



**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 ההרוגים, התאונות והנפגעים בתאונות הדרכים**

**ד"ר ויקטוריה גיטלמן**

**ד"ר אטי דובא\***

**פרופ' אילה כהן\***

**\*המעבדה לסטטיסטיקה בפקולטה להנדסת תעשייה וניהול**

**במימון הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים**

**הרשות הלאומית  
לבטיחות בדרכים**



**אוגוסט 2011, חיפה**

**דו"ח מחקר מס' S/26/2011**



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: 30.08.11

שם החוקר הראשי: פרופ' שלום הקרט

שם חוקר נוסף: ד"ר ויקטוריה גיטלמן

שמות חוקרים נוספים: ד"ר אטי דובא, פרופ' אילה כהן

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 ההרוגים, התאונות והנפגעים בתאונות הדרכים

**תקציר הדו"ח:** במחקר זה פותחו 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, 2008-2004. בהמשך, נערך ניתוח שינויים במספרים ובמגמות ההרוגים בתאונות בשנת 2010 לעומת שנים קודמות, 2009-2005.

באמצעות המודלים הסטטיסטיים נבחנות שאלות אלה:

א. האם המגמה במספרי ההרוגים/ התאונות/ הנפגעים בשנה השוטפת השתנתה באופן מובהק לעומת המגמה בשנים קודמות?

ב. האם מספר ההרוגים/ התאונות/ הנפגעים בשנה השוטפת שונה באופן מובהק לעומת מספרם בשנים הקודמות?

ג. האם התהליך בשנה השוטפת נשאר בבקרה סטטיסטית? (כאשר הבחינה מתבצעת באמצעות תרשימי הבקרה).

בדו"ח מסכם זה מוצגים:

- ממצאים מסקירת הספרות שנערכה במטרה לסכם שיטות סטטיסטיות קיימות לניטור השינויים במגמות בטווח הקצר, לרבות שיטות חדשות לפיתוח תרשימי הבקרה לנתוני מנייה;

- פיתוח המודלים במחקר המיושמים בהמשך לבחינת השינויים במספרים ובמגמות ההרוגים/ הנפגעים/ התאונות בתקופה הנוכחית לעומת התקופה הקודמת וכן, ליצירת תרשימי הבקרה;

- ממצאים מבחינת השינויים במגמות ובמספרי ההרוגים, התאונות והנפגעים, בשנת 2009 לעומת שנים קודמות. בנייתו זה נבחנו 45 סדרות של נתונים;

- תיאור השיטה לבניית תרשימי הבקרה מסוג Shewhart לסדרות הנתונים שהיו בנייתו והצגת תרשימי הבקרה שנבנו עבור כל הסדרות, בשנת 2009;

- ממצאים מבחינת השינויים במגמה ובמספרי ההרוגים בשנת 2010 לעומת שנים קודמות. בנייתו זה נבחנו 13 סדרות של נתונים;

- ממצאים מחקר השוואתי של תרשימי הבקרה מהסוגים: EWMA, CUSUM, Shewhart - לצורכי המעקב אחרי מצב הבטיחות השוטף.

המודלים הותאמו לסדרות חודשים של ההרוגים/ הנפגעים/ התאונות. נמצא כי ההתפלגות המתאימה לתיאור רוב הסדרות הינה התפלגות פואסונית ולחלקן בינומית שלילית. לא התגלו סימני תלות בין תצפיות הסדרות, לאחר ניכוי רכיבי המגמה, העונתיות והמלחמות.

לניטור שוטף של מצב הבטיחות בישראל, מוצע להשתמש בתרשימי הבקרה 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.

מוצע להשתמש 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). שני סוגי התרשימים מבוססים על ניתוח שאריות.

במערכת ה-BI של הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים ישולבו תרשימי הבקרה עבור 13 סדרות חודשיות של הרוגים בתאונות - ייבנו 26 תרשימי הבקרה.

**Research Title:** Examination of trends in road accident fatalities, accidents and injuries

**Abstract:** In this study statistical models were developed for the examination of changes in trends and the numbers of fatalities, accidents and injuries in road accidents in Israel, in a certain year as opposed to the previous years. The models' development was based on the analysis of changes in trends and the numbers of fatalities, accidents and injuries in the year 2009 as opposed to the previous years, 2004-2008. Furthermore, the analysis of changes in the trends and the numbers of fatalities in the year 2010 as opposed to the previous years, 2005-2009, was performed.

Using the statistical models, the research questions examined were:

- a. Was the change in the fatalities/ accidents/ injuries' trends over the last year significant as opposed to the previous years?
- b. Did a significant change occur in the number of fatalities/ accidents/ injuries in the last year as opposed to the previous years?
- c. Did the process in the current year remain within the boundaries of statistical quality control? (Where the examination is performed using control charts).

The summary report presents:

- The findings of a literature survey which intended to summarize existing statistical methods for monitoring short-term trend changes, including recent developments on building control charts for count data;
- Development of the basic models which were further applied for the examination of changes in the trends and the numbers of fatalities/ accidents/ injuries in the current year as opposed to the previous years, as well as for creating control charts;
- Results of the analysis of changes in the trends and the numbers of fatalities/ accidents/ injuries in year 2009 as opposed to the previous years. At this step, 45 data series were examined;
- The method of building Shewhart control charts for the series of data examined, including the controls charts built for all the series analyzed in the year 2009;
- Results of the analysis of changes in the trends and the numbers of fatalities in year 2010 as opposed to the previous years. At this step, 13 data series were examined;
- The findings from a comparative exploring of three kinds of control charts: Shewhart, CUSUM, EWMA - for the purposes of monitoring of current safety situation.

The statistical models were fitted to the monthly numbers of fatalities/ accidents/ injuries. It was found that the distribution suitable for most data series was Poisson one, and for some of them - Negative Binomial one. Following the deduction of trend and seasonal components as well as the war effects, no indications of correlation were found among the observations of the data series.

For continuous monitoring of road safety situation in Israel, it is suggested to apply control charts which enable to examine "whether the process has changed or remains within the boundaries of statistical quality control", where the process is the monthly numbers of accident fatalities in the current year while the control boundaries reflect the situation expected based on the previous years' trends.

A combination of two types of control charts is recommended for application: Shewhart control chart (enabling to recognize isolated events) and Cusum control chart (detecting small shifts in the process by accumulating deviations from the expected values when the process is in control). Both tools are based on residuals' analysis.

In the BI system of the National Road Safety Authority the control charts will be supplied for 13 series of monthly accident fatalities, i.e. 26 control charts will be built.

**חתימת החוקר הראשי: פרופ' שלום הקרט**

**חתימות החוקרים השותפים:**

- |        |                                  |
|--------|----------------------------------|
| חתימה: | 1. שם החוקר: ד"ר ויקטוריה גיטלמן |
| חתימה: | 2. שם החוקר: ד"ר אטי דובא        |
| חתימה: | 3. שם החוקר: פרופ' אילה כהן      |

## תוכן העניינים

6	1. מבוא
6	1.1. רקע
7	1.2. מטרת המחקר ותוכן הדו"ח
9	2. ממצאים מסקירת ספרות
9	2.1. שיטות בקרה בתחום הבטיחות בדרכים
14	2.2. התפתחות שיטות סטטיסטיות לצרכי בקרת התהליכים
19	3. סדרות הנתונים בניתוח שנת 2009 לעומת שנים קודמות
23	4. פיתוח מודל הנתונים: 2009 לעומת שנים קודמות
23	4.1. פיתוח מודלים עבור סדרות הנתונים
30	4.2. מודלים המשמשים למענה על שאלות שינוי המגמה ושינוי במספר התאונות
32	5. תוצאות הניתוח: 2009 לעומת שנים קודמות
32	5.1. בחינת השאלה לגבי מובהקות השינויים במגמה בשנת 2009 לעומת שנים קודמות
32	5.2. בחינת השאלה לגבי מובהקות השינויים במספר הרוגים/נפגעים/תאונות בשנת 2009 לעומת שנים קודמות
40	6. בחינת שינויים בתהליך באמצעות תרשימי בקרה של Shewhart: שנת 2009 לעומת שנים קודמות
45	6.1. השיטה
45	6.2. התוצאות
48	7. תוצאות הניתוח: מגמות הרוגים בשנת 2010 לעומת שנים קודמות
59	7.1. כללי
59	7.2. בחינת השאלה לגבי מובהקות השינויים במגמות הרוגים בשנת 2010 לעומת שנים קודמות
60	7.3. בחינת השאלה לגבי מובהקות השינויים במספרי הרוגים בשנת 2010 לעומת שנים קודמות
62	8. חקר השוואתי של תרשימי הבקרה: EWMA, Cusum, Shewhart
65	8.1. שיטת הניתוח
65	8.2. הממצאים
71	9. סיכום הממצאים
81	9.1. כללי
81	9.2. שינויים בהרוגים/תאונות/ נפגעים בשנת 2009 לעומת שנים קודמות
81	9.3. שינויים בהרוגים בשנת 2010 לעומת שנים קודמות
84	9.4. שימוש בתרשימי הבקרה לניטור מצב הבטיחות
86	מראי מקום
91	נספח א'. הצגה גרפית של סדרות הנתונים בניתוח: 2009 לעומת שנים קודמות
94	נספח ב'. תרשימי הבקרה לסדרות של תאונות ונפגעים בשנת 2009
118	נספח ג'. תרשימי הבקרה שנבנו לסדרות של הרוגים בשנת 2010
134	

## 1. מבוא

### 1.1. רקע

מספר הרוגים בתאונות הדרכים במדינה נחשב לממדד הבטיחות המרכזי הן לצרכי המעקב הרב-שנתי אחרי מצב הבטיחות במדינה והן לצרכי ביצוע השוואות בינלאומיות (ITF/OECD, 2008; ITF/OECD, 2011). כמו כן, לצרכי המעקב השוטף אחרי מצב הבטיחות במדינה מקובל לבחון את המספרים של סך הנפגעים וסך התאונות, אם כי למספרים אלה רגישות גבוהה לכללי ונהלי הדיווח על תאונות הדרכים אשר עשויים להשתנות לאורך זמן. למגמות שמסתמנות במספרי ההרוגים, הנפגעים והתאונות קיימת השפעה ישירה על קביעת מדיניות ועל בחירת פעילויות התערבות בנושאים השונים בתחום הבטיחות בדרכים.

למעקב אחרי מגמות ההשתנות לאורך זמן בתאונות/ הנפגעים/ ההרוגים קיימות מספר גישות וביניהן:

(1) בחינה ויזואלית של התפתחות סדרות הנתונים מהסוגים השונים כגון: מספרי הנפגעים מהסוגים השונים (הולכי רגל, נהגים, נוסעים ברכב) וברמות חומרה שונות; מספרי התאונות מהסוגים השונים (רכב יחיד, התנגשויות בין כלי רכב, פגיעה בהולך רגל) ובסוגי דרך שונים, וכד'. גישה זו מקובלת ברוב מדינות העולם, כולל ישראל, שבהן קיימים מאגרי מידע מסודרים וגופים רשמיים המתחזקים אותם. ליתרונות הגישה מציינים את קבלת התוצאות תוך זמן קצר, כאשר ההשוואה בין התפתחות סדרות התאונות השונות מאפשרת הפקת מסקנות ראשוניות לגבי מגמות השינוי בשטח. אולם, מהסתכלות על סדרות הנתונים עדיין לא ניתן לקבל תשובה האם חל שינוי משמעותי במצב הבטיחות, כי תשובה לשאלה כזו דורשת הפעלת כלים סטטיסטיים;

(2) בחינת התפתחות סדרת התאונות לטווח הארוך (מספר עשורים), לעתים במקביל עם מדדי רקע - כלכליים, חברתיים ואחרים של המדינה, כאשר מחפשים קשר סטטיסטי בין מספרי התאונות ושינויי המדדים/ פעילויות התערבות שונות. עם זאת, ניתוח כזה מבוצע, לרוב, ברמה אגרגטיבית, מספק תשובות כלליות ואינו מתאים לצורכי הסקת מסקנות אופרטיביות;

(3) ניתוח סדרות עתיות של התאונות בטווח הקצר (מספר שנים) אשר מבוצע, לרוב, על מנת לבחון השפעה של גורם התערבות מסוים. שיטה זו מתאימה, לדוגמה, לביצוע מעקב אחרי השפעת תוכנית בטיחות לאומית, תוכנית אכיפה רחבת היקף, כניסת חוק חדש בתקנות התעבורה וכד'. שיטה זו מתאימה גם לבחינת השינויים במגמות התאונות בטווח הקצר.

בחינה חזותית של הנתונים לאורך זמן מראה, בדרך כלל, הן שינויים ארוכי טווח והן תנודות אקראיות. אולם, יש לבדוק בשיטות סטטיסטיות האם השינויים אכן "אמיתיים" ואינם אלא תנודות אקראיות. כדי לספק תשובות מבוססות לגבי השינויים במספרי ההרוגים, הנפגעים והתאונות בשנה מסוימת, נדרש ניתוח סטטיסטי של הנתונים. הניתוח צריך להתבסס על פיתוח מודל מסביר לסדרה

עתית של התאונות בשנים קודמות, יצירת תחזית לגבי מספר התאונות בשנה הנבדקת וביצוע השוואה בין המצב הצפוי לבין המתרחש בפועל. בדרך זו, ניתן להבדיל בתוצאות הניתוח בין סטייה מקרית לבין שינוי מובהק במספרי ההרוגים, הנפגעים והתאונות.

בחינת השינויים במספרי ההרוגים/ הנפגעים/ התאונות צריכה להתייחס הן למספרם הכולל במדינה והן לחתכים המייצגים של מספרים אלה אשר יכולים לשמש בסיס להסבר התופעות שנתגלו ולתכנון פעילויות התערבות.

בנוסף, מערכת בקרה סטטיסטית על השינויים במגמות של סדרות הנתונים יכולה להוות בסיס בעל חשיבות לאיתור מוקדם של שינויים בעייתיים. שימוש במערכות בקרה סטטיסטיות מקובל בתהליכי בקרת איכות בתעשייה. שיטה זו - מעקב אחרי התנהגות של פרמטר מסוים בתקופה הבאה לעומת גבולות ההתנהגות שנקבעו קודם, מוכרת מאמצע המאה ה-20 כשיטת ניהול באמצעות תרשימי הבקרה (control charts). עם זאת, רוב שיטות הבקרה הנהוגות לגבי נתוני תאונות דרכים אינן מתבססות על מבחנים סטטיסטיים אלא בעיקר על בחינה חזותית של הנתונים המוצגים באופן גרפי (כגון : London, 2002, ETSC, 2006).

## **1.2. מטרת המחקר ותוכן הדו"ח**

מטרת המחקר הנוכחי הינה לפתח מודלים סטטיסטיים לבחינת מגמות השינויים במספרי ההרוגים, התאונות והנפגעים בתאונות הדרכים בישראל, בשנה מסוימת לעומת שנים קודמות. פיתוח המודלים התבסס על בחינת מגמות השינויים במספרי ההרוגים, הנפגעים והתאונות בשנת 2009 לעומת שנים קודמות : 2004-2008. כמו כן, במסגרת המחקר נערכה בחינת מגמות השינויים במספרי ההרוגים בתאונות בשנת 2010 לעומת שנים קודמות : 2005-2009.

באמצעות המודלים הסטטיסטיים נבחנות שאלות אלה :

- א. האם המגמה במספרי ההרוגים/ התאונות/ הנפגעים בשנה השוטפת השתנתה באופן מובהק לעומת המגמה בשנים קודמות?
- ב. האם מספר ההרוגים/ התאונות/ הנפגעים בשנה השוטפת שונה באופן מובהק לעומת מספרם בשנים הקודמות?
- ג. האם התהליך בשנה השוטפת נשאר בבקרה סטטיסטית? (כאשר הבחינה מתבצעת באמצעות תרשימי הבקרה).

סוגיות אלו נבחנות, בשנת 2009 לעומת שנים קודמות, בהתייחס לחתכים רבים של נתונים - סה"כ 42 סדרות, לרבות 13 סדרות של הרוגים ו-29 סדרות של תאונות ונפגעים (למעשה, במחקר נבחנות 45 סדרות, כאשר ל-13 הסדרות המקוריות של הרוגים מתווספות 3 סדרות נוספות אשר נבנו בניכוי תאונה חריגה אחת מרובת הרוגים - תאונת האוטובוס ליד אילת, בדצמבר 2008). בנוסף, בשנת 2010 לעומת שנים קודמות, הסוגיות הנ"ל נבחנות בהתייחס ל-13 סדרות של הרוגים.

בדו"ח מסכם זה מוצגים :

ממצאים מסקירת הספרות שנערכה במטרה לסכם שיטות סטטיסטיות קיימות לניטור השינויים במגמות בטווח הקצר, לרבות שיטות חדשות לפיתוח תרשימי הבקרה לנתוני מנייה - פרק 2 ;

תיאור 45 סדרות הנתונים - סה"כ ההרוגים, התאונות והנפגעים וחתכיהם השונים, שהיו בניתוח המגמות בשנת 2009 לעומת שנים קודמות - פרק 3 ;

תיאור תהליך פיתוח המודלים במחקר - המודלים המיושמים בהמשך לבחינת השינויים במספרים ובמגמות ההרוגים/ הנפגעים/ התאונות בתקופה הנוכחית לעומת התקופה הקודמת - פרק 4 ;

הצגת ממצאי הניתוחים - השינויים במגמה ובמספרי ההרוגים, התאונות והנפגעים, בשנת 2009 לעומת שנים קודמות, 2004-2008 - פרק 5 ;

תיאור השיטה לבניית תרשימי הבקרה מסוג Shewhart לסדרות הנתונים שהיו בניתוח והצגת תרשימי הבקרה שנבנו עבור כל הסדרות, בשנת 2009 - פרק 6 ;

הצגת ממצאים מניתוחי ההמשך - השינויים במגמה ובמספרי ההרוגים בשנת 2010 לעומת שנים קודמות, 2005-2009 - פרק 7 ;

הצגת ממצאים מחקר השוואתי של תרשימי הבקרה מהסוגים : Shewhart ,CUSUM , EWMA - לצורכי המעקב אחרי מצב הבטיחות השוטף - פרק 8 ;

סיכום לממצאי המחקר, לרבות המלצות לשימוש בתרשימי הבקרה לניטור מספרי ההרוגים בתאונות - פרק 9 .



## 2. ממצאים מסקירת ספרות

### 2.1. שיטות בקרה בתחום הבטיחות בדרכים

כפי שצוין במבוא, למעקב אחרי מגמות ההשתנות בתאונות קיימות שיטות שונות, כאשר רובן הן שיטות המעקב באמצעות סדרות עתיות. כללית, ניתן להצביע על שלוש גישות בניתוח נתוני התאונות באמצעות סדרה עתית שהן:

(1) בחינה ויזואלית של התפתחות סדרות הנתונים (כגון: White Paper, 2000).

(2) בחינת התפתחות סדרת התאונות לטווח הארוך, במקביל עם מאפייני רקע שונים המשמשים כמועמדים למשתנים המסבירים במודל (כגון: Bergel, 1997; Beenstock, Gafni, 1998).

(3) ניתוח סדרות עתיות של התאונות בטווח הקצר, על מנת לנתח השפעה של גורם התערבות מסוים (כגון: Broughton, 2006; Chapelon, 2006).

בנוסף, לצורכי המעקב אחרי התפתחות התהליך לאורך זמן ניתן לשקול שימוש בתרשימי הבקרה (CC - control charts).

תרשים הבקרה נולד כאמצעי בקרת איכות בתהליכי ייצור. ההנחה הבסיסית הינה שבתהליך יציב אשר אינו מושפע ע"י גורמים מפריעים באופן שיטתי, כמות הפגמים במוצרי התהליך תישאר נמוכה - בגבולות של סטייה מקרית; במידה ומספר המוצרים הפגומים עולה (בתקופה מסוימת) בצורה משמעותית, תופעה זו אמורה להצביע על קיום גורם שיטתי מפריע אשר התערב בתהליך.

תפיסה זו קרובה להבנת תהליך התרחשות התאונות בשטח, כאירועים אקראיים, מחד, אך גם מושפעים על ידי גורמים מערכתיים רבים, מאידך גיסא. כתוצאה מכך, עוד החל משנות ה-1960 נעשו ניסיונות ליישם טכניקות תרשימי הבקרה למטרות אופרטיביות של ניהול הבטיחות בדרכים. כך, למשל, Fisher and Mosher (1968) מציינים ששימוש בטכניקות ה-CC בניתוח תאונות הוצע ע"י חוקרים שונים עוד לפניהם. החוקרים טענו שתרשימי הבקרה מהווים כלים "טבעיים" לצורכי קבלת החלטות אופרטיביות כאשר נחוץ לזהות תופעות יציבות (stable patterns) בתוך כמות גדולה של התנודות האקראיות של התאונות. לדברי החוקרים, הדרישה האחרונה תואמת את המטרה העיקרית של תרשימי הבקרה.

עבודות אשר התפרסמו בשנות ה-1960 הציעו בעיקר כלים מתמטיים ליישום טכניקות ה-CC בתחום הבטיחות בדרכים (Fisher and Mosher, 1968; Fisher, 1970). למרות העלאת הרעיון ע"י חוקרים רבים, שימוש בכלים אלה לא השתרש בפועל בתקופה ההיא, כפי הנראה עקב מחסור בבסיסי מידע רלוונטיים וכן, בכלים ממוחשבים זמינים להפעלת השיטה. בעשורים הבאים, ההתפתחות של השיטות הסטטיסטיות בתחום הבטיחות פנתה יותר לשיטות להערכת אפקטים משיפורים וצעדים

שונים ולמודלים מסבירים. בשנות ה-1990, בעקבות המהפכה בתחום המחשבים וזמינות תכנות סטטיסטיות, נעשו ניסיונות לשקם את רעיון תרשימי הבקרה לצורכי ניהול הבטיחות.

סיבה נוספת להפניית תשומת הלב לכלי הבקרה נמצאת כנראה בשינוי התפיסה של בעיית הבטיחות בדרכים אשר התרחש בעשורים האחרונים במדינות רבות בעולם. כיום, מקובל לבחון את בעיית הבטיחות בדרכים במדינה כבעיה מערכתית, עם כל מרכיבי הניתוח והניהול הנדרשים לכך. בין היתר, תוצרי המודלים הסטטיסטיים עם גבולות לחיזוי המצב, משמשים את צרכי הרשויות המפקחות להערכת ההתקדמות של התוכניות הלאומיות לבטיחות בדרכים. כלומר, אופן בחינת נתוני התאונות מתקרב לשיטת תרשימי הבקרה, אם כי, ניתן להצביע על מקרים בודדים של שימוש ישיר בשיטה זו.

חיפוש הפרסומים הרלוונטיים במאגר המידע הבינלאומי בנושאי התחבורה לא גילה עבודות רבות שהיו דנות באופן ישיר ביישום שיטות ה-CC לצורכי ניהול הבטיחות. הפרסומים שדנו בשימוש בתרשימי הבקרה בתחום הבטיחות בדרכים, הוקדשו למטרות אלה:

- א. תמיכה בתהליכי קבלת ההחלטות, בנושאים כגון: הצבת משאבי אכיפה באזור (Fisher and Moshier, 1968; Fisher, 1970); איתור מקומות תורפה (מהלאל, הקרט, 1976);
- ב. מעקב אחרי ביצוע התוכנית הלאומית לבטיחות בדרכים (Guria and Mara, 2000);
- ג. בחינת אמינות נתוני התאונות במאגר מידע לאומי (Pierchala and Surti, 1999).

במקרה הראשון, המחקרים הציגו את התאמת טכניקות ה-CC לשימוש בנתוני התאונות. הנחות הבסיס לשימוש בנתוני התאונות לצורכי החלטות אופרטיביות הן: (א) נתונים אלה משקפים את תהליכי היווצרות התאונות בשטח (accident causation process); (ב) השתנות מסוימת אופיינית לתהליך התרחשות התאונות בשטח, דהיינו גם ללא השינוי ברוב הגורמים המשפיעים (מצב התשתיות, הרכב, מזג האוויר וכו') ייתכנו תנודות מסוימות במספרי התאונות שייצפו; אך במקרים מסוימים תנודות אלה מאותתות על שינוי מהותי בתהליך היווצרות התאונות, דהיינו מצביעות על מצב הדורש התערבות מצד הגורם המשגיח (כגון: תגבור אכיפה בקטע מסוים). כללית, ככל שמצב התאונות בתקופת המעקב נשאר קרוב למה שהיה "צפוי", יותר סביר שתוסק מסקנה על חוסר שינוי מהותי בתהליך התרחשות התאונות בשטח; ולהפך, ככל שמצב התאונות בתקופת המעקב סוטה מה"צפוי", בסבירות גבוהה יותר תתקבל המסקנה על התרחשות שינויים מהותיים בתהליך היווצרות התאונות.

Fisher and Moshier (1968), Fisher (1970) מציגים כלים מתמטיים המתחשבים בהנחות הנ"ל. החוקרים יוצאים בהנחה על התפלגות פואסונית של מספר התאונות בשטח (באתר ופרק זמן מסוים) ומציגים נוסחאות לחישוב גבולות הבקרה באמצעות התרשימים, תוך כדי שימוש בכללי החלטה מסורתיים, כגון:

כלל 1 - במידה ומספר התאונות הנצפה חוצה את הגבולות (שנקבעו לאתר ותקופת מעקב מסוימת) אזי מתקבלת מסקנה על שינוי מהותי בתהליך התרחשות התאונות ;  
כלל 2 - במידה ומספר התאונות הנצפה נשאר בתוך גבולות התרשים, המסקנה תהיה שהתהליך נשאר ללא שינוי.

כמקובל בשיטה זו, מוגדרות: שגיאה מסוג 1 (the error of commission)  $\alpha$  המבטאת סיכוי למסקנה מוטעית על קיום שינוי מהותי בתהליך כאשר שינוי זה לא התרחש בפועל; שגיאה מסוג 2 (the error of omission)  $\beta$  המצביעה על כישלון בזיהוי השינוי המהותי בתהליך. כידוע, לא קיימת אפשרות להקטין את שני סוגי השגיאות בבת אחת, דהיינו ירידה בהסתברות של שגיאה מסוג אחד כרוכה בעליית ההסתברות לשגיאה מסוג שני. Fisher and Mosher (1968) פיתחו גרפים המציגים את הקשר בין ערכי ה- $\alpha$ ,  $\beta$  ו-K (% שינוי בתוחלת התאונות הניתן לזיהוי באמצעות תרשים הבקרה) וסיפקו נוסחאות לחישוב אורך תקופת המעקב הנדרשת, בהתאם לפרמטרי הרגישות שנקבעו מראש (ערכי  $\alpha$ ,  $\beta$  ו-K) ובתלות במספר התאונות שנצפו בתקופת ה"לפני". נציין שכל הכלים הנ"ל פותחו ל-3 סוגים של תרשימי הבקרה: עם גבול עליון בלבד (לזיהוי הרעה במצב התאונות בלבד); עם גבול תחתון בלבד (לזיהוי שיפור בלבד); עם שני הגבולות (נועד לזיהוי של כל השינויים). לצורכי המעקב לאורך זמן, החוקרים ממליצים על שימוש בסדרה של תרשימי הבקרה כאשר אורך תקופת המעקב או גבולות התרשים בתקופה הבאה מתעדכנים בהתאם לניסיון התאונות בתקופה הקודמת.

בדוגמאות היישום שהובאו ע"י Fisher and Mosher (1968), Fisher (1970) מדובר במעקב אחרי התרחשות התאונות בקטעי דרך (קטעי סיור של המשטרה) כאשר תקופת המעקב נמדדו ביחידות של שבועות או חודשים; בדרך זו נבחנו כל סוגי התאונות הזמינים (סה"כ תאונות, מספר הרוגים, תאונות נזק בלבד, תאונות לילה וכו'). החוקרים מדגישים שממצאי המעקב באמצעות תרשימי הבקרה יכולים להצביע אך ורק על הצורך בבדיקה מעמיקה של נסיבות התאונות באתרי המעקב: התרשים אומר "מתי" לחקור לעומק אך אינו מסוגל לומר "היכן" לחפש את הסיבה. החוקרים מודעים גם למגבלות המדד אשר משמש לחיזוי מספר התאונות כי מדד זה אינו לוקח בחשבון שינויים בגורמים המשפיעים ישירות על מצב התאונות בשטח, כגון: שינוי הנסועה (exposure).

Guria and Mara (2000) פיתחו כלים סטטיסטיים לשימוש בטכניקת ה-CC במסגרת מעקב אחרי ביצוע התוכנית לבטיחות בדרכים, ברמה ארצית/ אזורית. כמדד המייצג את רמת הבטיחות בשטח נבחר סה"כ מספר ההרוגים במדינה/ אזור. החוקרים הדגימו שימוש בתרשימי הבקרה בשני מצבים:

- א - על מנת לזהות שינוי מהותי בהתרחשות התאונות בשטח;
- ב - על מנת לקבוע, תוך זמן קצר, האם התוכנית מתבצעת בהתאם ליעדים הכמותיים (חסכון בהרוגים) שהוגדרו מראש.

בהתאם למצבים הנ"ל, גבולות של תרשים הבקרה נקבעים לפי מספר ההרוגים הצפוי (בתוספת מרווח הסמך הסטנדרטי) או לפי המקסימום של מספר ההרוגים שמוגדר מראש (כאשר המקסימום משמש לקביעת הגבול העליון של התרשים).

Guria and Mara דנים ביתרונות של תרשים הבקרה לזיהוי שינוי מהותי במצב התאונות בשטח, להבדיל משינוי אקראי, שמספק אפשרות לשימוש יעיל יותר במשאבים האופרטיביים (כגון: אכיפה משטרתית, מסעות פרסום) במהלך ביצוע התוכנית (כגון: הצבה שונה של הכוחות או תגבור הפעילות באתרים/ אזורים מסוימים).

כיחידות זמן בתרשימים נבחרו שבועות/ חודשים; נמצא הבדל מובהק בין שיעורי ההרוגים בימי חול לעומת סופי שבוע. לאחר בדיקת המגמות בשיעורי ההרוגים בשני סוגי הימים, הוצעו נוסחאות להערכת השונות, וכן, לחיזוי מספר ההרוגים וגבולות הערך המסכם לשני סוגי הימים. נבחר ערך של 5% לשגיאה מסוג ראשון, כלומר התרשים מכסה טווח של 95% מהערך הצפוי. נציין שלהערכת השונות שימשו נתוני ההרוגים מהתקופה של 10 שנים "לפני".

לצורכי תהליך המעקב - זיהוי מצבים חריגים, נקבעו כללי המעקב הבאים:

1. נקודה אחת (חודש או שבוע) הנמצאת מחוץ לגבולות התרשים.
2. חמש נקודות ברצף הנמצאות מצד אחד של קו המטרה (ציר האמצע של התרשים).
3. ארבע נקודות רצופות הנמצאות במגמת עלייה או ירידה.
4. שמונה נקודות רצופות הנמצאות בתוך האזור האמצעי (בגבולות של סטיית תקן אחת מהציר האמצעי).

כל אחד מהאירועים הנ"ל מצביע על קיום גורם מיוחד (special cause). למשל, כלל 4 מעיד על הקטנת השונות, מה שיכול לשמש הוכחה לירידה עקבית במספר ההרוגים. בנוגע לכלל 1, נקודה בודדה מעבר לגבול לעתים אינה דורשת נקיטת צעדים מיוחדים, פרט לבדיקת הנסיבות שגרמו לכך (כגון: תאונה אחת מרובת הרוגים). יחד עם זאת, חציה חוזרת של הגבולות מתפרשת כהוכחה חזקה לשינוי רמת הסיכון בשטח.

כאשר שיעור ההרוגים השבועי נמוך, התרשים נוטה לרגישות גבוהה לשינויים בשבועות בודדים. לכן, Guria and Mara ממליצים על שימוש בתרשים בקרה מסכם (cumulative control chart) שבו קו המטרה (האמצעי) מהווה סיכום מצטבר של הערכים הצפויים (על בסיס שבועי). למשל, התרשים המסכם שנבנה למספר ההרוגים הכלל-ארצי בשנת 1998 (עפ"י עקרון המקסימום שמוגדר מראש) הדגים, כבר בשבוע ה-13 מתחילת השנה, שהיעד הלאומי לא יושג, בסבירות גבוהה. בתום שנת 1998 הסתבר שאכן, במקום מספר היעד של 480 הרוגים, נרשמו בשנה זו 502 הרוגים בתאונות הדרכים.

Pierchala and Surti (1999) מדווחים על הקמת מערכת לביצוע מעקב אחרי איכות הנתונים המתקבלים בשני בסיסי הנתונים בארה"ב: FARS - בסיס נתונים מקיף לדיווח על הרוגים בתאונות

בדרכים; GES - בסיס נתונים המייצג את כלל התאונות הנרשמות ע"י המשטרה בארה"ב (באמצעות דגימת התאונות מאזורים מסוימים). המעקב מבוצע במאגר הנתונים המרכזי, באחריות הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים (NHTSA).

מבחינת מרכיבי השיטה, נעשה שימוש ישיר בתרשימים מסוג *p-chart* המתוארים בספר הדרכה לבקרה איכות של Western Electric, משנת 1956. התרשים עובד עם אחוז של ערכים מסוימים בשדה מסוים (כגון: אי-שימוש בחגורות בטיחות ע"י נוסעי רכב), על בסיס חודשי. מכאן, בעבודה השוטפת נמצאים עשרות תרשימים אשר נבנים לסוגי מאפיינים ואזורי אספקה שונים. שנתיים קודמות משמשות לחיזוי המצב בשנת המעקב. גבולות התרשים מחושבים בגובה של שלוש סטיות תקן מהקו המרכזי.

לזיהוי מצבים חריגים בהקשר הנ"ל הוגדרו כללי המעקב הבאים:

כלל 1 - נקודה אחת בחוץ לגבולות התרשים;

כלל 2 - שתי נקודות מתוך שלוש נקודות רצופות נמצאות במרחק יותר משתי סטיות תקן מהקו המרכזי;

כלל 3 - ארבע מתוך חמש נקודות רצופות נמצאות במרחק יותר מסטיית תקן אחת מהקו האמצעי (בצדו האחד של הקו);

כלל 4 - שמונה נקודות רצופות נמצאות מצדו האחד של הקו האמצעי.

בכל אחד מהמצבים הנ"ל התהליך מתפרש ככזה ש"יצא מכלל השליטה" (out-of-control). נראה כי במערכת זו האירועים החריגים המזוהים באמצעות תרשימי הבקרה יכולים להוות שילוב של שתי קבוצות הגורמים: מחד, התופעות השונות של אי-יציבות בתהליכי הדיווח על התאונות, ומאידך, שינויים ארוכי הטווח במצב גורמי הבטיחות בשטח.

כמו כן, ניתן להבחין שחלק מכללי הבקרה הנ"ל מזכירים אל כללי הבקרה שצוינו לעיל מתוך מחקרם של Guria and Mara (2000).

לסיכום, במדינות רבות בעולם מבוצעים מעקב ובקרה שוטפים אחרי מגמות בתאונות הדרכים. מגמות אלה נהיות חשובות במיוחד כאשר מוצבים יעדים לאומיים בבטיחות בדרכים, במונחים של הפחתה במספרי ההרוגים ו/או התאונות. למעקב אחרי מגמות ההשתנות בהרוגים והתאונות משמשות לרוב שיטות ויזואליות.

תרשימי הבקרה יכולים להוות כלי שימושי לצורכי המעקב אחרי התפתחות מצב הבטיחות במדינה, כאשר המטרה העיקרית הינה לאפשר לגורם המפקח להבדיל בין הסטייה האקראית במספר התאונות (הנפגעים/ההרוגים) לבין ההתפתחות המצביעה על שינוי מהותי בגורמי התאונות. שינוי מהותי זה יחייב קבלת החלטות אופרטיביות על מנת לנקוט בצעדים ואמצעים לתיקון השינוי שהתרחש בשטח (כגון: תגבור אכיפה באזורים מסוימים, ביצוע מסע הסברה וכו').

לתרשימי הבקרה כשיטת המעקב מייחסים את התכונות הבאות:

- תרשים הבקרה מהווה כלי לזיהוי מהיר של השינוי המהותי אך אינו מספק תשובה לסיבות השינוי. לבחינת סיבות השינוי נדרשת חקירת המצב לעומק;
- ליצירת תרשים בקרה או, במובן כללי יותר, לבניית התחזית להתפתחות המצב בתקופה מסוימת, משמשים נתוני התאונות מהתקופה "לפני";
- המעקב ניתן לביצוע על בסיס חודשי או שבועי. הבחירה מתבססת על סדרי הגודל של הנתונים הנבחנים, קצב העדכון המקובל, צורכי המעקב - פרקי זמן רצויים בקבלת ההחלטות וכד';
- גבולות התרשים נקבעים בהתאם לרמת הדיוק הרצויה במעקב. לדוגמא, ניתן לקבוע הסתברות לשגיאה מסוג ראשון ברמה של 5%;
- במהלך יישום של תרשימי הבקרה, מתגבשים כללים אמפיריים לזיהוי מוקדם של התופעות החריגות בהתפתחות התהליך (ומכאן, לקביעת הצורך בהתערבות).

## 2.2. התפתחות שיטות סטטיסטיות לצרכי בקרת התהליכים

תחומי מחקר שונים עוסקים בשאלה כיצד לגלות שינויים בתהליך. השיטות הסטטיסטיות אשר פותחו ואשר עדיין ממשיכים לפתח משמשות לא רק בתחום של סטטיסטיקה תעשייתית ככלי לבקרת איכות של תהליכי ייצור, אלא בתחומים רבים ומגוונים, כמו זיהוי התפשטות מחלות (Bio-surveillance), גילוי מקרי תרמית (Fraud Detection) וכן, שינויי מגמות במעקב אחרי תאונות דרכים, שזה הנושא בעל העניין בעבודה זו.

עבודות עדכניות בנושא של גילוי שינויים על ידי שיטות סטטיסטיות פורסמו לאחרונה בסדרת מאמרים ב (Technometrics (2010). המאמרים הללו דנו בשני התחומים של זיהוי התפשטות מחלות (Bio-surveillance), וגילוי מקרי תרמית (Fraud Detection). אולם, השיטות הסטטיסטיות המוצגות במאמרים אלה ישימות בוודאי גם לתחומים אחרים ובין השאר לתחום שהוא בעל העניין במחקר זה, דהיינו היפגעות בתאונות הדרכים.

ניתן לסווג את שיטות הניתוח לשתי קטגוריות. האחת הנקראת online, שבה המעקב הוא תוך כדי התהליך ובה מייחסים חשיבות מרובה לשקלול מתאים בין עיכוב בגילוי לבין אזעקת שווא, והשנייה off-line שבה בוחנים נתוני עבר כדי להעריך האם חל שינוי.

השיטה הקלסית למעקב אחרי תהליכים היא תרשימי הבקרה הנקראים על שם Shewhart. נקודות המתאימות לתוצאות בתהליך אשר נמצאות בתרשימים אלה מחוץ לגבולות הבקרה נחשבות כתוצאות חריגות. חשיבות קריטית בבניית התרשימים יש להגדרת גבולות הבקרה. גבולות "צרים מדי" מגדילים את הסיכוי ל- False Positive, בעוד גבולות ליברליים עלולים להביא לסיכוי גדול שתהליך אשר אינו בבקרה לא יאובחן ככזה (False Negative). תרשימי הבקרה מסוג Shewhart

נועדו בעיקר לניתוח אוסף (batch) של תוצאות. יעילותם לפיקוח על תצפיות בודדות או לפיקוח רציף מוגבלת. ניתן בעזרתם לגלות סטיות גדולות בתהליך, אך לא סטיות קטנות.

כהשלמה לתרשימים מסוג Shewhart פותחו התרשימים מסוג CUSUM (Cumulative Sums) וגם התרשימים מסוג EWMA (Exponential Weighted Moving Averages). רגישותם של תרשימים אלה גבוהה יותר מזו של תרשימי Shewhart לגילוי סטיות קטנות.

תרשימי CUSUM מבוססים על ניטור סידרתי של סכום הסטיות של ערכי התהליך ממטרה. שימוש בתרשימים אלה מאפשר פיקוח בזמן אמיתי (real-time) על התהליך ומאפשר זיהוי של התדרדרות בתהליך, שהיה בבקרה. תרשימי CUSUM מיועד לגלות סטיות מהממוצע של התהליך בגודל של 0.5 - 2 סטיות תקן. לפי (Lukas, 1976), מהירות הגילוי בעזרת CUSUM (עם V-MASK) של סטייה בגודל סטיית תקן אחת, תהיה במהירות הגדולה לפחות פי ארבע מתרשימי Shewhart. בעזרת CUSUM קל יחסית לאתר שינויים בתהליך באופן ויזואלי, מכיוון ששינויים כאלה גורמים לשינוי הזווית של התרשימים, בנקודה בה חל השינוי.

בין החסרונות של תרשימי CUSUM נמנים החסרונות הבאים: יותר מסובך לתכנן אותם; הם איטיים בגילוי שינויים גדולים לעומת תרשימי Shewhart, וכן קשה לפרש את התבניות הנוצרות על ידי התרשימים האלה מכיוון שהסכומים המצטברים מתואמים (אינם בלתי תלויים). יתרום קטן בהשוואה לתרשימי Shewhart כאשר משלימים את תרשימי Shewhart במבחנים משלימים כפי שהוצעו על ידי Nelson (1984). מומלץ לעתים קרובות להשתמש בתרשימי CUSUM כתוספת לתרשימי Shewhart, ובכך ניתן לגלות הן שינויים גדולים והן קטנים בתהליך.

תרשימי מסוג EWMA הינו תרשימים בקרה המשתמש בכל היסטוריית התהליך, אם כי לא במשקל זהה, אלא במשקל הדועך גיאומטרי. הוא עמיד בפני חוסר נורמאליות של המשתנה הנבדק, אם כי יש לסוג זה גרסה המתאימה במיוחד למשתנים בעלי התפלגות פואסונית. עבור תרשימי EWMA יש לקבוע את מידת השקלול של תצפיות העבר. ככל שמשקל זה גבוה יותר כך גדלה השפעת הנתונים ההיסטוריים. קיימות גישות שונות לקביעת משקל זה. גישה אחת, של Hunter (1986), היא להשאיר את השיפוט למנתח התהליך. גישה אחרת היא לאמוד את המשקל על ידי פרוצדורת מזעור סכום ריבועים, כאשר מניחים שהנתונים נוצרו על פי מודל EWMA. במקרה זה מודל ה-EWMA מספק תחזית של התהליך המהווה בסיס לבקרת תהליך דינמית. ישנה גישה אחרת, על פיה נקבע השקלול על פי ARL (Average Run Length), שהוא תוחלת מספר הנקודות עד לגילוי שינוי בתהליך. רצוי כמובן שמספר זה יהיה קטן כאשר יחול שינוי וגדול כאשר אין למעשה שום שינוי.

מכיוון שתרשים ה-EWMA מבוסס, בכל נקודה, הן על ערך התהליך הנוכחי והן על ערכים קודמים, בדומה ל-CUSUM, הוא רגיש לשינויים קטנים במוצע התהליך, ולא לשינויים גדולים אשר מגלים תרשימי Shewhart. כמו כן, בדומה ל-CUSUM, גם ב-EWMA קשה לפרש את התבניות הנוצרות ע"י התרשים מכיוון שהסכומים המצטברים יכולים להיות מאוד מתואמים. גם עבור תרשימים מסוג EWMA, בדומה ל-CUSUM, יש הממליצים להוסיף לתרשים מסוג Shewhart, כדי לאפשר גילויים גם של שינויים גדולים וגם של קטנים בתהליך. במאמר (Yahav et al (2011), מציגים המחברים שילוב של שלושת השיטות: תרשימי Shewhart, תרשימי CUSUM ותרשימי EWMA. השיטה בנויה כך שהשילוב לא יגדיל את ההסתברות של False Alarm מעבר לערך מסוים שנקבע מראש.

לבניית גבולות הבקרה בתרשימי הבקרה, יש צורך לדעת את הפרמטרים של התהליך. מאחר וברוב המקרים פרמטרים אלה אינם ידועים, משתמשים באמדים הנאמדים על בסיס מדגם ייחוס של התהליך הנחשב כמייצג את התהליך כאשר הוא בבקרה. מספר מחקרים בוצעו לגבי האפקט של האמידה במקום ידיעת הפרמטרים על ביצועם של תרשימי הבקרה (לדוגמה, Testik 2006).

הרחבות של השיטות הסטטיסטיות לבעיות מעשיות נעשו בכמה כיוונים. למשל, טיפול בתלות הסדרתית. בבקרת האיכות הקלסית ניתן להניח שאין תלות בנתונים. כלומר, תכונת כל batch לא תלויה בנתונים האחרים. אולם, מעשית, במעקב אחרי תהליכים בזמן, כאשר המרווח בין הדגימות קצר, הנחה זו אינה סבירה. אי התחשבות במתאם הסדרתי עלולה להביא למסקנות שגויות. מתאם סדרתי קיים, למשל, כאשר בוחנים שאריות ממודל רגרסיה שהותאם עבור נתונים של תהליך שתוצאותיו תלויות במשתנים מסבירים. דוגמא לכך הם נתוני מחקר על תאונות דרכים שחלק מההסבר לערכיהם מושג על ידי התאמת מודל רגרסיה שלוקח בחשבון שינויים בזמן (מגמה ועונתיות). כדי להעריך האם חל שינוי משמעותי בקצב התאונות יש לקחת בחשבון שינויים במסבירים ורק לבחון את החלק הלא מוסבר. שאריות הרגרסיה אינן בלתי תלויות.

לשלב שבו מורידים משתנים מסבירים כדי לבחון את השאריות מתייחסים כשלב של "עיבוד התחלתי" (Preprocessing). את השיטות לשלב זה ניתן לסווג לשיטות מסוג *model based*, או *data driven*. בשיטה הראשונה (*model based*) מקבלים את השאריות על ידי התאמת מודל בהתאם לאופי הנתונים, כמו למשל מודל של רגרסיה ליניארית עם היום בשבוע כמשתנה מסביר. לעומת זאת, בשיטה של *data driven*, מסירים מבנה מסוים בנתונים, למשל על ידי בחינת ההפרשים במקום ערכי התהליך המקוריים. משתנה מסביר טיפוסי המאפיין תהליכים המשתנים עם הזמן הוא היום בשבוע. שיטות החלקה שונות הוצעו להורדת מרכיב שונות זה: למשל, ממוצע נע של חלון של 7 ימים (Forsberg et al, 2006), או ניתוח סדרת הפרשים מסדר 7, (Muscatello, 2004). כמו כן, במספר עבודות הוצעו התמרות שונות של הנתונים כדי לקבל נתונים שעבורם הנחת הנורמאליות סבירה,



ובעזרתן מנכים את ההשפעה הכפלית של היום בשבוע, Burkhom et al, 2005; Brillman et al, (2007). פירוט על שיטות שונות של שלב העיבוד ההתחלתי מובא במאמרים של (Lotze et al (2008), Lotze and Shmueli (2008).

כיוון אחר הוא טיפול בנתונים שעבורם הנחת הנורמאליות אינה מתאימה. למשל, נתוני מנייה כמו נתוני הנפגעים בתאונות הדרכים. בעבר, נהוג היה להשתמש בהתמרות כדי לקבל מהנתונים המקוריים נתונים עבורם סבירה הנחת הנורמאליות. אולם, לאחרונה פותחו שיטות המאפשרות הסקה על בסיס ההתפלגות המתאימה לנתונים המקוריים. הבנת הממצאים על בסיס שיטות אלה קלה ופשוטה יותר עבור החוקרים המבקשים תשובה בסקלה המקורית של נתוניהם. דוגמא לכך תרשימי ה-CUSUM אשר פותחו על-ידי (Brook and Evans (1972), Lucas (1985) ותרשימי ה-EWMA אשר פותחו על-ידי (Borrer et al (1998) עבור תהליך פואסוני בעל תוחלת קבועה ותצפיות בלתי תלויות.

עבור התהליכים של משתני מנייה, בעשור האחרון, החלו ליישם מודלים של רגרסיה פואסונית כדי לנכות משתנים מסבירים ולהשתמש בשאריות לבחינת השינויים בתהליך (Brillman et al, 2005). לא תמיד מודלים כאלה מתאימים שכן הם מתבססים על הנחת סטציונריות, והנחה זו אינה תמיד מוצדקת. מגבלה זו צוינה בסקירה הרחבה המוצגת במאמרם של (Shmueli and Burkom (2010), שבו הם הציגו שיטות סטטיסטיות שונות וכן בעיות פתוחות בניטור נתונים שמטרתן לגלות התפרצות מחלות.

לעתים, התהליך הנחקר הוא אירועים ששכיחותם נמוכה. במקרה זה, נהוג לעיתים למדל לא את תוצאות האירוע אלא את הזמן בין האירועים (לדוגמה, Borrer et al 2000).

אחת הדוגמאות לשימוש בתרשימי בקרה בתחבורה היא מחקרם של (Guria & Mara (2000) אשר בנו תרשימים מסוג Shewhart וכן תרשימי CUSUM לניטור מספר הנפגעים השבועי בתאונות הדרכים בניו-זילנד. בסיס הנתונים התייחס לשנים 1987-1996. מסקנתם הייתה שהתרשים מסוג CUSUM הראה תמונה יותר ברורה לעומת תרשימי Shewhart, ומסקנתם על בסיס תרשים ה-CUSUM הייתה שמגמת השינוי בזמן הייתה של שיפור והתקרבות לערך היעד אשר הוצב להורדת מספר הנפגעים הלאומי. במאמר מאוחר יותר (Guria et al (2003), החוקרים השתמשו בתרשימי ה-CUSUM כדי להעריך את השפעתם של מספר שינויים בדרכי האכיפה ובתקנות אשר נעשו בניו-זילנד על תאונות שסיבתן נהיגה תחת השפעת אלכוהול. החוקרים השתמשו ב-V-mask כאמצעי עזר להבנת התרשימים שהתקבלו ולהערכת מובהקות השינויים שהתרשימים הראו. מסקנתם על בסיס הממצאים הייתה שהפעלת שני האמצעים שנועדו להפחית את מספר התאונות כתוצאה מנהיגה תחת השפעת אלכוהול אכן הביאה לירידה מובהקת. אולם, לשינוי בחוק שהוריד את גבול גיל השתייה

המותר מ-20 ל-18 הייתה השפעה שלילית של גידול מובהק במספר התאונות כתוצאה מנהיגה תחת השפעת אלכוהול בקבוצת הגיל של הצעירים בני 17-14.

בחבילת התוכנה R זמינה תוכנה אשר פותחה לאחרונה על-ידי Hohle et al (2007) לניטור התפרצות מחלות מדבקות. תוכנה זו מתאימה לניטור נתוני מנייה, בהנחה שהנתונים מתפלגים פואסון או שהם באים מהתפלגות בינומית שלילית, המתאימה לנתוני מנייה, עם שונות גדולה מהתוחלת.

הנחיות לשימוש בתוכנה ודוגמאות ליישומה, מתוארים בדו"ח של Wimmer and Hohle (2008). התוכנה מאפשרת להתאים מודל המניח שלוג התוחלת מוסבר על-ידי מגמה ועונתיות. המגמה מבוססת כפונקציה ליניארית של זמן, והעונתיות על-ידי פונקציות מחזוריות. החלק התיאורטי של שיטת ניתוח זו מתואר במאמר של Hohle and Paul (2008). להלן עקרונותיה.

נסמן את התצפיות ב- $\{x_t\}$ . צפיפות ההתפלגות ממנה התקבלו תצפיות אלה כאשר התהליך בבקרה, תסומן ב- $f_{\theta_0}(\cdot/z_t)$ , כאשר  $z_t$  הם משתנים מסבירים בזמן  $t$ . הצפיפות כאשר התהליך יוצא מהבקרה, תסומן ב- $f_{\theta_1}(\cdot/z_t)$ .

המודל מניח שבזמן שהתהליך בבקרה, לוג התוחלת מקיים:

$$\log(\mu_{0,t}) = \beta_0 + \beta_1 t + \sum_{s=1}^S [\beta_{2s} \cos(wst) + \beta_{2s+1} \sin(wst)]$$

$$w = \frac{2\pi}{T}$$

T הוא אורך המחזור של המרכיב העונתי, לדוגמא, עבור נתונים שבועיים: T=52.

מניחים שהשינוי בתהליך מתבטא על-ידי:  $\log(\mu_1) = \log(\mu_0) + \kappa$ . מכאן:  $\mu_{1,t} = \mu_{0,t} \exp(\kappa)$ .

מעשית, כל הפרמטרים במודל אינם ידועים ונאמדים על בסיס אוסף נתונים בזמן שהתהליך בבקרה. כדי להעריך אם בנקודת זמן מסוימת חל שינוי, מחשבים את הסטטיסטי (Lai, 1995):

GLR=Generalized Likelihood Ratio

$$GLR(n) = \max_{1 \leq k \leq n} \sup_{\theta \in \Theta} \left[ \sum_{t=k}^n \log \left\{ \frac{f_{\theta}(y_t)}{f_{\theta_0}(y_t)} \right\} \right]$$

כאשר ערכו של הסטטיסטי גדול מעל לערך קריטי שנקבע מראש, מסיקים על שינוי משמעותי.

### 3. סדרות הנתונים בניתוח שנת 2009 לעומת שנים קודמות

ניתוח זה נועד לספק מענה לשאלת השינוי במגמה והשינוי במספר ההרוגים/ התאונות/ הנפגעים בשנה מסוימת (2009) לעומת שנים קודמות (2004-2008). הניתוח התמקד בזיהוי המגמות במספרי ההרוגים/ התאונות/ הנפגעים בשנים הקודמות ובבחינת השינויים שחלו במספרים אלה בשנה הנבחנת (2009).

הניתוח התבסס על סדרות חודשיות של הרוגים, תאונות ונפגעים, בתקופה מ-1/2004 עד 12/2009.

בניתוח נכללו סה"כ 45 סדרות של נתונים, לרבות 13 סדרות בסיסיות של הרוגים, 3 סדרות הרוגים נוספות המתחשבות באירוע חריג בדצמבר 2008 (תאונת אוטובוס עם 25 הרוגים) ו-29 סדרות תאונות ונפגעים.

13 הסדרות הבסיסיות של הרוגים הן:

1. סה"כ מספר ההרוגים
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 4 טון)
6. מספר הרוגים בתאונות רכב דו-גלגלי (לפחות אחד מכלי הרכב המעורבים בתאונה הוא אופנוע)
7. מספר הרוגים הולכי רגל בדרכים העירוניות
8. מספר הרוגים הולכי רגל בדרכים הלא עירוניות
9. מספר הרוגים הולכי רגל במגזר הלא יהודי<sup>1</sup>
10. מספר הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים הלא עירוניות
11. מספר הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים הלא עירוניות
12. מספר הרוגים בצמתים לא עירוניים (פרט לתאונות הולכי רגל)
13. מספר הרוגים בצמתים עירוניים (פרט לתאונות הולכי רגל)

3 הסדרות הנוספות של הרוגים הן:

1. סה"כ מספר ההרוגים, להוציא 25 הרוגי האוטובוס בדצמבר 2008.
2. מספר הרוגים בדרכים לא עירוניות, להוציא 25 הרוגי האוטובוס בדצמבר 2008.

<sup>1</sup> קבוצת אוכלוסיה: "ערבים"; לא כולל "אחרים", "זרים"

3. מספר הרוגים בתאונות רכב בודד בדרכים הלא עירוניות, להוציא 25 הרוגי האוטובוס בדצמבר 2008.

29 סדרות התאונות והנפגעים הן :

1. סה"כ התאונות
2. תאונות בדרכים הלא עירוניות
3. תאונות בדרכים העירוניות
4. תאונות עם נהגים צעירים - גילאי 17-21 (לפחות אחד מהנהגים המעורבים הוא נהג צעיר)
5. תאונות עם נהגים מקצועיים - רכב משא מעל 4 טון (לפחות אחד מכלי הרכב המעורבים בתאונה הוא רכב משא מעל 4 טון)
6. תאונות רכב דו-גלגלי - אופנועים (לפחות אחד מכלי הרכב המעורבים בתאונה הוא אופנוע)
7. תאונות הולכי רגל, בדרכים העירוניות
8. תאונות הולכי רגל, בדרכים הלא עירוניות
9. תאונות הולכי רגל, במגזר הלא יהודי (סוג אוכלוסיה - ערבים ; לא כולל "אחרים", "זרים")
10. תאונות רכב יחיד<sup>2</sup> - בדרכים לא עירוניות
11. תאונות חזית-חזית - בדרכים לא עירוניות
12. תאונות בצמתים - בדרכים לא עירוניות (כל סוגי התאונות להוציא תאונות הולכי רגל)
13. תאונות בצמתים - בדרכים עירוניות (כל סוגי התאונות להוציא תאונות הולכי רגל).
14. סה"כ הנפגעים בתאונות
15. מספר נפגעים בדרכים הלא עירוניות
16. מספר נפגעים בדרכים העירוניות
17. מספר נפגעים בתאונות עם נהגים צעירים - גילאי 17-21 (לפחות אחד מהנהגים המעורבים הוא נהג צעיר)
18. מספר נפגעים בתאונות עם נהגים מקצועיים - רכב משא מעל 4 טון (לפחות אחד מכלי הרכב המעורבים בתאונה הוא רכב משא מעל 4 טון)
19. מספר נפגעים בתאונות רכב דו-גלגלי - אופנועים (לפחות אחד מכלי הרכב המעורבים בתאונה הוא אופנוע)
20. מספר נפגעים הולכי רגל, בדרכים העירוניות
21. מספר נפגעים הולכי רגל, בדרכים הלא עירוניות
22. מספר נפגעים הולכי רגל, במגזר הלא יהודי (סוג אוכלוסיה - ערבים ; לא כולל "אחרים", "זרים")
23. מספר נפגעים בתאונות רכב יחיד - בדרכים לא עירוניות

---

<sup>2</sup> סוג תאונה : ירידה מהכביש או עלייה למדרכה, התנגשות עם עצם דומם, התנגשות עם רכב חונה, התהפכות, החלקה

24. מספר נפגעים בתאונות חזית-חזית - בדרכים לא עירוניות
25. מספר נפגעים בצמתים - בדרכים לא עירוניות (כל סוגי התאונות להוציא תאונות הולכי רגל)
26. מספר נפגעים בצמתים - בדרכים עירוניות (כל סוגי התאונות להוציא תאונות הולכי רגל).
27. סה"כ התאונות כולל יו"ש
28. סה"כ הנפגעים כולל יו"ש
29. סה"כ ההרוגים כולל יו"ש

מבין 29 הסדרות הנ"ל, הסדרות 1-26 נבנו על סמך הנתונים בגבולות הקו הירוק והסדרות 27-29 - לרבות יו"ש. (כל הסדרות מתייחסות לתאונות ונפגעים, פרט לסדרה 29 המתייחסת לסך ההרוגים כולל יו"ש).

"התאונות" הן סה"כ התאונות עם נפגעים, על סמך קובץ "ת"ד" של הלמ"ס. ה"נפגעים" הם סה"כ הנפגעים, בכל רמות החומרה, על סמך קובץ "ת"ד" של הלמ"ס. מספרי ההרוגים - בהתאם להגדרה של הרוג בתאונה (נפטר תוך שלושים יום מתאריך התאונה).

לתיאור הסדרות משמשים המשתנים: Year - שנה, Mon - חודש. יצרנו את המשתנה OBS המונה את מספר החודש בסדרה: OBS=1 ב-1/2004, OBS=61 ב-1/2009. התקופה הקודמת כוללת 60 תצפיות, התקופה הנוכחית (בה נבחן שינוי המגמה) - 12 תצפיות. בכל הסדרות היו סה"כ 72 תצפיות.

להלן שמות סדרות הנתונים שהיו בנייתוח:

- 1) S1-Total-fatalities
- 2) S2-Fatalities-rural roads
- 3) S3-Fatalities-urban roads
- 4) S4-Killed in accidents with young drivers: at least one driver involved was of 17-21
- 5) S5- Killed in accidents with trucks: at least one vehicle was truck over 4 ton
- 6) S6-Killed in accidents with motorcycles: at least one vehicle involved was motorcycle
- 7) S7-Pedestrians killed on urban roads
- 8) S8-Pedestrians killed on rural roads
- 9) S9-Pedestrians killed Arabs+ Others
- 10) S10-Killed in single-vehicle accidents on rural roads
- 11) S11-Killed in head-on collisions on rural roads
- 12) S12-Killed at junctions on rural roads excluding pedestrian accidents
- 13) S13-Killed at junctions on urban roads excluding pedestrian accidents
- 14) S14- Total-fatalities (S1) without 25 fatalities in the bus accident near Eilat in December 2008
- 15) S15- Fatalities-rural roads (S2) without 25 fatalities in the bus accident near Eilat in December 2008
- 16) S16- Killed in single-vehicle accidents on rural roads (S10) without 25 fatalities in the bus accident near Eilat in December 2008
- 17) SA1 - All injury accidents
- 18) SA2 - Rural injury accidents
- 19) SA3 - Urban injury accidents
- 20) SA4 - Accidents with young drivers: at least one driver involved was of 17-21
- 21) SA5 - Accidents with trucks: at least one vehicle was truck over 3.5 ton
- 22) SA6 - Accidents with motorcycles: at least one vehicle involved was motorcycle

- 23) SA7 - Pedestrian accidents on urban roads
- 24) SA8 - Pedestrian accidents on rural roads
- 25) SA9 - Pedestrian accidents Arabs
- 26) SA10 - Single-vehicle accidents on rural roads
- 27) SA11 - Head-on collisions on rural roads
- 28) SA12 - Accidents at junctions on rural roads excluding pedestrian accidents
- 29) SA13 - Accidents at junctions on urban roads excluding pedestrian accidents
- 30) SI14 - All injuries
- 31) SI15 - Rural injuries
- 32) SI16 - Urban injuries
- 33) SI17 - Injuries in accidents with young drivers: at least one driver involved was of 17-21
- 34) SI18 - Injuries in accidents with trucks: at least one vehicle was truck over 3.5 ton
- 35) SI19 - Injuries in accidents with motorcycles: at least one vehicle involved was motorcycle
- 36) SI20 - Pedestrian injuries on urban roads
- 37) SI21 - Pedestrian injuries on rural roads
- 38) SI22 - Pedestrian injuries Arabs
- 39) SI23 - Injuries in single-vehicle accidents on rural roads
- 40) SI24 - Injuries in head-on collisions on rural roads
- 41) SI25 - Injuries at junctions on rural roads excluding pedestrian accidents
- 42) SI26 - Injuries at junctions on urban roads excluding pedestrian accidents
- 43) SA27 - Accidents incl. JS
- 44) SI28 - Injuries incl. JS
- 45) SF29 - Fatalities incl. JS

טבלה 3.1 מביאה סיכומים שנתיים לכל סדרות הנתונים שעמדו בניתוח.

**טבלה 3.1 סיכומים שנתיים של סדרות הנתונים, בשנים 2004-2009**

	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	s11	s12	s13	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5
2004	467	288	179	81	90	35	112	54	43	68	59	38	15	17763	4776	12987	4360	1068
2005	437	262	175	90	74	46	91	39	31	54	58	50	27	16986	4448	12538	3846	988
2006	405	219	186	75	68	41	107	29	32	49	47	40	30	17190	4615	12575	3741	978
2007	382	231	151	61	64	36	81	33	31	66	40	47	28	16016	4202	11814	3229	923
2008	412	250	162	67	76	51	87	47	37	75	44	25	19	16531	4161	12370	3211	915
2009	314	181	133	61	55	37	69	36	31	29	33	19	26	16308	4351	11957	3049	807

	SA6	SA7	SA8	SA9	SA10	SA11	SA12	SA13	SI14	SI15	SI16	SI17	SI18	SI19
2004	2355	2463	176	398	800	263	2076	5854	36921	13242	23679	10192	2482	2852
2005	2417	2521	141	409	779	287	1868	5789	35471	12635	22836	8747	2339	3051
2006	2561	2715	144	430	736	286	2035	5429	35898	13460	22438	8532	2104	3127
2007	2642	2593	148	379	710	237	1772	5001	32805	11809	20996	7100	2202	3240
2008	3256	2820	153	423	690	239	1768	4776	31811	11009	20802	6805	1905	3955
2009	3283	2634	138	399	798	261	1751	4202	31832	11786	20046	6445	1646	3939

	SI20	SI21	SI22	SI23	SI24	SI25	SI26	SA27	SI28	SF29	s14	s15	s16
2004	2786	211	445	1612	982	5869	11399	18266	38168	505	467	288	68
2005	2874	165	467	1686	1094	5187	11502	17509	36921	465	437	262	54
2006	3057	172	478	1629	1104	5920	10542	17687	37314	439	405	219	49
2007	2914	173	417	1381	876	4880	9710	16576	34265	415	382	231	66
2008	3130	187	459	1297	902	4525	9055	17125	33349	433	387	225	50
2009	2999	169	453	1449	897	4737	7792	16856	33235	346	314	181	29

## 4. פיתוח מודל הנתונים: 2009 לעומת שנים קודמות

### 4.1. פיתוח מודלים עבור סדרות הנתונים

#### א. כללי

השיטה המתוארת להלן מהווה שילוב של השיטה שפותחה בעבר ע"י Gitelman and Doveh (2009), עם הרחבה של שיטה אשר פותחה ע"י כהן ודובא (2010).

