חקירת ההשפעה של מגביל מהירות על שיעור וחומרת תאונות הדרכים בכבישים בינעירוניים

The Effect of Installing Speed Limiter on the Amount and Severity of Interurban Road Accidents

מאת

פרופ' צדר אבישי – הטכניון, מכון טכנולוגי לישראל

מר נמוז עאדל – הטכניון מכון טכנולוגי לישראל

גב' שאקר הנרייט – הטכניון, מכון טכנולוגי לישראל

המחקר בוצע במסגרת הטכניון – המכון לחקר התחבורה

ומומן על ידי קרן רן נאור לקידום מחקר בטיחות בדרכים

חיפה, ספטמבר 2007

תוכן עניינים

1. הקדמה 7

2. מטרות המחקר 7

3. השערות המחקר 7

4. שיטת המחקר 8

5. ניתוח, ממצאים ומסקנות 9

5.1 התקנת מגביל על כל כלי הרכב 9

5.2 הערכת ההקטנה בתאונות דרכים לאחר התקנת המגביל לפי מודל נילסן 2004 15

5.3 התקנת מגביל מהירות על משאיות ואוטובוסים 17

5.4 סקר נהגי רכב פרטי ונהגי רכב כבד 18

6. דיון 21

7. המלצות 22

8. רשימת מקורות 23

9. לוח זמנים על פי שלבי העבודה 25

10. נספחים 26

10.1 סקר ספרות 26

10.1.1 גורם המהירות בתאונות דרכים בישראל 26

10.1.2 תקנת התעבורה בעניין התקנת מגביל מהירות 27

10.1.3 הקשר בין מאפייני המהירות לבין תאונות הדרכים, זיהום האוויר וצריכת הדלק 27

א. הקשר בין המהירות הממוצעת של הרכב לבין אחוז המזהמים הנפלטים לאוויר. 27

ב. השפעת המהירות על צריכת הדלק. 28

ג. הקשר בין ההפרש של מהירות הנסיעה בעת תאונה מהמהירות הממוצעת בדרך לבין שיעור המעורבות בתאונות. 28

ד. הקטנת שונות המהירות 29

ה. הקטנת מהירות הנסיעה בדרך וחומרת התאונות 33

10.2 פיתוח מודל לחיזוי התפלגות המהירות לאחר התקנת מגביל המהירות 34

10.2.1 בחירת התפלגויות מהירות בסיסיות כתלות בנפח התנועה 34

10.2.2 יישום מודל סימולציה 35

10.2.3 פיתוח מודל לחיזוי השינוי בהתפלגות המהירות 36

10.2.4 מודל מתימטי לתאור השינוי 41

10.3 מדדי סיכון להערכת רמת הבטיחות בדרכים 50

10.3.1 מדדים הקשורים למאפייני התפלגות מרווחי הזמן 56

10.3.2 המספר הממוצע של סה"כ שינויי נתיבים לק"מ 57

10.3.3 השונות במהירות הנסיעה σ_S^2 57

10.3.4 מבחנים סטטיסטיים לתוצאות המתקבלות 57

10.4 בחינת מגביל מהירות על בטיחות משאיות ואוטובוסים בישראל 59

10.4.1 הקדמה ותיאור המטרה 59

10.4.2 שיטת איסוף הנתונים 59

10.4.3 בניית מדד השוואתי 65

10.4.4 נטרול השפעות חיצוניות 67

10.4.5 עיבוד הנתונים 69

10.5 סקר נהגים 72

10.5.1 סקר טלפוני בקרב נהגי רכב פרטי 72

10.5.2 סקר שטח בקרב נהגי רכבים כבדים 73

רשימת איורים

איור 1: השלבים ורצף המחקר 8

איור 2: הקשר בין שיעור המעורבות בתאונות ברמה שנתית ואחוז כלי רכב עם מגביל מהירות בישראל 17

איור 3: הקשר בין שיעור המעורבות בתאונות ברמה חודשית ואחוז כלי רכב עם מגביל מהירות בישראל 18

איור 4: אחוז התאונות בדרכים בין עירוניות בישראל עפ"י חומרת התאונה. 26

איור 5: פליטת גזים כתלות במהירות הנסיעה. 27

איור 6: הקשר בין ההפרש של מהירות הנסיעה בעת תאונה מהמהירות הממוצעת בדרך לבין שיעור המעורבות בתאונות ל-100 מיליון מייל נסיעה. מקור: Solomon (1964) 29

איור 7: הקשר בין שיעור התאונות הכללי והתאונות עם הרוגים או פצועים לבין השינוי בסטיית התקן של מהירות הנסיעה. מקור: Salusjarvi (1981) 29

איור 8: הקשר בין שיעור התאונות לבין השונות במהירות בכבישים מסוג Arterial highway 30

איור 9: הקשר בין שיעור התאונות לבין השונות במהירות בכבישים מסוג Interstate highway 31

איור 10: שיעור התאונות כתלות בסטיית התקן של המהירות ונפח התנועה השעתי 32

איור 11: שיעור התאונות כתלות במהירות הממוצעת וסטיית התקן של המהירות (נפח 790 כ"ר/ שעה). 32

איור 12: השינוי בשיעור התאונות כתלות בשינוי מהירות הנסיעה הממוצעת 33

איור 13: ההתפלגויות המצטברות הבסיסיות של מהירות התנועה המתאימות לנפחים שונים כאשר אין מגביל מהירות 35

איור 14 : פילוג המהירות בשלושה סוגי דרכים בארצות הברית לפני ואחרי משבר האנרגיה........... 37

איור 15: בניית הסיטוגרמה מהתפלגות נתונה של מהירות 38

איור 16: התפלגויות המהירות בארצות הברית לפני ואחרי משבר האנרגיה בדרך Rural Primary עם סקלה של מהירות מנורמלת.. 40

איור 18: הפרש התפלגויות המהירות לפני ואחרי משבר האנרגיה 42

איור 19: תיאור סכמטי לשיטת הערכת ההתפלגות החדשה לאחר התקנת המגביל 44

איור 20: התפלגות המהירות המתקבלת ממודל המותאם למשבר האנרגיה לאחר התקנת המגביל בנפח תנועה נתון (veh/hr) 1000 ועבור ארבעה ערכים של המגביל. 46

איור 21: התפלגות המהירות המתקבלת ממודל המותאם למשבר האנרגיה לאחר התקנת המגביל בנפח תנועה נתון (veh/hr) 4000 ועבור ארבעה ערכים של המגביל. 47

איור 22: התפלגות המהירות המתקבלת במודל הסימולציה לאחר התקנת המגביל עבוק נפח 1000..... 48

איור 23 : התפלגות המהירות המתקבלת במודל הסימולציה לאחר התקנת המגביל עבור נפח 4000 ... 49

איור 24: תיאור תהליך העצירה של שני רכבים עוקבים.. 50

איור 25: נקודות התצפית על מישור מרווח מרחק – מהירות.. 52

איור 26: ההתפלגויות זמני התגובה T לנהגים להתרחשות לא צפויה... 54
איור 27: חיזוי לאחוזי קבוצת TB עם מגביל מהירות בישראל 62
איור 28: אופן סווג הנתונים על כלי רכב המעורבים בתאונות דרכים עפ"י פרסום הלמ"ס בישראל 63
איור 30: שיעור המעורבות של קבוצות TB ו STB בסה"כ תאונות קטלניות בכל חודש................. 66
איור 31: תיאור גרפי לאופן נטרול השפעת הגורמים החיצוניים 67
איור 33: שיעור המעורבות בתאונות קטלניות בכל חודש לרכבים כבדים עם מגביל וללא מגביל....... 69
איור 34 : הקשר בין שיעור המעורבות בתאונות ברמה השנתית ואחוז כלי רכב עם מגביל מהירות בישראל 70
איור 35: הקשר בין שיעור המעורבות בתאונות ברמה החודשית ואחוז כלי רכב עם מגביל מהירות בישראל 71

רשימת טבלאות

טבלה 1: מדדי הסיכון עבור נפח 1000 רכב/שעה וערכים שונים של המגביל.................................. 9

טבלה 2: מדדי הסיכון עבור נפח 2000 רכב/שעה וערכים שונים של המגביל................................ 10

טבלה 3: מדדי הסיכון עבור נפח 3000 רכב/שעה וערכים שונים של המגביל................................ 10

טבלה 4: מדדי הסיכון עבור נפח 4000 רכב/שעה וערכים שונים של המגביל................................ 11

טבלה 5: מבחן ההשערות על ממוצעי פערי הזמן $\overline{H}_t$ עם ובלי מגביל מהירות............................. 12

טבלה 6: השינוי באחוזים של NLC, $PDRE(\%)$, $P_{er}[T<1]$ ו- σ^2_S 13

טבלה 7: חיזוי לשיעור ההקטנה בתאונות דרכים לאחר התקנת המגביל.. 15

בערכים שונים של הגבלה של נפח תנועה... 15

טבלה 8: נתונים על מאפייני מהירות הנסיעה ב-14 קטעי דרך בישראל....................................... 34

טבלה 9: השוואת ערכים בין המהירות הממוצעת המחושבת והנצפית 39

טבלה 10: התפלגות המהירות לפני ואחרי התקנת המגביל 43

טבלה 11: שני מודלים לזמני התגובה של נהגים T.. 53

טבלה 12: חלקות הנתונים לקבוצות בהתאם למרווח המרחק והמהירות 54

טבלה 13: מספר הנהגים הפוטנציאלים להיות מעורבים בתאונת פנים - אחור בכל קבוצה 56

טבלה 14: אחוז כלי רכב עם מגביל לפי סוג רכב 60

טבלה 15: הערכה לאחוז כלי רכב עם מגביל מהירות... 61

טבלה 16: הנסועה השנתית הממוצעת לכל רכב בשתי הקבוצות.. 64

1. הקדמה

מגביל המהירות היינו אביזר המותקן בכלי הרכב ומונע ממנו את היכולת להגיע למהירויות מעל לערך נתון. אביזר זה שייך לקבוצה של מערכות טכנולוגיות מתקדמות Intelligent Speed) ISA Adaptation) שפותחו בשנים האחרונות ונמצאות עדיין בשלבי פיתוח ומחקר.

המערכת הבסיסית ביותר הינה מערכת המגבילה את הרכב באופן מיכאני ללא קשר למיקום הרכב ברשת הדרכים, לעומת מערכת משוכללת יותר המבוססת על רשת דרכים חכמה המכילה מידע על ערך המהירות המירבית בכל קטע דרך ובאמצעות תקשורת לוויאנית נקבע מיקום הרכב וגם באופן אוטומטי מוגבלת מהירות הרכב בכל קטע הדרך.

הקשר בין הגבלת מהירות הנסיעה ותאונות הדרכים נחקר במחקרים רבים בחמשת העשורים האחרונים. ממצאי המחקרים, המוצגים בסקר הספרות בנספח 10.1, מראים כי ישנה השפעה חיובית של הגבלת המהירות על רמת הבטיחות בדרכים מההיבט של הקטנת מספר התאונות וחומרתן. מחקר זה בא לבחון ולנתח את ההשפעה הצפויה מהתקנת מגביל מהירות בכל כלי הרכב בישראל (למעט רכב חירום) על רמת הבטיחות בכבישים בינעירוניים בישראל, תוך ניתוח רמת הבטיחות של משאיות ואוטובוסים המצוידים כבר במגביל מהירות.

2. מטרות המחקר

למחקר זה שלוש מטרות עיקריות, והן:

א. הערכת ההשפעה של התקנת מגביל מהירות בכל כלי הרכב (ברמות שונות של מהירות מרבית, ולמעט רכבי חירום) על שיעור וחומרת תאונות הדרכים.

ב. הערכת ההשפעה של מגבילי מהירות על הקטנת שיעור וחומרת תאונות הדרכים שמעורבים בהם משאיות ואוטובוסים בישראל משנת 1996 עד שנת 2005.

ג. בחינת עמדות ציבור נהגי רכבים כבדים ורכבים פרטיים בישראל כלפי התקנה הקיימת של מגביל מהירות בכלי רכב כבדים ויישום תקנה חדשה בכלי רכב פרטיים.

3. השערות המחקר

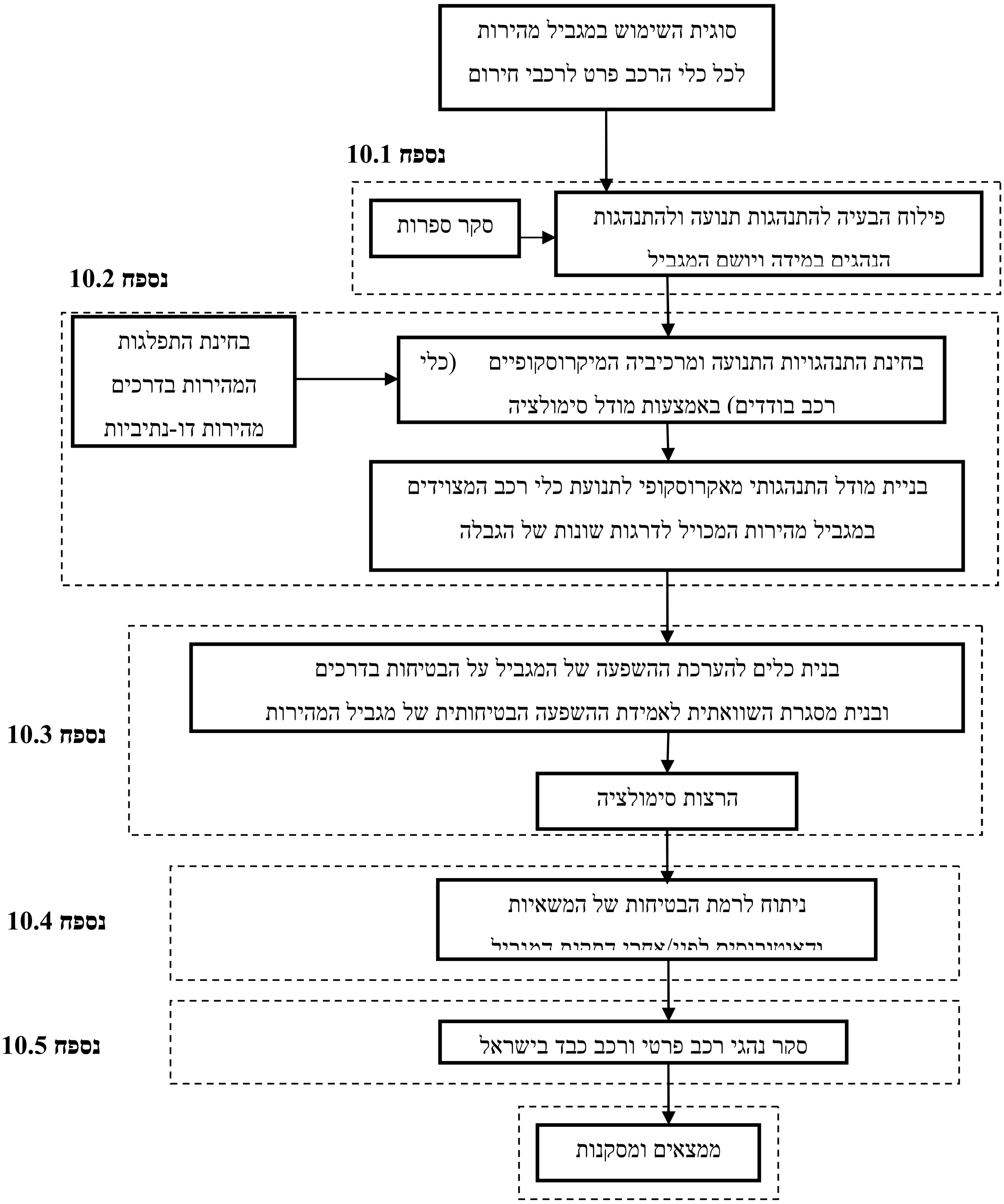
השערות העבודה מבוססות על שינויים בהתנהגות התנועה/נהגים תחת אילוצי מהירות כפי שנצפו במדינות מערב אירופה וארצות הברית בשנות השבעים בעקבות משבר האנרגיה העולמי. כמו כן לעבודה שתי השערות נוספות כלהלן :

<u>בהשערה הראשונה,</u> הגבלת המהירות באופן מיכני לכל הרכבים (למעט רכבי החירום) תגרום להקטנה בשונות של מהירויות הנסיעה; הקטנה זו תביא להפחתה במספר העקיפות והקונפליקטים בין כלי הרכב ולנסיעה רגועה יותר ומהם תחל מגמה להקטנת תאונות הדרכים.

<u>ההשערה השניה</u> מבוססת על עובדה פיזיקאלית ידועה: הקטנת המהירות תגורם להקטנת האנרגיה הקינטית של הרכבים בזמן ההתנגשות; כתוצאה מהגבלת המהירות יהיו פחות תאונות קטלניות ותאונות קשות.

4. שיטת המחקר

המחקר מבוסס על מספר שלבים עיקריים. איור 1 מציג את שלבי המחקר והקשר ההדדי ביניהם, כאשר כל מסגרת עם קו מרוסק מהווה חלק מהעבודה ומצורפת לדו"ח זה בנספח המתאים כמצוין באיור 1.



איור 1: השלבים ורצף המחקר

5. ניתוח, ממצאים ומסקנות

5.1 התקנת מגביל על כל כלי הרכב

במהלך העבודה פותחו חמישה מדדי סיכון כמותיים להערכת השפעת התקנת המגביל על רמת הבטיחות במצבי התנועה השונים (עם מגביל מהירות בערכים שונים וללא מגביל) כמוסבר בנספח 10.3.

מדדים אלו הם:

PDRE(%) אחוז רכבים פוטנציאלים המועמדים לתאונות פנים - אחור

$p_{er}[T < 1]$ החלק היחסי של הנהגים הנוסעים במרווח זמן הקטן משנייה

$\overline{H_t}$ מרווח הזמן הממוצע בין כלי רכב עוקבים (מתייחס רק לפערי זמן הקטנים משלוש שניות)

NLC = מספר שינויי הנתיבים לק"מ לשעה

σ_S^2 = שונות מהירות הנסיעה

טבלאות 1, 2, 3 ו- 4 מציגות את הערכים של מדדי הסיכון לכל אחד מארבעת הנפחים וארבעת הערכים השונים של מגביל המהירות.

טבלה 1: מדדי הסיכון עבור נפח 1000 רכב/שעה וערכים שונים של המגביל

Traffic Volume 1000 (veh/hr-2 lanes)						
Speed distribution No.	**Speed limiter** (km/hr) **(UL)**	**PDRE** (%)	**NLC**	$\overline{H}_t$ (sec)	σ^2_s $(\frac{km}{hr})^2$	$P_{er}[T < 1]$ (%)
1	**No limiter**	24.9	1616	1.76	203	3.2
2	**120**	25.4	1462	1.78	101	4.4
3	**110**	24.2	1261	1.80	53	3.2
4	**100**	19.8	1247	1.94	33	2.0
5	**90**	22.6	1435	1.83	33	3.1

טבלה 2: מדדי הסיכון עבור נפח 2000 רכב/שעה וערכים שונים של המגביל

Traffic Volume 2000 (veh/hr-2 lanes)						
Speed distribution No.	**Speed limiter** (km/hr) **(UL)**	**PDRE** (%)	**NLC**	$\overline{H}_t$ (sec)	σ^2_s $(\frac{km}{hr})^2$	$P_{er}[T<1]$ (%)
1	**No limiter**	34.9	2641	1.49	140	10.3
2	**120**	34.5	2605	1.51	125	10.7
3	**110**	31.4	2568	1.58	70	9.5
4	**100**	30.2	2331	1.61	42	7.2
5	**90**	32.0	2597	1.59	40	8.7

טבלה 3: מדדי הסיכון עבור נפח 3000 רכב/שעה וערכים שונים של המגביל

Traffic Volume 3000 (veh/hr-2 lanes)						
Speed distribution No.	**Speed limiter** (km/hr) **(UL)**	**PDRE** (%)	**NLC**	$\overline{H}_t$ (sec)	σ^2_s $(\frac{km}{hr})^2$	$P_{er}[T<1]$ (%)
1	**No limiter**	36.2	2797	1.44	98	12.6
2	**120**	36.2	2849	1.46	96	12.4
3	**110**	35.6	2773	1.45	66	12.0
4	**100**	36.3	2688	1.44	42	12.9
5	**90**	35.2	2569	1.48	41	12.1

טבלה 4: מדדי הסיכון עבור נפח 4000 רכב/שעה וערכים שונים של המגביל

Traffic Volume 4000 (veh/hr-2 lanes)						
Speed distribution No.	**Speed limiter** (km/hr) **(UL)**	**PDRE** (%)	**NLC**	$\overline{H}_t$ (sec)	σ^2_s $(\frac{km}{hr})^2$	$P_{er}[T<1]$ (%)
1	**No limiter**	39.4	2127	1.33	65	16.5
2	**120**	39.2	2096	1.36	62	15.8
3	**110**	39.0	2241	1.35	60	15.8
4	**100**	39.8	1982	1.34	57	16.7
5	**90**	38.2	1898	1.38	36	15.7

הטבלאות לעיל מציגות את ההשוואות בין מדדי הסיכון ללא מגביל מהירות לבין המדדים המתקבלים מהרצות הסימולציה לאחר החדרת המגביל. למדדי סיכון אלו בוצעו מבחנים סטטיסטים כמצוין בנספח 10.3.

תוצאות מבחנים אלו עבור מרווח הזמן הממוצע בין כלי רכב עוקבים (מתייחס רק לפערי זמן קטנים משלוש שניות) מוצגות בטבלה 5 להלן :

טבלה 5: מבחן ההשערות על ממוצעי פערי הזמן $\overline{H}_t$ עם ובלי מגביל מהירות

Hypothesis test for q= 1000 (veh/hr)							
Speed distribution No.	(UL)	N	$\sigma^2_{H_t}$	$\overline{X}$	Z_0	Z_α	Result
1	No limit	178	0.3969	1.76			
2	120	174	0.4624	1.78	-0.28	-1.65	Not Significant
3	110	176	0.3969	1.8	-0.59	-1.65	Not Significant
4	100	179	0.36	1.94	-2.76	-1.65	Significant
5	90	175	0.3844	1.83	-1.05	-1.65	Not Significant

Hypothesis test for q= 2000 (veh/hr)							
Speed distribution No.	(UL)	N	$\sigma^2_{H_t}$	$\overline{X}$	Z_0	Z_α	Result
6	No limit	602	0.3481	1.49			
7	120	597	0.3844	1.51	-0.57	-1.65	Not Significant
8	110	599	0.4096	1.58	-2.53	-1.65	Significant
9	100	609	0.3844	1.61	-3.45	-1.65	Significant
10	90	600	0.3721	1.59	-2.88	-1.65	Significant

Hypothesis test for q= 3000 (veh/hr)							
Speed distribution No.	(UL)	N	$\sigma^2_{H_t}$	$\overline{X}$	Z_0	Z_α	Result
11	No limit	1129	0.3136	1.44			
12	120	1135	0.3364	1.46	-0.83	-1.65	Not Significant
13	110	1142	0.3025	1.45	-0.42	-1.65	Not Significant
14	100	1135	0.2916	1.44	0	-1.65	Not Significant
15	90	1171	0.2809	1.48	-1.75	-1.65	Significant

Hypothesis test for q= 4000 (veh/hr)							
Speed distribution No.	(UL)	N	$\sigma^2_{H_t}$	$\overline{X}$	Z_0	Z_α	Result
16	No limit	1718	0.1849	1.33			
17	120	1733	0.2025	1.36	-2	-1.65	Significant
18	110	1727	0.2025	1.35	-1.33	-1.65	Not Significant
19	100	1718	0.1936	1.34	-0.67	-1.65	Not Significant
20	90	1718	0.1936	1.38	-3.36	-1.65	Significant

ארבע המדדים הנותרים נבדקו באופן ישיר באמצעות ההפרשים באופן אבסולוטי ובאחוזים. טבלה 6 מסכמת בדיקה השוואתית זו, כאשר ההפרשים הם החסרת ערך המדד ללא מגביל מהערך עם מגביל. ההפרש האבסולוטי סומן ב- a (absolute) וההפרש באחוזים סומן ב- P(%) (Percentage).

