



**מוסד שמואל נאמן**  
למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה  
הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל



**מדיניות להפחתת זיהום אוויר מתחבורה בגוש דן**

**סקירת ספרות ודוגמאות מהעולם**

שי ג'רבי,

ד"ר אופירה אילון, מרכזת הפרויקט

מוסד ש. נאמן

עבור איגוד ערים דן לאיכות סביבה וביוב

ינואר 2005

**”אם יש מדיניות כלשהי, שיכולה להגביר את היעילות, אזי חייבת להיות דרך ליישמה באופן שיזכה לתמיכה ציבורית”**

**”יש ליצור קואליציות בין גורמים כלכליים לגורמים סביבתיים  
(green-gold coalition)”**

**פרופ' פיליפ גודווין, ראש היחידה ללימודי תחבורה ב-University College London,  
בהרצאה באוקטובר 1997**

## תוכן הענינים

4	מבוא
5	1. סקר ספרות
5	1.1 רקע כללי - סקירת אמצעי מדיניות
6	1.2 דוגמאות לאמצעי הפחתה ישירים
6	1.2.1 התקנת אמצעים להפחתת פליטות בכלי רכב ציבוריים
9	1.2.2 שיפור התקינה והאכיפה
11	1.2.3 מערכות מתקדמות לניהול תנועה
12	1.3 מדיניות רציונלית לתכנון תחבורה - רקע
14	1.4 אמצעים להקטנת כדאיות הנסיעה ברכב פרטי
14	1.4.1 מדיניות חניה
17	1.4.2 מיתון תנועה
18	1.4.3 אגרות גודש
20	1.4.4 אזורים מופחתי זיהום
22	1.4.5 ביטול תמריצי מעסיק לנסיעה ברכב פרטי
22	1.4.6 אמצעי מיסוי
23	1.5 קידום תחליפים לרכב הפרטי
25	1.5.1 שיפורים בתחבורה הציבורית
26	1.5.2 נתיבים מיוחדים ועדיפות בצמתים
26	1.5.3 חנה וסע
27	1.5.4 עידוד הרכיבה על אופניים
28	1.5.5 עדיפות להולכי רגל במרכזי ערים
28	1.5.6 עידוד ההליכה ברגל לבית הספר
29	1.5.7 הסעות למקומות העבודה
31	1.6 אמצעים תכנוניים לטווח הארוך
31	1.6.1 עדכון המודלים התחבורתיים
32	1.6.2 תכנון משולב של תחבורה ציבורית ושימושי קרקע.
33	1.6.3 הפנמת עלויות חיצוניות בתכנון
34	1.7 סיכום ומסקנות להמשך
38	נספח א' – אומדני עלויות חיצוניות
40	רשימת מקורות

מסמך זה מסכם שורה של מקרי מחקר ודוגמאות מערים ברחבי העולם, בהן יושמו אמצעים להפחתת זיהום אוויר מתחבורה. המסמך מהווה את פרק "סקר הספרות" במסגרת מסמך המדיניות הכולל של מוסד ש. נאמן ואיגוד ערים דן לאיכות הסביבה, בנושא אמצעי מדיניות להפחתת זיהום אוויר מתחבורה.

מטרת סקר הספרות היא למפות את מרחב האמצעים האפשרי ולבחון את ישימות האמצעים ברמה העקרונית. בנוסף, יינתנו אומדנים כמותיים לגבי התועלות (ולעתים גם העלויות) של חלק מאמצעי המדיניות, בהתייחס לנתונים הקיימים במקומות בהם יושמו. אומדנים אלה מהווים קלט ראשוני לשלבים הבאים של העבודה, בהם תתבצע הערכה ובחירה של המדיניות האופטימלית והמעשית ביותר לנתונים של אזור גוש דן, והשפעתה הצפויה.

בהתאם לתוכנית העבודה, הסקר יתייחס רק לאמצעי המדיניות שלגביהם קיימת מידה כלשהי של סמכות או אחריות לרשות המקומית. לדוגמה, נושא השיפורים בדלקים, שהוא בעל חשיבות רבה בראיה הכוללת של הפחתת פליטות, הוא מחוץ לתחום של מסמך זה. כמו כן מתמקד הסקר באמצעים שניתן ליישם בטווח הקצר ובטווח הבינוני.

סקר הספרות ערוך לפי נושאים ולא לפי ערים, והוא מורכב משבעה חלקים עיקריים. סעיף 1.1 סוקר בקצרה את אמצעי המדיניות האפשריים, ומבחין בין אמצעים המפחיתים את הפליטות באופן ישיר, לאמצעי מדיניות תחבורתית המשפיעים על הפליטות באופן עקיף. סעיף 1.2 סוקר דוגמאות ליישום אמצעי הפחתה ישירים, כגון התקנת מלכודות חלקיקים או שיפורים באכיפה, במקומות שונים בעולם. סעיף 1.3 מציג בתמצית את הרקע התיאורטי של תכנון התחבורה המודרני. נושא זה נכלל בסקר הספרות למרות שאין בו חידוש רב לעוסקים בתחום, וזאת לאור הקשיים ביישום מדיניות תחבורה רציונלית באזור גוש דן, למרות המלצות מספר רב של צוותי תכנון מטעם משרד התחבורה. מדיניות תחבורה רציונלית באה לידי ביטוי באמצעים להגבלת השימוש ברכב פרטי, המוצגים בסעיף 1.4, ובאמצעים לעידוד השימוש בתחבורה ציבורית או אלטרנטיבית, המוצגים בסעיף 1.5. סעיף 1.6 סוקר בקצרה אמצעים תכנוניים לטווח הארוך. סעיף 1.7 כולל מסקנות מהסקר והמלצות להמשך.

המסקנה העיקרית מהסקר היא שלצורך הפחתת זיהום אוויר מתחבורה בפועל, יש לנקוט ביותר מאמצעי מדיניות אחד. לדוגמה, מדיניות חד ממדית של "שיפור תחבורה ציבורית", עשויה להביא לתועלות חברתיות וכלכליות משמעותיות שאינן קשורות לזיהום אוויר. אולם אין לצפות שתביא באופן ישיר להפחתה בגודש התנועה, ובזיהום האוויר הנובע ממנו, אם תיושם ללא אמצעים משלימים של הגבלת התנועה ברכב פרטי. מסקנות והמלצות נוספות מפורטות בפרק הסיכום.

## 1. סקר ספרות

### 1.1 רקע כללי – סקירת אמצעי מדיניות

בנובמבר 2004 פירסם מוסד שמואל נאמן מסמך לסדרי עדיפות לאומית בתחום איכות הסביבה בישראל. בין היתר מפורטים בו אמצעי מדיניות שונים להקטנת זיהום אוויר מתחבורה, ואלו מהווים את נקודת המוצא לסקר הספרות הנוכחי. טבלה 1 מסכמת את אמצעי המדיניות השונים על פי סוג האמצעי ועל פי הגורם האחראי, בדרך כלל, ליישום.

סוג האמצעי	אמצעי מדיניות	סמכות ואחריות
אמצעים ישירים להפחתת זיהום אוויר	התקנת אמצעים בכלי רכב להפחתת הזיהום	ממשלתית/עירונית
	שיפור התקינה והאכיפה	ממשלתית/עירונית
	עידוד גריטת כלי רכב ישנים ומזהמים	ממשלתית
	מערכות ניהול תנועה	ממשלתית/עירונית
	הדרכות לנהיגה נכונה מבחינה סביבתית	ממשלתית/מפעילי תח"צ / מעסיקים/עירונית
	אגרות גודש (congestion charging)	ממשלתית/עירונית
אמצעים להקטנת כדאיות הנסיעה ברכב פרטי	סגירת מרכז העיר בפני כלי רכב מזהמים	עירונית/ממשלתית
	מדיניות חניה	עירונית
	ביטול תמריצי מעסיק לנסיעה ברכב פרטי	ממשלתית ומעסיקים
	שינויים במיסוי (מיסוי דלקים, מיסוי נסועה)	ממשלתית
	נתיבי העדפה לתחבורה ציבורית	ממשלתית/עירונית
	שיפור תחבורה ציבורית (אינטגרציה בין קווים, שיפור המידע לנוסע, וכדומה)	ממשלתית/מפעילי התח"צ
קידום תחליפים לרכב הפרטי	שבילי אופניים	ממשלתית/עירונית
	עידוד שיתוף נסיעות (Car-pool) והסעות עובדים	ממשלתית/עירונית/מעסיקים
	עדכון המדדים והמודלים התחבורתיים, כך שיתייחסו להשפעות של זיהום אוויר	ממשלתית/עירונית <sup>1</sup>
אמצעים לטווח הארוך	תכנון משולב של תחבורה ושימושי קרקע	רמה ארצית ומקומית <sup>2</sup>
	מחקר ופיתוח של טכנולוגיות, דלקים, וכדומה	ממשלתית

טבלה 1 – אמצעי מדיניות להפחתת זיהום אוויר מתחבורה

<sup>1</sup>רלבנטי לכל גודם המכין תכניות אב לתחבורה

על בסיס הניתוח הראשוני שבטבלה 1, נראה כי רוב הסוגיות הנוגעות לתחבורה באזורים העירוניים מצויות בתחום האחריות שבין הרמה הממשלתית (משרד התחבורה) לרשויות המקומיות. במסגרת הסקר הנוכחי יפורטו רק אותם האמצעים שלגביהם קיימת מידה כלשהי של סמכות או אחריות לרשות המקומית.

## 1.2 דוגמאות לאמצעי הפחתה ישירים

### 1.2.1 התקנת אמצעים להפחתת פליטות בכלי רכב ציבוריים

בשנים האחרונות חל שיפור מסוים בזיהום האוויר בערים רבות באירופה. על פי נתוני ה- European Environment Agency (EEA) העוקבת אחר נתוני הזיהום ב-31 ערים אירופאיות, חלה הפחתה של בין 24 ל-35 אחוז בסך כל הפליטות מתחבורה, בין השנים 1990-2001.<sup>3</sup> התפתחות זו מיוחסת בעיקר לשיפורים בדלקים ובטכנולוגית הרכב, כמו גם לפעולות יזומות להתקנת אמצעים להפחתת פליטות מציי כלי רכב ציבוריים.

לפעולה ממוקדת מול מפעילי ציי כלי רכב ציבוריים יכולה להיות תועלת רבה, מכמה סיבות. ראשית, העובדה שכלי רכב אלה שייכים לרשות מקומית כלשהי, מקנה לה שליטה טובה יותר, ונתונים מדויקים יותר, על גודל הצי והרכבו (מבחינת פוטנציאל הזיהום). שנית, מאחר שמדובר בציים גדולים, עם מספר דגמים מצומצם, הרי שהעלות ליחידה עבור התקנת אמצעי הפחתה יורדת באופן משמעותי. כאשר לוקחים בחשבון גם את כלי הרכב השייכים לספקים וזכיינים של הרשות, מדובר בפלח שוק משמעותי הנתון לשליטת הרשות המקומית, בין אם באופן ישיר או באמצעות מכרז.

הסוכנות להגנה על הסביבה בארה"ב (EPA) ממליצה לרשויות מקומיות המעונינות ליישם תכנית להפחתת פליטות מכלי רכב, לנקוט בסדרת הצעדים הבאה:

1. לקבוע את מידת התרומה של מקור הזיהום (צי הרכב בו מטפלים) לסך כל הפליטות.
2. לקבוע את הטכנולוגיה המתאימה ואת פוטנציאל ההפחתה שלה
3. לקבוע מדיניות התקנת אמצעים, בהתאם לחוזה עם מפעיל הצי ואפשרויות המימון.

לצורך ביצוע ההפחתה בפועל עומדות בפני הרשות מספר חלופות טכנולוגיות, כגון:

- הנעה בגז טבעי דחוס
- הנעה חשמלית (היברידית)

<sup>2</sup> רלבנטי לכל גוף המכין ו/או מאשר תב"עות או תכניות מתאר.  
<sup>3</sup> נתונים השוואתיים על זיהום האוויר בערים שונות בעולם ניתן למצוא באתרי אינטרנט שונים, כגון:  
<http://www.portfolio.mvm.ed.ac.uk/studentwebs/session4/27/citydiff.htm>

- המשך השימוש במנועי הדיזל או הבנוזן, במקביל לשיפורים בדלקים ולהתקנת ממירים או מלכודות חלקיקים בכלי הרכב.

דו"ח מוסד שמואל נאמן (2004) מפרט את המאפיינים של כל אחת מהטכנולוגיות, ומציג דוגמאות לניסויים ובדיקות שנערכו בהן במקומות שונים בעולם. מסקירת הדוגמאות עולה כי האמצעי היעיל ביותר בראיה משולבת של מידת הפחתת הפליטות, עלות ההתקנה והאחזקה, והאפשרות לביצוע ויישום מידי, הוא המשך השימוש במנועים הקיימים תוך כדי שדרוגם. טבלה 2 מציגה את האמצעים העיקריים להפחתת פליטות מכלי רכב המונעים בדיזל, את עלות כל אמצעי, ואת שיעורי ההפחתה הצפויים.

עלות ליחידה (\$) <sup>4</sup> (כולל אחזקה)	הפחתת פליטות (באחוזים)				אמצעי
	CO	HC	NOx	PM	
500–2500	17	78	חזרה לערך המקורי	40	כוונון המנוע (Basic emissions tune-up)
465–1750	90+	60-90+	—	20–50	ממירים מחמצנים לרכבי דיזל (Diesel oxidation Catalyst)
7500	60-90	90	—	90	מלכודת חלקיקים לרכבי דיזל (Diesel Particulate Filter)
10,000–50,000	—	80	75-90	20–30	<sup>5</sup> Selective Catalytic Reduction
בפיתוח	—	—	10-70	—	NO <sub>x</sub> catalysts

<sup>6</sup>טבלה 2: אמצעי הפחתת פליטות מכלי רכב המונעים בדיזל (הערכים מתייחסים לתקני פליטה ולא לתקני סביבה)

אחד המנופים העיקריים להחדרת אמצעים אלה לשוק הוא השיפורים שחלים במקביל בתקני הדלק, והעליה בזמינות של דלקים בעלי תקן סביבתי משופר. על מנת שמלכודת חלקיקים תפעל כשורה, יש לתדלק את הרכב בסולר בעל תכולת גפרית נמוכה. העובדה שדלק דל גפרית צפוי להפוך לסטנדרט בארה"ב עד שנת 2006, מייצרת אווירה ציבורית המקדמת את תעשיית אמצעי ההפחתה. בתהליך זה מהווים שוק הדלקים הנקיים ושוק הפילטרים מוצרים משלימים התומכים אחד בשני.

מפעילי ציי רכב בארה"ב נדרשים כיום לעמוד בתקני פליטה מחמירים, הנקבעים ע"י ה-EPA. לדוגמה, חברת האוטובוסים העירוניים של ניו-יורק החלה בשנת 2000 ליישם תוכנית להפחתה מיידית של הפליטות מצי האוטובוסים בעיר. במהלך הפעלת התכנית הותקנו למעלה מ-3,600

<sup>4</sup>העלות ליחידה עשויה להשתנות משמעותית בהתאם לכמות הנרכשת.

<sup>5</sup>זהו אמצעי חדש יחסית, ה-EPA ממליץ לבצע פיילוט רחב היקף לפני הטמעתו בפועל.

<sup>6</sup>מקור: Cleaner Air, Better Performance: Strategies for Upgrading and Modernizing Diesel Engines; Diesel Technology Forum, 2002; Figure 4, p 5; <http://www.dieselforum.org/retrofit/retrofit.html>. ב: (לא כל הטכנולוגיות מתאימות לכל סוג רכב, פרטים בדו"ח המקורי)

מלכודות חלקיקים למנוע דיזל (DPF), והוחלפו מנועים בכ-600 כלי רכב. במקביל נרכשו למעלה מ-2,900 אוטובוסים חדשים, והותר השימוש אך ורק בסולר בעל תכולה של פחות מ-30 חל"מ גופרית.<sup>7</sup> אחד הלוקחים העיקריים מתכנית זו היה שמסנני החלקיקים מסוג DPF יעילים בהתקנה על מנועים העומדים בתקן Euro2 או Euro3, אך אינם מתאימים למנועים ישנים יותר.

