



משרד התחבורה  
והבטיחות בדרכים

אגף תכנון כלכלי

## מודל ארצי לביקוש לנסיעות

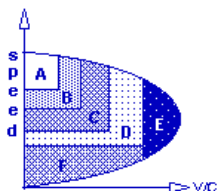
פיתוח והפעלת מודלים  
ליצירה-משיכה-פילוג, פיצול והצבת תנועה

תקציר

דצמבר 2009

### צוות העבודה:

מתת - מרכז תכנון תחבורה בע"מ  
קולניק יעוץ כלכלי ופיננסי  
ד"ר יהודה גור  
ליאוניד חייפיץ



מתת - מרכז תכנון תחבורה בע"מ

## תקציר

### א. תיאור כללי

מודל הביקושים הארצי לנסיעות מציג את מערך הנסיעות הארצי בשנת 2007 במימד הגיאוגרפי, השעתי, וע"פ אמצעי הנסיעה העיקריים. המודל נבנה על בסיס מידע שנאסף באמצעות טכנולוגית ניטור נסיעות חדשה, והוא תורם למערך המודלים התחבורתיים בישראל בעיקר את המימד הבין-עירוני, כולל תנועות בין המטרופולינים.

#### מטרות עריכת המודל היו:

- הכרת היקף ומאפייני מערך הנסיעות בישראל בהווה, ובעיקר בתחום הבין עירוני.
- יצירת מודל ביקושים שיהווה בסיס לחיזוי הביקושים העתידיים לנסיעות בישראל.
- יצירת מסגרת ביקושים כלל ארצית, המכוננת, מאזנת ותורמת לדיוק של המודלים התחבורתיים המטרופוליניים בישראל.

התנאי הבסיסי לעריכת מודל העונה למטרות אלו הוא מערכת מידע מבוססת ומעודכנת, ואולם טרם פיתוח המודל לא ניתן היה לענות על שאלות פשוטות ונדרשות לפיתוח רשת הכבישים והמסילות, כגון: מהי תנועת הנוסעים הכוללת (בכל אמצעי התחבורה, לרבות הרכב הפרטי) בין חיפה לירושלים או בין באר שבע לתל אביב. סקר הלמ"ס האחרון שהתמודד עם שאלת הנסיעות הבין עירוניות (שביצוען ברמת מרואין נדירה ביחס לנסיעות קצרות) ברמת מובהקות סבירה נערך ב 1972.

ההתמודדות עם המחסור במידע בסיסי זה נעשתה באמצעות טכנולוגיית איסוף נתונים חדשנית, המתוארת בסעיף הבא. המידע שימש לכיול מודל תחבורתי המצליח לשחזר את מערך התנועה הארצי (ב 2007), וקושר בין מערך זה ומאפייניו לתכונות אזורי הארץ השונים ומערך הדרכים.

**המודל מהווה בסיס איתן לתחזיות תנועה ארציות. המודל גם יכול, כנדרש, לסייע ע"פ נתוניו בהווה וכן בשלב התחזיות לשיפור המודלים המטרופוליניים, במיוחד בכל האמור בתנועות הנכנסות והיוצאות מהמטרופולינים והעוברות דרכם.**

### ב. מערך הסקרים ואופן השימוש בהם לכיול המודל

המודל נשען על סקר ארצי מקיף, שניטר נסיעות על בסיס שינויי מיקום של טלפונים סלולריים ברשת "אורנג". כל תזוזה של טלפון סלולרי שנכלל במידגם (ושל הנושא אותו) נרשמה על פי האנטנה המכסה אותו (מתוך כ 2,200 האנטנות הפזורות בארץ) המתחלפת תוך כדי נסיעה. מעקב זה מתאפשר כאשר הטלפון דלוק, גם אם אין מתבצעת בו שיחה, ומאפשר זיהוי מלא של נסיעות ארוכות, אך לא תמיד של נסיעות קצרות של מספר ק"מ, בהתאם לצפיפות האנטנות, העומס עליהן ועוד.