תחילה נחקר מהו המודל המתאים לנתונים, תוך התעלמות מהתלות האפשרית בנתונים. התאמה זו מקובלת כנקודת הפתיחה בהתאמת סדרות עיתיות. לאחר שלב ראשון של בחירת מודל המתאים לכל סדרה, כאשר הבחירה נעשית ללא התחשבות בתלות הנתונים, נחשב 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 בתהליך.

השלבים בתהליך פיתוח מודל הנתונים יהיו:

- בניית משתנים נוספים.
- ציור הנתונים וקווי מגמה פרמטריים ואיפרמטריים על גבי תרשים הנתונים - קיום המתקבלים על ידי ניכוי אפקטים עונתיים ואפקטים של מלחמות. בשלב ראשוני זה השתמשנו באפקטים חודשיים (11 אפקטים) כדי לא לכפות מבנה כלשהוא על הנתונים. בשלבים הבאים נשתמש בזוגות סינוסים וקוסינוסים לשם חיסכון בפרמטרים, כדי להשיג עוצמה גבוהה יותר.
- 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 בודק האם ישנו שיפוע לא קבוע למשתנה נתון במודל 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 (NB1), ובינומית שלילית (NB2). בשלב זה, שההתאמה 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 הזמן שבו התחוללו הן מלחמת לבנון השנייה והן המלחמה בעזה (עופרת יצוקה). בגלל המלחמות, נגרמו שינויים שאותם היה צורך לקחת בחשבון במודלים. הדבר נעשה על ידי יצירת משתני אינדיקטור מתאימים. משתני המלחמה שהוכנו:

- משתנה אינדיקטור המכונה בשם WAR. המשתנה מקבל את הערך 0 בחודשים שאינם חודשי מלחמה וערך השווה ל-1 בחודשי המלחמה, (דהיינו, 7/2006 ו-8/2006).
- משתנה אינדיקטור המכונה בשם WAR3a, המקבל את הערך 1 בחודש הראשון של המלחמה בעזה (12/2008) ואפס בשאר החודשים.
- משתנה אינדיקטור בשם WAR3b, המקבל את הערך 1 עבור החודש השני של המלחמה בעזה, 1/2009, (המלחמה נמשכה למעשה בתאריכים: 27/12/2008 - 18/1/2009) ואפס בשאר החודשים.

## **ג. ניתוח חוקר של הנתונים וציור הנתונים (נתונים מקוריים וקווי מגמה)**

בשלב זה מתבצע ניתוח חוקר של נתוני הסדרות (exploratory data analysis). במסגרת זאת, עבור כל סדרה, מצוירים הנתונים המקוריים, הן עבור התקופה לפני (חמש השנים הראשונות, 2004 - 2008) והן עבור התקופה אחרי (שנה אחרונה, 2009). הקו האנכי המרוסק תוחם את שתי התקופות הללו (בין חודש 60 ל-61). על גבי תרשים נתונים אלה, מצוירים קווי מגמה איפרמטריים. לשם השלמת הצגת גרף הנתונים בדו"ח ומניעת כפילויות הצגה, מצוירים הקווים הפרמטריים, על פי מסקנות הניתוח בתתי הסעיפים 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. הותאמו שני מודלים לכל סדרה עבור התקופה "לפני".

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 האינדיקטור WAR, WAR3 ו-WAR3b למידול האפקטים של המלחמות. המשתנה WAR3 לא הוכלל במודל עבור התקופה לפני כי הוא מתייחס לתקופת ה"אחרי". נסמן ב- $\lambda$  את תוחלת



המופע היומי בחודש מסוים. המודל הפואסוני המתואר, ממדל לא את תוחלת קצב המופע היומי בחודש מסוים, אלא את  $\log(\lambda)$ .

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 מלחמה. 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** (כחול) מתאר התאמה **לינארית** בזמן והקו **המקווקו** (אדום) 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, כפי שצוין לעיל. 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 2004-2008) ו-"אחרי" (שנת 2009). 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.

בבדיקת טיב ההתאמה באמצעות שני המודלים - המודל עם הרכיב הלינארי של הזמן והמודל עם הרכיב החלק של הזמן - נמצא כי בכל הסדרות הרכיב החלק היה מיותר וניתן להסתפק במודל הלינארי.

#### **ד. בדיקת נחיצות השבירות 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 למקוטעין.

בנוסף נעשה שימוש בספריית *Segmented* של R (Muggeo - R, 2003, 2008), המאפשרת התאמת מודלים מקוטעים, תוך חיפוש נקודות השבירה המתאימות. נערך מבחן *Davis* (Davis, 1987) 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 השבירה 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 מתאים טוב יותר עבור סדרות אלה:

עבור  $i=12$  (S12 הרוגים בצמתים לא עירוניים) - עם שבירה בזמן 36 ;  
 עבור  $i=13$  (S13 הרוגים בצמתים עירוניים) - עם שבירה בזמן 24 ;  
 עבור  $i=22$  (SA6 תאונות עם אופנועים) - עם שבירה בזמן 12 ;  
 עבור  $i=30$  (SI14 סך הנפגעים) - עם שבירה בזמן 30 ;  
 עבור  $i=31$  (SI15 נפגעים בדרכים לא עירוניות) - עם שבירה בזמן 30.  
 עבור  $i=35$  מתאים (SI19 נפגעים בתאונות אופנועים) - עם שבירה בזמן 30 ;  
 עבור  $i=39$  מתאים (SI23 נפגעים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות) - עם שבירה בזמן 20 ;  
 עבור  $i=41$  מתאים (SI25 נפגעים בתאונות בצמתים לא עירוניים) - עם שבירה בזמן 30 ;  
 עבור  $i=44$  מתאים (SI28 - כל הנפגעים כולל יו"ש) - עם שבירה בזמן 30.

#### ה. בחינת ההתפלגות המתאימה

לאחר קביעת המודל הבסיסי - מודל עם מגמה קבועה או שבורה ורכיבי עונתיות ומלחמה, ומשתנה offset, בדקנו לכל סדרה מהי ההתפלגות המתאימה מבין מספר התפלגויות המתאימות לתיאור נתוני מנייה. הבחירה הייתה בין ההתפלגות הפואסונית, פואסונית עם dispersion (NB1), ובינומית שלילית (NB2). בשלב זה, שהתאמה כבר לא אפרמטרית, כאשר הרכיב העונתי הוכנס כזוגות של סינוסים וקוסינוסים בתדירויות שנתיות וחצי שנתיות.

הבחינה נעשתה הן בדרך פורמלית והן בדרך גרפית. פרוט מלא של השיטה ניתן ב-כהן ודובא (2010). נפרט בקצרה. עבור משתנה פואסוני  $Y_i$  מתקיים שתוחלתו היא  $E(Y_i) = \mu_i$  ושונותו היא  $V(Y_i) = \mu_i$ . עבור התפלגות NB1 מתקיים:  $V(Y_i) = \mu_i(1 + \alpha)$  ואילו עבור משתנה בינומי שלילי NB2 מתקיים  $V(Y_i) = \mu_i(1 + \alpha\mu_i)$ . על ידי בחינת ההשערה ש-  $\alpha = 0$  ניתן לבחון את כל אחד מהמודלים NB1 ו-NB2 כנגד המודל הפואסוני. מבחן WALD של השערה זו מדווח כמבחן t עבור האמדל  $\alpha$ , בפלט הפרוצדורה COUNTREG של SAS.

הבחינה הגרפית נעשתה על ידי השוואת ההסתברויות הנצפות וההסתברויות הצפויות עבור כל אחד מהמודלים הנבדקים. ביצוע חישוב זה נעשה בעזרת פרוצדורת COUNTREG של SAS/ETS גירסה

9.22. לכל סדרה נבנה גרף המשווה בין ממוצע ההסתברויות הצפויות המתאימות לשלוש ההתפלגויות וההסתברויות הנצפות, כאשר בעזרת הצגה גרפית זו נבחר המודל המתאים. בשל טווח הערכים הגדול האפשרי לגבי חלק מהסדרות, צוירו הערכים לגבי טווחים של נתונים.

לכל אחת מהסדרות הובאו<sup>3</sup>: השכיחויות, תוצאות התאמת שלושת המודלים (כולל מבחנים לגבי מובהקות  $\alpha$  לבחירת ההתפלגות המתאימה למודל), גרף המשווה בין ממוצע ההסתברויות הצפויות של שלושת המודלים האפשריים וההסתברויות הנצפות וטבלה המפרטת את הערכים המופיעים בטבלאות אלה.

כאשר שלשת ההתפלגויות מתאימות באותה המידה (או לחילופין טועות באותה המידה), נבחר המודל עם התפלגות פואסונית. כאשר NB1 ו-NB2 היו עדיפות על פני פואסוני באותה המידה, בחרנו ב-NB2 (בינומית שלילית), מכיוון שהתפלגות זאת ניתנת לניתוח על ידי תוכנות סטנדרטיות, בעוד ש-NB1 לא.

להלן המסקנות.

(1) ההתפלגות הפואסונית מתאימה לסדרות אלה:

s1 s2 s3 s4 s5 s6 s7 s8 s9 s10 s11 s12 s13 s14 s15 s16 (18, SA2)  
(20, SA4) (21, SA5) (24, SA8) (25, SA9) (26, SA10) (27, SA11) (28  
, SA12) (34, SI18) (37, SI21) (38, SI22) (45, SF29)

(2) לא הייתה אף סדרה בה התפלגות NB1 נתנה התאמה יותר טובה לנתונים מאשר זו שהושגה על ידי התפלגות פואסונית או בינומית שלילית.

(3) התפלגות NB2 מתאימה לסדרות אלה:

(17, SA1) (19, SA3) (22, SA6) (23, SA7) (29, SA13) (30, SI14)  
(31, SI15) (32, SI16) (33, SI17) (35, SI19) (36, SI20) (39, SI23) (40  
, SI24) (41, SI25) (42, SI26) (43, SA27) (44, SI28)

כלומר, לכל סדרות ההרוגים התאימה התפלגות פואסונית, כאשר עבור יותר ממחצית סדרות התאונות/ הנפגעים נדרשה התפלגות בינומית שלילית.

### ו. 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 סידרת שאריות דיוויאנס הוצגו התרשימים הבאים, המציגים ערכי אמדי מתאמים סדרתיים ורווחי סמך המתאימים להם:

The sample autocorrelation function plot (ACF) -

The sample inverse autocorrelation function plot (IACF) -

The sample partial autocorrelation function plot (PACF) -

בנוסף, הובאה טבלת ממצאי מבחנים להשערה שהנתונים הינם נתוני רעש לבן, ולכן חסרי תלות - המבחנים מבוצעים על ידי הסטטיסטיים  $Q_m$  של Ljung-Box הבוחנים את ההשערה שקבוצת אמדי מתאמים סדרתיים של סדרה עיתית כוללת רק סטטיסטיים מאוכלוסיה של מתאמים השווים כולם לאפס, לעומת האלטרנטיבה, שלפחות אחד מהמתאמים שונה מאפס. פרוט נרחב של הבדיקות לתלות ניתן למצוא ב-כהן ודובא (2010). בנוסף, הוצג לכל סדרה גם גרף הסדרה<sup>4</sup> (the time series plot of the series).

לרוב, לא נמצאה עדות לתלות בין השאריות, פרט למספר קטן מאוד של סדרות המרמזות על קיום תלות אפשרית. מאחר ועשינו כאן השוואות מרובות סביר שממצא זה מקרי. אולם חוסר תלות בסדרות השאריות לא בהכרח מעיד שאין תלות בסדרות. שכן תלות יכולה לנבוע דרך תהליך נסתר. אפשרות זו נבדקה בהמשך על ידי מידול מתאים.

אנו השתמשנו במודלים המאפשרים לבטא תלות בנתונים בשני אופנים, וניתנים ליישום על ידי פרוצדורת GLIMMIX של SAS, המיועדת לטיפול במודלים כאלה, כלומר מודלים מסוג Generalized Linear Mixed Models. דיון נרחב במודלים אלה ובמודלים נוספים נמצא בכהן ודובא (2010).

שתי הצורות המאפשרות לבטא את המתאמים בין התצפיות הן או על ידי השריית מתאם דרך המשתנים המסבירים, בהוספת מרכיב אקראי ו/או על ידי מידול מתאמים בין הנתונים באופן ישיר. בפרוצדורת GLIMMIX שתי האפשרויות נקראות "G-side" ו-"R-side" בהתאמה, או לחילופין מודל מותנה ומודל שולי, בהתאמה. במחקר הנוכחי נבחנו תוצאות הן עבור המודל המותנה והן עבור המודל השולי.

בנוסף למודלים עם תלות, לכל סידרה הרצנו מודל ללא תלות, אבל עם *dispersion* שבאמצעותו ניסינו להעריך אם יש חשד לקיום תלות. הערך *Residual* בפלט המתאים מכיל את אמד ה-*dispersion*. אמד הגדול באופן ניכר מ-1 מעיד על תלות חיובית. גודל זה חושב בעיקר כדי לראות אם יש חשד לתלות במודלים שלא התכנסו בנוכחות פרמטרי תלות.

---

<sup>3</sup> את מלוא התוצאות ניתן לראות בדו"ח הטכני של המעבדה לסטטיסטיקה  
<sup>4</sup> כני"ל

המסקנה העלתה מכל הבחינות שנעשו היא שברוב הסדרות, בהינתן המשתנים המסבירים, לא קיימת תלות בין התצפיות. בין היתר:

עבור הסדרת S1-S10 המודלים התכנסו; התוצאות היו לא מובהקות פרט למקרה של סדרה S5 שעבור אחד משני המודלים השוליים התקבלה מובהקות של 0.035 ואילו עבור המודל השולי השני התקבלה מובהקות של 1 (חוסר מובהקות כלשהיא) שזה מראה שוב על חוסר תלות;

עבור S11 לא התכנס אף מודל, אולם *over-dispersion* לא גדול לא מביא לחשש תלות;

עבור S12 הסדרות שהתכנסו מראות על תלות לא מובהקת;

עבור S13 לא התכנס אף מודל, אולם *over-dispersion* לא גדול לא מביא לחשש תלות;

עבור S14-S16 - התכנסות ותלות לא מובהקת;

SA1-SA3 - הסדרות שהתכנסו מראות על תלות לא מובהקת;

SA4 - התכנס ותלות לא מובהקת;

SA5 - התכנס ותלות לא מובהקת (פרט לאחד המודלים עבור סידרה זאת עם Pvalue של 0.04, בעוד

ששאר ה- Pvalues שווים ל-1 - כלומר מאוד לא מובהקים);

SA6 - התכנסו ותלות לא מובהקת;

SA7 - התכנסות ותלות לא מובהקת (פרט לאחד המודלים עבור סידרה זאת עם Pvalue של 0.03,

בעוד ששאר ה- Pvalues שווים ל-1, כלומר מאוד לא מובהקים ו-*over-dispersion* של 1.01 שלא ניתן סיבה לחשוד בתלות);

SA8-SA12 - התכנסות ותלות לא מובהקת;

SI13 – SI16 - המודלים שהתכנסו מראים על תלות לא מובהקת;

SI17 - לא התכנס אף מודל, אולם *over-dispersion* של 1.001 לא מביא לחשש תלות;

SI18 - התכנסות ותלות לא מובהקת;

SI19 - *over-dispersion* של 0.99 לא מביא לחשש תלות. המודל שהתכנס, התכנס לערך הנמצא על

קצה התחום המותר. הסקה לא אפשרית;

SI20- SI23 - המודלים שהתכנסו מראים על תלות לא מובהקת;

SI25 - לא התכנס אף מודל, אולם *over-dispersion* של 1.01 לא מביא לחשש תלות;

SA27,SI26 - המודלים שהתכנסו מראים על תלות לא מובהקת;

SI28 - לא התכנס אף מודל, אולם *over-dispersion* של 1.001 לא מביא לחשש תלות;

SF29 - התכנסות ותלות לא מובהקת.

מכאן, באף סידרה אין הוכחה לתלות בין התצפיות. לאור מסקנות בדיקה זאת ובדיקת השאריות בסעיפים הקודמים הוסק שאין סיבה לחשוד בקיום תלות בין התצפיות בחודשים השונים, בהינתן המשתנים המסבירים ותחת שימוש בהתפלגות המתאימה. יתכן שחוסר התלות נובע מכך שהנתונים החודשיים, כך שעובר פרק זמן ניכר (חודש) בין המדידות. יצוין כי תלות ניכרת במקרים רבים בתופעות אפידמיולוגיות הנמדדות ברמת פרוט גבוהה יותר, כמו מדידות יומיות או שבועיות. על סמך הממצאים הנ"ל, בהמשך החישובים במחקר זה לא נשתמש במודלים המכילים פרמטרים למידול תלות.

#### 4.2. 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 מלחמה 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-  $\lambda$  את תוחלת המופע היומי בחודש מסוים. המודל הפואסוני/ בינומי שלילי המתואר, ממדל לא את תוחלת קצב המופע היומי בחודש מסוים, אלא את  $\log(\lambda)$ .

בניתוח הסטטיסטי נבחנו שתי שאלות:

א. האם היה שינוי מובהק במגמה בשנת 2009, לעומת המגמה בשנים קודמות (בסוף שנת 2008)?

ב. האם קצב התאונות בשנת 2009 היה שונה באופן מובהק מקצב התאונות בשנים הקודמות?

כדי לבחון שאלה א', הותאם מודל אחד לשתי התקופות ביחד - נתוני ההרוגים/התאונות/הנפגעים בשנים 2004-2009, עם המסבירים ורכיבי מגמה שנמצאו מתאימים בניתוח למעלה, וכמו כן, ניתנה אפשרות למגמה שונה עבור 2009, באמצעות נקודת שבירת המגמה בסוף 2008. הבחינה מתייחסת לאופי (ערך חיובי או שלילי) ומובהקותה של נקודת שבירה זו.

כדי לבחון שאלה ב', נבדק האם קצב (מספר חודשי) ההרוגים/התאונות/הנפגעים הממוצע בשנים 2004-2009 (לאחר תיקון לפי גורמי המלחמה) היה שונה מהקצב הממוצע בשנת 2009. עבור התקופה "לפני" השתמשנו במודל שנמצא כמתאים עבור כל סדרה, ע"פ הניתוח הקודם, כאשר עבור התקופה "אחרי" הותאם שיפוע וחודך 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  $\alpha, \beta$  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.

עבור יולי-אוגוסט 2006 יש לזכור לנכות את אפקט המלחמה (שקול לשימוש ב- WAR=0), עבור דצמבר 2008 את המלחמה בעזה (שקול לשימוש ב- WAR3A=0) ועבור ינואר 2009 - את החודש השני של המלחמה בעזה (שקול לשימוש ב- WAR3B=0).

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.  $\hat{D}_{ji}^*$  (= 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 j ו-i. 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.

## 5. תוצאות הניתוח: 2009 לעומת שנים קודמות

כאמור, בניתוח הסטטיסטי נבחנו שתי שאלות:

א. האם המגמה במספרי ההרוגים/הנפגעים/התאונות בשנת 2009 השתנתה באופן מובהק לעומת המגמה בשנים קודמות?

ב. האם מספר ההרוגים/הנפגעים/התאונות בשנת 2009 היה שונה באופן מובהק מאותו המספר בשנים קודמות?

ממצאי הניתוח של 13 סדרות ההרוגים הוצגו בפרסום הרשות (2010).

### 5.1. בחינת השאלה לגבי מובהקות השינויים במגמה בשנת 2009 לעומת שנים קודמות

הבדיקה נעשתה באופן הבא: הותאם מודל לנתוני 2004-2009, עם חודש ורכיבי המגמה שנמצאו מתאימים בניתוח למעלה, ואפשרות למגמה שונה עבור 2009. כלומר, השתמשנו בנקודות השבירה שנמצאו בניתוח הנתונים "לפני" והוספנו נקודת שבירת מגמה נוספת בסוף 2008 (*trend60*).

בנוסף, במודל נמצא משתנה מלחמה (WAR) עבור המלחמה ב- 7/2006 ו-8/2006, ומשתנה בשם WAR3a, המקבל את הערך "0", בחודשים שאינם חודשי המלחמה בעזה (עופרת יצוקה) ו-"1" בחודש בו החלה המלחמה בעזה (12/2008). יש לפרש את ערך מקדם המשתנה WAR3 בזהירות עבור הסדרות 1,2,10. מצד אחד החלה מלחמה בסוף 12/2008, ומצד שני הייתה תאונת האוטובוס באילת. האינדיקטור WAR3a מבטא את מידת השוני של 12/2008 ממה שמצופה מחודש זה. מצד אחד קיים אפקט שאמור להקטין - המלחמה, ומצד שני הייתה התאונה מרובת ההרוגים. את האפקט ה"אמיתי" של המלחמה בעזה ניתן לראות בסדרות 14-16 (אשר נבנו לאחר הורדת מספר ההרוגים של תאונת האוטובוס ליד אילת). החודש השני של המלחמה בעזה סומן ע"י אינדיקטור 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 הנבחרת, דהיינו מבטא את אופי שינוי הקו. מקדם חיובי מובהק לפרמטר *trend60* פירושו הרעה במגמת 2009 לעומת המגמה הקודמת (שינוי קו המגמה כלפי מעלה, לכיוון עליה בהרוגים/נפגעים/תאונות), ואילו מקדם שלילי מובהק ל-*trend60* פירושו הטבה במגמת 2009 (שינוי קו המגמה כלפי מטה, לכיוון ירידה בהרוגים/נפגעים/תאונות) לעומת המגמה הקודמת.



בנוסף, על פי המודל חושבו אומדנים לשיפוע קו המגמה, לעומת ציר הזמן, בתקופת "לפני" (last slope before) וכן, למגמה בסוף שנת 2009 (slope at 2009). פלטים סטטיסטיים של מידול זה מובאים בדו"ח הטכני של המעבדה לסטטיסטיקה<sup>5</sup>. פלד לדוגמא מוצג בטבלה 5.1. סיכום הממצאים מובא בטבלה 5.2.

טבלה 5.1. דוגמא לפלט סטטיסטי מבדיקת השינויים במגמה - עבור הסדרה S1 "סך ההרוגים בתאונות"

### The GENMOD Procedure

Analysis Of Maximum Likelihood Parameter Estimates							
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	Wald 95% Confidence Limits		Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept	1	0.2733	0.0430	0.1891	0.3576	40.44	<.0001
trend	1	-4.5757	1.2514	-7.0285	-2.1229	13.37	0.0003
trend60	1	-9.5525	9.9845	-29.1218	10.0168	0.92	0.3387
p1	1	-0.0134	0.0297	-0.0717	0.0448	0.20	0.6512
p2	1	-0.0015	0.0298	-0.0599	0.0569	0.00	0.9594
p3	1	0.0195	0.0293	-0.0380	0.0770	0.44	0.5070
p4	1	0.0045	0.0297	-0.0538	0.0628	0.02	0.8792
War	1	-0.3585	0.1487	-0.6500	-0.0671	5.81	0.0159
War3a	1	0.4930	0.1538	0.1916	0.7944	10.28	0.0013
War3b	1	-0.3754	0.2266	-0.8195	0.0687	2.74	0.0976
Scale	0	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000		

Obs	Label	LBetaEstimate	StdErr	ProbChiSq	Alpha	LBetaLowerCL	LBetaUpperCL
1	last slope before	-4.5757	1.2514	0.0003	0.05	-7.0285	-2.1229
2	last slope before	-4.5757	1.2514	0.0003	0.15	-6.3772	-2.7742
3	slope at 2009	-14.1282	9.3177	0.1295	0.05	-32.3906	4.1342
4	slope at 2009	-14.1282	9.3177	0.1295	0.15	-27.5413	-0.7150

הערה: כדי לאפשר מסקנות גם ברמת מובהקות שולית (עד 15%), בפלטים הסטטיסטיים מוצגים רווחי סמך ברמת סמך של 95% (alpha=5%) וגם של 85% (alpha=15%).

מטבלה 5.2 ניתן לראות כי:

- בשנת 2009, בחלק ניכר מסדרות ההרוגים התרחשו שינויים חיוביים. בין היתר, מגמת הירידה ב"סה"כ ההרוגים שנצפתה בתקופה הקודמת התחזקה בשנת 2009, כאשר גם בקרב הרוגים בדרכים העירוניות מגמת הירידה התחזקה ונהפכה למובהקת בשנת 2009. מגמת הירידה ב"סה"כ ההרוגים התחזקה בשנת 2009 גם כולל ההרוגים ביו"ש.

<sup>5</sup> בהרצת סדרות s1 ו-s12 היו בעיות התכנסות בנוכחות war3b. לאחר הורדת משתנה זה נעלמו הבעיות. בהרצה עם משתנה זה התקבל עבורו מקדם מאוד לא מובהק, לכן הורדתו כמעט ולא שינתה את התוצאות.

- כמו כן, בשנת 2009 שינויים חיוביים נצפו בסדרות אלה: הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים, הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי, הרוגים בתאונות עם אופנועים, הרוגים הולכי רגל בדרכים העירוניות, הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים הלא עירוניות (אולם, חלק מהשינויים לא היו מובהקים). יש לציין במיוחד את מגמות הירידה החזקות שנצפו בשנת 2009 בסדרות של סך ההרוגים בדרכים העירוניות, הרוגים הולכי רגל בדרכים העירוניות, הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים הלא עירוניות.

- לעומת זאת, בקרב סך ההרוגים בדרכים הלא עירוניות מגמת הירידה של התקופה הקודמת נחלשה ונהפכה למגמת עליה (אם כי, לא מובהקת) בשנת 2009. כמו כן, שינויים שליליים - שבירות המגמה כלפי מעלה ומגמת עליה (לא מובהקת) בסוף שנת 2009 נצפו בסדרות אלה: הרוגים הולכי רגל בדרכים הלא עירוניות, הרוגים הולכי רגל במגזר הלא יהודי, הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים הלא עירוניות, והרוגים בצמתים לא עירוניים ועירוניים. כלומר, השינויים השליליים במגמות ההרוגים נרשמו בעיקר בסדרות השונות של הרוגים בדרכים הלא עירוניות. ניתן לציין את מגמות העלייה החזקות במיוחד שנצפו בשנת 2009 בסדרות של הרוגים הולכי רגל בדרכים הלא עירוניות והרוגים בצמתים הלא עירוניים (אם כי, כאמור, מגמות עלייה אלה לא היו מובהקות).

- 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 החריג לא שינה את המגמות בסדרות ההרוגים המתאימות.

- בקרב התאונות עם נפגעים בשנת 2009 נמצאו שינויים חיוביים בסדרות אלה: תאונות בדרכים עירוניות, תאונות עם רכב מקצועי, תאונות הולכי רגל בדרכים לא עירוניות, תאונות בצמתים עירוניים (בסדרות אלה הייתה התחזקות מגמת הירידה בשנת 2009); תאונות אופנועים, תאונות הולכי רגל בדרכים עירוניות, תאונות הולכי רגל במגזר לא יהודי (בסדרות אלה בשנת 2009 הייתה שבירת מגמת העלייה שנצפתה בתקופה הקודמת).

- לעומת זאת, בקרב התאונות עם נפגעים בשנת 2009 נמצאו שינויים שליליים בסדרות אלה: סך התאונות, סך התאונות לרבות יו"ש, סך התאונות בדרכים לא עירוניות, תאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות, תאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות (בסדרות אלה נמצאה שבירת מגמת הירידה שהייתה בתקופה הקודמת); תאונות עם נהגים צעירים, תאונות בצמתים לא עירוניים (התמתנות מגמת הירידה שהייתה בתקופה הקודמת).

- בקרב סך הנפגעים בתאונות בשנת 2009 נמצאו שינויים חיוביים בסדרות אלה: נפגעים בתאונות בדרכים עירוניות, נפגעים בתאונות עם רכב מקצועי, נפגעים בתאונות הולכי רגל בדרכים לא עירוניות, נפגעים בתאונות הולכי רגל במגזר לא יהודי, נפגעים בתאונות בצמתים עירוניים (בסדרות אלה הייתה התחזקות מגמת הירידה בשנת 2009); נפגעים בתאונות אופנועים, נפגעים בתאונות הולכי רגל בדרכים עירוניות (בסדרות אלה בשנת 2009 הייתה שבירת מגמת העלייה שנצפתה בתקופה הקודמת).

- לעומת זאת, בקרב סך הנפגעים בתאונות בשנת 2009 נמצאו שינויים שליליים בסדרות אלה: סך הנפגעים בתאונות, סך הנפגעים בתאונות לרבות יו"ש, סך הנפגעים בתאונות בדרכים לא עירוניות, הנפגעים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות, הנפגעים בתאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות, נפגעים בתאונות בצמתים לא עירוניים (נמצאה שבירת מגמת הירידה שהייתה בתקופה הקודמת אשר נהפכה למגמת עליה); תאונות עם נהגים צעירים (התמתנות מגמת הירידה שהייתה בתקופה הקודמת).

- השינויים שנמצאו בשנת 2009 במגמות הנפגעים לרוב דומים לשינויים שנמצאו בשנת 2009 במגמות התאונות, לפי החתכים השונים.

- בקרב סך התאונות/הנפגעים, *מגמות עליה מובהקות* בסוף שנת 2009 נמצאו בסדרות אלה: תאונות/נפגעים בדרכים הלא עירוניות, תאונות/נפגעים בתאונות רכב יחיד בדרכים הלא עירוניות.

טבלה 5.2: ממצאים מבחינת שינוי המגמה בשנת 2009

א - סדרות ההרוגים בתאונות

מסקנה: מהות השינוי בשנת 2009 לעומת שנים קודמות	שינוי בסוף 2008 (trend60)	שינוי בסוף 2009	שינוי בסוף קו המגמה בתקופת "לפני"	הסדרה הנבחנת
בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת. מגמת הירידה התחזקה (לא מובהק) בשנת 2009, כאשר בסוף 2009 נצפתה <b>מגמת ירידה</b> (מובהקת גבולית).	-9.6 לא מובהק	-14.1 מובהק גבולית	-4.6 מובהק	1. סה"כ ההרוגים
בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר <b>נהפכה למגמת עליה</b> (לא מובהקת) בשנת 2009.	7.2 לא מובהק	0.62 לא מובהק	-6.6 מובהק	2. הרוגים בדרכים לא עירוניות
בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת אשר <b>התחזקה</b> (מובהק) בשנת 2009 ונהפכה <b>למגמת ירידה</b> מובהקת בסוף שנת 2009.	-35.8 מובהק	-37.4 מובהק	-1.7 לא מובהק	3. הרוגים בדרכים עירוניות
בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר <b>התחזקה</b> (לא מובהק) בשנת 2009.	-7.6 לא מובהק	-13.3 לא מובהק	-5.7 מובהק	4. הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים
בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת אשר <b>התחזקה</b> (לא מובהק) בשנת 2009.	-18.7 לא מובהק	-22.7 לא מובהק	-4.0 לא מובהק	5. הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי
מגמת עליה (לא מובהקת) שהייתה בתקופת "לפני" <b>נהפכה למגמת ירידה</b> (לא מובהקת) בשנת 2009.	-6.2 לא מובהק	-4.8 לא מובהק	1.4 לא מובהק	6. הרוגים בתאונות אופנועים
בתקופה "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת גבולית אשר <b>התחזקה</b> בשנת 2009 ונהפכה <b>למגמת ירידה</b> מובהקת בסוף שנת 2009.	-37.8 מובהק גבולית	-41.9 מובהק	-4.0 מובהק גבולית	7. הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות
בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר נשברה (לא מובהק) ונהפכה <b>למגמת עליה</b> (לא מובהקת) בשנת 2009.	40.1 לא מובהק	32.1 לא מובהק	-8.1 מובהק	8. הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות
מגמת ירידה לא מובהקת שהייתה בתקופת "לפני" נשברה (לא מובהק) ונהפכה <b>למגמת עליה</b> (לא מובהקת) בשנת 2009.	23.4 לא מובהק	17.3 לא מובהק	-6.1 לא מובהק	9. הרוגים הולכי רגל במגזר לא יהודי
מגמה ירידה מובהקת גבולית שנצפתה בסוף התקופה "לפני" <b>התחזקה</b> (מובהק גבולית) בשנת 2009.	-43.5 מובהק גבולית	-48.3 מובהק גבולית	-4.9 מובהק גבולית	10. הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות
מגמת ירידה מובהקת שהייתה בתקופת "לפני" נשברה (לא מובהק) ונהפכה <b>למגמת עליה</b> (לא מובהקת) בשנת 2009.	14.4 לא מובהק	5.2 לא מובהק	-9.2 מובהק	11. הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות
מגמה ירידה מובהקת שנצפתה בסוף התקופה "לפני" נשברה (מובהק גבולית) בשנת 2009 ונהפכה <b>למגמת עליה</b> (לא מובהקת) בשנת 2009.	86.4 מובהק גבולית	32.2 לא מובהק	-54.1 מובהק*	12. הרוגים בצמתים לא עירוניים (פרט להולכי רגל)
מגמת ירידה (לא מובהקת) שהייתה בסוף התקופה "לפני" נשברה (לא מובהק) ונהפכה <b>למגמת עליה</b> (לא מובהקת) בשנת 2009.	21.6 לא מובהק	12.0 לא מובהק	-9.6 לא מובהק**	13. הרוגים בצמתים עירוניים (פרט להולכי רגל)

הערות לטבלה 5.2: "מובהק" ברמת מובהקת של 95%; "מובהק גבולית" ברמת מובהקת של 85%.  
\* בסדרה 12, בתקופת "לפני", הייתה שבירת קו המגמה כלפי מטה בחודש 36 - דצמבר 2006 (שינוי מובהק).  
\*\* בסדרה 13, בתקופת "לפני", הייתה שבירת קו המגמה כלפי מטה בחודש 24 - דצמבר 2005 (שינוי מובהק).

טבלה 5.2: ממצאים מבחינת שינוי המגמה בשנת 2009 - המשך

ב - סדרות משלימות של הרוגים בתאונות

מסקנה: מהות השינוי בשנת 2009 לעומת שנים קודמות	שיפוע קו המגמה בשנת 2009	שינוי בסוף 2008 (trend60)	שיפוע קו המגמה בתקופת "לפני"	הסדרה הנבחנת
בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת. מגמת הירידה התחזקה (לא מובהק) בשנת 2009, כאשר בסוף 2009 נצפתה <b>מגמת ירידה</b> (מובהקת גבולית).	-14.1 מובהק גבולית	-9.6 לא מובהק	-4.6 מובהק	14. סה"כ ההרוגים, להוציא תאונת האוטובוס ב 12/2008
בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר <b>נהפכה למגמת עליה</b> (לא מובהקת) בשנת 2009.	0.62 לא מובהק	7.2 לא מובהק	-6.6 מובהק	15. הרוגים בדרכים לא עירוניות, להוציא תאונת האוטובוס ב 12/2008
מגמה ירידה מובהקת גבולית שנצפתה בסוף התקופה "לפני" <b>התחזקה</b> (מובהקת גבולית) בשנת 2009.	-48.3 מובהק גבולית	-43.5 מובהק גבולית	-4.9 מובהק גבולית	16. הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות, להוציא תאונת האוטובוס ב 12/2008

ג - סדרות התאונות והנפגעים

מסקנה: מהות השינוי בשנת 2009 לעומת שנים קודמות	שיפוע קו המגמה בשנת 2009	שינוי בסוף 2008 (trend60)	שיפוע קו המגמה בתקופת "לפני"	הסדרה הנבחנת
בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר <b>נשברה</b> (לא מובהק) ונהפכה לקו אופקי (ללא מגמה) בשנת 2009.	0.0 לא מובהק	1.5 לא מובהק	-1.4 מובהק	17. סה"כ התאונות
בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר <b>נהפכה למגמת עליה</b> (מובהקת) בשנת 2009.	6.7 מובהק	9.2 מובהק	-2.5 מובהק	18. תאונות בדרכים לא עירוניות
בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר <b>התחזקה</b> (לא מובהק) בשנת 2009.	-2.4 לא מובהק	-1.3 לא מובהק	-1.1 מובהק	19. תאונות בדרכים עירוניות
בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר <b>נחלשה</b> (לא מובהק) בשנת 2009.	-1.7 לא מובהק	4.5 לא מובהק	-6.3 מובהק	20. תאונות עם נהגים צעירים
בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר <b>התחזקה</b> (לא מובהק) בשנת 2009.	-5.3 לא מובהק	-1.5 לא מובהק	-3.8 מובהק	21. תאונות עם רכב מקצועי
מגמת עליה מובהקת שהייתה בתקופת "לפני" <b>התמתנה</b> (לא מובהק) בשנת 2009.	0.9 לא מובהק	-7.1 לא מובהק	8.0 מובהק <sup>3</sup>	22. תאונות אופנועים
בתקופת "לפני" הייתה מגמת עליה מובהקת אשר <b>נשברה</b> (מובהק) בשנת 2009 ונהפכה <b>למגמת ירידה</b> (מובהקת גבולית) בסוף שנת 2009.	-9.7 מובהק גבולית	-12.3 מובהק	2.5 מובהק	23. תאונות הולכי רגל, בדרכים עירוניות
בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת אשר <b>התחזקה</b> (לא מובהק) בשנת 2009.	-13.0 לא מובהק	-11.3 לא מובהק	-1.7 לא מובהק	24. תאונות הולכי רגל, בדרכים לא עירוניות
מגמת עליה לא מובהקת שהייתה בתקופת "לפני" <b>נשברה</b> (מובהקת גבולית) ונהפכה <b>למגמת ירידה</b> (מובהקת גבולית) בשנת 2009.	-13.6 מובהק גבולית	-14.1 מובהק גבולית	0.56 לא מובהק	25. תאונות הולכי רגל, במגזר לא יהודי
מגמה ירידה מובהקת שנצפתה בסוף התקופה "לפני" <b>נשברה</b> (מובהק) ונהפכה <b>למגמת עליה</b> (מובהקת)	20.7 מובהק	23.7 מובהק	-2.9 מובהק	26. תאונות רכב יחיד, בדרכים לא

הסדרה הנבחנת	שיפוע קו המגמה בתקופת "לפני"	שינוי בסוף 2008 (trend60)	שיפוע קו המגמה בשנת 2009	<b>מסקנה: מהות השינוי בשנת 2009 לעומת שנים קודמות</b>
עירוניות				בשנת 2009.
27. תאונות חזית-חזית, בדרכים לא עירוניות	-2.5 מובהק גבולית	12.5 לא מובהק	10.0 לא מובהק	מגמת ירידה מובהקת גבולית שהייתה בתקופת "לפני" <b>נשברה</b> (לא מובהק) ונהפכה <b>למגמת עליה</b> (לא מובהקת) בשנת 2009.
28. תאונות בצמתים לא עירוניים (פרט להולכי רגל)	-2.8 מובהק	0.96 לא מובהק	-1.8 לא מובהק	מגמה ירידה מובהקת שנצפתה בסוף התקופה "לפני" <b>התמתנה</b> (לא מובהק) בשנת 2009.
29. תאונות בצמתים עירוניים (פרט להולכי רגל)	-4.6 מובהק	-10.5 מובהק	-15.1 מובהק	מגמת ירידה מובהקת שהייתה בסוף התקופה "לפני" <b>התחזקה</b> (מובהק) בשנת 2009.
30. סה"כ הנפגעים בתאונות	-4.6 מובהק <sup>4</sup>	6.0 מובהק גבולית	1.4 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר <b>נשברה</b> (מובהק גבולית) ונהפכה <b>למגמת עליה</b> (לא מובהקת) בשנת 2009.
31. מספר נפגעים בתאונות בדרכים לא עירוניות	-7.1 מובהק <sup>5</sup>	19.2 מובהק	12.1 מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר <b>נהפכה למגמת עליה</b> (מובהקת) בשנת 2009.
32. מספר נפגעים בתאונות בדרכים עירוניות	-2.5 מובהק	-3.4 לא מובהק	-5.9 מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר <b>התחזקה</b> (לא מובהק) בשנת 2009.
33. מספר נפגעים בתאונות עם נהגים צעירים	-8.2 מובהק	5.4 לא מובהק	-2.8 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר <b>נחלשה</b> (לא מובהק) בשנת 2009.
34. מספר נפגעים בתאונות עם רכב מקצועי	-5.3 מובהק	-11.3 מובהק	-16.6 מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר <b>התחזקה</b> (מובהק) בשנת 2009.
35. מספר נפגעים בתאונות אופנועים	10.1 מובהק <sup>6</sup>	-15.0 מובהק	-4.9 לא מובהק	מגמת עליה מובהקת שהייתה בתקופת "לפני" <b>נשברה</b> (מובהק) ונהפכה <b>למגמת ירידה</b> (לא מובהקת) בשנת 2009.
36. מספר נפגעים הולכי רגל, בדרכים עירוניות	2.3 מובהק	-10.9 מובהק	-8.7 מובהק גבולית	בתקופת "לפני" הייתה מגמת עליה מובהקת אשר <b>נשברה</b> (מובהק) בשנת 2009 ונהפכה <b>למגמת ירידה</b> (מובהקת גבולית) בסוף שנת 2009.
37. מספר נפגעים הולכי רגל, בדרכים לא עירוניות	-1.8 לא מובהק	-4.0 לא מובהק	-5.8 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת אשר <b>התחזקה</b> (לא מובהק) בשנת 2009.
38. מספר נפגעים הולכי רגל, במגזר לא יהודי	-0.1 לא מובהק	-6.4 לא מובהק	-6.5 לא מובהק	מגמת ירידה לא מובהקת שהייתה בתקופת "לפני" <b>התחזקה</b> (לא מובהק) בשנת 2009.
39. מספר נפגעים בתאונות רכב יחיד, בדרכים לא עירוניות	-8.9 מובהק <sup>7</sup>	32.3 מובהק	23.4 מובהק	מגמה ירידה מובהקת שנצפתה בסוף התקופה "לפני" <b>נשברה</b> (מובהק) ונהפכה <b>למגמת עליה</b> (מובהקת) בשנת 2009.
40. מספר נפגעים בתאונות חזית-חזית, בדרכים לא עירוניות	-2.7 מובהק גבולית	4.1 לא מובהק	1.4 לא מובהק	מגמת ירידה מובהקת גבולית שהייתה בתקופת "לפני" <b>נשברה</b> (לא מובהק) ונהפכה <b>למגמת עליה</b> (לא מובהקת) בשנת 2009.
41. מספר נפגעים בתאונות בצמתים	-8.0 מובהק <sup>8</sup>	16.4 מובהק	8.3 לא מובהק	מגמה ירידה מובהקת שנצפתה בסוף התקופה "לפני" <b>נשברה</b> (מובהק) ונהפכה <b>למגמת עליה</b> (לא מובהקת) בשנת 2009.

הסדרה הנבחנת	שיפוע קו המגמה בתקופת "לפני"	שינוי בסוף שינוי 2008 (trend60)	שיפוע קו המגמה בשנת 2009	מסקנה: מהות השינוי בשנת 2009 לעומת שנים קודמות
לא עירוניים (פרט להולכי רגל)				בשנת 2009.
42. מספר נפגעים בתאונות בצמתים עירוניים (פרט להולכי רגל)	-5.3 מובהק	-14.0 מובהק	-19.3 מובהק	מגמת ירידה מובהקת שהייתה בסוף התקופה "לפני" <b>התחזקה</b> (מובהק) בשנת 2009.
43. סך התאונות עם נפגעים, כולל יו"ש	-1.3 מובהק	1.3 לא מובהק	0.0 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר <b>נשברה</b> (לא מובהק) ונהפכה לקו אופקי (ללא מגמה) בשנת 2009.
44. סך הנפגעים בתאונות, כולל יו"ש	-4.3 מובהק <sup>9</sup>	5.7 מובהק גבולית	1.3 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר <b>נשברה</b> (מובהק גבולית) ונהפכה <b>למגמת עליה</b> (לא מובהקת) בשנת 2009.
45. סך ההרוגים בתאונות, כולל יו"ש	-4.7 מובהק	-5.3 לא מובהק	-10.0 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר <b>התחזקה</b> (לא מובהק) בשנת 2009.

הערות לטבלה 5.2: "מובהק" ברמת מובהקת של 95%; "מובהק גבולית" ברמת מובהקת של 85%.

- <sup>3\*</sup> בסדרה 22, בתקופת "לפני", הייתה שבירת קו המגמה כלפי מעלה בחודש 12 - דצמבר 2004 (שינוי מובהק).  
<sup>4\*</sup> בסדרה 30, בתקופת "לפני", הייתה שבירת קו המגמה כלפי מטה בחודש 30 - יוני 2006 (שינוי מובהק).  
<sup>5\*</sup> בסדרה 31, בתקופת "לפני", הייתה שבירת קו המגמה כלפי מטה בחודש 30 - יוני 2006 (שינוי מובהק).  
<sup>6\*</sup> בסדרה 35, בתקופת "לפני", הייתה שבירת קו המגמה כלפי מעלה בחודש 30 - יוני 2006 (שינוי מובהק).  
<sup>7\*</sup> בסדרה 39, בתקופת "לפני", הייתה שבירת קו המגמה כלפי מטה בחודש 20 - אוגוסט 2005 (שינוי מובהק).  
<sup>8\*</sup> בסדרה 41, בתקופת "לפני", הייתה שבירת קו המגמה כלפי מטה בחודש 30 - יוני 2006 (שינוי מובהק).  
<sup>9\*</sup> בסדרה 44, בתקופת "לפני", הייתה שבירת קו המגמה כלפי מטה בחודש 30 - יוני 2006 (שינוי מובהק).

## 5.2. בחינת השאלה לגבי מובהקות השינויים במספר הרוגים/נפגעים/תאונות בשנת

### 2009 לעומת שנים קודמות

בשלב זה הותאמו חותך ומגמה נפרדים לתקופות "לפני" ו-"אחרי". נבדק האם קצב האירועים (מספר יומי של הרוגים/נפגעים/תאונות) בשנת 2009 היה שונה באופן מובהק מהקצב בשנים הקודמות, 2004-2008. טבלה 5.3 מסכמת את הממצאים.

בטבלה 5.3, מוצג יחס בין הממוצע של הקצבים בתקופת "אחרי" לעומת התקופה "לפני", עם רווח הסמך. יחס השווה ל-1 פירושו אין שינוי; יחס העולה על 1 פירושו הרעה (עליה בתאונות בתקופת "אחרי" לעומת "לפני"); יחס הקטן מ-1 פירושו הטבה (ירידה בתאונות בתקופת "אחרי" לעומת "לפני"). אם גבולות רווח הסמך כוללים "1", התוצאה אינה מובהקת. כאשר גבול הרווח העליון קטן מ-1 פירושו שנמצאה הטבה מובהקת; כאשר גבול הרווח התחתון גדול מ-1 פירושו שנמצאה הרעה מובהקת. (השינויים ברמת מובהקות של 95%, אלא אם צוין אחרת).

מטבלה 5.3 ניתן לראות ש :

- מבחינת השינויים במספרי הרוגים - בחלק ניכר מסדרות הנתונים מספרי הרוגים בשנת 2009 היו נמוכים משמעותית לעומת הממוצע של שנים קודמות, כאשר הפערים היו מובהקים. בין היתר, סך הרוגים בשנת 2009 נמוך ב-24% לעומת הממוצע של שנים קודמות; מספר הרוגים בדרכים הלא עירוניות נמוך ב-29% ומספר הרוגים בדרכים העירוניות נמוך ב-22%, בשנת 2009 לעומת הממוצע של שנים קודמות (כל ההבדלים מובהקים).

- כמו כן, ירידות משמעותיות ומובהקות, לעומת השנים הקודמות, נצפו בשנת 2009 בסדרות הרוגים אלה :

הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות - 29%, הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות - 54%, הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות - 34%, הרוגים בצמתים לא עירוניים - 51% (השינויים ברמת מובהקות 95%);

הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים - 21%, הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי - 25% (השינויים ברמת מובהקות 90%).

- בשתי סדרות: הרוגים בתאונות אופנועים ו-הרוגים הולכי רגל במגזר הלא יהודי - בשנת 2009 במספרי הרוגים היו מגמות ירידה לא מובהקות לעומת שנים קודמות, כאשר במספר הרוגים הולכי רגל בדרכים הלא עירוניות לא היה שינוי בשנת 2009 לעומת שנים קודמות.

- בסדרה אחת: הרוגים בצמתים העירוניים - נצפתה מגמת עליה (לא מובהקת) במספרי הרוגים בשנת 2009 לעומת השנים הקודמות.



- בבחינת השינויים במספרי ההרוגים להוציא את תאונת האוטובוס ליד אילת בדצמבר 2008 - סדרות 14-16 אשר נבנו על סמך הסדרות 1, 2, 10 - נמצאו שינויים זהים לסדרות המקוריות, דהיינו ירידות מובהקות במספרי ההרוגים בשנת 2009 לעומת השנים הקודמות.

- בבחינת השינויים בסך התאונות, בחלק ניכר מהסדרות נמצאו ירידות מובהקות בשנת 2009 לעומת השנים הקודמות. בין היתר, נמצאו:

ירידה של 3% בסך התאונות, ירידה של 4% בתאונות בדרכים עירוניות (השינויים ברמת מובהקות 90%);

ירידה של 16% בתאונות עם נהגים צעירים, ירידה של 18% בתאונות עם רכב מקצועי, ירידה של 8% בתאונות בצמתים לא עירוניים, ירידה של 21% בתאונות בצמתים עירוניים (השינויים ברמת מובהקות 95%).

לעומת זאת, לא נמצאו שינויים בתאונות בדרכים לא עירוניות, בשלוש סדרות התאונות עם הולכי רגל ובתאונות חזית-חזית. כמו כן, נמצאה *הרעה מובהקת* בשתי סדרות של תאונות: עליה של 25% בתאונות אופנועים ועליה של 7% בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות.

- גם בבחינת השינויים בסך הנפגעים, בחלק ניכר מהסדרות נמצאו ירידות מובהקות בשנת 2009 לעומת השנים הקודמות. בין היתר, נמצאו:

ירידה של 7% בסך הנפגעים, ירידה של 9% בנפגעים בתאונות בדרכים עירוניות, ירידה של 21% בנפגעים בתאונות עם נהגים צעירים, ירידה של 28% בנפגעים בתאונות עם רכב מקצועי, ירידה של 9% בנפגעים בתאונות בצמתים לא עירוניים, ירידה של 25% בנפגעים בתאונות בצמתים עירוניים (השינויים ברמת מובהקות 95%); ירידה של 4% בנפגעים בתאונות בדרכים לא עירוניות (השינוי ברמת מובהקות 90%).

לעומת זאת, לא נמצאו שינויים במספרי נפגעים בשלוש סדרות התאונות עם הולכי רגל, במספרי נפגעים בתאונות רכב יחיד בדרכים הלא עירוניות ובנפגעים בתאונות חזית-חזית. כמו כן, נמצאה *הרעה מובהקת* במספרי נפגעים בתאונות אופנועים - עליה של 22%.

- השינויים בסך ההרוגים, התאונות והנפגעים לרבות יו"ש היו דומים לשינויים שנצפו באותן הסדרות ללא יו"ש, דהיינו נצפו ירידות מובהקות בשנת 2009 לעומת שנים קודמות, כאשר השינוי המשמעותי ביותר נמצא בקרב ההרוגים (ירידה של 22%).

טבלה 5.3. שינויים במספרי הרוגים/נפגעים/תאונות בשנת 2009 לעומת הממוצע של שנים קודמות, 2004-2008

א - סדרות ההרוגים, לרבות הסדרות המשלימות

הסדרה הנבחנת	יחס ממוצע "אחרי" לעומת "לפני"	רווח סמך (95%)	<b>מסקנה: מהות השינויים בשנת 2009 לעומת שנים קודמות</b>
1. סה"כ ההרוגים	0.758	0.669 -0.859	ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%
2. הרוגים בדרכים לא עירוניות	0.710	0.598 -0.843	ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%
3. הרוגים בדרכים עירוניות	0.777	0.641 -0.942	ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%
4. הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים	0.785	0.590 -1.043	ירידה לא מובהקת ברמת מובהקות 95%, ירידה מובהקת ברמת מובהקות 90%
5. הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי	0.747	0.557 -1.001	ירידה לא מובהקת ברמת מובהקות 95%, ירידה מובהקת ברמת מובהקות 90%
6. הרוגים בתאונות אופנועים	0.846	0.590 -1.213	ירידה לא מובהקת
7. הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות	0.714	0.546-0.933	ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%
8. הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות	0.932	0.634 -1.372	ללא שינוי
9. הרוגים הולכי רגל במגזר לא יהודי	0.877	0.583 -1.320	ירידה לא מובהקת
10. הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות	0.455	0.295 -0.701	ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%
11. הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות	0.660	0.446 -0.975	ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%
12. הרוגים בצמתים לא עירוניים (פרט להולכי רגל)	0.494	0.307 -0.795	ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%
13. הרוגים בצמתים עירוניים (פרט להולכי רגל)	1.164	0.751 -1.804	עליה לא מובהקת
14. סה"כ ההרוגים, להוציא תאונת האוטובוס ב 12/2008	0.758	0.669 -0.859	ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%
15. הרוגים בדרכים לא עירוניות, להוציא תאונת האוטובוס ב 12/2008	0.710	0.598 -0.843	ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%
16. הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות, להוציא תאונת האוטובוס ב 12/2008	0.455	0.295 -0.701	ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%

טבלה 5.3. שינויים במספרי הרוגים/נפגעים/תאונות בשנת 2009 לעומת הממוצע של שנים קודמות, 2004-2008 - המשך

ב - סדרות התאונות והנפגעים

מסקנה: מהות השינויים בשנת 2009 לעומת שנים קודמות	רווח סמך (95%)	יחס ממוצע "אחרי" לעומת "לפני"	הסדרה הנבחנת
ירידה מובהקת ברמת מובהקות 90%	0.937 -1.003	0.969	17. סה"כ התאונות
ללא שינוי	0.954 -1.022	0.988	18. תאונות בדרכים לא עירוניות
ירידה מובהקת ברמת מובהקות 90%	0.926 -1.001	0.963	19. תאונות בדרכים עירוניות
ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%	0.803 -0.871	0.837	20. תאונות עם נהגים צעירים
ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%	0.752 -0.883	0.815	21. תאונות עם רכב מקצועי
עליה מובהקת ברמת מובהקות 95%	1.174 -1.337	1.253	22. תאונות אופנועים
ללא שינוי	0.936 -1.071	1.001	23. תאונות הולכי רגל, בדרכים עירוניות
ללא שינוי	0.768 -1.123	0.929	24. תאונות הולכי רגל, בדרכים לא עירוניות
ללא שינוי	0.853 -1.070	0.956	25. תאונות הולכי רגל, במגזר לא יהודי
עליה מובהקת ברמת מובהקות 90%	0.990 -1.165	1.074	26. תאונות רכב יחיד, בדרכים לא עירוניות
ללא שינוי	0.893 -1.180	1.026	27. תאונות חזית-חזית, בדרכים לא עירוניות
ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%	0.875 -0.975	0.924	28. תאונות בצמתים לא עירוניים (פרט להולכי רגל)
ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%	0.752 -0.825	0.788	29. תאונות בצמתים עירוניים (פרט להולכי רגל)
ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%	0.897 -0.955	0.926	30. סה"כ הנפגעים בתאונות
ירידה מובהקת ברמת מובהקות 90%	0.909 -1.003	0.955	31. מספר נפגעים בתאונות בדרכים לא עירוניות
ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%	0.877 -0.943	0.910	32. מספר נפגעים בתאונות בדרכים עירוניות
ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%	0.743 -0.834	0.787	33. מספר נפגעים בתאונות עם נהגים צעירים
ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%	0.683 -0.763	0.722	34. מספר נפגעים בתאונות עם רכב מקצועי
עליה מובהקת	1.148 -1.307	1.225	35. מספר נפגעים בתאונות אופנועים
ללא שינוי	0.944 -1.079	1.009	36. מספר נפגעים הולכי רגל, בדרכים עירוניות
ללא שינוי	0.801 -1.131	0.951	37. מספר נפגעים הולכי רגל, בדרכים לא עירוניות

מסקנה: מהות השינויים בשנת 2009 לעומת שנים קודמות	רווח סמך (95%)	יחס ממוצע "אחרי" לעומת "לפני"	הסדרה הנבחנת
ללא שינוי	0.887 -1.096	0.986	38. מספר נפגעים הולכי רגל, במגזר לא יהודי
ללא שינוי	0.866 -1.063	0.960	39. מספר נפגעים בתאונות רכב יחיד, בדרכים לא עירוניות
ללא שינוי	0.802 -1.108	0.943	40. מספר נפגעים בתאונות חזית-חזית, בדרכים לא עירוניות
ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%	0.844 -0.974	0.907	41. מספר נפגעים בתאונות בצמתים לא עירוניים (פרט להולכי רגל)
ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%	0.715 -0.790	0.752	42. מספר נפגעים בתאונות בצמתים עירוניים (פרט להולכי רגל)
ירידה מובהקת ברמת מובהקות 90%	0.939 -1.004	0.971	43. סך התאונות עם נפגעים, כולל יו"ש
ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%	0.900 -0.957	0.928	44. סך הנפגעים בתאונות, כולל יו"ש
ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95%	0.695 -0.882	0.783	45. סך ההרוגים בתאונות, כולל יו"ש

## 6. בחינת שינויים בתהליך באמצעות תרשימי בקרה של Shewhart: שנת

2009 לעומת שנים קודמות

### 6.1. השיטה

מטרת המחקר הינה לגלות שינויים בתהליך. כפי שנאמר בסקירת הספרות בפרק 2.2, ניתן לסווג את שיטות הניתוח לשתי קטגוריות: האחת הנקראת *online*, שבה המעקב הוא תוך כדי התהליך ובה מייחסים חשיבות מרובה לשקלול מתאים בין עיכוב בגילוי לבין אזעקת שווא, והשנייה *off-line* שבה בוחנים נתוני עבר כדי להעריך אם חל שינוי. את ניתוח ה-*online* נעשה בשלב זה בעזרת תרשימי בקרה של Shewhart.

תרשימי הבקרה משמשים במחקר זה כדי לענות על השאלה: "האם חל שינוי בתהליך בשנת 2009 או שהתהליך נשאר בבקרה סטטיסטית?". יעילותם של תרשימי Shewhart לפיקוח על תצפיות בודדות או לפיקוח רציף מוגבלת. ניתן בעזרתם לגלות סטיות גדולות בתהליך, אך לא סטיות קטנות. אנו נשלים, כפי שמקובל בבקרת איכות, את תרשימי Shewhart במבחנים משלימים כפי שהוצעו על ידי Nelson (1984).

כידוע, תרשימי הבקרה מראים את הערך הצפוי של התהליך אותו מנטרים, ואת רווחי הסמך שבתוכם הערך של התהליך אמור להימצא בכל יחידת זמן. האינדיקציה לשינוי בסיכון מתקבלת כאשר קורים מצבים אלה: (א) ערך מסוים נצפה מחוץ לרווח הסמך, או (ב) חלים אירועים המעידים על שינוי. ההתרעה על אירועים אלה מתקבלת באמצעות "tests for special causes", הידועים גם כ-"Western Electric rules". מבחנים אלה משפרים את הרגישות של תרשימי Shewhart לשינויים קטנים בתהליך. אמנם ניתן לשפר את רגישות התרשימים ע"י שימוש ברווחי סמך הצרים מ-3 סטיות תקן, אולם זה מעלה את הסיכוי להתראת שווא. לעומת זאת, על ידי גילוי תבניות לא אקראיות בנקודות שבתרשימים ניתן לקבל יותר רגישות ואינפורמציה דיאגנוסטית, כל זאת אמנם תוך העלאת הסיכון להתראת שווא, אם כי במידה פחותה מזו שהייתה נגרמת על ידי הצרת רווחי הסמך. (בפרק 8 של הדו"ח מובאים ממצאים מבחינת פתרונות אחרים לבעיית חוסר הרגישות לשינויים קטנים בתהליך של תרשימי Shewhart, באמצעות שימוש בתרשימי בקרה מסוגים נוספים).

בניתוח הנוכחי (שנת 2009 לעומת שנים קודמות) אנו ניישם את המבחנים הנמצאים בפרוצדורת Shewhart השייכת ל-SAS/QC גרסה 9.22. נגדיר:

- Zone A - האזור הנמצא במרחק 2-3 סטיות תקן מהממוצע;
- Zone B - האזור הנמצא במרחק 1-2 סטיות תקן מהממוצע;
- Zone C - האזור הנמצא במרחק 0-1 סטיות תקן מהממוצע.

בעקבות הגדרת האזורים (C,B,A) להלן הגדרת המבחנים לתרשימי הבקרה שאמורים לסייע בזיהוי אירועים חריגים :

מס' מבחן	הגדרת המבחן
1	One point beyond Zone A (outside the control limits)
2	Nine points in a row in Zone C or beyond on one side of the central line
3	Six points in a row steadily increasing or steadily decreasing
4	Fourteen points in a row alternating up and down
5	Two out of three points in a row in Zone A or beyond
6	Four out of five points in a row in Zone B or beyond
7	Fifteen points in a row in Zone C on either or both sides of the central line
8	Eight points in a row on either or both sides of the central line with no points in Zone C

ביישון הנוכחי אנו נתייחס בעיקר למבחנים הבאים :

- מבחן 1 : נקודה בודדת שנופלת מחוץ לגבול הסמך העליון או התחתון ;
- מבחן 2 : 7 נקודות עוקבות מצד אחד של קו האמצע ;
- מבחן 3 : 6 נקודות עוקבות של עליה או ירידה.

אם כי, במידה והיהו יזוהו גם אירועים (מבחנים) נוספים.

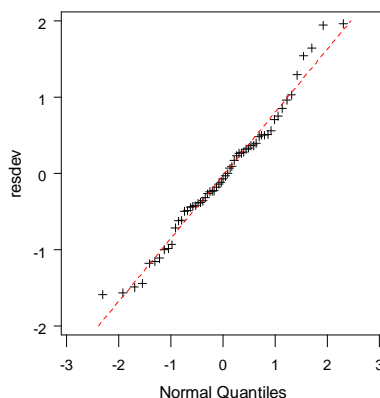
כדי להעריך האם חל שינוי משמעותי בתהליך יש לנכות תחילה את השינויים החלים בו בשל השתנות מסבירים הידועים כגורמים לשינוי. לשלב שבו מנכים את השפעת המשתנים המסבירים כדי לבחון את השאריות מתייחסים, כאמור, כשלב של "עיבוד התחלתי" (Preprocessing). לצורך ניכוי השפעת משתנים אלה, נתאים מודל הכולל אותם לסדרות הנתונים, ונחשב את השאריות. שאריות אלה תשמנה לבניית תרשימי הבקרה. אנו נשתמש בשאריות דיוויאנס המתאימות לסוג הסדרות המנותח כאן.

נעיר כי נשתמש בשאריות דיוויאנס לא מתוקננות. הסיבה לכך היא ששאריות דיוויאנס מתוקננות ניתנות לחישוב רק עבור התצפיות שעל פיהן נבנה המודל. אולם שני סוגי השאריות נמצאים בקורלציה גבוהה מאוד (0.99 ומעלה) ומפגינים נורמליות, עבור התצפיות שעל פיהן נבנה המודל<sup>6</sup>.

ציור 6.1 להלן מביא דוגמה לבדיקת נורמליות לגבי סידרת שאריות הדיוויאנס (resdev) וקורלציה שלהן עם השאריות הסטנדרטיות (STDRESDEV) :

<sup>6</sup> את הבדיקות ניתן למצוא בדו"ח הטכני של המעבדה לסטטיסטיקה

i=1 series=s1



Pearson Correlation Coefficients		
Prob >  r  under H0: Rho=0		
Number of Observations		
	STDRESDEV	resdev
STDRESDEV	1.00000	0.99986
	59	<.0001
resdev	0.99986	1.00000
	<.0001	59

ציור 6.1. דוגמא לבדיקת נורמליות לגבי סידרת שאריות הדיוויאנס (resdev) וקורלציה שלהן עם השאריות הסטנדרטיות (STDRESDEV).

לצורכי הבקרה של כל אחת מהסדרות, שורטט תרשים על סמך סדרת **השאריות** ממודל שהותאם לנתוני הסדרה החודשיים בשנים 2004-2008. על סמך סדרת שאריות זאת חושבו גבולות הבקרה והערך הממוצע. גבולות אלה שימשו לבקרת התהליך בשנת 2009.