השיטה המקובלת בארה"ב למימון פרויקטים של התקנת אמצעי הפחתת פליטות מתבססת על שיתוף בין המגזר הציבורי למגזר העיסקי. בהתאם לעיקרון זה מקצה הרשות הפדרלית להגנה על הסביבה מענקים לרשויות המקומיות בכל מחוז ומחוז, כדי שיממנו באמצעותם הצטיידות כלי רכב ציבוריים באמצעי הפחתה, מתוך רשימה של ספקים מורשים מהשוק הפרטי. כך למשל פועלת בשנים האחרונות תכנית בשם Clean buses for kids, שמטרתה לקדם התקנת אמצעי הפחתה (פילטרים או ממירים מחמצנים לדיזל) לאוטובוסים להסעת תלמידים,<sup>8</sup> התכנית מעבירה מימון לגופים האחראים על ההסעות כדי שירכשו ויתקינו אמצעים כאלה.

יוזמה מקבילה בשם Clean School Bus USA פועלת באמצעות ועדות היגוי הכוללות עמותות לבריאות הציבור, חברות מסחריות המשוקות אמצעי הפחתה, איגודי ערים למניעת זיהום אוויר, ואת מפעילי האוטובוסים. באופן זה ניתן ליצור אינטרס משותף לקידום ומימון יוזמות לחידוש והחלפה של אוטובוסים ישנים והתקנת אמצעי הפחתה באוטובוסים קיימים. (בנוסף מקדמת הקבוצה הדרכות לנהגים לצורך צמצום התופעה של המתנה ממושכת במנוע דולק (idling)).

אמצעי נוסף למימון תכניות להפחתת פליטות הוא קרן CMAQ<sup>9</sup> של משרד התחבורה האמריקאי, המיועדת למימון פרויקטים בתחום התחבורה המביאים לשיפור באיכות האוויר. מענקי הקרן מחולקים למדינות השונות בהתאם לכמות האוכלוסייה הנמצאת בסיכון, ולמידת התועלת הסביבתית כתוצאה מהפעלת הפרויקט המוצע.

לאור ההצלחה בארה"ב ביישום פרויקטים להפחתת פליטות מכלי רכב ציבוריים, מתקיימות יוזמות לשיתוף פעולה בין לאומי בתחום זה. בנובמבר 2004 חתמו הרשות להגנת הסביבה בביגינג, הרשות להגנת הסביבה בסין, והרשות האמריקאית להגנת הסביבה על הסכם לשיתוף פעולה בפרויקט לשדרוג צי האוטובוסים בביגינג לטכנולוגית דיזל נקי. ההסכם בא על רקע עליה משמעותית בזיהום האוויר בסין, בשל הגידול המהיר ברמת המינוע. השותפים הנוספים הם משרד האנרגיה הסיני, אוניברסיטת הרווארד, ואוניברסיטת Tsinghua הסינית. יוזמי הפרויקט מצפים להפחתת הפליטות מצי האוטובוסים בשיעור של 40% לפחות. בעתיד, לאחר הטמעת השימוש בדלק דל גפרית בשוק התחבורה הסיני, מצפים לשיעור ההפחתה של כ-90%.

<sup>7</sup> מפרויקט דומה שנערך במדינת וושינגטון, בהיקף של כ-5000 אוטובוסים, עולה ששימוש בסולר דל גפרית מביא לפני עצמו להפחתה של כ-10% בסך הפליטות. מקור: מרים לב-און, דו"ח מוסד שמואל נאמן (2004).  
<sup>8</sup> תכניות להפחתת פליטות מאוטובוסים להסעת תלמידים מקבלות בארה"ב עדיפות עליונה. כלי רכב אלה נוטים לזהם יותר באופן יחסי בשל מספר העצירות הרב, ומטבע הדברים פולטים בסמיכות לקבוצת הסיכון של ילדים בגיל ביה"ס. לכך נוספת העובדה המדהימה ששיעור "האוטובוסים הצהובים" מכלל האוטובוסים בארה"ב הוא 82% (מקור: EPA).

<sup>9</sup> Congestion Mitigation and Air Quality



פעולות מערכתיות להתקנת אמצעים להפחתת פליטות נעשות במקביל גם באירופה, במסגרת הנחיות מפורטות של האיחוד האירופי. למרות זאת, סך כל פליטות ה-CO<sub>2</sub> מתחבורה באירופה צפוי לעלות בכ-25% בתקופה שבין 1990 ל-2010, למרות כל אמצעי המדיניות הננקטים<sup>10</sup>. לאור נתונים אלה נשאלת השאלה מהם הגורמים הנוספים המשפיעים על המגמות בזיהום האוויר, וכיצד ניתן לטפל בהם. דו"ח ה-EPA (1999) קובע כי למרות ההתקדמות הטכנולוגית המשמעותית בפיתוח אמצעי הפחתת פליטות, הרי שהגורם העיקרי המעכב את השגת התוצאות בשטח הוא יכולת האכיפה. גם לפי ה-EEA, קיימת בעיה של סטנדרט בדיקה חלקי, היוצר הערכת חסר של חומרת הבעיה. (לדוגמה, נוהלי הבדיקה לא מתייחסים להגברת הפליטות כתוצאה משימוש במזגן ברכב). בנוסף, נהגים בעלי רכבי דיזל נוהגים לעתים לבצע שיפורים "פיראטיים" במנוע על מנת להגדיל את ההספק. על רקע נתונים אלה קובעים גם ה-EPA וגם ה-EEA כי נדרש עדכון של התקינה ושיפור יכולת האכיפה של תקני זיהום מתחבורה.

### 1.2.2 שיפור התקינה והאכיפה

אמצעי תקינה ואכיפה מתבססים בעיקר על בדיקות תקופתיות ובדיקות פתע של הזיהום הנפלט מכלי הרכב. כלי הרכב החורגים מתקנים שהוגדרו מורדים מהכביש או שננקטת נגד בעליהם סנקציה אחרת. טל ואחרים (2002) מדגישים כי המטרה העיקרית של אמצעי זה היא **הרתעתית**, מאחר ואין כל אפשרות תקציבית לבצע אכיפה ישירה כנגד כלי הרכב המזהמים. המפתח ליצירת הרתעה אפקטיבית הוא החדרת הרושם שקיימת סבירות גבוהה להיתפס, בצירוף קנס מהיר ומחמיר. יישום מוצלח של מדיניות אכיפה צפוי להביא להעלאת מודעות הציבור בכל הקשור לתחזוקת כלי הרכב.

העיר דלהי שבהודו מתאפיינת בשיעור גבוה במיוחד של זיהום אוויר מתחבורה. על מנת לשפר את חזות העיר ותדמיתה, הופעלה במקום תכנית מקיפה לאכיפה ופיקוח על המזהמים התחבורתיים, באמצעות סידרה של פעולות, כמוצג בטבלה 3.

<sup>10</sup>מקור: (EEA 2004). בהשוואה לנתוני העבר שהוצגו בתחילת הסעיף, מתקבל הרושם של היפוך במגמה.

סטטוס	תאריך יעד	אמצעי אכיפה ותקינה (רשימה חלקית)
בוצע	1.9.98	איסור מכירת דלק עם עופרת (מעל 0.013 גרם לליטר)
בוצע	31.12.98	הורדה מהכביש של רכבים מסחריים מודל 1985 ומטה <sup>11</sup>
לא בוצע	1.6.98	הקמת מעבדה בלתי תלויה לבדיקת איכות הדלק
בוצע	31.03.2000	כל רכבי הנוסעים יותאמו לסטנדרט Euro 2
בוצע	31.03.2000	הפצה נרחבת של גז טבעי דחוס (CNG) לתחנות הדלק באזור
בוצע	1.4.2000	מוניות חדשות רק בגז טבעי דחוס (CNG) או סוללות
לא בוצע	31.3.2001	הרחבת היקף השימוש ב-CNG בתחבורה הציבורית

טבלה 3 : אמצעי אכיפה ותקינה להפחתת זיהום אוויר מתחבורה בדלהי (רשימה חלקית)

(מקור: *Central Pollution Control Board, Delhi*; מצוטט אצל *Kathuria 2002*)

Kathuria (2002) מציג תוצאות מדידות איכות אוויר בין השנים 1999-2001, כלומר בתקופת הזמן בה יושמה תכנית האכיפה. מתוצאות המדידה המוצגות בטבלה 4 עולה שקיימת מגמה של שיפור מסוים, לא גדול, רק בחלק מהמזהמים, וההערכה היא שההשפעות החיוביות יהיו בתוקף רק בטווח הקצר. הערכה זו תואמת את התחזית האירופאית המעודכנת, לפיה מדיניות האכיפה הקיימת באירופה לא תוכל למנוע עליה של 25% בסך פליטות ה-CO<sub>2</sub> מתחבורה. במציאות הנוכחית בדלהי, שבה עולים לכביש בין 370 ל-600 רכבים חדשים ביום, השיפורים היחסיים באיכות הפליטות מהרכבים לא מצליחים להדביק את העליה ברמת המינוע. במצב זה נדרשת מדיניות אכיפה משולבת עם אמצעי מדיניות מתחום תכנון התחבורה.

Average values (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and violation from standards of various parameters (in %)

Year	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SPM	PM <sub>10</sub>	CO (6 a.m.–2 p.m.)	CO (2 p.m.–10 p.m.)	CO (10 p.m.–2 a.m.)
CPCB standard	80	80	200	100	2000	2000	2000
1999	25 (0)	68 (27)	423 (94)	212 (79)	3250 (82)	5583 (96)	4426 (76)
2000	18 (0)	59 (16)	481 (95)	188 (77)	4071 (96)	5663 (98)	4695 (95)
2001	16 (0)	60 (5)	515 (99)	173 (83)	2479 (67)	3461 (88)	3052 (81)

Notes: CO is in milligram per cubic meter ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) and figures are for 8-h violations. The figures in parentheses are percentage time violations from the stipulated standards. The annual and 24 h average standards as stipulated by the CPCB are given in Kathuria, 2001.

טבלה 4 : מגמות זיהום האוויר בדלהי<sup>12</sup> (בסוגרים : שיעור החריגות מהתקן) מקור : *Kathuria 2002*

<sup>11</sup> המבקר ברחובות דלהי עשוי עדיין להיתקל ברכבים מסחריים הנראים בני 20-30 שנה ויותר, הסיבה לכך היא שבהודו מקובל להמשיך וליצר דגמי רכב ישנים שהופסק ייצורם במערב.  
<sup>12</sup> ערכים ממוצעים של מדידות יומיות ישירות מצומת מרכזית אחת בדלהי

1.2.3 מערכות מתקדמות לניהול תנועה - (ITS – Intelligent Transportation Systems)

מערכות מתקדמות לניהול תנועה (ITS) כוללות אמצעים טכנולוגיים כגון תמרורים מתחלפים, נתיבים מתחלפים, מידע דינמי לנהג, וכדומה. עיקר התועלת של מערכות אלה היא בשיפור זרימת התנועה והגדלת הקיבולת של רשת הכבישים הקיימת, והיא מתבטאת בערכים של קיצור זמן הנסיעה לרכב. לדוגמה, מפעילי מערכת בקרת התנועה בדאלאס מצהירים על הפחתה בגודש השגרתי בהיקף של 68,000 אדם ביום, ועל הפחתה נוספת של 123,000 שעות אדם ביום כתוצאה מקיצור זמן הטיפול באירועים חריגים, תאונות וכדומה<sup>13</sup>. אומדנים מסוג זה, המתבטאים בערכים של זמן נסיעה, לא מאפשרים להעריך בצורה מדויקת את ההשפעה על היקף הפליטות, מכיוון שהיקף הפליטות מושפע גם מנפחי התנועה במערכת, ממהירות הנסיעה הממוצעת, ומהשונות במהירות הנסיעה של כל רכב בנפרד.

Mehta et al (2003) ערכו בדיקה ראשונית של השפעת מערכות אלה על היקף הפליטות (טבלה 5). התרחיש הבסיסי, המוצג בשורה הראשונה בטבלה, מתייחס למצב של זרימת תנועה שגרתית. לאחר מכן מוצגים נתוני הפליטות עבור מצב של אירוע חריג (תאונה או חסימת כביש), כאשר הערכים בסוגרים מציגים את השינוי היחסי בפליטות.

שני התרחישים הבאים בטבלה מתייחסים גם הם למצב של אירוע חריג, אך מציגים את שיעור ההפחתה כאשר מותקנות מערכות ITS שונות. תרחיש In-Vehicle Info מתייחס למחשבי נסיעה לוויניים בכלי רכב, המכוונים את הנהג לנתיב נסיעה אופטימלי, ותרחיש VMS מתייחס להכוונה דומה באמצעות שלטים אלקטרוניים בצידי הדרך.

Scenario	CO (kg/hr)	HC (kg/hr)	NOx (kg/hr)
Base Case	62.95	3.94	5.61
Incident (50% severity)	100.93 (60.33%)	6.44 (63.29%)	5.77 (2.76%)
In-Vehicle Info (30%)	61.56 (-39.01%)	3.98 (-38.18%)	5.60 (-2.84%)
VMS (30%)	84.00 (-16.77%)	5.44 (-15.58%)	5.67 (-1.73%)

טבלה 5 - השפעות מערכות מתקדמות לניהול תנועה (ITS) על היקף הפליטות

המטרה העיקרית של מערכות אלה היא להסיט את הנהגים מאזורים גדושים. במצב בו מערכות אלה מותקנות בהיקף רחב, נוצר גידול משמעותי בקיבולת הכבישים שעשוי למשוך כלי רכב חדשים למערכת ולקזז את התועלת הסביבתית. החוקרים בדקו ומצאו, על בסיס מודל, ששיעור החדירה האופטימלי של מערכות אלה, מבחינה סביבתית, הוא כאשר הן מותקנות בכ-30% מכלי הרכב, במקרה של מחשב לוויני, או ב-30% מהכבישים, במקרה של שילוט אלקטרוני.

<sup>13</sup> <http://www.dfwinfo.com/trans/cms/its.html>

### 1.3 מדיניות רצינונית לתכנון תחבורה - רקע

העלייה ברמת המינוע וברמת הנסועה מביאה לתופעות של גודש תנועה בכניסות לערים ובתוכן. תופעת הגודש גורמת לחוסר יעילות מובנה של מערכת התחבורה, בשל התארכות זמני הנסיעה ובזבוז משאבי הדלק והתשתית הנגרם כתוצאה ממנה. בנוסף לכך, לתופעת הגודש יש השפעה שלילית גם על זיהום האוויר, מכמה סיבות. ראשית, בתנאי גודש מתארך זמן הנסיעה של כל אחד מהרכבים במערכת, דבר המביא להגדלת הפליטות בערכים מוחלטים. שנית, נסיעה במהירות נמוכה מגדילה את שיעור הזיהום הנפלט, בערכי זיהום לשעת נסיעה. בנוסף, צפיפות הרכבים המאפיינת את מצב הגודש אינה מאפשרת את עירבול האוויר וסילוק החלקיקים מפני השטח.

לכאורה, הפתרון המתבקש לבעיית גודש התנועה וזיהום האוויר במרחב העירוני הוא סלילת כבישים נוספים או הרחבת כבישים קיימים. אלא שהנסיון העולמי מלמד כי במקרים רבים תוספת קיבולת לדרך מביאה לעליה בביקוש לנסיעה בה (Noland and Len 2003). בשלב ראשון תוספת הקיבולת מושכת כלי רכב שהשתמשו בעבר בדרך מקבילה, ובשלב השני עלולים להצטרף כלי רכב שבעליהם נסעו בעבר בתחבורה ציבורית.

בעיר מלבורן שבאוסטרליה נחנכה בשנת 2000 אוטוסטרדה עירונית תחת הכותרת "הפתרון לבעיות התנועה במלבורן". כיום, ארבע שנים לאחר פתיחתה, נאלצים תושבי מלבורן להתמודד עם בעיות גודש חמורות יותר מאלו שהיו בעבר. הגודש בא לידי ביטוי בעיקר בכניסות וביציאות מהדרך המהירה אל הכבישים העירוניים. מאחר והכבישים העירוניים אינם ניתנים להרחבה בשל הבינוי שסביבם, נוצר מצב בו אין פתרון נראה לעין לפתיחת צווארי הבקבוק שנוצרו בעקבות סלילת הדרך המהירה. במצב זה בוחרים חלק מהנהגים לוותר על כניסה לדרך המהירה ולנסוע בדרכים חלופיות בתוך העיר, ובכך להחמיר את תופעת הגודש עד כדי חסימה סדרתית של צמתים. במקביל מתפתחת מגמה של עזיבת המסחר והעסקים ממרכז העיר לאזורים בטבעת החיצונית. מגמה זו מייצרת תנועה נוספת על הדרך המהירה, וחוזר חלילה<sup>14</sup>.