הסקר ארך 16 שבועות בחודשים מרץ - יוני 2007. בכל שבוע נדגמו כ 10,200 טלפונים סלולריים, ובסך הכל נרשמה תנועה של 1.04 מליון ימי אדם. היקף הדגימה מאפשר להכיר לא רק את התנועות בשעות השיא באמצע השבוע אלא בכל שעות היממה, בסופי שבוע, ואף לעמוד על המיוחדות בביצוע נסיעות בתקופות חגים (פסח) ועוד. זהו הסקר הארצי הראשון בעולם שניטר מערך נסיעות ארצי בטכנולוגיה זו.

יש לציין ששיטת איסוף נתונים זו מבטיחה כיסוי מלא של נסיעות בין-עירוניות, ללא שיכחה של נסיעות או הימנעות מתיאור חלקן, האופייניים לסקרי הרגלי נסיעה בהם מרואיינים נוסעים. עם זאת, שיטה זו אינה מאפשרת להצליב בין תכונות הנסיעה והנוסע, להבין את מטרות נסיעתו וכו'. בשל העדר מידע בסיסי על היקף הנסיעות בין אזורי הארץ השונים נמצא בעבודה זו צורך בסיסי להכיר את היקפי הנסיעות. אמנם, במקרים רבים ניתן לשער ע"פ אזורי המוצא והיעד של הנסיעה, זמן ביצועה, וחזרות על הנסיעות במהלך השבוע מה אופי הנסיעה, אך לא ניתן לעשות זאת לגבי כלל הנסיעות.

לביצוע סקר זה היה שלב מקדים ("פיילוט") שהוכיח את ישימות הטכנולוגיה והצלחתה לאתר נסיעות, וכן בחינה של היקף ומאפייני השימוש בטלפונים סלולריים בארץ. בסקר שנערך באפריל 2007 נמצא ש 83% מבני 8+ בארץ מצויידיים בטלפון סלולרי אחד או יותר, בקרב בני 60-18 נמצא שיעור של 92.6%.

נמצא גם שהטלפון נלקח ופתוח בעת ביצוע נסיעות ב 94% מהזמן. היקף שימוש זה בטלפונים סלולריים, במיוחד בקרב האוכלוסייה המרבה לנסוע (מכל שכבות הציבור ובכל הסקטורים) הופך את המעקב אחריהם לאמצעי יעיל מאוד בניטור נסיעות של כלל האוכלוסייה בארץ.

עם זאת, גם המידגם הגדול של הסקר לא איפשר, כמובן, לקבל ישירות טבלאות מוצא-יעד ארציות של נסיעות מפורטות ולפי תקופות יום. במודל חולקה הארץ ל 585 אזורי תנועה, וטבלאות הנסיעות בין אזורי מוצא ליעד ברמת פירוט זו נאמדו באמצעות מודל, שהתבסס על הנתונים שנאספו לצורך זיהוי הקשרים שבין תכונות האזורים השונים ואוכלוסייתם לביצוע הנסיעות. מודל זה מהווה את הבסיס לפיתוח תחזיות תנועה ברמה מפורטת.

הסקר גם לא איפשר לזהות בוודאות את אמצעי התחבורה בו בוצעה הנסיעה. בהתאם לכך תיקוף מודל הפיצול, המפלג את תנועת הנוסעים ע"פ אמצעי תחבורה, נעשה על בסיס נתונים ממקורות אחרים: נתוני רכבת ישראל, נפחי התנועה בכבישים ועוד.

נתוני הנסיעות ע"פ המודל בין אזורי המוצא והיעד בשש תקופות יום בימים א'-ה' הוצבו בתוכנת סימולציה (תוכנת הצבת תנועה emme/3) על רשת הדרכים הארצית, ונבחנה, כאמור, התאמת המודל לספירות התנועה בכבישים ולהיקפי השימוש בתח"צ, וכן למהירויות הנסיעה בפועל ברשת הדרכים לפי תקופות היום. נמצאו לאחר תהליך תיקוף התאמות טובות מאוד בין המהירויות בפועל למהירויות לפי המודל, וכן נמצאה התאמה טובה בין ספירות התנועה בחייצים וחגורות ארציים לתוצאות ההצבה. ניתן לומר שהמודל משחזר בצורה מפורטת וטובה את מערך התנועה הארצי.

