מדינת ישראל
משרד התחבורה
השירות המטאורולוגי

מגמות בגשם כבד בישראל בתקופה 2021-1951

אסף ציפורי, יצחק יוסף, נועם חלפון

08/02/2022

מדינת ישראל
משרד התחבורה
השירות המטאורולוגי

אדר התשפ״ב
פברואר 2022
סימוכין: 4000-0804-2022-0000004

מגמות בגשם כבד בישראל בתקופה 1951-2021

ד״ר אסף ציפורי, ד״ר יצחק יוסף, ד״ר נועם חלפון

תקציר

בשנים האחרונות מסתמן כי חלה עליה במספר אירועי ההצפות והשיטפונות בארץ. כדי לבחון עד כמה סוגיה זו כרוכה גם בשינויים במאפייני הגשמים, ערכנו בחינה של מגמות בימי גשם בעלי פוטנציאל להצפות (״גשם כבד״) בישראל לתקופה 1951-2021 (71 שנים). בסיס הנתונים הינו נתוני גשם יומיים הומוגניים מ-58 תחנות ברחבי הארץ (מקו הגשם, איזוייטה, 100 מ״מ וצפונה). על בסיס נתונים אלו חושבו ונותחו המגמות עבור כמויות גשם מקסימאליות שנמדדו במהלך יום, ומצטברות לשלוש ושבע יממות עוקבות בשנת גשם. בנוסף, נבדקו השינויים במספר ימי הגשם שעברו ערכי סף של 50 ו-70 מ״מ ליום וכן נבחנה תדירות האירועים בהן הצטברו לפחות 80, 100, ו-120 מ״מ ב-2, 3, ו-4 יממות גשם עוקבות, בהתאמה. הניתוחים הנ״ל בוצעו הן עבור כל תחנה בנפרד והן עבור שבעה אשכולות של תחנות בעלות מאפיינים דומים במרחב שהוגדרו באופן אובייקטיבי באמצעות ניתוח אשכולות היררכי (Hierarchical Cluster Analysis).

ממצאי המחקר מראים כי ברוב חלקי הארץ קיימת מגמת עליה בכמות הגשם היומית המקסימאלית השנתית, אך זו נמצאה מובהקת (ברמה של 5%) בחלקה הצפון מערבי של הארץ בלבד. בבחינת המגמות בגשם המקסימאלי בארבעת העשורים האחרונים (1981-2021) נמצאו מגמות גידול חזקות יותר לעומת הבחינה של כל התקופה (1951-2021), כאשר גם בניתוח זה אזור צפון מערב הארץ היה בעל המגמות החזקות והמובהקות ביותר. בתקופה הקצרה נמצאו מגמות עליה מובהקות גם במרכז הארץ.

בחינת המגמות באירועי סף כפי שהוגדרו לעיל מראה כי ברוב התחנות ישנה עלייה בתדירות האירועים במחצית השנייה של התקופה הנבחנת (1986-2021) לעומת המחצית הראשונה (1951-1985), כאשר עיקר השינוי גם במקרה זה מתרחש בצפון מערב הארץ. בדומה לניתוח המגמות בגשם המקסימאלי, רק חלק קטן יחסית מהתחנות מראה הבדל מובהק סטטיסטי ברמה של 5%. כמו כן, בתחילת התקופה הנבחנת (מ-1951 ועד תחילת שנות ה-80) נמצאה ירידה בתדירות של רוב המדדים הנבחנים, ואילו משנות ה-80 ואילך ישנה עלייה. בחלק מהאשכולות התדירות המקסימאלית שנמצאה בתקופה הנבחנת נמצאה בתחילת סדרת הזמן ולא בסופה. בנוסף, מניתוח הרגרסיה הלוגיסטית עולה כי, בצפון מערב הארץ הסיכוי לקיום אירועים אשר יעברו את ערכי הסף המוגדרים לעיל עלו בצורה ניכרת כאשר העליות החדות והמובהקות ביותר נמצאות במישור החוף הצפוני.

מחקר זה מראה כי בצפון מערב הארץ קיימת מגמת התגברות לאירועי גשם כבד, כמו גם עלייה בכמויות הגשם המקסימאלי במדדים שנבחנו. מישור החוף המרכזי גם כן מאופיין בנטייה לעליה במדדים השונים אם כי פחות חזקה ומובהקת. לממצאים אלו עשויה להיות השפעה מהותית על החקלאות בארץ ועל מערכות תכנון ניקוז בערים ובאזורים מיושבים.

1. רקע

בתקופה האחרונה אנו עדים ליותר שיטפונות והצפות ונזקים הנגרמים בגינן. בשנים האחרונות בוצעו מספר מחקרים מטעם השירות המטאורולוגי הבוחנים את משטר הגשמים בארץ. בדו"ח של חלפון ויוסף (2021), המציג את השינויים במשטר הגשמים בישראל בשלוש תקופות תקן של 30 שנים כל אחת (1931-1960, 1961-1990, 1991-2020), נמצא כי בתקופה האחרונה (1991-2020) ישנה ירידה של כ-5 ימים בממוצע במספר ימי הגשם, בהם ירדו לפחות 1 מ"מ ביום, במרבית התחנות לעומת התקופה 1961-1990. מבחינת מספר ימי הגשם בהם ירדו לפחות 50 מ"מ ביום, נמצאה במרבית התחנות עלייה קלה (לא מובהקת סטטיסטית). מחקר זה מצא גם מגמות ירידה לא מובהקות בכמויות המשקעים במזרח הארץ בתקופה האחרונה, לצד עליות חלשות ולא מובהקות בכמויות הגשם בצפון מערב הארץ. מחקר נוסף שבחן את מגמות השינוי בכמות הגשם השנתית בין 1951 ל-2017 מצא כי, ישנה מגמת ירידה (לא מובהקות סטטיסטית) של כ-4 מ"מ לעשור בכמות הגשם הארצית. נטייה גדולה יותר להפחתה בכמות המשקעים בשיעור של כ-25 מ"מ/עשור נמצאה בתקופה 1988-2017, ללא מובהקות סטטיסטית *(Yosef et al., 2019)*. כמו כן, מספר ימי הגשם בעשורים האחרונים נמצא בנטייה לירידה, נטייה הצפויה להימשך לפי התחזיות של המודלים האקלימיים *(יוסף ועמיתיו, 2019)*.

בחינת מגמות באירועי גשם קיצוניים משנת 1920 ועד 2015 *(יוסף ועמיתיו, 2016)* מראה כי, בהערכה כלל ארצית (ללא הבחנה בין חלקי הארץ השונים) נמצאה מגמה שלילית מינורית ולא מובהקת (p-value =0.76) במספר המקרים בהם ירדו לפחות 110 מ"מ ביממת גשם אחת. לעומת זאת, במספר המקרים בהם ירדו לפחות 200 מ"מ במהלך מערכת גשם אחת, נמצאה מגמת עליה לא מובהקת (p-value=0.29), וכן פרק הזמן שבין אירוע לאירוע מתקצר (גם כן ללא מובהקת סטטיסטית). בנוסף, לא נמצאו הבדלים מובהקים במספר האירועים בשני מדדים אלו בהשוואה בין תקופות שונות. יש לציין כי מחקר זה התמקד באירועים קיצוניים מאוד ולכן תדירותם בסדרת הזמן הינה נמוכה.

במחקר הנוכחי ננסה לענות על השאלה האם קיימת מגמת עליה בתדירות אירועי גשם מתונים יותר, אך עדיין כאלו המאופיינים בכמויות גשם גדולות על פני יממת גשם ו/או מצטברות על פני מספר יממות עוקבות. כמו כן, ננסה להעריך את שיעור השינוי בתדירות אירועים אלו תוך התמקדות באזורים שונים ברחבי הארץ.

2. שיטות ובסיס נתונים

2.1. נתוני הגשם וחלוקת התחנות לאשכולות

נתוני הגשם היומיים[1] נלקחו מ-58 תחנות הומוגניות *(Yosef et al., 2019)* ברחבי הארץ, בתקופה 1950/1 עד 2020/1. מלבד 4 תחנות (אייל, חיפה נמל, נחל-עוז ולהב) שהתחילו לפעול בשנים מאוחרות יותר (בשנות הגשם[2] 1952, 1952, 1953 ו-1953, בהתאמה) לשאר התחנות קיים בסיס נתונים הומוגני החל משנת הגשם 1951. רשימת שמות התחנות, מספר התחנה, מיקומה ושנת הגשם שממנה יש נתונים למחקר הנוכחי מובאות בנספח 1.

[1] יממת גשם מוגדרת ככמות הגשם המצטברת מ- 08:00 ועד 08:00 ביום שלמחרת, על פי שעון חורף.
[2] שנת גשם מוגדרת מה-1 באוגוסט ועד ה-31 ביולי בשנה העוקבת. השנה מציינת את שנת סיום התקופה (לדוגמא, שנת הגשם 1951 הינה מאוגוסט 1950 ועד יולי 1951).

