוצעת לק"מ-רכב ורכיב המס לפי סוג הרכב והעלות

רכב פרטי		מסחריות		מוניות		אוטובוסים		משאיות	
העלות הממוצעת	רכיב המס	העלות הממוצעת	רכיב המס	העלות הממוצעת	רכיב המס	העלות הממוצעת	רכיב המס	העלות הממוצעת	רכיב המס
עלויות קבועות (אג' לק"מ-רכב) ¹									
5.09	0.98	—	—	—	—	—	—	—	—
ביטוח									
3.25	3.25	—	—	—	—	—	—	—	—
אגרות ורשיונות									
18.02	7.93	—	—	—	—	—	—	—	—
פחת וריבית									
—	—	68.08	—	2.44	—	—	—	24.62	—
שכר תפעולי									
0.51	0.51	4.20	0.39	2.43	—	9.80	—	9.80	0.91
שונות									
26.87	12.67	72.28	0.39	4.87	—	9.80	—	34.42	0.91
סך הכול									
עלויות המשתנות עם הקילומטראז' (אג' לק"מ-רכב)									
10.71	6.90	13.99	8.95	5.70	1.32	11.77	0.85	14.91	2.82
דלק									
1.02	0.11	1.00	0.11	1.96	0.21	1.10	01.2	3.80	0.41
שמן									
1.50	0.13	2.00	0.17	2.00	0.21	6.40	— 0.41	13.50	— 0.92
צמיגים									
5.40	0.73	11.00	1.50	7.24	0.98	27.10	3.33	36.10	3.39
תיקונים וחלפים									
—	—	6.74	0.26	3.49	0.04	4.60	—	9.36	0.30
ביטוח									
—	—	1.40	1.40	1.82	1.82	2.70	2.70	4.20	4.20
אגרות ורשיונות									
—	—	11.20	1.83	12.56	0.59	32.60	— 1.37	34.40	4.09
פחת וריבית									
18.63	7.87	47.33	14.22	34.77	5.17	86.27	5.22	116.27	14.29
סך הכול									
עלויות המשתנות עם הקילומטראז' ועם המהירות (אג' לשעת-רכב)									
—	—	954.00	—	1,431.00	—	2,956.00	—	1,431.00	—

(1) העלות הקבועה הממוצעת לק"מ-רכב מחושבת בהנחה. שמספר הק"מ שברכב נוסע הוא מספר הק"מ הממוצע לרכב מאותו סוג. המקור: הנתונים דרך החישוב 'מתארים' אצל גרונאו וריס (1982).

ביבליוגרפיה

- ארה, ב', פינס, ד' וקוברינסקי, ש' (1977), 'מיסוי הרכב במרכז עירוני', רבעון לכלכלה 94 (ספטמבר).
- ברוצקוס, א' (1974), 'בעיות יסוד של המדיניות בתחום התחבורה (תחבורה פרטית לעומת תחבורה ציבורית)', רבעון לכלכלה 83 (דצמבר).
- גרונאו, ר' (1975), 'הרכב הפרטי אוהב או אויב', רבעון לכלכלה 86 (אוגוסט).
- וייס, צ' (1977), 'אומדן נזקי תאונות דרכים והקצאתם לסוגי הרכב השונים', סקר בנק ישראל 47 (נובמבר).
- וייס, צ' (1979), 'עלות התשתית לתחבורה המוטורית, הקצאתה ומימונה', סקר בנק ישראל 50 (מארס).
- גרונאו, ר' ווייס, צ' (1982), 'אגרות צפיפות ומסי הרכב בישראל', בנק ישראל, מחלקת המחקר (יתפרסם בקרוב).
- חסון, א' (1969), 'מיסוי הרכב בישראל', עבודת מ.א. בחוג לכלכלה, האוניברסיטה העברית (מאי).
- לב, נ' (1980), 'הביקוש לבניין בישראל, 1960 עד 1975', סקר בנק ישראל 52 (אפריל).
- שטראוס, נ' ובן יהושע, ה' (1978), 'השפעת מחירי הדלק על הביקוש לדלק לרכב בישראל', משרד התחבורה, ירושלים (יולי).
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (1979), 'סקר מהירות בדרכים בינעירוניות' (נתונים השוואתיים לשנים 1971, 1973, 1977 (יוני)).
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (1981), 'דפוסי נסיעה לעבודה', סדרת פרסומים מיוחדים 668 (אוגוסט).

- Harel, R. (1974), *Road User Charges Policy, the Case of Israel*, Harvard, unpublished Ph.D. dissertation.
- Marchand, A (1968), 'A Note on Optimal Tolls in an Imperfect Environment', *Econometrica* Vol. 36, No. 3—4 (July—October).
- Mohring, H. (1970), 'The Peak-load Problem with increasing Returns and Pricing Constraints', *American Economic Review*, Vol. 60, No. 4 (September).
- Mohring, H. (1976), *Transportation Economics*, Cambridge, Mass., Ballinger.
- Sandmo, A. (1978), 'Direct Versus Indirect Pigouvian Taxes', in: Sandmo, A. (ed.), *Essays in Public Economics*, Lexington Books, D. C. Heath & Company.
- Sherman, R. (1971), 'Congestion Interdependence and Urban Transit Fares', *Econometrica*, Vol. 39, No. 3, (May).
- Sherman, R. (1972), 'Subsidies to Relieve Urban Traffic Congestion', *Journal of Transport, Economics and Policy*, Vol. 6, No. 1, (January).
- Tait, A.A. & Morgan, D.R. (1980), *Gasoline Taxation in selected OECD Countries, 1970—79*, International Monetary Fund, Washington, D.C. (January).
- Walters, A.A. (1961), 'The Theory and Measurement of Private and Social Costs of Highway Congestion', *Econometrica*, Vol. 29, No. 4 (October).
- Walters, A.A. (1968), *Road User Charges*, I.B.R.D., Washington, D.C.