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

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

בחינת השפעת מאפייני שוליים על רמת הבטיחות של דרכים בין-עירוניות חד-מסלוליות בישראל

ד"ר ויקטוריה גיטלמן
ד"ר אטי דובא
אינג' רובי כרמל
גב' פאני פיסחוב
פרופ' שלום הקרט

במימון הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים

הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים

דו"ח מחקר מס' S/47/2013 **יוני 2013, חיפה**

דוח מסכם

המחקר מומן ע"י הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים, יחידת המדען הראשי

מספר המחקר: 2015672 **תאריך תחילת המחקר:** 15.11.11 **תאריך הגשת הדו"ח:** 10.02.13

שם החוקר הראשי: ד"ר ויקטוריה גיטלמן

שם החוקר האחראי על תקציב המחקר: פרופ' שלום הקרט

שמות חוקרים נוספים: ד"ר אטי דובא, אינג' רובי כרמל, גב' פאני פיסחוב

מוסד המחקר: מרכז רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים

נושא המחקר (עברית): בחינת השפעת מאפייני שוליים על רמת הבטיחות של דרכים בין-עירוניות חד-מסלוליות בישראל

נושא הדו"ח (עברית): בחינת השפעת מאפייני שוליים על רמת הבטיחות של דרכים בין-עירוניות חד-מסלוליות בישראל

תקציר הדו"ח: בארץ ובעולם, הדרכים החד-מסלוליות הבין-עירוניות, מתאפיינות ברמות בטיחות נמוכות יותר מאשר הדרכים הדו-מסלוליות. אחד האמצעים לשיפור בטיחות בדרכים החד-מסלוליות הוא סלילת שוליים המתאימים לתנאי הדרך. מחקרים בחו"ל הראו שחלה הפחתה במספר התאונות בדרכים בין-עירוניות דו-נתיביות בעקבות הרחבת שוליים. כמו כן, נמצא קשר בין סלילת (ייצוב) שוליים לבין רמת הבטיחות. עם זאת, קיים חשש ששוליים רחבים מדי יכולים לעודד נסיעה במהירות גבוהה וכתוצאה מכך להעלות את מספר התאונות. מטרת מחקר זה הייתה לבחון את הקשר בין רוחב וסוג שוליים לבין התרחשות תאונות, בדרכים בין-עירוניות חד-מסלוליות בישראל.

בביצוע המחקר נכללו:

(א) סקר ספרות בינלאומי בנושאי השפעת מאפייני שוליים על בטיחות בדרכים הבין-עירוניות, עם דגש על כלים כמותיים להצגת הקשר בין שיפור מצב השוליים לבין שינויים בתאונות, בתנאי שטח ותנועה שונים.

(ב) הקמת בסיס הנתונים למחקר, בעזרת שילוב מידע מקבצי תאונות הדרכים של הלמ"ס ומקבצי מאפייני הדרכים של נתיבי ישראל - החברה הלאומית לתשתיות תחבורה, כאשר לכל קטע דרך הוצג מידע לגבי אורכו ומיקומו, נפח התנועה, מאפייני שוליים ומאפיינים גיאומטריים נוספים וכמו כן, מידע על תאונות הדרכים, בשנים 2008-2010.

(ג) ניתוחים רבים לזיהוי הקשר בין מאפייני השוליים והסיכון לתאונות, בהינתן רמות שונות של נפח התנועה ומאפייני דרך אחרים (רוחב נתיב, רדיוס אופקי, שיפוע צד, רדיוס אנכי, שיפוע אורכי, מצב צידי הדרך). הניתוחים נערכו עבור חמישה סוגי תאונות: סך התאונות עם נפגעים (ת"ד), תאונות רכב יחיד, התנגשויות בין כלי רכב, תאונות חמורות וכלל התאונות (ת"ד ו-"כללי עם נפגעים", ביחד). למציאת קשר כמותי בין מאפייני השוליים לבין התרחשות התאונות, בהינתן מאפייני דרך אחרים, הותאמו מודלים משני סוגים: מודל בשיטת הcase-control ומודל מסביר (עם התפלגות בינומית שלילית של אירועי התאונות).

(ד) על סמך המודלים שפותחו במחקר הוערכו מקדמי שינוי בתאונות ומדדי שינוי ברמת הסיכון לתאונות שמתקשרים עם מאפייני שול שונים. בעזרת ממצאי המודלים, חושבו דוגמאות להערכת קטעי דרכים חד-מסלוליות קיימות, על מנת לבחון תועלת בטיחותית העשויה להתקבל בעקבות טיפולי שוליים בקטעי דרך אלה.

על סמך המודלים שנבנו במחקר נמצא כי השפעת מאפייני שוליים ומאפייני תשתית אחרים על תאונות הייתה עקבית, על פני שני סוגי המודלים וסוגי תאונות שונים. כל המודלים הצביע על קשר מובהק בין רוחב שול כולל לבין התרחשות התאונות, כאשר עליה ברוחב שול כולל עד לנקודת השבירה (2.25 מ') מתקשרת עם עליה בתאונות, בעוד שהגדלת רוחב שול מעבר לנקודת השבירה מתקשרת עם ירידה בתאונות.

לעומת זאת, השינוי בתאונות עם הגדלת רוחב שול גרנולרי (לא סלול) היה פחות ברור. בחלק מהמקרים (סך התאונות עם נפגעים, כלל התאונות), הגדלת רוחב שול גרנולרי עד לנקודת השבירה (0.9 מ') התקשרה עם ירידה בתאונות ואילו ערך גבוה יותר של רוחב שול גרנולרי התקשר עם עליה בתאונות, כאשר במודלים האחרים השפעת מאפיין זה לא הייתה מובהקת.

ע"פי רוב הממצאים, מספר התאונות הנמוך ביותר מתקשר עם רוחב שול כולל רחב - 3 מ' או יותר, בשילוב עם רוחב שול גרנולרי צר (לרבות ללא השול הגרנולרי). כמו כן, במודלים עבור סך התאונות עם נפגעים וכלל התאונות נמצא כי סיכון נמוך יותר לתאונות מזוהה גם עם שול כולל צר. מאידך, שול כולל ברוחב, 1.5-2.7 מ', ושול גרנולרי ברוחב מעל 1.5 מ', מזוהים עם עליה בסיכון לתאונות ולכן, אינם מומלצים לשימוש.

לגבי השפעת מאפייני דרך אחרים, המודלים הרב-פרמטריים שהותאמו במחקר הראו כי הסדרת אזור המפלט בצד הדרך ברוחב הדרוש או שיפור תנאי הצבה של מעקות הבטיחות תורמים לירידה בסיכון לתאונות, כאשר הסדרת אזור המפלט עדיפה על התקנת מעקות הבטיחות. כמו כן, ע"פי השיקול הבטיחותי, רוחב הנתיב המועדף לדרך חד-מסלולית אינו הרחב ביותר. בנוסף, ירידה בגודל השיפוע לאורך מתקשרת עם ירידה בתאונות.

על סמך המודלים פותחו כלים סטטיסטיים - גרפים וטבלות המציגים את מקדמי השינוי בתאונות ומדדי השינוי ברמת הסיכון לתאונות שמתקשרים עם מאפייני שול שונים. המודלים והכלים הסטטיסטיים שפותחו במחקר עשויים לסייע בעת קבלת החלטות בשלבי תכנון של דרך חדשה, שיפור קטע דרך קיים, טיפול באתר תורפה וכד' וכן, לתמוך בפיתוח מדיניות חדשה לגבי מאפייני חתך מועדפים בסוגי דרך שונים.

חתימת החוקר הראשי: ד"ר ויקטוריה גיטלמן

חתימות החוקרים השותפים:

1. שם החוקר: פרופ' שלום הקרט חתימה:
2. שם החוקר: ד"ר אטי דובא חתימה:
3. שם החוקר: אינג' רובי כרמל חתימה:
4. שם החוקר: גב' פאני פיסחוב חתימה:

תוכן העניינים

תקציר מנהלים 6

1. מבוא 17

1.1. נושא המחקר 17

1.2. סקר ספרות 18

1.2.1. כללי 18

1.2.2. השפעת החתך לרוחב - רוחב נתיב ורוחב שול, ע"פי הניסיון האמריקני 19

1.2.3. שילוב רוחב נתיב ורוחב שול 28

1.2.4. מודלים רב-משתנים נוספים לחיזוי תאונות 29

1.2.5. מקדמי שינוי בתאונות בעקבות טיפולי שוליים 36

1.2.6. שימושים בלתי מתוכננים בשוליים 39

1.2.7. סיכום 40

2. הקמת בסיס הנתונים למחקר 41

2.1. מקורות המידע 41

2.2. הכנת מאפייני הדרכים 42

2.3. הכנת נתוני התאונות 46

2.4. בדיקות מוקדמות של הנתונים 48

3. פיתוח מודלים מסבירים לקשר בין מאפייני שוליים לבין שכיחות התאונות 51

3.1. ניתוח מגשש של הנתונים 51

3.1.1. ניפוי נתוני התאונות 51

3.1.2. ניתוח משתנים מסבירים 52

3.1.3. התאמת מודלים מסבירים 56

3.2. פיתוח מודלים מסבירים בשיטת case-control 57

3.2.1. כללי: שיטת הcase-control 57

3.2.2. יצירת בסיס הנתונים למודל הcase-control 60

3.2.3. מודלים שפותחו בשיטת הcase-control 62

3.2.4. מודלים מסבירים עם התפלגות בינומית שלילית 66

4. בחינת משמעויות של ממצאי המודלים - השפעת מאפייני תשתית על תאונות 70

4.1. כללי 70

4.2. הערכת מקדמי שינוי בתאונות, בעזרת המודלים 71

4.2.1. סך התאונות עם נפגעים 71

4.2.2. תאונות רכב יחיד 76

4.2.3. תאונות חמורות 79

4.2.4. כלל התאונות 83

4.3. דוגמאות להערכת קטעי דרך קיימים, בעזרת המודלים 87

4.3.1. דוגמא 1: בחינת החיסכון הצפוי בתאונות בעקבות טיפולי שוליים במקבצי קטעים מייצגים 88
4.3.2. דוגמא 2: בחינת החיסכון הצפוי בתאונות בעקבות טיפולי שוליים בכביש מס' 12 90
5. סיכום ומסקנות 92
5.1. כללי 92
5.2. ממצאים עיקריים של המחקר 93
5.3. מסקנות המחקר ודיון 100
מראי מקום 103
נספח א': בסיס הנתונים לניתוח בשיטת הcase-control, לפי סך התאונות עם נפגעים: פילוג הקטעים לפי הקטגוריות של המשתנים השונים 106
נספח ב': מודלים מסבירים עם התפלגות בינומית שלילית שהותאמו לסוגי תאונות שונים.....109

תקציר מנהלים

1. רקע

אחד האמצעים לשיפור הבטיחות בדרכים החד-מסלוליות הוא סלילת שוליים המתאימים לתנאי הדרך. לשוליים הצמודים לנתיבי הנסיעה מייחסים מספר תפקידים כגון: מקום לעצירת חירום; מקום לפינוי רכב שנעצר על נתיבי הנסיעה עקב תאונה או תקלה; מקום התאוששות לנהג שביצע פעולה שגויה; שטח לייצוב קצה המיסעה. מחקרים בחו"ל הראו הפחתה בתאונות בדרכים בין-עירוניות דו-נתיביות בעקבות הרחבת שוליים. כמו כן, נמצא קשר בין ייצוב שוליים לבין רמת הבטיחות. אולם, שוליים רחבים מדי עלולים לעודד נסיעה במהירות גבוהה כי הם משדרים לנהג נוכחות של מרחב גדול יותר לתיקון שגיאות בנהיגה.

בישראל, בקרב מתכנני דרכים ומהנדסי תנועה, קיימת מודעות לחשיבות רוחב שול לתפקוד הדרך ולרמת בטיחותה. נושא השפעת רוחב שוליים על תפקוד הדרך נדון בפורומים מקצועיים רבים. עם זאת, הקשר בין מאפייני שוליים לבין רמת בטיחות הדרך לא נבחן באופן מפורט בישראל. לכן, מטרת מחקר זה הייתה לבחון את הקשר בין רוחב וסוג שוליים לבין התרחשות התאונות, בדרכים הבין-עירוניות החד-מסלוליות בישראל.

2. שיטת המחקר

בביצוע המחקר היו מרכיבים אלה:

א. תחילה, נערך סקר ספרות בנושאי השפעת מאפייני שוליים על בטיחות בדרכים הבין-עירוניות, עם דגש על הדרכים החד-מסלוליות. בסקירה נכללו פרסומים מהעשורים האחרונים, עם דגש על מחקרים אשר פיתחו כלים כמותיים לקשר בין שיפור מצב השוליים לבין שינויים בתאונות, בתנאי שטח ותנועה שונים.

ב. הוקם בסיס נתונים אשר כלל מידע על כל רשת הדרכים הבין-עירוניות החד-מסלוליות המתוחזקות על-ידי נתיבי ישראל - החברה הלאומית לתשתיות תחבורה. בסיס הנתונים הוקם בעזרת שילוב מידע מקבצי תאונות הדרכים של הלמ"ס ומקבצי מאפייני הדרכים של המערכת לניהול בטיחות של נתיבי ישראל. לכל קטע דרך הוצג מידע לגבי אורכו ומיקומו, נפח התנועה, מאפייני שוליים ומאפיינים גיאומטריים נוספים וכמו כן, מידע על מספרי תאונות הדרכים, בשנים 2008-2010.

ג. על סמך בסיס הנתונים המיוחד שנבנה, בוצעו ניתוחים רבים לזיהוי הקשר בין מאפייני השוליים והסיכון לתאונות, בהינתן רמות שונות של נפח התנועה ומאפייני דרך אחרים. הניתוחים נערכו עבור חמישה סוגי תאונות: סך התאונות עם נפגעים (ת"ד), תאונות רכב יחיד, התנגשויות בין כלי רכב, תאונות חמורות וכלל התאונות (ת"ד ו-"כללי עם נפגעים", ביחד). למציאת קשר כמותי בין מאפייני השוליים לבין התרחשות התאונות, הותאמו מודלים משני סוגים: מודל בשיטת ה-case-control ומודל מסביר (עם התפלגות בינומית שלילית של אירועי התאונות)[1].

[1] לגבי טיב התאמת המודלים שפותחו במחקר - מודלים בינומיים שליליים ומודלים לוגיסטיים (מותנים), אין מדד יחיד מוסכם. לבחינת טיב המודלים במחקר השתמשנו בכלל לפיו אם הדיוויאנס חלקי דרגות החופש לא רחוק מ-1, זה מצביע על התאמת המודל. בנוסף, השתמשנו במדדים המשקללים בין טיב התאמה וקנס על מספר הפרמטרים במודל, כמו AIC ו- SC, לשם שפיטת המודלים, וכמובן בבחירה על-פי מובהקות המשתנים המוצעים כמסבירים. מדדי פסאודו R^2 הניתנים לחישוב עבור רגרסיה לוגיסטית היו בגובה של 15% עבור שלושה מארבעת המודלים שפותחו במחקר.

ד. על סמך המודלים שפותחו במחקר הוערכו מקדמי שינוי בתאונות ומדדי שינוי ברמת הסיכון לתאונות שמתקשרים עם מאפייני שול שונים. כמו כן, בעזרת ממצאי המודלים, חושבו דוגמאות להערכת קטעי דרכים חד-מסלוליות קיימות, על מנת לבחון תועלת בטיחותית העשויה להתקבל בעקבות טיפולי שוליים בקטעי דרך אלה.

3. הממצאים

א. סקר הספרות

בספרות המקצועית נמצאו דוגמאות רבות למודלים לחיזוי תאונות בדרכים בין-עירוניות חד-מסלוליות. לפיתוח מודלים אלה נעשה שימוש בנתונים של תאונות דרכים, נפחי תנועה, מאפייני גיאומטריה ומאפייני תשתית נוספים של קטעי הדרכים. באמצעות שיטות סטטיסטיות מתקדמות ניתן לזהות את המאפיינים המשפיעים ולמצוא ביטוי כמותי להשפעתם של משתני תשתית מסוימים על מספר או שיעור התאונות (מספר תאונות לנסועה) בקטע דרך.

רכיבי התכנון הקשורים בשול הדרך, שהשפעתם נמצאה מובהקת הינם: רוחב שול, שילוב בין רוחב נתיב ורוחב שול, יחס בין שול סלול לשול לא סלול, או סוג שול. יחד עם זאת, רכיבי תכנון נוספים משפיעים על שיעורי התאונות בדרכים החד-מסלוליות כגון: רוחב נתיב, עקמומיות הדרך, שיפוע אורכי, מצב הגבהה צידית בעקום אופקי, מצב צידי הדרך (כגון: נוכחות מעקות בטיחות).

לפי הניסיון הבינלאומי, ניתן להסיק כי סלילת שוליים מביאה לירידה בתאונות. אולם, לגבי ההשפעה של הגדלת רוחב שול לא תמיד מתקבלת תמונה עקבית. על פי המקורות האמריקניים, לרוב, נמצא קשר לינארי בין הגדלת רוחב שול וירידה בתאונות, עבור שול סלול ולא סלול. לעומת זאת, מחקרים אחרים, כגון Elvik & Vaa (2004), הצביעו על ממצאים סותרים לגבי ההשפעה של הגדלת רוחב שול. גם בספרות האמריקנית הובעו חששות לכך ששוליים רחבים מדי עלולים לעודד נסיעה במהירות גבוהה, בשל תפיסת הנהג של מרחב גדול יותר לתיקון שגיאות בנהיגה. סה"כ, ניתן ללמוד מהספרות כי קביעת ההשפעה של מאפייני השוליים על בטיחות אינה משימה קלה, כאשר בביצוע משימה זו יש לשים לב למאפיינים גיאומטריים שונים, הקשורים זה בזה, והמשפיעים על רמת הבטיחות של הכביש.

לגבי השימושים הלא מתוכננים בשוליים נמצא כי, ע"פי התקנות הקיימות, פרט להורדת והעלאת נוסעים, ועצירה הקשורה לתקלה ברכב, אסור לכלי רכב להימצא בשול. ע"פי מחקרי הבטיחות, הולכי רגל וכלי רכב הנמצאים בשול יהיו בסיכון גבוה להיות מעורבים בתאונה. ככלל, מומלץ לנקוט במירב האמצעים כדי לצמצם נוכחות הולכי רגל וכלי רכב בשוליים. הקמת נקודות מנוחה לאורך הדרכים עשויה להביא לצמצום השימושים הבלתי מתוכננים בשולי דרכים ולהקטנת מספר תאונות הדרכים הנגרמות כתוצאה משימושים אלו.

ב. בסיס הנתונים של המחקר

כיחידת הניתוח במחקר נבחר קטע דרך חד-מסלולית באורך כ-1 ק"מ. בסיום שלב הכנת הנתונים למחקר, בסיס הנתונים כלל 3,649 יחידות ניתוח; האורך הכולל של קטעי המחקר היה כ-3,332 ק"מ. לכל קטע כביש במחקר

נקבעו: שדות הזיהוי ורמת החשיפה (נפח תנועה); מאפייני שוליים - רוחב שול כולל, רוחב שול גרנולרי[2], רוחב שול אספלט; מאפייני תשתית נוספים - רוחב נתיב, רדיוס אופקי, שיפוע צד, רדיוס אנכי קמור, רדיוס אנכי קעור, שיפוע אורכי; מצב צידי הדרך - רמת נוכחות של מעקות הבטיחות, רמת נכונות ההצבה של מעקות הבטיחות, גודל אזור המפלט בצד הדרך.

עבור כל קטע דרך בבסיס הנתונים של המחקר הופקו מספרי התאונות, לפי חמישה סוגי תאונות שנבחרו למחקר, בשנים 2008-2010. מתוך 3,649 הקטעים במחקר, תאונות התנגשות בין כלי הרכב נרשמו ב-1,032 קטעים (28% מקטעי המחקר); תאונות רכב יחיד ב-533 קטעים (15%); תאונות חמורות ב-582 קטעים (16%); תאונות עם נפגעים - ב-1310 קטעים (36%); כלל התאונות - ב-2,056 קטעים (56%). יצוין כי "כלל התאונות" מהווה סכום של תאונות "ת"ד" ו-"כללי עם נפגעים", בעוד שיתר סוגי התאונות נגזרו מקבצי "ת"ד" בלבד.

ג. פיתוח מודלים מסבירים ובחינת המשמעויות שלהם

לביטוי קשר כמותי בין מאפייני השוליים לבין התרחשות התאונות הותאמו מודלים מסבירים. זיהוי הקשר לא היה פשוט, ודרש שינויים רבים בהגדרות הנתונים ובשיטת הניתוח, תוך כדי התהליך. בחלק הראשון של התהליך, נעשה ניסיון להתאים מודל מסביר ישיר, תוך כדי בדיקות רבות של הנתונים וניתוח מערכת הקשרים בין מאפייני התשתית והתאונות. עם זאת, הביטוי הכמותי לקשר בין מאפייני הדרכים ושכיחות התאונות שהתקבל במודל בשלב זה לא היה מספק הנדסית.

בין היתר, במודלים אלה התקבל ביטוי חלש יחסית, לעומת יתר מאפייני התשתית, לקשר בין מאפייני השוליים לבין התרחשות התאונות, וכמו כן, בחלק מהמקרים, הקשר בין מאפייני השוליים והתאונות או בין מאפייני תשתית אחרים והתאונות היה מנוגד לידע הנדסי קיים. עקב תוצאות אלה וגם בהתחשב בביקורת הקיימת בספרות כלפי מודלים מסבירים רב-פרמטריים, בהתייחס ליכולתם לשמש בסיס לכימות השפעת מאפייני תשתית נבחרים על תאונות (Hauer, 2010), הוחלט לבחון שינוי גישה בפיתוח המודלים, כאשר רוב מאפייני התשתית נהפכו למשתנים קטגוריים ופיתוח המודלים נעשה בשיטה של case-control.

בשיטה זו, פיתוח המודל מתבסס על בסיס נתונים מצומצם בו לכל יחידת ניתוח עם תאונה שנרשמה בתקופה הנבחנת (case) מותאמת יחידת ניתוח אחרת, ללא תאונה, אך אשר דומה ליחידת הניתוח הראשונה ע"פי מאפייני תשתית נבחרים (control). כתוצאה, חלק ממאפייני התשתית אשר שימשו להתאמה (matching) של יחידות הניתוח כבר נמצאים בבקרה בבסיס הנתונים החדש, כאשר לפיתוח מודל מסביר בהמשך משמשים יתר מאפייני הקטעים שלא היו בבקרה. מכאן, לפיתוח המודלים משמשת רשימה קצרה יותר של מסבירים פוטנציאליים, מה שמעלה את הסיכוי להתאמת המודל. בנוסף, הודות לאופן בניית בסיס הנתונים - התאמה פרטנית בין הקטעים עם וללא התאונות, יש לצפות לשיפור איכות התוצאה - ירידה בהשפעת גורמים אחרים (לא מבוקרים או לא ידועים) אשר לא באו לידי ביטוי במאפייני הקטעים אך עשויים להשפיע על התרחשות התאונות.

[2] מונח "שול גרנולרי" רשום במאפייני הכבישים במערכת המנ"ב של החברה הלאומית. הכוונה לשול לא סלול.

בתור *משתני ההתאמה* של קטעי הדרכים במחקר זה שימשו מאפיינים אלה: נפח תנועה; מהירות מותרת; רדיוס אנכי חיובי ורדיוס אנכי שלילי. בתור *משתני הניתוח* - המועמדים למשתנים המסבירים במודלים, שימשו: אורך קטע[3]; רוחב שול כולל; רוחב שול גרנולרי; רוחב נתיב; קטגוריה של מצב צידי הדרך ושיפוע לאורך.

בעקבות יישום השיטה של ה-case-control התקבלו *מודלים מותנים* לביטוי השפעת מאפייני שוליים ומאפייני תשתית נוספים על התרחשות התאונות. מודלים אלה נותנים ביטוי לשינוי היחסי בתאונות בעקבות שינוי במאפיין תשתית מסוים אך לא מספקים אומדן למספר התאונות החזוי בקטע בהינתן מאפייני תשתית מסוימים. לכן, על סמך אותו בסיס הנתונים של המקרים המותאמים, נבנו *מודלים מסבירים* להערכת מספר התאונות הצפוי בקטע כתלות במאפייני התשתית[4]. כלומר, נבנו שני סוגי מודלים: המודלים המותנים והמודלים המסבירים. שני סוגי המודלים הותאמו עבור חמישה סוגי תאונות: התנגשויות בין כלי רכב; תאונות רכב יחיד; סך התאונות עם נפגעים; תאונות חמורות; כלל התאונות. עם זאת, בשני המודלים עבור התנגשויות בין כלי הרכב השפעת משתני השוליים הייתה לא מובהקת, לכן סוג תאונות זה לא מוצג במסגרת ממצאי המחקר.

על סמך המודלים המותנים שהתקבלו בשיטת ה-case-control בוצעה הערכה של ה-OR - יחס הסיכונים לתאונה במצב עם ערך מסוים של מאפיין תשתית נבחן לעומת ערך הבסיס שלו. על סמך המודלים המסבירים בוצעה הערכה של מקדמי השינוי היחסי בתאונות שמתקשרים עם שינוי במאפיין תשתית מסוים. משמעות מקדם השינוי היחסי בתאונות דומה להגדרת מקדמי שינוי בתאונות (AMF - accident modification factor), בספרות האמריקנית, כאשר מקדם זה מהווה יחס בין מספר תאונות צפוי עם הערך החדש של המאפיין למספר תאונות צפוי עם הערך הישן של המאפיין, והוא ניתן לחישוב בעזרת מקדמי ההשפעה של המודל המסביר.

ערכי ה-OR ומקדמי השינוי היחסי בתאונות, בתלות בערכי מאפיין תשתית מסוים, מאפשרים להמחיש את משמעויות המודלים שפותחו - אופן השפעת מאפייני התשתית על רמת הסיכון לתאונות. הדגמת הקשר בין מאפייני השוליים לבין הסיכון לתאונות נעשתה עבור כל אחד מסוגי התאונות, בעזרת כלים אלה:

(א) על סמך המודל המותנה, נבנו גרפים המציגים OR (יחס הסיכונים לתאונה לעומת תנאי הבסיס) עבור טווח הערכים של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי, כאשר לכל ערך של הOR מוצג גם רווח הסמך שלו ברמת מובהקות 0.05. (ראו ציורים 4.1, 4.3, 4.5, 4.7 בגוף הדו"ח).

(ב) בעזרת המודל המותנה, חושבו ערכי הOR עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול ביחד: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי, לעומת תנאי הבסיס. הממצאים הוצגו בטבלה ובגרף המלווה, כדי להמחיש מה יקרה עם התאונות בעקבות שינוי בו-זמני של שני המאפיינים. (ראה טבלות 4.1, 4.5, 4.7, 4.9 בגוף הדו"ח).

(ג) על סמך המודל המסביר, נבנו שני גרפים המציגים את השינוי היחסי בתאונות, לעומת תנאי הבסיס, עבור טווח הערכים של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי, בהתאמה. (ראו ציורים 4.2, 4.4, 4.6, 4.8 בגוף הדו"ח).

---

[3] אורך הקטעים במחקר הוגדר כ-1 ק"מ, אך עקב הימצאות הצמתים בשטח חלק מהקטעים היו באורך קצר יותר מ-1 ק"מ, מה שהיה עשוי להשפיע על שכיחות התאונות.

[4] עם התפלגות בינומית שלילית של אירועי התאונות

(ד) בעזרת המודל המסביר, חושב גם השינוי היחסי בתאונות, לעומת תנאי הבסיס, עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול ביחד: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי. הממצאים הוצגו בטבלה, עם הדגשת ערכי המאפיינים המזוהים עם ירידה מירבית בתאונות. (ראו טבלות 4.2, 4.6, 4.8, 4.10 בגוף הדו"ח).

טבלה א' מביאה סיכום להשפעת מאפייני השוליים ומאפייני תשתית נוספים על התאונות, על סמך כל המודלים שנבנו במחקר. ניתן לראות כי השפעת המאפיינים הגיאומטריים הייתה *עקבית למדי*, על פני שני סוגי המודלים וסוגי תאונות שונים. באופן כללי, ניתן להסיק כי:

(1) השפעת מאפייני השוליים

- כל המודלים הצביעו על ***קשר עקבי ומובהק*** בין רוחב שול כולל לבין התרחשות התאונות. ע"פי רוב המודלים, עליה ברוחב שול כולל עד לנקודת השבירה[5] (2.25 מ') מתקשרת עם עליה בתאונות, כאשר הגדלת רוחב שול מעבר לנקודת השבירה מתקשרת עם ירידה בתאונות. יצוין כי צורת קשר דומה בין רוחב שול לבין שכיחות התאונות נמצאה גם במחקר של דרכים דלות תנועה בתנאי הארץ (גיטלמן ואחרים, 2012).

- לעומת זאת, השינוי בתאונות עם הגדלת רוחב שול גרנולרי ***לא היה עקבי***. בחלק מהמקרים (סך התאונות עם נפגעים, כלל התאונות), הגדלת רוחב שול גרנולרי עד לנקודת השבירה (0.9 מ') התקשרה עם ירידה בתאונות, כאשר ערך גבוה יותר של רוחב שול גרנולרי, מעבר לנקודת השבירה, התקשר עם עליה בתאונות. במודלים עבור סוגי תאונות נבחרים (רכב יחיד, חמורות), צורת הקשר בין רוחב שול גרנולרי לבין הסיכון לתאונה הייתה שונה (כגון: ירידה בתאונות עם הגדלת רוחב שול גרנולרי מעל 0.9 מ'), כאשר השפעת מאפיין זה במודל לא הייתה מובהקת.

- ככלל, מספר התאונות הנמוך ביותר התקשר עם ***רוחב שול כולל רחב - 3 מ' או יותר***, בשילוב עם רוחב שול גרנולרי עד 0.9 מ'. יש לשים לב שבבסיס הנתונים של המחקר כ-60% מהקטעים עם רוחב שול גרנולרי עד 0.9 מ' היו, למעשה, ללא שול גרנולרי, לכן, ממצא זה מצביע, ברובו, על אפקט בטיחות צפוי מהרחבת רוחב שול כולל, בהיעדר שול גרנולרי.

- מאידך, במודלים עבור סך התאונות עם נפגעים וכלל התאונות נמצא כי סיכון נמוך יותר לתאונות מזוהה ***גם עם שול כולל צר***. למעשה, ממצא זה מהווה המשך לקשר שצוין לעיל ונמצא ברוב המודלים, לפיו עליה ברוחב שול כולל עד לנקודת השבירה (2.25 מ') מתקשרת עם עליה בתאונות. כלומר, שול צר יותר יכול להיות מזוהה עם פחות תאונות. עם זאת, ממצא כזה לא קיים בספרות. ייתכן ותוצאה זו קשורה למיתון מהירויות הנסיעה הנובע מחתך דרך מאולץ אך לבדיקת השערה זו נדרש מחקר המשך.

- ע"פי רוב הממצאים, ***שול כולל ברוחב בינוני*** - 1.5-2.7 מ', ושול גרנולרי ברוחב מעל 1.5 מ', מזוהים עם עליה בסיכון לתאונות ולכן, אינם מומלצים לשימוש.

(2) השפעת מאפייני תשתית נוספים

[5] אנו משתמשים במודלים מקוטעים של רגרסיה. במודלים כאלה המשתנה המסביר מחולק למספר מקטעים, כאשר בכל מקטע מותאם קשר בין המשתנה המסביר והמשתנה התלוי. קשר זה עשוי להיות שונה בין המקטעים השונים. הגבולות בין המקטעים הם *נקודות השבירה*.

טבלה א'. סיכום להשפעת מאפייני שוליים ומאפייני תשתית נוספים, על התאונות, על סמך כל המודלים שנבנו במחקר

מס'	סוג תאונות - סוג מודל	השפעת רוחב שול כולל - שינוי בתאונות* עם שינוי בערך המשתנה	השפעת רוחב שול גרנולרי - שינוי בתאונות* עם שינוי בערך המשתנה	השפעה משולבת של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי	השפעת משתני תשתית אחרים: ערכים המזוהים עם סיכוי נמוך לתאונות
1	סך התאונות עם נפגעים - מודל בשיטת ה-case control	**עליה** בOR כאשר רוחב שול עולה עד 2.25 מ', **ירידה** בOR כאשר רוחב שול מעל 2.25 מ'	**ירידה** בOR כאשר רוחב שול עולה עד 0.9 מ', **עליה** בOR כאשר רוחב שול מעל 0.9 מ'	OR הנמוך ביותר: עם שול כולל רחב ושול גרנולרי צר, כגון: שול כולל 3+ מ', שול גרנולרי 0.6-0.9 מ'	*רוחב נתיב*: צר יותר מזוהה עם OR קטן יותר; *צידי הדרך*: המצב הטוב ביותר ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול; בין המצבים עם מעקות – הטוב ביותר כאשר המעקה מרוחק כנדרש מהמיסעה וממכשול; *שיפוע לאורך*: פרט לערך מירבי, שיפוע קטן יותר מזוהה עם OR קטן יותר
2	סך התאונות עם נפגעים - מודל מסביר (בינומי שלילי)	מספר תאונות **נמוך יותר** כאשר רוחב שול מעל 2.7 מ' או עד 0.9 מ'	מספר תאונות **נמוך יותר** בתאונות כאשר רוחב שול עד 1.5 מ'	מספר תאונות מינימאלי צפוי ברוחב שול כולל מעל 2.7 מ' עם רוחב שול גרנולרי 0.9-1.5 מ', או ברוחב שול עד 0.9 מ'	*רוחב נתיב*: צר יותר מזוהה עם פחות תאונות; *צידי הדרך*: המצב הטוב ביותר - ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול; *שיפוע לאורך*: פרט לערך מירבי, שיפוע קטן יותר מזוהה עם פחות תאונות
3	תאונות רכב יחיד - מודל בשיטת הcase-control	**עליה** בOR כאשר רוחב שול עולה עד 2.25 מ', **ירידה** בOR כאשר רוחב שול מעל 2.25 מ'	*ירידה* בOR עם עליה ברוחב שול גרנולרי (השפעה לא מובהקת)	OR הנמוך ביותר: עם רוחב שול כולל 3.2+ מ' או עד 1.5 מ', כאשר שול גרנולרי רחב יותר מקטין את הOR	*רוחב נתיב*: צר יותר מזוהה עם OR קטן יותר; *צידי הדרך*: הגדלת אזור המפלט במצב ללא מעקה או הצבה נכונה יותר של המעקות (הרחקה מהמיסעה וממכשול) מזוהים עם ירידה בסיכון; *שיפוע לאורך*: שיפוע קטן יותר מזוהה עם OR קטן יותר
4	תאונות רכב יחיד - מודל מסביר (בינומי שלילי)	**עליה** בתאונות כאשר רוחב שול עולה עד 2.25 מ', **ירידה** בתאונות כאשר רוחב שול מעל 2.25 מ'; מספר תאונות **הנמוך ביותר** כאשר רוחב שול מעל 3.2 מ' או עד 1.5 מ'	*עליה* קלה בתאונות כאשר רוחב שול עולה עד 0.9 מ', *ירידה* בתאונות כאשר רוחב שול מעל 0.9 מ' (השפעה לא מובהקת)	מספר תאונות מינימאלי צפוי ברוחב שול כולל 3+ מ' או ברוחב שול עד 1 מ' (כאשר שול גרנולרי רחב יותר לכאורה מקטין את הסיכון)	*רוחב נתיב*: צר יותר מזוהה עם פחות תאונות; *צידי הדרך*: הגדלת אזור המפלט במצב ללא מעקה או הצבה נכונה יותר של המעקות (הרחקה מהמיסעה וממכשול) מזוהים עם ירידה בסיכון; המצב הטוב ביותר - ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול; *שיפוע לאורך*: פרט לערך מירבי, שיפוע קטן יותר מזוהה עם פחות תאונות
5	תאונות חמורות - מודל בשיטת הcase-control	**עליה** בOR כאשר רוחב שול עולה עד 2.25 מ', **ירידה** בOR כאשר רוחב שול מעל 2.25 מ'	ללא שינוי כאשר רוחב שול עולה עד 0.9 מ', *ירידה* בOR עם עליה ברוחב שול גרנולרי (השפעה לא מובהקת)	OR הנמוך ביותר: עם רוחב שול כולל 3.2+ מ' או עד 1.8 מ', כאשר שול גרנולרי רחב יותר מקטין את הOR	*רוחב נתיב*: צר יותר מזוהה עם OR קטן יותר; *צידי הדרך*: הגדלת אזור המפלט במצב ללא מעקה או הצבה נכונה יותר של המעקות (הרחקה מהמיסעה וממכשול) מזוהים עם ירידה בסיכון; המצב הטוב ביותר - ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול; *שיפוע לאורך*: -- (לא מובהק)
6	תאונות חמורות - מודל מסביר (בינומי שלילי)	**עליה** בתאונות כאשר רוחב שול עולה עד 2.25 מ', **ירידה** בתאונות כאשר רוחב שול מעל 2.25 מ'; מספר תאונות **הנמוך ביותר** כאשר רוחב שול מעל 3.2 מ' או עד 1.5 מ'	*עליה* קלה בתאונות כאשר רוחב שול עולה עד 0.9 מ', *ירידה* בתאונות כאשר רוחב שול מעל 0.9 מ' (השפעה לא מובהקת)	מספר תאונות מינימאלי צפוי ברוחב שול כולל 3.2+ מ' או ברוחב שול עד 1.5 מ' (כאשר שול גרנולרי רחב יותר לכאורה מקטין את הסיכון)	*רוחב נתיב*: צר יותר מזוהה עם פחות תאונות; *צידי הדרך*: הגדלת אזור המפלט במצב ללא מעקה מזוהים עם ירידה בסיכון, כאשר מצבי צידי הדרך עם מעקות מזוהים עם סיכון גבוה יותר לתאונות; המצב הטוב ביותר - ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול; *שיפוע לאורך*: -- (לא מובהק)

מס'	סוג תאונות - סוג מודל	השפעת רוחב שול כולל - שינוי בתאונות* עם שינוי בערך המשתנה	השפעת רוחב שול גרנולרי - שינוי בתאונות* עם שינוי בערך המשתנה	השפעה משולבת של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי	השפעת משתני תשתית אחרים: ערכים המזוהים עם סיכוי נמוך לתאונות
7	כלל התאונות - מודל בשיטת הcase-control	**עליה** בOR כאשר רוחב שול עולה עד 2.25 מ', **ירידה** בOR כאשר רוחב שול מעל 2.25 מ'	**ירידה** בOR כאשר רוחב שול עולה עד 0.9 מ', **עליה** בOR כאשר רוחב שול מעל 0.9 מ'	OR הנמוך ביותר: עם שול כולל רחב ושול גרנולרי צר, כגון: שול כולל 3+ מ', שול גרנולרי 0.9 מ', או שול כולל צר, עד 1.8 מ', ושול גרנולרי עד 0.9 מ'	*רוחב נתיב*: נתיב ברוחב 2.8-3.2 מ' מזוהה עם OR הקטן ביותר; *צידי הדרך*: המצב הטוב ביותר עם מעקה, כאשר המעקה מרוחק כנדרש מהמיסעה וממכשול (השפעת יתר המצבים לא מובהקת); *שיפוע לאורך*: שיפוע קטן יותר מזוהה עם OR קטן יותר (אם כי, לא מובהק)
8	כלל התאונות - מודל מסביר (בינומי שלילי)	**עליה** בתאונות כאשר רוחב שול עולה עד 2.25 מ', **ירידה** בתאונות כאשר רוחב שול מעל 2.25 מ'; מספר תאונות **הנמוך ביותר** כאשר רוחב שול 3.5 מ' או עד 1.8 מ'	**ירידה** בתאונות כאשר רוחב שול עולה עד 0.9 מ', **עליה** בתאונות כאשר רוחב שול מעל 0.9 מ'	מספר תאונות מינימאלי צפוי ברוחב שול כולל מעל 3.2 מ' עם רוחב שול גרנולרי 0.9 מ', או ברוחב שול עד 1.8 מ' עם רוחב שול גרנולרי עד 0.9 מ'	*רוחב נתיב*: נתיב ברוחב 2.8-3.2 מ' מזוהה עם הסיכון הקטן ביותר; *צידי הדרך*: הגדלת אזור המפלט במצב ללא מעקה מזוהה עם ירידה בסיכון, כאשר המצב הטוב ביותר - ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול; בין מצבי צידי הדרך עם המעקות, המצבים של קרבת מעקה למיסעה ולמכשול מזוהים עם סיכון גבוה יותר לתאונות; *שיפוע לאורך*: לרוב, שיפוע קטן יותר מזוהה עם פחות תאונות (לא מובהק)

* בשיטת הcase-control – שינוי ביחס הסיכונים לתאונות (OR) לעומת תנאי הבסיס

- ע"פי רוב המודלים שהותאמו לנתונים במחקר זה, נמצא שרוחב נתיב צר יותר מתקשר עם ירידה בסיכון לתאונות. ממצא זה מפתיע יחסית לידוע בספרות, אם כי, ייתכן כי רוחב נתיב צר יותר גורם למהירויות נסיעה נמוכות יותר ומכאן, לירידה בסיכון לתאונות. תוצאה שונה במקצת נצפתה במודלים עבור כלל התאונות, בהם הסיכון הנמוך ביותר לתאונות מזוהה עם רוחב נתיב בינוני, 2.8-3.2 מ'. כמו כן, ניתן לציין כי במחקר דרכים דלות תנועה בתנאי הארץ (גיטלמן ואחרים, 2012) השפעת רוחב נתיב נמצאה במודל עבור כלל התאונות (ת"ד ו-"כללי עם נפגעים" ביחד) והיא הצביעה על קשר "שבור": ירידה בתאונות ברוחב נתיב עד 3 מ' ועליה בתאונות ברוחב נתיב מעל 3 מ'. כלומר, קיים דמיון ניכר בין ממצאי המחקר הנוכחי לבין המחקר הקודם. על כל פנים, נראה כי הרחבה מירבית של נתיב, אינה מומלצת, משיקולי הבטיחות, עבור קטעי הדרכים החד-מסלוליות.

- לגבי מצב צידי הדרך נמצא שע"פי רוב המודלים, המצב הבטיחותי ביותר הוא ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול. בנוסף, מבחינת השפעת צידי הדרך על תאונות זוהו שתי תופעות: כאשר רוב צידי הדרך בקטע ללא מעקה, הגדלת אזור המפלט מזוהה עם ירידה בתאונות; מאידך, כאשר רוב צידי הדרך בקטע עם מעקה, הצבה נכונה יותר של המעקות (הרחקה מהמיסעה וממכשול) מזוהה עם ירידה בסיכון לתאונות. ממצאים אלה תומכים בידע ההנדסי לגבי יצירת צידי דרך סלחניים וגם מצביעים על כך שעבור קטעי הדרכים החד-מסלוליות, המצב המועדף של צד הדרך הוא ללא מעקה ועם אזור מפלט ניכר לרכב[6]. (כמובן, במידה ורוחב אזור המפלט יכול להתקיים בתנאי דרך קיימים ולא קיים הצדק להתקנת מעקה).

- לגבי השפעת השיפוע לאורך נמצא שעל פני רוב הערכים של המאפיין, פרט לערכו המירבי, עליה בגודל השיפוע התקשרה עם עליה בתאונות (כמצופה ע"פי הידע ההנדסי). בניגוד למצופה, בחלק מהמודלים, הערך המירבי של שיפוע לאורך היה מזוהה עם הסיכון הנמוך ביותר לתאונות. עם זאת, מבדיקת הנתונים עלה כי קטגוריה זו מיוצגת ע"י מספר קטן מאוד של מקרים כאשר בחלק מהמודלים שהותאמו במחקר השפעת מאפיין זה לא הייתה מובהקת.

לסיכום, המודלים הרב-פרמטריים שהותאמו במחקר הראו מספר ממצאים מרכזיים כלהלן:

1) שול סלול רחב והיעדר שול גרנולרי הם השילוב התורם ביותר לרמת הבטיחות של קטע דרך חד-מסלולית.

2) הסדרת אזור המפלט בצד הדרך ברוחב הדרוש או שיפור תנאי הצבה של מעקות הבטיחות תורמים לירידה בסיכון לתאונות, כאשר הסדרת אזור המפלט עדיפה על התקנת מעקות הבטיחות (במידה וחלופת אזור המפלט ניתנת ליישום).

3) בנוסף, רוחב הנתיב המועדף לדרך חד-מסלולית אינו הרחב ביותר, כאשר גם ירידה בגודל השיפוע לאורך מתקשרת עם ירידה בתאונות.

---

[6] ההעדפה להשארת אזור המפלט במקום הצבת מעקה רלוונטית כאשר תנאי הדרך מאפשרים זאת. אזורים הרריים או קרבת מכשולים לשטח הדרך לא משאירים ברירה אלא מחייבים התקנת מעקה (תנאים אלה מפורטים בהצדקים להצבת מעקות בהנחיות המתאימות).

ד. הדגמת שימושים בממצאי המודלים

על סמך הכלים שפותחו במחקר (גרפים וטבלות המציגים את יחס הסיכונים לתאונה ואת השינוי היחסי בתאונות לעומת תנאי הבסיס, עבור הערכים השונים של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי – ראה פרק 4), בוצעו הערכות לדוגמא של קטעי דרכים חד-מסלוליות קיימות, על מנת להדגים תועלות בטיחותיות אפשריות שעשויות להתקבל בעקבות טיפול בשוליים בקטעי דרך אלה.

החיסכון הצפוי בתאונות נבחן עבור המקרים כאשר בקטעי הדרכים עם רוחב שול צר תבוצע הרחבה של רוחב שול כולל ו/או סלילה של שול גרנולרי, כדי להגיע למצב של שול כולל ברוחב 3 מ' או יותר, עם שול גרנולרי צר, עד 0.9 מ'. בעקבות הערכה השוואתית של 13 מקבצי הקטעים נמצא כי, ע"פי מדד החיסכון הצפוי בתאונות עם נפגעים לקטע, הטיפול המועדף הינו בקטעים עם רוחב שול כולל 1.5-1.8 מ' שהינו למעשה שול גרנולרי, ובמקבצי הקטעים עם רוחב שול כולל 1.5-1.8 מ' או 1.8-2.1 מ', בשילוב שול גרנולרי צר, עד 0.9 מ'.

כלומר, גם החישוב לדוגמא, על פני קטעי הדרכים הקיימים, הצביע על הצורך לטפל, קודם כל, בקטעים עם רוחב שול צר, 1.5-2.1 מ'. עם זאת, החיסכון הצפוי בתאונות בעקבות הטיפול בשוליים לא היה גבוה (כערך מוחלט) ולכן, בטרם החלטה על הרחבה או סלילת שול יש מקום לשקול טיפולי תשתית אחרים[7].

בנוסף, חישוב לדוגמא נערך עבור כביש מס' 12, על מנת לבחון חיסכון צפוי בסך התאונות עם נפגעים, בעקבות טיפולי שוליים בקטעים עם רוחב שול כולל 1.5-2.1 מ'. החישוב השווה בין שתי חלופות: (1) הרחבת שול כולל עד 3 מ', ללא שינוי רוחב שול גרנולרי; (2) הרחבת שול כולל עד 3 מ', תוך כדי סלילה ברוחב מלא. נמצא כי הטיפול השני (הרחבה וסלילה מלאה) יעיל יותר לעומת הטיפול האחר, כמבטיח חיסכון גדול יותר בתאונות. עם זאת, על פני כל 57 הקטעים המוערכים, שני סוגי הטיפולים מזוהים עם חיסכון מסכם של 1.6-2 תאונות בלבד (בשלוש שנים). המספר הקטן של התאונות שעומד להיחסך נובע גם מהשכיחות הנמוכה יחסית של תאונות הדרכים בכביש זה: סה"כ 10, בשלוש שנים, כאשר הטיפול בשוליים מבטיח חיסכון של 16%-20% מהתאונות. סה"כ, ייתכן כי הרחבה ו/או סלילת שוליים אינו שיפור התשתית המועדף לצמצום מספר התאונות בכביש זה.

4. מסקנות המחקר

על סמך המודלים שפותחו במחקר התקבלו מסקנות כלהלן:

1. במחקר זה נמצא קשר כמותי מובהק בין מאפייני שוליים לבין התרחשות התאונות בקטעי דרכים חד-מסלוליות, בתנאי הארץ.

2. כל המודלים הצביעו על קשר עקבי ומובהק בין רוחב שול כולל לבין התרחשות התאונות, כאשר הגדלת רוחב שול כולל עד לנקודת השבירה (2.25 מ') מתקשרת עם עליה בתאונות, בעוד שהגדלת רוחב שול מעבר לנקודת השבירה מתקשרת עם ירידה בתאונות. צורת קשר דומה בין רוחב שול לבין התאונות נמצאה גם במחקר ישראלי קודם.

3. השפעת רוחב שול גרנולרי על התאונות לא הייתה עקבית. במודלים עם סך התאונות עם נפגעים וכלל התאונות, הגדלת רוחב שול גרנולרי עד לנקודת השבירה (0.9 מ') התקשרה עם ירידה בתאונות, כאשר ערך

[7] כגון: הוספת פס צבע משונן להפרדה בין מיסעה ושול

גבוה יותר של רוחב שול גרנולרי התקשר עם עליה בתאונות. לעומת זאת, במודלים עבור סוגי תאונות נבחרים (רכב יחיד, חמורות), צורת הקשר בין רוחב שול גרנולרי לבין הסיכון לתאונה הייתה שונה, כאשר השפעת מאפיין זה לא הייתה מובהקת.

4. הסיכון הנמוך ביותר לתאונות בקטע דרך חד-מסלולית מתקשר עם רוחב שול כולל רחב - 3 מ' או יותר, בשילוב עם רוחב שול גרנולרי עד 0.9 מ'. כלומר, שול סלול רחב והיעדר שול גרנולרי הם השילוב התורם ביותר לרמת הבטיחות של קטע דרך חד-מסלולית.

5. במודלים עבור סך התאונות עם נפגעים וכלל התאונות נמצא כי סיכון נמוך יותר לתאונות מזוהה גם עם שול כולל צר. ממצא כזה לא קיים בספרות. ייתכן ותוצאה זו קשורה למיתון מהירויות הנסיעה הנובע מחתך דרך מאולץ אך לבדיקת השערה זו נדרש מחקר המשך.

6.שול כולל ברוחב בינוני - 1.5-2.7 מ', ושול גרנולרי ברוחב מעל 1.5 מ', מזוהים עם עליה בסיכון לתאונות ולכן, אינם מומלצים לשימוש.

7. ע"פי רוב המודלים, רוחב נתיב צר יותר מתקשר עם ירידה בסיכון לתאונות, כאשר במודלים עבור כלל התאונות, הסיכון הנמוך ביותר לתאונות מזוהה עם רוחב נתיב בינוני, 2.8-3.2 מ'. ממצא זה תואם, במידה מסוימת, את המחקר הישראלי הקודם. מסתמן כי הרחבה מירבית של רוחב נתיב אינה מומלצת, משיקולי הבטיחות, עבור קטעי הדרכים החד-מסלוליות.

8. מבחינת מצב צידי הדרך, ע"פי רוב המודלים, הסדרת אזור המפלט בצד הדרך ברוחב הדרוש או שיפור תנאי הצבה של מעקות הבטיחות תורמים לירידה בסיכון לתאונות, כאשר הסדרת אזור המפלט עדיפה על התקנת מעקות הבטיחות. ממצאים אלה תומכים בידע ההנדסי לגבי יצירת צידי דרך סלחניים וגם מצביעים על כך שעבור קטעי הדרכים החד-מסלוליות, המצב המועדף של צד הדרך הוא ללא מעקה, בשילוב אזור מפלט ניכר לרכב.

9. לגבי השפעת השיפוע לאורך, על פני רוב הערכים של המאפיין, עליה בגודל השיפוע מתקשרת עם עליה בתאונות (כמצופה ע"פי הידע ההנדסי).

המודלים והכלים הסטטיסטיים שפותחו במחקר מאפשרים לבחון את השינוי הצפוי בתאונות בעקבות שינויים במאפייני שוליים ומאפייני תשתית אחרים. ממצאים אלה עשויים לסייע בעת קבלת החלטות בשלבי תכנון של דרך חדשה, שיפור קטע דרך קיים, טיפול באתר תורפה וכד'. הכלים כמו כן הממצאים הללו יכולים לשמש בסיס להכנת תוכניות עם סדרי העדיפויות לטיפול הנדסי בקטעי הדרכים החד-מסלוליות, למען שיפור רמת הבטיחות של דרכים אלה. עם זאת, רמת החיסכון בתאונות הצפויה בעקבות הרחבה ו/או סלילת שוליים עשויה להיות נמוכה יותר מאשר בעקבות שיפורי תשתית אחרים (כגון: הסדרת פס צבע משונן/ מקורצף בין המיסעה והשול) ולכן, בטרם החלטה יש לבחון את כל חלופות הטיפול הבטיחותי.

הממצאים לגבי השפעת השול הגרנולרי במחקר זה לא היו חד-משמעיים וחלקם לא מובהקים. לכן, להעמקת ההבנה בנושא זה מומלץ לבצע מחקר המשך, אשר יבחן חלוקה פרטנית יותר של קטעי הדרכים החד-מסלוליות לפי רוחב שול גרנולרי ויסיק מסקנות לגבי השפעת השול הגרנולרי על סמך מקבצים הומוגניים יותר של קטעי הדרכים.

במידה ושיפורי התשתית המבוצעים בשטח יאפשרו זאת, מומלץ לקדם מחקרי הערכה בשיטת "אחרי-לפני", על מנת להגיע למקדמי ירידה בתאונות הקשורים לשינויים במאפיינים הגיאומטריים של הכבישים כגון: רוחב שול, סלול ולא סלול; רוחב נתיב; רדיוס אופקי וכד'.

1. מבוא

1.1. נושא המחקר

בארץ ובעולם, ברשת הדרכים הבין-עירונית, הדרכים החד-מסלוליות מתאפיינות ברמות בטיחות נמוכות יותר לעומת יתר סוגי הדרכים: דו-מסלוליות, מהירות (כגון: Fitzpatrick et al, 2004; הקרט, גיטלמן, 2008). לדוגמא, בהערכה עדכנית נמצא כי קטעי הדרכים החד-מסלוליות מהווים כ-70% מאורך הרשת הבינעירונית בישראל, כאשר הם מעבירים כ-30% מנפח התנועה השנתי ומרכזים מעל מחצית ההרוגים בתאונות (גיטלמן, 2012). כמו כן, על סמך נתוני התאונות בשנים 2009-2011 נמצא כי מדד הרוגים למיליארד נסועה היה גבוה פי 3 בדרכים החד-מסלוליות לעומת הדו-מסלוליות: 10.5 לעומת 3.5, בהתאמה. רמת בטיחות נמוכה יותר של הדרכים החד-מסלוליות נובעת, לרוב, מהסיכון הקיים בדרכים אלה להתרחשות התנגשויות חזית-חזית וכמו כן, מרמות תכן נמוכות יותר של הדרכים החד-מסלוליות לעומת הדו-מסלוליות.

אחד האמצעים לשיפור הבטיחות בדרכים החד-מסלוליות הוא סלילת שוליים המתאימים לתנאי הדרך. לשוליים הצמודים לנתיבי הנסיעה מייחסים מספר תפקידים וביניהם: מקום לעצירת חירום; מקום לפינוי רכב שנעצר על נתיבי הנסיעה עקב תאונה או תקלה; מקום התאוששות לנהג שביצע פעולה שגויה; שטח לייצוב קצה המיסעה, ועוד. מחקרים בחו"ל הראו הפחתה בתאונות בדרכים בין-עירוניות דו-נתיביות בעקבות הרחבת שוליים (ראה סקר ספרות בפרק 1.2). כמו כן, נמצא קשר בין סוג פני השוליים (סלול, מצע, עשב) או מצב השוליים לבין רמת הבטיחות. לדוגמא, במדריך לבטיחות בדרכים PIARC (2003) מצוין כי בדרכים בין-עירוניות בעיקולי דרך איכות השוליים דורשת תשומת לב מיוחדת. בין היתר, קיימת סכנת בליה (ארוזיה) של שוליים לא סלולים באזורים גשומים; הימצאות מדרגה בין המיסעה לשול לא סלול מגדילה את הסיכון להתהפכות במקרים של איבוד שליטה על רכב.

מאידך, קיימים חששות לכך ששוליים רחבים מדי יכולים לעודד נסיעה במהירות גבוהה כי הם משדרים לנהג נוכחות של שטח גדול יותר לתיקון שגיאות בנהיגה. כמו כן, נמצא שהמאפיינים הגיאומטריים: מספר נתיבים, רוחב נתיב, רוחב שוליים - קשורים זה בזה, כאשר בחירת ערך לכל אחד ממאפיינים אלה משפיעה על המאפיינים האחרים ועל רמת הבטיחות של הכביש (כגון: Stamatiadis et al, 2009).

