

## הגורמים לתאונות דרכים בכבישים בין-עירוניים בישראל

ליאור בראון\*, נעם זוסמן\* ורון שהרבני\*

סדרת מאמרים לדיון 2014.04  
אוגוסט 2014

---

\* חטיבת המחקר, בנק ישראל, lior.brown@boi.org.il, טל' – 02-6552640.  
\* חטיבת המחקר, בנק ישראל, noam.zussman@boi.org.il, טל' – 02-6552602.  
\* חטיבת המחקר, בנק ישראל, ran.shahrabani@boi.org.il, טל' – 02-6552633.

תודה לאבי ליכטיג וליובל טלר על הסיוע בהכנת בסיס הנתונים והעיבודים הסטטיסטיים, ולרון פלוס – על הייעוץ הסטטיסטי. תודתנו נתונה גם ללשכה המרכזית לסטטיסטיקה, למשטרת ישראל, ל"נתבי ישראל – החברה הלאומית לתשתיות תחבורה בע"מ" (מע"צ לשעבר) ולשירות המטאורולוגי הישראלי על העמדת הנתונים למחקר. אנו מודים לתמר תומר-פישמן ולמשתתפי הסמינר בחטיבת המחקר בבנק ישראל על הערותיהם המועילות.

**הדעות המובעות במאמר זה אינן משקפות בהכרח את עמדת בנק ישראל**

## הגורמים לתאונות דרכים בכבישים בין-עירוניים בישראל

ליאור בראון, נעם זוסמן ורן שהרבני

### תקציר

במחקר נבחנו גורמים שונים לתאונות דרכים עם נפגעים בכבישים הבין-עירוניים בישראל. לשם כך נבנה מסד נתונים מקיף לתקופה הנחקרת – השנים 2005 עד 2009 – הכולל, בין היתר, את המאפיינים ההנדסיים והאכיפה המשטרתית, ונעשה שימוש באמידות פאנליות. באשר למאפיינים ההנדסיים נמצא כי תוספת של מטר לשוליים הסלולים מפחיתה את מספרן של התאונות בכ-15 אחוזים, וכי מפרדה בין נתיבי תנועה נגדיים מפחיתה אותן בכ-30 אחוזים; כנגד זאת, עיקול חד בכביש מעלה את מספר התאונות בכ-20 אחוזים, ועבודות בכביש – בכ-16 אחוזים. לא נמצאה השפעה של ממש להשתנות האכיפה המשטרתית על מספר התאונות, אך לא ניתן ללמוד מכך על התרומה של רמת האכיפה הכלל-ארצית. ההסתברות לתאונות באזור הדרום נמוכה משמעותית מאשר ביתר חלקי הארץ, כשיתר הגורמים קבועים.

ייצוג גבוה יחסית לקטעי כביש ברמה גבוהה של סיכון לתאונה ("כבישים אדומים") נמצא בכבישים צדדיים, וייצוג נמוך יחסית – בדרום הארץ. ניכרת נחיתות בולטת של כלל המאפיינים ההנדסיים בכבישים המסוכנים.

חשוב להקים מסד נתונים לאומי מקיף, שיאפשר להוסיף ולחקור את הגורמים לתאונות דרכים במטרה לסייע בקביעת מדיניות למניעתן.

## Causes of traffic accidents with casualties on intercity roads in Israel

Lior Brown, Ran Sharabany and Noam Zussman

### Abstract

The research examined various causes of traffic accidents with casualties on intercity roads in Israel. A comprehensive database was constructed for the period studied—2005 to 2009—including, among other things, road engineering features and police traffic enforcement, and a time series estimation was used. With regard to engineering features, it was found that the addition of one meter to the paved shoulder reduces the number of traffic accidents by about 15 percent and that a physical divider between lanes of opposing traffic reduces accidents by about 30 percent. In contrast, a sharp curve in a road increases the number of accidents by about 20 percent, and road work increases accidents by about 16 percent. A change of traffic law enforcement activity by police was essentially found to have no effect on the number of accidents, but this may not indicate anything about the contribution of the level of enforcement country-wide. The probability of accidents in the southern region is significantly lower than in other areas of the country, all else being equal.

Among road segments with a high risk of an accident ("red roads"), there is a greater representation of secondary roads, and there is a relatively low representation of roads in the south of the country. All of the engineering features of these "red roads" are considerably inferior compared to the other roads.

It is important to construct a comprehensive national database, which will allow further research into the causes of traffic accidents, and aid in setting policy.

## 1. מבוא

תאונות דרכים גובות חיי אדם רבים וגורמות לנזק כלכלי בלתי מבוטל למשק. בשנת 2013 מספר תאונות הדרכים עם נפגעים עמד על 13,781 ומספר ההרוגים כתוצאה מהן עמד על 309 – ירידה של כ-40 אחוזים ביחס לשנת 2000 (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2013א, 2014). בהתחשב בעלייה המהירה בנסועה (קילומטרז') באותה תקופה מדובר בירידה חדה של מספר התאונות וההרוגים לקילומטר נסועה (איור נ'1-1 בנספח). למרות זאת, ביחס למדינות המפותחות מקומה של ישראל במרכז הדירוג כמעט לא השתנה (איור נ'2-2 בנספח). כחמישית ממקרי המוות השנתיים (שלא מתחלואה) הם תוצאה מתאונות דרכים – יותר מפי שניים ממקרי המוות כתוצאה מתקיפה, ובדומה למספרם של אלו כתוצאה מאובדנות (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2013ב).

לפי נוהל פר"ת (מדינת ישראל, 2012), הבוחן את הכדאיות הכלכלית של פרויקטים ותחבורתיים, העלות השנתית הממוצעת למשק בגין תאונות דרכים עמדה בשנים 2008–2010 על כ-15 מיליארדי ש"ח (במחירי 2012), כ-1.7 אחוזי תוצר. העלות בגין הרוג בתאונה, נכון לשנת 2012, הוערכה בכ-6.1 מיליוני שקלים, בגין פצוע קשה בכ-1.5 מיליוני שקלים ובגין פצוע קל בכ-0.12 מיליון שקלים.

המחקר בוחן את הגורמים לתאונות דרכים עם נפגעים בקטעי כביש בין-עירוניים על פי נתונים חודשיים לשנים 2005–2009, על בסיס מסד נרחב של נתונים, ובכללם: תאונות הדרכים עם נפגעים ונפחי התנועה, שהתקבלו מהלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (הלמ"ס); מאפיינים הנדסיים של קטעי הכביש, שמקורם בחברת "נתיבי ישראל – החברה הלאומית לתשתיות ותחבורה בע"מ" (בעבר מע"צ); ההשקעה הכספית בכבישים, שחושבה על סמך ספרי תקציב המדינה ותוכניות הפיתוח של החשב הכללי; דוחות תנועה שהפיקה משטרת ישראל; נתוני מזג האוויר מהתחנות המטאורולוגיות ברחבי הארץ. יש לציין כי גם מאפייני הנהגים וכלי הרכב בקטע הכביש חיוניים לניתוח, אך נעדרים ממנו בשל מחסור בנתונים איכותיים ועדכניים, שכן סקר הרגלי הנסיעה (שממילא אינו מפורט דיו לצורכי המחקר) לא נערך מאז שנת 1996/7.

נאמדו מודלים של השתנות מספר תאונות הדרכים בקטעי הכביש בתדירות חודשית כתלות בנפח התנועה, במאפיינים ההנדסיים ובהשקעה הכספית בתשתיות, באכיפה המשטרתית ובמזג האוויר, וזאת תוך התחשבות בעונתיות. האמידות הפאנליות בוצעו בשלוש שיטות המקובלות בספרות בתחום: (1) Fixed Effect Model; (2) Random Effect Model; (3) Generalized Estimating Equations (GEE).

הממצאים שהתקבלו בשיטות השונות דומים ועולים בקנה אחד עם ממצאי מחקרים אחרים בארץ ובעולם. גמישות תאונות הדרכים ביחס לנסועה, כשיתר הדברים קבועים, היא כ-0.90. באשר למאפיינים ההנדסיים, תוספת מטר לשוליים הסלולים מפחיתה את מספר התאונות בכ-15 אחוזים ומפרדה בין נתיבי תנועה נגדיים – בכ-30 אחוזים; כנגד זאת, עיקול חד בכביש מעלה את מספר התאונות בכ-20 אחוזים, ועבודות בכביש – בכ-16 אחוזים. יש לציין כי בנוהל פר"ת אין התייחסות מפורשת להשפעת העבודות בכביש על תאונות, דבר העלול להתבטא בהערכת חסר של עלות הפרויקטים. עוד נמצא שגמישות התאונות ביחס לכמות הגשם החודשית היא 0.07, ולא התקבלה השפעה לטמפרטורה (כולל טמפרטורה קיצונית). יצוין כי קיבוץ הנתונים לרמה חודשית (עקב ריבוי קטעי כביש ללא תאונות בפרקי זמן קצרים יותר) מקשה על זיהוי השפעות מזג האוויר על התאונות.

לא זוהתה השפעה של ממש להשתנות האכיפה המשטרתית על מספר תאונות הדרכים. ממצא זה יש לסייג, מכמה טעמים: האמידה אינה יכולה ללמד על השפעת דמת האכיפה המשטרתית; בדומה למחקרים אחרים בתחום אין ברשותנו מידע על אכיפה שלא הסתיימה בדוח תנועה; פעילות האכיפה עשויה להגיב בטווח הקצר על שינויים במספר התאונות (אנדוגניות), כך שהשפעת האכיפה שתיאמד תהיה פחותה משהייתה בפועל.

בחינת דירוג מספר התאונות מתוקנן לקילומטר נסועה – המשקף את ההסתברות לתאונה – מעלה כי בקרב קטעי כביש שבראש הדירוג (המכונים "כבישים אדומים") ניכר ייצוג גבוה יחסית לקטעים משניים מעוטי תנועה וייצוג נמוך לקטעי כביש בדרום הארץ. נמצאה נחיתות בולטת של המאפיינים ההנדסיים בכבישים המסוכנים ביחס ליתר קטעי הכביש. נערכה השוואה בין רשימות "הכבישים האדומים" של משטרת ישראל ושל "נתיבי ישראל" לרשימות מקבילות במחקר הנוכחי. התברר כי הראשונות אכן עולות בקנה אחד עם מטרות הארגונים לצמצם את המספר המוחלט של התאונות/עלותן.

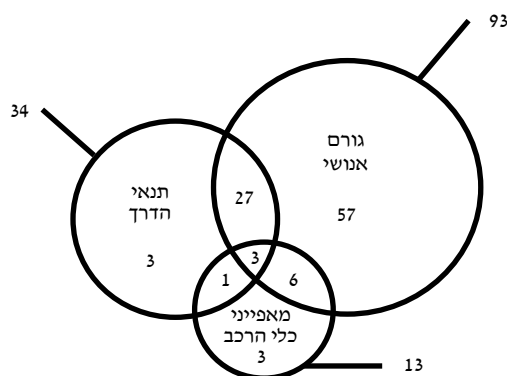
חשוב לבנות מסד נתונים לאומי מקיף – שיכיל נתונים כמו אלו ששימשו במחקר הנוכחי ונתונים רבים נוספים – כדי לאפשר להתחקות אחר הגורמים לתאונות דרכים ולתמוך בקביעת מדיניות (למשל לייעול של הקצאת ההשקעה בתשתיות ושל האכיפה המשטרתית). סדר העבודה הוא כדלקמן: בפרק השני נסקור את הספרות העוסקת בגורמים לתאונות דרכים ואת שיטות המחקר המקובלות. בפרק השלישי נתאר את בסיס הנתונים, וברביעי – את שיטות האמידה. בפרק החמישי נציג סטטיסטיקה תיאורית, ובשישי – את ממצאי האמידות. הפרק השביעי יעסוק בזיהוי כבישים מסוכנים ("כבישים אדומים"). נחתום בסיכום.

## 2. סקירת ספרות

### 2.1. ממצאים מרכזיים

את הגורמים התורמים להתרחשות תאונות נהוג לחלק כדלקמן: גורם אנושי, תנאי הדרך, מאפייני כלי הרכב והאינטראקציות ביניהם (American Association of State Highway and Transportation Officials [HSM], 2010). באיור 1 מוצגת באופן כללי התרומה של כל אחד מגורמים אלו להתרחשות תאונות דרכים.

איור 1. הגורמים לתאונות דרכים (אחוזים)



המקור: HSM, 2010.

המחקר הנוכחי מתמקד בהשפעות של תנאי הדרך (המאפיינים ההנדסיים של הכביש ומוג האוויר) והאכיפה המשטרתית על תאונות דרכים. לפיכך סקירת הספרות מתייחסת רק לגורמים אלו. היא מבוססת ברובה על סקירת הספרות המקיפה אצל Elvik et al. (2009)<sup>1</sup>.

נפח התנועה נחשב לגורם החשוב ביותר המשפיע על מספר תאונות הדרכים, שכן הוא מייצג את היקף החשיפה. גמישות התאונות ביחס לנפח התנועה היא כ-0.88. נפח תנועה החורג מקיבולת הכביש מקושר עם ירידה במספר התאונות, עקב האטת הנסיעה. כך מצאו פלד ופולק (2011) – כפי שיפורט בהמשך – שגמישות התאונות ביחס לנפח התנועה בישראל עומדת על כ-0.7. יצוין כי בעולם ובישראל נהוג להשתמש במוצע השנתי של נפח התנועה היומי (Annual – AADT – Average Daily Traffic), הנגזר לרוב מספירות תנועה בקטעי כביש בפרקי זמן קצרים, ועל כן אין התחשבות בהשפעות עונתיות על נפח התנועה.

אשר למאפיינים ההנדסיים, שוליים סלולים (hard shoulders) – בדרך כלל ברוחב טיפוסי של 1.0-0.3 מטר – מפחיתים את מספר התאונות עם נפגעים בממוצע בכ-17 אחוזים; רוחב שוליים סלולים ולא-סלולים (paved and unpaved) מקושר לרוב לפחות תאונות דרכים: בכבישים בין-עירוניים הרחבת השוליים מפחיתה את מספר התאונות ב-18–27 אחוזים. אין ממצאים חד-משמעיים לגבי רוחב התיב ומספר התיבים.

בכבישים שבהם הרדיוס האופקי קטן (עיקול חד) נמצא מספר תאונות גבוה יותר מאשר בכבישים בעלי רדיוס אופקי גדול יותר: בכבישים בעלי רדיוס קטן מ-200 מטרים לעומת רדיוס של 200–400 מטרים מספר התאונות גבוה פי 2<sup>2</sup>. פלד ופולק (2011) מצאו כי עיקול חד (עקמומיות גבוהה) מעלה את מספר התאונות הצפוי במקטע הדרך פי 2.5–4.5. בעולם נמצא כי שיפוע אופקי (עלייה/ירידה) תלול מעלה את מספר תאונות הדרכים: בכבישים בעלי שיפוע של 5–7 אחוזים לעומת שיפוע של 3–5 אחוזים מספר התאונות גבוה בכ-11 אחוזים<sup>3</sup>.

קיומה של מפרדה בין נתיבי תנועה נגדיים, ללא מעקה בטיחות, מפחית את מספר התאונות עם נפגעים ב-15 אחוזים; לאחר פיקוח על הנטייה להימנע מפרסום מחקרים שלא מצאו השפעה (להלן הטיית הפרסום) הפחתה זו שואפת לאפס. מפרדה עם מעקה בטיחות בכביש מהיר מחולק (רב-מסלולי) מקטינה את מספר התאונות עם נפגעים ב-30 אחוזים. התקנת מעקה בטיחות לצד הדרך (מפרדה חיצונית) מצמצמת את מספר התאונות ב-27 אחוזים (Elvik, 1995).

התקנת תאורה מפחיתה את מספר תאונות הדרכים עם נפגעים בשעות החשיכה בכ-15 אחוזים, ובכבישים מהירים – בכ-4 אחוזים.

רמת החספוס של הכביש, המעידה על איכותו, משפיעה לרעה על מספר תאונות הדרכים: בכביש חלק מספר תאונות הדרכים קטן בכ-27 אחוזים מאשר בכביש מחוספס (Anastasopoulos et al., 2008).

להשקעה הכספית בכביש (פרט לתחזוקה לקראת חורף וסימון הכבישים) לא נמצאה השפעה על מספר התאונות עם נפגעים (Fridstrom, 1999). במהלך עבודות שיפור התאונות עם נפגעים גדל בכ-17 אחוזים (Khattak et al., 2002).

<sup>1</sup> השוואה בין הממצאים המוצגים בסקירה לתוצאות המחקר מובאת בלוח 8 בהמשך.

<sup>2</sup> בכבישים בעלי רדיוס של 200-400 מטרים לעומת רדיוס של 400-600 מטרים מספר התאונות גבוה פי 1.5.

<sup>3</sup> בכבישים בעלי שיפוע של מעל 7 אחוזים לעומת שיפוע של 5-7 אחוזים מספר התאונות גבוה בכ-25 אחוזים.

גיטלמן ואחרים (2009) התייחסו למאפיינים הנדסיים נוספים לאלו הכלולים במחקרנו, ובדקו את התרומה של שיפורי תשתית נקודתיים בישראל בשנים 2005–2007 לצמצום מספר תאונות הדרכים באותם מקומות.

בחינתה של הורדת המהירות המותרת במדינות שונות בעולם מלמדת כי לרוב הצטמצמו התאונות וההרוגים (לוונהיים, 2003) – פועל יוצא מהפחתת מהירות הנסיעה: שינוי המהירות המותרת ב-10 קמ"ש משנה באותו כיוון את המהירות בפועל בכ-2.5 קמ"ש, והקשר בין מהירות הנסיעה בפועל למספר התאונות (ולחומרתן) הוא חיובי ומעריכי.

אשר לאכיפה המשטרתית, לפטרול משטרת בניידת גלויה לא נמצאה השפעה על תאונות הדרכים, ואילו פטרול בניידת סמויה נמצא כמגדיל את מספר תאונות הדרכים עם נפגעים ב-6 אחוזים. סביר כי הממצא האחרון נובע מהבחירה להשתמש בניידות סמויות בכבישים המועדים לתאונות (בעיית האנדוגניות). הצבה ראשונה של מצלמות אוטומטיות בכביש גוררת ירידה של 24 אחוזים במספר תאונות הדרכים; הגדלת מספר המצלמות ביותר מפי 2 מהרמה הקודמת גררה ירידה של 35 אחוזים במספר תאונות הדרכים<sup>4</sup>. לגבי הממצאים הנוגעים למצלמות אוטומטיות לא בוצע תיקון בגין הטיית פרסום, ועל כן יש חשש כי מדובר בהערכות יתר. לגבי מצלמות המופעלות על ידי שוטרים (מצלמות ידניות) לא התקבלו ממצאים חד-משמעיים.

במחקר שנערך בישראל על נתוני 1993–1995 (גפני, 2000) נעשה ניסיון להתמודד עם בעיית האנדוגניות של האכיפה המשטרתית, הנובעת מהקצאת אמצעי האכיפה בהתאם לרמת הסיכון של הכביש. לשם כך נערכה אמידה דו-שלבית תוך שימוש במשתנה עזר של קרבה לתחנות משטרת התנועה הארצית (מתנ"א) – משתנה העשוי להעיד על נוכחות משטרתית מוגברת מסיבות שאינן קשורות לתאונות. ואולם משתנה העזר כשל. מודלים שבהם בוצעה אמידה ישירה (ללא משתנה העזר) כללו, נוסף על מספר דוחות התנועה (הידיניים והאוטומטיים יחדיו) בחודש השוטף, גם את המשתנים המסבירים של נפח התנועה, מספר התאונות בחודש הקודם, מספר הדוחות בחודש הקודם ומשנתני דמי לחודש ולשנה; במודלים אלו לא נמצאה השפעה של מספר הדוחות על ההסתברות לתאונות דרכים. בחלק מהמודלים נמצאה השפעה של מספר הדוחות בחזקה שנייה, שלישית או רביעית (המשקפים לכאורה הרתעה), אך כיוון ההשפעה אינו עקבי.

ייתכן שהשפעת האכיפה המשטרתית על תאונות הדרכים מתווכת דרך השפעתה על מהירות הנסיעה: בכבישים בישראל שבהם הותקנו לאחרונה מצלמות מהירות נמצא כי מהירות הנסיעה הממוצעת פחתה בכ-2–4 קמ"ש (בר-גרא ואחרים, 2013).

מרבית הספרות המחקרית לגבי השפעת מזג האוויר עוסקת במשקעים, ומספר תאונות הדרכים נמדד לרוב ביחידת זמן קצרה יחסית (למשל יום). בתנאי גשם מספר תאונות הדרכים עולה ב-71 אחוזים (Qiu and Nixon, 2008). לגבי השפעת הטמפרטורה אין ממצאים חד-משמעיים (Koshal, 1976; Brijs, et al., 2008).

השפעת הגורם האנושי נובעת ממכלול קשיים קוגניטיביים (ביניהם יכולת מוגבלת לעבד אינפורמציה ולחלק קשב), המועצמים בהתאם למצב המנטלי (כעייפות) (HSM, 2010), וכן מנורמות חברתיות ותרבותיות, כציות לחוק. גורמים אלו קשים למדידה ואינם זמינים לנו, בפרט בחלוקה לקטעי כביש. על כן, בדומה לנהוג בתחום, לא עשינו בהם שימוש כגורמים מסבירים לתאונות דרכים על אף תרומתם הניכרת.

<sup>4</sup> הגדלת מספר המצלמות בפחות מפי 2 מהרמה הקודמת גררה ירידה של 17 אחוזים במספר תאונות הדרכים.

## 2.2. שיטות מרכזיות

במחקרי תאונות דרכים רווח השימוש בכמה שיטות מרכזיות, כמתואר ב-HSM (2010):

(1) הערכת האפקטיביות של שיפור בטיחותי – השוואת מספרן או שיעורן של תאונות הדרכים ביחס להיקף הנסועה לפני השיפור ואחריו, תוך השוואה לקבוצת ביקורת. שיטה זו מקובלת בישראל. (ראו למשל טי.אנ.אמ., 2002).

(2) אמידת מספר תאונות הדרכים בעזרת מודל סטטיסטי. מודלים מסוג זה נאמדים לרוב על סמך נפח התנועה ואורך קטע הדרך, בנפרד לגבי סוגי דרך/צומת שונים ורמות חומרה שונות של התאונות. במחקרים בחו"ל שכיחה הכללת מאפיינים הנדסיים של הכביש כגורמים מסבירים (גיטלמן וכרמל, 2012). גישה זו ננקטה בעבודה הנוכחית.

כדי לאמוד את הגורמים לתאונות הדרכים על פי שיטה (2) דרושים נתונים על תאונות דרכים בסדרות עתיות (Time Series). נתונים אלה הם מסוג נתוני מנייה (Count Data) – נתונים שלמים אי-שליליים המבטאים את מספר התאונות (או הנפגעים) שהיו בפרק זמן מוגדר בקטע כביש. באמידת מספר התאונות כרוכה בעיה ידועה של ריבוי אפסים במשתנה המוסבר – כלומר ריבוי קטעי כביש שבהם לא אירעה תאונה ביחידת הזמן המוגדרת. תכונה זו של הנתונים הופכת את השימוש ברגרסיות ליניאריות סטנדרטיות, המניחות התפלגות נורמלית, ללא סביר (Miaou, 1993). לפיכך נהוג להתייחס להתפלגות תאונות הדרכים כאל התפלגות פואסונית הנובעת מסדרת ניסיונות ברנולי (כאשר תאונה נחשבת כ"הצלחה" והיעדרה כ"כישלון"). ההתפלגות הבינומית השלילית היא הרחבה של ההתפלגות הפואסונית, המאפשרת להתמודד עם מצב אופייני, שבו השונות גדולה מהממוצע (over-dispersion)<sup>5</sup>.

בשנות התשעים הוצג באופן פורמלי מודל מסוג Zero-Inflated התואם מצבים שבהם המשתנה המוסבר הוא משתנה מונה, המאופיין בריבוי תצפיות שערך אפס. ההנחה מאחורי מודל זה היא כי התצפיות מגיעות משני מקורות שונים מהותית: הראשון – הליך ספירה רגיל (שבו יש סבירות מסוימת לקבלת אפס); השני – מצב שבו ישנה ודאות מלאה לקבלת אפס<sup>6</sup>. נמתחה ביקורת לגבי ההתאמה של הנחה זו לנתוני תאונות דרכים (שכן על פניו לא ניתן לטעון כי ישנם קטעי כביש שהם תמיד נטולי תאונות), אך עקב התאמה סטטיסטית עדיפה השימוש במודל זה רווח במחקרי תאונות דרכים (Lord et al., 2005).

אתגר נוסף במידול תאונות דרכים הוא המיתאם הבין-תקופתי העשוי לנבוע משימוש בנתוני פאנל, שכן מאפייני הכביש מתואמים על פני זמן. כמו כן יש מיתאם תוך-תקופתי בין המאפיינים השונים של קטע הכביש, וכן מיתאם בין קטעי כביש שונים באותו מרחב גיאוגרפי. עם היבטים אלו מתמודדים מודלים שונים (Lord & Mannering, 2010), ביניהם מודלים מסוג Fixed Effect, Random Effect ו-General Estimating Equations (GEE). להרחבה ראו פרק 4.

<sup>5</sup> מצבים שבהם השונות קטנה מהממוצע (under-dispersion) אינם נפוצים, אך ניתן להתמודד עמם על ידי התפלגות מסוג Conway-Maxwell-Poisson (Lord and Mannering, 2010).

<sup>6</sup> דוגמה קלאסית למקרה התואם הנחה זו: אוכלוסייה שנטלה חלק בפעילות אך כשלה, לעומת אוכלוסייה שלא השתתפה בפעילות, ועל כן, במונחי המחקר, רשמה תמיד כישלון.