טבלה 6: השינוי באחוזים של NLC, PDRE(%), $P_{er}[T<1]$ ו- $\sigma^2 s$

Differences for Traffic Volume q=1000 (veh/hr-2 lanes)									
Speed distribution No.	**Speed limiter** (km/hr) **(UL)**	**NLC**		**PDRE (%)**		**$P_{re}[T<1]$(%)**		**$\sigma^2 s$**	
		a	**P (%)**	**a**	**P (%)**	**a**	**P (%)**	**a**	**P (%)**
1	**No limit**								
2	**120**	-154	-9.5	-0.5	-2	+1.2	+37.5	-102	-50.2
3	**110**	-355	-22	-0.7	-2.8	0	0	-150	-73.9
4	**100**	-369	-22.8	-5.1	-20.4	-1.2	-37.5	-170	-83.7
5	**90**	-181	-11.2	-2.3	-9.2	-0.1	-3.13	-170	-83.7

Differences for Traffic Volume q=2000 (veh/hr-2 lanes)									
Speed distribution No.	**Speed limiter** (km/hr) **(UL)**	**NLC**		**PDRE (%)**		**$P_{re}[T<1]$(%)**		**$\sigma^2 s$**	
		a	**P (%)**	**a**	**P (%)**	**a**	**P (%)**	**a**	**P (%)**
6	**No limit**								
7	**120**	-36	-1.3	-0.4	-1.14	+0.4	+3.88	-15	-10.7
8	**110**	-73	-2.7	-3.5	-10.0	-0.8	-7.77	-70	-50
9	**100**	-310	-11.7	-4.7	-13.46	-3.1	-30.10	-98	-70
10	**90**	-44	-1.6	-2.9	-8.3	-1.6	-15.53	-100	-71.4

Differences for Traffic Volume q=3000 (veh/hr-2 lanes)									
Speed distribution No.	**Speed limiter (km/hr) (UL)**	**NLC**		**PDRE (%)**		**$P_{re}[T<1](\%)$**		**$\sigma^2 s$**	
		a	**P (%)**	**a**	**P (%)**	**a**	**P (%)**	**a**	**P (%)**
11	**No limit**								
12	**120**	+52	+1.8	0	0	-0.2	-1.59	-2	-2
13	**110**	-24	-0.85	-0.6	-1.65	-0.6	-4.76	-32	-32.6
14	**100**	-109	-3.89	+0.1	+0.27	+0.3	+2.38	-56	-57.1
15	**90**	-228	-8.15	-1.0	-2.76	-0.5	-3.97	-57	-58.1

Differences for Traffic Volume q = 4000 (veh/hr-2lanes)									
Speed distribution No.	**Speed limiter (km/hr) (UL)**	**NLC**		**PDRE (%)**		**$P_{re}[T<1](\%)$**		**$\sigma^2 s$**	
		a	**P (%)**	**a**	**P (%)**	**a**	**P (%)**	**a**	**P (%)**
16	**No limit**								
17	**120**	-31	-1.5	-0.2	-0.5	-0.7	-4.24	-3	- 4.6
18	**110**	+114	+5.35	-0.4	-1.01	-0.7	-4.24	-5	-7.6
19	**100**	-145	-6.8	+0.4	+1.01	+0.2	+1.21	-8	-12.3
20	**90**	-229	-10.7	-1.2	-3.04	-0.8	-4.85	-29	-

המסקנות העיקריות העולות מטבלאות 5 ו- 6 הן:

- ניתן להבחין שהייתה הגדלה במרווח הזמן הממוצע בין כלי הרכב בכל התסריטים שהורצו בסימולציה. הגדלת מרווח זמן זה מגדילה את הזמן העומד לרשות הנהג להגיב לאירועים בלתי צפויים ולהימנע פוטנציאלית מתאונות דרכים.
- בכל נפחי התנועה בסימולציה ניתן להבחין כי רוב ההפרשים (אחרי ולפני החדרת מגביל מהירות) המתקבלים ממדדי הבטיחות שנבנו הינם שליליים, כאשר עליית ערך המדד פרושה הרעה במצב הבטיחותי; דהיינו, כתוצאה מהחדרת המגביל יש שיפור ברמת הבטיחות בדרכים.

חשוב להדגיש שהערכים הכמותיים המופיעים בטבלאות 5 ו- 6 מתבססים על סימולציה שנותנת תוצאות דומות למציאות, אך השפעת המגביל בפועל תהיה יותר גדולה מההשפעה שנמדדה בסימולציה.

5.2 הערכת ההקטנה בתאונות דרכים לאחר התקנת המגביל לפי מודל נילסון 2004

נילסן (2004) מצא קשר בין מהירות הנסיעה הממוצעת וכמות תאונות הדרכים.
הקשר מבוסס על שלושה תת-קשרים:

- השינוי בשיעור התאונות עם פצועים (ללא הרוגים) תלוי בשינויי במהירות הממוצעת **בחזקה שנייה**.
- השינוי בשיעור התאונות עם פצועים (כולל הרוגים) תלוי בשינויי המהירות הממוצעת **בחזקה שלישית**.
- השינוי בשיעור התאונות הקטלניות תלוי בשינויי המהירות הממוצעת **בחזקה רביעית**.

בטבלה 7 להלן מופיעים השינויים במהירות הממוצעת וההקטנה הצפויה בתאונות הדרכים עפ"י מודל נילסן (ראו נספח 10.3). שינויים אלו הם לפני ואחרי התקנת מגביל המהירות על כל כלי הרכב, בדרך דו נתיבית, כתלות בנפחי תנועה שונים (1000, 2000, 3000 ו-4000 כ"ר בשעה) וכתלות במהירות המרבית המוגדרת במכשיר מגביל המהירות (90, 100, 110 ו-120 קמ"ש).

טבלה 7: חיזוי לשיעור ההקטנה בתאונות דרכים לאחר התקנת המגביל
בערכים שונים של הגבלת נפח תנועה

Traffic Volume 1000	**Reduction in mean speed (%)**	**Reduction in accidents (%)**		
Speed limiter (km/hr) **(UL)**		**Fatal accidents**	**Fatal and serious injury accidents**	**All accidents**
No limiter				
120	-2.8%	-10.8%	-8.2%	-5.5%
110	-8.4%	-29.6%	-23.2%	-16.1%
100	-15.0%	-47.7%	-38.5%	-27.7%
90	-24.3%	-67.2%	-56.6%	-42.7%

Traffic Volume 2000	Reduction in mean speed (%)	Reduction in accidents (%)		
Speed limiter (km/hr) (UL)		Fatal accidents	Fatal and serious injury accidents	All accidents
No limiter				
120	-1.0%	-4.1%	-3.1%	-2.1%
110	-2.1%	-8.0%	-6.1%	-4.1%
100	-9.3%	-32.3%	-25.3%	-17.7%
90	-19.6%	-58.2%	-48.0%	-35.3%

Traffic Volume 3000	Reduction in mean speed (%)	Reduction in accidents (%)		
Speed limiter (km/hr) (UL)		Fatal accidents	Fatal and serious injury accidents	All accidents
No limiter				
120	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
110	-1.1%	-4.4%	-3.3%	-2.2%
100	-5.6%	-20.6%	-15.9%	-10.9%
90	-15.7%	-49.6%	-40.2%	-29.0%

Traffic Volume 4000	Reduction in mean speed (%)	Reduction in accidents (%)		
Speed limiter (km/hr) (UL)		Fatal accidents	Fatal and serious injury accidents	All accidents
No limiter				
120	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
110	-1.3%	-5.2%	-3.8%	-2.5%
100	-1.3%	-5.0%	-3.7%	-2.5%
90	-7.6%	-27.1%	-21.1%	-14.6%

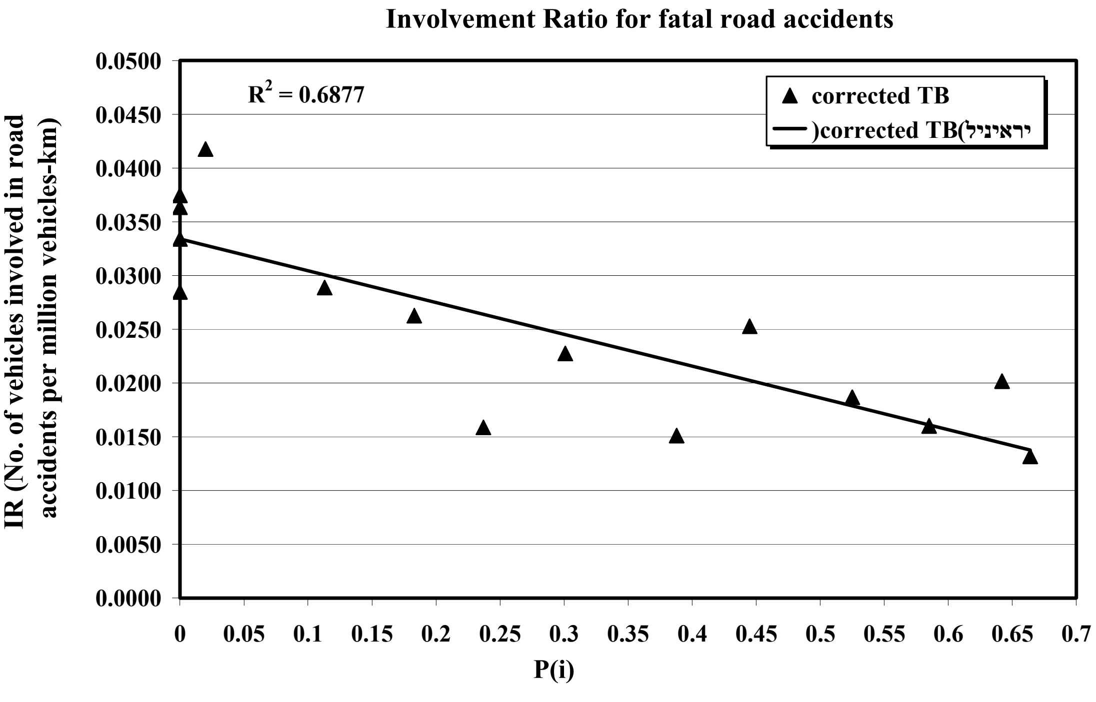
מסקנות:

- ככל שנפה התנועה קטן בסימולציה, עבור אותה מהירות מרבית של המכשיר, מתקבלת הפחתה יותר משמעותית באחוז תאונות הדרכים ובחומרתן.
- בנפח תנועה אחיד בסימולציה, ככל שמורידים את סף המהירות המרבית, ההפחתה באחוז התאונות משמעותית יותר.
- עבור נפח תנועה אחיד ואותה מהירות מרבית של המכשיר בסימולציה, ההפחתה באחוז תאונות הדרכים קטנה עם ירידת חומרת התאונה; דהיינו, הקטנה משמעותית יותר בתאונות קטלניות מאשר בתאונות עם פצועים קשה, ובתאונות עם פצועים קשה - יותר מאשר בתאונות עם פצועים קל.

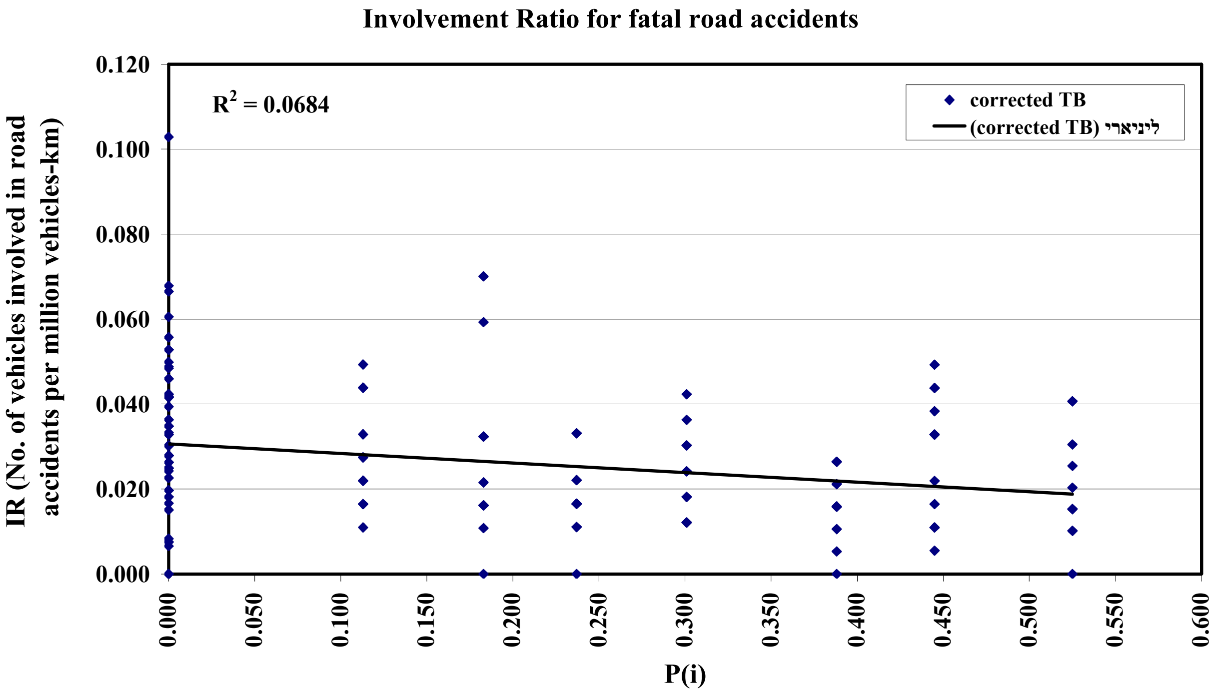
5.3 התקנת מגביל מהירות על משאיות ואוטובוסים

ניתוח נתונים הן על תאונות דרכים של משאיות ואוטובוסים בהם מותקן מגביל מהירות והן על אלו שלא מותקן בהם מגביל מוצג בנספח 10.4. ניתוח זה מצביע על כך שהקשר הליניארי בין שיעור המעורבות בתאונות קטלניות ואחוז כלי רכב עם מגביל מהירות הינו מובהק סטטיסטית. בנוסף, התקנת המגביל על כלי הרכב הכבדים מקטין את שיעור מעורבותם בתאונות קטלניות. נתונים אלה מוצגים בשני האיורים הבאים 2 ו-3.

ראוי לציין שבדיקת מובהקות הקשר הליניארי ($\alpha = 0.05$) עבור הנתונים ברמה השנתית מראה ש- $p = 0.0022$ ובדיקת מובהקות הקשר הליניארי ($\alpha = 0.05$) עבור הנתונים ברמה החודשית מראה ש- $p = 0.0025$ כמפורט בנספח 10.4.



איור 2: הקשר בין שיעור המעורבות בתאונות ברמה שנתית ואחוז כלי רכב עם מגביל מהירות בישראל



איור 3: הקשר בין שיעור המעורבות בתאונות ברמה חודשית ואחוז כלי רכב עם מגביל מהירות בישראל

המסקנה מהניתוח לעיל היא:

- התקנת מגביל מהירות באופן חלקי על משאיות ואוטובוסים משנת 1996 שיפרה את רמת הבטיחות של אותה קבוצה והקטינה את שיעור המעורבות של כלי רכב אלה בתאונות דרכים ביחס לכלי רכב כבדים שלא הותקן בהם מגביל מהירות.
-

5.4 סקר נהגי רכב פרטי ונהגי רכב כבד

הסקר שנערך ע"י חברת גיאוקרטוגרפיה חולק לשני שלבים: בשלב ראשון בוצע סקר טלפוני לנהגי רכב פרטי, ובשלב שני בוצע סקר שטח לנהגי רכב כבד. הסקר המלא ותוצאותיו מופיעים בנספח 10.5. להלן הממצאים העיקרים של כל סקר עפ"י הנושא הנבדק.

סקר נהגי הרכב הפרטי

א) <u>לגבי מהירות הנסיעה- המותרת ובפועל:</u>

- מחצית מהנהגים יודעים מהי המהירות המרבית המותרת לנסיעה בכביש בינעירוני מהיר; רוב ציבור הנהגים (85%) ציין את הטווח שבין 90-100 קמ"ש.
- כמחצית מהנהגים מתוודים שהם נוהגים במהירות מעל המותרת; למעלה מ-100 קמ"ש.

- ❖ שני שליש מציבור הנהגים מדווחים שנהגו בפועל, במהירות גבוהה יותר ממה שחשבו שהם נוהגים.
- ❖ רוב הנהגים (59%) מסכימים, שמהירות מופרזת היא הגורם העיקרי לתאונות הדרכים.

ב) <u>עמדת הנהגים בנוגע להתקנת מגביל המהירות ולתמיכה בהתקנה זו:</u>

- ❖ שתי העמדות שזוכות להסכמה בינונית עד גבוהה: (1) "תהיה ירידה משמעותית בתאונות הדרכים ובחומרתן", ו-(2) "כתוצאה מהתקנת המכשיר ברכב, הנהגים בישראל יחפשו דרך לעקוף את המכשיר".
- ❖ מהסקר עולה שרוב הנהגים (67%) תומכים או לא מתנגדים להתקנת מכשיר להגבלת המהירות.

ג) <u>התנגדות להתקנת מגביל מהירות:</u>

- ❖ רבע מתוך הנהגים אשר מתנגדים לרעיון של התקנת מכשיר להגבלת מהירות, טוענים כי תאונות אינן נגרמות דווקא ממהירות.
- ❖ הנהגים בתדירות גבוהה יותר חוששים מאי יכולת לעקוף רכבים אחרים במידה ויותקן מגביל מהירות, ואילו הנהגים בתדירות בינונית-נמוכה ונהגים מבוגרים סבורים שמידת מהירות היא תחת אחריותו של הנהג.

ד) <u>מהירות הנסיעה המרבית שתיקבע ע"י המכשיר המגביל:</u>

- ❖ מסקר הנהגים ברכב פרטי עולה כי כ-3/4 מהנהגים (74%) הם בדעה שיש לכייל את מגביל המהירות בין 85 לבין 125 קמ"ש, כאשר 45% הם בדעה שיש להגביל את המהירות בין 100 לבין 115 קמ"ש; לשון אחרת, מגביל מהירות על 120 קמ"ש בהחלט תהיה גזירה שהציבור יוכל לעמוד בה.
- ❖ באופן מובהק, הנוהגים בתדירות גבוהה, כמו גם גברים וצעירים מעדיפים שמהירות ההגבלה המכסימלית תהיה גבוהה יותר מאשר ההעדפה של הנוהגים בתדירות בינונית-נמוכה, נשים ומבוגרים.

סקר שטח בקרב נהגי רכבים כבדים

א) <u>נהיגה עם מגביל מהירות והשלכותיה על נהיגה ללא מגביל מהירות:</u>

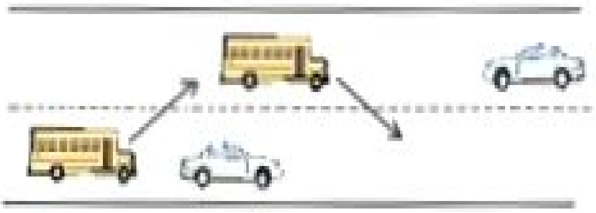
- ❖ בקרב נהגי משאיות ואוטובוסים קיימת הסכמה גבוהה (76%) להתקנת מגביל מהירות ברכבים כבדים, כאשר רוב הנהגים (83%) טוענים שלא היו צריכים להסתגל כלל לנהיגה עם מגביל המהירות.
- ❖ למעלה ממחצית מציבור נהגים זה (58%) חשים שבטיחות הנסיעה גדלה בעקבות מגביל המהירות.
- ❖ כ-45% מהנהגים מסכימים שמגביל המהירות חוסך בדלק וכן שהגבלת המהירות לא שינתה את זמני ההגעה ליעדיהם.

- ❖ יותר משליש מהנהגים (39%) נוהגים ברכבם הפרטי בצורה זהירה יותר בעקבות השימוש במגביל המהירות ברכב העבודה.
- ❖ מגביל המהירות לרוב אינו דורש הסתגלות מיוחדת; במקרים אחרים הוא דורש תקופת הסתגלות שלא עולה על חודש ימים.

ב) <u>מצבים מסוכנים:</u>

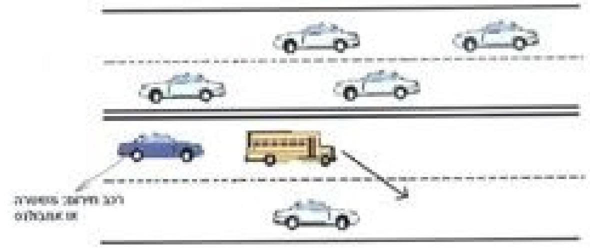
הוצגו בפני המשתתפים בסקר שני תרחישים על מנת לבחון הימלטות ממצבים מסוכנים:

<u>מצב ראשון:</u> מצב בו תוך כדי עקיפה, מופיע רכב בכיוון הנגדי והנהג אינו מצליח לסיים את העקיפה בגלל מגביל המהירות.



- ❖ 39% מסה"כ הנהגים מאמינים שמגביל המהירות לא ימנע מהם להימלט ממצב זה; מחצית מהנהגים שנוהגים עם מגביל מאמינים שמגביל המהירות לא ימנע מהם להימלט ממצב זה, לעומת שליש מהנהגים שנוהגים ללא מגביל.

<u>מצב שני:</u> מצב בו רכב חירום נוסע מאחורי הנהג ומבקש ממנו לפנות לו את הדרך. בו זמנית נוסע לידו רכב ולא מצליח לעקפו בגלל מגביל המהירות



- ❖ 59% מהנהגים מאמינים שמגביל המהירות לא ימנע מהם להימלט ממצב זה.
- ❖ רוב הנהגים הותיקים (בעלי רישיון מעל 20 שנה), ושני שליש מהנהגים הנוהגים עם מגביל, מאמינים שמגביל המהירות לא ימנע מהם להימלט ממצב זה.
- ❖ רוב נהגי האוטובוס (לעומת מחצית מנהגי המשאיות), מאמינים שמגביל המהירות לא ימנע מהם להימלט ממצב זה.

ג) <u>איחוד ממצאים הניתנים להשוואה:</u>

- רוב הנהגים ברכב פרטי (59%) מסכימים, שמהירות מופרזת היא הגורם העיקרי לתאונות הדרכים, לעומת 50% מהנהגים ברכבים כבדים המסכימים עם טענה זו.
- כמעט אותו אחוז של משתתפים בקרב שתי אוכלוסיות הנהגים אינו מסכים עם הטענה לעיל שמהירות מופרזת היא הגורם העיקרי לתאונות הדרכים (28% בקרב הנהגים ברכב פרטי ו-29% בקרב הנהגים ברכבים כבדים).
- שיעור נמוך יחסית מהנהגים ברכבים כבדים מעדיפים להשאיר את מהירות ההגבלה כפי שהנה כיום; מהירות ההגבלה הממוצעת המועדפת (37%) עומדת על 100-105 קמ"ש, לעומת 112 קמ"ש- מהירות ההגבלה המועדפת הממוצעת בקרב נהגים (בעלי דעה) ברכב פרטי.
- 76% מנהגי משאיות ואוטובוסים מסכימים להתקנת המכשיר ברכבם, לעומת 59% מנהגי הרכבים הפרטיים המסכימים להתקנה.

6. דיון

המחקר עוסק בעבודה המהווה סימולציה של מקרה במציאות אם וכאשר תאושר התקנת מגביל מהירות בכל כלי הרכב למעט רכבי חירום. אין ספק שסימולציה הינה מעין מודל תחזית, אולם רק לאחר יישום ניתן לגזור מסקנות חותכות.

גישת המחקר הינה שמרנית, דהיינו ללכת על החסם התחתון של ההשפעות החיוביות מתוך אמונה שאם בחסם תחתון זה קיימת השפעה משמעותית וחיובית, אזי על אחת כמה וכמה ההשפעה תהיה חיובית במציאות.

איסוף הנתונים של סקר הנהגים נערך באופן אובייקטיבי, מהימן ומייצג סטטיסטית את ציבורי הנהגים שנשאלו בסקר; לכן, ממצאי הסקר אמינים. החברה שביצעה את הסקר (גיאוקרטוגרפיה) הינה חברה מקצועית המתמחית שנים רבות בתחום זה.

קיימת השערה שלמגביל המהירות תהיה השפעה מאוד חיובית על רוגע הנהיגה; יחד עם זאת השערה זו לא נבדקה באופן מקצועי ותקף.

לבסוף, מו הראוי לציין שלאותו פלח של נהגים המוצאים בנהיגה אלמנט ספורטיבי, ועם התקנת מגביל המהירות הנהיגה תשעמם אותם, אפשר להציע את שוק התחבורה הציבורית. אין ספק שאותו פלח תורם לצד הימני-הגבוה של התפלגות המהירות.

7. המלצות

- ❖ לאור ממצאי המחקר, מומלץ להביא את האפשרות של יישום כוללני של מגביל מהירות (פרט לרכבי חירום) הן לדיון במשרד התחבורה והן לדיון ציבורי (לצורך הסתגלות הדרגתית לרעיון במידה ויוחלט ליישמו).
- ❖ מומלץ במסגרת הדיון עם משרד התחבורה להתוות תוכנית ארצית שתכלול את השלבים הדרושים ליישום מגביל מהירות בכל כלי הרכב (להוציא רכבי חירום); תכנית זו תיועד ליישום הדרגתי או תהווה תוכנית מגירה.
- ❖ מומלץ להמשיך ולחקור התנהגויות מיקרוסקופיות של התנועה המושתתת על כלי רכב עם מגבילי מהירות כתלות בגיאומטרית הדרך (סיבובים, עליות, ירידות, וכיוצ"ב); חקירה זו תיערך באופן המיטבי עם שיירת ניסוי של רכבים המצוידים במגבילי מהירות בערכים שונים של מהירות מרבית במכשיר.
- ❖ מומלץ על אכיפה משטרתית של תקנת החובה לפעולה תקינה של מגבילי מהירות במשאיות עם משקל כולל מותר מעל 12 טון, ואוטובוסים במשקל כולל מותר מעל 10 טון שיוצרו משנת 1996 ואילך.
- ❖ מומלץ להעביר את מסקנות המחקר למבקר המדינה לאור המלצות דו"ח המבקר משנת 2005 ולהמליץ על המשך מחקר בנושא זה.
- ❖ מומלץ לעשות סקר בכדי לבדוק כיצד פרויקט או ניסוי במגביל מהירות בישראל יוכל להשתלב בפרויקטים או ניסויים הקשורים לבטיחות בדרכים באיחוד האירופי.
- ❖ מומלץ לבחון שיטה למניעת ניתוק מגביל המהירות הן באמצעים מיכאניים אלקטרוניים והן באמצעות של תקשורת ודיווח למרכז משטרתי בעת הניתוק; בחינה זו יכולה להיעשות הן בצורת מחקר עם אנשים מתחום התקשורת והאליקטרוניקה או ע"י סיעור מוחות של מדענים, אנשי ממשלה ואנשי תעשיה.