תהליך בחינה זה נעזר בשני סקרים יחודיים נוספים שנערכו בעבודה:

- סקר של תנועות בין חייצים וחגורות ארציים שנערך במאי 2005 באמצעות הסרטת תנועה ב 36 תחנות ארציות והצלבת תנועות על בסיס זיהוי ממוחשב של מספרי רכב.
- סקר מהירויות כלי רכב בטכנולוגית מעקב אחרי מיקומי כלי רכב פרטיים, שנמנו על ציי חברות שצוידו במכשירי GPS. נערך ניטור של למעלה מ 15 מליון ק"מ רכב ברחבי הארץ במהלך שנה (2005). סקר זה סיפק נתונים מפורטים ומדויקים על מהירויות הנסיעה ברשת הדרכים הבין עירונית והעירונית כאחד.

המודל משחזר בתום תהליך זה כהלכה את מערך התנועה הארצי (הלא מקומי) במימדי היקפי נסיעות האדם והרכב ב 6 תקופות יום, פיצול הנסיעות בין אמצעי תחבורה עיקריים, ומצב התנועה בדרכים בתחומי המהירויות ונפחי התנועה.

הנתונים והמודל זמינים להכנת תכניות ארציות לתחבורה ולבדיקות כדאיות של פרויקטים ברשת הארצית. לצורך זה לדו"ח נלווה תקליטור ובו מוצגות טבלאות מוצא יעד של תנועות אדם ורכב לשש תקופות יום בימים א'-ה' בין 585 אזורי התנועה הארציים.

## ג. תוצאות עיקריות

### היקף הנסיעות

- בימים א'-ה' נוצרות 2.00 נסיעות לא מקומיות ביממה לנפש מעל גיל 8. ביום ו' נוצרות כ 1.28 נסיעות לנפש ובשבת 1.00.
  - האורך הממוצע של הנסיעות הנ"ל הוא 18.2 ק"מ ביום א', 17.5 ק"מ בימים ב'-ה', 16.6 ק"מ ביום שישי ו 19.4 ק"מ בשבת.
  - הנסיעות הארוכות ביותר בממוצע נוצרות בימי א' בין 5-7 בבוקר (22 ק"מ).
  - לנסיעות אלו יש להוסיף ע"פ אומדנים כ 0.7 נסיעות מקומיות קצרות לנפש ביממה, רובן באורך של עד 5 ק"מ. שכבת נסיעות זו לא ניתנה, כאמור, לזיהוי מלא ומדוייק בעבודה. הכללת הנסיעות הקצרות הנ"ל במערך הנסיעות הכולל תקצר את האורך הממוצע לנסיעה.
  - היקף הנסיעות היומי בארץ שאורכן מעל 100 ק"מ נע בין 249 אלף ביום א' ל 222 אלף בימי ב'-ה', והוא 190 אלף בשבתות.
- ממצאים אלה ואחרים גבוהים ב 38% ביצירת הנסיעות לנפש ביחס לתוצאות סקר הרגלי הנסיעה מ 1996/97, שנערך ע"י הלמ"ס.
- הלוח שלהלן מסכם את מערך הנסיעות הלא מקומיות בארץ ב 2007.

### לוח א - היקף הנסיעות הלא מקומיות לפי ימי שבוע ולפי אורך (באלפים)

מרחק בק"מ	סה"כ נסיעות				התפלגות באחוזים			
	א'	ב'-ה'	שישי	שבת	א	ב-ה	שישי	שבת
0	6,518	6,583	4,498	3,323	54.27	54.89	58.34	55.19
10	2,413	2,384	1,464	1,162	20.09	19.87	18.99	19.29
20	1,141	1,158	675	543	9.50	9.65	8.75	9.03
30	626	641	350	291	5.22	5.35	4.54	4.83
40	364	350	193	158	3.03	2.92	2.50	2.63
50	258	248	143	123	2.14	2.07	1.85	2.04
60	192	182	100	96	1.60	1.51	1.30	1.60
70	98	88	55	54	0.82	0.73	0.72	0.90
80	81	75	42	42	0.68	0.63	0.54	0.69
90	68	63	38	38	0.57	0.52	0.49	0.63
100	249	222	152	190	2.08	1.85	1.97	3.16
סה"כ	12,009	11,994	7,711	6,021	100	100	100	100