פרוט בניית תרשימי הבקרה:

- הותאם מודל לנתוני 2004-2008 כפי שמתואר למעלה.
- לכל נתון, כולל 2009, חושבה שארית הדיוויאנס המתאימה לו על סמך המודל המותאם. התקבלה סידרת שאריות.
- התאמנו תרשים בקרה לסדרת השאריות של השנים 2004-2008. על סמך סדרה זאת חישבנו גבולות בקרה וערך ממוצע, ע"י פרוצדורת Shewhart (אופציית firchart).
- השתמשנו בגבולות הנ"ל כדי לבחון את בקרת התהליך בשנת 2009.

לבניית התרשימים אנו השתמשנו באופציית *irchart* של פרוצדורת *shewhart* של SAS (עם אופציית קביעת גבולות בקרה בנפרד) המניחה אי תלות. הנחה זאת מתאימה לסדרות שנבחנו, על פי החישובים שנערכו קודם (ראה פרק 4).

## 6.2. התוצאות

עבור כל סדרת נתונים נבנה תרשים בקרה המתאר את נתוני התקופה "אחרי" (2009). ציור 6.2 מביא את תרשימי הבקרה עבור סדרות ההרוגים, נספת ב' מציג את תרשימי הבקרה עבור סדרות התאונות והנפגעים.

גבולות הבקרה בתרשימים אלה הם :

הקו האמצעי (מסומן כ-  $\bar{x}$ ) הנו ממוצע שאריות הדיוויאנס של התקופה "לפני";

קו בקרה עליון (UCL – upper control level) שווה לממוצע + שלוש סטיות תקן. הן הממוצע (ערך הקו האמצעי) והן סטיית התקן, השווה לשורש שונות השאריות, מחושבים על פי התקופה "לפני";

קו בקרה תחתון (LCL – lower control level) שווה לממוצע פחות שלוש סטיות תקן (סטיות תקן = שורש שונות השאריות של התקופה "לפני").

כל נקודה בגרף שמציגה את תהליך התאונות בשנת 2009 שווה לשארית של התצפית השייכת לזמן המופיע בציר האופקי. בגרף מופיעות רק שאריות של התקופה "אחרי". נקודות אלה מחוברות בקו.

הערות לתרשימים :

בציר Y - מוצגים נתונים מנוכי מגמה ועונתיות, על סקלה לוגריתמית בתקופה אחרי ;

בציר X - חודשי המעקב, מינואר עד דצמבר 2009 ;

UCL - גבול בקרה עליון (ממוצע פלוס 3 סטיות תקן) ;

LCL - גבול בקרה תחתון (ממוצע פחות 3 סטיות תקן).

(לכל סדרה הובא פלט המודל שהותאם על סמך 60 נקודות, כאשר השיפוע בסוף 2008 מופיע בעמודה L'Beta Estimate. ממצאים אלה מוצגים בדו"ח הטכני של המעבדה לסטטיסטיקה והם שימשו לזיהוי קו המגמה בתקופת "לפני", בכל סדרה).

כאמור, ציור 6.2 מביא את תרשימי הבקרה שנבנו עבור הסדרות של הרוגים. ניתן לראות כי :



- בסדרה S1 "סך ההרוגים", הייתה מגמת ירידה מובהקת בתקופה הקודמת. בשנת 2009, בחודש מרץ הייתה חריגה מגבולות הבקרה כלפי מטה (מבחן 1). סה"כ, התהליך בשנת 2009 היה יציב, בגבולות הבקרה, דהיינו היה המשך מגמת הירידה שנצפתה קודם.<sup>7</sup>

- בסדרה S2 של "הרוגים בדרכים לא עירוניות" הייתה מגמת ירידה מובהקת בתקופה הקודמת. בשנת 2009, התהליך היה יציב, ללא אירועים חריגים - המשך מגמת הירידה שהחלה קודם.

- בסדרה S3 של "הרוגים בדרכים עירוניות" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת בתקופה הקודמת. בשנת 2009, התהליך היה בבקרה ב-10 חדשים, כאשר בחודשים 11-12 נצפו אירועים חריגים - מבחן 1 (נקודה אחת מחוץ לגבולות הבקרה, כלפי מטה) ומבחן 5 (שתיים מתוך שלוש נקודות מחוץ לגבולות הבקרה - אזור A, כלפי מטה). מכאן, בסדרה זאת נמצאה התחזקות מגמת הירידה בסוף שנת 2009.

- בסדרה S4 של "הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים" מגמת הירידה בתקופת "לפני" לא הייתה מובהקת. בשנת 2009 לא נצפו אירועים חריגים בתהליך - היה המשך המגמה של שנים קודמות.

- בסדרה S5 של "הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי" מגמת הירידה בתקופת "לפני" לא הייתה מובהקת. בשנת 2009 לא נצפו אירועים חריגים בתהליך - היה המשך המגמה של שנים קודמות.

- בסדרה S6 של "הרוגים בתאונות אופנועים" בתקופת ה"לפני" הייתה מגמת עליה לא מובהקת. בתחילת שנת 2009, היו שני אירועים חריגים בתהליך: מבחן 1 (נקודה אחת מחוץ לגבולות הבקרה, כלפי מטה) ומבחן 5 (שתיים מתוך שלוש נקודות מחוץ לגבולות הבקרה - אזור A, כלפי מטה). עם זאת, בהמשך, התהליך נשאר בגבולות הבקרה - היה המשך המגמה של שנים קודמות.

- בסדרה S7 של "הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות" בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת. בחצי השני של שנת 2009 נצפה אירוע חריג (מבחן 2): 7 נקודות עוקבות מצידו האחד של קו האמצע - סימן להגברת מגמת הירידה. עם זאת, סה"כ בשנת 2009, התהליך נשאר בגבולות הבקרה - המשך המגמה של שנים קודמות.

- בסדרה S8 של "הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות" בתקופת ה"לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת. בשנת 2009 לא נצפו אירועים חריגים - היה המשך המגמה של שנים קודמות.

- בסדרה S9 של "הרוגים הולכי רגל במגזר הלא יהודי" בתקופת ה"לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת. בשנת 2009 לא נצפו אירועים חריגים - היה המשך המגמה של שנים קודמות.

---

<sup>7</sup> ממצאים דומים היו גם עבור הסדרה 45 "סך ההרוגים לרבות יו"ש", אם כי בחודשים ינואר-מרץ 2009 זוהה אירוע לפי מבחן 5 - שתיים מתוך שלוש נקודות מחוץ לגבולות הבקרה - אזור A, כלפי מטה.

- בסדרה S10 של "הרוגים בתאונות רכב יחיד, בדרכים לא עירוניות" בתקופת ה"לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת. בתחילת שנת 2009 נצפה אירוע חריג (מבחן 2): 7 נקודות עוקבות מצידו האחד של קו האמצע - סימן להגברת מגמת הירידה. עם זאת, סה"כ בשנת 2009, התהליך נשאר בגבולות הבקרה - המשך המגמה של שנים קודמות.

- בסדרה S11 של "הרוגים בתאונות חזית-חזית, בדרכים לא עירוניות" בתקופת ה"לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת. בשנת 2009 לא נצפו אירועים חריגים - היה המשך המגמה של שנים קודמות.

- בסדרה S12 של "הרוגים בצמתים לא עירוניים (פרט להולכי רגל)" בתקופת ה"לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת. בשנת 2009, חודש 5 - נצפה אירוע חריג (מבחן 1): נקודה אחת מחוץ לגבולות הבקרה, כלפי מעלה, המצביעה על הרעה בתהליך. עם זאת, בהמשך, התהליך נשאר בגבולות הבקרה - המשך המגמה של שנים קודמות.

- בסדרה S13 של "הרוגים בצמתים עירוניים (פרט להולכי רגל)" בתקופת ה"לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת. בשנת 2009 לא נצפו אירועים חריגים - היה המשך המגמה של שנים קודמות.

סה"כ, מלבד אירועים חריגים בודדים, בסדרות מסוימות, **כל התהליכים הנ"ל בשנת 2009 נשארו בבקרה סטטיסטית**, דהיינו בגבולות הבקרה שנקבעו על סמך נתוני ההרוגים בתקופת "לפני".

גם מבחינת התהליכים בסדרות התאונות והנפגעים - ראה נספח ב' - ניתן להסיק שרוב התהליכים בשנת 2009 נשארו בבקרה סטטיסטית, דהיינו בגבולות הבקרה שנקבעו על סמך נתוני התאונות/הנפגעים בתקופת "לפני". עם זאת, ניתן לציין מספר תופעות כלהלן:

1) התהליך היה במגמת ירידה בתקופת ה"לפני", כאשר בשנת 2009 נצפו אירועים שמעידים על **הרעות נקודתיות** בתהליך. מצב זה היו בסדרות אלה:

\* סה"כ התאונות;

\* סה"כ הנפגעים בתאונות;

\* סה"כ התאונות כולל יו"ש;

\* סה"כ הנפגעים כולל יו"ש;

\* תאונות בדרכים הלא עירוניות;

\* מספר נפגעים בצמתים - בדרכים לא עירוניות;

\* תאונות עם נהגים צעירים - גילאי 17-21;

\* מספר נפגעים בתאונות עם נהגים צעירים - גילאי 17-21.

2) התהליך היה במגמת ירידה בתקופת ה"לפני", כאשר בשנת 2009 נצפה **ריבוי אירועים** שמעידים על הרעה בתהליך. מצב זה היו בסדרות אלה:

\* מספר נפגעים בדרכים לא עירוניות;

\* תאונות רכב יחיד - בדרכים לא עירוניות;

\* מספר נפגעים בתאונות רכב יחיד - בדרכים לא עירוניות.

3) התהליכים שהיו **במגמת עליה** בתקופת ה"לפני" ולכן, אי-שינוי (הישארות בגבולות הבקרה) אינו מעיד על שיפור:

\* תאונות אופנועים - בתקופה הקודמת היתה מגמת עליה מובהקת. בשנת 2009 התהליך נשאר בגבולות שנקבעו לפי התקופה הקודמת, דהיינו ללא שיפור;

\* מספר נפגעים בתאונות אופנועים - בתקופת ה"לפני" הייתה מגמת עליה מובהקת. בשנת 2009 התהליך נשאר בגבולות שנקבעו לפי התקופה הקודמת, דהיינו ללא שיפור, אם כי נצפו אירועים נקודתיים המעידים על שיפור - ירידה בנפגעים;

\* תאונות הולכי רגל, בדרכים עירוניות - בתקופה הקודמת היתה מגמת עליה מובהקת. בשנת 2009 התהליך נשאר בגבולות שנקבעו לפי התקופה הקודמת, דהיינו ללא שיפור, אם כי נצפו אירועים נקודתיים המעידים על שיפור - ירידה בתאונות;

\* מספר נפגעים הולכי רגל, בדרכים עירוניות - בתקופת ה"לפני" הייתה מגמת עליה מובהקת. בשנת 2009 התהליך נשאר בגבולות שנקבעו לפי התקופה הקודמת, דהיינו ללא שיפור, אם כי נצפו אירועים נקודתיים המעידים על שיפור - ירידה בנפגעים.

\* תאונות הולכי רגל, במגזר הלא יהודי - בתקופה הקודמת היתה מגמת עליה לא מובהקת. בשנת 2009 התהליך נשאר בגבולות שנקבעו לפי התקופה הקודמת, דהיינו ללא שיפור.

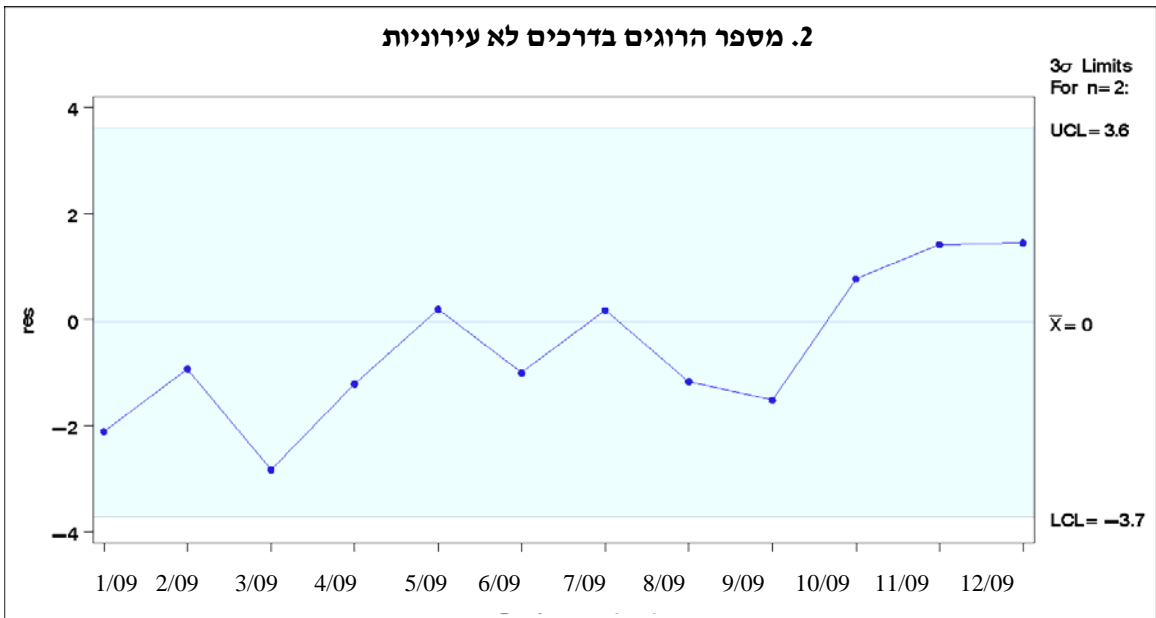
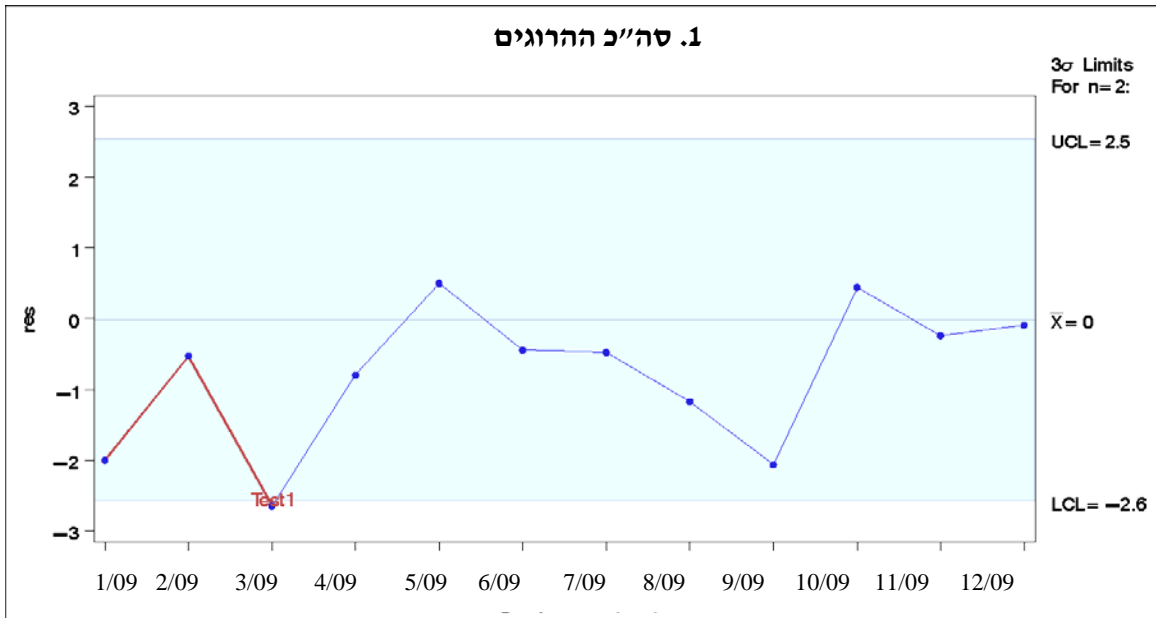
4) התהליך היה במגמת ירידה בתקופת ה"לפני", כאשר בשנת 2009 נצפו אירועים שמעידים על **שיפורים נקודתיים** בתהליך. מצב זה היה בסדרות אלה:

\* תאונות עם נהגים מקצועיים - רכב משא מעל 4 טון;

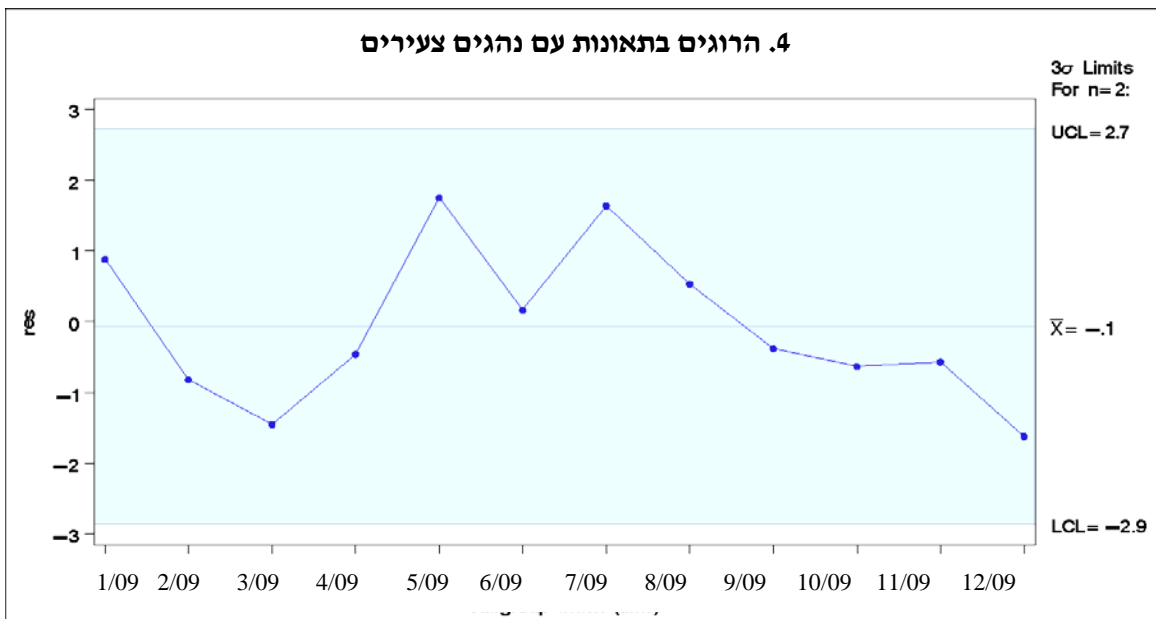
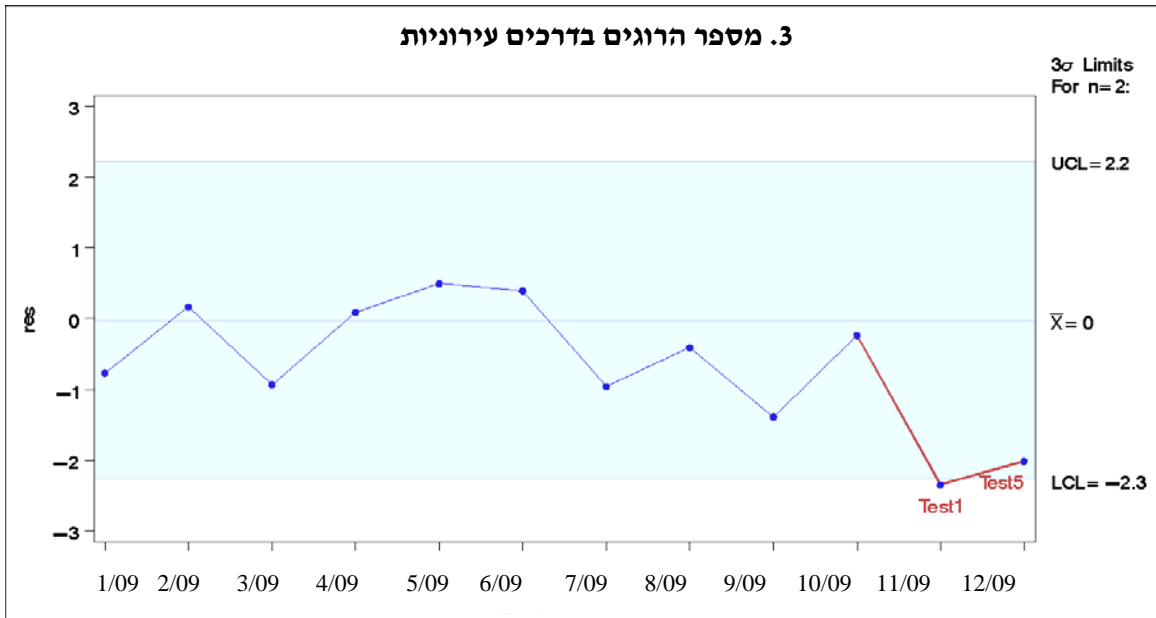
\* מספר נפגעים בתאונות עם נהגים מקצועיים - רכב משא מעל 4 טון;

\* תאונות בצמתים - בדרכים עירוניות;

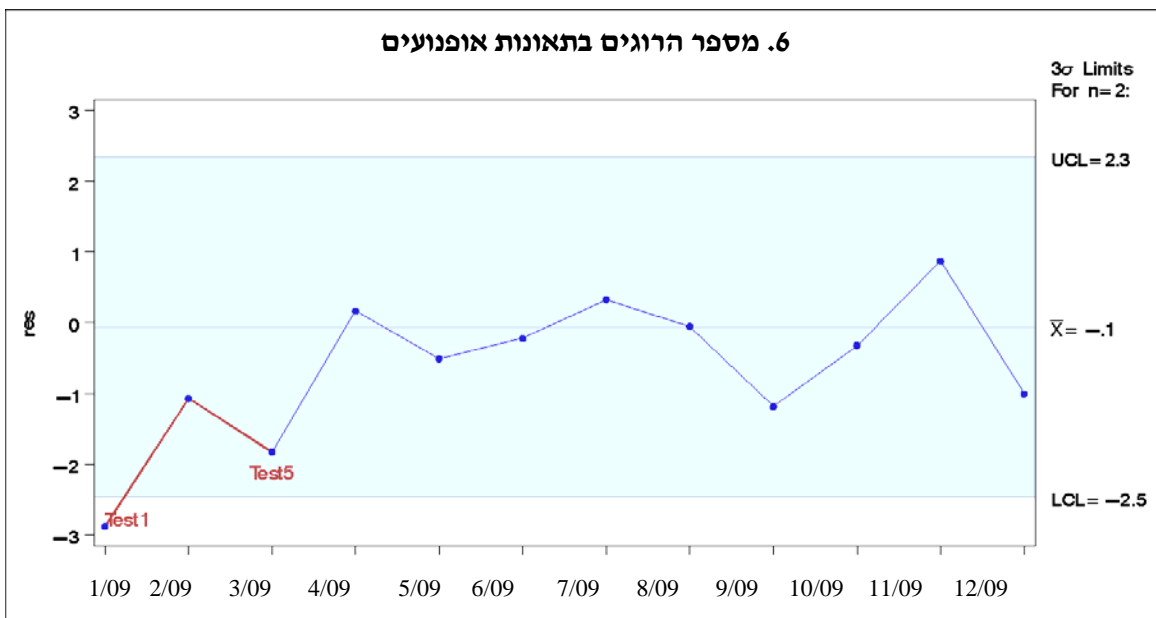
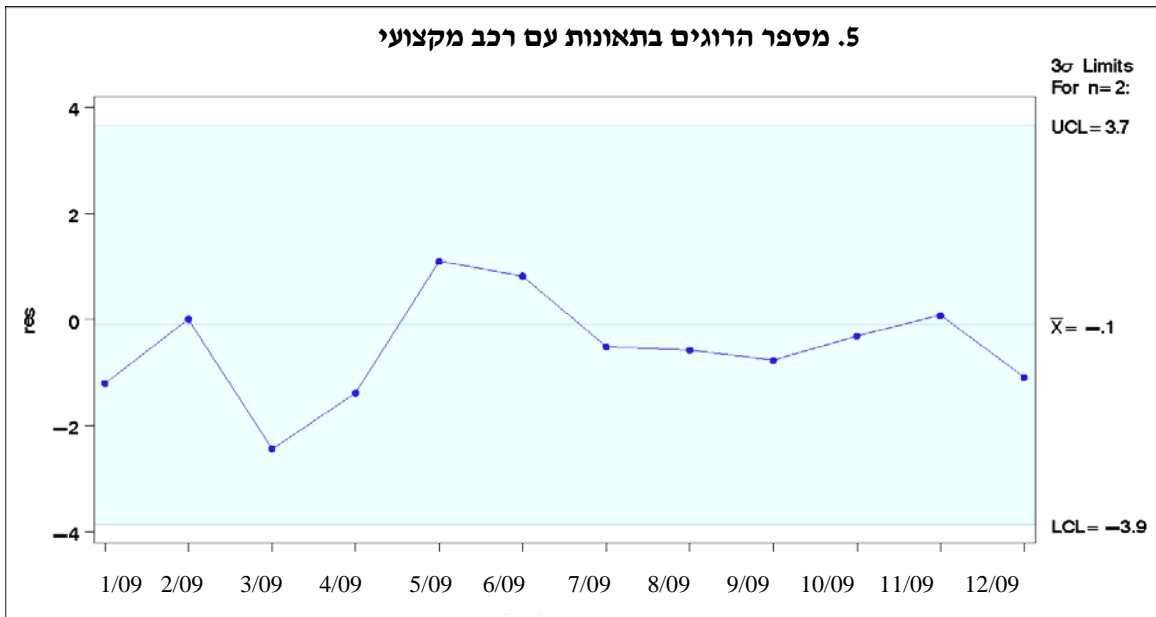
\* מספר נפגעים בצמתים - בדרכים עירוניות.



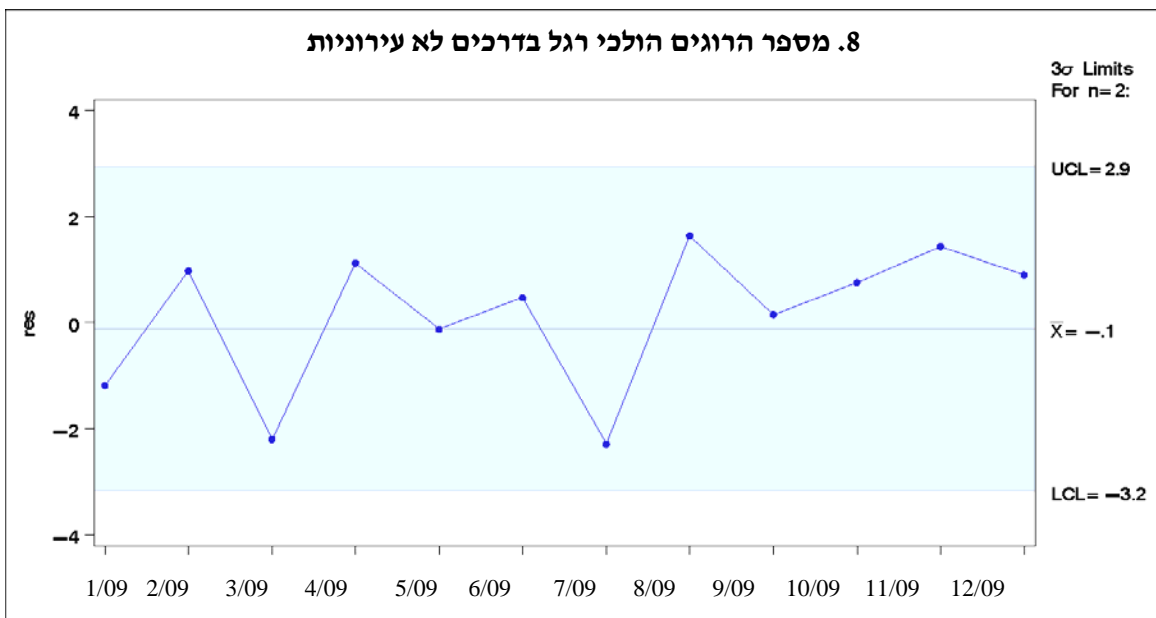
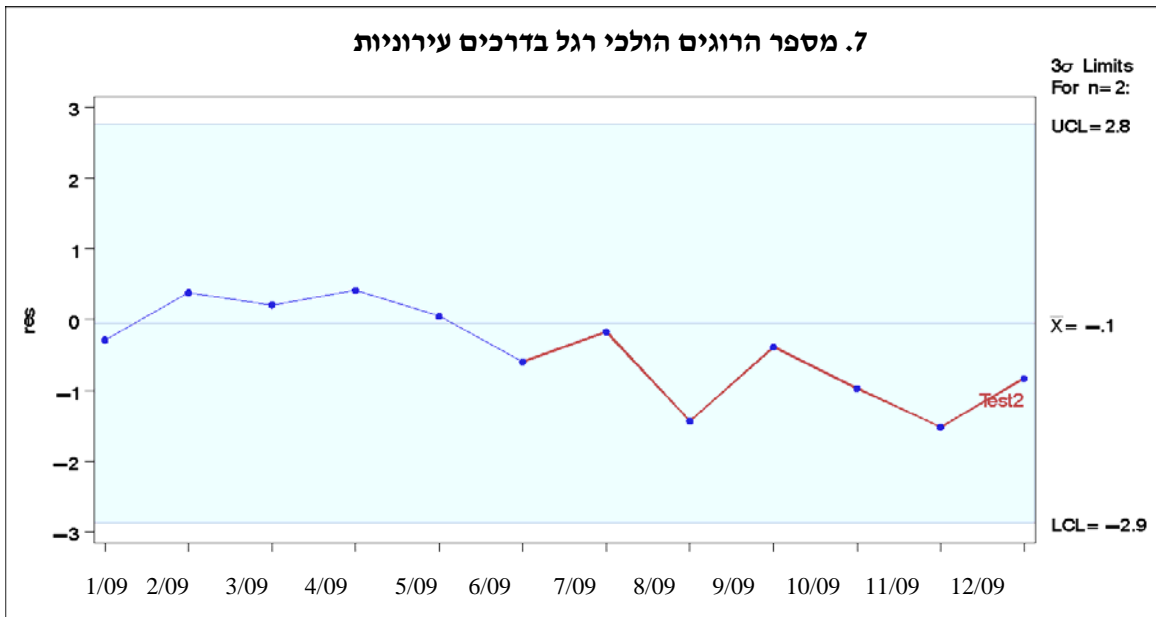
**ציור 6.2. תרשימי בקרה לסדרות הרוגים בתאונות הדרכים בשנת 2009.**



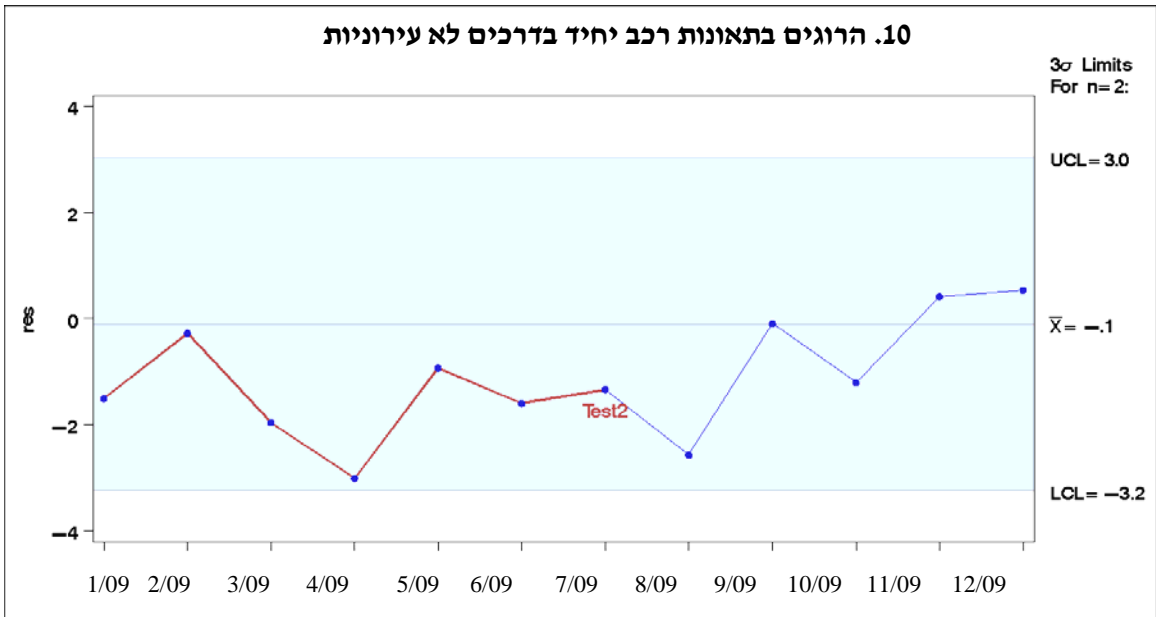
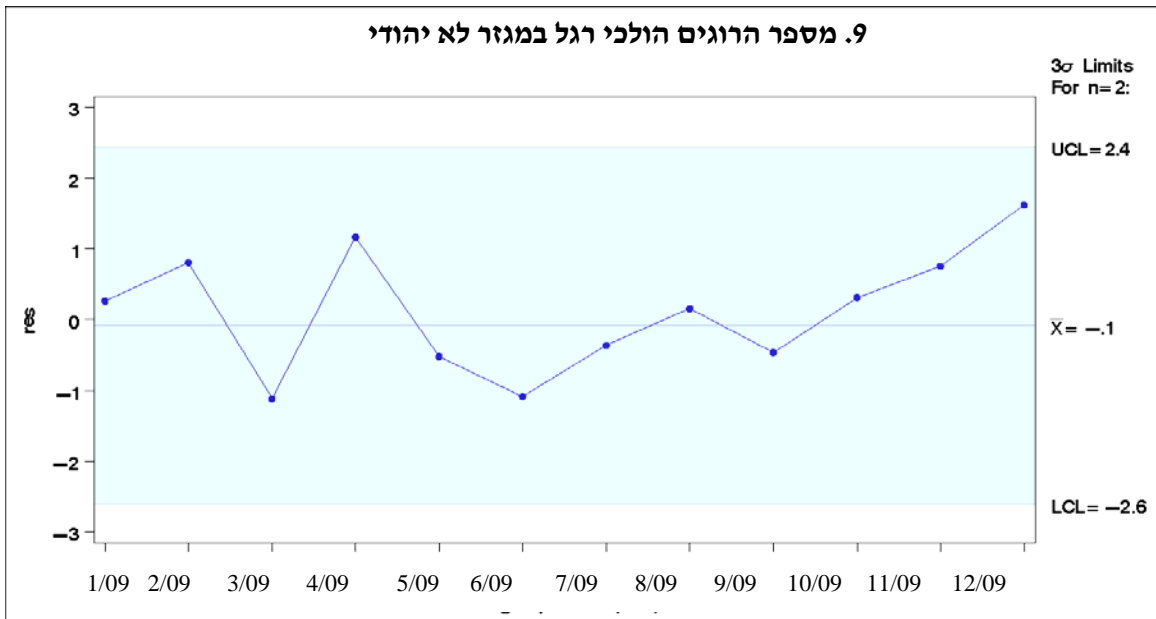
ציור 6.2. תרשימי בקרה לסדרות הרוגים בתאונות הדרכים בשנת 2009 - המשך.



ציור 6.2. תרשימי בקרה לסדרות הרוגים בתאונות הדרכים בשנת 2009 - המשך.

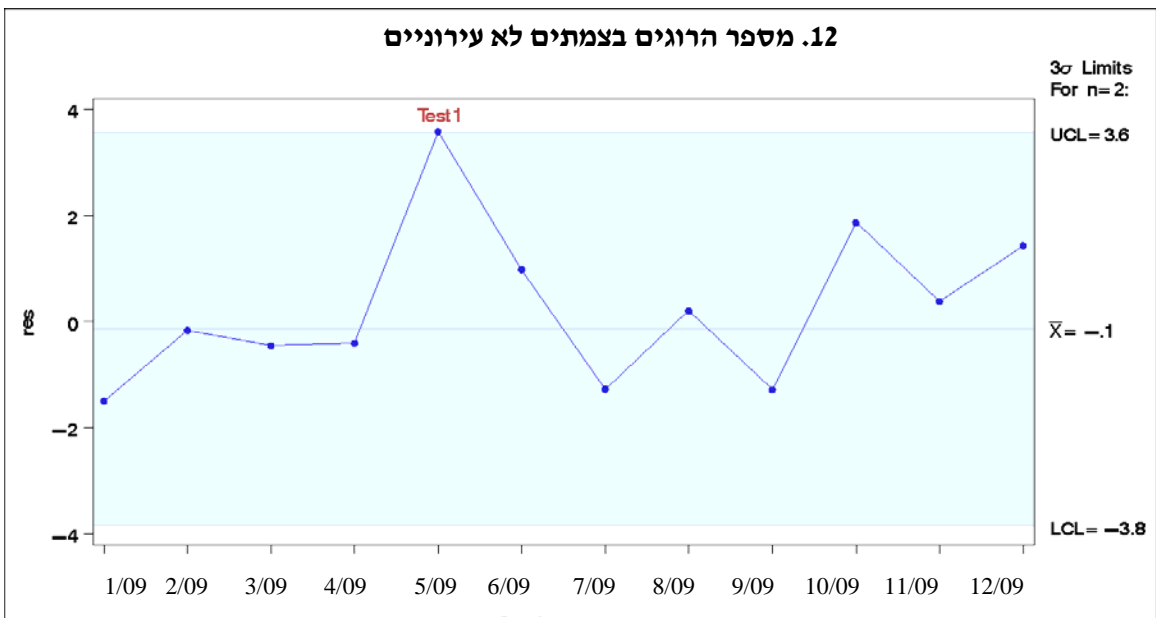
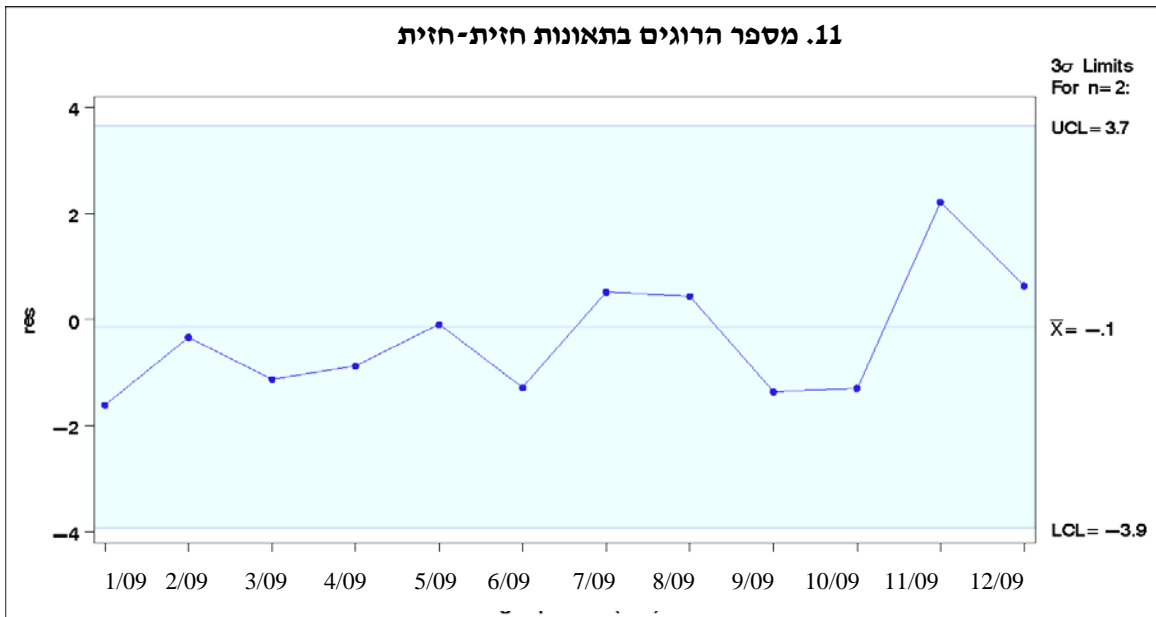


ציור 6.2. תרשימי בקרה לסדרות הרוגים בתאונות הדרכים בשנת 2009 - המשך.

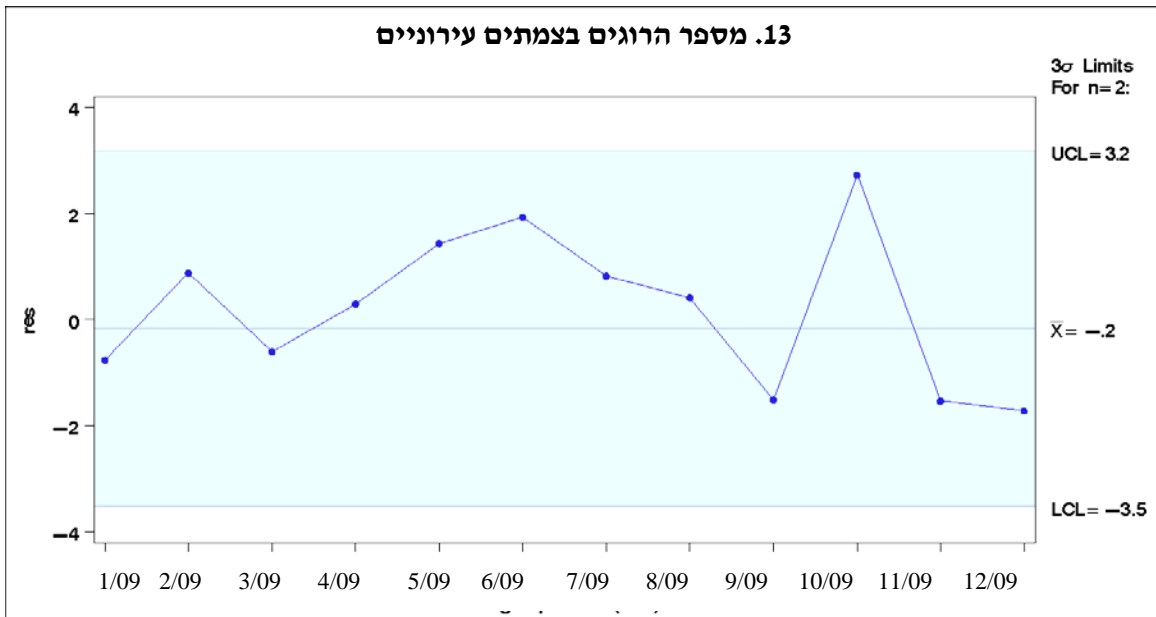


ציור 6.2. תרשימי בקרה לסדרות הרוגים בתאונות הדרכים בשנת 2009 - המשך.





ציור 6.2. תרשימי בקרה לסדרות הרוגים בתאונות הדרכים בשנת 2009 - המשך.



**ציור 6.2. תרשימי בקרה לסדרות הרוגים בתאונות הדרכים בשנת 2009 - המשך.**

## 7. תוצאות הניתוח: מגמות הרוגים בשנת 2010 לעומת שנים קודמות

### 7.1. כללי

בהמשך המחקר, נבחנו מגמות השינויים במספרי הרוגים בתאונות הדרכים בשנת 2010 לעומת חמש שנים קודמות, 2005-2009.<sup>8</sup> הניתוח התייחס הן למספר הכולל של הרוגים בתאונות הדרכים והן לחתכים מייצגים 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.

בניתוח הסטטיסטי נבחנו שתי שאלות:

א. האם המגמה במספרי הרוגים בשנת 2010 השתנתה באופן מובהק לעומת המגמה בשנים קודמות?

ב. האם מספר הרוגים בשנת 2010 היה שונה באופן מובהק ממספר הרוגים ממוצע בשנים קודמות?

הניתוח התבסס על סדרות חודשיות של הרוגים בתאונות, בתקופה מ-1/2005 עד 12/2010.<sup>9</sup> כמקור הנתונים שימשו קבצי תאונות הדרכים של הלמ"ס, כאשר מספרי ההרוגים היו בהתאם להגדרה של הרוג בתאונה (נפטר תוך שלושים יום מתאריך התאונה). הניתוח כלל 13 סדרות של הרוגים, בדומה ל-13 הסדרות הבסיסיות של הרוגים - ראה הגדרות בפרק 3.

בדומה לשיטת הניתוח שתוארה בפרק 4, הניתוח הסטטיסטי הנוכחי התבסס על התאמת מודל מסביר לכל סדרה של מספרי הרוגים בתקופת "לפני" (2005-2009), ובתקופת "אחרי" (2010). המודל שהותאם לכל סדרה של נתונים היה פואסוני או בינומי שלילי, עם זמן כמסביר, והמתחשב באפקט החודשי, במספר הימים בחודש, בשבירת המגמה בתקופת "לפני" (אם הייתה) ובאפקט המלחמה<sup>10</sup>. המודל אומד את תוחלת המופע היומי של אירועים בחודש מסוים (ממדל לוגריתם לערך זה).

במסגרת הניתוח, נבחן קו המגמה (עליה/ ירידה/ ללא שינוי לאורך זמן) במספרי הרוגים בתאונות וכן, שכיחות האירועים, בשנים הקודמות, ובוצעה השוואה של מאפיינים אלה עם מאפיינים דומים (קו המגמה, שכיחות האירועים) בשנת 2010.

<sup>8</sup> ממצאי ניתוח זה פורסמו בדו"ח הרשות (2011)

<sup>9</sup> סה"כ בשטח מדינת ישראל, לא כולל יו"ש

<sup>10</sup> בתקופת הניתוח היו שתי מלחמות: (1) ביולי-אוגוסט 2006, (2) בדצמבר 2008-ינואר 2009. לכן, בכל סדרה, נוצרו שלושה משתנים אינדיקטיביים המבטאים את השפעת גורם המלחמה, דהיינו ביולי-אוגוסט 2006, בדצמבר 2008 ובינואר 2009.

## 7.2. בחינת השאלה לגבי מובהקות השינויים במגמות הרוגים בשנת 2010 לעומת

### שנים קודמות

הותאם מודל לנתוני 2005-2010, ובו אפשרות לנקודת שבירה בסוף 2009 (*trend60*). הפרמטר *trend60* מבטא את היחס בין שיפוע קו המגמה בתקופת "אחרי" לעומת "לפני" נקודת הזמן הנבחרת, דהיינו מבטא את אופי שינוי הקו. מקדם חיובי מובהק *trend60* פירושו הרעה במגמת 2010 לעומת המגמה הקודמת (שינוי קו המגמה כלפי מעלה, לכיוון עליה בהרוגים), ואילו מקדם שלילי מובהק *trend60* פירושו הטבה במגמת 2010 (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 2010. ממצאי הניתוח מובאים בטבלה 7.1.

מבחינת השינויים במגמה בשנת 2010 עולה (ראה טבלה 7.1) שבחלק ניכר מסדרות הנתונים התרחשו שינויים שליליים - הופיעה או התחזקה מגמת עליה. בסה"כ ההרוגים ובמספר הרוגים בדרכים העירוניות, מגמת ירידה מובהקת שנצפתה בתקופה הקודמת נשברה ונהפכה למגמת עליה בשנת 2010 (אם כי, בקרב סך ההרוגים מגמת העלייה בשנת 2010 הייתה לא מובהקת ואילו בקרב הרוגים בדרכים העירוניות - מובהקת גבולית). גם בקרב הרוגים בדרכים הלא עירוניות, מגמת ירידה מובהקת שהייתה בתקופה הקודמת נחלשה בשנת 2010.

כמו כן, שינויים שליליים נצפו בסדרות אלה: הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים, הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות, הרוגים בצמתים לא עירוניים (במקרים אלה, מגמת ירידה מובהקת של התקופה הקודמת נשברה בשנת 2010 ונהפכה למגמת עליה לא מובהקת); הרוגים בתאונות אופנועים והרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות (במקרים אלה, מגמת ירידה של התקופה הקודמת נהפכה, בשנת 2010, למגמת עליה מובהקת גבולית או מובהקת); הרוגים הולכי רגל במגזר הלא יהודי (מגמת עלייה לא מובהקת של התקופה הקודמת התחזקה ונהפכה למגמת עליה מובהקת גבולית בשנת 2010).

לעומת זאת, שינויים חיוביים נצפו בסדרות אלה: הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי, הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות, הרוגים בצמתים עירוניים (במקרים אלה, מגמת ירידה של התקופה הקודמת התחזקה בשנת 2010, אם כי, לא מובהקת); הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות (במקרה זה, מגמת עלייה שנצפתה בתקופה הקודמת נהפכה למגמת ירידה לא מובהקת).

טבלה 7.1. ממצאים מבחינת שינויים במגמות ההרוגים בשנת 2010

הסדרה הנבחנת	שיפוע קו המגמה בתקופת "לפני"	שינוי בסוף 2009 (trend60)	שיפוע קו המגמה בשנת 2010	מסקנה: מהות השינוי בשנת 2010 לעומת שנים קודמות
1. סה"כ ההרוגים	-5.30 מובהק	11.86 לא מובהק	6.56 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר נשברה (לא מובהק) ונהפכה למגמת עליה (לא מובהקת) בשנת 2010
2. הרוגים בדרכים לא עירוניות	-4.73 מובהק	0.64 לא מובהק	-4.08 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר נחלשה (לא מובהק) בשנת 2010.
3. הרוגים בדרכים עירוניות	-6.12 מובהק	27.73 מובהק גבולית	21.61 מובהק גבולית	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר נשברה (מובהק גבולית) ונהפכה למגמת עליה (מובהקת גבולית) בשנת 2010.
4. הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים	-8.74 מובהק	14.42 לא מובהק	5.68 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר נשברה (לא מובהק) ונהפכה למגמת עליה (לא מובהקת) בשנת 2010.
5. הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי	-3.94 לא מובהק	-21.89 לא מובהק	-25.83 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת אשר התחזקה (לא מובהק) בשנת 2010.
6. הרוגים בתאונות אופנועיים	-1.89 לא מובהק	46.74 מובהק גבולית	44.85 מובהק גבולית	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה לא מובהקת אשר נשברה (מובהק גבולית) ונהפכה למגמת עליה (מובהקת גבולית) בשנת 2010.
7. הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות	-7.75 מובהק	47.43 מובהק	39.68 מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת ירידה מובהקת אשר נשברה (מובהק) ונהפכה למגמת עליה (מובהקת) בשנת 2010.
8. הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות	1.66 לא מובהק	-13.51 לא מובהק	-11.85 לא מובהק	בתקופת "לפני" הייתה מגמת עליה לא מובהקת אשר נשברה (לא מובהק) ונהפכה למגמת ירידה (לא מובהקת) בשנת 2010.
9. הרוגים הולכי רגל במגזר לא יהודי	0.04 לא מובהק	42.47 מובהק גבולית	42.51 מובהק גבולית	מגמת עליה לא מובהקת שהייתה בתקופת "לפני" התחזקה (מובהק גבולית) ונהפכה למגמת עליה מובהקת גבולית בשנת 2010.
10. הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות	-30.30 מובהק*	64.02 מובהק גבולית	33.72 לא מובהק	מגמת ירידה מובהקת שהייתה בסוף התקופה "לפני" נשברה (מובהק גבולית) ונהפכה למגמת עליה (לא מובהקת) בשנת 2010.
11. הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות	-7.88 מובהק	-17.24 לא מובהק	-25.12 לא מובהק	מגמת ירידה מובהקת שהייתה בתקופת "לפני" התחזקה (לא מובהק) בשנת 2010.
12. הרוגים בצמתים לא עירוניים (פרט להולכי רגל)	-28.84 מובהק**	77.17 מובהק גבולית	48.33 לא מובהק	מגמת ירידה מובהקת שנצפתה בסוף התקופה "לפני" נשברה (מובהק גבולית) ונהפכה למגמת עליה (לא מובהקת) בשנת 2010.
13. הרוגים בצמתים עירוניים (פרט להולכי רגל)	-3.57 לא מובהק	-43.47 לא מובהק	-47.04 לא מובהק	מגמת ירידה לא מובהקת שהייתה בתקופת "לפני" התחזקה (לא מובהק) בשנת 2010.

הערות לטבלה 7.1: "מובהק" ברמת מובהקת של 95%; "מובהק גבולית" ברמת מובהקת של 85%.

\* בסדרה 10, בתקופת "לפני", הייתה שבירת קו המגמה כלפי מטה בחודש 40 - אפריל 2008 (שינוי מובהק).

\*\* בסדרה 12, בתקופת "לפני", הייתה שבירת קו המגמה כלפי מטה בחודש 26 - פברואר 2007 (שינוי מובהק גבולית).

עבור הסדרות 1, 2, 10 ממצאי השינויים במגמות היו דומים גם כאשר ההערכות בוצעו ללא תאונות אוטובוס מרובת ההרוגים ליד אילת שאירעה בדצמבר 2008.

### 7.3. בחינת השאלה לגבי מובהקות השינויים במספרי הרוגים בשנת 2010 לעומת

#### שנים קודמות

בשלב זה הותאמו חותך ומגמה נפרדים לתקופות "לפני" ו-"אחרי". השוואה זו נועדה לענות על שאלה האם קצב האירועים (מספר יומי של הרוגים) בשנת 2010 היה שונה באופן מובהק מהקצב הממוצע בשנים הקודמות. תוצאות בחינה זו מובאות בטבלה 7.2.

בטבלה 7.2, מוצג יחס בין הממוצע של הקצבים בשנת 2010 לעומת התקופה "לפני" (שנים 2005-2009 או שנת 2009 בלבד), עם רווח הסמך. יחס השווה ל-1 פירושו אין שינוי; יחס העולה על 1 פירושו הרעה (עליה בהרוגים בשנת 2010 לעומת התקופה "לפני"); יחס הקטן מ-1 פירושו הטבה (ירידה בהרוגים בשנת 2010 לעומת "לפני"). אם גבולות רווח הסמך כוללים "1", התוצאה אינה מובהקת. כאשר גבול הרווח העליון קטן מ-1 פירושו שנמצאה הטבה מובהקת; כאשר גבול הרווח התחתון גדול מ-1 פירושו שנמצאה הרעה מובהקת. (השינויים ברמת מובהקות של 95% פרט אם צוין אחרת).

הערה: יודגש כי הערכה זו עונה על שאלה: האם קצב האירועים בשנה 2010 השתנה לעומת קצב האירועים בשנים הקודמות. "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 7.2 אינה השוואה גולמית של מספרי הרוגים בשנת 2010 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 7.2) עולה שברוב סדרות הנתונים מספרי ההרוגים בשנת 2010 היו נמוכים יותר לעומת הממוצע של שנים קודמות, כאשר לעומת שנת 2009 לא היה שינוי או השינוי לא היה מובהק. בין היתר, סך ההרוגים בשנת 2010 היה נמוך ב-10% לעומת הממוצע של שנים קודמות; מספר הרוגים בדרכים הלא עירוניות נמוך ב-11% ומספר הרוגים בדרכים העירוניות נמוך ב-8%, לעומת הממוצע של שנים קודמות (ההבדלים בסך ההרוגים ובהרוגים בדרכים הלא עירוניות מובהקים, ברמות מובהקות של 90%-85%).

כמו כן, ירידות מובהקות לעומת הממוצע של שנים קודמות, נצפו בשנת 2010 בסדרות הרוגים אלה: הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי - 27% (ברמת מובהקות 95%); הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים - 22%, הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות - 28% (ברמת מובהקות 90%); הרוגים בצמתים עירוניים - 36% (ברמת מובהקות 85%).

טבלה 7.2. שינויים במספרי הרוגים<sup>#</sup> בשנת 2010 לעומת הממוצע של שנים קודמות, 2005-2009, לעומת שנת 2009 בלבד

הסדרה הנבחנת	2010 לעומת ממוצע 2005-2009 : יחס ממוצע ורווח סמך*	2010 לעומת 2009 : יחס ממוצע ורווח סמך*	מסקנה : מהות השינויים בשנת 2010 לעומת שנים קודמות
1. סה"כ ההרוגים**	0.90 [0.80 ; 1.01]	1.03 [0.90 ; 1.18]	ירידה מובהקת ברמת מובהקות 90% לעומת ממוצע שנים קודמות, ללא שינוי לעומת שנת 2009
2. הרוגים בדרכים לא עירוניות**	0.89 [0.76 ; 1.03]	1.01 [0.85 ; 1.21]	ירידה מובהקת ברמת מובהקות 85% לעומת ממוצע שנים קודמות, ללא שינוי לעומת שנת 2009
3. הרוגים בדרכים עירוניות	0.92 [0.77 ; 1.10]	1.05 [0.85 ; 1.29]	ירידה לא מובהקת לעומת ממוצע של שנים קודמות, ללא שינוי לעומת שנת 2009
4. הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים	0.78 [0.58 ; 1.04]	0.95 [0.68 ; 1.32]	ירידה מובהקת ברמת מובהקות 90% לעומת ממוצע שנים קודמות, ללא שינוי לעומת שנת 2009
5. הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי	0.73 [0.54 ; 0.98]	0.80 [0.57 ; 1.11]	ירידה מובהקת ברמת מובהקות 95% לעומת ממוצע שנים קודמות, ללא מובהקת לעומת שנת 2009
6. הרוגים בתאונות אופנועים	1.28 [0.95 ; 1.73]	1.35 [0.94 ; 1.93]	עליה מובהקת ברמת מובהקות 90% לעומת ממוצע שנים קודמות, עליה מובהקת ברמת מובהקות 90% לעומת שנת 2009
7. הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות	0.95 [0.75 ; 1.20]	1.10 [0.83 ; 1.46]	לא שינוי לעומת ממוצע שנים קודמות, עליה לא מובהקת לעומת שנת 2009
8. הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות	0.96 [0.67 ; 1.39]	0.92 [0.61 ; 1.41]	לא שינוי לעומת ממוצע שנים קודמות, ירידה לא מובהקת לעומת שנת 2009
9. הרוגים הולכי רגל במגור לא יהודי	1.34 [0.96 ; 1.89]	1.36 [0.90 ; 2.04]	עליה מובהקת ברמת מובהקות 90% לעומת ממוצע שנים קודמות, עליה מובהקת ברמת מובהקות 85% לעומת שנת 2009
10. הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות**	0.88 [0.64 ; 1.21]	1.33 [0.85 ; 2.09]	ירידה לא מובהקת לעומת ממוצע שנים קודמות, עליה לא מובהקת לעומת שנת 2009
11. הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות	0.72 [0.50 ; 1.04]	0.90 [0.59 ; 1.38]	ירידה מובהקת ברמת מובהקות 90% לעומת ממוצע שנים קודמות, ירידה לא מובהקת לעומת שנת 2009
12. הרוגים בצמתים לא עירוניים (פרט להולכי רגל)	0.85 [0.54 ; 1.35]	1.75 [0.95 ; 3.20]	ירידה לא מובהקת לעומת ממוצע שנים קודמות, עליה מובהקת ברמת מובהקות 90% לעומת שנת 2009
13. הרוגים בצמתים עירוניים (פרט להולכי רגל)	0.64 [0.37 ; 1.12]	0.69 [0.36 ; 1.29]	ירידה מובהקת ברמת מובהקות 85% לעומת ממוצע שנים קודמות, ירידה לא מובהקת לעומת שנת 2009

\* בטבלה 7.2 רווחי הסמך מוצגים ברמת מובהקות 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.

# נבחן קצב אירועים מנוטרל רעש, גורמי עונתיות והשפעת מלחמות

בשנת 2010 לעומת הממוצע של שנים קודמות, לא היו שינויים מובהקים בסדרות הרוגים אלה: הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות, הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות, הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות, הרוגים בצמתים לא עירוניים (אם כי, בשני המקרים האחרונים ניתן לציין מגמת ירידה).

לעומת זאת, בשתי סדרות: הרוגים בתאונות אופנועים ו-הרוגים הולכי רגל במגזר הלא יהודי - בשנת 2010 נצפו **עליות מובהקות** לעומת הממוצע של שנים קודמות, ברמה של 28%-ו-34%, בהתאמה.

מבחינת השינויים במספרי הרוגים בשנת 2010 לעומת 2009 נמצא כלהלן:

\* בסך הרוגים בתאונות, מספר הרוגים בדרכים הלא עירוניות ומספר הרוגים בדרכים העירוניות, **לא היה שינוי**.

\* כמו כן, **לא היה שינוי** מובהק בסדרות של הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים, הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי, הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות, הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות, הרוגים בצמתים עירוניים, כאשר במקרים אלה ניתן לציין מגמת ירידה. מאידך, בשנת 2010 לעומת 2009, לא היה שינוי מובהק בסדרות של הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות והרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות, כאשר במקרים אלה נצפתה מגמת עליה.

\* לבסוף, **עליה מובהקת** בשנת 2010 לעומת 2009, נמצאה בסדרות הרוגים אלה: הרוגים בתאונות אופנועים - תוספת של 35%, הרוגים הולכי רגל במגזר הלא יהודי - תוספת של 36%, הרוגים בצמתים לא עירוניים - תוספת של 75%.



## 8. חקר השוואתי של תרשימי הבקרה: EWMA, Cusum, Shewhart

### 8.1. שיטת הניתוח

בשלב האחרון של המחקר נערך חקר השוואתי של תרשימי הבקרה מהסוגים: Cusum, Shewhart, EWMA - כאשר הם משמשים לצורכי המעקב אחרי מצב הבטיחות השוטף. בחלק זה ניישם את ממצאי ניתוח סדרות הנתונים לצורך פיתוח תרשימי בקרה לגילוי שינויים בנתונים. נתאר את תרשימי הבקרה ונדגים את יישומם, הן על שלוש סדרות הנתונים והן על סדרות סינטטיות שמטרתן לאפשר הבחנה ברגישות התרשימים לשינויים בנתונים.

#### א. הנתונים

על-פי תוצאות ניתוחי הסדרות, בחינת התפלגותן ושאריותיהן (ראה פרק 4), עלתה המסקנה שההתפלגות המתאימה לתיאור חלק מהסדרות הינה התפלגות פואסונית ולחלקן בינומית שלילית. בנוסף לא התגלו סימני תלות בין תצפיות הסדרות, לאחר ניכוי רכיבי המגמה, העונתיות והמלחמות.

אנו נבחן תרשימים מסוג Cusum, Shewhart ו-EWMA לגבי שלוש סדרות של נתונים שהן:

1. סה"כ מספר ההרוגים (S1),
2. מספר הרוגים בדרכים לא עירוניות (S2),
3. מספר הרוגים בדרכים עירוניות (S3),

אשר שימשו לבחינת השינויים במספרי ההרוגים בשנת 2010 לעומת חמש שנים קודמות, 2005-2009. יצוין כי לשלוש הסדרות התאימה התפלגות פואסונית. כמו כן, בשלוש הסדרות לא הייתה שבירת מגמה בחמש השנים של תקופת ה"לפני", 2005-2009. נזכיר שבסדרות אלה, המשתנה OBS מונה את מספר התצפית (חודש) בסדרה, כאשר  $OBS=1$  ב-2005,  $OBS=61$  ב-2010.

הבעיות בבחינת ביצועי תרשימי הבקרה על הסדרות המקוריות הן, שכאשר תרשים או תרשימים מסוימים מצביעים על שינוי בתהליך אין אנו יודעים האם אכן אירע שינוי או לא, ומצד שני אם התרשימים לא מגלים שינוי האם באמת לא חל שינוי בתהליך. כמו כן, ישנה הנחה שמודל התהליכים נכון והתהליך היה בבקרה בתקופת ה"לפני". לכן, לבחינה השוואתית של רגישות התרשימים יש מקום לבחון אותם על נתונים מלאכותיות שבהם "מבויס" שינוי מסוים בתהליך (כאשר הסדרות המלאכותיות נשארות קרובות ככל הניתן לסדרות אמיתיות).

