

# מערכת רמזור – MODS (Multi-layer Outlier Detecting System)

רונן פלוס\* ובנצי שרייבר\*\*

## תקציר

מערכת רמזור מתריעה על התפתחויות חריגות בסדרות נתונים יומיים של השווקים הפיננסיים בארץ ובעולם. התרעה על האפשרות להתפתחויות חריגות בשווקים הפיננסיים מהווה כלי עזר למקבלי ההחלטות, ובכלל זה האחראים על היציבות הפיננסית והמדיניות המוניטארית. זיהוי התצפיות החריגות נערך מנקודות מבט שונות ובעזרת פרוצדורות סטטיסטיות מגוונות ובכך ייחודה של המערכת.

---

\* החטיבה למידע ולסטטיסטיקה, בנק ישראל.

\*\* החטיבה למידע ולסטטיסטיקה, בנק ישראל ואוניברסיטת בר אילן.

## מבוא

מערכת "רמזור" פותחה בחטיבה למידע ולסטטיסטיקה ומיועדת להתריע על התפתחויות חריגות בסדרות נתונים יומיים של השווקים הפיננסיים בארץ ובעולם. התרעה על האפשרות להתפתחויות חריגות בשווקים הפיננסיים מהווה כלי עזר למקבלי החלטות, ובכלל זה האחראים על היציבות הפיננסית וניהול המדיניות המוניטארית, בהערכת מצבו של השוק ובקבלת החלטות מושכלות יותר.

כאשר המערכת מזהה אירוע חריג, היא שולחת התרעה, המהווה טריגר לתהליך של בירור סיבת החריגות וקבלת החלטות לפעולה - זאת במידה והוחלט שסיבת האירוע החריג אכן מחייבת זאת.

מערכת "רמזור" מנטרת כיום מדי יום כ-50 סדרות נתונים מארבעה שווקים פיננסיים: שוקי המט"ח בישראל ובעולם, שוקי הריבית בארץ ובעולם, שוקי ההון ושוקי הסחורות.

איתור החריגים במערכת מתבצע במספר שכבות, כאשר כל שכבה מדגישה אספקט שונה של חריגות, כדלקמן:

- שכבה ראשונה – כל סדרת נתונים מנוטרת בנפרד לזיהוי התפתחויות חריגות בה, הן ביחס להתפלגות ארוכת הטווח והן ביחס להתפלגות קצרת הטווח.
  - שכבה שנייה – זיהוי של התפתחות כחריגה מתבצע ברמת השוק כולו (מניות, אג"ח וכדומה), גם אם כל סדרה בפני עצמה אינה חריגה (כפי שתואר לגבי השכבה הראשונה) – כלומר, בחינת הצירוף (combination) של נתוני השוק הרלוונטיים עשויה להצביע על אירוע כחריג.
  - שכבה שלישית – זיהוי של התפתחות כחריגה מתבצע כאשר מתגלית סטייה חריגה מקשר סטטיסטי בין משתנים בעלי מתאם גבוה. דוגמה לסדרות נתונים עם מתאם גבוה היא תשואות של מק"מים לטווחי זמן שונים.
  - שכבה רביעית – זיהוי של התפתחות כחריגה מתבצע כאשר מתגלית סטייה מקשר כלכלי (ארוך טווח) בין משתנים. למשל: הקשר בין פער הריביות בין השקל והדולר לבין שער החליפין שקל/דולר.
- איתור החריגים בשכבות השונות מאפשר להעריך במידה כוללת ומזוויות שונות את מידת החריגות של סדרת נתונים מסוימת או את תפקודו של שוק מסוים בהיבטים שונים, ובכך ייחודה של המערכת.
- בהמשך הסקירה נתאר את המתודולוגיה של הרמזור, המזהה חריגים בשכבה הראשונה והשנייה ונביא דוגמאות של תוצרי מערכת הרמזור משתי שכבות אלו, המתפרסמים מדי יום בפורטל של החטיבה בבנק ישראל. בנוסף, נציג סיכום חודשי של החריגים בשכבה הראשונה.