בישראל, בקרב מתכנני דרכים ומהנדסי תנועה, קיימת מודעות לחשיבות רוחב שול לתפקוד הדרך ולרמת בטיחותה. בשני העשורים האחרונים, רשות הדרך האחראית על רוב הדרכים הבינעירוניות - נתיבי ישראל (החברה הלאומית לתשתיות תחבורה, מע"צ לשעבר), סללה קילומטרים רבים של שוליים והפיקה הנחיות תכנון לסלילת דרכים, לרבות הנחיות מפורטות לסלילת שוליים. נושא השפעת רוחב שוליים על תפקוד הדרך נדון בפורומים מקצועיים רבים. עם זאת, הקשר בין מאפייני השוליים לבין רמת הבטיחות של הדרכים לא נבחן באופן מפורט בישראל.

מטרת מחקר זה הייתה לבחון את הקשר בין רוחב וסוג שוליים לבין התרחשות התאונות, על רשת הדרכים הבין-עירוניות החד-מסלוליות בישראל. הונח כי מציאת קשר זה עשויה לסייע בהכנת תוכנית לאומית לשיפור תשתיות של דרכים בין-עירוניות חד-מסלוליות, עם סדרי העדיפויות, אשר תביא להפחתה תאונות בדרכים אלה.

בביצוע המחקר יהיו מספר מרכיבים כמפורט להלן.

בתחילת המחקר נערך סקר ספרות בנושאי השפעת מאפייני שוליים על בטיחות בדרכים הבין-עירוניות, עם דגש על הדרכים החד-מסלוליות. בסקירה נכללו פרסומים מהעשורים האחרונים והושם דגש על הצגת ערכים כמותיים למדדי ירידה בתאונות שמתקשרים עם שיפור מאפייני שוליים, בסוגי דרך שונים ובתנאי שטח ותנועה שונים. כמו כן, בסקירת הספרות הבינלאומית רוכזו ממצאים הקשורים לשימושים הלא מתוכננים בשוליים והשפעתם על תאונות. ממצאים מסקר הספרות מוצגים בפרק 1.2 של הדו"ח.

לצורך ביצוע ניתוחים, במחקר הוקם בסיס נתונים אשר כלל פרטים הקשורים לקטעי הדרכים החד-מסלוליות בישראל, וביניהם: אורך ומיקום הקטעים, נפחי תנועה, מאפייני שוליים, מאפיינים גיאומטריים ומאפייני תשתית נוספים של קטעי הדרכים וכמו כן, מידע על התרחשות תאונות הדרכים, ממספר סוגים, בשנים 2008-2010.

בסיס הנתונים של המחקר כלל מידע על כל רשת הדרכים הבין-עירוניות החד-מסלוליות המתוחזקות על-ידי נתיבי ישראל - החברה הלאומית לתשתיות תחבורה, והוא הוקם בעזרת שילוב מידע מקבצי תאונות הדרכים של הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (למ"ס) ומקבצי מאפייני הדרכים של המערכת לניהול בטיחות (מנ"ב) של החברה הלאומית. תיאור תהליך הכנת בסיס הנתונים למחקר וממצאיו הראשונים מוצגים בפרק 2 של הדו"ח.

על בסיס הנתונים של המחקר בוצעו ניתוחים רבים לזיהוי הקשר בין מאפייני השוליים והסיכון לתאונות, בהינתן רמות שונות של נפח התנועה ומאפייני דרך אחרים. הניתוחים נערכו עבור סך התאונות עם נפגעים (על סמך קבצי "תאונות דרכים" - ת"ד) וגם עבור סוגי תאונות נבחרים כגון: תאונות רכב יחיד, התנגשויות בין כלי רכב, תאונות חמורות, כלל התאונות (ת"ד ו-"כללי עם נפגעים", ביחד). לביטוי קשר כמותי בין מאפייני הדרך ומאפייני השול לבין התרחשות התאונות הותאמו מודלים מסבירים משני סוגים. ממצאים מהניתוחים ומפיתוח המודלים מובאים בפרק 3 של הדו"ח.

על סמך המודלים שפותחו במחקר חושבו מקדמי שינוי בתאונות שמתקשרים עם מאפייני שול שונים. בהסתמך על תוצאות המחקר, בוצעה הערכה מקדמית של קטעי דרכים חד-מסלוליות קיימות, על מנת להדגים תועלות בטיחותיות אפשריות שעשויות להתקבל בעקבות טיפול בשוליים בקטעי דרך מייצגים. ממצאים מהערכות אלה מוצגים בפרק 4 של הדו"ח.

פרק 5 מביא סיכום לממצאי המחקר. הכלים שנבנו במחקר וממצאי ההערכות יכולים לשמש בסיס להכנת תוכנית ארצית עם סדר העדיפויות לטיפול הנדסי בשוליים בדרכים החד-מסלוליות, למען שיפור רמת הבטיחות של דרכים אלה.

1.2. סקר ספרות

1.2.1. כללי

סקר הספרות שנערך במחקר כלל איתור וסיכום של ממצאי הספרות המקצועית לגבי הקשר בין מאפייני שוליים של דרכים בינעירוניות לבין שכיחות ומאפייני תאונות הדרכים, במדינות השונות וביניהן: ארה"ב, מדינות אירופה, אוסטרליה. החיפוש התמקד בפרסומים מהעשורים האחרונים בשאיפה לכלול, בין היתר: מודלים מסבירים שהותאמו לדרכים בינעירוניות חד-מסלוליות, מקדמי ירידה בתאונות שמזוהים עם שיפורי תשתית בדרכים אלו

וכד'. בין היתר, בסקר הספרות נבדקו דו"חות של פרויקט מחקר אירופאי RIPCORD- ISEREST[8] בנושא שיפורי בטיחות בדרכים בין-עירוניות משניות לצורך תחבורה בת-קיימא, כגון: Reurings et al (2005); Mallschutzke et al (2006). דו"חות אלה סקרו את הניסיון הבינלאומי וסיפקו תמונה מקיפה של הידע והניסיון המעשי שנצבר בנושא הבטיחות בדרכים המשניות, לרבות החד-מסלוליות. חלק ניכר מהממצאים בדו"חות אלה מתייחס למודלים לחיזוי מספר התאונות בתלות במאפייני הדרכים.

כללית, יש לציין שלבחינת הקשר בין מאפייני הדרכים לבין התרחשות התאונות מקובל להתאים מודל סטטיסטי רב-משתני הקרוי פונקצית ביצוע בטיחותי (safety performance function - SPF). מודל כזה אומד את מספר התאונות הצפוי בקטע לפי כמות התנועה, סוג דרך ומאפייני דרך נוספים. צורת המודל הטיפוסי לתיאור הקשר בין מספר התאונות הצפוי בקטע דרך לבין נפח התנועה ומאפייני דרך נוספים הוא (Maycock and Summersgill, 1995):

$$E\{ACC\} = \alpha(LEN)(ADT)^{\gamma} \exp\sum\left[\beta_i v_{ij}\right]$$

כאשר:

E{ACC} - תוחלת מספר התאונות בקטע דרך (מספר תאונות ליחידת זמן),

ADT - נפח תנועה יומי ממוצע, כלי רכב,

LEN - אורך הקטע,

v_{ij} - מאפייני הדרך,

α,β,γ - מקדמי המודל.

לדוגמא, המודלים המסבירים שהותאמו לקטעי דרכים בינעירוניות דו-נתיביות בארה"ב וקנדה כוללים משתנים מסבירים אלה (NCHRP 295, 2001): נפח תנועה, רוחב נתיב, רוחב שול, הימצאות סכנות בצידי הדרך, עקמומיות ושיפועים, צפיפות הכניסות ליחידת אורך, סוג המיסעה.

להלן סקירת המודלים שנמצאו בספרות, לפי מאפיינים גיאומטריים שונים של הדרכים החד-מסלוליות, עם דגש על מאפייני שוליים.

1.2.2. השפעת החתך לרוחב - רוחב נתיב ורוחב שול, ע"פי הניסיון האמריקני

בדרך החד-מסלולית לא ניתן להתייחס לרוחב שול במנותק מרוחב הנתיבים. אי לכך, ברוב המחקרים בהם נבדקה השפעת תכונות השוליים כגון: רוחב וסוג פני השוליים, קיימת התייחסות גם לרוחב הנתיבים.

מחקר של Zegeer et al (1981), ניתח את השפעתם על התרחשות התאונות של רוחב נתיב, רוחב שול ושיפוע המדרון מעבר לשול. במחקר פותחו מספר מודלים רב משתנים. בעזרת המודלים, ניתן להעריך את מספר התאונות לקילומטר דרך בשנה או את מספר התאונות מסוגים שונים כגון: תאונות רכב יחיד, התנגשות חזיתית בין כלי רכב בכיווני נסיעה מנוגדים, תאונות חזית-צד עם כלי הרכב מכיווני נסיעה מנוגדים ותאונות בין כלי הרכב

[8] RIPCORD- ISEREST: Road Infrastructure Safety Protection - Core-Research and Development for Road Safety in Europe; Increasing safety and reliability of secondary roads for a sustainable Surface Transport

מאותו כיוון הנסיעה. מספר התאונות החזויות תלוי במשתנים הבאים: נפח תנועה יומי, רוחב נתיב, רוחב ממוצע של שול סלול, רוחב ממוצע של שול לא סלול (מעבר לשול הסלול), דירוג סכנות של המכשולים במפרדה או בצד הדרך, וסוג אזור (מישורי, גבעי או הררי).

להלן תיאור המודלים:

$$\text{Total Accidents/(km-year)} = 0{,}0009 \cdot ADT^{0{,}9711} \cdot 0{,}8897^{W} \cdot 0{,}9403^{PA} \cdot 0{,}9602^{UP} \cdot 1{,}2^{H}$$

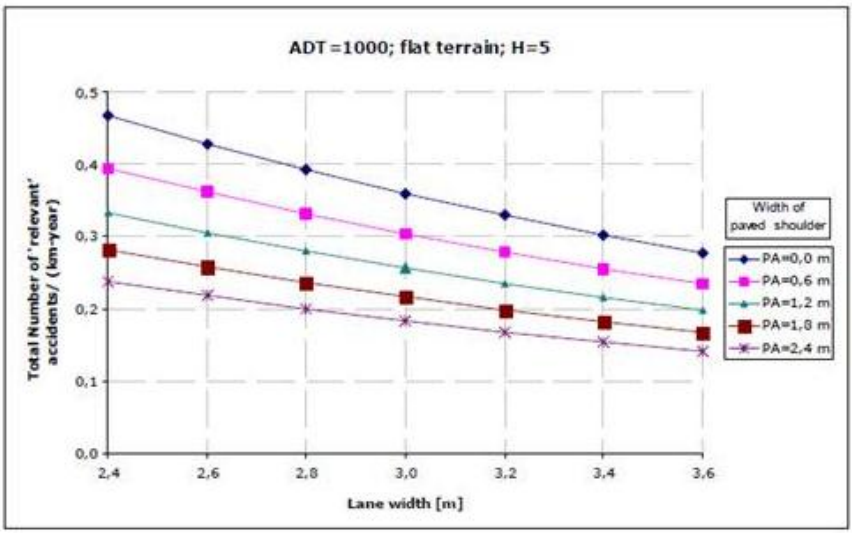
$$\text{Relevant Accidents/(km-year)} = 0{,}0012 \cdot ADT^{0{,}8824} \cdot 0{,}8786^{W} \cdot 0{,}9192^{PA} \cdot 0{,}9316^{UP} \cdot 1{,}2365^{H} \cdot 0{,}8822^{T1} \cdot 1{,}3221^{T2}$$

כאשר:

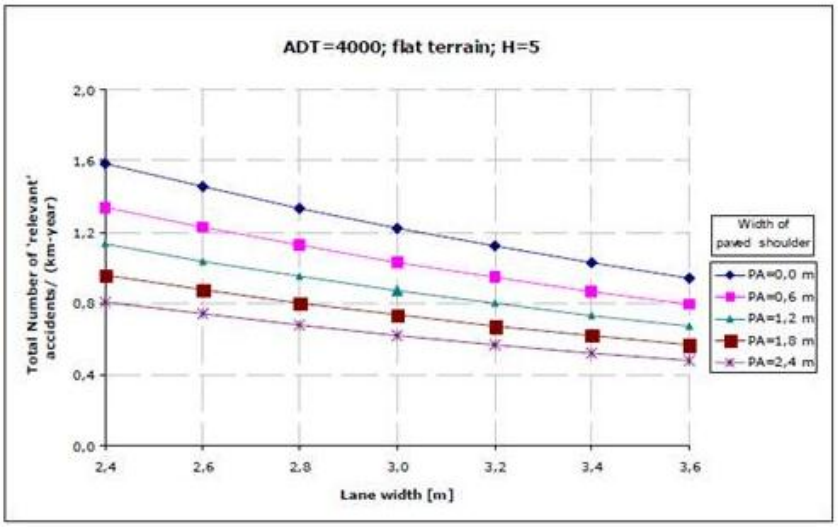
ADT	is the average daily traffic
W	is the lane width in feet
PA	is the average width of the paved shoulder in feet
UP	is the average width of the unpaved shoulder in feet
H	is the median or roadside hazard rating (1 to 7)
T1	is 1 if the terrain is flat and 0 otherwise
T2	is 1 if the terrain is mountainous and 0 otherwise, and

'relevant' are single-vehicle accidents, opposite direction head-on, opposite direction sideswipe and same direction sideswipe accidents.

באמצעות המודלים ניתן לבנות גרפים המתארים השפעה של משתנה מסוים על התרחשות התאונות, כאשר שאר המשתנים קבועים. להלן מספר דוגמאות להשפעת רוחב נתיב - איורים 1.1, 1.2.



איור 1.1. הקשר בין רוחב נתיב ותאונות, בהינתן נפח יומי של 1,000 כלי רכב ולפי רוחב שונה של שוליים סלולים.



איור 1.2. הקשר בין רוחב נתיב ותאונות, בהינתן נפח יומי של 4,000 כלי רכב ולפי רוחב שונה של שוליים סלולים.

במאמר של Hauer (2000a), נטען שלא ניתן לבטוח בכך שמודלים רבי-משתנים מסוג זה מתארים את הקשר האמיתי בין הסיבה והתוצאה. מועלה החשש שהתוצאה המשויכת לרוחב נתיב נובעת מסיבות אחרות כגון: השוני בדיווח על התאונות או בצפיפות של עקומים בדרך (כי הנתיבים המורחבים ככלל קשורים לדרך עם פחות עיקולים ופחות צמתים).

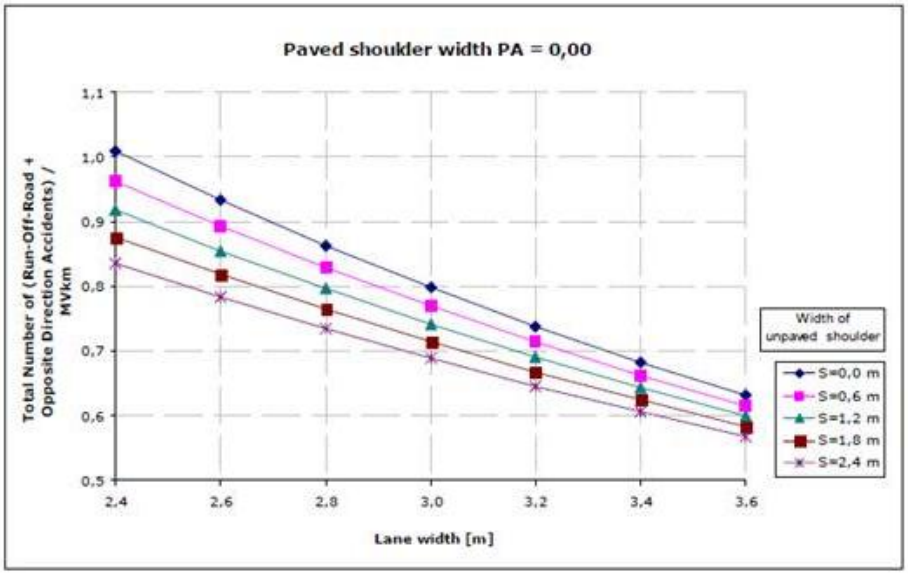
במחקר של Zegeer and Deacon (1987), נבנה מודל רב-משתני המתאר מספר תאונות מסוג עזיבת הדרך והתנגשות חזית-בחזית בתלות ברוחב נתיב, רוחב שול סלול ולא סלול (יחד), ורוחב החלק הסלול של השול. במודל זה נפח תנועה יומי ממוצע אינו משתנה מסביר. להלן תיאור המודל:

Number of run off the road and opposite direction accidents)/MVkm = $2{,}5793 \cdot 0{,}8907^{W} \cdot 0{,}9562^{S} \cdot 1{,}0026^{(W \cdot S)} \cdot 0{,}9403^{PA} \cdot 1{,}0040^{(W \cdot PA)}$

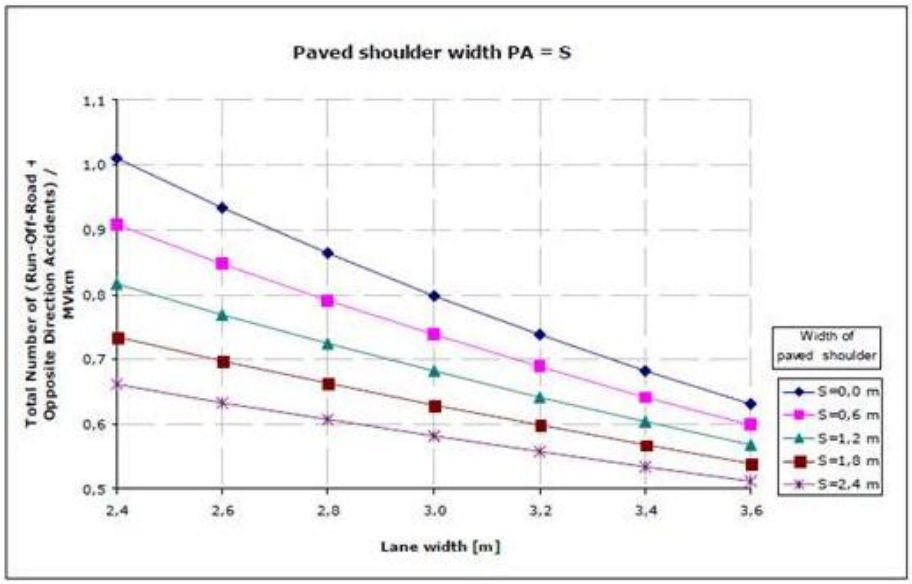
כאשר:

W	is the lane width in feet
S	is the unpaved and paved (together) shoulder width in feet
PA	is the width of the paved part of the shoulder in feet

גם באמצעות מודל זה ניתן לבנות גרפים המתארים השפעה על התאונות של שינוי מספר משתנים מצומצם כאשר יתר המשתנים קבועים. להלן מספר דוגמאות להשפעת רוחב נתיב - איורים 1.3, 1.4.



איור 1.3. הקשר בין מספר התאונות לרוחב נתיב, בתלות ברוחב שונה של שוליים לא סלולים.



איור 1.4. הקשר בין מספר התאונות לרוחב נתיב, בתלות ברוחב שונה של שוליים סלולים.

Council and Stewart (2000) ניתחו נתונים ממספר מדינות בארה"ב לצורך חיזוי תאונות קטע לקילומטר בשנה, בתלות בנפח התנועה, רוחב המיסעה ורוחב שול. להלן המודלים שהותאמו להשפעת רוחב המיסעה על סמך הנתונים משתי מדינות - צפון קרוליינה וקליפורניה:

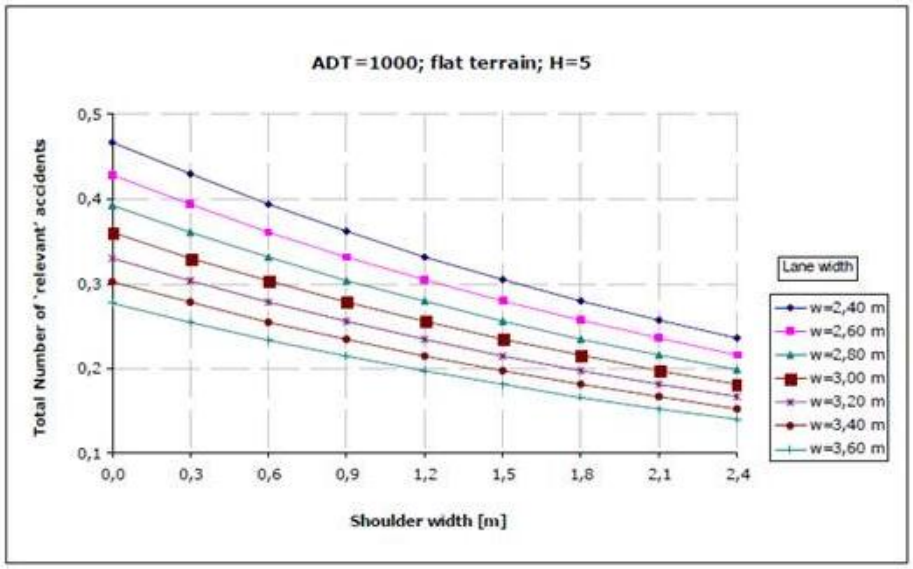
$$\text{Number of accidents/km-year} = \text{length} \cdot e^{\beta_0} \cdot ADT^{\beta_1} \cdot e^{\beta_2 \cdot \text{shoulder width}} \cdot e^{\beta_3 \cdot \text{surface width}}$$

$$\text{Number of accidents/km-year North Carolina} = \text{length} \cdot e^{-2,9915} \cdot ADT^{0,6725} \cdot e^{-0,123 \cdot \text{shoulder width}} \cdot e^{-0,1506 \cdot \text{surface width}}$$

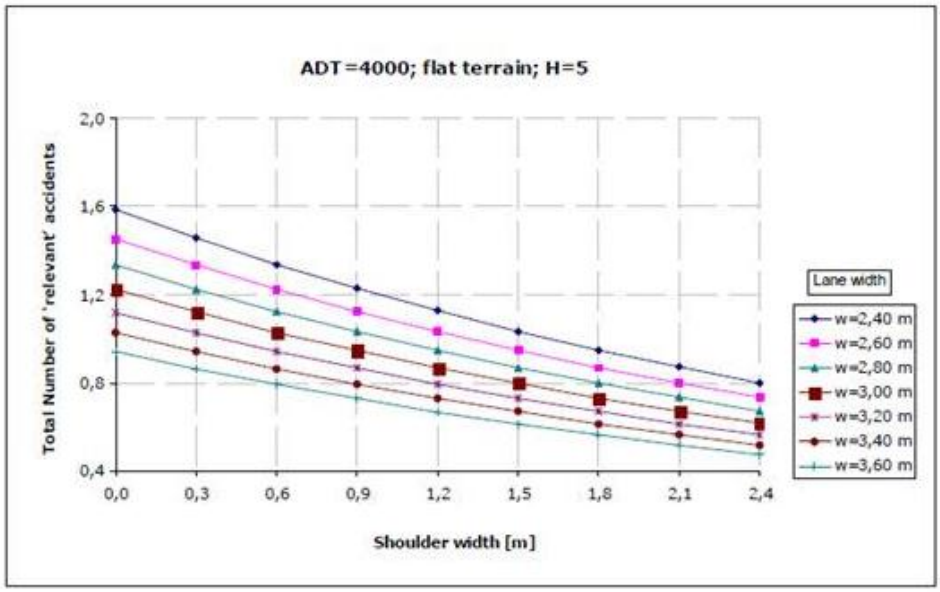
$$\text{Number of accidents/km-year California} = \text{length} \cdot e^{-3,0188} \cdot ADT^{0,9048} \cdot e^{-0,3419 \cdot \text{shoulder width}} \cdot e^{-0,4167 \cdot \text{surface width}}$$

ממצאי המחקר של Zegeer et al (1987), שהוזכר לעיל לצורך מציאת הקשר בין תאונות לרוחב נתיב יכולים לשמש גם להערכת השפעה של רוחב שול על תאונות. איורים 1.5, 1.6 מציגים את השפעת רוחב השול על מספר התאונות הרלוונטיות, עבור נפח תנועה יומי של 1,000 ו-4,000 כלי רכב, בהתאמה, ובתלות ברוחב נתיב הנסיעה. הערכות אלה בוצעו עבור אזור מישורי וערך "5" בדירוג הסכנות בצד הדרך.

גם במקרה זה במאמר של Hauer (2000b), נטען שלא ניתן להבטיח כי מודלים רבי-משתנים מסוג זה מתארים את הסיבה והתוצאה. מועלה החשש שהתוצאה המשויכת לרוחב שול נובעת משוני בדיווח על התאונות, או בצפיפות של צמתים משניים בדרך (שוליים רחבים וסלולים קשורים לדרך עם פחות צמתים כאשר שוליים רחבים יותר שאינם סלולים מתקשרים לדרך עם יותר צמתים).

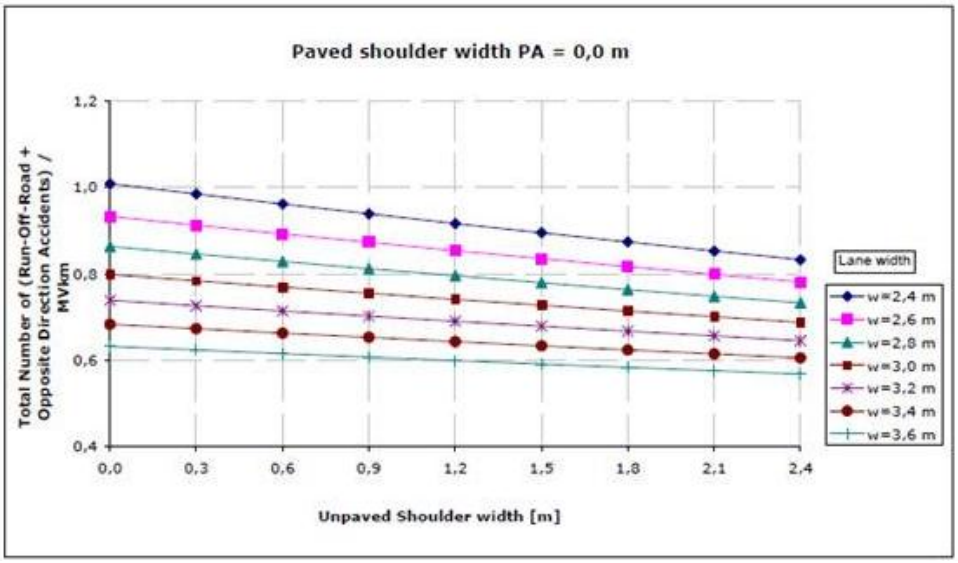


איור 1.5. מקדמי שינוי בתאונות בתלות ברוחב שול, עבור נפח יומי של 1,000 כלי רכב ורוחב נתיב שונה.

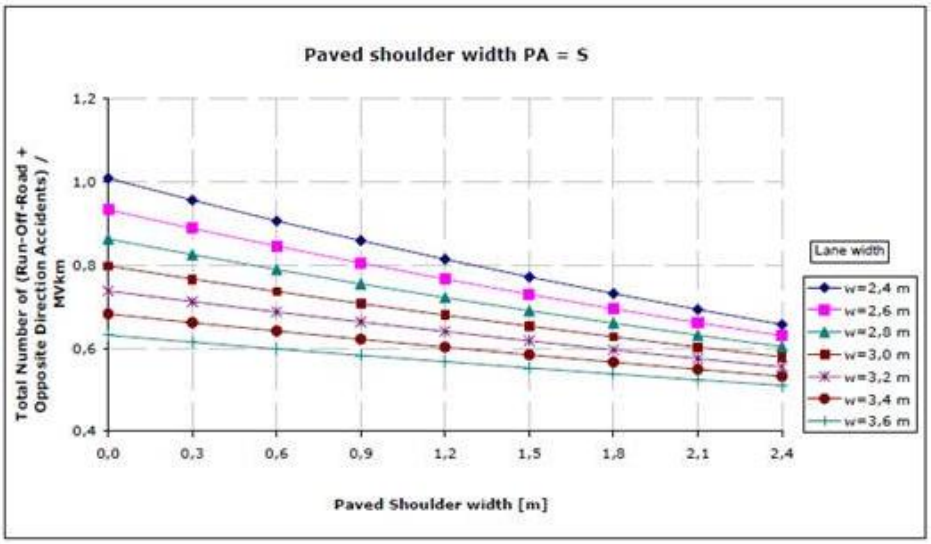


איור 1.6. מקדמי שינוי בתאונות בתלות ברוחב שול, עבור נפח תנועה יומי של 4,000 כלי רכב ורוחב נתיב שונה.

בעזרת המודל הרב משתני שהותאם במחקרם של Zegeer and Deacon (1987) והוצג לעיל, ניתן לבחון השפעה על מספר התאונות של שינויי רוחב שול. איורים 1.7, 1.8 מביאים דוגמאות בנושא זה: מקדמי שינוי בתאונות כתלות ברוחב שול ובתנאי רוחב נתיב שונה, עבור שול לא סלול וסלול, בהתאמה.



איור 1.7. מקדמי שינוי בתאונות הרלוונטיות, כתלות ברוחב שול לא סלול ורוחב נתיב.

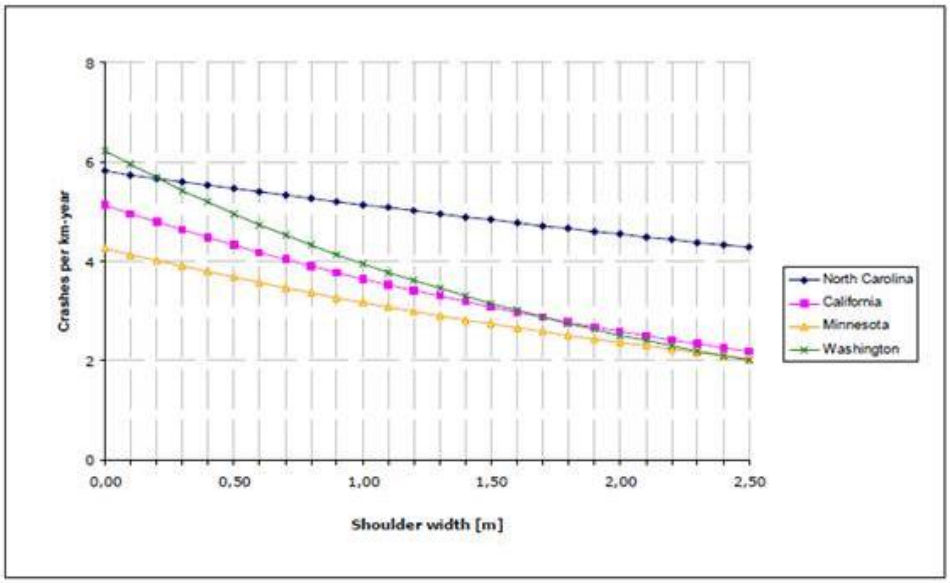


איור 1.8. מקדמי שינוי בתאונות הרלוונטיות, כתלות ברוחב שול סלול ורוחב נתיב.

במחקרם של Council and Stewart (2000) שצוין לעיל, נותחו נתונים ממספר מדינות בארה"ב לצורך חיזוי תאונות קטע לקילומטר בשנה, בתלות בנפח התנועה, רוחב המיסעה ורוחב שול. המודלים לביטוי השפעת רוחב שול על התרחשות התאונות נבנו עבור ארבע מדינות שהן: צפון קרוליינה, וושינגטון, מינסוטה וקליפורניה. להלן המודלים:

Number of accidents/km-year	$= \text{length} \cdot e^{\beta_0} \cdot ADT^{\beta_1} \cdot e^{\beta_2 \cdot \text{shoulder width}} \cdot e^{\beta_3 \cdot \text{surface width}}$
Number of accidents/km-year North Carolina	$= \text{length} \cdot e^{-2,9915} \cdot ADT^{0,6725} \cdot e^{-0,123 \cdot \text{shoulder width}} \cdot e^{-0,1506 \cdot \text{surface width}}$
Number of accidents/km-year Washington	$= \text{length} \cdot e^{-6,2152} \cdot ADT^{0,9669} \cdot e^{-0,4541 \cdot \text{shoulder width}}$
Number of accidents/km-year Minnesota	$= \text{length} \cdot e^{-8,1823} \cdot ADT^{1,1758} \cdot e^{-0,2924 \cdot \text{shoulder width}}$
Number of accidents/km-year California	$= \text{length} \cdot e^{-3,0188} \cdot ADT^{0,9048} \cdot e^{-0,3419 \cdot \text{shoulder width}} \cdot e^{-0,4167 \cdot \text{surface width}}$

איור 1.9 מתאר את השפעת רוחב השול על התרחשות התאונות, בארבע המדינות, עבור קטע דרך באורך 2 ק"מ עם נפח תנועה ממוצע של 2,000 כלי רכב ביממה ומיסעה ברוחב 7 מטר.



איור 1.9. מספר תאונות צפוי לק"מ דרך כתלות ברוחב שול, בארבע מדינות בארה"ב.

מקדם שינוי בתאונות בתלות ברוחב שול הינו המקדם השני מתוך 9 מקדמי השינוי בתאונות לרכיבי הדרך המוצעים במודל תכנון בטיחותי של דרך דו-נתיבית בארה"ב (IHSDM). טבלה 1.1 מציגה את מקדמי השינוי בתאונות הקשורים לשינויים ברוחב שול - AMF_{WRA}.

טבלה 1.1. מקדמי שינוי בתאונות בתלות ברוחב שול

Shoulder Effective Width SEW in ft (m)	ADT ≤ 400	ADT = 401 to 1999	ADT ≥ 2000
0 (0,00)	1,10	1,50 – 0,000250 · (2000-ADT)	1,50
2 (0,60)	1,07	1,30 – 0,000144 · (2000-ADT)	1,30
4 (1,20)	1,02	1,15 – 0,0000813 · (2000-ADT)	1,15
6 (1,80)	1,00	1,00	1,00
≥ 8 (2,40)	0,98	0,87 – 0,0000688 · (2000-ADT)	0,87

כדי לחשב מקדמי שינוי בתאונות לערכי הביניים של רוחב שול שאינם מופיעים בטבלה 1.1, צריך לעשות אינטרפולציה של הערכים שבה. כדי לחשב את הערך המסכם של מקדם השינוי בסך התאונות כתלות ברוחב שול וסוג שול - AMF_2 - משתמשים בנוסחא ובנתונים הבאים:

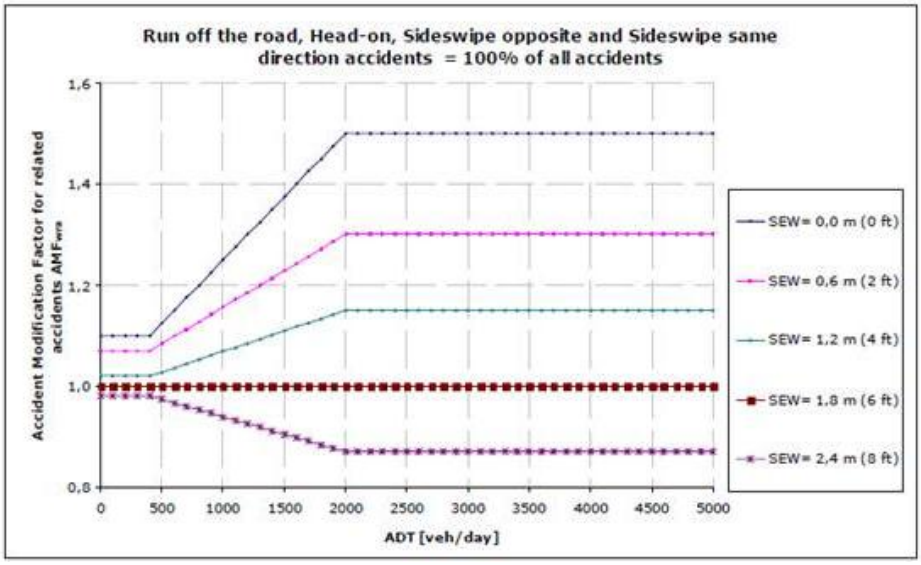
$$AMF_2 = (AMF_{wra} \cdot AMF_{tra} - 1{,}0) \cdot P_{ra} + 1{,}0$$

כאשר

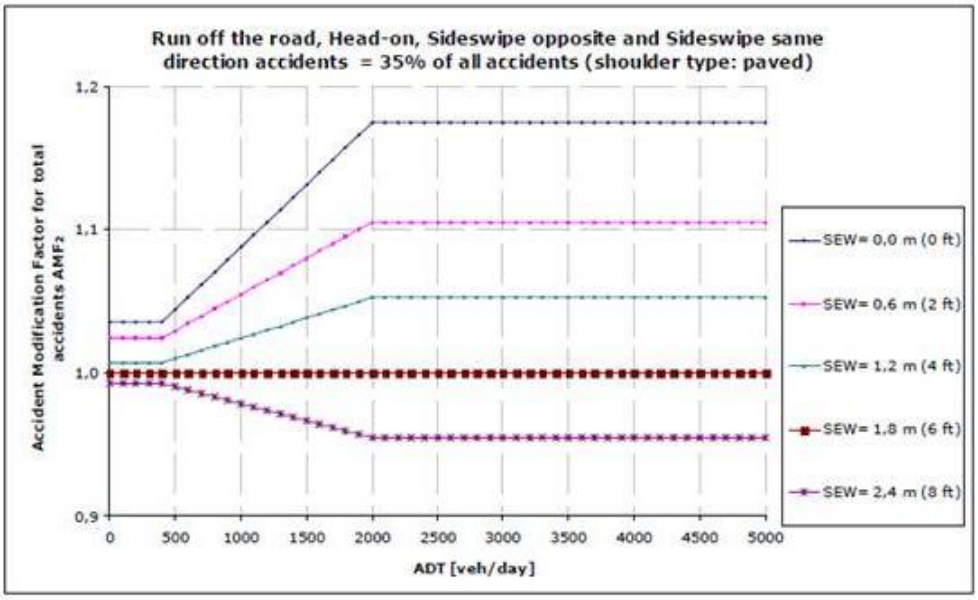
AMF_2	=	Accident Modification Factor for total accidents
AMF_{wra}	=	Accident Modification Factor for related accidents based on shoulder width [values from Table 3, *Values of AMF for Shoulder Width of Highway Segments (AMFwra)*]
AMF_{tra}	=	Accident Modification Factors for Shoulder Effective Width (SEW) and Shoulder Type on Two-Lane Highways [values from Table 4, *Accident Modification Factors for Shoulder Effective Width (SEW) and Shoulder Type on Two-Lane Highways (AMFtra)*]
P_{ra}	=	proportion of total accidents constituted by related accidents (i.e 35% of all accidents based on a default distribution of accident types); proportion should be the same as used for Lane Width

מניחים שרוחב שול משפיע על תאונות מסוגים אלה: רכב בודד, רכב יורד מהדרך, התנגשויות חזית בחזית, התנגשויות חזית בצד של כלי הרכב מכיוונים מנוגדים, והתנגשויות בין כלי הרכב באותו הכיוון. על סמך החישובים הנ"ל של מקדמי שינוי בתאונות נבנו הגרפים הבאים: איור 1.10 - מקדמי שינוי בתאונות, מהסוגים המתאימים, כתלות בנפח התנועה וברוחב שול; איור 1.11 - מקדמי שינוי בתאונות השונות, כתלות בנפח התנועה וברוחב שול סלול; איור 1.12 - מקדמי שינוי בתאונות השונות, כתלות בנפח התנועה וברוחב שול לא סלול.

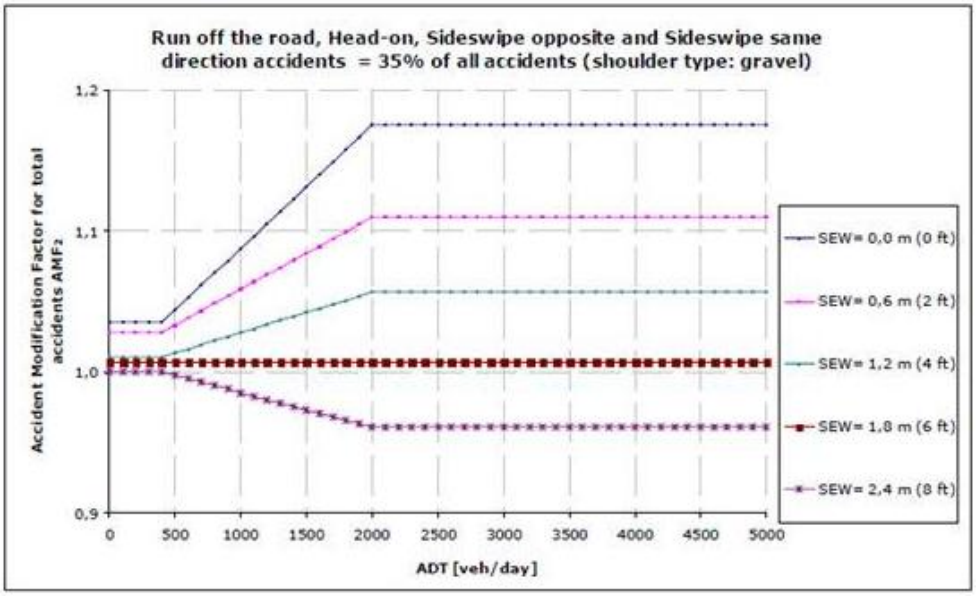
מקדמי השינוי בתאונות המוצעים לכימות השפעת רוחב שול וסוג שול מבוססים על תוצאות המחקר של Zegeer et al (1987), אשר מציע יחס של 2:1 בין האפקטים של רוחב נתיב ורוחב שול. ממצא זה מתאים לתוצאות של מחקרים נוספים: Miaou (1996), Miaou (1995), Rinde (1977). מקדמי שינוי בתאונות עבור נפחי התנועה הקטנים מ-400 כלי רכב ביממה מבוססים על מחקרם של Zegeer et al (1981) עבור הדרכים דלות התנועה; במקרה זה מוצע היחס 1:1 בין האפקטים של רוחב נתיב ורוחב שול. התחום של נפחי התנועה בין 400 ל-2,000 כלי רכב ליממה מבוסס על שיפוט של פנל מומחים - Harwood et al (2000).



איור 1.10. מקדמי שינוי בתאונות השונות כתלות בנפח התנועה וברוחב שול.



איור 1.11. מקדמי שינוי בתאונות השונות, כתלות בנפח התנועה וברוחב שול סלול.



איור 1.12. מקדמי שינוי בתאונות השונות, בתלות בנפח התנועה וברוחב שול לא סלול (מצעים).

1.2.3. שילוב רוחב נתיב ורוחב שול

שכיחות התאונות וחומרת התאונות אינן מושפעות מאלמנטים בודדים בלבד, אלא גם מהשילוב ביניהם. רוחב נתיב צריך להתאים לרוחב שול. לא סביר לצרף לנתיב צר שול רחב, כי זה יגרום לנהגים לנסוע על השול.

בהתבסס על הקשרים הסטטיסטיים שנמצאו במחקרים הקודמים בין רמת הבטיחות לבין פרטי תכנון בסיסיים, Mendoza et al (2002) יצרו את השילוב בין שני המאפיינים בהמלצות התכנון, כמוצג בטבלה 1.2.

טבלה 1.2. המלצות תכנון לשילוב רוחב נתיב ורוחב שול, על פי נפח התנועה, מהירות תכן ואחוז כלי רכב כבדים

ADT	Design speed	% of heavy vehicles			
		> 10%		< 10%	
		Lane width	Lane + shoulder width	Lane width	Lane + shoulder width
[veh./day]	[km/h]	[m]	[m]	[m]	[m]
≤ 750	< 50	3,00	3,50	2,70	3,30
	> 50	3,00	3,50	3,00	3,70
750 < ADT ≤ 2000	< 50	3,30	4,00	3,00	3,70
	> 50	3,70	4,60	3,30	4,30
> 2000	Any	3,70	5,50	3,30	5,20

1.2.4. מודלים רב-משתנים נוספים לחיזוי תאונות

Prinsloo and Goudanas (2003) פיתחו מודלים מסבירים לחיזוי מספר תאונות אופייני לפי סוג דרך, בניו סאות ולס, אוסטרליה. המודלים מחשבים את שיעור התאונות כאומדן לביצוע בטיחותי ממוצע על-פי סוג דרך. לסיווג הדרכים שימשו מספר מאפיינים כגון: רוחב נתיב, רוחב שול, עקום אופקי, עקום אנכי, צפיפות צמתים משניים, נתיבי פנייה, נתיבי עקיפה וסוג מיסעה. המודלים פותחו באמצעות שימוש בבסיס נתוני הדרכים הכולל יותר מ-10,000 ק"מ של דרכים בין-עירוניות. מידע על המאפיינים הגיאומטריים של הדרכים נאסף עבור קטעי דרך באורך 10 מטר; נתונים על נפחי התנועה התקבלו לכל קטע דרך בין צמתים ראשיים.

המחקר חולק לשניים. החלק הראשון כלל את פיתוח המודל על בסיס נתוני 3,000 ק"מ של דרכים שבאחריות המדינה. בחלק השני, הותאם מודל ל-7,000 ק"מ של דרכים מקומיות. הממצאים שדווחו מתייחסים לחלק הראשון של המחקר. שימוש בנתוני התאונות היה לשתי תקופות זמן: 5 שנים ו-10 שנים.

סיווג קטעי הדרכים (הגדרת הסטריאוטיפ) נעשה על-פי מאפיינים אלה:

number of carriageways (one or two);
pavement width (dual carriageway: >15m; <=15m) ;
(single carriageway: >9.5m; <=9.5m and >6.25m; <=6.25m and >4.5m; <=4.5m);
shoulder width (>1.5m; <=1.5m and >0.85m; <=0.85 and >0.0m; 0.0m);
number of lanes per carriageway (2, 3);
average lane width (>3.5m; <=1.5m and >3m; <=3m);
type of centre line marking (B/B, B/C, C, none).

לכל סוג דרך, נערך חישוב של השפעת תכונות נוספות לא אגרגטיביות לצורך חישוב שיעור התאונות, כולל: סוג מיסעה, עקום אופקי, אזורי הגבלת מהירות, קיום נתיב לעקיפה, סימון קצה הדרך, צידי דרך סלחניים, רוחב אזור נקי ממכשולים, מעקות בטיחות, הימצאות גשרים ומעבירי מים וצפיפות צמתים משניים. שיעור תאונות ממוצע (תאונות למיליון ק"מ רכב) חושב לכל סוג דרך לתקופת תאונות בת עשר שנים. טבלה 1.3 מציגה את שיעורי התאונות לנתוני דרך שונים.

על סמך שיעורי התאונות לכל סוג דרך (שילוב המאפיינים) חושבה השפעת התכונות השונות על שיעור התאונות. ההשפעה חושבה באמצעות היחס בין שיעור התאונות הממוצע של כל קטעי הדרך בעלי התכונה

הנבחנת, לבין שיעור התאונות בכל קטעי הדרך בקבוצה. לדוגמא, טבלה 1.4 מתארת את השפעתם של ארבעת סוגי הסימון של קו האמצע על שיעורי התאונות בדרך דו-מסלולית, עבור מספר מצבים של רוחב שול.

טבלה 1.3. שיעורי תאונות בקטעים עם מאפייני דרך שונים, לפי Prinsloo and Goudanas (2003)

Paved width categories (m)	Shoulder Width Class (m)	Number of lanes per carriageway	Average Lane Width (m)	Average crash rate (10-years)
Dual Carriageway				
Div <=15	>0 AND <=0.85	2	>3 AND <= 3.5	23.0
			>3.5	9.8
		3	>3 AND <= 3.5	38.3
	>0.85 AND <=1.5	2	>3 AND <= 3.5	22.2
			>3.5	9.6
		3	>3 AND <= 3.5	7.4
	>1.5	2	>3 AND <= 3.5	10.1
			>3.5	6.1
	=0	2	>3 AND <= 3.5	31.1
			>3.5	27.3
Single Carriageway				
>4.5	0	2	<=3	53.5
			>3 AND <= 3.5	28.7
>6.25 AND <=9	>0 AND <=0.85	2	>3 AND <= 3.5	29.9
			>3.5	18.1
	>0.85 AND <=1.5	2	>3 AND <= 3.5	26.5
			>3.5	28.5
	0	2	<=3	63.2
			>3 AND <= 3.5	39.8
			>3.5	25.3
		3	<=3	25.0
>9.5	>0 AND <=0.85	2	>3 AND <= 3.5	25.2
			>3.5	53.3
		3	>3 AND <= 3.5	31.9
			>3.5	66.9
	>0.85 AND <=1.5	2	>3 AND <= 3.5	24.5
			>3.5	19.5
	>1.5	3	>3 AND <= 3.5	22.0
	>0.85 AND <=1.5	3	>3.5	21.3
	>1.5	2	>3 AND <= 3.5	58.2
			>3.5	61.3
	0	2	>3.5	41.1
		3	>3 AND <= 3.5	54.2
			>3.5	144.8

טבלה 1.4. השפעת סוגי סימון שונים על שיעורי התאונות בדרך דו-מסלולית, לפי Prinsloo and Goudanas (2003)

Sealed width category (m)	Shoulder width class (m)	Centre line marking type crash rate difference (%)				Average crash rate difference (%)
		B/B	B/C	None	C	
Div <=15	>0 AND <=0.85	-8.61	71.77		0.78	4.06
		-34.26	-7.87		-1.53	27.07
		-5.06				-5.06
	>0.85 AND <=1.5	-6.97	21.34		-6.16	2.48
		113.30			-23.57	44.87
						-28.95
	>1.5	-26.42			28.34	0.96
					-13.03	-13.03
	0	5.56	31.76	92.31	-31.81	21.84
		91.64	-46.00	22.45	-53.91	-7.16

Qin et al (2004), פיתחו מודלים מסבירים לסוגי תאונות שונים. הבסיס החשוב ביותר לצורך כך היה אימות ההשערה שהקשר בין מספר התאונות ונפח התנועה היומי הממוצע הוא לא קשר לינארי, ושהוא תלוי בסוג

התאונה הנבחן. התאונות עם נפגעים הופרדו לארבעה סוגים שהם: תאונת רכב בודד, תאונה עם ריבוי כלי רכב מאותו כיוון הנסיעה, תאונה עם ריבוי כלי רכב מכיוונים מנוגדים ותאונה עם ריבוי כלי רכב בצומת. הנתונים נלקחו ממאגר הנתונים HSIS בארה"ב, שהינו מאגר של נתוני בטיחות רב-מדינתי המתוחזק על-ידי רשות הדרך הפדראלית. נתוני נפחי התנועה נלקחו מרשויות הדרך של המדינות. לניתוח הוגדרה תקופה בת ארבע שנים. נותחו יותר מ-29,800 קטעי דרכים חד-מסלוליות דו-נתיביות באורך כולל של יותר מ-29,000 ק"מ. קטעי הדרך נבחרו באופן אקראי. לכל קטע נאספו נתונים אלה: מספר תאונות על-פי הסוגים, אורך, נפח תנועה יומי ממוצע, מהירות מירבית מותרת, רוחב נתיב, רוחב שול, רוחב מיסעה.

לחיזוי התאונות, לפי סוגים, נעשה שימוש במודל פואסוני מסוג Zero-inflated Poisson. המודלים הוגדרו כך שיתאפשר קשר לינארי בין חשיפה למספר התאונות. היה צריך להגדיר את התנועה בדרכים השונות על-פי סוג התאונה. הדבר הצריך נתוני תנועה מפורטים, כגון נפח שעתי בכל כיוון, נפחי תנועה בדרכים המשניות בצמתים. הממצאים המתוארים בהמשך מתבססים על נתוני תנועה זמינים רגילים, דהיינו נפח יומי ממוצע לשני הכוונים. המודל לחיזוי התאונות מתואר באמצעות הנוסחה:

$$AF_k = \eta_k \rho_k = V_i^{\alpha V_k} L_i^{\alpha L_k} e^{X_i \beta_k},$$

כאשר

AF_k = expected accident frequency of type k;
η_k = computed exposure function for accident type k;
ρ_k = accident rate for accidents of type k;
V_i = AADT at site i;
L_i = length of road at site i;
X_i = set of characteristics of site i;
α, β = parameters to be estimated for accident type k.

המודל הותאם לנתונים שנתיים. תוצאות הרגרסיה הראו שהמקדמים לנפח תנועה יומי ואורך קטע התאפיינו בשונות קטנה לאורך השנים ובשונות גדולה בין סוגי התאונות. טבלה 1.5 מציגה את הערכים המחושבים של הפרמטרים שהופקו מהמודל לצורך חיזוי תאונות, על-פי התאונות שהתרחשו בשנה אחת מסוימת - 1995.

טבלה 1.5. מקדמי המודל לחיזוי תאונות, על-פי סוג תאונה. מתוך: Qin et al (2004)

Explanatory variable		Accident type			
		Single vehicle	Multi-vehicle same direction	Multi-vehicle opposite direction	Multi-vehicle intersecting direction
Intercept	Coeff.	-0.672	2.133	8.882	0.883
	t-value	-2.405	3.226	6.188	0.857
ln(AADT)	Coeff.	0.254	1.270	1.126	0.720
	t-value	14.540	22.796	2.050	10.470
ln(Length)	Coeff.	0.725	0.429	0.748	0.245
	t-value	63.547	13.815	11.759	5.658
Shoulder width	Coeff.	0.026	-0.054	-0.123	-0.064
	t-value	3.295	-4.702	-5.393	-4.674
Lane width	Coeff.	0.136	-0.261	-0.908	-0.148
	t-value	6.925	-4.729	-7.469	-1.715
Speed limit	Coeff.	0.000	-0.013	-0.012	0.003
	t-value	-0.132	-2.805	-1.300	0.533

Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM) הינה חבילת תוכנה לצורך הערכה של החלטות תכנוניות הקשורות לדרך בין-עירונית חד-מסלולית מההיבטים של בטיחות ותפעול (Krammes and Hayden, 2003).

חבילת התוכנה פותחה בתמיכת רשות הדרך הפדרלית (FHWA) בארה"ב. הIHSDM, הינה כלי עזר לצורך תכנון דרכים חדשות ותכנון מחדש של דרכים קיימות, המסייעת למתכנן בחיזוי הביצועים של חלופות התכנון. ניתן להשתמש ב-IHSDM בכל שלבי התכנון, מהתכנון המוקדם ועד התכנון המפורט. לתוכנה חמישה רכיבים עיקריים: סקירת מדיניות, חיזוי תאונות, הערכת עקביות התכן, סקירת הצמתים וניתוח תנועה.

רכיב "סקירת המדיניות" משמש לבדיקת תכנון רכיבי הדרך, דהיינו האם הפרמטרים שנקבעו נמצאים בטווח הערכים שהוגדרו במדיניות התכנון של AASHTO. בדיקה זו נעשית לחתך לרוחב, כולל המאפיינים בצד הדרך, התוואי האופקי, התוואי האנכי ומרחקי ראות.

רכיב "חיזוי התאונות" מפיק אומדן למספר התאונות וחומרתן על-פי המאפיינים הגיאומטריים ומאפייני התנועה. קיים תהליך חיזוי נפרד לצמתים ולקטעי דרך. רכיבים המשפיעים על אלגוריתם חיזוי התאונות בקטעי הדרך כוללים: רוחב נתיב, רוחב שול, סוג שול, אורך ורדיוס של עקום אופקי, האם קיים מעבר עקומים ספיראלי, הגבהת צד, שיפוע, צפיפות צמתים משניים, האם קיימים נתיבי עקיפה ודירוג סכנות בצידי הדרך. האלגוריתמים לאומדן מספר ההתנגשויות משלבים מודלים סטטיסטיים המספקים מספר תאונות חזוי למייל ומקדמי גורמים לשינוי. המודלים הבסיסיים פותחו לקטעי דרך ולארבעה סוגי צמתים.

המודלים הבסיסיים מכילים נוסחה לחישוב שכיחות תאונות בסיסית (accident frequency - AF) עם כל המשתנים המסבירים עם ערכי בררת מחדל, ערכי נפח תנועה יומי ואורך קטע. ערכי מקדמי שינוי בתאונות (accident modification factor - AMF) משמשים לכוונון ערכי התאונות החזויות שהתקבלו מהמודל הבסיסי לערכים של קטע עם פרטי תכנון מסוימים שהשפעתם על רמת הסיכון או על חומרת התאונות ידועה. להלן הנוסחא להערכה:

$$AF_{link} = AF_{base\ model}(AMF_1, AMF_2, \cdots, AMF_n),$$

כאשר

AF_{link} = predicted number of total link accidents per year;
$AF_{base\ model}$ = predicted number of total link accidents per year for base conditions;
AMF_i = accident modification factor i.

בחירת מאפייני הדרך עבורם פותחו שיטות לכימות הAMF נעשתה על-ידי פנל מומחים. לקטעי דרך, הוגדרו 12 מאפיינים שהם: רוחב נתיב, סוג שול, רוחב שול, אורך של עקום אופקי, רדיוס, הגבהה צידית, מעבר עקומים, שיפוע אורכי, צפיפות צמתים משניים, האם קיימים נתיבים דו-סטריים לפניות שמאלה, האם קיימים נתיבי עקיפה ותכנון צידי הדרך.

