



מרכז רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים
The Ran Naor Road Safety Research center



המכון לחקר התחבורה
הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
Technion - Israel Institute of Technology
Transportation Research Institute

הקמת בסיס מידע מרחבי לניתוח מהירויות ברמה ארצית

שלמה בכור

סמדר מוריק

ויקטוריה גיטלמן

מאי 2012

Contents

6	מבוא	1
6	מטרות	1.1
7	מחקרים על מהירות נסיעה	2
10	מתודולוגיה	3
11	בדיקת התאמת נתוני Decell לניתוח חריגות מהירות	3.1
13	עיבוד הנתונים	3.2
14	נתוני הקלט	3.2.1
15	סינון הנתונים	3.2.2
16	התאמת רשתות - TMC ולמ"ס	3.2.3
19	מנגנון אוטומטי לעיבוד נתוני Decell	3.2.4
21	סיכום	3.2.5
22	תוצאות נבחרות	4
22	ניתוחים סטטיסטיים ברמה הארצית – כלי רכב פרטיים	4.1
28	ניתוח חריגות מהירות מבוסס תבניות זמן – אזור המרכז	4.2
34	חריגות מהירות לפי סוג רכב ואזור	4.3
42	סיכום הממצאים	4.4
42	סיכום כללי	4.4.1
42	שיאים בחריגות מהירות - כלי רכב פרטיים	4.4.2
44	ניתוח שיאי חריגות מהירות מבוסס תבניות זמן	4.5
48	סיכום ומסקנות	5
48	המשך מחקר	5.1
49	מקורות	6

רשימת האיורים

11	איור 1: מיקום גלאים בנתיבי איילון.....
14	איור 2: שלבי העיבוד המרכזיים לניתוח הנתונים והקמת מערכת GIS.....
16	איור 3: קטעי הכבישים ברשת TMC.....
17	איור 4: קטע מרשת למ"ס.....
20	איור 5: מנגנון אוטומטי לעיבוד נתוני התפלגות מהירות.....
23	איור 6 – מהירויות ממוצעות של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות – ימי חול בשעות יום ללא עומסי תנועה.....
24	איור 7 – אחוז כלי רכב פרטיים מעל המהירות המותרת בדרכים בין-עירוניות – ימי חול בשעות יום ללא עומסי תנועה.....
25	איור 8 – סטיית תקן מהירויות של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות – ימי חול בשעות יום ללא עומסי תנועה.....
26	איור 9 – מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות – ימי חול בשעות יום ללא עומסי תנועה.....
27	איור 10 – חריגות מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות – ימי חול בשעות יום ללא עומסי תנועה.....
28	איור 11 – חריגות מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות באזור המרכז – ימי חול בשעות יום ללא עומסי תנועה.....
29	איור 12 חריגות מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות באזור המרכז – ימי חול בשעות לילה.....
30	איור 13 – חריגות מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות באזור המרכז – יום ששי בשעות יום.....
31	איור 14 – חריגות מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות באזור המרכז – יום ששי בשעות יום.....
32	איור 15- חריגות מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות באזור המרכז – יום שבת בשעות יום.....
33	איור 16 – חריגות מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות באזור המרכז – יום שבת בשעות לילה.....

איור 17 - חריגות מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות באזור הצפון – יום חול בשעות לילה	34
איור 18 - חריגות מהירות אחוזון 85 של אוטובוסים בדרכים בין-עירוניות באזור הצפון – יום חול בשעות לילה	35
איור 19 - חריגות מהירות אחוזון 85 של משאיות בדרכים בין-עירוניות באזור הצפון – יום חול בשעות לילה.....	36
איור 20 - חריגות מהירות אחוזון 85 של אוטובוסים בדרכים בין-עירוניות באזור המרכז – יום חול בשעות לילה	37
איור 21 - חריגות מהירות אחוזון 85 של משאיות בדרכים בין-עירוניות באזור המרכז – יום חול בשעות לילה.....	38
איור 22 - חריגות מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות באזור הדרום – יום חול בשעות לילה	39
איור 23 - חריגות מהירות אחוזון 85 של אוטובוסים בדרכים בין-עירוניות באזור הדרום – יום חול בשעות לילה	40
איור 24 - חריגות מהירות אחוזון 85 של משאיות בדרכים בין-עירוניות באזור הדרום – יום חול בשעות לילה.....	41
איור 25: מקטעי הכבישים (באדום) בהם קיימים שיאים בחריגות המהירות בהכללת זמני התצפית.	45
איור 26: מקטעי הכבישים (בסגול) בהם קיימים שיאים בחריגות המהירות בשעות הלילה (ימי חול, שישי ושבט).....	46
איור 27: מקטעי הכבישים בהם קיימים שיאים בחריגות המהירות בהכללת זמני התצפית (אדום). בסגול, מקטעי הכבישים בהם קיימים שיאים בחריגות המהירות בשעות הלילה.....	47

רשימת הלוחות

- לוח 1: מהירויות ממוצעות בנתיבי איילון בין השעות 22:00 עד 06:00 – מרס 2011 12
- לוח 2: סיווג נתוני מהירות לפי תקופות יום במדגם 15
- לוח 3 – ממוצע תוצאות לפי סוג רכב ואזור גיאוגרפי – ימי חול בשעות הלילה 42
- לוח 4 – שיאים בחריגות מהירות כלי רכב פרטיים באזור המרכז – יום חול ממוצע בשעות הלילה 43
- לוח 5 – שיאים בחריגות מהירות כלי רכב פרטיים באזור הצפון – יום חול ממוצע בשעות הלילה 43
- לוח 6 – שיאים בחריגות מהירות כלי רכב פרטיים באזור הדרום – יום חול ממוצע בשעות הלילה 44

1 מבוא

קיימים מחקרים רבים הקושרים בין מהירויות נסיעה ותאונות דרכים. כמו כן, קיימים מחקרים רבים ושיטות שונות לאיסוף נתוני מהירויות. אולם, מרבית המחקרים מתייחסים לניתוח מהירויות נקודתיים. מחקר זה שייך לקבוצת המחקרים המתייחסים לניתוח מהירויות במרחב.

עמותת אור ירוק מעוניינת לפתח יכולת לניטור וניתוח של מידע הנוגע לבטיחות (כגון מהירויות נסיעה, תאונות דרכים ואירועי בטיחות שונים) על גבי מערכת מידע גיאוגרפית. לצורך כך פותחה באור ירוק מערכת ראשונית הכוללת מספר שכבות GIS. קיים עניין מיוחד בניטור מהירויות נסיעה בקטעי דרך שונים הנתמך על ידי מידע ממקורות מידע ניידים באופן שוטף כגון איכון טלפונים סלולאריים, מדידות GPS ממקורות ניידים וכדומה.

מחקר התאפשר על ידי שיתוף פעולה בין אור ירוק, חברת Decell ומרכז רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים בטכניון. שיתוף הפעולה בין החוקרים אפשר לבצע מחקר רחב היקף וליצור תשתית מרחבית בזמן קצר יחסית.

1.1 מטרות

המטרה הכללית של מחקר זה היא להקים ולתחזק מערכת מידע גיאוגרפי שתאפשר ניטור וניתוח של פרמטרים ונתונים הקשורים לבטיחות בדרכים. בפרט, המערכת תהיה מסוגלת לקלוט את הנתונים שיבואו ממקורות שונים כלהלן:

- נתוני אירועי נהיגה המתקבלים מטכנולוגיות מתקדמות
- נתוני תאונות דרכים של הלמ"ס
- נתוני מהירויות נסיעה המתקבלים ממקורות שונים
- נתוני כבישים אדומים ונקודות תורפה

המערכת תתבסס על שכבת הדרכים של חברת מפה הקיימת באור ירוק.

דו"ח זה מתאר תוצר ראשוני של המערכת: ניתוח של מהירויות הנסיעה בקטעי דרך שונים, באמצעות שכבות מידע קיימות ושכבות נוספות שנקלטו במסגרת המחקר. ניתוח זה אפשר לזהות את הקטעים שבהם קיימות חריגות משמעותיות במהירויות הנסיעה ביחס למהירות המותרת.

2 מחקרים על מהירות נסיעה

מהירות נסיעה מהווה גורם חשוב בבטיחות הדרך. ההשפעה של המהירות על תאונות הדרכים נבחנה במחקרים רבים, הן בישראל (גיטלמן והקרט, 2003) והן במקומות רבים אחרים בעולם, כפי שניתן ללמוד ממספר מאמרי סקירה מקיפים שפורסמו בנושא זה (Shinar, 1998; Aarts and van Schagen, 2005; Hauer, 2009).

אחד האתגרים בכל המחקרים הללו הוא מדידת המהירויות והקישור בין המהירויות לבין התאונות. שיטה אחת היא למדוד מהירויות פרטניות של רכבים, לפנות אל הנהגים שנסעו באותם רכבים (בדואר על סמך לוחית רישוי, או כשהם מתבקשים לעצור בהמשך הדרך) עם שאלון לדיווח עצמי על היסטוריה של תאונות דרכים וחומרתן (e.g. Quimby et al. 1999). שיטה אחרת מבוססת על שחזור המהירויות של רכבים לאחר תאונה (בשיטות פיזיקאליות שונות) והשוואתן להתפלגות המהירות של כלל הרכבים באותו קטע דרך (e.g. Kloeden et al., 2001). שיטה שלישית מבוססת על קישור סטטיסטי בין התפלגות המהירות של כלל הרכבים בקטעי דרך שונים לבין מספר התאונות על פי חומרה בכל קטע דרך (e.g. Baruya, 1998). שיטה רביעית, מסתמכת על השוואה של "לפני ואחרי" בין התפלגות המהירות ותדירות התאונות באותו קטע דרך (e.g. Elvik et al., 2004). המסקנה הכללית של המחקרים המדעיים מוכיחה באופן ברור כי ככל שמהירות הנסיעה גבוהה יותר חומרת התאונות עולה והנזק הכולל מהתאונות עולה באופן משמעותי.

לאור ממצאים אלו ברור כי יש צורך בניהול מהירויות הנסיעה בכבישים. השיטה המרכזית בעולם לניהול מהירויות היא הגבלת מהירות הנסיעה המותרת על פי חוק, בליווי של אכיפה והסברה מתאימים. ישנן שיטות נוספות, כמו למשל שינויים גיאומטריים (מיתון תנועה), אשר מתאימות בעיקר לכבישים מקומיים.

בפועל, השיטות הקיימות לניהול המהירות אמנם משפיעות על מהירויות הנסיעה בפועל, אך במידה מוגבלת בלבד. מחקרים ממקומות שונים בעולם מראים על שיעורי ציות של כ-50% בלבד למגבלת המהירות המותרת (e.g. Goldenbeld and Van Schagen, 2005; Hauer, 2009). בישראל, בסקר מהירויות נסיעה ב-17 קטעי דרכים בינעירוניות שנערך ביולי 1998 ע"י החברה "א. ג. סקרים", נמצא כי המהירות הממוצעת בדרכים אלה נמצאת בטווח 75-105 קמ"ש, כאשר הערך הממוצע הוא 91.5 קמ"ש. אחוז כלי הרכב אשר עוברים את המהירות המותרת (בשעות זרימה חופשית) משתנה בטווח 10%-96%, עם ערך ממוצע 58%. בסקר אחר שנערך בישראל במרץ-אפריל 1997 (לפני תחילת פרויקט 700 של משטרת התנועה) וכלל 63 נתיבי תנועה ב-30 קטעי דרכים בינעירוניות, נמצא כי עד 85% מהנהגים נוסעים מעל למהירות המותרת כאשר תנאי התנועה מאפשרים זאת (הקרט ואחרים, 1998).

כל השיטות המקובלות למדידת מהירות מבוססות על פריסה של ציוד בקטעי הדרך הנמדדים, בין אם באופן זמני ובין אם באופן קבוע. עקב עלות הציוד ופריסתו/התקנתו, מדידות מהירות מתבצעות בתדירות

נמוכה בקטעי דרך אשר נבחרים משיקולים שונים, ובאופן שוטף רק בחלק קטן מאד מהכבישים (בישראל יש ציוד מדידה קבוע רק בנתיבי איילון ובכביש 6). השיטות הללו מאפשרות לבצע בדיקות ממוקדות, ומחקרים מסוגים שונים, אך הן אינן מספקות מידע מועיל מנקודת מבט מערכתית.

בשנים האחרונות, עם התפתחות הטכנולוגיה הסלולארית והחדירה הנרחבת לשוק של מכשירי GPS, נעשו מספר ניסיונות לפיתוח שיטות מדגמיות, אשר מתבססות על אומדן המהירות של רכבים מצוידים בטלפון סלולארי ו/או ב-GPS לאפיון המהירויות ברשת הכבישים. עיקר הפעילות בתחום זה עד כה התמקדה באפיון המהירות הממוצעת בתנאי גודש, ואומדן העיכובים בזמני הנסיעה. התוצאות של מחקרים מסוג זה מעידות על פוטנציאל גבוה להצלחה (Ygnace et al., 2000; Bar-Gera, 2007; Krause et al., 2008). על בסיס העבודה שנעשתה עד כה סביר להניח כי בשיטות דומות ניתן לקבל הערכות גם של התפלגות המהירות בתנאי זרימה חופשית, אשר נחוצות לניתוח הבטיחות בדרכים.

