



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 מגמות במספרי הרוגים בתאונות הדרכים בשנת 2012

ד"ר ויקטוריה גיטלמן

ד"ר אטי דובא*

***המעבדה לסטטיסטיקה בפקולטה להנדסת תעשייה וניהול**

במימון הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים

**הרשות הלאומית
לבטיחות בדרכים**



אוקטובר 2013, חיפה

דו"ח מחקר מס' S/53/2013



דוח מסכם

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

מספר המחקר: 2013832 תאריך תחילת המחקר: 1.08.10 תאריך הגשת הדו"ח המעודכן: 3.11.13

שם החוקר הראשי: --

שם חוקר נוסף: ד"ר ויקטוריה גיטלמן

שמות חוקרים נוספים: ד"ר אטי דובא

מוסד המחקר: מרכז רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים

נושא המחקר (עברית): בחינת מגמות במספר התאונות, הנפגעים וההרוגים בתאונות הדרכים

נושא הדו"ח (עברית): בחינת מגמות במספרי הרוגים בתאונות הדרכים בשנת 2012

תקציר הדו"ח: במחקר זה נבחנו מגמות השינויים במספרי הרוגים בתאונות הדרכים בשנת 2012 לעומת שנים קודמות. הניתוח התייחס הן למספר הכולל של הרוגים בתאונות והן לחתכים המייצגים של מספרי הרוגים, לפי סוג דרך, נהגים וכלי רכב בסיכון, וסוגי תאונות. בנייתוח נבחנו 13 סדרות חודשיות של הרוגים, כאשר לגבי כל סדרה נבחנו שתי שאלות: (א) האם המגמה במספרי הרוגים בשנת 2012 השתנתה באופן מובהק לעומת המגמה בשנים קודמות? (ב) האם מספר הרוגים בשנת 2012 היה שונה באופן מובהק ממספר הרוגים ממוצע בשנים קודמות, ולעומת שנת 2011?

מגמות השינויים במספרי הרוגים בתאונות בשנת 2012 נבחנו לעומת שתי תקופות של השנים הקודמות: (א) חמש שנים קודמות, 2007-2011 - עבור כל סדרות הרוגים; (ב) עשר שנים קודמות, 2002-2011 - עבור סדרות הרוגים עיקריות.

נמצא כי בשנת 2012 חל שיפור ניכר הן במגמות והן במספרי הרוגים בתאונות הדרכים בישראל. בכל סדרות הרוגים שנתוחו זהו שינויים חיוביים במגמה - התחזקות מגמת הירידה בשנת 2012. כמו כן, בכל סדרות הנתונים פרט לאחת מספרי הרוגים בשנת 2012 היו נמוכים יותר באופן משמעותי לעומת הממוצע של שנים קודמות ולעומת שנת 2011, כאשר בחלק ניכר מהמקרים השינוי היה מובהק. כללית, שנת 2012 מצטיירת כיוצאת דופן, במובן החיובי, מבחינת הן היקף והן עקביות הירידות במספרי הרוגים בתאונות, בתחומי בטיחות שונים.

בסדרות הרוגים עיקריות: סך הרוגים בתאונות, הרוגים בדרכים הלא עירוניות, הרוגים בדרכים העירוניות - הירידות במספרי הרוגים בשנת 2012 היו ברמה של 25%-31% לעומת ממוצע שנים קודמות וברמה של 20%-25% לעומת שנת 2011, דהיינו השינוי היה משמעותי (ומובהק).

כמו כן, בשנת 2012 לעומת שנים קודמות ירידות גבוהות במיוחד (מעל 30%) נצפו בקרב: הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות, הרוגים הולכי רגל במגזר הלא יהודי, הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות, הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים הלא עירוניות, הרוגים בצמתים עירוניים, כאשר בתחומים האחרים כגון: הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים, עם רכב מקצועי, עם אופנועים ובתאונות הולכי רגל בדרכים עירוניות - גובה הירידות בהרוגים היה דומה לסדרות הכלליות.

בתחום אחד בלבד: הרוגים בצמתים לא עירוניים - לא היה שינוי מהותי במספרי הרוגים בשנת 2012 לעומת שנים קודמות, למרות הירידות הניכרות בסך הרוגים בדרכים הלא עירוניות.

הממצאים לגבי השינויים במגמות ובמספרי הרוגים בשנת 2012 היו דומים בניתוחים לעומת עשר ולעומת חמש שנים קודמות.

כמו כן, במחקר פותחו תרשימי בקרה חודשיים כדי לבחון האם התהליכים בשנים 2013-2014 יישארו בבקרה סטטיסטית, כאשר גבולות הבקרה מוגדרים על סמך התנהגות הנתונים בשנים 2008-2012. עבור כל אחת מסדרות הרוגים נבנו תרשימי הבקרה מסוג Shewhart ומסוג Cusum, המאפשרים ניטור שוטף של התהליכים. מבחינת התפתחות סדרות הרוגים בחודשים ינואר-אוגוסט 2013 נמצא כי בסך הרוגים בתאונות ובמספר הרוגים בדרכים הלא עירוניות לא נצפו שינויים מהותיים, דהיינו בשני התהליכים נמשכה מגמת הירידה שהחלה בתקופה הקודמת. לעומת זאת, במספר הרוגים בדרכים העירוניות חלה הרעה בחודשים

הראשונים של השנה אך בהמשך, התהליך חזר לקדמותו, דהיינו נצפה המשך למגמת הירידה שזוהתה בתקופה הקודמת.

Research Title: Examination of trends in road accident fatalities in 2012

Abstract: In this study, changes were examined in the trends and the numbers of fatalities in road accidents in Israel, in the year 2012 as opposed to the previous years. The analysis considered both the total number of accident fatalities and their meaningful subdivisions, in accordance with road types, drivers and vehicles at risk, and accident types. In total, 13 monthly data-series were analyzed, where in the statistical analysis, for each series, two research questions were examined: (a) Was the change in the fatalities' trend in 2012, as opposed to the previous years, significant? (b) Did a significant change occur in the number of fatalities in 2012, as opposed to the previous years, and compared to 2011?

The changes in the trends and the numbers of fatalities in 2012 were examined as opposed to two periods of the previous years: (a) five years, 2007-2011 - for all the data-series, (b) ten years, 2002-2011, for main data-series only.

It was found that in 2012, a significant improvement occurred both in the trends and the numbers of fatalities in road accidents in Israel. In all the data-series examined, positive changes were identified in the trends - a strengthening of the reduction trend in 2012. In addition, in all the data-series except for one, the fatality numbers in 2012 were considerably lower compared to the average of the previous years and with 2011, where in the majority of cases, the change was statistically significant. In general, the year 2012 seems to be an unusual one, in a positive sense, accounting for both the scope and the consistency of fatality reductions observed, in various safety fields.

In the main fatality data-series: total fatalities, fatalities on rural roads, fatalities on urban roads - the reductions in fatality numbers in 2012 were at the level of 25%-31% compared to the average of the previous years and at the level of 20%-25% compared to 2011, i.e. the change was considerable (and statistically significant).

In addition, in 2012 compared to the previous years, particularly high reductions in fatalities (over 30%) were observed in: pedestrian fatalities on rural roads, non-Jewish pedestrian fatalities, fatalities in single-vehicle accidents on rural roads, fatalities in head-on accidents on rural roads, fatalities in accidents at urban junctions, where in other fields such as: fatalities in accidents with young-drivers, professional drivers and motorcycles and pedestrian fatalities on urban roads, the extent of fatality reductions was similar to that observed in the main data-series.

In one field only: fatalities in accidents at rural junctions (excluding pedestrians) - no change was observed in the numbers of 2012 compared to the previous years, despite a significant reduction in the total fatalities on rural roads.

The findings concerning the changes in the trends and the numbers of fatalities in 2012 were similar in the analyses as opposed to ten and five previous years.

In addition, in the study, control charts were developed in order to enable an examination whether the processes in the years 2013-2014 will remain within the boundaries of statistical quality control, where the boundaries are defined based on the data behaviour in the years 2008-2012. For each one of the monthly series of fatalities, Shewhart and Cusum control charts were prepared, to enable the process monitoring.

Considering the developments of fatality data-series over January-August 2013, it was found that in the total fatality numbers and in the numbers of fatalities on rural roads no essential changes


occurred, i.e. in both processes continued a reduction trend that started in the previous period. In contrast, in the numbers of fatalities on urban roads a worsening appeared in the first months of the year but later the process corrected itself, i.e. a reduction trend observed in the previous period continued.

חתימת החוקר הראשי: --

חתימות החוקרים השותפים:

1. שם החוקר: ד"ר ויקטוריה גיטלמן

2. שם החוקר: ד"ר אטי דובא

 חתימה:
3 (ק"ז) ג"ט חתימה:

תוכן העניינים

6	1. מבוא
6	1.1 נושא המחקר
7	1.2 הנתונים
9	2. פיתוח מודל הנתונים: 2012 לעומת שנים קודמות
9	2.1 פיתוח מודלים עבור סדרות הנתונים
13	2.2 מודלים המשמשים למענה על שאלות שינוי המגמה ושינוי במספר התאונות
16	3. תוצאות הניתוח: שינויים בהרוגים בשנת 2012 לעומת חמש שנים קודמות
16	3.1 בחינת שאלה לגבי מובהקות השינויים במגמה בשנת 2012 לעומת חמש שנים קודמות
19	3.2 בחינת שאלה לגבי מובהקות השינויים במספר הרוגים בשנת 2012 לעומת חמש שנים קודמות
22	4. תוצאות הניתוח: שינויים בהרוגים בשנת 2012 לעומת עשר שנים קודמות
22	4.1 בדיקת תקופות התפתחות
25	4.2 בחינת שאלה לגבי מובהקות השינויים במגמה בשנת 2012 לעומת עשר שנים קודמות
25	4.3 בחינת שאלה לגבי מובהקות השינויים במספר הרוגים בשנת 2012 לעומת עשר שנים קודמות
27	5. בניית תחזיות התפתחות בשנים הבאות
27	5.1 שיטות הערכה
28	5.2 תוצאות הערכה
34	6. בניית תרשימי הבקרה לשנים 2013-2014
34	6.1 הכנת התרשימים
37	6.2 תוצאות
42	7. סיכום הממצאים
42	7.1 כללי
42	7.2 ממצאים עיקריים ומסקנות
46	מראי מקום
47	נספח א'. הצגה גרפית של סדרות הנתונים בניתוח: 2012 לעומת חמש שנים קודמות
54	נספח ב'. הצגה גרפית של סדרות הנתונים בניתוח: 2012 לעומת עשר שנים קודמות

1. מבוא

1.1. נושא המחקר

מספר הרוגים בתאונות הדרכים הינו מדד בטיחות מרכזי הן לצרכי המעקב הרב-שנתי אחרי מצב הבטיחות במדינה והן לצרכי ביצוע השוואות בינלאומיות (ITF/OECD, 2008 ; ITF/OECD, 2013). למגמות המסתמנות במספרי ההרוגים קיימת השפעה ישירה על קביעת מדיניות ועל בחירת פעילויות התערבות בנושאים שונים, בתחום הבטיחות בדרכים.

השתנות לאורך זמן במספרי ההרוגים בתאונות, ככלל, משקפת שילוב של שינויים ארוכי טווח ותנודות אקראיות. לכן, על מנת לספק תשובות מבוססות לגבי השינויים במספרי ההרוגים, בשנה מסוימת, נדרש ניתוח סטטיסטי של הנתונים. הניתוח צריך להתבסס על פיתוח מודל מסביר לסדרה עתית של הנתונים בשנים קודמות, יצירת תחזית לגבי המספר הצפוי בשנה הנבדקת וביצוע השוואה בין המצב הצפוי לבין המתרחש בפועל. בדרך זו, ניתן להבדיל בתוצאות הניתוח בין סטייה מקרית לבין שינוי מובהק במספרי ההרוגים.

במחקר שנערך לאחרונה - גיטלמן, דובא, כהן (2011), נבנה בסיס תיאורטי לפיתוח מודלים סטטיסטיים לבחינת מגמות השינויים במספרי ההרוגים, התאונות והנפגעים בתאונות הדרכים בישראל, בשנה מסוימת לעומת שנים קודמות. פיתוח המודלים התבסס על ניתוח מגמות השינויים במספרי ההרוגים, הנפגעים והתאונות בשנת 2009 לעומת שנים קודמות, 2004-2008. בהמשך, נערך ניתוח שינויים במספרים ובמגמות ההרוגים בתאונות בשנת 2010 לעומת שנים קודמות, 2005-2009. בנוסף, לניטור שוטף של מצב הבטיחות בישראל, הוצע להשתמש בתרשימי בקרה המאפשרים לבחון: "האם חל שינוי בתהליך או שהתהליך נשאר בבקרה סטטיסטית?", כאשר התהליך הינו מספר חודשי של הרוגים בתאונות בשנה השוטפת, בעוד שגבולות הבקרה משקפים את המצב הצפוי על סמך המגמות בשנים הקודמות. לצורכי המעקב השוטף אחרי מצב הרוגים, המחקר המליץ על שימוש בשילוב של שני סוגי תרשימי הבקרה: מסוג Shewhart, המאפשר זיהוי אירועים בודדים, ומסוג Cusum, המאפשר גילוי שינוי בתהליך באמצעות צבירת הסטיות שלו מהערכים המצופים כאשר התהליך בבקרה.

המחקר הנוכחי מהווה המשך למחקר הקודם, ובו נבחנו מגמות השינויים במספרי הרוגים בתאונות הדרכים בשנת 2012 לעומת שנים קודמות. הניתוח מתייחס הן למספר הכולל של הרוגים בתאונות הדרכים והן לחתכים המייצגים של מספרי הרוגים, לפי:

* סוג דרך - לא עירונית, עירונית;

* נהגים וכלי רכב בסיכון: נהגים צעירים, רכב מקצועי - משא מעל 3.5 טון, רכב דו-גלגלי - אופנועים;

* סוגי תאונות: תאונות הולכי רגל - בדרכים עירוניות ולא עירוניות ובמגזר הלא יהודי; תאונות רכב יחיד ותאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות; התנגשויות בצמתים לא עירוניים ועירוניים.

מגמות השינויים במספרי הרוגים בתאונות הדרכים בשנת 2012 נבחנו לעומת שתי תקופות של השנים הקודמות: (א) חמש שנים קודמות, 2007-2011 - עבור כל סדרות הרוגים; (ב) עשר שנים קודמות, 2002-2011 - עבור סדרות הרוגים עיקריות.

לגבי כל סדרה, בניתוח הסטטיסטי נבחנו שתי שאלות:

א. האם המגמה במספרי הרוגים בשנת 2012 השתנתה באופן מובהק לעומת המגמה בשנים קודמות?

ב. האם מספר הרוגים בשנת 2012 היה שונה באופן מובהק ממספר הרוגים ממוצע בשנים קודמות?

כמו כן, בעזרת המודלים שהותאמו בניתוח לעומת חמש שנים קודמות, נבנו תחזיות להתפתחות הסדרות העיקריות בשנים 2013-2014.

בנוסף, במחקר זה פותחו תרשימי בקרה כדי לבחון האם התהליכים בשנים 2013-2014 יישארו בבקרה סטטיסטית, כאשר גבולות הבקרה מוגדרים על סמך התנהגות הנתונים בשנים הקודמות.

1.2. הנתונים

ניתוח זה נועד לספק מענה לשאלת השינוי במגמה והשינוי במספר הרוגים בשנת 2012 לעומת שנים קודמות, שהן: (א) חמש שנים, 2007-2011, ו-(ב) עשר שנים, 2002-2011. הניתוח התמקד בזיהוי המגמות במספרי הרוגים בשנים הקודמות ובבחינת השינויים שחלו במספרים אלה בשנה הנבחנת (2012).

הניתוח התבסס על סדרות חודשיות של הרוגים בתאונות, בתקופה מ-1/2002 עד 12/2012¹. כמקור הנתונים שימשו קבצי תאונות הדרכים של הלמ"ס, כאשר מספרי הרוגים היו בהתאם להגדרה של הרוג בתאונה (נפטר תוך שלושים יום מתאריך התאונה).

הניתוח הראשון (לעומת חמש שנים קודמות) כלל 13 סדרות של נתונים שהן:

1. סה"כ מספר הרוגים
2. מספר הרוגים בדרכים לא עירוניות
3. מספר הרוגים בדרכים עירוניות
4. מספר הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים (לפחות אחד מהנהגים המעורבים בתאונה הוא נהג צעיר בגיל 17-21)
5. מספר הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי (לפחות אחד מכלי הרכב המעורבים בתאונה הוא רכב משא מעל 3.5 טון)
6. מספר הרוגים בתאונות רכב דו-גלגלי (לפחות אחד מכלי הרכב המעורבים בתאונה הוא אופנוע)

¹ סה"כ בשטח מדינת ישראל, לא כולל יו"ש

7. מספר הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות
 8. מספר הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות
 9. מספר הרוגים הולכי רגל במגזר לא יהודי²
 10. מספר הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות
 11. מספר הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות
 12. מספר הרוגים בצמתים לא עירוניים (כל סוגי התאונות פרט לתאונות הולכי רגל)
 13. מספר הרוגים בצמתים עירוניים (כל סוגי התאונות פרט לתאונות הולכי רגל)
- בנוסף, בהתחשב באירוע חריג - תאונת אוטובוס ליד אילת בה נהרגו 25 נוסעים, לניתוח נבנו שלוש סדרות נוספות של הרוגים שהן:
14. סה"כ מספר הרוגים, להוציא 25 הרוגי האוטובוס בדצמבר 2008.
 15. מספר הרוגים בדרכים לא עירוניות, להוציא 25 הרוגי האוטובוס בדצמבר 2008.
 16. מספר הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים הלא עירוניות, להוציא 25 הרוגי האוטובוס בדצמבר 2008.

לתיאור הסדרות שימשו המשתנים: Year - שנה, Mon - חודש. יצרנו את המשתנה OBS המונה את מספר החודש בסדרה: OBS=1 ב-1/2007, OBS=61 ב-1/2012. התקופה הקודמת כללה 60 תצפיות, התקופה הנוכחית (בה נבחן שינוי המגמה) - 12 תצפיות. בכל הסדרות היו סה"כ 72 תצפיות. הניתוח השני (לעומת עשר שנים קודמות) התייחס לשלוש סדרות עיקריות של הנתונים: סך מספר ההרוגים, מספר הרוגים בדרכים לא עירוניות, מספר הרוגים בדרכים עירוניות. בניתוח זה, התקופה הקודמת כללה 120 תצפיות.

טבלה 1.1 מביאה סיכומים שנתיים לכל סדרות הנתונים שעמדו בניתוח, בשנים 2002-2012.

טבלה 1.1. סיכומים שנתיים של סדרות ההרוגים, בשנים 2002-2012

שנה	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s13	s14	s15	s16
2002	525	318	207	113	112	45	112	64	55	62	71	43	32	525	318	62
2003	445	258	187	81	75	43	114	45	44	59	46	51	18	445	258	59
2004	467	288	179	81	85	35	112	54	56	67	59	38	15	467	288	67
2005	437	270	175	90	72	46	90	40	41	54	58	50	27	437	270	54
2006	405	219	186	75	65	41	107	29	41	49	47	40	30	405	219	49
2007	382	231	151	61	64	36	81	33	31	66	40	47	28	382	231	66
2008	412	250	162	67	76	51	87	47	37	75	44	25	19	387	225	50
2009	314	181	133	61	55	37	69	36	31	29	33	19	26	314	181	29
2010	352	202	150	55	51	55	84	35	43	44	34	29	17	352	202	44
2011	341	204	137	70	62	48	75	40	30	47	34	21	16	341	204	47
2012	263	146	117	46	49	39	67	23	25	29	18	26	12	263	146	29

² קבוצת אוכלוסיה: "ערבים"; לא כולל "אחרים", "זרים"

2. פיתוח מודל הנתונים: 2012 לעומת שנים קודמות

2.1. פיתוח מודלים עבור סדרות הנתונים

א. כללי

הניתוח הסטטיסטי התבסס על התאמת מודל מסביר לכל סדרה של מספרי הרוגים בתקופת "לפני" (2007-2011 או 2002-2011), ובתקופת "אחרי" (2012). השיטה להתאמת המודלים המתוארת להלן פותחה במחקר גיטלמן, דובא, כהן (2011).

תחילה נחקר מהו המודל המתאים לנתונים, תוך התעלמות מהתלות האפשרית בנתונים. התאמה זו מקובלת כנקודת הפתיחה בהתאמת סדרות עתיות. לאחר שלב ראשון של בחירת מודל המתאים לכל סדרה, כאשר הבחירה נעשית ללא התחשבות בתלות הנתונים, מחושב מספר סוגי שאריות מהמודל לבחינת התלות בסדרה, וצורתה (אם קיימת בנתונים). המודלים שיתקבלו בשלב זה, כולל מידול תלות אם תזוהה כזאת, ישמשו לצורך מענה לגבי השאלה האם חל שינוי בהרוגים.