על פי האומדן של Noland and Len, שנערך על בסיס חקרי ארוע דומים בעולם, הרחבת רשת הכבישים מביאה לעליה במהירות הנסיעה הממוצעת בטווח הקצר, כאשר כל עליה של 10% במהירות הממוצעת מביאה בעקיפין לכניסת רכבים חדשים למערכת, בשיעור של 10% בטווח הבינוני ו-20% בטווח הארוך. התהליך שהתרחש במלבורן בא לידי ביטוי בצורות שונות בערים רבות בארה"ב (כגון לוס אנג'לס ולאחרונה גם בוסטון) שהתמידו במדיניות של סלילת כבישים מהירים וכבישים עוקפים. בסופו של דבר ערים אלו לא הצליחו להתמודד עם בעית הגודש לאורך זמן. יתר על כן, תופעת הגודש שבעבר התרחשה רק ב"שעות השיא", מתקיימת באותם ערים במשך רוב שעות היממה.

<sup>14</sup> כלפי חוץ מצהירה עיריית מלבורן על "התכנית האסטרטגית", השואפת לעיר קומפקטית מוסתת תחבורה ציבורית.

מדיניות סלילת כבישים כמענה לגודש מכונה גם "גישת חזה וספק" (Predict and Provide), כלומר תכנון המתבסס על יצירת היצע העונה לביקוש. מסקירת הספרות המקצועית עולה כי גישה זו זונחה בערים רבות באירופה בשלהי שנות ה-60, לאור ההבנה שהביקוש לנסיעות אינו גורם חיצוני וקבוע, אלא נגזר מהפעילויות בשימושי הקרקע השונים, ותלוי גם בהיצע ובתכונות של מערכת התחבורה עצמה.

בשנים האחרונות תופסת תאוצה גישת התכנון של "חזה ונהל" (Predict and Manage), לפיה ניתן לטפל בבעית הגודש במגוון של אמצעים מלבד תוספת היצע. על פי גישה זו יש לצמצם למינימום פעולות סלילה של "כבישים עוקפים" ולקדם פעולות של ניהול הביקוש והגבלת ההיצע. ניתן לסכם את הנושא על פי המלצותיה של ועדה מקצועית בלתי תלויה, שאומצו ע"י משרד התחבורה הבריטי בשנת 1994, כדלקמן<sup>15</sup>:

- קצב סלילת הכבישים לא יוכל להדביק את הביקוש לנסיעות.
- הביקוש לנסיעות אינו קשיח, חיצוני וקבוע, אלא נתון להשפעה.
- נדרש מעבר בפועל מגישת "חזה וספק" ל"חזה ונהל".
- סלילת כבישים חדשים תעשה באופן מינימליסטי כחלק מתכנון כולל, בשילוב הגבלות תנועה באזורים אחרים בעיר.

העדיפות היחסית של גישת "חזה ונהל" הופכת בהדרגה למוסכמה מקובלת בקרב קהילת מתכנני התחבורה, ועיקר הבעיות ביישומה נובעות מעיכובים בדרג מקבלי החלטות. בסקר השוואתי שערכו Noland and Len (2003) נמצא שההתייחסות להשלכות השליליות של סלילת כבישים משתנה ממדינה למדינה בהתאם לסדר היום הפוליטי ברגע נתון, ואינה בהכרח קשורה להמלצות מקצועיות.

יש לציין כי השינויים שחלו בגישה לתכנון תחבורה באים לידי ביטוי גם במדיניות הרשמית של משרד התחבורה, המפורטת בתכנית האב לתחבורה יבשתית בישראל (1999). התכנית מצביעה על ההשפעות החיצוניות השליליות, ובכללן עליה בזיהום האוויר, הנגרמות כתוצאה מהשימוש הגובר ברכב פרטי והרחבת תשתית הדרכים. התכנית קוראת להתערבות מוסדית שתבלום את הגידול בשימוש ברכב הפרטי ותאפשר הסטת חלק משמעותי מהביקוש לנסיעות - לתחבורה ציבורית תחרותית.

<sup>15</sup> Sactra – the Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment in the UK

#### 1.4 אמצעים להקטנת כדאיות הנסיעה ברכב פרטי

כבר בשנות ה-60 החלו ערים רבות באירופה לקדם תכניות שמטרתן להעביר את ציבור המשתמשים מהרכב הפרטי לתחבורה ציבורית (רטוביץ' וביוקן 2002). תכניות אלו כוללות שילוב כלשהו של מדיניות "מקל וגזר", כלומר אמצעים להגבלת התנועה של רכבים פרטיים, בשילוב עם אמצעים לעידוד תחבורה ציבורית ואלטרנטיבות אחרות. סעיף זה סוקר דוגמאות מערים בהם יושמו אמצעים להגבלת הרכב הפרטי. אמצעים לעידוד אלטרנטיבות יתוארו בסעיף הבא.

##### 1.4.1 מדיניות חניה

המטרה העיקרית ביישום מדיניות חניה עירונית היא להביא לתפקוד יעיל של המרחב העירוני, על התושבים והעסקים שבו. היעדים העיקריים של מדיניות חניה נמצאים:

- ברמת ניהול התנועה: מניעת קונפליקטים בין כלי רכב נוסעים לכלי רכב חונים, שיפור הבטיחות והגדלת הקיבולת של הדרכים בעיר.
- ברמת השירות לתושב: מתן עדיפות למשתמשים מסוגים שונים בהתאם למדרג חשיבות (תושבי העיר לעומת מבקרים, עדיפות לנכים וכדומה)
- ברמה הסביבתית: אפשרות לוויסות השימוש ברכב פרטי, ובכך להשפיע על היקף הפליטות.

על מנת לווסת את השימוש ברכב פרטי, יש ליישם מדיניות חניה מרסנת, הכוללת הגבלה של מספר מקומות החניה, בשילוב עם העלאת תעריפי החניה. גישה זו מהווה אמצעי מדיניות מרכזי ובסיסי בערים רבות בעולם, כחלק ממדיניות משולבת להתמודדות עם תופעת הגודש. בדרך כלל זהו האמצעי הראשון המופעל בתהליך מימוש הדרגתי של מדיניות תחבורתית כוללת, מאחר והוא קל יחסית לביצוע, מבחינת סמכויות העירייה, בהשוואה לאמצעים האחרים.

רשות מקומית המעוניינת לווסת את השימוש ברכב פרטי באזורים בהם הרגישות התחבורתית והסביבתית היא גבוהה, יכולה לקבוע תעריפי חניה משתנים על פי אזורים שונים בעיר. ככל שאזור החניה בעייתי יותר מבחינה תחבורתית וסביבתית, ניתן להקצות תשלום גבוה יותר. באופן דומה ניתן לפעול לגבי שעות שונות ביום, ולהנהיג תעריף דיפרנציאלי המשתנה בהתאם לשיקולים תחבורתיים וסביבתיים.

בערים רבות בעולם החניה איננה זכות יסוד של התושב, והתושבים נדרשים לשלם עבור תו החניה שלהם. כך נוצר מצב בו חלק גדול מתושבי העיר מעדיפים שלא להחזיק רכב כלל. הרציונל מאחורי גישה זו מתבסס על ההכרה שהעיר שייכת לתושביה ולא לכלי הרכב שלהם.

עירית הגג של לונדון, כמו ערים רבות אחרות באירופה, מקיימת מדיניות חניה מרסנת כבר משנות ה-70. בתחילה יושמה המדיניות באזורים המרכזיים ובשעות השיא, וככל שחלף הזמן הורחב היישום אל הטבעות החיצוניות ואל שעות הצהריים. ה"קורבן" העיקרי למדיניות זו הוא האזרח הנוסע מדי יום לעבודה ברכבו ומחנה אותו שם למשך יום שלם, למרות שיש לו חלופה של תחבורה ציבורית ראויה המגיעה עד ליעד. באמצעות תעריפים גבוהים לחניה בזמן ארוך, נוצר תמריץ לתחלופה גבוהה בחניה, וכך מרתיעים יוממים משימוש ברכב פרטי (May, 1975).

הנהלת העיר Islington, הנמצאת בשטח מטרופולין לונדון, מנסחת את יעדי מדיניות החניה שלה כדלקמן:

- צמצום מספר הנסיעות הלא הכרחיות, ובפרט אלה שהיו יכולות להתבצע באמצעים אחרים, כגון תחבורה ציבורית, אופניים או הליכה ברגל.
- יצירת מדרג עדיפויות: נכים, ספקים, תושבים, אורחים ומבקרים, לקוחות, עובדים.
- שיתוף פעולה עם העיריות השכנות לצורך יצירת אזורי חניה מטרופוליניים.
- שיפור המאזן של הרשות הינו תוצר לוואי של המדיניות ולא מטרה.

העירייה מממשת את המדיניות באמצעים הבאים:

- תעריף חניה מדורג בזמן ובמרחב.
- אכיפה נמרצת של הגבלות החניה ברחוב (on-street parking), ובפרט בדרכים הראשיות וברציפי תחבורה ציבורית.
- שליטה על ניהול החניונים הציבוריים הקיימים (שעות פתיחה וסגירה, הגבלת חניה ארוכת טווח, תעריפים).
- הפחתת שטחי החניה הציבוריים בשיעור של 1% בשנה. מדיניות זו תיושם בעיקר באזורים עם שירות טוב לתחבורה ציבורית, כאשר מגרשי החניה יוסבו לשימושים מועילים אחרים.
- לגבי שטחי החניה הפרטיים, מדיניות ההפחתה מיושמת בדרך של משא ומתן עם הבעלים, תוך שימוש בתמריצים כגון היתר לשינוי יעוד שטחי החניה לשימוש אחר, או לחלופין היטלים ואגרות, בכל מקרה לגופו.

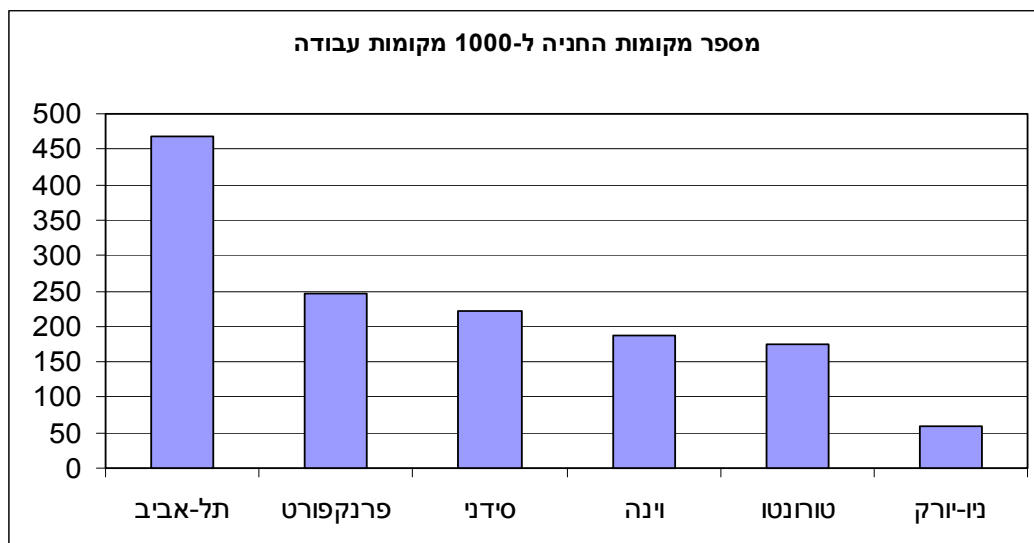
בעיר בולוניה יושמה בשנות ה-70 מדיניות חניה מרסנת, כחלק מתכנית כוללת להגבלת רכב פרטי וקידום תחבורה ציבורית. במסגרת התכנית נאסרה כל בניה של מגרשי חניה חדשים בתוך העיר, אלא רק בשוליה, כחניוני חנה וסע. הייחוד של המדיניות בבולוניה נמצא בעובדה שהתכנית יושמה במקביל למסע הסברה מקיף ודיון ציבורי גלוי. מסע ההסברה הצליח לשכנע את התושבים שהגבלת התנועה אין פירושה מלחמה נגד מכוניות, והעלה את תודעתם של התושבים ואת תחושת האחריות שלהם כלפי עירם (רטוביץ וביוקן 1992)

דרך נוספת להקל על יישום מדיניות חניה רציונלית היא באמצעות תמריצים. מדינת קליפורניה יזמה בשנת 1992 תכנית בשם "parking cash-out" שמטרתה להקל על עובדים המעוניינים להגיע למקום העבודה באמצעי תחבורה שאיננו רכב פרטי<sup>16</sup>. התכנית מגובה בחוק מדינה המחייב מקומות עבודה המעסיקים יותר מ-50 עובדים לאפשר לעובדים לפדות בכסף את מקום החניה שלהם בעבודה. התכנית הביאה לשינוי משמעותי בהרגלי הנסיעות, ללא שינוי משמעותי בעלויות, והיא מפורטת בהרחבה בסעיף 1.5.7.

בישראל, מספר מקומות החניה נקבע לפי יחידת שטח של שימוש קרקע, בהתאם לתקני חניה הנקבעים ע"י העיריות, בהתאם (ולרוב בניגוד) להמלצות משרד התחבורה. תקן החניה המומלץ ע"י משרד התחבורה לאזורים עירוניים קובע את מספר מקומות החניה המקסימלי ליחידת שימוש קרקע (לא יותר ממקום חניה אחד ל-250 מ"ר שטח בנוי, באזורים מוטי תחבורה ציבורית). לעומת זאת בתל אביב עדיין נמצא בתוקף תקן החניה הישן, לפיו לכל 40 מ"ר בנוי לעסקים יש להצמיד לפחות מקום חניה אחד.

ויכוחים דומים בין הרשות הארצית למקומית (או בין רשות מטרופולינית לרשות עירונית), לגבי תקני חניה, אפיינו ערים רבות בבריטניה בשנות ה-70. הרשות הארצית יזמה קביעה של תקני מקסימום לחניות במקום תקני מינימום, בעוד שהרשויות המקומיות לא מיהרו לאמץ את ההמלצות, מחשש לבריחת משקיעים, או מכך שהתחבורה הציבורית לא תספק מענה הולם (May, 1975).

תרשים 2 מציג את היצע החניה בתל אביב בהשוואה לערים מרכזיות בעולם. בניתוח הנתונים יש לקחת בחשבון שרמת השירות של התחבורה הציבורית בת"א אינה טובה כמו בערים שצוינו. מכאן שמדובר בתהליך של "ביצה ותרנגולת", שמחייב טיפול ברמה האסטרטגית.



תרשים 2: מספר מקומות החניה ל-1000 מקומות עבודה<sup>17</sup>

תכנית האב לתחבורה בעיר חיפה (בורד עדן 2002) מנסה להתמודד עם בעיה זו באמצעות מימוש "גישה מאוזנת" המתבססת על תקן חניה מדורג. התכנית משלבת מדיניות חניה מרוסנת באזורים מוטי תחבורה ציבורית, ומדיניות מרחיבה בחלק מאזורי המגורים, כמו גם בשטחים בשולי המע"ר, בהם משולבים שטחי החניה המוקצים עם חניוני חנה וסע.

<sup>16</sup> לא נמצאו עדויות מהעולם לסובסידיות מעסיק לעידוד הנסיעה ברכב פרטי, כפי שמקובל בארץ.  
<sup>17</sup> התרשים מבוסס על נתונים שפורסמו ע"י יודן רופא, יועץ לחברת נת"ע, באתר [www.notes.co.il/yodan](http://www.notes.co.il/yodan). לצורך השוואה, העיר הקרובה ביותר לת"א מבחינת מבנה וצפיפות היא וינה.



התכנית מציעה להחיל סטטוטורית את תקן החניה המדורג על כל מרחב העיר חיפה, בכל מקום בו לא קיימת תכנית מפורטת מאושרת. כמו כן מוצע להפעיל את התקן במקומות בהם קיימת תכנית שכזו אך תהיה הסכמה לתכנית החדשה מצד הבעלים. במידה ולא, יחול תקן החניה הארצי התקף בעת הוצאת ההיתר. בנוסף מצביעה התכנית על הצורך בהקמת רשות חניה שתממש את המדיניות בכלים של אכיפה, מעקב וניהול כספי<sup>18</sup>.