▪ התנועות בין מרכזי אוכלוסייה עיקריים:

- בין ירושלים לגוש דן- כ 29,000 נסיעות בכיוון ביממה בממוצע בימים א'-ה'.
- בין חיפה והקריות לגוש דן- כ 13,000 נסיעות בכיוון ביממה בממוצע בימים א'-ה'.
- בין חיפה והקריות לירושלים- כ 2,200 נסיעות בכיוון ביממה בממוצע בימים א'-ה'.
- בין באר שבע לגוש דן - כ 4,800 נסיעות בכיוון ביממה בממוצע בימים א'-ה'.

**ממצאים מחקריים**

- נמצא שהיקף האוכלוסייה מעל גיל 8 הגרה באזור מסויים, רמת המינוע של האוכלוסייה וכן מספר מקומות העבודה המצויים בתחומי האזור מסבירים באחוז גבוה את הנסיעות הנוצרות מהאזור והנמשכות אליו.
- חשיבות גורמים אלו משתנה ע"פ שעות היממה, כאשר נסיעות נמשכות לאזור מסויים בבוקר מוסברות בעיקר במספר מקומות העבודה בו, ואילו הנסיעות היוצאות מוסברות בעיקר באוכלוסייה וברמת המינוע שלה.
- בהמשך היום נוצרות נסיעות מאזור של נוסעים החוזרים ממקומות עבודה, וכן מגיעות נסיעות של תושבים החוזרים לביתם מאזורים אחרים.
- יצירת הנסיעות (בכל אמצעי הנסיעה) גדלה ככל שעולה רמת המינוע, ואולם לפחות בבוקר יוצרת גם אוכלוסייה עם רמת מינוע נמוכה נסיעות רבות.

הלוחות הבאים מסכמים את מקדמי יצירת הנסיעות לנפש ומשיכת הנסיעות לנפש לאזורי תנועה על פי אוכלוסייתו, רמת המינוע שלה ומספר מקומות העבודה בה. הלוח מציג גם את רמת ההתאמה הסטטיסטית שבין הנוסחאות המבוססות על משתנים אלה לבין בתצפיות.

**לוח ב – כיוול נסיעות יוצאות לפי תקופות יום**

R <sup>2</sup>	מקדמי הסטטיסטי t			מקדמי הרגרסיה			תקופת יום
	קבוע	Rm	w	קבוע	Rm	w	
0.6041		6.8		0.07265	0.000151		בוקר 6-9
0.8023	5.1	3.7	8.4	0.03	0.00008	0.08455	בוקר 9-12
0.834	1.9	2.1	10.2	0.0178	0.000071	0.1627	צהריים 12-15
0.8864		5.3	13.4		0.000113	0.1896	אחה"צ 15-19
0.8137	2	3.8	8.3	0.0137	0.00001	0.0987	ערב 19-22
0.606	4.6	2	5.1	0.0182	0.000029	0.00344	לילה 22-01
0.8587	6.2	4	10.1	0.691	0.001646	1.939	סה"כ יומי

משתנה מוסבר בלוחות- מקדם לתושב (מעל גיל 8) של נסיעות לא מקומיות יוצאות מאזור תנועה בשעה או כנסות אליו. משתנים מסבירים: Rm – רמת המינוע באזור התנועה, w - יחס מספר מקומות העבודה באזור למספר תושביו מעל גיל 8.