### רמזור 1 מזהה חריגים – שכבה ראשונה

בשכבה הראשונה של מערכת הרמזור, שבה אנו מנטרים כל סדרה בנפרד, אנו מבחינים בין שני סוגים של חריגות: (א) חריגות ביחס להתפלגות ארוכת הטווח ו-(ב) חריגות ביחס להתפלגות קצרת הטווח.

**המטרה:** לזהות תצפיות חריגות הן באופן האבסולוטי והן באופן יחסי למקומן. כלומר, הן תצפיות חריגות בהתפלגות ארוכת הטווח והן תצפיות בעלות ערכים חריגים ביחס להתנהגות הסדרה בזמן האחרון.

עוצמת החריגות מוצגת בצורה הבאה:

**אדום** – חריגות ביחס לשתי ההתפלגויות

**כתום** – חריגות רק ביחס להתפלגות ארוכת הטווח

**צהוב** – חריגות רק ביחס להתפלגות קצרת הטווח

**ירוק** – אין חריגות

להלן דוגמה לחריגה בסדרת "שינויים בתשואות אג"ח ממשלתית לא צמודה ל-5 שנים" שאירעה בתאריך ה-7/12/14. על חריגה זו נשלחה התרעה כדלקמן:



מערכת רמזור זיהתה חריגות באחת או יותר מסדרות הנתונים בדף הבית של פורטל מידע וסטטיסטיקה. למידע נוסף [לחץ כאן](#).

מדת החריגות	תאריך אחרון	קטגוריה
	05/12/2014	שוק מט"ח
	07/12/2014	הציפיות לאינפלציה
	07/12/2014	תשואות מרווחים וריביות
	07/12/2014	מדדי מניות
	05/12/2014	מדדי סחורות

לבחירת הסדרות עליהן תקבל התראה במייל [לחץ כאן](#).  
לאחר לחיצה על "תשואות מרווחים וריביות" מתקבלים שני מסכים בהם מתוארים שני סוגי החריגות:

### 1. הגדרת חריגות בהתפלגות ארוכת הטווח

חריגות זו בודקת האם התצפית חריגה ביחס להתפלגות של 5 השנים האחרונות. כדי לקבל את ההתפלגות ארוכת הטווח ה"רגילה", הוצאו תצפיות קיצוניות ביותר (המייצגות מצבים נדירים).<sup>1</sup>

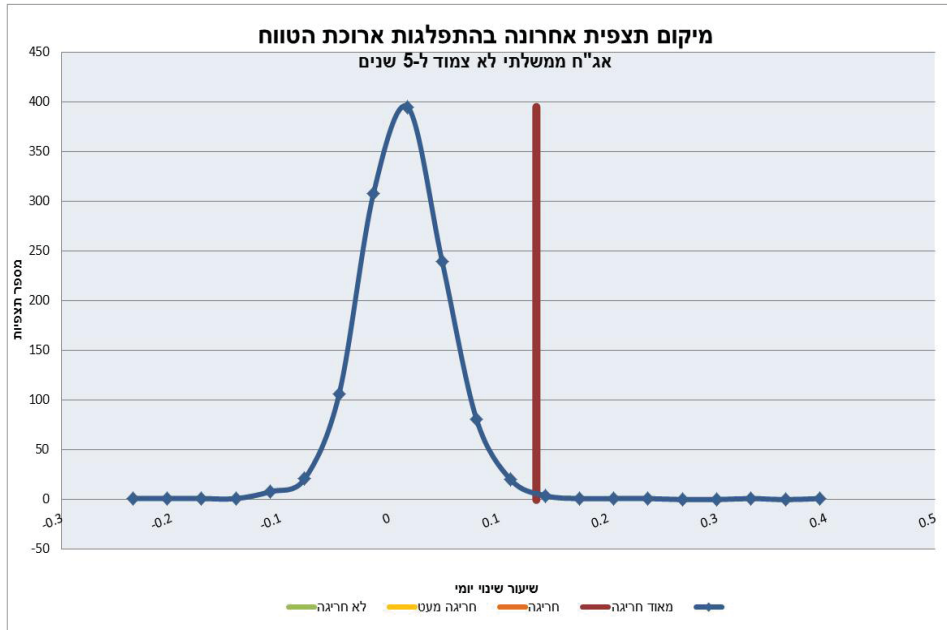
<sup>1</sup> תצפית קיצונית היא תצפית עם ערך מתוקן ( $Z'$ ) גבוה מ-4 (בערך מוחלט). נסמן את הערכים בסדרה המקורית ב- $X$ . התקנון מוגדר כך:

$$z' = \frac{x - \text{Median}(X)}{MAD_x}$$

$$MAD_x = 1.4286 \cdot \text{Median}(|X - \text{Median}(X)|)$$

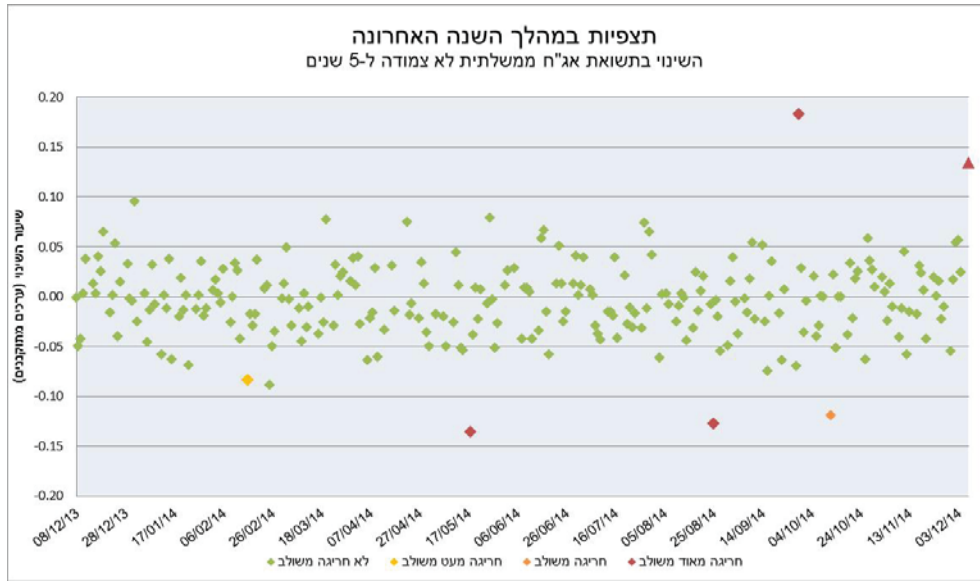
כאשר החציונים בנוסחאות מחושבים על פני ההתפלגות ארוכת הטווח הנ"ל.

זיהוי התצפית הקיצונית נעשה בעזרת MAD (Median Absolute Deviation) - מדד פיזור רובסטי (עמיד) לתצפיות חריגות. כך, לדוגמה, אפילו אם יהיו 30% תצפיות חריגות, ערך ה-MAD לא יושפע. בהתפלגות נורמלית הוא מתכנס לסטיית התקן. הגדרנו כברירת מחדל תצפית חריגה אם היא נמצאת באחוזונים ה-99.5 (עליון) או ה-0.5 (תחתון) בהתפלגות ארוכת הטווח (אחרי הוצאת התצפיות הקיצוניות). כלומר, תצפית נחשבת כחריגה אם היא בעלת ערך מתוקנן הגדול מערך הסף שנקבע או אם היא מחוץ לטווח האחוזונים 0.5-99.5 של ההתפלגות הרגילה. על פי הדוגמה של החריגות בשער ההאג'יח הממשלתי, המערכת מציגה את מיקום התצפית האחרונה ביחס להתפלגות ארוכת הטווח (היסטוגרמה של 5 שנים). ניתן לראות כי התצפית חריגה בפרספקטיבה של 5 השנים האחרונות.