הפוטנציאל של השיטות המדגמיות הללו נובע מכך שאין צורך בהתקנה או בפריסת ציוד כלשהוא. אי לכך, לאחר אפיון השיטות המתאימות לניתוח הנתונים, ניתן לקבל אומדנים של התפלגויות המהירות בכל קטעי הדרכים ברשת הכבישים, וכן את המגמות של שינויים במהירויות לאורך השנים או בעקבות פעילויות התערבות שונות.

בשנת 2008 סיפקה חברת ITIS שירותי תנועה בע"מ עבור עמותת "אור-ירוק" בסיס נתונים של מהירות נסיעה בכבישים מרכזיים בפריסה ארצית. ניתוח ראשוני של הנתונים הצביע על הפוטנציאל הגדול הגלום בנתוני המהירות הנאספים על ידי טכנולוגיה סלולארית ו-GPS לניהול מאגר מהירויות עדכני ורחב היקף בזמן ובמרחב.

מרכז רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים מבצע מדי שנה סקרי מהירויות עבור הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים (גיטלמן ואחרים, 2009). הסקר מתמקד במהירויות נסיעה בתנאי זרימה חופשית והוא נערך ב-135 אתרי מדידות בפריסה ארצית. המדידות נערכו באמצעות מונים מכאניים – בכל סוגי הדרכים הלא עירוניות ובדרכים עירוניות עורקיות, ובאמצעות אקדח לייזר – ברחובות המאספים. מדדי מהירות מוערכים הם: המהירות הממוצעת, מהירות האחוזון ה-85, סטיית תקן, אחוז הנוסעים מעל המהירות המותרת, אחוז הנוסעים במהירויות הגבוהות, בשעות יום ובשעות לילה, והם מופקים לכל אתר ולפי סוג דרך.

על-פי ממצאי הסקר, בדרכים הלא עירוניות, האחוזון ה-85 של מהירויות הנסיעה עולה על המהירות המותרת בכל סוגי הדרכים כלהלן: ב-15-16 קמ"ש בדרך מהירה, ב-26-28 קמ"ש בדרך דו-מסלולית ממוחלפת, ב-17-20 קמ"ש ביתר הדרכים הדו-מסלוליות, ב-18-20 קמ"ש בדרכים החד-מסלוליות, ב-9-10 קמ"ש בדרך מקומית. כמו כן, אחוז כלי הרכב מעל המהירות המותרת, בשעות זרימה חופשית, היה: כמחצית בדרך מהירה, מעל 60% בדרך דו-מסלולית ממוחלפת, 60% בדרך דו-מסלולית אחרת, שני שליש בדרך חד-מסלולית, כשליש בדרך מקומית. מכאן, כל סוגי הדרכים הלא עירוניות מזוהים עם

רמה משמעותית של אי ציות לחוק, כאשר רמת האי ציות גבוהה במיוחד בסוגי דרכים אלה: דו- מסלולית ממוחלפת, דו-מסלולית אחרת, חד-מסלולית.

בין סוגי הרכב בדרכים הלא עירוניות, אופנועים מזוהים עם אחוזים גבוהים מאוד של הנוסעים מעל המהירות המותרת בדרך מהירה ודו-מסלולית ממוחלפת וכמו כן, עם אחוזים משמעותיים של הנוסעים במהירויות הגבוהות ברוב סוגי הדרך.

אחוזים גבוהים של הנוסעים מעל המהירות המותרת היו נהגי אוטובוסים ומשאיות בדרכים הדו-מסלוליות, החד-מסלוליות והמהירות.

המחקר הנוכחי משלים במידה רבה את המידע הפרטני שמבוצע עבור הרשות הלאומית, על ידי שימוש במידע שנאסף בטכנולוגיות חדשניות בשילוב עם מערכת מידע גיאוגרפי המאפשר קליטה אוטומטית של הנתונים.

3 מתודולוגיה

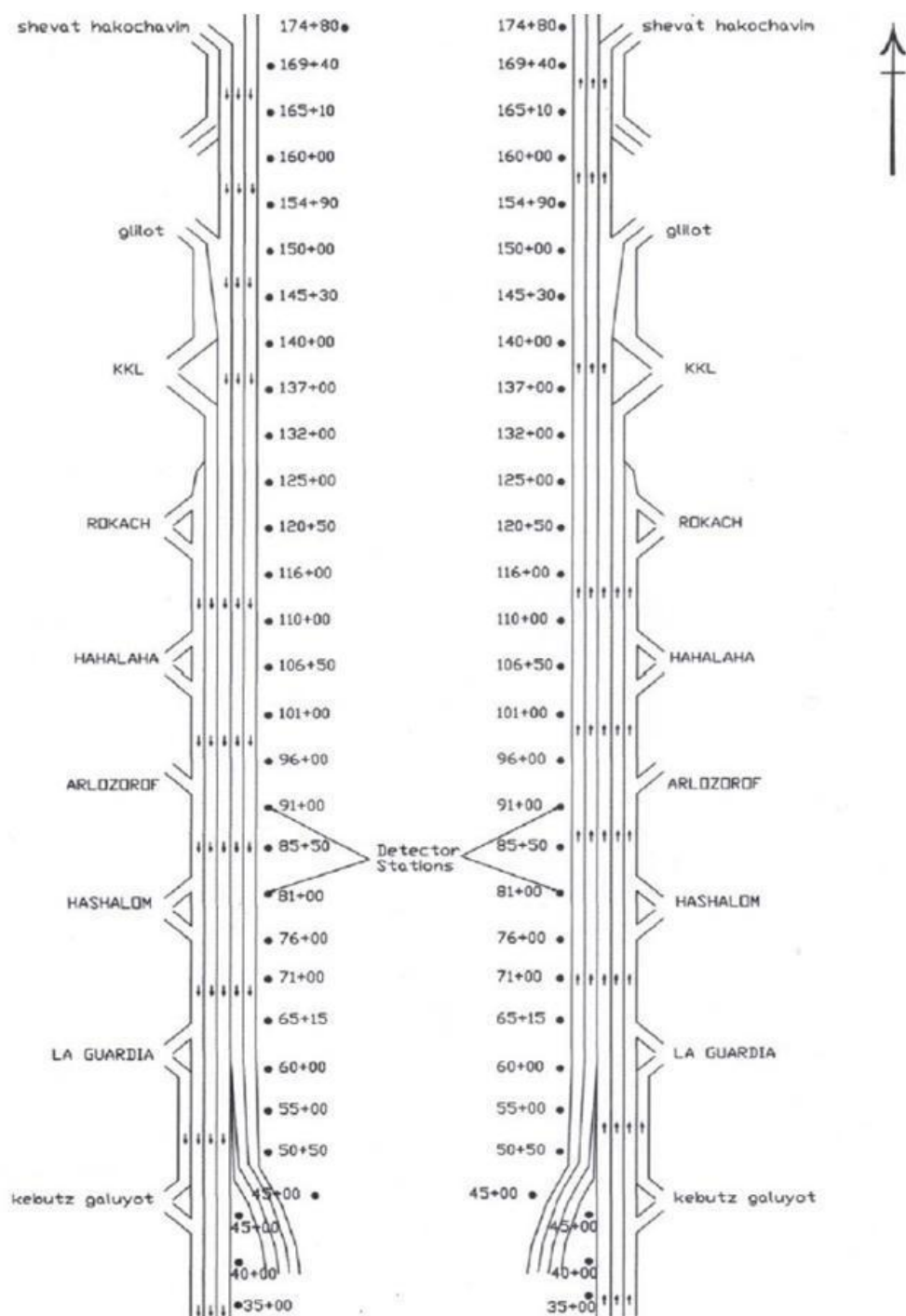
פרק זה מתאר את מתודולוגיית המחקר ושלבי העבודה העיקריים. סעיף 3.1 מסכם בדיקה מדגמית של נתוני Decell במטרה לבחון התאמת הנתונים לניתוח חריגות מהירות. סעיף 3.2 מפרט את עיבוד הנתונים, כולל ביצוע map matching המאפשר שיוך של הנתונים שנקלטו לשכבת דרכים.

כפי שתואר בפרק המבוא, דו"ח זה מציג תוצאות ראשוניות של ניתוח תוצאות. בשלב ראשון נותחו נתוני מהירות על פי מידע שהתקבל מחברת Decell, כמתואר בסעיף 3.2.1, וסינון הנתונים המתואר בסעיף 3.2.2. תרומה ייחודית של המחקר הנוכחי היא התאמת רשת TMC לרשת הדרכים של הלמ"ס, כמתואר בסעיף 3.2.3. פיתוח תהליך אוטומטי לקליטת נתוני מהירויות מפורט בסעיף 3.2.4, וסעיף 3.2.5 מסכם את מרכיבי מערכת ה-GIS אשר שימשה בסיס להפקת מפות, לוחות וניתוח תוצאות.

חברת דסל טכנולוגיות הישראלית פיתחה מגוון מערכות מתקדמות ומדויקות בתחום ניטור התנועה ומפעילה אותן בארץ ובעולם. בישראל מפעילה החברה מערכות ניטור תנועה המבוססות הן על נתוני מיקום של טלפונים סלולריים והן על נתוני מיקום של התקני GPS. לצורך מחקר זה נעשה שימוש רק בנתונים מבוססי GPS. דסל ניתחה את הנתונים הגולמיים שנצברו על-ידה עבור תקופת העניין וחילצה מתוכם את המידע הדרוש לצורך הניתוח. בסה"כ כלל המחקר ניתוח של מעל 30,000,000 תצפיות מהירות של כלי רכב שנסעו לאורך כבישי הארץ (וזאת לאחר סינון המידע הרלוונטי בלבד).

3.1 בדיקת התאמת נתוני Decell לגיתוח חריגות מהירות

מטרת הבדיקה היא לאמוד את מהימנות מהירויות בזמן נסיעה חופשי שמתקבלים מנתוני Decell. לצורך בדיקה זו הושוו נתוני מהירויות בקטעי דרך שונים בנתיבי איילון. בנתיבי איילון פרוסים גלאי מתכת קבועים המאפשרים לקבל אומדן מהירויות ותפוסת כלי רכב בכל 5 דקות, לכל נתיב נסיעה. איור 1 מציג את מיקום הגלאים בנתיבי איילון:



איור 1: מיקום גלאים בנתיבי איילון

הנתונים מחברת נתיבי איילון מתקבלים כממוצעים על פני כל 5 דקות בשתי תקופות זמן:

- 06/03/2011 משעה 00:00:00 ועד 14/03/2011 בשעה 19:40
- 16/03/2011 משעה 00:00:00 ועד 24/03/2011 בשעה 18:40

עבור כל פרק זמן של 5 דקות הנתונים מסווגים עד חמש קטגוריות כלי רכב שונות, כאשר, עבור כל קטגוריה מסופק ממוצע מהירות וכמות כלי הרכב בכל נתיבי נסיעה. בנוסף, ניתן גם ממוצע המהירות המשוכלל וסה"כ כלי הרכב.

נתוני Decell, המבוססים על תצפיות GPS, נשמרים עם הגיעם לשרתי Decell באופן מפורט ולכן ניתן להתאימם, בעזרת ממוצעים, למרווחי הזמן המסופקים בנתוני איילון. כיוון שנתוני Decell מייצגים מדגם רכבים מאוכלוסיית איילון ולכן בשעות השפל (בעיקר לפנות בוקר) עלולות להיווצר קבוצות זמן בנות 5 דקות אשר יהיו ריקות מנתונים, הנתונים קובצו למרווחי זמן של שעה. נתונים מצרפיים אלה נמסרו לטכניון לצורך הבדיקה.

כיוון שמטרת המחקר הינה לבחון חריגות מהירות, בהם כמות התצפיות בשני המדגמים קטנה יחסית (עקב מספר קטן יחסית של מכוניות הנעות בשעות הלילה), הנתונים קובצו לשעות הלילה (בין 22:00 עד 06:00). המבחן סטטיסטי משווה את ממוצעי המהירויות של נתוני חברת נתיבי איילון ונתוני Decell. לוח 1 מציג תוצאות הבדיקה.