8. רשימת מקורות

1) Andersson G. and Nilsson G., 1997: “Speed Management in Sweden”, Linkoping, Swedish National Road and Transport Institute VTI.
2) Ang, A.H-S., and Tang, W.H., 1975 : " Probability Concepts in Engineering Planning and Design" . Vol. 1: Basic Principle. New York: John Wily and Sons.
3) Cirrillo J.A., 1968. : “Interstate System Accident Research”: study 2, report 2, Public Roads 1968, 35(3), pp. 71-75.
4) ECMT & OECD, 2006: “Speed Management”.
5) Garber, N.J and Gadirau, R., 1988.: ”Speed Variance and its Influence on Accident.” , AAA Foundation for traffic safety, Washington DC.
6) Garber,N., Enhart. A.,2000 “ The Effect of Speed, Flow and Geometric Characteristics on Crash Rate For Different types of Virginia Highways.
7) Hauer, E., 1971.: “ Accidents Overtaking and Speed Control”, Accident analysis and prevention, No. 3, pp. 1-3.
8) Lamm, R., and E. M. Choueri (1987), “Accident Rates on Curves as Influenced by Highway Design Elements Based on Investigations in the State of New York,” presented at the 66th annual meeting of the Transportation Research Board.
9) Leong, H.J.W. “The Distribution and Trend of Free Speed on Two-Lane
10) Lerner, N. *et al.*,1995. “Literature review: Older driver perception-reaction time for intersection sight distance and object detection.” Comsis Corp. Contract DTFH 61-90-0038. Final Report. Federal Highway Administration, Washington, DC.
11) Nilsson G., 2004. Traffic Safety Dimentions and the Power Model to Describe the Effect of Speed on Safety.”. Lund bulletin 221.
12) Proceeding- forth conference, Melbourne 1968.
13) Salusjarvi, M., 1981.: ” The Speed Limit Experiment on Public Roads in Finland.” . Technical Research Center of Finland Publication 7/1987.
14) Solomon ,D.,1964.:” Accidents on Main Rural Highways Related to Speed, Driver and Vehicle” .

15) Sparmann, U., 1978.: “The Importance of Lane-Changing on Motorways. Traffic Engineering and Control.”
16) TRB 1998, special report 254: “Managing Ppeed: Review of Current Practice for Setting and Enforcing Speed Limits.” Transportation Research Board, Washington DC.
17) Warren, D.L., 1982, :” Speed Zoning and Control.” In Synthesis of safety research related to traffic control and roadway elements : Washington.
18) פלג מ. ובלשה ד., 1972: "פילוג מהירויות בדרך בי-עירונית בישראל".

9. לוח זמנים על פי שלבי העבודה

שלבי העבודה		לוח הזמנים		מקום הביצוע
		תאריך התחלה	תאריך סיום	
1	סקר ספרות מקיף	1.01.2006	1.04.2006	הטכניון
2	איסוף ניתונים על תאונות משאיות ואוטובוסים בשיראל	1.03.2006	1.06.2007	הטכניון
3	ניתוח נתוני מהירות בכבישים בינעירוניים	1.03.2006	1.04.2006	הטכניון
4	פיתוח מודל לחיזוי השינויים בהתפלגות המהירות לאור התקנת המגביל	1.04.2006	1.08.2006	הטכניון
5	בניית מודל סימולציה	1.05.2006	15.11.2006	הטכניון
6	עריכת סקר לנהגי הרכב הפרטי ונהגי הרכב הכבד	1.11.2006	1.02.2006	מכון גיאוקרטוגרפיה
7	ניתוח ועיבוד ממצאי הסימולציה והערכת רמת השיפור	15.12.2006	1.04.2007	הטכניון
8	כתיבת דו"ח מסכם	1.03.2007	1.08.2007	הטכניון

10. נספחים

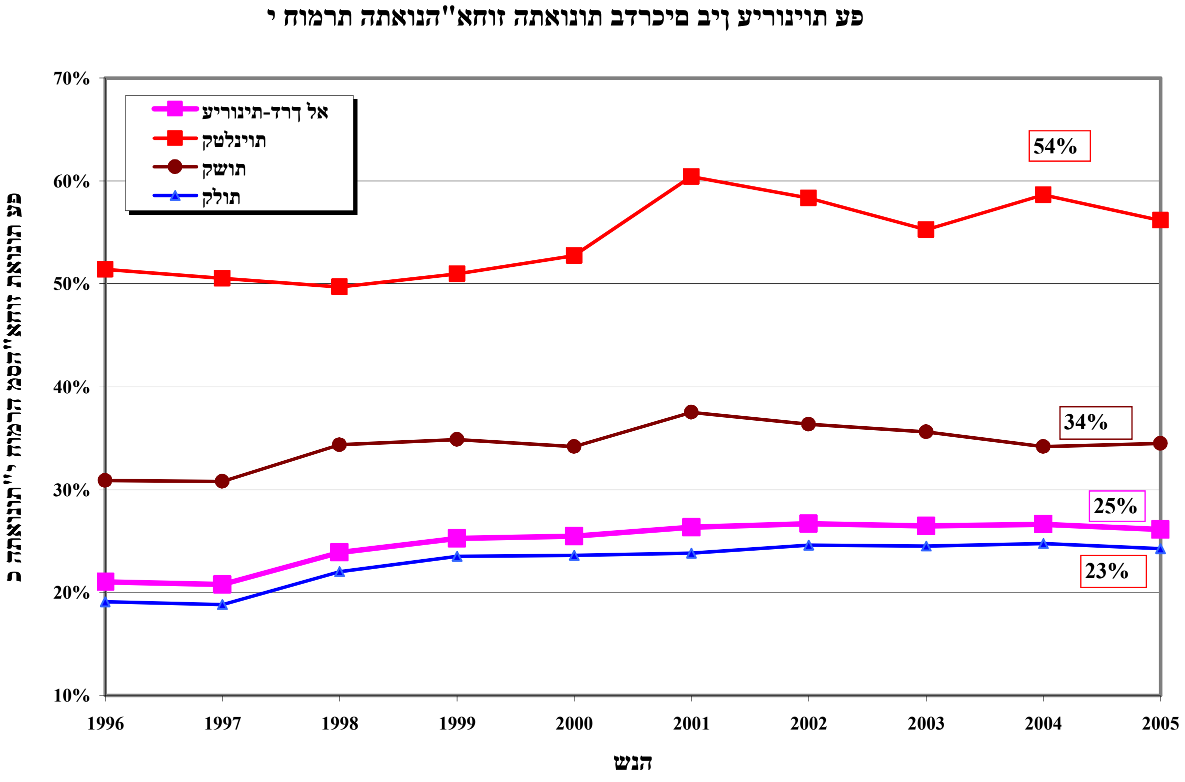
10.1 סקר ספרות

10.1.1 גורם המהירות בתאונות דרכים בישראל

מאיסוף ועיבוד נתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה המתייחסים לתאונות הדרכים בישראל בעשר השנים האחרונות, נמצא כי כ- 25% מסה"כ תאונות הדרכים מתרחשות בדרכים בינעירוניות, אך אחוז התאונות הקטלניות המתרשות באותם כבישים מהווה כ- 54% מסה"כ התאונות, וכי אחוז התאונות הקשות מהווה כ- 34% מסה"כ התאונות.

פילוג התאונות לאורך השנים מוצג באיור 4. כפי שניתן להתרשם מהאיור, אחוז התאונות הקשות והקטלניות גדול בהרבה מאחוז כלל התאונות באותם כבישים, והסיבה כנראה נובעת מכך שמהירות הנסיעה בכבישים הבין עירוניים גדולה ביחס לכבישים האחרים. בנוסף נמצא שעפ"י דיווח הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה כ- 17% מהתאונות הקטלניות בשנת 2006 נגרמו בשל מהירות הנסיעה.

במסגרת המחקר הייתה פנייה למשטרת ישראל על מנת לבדוק את מספר עבירות המהירות שנרשמו ע"י המשטרה בשנים האחרונות; נמצא כי בשנת 2006 נרשמו כ-50428 דוחות על עבירת מהירות עלייה של 7% בכמות דוחות על עבירת המהירות שנרשם בשנת 2005 ושעמד על 47083.



איור 4: אחוז התאונות בדרכים בין עירוניות בישראל עפ"י חומרת התאונה.

10.1.2 תקנת התעבורה בעניין התקנת מגביל מהירות

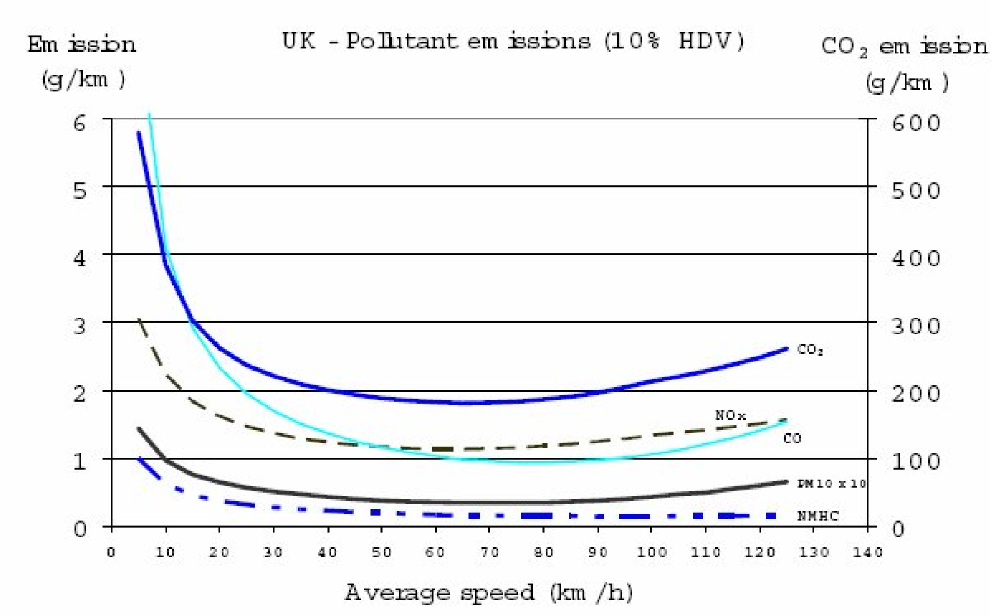
בשנת 1995 החליט משרד התחבורה לאמץ את תקנת האיחוד האירופי בעניין הגבלת המהירות, והטיל את חובת התקנת המגביל על משאיות ואוטובוסים החל משנת 1996. חובה זו חלה על אוטובוסים שמשקלם הכולל המותר עולה על 10,000 ק"ג, משאיות שמשקלן הכולל המותר עולה על 12,000 ק"ג.
ראוי לציין שעל פי פקודת התעבורה (נוסח חדש), תשכ"א-1961, סעיף 62 (א), כל המשבש את פעולתו התקינה של מיתקן מגביל מהירות שהותקן ברכב לפי הוראות סעיף 65א, יהיה צפוי למאסר שנתיים או קנס.
עפ"י דוח הביקורת של מבקר המדינה בנושא המאבק בתאונות דרכים משנת 2000, הביקורת העלתה שאין אכיפה של החובה להתקין מגביל מהירות לפי התקנות. כמו כן, לא נקבעו הנחיות בדבר הטיפול הנדרש במכשיר זה, כגון מועד כיולו והמורשה לכיילו.

10.1.3 הקשר בין מאפייני המהירות לבין תאונות הדרכים, זיהום האוויר וצריכת הדלק

הקשר בין רמת הבטיחות בדרכים המבוטאת במספר התאונות וחומרתן לבין מהירות הנסיעה בדרכים מהירות הינו נושא חשוב שנדון ונחקר בחמישים השנים האחרונות. המחקרים התמקדו בקשרים בין ערך המהירות המוחלט, הממוצע ושונות המהירות לבין שיעור המעורבות בתאונות וחומרתן. על סמך המחקרים ניתן לסכם מספר מסקנות המובאות להלן:

א. הקשר בין המהירות הממוצעת של הרכב לבין אחוז המזהמים הנפלטים לאוויר.

כמות המזהמים הנפלטת מכלי הרכב תלויה במהירות הנסיעה. כפי שמתואר באיור 5, מהירות הנסיעה האופטימאלית שבה מתקבלת כמות המזהמים המיזערית נעה בתחום של 40 עד 90 קמ"ש. הקשר בין כמות המזהמים השונים ומהירות הנסיעה מוצגת בגרף הבא של משרד התחבורה של בריטניה.



איור 5: פליטת גזים כתלות במהירות הנסיעה.

ב. השפעת המהירות על צריכת הדלק.

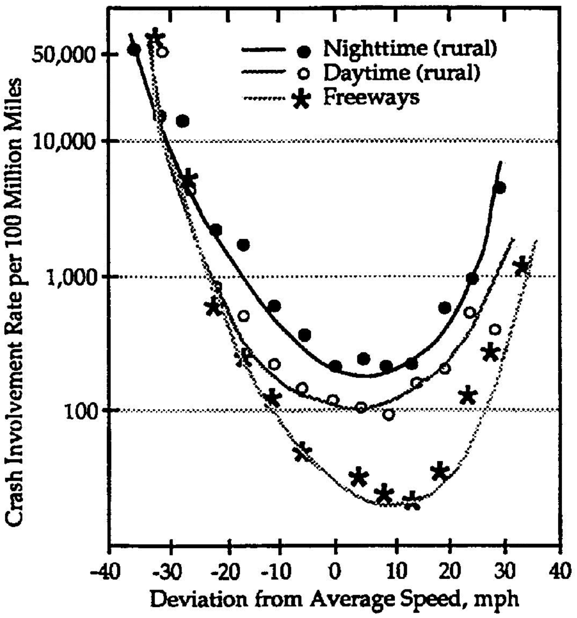
צריכת הדלק של כלי הרכב מושפעת באופן ישיר ממהירות הנסיעה ואופי הנסיעה, כך למשל נסיעה במהירות של 90 קמ"ש בהשוואה לנסיעה במהירות של 110 קמ"ש מקטינה את צריכת הדלק ב- 23%, בנוסף נסיעה בצורה אגרסיבית מגדילה את צריכת הדלק ב-30% כפי שהוצג ב- Speed Management (2006).

הקשר בין הקטנת המהירות לבין צריכת הדלק הינו קשר מוכח שנוצל ע"י הרבה מדינות במערב אירופה וארצות הברית בתחילת שנות השבעים. בתקופה זו היה משבר אנרגיה עולמי, והוקטנה המהירות המירבית המותרת בכבשים; הייתה הקטנה משמעותית בצריכת הדלק, ובכמות וחומרת תאונות הדרכים.

ג. הקשר בין ההפרש של מהירות הנסיעה בעת תאונה מהמהירות הממוצעת בדרך לבין שיעור המעורבות בתאונות.

Solomon (1964) ו- Cirillo (1968) וגם מחקרים מאוחרים יותר של Warren(1982), & Garber Gradirau (1988) הראו כי שיעור המעורבות בתאונות גדל יותר ככל שנוסעים במהירויות קטנות או גדולות יותר מהמהירות הממוצעת בדרך. איור 6 מציג את הקשר בין ההפרש של מהירות הנסיעה בעת תאונה מהמהירות הממוצעת בדרך לבין שיעור המעורבות בתאונות ל- 100 מיליון מייל נסיעה.

אחד החסרונות במחקרים שבוצעו בשנות השישים הוא השארת הרושם אצל הנהגים ששיעור מעורבותם בתאונות יגדל אם יסעו במהירויות נמוכות מהמהירות הממוצעת. אולם, הסיבה האמיתית להגדלת שיעור התאונות במהירות נמוכה היא הצפיפות הגדולה הנוצרת בנסיעה במהירות נמוכה והקונפליקטים הנוצרים בזמן ביצוע תמרון עקיפה בכדי לצאת מהדרך הראשית. בנוסף, ברוב המחקרים הערכת מהירות הנסיעה לפני התאונה היא ע"י מידע מנהגים והיא לרוב גדולה מערכה האמיתי.

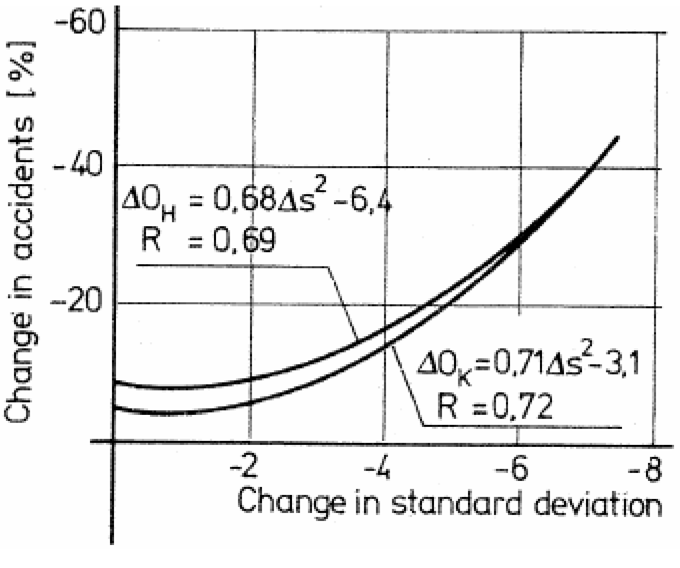


איור 6: הקשר בין ההפרש של מהירות הנסיעה בעת תאונה מהמהירות הממוצעת בדרך לבין שיעור המעורבות בתאונות ל-100 מיליון מייל נסיעה. מקור: Solomon (1964)

ד. הקטנת שונות המהירות

ניתן להסביר את השפעת השונות על התאונות הדרכים באופן מופשט: ככל שגדלים את ההפרשים בין מהירויות הנסיעה של כלי הרכב, ישנם יותר נהגים איטיים ויותר נהגים מהירים בדרך. כתוצאה מכך יש יותר עקיפות (Hauer (1971, יותר קונפליקטים בין הנהגים וזרימת התנועה אינה אחידה, הנסיעה אינה רגועה, והדבר מביא לגידול במספר התאונות בכבישים עם יותר מנתיב אחד לכל כוון.

Salusjarvi (1981) מצא שהירידה באחוז סה"כ התאונות ובתאונות עם פצועים תלוי בהקטנת סטיית התקן של המהירות בחזקה שנייה. תוצאת מחקרו מוצגת באיור 7.



איור 7: הקשר בין שיעור התאונות הכללי והתאונות עם הרוגים או פצועים לבין השינוי בסטיית התקן של מהירות הנסיעה. מקור: Salusjarvi (1981)

כאשר :

O_K - המספר הכללי של תאונות דרכים.

O_H - מספר התאונות עם פצועים או הרוגים.

אנליזה מפורטת בוצעה על ידי Garber and Gadirau (1988) במטרה למצוא את הקשר בין השונות במהירות לבין המהירות המרבית המותרת, מהירות התכן, ומאפייני תנועה אחרים. הם מדדו את שיעור התאונות, השונות במהירות והמהירות הממוצעת ב-36 חתכי דרכים בין עירוניות במדינת Virginia בארה"ב. נמצא קשר בין שיעור התאונות לבין השונות במהירות הנסיעה עבור שני סוגי דרכים כאשר הגדלת השונות מגדילה את שיעור המעורבות בתאונות בשני סוגי הדרכים, כדלקמן:

$$(2.4)\ ACCRT = 168 + 0.00273 \cdot (SPVA)^2 \qquad \text{Arterial Highway}$$

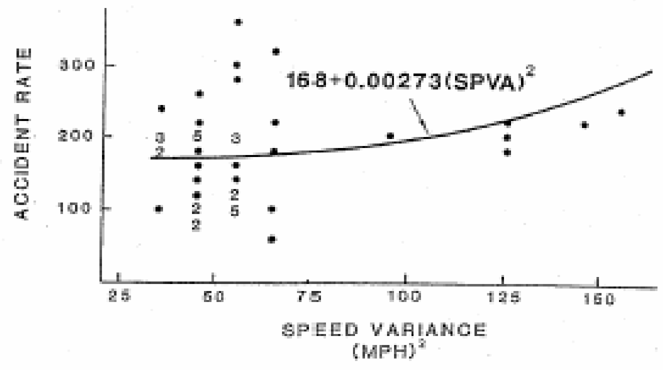
$$(2.5)\ ACCRT = 43.2 + 0.00347 \cdot (SPVA)^2 \qquad \text{Interstate Highway}$$

כאשר:

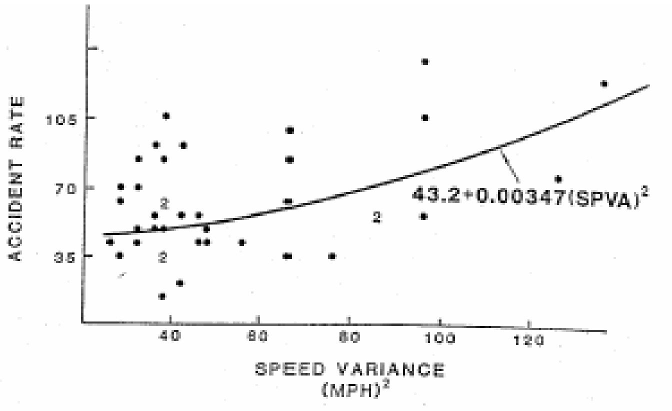
SPVA - השונות במהירות (mph^2).

ACCRT - שיעור התאונות (מספר התאונות למיליון מייל-נסיעה).

איורים 8 ו-9 מציגים את הקשר בין השונות במהירות לבין שיעור המעורבות בתאונות עבור שני סוגי הדרכים.



איור 8: הקשר בין שיעור התאונות לבין השונות במהירות בכבישים מסוג Arterial highway

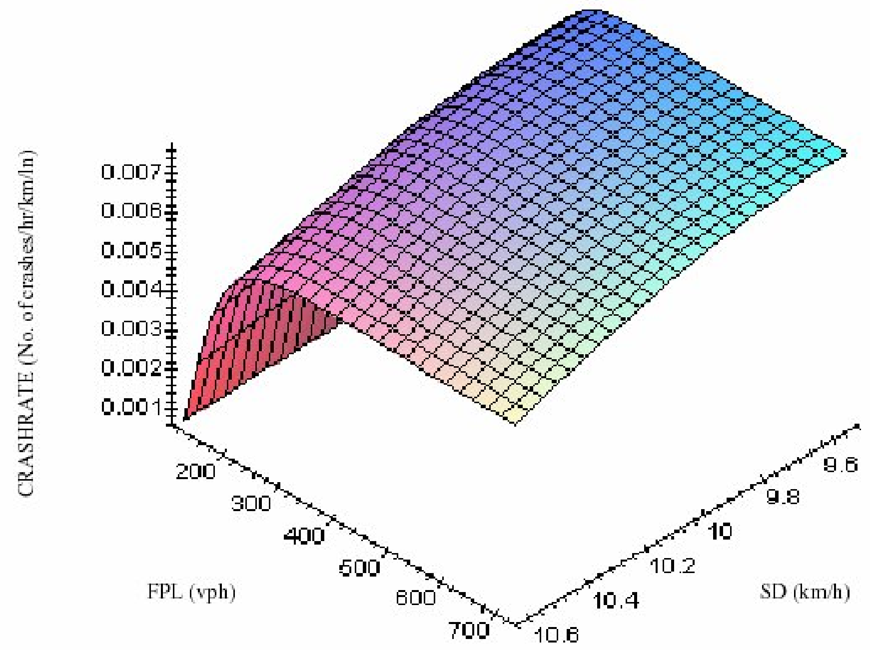


איור 9: הקשר בין שיעור התאונות לבין השונות במהירות בכבישים מסוג Interstate highway
מקור: Garber and Gadirau (1988)

כל המחקרים שנעשו עד היום התייחסו לכל אחד ממאפייני המהירות לחוד (מהירות ממוצעת, שונות במהירות) והשפעתם על שיעור התאונות. הרבה מחקרים התייחסו לקשר בין נפחי תנועה שעתיים או יומיים לבין שיעור התאונות אך עד היום עדיין לא נעשו מחקרים הבודקים את השפעת מאפייני המהירות והנפח ביחד על תאונות הדרכים.

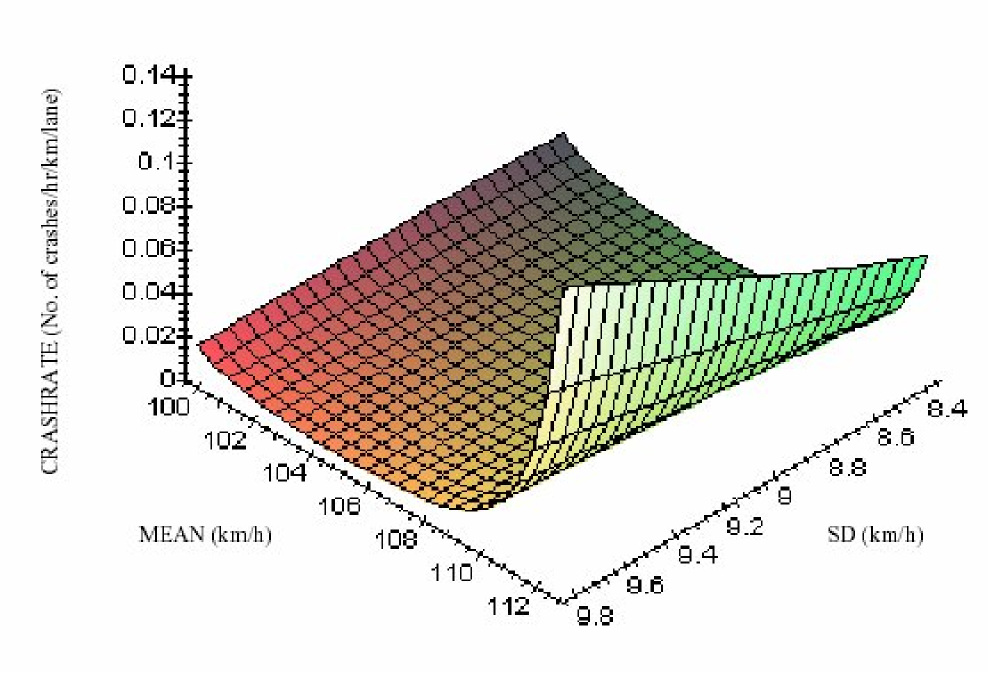
המחקר היחיד שניסה למצוא את ההשפעה של שלושת המאפיינים (נפח תנועה שעתי, מהירות ממוצעת וסטיית התקן של המהירות) על תאונות הדרכים הוא מחקרם של Garber & Ehrhart (2000) שנעשה במדינת Virginia בארה"ב. מחקר זה התייחס ל-52 אתרים בהם קיבלו מידע על נפחי התנועה שעתיים ומאפייני המהירות במשך שנתיים.