## לוח ג – כיול נסיעות נכנסות לפי תקופות יום

R <sup>2</sup>	מקדמי הסטטיסטי t			מקדמי הרגרסיה			תקופת יום
	קבוע	Rm	w	קבוע	Rm	w	
0.8835		5.2	13.2		0.000115	0.18443	בוקר 6-9
0.8227	3.7	2.5	9.5	0.0249	0.00006	0.1083	בוקר 9-12
0.8214	7.4	3.4	8.9	0.0463	0.000078	0.0951	צהריים 12-15
0.7905	6.7	5.7	5.9	0.047	0.000146	0.0709	אחה"צ 15-19
0.684	6.8	4.3	4.5	0.04	0.000091	0.0448	ערב 19-22
0.3692	6.7	1.3	3.1	0.027	0.0000183	0.0214	לילה 22-01
0.8587	6.2	4.0	10.1	0.691	0.001646	1.939	סה"כ יומי

### ממצאים מפיצול ותיקוף המודל

- בשעת שיא הבוקר (ממוצע לשעות 6-9) 57.6% מהנסיעות מבוצעות ברכב פרטי, 1.2% ברכבת, 41.2% בתח"צ אחר (לרבות מוניות והסעות). פיצול זה מבטא נסיעות לא מעטות של חסרי זמינות רכב פרטי בארץ לצרכי עבודה ולימודים, ואת רמת המינוע הלא גבוהה באזורים רבים. חלק מהנסיעות מתבצע באמצעים מיוחדים כגון הסעות למקומות עבודה ולימודים ושירותי מוניות מכל הסוגים.
- בכלל היממה כ 68% מהנסיעות מתבצעות ברכב פרטי, פחות מ 1% ברכבת וכ 31% בתח"צ אחר מכל הסוגים.
- מהירויות הגישה למרכזי המטרופולינים בבוקר בצירים הבין עירוניים הינה כ 25-30 קמ"ש בממוצע בשעות שיא הבוקר: בכביש 1 ממחלף הראל לגינות סחרוב (טרם פתיחת כביש 9), משפירים לת"א, בכביש 4 ממחלף חולות לגנות, בכביש 4 בין עכו לצ'ק פוסט ועוד. סטיות התקן היומיות סביב מהירויות אלו הן בין 5-10 קמ"ש.
- המהירות הממוצעת לכל הכיוונים ברשת הדרכים הבין עירונית, לרבות בצירים פנים עירוניים בשעות 6-9 בבוקר היא כ 42 קמ"ש. מהירות זו אינה משקללת מהירויות נמוכות יותר ברשת הדרכים העירונית המלאה. בשעות 9-12 משתנה הממוצע הארצי רק במעט (כ 47 קמ"ש).
- נמצא צורך לעבוד בשתי מערכות של פונקציות עכבה, הקושרות בין נפחי התנועה וקיבולות הדרכים לסוגיהן לבין מהירויות הנסיעה.
  - מערכת הפונקציות האחת מתאימה לבחירת מסלולי כלי הרכב, למרות שנמצא שהיא מטה כלפי מעלה את מהירויות הנסיעה במצבי גודש.
  - המערכת האחרת מתקנת את מהירויות הנסיעה בתנאי גודש (כאשר נפח התנועה התיאורטי על פי הביקושים עולה על קיבולת הכביש). במהירויות המתוקנות נעשה שימוש בהפעלת מודל פיצול הנסיעות בין אמצעי התחבורה השונים.
- נמצאה דרך לביטוי במודל של האגרה המוטלת על הנוסעים בכביש 6.
- בתיקוף הנפחים נמצא צורך להוסיף כ 20% לנסיעות הקצרות מ 10 ק"מ בטבלאות המוצא-יעד השעתיות כביטוי לנסיעות הקצרות שלא אותרו בסקר הטלפונים הסולריים.