מתכנן הערים יודן רופא<sup>19</sup> קובע כי "בעיית החניה של ת"א" נובעת למעשה מהעדר רצון לשלם עבור החניה בחניונים המוסדרים הקיימים כיום. לכן יש להטמיע בקרב תושבי העיר את ההכרה שחניה חנם איננה זכות יסוד של התושב, מאחר ומדובר בהקצאת שטח ציבורי לצורך שימוש פרטי. לפיכך הוא מציע אמצעי מדיניות שיביאו לכך שתשלום עבור חניה יהפוך לדבר מובן מאליו:

- לעדכן את תווי החניה ולהקצות אותם על בסיס שנתי ולא על בסיס קבוע.
- להקטין את אזורי החניה, כך שישקפו באמת חניה "על יד הבית".
- לחייב תשלום עבור תו חניה שני
- לחלק את תווי החניה בהקצאה לפי דירות ולא לפי תושבים.
- להחמיר את מדיניות האכיפה באזורי מגורים שבהם ישנם גם מוקדי בילוי ליליים. כך שאותם בעלי רכב שבאים לבלות בעיר יחנו במגרשי החניה המוסדרים הנותנים תעריף אחיד לכל הלילה.

#### 1.4.2. מיתון תנועה

מיתון תנועה הוא שם כולל להסדרים הנדסיים המגבילים באופן פיזי את תנועת כלי הרכב. החל מ-"רחובות הולנדיים" בשכונות מגורים ועד ל"מדרחובים" במרכזי ערים ובאזורי עסקים. הרעיון הוא לאפשר לכלי רכב להיכנס לאזורים אלו אך ורק במקרים חריגים, וגם אז תוך שמירה על הדומיננטיות של הולכי הרגל.

אחת הטענות הנפוצות כנגד הסדרים של מיתון תנועה באזור עירוני, היא שהסדרים אלה עלולים ליצור גודש ברחובות הסמוכים. טענה זו נפוצה בעיקר בקרב אלה המאמינים שהביקוש לנסיעות הוא נתון חיצוני קבוע שאינו ניתן לשינוי. למרות שטענה זו הוכחה כשגויה (ר' סעיף 1.3) עדיין נוצרים לעתים ויכוחים בין רשויות – "מי יספוג את עודפי הביקוש" שיווצרו לכאורה כתוצאה מיישום אזורי מיתון תנועה.

Goodwin סוקר מספר רב של מחקרים ובפרט (Cairns et al (2002), שאספו עדויות מכ-70 רשויות מקומיות בהן יושמה הגבלה פיזית על תנועת הרכב הפרטי, בין אם כמדיניות של אזור

---

<sup>18</sup>התכנית אושרה ע"י ועדת היגוי הכוללת את נציגי משרד התחבורה והעיריה, לצורך הכנת תכנית מפורטת לביצוע. אין בידי נתונים לגבי מצב ההליך הסטטוטורי מאז 2002.

<sup>19</sup>מבוסס על הצעות שפורסמו ברבים באתר: [www.notes.co.il/yodan](http://www.notes.co.il/yodan)

מיתון תנועה או נתיב תחבורה ציבורית, ובין אם באופן זמני כתוצאה של עבודות אחזקה. העדויות מראות שחלק מהתנועה כאילו "נעלמה" במעבר בין האזור החסום לרחובות הסמוכים. כלומר, בראיה עירונית כוללת חלה הפחתה בכמות התנועה כתוצאה מהגבלת התנועה. שיעור ההפחתה משתנה ממקרה למקרה בהתאם לנסיבות, ועומד סביב ה-20% ירידה בסה"כ הנסיעות.

המושג "היעלמות תנועה" אינה תאור מדויק, למעשה התרחשו מספר רב של שינויים קטנים, כגון שינוי בתדירות וזמני הנסיעות, שינוי באמצעי הנסיעה, שינוי ביעדי הנסיעה, שינויים בפעולות משקי הבית, ושינויים נוספים על ציר הזמן לאורך שנים. בערים שיישמו במקביל מערכות תחבורה ציבורית, ניתן היה "לקלוט" את הביקושים ולשמור על המבנה העירוני. לעומת זאת בערים שיישמו במקביל תכניות של כבישים מהירים וכבישים עוקפים, נוצרו תופעות של העתקת חלק מהפעילות אל מחוץ לעיר. Goodwin (2003).

### 1.4.3 אגרות גודש

עקרון הפעולה של אגרות גודש מתבסס על ההכרה שכל רכב בודד המתווסף לגודש התנועה גורם לעכובים ולעלויות (זמן) נוספות לכלי הרכב שסביבו. משום כך יש לגבות מנהג הרכב את אותן עלויות לטובת החברה כולה, ובכך להקטין את כדאיות הנסיעה ברכב פרטי בשעות ובאזורים הגדושים<sup>20</sup>. במקרים בהם קיימים אמצעי נסיעה אלטרנטיביים לרכב הפרטי, יש לצפות שחלק מהנהגים יבחרו להגיע ליעדם באמצעי אחר (תחבורה ציבורית), ובכך לפנות את נתיבי הנסיעה לאותם הנהגים הבוחרים לשלם. מתיאור זה ניתן להסיק שהתועלות העיקריות מהפעלת אגרות גודש הן תועלות כלכליות, תחבורתיות וחברתיות, כאשר התועלות הסביבתיות אינן מובנות מאליהן.

הפעולה המשמעותית ביותר בשנים האחרונות בנושא אגרות גודש באזורים עירוניים נעשתה בלונדון בתחילת 2003. במסגרת תכנית תחבורה כוללת בעלת יעדים מוגדרים, יישמה עיריית לונדון תוכנית להיטל גודש בהיקף של כ-5 ל"ש לכל כניסה למרכז העיר (בשעות היום). התכנית פוטר מתשלום רכבים ציבוריים ורכבים היברידיים, בהתאם לעקרון של "המזהם משלם". התקבולים מאגרת הגודש מועברים ישירות לצורך שיפורים בתחבורה הציבורית. המטרה העיקרית של תכנית אגרות הגודש היתה לשפר את הנגישות והניידות למרכז העיר, ועל ידי כך להביא לתועלות כלכליות וחברתיות.

במקביל להפעלת התכנית מפעילה רשות התחבורה הלונדונית פרויקט רב שנתי למעקב ובקרה אחר השפעות אגרת הגודש על התחבורה, המסחר, החברה והסביבה (TFL 2003, TFL 2004). נתוני התנועה מראים על ירידה של כ-30% בנפחי התנועה של רכבים פרטיים וירידה של 11% בתנועת המשאיות. הירידה בנפחי התנועה הביאה לעליה של כ-20% במהירות הנסיעה הממוצעת

<sup>20</sup> להבחין בין אגרות גודש לבין אגרות מימון, שייעודן לממן תשתית ולא להשפיע על מידת השימוש בכלי הרכב.

במרכז העיר. השיפורים בזרימת התנועה מאפשרים לתחבורה הציבורית לפעול ביעילות וברמת אמינות גבוהה יותר, והדבר בא לידי ביטוי בעליה של כ-20% בתנועת האוטובוסים. למרות העליה בנפחי התנועה של אוטובוסים, חלה ירידה בצריכת הדלק הכוללת של התחבורה הציבורית, בשיעור של כ-20%. ניתן לייחס נתון זה לעליה במהירות הממוצעת.

בעוד שההשפעות התחבורתיות הן חד משמעיות, הרי שהערכת התועלת הסביבתית היא עניין מורכב הרבה יותר. דוחות המעקב שיצאו עד כה מצביעים על הקושי להעריך את התועלת הסביבתית<sup>21</sup> של הפרויקט במהלך השנים הראשונות להפעלתו. ריכוזי זיהום האוויר בנקודה כלשהי בעיר הם תוצאה של יחס מורכב בין מזהמים שמקורם באזור ומזהמים שמקורם מחוץ לאזור, הטופוגרפיה של נקודות המדידה, ומזג האוויר בזמן המדידה. לכך נוספת העובדה שאגרת הגודש מופעלת רק שליש מהיממה, בעוד שתקן הסביבה מתייחס לכל שעות היממה. לפיכך קובע דוח המעקב השני של ה-TFL כי מוקדם עדיין להסיק מסקנות לגבי ההשפעה הישירה של תכנית אגרות הגודש על איכות האוויר<sup>22</sup>.

בהעדרם של נתונים רב שנתיים מהם ניתן לאמוד תקני סביבה ברמת מהימנות גבוהה, מתמקדים דוחות המעקב באומדן הפליטות. אומדן הפליטות מתבסס על ניתוח נתוני התנועה העדכניים מבחינת הרכב התנועה והמהירות הממוצעת, ומתייחס לכמות המזהמים הנפלטת באזור עצמו. הנתונים מראים על ירידה של כ-16% בכמות החלקיקים (PM10), ירידה של כ-20% בפליטת CO, ירידה של 16% בפליטת NOx וירידה של כ-20% בפליטת ה-CO<sub>2</sub> (הערכים בממוצע ליממה). על פי הערכת ה-TFL, כ-75% מהשיפור נובע ישירות מהירידה בנפחי התנועה, והשאר מהשיפורים הטכנולוגיים בכלי הרכב הנוסעים באזור (המושפעים גם ממגמות בשוק הרכב וגם מהעובדה שכלי רכב היברידיים נכנסים ללא תשלום).

תכנית אגרת הגודש למרכז לונדון יושמה בהצלחה למרות התנגדות פוליטית מצד קבוצות לחץ שונות. ככל שחלף הזמן מיישום התכנית חל גידול בתמיכה הציבורית, וכיום יש תמיכה בהרחבתה לאזורים אחרים בלונדון ובבריטניה. לפי Litman (2003), ספק אם ניתן היה ליישם את התכנית ללא הקונסטלציה התחבורתית והפוליטית היחודית ללונדון. מכיוון שמלכתחילה רמת התחבורה הציבורית בלונדון היתה גבוהה יחסית, ובהתאם לכך גם שיעור המשתמשים בה, הרי שחלק גדול מכלל המצביעים ראה עצמו מרוויח מהתכנית באופן ישיר, ללא צורך בשכנוע נוסף.

<sup>21</sup>הכוונה כאן לתקני סביבה ולא תקני פליטה

<sup>22</sup>הנתונים החלקיים שנאספו עד כה מראים על שיפור של כ-2% בריכוז המזהמים באוויר מאז שהופעלה התכנית. נתון זה אינו רלבנטי למעשה, בשל מגוון של השפעות חיצוניות ומטאורולוגיות המתוארות בהרחבה בדוח ה-TFL. ככלל ניתן לומר ששנת 2003 היתה שנה לא מייצגת מבחינה אקלימית בלונדון.

כעת בכוונת מפעילי התכנית לשפר ולשכלל את המערכת, תוך קביעת מחירים שונים בהתאם לסוג הרכב, השעה ביום, ומרחק הנסיעה. אמצעים אלה מחייבים השקעה נוספת בטכנולוגיה, תוך אפשרות מסוימת של פגיעה בפרטיות. לסיכום סעיף זה יודגש שנית כי שיפור באיכות האוויר אינו המטרה העיקרית של הטלת אגרות גודש. במקרה של לונדון הוא מהווה מטרה יחסית שולית מתוך רשימה של כעשר מטרות. השיפורים היחסיים באיכות האוויר נמדדו במרכז העיר, במסגרת שטח התכנית, ואין להם השפעה ברמה ארצית ואף לא מטרופולינית. על מנת להשיג מטרות אלה יש ליישם את התכנית על שטח גדול יותר, תוך שילוב עם עקרונות "אזור מופחת זיהום" המובאים להלן.

#### 1.4.4 אזורים מופחתי זיהום

במקביל, או כתחליף, להפעלת תכנית לאגרת גודש, קיימת אפשרות ליישום תכנית שמטרתה העיקרית היא הפחתה ישירה של הזיהום במרכז העיר. בכמה ערים בשבדיה (שטוקהולם, גוטנברג ומאלמו) מופעלת מאז שנת 1996 תכנית לסגירת מרכז העיר בפני כלי רכב מזהמים, תוך יצירת אזור המכונה LEZ - low emission zone. בניגוד לתכנית אגרות הגודש, המתבססת על גבית תשלום כניסה מכל הרכבים הפרטיים, העקרון כאן הוא חסימת כניסה של רכבים מזהמים<sup>23</sup>. באמצעות חסימת כניסה, ניתן לקדם את המטרה הסופית של התכנית שהיא עידוד מפעילי ציי הרכב המסחרי לשדרג את כלי הרכב באופן שיפחית את היקף הפליטות.

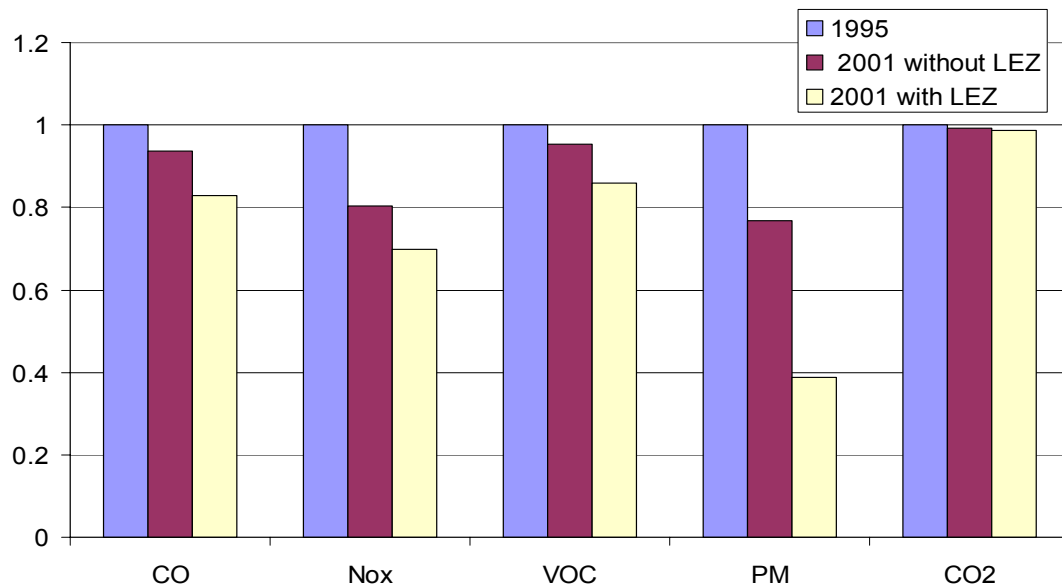
המערכת מבוססת על זיהוי כלי הרכב בהתאם לשנת היצור שלו, תוך בדיקה בבסיס הנתונים שאין מדובר מרכב ישן שעבר שיפוץ. בסופו של דבר רק כלי רכב מעל תקן פליטה מסוים יכולים להכנס לאזור. מטרת התכנית היא להביא בדרך זו לחידוש מזורז של צי הרכב המסחרי הנע ברחובות העיר. עקרונית ניתן ליישם שיטה זו בכל אזור המוגדר כ"רגיש לזיהום", כגון אזורים בעלי צפיפות דיור גבוהה, אזורים עם שבילי אופניים, וכדומה.

תרשים 1 מציג את אומדן התועלות הסביבתיות לאחר יישום LEZ בשטוקהולם. התוצאות הובאו ע"י Rapaport (2002) ומבוססות על מודל סביבה המתחשב בשינויים בהרכב התנועה (והפליטות) לאורך זמן, תוך שילוב עם נתונים מטאורולוגיים חיצוניים. המודל מתייחס לשני תרחישים: תרחיש "עסקים כרגיל" ותרחיש LEZ. תרחיש "עסקים כרגיל" מתבסס על הערכה שנתית של התחלופה הטבעית של כלי רכב מזהמים בכלי רכב חדשים. תרחיש LEZ לוקח בחשבון את אומדן ההשפעות הצפויות על היקף הפליטות כתוצאה מיישום LEZ. יש לציין כי המודל מתייחס באותו אופן להחלפת כלי רכב ישן בחדש ולהתקנת פילטר בכלי רכב ישן, לכן סביר שתרחיש ה-LEZ מוטה מעט כלפי מטה מבחינה רמות הזיהום.

בשנת 2003 הוכנה הערכת כדאיות ליישום LEZ בלונדון, במקביל ובנוסף לתכנית אגרת הגודש, ע"י צוות משולב של משרדי יועצים וגופי מחקר (AEA ואחרים 2003). לאור ההסדרים החוקיים

<sup>23</sup>לא נמצאה דוגמה לשילוב איזור מופחת זיהום ומערכת לגבית אגרות גודש באותו איזור, אם כי על פניו הדבר אפשרי.