השלבים בתהליך פיתוח המודל היו כלהלן:

- בניית משתנים נוספים.
- ציור הנתונים וקווי מגמה פרמטריים ואיפרמטריים על גבי תרשים הנתונים - קווים המתקבלים על-ידי ניכוי אפקטים עונתיים ואפקטים של מלחמות. בשלב ראשוני זה השתמשנו באפקטים חודשיים (11 אפקטים) כדי לא לכפות מבנה כלשהוא על הנתונים.
- ביצוע מבחנים לגבי קיום שבירה במגמה בתקופה "לפני" - הן מבחנים שבוחנים קיום רכיב לא לינארי (חלק) של מגמה בנוסף על הרכיב הלינארי, והן מבחן Davis הבודק האם ישנו שיפוע לא קבוע למשתנה נתון במודל מסוג Generalized Linear Model.
- לאחר קביעת המודל הבסיסי, כלומר, מודל עם מגמה קבועה או שבורה ורכיבי עונתיות ומלחמה, בדקנו לכל סדרה מהי ההתפלגות המתאימה מבין מספר התפלגויות המתאימות לתיאור נתוני מנייה. הבחירה הייתה בין ההתפלגות הפואסונית, פואסונית עם dispersion, ובינומית שלילית. בשלב זה, שהתאמה כבר לא אפרמטרית, הרכיב העונתי הוכנס כזוגות של סינוסים וקוסינוסים בתדירויות שנתיות וחצי שנתיות.
- לאחר שלב ראשון של בחירת מודל המתאים לכל סדרה, כאשר הבחירה נעשתה ללא התחשבות בתלות הנתונים, חושבו מספר סוגי שאריות מהמודל לבחינת התלות בסדרה, וצורתה (אם קיימת בנתונים).

ב. בניית משתנים נוספים

מכיוון שמספר הימים בכל חודש שונה, נכלל בין מסבירי המודל משתנה offset השווה ללוג מספר הימים בחודש. משתנה offset הינו משתנה מסביר שהמקדם שלו במודל נקבע להיות שווה ל-1.

התקופה שאליה מתייחסות סדרות הנתונים במחקר זה, כוללת את הזמנים שבהם התחוללו מלחמת לבנון השנייה, המלחמה הראשונה בעזה (מבצע "עופרת יצוקה") והמלחמה השנייה בעזה (מבצע "עמוד ענן"). בגלל המלחמות, נגרמו שינויים (במצב התנועה ותאונות הדרכים) שאותם היה צורך לקחת בחשבון במודלים. הדבר נעשה על-ידי יצירת משתני מלחמה מתאימים שהם:

- משתנה אינדיקטור המכונה בשם WAR. המשתנה מקבל את הערך "0" בחודשים שאינם חודשי מלחמת לבנון השנייה וערך השווה ל-1 בחודשי מלחמה זו, דהיינו, 7/2006 ו-8/2006. (משתנה זה נכלל רק בניתוח לפי עשר שנים);
- משתנה אינדיקטור המכונה בשם WAR3a, המקבל את הערך "1" בחודש הראשון של מבצע "עופרת יצוקה" (12/2008) ואפס בשאר החודשים. משתנה אינדיקטור בשם WAR3b, המקבל את הערך "1" עבור החודש השני של "עופרת יצוקה"³, 1/2009, ואפס בשאר החודשים;
- משתנה אינדיקטור המכונה בשם WAR4, המקבל את הערך "0" בחודשים שאינם חודשי מבצע "עמוד ענן" וערך השווה ל-1 בחודשי המלחמה, (דהיינו, 11/2012⁴). משתנה זה נוסף פעם ראשונה בניתוח הנוכחי.

ג. ניתוח חוקר של הנתונים

בשלב זה התבצע ניתוח חוקר של נתוני הסדרות (נספחים א', ב'). במסגרת זאת, עבור כל סדרה, מצוירים הנתונים המקוריים, הן עבור התקופה "לפני" (חמש שנים, 2007-2011, או עשר שנים, 2002-2011) והן עבור התקופה "אחרי" (2012). הקו האנכי המרוסק תוחם את שתי התקופות הללו (בין חודש 60 ל-61, בניתוח הראשון, בין חודש 120 ל-121, בניתוח השני). על גבי תרשים נתונים אלה, מצוירים קווי מגמה איפרמטריים. לשם השלמת הצגת גרף הנתונים ומניעת כפילויות הצגה, מצוירים גם הקווים הפרמטריים, על-פי מסקנות הניתוח בסעיפים הבאים.

לצורך ציור קווי המגמה, יש להתאים מודל לנתונים ולחשב ערכים צפויים בעזרתו למקרה בו רק המגמה הייתה קיימת במודל, כלומר, רק רכיב הזמן היה משתנה. לכל סדרה עבור התקופה "לפני" הותאמו שני מודלים.

במודל הראשון התאמנו לסדרת הנתונים החודשיים מודל קווי-פואסוני, פואסוני עם dispersion, עם זמן כמסביר ליניארי ומשתנה offset השווה ללוג מספר הימים בחודש. בנוסף משתתפים במודל משתני האינדיקטורים למידול האפקטים של המלחמות. נסמן ב- λ את תוחלת המופע היומי בחודש

³ המלחמה הראשונה בעזה נמשכה בין התאריכים: 18/1/2009 - 27/12/2008.

⁴ מבצע "עמוד ענן" היה בנובמבר 2012, בין התאריכים 14-21 בנובמבר.

מסוים. המודל הפואסוני המתואר, ממדל את $\log(\lambda)$ - לוגריתם תוחלת קצב המופע היומי בחודש מסוים. המודל השני זהה לראשון פרט לכך שהותאם רכיב חלק של הזמן ($s(\text{time})$), ולא רכיב לינארי.

כדי לשרטט את רכיב המגמה, נשרטט למעשה את המודל המותאם על פני הזמן, לאחר ניכוי אפקטים חודשיים, הבדלים במספר ימים בחודש ואפקטים של מלחמות. הערכים המותאמים שורטטו על-פי המודל עבור ערך נבחר של מספר ימים (30), ערך נבחר של משתני מלחמה (0) וערך נבחר של חודש (חודש "אמצעי" מבחינת האפקט שלו, תלוי בסדרה).

הקו הרציף (הכחול) מתאר התאמה לינארית בזמן והקו המקווקו (האדום) מתאר החלקה על פני הזמן. בנוסף, בוצעה החלקה פשוטה של הנתונים כולם, המסומנת בקו שחור רצוף ודק. יש לזכור שהמודל הלינארי מתאים קו ישר ללוג התוחלת, לכן הקו המותאם ע"י המודל לתוחלת אינו קו ישר.

נספח א' מביא הצגה גרפית של סדרות הנתונים שבניתוח, בתוספת מספר קווי החלקה שהותאמו לכל סדרה, על סמך הנתונים של חמש שנים קודמות. כלומר, הנתונים הגולמיים של מספרי ההרוגים החודשיים (ללא תיקון לפי מספר הימים בחודש) מוצגים ע"י הקווים האנכיים הרצופים. הקו האנכי המרוסק תוחם את שתי תקופות הניתוח: "לפני" (שנים 2007-2011) ו-"אחרי" (שנת 2012). לכל סדרה, מוצגים שלושה קווי החלקה אורכיים שהם: (1) הקו הרציף הכחול שמתאר התאמה לינארית בזמן, בתקופה "לפני"; (2) הקו המקווקו האדום שמתאר החלקה על פני הזמן, בתקופה "לפני"; (3) קו שחור רצוף ודק שמבטא החלקה פשוטה של הנתונים כולם, בשתי התקופות ביחד.

באופן דומה, נספח ב' מביא הצגה גרפית של סדרות הנתונים שבניתוח, בתוספת קווי החלקה שהותאמו לשלוש הסדרות הראשונות של הרוגים, על סמך הנתונים של עשר שנים קודמות. הנתונים הגולמיים של מספרי ההרוגים החודשיים מוצגים ע"י הקווים האנכיים הרצופים. הקו האנכי המרוסק תוחם את שתי תקופות הניתוח: "לפני" (שנים 2002-2011) ו-"אחרי" (שנת 2012). כמו כן, לכל סדרה, מוצגים שלושה קווי החלקה אורכיים.

(בנוסף לקו האנכי המרוסק בין התקופות "לפני" ו-"אחרי", דהיינו בין דצמבר 2011 לינואר 2012, בתרשימים בנספח ב' מוצגים גם שני קווי ייחוס נוספים, בין דצמבר 2003 לינואר 2004 ובין דצמבר 2008 לינואר 2009. קווי ייחוס אלה נבדקו בתור נקודות שבירה אפשריות, בעקבות בחינת שינויים במדדים עיקריים של מערכת התחבורה בישראל - ראה פרק 4).

בבדיקת טיב ההתאמה באמצעות שני המודלים שצוינו לעיל: המודל עם הרכיב הלינארי של הזמן והמודל עם הרכיב החלק של הזמן, נמצא כי ברוב הסדרות הרכיב החלק היה מיותר וניתן להסתפק במודל הלינארי.

ד. בדיקת נחיצות שבירות מגמה בתקופת "לפני"

בשלב הבא נבחן מודל לינארי למקוטעין עבור סדרות נבחרות - מודלים שנרמזו על-ידי הרכיב החלק על פני הזמן של אותן סדרות ונמצאו כמובהקים ברמת מובהקות של כ-5% או מובהקים שולית (רמת מובהקות של כ-10%), בשלב זה, במבחן ההשוואה בין המודל הלינארי למקוטע.

בנוסף, נעשה שימוש בספריית *Segmented* של R - Muggeo (2003, 2008), המאפשרת התאמת מודלים מקוטעים, תוך חיפוש נקודות השבירה המתאימות. נערך מבחן Davis המיושם בספריית *Segmented* של R. מבחן זה בודק האם ישנו שיפוע לא קבוע למשתנה נתון במודל. אנו השתמשנו בו כדי לקבוע באילו סדרות יש לחשוד בשינוי במגמה. מבחן זה אינו מתאים לקביעת מספר נקודות שבירה ומיקומן, אלא מציע נקודה אחת בלבד כאפשרית לשבירה.

לכל סידרה מדווח Pvalue של המבחן לשיפוע לא קבוע, כאשר $Pvalue < 0.05$ או מובהק שולית, מצביע על קיום שבירה מובהקת. בנוסף ניתנת הנקודה המוצעת לשבירה. אם נקודה זאת אינה בקצוות, ונרמזת גם על-ידי הרכיב החלק, אזי בשלב הבא נבדקה שבירה בנקודה זאת או בקרבתה, על-פי ההתבוננות ברכיב החלק. בכל המקרים ה"חשודים" נבדק האם המודל השבור (לינארי למקוטעין) טוב יותר באופן מובהק מהמודל הלינארי.

כתוצאה מתהליך זה, מודל לינארי למקוטעין (עם שבירת מגמה בחודש מסוים בתקופה "לפני") נמצא כבעל התאמה טובה יותר ממודל לינארי עבור סדרות אלה:

עבור סדרה S10 (הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות) - עם שבירה בחודש 28 (אפריל 2009);

עבור סדרה S12 (הרוגים בצמתים לא עירוניים) - עם שבירה בחודש 19 (יולי 2008).

ה. בחינת ההתפלגות המתאימה

לאחר קביעת המודל הבסיסי - מודל עם מגמה קבועה או שבורה, רכיבי עונתיות ומלחמות, ומשתנה *offset*, בדקנו לכל סדרה מהי ההתפלגות המתאימה מבין מספר התפלגויות המתאימות לתיאור נתוני מנייה. הבחירה הייתה בין ההתפלגות הפואסונית, פואסונית עם *dispersion*, ובינומית שלילית. בשלב זה, כאשר ההתאמה כבר לא אפרמטרית, הרכיב העונתי הוכנס כזוגות של סינוסים וקוסינוסים בתדירויות שנתיות וחצי שנתיות.

הבחינה נעשית הן בדרך פורמלית והן בדרך גרפית. פרוט מלא של השיטה ניתן ב-כהן ודובא (2011). בהמשך, לכל אחת מהסדרות מובאים: השכיחויות, תוצאות התאמת שלושת המודלים, גרף המשווה בין ממוצע ההסתברויות הצפויות של שלושת המודלים האפשריים וההסתברויות הנצפות. כאשר שלוש ההתפלגויות מתאימות באותה המידה (או לחילופין, טועות באותה המידה), נבחר המודל עם התפלגות פואסונית.

בניתוח הנוכחי נמצא כי ההתפלגות הפואסונית מתאימה לסדרות: S16-S14, S12, S10-S6, S4-S1, כאשר התפלגות בינומית שלילית מתאימה לסדרות: S13, S11, S5.

1. ניתוח שאריות המודלים

לאחר שלב ראשון של בחירת מודל המתאים לכל סדרה, כאשר הבחירה נעשתה ללא התחשבות בתלות הנתונים, חושבו שאריות דוויאנס מתוקננות (standardized deviance residuals), אשר מקובלות בניתוח סדרות של מודלים מהסוג *Generalized linear models*. הצפייה הייתה שלפחות אסימפטוטית תתקבלנה שאריות עם תוחלת אפס ושונות קבועה ושווה ל-1.

לבחינת התלות וצורתה (אם קיימת בנתונים), לכל סדרת שאריות דוויאנס הוצגו מספר תרשימים המציגים ערכי אמדי מתאמים סדרתיים ורווחי הסמך שלהם וכמו כן, נבחנו מבחנים סטטיסטיים הבוחנים את ההשערה שקבוצת אמדי מתאמים סדרתיים של סדרה עיתית כוללת רק סטטיסטיים מאוכלוסייה של מתאמים השווים כולם לאפס, לעומת האלטרנטיבה, שלפחות אחד מהמתאמים שונה מאפס. פרוט נרחב של הבדיקות לתלות ניתן למצוא בדו"ח כהן ודובא (2011).

לרוב, לא נמצאה עדות לתלות בין השאריות, פרט למספר קטן מאוד של סדרות המרמזות על קיום תלות אפשרית, ממצא אשר עשוי לנבוע מביצוע השוואות מרובות ולכן, סביר כי מקרי. לאור ממצאים אלה וכן, ממצאים דומים בניתוחים הקודמים בנושא - ראה כהן ודובא (2011), גיטלמן, דובא, כהן (2011), הוסק קיום אי-תלות הנתונים.

2.2. מודלים המשמשים למענה על שאלות שינוי המגמה ושינוי במספר התאונות

לכל סדרה של הנתונים החודשיים הותאם מודל פואסוני (או בינומי שלילי), עם זמן כמסביר ליניארי (או ליניארי למקוטעין), עם אפקטים של עונתיות ואפקטים של מלחמות כמסבירים, ומשתנה (*offset*) השווה ללוג מספר הימים בחודש. הניתוח המוקדם הראה אי-קיום תלות סדרתית משמעותית בין נתונים עוקבים, ולכן לא היה צורך לטפל בה. נסמן ב- λ את תוחלת המופע היומי בחודש מסוים. המודל הפואסוני ממדל לוגריתם של תוחלת קצב המופע היומי בחודש מסוים - $\log(\lambda)$.

בניתוח הסטטיסטי נבחנו שתי שאלות:

א. האם היה שינוי מובהק במגמה בשנת 2012, לעומת המגמה בשנים קודמות (בסוף שנת 2011)?

ב. האם קצב התאונות בשנת 2012 היה שונה באופן מובהק מקצב התאונות בשנים הקודמות?

כדי לבחון שאלה א', הותאם מודל אחד לשתי התקופות ביחד - נתוני ההרוגים בשנים 2007-2012 או בשנים 2002-2012, עם המסבירים ורכיבי מגמה שנמצאו מתאימים בניתוח לעיל, וכמו כן, ניתנה אפשרות למגמה שונה עבור שנת 2012, באמצעות נקודת שבירת המגמה בסוף 2011. הבחינה מתייחסת לאופי (ערך חיובי או שלילי) ומובהקותה של נקודת שבירה זו.

כדי לבחון שאלה ב', נבדק האם קצב ההרוגים (מספר חודשי) הממוצע בשנים 2007-2011 (לאחר תיקון לפי גורמי המלחמה) היה שונה מהקצב הממוצע בשנת 2012. עבור התקופה "לפני" השתמשנו במודל שנמצא כמתאים עבור כל סדרה, ע"פ הניתוח הקודם, כאשר עבור התקופה "אחרי" הותאם שיפוע וחותר שונה; כלומר, הותאמו מודלים שונים לתקופות "לפני" ו-"אחרי".

השוואה זו נעשתה באופן הבא: אם $\hat{\alpha}_i + \hat{\beta}_i t + M_t$ מחושב על פי המודל שהותאם לשנה i בחודש t עבור קצב התאונות בתקופה "לפני", ואם $\hat{\alpha}_j + \hat{\beta}_j t^* + M_{t^*}$ מחושב על פי המודל שהותאם לשנה j בחודש t* עבור קצב התאונות בתקופה "אחרי",

כאשר α, β הם מקדמי המודלים, M_t, M_{t^*} הם האפקטים העונתיים המתאימים לחודשים t, t*,

אזי האמד:

$$\hat{D}_{ji}^* = \frac{1}{12} \left[\sum_{t^*} (\hat{\alpha}_j + \hat{\beta}_j t^* + M_{t^*}) - \sum_t (\hat{\alpha}_i + \hat{\beta}_i t + M_t) \right]$$

מבטא הפרש בין הממוצע בשנה j לממוצע בשנה i.

מכיוון שאנו ממצעים שנים שלמות, ומחסירים אותן זו מזו, האפקטים החודשיים מתבטלים, לכן בפועל יחושב:

$$\hat{D}_{ji}^* = \frac{1}{12} \left[\sum_{t^*} (\hat{\alpha}_j + \hat{\beta}_j t^*) - \sum_t (\hat{\alpha}_i + \hat{\beta}_i t) \right]$$

כאשר הסכום הראשון (על ערכי t*) הוא סכום על 12 חודשי השנה j, ואילו הסכום השני על ערכי t הוא סכום על חודשי שנה i. $\hat{D}_{ji}^* (= \text{Difference})$ מסמן אמד להפרש בין הממוצע בשנה j לממוצע בשנה i.

\hat{D}_{ji}^* מהווה למעשה אמד ללוג הממוצע הגיאומטרי של 12 יחסי הסיכון היומי החודשיים. (כל חודש מאופיין ביחס סיכון יומי טיפוסי לו ולכן ניתן לחשב ממוצע גיאומטרי של 12 מאפיינים אלה). \hat{D}_{ji}^* הוא אמד ללוג הממוצע הגיאומטרי של 12 מאפיינים אלה. כל יחס הוא בין חודש t בשנה j לחודש זה בשנה i. אם $\hat{D}_{ji}^* > 0$ (באופן מובהק) פירושו שהיו יותר אירועים בשנה j מאשר בשנה i ולכן, שנה j הייתה גרועה יותר מ-i.

במקום להסתכל בסקלה הלוגריתמית נעשתה טרנספורמציה לסקלה המקורית של "מספר אירועים ביום" ע"י לקיחת אקספוננט. $\exp(\hat{D}_{ji}^*)$ מספק אמד ליחס הסיכון הממוצע השנתי בהשוואת השנים

i ו-j. לפרמטר זה נבנה רווח סמך ברמת סמך של 95% (ששימש למבחן ברמת מובהקות של 5%). אם רווח סמך זה כולל את הערך 1 פירושו שיחס הסיכון הממוצע לא השתנה, בעוד כאשר גבול הרווח העליון קטן מ-1 פירושו שב-95% בטחון הסיכון בשנה j היה קטן יותר מאשר בשנה i. ולהפך, אם

גבול הרווח התחתון גדול מ-1, פירושו שברמת בטחון 95%, הסיכון בשנה j היה גדול יותר לעומת שנה

.i

3. תוצאות הניתוח: שינויים בהרוגים בשנת 2012 לעומת חמש שנים

קודמות

הניתוח הראשון נערך לעומת חמש שנים קודמות והתייחס ל-13 סדרות של נתונים. בניתוח הסטטיסטי נבחנו שתי שאלות:

- א. האם היה שינוי מובהק במגמה בשנת 2012 לעומת שנים קודמות?
- א. האם מספר הרוגים בשנת 2012 היה שונה באופן מובהק לעומת הממוצע של שנים קודמות, ולעומת שנת 2011?

3.1. בחינת שאלה לגבי מובהקות השינויים במגמה בשנת 2012 לעומת חמש שנים

קודמות

הבדיקה נעשתה באופן הבא: הותאם מודל לנתוני 2007-2012, עם חודש ורכיבי המגמה שנמצאו מתאימים בניתוח לעיל, ואפשרות למגמה שונה עבור 2012. כלומר, השתמשנו בנקודות השבירה שנמצאו בניתוח הנתונים "לפני" והוספנו נקודת שבירת מגמה נוספת בסוף 2011 (*trend60*).

בנוסף, במודל נמצאו משתני המלחמות, דהיינו: משתנה WAR עבור מלחמת לבנון השנייה (פעיל במודל עבור עשר שנים בלבד); משתני WAR3 עבור המלחמה הראשונה בעזה; משתנה WAR4 עבור מבצע "עמוד ענן". את ערך מקדם המשתנה WAR3a יש לפרש בזהירות עבור הסדרות 1,2,10. בסוף חודש 12/2008, מצד אחד החלה המלחמה בעזה ומצד שני, הייתה תאונת האוטובוס מרובת הרוגים ליד אילת. האינדקס WAR3a מבטא את מידת השוני של 12/2008 ממה שמצופה מחודש זה. מצד אחד קיים אפקט שאמור להקטין את מספר הרוגים - גורם המלחמה, ומצד שני, הייתה התאונה מרובת הרוגים. את האפקט ה"אמיתי" של המלחמה בעזה ניתן לראות בסדרות 14-16 (אשר נבנו לאחר הורדת מספר הרוגים של תאונת האוטובוס ליד אילת). החודש השני של המלחמה בעזה סומן ע"י אינדקס נפרד WAR3b בשל שתי סיבות: הראשונה היא שהמלחמה בעזה הייתה רק 3 ימים בחודש הראשון (12/2008) ואילו בחודש השני (1/2009) - 27 יום, לכן, לא נצפה לאפקט דומה; הסיבה השנייה הינה אפקט התאונה באילת, כפי שמפורט לעיל.

הפרמטר *trend60* מבטא את היחס בין שיפוע קו המגמה בתקופת "אחרי" לעומת "לפני" נקודת הזמן הנבחנת, דהיינו מבטא את אופי שינוי הקו. מקדם חיובי מובהק לפרמטר *trend60* פירושו הרעה במגמת 2012 לעומת המגמה הקודמת (שינוי קו המגמה כלפי מעלה, לכיוון עליה בהרוגים), ואילו מקדם שלילי מובהק ל-*trend60* פירושו הטבה במגמת 2012 (שינוי קו המגמה כלפי מטה, לכיוון ירידה בהרוגים) לעומת המגמה הקודמת.