לוח 1: מהירויות ממוצעות בנתיבי איילון בין השעות 22:00 עד 06:00 – מרס 2011

כביש	מוצא	יעד	מהירות ממוצעת נתיבי איילון	מהירות ממוצעת Decell	סטייה
איילון דרום	מחלף גלילות מזרח	מחלף קקל	107.3	102.0	-5%
איילון צפון	מחלף קקל	מחלף גלילות מזרח	104.8	102.6	-2%
איילון דרום	מחלף רוקח	מחלף ההלכה	105.0	95.3	-9%
איילון צפון	מחלף ההלכה	מחלף רוקח	103.2	103.4	0%
איילון דרום	מחלף הרכבת	מחלף השלום	95.2	93.8	-2%
איילון צפון	מחלף השלום	מחלף הרכבת	96.0	95.7	0%
איילון דרום	מחלף השלום	מחלף לה גווארדיה	100.7	91.4	-9%
איילון צפון	מחלף לה גווארדיה	מחלף השלום	99.5	98.7	-1%
איילון צפון	מחלף גלילות מזרח	מחלף שבעת הכוכבים	103.8	100.2	-3%
איילון דרום	מחלף שבעת הכוכבים	מחלף גלילות מזרח	104.5	98.2	-6%
איילון דרום	מחלף קקל	מחלף רוקח	108.9	101.5	-7%
איילון צפון	מחלף רוקח	מחלף קקל	100.7	98.4	-2%
איילון צפון	מחלף הרכבת	מחלף ההלכה	99.3	99.6	0%

כביש	מוצא	יעד	מהירות ממוצעת נתיבי איילון	מהירות ממוצעת Decell	סטייה
איילון דרום	מחלף ההלכה	מחלף הרכבת	103.0	94.4	-8%
איילון צפון	מחלף קיבוץ גלויות	מחלף לה גווארדיה	92.8	92.8	0%
איילון דרום	מחלף לה גווארדיה	מחלף קיבוץ גלויות	94.1	93.9	0%
ממוצע כללי			101.2	97.6	-4%

ניתן להבחין בלוח לעיל כי קיימת התאמה טובה בין המהירויות, עם הטיה קטנה כלפי מטה לגבי מהירויות Decell. ההסבר העיקרי לפער נובע מהעובדה שגלאים מודדים מהירות ממוצעת בזמן, ונתוני Decell מתייחסים למהירות ממוצעת במרחב. הקשר בין המהירות הממוצעת בזמן V_t והמהירות ממוצעת במרחב V_s הינו כלהלן:

$$V_t = \frac{\sigma_s^2}{V_s} + V_s$$

כיוון שהשונות הינה חיובית, מהירות ממוצעת בזמן גדולה ממהירות ממוצעת במרחב. כיוון שהנתונים הגולמיים לא נמצאים ברשותנו, אנו לא יכולים לאמוד את שונות זו. מחקרים שונים בעולם (May, 1990; Han et al., 2010) מראים כי ההפרש בין שני המהירויות הינו בסדר גודל של 1% עד 5%.

בניכוי של מהירויות נתיבי איילון של 2%, מבחן סטטיסטי Paired t-test מראה כי לא ניתן לדחות את ההשערה שלא קיים הפרש משמעותי בין המהירויות ברמת מובהקות של 1%.

מסקנה נוספת מהבדיקה היא שעל מנת להרכיב התפלגות מהירויות מפורטת ומדויקת דרוש לאסוף מדגם גדול יחסית של נתוני GPS על מנת לקבל נתונים מהימנים. לפיכך, נתוני Decell יאספו לפרק זמן גדול יחסית ויקובצו לתקופות יום, כפי שיפורט בהמשך.

3.2 עיבוד הנתונים

סעיף זה מציג את שלבי העיבוד וניתוח הנתונים לצורך זיהוי דפוסי נסיעה ומידת חריגות המהירות בכבישים. ניתוח התוצאות מתאפשר על ידי מערכת GIS המוקמת בסיום שלבי העיבוד. שלבים מרכזיים בתהליכי העיבוד והניתוח מוצגים בתרשים הזרימה (איור 3) ומפורטים בהמשך.



איור 2: שלבי העיבוד המרכזיים לגיתוח הנתונים והקמת מערכת GIS

3.2.1 נתוני הקלט

- קטעי כביש ברשת TMC, רשת דלילה של כבישים המייצגת עורקים ראשיים (איור 3).
- נתוני התפלגות מהירות ברשת TMC המתארים זרימה חופשית (Free Flow). הנתונים מסווגים לקטגוריות המבוססת על סוג כלי הרכב על פי החלוקה הבאה: כלי רכב פרטיים, אוטובוסים ומשאיות. ייצוג זרימה חופשית מתאפשר על סמך סינון תצפיות בעומסי תנועה וברמזורים. בזמן עומסי תנועה מסוננות התצפיות בזמן העומס, ובטווח של 15 דקות לפני ואחרי זמן העומס. תצפיות בקרבת רמזורים מסוננות 40 מטרים לפני ואחרי המעבר ברמזור.

מקור הנתונים מחברת Decell ומחקר זה כולל נתוני התפלגות מהירות לתקופה של שישה חודשים, מפברואר ועד יולי בשנת 2011 (1.2.2011-28.7.2011). מלבד הסיווג על פי סוג הרכב, נתוני התפלגות המהירות מסווגים לקטגוריות על פי זמנים הכולל הבחנה בין ימי חול לסוף השבוע ושעות יום מול שעות לילה. הקטגוריות מוצגות בלוח הבא:

לוח 2: סיווג נתוני מהירות לפי תקופות יום במדגם

Symbol	Day	Hours
WorkDayD	Sunday - Thursday No holiday/holyday eve	06:00 - 22:00
WorkDayN		22:00 - 06:00
FridayD	Friday and holiday eve	06:00 - 22:00
FridayN		22:00 - 06:00
SaturdayD	Saturday and holiday	06:00 - 22:00
SaturdayN		22:00 - 06:00

- צמתים ברשת למ"ס - צמתים בין עירוניים הכוללים מידע על הכבישים החוצים אותם לצורך קביעת מהירויות מותרות ושילובם בהמשך עם מידע על תאונות דרכים.

3.2.2 סינון הנתונים

לצורך ייצוג זרימה חופשית ויצירת אחידות עם ניתוחי מהירות מפרויקטים קודמים בוצע סינון תצפיות מהנתונים הגולמיים שהתקבלו מ-Decell. תהליך זה בוצע כשלב משלים לסינון התצפיות של חברת Decell. הסינון מתייחס לזמן התצפית, לאזור הגיאוגרפי, סוג הכביש ולכמות התצפיות בקטע TMC באופן הבא: בדרכים בעלות 1-2 ספרות בלבד, ללא דרכים חד-מסלוליות, מסוננות תצפיות בהם זמן התצפית מקביל לשעות העומס על פי אזורם הגיאוגרפי. בצפון מסוננות תצפיות בין השעות 06:00-09:00, 16:00-19:00. במרכז מסוננות תצפיות בין השעות 07:00-10:00, 16:00-19:00. באזור הדרום לא נדרש סינון תצפיות. בנוסף לסינון זה ולצורך מובהקות סטטיסטית קטעי TMC בהם מספר התצפיות הכולל לתקופה של שישה חודשים קטן מ-300 לא נכללו בניתוח. השלב הראשון במחקר כלל התייחסות לכבישים בין עירוניים.



איור 3: קטעי הכבישים ברשת TMC

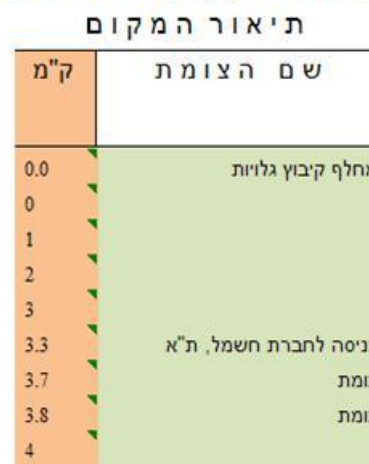
3.2.3 התאמת רשתות - TMC ולמ"ס

כיום, אין מאגר המרכז את נתוני המהירויות המותרות בכבישים. מבסיסי מידע ממחקרים שונים שבוצעו במכון לחקר התחבורה קיים מידע על מהירויות מותרות ברשת למ"ס (לשכה מרכזית לסטטיסטיקה).

בנוסף, מידע על תאונות דרכים קיים אף הוא ברשת למ"ס. לכן, קיים צורך בסנכרון והתאמה בין רשתות TMC ולמ"ס.

רשת למ"ס מוגדרת באופן אלפא נומרי ואינה כוללת קואורדינאטות של הכבישים הנכללים בה. הרשת מסווגת לסוג הכביש, עירוני ובין עירוני. הרשת הבין עירונית מוגדרת על ידי מספר הכביש והקילומטר הרץ, כאשר, נקודת ההתחלה וסיום הכביש מוגדרים באופן שרירותי על ידי הלמ"ס (איור 4). לעומתה, הרשת העירונית, מוגדרת על ידי שמות הרחובות המצטלבים בכביש. בנוסף, הרשת אינה מכוונת והתאונות מוגדרות בקטעי דרך ללא הגדרת כיוון הנסיעה. הסיבה לכך היא שבתאונות קיים קושי בקביעת כיוון הנסיעה.

דרך 1 קטע 10 ממחלף קיבוץ גלילות עד מחלף גנות



איור 4: קטע מרשת למ"ס

רשת TMC מוגדרת על ידי קטעי כבישים בקואורדינאטות גיאוגרפיות (אורך ורוחב). הרשת מכוונת וכוללת מידע נומרי ואלפא-נומרי על קטעי הכבישים: צמתי מוצא ויעד, שם הכביש ומספרו. הרשת מוצגת **באיור 3**. סה"כ 1,593 קטעי כביש ברשת באורך כולל של 8,960 ק"מ.

לצורך סנכרון והתאמה בין הרשתות, TMC ולמ"ס, התקבל מהלמ"ס מידע על צמתים בין עירוניים, הכולל מידע נומרי ואלפא נומרי: שם הצומת, מספרי הכבישים החוצים את הצומת ומספר הקילומטר של הצומת בכביש. למידע הנומרי התווסף מידע על קואורדינאטות הצמתים ברשת ישראל החדשה (ITM). כאשר מטרת סנכרון הרשתות היא לקשר בין בסיסי המידע כך שלכל קטע TMC ישויו מספר כביש וקילומטר על פי הגדרות רשת למ"ס.

תהליך הסנכרון וההתאמה בין הרשתות מורכב משני שלבים עיקריים, השלב הראשון כולל סנכרון בין מערכות קואורדינאטות ליצירת מרחב ייחוס משותף לשתי הרשתות. השלב השני כולל קישור בין בסיסי המידע כך שהמעבר מרשת אחת לאחרת יהיה מיידי. מערכת הייחוס המרחבית שנבחרה ליצירת בסיס מרחבי משותף לשתי הרשתות היא רשת ישראל החדשה (ITM). הסיבה לבחירת מערכת ייחוס זו נובעת

מכך שמידע על תאונות דרכים קיים ברשת ה"למ"ס, בה צמתי הרשת נתונים ב-ITM. בחירה במערכת ייחוס זו תאפשר שילוב של נתוני התפלגות המהירות עם מידע על תאונות דרכים באופן פשוט ויעיל.

לאחר יצירת בסיס מרחבי משותף לשתי הרשתות והפיכת רשת TMC לרשת לא מכוונת, קישור בין בסיסי המידע מהווה בעייה טופולוגית מרחבית, של התאמת אוסף נקודות (צמתים) לקווים (כבישים). הקושי בהתאמה נובע מדיוק קביעת מיקום הצמתים והקווים במרחב, ניוון מימדים בייצוג הגיאומטרי של צומת כנקודה וכביש כקו, והשוני באיות שמות הצמתים או מספרי הכבישים. כתוצאה מכך קיים קושי בחיבור נאיבי (Join) של בסיסי המידע מבוסס מיקום מרחבי או תכונות דוגמת שם הכביש או הצומת. לעומתם, חיבור (Join) מבוסס על שילוב של מיקום ותכונות יאפשר לצמצם את כמות המועמדים לחיבור ובכך יפחית קישורים שגויים. חיבור משולב זה מתחשב בתכונות הנתונים-מספר הכביש, המשותף לרוב לצומת ולקטע כביש TMC, ומתחשב במיקום המרחבי ובדיוק הנתונים בהגדרת סביבת חיפוש לקישור בין צומת לקטע כביש. החיבור מאפשר קישור בין בסיסי המידע בשיטת 1 to 1 כך שלכל צומת משויך קטע כביש TMC אחד בלבד.

מיון קטעי כביש TMC על פי מספר הכביש ומיון נוסף פנימי של מספר הקילומטר הרץ, מידע הנלווה לצמתים, מאפשר יצירת בסיס נתונים משותף בו לכל קטע TMC משויך מספר כביש ל"מ"ס וקילומטר רץ באופן רציף. ישנם מקרים חריגים הנובעים מהגדרות כבישי ה"למ"ס וקטעי TMC הדורשים התייחסות שונה. מקרים אלו כוללים הגדרות שרירותיות של ה"למ"ס לנקודת התחלה וסיום הכביש או קטעי כביש TMC שאינם מתחילים או מסתיימים בצומת. דוגמא לכך היא כבישי ל"מ"ס המסתיימים בקילומטר רץ כלשהו למרות שבפועל הכביש ארוך יותר, ולכן יש לשייך לנקודת הסיום של הכביש מידע על קילומטר רץ. דוגמא נוספת היא קטעי כביש TMC שאינם מתחילים או מסתיימים בצומת ולכן יש לשייך לנקודת ההתחלה והסיום של הכביש קילומטר רץ שאינו מסתמך על מידע מהצמתים.