הגשם בישראל מאופיין בשונות מרחבית גבוהה בזמן ובמרחב. מכאן, יתכנו מצבים בהם בתחנה מסוימת ימדדו כמויות שיעברו את הספים הנבדקים בעוד שבתחנה סמוכה לה ספים אלו לא יחצו. כדאי לתת ייצוג מרחבי הולם חולקה הארץ (בשיטה אובייקטיבית) למספר "אשכולות" כשכל אשכול מכיל מספר תחנות גשם. כמויות הגשם המדודות מכל התחנות חולקו באמצעות שיטת Hierarchical Cluster Analysis, בה מערך נתוני הגשם היומי חולק לקבוצות על-בסיס הדמיון בין התחנות. כדי ליצור אחידות מלאה בתקופת הנתונים, ניתוח זה הוחל על כלל נתוני הגשם משנת הגשם 1953 ואילך. מתוך ניתוח זה התקבלו שבעה אשכולות, הנבדלים בעיקר בקו הרוחב שלהם. בצפון הארץ התקבלו ארבעה אשכולות הנבדלים גם בקו האורך שלהם. נספח 2 מציג את תוצאות ניתוח האשכולות ואת שמות האשכולות. יש לציין כי למרות הניתוח האובייקטיבי שנעשה, הוחלט להעביר את תחנת לביא (213598) מהאשכול של חיפה ועמק יזרעאל לאשכול של צפון בקעת הירדן עקב התאמה גיאוגרפית טובה יותר.

2.2. ניתוחים סטטיסטיים

במחקר הנוכחי נבחנו שמונה מדדים שונים המצביעים על אירועי גשם כבד. שלושה מדדים "רציפים" וחמישה מדדים "בדידים" הבנויים על מספר אירועים שעברו ערכי סף כמפורט בטבלה 1.

2.2.1. ניתוח מגמות למדדים הרציפים

ניתוח המגמות למדדים הרציפים נעשה באמצעות רגרסיה לינארית על ידי שימוש במבחן Mann-Kendall ובאומדן Theil–Sen estimator. שיטות אלו הינן מקובלות מאוד ונמצאות בשימוש נרחב בתחום ההידרולוגיה וניתוח מגמות משקעים *(Yue and Wang, 2004; Valdes-Abellan et al., 2017; Folton et al., 2019)*. שתי שיטות אלו הן שיטות א-פרמטריות ויתרונן הוא בכך שאין צורך להניח דבר על האופן בו הנתונים מתפלגים (למשל, שהנתונים מתפלגים נורמאלית). בנוסף, מעצם היותן שיטות א-פרמטריות, הן עמידות יותר לערכי קיצון היכולים להשפיע על הערכת המגמה אם מתבצעת באמצעות רגרסיה לינארית פשוטה (OLS). יש לציין כי תנאי חשוב למבחן Mann-Kendall הוא אי תלות בזמן של הנתונים. הנחה זו נבחנה ולא נמצאה תלות בין הנתונים בכל אחת מסדרות הזמן בכל המדדים. ניתוחים אלו יושמו על סדרות הזמן של כל תחנה בנפרד ועל סדרות הזמן של האשכולות, תוך חלוקה לשתי תקופה עניין. האחת, הינה תקופה ארוכה ומלאה של הנתונים (1951-2021) והשניה תקופה קצרה יותר המתמקדת בארבעת העשורים האחרונים (1981-2021). להלן "תקופה ארוכה" ו"תקופה קצרה", בהתאמה.

לצורך הפקת סדרות הזמן לאשכולות, הגשם היומי מכל התחנות המשתייכות לאשכול מסוים מוצע, וערכי המקסימום היומי (Rx1day) והמצטברים לשלושה ושבעה ימים (Rx3day, Rx7day) חושבו לכל שנת גשם.

2.2.2. ניתוח שינויי בתדירות המדדים הבדידים

כדי לבחון את השינוי בתדירות אירועי הסף, על פי המדדים הבדידים המוגדרים בטבלה 1, סדרת הזמן של כל תחנה חולקה לשתי תקופות עוקבות (1951-1985 ו- 1986-2021). ההשוואה בין התקופות בוצעה באמצעות מבחן Mann-Whitney U Test.

מגמות השינוי בתדירות האירועים באשכולות נבחנו גם באמצעות פילטר Lowess (locally weighted scatterplot smoothing) על סדרות הזמן. זהו פילטר המשתמש ברגרסיה מקומית עם משקולות כפונקציה של המרחק משנת העניין (נעשה שימוש ב-2/3 מבסיס הנתונים לכל נקודת עניין). לצורך הפקת סדרות הזמן לניתוח

זה, לכל שנת גשם חושב ממוצע מספר המקרים מכל התחנות המשתייכות לאשכול מסוים. השימוש בפילטר זה מקובל בניתוח של נתוני אקלים ומחקרים הידרולוגים ונעשה בו שימוש נרחב במחקרים קודמים בעולם *(Satagopan and Rajagopalan, 1994; Flecker et al., 2006; Ahmad et al., 2015)*. יש לציין כי פילטר זה עמיד להשפעות של שנים קיצוניות במיוחד (דוגמת שנת הגשם 1992).

בנוסף לכך חושבה המגמה באמצעות רגרסיה לוגיסטית לסדרות הנתונים של האשכולות. לצורך יישום שיטה זו יש להקפיד על אי תלות בין הנתונים. ההפרדה לאירועים בלתי תלויים נעשתה על ידי שני תנאים: הראשון הוא שבמקרה ובמספר תחנות התקיים אירוע סף באותו היום, אירוע זה נספר כאירוע בודד. התנאי השני היינו שהמרחק בין סוף לתחילת אירוע בתוך אשכול נתון, חייב להיות לפחות 7 ימים, זאת כדי להבדיל בין מערכות הגשם השונות. האירועים הבלתי תלויים מכל שנת גשם נסכמו ועל בסיס סדרות זמן אלו חושב "יחס הסיכויים" לאורך התקופה באמצעות רגרסיה לוגיסטית *(יוסף ועמיתיו, 2016; Frei and Schar, 2001)*. הסבר כללי על הרגרסיה הלוגיסטית מפורט בנספח 3.

טבלה 1: פירוט המדדים שנבדקו במחקר הנוכחי.

סוג משתנה	שם	תיאור המדד
רציף	Rx1day	כמות גשם מקסימאלית יומית בשנת גשם
רציף	Rx3day	כמות גשם מקסימאלית מצטברת לשלושה ימים עוקבים בשנת גשם
רציף	Rx7day	כמות גשם מקסימאלית מצטברת לשבעה ימים עוקבים בשנת גשם
בדיד	R50mm	מספר הימים בשנת גשם בהם נמדדו לפחות 50 מ"מ/יום
בדיד	R70mm	מספר הימים בשנת גשם בהם נמדדו לפחות 70 מ"מ/יום
בדיד	R2day_80mm	מספר האירועים בשנת גשם שבמשך 2 יממות עוקבות נמדדו לפחות 80 מ"מ
בדיד	R3day_100mm	מספר האירועים בשנת גשם שבמשך 3 יממות עוקבות נמדדו לפחות 100 מ"מ
בדיד	R4day_120mm	מספר האירועים בשנת גשם שבמשך 4 יממות עוקבות נמדדו לפחות 120 מ"מ

2.3. משמעות המדדים

מטרת מחקר זה היא לבחון את המגמה בהישנות אירועי גשם כבד ובתנובת הגשם המקסימאלית בישראל, להם נודעת השפעה על מגוון מגזרים שונים במשק, ביניהם המגזר החקלאי, רשות המים, רשויות מקומיות ועוד. לשם כך גובשו מספר מדדים לצורך ניטור ובחינה של מגוון אפשרויות. כך משל, אירועי הצפה / שיטפונות לא ניתן לכמת באמצעות מדד אחד של גשם יומי או כמות מצטברת שכן מגוון של תרחישים יכולים לגרום להצפות, כאשר ישנה תלות בסוג הקרקע, התכסית, אפשרויות הניקוז בתא השטח וכמויות הגשם שירדו בזמן שלפני אירוע ההצפה. לדוגמא, אירוע בו יורדים 30 מ"מ ביממה הוא בעל פוטנציאל נמוך לגרימת הצפה, שונה הדבר במידה ואירוע זה מתרחש לאחר אירוע גשם קודם וסמוך לו שהוביל לכך שהקרקע כבר רוויה ולכן הפוטנציאל

להצפה עולה. כמו כן, באירועים בהם יורדים כמויות גדולות של גשם בזמן קצר ישנה חשיבות למצב הרוויה של הקרקע והתכסית בסביבה.