בנוסף, על פי המודל חושבו אומדנים לשיפוע קו המגמה, לעומת ציר הזמן, בתקופת "לפני", וכן, למגמה בסוף שנת 2012. פלטים סטטיסטיים של מידול זה מובאים בדו"ח הטכני של המעבדה

לסטטיסטיקה⁵. כדי לאפשר מסקנות גם ברמת מובהקות שולית (עד 15%), רווחי הסמך לשיפועים חושבו ברמות סמך של 95%-85%. סיכום הממצאים מובא בטבלה 3.1.

מבחינת השינויים במגמה בשנת 2012 (ראה טבלה 3.1) עולה שבכל סדרות ההרוגים התרחשו שינויים חיוביים - התחזקות במגמת ירידה. בין היתר, בסך כל ההרוגים ובסך הרוגים בדרכים הלא עירוניות, מגמת ירידה מובהקת שנצפתה בתקופה הקודמת התחזקה משמעותית בשנת 2012. כמו כן, במספר הרוגים בדרכים העירוניות, מגמת ירידה מובהקת גבולית (ברמת ביטחון של 85%) שהייתה בתקופה הקודמת, התחזקה (לא מובהק) בשנת 2012.

ביתר סדרות הנתונים: הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים; הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי; הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות, בדרכים לא עירוניות ובמגזר הלא יהודי; הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים הלא עירוניות; הרוגים בצמתים עירוניים - מגמת ירידה (לרוב, לא מובהקת) של התקופה הקודמת התחזקה בשנת 2012, כאשר עבור הסדרות של הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים, הרוגים הולכי רגל בדרכים הלא עירוניות, הרוגים בתאונות חזית-חזית השינוי היה משמעותי מאוד כך בשנת 2012 נרשמה מגמת ירידה מובהקת גבולית. בנוסף, עבור הסדרות של הרוגים בתאונות אופנועיים, הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות, הרוגים בצמתים לא עירוניים - מגמת עליה לא מובהקת של התקופה הקודמת נהפכה למגמת ירידה בשנת 2012; השינוי היה משמעותי מאוד עבור הרוגים בתאונות אופנועיים והרוגים בתאונות רכב יחיד, כך שבשנת 2012 נצפתה מגמת ירידה מובהקת גבולית.

בבחינת השינויים במגמות ההרוגים להוציא את תאונת האוטובוס ליד אילת בדצמבר 2008 - סדרות 14-16 אשר נבנו על סמך הסדרות 1, 2, 10 - השינויים שנמצאו היו זהים לסדרות המקוריות (1,2,10). כלומר, האירוע החרוג לא שינה את המגמות בסדרות ההרוגים המתאימות.

⁵ בהרצת סדרות 8, 12 היו בעיות התכנסות בנוכחות משתנה מלחמה מסוים; לאחר הורדת משתנים אלה נעלמו הבעיות. בסדרות 6, 11, 13 התגלו שגיאות תקן גדולות מאוד עבור משתנה מלחמה מסוים; משתנים אלה הורדו לשם יציבות המודלים.

טבלה 3.1. ממצאים מבחינת שינויים במגמה בשנת 2012 לעומת חמש שנים קודמות

הסדרה הנבחרת	שיפוע קו המגמה בתקופת "לפני"	שינוי בסוף 2011 (trend60)	שיפוע קו המגמה בשנת 2012	מסקנה: מהות השינוי במגמה בשנת 2012 לעומת חמש שנים קודמות
1. סך ההרוגים	-3.50 מובהק	-27.02 מובהק	-30.52 מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר התחזקה משמעותית בשנת 2012.
2. הרוגים בדרכים לא עירוניות	-3.53 מובהק	-33.96 מובהק	-37.49 מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר התחזקה משמעותית בשנת 2012.
3. הרוגים בדרכים עירוניות	-3.47 מובהק גבולית*	-17.46 לא מובהק	-20.93 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת גבולית אשר התחזקה (לא מובהק) בשנת 2012.
4. הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים	-0.53 לא מובהק	-40.32 מובהק גבולית	-40.84 מובהק גבולית	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת אשר התחזקה משמעותית בשנת 2012.
5. הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי	-3.41 לא מובהק	-31.49 לא מובהק	-34.91 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת אשר התחזקה (לא מובהק) בשנת 2012.
6. הרוגים בתאונות אופנועים	4.23 לא מובהק	-47.64 מובהק גבולית	-43.41 מובהק גבולית	בתקופת "לפני" הייתה מגמת עליה לא מובהקת אשר נהפכה למגמת ירידה (מובהקת גבולית) בשנת 2012.
7. הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות	-2.78 לא מובהק	-14.01 לא מובהק	-16.80 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת אשר התחזקה (לא מובהק) בשנת 2012.
8. הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות	-0.32 לא מובהק	-62.93 מובהק גבולית	-63.25 מובהק גבולית	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת אשר התחזקה משמעותית בשנת 2012.
9. הרוגים הולכי רגל במגזר לא יהודי	-1.48 לא מובהק	-17.69 לא מובהק	-19.17 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת אשר התחזקה (לא מובהק) בשנת 2012.
10. הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות	5.10 לא מובהק*	-63.32 מובהק גבולית	-58.21 מובהק גבולית	בתקופת "לפני" הייתה מגמת עליה לא מובהקת אשר נהפכה למגמת ירידה (מובהקת גבולית) בשנת 2012.
11. הרוגים בתאונות חזית-חזית עירוניות	-7.58 לא מובהק	-74.57 לא מובהק	-82.14 מובהק גבולית	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת אשר התחזקה משמעותית בשנת 2012.
12. הרוגים בצמתים לא עירוניים (פרט להולכי רגל)	8.23 לא מובהק**	-17.64 לא מובהק	-9.41 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת עליה לא מובהקת אשר נהפכה למגמת ירידה (לא מובהקת) בשנת 2012.
13. הרוגים בצמתים עירוניים (פרט להולכי רגל)	-9.07 מובהק גבולית	-62.86 לא מובהק	-71.93 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת גבולית אשר התחזקה (לא מובהק) בשנת 2012.

הערות לטבלה 3.1: 1) "מובהק" ברמת ביטחון של 95%; "מובהק גבולית" ברמת ביטחון של 85%.

2) * בסדרה 10 בתקופת "לפני" הייתה שבירת קו המגמה כלפי מעלה בחודש 28 - אפריל 2009 (שינוי מובהק).
** בסדרה 12, בתקופת "לפני", הייתה שבירת קו המגמה כלפי מעלה בחודש 19 - יולי 2008 (שינוי מובהק).

3) עבור הסדרות 1, 2, 10 ממצאי השינויים במגמות היו דומים גם כאשר ההערכות בוצעו ללא תאונת אוטובוס מרובת ההרוגים ליד אילת שאירעה בדצמבר 2008 - סדרות 14-16.

3.2. בחינת שאלה לגבי מובהקות השינויים במספר הרוגים בשנת 2012 לעומת חמש

שנים קודמות

בשלב זה הותאמו חותך ומגמה נפרדים לתקופות "לפני" ו-"אחרי". נבדק האם קצב האירועים (מספר יומי של הרוגים) בשנת 2012 היה שונה באופן מובהק מהקצב הממוצע בשנים הקודמות, 2007-2011, והן, לעומת מספר הרוגים בשנת 2011. תוצאות בחינה זו מובאות בטבלה 3.2.

בטבלה 3.2, מוצג יחס בין הממוצע של הקצבים בשנת 2012 לעומת התקופה "לפני" (שנים 2007-2011 או שנת 2011 בלבד), עם רווח הסמך. יחס השווה ל-1 (או קרוב ל-1, בטווח 0.95-1.05) פירושו שאין שינוי; יחס הקטן מ-1 פירושו הטבה - ירידה בהרוגים בשנת 2012 לעומת "לפני"; יחס העולה על 1 פירושו הרעה - עליה בהרוגים בשנת 2012 לעומת התקופה "לפני" (בטבלה 3.2 אין מקרים כאלה). אם גבולות רווח הסמך כוללים "1", התוצאה אינה מובהקת. כאשר גבול הרווח העליון קטן מ-1 פירושו שנמצאה הטבה מובהקת. (השינויים ברמת ביטחון של 95% פרט אם צוין אחרת).

יש לשים לב שהערכה זו עונה על שאלה: האם קצב האירועים בשנת 2012 השתנה לעומת קצב האירועים בשנים הקודמות, כאשר "קצב האירועים" אינו מספר גולמי של הרוגים אלא תוצאה של מודל שאומד את הערך האמיתי של בטיחות (מספר יומי של הרוגים) בשנה מסוימת. המודל עושה זאת תוך ניטרול הרעשים, השפעת גורמי העונתיות והמלחמות, כאשר הוא לוקח בחשבון את אפקט המגמה בשנה מסוימת. לכן, משמעות השינויים שדווחו בטבלה 3.2 אינה השוואה גולמית של מספרי הרוגים בשנת 2012 לעומת שנים קודמות אלא השוואה בין רמת הבטיחות (קצב האירועים) מנוטרלת גורמים מטעים (עונתיות, רעש, מלחמות). השוואה זו יותר קרובה לתשובה האמיתית לגבי השינוי ברמת הבטיחות בשנה מסוימת, מאשר השוואה ישירה בין המספרים הגולמיים.

מבחינת השינויים במספרי הרוגים (ראה טבלה 3.2) עולה שבכל סדרות הנתונים פרט לאחת (הרוגים בצמתים לא עירוניים) מספרי הרוגים בשנת 2012 היו נמוכים יותר באופן משמעותי לעומת הממוצע של שנים קודמות ולעומת שנת 2011.

סך ההרוגים בשנת 2012 היה נמוך ב-28% לעומת הממוצע של שנים קודמות ונמוך ב-23% לעומת שנת 2011; מספר הרוגים בדרכים הלא עירוניות היה נמוך ב-30% לעומת הממוצע של שנים קודמות ונמוך ב-25% לעומת שנת 2011; מספר הרוגים בדרכים העירוניות היה נמוך ב-25% לעומת הממוצע של שנים קודמות ונמוך ב-21% לעומת שנת 2011 (כל השינויים מובהקים).

כמו כן, ירידות מובהקות לעומת הן שנים קודמות והן שנת 2011 נצפו בסדרות אלה: הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים (ירידה של 26% בשני המקרים); הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות (ירידה של 40% ו-41%, בהתאמה); הרוגים הולכי רגל במגזר הלא יהודי (ירידה של 34% ו-37%, בהתאמה); הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות (ירידה של 40% ו-39%, בהתאמה); הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים הלא עירוניות (ירידה של 54% ו-45%, בהתאמה).

בסדרות נוספות של הרוגים נצפו ירידות מובהקות בהשוואה אחת לפחות, כלהלן: בקרב הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי ובמספרי הרוגים הולכי רגל בדרכים העירוניות - ירידה של 24% לעומת ממוצע שנים קודמות; בקרב הרוגים בתאונות עם אופנועים - ירידה של 27% לעומת שנת 2011; במספרי הרוגים בצמתים עירוניים - ירידה של 51% לעומת ממוצע שנים קודמות.

עבור סדרה אחת בלבד: הרוגים בצמתים לא עירוניים - לא היה שינוי במספרי הרוגים בשנת 2012 לעומת ממוצע שנים קודמות ולעומת שנת 2011.

בבחינת השינויים במספרי הרוגים להוציא את תאונת האוטובוס ליד אילת בדצמבר 2008 - סדרות 14-16 אשר נבנו על סמך הסדרות 1, 2, 10 - נמצאו שינויים זהים לסדרות המקוריות. כלומר, הסרת התאונה החריגה ליד אילת לא שינתה את מגמת השינוי במספרי הרוגים בתאונות הרלוונטיות, בשנת 2012 לעומת השנים הקודמות.

טבלה 3.2. שינויים במספרי הרוגים# בשנת 2012 לעומת הממוצע של שנים קודמות, 2007-2011, ולעומת שנת 2011 בלבד

הסדרה הנבחנת	2012 לעומת ממוצע יחס ממוצע ורווח סמך* 2007-2011	2012 לעומת 2011 : יחס ממוצע ורווח סמך*	מסקנה: מהות השינוי במספר הרוגים בשנת 2012 לעומת שנים קודמות
1. סך ההרוגים**	0.72 [0.63 ; 0.82]	0.77 [0.66 ; 0.90]	ירידה מובהקת לעומת ממוצע שנים קודמות ולעומת שנת 2011
2. הרוגים בדרכים לא עירוניות**	0.70 [0.58 ; 0.84]	0.75 [0.62 ; 0.92]	ירידה מובהקת לעומת ממוצע שנים קודמות ולעומת שנת 2011
3. הרוגים בדרכים עירוניות	0.75 [0.61 ; 0.92]	0.79 [0.63 ; 1.00]	ירידה מובהקת לעומת ממוצע שנים קודמות ו-ירידה מובהקת ברמת ביטחון 90% לעומת שנת 2011
4. הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים	0.74 [0.53 ; 1.02]	0.74 [0.51 ; 1.05]	ירידה מובהקת ברמת ביטחון 90% לעומת ממוצע שנים קודמות ולעומת שנת 2011
5. הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי	0.76 [0.52 ; 1.10]	0.85 [0.56 ; 1.30]	ירידה מובהקת ברמת ביטחון 85% לעומת ממוצע שנים קודמות, ירידה לא מובהקת לעומת שנת 2011
6. הרוגים בתאונות אופנועים	0.83 [0.57 ; 1.18]	0.73 [0.49 ; 1.09]	ירידה לא מובהקת לעומת ממוצע שנים קודמות, ירידה מובהקת ברמת ביטחון 85% לעומת שנת 2011
7. הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות	0.76 [0.58 ; 1.02]	0.79 [0.58 ; 1.09]	ירידה מובהקת ברמת ביטחון 90% לעומת ממוצע שנים קודמות, ירידה לא מובהקת לעומת שנת 2011
8. הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות	0.60 [0.39 ; 0.94]	0.59 [0.36 ; 0.95]	ירידה מובהקת לעומת ממוצע שנים קודמות ולעומת שנת 2011
9. הרוגים הולכי רגל במגור לא יהודי	0.66 [0.41 ; 1.05]	0.63 [0.38 ; 1.06]	ירידה מובהקת ברמת ביטחון 90% לעומת ממוצע שנים קודמות ולעומת שנת 2011
10. הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות**	0.60 [0.40 ; 0.90]	0.61 [0.38 ; 0.96]	ירידה מובהקת לעומת ממוצע שנים קודמות ולעומת שנת 2011
11. הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות	0.46 [0.25 ; 0.86]	0.55 [0.28 ; 1.08]	ירידה מובהקת לעומת ממוצע שנים קודמות ו-ירידה מובהקת ברמת ביטחון 90% לעומת שנת 2011
12. הרוגים בצמתים לא עירוניים (פרט להולכי רגל)	1.00 [0.63 ; 1.57]	1.05 [0.61 ; 1.80]	ללא שינוי לעומת ממוצע שנים קודמות ולעומת שנת 2011
13. הרוגים בצמתים עירוניים (פרט להולכי רגל)	0.49 [0.23 ; 1.03]	0.63 [0.28 ; 1.41]	ירידה מובהקת ברמת ביטחון 90% לעומת ממוצע שנים קודמות, ירידה לא מובהקת לעומת שנת 2011

* בטבלה 3.2 רווחי הסמך מוצגים ברמת בטחון של 95%.

** עבור הסדרות 1, 2, 10 ממצאי השינויים במספרי הרוגים היו דומים גם כאשר ההערכות בוצעו ללא תאונת אוטובוס מרובת הרוגים ליד אילת שאירעה בדצמבר 2008 - סדרות 14-16.

נבחן קצב אירועים מנוטרל רעש, גורמי עונתיות והשפעת מלחמות

4. תוצאות הניתוח: שינויים בהרוגים בשנת 2012 לעומת עשר שנים

קודמות

4.1. בדיקת תקופות התפתחות

הניתוח השני נערך לעומת עשר שנים קודמות והתייחס לשלוש סדרות עיקריות של הרוגים (S3-S1).

השאלות שנבחנו בניתוח השני היו דומות לאלה של הניתוח הראשון, דהיינו: (א) האם היה שינוי מובהק במגמה בשנת 2012 לעומת שנים קודמות; (ב) האם מספר הרוגים בשנת 2012 היה שונה באופן מובהק לעומת הממוצע של שנים קודמות, כאשר המודלים לתחזית ההתפתחות נבנו על סמך עשר שנים קודמות, 2002-2011.

עם זאת, לאורך תקופת המעקב של עשר שנים ייתכנו שינויים במדדי התפתחות מערכת התחבורה במדינה. עם מדדי המאקרו של מערכת התחבורה, אשר קשורים גם לרמת הבטיחות, נמנים מדדים כגון: גודל הנסועה; גודל צי הרכב - סך כלי רכב רשומים במדינה, מספר כלי רכב פרטיים הרשומים במדינה; גודל האוכלוסיה; אורך דרכים סלולות, כאשר מדדים אלה, למעשה, מבטאים באופן זה או אחר את רמת החשיפה לתאונות. בנוסף, לאיפיון רמת ההתפתחות של מדינה, מקובל לבחון מדדים כגון: תוצר מקומי גולמי לנפש (GDP); רמת המינוע - במונחים של סך כלי הרכב ל-1,000 תושבים או מספר כלי רכב פרטיים ל-1,000 תושבים.

ככלל, מדדי המאקרו הנ"ל מראים עליה לאורך זמן, בקצב מסוים. עם זאת, בתקופות השונות ייתכן שינוי בקצב עלית המדדים לאורך זמן, כאשר שינויים במדדי המאקרו עשויים להשפיע על מצב הבטיחות במדינה. לדוגמא, להאטה הכלכלית שהחלה בסוף שנת 2008 מייחסים תרומה מסוימת לירידה במספרי הרוגים בתאונות הדרכים באירופה.

לכן, כדי לזהות את תקופות השינויים במדדי המאקרו בישראל (עם השפעה אפשרית על מספרי הרוגים בתאונות), הוחלט לרכז את ערכי המדדים לאורך השנים האחרונות, 2002-2012, ולבחון האם, לאורך תקופה זאת, היו שינויים בקצב שינוי ערכי המדדים. מדדי המאקרו של מערכת התחבורה בישראל, בשנים 2002-2012, מוצגים בטבלה 4.1.

על סדרות מדדי המאקרו נערכו בדיקות כלהלן:

- בחינת ערכי המדדים לאורך זמן ורמות הקורלציה בין זוגות המדדים. בכל המקרים שנבדקו: סה"כ בכל התקופה של עשר שנים, ובתקופות קצרות יותר - משנת 2003 ומשנת 2006, נצפו קורלציות גבוהות מאוד בין המדדים (מקדמי הקורלציה בטווח 0.94-1.0), המצביעות על התנהגות כמעט זהה למגמה לאורך זמן.

- בחינת תרשימי סדרות המדדים - ציור 4.1. ניתן לראות שברוב הסדרות (RoL, PVT, MVT, KTT, GDP וגם PrL, MoL) ניכר שינוי במגמה במעבר משנת 2003 לשנת 2004. לעומת זאת, בשנים

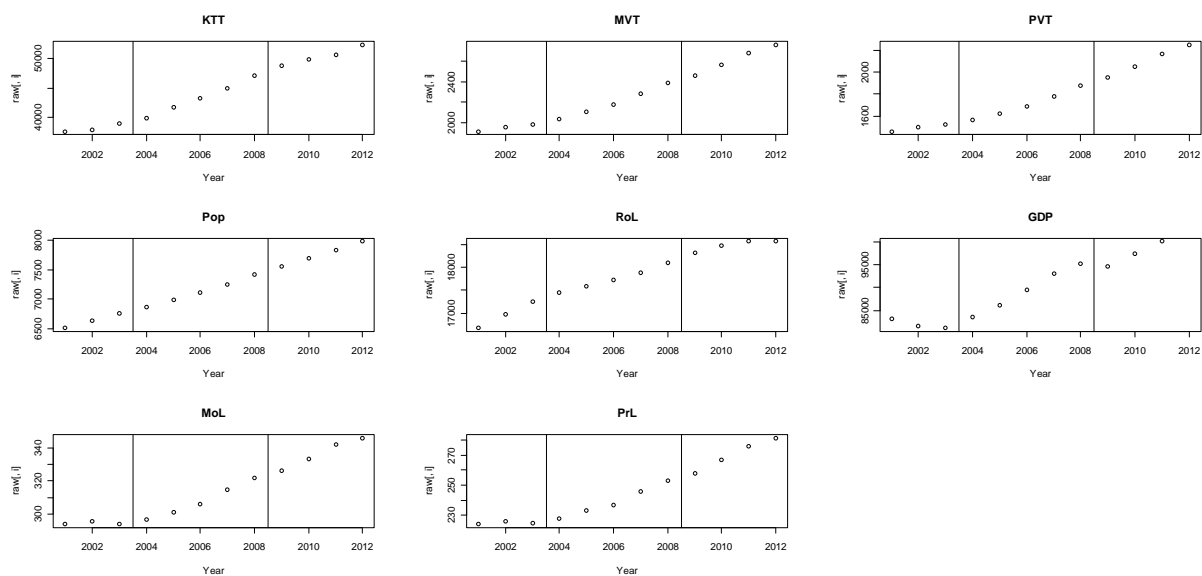
האחרונות, ניתן להבחין בשינוי במגמה בערכי ה-GDP, במעבר משנת 2008 לשנת 2009, כאשר במספר סדרות נוספות כגון: KTT, RoL, מסתמן שינוי בשיפוע הסדרה אחרי שנת 2008. מכאן, בהתפתחות סדרות המדדים ניתן לזהות שלוש תקופות: 2001-2003, 2004-2008, 2009-2011, אשר מסומנות ע"י קווי ייחוס אנכיים בציר 4.1 (קווי היחוס עוברים בנקודות הזמן 2003.5, 2008.5).