הנתונים לפיתוח המודלים של הIHSDM הגיעו מבסיס הנתונים הארצי של HSIS לדרכים חד-מסלוליות דו-נתיביות, כאשר, לדוגמא, רוחב נתיב היה עד 7.32 מ' ורוחב שול עד 3.66 מ'. לפיתוח המודלים שימשו נתוני התנועה והתאונות מהשנים 1985-1989, ממדינת מינסוטה, ומהשנים 1993-1995, וממדינת וושינגטון. סה"כ, בפיתוח המודלים נכללו הנתונים מ-3,308 קטעי דרך ו-8,083 תאונות.

בתהליך הפיתוח, נבדק מספר גדול של משתנים מסבירים פוטנציאלים למודל קטעי הדרך כגון: נפח תנועה יומי ממוצע, אורך קטע, רוחב נתיב, רוחב שול, מעלות בעיקול בקשת באורך 100 מ', משקל עיקול אופקי (אורך קטע העיקול האופקי מחולק באורך כל הקטע), שעור שיפוע פסגה (בעקום אנכי), משקל עקום אנכי בפסגה (אורך קטע העקום האנכי בפסגה מחולק באורך כל הקטע), שיפוע קבוע, דירוג סכנות בצד הדרך, צפיפות צמתים משניים, מהירות מירבית מותרת, אחוז משאיות בנפח התנועה היומי. כמו כן, חושבו חמישה משתנים נוספים: חשיפה (במיליון ק"מ-רכב), רוחב מיסעה סלולה (נתיבים ושוליים סלולים), סכום מעלות עיקול כפול משקלן, סכום שיפוע פסגות בעקום אנכי כפול משקלן, וסכום ערכים מוחלטים של השיפועים.

המודל הכללי היה כלהלן:

$$AF = e^{a} \prod x_i^{b_i},$$

כאשר

AF = expected number of accidents (total and injury accidents);
x_i = explanatory variables;
a, b_i = coefficients to calculate.

לפיתוח המודלים השתמשו בשיטות של מידול פואסוני, בינומי שלילי ובינומי שלילים מורחב. מקדמי המודל שנבנה עבור סך התאונות בקטע דרך מובאים בטבלה 1.7.

טבלה 1.7. מקדמי המודל לסך התאונות בקטע דרך, לפי IHSDM

Variable	Coefficient	Estimated standard error	p-value
EXPO (million vehicle x km)	1 (as an offset)		
Intercept	0.165	0.1289	0.2006
Lane width - *LW* (m)	-0.278	0.1397	0.0465
Shoulder width - average of left and right widths - *SW* (m)	-0.194	0.0375	0.0001
Roadside hazard rating - *RHR*	+0.0668	0.0211	0.0015
Driveway density - *DD* (per km)	+0.0135	0.0042	0.0011
Degree of curve - *DEG(i)* (per 100m)	+0.0137	0.0024	0.0001
Crest curvature rate - *V(i)* (degree per 100m)	+0.142	0.0378	0.0002
Grade of section - *GR(i)* (percent)	+0.105	0.0287	0.0003
State (0 for Minnesota, 1 for Washington)	+0.139	0.0659	0.0351
n, p	1331, 9		
D^m **/ (*n-p-1*)**	1.50		
K	0.3056		
R^2_k	0.829		
R^2	0.655		

בפורטוגל, במסגרת עבודה לשיפור בטיחות בקטעי דרך בדרכים בין-עירוניות חד-מסלוליות, נבנו מודלים לחיזוי תאונות בעקומים ובקטעי דרך המשיקים לעקומים (Cardoso, 2001a, 2001b). מודלים שונים נבנו לעקומים עם שול סלול ועם שול לא סלול. לצורכי פיתוח המודלים, נאספו נתונים מ-1,100 ק"מ של דרכים דו-נתיביות חד-מסלוליות, מתוכם 670 ק"מ עם שול לא סלול. לקטעי דרכים אלו נאספו נתונים גיאומטריים, נפחי תנועה והתאונות. ריכוז הנתונים שנאספו מוצג בטבלה 1.8.

טבלה 1.8. היקף הנתונים שנאספו בפורטוגל לבחינת רמת הבטיחות של דרכים דו-נתיביות

	Road with unpaved shoulder		Road with paved shoulder	
	Tangent	Curve	Tangent	Curve
Number of road elements	1,043	1,719	606	1,042
Length (km)	430	240	234	217
Traffic volume (10^6 *vehicle x km*)	3,121	1,588	3,553	2,877
Time period	1988 - 1993		1991 - 1995	
Number of injury accidents	3,121	2,378	1,007	906
Accident rate (per 10^6 *vehicle x km*)	1.04	1.5	0.28	0.31

לפיתוח מודל החיזוי השתמשו בתהליך קירוב לינארי, תוך שימוש בהתפלגות פואסונית והנוסחה הכללית כלהלן:

$$\ln(AF) = \ln(a) + b_1 \ln(x_1) + b_2 \ln(x_2) + \ldots,$$

כאשר

AF = expected accident frequency in the road element (tangent or curve) during the relevant time period;
x_i = explicative variable, representing the influence of road characteristics or driver behaviour (speed);
a, b_i = estimated coefficients.

כאמור, במחקר הותאמו ארבעה מודלים, עבור מצבים אלה: שול סלול בעיקול, שול סלול בקטע משיק, שול לא סלול בעיקול ושול לא סלול בקטע משיק. טבלאות 1.9, 1.10 מציגות את המודלים שהותאמו. בין המשתנים המסבירים במודלים אלה נמצאים: אורך קטע, רוחב נתיב, עקמומיות ממוצעת, נפח תנועה יומי, מהירות ממוצעת והפחתה במהירות הממוצעת בשני הכוונים.

טבלה 1.9. מקדמי רגרסיה במודלים המסבירים שהותאמו לקטעי דרכים עם שול לא סלול, לפי Cardoso (2001a ,2001b)

			Curve	Tangent
a	ln (a)	-	-10.29	-3.483
b_i	Length	(m)	0.5731	1 (*)
	Carriageway width	(m)	-	-3.275
	Average bendiness	(1/km)	-	-0.2055
	AADT	(vehicles per day)	0.8963	1.032
	Average speed	(km/h)	-	-0.6619
	Maximum reduction in the average speed (both directions)	(km/h)	0.07427	-
Number of observations			1576	972
Standardized deviation			2030	1374
Pearson's χ^2			2143	1634
Degrees of freedom			1572	892
Overdispersion			1.29	1.54
R^2_{FT}			0.24	0.49

טבלה 1.10. מקדמי רגרסיה במודלים המסבירים שהותאמו לקטעי דרכים עם שול סלול, לפי Cardoso (2001a ,2001b)

			Curve	Tangent
a	ln (a)	-	-13.32	-8.755
b_i	Length	(m)	0.6967	1*
	Carriageway width	(m)	-	0.1165
	AADT	(vehicles per day)	1*	1.181
	Average approach speed	(km/h)	0.0525	-1.87
	Maximum reduction in the average speed (both directions)	(km/h)	0.1285	-
Number of observations			834	606
Standardized deviation			969	797
Pearson's χ^2			964	773
Degrees of freedom			794	572
Overdispersion			1.22	1.39
R^2_{FT}			0.44	0.59

הערה לטבלאות 1.9,1.10: * offset

מקדמי חיזוי התאונות בקטעי ההשקה ובקטעי העיקולים אוחדו למשוואה אחת כדי לקבל את הגידול בסיכון בעיקול, לכל סוג של שול (סלול ולא סלול). הנוסחאות לשוני בשכיחות התאונות החזויות היו כלהלן:

$$\text{For roads with non-paved shoulders: } VRAC = \frac{AF_{Curve}}{AF_{Tangent}} = e^{-6.807}\frac{(\Delta V_M)^{0.074} S^{0.206} L_F^{3.28} V_{MR}^{0.662}}{TMDA^{0.136} L_C^{0.427}},$$

$$\text{For roads with paved shoulders: } VRAC = \frac{AF_{Curve}}{AF_{Tangent}} = e^{-5.565}\frac{(\Delta V_M)^{0.129} V_{MR}^{1.932}}{TMDA^{0.181} L_C^{0.303} L_F^{0.129}},$$

כאשר

$VRAC$ = variation in the expected accident frequency due to the horizontal curvature;
AF_{Curve} = expected accident frequency on curve;
$AF_{Tangent}$ = expected accident frequency on tangent;
ΔV_M = maximum average unimpeded speed at the beginning of the curve (both directions) (km/h);
L_F = carriageway width (m);

$TMDA$ = average annual daily traffic (vehicles);
V_{MR} = average unimpeded speed on the preceding (approach) tangent (km/h);
S = average road bendiness in the 500 m preceding the initial section of the curve (1/km);
L_C = curve length (m).

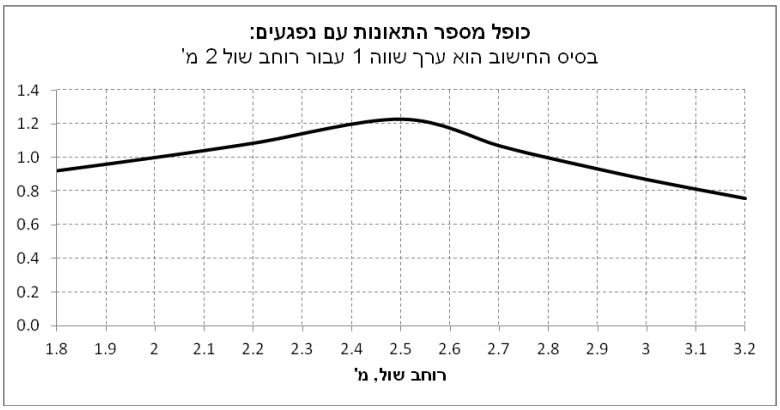
הנוסחאות הללו היו בשימוש לסיווג עיקולים על-פי רמות הסיכון.

בספרות הבינלאומית, קיימות דוגמאות נוספות של מודלים לחיזוי מספרי התאונות בדרכים החד-מסלוליות, כאשר מאפייני שוליים לא מופיעים בין המשתנים המסבירים במודלים אלה (ראה, לדוגמא, גיטלמן ואחרים, 2012).

במחקר גיטלמן אחרים (2012) פותחו מודלים מסבירים לקשר בין מאפייני הדרכים דלות תנועה לבין התרחשות התאונות, בתנאי הארץ, כאשר כדרכים דלות תנועה הוגדרו קטעי דרכים חד-מסלוליות, עם נפח תנועה עד 3,000 כלי רכב ביממה (במעוגל). המודלים המסבירים פותחו לחמישה סוגי תאונות דרכים שהם: התנגשויות

בין כלי רכב, תאונות רכב יחיד, תאונות חמורות (קשות וקטלניות ביחד), סך התאונות עם נפגעים (כל התאונות "ת"ד"), סך התאונות ("ת"ד" ו-"כללי עם נפגעים" ביחד). בכל המודלים, רוחב שול שימש כאחד המסבירים בהערכת מספר התאונות הצפוי בקטע. מבחינת השפעת מאפיין זה, בכל המודלים, נמצא כי הגדלה התחלתית של רוחב שול, עד 2-2.5 מ', מעלה את מספר התאונות. לעומת זאת, המשך הרחבת השול, מעל 2-2.5 מ', מביא לירידה בתאונות.

איור 1.13 מציג, לדוגמא, את צורת הקשר בין ערכי רוחב שול לבין שכיחות סך התאונות עם נפגעים, בקטע דרך דלת תנועה, בתנאי הארץ. צורת קשר זאת מוצגת בשיטת ה"כופל", כאשר לשינוי בערך המאפיין מוצג השינוי היחסי בשכיחות התאונות לעומת ערך מסוים של אותו המאפיין שנבחר כבסיס החישוב ושעבורו ערך הכופל שווה 1; במקרה הנדון, רוחב השול משתנה לעומת ערך הבסיס 2 מ'.



איור 1.13. צורת הקשר בין רוחב שול לבין סך מספר התאונות עם נפגעים, בקטע דרך דלת תנועה, בתנאי הארץ. מקור: גיטלמן ואחרים (2012).

1.2.5. מקדמי שינוי בתאונות בעקבות טיפולי שוליים

במדריכים השונים בנושאי הבטיחות בדרכים מובאים אומדנים מסכמים להשפעת טיפולי שוליים (כגון: הרחבת שול, ייצוב שוליים) על מספרי התאונות. לדוגמא, המדריך של PIARC (2003) מביא סיכום למקדמי ירידה בתאונות בעקבות הרחבת שול או נתיב, על סמך מחקר אמריקני שממצאיו מופיעים בטבלה 1.11. ניתן להבחין כי, לפי מקור זה, הרחבת שול, סלול או לא סלול, מביאה לירידה בתאונות והקשר הינו לינארי בכל טווח השינויים. אותו המקור - PIARC (2003) מציין כי ייצוב שוליים מתקשר עם ירידה של 5% בתאונות.

לעומת זאת, בספר של Elvik & Vaa (2004) הוצגו ממצאים סותרים לגבי השפעת הגדלת רוחב שול - טבלה 1.12. לפי מקור זה, הרחבת קלה של שול סלול תורמת לירידה בתאונה - דווח על ירידה מובהקת של 31%, בעוד שהרחבה ניכרת של שול סלול אינה תורמת לשיפור הבטיחות - דווח על עליה קלה של 2% בתאונות, אם כי לא מובהקת.

לפי מדריך אוסטרלי Austroads (2012), ייצוב שוליים מתקשר עם ירידה של 30% בתאונות, כאשר לערך זה מיוחסת רמת בטחון גבוהה. עם זאת, במדריך האוסטרלי לא מוצגת התייחסות להשפעת רוחב שול על תאונות.

טבלה 1.11. אחוזי ירידה בתאונות בעקבות הרחבת שול או נתיב. מקור: PIARC (2003)

WIDENING (m)		ACCIDENT REDUCTION (%) WIDENING OF		
TOTAL	PER SIDE	LANES	PAVED SHOULDERS	UNPAVED SHOULDERS
0.6	0.3	5	4	3
1.2	0.6	12	8	7
1.8	0.9	17	12	10
2.4	1.2	21	15	13
3.0	1.5		19	16
3.6	1.8		21	18
4.2	2.1		25	21
4.8	2.4		28	24
5.4	2.7		31	26
6.0	3.0		33	29

Source: Zegeer et al. (1990)

טבלה 1.12. השפעה של הרחבת שול סלול על תאונות. מקור: Elvik & Vaa (2004).

Accident severity	Types of accident affected	Percentage change in the number of accidents: Best estimate	95% confidence interval
Increasing the width of the hard shoulder by about 0.3 metres			
Injury accidents	All accidents	-21	(-32; -9)
Increasing the width of the hard shoulder by about 1 metre			
Unspecified severity	All accidents	+2	(-3; +7)

Stamatiadis et al (2009) בחנו מחדש את השפעת מאפייני השוליים על תאונות, ע"פי הניסיון האמריקני. טבלה 1.13 מביאה סיכום לממצאי הספרות שנערך במחקר זה. הסיכום מוצג במונחים של AMF (accident modification factor) - מקדמי שינוי בתאונות אשר מצביעים על יחס בין מספר התאונות הצפוי במצב החדש (כגון: רוחב שול גדול יותר) לעומת המצב הישן. ניתן לראות שבאופן עקבי, הגדלת רוחב שול מזוהה עם ירידה בתאונות (כנ"ל לגבי הגדלת רוחב נתיב).

עם זאת, השפעת רוחב שול על בטיחות אינה חד-משמעית. Hauer (2000b) ציין כי, מצד אחד, הרחבת שוליים תורמת לבטיחות, במיוחד במצבי חירום, כאשר הרכב צריך לרדת מהכביש מבלי להפריע לזרימת התנועה, או כאשר נדרש מרחב תמרון לרכב שסטה מהדרך. מאידך, שוליים רחבים מעודדים נהגים לנסוע במהירויות גבוהות יותר, ואף עשויים לעודד עצירות בצד הדרך או שימוש בשוליים כנתיבי נסיעה, כאשר גורמים אלה מביאים להגדלת הסיכון לתאונות. לכן, קביעת ההשפעה של רוחב שוליים על הבטיחות אינה משימה קלה.

בעקבות סקר הספרות שכלל את רוב המחקרים מהשנים 1956-1999 בנושא השפעת רוחב שוליים על תאונות הדרכים, Hauer (2000b) הגיע למסקנות כגון:

* מחקרים מציינים כי השפעת שוליים רחבים על בטיחות משמעותית יותר בנפחי תנועה גדולים מאשר בנפחי תנועה קטנים;

טבלה 1.13. סיכום לממצאי הספרות האמריקנית לגבי השפעת רוחב נתיב ורוחב שול על תאונות. מקור: Stamatiadis et al (2009)

Reference	Element	Results	Comments
Harwood et al. 2003 (26)	Lane width	AMF for lane width Lane width (ft): 9, 10, 11, 12 Four-lane undivided: 1.11, 1.06, 1.00, 0.99 Four-lane divided: 1.08, 1.04, 1.00, 0.99	AMF for lane width is based on rural two-lane roads and from expert panel recommendation
Lord et al. 2008 (22)	Lane width	AMF for lane width Lane width (ft): 9, 10, 11, 12 Undivided: 1.13, 1.08, 1.02, 1.00 Divided: 1.09, 1.05, 1.01, 1.00	AMF for undivided is expert panel based in the *HSM*; divided is based on models
Harwood et al. 2003 (26)	Shoulder width	AMF for shoulder width Paved shoulder width (ft; one side): 3, 4, 5, 6, 7, 8 1.0, 0.97, 0.95, 0.93, 0.91, 0.90	AMF for shoulder width is based on rural two-lane roads and from expert panel recommendation
Harwood et al. 2000 (32)	Shoulder type	AMF for shoulder conversion Shoulder width (ft; one side): 3, 4, 5, 6, 7, 8 Turf to paved: 0.99, 0.98, 0.97, 0.97, 0.97, 0.96 Gravel to paved: 1.00, 1.00, 1.00, 0.99, 0.99, 0.99 Turf to composite: 1.00, 0.99, 0.98, 0.97, 0.98, 0.98	AMF for shoulder conversion is based on rural two-lane roads and from expert panel recommendation
Harkey et al. 2008 (27)	Shoulder width	AMF for paved shoulder width Paved shoulder width (ft): 0, 2, 4, 6, 8 1.18, 1.11, 1.05, 1.00, 0.95	AMF is developed from expert panel evaluating ITS improvements
Lord et al. 2008 (22)	Shoulder width	AMF for paved shoulder width Paved shoulder width (ft): 0, 2, 4, 6, 8 Undivided: 1.18, 1.11, 1.05, 1.00, 0.95 Divided: 1.18, 1.13, 1.09, 1.04, 1.00	AMF is from expert panel for paved shoulders; recommended in the *HSM*.

* ישנה אינדיקציה לכך שחומרת תאונות הדרכים גבוהה בכבישים עם שוליים רחבים;

* ההשפעה הבטיחותית של השוליים בכבישים ישרים ומישוריים קטנה יותר באופן משמעותי מאשר בכבישים עם עקומים חדים ושיפועים גדולים;

* ישנו רוחב שוליים מסוים שמעבר לערכו מספר תאונות הדרכים עם נפגעים גדל;

* ישנן הוכחות לכך ששוליים רחבים קשורים למספר קטן יותר של תאונות מסוג עזיבת הדרך והתנגשות ברכב מהכיוון הנגדי, אך ייתכן שהם יהיו קשורים למספר גבוה יותר של יתר סוגי התאונות.

כמו כן, לפי Hauer (2000b), התועלות העיקריות מסלילת השוליים הן:

* ביצועי עקיפה בטוחים יותר, על ידי כך שהרכב הנעקף יכול לסטות לעבר השוליים ולתת לרכב העוקף לבצע את העקיפה בצורה בטוחה יותר;

* אפשרויות טובות יותר להימנעות מתאונה ומתן אפשרות תמרון גדולה יותר, כאשר רכב היורד לשוליים לא יאבד שליטה בשל חוסר יציבות;

* להגן על מבנה המיסעה מפני המים שעלולים להחליש אותה;

* להגן על השוליים מפני ארוזיה שנוצרת על-ידי כלי רכב שסוטים מהכביש לעבר השוליים.

כמו כן, בין ממצאיו של Hauer היה כי שיעור תאונות הדרכים בכביש בעל שני נתיבים עם שוליים סלולים היה נמוך, כאשר בכביש דומה עם שוליים לא סלולים שיעור התאונות היה גבוה.

1.2.6. שימושים בלתי מתוכננים בשוליים

הבט נוסף בהקשר לבטיחות מיוחס להשפעתם על תאונות של שימושים לא מתוכננים בשולי הדרך. בין השימושים הבלתי מתוכננים בשוליים יכולים להיות: עצירת רכב לצורך החלפת גלגל או בדיקת מצב הרכב; עצירה לצורך התמצאות (בדיקת מפה, הכוונת מכשיר וכד'); עצירה לצרכים שלא קשורים לתנועה בדרך (שיחת טלפון, תפילה, אכילה, מנוחה וכו'); שימוש בשוליים לצורכי מסחר וכד'.

בישראל, על-פי תקנות התעבורה (1961), אסורה עצירת וחניית רכב בשול דרך שאינה עירונית, פרט לנסיבות כגון: העלאת נוסעים או הורדתם בשולי הדרך, פעולת חילוץ נפגעים או רכב שיצא מכלל פעולה, וביצוע עבודות ציבוריות. כמו כן, אסורה עצירת רכב בצד הדרך לצורך הובלות, ולממכר מזון, פרחים, סחורות, ציוד וכו'.

להלן מספר ממצאים מהספרות הבינלאומית המתייחסים להשפעה אפשרית על התאונות של עצירות לא מתוכננות בשולי דרכים.

על-פי Elvik et al (2009), נהיגה ממושכת ללא עצירה מפחיתה את ביצועי הנהג ועלולה להוביל לעלייה בשיעור התאונות. אחרי מספר שעות נהיגה, רוב הנהגים זקוקים לאוכל, מנוחה, שירותים או הפסקה מנהיגה. מקומות מנוחה ועצירה לאורך הדרך אמורים לספק צרכים אלו. קשה לדעת כמה תאונות נגרמות כתוצאה מנהיגה ממושכת ללא עצירה, עקב מחסור בנקודות מנוחה לאורך הדרכים. לתאונות, בדרך כלל, יש יותר מסיבה אחת, כאשר המידע על אורך הנסיעה לפני שאירעה התאונה, ידוע רק לעיתים רחוקות.

במחקר מארה"ב - King (1989), הונח שחוסר בנקודות המנוחה לאורך דרכים, גורם לנהגים לעצור על השוליים. מכאן, נקודות המנוחה תורמות למניעת תאונות הקשורות לפגיעה ברכב שעצר בשול הדרך. נעשתה הערכה כי ברשת הדרכים בארה"ב, בשנת 1981, מספר תאונות פגיעה בכלי רכב שחנו בשוליים היה גבוה ב-50%, אילו לא היו זמינות נקודות המנוחה לאורך הדרכים. (המרחק הממוצע בין נקודות המנוחה בשנה זו היה 70 ק"מ). במחקר מודגש שבשיטת המחקר קיימת בעיה בהערכת השפעת נקודות המנוחה על תאונות, כי קשה לדעת אלו סוגי תאונות נמנעות באמצעות הסדרת נקודות המנוחה.

על-פי מספר מחקרים מארה"ב, שיעור הרוגים הולכי רגל בדרכים המהירות הקשורים לרכב שנעצר עקב תקלה בשול הדרך, היה גבוה. לדוגמא, במחקר של Istre et al (2007) נבחנו תאונות עם 197 הרוגים הולכי רגל בדרכים מהירות במחוז דאלאס, מדינת טקסס. נמצא ש-36% מההרוגים היו הולכי רגל שלא הגיעו לדרך המהירה ברגל אלא נהפכו להולכי רגל עקב נסיבות הקשורות לרכב שנעצר בתחום הדרך כגון: תאונה או תקלה.

במחקר של Carter and Council (2006), נבדקו תאונות עם נפגעים הולכי רגל בסוגי דרך שונים במדינת צפון קרוליינה. נמצא כי בדרכים בין-עירוניות מהירות, מתוך 118 תאונות, 20% היו קשורות לרכב שנעצר עקב תקלה או תאונה. באופן דומה, מתוך 1,331 תאונות שהתרחשו בדרכים בין-עירוניות דו-נתיביות, 4% היו קשורות לרכב שנעצר עקב תקלה או תאונה.

במחקר של Ferrara and Thomas (2001) על בטיחות הולכי רגל ורוכבי אופניים בדרכים מהירות, גשרים ומנהרות במדינת קליפורניה, נמצא כי 65% מתאונות הולכי רגל בדרכים מסוג זה היו קשורות לעזיבת כלי רכב שנעצר עקב תאונה או תקלה. באופן דומה, במחקר של Johnson (1997) אשר בחן תאונות עם 396 הרוגים הולכי רגל במדינות טקסס, מיסורי ומיסיסיפי, אשר התרחשו בדרכים מהירות בין-מדינתיות נמצא שאחד משלושת הגורמים המובילים לתאונות אלה היה קשור לרכב שעצר בתחום הדרך עקב תקלה או תאונה.

סה"כ, ממחקרים אלו ניתן ללמוד, שעצירת רכב בשול מהווה בעיה בטיחותית חמורה הגורמת לתאונות קטלניות רבות, במיוחד בדרכים עם מהירויות נסיעה גבוהות.

1.2.7. סיכום

בספרות המקצועית נמצאו דוגמאות רבות למודלים לחיזוי תאונות בדרכים בין-עירוניות חד-מסלוליות. לפיתוח מודלים אלה השתמשו בנתונים על תאונות הדרכים, נפחי תנועה ובנתונים הגיאומטריים ומאפייני תשתית נוספים של קטעי הדרכים. באמצעות שיטות סטטיסטיות מתקדמות ניתן לזהות את המאפיינים המשפיעים ולמצוא ביטוי כמותי להשפעתם של משתני תשתית מסוימים על מספר או שיעור התאונות (מספר תאונות לנסועה) בקטע דרך.

רכיבי התכנון הקשורים בשול שהשפעתם נמצאה במודלים הם: רוחב שול, שילוב בין רוחב נתיב ורוחב שול, יחס בין שול סלול לשול לא סלול, או סוג שול. בין רכיבי תכנון נוספים המשפיעים על שיעורי התאונות בדרכים החד-מסלוליות היו: רוחב נתיב, עקמומיות הדרך, שיפוע אורכי, מצב הגבהה צידית, מצב צידי הדרך.

סה"כ, בעולם קיים ידע וניסיון סטטיסטי מפיתוח מודלים שונים לחיזוי מספרי התאונות בדרכים חד-מסלוליות דו-נתיביות על סמך הנתונים של תאונות, נפחי תנועה והמאפיינים הגיאומטריים של דרכים אלה. רוחב שול, סוג שול והשילוב בין רוחב נתיב ורוחב שול שימשו כמאפיינים מסבירים במודלים רבים.

לפי הניסיון הבינלאומי, סלילת שוליים ככלל מתקשרת עם ירידה בתאונות. לעומת זאת, לגבי ההשפעה של הגדלת רוחב שול לא תמיד מתקבלת תמונה עקבית. המקורות האמריקניים, לרוב, טוענים לקשר לינארי בין הגדלת רוחב שול וירידה בתאונות, עבור שול סלול ולא סלול. מחקרים אחרים הצביעו על ממצאים סותרים לגבי ההשפעה של הגדלת רוחב השול. כמו כן, בספרות הובעו חששות לכך ששוליים רחבים מדי עלולים לשדר לנהג נוכחות של שטח גדול יותר לתיקון שגיאות בנהיגה ובכך לעודד אותם להגביר את מהירות הנסיעה על השול. סה"כ, קביעת ההשפעה של מאפייני השוליים על הבטיחות אינה משימה קלה. בנוסף, במחקרים רבים נמצא כי המאפיינים הגיאומטריים של הכביש כגון: מספר נתיבים, רוחב נתיב, רוחב שוליים - קשורים זה בזה, כאשר בחירת ערך לכל אחד מהמאפיינים האלה משפיעה על המאפיינים האחרים ועל רמת הבטיחות של הכביש.

הולכי רגל וכלי רכב הנמצאים בשול נמצאים תחת סיכון גבוה להיות מעורבים בתאונה. ע"פי התקנות, אסור לכלי רכב להימצא בשול פרט להורדת והעלאת נוסעים, ועצירה הקשורה לתקלה ברכב. הקמת נקודות מנוחה לאורך הדרכים עשויה להביא לצמצום השימושים הבלתי מתוכננים בשולי דרכים ולמניעת התאונות.

2. הקמת בסיס הנתונים למחקר

2.1. מקורות המידע

לבחינת הקשר בין מאפייני השוליים והתרחשות התאונות, בדרכים החד-מסלוליות בתנאי הארץ, נדרש להקים בסיס נתונים אשר יכלול את כל הפרטים הקשורים לקטעי הדרכים הרלוונטיים, לרבות: אורך ומיקום הקטעים, נפחי תנועה, מאפייני שוליים, מאפייני תשתית נוספים וכן, מידע על התרחשות תאונות הדרכים.

הונח כי בסיס הנתונים של המחקר צריך לכלול מידע על כל רשת הדרכים הבין-עירוניות החד-מסלוליות המתוחזקות ע"י נתיבי ישראל - החברה הלאומית לתשתיות תחבורה. בסיס נתונים זה הוקם בעזרת שילוב מידע מקבצי תאונות הדרכים של הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (למ"ס) ומקבצי מאפייני הדרכים של החברה הלאומית.

מקור המידע המועדף לנתונים על מאפייני תשתיות הדרכים בארץ הוא הקבצים שנבנו בעקבות סקר דרכים שהוזמן ע"י החברה הלאומית ושבעקבותיו הוכנו קבצים עם מאפייני הדרכים עבור המערכת לניהול בטיחות (מנ"ב) של החברה. סקר הדרכים נערך בשנת 2010, בכל רשת הדרכים שבאחריות החברה. בעקבות פניה לחברה הלאומית, נתונים מקבצי המנ"ב התקבלו לידי צוות המחקר.

המידע על תאונות הדרכים, בקטעי המחקר, התקבל מקבצי תאונות הדרכים של הלמ"ס. למידע על תאונות שימשו שני סוגי קבצים: "תאונות דרכים" (ת"ד) ו-"כללי עם נפגעים". רוב המידע התקבל מקבצי "ת"ד" בשל איכות גבוהה יותר של נתוני התאונות בקובץ זה לעומת ה"כללי עם נפגעים" הכולל מקרים שכלל לא נבדקים ע"י בוחני המשטרה. נתוני התאונות רוכזו עבור שלוש שנים, 2008-2010. (שנים אלה נבחרו בתור השנים האחרונות שהיו זמינות בעת ביצוע המחקר, כאשר הן גם סמוכות לשנת איסוף מאפייני הדרכים - 2010).

המידע על נפח תנועה יומי, בכל קטע מוגדר של הלמ"ס, נלקח מנתוני ספירות תנועה המפורסמים על-ידי הלמ"ס. מקור המידע לנתונים אלה הוא קובץ המבוסס על ספירות תנועה מדגמיות שמתבצעות, מדי שנה, באמצעות מונים מכניים בקטעי דרכים בינעירוניות. לצורכי מחקר זה, נלקחו נתוני הספירות המעודכנות - ממוצע לשנים 2008-2010, מתוך פרסום שנתי אחרון של הלמ"ס "תאונות דרכים עם נפגעים - חלק ב'".

לחלק מקטעי הדרך שנבחרו למחקר לא קיים מידע על נפחי תנועה. המידע החסר הושלם על-ידי צוות המחקר, על סמך הערכות המתחשבות במידע קיים בקטעי דרך סמוכים וכמו כן, במספר וגודל היישובים אותם משרתות קטעי הדרכים. כלומר, לקטעי דרכים אלה ניתן אומדן לנפח תנועה יומי ממוצע.

<u>שילוב מידע מהקבצים השונים</u>

נתוני התאונות כוללים פרטי מיקום על פני רשת הדרכים הבין-עירונית המוצגים באמצעות מספר דרך וקילומטר של הדרך. הנתונים על נפחי תנועה הנמדדים בקטעי דרך מוגדרים מזוהים לפי מספר דרך וקטע בין הצמתים הראשיים על פני הדרך. הנתונים על המאפיינים הגיאומטריים של הדרך נמצאים בבסיסי הנתונים שבהם זיהוי מיקום קטע הדרך נעשה באמצעות מספר הדרך והקילומטר, כאשר הנתונים הקשורים לצידי הדרך (צד ימין או צד שמאל) מוגדרים ע"פי התקדמות לאורך הדרך בכיוון של עליה במספר הקילומטר.

המידע שהגיע מבסיסי הנתונים השונים רוכז בטבלה מסכמת אחת. כל שורה בטבלה מכילה נתונים על קטע דרך. כיחידת הניתוח במחקר נבחר **קטע דרך חד-מסלולית באורך כ-1 ק"מ**. זיהוי הקטע נעשה באמצעות מספר דרך וקילומטר. לכל קטע כזה רוכזו נתונים על נפחי תנועה, מאפייני שוליים, מאפיינים גיאומטריים נוספים ומספרי התאונות בשנים 2008-2010.

2.2. הכנת מאפייני הדרכים

כאמור, מקור המידע לנתונים על מאפייני תשתיות הדרכים הם קבצים שנבנו בעקבות סקר דרכים של החברה הלאומית שנערך בשנת 2010. הנתונים על מאפייני הדרכים נאספו עבור מקטעים באורך של כ-100 מ'. הנתונים למחקר נגזרו מבסיס הנתונים של מערכת המנ"ב, עבור קטעי הדרכים החד-מסלוליות. למחקר זה, המידע נאסף עבור קטעי דרך בלבד, לא כולל צמתים.

לכל מקטע, בנוגע לשוליים מערכת המנ"ב כוללת מאפיינים אלה: מספר דרך, קילומטר התחלה, קילומטר סוף, שול אספלט חיצוני (כיוון עולה וכיוון יורד), שול גרנולרי[9] חיצוני (כיוון עולה וכיוון יורד), רוחב שול (כיוון עולה וכיוון יורד).

בנוסף, לכל מקטע קיימים מאפיינים אחרים כגון: קוד המציין אזור (צפון או דרום), אורך, שיפוע אורכי, שיפוע צידי, רדיוס אופקי, רדיוס אנכי. כאשר קיימים מעקות בטיחות בצד הדרך, מצוין: מיקום המעקה בחתך (L או R), חומר (פלדה או בטון), סוג, מודל, גובה מינימאלי, גובה מכסימאלי, מרחק ממיסעה, מרחק ממכשול. כאשר לא קיימים מעקות בצידי הדרך, מצוין רוחב אזור המפלט, סוג מכשול.

ממערכת המנ"ב התקבלו נתונים על כל קטעי הדרכים החד-מסלוליות. רשימה זו כללה 37,229 מקטעים באורך כולל של 3,740 ק"מ. כשלב ראשון, מרשימת קטעי המחקר הוסרו המקטעים שהתאפיינו בתכונות הבאות:

* מקטעים המתארים דרך בעלת יותר משני נתיבים (4 נתיבים או 3 נתיבים).
* מקטעים המתארים דרך עם נתיבי פנייה.
* מקטעים המתארים דרך בעלת מפרדה.
* מקטעים ששמות הדרך שלהם כללו אותיות (רמפות של מחלפים).

למרות שהמחקר הנוכחי אמור לבחון השפעה של מאפייני שול בלבד, הן ממחקרי הערכה קודמים והן על סמך הניסיון ההנדסי היה ברור כי השפעת מאפייני השוליים צריכה להיבחן תוך כדי נטרול השפעתם של מאפייני תשתית אחרים. לכן, עבור קטעי המחקר היה צריך להכין מאפיינים של *כל רכיבי התשתית* אשר היו זמינים על סמך הנתונים של מערכת המנ"ב.

כדי לאפיין תכונות של קטע דרך באורך כקילומטר (יחידות הניתוח במחקר) נדרש לקבץ את תכונות המקטעים שמרכיבים את הקטע, כאשר, כאמור, כל מקטע מתאר קטע קצר באורך כ-100 מ'. כדי להקל על ההתמצאות בחרנו לקבץ את המקטעים לקטעי דרך באורך ק"מ על-פי מספור הדרך. המקטעים שנכללו בקילומטר מסוים כללו את כל המקטעים שמתחילים ומסתיימים בתחום הקילומטר. לגבי המקטע שנמצא באחד מקצוות הקילומטר

[9] מונח "שול גרנולרי" רשום במאפייני הכבישים במערכת המנ"ב של החברה הלאומית. הכוונה לשול לא סלול

וחלקו גולש לק"מ הסמוך פעלנו לפי כלל זה: כאשר מחצית המקטע או יותר נמצא בתחום הקילומטר הנבחן, המקטע נכלל בתחום קילומטר זה.

רוב הנתונים הגיאומטריים של המקטעים מתארים את תכונות הדרך על-פי כיווני הנסיעה. מכיוון שהמחקר עוסק בדרכים חד-מסלוליות דו-סטריות, אין משמעות לכיווני הנסיעה במאפייני התכנון שלהם. ככלל, קיימת סימטריות במאפייני דרכים אלה. לכן, קיבוץ תכונות הקטעים נעשה **לשני הכיוונים ביחד**. יש לציין שגם בנתוני התאונות אין מידע אמין על כיווני הנסיעה של כלי הרכב המעורבים, כך שגם אילו קיבוץ התכונות היה נעשה לכל כיוון בנפרד, לא קיימת אפשרות להשתמש במידע זה כמסביר לתאונות בהן אין מידע על כיווני הנסיעה.

לתכונות בעלות מידה כגון: *רוחב נתיב, רוחב שול, רוחב שול אספלט, רוחב שול גרנולרי*, לכל קטע מקובץ הוצגו הנתונים הבאים: ממוצע ערכי התכונה וסטיית התקן של ערכי התכונה. יצוין כי רוחב שול (כולל) מהווה את סכום הערכים של רוחב שול אספלט ורוחב שול גרנולרי.

לרדיוס אופקי המופיע עם סימן "+/-" חושבו מספר ערכים: הערך המוחלט הנמוך ביותר בתחום הקילומטר - ממוצע וסטיית תקן של 3 מקטעים בעלי הערך המוחלט הנמוך ביותר; וגם ממוצע וסטיית תקן של מחצית המקטעים הנמצאים במרכז הפילוג (ללא רבע מהמקטעים בעלי הערכים הגבוהים ביותר וללא רבע מהמקטעים בעלי הערכים הנמוכים ביותר). דרגנו את הערך שהתקבל עבור רדיוס אופקי מזערי על-פי טבלת רדיוס מינימאלי מותר לפי ספר הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות, צמתים ומחלפים (תכן גיאומטרי של דרכים, 1994, טבלה 5.2). תחומי ערכי הדרוג מ-1 ל-5 על-פי רדיוס אופקי מזערי שקשור למהירות התכן מתוארים בטבלה 2.1.

טבלה 2.1. דרוג תחומי רדיוס אופקי מזערי על-פי מהירויות התכן

קטגוריות לרדיוס אופקי מזערי על-פי מהירויות תכן (1-5)	ממוצע של 3 מקטעים עם רדיוס אופקי מזערי, מ'	מהירות תכן, קמ"ש
1	עד 120	עד 60
2	120 - 190 (כולל)	60 - 70 (כולל)
3	190 - 270 (כולל)	70 - 80 (כולל)
4	270 - 380 (כולל)	80 - 90 (כולל)
5	380 (כולל)+	90 (כולל)+

לשיפוע צד המופיע עם סימן "+/-" נלקחו מספר ערכים: הערך המוחלט הגבוה ביותר בתחום הקילומטר - ממוצע וסטיית תקן של 3 מקטעים בעלי הערך המוחלט הגבוה ביותר, וגם ממוצע וסטיית תקן של מחצית המקטעים הנמצאים במרכז הפילוג (בדומה לממוצע של רדיוס אופקי).

לרדיוס אנכי קמור המופיע עם סימן "+" נלקח מספר ערכים: הערך המוחלט הנמוך ביותר בתחום הקילומטר - ממוצע וסטיית תקן של 3 מקטעים בעלי הערך המוחלט הנמוך ביותר, וגם ממוצע וסטיית תקן של מחצית המקטעים הנמצאים במרכז הפילוג (בדומה לתכונות הקודמות). דרגנו את הערך שהתקבל עבור רדיוס אנכי מזערי על-פי טבלת רדיוס אנכי קמור מינימאלי מותר לפי ספר ההנחיות (תכן גיאומטרי של דרכים, מע"צ, 1994, טבלה 6.2) בו מוצג גודל הרדיוס המזערי לתכן עקום אנכי קמור הדרוש לעצירה. תחומי ערכי הדרוג מ-1 ל-5 על-פי רדיוס אנכי קמור מזערי שקשור למהירות התכן מתוארים בטבלה 2.2.

לרדיוס אנכי קעור המופיע עם סימן "-" חושבו ערכים אלה: הערך המוחלט הנמוך ביותר בתחום הקילומטר - ממוצע וסטיית תקן של 3 מקטעים בעלי הערך המוחלט הנמוך ביותר, וגם ממוצע וסטיית תקן של מחצית המקטעים הנמצאים במרכז הפילוג (בדומה לתכונות הקודמות). דרגנו את הערך שהתקבל עבור הרדיוס המזערי על-פי טבלת רדיוס אנכי קעור מינימאלי מותר לפי ספר ההנחיות (תכן גיאומטרי של דרכים, מע"צ 1994, טבלה 6.3) עבור גודל הרדיוס המזערי לתכן עקום אנכי קעור הדרוש לעצירה. תחומי ערכי הדרוג מ-1 ל-5 על-פי רדיוס אנכי קעור מזערי שקשור למהירות התכן מתוארים בטבלה 2.3.

טבלה 2.2. דרוג תחומי רדיוס אנכי קמור מזערי על-פי מהירויות התכן

קטגוריות לרדיוס אנכי חיובי קמור מזערי על-פי מהירויות תכן (1-5)	ממוצע של 3 מקטעים עם רדיוס אנכי חיובי קמור מזערי, מ'	מהירות תכן, קמ"ש
1	עד 1800	עד 60
2	1800 - 3000 (כולל)	60 - 70 (כולל)
3	3000 - 5000 (כולל)	70 - 80 (כולל)
4	5000 - 7250 (כולל)	80 - 90 (כולל)
5	7250 (כולל)+	90 (כולל)+

טבלה 2.3. דרוג תחומי רדיוס אנכי קעור מזערי על-פי מהירויות התכן

קטגוריות לרדיוס אנכי קעור שלילי מזערי על-פי מהירויות תכן (1-5)	ממוצע של 3 מקטעים עם רדיוס אנכי שלילי מזערי, מ'	מהירות תכן, קמ"ש
1	עד 1700	עד 60
2	1700 - 2400 (כולל)	60 - 70 (כולל)
3	2400 - 3200 (כולל)	70 - 80 (כולל)
4	3200 - 4000 (כולל)	80 - 90(כולל)
5	4000 (כולל)+	90(כולל)+

לשיפוע אורכי המופיע עם סימן "+/-" נלקחו מספר ערכים: הערך המוחלט הגבוה ביותר בתחום הקילומטר - ממוצע וסטיית תקן של 3 מקטעים בעלי הערך המוחלט הגבוה ביותר, וגם ממוצע וסטיית תקן של מחצית המקטעים הנמצאים במרכז הפילוג.

תוך כדי קיבוץ הנתונים להפקת הערכים הנ"ל נתגלו נתונים לא צפויים אשר דרשו התייחסות פרטנית, כלהלן:

1) *רוחב מיסעה*: בקיבוץ תכונות "רוחב מיסעה ק"מ עולה" ו-"רוחב מיסעה "ק"מ יורד" נמצאו קטעי דרך שלמים על כל הקילומטרים, עם נתונים זהים לשני מאפיינים אלה, שהיו בטווח ערכים 5.5-8.5 מ'. בקטעי דרך שלמים אחרים היה שוני בין "רוחב מיסעה ק"מ עולה" ו- "רוחב מיסעה "ק"מ יורד" ותחומי הערכים של 2.5-4.5 מ'. בבדיקה סטטיסטית נמצאה התאמה בין החברות שביצעו את הסקר לבין שני סוגי הממצאים. הנחנו כי חברה אחת ("יונה") סיפקה את רוחב הנתיב עבור שתי ההגדרות: "רוחב מיסעה ק"מ עולה" ו-"רוחב מיסעה ק"מ יורד".

כמו כן, הנחנו ש"רוחב ההפרדה" שניתן גם עבור סימוני צבע לא כלול ברוחב הנתיב. הערכנו שחברת "גאוקום" סיפקה את רוחב שני נתיבי הנסיעה שכלל גם את רוחב סימוני הצבע בהפרדה עבור ההגדרות "רוחב מיסעה ק"מ עולה" ו- "רוחב מיסעה ק"מ יורד".

2) כדי לקבל *רוחב נתיב* בעל משמעות זהה בנתוני שתי החברות, הגדרנו את התכונה "רוחב נתיב" לכל חברה בצורה שונה. על-פי חברת "גאוקום", רוחב נתיב הוא חצי מ"רוחב מיסעה ק"מ יורד". (בנתוני חברת "גאוקום" "רוחב מיסעה ק"מ עולה" זהה תמיד ל-"רוחב מיסעה ק"מ יורד"). עבור נתוני חברת "יונה" רוחב נתיב הוא

מחצית מסכום "רוחב מיסעה ק"מ עולה", "רוחב ההפרדה" ו- "רוחב מיסעה ק"מ יורד". בקיבוץ הנתונים למחקר לא קיימת הפרדה בין רוחב הנתיב בשני הכוונים.

נתוני *מעקות הבטיחות* ביחידות הניתוח בהן קיימים מקטעים עם נתוני מעקות, קובצו ואוחדו באמצעות חישוב אשר הקנה לכל קטע ציון בין 1 ל- 4 של "רמת הבטיחות" בצידי הדרך. רמת בטיחות 1 היא הנמוכה ביותר, ורמת בטיחות 4 היא הטובה ביותר, כאשר רמות אלה נקבעו בהתאם למרחק המעקה מקצה המיסעה והמרחק הפנוי בין המעקה עד למכשול. בטבלה 2.4 מוצגים גבולות להגדרת הקטגוריות.

טבלה 2.4. תחומי "רמות הבטיחות" של צידי הדרך על-פי מיקום המעקות

רמת בטיחות	מרחק מעקה ממיסעה (מ')
1 - נמוכה	עד 1.0 (לא כולל)
2 - בינונית	1.0 - 2.0
3 - טובה	+ 2.0 AND "מרחק פנוי בין המעקה עד למכשול הקרוב" עד 1.0
4 - טובה מאוד	+ 2.0 AND "מרחק פנוי בין המעקה עד למכשול הקרוב" 1.0+

בנוסף, לאפיון מעקות הבטיחות הופקו שני משתנים נוספים: (1) כאשר אורך המקטעים בהם מותקנים המעקות החדשים היה מעל 30% מאורך הקטע המקובץ או מעל 0.5 ק"מ, משתנה "new_bar" קיבל ערך "1"; (2) כאשר אורך המקטעים בהם גובה מעקה תת-סטנדרטי, עד 0.7 מ', היווה מעל 20% מאורך הקטע המקובץ או מעל 0.2 ק"מ, משתנה "low_bar" קיבל ערך "1".

נתוני *אזור המפלט* ביחידות הניתוח בהן קיימים מקטעים עם אזור המפלט, קובצו ואוחדו באמצעות חישוב אשר הקנה לכל קטע ציון בין 1 ל- 4 של "רמת הבטיחות" באזור המפלט בצידי הדרך, במקומות בהם אין מעקה בטיחות. רמת בטיחות 1 היא הנמוכה ביותר, ורמת בטיחות 4 היא הטובה ביותר.

על-פי "הנחיות לבחירה והצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין עירוניות" (2005) הרוחב המומלץ של אזור המפלט בתכנון סלחני תלוי בסוג הדרך ובנפחי התנועה. אנו השתמשנו במידה המומלצת לרוחב אזור המפלט בשיפוע מתון בדרך חד-מסלולית כרמה "3-טובה". תוספת של יותר מ-1.0 מ' לערכים הנ"ל הוגדרה כרמה "4-טובה מאוד"; רמה "נמוכה" הוגדרה כמרחק עד 3.0 מ', ורמה "2-בינונית" כאשר הרוחב נמצא בין גבול עליון של רמה 1 וגבול תחתון של רמה 3. בטבלה 2.5 מוצגים גבולות להגדרת הקטגוריות של רמת הבטיחות של צידי הדרך על-פי רוחב אזור המפלט.

טבלה 2.5. תחומי "רמות הבטיחות" של צידי הדרך על-פי רוחב אזור המפלט

רמת בטיחות	רוחב אזור המפלט (מ')
1 - נמוכה	עד 3.0
2 - בינונית	5.5 (לא כולל) - 3.0
3 - טובה	7.5 (לא כולל) - 5.5
4 - טובה מאוד	7.5 או יותר

בנוסף, הוגדר משתנה אשר מצביע על רמת נוכחות המעקות ביחידת הניתוח - משתנה "bar_avl", המראה את חלקם היחסי של מקטעים עם מעקות הבטיחות מתוך סך המקטעים בקטע המקובץ. כמו כן, הוגדר משתנה

משותף למצב צידי הדרך - "ציון משוקלל של צידי הדרך", המהווה שקלול של קטגוריות "רמת הבטיחות" לפי מיקום המעקות ולפי מצב רוחב אזור המפלט, כאשר שני הערכים משוקללים בהתאם לאורך היחסי של המקטעים עם וללא מעקות הבטיחות, בתוך הקטע המקובץ.

בסיום שלב הכנת הנתונים למחקר, בסיס הנתונים כלל 3,649 יחידות ניתוח - קטעי הדרכים החד-מסלוליות (כל אחד באורך כ-1 ק"מ). האורך הכולל של קטעי המחקר היה כ-3,332 ק"מ. טבלה 2.6 מביאה רשימה מסכמת של מאפייני התשתיות אשר הופקו לכל אחת מיחידות הניתוח, בתוספת שדות הזיהוי (ID) ורמת החשיפה (נפח תנועה).

2.3. הכנת נתוני התאונות

כאמור, המידע על תאונות הדרכים התקבל מקבצי תאונות הדרכים של הלמ"ס עבור שלוש שנים אחרונות, 2008-2010. למידע על תאונות שימשו שני סוגי קבצים: "תאונות דרכים" (ת"ד) ו-"כללי עם נפגעים". המידע נאסף על *תאונות קטע בלבד*, לא כולל צמתים.

סוגי התאונות לאיסוף הנתונים ולבחינת הקשר עם מאפייני השוליים ומאפייני תשתית אחרים הוגדרו כלהלן:

א. התנגשויות בין כלי הרכב מתוך התאונות עם נפגעים (ת"ד).

ב. תאונות רכב יחיד מתוך התאונות עם נפגעים (ת"ד).

ג. תאונות חמורות - קשות וקטלניות ביחד (ת"ד).

ד. סך התאונות עם נפגעים (ת"ד).

ה. כלל התאונות: ת"ד ו-"כללי עם נפגעים".

הקטגוריות הנ"ל משקפות שילובים שונים של סוגי התאונות (אופן התרחשות) ורמות חומרת התאונות. סוגי תאונות כאלה משמשים בספרות בתור תאונות המטרה לבחינת השפעת השינויים במאפייני חתך הדרך ושוליים, בפרט. כמו כן, סוגי התאונות הנ"ל מאפשרים לבחון את התופעה לפי רמות שונות של דיווח על התאונות.

מקבצי "ת"ד", עבור הקטגוריות א'-ב' לעיל, הקבצת סוגי התאונות הייתה כלהלן:

- ה"*התנגשויות*" כללו את הסוגים הבאים - '2 התנגשות חזית אל צד', '3 התנגשות חזית באחור', '4 התנגשות צד בצד', '5 התנגשות חזית בחזית', '17 התנגשות אחור אל חזית', '18 התנגשות אחור אל צד';
- "תאונות *רכב יחיד*" כללו את הסוגים הבאים - '6 התנגשות עם רכב שנעצר ללא חניה', '7 התנגשות עם רכב חונה', '8 התנגשות עם עצם דומם', '9 ירידה מהכביש או עלייה למדרכה', '10 התהפכות', '11 החלקה'.

מכאן, עבור כל קטע דרך שנכלל בבסיס הנתונים של המחקר הופקו 15 מספרים של תאונות, לפי חמישה סוגי תאונות בשלוש שנים. טבלה 2.7 מציגה סיכום לנתוני התאונות שנרשמו בקטעי המחקר בשנים 2008-2010. מתוך 3,649 הקטעים במחקר, תאונות התנגשות בין כלי הרכב נרשמו ב-1,032 קטעים (28% מקטעי המחקר); תאונות רכב יחיד ב-533 קטעים (15%); תאונות חמורות ב-582 קטעים (16%); תאונות עם נפגעים - ב-1310 קטעים (36%); כלל התאונות - ב-2,056 קטעים (56%).

טבלה 2.6. מאפיינים של יחידות הניתוח בבסיס הנתונים של המחקר

שם המשתנה	תאור
RoadN	כביש (ID)
kmN	ק"מ (ID)
*AADT	נפח תנועה יומי ממוצע, אלף כלי רכב
*Length	אורך קטע, ק"מ
*lane_w	רוחב נתיב ממוצע, מ'
lane_w_sd	סטיית תקן לרוחב נתיב, מ'
sp_limit	מהירות מותרת בתחילת הקטע, קמ"ש
spl_ch	מספר שינויים של המהירות המותרות בקטע: 1 - אין שינוי, 2 או אחר - מספר שינויים
*sh_to_w	רוחב שול (כולל), מ'
sh_to_w_sd	סטיית תקן לרוחב שול כולל, מ'
*sh_as_w	רוחב שול אספלט, מ'
sh_as_w_sd	סטיית תקן לרוחב שול אספלט, מ'
*sh_gr_w	רוחב שול גרנולרי, מ'
sh_gr_w_sd	סטיית תקן לרוחב שול גרנולרי, מ'
*bar_avl	נוכחות מעקות: יחס - מספר מקטעים עם מעקות בטיחות מתוך סה"כ בקטע
*bar_est	ציון ממוצע של רמת הבטיחות, לפי המקטעים עם מעקות
bar_est_sd	סטית תקן לציון רמת הבטיחות, לפי המקטעים עם מעקות
new_bar	מדד מעקות "יורו", שווה "1" כאשר הם מעל 30% מאורך הקטע
low_bar	מדד מעקות נמוכים, שווה "1" כאשר הם מעל 20% מאורך הקטע
*no_bar_est	ציון ממוצע של רמת הבטיחות, לפי המקטעים ללא מעקות
no_bar_est_sd	סטית תקן לציון רמת הבטיחות, לפי המקטעים ללא מעקות
*rside_est	ציון משוקלל של מצב צידי הדרך
rside_est_std	סטית תקן לציון המשוקלל של מצב צידי הדרך
*rh_min	רדיוס אופקי מזערי, מ'
rh_min_sd	סטיית תקן לרדיוס אופקי מזערי, מ'
*rh_cat	קטגוריה לרדיוס אופקי מזערי (1-5)
rh_mean	רדיוס אופקי ממוצע ללא קצוות, מ'
rh_mean_sd	סטית תקן לרדיוס אופקי ממוצע ללא קצוות, מ'
*rvp_min	רדיוס אנכי חיובי מזערי, מ'
rvp_min_sd	סטית תקן לרדיוס אנכי חיובי מזערי, מ'
*rvp_cat	קטגוריה לרדיוס אנכי חיובי מזערי (1-5)
rvp_mean	רדיוס אנכי חיובי ממוצע ללא קצוות, מ'
rvp_mean_sd	סטיית תקן לרדיוס אנכי חיובי ממוצע ללא קצוות, מ'
*rvn_min	רדיוס אנכי שלילי מזערי, מ'
rvn_min_sd	סטית תקן לרדיוס אנכי שלילי מזערי, מ'
*rvn_cat	קטגוריה לרדיוס אנכי שלילי מזערי תכן (1-5)
rvn_mean	רדיוס אנכי שלילי ממוצע ללא קצוות, מ'
rvn_mean_sd	סטיית תקן לרדיוס אנכי שלילי ממוצע ללא קצוות, מ'
*ss_max	שיפוע צד מירבי, %
ss_max_sd	סטיית תקן לשיפוע צד מירבי, %
ss_mean	שיפוע צידי ממוצע ללא קצוות, %
ss_mean_sd	סטיית תקן לשיפוע צידי ממוצע ללא קצוות, %
*gr_max	שיפוע לאורך מירבי, %
gr_max_sd	סטיית תקן לשיפוע לאורך מירבי, %
gr_mean	שיפוע לאורך ממוצע ללא קצוות, %
gr_mean_sd	סטיית תקן לשיפוע לאורך ממוצע ללא קצוות, %

הערה: המשתנים עם "*" נבחנו לפיתוח מודלים מסבירים

טבלה 2.7. סך התאונות בקטעי המחקר, לפי סוגים, בשנים 2008-2010

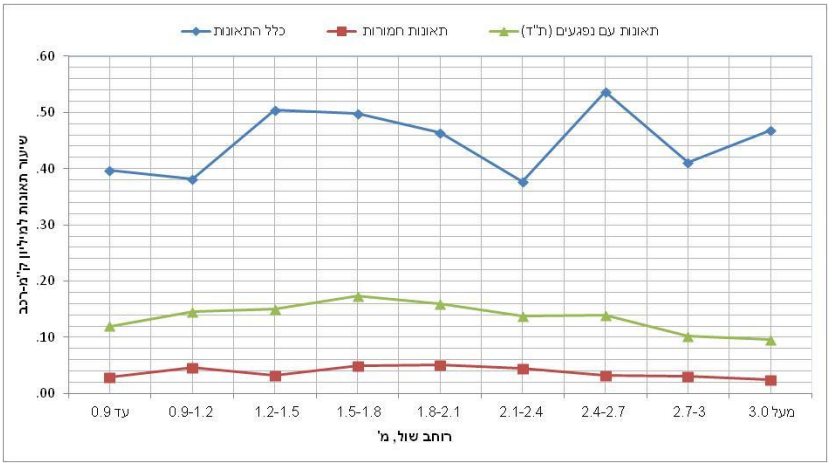
סוג תאונה	2008	2009	2010	סה"כ, בשנים 2008-2010
התנגשויות בין כלי רכב	594	729	712	2035
תאונות רכב יחיד	220	243	226	689
תאונות חמורות	281	260	224	765
סך התאונות עם נפגעים (ת"ד)	871	1012	981	2864
כלל התאונות: "ת"ד"+"כללי עם נפגעים"	2630	2773	2760	8163

2.4. בדיקות מוקדמות של הנתונים

על סמך הנתונים שנאספו נערכו מספר בדיקות מוקדמות, במטרה לבחון את צורת הקשר בין מאפייני שוליים לבין שיעור התאונות (מספר תאונות ליחידת נסועה), בהינתן ערכים מוגדרים של מאפייני תשתית אחרים.