לכן, כדי לבדוק את ביצועי תרשימי הבקרה, על סמך הסדרה S3 (מספר הרוגים בדרכים עירוניות) יוצרו שני סוגים של סדרות מלאכותיות שהן:

(1) סדרות s305, s310 ו-s315 אשר זהות לסדרה s3, עד לתצפית (OBS) 64, כלומר עד אפריל 2010, ולאחר מכן הוגדלו מספר ההרוגים בתאונות ב-5% בקירוב בסדרה s305, ב-10% בקירוב בסדרה s310 וב-15% בקירוב בסדרה s315. שינוי זה תוכנת כלהלן:

```
s305=s3;
s310=s3;
s315=s3;
if obs>64 then do;
  s305=ceil(s3*1.05);
  s310=ceil(s3*1.1);
  s315=ceil(s3*1.15);
end;
```

(2) סדרות s3000, s3005, s3010, s3015 ו-s3030 אשר נוצרו באופן הבא. השתמשנו במודל התיאורטי של הסדרה s3 כדי ליצר את סדרת הנתונים, כאשר הנתון עבור תצפית (OBS) מוגרל מהתפלגות פואסונית עם תוחלת השווה לאמד התוחלת על-פי המודל של אותה תצפית. עבור התצפיות לאחר תצפית (OBS) 64 הוגדלו מספר התאונות ב-5% בקירוב בסדרה s3005, ב-10% בקירוב בסדרה s3010, ב-15% בקירוב בסדרה s3015 וב-30% בקירוב בסדרה s3030. (השתמשנו גם בגידול של 30% מפני שגידול באחוזים נמוכים יותר לעיתים לא נתן הבדל בין ערכי הסדרות ובשל הצורך שהערכים המוגדלים יהיו שלמים). כמו כן, הסדרה s3000 מובאת לצורך הצגת הנתונים שהוגרלו מהתהליך המקורי, ולהשוואת התרשימים בין סדרה הנמצאת בבקרה לסדרות שלא בבקרה. סדרות אלה תוכנתו כלהלן:

```
call streaminit(123);
s3005=RAND('POISSON',pred);
s3010=s3005;
s3015=s3005;
s3030=s3005;
s3000=s3005;

if obs>64 then do;
  s3005=ceil(s3005*1.05);
  s3010=ceil(s3010*1.1);
  s3015=ceil(s3015*1.15);
  s3030=ceil(s3030*1.30);
end;
```

כלומר, בחינת תרשימי הבקרה בוצעה סה"כ עבור 11 סדרות, לרבות 3 סדרות מקוריות, 3 סדרות מלאכותיות מסוג 1 ועוד 5 סדרות מלאכותיות מסוג 2, כאשר הסדרות המלאכותיות נבנו עבור סדרה מקורית אחת בלבד (מספר הרוגים בדרכים עירוניות).

## ב. רקע לבניית תרשימי הבקרה

בפרק 2.2 לעיל נסקרו שיטות שונות לטיפול בתרשימי בקרה של משתני מנייה. בדרך כלל, האלגוריתמים הקיימים בבקרת איכות לטיפול בנתוני מנייה, מטפלים בתהליכים אשר במצב של בקרה הם בעלי תוחלת קבועה. יתרה מזו, ככלל, מטפלת ספרות ה-SPC (statistical process control) בנתונים אשר במצב בקרה הינם בעלי התפלגות נורמאלית עם תוחלת קבועה (השווה בדרך כלל לאפס) ושונות קבועה, ומטרת תרשים ה-SPC היא לגלות האם חל שינוי בתוחלת.

המטרה בעבודה זו הינה לנצל פיתוחים שנעשו בתחום של פיקוח (surveillance) על מחלות מידבקות. תחום זה דומה לתחום הפיקוח על בטיחות בדרכים, ושניהם שונים מהנתונים בהם מטפל בדרך כלל ה-SPC. הסדרות בתחומים אלה מורכבות מנתוני מנייה אשר עשויים להציג, בשונה מסדרות ה-SPC הרגילות, עונתיות או השתנות אחרת בזמן, כמו מגמה.

בסקירת הספרות בפרק 2.2 הוצג מודל של Hohle and Paul (2008), בו המגמה מבוטאת כפונקציה ליניארית של זמן, והעונתיות על-ידי פונקציות מחזוריות. למודל של Hohle and Paul יש יתרון בכך שתרשימי הבקרה מתארים את המעקב על-ידי הצגת הנתונים בסקלה המקורית. אולם לשיטה זו יש גם חסרונות, בפרט הבנת התרשימים הנוצרים בשיטה זו דורשת יותר מיומנות כי לכל תצפית אין בהכרח אותה שונות. לעומת זאת, קל יותר להבין את תרשימים הקלסיים כאשר הם נבנים על בסיס השאריות, שהן בלתי תלויות ושוות בשונויותיהן (בפרט התרשימים מהסוג של Shewhart, אך גם התרשימים מסוג: EWMA, Cusum). 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.

במחקרנו, השתמשנו בגישה של ניטור השאריות בעזרת תרשימי הבקרה. השאריות התקבלו לאחר "עייבוד התחלתי" בשיטה של "model based". לכל סידרה הותאם מודל (פואסוני או בינומי שלילי), בעזרת המודל נוכח החלק שניתן להסבר על-ידי המודל ולאחר שלב זה, השאריות נבחנו בעזרת הכלים הסטנדרטיים של SPC - דהיינו, תרשימים מסוג Shewhart, Cusum, EWMA. השאריות נבדקו כדי לוודא שהתפלגותן בקירוב נורמאלית, עם תוחלת אפס ושונות קבועה.

Rossi et al (1999) מציעים במאמרם שלוש טרנספורמציות האמורות להמיר נתונים פואסוניים לנתונים נורמאליים סטנדרטיים, אשר עבורם ניתן להשתמש בשיטות SPC סטנדרטיות. אם  $X_t$  - הנתון המקורי ו- $\mu_t$  הוא התוחלת שלו, אזי ההתמרות המוצעות הן:

$$Z1_t = \frac{X_t - \mu_t}{\sqrt{\mu_t}}$$

$$Z2_t = 2(\sqrt{X_t} - \sqrt{\mu_t})$$

$$Z3_t = \frac{X_t - 3\mu_t + 2\sqrt{\mu_t X_t}}{2\sqrt{\mu_t}}$$

ההבדלים בין ההתמרות אמורים להתגלות עבור ערכי  $\mu_t$  נמוכים. מכיוון ש- $\mu_t$  אינו ידוע, נשתמש באמד ל- $\mu_t$ . טרנספורמציות אלה מגדירות למעשה שלושה סוגי שאריות עבור הנתונים.

אין במאמר הצעות לגבי נתונים הלקוחים מהתפלגות בינומית שלילית. בנוסף להתמרות אלה ידוע ששאריות דיוויאנס מפולגות בקירוב נורמלית, עם שונות קבועה, כאשר האמד ל- $\mu_t$ , כלומר המודל, נכון. היתרון בשימוש בשאריות דיוויאנס הוא חישובי. שאריות אלו מוגדרות באופן פשוט לחישוב, הן עבור התפלגות פואסונית והן עבור התפלגות בינומית שלילית. (דיון והשוואת תכונות של סוגי שאריות עבור Generalized Linear Models ניתן למצוא ב-Pierce & Schafer, 1986).

מהשוואת סוגי שאריות אלה עבור הנתונים של הסדרות בחלק זה של המחקר עלה שהקורלציה ביניהן קרובה מאוד ל-1, מה שהיה צפוי מכיוון שהערכים של הסדרות גבוהים. כמו כן, בחינת נורמאליות של כל הסוגים (של השאריות) הצביעה על מידה שווה של נורמאליות. לכן, אנו בחרנו להשתמש בשאריות דיוויאנס הנוחות חישובית. להלן דוגמה לחישוב השאריות ב-SAS:

```
if dist='p' then
  mydev=sign(&series - pred)*sqrt(2* max(0,
  (&series*log(&series/pred)-(&series - pred)) ) );
if dist='nb' then mydev=sign(&series - pred)*sqrt(2*( max(0,
&series*log(&series/pred) -
(&series+1/&my_k)*log((&series+1/&my_k)/(pred+1/&my_k)) ) ) );

if dist='p' then do;
  res_rossiA= (&series - pred)/sqrt( pred);
  res_rossiB= 2*(sqrt(&series) - sqrt( pred));
  res_rossiC= (&series - 3*pred + 2*sqrt(&series*pred))/
  (2*sqrt( pred));
end;
```

כאשר &series הינו נתון מהסדרה הנבדקת, pred הוא הערך המתאים על-פי המודל ו-dist הינו משתנה המכיל את המידע לגבי ההתפלגות המתאימה (p עבור התפלגות פואסונית ו-nb עבור התפלגות בינומית שלילית).

בבקרת 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 תרשים הבקרה. פרמטרים אלה משמשים לניטור התהליך בשלב השני (ביישום זה - בשנה השוטפת).

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. לאחר מכן, ניתן לחשב את שאריות הדיוויאנס בתקופת ה"אחרי" - עבור כל חודש, על סמך נתוני ההרוגים בשנה השוטפת - ולנטר אותן באמצעות תרשים הבקרה.

טבלה 8.1 מביאה דוגמא למודל שהותאם לסדרה S3 (מספר הרוגים בדרכים עירוניות) על סמך הנתונים של התקופה "לפני", 2005-2009. כאמור, מודלים כאלה הותאמו לכל הסדרות שבניתוח. ניתן לראות כי בסוף התקופה "לפני" התהליך של סדרה S3 היה במגמת ירידה מובהקת; מגמת ירידה מובהקת אפיינה גם את התהליכים של סדרות S1, S2.

טבלה 8.1. דוגמא למודל שהותאם לסדרה S3, על סמך הנתונים של התקופה "לפני", 2005-2009

**The GENMOD Procedure**

*Analysis Of Maximum Likelihood Parameter Estimates*

Parameter	DF	Estimate	Standard Error	Wald 95% Confidence Limits		Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept	1	-0.6519	0.0711	-0.7914	-0.5125	83.96	<.0001
trend	1	-5.3140	2.1287	-9.4861	-1.1419	6.23	0.0125
p1	1	-0.0150	0.0514	-0.1157	0.0857	0.09	0.7706
p2	1	0.1198	0.0528	0.0163	0.2234	5.14	0.0233
p3	1	0.0640	0.0508	-0.0356	0.1636	1.59	0.2080
p4	1	0.0321	0.0519	-0.0696	0.1337	0.38	0.5364
War	1	-0.1514	0.2211	-0.5847	0.2819	0.47	0.4933
War3a	1	-0.3788	0.3462	-1.0573	0.2998	1.20	0.2739
War3b	1	-0.1435	0.3044	-0.7401	0.4532	0.22	0.6374
Scale	0	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000		

### ג. התרשימים המושווים

עבור כל סדרה, אנו נשווה בין ארבעת תרשימי הבקרה שהם:

1. תרשים Shewhart של SAS,
2. תרשים Shewhart של R,
3. תרשים Cusum של R,
4. תרשים EWMA של R,

כאשר התרשים הראשון מיוצר ע"י פרוצדורת Shewhart של SAS/QC, בעוד ששלושת התרשימים האחרונים מצוירים ע"י פונקציות qcc, cusum ו-ewma, בהתאמה, מספרית qcc של R<sup>11</sup>.

התרשימים מסוג Shewhart של SAS מיוצרים באמצעות הפרוצדורה Shewhart, ע"י בחירה בתרשים מסוג irchart. תרשים כזה נועד לבקרה של תצפיות בודדות, כאשר עליו חלים הכללים הרגילים של אי-תלות ונורמאליות הנתונים. בפרק 6 לעיל מובא פירוט לתרשימים מסוג זה, לרבות רשימת הכללים לזיהוי אירועים חריגים בתהליך (8 סוגי מבחנים), כאשר במחקר הנוכחי אנו מתייחסים בעיקר לשלושה סוגי אירועים:

- מבחן 1: נקודה בודדת שנופלת מחוץ לגבול העליון או התחתון;
  - מבחן 2: 7 נקודות עוקבות מצד אחד של קו האמצע;
  - מבחן 3: 6 נקודות עוקבות של עליה או ירידה.
- אם כן, התוכנה מדגישה גם סוגי אירועים אחרים.

התרשים מסוג Shewhart של R דומה לזה הנוצר ע"י SAS. ההבדל הוא בכך שפרט לגילוי נקודות החורגות מגבולות הבקרה, מצביע התרשים על אירועים חריגים על-פי כלל של K נקודות או יותר ברצף מצידו האחד של קו האמצע (ממוצע התהליך). ברירת המחדל, אותה השארנו, היא  $K=7$ . בתרשים זה אין התייחסות למקרה של רצף של נקודות שעולות או יורדות מונוטונית, או כללים אחרים שראינו בתרשים של SAS.

במחקר זה יושמו תרשימי Cusum חד-צדדיים (one-sided cusum). תרשים Cusum חד-צדדי נועד לגלות סטייה קבועה בממוצע התהליך המבוקר בכיוון מסוים, כלפי מעלה או מטה. בתרשימי ה-Cusum המובאים במחקר זה, צוירו שני תרשימי Cusum חד-צדדיים על אותו גרף. תרשים אחד, בעל ערכים אי-שליליים נועד לגלות סטייה כלפי מעלה, ואילו התרשים השני, בעל ערכים אי-חיוביים נועד לגלות סטייה כלפי מטה. תרשים זה ברור יותר להבנה מתרשים Cusum דו-צדדי, אשר נועד לגלות חריגה בכיוון כלשהוא. כאשר נקודות התרשים חורגות מגבולות הבקרה מוכרז על שינוי מובהק בתהליך - יציאה מבקרה.

בנוסף, באמצעות התרשים Cusum ניתן לאתר הזזות בממוצע התהליך באופן וויזואלי, מכיוון שהזזות כאלה גורמות לשינוי בשיפוע הנקודות של התרשים. הנקודה בה משתנה השיפוע היא הנקודה בה קורית ההזזה.

תרשים ה-EWMA מחליק סדרה של נתונים, ע"י שימוש בממוצע נע משוקלל, עם משקלות אשר דועכים אקספוננציאלית. תרשים זה שימושי לגילוי סטייה קטנה, אך קבועה (לא חד-פעמית) בממוצע של התהליך המבוקר.

## 8.2. הממצאים

כאמור, נבחן שימוש ב-4 סוגים של תרשימי הבקרה שהוצגו לעיל, לניטור 11 סדרות של מספרים חודשיים של הרוגים בתאונות, כאשר 3 הסדרות הראשונות הן הסדרות המקוריות של "סך ההרוגים", "הרוגים בדרכים לא עירוניות" ו-"הרוגים בדרכים עירוניות", בעוד ש-8 הסדרות הנוספות הן סדרות מלאכותיות אשר נבנו על סמך סדרה S3 (הרוגים בדרכים עירוניות). מבין סדרות מלאכותיות אלה, יש 3 סדרות מסוג 1 (בימוי עליה בהרוגים, על סמך הסדרה המקורית, החל מחודש 04/2010, בתוספת של 5%, 10% ו-15%, בהתאמה, למספר ההרוגים המקורי) ועוד 5 סדרות מלאכותיות מסוג 2 (אשר נבנו בעזרת הדמיית הסדרה המקורית ובתוספת של 5%, 10%, 15% ו-30% למספר ההרוגים החל מחודש 04/2010).

ציורים 8.1-8.3 מציגים את תרשימי הבקרה אשר נבנו לסדרות המקוריות S3-S1, בהתאמה. בכל ציור, מוצגים 4 תרשימי הבקרה, דהיינו:

1. תרשים Shewhart של SAS,

2. תרשים Shewhart של R,

3. תרשים Cusum של R,

4. תרשים EWMA של R.

נקודות התהליך (מדידה חודשית) שמזוהות עם אירועים חריגים מוצגות על גבי התרשימים בצבע שונה כגון: צהוב או אדום, כאשר כל הנקודות של תהליך שהיה בבקרה מוצגות בצבע שחור. יש לשים לב שהתרשים מסוג Shewhart של SAS מציג את התהליך רק עבור התקופה "אחרי", דהיינו בחודשים 1-12 של שנת 2010, בעוד שיתר התרשימים מציגים את התהליך הן עבור התקופה "לפני" והן עבור התקופה "אחרי".

מציורים 8.1-8.3 ניתן לראות כי:

- בסדרה S1 "סה"כ מספר הרוגים בתאונות" בתקופת ה"אחרי" (שנת 2010) התהליך היה בבקרה, ע"פ כל תרשימי הבקרה שנבנו. כלומר, ע"פ מצב נקודות המעקב בשנת 2010, באף תרשים לא נתגלו אירועים חריגים שהיו מצביעים על שינוי בתהליך.

- בסדרה S2 "מספר הרוגים בדרכים לא עירוניות" בתקופת ה"אחרי" (שנת 2010) גם כן התהליך היה בבקרה, ע"פ כל תרשימי הבקרה שנבנו. בתרשים Shewhart של R, לכאורה, זוהו אירועים חריגים בחודשים 4-6 של שנת 2010 עקב הצטברות נקודות עוקבות מעל קו האמצע; אך הצטברות זו הצביעה על מגמה שהחלה בחודשים אחרונים של שנת 2009 ולא בתקופת המעקב הנוכחי (שנת 2010). בשנת 2010, באף תרשים לא נתגלו אירועים חריגים שהיו מצביעים על שינוי בתהליך.

- לעומת זאת, בסדרה S3 "מספר הרוגים בדרכים עירוניות" בתקופת ה"אחרי" (שנת 2010) כן נמצא שינוי בתהליך. שינוי זה נתגלה ע"י התרשימים מסוג Shewhart בחודש 11 (מבחן 2 - הצטברות 7 נקודות עוקבות בצדו העליון של קו האמצע) וע"י התרשים מסוג Cusum בחודש 10 (יציאת נקודה מהגבול העליון של הבקרה). כמו כן, לפי התרשים Cusum, נקודת המפנה בתהליך (שינוי זווית הצבת הנקודות) נמצאת בחודש 6. לעומת זאת, התרשים מסוג EWMA לא הצביע על שינוי בתהליך בשנת 2010 (לא נמצאו נקודות מחוץ לגבול הבקרה העליון). יצוין גם שהנקודות מתחת לגבול הבקרה התחתון שנמצאו בתרשימים מסוג Cusum ו-EWMA, מצביעות על שינוי בתהליך שהיה בשנת 2009.

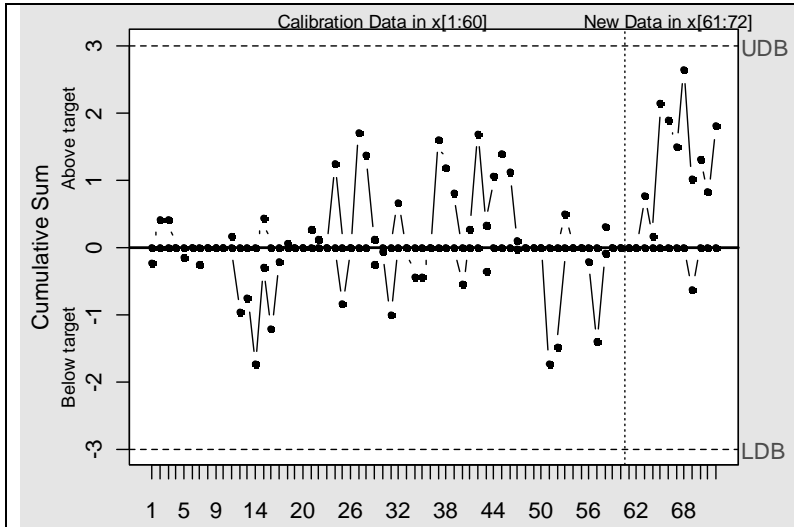
מכאן, התרשימים מסוג Shewhart ו-Cusum הצביעו על שינוי בתהליך המבוקר בסדרה S3 בשנת 2010, כאשר התרשים מסוג EWMA, עקב אופיו השמרני, לא הצביע על שינוי בתהליך. התרשים Cusum גילה את השינוי בתהליך מוקדם יותר מאשר התרשים Shewhart: **בחודש 11** לעומת **חודש 10**, וזאת בשל האופי של התרשים - היכולת לשקף שינוי קבוע בתהליך, גם אם הוא קטן. כמו כן, כאשר התהליכים בתקופת המעקב היו בבקרה, אף תרשים לא הציג אירוע חריג שהיה מצביע על שינוי בתהליך.

לגבי תרשימי הבקרה שנבנו עבור הסדרות המלאכותיות, יש לציין שתרשימי הבקרה עבור הסדרות s305, s310 ו-s315 ובהמשך, עבור הסדרות s3005, s3010, s3015 ו-s3030 - הדגימו התנהגות דומה. לכן, לא נציג כאן את כל התרשימים שנבנו. להמחשת הממצאים אנו נציג תרשימים לשלוש סדרות: s305, s310 ו-s3030 אשר יוצגו בציורים 8.4-8.6, בהתאמה.

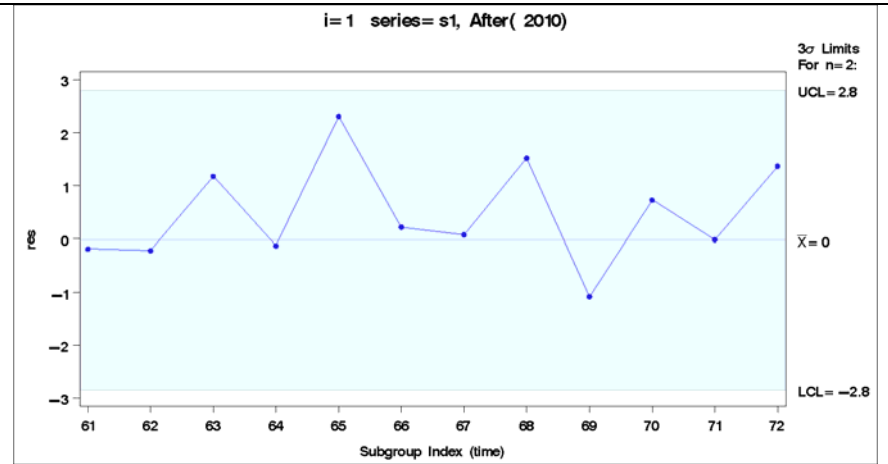
מבנה הציורים 8.4-8.6 דומה לציורים 8.1-8.3, דהיינו בכל ציור מוצגים 4 תרשימי הבקרה שהם:

1. תרשים Shewhart של SAS (עבור חודשי שנת 2010 - תקופת ה"אחרי" בלבד),
2. תרשים Shewhart של R (עבור תקופות "לפני" ו-"אחרי" ביחד),
3. תרשים Cusum של R (עבור תקופות "לפני" ו-"אחרי" ביחד),
4. תרשים EWMA של R (עבור תקופות "לפני" ו-"אחרי" ביחד).

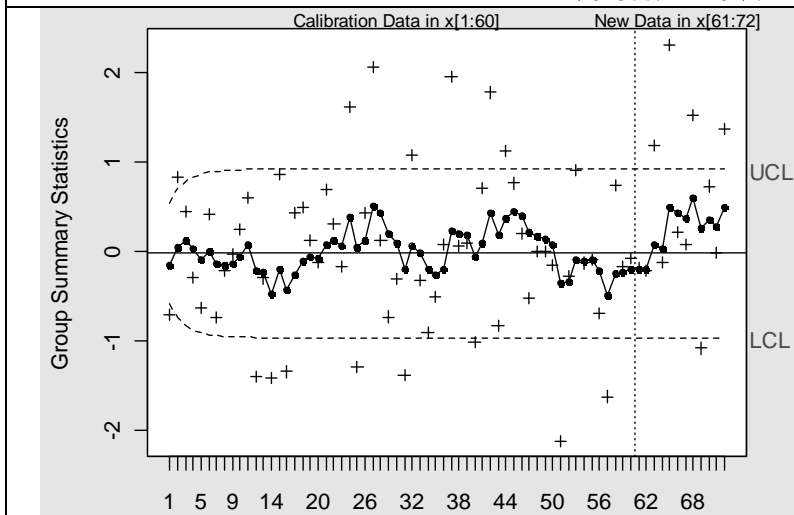




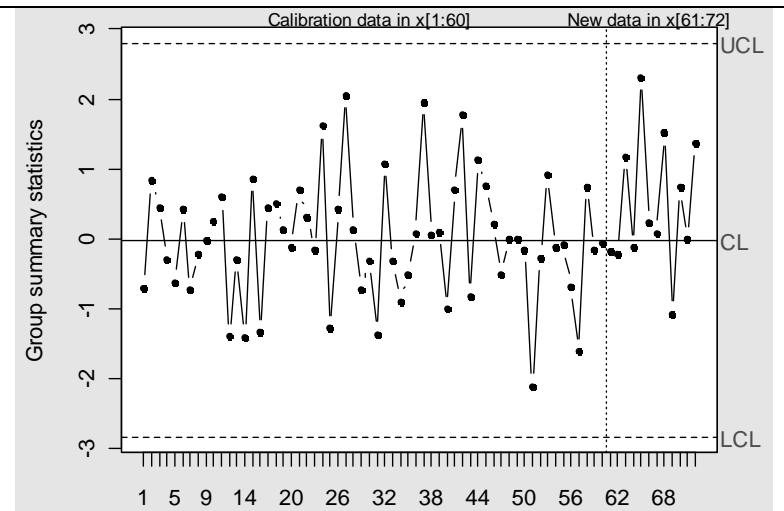
3 - תרשים Cusum של R



1 - תרשים Shewhart של SAS

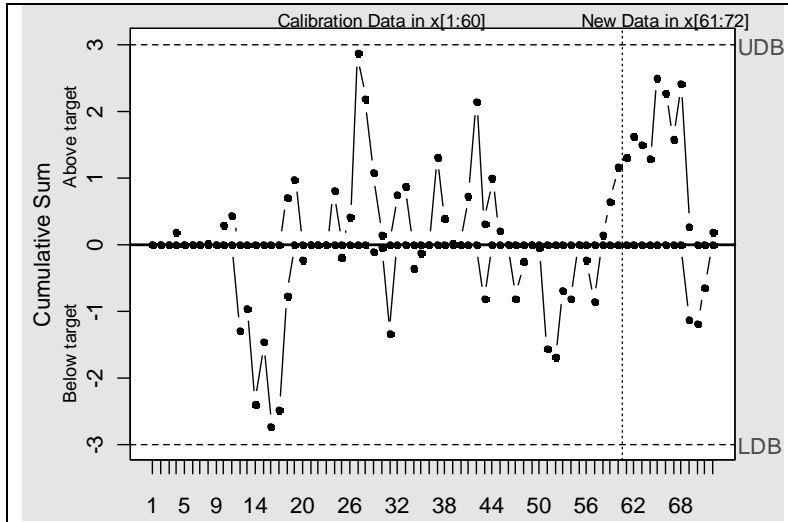


4 - תרשים EWMA של R

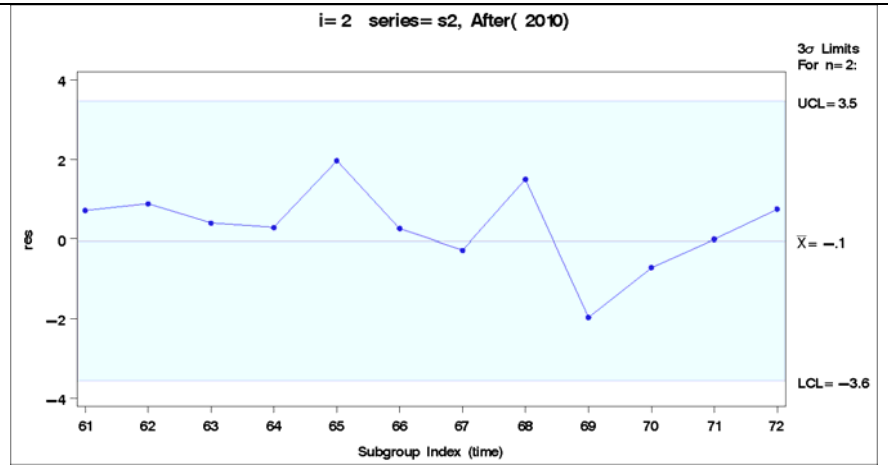


2 - תרשים Shewhart של R

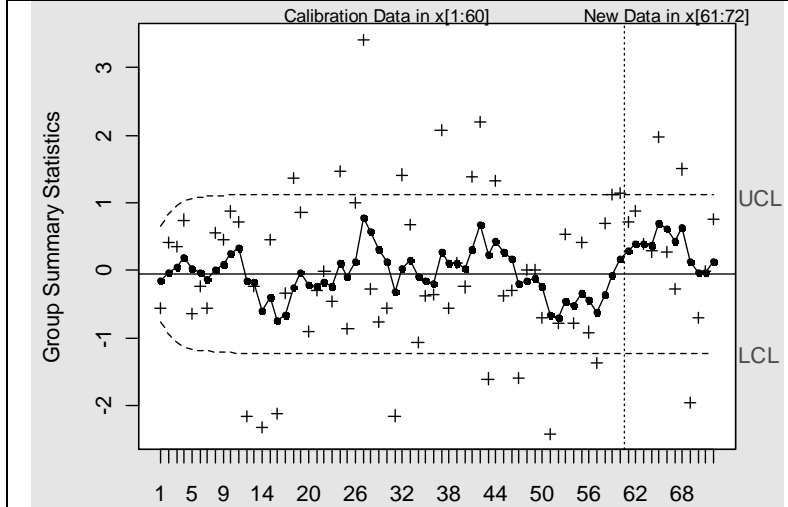
ציור 8.1. תרשימי הבקרה לסדרה S1 "סה"כ מספר הרוגים בתאונות".



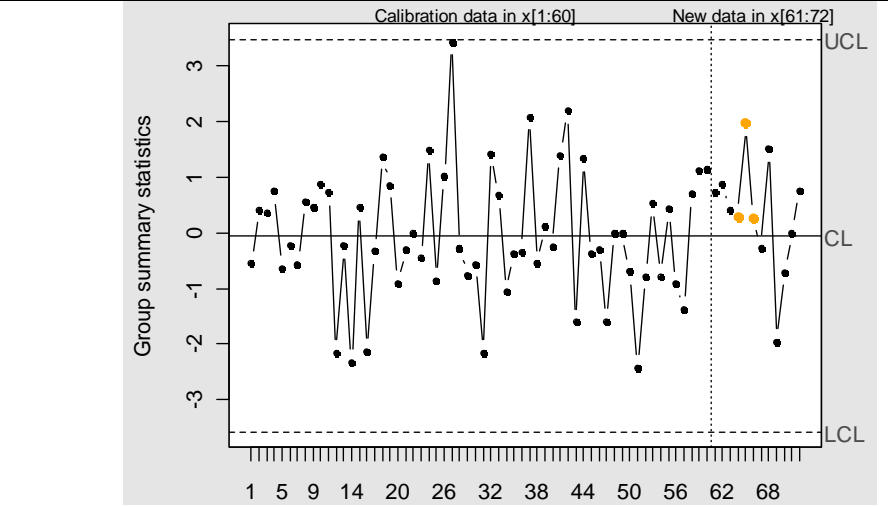
3 - תרשים Cusum של R



1 - תרשים Shewhart של SAS

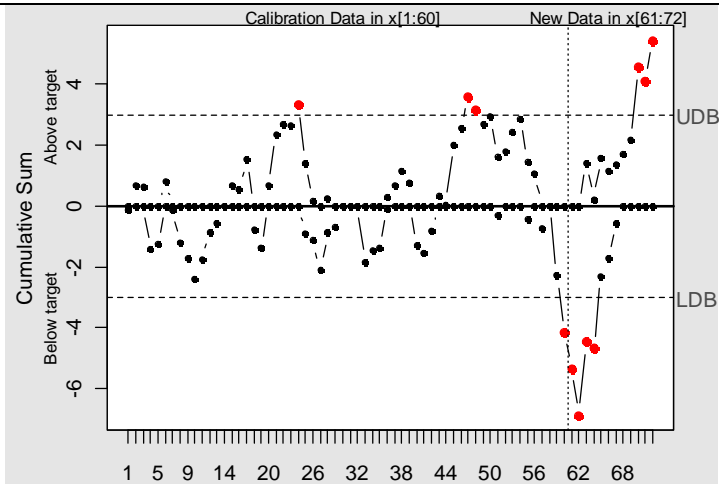


4 - תרשים EWMA של R

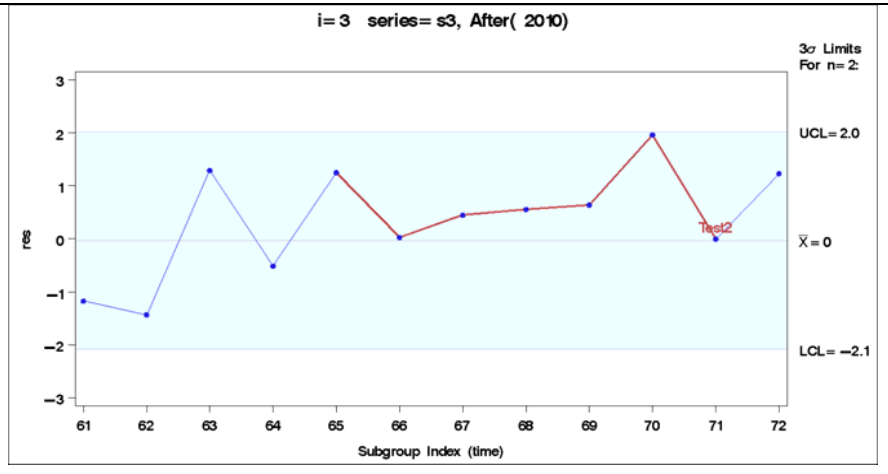


2 - תרשים Shewhart של R

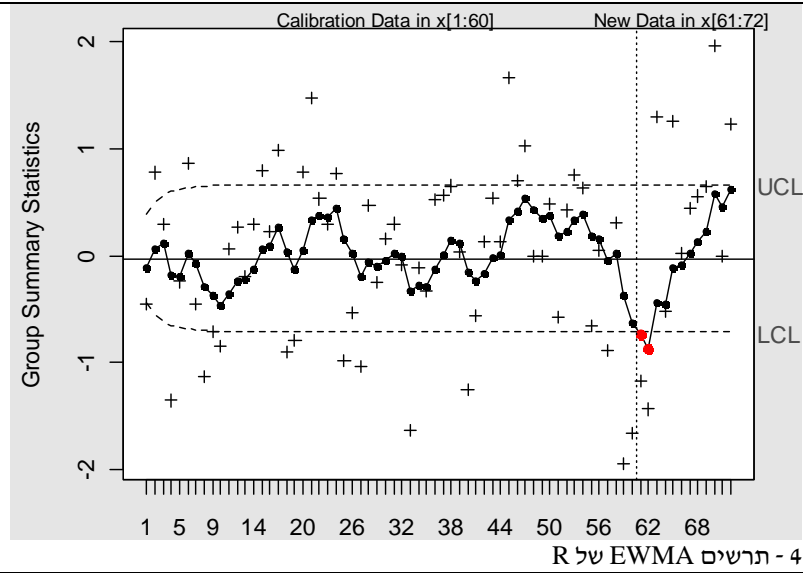
צור 8.2. תרשימי הבקרה לסדרה S2 "מספר הרוגים בדרכים לא עירוניות".



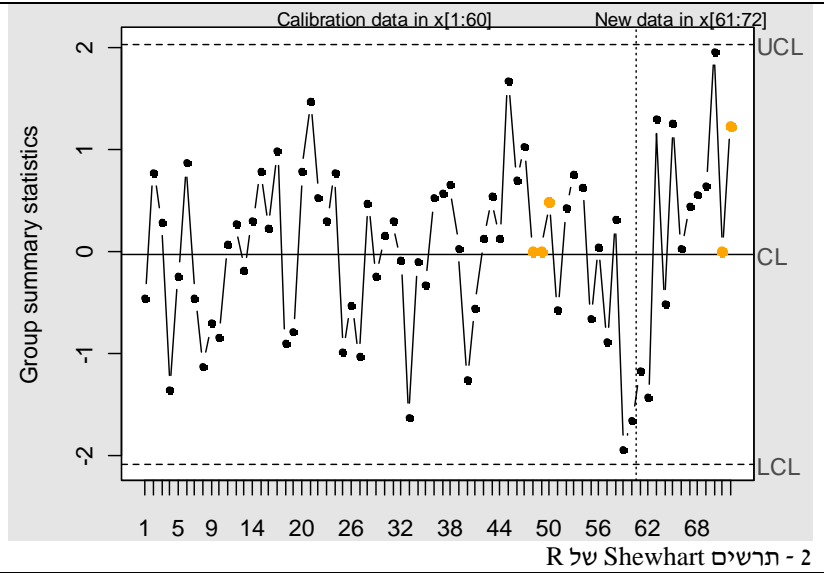
3 - תרשים Cusum של R



1 - תרשים Shewhart של SAS



4 - תרשים EWMA של R



2 - תרשים Shewhart של R

צור 8.3. תרשימי הבקרה לסדרה S3 "מספר הרוגים בדרכים עירוניות".

מצוירים 8.4-8.6 ניתן לראות כי :

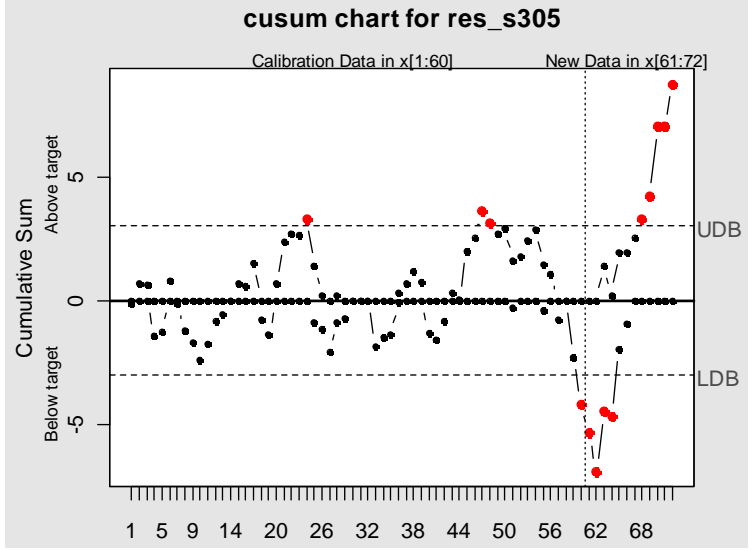
- בסדרה s305 - סדרה S3 "הרוגים בדרכים עירוניות" בתוספת בימוי העלייה של 5% במספר ההרוגים החל מחודש 4/2010 (ראה ציור 8.4), כל תרשימי הבקרה גילו שינוי בתהליך בשנת 2010. הגילוי המוקדם ביותר היה ע"י התרשים Cusum אשר הציג נקודה מחוץ לגבול העליון **בחודש 8**; לפי זויות הצבת הנקודות בתרשים זה, התחלת שינוי זה הייתה בחודש 6. לעומת זאת, בתרשים מסוג Shewhart, הנקודה מחוץ לגבול העליון נתגלתה **בחודש 10**, אם כי בחודש 9 זוהה אירוע חריג שולי לפי תרשים זה - הופעל כלל 6 (4 מתוך 5 נקודות היו באזור B שהינו אזור של 1-2 סטיות תקן). כמו כן, התרשים EWMA, דיווח על שינוי בתהליך רק בחודש 10.

- בסדרה s310 - סדרה S3 "הרוגים בדרכים עירוניות" בתוספת בימוי העלייה של 10% במספר ההרוגים החל מחודש 4/2010 (ראה ציור 8.5), כל תרשימי הבקרה גילו שינוי בתהליך בשנת 2010. הגילוי המוקדם ביותר היה ע"י התרשים Cusum אשר הציג נקודה מחוץ לגבול העליון **בחודש 7**, כאשר לפי זויות הצבת הנקודות בתרשים זה, התחלת שינוי זה הייתה בחודש 4. לעומת זאת, בתרשים מסוג Shewhart, הנקודה מחוץ לגבול העליון נתגלתה **בחודש 10** (אם כי, בחודש 9 הופעל כלל שולי מס' 6 המצביע על כך ש 4 מתוך 5 נקודות היו באזור B שהינו אזור של 1-2 סטיות תקן). כמו כן, התרשים EWMA, דיווח על שינוי בתהליך רק בחודש 10.

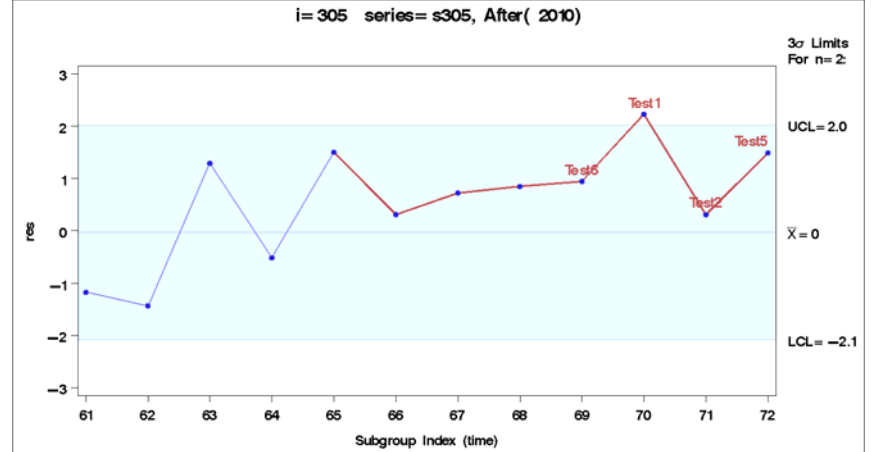
- בסדרה s3030 - הדמיית<sup>12</sup> סדרה S3 "הרוגים בדרכים עירוניות" בתוספת עליה במספר ההרוגים בתאונות ב-30% החל מחודש 4/2010 (ראה ציור 8.6), כל תרשימי הבקרה גילו שינוי בתהליך בשנת 2010. הגילוי המוקדם ביותר היה ע"י התרשים Cusum אשר הציג נקודה מחוץ לגבול העליון **בחודש 8**, כאשר לפי זויות הצבת הנקודות בתרשים זה, התחלת שינוי זה הייתה בחודש 4. לעומת זאת, בתרשים מסוג Shewhart, אירוע חריג לפי כלל 2 (7 נקודות עוקבות בצד אחד של הקו האמצעי) נתגלה **בחודש 11** (אם כי, בחודש 7 הופעל כלל שולי מס' 6 המצביע על קיום 4 מתוך 5 נקודות באזור B שהינו אזור של 1-2 סטיות תקן). כמו כן, התרשים EWMA, דיווח על שינוי בתהליך **בחודש 10**.

לסיכום, בכל המצבים המלאכותיים שנבדקו - עם עליה מתוכננת במספרי ההרוגים, התרשים Cusum הצטיין בגילוי המוקדם ביותר של השינוי בתהליך. ככל שגודל השינוי היה גבוה יותר, גילוי השינוי היה מוקדם יותר. התרשים מסוג Shewhart הוסיף פרטים לגבי אופי השינוי. לעומת זאת, התרשים מסוג EWMA לא תרם במיוחד למהירות הגילוי או להבנת מהות השינוי בתהליך.

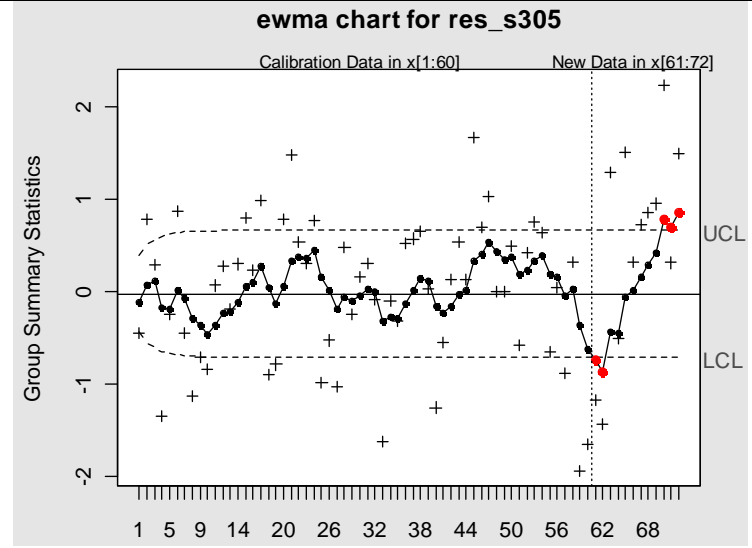
<sup>12</sup> כזכור, מדובר בסדרה תיאורטית שנבנתה על סמך המאפיינים של סדרה S3, לכן קיים שוני בהתנהגות תהליך זה לעומת התהליך המקורי - סדרה S3.



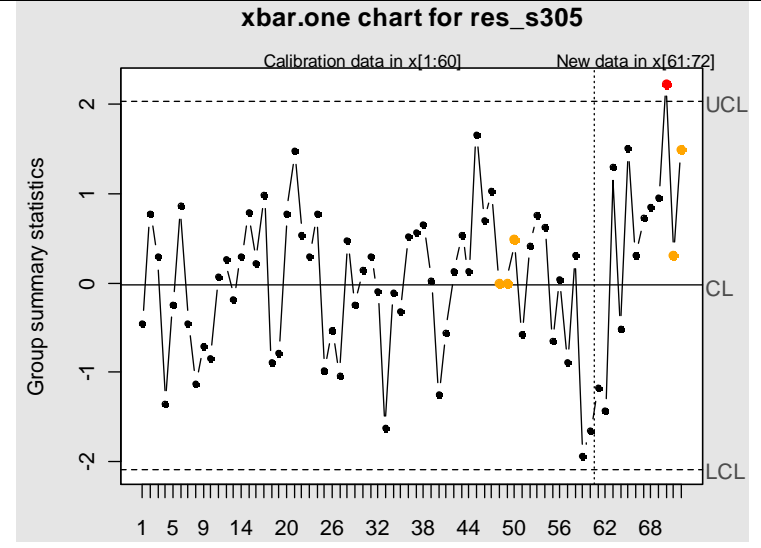
3 - תרשים Cusum של R



1 - תרשים Shewhart של SAS

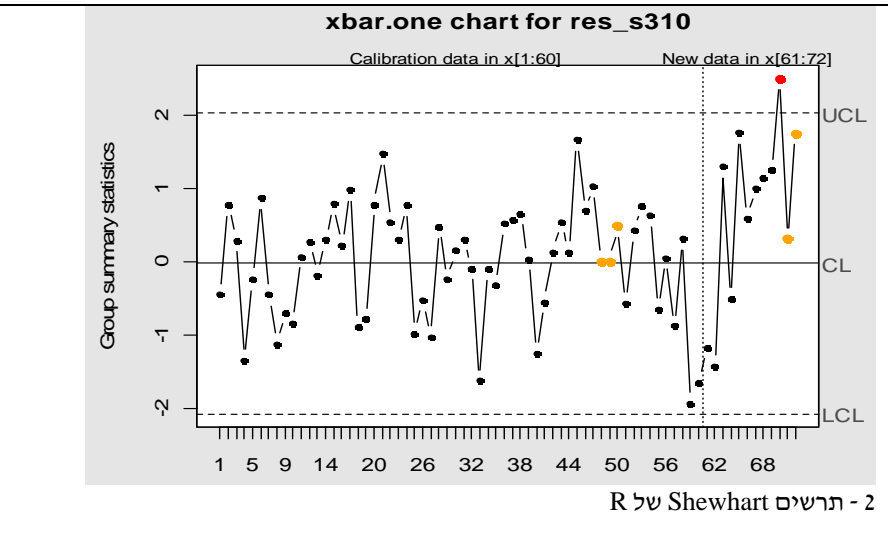
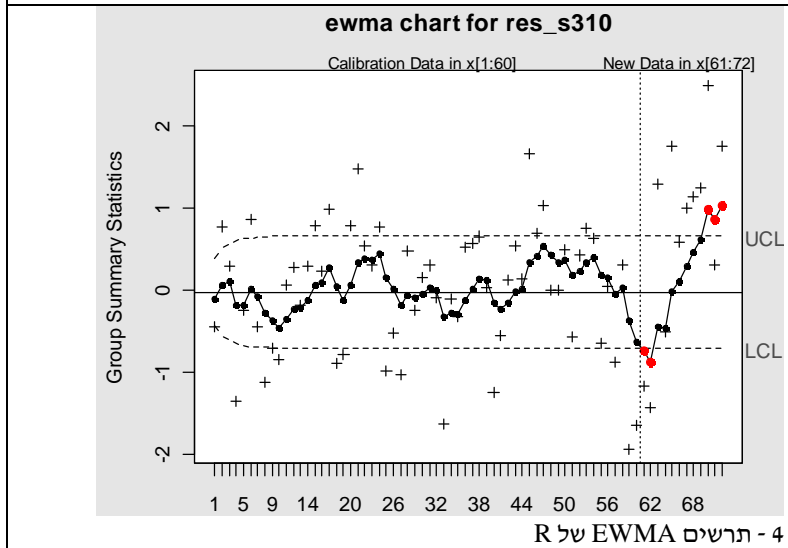
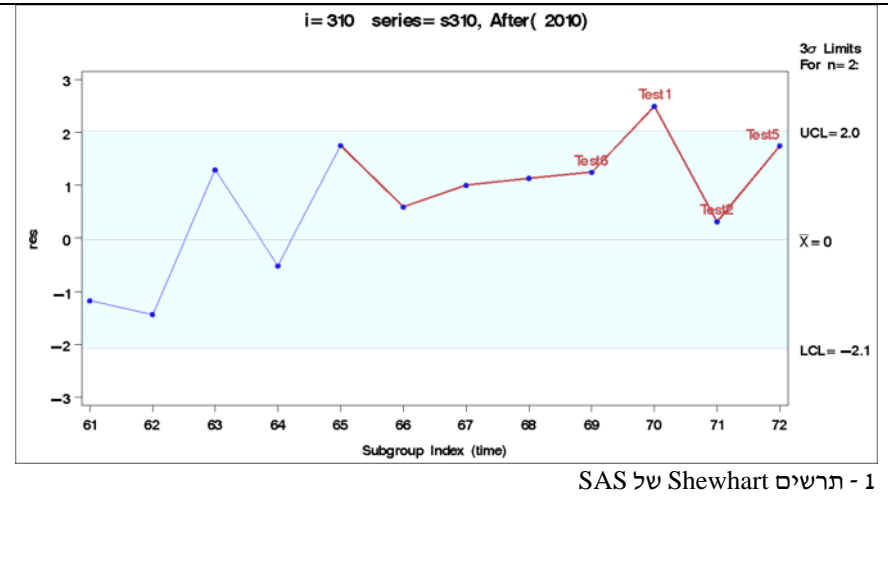
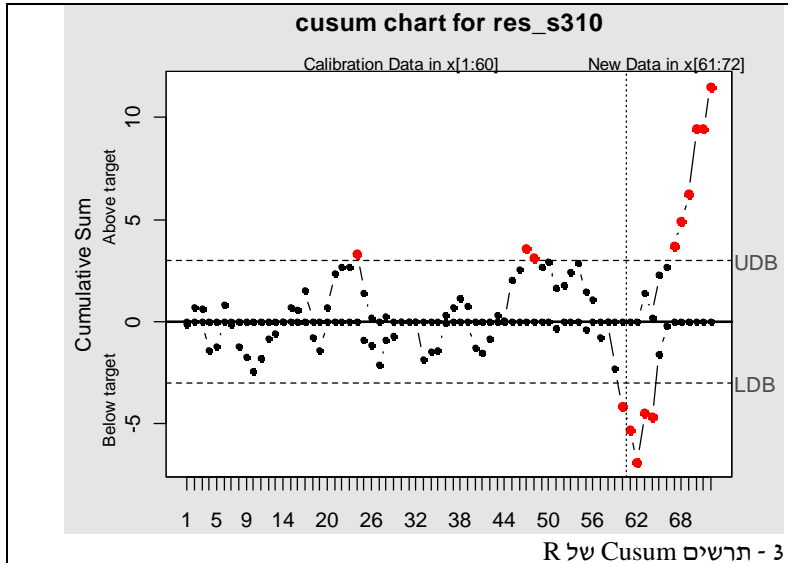


4 - תרשים EWMA של R

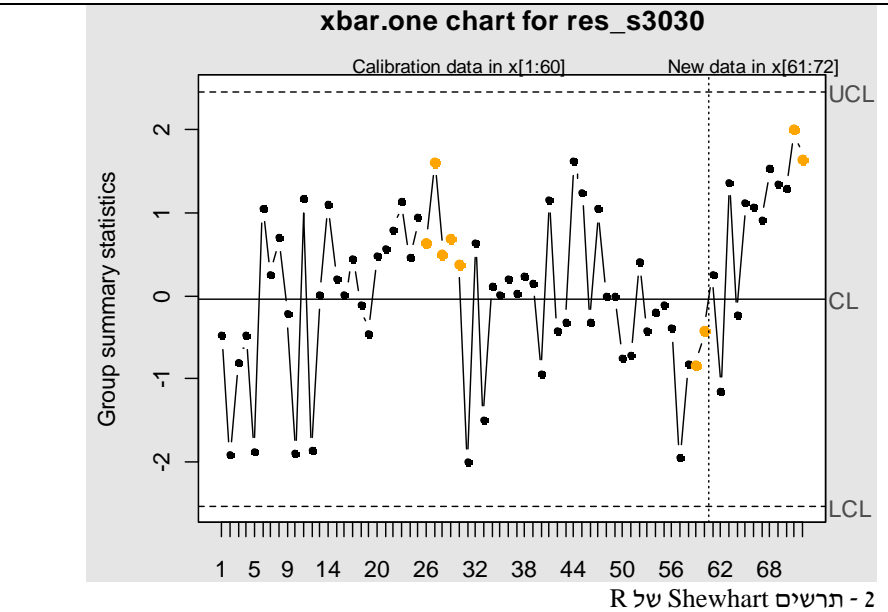
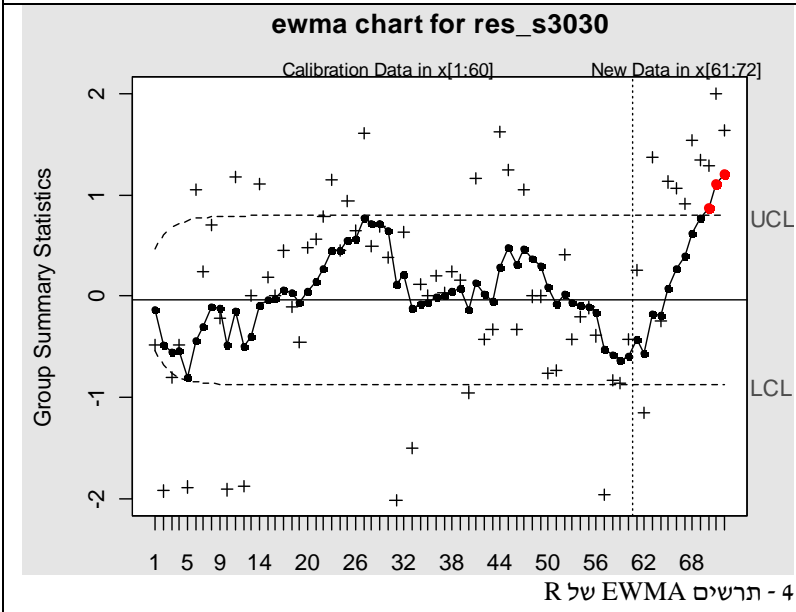
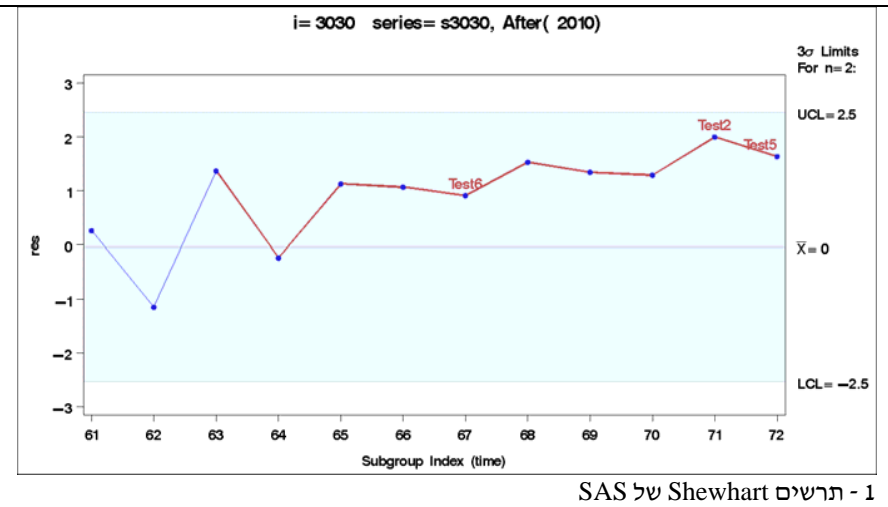
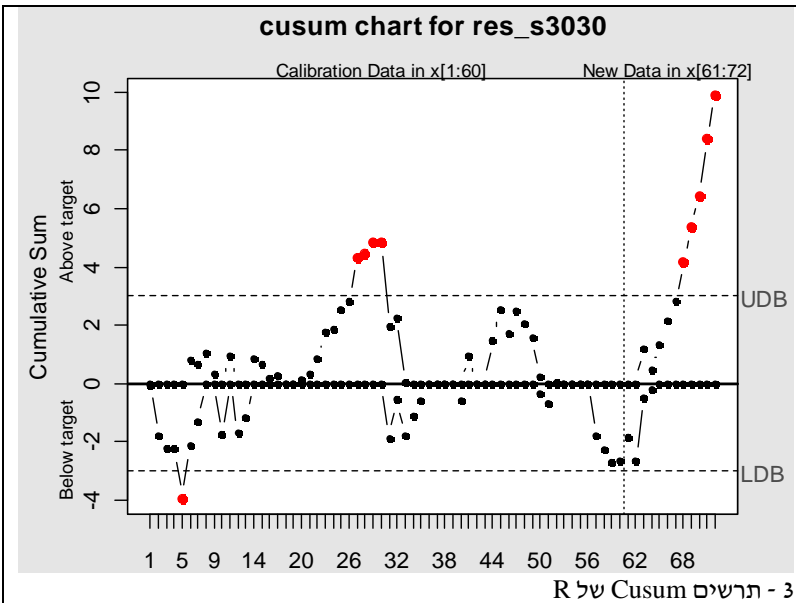


2 - תרשים Shewhart של R

ציור 8.4. תרשימי הבקרה לסדרה S305 - "מספר ההרוגים בדרכים עירוניות" בתוספת בימוי עליה של 5% במספר ההרוגים, החל מחודש 4/2010.



ציור 8.5. תרשימי הבקרה לסדרה S310 - "מספר הרוגים בדרכים עירוניות" בתוספת בימוי עליה של 10% במספר ההרוגים, החל מחודש 4/2010.



ציור 8.6. תרשימי הבקרה לסדרה S3030 - הדמיית סדרה S3 בתוספת עליה של 30% במספר ההרוגים, החל מחודש 4/2010.

מכאן, לביצוע מעקב אחרי מצב הבטיחות יש מקום להשתמש בשילוב של שני סוגי תרשימים: תרשים Shewhart ותרשים Cusum (חד-צדדי), כאשר התרשים הראשון נועד לבקרת תצפיות בודדות ע"י זיהוי אירועים חריגים (ע"פ הגדרות מספר סוגי אירועים), בעוד שהתרשים השני מגלה סטייה קבועה בממוצע התהליך המבוקר בכיוון מסוים.



## 9. סיכום הממצאים

### 9.1. כללי

במחקר זה פותחו 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; בנייתו זה נבחנו 45 סדרות של נתונים. כמו כן, במסגרת המחקר נערך ניתוח שינויים במספרים ובמגמות ההרוגים בתאונות בשנת 2010 לעומת שנים קודמות, 2005-2009.

המודלים הסטטיסטיים שפותחו במחקר אפשרו לבחון שאלות אלה:

- א. האם המגמה במספרי ההרוגים/ התאונות/ הנפגעים בשנה השוטפת השתנתה באופן מובהק לעומת המגמה בשנים קודמות?
- ב. האם מספר ההרוגים/ התאונות/ הנפגעים בשנה השוטפת שונה באופן מובהק לעומת מספרם בשנים הקודמות?
- ג. האם התהליך בשנה השוטפת נשאר בבקרה סטטיסטית? (כאשר הבחינה מתבצעת באמצעות תרשימי הבקרה).

### 9.2. שינויים בהרוגים/ תאונות/ נפגעים בשנת 2009 לעומת שנים קודמות

על סמך ממצאי הניתוחים של השינויים במספרי ההרוגים, הנפגעים והתאונות בשנת 2009 לעומת שנים קודמות, 2004-2008 (ראה פרק 5), ניתן להסיק כלהלן:

#### א. שינויים בסדרות ההרוגים

- בשנת 2009, בחלק ניכר מסדרות ההרוגים התרחשו שינויים חיוביים. בין היתר, מגמת הירידה בסה"כ ההרוגים שנצפתה בתקופה הקודמת התחזקה בשנת 2009, כאשר גם בקרב הרוגים בדרכים העירוניות מגמת הירידה התחזקה ונהפכה למובהקת בשנת 2009. מגמת הירידה בסה"כ ההרוגים התחזקה בשנת 2009 גם כולל ההרוגים ביו"ש.

- כמו כן, בשנת 2009 שינויים חיוביים נצפו בסדרות אלה: הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים, הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי, הרוגים בתאונות עם אופנועים, הרוגים הולכי רגל בדרכים העירוניות, הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים הלא עירוניות (אולם, חלק מהשינויים לא היו מובהקים).

- לעומת זאת, בקרב סך ההרוגים בדרכים הלא עירוניות מגמת הירידה של התקופה הקודמת נחלשה ונהפכה למגמת עליה (אם כי, לא מובהקת) בשנת 2009. כמו כן, שינויים שליליים - שבירות המגמה כלפי מעלה ומגמת עליה (לא מובהקת) בסוף שנת 2009 נצפו בסדרות אלה: הרוגים הולכי רגל בדרכים

הלא עירוניות, הרוגים הולכי רגל במגזר הלא יהודי, הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים הלא עירוניות, והרוגים בצמתים לא עירוניים ועירוניים.

- מבחינת השינויים במספרי ההרוגים - בחלק ניכר מסדרות הנתונים מספרי ההרוגים בשנת 2009 היו נמוכים משמעותית לעומת הממוצע של שנים קודמות, כאשר הפערים היו מובהקים. בין היתר, סך ההרוגים בשנת 2009 נמוך ב-24% לעומת הממוצע של שנים קודמות; מספר הרוגים בדרכים הלא עירוניות נמוך ב-29% ומספר הרוגים בדרכים העירוניות נמוך ב-22%, בשנת 2009 לעומת הממוצע של שנים קודמות (כל ההבדלים מובהקים).

- כמו כן, ירידות משמעותיות ומובהקות, לעומת השנים הקודמות, נצפו בשנת 2009 בסדרות הרוגים אלה: הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות - 29%, הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות - 54%, הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות - 34%, הרוגים בצמתים לא עירוניים - 51%; הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים - 21%, הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי - 25%.

- בשתי סדרות: הרוגים בתאונות אופנועים ו-הרוגים הולכי רגל במגזר הלא יהודי - בשנת 2009 במספרי ההרוגים היו מגמות ירידה לא מובהקות לעומת שנים קודמות, כאשר במספר הרוגים הולכי רגל בדרכים הלא עירוניות לא היה שינוי בשנת 2009 לעומת שנים קודמות. כמו כן, בסדרה אחת: הרוגים בצמתים העירוניים - נצפתה מגמת עליה (לא מובהקת) במספרי ההרוגים בשנת 2009 לעומת השנים הקודמות.

סה"כ, השינויים בקרב ההרוגים בשנת 2009 היו חיוביים בסך הרוגים ובחלק ניכר מהסדרות המפורטות, כאשר סימני האטה בשיפור או סימני הרעה (לא מובהקים) נצפו בעיקר בסדרות אלה: סך ההרוגים בדרכים הלא עירוניות, הרוגים הולכי רגל בדרכים הלא עירוניות, הרוגים הולכי רגל במגזר הלא יהודי, הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים הלא עירוניות, הרוגים בצמתים הלא עירוניים, הרוגים בצמתים העירוניים.

#### **ב. שינויים בסדרות התאונות**

- בקרב התאונות עם נפגעים בשנת 2009 נמצאו שינויים חיוביים בסדרות אלה: תאונות בדרכים עירוניות, תאונות עם רכב מקצועי, תאונות הולכי רגל בדרכים לא עירוניות, תאונות בצמתים עירוניים (התחזקות מגמת הירידה בשנת 2009); תאונות אופנועים, תאונות הולכי רגל בדרכים עירוניות, תאונות הולכי רגל במגזר לא יהודי (בסדרות אלה בשנת 2009 הייתה שבירת מגמת העלייה שנצפתה בתקופה הקודמת).

- לעומת זאת, בקרב התאונות עם נפגעים בשנת 2009 נמצאו שינויים שליליים בסדרות אלה: סך התאונות, סך התאונות לרבות יו"ש, סך התאונות בדרכים לא עירוניות, תאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות, תאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות (בסדרות אלה נמצאה שבירת מגמת הירידה שהייתה בתקופה הקודמת); תאונות עם נהגים צעירים, תאונות בצמתים לא עירוניים (התמתנות

מגמת הירידה שהייתה בתקופה הקודמת). כמו כן, בקרב התאונות, *מגמות עליה מובהקות* בסוף שנת 2009 נמצאו בסדרות אלה: תאונות בדרכים הלא עירוניות, תאונות רכב יחיד בדרכים הלא עירוניות.