- בחינת הפרשים בין ערכי המדדים לאורך זמן, אשר, בעיקר, הצביעה על שוני בין התקופה הראשונה בהתפתחות הסדרות, 2001-2003, לעומת יתר השנים. כמו כן, ברוב סדרות המדדים, בשנים האחרונות (2009-2012) נצפו נקודות הפרשים חריגות. בהמשך, נבנו גרפים עם הפרשים בין מספרי ההרוגים לאורך זמן, בשלוש הסדרות העיקריות של הרוגים (S3-S1), אשר אפשרו לזהות נקודות הפרשים חריגות במספרי הרוגים, באותן השנים בהן נצפו נקודות הפרשים חריגות בחלק מהמדדים - ציור 4.2.

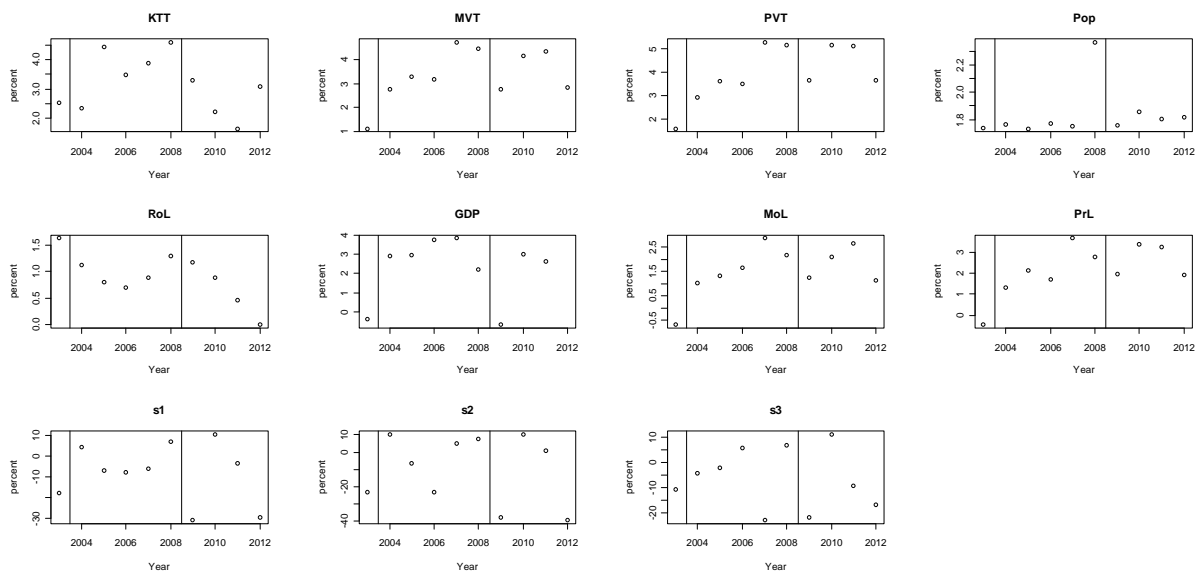
- בחישובי הקורלציות בין הפרשי המדדים והפרשים במספרי הרוגים, לאורך זמן, נמצא כי ברוב המקרים אין קשר בין הפרשי ההרוגים להפרשי המדדים, פרט לשני מדדים: GDP ו-MVT, אשר הצביעו על קשר חיובי ומובהק (ברמת מובהקות 0.05-0.06 עובר ה-GDP, וברמת מובהקות 0.06-0.09 עבור ה-MVT) עם סדרות הרוגים S2-S1.

טבלה 4.1. מדדים עיקריים של מערכת התחבורה בישראל, בשנים 2002-2012

שנה	נסועה שנתית, מיליון ק"מ-רכב (Kilometers Travelled-Total)	מספר כלי רכב רשומים, אלפים (Motor Vehicles-Total)	מספר כלי רכב פרטיים, אלפים (Private Vehicles-Total)	אוכלוסיה, בסוף שנה, אלפים (Population)	אורך סלולות, ק"מ (Length of paved Roads)	תוצר מקומי גולמי לנפש, ש"ח, במחירי 2005 (Gross Domestic Product)	רמת מינוע: רמת מינוע: רמת מינוע: רכב פרטי ל-1000 תושבים (Private vehicles-Level)	רמת מינוע: סה"כ כלי רכב ל-1000 תושבים (Motorization Level)
	KTT	MVT	PVT	Pop	RoL	GDP	PrL	MoL
2001	37,658	1,915	1,461	6,508.8	16,677	83,265	224	294
2002	37,960	1,960	1,497	6,631.1	16,972	81,514	226	296
2003	38,944	1,982	1,521	6,748.4	17,253	81,202	225	294
2004	39,869	2,038	1,567	6,869.5	17,450	83,652	228	297
2005	41,729	2,107	1,626	6,990.7	17,591	86,194	233	301
2006	43,242	2,176	1,685	7,116.7	17,714	89,556	237	306
2007	44,996	2,284	1,779	7,243.6	17,872	93,128	246	315
2008	47,169	2,391	1,876	7,419.1	18,105	95,207	253	322
2009	48,770	2,459	1,947	7,552.0	18,319	94,575	258	326
2010	49,870	2,566	2,053	7,695.1	18,482	97,481	267	333
2011	50,693	2,683	2,164	7,836.6	18,566	100,095	276	342
2012	52,300	2,761	2,246	7,981.5	18,566	n/a	281	346



ציור 4.1. תרשימי סדרות המדדים לאורך זמן.



הערה: קווי יחוס אנכיים הם בנקודות הזמן 2003.5 ו-2008.5

ציור 4.2. סדרות הפרשים בין ערכי המדדים לאורך זמן, וסדרות הפרשים בין מספרי הרוגים (סדרות S3-S1), לאורך זמן.

המסקנה מבחינת התנהגות סדרות המדדים והפרשיהם הייתה שניתכן ויש שינויים בהתנהגות שלהם לאורך זמן. על סמך ממצאי הבדיקות הנייל היה חשד לקיום המקטעים הבאים בשנים 2002-2011: 2001-2003, 2004-2008, 2009-2011. כלומר, נקודות שינוי אפשריות הן: בין דצמבר 2003 לינואר 2004, בין דצמבר 2008 לינואר 2009.

נקודות זמן אלה נבדקו בתור נקודות שבירה אפשריות בעת התאמת המודלים לנתוני ההרוגים בטווח של עשר שנים - בסדרות S1-S3, אך לא נמצאו מובהקות באף סדרה של נתונים.

4.2. בחינת שאלה לגבי מובהקות השינויים במגמה בשנת 2012 לעומת עשר שנים

קודמות

בשלב זה, הותאם מודל לנתוני 2002-2012, דהיינו לתקופה של עשר שנים "לפני" והשנה הנבחנת - 2012, ובו אפשרות לנקודת שבירה בסוף 2011 ($trend120$). משמעויות הפרמטר $trend120$ דומות למשמעויות הפרמטר $trend60$ שחושב במודל הראשון (עם תקופת "לפני" בת חמש שנים - ראה סעיף 3.1). בנוסף, על-פי המודל, חושבו אומדנים לשיפוע קו המגמה, לעומת ציר הזמן, בתקופת "לפני" וכן, למגמה בסוף שנת 2012. ממצאי הניתוח מובאים בטבלה 4.2.

מטבלה 4.2 ניתן לראות שהשינויים במגמה בשנת 2012 לעומת עשר שנים קודמות היו דומים לשינויים במגמה לעומת חמש שנים קודמות (ראה טבלה 3.1). כלומר, בכל סדרות ההרוגים נמצאו שינויים חיוביים - התחזקות במגמת ירידה: בסך ההרוגים ובמספר הרוגים בדרכים הלא עירוניות, מגמת ירידה מובהקת שנצפתה בתקופה הקודמת התחזקה משמעותית בשנת 2012, כאשר במספר הרוגים בדרכים העירוניות, מגמת ירידה מובהקת שהייתה בתקופה הקודמת התחזקה (לא מובהק) בשנת 2012.

טבלה 4.2. ממצאים מבחינת שינויים במגמה בשנת 2012 לעומת עשר שנים קודמות

הסדרה הנבחנת	שיפוע קו המגמה בתקופת "לפני"*	שינוי בסוף 2011 ($trend120$)*	שיפוע קו המגמה בשנת 2012*	מסקנה: מהות השינוי במגמה בשנת 2012 לעומת עשר שנים קודמות
1. סך ההרוגים	-4.06 מובהק	-26.43 מובהק	-30.49 מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר התחזקה משמעותית בשנת 2012.
2. הרוגים בדרכים לא עירוניות	-4.31 מובהק	-32.83 מובהק	-37.14 מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר התחזקה משמעותית בשנת 2012.
3. הרוגים בדרכים עירוניות	-3.76 מובהק	-18.00 לא מובהק	-21.76 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר התחזקה (לא מובהק) בשנת 2012.

* "מובהק" ברמת ביטחון של 95%

4.3. בחינת שאלה לגבי מובהקות השינויים במספר הרוגים בשנת 2012 לעומת עשר

שנים קודמות

בשלב זה הותאמו חותך ומגמה נפרדים לתקופות "לפני" בת עשר שנים ותקופת "אחרי" (שנת 2012). השוואה זו נועדה לענות על שאלה האם קצב האירועים (מספר יומי של הרוגים) בשנת 2012 היה שונה באופן מובהק מהקצב הממוצע בשנים הקודמות. בעזרת המודל, חושב היחס בין הממוצע של הקצבים

בשנת 2012 לעומת חמש שנים אחרונות (2007-2011)⁶ ולעומת שנת 2011, עם רווחי הסמך. תוצאות בחינה זו מובאות בטבלה 4.3.

מטבלה 4.3 ניתן לראות שהשינויים במספרי הרוגים בשנת 2012 שהוערכו על סמך המודל שהותאם לעשר שנים קודמות היו *דומים* לשינויים במספרי הרוגים שנמצאו בעזרת המודל שהותאם לחמש שנים קודמות (ראה טבלה 3.2). כלומר, בכל סדרות ההרוגים נמצאו *ירידות מובהקות ומשמעותיות* לעומת הממוצע של שנים קודמות ולעומת שנת 2011.

לפי מודל זה, סך ההרוגים בשנת 2012 היה נמוך ב-29% לעומת הממוצע של שנים קודמות ונמוך ב-22% לעומת שנת 2011; מספר הרוגים בדרכים הלא עירוניות היה נמוך ב-31% לעומת הממוצע של שנים קודמות ונמוך ב-23% לעומת שנת 2011; מספר הרוגים בדרכים העירוניות היה נמוך ב-27% לעומת הממוצע של שנים קודמות ונמוך ב-20% לעומת שנת 2011 (כל השינויים מובהקים).

טבלה 4.3. שינויים במספרי הרוגים[#] בשנת 2012 לעומת הממוצע של שנים קודמות, על סמך המודל שהותאם לעשר שנים קודמות

הסדרה הנבחנת	2012 לעומת ממוצע שנים קודמות: יחס ממוצע ורווח סמך*	2012 לעומת ממוצע שנים קודמות: יחס ממוצע ורווח סמך*	מסקנה: מהות השינוי במספר הרוגים בשנת 2012 לעומת שנים קודמות
1. סך ההרוגים	0.71 [0.62 ; 0.82]	0.78 [0.68 ; 0.90]	ירידה מובהקת לעומת ממוצע שנים קודמות ולעומת שנת 2011
2. הרוגים בדרכים לא עירוניות	0.69 [0.56 ; 0.86]	0.77 [0.61 ; 0.96]	ירידה מובהקת לעומת ממוצע שנים קודמות ולעומת שנת 2011
3. הרוגים בדרכים עירוניות	0.73 [0.60 ; 0.90]	0.80 [0.64 ; 0.99]	ירידה מובהקת לעומת ממוצע שנים קודמות ולעומת שנת 2011

[#] נבחן קצב האירועים מנוטרל רעש, גורמי עונתיות והשפעת מלחמות * רווחי הסמך מוצגים ברמת ביטחון של 95%

⁶ עקב ירידות ניכרות במספרי הרוגים בתאונות לאורך העשור, השוואה עם ממוצע של עשר שנים הייתה יוצרת מקדמי ירידה גבוהים, ללא משמעות מעשית. לכן, הונח שגם על סמך המודל שהותאם לעשר שנים קודמות עדיף לבצע השוואה של מספרי הרוגים בשנת 2012 לעומת ממוצע של חמש שנים אחרונות.

5. בניית תחזיות התפתחות בשנים הבאות

5.1. שיטות הערכה

בעזרת המודלים שהותאמו לנתוני הרוגים בשנים 2007-2012, נבנו תחזיות להתפתחות הסדרות בשנים הבאות. התחזיות נבנו עבור הערך הצפוי של מספר ההרוגים החודשי בשנים 2013-2014, בשלוש סדרות עיקריות: סך ההרוגים בתאונות, הרוגים בדרכים הלא עירוניות, הרוגים בדרכים העירוניות. כדי לבחון את טיב החיזוי, הותאמו מודלים על סמך השנים 2007-2011 ונחזו הערכים עבור שנת 2012.

לכל ערך חודשי צפוי של מספר ההרוגים מוערכים גם אמדים מרווחיים, דהיינו רווח סמך (confidence interval - CI) הנתון על-ידי גבול סמך עליון וגבול סמך תחתון, ורווח תחזית (PI - prediction interval) הנתון על-ידי גבול תחזית עליון וגבול תחזית תחתון לערך הצפוי. המונח CI מתייחס לאמדים מרווחיים של פרמטר קבוע אך לא ידוע; לעומת זאת, ה-PI מציג אמדים מרווחיים לערך עתידי לא ידוע. ככלל, מרווח ה-PI גדול יותר ממרווח ה-CI.

להערכת ה-CI שימשה השיטה שפיתח Woods (2005), לפיה, רווח הסמך ברמת מובהקות 95% מוערך כלהלן:

$$\left[\frac{\hat{\mu}}{e^{1.96\sqrt{\text{Var}(\hat{\eta})}}}, \hat{\mu} e^{1.96\sqrt{\text{Var}(\hat{\eta})}} \right]$$

כאשר:

$$\hat{\eta} = \text{אמד ללוג הערך הצפוי על-פי המודל};$$

$$\hat{\mu} = \text{אמד לערך הצפוי על-פי המודל (המתקבל מלקיחת אקספוננט של } \hat{\eta}\text{)}.$$

לחישוב הערך החודשי הצפוי ורווחי הסמך שימשה פרוצדורת GENMOD של SAS.

להערכת ה-PI נבחנו שתי שיטות:

(א) השיטה לפי Woods (2005);

(ב) שימוש בהתמרת לוג לייצוב שונות הנתונים ולנורמליות.

א. רווח התחזית PI, לפי Woods (2005), ברמת מובהקות 95% מוערך באופן הבא:

$$[0, [\hat{\mu} + \sqrt{19} \sqrt{\hat{\mu}^2 \text{Var}(\hat{\eta})} + \hat{\mu}]]$$

כאשר:

$$\hat{\eta} = \text{אמד ללוג הערך הצפוי על-פי המודל};$$

$\hat{\mu} =$ אמד לערך הצפוי על פי המודל (המתקבל מלקיחת אקספוננט של $\hat{\eta}$);

x | מסמן את השלם הגדול ביותר אשר קטן מ- או שווה ל- x .

היתרון ברווח זה הינו בכך שהוא מחושב על סמך הנתונים המקוריים ולא על-פי התמרות שלהם. החיסרון של רווח זה שהוא מחושב על-ידי אי-שוויון צ'ביצ'ב, אשר יכול לתת רווחי תחזית מאוד שמרניים (כלומר, רחבים מדי), לעיתים עד כדי חוסר שימושיות.

בבדיקה שנעשתה במחקר זה עבור הסדרות 1-3 נמצא ששיטה זאת אכן מספקת רווחי תחזית רחבים מדי מכדי להיות שימושיים. לכן, רווחי התחזית לפי שיטה זו אינם מוצגים בדו"ח.

ב. רווח התחזית PI, תוך שימוש בהתמרת לוג לייצוב שונות הנתונים ולנורמליות, מוערך באופן הבא: אם הנתונים כוללים אפסים נמיר את הנתונים, בתוספת 0.5. לאחר התמרת הנתונים נשתמש בפרוצדורת GLM של SAS לחישוב רווחי תחזית לנתונים המותמרים, ועל הגבולות המתקבלים נעשה התמרה הפוכה⁷.

5.2. תוצאות הערכה

התחזיות נבנו עבור הערך הצפוי של מספר ההרוגים החודשי בשנים 2013-2014 בשלוש סדרות עיקריות: סך ההרוגים בתאונות, הרוגים בדרכים הלא עירוניות, הרוגים בדרכים העירוניות.

כשלב ראשון, לכל סדרה, הותאם מודל על סמך השנים 2007-2011 ונחזו הערכים עבור שנת 2012. בדיקה זו מאפשרת לבחון את טיב החיזוי, תוך כדי השוואה בין הערכים החזויים לבין הערכים שהתקבלו בפועל בשנת 2012. טבלה 5.1 וציור 5.1 מציגים תוצאות של הערכות אלה, עבור שלוש הסדרות. הערכים המופיעים בטבלה 5.1 ובציור 5.1 הם כלהלן:

s - ערכי הסדרה המקורית, בציור 5.1 הם מסומנים במשולש ומחוברים בקו שחור;

P_s - הערכים החזויים, בציור 5.1 הם מסומנים בנקודות אדומות ומחוברים בקו אדום;

L_CI_s, U_CI_s - הגבול התחתון והגבול העליון, בהתאמה, של רווח הסמך. ערכים אלה לא מסומנים בציור 5.1 אך מחוברים בקווים ירוקים;

T_LPI_s, T_UPI_s - הגבול התחתון והגבול העליון, בהתאמה, של רווח התחזית. גם ערכים אלה לא מסומנים בציור 5.1 אך מחוברים בקווים כחולים.

בטבלה 5.1 ובציור 5.1 ניתן להבחין כי מספרי ההרוגים החודשיים שנצפו בפועל בשנת 2012 היו נמוכים יותר לעומת הערכים החזויים, בחלק ניכר מחודשי שנת 2012. הערכים החזויים (הקווים האדומים) משקפים את הקו הצפוי להתפתחות של כל סדרה, על סמך המגמות בשנים הקודמות. בחודשים מסוימים של שנת 2012, הערכים בפועל יצאו מגבולות רווח הסמך ואפילו מגבולות רווח התחזית - בעיקר, בסדרות של סך ההרוגים בתאונות והרוגים בדרכים הלא עירוניות. כלומר, שנת

2012 היתה חריגה למדי לעומת מגמות ההתפתחות הצפויות על סמך חמש השנים הקודמות. לעומת הקו הממוצע הצפוי להתפתחות של כל סדרה, בשנת 2012 נצפו: ירידה של 19% בסך ההרוגים בתאונות, ירידה של 23% במספר הרוגים בדרכים הלא עירוניות, ירידה של 14% במספר הרוגים בדרכים העירוניות.

ציורים 5.2-5.4 מציגים את תחזיות ההתפתחות עבור שלוש הסדרות, בשנים 2013-2014. כמו כן, בכל ציור מובאים ערכים שנצפו בפועל - מספרי הרוגים בתאונות בחודשים ינואר-אוגוסט 2013⁸. בכל ציור מוצגים:

- * ערכי התחזית - ערכים המסומנים בנקודות והמחוברים בקו אדום;
- * הערכים שנצפו בפועל - מספרי הרוגים בתאונות בחודשים ינואר-אוגוסט 2013, שמסומנים במשולש ומחוברים בקו שחור מקווקו;
- * גבולות רווח סמך לערכי התחזית - ערכים המחוברים בקווים הירוקים;
- * גבולות רווח תחזית - ערכים המחוברים בקווים הכחולים.

ערכי התחזית המוצגים בציורים 5.2-5.4 מתארים את ההתפתחות הצפויה במספרי ההרוגים, בשנים 2013-2014, בהנחה שהמגמות שנצפו בהרוגים בשנים 2007-2012 יימשכו גם בשנים הבאות. בהינתן המשך המגמות הקיימות, ע"פ תחזיות ההתפתחות, ניתן לצפות לשינויים קלים במספרי ההרוגים השנתיים, בכל שנה לעומת הקודמת, בטווח של מספר אחוזים⁹: 4%-6% בסך ההרוגים בתאונות, 6%-8% במספר הרוגים בדרכים הלא עירוניות, 1%-5% במספר הרוגים בדרכים העירוניות.

ניתן לראות כי בחודשים ינואר-אוגוסט 2013, התפתחות הסדרות היתה בגבולות התחזית, עם סטיה כלפי מעלה בחודשים הראשונים של שנת 2013 ותיקון כלפי מטה בחודשים הבאים (בעיקר בסדרות של סך ההרוגים והרוגים בדרכים העירוניות).

⁷ בעזרת פרוצדורת AUTOREG של SAS נבדקה תלות השאריות של שלוש סדרות הלוג - S3, S2, S1. לא נמצאה עדות לתלות. לכן, השתמשנו בפרוצדורת GLM לקבלת רווחי התחזית.

⁸ לפי מחולל לוחות של הלמ"ס, המספרים מעודכנים נכון ל-15.9.13. נבדק בתאריך 30.10.13.