המחקר הישראלי הדומה ביותר לזה הנוכחי הוא מחקרם של פלד ופולק (2011), שבחן את ההשפעה של מאפיינים הנדסיים ומרחביים על תאונות דרכים עם נפגעים בכבישים בין-עירוניים (לא בצומת) בשנים 2005–2007. עם זאת יש הבדלים ניכרים בין שני המחקרים: (1) המשתנה המוסבר – המשתנה המוסבר בעבודה זו הוא מספר תאונות הדרכים בכל חודש, לעומת ממוצע חודשי רב-שנתי של מספר תאונות הדרכים בעבודה של פלד ופולק. כפועל יוצא, שיעור התצפיות שבהן לא אירעה אף תאונת דרכים בקטע הכביש נמוך יותר אצל האחרונים; (2) המשתנים המסבירים – בעבודה הנוכחית שולבו משתנים מסבירים נוספים על אלו המופיעים אצל פלד ופולק, ובכללם מיגוון מאפיינים הנדסיים, ההשקעה בכבישים, האכיפה המשטרתית ומזג האוויר; (3) אורך יחידת החקירה – כאן נעשה שימוש בקטע כביש על פי הגדרת הלמ"ס, בעוד שאצלם אורכה של יחידה נחקרת קבוע וקצר (למשל קילומטר); (4) מספירות התנועה כאן נוכחה עונתיות, בעוד שאצל פלד ופולק מדובר בנתונים הגולמיים של הספירות שנערכו במשך שבוע אחד בשנה בקטע הכביש; (5) התקופה הנחקרת – במחקר הנוכחי נחקרו השנים 2005–2009, ואצל פלד ופולק – השנים 2005–2007.<sup>7</sup>

### 3. בסיס הנתונים

#### 3.1. היחידה הנחקרת

היחידה הנחקרת היא תאונות דרכים עם נפגעים בימי חול במהלך חודש בקטע כביש בין-עירוני (לא בצומת). אנו מתמקדים בתאונות דרכים עם נפגעים, משום שאין מידע על תאונות ללא נפגעים. לא נערכה אמידה של מספר הנפגעים, משום שהוא תלוי במידה רבה במאפייני כלי הרכב בכבישים ובמספר הנוסעים בתוך כלי הרכב (הרחבה בסעיף 3.3), ועל אלה אין מידע<sup>8</sup>. בנפח התנועה יש הבדלים ניכרים בין ימי חול לימי שישי ושבת (ראו איור נ"ב-3 בנספח). בנוסף, בימי חול מרבית הנוסעים הם יוממים (commuters), ומכאן שוני במאפייני הנהגים. לפיכך המחקר מתמקד בתאונות שאירעו בימים א'–ה' בלבד. הנתונים המקוריים התקבלו בחלקם ברמה שעתית, ואחרים קובצו ליחידות שעתיות. נדגיש כי ככל שהנתונים מקובצים בתדירות גבוהה יותר קל יותר לקשור בין אירועים קשר סיבתי. עם זאת התברר כי לא ניתן לבצע אמידות שעתיות בגלל השכיחות הגבוהה של מקרים שבהם לא היו תאונות דרכים בקטע כביש בשעה מסוימת (כ-99.9 אחוזים). יצוין כי גישות סטטיסטיות המציעות פתרונות לריבוי אפסים במשתנה התוצאה, כאמידת Zero-Inflated, לא מאפשרות להתמודד עם ריבוי כה קיצוני של אפסים; סף מרבי מקובל לשיעור האפסים הוא כ-90 אחוזים. לפיכך הורחבה היחידה הנחקרת לרמה חודשית, שבה שיעור המקרים שבהם לא היו תאונות

<sup>7</sup> שני הבדלים נוספים הם:

א. חלוקה לכיווני תנועה – בעבודה זו אוחדו שני כיווני התנועה עקב רישום שגוי של כיווני התנועה על ידי משטרת ישראל (כפי שמוסבר בסעיף 3.3 בהמשך), ואילו אצל פלד ופולק (2011) נערכה אמידה נפרדת לכל כיוון.  
ב. ההתפלגות – בעבודה הנוכחית אמידות Pooled Cross-Section התבצעו בהנחת התפלגות מסוג Zero Inflated Negative Binomial (ZINB) – להסברים ראו פרק 4. לעומת זאת בעבודה של פלד ופולק אמידת Pooled Cross-Section נערכה בהנחה של התפלגות NB.

<sup>8</sup> ניתן היה לבדוק מהם הגורמים המשפיעים על מספר הנפגעים בהינתן שהתרחשה תאונה עם נפגעים. (אין, כאמור, מידע זמין על תאונות ללא נפגעים.) זוהי שאלת מחקר שונה מהותית משאלת המחקר הנוכחי, הבוחר את ההסתברות לעצם ההתרחשות של תאונה עם נפגעים.



דרכים בכבישים בין-עירוניים שלא בצומת עמד על כ-85 אחוזים<sup>9</sup>. היתרון של יחידה חודשית נעוץ בהיותה משקפת מאפיינים המתואמים עם תקופות השנה, כמזג האוויר ומאפייני הנוסעים (למשל ירידה של היוממות בקיץ עקב חופשות). החיסרון הוא הטרוגניות במאפיינים שונים על פני היממה והחודש. לכן ערכנו אמידות נפרדות גם לגבי שעות הלילה.

לפי הגדרת הלמ"ס קטע כביש הוא חלק מן הכביש התחום בשני צמתים, ומאופיין בנפח תנועה שונה מן החלקים הצמודים לו, או תחום בקטע דרך עירוני.

ההעדפה של קטע כביש כיחידה נחקרת על פני כבישים שלמים נבעה משתי סיבות. ראשית, קטעי הכביש חולקו על פי נפח התנועה בהם, ובספרות המחקר נפחי התנועה הם הגורם העיקרי לתאונות דרכים; על כן קטע כביש הוא יחידה טבעית. שנית, בכבישים שלמים רבה ההטרוגניות במאפיינים שונים – למשל הנדסיים – המשפיעים על ההסתברות לתאונות דרכים.

קטעי הכביש הועדפו על חלוקתם ליחידות קצרות יותר – כפי שעשו, למשל, פלד ופולק (2011). זאת כדי להימנע מבעיות מדידה: בהעדר מידע פרטני על תכונות שונות של תת-קטעים נדרש להניח שתכונות אלו זהות לכל אורך הקטע.

ההתמקדות בקטעי כביש בין-עירוניים נובעת מן הרצון לבחון את ההשפעה של המאפיינים ההנדסיים והאכיפה המשטרית על תאונות דרכים, השפעה שקשה להתחקות אחריה בכבישים עירוניים. תאונות בכבישים עירוניים מושפעות במידה לא מבוטלת מהתנהגות הולכי הרגל במרחב העירוני, שאינה עומדת במוקד המחקר, ואין עליה נתונים.

בסיס הנתונים כולל 569 קטעי כביש בין-עירוניים, המשתרעים על פני כ-3,764 קילומטרים<sup>10</sup>. כביש 6 הושמט מבסיס הנתונים, משום שבהיותו כביש פרטי אין לגביו נתונים הנדסיים מ"נתיבי ישראל" וספירות תנועה מהלמ"ס באותה העת (פירוט בסעיף 3.2).

צמתים ומחלפים נבדלים מהותית מיתר קטעי הכביש במאפייניהם ההנדסיים. לפיכך, בספרות המחקרית הבוחנת את הגורמים לתאונות דרכים נהוג לעסוק בהם בנפרד. (ראו גיטלמן ואחרים, 2008). כיוון שאין בידינו מידע על המאפיינים ההנדסיים של הצמתים (למשל סוג הצומת והרימזור) והמחלפים, הוחלט להתמקד בתאונות שאירעו ביתר חלקיהם של קטעי הכביש.

### 3.2. בסיסי הנתונים והתקופה הנחקרת

בסיסי הנתונים למחקר מכילים קבצים שעניינם תאונות דרכים עם נפגעים בישראל, ספירות תנועה בכבישי הארץ, מאפיינים הנדסיים של הכבישים, ההשקעה הממשלתית בהם, מזג האוויר והאכיפה משטרית.

*תאונות הדרכים עם נפגעים* – הנתונים על תאונות הדרכים בישראל התקבלו מהלמ"ס וכוללים קובצי תאונות מסוג ת"ד<sup>11</sup> – תאונות דרכים עם לפחות נפגע אחד שדווחו למשטרת ישראל ונחקרות על ידה<sup>12</sup>, עבור כבישים בין-עירוניים בשנים 2002-2009. (להסברים ראו: הלשכה

<sup>9</sup> מעבר לרמה יומית לא הספיק, מפני ששיעור המקרים שבהם לא התרחשו תאונות דרכים הגיע לכ-97.5 אחוזים, וכך גם במעבר לרמה שבועית.

<sup>10</sup> כיוון עולה וכיוון יורד של הכביש נספרים כאן פעם אחת בלבד.

<sup>11</sup> נכון לתקופה הנחקרת לא היו נתונים על תאונות המוגדרות כ"תיק כללי עם נפגעים" – תאונות דרכים קלות שאינן נחקרות על ידי המשטרה.

<sup>12</sup> משטרת ישראל אינה רושמת תאונות שבהן מעורב רכב צבאי בלבד.

המרכזית לסטטיסטיקה, 2010ב). יש להדגיש שהדיווח על תאונות קטלניות מדויק ומפורט יותר מזה הנוגע לתאונות עם נפגעים שאינם הרוגים<sup>13</sup>. אין מידע זמין על תאונות דרכים ללא נפגעים.

*ספירות התנועה* – נפחי התנועה בקטעי כביש בשנים 2005–2009, כפי שנמדדו על ידי הלמ"ס. נפח התנועה הוא מספר כלי הרכב שעברו בקטע כביש בכיוון מסוים בכל שעה, ואלו נמדדו במשך שבוע אחד, בדרך כלל אחת לשנה. נפחי התנועה השעתיים על פני השנה כולה נאמדו בכל אחד מקטעי הכביש – פירוט בהמשך.

*מאפיינים הנדסיים* – המידע על המאפיינים ההנדסיים של סגמנטים בכבישים בין-עירוניים (בדרך כלל בני 100 מטרים) התקבל מ"נתיבי ישראל – החברה הלאומית לתשתיות תחבורה בע"מ" (בעבר מע"צ ו"החברה הלאומית לדרכים"), ונכון לשלוש נקודות זמן לכל היותר – 2002, 2007 ו-2009 – בהתאם לזמינות הנתונים.

*ההשקעות בכבישים* – בהסתמך על ספר תקציב המדינה (על תקנותיו) ותוכניות הפיתוח של החשב הכללי חושבה ההשקעה השנתית בכבישים / קטעי כביש לפי סוג בשנים 1994–2009.

*מזג האוויר* – נתוני מזג האוויר לשנים 2006–2011 התקבלו מהשירות המטאורולוגי הישראלי. הנתונים נאספו מכל התחנות המטאורולוגיות ברחבי הארץ<sup>14</sup>.

*האכיפה המשטרתית* – אגף התנועה במשטרת ישראל העמיד לרשותנו קובץ דוחות תנועה אוטומטיים (מצלמות מהירות ורמזור) וידניים, החל מחודש יוני 2005 ועד סוף שנת 2009. יש להדגיש שבאותה העת לא נאסף מידע על צעדי אכיפה שלא נסתיימו בדוחות (למשל סיורי ניידות משטרת התנועה הארצית).

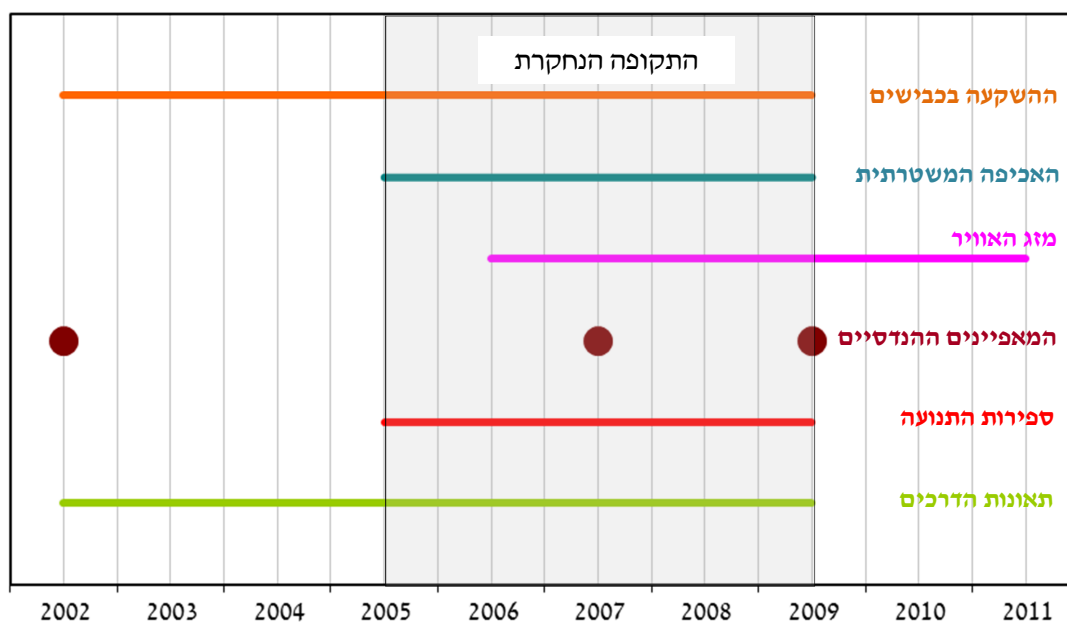
*מאפייני הנהגים וכלי הרכב* – נתונים על מאפייני הנהגים באזורים השונים בארץ חושבו מסקר הרגלי נסיעה של הלמ"ס לשנים 1996/7 (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 1998), המועד האחרון שבו נערך הסקר. אמנם הנתונים ישנים, אך ניתן לשער שאלו לא השתנו משמעותית, משום שהפריסה המרחבית של האוכלוסייה לפי מאפיינים חברתיים-כלכליים משתנה לאט, וכך גם התפרוסת הגיאוגרפית של מקומות המגורים ביחס למקומות העבודה (המשליכה על היוממות). מחמת קשיים בשימוש במאפייני הנהגים וכלי הרכב באמידות הוחלט לוותר עליהם. לפירוט ראו סעיף 3.3 בהמשך.

התקופה הנחקרת, השנים 2005–2009, נבחרה משום שבמהלכה יש כיסוי מרבי של בסיסי הנתונים המרכזיים (איור 2). היחידה הנחקרת היא חודש, ועל כן סוכמו הערכים במהלך החודש (למשל מספר תאונות הדרכים), או חושב הממוצע (למשל טמפרטורה), והכול בהתאם להגדרת המשתנה. להרחבה ראו סעיף 3.3.

<sup>13</sup> לפירוט ראו פישמן (2011). השוואה של נתוני המשטרה לנתוני מגן דוד אדום מעידה אף היא על כיסוי החסר בדיווח על תאונות דרכים על ידי המשטרה.

<sup>14</sup> לאחרונה הונגשו הנתונים המטאורולוגיים ב-<http://data.gov.il/ims>.

## איור 2. תקופת הכיסוי של בסיסי הנתונים



### 3.3. דרך הבנייה של מסד הנתונים והמשתנים

#### 3.3.1. תאונות הדרכים עם נפגעים

הנתונים מקיפים דיווחים למשטרת ישראל על תאונות הדרכים עם לפחות נפגע אחד בכבישים בין-עירוניים בשנים 2002–2009. לכל רשומה צוין כיוון התנועה שבו אירעה התאונה (ק"מ עולה/יורד של הכביש). מניתוח הקובץ עולה שכ-85 אחוזים מהתאונות התרחשו בכיוון העולה, אף שבכל כיוון היו צפויות להתרחש כמחצית מהתאונות. לפיכך ניתן להעריך שבמקרים רבים כיוון התנועה שנרשם בקובץ שגוי. על כן הוחלט לאחד את שני כיווני התנועה ליחידה נחקרת אחת. באופן דומה, גם שאר נתוני המחקר אוחדו לשני כיווני התנועה.

#### 3.3.2. ספירות התנועה

נפחי התנועה נמדדו על ידי הלמ"ס בכל קטע כביש בשנים 2005–2009 בתדירות שעתית במשך שבוע אחד בלבד<sup>15</sup>. ספירות התנועה נערכות אחת לשנה בקטעי כביש בעלי נפחי תנועה גדולים, אך רק אחת לשנתיים-שלוש – בקטעי כביש בעלי נפחי תנועה קטנים. בכל שנה נמדדים הנתונים בקטע כביש בתקופה אחרת של השנה, כדי לעמוד על ההבדלים בנפח התנועה במהלך השנה. לצורך המחקר דרושה סדרה של נפחי התנועה בקטעי הכביש בכל חודש. זו נוצרה בכמה שלבים:

<sup>15</sup> ביהודה ושומרון נערכו מעט מאוד ספירות תנועה, בעיקר בכבישים המרכזיים (למשל כביש הבקעה [90]), כביש גב ההר [60], כביש 443, ולכן האמידות נוגעות רק לכבישים אלו.

- א) חישוב ממוצע נפח התנועה השעתי החמש-שנתי בכל קטע כביש, בכל כיוון תנועה, ובנפרד לשעות היום, לשעות הלילה ולשעות הדמדומים, לימים א'-ה' ולימי שישי ושבת.
- ב) חישוב הסטייה האחוזית בין נפח התנועה השעתי בפועל לבין נפח התנועה השעתי הממוצע החמש-שנתי.
- ג) אמידת הסטייה בנפח התנועה השעתי כתלות בשנה, בחודש, ביום בשבוע ובשעה ביממה (להלן משתני העונתיות). האמידה נערכה בנפרד לגבי קטעי כביש בעלי נפח תנועה הגדול מהנפח החציוני ולגבי קטעי הכביש האחרים. מקדמי עונתיות נפח התנועה מוצגים באיורים בנספח נ'-3.
- ד) הערך החזוי של נפח התנועה השעתי לכל קטע כביש חושב על סמך ממוצע נפח התנועה השעתי החמש-שנתי בתוספת אומדי משתני העונתיות.
- ה) ספירת התנועה החודשית חושבה על ידי סיכום של נפחי התנועה השעתיים החזויים בכל קטע כביש במהלך החודש בשני הכיוונים יחדיו.

### 3.3.3. המאפיינים ההנדסיים

המאפיינים ההנדסיים שהתקבלו מ"נתיבי ישראל" נוגעים לסגמנט כביש, שהוא חלק כביש (בדרך כלל באורך 100 מטרים). לרוב רובם של המאפיינים ההנדסיים היה מידע בנקודת זמן אחת, וערך זה הוחל על כל התקופה הנחקרת.

ערך המאפיין ההנדסי של קטע הכביש חושב על ידי שקלול מאפייני הסגמנטים בקטע בהתאם לאורכם. ערכים מרביים ומזעריים לקטע נבחרו מבין כל הסגמנטים. במקרה של מאפיינים הנדסיים המקבלים ערכים חיוביים ושליילים נערך השקלול לפי ערכם המוחלט כדי למנוע קיזוז של האחד את רעהו, למשל במקרה של שיפוע אנכי (המתאר את תלילות הסגמנט) המקבל ערכים חיוביים (עלייה) וערכים שליליים (ירידה).

בעקבות רישום שגוי של כיווני תאונות הדרכים אוחדו, כאמור, מספרי תאונות הדרכים משני הכיוונים, ולכן גם המאפיינים ההנדסיים. לגבי מרבית המאפיינים ההנדסיים חושב האיחוד כממוצע של ערכי המשתנים בשני כיווני התנועה. במקרה של רדיוס ושיפוע אופקי קיצוני נבחרו הערכים הקיצוניים מבין כל הסגמנטים בקטע. מספר עמודי התאורה ומספר הצמתים הם סכום ערכיהם בשני כיווני התנועה. המאפיינים ההנדסיים מתוארים בלוח 1.

לוח 1. המאפיינים ההנדסיים

| שם המשתנה                       | הסבר                                                                                                                          | נכון לשנת | הערות/אופנויות                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| מספר הכביש                      |                                                                                                                               |           |                                                                                                                                                                                                                                  |
| מספר הקטע                       |                                                                                                                               |           |                                                                                                                                                                                                                                  |
| אורך הקטע (מטרים)               |                                                                                                                               |           |                                                                                                                                                                                                                                  |
| רוחב השוליים הסלולים (מטרים)    |                                                                                                                               | 2009      |                                                                                                                                                                                                                                  |
| רוחב השוליים הלא-סלולים (מטרים) |                                                                                                                               | 2009      | במקום שיש בו שוליים סלולים רוחב השוליים הלא-סלולים שווה ל-0.                                                                                                                                                                     |
| מדד איכות                       | PCI – Pavement Condition Index.                                                                                               | 2007      | נמדד בין 0 ל-100 (האיכות הגבוהה ביותר).                                                                                                                                                                                          |
| הגליות                          | סטייה של השכבה הסלולה ביחס למישור.                                                                                            | 2009      | המשתנה מקבל ערכים שבין 0.75 ל-6.5. ערך גבוה יותר משקף גליות נמוכה יותר של כביש.                                                                                                                                                  |
| רדיוס אופקי (מטרים)             | מידת העקמומיות האופקית של הכביש ביחס לקו ישר, כלומר רדיוס העיגול שהיה נוצר אילו נמשך קטע הכביש באותה עקמומיות עד לסגירת מעגל. | 2009      |                                                                                                                                                                                                                                  |
| רדיוס אופקי קיצוני              | משתנה דמי המקבל את הערך 1 כאשר הרדיוס האופקי סוגר מעגל של עד 250 מטרים.                                                       | 2009      | ערך נמוך יותר משקף מידת עקמומיות גבוהה יותר. מקובל לחלק את הערכים כך:<br>1. עד 100 מטר – מסוכן מאוד.<br>2. 100 עד 250 מטר – מסוכן במידה בינונית.<br>3. 250 עד 1,000 מטר – מסוכן במידה מועטה.<br>4. מעל 1,000 מטר – לא מסוכן כלל. |
| שיפוע אופקי (אחוזים)            | תלילות הכביש ביחס לאופק.                                                                                                      | 2009      |                                                                                                                                                                                                                                  |
| שיפוע אופקי קיצוני              | משתנה דמי המקבל את הערך 1 עבור שיפוע של מעל 5 אחוזים בערכו המוחלט.                                                            | 2009      | שיפוע הגדול מ-5 אחוזים בערכו המוחלט נחשב לשיפוע מסוכן.                                                                                                                                                                           |
| מספר הנתיבים                    | מספר הנתיבים הממוצע בקטע כביש.                                                                                                | 2007      |                                                                                                                                                                                                                                  |
| רוחב הנתיב (מטרים)              |                                                                                                                               | 2007      |                                                                                                                                                                                                                                  |
| מהירות המותרת (קמ"ש)            |                                                                                                                               | 2007      |                                                                                                                                                                                                                                  |
| מפרדה                           | משתנה דמי לקיומה של מפרדה בין נתיבים נגדיים בקטע הכביש.                                                                       | 2007      | משתנה דמי המקבל את הערך 1 אם הערך השכיח בקטע הכביש הוא אחד מסוגי המפרדה הבאים: בנויה (עם ובלי מעקה בטיחות), לא בנויה (עם ובלי מעקה בטיחות).                                                                                      |
| עמודי תאורה                     | מספר עמודי התאורה בקטע הכביש.                                                                                                 | 2009      |                                                                                                                                                                                                                                  |
| שיעור המפרדה החיצונית           | שיעור קטע הכביש שיש בו מפרדה מהצד החיצוני של הכביש (כלומר בשוליים).                                                           | 2009      | מספר בין 0 ל-1.                                                                                                                                                                                                                  |
| צמתים ממוספרים                  | מספר הצמתים בקטע הכביש שהם בין כבישים ממוספרים.                                                                               | 2009      |                                                                                                                                                                                                                                  |

3.3.4. ההשקעות בכבישים

נתוני ההשקעות בכבישים נלקחו מספרי תקציב המדינה (על תקנותיו) ומתוכניות הפיתוח של החשב הכללי בשנים 1994–2009. היה מקום להשתמש גם בנתונים על הוצאות התחזוקה

השוטפת, המשפיעות על איכות הכביש, אולם הנתונים לא היו זמינים. שווי מלאי ההשקעה בקטע הכביש בשנה השוטפת חושב כשווי סך ההשקעה בכביש (במחירים קבועים של 2009), מהוון ממועד ההשקעה בשיעור ריבית שנתית של 4 אחוזים. כמו כן הוגדר משתנה דמי לעבודות בכביש, המציין כי היה בשנה השוטפת פרויקט פעיל.

ההשקעה בכבישים אמורה להשתקף במלואה במאפיינים ההנדסיים של הכביש. ואולם, הואיל וישנם מאפיינים הנדסיים בלתי נצפים, ועל רמת האיכות והבלאי של המאפיינים ההנדסיים הנצפים אין ברשותנו מידע, אנו למדים מן המידע על ההשקעה בכבישים ועיתויה על מצבו ההנדסי של הכביש.

### 3.3.5. מזג האוויר

נתוני מזג האוויר התקבלו מהשירות המטאורולוגי הישראלי, ומכסים את כל התחנות המטאורולוגיות בשנים 2006–2009.

לגבי כל תחנה קובצה כמות הגשם במהלך החודש וחושבה הטמפרטורה הממוצעת. לאחר מכן נערך מיצוע לרמת הנפה. נתוני הגשם והטמפרטורה יוחסו לקטע הכביש על פי הנפה שבה הוא עובר. הושמטו תחנות המרוחקות מנפחי תנועה משמעותיים. רשימת התחנות המטאורולוגיות לכל נפה מצורפת בנספח נ'4.

טמפרטורה נמוכה מאפס עלולה לגרום להחלקה על הכביש. על כן הוגדר המשתנה *קיפאון*, המייצג את מספר הפעמים בחודש (ביחידות זמן של 10 דקות) שבהן נמדדה טמפרטורה נמוכה מאפס מעלות צלזיוס (0.5 אחוז מהזמן). באופן דומה הוגדרה טמפרטורה גבוהה במיוחד כמספר הפעמים בחודש שבהן נמדדה טמפרטורה העולה על 40 מעלות צלזיוס (0.3 אחוז מהזמן). כמו כן, הוגדר משתנה המייצג ממטרים כבדים – מספר הפעמים בחודש שבהן נרשמו מעל 10 מילימטרים של גשם במשך 10 דקות.

### 3.3.6. דוחות התנועה

הקובץ כולל את מספר דוחות התנועה שנרשמו במהלך תקופת המחקר – דוחות שרשמו ידנית שוטרי אגף התנועה במשטרת ישראל ודוחות אוטומטיים שהופקו על ידי מצלמות מהירות ומצלמות רמזור.