- בבחינת השינויים בסך התאונות, בחלק ניכר מהסדרות נמצאו ירידות מובהקות בשנת 2009 לעומת השנים הקודמות. בין היתר, נמצאו: ירידה של 3% בסך התאונות, ירידה של 4% בתאונות בדרכים עירוניות; ירידה של 16% בתאונות עם נהגים צעירים, ירידה של 18% בתאונות עם רכב מקצועי, ירידה של 8% בתאונות בצמתים לא עירוניים, ירידה של 21% בתאונות בצמתים עירוניים.

- לעומת זאת, לא נמצאו שינויים בתאונות בדרכים לא עירוניות, בשלוש סדרות התאונות עם הולכי רגל ובתאונות חזית-חזית. כמו כן, נמצאה *הרעה מובהקת* בשתי סדרות של תאונות: עליה של 25% בתאונות אופנועים ועליה של 7% בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות.

**סה"כ, בסך התאונות עם נפגעים ובחלק ניכר מהסדרות המפורטות של תאונות נמצאו שינויים חיוביים בשנת 2009** לעומת השנים הקודמות. עם זאת, נמצאה *הרעה (עליה) מובהקת במספרי תאונות אופנועים ותאונות רכב יחיד* וכמו כן, בסוף 2009 זוהתה *מגמת עליה מובהקת בקרב תאונות בדרכים הלא עירוניות ובקרב תאונות רכב יחיד בדרכים הלא עירוניות*. כמו כן, *סימני הרעה* (שבירה או התמתנות של מגמת הירידה שהייתה בתקופה הקודמת) נצפו בסדרות אלה: סך התאונות, סך התאונות בדרכים הלא עירוניות, תאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות, תאונות חזית-חזית בדרכים הלא עירוניות, תאונות עם נהגים צעירים, תאונות בצמתים לא עירוניים.

#### **ג. שינויים בסדרות הנפגעים**

- בקרב סך הנפגעים בתאונות, בשנת 2009, נמצאו שינויים חיוביים בסדרות אלה: נפגעים בתאונות בדרכים עירוניות, נפגעים בתאונות עם רכב מקצועי, נפגעים בתאונות הולכי רגל בדרכים לא עירוניות, נפגעים בתאונות הולכי רגל במגזר לא יהודי, נפגעים בתאונות בצמתים עירוניים (התחזקות מגמת הירידה בשנת 2009); נפגעים בתאונות אופנועים, נפגעים בתאונות הולכי רגל בדרכים עירוניות (שבירת מגמת העלייה שנצפתה בתקופה הקודמת).

- לעומת זאת, בקרב סך הנפגעים בתאונות בשנת 2009 נמצאו שינויים שליליים בסדרות אלה: סך הנפגעים בתאונות, סך הנפגעים בתאונות לרבות יו"ש, סך הנפגעים בתאונות בדרכים לא עירוניות, נפגעים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות, נפגעים בתאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות, נפגעים בתאונות בצמתים לא עירוניים (שבירת מגמת הירידה שהייתה בתקופה הקודמת אשר נהפכה למגמת עליה); נפגעים בתאונות עם נהגים צעירים (התמתנות מגמת הירידה שהייתה בתקופה הקודמת). כמו כן, בקרב סך הנפגעים, *מגמות עליה מובהקות* בסוף שנת 2009 נמצאו בסדרות אלה: נפגעים בדרכים הלא עירוניות, נפגעים בתאונות רכב יחיד בדרכים הלא עירוניות.

- גם בבחינת השינויים בסך הנפגעים, בחלק ניכר מהסדרות נמצאו ירידות מובהקות בשנת 2009 לעומת השנים הקודמות. בין היתר, נמצאו: ירידה של 7% בסך הנפגעים, ירידה של 9% בנפגעים בתאונות בדרכים עירוניות, ירידה של 21% בנפגעים בתאונות עם נהגים צעירים, ירידה של 28%

בנפגעים בתאונות עם רכב מקצועי, ירידה של 9% בנפגעים בתאונות בצמתים לא עירוניים, ירידה של 25% בנפגעים בתאונות בצמתים עירוניים; ירידה של 4% בנפגעים בתאונות בדרכים לא עירוניות.

- לעומת זאת, לא נמצא שינוי במספרי נפגעים בשלוש סדרות התאונות עם הולכי רגל, במספרי נפגעים בתאונות רכב יחיד בדרכים הלא עירוניות ובנפגעים בתאונות חזית-חזית. כמו כן, נמצאה *הרעה מובהקת* במספרי נפגעים בתאונות אופנועים - עליה של 22%.

סה"כ, **בסך הנפגעים בתאונות ובחלק ניכר מהסדרות המפורטות של נפגעים נמצאו שינויים חיוביים בשנת 2009** לעומת השנים הקודמות. עם זאת, נמצאה *הרעה (עליה) מובהקת במספרי הנפגעים בתאונות אופנועים* וכמו כן, בסוף 2009 זוהתה **מגמת עליה מובהקת בקרב נפגעים בדרכים הלא עירוניות ובקרב נפגעים בתאונות רכב יחיד בדרכים הלא עירוניות**. כמו כן, *סימני הרעה* (שבירה או התמתנות של מגמת הירידה שהייתה בתקופה הקודמת) נצפו בסדרות אלה: סך הנפגעים בתאונות, סך הנפגעים בתאונות בדרכים הלא עירוניות, נפגעים בתאונות רכב יחיד בדרכים הלא עירוניות, נפגעים בתאונות חזית-חזית בדרכים הלא עירוניות, נפגעים בתאונות בצמתים לא עירוניים, נפגעים בתאונות עם נהגים צעירים.

### **9.3. שינויים בהרוגים בשנת 2010 לעומת שנים קודמות**

על סמך ממצאי הניתוחים של השינויים במספרים ובמגמות ההרוגים בתאונות בשנת 2010 לעומת שנים קודמות, 2005-2009 (ראה פרק 7), ניתן להסיק כלהלן:

1. בקרב סה"כ ההרוגים בתאונות, מגמת ירידה מובהקת של התקופה הקודמת נשברה בשנת 2010 ונהפכה **למגמת עליה** (לא מובהקת). סך מספר ההרוגים בתאונות **ירד** ב-10% בשנת 2010 לעומת הממוצע של שנים קודמות (שינוי מובהק), כאשר לעומת שנת 2009 לא היה שינוי.

2. במספר הרוגים בתאונות בדרכים הלא עירוניות מגמת ירידה מובהקת של התקופה הקודמת **נחלשה** בשנת 2010. מספר הרוגים בתאונות בדרכים הלא עירוניות **ירד** ב-11% בשנת 2010 לעומת הממוצע של שנים קודמות (שינוי מובהק), כאשר לעומת שנת 2009 לא היה שינוי.

3. במספר הרוגים בתאונות בדרכים העירוניות מגמת ירידה מובהקת של התקופה הקודמת נשברה בשנת 2010 ונהפכה **למגמת עליה** (מובהקת גבולית). במספר הרוגים בתאונות בדרכים העירוניות נמצאה ירידה לא מובהקת בשנת 2010 לעומת הממוצע של שנים קודמות, כאשר לעומת שנת 2009 לא היה שינוי.

4. בקרב הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים בשנת 2010 נצפה שינוי שלילי במגמה: מגמת ירידה מובהקת של התקופה הקודמת נשברה ונהפכה **למגמת עליה** (לא מובהקת). במספר הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים בשנת 2010 נמצאה **ירידה** מובהקת (22%) לעומת הממוצע של שנים קודמות, כאשר לעומת שנת 2009 לא היה שינוי.

5. בקרב הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי בשנת 2010 נצפו שינויים חיוביים: **התחזקות** מגמת ירידה (לא מובהקת); **ירידה** מובהקת של 27% במספר הרוגים לעומת הממוצע של שנים קודמות וירידה לא מובהקת לעומת שנת 2009.

6. בקרב הרוגים בתאונות עם אופנועים בשנת 2010 נצפו שינויים שליליים: שבירת מגמת ירידה של התקופה הקודמת אשר נהפכה **למגמת עליה** (מובהקת גבולית); **עליה** מובהקת של 28% במספר הרוגים לעומת הממוצע של שנים קודמות **ועליה** מובהקת של 35% לעומת שנת 2009.

7. בקרב הרוגים הולכי רגל בדרכים העירוניות בשנת 2010 נצפה שינוי שלילי במגמה: מגמת ירידה מובהקת של התקופה הקודמת נשברה ונהפכה **למגמת עליה** מובהקת. במספר הרוגים הולכי רגל בדרכים העירוניות בשנת 2010 לא היה שינוי לעומת הממוצע של שנים קודמות, כאשר נמצאה מגמת עליה לא מובהקת לעומת שנת 2009.

8. בקרב הרוגים הולכי רגל בדרכים הלא עירוניות בשנת 2010 הסתמנה **מגמת ירידה** (לא מובהקת). במספר הרוגים הולכי רגל בדרכים הלא עירוניות, בשנת 2010 לא נמצא שינוי לעומת הממוצע של שנים קודמות ונמצאה מגמת ירידה לא מובהקת לעומת שנת 2009.

9. בקרב הרוגים הולכי רגל במגזר הלא יהודי, בשנת 2010 נצפו שינויים שליליים: **התחזקות** **מגמת עליה** (מובהקת גבולית); **עליה** מובהקת של 34% במספר הרוגים לעומת הממוצע של שנים קודמות **ועליה** מובהקת של 36% לעומת שנת 2009.

10. בקרב הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות בשנת 2010 נצפה שינוי שלילי במגמה: מגמת ירידה מובהקת של התקופה הקודמת נשברה ונהפכה **למגמת עליה** (לא מובהקת). במספר הרוגים בתאונות רכב יחיד בשנת 2010 נמצאו ירידה לא מובהקת לעומת הממוצע של שנים קודמות ועליה לא מובהקת לעומת שנת 2009.

11. בקרב הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות בשנת 2010 נצפו שינויים חיוביים: **התחזקות** מגמת ירידה (לא מובהקת); **ירידה** מובהקת של 28% במספר הרוגים לעומת הממוצע של שנים קודמות וירידה לא מובהקת לעומת שנת 2009.

12. בקרב הרוגים בתאונות בצמתים לא עירוניים בשנת 2010 נצפה שינוי שלילי במגמה: מגמת ירידה מובהקת של התקופה הקודמת נשברה ונהפכה **למגמת עליה** (לא מובהקת). במספר הרוגים בתאונות בצמתים לא עירוניים בשנת 2010 נמצאה ירידה לא מובהקת לעומת הממוצע של שנים קודמות וכן, נרשמה **עליה** מובהקת (75%) לעומת שנת 2009.

13. בקרב הרוגים בתאונות בצמתים העירוניים בשנת 2010 נצפו שינויים חיוביים: **התחזקות** מגמת ירידה (לא מובהקת); **ירידה** מובהקת של 36% במספר הרוגים לעומת הממוצע של שנים קודמות וירידה לא מובהקת לעומת שנת 2009.

מכאן שברוב סדרות הנתונים, בשנת 2010 היו **שינויים מעורבים**. בסדרות הכלליות כגון: סך ההרוגים, הרוגים בדרכים הלא עירוניות והרוגים בדרכים העירוניות - בשנת 2010 הייתה **הרעה במגמה** (שבירה או החלשת מגמת ירידה של התקופה הקודמת) ביחד עם **ירידה מתונה במספרי הרוגים לעומת הממוצע של שנים קודמות** ואי-שינוי לעומת שנת 2009. שינויים דומים נצפו גם בקרב הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים.

**שינויים חיוביים** הן במגמות והן במספרי הרוגים נצפו בשנת 2010 בתחומים אלה: הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי, הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים לא עירוניות, הרוגים בצמתים עירוניים.

**שינויים חלקיים** נצפו בתחומים אלה: הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות, הרוגים בתאונות רכב יחיד - בהם בשנת 2010 היה שינוי משמעותי ושלילי במגמה (שבירת מגמת ירידה מובהקת של התקופה הקודמת אשר נהפכה למגמת עליה) אך ללא שינויים ניכרים במספרי הרוגים; ובקרב הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות - בסדרה זו בשנת 2010 הופיעה מגמת ירידה, אך גם ללא שינויים מהותיים במספר הרוגים.

**שינויים שליליים** הן במגמות והן במספרי הרוגים נצפו בשנת 2010 בתחומים אלה: הרוגים בתאונות אופנועים, הרוגים הולכי רגל במגזר הלא יהודי, הרוגים בצמתים לא עירוניים. בסדרות אלה נצפו מגמות עליה חזקות בשנת 2010 וכמו כן, נצפו עליות מובהקות במספרי הרוגים לעומת ממוצע שנים קודמות ו/או לעומת שנת 2009.

סה"כ, בשנת 2010 חלה הרעה במצב הרוגים בתאונות, לעומת שנת 2009 (אשר הצטיינה בירידות משמעותיות ומובהקות במספרי הרוגים בתאונות). עם זאת, ההרעה בשנת 2010 באה לידי ביטוי בעיקר בשינויי מגמה כאשר במספרי הרוגים, בחלק ניכר מהסדרות, עדיין ניתן לזהות ירידות לעומת הממוצע של שנים קודמות ואי-שינוי לעומת שנת 2009.

בהסתמך על השינויים השליליים שזוהו במספרים ובמגמות התהליכים של הרוגים בתאונות בשנת 2010, יש מקום להגברת פעילויות התערבות, בעדיפות ראשונה, בתחומי בטיחות אלה: **תאונות אופנועים; תאונות הולכי רגל במגזר הלא יהודי; תאונות בצמתים לא עירוניים**. כמו כן, בהתחשב במגמות עליה חזקות שנצפו בשנת 2010 יש מקום להגברת תשומת לב לתחומים אלה: **הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות; הרוגים בתאונות רכב יחיד בדרכים לא עירוניות**.

#### **9.4. שימוש בתרשימי הבקרה לניטור מצב הבטיחות**

##### **ממצאים עיקריים**

כדי לגלות שינויים בתהליך באופן שוטף (online) משתמשים בתרשימי בקרה. במחקר זה, תרשימי הבקרה פותחו כדי לענות על שאלה: "האם חל שינוי בתהליך - מספר הרוגים בתאונות הדרכים (או מספר הנפגעים/ התאונות) - בשנה מסוימת (כגון: 2010) או שהתהליך נשאר בבקרה סטטיסטית?".

כמו כן, במחקר נערך חקר השוואתי של תרשימי הבקרה ממספר סוגים שמתאימים למעקב אחרי נתוני מניה: EWMA, Cusum, Shewhart - כאשר הם משמשים לצורכי המעקב אחרי מצב הבטיחות השוטף.

לבקרת התהליכים בבטיחות (מספרי הרוגים/ נפגעים/ תאונות) השתמשנו בגישה של ניטור שאריות בעזרת תרשימי הבקרה. השאריות התקבלו לאחר עיבוד התחלתי של הנתונים באמצעות מודלים, כאשר לכל סידרה הותאם מודל (פואסוני או בינומי שלילי) ובעזרתו נוכה החלק שניתן להסבר על-ידי המודל. השאריות נבדקו כדי לוודא שהתפלגותן בקירוב נורמאלית, עם תוחלת אפס ושונות קבועה. השאריות שהתקבלו בעקבות עיבודים אלה ניתנים לבקרה בעזרת הכלים הסטנדרטיים - תרשימי הבקרה מסוג EWMA, Cusum, Shewhart. ליצירת כל סוגי התרשימים במחקר שימשו שאריות הדיוויאנס.

לבחינת רגישותם של תרשימי הבקרה, מהסוגים השונים, לשינויים במצב הבטיחות (מספר הרוגים חודשי), בוצע יישום של תרשימי הבקרה על שלוש סדרות הנתונים המקוריים וכמו כן, על מספר סדרות נתונים מלאכותיים בהן תוכננה עליה במספר ההרוגים החודשי. בעקבות בחינה זו הוסק שלביצוע מעקב אחרי מצב הבטיחות יש מקום להשתמש **בשילוב של שני סוגי תרשימים: תרשימי Shewhart ותרשימי Cusum (חד-צדדי)**, כאשר התרשימים הראשון מתאים לפיקוח על תצפיות בודדות - זיהוי אירועים חריגים ע"פ הגדרות שנקבעו מראש, בעוד שהתרשימים השני מצטיין בגילוי מהיר של סטייה קבועה מצטברת בממוצע התהליך המבוקר.

הבחינות הנ"ל ומגוון תרשימי הבקרה שנבנו במחקר הראו שיש יתרון רב בשימוש בתרשימי הבקרה **על בסיס השאריות** ככלי מעקב על הנפגעים בתאונות הדרכים. כמו כן, כאמור, נמצא יתרון בבחינה סימולטנית של שני סוגי התרשימים, מסוג Shewhart ו-Cusum.

בתרשימים מסוג Shewhart גבולות הבקרה אופקיים, לכן קל למשתמש לתפוס היכן מתחולל שינוי, ומה מהותו - עליה, ירידה או חריגה חד-פעמית, לעומת הצפוי. גילוי זה מתאפשר מאחר שהערכים המוצגים בתרשימים שהם שאריות, הם מנוכי מגמה ועונתיות, ומנורמלים. עם זאת, החיסרון בשיטה זו (של בחינת השאריות) הוא שלערכים המופיעים בתרשימים אין למעשה מובן, מאחר והם לא מבוטאים בערכים של מספר נפגעים, אלא במונחים של שאריות.

במחקר זה יושמו תרשימי Cusum חד-צדדיים (one-sided cusum). תרשימים Cusum חד-צדדי נועדו לגלות סטייה קבועה בממוצע התהליך המבוקר בכיוון מסוים, כלפי מעלה או מטה. בתרשימי ה-Cusum המובאים במחקר זה, צוירו שני תרשימי Cusum חד-צדדיים על אותו גרף. תרשימים אחד, בעל ערכים אי-שליליים נועד לגלות סטייה כלפי מעלה, ואילו התרשימים השני, בעל ערכים אי-חיוביים נועד לגלות סטייה כלפי מטה. כאשר נקודות התרשימים חורגות מגבולות הבקרה מוכרז על שינוי מובהק בתהליך - יציאה מבקרה.

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

### שימוש שוטף בתרשימי הבקרה

בשני סוגי התרשימים: Shewhart ו-Cusum - לאחר שלב ראשון של חישוב הפרמטרים הנדרשים לבניית תרשימי הבקרה על-פי התקופה "לפני", בעזרת הכלים שנבנו ניתן לשרטט את תרשימי הבקרה ולחשב את הערכים המבוקרים על-ידי התרשים בתקופת ה"אחרי".

גבולות תרשימי הבקרה צריכים להתעדכן מדי תקופה, דהיינו כאשר באים לשפוט את מצב הבטיחות בשנה שוטפת לעומת שנים קודמות. לכל סדרה של נתונים מותאם תרשים בקרה נפרד. עדכון גבולות תרשים הבקרה כולל שלבים אלה:

- התאמת מודל לנתוני התקופה "לפני".
- לכל חודש, בתקופת ה"לפני", יש לחשב את שארית הדיוויאנס המתאימה לו על סמך המודל המותאם - מתקבלת סידרת שאריות.
- על סמך סידרת השאריות מחושבים גבולות בקרה וערך ממוצע, עבור שני סוגי התרשימים (Cusum, Shewhart).

לשימוש בתרשימי הבקרה למעקב שוטף אחרי מצב הבטיחות, לכל נתון חודשי מבוקר, יש לחשב את שארית הדיוויאנס המתאימה לו על סמך המודל המותאם לסדרת נתונים זו ולהציב את הנקודה שהתקבלה על גבי תרשים הבקרה. בהתאם למצב הנקודות על גבי התרשים יש לבחון את מצב התהליך בשנה השוטפת, תוך כדי שימוש בכללים שהוגדרו מראש.

לבקרת מצב הבטיחות בעזרת התרשים מסוג Shewhart משמשים **כללים** כלהלן:

(1) שלושה סוגי אירועים עיקריים לזיהוי בעזרת התרשים הם:

- מבחן 1: נקודה בודדת שנופלת מחוץ לגבול העליון או התחתון של התרשים (אשר נקבעו לפי שלוש סטיות תקן);
- מבחן 2: 7 נקודות עוקבות מצד אחד של קו האמצע;
- מבחן 3: 6 נקודות עוקבות של עליה או ירידה.

(2) אירועים נוספים שניתנים לזיהוי בעזרת התרשים (לפי פרוצדורת Shewhart של SAS/QC) הם:

- מבחן 5: 2 מתוך 3 נקודות עוקבות באזור A או מחוץ לו;
  - מבחן 6: 4 מתוך 5 נקודות עוקבות באזור B או מחוץ לו;
- כאשר:



אזור A - אזור הנמצא במרחק 3 סטיות תקן מהמוצע;

אזור B - אזור הנמצא במרחק 2 סטיות תקן מהמוצע.

לבקרת מצב הבטיחות בעזרת התרשים מסוג Cusum משמש **כלל אחד**: כאשר נקודות התרשים חורגות 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.

ליישום ממצאי המחקר לניטור שוטף של מצב הבטיחות בישראל, מוצע לפעול כלהלן<sup>13</sup>:

א. במערכת BI של הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים ישולבו תרשימי הבקרה 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.

ב. תרשימי הבקרה במערכת BI ייבנו עבור **13 סדרות** של הרוגים (ראה פרק 7) והם יהיו משני סוגים: מסוג Shewhart (המאפשר זיהוי אירועים בודדים) ומסוג Cusum (המשקף שינוי בממוצע התהליך). סה"כ, ייבנו 26 תרשימים. כאמור, שני סוגי התרשימים מבוססים על ניתוח שאריות - הפרשים בין המספר שנצפה בחודש מסוים לבין המספר הצפוי באמצעות המודלים שהותאמו לתהליכים המנוטרים על סמך התצפיות בחמש השנים האחרונות.

ג. ליצירת התרשימים במערכת BI יידרשו כלים אלה:

- מודלים שהותאמו במחקר אשר יסופקו בצורת נוסחאות לחישוב גבולות של תרשימי הבקרה ונוסחאות לחישוב מיקום כל נקודה בתרשים בשנה השוטפת, על סמך מספרי ההרוגים החודשיים. הנוסחאות יאפשרו יצירה של 26 התרשימים.

- הגדרות ל-13 סדרות ההרוגים, לביצוע גזירה תואמת של הנתונים מקבצי התאונות (ראה פרק 7 לעיל).

- נתונים עבור 13 הסדרות החודשיות של הרוגים בשנת 2010 (ששימשו בסיס ליצירת התרשימים במחקר).

- תרשימי הבקרה שנבנו במחקר לניטור 13 סדרות ההרוגים בשנת 2010 (מוצגים בנספח ג).

- הגדרת כללים לזיהוי אירועים חריגים באמצעות תרשימי הבקרה (ראה לעיל).

<sup>13</sup> הצעה זו התגבשה בדיון שהתקיים ברשות הלאומית לבטיחות בדרכים, בשיתוף צוות המחקר, נציגי הרשות ומפעילי מערכת BI של הרשות

ד. לבדיקת נכונות קליטת המודלים במערכת BI יבוצע פיילוט בניית תרשימי הבקרה לשנת 2010 והשוואתם עם תוצרי המחקר.

### מחקר המשך

לגבי מחקר המשך יצוין כי שיטות חדשניות, בספרייה surveillance אשר בחבילת R, מאפשרות כיום לבנות תרשימי בקרה, על בסיס הערכים הצפויים על-פי המודל, וגבולות בקרה במונחים של מספרי נפגעים (לעומת השאריות ששימשו ליצירת תרשימי הבקרה במחקר הנוכחי). בכך מתאפשר מעקב אחרי הערכים הממשיים של הסדרות המבוקרות. שיטות אלה פותחו לאחרונה עבור נתונים מהתפלגות פואסונית וגם בינומית שלילית, ואלה ההתפלגויות המתאימות לנתוני נפגעים בתאונות. אולם, גבולות הבקרה בתרשימים אלה אינם קווים אופקיים, המקשים על המעקב. כמו כן, קשה להסיק אם החרیגה מגבולות הבקרה היא גדולה או קטנה באופן משמעותי ביחס לצפוי, בהתחשב בשונות הצפויה באותה נקודת זמן. יתר על כן, החישובים מורכבים בהרבה לעומת השיטות שהצענו במחקר הנוכחי.

עם זאת, רצוי היה להמשיך במחקר כדי להשוות ביתר עומק את השיטות החדשניות הללו לעומת השיטות המופיעות בדו"ח זה. בפרט, ראוי לבחון האם יש לאמץ אותן ככלי בקרה בנוסף לתרשימים שהמלצנו, דהיינו התרשימים מסוג Shewhart ו-Cusum על בסיס השאריות.

## מראי מקום

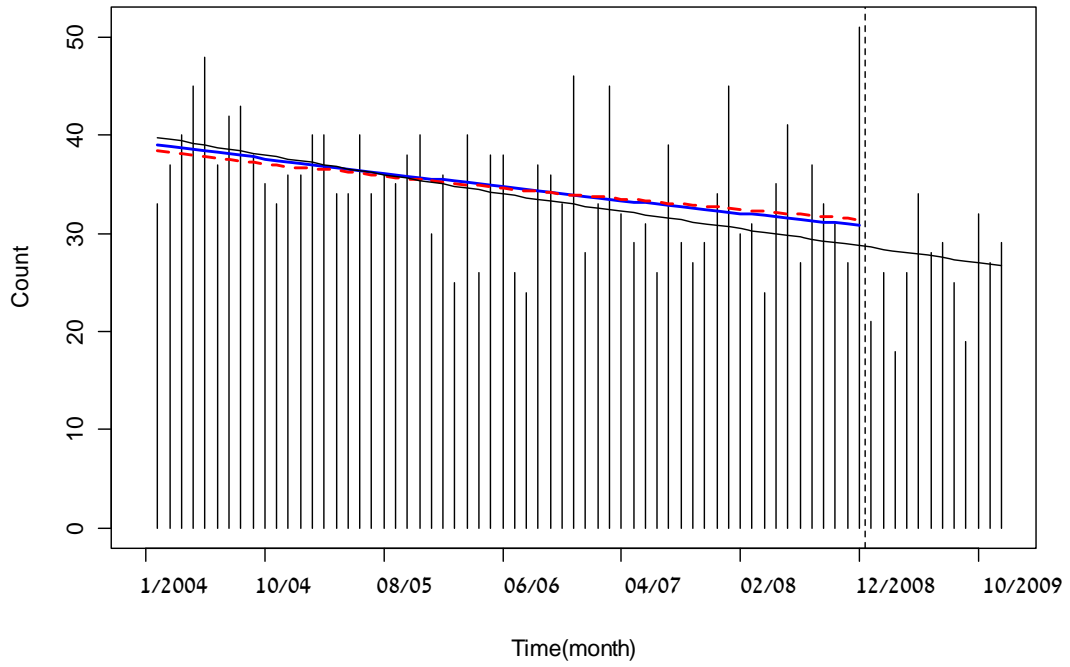
1. הרשות (2010). מגמות בבטיחות בדרכים בישראל 2000-2009, הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים.
2. הרשות (2011). מגמות בבטיחות בדרכים בישראל 2001-2010, הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים.
3. כהן א., דובא א. (2010). דו"ח ביניים למחקר "התאמת מודלים סטטיסטיים לניתוח מגמות תאונות הדרכים בישראל". המחקר ממומן על ידי קרן המחקרים בענייני ביטוח ליד אגוד חברות הביטוח בישראל.
4. מהלאל, ד., הקרט, ש. (1976). מערכת הקצאה של משאבים בטיחותיים על פני רשת דרכים. פרסום 76/3, המרכז לבטיחות בדרכים.
5. Bergel, R. (1998). Multivariate modeling of accident risk on the national road network. Presented at the Workshop of Int. Conference Road Safety in Europe, Bergisch Gladbach, Germany.
6. Borror, C. M., Champ, C. W. and Rigdon, S. E. (1998). Poisson EWMA control charts. *Journal of Quality Technology*, 30, 352-361.
7. Borror, C. M., Keats, J. B. and Montgomery, D. C. (2000). Robustness of the time between events CUSUM. *International Journal of Production Research*, 41, 3435-3444.
8. Brillman, J.C., Burr, T., Forslund, D., Joyce, E., Picard, R. and Umland, E. (2005). Modeling emergency department visit patterns for infectious disease complaints: Results and applications to disease surveillance. *BMC Medical Information and Decision Making* (594),1-14.
9. Brook, D. and Evans, D. A. (1972). An approach to the probability distribution of CUSUM run length. *Biometrika*, 59, 539-549.
10. Broughton, J. (2006). Monitoring progress towards the GB casualty reduction targets. Proceedings of the European Transport Conference, held in Strasburg, France, October 2006.
11. Burkorn, H.S., Murphy, S.P., and Shmueli, G. (2007). Automated time series forecasting for bio-surveillance. *Statistics in Medicine*, 26(2), 4202-4218.
12. Chapelon, J. (2006). Safety trends in France. Proceedings of the European Transport Conference, held in Strasburg, France, October 2006.
13. ETSC (2006). Traffic law enforcement across the EU. An overview. European Transport Safety Council.
14. Fisher, G.R. and Mosher, W.W. (1968). Application of control chart techniques to the analysis of traffic accident data for selective enforcement purposes. Report No. 68-33, Institute of Transportation and Traffic Engineering, University of California.

15. Fisher, G.R. (1970). On the effectiveness of statistical control chart techniques in selective enforcement applications. Report No. 70-12, Institute of Transportation and Traffic Engineering, University of California.
16. Forsberg, L., Jeffery, C., Ozonoff, A. and Pagano, M. (2006). A spatio-temporal analysis of syndromic data for biosurveillance. In: *Statistical Methods in Counter-Terrorism: Game Theory, Modeling, Syndromic Surveillance, and Biometric Authentication*, Springer.
17. Gitelman, V. and Doveh, E. (2009) Short-term monitoring of road accident trends in Israel. Proceedings of the 4<sup>th</sup> IRTAD Conference, held in Seoul, Korea, September 2009.
18. Guria, J. and Mara, K. (2000). Monitoring performance of road safety programmes in New Zealand. *Accident Analysis & Prevention* 32 (2000), 695-702.
19. Guria, J., Jones, W., Leung, J. and Mara, K. (2003). Alcohol in New Zealand road trauma. *Appl Health Econ Health Policy*, 2(4), 183-90.
20. Hohle, M. (2007). Surveillance: An R package for the monitoring of infectious diseases. *Computational Statistics*, 22, 571-582.
21. Hohle, M. and Paul, M. (2008). Count data regression charts for the monitoring of surveillance time series. *Computational Statistics & Data Analysis* 52, 4357-4368.
22. Hunter, J. S. (1986). The Exponentially Weighted Moving Average. *Journal of Quality Technology*, 18, 203-210.
23. Lai, T. (1995). Sequential change-point detection in quality control and dynamical systems. *Journal of The Royal Statistical Society, Series B*, 57, 613-658.
24. London (2002). Towards the year 2010: monitoring casualties in greater London. London Accident Analysis Unit.
25. Lotze, T. and Shmueli, G. (2008). Ensemble forecasting for disease outbreak detection, 23<sup>rd</sup> AAAI Conference on Artificial Intelligence, Chicago, July 2008.
26. Lotze, T., Murphy, S.P, and Shmueli, G. (2008). Preparing biosurveillance data for classic monitoring, *Advances in Disease Surveillance*.
27. Lucas, J. M. (1976). The design and use of V-Mask control schemes. *Journal of Quality Technology*, 8, 1-12.
28. Lucas, J. M. (1985). Counted data CUSUM's. *Technometrics*, 27, 129-144.
29. Muggeo, V. M. R. (2003). Estimating regression models with unknown break-points. *Statistics in Medicine*, 22, 3055-3071.
30. 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/>.

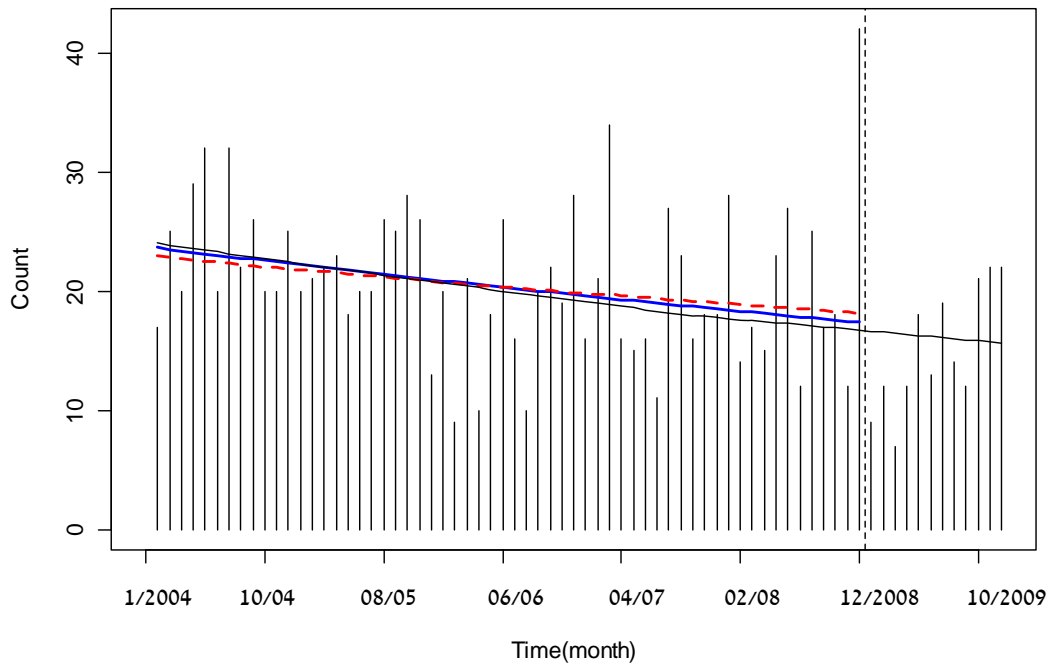
31. Muscatello, D. (2004). An adjusted cumulative sum for count data with day- of-week effects; Application to influenza-like illness. Presentation at Syndromic Surveillance Conference, Boston, MA.
32. Nelson, L. S. (1984). The Shewhart control chart - Tests for special causes. *Journal of Quality Technology*, 15, 237–239.
33. OECD/ITF (2008). Towards Zero Road Deaths: Safe System to Achieve Ambitious Targets. Organisation for Economic Co-operation and Development/ International Transport Forum.
34. OECD/ITF (2011). IRTAD Annual Report 2010. International Traffic Safety Data and Analysis Group: [www.irtad.net](http://www.irtad.net). Organisation for Economic Co-operation and Development/International Transport Forum.
35. Pierchala, C.E. and Surti, J. (1999). Control charts as a tool in data quality improvement. Report No. DOT HS 809 005, National Highway Traffic Safety Administration.
36. Shmueli, G. and Burkon, H. (2010). Statistical challenges facing outbreak detection in bio-surveillance. *Technometrics*, 52(1), 39-51.
37. Testik, M. C., McCullough, B. D. and Borrer, C. M. (2006). The effect of estimated parameters on Poisson EWMA control charts. *Quality Technology of Quantitative Management* 3(4), 513-527.
38. Wheeler, D. J. (1991). Shewhart's Chart: Myths, Facts, and Competitors, 45th Annual Quality Congress Transactions, American Society for Quality Control, 533–538.
39. Wimmer, V., and Hohle, M. (2008). The function 'algo.glrnb' in the R-package 'Surveillance'.
40. Yahav, I. and Shmueli, G. (2006). Algorithm combination for improved performance in bio-surveillance systems. *Proceedings of the Second NSF Workshop, Bio-surveillance 4506*, 91-102.
41. Yahav, I., Lotze, T. and Shmueli, G. (2011). Algorithm combination for improved performance in bio-surveillance. In: D. Zeng et al (eds.) *Infectious Disease Informatics and Bio-surveillance, Integrated Series in Information Systems*, 27, DOI10, 1007/978-1-4419-6892-0\_8, Springer Science +Business Media, LLC.

**נספח א'. הצגה גרפית של סדרות הנתונים בניתוח: 2009 לעומת שנים  
קודמות**

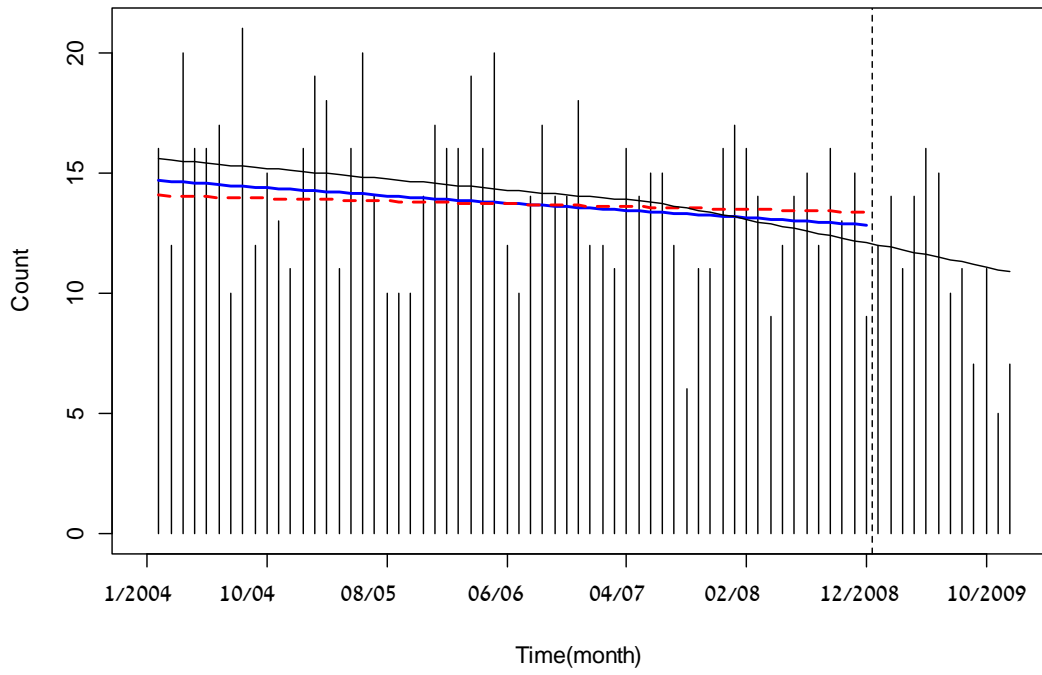
1. סך הרוגים בתאונות



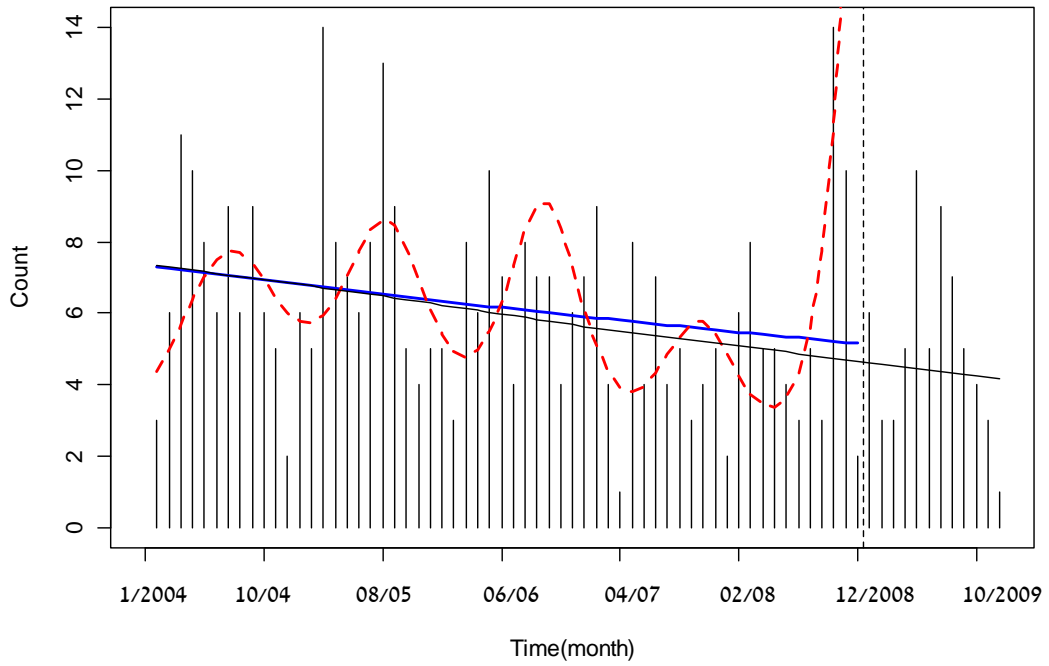
2. הרוגים בדרכים לא עירוניות



3. הרוגים בדרכים עירוניות

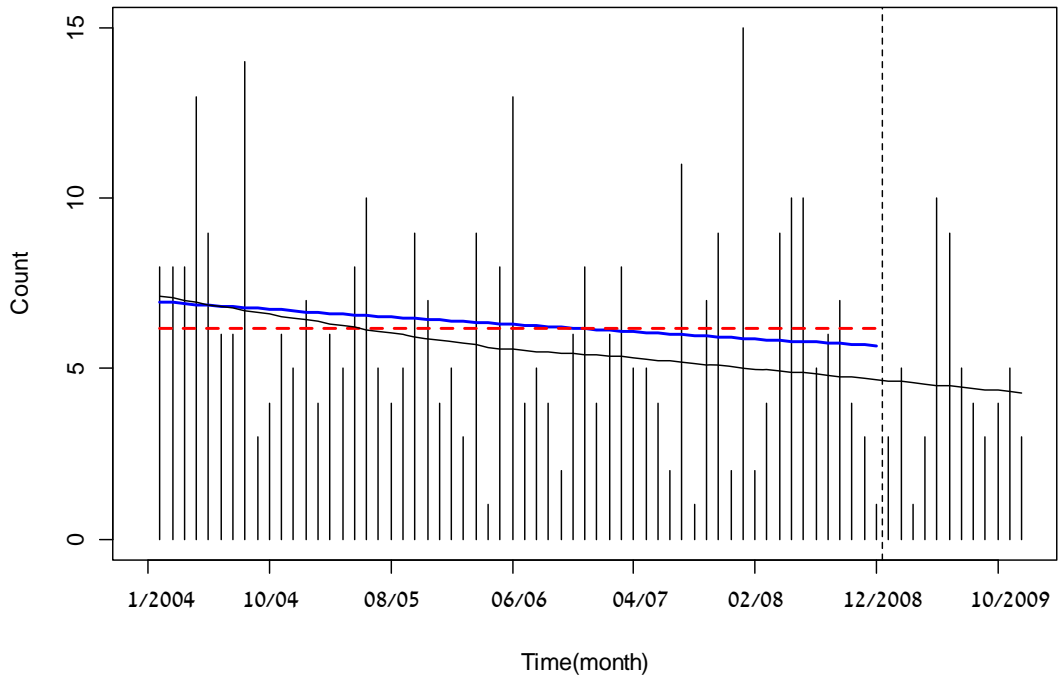


4. הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים

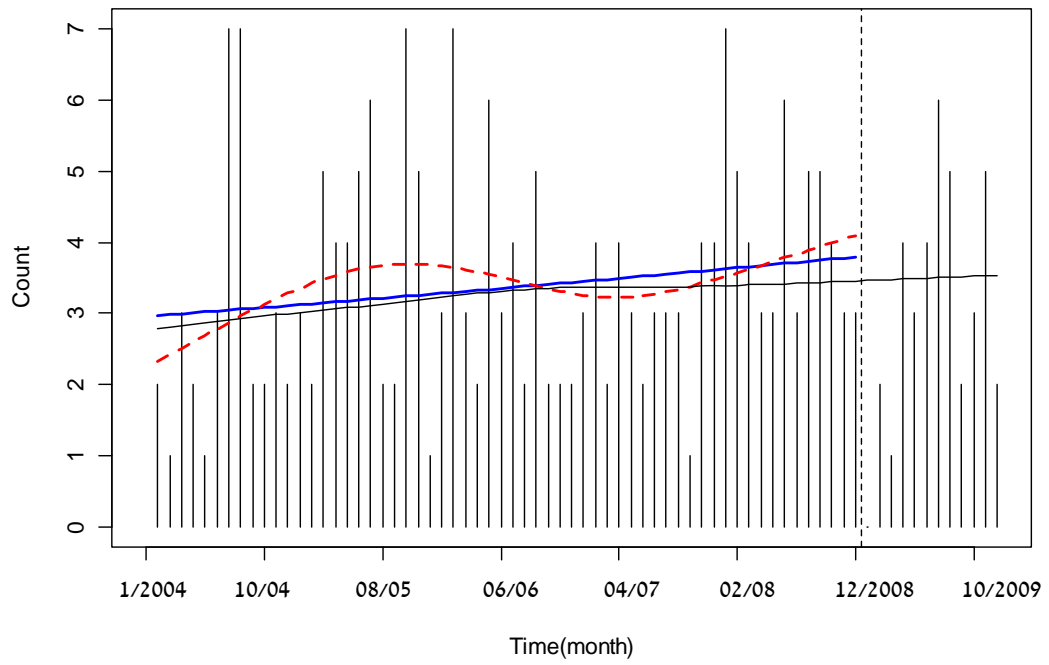




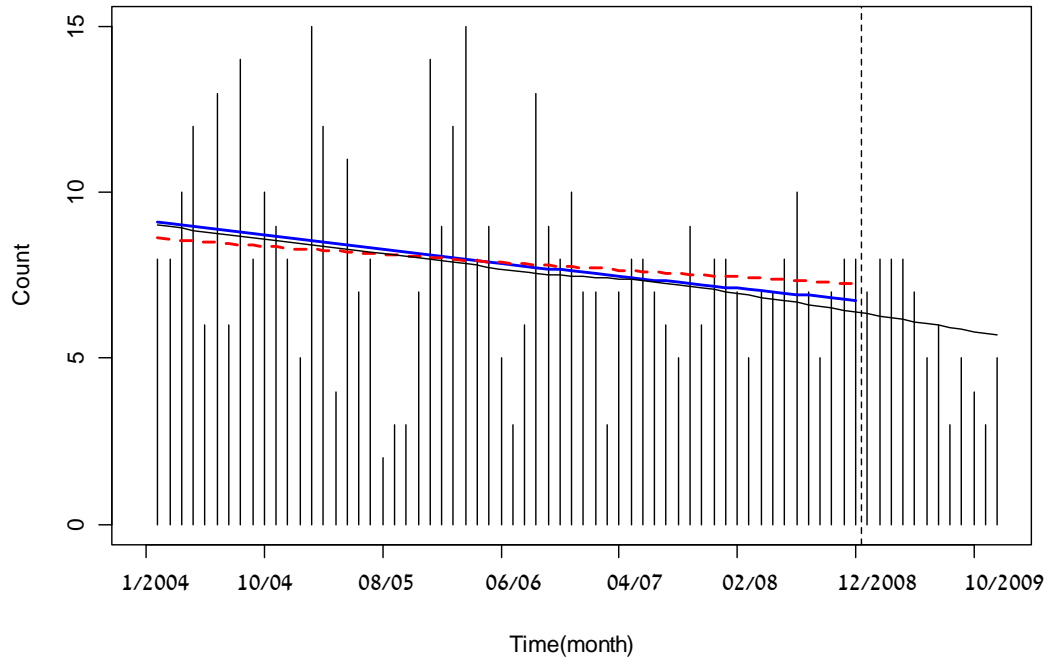
5. הרוגים בתאונות עם רכב מקצועי



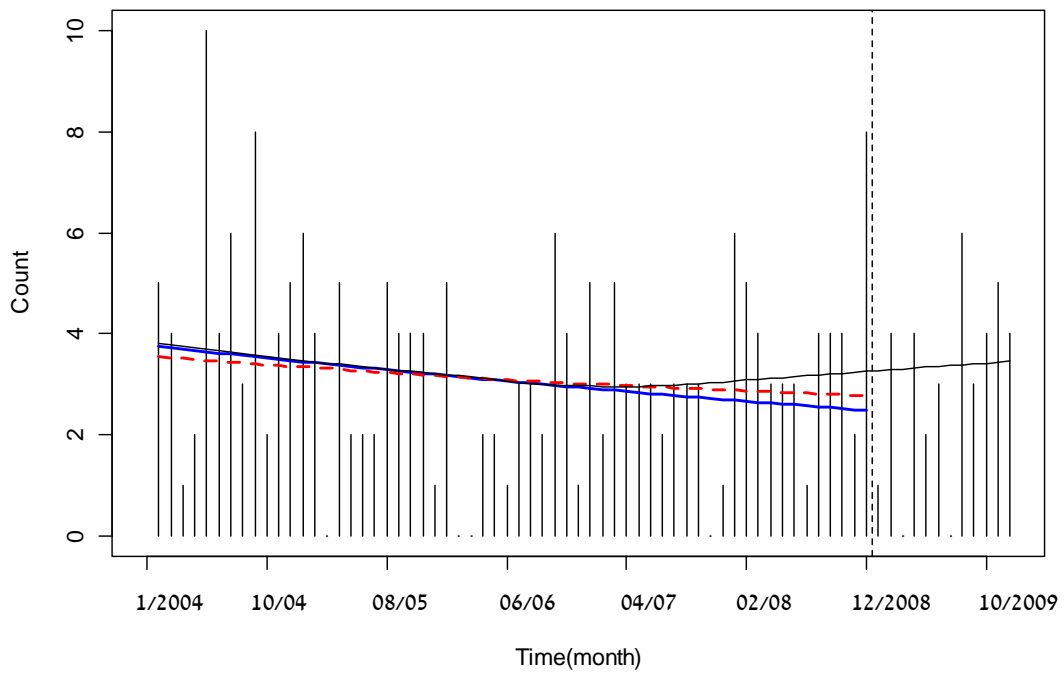
6. הרוגים בתאונות אופנועים



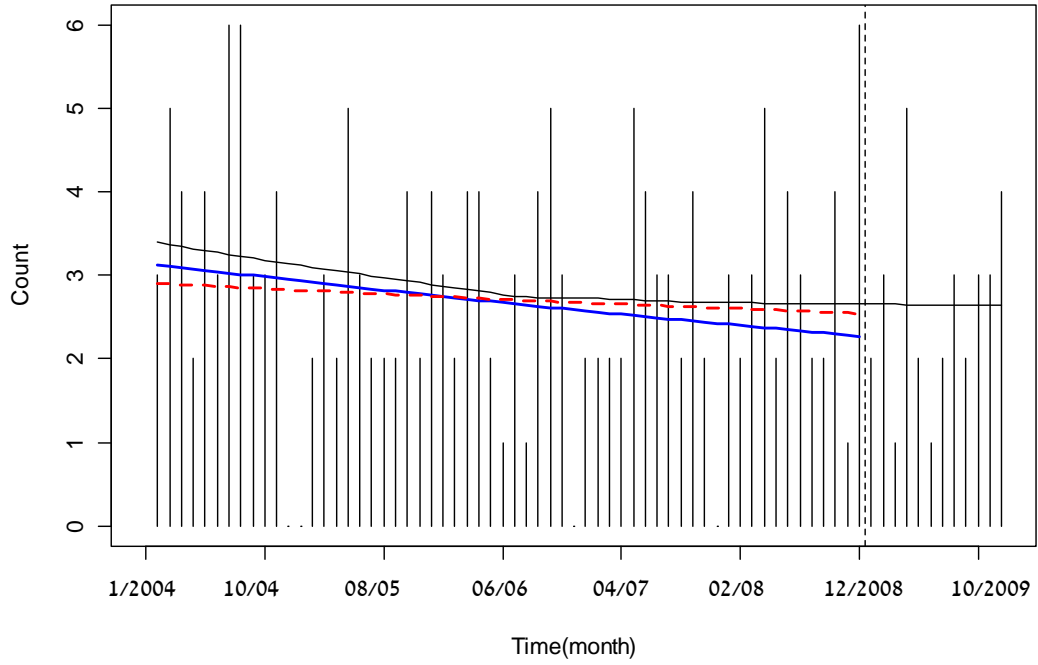
**.7. הרוגים הולכי רגל בדרכים עירוניות**



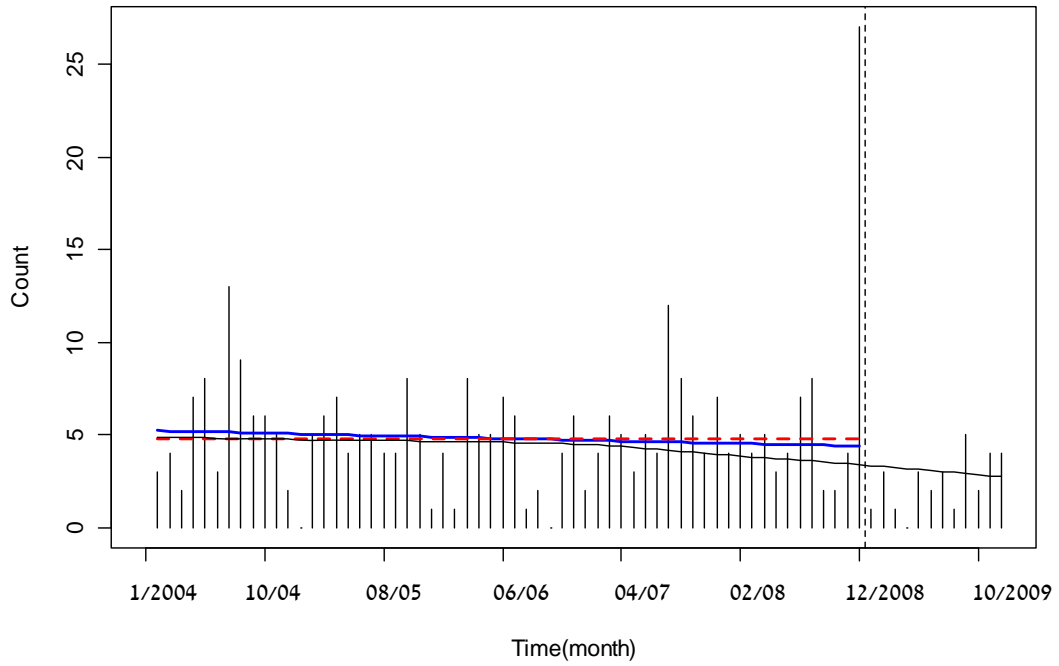
**.8. הרוגים הולכי רגל בדרכים לא עירוניות**



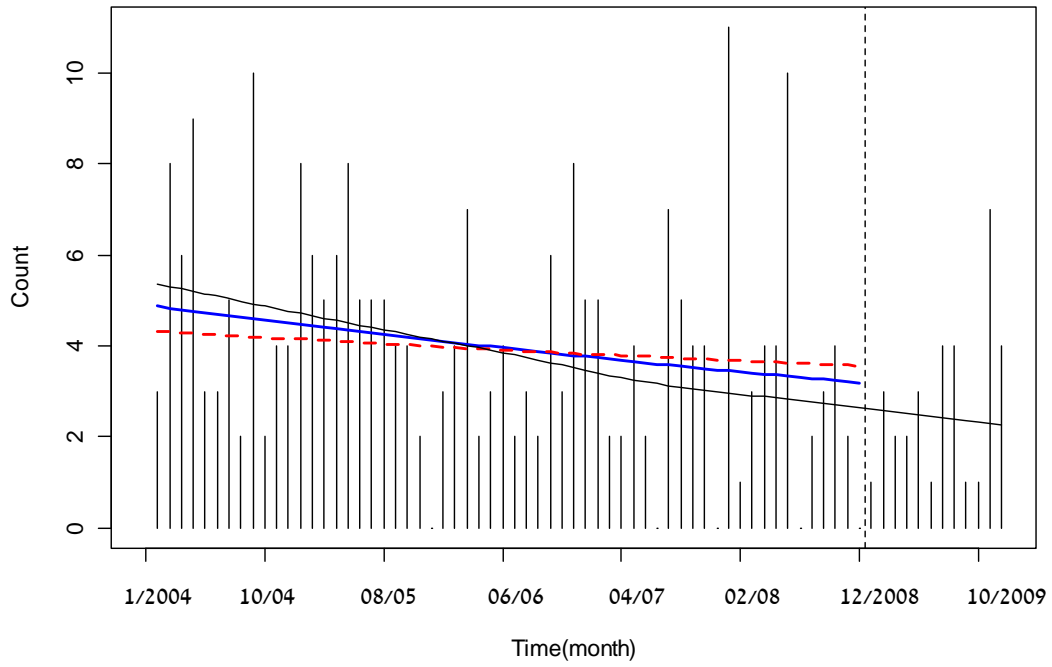
9. הרוגים הולכי רגל במגזר לא יהודי



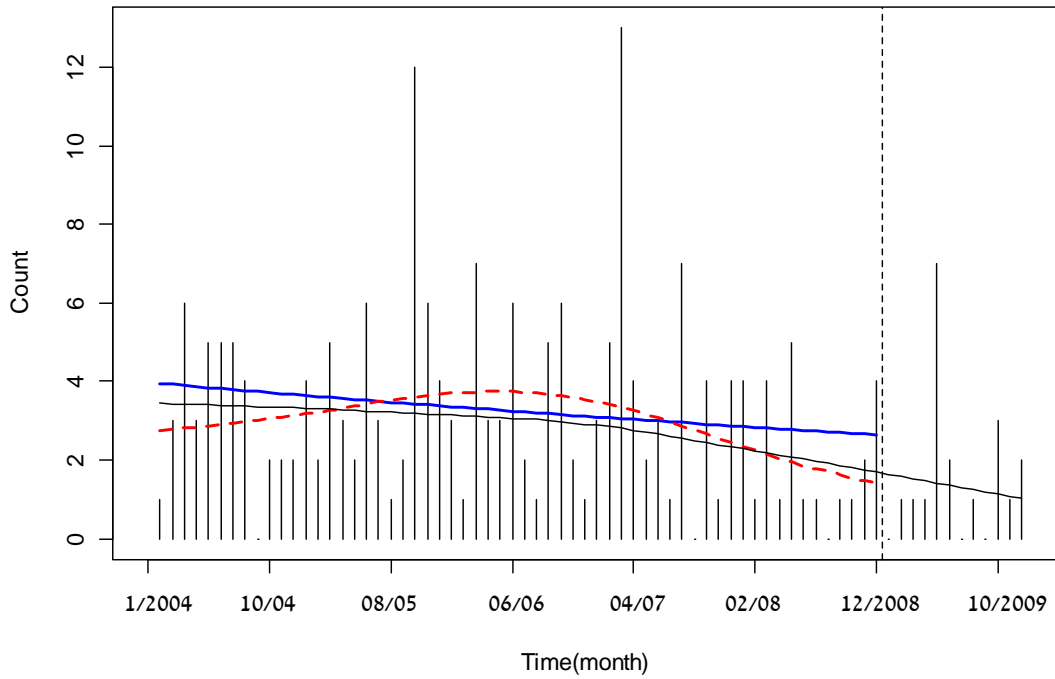
10. הרוגים בתאונות רכב יחיד



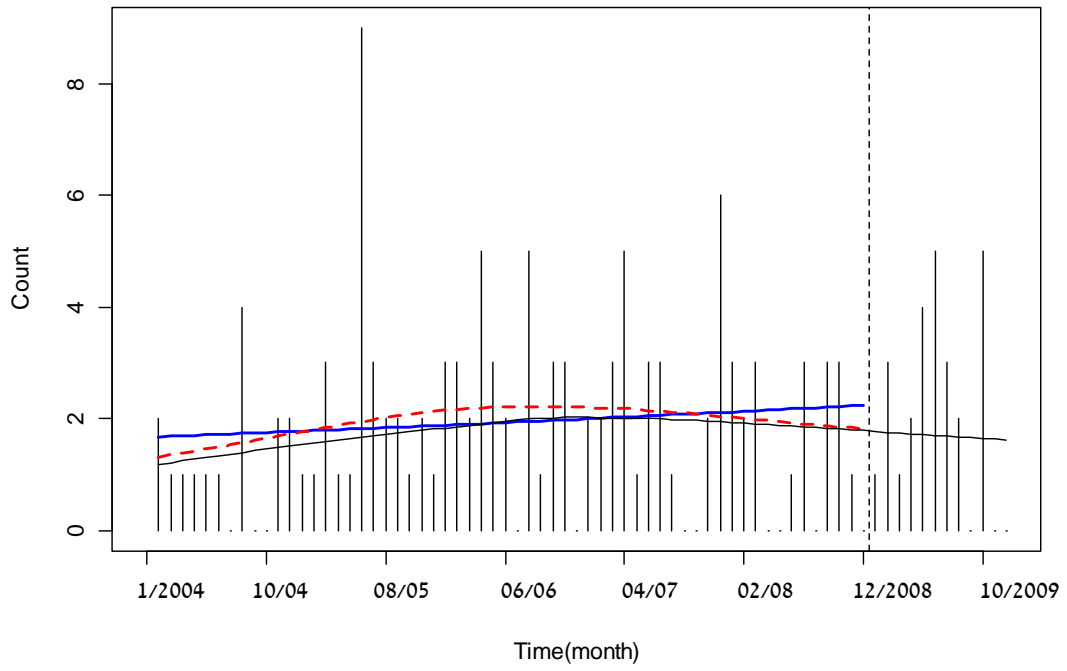
11. הרוגים בתאונות חזית-חזית



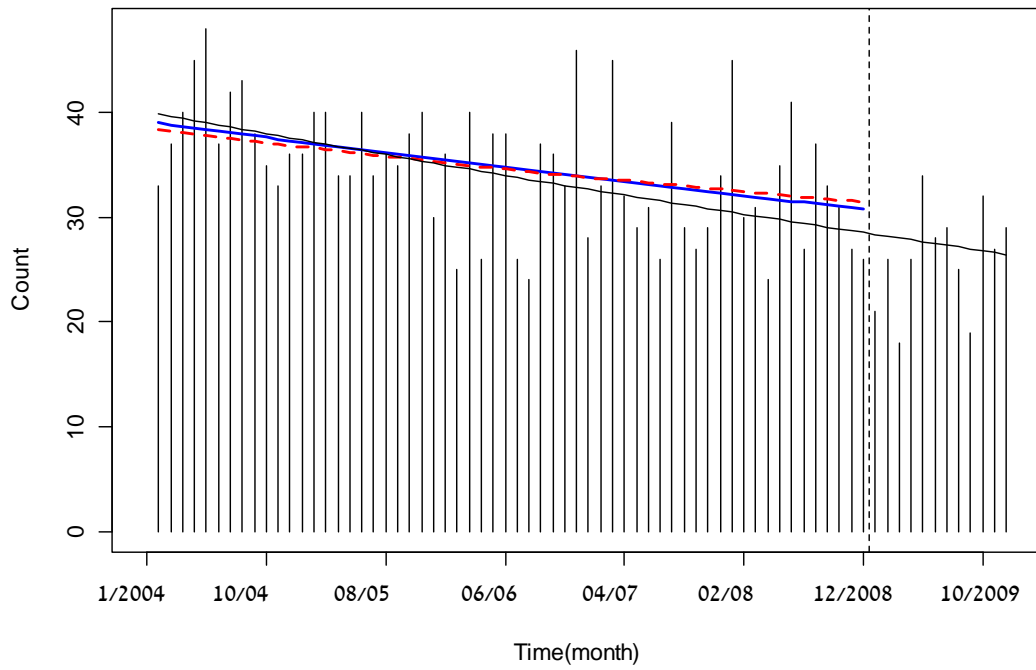
12. הרוגים בצמתים לא עירוניים



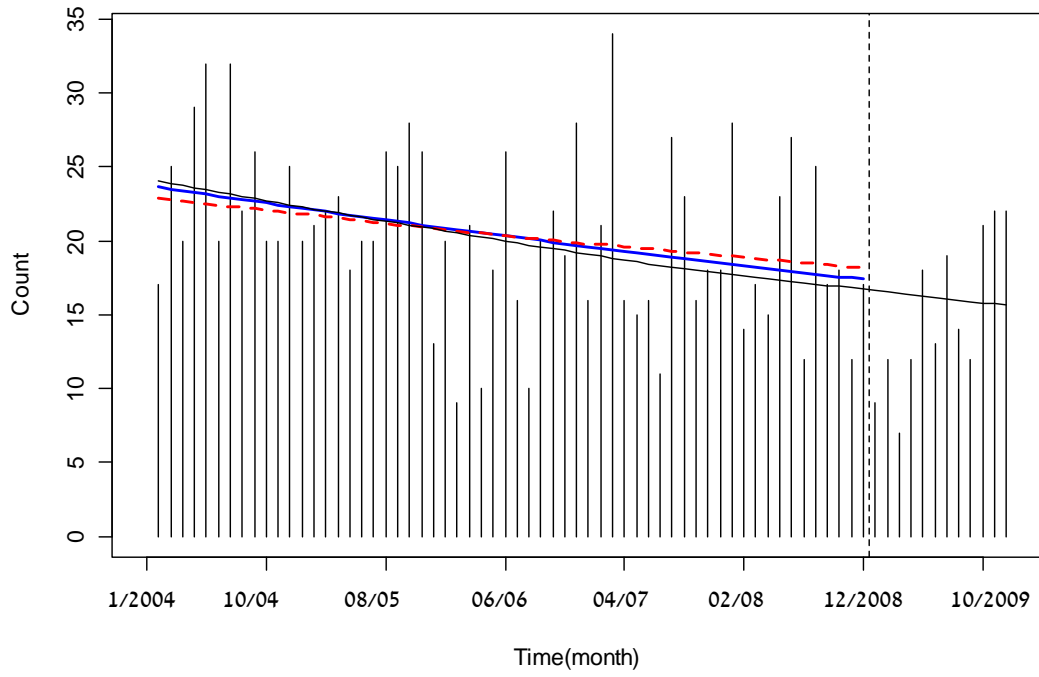
13. הרוגים בצמתים עירוניים



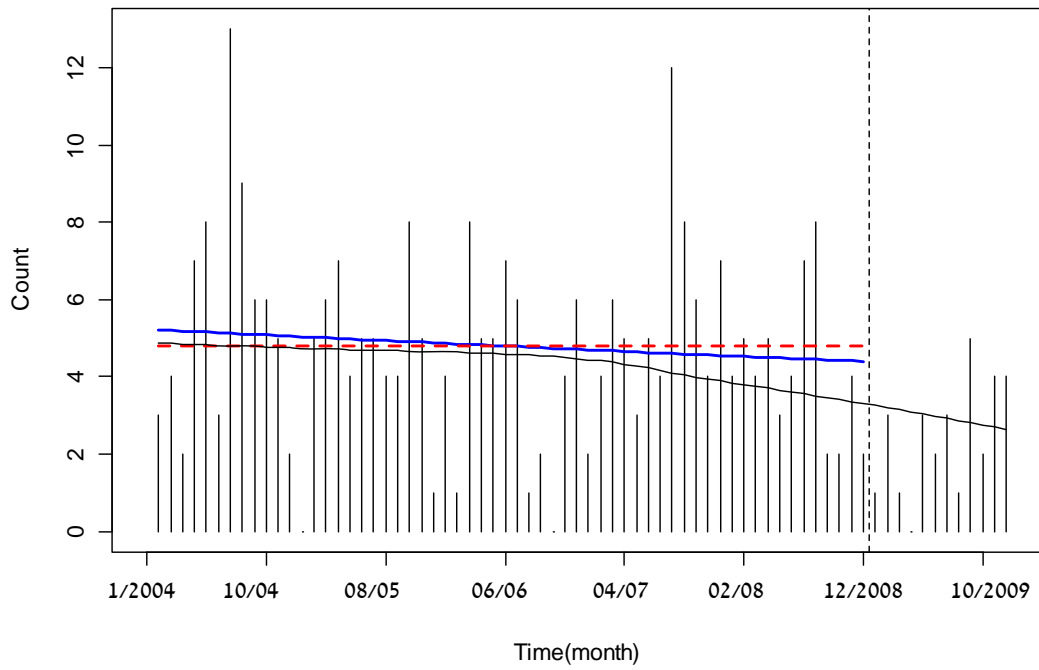
14. סך הרוגים ללא תאונת אוטובוס 12/08



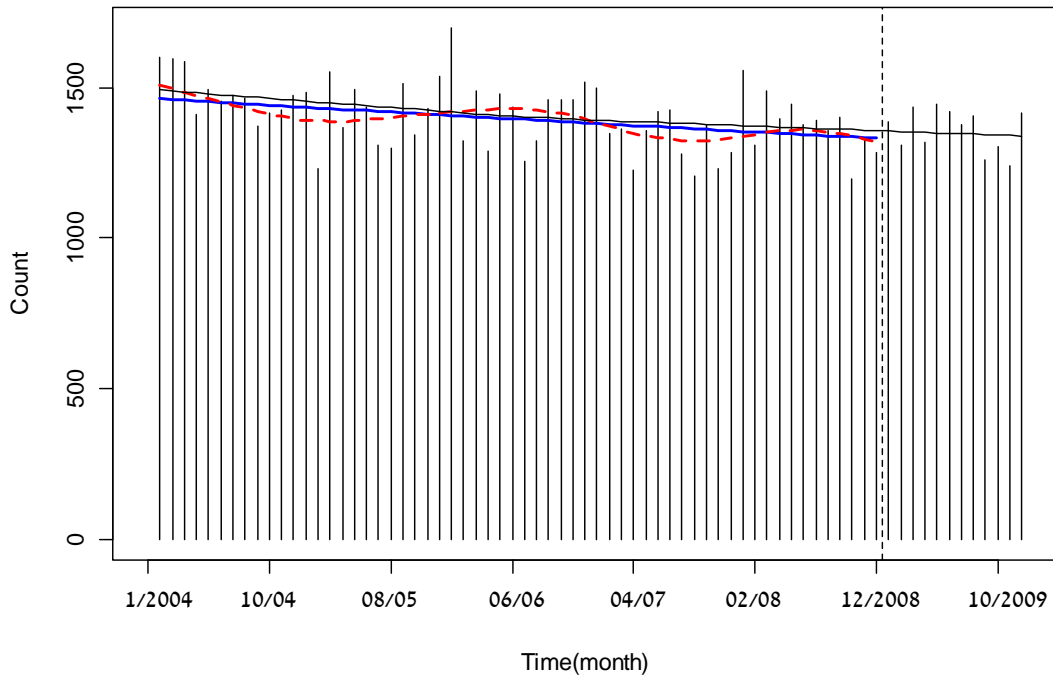
15. הרוגים בדרכים לא עירוניות, ללא תאונת אוטובוס