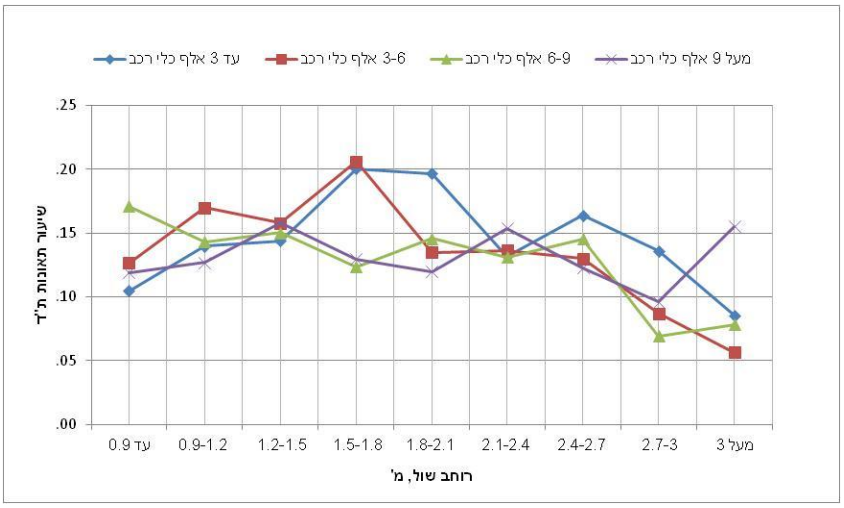
איור 2.1 מציג את שיעורי התאונות, ברמות חומרה שונות, לפי רוחב שול. ניתן לראות כי בקרב סך התאונות עם נפגעים, הגדלה התחלתית של רוחב שול, עד כ-1.8 מ', מתקשרת עם עליה בשיעור התאונות, כאשר בהמשך, ערכים גדולים יותר של רוחב שול מזוהים עם שיעורי תאונות נמוכים יותר. לעומת זאת, בקרב כלל התאונות (ת"ד + כללי עם נפגעים) ערכים גבוהים יותר של שיעורי התאונות נצפו במספר רמות של רוחב שול, דהיינו לא הסתמן דפוס עקבי של קשר בין רוחב שול לבין שיעור התאונות.

שיעורי התאונות החמורות היו נמוכים משמעותית לעומת סך התאונות עם נפגעים וכלל התאונות, לכן מגמת השינוי בשיעורי תאונות אלה כתלות ברוחב שול כמעט ולא ניתנת לזיהוי (ראה איור 2.1). מבחינת ערכי השיעור של התאונות החמורות עלה כי הסתמן דפוס תלות דומה לסך התאונות עם נפגעים: קודם עליה ואחר כך ירידה בשיעור התאונות, במקביל עם הגדלת רוחב שול.



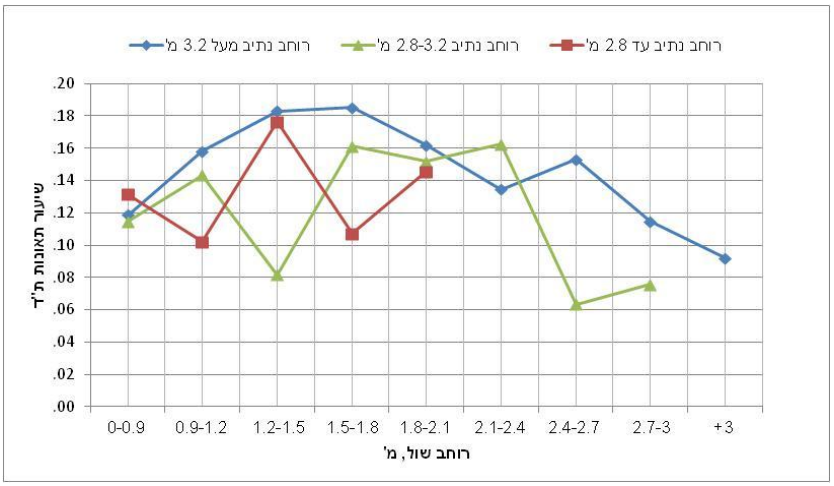
איור 2.1. שיעורי התאונות, ברמות חומרה שונות, לפי רוחב שול (על סמך הנתונים הגולמיים).

איור 2.2 מציג את שיעורי התאונות עם נפגעים כתלות ברוחב שול, ברמות שונות של נפח התנועה בדרך. ניתן להבחין כי בקטעי הדרכים עם נפחי תנועה נמוכים יותר (עד 3, 3-6 אלף כלי רכב) הסתמן דפוס השפעה, לפיו, הגדלה התחלתית של רוחב שול, עד כ-2 מ', מזוהה עם עליה בשיעור התאונות, בעוד שהגדלה נוספת של רוחב שול מביאה לירידה בשיעור התאונות. לעומת זאת, בקטעים עם נפחי תנועה גדולים יותר, הסתמן קשר ישיר בין עליה ברוחב שול וירידה בשיעור התאונות, בכל טווח הערכים של רוחב שול.



איור 2.2. שיעורי התאונות עם נפגעים כתלות ברוחב שול, ברמות שונות של נפח התנועה בדרך (על סמך הנתונים הגולמיים).

איור 2.3 מציג את שיעורי התאונות עם נפגעים כתלות ברוחב שול, עבור ערכים שונים של רוחב נתיב. ניתן להבחין כי בקטעי הדרכים עם נתיב רחב (מעל 3.2 מ') הסתמן דפוס השפעה "שבור", דהיינו עליה ואחר כך ירידה בשיעור התאונות, במקביל עם הגדלת רוחב שול. לעומת זאת, עבור קטעי הדרכים עם נתיב צר יותר, לא הסתמן קשר עקבי בין הגדלת רוחב שול לבין שיעור התאונות. היעדר מגמה ברורה במקרים אלה עשוי להיות קשור למקבצים הקטנים יחסית של הקטעים ששימשו בסיס להערכת שיעורי התאונות עבור כל נקודה בגרף (סך הקטעים עם רוחב נתיב נבחר ורוחב שול מסוים).



איור 2.3. שיעורי התאונות עם נפגעים כתלות ברוחב שול, עבור ערכים שונים של רוחב נתיב (על סמך הנתונים הגולמיים).

בנוסף, נבדקו אפשרויות ליצירת גרפים דומים לקשר בין שיעורי התאונות עם נפגעים לבין רוחב שול, עבור גדלים שונים של רדיוס אופקי וסוגים שונים של שול (סלול, גרנולרי). גם בחתכי מידע אלה היו מקרים עם מקבצים קטנים יחסית של הקטעים ששימשו בסיס להערכת שיעורי התאונות עבור נקודות מסוימות בגרף, מה שגרם להיעדר מגמה ברורה בהצגת הנתונים.

סה"כ, הבדיקות המוקדמות של הנתונים הראו כי גילוי הקשר בין רוחב שול לבין שיעורי התאונות אינו פשוט, כאשר צורת הקשר עשויה להשתנות בתלות במאפייני דרך אחרים.

3. פיתוח מודלים מסבירים לקשר בין מאפייני שוליים לבין שכיחות התאונות

על בסיס הנתונים של המחקר נערכו ניתוחים רבים לזיהוי הקשר בין מאפייני השוליים והסיכון לתאונות, בהתחשב ברמות של נפח התנועה ומאפייני דרך אחרים. לביטוי קשר כמותי בין מאפייני השול לבין התרחשות התאונות הותאמו מודלים מסבירים. זיהוי הקשר לא היה פשוט, ודרש שינויים רבים בהגדרות הנתונים ובשיטת הניתוח, תוך כדי התהליך.

בחלק הראשון של התהליך, נעשה ניסיון להתאים מודל מסביר, תוך כדי בדיקות רבות של הנתונים וניתוח מערכת הקשרים בין מאפייני התשתית והתאונות (ראה פירוט בפרק 3.1). עם זאת, הביטוי הכמותי לקשר בין מאפייני הדרכים ושכיחות התאונות שהתקבל בתהליך זה לא היה מספק הנדסית. לכן, הוחלט על שינוי גישה, כאשר רוב מאפייני התשתית נהפכו למשתנים קטגוריים ופיתוח המודלים נעשה בשיטה של case-control. בשיטה זו, פיתוח המודל מתבסס על בסיס נתונים מצומצם בו לכל יחידת ניתוח עם תאונה שנרשמה בתקופה הנבחנת (case) מותאמת יחידת ניתוח אחרת, ללא תאונה, אך אשר דומה ליחידת הניתוח הראשונה ע"פי מאפייני תשתית נבחרים (control). כתוצאה, חלק ממאפייני התשתית אשר שימשו להתאמה (matching) של יחידות הניתוח כבר נמצאים בבקרה בבסיס הנתונים החדש, כאשר לפיתוח מודל מסביר משמשים יתר מאפייני הקטעים שלא היו בבקרה. מכאן, לפיתוח המודלים משמשת רשימה קצרה יותר של מסבירים פוטנציאליים, מה שמעלה את הסיכוי להתאמת המודל. בנוסף, הודות לאופן בניית בסיס הנתונים - התאמה פרטנית בין הקטעים עם וללא התאונות, יש לצפות לשיפור איכות התוצאה - ירידה בהשפעת הגורמים האחרים אשר לא באו לידי ביטוי במאפייני הקטעים אך היו עשויים להשפיע על התרחשות התאונות.

בעקבות יישום השיטה של הcase-control התקבל מודל מותנה לביטוי השפעת מאפייני שוליים על התרחשות התאונות (ראה פירוט בפרק 3.2). בנוסף, על סמך אותו בסיס הנתונים של המקרים המותאמים, נבנה מודל מסביר להערכת מספר התאונות הצפוי בקטע בתלות במאפייני התשתית. כל הניתוחים נערכו עבור חמישה סוגי תאונות: התנגשויות בין כלי רכב (COL); תאונות רכב יחיד (SNG); סך התאונות עם נפגעים (TDT); תאונות חמורות (TDS); כלל התאונות (ALL).

3.1. ניתוח מגשש של הנתונים[10]

3.1.1. ניפוי נתוני התאונות

בעקבות בדיקת נתוני התאונות נמצא כי ישנו מספר קטן של יחידות ניתוח עם מספרים גבוהים באופן חריג של התאונות. הסיבה למספר הגבוה של התאונות עשויה לנבוע מביצוע עבודות בדרך, אי-דיוק חריג ברישום מיקום התאונות, הימצאות צמתים משניים בתוך הקטע וכו'. בהתחשב באורך יחידות הניתוח (כ-1 ק"מ בלבד), הקריטריונים לניפוי הרשומות עקב מספר תאונות חריג הוגדרו כלהלן:

* 5 או יותר התנגשויות בין כלי הרכב, בשנה;

[10] כאמור, בשלב הראשון, נעשו בדיקות רבות של הנתונים וניתוח מערכת הקשרים בין מאפייני התשתית והתאונות, בניסיון להתאים מודלים מסבירים לקשר בין מאפייני התשתית והתרחשות התאונות. פירוט מלא של הניתוחים והבדיקות בשלב זה מוצג בדו"ח טכני של המעבדה לסטטיסטיקה מה-29.9.12. בפרק זה מובאים הממצאים העיקריים של הניתוחים אשר חשובים להבנת מערכת הקשרים בין מאפייני התשתית והתאונות.

* 3 או יותר תאונות רכב יחיד, בשנה;

* 3 או יותר תאונות חמורות, בשנה;

* 6 או יותר תאונות עם נפגעים, בשנה;

* 20 או יותר כלל התאונות, בשנה;

* 25 או יותר כלל התאונות, סה"כ ב-3 שנים.

על סמך קריטריונים אלה, מבסיס הנתונים נופו 52 קטעים חריגים, נותרו 3,597 קטעים.

3.1.2. ניתוח משתנים מסבירים

לבחינת הערכים המובילים של המשתנים נבנו היסטוגרמות ותרשימי קופסה. לזיהוי הקשרים בין המשתנים נערך ***ניתוח גורמים*** (factor analysis). כתוצאה, זוהו קבוצות של משתנים עם התנהגויות דומות וקורלציה גבוהה כגון: (1) המשתנים rside_est, bar_est, no_bar_est (מצב צידי הדרך) וגם המשתנים של רוחב שול כולל ורוחב שול אספלט; (2) רדיוס אנכי קעור והקטגוריות שלו; (3) רדיוס אופקי והקטגוריות שלו, שיפוע צד, שיפוע לאורך; (4) רדיוס אנכי קמור והקטגוריות שלו, ורוחב נתיב.

לעומת זאת, המשתנים של אורך קטע, נפח תנועה, מהירות מותרת, רוחב שול גרנולרי ונוכחות מעקות - היו בעלי קשר נמוך עם שאר המשתנים.

כדי לקבל מושג ראשוני של הקשר בין כל אחד מהמסבירים למשתנה התלוי של מספר תאונות דרכים, ללא ניכוי השפעת משתנים אחרים, חושבו ***קורלציות*** פשוטות (Pearson Correlation) בין כל אחד מהמשתנים המסבירים עם התמרת המשתנים התלויים שהיא שורש מספר התאונות מחולק באורך קטע ונפח התנועה בו. (כלומר, קשר ראשוני זה בין המסבירים הפוטנציאליים לבין התאונות נבחן בניכוי השפעת אורך הקטע ונפח התנועה בקטע).

להלן סיכום לקשרים שנמצאו מובהקים (ברמת מובהקות 0.05):

- עבור תאונות התנגשות בין כלי הרכב (COL) נמצאו קורלציות עם המשתנים של מצב צידי הדרך, רוחב שול גרנולרי, רוחב שול אספלט, מהירות מותרת, רדיוס אנכי שלילי וחיובי, רדיוס אופקי, שיפוע צד, רוחב נתיב;

- עבור תאונות רכב יחיד (SNG) נמצאו קורלציות עם המשתנים של נוכחות מעקה בטיחות, רדיוס אנכי שלילי, רדיוס אופקי, רוחב נתיב;

- עבור התאונות החמורות (TDS) נמצאו קורלציות עם המשתנים: נוכחות מעקה בטיחות, מצב צידי הדרך ללא מעקה, רוחב שול גרנולרי, רוחב שול אספלט, מהירות מותרת, שיפוע צד, רוחב נתיב;

- עבור התאונות עם נפגעים (TDT) נמצאו קורלציות עם המשתנים: נוכחות מעקה בטיחות, מצב צידי הדרך ללא מעקה, רוחב שול גרנולרי, רוחב שול אספלט, מהירות מותרת, רדיוס אופקי, שיפוע צד, רוחב נתיב;

- עבור כלל התאונות (ALL) נמצאו קורלציות עם המשתנים: נוכחות מעקה בטיחות, מצב צידי הדרך ללא מעקה, מהירות מותרת, רוחב שול אספלט, רדיוס אופקי, שיפוע צד, רוחב נתיב.

כלומר, כבר מבחינת הקורלציות היה ניכר שמערכת הקשרים בין מאפייני התשתית לבין התאונות רבה ומורכבת, כאשר כיוון הקשר המסתמן לא תמיד היה בהתאם למצופה. לדוגמא, בין משתנה "רוחב שול אספלט" לבין שכיחות התאונות הסתמן קשר חיובי.

בהמשך, נערך ***זיהוי השפעת המשתנים*** באמצעות שימוש בפונקצית rpart מתוך סיפרית rpart של תוכנת R. נמצא שרק שני משתנים מורידים את שגיאת הניבוי באופן משמעותי: נפח התנועה ומהירות מותרת. גם אחרי נרמול הערכים (מספרי התאונות) לנפח התנועה ואורך קטע, בכל המקרים בהם מצא האלגוריתם משתנה המוריד את שגיאת הניבוי באופן מובהק, היה זה המשתנה של נוכחות מעקות הבטיחות (bar_avl). ביצירת עצי הסיווג בשיטה זאת, משתני רוחב שול הופיעו בתפקידי משנה - ברמות הנמוכות של העצים, עבור כל סוגי התאונות.

כמו כן, לצורך בחינה מסכמת של המשתנים השתמשנו בשיטה לקבלת חשיבות המשתנים לפי GBM - Generalized Boosted Regression Modeling. עבור כל משתנה תוצאה - סוג תאונות, התקבלו עשרה משתנים בעלי החשיבות הגבוהה ביותר לניבוי התוצאה. נמצא כי המשתנים של רוחב שול היו בין המשתנים החשובים עבור כל סוגי התאונות, אם כי, מבחינת החשיבות לניבוי התאונות הם היו ברוב המקרים במקום אמצעי (רביעי-חמישי) ומטה. עבור סך התאונות עם נפגעים, משתנה השול - "רוחב שול אספלט", היה במקום השמיני בלבד. לעומת זאת, עבור כלל התאונות, משתנה השול - "רוחב שול גרנולרי", היה במקום הראשון, בעוד שהמשתנה של "רוחב שול אספלט" במקום החמישי.

כמו כן, נמצא שבין המשתנים המובילים לניבוי התאונות היו המשתנים של מצב מעקות הבטיחות (bar_est, no_bar_est) וכי גם לאחר הסרת משתנים אלה מהבדיקה, משתני השוליים לא הגיעו למקומות הראשונים מבחינת ניבוי התאונות (פרט למקרה של כלל התאונות - ALL - שעבורו חשיבות של "רוחב שול גרנולרי" היתה ניכרת כבר קודם).

כפי שידוע מהספרות, הקשרים החזקים ביותר של תאונות עם משתנים מסבירים צפויים להיות עם משתנה ***נפח התנועה***. זאת מכיוון שנפח התנועה משפיע על כל סוגי התאונות, ואילו מאפיינים גיאומטריים משפיעים רק על חלק מהן, כך שבהסתכלות על כלל התאונות קשה יותר להבחין בתרומתם של משתנים אלה. לכן, בהתחלה, נבחן הקשר בין נפח התנועה ותאונות.

מהספרות ידוע שבדרך כלל צורת הקשר היא שלוג נפח התנועה קשור לינארית ללוג תוחלת מספר התאונות. תחילה נבדקה צורת הקשר בין לוג נפח התנועה ולוג תוחלת מספר התאונות (עם אופסט של אורך קטע, כדי למדל את תוחלת התאונות התלת-שנתית לק"מ). הותאם מודל בינומי שלילי חלק (smooth) לנתוני כל אחד מסוגי התאונות, כאשר בציר X מופיע log(100*AADT) המכונה lg_x.

אובחן שהקשר הינו לינארי למקוטעין, פרט לתאונות TDS, עם שבירה ב-lg_x השווה ל-3.9 שהינו נפח תנועה (AADT) השווה לכ- 0.5 (אלף כלי רכב). בבדיקה עלה שסה"כ בבסיס הנתונים של המחקר יש 37 תצפיות המקבלות ערך הנמוך מערך זה. בשל מספר התצפיות הקטן (37) שעליו מבוסס השיפוע מתחת ל-3.9, הוחלט להתאים מודל רק לתצפיות מעל לערך זה.

לאחר ויתור על ערכי הנפח הקטנים מ-0.5 אלף, לכל סוג תאונות הותאמה רגרסיה בינומית שלילית לינארית לקשר בין נפח התנועה והתאונות, ואופסט השווה ללוג אורך הקטע. עבור כל רגרסיה נבחן השיפוע ומובהקותו ונמצא שבכל הסדרות הקשר היה חיובי ומובהק מאוד.

בהמשך, נבדקה הוספה של ***כל משתנה תשתית*** לחוד, למודל הכולל את נפח התנועה. כך יכולנו לקבל מושג על השפעת נתוני קצה ורמז להשפעה של המשתנה. יש לזכור שהתאמה זאת מוטית בשל אי-הכללת משתנים אחרים העשויים להשפיע על תאונות הדרכים. הבחירה הסופית בין המשתנים וההתמרות המתאימות נעשו במודל המסכם עם כל המשתנים שנבחרו.

בשלב זה השתמשנו במשתנים שנבחרו על-ידי הGBM כבעלי חשיבות (וגם בעלי קורלציה ניכרת עם משתנה התוצאה, כפי שנמצא בבדיקות הקודמות) בתור המועמדים למודלים בנוכחות נפח התנועה (AADT). תחילה הותאמו מודלים לא פרמטריים ולאחר מכן מודלים פרמטריים. במקרה של חוסר לינאריות של תרומת המשתנה המסביר חיפשנו טרנספורמציה שתאפשר התאמת מודל לינארי או לינארי למקוטעין. המודלים הותאמו לנתונים לאחר הוצאת ערכים קיצוניים של המשתנים המסבירים. קשר זה נבדק עבור משתנים אלה: רוחב שול כולל, רוחב שול גרנולרי, רוחב שול אספלט; רוחב נתיב; מצב צידי הדרך ללא מעקה, מצב צידי הדרך עם מעקה, ציון משוקלל לצידי הדרך; רדיוס אופקי מזערי; רדיוס אנכי חיוב מזערי והקטגוריות שלו; רדיוס אנכי שלילי מזערי והקטגוריות שלו; שיפוע צד מירבי, שיפוע אורך מירבי; משתנה נוכחות המעקות.

בעקבות בחינת צורות הקשר בין משתני התשתית הגיאומטריים ומספרי התאונות, בניכוי השפעת נפח התנועה ואורך הקטע, נקבע הצורך להוציא מהניתוח את הערכים החריגות של כל אחד מהמשתנים. זאת, בשל התנהגות חריגה של הקשר שנצפה בקצות הערכים וגם עקב מיעוט התצפיות (הקטעים) שהיו עם הערכים החריגים. כתוצאה, להתאמת המודלים נשארו ערכי המשתנים ***בגבולות*** שלהלן:

רוחב נתיב בטווח 2-4 מ';

רוחב שול כולל עד 4.2 מ';

רוחב שול גרנולרי עד 4 מ';

מצב צידי הדרך ללא מעקה עד ערך 3.5;

רדיוס אנכי חיוב מזערי עד 25,000 מ';

רדיוס אנכי שלילי מזערי מעל 245 מ';

שיפוע צד בטווח 1%-8%;

שיפוע לאורך עד 12%.

כמו כן, כפי שצוין לעיל, נפח התנועה הנבחן יהיה מעל 0.5 אלף כלי רכב ביממה.

לאחר הסרת יחידות הניתוח עם הערכים החריגים של משתני התשתית, בבסיס הנתונים של המחקר נותרו 2,820 קטעי דרך.

מבחינת הקשר בין משתני התשתית לבין משתני התוצאה (בניכוי השפעת נפח התנועה ואורך הקטע) עלו ממצאים אלה:

- הקשר בין "רוחב שול כולל" לתאונות אינו לינארי אלא לינארי למקוטעין, דהיינו עולה לפני ויורד אחרי נקודת שבירה מסוימת, בכל סוגי התאונות;

- מבחינת השפעה על תאונות, קיימת קורלציה גבוהה בין משתני "רוחב שול אספלט" ו- "רוחב שול כולל", אם כי טיב ההתאמה מבחינת הקשר לתאונות גבוה יותר עבור "רוחב שול כולל";

- הקשר עם "רוחב נתיב" עולה לינארית עבור רוב סוגי התאונות, פרט לכלל התאונות (ALL) שעבורן נצפה קשר לינארי למקוטעין, דהיינו יורד לפני ועולה אחרי נקודת שבירה מסוימת בגודל רוחב נתיב (כללית, ממצאים אלה לא תואמים את הספרות אשר מצפה לירידה בתאונות עם הרחבת נתיב);

- נצפה קשר לינארי שלילי בין "מצב צידי הדרך ללא מעקה" לבין שכיחות התאונות, מכל הסוגים (בהתאם למצופה, כאשר שיפור במצב צידי הדרך מתקשר עם ירידה בתאונות);

- גם עבור המשתנה של "מצב צידי הדרך עם מעקה" נצפה קשר שלילי עם התאונות (בהתאם למצופה, כאשר שיפור במצב צידי הדרך מתקשר עם ירידה בתאונות);

- לעומת זאת, עבור המשתנה "ציון משוקלל לצידי הדרך" צורות הקשר עם התאונות לא היו ברורות ולכן, משתנה זה עדיף פחות להתאמת המודלים המסבירים לעומת המשתנים האחרים של מצב מעקות הבטיחות;

- כמו כן, עבור המשתנה של "נוכחות מעקות הבטיחות" (bar_avl) הסתמן קשר חיובי עם התאונות, מכל הסוגים (לכאורה, ממצא זה - עליה בשכיחות התאונות עם נוכחות גדולה יותר של מעקות הבטיחות בקטע, מנוגד להגיון אך מהספרות ידוע כי הצבת מעקות הבטיחות אינה מונעת התנגשויות בהם אלא מורידה את חומרת התאונות);

- עבור המשתנה של "רדיוס אופקי מזערי" נצפה קשר שלילי עם התאונות, מכל הסוגים (בהתאם לספרות, כאשר עליה ברדיוס אופקי מזוהה עם ירידה בתאונות);

- עבור המשתנה של "רדיוס אנכי חיובי" נצפה קשר עולה עם התאונות (בניגוד למצופה ע"פי ההיגיון ההנדסי);

- עבור המשתנה של "רדיוס אנכי שלילי" נצפו קשרים הפוכים לסוגי תאונות שונים, אולם בדיקת המובהקות הראתה שרק עבור שני סוגי התאונות (ALL, SNG) בהם נצפה קשר יורד עם המאפיין התקבלו תוצאות מובהקות;

- עבור המשתנה של "שיפוע צד" נצפה קשר עולה עם התאונות, מכל הסוגים (עם זאת, משתנה זה יש לבחון בהקשר למקרים של רדיוס אופקי קטן, כי רק במקרים אלה קיימת משמעות להגבהה צידית בחתך הדרך);

- עבור המשתנה של "שיפוע לאורך" נצפה קשר עולה עם התאונות, מכל הסוגים (בהתאם למצופה, כאשר עליה בשיפוע לאורך מתקשרת לעליה בתאונות);

- עבור המשתנה של "רוחב שול גרנולרי" הסתמן קשר לינארי שלילי עם כל סוגי התאונות, פרט לכלל התאונות (ALL) שעבורן נצפה קשר לינארי למקוטעין: יורד לפני ועולה אחרי נקודת שבירה מסוימת.

סה"כ, חלק ניכר מהקשרים שנצפו בין משתני התשתית לבין משתני התאונות היו הגיוניים ותאמו את הספרות המקצועית, כאשר חלקם הדגימו קשר הפוך למצופה. הבעיה הגדולה ביותר הסתמנה בקשר בין משתני רוחב

שול (מהסוגים השונים) לבין התאונות, אשר בניגוד לספרות, הצביע על עליה בתאונות במקביל עם הגדלת רוחב השול, בטווחים מסוימים של רוחב השול.

3.1.3. התאמת מודלים מסבירים

לבסוף, ה-GBM הורץ עבור אוסף הנתונים ללא תצפיות חריגות, עבור המשתנים המותמרים (לוגריתם, עבור מאפיינים נבחרים). עבור כל משתנה בוצעו שני סוגי התאמות: התאמה על-ידי תוכנת GBM והתאמה ע"י תוכנת GAM (אשר כללה בחירת משתנים). בדו"ח הטכני של המעבדה לסטטיסטיקה (שהוזכר לעיל) הוצג סיכום הממצאים, משתי ההרצות, ה-GBM ו-הGAM, עבור חמשת סוגי התאונות, כאשר לכל סוג תאונה (המשתנה התלוי) מובאים הפלטים הבאים: חשיבות המשתנים ע"פי GBM; שרטוט הקשר בין כל משתנה מסביר לתלוי בנוכחות כל שאר המסבירים, על-פי ההתאמה שהתקבלה על-ידי GBM; שרטוט הקשר בין כל משתנה מסביר לתלוי בנוכחות כל שאר המסבירים, על-פי ההתאמה שהתקבלה על-ידי GAM. בנוסף, ברשימת חשיבות המשתנים לפי הGBM הוצגו סימנים "+" המסמנים שאותו המשתנה נבחר כחשוב הן על-ידי הGBM והן ע"י הGAM, וסימני "-" שמשמעם שהמשתנה נבחר על-ידי הGBM ולא נבחר ע"י הGAM.

בהתחשב בתוצאות אלה, נבחרו משתנים להתאמת מודלים מסבירים, לכל אחד מסוגי התאונות. כמו כן, נשמרו המשתנים lane_w ו-sh_to_w המופיעים במחקרים רבים בספרות כמסבירי תאונות חשובים[11]. בנוסף, משתנים מסוימים פוצלו למספר ערכים משיקולים הנדסיים, כגון: המשתנה של "רדיוס אופקי" פוצל לשני תחומים כדי לבחון אינטראקציה עם משתנה "שיפוע צד".

בפיתוח המודלים המסבירים השתמשנו בגישה של Fitzpatrick et al (2008) אשר בחנו מספר משתנים כמסבירים במודלים של תאונות. החוקרים בחנו את המשתנים, השילובים שלהם (מתוך הנחה שלא כל המשתנים יכולים להופיע בו-זמנית בשל הקשרים החזקים ביניהם), והסירו את המשתנים הלא מובהקים. הבחירה בין המודלים הייתה הן לפי טיב ההתאמה והן לפי ההגיוניות שלהם. כלומר, המודל נבחר לשימוש כאשר הרכב המשתנים בו וכיוון השפעתם היו הגיוניים. יש לציין שבפיתוח מודלים מסבירים ייתכן לקבל השפעות של משתנים לא בכיוון ההגיוני, בשל העובדה שמשתנים אלה קשורים למשתנים אחרים, כאשר הכיוונים ההפוכים, לכאורה, של ההשפעה עשויים להיות תוצאה של מולטיקולינאריות עם המשתנים האחרים, או שמשתנים אלה עשויים לכלול השפעות של משתנים אחרים שלא נכנסו למודל או כלל לא נמדדו.

לכל סוג תאונות, הותאם מודל לא פרמטרי (מודל חלק) ולאחר מכן, הותאם מודל פרמטרי. בהתאמת המודל הפרמטרי, הורץ מודל פרמטרי של רגרסיה בינומית שלילית, עם מספר התאונות בשלוש שנים כמשתנה תלוי, לוג אורך קטע כמשתנה "אופסט" וכל המשתנים הנבחרים כמשתנים מסבירים. לשם חישוב אמדי המודל השתמשנו בפונקצית glm.nb מתוך ספריית MASS של R. המודל הפרמטרי הסופי, לאחר בחירת המשתנים, נבחר לפי הערך המינימאלי של קריטריון AIC (Akaike information criterion).

להלן דוגמא למודל פרמטרי שהותאם, בשלב זה, לנתוני התנגשויות בין כלי הרכב (COL):