מיקום דוחות התנועה מדווח במונחי ק"מ כביש, ואלו הומרו לקטעי כביש. לגבי דוחות שבהם מצוין מספר הכביש אך לא הק"מ חושבה התפלגות דוחות התנועה בכל כביש על פי קטעי כביש, ובהתאם להתפלגות זו פוזרו הדוחות בין קטעי הכביש. עבור דוחות שבהם מצוין האזור הגיאוגרפי שבו הם נתקבלו אך לא מצוין מספר הכביש חושבה התפלגות דוחות התנועה בכל קטעי הכביש באזור, ובהתאם להתפלגות זו פוזרו הדוחות בין הקטעים.

בשל הנחה בדבר הרתעה עתידית (המקבלת משנה תוקף כשמדובר בנהגים הנוסעים בכביש בתכיפות<sup>16</sup>) הוגדר משתנה המייצג את מספר הדוחות שניתנו בקטע בשלושת החודשים הקודמים לחודש השוטף, וזאת נוסף על המשתנה של מספר הדוחות שניתנו בקטע הכביש במהלך החודש

<sup>16</sup> האמידות כוללות תאונות שאירעו בימי חול בלבד – אז חלקם של היוממים (נהגים הנוסעים מהבית ליום עבודה) גבוה.

השוטף. כמו כן הוגדר משתנה של שעות האכיפה – מספר השעות במהלך החודש שבהן ניתן בקטע לפחות דוח תנועה ידני אחד. משתנה שעות האכיפה מעיד על התשומה המשטרית.

פעולת אכיפה עשויה להשפיע על התנהגות הנהגים גם בהמשך מסלול נסיעתם. על כן היה מעניין לבחון את ההשפעה של האכיפה בקטע כביש על התרחשות תאונות דרכים בקטעים סמוכים לו. ואולם, מאחר שקטעי הכביש הם ארוכים יחסית (בממוצע כ-6.7 ק"מ – ראו נספח 5) ההשפעה המרחבית מגולמת בתוך קטע הכביש.

הוחלט שלא להשתמש בדוחות התנועה האוטומטיים המתקבלים ממצלמות כמשתנים מסבירים, וזאת מהטעמים הבאים: ראשית, קיימת בעיית אנדוגניות, הנובעת מהצבה סלקטיבית של מצלמות בהתאם לרמת הסיכון המאפיינת את קטע הכביש. (באמידות שערכנו נמצא כי נוכחות מצלמה בקטע גוררת עלייה של כ-24 אחוזים בסיכוי לתאונה.) בעיה זו מועצמת משום שמדובר בהשקעה חד-פעמית גדולה. שנית, ברוב המוחלט של קטעי הכביש לא הוצבה מצלמה במהלך התקופה הנחקרת, וכיוון שהזיהוי באמידות הפאנליות מושתת על השתנות המשתנה המסביר במהלך תקופה זו לא ניתן לבחון את השפעת הצבתן של מצלמות המהירות. יתר על כן, כיוון שאין בידינו מידע על מועד הצבתן של המצלמות, נוכחות מצלמה זוהתה החל ממתן הדוח האוטומטי הראשון בקטע. ואולם, במקרה שמצלמה הוצבה בקטע אך לא רשמה דוחות, ייתכן זיהוי לא מדויק של מועד הצבתה<sup>17</sup>.

במחקר המשך תיבחן השפעת הפריסה הנרחבת של מצלמות מהירות ורמזור בכבישים בין-עירוניים החל משלהי שנת 2011 ("פרויקט א3" של משטרת ישראל) על הסיכוי לתאונות דרכים. המחקר יאפשר להתמודד עם בעיית האנדוגניות ולעמוד על השפעת האכיפה האוטומטית.

### 3.3.7. מאפייני הנהגים וכלי הרכב

מאפייני הנהגים וכלי הרכב הנוסעים בדרכים בין-עירוניות חושבו על פי סקר הרגלי נסיעה של הלמ"ס לשנים 1996/7 (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 1998). מאפייני הנהגים וכלי הרכב במחקר חושבו ברמה מחוזית, משום שהסקר לא כולל את מסלול הנסיעה של הנהג אלא רק את המוצא והיעד.

הוחלט להשמיט את מאפייני הנהגים וכלי הרכב מבסיס הנתונים. ראשית, מפני שהתגלו מיתאמים גבוהים מאוד בין מאפיינים שונים, ולכן אי אפשר לזקק משתנה מסוים כגורם המשפיע. דוגמה בולטת לכך היא מיתאם של 0.93 בין שיעור הנהגים הלא-יהודים לשיעור הנהגים הצעירים (מתחת גיל 25) מסך הנהגים במחוז, שבגללו לא ניתן להפריד בין השפעת הלאום של הנהג להשפעת גילו על תאונות הדרכים. שנית, הואיל וסקר הרגלי הנסיעה כולל רק נקודות מוצא ויעד, דבר שחייב קיבוץ של הנתונים לרמה מחוזית, קיימת שונות נמוכה של מאפייני הנהגים וכלי הרכב בקטעי הכביש השונים. מעבר לכך, ניכר כי איכות הסקר אינה מספקת לצרכי המחקר הנוכחי.

<sup>17</sup> נערכו גם אמידות שבהן שולב משתנה דמי לקיומה של מצלמה פעילה – בניגוד לנוכחות מצלמה – המקבל את הערך אחת אם נרשם לפחות דוח תנועה אוטומטי אחד בקטע במהלך החודש. במצב זה מספר הדוחות האוטומטיים אמנם משתנה על פני זמן, אך בעיית האנדוגניות נותרת בעינה.

## 4. שיטות האמידה

שאלת המחקר ומבנה בסיס הנתונים תומכים באמידות בשתי שיטות:

(1) *Pooled Cross-Section* – אמידה שבה נכללות כלל התצפיות (החודשיות) של כל קטעי הכביש, ללא התייחסות לשיוכן לאותו קטע כביש, כך שאין התחשבות במאפיינים הבלתי נצפים הייחודיים לכל קטע כביש. האמידה מאפשרת לבחון את המיתאם בין משתנים שבהם לא היה שינוי על פני זמן בבסיס הנתונים שברשותנו, כמאפיינים הנדסיים, לבין מספר תאונות הדרכים. עם זאת אין, בשיטה זו, התחשבות בהשתנות של מאפיינים בקטע נתון על פני זמן. על כן האומדים המתקבלים מוטלים, ואין לראות בהם יותר מאשר מיתאמים.

(2) *Panel* – אמידה של השתנות מספר תאונות הדרכים על פני זמן בכל קטע כביש כתלות בגורמים שונים. מודלים מקובלים בספרות לאמידות פאנליות של הגורמים לתאונות דרכים הם:

א. *Fixed Effect Model* – מודל המאפשר לבחון את השפעת גורמים המשתנים על פני זמן (כאכיפה משטרית ומזג אוויר) בקטע כביש נתון. לכל קטע כביש משויך אפקט קבוע (המבוטא כמשתנה דמי), המגלם גורמים קבועים (כמאפיינים הנדסיים) המאפיינים את קטע הכביש.

ב. *Random Effect Model* – במודל זה ההתייחסות אל ההבדלים בין קטעי הכביש היא כאל הפרעות אקראיות הנדגמות מתוך התפלגות נורמלית של הפרעות. לפיכך ניתן לכלול באמידה, מעבר לגורמים המשתנים על פני זמן ונכללים במודל ה-*Fixed Effect*, גם גורמים קבועים על פני זמן. הדבר מתאפשר בכפיפות להנחת אי-תלות בין המשתנים המסבירים לבין הטעות המקרית המבטאת את השונות בין קטעי הכביש. לפי מבחן *Hausman* ישנה עדיפות לשימוש במודל *Fixed Effect* על פני *Random Effect*. למרות זאת אנו מציגים גם את תוצאות אמידת ה-*Random Effect*, כדי לקבל תמונה שלמה.

ג. *Generalized Estimating Equations (GEE)* – שיטה זו מאפשרת לאמוד מודלים מסוג *Generalized linear model (GLM)* במצב שבו יש תלות בין התצפיות (כמו במצב של מדידות על פני זמן באותו קטע כביש). בשיטה זו נהוג להשתמש כאשר המשתנה המוסבר הוא משתנה מונה (*Count Data*), כמו במחקר זה.

באמידת מודלים המסבירים את הגורמים לתאונות דרכים נהוג בספרות המחקרית להניח שההתפלגויות הן מצורת *Negative Binomial (NB)*, *Zero-Inflated Negative Binomial*, *Poisson (POIS)*, ו-*Zero-Inflated Poisson (ZIP)*. ההבדל המרכזי בין ההתפלגויות הוא שבהתפלגויות הפואסוניות (*POIS*, *ZIP*) יש להניח כי הממוצע באוכלוסייה של המשתנה הנאמד שווה לשונות שלו, ואילו בהתפלגויות הבינומיות-שליליות (*ZINB*, *NB*) הנחה זו אינה נדרשת, ועל כן השונות נאמדת מן המדגם. התפלגויות *Zero-Inflated* נועדו למודלים שבהם המשתנה המוסבר הוא משתנה מונה (*Count Data*) ויש ריבוי אפסים במשתנה התלוי (תצפיות רבות שבהן לא התרחשו אירועים במשתנה התלוי), כמו בעבודה הנוכחית.



#### 4.1. אמידות בשיטת Pooled Cross-Section

אמידות ה-Pooled Cross-Section נערכו בהנחה של התפלגות ZINB. הבחירה להשתמש בהתפלגות ZINB מתבססת על ערכי מבחני טיב ההתאמה (Akaike Information Criterion) AIC ו-(Bayesian Information Criterion) BIC שהתקבלו מהאמידות של מספר תאונות הדרכים שאירעו בקטע הכביש במשך חודש כתלות בנפח התנועה, באורך קטע הכביש, באזור הגיאוגרפי שבו קטע הכביש נמצא, בחודש ובשנה שבהם התרחשה התאונה (להלן המודל הבסיסי)<sup>18</sup>. תוצאות מבחני טיב ההתאמה מוצגות בלוח 2. ניתן לשער שהסיבה לטיב ההתאמה הגבוה יותר בהתפלגויות Zero-Inflated היא השיעור הגבוה של תצפיות שבהן המשתנה הנאמד שווה ל-0 – כ-85 אחוזים מסך התצפיות.

לוח 2. תוצאות מבחני טיב התאמת המודל<sup>1</sup>

| BIC    | AIC    | ההתפלגות                        |
|--------|--------|---------------------------------|
| 29,258 | 29,066 | Negative Binomial               |
| 28,038 | 27,664 | Zero-Inflated Negative Binomial |
| 29,834 | 29,650 | Poisson                         |
| 28,434 | 28,068 | Zero-Inflated Poisson           |

(1) ערכים נמוכים יותר מעידים על טיב התאמה גבוה יותר.

המודל הנאמד הוא מהצורה הכללית הבאה:

$$(1) \ln(A_{it}) = \alpha_0 + \alpha_1 T_{it} + \alpha_2 L_i + \alpha_3 E_i + \alpha_4 W_{it} + \alpha_5 R_{it} + \alpha_6 I_{iy} + \alpha_7 D_{ty} + \alpha_8 S_i + \varepsilon_{it}$$

והאומדים מחושבים באופן הבא:

$$(2) A_{it} = e^{(\alpha_0 + \alpha_1 T_{it} + \alpha_2 L_i + \alpha_3 E_i + \alpha_4 W_{it} + \alpha_5 R_{it} + \alpha_6 I_{iy} + \alpha_7 D_{ty} + \alpha_8 S_i + \varepsilon_{it})}$$

כאשר:

$A_{it}$  – מספר תאונות הדרכים בקטע כביש  $i$  בחודש  $t$ ;

$T_{it}$  – לוג נפח תנועה בקטע כביש  $i$  בחודש  $t$ ;

$L_i$  – אורך קטע הכביש  $i$ ;

$E_i$  – וקטור מאפיינים הנדסיים של קטע כביש  $i$ ;

$W_{st}$  – וקטור נתוני מזג האוויר בקטע כביש  $i$  בחודש  $t$ ;

$R_{it}$  – וקטור נתוני האכיפה המשטרית בקטע כביש  $i$  בחודש  $t$ ;

$I_{iy}$  – וקטור נתוני ההשקעה בקטע כביש  $i$  בשנה  $y$ ;

$D_{ty}$  – משתני דמי לחודש  $t$  ולשנה  $y$ ;

$S_i$  – משתנה דמי לאזור הגיאוגרפי שבו נמצא קטע הכביש  $i$ ;

$\varepsilon_{it}$  – הטעות המקרית.

<sup>18</sup> הפרוצדורה הסטטיסטית ששימשה לביצוע אמידות אלו היא Countreg בתוכנת SAS גרסה 9.2.

האמידות התבצעו במספר שלבים. תחילה נאמד המודל הבסיסי, הכולל את נפח התנועה, אורך הקטע, משתני דמי לאזור גיאוגרפי, לחודש ולשנה. לאחר מכן נוספו למודל הבסיסי, בנפרד, משתנים מעולמות התוכן השונים (המאפיינים ההנדסיים ומזג האוויר)<sup>19</sup>. לבסוף נאמד מודל מלא הכולל את כל המשתנים. אמידת המודלים החלקיים והצגתם מאפשרת השוואה למחקרים מקבילים אשר לרוב אינם כוללים את כל המשתנים מעולמות התוכן השונים (הנכללים במודל המלא).

חלוקת האזורים הגיאוגרפיים הייתה כדלקמן (בדומה לפלד ופולק 2011): המרכז – מחוזות תל אביב, המרכז וירושלים; הצפון – מחוזות הצפון וחיפה<sup>20</sup>; הדרום – מחוז הדרום. יש להדגיש שהאזורים לוכדים במודל הבסיסי גם תכונות הנכללות באמידות הבאות כמשתנים מסבירים – למשל המאפיינים ההנדסיים ומזג האוויר.

## 4.2. אמידות בשיטת Panel

האמידות מסוג Panel נערכו בהנחת התפלגות Negative Binomial (NB), המקובלת בספרות המחקרית בתחום (פרק 2 לעיל), וזאת בניגוד להתפלגות ZINB במודלים מסוג Pooled Cross-Section. הסיבה לכך היא שבאמידות Panel בשיטות ה-Random Effect וה-GEE<sup>21</sup> התפלגות מסוג ZINB אינה אפשרית<sup>22</sup>.

המודלים של האמידות הפאנליות דומים לאלו המוצגים במשוואות (1) ו-(2), אך נבדלים מהם במספר נקודות: (1) המודלים בשיטת ה-Fixed Effect לא מכילים, מטבע הדברים, את הגורמים הקבועים על פני זמן – המאפיינים ההנדסיים והאזור הגיאוגרפי שבו נמצא קטע הכביש. אורך קטע הכביש משמש משתנה Offset (וכך גם בשיטות המתוארות בהמשך) – משמע שמניחים כי גמישות תאונות הדרכים ביחס לאורך הקטע היא יחידתית. כמו כן נכללים במודלים משתני דמי המבטאים את האפקט הקבוע של כל קטע כביש; (2) המודלים בשיטת ה-Random Effect מכילים שתי טעויות מקריות – אחת הנגזרת מהשונויות בתוך קטע הכביש ואחת הנגזרת מהשונויות בין קטעי הכביש; (3) המודלים בשיטת ה-GEE נאמדו בהנחה שהקשר בין המשתנה המוסבר למשתנים המסבירים הוא לוגריתמי, ועל כן נשמר המודל המוצג במשוואות (1) ו-(2) לעיל. בכל אחת מהשיטות בוצעו האמידות במספר שלבים. תחילה נאמד המודל הבסיסי, לאחר מכן נוספו למודל הבסיסי, בנפרד, משתנים מעולמות התוכן השונים (מאפיינים הנדסיים – פרט למודל Fixed Effect, מזג האוויר, האכיפה המשטרית וההשקעה הכספית), ולבסוף נאמד מודל המשלב משתנים מסבירים מעולמות התוכן השונים.

<sup>19</sup> באמידות Pooled Cross-Section הוחלט לא לשלב את משתני האכיפה המשטרית וההשקעה בכבישים, בשל בעיית האנדוגניות. יש לזכור שבאמידות הפאנליות יש גורם קבוע לקטע הכביש הלוכד את רמת הסיכון הבסיסית של הקטע ומתמודד עם בעיה זו.

<sup>20</sup> אזור הצפון הוא קבוצת הבסיס המושמטת של האזורים הגיאוגרפיים. לפיכך גם כבישים מרכזיים ביו"ש כלולים בקבוצה זו. (ראו הערת שוליים 13 לעיל).

<sup>21</sup> הפרוצדורה הסטטיסטית ששימשה לביצוע אמידות ה-Fixed Effect היא Countreg. לאמידות ה-Random Effect שימשה פרוצדורת ה-Nlmixed ולאמידות ה-GEE שימשה פרוצדורת ה-Genmod. כל האמידות בוצעו בתוכנת SAS גרסה 9.2.

<sup>22</sup> בפרוצדורת Countreg ששימשה לאמידת Fixed Effect ניתן לבצע אמידה תחת התפלגות ZINB אך התברר כי במצב זה האמידה אינה מתכנסת.

כיוון שלא ניתן לכלול את המאפיינים ההנדסיים באמידה מסוג Fixed Effect בוצעה גם אמידה דו-שלבית: בשלב ראשון נאמד מודל המשלב את כל הגורמים המסבירים המשתנים על פני זמן; בשלב שני בוצעה אמידת OLS, שבה האפקט הקבוע של כל קטע כביש הוסבר על ידי המאפיינים ההנדסיים.

## 5. סטטיסטיקה תיאורית

בתקופה הנחקרת, השנים 2005–2009, אירעו בכבישים הבין-עירוניים (לא בצמתים) הכלולים במחקר 5,873 תאונות דרכים עם נפגעים (0.19 בממוצע חודשי לקטע) – מתוכן 1,409 תאונות קטלניות או קשות, שבהן נהרגו או נפצעו קשה 2,032 בני אדם (לוח 3). תאונות אלו הן כ-12 אחוזים מסך תאונות הדרכים עם נפגעים שהיו באותן שנים (כולל בכבישים עירוניים, בצמתים ובסופי שבוע) – איור 3.

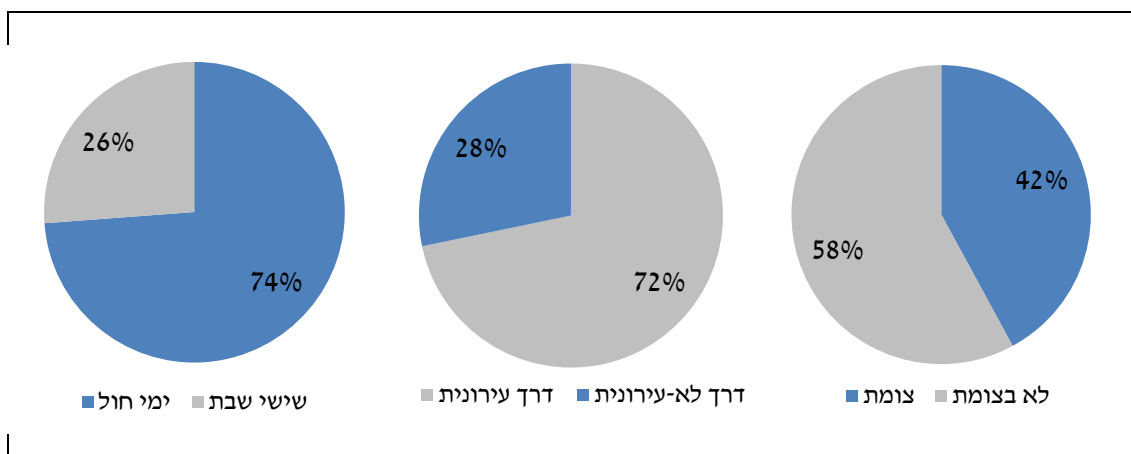
### לוח 3. מספר תאונות הדרכים והנפגעים בתאונות דרכים בכבישים בין-עירוניים, 2005–2009<sup>1</sup>

(בסוגריים: ממוצע חודשי לקטע)

| מספר התאונות והקטלניות והקשות | מספר הנפגעים      | מספר ההרוגים והפצועים קשה | סה"כ          |
|-------------------------------|-------------------|---------------------------|---------------|
| 10,441<br>(0.340)             | 29,351<br>(0.955) | 2,666<br>(0.087)          | סה"כ          |
| 5,873<br>(0.191)              | 17,216<br>(0.560) | 2,032<br>(0.066)          | מזה: לא בצומת |

(1) בקטעי הכביש הכלולים באוכלוסייה הנחקרת.

### איור 3. חלקן של התאונות באוכלוסייה הנחקרת בסך תאונות הדרכים עם נפגעים בשנים 2005–2009 (בצבע כהה: כלולים באוכלוסייה הנחקרת)



המקור: הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2006, 2007, 2008, 2009, 2010) ועיבודי המחברים.

מספר תאונות הדרכים לקילומטר נסועה – הנגזר מאמידה (Pooled Cross-Section) של מספר התאונות לקטע כביש כתלות בנפח התנועה ובאורך הקטע – מצביע על מגמת ירידה עד שנת

2008 ועלייה ניכרת בשנת 2009 (איור 4.א). דפוס זה עולה בקנה אחד עם חישוב גולמי (איור 4.ב) על בסיס נתוני הלמ"ס – חלוקת מספר תאונות הדרכים (בקטעי כביש בין-עירוניים, לא בצמתים) בנסועה – אף כי על פי הלמ"ס העלייה בשנת 2009 פחות חריפה.

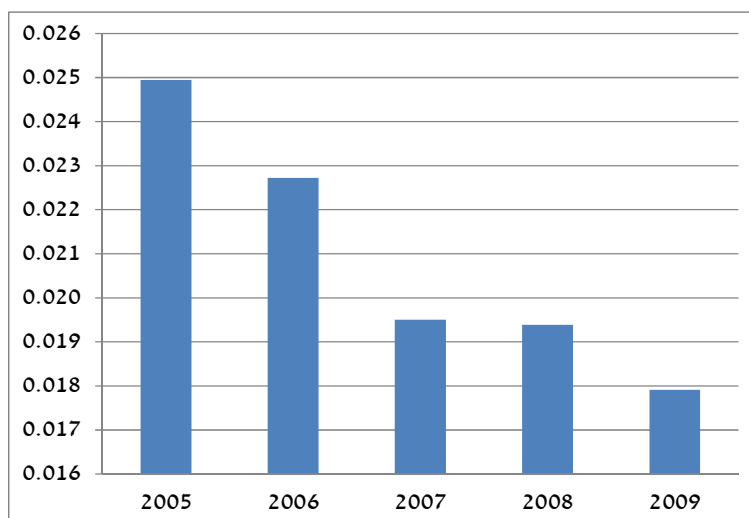
**איור 4. מספר תאונות הדרכים בכבישים בין-עירוניים<sup>1</sup> לק"מ נסועה, 2005–2009**  
(מדד, 2009=1)



**המקור:** הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2012, 2013א) ועיבודי המחברים.  
(1) לא כולל תאונות בצמתים.

הרישום של תאונות קטלניות או קשות מהימן יותר מזה של תאונות קלות ( Elvik and Mysen, 1999; HSM, 2010; תומר-פישמן, 2011). כאשר בוחנים את מספר התאונות הקטלניות והקשות למיליון ק"מ נסועה מתברר כי גם בשנת 2009 נמשכה מגמת הירידה (איור 5).

**איור 5. תאונות דרכים קטלניות וקשות בכבישים בין-עירוניים<sup>1</sup>**  
**למיליון קילומטר נסועה, 2005–2009**



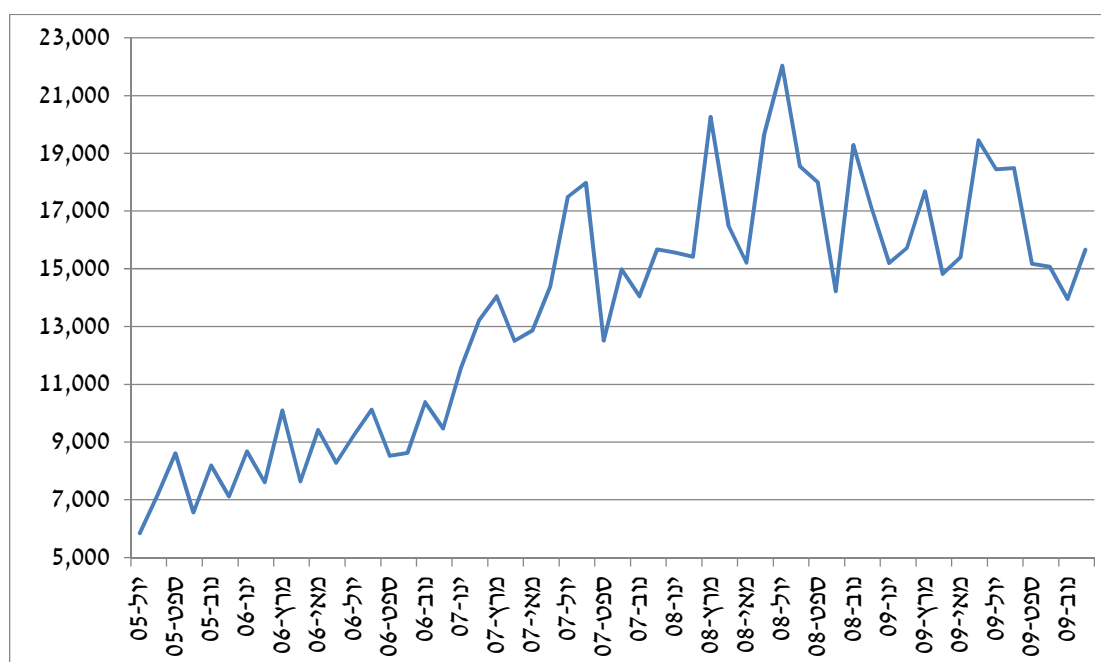
**המקור:** הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2012, 2013א) ועיבודי המחברים.  
(1) לא כולל תאונות בצמתים.

מאפייני קטעי הכביש הממוצעים מוצגים בנספח נ-5. המאפיינים ההנדסיים במרכז הארץ עדיפים על אלו בפריפריה (נספח נ-6): השוליים הסלולים במרכז רחבים בכ-20 אחוזים מאשר בצפון; מספר הנתיבים גבוה בכ-40 / 30 אחוזים ביחס לדרום / לצפון; מספר קטעי הכביש שבהם מקטעים תלולים במרכז נמוך בכ-28 / 23 אחוזים מאשר בדרום / בצפון; מספר עמודי התאורה לק"מ במרכז גבוה בכ-15 / 30 אחוזים ממספרם בדרום / בצפון.