שידרשו, הצוות צופה עיכובים ביישום כך שלא ניתן יהיה ליישם LEZ בלונדון לפני 2006. בכל מקרה הם מציעים לפרסם מראש את הכוונה ליישם LEZ, בכדי לאפשר הערכות מוקדמת של מנהלי ציי הרכב בחברות השונות.



*תרשים 1: תוצאות מודל סביבה הבודק תרחיש של הפעלת אזור מופחת פליטות (מקור: Rapaport 2002)*

על פי הערכת הכדאיות של הצוות, העלות הישירה של מערכת בקרה ידנית (בקרים אנושיים) עומדת על סכום התחלתי של כ-3 מליון ל"ש ועוד 4 מליון ל"ש כל שנה. במידה ויוחלט על מערכת אוטומטית, ההמלצה היא לשלב אותה עם המערכת הקיימת של ניהול התנועה. במקרה כזה העלות ההתחלתית היא בין 6-10 מליון ל"ש ועוד 5-7 מליון ל"ש כל שנה, כאשר ההכנסות הצפויות הן בין 1 ל-4 מליון ל"ש. בכל מקרה אף מערכת מסוג זה לא מייצרת רווחים ישירים. בנוסף, יישום LEZ במרכז עיר מביא בהכרח לעלויות גבוהות של ניהול צי הרכב עבור ספקים ומפעילים המעוניינים להגיע לאזור. לפיכך נדרשת מידה מסוימת של תמיכה ממשלתית בתהליך. לגבי התועלות, ההערכה היא שהתועלות מבחינת בריאות הציבור יהיו כמעט 100 מליון ל"ש עד שנת 2007. ובסה"כ באותו סדר גודל כמו העלויות העקיפות להחלפת כלי הרכב.

תקן הסף שלפיו יתאפשר לכלי רכב להיכנס לאזור הוא עניין של החלטת מדיניות בכל מקרה לגופו. תקן זה קובע למעשה גם את התועלות מבחינת איכות האוויר, וגם את העלויות למפעילים. ההצעה הנוכחית ללונדון עומדת על תקני סף של 2 euro עד 2006 ו-3 euro עד 2010. במידה ורוצים להקטין את העלויות העקיפות, ניתן להקל את תקן הסף, או לכלול גם רכבים ישנים שעברו שדרוג.

לא נמצאו בספרות סקירות לגבי תוכניות בהן נגבית אגרה בכניסה ל-LEZ. האגרה יכולה להיות בהתאם לפליטות מכלי הרכב, כאשר מצד אחד נוצר תמריץ לשדרג את כלי הרכב ומצד אחר, יוצרת המערכת הכנסות.

#### 1.4.5 ביטול תמריצי מעסיק לנסיעה ברכב פרטי

בסקירת הספרות לא נמצאו עדויות מהעולם לסובסידיות מעסיק לעידוד הנסיעה ברכב פרטי, כפי שמקובל בארץ. לעומת זאת נמצאו דוגמאות רבות למדיניות הפוכה, לפיה הרשות מחייבת את המעסיקים לעודד עובדים להגיע לעבודה בתחבורה ציבורית. דוגמה ליישום מדיניות כזו והשפעתה המוצלחת על הרגלי הנסיעה, מפורטים בסעיף 1.5.7.

#### 1.4.6 אמצעי מיסוי

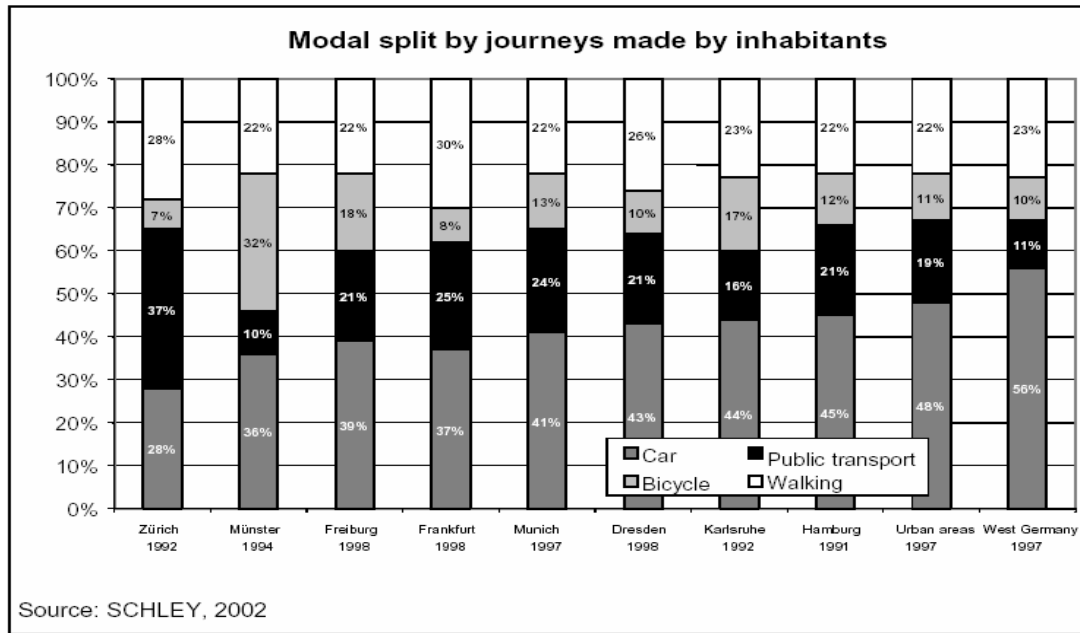
קיים מגוון רחב של גישות למיסוי הנסיעה ברכב פרטי, וחלקן כבר הוצג לעיל. המשותף לכל גישות המיסוי הוא ההכרה שלשימוש ברכב פרטי יש עלויות חיצוניות, אותן יש להעמיס בדרך כלשהי על המשתמש ברכב, בהתאם לעקרון של "המזהם משלם". נספח א' מציג אומדנים לעלויות חיצוניות מתחבורה כפי שחושבו באירופה ובארה"ב. טבלה 6 מציגה את אמצעי המיסוי האפשריים.

סוג המס	הערות
מיסים על דלק, מיסים על רכב	מחוץ למסגרת מסמך זה
מיסי חניה	ר' סעיף 1.4.3
אגרות גודש	ר' סעיף 1.4.1
מיסוי הנסועה (לפי קילומטרז')	מחוץ למסגרת מסמך זה
מיסוי ישיר של הזיהום	Calthrop and Proost (2003) מציגים מודל תיאורטי למיסוי ישיר של זיהום אוויר. לטענתם זהו הכלי האפקטיבי והצודק ביותר לשימוש כתמריץ להתנהגות יעילה של השוק, מבלי לפגוע בחופש הבחירה של הפרט. אלא שאין עדיין טכנולוגיה מעשית ליישום.

טבלה 6: אמצעי מיסוי השימוש ברכב פרטי

## 1.5 קידום תחליפים לרכב הפרטי

אמצעים תחליפיים לרכב הפרטי כוללים בעיקר שימוש בתחבורה ציבורית, רכיבה על אופניים והליכה ברגל. תכנון התחבורה במדינות מערב אירופה מתייחס לשלושת האמצעים שצוינו כאמצעים לגיטימיים ובעלי משקל במערכת. תרשים 3 ממחיש עובדה זו באמצעות נתונים על מדד פיצול הנסיעות (modal split) בכמה ערים בגרמניה ובשווייץ.



תרשים 3: פיצול הנסיעות בכמה ערים בגרמניה

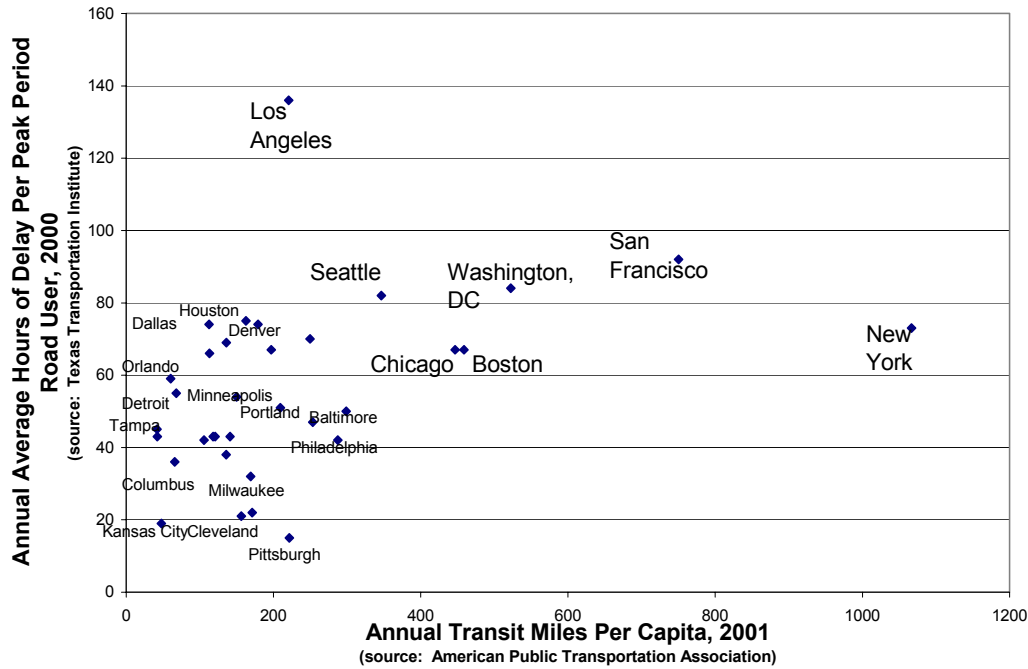
מדד פיצול הנסיעות מהווה את הכלי העיקרי לבחינת יעילות המערכת התחבורתית. ככל שמדד פיצול הנסיעות מוטה יותר לאמצעים התחליפיים לרכב הפרטי, כך קטן שיעור הפליטות לנוסע. על מנת להגיע למדדי פיצול נסיעות המתוארים בתרשים, נדרשת מדיניות משולבת של הגבלות תנועה, כפי שתוארו בסעיף הקודם, וקידום אמצעים אלטרנטיביים, כפי שיוצג בסעיף זה.

לעתים נשמעת הטענה כאילו קידום תחבורה ציבורית ותו לא יביא ל"הורדת מכוניות מהכביש". תרשים 4 מציג את הקשר בין שיעור הנסועה בתחבורה ציבורית בעיר מסוימת בארה"ב, לרמת גודש התנועה באותה עיר. כאשר משווים בין ניו-יורק, סן פרנסיסקו ולוס אנג'לס, ניתן לראות שתחבורה ציבורית משופרת אכן מסייעת להפחתה בגודש. לעומת זאת, בערים אחרות שנבדקו, לא נמצא קשר ברור בין השניים. בהקשר זה חשוב לציין, שתחבורה ציבורית משופרת מביאה בראש ובראשונה לשיפור הנגישות והחייאת המרקם העירוני, דבר שבפני עצמו עשוי למשוך נסיעות נוספות, גם ברכב פרטי.

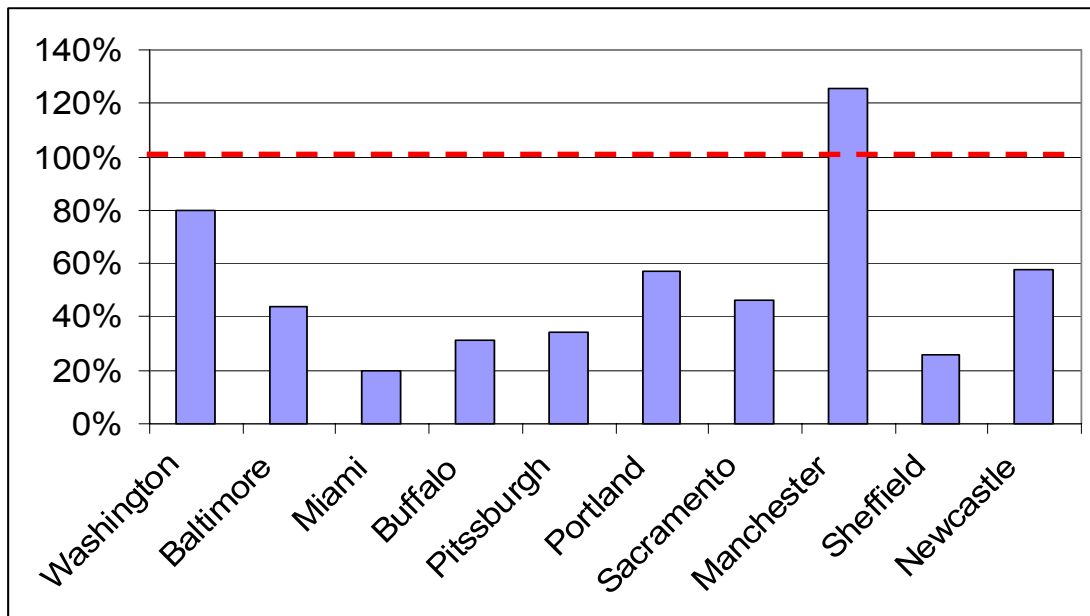
מצד שני נשמעות טענות כאילו שיפורים בתחבורה ציבורית, ובפרט יישום תכניות לרכבת קלה, אינם מצדיקים את ההשקעה. כגיבוי לטענות אלה מציגים Mackett and Edwards (1997) מספר רב של דוגמאות מהעולם בהם שיעור הנסועה ברכבת קלה או רכבת תחתית היה נמוך משמעותית מהתחזית (תרשים 5). ישנן סיבות רבות אפשריות שעשויות להסביר את הסטייה מהתחזיות, כמו למשל תכנון לא נכון של קווי ההזנה לרכבת הקלה, או העדר הגבלות מקבילות על תנועת הרכב

הפרטי. בכל מקרה אין להסיק מתרשימים 4 ו-5 ששיפור תחבורה ציבורית בכלל, ורכבת קלה בפרט, אינם מסייעים לאיכות הסביבה. המסקנה היא ששיפורים בתחבורה ציבורית צריכים להיעשות במסגרת של מדיניות משולבת ומתוך ראייה מערכתית כוללת, ובפרט אמצעים להגבלת תנועת הרכב הפרטי.<sup>24</sup>

Transit Use and Roadway Congestion, US Urbanized Areas over 1 Million Population



תרשים 4: הקשר בין תחבורה ציבורית לגודש<sup>25</sup>



תרשים 5: שיעור הנסיעות ברכבת קלה או רכבת תחתית בהשוואה לתחזיות (מקור: Mackett and Edwards 1997)

<sup>24</sup>השינויים הארגוניים המתוכננים כרגע בתחבורה הציבורית במטרופולין תל אביב אינם צפויים להשפיע על פיצול הנסיעות בטווח הקצר. בין היתר מכיוון שאין בצידם מדיניות מקבילה של הגבלת תנועה ברכב פרטי.  
<sup>25</sup>תרשים זה התקבל מפרופ' ג'ונתן לוין, לאחר שהציג אותו בכנס של חברת נת"ע שהתקיים לאחרונה.



### 1.5.1 שיפורים בתחבורה הציבורית

כאמור, מערכת תחבורה ציבורית משופרת מאפשרת בראש ובראשונה להגדיל את יעילות המערכת העירונית, תוך הקטנת היקף הפליטות לנוסע. כאשר מיישמים אותה בשילוב עם אמצעי מדיניות אחרים, ניתן להשפיע על מדד פיצול הנסיעות ולהקטין את זיהום האוויר (כל זאת בהנחה שהאוטובוסים פועלים על פי התקנים האירופאים המחמירים, כמוזכר לעיל). על מנת להשפיע על פיצול הנסיעות נדרשת רשת מקיפה, מודרנית ויעילה, ברמת שירות המותאמת לדרישות הצרכן. לשם כך יש לנקוט בשילוב של כמה אמצעים, כגון:

- שיפורים בפריסת הקווים
- הגדלת התדירות
- סינכרון ושילוביות בין קווים שונים
- הגדלת מהירות הנסיעה באמצעות נתיבים מיוחדים ועדיפות בצמתים
- שיפור המידע לנוסע, בדגש על מידע דינמי בתחנות ובסלולרי.
- תעריפים אחידים, כרטיסים משולבים, וכדומה.
- שדרוג צי האוטובוסים ושימוש בכלי רכב נוחים יותר, נקיים יותר ושקטים יותר.
- הרחבת שעות הפעילות, בדגש על שעות הערב המאוחרות וסופי שבוע.