[11] יש לזכור שבמודלים המצומצמים יותר לא נכללים כל משתני המודל המקורי, ולכן, ייתכן שמשתנים שלא היו חשובים כאשר נכללו כל המשתנים של המודל יהפכו לחשובים לאחר השמטת משתנים מהמודל. מכאן, מותר להוסיף משתנים רצויים בשלב לאחר ההשמטה של משתנים לא חשובים.

```
Parametric coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -8.251     4.906e-01 -16.818  < 2e-16 ***
lg_x         1.006     5.189e-02  19.383  < 2e-16 ***
lane_w       0.3837    1.545e-01   2.483 0.013032 *
bar_avl      0.8053    1.420e-01   5.673  1.4e-08 ***
sh_to_w     -0.1582    4.893e-02  -3.234 0.001222 **
rh_min      -0.0001342 4.044e-05  -3.318 0.000907 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

גודל השונות המוסברת במודל זה היה 28.6%. המודל הצביע על כך ש:

- המשתנים המשפיעים על תאונות התנגשות בקטע דרך חד-מסלולית הם נפח התנועה, רוחב נתיב, נוכחות מעקות הבטיחות, רוחב שול ורדיוס אופקי מזערי;

- מספר התאונות בקטע עולה עם עליה בנפח התנועה, רוחב נתיב ונוכחות מעקות הבטיחות בצידי הדרך;

- מספר התאונות יורד עם עליה ברוחב שול (כולל) ועם עליה ברדיוס אופקי מזערי.

לכאורה, המודל הנ"ל היה ניתן לשימוש, אך מהבחינה ההנדסית, היו בו חסרונות כגון:

* היעדר ביטוי לסוג שול (סלול, לא סלול), כאשר המחקר מתמקד בבחינת השפעת מאפייני שוליים על הבטיחות;

* הביטוי שניתן להשפעת מעקות הבטיחות, ע"פי נוכחות המעקות בלבד וללא התייחסות לרמת הבטיחות של צידי הדרך (משתנים bar_est, no_bar_est), מה שגורע משימושיות המודל לצורכי שיפורי התשתית.

בשל הביטוי החלש יחסית שהתקבל במודלים המסבירים הרגילים עבור מאפייני השוליים (המהווים נושא המחקר) וגם קשר לא הגיוני עם התאונות שנצפה עבור מאפייני השוליים בחלק מהמקרים, הוחלט לבחון דרך נוספת לזיהוי הקשר בין מאפייני השוליים לבין התרחשות התאונות. שיקול נוסף לבחינת השיטה האחרת נבע מהביקורת הקיימת בספרות כלפי מודלים מסבירים רב-פרמטריים, בהתייחס ליכולתם לשמש בסיס לכימות השפעת מאפייני תשתית נבחרים על תאונות (Hauer, 2010).

3.2. פיתוח מודלים מסבירים בשיטת case-control

3.2.1. כללי: שיטת הcase-control

Hauer (2010) הסביר במאמרו כי שיטות הניתוח הרוחבי (cross-section analysis) המשמשות בסיס לפיתוח המודלים המסבירים אינן מהוות תחליף הולם לשיטות הערכה "אחרי-לפני", מכיוון שמספר לא ידוע של גורמים משפיעים אפשריים לא נלקח בחשבון בפיתוח המודלים המסבירים, מה שעשוי ליצור הטעיה בתוצאה המתקבלת - מקדמי השפעה של מאפייני תשתית על תאונות. עם זאת, בשל היעדר מידע על תקופות ביצוע השינויים בשטח ולרוב, היעדר שיפורי תשתית ממוקדים שהיו משנים, לדוגמא, רוחב שול מערך אחד מסוים לערך אחר, ביצוע הערכות בטיחות בשיטת "אחרי-לפני" לא מתאפשר במקרים רבים. לכן, חוקרים כגון: Gross and Jovanis (2007), Gross and Donell (2011) - הציעו להיעזר, להערכת השפעת מאפייני תשתית, בשיטה נוספת הקרויה case-control (CC) אשר "מגשרת" בין שתי השיטות שצוינו לעיל (הניתוח הרוחבי ו-"אחרי-לפני").

שיטת הCC מקובלת באפידמיולוגיה לזיהוי גורמי סיכון של אוכלוסיה למחלה מסוימת. גם בהקשר הבטיחות בדרכים, ישנם מחקרים שנעשו בשיטה זאת אשר בחנו אינטראקציה בין משתמשי הדרך וכלי הרכב, כאשר Gross הדגים במחקריו שימושיות של שיטה זאת גם להערכת מקדמי שינוי בתאונות הקשורים למאפייני תשתית שונים.

מחקרי הCC מעריכים האם החשיפה לגורם הסיכון שונה בין המקרים הנבחנים (cases) ומקרי הביקורת (controls) ובכך אומדים את הסתברות התוצאה בהינתן גורם הסיכון. מחקרי הCC מספקים ערכים של יחס היחסים (OR - odds ratio) המהווה אומדן לאחוז שינוי בסיכוי לתוצאה, בנוכחות גורם הסיכון, לעומת תנאי הבסיס. בכך, משמעות הOR דומה למשמעות של CMF (crash modification factor) בספרות האמריקנית אשר מהווה יחס בין מספר התאונות הצפוי במצב החדש (עם ערך שונה של מאפיין תשתית) לעומת תנאי הבסיס.

בסיס הנתונים לשיטת הCC נוצר לפי הכללים הבאים:

* המקרים הנבחנים (cases) הם אתרי דרך בהם נצפתה לפחות תאונה אחת בתקופת הניתוח;

* מקרי הביקורת (controls) הם אתרי דרך בהם לא נצפו תאונות בתקופת הניתוח;

* לכל מקרה נבחן מותאם אתר ביקורת, כאשר התאמה זאת מבוצעת בשיטה אקראית אך תוך כדי התחשבות במספר גורמים (מאפייני אתרים) שעשויים להשפיע על סיכון לתאונה;

* לרוב, ההתאמה מתבצעת ביחס 1 ל-1, דהיינו לכל מקרה נבחן מותאם מקרה ביקורת אחד, ללא תלות במספר התאונות שנצפה בקטע הנבחן[12].

כתוצאה, מתקבל בסיס נתונים מבוקר בו קיים ייצוג שווה של מאפייני תשתית נבחרים אשר שימשו להתאמת אתרי ה-case וה-control, כאשר יתר מאפייני התשתית ישמשו בתור גורמי הסיכון הנבחנים על פני בסיס נתונים זה, מבחינת השפעתם על תאונות.

לפי Gross and Donnell (2011), היתרונות בשימוש בשיטת הCC הם כלהלן:

- שיטה זו מתאימה למחקר אירועים נדירים כי אופן בנית בסיס הנתונים לניתוח מאפשר ליצור מדגם מקרים בגודל הדרוש;

- אפשרות לבחינת גורמי סיכון רבים - כל אותם המאפיינים שלא שימשו להתאמת המקרים;

- אפשרות לבקרת גורמים מתאימים (כגון: נפח תנועה), דהיינו של המאפיינים אשר עשויים להשפיע על הסיכון לתאונה אך אינם נכללים בין גורמי הסיכון הנבחנים במחקר;

- ההתאמה (matching) בין המקרים הנבחנים ומקרי הביקורת מאפשרת בקרה ישירה של גורמים מטעים אפשריים (confounders). ההתאמה יוצרת מסגרת מאוזנת לניתוח, תוך כדי התחשבות בהשפעת הגורמים ששימשו לתהליך ההתאמה. הודות לשיטת ההתאמה, לרוב, המחקר יכול להתבסס על מדגמי נתונים קטנים יותר ולספק תוצאות עם רווחי סמך צרים יותר.

---

[12] לחלופין, ניתן להיעזר בשיטת ה"שכפול", כאשר עבור המקרים עם יותר מתאונה אחת באתר הנבחן, מבוצע "שכפול" של האתר הנבחן, לפי מספר התאונות שנרשמו בו, עם התאמת אתר ביקורת כל פעם.

יחד עם זאת, יש לקחת בחשבות את חסרונות שיטת הCC, כלהלן:

- שיטה זו לא מספקת אומדנן להסתברות לתאונה במונחים של מספר תאונות צפוי. השימוש המקובל בתוצרי השיטה הינו להדגמת *אפקט יחסי* של גורמי הסיכון;

- השיטה מסתמכת על נתונים היסטוריים לגבי גורמי הסיכון והתוצאה (התאונות) ולכן, תלויה בזמינות נתונים אלה;

- שיטת הCC בונה את בסיס הנתונים שלה לפי מצב התוצאה (התאונות), כאשר שיטת הניתוח הרוחבי בונה את נתוניה לפי מצב גורמי הסיכון (מאפייני תשתית). עם זאת, בשני המקרים, הנתונים לא כוללים את שרשרת הזמן מסיבה לתוצאה. לכן, בשתי השיטות מתקבל רק *קשר אסוציאטיבי ולא סיבתי* בין הגורם והתוצאה;

- המקרים שנכללים בבסיס הנתונים צריכים להיות מייצגים לאוכלוסיה הנבחנת, כאשר הסיכוי להיכלל בבסיס הנתונים לא אמור להיות קשור לערכי גורם הסיכון הנבחן;

- מכיוון ששיטת הCC בוחרת את המקרים הנבחנים לפי התרחשות של תאונה אחת, לפחות, וללא קשר למספר התאונות שאירעו באתר, קיימת סכנה של תת-הערכה של רמת הסיכון הקשורה לגורם הנבחן;

- תהליך ההתאמה (matching) שבנוי על מספר גבוה של משתנים עשוי להביא למדגמים קטנים של מקרים המגיעים לניתוח. כמו כן, השפעת הגורם ששימש להתאמה, על תאונות, אינה נבחנת.

שיטת הCC משתמשת ברגרסיה לוגיסטית בינארית מותנית להערכת הOR (יחס הסיכונים עבור המקרים עם גורם הסיכון חלקי יחס הסיכונים בתנאי הבסיס). ההסתברות המותנית לתאונה בתלות בגורמי הסיכון, לכל מקרה בסט מותאם j, מתוארת ע"י נוסחה:

$$\Pr(Y=1) = 1 \Big/ \left\{1 + exp\left[-\left(\alpha_j + \sum_{i=1}^{p} \beta_i X_i\right)\right]\right\} \qquad [1]$$

כאשר

α_j - אפקט משתני ההתאמה (ששימשו ליצירת בסיס הנתונים);

β_i - מקדמי רגרסיה המוערכים למשתנים המסבירים (גורמי הסיכון הנבחנים);

X_i - המשתנים המסבירים שנכללו במודל (שלא שימשו ליצירת בסיס הנתונים);

p - מספר המשתנים המסבירים.

ערכי המקדמים במודל מתקבלים על-ידי מקסימיזציה של הנראות, הנתונה על-ידי הביטוי הבא:

$$L(\beta) = -\sum_{j=1}^{n} ln\left[1 + \sum_{k=1}^{c} exp\left\{\sum_{i=1}^{p} \beta_k\left(X_{jki} - X_{j0i}\right)\right\}\right] \qquad [2]$$

כאשר

n - מספר המקרים הנבחנים (cases);

c - מספר מקרי ביקורת (controls) שהותאמו לכל case;

X_i - המשתנים המסבירים שנכללו במודל (שלא שימשו להתאמת המקרים);

X_{joi} - ערך המשתנה X_i עבור הcase בסט מותאם j;

X_{jki} - ערך המשתנה X_i עבור control מספר k בסט מותאם j.

הOR לשני ערכים (X_0 ו-X_1) של גורם סיכון מסוים מוערך כאקספוננט של מקדם הβ הרלוונטי אשר מוכפל בהפרש בין שני הערכים, כלהלן:

$$\text{Odds ratio} = \exp[\beta * (X_1 - X_0)] \qquad [3]$$

כאמור, בעזרת המודל שמתקבל לא ניתן לבצע הערכה של ההסתברות לתאונה Pr(Y=1) כי אין לנו את הערכים α_j אלא יש רק β_i. לכן, בעזרת המודל, ניתן לחשב רק את הOR עבור שינויים שונים בערכי מאפייני התשתית הנבחנים.

3.2.2. יצירת בסיס הנתונים למודל הcase-control

כאמור, ליצירת בסיס הנתונים בשיטת הCC נדרש להתאים זוגות של אתרים אשר דומים ע"פי מספר מאפייני תשתית ותנועה (גורמים מטעים אפשריים). בהסתמך על ממצאי הניתוחים הקודמים במחקר זה (ראה פרק 3.1) וגם בהתחשב במשתנים אשר שימשו ליצירת זוגות אתרים במחקרים דומים בחו"ל (Gross and Jovanis, 2007; Gross and Donell, 2011), בתור **משתני התאמה** של קטעי הדרכים במחקר זה שימשו מאפיינים אלה:

- נפח תנועה (AADT);
- מהירות מותרת (sp_limit);
- רדיוס אנכי חיובי ושלילי (rvn_min ,rvp_min).

בתור **משתני הניתוח** - המועמדים למשתנים המסבירים במודלים, שימשו מאפיינים אלה:

- אורך קטע (length);
- רוחב שול כולל (sh_to_w);
- רוחב שול גרנולרי (sh_gr_w);
- רוחב נתיב (lane_w);
- קטגוריה של מצב צידי הדרך (cat_bar - ראה הסבר בהמשך);
- שיפוע לאורך (gr_max).

הן לצורכי התאמת הקטעים והן לצורכי הניתוח, עבור רוב המשתנים הוגדרו קטגוריות ע"פי טווחי הערכים שלהם, כמתואר בטבלה 3.1.

לכל קטע דרך בו נרשמו תאונה/תאונות בתקופת הניתוח, בעזרת משתני ההתאמה נבחר קטע ביקורת, כאשר זוגות אתרים כאלה יצרו את בסיס הנתונים לניתוח. יצירת בסיס הנתונים בשיטה זו נערכה מחדש עבור כל אחד מסוגי התאונות.

טבלה 3.1. הגדרת משתני ההתאמה ומשתני הניתוח למודל הcase-control

משתנה מקורי	משמעות המשתנה	משתנה קטגורי	קטגוריות של ערכי המשתנה
AADT	נפח תנועה, אלף כלי רכב	cat_AADT	6 קטגוריות: עד 3, 3-6, 6-9, 9-12, 12-15, 15+
sp_limit	מהירות מותרת בתחילת הקטע, קמ"ש	cat_sp_limit	3 קטגוריות: עד 70, 80, 90
rvp_min	רדיוס אנכי חיובי מזערי, מ'	cat_rvp_min	5 קטגוריות: עד 1800, 1800-3000, 3000-5000, 5000-7250, מעל 7250
rvn_min	רדיוס אנכי שלילי מזערי, מ'	cat_rvn_min	5 קטגוריות: עד 1700, 1700-2400, 2400-3200, 3200-4000, מעל 4000
length	אורך קטע, ק"מ	--	--
lane_w	רוחב נתיב, מ'	cat_lane_w	3 קטגוריות: עד 2.8, 2.8-3.2, מעל 3.2
sh_to_w	רוחב שול כולל, מ'	cat2_sh_to_w	9 קטגוריות: עד 0.9, 0.9-1.2, 1.2-1.5, 1.5-1.8, 1.8-2.1, 2.1-2.4 , 2.4-2.7, 2.7-3, מעל 3
sh_gr_w	רוחב שול גרנולרי, מ'	cat_sh_gr_w	5 קטגוריות: עד 0.9, 0.9-1.2, 1.2-1.5, 1.5-1.8, 1.8-2.1, מעל 2.1
שילוב של שלושה משתנים: bar_avl (קיים מעקה), bar_est (רמת בטיחות אם מותקן מעקה), no_bar_est (רמת בטיחות ללא מעקה)	מצב צידי הדרך	cat_bar	8 קטגוריות: IF bar_avl > 50% then use bar_est Otherwise use no_bar_est כאשר הקטגוריות של bar_est: עד 1, 1-2, 2-3, מעל 3 (ערכים 1-4 של cat_bar); הקטגוריות של no_bar_est: עד 1, 1-2, 2-3, מעל 3 (ערכים 5-8 של cat_bar)
gr_max	שיפוע לאורך, %	cat_gr_max	5 קטגוריות: עד 3, 3-5, 5-8, 8-10, 10-12, מעל 12

הקובץ המקורי עם יחידות הניתוח כלל 3,594 קטעי כביש, באורך כולל של כ-3,302 ק"מ. בקטעים אלה, בשלוש שנים, נרשמו סה"כ 2,678 תאונות עם נפגעים. לאחר התאמת הקטעים לניתוח בשיטת הCC לפי התאונות עם נפגעים, בסיס הנתונים כלל 2,100 קטעים, מתוכם 1,050 ללא תאונות. נספח א' מציג פילוגים של הקטעים לפי הקטגוריות של המאפיינים השונים. ניתן לראות, לדוגמא, כי:

- ברוב הקטעים עם תאונות נצפו 1-4 תאונות עם נפגעים (בשלוש השנים);
- הקטגוריות המובילות של נפח התנועה - עד 9 אלף כלי רכב;
- רוב הקטעים היו עם מהירות מותרת 80 קמ"ש;
- חלק ניכר מהקטעים היו עם רדיוס אנכי חיובי עד 1800 מ' ועם רדיוס אנכי שלילי עד 1700 מ';
- קטגוריות נפוצות יותר של רוחב שול כולל - בין 1.5 עד 2.1 מ';
- הקטגוריה המובילה של רוחב שול גרנולרי - בין 0 עד 0.9 מ';
- רוחב נתיב הנפוץ ביותר - מעל 3.2 מ';
- קטגוריות שכיחות יותר של מצב צידי הדרך - רמת בטיחות טובה של מעקות הבטיחות ורמת בטיחות נמוכה או בינונית של מצב צידי הדרך ללא המעקות;
- מבחינת השיפוע לאורך, המצב הנפוץ ביותר הינו ללא שיפוע ולאחר מכן, שתי הקטגוריות עם שיפועים של 3-5 ו-5-8 אחוז.

3.2.3. מודלים שפותחו בשיטת הcase-control

א. סך התאונות עם נפגעים

על סמך בסיס הנתונים שנבנה עבור סך התאונות עם נפגעים (TDT) ובעזרת רגרסיה לוגיסטית מותנית (פרוצדורת LOGISTIC של SAS), הוערכו מקדמי המודל אשר דרושים להערכת OR עבור ערכים שונים של המאפיינים המשפיעים. למעשה, הותאמו שני מודלים: האחד עם משתנים קטגוריים והשני עם משתנים רציפים עבור מאפייני השוליים. הבחירה בין שני המודלים נעשתה ע"פי רמת המובהקות של משתני השוליים אשר, במקרה זה, הייתה גבוהה יותר במודל *עם המשתנים הרציפים*.

להלן המודל המותנה שהתקבל עבור סך התאונות עם נפגעים (TDT):

Parameter	DF	Estimate-β	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
length	1	2.1762	0.3066	50.3761	<.0001
sh_to_w_low	1	0.1698	0.1179	2.0755	0.1497
sh_to_w_H	1	-0.3467	0.1760	3.8816	0.0488
sh_gr_w_low	1	-0.2105	0.1809	1.3536	0.2446
sh_gr_w_H	1	0.4628	0.2443	3.5879	0.0582
cat_lane_w 1	1	-0.5782	0.2066	7.8307	0.0051
cat_lane_w 2	1	-0.2919	0.1199	5.9208	0.0150
cat_lane_w 3	0	0	.	.	.
cat_bar 2	1	1.2814	0.4167	9.4577	0.0021
cat_bar 3	1	1.1490	0.4000	8.2511	0.0041
cat_bar 4	1	0.8684	0.4177	4.3225	0.0376
cat_bar 5	1	1.0280	0.4090	6.3164	0.0120
cat_bar 6	1	0.7389	0.3932	3.5322	0.0602
cat_bar 7	1	0.6846	0.4094	2.7965	0.0945
cat_bar 8	0	0	.	.	.
cat_gr_max 0	1	0.3419	0.5197	0.4328	0.5106
cat_gr_max 1	1	0.5833	0.5223	1.2470	0.2641
cat_gr_max 2	1	0.5999	0.5229	1.3162	0.2513
cat_gr_max 3	1	0.6403	0.5339	1.4386	0.2304
cat_gr_max 4	1	0.9458	0.5721	2.7331	0.0983
cat_gr_max 5	0	0	.	.	.

<u>הערות למודל:</u>

1. ראה הגדרות המשתנים הקטגוריים בטבלה 3.1 לעיל.

2. משתנים של מאפייני שוליים מודגשות באפור. לפי צורת הקשר בין מאפייני השוליים והתאונות, הוגדרו משתנים רציפים שבורים. נקודות השבירה[13] הן 2.25 מ' ו-0.9 מ', עבור רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי, בהתאמה. מקדם xxx_low במודל הינו השיפוע **לפני** נקודת החתך של משתנה XXX, בעוד שמקדם xxx_H הינו השיפוע **אחרי** נקודת החתך של משתנה XXX, כאשר בכל מקרה ערך המשתנה מחושב כערך מקורי פחות ערך נקודת השבירה, כלהלן:

sh_to_w_low=sh_to_w-2.25

sh_to_w_H=sh_to_w-2.25

sh_gr_w_low=sh_gr_w-0.9

sh_gr_w_H=sh_gr_w - 0.9

מבחינת מקדמי המודל המותנה עבור סך התאונות עם נפגעים עולה כי:

[13] אנו משתמשים במודלים מקוטעים של רגרסיה. במודלים כאלה המשתנה המסביר מחולק למספר מקטעים, כאשר בכל מקטע מותאם קשר בין המשתנה המסביר והמשתנה התלוי. קשר זה עשוי להיות שונה בין המקטעים השונים. הגבולות בין המקטעים הם *נקודות השבירה*.

- המשתנים המשפיעים על התרחשות התאונות הם אורך קטע, רוחב שול כולל, רוחב שול גרנולרי, רוחב נתיב, מצב צידי הדרך, שיפוע לאורך;

- עליה ברוחב שול כולל עד לנקודת השבירה (2.25 מ') מתקשרת עם עליה בתאונות, כאשר הגדלת רוחב שול מעבר לנקודת השבירה מתקשרת עם ירידה בתאונות;

- לעומת זאת, הגדלת רוחב שול גרנולרי עד לנקודת השבירה (0.9 מ') מתקשרת עם ירידה בתאונות, כאשר ערך גבוה יותר של רוחב שול גרנולרי, מעבר לנקודת השבירה, מתקשר עם עליה בתאונות;

- רוחב נתיב צר יותר מתקשר עם ירידה בתאונות;

- מבחינת מצב צידי הדרך, המצב הבטיחותי ביותר הוא ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול (קטגוריה 8). בנוסף, בקרב מצבי צידי הדרך ללא מעקה ניתן לראות בבירור כי הגדלת אזור המפלט מזוהה עם ירידה בתאונות. כמו כן, בקרב מצבי צידי הדרך עם מעקה, הצבה נכונה יותר של המעקות (הרחקה מהמיסעה וממכשול) מזוהה עם ירידה בסיכון;

- בניגוד לצפייה, הערך המירבי של שיפוע לאורך מזוהה עם הסיכון הנמוך ביותר לתאונות; עם זאת, מבדיקת הנתונים עולה כי קטגוריה זו מיוצגת ע"י מספר קטן מאוד של מקרים. מעבר לכך, על פני כל יתר הערכים של המאפיין, עליה בגודל השיפוע מתקשרת עם עליה בתאונות (כמצופה ע"פי הידע ההנדסי).

לסיכום, המודל מראה כי הרחבה ניכרת של שול סלול והיעדר שול גרנולרי תורמים לרמת הבטיחות של קטע דרך חד-מסלולית. כמו כן, הסדרת אזור המפלט בצד הדרך ברוחב הדרוש או שיפור תנאי הצבה של מעקות הבטיחות תורמים לירידה בסיכון לתאונות, אם כי, ע"פי רמת הסיכון לתאונות, הסדרת אזור המפלט עדיפה על התקנת מעקות הבטיחות. בנוסף, ע"פי רוב הערכים, עליה בגודל השיפוע לאורך מתקשרת עם עליה בתאונות. הממצא המפתיע יחסית הינו כי רוחב נתיב צר יותר מזוהה עם ירידה בסיכון לתאונות, אם כי, ייתכן כי רוחב נתיב צר יותר גורם למהירויות נסיעה נמוכות יותר ומכאן, לירידה בסיכון לתאונות.

מודלים דומים, בעזרת רגרסיה לוגיסטית מותנית ועל סמך בסיסי הנתונים עם זוגות הקטעים המותאמים, נבנו עבור סוגי תאונות נוספים. גם מודלים אלה נבנו עם משתנים רציפים של מאפייני השוליים. במודל עבור התנגשויות בין כלי הרכב (COL) השפעת כל משתני השוליים הייתה לא מובהקת, לכן מודל זה לא נדון כאן. לעומת זאת, עבור סוגי תאונות אחרים, השפעת מאפייני השוליים הייתה מובהקת, לפחות עבור חלק מהמשתנים. בכל המודלים המותנים נשמרו כל אותם המשתנים המשפיעים שהיו במודל עבור סך התאונות עם נפגעים.

ב. תאונות רכב יחיד

להלן המודל המותנה שהתקבל עבור תאונות רכב יחיד (SNG)[14]:

Parameter	DF	Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
length	1	1.2224	0.3268	13.9946	0.0002
sh_to_w_low	1	0.5654	0.1689	11.2056	0.0008
sh_to_w_H	1	-0.4099	0.2379	2.9684	0.0849

[14] ראה הערות למודל TDT

sh_gr_w_low		1	-0.1486	0.2579	0.3321	0.5644
sh_gr_w_H		1	-0.0870	0.3265	0.0710	0.7900
cat_lane_w	1	1	-0.5586	0.3324	2.8234	0.0929
cat_lane_w	2	1	-0.2574	0.1735	2.2001	0.1380
cat_lane_w	3	0	0	.	.	.
cat_bar	2	1	0.6672	0.5907	1.2757	0.2587
cat_bar	3	1	0.1840	0.5771	0.1017	0.7498
cat_bar	4	1	0.1995	0.6024	0.1096	0.7406
cat_bar	5	1	0.7147	0.5845	1.4952	0.2214
cat_bar	6	1	0.1864	0.5657	0.1086	0.7417
cat_bar	7	1	0.00120	0.6056	0.0000	0.9984
cat_bar	8	0	0	.	.	.
cat_gr_max	0	1	-0.4937	1.2478	0.1566	0.6923
cat_gr_max	1	1	-0.3944	1.2474	0.1000	0.7519
cat_gr_max	2	1	-0.2466	1.2465	0.0391	0.8432
cat_gr_max	3	1	-0.2419	1.2676	0.0364	0.8487
cat_gr_max	4	1	0.3841	1.3257	0.0840	0.7720
cat_gr_max	5	0	0	.	.	.

מבחינת מקדמי המודל המותנה עבור תאונות רכב יחיד עולה כי:

- בדומה למודל הקודם, עליה ברוחב שול כולל עד לנקודת השבירה (2.25 מ') מתקשרת עם עליה בתאונות, כאשר הגדלת רוחב שול מעבר לנקודת השבירה מתקשרת עם ירידה בתאונות;

- לעומת זאת, הגדלת רוחב שול גרנולרי מתקשרת עם ירידה בתאונות, בכל טווח השינויים של המאפיין, אם כי, עם קצב שונה לפני ואחרי נקודת השבירה (0.9 מ'). כמו כן, השפעה של מאפיין זה אינה מובהקת;

- בדומה למודל הקודם, רוחב נתיב צר יותר מתקשר עם ירידה בתאונות;

- מבחינת מצב צידי הדרך, המצב הבטיחותי ביותר הוא ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול. בקרב מצבי צידי הדרך ללא מעקה ניתן לראות כי הגדלת אזור המפלט מזוהה עם ירידה בתאונות. בנוסף, בקרב מצבי צידי הדרך עם מעקה, הצבה נכונה יותר של המעקות (הרחקה מהמיסעה וממכשול) מזוהה עם ירידה בסיכון;

- על פני רוב הערכים של שיפוע לאורך, ירידה בגודל השיפוע מתקשרת עם ירידה בתאונות (אם כי, השפעת מאפיין זה אינה מובהקת).

סה"כ, מודל זה מראה כי הרחבה ניכרת של רוחב שול תורמת להורדת הסיכון לתאונות רכב יחיד, כאשר השפעתו של רוחב שול גרנולרי אינה מובהקת. הסדרת אזור המפלט בצד הדרך ברוחב הדרוש או שיפור תנאי הצבה של מעקות הבטיחות תורמים לירידה בסיכון לתאונות, כאשר הסדרת אזור המפלט עדיפה על התקנת מעקות הבטיחות. ע"פי רוב הערכים, ירידה בגודל השיפוע לאורך מתקשרת עם ירידה בתאונות. בנוסף, בדומה למודל הקודם, רוחב נתיב צר יותר מזוהה עם ירידה בסיכון לתאונות.

ג. תאונות חמורות

להלן המודל המותנה שהתקבל עבור תאונות חמורות (TDS)[15]:

Parameter		DF	Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
length		1	2.0515	0.3786	29.3601	<.0001
sh_to_w_low		1	0.3389	0.1626	4.3437	0.0371
sh_to_w_H		1	-0.0949	0.2257	0.1769	0.6740
sh_gr_w_low		1	0.00168	0.2632	0.0000	0.9949
sh_gr_w_H		1	-0.3426	0.3770	0.8256	0.3636
cat_lane_w	1	1	-0.5783	0.3358	2.9660	0.0850

[15] ראה הערות למודל TDT

cat_lane_w	2	1	-0.3360	0.1746	3.7048	0.0543
cat_lane_w	3	0	0	.	.	.
cat_bar	2	1	1.7278	0.6533	6.9948	0.0082
cat_bar	3	1	1.7640	0.6409	7.5761	0.0059
cat_bar	4	1	1.5172	0.6534	5.3912	0.0202
cat_bar	5	1	1.8301	0.6510	7.9028	0.0049
cat_bar	6	1	1.3858	0.6305	4.8306	0.0280
cat_bar	7	1	0.9168	0.6515	1.9805	0.1593
cat_bar	8	0	0	.	.	.
cat_gr_max	0	1	14.2299	682.5	0.0004	0.9834
cat_gr_max	1	1	14.0652	682.5	0.0004	0.9836
cat_gr_max	2	1	14.3358	682.5	0.0004	0.9832
cat_gr_max	3	1	14.3624	682.5	0.0004	0.9832
cat_gr_max	4	1	13.8163	682.5	0.0004	0.9838
cat_gr_max	5	0	0	.	.	.

מבחינת מקדמי המודל המותנה עבור התאונות החמורות עולה כי:

- בדומה למודלים הקודמים, עליה ברוחב שול כולל עד לנקודת השבירה (2.25 מ') מתקשרת עם עליה בתאונות, כאשר הגדלת רוחב שול מעבר לנקודת השבירה מתקשרת עם ירידה בתאונות;

- הגדלת רוחב שול גרנולרי עד לנקודת השבירה (0.9 מ') אינה מזוהה עם שינוי בתאונות, כאשר ערך גבוה יותר של רוחב שול גרנולרי, מעבר לנקודת השבירה, מתקשר עם ירידה בתאונות (אם כי, השפעה של מאפיין זה אינה מובהקת);

- בדומה למודלים הקודמים, רוחב נתיב צר יותר מתקשר עם ירידה בתאונות;

- מבחינת מצב צידי הדרך, בדומה למודלים הקודמים, המצב הבטיחותי ביותר הוא ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול. בקרב מצבי צידי הדרך ללא מעקה, הגדלת אזור המפלט מזוהה עם ירידה בתאונות. כמו כן, בקרב מצבי צידי הדרך עם מעקה, הצבה נכונה יותר של המעקות (הרחקה מהמיסעה וממכשול) מזוהה עם ירידה בסיכון;

- השפעת שיפוע לאורך אינה מובהקת במודל זה.

סה"כ, המודל מראה כי הרחבה ניכרת של רוחב שול תורמת להורדת הסיכון לתאונות החמורות, כאשר השפעתו של רוחב שול גרנולרי אינה מובהקת. בדומה למודלים הקודמים, הסדרת אזור המפלט בצד הדרך ברוחב הדרוש או שיפור תנאי הצבה של מעקות הבטיחות תורמים לירידה בסיכון לתאונות, כאשר הסדרת אזור המפלט עדיפה על התקנת מעקות הבטיחות. כמו כן, רוחב נתיב צר יותר מזוהה עם ירידה בסיכון לתאונות.

ד. כלל התאונות

להלן המודל המותנה שהתקבל עבור כלל התאונות (ALL)[16]:

Parameter		DF	Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
length		1	1.5718	0.2497	39.6385	<.0001
sh_to_w_low		1	0.6128	0.1102	30.9269	<.0001
sh_to_w_H		1	-0.2401	0.1422	2.8485	0.0915
sh_gr_w_low		1	-0.6704	0.1590	17.7706	<.0001
sh_gr_w_H		1	0.5058	0.1630	9.6324	0.0019
cat_lane_w	1	1	0.0808	0.1573	0.2635	0.6077
cat_lane_w	2	1	-0.4890	0.1075	20.6780	<.0001
cat_lane_w	3	0	0	.	.	.
cat_bar	2	1	0.1813	0.3177	0.3257	0.5682
cat_bar	3	1	0.3119	0.3092	1.0173	0.3132
cat_bar	4	1	-0.7152	0.3352	4.5538	0.0328

[16] ראה הערות למודל TDT

cat_bar	5	1	0.2883	0.3087	0.8721	0.3504
cat_bar	6	1	-0.1663	0.2926	0.3232	0.5697
cat_bar	7	1	-0.2337	0.3062	0.5822	0.4454
cat_bar	8	0	0	.	.	.
cat_gr_max	0	1	-0.4392	0.4651	0.8918	0.3450
cat_gr_max	1	1	-0.2237	0.4658	0.2307	0.6310
cat_gr_max	2	1	-0.2146	0.4640	0.2140	0.6437
cat_gr_max	3	1	-0.1769	0.4693	0.1420	0.7063
cat_gr_max	4	1	-0.2901	0.5031	0.3325	0.5642
cat_gr_max	5	0	0	.	.	.

מבחינת מקדמי המודל המותנה עבור כלל התאונות עולה כי:

- בדומה למודלים הקודמים, עליה ברוחב שול כולל עד לנקודת השבירה (2.25 מ') מתקשרת עם עליה בתאונות, כאשר הגדלת רוחב שול מעבר לנקודת השבירה מתקשרת עם ירידה בתאונות;

- הגדלת רוחב שול גרנולרי עד לנקודת השבירה (0.9 מ') מתקשרת עם ירידה בתאונות, כאשר ערך גבוה יותר של רוחב שול גרנולרי, מעבר לנקודת השבירה, מתקשר עם עליה בתאונות;

- להבדיל מהמודלים הקודמים, רוחב נתיב 2.8-3.2 מ' מתקשר עם סיכון נמוך יותר לתאונות לעומת ערכים אחרים של רוחב נתיב;

- מבחינת מצבי צידי הדרך, הסיכון הנמוך ביותר לתאונות מתקשר עם הימצאות מעקה בצד הדרך כאשר המעקה מורחק כנדרש מהמיסעה והמכשולים;

- שיפוע אורך קטן יותר מתקשר עם ירידה בסיכון לתאונות, אם כי, השפעתו של מאפיין זה אינה מובהקת.

סה"כ, המודל מראה כי הרחבה ניכרת של רוחב שול כולל ורוחב צר של השול הגרנולרי מתקשרים עם הורדת הסיכון לכלל התאונות. הצבת מעקות הבטיחות בצידי הדרך, במרחק הדרוש מהמיסעה והמכשולים תורמת לירידה בסיכון לתאונות. כמו כן, רוחב נתיב 2.8-3.2 מ' מזוהה עם ירידה בסיכון לתאונות לעומת ערכים אחרים של רוחב נתיב.

אופן שימוש במקדמי המודלים להערכת השפעת ערכי המאפיינים הנבחנים על התאונות מודגם בפרק 4.

3.2.4. מודלים מסבירים עם התפלגות בינומית שלילית

בנוסף למודלים בשיטת הCC שפותחו בעזרת רגרסיה לוגיסטית מותנית, על בסיס הנתונים המעודכן של המחקר הכולל משתני תשתית מוגדרים בהתאם לקטגוריות שבטבלה 3.1, במחקר פותחו מודלים מסבירים רב-פרמטריים להערכת מספר תאונות חזוי בקטע ע"פי מאפייניו. המודלים פותחו בעזרת פרוצדורת GENMOD של SAS, עם התפלגות בינומית שלילית עבור אירועי התאונות. להתאמת המודלים שימשו כל המשתנים אשר נכללו הן בשלב התאמת הזוגות והן בשלב פיתוח המודל המותנה, בשיטת הCC, כאשר עבור המשתנים ששימשו בשלב התאמת הזוגות נבדקו גם אינטראקציות מסדר שני. (ניסיונות להכללת אינטראקציות מסדר גבוה יותר מ-2 של משתנים אלה גרם לבעיות נומריות, לאור מספר הצרופים האפשריים ביחס לכמות הנתונים שעמדה לרשותנו). פיתוח המודלים התבסס על 3,594 תצפיות - קטעי כביש.

המודל אומד את מספר התאונות בקטע בשלוש שנים. צורת המודל היא:

$$E\{ACC\} = \exp \sum [\beta_i x_i]$$

כאשר:

E{ACC} - תוחלת מספר התאונות בקטע דרך, ב-3 שנים;

x_i - מאפייני הקטע;

β_i - מקדמי המודל.

עבור כל סוג תאונות שנבחן במחקר זה, הותאמו שני מודלים: האחד עם משתנים קטגוריים והשני עם משתנים רציפים עבור מאפייני השוליים. הבחירה בין שני המודלים נעשתה ע"פי הקריטריונים של טיב התאמת המודל[17] ורמת מובהקות של משתני השוליים. ע"פי שיקולים אלה נבחרו:

עבור סך התאונות עם נפגעים (TDT) - מודל עם משתנים קטגוריים;
עבור תאונות רכב יחיד (SNG), תאונות חמורות (TDS), כלל התאונות (ALL) - מודל עם משתנים רציפים.

עבור תאונות התנגשות בין כלי הרכב (COL) לא נבחר אף מודל, בשל היעדר מובהקות בהשפעת מאפייני השוליים. המודלים המסבירים שהותאמו לכל אחד מסוגי התאונות מוצגים בנספח ב'. להלן סיכום למשמעויות המודלים המסבירים.

א. סך התאונות עם נפגעים

מבחינת מקדמי המודל עבור סך התאונות עם נפגעים (ראה נספח ב') עולה כי:

- רוחב שול כולל מעל 2.7 מ' ועד 0.9 מ' מתקשר עם ירידה בתאונות;

- מספר תאונות נמוך יותר מתקשר עם רוחב שול גרנולרי עד 1.5 מ';

- רוחב נתיב צר יותר מתקשר עם סיכון נמוך יותר לתאונות;

- מבחינת מצב צידי הדרך, הסיכון הנמוך ביותר לתאונות מתקשר עם מצב ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול;

- פרט לערך המירבי של שיפוע לאורך, ערך גדול יותר של מאפיין זה מתקשר על עליה בסיכון לתאונות.

סה"כ, מבחינת השפעת מאפייני שוליים על התאונות, קיים שוני במודל זה לעומת המודל המותנה שהוצג בסעיף הקודם. לעומת זאת, השפעת יתר מאפייני התשתית דומה במודל זה למודל המותנה.

ב. תאונות רכב יחיד

מבחינת מקדמי המודל עבור תאונות רכב יחיד (ראה נספח ב') עולה כי:

- עליה ברוחב שול כולל עד לנקודת השבירה (2.25 מ') מתקשרת עם עליה בתאונות, כאשר הגדלת רוחב שול מעבר לנקודת השבירה מתקשרת עם ירידה בתאונות;

- הגדלת רוחב שול גרנולרי עד לנקודת השבירה (0.9 מ') מתקשרת עם עליה קלה בתאונות, כאשר המשך הגדלת רוחב שול גרנולרי, מעבר לנקודת השבירה, מתקשרת עם ירידה בתאונות, אם כי, השפעת מאפיין זה במודל הנדון אינה מובהקת;

[17] כגון: AIC, AICC, BIC, כאשר ערכים נמוכים יותר מעידים על טיב התאמה טוב יותר

- רוחב נתיב צר יותר מתקשר עם ירידה בתאונות;

- מבחינת מצב צידי הדרך, המצב הבטיחותי ביותר הוא ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול. בקרב מצבי צידי הדרך ללא מעקה, הגדלת אזור המפלט מזוהה עם ירידה בתאונות. כמו כן, בקרב מצבי צידי הדרך עם מעקה, הצבה נכונה יותר של המעקות (הרחקתם מהמיסעה וממכשולים) מזוהה עם ירידה בסיכון לתאונות;

- על פני רוב הערכים של שיפוע לאורך (פרט לערך המירבי), ירידה בגודל השיפוע מתקשרת עם ירידה בתאונות (אם כי, השפעת מאפיין זה אינה מובהקת).

סה"כ, מבחינת השפעת מאפייני שוליים על תאונות רכב יחיד, קיים שוני קל במודל זה לעומת המודל המותנה: במודל המסביר (הנוכחי), עם הגדלת רוחב שול גרנולרי עד לנקודת השבירה, נצפית עליה קלה בתאונות ובהמשך, מעבר לנקודת השבירה - ירידה בתאונות, כאשר במודל המותנה הרחבת שול גרנולרי התקשרה עם ירידה בתאונות בכל טווח הערכים של רוחב שול גרנולרי. השפעת יתר מאפייני התשתית דומה במודל זה למודל המותנה.

ג. תאונות חמורות

מבחינת מקדמי המודל עבור התאונות החמורות (ראה נספח ב') עולה כי:

- עליה ברוחב שול כולל עד לנקודת השבירה (2.25 מ') מתקשרת עם עליה בתאונות, כאשר הגדלת רוחב שול מעבר לנקודת השבירה מתקשרת עם ירידה בתאונות;

- הגדלת רוחב שול גרנולרי עד לנקודת השבירה (0.9 מ') מתקשרת עם עליה קלה בתאונות, כאשר ערך גבוה יותר של רוחב שול גרנולרי, מעבר לנקודת השבירה, מתקשר עם ירידה קלה בתאונות (אם כי, השפעה של מאפיין זה אינה מובהקת);

- רוחב נתיב צר יותר מתקשר עם ירידה בתאונות;

- מבחינת מצב צידי הדרך, המצב הבטיחותי ביותר הוא ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול. בקרב מצבי צידי הדרך ללא מעקה, הגדלת אזור המפלט מזוהה עם ירידה בתאונות. לעומת זאת, רוב מצבי צידי הדרך עם מעקה, מזוהים עם עליה בסיכון לתאונות;

- השפעת שיפוע לאורך אינה מובהקת במודל זה.

סה"כ, מבחינת השפעת מאפייני שוליים על התאונות החמורות, קיים שוני קל במודל זה לעומת המודל המותנה: במודל המסביר (הנוכחי), עם הגדלת רוחב שול גרנולרי עד לנקודת השבירה, נצפית עליה קלה בתאונות, כאשר במודל המותנה הרחבת שול גרנולרי עד לנקודת השבירה מזוהה עם אי-שינוי בתאונות. השפעת יתר מאפייני התשתית דומה במודל זה למודל המותנה.

ד. כלל התאונות

מבחינת מקדמי המודל עבור כלל התאונות (ראה נספח ב') עולה כי:

- עליה ברוחב שול כולל עד לנקודת השבירה (2.25 מ') מתקשרת עם עליה בתאונות, כאשר הגדלת רוחב שול מעבר לנקודת השבירה מתקשרת עם ירידה בתאונות;

- הגדלת רוחב שול גרנולרי עד לנקודת השבירה (0.9 מ') מתקשרת עם ירידה בתאונות, כאשר ערך גבוה יותר של רוחב שול גרנולרי, מעבר לנקודת השבירה, מתקשר עם עליה בתאונות;

- להבדיל מהמודלים הקודמים, רוחב נתיב 2.8-3.2 מ' מתקשר עם סיכון נמוך יותר לתאונות לעומת ערכים אחרים של רוחב נתיב;

- מבחינת מצב צידי הדרך, הגדלת אזור המפלט במצב ללא מעקה מזוהה עם ירידה בסיכון לתאונות. בין מצבי צידי הדרך עם המעקות, המצבים של קרבת המעקה למיסעה ולמכשול מזוהים עם סיכון גבוה יותר לתאונות;

- לרוב, שיפוע אורך קטן יותר מזוהה עם סיכון נמוך יותר לתאונות, אם כי, השפעת מאפיין זה אינה מובהקת במודל הנדון.

סה"כ, הן מבחינת השפעת מאפייני שוליים והן מבחינת השפעת מאפייני תשתית אחרים, על כלל התאונות, המודל המסביר (הנוכחי) דומה למודל המותנה שהוצג בסעיף הקודם.

אופן שימוש במקדמי המודלים המסבירים להערכת השפעת מאפייני תשתית נבחרים על תאונות מודגם בפרק 4. בפרק 5 מוצג סיכום למאפייני המודלים ולהשפעת מאפייני תשתית שונים על תאונות.

4. בחינת משמעויות של ממצאי המודלים - השפעת מאפייני תשתית על תאונות

4.1. כללי

פרק זה מציג את המשמעויות ההנדסיות שניתן להפיק מהמודלים שפותחו במחקר - בחינת הקשרים בין מאפייני שוליים ומאפייני תשתית נוספים של הדרכים החד-מסלוליות לבין רמת הסיכון לתאונות בקטע. על סמך המודלים שפותחו במחקר ניתן לחשב ערכי יחס הסיכונים (OR) ומקדמי השינוי היחסי בתאונות שמתקשרים עם מאפייני שול שונים (או עם מאפייני תשתית נוספים).

על סמך המודלים שנבנו בשיטת הcase-control מקובל לבצע הערכה של הOR - יחס הסיכונים לתאונה במצב עם ערך מסוים של מאפיין תשתית נבחן לעומת ערך הבסיס שלו; החישוב מבוצע לפי נוסחה [3] המוצגת בסעיף 3.2.1.

על סמך המודלים המסבירים (ראה סעיף 3.2.4) ניתן לבצע הערכה של מקדמי השינוי היחסי בתאונות שמתקשרים עם שינוי במאפיין תשתית מסוים. משמעות מקדם השינוי היחסי בתאונות דומה להגדרת מקדמי שינוי בתאונות - accident modification factor (AMF), בספרות האמריקנית, שהיא:

$AMF=N_{new}/N_{old}$

כאשר

N_{new} - מספר תאונות צפוי עם הערך החדש של המשתנה;

N_{old} - מספר תאונות צפוי עם הערך הישן של המשתנה.

מכיוון שהשפעת משתנה מסביר מסוים מוערכת בתנאים ללא שינוי במשתנים המשפיעים האחרים, להערכת ערכי ה-AMF ניתן להיעזר במקדמי השפעה (β) שנמצאו במודלים, לכל אחד מהמשתנים המסבירים. בעזרת מקדמי ההשפעה של המודלים הערכת מקדם השינוי בתאונות מבוצעת כלהלן:

$AMF= \exp (\beta_2 * value_{new} - \beta_1 * value_{old})$ [4]

כאשר

β_1, β_2 - מקדמי השפעה של ערכי המאפיין הנבחן (כאשר התקבל מקדם השפעה אחד עבור כל טווח הערכים $\beta=\beta_1=\beta_2$);

$value_{new}$ - הערך החדש של המאפיין הנבחן;

$value_{old}$ - הערך הישן של המאפיין הנבחן.

כמו כן, ניתן לציין כי אחוז התאונות שעומד להיחסך בעקבות שינוי במאפיין התשתית (בספרות האמריקנית crash reduction factor - CRF) מוערך כלהלן:

$CRF = (1- AMF) * 100\%$ [5].

ערכי הOR ומקדמי השינוי היחסי בתאונות, בתלות בערכי מאפיין תשתית מסוים מאפשרים להמחיש את משמעויות המודלים שפותחו - אופן השפעת מאפייני התשתית על רמת הסיכון לתאונות. ידע כמותי זה לגבי

השינוי הצפוי בתאונות, בעקבות שינוי במאפיין התשתית, עשוי לסייע בעת קבלת החלטות בשלבי תכנון של דרך חדשה, שיפור קטע דרך קיים, טיפול באתר תורפה וכד'.

כזכור, הן המודלים המותנים (שנבנו בשיטת הcase-control) והן המודלים המסבירים פותחו במחקר זה עבור ארבעה סוגי תאונות[18]. הדגמת הקשר בין מאפייני השוליים לבין הסיכון לתאונות תוצג בהמשך, עבור כל אחד מסוגי התאונות, ובעזרת **כלים אלה**:

(א) שני גרפים המציגים OR (יחס הסיכונים לתאונה לעומת תנאי הבסיס) עבור טווח הערכים של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי (לא סלול), בהתאמה (על סמך המודל המותנה). לכל ערך של הOR יוצג גם רווח הסמך שלו ברמת מובהקות 0.05.

(ב) בעזרת המודל המותנה, מחושבים גם ערכי הOR עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול ביחד: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי, לעומת תנאי הבסיס. הממצאים מוצגים בטבלה ובגרף המלווה, כדי להמחיש מה יקרה עם התאונות בעקבות שינוי בו-זמני של שני המאפיינים.

(ג) שני גרפים המציגים את השינוי היחסי בתאונות, לעומת תנאי הבסיס, עבור טווח הערכים של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי, בהתאמה (על סמך המודל המסביר).

(ד) בעזרת המודל המסביר, מחושב גם השינוי היחסי בתאונות, לעומת תנאי הבסיס, עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול ביחד: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי. הממצאים מוצגים בטבלה, עם הדגשת ערכי המאפיינים המזוהים עם ירידה מירבית בתאונות.

בנוסף, עבור סך התאונות עם נפגעים, חושבו גם ערכי הOR הקשורים לשינויים במאפייני תשתית נוספים: רוחב שול, מצב צידי הדרך, שיפוע לאורך (על סמך המודל המותנה). כמו כן, בעזרת המודל המסביר, הוערכו ערכי התוחלת של סך התאונות עם נפגעים בקטע, בשלוש שנים, בנוכחות ערכים מסוימים של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי. ממצאי כל ההערכות הנ"ל מוצגים בפרק 4.2.

בהמשך, על סמך הכלים שפותחו במחקר, בוצעה הערכה של מקבצים מייצגים של קטעי דרכים חד-מסלוליות קיימות, על מנת להדגים תועלות בטיחותיות אפשריות שעשויות להתקבל בעקבות טיפול בשוליים בקטעי דרך אלה. כמו כן, בוצעה הערכה לדוגמא של התועלת הבטיחותית שעשויה להתקבל בעקבות הרחבת שוליים בכביש מסוים – מס' 12. ממצאים מהערכות אלה מוצגים בפרק 4.3.

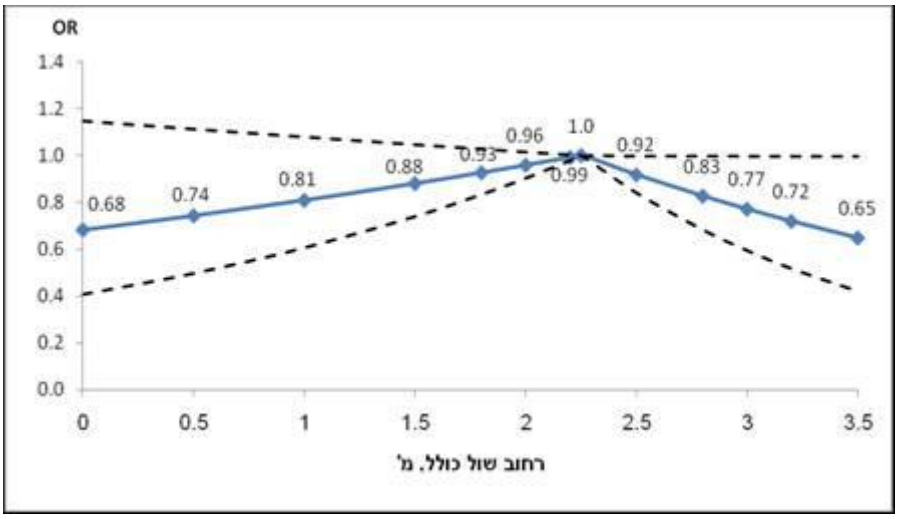
4.2. הערכת מקדמי שינוי בתאונות, בעזרת המודלים

4.2.1. סך התאונות עם נפגעים

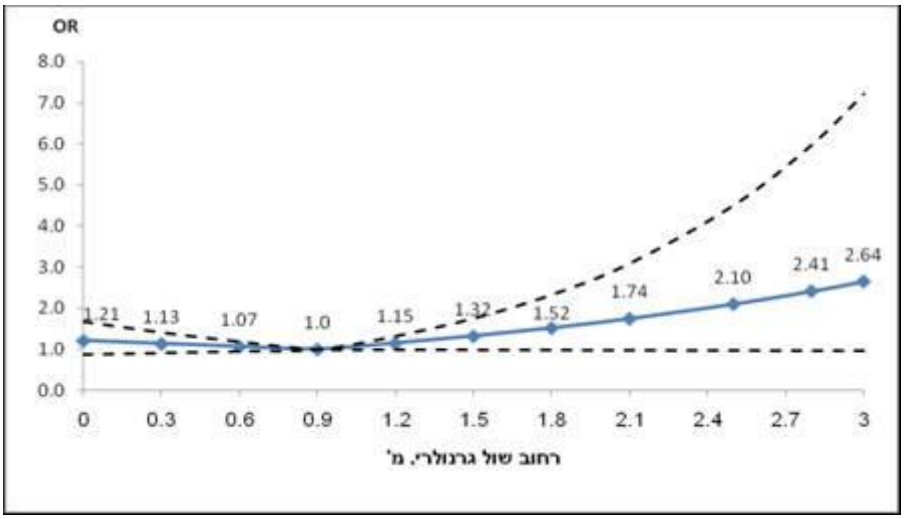
ציור 4.1, א'-ב' מביא הצגה גרפית של ערכי הOR (יחס הסיכונים לתאונה לעומת תנאי הבסיס) של סך התאונות עם נפגעים עבור טווח הערכים של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי, בהתאמה. החישוב נערך בעזרת המודל המותנה. תנאי הבסיס בחישוב תואמים את נקודות השבירה של המודל, דהיינו רוחב שול כולל 2.25 מ' ורוחב

[18] התאמת המודלים נערכה עבור חמישה סוגי תאונות, כאשר במודלים עבור התנגשויות בין כלי הרכב השפעת משתני השוליים הייתה לא מובהקת. לכן, המודלים עבור ההתנגשויות לא שימשו לפיתוח כלים סטטיסטיים.

שול גרנולרי 0.9 מ'. הקווים הכחולים מציגים את ערכי הOR, בעוד שהקווים המקווקווים מציגים את רווחי הסמך של הOR.



א



ב

תנאי בסיס: רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'.

ציור 4.1. ערכי הOR (יחס הסיכונים לתאונה לעומת תנאי הבסיס) של סך התאונות עם נפגעים, עבור מאפייני השוליים: (א) רוחב שול כולל, (ב) רוחב שול גרנולרי.

טבלה 4.1 והציור הנלווה לה מציגים את ערכי הOR עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול ביחד: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי, לעומת תנאי הבסיס (רוחב כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'). תאי התנאים המזוהים עם ירידה בסיכון לתאונות לעומת תנאי הבסיס, מודגשים בטבלה 4.1 בירוק.

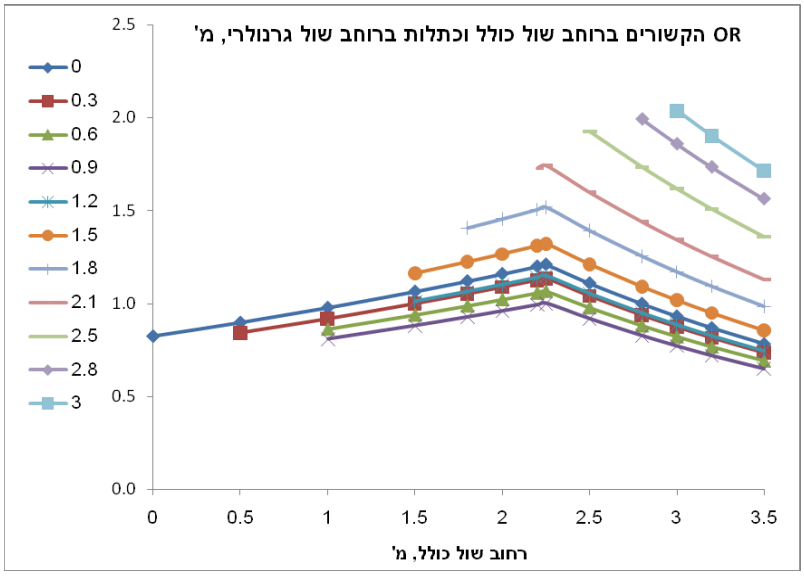
מציור 4.1 וטבלה 4.1 ניתן לראות כי רמת הסיכון לתאונות עולה עם הגדלת רוחב שול עד 2.25 מ' ויורדת לאחר מכן; יורדת במעט עם הגדלת רוחב שול גרנולרי עד 0.9 מ' ועולה לאחר מכן. כמו כן, ירידה מירבית ברמת הסיכון לתאונות לעומת תנאי הבסיס מזוהה עם שול כולל רחב ושול גרנולרי צר כגון: רוחב של 3.0 מ' עם פס גרנולרי

ברוחב 0.9 מ', רוחב שול 3.2 מ' עם פס גרנולרי של 0.6-0.9 מ', רוחב שול 3.5 מ' עם פס גרנולרי של 0.3-1.2 מ'.

טבלה 4.1. ערכי הOR של סך התאונות עם נפגעים עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי, לעומת תנאי הבסיס (רוחב כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ')

	רוחב שול כולל, מ'												
רוחב שול גרנולרי, מ'	0	0.5	1	1.5	1.8	2	2.2	2.25	2.5	2.8	3	3.2	3.5
0	0.82	0.90	0.98	1.06	1.12	1.16	1.20	1.21	1.11	1.00	0.93	0.87	0.78
0.3		0.84	0.92	1.00	1.05	1.09	1.13	1.13	1.04	0.94	0.87	0.82	0.74
0.6			0.86	0.94	0.99	1.02	1.06	1.07	0.98	0.88	0.82	0.77	0.69
0.9			0.81	0.88	0.93	0.96	0.99	1.00	0.92	0.83	0.77	0.72	0.65
1.2				1.01	1.06	1.10	1.14	1.15	1.05	0.95	0.89	0.83	0.74
1.5				1.16	1.22	1.27	1.31	1.32	1.21	1.09	1.02	0.95	0.86
1.8					1.41	1.45	1.50	1.52	1.39	1.25	1.17	1.09	0.98
2.1							1.73	1.74	1.60	1.44	1.34	1.25	1.13
2.5									1.92	1.73	1.62	1.51	1.36
2.8										1.99	1.86	1.73	1.56
3											2.04	1.90	1.71

ציור נלווה לטבלה 4.1: ערכי הOR עבור הערכים החדשים של רוחב שול כולל, כתלות ברוחב שול גרנולרי

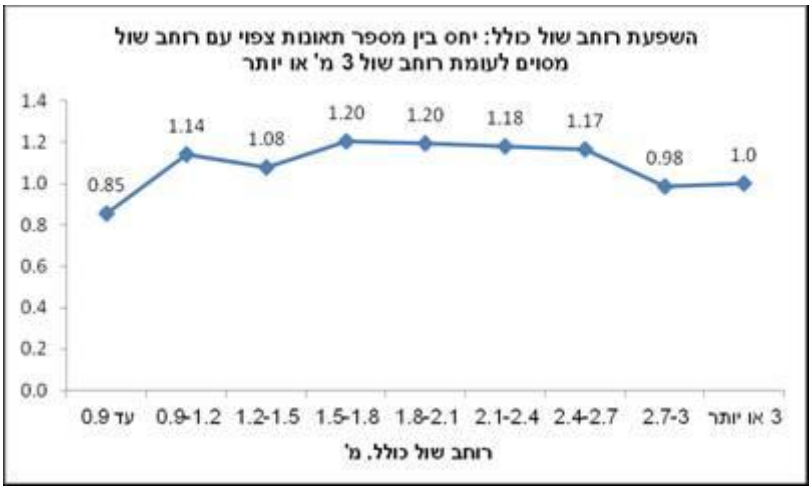


ציור 4.2, א'-ב' מביא הצגה גרפית של השינוי היחסי בסך התאונות עם נפגעים, לעומת תנאי הבסיס, הקשור להשתנות רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי, בהתאמה. החישוב נערך בעזרת המודל המסביר. תנאי הבסיס בחישוב זה: רוחב שול כולל 3 מ' או יותר, רוחב שול גרנולרי מעל 1.8 מ'.

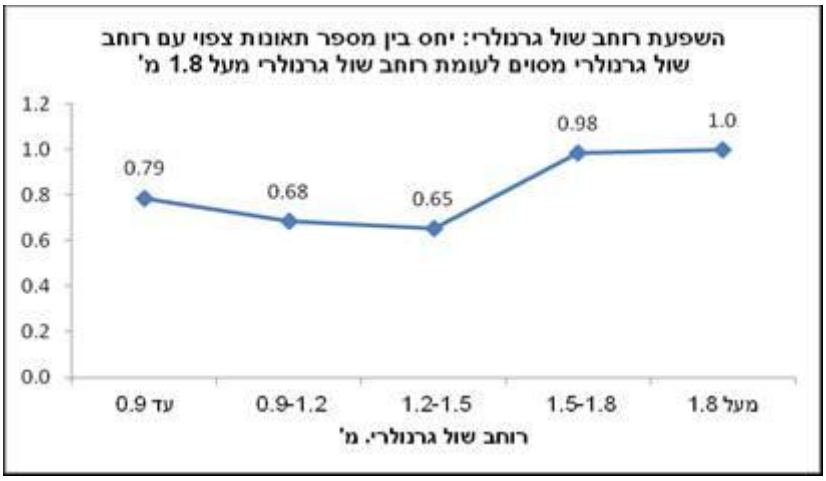
טבלה 4.2 מציגה את מקדמי השינוי היחסי בסך התאונות עם נפגעים, לעומת תנאי הבסיס, עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול ביחד: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי. גם חישוב זה נערך בעזרת המודל המסביר. כתנאי הבסיס בחישוב זה שימשו: רוחב שול כולל מהקטגוריה של 2.1-2.4 מ', רוחב שול גרנולרי מהקטגוריה עד 0.9 מ'. תנאים המזוהים עם ירידה בתאונות לעומת תנאי הבסיס, מודגשים בטבלה 4.2 בירוק.

בהמשך, טבלה 4.3 מציגה את ערכי התוחלת של סך התאונות עם נפגעים בקטע, בשלוש שנים, בנוכחות ערכים מסוימים של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי, אשר הוערכו בעזרת המודל המסביר עבור דוגמא של קטע כביש חד-מסלולי. הערכים הגבוהים ביותר של מספר התאונות הצפוי מודגשים בטבלה 4.3 באדום.

מציור 4.2 וטבלאות 4.2-4.3 ניתן לראות כי הצפי לתאונות עם נפגעים עולה כאשר רוחב שול כולל נמצא בטווח בין 0.9 עד 2.7 מ'; במקביל, הצפי לתאונות יורד כאשר רוחב שול גרנולרי נמצא בטווח של 0.9-1.5 מ'. ע"פי מודל זה, מספר תאונות מינימלי צפוי כאשר קיים שילוב של רוחב שול כולל מעל 2.7 מ' עם רוחב שול גרנולרי של 0.9-1.5 מ'. לעומת זאת, מספר תאונות מירבי מזוהה עם רוחב שול כולל של 1.5-2.7 מ', ביחד עם שול גרנולרי רחב - מעל 1.5 מ'.



א



ב

תנאי בסיס: רוחב שול כולל 3 מ' או יותר, רוחב שול גרנולרי מעל 1.8 מ'.

ציור 4.2. שינוי יחסי בסך התאונות עם נפגעים, הקשור לשינויים במאפייני השוליים: (א) רוחב שול כולל, (ב) רוחב שול גרנולרי.

טבלה 4.2. מקדמי שינוי יחסי בסך התאונות עם נפגעים, לעומת תנאי הבסיס, עבור הערכים החדשים של מאפייני השול: רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי (תנאי הבסיס: רוחב שול כולל 2.1-2.4 מ', רוחב שול גרנולרי עד 0.9 מ')

קטגוריות של רוחב שול גרנולרי		קטגוריות של רוחב שול כולל								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		עד 0.9	0.9-1.2	1.2-1.5	1.5-1.8	1.8-2.1	2.1-2.4	2.4-2.7	2.7-3	3 או יותר
1	עד 0.9	0.73	0.97	0.91	1.02	1.01	1.00	0.99	0.84	0.85
2	0.9-1.2		0.84	0.79	0.89	0.88	0.87	0.86	0.73	0.74
3	1.2-1.5			0.76	0.85	0.84	0.83	0.82	0.69	0.70
4	1.5-1.8				1.28	1.27	1.25	1.24	1.04	1.06
5	מעל 1.8					1.29	1.27	1.26	1.06	1.08

טבלה 4.3. תוחלת סך התאונות עם נפגעים בקטע*, בשלוש שנים, כתלות ברוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי

קטגוריות של רוחב שול גרנולרי		קטגוריות של רוחב שול כולל								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		עד 0.9	0.9-1.2	1.2-1.5	1.5-1.8	1.8-2.1	2.1-2.4	2.4-2.7	2.7-3	3 או יותר
1	עד 0.9	1.0	1.3	1.2	1.4	1.4	1.3	1.3	1.1	1.1
2	0.9-1.2		1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0
3	1.2-1.5			1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	0.9	0.9
4	1.5-1.8				1.7	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4
5	מעל 1.8					1.7	1.7	1.7	1.4	1.4

* חישוב בעזרת מודל מסביר עבור דוגמא של קטע דרך חד-מסלולית באורך 1 ק"מ, נפח תנועה 5,0 אלף כלי רכב ביממה, מהירות מותרת 80 קמ"ש, רוחב נתיב 3 מ', מצב צידי הדרך – עם מעקה (ב"רמת בטיחות טובה" דהיינו מרחק מעקה מהמיסעה מעל 2 מ' ומרחק פנוי עד מכשול עד 1 מ'), שיפוע אורכי 3%.

בנוסף, עבור סך התאונות עם נפגעים, חושבו גם ערכי הOR (יחס הסיכונים לתאונה לעומת תנאי הבסיס) הקשורים לשינויים במאפייני תשתית נוספים: רוחב נתיב, מצב צידי הדרך, שיפוע לאורך. ממצאים אלה מוצגים בטבלה 4.4. החישובים נערכו בעזרת המודל המותנה. תנאי הבסיס בחישובים היו: רוחב נתיב 3.2 מ' או יותר; מצב צידי הדרך ללא מעקה ועם אזור מפלט רחב (קטגוריה 8); שיפוע אורך מירבי (12% או יותר).

טבלה 4.4. ערכי הOR (יחס הסיכונים לתאונה לעומת תנאי הבסיס) של סך התאונות עם נפגעים, עבור מאפייני תשתית נוספים

א – רוחב נתיב

רוחב נתיב, מ'	עד 2.8	2.8-3.2	+3.2
ערך הOR לעומת תנאי הבסיס: רוחב נתיב 3.2+ מ'	0.56	0.75	1.0

ב – מצב צידי הדרך

קטגוריה של מצב צידי הדרך	2	3	4	5	6	7	8
משמעות הקטגוריה	יותר "יש מעקה" לאורך הקטע, רמת בטיחות נמוכה-בינונית: מעקה 1-2 מ' מהמיסעה	יותר "יש מעקה", רמת בטיחות טובה: מעקה 2+ מ' מהמיסעה ועד 1 מ' מהמכשול	יותר "יש מעקה", רמת בטיחות טובה מאוד: מעקה מרוחק מהמיסעה וממכשול	יותר "ללא מעקה" לאורך הקטע, רמת בטיחות נמוכה: אזור מפלט עד 3 מ'	יותר "ללא מעקה", רמת בטיחות בינונית: אזור מפלט בין 3 עד 5.5 מ'	יותר "ללא מעקה", רמת בטיחות טובה: אזור מפלט בין 5.5 עד 7.5 מ'	יותר "ללא מעקה", רמת בטיחות טובה מאוד: אזור מפלט 7.5+ מ'
ערך הOR לעומת תנאי הבסיס: קטגוריה 8	3.60	3.16	2.38	2.80	2.09	1.98	1.0

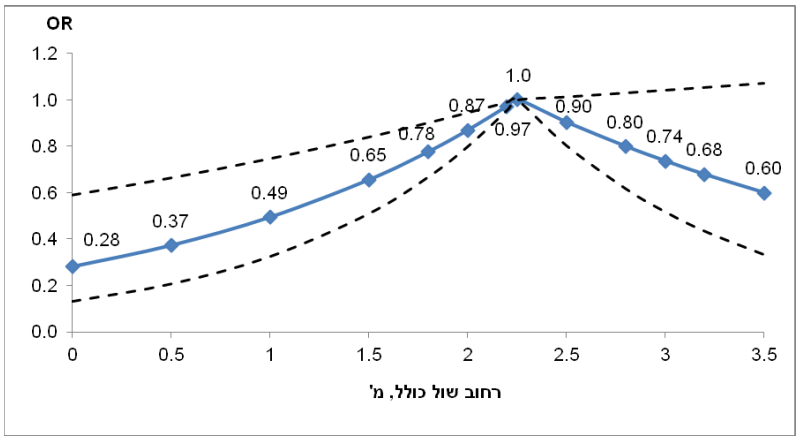
ג – שיפוע לאורך

שיפוע לאורך	עד 3%	3%-5%	5%-8%	8%-10%	10%-12%	מעל 12%
ערך הOR לעומת תנאי הבסיס: מעל 12%	1.41	1.79	1.82	1.90	2.57	1.0

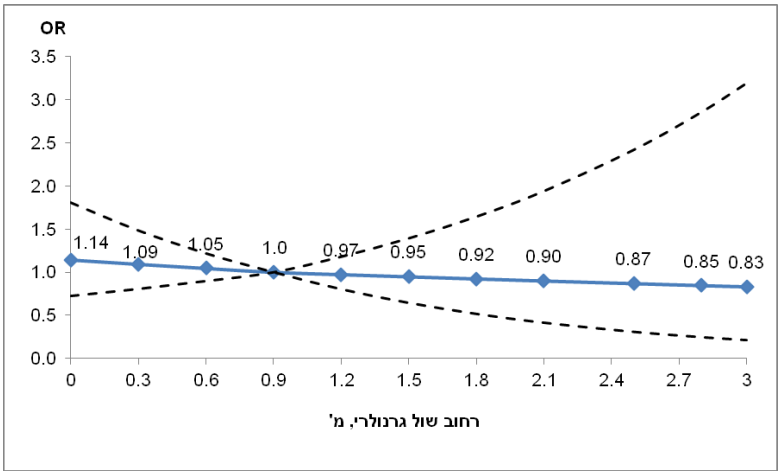
מבחינת ערכי הOR בטבלה 4.4 ניכר כי נתיב צר יותר מזוהה עם יחס סיכונים נמוך יותר לתאונות; המצב הבטיחותי ביותר של צידי הדרך הוא ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול; בקרב מצבי צידי הדרך ללא מעקה הגדלת אזור המפלט מזוהה עם ירידה בסיכון לתאונות; כמו כן, בקרב מצבי צידי הדרך עם מעקה, הצבה נכונה יותר של המעקות (הרחקה מהמיסעה וממכשול) מזוהה עם ירידה בסיכון; פרט לערך המירבי של שיפוע לאורך, עליה בגודל השיפוע מתקשרת עם עליה בסיכון לתאונות.

4.2.2. תאונות רכב יחיד

ציור 4.3, א'-ב' מביא הצגה גרפית של ערכי הOR (יחס הסיכונים לתאונה לעומת תנאי הבסיס) של תאונות רכב יחיד עבור טווח הערכים של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי, בהתאמה. החישוב נערך בעזרת המודל המותנה. תנאי הבסיס בחישוב תואמים את נקודות השבירה של המודל, דהיינו רוחב שול כולל 2.25 מ' ורוחב שול גרנולרי 0.9 מ'. הקווים הכחולים מציגים את ערכי הOR, בעוד שהקווים המקווקווים מציגים את רווחי הסמך של הOR.



א



ב

תנאי בסיס: רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'.

ציור 4.3. ערכי הOR (יחס הסיכונים לתאונה לעומת תנאי הבסיס) של תאונות רכב יחיד, עבור מאפייני שוליים: (א) רוחב שול כולל, (ב) רוחב שול גרנולרי.

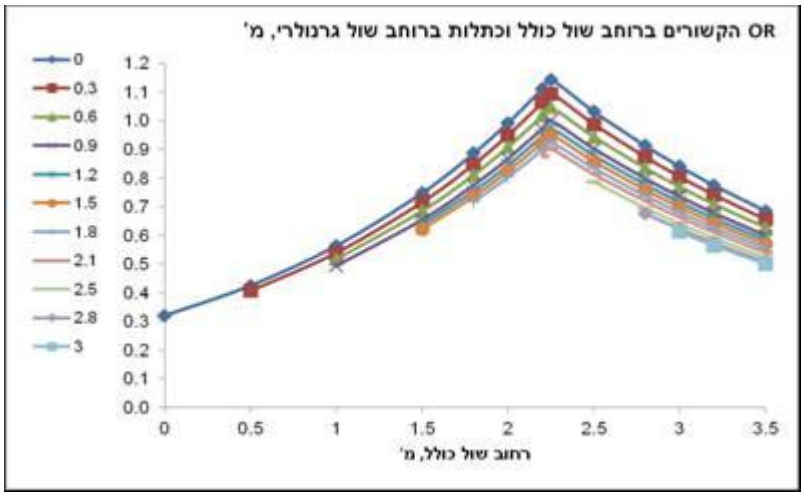
טבלה 4.5 והציור הנלווה לה מציגים את ערכי הOR עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול ביחד: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי, לעומת תנאי הבסיס (רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'). תאי התנאים המזוהים עם ירידה ניכרת בסיכון לתאונות לעומת תנאי הבסיס, מודגשים בטבלה 4.5 בירוק.

מציור 4.3 וטבלה 4.5 ניתן לראות כי רמת הסיכון לתאונות עולה עם הגדלת רוחב שול עד 2.25 מ' ויורדת לאחר מכן, ובמקביל, יורדת עם הגדלת רוחב שול גרנולרי; ירידה מירבית ברמת הסיכון לתאונות לעומת תנאי הבסיס מזוהה עם שול כולל רחב (מעל 3 מ') או שול כולל צר (עד 1.5 מ'), כאשר רוחב שול כולל בגודל 2.2-2.5 מ' מזוהה עם עליה בסיכון לתאונות. כמו כן, הגדלת רוחב שול גרנולרי, לכאורה, מורידה את רמת הסיכון לתאונות (ראה טבלה 4.5) אך כדאי לזכור שהשפעת מאפיין זה לא הייתה מובהקת במודל לתאונות רכב יחיד.