## 2. הגדרת חריגות בהתפלגות קצרת הטווח

חריגות זו בודקת האם התצפית חריגה ביחס להתפלגות של השנה האחרונה. התפלגות זו מוגדרת על הסדרה המתוקנת ( $Z'$ ), ראו הערת שוליים 1), כשהחציונים וה-MAD מחושבים על פני 90 הימים האחרונים, וזאת כדי לזהות שינויים מקומיים בשונות. אם תצפית (לאחר תקנון) נמצאת באחוזונים ה-99.5 (עליון) או ה-0.5 (תחתון) בהתפלגות קצרת הטווח (שנה אחרונה) לאחר הוצאת תצפיות קיצוניות ( $Z' > 4$ ), אזי היא מוגדרת כתצפית חריגה. על פי הדוגמה של החריגות בשינוי בתשואת אג'יח ממשלתית לא צמודה ל-5 שנים, המערכת מציגה את התצפית של יום המסחר האחרון ואת התצפיות במהלך השנה האחרונה.



## רמזור 2 מזהה חריגים – שכבה שניה

מדד זה בודק חריגות שוק על ידי בדיקת ההתפלגות המשותפת של מספר משתנים המייצגים את השוק. החריגות נבדקת ביחס להתפלגות ארוכת הטווח (נתונים יומיים ב-5 השנים האחרונות לאחר הורדת מגמה). המטרה: להתריע על תצפיות חריגות ביחס להתפלגות ארוכת הטווח המצביעות על אפשרות של התנהגות לא רגילה בשוק הנבדק, כאשר, לעתים, גם אם כל סדרה בפני עצמה אינה חריגה, השילוב של הסדרות עשוי להיות חריג. חלק זה של פרויקט רמזור הוא המשכו של השכבה הראשונה שטיפלה בחריגים ברמת הסדרה הבודדת (univariate). מטרת איתור החריגים בנתונים רב-ממדיים היא למצוא מצב שוק חריג על סמך מספר מאפיינים של שוק המתקבלים בפורטל בתדירות יומית. בשלב זה מנוטרים שוקי המט"ח והמניות. כל שוק אופיין בעזרת המאפיינים הבאים: (1) שיעור שינוי, (2) מחזורי המסחר, (3) סטיית תקן גלומה (להלן, סת"ג, רלוונטי כיום רק לשוק המט"ח ולשוק המניות) או מרווח תוך-יומי (הפער בין שער גבוה לנמוך). הערך המוסף של איתור מצב שוק חריג בהשוואה לאיתור חריגים בסדרות בודדות (univariate) שנעשה בחלק הראשון של הפרויקט, הינו כדלקמן:

- א. ניתוח רב-ממדי של מצב השוק מאפשר לזהות מצבים בהם כל סדרה בפני עצמה אינה חריגה, אולם הצירוף חריג.
- ב. הסדרות המוצגות בפורטל כוללות בדרך כלל תשואות או שינויי שער אך אינן כוללות מדדי סיכון ונזילות, כגון: מחזורי מסחר, הפער בין שער תוך יומי גבוה לנמוך וסת"ג.
- ג. הניתוח מאפשר לזהות מצבים מיוחדים שמבחינה סטטיסטית אינם שונים זה מזה אך יש להם חשיבות רבה מבחינה כלכלית, בפרט למנהלי מדיניות. על אלה ניתן למנות: "כשל שוק", המוגדר בנייר זה כמצב בו מחזורי המסחר דלילים יחד עם שינוי חד בשער וסת"ג גבוה או "המתנה לאירוע" המוגדר כמצב בו הסת"ג גבוה, מחזורי המסחר דלילים והשינויים בשער זניחים.