הקושי בהתייחסות ותיקון מקרים חריגים אלו נובע מכך שמידע על מיקומם במרחב אינו ידוע כמו גם כמות המקרים. מעבר ידני על בסיסי הנתונים ובדיקת הכבישים אינה אפשרית כיוון שמדובר בבסיסי נתונים גדולים ותהליך שכזה יארך זמן רב. לכן, עלה הצורך ביצירת מנגנון אוטומטי לאיתור שגיאות ובהמשך השלמת המידע החסר. איתור השגיאות מתבסס על מיקומם המרחבי של הצמתים ביחס לנקודות ההתחלה והסיום של קטעי כביש TMC. מרחקן של נקודות TMC אלו מצמתי ה"למ"ס נבחן ביחס לערך סף נתון. כאשר המרחק גדול מערך הסף נקודת ה-TMC מסומנת והמידע החסר על מספר הקילומטר הרץ מעודכן. העידכון מתבצע על ידי מדידת האורך היחסי של קטע הכביש. ערך הסף נבחר ל-20 מטרים ומשקלל בתוכו את דיוק מדידת הכבישים באמצעות GPS וניווט מימדים מרחביים של הישויות הגיאומטריות, בהן צומת מיוצגת כנקודה וכביש המיוצג כקו.

לאחר הקישור בין בסיסי המידע מעודכנת המהירות המותרת בכל קטע כביש TMC. היחסים בין הרשתות יכולים להיות חופפים באופן מלא, חלקי או מוכלים זה בזה. לדוגמא, קטע TMC יכול להכיל קטע אחד של ה"למ"ס, מספר קטעים שלמים או מספר קטעים שלמים וקטע נוסף שאינו שלם. באופן דומה

קטע למ"ס יכול להכיל קטע אחד של TMC, מספר קטעים שלמים שלו או מספר קטעים שלמים וקטע נוסף שאינו שלם. לכן, במידה וקטע TMC מכיל מספר קטעי למ"ס בהם המהירות המותרת שונה, המהירות המותרת נקבעה על סמך קטע הלמ"ס הארוך ביותר. מספרם של קטעים אלו מועט והחלק היחסי של המהירות המותרת השונה נמוך ביחס לאורך קטע הכביש.

לאחר תהליך הסנכרון וההתאמה בין הרשתות, TMC ולמ"ס ועדכון בסיס הנתונים במהירויות המותרות, השלב הבא מתבטא בניתוח סטטיסטי של נתוני התפלגות המהירות לצורך קביעת חריגות מהירות. רשת TMC לניתוח מהירויות כולל 490 קטעי כביש (2 כיווני נסיעה יחד) באורך כולל של 3,156 ק"מ.

3.2.4 מנגנון אוטומטי לעיבוד נתוני Decell

חישוב מדדים סטטיסטיים לצורך עיבוד נתוני התפלגות המהירות מתבטא בשני סוגים של ניתוחים. האחד מבוסס זמן התצפית והשני מבוסס הכללת הזמנים. בעוד הניתוח הראשון מאפשר ניתוח נתוני התפלגות המהירות בתבניות זמן ובכך מאפשר הבחנה בין שעות היום לשעות הלילה ובין ימי חול לסוף השבוע, הניתוח השני מאפשר להבחין בדפוסי נסיעה כוללים בכבישים ובנוסף מאפשר הגדלה של כמות התצפיות הנכללת בניתוח קטע הכביש.

לצורך עיבוד נתוני התפלגות המהירות המתקבלים מחברת Decell נבנה מנגנון המאפשר אוטומציה בתהליכי העיבוד וחישוב המדדים הסטטיסטיים באופן פשוט ומהיר. שלבי העיבוד העיקריים של המנגנון מתוארים באיור 5. קבצי הקלט למנגנון כוללים קובץ נתוני התפלגות מהירות ברשת TMC המתקבל מחברת Decell וקובץ קטעי כביש TMC והמהירות המותרת בכל קטע. הסיבה לכך שקובץ המהירויות המותרות משמש כקלט ואינו מובנה במנגנון היא שהמהירויות המותרות בקטעי הכבישים הן דינאמיות ויכולות להשתנות, שימוש בקובץ זה כקלט מאפשר עדכון של המהירויות המותרות בהתאם לזמני התצפית.

עיבוד נתוני התפלגות המהירות מבוסס על זוגות קטעי כביש TMC ליצירת רשת לא מכוונת. לכל קטע כביש יש צומת התחלה וסיום המיוצג גם על ידי מספר ייחודי ברשת. שילוב של מספרי הצמתים, התחלה וסיום, משמש כשדה מפתח למציאת זוגות קטעי כביש TMC. לאחר מציאת הזוגות מתבצע חיפוש נוסף של זמני תצפית תואמים לצורך ניתוח מבוסס זמן התצפית. במידה והניתוח מבוסס על הכללת הזמנים כל הזוגות אשר נמצאו נכללים בחישוב. נתוני התפלגות המהירות משוקללים על פי מספר התצפיות בכל קטע כביש ומחוברים ליצירת התפלגות מהירות אחת משוקללת, בהתאם לסוג הניתוח. שלב זה מאפשר חישוב המדדים הסטטיסטיים בצורה נוחה ויעילה.

המדדים הסטטיסטיים המחושבים כוללים מהירות ממוצעת, סטיית תקן, מהירות אחוזון 85, אחוז תצפיות מעל המהירות המותרת וחריגת מהירות בה מחושב ההפרש בין מהירות אחוזון 85 והמהירות המותרת. אופן חישוב המדדים מפורט בהמשך. פלט המנגנון כולל קובץ המכיל קטעי כביש TMC, זמן התצפית בהתאם לסוג הניתוח, מספר התצפיות והמדדים הסטטיסטיים המחושבים.



איור 5: מנגנון אוטומטי לעיבוד נתוני התפלגות מהירות

חישוב מדדים סטטיסטיים:

מהירות ממוצעת:

$$(1) \quad \bar{X} = \frac{\sum_{k=1}^n Mp_k \cdot f_k}{n}$$

כאשר Mp_k אמצע מחלקת מהירות, f_k מספר תצפיות במחלקת מהירות k , n סכום כמות התצפיות מזוג קטע כביש TMC בהתאם לסוג הניתוח.

סטיית תקן:

$$(2) \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (Mp_k^2 \cdot f_k) - n \cdot \bar{X}^2}{n-1}}$$

מהירות אחוזון 85:

$$(3) \quad \chi_\alpha = L_0 + (n \cdot \alpha - F_{k-1}) \cdot \frac{L_1 - L_0}{f_k}$$

כאשר α , האחוזון – 0.85, L_0 , גבול תחתון של מחלקת מהירות אשר עד אליה נמצאים 85% מהתצפיות. L_1 , גבול עליון של מחלקת מהירות אשר עד אליה נמצאים 85% מהתצפיות. f_k , מספר תצפיות במחלקת מהירות אחוזון 85. F_{k-1} , כמות תצפיות מצטברת עד למחלקת אחוזון 85. n , סכום כמות התצפיות מזוג קטע כביש TMC בהתאם לסוג הניתוח.

אחוז תצפיות מעל מהירות מותרת:

$$(4) \quad \hat{p} = \sum_i^t f_k$$

כאשר f_k , מספר תצפיות במחלקת מהירות k , i , מחלקת מהירות מותרת. t , מחלקת מהירות מקסימאלית. חריגת מהירות:

$$(5) \quad A = \chi_\alpha - \chi_i$$

כאשר χ_α , מהירות אחוזון 85. χ_i , מהירות מותרת.

3.2.5 סיכום

קבצי הפלט המיוצרים על ידי מנגנון העיבוד כוללים שדות מפתח של קטעי TMC ומדדים סטטיסטיים מחושבים. בנוסף, מכילים הקבצים מידע על סוג הרכב וזמן התצפית. קבצים אלו מקושרים באמצעות שדה המפתח לרשת כבישי TMC- רשת דלילה של כבישים המייצגת עורקים ראשיים. שלב זה הינו השלב האחרון ביצירת בסיסי נתונים מרחביים הכוללים קטעי TMC עם קואורדינטות ומדדים סטטיסטיים מחושבים המהווים את מערכת ה-GIS.

4 תוצאות נבחרות

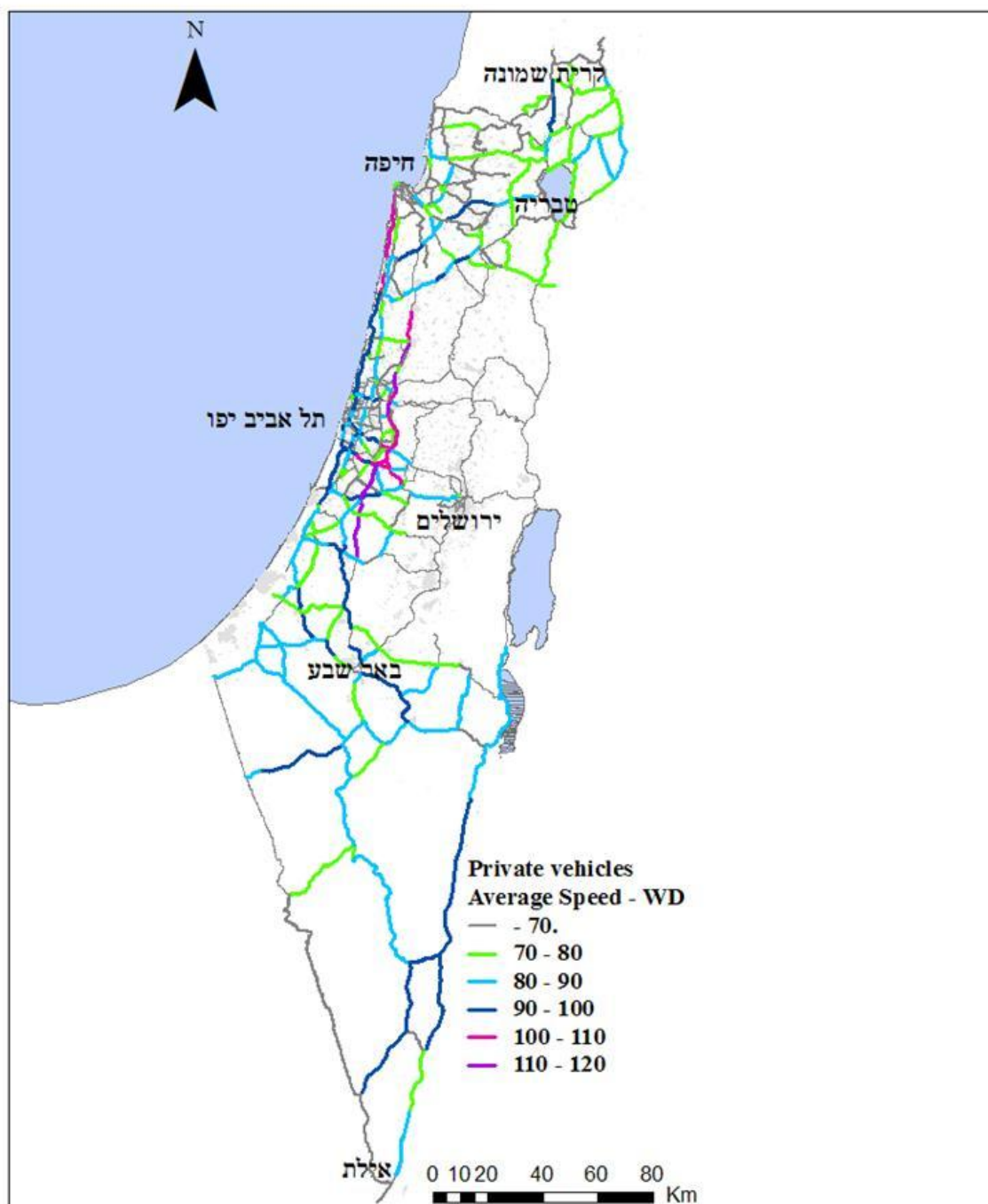
המדדים הסטטיסטיים אשר חושבו ומוצגים במפות הבאות כוללים קטעי כביש TMC בהם כמות התצפיות גדולה מ-300. המפות מציגות ניתוחים סטטיסטיים שונים של נתוני התפלגות המהירות המבוססים על זמן התצפית והכללה של זמני התצפיות. בנוסף, מוצגים קטעי הכבישים בהם קיימים שיאים בחריגות מהירות ולסיום מוצג ניתוח של מידת חריגת המהירות והקשר שלה לתבניות זמן. הניתוחים המבוססים על זמן התצפית כללו:

- שלושה סוגים שונים של כלי רכב: פרטיים, משאיות ואוטובוסים
- שלושה אזורים גיאוגרפיים: צפון, דרום ומרכז
- שש תקופות זמן בשבוע
- חמישה סוגים של ניתוחים סטטיסטיים:
 - מהירות ממוצעת
 - % מעל מהירות מותרת
 - סטיית תקן
 - מהירות אחוזון 85
 - חריגות מהירות

סך כל 270 ניתוחים שונים. הסעיפים הבאים מציגים תוצאות נבחרות של ניתוחים אלה. הניתוחים בוצעו לקטע כביש TMC בשני כיווני נסיעה יחד. הסיבה לכך היא הגדלת המדגם לאותו קטע ומתן אפשרות להצליב את התוצאות עם נתוני תאונות. כיוון שקטעי הכבישים ברשת ארוכים יחסית, הם כוללים גם עליות וירידות באותו קטע, כך שהמהירות באזורים הררים אינה שונה באופן משמעותי בשני כיווני נסיעה, למעט קטעים בודדים בארץ.