בחלק זה יוסברו השיקולים לבחירת כל מדד שנבחר בדו"ח הנוכחי. חשוב לציין כי כל מדד בוחן מקרים שונים במקצת, ולמרות שקיימת חפיפה ביניהם, בשילוב שלהם יחד הם משלימים מידע ויוצרים תמונה מלאה וברורה יותר.

2.3.1. מדדים רציפים:

- <u>גשם מקסימאלי יומי (Rx1day)</u>: מדד זה בוחן את השינוי בכמות הגשם היומית הגדולה ביותר מדי שנת גשם. מדד זה סוכם את כמות הגשם המצטברת ביממת גשם אחת, כאמור מ-08:00 ועד 08:00 ביום שלמחרת. מכאן שמקרה שבו אירוע גשם "החוצה" את 08:00 בבוקר יגרום לחיתוך של הכמות בכל האירוע.
- <u>גשם מקסימאלי תלת יומי (Rx3day)</u>: מדד זה עוקב אחר כמות הגשם המקסימאלית במשך שלושה ימים רצופים. אורכה של מערכת גשם אופיינית בישראל היא כשלושה ימים, ומכאן החשיבות של מדד זה. המגמות במדד זה מתארות את השינוי בעוצמות המערכות מבחינת כמות המשקעים.
- <u>גשם מקסימאלי שבועי (Rx7day)</u>: מדד זה עוקב אחר כמות הגשם המקסימאלית על פני 7 ימים רצופים. מדד זה נבחר כדי לייצג מצב בו יש שתי מערכות גשם עוקבות או לחלופין מערכת גשם אחת ארוכה. באמצעות מדד זה ניתן לנטר גם מצב בו היו גשמים מקומיים שהקדימו את המערכת הראשית והרוו את הקרקע, ואז המערכת העיקרית נכנסה למצב שבו יכולת הספיגה של הקרקע פחתה בצורה משמעותית.

2.3.2. מדדים בדידים (אירועי סף):

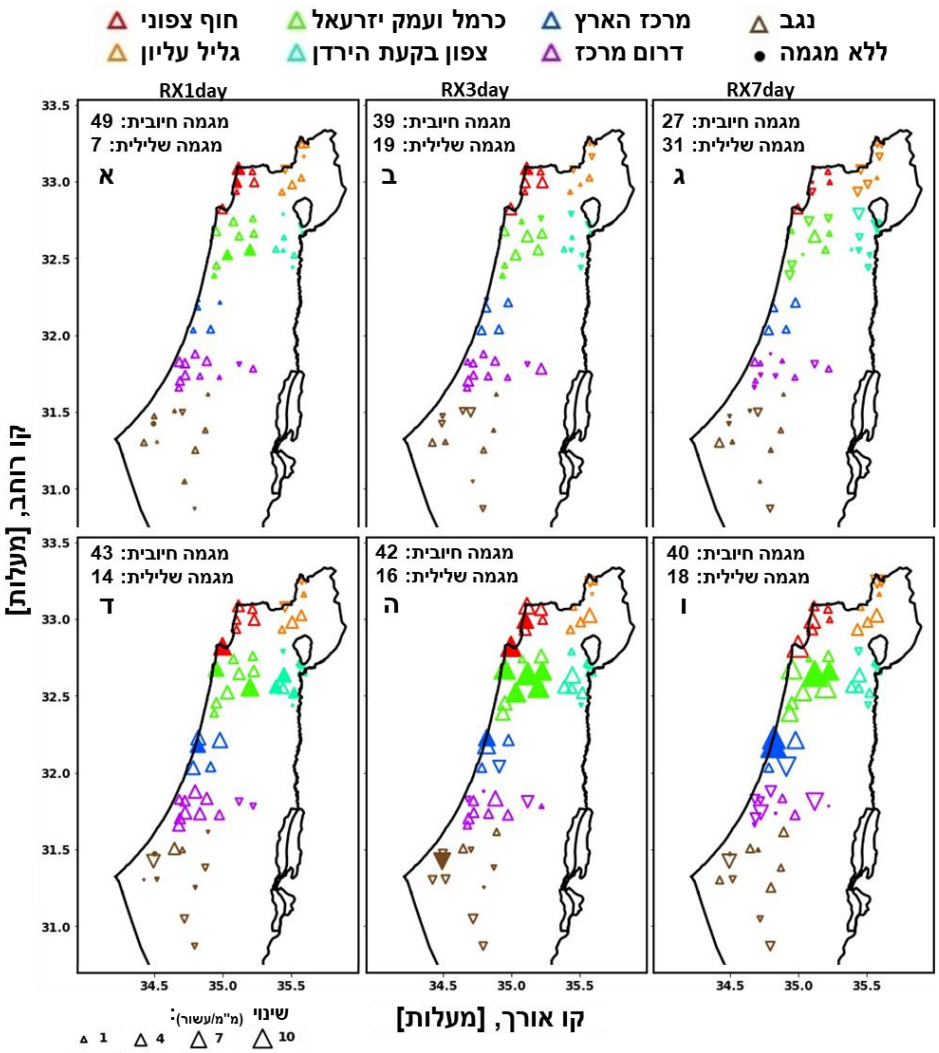
בניגוד למדדים הרציפים, בהם יש נתון המציין את כמות הגשם המקסימאלית בכל שנה, בבחירת המדדים הבדידים יש לאזן בין שני גורמים: (א) המדד צריך להיות כזה שאכן יתאר אירועים של גשם כבד, (ב) תדירות האירועים צריכה להיות מספקת בכדי לאפשר ניתוח סטטיסטי (אירועים נדירים מדי יקשו למשל על ניתוח המגמות שכן סדרת הזמן תהיה מורכבת בעיקר מאפסים).

- כמות גשם יומית של מעל 50 / 70 מ"מ (R50mm / R70mm): מדד זה בוחן מצד אחד ספים הנחשבים לאירועי "גשם כבד" ומצד שני כמויות לא מאוד קיצוניות באופי הגשם בארץ. עם זאת, ספים אלו הינם בעלי פוטנציאל לנזק וקיום הצפות, במיוחד אם הקרקעות כבר רוויות מגשם קודם. הבחירה בשני מדדים מגיעה כדי לבחון את תדירות קיום אירועים אלו בשתי דרגות חומרה.
- כמות גשם של 80 מ"מ ביומיים רצופים (R2day_80mm): מדד זה מאפשר לנטר מגמות בכמות הגשם על פני שתי יממות בהן הצטברו 80 מ"מ ומעלה, ללא החיתוך המלאכותי עם סיום המדידה היומית מדי 08:00. כמו כן, ניתן לעקוב באמצעות מדד זה גם אחר מקרים שבהם הגשם התפרס על יומיים, כאשר בכל יום לבדו לא נמדדה כמות חריגה החוצה 50 מ"מ או 70 מ"מ ביום (למשל 40 מ"מ בכל יום).
- כמות גשם של 100 ו-120 מ"מ בשלושה ימים וארבעה ימים, בהתאמה (R3day_100mm, R4day_120mm): מטרת שני מדדים אלו היא לבחון את מספר המקרים שבהם מערכות גשם הניבו כמויות גשם גדולות היכולות לגרום להצפות, גם אם בכל יום נמדדה כמות שלא חוצה את ספים היומיים המוגדרים כאן.

3. <u>תוצאות</u>

3.1. ניתוח מגמות בכמויות גשם מקסימאלי (מדדים רציפים)

איור 1 מציג את שיעור וכיוון המגמות ומובהקותן הסטטיסטית (α=0.05) של כמויות הגשם המקסימאליות בתחנות השונות, לתקופה הארוכה והתקופה הקצרה. ככלל, ניתן להבחין כי ברוב התחנות ישנה נטייה לעליה בכמות הגשם המקסימאלית שנמדדה במשך יממה אחת, שלוש יממות ושבוע, אך מרבית המגמות לא נמצאו מובהקות סטטיסטית ברמה של 5%. המגמות החזקות והמובהקות ביותר נמצאו בשני האשכולות הצפון מערבים (אשכול החוף הצפוני ואשכול הכרמל ועמק יזרעאל), דבר הבא לידי ביטוי בעיקר בתקופה הקצרה במדד ה-Rx3day (איור 1.ה.). ככל שעוברים מזרחה ו/או דרומה, ישנה היחלשות של המגמות והשינויים נעשים מובהקים פחות. במדד ה-Rx7day, אף תחנה לא הראתה מגמה מובהקת בתקופה הארוכה.