מספר דוחות התנועה הידניים עלה מאוד במהלך התקופה הנחקרת (איור 6). במספר הדוחות החודשיים השונות בלתי מבוטלת, תופעה המסייעת לזהות את השפעתם על התרחשות תאונות דרכים. מספר דוחות התנועה הידניים, מתוקן בגין נפח התנועה, בפריפריה גבוה יותר מאשר במרכז (איור 7).

**איור 6. מספר דוחות התנועה הידניים לחודש בכבישים בין-עירוניים,**

<sup>2,1</sup> 12/2009–07/2005

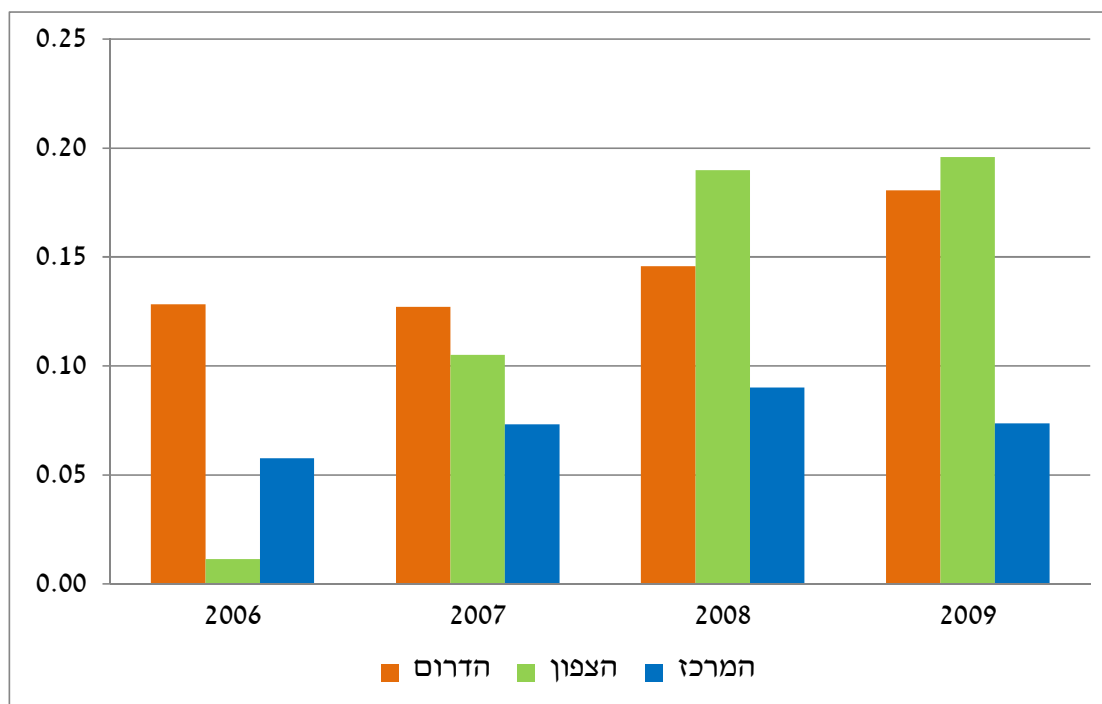


**המקור:** משטרת ישראל ועיבודי המחברים.

(1) דוחות תנועה בקטעי הכביש הכלולים במחקר.

(2) בתקופה הנחקרת עלתה הנסועה בכל שנה בכ-3 אחוזים במוצע (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2012).

**איור 7. מספר דוחות התנועה הידניים בכבישים בין-עירוניים  
ביחס לנפח התנועה, בחלוקה אזורית, 2006-2009<sup>1</sup>**



**המקור:** משטרת ישראל, הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה ועיבודי המחברים.  
(1) דוחות תנועה ששוויכו לקטעי כביש הכלולים במחקר. הדרום – מחוז הדרום; הצפון – מחוזות הצפון וחיפה; המרכז – מחוזות המרכז, תל אביב וירושלים.

## 6. הממצאים

### 6.1. אמידות Pooled Cross-Section

המיתאמים בין מאפייני קטע הכביש לבין מספר תאונות הדרכים באותו קטע במהלך חודש מוצגים בלוח 4. בכל האמידות נכללו המשתנים המסבירים נפח התנועה ואורך הקטע (בק"מ), שיחד מבטאים את היקף החשיפה לאפשרות של תאונה, כך שניתן לפרש את המשתנה המוסבר כמספר תאונות הדרכים לקילומטר נסועה (להלן מספר תאונות הדרכים המתוקנן)<sup>23,24</sup>.

במודל 1 – המודל הבסיסי – נכללו המשתנים המסבירים נפח התנועה, אורך קטע הכביש, משתני דמי לאזור הגיאוגרפי שבו קטע הכביש נמצא ודמי לחודש ולשנה. גמישות מספר תאונות הדרכים ביחס לנפח התנועה עומדת על 0.57. באזור הדרום מספר תאונות הדרכים המתוקנן נמוך בכ-45 אחוזים<sup>25</sup> מאשר באזור הצפון (קבוצת הבסיס), ובאזור המרכז המספר נמוך בכ-37 אחוזים מאשר באזור הצפון. בעבודתם של פלד ופולק (2011), הערכים המקבילים הם 49 ו-44 אחוזים. דיון בעונתיות של התאונות ובהיקפן במהלך השנים ניתן למצוא בסעיף האמידות הפאנליות.

<sup>23</sup> מטעמי קיצור נשתמש לעיתים במושג "מספר תאונות הדרכים" או "מספר התאונות". באותם מקומות שבהם לא נערך תיקון הדבר יצוין במפורש.

<sup>24</sup> יש לשים לב שגמישות מספר תאונות הדרכים ביחס לנפח התנועה אינה בהכרח יחידתית, ולכן לא רצוי שהמשתנה המוסבר יהיה מספר תאונות הדרכים מתוקנן בגין נפח התנועה.

<sup>25</sup> האומד שהתקבל הוא -0.60, ומכאן שבאזור הדרום מספר תאונות הדרכים נמוך בכ-45 אחוזים  $(1 - e^{-0.60}) \times 100 = 45$  ממספרן באזור הצפון (קבוצת הבסיס).

אמידה של מודל 1 – בה נכללו אך ורק התצפיות המופיעות במודל המלא (מודל 4 בהמשך) – העלתה הבדלים קטנים מאוד בערכי האומדים בהשוואה לאלו לעיל.

נבחנה גרסה נוספת של מודל 1, שבה נוסף נפח התנועה בריבוע, כדי לבחון השפעה לא ליניארית של הנפח, שכן יש סף אשר ממנו והלאה גידול של נפח התנועה מייצר גודש, המפחית את מהירות הנסיעה, ולכן מקטין את הסיכוי לתאונה עם נפגעים. ואכן נמצא כי גידול של נפח התנועה עד לרמה מסוימת גורר גידול של מספר התאונות, והחל מאותה רמה המגמה מתהפכת (לא מוצג). ואולם, האמידות הפאנליות של המודל הזה הניבו תוצאות לא עקביות<sup>26</sup>. לפיכך, לא שולב באמידות שבהמשך נפח התנועה בריבוע.

במודל 2 מוצגות תוצאות אמידת הזיקה בין המאפיינים ההנדסיים יחד עם משתני הבסיס, לבין מספר תאונות הדרכים. מודל זה נאמד בשתי גרסאות שונות, פעם עם מספר הנתבים (מודל 2א) ופעם עם משתנה הדמי לקיומה של מפרדה בין כיווני התנועה (מודל 2ב); זאת עקב מיתאם גבוה בין השניים (העומד על כ-0.85) – ראו לוח נ-7 בנספח. גמישות מספר תאונות הדרכים ביחס לנפח התנועה (0.85 ו-0.84, בהתאמה) גבוהה מזו שנאמדה במודל 1 (0.57). ייתכן שגידול הגמישות נובע מן המיתאם החיובי בין מאפיינים הנדסיים "טובים" לבין נפח התנועה (לוח נ-7), והמיתאם השלילי בין אותם המאפיינים למספר תאונות הדרכים. במילים אחרות: כבישים מרכזיים מאופיינים בנפח תנועה גדול ובמאפיינים הנדסיים "טובים" התורמים להפחתת מספר תאונות הדרכים המתוקנן.

לאחר הוספת המאפיינים ההנדסיים לאמידה (מודל 2), הפער במספר תאונות הדרכים המתוקנן בין האזורים השונים מצטמצם. מספר תאונות הדרכים המתוקנן באזור הדרום קטן בכ-22–27 אחוזים מאשר באזור הצפון, ומספר תאונות הדרכים המתוקנן באזור המרכז קטן בכ-21–28 אחוזים מאשר באזור הצפון. זאת לעומת פער של כ-40 אחוזים המתקבל כאשר לא מתחשבים במאפיינים ההנדסיים של הכבישים (מודל 1).

באשר למיתאם בין המאפיינים ההנדסיים לתאונות הדרכים, האומדים במודל 2 בגרסאותיו השונות לרוב דומים בגודל, בכיוון וברמת המובהקות, ועולים בקנה אחד עם ההיגיון הפשוט. מספר תאונות הדרכים מתואם באופן שלילי עם גידולו של שיעור המפרדה החיצונית מסך אורך הקטע – מעבר ממצב של העדר מפרדה חיצונית בקטע למפרדה למלוא אורכו מתואם עם צמצום של כ-52–64 אחוזים במספר התאונות המתוקנן. באופן דומה קיומה של מפרדה בין נתיבים נגדיים תואם ירידה של כ-30–41 אחוזים במספר התאונות. תוספת מטר לשוליים מתואמת עם ירידה של כ-11–20 אחוזים במספר התאונות. תוצאה דומה, על גבול המובהקות, התקבלה ביחס לרוחב השוליים הלא-סלולים: תוספת מטר לרוחב הנתב מתואמת עם ירידה של כ-6–7 אחוזים במספר תאונות הדרכים.

נמצא מיתאם חיובי וגבוה בין גליות נמוכה (כלומר ערך גליות גבוה) לבין מספר תאונות הדרכים. עלייה/ירידה תלולה<sup>27</sup> מתואמת עם גידול של כ-45–55 אחוזים במספר התאונות, ואילו עיקול חד<sup>28</sup> הולך יד ביד עם גידול של כ-22–24 אחוזים במספר התאונות. מספר הצמתים בקטע הכביש מתואם עם עלייה של כ-3–4 אחוזים במספר התאונות. מאחר שנתוני תאונות הדרכים לא

<sup>26</sup> אמידת ה-Fixed Effect לא התכנסה.

<sup>27</sup> שיפוע אופקי של מעל ל-5 אחוזים.

<sup>28</sup> רדיוס אופקי הסוגר מעגל של עד 250 מטרים.

כוללים תאונות שאירעו בצומת מדובר בזיקה בין קיום צומת לבין מספר התאונות שהתרחשו בסמוך אליו.

באשר למיתאם בין המהירות המותרת לתאונות הדרכים התקבלו ממצאים מעורבים: מודל 2א לא הניב תוצאות מובהקות, ואילו לפי מודל 2ב תוספת של 1 קמ"ש מתואמת עם ירידה של 0.6 אחוזים במספר התאונות. המהירות המותרת מתואמת עם גורמים בעלי כיווני השפעה מנוגדים: ראשית, המהירות המותרת נגזרת מהמאפיינים ההנדסיים של הכביש, ועל כן מתואמת באופן חיובי עם מאפיינים הנדסיים בלתי נצפים "טובים", המפחיתים את הסיכוי לתאונה; שנית, מהירות הנסיעה בפועל מתואמת חיובית עם המהירות המותרת (ראו סעיף 2.1), וככל שהראשונה גבוהה יותר כך הסיכוי לתאונה עולה.

יתר על כן, אין ברשותנו מידע על המהירות המותרת במועדים שונים, וקרוב לוודאי שבמעט מאוד קטעי כביש חלו בה שינויים במהלך התקופה הנחקרת. מחקרים מלמדים שמהירות הנסיעה בפועל בקטע כביש והשונויות בה בין נהגים הם גורמים רלוונטיים לתאונות (Aarts and Van Schagen, 2006).

במודל 3 נאמדה הזיקה של משתני הבסיס (ובכללם חודשי השנה) ומזג האוויר – גשם וטמפרטורה – למספר תאונות הדרכים המתוקנן: תוספת מילימטר גשם – מעבר לממוצע הרב-שנתי של כל אחד מחודשי השנה, המגולם במשתנה הדמי לאותו חודש – מתואמת עם עלייה של 0.1 אחוז במספר תאונות הדרכים. נמצא כי עליית הטמפרטורה במעלת צלזיוס תואמת ירידה מובהקת של מספר תאונות הדרכים בכ-6 אחוזים – ערך לא סביר בגודלו, המתמתן ואף חדל להיות מובהק במעבר לאמידה פאנלית. באמידה נוספת (לא מוצגת) לא נמצא מיתאם בין קיפאון (מספר הפעמים בחודש שבהם הטמפרטורה הייתה נמוכה מ-0 מעלות צלזיוס) וחום כבד (מעל 40 מעלות) לבין מספר תאונות הדרכים.

יש לסייג את הממצאים בדבר הזיקה בין מזג האוויר לתאונות דרכים, שכן נדרשת בחינה של הנתונים בתדירות גבוהה (למשל שעתית). בקיבוץ נתונים חודשי יש קושי לקשור סיבתית בין אירוע מזג אוויר לבין התרחשות תאונה, כי ייתכן שהתאונה התרחשה לפני האירוע. כאמור, עקב מיעוט מקרים שבהם אירעה תאונה בקטע כביש במהלך שעה נתונה בתקופה הנחקרת, אמידה בתדירות שעתית אינה אפשרית.

באמידות Pooled Cross-Section לא שולבו כמשתנים מסבירים נתוני האכיפה המשטרתית וההשקעה בכבישים. זאת משום שכפי הנראה יש אנדוגניות בבחירת קטעי הכביש שבהם ננקטות פעולות האכיפה וההשקעה: בכבישים המועדים לתאונות ("כבישים אדומים") האכיפה מוגברת, ובהם גם אנו עשויים למצוא יותר עבודות תשתית במהלך תקופה החקירה. אמידה הכוללת את כל המשתנים המסבירים של מודלים 1-3 מוצגת במודל 4. ממצאי המודל דומים לאלו שפורטו לעיל.

יש להדגיש כי האומדים המתקבלים בשיטת Pooled Cross-Section הם, כאמור, בגדר מיתאמים בלבד – בין השאר מפני שאין התחשבות בעובדה שהתצפיות משתייכות לאותו קטע כביש, דבר שנעשה באמידות הפאנליות בהמשך, ואין התמודדות עם בעיית האנדוגניות.



לוח 4. אומדי הגורמים המתואמים עם מספר תאונות הדרכים<sup>2,1</sup>

[אמידת Pooled Cross-Section, התפלגות ZINB]

| מודל 4   | מודל 3   | מודל 2   |          | מודל 1   | שם המשתנה                                  |
|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------------------------------|
|          |          | ב2       | א2       |          |                                            |
| ***0.866 | ***0.598 | ***0.840 | ***0.851 | ***0.566 | נפח התנועה (גמישות)                        |
| ***1.010 | ***1.012 | ***1.009 | ***1.009 | ***1.011 | אורך הקטע (מטרים)                          |
| ***0.766 | ***0.557 | ***0.728 | ***0.776 | ***0.549 | דמי לאזור הדרום (ביחס לאזור הצפון)         |
| ***0.684 | ***0.597 | ***0.724 | ***0.785 | ***0.634 | דמי לאזור המרכז (ביחס לאזור הצפון)         |
| ***0.859 |          | **0.889  | ***0.792 |          | רוחב השוליים הסלולים (מטרים)               |
| 0.839    |          | 0.909    | 0.853    |          | רוחב השוליים הלא-סלולים (מטרים)            |
| 1.002    |          | 1.001    | 1.004    |          | איכות קטע הכביש (בין 0 ל-100) <sup>3</sup> |
| ***0.623 |          | ***0.661 | ***0.697 |          | הגליות (בין 0.75 ל-6.5) <sup>4</sup>       |
|          |          |          | ***0.700 |          | מספר הנתיבים                               |
| **0.931  |          | *0.945   | **0.933  |          | רוחב הנתיב הממוצע (מטרים)                  |
| **0.995  |          | **0.994  | 0.997    |          | המהירות המותרת (קמ"ש)                      |
| ***0.318 |          | ***0.364 | ***0.484 |          | שיעור המפרדה החיצונית (בין 0 ל-1)          |
| ***0.543 |          | ***0.589 |          |          | דמי למפרדה בין נתיבים נגדיים               |
| *1.030   |          | *1.029   | **1.038  |          | מספר הצמתים                                |
| ***1.235 |          | ***1.554 | ***1.439 |          | דמי לעיקול חד <sup>5</sup>                 |
| ***1.506 |          | ***1.237 | ***1.439 |          | דמי לעלייה/ירידה תלולה <sup>6</sup>        |
| **1.002  | **1.001  |          |          |          | גשם (מ"מ)                                  |
| ***0.945 | ***0.944 |          |          |          | הטמפרטורה (מעלות צלזיוס)                   |
| V        | V        | V        | V        | V        | דמי לחודש                                  |
| V        | V        | V        | V        | V        | דמי לשנה                                   |
| 19,920   | 27,120   | 22,080   | 22,134   | 29,568   | מספר התצפיות                               |
| 20,951   | 24,940   | 23,373   | 23,410   | 27,664   | AIC (lower is better)                      |
| 21,512   | 25,343   | 23,909   | 23,947   | 28,038   | BIC (lower is better)                      |

\*\*\* מובהק ברמה של 1 אחוז; \*\* מובהק ברמה של 5 אחוזים; \* מובהק ברמה של 10 אחוזים.

- (1) מספר תאונות הדרכים בקטע כביש בין-עירוני במשך חודש.
- (2) משמעות הערך הנקוב בלוח (למעט גמישות) היא: פי כמה השתנה מספר תאונות הדרכים בעת שינוי של יחידה אחת במשתנה המסביר, כשיתר המשתנים המסבירים קבועים. לדוגמה: תוספת מטר לרוחב השוליים הסלולים כשיתר המשתנים קבועים) תואמת שינוי של פי 0.792 במספר תאונות הדרכים, כלומר ירידה בשיעור של 20.8%.
- (3) מדד PCI Pavement Condition Index הנע בין 0 לבין 100 (האיכות הגבוהה ביותר).
- (4) ערך גבוה יותר משמעותו גליות נמוכה יותר.
- (5) רדיוס אופקי הסוגר מעגל של עד 250 מטרים.
- (6) שיפוע אופקי של מעל 5 אחוזים.

## 6.2. אמידות פאנליות

### 6.2.1 Fixed Effect

נערכו אמידות שבהן המשתנה המוסבר הוא מספר תאונות הדרכים בקטע כביש במהלך החודש, ובמשתנים המסבירים נכלל האפקט הקבוע לכל קטע כביש. נוסף על כך, כדי לבחון את השפעת המאפיינים ההנדסיים הייחודיים לכל קטע כביש (המגולמים באפקט הקבוע) בוצעה אמידה דו-שלבית: בשלב ראשון נאמד מספר התאונות כתלות בגורמים המשתנים על פני זמן, ובשלב שני האומד של האפקט הקבוע הוסבר על ידי המאפיינים ההנדסיים.

בלוח 5 מוצגות ההשפעות השוליות שהתקבלו מהאמידה הראשונה לעיל. על פי המודל הבסיסי (מודל 1) גמישות מספר תאונות הדרכים ביחס לנפח התנועה עומדת על 0.91<sup>29</sup>. במודל 2 מוצגות ההשפעות השוליות של משתני מזג האוויר. גידול של מילימטר בכמות הגשם החודשית (מעבר לממוצע החודשי הרב-שנתי) גורר עלייה של 0.2 אחוז במספר תאונות הדרכים (גמישות של כ-0.07). לממטרים כבדים (מעל 10 מילימטר משקעים ב-10 דקות) לא נמצאה השפעה מובהקת על התאונות (לא מוצג). השפעת הטמפרטורה לא מובהקת, וכך גם במקרים של קיפאון וחום כבד (לא מוצג).

ההשפעה השולית של שינויים באכיפה המשטרתית על מספר תאונות הדרכים מוצגת במודל 3. הזיהוי מתבסס על השתנות מספר דוחות התנועה על פני זמן בקטע כביש ביחס לרמת האכיפה הממוצעת הרב-שנתית והסיכון הבסיסי המאפיין את הקטע, כפי שאלו מגולמים באפקט הקבוע שלו<sup>30</sup>. מכאן שהאמידה אינה יכולה ללמד על ההשפעה הכוללת של רמת האכיפה המשטרתית. האמידה נערכה בשתי גרסאות, הנבדלות במשתני האכיפה: הראשונה כוללת קירוב לתשומות האכיפה (מודל א3), והשנייה – את תוצאותיה (דוחות התנועה) (מודל ב3).

במודל א3 נכלל משתנה לוג מספר השעות בחודש שבהן ניתנו דוחות תנועה ידניים (להלן לוג שעות האכיפה), והשפעתו על מספר תאונות הדרכים זניחה, אף כי על גבול המובהקות ( $p=0.13$ ) ובכיוון המצופה (כלומר, תוספת אכיפה גוררת הפחתת מספר תאונות).

במודל ב3 נכללו משתנים מסבירים של לוג מספר דוחות התנועה הידניים שנרשמו בחודש השוטף, וכן לוג מספר הדוחות שנרשמו במצטבר בשלושת החודשים הקודמים לחודש השוטף (להלן – דוחות תנועה בעבר). לא נמצאה השפעה של מספר הדוחות הידניים בחודש השוטף על מספר תאונות הדרכים המתוקנן. גמישות התאונות ביחס לדוחות בעבר נמוכה מאוד (-0.01) ומובהקת. יש לזכור כי מאחר שהנתונים מקובצים ליחידת זמן חודשית, ייתכן כי אירעה תאונה לפני שנרשמו דוחות תנועה בקטע הכביש, ולכן ההשפעה הפוטנציאלית ממותנת<sup>31</sup>.

במודל 4 נבחנה ההשפעה השולית של השקעה כספית בקטע כביש על מספר תאונות הדרכים המתרחשות בו. במודל נכללו שני משתנים: דמי לקיומן של עבודות בקטע הכביש ושווי מלאי ההשקעה בכביש בכל שנה. עבודות בכביש גורמות לעלייה של כ-20 אחוזים במספר תאונות הדרכים שאירעו בקטע באותו הזמן. יש לציין כי בנוהל פר"ת (מדינת ישראל, 2012) אין התייחסות מפורשת לכך בעת חישוב עלותו של פרויקט תשתית, דבר העלול לגרום להערכת חסר של עלותו, ומכאן להערכת יתר של כדאיותו, בפרט בהתחשב בעובדה שעבודות תשתית נמשכות זמן רב.

האומד של שווי מלאי ההשקעה בכביש אינו מובהק. ההסבר המרכזי לכך הוא מיעוט מבוטל של קטעי כביש שהייתה בהם השקעה במהלך התקופה הנחקרת, כך שלא ניתן לבחון את השינוי במספר תאונות הדרכים בזכות ההשקעה. הסבר נוסף הוא שפעולות התחזוקה מצמצמות את הבלאי בכביש ומעלות את ערך מלאי ההשקעה, אך כאמור אין לנו מידע עליהן. יתר על כן, לא בהכרח יש קשר ליניארי חיובי בין היקף ההשקעה הכספית לבין רמת הבטיחות: פרויקטים

<sup>29</sup> גמישות דומה התקבלה גם במודל הכולל רק את התצפיות שבמודל המלא (מודל 5 בהמשך).

<sup>30</sup> בשיטת הזיהוי גלומה ההנחה שבטווח הקצר האכיפה המשטרתית אינה מגיבה על השתנות מספר תאונות הדרכים בקטע. אם הנחה זו מופרת (כלומר קיימת בעיית אנדוגניות), השפעת האכיפה על מספר התאונות על פי תוצאות האמידה תהיה פחותה מזו שהייתה בפועל.

<sup>31</sup> סביר כי אומד האכיפה הידנית לוקה בהטיה כלפי מטה (משמע שהפחתת מספר התאונות בזכות האכיפה גדולה מזו שנאמדה). ההטיה נובעת משיפור בכיסוי הדיווח על תאונות בשל נוכחות משטרתית בזירת התאונה.

שעלותם נמוכה יחסית (למשל הקמת מפרדות) עשויים לשפר את הבטיחות יותר מאשר פרויקטים יקרים. מלבד זאת, במרבית הכבישים לא הייתה השקעה מאז שנת 1995 (השנה הראשונה שלגביה נאספו נתונים), ובמעטים שהייתה בהם השקעה הפחת השנתי התחשיבי במלאי ההון הוא קטן (כלומר ההשתנות בין שנים זניחה). ולבסוף, באומדן מלאי ההשקעה לא מובאות בחשבון השקעות שבוצעו לפני שנת 1995.

במודל 5 נכללו המשתנים המסבירים ממודלים 1-4. המודל נאמד בשני אופנים, הנבדלים במשתני האכיפה המשטרית, כמתואר במודל 3. תוצאות המודל דומות מאוד לתוצאות המודלים החלקיים 1-4: גמישות מספר תאונות הדרכים המתוקנן ביחס לנפח התנועה עומדת על 0.77; על פי אומדי השנים מספר תאונות הדרכים בשנים 2005, 2006 ו-2009 אינו שונה באופן מובהק, ואילו בשנים 2007 ו-2008 הוא היה נמוך בכ-10-13 אחוזים ממספרן בשנת 2009 (איור 8). לא נמצאה עונתיות על פני חודשי השנה בהסתברות לתאונה (לא מוצג). השפעת כמות הגשם זהה לזו שנמצאה במודל 2; השפעת האכיפה המשטרית זהה לזו שבמודל 3; עבודות בכביש גוררות עלייה של כ-25 אחוזים בסיכוי לתאונות הדרכים, בדומה לממצא של מודל 4.