⁹ הספירה לפי קו התחזית הממוצע

טבלה 5.1. תוצאות בדיקה לשנת 2012 : תחזיות חודשיות לעומת ערכי הסדרה המקורית, גבולות רווח הסמך וגבולות רווח התחזית, עבור שלוש סדרות הנתונים

S1 - סך ההרוגים בתאונות

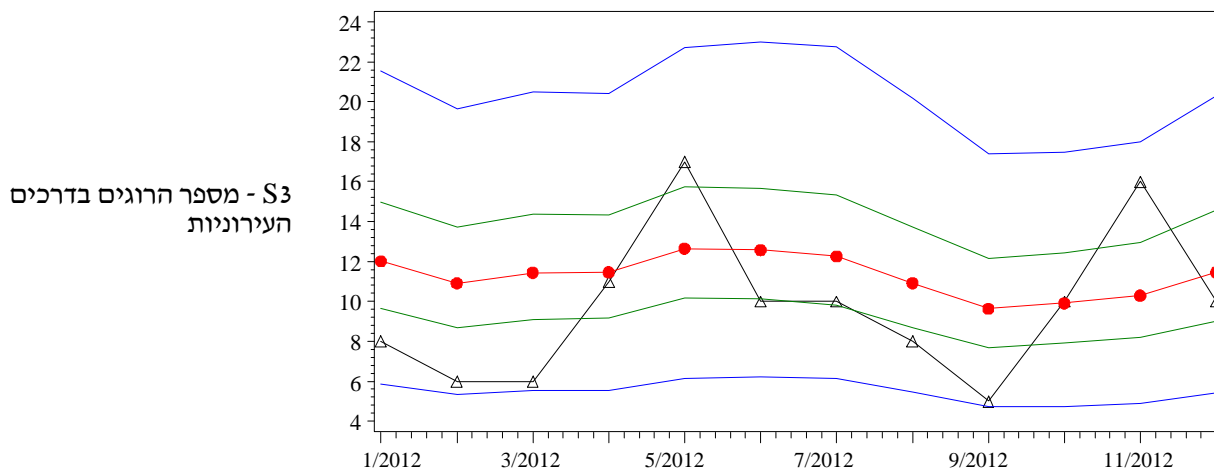
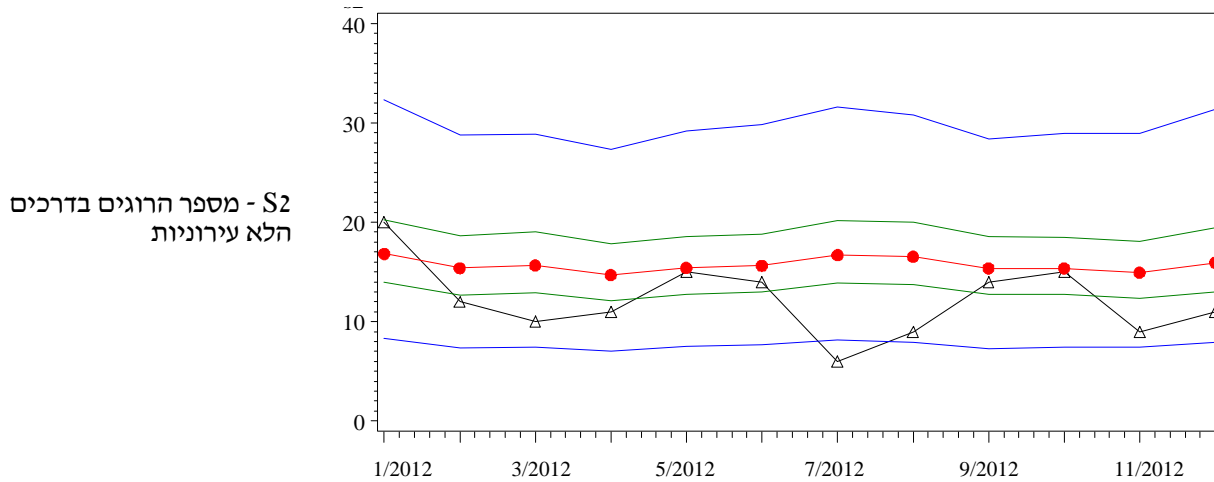
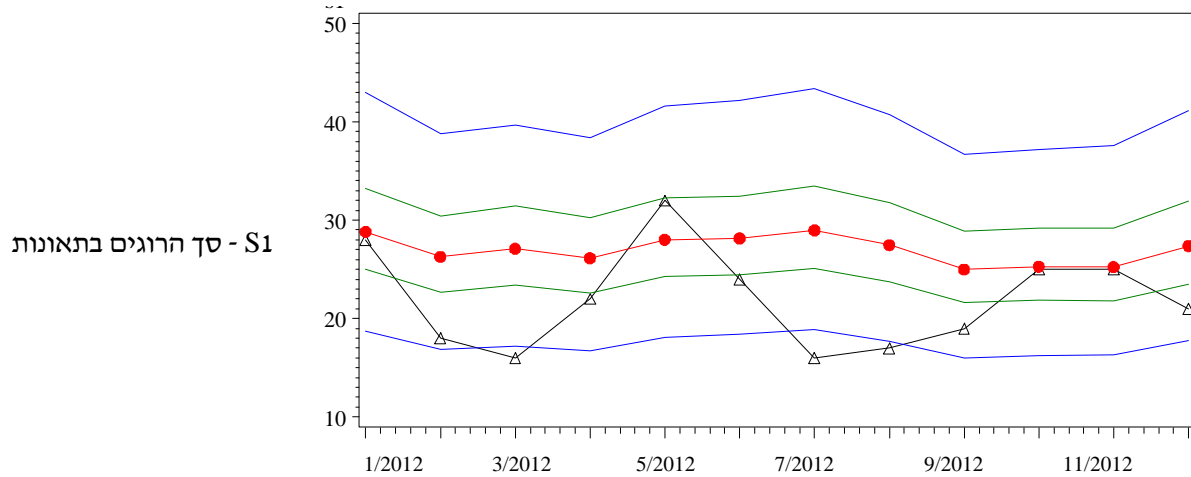
T_UPI_s1	T_LPI_s1	U_CI_s1	L_CI_s1	P_s1	s1	חודש	שנה
43	19	33	25	29	28	1	2012
39	17	30	23	26	18	2	2012
40	17	31	23	27	16	3	2012
38	17	30	23	26	22	4	2012
42	18	32	24	28	32	5	2012
42	18	32	24	28	24	6	2012
43	19	33	25	29	16	7	2012
41	18	32	24	27	17	8	2012
37	16	29	22	25	19	9	2012
37	16	29	22	25	25	10	2012
38	16	29	22	25	25	11	2012
41	18	32	23	27	21	12	2012

S2 - מספר הרוגים בדרכים הלא עירוניות

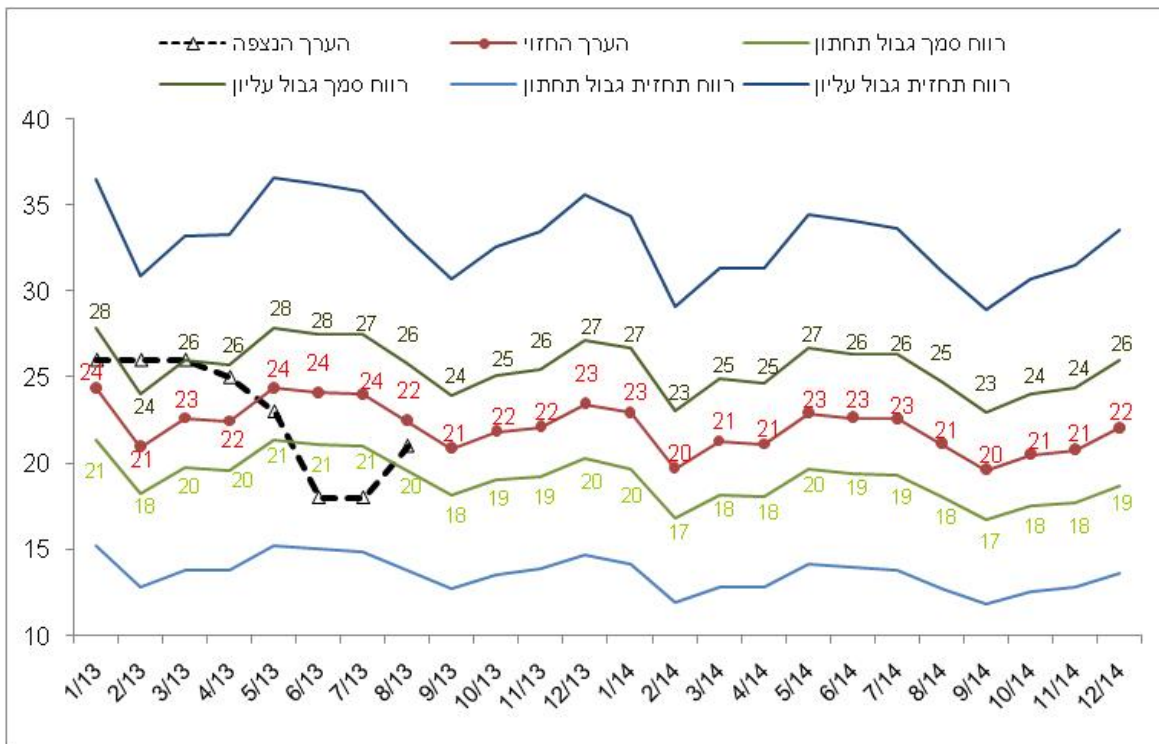
T_UPI_s2	T_LPI_s2	U_CI_s2	L_CI_s2	P_s2	s2	חודש	שנה
32	8	20	14	17	20	1	2012
29	7	19	13	15	12	2	2012
29	7	19	13	16	10	3	2012
27	7	18	12	15	11	4	2012
29	8	19	13	15	15	5	2012
30	8	19	13	16	14	6	2012
32	8	20	14	17	6	7	2012
31	8	20	14	17	9	8	2012
28	7	19	13	15	14	9	2012
29	7	19	13	15	15	10	2012
29	7	18	12	15	9	11	2012
31	8	19	13	16	11	12	2012

S3 - מספר הרוגים בדרכים העירוניות

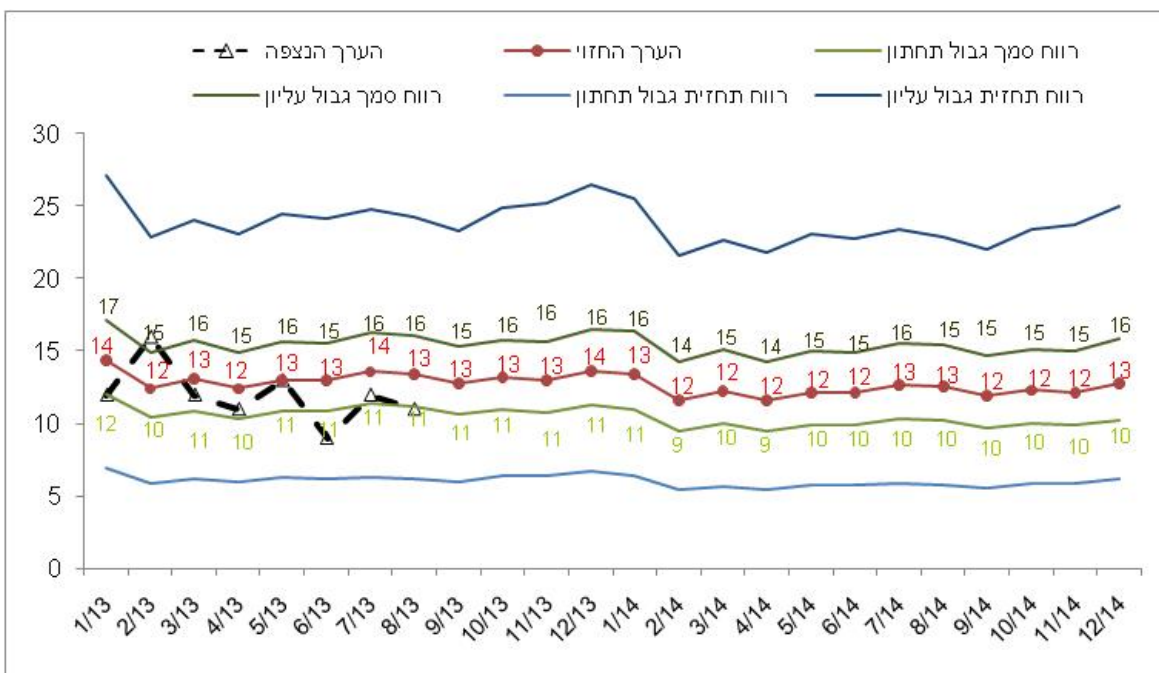
T_UPI_s3	T_LPI_s3	U_CI_s3	L_CI_s3	P_s3	s3	חודש	שנה
22	6	15	10	12	8	1	2012
20	5	14	9	11	6	2	2012
20	6	14	9	11	6	3	2012
20	6	14	9	11	11	4	2012
23	6	16	10	13	17	5	2012
23	6	16	10	13	10	6	2012
23	6	15	10	12	10	7	2012
20	5	14	9	11	8	8	2012
17	5	12	8	10	5	9	2012
17	5	12	8	10	10	10	2012
18	5	13	8	10	16	11	2012
20	5	15	9	11	10	12	2012



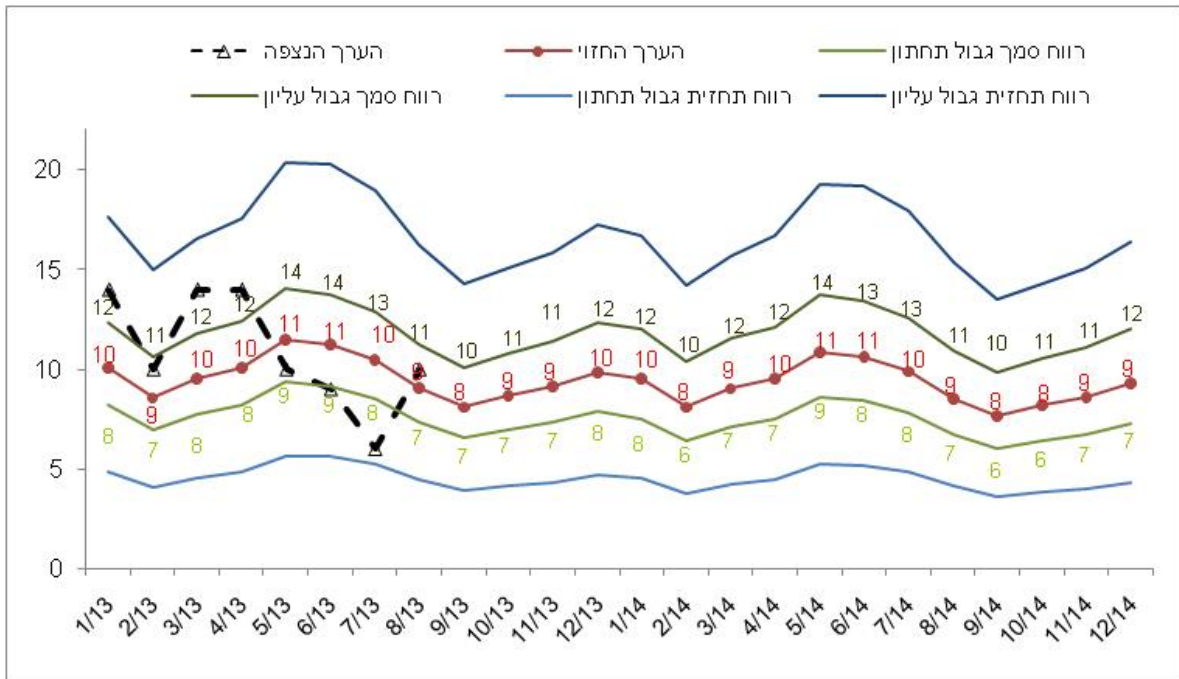
ציור 5.1. תוצאות בדיקה - מספר הרוגים חודשי בשנת 2012 : התחזיות לעומת ערכי הסדרה המקורית, גבולות רווח הסמך וגבולות רווח התחזית, עבור שלוש סדרות הנתונים.



ציור 5.2. תחזית התפתחות בשנים 2013-2014 לסך ההרוגים בתאונות: מספר הרוגים חודשי.



ציור 5.3. תחזית התפתחות בשנים 2013-2014 למספר הרוגים בדרכים הלא עירוניות: מספר הרוגים חודשי.



ציור 5.4. תחזית התפתחות בשנים 2013-2014 למספר הרוגים בדרכים העירוניות : מספר הרוגים חודשי.

6. בנית תרשימי הבקרה לשנים 2013-2014

6.1. הכנת התרשימים

לניטור שוטף של מצב הבטיחות, ניתן להשתמש בתרשימי בקרה המאפשרים לבחון: "האם חל שינוי בתהליך או שהתהליך נשאר בבקרה סטטיסטית?". בהקשר זה, התהליך הינו מספר חודשי של הרוגים בתאונות בשנה השוטפת, בעוד שגבולות הבקרה משקפים את המצב הצפוי על סמך המגמות בשנים הקודמות.

נושא ניטור מצב הבטיחות בעזרת תרשימי הבקרה נבחן במחקר גיטלמן, דובא, כהן (2011). לצורכי המעקב השוטף אחרי מצב ההרוגים, המחקר המליץ על שימוש בשילוב של שני סוגי תרשימי הבקרה: תרשים Shewhart ותרשים Cusum. התרשים הראשון נועד לבקרת תצפיות בודדות ע"י זיהוי אירועים חריגים (ע"פ הגדרות מספר סוגי אירועים שנקבעו מראש), בעוד שהתרשים השני מגלה סטייה קבועה מצטברת בממוצע התהליך המבוקר, בכיוון מסוים (לעומת הערכים המצופים כאשר התהליך בבקרה). שני סוגי התרשימים מבוססים על ניתוח שאריות. כמו כן, נקבע כי במערכת ה-BI של הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים ישולבו תרשימי הבקרה עבור 13 סדרות חודשיות של הרוגים בתאונות, דהיינו, לניטור שנה שוטפת, ייבנו 26 תרשימי הבקרה.

במחקר הנוכחי פותחו תרשימי הבקרה לבחינת השאלה האם התהליכים בשנים 2013-2014 יישארו בבקרה סטטיסטית, כאשר גבולות התהליכים מוגדרים על סמך התנהגות הנתונים בשנים הקודמות, 2008-2012.

נוכח שבבקרת איכות סטטיסטית מבחינים בשני שלבים. השלב הראשון הוא שלב יצירת גבולות התרשים ("setup"). השלב השני הוא שלב הניטור ("monitoring"). בשלב הראשון משתמשים בנתונים רטרוספקטיביים (ביישום הנוכחי - בנתוני ההרוגים בתקופת "לפני") כדי לקבוע את פרמטרי תרשימי הבקרה. פרמטרים אלה משמשים לניטור התהליך בשלב השני (ביישום הנוכחי - בשנים 2013-2014).

כפי שצוין במחקר הקודם, האלגוריתמים הקיימים בבקרת איכות לטיפול בנתוני מנייה, מטפלים בנתונים אשר במצב בקרה הינם בעלי התפלגות עם תוחלת קבועה (השווה בדרך כלל לאפס) ושונות קבועה, ומטרת התרשימים היא לגלות האם חל שינוי בתוחלת. התהליכים בתחום הבטיחות אינם מתאימים ישירות לדרישות אלה, והם מתאפיינים גם בעונתיות והשתנות אחרת בזמן, כמו מגמה. לכן, לשימוש בתרשימי הבקרה לצורכי הבטיחות, על סמך הנתונים המקוריים (מספרי הרוגים) מופקים ערכים מיוחדים - השאריות. כדי שיהיה מוצדק להשתמש בשאריות אלה, יש לדאוג לכך שכאשר התהליך בבקרה והמודל המותאם לו נכון, השאריות תהיינה ככל האפשר בעלות התפלגות נורמאלית, עם תוחלת אפס ושונות קבועה.

במחקר הנוכחי, בדומה למחקר הקודם, אנו השתמשנו בגישה של ניטור השאריות בעזרת תרשימי הבקרה. השאריות התקבלו לאחר "עיבוד התחלתי" של הנתונים על בסיס המודל שהותאם להם. לכל

סידרה הותאם מודל (פואסוני או בינומי שלילי - ראה פרק 2 לעיל), כאשר בעזרתו נוכח החלק שניתן להסבר על-ידי המודל ולאחר שלב זה, השאריות נבחנות בעזרת הכלים הסטנדרטיים - תרשימי הבקרה.

עבור כל סדרה, לקביעת פרמטרי תרשים הבקרה נבחר המודל המתאים לתיאור הנתונים, על סמך התקופה "לפני", ובעזרתו חושבו שאריות הדיוויאנס. על-פי שאריות אלה נקבעו פרמטרי תרשים הבקרה. בתקופת ה"לפני", השאריות נבדקות כדי לוודא שהתפלגותן בקירוב נורמאלית, עם תוחלת אפס ושונות קבועה. לאחר מכן, ניתן לחשב את שאריות הדיוויאנס בתקופת ה"אחרי" - עבור כל חודש, על סמך נתוני ההרוגים בשנה הנבדקת - ולנטר אותן באמצעות תרשים הבקרה.

יש לציין שבמשימה הנוכחית היה שוני בין תקופת פיתוח המודלים (על סמך השנים 2007-2011 לצורכי הערכת שנת 2012) לבין התקופה הנדרשת לניטור התהליכים (השנים הבאות, 2013-2014, כאשר התקופה "לפני" היא 2008-2012). לכן, בפיתוח תרשימי הבקרה לניטור השנים הבאות היה צורך להתמודד עם "הזזה" בתקופת ה"לפני" אשר קובעת את גבולות התרשימים. מכאן, תרשימי הבקרה נבנו על סמך המודלים שהותאמו לשנים 2007-2011 (ראה פרק 2 לעיל), כאשר במושג "מודלים" הכוונה היא לסוג ההתפלגות ולנקודות השבירה שזוהו, בעוד שבעת הכנת התרשימים לניטור השנים הבאות, 2013-2014, אמידת הפרמטרים (מקדמי המשתנים במודלים) נעשתה על סמך נתוני ההרוגים בשנים 2008-2012.