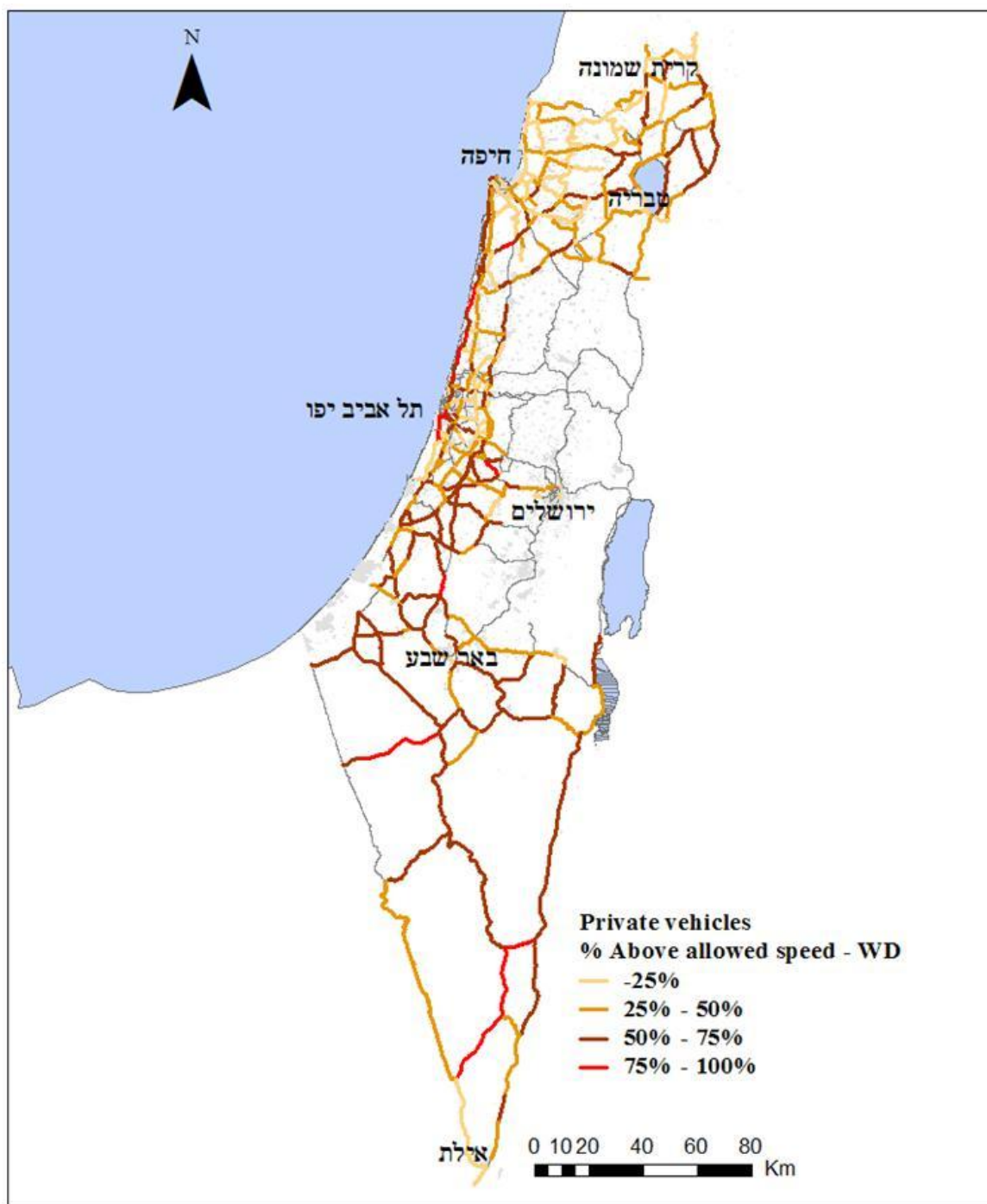
4.1 ניתוחים סטטיסטיים ברמה הארצית – כלי רכב פרטיים

האזורים הבאים מציגים את תוצאות הניתוחים הסטטיסטיים ברמה הארצית. הניתוחים הסטטיסטיים כללו מהירות ממוצעת, אחוז תצפיות מעל מהירות מותרת, סטיית תקן המהירות, מהירות אחוזון 85 וחריגות מהירות. התוצאות המוצגות כוללות את מגוון הניתוחים הסטטיסטיים עבור כלי רכב פרטיים כאשר זמן התצפיות הינו בימי חול בשעות היום.



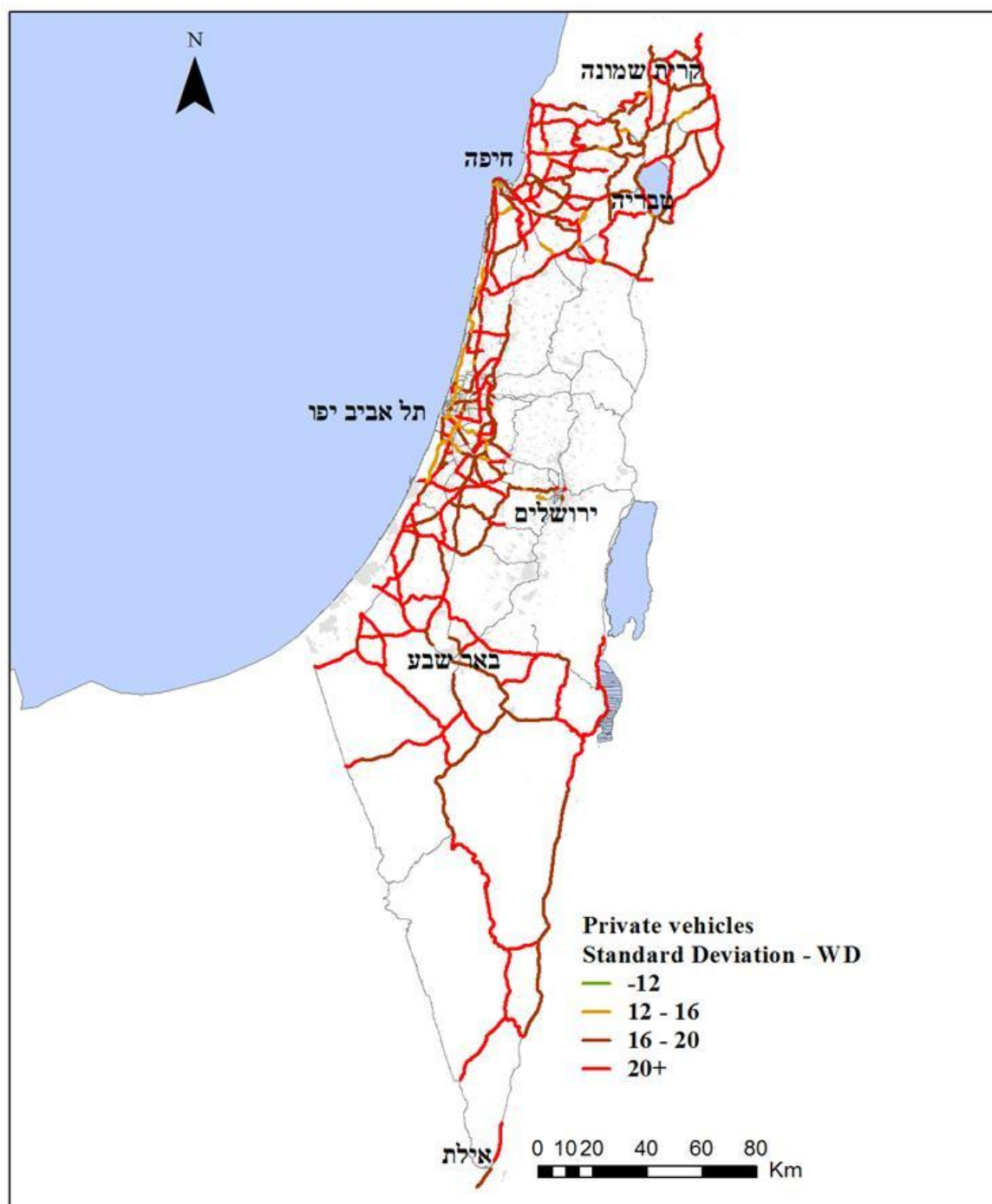
איור 6 – מהירויות ממוצעות של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות – ימי חול בשעות יום ללא עומסי תנועה

כצפוי, המהירויות הגבוהות ביותר בדרכים מהירות, עם דגש בקטעים רב-נתיביים (3 נתיבי נסיעה לכיוון או יותר). במרבית קטעי דרך אלה המהירות המותרת היא 100 – 110 קמ"ש.



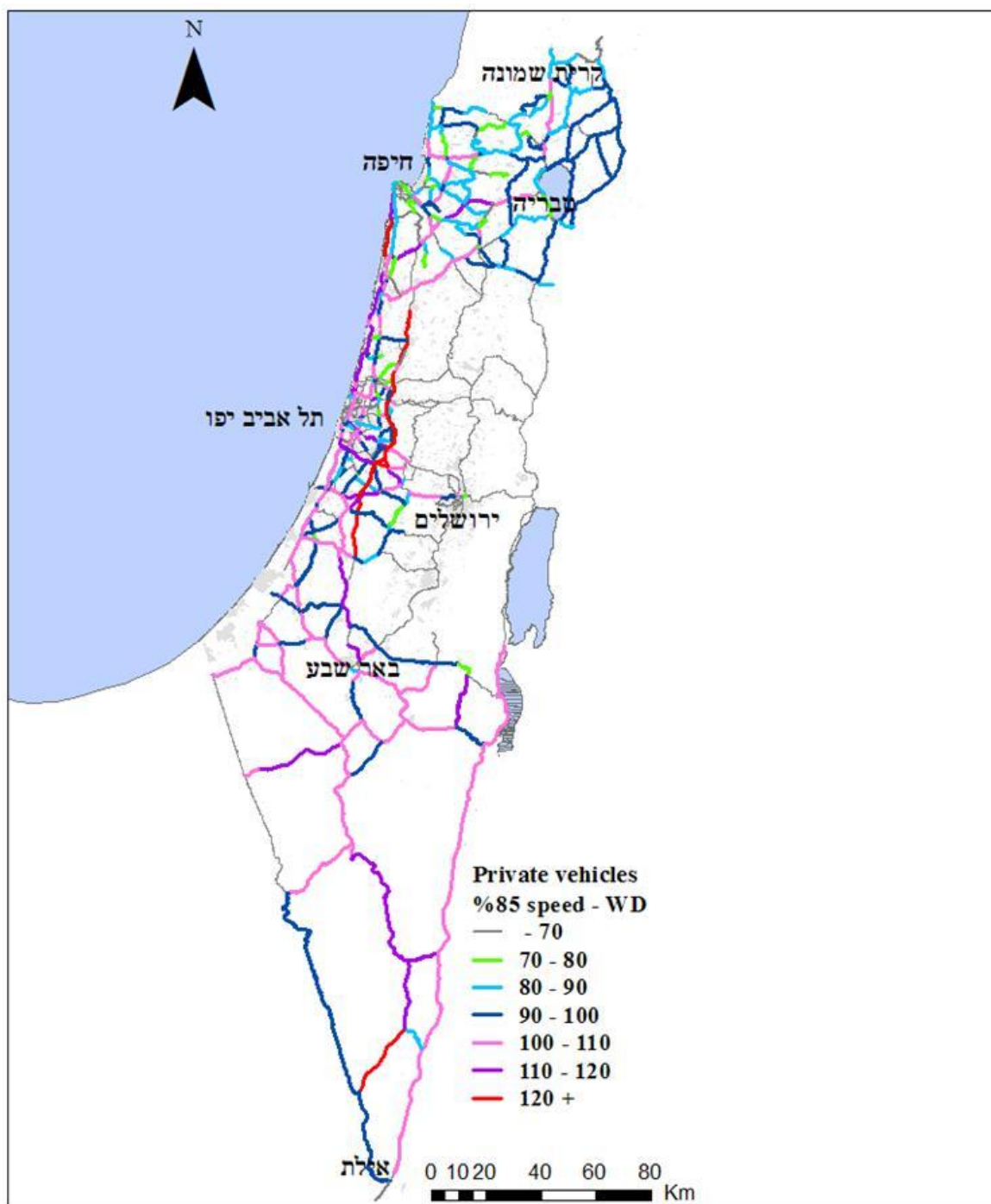
איור 7 – אחוז כלי רכב פרטיים מעל המהירות המותרת בדרכים בין-עירוניות – ימי חול בשעות יום ללא עומסי תנועה

המפה מראה בבירור כי אחוז כלי רכב פרטיים הנוסעים מעל המהירות המותרת הינו מעל 50% במספר רב של קטעי דרך, הפרוסים בכל אזורי הארץ. יש לשים לב שלא בכל קטעי דרך יש מספיק תצפיות המאפשרות לקבל תוצאה משמעותית. קטעי דרך אלה מסומנים באפור.