טבלה 4.5. ערכי הOR של תאונות רכב יחיד עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי, לעומת תנאי הבסיס (רוחב כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ')

	רוחב שול כולל, מ'												
רוחב שול גרנולרי, מ'	0	0.5	1	1.5	1.8	2	2.2	2.25	2.5	2.8	3	3.2	3.5
0	0.32	0.42	0.56	0.75	0.89	0.99	1.11	1.14	1.03	0.91	0.84	0.77	0.68
0.3		0.41	0.54	0.72	0.85	0.95	1.06	1.09	0.99	0.87	0.80	0.74	0.65
0.6			0.52	0.68	0.81	0.91	1.02	1.05	0.94	0.83	0.77	0.71	0.63
0.9			0.49	0.65	0.78	0.87	0.97	1.00	0.90	0.80	0.74	0.68	0.60
1.2				0.64	0.76	0.85	0.95	0.97	0.88	0.78	0.72	0.66	0.58
1.5				0.62	0.74	0.82	0.92	0.95	0.86	0.76	0.70	0.64	0.57
1.8					0.72	0.80	0.90	0.92	0.83	0.74	0.68	0.63	0.55
2.1							0.88	0.90	0.81	0.72	0.66	0.61	0.54
2.5									0.79	0.69	0.64	0.59	0.52
2.8										0.68	0.62	0.57	0.51
3											0.61	0.56	0.50

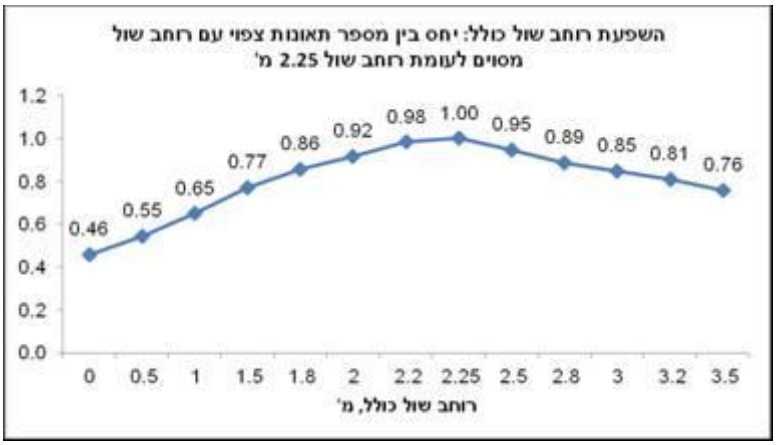
ציור נלווה לטבלה 4.5: ערכי הOR עבור הערכים החדשים של רוחב שול כולל, כתלות ברוחב שול גרנולרי



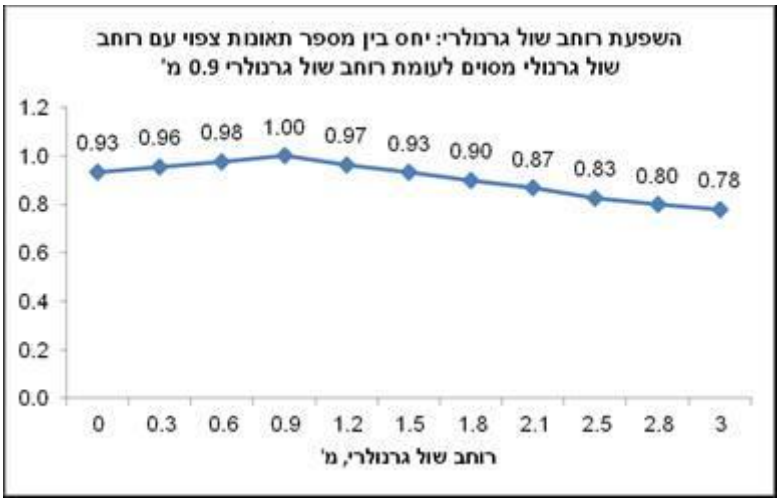
ציור 4.4, א'-ב' מביא הצגה גרפית של השינוי היחסי בתאונות רכב יחיד, לעומת תנאי הבסיס, הקשור להשתנות רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי, בהתאמה. החישוב נערך בעזרת המודל המסביר. תנאי הבסיס בחישוב זה: רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'. טבלה 4.6 והציור הנלווה לה מציגים את מקדמי השינוי היחסי בתאונות רכב יחיד, לעומת תנאי הבסיס, עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול ביחד: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי. גם חישוב זה נערך בעזרת המודל המסביר. כתנאי הבסיס בחישוב זה שימשו: רוחב

שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'. תנאים המזוהים עם ירידה חזקה יותר בתאונות לעומת תנאי הבסיס, מודגשים בטבלה 4.6 בירוק.

מציור 4.4 וטבלה 4.6 ניתן לראות כי הצפי לתאונות רכב יחיד עולה עם עליה ברוחב שול עד 2.25 מ' ויורד כאשר רוחב השול מעל 2.25 מ'; כמו כן, הצפי לתאונות רכב יחיד יורד כאשר רוחב שול גרנולרי מעל 0.9 מ' (אם כי, השפעת מאפיין זה לא הייתה מובהקת במודל הנדון). ע"פי מודל זה, מספר תאונות מינימלי צפוי כאשר רוחב שול כולל מעל 3 מ' או עד 1 מ'. הגדלת רוחב שול גרנולרי, לכאורה, מזוהה עם ירידה חזקה יותר בתאונות (ראה טבלה 4.6) אך, כזכור, השפעת מאפיין זה לא הייתה מובהקת ולכן, אינה מהווה בסיס מוצק להסקת מסקנות.



א



ב

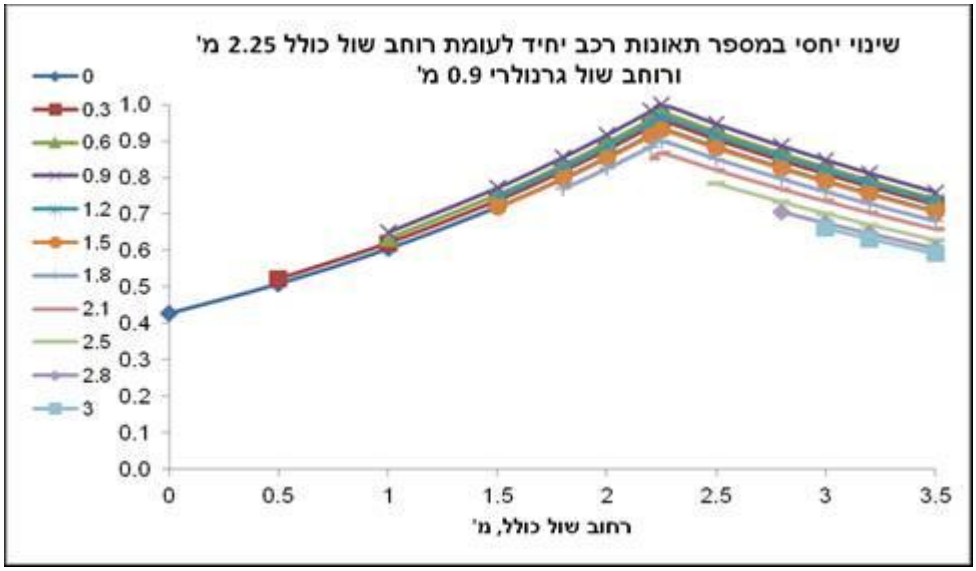
תנאי בסיס: רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'.

ציור 4.4. שינוי יחסי בתאונות רכב יחיד, הקשור לשינויים במאפייני השוליים: (א) רוחב שול כולל, (ב) רוחב שול גרנולרי.

טבלה 4.6. מקדמי שינוי יחסי במספר תאונות רכב יחיד, לעומת תנאי הבסיס, עבור הערכים החדשים של מאפייני השול: רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי (תנאי הבסיס: רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ')

	רוחב שול כולל, מ'												
רוחב שול גרנולרי, מ'	0	0.5	1	1.5	1.8	2	2.2	2.25	2.5	2.8	3	3.2	3.5
0	0.43	0.51	0.61	0.72	0.80	0.86	0.92	0.93	0.88	0.83	0.79	0.76	0.71
0.3		0.52	0.62	0.74	0.82	0.88	0.94	0.96	0.90	0.85	0.81	0.77	0.72
0.6			0.63	0.75	0.84	0.90	0.96	0.98	0.92	0.87	0.83	0.79	0.74
0.9			0.65	0.77	0.86	0.92	0.98	1.00	0.95	0.89	0.85	0.81	0.76
1.2				0.74	0.83	0.89	0.95	0.97	0.91	0.85	0.82	0.78	0.73
1.5				0.72	0.80	0.85	0.92	0.93	0.88	0.82	0.79	0.75	0.71
1.8					0.77	0.82	0.88	0.90	0.85	0.80	0.76	0.73	0.68
2.1							0.85	0.87	0.82	0.77	0.73	0.70	0.66
2.5									0.78	0.73	0.70	0.67	0.63
2.8										0.71	0.68	0.65	0.61
3											0.66	0.63	0.59

ציור נלווה לטבלה 4.6:

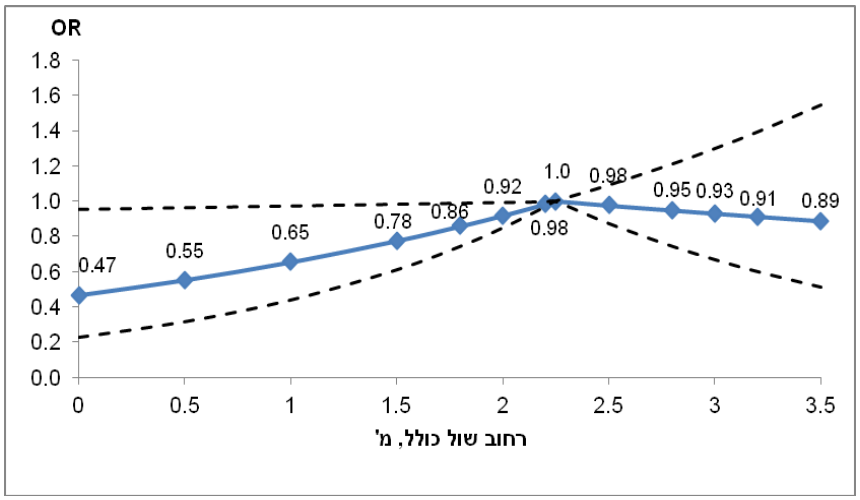


4.2.3. תאונות חמורות

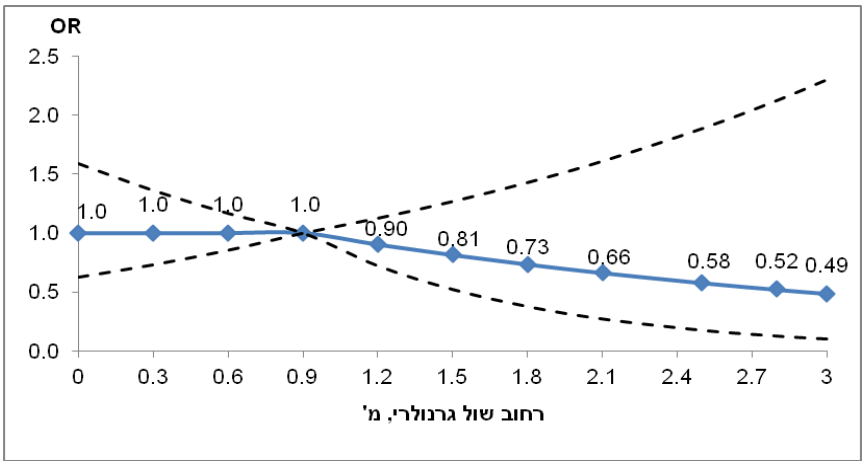
ציור 4.5, א'-ב' מביא הצגה גרפית של ערכי הOR (יחס הסיכונים לתאונה לעומת תנאי הבסיס) של התאונות החמורות עבור טווח הערכים של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי, בהתאמה. החישוב נערך בעזרת המודל המותנה. תנאי הבסיס בחישוב תואמים את נקודות השבירה של המודל, דהיינו רוחב שול כולל 2.25 מ' ורוחב שול גרנולרי 0.9 מ'. הקווים הכחולים מציגים את ערכי הOR, בעוד שהקווים המקווקווים מציגים את רווחי הסמך של הOR.

טבלה 4.7 והציור הנלווה לה מציגים את ערכי הOR עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול ביחד: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי, לעומת תנאי הבסיס (רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'). תאי התנאים המזוהים עם ירידה ניכרת בסיכון לתאונות החמורות לעומת תנאי הבסיס, מודגשים בטבלה 4.7 בירוק.

מציור 4.5 וטבלה 4.7 ניתן לראות כי רמת הסיכון לתאונות החמורות עולה עם הגדלת רוחב שול עד 2.25 מ' ויורדת לאחר מכן, וכמו כן, יורדת עם הגדלת רוחב שול גרנולרי מעל 0.9 מ'; ירידה מירבית ברמת הסיכון לתאונות לעומת תנאי הבסיס מזוהה עם שול כולל רחב (מעל 3.2 מ') או שול כולל צר (עד 1.0 מ'), כאשר רוחב שול כולל בגודל 2.2-2.5 מ' אינו מזוהה עם ירידה בסיכון לתאונות החמורות. כמו כן, הגדלת רוחב שול גרנולרי בשילוב עם רוחב שול כולל גדול, לכאורה, מורידה את רמת הסיכון לתאונות (ראה טבלה 4.7) אך, כזכור, השפעת מאפיין זה לא הייתה מובהקת במודל לתאונות החמורות.



א



ב

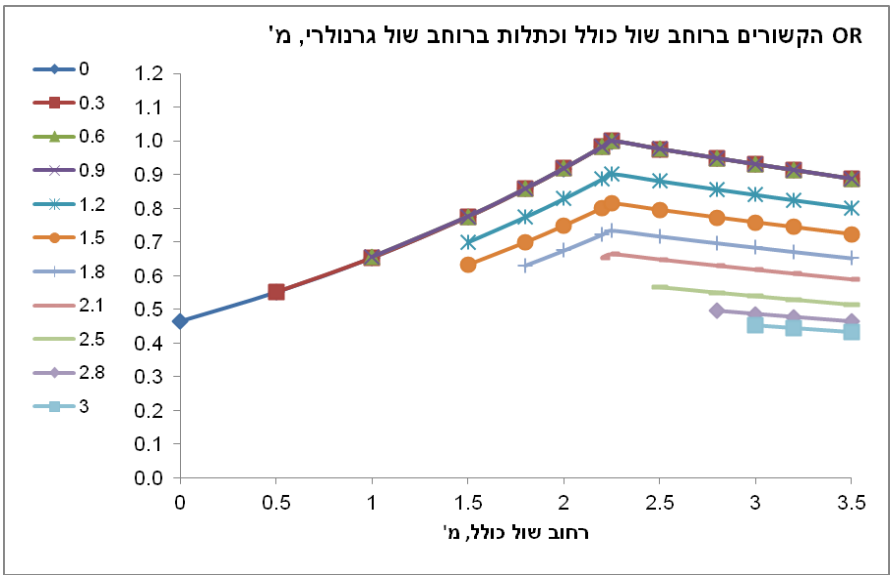
תנאי בסיס: רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'.

ציור 4.5. ערכי הOR (יחס הסיכונים לתאונה לעומת תנאי הבסיס) של התאונות החמורות, עבור מאפייני שוליים: (א) רוחב שול כולל, (ב) רוחב שול גרנולרי.

טבלה 4.7. ערכי הOR של התאונות החמורות עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי, לעומת תנאי הבסיס (רוחב כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ')

רוחב שול גרנולרי, מ'	רוחב שול כולל, מ'												
	0	0.5	1	1.5	1.8	2	2.2	2.25	2.5	2.8	3	3.2	3.5
0	0.47	0.55	0.65	0.77	0.86	0.92	0.98	1.0	0.98	0.95	0.93	0.91	0.89
0.3		0.55	0.65	0.77	0.86	0.92	0.98	1.0	0.98	0.95	0.93	0.91	0.89
0.6			0.65	0.78	0.86	0.92	0.98	1.0	0.98	0.95	0.93	0.91	0.89
0.9			0.65	0.78	0.86	0.92	0.98	1.0	0.98	0.95	0.93	0.91	0.89
1.2				0.70	0.77	0.83	0.89	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82	0.80
1.5				0.63	0.70	0.75	0.80	0.81	0.80	0.77	0.76	0.74	0.72
1.8					0.63	0.67	0.72	0.73	0.72	0.70	0.68	0.67	0.65
2.1							0.65	0.66	0.65	0.63	0.62	0.61	0.59
2.5									0.56	0.55	0.54	0.53	0.51
2.8										0.50	0.49	0.48	0.46
3											0.45	0.45	0.43

ציור נלווה לטבלה 4.7: ערכי הOR עבור הערכים החדשים של רוחב שול כולל, כתלות ברוחב שול גרנולרי

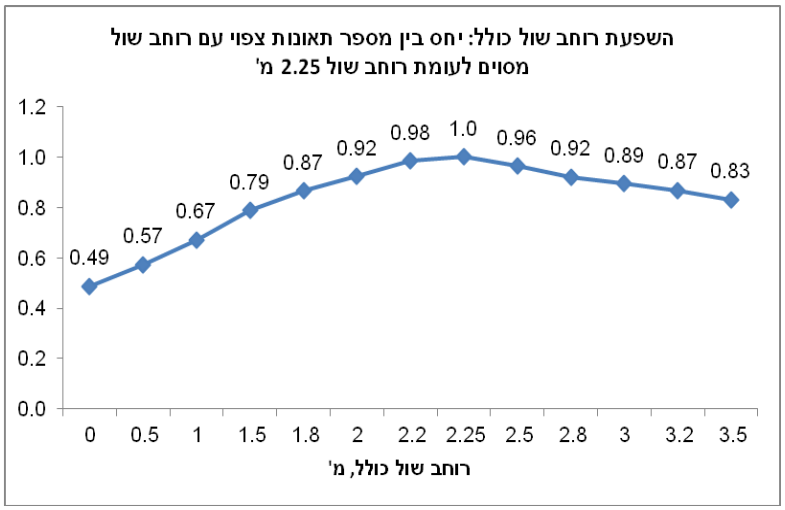


ציור 4.6, א'-ב' מביא הצגה גרפית של השינוי היחסי בתאונות החמורות, לעומת תנאי הבסיס, הקשור להשתנות רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי, בהתאמה. החישוב נערך בעזרת המודל המסביר. תנאי הבסיס בחישוב זה: רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'.

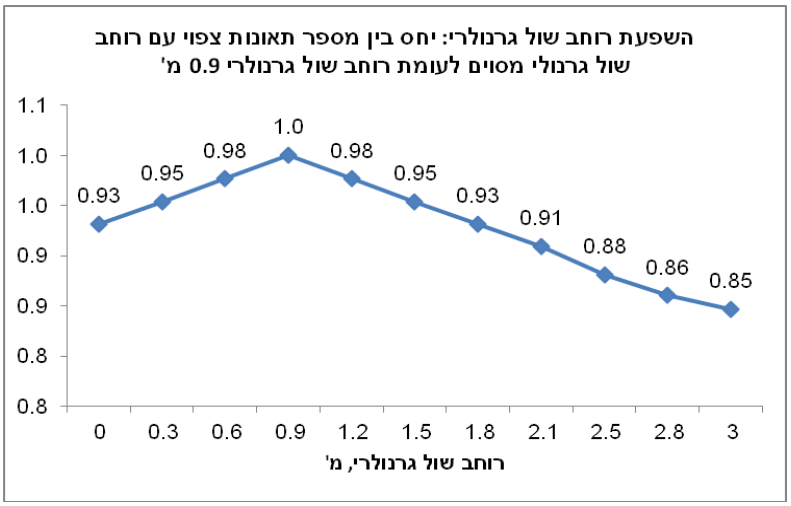
טבלה 4.8 והציור הנלווה לה מציגים את מקדמי השינוי היחסי בתאונות החמורות, לעומת תנאי הבסיס, עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול ביחד: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי. גם חישוב זה נערך בעזרת המודל המסביר. כתנאי הבסיס בחישוב זה שימשו: רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'. תנאים המזוהים עם ירידה חזקה יותר בתאונות לעומת תנאי הבסיס, מודגשים בטבלה 4.8 בירוק.

מציור 4.6 וטבלה 4.8 ניתן לראות כי הצפי לתאונות החמורות עולה עם עליה ברוחב שול כולל עד 2.25 מ' ויורד כאשר רוחב השול מעל 2.25 מ'; כמו כן, הצפי לתאונות החמורות יורד כאשר רוחב שול גרנולרי מעל 0.9 מ' (אם כי, השפעת מאפיין זה לא הייתה מובהקת במודל הנדון). ע"פי מודל זה, מספר תאונות מינימלי צפוי כאשר רוחב שול כולל מעל 3 מ' או עד 1.5 מ'. הגדלת רוחב שול גרנולרי, לכאורה, מזוהה עם ירידה חזקה יותר

בתאונות (ראה טבלה 4.8) אך, כזכור, השפעת מאפיין זה לא הייתה מובהקת ולכן, אינה מהווה בסיס מוצק להסקת מסקנות.



א



ב

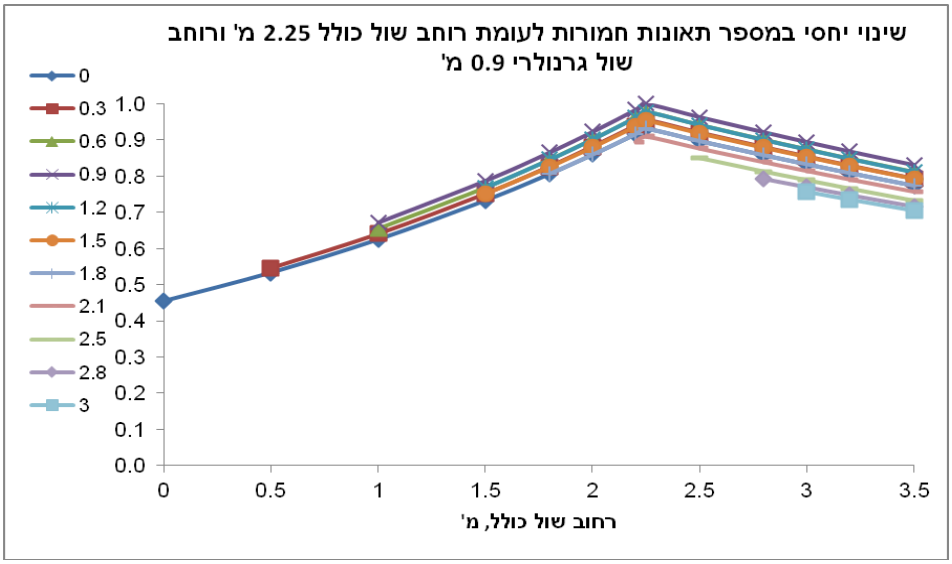
תנאי בסיס: רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'.

ציור 4.6. שינוי יחסי בתאונות החמורות, הקשור לשינויים במאפייני השוליים: (א) רוחב שול כולל, (ב) רוחב שול גרנולרי.

טבלה 4.8. מקדמי שינוי יחסי במספר התאונות החמורות, לעומת תנאי הבסיס, עבור הערכים החדשים של מאפייני השול: רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי (תנאי הבסיס: רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ')

רוחב שול גרנולרי, מ'	רוחב שול כולל, מ'												
	0	0.5	1	1.5	1.8	2	2.2	2.25	2.5	2.8	3	3.2	3.5
0	0.45	0.53	0.63	0.73	0.81	0.86	0.92	0.93	0.90	0.86	0.83	0.81	0.77
0.3		0.55	0.64	0.75	0.83	0.88	0.94	0.95	0.92	0.88	0.85	0.83	0.79
0.6			0.66	0.77	0.85	0.90	0.96	0.98	0.94	0.90	0.87	0.85	0.81
0.9			0.67	0.79	0.87	0.92	0.98	1.00	0.96	0.92	0.89	0.87	0.83
1.2				0.77	0.85	0.90	0.96	0.98	0.94	0.90	0.87	0.85	0.81
1.5				0.75	0.83	0.88	0.94	0.95	0.92	0.88	0.85	0.83	0.79
1.8					0.81	0.86	0.92	0.93	0.90	0.86	0.83	0.81	0.77
2.1							0.90	0.91	0.88	0.84	0.81	0.79	0.76
2.5									0.85	0.81	0.79	0.77	0.73
2.8										0.79	0.77	0.75	0.71
3											0.76	0.74	0.70

ציור נלווה לטבלה 4.8:



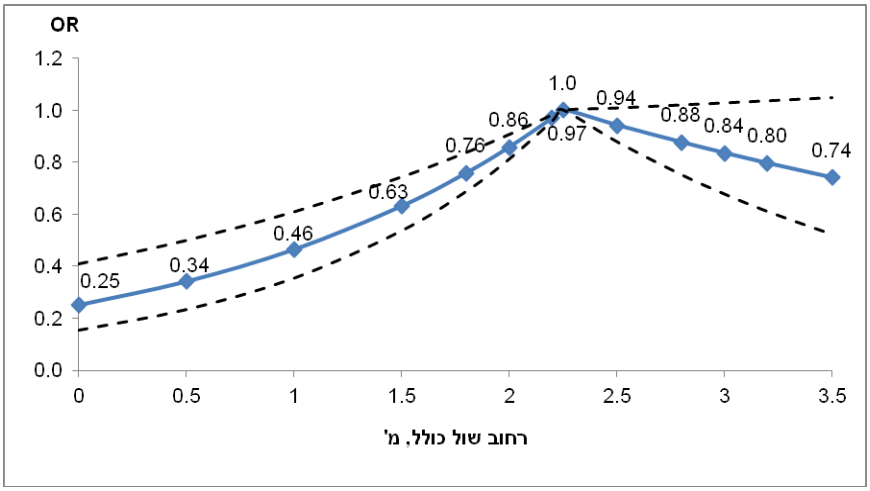
4.2.4. כלל התאונות

ציור 4.7, א'-ב' מביא הצגה גרפית של ערכי הOR (יחס הסיכונים לתאונה לעומת תנאי הבסיס) של כלל התאונות עבור טווח הערכים של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי, בהתאמה. החישוב נערך בעזרת המודל המותנה. תנאי הבסיס בחישוב תואמים את נקודות השבירה של המודל, דהיינו רוחב שול כולל 2.25 מ' ורוחב שול גרנולרי 0.9 מ'. הקווים הכחולים מציגים את ערכי הOR, בעוד שהקווים המקווקווים מציגים את רווחי הסמך של הOR.

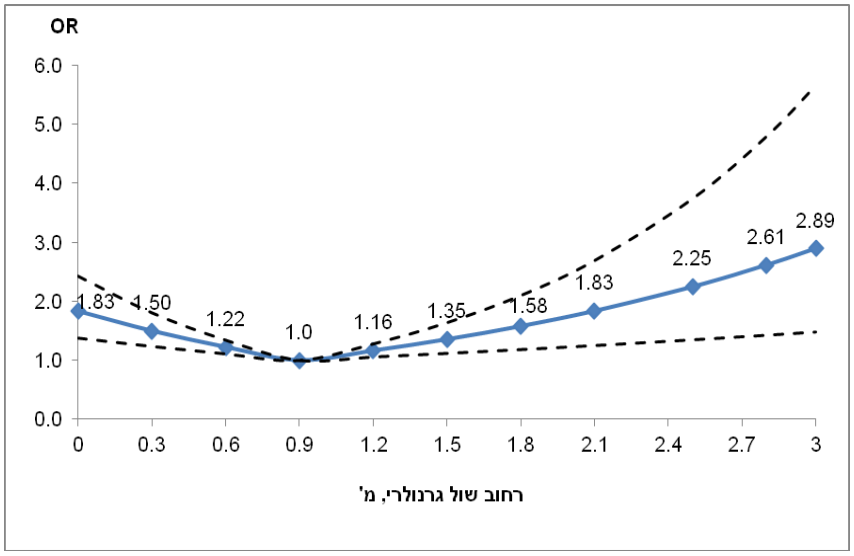
טבלה 4.9 והציור הנלווה לה מציגים את ערכי הOR עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול ביחד: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי, לעומת תנאי הבסיס (רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'). תאי התנאים המזוהים עם ירידה ניכרת בסיכון לתאונות לעומת תנאי הבסיס, מודגשים בטבלה 4.9 בירוק.

מציור 4.7 וטבלה 4.9 ניתן לראות כי רמת הסיכון לכלל התאונות עולה עם הגדלת רוחב שול עד 2.25 מ' ויורדת לאחר מכן, וכמו כן, יורדת עם הגדלת רוחב שול גרנולרי עד 0.9 מ' ועולה עם הרחבת שול גרנולרי מעל 0.9 מ';

ירידה מירבית ברמת הסיכון לכלל התאונות לעומת תנאי הבסיס מזוהה עם שול כולל רחב (מעל 3.0 מ') עם פס גרנולרי ברוחב 0.9 מ' או שול כולל צר (עד 1.8 מ') עם פס גרנולרי עד 1.2 מ'; מאידך, רוחב שול כולל בגודל 2.2-2.5 מ' ורוחב שול גרנולרי של 1.8 מ' או יותר, מזוהים עם עליה ניכרת בסיכון לכלל התאונות.



א



ב

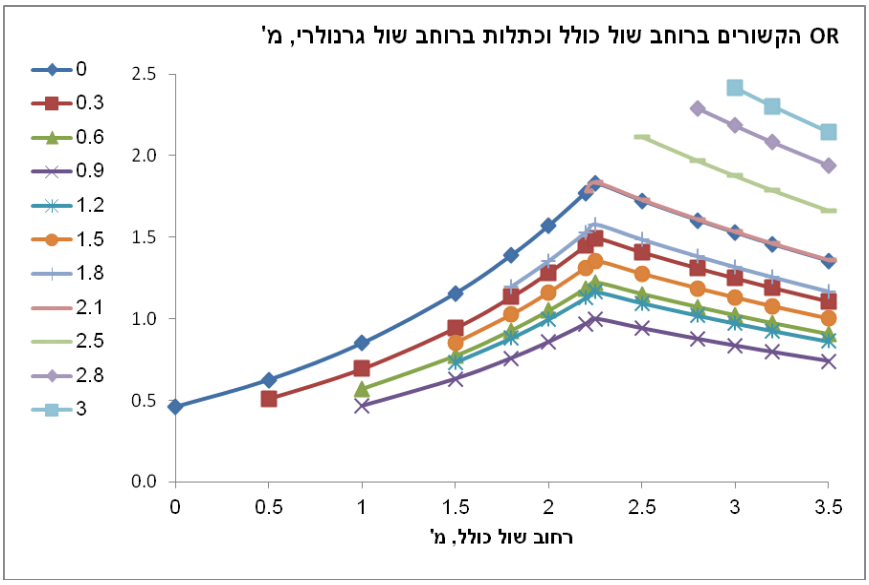
תנאי בסיס: רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'.

ציור 4.7. ערכי הOR (יחס הסיכונים לתאונה לעומת תנאי הבסיס) של כלל התאונות, עבור מאפייני שוליים: (א) רוחב שול כולל, (ב) רוחב שול גרנולרי.

טבלה 4.9. ערכי הOR של כלל התאונות עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי, לעומת תנאי הבסיס (רוחב כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ')

רוחב שול גרנולרי, מ'	רוחב שול כולל, מ'												
	0	0.5	1	1.5	1.8	2	2.2	2.25	2.5	2.8	3	3.2	3.5
0	0.46	0.63	0.85	1.15	1.39	1.57	1.77	1.83	1.72	1.60	1.53	1.46	1.35
0.3		0.51	0.70	0.94	1.13	1.28	1.45	1.50	1.41	1.31	1.25	1.19	1.11
0.6			0.57	0.77	0.93	1.05	1.19	1.22	1.15	1.07	1.02	0.97	0.91
0.9			0.46	0.63	0.76	0.86	0.97	1.00	0.94	0.88	0.84	0.80	0.74
1.2				0.74	0.88	1.00	1.13	1.16	1.10	1.02	0.97	0.93	0.86
1.5				0.86	1.03	1.16	1.31	1.35	1.28	1.19	1.13	1.08	1.00
1.8					1.20	1.35	1.53	1.58	1.48	1.38	1.32	1.25	1.17
2.1							1.78	1.83	1.73	1.61	1.53	1.46	1.36
2.5									2.12	1.97	1.88	1.79	1.66
2.8										2.29	2.18	2.08	1.94
3											2.42	2.30	2.14

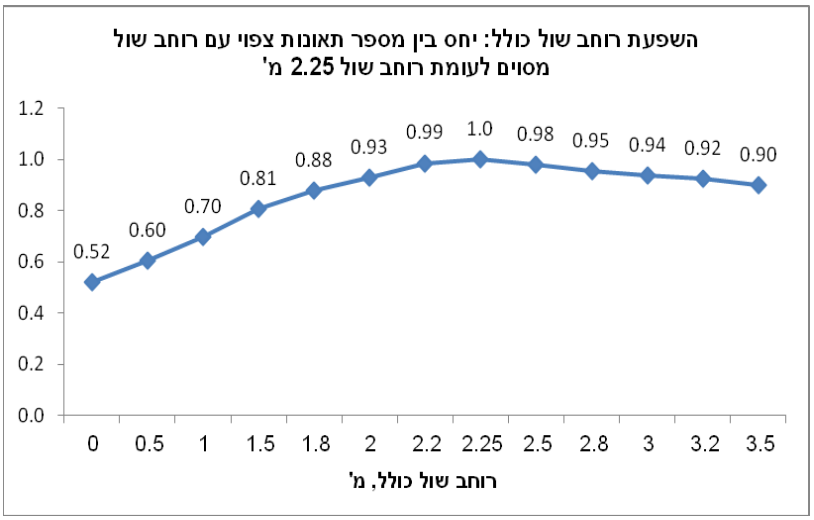
ציור נלווה לטבלה 4.9: ערכי הOR עבור הערכים החדשים של רוחב שול כולל, כתלות ברוחב שול גרנולרי



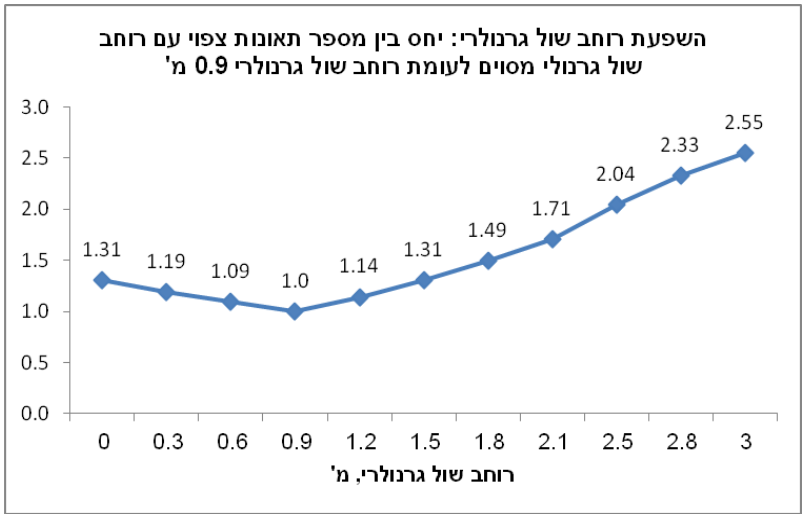
ציור 4.8, א'-ב' מביא הצגה גרפית של השינוי היחסי בכלל התאונות, לעומת תנאי הבסיס, הקשור להשתנות רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי, בהתאמה. החישוב נערך בעזרת המודל המסביר. תנאי הבסיס בחישוב זה: רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'.

טבלה 4.10 והציור הנלווה לה מציגים את מקדמי השינוי היחסי בכלל התאונות, לעומת תנאי הבסיס, עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול ביחד: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי. גם חישוב זה נערך בעזרת המודל המסביר. כתנאי הבסיס בחישוב זה שימשו: רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'. תנאים המזוהים עם ירידה חזקה יותר בתאונות לעומת תנאי הבסיס, מודגשים בטבלה 4.10 בירוק.

מציור 4.8 וטבלה 4.10 ניתן לראות כי הצפי לכלל התאונות עולה עם עליה ברוחב שול כולל עד 2.25 מ' ויורד כאשר רוחב השול מעל 2.25 מ'; כמו כן, הצפי לכלל התאונות יורד כאשר רוחב שול גרנולרי עד 0.9 מ' ועולה כאשר רוחב השול הגרנולרי מעל 0.9 מ'. ע"פי מודל זה, מספר תאונות מינימלי צפוי כאשר רוחב שול כולל מעל 3.2 מ' או עד 1.8 מ', בשילוב עם שול גרנולרי ברוחב 0.9 מ'.



א



ב

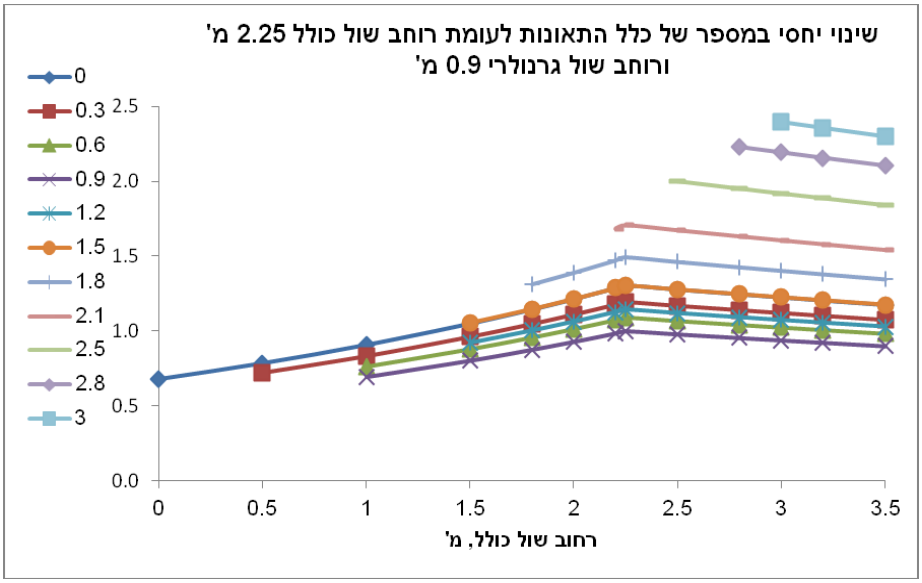
תנאי בסיס: רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ'.

ציור 4.8. שינוי יחסי בכלל התאונות, הקשור לשינויים במאפייני השוליים: (א) רוחב שול כולל, (ב) רוחב שול גרנולרי.

טבלה 4.10. מקדמי שינוי יחסי במספר של כלל התאונות, לעומת תנאי הבסיס, עבור הערכים החדשים של מאפייני השול: רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי (תנאי הבסיס: רוחב שול כולל 2.25 מ', רוחב שול גרנולרי 0.9 מ')

רוחב שול גרנולרי, מ'	רוחב שול כולל, מ'												
	0	0.5	1	1.5	1.8	2	2.2	2.25	2.5	2.8	3	3.2	3.5
0	0.68	0.79	0.91	1.05	1.15	1.21	1.29	1.31	1.28	1.25	1.23	1.21	1.18
0.3		0.72	0.83	0.96	1.05	1.11	1.18	1.19	1.17	1.14	1.12	1.10	1.08
0.6			0.76	0.88	0.96	1.02	1.08	1.09	1.07	1.04	1.03	1.01	0.98
0.9			0.70	0.81	0.88	0.93	0.99	1.00	0.98	0.95	0.94	0.92	0.90
1.2				0.92	1.00	1.06	1.13	1.14	1.12	1.09	1.07	1.06	1.03
1.5				1.05	1.15	1.22	1.29	1.31	1.28	1.25	1.23	1.21	1.18
1.8					1.31	1.39	1.47	1.49	1.46	1.43	1.40	1.38	1.35
2.1							1.68	1.71	1.67	1.63	1.60	1.58	1.54
2.5									2.00	1.95	1.92	1.89	1.84
2.8										2.23	2.19	2.16	2.10
3											2.40	2.36	2.30

ציור נלווה לטבלה 4.10:



4.3. דוגמאות להערכת קטעי דרך קיימים, בעזרת המודלים

בעזרת הכלים שפותחו במחקר, ניתן לבצע הערכות של קטעי דרכים חד-מסלוליות קיימות, על מנת להדגים תועלות בטיחותיות אפשריות שעשויות להתקבל בעקבות טיפול בשוליים בקטעי דרך אלה. מבחינת הממצאים בסעיף 4.2 עולה כי, ע"פי רוב, שול כולל רחב, ברוחב 3 מ' או יותר, מזוהה עם ירידה בסיכון לתאונות. קשר זה בין רוחב שול כולל לבין ירידה בתאונות נצפה או ללא תלות ברוחב שול גרנולרי או עם רוחב שול גרנולרי עד 0.9 מ'. לעומת זאת, שול כולל ברוחב 1.5-2.7 מ' ושול גרנולרי ברוחב מעל 1.5 מ', ככלל, מזוהים עם עליה בסיכון לתאונות. לכן, כללית, ניתן לבחון את החיסכון הצפוי בתאונות, במידה ובקטעי הדרכים עם רוחב שול צר תבוצע הרחבה של רוחב שול כולל ו/או סלילה של שול גרנולרי.

בסעיף זה מובאות שתי דוגמאות לביצוע ההערכות:

- בחינת החיסכון הצפוי בסך התאונות עם נפגעים, בעקבות הרחבה וסלילת שוליים במקבצי הקטעים אשר, ע"פי מאפייני השוליים היום, מזוהים עם רמת סיכון גבוהה יותר לתאונות;

- בחינת החיסכון הצפוי בסך התאונות עם נפגעים, בעקבות טיפולי שולים בכביש מס' 12.

4.3.1. דוגמא 1: בחינת החיסכון הצפוי בתאונות בעקבות טיפולי שוליים במקבצי קטעים מייצגים

לזיהוי מקבצים מייצגים של קטעי הדרכים החד-מסלוליות שנאספו בבסיס הנתונים של המחקר, נערכו פילוחים של הקטעים לפי הקטגוריות של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי - טבלה 4.11. כמו כן, בחלק התחתון של טבלה 4.11, מוצג פילוח של סך התאונות עם נפגעים שנאספו בקטעי המחקר, לפי אותן הקטגוריות של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי.

בעקבות הערכה של מקדמי השינוי בתאונות המזוהים עם הערכים השונים של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי (ראה טבלה 4.2 לעיל) נמצא כי תנאי שטח מסוימים מזוהים עם סיכון גבוה יותר לתאונות. לדוגמא, המצבים של רוחב שול כולל בטווח 1.5-2.7 מ' בשילוב שול גרנולרי ברוחב מעל 1.5 מ', מתקשרים עם תוספת של -24% 29% בסיכון לתאונות, לעומת תנאי הבסיסי; מקרים אלה מודגשים בטבלה 4.11 באדום. בנוסף, קיים מספר מקרים המתקשרים עם עליה קלה בסיכון לתאונות לעומת תנאי הבסיס - מקרים אלה מסומנים בטבלה 4.11 בצהוב. לכן, יש מקום לבדוק מה יהיה החיסכון בתאונות לו כל המקרים הללו (המסומנים באדום ובצהוב) יהפכו למצב של שול כולל ברוחב 3 מ' או יותר, עם שול גרנולרי צר, עד 0.9 מ'.

טבלה 4.11. התפלגויות של קטעי המחקר והתאונות עם נפגעים בקטעי המחקר, לפי הקטגוריות של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי

	קטגוריות של רוחב שול גרנולרי, מ'	קטגוריות של רוחב שול כולל, מ'									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	מספר קטעים	עד 0.9	0.9-1.2	1.2-1.5	1.5-1.8	1.8-2.1	2.1-2.4	2.4-2.7	2.7-3	3 או יותר	סה"כ קטעים
1	עד 0.9	483	367	373	456	420	307	233	143	143	2925
2	0.9-1.2			66	23	31	22	23	23	39	227
3	1.2-1.5			7	44	22	21	25	21	41	181
4	1.5-1.8				16	58	7	11	7	37	136
5	מעל 1.8					5	14	9	17	79	124
	סה"כ										3593
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	מספר תאונות	עד 0.9	0.9-1.2	1.2-1.5	1.5-1.8	1.8-2.1	2.1-2.4	2.4-2.7	2.7-3	3 או יותר	סה"כ תאונות
1	עד 0.9	241	258	290	438	412	318	251	123	109	2440
2	0.9-1.2			14	4	8	15	6	8	40	95
3	1.2-1.5			2	7	5	4	20	5	10	53
4	1.5-1.8				10	14	1	1	3	19	48
5	מעל 1.8					1	1	2	8	30	42
	סה"כ										2678

הערכה זאת מתייחסת ל-13 מקבצים מייצגים של קטעי הדרכים החד-מסלוליות, המוגדרים לפי רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי. טבלה 4.12 מציגה את המקבצים, לרבות מספר קטעים ומספר תאונות שנרשמו, בשלוש השנים, בכל אחד ממקבצי הקטעים, וכן, את ממצאי ההערכה: מקדם שינוי בתאונות עם נפגעים הקשור לשינוי הנבחן בתשתית; אחוז התאונות עם נפגעים שיכול להיחסך בעקבות הטיפול; אומדן למספר התאונות שיכול

להיחסך בשלוש שנים, בעקבות הטיפול. בנוסף, כדי לאפשר השוואה בין המקבצים מבחינת יעילות הטיפול, מחושב מדד של מספר התאונות שייחסך לקטע. ניתן לראות כי:

- אחוז גבוה יותר של התאונות הנחסכות, כמצופה, מזוהה עם טיפולים בקטעים "האדומים" (אשר, במצב הנוכחי, מזוהים עם סיכון גבוה יותר לתאונות);

- ע"פי מדד החיסכון הצפוי בתאונות עם נפגעים לקטע, הטיפול המועדף הינו בקטעים מסוג "4-4" (עם רוחב שול כולל 1.5-1.8 מ' שהינו, למעשה, שול גרנולרי) ובמקבצי הקטעים מסוג "4-1", "5-1" (רוחב שול כולל 1.5-1.8 מ' או 1.8-2.1 מ', בשילוב שול גרנולרי צר, עד 0.9 מ', או ללא שול גרנולרי).

מכאן, גם החישוב לדוגמא, על פני קטעי הדרכים הקיימים, מצביע על הצורך לטפל, קודם כל, בקטעים עם רוחב שול צר, 1.5-2.1 מ'. עם זאת, ניכר, כי החיסכון הצפוי בתאונות בעקבות הטיפול בשוליים אינו גבוה (כערך מוחלט) ולכן, בטרם החלטה על הרחבה או סלילת שוליים יש מקום לבחון חלופות טיפול אחרות כגון: הוספת פס צבע משונן להפרדה בין מיסעה ושול.

טבלה 4.12. תוצאות הערכה של המקבצים המייצגים של קטעי הדרכים החד-מסלוליות מבחינת התועלת הצפויה מטיפול בשוליים, במונחים של סך התאונות עם נפגעים

סוג מקבץ קטעים לפני	מצב לפני: רוחב שול כולל, מ'	מצב לפני: רוחב שול גרנולרי, מ'	סוג מצב הקטע אחרי	מצב אחרי: רוחב שול כולל, מ'	מצב אחרי: רוחב שול גרנולרי, מ'	מספר קטעים במקבץ	מספר תאונות שנצפו, ב-3 שנים	מקדם שינוי בתאונות המזוהה עם שיפור שוליים	אחוז תאונות שיכול להיחסך	מספר תאונות שיכול להיחסך, ב-3 שנים	מספר תאונות שייחסך לקטע
4-4	1.5-1.8	1.5-1.8	9-1	3 או יותר	עד 0.9	16	10	0.66	34%	3.4	0.21
5-4	1.8-2.1	1.5-1.8	9-1	3 או יותר	עד 0.9	58	14	0.67	33%	4.6	0.08
6-4	2.1-2.4	1.5-1.8	9-1	3 או יותר	עד 0.9	7	1	0.68	32%	0.3	0.05
7-4	2.4-2.7	1.5-1.8	9-1	3 או יותר	עד 0.9	11	1	0.69	31%	0.3	0.03
5-5	1.8-2.1	מעל 1.8	9-1	3 או יותר	עד 0.9	5	1	0.66	34%	0.3	0.07
6-5	2.1-2.4	מעל 1.8	9-1	3 או יותר	עד 0.9	14	1	0.67	33%	0.3	0.02
7-5	2.4-2.7	מעל 1.8	9-1	3 או יותר	עד 0.9	9	2	0.67	33%	0.7	0.07
4-1	1.5-1.8	עד 0.9	9-1	3 או יותר	עד 0.9	456	438	0.83	17%	74.0	0.16
5-1	1.8-2.1	עד 0.9	9-1	3 או יותר	עד 0.9	420	412	0.84	16%	67.4	0.16
8-4	2.7-3	1.5-1.8	9-1	3 או יותר	עד 0.9	7	3	0.81	19%	0.6	0.08
9-4	3 או יותר	1.5-1.8	9-1	3 או יותר	עד 0.9	37	19	0.80	20%	3.8	0.10
8-5	2.7-3	מעל 1.8	9-1	3 או יותר	עד 0.9	17	8	0.80	20%	1.6	0.09
9-5	3 או יותר	מעל 1.8	9-1	3 או יותר	עד 0.9	79	30	0.79	21%	6.4	0.08

4.3.2. דוגמא 2: בחינת החיסכון הצפוי בתאונות בעקבות טיפולי שוליים בכביש מס' 12

מבחינת מצב השוליים בקטעי המחקר נמצא כי מספרים לא מבוטלים של קטעים עם שול גרנולרי רחב (1.5 מ' או יותר) נמצאו בכבישים אלה: מס' 12 (40 קטעים), 13 (11 קטעים), 40 (62 קטעים), 90 (7 קטעים), 222 (7), 264 (6), 317 (5), 325 (6), 465 (7), 505 (7), 508 (6), 978 (12). ניתן להבחין כי רוב הכבישים עם הקטעים עם שול גרנולרי רחב נמצאו באזורי דרום וירושלים.

עבור כביש מס' 12 נערך חישוב לדוגמא - בחינת החיסכון הצפוי בסך התאונות עם נפגעים, בעקבות טיפולי שוליים בקטעים עם רוחב שול כולל 1.5-2.1 מ'. לגבי אפקט הטיפול מושוות שתי חלופות: (1) הרחבת שול כולל עד 3 מ', ללא שינוי רוחב שול גרנולרי; (2) הרחבת שול כולל עד 3 מ', תוך כדי סלילה ברוחב מלא. טבלה 4.13 מציגה את ממצאי ההערכות.

ניתן לראות כי הטיפול השני (הרחבה וסלילה מלאה) יעיל יותר לעומת הטיפול הראשון (הרחבה בלבד, ללא שינוי רוחב שול גרנולרי), כי הוא מבטיח חיסכון גדול יותר בתאונות. עם זאת, על פני כל 57 הקטעים המוערכים, שני סוגי הטיפולים מזוהים עם חיסכון של 1.6-2 תאונות בלבד (בשלוש שנים). המספר הקטן של התאונות שעומד להיחסך נובע גם מהשכיחות הנמוכה יחסית של תאונות הדרכים בכביש זה: סה"כ 10, בשלוש שנים. הטיפול בשוליים מבטיח חיסכון של 16%-20% מהתאונות שנצפו בכביש זה. סה"כ, ייתכן כי הרחבה ו/או סלילת שוליים אינו שיפור התשתית המועדף לצמצום מספר התאונות בכביש זה.

טבלה 4.13. ממצאי הערכות של קטעי כביש מס' 12: שינויים צפויים בסך התאונות עם נפגעים, בעקבות טיפולי שוליים בקטעים

כביש	קטע -ק"מ	סך התאונות עם נפגעים שנצפו ב- 3 שנים	מצב קיים: קטגוריה של רוחב שול כולל	מצב קיים: קטגוריה של רוחב שול גרנולרי	**טיפול1**: הרחבת שול כולל, ללא שינוי שול גרנולרי*	**טיפול1**: מקדם שינוי בתאונות	**טיפול2**: הרחבה וסלילה מלאה*	**טיפול2**: מקדם שינוי בתאונות	**טיפול1**: מספר תאונות שייחסך, ב-3 שנים	**טיפול2**: מספר תאונות שייחסך, ב-3 שנים
12	6	2	5	1	9	0.84	9-1	0.84	0.3	0.3
12	8	0	4	1	9	0.83	9-1	0.83	0.0	0.0
12	9	0	4	1	9	0.83	9-1	0.83	0.0	0.0
12	10	0	5	2	9	0.84	9-1	0.96	0.0	0.0
12	12	1	4	4	9	0.83	9-1	0.66	0.2	0.3
12	13	0	4	3	9	0.83	9-1	1.00	0.0	0.0
12	14	0	4	3	9	0.83	9-1	1.00	0.0	0.0
12	15	0	4	3	9	0.83	9-1	1.00	0.0	0.0
12	16	0	4	2	9	0.83	9-1	0.96	0.0	0.0
12	17	0	4	2	9	0.83	9-1	0.96	0.0	0.0
12	18	1	5	2	9	0.84	9-1	0.96	0.2	0.0
12	19	0	5	3	9	0.84	9-1	1.01	0.0	0.0
12	20	0	5	4	9	0.84	9-1	0.67	0.0	0.0
12	21	0	5	1	9	0.84	9-1	0.84	0.0	0.0
12	22	1	5	3	9	0.84	9-1	1.01	0.2	0.0
12	23	0	5	3	9	0.84	9-1	1.01	0.0	0.0
12	24	0	5	4	9	0.84	9-1	0.67	0.0	0.0
12	25	0	5	2	9	0.84	9-1	0.96	0.0	0.0
12	26	1	5	4	9	0.84	9-1	0.67	0.2	0.3
12	27	0	5	4	9	0.84	9-1	0.67	0.0	0.0
12	28	0	5	4	9	0.84	9-1	0.67	0.0	0.0
12	29	0	5	4	9	0.84	9-1	0.67	0.0	0.0
12	30	0	4	3	9	0.83	9-1	1.00	0.0	0.0
12	31	0	4	4	9	0.83	9-1	0.66	0.0	0.0

0.3	0.2	0.67	9-1	0.84	9	4	5	1	32	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	33	12
0.0	0.0	0.66	9-1	0.83	9	4	4	0	34	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	35	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	36	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	37	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	38	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	39	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	41	12
0.3	0.2	0.66	9-1	0.84	9	5	5	1	42	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	43	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	44	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	45	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	46	12
0.3	0.2	0.66	9-1	0.83	9	4	4	1	47	12
0.0	0.0	0.66	9-1	0.83	9	4	4	0	48	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	49	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	50	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	51	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	52	12
0.0	0.2	1.01	9-1	0.84	9	3	5	1	53	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	54	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	55	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	56	12
0.0	0.0	0.66	9-1	0.84	9	5	5	0	57	12
0.0	0.0	0.66	9-1	0.84	9	5	5	0	58	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	59	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	60	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	61	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	62	12
0.0	0.0	0.67	9-1	0.84	9	4	5	0	63	12
0.0	0.0	0.83	9-1	0.83	9	1	4	0	69	12
0.0	0.0	0.83	9-1	0.83	9	1	4	0	70	12
2.0	**1.6**							10	סה"כ	

*מצוינת קטגוריה חדשה של רוחב שול כולל, או רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי

5. סיכום ומסקנות

5.1. כללי

אחד האמצעים לשיפור הבטיחות בדרכים החד-מסלוליות הוא סלילת שוליים המתאימים לתנאי הדרך. לשוליים הצמודים לנתיבי הנסיעה מייחסים מספר תפקידים כגון: מקום לעצירת חירום; מקום לפינוי רכב שנעצר על נתיבי הנסיעה עקב תאונה או תקלה; מקום התאוששות לנהג שביצע פעולה שגויה; שטח לייצוב קצה המיסעה. מחקרים בחו"ל הראו הפחתה בתאונות בדרכים בין-עירוניות דו-נתיביות בעקבות הרחבת שוליים. כמו כן, נמצא קשר בין ייצוב שוליים לבין רמת הבטיחות. מאידך, קיימים חששות לכך ששוליים רחבים מדי יכולים לעודד נסיעה במהירות גבוהה כי הם משדרים לנהג נוכחות של שטח גדול יותר לתיקון שגיאות בנהיגה.

בישראל, בקרב מתכנני דרכים ומהנדסי תנועה, קיימת מודעות לחשיבות רוחב שול לתפקוד הדרך ולרמת בטיחותה. נושא השפעת רוחב שוליים על תפקוד הדרך נדון בפורומים מקצועיים רבים. עם זאת, הקשר בין מאפייני שוליים לבין רמת בטיחות הדרך לא נבחן באופן מפורט בישראל. מטרת מחקר זה הייתה לבחון את הקשר בין רוחב וסוג שוליים לבין התרחשות התאונות, בדרכים הבין-עירוניות החד-מסלוליות בישראל.

בביצוע המחקר היו מרכיבים אלה:

א. תחילה, נערך סקר ספרות בנושאי השפעת מאפייני שוליים על בטיחות בדרכים הבין-עירוניות, עם דגש על הדרכים החד-מסלוליות. בסקירה נכללו פרסומים מהעשורים האחרונים והושם דגש על הצגת כלים כמותיים לקשר בין שיפור מצב השוליים לבין שינויים בתאונות, בתנאי שטח ותנועה שונים.

ב. למחקר הוקם בסיס נתונים אשר כלל מידע על כל רשת הדרכים הבין-עירוניות החד-מסלוליות המתוחזקות על-ידי נתיבי ישראל - החברה הלאומית לתשתיות תחבורה. בסיס הנתונים הוקם בעזרת שילוב מידע מקבצי תאונות הדרכים של הלמ"ס ומקבצי מאפייני הדרכים של המערכת לניהול בטיחות של החברה הלאומית. לכל קטע דרך הוצג מידע לגבי אורכו ומיקומו, נפח התנועה, מאפייני שוליים ומאפיינים גיאומטריים נוספים וכמו כן, מידע על מספרי תאונות הדרכים, בשנים 2008-2010.

ג. על בסיס הנתונים של המחקר בוצעו ניתוחים רבים לזיהוי הקשר בין מאפייני השוליים והסיכון לתאונות, בהינתן רמות שונות של נפח התנועה ומאפייני דרך אחרים. הניתוחים נערכו עבור חמישה סוגי תאונות: סך התאונות עם נפגעים (ת"ד), תאונות רכב יחיד, התנגשויות בין כלי רכב, תאונות חמורות וכלל התאונות (ת"ד ו- "כללי עם נפגעים", ביחד). למציאת קשר כמותי בין מאפייני השוליים לבין התרחשות התאונות, בהינתן מאפייני דרך אחרים, הותאמו מודלים משני סוגים: מודל בשיטת הcase-control ומודל מסביר (עם התפלגות בינומית שלילית של אירועי התאונות)[19].

[19] לגבי טיב התאמת המודלים שפותחו במחקר - מודלים בינומיים שליליים ומודלים לוגיסטיים (מותנים), אין מדד יחיד מוסכם. לבחינת טיב המודלים במחקר השתמשנו בכלל לפיו אם הדיוויאנס חלקי דרגות החופש לא רחוק מ-1, זה מצביע על התאמת המודל. בנוסף, השתמשנו במדדים המשקללים בין טיב התאמה וקנס על מספר הפרמטרים במודל, כמו AIC ו- SC, לשם שפיטת המודלים, וכמובן בבחירה על-פי מובהקות המשתנים המוצעים כמסבירים. מדדי פסאודו R^2 הניתנים לחישוב עבור רגרסיה לוגיסטית היו בגובה של 15% עבור רוב המודלים שפותחו במחקר.

ד. על סמך המודלים שפותחו במחקר הוערכו מקדמי שינוי בתאונות ומדדי שינוי ברמת הסיכון לתאונות שמתקשרים עם מאפייני שול שונים. כמו כן, בעזרת ממצאי המודלים, חושבו דוגמאות להערכת קטעי דרכים חד-מסלוליות קיימות, על מנת לבחון את התועלת הבטיחותית העשויה להתקבל בעקבות טיפולי שוליים בקטעי דרך אלה.

5.2. ממצאים עיקריים של המחקר

א. ממצאי הספרות

בספרות המקצועית נמצאו דוגמאות רבות למודלים לחיזוי תאונות בדרכים בין-עירוניות חד-מסלוליות. לפיתוח מודלים אלה השתמשו בנתונים על תאונות הדרכים, נפחי תנועה ובנתונים הגיאומטריים ומאפייני תשתית נוספים של קטעי הדרכים. באמצעות שיטות סטטיסטיות מתקדמות ניתן לזהות את המאפיינים המשפיעים ולמצוא ביטוי כמותי להשפעתם של משתני תשתית מסוימים על מספר או שיעור התאונות (מספר תאונות לנסועה) בקטע דרך.

רכיבי התכנון הקשורים בשול שהשפעתם נמצאה במודלים הם: רוחב שול, שילוב בין רוחב נתיב ורוחב שול, יחס בין שול סלול לשול לא סלול, או סוג שול. בין רכיבי תכנון נוספים המשפיעים על שיעורי התאונות בדרכים החד-מסלוליות היו: רוחב נתיב, עקמומיות הדרך, שיפוע אורכי, מצב הגבהה צידית, מצב צידי הדרך (כגון: נוכחות מעקות בטיחות).

לפי הניסיון הבינלאומי, ייצוב (סלילת) שוליים ככלל מתקשר עם ירידה בתאונות. לעומת זאת, לגבי ההשפעה של הגדלת רוחב שול לא תמיד מתקבלת תמונה עקבית. המקורות האמריקניים, לרוב, טוענים לקשר לינארי בין הגדלת רוחב שול וירידה בתאונות, עבור שול סלול ולא סלול. לעומת זאת, מחקרים אחרים כגון: Elvik & Vaa (2004) הצביעו על ממצאים סותרים לגבי ההשפעה של הגדלת רוחב שול. גם בספרות האמריקנית הובעו חששות לכך ששוליים רחבים מדי יכולים לעודד נסיעה במהירות גבוהה כי הם משדרים לנהג נוכחות של שטח גדול יותר לתיקון שגיאות בנהיגה. סה"כ, קביעת ההשפעה של מאפייני השוליים על בטיחות אינה משימה קלה, כאשר בביצוע משימה זו יש לשים לב כי מאפיינים גיאומטריים שונים קשורים זה בזה ומשפיעים על רמת הבטיחות של הכביש.

לגבי השימושים הלא מתוכננים בשוליים נמצא כי, ע"פי התקנות הקיימות, פרט להורדת והעלאת נוסעים, ועצירה הקשורה לתקלה ברכב, אסור לכלי רכב להימצא בשול. ע"פי מחקרי הבטיחות, הולכי רגל וכלי רכב הנמצאים בשול יהיו תחת סיכון גבוה להיות מעורבים בתאונה. ככלל, מומלץ לנקוט במירב האמצעים כדי לצמצם תופעה זו. הקמת נקודות מנוחה לאורך הדרכים עשויה להביא לצמצום השימושים הבלתי מתוכננים בשולי דרכים ולהקטנת מספר תאונות הדרכים הנגרמות כתוצאה משימושים אלו.

ב. בסיס הנתונים של המחקר

כיחידת הניתוח במחקר נבחר קטע דרך חד-מסלולית באורך כ-1 ק"מ. בסיום שלב הכנת הנתונים למחקר, בסיס הנתונים כלל 3,649 יחידות ניתוח, באורך הכולל של כ-3,332 ק"מ. לכל קטע כביש במחקר נקבעו: שדות הזיהוי ורמת החשיפה (נפח תנועה); מאפייני שוליים - רוחב שול כולל, רוחב שול גרנולרי (לא סלול), רוחב שול אספלט; מאפייני תשתית נוספים - רוחב נתיב, רדיוס אופקי, שיפוע צד, רדיוס אנכי קמור, רדיוס אנכי קעור, שיפוע אורכי;

מצב צידי הדרך - רמת נוכחות של מעקות הבטיחות, רמת נכונות ההצבה של מעקות הבטיחות, גודל אזור המפלט בצד הדרך.

עבור כל קטע דרך בבסיס הנתונים של המחקר הופקו מספרי התאונות, לפי חמישה סוגי תאונות שנבחרו למחקר, בשנים 2008-2010. מתוך 3,649 הקטעים במחקר, תאונות התנגשות בין כלי הרכב נרשמו ב-1,032 קטעים (28% מקטעי המחקר); תאונות רכב יחיד ב-533 קטעים (15%); תאונות חמורות ב-582 קטעים (16%); תאונות עם נפגעים - ב-1310 קטעים (36%); כלל התאונות - ב-2,056 קטעים (56%). יצוין כי "כלל התאונות" מהווה סכום של תאונות "ת"ד" ו-"כללי עם נפגעים", בעוד שיתר סוגי התאונות נגזרו מקבצי "ת"ד" בלבד.

ג. פיתוח מודלים מסבירים ובחינת המשמעויות שלהם

לביטוי קשר כמותי בין מאפייני השוליים לבין התרחשות התאונות הותאמו מודלים מסבירים. זיהוי הקשר לא היה פשוט, ודרש שינויים רבים בהגדרות הנתונים ובשיטת הניתוח, תוך כדי התהליך. בחלק הראשון של התהליך, נעשה ניסיון להתאים מודל מסביר ישיר, תוך כדי בדיקות רבות של הנתונים וניתוח מערכת הקשרים בין מאפייני התשתית והתאונות. עם זאת, הביטוי הכמותי לקשר בין מאפייני הדרכים ושכיחות התאונות שהתקבל במודל בשלב זה לא היה מספק הנדסית. בין היתר, במודלים אלה התקבל ביטוי חלש יחסית, לעומת יתר מאפייני התשתית, לקשר בין מאפייני השוליים לבין התרחשות התאונות, וכמו כן, בחלק מהמקרים, הקשר בין מאפייני השוליים והתאונות או בין מאפייני תשתית אחרים והתאונות היה מנוגד לידע הנדסי קיים. לכן, הוחלט על שינוי גישה, כאשר רוב מאפייני התשתית נהפכו למשתנים קטגוריים ופיתוח המודלים נעשה בשיטה של case-control.

בשיטה זו, פיתוח המודל מתבסס על בסיס נתונים מצומצם בו לכל יחידת ניתוח עם תאונה שנרשמה בתקופה הנבחנת (case) מותאמת יחידת ניתוח אחרת, ללא תאונה, אך אשר דומה ליחידת הניתוח הראשונה ע"פי מאפייני תשתית נבחרים (control). כתוצאה, חלק ממאפייני התשתית אשר שימשו להתאמה (matching) של יחידות הניתוח כבר נמצאים בבקרה בבסיס הנתונים החדש, כאשר לפיתוח מודל מסביר בהמשך משמשים יתר מאפייני הקטעים שלא היו בבקרה. מכאן, לפיתוח המודלים משמשת רשימה קצרה יותר של מסבירים פוטנציאליים, מה שמעלה את הסיכוי להתאמת המודל. בנוסף, הודות לאופן בניית בסיס הנתונים - התאמה פרטנית בין הקטעים עם וללא התאונות, יש לצפות לשיפור איכות התוצאה - ירידה בהשפעת גורמים אחרים (לא מבוקרים או לא ידועים) אשר לא באו לידי ביטוי במאפייני הקטעים אך עשויים להשפיע על התרחשות התאונות.

בעקבות יישום השיטה של הcase-control התקבלו *מודלים מותנים* לביטוי השפעת מאפייני שוליים ומאפייני תשתית נוספים על התרחשות התאונות. מודלים אלה נותנים ביטוי לשינוי היחסי בתאונות בעקבות שינוי במאפיין תשתית מסוים אך לא מספקים אומדן למספר התאונות החזוי בקטע בהינתן מאפייני תשתית מסוימים. לכן, על סמך אותו בסיס הנתונים של המקרים המותאמים, נבנו גם *מודלים מסבירים* להערכת מספר התאונות הצפוי בקטע בתלות במאפייני התשתית (עם התפלגות בינומית שלילית של אירועי התאונות). שני סוגי המודלים הותאמו עבור חמישה סוגי תאונות: התנגשויות בין כלי רכב (COL); תאונות רכב יחיד (SNG); סך התאונות עם

נפגעים (TDT); תאונות חמורות (TDS); כלל התאונות (ALL). עם זאת, בשני המודלים עבור התנגשויות בין כלי הרכב (COL) השפעת משתני השוליים הייתה לא מובהקת, לכן מודלים אלה לא נדונים בממצאי המחקר.

על סמך המודלים המותנים שהתקבלו בשיטת הcase-control מקובל לבצע הערכה של הOR - יחס הסיכונים לתאונה במצב עם ערך מסוים של מאפיין תשתית נבחן לעומת ערך הבסיס שלו. על סמך המודלים המסבירים ניתן לבצע הערכה של מקדמי השינוי היחסי בתאונות שמתקשרים עם שינוי במאפיין תשתית מסוים. משמעות מקדם השינוי היחסי בתאונות דומה להגדרת מקדמי שינוי בתאונות (AMF - accident modification factor), בספרות האמריקנית, כאשר מקדם זה מהווה יחס בין מספר תאונות צפוי עם הערך החדש של המאפיין למספר תאונות צפוי עם הערך הישן של המאפיין, והוא ניתן לחישוב בעזרת מקדמי ההשפעה של המודל המסביר.

ערכי הOR ומקדמי השינוי היחסי בתאונות, בתלות בערכי מאפיין תשתית מסוים מאפשרים להמחיש את משמעויות המודלים שפותחו - אופן השפעת מאפייני התשתית על רמת הסיכון לתאונות. הדגמת הקשר בין מאפייני השוליים לבין הסיכון לתאונות נעשתה עבור כל אחד מסוגי התאונות, בעזרת **כלים** אלה:

(א) על סמך המודל המותנה, נבנו גרפים המציגים OR (יחס הסיכונים לתאונה לעומת תנאי הבסיס) עבור טווח הערכים של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי, כאשר לכל ערך של הOR מוצג גם רווח הסמך שלו ברמת מובהקות 0.05. (ראו ציורים 4.1, 4.3, 4.5, 4.7 בגוף הדו"ח).

(ב) בעזרת המודל המותנה, חושבו ערכי הOR עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול ביחד: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי, לעומת תנאי הבסיס. הממצאים הוצגו בטבלה ובגרף המלווה, כדי להמחיש מה יקרה עם התאונות בעקבות שינוי בו-זמני של שני המאפיינים. (ראה טבלות 4.1, 4.5, 4.7, 4.9 בגוף הדו"ח).

(ג) על סמך המודל המסביר, נבנו שני גרפים המציגים את השינוי היחסי בתאונות, לעומת תנאי הבסיס, עבור טווח הערכים של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי, בהתאמה. (ראו ציורים 4.2, 4.4, 4.6, 4.8 בגוף הדו"ח).

(ד) בעזרת המודל המסביר, חושב גם השינוי היחסי בתאונות, לעומת תנאי הבסיס, עבור הערכים החדשים של שני מאפייני השול ביחד: הרוחב הכולל ורוחב שול גרנולרי. הממצאים הוצגו בטבלה, עם הדגשת ערכי המאפיינים המזוהים עם ירידה מירבית בתאונות. (ראו טבלות 4.2, 4.6, 4.8, 4.10 בגוף הדו"ח).

טבלה 5.1 מביאה סיכום להשפעת מאפייני השוליים ומאפייני תשתית נוספים, על התאונות, על סמך כל המודלים שנבנו במחקר. ניתן לראות כי השפעת המאפיינים הגיאומטריים הייתה *עקבית למדי*, על פני שני סוגי המודלים וסוגי התאונות השונים. באופן כללי, ניתן להסיק כי:

(1) השפעת מאפייני השוליים

- כל המודלים הצביע על ***קשר עקבי ומובהק*** בין רוחב שול כולל לבין התרחשות התאונות. ע"פי רוב המודלים, עליה ברוחב שול כולל עד לנקודת השבירה (2.25 מ') מתקשרת עם עליה בתאונות, כאשר הגדלת רוחב שול מעבר לנקודת השבירה מתקשרת עם ירידה בתאונות. יצוין כי צורת קשר דומה בין רוחב שול לבין שכיחות התאונות נמצאה גם במחקר של דרכים דלות תנועה בתנאי הארץ (גיטלמן ואחרים, 2012)[20].

[20] במחקר זה נמצא כי הגדלה התחלתית של רוחב שול, עד 2-2.5 מ', מעלה את מספר התאונות, כאשר המשך הרחבת השול מביא לירידה בתאונות.

- לעומת זאת, השינוי בתאונות עם הגדלת רוחב שול גרנולרי ***לא היה עקבי***. בחלק מהמקרים (סך התאונות עם נפגעים, כלל התאונות), הגדלת רוחב שול גרנולרי עד לנקודת השבירה (0.9 מ') התקשרה עם ירידה בתאונות, כאשר ערך גבוה יותר של רוחב שול גרנולרי, מעבר לנקודת השבירה, התקשר עם עליה בתאונות. במודלים עבור סוגי תאונות נבחרים (רכב יחיד, חמורות), צורת הקשר בין רוחב שול גרנולרי לבין הסיכון לתאונה הייתה שונה (כגון: ירידה בתאונות עם הגדלת רוחב שול גרנולרי מעל 0.9 מ'), כאשר השפעת מאפיין זה במודל לא הייתה מובהקת.

- ככלל, מספר התאונות הנמוך ביותר התקשר עם ***רוחב שול כולל רחב - 3 מ' או יותר***, בשילוב עם רוחב שול גרנולרי עד 0.9 מ'. יש לשים לב שבבסיס הנתונים של המחקר כ-60% מהקטעים עם רוחב שול גרנולרי עד 0.9 מ' היו, למעשה, ללא שול גרנולרי (47% עם רוחב 0, 11% נוספים עם רוחב עד 10 ס"מ), לכן, ממצא זה מצביע, ברובו, על אפקט בטיחות צפוי מהרחבת רוחב שול כולל, בהיעדר שול גרנולרי.

- מאידך, במודלים עבור סך התאונות עם נפגעים וכלל התאונות נמצא כי סיכון נמוך יותר לתאונות מזוהה ***גם עם שול כולל צר***. למעשה, ממצא זה מהווה המשך לקשר שצוין לעיל ונמצא ברוב המודלים, לפיו עליה ברוחב שול כולל עד לנקודת השבירה (2.25 מ') מתקשרת עם עליה בתאונות. כלומר, שול צר יותר יכול להיות מזוהה עם פחות תאונות. עם זאת, ממצא כזה לא קיים בספרות. ייתכן ותוצאה זו קשורה למיתון מהירויות הנסיעה הנובע מחתך דרך מאולץ אך לבדיקת השערה זו נדרש מחקר המשך.

- ע"פי רוב הממצאים, ***שול כולל ברוחב בינוני*** - 1.5-2.7 מ', ושול גרנולרי ברוחב מעל 1.5 מ', מזוהים עם עליה בסיכון לתאונות ולכן, אינם מומלצים לשימוש.

(2) השפעת מאפייני תשתית נוספים

- ע"פי רוב המודלים שהותאמו לנתונים במחקר זה, רוחב נתיב צר יותר מתקשר עם ירידה בסיכון לתאונות. ממצא זה מפתיע יחסית לידוע בספרות, אם כי, ייתכן כי רוחב נתיב צר יותר גורם למהירויות נסיעה נמוכות יותר ומכאן, לירידה בסיכון לתאונות. תוצאה שונה במקצת נצפתה במודלים עבור כלל התאונות (ת"ד + "כללי עם נפגעים"), בהם הסיכון הנמוך ביותר לתאונות מזוהה עם רוחב נתיב בינוני, 2.8-3.2 מ'. כמו כן, ניתן לציין כי במחקר דרכים דלות תנועה בתנאי הארץ (גיטלמן ואחרים, 2012) השפעת רוחב נתיב נמצאה במודל עבור כלל התאונות (ת"ד ו-"כללי עם נפגעים" ביחד) והיא הצביעה על קשר "שבור": ירידה בתאונות ברוחב נתיב עד 3 מ' ועליה ברוחב נתיב מעל 3 מ'. כלומר, קיים דמיון ניכר בין ממצאי המחקר הנוכחי לבין המחקר הקודם. סה"כ, נראה כי הרחבה מירבית של נתיב, אינה מומלצת, משיקולי הבטיחות, עבור קטעי הדרכים החד-מסלוליות.

טבלה 5.1. סיכום להשפעת מאפייני שוליים ומאפייני תשתית נוספים, על התאונות, על סמך כל המודלים שנבנו במחקר

מס'	סוג תאונות - סוג מודל	השפעת רוחב שול כולל - שינוי בתאונות* עם שינוי בערך המשתנה	השפעת רוחב שול גרנולרי - שינוי בתאונות* עם שינוי בערך המשתנה	השפעה משולבת של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי	השפעת משתני תשתית אחרים: ערכים המזוהים עם סיכוי נמוך לתאונות
1	סך התאונות עם נפגעים - מודל בשיטת ה-case control	**עליה** בOR כאשר רוחב שול עולה עד 2.25 מ', **ירידה** בOR כאשר רוחב שול מעל 2.25 מ'	**ירידה** בOR כאשר רוחב שול עולה עד 0.9 מ', **עליה** בOR כאשר רוחב שול מעל 0.9 מ'	OR הנמוך ביותר: עם שול כולל רחב ושול גרנולרי צר, כגון: שול כולל 3+ מ', שול גרנולרי -0.6 0.9 מ'	*רוחב נתיב*: צר יותר מזוהה עם OR קטן יותר; *צידי הדרך*: המצב הטוב ביותר ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול; בין המצבים עם מעקות – הטוב ביותר כאשר המעקה מרוחק כנדרש מהמיסעה וממכשול; *שיפוע לאורך*: פרט לערך מירבי, שיפוע קטן יותר מזוהה עם OR קטן יותר
2	סך התאונות עם נפגעים - מודל מסביר (בינומי שלילי)	מספר תאונות **נמוך יותר** כאשר רוחב שול מעל 2.7 מ' או עד 0.9 מ'	מספר תאונות **נמוך יותר** בתאונות כאשר רוחב שול עד 1.5 מ'	מספר תאונות מינימאלי צפוי ברוחב שול כולל מעל 2.7 מ' עם רוחב שול גרנולרי 0.9-1.5 מ', או ברוחב שול עד 0.9 מ'	*רוחב נתיב*: צר יותר מזוהה עם פחות תאונות; *צידי הדרך*: המצב הטוב ביותר - ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול; *שיפוע לאורך*: פרט לערך מירבי, שיפוע קטן יותר מזוהה עם פחות תאונות
3	תאונות רכב יחיד - מודל בשיטת הcase-control	**עליה** בOR כאשר רוחב שול עולה עד 2.25 מ', **ירידה** בOR כאשר רוחב שול מעל 2.25 מ'	*ירידה* בOR עם עליה ברוחב שול גרנולרי (השפעה לא מובהקת)	OR הנמוך ביותר: עם רוחב שול כולל 3.2+ מ' או עד 1.5 מ', כאשר שול גרנולרי רחב יותר מקטין את הOR	*רוחב נתיב*: צר יותר מזוהה עם OR קטן יותר; *צידי הדרך*: הגדלת אזור המפלט במצב ללא מעקה או הצבה נכונה יותר של המעקות (הרחקה מהמיסעה וממכשול) מזוהים עם ירידה בסיכון; *שיפוע לאורך*: שיפוע קטן יותר מזוהה עם OR קטן יותר
4	תאונות רכב יחיד - מודל מסביר (בינומי שלילי)	**עליה** בתאונות כאשר רוחב שול עולה עד 2.25 מ', **ירידה** בתאונות כאשר רוחב שול מעל 2.25 מ'; מספר תאונות **הנמוך ביותר** כאשר רוחב שול מעל 3.2 מ' או עד 1.5 מ'	*עליה* קלה בתאונות כאשר רוחב שול עולה עד 0.9 מ', *ירידה* בתאונות כאשר רוחב שול מעל 0.9 מ' (השפעה לא מובהקת)	מספר תאונות מינימאלי צפוי ברוחב שול כולל 3+ מ' או ברוחב שול עד 1 מ' (כאשר שול גרנולרי רחב יותר לכאורה מקטין את הסיכון)	*רוחב נתיב*: צר יותר מזוהה עם פחות תאונות; *צידי הדרך*: הגדלת אזור המפלט במצב ללא מעקה או הצבה נכונה יותר של המעקות (הרחקה מהמיסעה וממכשול) מזוהים עם ירידה בסיכון; המצב הטוב ביותר - ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול; *שיפוע לאורך*: פרט לערך מירבי, שיפוע קטן יותר מזוהה עם פחות תאונות
5	תאונות חמורות - מודל בשיטת הcase-control	**עליה** בOR כאשר רוחב שול עולה עד 2.25 מ', **ירידה** בOR כאשר רוחב שול מעל 2.25 מ'	ללא שינוי כאשר רוחב שול עולה עד 0.9 מ', *ירידה* בOR עם עליה ברוחב שול גרנולרי (השפעה לא מובהקת)	OR הנמוך ביותר: עם רוחב שול כולל 3.2+ מ' או עד 1.8 מ', כאשר שול גרנולרי רחב יותר מקטין את הOR	*רוחב נתיב*: צר יותר מזוהה עם OR קטן יותר; *צידי הדרך*: הגדלת אזור המפלט במצב ללא מעקה או הצבה נכונה יותר של המעקות (הרחקה מהמיסעה וממכשול) מזוהים עם ירידה בסיכון; המצב הטוב ביותר - ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול; *שיפוע לאורך*: -- (לא מובהק)
6	תאונות חמורות - מודל מסביר (בינומי שלילי)	**עליה** בתאונות כאשר רוחב שול עולה עד 2.25 מ', **ירידה** בתאונות כאשר רוחב שול מעל 2.25 מ'; מספר תאונות **הנמוך ביותר** כאשר רוחב שול מעל 3.2 מ' או עד 1.5 מ'	*עליה* קלה בתאונות כאשר רוחב שול עולה עד 0.9 מ', *ירידה* בתאונות כאשר רוחב שול מעל 0.9 מ' (השפעה לא מובהקת)	מספר תאונות מינימאלי צפוי ברוחב שול כולל 3.2+ מ' או ברוחב שול עד 1.5 מ' (כאשר שול גרנולרי רחב יותר לכאורה מקטין את הסיכון)	*רוחב נתיב*: צר יותר מזוהה עם פחות תאונות; *צידי הדרך*: הגדלת אזור המפלט במצב ללא מעקה מזוהים עם ירידה בסיכון, כאשר מצבי צידי הדרך עם מעקות מזוהים עם סיכון גבוה יותר לתאונות; המצב הטוב ביותר - ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול; *שיפוע לאורך*: -- (לא מובהק)

מס'	סוג תאונות - סוג מודל	השפעת רוחב שול כולל - שינוי בתאונות* עם שינוי בערך המשתנה	השפעת רוחב שול גרנולרי - שינוי בתאונות* עם שינוי בערך המשתנה	השפעה משולבת של רוחב שול כולל ורוחב שול גרנולרי	השפעת משתני תשתית אחרים: ערכים המזוהים עם סיכוי נמוך לתאונות