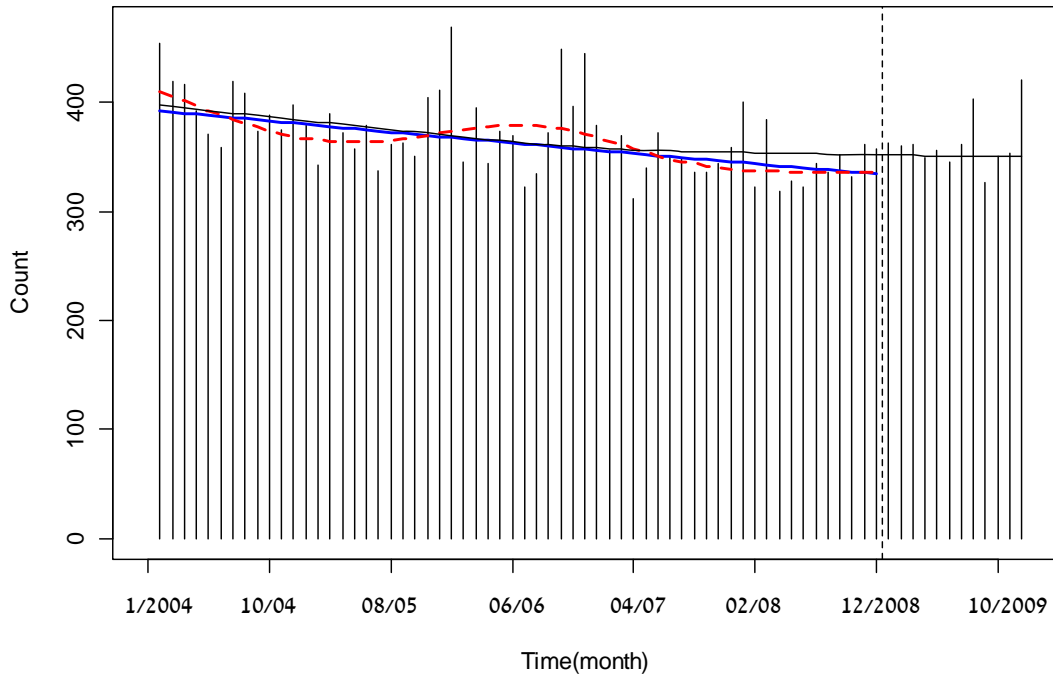
16. הרוגים בתאונות רכב יחיד, ללא תאונת אוטובוס



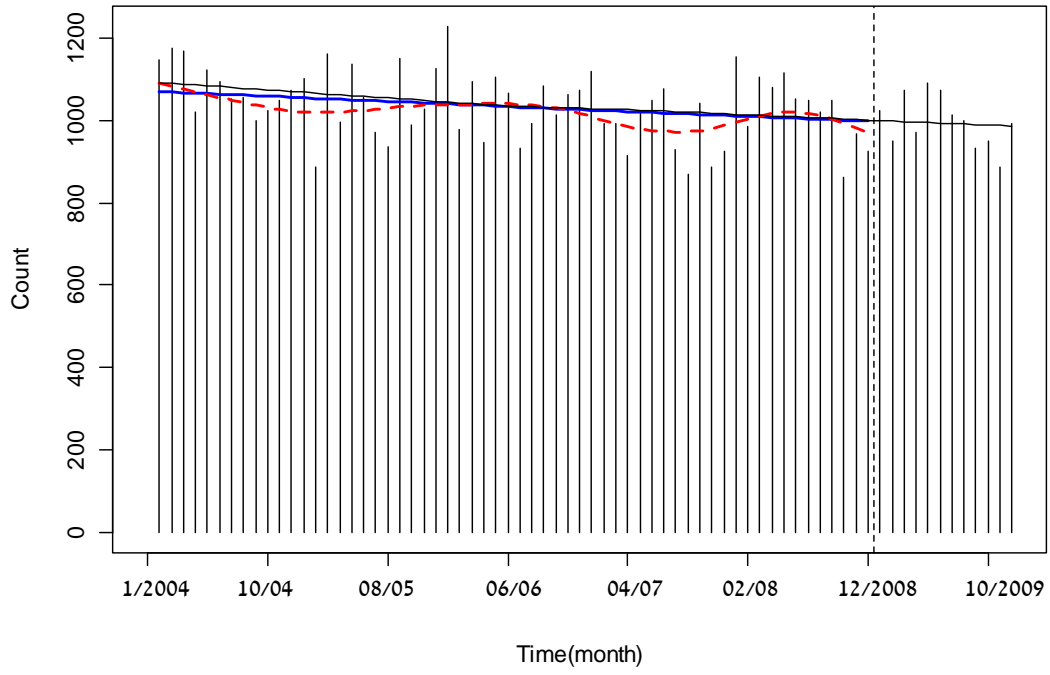
17. סך התאונות עם נפגעים



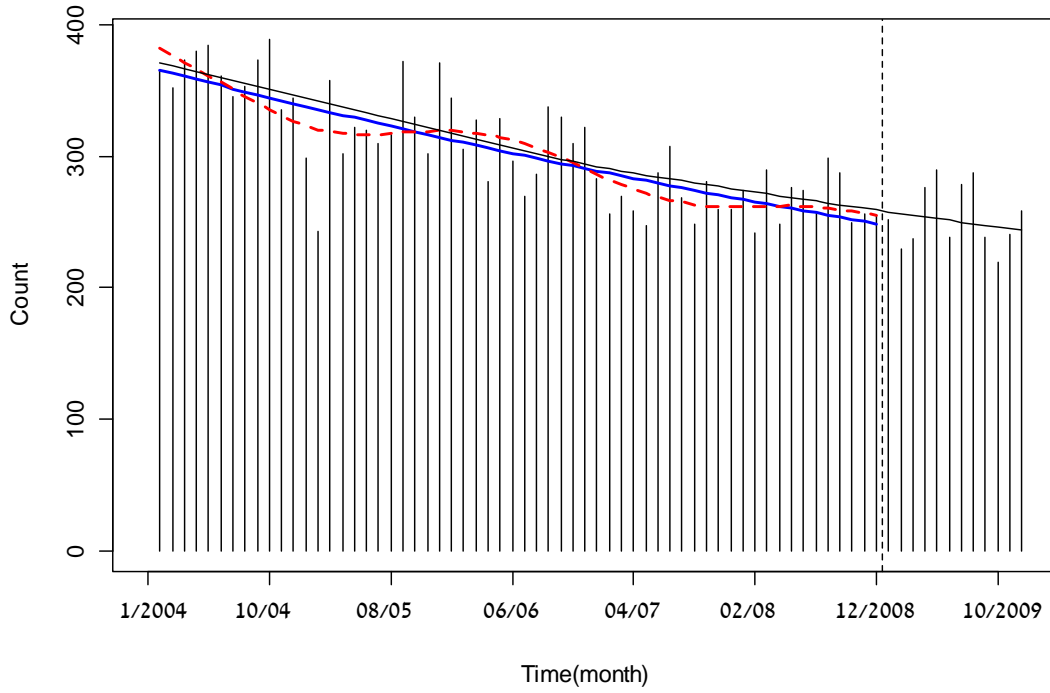
18. תאונות בדרכים לא עירוניות



19. תאונות בדרכים עירוניות

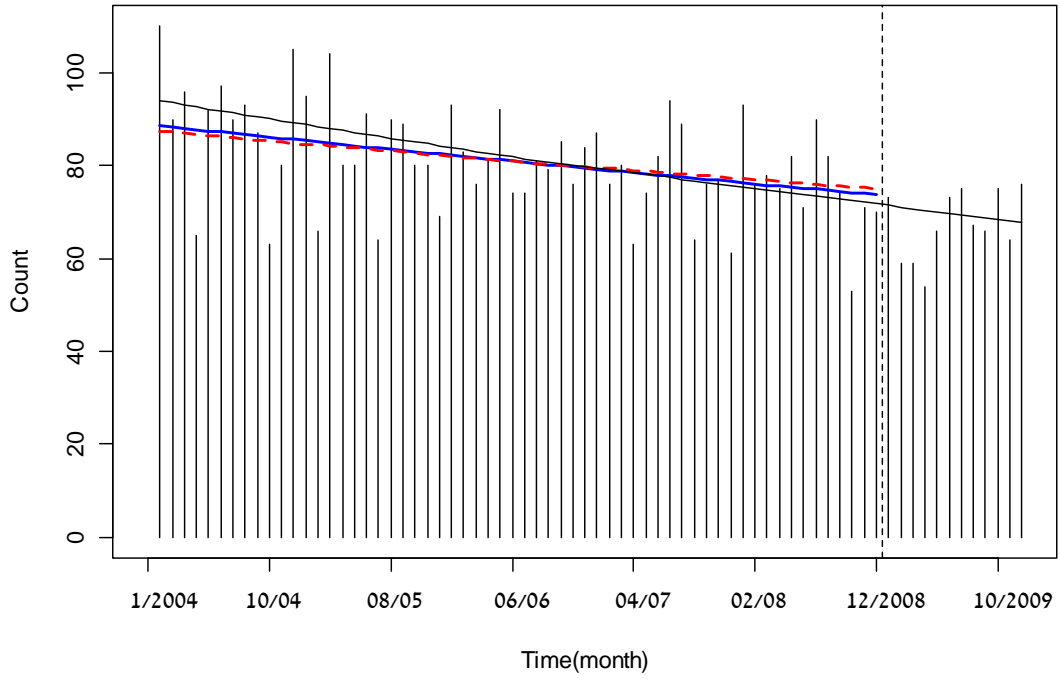


20. תאונות עם נהגים צעירים

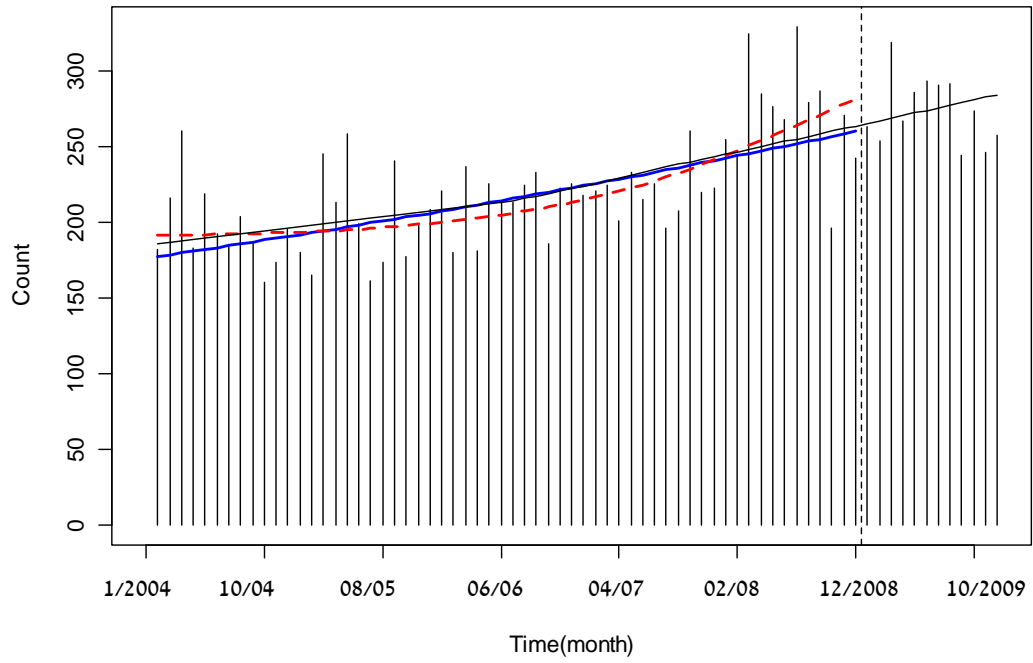




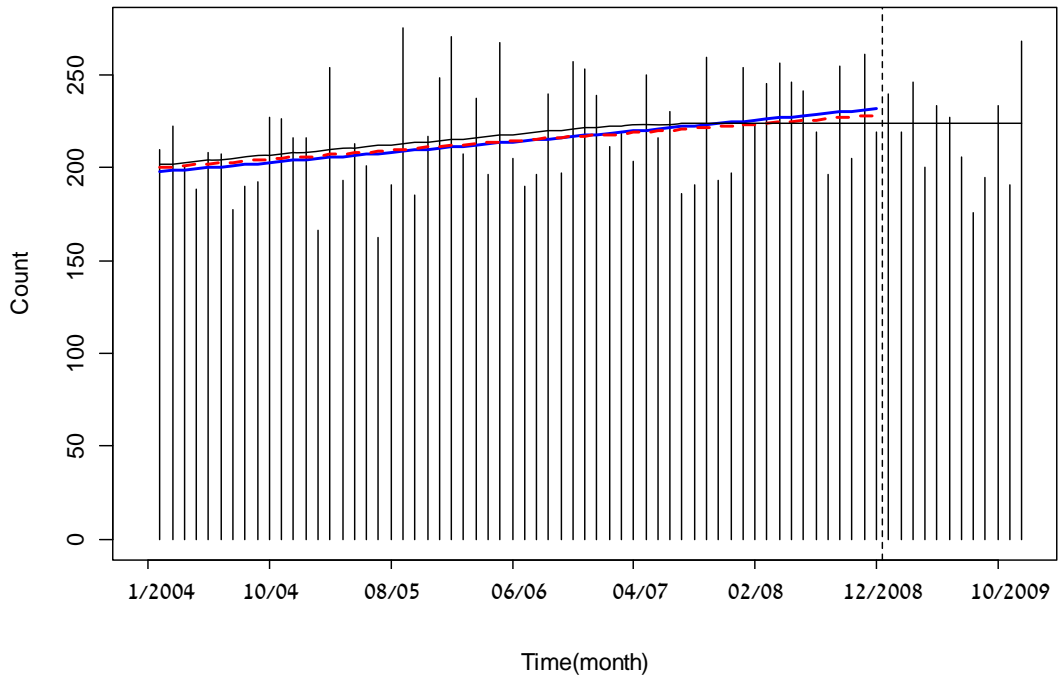
21. תאונות עם רכב מקצועי



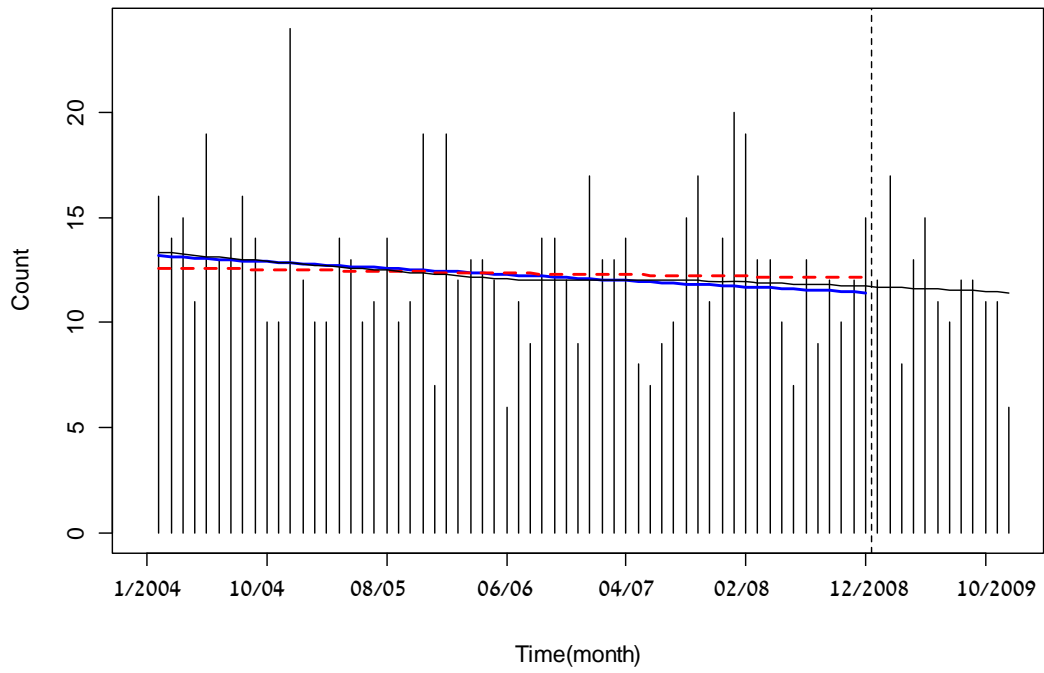
22. תאונות אופנועים



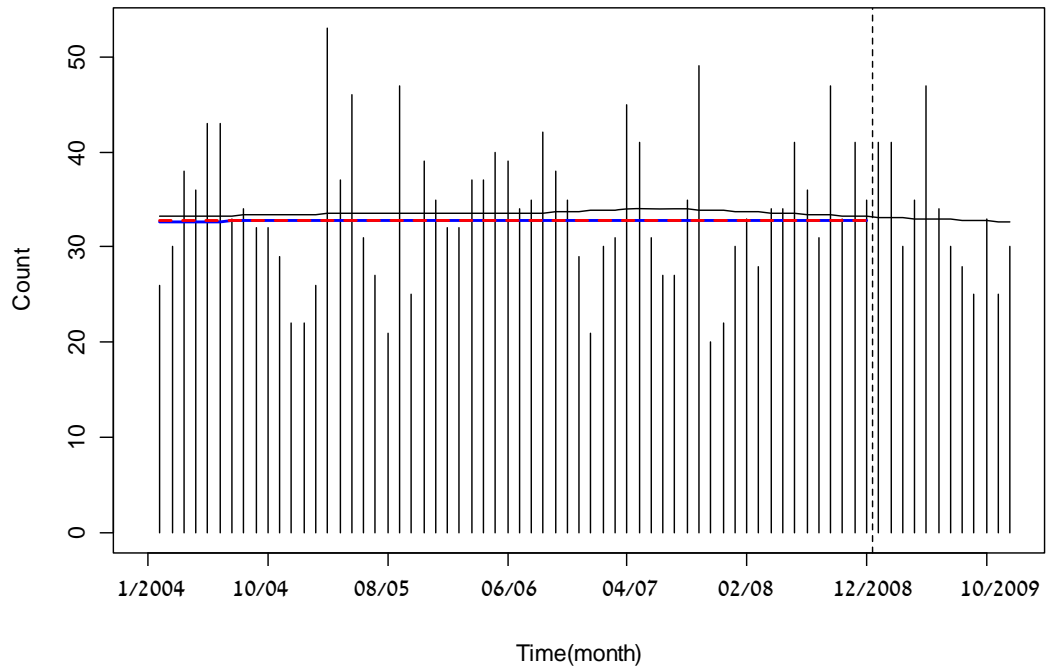
23. תאונות הולכי רגל, בדרכים עירוניות



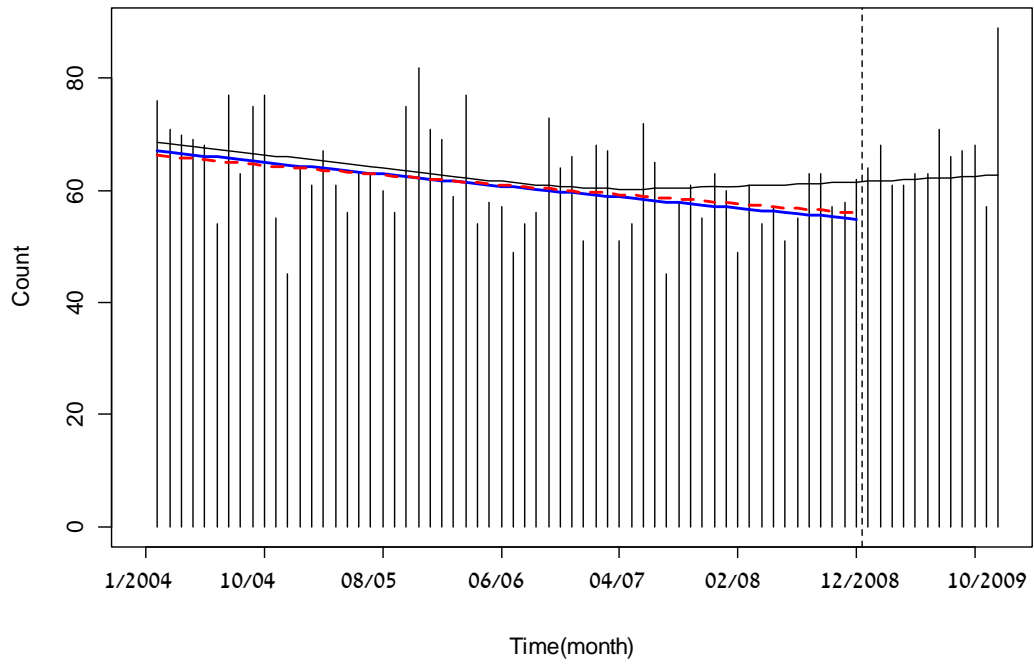
24. תאונות הולכי רגל, בדרכים לא עירוניות



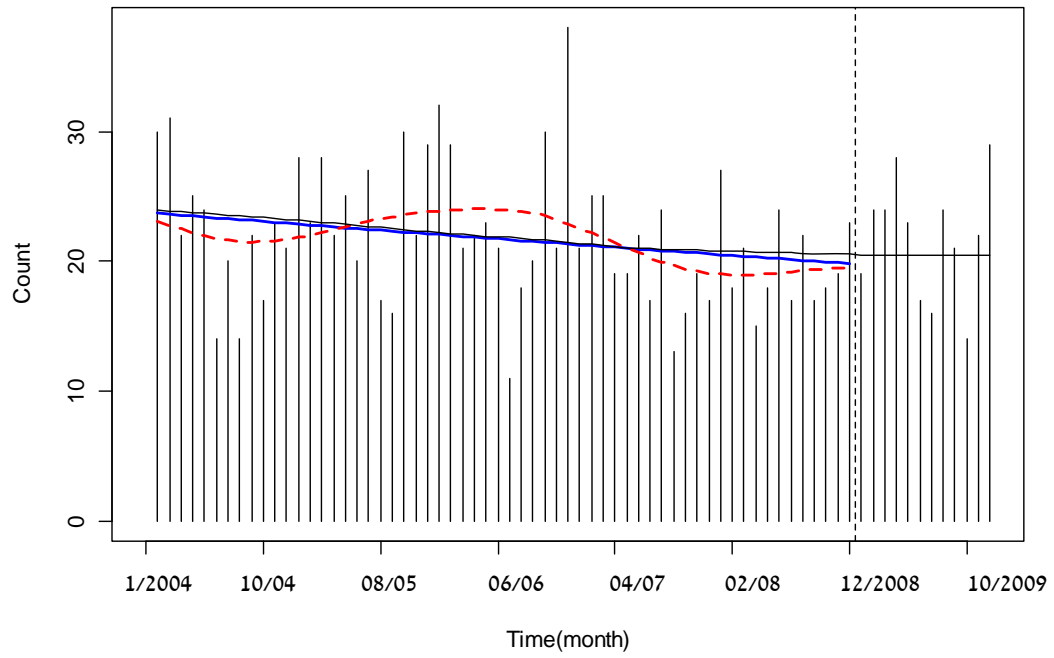
25. תאונות הולכי רגל, במגזר לא יהודי



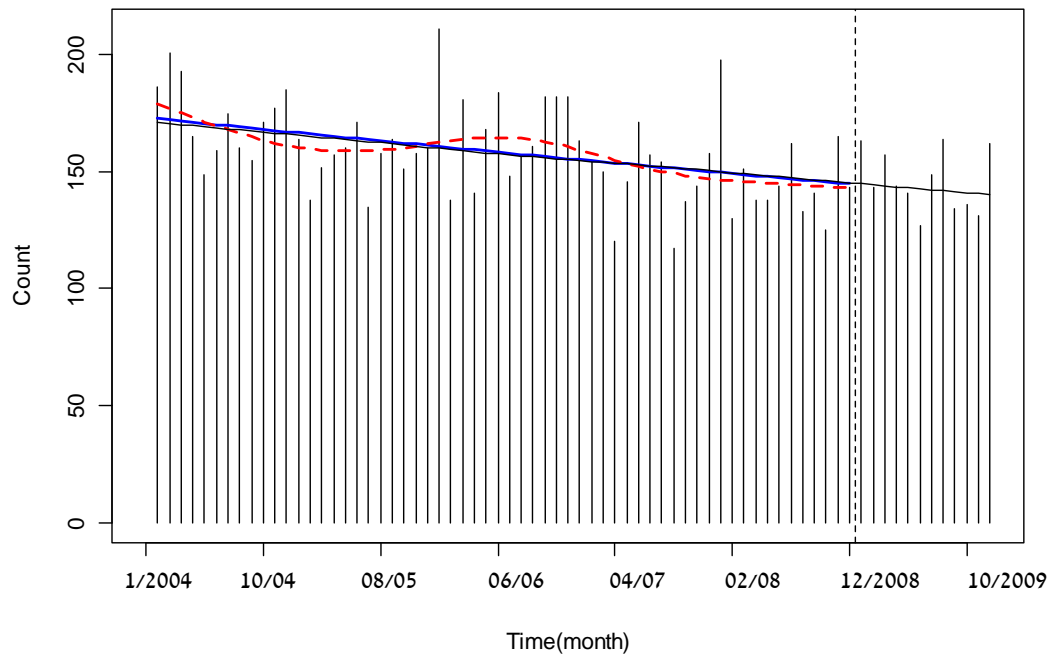
26. תאונות רכב יחיד, בדרכים לא עירוניות



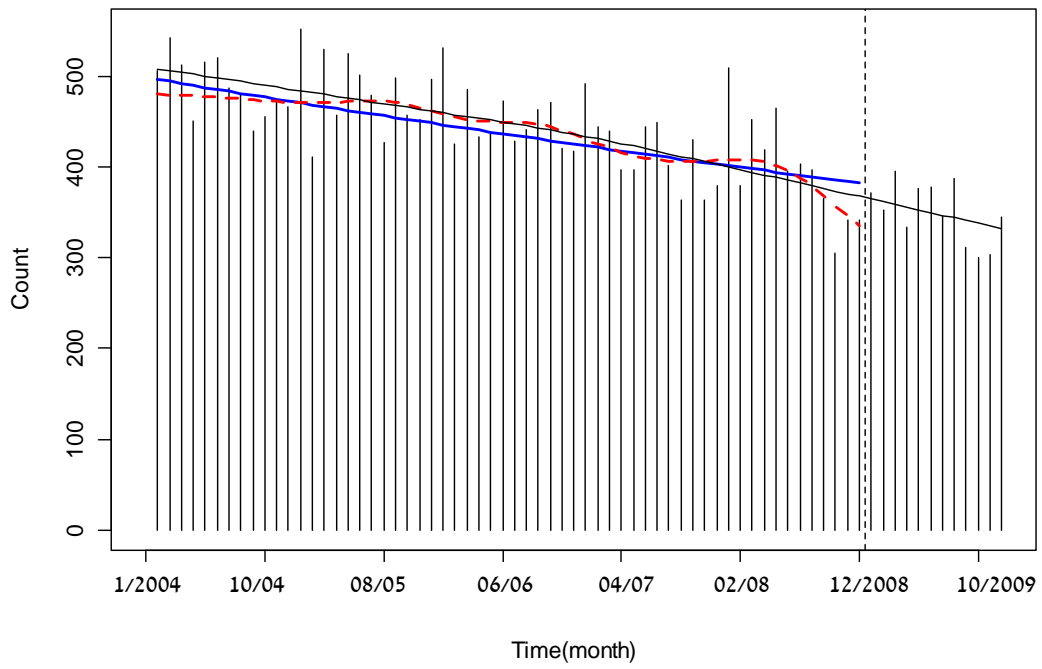
27. תאונות חזית-חזית, בדרכים לא עירוניות



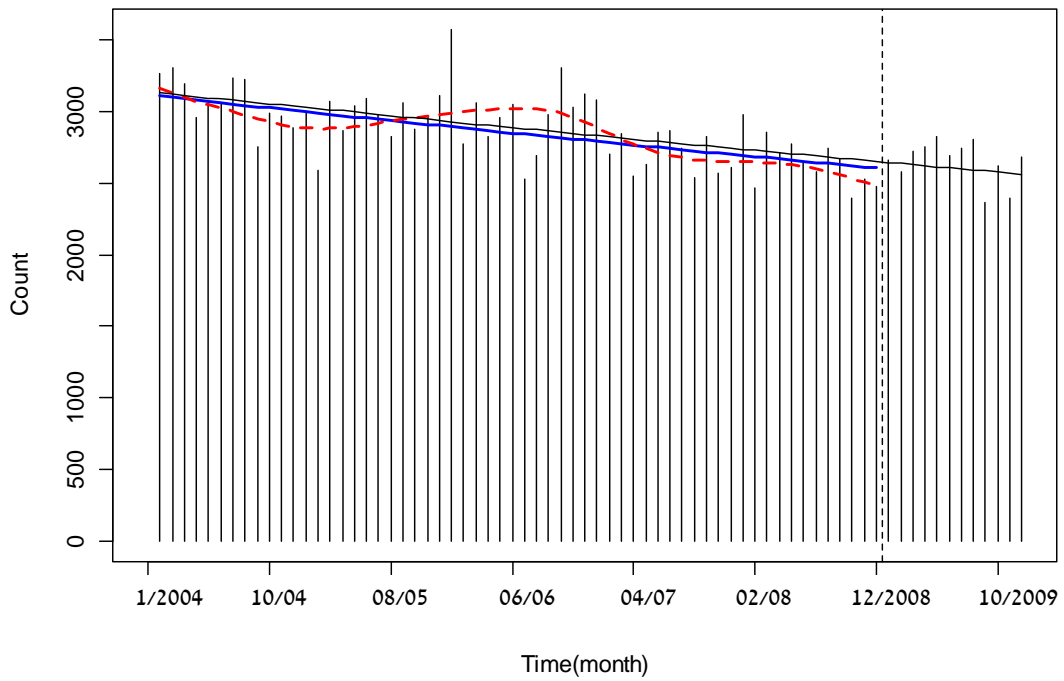
28. תאונות בצמתים לא עירוניים



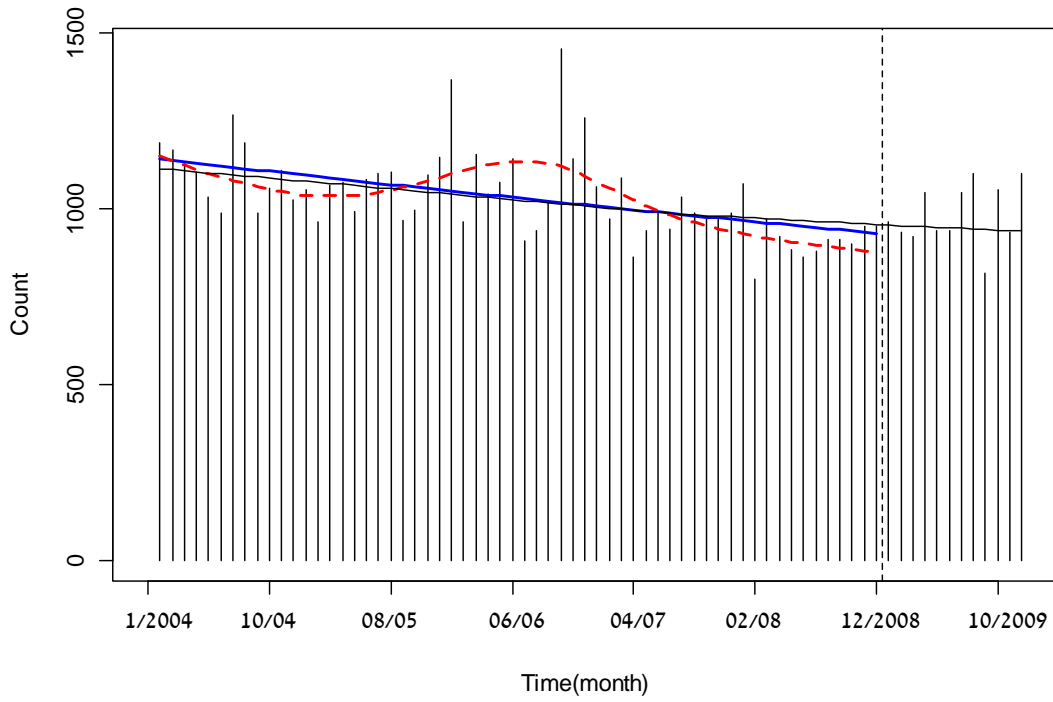
29. תאונות בצמתים עירוניים



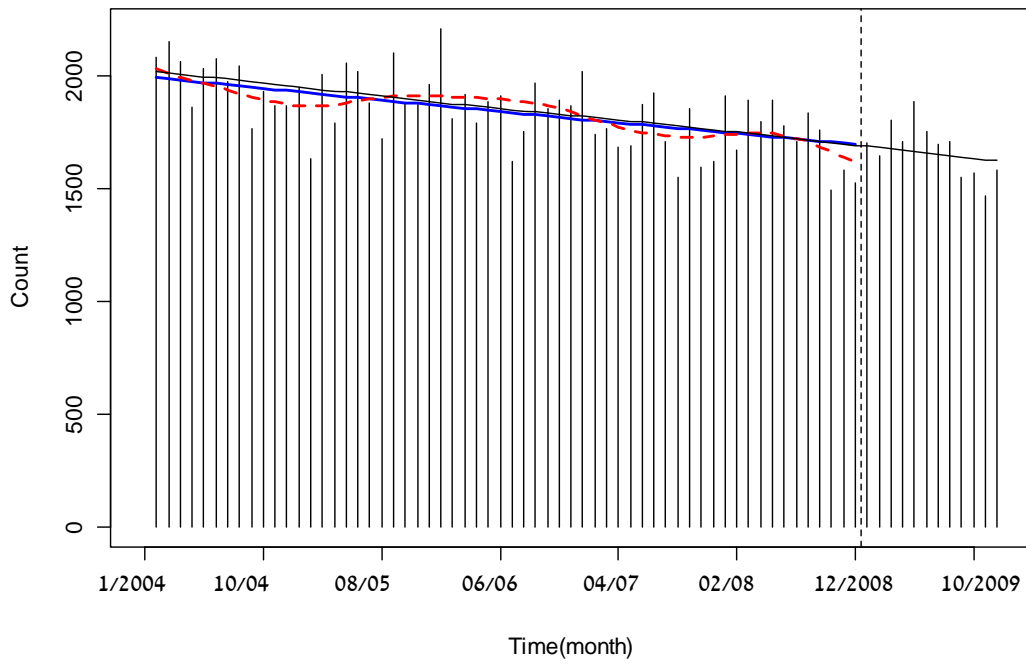
30. סך הנפגעים בתאונות



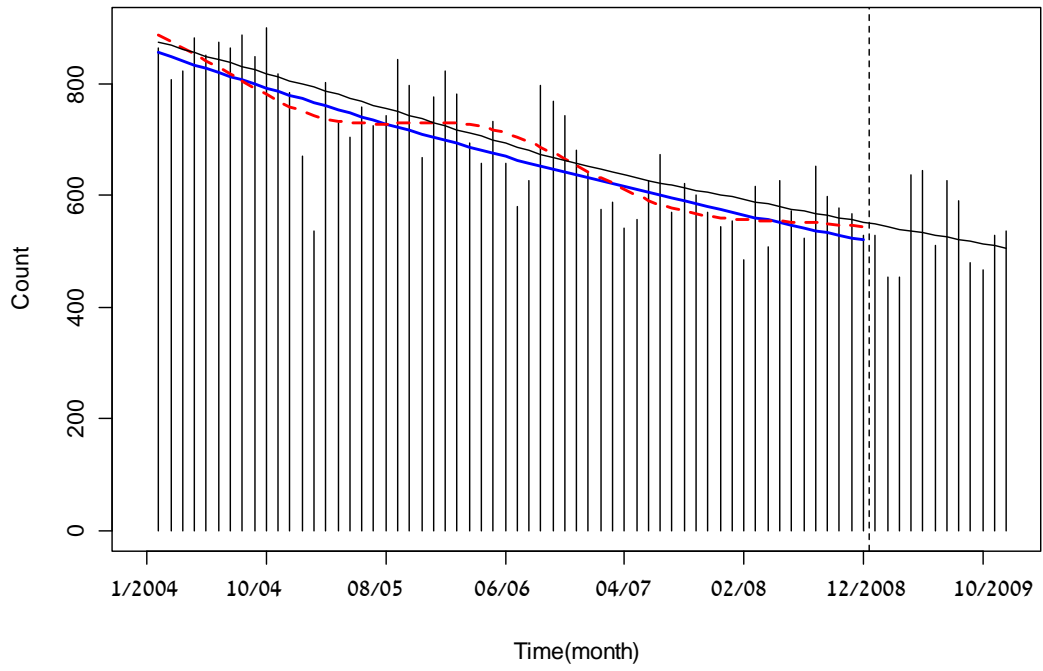
31. נפגעים בדרכים לא עירוניות



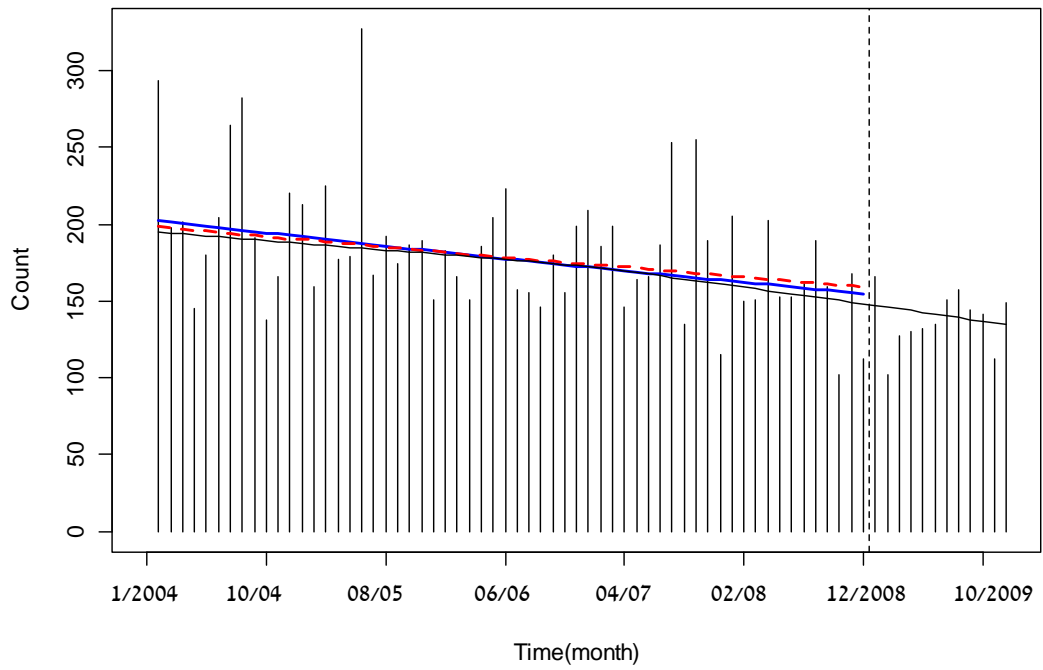
32. נפגעים בדרכים עירוניות



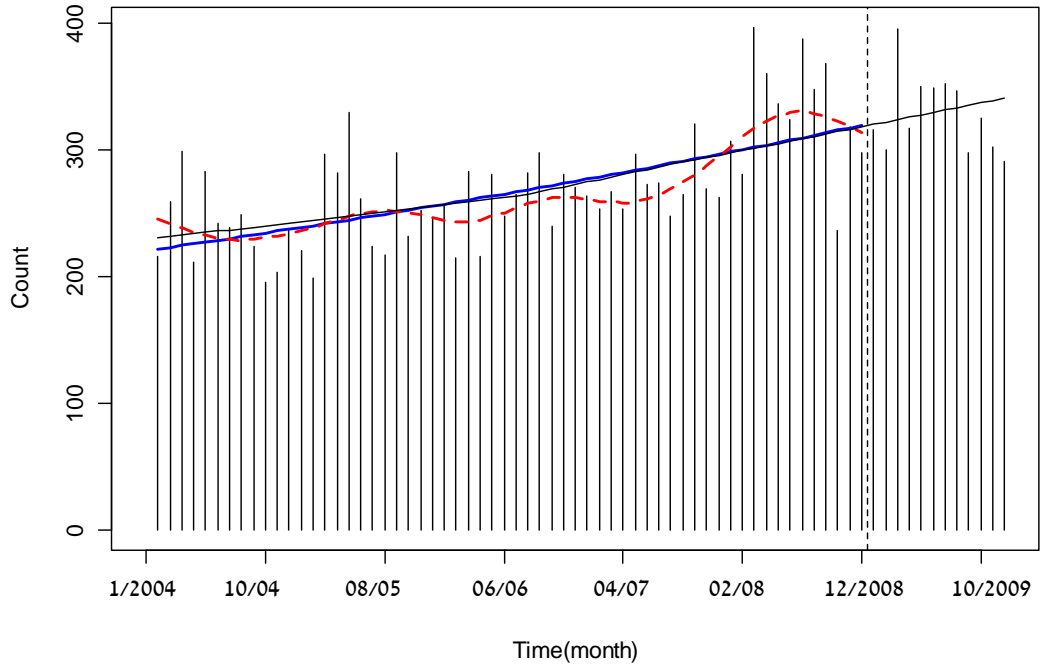
33. נפגעים בתאונות עם נהגים צעירים



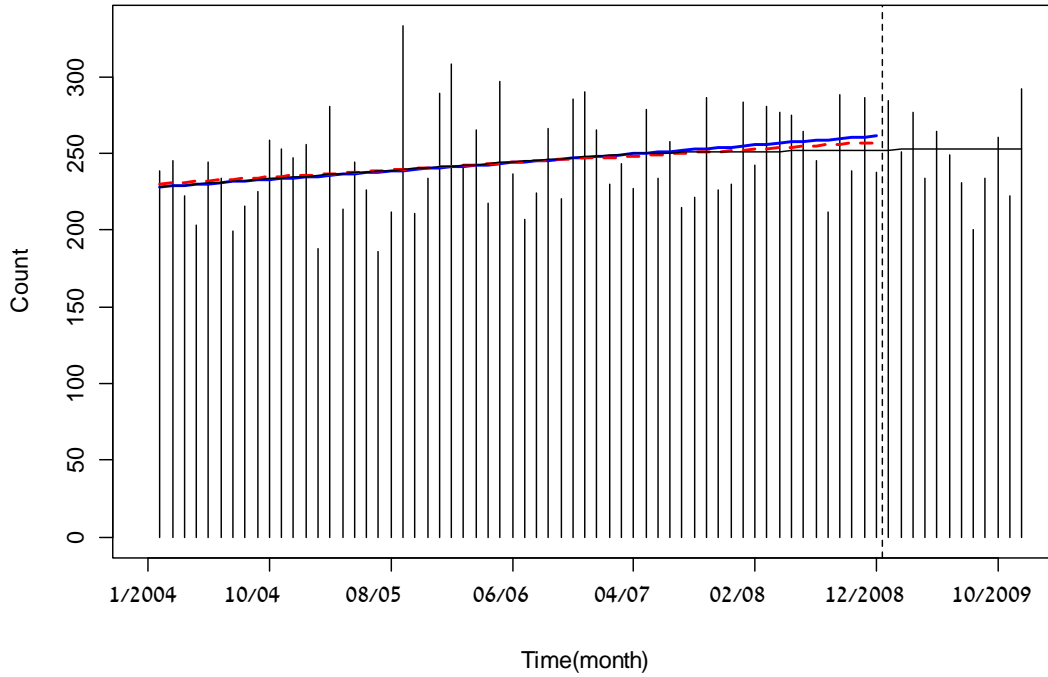
34. נפגעים בתאונות עם רכב מקצועי



35. נפגעים בתאונות אופנועים

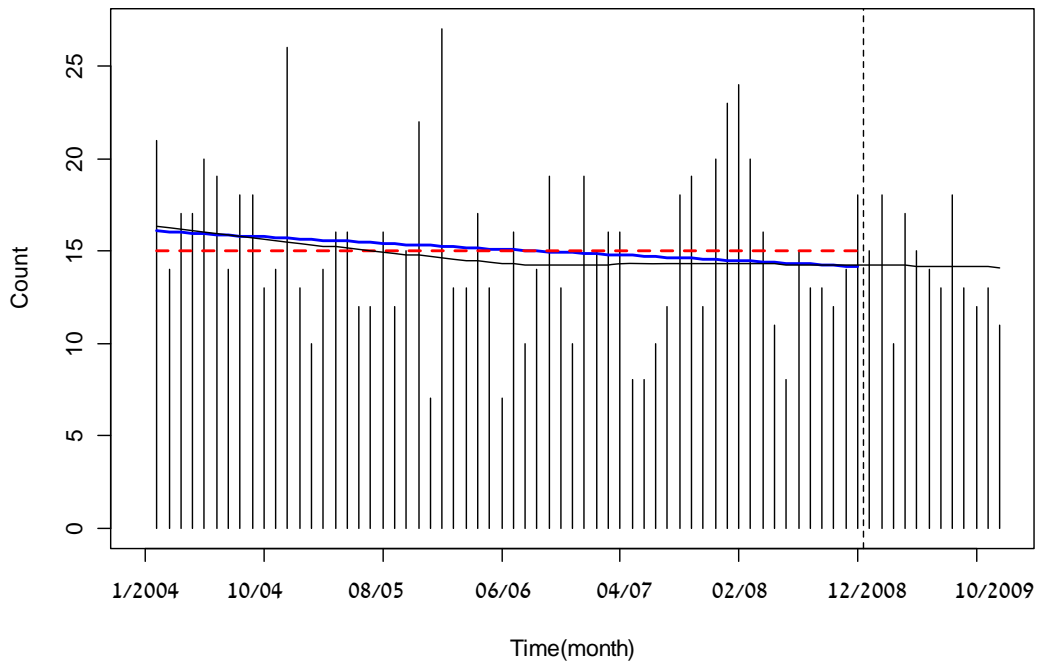


36. נפגעים הולכי רגל, בדרכים עירוניות

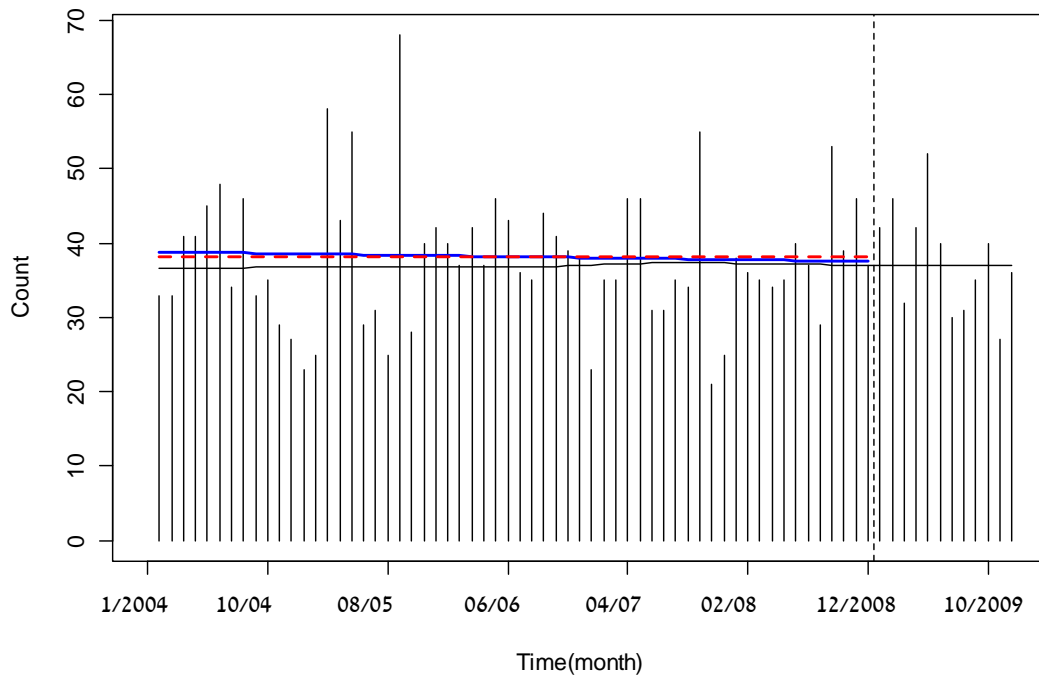




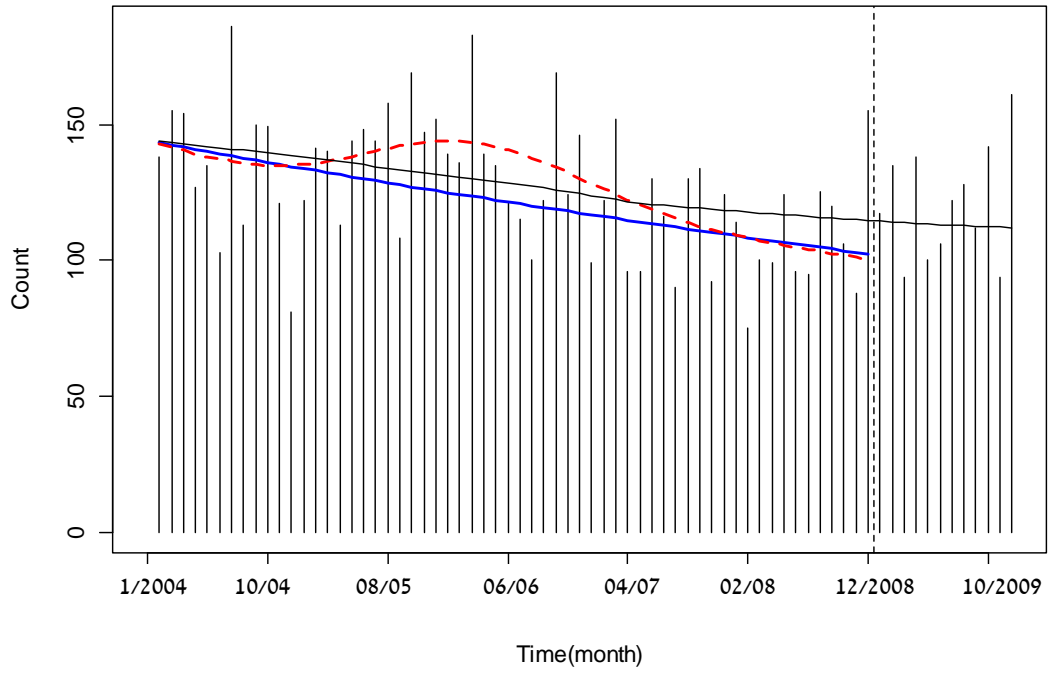
37. נפגעים הולכי רגל, בדרכים לא עירוניות