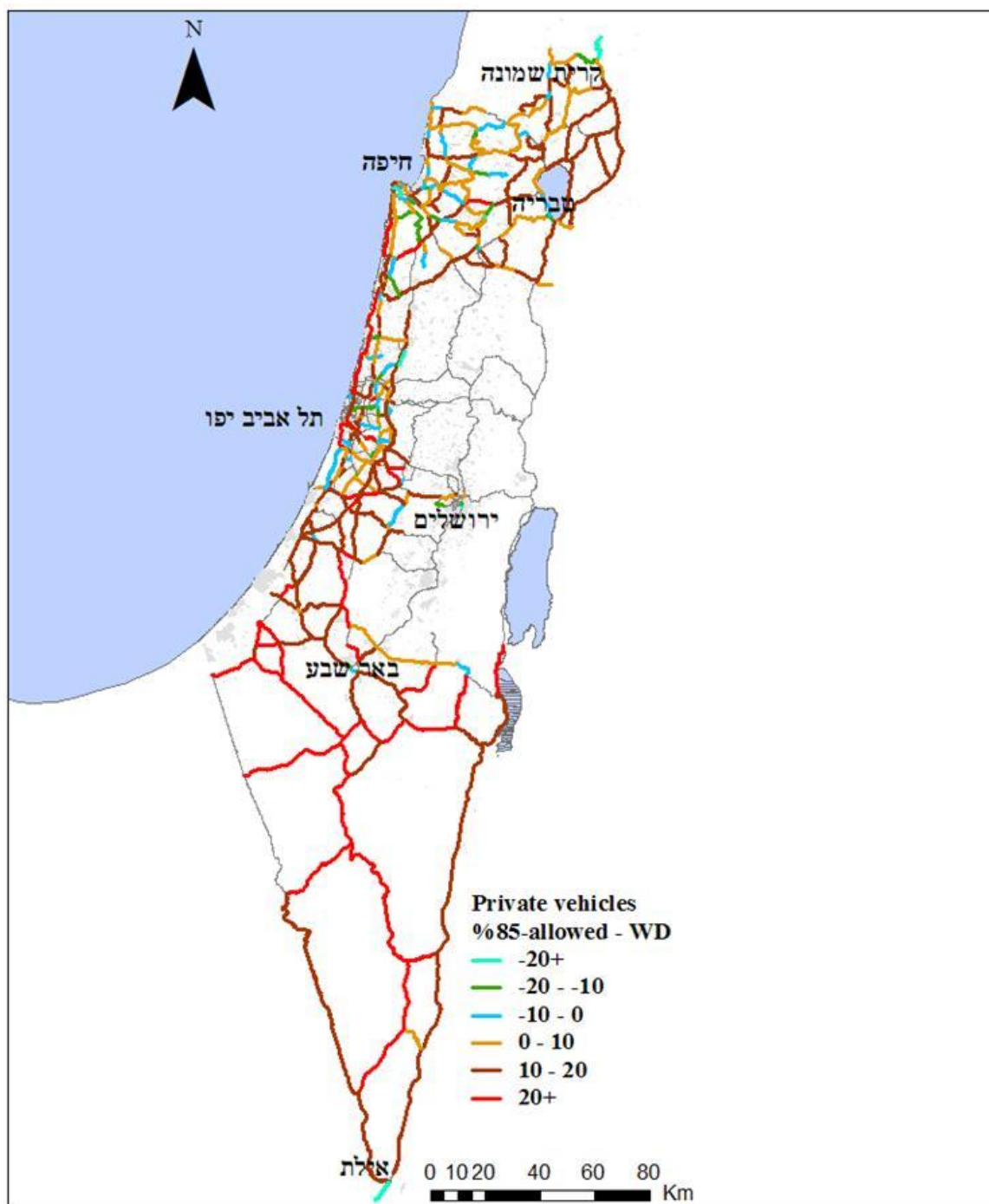
איור 8 – סטיית תקן מהירויות של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות – ימי חול בשעות יום ללא עומסי תנועה

נתוני סטיות התקן של המהירות הינם בקילומטר לשעה. ניתן להסיק מהמפה לעיל כי סטיות תקן של מהירויות נסיעה ללא עומסי תנועה אינן גדולות. תוצאה זו תואמת ממצאים מהספרות העולמית, וגם מחקרים אחרים שמדדו מהירויות נסיעה בישראל (גיטלמן ואחרים, 2009).



איור 9 – מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות – ימי חול בשעות יום ללא עומסי תנועה

תוצאה זו מהווה בסיס לניתוח חריגות המהירות שמוצג באיור הבא.



איור 10 – חריגות מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות – ימי חול בשעות יום ללא עומסי תנועה

חישוב חריגות המהירות נעשה ביחס למהירות אחוזון 85, בדומה למחקרים קודמים (גיטלמן ואחרים, 2009). התוצאות המוצגות מראות את החריגות בקמ"ש. תוצאות אלה מנותחות בסעיפים הבאים, לפי חתכים שונים.

4.2 ניתוח חריגות מהירות מבוסס תבניות זמן – אזור המרכז

האיורים הבאים מציגים את תוצאות חריגות המהירות של כלי רכב פרטיים באזור המרכז, על פי תבניות זמן שהוגדרו בלוח 2. בדומה לאיור 10, חישוב חריגות המהירות נעשה ביחס למהירות אחזון 85.



איור 11 - חריגות מהירות אחזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות באזור המרכז – ימי חול בשעות יום ללא עומסי תנועה

איור זה הינו הגדלה של איור 10 באזור המרכז, עם ציון מספרי הדרך לצורך התמצאות. כאן ניתן להבחין את החריגות הגדולות (20 קמ"ש ויותר מעל המהירות המותרת) בכביש החוף, נתיבי איילון, קטעים נבחרים בכביש ירושלים-תל אביב ובכביש 7 בדרום. בכל הקטעים מס' הנתיבים הינו לפחות 3 לכיוון.



איור 12 חריגות מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות באזור המרכז – ימי חול בשעות לילה

ההבדל בין איור זה לאיור 11 הוא שהחריגות חושבו על סמך תצפיות מהירויות בשעות הלילה בימי חול. כאן ניתן להבחין מספר גדול יותר של קטעי דרך עם חריגות גדולות (20 קמ"ש ויותר מעל המהירות המותרת) לעומת החריגות בשעות היום. תוצאה זו הינה צפויה ומתאימה למחקרים קודמים.



איור 13 - חריגות מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות באזור המרכז – יום ששי בשעות יום

השוואת איור זה עם איור 11 לא מצביעה על שינויים משמעותיים בחריגות המהירות בימי ששי ביום לעומת יום חול ביום.



איור 14 - חריגות מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות באזור המרכז – יום ששי בשעות יום

בדומה לחריגות בימי חול בלילה, קיים ריבוי קטעים עם חריגות מהירות גדולות. חשוב לציין שוב כי קטעים אשר לא עוברים סף של 300 תצפיות אינם כלולים בניתוח, וכצפוי המדגם בימי ששי בלילה מצטמצם.



איור 15- חריגות מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות באזור המרכז – יום שבת בשעות יום

השוואת איור זה עם איור 13 לא מצביעה על שינויים משמעותיים בחריגות המהירות בימי שבת ביום לעומת יום ששי ביום.

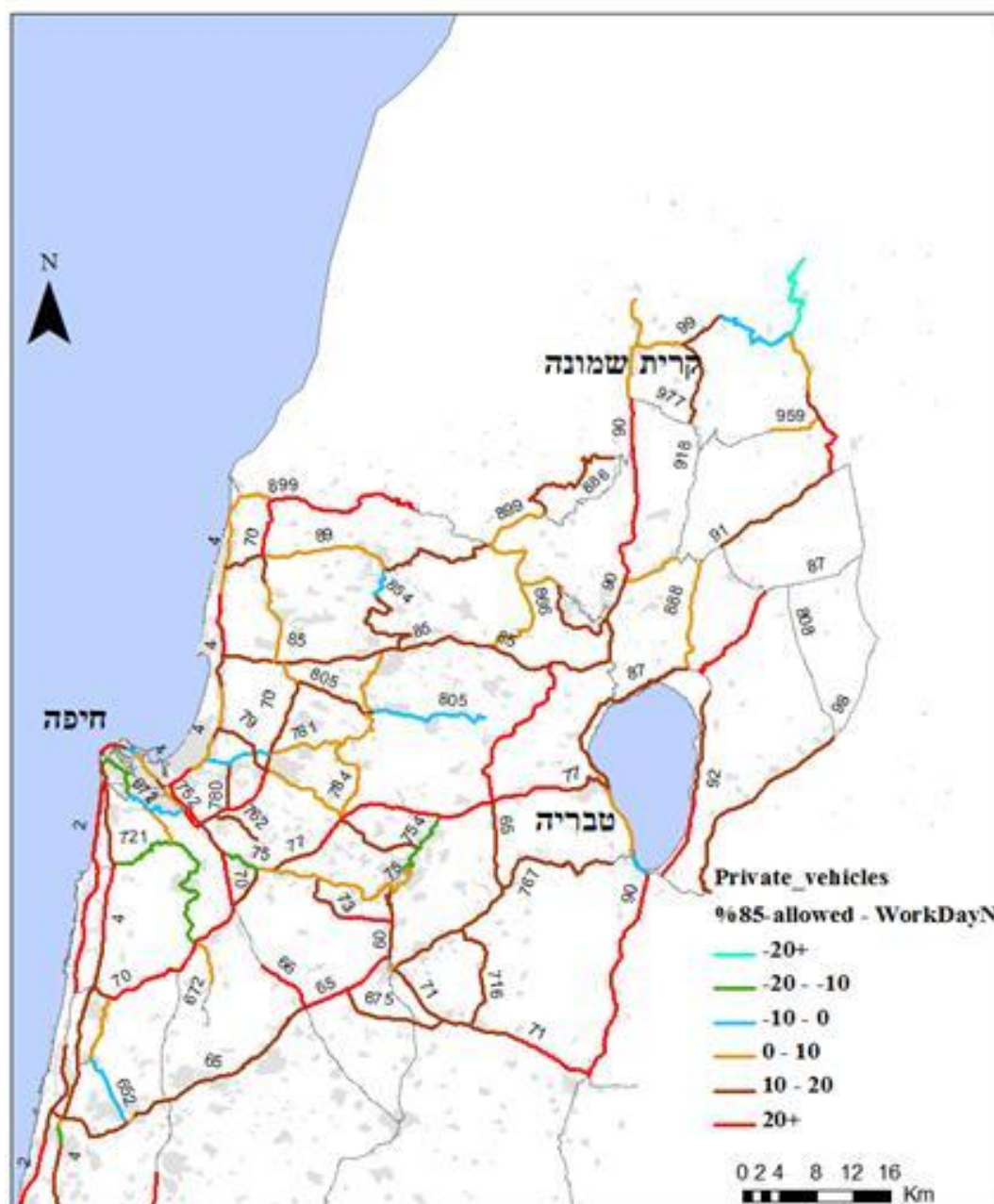


איור 16 - חריגות מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות באזור המרכז – יום שבת בשעות לילה

בדומה לחריגות בימי חול בלילה ובימי ששי בלילה, קיים ריבוי קטעים עם חריגות מהירות גדולות. חשוב לציין שוב כי קטעים אשר לא עוברים סף של 300 תצפיות אינם כלולים בניתוח, וכפוי המדגם בימי ששי בלילה מצטמצם.

4.3 חריגות מהירות לפי סוג רכב ואזור

בסיס הנתונים מאפשר לנתח תוצאות עבור 3 סוגי רכב: כלי רכב פרטיים, משאיות ואוטובוסים. התוצאות מציגות את חריגות המהירות בימי חול בשעות הלילה עבור 3 אזורים שונים (צפון, מרכז ודרום). חשוב לציין כי בבסיס המידע קיימים נתונים על מהירויות מותרות של כלי רכב פרטיים, ומהירויות אלה שימשו בסיס גם לחריגות מהירות של משאיות.