להלן פרטים על פיתוח תרשימי הבקרה לניטור מספרי ההרוגים בתאונות בשנים 2013-2014.

א. ממצאים מפיתוח המודלים אשר שימשו לבניית תרשימי הבקרה

נמצא (ראה פרק 2) כי התפלגות פואסונית מתאימה לסדרות: S4-S1, S10-S6, S12, S16-S14, כאשר התפלגות בינומית שלילית מתאימה לסדרות: S5, S11, S13. כמו כן, עבור הסדרות 10, 12 נמצאו נקודות שבירה בשנים הקודמות (הותאם מודל ליניארי למקוטעין). בהכנת גבולות תרשימי הבקרה לפי השנים 2008-2012 (לניבוי גבולות התהליכים בשנים 2013-2014), נקודות שבירה אלה יהיו בנקודות הזמן הבאות:

עבור סדרה 10 (הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות) - עם שבירה בחודש 16 (אפריל 2009);

עבור סדרה 12 (הרוגים בצמתים לא עירוניים) - עם שבירה בחודש 7 (יולי 2008)¹⁰.

ב. חישובים לתרשימי הבקרה מסוג Shewhart

הערכים עבורם מותאם תרשים הבקרה, וכן הערכים המבוקרים הן שאריות הדיוויאנס. הן שונות עבור מודל פואסוני ועבור מודל בינומי שלילי. חישוב השאריות הללו הינו באופן הבא.

¹⁰ חודש 7 היה קרוב מדי לקצה התקופה וגרם לבעיות נומריות ולכן, נקודת שבירה זאת הושמטה מהמודל. בנוסף, עקב בעיות נומריות, חלק ממשנני המלחמות הושמטו בחלק מהמודלים.

נסמן ב- Y_t את התצפית ה- t -ית של הסדרה וב- $\hat{\mu}_t$ את האמד לערך הצפוי לזמן t על-פי המודל. אנו נספק את $\hat{\mu}_t$ עבור כל הסדרות, ובנוסף את α עבור הסדרות הבינומיות שליליות. עבור ההתפלגות הפואסונית, שארית הדיוויאנס שווה ל:

$$[1] \quad d_t = \text{sign}(Y_t - \hat{\mu}_t) \sqrt{\max\left(0, 2 \left\{ Y_t \log\left(\frac{Y_t}{\hat{\mu}_t}\right) - (Y_t - \hat{\mu}_t) \right\}\right)}$$

עבור ההתפלגות הבינומית שלילית השארית שווה ל:

$$[2] \quad d_t = \text{sign}(Y_t - \hat{\mu}_t) \sqrt{\max\left(0, 2 \left\{ Y_t \log\left(\frac{Y_t}{\hat{\mu}_t}\right) - (Y_t + \alpha^{-1}) \log\left(\frac{Y_t + \alpha^{-1}}{\hat{\mu}_t + \alpha^{-1}}\right) \right\}\right)}$$

הערה: אם $Y_t = 0$ יש להציב במקומו מספר קטן מאוד כגון: $1/(10^{20})$.

לבניית תרשימי הבקרה, ערכי ה- $\hat{\mu}_t$ מסופקים לכל הסדרות, עבור 24 חודשים, בשנים 2013-2014. כמו כן, לכל תרשים מסופק מידע לגבי שיפוע קו המגמה בסוף התקופה "לפני" (כדי לסייע בהבנת התהליך המנוטר - האם הוא נמצא במגמת ירידה, עליה או חסר מגמה).

הנקודות המופיעות בתרשים Shewhart הן שאריות הדיוויאנס. גבולות הבקרה מחושבים עבור כל אחת מהסדרות והם כוללים:

- גבול בקרה תחתון (ממוצע פלוס שלוש סטיות תקן),
- גבול בקרה עליון (ממוצע מינוס שלוש סטיות תקן),
- ערך המטרה של התהליך (הקו המרכזי).

ג. חישובים לתרשימי הבקרה מסוג Cusum

בתרשים Cusum נבנים שני תרשימים:

- (1) חד-צדדי לגילוי סטיות כלפי מעלה,
- (2) חד-צדדי לגילוי סטיות כלפי מטה.

עבור כל אחת מהסדרות, הערכים המופיעים בגרפים של Cusum מחושבים באופן הבא. נסמן:

d_t - שארית הדיוויאנס בזמן t , המחושבת לפי נוסחה [1] או [2] לעיל;

Mu0 - ערך מרכזי;

Sig0 - סטיית תקן;

cu_pos $_t$ - הערך בזמן t של סדרת ה-Cusum החד-צדדי לגילוי סטיות כלפי מעלה;

cu_pos₆₀ - הערך בסוף התקופה "לפני" של סדרת ה-Cusum החד-צדדי לגילוי סטיות כלפי מעלה ;
 cu_neg_t - הערך בזמן t של סדרת ה-Cusum החד-צדדי לגילוי סטיות כלפי מטה ;
 cu_neg₆₀ - הערך בסוף התקופה "לפני" של סדרת ה-Cusum החד-צדדי לגילוי סטיות כלפי מטה.
 כל הערכים הנ"ל, פרט לשארית הדיויאנס, מסופקים ע"י המודלים.

הנקודות המופיעות בתרשים עבור זמן t הן cu_pos_t ו-cu_neg_t, כאשר

$$cu_pos_t = \max \{0, cu_pos_{t-1} + (z_t - 0.5)\} \quad t = 61, 62, \dots$$

$$cu_neg_t = -\max \{0, -cu_neg_{t-1} - (z_t + 0.5)\} \quad t = 61, 62, \dots$$

$$z_t = \frac{d_t - \text{Mu}0}{\text{Sig}0}$$

הערכים הנ"ל מחושבים עבור נקודות הזמן 61, 62 וכו', דהיינו עבור כל חודש בשנים 2013-2014.
 לשרטוט הקווים האופקיים בתרשים משמשים פרמטרים אלה: קו האמצע=0; הקו העליון=3; הקו
 התחתון=-3.

ד. כללים לזיהוי אירועים חריגים

לבקרת מצב הבטיחות בעזרת התרשים מסוג Shewhart משמשים שלושה סוגי אירועים עיקריים
 הניתנים לזיהוי בעזרת התרשים שהם:

- מבחן 1: נקודה בודדת שנופלת מחוץ לגבול העליון או התחתון של התרשים ;

- מבחן 2: 7 נקודות עוקבות מצד אחד של קו האמצע ;

- מבחן 3: 6 נקודות עוקבות של עליה או ירידה.

לבקרת מצב הבטיחות בעזרת התרשים מסוג Cusum משמש כלל אחד :

כאשר נקודת התרשים חורגת מגבולות הבקרה מוכרז על שינוי מובהק בתהליך - יציאה מבקרה.
 בנוסף, באמצעות התרשים Cusum ניתן לאתר הזזות בממוצע התהליך באופן וויזואלי: הנקודה בה
 משתנה השיפוע היא הנקודה בה קורית ההזזה.

6.2. תוצאות

במחקר זה פותחו תרשימי הבקרה כדי לבחון האם התהליכים בשנים 2013-2014 יישארו בבקרה
 סטטיסטית, כאשר גבולות הבקרה מוגדרים על סמך נתוני ההרוגים בשנים 2008-2012¹¹.

ציורים 6.1-6.3 מציגים את תרשימי הבקרה מסוג Shewhart ומסוג Cusum שהותאמו לשלוש הסדרות
 הראשונות של הרוגים: (1) סך ההרוגים; (2) הרוגים בדרכים הלא עירוניות; (3) הרוגים בדרכים

העירוניות. התרשים מסוג Shewhart מיוצר ע"י פרוצדורת Shewhart (אופציית irchart) של SAS/QC; התרשים מסוג Cusum מצויר ע"י פונקציית cusum מספרית qcc של תוכנת R. גבולות התרשים נקבעים לפי שלוש סטיות תקן.

בציורים 6.1-6.3, לכל סדרה, בשני סוגי התרשימים, מוצגים כל הנתונים של התקופה "לפני": 60 נקודות עבור 60 חודשים בשנים 2008-2012, בתוספת 8 תצפיות בתקופת ה"אחרי" - עבור חודשים ינואר-אוגוסט 2013¹². הקו האנכי המקווקו תוחם את שתי התקופות: "לפני", בשנים 2008-2012, ו-"אחרי", בינואר-אוגוסט 2013.

כזכור (ראה פרק 3), בסיום התקופה "לפני" (סוף שנת 2012) היו מגמות אלה: (1) בסך ההרוגים - מגמת ירידה מובהקת; (2) בהרוגים בדרכים הלא עירוניות - מגמת ירידה מובהקת; (3) בהרוגים בדרכים העירוניות - מגמת ירידה לא מובהקת.

מבחינת תרשימי הבקרה בציורים 6.1-6.3, לגבי התפתחות התהליכים (מצב הרוגים בתאונות) בשנת 2013 ניתן להסיק כלהלן:

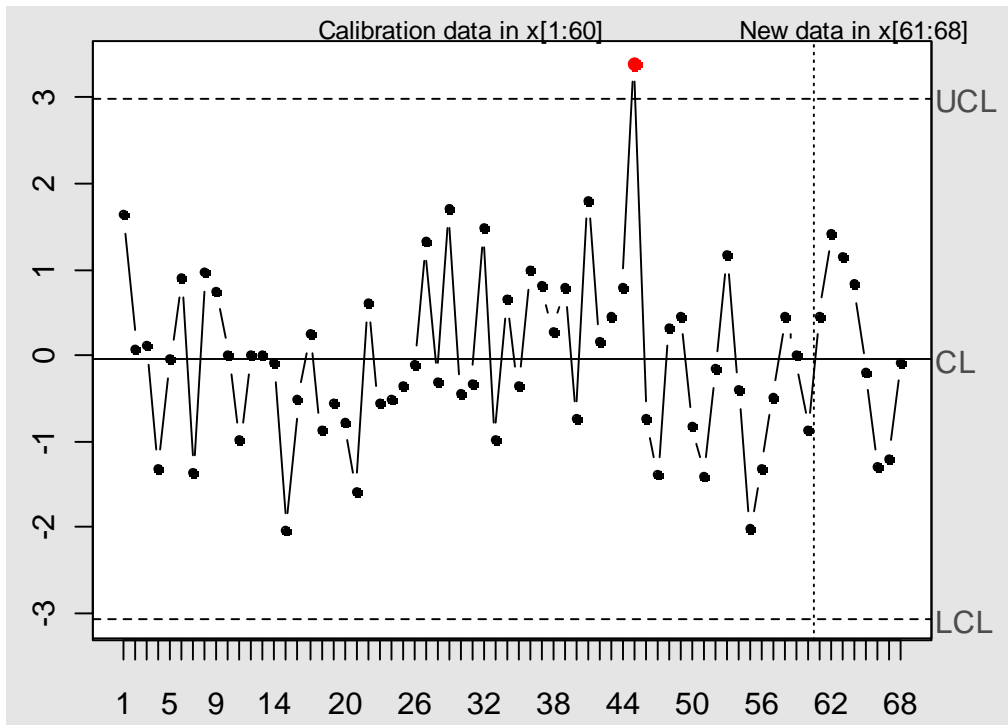
- לפי שני סוגים של תרשימי הבקרה, בסך ההרוגים ובמספר הרוגים בדרכים הלא עירוניות, לא היו שינויים מהותיים - לא נצפו אירועים חריגים בתרשימי הבקרה, בחודשים ינואר-אוגוסט 2013. לפי תרשים Cusum לסך ההרוגים, היו מספר נקודות עולות מדצמבר 2012 עד אפריל 2013 אשר לא הגיעו לחריגה בהמשך; לתופעה זאת לא היתה משמעות כי לא נתקבלה נקודה החורגת מגבולות התרשים.

- לעומת זאת, לגבי מספר הרוגים בדרכים העירוניות, ע"פ שני התרשימים קרתה חריגה בתהליך באפריל 2013. לפי תרשים Shewhart, בחודש אפריל 2013 נרשמה הצטברות של 7 נקודות בצד אחד של התרשים (מבחן 2) אשר הצביעה על חריגה בתהליך. לפי תרשים Cusum, בחודש אפריל 2013 הנקודה חרגה מהגבול העליון של התרשים - התהליך יצא מגבולות הבקרה, כאשר נקודת המפנה בתהליך זה (שינוי זווית הצבת הנקודות כלפי מעלה) הייתה בינואר 2013. עם זאת, בחודשים הבאים, נצפה "תיקון" כלפי מטה, כאשר מספר הרוגים בדרכים העירונית חזר לגבולות הבקרה.

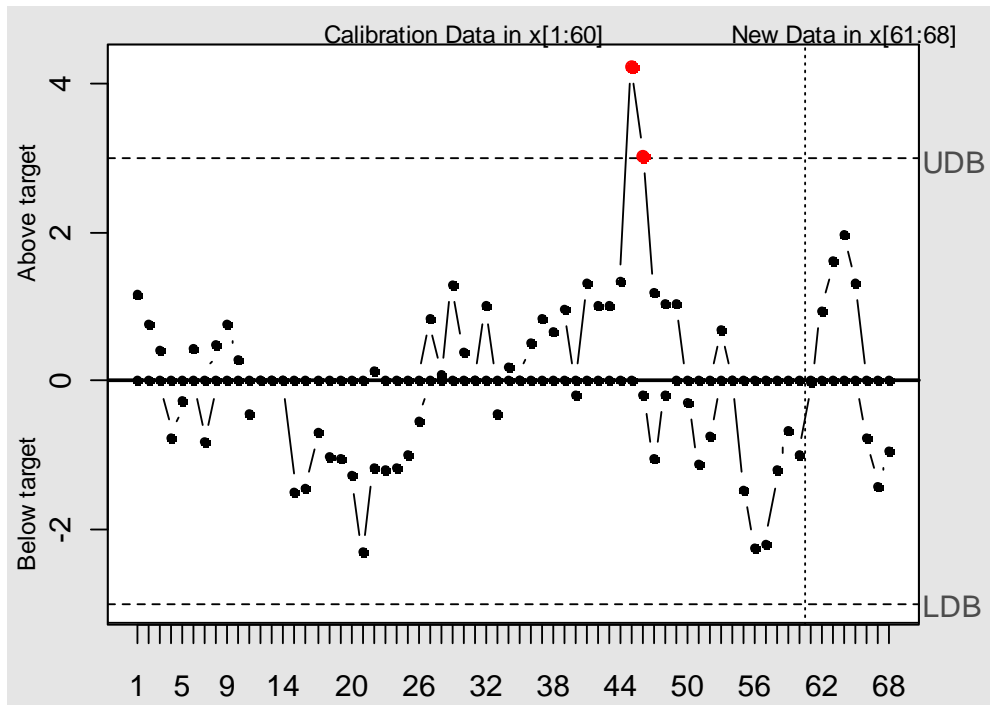
מכאן ניתן להסיק שב-8 החודשים של שנת 2013, בסך ההרוגים בתאונות ובמספר הרוגים בדרכים הלא עירוניות לא נצפו שינויים מהותיים, דהיינו בשני התהליכים נמשכה מגמת הירידה שהחלה בתקופה הקודמת. לעומת זאת, במספר הרוגים בדרכים העירוניות חלה הרעה בחודשים הראשונים של השנה אך בהמשך, התהליך חזר לקדמותו, דהיינו נצפה המשך למגמת הירידה שזוהתה בתקופה הקודמת.

¹¹ גבולות תרשימי הבקרה חושבו עבור 13 סדרות הרוגים, והם מוצגים בקבצי אקסל המועברים למערכת הBI של הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים.

¹² מספרים אלה נלקחו ממחולל הלוחות של הלמ"ס ב-30.10.13.

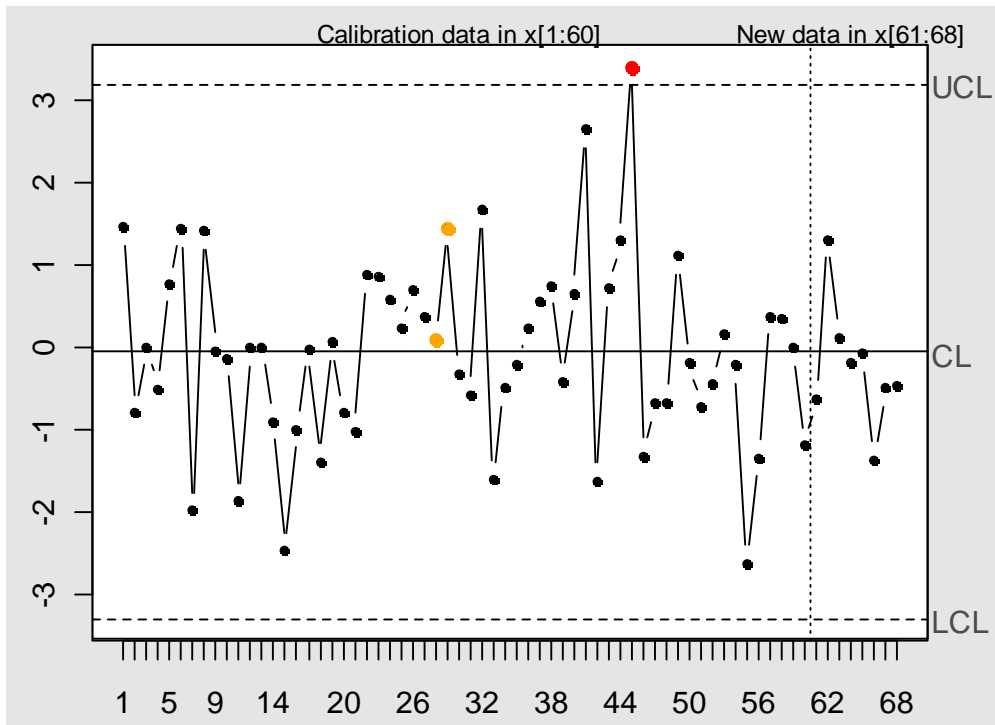


א - תרשים Shewhart

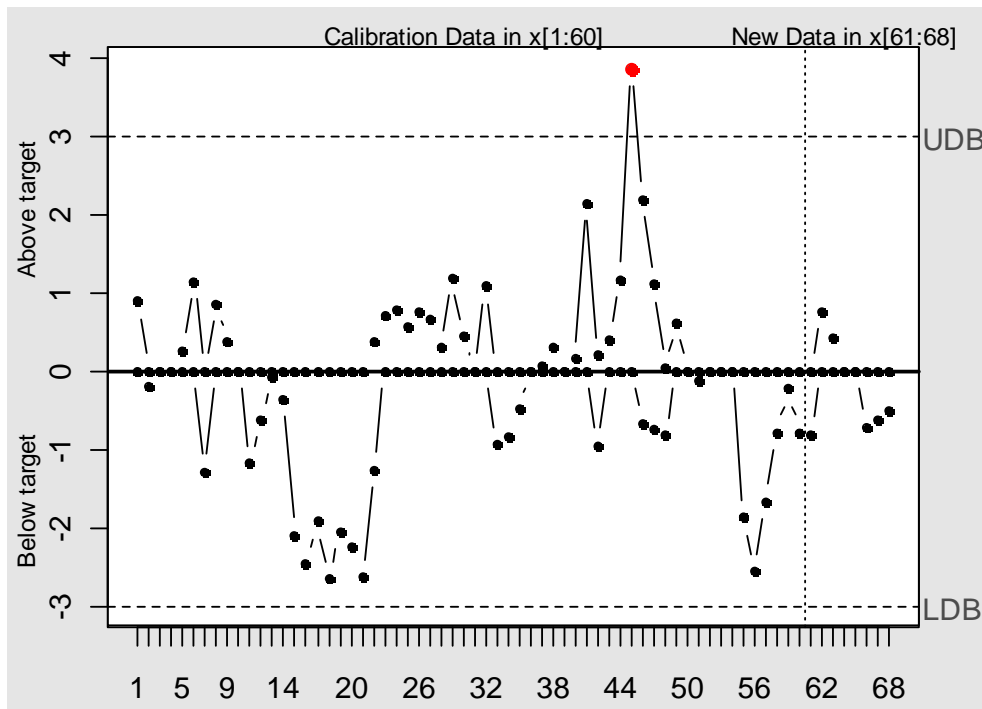


ב - תרשים Cusum

ציור 6.1. תרשימי בקרה לסדרה S1 "סך הרוגים בתאונות", בתקופת "לפני" (ינואר 2008 - דצמבר 2012) ו-"אחרי" (ינואר-אוגוסט 2013).