איור 1 : תוצאות המגמות בנתוני הגשם המקסימאלים השנתיים שנמדדו ביממת גשם אחת (א, ד), במשך שלוש יממות עוקבות (ב, ה) ובמשך שבוע (ג, ו). פאנלים עליונים מציגים את המגמות בסדרת הזמן הארוכה (1951-2021) ופאנלים תחתונים את המגמה בסדרת הזמן הקצרה (1981-2021). כיוון המשולשים מצביע על כיוון המגמה, צבע המשולשים מראה את האשכול כמפורט במקרא למעלה וגודל המשולש פרופורציונאלי לשיעור המגמה (במ"מ/לעשור). משולשים מלאים מציינים מגמות ברמת מובהקות נמוכה או שווה מ-5%. תחנות שלא נראה בהם שינוי (שיפוע 0) מוצגות כעיגולים בצבע של האשכול שאליו הן משתייכות.

בדיקת המגמות בתקופה הקצרה מראה שככלל המגמות חזקות ומובהקות יותר ממה שנראה בתקופה הארוכה בשלושת המדדים הרציפים ובפרט באשכולות המערביים: חוף צפוני, כרמל ועמק יזרעאל ומרכז הארץ. הבדל בולט נוסף בין שתי התקופות נראה גם באשכולות הצפון מזרחים (גליל עליון וצפון בקעת הירדן). בעוד שבתקופה הארוכה נמצאה נטייה לא מובהקת להפחתה בכמות הגשם המקסימאלית ב-Rx3day וב-Rx7day (איור 1.ב. ו-

1.ג.), בתקופה הקצרה נצפתה נטייה לעליה במדדים הללו (ללא מובהקות סטטיסטית). במדד ה-Rx1day בצפון בקעת הירדן נמצא מקבץ של תחנות בהן קיימת מגמת עליה מובהקת בתקופה הקצרה, ולעומת זאת בתקופה הארוכה תחנות אלו מראות על מגמות חלשות, לא משמעותית ולא מובהקות. פירוט התוצאות לכלל התחנות, ולשתי התקופות (גודל השיפוע והמובהקות) מובאות בנספח 4 ונספח 5.

הבדל נוסף שעולה מניתוח שתי התקופות הוא שבניתוח התקופה הארוכה נראה כי מספרן הכללי של התחנות שהציגו נטייה חיובית הולך ויורד ככל שבוחנים מדד בעל משך ארוך יותר. זאת בניגוד למגמות בתקופה הקצרה בהן לפחות 40 מתוך 58 התחנות מציגות מגמה חיובית ללא קשר למשך המדד (איור 1, נספח 4, נספח 5).

כאמור, תחנות הגשם חולקו לשבעה אשכולות המייצגים אזורים שונים בארץ. החלוקה לאשכולות מאפשרת ראייה ממוקדת יותר של המגמות על-פי אזורים (טבלה 2). ניתן לראות כי המגמות ורמות המובהקות שרואים באיור 1 משתקפות בניתוח האשכולות, כאשר האשכולות הצפוניים והמערבים מאופיינים במגמות החזקות והמובהקות ביותר וביתר שאת ב-40 השנים האחרונות (ביחוד ב-Rx1day ו- Rx3day).

טבלה 2: תוצאות המגמות (במ"מ לעשור) באשכולות השונים. הצד הימני של הטבלה מציג את התוצאות לתקופה הארוכה (1951-2021) והצד השמאלי את התקופה הקצרה (1981-2021). שם המדד המוצג רשום מימין לטבלה. הצבעים מייצגים את כיוון וגודל השיפועים ורמות המובהקות כפי שמופע בתחתית הטבלה.

		תקופה ארוכה		תקופה קצרה	
		שיפוע, [מ"מ/עשור]	רמת מובהקות	שיפוע, [מ"מ/עשור]	רמת מובהקות
Rx1Day	חוף צפוני	2.0	0.011	3.9	0.052
	גליל עליון	0.7	0.336	1.2	0.537
	חיפה ועמק יזרעאל	1.7	0.035	3.9	0.029
	צפון בקעת הירדן	0.1	0.789	2.0	0.160
	מרכז	1.0	0.372	4.5	0.078
	מרכז דרומי	0.9	0.372	1.8	0.375
	נגב	0.0	0.992	-0.4	0.694
Rx3Day	חוף צפוני	2.4	0.147	5.1	0.099
	גליל עליון	-0.2	0.901	1.4	0.728
	חיפה ועמק יזרעאל	1.6	0.237	7.0	0.017
	צפון בקעת הירדן	0.1	0.913	2.4	0.351
	מרכז	0.8	0.641	0.4	0.973
	מרכז דרומי	1.2	0.399	0.2	0.955
	נגב	0.3	0.789	-0.2	0.919
Rx7Day	חוף צפוני	0.7	0.796	4.8	0.328
	גליל עליון	-1.0	0.713	1.6	0.779
	חיפה ועמק יזרעאל	-0.8	0.736	5.7	0.154
	צפון בקעת הירדן	-1.5	0.451	1.5	0.552
	מרכז	2.0	0.500	4.8	0.363
	מרכז דרומי	0.2	0.960	-4.5	0.508
	נגב	0.3	0.816	1.2	0.637

רמת מובהקות:

<0.01 | <0.05 | <0.1

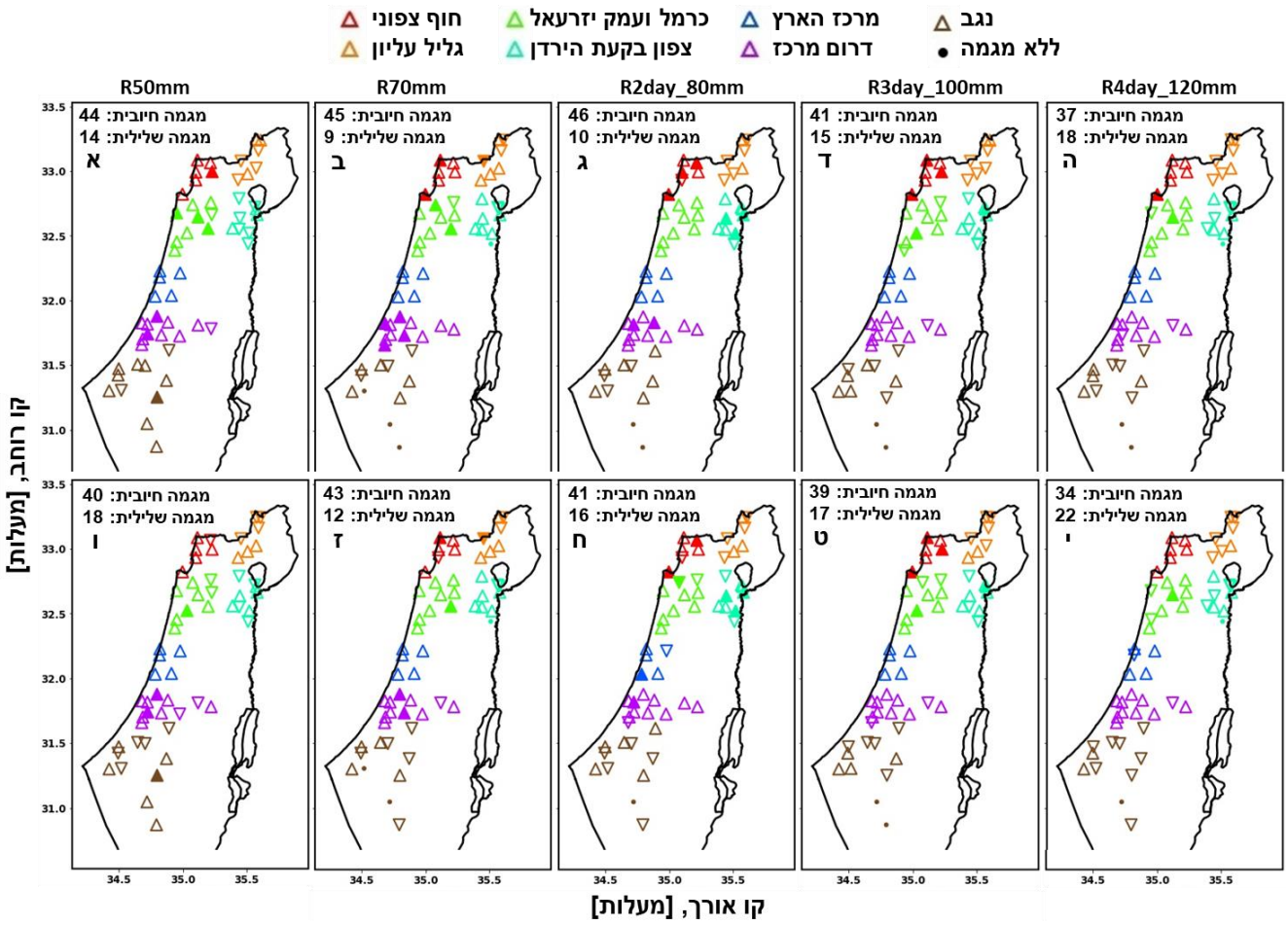
Max — 0 — Min

3.2. ניתוח מגמות באירועי סף (משתנים בדידים)

3.2.1. שינוי בתדירות האירועים בתחנות

השינוי בתדירות באירועי סף נבחן באמצעות מבחן השוואתי (Mann-Whitney U Test) שבו חולק בסיס הנתונים לשתי תקופות, מחצית ראשונה מ-1951 ועד 1985 ומחצית שניה מ-1986 ועד 2021. תוצאות המבחן ההשוואתי מוצגות באיור 2 (א - ה). ניתוח זה בוחן האם יש שינוי בתדירות המדד והאם השינוי מובהק.