איור 17 - חריגות מהירות אחוזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות באזור הצפון – יום חול בשעות לילה



איור 18 - חריגות מהירות אחזון 85 של אוטובוסים בדרכים בין-עירוניות באזור הצפון – יום חול בשעות לילה



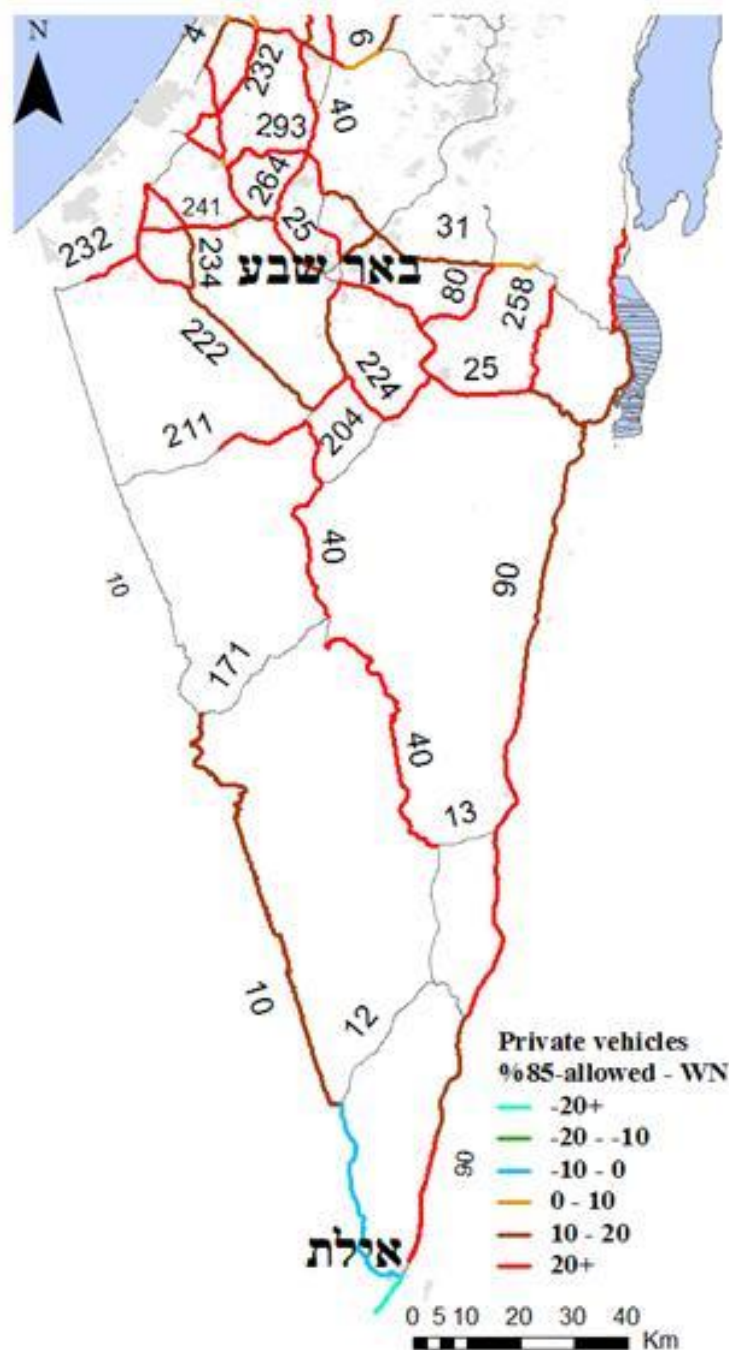
איור 19 - חריגות מהירות אחוזון 85 של משאיות בדרכים בין-עירוניות באזור הצפון – יום חול בשעות לילה



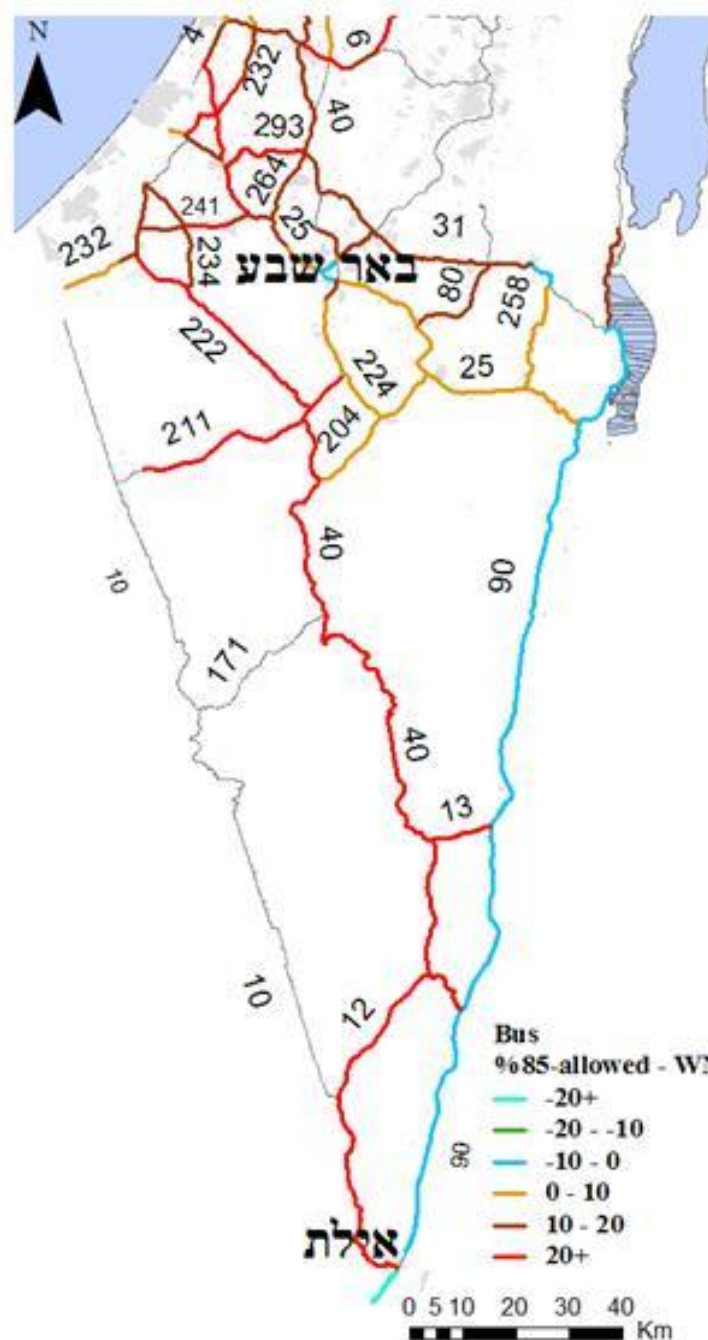
איור 20 - חריגות מהירות אחוזון 85 של אוטובוסים בדרכים בין-עירוניות באזור המרכז – יום חול בשעות לילה



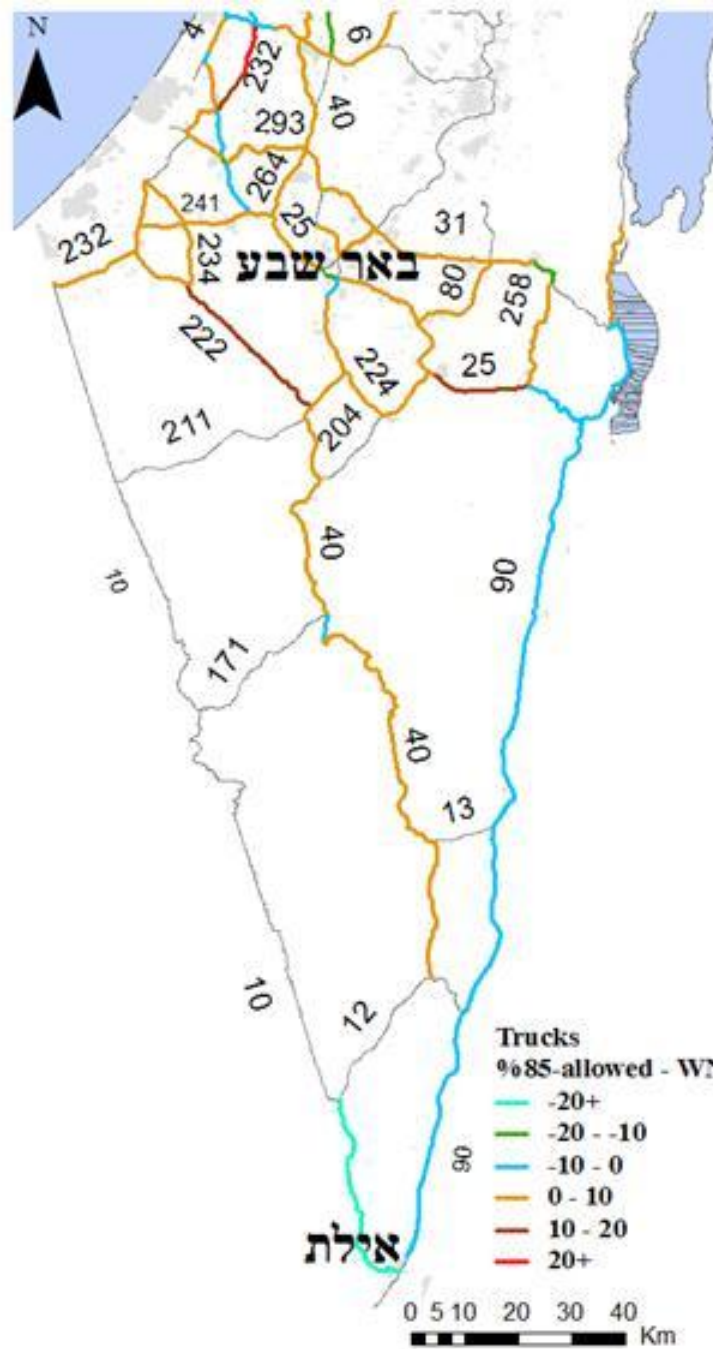
איור 21 - חריגות מהירות אחזון 85 של משאיות בדרכים בין-עירוניות באזור המרכז – יום חול בשעות לילה



איור 22 - חריגות מהירות אחזון 85 של כלי רכב פרטיים בדרכים בין-עירוניות באזור הדרום – יום חול בשעות לילה



איור 23 - חריגות מהירות אחוזון 85 של אוטובוסים בדרכים בין-עירוניות באזור הדרום – יום חול בשעות לילה



איור 24 - חריגות מהירות אחזון 85 של משאיות בדרכים בין-עירוניות באזור הדרום – יום חול בשעות לילה

4.4 סיכום הממצאים

4.4.1 סיכום כללי

הלוח להלן מציג סיכום כללי של הסטטיסטיקות העיקריות לפי סוג רכב ואזור. הנתונים מתייחסים לממוצע משוקלל לפי נסועה כללי של כל התצפיות במדגם. מהירות הממוצעת, סטיית התקן וחריגות המהירות בלוח מוצגים בקמ"ש.

לוח 3 – ממוצע תוצאות לפי סוג רכב ואזור גיאוגרפי – ימי חול בשעות הלילה

סוג רכב	אזור	מהירות ממוצעת	סטיית תקן	% מעל מהירות מותרת	מהירות אחוזן 85	חריגות מהירות
פרטי	צפון	81	21	47	100	15
משאית	צפון	71	20	21	87	1
אוטובוס	צפון	85	17	45	101	14
פרטי	מרכז	96	20	56	114	19
משאית	מרכז	80	16	9	91	-11
אוטובוס	מרכז	93	16	41	110	13
פרטי	דרום	88	23	59	108	20
משאית	דרום	74	22	18	90	-1
אוטובוס	דרום	81	13	27	93	4

ניתן לראות כי באזור המרכז המהירויות הגבוהות ביותר, בכל סוגי הרכב. ניתן להסביר זאת על ידי שילוב של טופוגרפיה מישורית וריבוי כבישים דו-מסלוליים רב-נתיביים. נתון בולט נוסף, שנצפה גם במפות בסעיף 4.3, הוא המהירות הגבוהה של האוטובוסים, במיוחד באזור הצפון.

הלוח מראה שממוצע חריגות מהירות משאיות קטנה. נתון זה ישתנה במידה ומניחים כי רוב המשאיות הינם מעל 12 טון, והמהירות המרבית לפי החוק היא 80 קמ"ש. במקרה זה החריגות יהיו משמעותיות בהרבה. נתוני המדגם אינם מאפשרים לזהות את סוג המשאית. לכן, על מנת לקבוע שיאי חריגות, הסעיף הבא מתייחס לחריגות מהירות של כלי רכב פרטיים בלבד.