7	כלל התאונות - מודל בשיטת הcase-control	**עליה** בOR כאשר רוחב שול עולה עד 2.25 מ', **ירידה** בOR כאשר רוחב שול מעל 2.25 מ'	**ירידה** בOR כאשר רוחב שול עולה עד 0.9 מ', **עליה** בOR כאשר רוחב שול מעל 0.9 מ'	OR הנמוך ביותר: עם שול כולל רחב ושול גרנולרי צר, כגון: שול כולל 3+ מ', שול גרנולרי 0.9 מ', או שול כולל צר, עד 1.8 מ', ושול גרנולרי עד 0.9 מ'	*רוחב נתיב*: נתיב ברוחב 2.8-3.2 מ' מזוהה עם OR הקטן ביותר; *צידי הדרך*: המצב הטוב ביותר עם מעקה, כאשר המעקה מרוחק כנדרש מהמיסעה וממכשול (השפעת יתר המצבים לא מובהקת); *שיפוע לאורך*: שיפוע קטן יותר מזוהה עם OR קטן יותר (אם כי, לא מובהק)
8	כלל התאונות - מודל מסביר (בינומי שלילי)	**עליה** בתאונות כאשר רוחב שול עולה עד 2.25 מ', **ירידה** בתאונות כאשר רוחב שול מעל 2.25 מ'; מספר תאונות **הנמוך ביותר** כאשר רוחב שול 3.5 מ' או עד 1.8 מ'	**ירידה** בתאונות כאשר רוחב שול עולה עד 0.9 מ', **עליה** בתאונות כאשר רוחב שול מעל 0.9 מ'	מספר תאונות מינימאלי צפוי ברוחב שול כולל מעל 3.2 מ' עם רוחב שול גרנולרי 0.9 מ', או ברוחב שול עד 1.8 מ' עם רוחב שול גרנולרי עד 0.9 מ'	*רוחב נתיב*: נתיב ברוחב 2.8-3.2 מ' מזוהה עם הסיכון הקטן ביותר; *צידי הדרך*: הגדלת אזור המפלט במצב ללא מעקה מזוהה עם ירידה בסיכון, כאשר המצב הטוב ביותר - ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול; בין מצבי צידי הדרך עם המעקות, המצבים של קרבת מעקה למיסעה ולמכשול מזוהים עם סיכון גבוה יותר לתאונות; *שיפוע לאורך*: לרוב, שיפוע קטן יותר מזוהה עם פחות תאונות (לא מובהק)

* בשיטת הcase-control – שינוי ביחס הסיכונים לתאונות (OR) לעומת תנאי הבסיס

- מבחינת מצב צידי הדרך, ע"פי רוב המודלים נמצא כי המצב הבטיחותי ביותר הוא ללא מעקה, עם אזור מפלט גדול. בנוסף, מבחינת השפעת צידי הדרך על תאונות זוהו שתי תופעות: כאשר רוב צידי הדרך בקטע ללא מעקה, הגדלת אזור המפלט מזוהה עם ירידה בתאונות; מאידך, כאשר רוב צידי הדרך בקטע עם מעקה, הצבה נכונה יותר של המעקות (הרחקה מהמיסעה וממכשול) מזוהה עם ירידה בסיכון לתאונות. ממצאים אלה תומכים בידע ההנדסי לגבי יצירת צידי דרך סלחניים וגם מצביעים על כך שעבור קטעי הדרכים החד-מסלוליות, המצב המועדף של צד הדרך הוא ללא מעקה ועם אזור מפלט ניכר לרכב[21].

- לגבי השפעת השיפוע לאורך נמצא שעל פני רוב הערכים של המאפיין, פרט לערכו המירבי, עליה בגודל השיפוע התקשרה עם עליה בתאונות (כמצופה ע"פי הידע ההנדסי). בניגוד למצופה, בחלק מהמודלים, הערך המירבי של שיפוע לאורך היה מזוהה עם הסיכון הנמוך ביותר לתאונות. עם זאת, מבדיקת הנתונים עלה כי קטגוריה זו מיוצגת ע"י מספר קטן מאוד של מקרים כאשר בחלק מהמודלים שהותאמו במחקר השפעת מאפיין זה לא הייתה מובהקת.

לסיכום, המודלים הרב-פרמטריים שהותאמו במחקר הראו כי שול סלול רחב והיעדר שול גרנולרי הם השילוב התורם ביותר לרמת הבטיחות של קטע דרך חד-מסלולית. כמו כן, הסדרת אזור המפלט בצד הדרך ברוחב הדרוש או שיפור תנאי הצבה של מעקות הבטיחות תורמים לירידה בסיכון לתאונות, כאשר הסדרת אזור המפלט עדיפה על התקנת מעקות הבטיחות. בנוסף, רוחב הנתיב המועדף לדרך חד-מסלולית אינו הרחב ביותר, כאשר גם ירידה בגודל השיפוע לאורך מתקשרת עם ירידה בתאונות.

ד. הדגמת שימושים בממצאי המודלים

על סמך הכלים שפותחו במחקר (מקדמי שינוי בתאונות ומדדי שינוי ברמת הסיכון לתאונות שמתקשרים עם מאפייני שול שונים - ראה פרק 4), בוצעו הערכות לדוגמא של קטעי דרכים חד-מסלוליות קיימות, על מנת להדגים תועלות בטיחותיות אפשריות שעשויות להתקבל בעקבות טיפול בשוליים בקטעי דרך אלה. החיסכון הצפוי בתאונות נבחן עבור המקרים כאשר בקטעי הדרכים עם רוחב שול צר תבוצע הרחבה של רוחב שול כולל ו/או סלילה של שול גרנולרי, כדי להגיע למצב של שול כולל ברוחב 3 מ' או יותר, עם שול גרנולרי צר, עד 0.9 מ'.

בעקבות הערכה השוואתית של 13 מקבצי הקטעים נמצא כי, ע"פי מדד החיסכון הצפוי בתאונות עם נפגעים לקטע, הטיפול המועדף הינו בקטעים מסוג "4-4" (עם רוחב שול כולל 1.5-1.8 מ' שהינו למעשה שול גרנולרי) ובמקבצי הקטעים מסוג "4-1", "5-1" (עם רוחב שול כולל 1.5-1.8 מ' או 1.8-2.1 מ', בשילוב שול גרנולרי צר, עד 0.9 מ').

כלומר, גם החישוב לדוגמא, על פני קטעי הדרכים הקיימים, הצביע על הצורך לטפל, קודם כל, בקטעים עם רוחב שול צר, 1.5-2.1 מ'. עם זאת, החיסכון הצפוי בתאונות בעקבות הטיפול בשוליים לא היה גבוה (כערך מוחלט) ולכן, בטרם החלטה על הרחבה או סלילת שול יש מקום לשקול טיפולי תשתית אחרים.

[21] ההעדפה להשארת אזור המפלט במקום הצבת מעקה רלוונטית כאשר תנאי הדרך מאפשרים זאת. אזורים הרריים או קרבת מכשולים לשטח הדרך לא משאירים ברירה אלא מחייבים התקנת מעקה (תנאים אלה מפורטים בהצדקים להצבת מעקות בהנחיות המתאימות).

בנוסף, חישוב לדוגמא נערך עבור כביש מס' 12, על מנת לבחון חיסכון צפוי בסך התאונות עם נפגעים, בעקבות טיפולי שוליים בקטעים עם רוחב שול כולל 1.5-2.1 מ'. החישוב השווה בין שתי חלופות: (1) הרחבת שול כולל עד 3 מ', ללא שינוי רוחב שול גרנולרי; (2) הרחבת שול כולל עד 3 מ', תוך כדי סלילה ברוחב מלא.

נמצא כי הטיפול השני (הרחבה וסלילה מלאה) יעיל יותר לעומת הטיפול האחר (הרחבה בלבד, ללא שינוי רוחב שול גרנולרי), כאשר הוא מבטיח חיסכון גדול יותר בתאונות. עם זאת, על פני כל 57 הקטעים המוערכים, שני סוגי הטיפולים מזוהים עם חיסכון של 1.6-2 תאונות בלבד (בשלוש שנים). המספר הקטן של התאונות שעומד להיחסך נובע גם מהשכיחות הנמוכה יחסית של תאונות הדרכים בכביש זה: סה"כ 10, בשלוש שנים, כאשר הטיפול בשוליים מבטיח חיסכון של 16%-20% מהתאונות. סה"כ, ייתכן כי הרחבה ו/או סלילת שוליים אינו שיפור התשתית המועדף לצמצום מספר התאונות בכביש זה.

5.3. מסקנות המחקר ודיון

להלן המסקנות מהמודלים שפותחו במחקר:

1. במחקר זה נמצא קשר כמותי מובהק בין מאפייני שוליים לבין התרחשות התאונות בקטעי דרכים חד-מסלוליות, בתנאי הארץ.

2. כל המודלים הצביעו על קשר עקבי ומובהק בין רוחב שול כולל לבין התרחשות התאונות, כאשר הגדלת רוחב שול כולל עד לנקודת השבירה (2.25 מ') מתקשרת עם עליה בתאונות, בעוד שהגדלת רוחב שול מעבר לנקודת השבירה מתקשרת עם ירידה בתאונות. צורת קשר דומה בין רוחב שול לבין התאונות נמצאה גם במחקר ישראלי קודם.

3. השפעת רוחב שול גרנולרי על התאונות לא הייתה עקבית. במודלים עם סך התאונות עם נפגעים וכלל התאונות, הגדלת רוחב שול גרנולרי עד לנקודת השבירה (0.9 מ') התקשרה עם ירידה בתאונות, כאשר ערך גבוה יותר של רוחב שול גרנולרי התקשר עם עליה בתאונות. לעומת זאת, במודלים עבור סוגי תאונות נבחרים (רכב יחיד, חמורות), צורת הקשר בין רוחב שול גרנולרי לבין הסיכון לתאונה הייתה שונה, כאשר השפעת מאפיין זה לא הייתה מובהקת.

4. הסיכון הנמוך ביותר לתאונות בקטע דרך חד-מסלולית מתקשר עם רוחב שול כולל רחב - 3 מ' או יותר, בשילוב עם רוחב שול גרנולרי עד 0.9 מ'. כלומר, שול סלול רחב והיעדר שול גרנולרי הם השילוב התורם ביותר לרמת הבטיחות של קטע דרך חד-מסלולית.

5. במודלים עבור סך התאונות עם נפגעים וכלל התאונות נמצא כי סיכון נמוך יותר לתאונות מזוהה גם עם שול כולל צר. ממצא כזה לא קיים בספרות אך הוא עשוי להיות קשור לירידה במהירויות הנסיעה הנובעת מחתך דרך מאולץ. לבדיקת השערה זו נדרש מחקר המשך.

6. שול כולל ברוחב בינוני - 1.5-2.7 מ', ושול גרנולרי ברוחב מעל 1.5 מ', מזוהים עם עליה בסיכון לתאונות ולכן, אינם מומלצים לשימוש.

7. ע"פי רוב המודלים, רוחב נתיב צר יותר מתקשר עם ירידה בסיכון לתאונות, כאשר במודלים עבור כלל התאונות, הסיכון הנמוך ביותר לתאונות מזוהה עם רוחב נתיב בינוני, 2.8-3.2 מ'. ממצא זה תואם, במידה

מסוימת, את המחקר הישראלי הקודם. מסתמן כי הרחבה מירבית של רוחב נתיב אינה מומלצת, משיקולי הבטיחות, עבור קטעי הדרכים החד-מסלוליות.

8. מבחינת מצב צידי הדרך, ע"פי רוב המודלים, הסדרת אזור המפלט בצד הדרך ברוחב הדרוש או שיפור תנאי הצבה של מעקות הבטיחות תורמים לירידה בסיכון לתאונות, כאשר הסדרת אזור המפלט עדיפה על התקנת מעקות הבטיחות. ממצאים אלה תומכים בידע ההנדסי לגבי יצירת צידי דרך סלחניים וגם מצביעים על כך שעבור קטעי הדרכים החד-מסלוליות, המצב המועדף של צד הדרך הוא ללא מעקה, בשילוב אזור מפלט ניכר לרכב.

9. לגבי השפעת השיפוע לאורך, על פני רוב הערכים של המאפיין, עליה בגודל השיפוע מתקשרת עם עליה בתאונות (כמצופה ע"פי הידע ההנדסי).

המודלים והכלים הסטטיסטיים שפותחו במחקר מאפשרים לבחון את השינוי הצפוי בתאונות בעקבות שינויים במאפייני שוליים ומאפייני תשתית אחרים. ממצאים אלה עשויים לסייע בעת קבלת החלטות בשלבי תכנון של דרך חדשה, שיפור קטע דרך קיים, טיפול באתר תורפה וכד'. הכלים והממצאים הללו יכולים לשמש בסיס להכנת תוכניות עם סדרי העדיפויות לטיפול הנדסי בקטעי הדרכים החד-מסלוליות, למען שיפור רמת הבטיחות של דרכים אלה. עם זאת, רמת החיסכון בתאונות הצפויה בעקבות הרחבה ו/או סלילת שוליים עשויה להיות נמוכה יותר מאשר בעקבות שיפורי תשתית אחרים (כגון: הסדרת פס צבע משונן/ מקורצף בין המיסעה והשול) ולכן, בטרם החלטה יש לבחון את כל חלופות הטיפול הבטיחותי.

במובן המעשי, מממצאי המחקר עולה שהקשר המורכב בין רוחב שול ותאונות מביא למצב בו רוחב שול בינוני (מעל 1 מ' עד כ-2.7 מ'), כפי הנראה, גורם לעלייה במהירויות הנסיעה אשר מביאה להרעה בבטיחות, כאשר התרומה השלילית של עליה במהירות עולה על התועלת שבהרחבת השול. מאידך, רוחב שול צר (1.0 מ' ומטה), כפי הנראה, מביא להפחתה במהירות שהשפעתה על הבטיחות עולה על ההשפעה השלילית כתוצאה משול צר, ואילו בשול רחב (מעל 2.7 מ') ההשפעה החיובית על הבטיחות של רוחב השול עולה על ההשפעה השלילית כתוצאה מעלייה במהירות.

בהסתמך על הממצאים הנ"ל ניתן לשקול מדיניות של שילוב בין רוחב שול ומהירות מירבית מותרת, שתאפשר, לדוגמא, שול צר עם נתיבים צרים ומהירות מותרת נמוכה (למשל 70 קמ"ש), ושול רחב בשילוב נתיבים רחבים ומהירות מותרת גבוהה (למשל 90 קמ"ש), ושלא תאפשר שול ברוחב בינוני ונתיב ברוחב בינוני, בכלל. באופן זה, לנהג יהיה ברור באיזה סוג דרך הוא נוסע. מדיניות זאת יכולה להתאים ליצירת "דרכים שמסבירות את עצמן", כי יהיו רק שני סוגי דרכים חד-מסלוליות עם שתי מהירויות מירביות מותרות, עם הבדלים ויזואליים ניכרים ביניהם שיכללו רוחב נתיב שונה, רוחב שול שונה ואולי רכיבים נוספים (שיבואו ממחקרים נוספים של דרכים המסבירות את עצמן, בתנאי הארץ). כך לציבור הנהגים יהיה קל יותר לזהות את המהירות הנכונה המתאימה לדרך (כאחת מתוך סה"כ שתי אפשרויות בלבד).

בהתייחס להקשר הבינלאומי ניתן לציין כי צורת הקשר בין רוחב שול כולל לבין התרחשות התאונות בדרכים החד-מסלוליות שנמצאה במחקר זה, שונה מהנמצא בספרות האמריקנית אשר, לרוב, מדווחת על קשר שלילי מונוטוני בין רוחב שול לבין שכיחות התאונות. עם זאת, כזכור, גם בספרות האמריקנית מועלות סימני שאלה לגבי רמת הכלליות של קשר מונוטוני זה.

ממצאי הספרות הבינלאומית לא ברורים דיים לגבי השפעת רוחב שול גרנולרי על התאונות, כאשר מסיכומי הממצאים נובע כי נוכחות שול גרנולרי מעלה את שיעור התאונות. בממצאי מחקר זה ישנם סימנים לכך ששול גרנולרי רחב מזוהה על עליה בסיכון לתאונות. עם זאת, הממצאים לגבי השפעת השול הגרנולרי במחקר זה לא היו חד-משמעיים וחלקם לא מובהקים. לכן, להעמקת ההבנה בנושא זה מומלץ לבצע מחקר המשך, אשר יבחן חלוקה פרטנית יותר של קטעי הדרכים החד-מסלוליות לפי רוחב שול גרנולרי ויסיק מסקנות לגבי השפעת השול הגרנולרי על סמך מקבצים הומוגניים יותר של קטעי הדרכים.

לבסוף, במידה ושיפורי התשתית המבוצעים בשטח יאפשרו זאת, מומלץ לקדם מחקרי הערכה בשיטת "אחרי-לפני", על מנת להגיע למקדמי ירידה בתאונות הקשורים לשינויים במאפיינים הגיאומטריים של הכבישים כגון: רוחב שול, סלול ולא סלול; רוחב נתיב; רדיוס אופקי וכד'.

מראי מקום

1. גיטלמן ו. (2012). הערכה בטיחותית של קטעי דרכים חד-מסלוליות לא עירוניות, בשנת 2011. מוגש לעמותת "אור ירוק".
2. גיטלמן ו., כרמל ר., דובא א., פיסחוב פ., הקרט ש. (2012). בחינת הקשר בין מספרים ומאפייני התאונות לבין המאפיינים הגיאומטריים של דרכים דו-נתיביות המשרתות נפחי תנועה נמוכים. דו"ח מחקר S/32/2012, מרכז רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים.
3. הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות (1994). מועצת עבודות ציבוריות (מע"צ).
4. הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים (2011). משרד התחבורה והבטיחות בדרכים ומע"צ - החברה הלאומית לדרכים (טיוטה).
5. הקרט, ש., גיטלמן, ו. (2008). מספר ההרוגים, הנסועה, אורך הדרכים ושיעור ההרוגים לנסועה בדרכים הלא עירוניות בישראל בשנים 2004-2006. הוכן כחלק מפעילות ישראל בתוכנית ETSC-PIN.
6. תקנות התעבורה תשכ"א - (1961) מעודכנות מאתר אינטרנט מיום 29.05.2012: www.nevo.co.il/low_word/low01/p230_0.11.doc
7. Austroads (2012). Effectiveness of Road Safety Engineering Treatments. Austroads Publication No. AP-R422-12.
8. Cardoso, J. L. (2001a). Design consistency and signing of curves on interurban single carriageway roads. Report 197/01-NTSR, LNEC, Lisboa (In Portuguese).
9. Cardoso, J. L. (2001b). Detection and low-cost engineering improvement of inconsistent horizontal curves in rural roads. 12th International conference "Road safety on three continents", FERSI/VTI/TRB, Moscow, September.
10. Carter, D. L., Council, F. M. (2006). Factors Contributing to Pedestrian and Bicycle Crashes on Rural Highways, Submitted to Federal Highway Administration by UNC Highway Safety Research Center.
11. Council, F. and Stewart, J. R. (2000). Safety Effects of the Conversion of Two-lane Rural to Four-lane Rural Roadways Based on Cross-sectional Models. Transportation Research Board Annual Meeting.
12. Elvik R. & Vaa T. (2004) The Handbook of Road Safety Measures. Elsevier.
13. Elvik, R., Hoye, A., Vaa, T. & Sorensen, M. (2009). The Handbook of Road Safety Measures. 2nd edition, Emerald Group Publishing Ltd.
14. Ferrara, T. C., Gibby, A. R. (2001). Statewide Safety Study of Bicycles and Pedestrians on Freeways, Expressways, Toll Bridges, and Tunnels. Report 95192-0219, Minnesota Transportation Institute College of Business, San José State University, San Jose, CA.
15. FHWA (2009). Safety Evaluation of Lane and Shoulder Width Combinations on Rural, Two-Lane, Undivided Roads. TechBrief, FHWA-HRT-09-032, May.
16. Fitzpatrick, K., Parham, A., Brewer M. (2004). Handbook: Details of Crash Treatments for Rural Highways, Report FHWA/TX-03/0-4048-4, Texas Transportation Institute.
17. Fitzpatrick, K., Lord, D., & Park, B. J. (2008). Accident Modification Factors for Medians on Freeways and Multilane Rural Highways in Texas. Transportation Research Board: Journal of the Transportation Research Board, 2083, 62-71.

18. Gross, F., & Jovanis, P. P. (2007). Estimation of Safety Effectiveness of Changes in Shoulder Width with Case control and Cohort Methods. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2019, 237-245.

19. Gross, F., Donnell, E.T. (2011). Case-control and cross-sectional methods for estimating crash modification factors: Comparisons from roadway lighting and lane and shoulder width safety effect studies. Journal of Safety Research 42 (2011), 117-129.

20. Harwood, D. W., Council, F. M., Hauer, E., Hughes, W. E., and Vogt, A. (2000). Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-lane Highways. FHWA-RD-99-207.

21. Hauer, E. (2000a). Lane Width and Safety. Professor (Emeritus). Department of Civil Engineering. University of Toronto.

22. Hauer, E. (2000b). Shoulder width, Shoulder paving and Safety. Professor (Emeritus). Department of Civil Engineering. University of Toronto.

23. Hauer, E. (2010). Cause, Effect and Regression in Road Safety: A Case Study. Accident Analysis and Prevention, 42(4), 1128-1135.

24. IHSDM (2004). Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM): Crash Prediction Module, Engineer's Manual, USA.

25. Istre G. R., McCoy M., Stowe M., Barnard J. J. Moore B. J., Anderson R. J. (2007). The "Unintended Pedestrian" on Expressways. Traffic Injury Prevention, 8, Issue 4, pp. 398-402.

26. Johnson C. D. (1997). Pedestrian Fatalities on Interstate Highways. Transportation Research Record No. 1578, Pedestrian and Bicycle Research.

27. King, G. F. (1989). Evakuation of safety roadside rest area. National Cooperative Highway Research Program Report 324. Transportation Research Board, Washington, DC.

28. Krammes, R. A. and Hayden, C. (2003). Making two-lane roads safer. Public Roads, 64(4), 16-21.

29. Mallschutzke, K., Galvez, I., Gatti, G., Van de Leur, M., Dell, O.L. (2006). Secondary road safety: Actual knowledge and experiences. RIPCORD-ISEREST. Published 5.09.2006.

30. Maycock, G. and Summersgill, I. (1995). Methods for Investigating the Relationship Between Accidents, Road User Behaviour and Road Design Standards. Annex III to SWOV-report Safety effects of road design standards, R-94-7.

31. Mendoza, A. D., Quintero, F.P., Mayoral, E. G. (2002). Algunas Consideraciones de Seguridad Para el Proyecto Geometrico de Carreteras. Publicacion Tecnica no. 217 Sanfandila' Qro.

32. Miaou, S. P. (1995). Development of Adjustment Factors for Single-Vehicle Run-Off-Road Accident Rates by Horizontal Curvature and Grade. Oak Ridge National Laboratory, Draft, August.

33. Miaou, S. P. (1996). Measuring the Goodness-of Fit of Accident Prediction Models. Report No. FHWA-RD-96-040, Federal Highway Administration, USA.

34. NCHRP synthesis 295 (2001). Statistical methods in highway safety analysis. A Synthesis of Highway Practice. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C.

35. PIARC (2003). Road Safety Manual. Recommendations from the World Road Association (PIARC).

36. Prinsloo, B. and Goudanas, C. (2003). Development of crash prediction model for rural roads in NSW. 21st ARRB Transport Research Conference, Queensland, Australia.

37. Qin, X., Ivan, J. N. and Ravishanker, N. (2004). Selecting exposure measures in crash rate prediction for two-lane highway segment. Accident Analysis and Prevention, 36, 183-191.

38. Reurings, M., Janssen, T., Eenink, R., Elvik, R., Cardoso, J., Stefan, C. (2005). Accident prediction models and road safety impact assessment: a state-of-the-art. RIPCORD-ISEREST. Published 30.06.2005.

39. Rinde, E. A. (1977). Accident Rates vs. Shoulder Width. Report No. CA-DOT-TR-3147-1-77-01. California Department of Transportation.

40. Stamatiadis, N., Pigman, J., Sacksteder, J., et al (2009). Impact of Shoulder Width and Median Width on Safety. NCHRP Report 633, Transportation Research Board.

41. Turner, D. S., Fambro, D. B., Rogness, R. O. (1981). Effects of paved shoulders on accident rates for rural Texas highways. Transportation Research Record 819, pp. 30-37.

42. Zegeer, C. V., Deen, R. C. and Mayes, J. G. (1981). Effect of lane width and shoulders width on accident reduction on rural two-lane roads. Transportation Research Record 806, pp. 33-43.

43. Zegeer, C.V. and Deacon, J. A. (1987). Effect of lane width, shoulder width, and shoulder type on highway safety. In: Relationship between key highway features. State of the Art Report 6. Transportation Research Board, Washington D. C.

נספח א': בסיס הנתונים לניתוח בשיטת הcase-control, לפי סך התאונות עם נפגעים: פילוג הקטעים לפי הקטגוריות של המשתנים השונים

The FREQ Procedure

TDT3	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
0	1050	50.00	1050	50.00
1	396	18.86	1446	68.86
2	268	12.76	1714	81.62
3	146	6.95	1860	88.57
4	99	4.71	1959	93.29
5	54	2.57	2013	95.86
6	26	1.24	2039	97.10
7	12	0.57	2051	97.67
8	18	0.86	2069	98.52
9	7	0.33	2076	98.86
10	9	0.43	2085	99.29
11	9	0.43	2094	99.71
12	6	0.29	2100	100.00

cat_AADT	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
1	568	27.05	568	27.05
2	660	31.43	1228	58.48
3	590	28.10	1818	86.57
4	104	4.95	1922	91.52
5	56	2.67	1978	94.19
6	122	5.81	2100	100.00

cat_sp_limit	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
1	298	14.19	298	14.19
2	1326	63.14	1624	77.33
3	476	22.67	2100	100.00

cat_rvn_min	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
1	878	41.81	878	41.81
2	250	11.90	1128	53.71
3	242	11.52	1370	65.24
4	170	8.10	1540	73.33
5	560	26.67	2100	100.00

cat_rvp_min	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
1	948	45.14	948	45.14
2	396	18.86	1344	64.00
3	288	13.71	1632	77.71
4	142	6.76	1774	84.48
5	326	15.52	2100	100.00

cat2_sh_to_w	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
1	265	12.62	265	12.62
2	236	11.24	501	23.86
3	262	12.48	763	36.33
4	379	18.05	1142	54.38
5	339	16.14	1481	70.52
6	197	9.38	1678	79.90

7	164	7.81	1842	87.71
8	115	5.48	1957	93.19
9	143	6.81	2100	100.00

cat_sh_gr_w	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
1	1787	85.10	1787	85.10
2	121	5.76	1908	90.86
3	83	3.95	1991	94.81
4	58	2.76	2049	97.57
5	51	2.43	2100	100.00

cat_lane_w	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
1	161	7.67	161	7.67
2	496	23.62	657	31.29
3	1443	68.71	2100	100.00

cat_bar	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
2	269	12.81	269	12.81
3	487	23.19	756	36.00
4	156	7.43	912	43.43
5	389	18.52	1301	61.95
6	594	28.29	1895	90.24
7	168	8.00	2063	98.24
8	37	1.76	2100	100.00

cat_gr_max	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
0	904	43.05	904	43.05
1	477	22.71	1381	65.76
2	458	21.81	1839	87.57
3	185	8.81	2024	96.38
4	59	2.81	2083	99.19
5	17	0.81	2100	100.00

The MEANS Procedure

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
length	2100	0.9443357	0.1526849	0.1610000	1.1390000
sh_to_w	2100	1.7788616	0.7900344	0	5.0364286
sh_gr_w	2100	0.3635332	0.5269036	0	4.0575000

נספח ב': מודלים מסבירים עם התפלגות בינומית שלילית שהותאמו לסוגי תאונות שונים

א. סך התאונות עם נפגעים (TDT): מודל עם משתנים קטגוריים עבור מאפייני שוליים

Criteria For Assessing Goodness Of Fit			
Criterion	*DF*	*Value*	*Value/DF*
Deviance	3342	2888.4881	0.8643
Scaled Deviance	3342	2888.4881	0.8643
Pearson Chi-Square	3342	4000.1330	1.1969
Scaled Pearson X2	3342	4000.1330	1.1969
Log Likelihood		-2043.9230	
Full Log Likelihood		-3543.2046	
AIC (smaller is better)		7338.4091	
AICC (smaller is better)		7347.9911	
BIC (smaller is better)		8113.4408	

Wald Statistics For Type 3 Analysis			
Source	*DF*	*Chi-Square*	*Pr > ChiSq*
l_length	1	66.25	<.0001
cat_AADT	5	322.50	<.0001
cat_sp_limit	2	14.15	0.0008
*cat_AADT*cat_sp_limi*	10	21.28	0.0192
cat_rvn_min	4	4.26	0.3718
*cat_AADT*cat_rvn_min*	20	16.79	0.6662
*cat_sp_li*cat_rvn_mi*	8	4.96	0.7617
cat_rvp_min	4	1.98	0.7390
*cat_AADT*cat_rvp_min*	20	32.31	0.0401
*cat_sp_li*cat_rvp_mi*	8	3.13	0.9263
*cat_rvn_m*cat_rvp_mi*	16	22.73	0.1211
cat2_sh_to_w	8	13.63	0.0921
cat_sh_gr_w	4	5.38	0.2504
cat_lane_w	2	12.90	0.0016
cat_bar	7	31.42	<.0001
cat_gr_max	5	7.18	0.2079

המודל:

Parameter	Level 1	Level 2	DF	**Estimate**	StdErr	LowerWaldCL	UpperWaldCL	ChiSq	ProbChiSq
Intercept			1	-0.13524	0.650173	-1.40955	1.139079	0.043264	0.835228
l_length			1	1.224289	0.150413	0.929484	1.519094	66.25137	3.97E-16
cat_AADT	1		1	-3.10455	0.405711	-3.89973	-2.30937	58.555	1.98E-14
cat_AADT	2		1	-1.48122	0.35524	-2.17748	-0.78497	17.38591	3.05E-05
cat_AADT	3		1	-1.36139	0.332535	-2.01315	-0.70963	16.76063	4.24E-05
cat_AADT	4		1	-1.67643	0.620362	-2.89231	-0.46054	7.302614	0.006885
cat_AADT	5		1	-0.57217	0.397090	-1.35045	0.206117	2.07618	0.149614
cat_AADT	6		0	0	0	0	0		
cat_sp_limit	1		1	0.578943	0.361027	-0.12866	1.286542	2.571536	0.108802
cat_sp_limit	2		1	0.339693	0.326457	-0.30015	0.979537	1.082728	0.298088
cat_sp_limit	3		0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	1	1	1	0.424089	0.378038	-0.31685	1.16503	1.258468	0.261941
cat_AADT*cat_sp_limi	1	2	1	0.718502	0.285023	0.159867	1.277137	6.354721	0.011707
cat_AADT*cat_sp_limi	1	3	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	2	1	1	-0.01978	0.322789	-0.65244	0.612871	0.003756	0.95113

cat_AADT*cat_sp_limi	2	2	1	-0.04078	0.270269	-0.57049	0.488941	0.022763	0.880074
cat_AADT*cat_sp_limi	2	3	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	3	1	1	0.526162	0.335232	-0.13088	1.183204	2.463481	0.11652
cat_AADT*cat_sp_limi	3	2	1	0.633491	0.277898	0.088822	1.17816	5.196503	0.022632
cat_AADT*cat_sp_limi	3	3	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	4	1	1	0.926018	0.595487	-0.24112	2.093151	2.41821	0.119932
cat_AADT*cat_sp_limi	4	2	1	1.173294	0.552948	0.089536	2.257052	4.502412	0.033847
cat_AADT*cat_sp_limi	4	3	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	5	1	1	0.252054	0.370731	-0.47456	0.978673	0.462244	0.496577
cat_AADT*cat_sp_limi	5	2	1	0.466435	0.347216	-0.2141	1.146966	1.804602	0.179157
cat_AADT*cat_sp_limi	5	3	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	6	1	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	6	2	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	6	3	0	0	0	0	0		
cat_rvn_min	1		1	0.101441	0.29075	-0.46842	0.6713	0.121728	0.727168
cat_rvn_min	2		1	0.108513	0.36418	-0.60527	0.822293	0.088784	0.765729
cat_rvn_min	3		1	0.445488	0.368737	-0.27722	1.168199	1.459617	0.226991
cat_rvn_min	4		1	-0.25484	0.448639	-1.13416	0.624477	0.322655	0.570016
cat_rvn_min	5		0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	1	1	1	0.562875	0.27049	0.032725	1.093025	4.330338	0.037439
cat_AADT*cat_rvn_min	1	2	1	0.065702	0.339564	-0.59983	0.731236	0.037439	0.846575
cat_AADT*cat_rvn_min	1	3	1	0.096963	0.336517	-0.5626	0.756524	0.083024	0.773241
cat_AADT*cat_rvn_min	1	4	1	0.132239	0.37952	-0.61161	0.876085	0.121409	0.727512
cat_AADT*cat_rvn_min	1	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	2	1	1	0.098287	0.254084	-0.39971	0.596282	0.149637	0.698882
cat_AADT*cat_rvn_min	2	2	1	-0.30348	0.309962	-0.911	0.304032	0.958632	0.327532
cat_AADT*cat_rvn_min	2	3	1	-0.03431	0.317844	-0.65728	0.588648	0.011655	0.914028
cat_AADT*cat_rvn_min	2	4	1	0.108931	0.351472	-0.57994	0.797804	0.096055	0.756616
cat_AADT*cat_rvn_min	2	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	3	1	1	0.166832	0.23534	-0.29443	0.62809	0.502534	0.478389
cat_AADT*cat_rvn_min	3	2	1	0.269185	0.282887	-0.28526	0.823633	0.905475	0.341318
cat_AADT*cat_rvn_min	3	3	1	-0.03004	0.274695	-0.56843	0.508351	0.01196	0.912917
cat_AADT*cat_rvn_min	3	4	1	-0.00664	0.326068	-0.64572	0.632441	0.000415	0.983753
cat_AADT*cat_rvn_min	3	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	4	1	1	0.319276	0.334515	-0.33636	0.974914	0.910963	0.339859
cat_AADT*cat_rvn_min	4	2	1	0.06765	0.419613	-0.75478	0.890078	0.025992	0.871919
cat_AADT*cat_rvn_min	4	3	1	-0.18047	0.418244	-1.00022	0.63927	0.186196	0.666102
cat_AADT*cat_rvn_min	4	4	1	0.237862	0.466275	-0.67602	1.151744	0.260236	0.609958
cat_AADT*cat_rvn_min	4	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	5	1	1	0.524167	0.348111	-0.15812	1.206452	2.267267	0.132133
cat_AADT*cat_rvn_min	5	2	1	0.436421	0.369555	-0.28789	1.160736	1.394612	0.237628

cat_AADT*cat_rvn_min	5	3	1	-0.09148	0.374644	-0.82577	0.642804	0.05963	0.807082
cat_AADT*cat_rvn_min	5	4	1	0.29997	0.498772	-0.67761	1.277545	0.361702	0.547562
cat_AADT*cat_rvn_min	5	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	1	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	2	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	3	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	4	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	5	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	1	1	-0.32971	0.249098	-0.81793	0.158515	1.751945	0.185632
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	2	1	-0.39261	0.327488	-1.03448	0.249249	1.437289	0.230579
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	3	1	-0.15545	0.323236	-0.78898	0.478082	0.23128	0.630576
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	4	1	-0.01742	0.379211	-0.76066	0.725817	0.002111	0.963354
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	5	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	1	1	-0.16438	0.201669	-0.55965	0.23088	0.664413	0.415006
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	2	1	-0.04841	0.262824	-0.56354	0.466714	0.033928	0.85386
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	3	1	-0.29062	0.270015	-0.81984	0.238597	1.158473	0.281783
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	4	1	0.01824	0.323577	-0.61596	0.652439	0.003178	0.955048
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	5	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	1	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	2	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	3	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	4	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	5	0	0	0	0	0		
cat_rvp_min	1		1	-0.22265	0.333859	-0.877	0.431697	0.444768	0.50483
cat_rvp_min	2		1	0.504966	0.357212	-0.19516	1.205088	1.99836	0.15747
cat_rvp_min	3		1	0.324376	0.351813	-0.36516	1.013917	0.850109	0.356522
cat_rvp_min	4		1	0.093741	0.448947	-0.78618	0.973661	0.043598	0.834603
cat_rvp_min	5		0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	1	1	1	0.8289	0.329966	0.182179	1.475621	6.310542	0.012002
cat_AADT*cat_rvp_min	1	2	1	0.037813	0.338205	-0.62506	0.700684	0.0125	0.910978
cat_AADT*cat_rvp_min	1	3	1	-0.01248	0.358835	-0.71578	0.690824	0.001209	0.972257
cat_AADT*cat_rvp_min	1	4	1	-0.3271	0.427522	-1.16503	0.510828	0.585385	0.444209
cat_AADT*cat_rvp_min	1	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	2	1	1	0.444726	0.300102	-0.14346	1.032915	2.196077	0.138362
cat_AADT*cat_rvp_min	2	2	1	-0.25985	0.306023	-0.85965	0.339941	0.721024	0.395808
cat_AADT*cat_rvp_min	2	3	1	-0.30375	0.320805	-0.93251	0.325021	0.896473	0.343729
cat_AADT*cat_rvp_min	2	4	1	-0.10106	0.355916	-0.79864	0.596524	0.080621	0.776458
cat_AADT*cat_rvp_min	2	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	3	1	1	0.513343	0.272793	-0.02132	1.048008	3.541178	0.059863
cat_AADT*cat_rvp_min	3	2	1	0.031681	0.268712	-0.49498	0.558346	0.0139	0.906149
cat_AADT*cat_rvp_min	3	3	1	0.263693	0.273635	-0.27262	0.800007	0.928653	0.335213

cat_AADT*cat_rvp_min	3	4	1	-0.15929	0.302453	-0.75209	0.433505	0.277376	0.598426
cat_AADT*cat_rvp_min	3	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	4	1	1	0.107733	0.37416	-0.62561	0.841073	0.082905	0.773398
cat_AADT*cat_rvp_min	4	2	1	-0.09695	0.366049	-0.81439	0.620496	0.070143	0.791129
cat_AADT*cat_rvp_min	4	3	1	0.199228	0.412577	-0.60941	1.007864	0.23318	0.629176
cat_AADT*cat_rvp_min	4	4	1	-0.84783	0.477077	-1.78289	0.087222	3.158223	0.075545
cat_AADT*cat_rvp_min	4	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	5	1	1	0.366309	0.373879	-0.36648	1.099099	0.959916	0.327208
cat_AADT*cat_rvp_min	5	2	1	-0.36434	0.348388	-1.04717	0.31849	1.093659	0.295662
cat_AADT*cat_rvp_min	5	3	1	0.210592	0.375008	-0.52441	0.945595	0.315358	0.574411
cat_AADT*cat_rvp_min	5	4	1	0.500771	0.391935	-0.26741	1.268949	1.632492	0.201359
cat_AADT*cat_rvp_min	5	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	1	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	2	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	3	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	4	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	5	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	1	1	-0.39023	0.300518	-0.97923	0.198773	1.686179	0.194105
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	2	1	-0.22825	0.327806	-0.87074	0.41424	0.48482	0.486247
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	3	1	-0.40033	0.350772	-1.08783	0.287176	1.302493	0.253758
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	4	1	-0.14881	0.429981	-0.99156	0.693933	0.11978	0.729273
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	5	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	1	1	-0.26559	0.253503	-0.76244	0.231271	1.097596	0.294794
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	2	1	-0.34059	0.282926	-0.89512	0.213934	1.449176	0.22866
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	3	1	-0.34905	0.292004	-0.92136	0.223271	1.428855	0.231951
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	4	1	-0.13914	0.378819	-0.88161	0.603334	0.134904	0.713401
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	5	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	1	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	2	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	3	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	4	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	5	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	1	1	-0.09703	0.215307	-0.51902	0.324966	0.203081	0.652245
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	2	1	-0.26923	0.234767	-0.72937	0.190903	1.31516	0.251462
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	3	1	-0.56384	0.253465	-1.06062	-0.06706	4.948495	0.026113
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	4	1	0.139949	0.285894	-0.42039	0.700291	0.239623	0.624479
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	5	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	1	1	-0.14709	0.265047	-0.66658	0.372388	0.307999	0.578911
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	2	1	-0.57732	0.291358	-1.14837	-0.00626	3.926206	0.047539
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	3	1	-0.23635	0.296704	-0.81787	0.345184	0.634522	0.425702
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	4	1	0.073192	0.353533	-0.61972	0.766103	0.042862	0.835985
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	5	0	0	0	0	0		

cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	1	1	-0.27255	0.266438	-0.79476	0.249661	1.046393	0.306339
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	2	1	-0.36791	0.288559	-0.93347	0.197658	1.625572	0.202317
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	3	1	-0.24482	0.306267	-0.84509	0.355449	0.639005	0.424071
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	4	1	0.253473	0.359433	-0.451	0.957948	0.497312	0.480684
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	5	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	1	1	0.467444	0.334349	-0.18787	1.122756	1.954608	0.162091
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	2	1	-0.23713	0.371053	-0.96438	0.490124	0.408403	0.522781
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	3	1	0.15626	0.373303	-0.5754	0.88792	0.175217	0.675517
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	4	1	0.921886	0.406576	0.125012	1.71876	5.141284	0.023363
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	5	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	1	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	2	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	3	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	4	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	5	0	0	0	0	0		
cat2_sh_to_w	1		1	-0.15668	0.160599	-0.47145	0.158085	0.951821	0.329256
cat2_sh_to_w	2		1	0.132519	0.158196	-0.17754	0.442578	0.701724	0.402205
cat2_sh_to_w	3		1	0.073433	0.148608	-0.21783	0.3647	0.244173	0.621208
cat2_sh_to_w	4		1	0.18496	0.138139	-0.08579	0.455707	1.792766	0.18059
cat2_sh_to_w	5		1	0.178722	0.133774	-0.08347	0.440913	1.784903	0.181548
cat2_sh_to_w	6		1	0.164482	0.137882	-0.10576	0.434726	1.423051	0.232902
cat2_sh_to_w	7		1	0.154337	0.140454	-0.12095	0.429623	1.207456	0.271837
cat2_sh_to_w	8		1	-0.01562	0.154576	-0.31858	0.287346	0.010207	0.919526
cat2_sh_to_w	9		0	0	0	0	0		
cat_sh_gr_w	1		1	-0.23917	0.211641	-0.65397	0.175642	1.277029	0.258452
cat_sh_gr_w	2		1	-0.37982	0.240484	-0.85116	0.091518	2.49452	0.114243
cat_sh_gr_w	3		1	-0.42637	0.25475	-0.92567	0.072933	2.801175	0.094195
cat_sh_gr_w	4		1	-0.01555	0.261409	-0.5279	0.496807	0.003537	0.952577
cat_sh_gr_w	5		0	0	0	0	0		
cat_lane_w	1		1	-0.46455	0.150618	-0.75976	-0.16935	9.512947	0.00204
cat_lane_w	2		1	-0.18517	0.075867	-0.33386	-0.03647	5.957032	0.014659
cat_lane_w	3		0	0	0	0	0		
cat_bar	1		1	0.160809	0.603973	-1.02296	1.344574	0.070891	0.790045
cat_bar	2		1	0.94761	0.299605	0.360396	1.534825	10.00374	0.001562
cat_bar	3		1	0.956255	0.292634	0.382703	1.529807	10.67821	0.001084
cat_bar	4		1	0.764256	0.302461	0.171444	1.357068	6.384692	0.011511
cat_bar	5		1	0.835816	0.295438	0.256768	1.414863	8.003663	0.004668
cat_bar	6		1	0.694018	0.289179	0.127237	1.260799	5.759798	0.016397
cat_bar	7		1	0.397443	0.303469	-0.19735	0.992232	1.71522	0.190309
cat_bar	8		0	0	0	0	0		
cat_gr_max	0		1	0.044752	0.423443	-0.78518	0.874685	0.01117	0.915831
cat_gr_max	1		1	0.141771	0.423684	-0.68864	0.972177	0.111967	0.737916
cat_gr_max	2		1	0.17453	0.423196	-0.65492	1.00398	0.170082	0.680039

cat_gr_max	3	1	0.29428 9	0.43028	-0.54904	1.137622	0.46778 7	0.494007
cat_gr_max	4	1	0.33365 2	0.45606 2	-0.56021	1.227516	0.53522 9	0.464417
cat_gr_max	5	0	0	0	0	0		

ב. תאונות רכב יחיד (SNG): מודל עם משתנים רציפים עבור מאפייני שוליים

Criteria For Assessing Goodness Of Fit			
Criterion	*DF*	*Value*	*Value/DF*
Deviance	3350	1823.8072	0.5444
Scaled Deviance	3350	1823.8072	0.5444
Pearson Chi-Square	3350	3674.8001	1.0970
Scaled Pearson X2	3350	3674.8001	1.0970
Log Likelihood		-1530.2372	
Full Log Likelihood		-1628.5610	
AIC (smaller is better)		3493.1220	
AICC (smaller is better)		3501.5103	
BIC (smaller is better)		4218.9453	

Wald Statistics For Type 3 Analysis			
Source	*DF*	*Chi-Square*	*Pr > ChiSq*
l_length	1	14.31	0.0002
cat_AADT	5	34.19	<.0001
cat_sp_limit	2	9.82	0.0074
*cat_AADT*cat_sp_limi*	10	9.33	0.5011
cat_rvn_min	4	0.64	0.9588
*cat_AADT*cat_rvn_min*	20	15.68	0.7364
*cat_sp_li*cat_rvn_mi*	8	6.01	0.6456
cat_rvp_min	4	0.35	0.9862
*cat_AADT*cat_rvp_min*	20	16.88	0.6607
*cat_sp_li*cat_rvp_mi*	8	3.41	0.9063
*cat_rvn_m*cat_rvp_mi*	16	13.59	0.6295
sh_to_w_low	1	8.71	0.0032
sh_to_w_H	1	1.65	0.1983
sh_gr_w_low	1	0.17	0.6799
sh_gr_w_H	1	0.21	0.6447
cat_lane_w	2	4.95	0.0841
cat_bar	7	12.25	0.0926
cat_gr_max	5	4.75	0.4468

המודל:

Parameter	Level 1	Level 2	DF	**Estimate**	StdErr	LowerWaldCL	UpperWaldCL	ChiSq	ProbChiSq
Intercept			1	-2.71541	1.124303	-4.919	-0.51182	5.833157	0.015727
l_length			1	0.997664	0.263717	0.480789	1.514539	14.31179	0.000155
cat_AADT	1		1	-1.25139	0.68697	-2.59783	0.095047	3.318255	0.068515
cat_AADT	2		1	0.112241	0.614151	-1.09147	1.315954	0.0334	0.854988
cat_AADT	3		1	-0.32064	0.618181	-1.53226	0.890967	0.26904	0.603976
cat_AADT	4		1	-0.10122	1.013705	-2.08805	1.885603	0.009971	0.92046
cat_AADT	5		1	-0.87019	0.854026	-2.54405	0.80367	1.038212	0.308238
cat_AADT	6		0	0	0	0	0		
cat_sp_limit	1		1	0.744934	0.679288	-0.58645	2.076314	1.202615	0.2728
cat_sp_limit	2		1	0.616441	0.604765	-0.56888	1.801759	1.038985	0.308058
cat_sp_limit	3		0	0	0	0	0		

cat_AADT*cat_sp_limi	1	1	1	-0.36783	0.673954	-1.68876	0.95309	0.297883	0.585213
cat_AADT*cat_sp_limi	1	2	1	0.240786	0.487443	-0.71458	1.196156	0.244013	0.621322
cat_AADT*cat_sp_limi	1	3	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	2	1	1	-0.3516	0.56633	-1.46159	0.758386	0.385442	0.534705
cat_AADT*cat_sp_limi	2	2	1	-0.2915	0.468248	-1.20925	0.626252	0.38754	0.533595
cat_AADT*cat_sp_limi	2	3	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	3	1	1	-0.12228	0.614651	-1.32697	1.082411	0.039579	0.842306
cat_AADT*cat_sp_limi	3	2	1	0.20323	0.496563	-0.77002	1.176477	0.167505	0.682339
cat_AADT*cat_sp_limi	3	3	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	4	1	1	0.574425	0.971689	-1.33005	2.4789	0.349471	0.554412
cat_AADT*cat_sp_limi	4	2	1	0.569722	0.903128	-1.20038	2.339821	0.397949	0.528151
cat_AADT*cat_sp_limi	4	3	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	5	1	1	0.086432	0.797968	-1.47756	1.650422	0.011732	0.913745
cat_AADT*cat_sp_limi	5	2	1	1.065794	0.730819	-0.36658	2.498172	2.126801	0.144743
cat_AADT*cat_sp_limi	5	3	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	6	1	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	6	2	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	6	3	0	0	0	0	0		
cat_rvn_min	1		1	-0.26632	0.525578	-1.29644	0.763793	0.256765	0.612351
cat_rvn_min	2		1	-0.17213	0.648298	-1.44277	1.098516	0.070492	0.790622
cat_rvn_min	3		1	-0.61864	0.728509	-2.0465	0.809207	0.721129	0.395774
cat_rvn_min	4		1	-1.22159	0.881424	-2.94915	0.50597	1.920793	0.165769
cat_rvn_min	5		0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	1	1	1	0.401337	0.4485	-0.47771	1.280381	0.800742	0.370872
cat_AADT*cat_rvn_min	1	2	1	0.483165	0.563337	-0.62096	1.587286	0.735622	0.391067
cat_AADT*cat_rvn_min	1	3	1	0.854449	0.59422	-0.3102	2.019099	2.067652	0.150453
cat_AADT*cat_rvn_min	1	4	1	0.178462	0.684711	-1.16355	1.52047	0.067932	0.794372
cat_AADT*cat_rvn_min	1	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	2	1	1	0.464427	0.424998	-0.36855	1.297408	1.194154	0.274493
cat_AADT*cat_rvn_min	2	2	1	0.170517	0.531145	-0.87051	1.211541	0.103064	0.748183
cat_AADT*cat_rvn_min	2	3	1	0.746083	0.57866	-0.38807	1.880235	1.662368	0.197284
cat_AADT*cat_rvn_min	2	4	1	0.663881	0.606461	-0.52476	1.852523	1.198326	0.273657
cat_AADT*cat_rvn_min	2	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	3	1	1	0.391379	0.414776	-0.42157	1.204326	0.89036	0.34538
cat_AADT*cat_rvn_min	3	2	1	0.997293	0.506615	0.004347	1.990239	3.875165	0.049006
cat_AADT*cat_rvn_min	3	3	1	1.097037	0.525866	0.066359	2.127716	4.352034	0.036965
cat_AADT*cat_rvn_min	3	4	1	0.907566	0.583758	-0.23658	2.051711	2.417075	0.120019
cat_AADT*cat_rvn_min	3	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	4	1	1	0.204036	0.555895	-0.8855	1.293571	0.134719	0.713589
cat_AADT*cat_rvn_min	4	2	1	0.656122	0.673519	-0.66395	1.976196	0.949008	0.329972
cat_AADT*cat_rvn_min	4	3	1	0.264102	0.740328	-1.18691	1.715118	0.127261	0.721289
cat_AADT*cat_rvn_min	4	4	1	0.554963	0.782812	-0.97932	2.089246	0.50259	0.478364

cat_AADT*cat_rvn_min	4	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	5	1	1	0.75586	0.711039	-0.63775	2.14947	1.130045	0.287766
cat_AADT*cat_rvn_min	5	2	1	0.557748	0.72935	-0.87175	1.987247	0.584796	0.444438
cat_AADT*cat_rvn_min	5	3	1	1.245174	0.688189	-0.10365	2.594	3.27374	0.070397
cat_AADT*cat_rvn_min	5	4	1	1.528408	0.95531	-0.34397	3.400782	2.559703	0.109619
cat_AADT*cat_rvn_min	5	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	1	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	2	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	3	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	4	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	5	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	1	1	-0.42553	0.449932	-1.30739	0.456318	0.894486	0.344265
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	2	1	-0.09552	0.554497	-1.18231	0.991278	0.029672	0.863236
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	3	1	0.407696	0.577528	-0.72424	1.53963	0.498341	0.48023