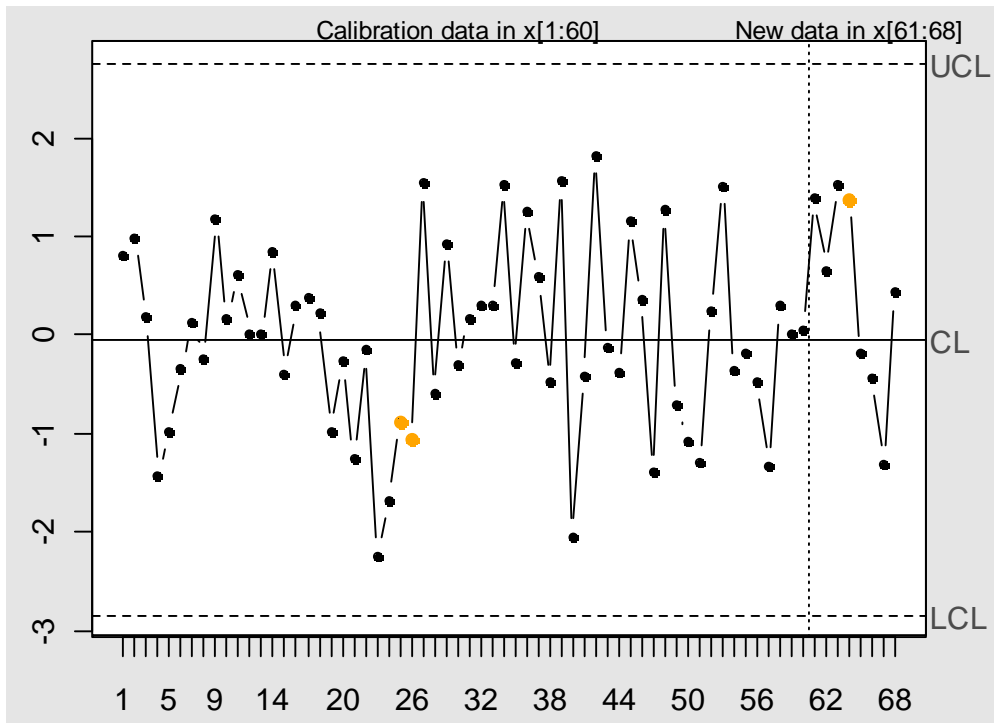


א - תרשים Shewhart

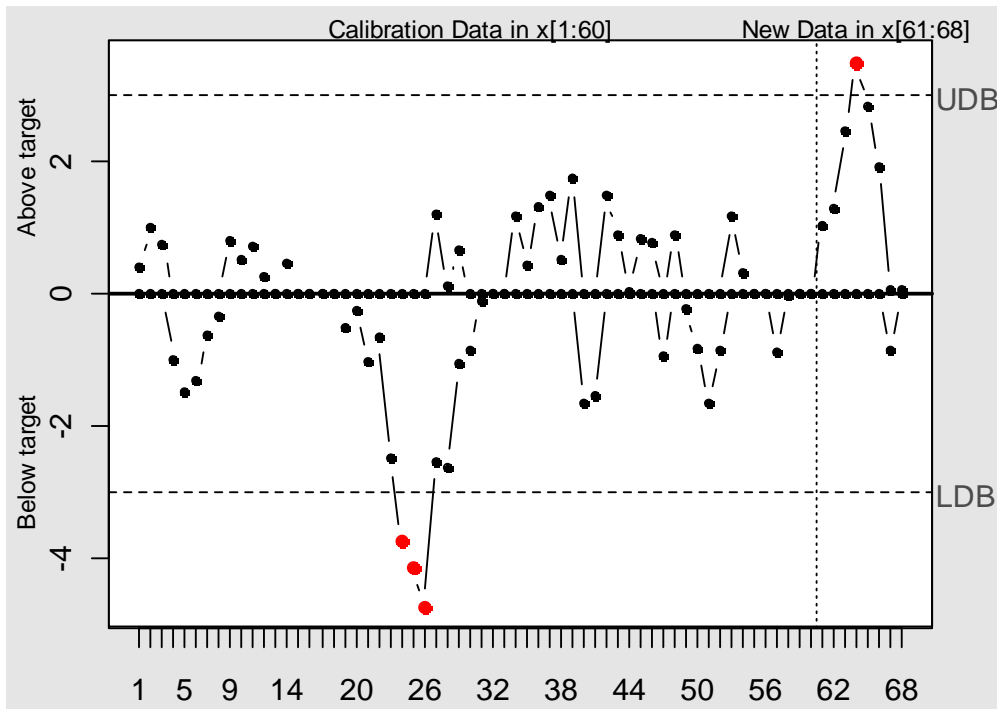


ב - תרשים Cusum

ציור 6.2. תרשימי בקרה לסדרה S2 "הרוגים בדרכים הלא עירוניות", בתקופת "לפני" (ינואר 2008 - דצמבר 2012) ו-"אחרי" (ינואר-אוגוסט 2013).



א - תרשים Shewhart



ב - תרשים Cusum

ציור 6.3. תרשימי בקרה לסדרה S3 "הרוגים בדרכים העירוניות", בתקופת "לפני" (ינואר 2008 - דצמבר 2012) ו-"אחרי" (ינואר-אוגוסט 2013).

7. סיכום הממצאים

7.1. כללי

במחקר זה נבחנו מגמות השינויים במספרי הרוגים בתאונות הדרכים בשנת 2012 לעומת שנים קודמות. הניתוח התייחס הן למספר הכולל של הרוגים בתאונות הדרכים והן לחתכים המייצגים של מספרי הרוגים, לפי סוג דרך, נהגים וכלי רכב בסיכון, וסוגי תאונות. בניתוח נבחנו 13 סדרות חודשיות של הרוגים, כאשר לגבי כל סדרה נבחנו שתי שאלות:

א. האם המגמה במספרי הרוגים בשנת 2012 השתנתה באופן מובהק לעומת המגמה בשנים קודמות?

ב. האם מספר הרוגים בשנת 2012 היה שונה באופן מובהק ממספר הרוגים ממוצע בשנים קודמות, ולעומת שנת 2011?

מגמות השינויים במספרי הרוגים בתאונות בשנת 2012 נבחנו לעומת שתי תקופות של השנים הקודמות: (א) חמש שנים קודמות, 2007-2011 - עבור כל סדרות ההרוגים; (ב) עשר שנים קודמות, 2002-2011 - עבור סדרות הרוגים עיקריות.

כמו כן, בעזרת המודלים שהותאמו בניתוח, נבנו תחזיות להתפתחות הסדרות העיקריות בשנים 2013-2014. בנוסף, במחקר פותחו תרשימי בקרה כדי לבחון האם התהליכים בשנים 2013-2014 יישארו בבקרה סטטיסטית, כאשר גבולות הבקרה מוגדרים על סמך התנהגות הנתונים בשנים הקודמות.

7.2. ממצאים עיקריים ומסקנות

א. שינויים במגמות ובמספרי הרוגים בתאונות בשנת 2012 לעומת שנים קודמות

בניתוח סדרות עתיות של מספרי ההרוגים נמצא שהשינויים במגמות בשנת 2012 לעומת עשר שנים קודמות היו *דומים* לשינויים במגמות לעומת חמש שנים קודמות. כמו כן, השינויים במספרי הרוגים בשנת 2012 שהוערכו על סמך המודלים שהותאם לעשר שנים קודמות היו *דומים* לשינויים במספרי הרוגים שנמצאו בעזרת המודלים שהותאם לחמש שנים קודמות.

על סמך ממצאי הניתוחים של השינויים במגמות ובמספרי הרוגים בשנת 2012 לעומת שנים קודמות, ניתן להסיק כלהלן:

1. בקרב סך ההרוגים בתאונות בשנת 2012 נצפו שינויים חיוביים ניכרים: התחזקות במגמת ירידה מובהקת, במקביל עם ירידה במספר הרוגים, ברמה של 27%-29% לעומת ממוצע שנים קודמות ו-23%-22% לעומת שנת 2011.

2. באופן דומה, במספר הרוגים בתאונות בדרכים הלא עירוניות נצפו שינויים חיוביים ניכרים: התחזקות במגמת ירידה מובהקת, במקביל עם ירידה במספר הרוגים, ברמה של 31%-30% לעומת ממוצע שנים קודמות ו-25%-23% לעומת שנת 2011.

3. גם במספר הרוגים בתאונות בדרכים העירוניות נצפו שינויים חיוביים: התחזקות במגמת ירידה (לא מובהקת), ביחד עם ירידה במספר הרוגים, ברמה של 25%-27% לעומת ממוצע שנים קודמות ו-20%-21% לעומת שנת 2011.

4. בקרב הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים בשנת 2012 חלו שינויים חיוביים ניכרים: התחזקות משמעותית במגמת ירידה (מובהקת גבולית), במקביל עם ירידות מובהקות במספר הרוגים, ברמה של 26%, לעומת ממוצע שנים קודמות ולעומת שנת 2011.

5. בקרב הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי בשנת 2012 נצפו שינויים חיוביים: התחזקות במגמת ירידה (לא מובהקת), ביחד עם ירידה של 24% במספר הרוגים לעומת ממוצע שנים קודמות (שינוי מובהק גבולית) וירידה לא מובהקת לעומת שנת 2011.

6. בקרב הרוגים בתאונות עם אופנועים בשנת 2012 נצפו סימני שיפור: מגמת עליה לא מובהקת של התקופה הקודמת נהפכה למגמת ירידה (מובהקת גבולית), כאשר במספר הרוגים בתאונות אלה הייתה ירידה לא מובהקת לעומת הממוצע של שנים קודמות וירידה של 27% לעומת שנת 2011 (שינוי מובהק גבולית).

7. בקרב הרוגים הולכי רגל בדרכים העירוניות בשנת 2012 נצפו סימני שיפור: התחזקות במגמת ירידה (לא מובהקת), כאשר במספר הרוגים בתאונות אלה הייתה ירידה של 24% לעומת ממוצע שנים קודמות (שינוי מובהק גבולית) וירידה לא מובהקת לעומת שנת 2011.

8. בקרב הרוגים הולכי רגל בדרכים הלא עירוניות בשנת 2012 היו שיפורים ניכרים: התחזקות משמעותית במגמת ירידה (מובהקת גבולית), במקביל עם ירידה במספר הרוגים, בגובה של 40% לעומת ממוצע שנים קודמות ו-41% לעומת שנת 2011.

9. בקרב הרוגים הולכי רגל במגזר הלא יהודי, בשנת 2012 נצפו שינויים חיוביים: התחזקות במגמת ירידה (לא מובהקת), כאשר במספר הרוגים בתאונות אלה הייתה ירידה של 34% לעומת ממוצע שנים קודמות וירידה של 37% לעומת שנת 2011 (שינויים מובהקים גבולית).

10. בקרב הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות בשנת 2012 נצפו שינויים חיוביים ניכרים: מגמת עליה לא מובהקת של התקופה הקודמת נהפכה למגמת ירידה (מובהקת גבולית), כאשר במספר הרוגים בתאונות אלה הייתה ירידה של 40% לעומת הממוצע של שנים קודמות וירידה של 39% לעומת שנת 2011 (שינויים מובהקים).

11. בקרב הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים הלא עירוניות בשנת 2012 נצפו שינויים חיוביים ניכרים: התחזקות משמעותית במגמת הירידה שהייתה בתקופה הקודמת, במקביל עם ירידות במספר הרוגים, ברמה של 54% לעומת הממוצע של שנים קודמות (שינוי מובהק) ו-45% לעומת שנת 2011 (שינוי מובהק גבולית).

12. בקרב הרוגים בתאונות בצמתים הלא עירוניים בשנת 2012 לא היה שינוי מהותי: מחד, מגמת עליה לא מובהקת של התקופה הקודמת נהפכה למגמת ירידה (לא מובהקת), אך מאידך, במספר הרוגים בתאונות אלה לא נמצאו שינויים לעומת הממוצע של שנים קודמות ולעומת שנת 2011.

13. בקרב הרוגים בתאונות בצמתים העירוניים בשנת 2012 נצפו שינויים חיוביים: התחזקות במגמת ירידה (לא מובהקת), כאשר במספר הרוגים בתאונות אלה הייתה ירידה של 51% לעומת ממוצע שנים קודמות (שינוי מובהק גבולית) וירידה לא מובהקת לעומת שנת 2011.

לסיכום, בשנת 2012 חל שיפור ניכר הן במגמות והן במספרי הרוגים בתאונות הדרכים בישראל. בכל סדרות הרוגים שנותחו זוהו שינויים חיוביים במגמה - התחזקות מגמת הירידה בשנת 2012. כמו כן, בכל סדרות הנתונים פרט לאחת מספרי הרוגים בשנת 2012 היו נמוכים יותר באופן משמעותי לעומת הממוצע של שנים קודמות ולעומת שנת 2011, כאשר בחלק ניכר מהמקרים השינוי היה מובהק. כלומר, שנת 2012 מצטיירת כיוצאת דופן, במובן החיובי, מבחינת הן היקף והן עקביות הירידות במספרי הרוגים בתאונות, בתחומי בטיחות שונים.

בסדרות הרוגים עיקריות: סך ההרוגים, הרוגים בדרכים הלא עירוניות, הרוגים בדרכים העירוניות - הירידות במספרי הרוגים בשנת 2012 היו ברמה של 25%-31% לעומת ממוצע שנים קודמות וברמה של 20%-25% לעומת שנת 2011, דהינו השינוי היה משמעותי (ומובהק).

כמו כן, בשנת 2012 לעומת שנים קודמות ירידות גבוהות במיוחד (מעל 30%) נצפו בקרב: הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות, הרוגים הולכי רגל במגזר הלא יהודי, הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות, הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים הלא עירוניות, הרוגים בצמתים עירוניים, כאשר בתחומים האחרים כגון: הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים, עם רכב מקצועי, עם אופנועים ובתאונות הולכי רגל בדרכים עירוניות - גובה הירידות בהרוגים היה דומה לסדרות הכלליות.

בתחום אחד בלבד: הרוגים בצמתים לא עירוניים (פרט להולכי רגל) - לא היה שינוי מהותי במספרי הרוגים בשנת 2012 לעומת שנים קודמות, למרות הירידות הניכרות בסך ההרוגים בדרכים הלא עירוניות. נראה כי יש מקום להגברת תשומת לב לתחום תאונות זה כדי לגבש פעילויות התערבות בהתאם.

ב. תחזיות התפתחות בשנים 2013-2014

במחקר, נבנו התחזיות עבור הערך הצפוי של מספר ההרוגים החודשי בשנים 2013-2014, בשלוש סדרות עיקריות: סך ההרוגים בתאונות, הרוגים בדרכים הלא עירוניות, הרוגים בדרכים העירוניות.

ההתפתחות הצפויה במספרי הרוגים, בשנים 2013-2014, נבנתה בהנחה שהמגמות שנצפו בהרוגים בשנים 2007-2012 יימשכו גם בשנים הבאות. בהינתן המשך המגמות הקיימות, ע"פ תחזיות ההתפתחות, ניתן לצפות לשינויים קלים במספרי הרוגים השנתיים, בכל שנה לעומת הקודמת, בטווח של מספר אחוזים.

בחודשים ינואר-אוגוסט 2013, התפתחות הסדרות היתה בגבולות התחזית, עם סטיה כלפי מעלה בחודשים הראשונים של שנת 2013 ותיקון כלפי מטה בחודשים הבאים.

ג. תרשימי בקרה לניטור מספרי הרוגים בשנים 2013-2014

במחקר, פותחו תרשימי הבקרה כדי לבחון האם התהליכים בשנים 2013-2014 יישארו בבקרה סטטיסטית, כאשר גבולות הבקרה מוגדרים על סמך נתוני הרוגים בשנים 2008-2012. עבור כל אחת מ-13 סדרות הרוגים נבנו תרשימי הבקרה מסוג Shewhart ומסוג Cusum, המאפשרים ניטור שוטף של התהליכים.

על גבי תרשימי הבקרה שהותאמו לשלוש הסדרות הראשונות: סך הרוגים בתאונות, הרוגים בדרכים הלא עירוניות, הרוגים בדרכים העירוניות - הוצבו נקודות המעקב לחודשים ינואר-אוגוסט 2013. בעקבות בחינה משולבת של שני סוגי התרשימים הוסק שב-8 החודשים של שנת 2013:

* בסך הרוגים בתאונות ובמספר הרוגים בדרכים הלא עירוניות לא נצפו שינויים מהותיים, דהיינו בשני התהליכים נמשכה מגמת הירידה שהחלה בתקופה הקודמת;

* לעומת זאת, במספר הרוגים בדרכים העירוניות חלה הרעה בחודשים הראשונים של השנה אך בהמשך, התהליך חזר לקדמותו, דהיינו נצפה המשך למגמת הירידה שזוהתה בתקופה הקודמת.

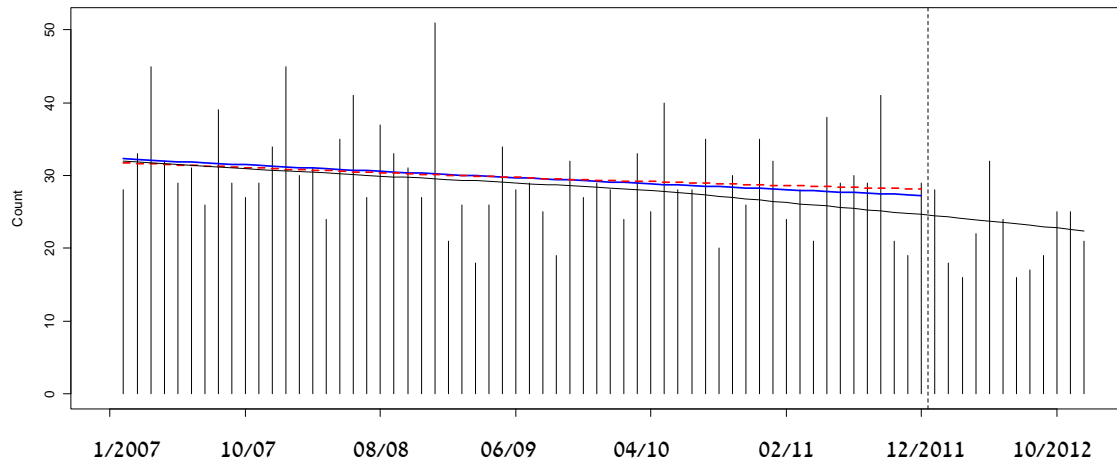
כאמור, תרשימי הבקרה שנבנו במחקר, מאפשרים המשך לניטור התהליכים עד סוף שנת 2014.

מראי מקום

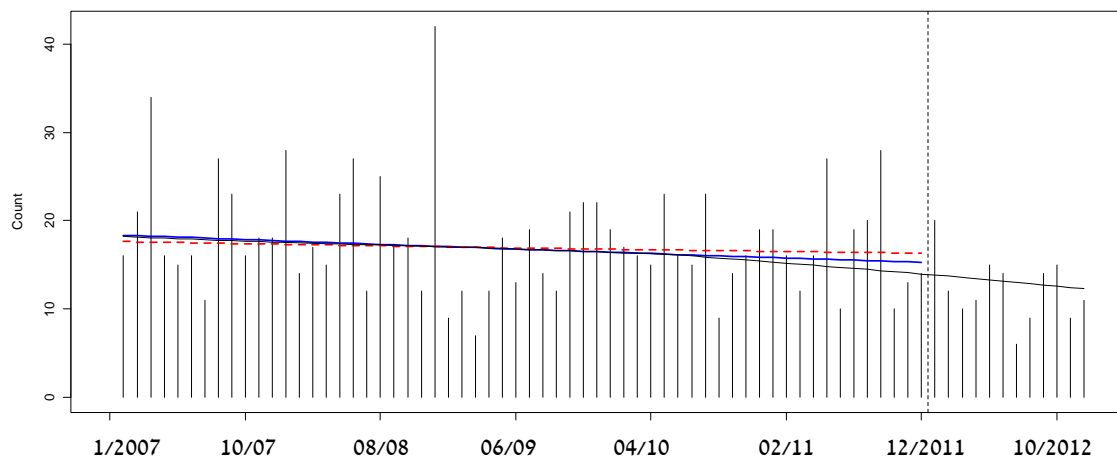
1. גיטלמן ו., דובא א., כהן א. (2011). בחינת מגמות במספרי ההרוגים, התאונות והנפגעים בתאונות הדרכים. דו"ח מחקר S/26/2011, מרכז רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים והמעבדה לסטטיסטיקה, הטכניון.
2. כהן א., דובא א. (2011). התאמת מודלים סטטיסטיים לניתוח מגמות תאונות הדרכים בישראל. דוח מסכם, הוגש לקרן המחקרים בענייני ביטוח ליד אגוד חברות הביטוח בישראל.
3. Muggeo, V. M. R. (2003). Estimating regression models with unknown break-points. *Statistics in Medicine*, 22, 3055-3071.
4. Muggeo, V. M. R. (2008). Segmented: an R Software to Fit Regression Models with Broken-Line Relationships. *R News*, 8/1, 20-25. URL <http://cran.r-project.org/doc/Rnews/>.
5. OECD/ITF (2008). *Towards Zero Road Deaths: Safe System to Achieve Ambitious Targets*. Organisation for Economic Co-operation and Development/ International Transport Forum.
6. OECD/ITF (2013). *Road Safety Annual Report 2013*. International Traffic Safety Data and Analysis (IRTAD) Group, Organisation for Economic Co-operation and Development /International Transport Forum, Paris.
7. Wood, G.R. (2005). Confidence and prediction intervals for generalized linear accident models. *Accident Analysis and Prevention* 37, 267-273.