4.4.2 שיאים בחריגות מהירות - כלי רכב פרטיים

לוח 4 – שיאים בחריגות מהירות כלי רכב פרטיים באזור המרכז – יום חול ממוצע בשעות הלילה

מס' דרך	מצומת / מחלף	לצומת / מחלף	אורך קטע	מהירות ממוצעת	סטיית תקן	מהירות אחוזון 85	מהירות מותרת	מהירות מותרת מעל	חריגה מממהירות אחוזון 85
איילון צפון	יוספטל	דב הוז	0.9	86.0	22.6	106.6	70	83	36.6
איילון צפון	משה דיין	הקוממיות	1.6	92.4	17.1	109.9	70	91	39.9
איילון צפון	חולות	מבוא איילון	2.8	99.0	16.4	115.0	70	97	45.0
איילון דרום	לה גרדיה	חיל השריון	1.4	91.8	15.9	106.0	70	94	36.0
איילון דרום	חולון	וולפסון	1.9	89.7	15.2	103.6	70	94	33.6
איילון דרום	וולפסון	דב הוז	1.6	89.4	17.0	106.3	70	88	36.3
איילון דרום	יוספטל	הקוממיות	1.5	89.2	18.4	106.9	70	87	36.9
איילון דרום	משה דיין	מבוא איילון	2.1	99.8	16.8	116.1	70	97	46.1
איילון דרום	חיל השריון	חולון	1.1	85.3	20.7	103.4	70	84	33.4
7	גדרה	שורק	7.6	97.2	21.2	116.4	90	72	26.4
1	בן גוריון	לוד	1.7	98.4	19.0	116.1	90	72	26.1
1	גנות	שפירים	1.8	100.1	16.1	116.1	90	77	26.1
2	נתניה	גשר השלום	4.3	99.4	17.3	115.5	90	77	25.5
2	חוף השרון	וינגייט	4.9	100.4	15.2	114.7	90	81	24.7
ממוצע משוקלל לפי נסועה			35.2	98.2	17.1	114.3		80	

התוצאה הבולטת ביותר היא חריגת מהירות בנתיבי איילון, בקטעים אשר המהירות המותרת הינה 70 קמ"ש. למעשה לכל אורך איילון דרום, בשני הכיוונים, נצפות חריגות מהירות של 35-40 קמ"ש מעל המהירות המותרת.

לוח 5 – שיאים בחריגות מהירות כלי רכב פרטיים באזור הצפון – יום חול ממוצע בשעות הלילה

מס' דרך	מצומת / מחלף	לצומת / מחלף	אורך קטע	מהירות ממוצעת	סטיית תקן	מהירות אחוזון 85	מהירות מותרת	מהירות מותרת מעל	חריגה מממהירות אחוזון 85
2	ינאי	אולגה	6.9	99.1	16.9	114.8	90	78	24.8
2	אולגה	קיסריה	3.2	100.4	14.9	112.2	90	80	22.2
2	זכרון יעקב	עתלית	14.1	105.1	17.5	120.9	100	68	20.9
4	אלנבי	דרך צרפת	1.7	79.1	17.8	100.7	70	71	30.7
70	בת שלמה	עין תות	4.5	99.9	16.6	114.8	90	78	24.8
70	בת שלמה	שפיה	4.2	96.8	16.8	112.4	90	71	22.4
70	עין תות	אליקים	3.4	99.6	16.8	115.7	90	75	25.7
70	אליקים	התשבי	6.1	89.5	22.8	110.9	90	56	20.9
70	התשבי	העמקים	6.0	90.6	25.2	111.3	90	62	21.3
77	המוביל	בית רימון	11.2	93.5	21.6	112.8	90	63	22.8
ממוצע משוקלל לפי נסועה			61.3	98.5	19.2	115.6		69	

התוצאה הבולטת ביותר היא חריגה של 30 קמ"ש בדרך 4 בחיפה. חריגה זו דומה למקרה של איילון דרום, כאשר המהירות המותרת היא 70 קמ"ש, אך הכביש רחב וקיום מחלף אלנבי מאפשר ליצור רצף נסיעה ללא הפרעה, בדומה לכביש מהיר.

לוח 6 – שיאים בחריגות מהירות כלי רכב פרטיים באזור הדרום – יום חול ממוצע בשעות הלילה

מס' דרך	מצומת / מחלף	לצומת / מחלף	אורך קטע	מהירות ממוצעת	סטיית תקן	מהירות אחוזון 85	אחוז מעל מהירות מותרת	מהירות מותרת	חריגה ממהירות אחוזון 85
12	שיזפון	עובדה	14.0	97.8	28.6	125.0	80	80	45.0
12	עובדה	סיירים	15.8	97.6	26.2	121.2	80	83	41.2
13	ציחור	מנוחה	11.4	94.1	27.3	115.9	80	84	35.9
211	טללים	שבטה	18.4	93.6	22.8	114.3	80	79	34.3
211	שבטה	קציעות	15.2	98.8	20.3	121.1	80	84	41.1
234	רעים	אורים	10.7	86.5	25.3	110.1	80	68	30.1
241	מעון	אורים	8.3	90.7	24.6	113.9	80	77	33.9
258	צפית	חתרורים	22.4	90.8	22.9	112.7	80	76	32.7
40	מצפה רמון	ציחור	59.4	87.1	26.0	111.8	80	68	31.8
40	ציחור	שיזפון	26.5	97.7	21.6	117.7	80	86	37.7
ממוצע משוקלל לפי נסועה			202.1	101.4	28.2	128.1		82	

שיאי החריגות נצפו בכבישים בהם המהירות המותרת היא 80 קמ"ש. לרוב כבישים אלה דלי תנועה ושוממים, עם קטעי דרך ארוכים של נסיעה ישרה.

4.5 ניתוח שיאי חריגות מהירות מבוסס תבניות זמן

אוכלוסיית הכבישים בהם קיימים שיאי חריגות המהירות בהכללת הזמנים ואוכלוסיית הכבישים בהם קיימים שיאי חריגות מהירות בתבניות זמן שונות מהוות שתי קבוצות, כאשר, השנייה מוכלת בראשונה. החסרה של תבנית זמן ספציפית מתוך הקבוצה מאפשרת לזהות מקטעי כבישים בהם שיאי חריגות המהירות נובעים מתבנית הזמן המשלימה, ומקטעי כבישים בהם גודלם של חריגות המהירות זהה בכל זמני התצפית. לדוגמא, קטע כביש 211 בין צומת שיבטה לקציעות, נכלל בקטעי הכביש בהם קיימים שיאים בחריגות המהירות בהכללה של כל זמני התצפית (איור 25). קטע כביש זה אינו נכלל בקטעי הכבישים בהם קיימים שיאים בחריגות המהירות בשעות הלילה (ימי חול, שישי ושבת) (איור 26). מכיוון שהקבוצה הראשונה מכלילה את כל זמני התצפית והקבוצה השנייה כוללת את זמני התצפית בשעות הלילה, הקבוצה המשלימה היא זמני התצפית בשעות היום. ולכן, חריגת מהירות גדולה יותר (שיא החריגה) מתקבלת בשעות היום עבור מקטע כביש זה. דוגמא אחרת היא קטע כביש 77, בו שיא חריגת

המהירות מתקבל בהכללת זמני התצפית (איור 25) ובשיאי חריגות המהירות בשעות הלילה (איור 26).
ולכן, גודל חריגת המהירות זהה בשעות הלילה והיום.

מניתוח זה עולה כי ישנם מקטעי כביש נוספים, מלבד כביש 211, בהם גודל החריגה גדול יותר בשעות היום, מקטעים אלו הינם: כביש 2 (בין מחלף זיכרון יעקב למחלף עתלית), כביש 70 (בין מחלף אליקים לצומת התשבי), כביש 13 (בין צומת ציחור לצומת מנוחה), כביש 12 (צומת שיזפון – עובדה – סיירים)



איור 25: מקטעי הכבישים (באדום) בהם קיימים שיאים בחריגות המהירות בהכללת זמני התצפית.



איור 26: מקטעי הכבישים (בסגול) בהם קיימים שיאים בחריגות המהירות בשעות הלילה (ימי חול, שישי ושבת).



איור 27: מקטעי הכבישים בהם קיימים שיאים בחריגות המהירות בהכללת זמני התצפית (אדום).
בסגול, מקטעי הכבישים בהם קיימים שיאים בחריגות המהירות בשעות הלילה.

5 סיכום ומסקנות

דו"ח זה תיאר בניית התשתית המאפשרת ניתוח מהירויות ברמה הארצית. הדו"ח הציג תוצאות נבחרות, אשר יסייעו בניטור מהירויות ומהווים כלי תומך החלטה. להלן סיכום של המסקנות העיקריות:

- מקור הנתונים: ניתן להשתמש באוסף תצפיות GPS לחישוב מהירויות בכבישים, בתנאי שמספר התצפיות מספיק גדול. על מנת להקטין שונות ולקבל אומדים מייצגים, מומלץ לאסוף לפחות 300 תצפיות לכל קטע דרך.
- ייצוג הנתונים: תוצאות ניתוח השוואתי לנתוני גלאים של נתיבי איילון מראות כי קיימת התאמה טובה בין נתוני דסל לבין נתוני נתיבי איילון.
- מתודולוגיה: המחקר מתייחס למהירות ממוצעת בקטעי דרך, ללא השפעת הצמתים. הניתוח נעשה לתקופות יום שונות, לשעות ללא עומסי תנועה. עיקר הניתוח התייחס למהירות נסיעה בכלי רכב פרטיים.
- בסיס גיאוגרפי: המחקר מתייחס לרשת TMC, אשר מתייחסת בעיקר לכבישים בין עירוניים.
- תוצאות: התוצאות מראות בבירור כי ברוב הכבישים בארץ, כ- 50% מהנהגים בכלי רכב פרטיים נוסעים מעל המהירות המותרת. אחוז זה גבוה יותר בסופי שבוע לעומת אמצע השבוע (לאחר ניכוי השעות העמוסות).
- חריגות מהירות ברכב פרטי: לכל קטע ברשת TMC, חושב הפער בין אחוזן 85 של המהירות לבין המהירות המותרת. שיאי החריגות ברוב הקטעים, בפרט באזור המרכז, מתייחסים לכבישים דו-מסלוליים רב-נתיביים.
- חריגות אוטובוסים ומשאיות: דו"ח זה מציג את החריגות על בסיס המהירות המותרת ברכב פרטי, לכן יש לבצע מחקר המשך כדי לבחון את המהירות המותרת וגם מהימנות התוצאות.

5.1 המשך מחקר

שלב זה של המחקר אפשר לקבל תמונה רחבה של חריגות המהירות בכבישים בין עירוניים. התשתית שנבנתה מאפשרת להרחיב את המחקר לכיוונים הבאים כגון:

- זיהוי חריגות המהירות לפי אזור (עירוני/בין עירוני) והשלמת נתונים לגבי משאיות
- ניטור מהירויות מתמשך, על ידי עדכון רציף של בסיס הנתונים
- שילוב וניתוח המידע עם נתוני התאונות
- זיהוי תבניות מרחביות – שילוב המידע עם שכבת בניינים ממפ"י לבדיקת חריגות מהירות באזורים עירוניים.

Aarts, L. & Van Schagen, I. [2006] "Driving speed and the risk of road crashes: a review", *Accident Analysis and Prevention*, Volume 38, Issue 2, March 2006, Pp 215-224 .

Bar-Gera, H. (2007). Evaluation of a cellular phone-based system for measurements of traffic speeds and travel times: A case study from Israel. *Transportation Research Part C*, 15(6), 380-391.

Baruya, A. [1998], Speed-Accident Relationship on Different Kinds of European Roads. Deliverable D7, MASTER Contract no. RO-96-SC.202.

Elvik, R., Christensen, P., and Amundsen, A. (2004). Speed and road accidents. TØI Report 740. Institute of Transport Economics, Oslo.

Goldenbeld, C., and Van Schagen, I. (2005). The Effects of Speed Enforcement with Mobile Radar on Speed and Accidents: An Evaluation Study on Rural Roads in the Dutch Province Friesland. *Accident Analysis and Prevention* 37, 1135–1144.

Han J., Polak J.W., Barria J., and R. Krishnan. On the estimation of space-mean-speed from inductive loop detector data. *Transportation Planning and Technology*, Volume 33, Issue 1, 2010, pp. 91-104.

Hauer, E. (2009). Speed and safety. Transportation Research Board annual meeting CD-ROM .

Kloeden, C.N., Ponte, G., McLean, A.J., (2001). Travelling speed and the rate of crash involvement on rural roads. Report No. CR 204. Australian Transport Safety Bureau ATSB, Civic Square, ACT.

Krause, A., Horvitz, E., Kansal, A., Zhao, F. (2008). Toward community sensing. In ACM/IEEE International conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN), St. Louis, MO. 19

May A.D. *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice Hall. ISBN 0-13-926072-2, 1990.

Quimby, A., Maycock, G., Palmer, C., Buttress, S., (1999). The factors that influence a driver's choice of speed: a questionnaire study. TRL Report No. 325. Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire.

Shinar, D. (1998). Speed and Crashes: A Controversial Topic. Appendix B in "Managing Speed, Special Report 254, Transportation Research Board, Washington D.C., pp. 221-276.

Ygnace, J-L., Drane, C., Yim, Y., de Lacvivier, R. (2000). Travel time estimation on the San Francisco Bay Area network using cellular phones as probes. California PATH working paper UCB-ITS-PWP-2000-18, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.

גיטלמן ו., הקרט ש. (2003) "קשר בין עבירות תנועה ומעורבות בתאונות (סקר ספרות)", פרוייקט מס' 44-5115, פרסום מספר 2003/0120.

גיטלמן, ו., פיסחוב פ., כרמל ר., הנדל ל., בלשה ד. (2009). סקר ארצי של מהירויות נסיעה בישראל: סקר ארצי 2009, דו"ח מחקר מספר S/5/2009.