בדומה לניתוח של כמויות הגשם המקסימאלי, נראה כי ברוב התחנות תדירות האירועים עלתה בתקופה האחרונה לעומת השנים 1951-1985. נמצא שבממוצע בכ-75% מהתחנות הנבדקות נצפתה עליה במדדים הנבחנים ובפרט במדדים של R50mm, R70mm ו- R2day_80mm. העליה בתדירות נצפתה בעיקר באשכולות חוף צפוני, כרמל ועמק יזרעאל ודרום מרכז. עם זאת חשוב להדגיש כי גם בניתוח זה, השינוי נמצא מובהק סטטיסטית רק במעט תחנות.



איור 2: תוצאות מבחן Mann-Whitney U-test לבחינת ההבדלים בתדירות האירועים בין המחצית הראשונה (1951-1985) של התקופה לחלקה השני (1986-2021). הפנלים בשורה העליונה (א'-ה') מציגים את תוצאות הניתוח למספר האירועים בכל שנה, והפאנלים התחתונים (ו'-י') מציגים את תוצאות הניתוח לשנים שבהם היה אירוע (שנה שהתקיים בה אירוע אחד לפחות קיבלה את הספרה 1). פאנלים א' ו-ו' מראים את הניתוח למדד R50mm, פאנלים ב' ו-ז' למדד R70mm, פאנלים ג' ו-ח' למדד R2day_80mm, פאנלים ד' ו-ט' למדד R3day_100mm, ופאנלים ה' ו-י' למדד R4day_120mm. כיוון המשולשים מציין את כיוון השינוי עליה או ירידה בתדירות (אין חשיבות לגודלם). תחנות שלא התגלה בהם הבדל בין שתי התקופות מוצגות כעיגולים בצבע של האשכול שאליו הן משתייכות. תחנות עם הבדלים מובהקים ברמה של 5% מוצגות כמשולשים מלאים.

מתוך הבנה כי בשנה ברוכת משקעים הסיכוי לעבור את הספים אף מספר פעמים בשנה גדל ואילו בשנים ממוצעות ו/או בשנים מתחת לממוצע הסיכוי לעבור את הספים קטן, נעשתה בחינה דיכוטומית (היה או לא היה באותה השנה אירוע), לשינוי בתדירות השנים שבהן מופיעים אירועי סף כפי שמוצג באיור 2, ו'-י'. לצורך כך, גם אם בשנת גשם בתחנה מסוימת היה יותר מאירוע אחד, שנה זו קיבלה את הספרה 1, ואם לא היה אירוע באותה תחנה היא קיבלה את הספרה 0. ניתן לראות שהמגמות המתקבלות משני הניתוחים דומות למדי. ישנם הבדלים ברמת המובהקות בחלק מהתחנות, כאשר לעיתים תחנה שהראתה מגמה מובהקת בניתוח של תדירות האירועים (איור 2, א'-ה') אינה מראה זאת בניתוח של תדירות השנים (איור 2, ו'–י'). פירוט תוצאות מבחנים אלו לכלל התחנות, מוצגים בנספח 6 (לתדירות האירועים) ונספח 7 (לתדירות השנים).

ניתוח השינוי בתדירות האירועים באשכולות (טבלה 3) מראה כי באשכול החוף הצפוני ישנה עליה מובהקת בתדירות בכל אירועי הסף הנבחנים ברמה של לפחות 10%. כמו כן, באשכול חיפה ועמק יזרעאל ישנה עליה מובהקת ברמה של 5% רק במדד R70mm בעוד מדדי ה-R50mm ו-R4day_120mm מראים עליה מובהקת ברמה של 10%. בגליל העליון לעומת זאת ישנה ירידה (לא מובהקת) בכל המדדים.

טבלה 3 : תוצאות מבחן Mann-Whitney U test לבחינת השינוי בתדירות אירועי סף כמפורט בשורה העליונה לאשכולות.

	R50mm		R70mm		R2day 80mm		R3day 100mm		R4day 120mm	
אשכול	רמת מובהקות	שינוי	רמת מובהקות	שינוי	רמת מובהקות	שינוי	רמת מובהקות	שינוי	רמת מובהקות	שינוי
חוף צפוני	**0.054**	עולה	**0.020**	עולה	**0.018**	עולה	**0.019**	עולה	**0.067**	עולה
גליל עליון	0.354	יורד	0.295	יורד	0.354	יורד	0.393	יורד	0.228	יורד
חיפה ועמק יזרעאל	**0.082**	עולה	**0.032**	עולה	0.137	עולה	0.119	עולה	**0.098**	עולה
צפון בקעת הירדן	0.486	עולה	0.497	עולה	0.247	עולה	0.227	עולה	0.323	עולה
מרכז	0.111	עולה	**0.087**	עולה	**0.070**	עולה	0.114	עולה	0.219	עולה
מרכז דרומי	0.105	עולה	**0.080**	עולה	0.103	עולה	0.333	עולה	0.388	עולה
נגב	0.272	עולה	0.155	עולה	0.328	עולה	0.460	עולה	0.401	עולה

רמת מובהקות:

<0.1	<0.05	*<0.01*

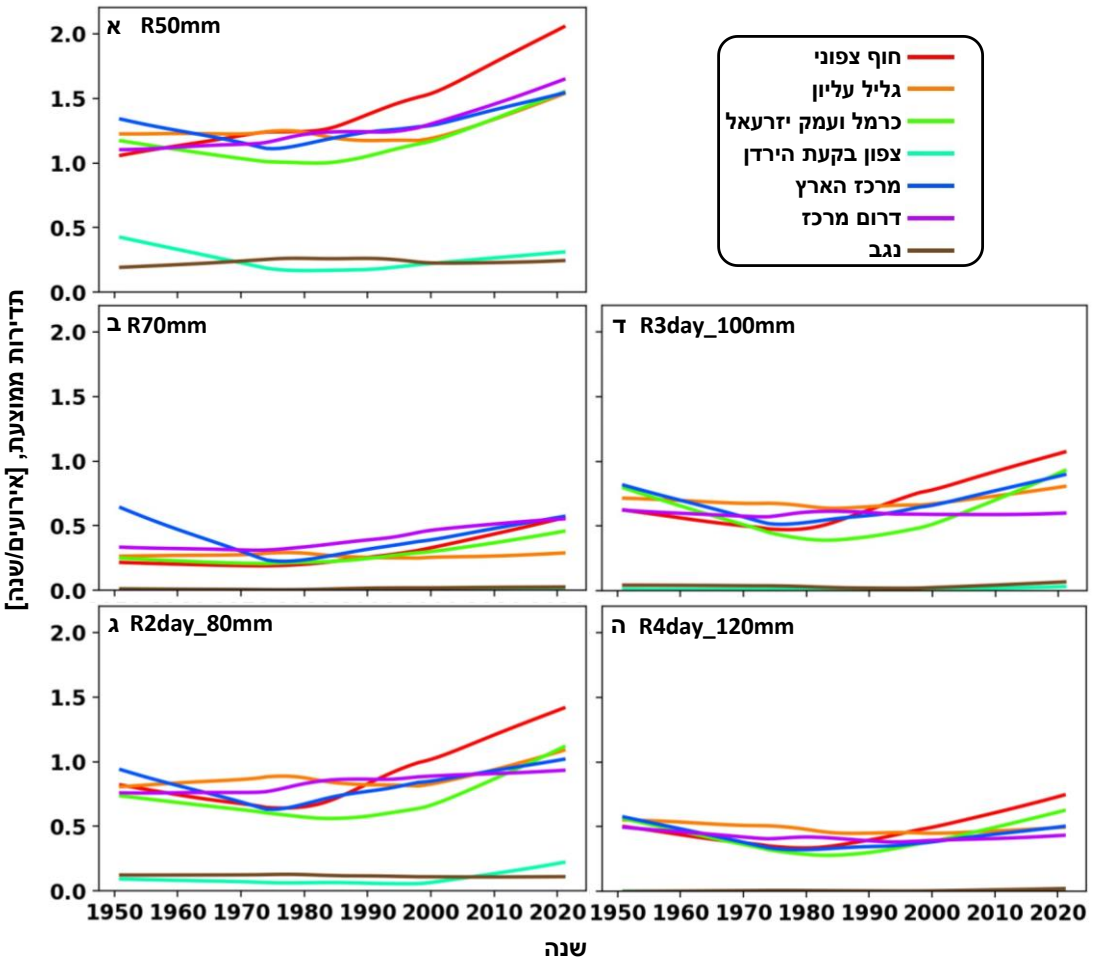
3.2.2. שינוי תדירות האירועים באשכולות

כדי לבחון את המגמות בתדירות אירועי הסף, יושם על סדרות הזמן פילטר Lowess (ראה חלק 2.2.2). תוצאות ניתוח זה מוצגות באיור 3. ניתוח זה מציג תיאור מוחלק של תדירות המדדים השונים (אירועי הסף הבדידים) לאורך השנים.