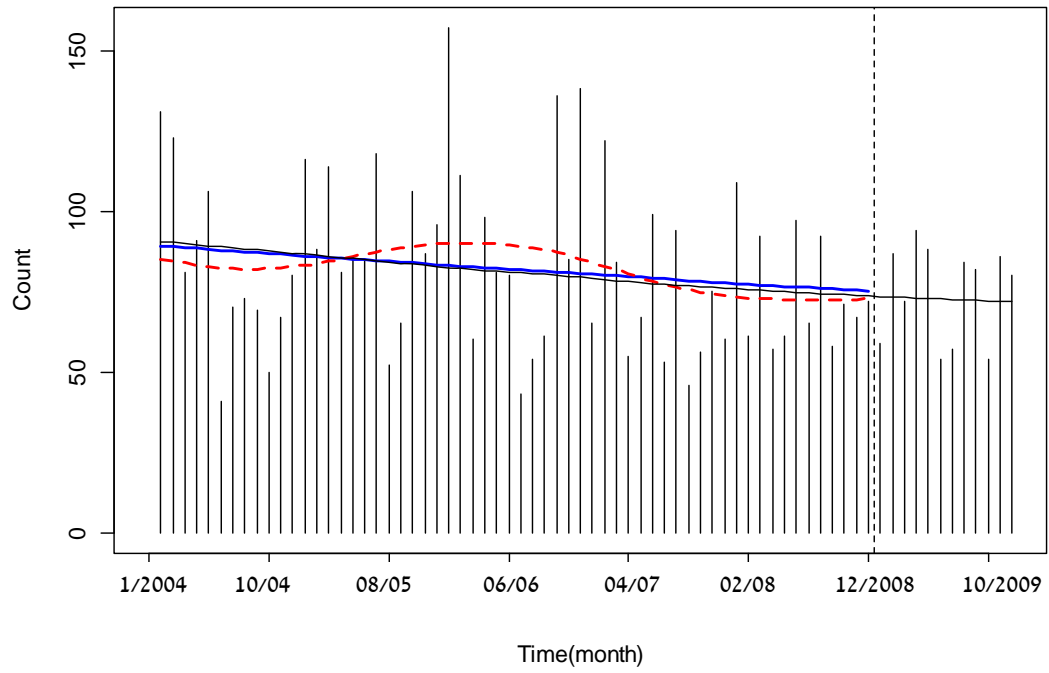
38. נפגעים הולכי רגל, במגזר לא יהודי



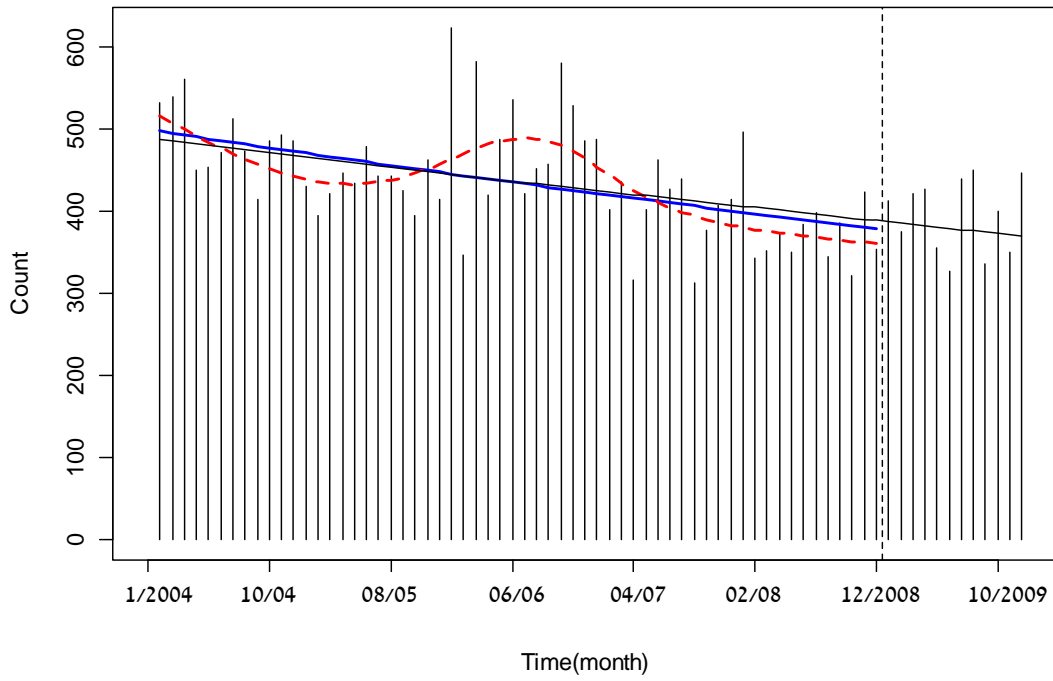
39. נפגעים בתאונות רכב יחיד



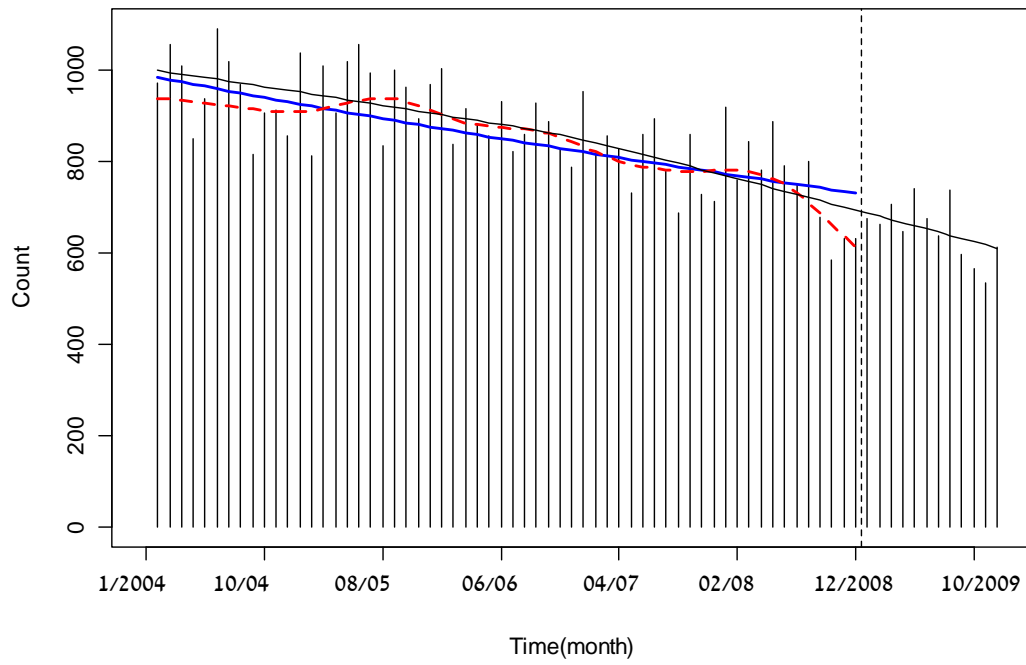
40. נפגעים בתאונות חזית-חזית



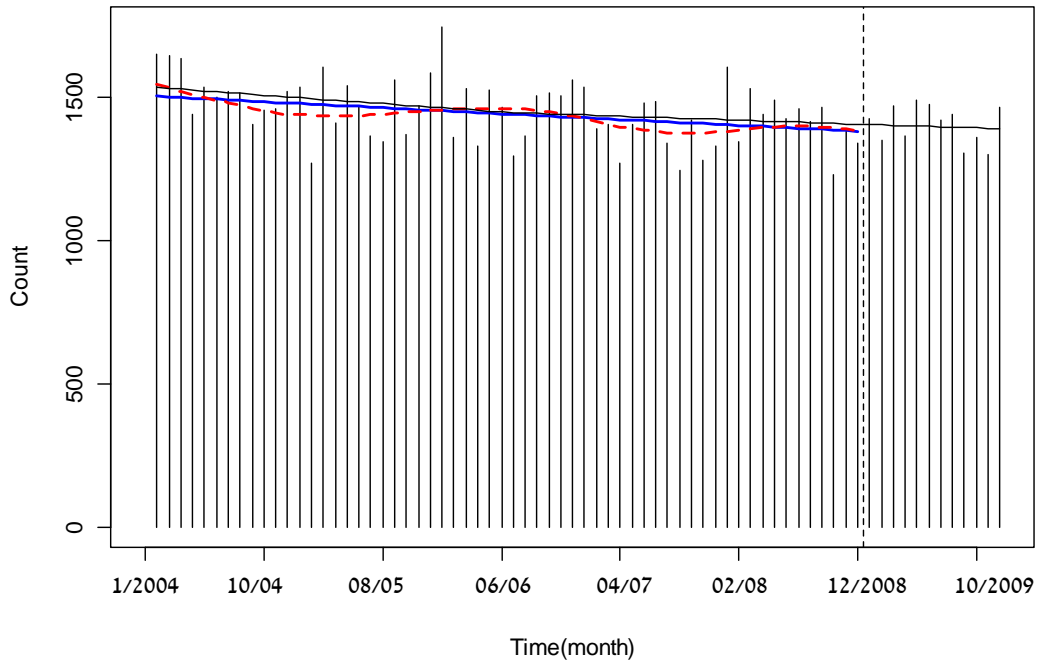
41. נפגעים בצמתים לא עירוניים



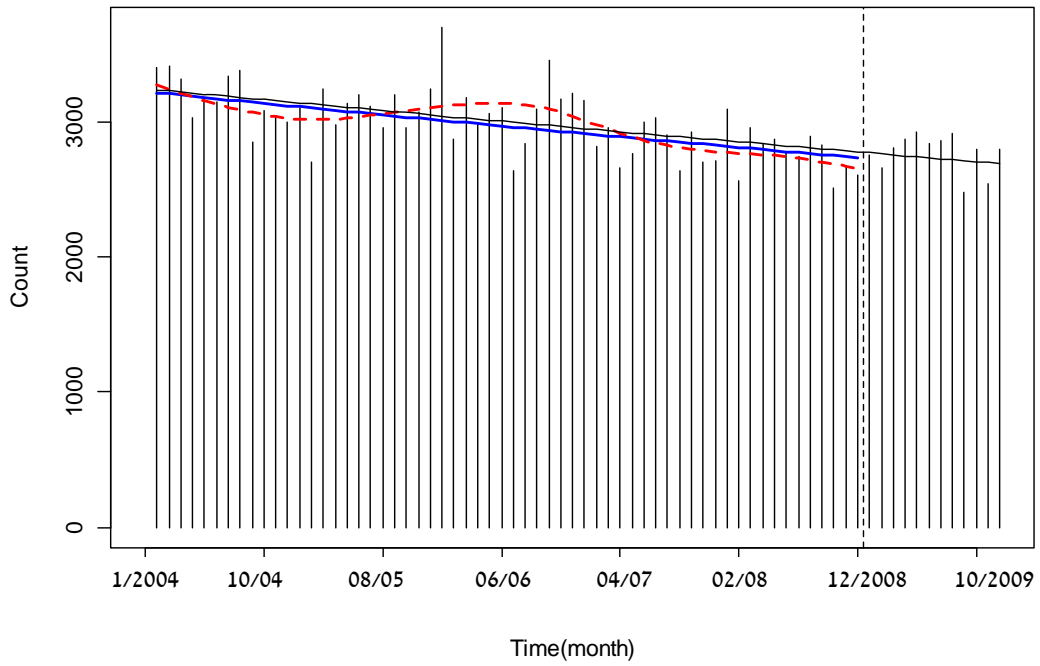
42. נפגעים בצמתים עירוניים



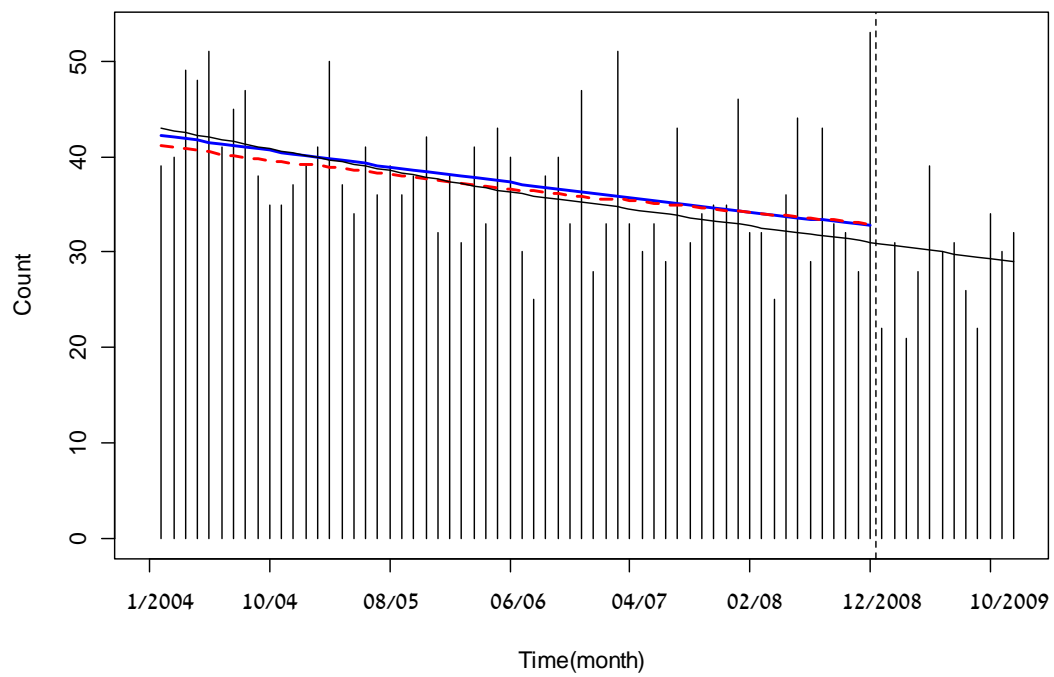
43. סך התאונות כולל יו"ש



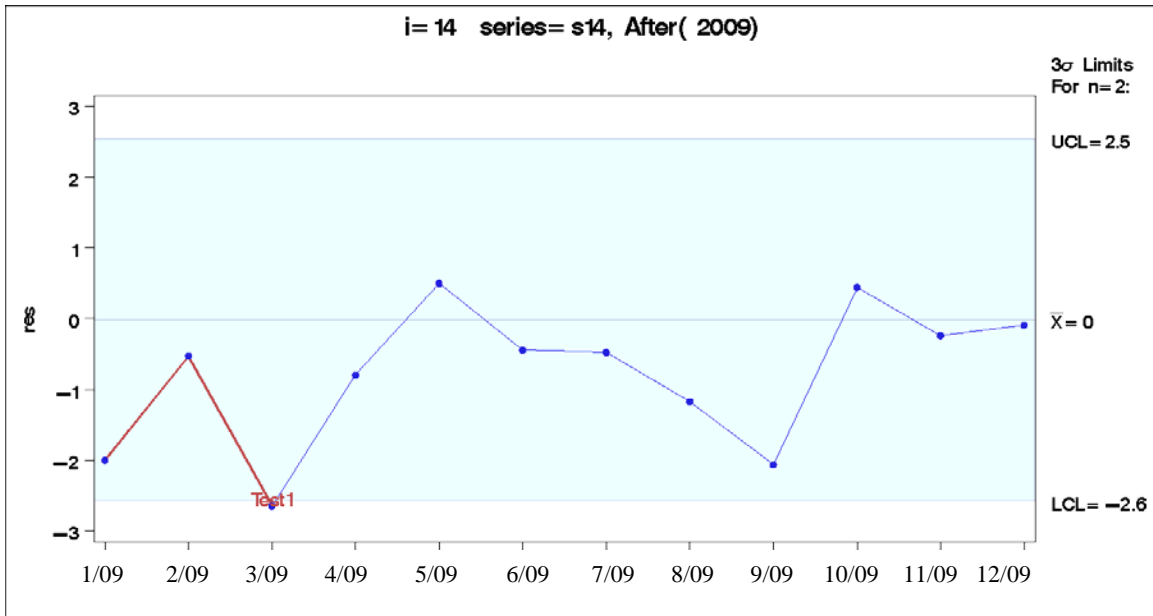
44. סך הנפגעים כולל יו"ש



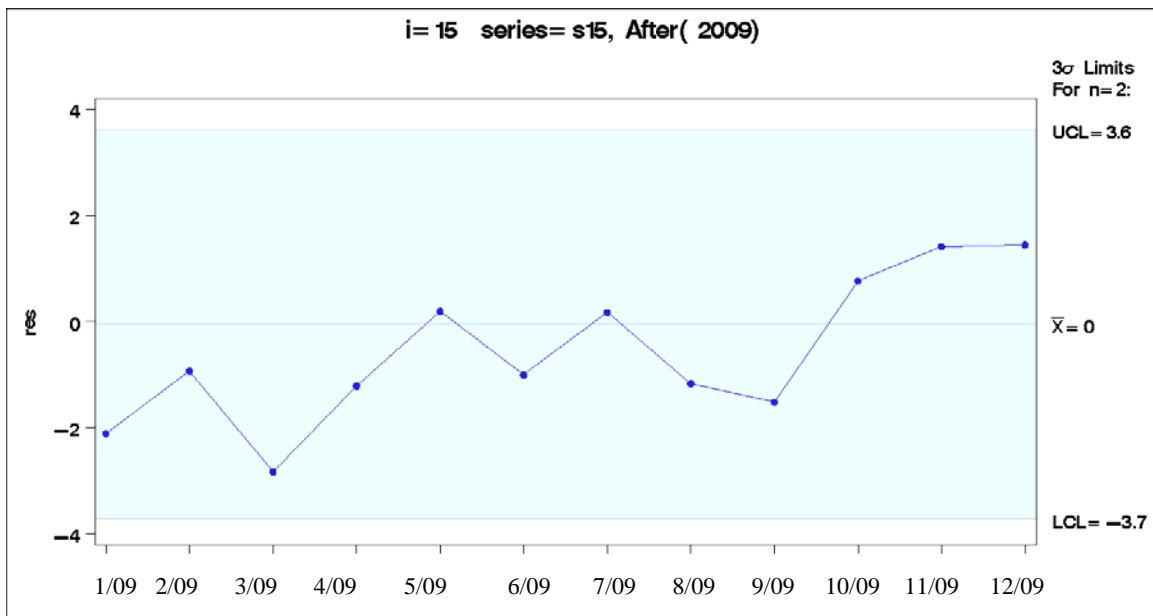
45. סך ההרוגים כולל יו"ש



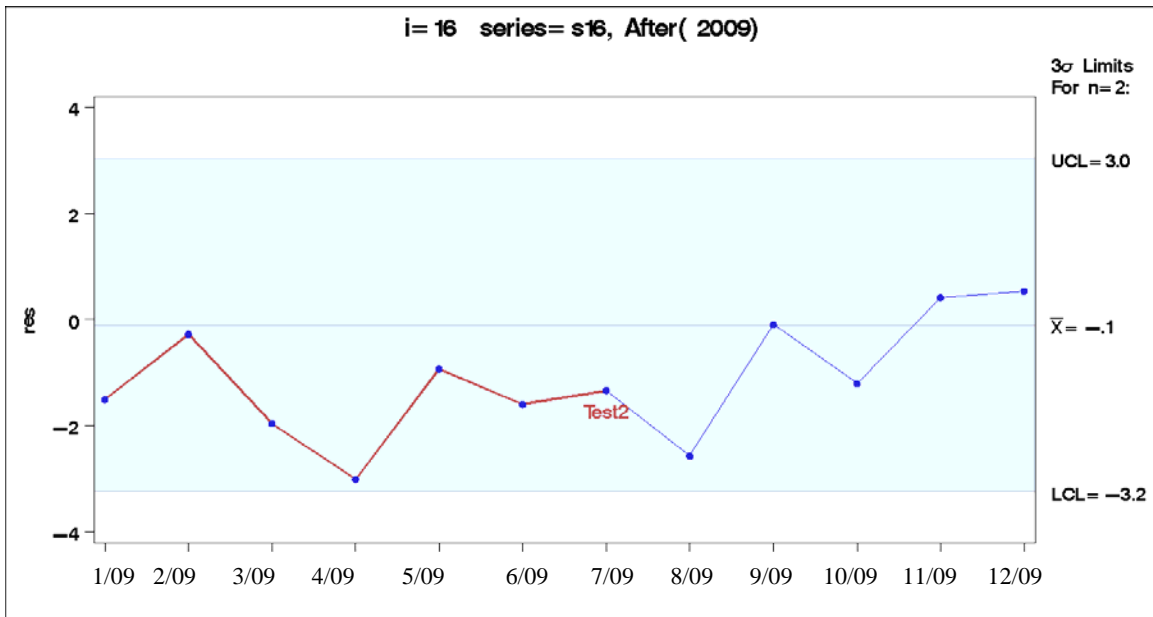
נספח ב'. תרשימי הבקרה לסדרות של תאונות ונפגעים בשנת 2009



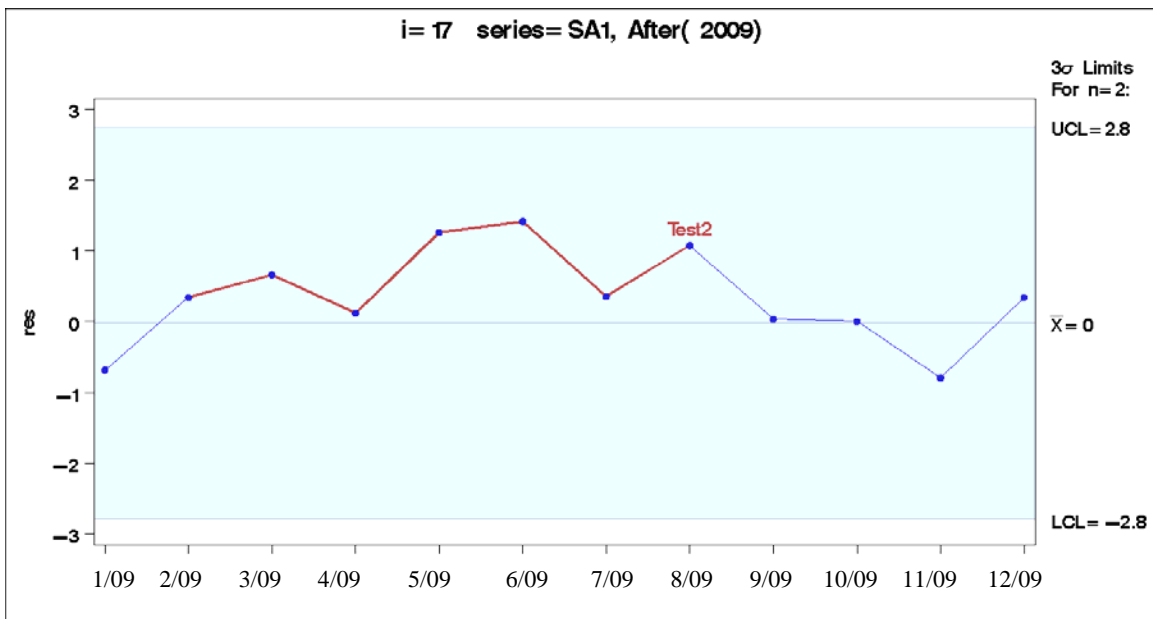
S14- Total-fatalities (S1) without 25 fatalities in the bus accident near Eilat in December 2008:  
מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"



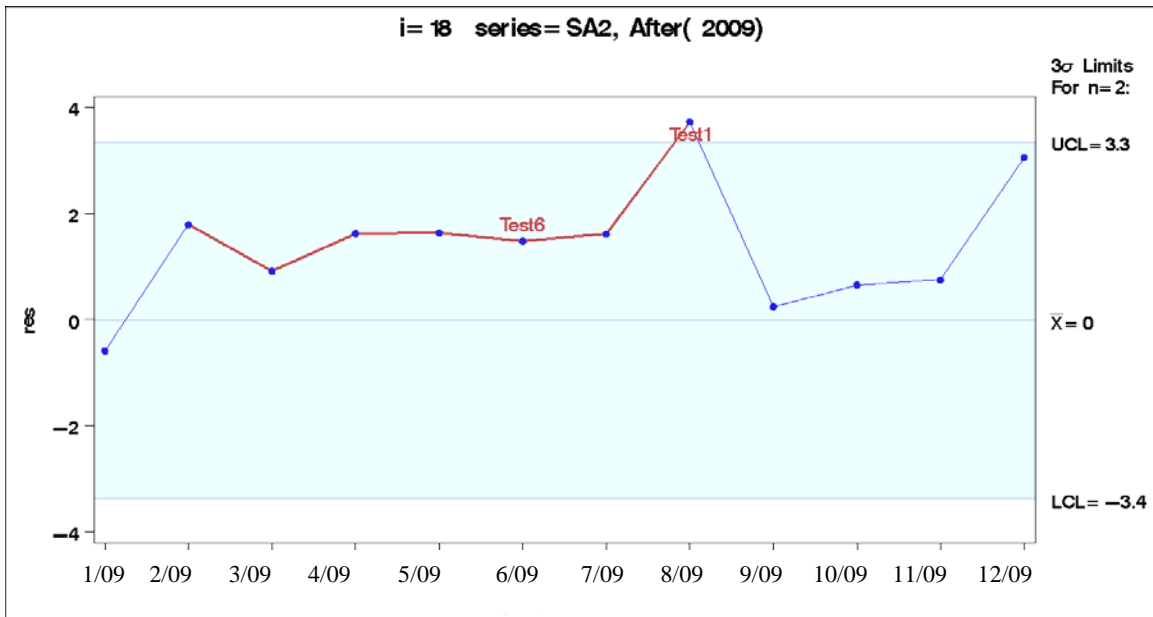
S15- Fatalities-rural roads (S2) without 25 fatalities in the bus accident near Eilat in December 2008:  
מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"



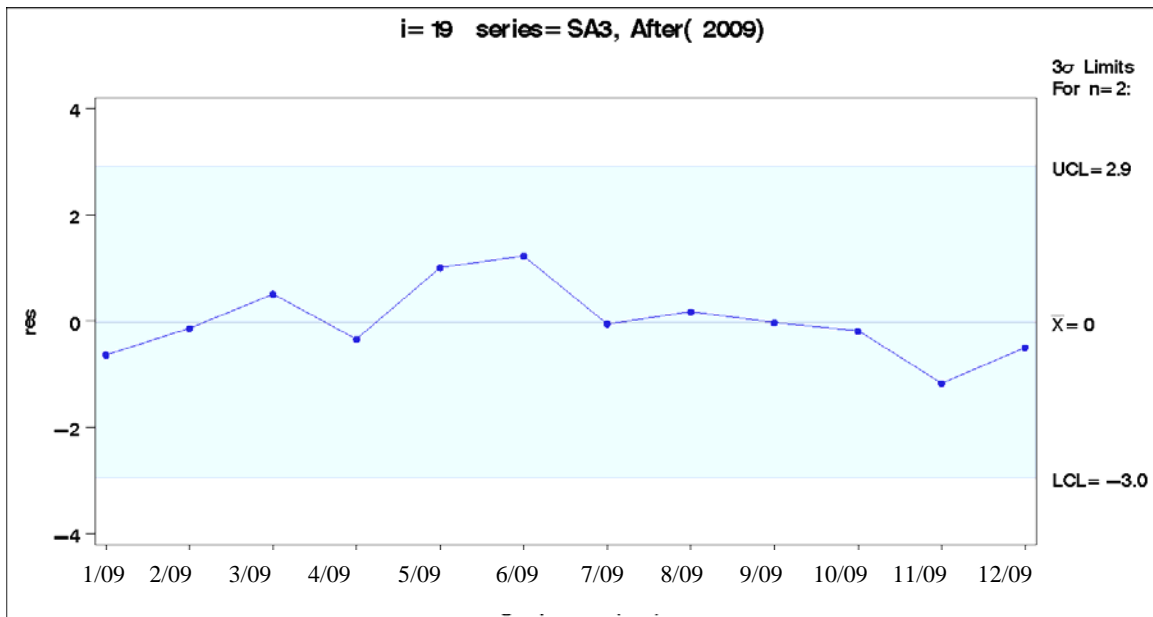
S16- Killed in single-vehicle accidents on rural roads (S10) without 25 fatalities in the bus accident near Eilat in December 2008:  
 מגמת ירידה לא מובהקת בתקופת "לפני"



SA1 - All injury accidents:  
 מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"

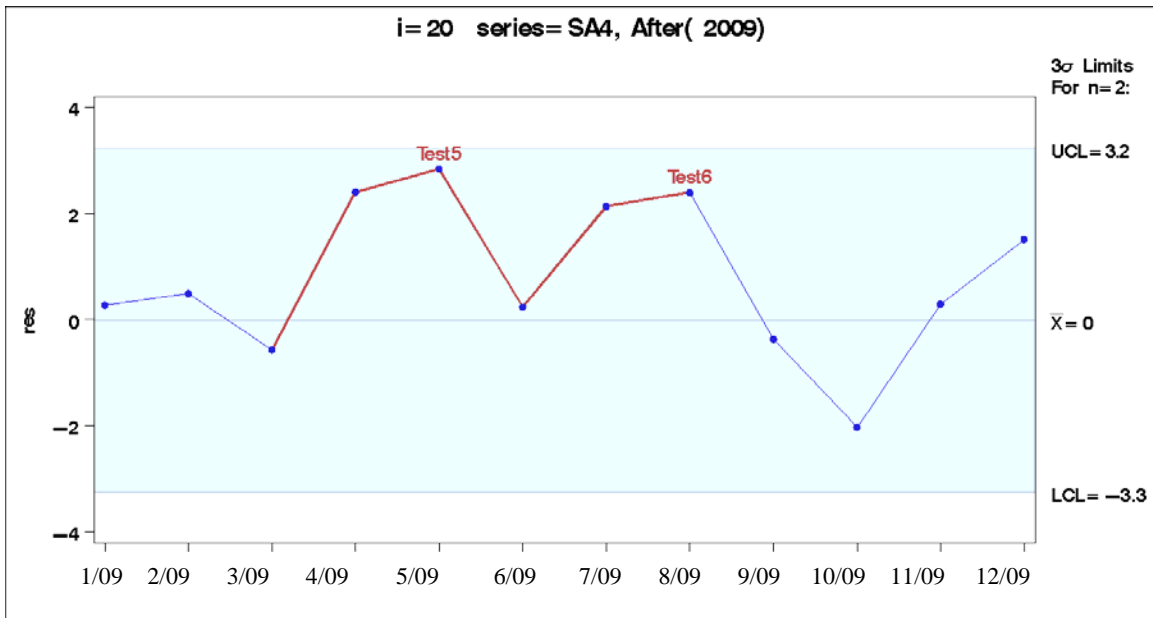


SA2 - Rural injury accidents:  
מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"

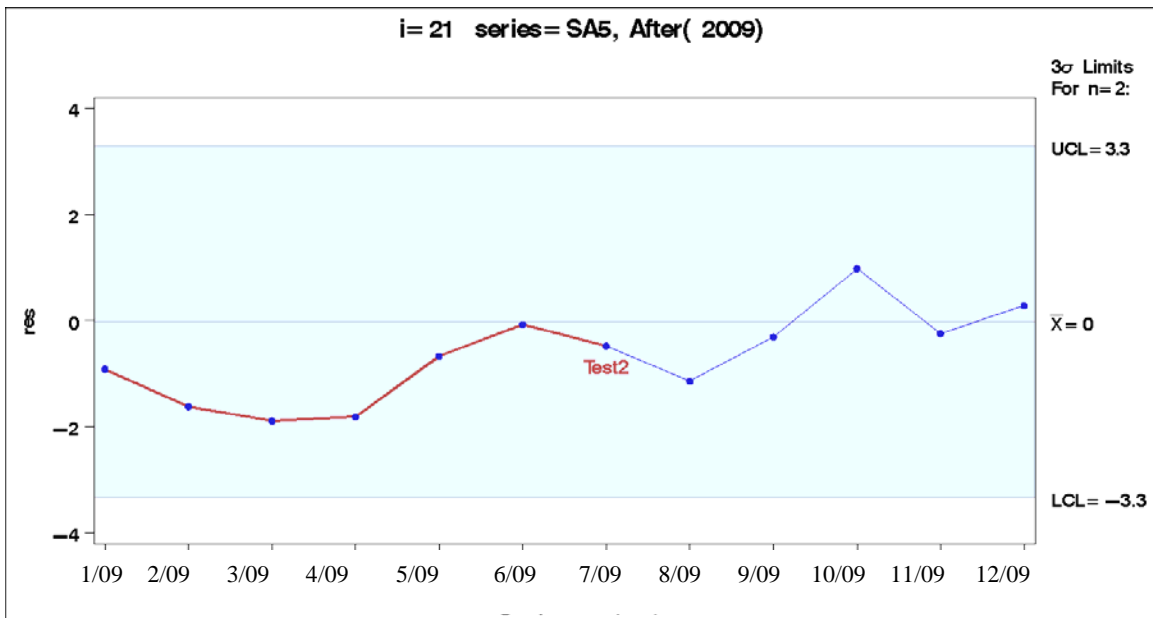


SA3 - Urban injury accidents:  
מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"

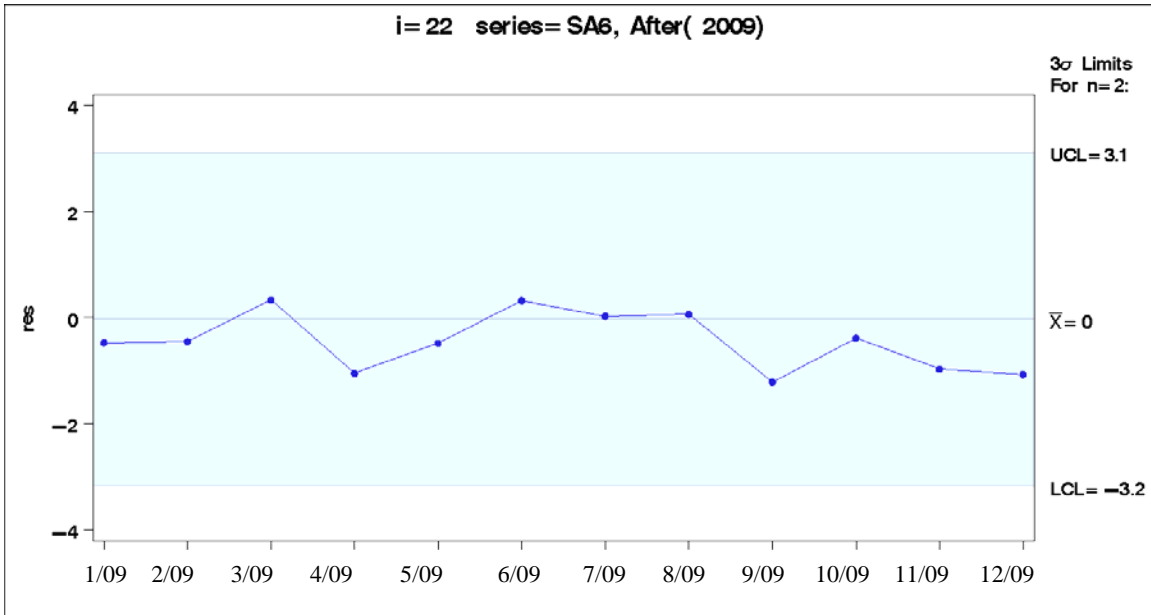




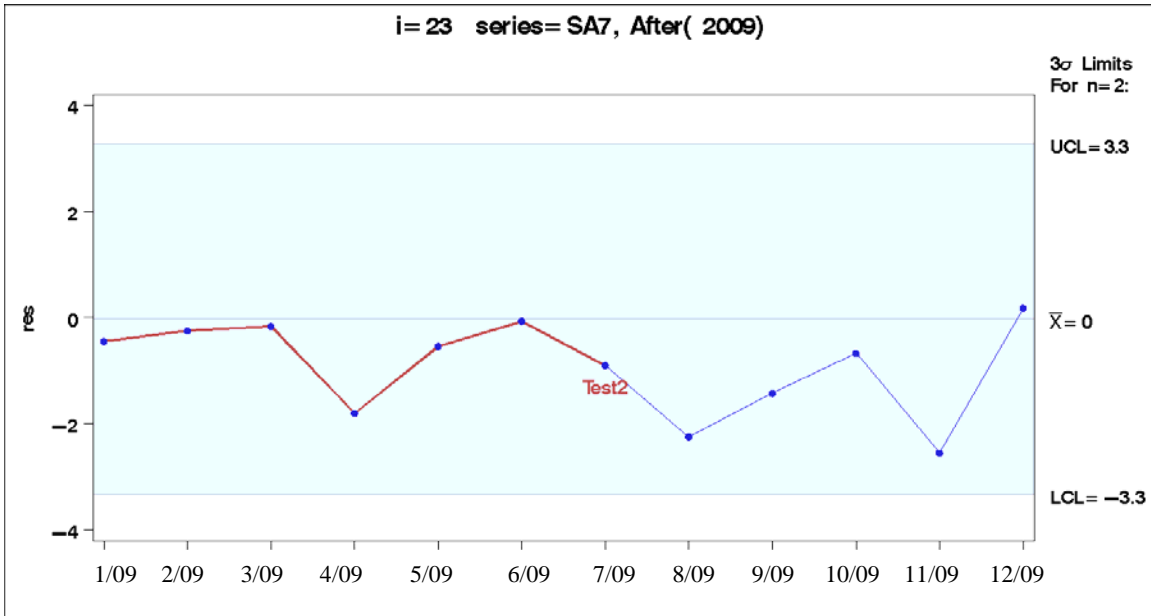
SA4 - Accidents with young drivers: at least one driver involved was of 17-21:  
 מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"



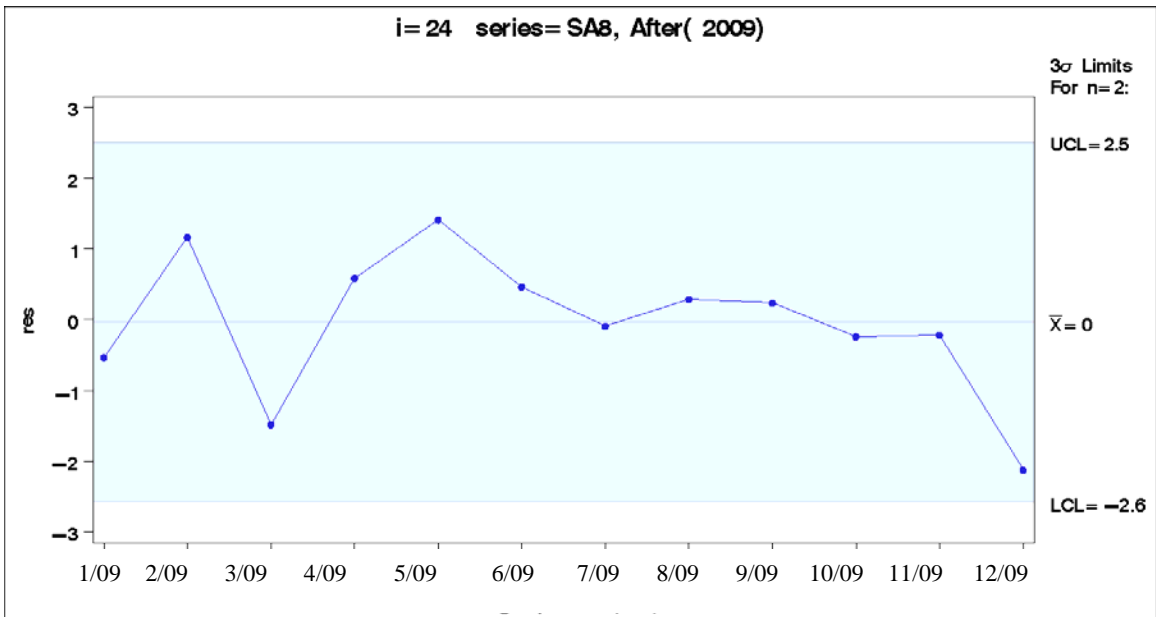
SA5 - Accidents with trucks: at least one vehicle was truck over 3.5 ton:  
 מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"



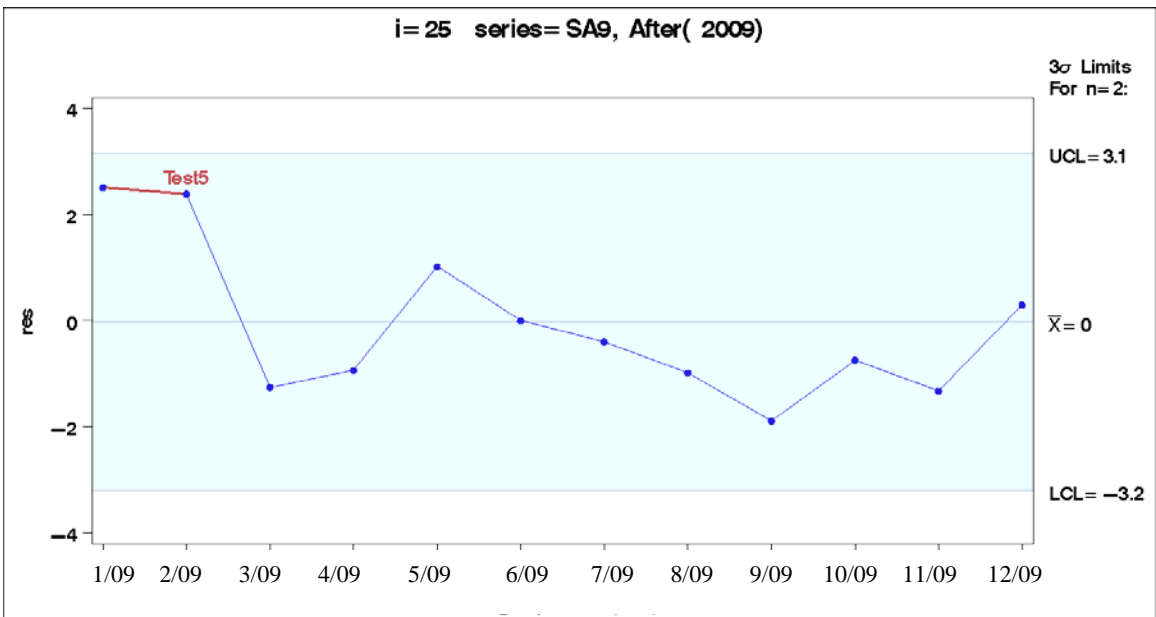
SA6 - Accidents with motorcycles: at least one vehicle involved was motorcycle:  
מגמת עליה מובהקת בתקופת "לפני"



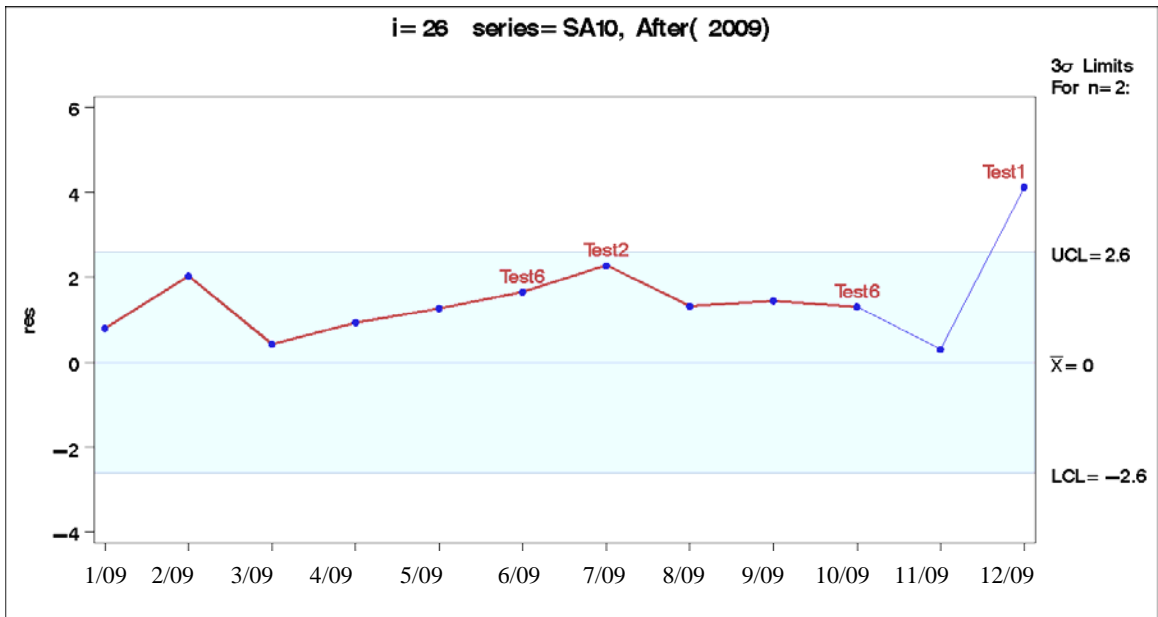
SA7 - Pedestrian accidents on urban roads:  
מגמת עליה מובהקת בתקופת "לפני"



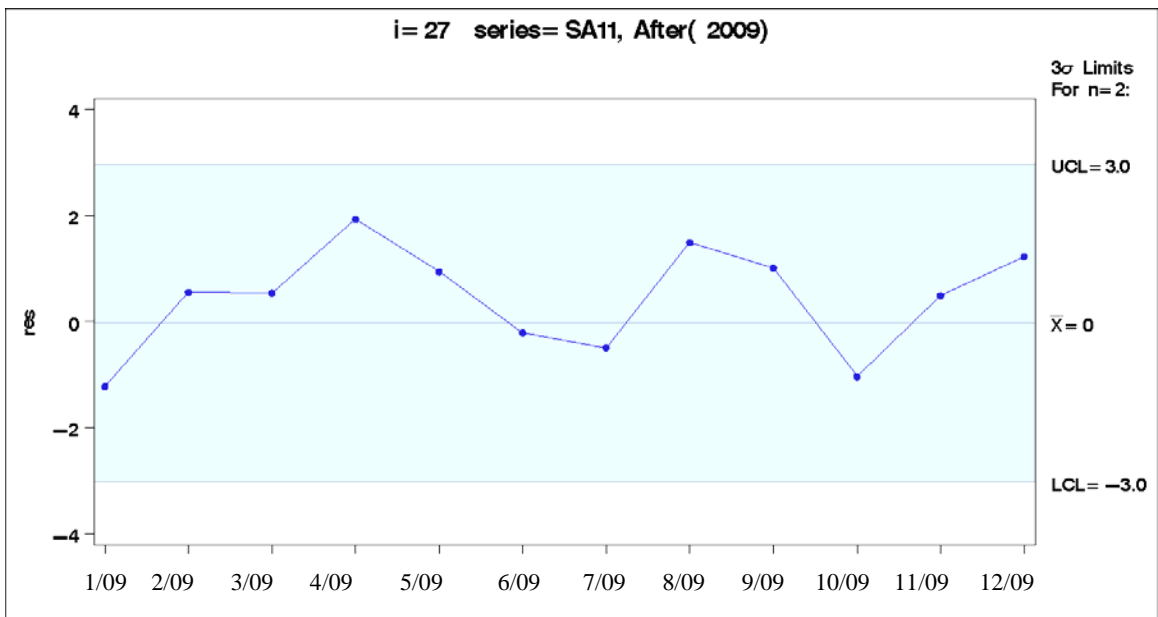
SA8 - Pedestrian accidents on rural roads:  
 מגמת ירידה לא מובהקת בתקופת "לפני"



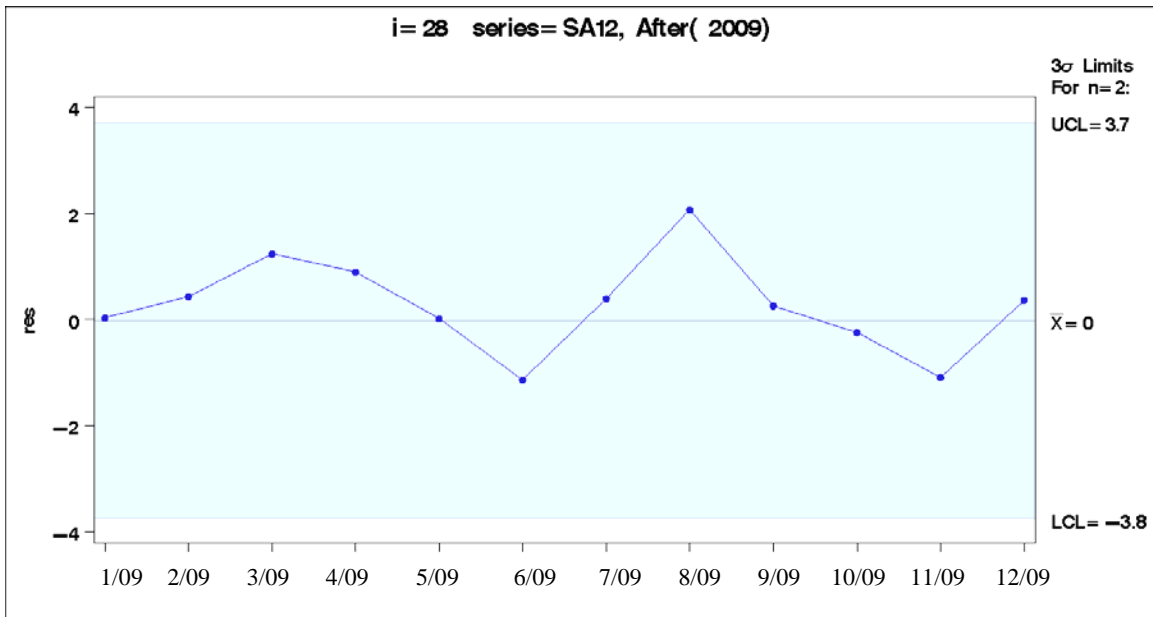
SA9 - Pedestrian accidents Arabs:  
 מגמת עליה לא מובהקת בתקופת "לפני"



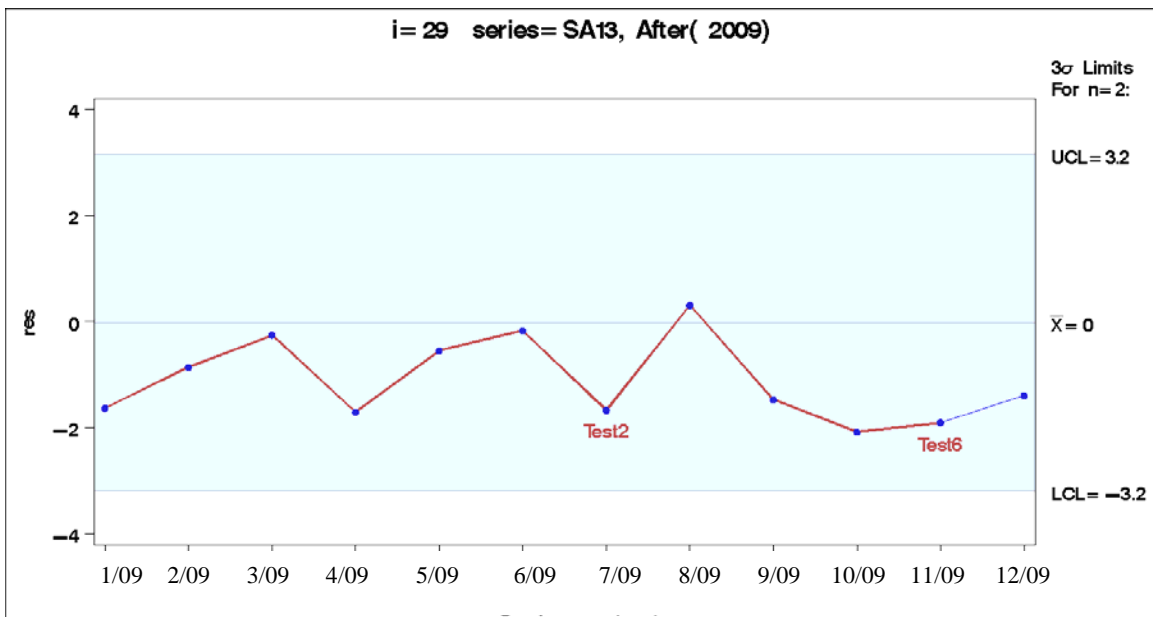
SA10 - Single-vehicle accidents on rural roads:  
 מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"



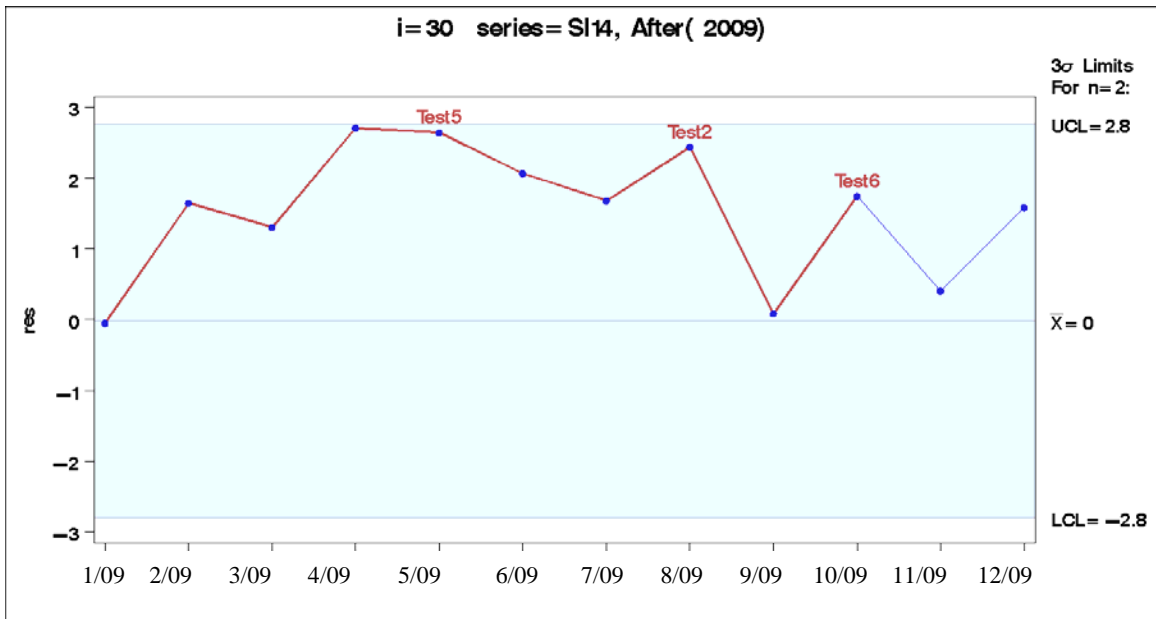
SA11 - Head-on collisions on rural roads:  
 מגמת ירידה לא מובהקת בתקופת "לפני"



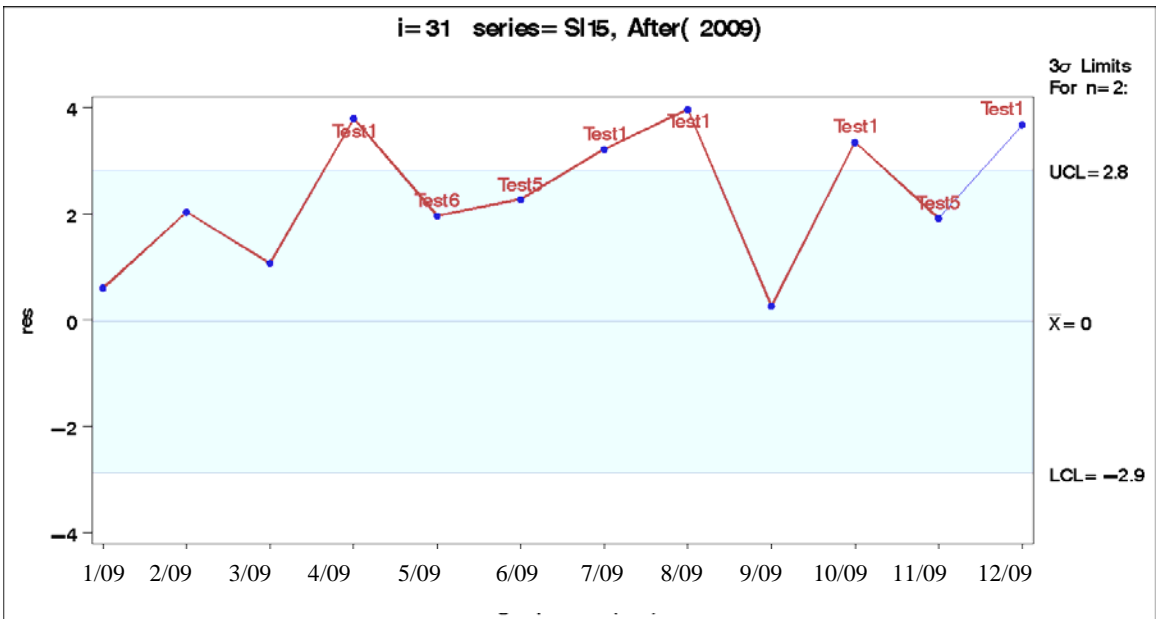
SA12 - Accidents at junctions on rural roads excluding pedestrian accidents:  
 מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"



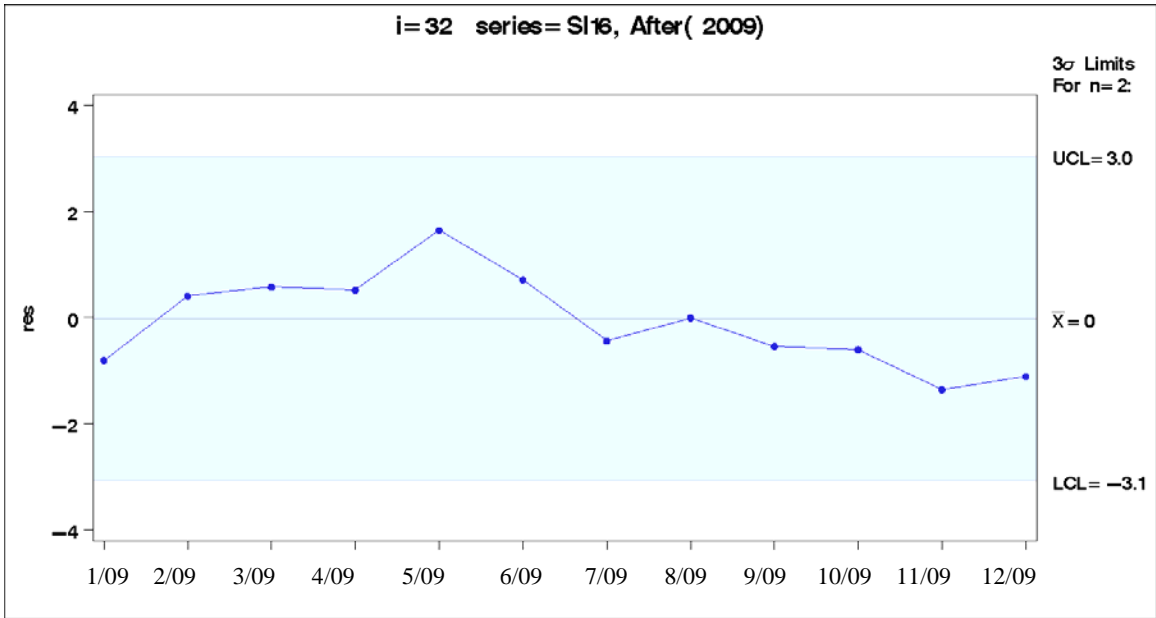
SA13 - Accidents at junctions on urban roads excluding pedestrian accidents:  
 מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"



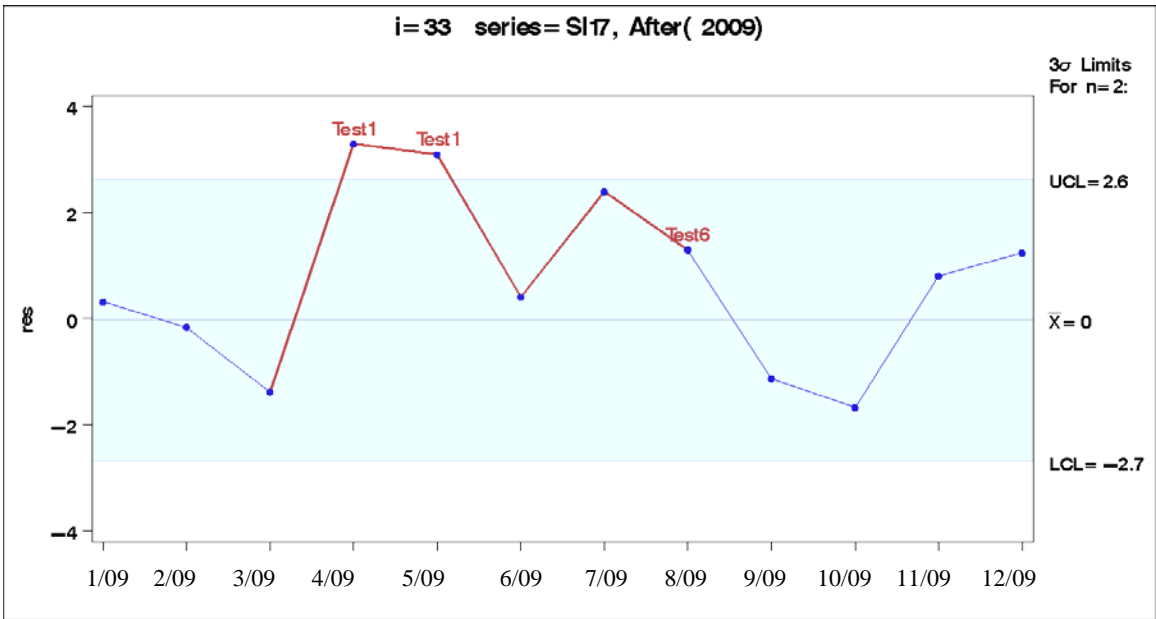
SI14 - All injuries:  
מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"



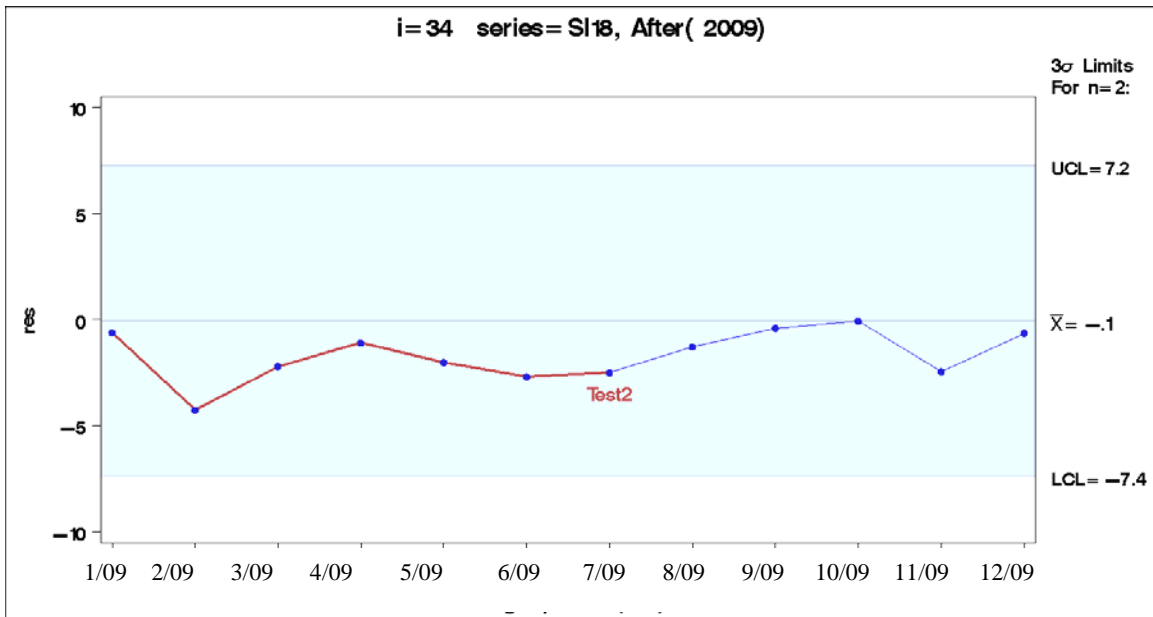
SI15 - Rural injuries:  
מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"



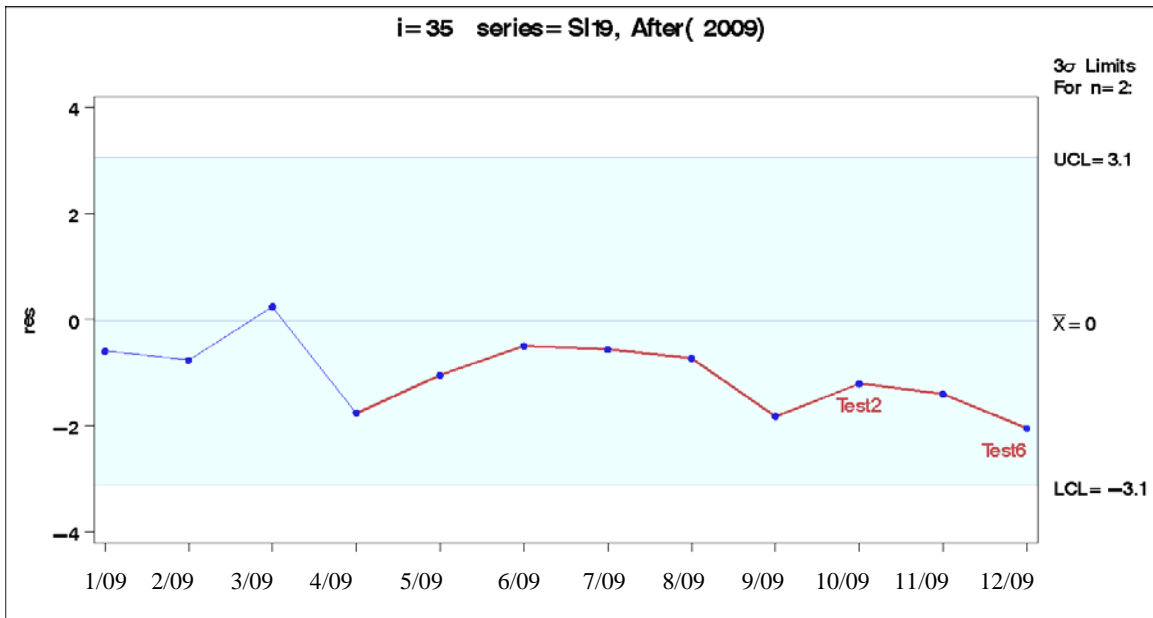
SI16 - Urban injuries:  
מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"



SI17 - Injuries in accidents with young drivers: at least one driver involved was of 17-21:  
מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"

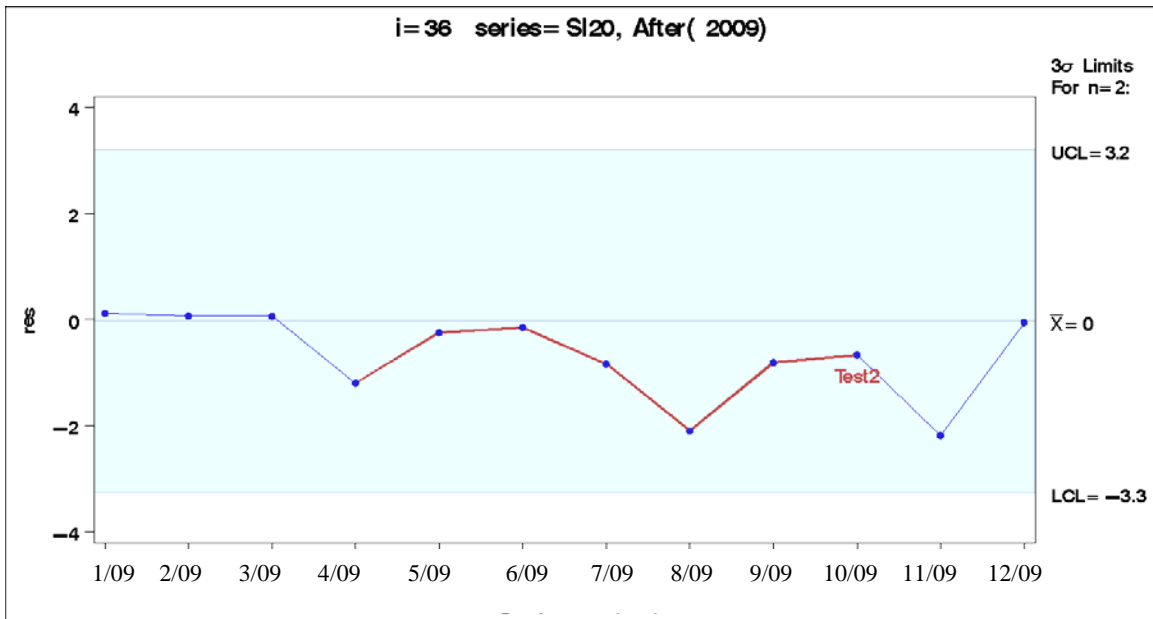


SI18 - Injuries in accidents with trucks: at least one vehicle was truck over 3.5 ton:  
 מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"

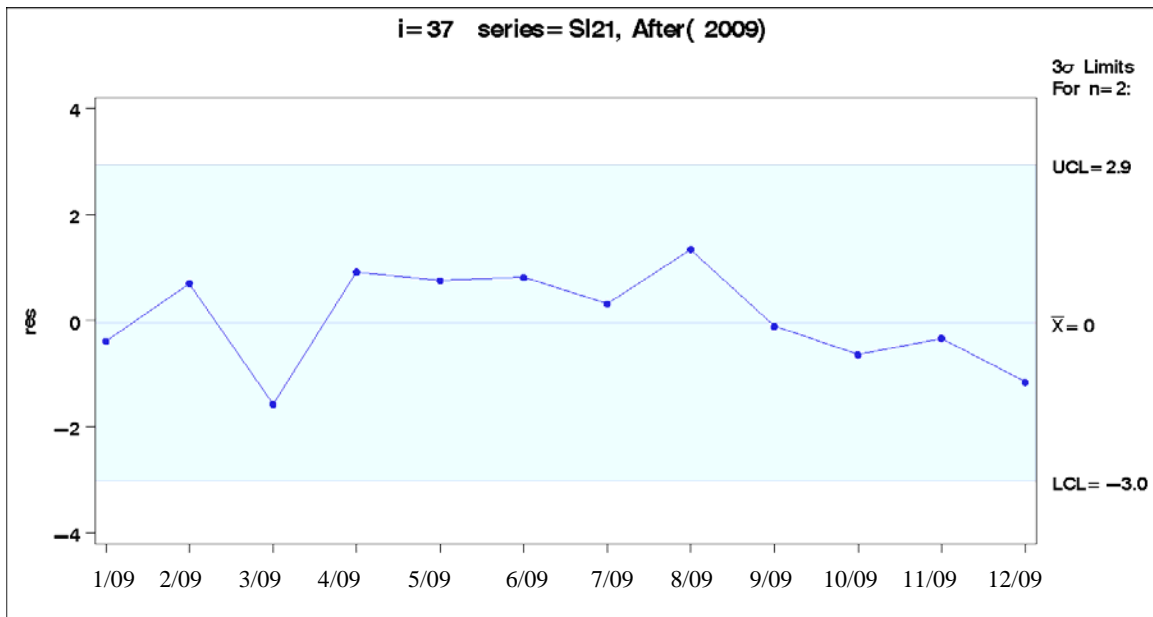


SI19 - Injuries in accidents with motorcycles: at least one vehicle involved was motorcycle:  
 מגמת עליה מובהקת בתקופת "לפני"