לכל אחד מהאמצעים יש "תורת הפעלה" משלו, שפרטיה חורגים מגבולות מסמך זה. בהקשר של המסמך הנוכחי ניתן להצביע רק על נושא אחד כשייך לתחום האחריות של הרשות המקומית, והוא תכנונם והקמתם של אמצעי העדפה לתחבורה ציבורית: נתיבים מיוחדים ועדיפות בצמתים. אלו יפורטו בסעיף 1.5.2.

על בסיס סקירת הספרות, ניתן לומר שמטרופולינים שיישמו בהצלחה מערכות תחבורה ציבורית, עשו זאת מתוך ראייה מערכתית כוללת. הראיה המערכתית באה לידי ביטוי בשלוש רמות:

ברמה המינהלית - התיחסות למטרופולין כולו כחטיבה אחת.

ברמה התפעולית - באמצעות תכנון משולב של מסלולים, תדירויות וזימון כלי רכב.

ברמה המרחבית - תכנון משולב של תחבורה ושימושי קרקע.

על מנת לממש ראייה כוללת זו יש לקיים תיאום הדוק בין הרשויות המקומיות במטרופולין, ובין הרשויות למפעילי התחבורה השונים. דוגמה אופטימלית מהעיר Curitiba שבברזיל מובאת בפרק הסיכום למסמך זה.

## 1.5.2 נתיבים מיוחדים ועדיפות בצמתים.

במערכת התחבורתית ישנם כלי רכב להם כדאי לתת עדיפות מבחינה תחבורתית וסביבתית, כגון אוטובוסים, כלי רכב המסיעים מספר רב של נוסעים, וכלי רכב בעלי רמת פליטות נמוכה. עדיפות יכולה לבוא לידי ביטוי בנתיבים מיוחדים או בעדיפות ברמזורים. מתן עדיפות נסיעה מספקת לכלי רכב אלה יתרון במהירות הנסיעה, כפיצוי לזמן הנוסף הדרוש בנסיעתם כתוצאה מאיסוף נוסעים.

נתיבים מיוחדים ועדיפות ברמזורים יכולים לסייע לאיכות הסביבה בשתי דרכים עיקריות:

- צמצום הבלימה והתאוצה, שהם גורמים משמעותיים בהיקף הפליטות הכולל במערכת.

- מאפשרים מתן עדיפות לכלי רכב בעלי רמת פליטות נמוכה, ובכך מעודדים את השימוש בהם.

על מנת להגדיל את האפקטיביות של מערכות אלו, רצוי ליישם אותם במסגרת של מערכת כוללת. במצב בו עירייה אחת מקדישה מסלול לתחבורה הציבורית ודואגת לגל רמזורים ירוקים בנתיב זה, אך עירייה שכנה אינה מתואמת איתה, האוטובוס מאבד את יתרונו היחסי על פני הרכב הפרטי.<sup>26</sup> מערכות כאלה פועלות כסטנדרט ברוב הערים הגדולות באירופה (רטוביץ וביוקן 1992), וארה"ב (FTA 2005).

כאשר מקימים נתיבי העדפה, מקובל להקצות נתיבים אלה מתוך ההיצע הקיים, ולא כתוספת<sup>27</sup>. באחת הדרכים המהירות בלונדון הוקצו בשנת 2001 שני נתיבים לתחבורה ציבורית (מתוך שישה). כתוצאה מכך נרשמה עליה מסוימת בנפחי התנועה בשני הנתיבים הסמוכים, אך לא היתה עליה בנפחים בשני הנתיבים האחרים, ולפיכך סך כל הנפחים ירד. עקב כך נרשמה ירידה ברורה בריכוזי NOx, כאשר רמת ה-PM נשארה קבועה. ההסבר לאי השינוי ברמת ה-PM נובע מעליה במספר האוטובוסים מונעי הדיזל. הסבר נוסף לאי ירידת ה-PM הוא השפעת מקורות זיהום רחוקים יותר. (TFL 2004)

## 1.5.3 חנה וסע

חניוני חנה וסע מיועדים לתת אלטרנטיבה לכניסת כלי רכב למרכזי הערים, באמצעות אפשרות להשארת הרכב בחניון וכניסה העירה בתחבורה ציבורית. יחד עם זאת, נשאלת השאלה האם קיומם של חניונים כאלה עלול לעודד נוסעים להשתמש ברכב הפרטי (בחלק מהנסיעה), ובכך להביא לעליה מסוימת בנסועה באזורים שמחוץ לעיר.

<sup>26</sup> מתוך אתר חברת "דן".

<sup>27</sup> בישראל מקובל לסלול נתיבי העדפה כתוספת לנתיבים קיימים, תוך התעלמות מהנתונים האמפיריים שהוצגו בסעיף 1.4.2.

Parkhurst et al (2000) ביצעו סקרים במספר רב של ערים בבריטניה, בהם נשאלו המשתמשים מה היו אמצעי הנסיעה שלהם לפני הקמת החניון, וכיצד היו נוהגים אילו לא היה קיים. בתוצאות נמצאה שונות גדולה בין הערים השונות, כאשר בין 42% ל-81% נסעו מקודם ברכב למרכז העיר, ובין 2% ל-12% נסעו מקודם למקום אחר. אלו הן ההשפעות הרצויות. יחד עם זאת, בין 5% ל-40% נסעו מקודם את כל הדרך בתחבורה ציבורית, ועברו להשתמש ברכב עם פתיחת החניון. תוצאה זו מהווה דוגמה להשפעה לא רצויה.

החוקרים מסייגים את הממצאים ומציינים שהמספרים המדויקים צריכים להלקח בערבון מוגבל, בגלל השונות בתוצאות בין מקומות עם מאפיינים שונים. יחד עם זאת, עדיין מתקבל מיעוט לא מבוטל של נוסעים שעברו להשתמש ברכב, בחלק מהנסיעה, כתוצאה מהקמת החניון.

Goodwin (2003) מצוין שהעבודה הנ"ל הביאה להכרה בקרב הרשויות המקומיות בבריטניה, שלמרות שחניוני חנה וסע הם כלי ראוי ברמה העקרונית, יש לתכנן אותם בזהירות כדי למנוע השפעות לא רצויות על הביקוש לתחבורה ציבורית. הפתרונות העיקריים הם למקם את החניונים במרחק משמעותי ממרכז העיר, בנוסף לשיפור התחבורה הציבורית גם באזורים שמחוץ למרכז העיר, כדי למנוע "זליגת" משתמשים מהתחבורה הציבורית לרכב הפרטי.

#### 1.5.4. עידוד הרכיבה על אופניים

כאמור, הרכיבה על אופניים מהווה מרכיב לגיטימי במערכות התחבורה בערים רבות באירופה. האופניים מחליפים את הרכב הפרטי בעיקר בנסיעות קצרות, שהן הנסיעות היותר מזהמות באופן יחסי. לנתון זה יש משמעות רבה בהערכת פוטנציאל הפחתת הפליטות כתוצאה מקידום הרכיבה על אופניים, לאור העובדה שחלק גדול מהנסיעות ברכב פרטי בסביבה העירונית הם למרחקים של קילומטרים ספורים (Welleman 1997).

השימוש באופניים מהיר יותר מהליכה וגמיש יותר מנסיעה באוטובוס, ויש לו יתרונות משמעותיים בהיבטים של בריאות הציבור<sup>28</sup>. הבעיה העיקרית מבחינת הרוכבים היא ברמה הבטיחותית. ערים רבות בארה"ב, כמו יוסטון דאלאס סן אנטוניו, אוסטין ואחרות, משקיעות סכומים של עשרות מליוני דולרים בתכניות ארוכות טווח לקידום הרכיבה באופניים. Clarke (1997).

Welleman (1997) מנתח את אמצעי המדיניות הדרושים לשיפור האטרקטיביות של נסיעה באופניים, על בסיס נתונים מתכנית שיושמה בעיר Delft בין השנים 1982-1987. המסקנה היא שסלילת שבילי אופניים ותו לא עשויה לא להספיק, ויש להביא להתאמת כל הרשת העירונית, כיחידה אחת, לנוחות רוכבי האופניים. קידום הרכיבה על אופניים צריך להוות חלק אינטגרלי במסגרת המדיניות התחבורתית הכוללת, תוך שילוב בין הקמת תשתיות מתאימות, ניהול תנועה,

<sup>28</sup>בבריטניה נמצא שתוחלת החיים של רוכב אופניים גבוהה יותר ב-10 שנים מהמוצע (City of Edinburgh) (2003)

בטיחות ופרסום מתאים. גם לאמצעי מיתון תנועה ולשיפור התחבורה הציבורית יש חשיבות בהקשר זה.

לשילוב בין רכיבה על אופניים לנסיעה בתחבורה ציבורית (Bike&ride) עשוי להיות משקל משמעותי שעשוי "לגבור" על הרכב הפרטי. ההגעה באופניים לתחנת רכבת מקובלת גם במדינות עם רמת מינוע גבוהה Martens (2004). על פי נתונים מהולנד משנת 1991, 44% מנוסעי הרכבת הגיעו לתחנה באופניים. מפעילי הרכבת והתחבורה הציבורית, שבעבר ראו באופניים מתחרה, עושים כיום מאמצים לשפר את השילוב בין השניים, בין אם באמצעות הסדרת מתקני חניה, ובין אם באמצעות אישור להעלאת אופניים לתחבורה הציבורית. באופן זה ניתן לשפר את יעילות המערכת כולה ולמשוך נוסעים נוספים לתחבורה הציבורית.

בעיר בזל, מהווה השילוב בין אופניים ותחבורה ציבורית מרכיב משמעותי בתחבורה העירונית. שילוב בין שיפור תחבורה ציבורית לרשת שבילי אופניים מתואמת הביא למדד פיצול נסיעות של 27% באופניים, 32% בתח"צ, 24% ברגל ורק 27% ברכב (Tschopp, 1997).

#### 1.5.5 עדיפות להולכי רגל במרכזי ערים

מתן עדיפות להולכי רגל מהווה המשך של רעיון "מיתון תנועה" מסעיף 1.4.2, ומתבסס על ההכרה שהעיר שייכת לכלל תושביה ולא לכלי הרכב. נושא זה מקודם במרץ בערים רבות באירופה, ולפי Goodwin (2003) מדובר כבר ב"תנועה כלל עולמית". ההצדקות המקובלות להפעלת אמצעי זה מתייחסות לערכים סביבתיים, אסתטיקה, עיצוב עירוני, אטרקטיביות ועד הקטנת רעש וזיהום אוויר.

עירית קופנהגן יישמה תכנית להפיכת הרחוב הראשי למדרחוב, תוך מיתון התנועה ברחובות הסמוכים. לאחר ביצוע התכנית הסתבר שרק 76% מתנועת כלי הרכב שהועתקו מהרחוב הופיעה מחדש במקומות אחרים, בעוד שבשעות השיא חזרה לרשת הדרכים רק 38% מהתנועה שעשתה בעבר שימוש ברחוב זה. במקביל נרשם שיפור משמעותי בהיקפי המסחר ברחוב, נרשמה ירידה של כ-70% במספר תאונות הדרכים בעיר, ושיעורי זיהום האוויר בעיר נותרו נמוכים בהשוואה לערים בעולם (רטוביץ וביוקן 1992).

#### 1.5.6 עידוד ההליכה ברגל לבית הספר

בשנים האחרונות מתפתח גורם נוסף של גודש בסביבה העירונית בשעות הבוקר והצהריים, לאור העובדה שהורים רבים נוהגים להסיע את ילדיהם לבית הספר או לגן. תופעה זו מטרידה את רשויות התחבורה בערים רבות בעולם. המוטיבציה העיקרית לטיפול בבעיה היא ברמת הבטיחות בדרכים, אולם מטבע הדברים יש לה גם השפעות משמעותיות על זיהום האוויר באזור בתי הספר.

סקרי הנסיעות בעיר אדינבורו שבסקוטלנד מראים שאחת מכל חמש נסיעות בשעות הבוקר היא למטרת "הקפצת" הילד לבי"ס או לן. בעירית אדינבורו מודאגים מהתפתחות תרבות של תלות ברכב פרטי כבר מגיל צעיר. מעבר להשלכות החינוכיות, הבריאותיות והבטיחותיות, ישנן גם השפעות סביבתיות. תכנית האב לתחבורה באדינבורו מציעה מספר אמצעים לטיפול בבעיה:

פעולות ברמת ניהול התנועה:

- מיתון תנועה בסביבות ביה"ס.
- סגירת מגרשי חניה בסביבות ביה"ס.
- איפשור רכיבה באופניים לבי"ס.

פעולות בשיתוף בתי הספר:

- בכל ביה"ס תתקיימנה פעילויות להטמעת החשיבות של הליכה לבי"ס.
- עידוד ההנהלה וההורים להציע פתרונות יצירתיים לבעיה.
- כל ביה"ס יבצע הערכה עצמאית של התועלת עבורו ועבור הקהילה שלו.

חלק מהערים באירופה מיישמות תכניות ל"שבילים בטוחים" לביה"ס במטרה לצמצם את התלות של הילדים בהסעות ברכב הפרטי. דוגמה מפורטת לאופן היישום של תכנית מסוג זה, מהעיר Odense שבדנמרק מפורטת אצל Andersen (1997).

### 1.5.7 הסעות למקומות העבודה

לקורא הישראלי הכותרת של סעיף זה עשויה להראות מעט אנכרוניסטית. לעומת זאת בארה"ב ובמערב אירופה מתייחסים לנושא זה כאמצעי מדיניות לגיטימי בתכנון התחבורה הכולל. מדובר בקבוצה של אמצעי מדיניות שמטרתם להקטין את מספר נסיעות היוממים הבודדים (נהיגה ברכב פרטי למקום העבודה, ללא נוסעים נוספים ברכב - solo commute)

בארה"ב קיים מגזר שלם של עמותות המכונות TMA's – Transportation Management Associations. אלו הן שותפויות של המגזר העסקי והציבורי המיועדים לסייע ליוממים באמצעות מתן שירותים ומידע, במטרה לספק להם תחליפים טובים יותר מאשר נסיעה (לבד) ברכב הפרטי. לדוגמה, עמותה כזו יכולה ליזום מערכת של הסעות car-pool, ובמקביל לפנות לרשויות כדי לאפשר להסעה המשותפת לנסוע בנתיבי התחבורה הציבורית הקיימים.

עובדים הזכאים לחניה חינם במקום עבודתם נוטים להעדיף נסיעה לעבודה ברכב הפרטי. מצב זה מביא לעליה בממדי הנסועה ויוצר חוסר שיוויוניות בין עובדים בעלי רכב לעובדים אחרים. על רקע זה יזמה מדינת קליפורניה בשנת 1992 תכנית בשם "parking cash-out", שמטרתה להקל על עובדים המעוניינים להגיע למקום העבודה באמצעי תחבורה שאיננו רכב פרטי. התכנית מגובה בחוק מדינה המחייב מקומות עבודה המעסיקים יותר מ-50 עובדים לאפשר לעובדים לפדות בכסף את מקום החניה שלהם בעבודה.

הרשות להגנת הסביבה בקליפורניה, האמונה על יישום החוק, יזמה מחקר ב-8 חברות כדי לבדוק האם השינוי בתמריצים אכן משנה את הרגלי הנסיעה של העובדים. המחקר נערך בעזרת סוכנות בשם Southern California Rideshare, המסייעת לכ-5000 מקומות עבודה ביצירת תכניות הסעה, ובעזרת עירית Santa Monica המחייבת תכניות cash-out כחלק ממדיניות התחבורה שלה.

נמצא שבעקבות יישום התכנית ירד מספר נסיעות יוממות של נהגים בודדים מ-76% ל-63%. שיעור הנסיעות המשותפות עלה מ-14% ל-23%. שיעור השימוש בתח"צ עלה מ-6% ל-9%, ושיעור ההליכה ברגל או באופניים עלה מ-2% ל-3%. הירידה במספר הנסיעות ברכב פרטי הביאה לירידה של כ-12% בהיקף הפליטות. המעסיקים שהשתתפו במחקר דיווחו על יישום מוצלח של התכנית ללא שינוי משמעותי בהוצאות המעסיק (עליה מ-\$72 לחודש ל-\$74) וללא קשיים מינהליים משמעותיים.