העלייה החדה והברורה ביותר בתדירות האירועים מתרחשת במדד ה-R50mm באשכול החוף הצפוני (קו אדום, איור 3.א.), כאשר התדירות הממוצעת של האירועים כמעט ומכפילה את עצמה (מתדירות ממוצעת של 1 בתחילת סדרת הזמן ל-2 אירועים בשנה). בדומה להתנהגות של האשכול הצפוני, גם אשכול המרכז הדרומי (קו סגול, איור 3.א.) מראה עליה מונוטונית לאורך כל סדרת הזמן, אם כי בשיעור נמוך יותר המתאפיין בגידול של כ-50% בתדירות האירועים. האשכולות של הגליל העליון, הכרמל ועמק יזרעאל ומרכז הארץ חווים עליה חדה בתדירות בחלקה השני של סדרת הזמן, כאשר לפני כן אשכולות הכרמל ועמק יזרעאל ומרכז הארץ חוו ירידה של כ-25% אחוז עד לשנות ה-80 של המאה הקודמת. לעומת זאת, בגליל העליון לא נראית ירידה כזו ורק לקראת שנות ה-2000 מתחילה עליה בתדירות האירועים. המינימום בתדירות האירועים סביב שנות ה-80 באשכול מרכז

הארץ נראה גם במדדים האחרים, כאשר בחלקם (R70mm ו-R4day_120mm) המקסימום האבסולוטי באשכול המרכז הוא בתחילת סדרת הזמן. אמנם יש אשכולות נוספים בהם מהלך המגמה הינו דומה, אולם באשכול מרכז הארץ הדבר הוא הבולט ביותר. ככלל, למעט באשכול הנגב, צפון בקעת הירדן ובמידה מסוימת גם בגליל עליון, מהלך השינוי די דומה במדדים באשכולות השונים. מהלך זה מתאפיין בכך שבחלקה הראשון של סדרת הזמן ניתן לראות יציבות מסוימת או ירידה בתדירות האירועים, בעוד שבחלקה השני ניתן להבחין בעליה מונוטונית בתדירות.

נקודת המינימום במספר אירועי הקיצון, שלרוב מופיעה בסוף שנות ה-70 של המאה הקודמת והעלייה המונוטונית מאז, עולה בקנה אחד גם עם המגמות בכמויות הגשם המקסימאלי, בהן נראו מגמות חזקות יותר ב-40 שנה האחרונות לעומת המגמות בתקופה הארוכה (1951-2021).



איור 3: מהלך השינוי בתדירות הממוצעת באשכולות השונים המוצג באמצעות פילטר Lowess, לאירועי הסף המפורטים בפינה השמאלית העליונה של כל פאנל.

3.2.3.תוצאות הרגרסיה הלוגיסטית

טבלה 4 מציגה את תוצאות הרגרסיה הלוגיסטית לאירועים בלתי תלויים כפי שהוסבר בחלק 2.2.2. באמצעות הרגרסיה הלוגיסטית ניתן להעריך את השינוי בסיכויים להתקיימות אירועי הסף המוגדרים. מהטבלה עולה שככלל, במרבית האשכולות ברב המדדים, קיימת נטייה לעליה, לא מובהקת סטטיסטית, בהסתברות לאירועי

גשם כבד. השינוי הבולט ביותר נמצא באשכול החוף הצפוני בו חלה עליה מובהקת (α≤0.05) של פי 2.6 במדד R70mm וכמעט פי 2 במדד R3day_100mm בסיכוי להתרחשות אירוע לאורך התקופה. הסיכוי לאירוע במדד R4day_120mm גם עלה בכפי 2 לאורך התקופה ברמת מובהקות של 10%. הסיכוי בשני המדדים הנותרים באשכול זה, גם עלה בשיעור של 31% (R50mm) ו-63% (R2day_80) לאורך התקופה, אם כי שינויים אלו לא נמצאו מובהקים סטטיסטית.

אשכול חיפה ועמק יזרעאל, שבניתוחים קודמים גם כן הראה מגמות חיוביות, מראה על עלייה בסיכויים להתרחשות אירועים בין 5% ל-73% בכל המדדים מלבד R50mm, אולם אף מקרה לא מגיע למובהקות סטטיסטית נמוכה מ-5%.

אשכול המרכז גם מאופיין כולו בעליות בסיכויים להתרחשות אירוע בין 4% ל-44% בכל המדדים. התוצאות אינן מובהקות סטטיסטית ברמה הקטנה מ-5%.

דוגמא לגרפים המתארים את תוצאות הרגרסיה הלוגיסטית ניתן למצוא בנספחים 8-12.

טבלה 4: תוצאות הרגרסיה הלוגיסטית באשכולות למדדים השונים. הערכים בטבלה מציגים את השינוי ביחס הסיכויים להתקיימות אירוע (Odds Ratio) לאורך התקופה 1951-2021. צבעים מייצגים את רמות המובהקות כמפורט בתחתית הטבלה.

קבוצה	R50mm	R70mm	R2day 80mm	R3day 100mm	R4day 120mm
חוף צפוני	1.31	**2.60**	***1.63***	**1.97**	**2.07**
גליל עליון	0.90	0.94	1.08	1.09	1.05
חיפה ועמק יזרעאל	0.98	1.69	1.05	1.43	***1.73***
צפון בקעת הירדן	0.65	0.98	1.37	0.95	0.56
מרכז	1.04	1.20	1.21	1.37	1.44
מרכז דרומי	0.98	0.92	0.98	0.86	0.82
נגב	1.49	1.19	1.28	0.96	1.17

רמת מובהקות:

0.05>	**0.1>**	***0.15>***

4. סיכום

מתוך ניתוח נתונים מ-58 תחנות גשם ברחבי הארץ בתקופה 1951-2021, מסתמן כי במרבית אזורי הארץ נמצאה נטייה לעליה באירועי הגשם הכבד, במרבית המקרים ללא מובהקות סטטיסטית הנמוכה מ-5%. עליה זו מגיעה לכדי מובהקות סטטיסטית בצפון מערב הארץ, שם נצפו המגמות הגדולות ביותר. ממצא זה חוזר ועולה גם בבחינת כמויות הגשם המקסימאליות השנתיות וגם לפי אירועי סף שנבחנו.

בניתוח מגמות הגשם המקסימלי לתקופה הארוכה, נמצא כי שני האשכולות הצפוניים והמערבים (חוף צפוני וחיפה ועמק יזרעאל) מאופיינים במגמות החזקות והמובהקות ביותר וביתר שאת ב-40 השנים האחרונות, ביחוד במדדים העוקבים אחר כמות הגשם היומית המקסימאלית (Rx1day) וכמות הגשם המצטברת המקסימאלית לשלושה ימים (Rx3day).

עוד עולה מניתוח זה, כי המגמות הולכות וקטנות עם התנועה מזרחה ודרומה. ככלל, בניתוח המגמות בארבעת העשורים האחרונים (1981-2021), נמצאו מגמות חזקות יותר ביחס למגמות בתקופה הארוכה, עם יותר מקרים מובהקים, שהתפרסו גם לאשכולות המרכז וצפון בקעת הירדן. מספר התחנות הרב ביותר שהגיע למובהקות סטטיסטית נמצא במדד הגשם המקסימאלי התלת-יומי (Rx3day), כאשר גם כאן רובן נמצאות בצפון מערב הארץ. הבדל נוסף שקיים בהשוואה בין ניתוח המגמות בתקופה הארוכה (מ-1951) לתקופה הקצרה (מ-1981) הינו שבתקופה הארוכה רוב התחנות במזרח הארץ מראות על ירידה לא מובהקת בגשם המקסימאלי, ביחוד ב-Rx3day וב-Rx7day, ואילו בתקופה הקצרה מגמות אלו נמצאו חיוביות, אם כי ללא מובהקות סטטיסטית.

השינוי בתדירות באירועי הסף בין התקופה 1951-1985 לתקופה 1986-2021, מאופיינת בנטייה כללית לעליה במספר האירועים בתקופה האחרונה. זאת בדומה למגמות בגשם המקסימאלי, כאשר העליה בתדירות המובהקת ביותר מתקבלת, גם כאן, בצפון מערב הארץ. עיקר התחנות המראות נטייה לירידה בתדירות אירועי הסף השונים נמצאות בצפון מזרח הארץ ובדרום הארץ, כשברמת האשכול מגמה זו נצפתה רק בגליל עליון. כלל הירידות אינן מובהקות ברמה של 5%.