איור 10 מציג את הקשר בין נפח התנועה השעתי וסטית התקן של המהירות לבין שיעור התאונות, בתאונה עם מהירות ממוצעת של 104.6 קמ"ש ניתן להבחין באיור 10 שקיים קשר בין שיעור התאונות לבין המשתנים הבלתי תלויים של סטיית התקן של מהירות הנסיעה, המהירות הממוצעת ושיעור הזרימה לנתיב.



איור 10: שיעור התאונות כתלות בסטיית התקן של המהירות ונפח התנועה השעתי (מהירות ממוצעת 104.65 קמ"ש). מקור: Garber & Ehrhart (2000)

איור 11 מציג את הקשר בין המהירות הממוצעת וסטיית התקן של המהירות לבין שיעור התאונות עבור נפח שעתי של 790 כ"ר לשעה לנתיב. באיור 10 ניתן להבחין שבאותם כבישים עם מהירות ממוצעת וסטיית תקן גדולים שיעור התאונות היה גבוה.

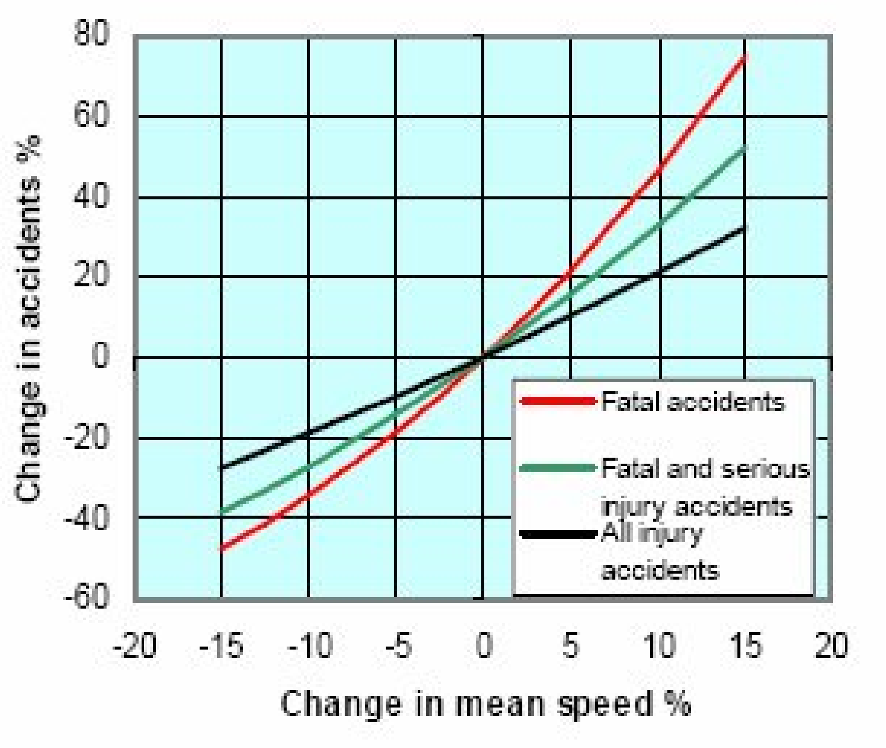


איור 11: שיעור התאונות כתלות במהירות הממוצעת וסטיית התקן של המהירות (נפח 790 כ"ר/ שעה). מקור: Garber & Ehrhart (2000)

ה. הקטנת מהירות הנסיעה בדרך וחומרת התאונות

חומרת התאונה תלויה באנרגיה המשתחררת בזמן התאונה, ואנרגיה זו תלויה בריבוע המהירות לפי $E = 0.5 \cdot m \cdot V^2$; ככל שעולה מהירות הנסיעה גדלה, כך האנרגיה המשתחררת, וכתוצאה מכך גדלה חומרת התאונה.

Anderson and Nilsson (1997) וגם Nilsson (2004) חקרו את הקשר בין מהירות הנסיעה לבין תאונות הדרכים ומצאו שהשינוי בשיעור התאונות עם פצועים (ללא הרוגים) תלוי בשנויי במהירות הממוצעת בחזקה שנייה. השינוי בשיעור התאונות עם פצועים (כולל הרוגים) תלוי בשנויי המהירות הממוצעת בחזקה שלישית, והשינוי בשיעור התאונות הקטלניות תלויי בשנויי המהירות הממוצעת בחזקה רביעית. תוצאות מחקרו של Nilsson (2004) מוצגות באיור 12.



איור 12: השינוי בשיעור התאונות כתלות בשינוי מהירות הנסיעה הממוצעת

מקור: Nilsson (2004)

10.2 פיתוח מודל לחיזוי התפלגות המהירות לאחר התקנת מגביל המהירות

מחקרים רבים שנעשו בעולם הראו שהתפלגות המהירות בזרימה חופשית מתאימה להתפלגות נורמלית. מחקרו של Leong (1968), שניתח 31 קטעי דרך עם שני מסלולים ושני נתיבים לכל כיוון במשך שלוש שנים באוסטרליה, מצא כי פילוג המהירויות מתאים לפילוג נורמאלי עם סטיית תקן השווה ל-0.17 פעמים מערך המהירות הממוצעת. פלג ובלשה (1972) חקרו גם הם את פילוג המהירויות בדרכים בינעירוניות בישראל ומצאו התאמה בין הפילוג הנורמאלי ומדידות מהירות בתנאים של זרימה חופשית.

10.2.1 בחירת התפלגויות מהירות בסיסיות כתלות בנפח התנועה

מחקר זה נעזר בתוצאות סקר על מאפייני מהירות הנסיעה בדרכים בינעירוניות שהתבצע בישראל בשנים 1997 ו-1998 ע"י חברת א.ג סקרים. המדגם שנבחר במחקר זה מורכב מ- 14 קטעי דרך דו-מסלוליים (שני נתיבים לכל כיוון), ועבור כל אחד מהקטעים האלו חושבה המהירות הממוצעת והשונות. פירוט נתוני המדגם מצורף בטבלה הבאה :

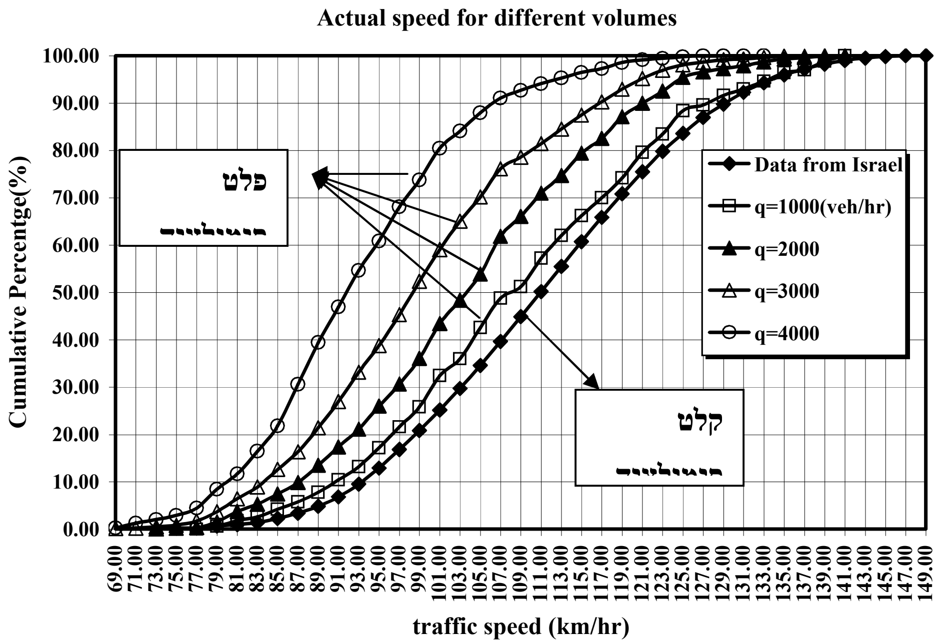
טבלה 8: נתונים על מאפייני מהירות הנסיעה ב-14 קטעי דרך בישראל

Road No.	No. of km	Year	Average speed	Variance	Standard deviation
			(km/hr)	(km/hr)^2	(km/hr)
2	37	1997	107	113	11
2	72	1997	96	84	9
25	188	1997	95	133	12
4	137	1997	94	161	13
40	239	1997	111	105	10
40	194	1998	97	103	10
65	37	1997	84	203	14
70	24	1997	91	215	15
85	18	1997	93	280	17
2	72	1998	88	90	9
65	40	1998	86	320	18
70	24	1998	90	111	11
1	30	1998	104	104	10
44	31	1997	83	215	15
Total Average			94.2		12.3
			0.13		

בחישוב שנעשה על המדגם שנמצא שהממוצע הכולל של סטיית התקן בקטעי הדרך הנדונים מהווה כ- 13% מהממוצע הכולל של המהירות.

מהמחקרים שנעשו ניתן להניח שלקטעי הדרך בישראל יש התפלגות נורמאלית למהירות עם ממוצע של 110 קמ"ש וסטיית תקן השווה ל 14.3 קמ"ש (13% מהמהירות הממוצעת). ההתפלגות זו מתאימה לנפחים של עד 1000 כ"ר לשעה לשני נתיבים. ההתפלגות זו הוכנסה לסימולציה כקלט כהתפלגות מצטברת.

התפלגות המהירות תלויה בנפח התנועה, עם הגדלת נפח התנועה בזרימה חופשית גדלה גם הצפיפות בדרך ועקב זאת המהירות הממוצעת קטנה ועמה גם בדרך כלל קטנה סטיית התקן; על ידי שימוש בתוכנת הסימולציה הוזנה התפלגות המהירות בנפח 1000 כ"ר בשעה כהתפלגות בסיסית (תסריט 1) הקרובה לנתונים שנאספו בישראל לצורך יצירת התפלגויות המהירות בנפחים של 2000 ,3000 ו-4000 כ"ר לשעה לשני נתיבים. באיור 13 מופיעות ההתפלגויות המצטברות ל-4 נפחים וכמו כן ההתפלגות ממוצעת של קטעי דרך דו-נתיביים בישראל בהתאם להנחה המוצגת לעיל.



איור 13: ההתפלגויות המצטברות הבסיסיות של מהירות התנועה המתאימות לנפחים שונים כאשר אין מגביל מהירות

10.2.2 יישום מודל סימולציה

מאחר ואין ניסיון בעולם עם יישום מלא של מגבילי מהירות (על כלל הרכבים) קשה לגזור מסקנות ישירות על השינויים הצפויים במאפייני זרימת התנועה עם מגבילי מהירות ולכן נעשה שימוש במודל סימולציה, ניתן להגדיר שתי מטרות לביצוע סימולציה תנועתית במחקר זה:

1. פיתוח מודל להערכת השינוי בהתפלגות מהירות התנועה לאור התקנת המגביל.
2. הערכת התרומה הצפויה לרמת הבטיחות בדרכים לאור התקנת מגביל המהירות על כל כלי הרכב.

כאמור סימולציה לזרימת תנועת רכבים הינה כלי יעיל בידיו של חוקר התחבורה. באמצעותה אפשר לאמוד השפעת וכדאיות חלופות שונות לשינויים במבנה רשת התחבורה ויעילות התקנת אביזרים למיניהם בדרך ובתוך כלי הרכב, כגון: מערכות תחבורה חכמות Intelligent Transportation Systems (ITS).

לצורך העבודה הנוכחית נבחר מודל VISSIM הגרמני; תוכנת VISSIM מיועדת לסימולציות באזורים עירוניים וגם לסימולציות בכבישים מהירים, עם האפשרות להגדרת צמתים מרומזרים ולא מרומזרים, כיכרות, מעברי הולכי רגל, מסלולי אופניים ומסלולי אוטובוסים ורכבות. התוכנה מבוססת על מודל מיקרוסקופי, discrete, סטוכסטי, עם האפשרות לחשב מיקום רכב עד 10 פעמים בשנייה.

תוכנת הסימולציה VISSIM 3.7 פותחה באוניברסיטת Karlsruhe בגרמניה מאמצע שנות השבעים. ההפצה המסחרית של התוכנה החלה בשנת 1993 ע"י חברת Planug Transport Verkehr AG (PTV). מאז ועד היום היא אחראית על חלוקת ואחזקת התוכנה.

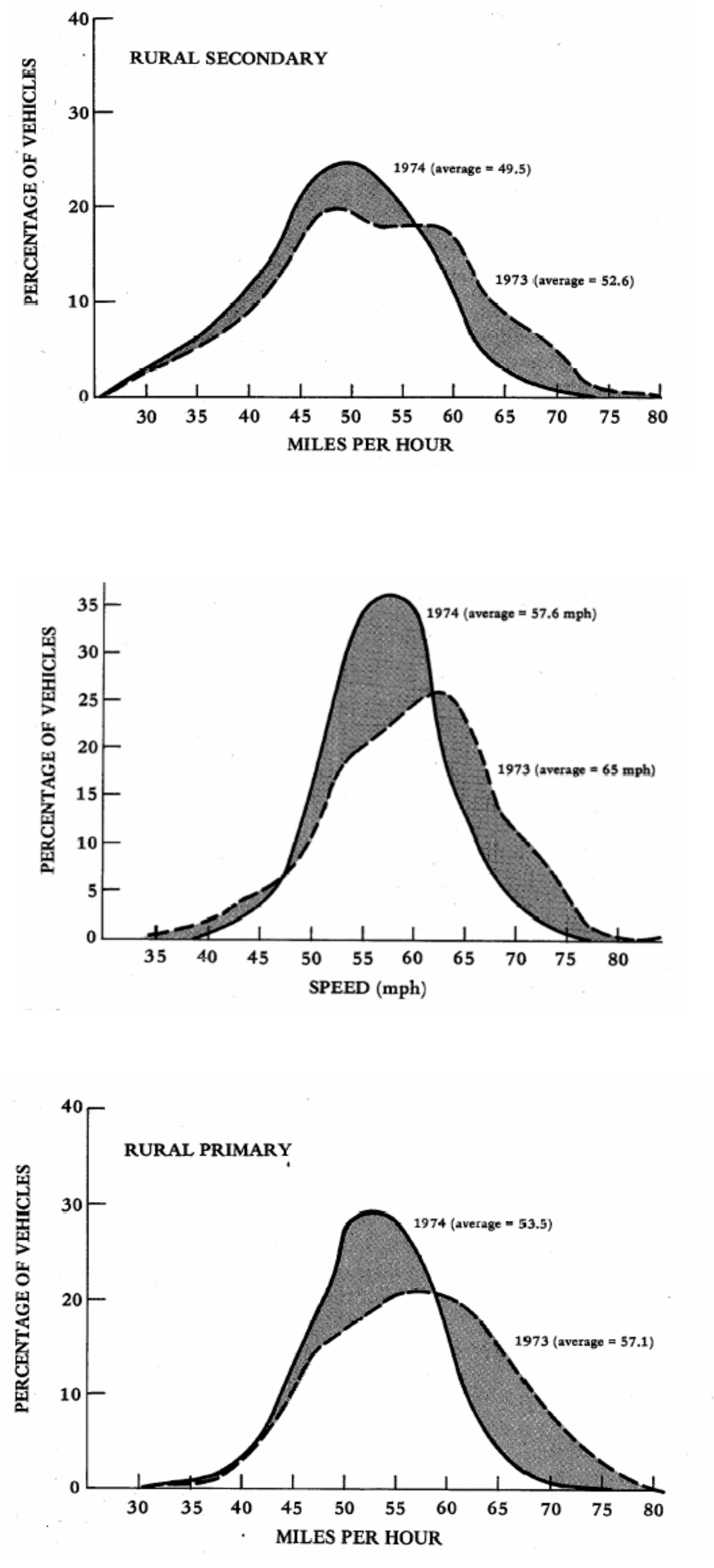
10.2.3 פיתוח מודל לחיזוי השינוי בהתפלגות המהירות

<u>משבר האנרגיה בשנות השבעים</u>

עקב משבר האנרגיה העולמי שהיה בשנות השבעים, הוחלט להקטין את המהירות המרבית המותרת בכל המדינות בארצות הברית מ 70-75 מייל לשעה ולקבוע מהירות מרבית מותרת של 55 מייל לשעה (National maximum speed limit) . וגם הוקטנה מהירות הנסיעה במדינות של מערב אירופה, בעקבות הקטנת המהירות המירבית. Lamm&Choueri (1984) דיווחו על ירידה משמעותית בשיעור התאונות הקטליניות למיליארד לק"מ נסועה של כלי רכב, הירידה בשיעור התאונות בין שנת 1970 ושנת 1980 במדינות מערב אירופה עמדה על 45.8% בארצות הברית הייתה ירידה בשיעור 29.1% באותה תקופה

TRB (1998) מתאר את ההתפלגויות של המהירות בשנים 1973 ו 1974 (לפני ואחרי משבר האנרגיה) בשלושה סוגים של דרכים. איור 14 מציג את ההבדלים בהתפלגויות המהירות בדרכים אלו.

מאחר וההחדרת מגביל מהירות באופן גורף לא נעשתה בעולם, אין כיום נתונים או הערכות על השינוי הצפוי בהתנהגות התנועה והנהגים עקב מגביל המהירות. לכן, משבר האנרגיה מהווה נקודת אחיזה מצוינת על ההבנה בשינוי דפוסי התנהגות התנועה והנהגים כאשר מגבילים את המהירות המרבית, למרות שמגביל המהירות קוטם את המהירויות הגבוהות- דבר שתיאורטית לא היה קיים לאחר משבר האנרגיה. מחקר זבע סק במידול ההתנהגות של התנועה והנהגים כאשר מגבילים את המהירות המרבית על סמך התכונות הנגזרות מהשינויים שנצפו במשבר האנרגיה.



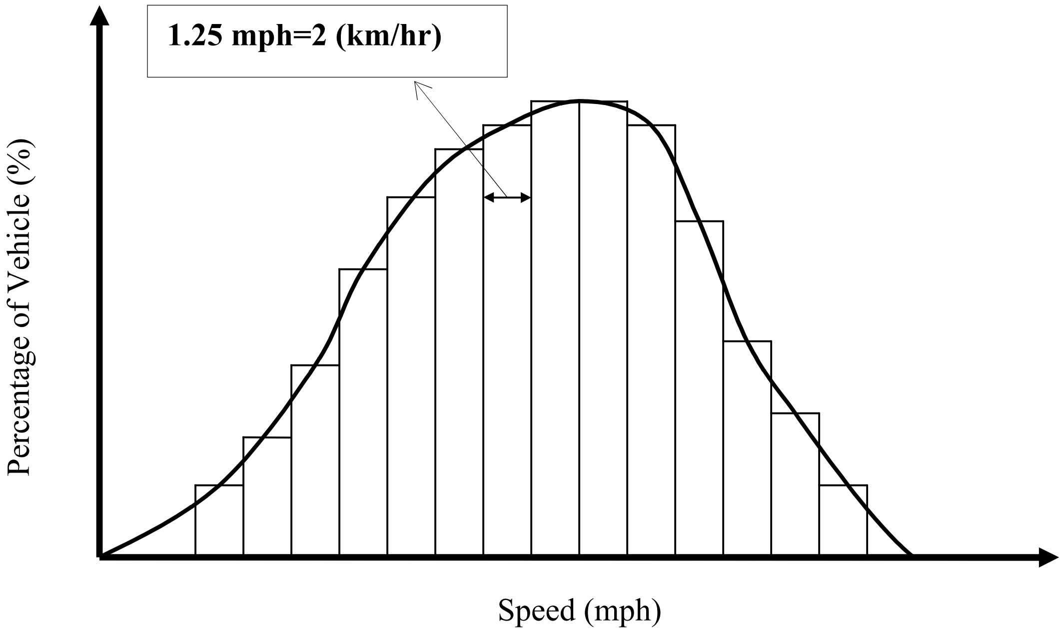
איור 14 : פילוג המהירות בשלושה סוגי דרכים בארצות הברית לפני ואחרי משבר האנרגיה

מקור: TRB (1998)

על מנת למדל ולהתאים את שינויי ההתנהגות במשבר האנרגיה לאלו הצפויים לאחר התקנת מגביל מהירות מוחשבו נתוני התפלגות המהירות לפני ואחרי משבר האנרגיה עפ"י שלושת הצעדים הבאים:

- ❖ הגדלת כל אחד מהגרפים של ההתפלגויות.
- ❖ שחזור להיסטוגרמות מהן בנויות כל אחת מהתפלגויות שבאיור41 ע"י חלוקת ציר המהירות לקטעים באורך (1.25 mph) 2 קמ"ש ושרטוט מלבן בגובה מתאים כך שאמצע המלבן יחתוך את גרף ההתפלגות הנדון.
- ❖ חישוב אחוזי הנהגים הנוסעים בכל תחום מהירות לפי החלק היחסי של אותו מלבן מסך כל שטח המלבנים.

להלן תיאור סכמטי לשיטת בניית ההסיטוגרמות:



איור 15: בניית הסיטוגרמה מהתפלגות נתונה של מהירות

לאור חלוקת כל התחום לקטעים קטנים יחסית מגיעים לדיוק סביר של התוצאות. בטבלה 9 מוצגת השוואת של הערך המדויק כנגד הערך המחושב למהירות הממוצעת עבור כל אחת מההתפלגויות.

טבלה 9: השוואת ערכים בין המהירות הממוצעת המחושבת והנצפית

Type of Roadway	Average speed (mph)			
	1974 (after energy crisis)		1973 (before energy crisis)	
	Calculated by Histogram	accurate	Calculated by Histogram	accurate
Rural Primary	52.9	53.5	56.9	57.1
Rural Secondary	49.1	49.5	52.0	52.6
Interstate Highway	57.3	57.6	59.6	65

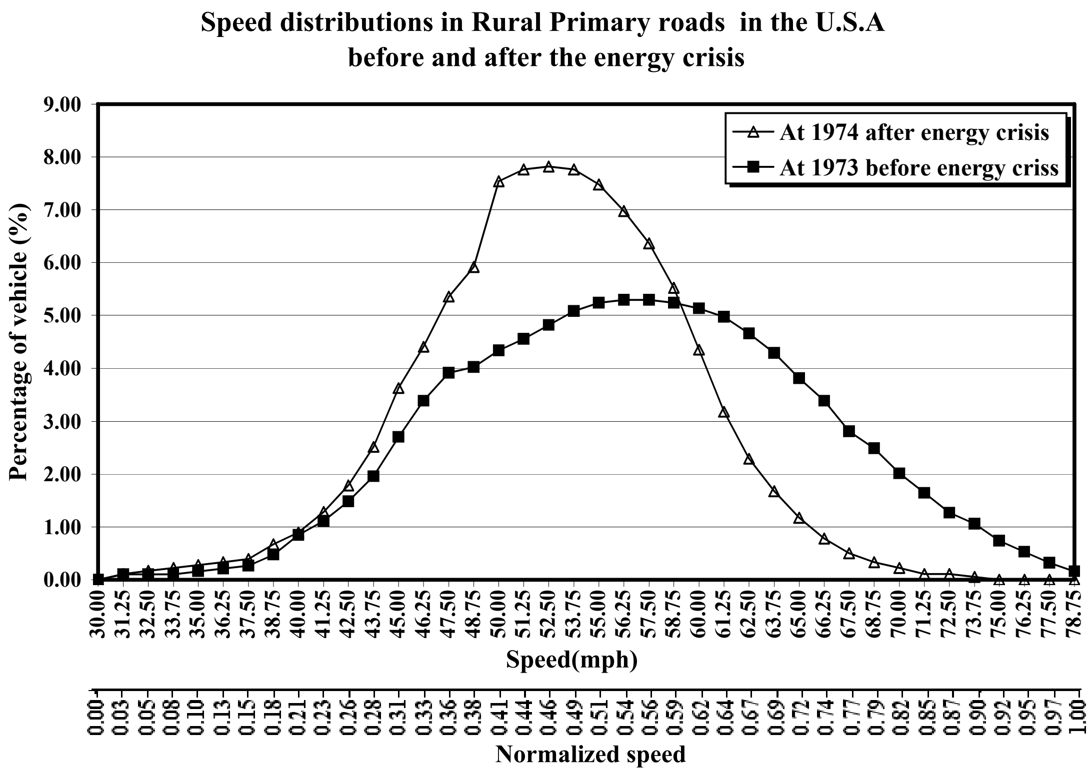
על מנת להשתמש בנתוני ישראל לדרך בין-עירונית דו-מסלולית עם שני נתיבים לכל כיוון, נלקחה ההתפלגות של המהירות בסוג דרך בארה"ב המקביל לדרך בישראל והוא Rural primary roads דהיינו, פיתוח מודל המותאם למשבר האנרגיה התבצע על נתוני לפני / אחרי שבארה"ב הקשורים לדרך-Rural primary.