אופי החרیגות המבוקש הוא גלובלי ולא מקומי, כלומר, החריגות שאנו מעוניינים לאתר הינה ביחס להתפלגות ארוכת הטווח של הסדרות ולא ביחס להתפלגות המקומית של אותה תקופה; החריגות ביחס להתפלגות המקומית מספיקה לנו ברמת הסדרה הבודדת ונבדקה כבר ברמזור החד-משתני<sup>2</sup>.

הגדרת החריגות

החריגות נקבעת בעזרת המרחק של כל תצפית ממרכז ההתפלגות המשותפת. המרחק נקרא (Mahalanobis Distance) (MHD) והוא מחושב בצורה הבאה:

נסמן את התצפית ביום מסוים ב- $X_t$ , המייצג וקטור של מספר משתנים אשר מייצגים את השוק. לדוגמה, בשוק במט"ח  $X$  יכול להיות: שיעור שינוי בשער השקל/דולר, מחזור המסחר וסי"ת גלומה. המרחק ביום  $t$  מחושב באמצעות הנוסחה הבאה:

$$MHD_t = (X_t - M)' S^{-1} (X_t - M)$$

כאשר  $M$  הוא וקטור הממוצעים של המשתנים ו- $S$  היא מטריצת השונות המשותפת, ו- $M$  ו- $S$  נאמדים באמצעות התצפיות של 5 השנים האחרונות. מרחק המהלנוביס משקף את מרחק התצפית היומית מהממוצע המשוקלל בשונות המשותפת. כדי שהאומדנים של  $M$  ו- $S$  לא יושפעו מתצפיות חריגות, השתמשנו בווקטור החציונים כדי לאמוד את  $M$  ואומד עמיד (רובסטי) ל- $S$ , המשתמש רק בגוש התצפיות המרכזי. הסימון למרחק עם האומדנים העמידים הוא robust MHD. הגדרנו תצפית חריגה מאוד אם המרחק שלה נמצא באחוזון ה-99 (עליון) וחריגה מתונה אם המרחק שלה בין האחוזונים ה-97.5 וה-99. סיווג החריגות נעשה בצורה הבאה:

**אדום** – חריגות גבוהה (מעל האחוזון ה-99)

**כתום** – חריגות מתונה (מעל האחוזון ה-97.5)

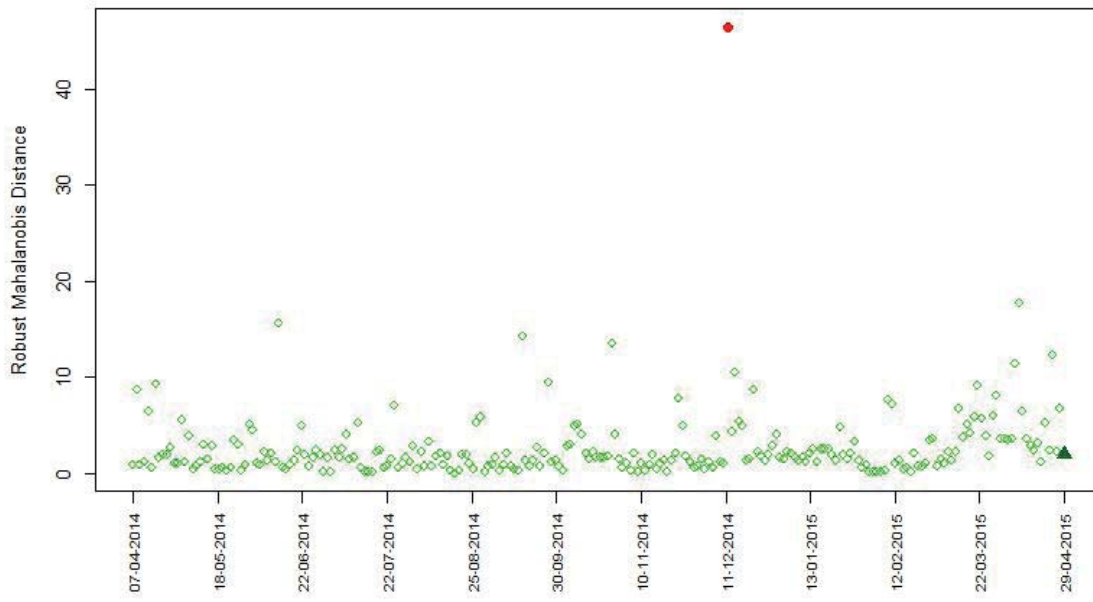
**ירוק** – אין חריגות

### התצוגה הגרפית

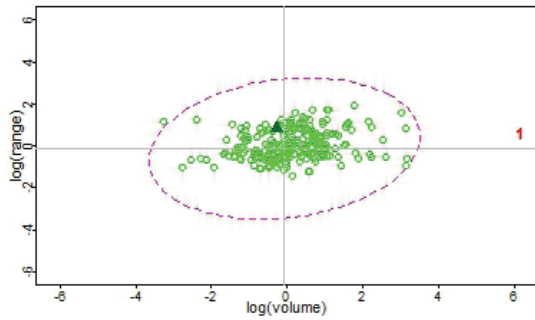
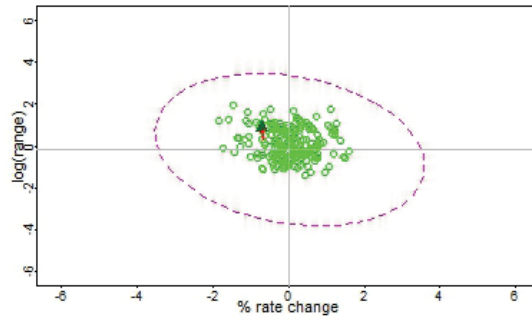
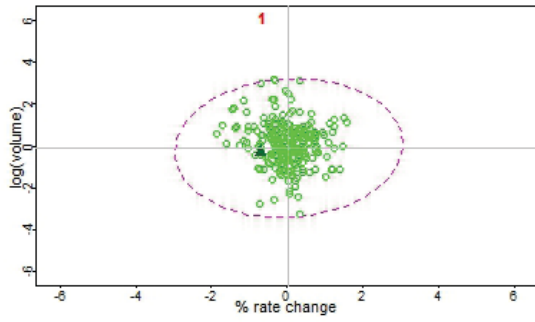
בגרף הראשון מוצגים מרחקי המהלנוביס העמידים של שוק המניות (המיוצג על ידי מדד תל אביב 100) על פני השנה האחרונה עם סימון התצפיות החריגות בצבעים השונים (החריגות נקבעת לפי 5 השנים האחרונות ולא רק לפי השנה האחרונה המוצגת בגרף). המרחק של התצפית הנוכחית מסומן במשולש מוגדל, שצבעו משתנה בהתאם לחריגות השוק (אדום/כתום/ירוק). בגרף השני אנו מציגים את ההתפלגות המשותפת של שלושת זוגות המשתנים המרכיבים את השוק בשנה האחרונה. גרף זה מאפשר להבין אילו מהמשתנים תרמו לחריגות השוק ביום מסוים. בכל התפלגות אנו מסמנים את החריגים וממספרים אותם לפי מרחקי המהלנוביס העמידים (מגרף ראשון); מהחריג ביותר ועד הכי פחות חריג. הערכים המקוריים של החריגים מובאים בטבלה למטה מצד ימין. בנוסף, אנו מציינים את האליפסה המייצגת את קו האחוזון ה-97.5 בהתפלגות הדו-נורמלית (על בסיס התפלגות ארוכת הטווח). זהו קירוב בלבד לגבול החריגות משום שאנו משתמשים בהתפלגות עם שלושה משתנים ולא שניים, וכן ההתפלגות האמפירית עלולה להיות שונה מזו הנורמלית. התצפית האחרונה מסומנת גם כאן במשולש מוגדל. להלן דוגמה של שני הגרפים כפי שנתקבלו עבור שוק המניות.