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	4	1	0.703045	0.744679	-0.7565	2.16259	0.891309	0.345123
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	5	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	1	1	0.05647	0.340818	-0.61152	0.724462	0.027453	0.868401
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	2	1	-0.05734	0.430142	-0.9004	0.785725	0.017769	0.893956
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	3	1	0.083396	0.482459	-0.86221	1.028999	0.029879	0.862764
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	4	1	0.687137	0.65003	-0.5869	1.961173	1.117429	0.290473
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	5	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	1	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	2	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	3	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	4	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	5	0	0	0	0	0		
cat_rvp_min	1		1	0.338588	0.605087	-0.84736	1.524535	0.313117	0.575773
cat_rvp_min	2		1	0.902002	0.627399	-0.32768	2.131682	2.066939	0.150523
cat_rvp_min	3		1	1.096056	0.616794	-0.11284	2.304951	3.157801	0.075565
cat_rvp_min	4		1	1.084607	0.721042	-0.32861	2.497824	2.26268	0.132525
cat_rvp_min	5		0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	1	1	1	-0.12191	0.569258	-1.23764	0.993816	0.045863	0.830426
cat_AADT*cat_rvp_min	1	2	1	-0.72128	0.565933	-1.83049	0.387924	1.624361	0.202485
cat_AADT*cat_rvp_min	1	3	1	-0.71967	0.585637	-1.8675	0.428161	1.510102	0.219124
cat_AADT*cat_rvp_min	1	4	1	-1.01564	0.708493	-2.40426	0.372985	2.054966	0.151711
cat_AADT*cat_rvp_min	1	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	2	1	1	-0.66846	0.516336	-1.68046	0.343538	1.676055	0.195449
cat_AADT*cat_rvp_min	2	2	1	-1.31735	0.511173	-2.31923	-0.31547	6.641464	0.009963
cat_AADT*cat_rvp_min	2	3	1	-1.3738	0.530045	-2.41267	-0.33493	6.717706	0.009546
cat_AADT*cat_rvp_min	2	4	1	-0.79041	0.571637	-1.91079	0.329982	1.911876	0.166755
cat_AADT*cat_rvp_min	2	5	0	0	0	0	0		

cat_AADT*cat_rvp_min	3	1	1	-0.37391	0.502033	-1.35787	0.610058	0.554709	0.4564
cat_AADT*cat_rvp_min	3	2	1	-0.70935	0.483386	-1.65677	0.238064	2.153472	0.142248
cat_AADT*cat_rvp_min	3	3	1	-0.90488	0.501134	-1.88708	0.077326	3.260414	0.070971
cat_AADT*cat_rvp_min	3	4	1	-0.5098	0.529338	-1.54728	0.527683	0.927546	0.335501
cat_AADT*cat_rvp_min	3	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	4	1	1	-0.66379	0.61438	-1.86795	0.540376	1.1673	0.279957
cat_AADT*cat_rvp_min	4	2	1	-0.89173	0.58588	-2.04003	0.256575	2.316583	0.128001
cat_AADT*cat_rvp_min	4	3	1	-1.57741	0.789196	-3.12421	-0.03062	3.995043	0.045634
cat_AADT*cat_rvp_min	4	4	1	-1.97911	0.918645	-3.77962	-0.1786	4.64134	0.031211
cat_AADT*cat_rvp_min	4	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	5	1	1	-0.23926	0.718549	-1.64759	1.169069	0.110875	0.73915
cat_AADT*cat_rvp_min	5	2	1	-0.95493	0.67532	-2.27853	0.368675	1.999501	0.157351
cat_AADT*cat_rvp_min	5	3	1	-0.45189	0.717492	-1.85815	0.95437	0.396669	0.528814
cat_AADT*cat_rvp_min	5	4	1	-0.34067	0.744627	-1.80011	1.118769	0.209313	0.647306
cat_AADT*cat_rvp_min	5	5	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	1	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	2	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	3	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	4	0	0	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	5	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	1	1	-0.34158	0.523952	-1.36851	0.685348	0.425011	0.514447
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	2	1	0.124018	0.57428	-1.00155	1.249587	0.046636	0.829024
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	3	1	-0.40855	0.617489	-1.6188	0.801706	0.437755	0.508208
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	4	1	-0.67215	0.712603	-2.06883	0.724527	0.889685	0.345563
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	5	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	1	1	-0.27593	0.42774	-1.11429	0.562423	0.416146	0.518866
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	2	1	-0.21146	0.483307	-1.15873	0.735804	0.191431	0.661728
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	3	1	-0.55658	0.491996	-1.52087	0.407715	1.279769	0.257942
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	4	1	-0.52806	0.586512	-1.6776	0.62148	0.810619	0.367937
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	5	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	1	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	2	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	3	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	4	0	0	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	5	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	1	1	0.40675	0.366797	-0.31216	1.125657	1.229713	0.267463
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	2	1	0.315696	0.387874	-0.44452	1.075915	0.662456	0.415694
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	3	1	-0.09512	0.437098	-0.95181	0.76158	0.047354	0.827732
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	4	1	0.08002	0.478273	-0.85738	1.017418	0.027993	0.867126
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	5	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	1	1	0.162471	0.421729	-0.6641	0.989045	0.148418	0.700052

cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	2	1	-0.92912	0.510703	-1.93008	0.071844	3.309809	0.068867
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	3	1	-0.05045	0.484887	-1.00081	0.899908	0.010827	0.917129
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	4	1	-0.13328	0.567985	-1.2465	0.979954	0.055059	0.814483
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	5	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	1	1	-0.18847	0.446008	-1.06263	0.685689	0.178569	0.672606
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	2	1	-0.23385	0.473658	-1.1622	0.694503	0.243748	0.621512
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	3	1	-0.11269	0.533424	-1.15818	0.932802	0.04463	0.832687
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	4	1	0.045101	0.606616	-1.14384	1.234047	0.005528	0.940733
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	5	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	1	1	0.475187	0.546384	-0.59571	1.54608	0.756367	0.384468
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	2	1	-0.24198	0.618902	-1.45501	0.971043	0.15287	0.695807
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	3	1	0.10102	0.649731	-1.17243	1.37447	0.024174	0.876443
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	4	1	0.455549	0.674458	-0.86636	1.777462	0.456205	0.499403
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	5	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	1	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	2	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	3	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	4	0	0	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	5	0	0	0	0	0		
sh_to_w_low			1	0.346105	0.117273	0.116255	0.575956	8.710069	0.003165
sh_to_w_H			1	-0.22094	0.171764	-0.55759	0.115709	1.654603	0.198334
sh_gr_w_low			1	0.076506	0.185394	-0.28686	0.439872	0.170293	0.679852
sh_gr_w_H			1	-0.11867	0.257336	-0.62304	0.385704	0.212641	0.644705
cat_lane_w	1		1	-0.43098	0.236255	-0.89403	0.032072	3.327747	0.06812
cat_lane_w	2		1	-0.20556	0.1228	-0.44625	0.03512	2.802181	0.094136
cat_lane_w	3		0	0	0	0	0		
cat_bar	1		1	1.064772	0.793779	-0.49101	2.62055	1.799342	0.179792
cat_bar	2		1	0.974142	0.464855	0.063043	1.885241	4.391463	0.036119
cat_bar	3		1	0.689034	0.456052	-0.20481	1.58288	2.282724	0.130822
cat_bar	4		1	0.517669	0.471514	-0.40648	1.44182	1.205352	0.272255
cat_bar	5		1	0.818722	0.459799	-0.08247	1.719912	3.170557	0.074977
cat_bar	6		1	0.649973	0.448956	-0.22997	1.529911	2.095955	0.147689
cat_bar	7		1	0.258193	0.475039	-0.67287	1.189253	0.295414	0.586772
cat_bar	8		0	0	0	0	0		
cat_gr_max	0		1	0.440737	0.769299	-1.06704	1.948518	0.328231	0.566703
cat_gr_max	1		1	0.541767	0.769662	-0.96674	2.050277	0.495478	0.481494
cat_gr_max	2		1	0.545808	0.768864	-0.96114	2.052753	0.503943	0.477773
cat_gr_max	3		1	0.634023	0.778588	-0.89198	2.160028	0.663123	0.41546
cat_gr_max	4		1	0.966354	0.803825	-0.60911	2.541822	1.445271	0.229288
cat_gr_max	5		0	0	0	0	0		

ג. תאונות חמורות (TDS): מודל עם משתנים רציפים עבור מאפייני שוליים

Criteria For Assessing Goodness Of Fit			
Criterion	*DF*	*Value*	*Value/DF*
Deviance	3350	1913.2449	0.5711
Scaled Deviance	3350	1913.2449	0.5711
Pearson Chi-Square	3350	3824.0942	1.1415
Scaled Pearson X2	3350	3824.0942	1.1415
Log Likelihood		-1521.2775	
Full Log Likelihood		-1649.0148	
AIC (smaller is better)		3534.0295	
AICC (smaller is better)		3542.4178	
BIC (smaller is better)		4259.8528	

Wald Statistics For Type 3 Analysis			
Source	*DF*	*Chi-Square*	*Pr > ChiSq*
l_length	1	47.79	<.0001
cat_AADT	5	114.87	<.0001
cat_sp_limit	2	6.82	0.0331
*cat_AADT*cat_sp_limi*	10	12.75	0.2378
cat_rvn_min	4	2.47	0.6492
*cat_AADT*cat_rvn_min*	20	13.74	0.8432
*cat_sp_li*cat_rvn_mi*	8	6.76	0.5623
cat_rvp_min	4	2.14	0.7092
*cat_AADT*cat_rvp_min*	20	36.59	0.0131
*cat_sp_li*cat_rvp_mi*	8	7.68	0.4650
*cat_rvn_m*cat_rvp_mi*	16	17.02	0.3841
sh_to_w_low	1	8.57	0.0034
sh_to_w_H	1	1.00	0.3176
sh_gr_w_low	1	0.19	0.6606
sh_gr_w_H	1	0.10	0.7519
cat_lane_w	2	5.50	0.0639
cat_bar	7	15.23	0.0331
cat_gr_max	4	3729.89	<.0001

המודל:

Parameter	Level 1	Level 2	DF	**Estimate**	StdErr	LowerWaldCL	UpperWaldCL	ChiSq	ProbChiSq
Intercept			1	-22.5668	0.796643	-24.1282	-21.0054	802.4381	1.6E-176
l_length			1	2.0346	0.294311	1.457777	2.611453	47.7917	4.74E-12
cat_AADT	1		1	-2.6138	0.595475	-3.78092	-1.44671	19.26739	1.14E-05
cat_AADT	2		1	-1.5475	0.527023	-2.58047	-0.51458	8.622132	0.003321
cat_AADT	3		1	-1.6423	0.498136	-2.61867	-0.66601	10.86996	0.000977
cat_AADT	4		1	-1.0099	0.940489	-2.85323	0.833423	1.153056	0.28291
cat_AADT	5		1	-0.3139	0.563287	-1.41792	0.790125	0.310538	0.57735
cat_AADT	6		0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_limit	1		1	0.6823	0.532005	-0.36046	1.72496	1.644587	0.199697
cat_sp_limit	2		1	0.2262	0.489881	-0.73396	1.186332	0.213178	0.644288
cat_sp_limit	3		0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	1	1	1	0.1210	0.577046	-1.01003	1.251948	0.04394	0.833965
cat_AADT*cat_sp_limi	1	2	1	0.7511	0.418081	-0.06834	1.570512	3.22746	0.072413
cat_AADT*cat_sp_limi	1	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	2	1	1	0.0085	0.454957	-0.88323	0.900165	0.000346	0.985154

cat_AADT*cat_sp_limi	2	2	1	-0.0071	0.377415	-0.74683	0.732612	0.000355	0.984973
cat_AADT*cat_sp_limi	2	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	3	1	1	0.6571	0.490723	-0.30471	1.618884	1.792963	0.180566
cat_AADT*cat_sp_limi	3	2	1	0.7784	0.407569	-0.02038	1.57726	3.647942	0.056139
cat_AADT*cat_sp_limi	3	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	4	1	1	0.5878	0.906513	-1.18894	2.364529	0.420441	0.516717
cat_AADT*cat_sp_limi	4	2	1	0.6217	0.851893	-1.04803	2.291329	0.532504	0.465556
cat_AADT*cat_sp_limi	4	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	5	1	1	0.0731	0.479455	-0.86661	1.012818	0.023247	0.878816
cat_AADT*cat_sp_limi	5	2	1	-0.3898	0.477128	-1.32496	0.545354	0.667445	0.413944
cat_AADT*cat_sp_limi	5	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	6	1	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	6	2	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	6	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_min	1		1	0.0052	0.41916	-0.81636	0.826721	0.000153	0.990136
cat_rvn_min	2		1	0.7776	0.496729	-0.19599	1.751155	2.450511	0.117487
cat_rvn_min	3		1	0.2817	0.529487	-0.7561	1.319448	0.282995	0.594745
cat_rvn_min	4		1	-0.6079	0.678701	-1.93811	0.722345	0.802203	0.370435
cat_rvn_min	5		0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	1	1	1	0.3433	0.400633	-0.44189	1.128565	0.734441	0.391448
cat_AADT*cat_rvn_min	1	2	1	0.4818	0.474669	-0.44851	1.412158	1.030374	0.310071
cat_AADT*cat_rvn_min	1	3	1	0.0243	0.507523	-0.97048	1.018978	0.002283	0.96189
cat_AADT*cat_rvn_min	1	4	1	0.4486	0.580325	-0.68879	1.58604	0.597619	0.439488
cat_AADT*cat_rvn_min	1	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	2	1	1	0.1725	0.368275	-0.54928	0.894328	0.219455	0.639455
cat_AADT*cat_rvn_min	2	2	1	-0.6895	0.495238	-1.66018	0.281114	1.938583	0.163823
cat_AADT*cat_rvn_min	2	3	1	0.2154	0.444585	-0.65592	1.086818	0.234841	0.627957
cat_AADT*cat_rvn_min	2	4	1	0.2436	0.533131	-0.80131	1.288526	0.208793	0.647715
cat_AADT*cat_rvn_min	2	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	3	1	1	0.0556	0.333662	-0.59838	0.70955	0.027752	0.867693
cat_AADT*cat_rvn_min	3	2	1	0.2360	0.38649	-0.52147	0.993546	0.372988	0.54138
cat_AADT*cat_rvn_min	3	3	1	-0.2254	0.386532	-0.98302	0.532159	0.340136	0.559751
cat_AADT*cat_rvn_min	3	4	1	-0.0314	0.489243	-0.99034	0.927453	0.004131	0.948751
cat_AADT*cat_rvn_min	3	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	4	1	1	0.1333	0.482257	-0.81186	1.078555	0.076457	0.782158
cat_AADT*cat_rvn_min	4	2	1	-0.9256	0.838549	-2.56912	0.717927	1.218397	0.269676
cat_AADT*cat_rvn_min	4	3	1	0.2615	0.561193	-0.83842	1.361415	0.217123	0.641241
cat_AADT*cat_rvn_min	4	4	1	0.5987	0.668408	-0.71139	1.908716	0.802193	0.370438
cat_AADT*cat_rvn_min	4	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	5	1	1	0.0528	0.458712	-0.84629	0.951828	0.013233	0.908417
cat_AADT*cat_rvn_min	5	2	1	-0.0275	0.511878	-1.03073	0.975791	0.00288	0.957201

cat_AADT*cat_rvn_min	5	3	1	-0.4876	0.5232	-1.5131	0.537809	0.868701	0.351315
cat_AADT*cat_rvn_min	5	4	1	-0.1318	0.698508	-1.50083	1.237271	0.035592	0.850361
cat_AADT*cat_rvn_min	5	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	1	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	2	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	4	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	1	1	-0.0854	0.369838	-0.81023	0.639505	0.053276	0.817457
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	2	1	-0.7090	0.487962	-1.66534	0.247437	2.110867	0.146256
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	3	1	0.2509	0.470534	-0.67131	1.173151	0.284375	0.593848
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	4	1	0.3492	0.561247	-0.75084	1.449207	0.387079	0.533839
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	1	1	-0.0394	0.307332	-0.6418	0.562921	0.016468	0.89789
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	2	1	-0.3838	0.386434	-1.14122	0.373573	0.986537	0.32059
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	3	1	-0.0651	0.406176	-0.86122	0.730958	0.025713	0.872603
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	4	1	-0.2926	0.517379	-1.30669	0.721398	0.31994	0.571644
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	1	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	2	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	4	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvp_min	1		1	-0.0941	0.493725	-1.06174	0.873631	0.036289	0.84892
cat_rvp_min	2		1	0.5658	0.522183	-0.4577	1.589217	1.173858	0.27861
cat_rvp_min	3		1	0.1295	0.52297	-0.89554	1.154465	0.061283	0.80448
cat_rvp_min	4		1	-0.7326	0.732007	-2.16734	0.702072	1.001719	0.316895
cat_rvp_min	5		0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	1	1	1	0.6839	0.474531	-0.24616	1.613968	2.077121	0.149522
cat_AADT*cat_rvp_min	1	2	1	-0.6620	0.497646	-1.63741	0.313331	1.7698	0.183407
cat_AADT*cat_rvp_min	1	3	1	-0.6691	0.563743	-1.77398	0.435857	1.408533	0.2353
cat_AADT*cat_rvp_min	1	4	1	-0.1147	0.579924	-1.25135	1.021914	0.03913	0.843192
cat_AADT*cat_rvp_min	1	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	2	1	1	0.7381	0.450599	-0.14501	1.621301	2.683496	0.101393
cat_AADT*cat_rvp_min	2	2	1	-0.2198	0.451898	-1.1055	0.665907	0.236571	0.626694
cat_AADT*cat_rvp_min	2	3	1	-0.0250	0.49482	-0.99482	0.944836	0.002551	0.959716
cat_AADT*cat_rvp_min	2	4	1	-0.1447	0.583078	-1.28747	0.998157	0.061548	0.804066
cat_AADT*cat_rvp_min	2	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	3	1	1	0.8345	0.3974	0.055562	1.61334	4.409067	0.035748
cat_AADT*cat_rvp_min	3	2	1	-0.3120	0.388868	-1.07413	0.450203	0.643583	0.422416
cat_AADT*cat_rvp_min	3	3	1	0.5394	0.39618	-0.23707	1.315933	1.853919	0.173328

cat_AADT*cat_rvp_min	3	4	1	0.2598	0.425978	-0.5751	1.0947	0.371963	0.541936
cat_AADT*cat_rvp_min	3	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	4	1	1	-0.4480	0.573282	-1.57157	0.675652	0.61058	0.434569
cat_AADT*cat_rvp_min	4	2	1	-0.6398	0.514383	-1.648	0.368344	1.547226	0.213545
cat_AADT*cat_rvp_min	4	3	1	0.3931	0.552547	-0.68992	1.476028	0.506018	0.476868
cat_AADT*cat_rvp_min	4	4	1	-1.5897	0.843504	-3.24296	0.063513	3.55197	0.059475
cat_AADT*cat_rvp_min	4	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	5	1	1	0.4740	0.540666	-0.5857	1.533668	0.768542	0.380668
cat_AADT*cat_rvp_min	5	2	1	0.0295	0.48401	-0.91912	0.978166	0.003721	0.951362
cat_AADT*cat_rvp_min	5	3	1	0.9187	0.518104	-0.09675	1.934181	3.144338	0.076191
cat_AADT*cat_rvp_min	5	4	1	0.9618	0.515054	-0.04765	1.971322	3.487342	0.06184
cat_AADT*cat_rvp_min	5	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	1	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	2	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	4	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	1	1	-0.4975	0.448983	-1.37754	0.382447	1.228011	0.267794
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	2	1	-0.4891	0.501004	-1.47101	0.492891	0.952881	0.328987
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	3	1	-0.7812	0.53621	-1.83217	0.269737	2.122619	0.145138
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	4	1	0.5625	0.704452	-0.81822	1.943185	0.637557	0.424597
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	1	1	-0.2989	0.391277	-1.06577	0.468006	0.583488	0.444948
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	2	1	-0.0363	0.438829	-0.89641	0.823768	0.006851	0.934035
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	3	1	-0.0850	0.450439	-0.96789	0.797801	0.035646	0.850248
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	4	1	0.7767	0.660577	-0.51803	2.071387	1.382409	0.239691
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	1	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	2	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	4	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	1	1	-0.2644	0.323598	-0.89867	0.369813	0.667729	0.413844
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	2	1	-0.2713	0.353163	-0.9635	0.420868	0.590211	0.442337
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	3	1	-0.5030	0.38045	-1.24865	0.24269	1.747845	0.186148
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	4	1	0.1119	0.414982	-0.70142	0.925276	0.072747	0.787378
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	1	1	-0.8411	0.393136	-1.61161	-0.07054	4.577026	0.032403
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	2	1	-1.1027	0.438332	-1.96179	-0.24356	6.328355	0.011882
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	3	1	-0.6980	0.433702	-1.54805	0.152026	2.590274	0.107522
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	4	1	0.0955	0.478426	-0.8422	1.033198	0.039846	0.841782
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	5	0	0.0000	0	0	0		

cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	1	1	-0.3885	0.398679	-1.16988	0.392907	0.949533	0.329838
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	2	1	-0.3998	0.431405	-1.24532	0.445757	0.858766	0.354084
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	3	1	-0.4127	0.45392	-1.3024	0.476929	0.82678	0.363205
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	4	1	0.0298	0.502559	-0.95522	1.014779	0.003512	0.952746
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	1	1	0.3674	0.542226	-0.69538	1.430105	0.459018	0.498083
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	2	1	-0.0757	0.602666	-1.25686	1.105548	0.015759	0.9001
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	3	1	0.7685	0.559249	-0.3276	1.864619	1.88838	0.169385
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	4	1	1.0332	0.634166	-0.20979	2.276092	2.654126	0.103281
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	1	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	2	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	4	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	5	0	0.0000	0	0	0		
sh_to_w_low			1	0.3190	0.108941	0.105431	0.532473	8.571648	0.003414
sh_to_w_H			1	-0.1485	0.1486	-0.43976	0.142741	0.998778	0.317606
sh_gr_w_low			1	0.0788	0.179554	-0.27309	0.430751	0.192761	0.660629
sh_gr_w_H			1	-0.0791	0.250055	-0.56916	0.411032	0.09998	0.751854
cat_lane_w	1		1	-0.3636	0.235819	-0.82576	0.098632	2.376864	0.123145
cat_lane_w	2		1	-0.2556	0.123936	-0.49854	-0.01272	4.254262	0.039152
cat_lane_w	3		0	0.0000	0	0	0		
cat_bar	1		1	0.0783	1.129003	-2.1345	2.29111	0.00481	0.944705
cat_bar	2		1	0.8521	0.486915	-0.10225	1.80642	3.062372	0.080125
cat_bar	3		1	0.8879	0.476321	-0.04571	1.821435	3.474503	0.062321
cat_bar	4		1	0.7572	0.485985	-0.19532	1.709711	2.427572	0.119217
cat_bar	5		1	0.8712	0.48085	-0.07123	1.813665	3.282718	0.070013
cat_bar	6		1	0.5699	0.472687	-0.35653	1.496374	1.453736	0.227929
cat_bar	7		1	0.3195	0.494491	-0.6497	1.288669	0.41743	0.518222
cat_bar	8		0	0.0000	0	0	0		
cat_gr_max	0		1	21.4778	0.358921	20.77434	22.18129	3580.816	0
cat_gr_max	1		1	21.4310	0.360919	20.72364	22.13841	3525.879	0
cat_gr_max	2		1	21.6440	0.35929	20.93984	22.34822	3628.998	0
cat_gr_max	3		1	21.5365	0.381217	20.78932	22.28367	3191.576	0
cat_gr_max	4		0	21.2713	0	21.27134	21.27134		
cat_gr_max	5		0	0.0000	0	0	0		

ד. כלל התאונות (ALL): מודל עם משתנים רציפים עבור מאפייני שוליים

Criteria For Assessing Goodness Of Fit			
Criterion	*DF*	*Value*	*Value/DF*
Deviance	3350	3478.9412	1.0385
Scaled Deviance	3350	3478.9412	1.0385
Pearson Chi-Square	3350	4333.5439	1.2936
Scaled Pearson X2	3350	4333.5439	1.2936
Log Likelihood		1846.3829	
Full Log Likelihood		-5972.1285	

Criteria For Assessing Goodness Of Fit			
Criterion	*DF*	*Value*	*Value/DF*
AIC (smaller is better)		12180.2569	
AICC (smaller is better)		12188.6452	
BIC (smaller is better)		12906.0802	

Wald Statistics For Type 3 Analysis			
Source	*DF*	*Chi-Square*	*Pr > ChiSq*
l_length	1	54.23	<.0001
cat_AADT	5	333.84	<.0001
cat_sp_limit	2	17.29	0.0002
*cat_AADT*cat_sp_limi*	10	25.14	0.0051
cat_rvn_min	4	6.65	0.1558
*cat_AADT*cat_rvn_min*	20	40.30	0.0046
*cat_sp_li*cat_rvn_mi*	8	5.28	0.7278
cat_rvp_min	4	2.94	0.5672
*cat_AADT*cat_rvp_min*	20	22.51	0.3134
*cat_sp_li*cat_rvp_mi*	8	17.53	0.0251
*cat_rvn_m*cat_rvp_mi*	16	19.08	0.2644
sh_to_w_low	1	23.60	<.0001
sh_to_w_H	1	1.09	0.2969
sh_gr_w_low	1	9.66	0.0019
sh_gr_w_H	1	16.76	<.0001
cat_lane_w	2	11.23	0.0036
cat_bar	7	45.24	<.0001
cat_gr_max	5	13.58	0.0185

המודל:

Parameter	Level 1	Level 2	DF	**Estimate**	StdErr	LowerWaldCL	UpperWaldCL	ChiSq	ProbChiSq
Intercept			1	1.2573	0.475934	0.324488	2.190116	6.97887	0.008248
l_length			1	0.7920	0.107555	0.581238	1.002845	54.22978	1.78E-13
cat_AADT	1		1	-2.8005	0.320769	-3.42924	-2.17185	76.22585	2.53E-18
cat_AADT	2		1	-1.6615	0.308625	-2.26644	-1.05665	28.98417	7.3E-08
cat_AADT	3		1	-1.4029	0.299583	-1.99011	-0.81576	21.93006	2.83E-06
cat_AADT	4		1	-1.8679	0.506894	-2.8614	-0.87442	13.57933	0.000229
cat_AADT	5		1	-0.4903	0.36514	-1.20594	0.225385	1.802865	0.179367
cat_AADT	6		0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_limit	1		1	0.3822	0.303266	-0.21219	0.976587	1.588275	0.207573
cat_sp_limit	2		1	0.1160	0.266192	-0.40569	0.637761	0.190013	0.662906
cat_sp_limit	3		0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	1	1	1	0.4772	0.317022	-0.14411	1.098595	2.266223	0.132222
cat_AADT*cat_sp_limi	1	2	1	0.6313	0.245876	0.1494	1.113216	6.592516	0.010241
cat_AADT*cat_sp_limi	1	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	2	1	1	0.0757	0.297598	-0.50757	0.65899	0.064719	0.799187
cat_AADT*cat_sp_limi	2	2	1	0.3544	0.244272	-0.12441	0.83312	2.104414	0.146875
cat_AADT*cat_sp_limi	2	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	3	1	1	0.6913	0.311447	0.080896	1.301745	4.927104	0.026439
cat_AADT*cat_sp_limi	3	2	1	0.7920	0.252154	0.297757	1.286184	9.864723	0.001685
cat_AADT*cat_sp_limi	3	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	4	1	1	1.1357	0.473375	0.207857	2.063454	5.755483	0.016437

cat_AADT*cat_sp_limi	4	2	1	1.1143	0.426302	0.278747	1.949818	6.832144	0.008953
cat_AADT*cat_sp_limi	4	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	5	1	1	-0.2673	0.363672	-0.98011	0.445461	0.540325	0.462298
cat_AADT*cat_sp_limi	5	2	1	0.2610	0.324195	-0.37441	0.896407	0.648121	0.420785
cat_AADT*cat_sp_limi	5	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	6	1	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	6	2	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_sp_limi	6	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_min	1		1	0.1518	0.254007	-0.34607	0.649622	0.357049	0.55015
cat_rvn_min	2		1	0.0006	0.324177	-0.63473	0.636019	3.94E-06	0.998417
cat_rvn_min	3		1	0.3612	0.328758	-0.28313	1.005574	1.207235	0.27188
cat_rvn_min	4		1	-0.2947	0.398281	-1.07529	0.485944	0.547394	0.459384
cat_rvn_min	5		0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	1	1	1	0.6045	0.228011	0.157596	1.051382	7.028558	0.008022
cat_AADT*cat_rvn_min	1	2	1	-0.0377	0.284865	-0.59602	0.520628	0.017513	0.894718
cat_AADT*cat_rvn_min	1	3	1	0.1103	0.289541	-0.4572	0.677783	0.145103	0.703259
cat_AADT*cat_rvn_min	1	4	1	0.2374	0.327018	-0.40351	0.878376	0.52715	0.467807
cat_AADT*cat_rvn_min	1	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	2	1	1	0.0689	0.225624	-0.37335	0.511076	0.09315	0.76021
cat_AADT*cat_rvn_min	2	2	1	-0.0221	0.269246	-0.54982	0.505602	0.006743	0.934553
cat_AADT*cat_rvn_min	2	3	1	-0.1001	0.290481	-0.66944	0.469226	0.118766	0.730376
cat_AADT*cat_rvn_min	2	4	1	0.2428	0.323116	-0.39045	0.876138	0.564844	0.452315
cat_AADT*cat_rvn_min	2	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	3	1	1	0.1431	0.220953	-0.28995	0.576169	0.4195	0.517187
cat_AADT*cat_rvn_min	3	2	1	0.3095	0.271008	-0.22166	0.84067	1.304283	0.253432
cat_AADT*cat_rvn_min	3	3	1	-0.1403	0.274202	-0.67774	0.397109	0.261869	0.608839
cat_AADT*cat_rvn_min	3	4	1	0.0170	0.323468	-0.61701	0.65096	0.002754	0.958147
cat_AADT*cat_rvn_min	3	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	4	1	1	0.4257	0.317219	-0.19606	1.047418	1.800729	0.179624
cat_AADT*cat_rvn_min	4	2	1	0.3606	0.387142	-0.3982	1.119366	0.867496	0.35165
cat_AADT*cat_rvn_min	4	3	1	-0.6281	0.406931	-1.42566	0.169474	2.382374	0.122711
cat_AADT*cat_rvn_min	4	4	1	-0.0336	0.459179	-0.93361	0.866337	0.005366	0.941605
cat_AADT*cat_rvn_min	4	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	5	1	1	0.7107	0.337944	0.048343	1.373058	4.422671	0.035464
cat_AADT*cat_rvn_min	5	2	1	0.7280	0.371859	-0.00087	1.456791	3.832311	0.050274
cat_AADT*cat_rvn_min	5	3	1	-0.1955	0.386646	-0.95333	0.562295	0.255705	0.613086
cat_AADT*cat_rvn_min	5	4	1	0.4248	0.496229	-0.5478	1.397383	0.732808	0.391974
cat_AADT*cat_rvn_min	5	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	1	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	2	0	0.0000	0	0	0		

cat_AADT*cat_rvn_min	6	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	4	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvn_min	6	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	1	1	-0.2374	0.205448	-0.64006	0.16528	1.335126	0.247895
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	2	1	-0.2336	0.261172	-0.74546	0.278317	0.799801	0.371153
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	3	1	-0.2925	0.270863	-0.82339	0.238377	1.16618	0.280187
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	4	1	-0.2863	0.322982	-0.91932	0.346741	0.785707	0.375402
cat_sp_li*cat_rvn_mi	1	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	1	1	-0.1283	0.157352	-0.43674	0.180075	0.665135	0.414753
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	2	1	-0.1096	0.201399	-0.50432	0.285151	0.296058	0.586364
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	3	1	-0.1962	0.213236	-0.61411	0.22176	0.846388	0.357576
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	4	1	0.1734	0.25645	-0.3292	0.676068	0.457374	0.498854
cat_sp_li*cat_rvn_mi	2	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	1	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	2	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	4	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvn_mi	3	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvp_min	1		1	-0.1427	0.288724	-0.70862	0.423157	0.244382	0.621059
cat_rvp_min	2		1	0.1333	0.313409	-0.48095	0.747595	0.180966	0.670544
cat_rvp_min	3		1	0.2114	0.301555	-0.37965	0.802426	0.491401	0.483303
cat_rvp_min	4		1	-0.0529	0.373693	-0.78531	0.679542	0.020025	0.887466
cat_rvp_min	5		0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	1	1	1	0.6402	0.275832	0.09956	1.180801	5.38662	0.020292
cat_AADT*cat_rvp_min	1	2	1	0.1798	0.280064	-0.36909	0.728743	0.412285	0.520812
cat_AADT*cat_rvp_min	1	3	1	0.0418	0.283579	-0.51399	0.597624	0.021747	0.882763
cat_AADT*cat_rvp_min	1	4	1	0.3483	0.32467	-0.28804	0.984642	1.150868	0.283368
cat_AADT*cat_rvp_min	1	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	2	1	1	0.3863	0.269597	-0.14208	0.914726	2.053409	0.151866
cat_AADT*cat_rvp_min	2	2	1	-0.1126	0.275825	-0.65316	0.428055	0.166511	0.683232
cat_AADT*cat_rvp_min	2	3	1	-0.1348	0.273627	-0.6711	0.401499	0.242699	0.622263
cat_AADT*cat_rvp_min	2	4	1	0.2084	0.309932	-0.39907	0.815843	0.452073	0.501352
cat_AADT*cat_rvp_min	2	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	3	1	1	0.5747	0.258224	0.068562	1.080782	4.952744	0.026049
cat_AADT*cat_rvp_min	3	2	1	0.2092	0.264211	-0.30863	0.727058	0.627019	0.428451
cat_AADT*cat_rvp_min	3	3	1	0.1174	0.263933	-0.39991	0.634684	0.197803	0.6565
cat_AADT*cat_rvp_min	3	4	1	0.2523	0.291829	-0.3197	0.824247	0.747272	0.387341
cat_AADT*cat_rvp_min	3	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	4	1	1	0.5938	0.359546	-0.11089	1.298502	2.727589	0.098628
cat_AADT*cat_rvp_min	4	2	1	0.5052	0.356768	-0.19407	1.204435	2.005056	0.156776
cat_AADT*cat_rvp_min	4	3	1	0.2826	0.394973	-0.49157	1.056692	0.511782	0.474369

cat_AADT*cat_rvp_min	4	4	1	-0.1043	0.444328	-0.97515	0.766588	0.055079	0.81445
cat_AADT*cat_rvp_min	4	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	5	1	1	0.0682	0.363611	-0.64442	0.78091	0.035226	0.851122
cat_AADT*cat_rvp_min	5	2	1	-0.3565	0.353753	-1.04985	0.336838	1.015619	0.31356
cat_AADT*cat_rvp_min	5	3	1	-0.1320	0.373921	-0.86483	0.600909	0.124549	0.724152
cat_AADT*cat_rvp_min	5	4	1	0.7161	0.412605	-0.09254	1.52484	3.012583	0.082621
cat_AADT*cat_rvp_min	5	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	1	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	2	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	4	0	0.0000	0	0	0		
cat_AADT*cat_rvp_min	6	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	1	1	-0.3544	0.245797	-0.83616	0.127345	2.079004	0.149338
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	2	1	0.3233	0.271351	-0.20858	0.855095	1.41917	0.23354
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	3	1	0.0520	0.283836	-0.50435	0.608273	0.033517	0.854738
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	4	1	-0.0002	0.35309	-0.69225	0.691834	3.5E-07	0.999528
cat_sp_li*cat_rvp_mi	1	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	1	1	-0.3786	0.197765	-0.76619	0.00904	3.664375	0.055588
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	2	1	-0.2096	0.222191	-0.64512	0.225851	0.890176	0.345429
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	3	1	-0.3892	0.226598	-0.8333	0.054946	2.94974	0.085891
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	4	1	-0.2716	0.286415	-0.83296	0.289768	0.899193	0.342998
cat_sp_li*cat_rvp_mi	2	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	1	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	2	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	4	0	0.0000	0	0	0		
cat_sp_li*cat_rvp_mi	3	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	1	1	-0.2017	0.18629	-0.56681	0.16344	1.172081	0.278974
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	2	1	-0.3962	0.204898	-0.7978	0.005386	3.739111	0.053153
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	3	1	-0.3765	0.21489	-0.79773	0.044627	3.070513	0.079724
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	4	1	0.0625	0.246518	-0.42064	0.545695	0.064339	0.799766
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	1	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	1	1	0.0091	0.233209	-0.44795	0.466214	0.001533	0.968764
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	2	1	-0.3833	0.258295	-0.88956	0.122937	2.202276	0.137807
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	3	1	0.2057	0.258738	-0.30142	0.71281	0.632007	0.42662
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	4	1	0.2142	0.302315	-0.37828	0.806776	0.502248	0.478514
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	2	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	1	1	0.0148	0.232958	-0.44179	0.47139	0.004036	0.949343
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	2	1	-0.2397	0.256038	-0.74153	0.26212	0.876493	0.349164
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	3	1	-0.2254	0.274696	-0.76379	0.312998	0.673271	0.411913
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	4	1	0.1262	0.332944	-0.52639	0.778722	0.143592	0.704736
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	3	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	1	1	0.3847	0.284619	-0.17316	0.942529	1.826775	0.176509

cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	2	1	-0.1813	0.317221	-0.80308	0.440409	0.326761	0.567573
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	3	1	0.0976	0.321532	-0.53255	0.727834	0.092223	0.76137
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	4	1	0.1977	0.37329	-0.53398	0.929288	0.280357	0.596467
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	4	5	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	1	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	2	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	3	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	4	0	0.0000	0	0	0		
cat_rvn_m*cat_rvp_mi	5	5	0	0.0000	0	0	0		
sh_to_w_low			1	0.2888	0.059441	0.172286	0.40529	23.60416	1.18E-06
sh_to_w_H			1	-0.0839	0.080384	-0.24141	0.073693	1.088268	0.296855
sh_gr_w_low			1	-0.2959	0.095219	-0.48257	-0.10931	9.659541	0.001884
sh_gr_w_H			1	0.4462	0.109019	0.232574	0.659923	16.75506	4.25E-05
cat_lane_w	1		1	-0.0679	0.107535	-0.27869	0.14284	0.398996	0.527608
cat_lane_w	2		1	-0.2064	0.061944	-0.32784	-0.08503	11.10616	0.00086
cat_lane_w	3		0	0.0000	0	0	0		
cat_bar	1		1	-0.1708	0.440239	-1.03368	0.692027	0.150567	0.697994
cat_bar	2		1	0.5531	0.198755	0.163547	0.942653	7.744076	0.005389
cat_bar	3		1	0.6258	0.190697	0.252002	0.999522	10.76783	0.001033
cat_bar	4		1	0.1855	0.201749	-0.20996	0.580881	0.845052	0.357956
cat_bar	5		1	0.4871	0.192773	0.109261	0.864918	6.38446	0.011512
cat_bar	6		1	0.3256	0.185475	-0.03796	0.689086	3.08104	0.07921
cat_bar	7		1	0.1557	0.19585	-0.22816	0.539559	0.632015	0.426617
cat_bar	8		0	0.0000	0	0	0		
cat_gr_max	0		1	-0.0778	0.323086	-0.71103	0.555439	0.057983	0.809713
cat_gr_max	1		1	-0.0165	0.32362	-0.65079	0.617775	0.002602	0.959317
cat_gr_max	2		1	0.1052	0.322864	-0.5276	0.737999	0.106164	0.744555
cat_gr_max	3		1	0.2260	0.32903	-0.41886	0.870913	0.471896	0.492116
cat_gr_max	4		1	-0.0335	0.353862	-0.72705	0.660067	0.008957	0.9246
cat_gr_max	5		0	0.0000	0	0	0		

Abstract

One of the measures for improving road safety on single-carriageway roads is building shoulders in accordance with the road conditions. Research studies abroad demonstrated accident reductions following shoulders' widening on rural two-lane roads. Similarly, a relation was found between sealing shoulders and road safety level. On the other hand, there are concerns that shoulders that are too wide may stimulate higher travel speeds. The purpose of this study was to examine the relationship between shoulders' width and type and accident occurrences on single-carriageway (two-lane) rural roads in Israel.

The study included:

(a) An international literature review on the issues of impact of shoulder characteristics on rural roads' safety, with an emphasis on quantitative tools for presenting a relationship between improving shoulders and accident changes, under various road and traffic conditions.

(b) Building the study database, by means of combining information from the CBS accident files and road characteristics' files of the National Transport Infrastructure Company, where for each road section the information on its length and location, traffic volume, shoulder characteristics, other geometric characteristics and accidents that occurred during the years 2008-2010, was presented.

(c) Multiple analyses of the study's data, in order to recognize a relationship between shoulder characteristics and accident risk, accounting for various levels of traffic volume and other road characteristics. The analyses related to five accident types: injury accidents ("tav dalet"), single-vehicle accidents, vehicle collisions, severe accidents and total accidents ("tav dalet" and "general with injury" accidents, together). To find a quantitative relationship between shoulder characteristics and accident occurrences, given other road characteristics, two types of models were fitted: a model using a case-control method and an explanatory model (with a negative binomial distribution of accident events).

(d) Based on the models developed, accident modification factors and risk change factors associated with various shoulder characteristics, were estimated. Using the model findings, examples of evaluation of existing single-carriageway road sections were produced in order to examine safety benefits which could stem from shoulder treatments on those sections.

Based on the models developed it was observed that the impacts of shoulder characteristics and of other road characteristics were generally consistent across various model types and accident types. All the models demonstrated a significant relationship between the total shoulder width and accident occurrences, where widening a shoulder until a breaking point value is associated with accident increase but further increase of the shoulder width beyond the breaking point value is associated with accident decrease. On the contrary, accident changes following an increase in the width of unpaved (granular) shoulder were less clear. In some cases (injury accidents, total accidents) widening an unpaved shoulder until a breaking point value was associated with

accident decrease while higher shoulder width was associated with accident increase, where in other models the impact of this shoulder characteristic was insignificant.

According to the majority of findings, lowest accident frequencies are associated with total shoulder width of 3 m or higher, in combination with a narrow (or no) granular shoulder. In addition, in the models for injury accidents and total accidents, the lowest accident risk was also associated with narrow total shoulders. On the other hand, a medium total shoulder, with the width of 1.5-2.7 m, and a granular shoulder with a width of 1.5 m or higher, were associated with an increase in the accident risk and therefore, are not recommended for application.

Moreover, the multivariate models fitted in the study demonstrated that arranging a recovery zone on the roadside with the width required or improving barrier installation conditions (in terms of proper distances from the travel lanes and roadside obstacles) contribute to a reduction in the accident risk, where arranging a recovery zone is preferable compared to a barrier installation. In addition, it was found that according to safety considerations, the preferred width of a single-carriageway road lane is not the widest one, and that a reduction in road grade is also associated with an accident reduction.

The statistical tools developed in the study may assist in decision-making on the stages of design of a new road, improving existing road sections, treating black-spots and so on, and also may support the development of a new design policy concerning preferable layouts for various road types.

Examination of the influence of shoulder characteristics on the safety level of two-lane rural roads in Israel

Dr. Victoria Gitelman

Dr. Etti Doveh

Eng. Roby Carmel

Fany Pesahov

Scientific management: Dr. Shay Sofer, Chief Scientist, national Road Safety Authority

Research coordination: Research Division, National Road Safety Authority

June 2013