ניתוח השינוי בזמן של אירועי הסף באשכולות מגלה כי בחלק מהמקרים ישנה ירידה בתדירות האירועים בין שנות ה-50 לשנות ה-80 של המאה הקודמת, ומשנות ה-80 השיפוע מתהפך ותדירות האירועים עולה. ממצא זה יכול להסביר את ההבדל בשיפועים ובמובהקויות שנמצאו בניתוחי הגשם המקסימאלי בתקופה הארוכה לעומת התקופה הקצרה. כמו כן, מניתוח זה עולה כי העליה בתדירות האירועים לגשם כבד באשכול החוף הצפוני הינה הגדולה והמובהקת ביותר. באשכול זה, שלושה מתוך חמשת המדדים שנבחנו הראו מגמות חיוביות בסיכוי לאירועי סף, ברמת מובהקות של לפחות 10%. השינוי הגדול ביותר באשכול זה נראה במדד ה-R70mm, שם נמצא גידול של 160% בסיכוי לימי גשם שיעברו את ה-70 מ״מ וגידול של פי 2 בסיכוי לאירועים בהם כמות הגשם המצטברת בשלושה ימים הינה לפחות 100 מ״מ.

חשוב לציין כי למרות האמירה העקבית לגבי המגמות בתדירויות ועוצמות של גשם כבד, רוב התחנות ברוב המדדים אינן מגיעות למובהקות סטטיסטית. עם זאת, יש לזכור כי קיים קושי לזהות ולהעריך שינוי בתדירות ו/או בעוצמה של ערכים שמטבעם מופיעים בתדירות נמוכה. מכאן, עצם כך שלא נמצאו מגמות מובהקות סטטיסטית בעבודה זו אינה מעידה בהכרח כי הן לא קיימות (*יוסף ועמיתיו, 2016; Frei and Schär, 2001; Morin, 2011*). לכן ישנה חשיבות גבוהה להמשיך ולעקוב אחר המגמות גם בעוד מספר חורפים (5-10 שנים).

מסמך זה יש לצטט כך:

ציפורי, א׳, יוסף, י׳, חלפון, נ׳ (2022). מגמות בגשם כבד בישראל בתקופה 1951-2021. דו״ח מחקר מס׳ 4000-0804-2022-0000004, השירות המטאורולוגי.

Zipori, A., Yosef, Y., Halfon, N. (2022). Trends in heavy precipitation in Israel over the period 1951-2021. Research report No. 4000-0804-2022-0000004, Israel Meteorological Service.

5. ביבליוגרפיה

Ahmad, I., Tang, D., Wang, T., Wang, M., & Wagan, B. (2015). Precipitation trends over time using Mann-Kendall and spearman's rho tests in swat river basin, Pakistan. *Advances in Meteorology*, *2015*.

Flecker, R., & Ellam, R. M. (2006). Identifying Late Miocene episodes of connection and isolation in the Mediterranean–Paratethyan realm using Sr isotopes. *Sedimentary Geology*, *188*, 189-203.

Folton, N., Martin, E., Arnaud, P., L'hermite, P., & Tolsa, M. (2019). A 50-year analysis of hydrological trends and processes in a Mediterranean catchment. *Hydrology and Earth System Sciences*, *23*(6), 2699-2714.

Frei, C., & Schär, C. (2001). Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region. *Journal of Climate*, 14(7), 1568-1584.

Morin, E. (2011). To know what we cannot know: global mapping of minimal detectable absolute trends in annual precipitation. *Water Resour Res 47*: W07505. doi: 10.1029/2010WR009798.

Ramos, M. C. (2001). Divisive and hierarchical clustering techniques to analyse variability of rainfall distribution patterns in a Mediterranean region. Atmospheric Research, 57(2), 123-138.

Satagopan, J., & Rajagopalan, B. (1994). Comparing spatial estimation techniques for precipitation analysis. In *Stochastic and Statistical Methods in Hydrology and Environmental Engineering* (pp. 317-330). Springer, Dordrecht.

Valdes-Abellan, J., Pardo, M. A., & Tenza-Abril, A. J. (2017). Observed precipitation trend changes in the western Mediterranean region. *International Journal of Climatology*, *37*, 1285-1296.

Yosef, Y., Aguilar, E., & Alpert, P. (2019). Changes in extreme temperature and precipitation indices: using an innovative daily homogenized database in Israel. *International Journal of Climatology*, *39*(13), 5022-5045.

Yue, S., & Wang, C. (2004). The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water resources management*, *18*(3), 201-218.

יוסף, י', בהר"ד, ע', אוזן, ל', אוסטינסקי-צדקי, א', כרמונה, י', חלפון, נ', פורשפן, א', לוי, י', סתיו, נ' (2019). שינויי האקלים בישראל מגמות עבר ומגמות חזויות במשטר הטמפרטורה והמשקעים. דו"ח מחקר מס' 4000-0804-2019-0000075, השירות המטאורולוגי הישראלי.

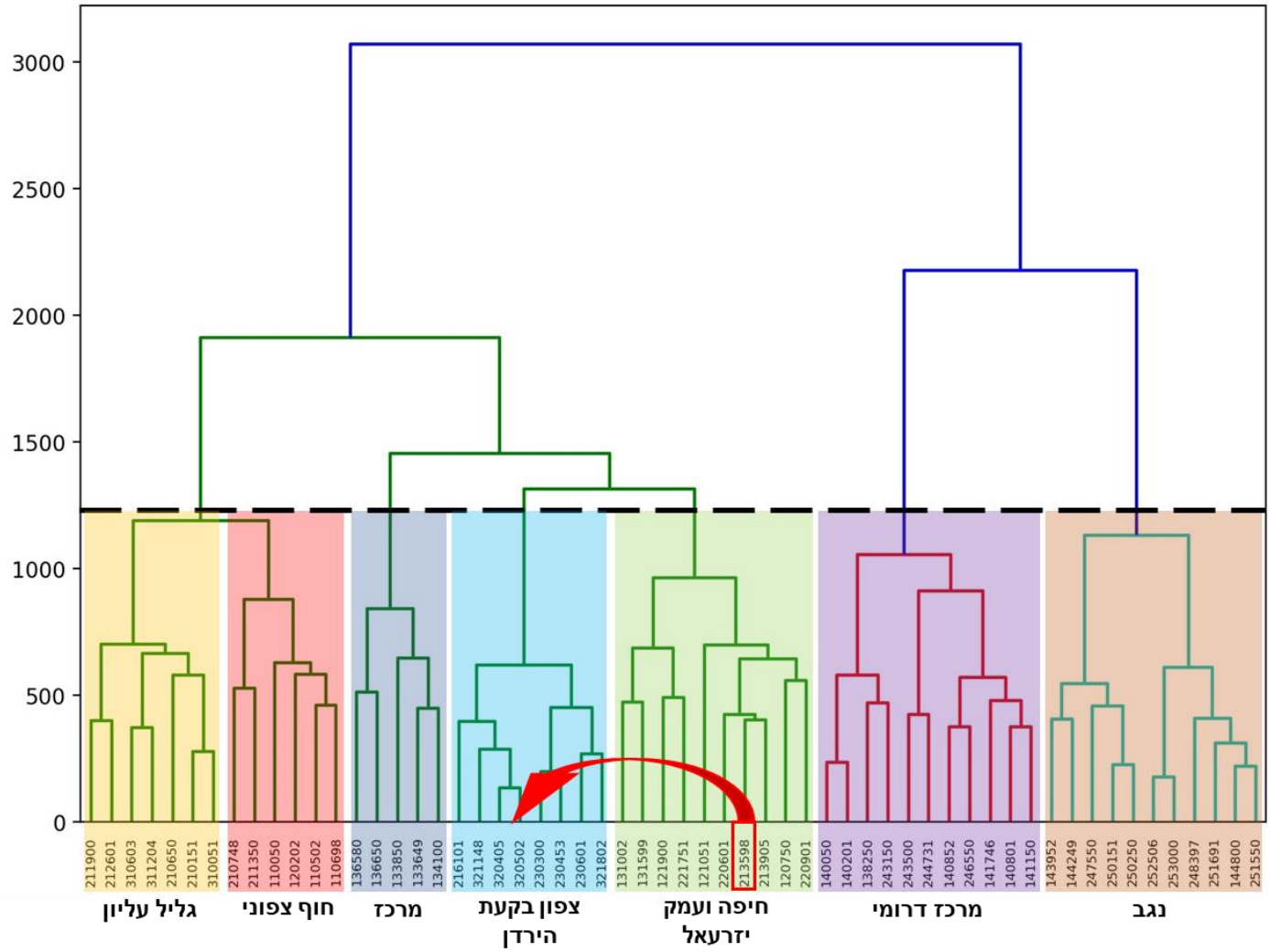
יוסף, י', חלפון, נ', פורת, ע', אוסטינסקי-צדקי, א', פורשפן, א' (2016). מגמות באירועי מזג אוויר קיצוניים בישראל. דו"ח מחקר מס' 21921416, השירות המטאורולוגי הישראלי.