מתוך עיון באיור 14 ניתן להבחין בשתי תופעות:

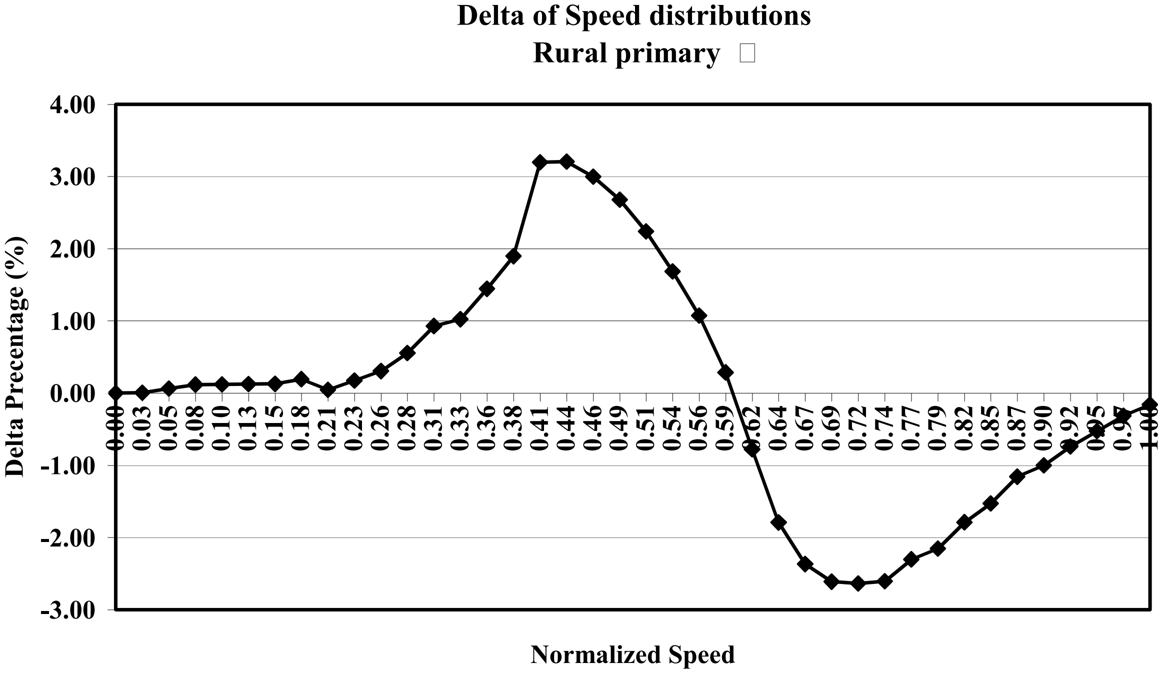
* תזוזת התפלגות המהירות שמאלה עם שכיח נמוך יותר.
* הקרנה של הקטנת המהירות המרבית גם על מהירויות נמוכות יותר בהיבט של שכיחות המהירות.

מידול שתי תופעות אלו יכול להתבצע על ידי נרמול ציר המהירות והשימוש בהיסטוגרמות הממוחשבות .
באיור 16 מבחינים בהתפלגות לפני / אחרי עבור סוג דרך Rural primary כאשר ישנם שני צירי x האחד ביחידות מהירות והשני הציר המנורמל.
חישוב ההפרש של שתי התפלגויות לפני ואחרי משבר האנרגיה מציג את אופי השינוי כולל הקרנת השינוי ממהירויות גבוהות למהירויות יותר קטנות. הפרש זה מוצג באיור 17.

על בסיס הפרשי ההתפלגויות המטמיע בתוכו את אופי השינויים והקרנת השינויים, כתוצאה מהקטנת המהירות המרבית, יפותח מודל בסעיף הבא עבור השינויים הצפויים כתוצאה מהחדרת מגביל מהירות לכלל כלי הרכב (להוציא רכב חירום).



איור 16: התפלגויות המהירות בארצות הברית לפני ואחרי משבר האנרגיה בדרך Rural Primary עם סקלה של מהירות מנורמלת



איור 17: הפרש התפלגויות המהירות לפני ואחרי משבר האנרגיה

10.2.4 מודל מתמטי לתאור השינוי

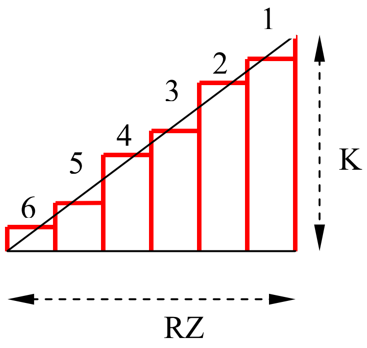
המחקר מניח התפלגות נורמאלית למהירות הבסיסית $f_0(u)$ עם התפלגות מהירות מצטברת המתאימה לה $F_0(u)$. שאלת פרק זה היא כיצד תראה התפלגות המהירות החדשה $f_{NEW(U_L)}(u)$ ופונקצית המהירות המצטברת החדשה $F_{NEW(U_L)}(u)$ עם התקנת מגביל מהירות שערכו U_L ?

המחקר מתייחס לנקודות הבאות במסגרת פיתוח המודל לקבלת התפלגות המהירות החדשה :

כל הנהגים שנסעו במהירות יותר גדולה מ- U_L, ייסעו במהירות יותר נמוכה מ- U_L בגלל מגבלת המגביל על רכבם.

בדומה לתופעת ההקרנה של משבר האנרגיה , התקנת המגביל תשפיע על התפלגות המהירות רק בתחום מסוים של מהירויות , שייקרא תחום ההקרנה Radiation Zone (RZ) . לתחום הזה יתווספו כמובן אותם נהגים שנהגו לנסוע במהירות מעל לערך המגביל.

התחום בהתפלגות המהירות שייקטם יועתק למהירויות נמוכות יותר באופן מדורג בהתאם לתיאור הבא:



כאשר נוסחתית מקבלים:

$$\mathbf{RZ = \alpha * (U_{maz} - U_{min})} \qquad (5.1)$$

$$\mathbf{K = \frac{2 * P}{RZ}} \qquad (5.2)$$

$$\mathbf{U_{LL} = U_L - RZ} \qquad (5.3)$$

כאשר :

P - השטח הקטום בהתפלגות הבסיסית, משתנה בהתאם לערך המגביל

RZ - תחום ההקרנה ביחידות (קמ"ש).

K - גבוה הצורה המודרגת (נמצא בעזרת שיווין שטחים, השטח הקטום מהתפלגות בסיסית שווה לשטח של הצורה המודרגת).

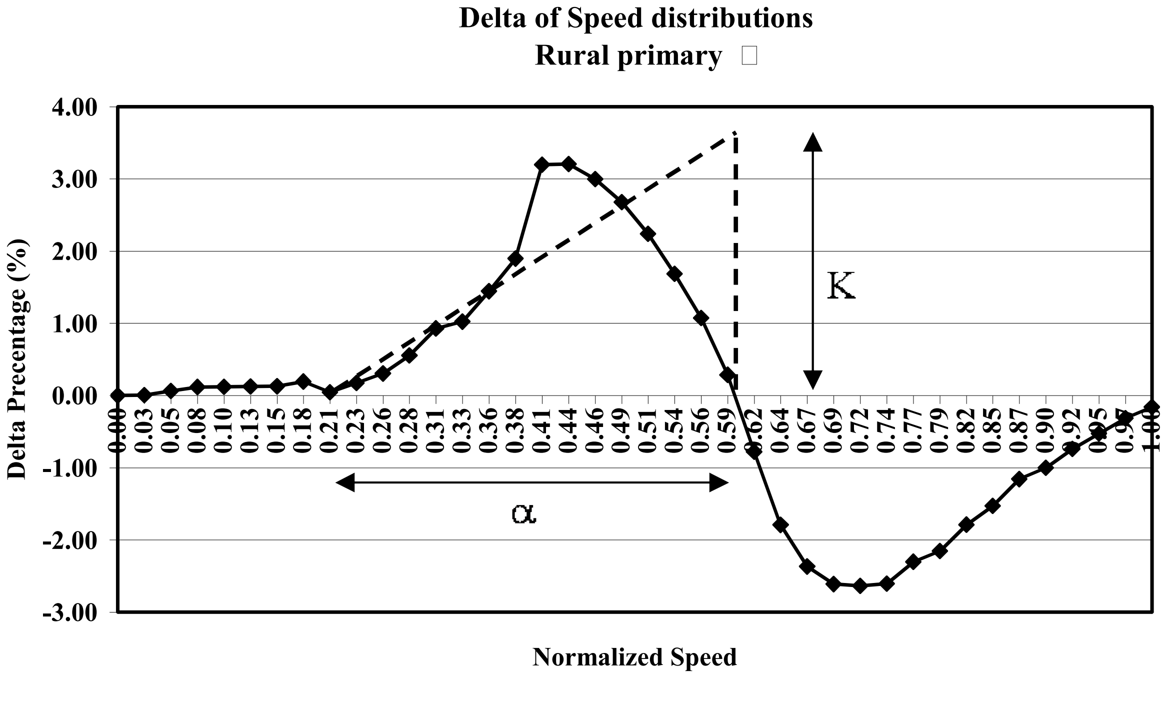
$\mathbf{U_{max}}$ - הערך המרבי של המהירות שנצפה מתוך נתונים מציאותיים בהתפלגות הבסיסית.

$\mathbf{U_{min}}$ - הערך המינימאלי של המהירות שנצפה גם מתוך נתונים מציאותיים בהתפלגות הבסיסית.

$\mathbf{U_{L}}$ - ערך המגביל, המהירות המרבית המותרת לאחר החדרת המגביל.

$\mathbf{U_{LL}}$ - ערך המהירות המציין את תחילת תחום ההקרנה; החל מערך זה ומעליו (עד U_L) משתנה התפלגות המהירות

α - הגודל על סקלת המהירות המנורמלת בו ההפרשים הינם חיובים באופן רציף; ערך זה נמצא שווה באיור 18 ל: $\alpha = \mathbf{0.38}$



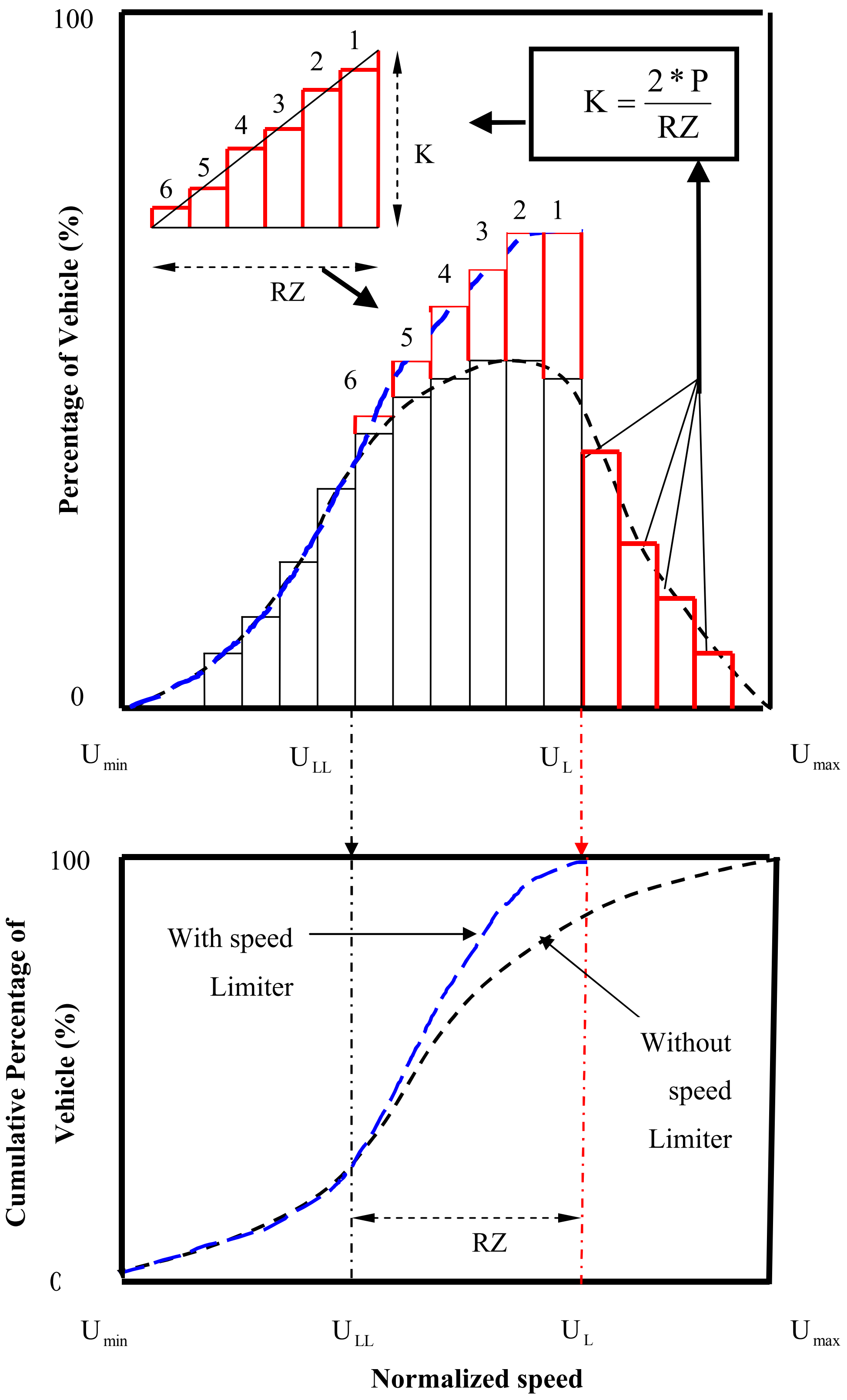
איור 18: הפרש התפלגויות המהירות לפני ואחרי משבר האנרגיה

פונקציות ההתפלגות וההתפלגות המצטברת של המהירות לפני ואחרי התקנת המגביל, מתוארת בטבלה 10 בהתאם לנקודות שהוסברו לעיל.

טבלה 10: התפלגות המהירות לפני ואחרי התקנת המגביל

Speed Range	$U_{min} \le u \le U_{LL}$	$U_{LL} < u \le U_L$	$U_L < u \le U_{max}$
Speed distribution	$f_0(u)$		
Cumulative Speed distribution	$F_0(u)$		
Speed distribution	$f_0(u)$	$f_0(u)+\frac{K*(u-U_{LL})}{RZ}$	0
Cumulative Speed distribution	$F_0(u)$	$F_0(u)+\frac{K*(u-U_{LL})^2}{2\cdot RZ}$	0

תיאור סכמטי לשיטת חישוב ההתפלגות החדשה מוצג באיור 19, בחלקו התחתון של איור זה מוצגת ההתפלגות הנורמלית המצטברת לפני התקנת המגביל כנגד המצטברת לאחר התקנתו עפ"י המודליזציה המוסברת להלן. בחלקו העליון של איור 19 מוצגת ההתפלגות הנורמלית הרגילה בשני המצבים בחלק זה של האיור מוראה שכל הקטע ההתפלגותי מימין ל- U_L שהוא ערך המגביל, לא יכול להיות קיים לאחר התקנת המגביל. מכאן שאחוז כלי הרכב שנוסעים עם מהירות ממוצעת $U_L < u \le U_{max}$ יועתקו למהירויות נמוכות יותר הקטנות מ- U_L. על סמך מודל המותאם למשבר האנרגיה תחום המהירויות שבו ניתן יהיה לצפות יותר כלי רכב יהי בין $U_{LL} < u \le U_L$ באופן מדורג כמוראה בחלקו העליון של איור 19, תחום זה נקרא RZ. התוצאה היא התפלגות חדשה קטומה וניתן לראות בחלק העליון והחלק התחתון של איור 19 שהתפלגות זו זהה להתפלגות לפני התקנת המגביל בתחום $U_{min} \le u \le U_{LL}$ ו שונה בתחום ההקרנה $U_{LL} < u \le U_L$.



איור 19: תיאור סכמטי לשיטת הערכת ההתפלגות החדשה לאחר התקנת המגביל, כאשר התפלגות המהירות המנורמלת מופיעה כמצטברת בגרף התחתון וכרגילה בגרף העליון

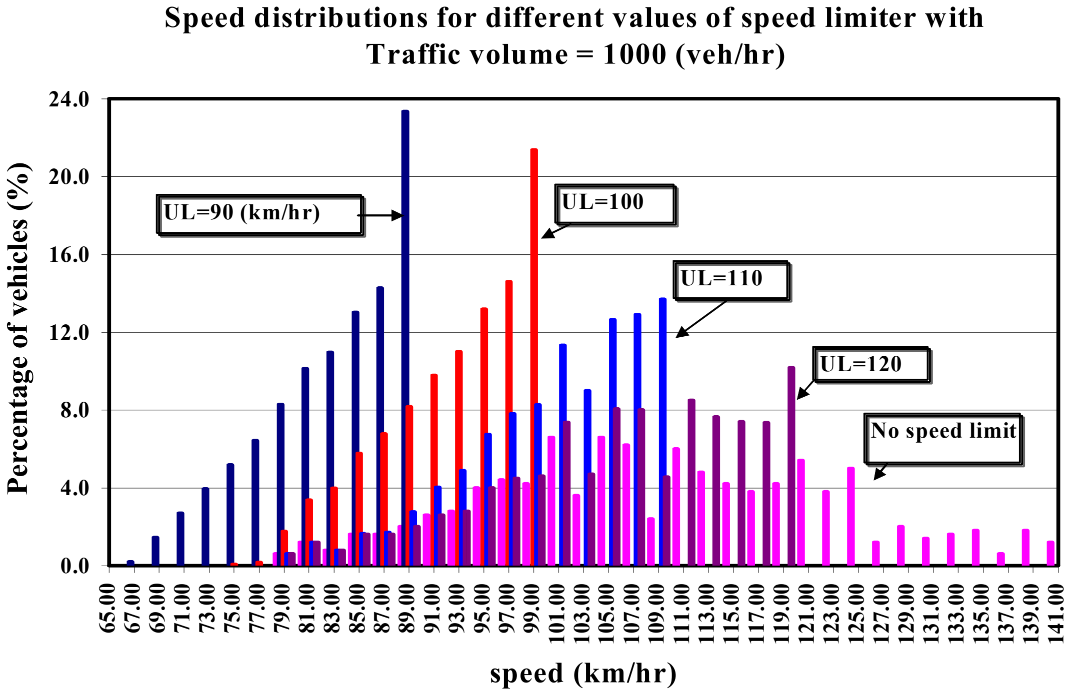
תיאור התפלגויות המהירות עפ"י המודל המפותח:

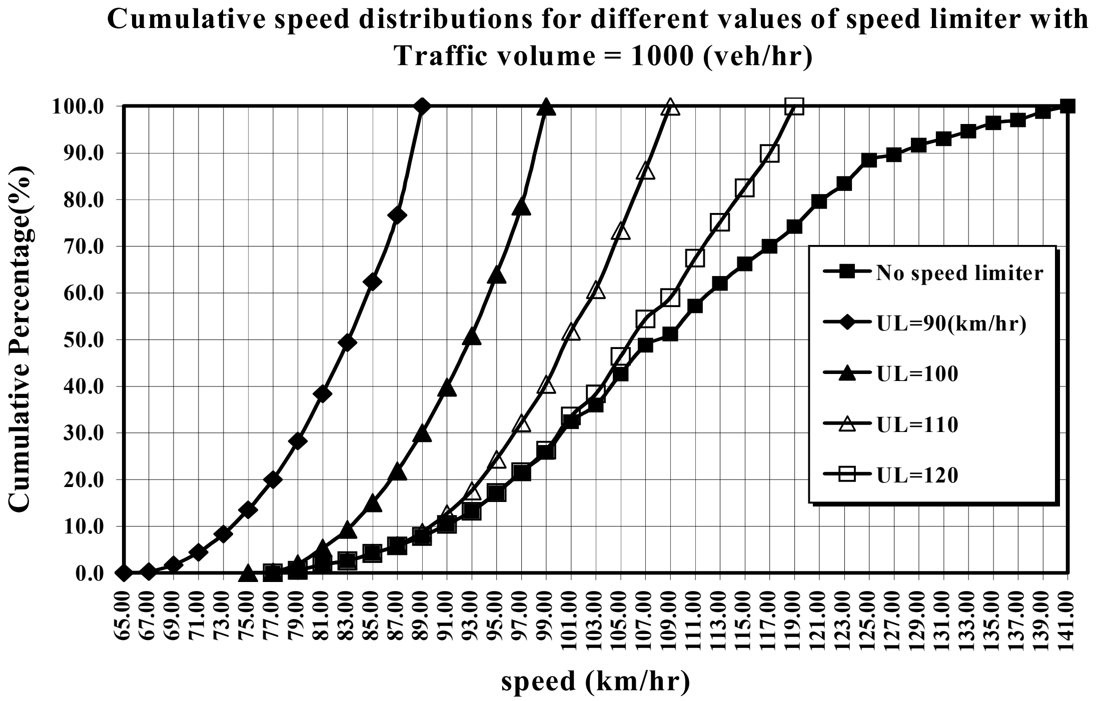
לאור שבסעיפים הקודמים נבנה מודל לשינויי התפלגות המהירות בעקבות התקנת מגביל מהירות (מודל המבוסס והמותאם להתפלגויות הנצפות לפני ואחרי משבר האנרגיה), יעסוק סעיף זה בישומו של המודל לערכים שונים של המגביל. דהיינו, כיצד ניתן לגזור התפלגות של מהירות בנפח נתון בערך נתון של U_L.

לצורך המחקר נלקחו ארבעה נפחי תנועה שונים : 1000,2000,3000,4000 (veh/hr)

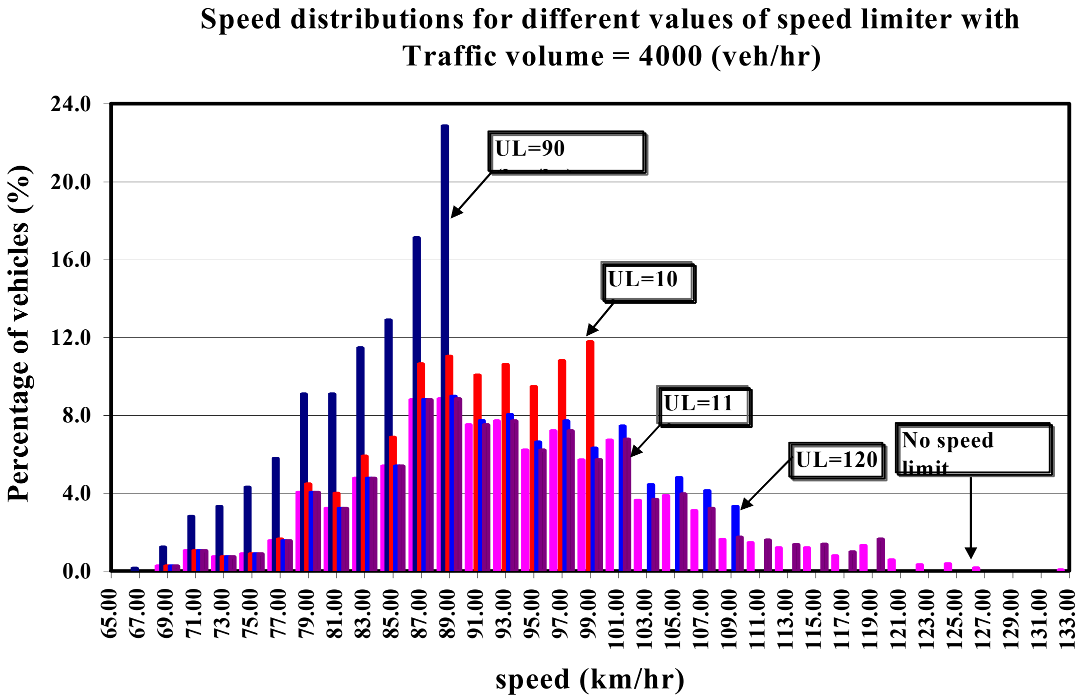
וכמו כן ארבעה ערכים של מגביל המהירות : $U_L = 90,100,110,120$ (km/hr)

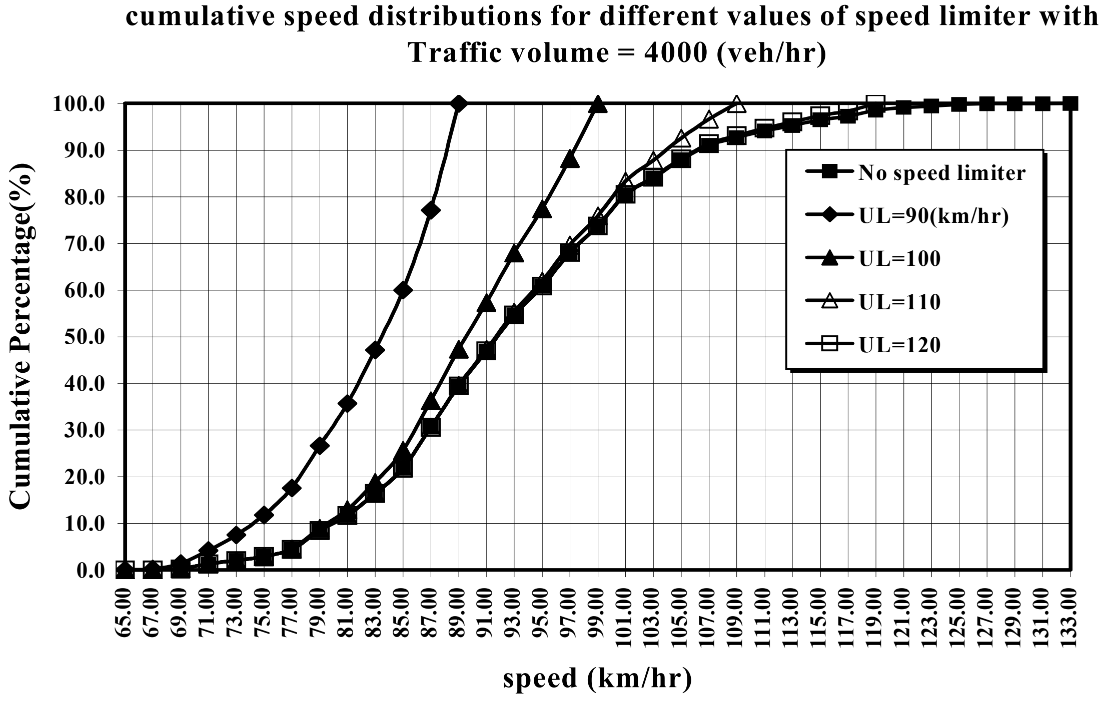
באיורים 20 ו-21 מוצגות התוצאות לנפח תנועה של 1000 (veh/hr) ושל- 4000 (veh/hr) לשני נתיבים.