#### לוח 5. ההשפעה השולית על מספר תאונות הדרכים<sup>2,1</sup>

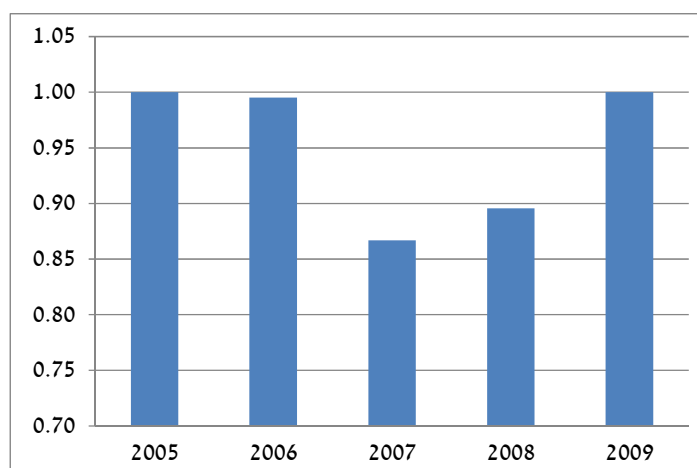
[אמידת Panel – Fixed Effect, התפלגות NB]

| מודל 5   |          | מודל 4  | מודל 3  |         | מודל 2   | מודל 1  | שם המשתנה                                             |
|----------|----------|---------|---------|---------|----------|---------|-------------------------------------------------------|
| ב5       | א5       |         | ב3      | א3      |          |         |                                                       |
| **0.774  | **0.770  | **0.942 | **0.917 | **0.916 | *0.732   | **0.908 | נפח התנועה (גמישות)                                   |
| ***1.002 | ***1.002 |         |         |         | ***1.002 |         | גשם (מ"מ)                                             |
| 1.015    | 1.015    |         |         |         | 1.015    |         | הטמפרטורה (מעלות צלזיוס)                              |
|          | -0.009   |         |         | -0.008  |          |         | שעות האכיפה (גמישות) <sup>3</sup>                     |
| -0.001   |          |         | -0.001  |         |          |         | מספר הדוחות הידניים בחודש (גמישות)                    |
| **0.014  |          |         | *0.011  |         |          |         | מספר הדוחות הידניים בעבר (גמישות) <sup>4</sup>        |
| **1.253  | **1.245  | **1.200 |         |         |          |         | דמי לעבודות בכביש                                     |
| 1.001    | 1.001    | 1.001   |         |         |          |         | שווי מלאי ההשקעה בקטע הכביש (מיליוני ש"ח במחירי 2009) |
| V        | V        | V       | V       | V       | V        | V       | דמי לחודש                                             |
| V        | V        | V       | V       | V       | V        | V       | דמי לשנה                                              |
| 27,120   | 27,120   | 30,510  | 30,510  | 30,510  | 27,120   | 30,510  | מספר התצפיות                                          |
| 23,405   | 23,407   | 26,243  | 26,237  | 26,238  | 23,409   | 26,239  | AIC (lower is better)                                 |
| 28,289   | 28,283   | 31,164  | 31,158  | 31,150  | 28,259   | 31,142  | BIC (lower is better)                                 |

\*\*\* מובהק ברמה של 1 אחוז; \*\* מובהק ברמה של 5 אחוזים; \* מובהק ברמה של 10 אחוזים.

- (1) מספר תאונות הדרכים בקטע כביש בין-עירוני במשך חודש.
- (2) משמעות הערך הנקוב בלוח (למעט גמישות) היא פי כמה השתנה מספר תאונות הדרכים בעת שינוי ביחידה אחת במשתנה המסביר, כשיתר המשתנים המסבירים קבועים.
- (3) שעות האכיפה חושבו כמספר השעות שבהן ניתנו דוחות ידניים בקטע הכביש.
- (4) הדוחות בעבר חושבו כלוג מספר הדוחות שניתנו בשלושת החודשים הקודמים לחודש השוטף.

איור 8. מדד למספר תאונות הדרכים בכבישים בין-עירוניים לקילומטר נסועה  
 2009–2005 (1=2009)



המקור: עיבודי המחברים.  
 (1) מבוסס על מקדמי השנים במודל 5 בלוח 5.

**אמידה דו-שלבית – תרומת משתני ההנדסה לתאונות הדרכים**

באמידה מסוג Fixed Effect לא ניתן, מטבע הדברים, לכלול את המאפיינים ההנדסיים הקבועים על פני זמן. בניסיון לבחון את תרומתם לאפקט הקבוע המיוחס לכל קטע כביש – הרמה הבסיסית של מספר תאונות הדרכים המאפיינת אותו (לאחר פיקוח על הגורמים המשתנים על פני זמן) – נערכה אמידה דו-שלבית: בשלב ראשון בוצעה אמידת Fixed Effect שבה מספר התאונות בקטע כביש במהלך חודש הוסבר על ידי הגורמים המשתנים על פני זמן (מודל 5ב), ומכל משתנה מסביר נוכח ערכו הממוצע על פני כל הכבישים<sup>32</sup>. באופן זה האפקט הקבוע שמתקבל לקטע כביש מייצג את רמתו הבסיסית ביחס לנקודת הממוצעים; בשלב השני בוצעה אמידת OLS שבה האפקט הקבוע של כל קטע כביש (מתוקנן בגין אורך הקטע) הוסבר על ידי המאפיינים ההנדסיים<sup>33</sup>. בלוח 6 מוצגות תוצאות אמידת השלב השני. לפיהן ערך גליות הקטע, קיומה של מפרדה, שיעור המפרדה החיצונית וקיומו של שיפוע אופקי קיצוני (עלייה/ירידה תלולה) הם בכיוון המצופה ומובהקים<sup>34</sup>.

<sup>32</sup> ללא החסרת הערך הממוצע משמעות החותך של קטע הכביש היא מספר תאונות הדרכים בהינתן שערכי המשתנים המסבירים הם אפס. לכן, ובפרט לנפח תנועה אפס, אין משמעות.

<sup>33</sup> קטעי כביש שערכי החותכים שלהם, כפי שהתקבלו מאמידת השלב הראשון, היו נמוכים באופן חריג (חמישית מקטעי הכביש) הושמטו מהאמידה. מדובר על קטעי כביש שבהם לא אירעו תאונות במהלך התקופה הנחקרת, ולכן קשה לזהות את הקשרים בין המשתנים המסבירים לבין מספר תאונות הדרכים.

<sup>34</sup> האומד לקיומה של עלייה/ירידה תלולה מובהק ברמה של  $p=0.13$ .

לוח 6. השפעת המאפיינים ההנדסיים על תאונות הדרכים<sup>2,1</sup>

[אמידת OLS]

| שם המשתנה                                  | שיעור השינוי במשתנה המוסבר (באחוזים) |
|--------------------------------------------|--------------------------------------|
| רוחב השוליים הסלולים (מטרים)               | 0.35                                 |
| רוחב השוליים הלא-סלולים (מטרים)            | -1.83                                |
| איכות קטע הכביש (בין 0 ל-100) <sup>3</sup> | 0.02                                 |
| גליות (בין 0.75 ל-6.5) <sup>4</sup>        | ** -4.06                             |
| דמי למפרדה בין נתיבים נגדיים               | *** -7.01                            |
| רוחב הנתיב הממוצע (מטרים)                  | -1.02                                |
| המהירות המותרת (קמ"ש)                      | -0.02                                |
| שיעור המפרדה החיצונית (בין 0 ל-1)          | ** -14.52                            |
| מספר הצמתים                                | 0.77                                 |
| דמי לעיקול חד <sup>5</sup>                 | 1.70                                 |
| דמי לעלייה/ירידה תלולה <sup>6</sup>        | 3.10                                 |
| מספר התצפיות                               | 368                                  |
| Adjusted R <sup>2</sup>                    | 0.036                                |

- \*\*\* מובהק ברמה של 1 אחוז; \*\* מובהק ברמה של 5 אחוזים; \* מובהק ברמה של 10 אחוזים.
- (1) המשתנה המוסבר הוא האפקט הקבוע המיוחס לקטע כביש בין-עירוני, כפי שהתקבל באמידת השלב הראשון.
  - (2) משמעות הערך הנקוב בתא הוא שיעור השינוי (באחוזים) במספר תאונות הדרכים בעת שינוי של יחידה אחת במשתנה המסביר, כשיתר המשתנים קבועים.
  - (3) מדד PCI Pavement Condition Index, הנע בין 0 לבין 100 (האיכות הגבוהה ביותר).
  - (4) ערך גבוה יותר משמעותו גליות נמוכה יותר.
  - (5) רדיוס אופקי הסוגר מעגל של עד 250 מטרים.
  - (6) שיפוע אופקי של מעל 5 אחוזים.

### 6.2.2 Random Effect

על פי המודל הבסיסי (לוח 7, מודל 1), גמישות מספר התאונות ביחס לנפח התנועה עומדת על 0.82. באזור הדרום מספר התאונות נמוך בכ-40 אחוזים מאשר באזור הצפון<sup>35</sup>. באזור המרכז מספר התאונות נמוך בכ-18 אחוזים מאשר באזור הצפון; ואולם, במודל המכיל רק את תצפיות המודל המלא (מודל 6 בהמשך) לא נמצא הבדל בין השניים.

במודל 2 נכללו נוסף על משתני הבסיס גם המאפיינים ההנדסיים. גמישות מספר תאונות הדרכים ביחס לנפח התנועה היא 0.95. לאחר הוספת המאפיינים ההנדסיים לאמידה הפער במספר התאונות בין אזור המרכז לבין אזור הצפון, כשיתר הדברים קבועים, אינו מובהק – כפי שנמצא לעיל.

באשר למאפיינים ההנדסיים, תוספת מטר לרוחב השוליים הסלולים גוררת ירידה של 14–17 אחוזים במספר תאונות הדרכים המתוקן, וכך גם קיומה של מפרדה (32 אחוזים) ותוספת נתיב (23 אחוזים); לעומת זאת עיקול חד גורר עלייה של 22–29 אחוזים במספר התאונות. ממצאים אלו עולים בקנה אחד עם הממצאים מהעולם. (ראו פרק 2).

<sup>35</sup> תוצאה דומה התקבלה גם במודל הכולל רק את התצפיות שבמודל המלא (מודל 6 בהמשך).

במודל 3 נכללו נוסף על משתני הבסיס גם משתני מזג האוויר. בהתאם לממצאי מודל ה-Fixed Effect, תוספת של מילימטר לכמות הגשם החודשית מעבר לממוצע הרב-שנתי החודשי גוררת עלייה של 0.2 אחוז במספר תאונות הדרכים (גמישות של כ-0.07); לא נמצאה השפעה של ממטרים כבדים. עלייה של הטמפרטורה במעלה אחת מעבר לממוצע החודשי הרב-שנתי גוררת עלייה של 0.7 אחוז במספר התאונות; לא נמצאה השפעה לקיפאון/חום כבד.

במודל 4 נכללו נוסף על משתני הבסיס גם משתני האכיפה המשטרית. לא נמצאה השפעה מובהקת של הדוחות הידניים, בחודש השוטף ובעבר, וכן של שעות האכיפה.

במודל 5 נכללו נוסף על משתני הבסיס גם משתני ההשקעה בכבישים. קיומן של עבודות בכביש גורר עלייה מובהקת של 17 אחוזים במספר תאונות הדרכים. שווי מלאי ההשקעה לא נמצא מובהק, בהתאם לממצא בשיטת ה-Fixed Effect.

מודל 6 כולל את המשתנים שנכללו במודלים 1–5. גמישות מספר תאונות הדרכים ביחס לנפח התנועה עומדת על כ-0.92. מספר התאונות באזור הדרום נמוך בכ-22–24 אחוזים מאשר באזור הצפון. מספר התאונות שאירעו בשנים 2007–2008 נמוך משמעותית ממספרן ב-2009, בדומה לממצאי ה-Fixed Effect, ומספר התאונות בחודשים יוני ויולי נמוך משמעותית מאשר בחודש דצמבר (לא מוצג).

השפעת המאפיינים ההנדסיים תואמת את ממצאי מודל 2, והשפעת משתני מזג האוויר עולה בקנה אחד עם זו של מודל 3. בדומה למודל 4, לא נמצאה השפעה של שעות האכיפה ושל דוחות התנועה הידניים בחודש השוטף, ואילו לדוחות התנועה בעבר נמצאה השפעה קטנה ומובהקת, העולה בקנה אחד עם זו שנמצאה במודל ה-Fixed Effect. בדומה למודל 5 עבודות בכביש גוררות עלייה של כ-16 אחוזים במספר תאונות הדרכים; תוספת מיליון ש"ח להשקעה בכביש גוררת עלייה של 0.1 אחוז במספר תאונות הדרכים. הממצא ביחס לשווי מלאי ההשקעה הוא בניגוד למצופה, וכנראה נובע מהבעייתיות במשתנה. (ראו סעיף 6.2.1).

לוח 7. ההשפעה השולית על מספר תאונות דרכים<sup>2,1</sup>

[אמידת Panel – Random Effect, התפלגות NB]

| מודל 6   |          | מודל 5   | מודל 4   |          | מודל 3   | מודל 2   |          | מודל 1   | שם המשתנה                                             |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------------------------------------------------|
| ב6       | א6       |          | ב4       | א4       |          | ב2       | א2       |          |                                                       |
| ***0.923 | ***0.918 | ***0.796 | ***0.809 | ***0.807 | ***0.813 | ***0.947 | ***0.947 | ***0.816 | נפח התנועה (גמישות)                                   |
| **0.781  | **0.765  | ***0.593 | ***0.592 | ***0.590 | ***0.626 | **0.747  | **0.748  | ***0.598 | דמי לאזור הדרום (ביחס לאזור הצפון)                    |
| 0.962    | 0.952    | *0.863   | **0.824  | **0.823  | **0.838  | 0.955    | 1.009    | **0.824  | דמי לאזור המרכז (ביחס לאזור הצפון)                    |
| **0.862  | **0.858  |          |          |          |          | **0.860  | **0.832  |          | רוחב השוליים הסלולים (מטרים)                          |
| 0.877    | 0.877    |          |          |          |          | 0.893    | 0.893    |          | רוחב השוליים הלא-סלולים (מטרים)                       |
| 1.005    | 1.005    |          |          |          |          | 1.005    | 1.005    |          | איכות קטע הכביש (בין 0 ל-100) <sup>3</sup>            |
| 0.933    | 0.936    |          |          |          |          | 0.935    | 0.939    |          | הגליות (בין 0 ל-6.5) <sup>4</sup>                     |
|          |          |          |          |          |          |          | ***0.769 |          | מספר הנתבים                                           |
| 0.975    | 0.974    |          |          |          |          | 0.955    | 0.944    |          | רוחב הנתב הממוצע (מטרים)                              |
| 0.997    | 0.997    |          |          |          |          | 0.998    | 0.100    |          | המהירות המותרת (קמ"ש)                                 |
| 0.857    | 0.849    |          |          |          |          | 0.833    | 0.887    |          | שיעור המפרדה חיצונית (בין 0 ל-1)                      |
| ***0.701 | ***0.700 |          |          |          |          | ***0.680 |          |          | דמי למפרדה בין נתיבים נגדיים                          |
| 0.984    | 0.982    |          |          |          |          | 0.981    | 0.982    |          | מספר הצמתים                                           |
| *1.192   | *1.194   |          |          |          |          | **1.224  | **1.289  |          | דמי לעיקול חד <sup>5</sup>                            |
| 1.057    | 1.055    |          |          |          |          | 1.046    | 1.037    |          | דמי לעלייה/ירידה תלולה <sup>6</sup>                   |
| ***1.002 | ***1.002 |          |          |          | ***1.002 |          |          |          | גשם (מ"מ)                                             |
| *1.008   | 1.007    |          |          |          | *1.007   |          |          |          | טמפרטורה (מעלות צלזיוס)                               |
|          | -0.001   |          |          | 0.004    |          |          |          |          | שעות האכיפה (גמישות) <sup>7</sup>                     |
| 0.006    |          |          | 0.006    |          |          |          |          |          | מספר הדוחות הידניים בחודש (גמישות)                    |
| *-0.013  |          |          | -0.002   |          |          |          |          |          | מספר הדוחות הידניים בעבר (גמישות) <sup>8</sup>        |
| **1.161  | **1.160  | **1.174  |          |          |          |          |          |          | דמי לעבודות בכביש                                     |
| *1.001   | 1.001    | 1.001    |          |          |          |          |          |          | שווי מלאי ההשקעה בקטע הכביש (מיליוני ש"ח במחירי 2009) |
| V        | V        | V        | V        | V        | V        | V        | V        | V        | דמי לחודש                                             |
| V        | V        | V        | V        | V        | V        | V        | V        | V        | דמי לשנה                                              |
| 19,920   | 19,920   | 29,568   | 30,510   | 30,510   | 27,120   | 22,410   | 22,464   | 30,510   | מספר התצפיות                                          |
| 20,271   | 20,272   | 26,351   | 26,579   | 26,577   | 23,682   | 22,767   | 22,771   | 26,576   | AIC (lower is better)                                 |
| 20,380   | 20,377   | 26,403   | 26,631   | 26,625   | 23,734   | 22,851   | 22,856   | 26,619   | BIC (lower is better)                                 |

\*\*\* מובהק ברמה של 1 אחוז; \*\* מובהק ברמה של 5 אחוזים; \* מובהק ברמה של 10 אחוזים.

- (1) מספר תאונות הדרכים בקטע כביש בין-עירוני במשך חודש (מתוקן בגין אורך הקטע).
- (2) משמעות הערך הנקוב בלוח (למעט גמישות) היא פי כמה השתנה מספר תאונות הדרכים בעת שינוי ביחידה אחת במשתנה המסביר כשיתר המשתנים המסבירים קבועים.
- (3) מדד (PCI) Pavement Condition Index, הנע בין 0 לבין 100 (האיכות הגבוהה ביותר).
- (4) ערך גבוה יותר משמעותו גליות נמוכה יותר.
- (5) רדיוס אופקי הסוגר מעגל של עד 250 מטרים.
- (6) שיפוע אופקי של מעל 5 אחוזים.
- (7) שעות האכיפה חושבו כמספר השעות שבהן ניתנו דוחות ידניים בקטע הכביש.
- (8) הדוחות בעבר חושבו כלוג מספר הדוחות שניתנו בשלושת החודשים הקודמים לחודש השוטף.

בלוח ני-8 שבנספח מובאות תוצאות אמידות אשר התקבלו בשיטת GEE. השפעות נפח התנועה, האזור, המאפיינים ההנדסיים, הגשם והאכיפה המשטרית עולות בקנה אחד עם הממצאים שתוארו לעיל בשיטת ה-Random Effect. (גמישות תאונות הדרכים ביחס לדוחות הידניים בעבר מובהקת רק ברמה של  $p=0.14$ ). לעומת זאת, השפעות הטמפרטורה ומשתני ההשקעה בכבישים אינן מובהקות. בלוח 8 מוצג ריכוז של הממצאים שהתקבלו באמידות השונות (Pooled Cross-section ופאנליות), נוסף על ממצאים מהעולם.



לוח 8. ההשפעה השולית על מספר תאונות הדרכים – לוח מסכם<sup>2,1</sup>

| ממצאים מהעולם                                             | עוצמת ההשפעה (בערך מוחלט) <sup>3</sup> | Panel – GEE               | Panel – Random Effect | שלב שני – דו-שלבית אמידה | Panel – Fixed Effect | Pooled Cross-Section      |                                                     |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------|
| (0.88)                                                    | ###                                    | ***0.91                   | ***0.92               | לא רלוונטי               | **0.77               | ***0.87                   | נפח התנועה (גמישות)                                 |
|                                                           | †††                                    | ***0.70 – ***0.69         | **0.78 – **0.77       | לא רלוונטי               |                      | ***0.77                   | דמי לאזור הדרום (ביחס לצפון)                        |
|                                                           |                                        | לא מובהק                  | לא מובהק              | לא רלוונטי               |                      | ***0.68                   | דמי לאזור המרכז (ביחס לצפון)                        |
| 0.83 קיום שוליים סלולים                                   | ##                                     | **0.84 – **0.83 (-0.25)   | **0.86 (-0.21)        | לא מובהק                 |                      | ***0.86 (-0.21)           | רוחב השוליים הסלולים (מטרים) (גמישות)               |
|                                                           |                                        | לא מובהק                  | לא מובהק              | לא מובהק                 |                      | <sup>^</sup> 0.84 (-0.04) | רוחב השוליים הלא-סלולים (מטרים) (גמישות)            |
| 0.73 כביש חלק (רמת חספוס במשך 5 שנים נמוכה מהערך החציוני) |                                        | <sup>^</sup> 1.01 (0.44)  | לא מובהק              | לא מובהק                 |                      | לא מובהק                  | איכות קטע הכביש (בין 0 ל-100) <sup>4</sup> (גמישות) |
|                                                           | #                                      | <sup>^</sup> 0.88 (-0.34) | לא מובהק              | **0.96 (-0.11)           |                      | ***0.62 (-1.03)           | הגליות (בין 0.75 ל-6.5) <sup>5</sup> (גמישות)       |
| אין ממצאים חד-משמעיים                                     |                                        | לא מובהק                  | לא מובהק              | לא מובהק                 |                      | **0.93 (-0.24)            | רוחב התיב הממוצע (מטרים) (גמישות)                   |

|                                            |     |          |          |            |           |         |                                                |
|--------------------------------------------|-----|----------|----------|------------|-----------|---------|------------------------------------------------|
| 0.25)                                      |     | לא מובהק | לא מובהק | לא מובהק   |           | **0.10  | המהירות המותרת (קמ"ש)                          |
| גמישות מהירות במעל ביחס למהירות מותרת      |     |          |          |            |           | (-0.42) | (גמישות)                                       |
| 0.73                                       | #   | לא מובהק | לא מובהק | **0.86     |           | ***0.32 | שיעור המפרדה חיצונית (בין 0 ל-1)               |
| קיום מפרדה חיצונית                         |     |          |          | (-0.11)    |           | (-0.52) | (גמישות)                                       |
| 0.70                                       | ††† | ***0.65  | ***0.70  | ***0.93    |           | ***0.54 | דמי למפרדה בין נתיבים נגדיים                   |
| קיום מפרדה עם מעקה בטיחות                  |     |          |          |            |           |         |                                                |
|                                            |     | לא מובהק | לא מובהק | לא מובהק   |           | *1.03   | מספר הצמתים (גמישות)                           |
|                                            |     |          |          |            |           | (0.06)  |                                                |
| 0.50 - רדיוס 200-400 מ' לעומת קטן מ-200 מ' | ††  | **1.23   | *1.19    | לא מובהק   |           | ***1.24 | דמי לעיקול חד <sup>6</sup>                     |
|                                            |     |          |          |            |           |         |                                                |
| 0.80 - שיפוע 5-7 אחוזים לעומת מעל 7 אחוזים |     | לא מובהק | לא מובהק | ^1.03      |           | ***1.51 | דמי לעלייה/ירידה תלולה <sup>7</sup>            |
|                                            |     |          |          |            |           |         |                                                |
| 1.71                                       | #   | ***1.00  | ***1.00  | לא רלוונטי | ***1.00   | **1.00  | גשם (מ"מ) (גמישות)                             |
| תנאי גשם                                   |     | (0.07)   | (0.07)   |            | (0.07)    | (0.07)  |                                                |
| אין ממצאים חד-משמעיים                      |     | לא מובהק | * ^1.01  | לא רלוונטי | לא מובהק  | ***0.95 | הטמפרטורה (מעלות צלזיוס) (גמישות)              |
|                                            |     |          | (0.15)   |            |           | (-1.09) |                                                |
|                                            |     | לא מובהק | לא מובהק | לא רלוונטי | ^(-0.01)  |         | שעות האכיפה (גמישות) <sup>8</sup>              |
|                                            |     |          |          |            |           |         |                                                |
| אין ממצאים חד-משמעיים                      |     | לא מובהק | לא מובהק | לא רלוונטי | לא מובהק  |         | מספר הדוחות הידניים בחודש (גמישות)             |
|                                            | #   | ^(-0.01) | *(-0.01) | לא רלוונטי | **(-0.01) |         | מספר הדוחות הידניים בעבר (גמישות) <sup>9</sup> |

|      |   |          |                                   |  |          |  |                                                                             |
|------|---|----------|-----------------------------------|--|----------|--|-----------------------------------------------------------------------------|
| 1.17 | † | לא מובהק | **1.16                            |  | **1.25   |  | דמי לעבודות בכביש                                                           |
|      |   | לא מובהק | <sup>^</sup> *1.001<br><br>(0.02) |  | לא מובהק |  | שווי מלאי ההשקעה<br>בקטע הכביש (מיליוני<br>ש"ח במחירי 2009)<br><br>(גמישות) |

\*\*\* מובהק ברמה של 1 אחוז; \*\* מובהק ברמה של 5 אחוזים; \* מובהק ברמה של 10 אחוזים; <sup>^</sup> מובהק ברמה של 15 אחוזים.

- (1) מספר תאונות הדרכים בקטע כביש בין-עירוני במשך חודש (מתוקן בגין אורך הקטע).
- (2) משמעות הערך הנקוב בלוח (למעט הגמישות) היא פי כמה השתנה מספר תאונות הדרכים בעת שינוי של יחידה אחת במשתנה המסביר, כשיתר המשתנים המסבירים קבועים; בלוח מוצגים הערכים כפי שהתקבלו מאמידת המודלים הכוללים את כל המשתנים המסבירים.
- (3) עוצמת ההשפעה (בערך מוחלט) סווגה כדלקמן:  
עבור משתנים רציפים: ### השפעה חזקה (גמישות מעל 0.5); ## השפעה בינונית (גמישות בין 0.2 ל-0.5); # השפעה חלשה (גמישות מתחת ל-0.2); תא ריק משמעו העדר השפעה מובהקת.  
עבור משתני דמי: †† השפעה חזקה (השפעה שולית מעל 1.25 או מתחת 0.75); † השפעה בינונית (השפעה שולית בין 1.15-1.25 או בין 0.75-0.85); † השפעה חלשה (השפעה שולית בין 1.00-1.15 או בין 0.85-1.00); תא ריק משמעו העדר השפעה מובהקת.
- (4) מדד PCI Pavement Condition Index, הנע בין 0 לבין 100 (האיכות הגבוהה ביותר).
- (5) ערך גבוה יותר משמעותו גליות נמוכה יותר.
- (6) רדיוס אופקי שסוגר מעגל של עד 250 מטרים.
- (7) שיפוע של מעל 5 אחוזים.
- (8) שעות האכיפה חושבו כמספר השעות שבהן ניתנו בקטע הכביש דוחות ידניים.
- (9) הדוחות בעבר חושבו כמספר הדוחות שניתנו בקטע הכביש בשלושת החודשים הקודמים לחודש השוטף.