נספח א'. הצגה גרפית של סדרות הנתונים בניתוח: לעומת חמש שנים קודמות

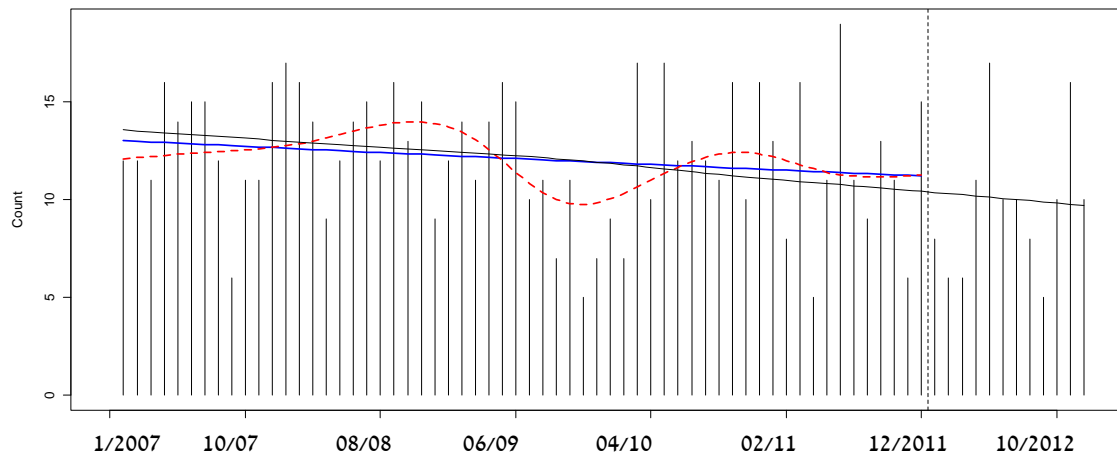
1. סך הרוגים בתאונות



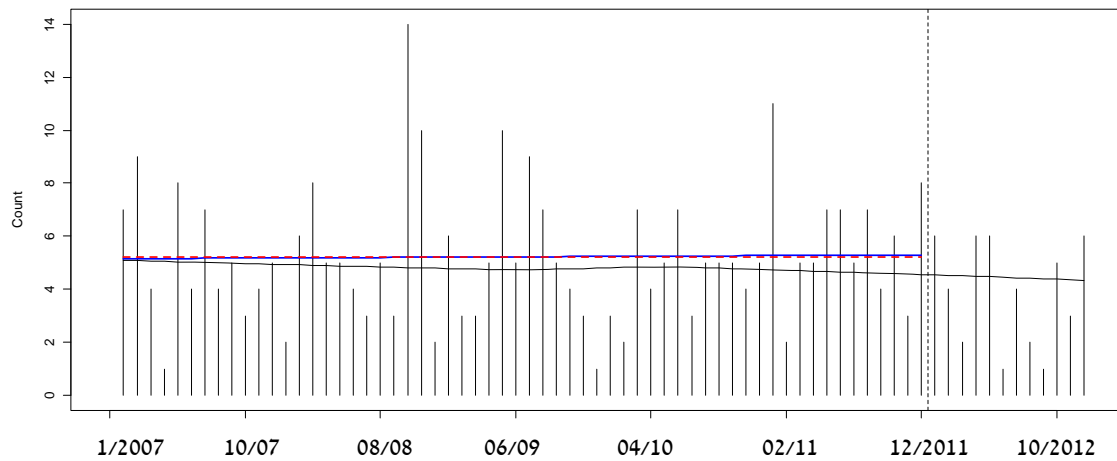
2. הרוגים בדרכים לא עירוניות



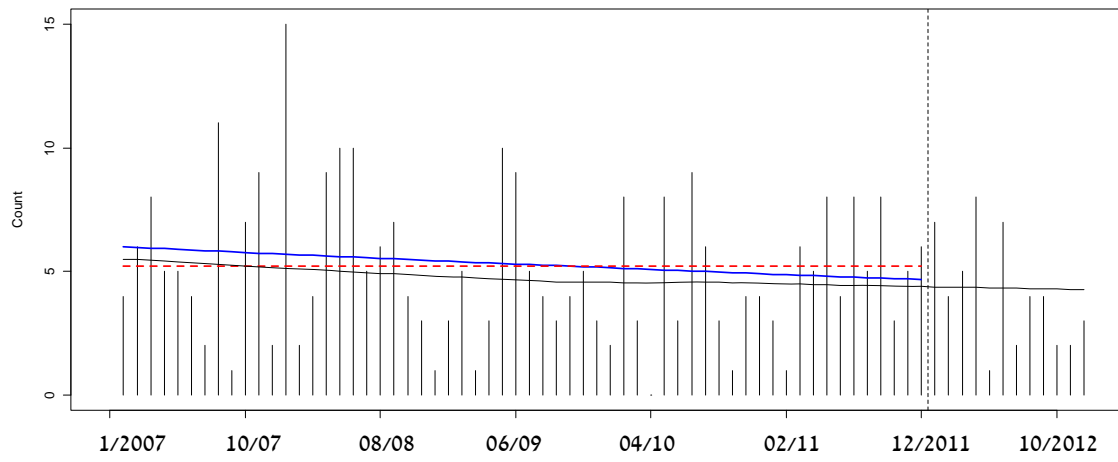
3. הרוגים בדרכים עירוניות



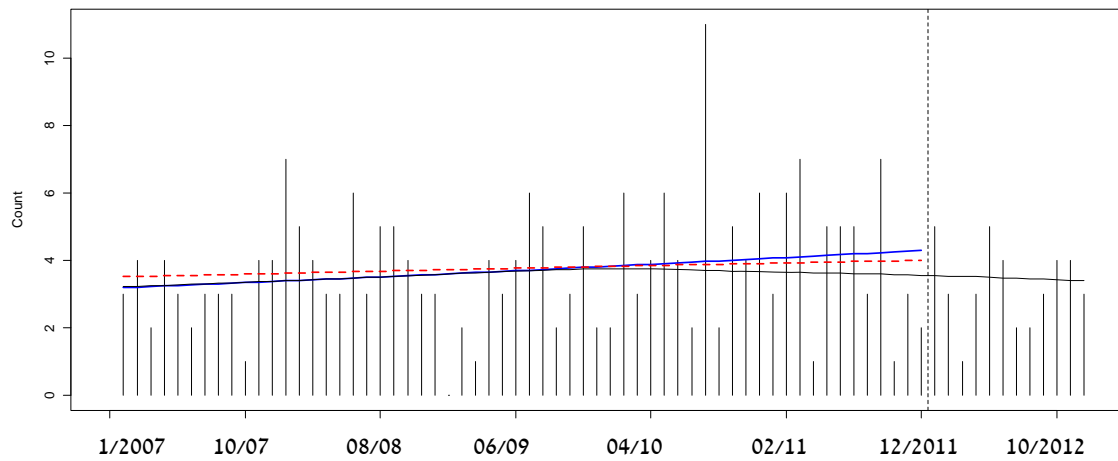
4. הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים



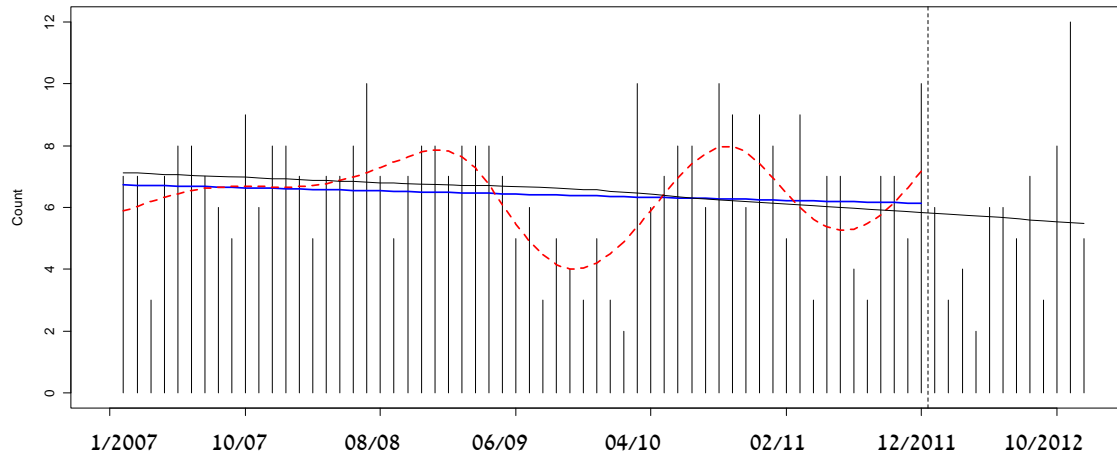
5. הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי



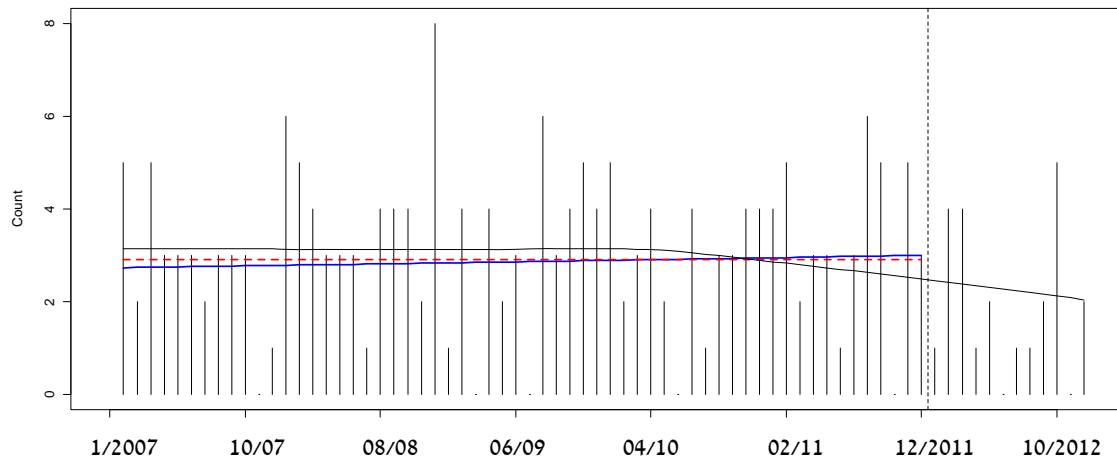
6. הרוגים בתאונות אופנועים



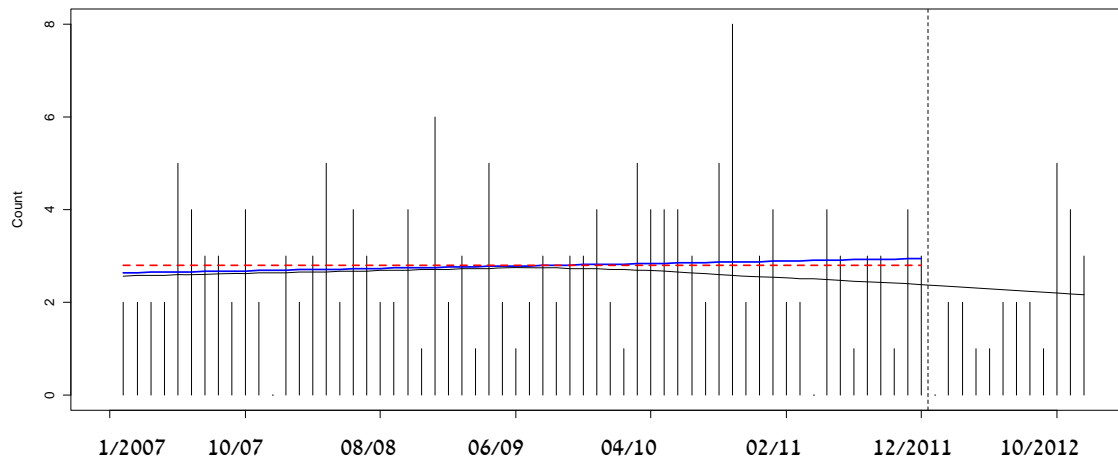
7. הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות



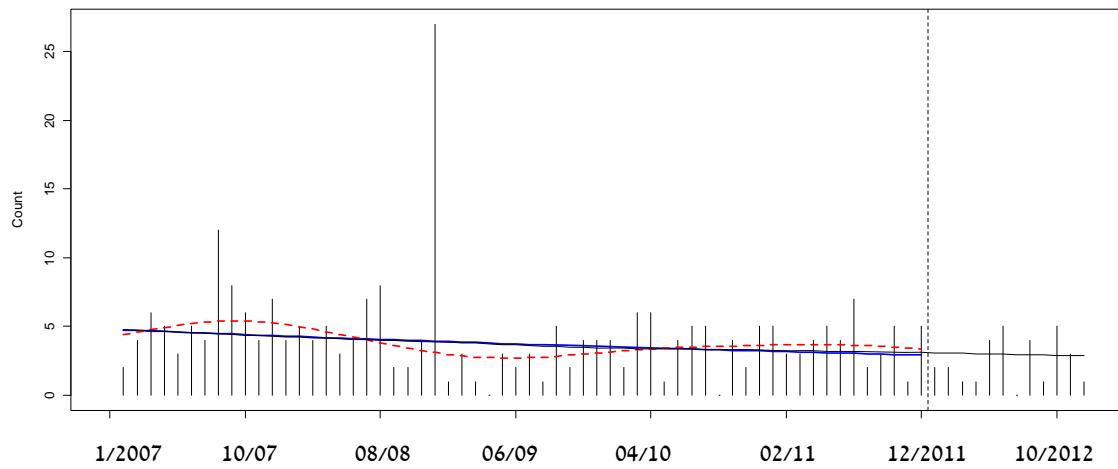
8. הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות



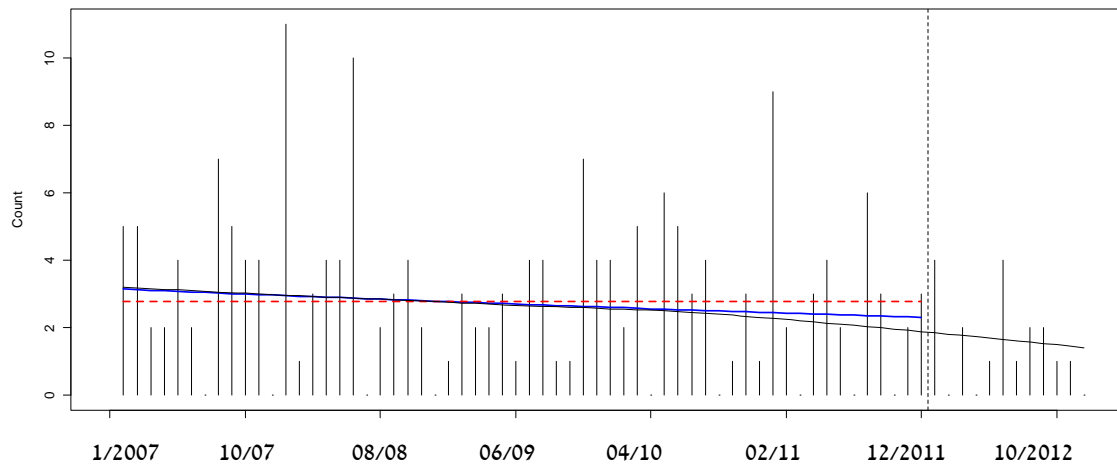
9. הרוגים הולכי רגל במגזר לא יהודי



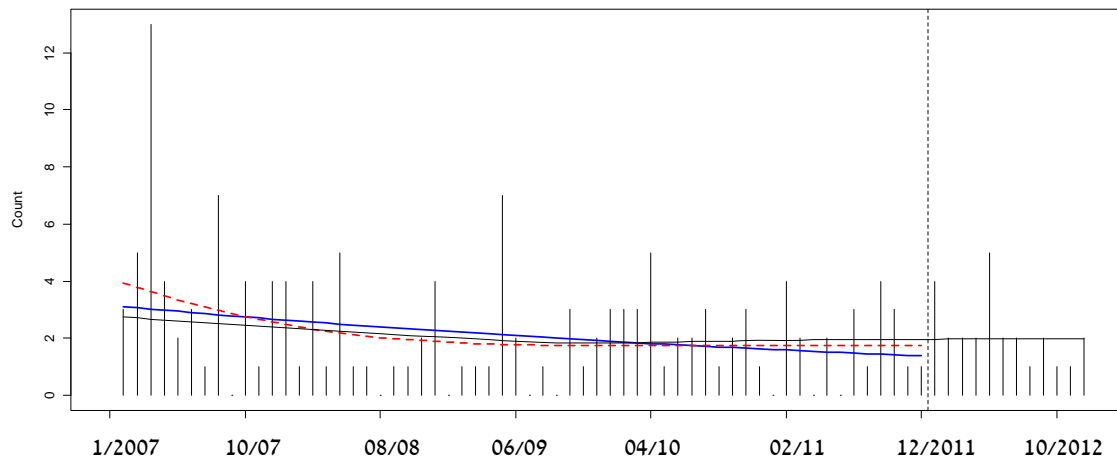
10. הרוגים בתאונות רכב יחיד



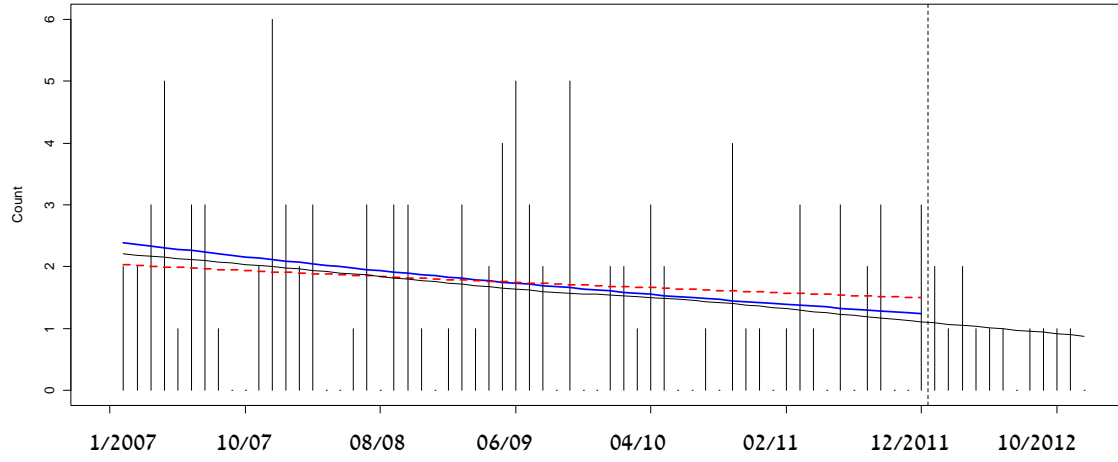
11. הרוגים בתאונות חזית-חזית



12. הרוגים בצמתים לא עירוניים

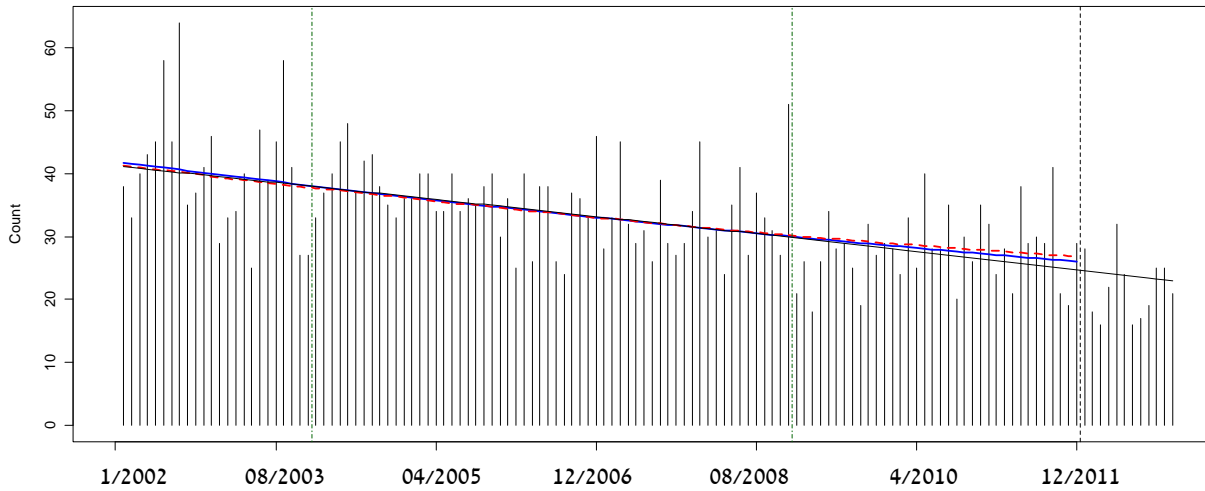


13. הרוגים בצמתים עירוניים

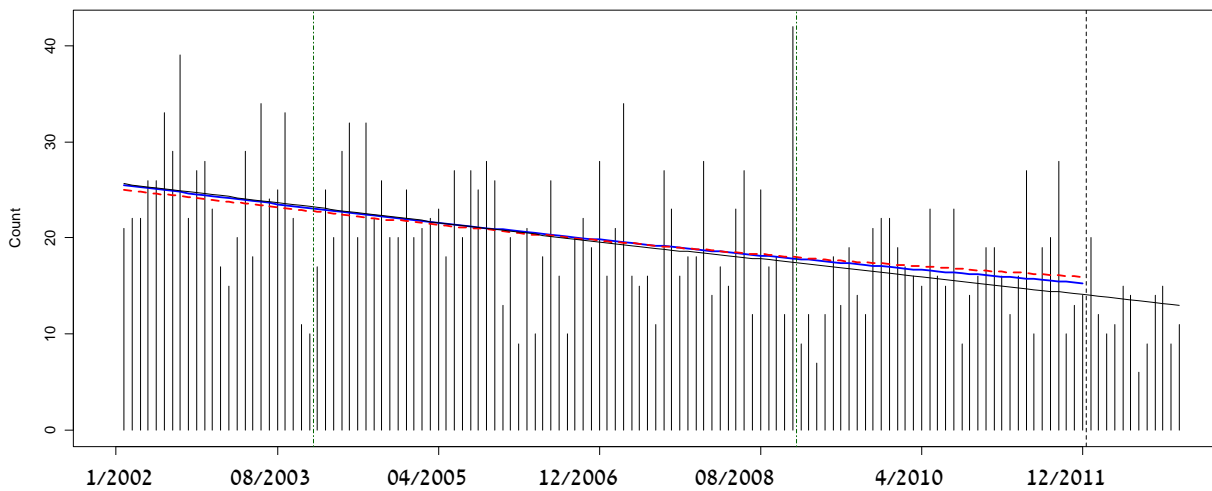


נספח ב'. הצגה גרפית של סדרות הנתונים בניתוח: 2012 לעומת עשר שנים קודמות

1. סך הרוגים בתאונות



2. הרוגים בדרכים לא עירוניות



3. הרוגים בדרכים עירוניות