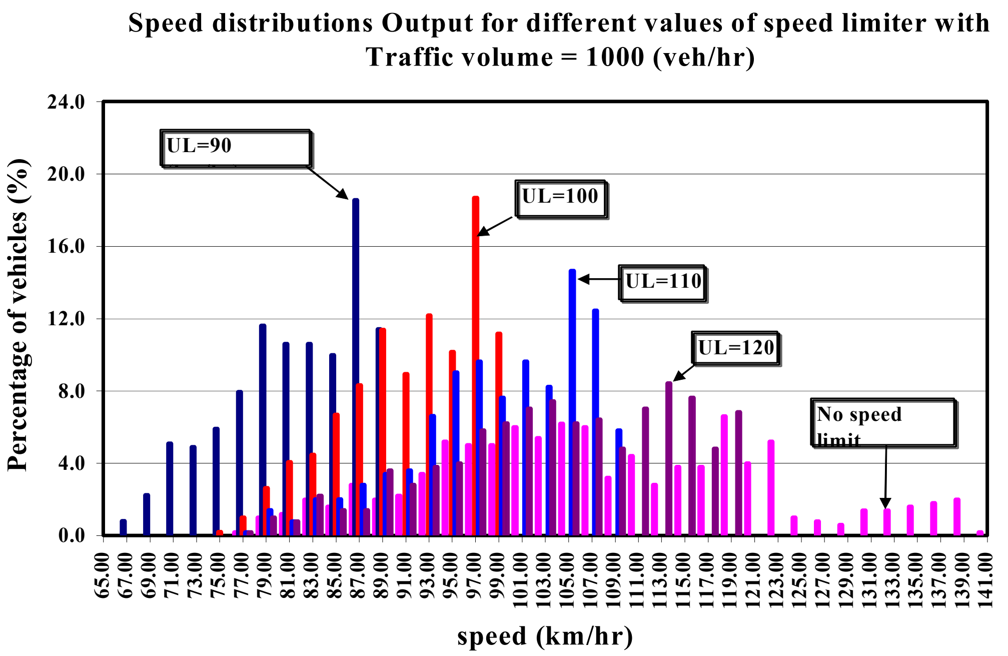
איור 20: התפלגות המהירות המתקבלת ממודל המותאם למשבר האנרגיה לאחר התקנת המגביל בנפח תנועה נתון (veh/hr) 1000 ועבור ארבעה ערכים של המגביל.

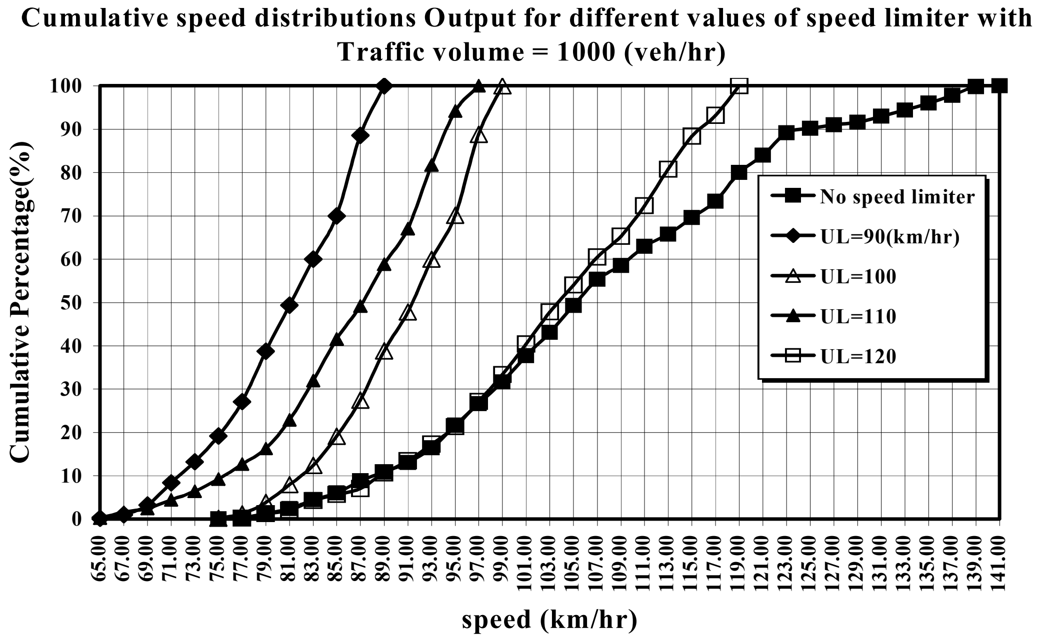




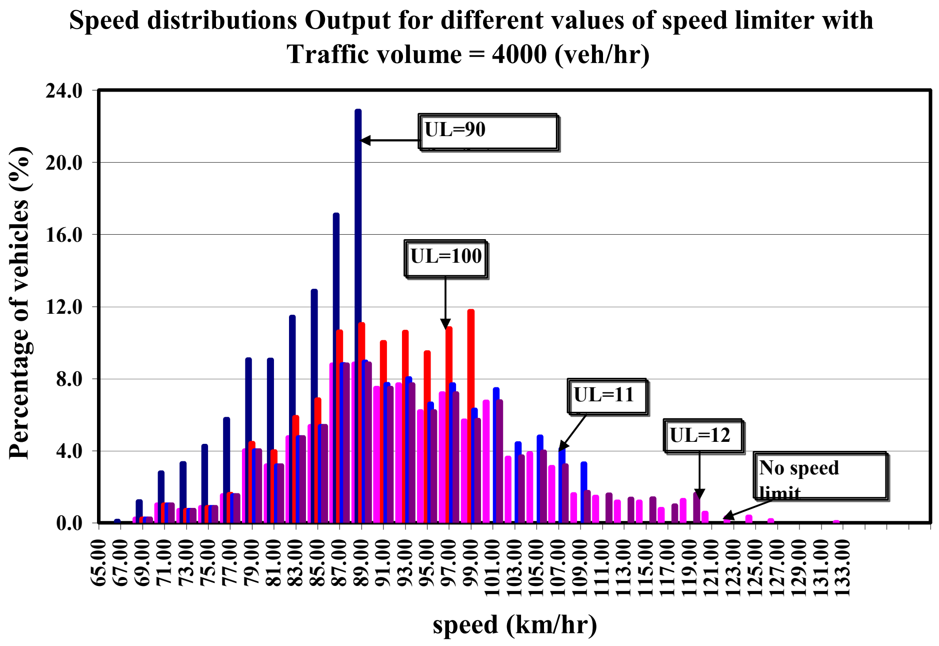
איור 21: התפלגות המהירות המתקבלת ממודל המותאם למשבר האנרגיה לאחר התקנת המגביל בנפח תנועה נתון (veh/hr) 4000 ועבור ארבעה ערכים של המגביל.

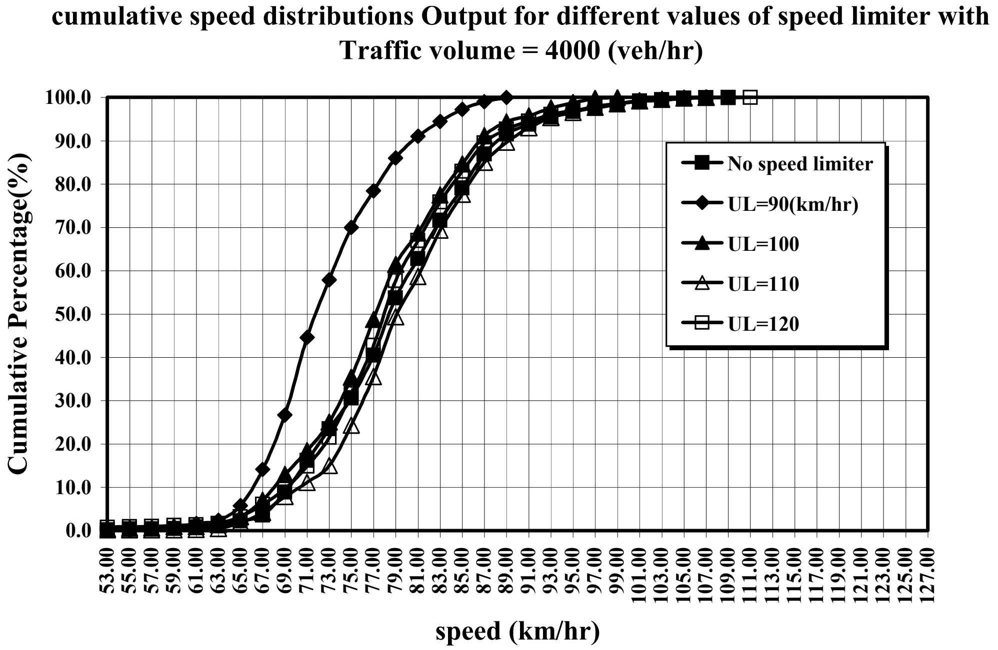
כל התפלגויות המהירות שהתקבלו והמבוססות על משבר האנרגיה, הוחדרו כקלט למודל הסימולציה VISSIM והתקבלו התפלגויות המהירויות המתוארות באיורים 22 ו- 23.





איור 22: התפלגות המהירות המתקבלת במודל הסימולציה לאחר התקנת המגביל עבור נפח 1000.





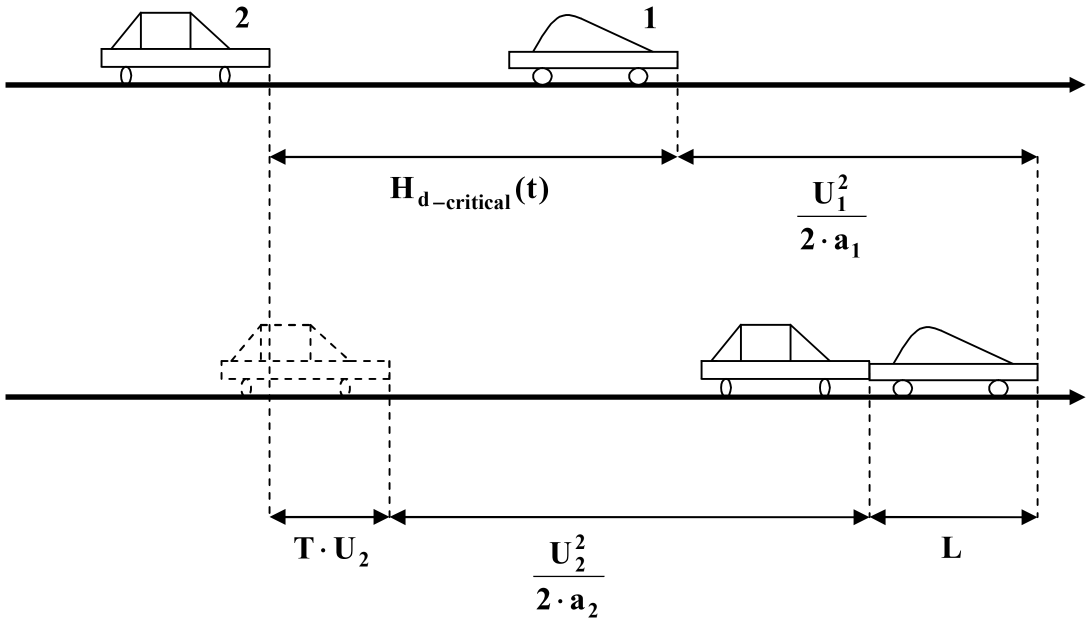
איור 23 : התפלגות המהירות המתקבלת במודל הסימולציה לאחר התקנת המגביל עבור נפח 4000 .

10.3 מדדי סיכון להערכת רמת הבטיחות בדרכים

פרק זה יעסוק באופן הערכת רמת הבטיחות בדרכים על סמך מאיפיינים התנועה המיקוסקיפיים והמאקרוסקופים שהתקבלו מפלט הסימולציה. בפרק זה יפותחו ממדים להערכת רמת הבטיחות לאור התקנת המגביל.

אחוז רכבים פוטנציאלים להיות מעורבים בתאונות פנים- אחור

מרווח המרחק המינימאלי או הקריטי הדרוש לבלימת פתע של מכונית עוקבת (לאחר שהמובילה האיטה בצורה פתאומית עד מצב עצירה מוחלטת) תלוי במאפייני שני כלי הרכב, מרווח המרחק ביניהם, מהירותו של הרכב העוקב וזמן התגובה של הנהג העוקב. איור 24 מתאר באופן סכמטי את צורת קבלת המשוואה של מרווח מרחק קריטי הדרוש לבלימת פתע בתנועת שיירה.



איור 24: תיאור תהליך העצירה של שני רכבים עוקבים

מתוך איור 24 מתקבלת המשוואה הבאה:

$$H_{d-critical}(t) = T \cdot U_2 + \frac{U_2^2}{2 \cdot a_2^2} + L - \frac{U_1^2}{2 \cdot a_1^2} \qquad (1)$$

כאשר:

U_2 - מהירות המכונית העוקבת (מטר/שניה).

U_1 - מהירות המכונית המובילה (מטר/שניה).

a_2 - תאוטת המכונית העוקבת (מטר/שניה^2).

a_1 - תאוטת המכונית המובילה (מטר/שניה^2).

T - זמן תגובה המערכת נהג-מכונית (שניות).

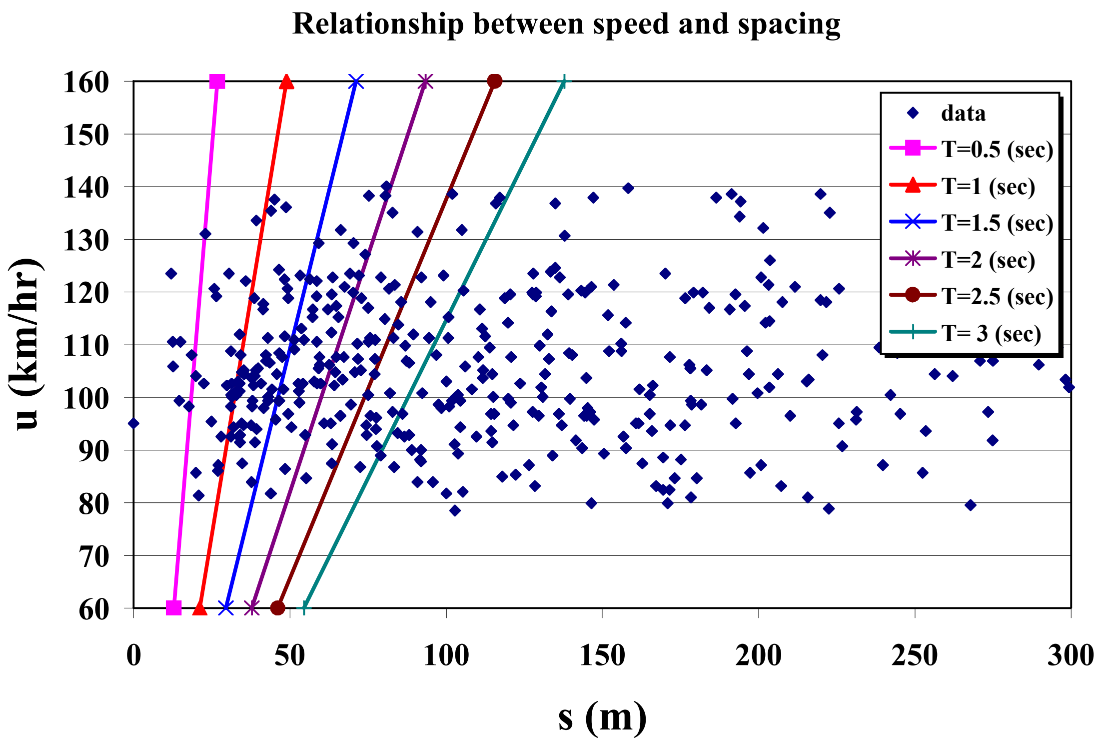
L - אורך המכונית המובילה (מטרים).

$H_{d-critical}(t)$ הוא מרווח המרחק הקריטי הדרוש לבלימת פתע בתנועת שיירה, המחושב לפי מהירות וזמן תגובה של הרכב העוקב ואורך הרכב המוביל.

בהנחה שיכולת העצירה של שתי המכוניות זהה (תאוטות זהות) ומהירות שתי המכוניות העוקבות הייתה זהה (באינטרוול זמן קטן) לפני המאורע תתקבל משוואה (6.1) בצורתה הפשוטה:

$$H_{d-critical}(t) = T \cdot U_2 + L \qquad (2)$$

בהתבסס על נתוני מחקר זה (בכבישים מהירים דו-נתיביים לכוון אחד בישראל) ניתן לבחון באופן ממוצע את התנהגות התנועה בהקשר של מרווח המרחק הקריטי. איור 25 מציג נתונים ,שנאספו מחתך דרך במשך הרצת אחד התסריטים בסימולציה, במישור u (בקמ"ש) כנגד מרווח המרחק s (במטרים). מרווח המרחק נגזר ע"י מודל הסימולציה ע"י מכפלת מרווח הזמן במהירות. כמו כן מציג איור 25 שישה קווים המייצגים את משוואה (2) עבור ערכים שונים של זמן תגובת המערכת נהג-מכונית T.



איור 25: נקודות התצפית על מישור מרווח מרחק – מהירות

בהתאם לעבודתם של Ang and Tang (1975) ניתן להניח שזמן התגובה של אוכלוסיית הנהגים מתפלג לוג-נורמאלית , כלומר:

$$\mathbf{f(T)} = \frac{1}{\sqrt{2\cdot\pi}\cdot\xi\cdot T}\exp\left[\left(-\frac{1}{2}\right)\left(\frac{LN(T)-\lambda}{\xi}\right)^2\right] \qquad (3)$$

כאשר:

$$\xi^2 = LN\left(1+\frac{\sigma^2}{\mu^2}\right) \qquad (4)$$

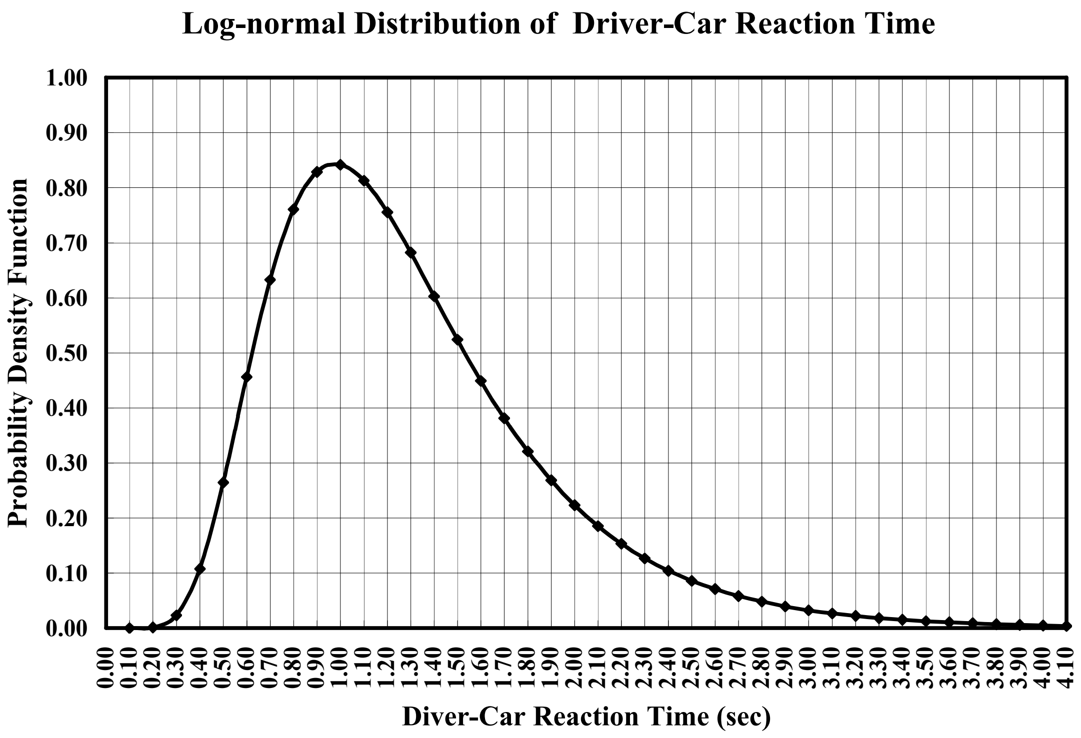
$$\lambda = LN\left(\frac{\mu}{\sqrt{1+\sigma^2/\mu^2}}\right) \qquad (5)$$

בעבודתו של Lerner (1995) הוא עשה הבחנה בין זמן תגובה להתרחשות צפויה וזמן התגובה להתרחשות בלתי צפויה והציע את הערכים המוצגים בטבלה 11.

טבלה 11: שני מודלים לזמני התגובה של נהגים T

	" Surprise " T	" Expected " T
Mean	1.31 (sec)	0.54 (sec)
Standard Dev	0.61	0.10
λ	0.17 (no unit)	-0.63 (no unit)
ξ	0.44 (no unit)	0.18 (no unit)
50th percentile	1.18	0.53
85th percentile	1.87	0.64
95th percentile	2.45	0.72
99th percentile	3.31	0.82

לצורך בניית מדד סיכון, מחקר זה מתייחס למקרה של התרחשות בלתי צפויה- זהו המצב האופייני הקשור לתאונות דרכים. באיור 26, ניתן לראות את ההתפלגויות זמן התגובה של הנהגים עבור התרחשות בלתי צפויה.



איור 26: ההתפלגויות זמני התגובה T לנהגים להתרחשות לא צפויה

במחקר זה חולקו הנתונים (מספר הנקודות בין הקווים הישרים באיור 25) לשש קבוצות בהתאם לתחומי T. טבלה 12 מציגה תחומים אלה עם הסימון המתאים לכל תחום.

טבלה 12: חלקות הנתונים לקבוצות בהתאם למרווח המרחק והמהירות

Range	Group Name
$0 \le T \le 0.5$	$N_{0.5}$
$0.5 < T \le 1$	N_1
$1 < T \le 1.5$	$N_{1.5}$
$1.5 < T \le 2$	N_2
$2 < T \le 2.5$	$N_{2.5}$
$2.5 < T \le 3$	N_3

תסומן הקבוצה שנמצאת בתחום $[T_i, T_{i+0.5}]$ ע"י $N_{i+0.5}$ כאשר $i = [0,0.5,1,1.5,2,2.5]$ כלומר i מתקדם בקפיצות של 0.5 שנייה זמן תגובה. בהתאם לממצא של Ang and Tang (1975) יהיה זמן התגובה לכל אחת מקבוצות $N_{i+0.5}$ מפולג לוג-נורמאלית לפי הביטוי (3) עבור התרחשות בלתי צפויה. נהג עם נתונים מקבוצה $N_{i+0.5}$ יהיה פוטנציאלי לעבור תאונת פנים- אחור אם זמן התגובה שלו עולה על $T_{i+0.5}$.

מכאן יחושב בתחילה אחוז הנהגים שזמן התגובה שלהם עולה על 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 שניות בהתאם להתפלגות הלוג-נורמאלית של זמן התגובה. אחוז הנהגים שזמן התגובה שלהם לא עולה על $T_{i+0.5}$, מחושב כדלהלן: ולכן נצטרך לחשב את הביטוי הבא

$$\mathbf{F(T \le T_{i+0.5}) = \int_{-\infty}^{T_{i+0.5}} \frac{1}{\sqrt{2\cdot\pi}\cdot\xi\cdot T} \exp\left[\left(-\frac{1}{2}\right)\left(\frac{LN(T)-\lambda}{\xi}\right)^2\right] dT} \qquad \mathbf{(6)}$$

לנוחיות החישוב של הביטוי הנ"ל בצורה אנליטית ניתן לעבור למשתנה נורמאלי סטנדרטי Z עפ"י שני הביטויים הנ"ל:

$$\mathbf{Z = \frac{\ln(T_{i+0.5}) - \lambda}{\xi}} \qquad \mathbf{(7)}$$

$$\mathbf{\Phi(Z) = \int_{-\infty}^{Z} \frac{1}{\sqrt{2\cdot\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du} \qquad \mathbf{(8)}$$

את מספר הנהגים הפוטנציאלים להיות מעורבים בתאונת פנים - אחור ניתן לחשב על ידי מכפלת $\mathbf{F(T_i > T_{i+0.5})}$ במספר כלי הרכב $N_{i+0.5}$, דהיינו, מספר כלי הרכב שמרווח הזמן שלהם נע בין i לבין $i + 0.5$. וטבלה 13 מסכמת את הממצאים לגבי חישוב זה.

טבלה 13: מספר הנהגים הפוטנציאלים להיות מעורבים בתאונת פנים - אחור בכל קבוצה

Range	No. of vehicles in each Group	No. of Potential Drivers to be involved in Rear- End collision
$0 \le T \le 0.5$	$N_{0.5}$	$0.975 \cdot N_{0.5}$
$0.5 < T \le 1$	N_1	$0.648 \cdot N_1$
$1 < T \le 1.5$	$N_{1.5}$	$0.298 \cdot N_{1.5}$
$1.5 < T \le 2$	N_2	$0.14 \cdot N_2$
$2 < T \le 2.5$	$N_{2.5}$	$0.046 \cdot N_{2.5}$
$2.5 < T \le 3$	N_3	$0.018 \cdot N_3$
Total No. of **P**otential **D**rivers to be involved in **R**ear- **E**nd collision		$\sum_i F(T > T_i) \cdot N_i$

ובאחוזים ניתן לחשב את אחוז הנהגים הפוטנציאלים למעורבות בתאונות פנים – אחור כדלקמן:

$$\mathbf{PDRE(\%) = 100 \cdot \frac{\sum_i F(T > T_i) \cdot N_i}{\sum_i N_i}} \qquad (6.9)$$

כאשר $PDRE(\%)$ הוא **P**otential **D**rivers in **R**ear- **E**nd collision.

10.3.1 מדדים הקשורים למאפייני התפלגות מרווחי הזמן

בהרצות הסימולציה שתוצאותיהן תפורטנה בסעיף הבא, נמדדו המהירות ופער הזמן בין כלי רכב עוקבים שעברו בחתך הנמצא באמצע הדרך. כמו כן, בהרצות אלו הייתה התייחסות רק למרווחי זמן הקטנים משלוש שניות. בהרצות חושבו מרווח הזמן הממוצע $\overline{\mathbf{H}}_\mathbf{t}$ וסטיית התקן שלו $\sigma_{\mathbf{H}_t}$, כאשר הגדלה במרווח הזמן הממוצע מעידה על מגמה של שיפור בבטיחות. לבסוף, יש לציין שעפ"י איור 25 ניתן להניח שנהגים הנוסעים במרווח זמן T הקטן משניה אחת עלולים להיקלע למצבים מסוכנים. מכאן מדד הסיכון נוסף של מחקר זה הוא החלק היחסי של הנהגים הנוסעים במרווח זמן הקטן משנייה והוא יסומן ב- $\mathbf{p_{er}[T < 1]}$.