## ד. תוצרים ושימושים

- **העבודה יצרה בסיס גיאוגרפי לניתוחי תנועה ארציים.** עוצבו (בתיאום עם המודלים המטרופוליניים) 585 אזורי תנועה ארציים, נאספו ו/או נאמדו נתוני בסיס לשנת 2007 לאזורים אלה על בסיס נתוני הלמ"ס ומקורות נוספים. זהו גם הבסיס לתחזיות התנועה המפותחות על בסיס המודל לשנת 2007.
- המודל על כל מרכיביו מהווה **בסיס לתחזיות הנערכות כעת לאופק שנת 2040.**
- המודל ישמש **כרקע לתיקוף "שנת בסיס"** לתכנון בין עירוני בתחומי הכבישים והתח"צ, לצורך כך מצורפות לעבודה, כאמור, טבלאות מוצא יעד לשש תקופות יום.
- **המודל עומד לרשות צוותי התכנון המטרופוליניים לטיוב המודלים שלהם** בכל האמור בנסיעות נכנסות ויוצאות למטרופולינים והעוברות דרכן.
- **ניתן לבחון באמצעות המודל נושאי מדיניות שונים בתחום התחבורה** והשפעתם התיאורטית (אילו הופעלו) על מאפייני הנסיעות בשנת 2007. לדוגמא: השפעת שינויים במיסוי על הדלק, שינויים ברמת המינוע, פיזור אחר של תעסוקה ועוד.

## ה. פוטנציאל נוסף לשימוש במידע שנאסף והמלצות לכיווני פיתוח המשכי

- בסיס הנתונים שנאסף בעבודה יכול להזין מחקרי תחבורה נוספים ופיתוח מודלי נוסף:
  - להבנת שרשרת הנסיעות ויצירות סיורים- יש לציין שבמהלך העבודה נעשה ניסיון לפתח מודל סיורים יומי, ואולם רמת ההסבר שלו לא נמצאה מספקת, ונבחר בהמשך מודל 4 שלבי של נסיעות בדידות. למודל סיורים יתרונות רבים בתחום הבנת מערכי יצירת-משיכת נסיעות ופיצול הנסיעות בין אמצעי התחבורה, אך הדבר מצריך ניתוח ופיתוח נוסף, ויתכן שיתאפשר במסגרת איסוף נתונים מדוייק יותר, כמוצג בסעיף הבא.
  - להכרת פרופילים של נסיעות יוממות, קשרים אזוריים בתחום זה ועוד.
  - להכרת מאפיינים מיוחדים של נסיעות בתקופות שבוע ובימי חג (שלא נחקרו בעבודה זו).
  - ניתן לפתח אלגוריתמים שינסו לזהות את אמצעי התחבורה בו נעשתה הנסיעה שזוהתה בסקר הטלפונים הסלולריים.
- שיטות איסוף הנתונים שפותחו בעבודה, ובעיקר זיהוי הנסיעות על בסיס תזוזות טלפונים סלולריים, יכולים להוות בסיס מהימן לעדכון של בסיס נתוני התנועה הארציים מידי כמה שנים. יש לציין שהיכולת לתאר במדוייק את מיקומי הטלפונים משתפרת והולכת, ונראה שניתן יהיה בעתיד הקרוב לזהות ביתר תוקף גם תנועות קצרות של מספר ק"מ.
- עם זאת, צריך למצוא דרך לשלב בין טכנולוגיות איסוף נתונים מהימנות אוטומטיות, כפי שנעשו בעבודה זו, לאיסוף נתונים "קונבנציונלי", החוקר את מבצע הנסיעה, הרגלי הנסיעה שלו, טעמיו בבחירת אמצעי תחבורה ועוד. הכרת מאפייני הנוסעים, צרכיהם וטעמיהם יחד עם דיוק בהכרת היקף הנסיעות, עיתויין, מסלוליהן וכו' בטכנולוגיות זיהוי שאינן מותנות בפרטים שהמרוויין מספק, יצרו בסיס לתכנון תחבורה הכולל גם מרכיבי מדיניות שונים (מערכות מחירים, אגרות גודש, מדיניות חניה ועוד).
- מוצע למצוא דרך להשתמש בבסיסי מידע על תנועות ציי רכב (בהם מותקן GPS) ליצירת בסיס מידע מתמשך על מהירויות הנסיעה ברשת הדרכים הבין-עירונית והעירונית.