### 6.3. מודלים ממוקדים

לשם בחינה ישירה של הזיקה בין מאפיינים מסוימים של קטע הכביש לבין תאונות דרכים מסוגים מסוימים – למשל של הקשר בין תאורה לבין תאונות דרכים שאירעו בשעות הלילה – נאמדו מודלים בגרסאות התואמות לבדיקה הרלוונטית.

כל מודל נאמד בשלוש שיטות אמידה: Pooled Cross-Section ופאנל מסוג Random Effect ו-GEE. המודל לא נאמד בשיטת Panel – Fixed Effect מפני שלא ניתן להכליל במודל זה מאפיינים הנדסיים הקבועים על פני זמן. מיעוט המקרים של תאונות הדרכים במהלך חודש בכל אחד מן המודלים חייב קיבוץ רבעוני של הנתונים.<sup>36</sup>

#### 6.3.1. מודלים הממוקדים בסוג התאונה

נאמד מספר התאונות החזיתיות, דהיינו חזית לחזית או חזית לצד, כתלות בכל המשתנים המסבירים. במוקד ההתעניינות – ההשפעה השולית של משתנה הדמי למפרדה בין נתיבים נגדיים. תוצאות האמידות, המוצגות בלוח 9, מלמדות שמפרדה מפחיתה את המספר המתקנן של תאונות הדרכים החזיתיות הפחתה מובהקת של כ-65–75 אחוזים. לשם השוואה: ההשפעה של מפרדה לצמצום כל סוגי תאונות הדרכים יחד היא פחות ממחצית מכך.

לוח 9. ההשפעה השולית של מפרדה על מספר תאונות הדרכים החזיתיות<sup>2,1</sup>

| Panel – GEE  | Panel – Random Effect | Pooled Cross-Section |                              |
|--------------|-----------------------|----------------------|------------------------------|
| ***0.312     | ***0.352              | ***0.255             | דמי למפרדה בין נתיבים נגדיים |
| V            | V                     | V                    | משתנים מפקחים <sup>3</sup>   |
| V            | V                     | V                    | דמי לרביע                    |
| V            | V                     | V                    | דמי לשנה                     |
| 6,640        | 6,640                 | 6,640                | מספר התצפיות                 |
| (QIC) 6,136  | 7,478                 | 7,713                | <sup>4</sup> AIC             |
| (QICu) 6,094 | 7,597                 | 8,142                | <sup>4</sup> BIC             |

\*\*\* מובהק ברמה של 1 אחוז; \*\* מובהק ברמה של 5 אחוזים; \* מובהק ברמה של 10 אחוזים.

- (1) תאונות חזית לחזית או חזית לצד בקטע כביש בין-עירוני במהלך רביע.
- (2) משמעות הערך הנקוב בלוח היא פי כמה השתנה מספר תאונות הדרכים החזיתיות בעת שינוי ביחידה אחת במשתנה המסביר, כשיתר המשתנים המסבירים קבועים.
- (3) המשתנים המסבירים במודל 6 בלוח 7.
- (4) מדדי טיב ההתאמה באמידת GEE הם QIC, QICu. ערך נמוך יותר, כמו ב-AIC ו-BIC, מייצג התאמה טובה יותר.

בדיקה אפשרית נוספת קושרת בין תאונות מסוג התהפכות או החלקה לבין המשתנים קיפאון / איכות קטע הכביש / גליות הקטע / השיפוע בקטע; זו לא בוצעה עקב מיעוט תאונות מסוג זה, אפילו בקיבוץ רבעוני (התרחשו בכ-5 אחוזים מקטעי הכביש ברביע).

<sup>36</sup> כך, לדוגמה, בכ-17 אחוזים מקטעי הכביש אירעו תאונות חזיתיות במהלך רביע (לעומת כ-7 אחוזים במהלך חודש).

### 6.3.2. מודלים ממוקדי לילה

נבחנה השפעת התאורה, כשיתר הדברים קבועים, על מספר התאונות המתרחשות בשעות הלילה והמדדומים<sup>37</sup>. משתנה התאורה הוגדר כמספר עמודי התאורה לקילומטר כביש. לא נמצאה תרומה של תאורה לצמצום מספר התאונות בלילה<sup>38</sup>.

הסבר אפשרי לאי מציאת השפעה הוא מיתאם חיובי בין קיומה של תאורת לילה לבין טיב הכביש. כך למשל יש מיתאם גבוה יחסית בין מספר עמודי התאורה לק"מ לבין מספר הנתביים ולבין קיומה של מפרדה. (ראו לוח נ"7-בנספח). מיתאם כזה מקשה על זיהוי ההשפעה הבלעדית של תאורה על מספר תאונות הדרכים בלילה.

בדקנו אם השפעת המאפיינים ההנדסיים על התאונות בשעות הלילה שונה מהשפעתם במשך היממה כולה. נמצא כי מפרדה חיצונית (מעקה בטיחות) מפחיתה את הסיכוי לתאונה בלילה במידה ניכרת, ואילו באמידות לגבי היממה כולה נמצא כי בדרך כלל אין למפרדה כזאת השפעה. השפעת יתר המאפיינים ההנדסיים בלילה דומה לזו שנמצאה קודם לכן.

### 6.3.3. מודלים הממוקדים בסוג כלי הרכב או בקבוצת אוכלוסייה

בדיקת אפשרית נוספת היא בחינת ההסתברות לתאונה של סוג כלי רכב מסוים (רכב משא, מכונית פרטית, אופנוע וכדומה) או של תאונות באשמת נהג מקבוצת אוכלוסייה מסוימת (למשל נהג צעיר). ואולם, מאחר שאין מידע על ספירות התנועה בהתאם לסוגי כלי הרכב השונים ולקבוצות האוכלוסייה השונות, ולספירות התנועה נודעת השפעה מרכזית על מספר התאונות, אין מקום לבצע אמידות שכאלו.

## 7. "כבישים אדומים"

בקרב גופים העוסקים בנושא הבטיחות בדרכים נהוג לדרג קטעי כביש בהתאם לרמת הסיכון המאפיינת אותם, ולהתייחס אל קטעי כביש ברמת סיכון גבוהה כאל "כבישים אדומים". דירוגים מקובלים הם אלו של משטרת ישראל, "נתיבי ישראל" / עמותת "אור ירוק". לכל גוף מטרה משלו, ולכן אין הגדרה אחידה ל"כבישים אדומים" ודירוגי הגופים שונים זה מזה.

מטרת העל של אגף התנועה במשטרת ישראל היא "צמצום תאונות הדרכים בכלל והקטלניות והקשות בפרט"<sup>39</sup>. לפיכך המשטרה מגדירה "כביש אדום" לפי מספר התאונות החמורות למקטע כביש. תאונה חמורה מוגדרת כתאונה עם הרוגים או פצועים קשה. מקטעי הכביש של משטרת ישראל – השונים מאלו של הלמ"ס – נקבעים בהתאם לצורך מבצעי ותפעולי בפריסת ניידות משטרת התנועה, ואורכם 10–30 ק"מ. אין סף קבוע של תאונות שחצייתו גוררת הגדרה כ"כביש

<sup>37</sup> דמדומי היום הוגדרו בין השעה שבה נמצאת השמש ב-18 מעלות מתחת לאופק לבין שעת הזריחה ב-0 מעלות ביחס לאופק; דמדומי הלילה – בין שעת השקיעה ב-0 מעלות ביחס לאופק לבין השעה שבה נמצאת השמש ב-18 מעלות מתחת לאופק. כיוון שאורך הלילה משתנה במהלך השנה ומתואם חיובית עם מספר תאונות הדרכים (כשיתר המשתנים קבועים), נוסף לאמידה משתנה מסביר של אורך הלילה.

<sup>38</sup> האומד לתאורה באמידת ה-Pooled Cross-Section לא התכנס; אומדי משתנה התאורה באמידות ה-Random Effect וה-GEE לא מובהקים.

<sup>39</sup> ראו: <http://www.police.gov.il/contentPage.aspx?pid=191&mid=12>, או חזר בתאריך 29/06/2014.

אדום": בשלהי 2013 היה אורכם של "כבישים אדומים" כ-300 ק"מ, ובעבר הוא היה כפול. ההחמרה בקריטריון, שהובילה לקיצורם, נועדה למיקוד אמצעי האכיפה. אחת המטרות של "נתיבי ישראל" היא לצמצם את העלויות המשקיות של תאונות דרכים. החברה מגדירה קטע כביש בדרגת סיכון גבוהה כ"נקודת תורפה". ההגדרה מתבססת על מדד "הפוטנציאל לשיפור בטיחות" (PSI – Potential for Safety Improvement) – מחושב כפער בין מספר התאונות הצפוי (על בסיס ספירות התנועה ואורך הקטע) לבין מספר התאונות בפועל, משוקלל באומדן העלות הכלכלית של התאונות<sup>40</sup> (גיטלמן ואחרים, 2008). החישוב מתבצע בנפרד עבור קטעי כביש ועבור צמתים, על פי מאפייניהם ההנדסיים השונים. החישוב הוא לגבי קטעים באורך של 1 ק"מ או פחות<sup>41</sup>. החיתוך לקטעים קצרים עולה בקנה אחד עם הצורך לאתר קטעי כביש הדורשים שיפורים הנדסיים נקודתיים. חציית סף קריטי (PSI=2) גוררת סימון "נקודת תורפה". גם "אור ירוק" עושה שימוש במודל זה (אור ירוק, 2008).

במחקר הנוכחי חושבו כמה דירוגים של קטעי כביש מסוכנים לשם השוואה לדירוגי הגופים השונים. משיקולי חיסכון במקום מוצגים רק 15 קטעי הכביש המסוכנים ביותר בכל אחת משיטות הדירוג:

(1) לשם השוואה ל"כבישים אדומים" שהוגדרו על ידי משטרת ישראל דורגו קטעי הכביש לפי מספר התאונות הקטלניות והקשות (כולל בצומת) בחודש בהתאם למדדים הבאים: (א) מספר התאונות הממוצע בקטע כביש; (ב) מספר התאונות הממוצע בקטע כביש, מתוקן בגין אורכו; (ג) מספר התאונות הממוצע בקטע כביש מתוקן בגין אורכו ובגין נפח התנועה; (ד) אמידה בשיטת Fixed Effect של מספר התאונות מתוקן בגין אורך הקטע כתלות בנפח התנועה, כאשר האפקט הקבוע של קטע כביש משקף את הסיכון לתאונה. יש לשים לב שכאשר נערך תקנון בגין אורך הקטע ונפח התנועה (כמו במדדים ג' ו-ד') מתקבלת ההסתברות להיפגע בתאונה בקטע לקילומטר נסועה.

בלוח 10 מוצגת השוואה של "כבישים אדומים" בהגדרת משטרת ישראל למדדים שפורטו לעיל. עיקר החפיפה הוא, כצפוי, מול מספר התאונות לקטע כביש מתוקן בגין האורך בלבד (מדד ב'). יוצא אפוא שדירוג המשטרה עולה בקנה אחד עם המטרה של צמצום מספר התאונות החמורות, בהינתן משאבי אכיפה מוגבלים, שכן לאורך הקטע יש השפעה מכרעת על זמן האכיפה.

כאשר בוחנים את דירוג "הכבישים האדומים" על פי מדדים ג' וד' ניכר כי ההסתברות לתאונה לק"מ נסועה גבוהה יחסית בקטעי כביש משניים מעוטי תנועה (לדוגמה ברמת הגולן) ונמוכה יחסית בקטעי כביש בדרום הארץ.

(2) לשם השוואה ל"כבישים האדומים" שהוגדרו על ידי "נתיבי ישראל" ו"אור ירוק" דורגו קטעי הכביש לפי מספר התאונות ומספר הנפגעים (שניהם לא כולל בצמתים), בהתאם לארבעת המדדים הנזכרים לעיל. הדירוג לפי מספר הנפגעים מביא לידי ביטוי את אומדן העלות הכלכלית, שדירוג "נתיבי ישראל" ו"אור ירוק" מביא בחשבון, עלות הנגזרת ממספר הנפגעים (ומחומרת הפגיעה).

<sup>40</sup> הוצאות הטיפול בנפגעים (לפי חומרת הפגיעה) וההוצאות המנהליות הנגזרות מהתאונה.

<sup>41</sup> החישוב נערך בנפרד לשלוש רמות חומרה של תאונות (קטלניות, קשות וקלות) ובנפרד לכבישים דו-מסלוליים וחד-מסלוליים.

מלוח 11 אנו למדים כי עיקר החפיפה הוא עם כבישים שהתקבלו במחקרנו בשיטות דירוג שבהן לא נעשה תקנון (בגין אורך הקטע או נפח התנועה). תוצאה זו עולה בקנה אחד עם המטרה של "נתיבי ישראל" לצמצם את המספר המוחלט של תאונות דרכים (במונחי עלות התאונות). גם במקרה זה הדירוג של מדדים ג' וד' מראה שההסתברות לתאונה לק"מ נסועה גבוהה יחסית בקטעי כביש צדדיים ונמוכה יחסית בקטעי כביש בדרום הארץ.

באופן גורף נמצאה נחיתות בולטת של כלל המאפיינים ההנדסיים בכבישים הצדדיים (על פי מדדים ג' ו-ד' בלוחות 10 ו-11) ביחס ליתר קטעי הכביש.

דירוג "כבישים אדומים" המתחשב גם בתאונות שאירעו בצומת מוצג בלוח נ' 9 שבנספח.

לוח 10. קטעי כביש ברמת סיכון גבוהה ("כבישים אדומים") –

דירוג לפי תאונות קטלניות וקשות בקטעי כביש בין-עירוניים (כולל צמתים)

| מספר ישראל                 | המחקר הנוכחי |                                   |                       |           | מיקום                                       | קטע | כביש |
|----------------------------|--------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------|---------------------------------------------|-----|------|
|                            | אמידה        | מתוקנן בגין אורך הקטע ונפח התנועה | מתוקנן בגין אורך הקטע | לא מתוקנן |                                             |     |      |
| מקטעי כביש של משטרת התנועה | מדד ד'       | מדד ג'                            | מדד ב'                | מדד א'    |                                             |     |      |
|                            | X            | X                                 |                       |           | צומת פדיה – כניסה לפדיה                     | 10  | 4243 |
|                            | X            | X                                 |                       |           | צומת בני ציון – הכניסה לבני ציון            | 10  | 5511 |
|                            | X            | X                                 |                       |           | צומת אלרואי – הכניסה לקריית טבעון           | 10  | 7213 |
|                            | X            | X                                 |                       |           | צומת מודיעים (גימזו) – הכניסה לגמזו         | 10  | 4314 |
|                            | X            | X                                 | X                     |           | יישוב בנימינה – צומת עדה                    | 38  | 652  |
|                            | X            | X                                 | X                     |           | צומת בית ברל – הכניסה לטירה                 | 12  | 554  |
| X                          | X            |                                   | X                     |           | מחלף גלעם – צומת סומך                       | 10  | 79   |
| X                          | X            |                                   | X                     |           | צומת בית דגן – מחלף השבעה                   | 70  | 44   |
|                            | X            | X                                 |                       |           | צומת בראון – צומת יער אודם                  | 763 | 98   |
|                            | X            | X                                 |                       |           | צומת נשוט – צומת השריון                     | 740 | 91   |
|                            | X            |                                   |                       |           | צומת נווה ימין (מערב) – צומת כפר סבא (מזרח) | 20  | 55   |
| X                          | X            |                                   | X                     | X         | צומת יסיף – צומת כברי                       | 120 | 70   |
|                            | X            |                                   | X                     |           | צומת סגולה – מחלף ירקון                     | 170 | 40   |
|                            | X            | X                                 |                       |           | צומת ניר יפה – הכניסה למלאה                 | 10  | 6714 |
|                            | X            | X                                 |                       |           | צומת חלץ – צומת גבעתי                       | 50  | 232  |
|                            |              | X                                 |                       |           | כניסה לסאלם – צומת מגידו                    | 10  | 66   |
|                            |              | X                                 |                       |           | צומת שמורת אלוני יצחק – צומת אביאל          | 10  | 654  |
|                            |              | X                                 |                       |           | צומת בית צידה – צומת יהודייה                | 720 | 87   |
|                            |              |                                   | X                     |           | כניסה לנתבי"ג – צומת התעשייה האווירית       | 130 | 40   |



לוח 11. קטעי כביש ברמת סיכון גבוהה ("כבישים אדומים")<sup>2,1</sup> –

דירוג לפי מספר התאונות והנפגעים בקטעי כביש בין-עירוניים (ללא צמתים)

| "נתיבי ישראל" / "אור ירוק" | המחקר הנוכחי |                                   |                       |           |        |                                   |                       |           | מיקום                                | קטע | כביש |
|----------------------------|--------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------|--------|-----------------------------------|-----------------------|-----------|--------------------------------------|-----|------|
|                            | נפגעים       |                                   |                       |           | תאונות |                                   |                       |           |                                      |     |      |
|                            | אמידה        | מתוקנן בגין אורך הקטע ונפח התנועה | מתוקנן בגין אורך הקטע | לא מתוקנן | אמידה  | מתוקנן בגין אורך הקטע ונפח התנועה | מתוקנן בגין אורך הקטע | לא מתוקנן |                                      |     |      |
| מדד ד'                     | מדד ג'       | מדד ב'                            | מדד א'                | מדד ד'    | מדד ג' | מדד ב'                            | מדד א'                |           |                                      |     |      |
|                            | X            | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת גבעת עדה – הכניסה לאלוני יצחק   | 10  | 6522 |
|                            | X            | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת חפץ חיים – הכניסה לחפץ חיים     | 10  | 3933 |
|                            | X            | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת בית ברל – הכניסה לבית ברל       | 10  | 5503 |
|                            | X            | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת אורן – צומת דמון                | 20  | 721  |
|                            | X            | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת פדיה – כניסה לפדיה              | 10  | 4243 |
|                            | X            | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת אשתאול – כניסה לגבעת יערים      | 10  | 395  |
|                            | X            | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | כניסה לסאלם – צומת מגידו             | 10  | 66   |
|                            |              | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת מחסיה – צומת נס הרים            | 10  | 3866 |
|                            |              |                                   | X                     |           | X      |                                   | X                     |           | מחלף בר אילן – מחלף גבעת שמואל       | 130 | 4    |
|                            | X            | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת מודיעים (גימזו) – כניסה לגמזו   | 10  | 4314 |
|                            |              |                                   |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת בני ציון – כניסה לבני ציון      | 10  | 5511 |
|                            |              |                                   |                       |           | X      |                                   |                       |           | כניסה לגבעת יערים – צומת הר איתן-סטף | 20  | 395  |
| X                          | X            | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת חילזון – צומת רמה               | 10  | 804  |
|                            | X            | X                                 |                       |           | X      |                                   |                       |           | צומת אבן ספיר – צומת כרם             | 10  | 386  |
| X                          | X            |                                   |                       | X         | X      |                                   |                       | X         | צומת יפתחאל – צומת מורשת             | 2   | 784  |
|                            |              |                                   |                       |           |        | X                                 |                       |           | צומת קטורה – צומת שיזפון (עובדה)     | 10  | 40   |

|   |   |   |   |   |  |   |   |   |                                       |     |      |
|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---------------------------------------|-----|------|
|   | X | X |   |   |  | X |   |   | צומת נשוט – צומת השריון               | 740 | 91   |
|   |   |   |   |   |  |   | X |   | מחלף השבעה – חולון רח' המלאכה         | 80  | 44   |
| X |   |   |   |   |  |   | X |   | צומת טירה – צומת טייבה                | 42  | 444  |
|   |   |   |   |   |  | X |   |   | צומת אדמית – צומת חירם                | 20  | 899  |
| X |   |   |   | X |  |   | X | X | צומת בנימינה – צומת פורידיס           | 220 | 4    |
|   | X |   |   |   |  |   |   |   | צומת יובלים – מחלף גשר מוטה גור       | 10  | 784  |
|   | X |   |   |   |  |   |   |   | צומת בחן – כניסה לבאקה אל-גרבייה      | 2   | 574  |
| X |   |   | X | X |  |   |   | X | צומת יסיף – צומת כברי                 | 120 | 70   |
|   |   |   |   |   |  | X |   |   | צומת אופקים – כניסה למסלול (מזרח)     | 10  | 2414 |
|   |   | X |   |   |  |   |   |   | צומת גדות – צומת גונן                 | 10  | 918  |
|   |   | X |   |   |  |   |   |   | צומת בראון – צומת יער אודם            | 763 | 98   |
|   |   |   | X | X |  |   | X | X | מחלף הראל – שדרות ויצמן               | 80  | 1    |
| X |   |   |   | X |  |   |   | X | צומת תפן – צומת כרמיאל                | 10  | 854  |
| X |   |   | X | X |  |   |   | X | צומת אבליים – צומת יבור               | 100 | 70   |
| X |   |   | X |   |  |   |   |   | מחלף אולגה – מחלף קיסריה              | 62  | 2    |
| X |   |   | X |   |  |   |   |   | צומת יבור – צומת אחיהוד               | 110 | 70   |
|   |   |   | X |   |  |   | X |   | מחלף קיבוץ גלויות – מחלף לה גארדיה    | 12  | 20   |
|   |   |   | X |   |  |   | X |   | צומת חדרה (מזרח) – צומת אלון          | 30  | 65   |
|   |   |   | X |   |  |   | X |   | מחלף ההלכה – מחלף רוקח                | 16  | 20   |
| X |   |   |   | X |  |   |   | X | צומת סומך – צומת המוביל               | 18  | 79   |
| X |   |   |   |   |  |   |   | X | מחלף ינאי – מחלף אולגה                | 60  | 2    |
|   | X | X |   |   |  |   |   |   | יישוב אילת – כניסה לנטפים (מעבר גבול) | 10  | 12   |
| X |   |   |   | X |  |   |   | X | צומת כרמיאל – צומת חנניה              | 28  | 85   |
| X |   |   |   | X |  |   |   | X | צומת שוקת – צומת ערד                  | 20  | 31   |
|   |   |   | X |   |  |   | X |   | מחלף חולון – מחלף חיל השריון          | 11  | 20   |

|   |  |  |   |   |  |  |   |   |                                     |     |    |
|---|--|--|---|---|--|--|---|---|-------------------------------------|-----|----|
| X |  |  |   | X |  |  |   |   | צומת מחניים – צומת כ"ח              | 108 | 90 |
|   |  |  | X |   |  |  | X |   | מחלף רוקח – מחלף קק"ל               | 17  | 20 |
| X |  |  |   | X |  |  |   | X | צומת אחיהוד – צומת כרמיאל           | 20  | 85 |
|   |  |  | X |   |  |  | X |   | מחלף השלום – מחלף הרכבת             | 14  | 20 |
| X |  |  | X | X |  |  |   |   | מחלף שער הגיא – מחלף שורש           | 62  | 1  |
| X |  |  |   | X |  |  |   | X | צומת משמר הגבול – כניסה לאום אל-פחם | 62  | 65 |
| X |  |  |   |   |  |  |   | X | מחלף זכרון יעקב – מחלף עתלית        | 80  | 2  |
| X |  |  |   | X |  |  |   | X | מחלף קיסריה – מחלף זכרון יעקב       | 70  | 2  |
|   |  |  | X |   |  |  | X |   | מחלף כפר הירוק – מחלף מורשה         | 20  | 5  |
|   |  |  | X |   |  |  | X |   | מחלף הרכבת – מחלף ההלכה             | 15  | 20 |
| X |  |  |   | X |  |  |   |   | צומת קטורה – צומת הערבה             | 20  | 90 |
|   |  |  |   |   |  |  | X |   | מחלף קיבוץ גליות – מחלף גנות        | 10  | 1  |
|   |  |  |   |   |  |  | X |   | מחלף לה גארדיה – מחלף השלום         | 13  | 20 |
|   |  |  |   |   |  |  |   | X | מחלף שמריהו – מחלף פולג             | 40  | 2  |

המקור: אור ירוק (2008) ועיבודי המחברים.

(1) השורות בלוח מדורגות בסדר יורד בהתאם לתוצאות אמידת התאונות במחקר הנוכחי.

(2) משמעות הסימון X בתא – נכלל ב-15 קטעי הכביש המסוכנים ביותר לפי הדירוג בעמודה הנתונה. תא מושחר מסמן חפיפה מול דירוג "נתיבי ישראל" / "אור ירוק".

## 8. סיכום

במחקר נבחנה התרומה של גורמים שונים להתרחשות החודשית של תאונות דרכים עם נפגעים בקטעי הכביש הבין-עירוניים בישראל בשנים 2005–2009. בסיס הנתונים הקיף עולמות תוכן מגוונים, ובכללם תאונות דרכים עם נפגעים, נפח התנועה, מאפיינים הנדסיים וההשקעה הכספית בכבישים, האכיפה המשטרתית ומזג האוויר. עיקר הניתוח בוצע בעזרת אמידות פאנליות.

זה המחקר הראשון הבוחן את התרומה של מכלול גורמים לתאונות בכל רחבי הארץ; זאת בהשלמה למחקרים קודמים, שעסקו לרוב בהשפעת שיפורים הנדסיים מסוימים ונקודתיים. יתרון נוסף של המחקר הוא בניכוי עונתיות נפח התנועה בכל אחד מקטעי הכביש.

נמצא כי גמישות תאונות הדרכים ביחס לנסועה נעה סביב 0.9. הסיכוי להתרחשות תאונה נמוך יותר בדרום הארץ, כשיתר המשתנים הנצפים קבועים.

למאפיינים הנדסיים יש השפעה מובהקת על הסיכוי לתאונות: מפרדה בין נתיבי תנועה נגדיים מפחיתה את הסיכוי לתאונה בכ-30 אחוזים, והרחבת השוליים הסלולים במטר – בכ-15 אחוזים. כנגד זאת, עיקול חד בכביש גורר עלייה של כ-20 אחוזים בסיכוי לתאונה, ועבודות בכביש – עלייה של כ-16 אחוזים. יש לציין כי בנוהל פר"ת לבחינת הכדאיות של פרויקטים תחבורתיים אין התייחסות מפורשת להשפעתן של עבודות בכביש, דבר העלול לגרום להערכת חסר של עלותן. הממצאים דלעיל עולים בקנה אחד עם אלו שנתקבלו בעולם.

באשר לאכיפה המשטרתית, לא נמצאה השפעה של ממש *להשתנת* האכיפה המשטרתית על הסיכוי להתרחשות תאונות דרכים. יש להדגיש שממצא זה אינו מלמד על השפעת רמת האכיפה הכוללת.