<sup>2</sup> אנו מניחים, בשלב זה, כי למאפיינים שבחרנו עבור השווקים השונים אין מתאם סדרתי (serial correlation), מתאם המחייב טיפול שונה מעט מהשיטות שנבחרו. הנחה זו נבדקה עבור מבחר סדרות ונמצאה סבירה.

Robust Mahalanobis Distance



bivariate distribution of the variables in the last year (standardized)

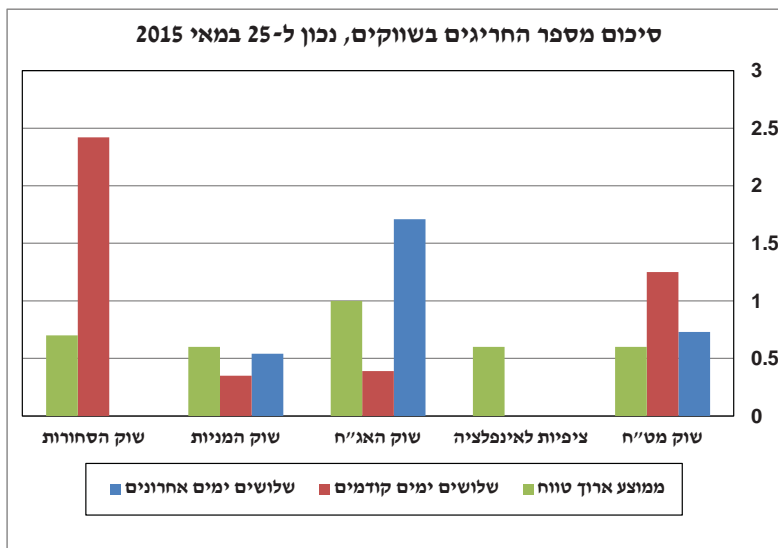


**outliers - original values**

obs*	date	%change	log_vol	log_rng
1	14-12-2014	-0.6	22.22	2.21

\* number of outlier in graph

בלוח (outliers), החריגים ממוינים מגבוה לנמוך ומוצגים בו שלושת המשתנים (בערכיהם המקוריים) שעל פיהם נקבעה חריגות השוק. אחת התובנות שניתן להסיק מהשכבה הראשונה במערכת רמזור היא האם סדרות או שווקים מסוימים היו תנודתיים במהלך התקופה האחרונה בהשוואה להתפלגות ארוכת הטווח. לשם כך, המערכת מייצרת לוח וגרף המסכמים את מספר החריגים במהלך התקופה האחרונה (30 הימים הקלנדריים האחרונים), לעומת התקופה הקודמת (30 הימים שקדמו להם) ולעומת ההתפלגות ארוכת הטווח (5 השנים אחרונות – ממוצע וסטיית תקן) לכל 50 הסדרות הנבחנות. על פי פרמטרים אלה יכולים קובעי המדיניות, אנליסטים ומשקיעים להעריך האם התקופה האחרונה היתה "שקטה" יחסית או "רועשת". בגרף להלן מוצגים ממוצעי מספר החריגים לסדרה (חריגה מקומית, גלובלית ומשולבת) בכל אחד מחמשת השווקים הנבחנים.



כפי שעולה מהגרף, במאי 2015 עמד מספר החריגים בשוק האג"ח על 1.71 חריגים בממוצע לסדרה בהשוואה לממוצע ארוך טווח של חריג אחד בכל סדרה. לעומת זאת, בשוק הסחורות לא זוהו חריגים כלשהם במאי בעוד שבאפריל, מספר החריגים הגיע ל-2.4. נתונים אלה עקביים עם התנודתיות החזקה במחירי אגרות החוב בעולם ובישראל במאי ובמחירי הנפט באפריל.