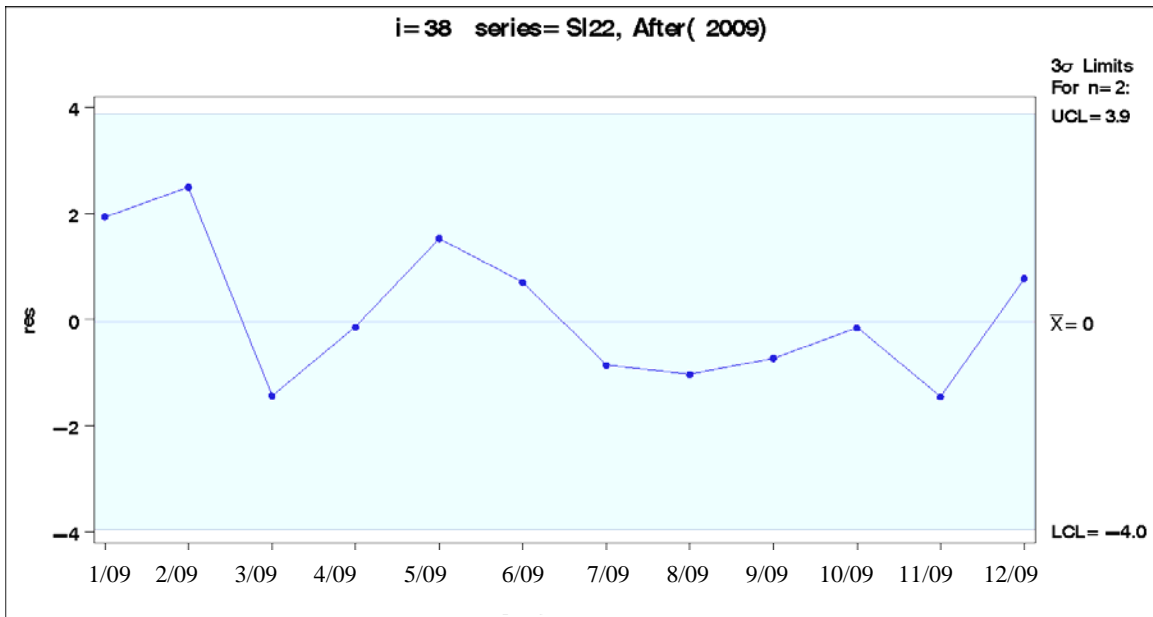




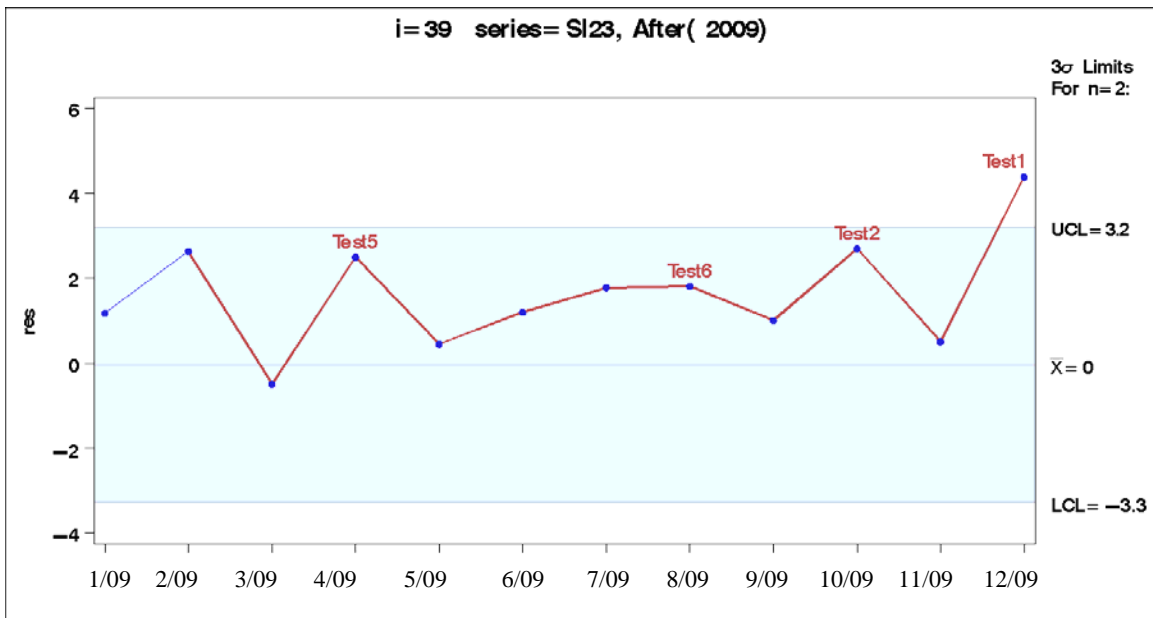
SI20 - Pedestrian injuries on urban roads:  
מגמת עליה מובהקת בתקופת "לפני"



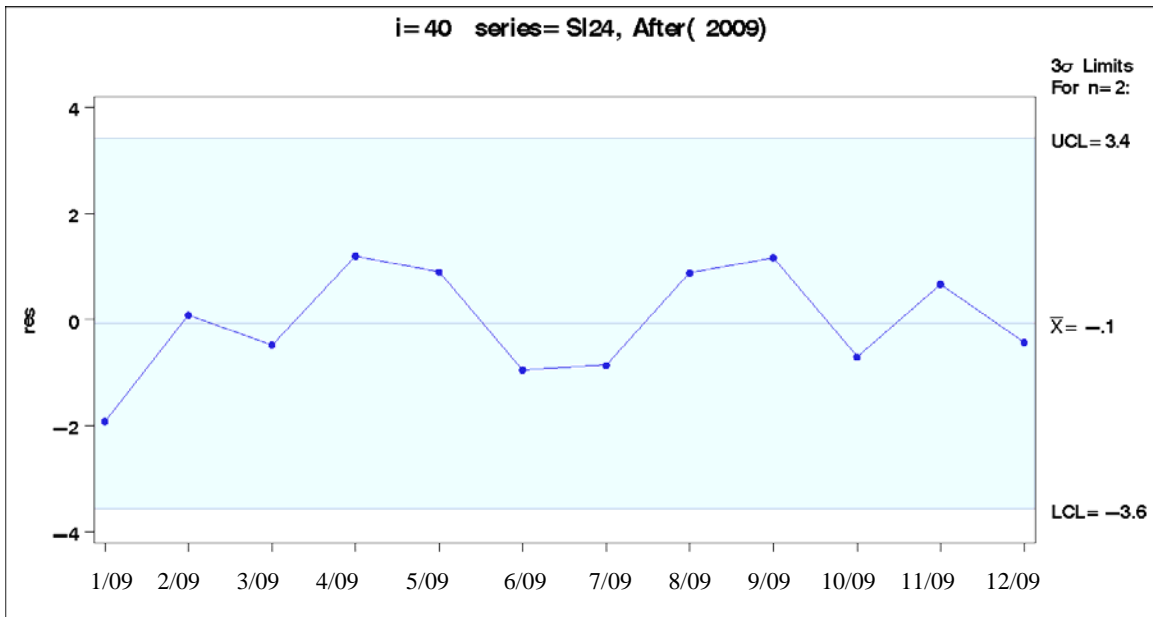
SI21 - Pedestrian injuries on rural roads:  
מגמת ירידה לא מובהקת בתקופת "לפני"



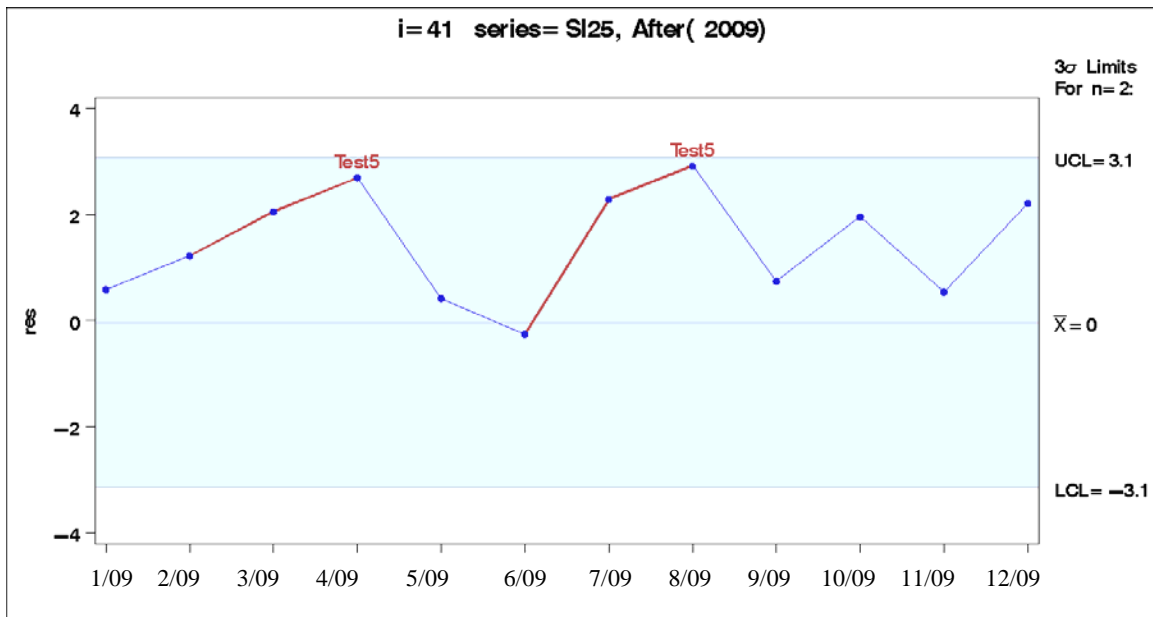
SI22 - Pedestrian injuries Arabs:  
מגמת ירידה לא מובהקת בתקופת "לפני"



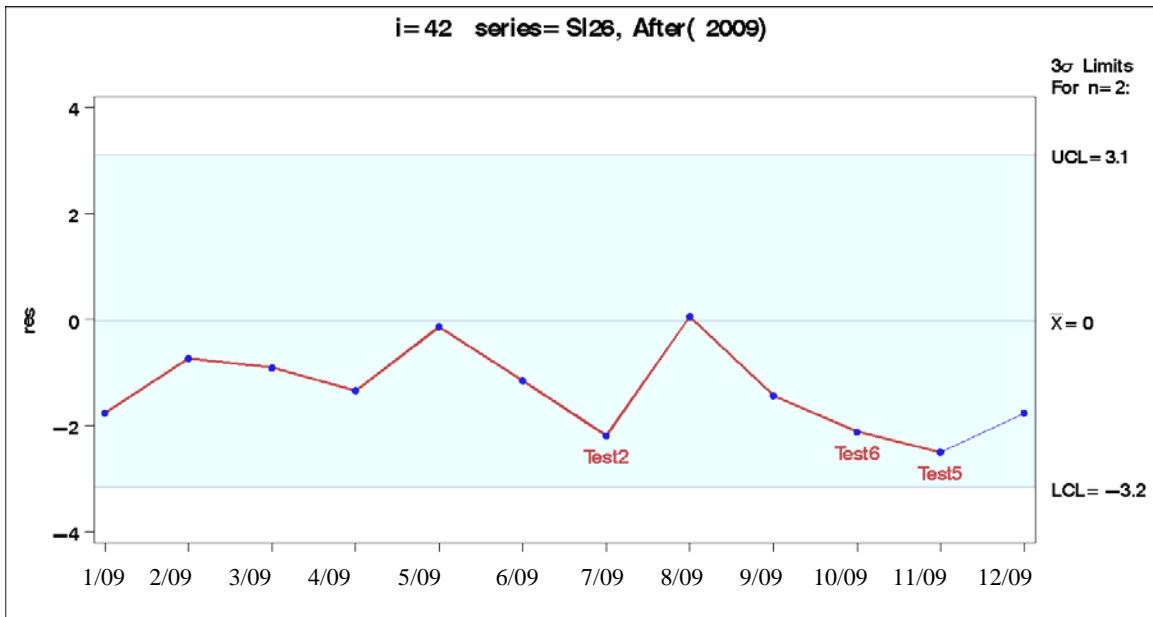
SI23 - Injuries in single-vehicle accidents on rural roads:  
מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"



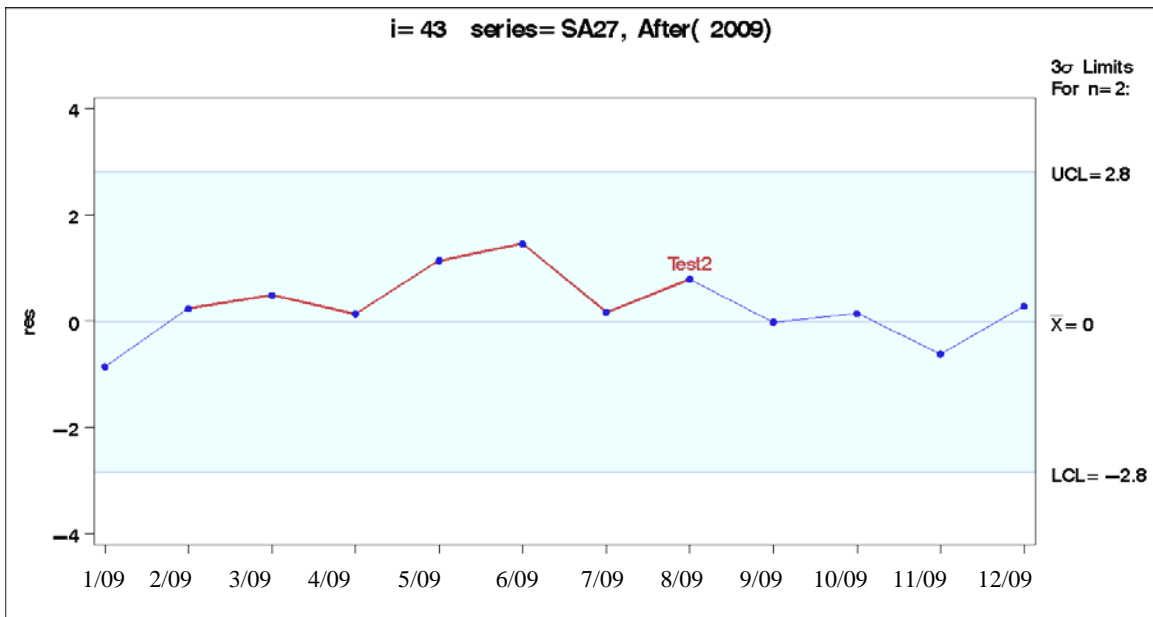
SI24 - Injuries in head-on collisions on rural roads:  
"מגמת ירידה לא מובהקת בתקופת "לפני"



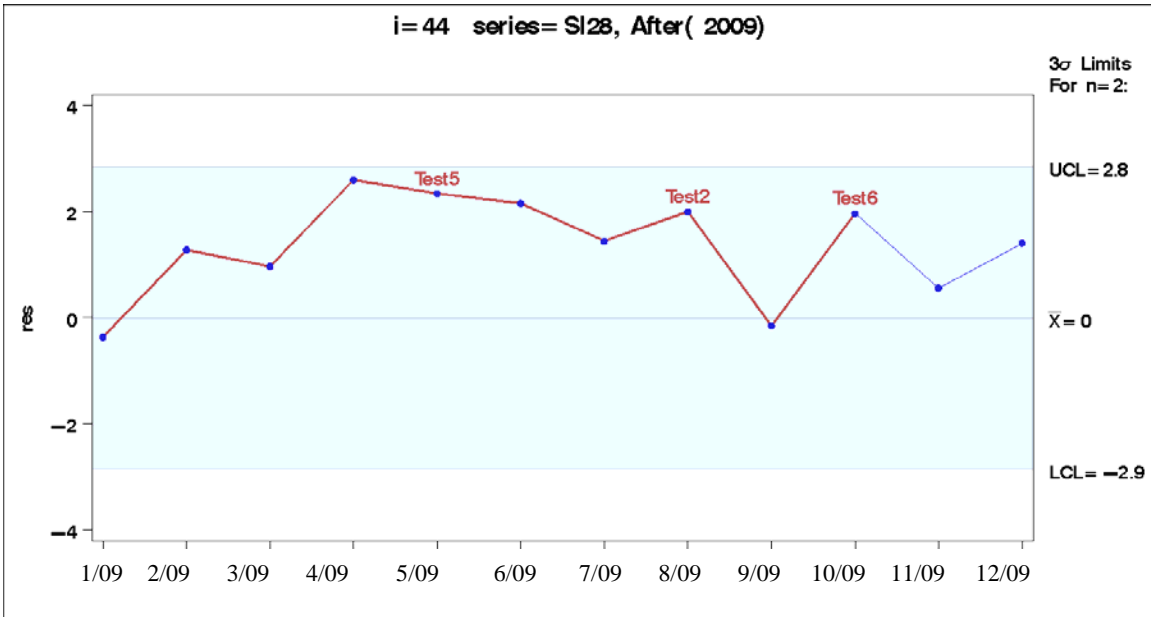
SI25 - Injuries at junctions on rural roads excluding pedestrian accidents:  
"מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"



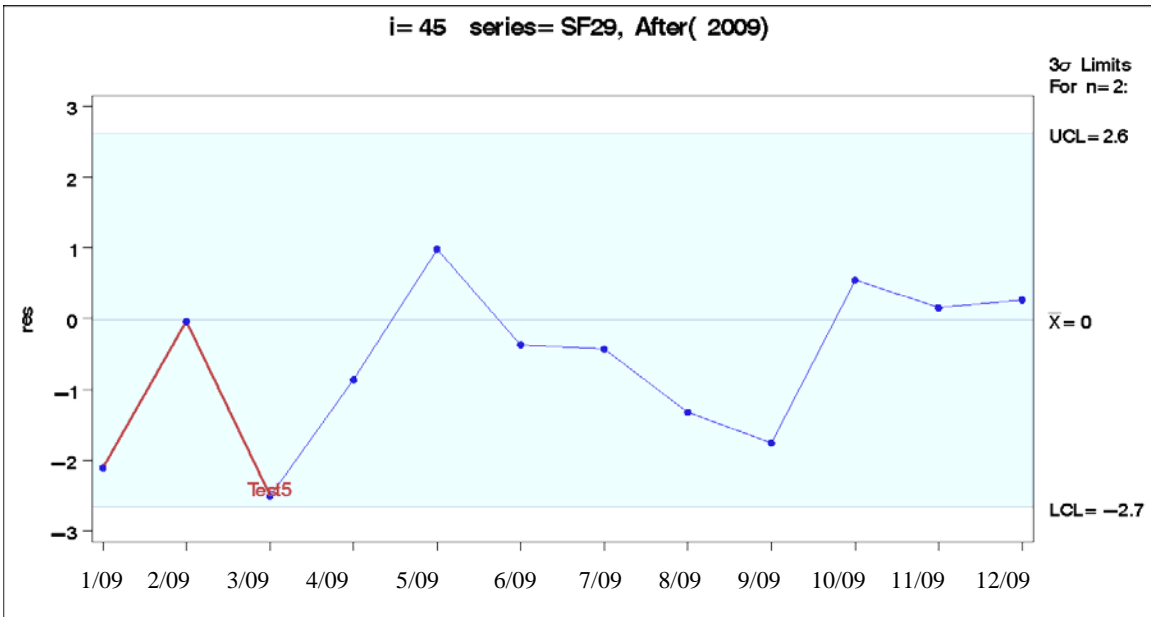
SI26 - Injuries at junctions on urban roads excluding pedestrian accidents:  
 מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"



SA27 - Accidents incl. JS:  
 מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"



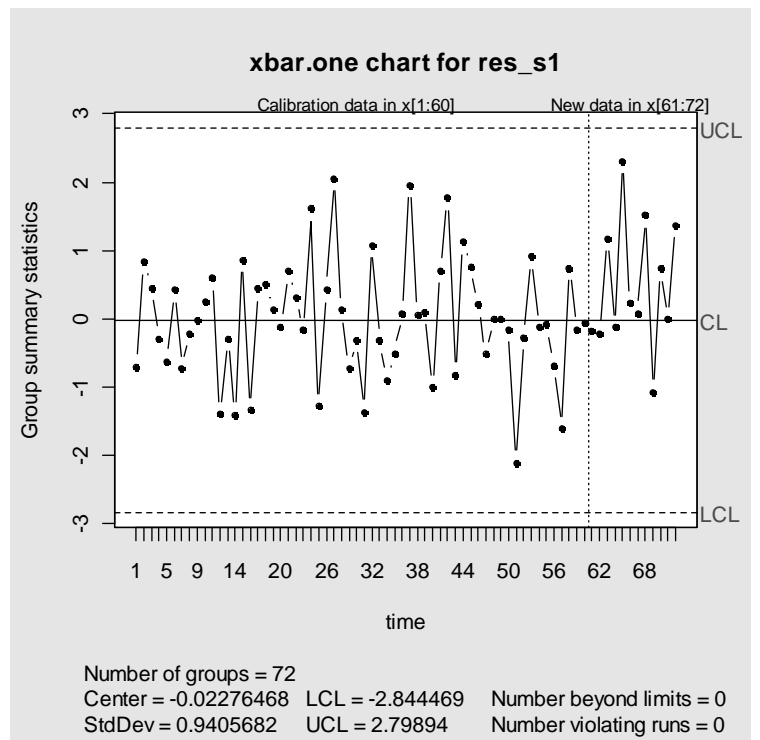
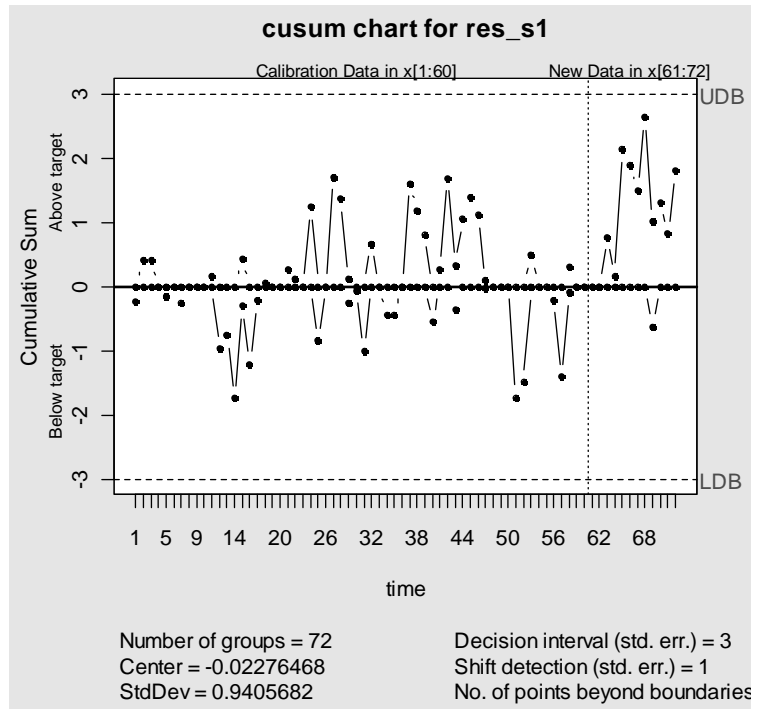
SI28 - Injuries inc. JS:  
 מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"



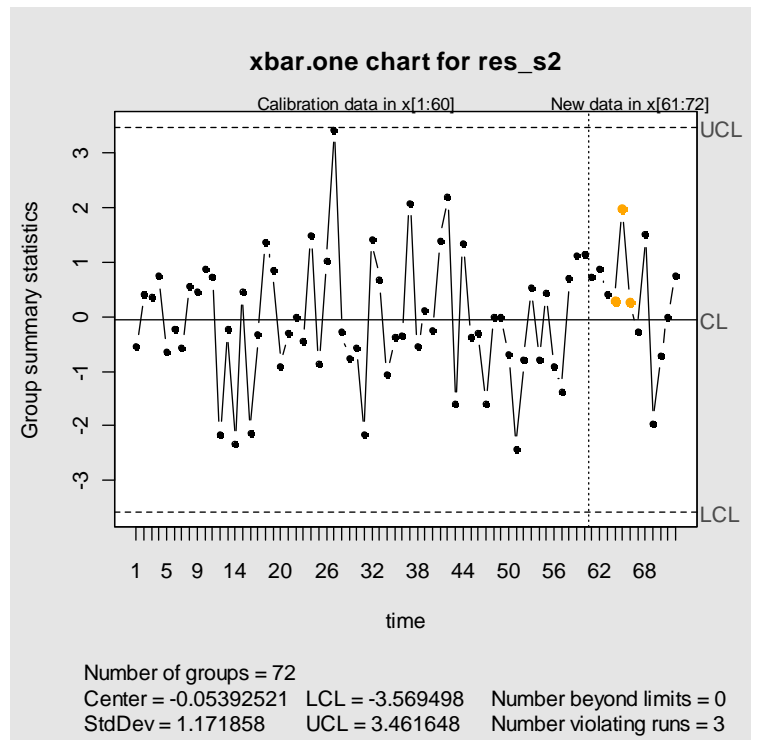
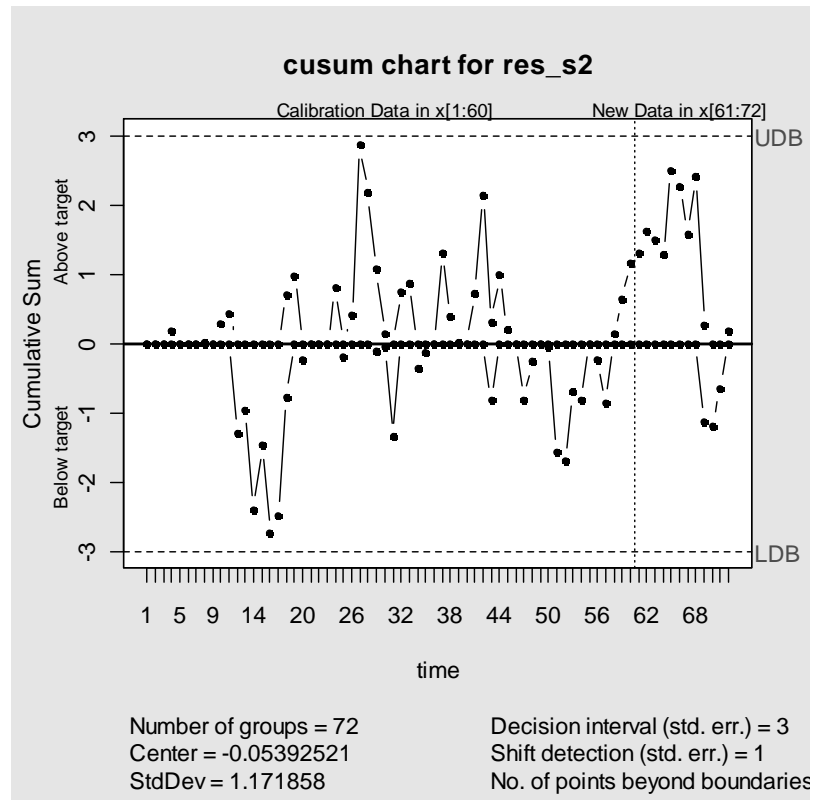
SF29 - Fatalities incl. JS:  
 מגמת ירידה מובהקת בתקופת "לפני"

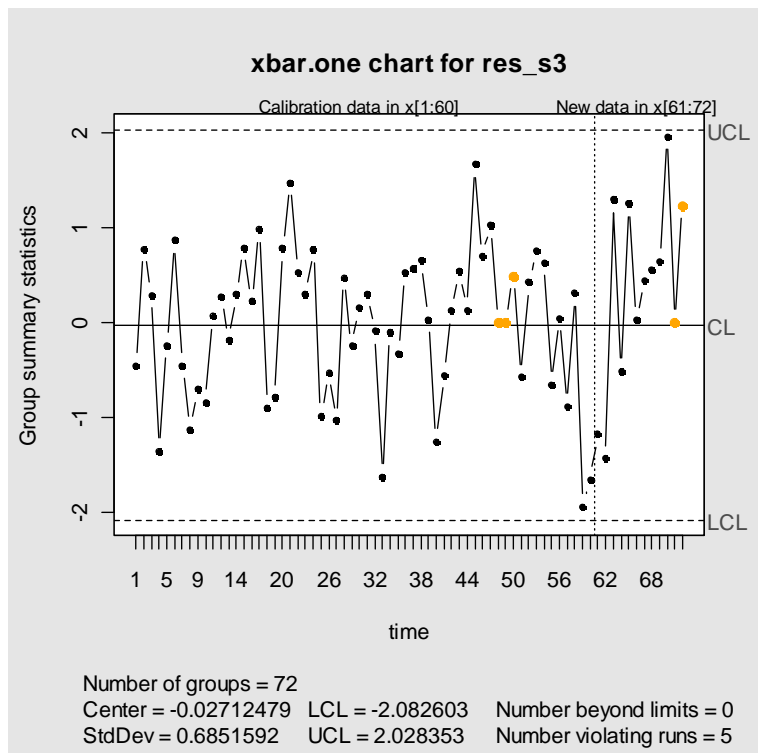
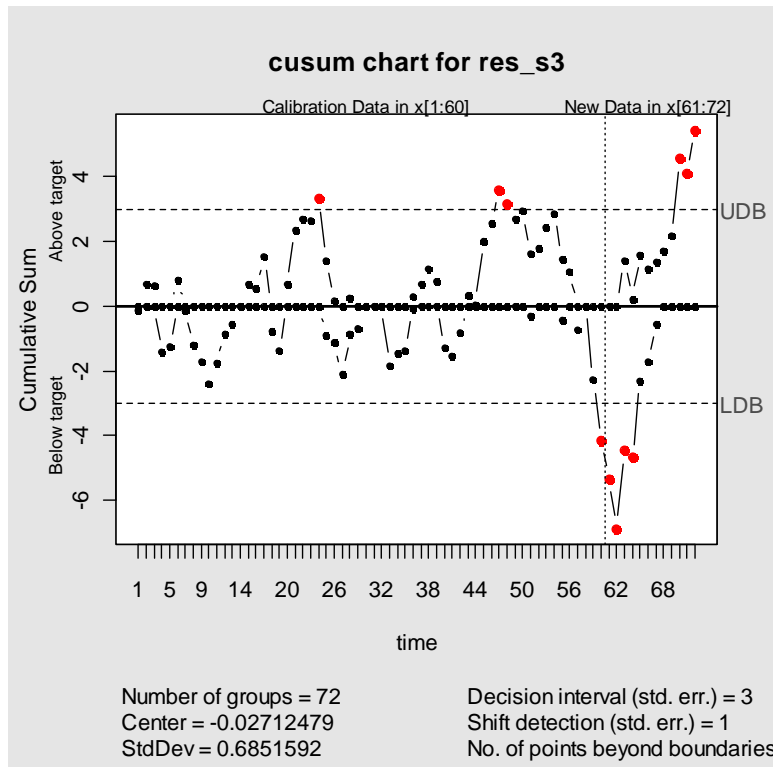
# נספח ג'. תרשימי הבקרה שנבנו לסדרות של הרוגים בשנת 2010

S1 סה"כ ההרוגים : אין שינוי בתהליך בשנת 2010



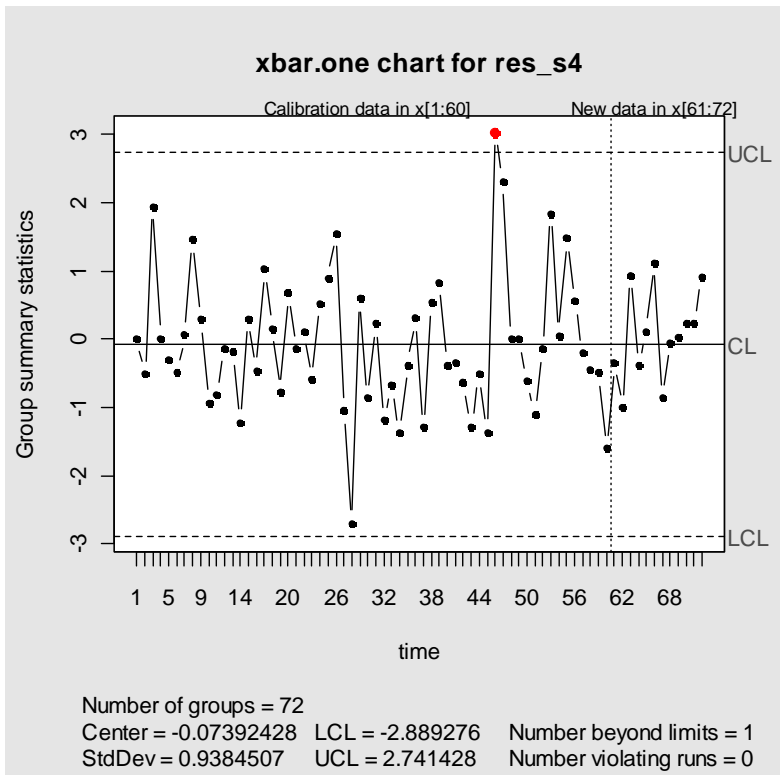
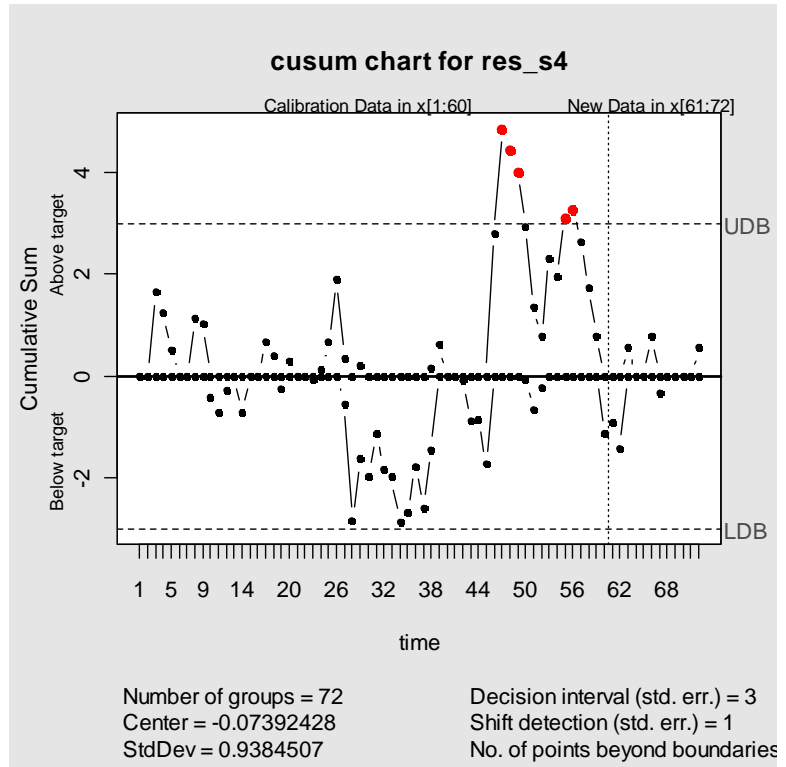
S2 מספר הרוגים בדרכים לא עירוניות: הצטברות נקודות מעל קו האמצע החל מסוף 2009 (מבחן 2)



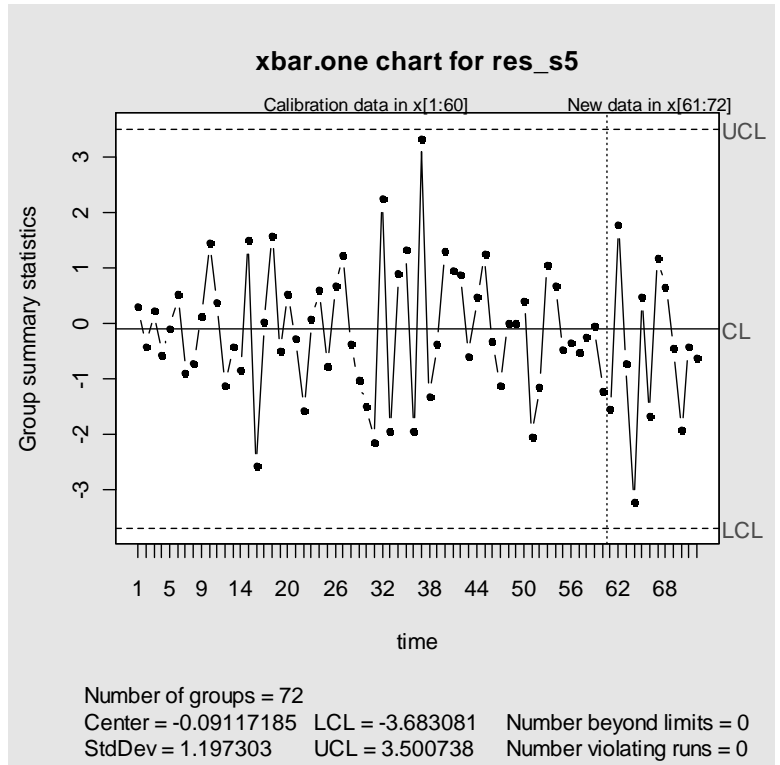
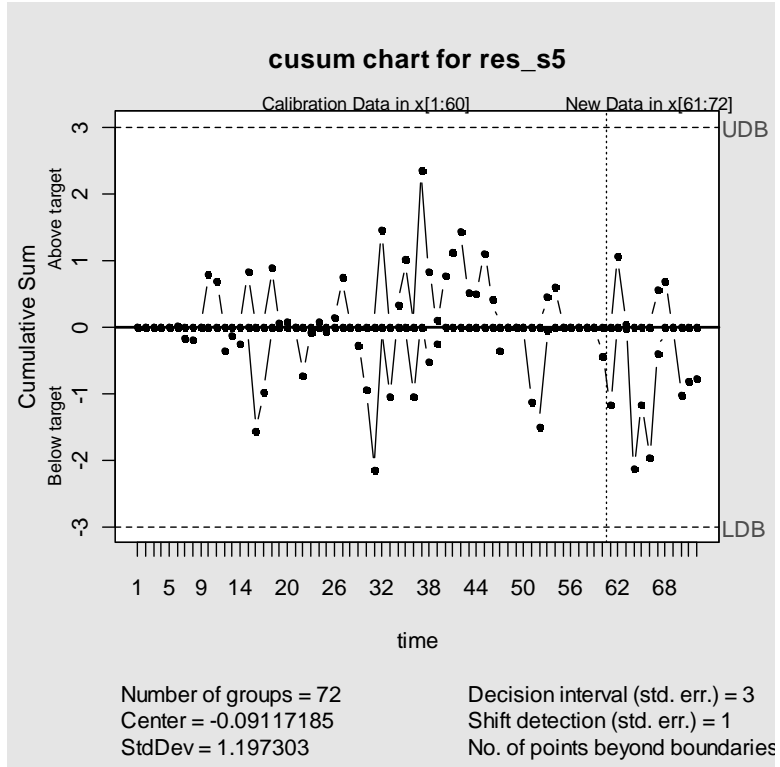




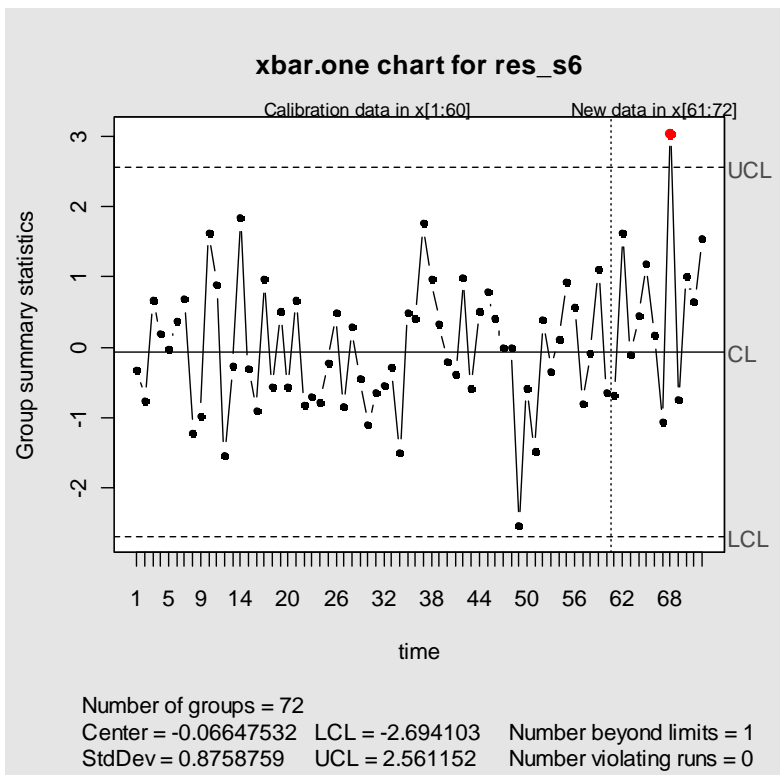
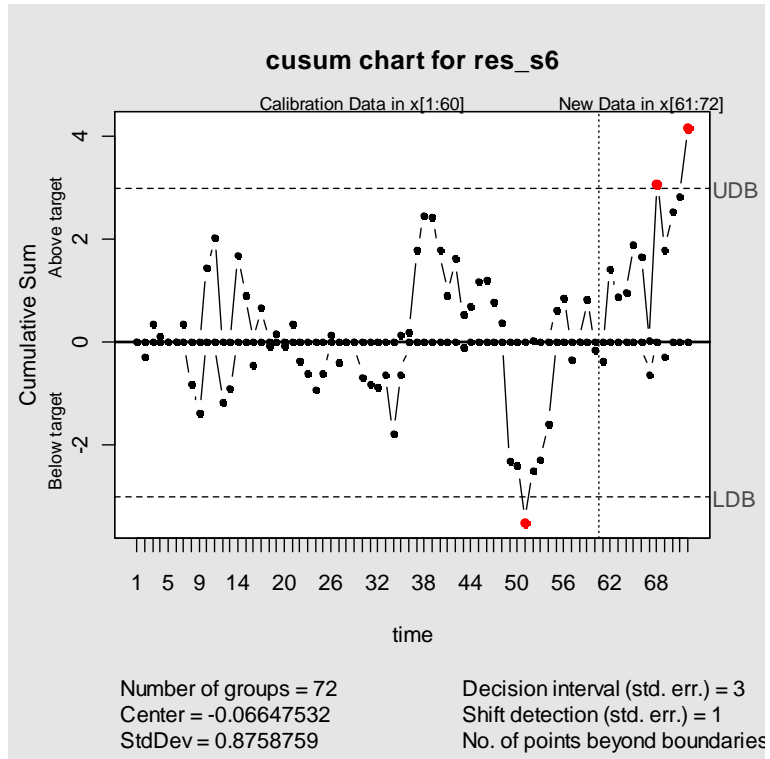
S4 מספר הרוגים בתאונות עם נהגים צעירים : ללא שינוי בשנת 2010



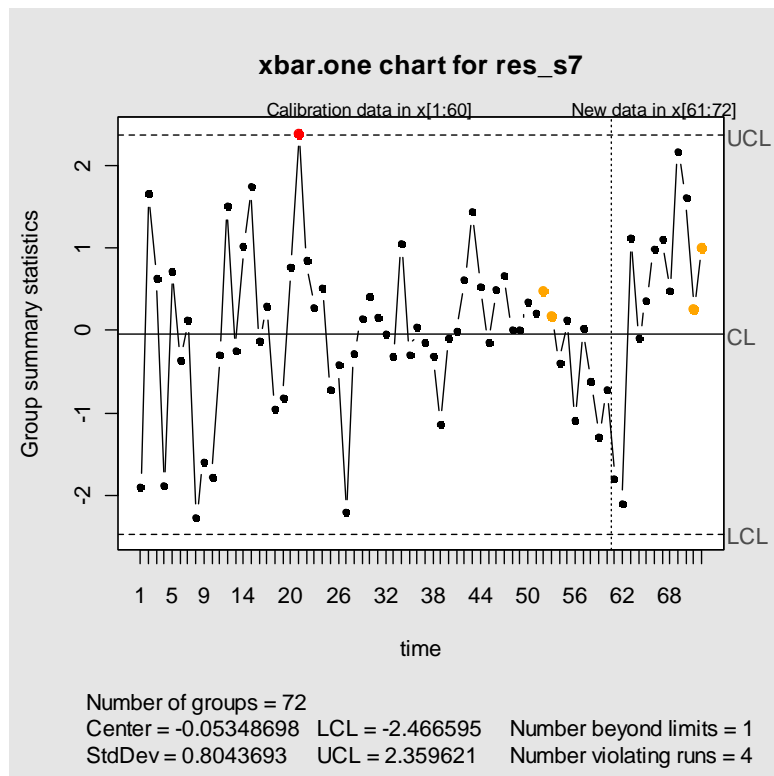
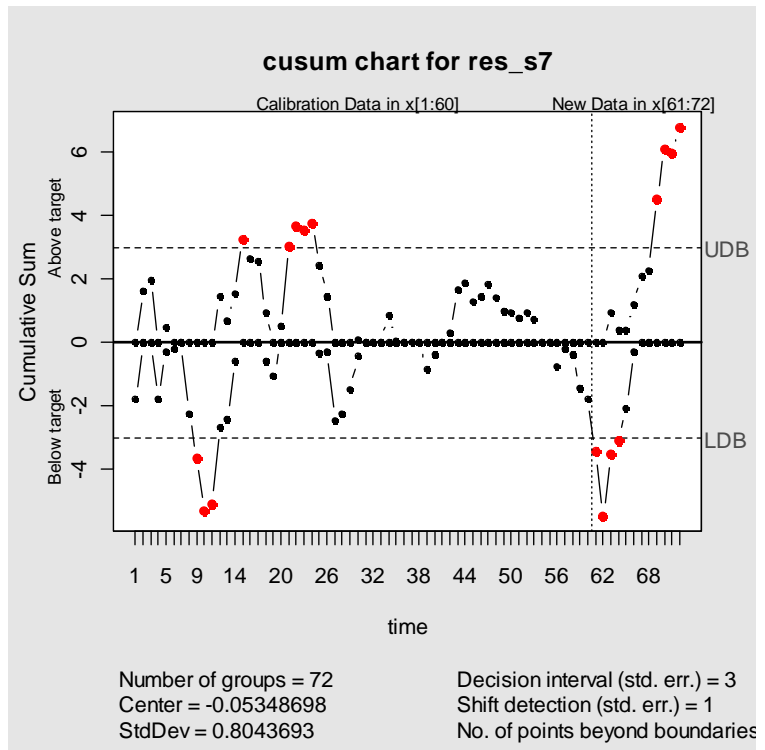
S5 מספר הרוגים בתאונות עם נהגים מקצועיים : ללא שינוי בשנת 2010



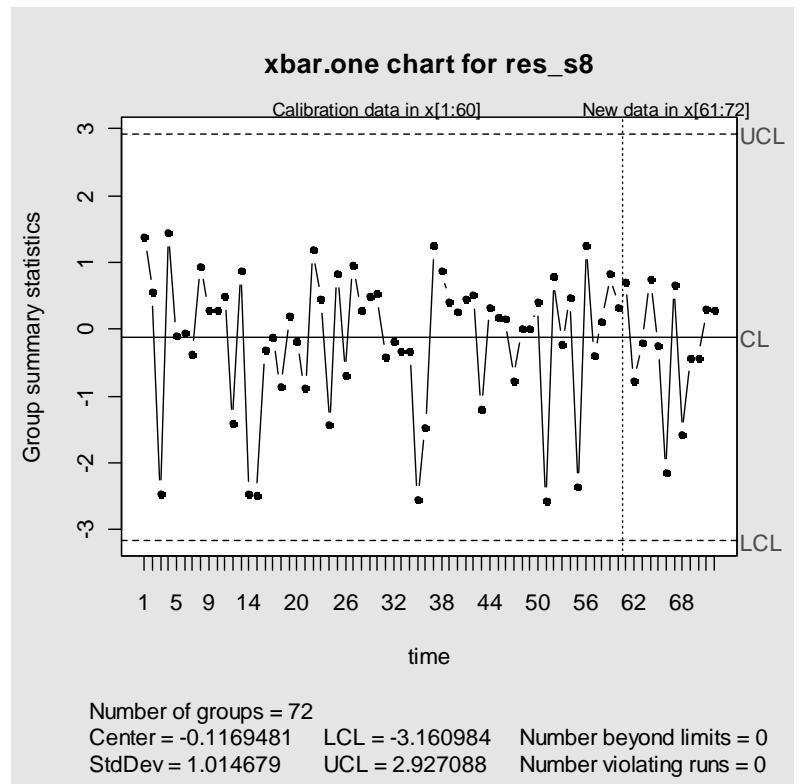
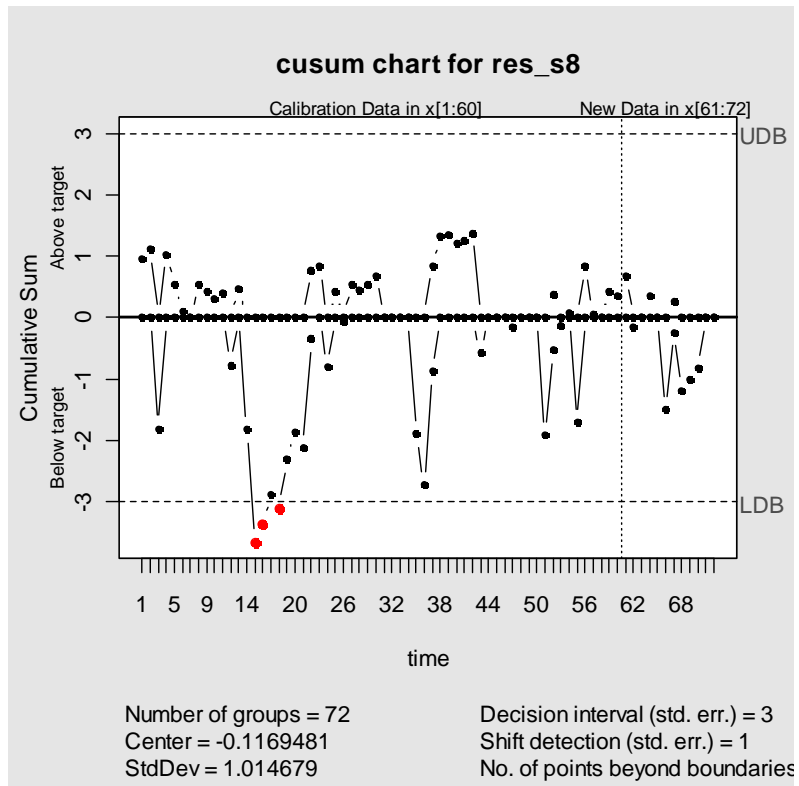
S6 מספר הרוגים בתאונות אופנועים : עליה בשנת 2010 - חריגה כלפי מעלה בחודש 8 ובחודש 12



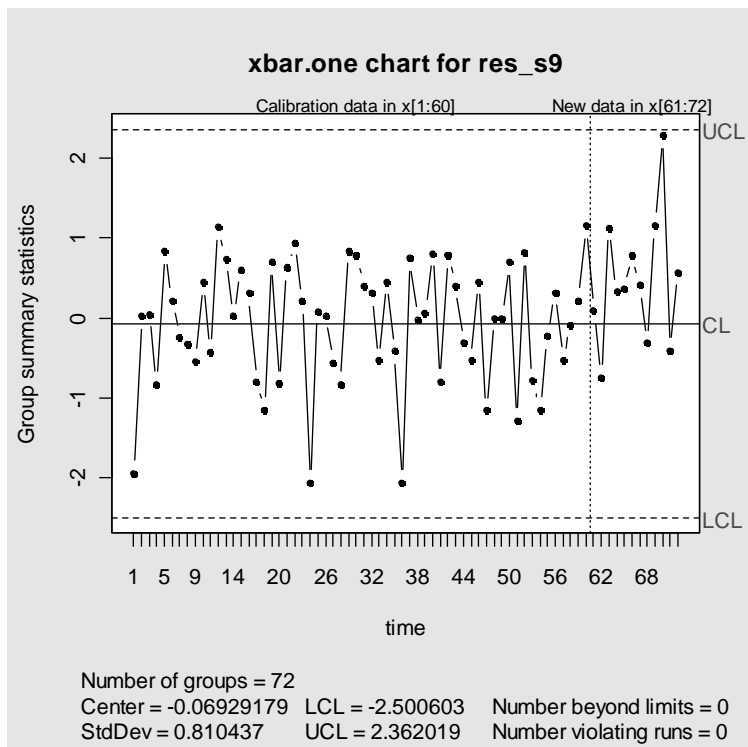
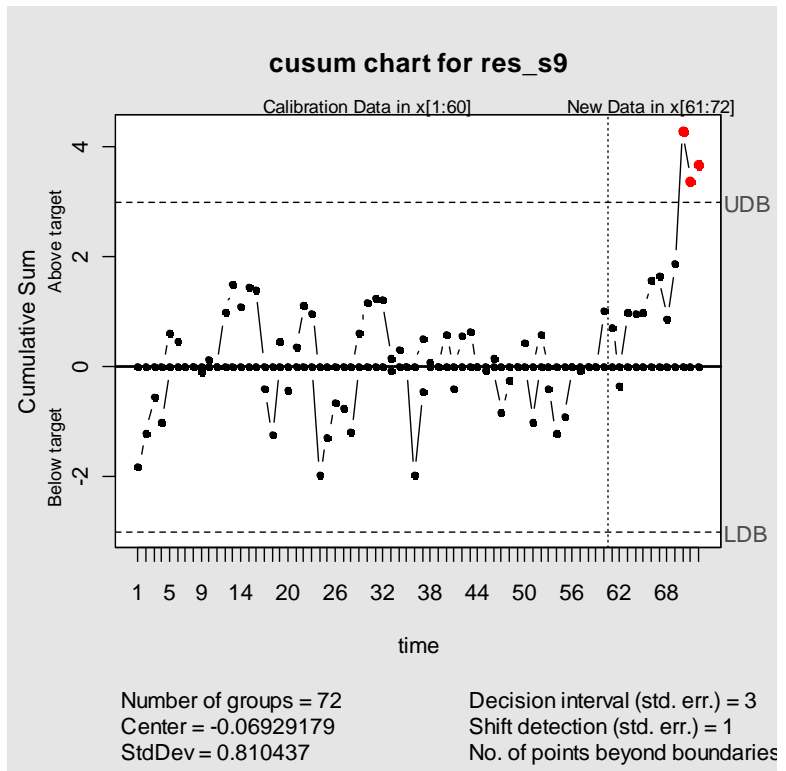
S7 מספר הרוגים הולכי רגל, בדרכים עירוניות: הרעה (עליה) בשנת 2010 - זיהוי בחודש 9, השינוי החל מחודש 6

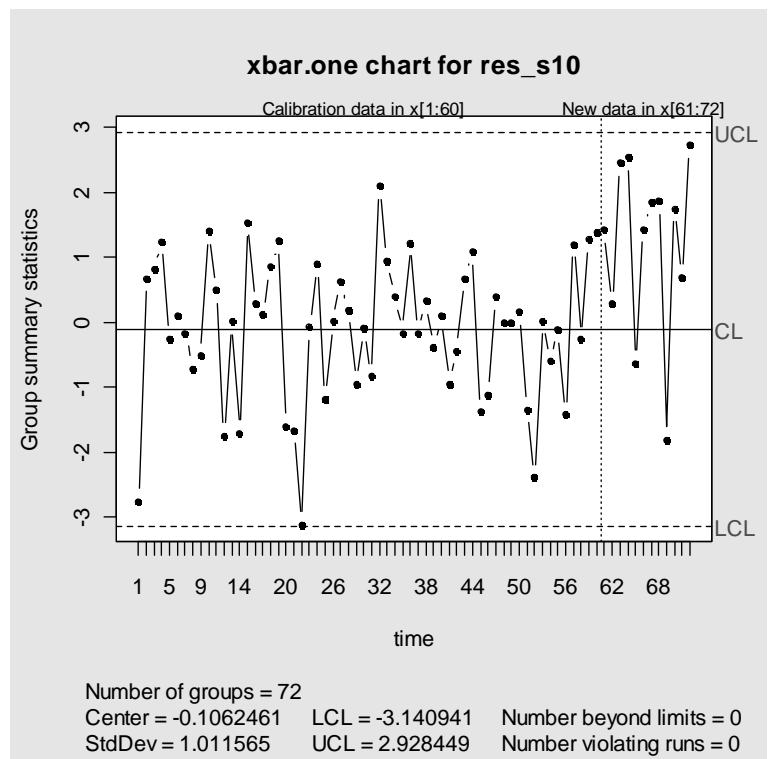
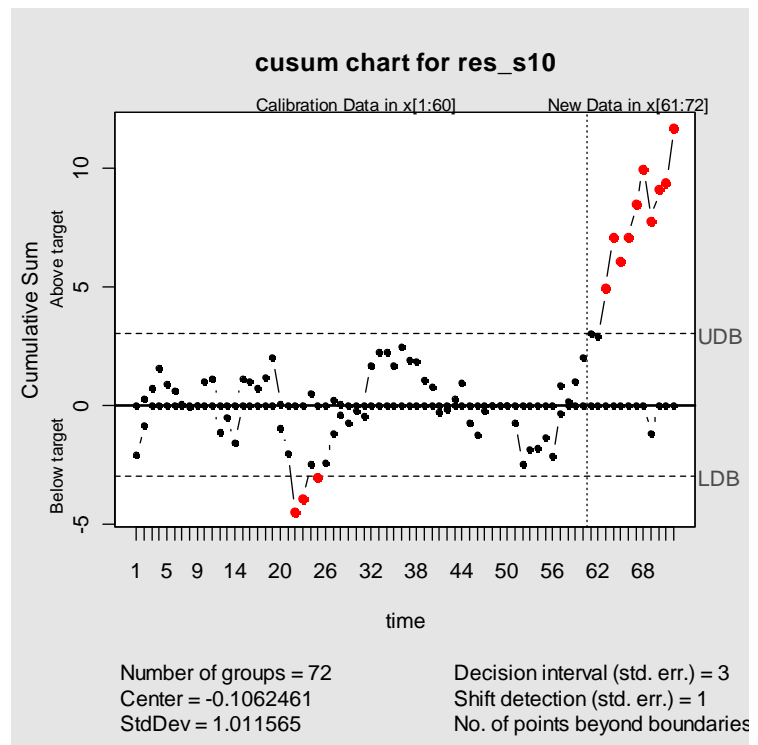


S8 מספר הרוגים הולכי רגל, בדרכים לא עירוניות : ללא שינוי בשנת 2010

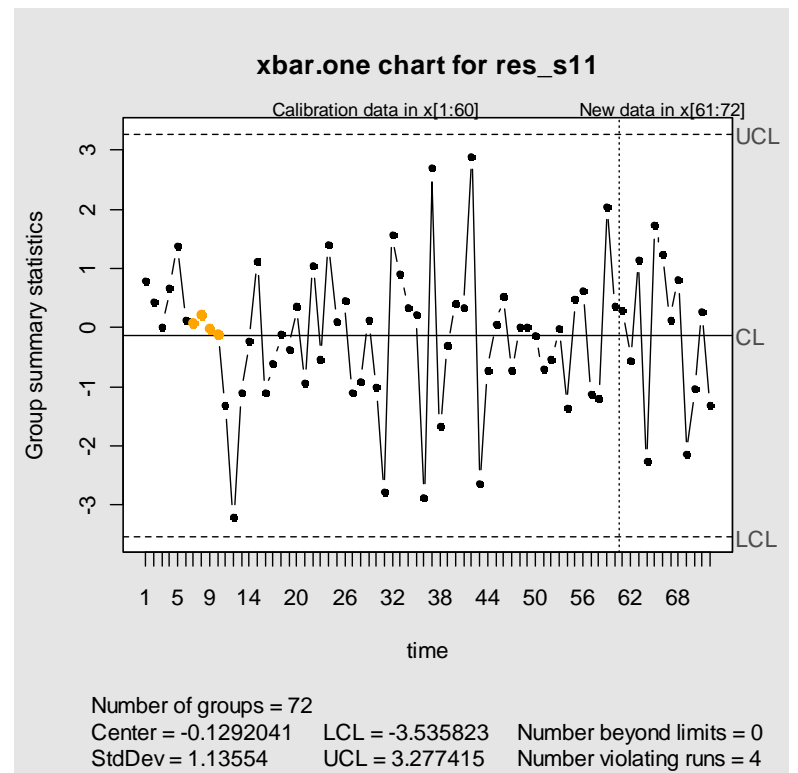
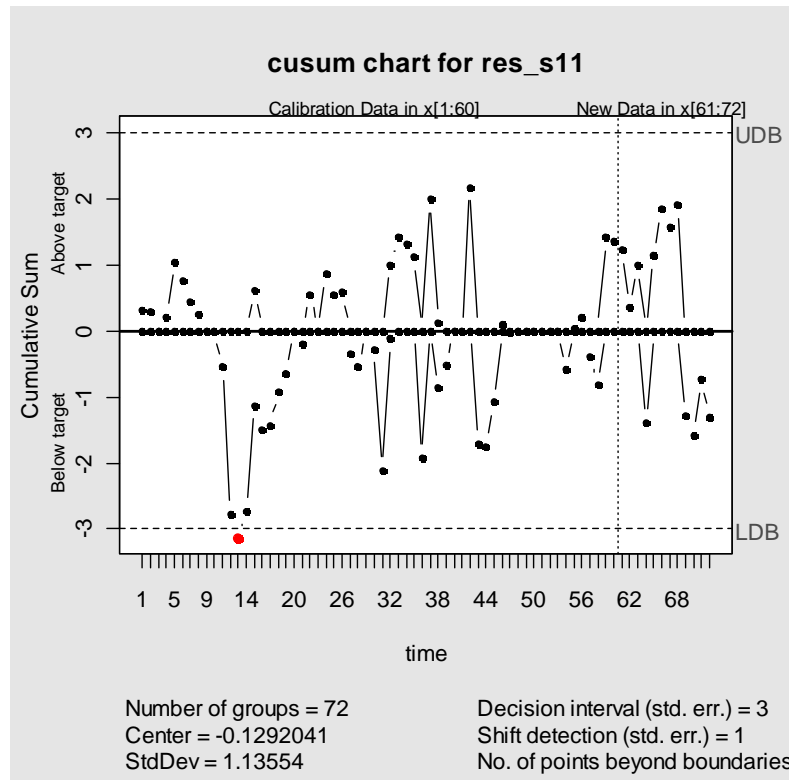


S9 מספר הרוגים הולכי רגל, במגזר לא יהודי: הרעה (עליה) בשנת 2010 - זיהוי בחודש 10, השינוי החל מחודש 9



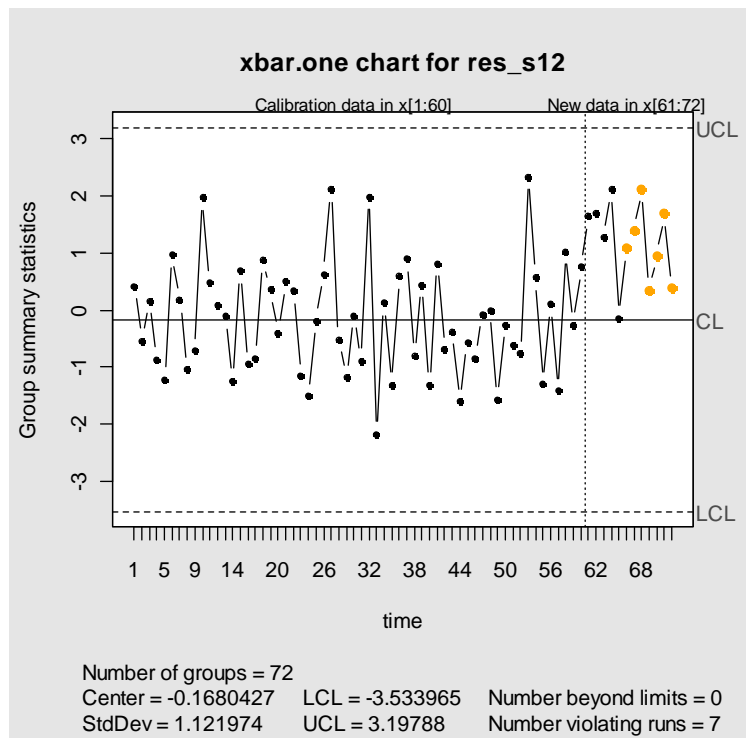
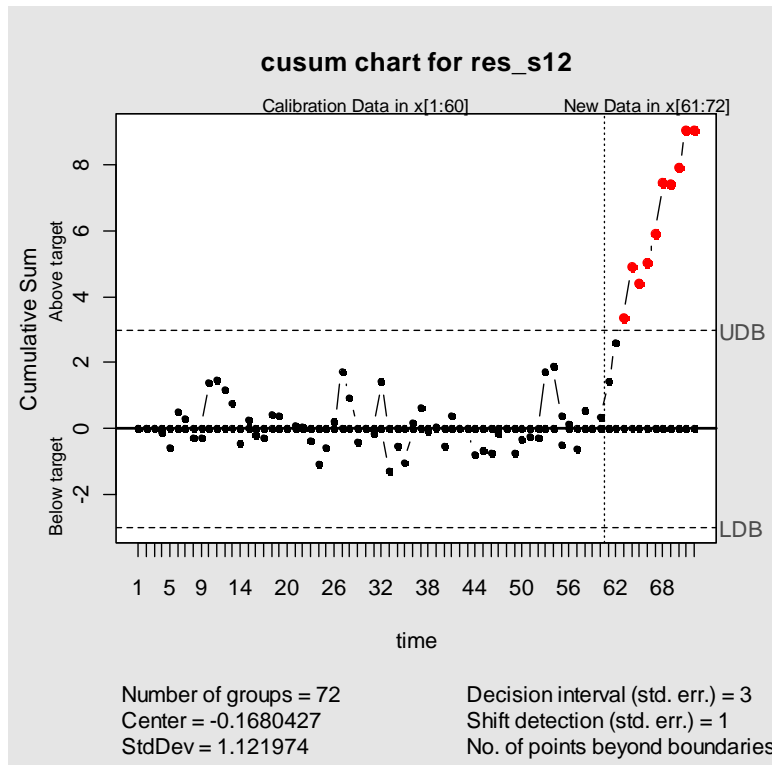


S11 מספר הרוגים בתאונות חזית-חזית בדרכים בינעירוניות : ללא שינוי בשנת 2010





S12 מספר הרוגים בצמתים בדרכים בינעירוניות: הרעה (עליה) בשנת 2010 - זיהוי בחודש 3, השינוי החל מחודש 1



S13 מספר הרוגים בצמתים בדרכים עירוניות : בשנת 2010 חריגה כלפי מטה (ירידה) בחודש 9