תכניות מסוג זה זוכות לתנופה בארה"ב, במיוחד לאחר חקיקת תקנות פדרליות המקטינות למינימום את הטבות המעסיק לנסיעה ברכב פרטי. במקביל הגיעו מעסיקים רבים בארה"ב למסקנה שעדיף להם לשלם עבור נסיעות בתחבורה ציבורית מאשר לשלם עבור חניה חינם לעובדים (Deakin, 2005)

באמסטרדם מחויבות כל החברות המעסיקות 500 עובדים או יותר, לפתח "תכנית תחבורה" ולהציגה לרשות המקומית. המטרה היא לבחון את צרכי התחבורה של כח העבודה ואופציות התחבורה הזמינות באזור, מתוך מגמה לצמצם את מספר הנסיעות במכונית, בשיעור יעד של כ-20% הפחתה בנסיעות. ההסדרים הנוכחיים כוללים בעיקר תעודות נסיעה שנתיות בתחבורה הציבורית המוצעות לעובדים במחיר מוזל. המחיר המוזל נקבע באמצעות משא ומתן עם חברות התחבורה הציבורית. מרכיב משמעותי נוסף בהסדרים אלה הוא הרכיבה על אופניים, לאחר שמעסיקים רבים מצאו שמשלם להם יותר להשקיע בחינוכי אופניים ומקלחות לעובדים, מאשר בהחזר הוצאות דלק (Welleman 1997).

## 1.6 אמצעים תכנוניים לטווח הארוך

### 1.6.1 עדכון המודלים התחבורתיים

תכנון התחבורה ברמת הרשות המקומית אמור להתבסס, בדרך כלל, על תכנית אב לתחבורה. בתהליך הדרגתי הנמשך מתחילת שנות ה-70, חל שינוי בהגדרת היעדים של תכניות תחבורתיות בערים בעולם. בעבר ניתן דגש מרכזי לרמת השירות לרכב הפרטי, בעוד שבשנים האחרונות באים לידי ביטוי יעדים של נגישות התושבים לפעילויות.

אחד ממרכיביה של תכנית אב לתחבורה הוא המודל התחבורתי. על בסיס מודל זה מתקבלות החלטות תכנוניות לגבי אופי הרשת התחבורתית באזור התכנון. מכאן שלבחירת המודל חשיבות רבה לא רק ברמה הטכנית, אלא גם מבחינת קובעי המדיניות. קיים מגוון רחב של מודלים בהם ניתן להשתמש, וחלקם יוצג להלן בקצרה:

- שינוי בפיצול הנסיעות (כולל הליכה ברגל ואופניים) כיעד של התכנית התחבורתית.
- מודלים של נגישות (activity based models)
- מדדים ליעילות המערכת, כגון יחס בין פעילות תחבורתית ותל"ג.
- שימוש במדדים שישקפו באופן טוב יותר את משמעות הנסיעה בתנאי גודש, כמו מדדי "אורך תור" כתחליף למדד של "נפח תנועה".
- מודלים תחבורתיים המשלבים התייחסות להשפעות סביבתיות, ובכלל זה פליטת מזהמים ופיזור מזהמים (מודלים של שילוב נסיעות, או מודלים מיקרוסקופיים)<sup>29</sup>

עדכון המודלים כך שיתייחסו להשפעות של זיהום אוויר, עשוי לשנות את אופי הפתרון המוצע כתוצאה מהשימוש במודל. כך למשל שימוש במדדים להערכת רמת הפליטות בדרך מהירה עשוי להביא להעדפת פתרון של ניהול כניסות (Ramp metering)<sup>30</sup> על פני פתרון של הוספת נתיב. וזאת מאחר ורמת הפליטות של רכב עומד (בכניסה לדרך המהירה) קטנה יותר מזו של רכב הנוסע בתנאי גודש (שיפטן 2004).

<sup>29</sup> מודלים של "שרשור נסיעות" מתייחסים לנסיעות המשלבות כמה תחנות בנסיעה אחת. מודלים אלה יתנו אינדיקציה טובה יותר לגבי זיהום האוויר, וזאת בשל העובדה שהיקף הפליטות מרכב שמנועו עדיין "חס", הוא קטן יותר בהשוואה לרכב "קר" (שיפטן 2004). המודלים המיקרוסקופיים, המתייחסים לאופן הנסיעה, ההאצה וההאטה ברמת הרכב הבודד, יכולים לשקף טוב יותר את היקף הפליטות כתוצאה מזרימת התנועה הכוללת.

<sup>30</sup> מערכת לניהול כניסות (Ramp metering) שולטת על ויטות התנועה ברמפות העליה לדרך המהירה. כאשר המערכת מזהה התרחשות אפשרית של מצב גודש, נסגרים שערי הכניסה לדרך המהירה על מנת למנוע ממצב הגודש להתרחש.

## 1.6.2 תכנון משולב של תחבורה ציבורית ושימושי קרקע.

במערכת העירונית קיים קשר הדוק והדדי בין תכנון שימושי הקרקע לבין רמת השירות של מערכת התחבורה הציבורית. מדיניות לתכנון משולב של תחבורה ציבורית ושימושי קרקע מביאה להשפעות חיוביות בתחומים רבים, ויש לה השלכות משמעותיות ביותר בכל הקשור לעלית ערך הקרקע במרכז העיר ולהשבחת נכסים<sup>31</sup>. השלכה חיובית נוספת היא בהיבט החברתי, המשפר את איכות החיים של קבוצות האוכלוסייה נטולות הרכב הפרטי, כמו קשישים וילדים.

בטווח הארוך, תכנון משולב של תחבורה ציבורית ושימושי קרקע עשוי להשפיע על פיצול הנסיעות ולהקטין את הביקוש לנסיעות ברכב פרטי. אחד האמצעים המקובלים בתחום זה הוא מיקום שימושי קרקע עתיירי פעילות באזורי נגישות גבוהה לתחבורה ציבורית, בין היתר באמצעות הגדלת אחוזי הבניה סביב תחנות ההסעה ההמונית.

בעיר ונקובר שבקנדה מתקיים תהליך תכנוני של עשרות שנים, שיצר מבנה עירוני המותאם לתחבורה הציבורית. התהליך החל בשנות ה-60, כתגובה ליוזמה ממשלתית לסלילת "כביש חוצה ונקובר", שאמור היה לחצות שכונות וקהילות אתניות מלוכדות. התנגדות עזה של תושבי העיר ליוזמת הכביש הביאה לעלית כח פוליטי במועצת העיר, שהשתלט על עמדות הכח הפוליטיות בתחום התחבורה, והביא לשינוי גישה כללי בתחום. החל משנות ה-70 הפכה מדיניות הרשות המקומית להיות "מוטת תחבורה ציבורית" באופן עקבי. מדיניות זו באה לידי ביטוי בכמה צורות:

- בניגוד למקובל בצפון אמריקה, אין בונקובר רשת מסיבית של כבישים.
- הרשות המקומית פועלת מול יזמי הנדל"ן, במטרה לעודד אותם להסתמך על תחבורה ציבורית לפרויקט, משיקולים כלכליים שלהם.
- הרשות המקומית, ומפעילי התחבורה הציבורית, פועלים במשותף בשוק הנדל"ן המקומי בכדי להשפיע על ההתפתחויות בכיוון הרצוי מבחינת רשת התחבורה הציבורית.
- חוק עזר עירוני אוסר על הקמת מגרשי חניה אלא אם הם תת קרקעיים, ובכך מספק תמריץ שלילי לפיתוח חניה בשל העלות הגבוהה.
- הפיתוח העירוני שם דגש על תשתית להולכי רגל.

תכנון משולב של תחבורה ציבורית ושימושי קרקע משפיע על פיצול הנסיעות בטווח הארוך. מחקרים שנערכו בערים שונות בעולם הציגו נתונים המצביעים על כך שעליה של 10% בצפיפות למגורים ולתעסוקה מביאה לעליה של 8%-5% בשימוש בתחבורה הציבורית (מישורי-רוזנברג 2004). הערכה מדויקת של השפעת אמצעי מדיניות זה על היקף הפליטות היא כמעט בלתי אפשרית, שכן קשה לבדוד תרחישים של "לפני" ו"אחרי" עבור מרחב עירוני שלם לאורך עשרות שנים. יחד עם זאת, ישנם כמה מודלים העוסקים בקשר בין מבנה עירוני, תחבורה וזיהום אוויר, המצביעים על ירידה בין 20%-30% ברמת הנסועה ברכב פרטי, כתוצאה ממיקום שימושי קרקע בסמוך לצירי תחבורה ציבורית (Kolke et al 2003, גת ואחרים 2004)

<sup>31</sup> פרטים נוספים באתר: [http://www.lgc.org/freepub/land\\_use/articles/whybuild/page01.html](http://www.lgc.org/freepub/land_use/articles/whybuild/page01.html)



### 1.6.3 הפנמת עלויות חיצוניות בתכנון

במסגרת הדיון הציבורי בדבר הקשר בין תחבורה כלכלה וסביבה, הולכת ומתגבשת ההכרה כי למערכת התחבורה יש עלויות חיצוניות שלא נלקחו עד כה בחשבון. אומדנים כלליים של עלויות אלה מופיעים בנספח א'.

ברמת המתכנן, הפנמת עלויות חיצוניות רלבנטית בעיקר לשלב התכנון המקדים של פרויקט תחבורתי כלשהו. בשלב זה אמורות להתבצע בדיקות הנדסיות וכלכליות לצורך בחינת הכדאיות שבהקמת הפרויקט. הפרמטרים העיקריים בבדיקות אלה מתייחסים לערכים כלכליים, בעיקר בהקשר של חסכון בזמן נסיעה, ולשיקולים הנדסיים, בהתאם למאפייני כל פרויקט. למרות שלזיהום האוויר ישנו ערך כלכלי מדיד (לביא ואחרים 2003), הרי שנושא זה לא נלקח כיום בחשבון בעת הערכת טיב הפרויקט המוצע.

## 1.7 סיכום ומסקנות להמשך

מדיניות תחבורה לשמירה על הסביבה יכולה לכלול מגוון רחב של אמצעים. חלק מהאמצעים נוסו במקומות רבים בעולם, וחלקם עדיין חדשניים. לחלק מהאמצעים ניתן לחזות את ההשפעות באופן מדויק, ובחלק פחות. ככלל, כאשר מסיקים מסקנות מההצלחה או כשלון בהפעלת אמצעי מסוים בעיר אחת, לגבי הפעלתו בעיר אחרת, יש לקחת בחשבון את המאפיינים היחודיים של כל מקרה ומקרה. יחד עם זאת, ניתן להצביע על כמה מסקנות כלליות:

- סלילת כבישים חדשים וכבישים עוקפים למיניהם אינה מהווה פתרון לא לבעיית הגודש ולא לזיהום האוויר הנגרם ממנו.
- ניתן לממש מדיניות של ריסון והגבלת תנועה מבלי ליצור כאוס תחבורתי.
- באמצעות מדיניות תחבורה עירונית, ניתן לתת עדיפות לכלי רכב בעלי רמת פליטות נמוכה לנוסע (תחבורה ציבורית או כלי רכב פרטיים לא מזהמים) ובכך לעודד את הנסיעה בהם. מדיניות זו יכולה לכלול עדיפות בנתיב, עדיפות ברמזור או עדיפות בחניה.
- מבחינת טכנולוגיות הרכב, האמצעי היעיל ביותר בראיה משולבת של מידת הפחתת הפליטות, עלות ההתקנה והאחזקה, והאפשרות לביצוע ויישום מיידי, הוא המשך השימוש במנועים הקיימים תוך כדי שדרוגם.

מסקנה נוספת מהסקר היא שהפעלה סלקטיבית של אמצעי מדיניות, שלא במסגרת מדיניות משולבת, לא תביא לתוצאות, או תביא לתוצאות הפוכות, לדוגמא:

- הגבלת תנועה במרכז העיר יכולה לגרום לפרבור.
- יתכן מצב בו שיפור שבילי הנסיעה באופניים יביא לעליה בנסיעות אופניים, אבל לא בהכרח לירידה בנסיעות ברכב.
- עידוד תחבורה ציבורית כלשעצמו לא תמיד ישפיע על פיצול הנסיעות
- התמקדות בשיפורים טכנולוגיים בדלקים ובכלי הרכב, מבלי ליישם במקביל מדיניות ניהול ביקושים, לא תאפשר עמידה ביעדי הפחתת הפליטות (נקבע בהקשר לבריטניה ע"י (Begg and Gray 2004)
- שיפור תחבורה ציבורית לא תשיג יעדי זיהום אוויר, כאשר איכות הפליטות מהאוטובוס ירודה. יתכנו מקרים שאוטובוס פולט יותר מרכב פרטי פר נוסע (מבוסס על בדיקה שנערכה ב-2001 ע"י ה-California Air Resources Board).
- אמצעי אכיפה ותקינה לא יספיקו במצב בו יש גידול משמעותי ומתמיד בנסועה (דלהי)
- קמפיינים לשינוי הרגלי נסיעה ינחלו הצלחה רק בשילוב עם מדיניות משולבת של "מקל וגזר" (Hensher and Button 2003)

מצד שני, קיימת השפעה סינרגטית של אמצעי המדיניות. כלומר, אם נניח ששיפורים בתחבורה הציבורית עשויים להביא לירידה של 5% בפליטות, ותקן חניה מופחת עשוי להביא לירידה של 5%

בפליטות, הרי שילוב של שניהם עשוי להביא ל-15% ירידה בפליטות. Hensher and Button (2003). לפיכך, המסקנה מהאמור לעיל היא שיש ליישם כמה אמצעי מדיניות כחבילה כוללת.

לאור מורכבות הנושא, ניתן לומר שיישום מוצלח של תכנית להפחתת פליטות מחייב תיאום בין מספר רב של גורמים. כך למשל התכנית להפחתת פליטות בסיאול לא הגיעה ליישום מלא, בשל חוסר תיאום בין רשויות. התכנית לא זיהתה את תחומי האחריות של כל רשות, לא הגדירה מנגנון תקשורת, תיאום וחלוקת אחריות בין הרשויות השונות, לא הוקם פורום משותף לקבלת החלטות ואף לא הושגה הסכמה על בסיס נתונים משותף (Woon-soo-Kim (2000). לעומת זאת, ההצלחה בעיר ונקובר מיוחסת במידה רבה למסורת של שיתוף פעולה בין רשויות המטרופולין. למרות חיכוכים נקודתיים היתה הסכמה כללית על החזון המשותף למטרופולין (Cervero 1998)

Mostashari (2003) ביצע ניתוח מפורט של כל אמצעי המדיניות שפורטו במסמך זה. על בסיס הניתוח הוא קובע שהדרך היחידה לעמוד ביעדי הפחתת הפליטות שנקבעו הוא באמצעות שילוב כל האמצעים ביחד. כלומר מדיניות משולבת של אמצעי הפחתה ישירים, שיפור התקינה והאכיפה, ותכנון תחבורה רציונלי. בטווח הארוך הוא קובע שגם מדיניות משולבת כזו לא תספיק במידה וימשכו תופעות הפרבור והעליה ברמת המינוע בקצב הנוכחי, ולכן יש להתחיל כבר בטווח הקצר בפעולות לתכנון משולב של תחבורה ושימושי קרקע.

העיר Curitiba שבברזיל נחשבת לעיר לדוגמה בכל הקשור למדיניות תחבורה בסביבה העירונית<sup>32</sup>. המדיניות התחבורתית של העיריה משלבת במקביל חלק גדול מאמצעי המדיניות שפורטו במסמך זה:

תחבורה ציבורית: רשת התחבורה הציבורית מהווה את המרכיב המרכזי במערכת התחבורתית של העיר. הרשת מבוססת על קוי אוטובוס מהירים (BRT – Bus Rapid Transit), הנוסעים בנתיבים יעודיים ללא הפרעה של רמזורים או גודש. התשלום עבור הנסיעה נגבה לפני העליה לרכב כך שזמני העליה והירידה של הנוסעים מתקצרים משמעותית. כתוצאה מכך האוטובוסים פועלים ברמת אמינות גבוהה ובתדירות גבוהה ביותר, לעתים עד מרווחים של 90 שניות בלבד. למעשה לרשת כזו יש תכונות דומות לרכבת קלה או תחתית, רק בעלות נמוכה הרבה יותר<sup>33</sup>.