קטעי כביש דורגו לפי רמת הסיכון המאפיינת אותם (המסוכנים שבהם מכונים "כבישים אדומים"), כך שהתאפשרה השוואה לדירוגים של משטרת ישראל ו"נתיבי ישראל" / "אור ירוק". מתברר כי הדירוגים עולים בקנה אחד עם מטרות הארגונים לצמצם את המספר המוחלט של התאונות/עלותן. ההסתברות לתאונה לקילומטר נסועה גבוהה יחסית בקטעי כביש צדדיים ונמוכה יחסית בקטעי כביש בדרום הארץ. כמו כן, נמצאה נחיתות בולטת למאפיינים ההנדסיים של קטעי הכביש הצדדיים ביחס לאחרים.

למחקר חולשות אחדות. הנתונים קובצו לרמה חודשית (עקב ריבוי קטעי כביש ללא תאונות בפרקי זמן קצרים יותר), דבר המקשה על זיהוי סיבתיות בנוגע לחלק מהמשתנים.

המחקר מאפשר כאמור להתחקות אך ורק אחר השפעת *ההשתנות* של מספר דוחות התנועה על התאונות בקטע הכביש. יתר על כן, שיטת הזיהוי מושתתת על ההנחה שהאכיפה המשטרתית אינה מגיבה בטווח הקצר על השתנות מספר התאונות בקטע; אם הנחה זו אינה תקפה (בעיית אנדוגניות), תרומתה הנאמדת של האכיפה לצמצום מספר התאונות פחותה מהתרומה שהייתה בפועל. בדומה למחקרים אחרים בתחום, אין ברשותנו מידע על אכיפה משטרתית שלא הסתיימה בדוח.

לא התאפשרה בחינה של השפעת האכיפה האוטומטית (דוחות המופקים ממצלמות מהירות), בשל בעיית אנדוגניות, הנובעת מהצבה סלקטיבית של המצלמות בהתאם לרמת הסיכון של הכביש, ובשל השתנות זניחה של נוכחות מצלמות במהלך התקופה הנחקרת. מחקר המשך יבדוק

את תרומת הפריסה ארצית של מצלמות החל משלהי 2011 (פרויקט "א3") להפחתת תאונות דרכים.

המידע על המאפיינים ההנדסיים מתייחס לנקודת זמן אחת בלבד, ועל כן אין אפשרות לבחון את הזיקה בין השתנותם על פני זמן לסיכוי להתרחשות תאונות דרכים. לבסוף, היחידה הנחקרת הוגדרה כשני כיווני התנועה באותו קטע כביש, וזאת בשל רישום לא מהימן של הכיוון בדיווחים על תאונות דרכים; מכאן שאין התחשבות בהבדלים בין שני הכיוונים, בפרט באלה ההנדסיים. המחקר אינו כולל ניתוח עלות-תועלת, משום שאין ברשותנו מידע על העלויות, ומכל מקום, אלה תלויות גם במיקום קטע הכביש ובתוואי שלו.

לבסוף נעיר כי חשוב להקים מסד נתונים לאומי רחב היקף על תאונות דרכים, שיכלול מידע כמו זה שנעשה בו שימוש במחקר הנוכחי (וכן מידע על מאפייני הנהגים וכלי הרכב בדרכים וכיוצא באלה). מסד הנתונים יאפשר לחקור את מכלול הגורמים לתאונות ולגבש מדיניות.

## ביבליוגרפיה

- אור ירוק (2008), *כבישים וצמתים אדומים בישראל: דו"ח ביקורת מס' 2*.
- בר-גרא, ה', ע' שכטמן, א' גרינשטיין וא' מוזיקנט (2013), *בחינת האפקטיביות של מערכות אכיפה אלקטרוניות אוטומטיות, דוח ביניים – שנה שנייה*, הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים ואוניברסיטת בן-גוריון בנגב.
- גיטלמן, ו', א' דובא ושי' הקרט (2008), *פיתוח מערכת לניהול הבטיחות בדרכים*, המכון לחקר התחבורה, הטכניון, חיפה.
- גיטלמן, ו', שי' הקרט ופי' פיסחוב (2009), *הערכת יעילות בטיחותית של שיפורי תשתית שיושמו בדרכים הלא עירוניות*, המכון לחקר התחבורה, הטכניון, חיפה.
- גיטלמן, ו' וא"ר כרמל (2012), *הכנת פרקים נבחרים למדריך הישראלי להטמעת בטיחות בדרכים בתהליכי תכנון תשתיות*, המכון לחקר התחבורה, הטכניון, חיפה.
- גפני, די' (2000), *ניתוח אקונומטרי של תאונות הדרכים בישראל*, חיבור לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה, האוניברסיטה העברית, ירושלים.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (1998), *סקר הרגלי נסיעה 1996/7*, פרסום מספר 1141, ירושלים.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2006), *תאונות דרכים עם נפגעים 2005*, חלק א: סיכומים כלליים, פרסום מספר 1272, ירושלים.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2007), *תאונות דרכים עם נפגעים 2006*, חלק א: סיכומים כלליים, פרסום מספר 1298, ירושלים.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2008), *תאונות דרכים עם נפגעים 2007*, חלק א: סיכומים כלליים, פרסום מספר 1336, ירושלים.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2009), *תאונות דרכים עם נפגעים 2008*, חלק א: סיכומים כלליים, פרסום מספר 1378, ירושלים.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2010א), *תאונות דרכים עם נפגעים 2009*, חלק א: סיכומים כלליים, פרסום מספר 1418, ירושלים.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2010ב), *תאונות דרכים עם נפגעים 2009*, חלק ב': תאונות בדרכים לא-עירוניות, פרסום מספר 1419, ירושלים.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2012), *סקר נסועה (קילומטרז') 2011*, פרסום מספר 1494, ירושלים.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2013א), *תאונות דרכים עם נפגעים 2012*, חלק א: סיכומים כלליים, פרסום מספר 1528, ירושלים.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2013ב), *שנתון סטטיסטי לישראל 2012*, לוח 3.30, ירושלים.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2013ג), *י"ב-2012 הסתכמה הנסועה של כלי הרכב המנועיים בכ-50 מיליארד ק"מ, ירידה של כ-1.7% לעומת 2011*, רכב פרטי נסע במוצע כ-16,300 ק"מ בשנה", הודעה לתקשורת 307/2013, ירושלים.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2014), *"ניתוח הנתונים של תאונות הדרכים עם נפגעים בשנת 2013 מגלה: גם השנה מעבר החצייה אינו מבטיח חצייה בטוחה - מבין הולכי הרגל שנפגעו בעת חציית כביש, 72% נפגעו במעבר חצייה"*, הודעה לתקשורת 113/2014, ירושלים.

- טי.אנ.אמ. טכנולוגיה ניהול ייזום בע"מ (2002), פיתוח שיטה, הנחיות וכלים ממוחשבים ל"מחקרי אפקטיביות" של שיפורים בטיחותיים בתשתית: דוח סופי, ירושלים.
- לוונהיים, נ' (2003), ההשפעה של העלאת המהירות המרבית המותרת על תאונות דרכים, מרכז המחקר והמידע, הכנסת, ירושלים.
- מדינת ישראל (2012), נוהל פר"ת 2012: הנחיות לבדיקת כדאיות פרויקטים תחבורתיים, ירושלים.
- פלדי א' וקי פולק (2011), פיתוח מודל חיזוי מבוסס GIS להערכת הסיכון להיפגעות בקטעי דרך בין-עירוניים לפי פרמטרים תחבורתיים ומרחביים, חיבור לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה, אוניברסיטת חיפה.
- תומר-פישמן, ת' (2011), התפתחויות עולמיות באיסוף נתוני תאונות דרכים והמלצות לשיפור מסד נתוני הלמ"ס, הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, ירושלים.
- Aarts, L. and I. Van Schagen (2006). "Driving Speed and the Risk of Roads Crashes: A Review", *Accidents Analysis & Prevention*. 38, issue 2, 215–224.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (2010). *Highway Safety Manual (HSM)*, First Edition, Washington, U.S.A.
- Anastasopoulos, P., A. P. Tarko, and F.L. Mannering (2008). "Tobit Analysis of Vehicle Accident Rates on Interstate Highways", *Accidents Analysis & Prevention*, 40, issue 2, 768–775.
- Brijs, T., D. Karlis, and G. Wets (2008). "Studying the Effect of Weather Conditions on Daily Crash Counts Using a Discrete Time-Series Model", *Accidents Analysis & Prevention*, 40, issue 3, 1180–1190.
- Elvik, R. (1995). "The Safety Value of Guardrails and Crash Cushions: A Meta-Analysis of Evidence from Evaluation Studies", *Accidents Analysis & Prevention*, 27, Issue 4, 523–549.
- Elvik, R. and A. B. Mysen (1999). "Incomplete Accidents Reporting Meta-Analysis of Studies Made in 13 Countries", *Transportation Research Record*, 1665, 133–140.
- Elvik, R., A. Høy and T. Vaa (2009). *The Handbook of Road Safety*, Second Edition, Emerald Group Publishing Limited, UK.
- Fridstrom, L. (1999). *Econometric Models of Road Use, Accidents, and Investment Decisions*, TOI report 457/1999, Oslo, Norway.
- Khattak, A. J., A. J. Khattak and F. M. Council (2002). "Effects of Work Zone Presence on Injury and Non-Injury Crashes", *Accidents Analysis & Prevention*, 34, Issue 1, 19–29.

- Koshal, R. K. (1976). "Deaths from Road Accidents in the United States: An Econometric Analysis", *Journal of Transport Economics and Policy*, 10, No. 3, 219–226.
- Lord, D., S.P. Washington and J.N. Ivan (2005). "Poisson, Poisson-Gamma and Zero-Inflated Regression Models of Motor Vehicle Crashes: Balancing Statistical Fit and Theory", *Accidents Analysis & Prevention*, 37, Issue 1, 35–46.
- Lord, D. and F. Mannering (2010). "The Statistical Analysis of Crash-Frequency Data: A Review and Assessment of Methodological Alternatives", *Transportation Research Part A*, 44, Issue 5, 291–305.
- Miaou, S. (1993). *The Relationship between Truck Accidents and Geometric Design of Road Sections: Poisson versus Negative Binomial Regressions*, Center for Transportation Analysis, U.S.A.
- OECD (2013). *Road Safety Annual Report 2013*, International Road Traffic and Accident Database (IRTAD).
- Qiu, L. and W. A. Nixon (2008). "Effects of Adverse Weather on Traffic Crashes: Systematic Review and Meta-Analysis", *Transportation Research Record*, 2055, 139–146.



## נספחים

ני-1 מספר תאונות הדרכים עם נפגעים ומספר ההרוגים בהן למיליארד ק"מ נסועה, 2000–2012.

ני-2 מספר ההרוגים בתאונות דרכים למיליארד ק"מ נסועה, מדינות ה-OECD, 2011 בהשוואה ל-2000

ני-3 עונתיות נפחי התנועה

ני-4 רשימת התחנות המטאורולוגיות לכל נפה

ני-5 ממוצעים חודשיים של מאפייני קטע כביש לשנים 2005–2009

ני-6 המאפיינים ההנדסיים הממוצעים של קטעי כביש לפי אזור

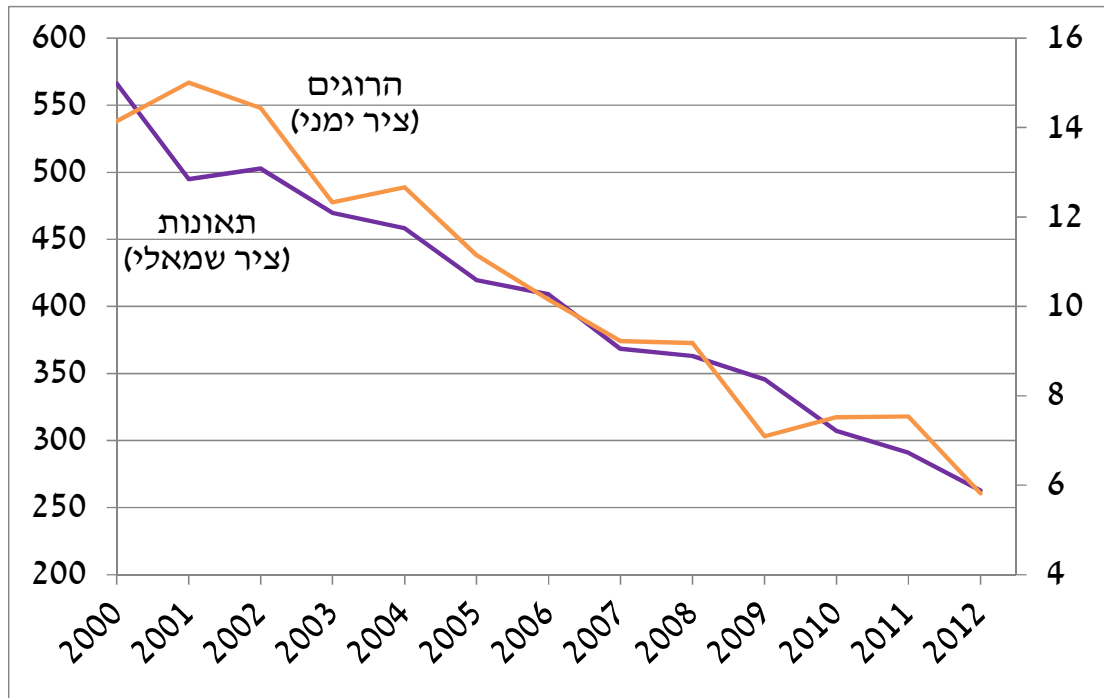
ני-7 לוח מיתאמים

ני-8 ההשפעה השולית על מספר תאונות דרכים [אמידת Panel – Generalized Estimating Equations, התפלגות NB]

ני-9 קטעי כביש ברמת סיכון גבוהה ("כבישים אדומים") – דירוג לפי מספר התאונות והנפגעים

בקטעי הכביש (כולל צמתים)

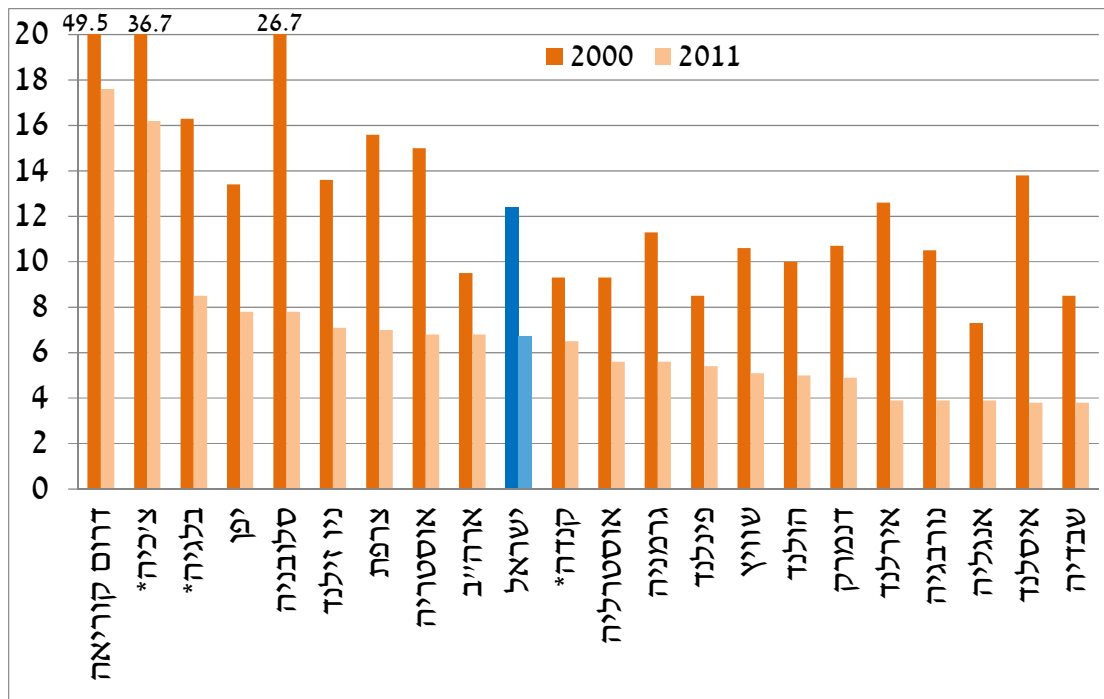
נ'1. מספר תאונות הדרכים עם נפגעים ומספר ההרוגים בהן למיליארד ק"מ נסועה, 2012-2000



המקור: הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2012, 2013, א, 2013 ג) ועיבודי המחברים.

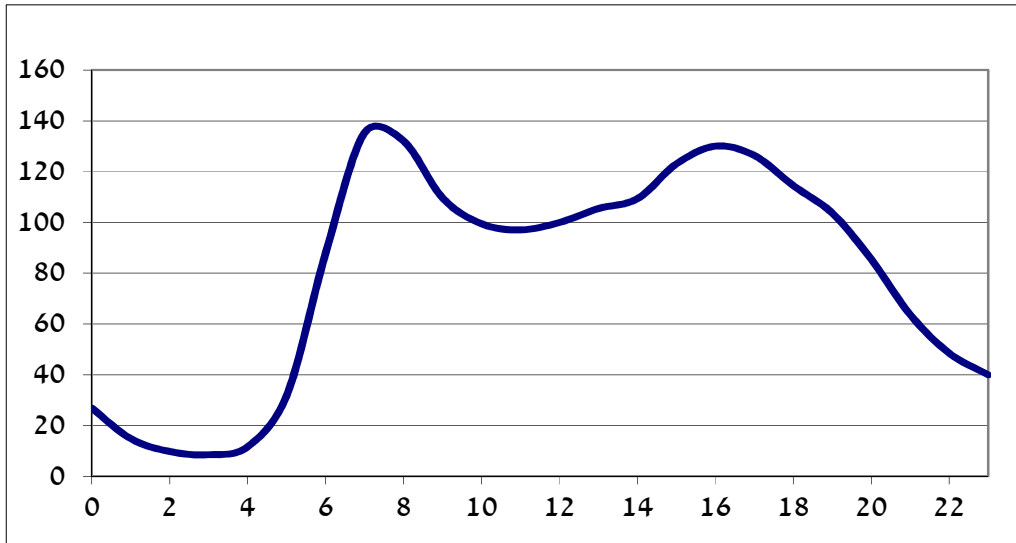
נ'2. מספר ההרוגים בתאונות דרכים למיליארד ק"מ נסועה, מדינות OECD,

2011 בהשוואה ל-2000



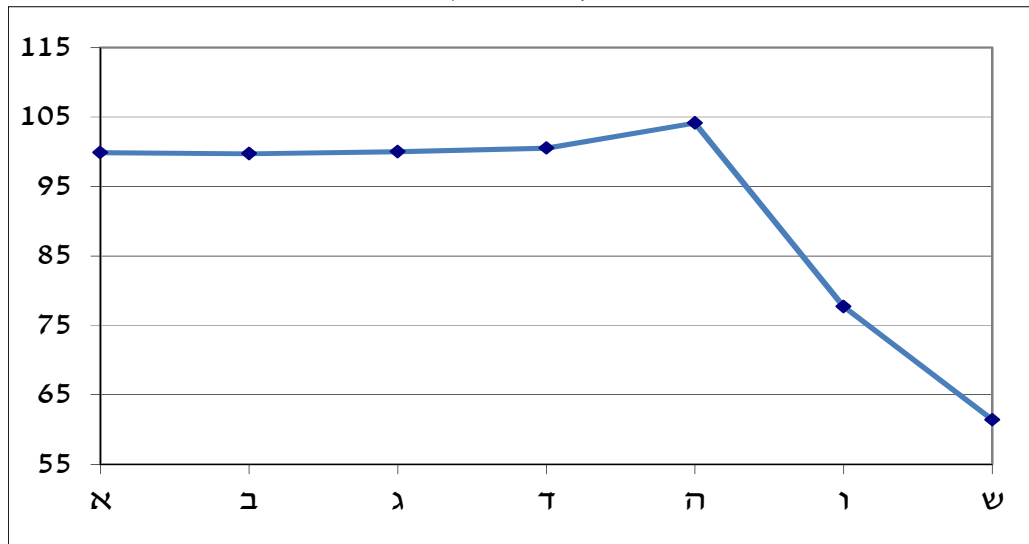
\* מדינות שהנתונים הזמינים לגביהן מתייחסים לשנת 2010 ואינם מתייחסים לשנת 2011. המקור: OECD (2013) ועיבודי המחברים.

נ'3-א. מדד נפח התנועה על פני שעות היממה<sup>2,1</sup>  
(12 בצהריים=100)



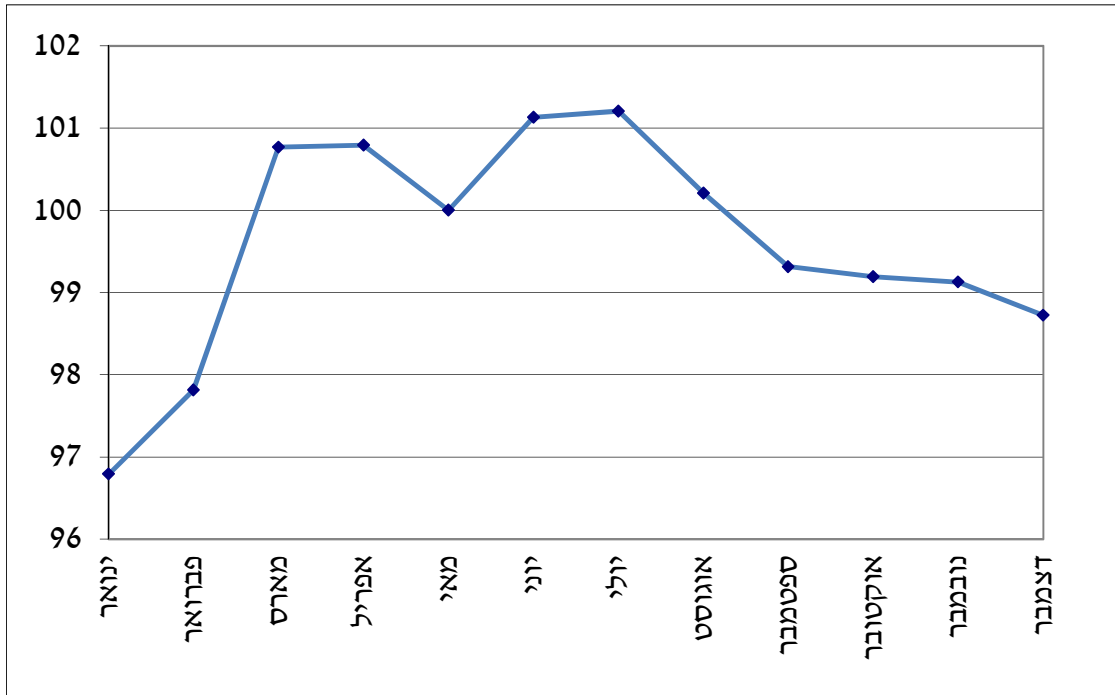
(1) בימים א'-ה' בלבד.  
(2) מבוסס על אמידת נפח התנועה בשנים 2009-2005 כתלות בשנה, בחודש, ביום ובשעה.

נ'3-ב. מדד נפח התנועה בימות השבוע<sup>1</sup>  
(יום ג'=100)



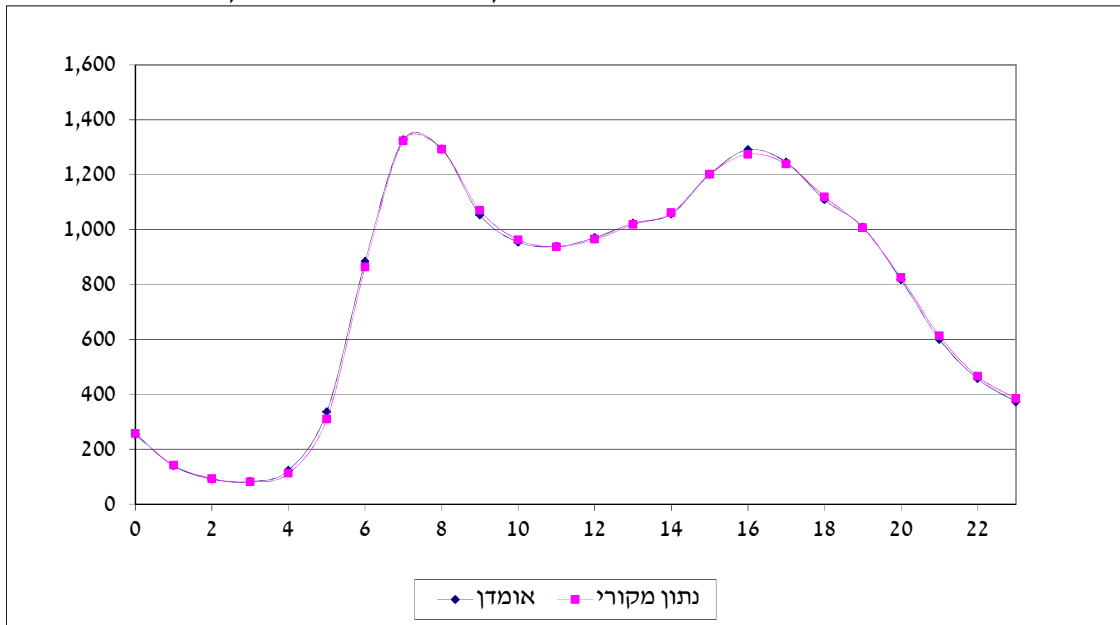
(1) מבוסס על אמידת נפח התנועה בשנים 2009-2005 כתלות בשנה, בחודש, ביום ובשעה.

נ'ג.3. מדד נפח התנועה בחודשי השנה<sup>1</sup>  
(מאי=100)



(1) מבוסס על אמידת נפח התנועה בשנים 2009–2005 כתלות בשנה, בחודש, ביום ובשעה.

נ'ג.3.ד. ממוצע נפח התנועה השעתי: אומדן בהשוואה לנתונים מקוריים<sup>2,1</sup>



(1) בימים א'-ה' בלבד.  
(2) מבוסס על אמידת נפח התנועה בשנים 2009–2005 כתלות בשנה, בחודש, ביום ובשעה.