כלומר למדד הסיכון **PDRE(%)** מתווספים שני מדדים $\overline{\mathbf{H}}_\mathbf{t}$ ו- $\mathbf{p_{er}[T < 1]}$.

10.3.2 המספר הממוצע של סה"כ שינויי נתיבים לק"מ

מדד סיכון נוסף של התנועה הקשור לתאונות דרכים יכול להיות קשור למספר שינויי הנתיבים. דהיינו, כל שינוי נתיב מהווה מעין רעש או הפרעה לתנועה הזורמת וככל שמספר שינויי הנתיבים יגדל כך סביר להניח תתנהל התנועה באופן יותר מסוכן ופחות הומוגני Sparmann (1979).
הפלט של תוכנת VISSIM כולל את מספר שינויי הנתיבים בקטע (במקרה המחקר זה 4 ק"מ). חלוקת המספר המתקבל ב-4 והכפלתו ב-2 (משך ההרצה הינו חצי שעה), תיתן את המספר הממוצע של סה"כ שינויי נתיבים לק"מ אחד בשעה. יש לציין שאין לתוכנה מידע על הקשר בין מספר העקיפות ומספר שינויי הנתיב. יחד עם זאת חלק גדול משינויי הנתיב של הנהגים הוא במטרה לבצע עקיפה של רכב איטי לפניהם ולכן ירידה במספר שינוי הנתיב כוללת ירידה במספר העקיפות. מדד סיכון זה של מספר שינויי הנתיבים יסומן ב- **NLC** (Number of Lane Change).

10.3.3 השונות במהירות הנסיעה σ_S^2

שונות המהירות מהווה מדד טוב להערכת מידת הקונפליקטים בזרימת התנועה, הקטנה בשונות המהירות תביא להקטנה במספר הקונפליקטים בין כלי הרכב והקטנה במספר שינויי הנתיב והעקיפות ומאידך זרימת התנועה תהיה הומוגנית יותר, רגועה יותר וצפויים פחות תאונות דרכים.
יש לציין שרוב המחקרים שניסו להעריך את השפעת התקנת המגביל בכלי הרכב על שיעור תאונות הדרכים השתמשו בקשרים הקיימים בין המהירות הממוצעת ושיעור התאונות, כאשר הקטנה במהירות הממוצעת תביא להקנה בשיעור התאונות. השימוש בקשר זה לצורך הערכות ההשפעה של מגביל מהירות על שיעור התאונות יכול להיות נכון רק במידה והתפלגות המהירות שומרת על צורתה בסיסית (אותה שונות) והשוני היחידי הוא במהירות הממוצעת. אך התקנת המגביל על כל כלי הרכב תביא להקטנה בשני המאפיינים, השונות והמהירות הממוצעת בצורה משמעותית ולכן השימוש במהירות הממוצעת כמדד לאמידת רמת הבטיחות בדרכים הוא לא נכון והערכה כמותית להקטנה בשיעור התאונות כתוצאה מההחדרת המגביל מחייבת פיתוח מודלים מורכבים המשלבים בין שיעור התאונות לבין המהירות הממוצעת, השונות במהירות ונפח התנועה.

10.3.4 מבחנים סטטיסטיים לתוצאות המתקבלות

מתוך חמשת המדדים שהוגדרו להערכת רמת הבטיחות בדרך לפני ואחרי התקנת המגביל. מבחינים שרק המדד $\overline{\mathbf{H}}_t$ מתקבל מהתפלגות נורמאלית וכל השאר הם ערכים מוחלטים בלבד (ללא התפלגות אופיינית). מכאן ניתן לבדוק רק מדד זה בעזרת מבחן סטטיסטי ידוע. עבור מצב הנסיעה ללא מגביל, יהיה ממוצע מרווח הזמן: $\overline{\mathbf{H}}_t\mathbf{(without)}$ והשונות : $\boldsymbol{\sigma^2}_{\mathbf{H_t}}\mathbf{(without)}$

ומספר מרווחי הזמן $\mathbf{N_{without}}$. עבור מצב הנסיעה עם מגביל בערך $\mathbf{UL_i}$, יהיה ממוצע מרווח הזמן: $\overline{\mathbf{H}}_t\mathbf{(UL_i)}$ והשונות : $\boldsymbol{\sigma^2}_{\mathbf{H_t}}\mathbf{(UL_i)}$ ומספר מרווחי הזמן $\mathbf{N_{UL_i}}$.

להלן הסבר למבחן ההשערות לשני הממוצעים בלי ועם המגביל כאשר השונות בשני המצבים ידועה.
השערת האפס וההשערה האלטרנטיבית הן כדלקמן

$$\mathbf{H_0 : \overline{H}_t(w/o) = \overline{H}_t(UL_i)}$$

$$\mathbf{H_1 : \overline{H}_t(w/o) < \overline{H}_t(UL_i)}$$

הסטטיסטי $\mathbf{Z_0}$ מחושב בצורה הבאה:

$$\mathbf{Z_0 = \frac{\overline{X}(w/o) - \overline{X}(UL_i)}{\sqrt{\frac{\sigma^2{}_{H_t}(w/o)}{N_{w/o}} + \frac{\sigma^2{}_{H_t}(UL_i)}{N_{UL_i}}}}}$$

כאשר $\mathbf{Z_0 < -Z_\alpha}$ השערת האפס נידחת וניתן לומר שהמגביל גרם להגדלת מרווח הזמן הממוצע בין כלי הרכב העוקבים. ההשערות נבדקות בהסתברות לטעות מסוג ראשון השווה ל- $\mathbf{\alpha = 0.05}$.

10.4 בחינת מגביל מהירות על בטיחות משאיות ואוטובוסים בישראל

10.4.1 הקדמה ותיאור המטרה

מאחר וטרם נבדקה התרומה הבטיחותית מחקיקת התקנה בישראל בעניין מגביל המהירות (תקנה 365) והוצאתה לפועל, נגזרה מטרת פרק זה: לבדוק את ההשפעה של התקנת המגביל על שיעור המעורבות של המשאיות והאוטובוסים בתאונות דרכים הבינעירוניות בישראל. בדיקה זו מתבססת על נתונים מהלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (למ"ס) ברמה שנתית וברמה חודשית.

10.4.2 שיטת איסוף הנתונים

א. הערכה לכמות כלי הרכב עם מגביל

מתוך בדיקה במשטרת ישראל ובמשרד התחבורה, מסתבר שלא קיים מעקב ורישום לכמות כלי הרכב עם מגביל בכל שנה, ולכן ההערכה למספרם מסתמכת על פרסום הלמ"ס: "כלי רכב מנועיים, מצבה ליום 31.12" בשנים 1991 עד 2005, ובהנחה שכל המשאיות (מעל 12 טון) והאוטובוסים (מעל 10 טון) משנת יצור 1996 ומעלה מיובאים ארצה עם מגביל כדרישת החוק.

פרק זה משתמש בסימונים הבאים:

$\mathbf{N_{ALL_i}}$ - סה"כ מספר כלי הרכב מכל הסוגים בשנה i

$\mathbf{N_{T_i}}$ - סה"כ מספר המשאיות שמשקלן הכולל עולה על 12 טון בשנה i

$\mathbf{N_{B_i}}$ - סה"כ מספר האוטובוסים שמשקלם הכולל עולה על 10 טון בשנה i

$\mathbf{N_{TB_i}}$ - סה"כ מספר כלי הרכב מקבוצת TB בשנה i, כאשר $\mathbf{N_{TB_i} = N_{T_i} + N_{B_i}}$

$\mathbf{N_{T_i}^{+96}}$ - סה"כ מספר המשאיות עם משקל כולל מעל 12 טון ושנת יצור החל מ- 1996, בשנה i

$\mathbf{N_{B_i}^{+96}}$ - סה"כ מספר האוטובוסים עם משקל כולל מעל 10 טון ושנת יצור החל מ- 1996, בשנה i

$\mathbf{N_{TB_i}^{+96}}$ - סה"כ מספר כלי הרכב מקבוצת TB ששנת היצור שלהם החל מ 1996, בשנה i

ההערכה בשנה i לאחוז האוטובוסים עם מגביל מסה"כ אוטובוסים בקבוצה $\mathbf{N_{B_i}}$, מיוצגת בנוסחה הבאה:

$$\mathbf{P_{B_i} = \frac{N_{B_i}^{+96}}{N_{B_i}}} \qquad \mathbf{(1)}$$

ההערכה בשנה i לאחוז המשאיות עם מגביל מסה"כ משאיות בקבוצה N_{T_i}, מיוצגת בנוסחה הבאה:

$$P_{T_i} = \frac{N_{T_i}^{+96}}{N_{T_i}} \qquad (2)$$

ההערכה בשנה i לאחוז משאיות ואוטובוסים עם מגביל מסה"כ אוטובוסים ומשאיות מיוצגת בנוסחה הבאה:

$$P(i) = \frac{N_{TB_i}^{+96}}{N_{TB_i}} \qquad (3)$$

להלן שתי טבלאות 14 ו-15 המציגות מספרי כלי רכב ואחוזי כלי רכב עם המגביל בכל שנה i:

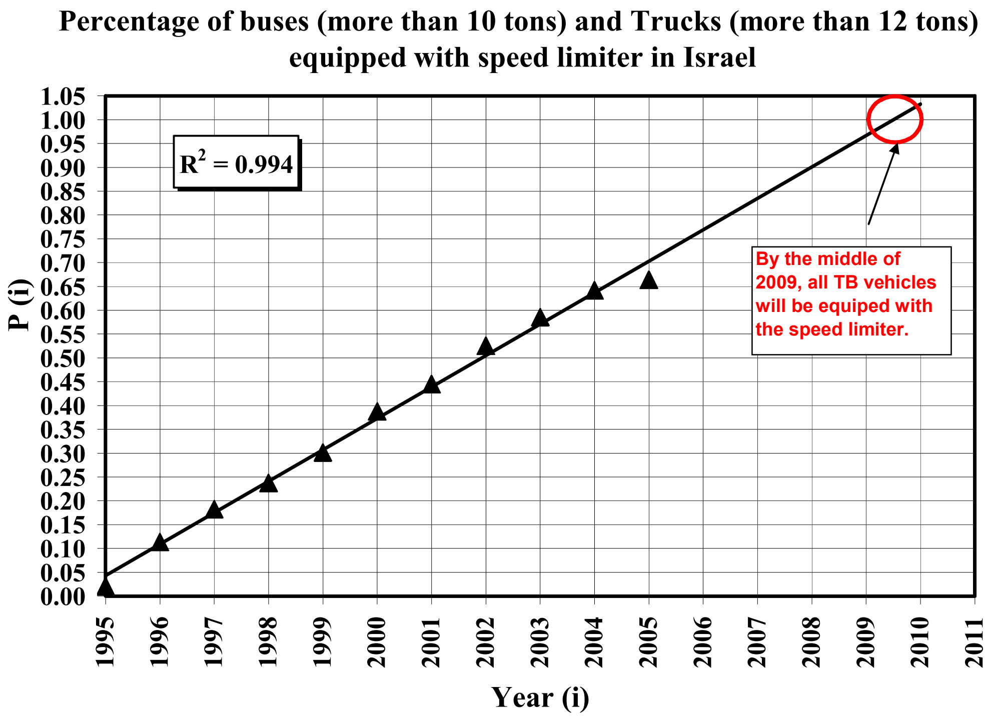
טבלה 14: אחוז כלי רכב עם מגביל לפי סוג רכב

Year	All Types	Buses (over 10 ton)			Trucks (over 12 ton)		
	N_{ALL_i}	N_{B_i}	$N_{B_i}^{+96}$	P_{Bi}(%)	N_{T_i}	$N_{T_i}^{+96}$	P_{Ti}(%)
1991	1,075,459	8,920	0	0	16,724	0	0
1992	1,175,876	9,309	0	0	17,733	0	0
1993	1,261,004	9,761	0	0	18,930	0	0
1994	1,373,098	10,429	0	0	20,769	0	0
1995	1,459,018	10,794	14	0.0013	22,139	650	0.0294
1996	1,542,870	11,214	610	0.0544	23,485	3,326	0.1416
1997	1,616,828	11,095	1,325	0.1194	23,814	5,047	0.2119
1998	1,674,779	11,141	1,965	0.1764	23,716	6,304	0.2658
1999	1,729,757	11,303	2,894	0.2560	23,712	7,653	0.3227
2000	1,831,530	11,849	4,197	0.3542	25,033	10,100	0.4035
2001	1,914,895	11,897	4,982	0.4188	26,251	11,985	0.4783
2002	1,960,023	11,788	5,861	0.4972	26,423	14,217	0.5381
2003	1,982,296	11,631	6,426	0.5525	25,702	15,430	0.6003
2004	2,037,715	11,451	6,994	0.6108	24,943	16,364	0.6561
2005	2,107,318	11,779	7,863	0.6675	25,224	16,705	0.6623

טבלה 15: הערכה לאחוז כלי רכב עם מגביל מהירות

Year	Buses and Trucks		
	N_{TB_i}	$N_{TB_i}^{+96}$	P(i)
1991	25,644	0	0
1992	27,042	0	0
1993	28,691	0	0
1994	31,198	0	0
1995	32,933	664	0.0202
1996	34,699	3,936	0.1134
1997	34,909	6,372	0.1825
1998	34,857	8,269	0.2372
1999	35,015	10,547	0.3012
2000	36,882	14,297	0.3876
2001	38,148	16,967	0.4448
2002	38,211	20,078	0.5255
2003	37,333	21,856	0.5854
2004	36,394	23,358	0.6418
2005	37,003	24,568	0.6639

בהסתמך על ההערכה של אחוזי כלי רכב עם מגביל בשמונה השנים האחרונות, בוצעה אקסטרפולציה (ע"י רגרסיה ליניארית) ונמצא שלקראת אמצע שנת 2009 **כל** כלי הרכב מקבוצת TB יצוידו עם מגביל וזה פשוט עקב הבלאי של הרכבים הישנים והוצאתם מכלל שימוש. תוצאה זו מוצגת באיור 27.



איור 27: חיזוי לאחוזי קבוצת TB עם מגביל מהירות בישראל

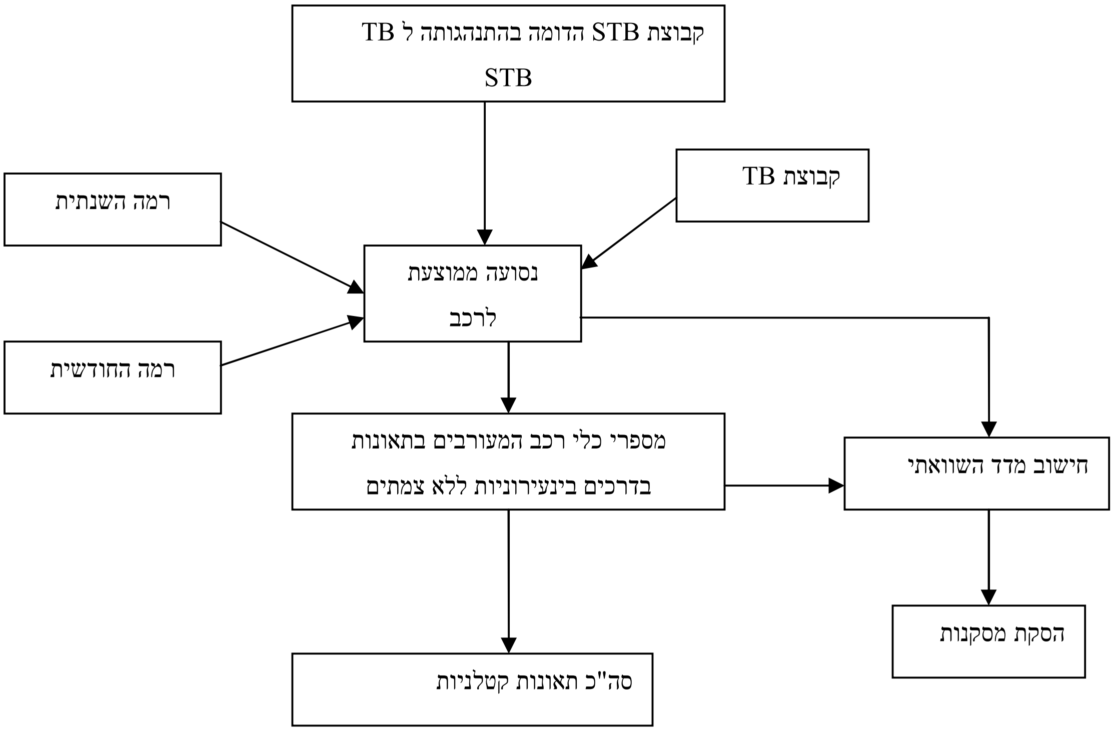
ב. מספר כלי רכב המעורבים בתאונות דרכים

מקורות הנתונים על מספרי כלי רכב המעורבים בתאונות דרכים בישראל היינו פרסום הלמ"ס : " תאונות דרכים עם נפגעים, חלק א' " לשנים 1991 עד 2005. באיור 28 מתואר אופן הוצאת הנתונים מהפרסום בהתחשב ב : סוג הרכב, סוג הדרך, וחומרת התאונה.

<u>לצורך נטרול</u> השפעת גורמים חיצוניים כמו: מזג אויר, מצב כלכלי, וכו' תוגדר קבוצה חדשה STB שתכלול את כל המשאיות עד משקל של 12 טון ואוטובוסים זעירים עד 10 טון. קבוצה זו הינה הקרובה ביותר בהתנהגותה לקבוצת TB כאשר בה לא הותקן המגביל, בנוסף יוגדרו המשתנים הבאים :

A_{TB_i} - סה"כ מספר כלי רכב מקבוצת TB המעורבים בתאונות בדרכים בשנה או חודש i.

A_{STB_i} - סה"כ מספר כלי רכב מקבוצת STB המעורבים בתאונות בדרכים בשנה או חודש i.



איור 28: אופן סווג הנתונים על כלי רכב המעורבים בתאונות דרכים עפ"י פרסום הלמ"ס בישראל

בעקבות שינויים שחלו בפרסומי הלמ"ס נוצרו שני אילוצים: הראשון- להתייחס רק לנתונים משנת 1991 והשני- לא להתייחס לתאונות קשות ולסה"כ תאונת תאונות. להלן שני ציטוטים מתוך פרסומי הלמ"ס שמביאים לשני אילוצים אלו:

(1) החל בשנת 1991 האבחנה היא לפי המשקל הכולל של המשאית, תוך הפרדה בין אוכלוסיית המשאיות שמשקלן מעל 4 טונות לבין אלו שמשקלן עד 4 טונות.

(2) פצוע קשה: אדם שאושפז בעקבות תאונה בבית חולים לתקופה של 24 שעות ויותר, שלא לצורך השגחה בלבד. התוספת " שלא לצורך השגחה בלבד " הוספה להגדרה על ידי משטרת ישראל בדצמבר 1995, כדי להגיע להגדרה ברורה ואחידה, מאחר שישום ההגדרה הקודמת בשטח לא היה אחיד בנוסף השתנתה הגדרת תאונה קלה.

ג. נסועה שנתית לפי סוג רכב

מקורות הנתונים על הנסועה השנתית הממוצעת של סוגי כלי הרכב השונים מתבססים על פרסום הלמ"ס: "סקר נסועה (קילומטראז') בכל שנה". המדגם הנבחר ע"י הלמ"ס בכל שנה כולל את כל תחנות הרישוי המשמשות לרישוי רכב אזרחי. לקבלת הסבר יותר מפורט אודות השיטה המקובלת בלמ"ס להערכת הנסועה השנתית, ניתן לעיין בפרסום הנדון.

הערכת הנסועה השנתית הכוללת לכל קבוצה (TB ו STB) מוצגת בטבלה 16, ההערכה מתבססת על חישוב המכפלה של מספר כלי רכב הרשומים בקבוצה בנסועה הממוצעת השנתית של הרכב באותה קבוצה . הנסועה החודשית נגזרה מהנסועה השנתית ע"י חלקות הנסועה השנתית ב-12 חודשים.

טבלה 16: הנסועה השנתית הממוצעת לכל רכב בשתי הקבוצות

Average Annual Kilometrage (thousands)		
Year (i)	TB Group	**STB Group**
	$\mathbf{L_{TB_i}}$	$\mathbf{L_{STB_i}}$
1991	56.3	31.6
1992	63.7	33.1
1993	55.5	34.2
1994	58.6	234.
1995	60.2	537.
1996	63.1	4.93
1997	63.8	436.
1998	62.4	33.6
1999	56.7	33.8
2000	61.6	3.13
2001	57.5	1.03
2002	61.8	30.3
2003	56.3	31.3
2004	61.6	31.4
2005	65.4	31.4

10.4.3 בניית מדד השוואתי

אין ספק ששינויים במאפייני הדרך משפיעים על רמת הבטיחות של אותה דרך, לדוגמא: שינוי מספר נתיבים, שינוי רוחב שוליים, הוספת מעקה בטיחות, רימזור, שילוט חדש ושינויי המהירות המותרת בדרך. לצורך השוואה לפני ואחרי שינויים אלו יש להתחשב בנפח התנועה המשתנה עם הזמן באמצעות המדד A_r (מספר התאונות למיליון ק"מ-נסיעה). מאידך מחקר זה, בודק את ההשפעה על רמת הבטיחות בדרכים של קבוצת המשאיות והאוטובוסים לאור שינוי אשר חל על חלק מקבוצה זו (קבוצת TB).

בשל עובדה זו המדד ההשוואתי המקובל בניתוח תאונות דרכים (A_r) אינו מתאים למקרה המחקר וקיים צורך לפתח מדד השוואתי חדש להערכת התרומה הבטיחותית של המגביל תוך התייחסות למספר כלי רכב המעורבים בתאונות, הנסועה השנתית הממוצעת לרכב בכל אחת משתי הקבוצות ומספר כלי הרכב הרשומים בכל קבוצה.

שני הביטויים הבאים מתארים את המדד ההשוואתי עבור שתי קבוצות כלי רכב:

$$\mathbf{I.R_{TB_i}} = \frac{\mathbf{A_{TB_i}}}{\mathbf{N_{TB_i}} \cdot \mathbf{L_{TB_i}}} \qquad (4)$$

$$\mathbf{I.R_{STB_i}} = \frac{\mathbf{A_{STB_i}}}{\mathbf{N_{STB_i}} \cdot \mathbf{L_{STB_i}}} \qquad (5)$$

אותו מדד חושב עבור הנתונים ברמה חודשית ונתונים ברמה שנתית.

כאשר:

A_{TB_i} - מספר כלי רכב (מקבוצת TB) המעורבים בתאונות למיליון קילומטר נסועה בשנה או חודש i.

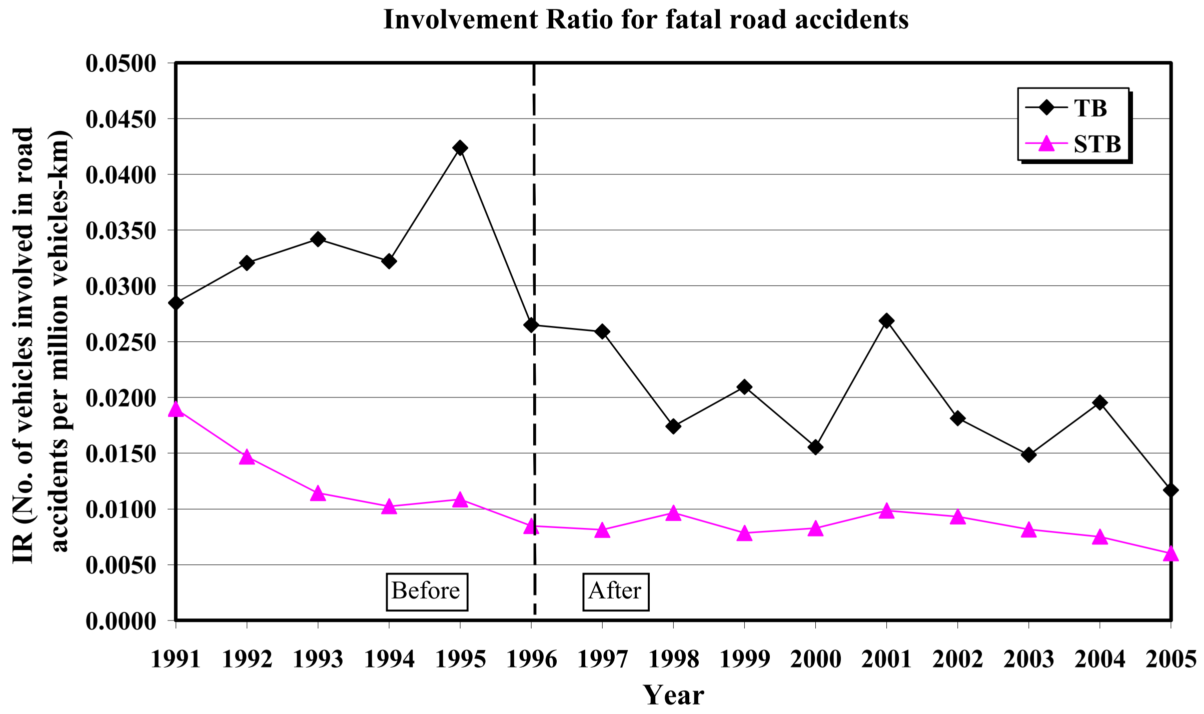
A_{STB_i} - כלי רכב (מקבוצתSTB) המעורבים בתאונות למיליון קילומטר נסועה בשנה או חודש i.