10 חברות תחבורה ציבורית מספקות את כל צרכי העיר, בהתאם להגדרות של הרשות המקומית. החברות מקבלות תגמול בהתאם למרחק הנסיעה ולא בהתאם למספר הנוסעים, על מנת למנוע מצב של "תחרות על כל נוסע" המביא לגודש במקום מסוים, ורמת שירות נמוכה במקומות הדלילים יותר. מדיניות זו מביאה לאיזון טבעי בהקצאת המסלולים ומאפשרת רמת שירות אחידה וגם רווח תפעולי סביר לכל החברות.

<sup>32</sup>מקור הנתונים לגבי Curitiba: משרד התחבורה של ארה"ב [http://www.fta.dot.gov/7694\\_7697\\_ENG\\_HTML.htm](http://www.fta.dot.gov/7694_7697_ENG_HTML.htm)  
<sup>33</sup>\$200,000 לק"מ במקום 20 מליון דולר לק"מ של רכבת קלה

אמצעי הפחתה ישירים: הגיל הממוצע של האוטובוסים ב-Curitiba הוא שלוש שנים.

שילוב תחבורה ושימושי קרקע: העיר פועלת על בסיס תכנית מתאר המתעדכנת באופן עקבי משנות ה-70, ומתבססת על שילוב מיטבי בין התחבורה הציבורית לתכנון העירוני ברמת התב"ע, תוך דגש על צרכי התושבים ולא צרכי המכוניות. המבנה העירוני הבסיסי הוא של צירי צפיפות גבוהה לאורך צירי התחבורה הציבורית, כאשר צפיפות הבינוי הולכת ויורדת ככל שמתרחקים מהציר. הפיתוח הלינארי לאורך הצירים מונע מצב של יצירת גודש בכיוון אחד בלבד בשעת השיא. כתוצאה מכך, שעת העומס בעיר מתבטאת בתנועת יוממים מאוזנת בשני הכיוונים, לאורך צירי התח"צ.

כל החלטה תכנונית מתקבלת תוך ראייה של ההשלכות ההדדיות בינה לבין מערכת התחבורה הציבורית. למשל, מדיניות התכנון מאפשרת הגדלת צפיפויות למשרדים, מכיוון שאלה מושכים יותר נסיעות בתח"צ למ"ר. כמו כן לא מתאפשרת בניית מרכזי קניות מחוץ לעיר, על מנת לתעל את המסחר לאזור צירי התחבורה הציבורית.

מיתון תנועה: חלק מהאזורים הראשיים בעיר סגורים באופן חלקי לתנועת כלי רכב פרטיים.

הגבלות חניה: מופעלת מדיניות מחמירה של הגבלות חניה. שטחי החניה הם מעטים יחסית, ותעריפי החניה, ובפרט חניה לזמן ארוך, גבוהים מאוד.

שיתוף מעסיקים: רוב המעסיקים בעיר מממנים לעובדים את הנסיעות בתחבורה הציבורית.

אמצעים אלה ואחרים התאפשרו הודות לראש עיר דומיננטי, שהוביל את המערכת כולה תוך תיאום בין כל הגורמים לאורך זמן. מאפיין נוסף של המדיניות ב-Curitiba הוא ההעדפה להימנע מפרויקטים גדולים ובזבזניים ובמקום זאת להשקיע במאות פרויקטים קטנים ומקומיים.

#### תוצאות:

- זיהום האוויר ב-Curitiba הוא מהנמוכים ביותר בברזיל.
- למרות שרמת ההכנסה לנפש ב-Curitiba גבוהה יחסית, וכך גם רמת המינוע (רכב לכל שלושה תושבים), בערך 70 אחוז מאוכלוסית העיר נוסעת יום יום בתחבורה הציבורית.
- מספר הנוסעים באוטובוס עלה גדל פי 50 ב-20 השנה האחרונות. ע"פ סקר הרגלי נסיעות מ-1991, 28% מהנוסעים בתחבורה ציבורית עברו אליה מהרכב הפרטי. ההערכה היא שמעבר זה הביא לחסכון של 27 מליון ליטר דלק בשנה, והנתונים מראים שצריכת הדלק לנפש ב-Curitiba נמוכה בכ-30% מהממוצע בברזיל.
- 80% מהנוסעים נוסעים בקווי האקספרס, ורק 20% בקווים המזינים. נתון זה הוא תוצאה של תכנון העיר, מאחר ונוסעים רבים (כ-40% מהתושבים) יכולים ללכת ברגל

- לקוי האקספרס שברחובות הראשיים. מבחינת העלות לתושב, נמצא שהתושבים מוציאים רק כ-10% מהכנסתם על נסיעות, וזהו שיעור נמוך מאוד במונחים של ברזיל.
- דוגמה נוספת ליישום מדיניות משולבת היא העיר אתונה, שבה הופעלה במהלך שנות ה-90 סדרה של צעדים להפחתת פליטת מזהמי האוויר מכלי הרכב במטרופולין (מישורי-רוזנברג 2004):
- מבצע לגריטת מכוניות ישנות הוריד מהכביש כ-150,000 כלי רכב ישנים מכבישי העיר.
  - החלפת צי האוטובוסים הישן של אתונה באוטובוסים חדשים בעלי פליטות נמוכות.
  - הרחבה של מערכת הסעת המונים של אתונה.
  - שיפור השירות בקווי האוטובוס.
  - איסור כניסת כלי רכב פרטיים ומוניות לאזור המסחרי של מרכז אתונה, במקרה של תנאים מטאורולוגיים המקשים על פיזור מזהמי האוויר,
  - מדיניות יום עבודה עם שעות עבודה גמישות.
- צעדים אלה, הביאו להפחתת ריכוזי דו-תחמוצת החנקן ואוזון באתונה במהלך השנים האחרונות.

טבלה א1 מציגה אומדן כללי של עלויות חיצוניות מתחבורה באירופה בשנים 1990-1995.

רכבת	רכבים פרטיים	משאיות	רכבים פרטיים	
(€ ל-1000 ק"מ-נוסע)	(€ ל-1000 ק"מ-נוסע)	(€ ל-1000 ק"מ-רכב)	(€ ל-1000 ק"מ-רכב)	
2	7	66	13	זיהום אוויר
4	3	23	5	רעש
3	6	28	10	שינויי אקלים

טבלה א1: אומדן עלויות חיצוניות מתחבורה באירופה 1990-1995 (מקור: נתוני האיחוד האירופי (1998)

מצוטטים אצל Nijkamp (2003)<sup>34</sup>

הערכים בטבלה מבוססים על מדידות זיהום מארצות שונות, מאזורים עירוניים ולא עירוניים, בשעות שונות ביום. לפיכך ערך הפיזור של נתונים אלה הינו גבוה ועלול להיות משמעותי. בנוסף יש לציין שהייצוג בערכי עלות לק"מ עלול להיות מעט מטעה. על פי נתוני האיחוד האירופי, ההבדל בפליטות לפי ערכי עלות לק"מ יכול להיות עד פי 10, תלוי אם המנוע חם או קר, ואם הרכב נוסע בגודש או לא. כמו כן יש לשים לב כי עלויות אלה מהוות רק 25% מסך העלויות החיצוניות מתחבורה, ויש להוסיף להן עלויות מתאונות דרכים, אובדן זמן כתוצאה מגודשי תנועה, ונזקי תשתית.

בהמשך לנתונים האירופאיים מציגים Nijkamp et al גם נתונים מארה"ב. טבלה א2 מציגה אומדנים כלליים של עלויות סביבתיות מתחבורה בארה"ב בשנים 1990-1991. בטבלה ניתן להבחין ברמה גבוהה של אי ודאות המתבטאת בפערים משמעותיים בין שתי רמות האומדן.

הערכת מינימום	הערכת מקסימום	
(בערכי דולר ל-1000 רכב-ק"מ)	(בערכי דולר ל-1000 רכב-ק"מ)	
24.0	365.2	זיהום אוויר
0.3	1.1	זיהום מים
0.4	11.1	נזקי רעש
3.7	27.4	שינויי אקלים

טבלה א2: אומדנים כלליים של עלויות סביבתיות מתחבורה בארה"ב בשנים 1990-1991

(מקור: Delucchi (2000) מצוטט ב-Nijkamp et al (2003).

בנוסף לפערי האומדן בתוך טבלה א2, ניתן להבחין בפערי אומדן בין טבלה א2 לטבלה א1. ההבדלים בין שתי הטבלאות יכולים לנבוע ממגוון סיבות, כגון: תנאים מקומיים, צפיפות

<sup>34</sup> עלות זיהום האוויר המוערכת בטבלה מבוססת על יחידות של 5 יורו לק"ג NOx, 5 יורו לק"ג של VOC ו-70 יורו לק"ג של חומר חלקיקי.

אוכלוסין, הבדלים בתפיסה ובהערכה מקומית של מידת הנזק, הבדלים בשיטות האומדן, הבדלים בסוג הרכב, והבדלים בהרכב התנועה.

טבלה 3 מציגה אומדן עלויות חיצוניות ע"פ Proost and Van Dender (2001), תוך הבחנה בין מנועי דיזל למנועי בנזין. ניתן לראות שלמנועי דיזל יש עלויות זיהום גבוהות יותר, וזאת בעיקר בשל פליטת החומר החלקיקי (PM), שהוא המזיק העיקרי לבריאות הציבור. בנוסף ניתן לראות שתופעת הגודש לכשעצמה היא בעלת ההשפעה הרבה ביותר מבחינת עלויות.

<u>דיזל</u>		<u>בנזין</u>		
מחוך לשעת שיא	שעת שיא	מחוך לשעת שיא	שעת שיא	
0.003	1.856	0.003	1.856	גודש
0.026	0.042	0.004	0.004	זיהום אוויר
0.033	0.033	0.033	0.033	תאונות
0.008	0.002	0.008	0.002	רעש
0.068	1.932	0.047	1.895	סה"כ
0.07	0.08	0.11	0.12	המס הנוכחי (בלגיה)

טבלה 4: אומדן עלויות חיצוניות (יורו לרכב\*מ) באזורים עירוניים בבלגיה  
(מקור: Proost and Van Dender 2002 מוּטוּט אצל Calthrop and Proost 2003)

## רשימת מקורות

- אבנימלך י. ואילון א. (עורכים). *סדרי עדיפות לאומית 2004, כרך ב' - משק האנרגיה בישראל*, הוצאת מוסד שמואל נאמן.
- בורד עדן, ר. (2002) *תכנית אב לחניה בעיר חיפה, יפה נוף וצוות תכנית אב לתחבורה חיפה*.
- טל, א. (2002) *זיהום אוויר מכלי רכב*. ירושלים: מכון ירושלים לחקר ישראל, המרכז למדיניות סביבתית.
- לביא, ד., בקר, נ., בן שלמה, ו., איתן, א., (2003), *הערכה כלכלית של כדאיות גריטת כלי רכב בישראל – דוח סופי*. פארטו הנדסה והמשרד לאיכות הסביבה.
- מישורי-רוזנברג, ד. (2004) *השפעות תכנון אורבני קומפקטי על איכות האוויר במטרופולין תל-אביב*. הצעת מחקר לדוקטורט, הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים, הטכניון, חיפה.
- משרד התחבורה (1999). *תכנית אב ארצית לתחבורה יבשתית: מדיניות פיתוח התחבורה למדינת ישראל*, גדעון השמשוני וצוות המכון הישראלי לתכנון ומחקר תחבורה.
- רטוביץ, ס. וביוקנון, ק. (1992) *מרכז ירושלים – מערך תחבורה וחניה, פרסום מס' 2 - מחקר תנועה ותחבורה השוואתי*
- שיפטון, י. (2004), *מצגת ביום העיון 5.2.2004: אמצעי מדיניות לפיתוח תחבורה בת-קיימא, המכון לחקר התחבורה, הטכניון*.
- Andersen, T. (1997), *Safe routes to school in Odense, Denmark*, in the greening of urban transport, edition II, edited by Rodney Tolley.
- Beevers (2005) [www.elsevier.com/locate/atmosenv](http://www.elsevier.com/locate/atmosenv) Number 39, 2005-01-05
- Begg, D and Gray D. (2004) *Policy instruments for achieving sustainable transport*. Article for Issues in Environmental Science and Technology, pp 65-80
- Cervero, R. *The Transit Metropolis: a global inquiry*, Island press, 1998
- Clarke, A. (1997) *Green modes and ISTEIA in the United States*, in the greening of urban transport, edition II, edited by Rodney Tolley.
- Calthrop and Proost (2003) in Hensher, A. and Button, K. J. (Editors) *handbook of Transport and the Enviroment*, Volume 4, Elsevier 2003
- Deakin, Elizabeth (2005) - *הרצאה במסגרת הסדנה הבינלאומית למערכות תחבורה עתירת - הנוסעים (מתע"ן) למטרופולין תל-אביב*



- Goodwin (2003), in Hensher, A. and Button, K. J. (Editors) *handbook of Transport and the Environment*, Volume 4, Elsevier 2003
- Hensher, A. and Button, K. J. (Editors) *handbook of Transport and the Environment*, Volume 4, Elsevier 2003
- Holmes, J. R. 1998 California Environmental Protection Agency, research notes, june 1998
- Kathuria, V. (2002) Vehicular pollution control in Delhi, Transportation research: part d. Transport and Environment, Volume 7, Issue 5, no. 5
- Litman, T. (2003) *London Congestion Pricing – Implications for Other Cities* Victoria Transport Policy Institute
- Levine Jonathan (2005) - הרצאה במסגרת הסדנה הבינלאומית למערכות תחבורה עתירת הנוסעים (מתע"ן) למטרופולין תל-אביב
- Macket and Edwards (1997) *The Impact of New Urban Public Transport Systems: Will The Expectations Be Met?* Transpn. Res – A. Vol. 32, No. 4, pp 231-245
- Martens, K. (2004) The bicycle as a feeding mode: experiences from three European countries Pages 281-294, Volume 9, Issue 4, no. 3
- May, A. D. (1975) *Parking control: experience and problems in London*. Traffic Engineering and Control.
- Mehta, T. Kottapalli, A. Mahmassani, H. S. and Bhat, C. (2003) *Project O-4197: Environmental Benefits of Intelligent Transportation Systems (ITS)*, Center For Transportation Research, The University of Texas at Austin.
- Mostashari, A. (2003) Design of Robust Air Quality Measures for the Road-Based Public Transportation Sector in Megacities: The Case of the Mexico City Metropolitan Area (MCMA) Submitted for MIT.
- Nijkamp (2003), in Hensher, A. and Button, K. J. (Editors) *handbook of Transport and the Environment*, Volume 4, Elsevier 2003

Noland and Len (2003), in Hensher, A. and Button, K. J. (Editors) *handbook of Transport and the Environment*, Volume 4, Elsevier 2003

Rapaport, E. (2002). *The Stockholm environmental zone, a method to curb air pollution from bus and truck traffic*. Transportation Research Part D 7 Volume 7, Issue 3, no. 4

Tschopp, J. (1997), *Intergration of bicycles and public transport in Basel, Switzerland*, in the greening of urban transport, edition II, edited by Rodney Tolley.

Welleman, T. (1997) The Dutch Bicycle Master Plan 1990-96, in the greening of urban transport, edition II, edited by Rodney Tolley.

Woon-soo-Kim (2000) *Transportation-related Air Pollution Reduction Strategies and their Applications in Seoul*, Dept. Of Urban Environmental Management  
Seoul Development Institute

אתרי אינטרנט :

[www.dan.co.il](http://www.dan.co.il)

<http://www.vtpi.org/tdm/tdm44.htm>

אתר הרשות האמריקאית לאיכות הסביבה [www.epa.gov](http://www.epa.gov)

אתר הרשות לאיכות הסביבה בקליפורניה <http://www.arb.ca.gov/research/resnotes/notes/98-3.htm>

אתר משרד התחבורה האמריקאי [http://www.fta.dot.gov/7694\\_7697\\_ENG\\_HTML.htm](http://www.fta.dot.gov/7694_7697_ENG_HTML.htm)

אתר עיריית islington <http://www.islington.gov.uk/html/udp/chap06a.htm#64parking>

<http://www.theage.com.au/news/National/CityLink-seeks-action-on-bottlenecks/2004/11/10/1100021879055.html>  
תיאור המצב במלבורן

אתר רשות התחבורה הלונדונית [http://www.tfl.gov.uk/tfl/cc\\_monitoring.shtml](http://www.tfl.gov.uk/tfl/cc_monitoring.shtml)

אתר הרשות האירופאית לאיכה"ס <http://org.eea.eu.int/documents/newsreleases/TERM2004-en>