נ' -4. רשימת התחנות המטאורולוגיות בכל נפה<sup>1</sup>

| שם התחנה                                 | שם הנפה              |
|------------------------------------------|----------------------|
| בית גיימל, ירושלים מרכז, נתיב הל"ה, צובה | ירושלים              |
| כפר בלום, צפת הר כנען                    | צפת                  |
| צמח                                      | כנרת                 |
| חוות עדן, עפולה ניר העמק                 | יזרעאל               |
| אפק, דיר חנא                             | עכו                  |
| אבני איתן, בית ציידא                     | גולן                 |
| חיפה אוניברסיטה, חיפה נמל, נווה יער      | חיפה                 |
| עין כרמל                                 | חדרה                 |
| עין החורש                                | השרון                |
| הכפר הירוק                               | פתח תקווה            |
| בית דגן                                  | רמלה                 |
| חפץ חיים, קבוצת יבנה                     | רחובות               |
| הכפר הירוק, תל אביב חוף                  | תל אביב              |
| אשדוד נמל, דורות, נגבה                   | אשקלון               |
| אילת, באר שבע, ערד, שדה בוקר             | באר שבע              |
| אריאל, קרני שומרון, ראש צורים            | שטחי יהודה ושומרון   |
| גלגל, סדום                               | חלק דרומי של כביש 90 |

**המקור:** השירות המטאורולוגי הישראלי ועיבודי המחברים.

(1) לא נכללו תחנות שלגביהן אין נתונים מלאים לשנים 2006-2009 ותחנות המרוחקות מנפחי תנועה מרכזיים בנפה.

נ'-.5 מאפייני קטע כביש בין-עירוניים, 2005-2009 (ממוצע חודשי)

| הממוצע                  | המינימום | המקסימום  | סטיית התקן |                                                |
|-------------------------|----------|-----------|------------|------------------------------------------------|
| 6.7                     | 0.2      | 120.3     | 7.99       | האורך (ק"מ)                                    |
| 525,715                 | 6,006    | 6,781,131 | 731,758    | נפח התנועה (כלי רכב)                           |
| <b>מאפיינים הנדסיים</b> |          |           |            |                                                |
| 1.5                     | 0        | 4.5       | 0.79       | רוחב השוליים הסלולים (מטרים)                   |
| 0.2                     | 0        | 2.1       | 0.35       | רוחב השוליים הלא-סלולים (מטרים)                |
| 77.5                    | 7.7      | 100       | 12.79      | איכות קטע הכביש (בין 0 ל-100) <sup>1</sup>     |
| 2.7                     | 1.1      | 5.7       | 0.75       | הגליות (בין 0.75 ל-6.5) <sup>2</sup>           |
| 32.3                    | 0        | 100       | 46.75      | דמי למפרדה בין נתיבים נגדיים (שיעור, %)        |
| 1.5                     | 1        | 4.4       | 0.68       | מספר הנתיבים                                   |
| 3.5                     | 2.0      | 11.2      | 0.73       | רוחב הנתיב הממוצע (מטרים)                      |
| 76.2                    | 30       | 100       | 11.71      | המהירות המותרת (קמ"ש)                          |
| 75.5                    | 0        | 100       | 16.13      | שיעור המפרדה החיצונית (%)                      |
| 2.0                     | 0        | 8         | 1.14       | מספר הצמתים                                    |
| 63.1                    | 0        | 100       | 48.26      | דמי לעיקול חד (שיעור, %) <sup>3</sup>          |
| 82.6                    | 0        | 100       | 37.91      | דמי לעלייה/ירידה תלולה (שיעור, %) <sup>4</sup> |
| 11.3                    | 0        | 62.2      | 12.75      | מספר עמודי התאורה לק"מ                         |
| <b>ההשקעה בכבישים</b>   |          |           |            |                                                |
| 8.3                     | 0        | 100       | 27.65      | דמי לעבודות בכביש (שיעור, %)                   |
| 16.3                    | 0        | 356.2     | 49.69      | שווי מלאי ההשקעה (מיליוני ש"ח במחירי 2009)     |
| <b>האכיפה המשטרתית</b>  |          |           |            |                                                |
| 23.7                    | 0        | 1,204     | 56.75      | מספר הדוחות הידניים                            |
| 14.1                    | 0        | 253       | 27.85      | מספר שעות האכיפה <sup>5</sup>                  |
| <b>מזג האוויר</b>       |          |           |            |                                                |
| 32.8                    | 0        | 217.8     | 46.30      | גשם (מ"מ)                                      |
| 19.8                    | 7.2      | 33.4      | 5.69       | הטמפרטורה (מעלות צלזיוס)                       |

**המקור:** הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, "נתיבי ישראל", משרד האוצר, משטרת ישראל, השירות המטאורולוגי הישראלי ועיבודי המחברים.

(1) מדד PCI Pavement Condition Index הנע בין 0 לבין 100 (האיכות הגבוהה ביותר).

(2) ערך גבוה יותר משמעותו גליות נמוכה יותר.

(3) רדיוס אופקי הסוגר מעגל של עד 250 מטרים.

(4) שיפוע אופקי של מעל 5 אחוזים.

(5) שעות האכיפה חושבו כמספר השעות שבהן ניתנו דוחות ידניים בקטע הכביש.

נ'6. המאפיינים ההנדסיים הממוצעים של קטעי כביש בין-עירוניים לפי האזור<sup>1</sup>

| צפון | מרכז | דרום |                                                |
|------|------|------|------------------------------------------------|
| 1.4  | 1.7  | 1.6  | רוחב השוליים הסלולים (מטרים)                   |
| 0.2  | 0.1  | 0.4  | רוחב השוליים הלא-סלולים (מטרים)                |
| 77.1 | 80.4 | 74.4 | איכות קטע הכביש (בין 0 ל-100) <sup>2</sup>     |
| 2.8  | 2.6  | 2.7  | הגליות (בין 0.75 ל-6.5) <sup>3</sup>           |
| 24   | 50   | 26   | דמי למפרדה בין נתיבים נגדיים (שיעור, %)        |
| 1.4  | 1.8  | 1.3  | מספר הנתיבים                                   |
| 3.4  | 3.5  | 3.7  | רוחב הנתיב הממוצע (מטרים)                      |
| 76.2 | 74.8 | 78.6 | המהירות המותרת (קמ"ש)                          |
| 74   | 79   | 74   | שיעור המפרדה חיצונית (%)                       |
| 2.2  | 1.9  | 1.9  | מספר הצמתים                                    |
| 0.71 | 0.51 | 0.66 | דמי לעיקול חד (שיעור, %) <sup>4</sup>          |
| 0.90 | 0.76 | 0.72 | דמי לעלייה/ירידה תלולה (שיעור, %) <sup>5</sup> |
| 10.0 | 13.2 | 11.4 | מספר עמודי התאורה לק"מ                         |

המקור: "נתיבי ישראל" ועיבודי המחברים.

- (1) דרום – מחוז הדרום; מרכז – מחוזות ירושלים, המרכז ותל אביב; צפון – מחוזות הצפון וחיפה.
- (2) מדד PCI Pavement Condition Index הנע בין 0 לבין 100 (האיכות הגבוהה ביותר).
- (3) ערך גבוה יותר משמעותו גליות נמוכה יותר.
- (4) רדיוס אופקי הסוגר מעגל של עד 250 מטרים.
- (5) שיפוע אופקי של מעל 5 אחוזים.

ני-7. לוח מיתאמים<sup>1</sup>

| מספר הדוחות הידניים בחודש | מספר עמודי התאורה לק"מ | דמי לעיקול חד | דמי לעלייה / ירידה תלולה | מספר הצמתים | שיעור המפרדה החיצונית | המהירות המותרת | רוחב הנתיב הממוצע | מספר הנתיבים | דמי למפרדה בין נתיבים נגדיים | ערך גליות הקטע | איכות קטע הכביש | רוחב השוליים הלא-סלולים | רוחב השוליים הסלולים | נפח התנועה | מספר תאונות הדרכים |                              |
|---------------------------|------------------------|---------------|--------------------------|-------------|-----------------------|----------------|-------------------|--------------|------------------------------|----------------|-----------------|-------------------------|----------------------|------------|--------------------|------------------------------|
| 0.228                     | 0.026                  | -0.019        | -0.013                   | 0.142       | 0.068                 | 0.086          | 0.013             | 0.130        | 0.112                        | -0.172         | 0.118           | -0.099                  | 0.145                | 0.221      | 1                  | מספר תאונות הדרכים           |
| 0.378                     | 0.411                  | -0.243        | -0.309                   | 0.055       | 0.199                 | 0.204          | 0.119             | 0.696        | 0.688                        | -0.475         | 0.422           | -0.468                  | 0.582                | 1          |                    | נפח התנועה                   |
| 0.324                     | 0.314                  | -0.246        | -0.182                   | 0.150       | 0.245                 | 0.307          | 0.143             | 0.428        | 0.476                        | -0.583         | 0.401           | -0.414                  | 1                    |            |                    | רוחב השוליים הסלולים         |
| -0.149                    | -0.240                 | 0.047         | 0.083                    | -0.029      | -0.121                | -0.027         | -0.095            | -0.315       | -0.328                       | 0.117          | -0.301          | 1                       |                      |            |                    | רוחב השוליים הלא-סלולים      |
| 0.248                     | 0.136                  | -0.191        | -0.078                   | 0.072       | 0.181                 | 0.162          | 0.059             | 0.359        | 0.340                        | -0.484         | 1               |                         |                      |            |                    | איכות קטע הכביש              |
| -0.356                    | -0.203                 | 0.258         | 0.140                    | -0.208      | -0.190                | -0.432         | -0.075            | -0.502       | -0.475                       | 1              |                 |                         |                      |            |                    | ערך גליות הקטע               |
| 0.366                     | 0.449                  | -0.290        | -0.351                   | 0.034       | 0.060                 | 0.286          | 0.031             | 0.846        | 1                            |                |                 |                         |                      |            |                    | דמי למפרדה בין נתיבים נגדיים |
| 0.366                     | 0.407                  | -0.197        | -0.409                   | 0.044       | 0.093                 | 0.375          | -0.025            | 1            |                              |                |                 |                         |                      |            |                    | מספר הנתיבים                 |
| 0.083                     | <sup>2</sup> -0.007    | -0.089        | <sup>2</sup> 0.005       | 0.054       | 0.033                 | 0.046          | 1                 |              |                              |                |                 |                         |                      |            |                    | רוחב הנתיב הממוצע            |
| 0.234                     | 0.125                  | -0.137        | -0.205                   | 0.115       | 0.107                 | 1              |                   |              |                              |                |                 |                         |                      |            |                    | המהירות המותרת               |
| 0.104                     | 0.031                  | -0.055        | 0.037                    | 0.106       | 1                     |                |                   |              |                              |                |                 |                         |                      |            |                    | שיעור המפרדה החיצונית        |
| 0.147                     | 0.067                  | -0.071        | <sup>2</sup> 0.007       | 1           |                       |                |                   |              |                              |                |                 |                         |                      |            |                    | מספר הצמתים                  |
| -0.110                    | -0.200                 | 0.283         | 1                        |             |                       |                |                   |              |                              |                |                 |                         |                      |            |                    | דמי לעלייה/ירידה תלולה       |
| -0.167                    | -0.085                 | 1             |                          |             |                       |                |                   |              |                              |                |                 |                         |                      |            |                    | דמי לעיקול חד                |
| 0.117                     | 1                      |               |                          |             |                       |                |                   |              |                              |                |                 |                         |                      |            |                    | מספר עמודי התאורה לק"מ       |
| 1                         |                        |               |                          |             |                       |                |                   |              |                              |                |                 |                         |                      |            |                    | מספר הדוחות הידניים בחודש    |

**המקור:** הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, "נתיבי ישראל", משטרת ישראל ועיבודי המחברים.

(1) כל המיתאמים מובהקים ברמה של 1 אחוז, למעט אלו שעליהם נסבה הערת שוליים 2. המתאם בתא המודגש גבוה מאוד.

(2) המיתאמים אינם מובהקים גם ברמה של 10 אחוזים.



לוח נ' 8. ההשפעה השולית על מספר תאונות דרכים<sup>2,1</sup>

[אמידת Panel – Generalized Estimating Equations, התפלגות NB]

| מודל 6   |          | מודל 5   | מודל 4   |          | מודל 3   | מודל 2   |          | שם המשתנה                                                      |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------------------------------------------------------|
| ב6       | א6       |          | ב4       | א4       |          | ב2       | א2       |                                                                |
| ***0.912 | ***0.907 | ***0.743 | ***0.742 | ***0.740 | ***0.751 | ***0.937 | ***0.918 | נפח התנועה<br>(גמישות)                                         |
| ***0.699 | ***0.687 | ***0.533 | ***0.526 | ***0.524 | ***0.555 | **0.674  | **0.677  | דמי לאזור הדרום<br>(ביחס לאזור הצפון)                          |
| 0.902    | 0.892    | **0.833  | **0.835  | **0.833  | **0.840  | 0.905    | 0.949    | דמי לאזור המרכז<br>(ביחס לאזור הצפון)                          |
| **0.836  | **0.832  |          |          |          |          | **0.823  | ***0.788 | רוחב השוליים<br>הסלולים (מטרים)                                |
| 0.886    | 0.885    |          |          |          |          | 0.901    | 0.903    | רוחב השוליים<br>הלא-סלולים<br>(מטרים)                          |
| 1.006    | 1.006    |          |          |          |          | 1.006    | *1.007   | איכות קטע הכביש<br>(בין 0 ל-100) <sup>3</sup>                  |
| 0.875    | 0.881    |          |          |          |          | 0.890    | 0.913    | הגליות<br>(בין 0.75 ל-6.5) <sup>4</sup>                        |
|          |          |          |          |          |          |          | ***0.773 | מספר הנתיבים                                                   |
| 0.959    | 0.958    |          |          |          |          | 0.955    | 0.944    | רוחב הנתיב<br>הממוצע (מטרים)                                   |
| 0.996    | 0.996    |          |          |          |          | 0.997    | 0.999    | מהירות מותרת<br>(קמ"ש)                                         |
| 0.736    | 0.734    |          |          |          |          | 0.745    | 0.858    | שיעור המפרדה<br>החיצונית (בין 0 ל-1)                           |
| ***0.646 | ***0.647 |          |          |          |          | ***0.641 |          | דמי למפרדה בין<br>נתיבים נגדיים                                |
| 0.982    | 0.980    |          |          |          |          | 0.973    | 0.976    | מספר הצמתים                                                    |
| **1.227  | **1.225  |          |          |          |          | ***1.246 | ***1.358 | דמי לעיקול חד <sup>5</sup>                                     |
| 1.090    | 1.088    |          |          |          |          | 1.110    | 1.074    | דמי לעלייה/ירידה<br>תלולה <sup>6</sup>                         |
| ***1.002 | ***1.002 |          |          |          | ***1.002 |          |          | גשם (מ"מ)                                                      |
| 0.992    | 0.992    |          |          |          | 1.009    |          |          | הטמפרטורה<br>(מעלות צלזיוס)                                    |
|          | 0.002    |          |          | 0.005    |          |          |          | שעות האכיפה <sup>7</sup><br>(גמישות)                           |
| 0.008    |          |          | 0.006    |          |          |          |          | מספר הדוחות<br>הידניים בחודש<br>(גמישות)                       |
| -0.011   |          |          | -0.003   |          |          |          |          | מספר הדוחות<br>הידניים בעבר<br>(גמישות) <sup>8</sup>           |
| 1.061    | 1.063    | 1.122    |          |          |          |          |          | דמי לעבודות בכביש                                              |
| 1.001    | 1.001    | 1.000    |          |          |          |          |          | שווי מלאי ההשקעה<br>בקטע הכביש<br>(מיליוני ש"ח במחירי<br>2009) |
| V        | V        | V        | V        | V        | V        | V        | V        | דמי לחודש                                                      |
| V        | V        | V        | V        | V        | V        | V        | V        | דמי לשנה                                                       |

|        |        |        |        |        |        |        |        |                        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------------|
| 19,920 | 19,920 | 30,510 | 30,510 | 30,510 | 27,120 | 22,080 | 22,134 | מספר התצפיות           |
| 18,080 | 18,052 | 25,029 | 24,984 | 24,962 | 22,280 | 20,220 | 20,488 | QIC (lower is better)  |
| 17,972 | 17,946 | 24,982 | 24,950 | 24,928 | 22,250 | 20,115 | 20,380 | QICu (lower is better) |

\*\*\* מובהק ברמה של 1 אחוז; \*\* מובהק ברמה של 5 אחוזים; \* מובהק ברמה של 10 אחוזים.

- (1) מספר תאונות דרכים בקטע כביש בינעירוני במשך חודש (מתוקנן בגין אורך הקטע). מודל 1 (המודל הבסיסי) לא התכנס.
- (2) משמעות הערך הנקוב בלוח (למעט גמישות) היא פי כמה השתנה מספר תאונות הדרכים בעת שינוי ביחידה אחת במשתנה המסביר, כשיתר המשתנים המסבירים קבועים.
- (3) מדד (PCI) Pavement Condition Index הנע בין 0 לבין 100 (האיכות הגבוהה ביותר).
- (4) ערך גבוה יותר משמעותו גליות נמוכה יותר.
- (5) רדיוס אופקי הסוגר מעגל של עד 250 מטרים.
- (6) שיפוע אופקי של מעל 5 אחוזים.
- (7) שעות האכיפה חושבו כמספר השעות שבהן ניתנו דוחות ידניים בקטע הכביש.
- (8) דוחות בעבר חושבו כלוג מספר הדוחות שניתנו בשלושת החודשים הקודמים לחודש השוטף.

נ'9. קטעי כביש ברמת סיכון גבוהה ("כבישים אדומים")<sup>2,1</sup> –

דירוג לפי מספר תאונות ונפגעים בקטעי כביש בין-עירוניים (כולל צמתים)

| מטרת ישראל | המחקר הנוכחי |                                   |                       |           |        |                                   |                       |           | מיקום                                       | קטע | כביש |
|------------|--------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------|--------|-----------------------------------|-----------------------|-----------|---------------------------------------------|-----|------|
|            | נפגעים       |                                   |                       |           | תאונות |                                   |                       |           |                                             |     |      |
|            | אמידה        | מתוקנן בגין אורך הקטע ונפח התנועה | מתוקנן בגין אורך הקטע | לא מתוקנן | אמידה  | מתוקנן בגין אורך הקטע ונפח התנועה | מתוקנן בגין אורך הקטע | לא מתוקנן |                                             |     |      |
| מדד ד'     | מדד ג'       | מדד ב'                            | מדד א'                | מדד ד'    | מדד ג' | מדד ב'                            | מדד א'                |           |                                             |     |      |
|            | X            | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת גבעת עדה – הכניסה לאלוני יצחק          | 10  | 6522 |
|            |              | X                                 | X                     |           | X      | X                                 | X                     |           | צומת נווה ימין (מערב) – צומת כפר סבא (מזרח) | 20  | 55   |
|            | X            | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת חפץ חיים – הכניסה לחפץ חיים            | 10  | 3933 |
| X          | X            | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת בצת – צומת                             | 310 | 4    |
|            |              | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת בית ברל – הכניסה לבית ברל              | 10  | 5503 |
|            | X            | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת אופקים – כניסה למסלול (מזרח)           | 10  | 2414 |
|            | X            | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת מודיעים (גימזו) – כניסה לגמזו          | 10  | 4314 |
|            |              |                                   |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת כפר סבא (מזרח) – צומת חבלה             | 30  | 55   |
|            | X            | X                                 |                       |           | X      |                                   |                       |           | צומת אדמית – צומת חירם                      | 20  | 899  |
|            | X            |                                   |                       |           | X      |                                   |                       |           | צומת אשתאול – הכניסה לגבעת יערים            | 10  | 395  |
| X          |              | X                                 | X                     |           | X      | X                                 | X                     |           | צומת חנה – צומת מנשה (כרכור)                | 50  | 65   |
|            |              | X                                 | X                     |           | X      | X                                 |                       |           | צומת חורשים – צומת נווה ימין                | 34  | 444  |
|            |              |                                   |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת אורן – צומת דמון                       | 20  | 721  |
|            |              |                                   |                       |           | X      | X                                 |                       |           | יישוב בנימינה – צומת עדה                    | 38  | 652  |
|            |              | X                                 |                       |           | X      | X                                 |                       |           | צומת מעונה – צומת חסן                       | 28  | 89   |
|            |              | X                                 |                       |           |        |                                   |                       |           | צומת מגידו – הכניסה לסאלם                   | 10  | 66   |

|   |   |   |   |   |  |   |   |   |                                          |     |      |
|---|---|---|---|---|--|---|---|---|------------------------------------------|-----|------|
|   |   |   |   |   |  | X |   |   | צומת האלה - הכניסה לרמת בית שמש דר'      | 20  | 38   |
| X |   |   | X |   |  | X | X |   | צומת בית דגן – מחלף השבעה                | 70  | 44   |
|   | X |   |   |   |  |   |   |   | צומת קטורה – צומת שיזפון (עובדה)         | 10  | 40   |
|   | X |   |   |   |  |   |   |   | צומת בראון – צומת יער אודם               | 763 | 98   |
|   |   | X |   | X |  |   |   | X | צומת יפתחאל – צומת מורשת                 | 2   | 784  |
|   | X |   |   |   |  |   |   |   | צומת נשוט – צומת השריון                  | 740 | 91   |
| X |   |   |   |   |  |   | X |   | מחלף השבעה – חולון רח' המלאכה            | 80  | 44   |
|   |   | X |   |   |  |   |   |   | צומת בחן – כניסה לבאקה אל-גרבייה         | 2   | 574  |
| X |   |   | X |   |  |   | X |   | מחלף בר אילן – מחלף גבעת שמואל           | 130 | 4    |
| X |   |   | X |   |  |   | X |   | צומת אלון – צומת חנה                     | 40  | 65   |
|   |   |   |   |   |  |   |   | X | צומת פורידיס – צומת עתלית                | 230 | 4    |
| X |   |   | X |   |  |   | X |   | צומת חדרה (מזרח) – צומת אלון             | 30  | 65   |
|   | X |   |   |   |  |   |   |   | צומת למעלה גלבע – צומת מצפה גלבע         | 10  | 6666 |
| X |   |   |   | X |  |   |   | X | צומת יסיף – צומת כברי                    | 120 | 70   |
|   | X |   |   |   |  |   |   |   | צומת גדות – צומת גונן                    | 10  | 918  |
|   |   |   |   | X |  |   |   | X | צומת בנימינה – צומת פורידיס              | 220 | 4    |
|   |   |   | X | X |  |   |   | X | צומת אבליים – צומת יבור                  | 100 | 70   |
|   |   |   | X |   |  |   |   |   | צומת יבור – צומת אחיהוד                  | 110 | 70   |
|   |   |   |   |   |  |   |   | X | צומת עדנים – צומת כפר סבא רח' ויצמן      | 192 | 40   |
|   |   |   |   | X |  |   |   | X | צומת כרמיאל – צומת חנניה                 | 28  | 85   |
|   |   |   |   | X |  |   |   |   | צומת המוביל – צומת בית רימון             | 2   | 77   |
| X |   |   |   | X |  |   |   | X | צומת סומך – צומת המוביל                  | 18  | 79   |
| X |   |   |   | X |  |   |   | X | צומת משמר הגבול –<br>כניסה לאום אל-פחם   | 62  | 65   |
|   | X | X |   |   |  |   |   |   | יישוב אילת – כניסה לנטפים<br>(מעבר גבול) | 10  | 12   |
|   |   |   |   | X |  |   |   | X | צומת אחיהוד – צומת כרמיאל                | 20  | 85   |

|   |   |  |   |   |  |  |   |   |                                          |     |     |
|---|---|--|---|---|--|--|---|---|------------------------------------------|-----|-----|
| X |   |  | X |   |  |  | X |   | מחלף חולון – מחלף חיל השריון             | 11  | 20  |
|   |   |  |   |   |  |  |   | X | צומת ביל"ו – צומת מצליח                  | 100 | 40  |
| X |   |  | X |   |  |  | X |   | מחלף השלום – מחלף הרכבת                  | 14  | 20  |
|   | X |  |   |   |  |  |   |   | צומת חירם (דובב) –<br>צומת אביבים (דרום) | 30  | 899 |
| X |   |  |   | X |  |  |   | X | צומת שוקת – צומת ערד                     | 20  | 31  |
|   |   |  |   | X |  |  |   |   | צומת תל עכו – צומת יסיף                  | 2   | 85  |
|   |   |  |   | X |  |  |   |   | צומת מחניים – צומת כ"ח                   | 108 | 90  |
|   | X |  |   |   |  |  |   |   | צומת השריון – צומת זיוון                 | 750 | 97  |
|   |   |  | X |   |  |  | X |   | מחלף ההלכה – מחלף רוקח                   | 16  | 20  |
| X |   |  |   | X |  |  |   |   | כניסה לאום אל-פחם – צומת מגידו           | 70  | 65  |
|   |   |  | X |   |  |  | X |   | מחלף קיבוץ גלויות – מחלף לה גארדיה       | 12  | 20  |
| X |   |  | X |   |  |  | X | X | מחלף כפר הירוק – מחלף מורשה              | 20  | 5   |
|   |   |  |   |   |  |  | X |   | מחלף רוקח – מחלף קק"ל                    | 17  | 20  |
| X |   |  | X |   |  |  | X |   | מחלף לה גארדיה – מחלף השלום              | 13  | 20  |
|   |   |  |   | X |  |  |   | X | מחלף קיסריה – מחלף זכרון יעקב            | 70  | 2   |
|   |   |  |   | X |  |  |   |   | צומת קטורה – צומת הערבה                  | 20  | 90  |
|   |   |  |   |   |  |  | X |   | מחלף הרכבת – מחלף ההלכה                  | 15  | 20  |
| X |   |  |   |   |  |  |   | X | מחלף שמריהו – מחלף פולג                  | 40  | 2   |

**המקור:** משטרת ישראל, אגף התנועה, מפת כבישים אדומים, <http://www.police.gov.il/contentPage.aspx?pid=448&mid=12>, או חזר בתאריך 5/11/2013; עיבודי המחברים.  
(1) השורות בלוח מדורגות בסדר יורד בהתאם לתוצאות אמידת התאונות במחקר הנוכחי.  
(2) משמעות הסימון X בתא – נכלל ב-15 קטעי הכביש המסוכנים ביותר לפי הדירוג בעמודה הנתונה. תא מושחר מסמן חפיפה עם דירוג משטרת ישראל.