L_{TB_i} - נסועה שנתית ממוצעת לרכב בקבוצת TB בשנה או חודש i.

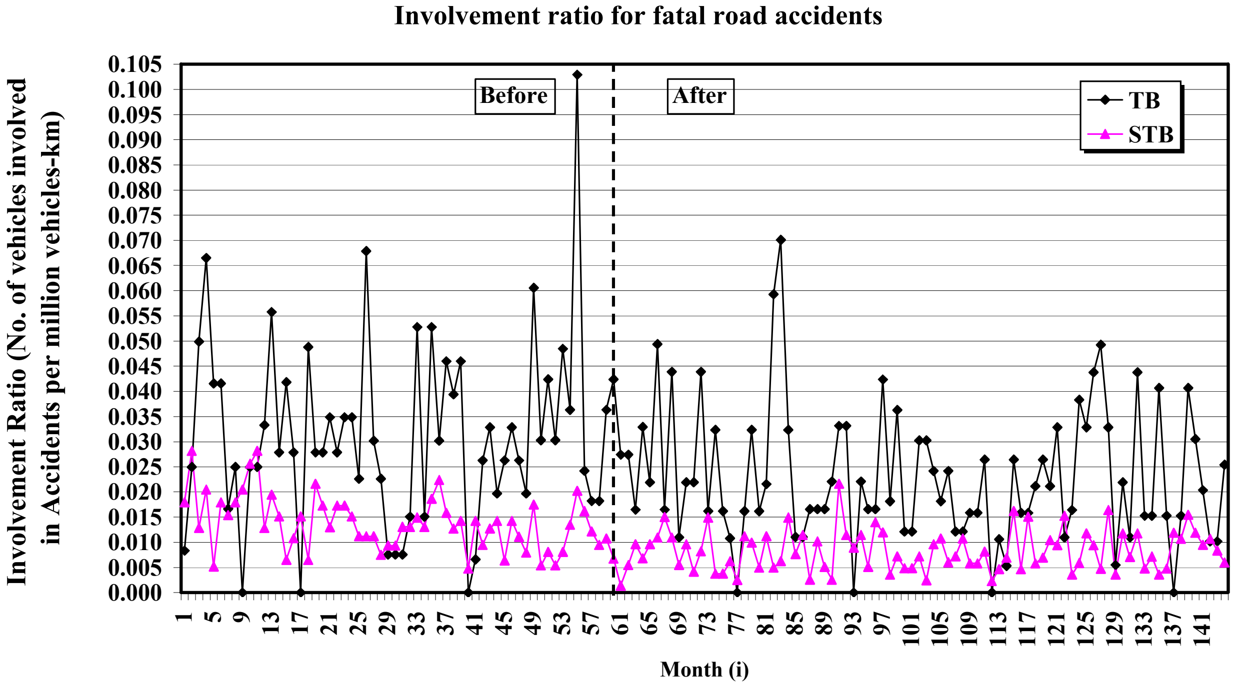
L_{STB_i} - נסועה שנתית ממוצעת לרכב בקבוצת STB בשנה או חודש i.

N_{TB_i} - מספר כלי רכב רשומים בקבוצה TB בשנה או חודש i.

N_{STB_i} - מספר כלי רכב רשומים בקבוצה STB בשנה או חודש i.



איור 29: יחס המעורבות של קבוצות TB ו STB בסה"כ תאונות קטלניות בכל שנה



איור 30: שיעור המעורבות של קבוצות TB ו STB בסה"כ תאונות קטלניות בכל חודש

10.4.4 נטרול השפעות חיצוניות

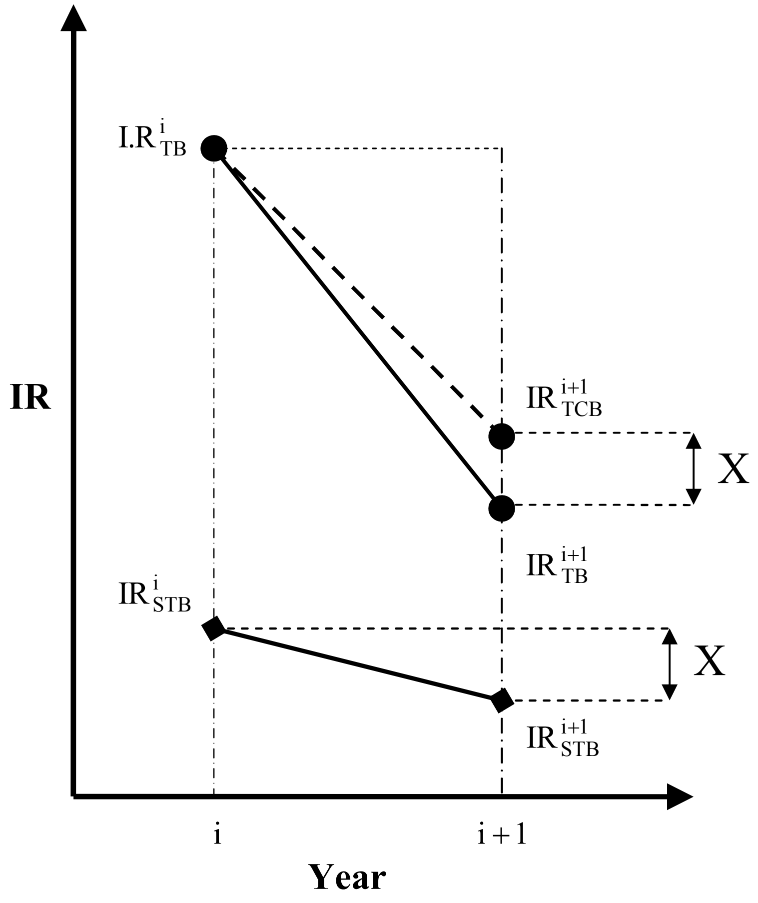
הוגדרו המשתנים הבאים:

IR_j - יחס המעורבות של כלי רכב מקבוצה נתונה j בתאונות דרכים מתוך סה"כ כלי הרכב בקבוצה j .

X- הפרש IR בתוך קבוצת STB.

ניתן להניח ש-X הוא הפרש הנגרם כתוצאה מפרמטרים חיצוניים במערכת (אכיפה, מצב כלכלי, מצב ביטחוני, מצב מדיני וכו' .) , בהנחה שקבוצת TB הייתה חשופה כמו STB לאותם פרמטרים חיצוניים, אפשר להניח שגם אצל קבוצת TB היה שינוי דומה בהפרש IR.

על מנת להשוות בתוך קבוצת TB בין שני המצבים לפני ואחרי החדרת המגביל, מן הראוי לנטרל את הפרמטרים החיצוניים ולבודדם ככל האפשר. מאחר ולא קיים מידע על ההשפעות החיצוניות לקבוצת TB ניתן לערוך השוואה לקבוצה הדומה ל TB שאין בה את מגביל המהירות והיא קבוצת STB . באופן זה מנטרלים את השינוי ב-IR בקבוצת TB עפ"י ההפחתה X שמתקבלת בקבוצת STB. מכאן הערכת הנטרול של הפרמטרים החיצוניים יהיה בערך של X בכוון המנוגד לשינויי IR בקבוצת TB כמוצג באיור 31.



איור 31: תיאור גרפי לאופן נטרול השפעת הגורמים החיצוניים

כאשר:

IR_G^i - ערך המדד ההשוואתי עבור קבוצת G בשנה i, כאשר G=TB, STB.

דרך החישוב לערך המדד IR של קבוצת TB לאחר נטרול השפעת הגורמים החיצוניים:

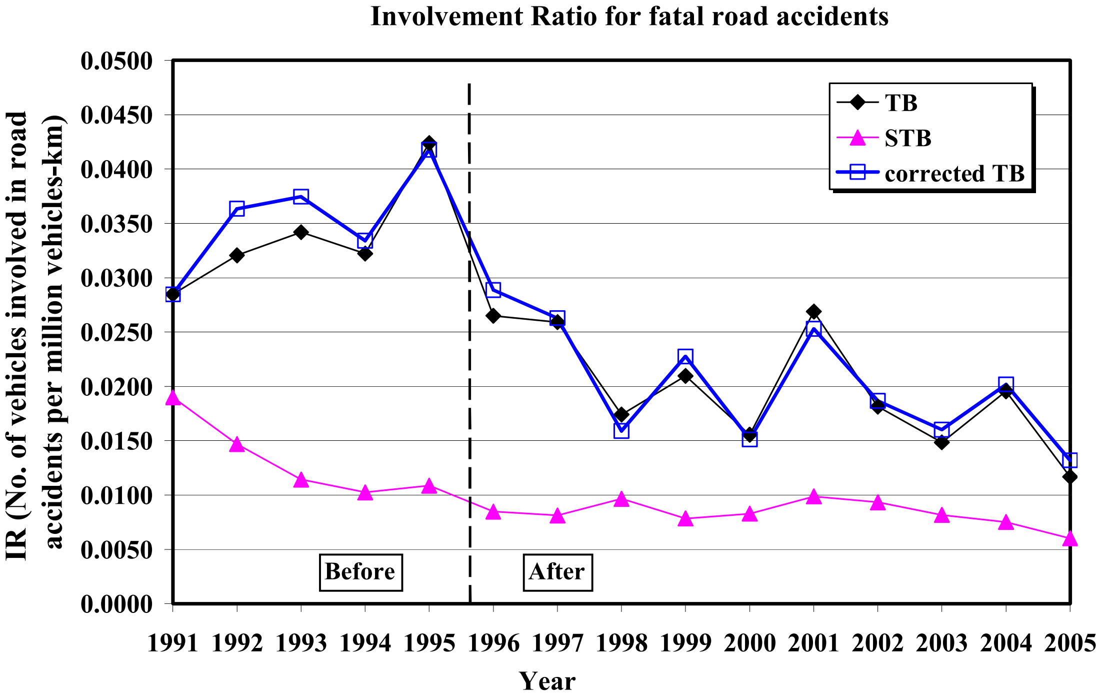
$$X = IR_{STB}^{i+1} - IR_{STB}^{i} \qquad \textbf{(6)}$$

$$IR_{TBC}^{i+1} = I.R_{TB}^{i+1} - X \qquad \textbf{(7)}$$

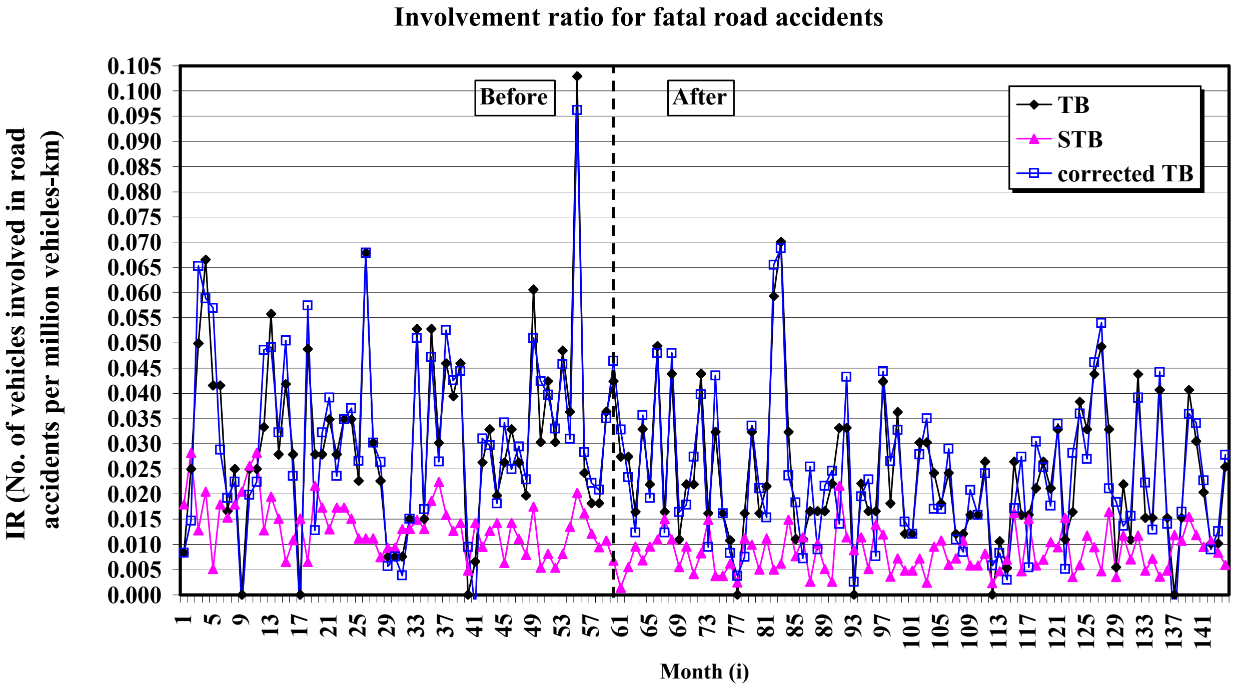
כאשר:

IR_{TBC}^{i+1} - ערך המדד ההשוואתי עבור קבוצת TB לאחר נטרול השפעת הגורמים החיצוניים.

איורים 32 ו-33 מציגים ערכי המדד ההשוואתי לאחר ניטול.



איור 32: שיעור המעורבות בתאונות קטלניות בכל שנה לרכב כבד עם מגביל וללא מגביל



איור 33: שיעור המעורבות בתאונות קטלניות בכל חודש לרכבים כבדים עם מגביל וללא מגביל

10.4.5 עיבוד הנתונים

נבדקה השערה בסיסית הגורסת שלמגביל המהירות המותקן על קבוצת TB יש השפעה על שיעור המעורבות בתאונות קטלניות של כלי רכב מאותה קבוצה. בדיקת השערה זו התבססה על אחוז כלי רכב עם מגביל מהירות בכל שנה ושעור המעורבות בתאונות קטלניות של קבוצת TB . הונח מודל ליניארי כמוצג בנוסחה 8.

$$IR[P(i)] = IR[0] + b \times P(i) \qquad (8)$$

כאשר:

P(i) - אחוז כלי רכב מקבוצת TB המותקן בהם מגביל מהירות בשנה וחודש i.

IR[P(i)] - שעור המעורבות בתאונות דרכים קטלניות בשנה וחודש i בהם אחוז כלי הרכב עם מגביל המהירות הינו P(i).

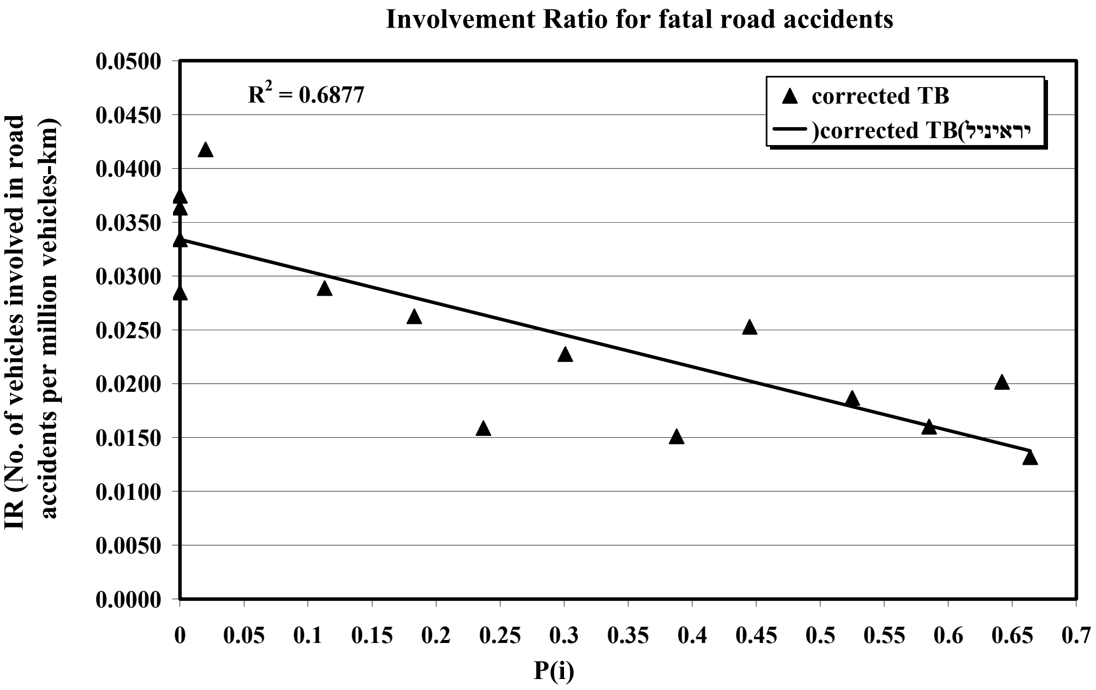
IR[o] - שיעור המעורבות בתאונות דרכים קטלניות בשנים לפני 1996 (לפני התקנת מגביל המהירות).

b - פרמטר, ערך חיובי של פרמטר זה מעיד על הגדלה בשיעור כלי רכב המעורבים בתאונות קטלניות וערך שלילי מעיד על קטנה בשיעור כלי רכב המעורבים בתאונות קטלניות.

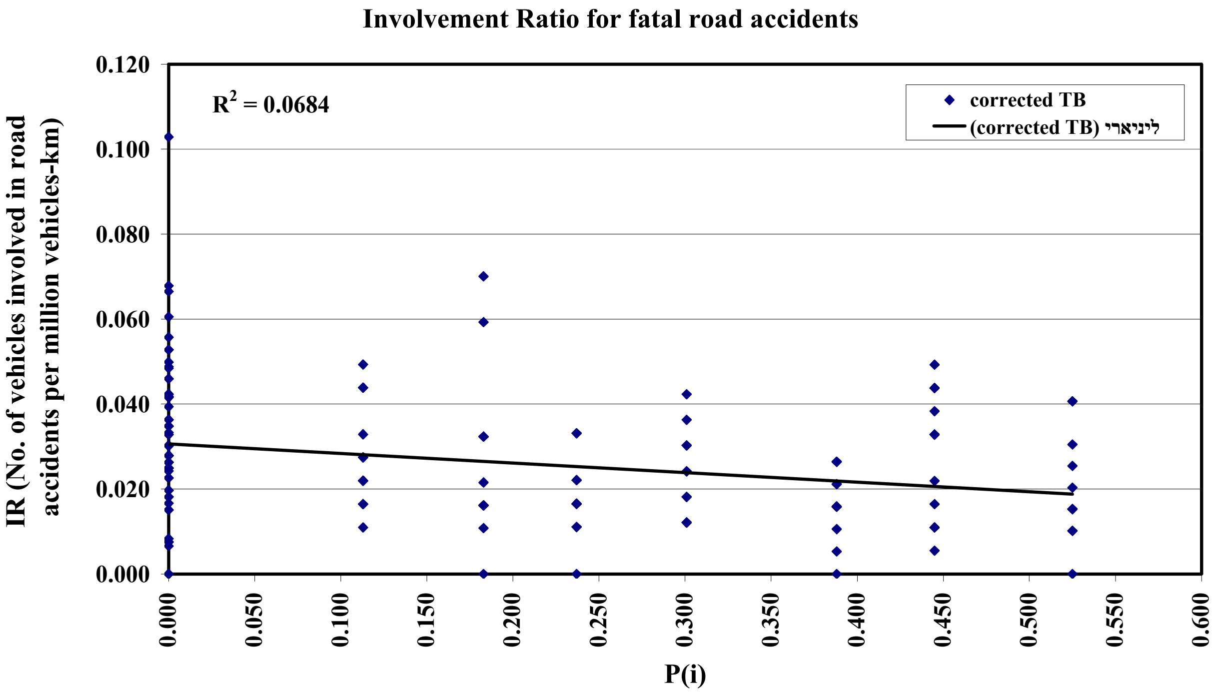
המטרה היא לבדוק אם קיים קשר ליניארי בין שיעור כלי רכב המעורבים בתאונות קטלניות לבין אחוז כלי רכב עם מגביל מהירות. ואם כן קיים קשר כזה, נבדוק אם הגדלת אחוז כלי רכב עם מגביל מהירות גורמת להקטנת שיעור כלי רכב המעורבים בתאונות קטלניות בצורה משמעותית.

העלאת הנתונים ברמה השנתית על מישור שיעור תאונות - אחוז כלי רכב עם מגביל וביצוע רגרסיה ליניארית נותנות את התוצאה המוצגת באיור 34.

העלאת הנתונים ברמה חודשית על אותו מישור וביצוע רגרסיה ליניארית נותנת את התוצאה המוצגת באיור 35.



איור 34 : הקשר בין שיעור המעורבות בתאונות ברמה השנתית ואחוז כלי רכב עם מגביל מהירות בישראל



איור 35: הקשר בין שיעור המעורבות בתאונות ברמה החודשית ואחוז כלי רכב עם מגביל מהירות בישראל

בדיקת מובהקות הקשר הליניארי (**$\alpha = 0.05$**) עבור הנתונים ברמה השנתית מראה ש- **$p = 0.0022$** .

ובדיקת מובהקות הקשר הליניארי (**$\alpha = 0.05$**) עבור הנתונים ברמה החודשית מראה ש- **$p = 0.0025$** .

התוצאות מעידות שהקשר ליניארי בין שיעור הערבות בתאונות קטלניות ואחוז כלי רכב עם מגביל מובהק סטטיסטית ובנוסף התקנת המגביל על כלי הרכב מקטין את שיעור מעורבותם בתאונות קטלניות.

10.5 סקר נהגים

10.5.1 סקר טלפוני בקרב נהגי רכב פרטי

בהתאם לתקנת התעבורה מס' 365, משאיות מעל 12 טון ואוטובוסים מעל 10 טון ששנת ייצורם היא 1996 ויותר מחוייבים בהתקנת המכשיר של מגביל מהירות. מאז יציאתה לאור של תקנה זו בסוף שנת 1995 ועד היום גדל מספר הנהגים המנוסים בנהיגה עם מגביל המהירות. כתוצאה מכך, על מנת לבחון את עמדת הנהגים, שהתנסו בנסיעה עם מגביל ואלו שלא התנסו, הוחלט לבצע שני סקרים בקרב שתי אוכלוסיית נהגים: נהגי רכב פרטי אשר אין להם ניסיון בנהיגה ברכב בו מותקן מגביל מהירות ונהגי רכב כבד בו מותקן המכשיר.

במסגרת המחקר, חברת גיאוקרטוגרפיה בהנהלת פרופסור אבי דגני וד"ר רינה דגני נתבקשה לערוך שני סקרים: האחד בקרב נהגי רכב פרטי והשני בקרב רכבים כבדים, דהיינו משאיות מעל 12 טון ואוטובוסים מעל 10 טון.

המחקר נועד לבחון את עמדות ציבור הנהגים בישראל כלפי התקנת מגביל מהירות ברכבים פרטיים.
המחקר נערך בחודש דצמבר בשנת 2006, במסגרת סקר ייעודי טלפוני בקרב 497 משיבים, גברים ונשים בגיל 17 ומעלה, המהווים מדגם ארצי ומייצג של אוכלוסיית הנהגים בישובים היהודיים במדינת ישראל.

מתוך התשובות עליהם ענו הנהגים אשר השתתפו בסקר, ניתן לגזור מספר נתונים המאפיינים את הנהגים ואת דעותיהם כאשר טווח השגיאה הסטטיסטית המרבית, בנסיבות דגימה זו, הינו ±4.4%, ברמת מובהקות סטטיסטית של 95%.
סוגי הנהגים ותדירות נסיעתם בכבישים בינעירוניים היא כמפורט:

- 54% מהנהגים נוסעים בכבישים בינעירוניים בתדירות גבוהה עד גבוהה מאוד, ו-46% מהנהגים בתדירות בינונית עד נמוכה.
- הנוהגים בתדירות גבוהה הם בעיקר גברים, צעירים וגילאי הביניים (18-54), ממעמד סוציו אקונומי גבוה במונחים של השכלה והכנסה, חילוניים ומסורתיים, ותיקים ותושבי מרכז הארץ והשרון. לעומתם, הנהגים בתדירות בינונית-נמוכה הם יותר מקרב נשים, בני גיל (55+), בעלי השכלה נמוכה ובינונית הכנסה נמוכה וממוצעת, דתיים וחרדים, עולים ותושבי חיפה והשרון, ירושלים והדרום.

10.5.2 סקר שטח בקרב נהגי רכבים כבדים

המחקר נועד לבחון את עמדות ציבור נהגי רכבים כבדים בישראל כלפי התקנת מגביל מהירות ברכבים . המחקר נערך בחודש ינואר בשנת 2007, במסגרת סקר שטח בקרב 300 משיבים, בעלי רישיון רכב כבד (אוטובוסים ומשאיות), המהווים מדגם ארצי ומייצג של אוכלוסייה זו בישראל.

בעוד שממצאי המחקר בקרב נהגי כלי רכב פרטי הושוו בין שני טיפוסי נהגים: (1) נוהגים בכבישים בינעירוניים בתדירות בינונית נמוכה ו-(2) נוהגים בכבישים בינעירוניים בתדירות גבוהה, ממצאי המחקר בקרב נהגי הרכבים הכבדים הושוו במידת האפשר, בין ארבעה טיפוסי נהגים:

(1) נהגים **שלא נהגו** בעבר ללא מגביל מהירות לעומת נהגים **שנהגו** בעבר ללא מגביל מהירות

(2) נהגי אוטובוס לעומת נהגי משאיות

(3) נהגים בעלי רישיון נהיגה: עד 10 שנים, בין 10-20 שנים ומעל 20 שנים.

(4) נהגים בקבוצות גיל שונות.

טווח השגיאה הסטטיסטית המרבית של ממצאי הסקר, בנסיבות דגימה זו, הינו 5.8%+, ברמת מובהקות סטטיסטית של 95%.

להלן (במתכונת שקפים) פירוט ממצאי הסקרים בשתי שכבות, סקר הנהגים עם רכב פרטי (ללא מגביל כמובן), וסקר של נהגי רכב כבד שיש ברכבם מגביל מהירות.