חלפון, נ', יוסף, י' (2021). השוואת שלוש תקופות תקן סטנדרטיות בכמות הגשם בישראל (1931-2020). דו"ח מחקר מס' 4000-0804-2021-0000106, השירות המטאורולוגי הישראלי.

נספח 1 : פירוט מספרי התחנות, שמות התחנות, שנת הגשם הראשונה שבה יש נתונים למחקר הנוכחי ומיקום התחנה.

מספר תחנה	שם התחנה	שנת גשם ראשונה	קו אורך	קו רוחב
110050	כפר ראש-הנקרה	1951	35.115	33.086
110502	עברון	1951	35.103	32.993
110698	עכו	1951	35.102	32.932
120202	חיפה (נמל)	1953	34.998	32.822
120750	יגור	1951	35.078	32.74
121051	עין כרמל	1951	34.952	32.677
121900	רגבים	1951	35.034	32.523
131002	גן שמואל	1951	34.954	32.454
131599	עין החורש	1951	34.938	32.388
133649	געש	1951	34.822	32.228
133850	איל	1952	34.98	32.212
134100	כפר שמריהו	1951	34.819	32.18
136580	בארות יצחק	1951	34.912	32.038
136650	מקווה ישראל	1951	34.785	32.032
138250	גן שלמה	1951	34.799	31.877
140050	ניר גלים	1951	34.683	31.826
140201	קבוצת יבנה	1951	34.724	31.817
140801	באר טוביה	1951	34.726	31.74
140852	כפר מנחם	1951	34.834	31.733
141150	משואות יצחק	1951	34.688	31.702
141746	נגבה	1951	34.68	31.659
143952	נחל עוז	1952	34.5	31.472
144249	בארי	1951	34.495	31.423
144800	מגן	1951	34.425	31.301
210151	כפר גלעדי	1951	35.577	33.243
210650	יראון	1951	35.455	33.078
210748	אילון	1951	35.217	33.065
211350	יחיעם	1951	35.23	32.996
211900	צפת (הר-כנען)	1951	35.507	32.98
212601	פרוד	1951	35.433	32.932
213598	לביא	1951	35.441	32.788
213905	אלון הגליל	1951	35.22	32.759
216101	גזית	1951	35.447	32.636
220601	שריד	1951	35.227	32.662
220901	הזורע	1951	35.12	32.645
221751	גבעת עוז	1951	35.199	32.556
230300	עין חרוד	1951	35.389	32.559
230453	בית השיטה	1951	35.442	32.551
230601	חמדיה	1951	35.521	32.52
243150	חולדה	1951	34.884	31.832
243500	קריית ענבים	1951	35.12	31.81
244731	ירושלים	1951	35.222	31.781
246550	בית ג'מל	1951	34.976	31.725
247550	בית גוברין	1951	34.893	31.614
248397	להב	1953	34.873	31.381
250151	דורות	1951	34.648	31.506
250250	רוחמה	1951	34.706	31.497
251550	אורים	1951	34.52	31.305
251691	באר שבע	1951	34.8	31.252
252506	רביבים	1951	34.721	31.047
253000	שדה בוקר	1951	34.795	30.87
310051	ברוך מעיין	1951	35.609	33.241
310603	נאות מרדכי	1951	35.592	33.161
311204	איילת השחר	1951	35.574	33.024
320405	כנרת (מושבה)	1951	35.565	32.721
320502	דגניה א'	1951	35.575	32.709
321148	אשדות יעקב	1951	35.582	32.664
321802	שדה אליהו	1951	35.511	32.439

נספח 2: תוצאות ניתוח ה-Cluster Analysis המגדיר שבעה אשכולות של תחנות.



* תחנת לביא (213598) הועברה באופן יזום מאשכול חיפה ועמק יזרעאל לאשכול צפון בקעת הירדן.

נספח 3: רגרסיה לוגיסטית לחישוב מגמה

ניתוח אירועי הקיצון נעשה בעבודה זו על-ידי הגדרת ספים מראש (Pick Over Threshold) ורק הערכים אשר חצו אותם נספרו והוכנסו לבסיס הנתונים לחישוב תוך ניסיון להקפיד על כך שהאירועים בלתי תלויים.

ניתוח המגמות בוצע באמצעות מבחן המבוסס על רגרסיה לוגיסטית (Frei and Schär, 2001), בו מחושבת ההסתברות לקבלת אירוע קיצוני לעומת שאר הפעמים בהם לא נמדד אירוע קיצון בתקופה מסוימת (חודש, עונה, שנה וכד'). המבחן מבוסס על כך שמספר האירועים בזמן *E(t)* מתפלגים בינומית:

$$E(t) \sim B\big(m, \pi(t)\big) \qquad t = 0, \ldots\ldots, T$$

m – טווח התקופה בו אירוע הקיצון יכול לקרות (למשל, 90 ימים בחודשי החורף).

π(t) – הסתברות לאירוע תלוית זמן.

על-ידי שימוש בפונקציית *logit* (הלוג הטבעי של הסיכוי) הופכים את פונקציית ההסתברות [0, 1] לפונקציה בעלת ערכים בין 0 ל- ∞.

הסיכוי מתואר על ידי הביטוי: $\frac{\pi(t)}{1-\pi(t)}$ ונקרא הסיכוי (*odds*) של *π(t)*.

בצורה כללית (תוך דילוג על מספר פיתוחים), יחס הסיכויים (*Θ, odds ratio*) מוגדר:

$$\Theta \equiv \frac{\pi(t_2)}{1-\pi(t_2)} \Big/ \frac{\pi(t_1)}{1-\pi(t_1)} = \exp[\beta \cdot (t_2 - t_1)]$$

יחס הסיכויים מבטא את השינוי היחסי ביחס בין "האירועים" ל- "ללא אירועים" בתקופה (t_1, t_2) שהוא פונקציה אקספוננציאלית לאורך התקופה. β מציינת את עוצמת המגמה.

דוגמה: במידה ויחס הסיכויים שווה ל-1.5, המשמעות היא שחל גידול של 50% לאורך התקופה הנבחנת.

נספח 4: פרוט המגמות ומידת מובהקותן (Theil–Sen estimator ומבחן Mann-Kendall) בכלל התחנות, בתקופה 1951-2021. הצבעים של התאים מייצגים את גודל השיפוע ואת רמת המובהקות, כמפורט במקרא בתחתית.

Rx7day		Rx3day		Rx1day			
רמת מובהקות	שיפוע [מ"מ/עשור]	רמת מובהקות	שיפוע [מ"מ/עשור]	רמת מובהקות	שיפוע [מ"מ/עשור]	מס' תחנה	אשכול
0.984	0.1	**0.045**	3.3	**0.001**	3.4	**110050**	
0.972	-0.1	0.150	2.3	**0.039**	2	**110502**	
0.751	-1	0.666	0.7	0.588	0.5	**110698**	
0.413	2.2	**0.053**	3.2	**0.057**	2	**120202**	
0.839	0.7	0.630	1	0.396	0.9	**210748**	
0.827	0.5	0.218	2.8	0.108	1.8	**211350**	
0.747	-1	0.878	-0.2	0.224	1.2	**210151**	
0.519	-2	0.525	-1.1	0.202	-1.5	**210650**	
0.565	-1.5	0.941	0.2	0.118	1.5	**211900**	
0.528	-1.9	0.901	0.4	0.472	0.8	**212601**	
0.606	-1	0.847	-0.4	0.399	0.8	**310051**	
0.545	-1.1	0.620	-0.7	0.866	-0.1	**310603**	
0.925	0.2	0.582	0.9	0.336	0.9	**311204**	
0.472	-1.9	0.812	0.5	0.262	1.6	**120750**	
0.827	0.5	0.241	1.9	0.121	1.8	**121051**	
0.976	-0.1	0.252	2.4	**0.043**	2.1	**121900**	
0.528	-1.7	0.699	0.7	0.222	1.1	**131002**	
0.630	-1.9	0.847	0.6	0.651	0.5	**131599**	
0.585	-1.3	0.792	-0.5	0.418	0.8	**213905**	
0.781	0.6	0.156	2	0.175	1.1	**220601**	
0.286	3.5	0.146	3.1	0.241	1.4	**220901**	
0.706	1.1	0.224	2.3	**0.018**	2.6	**221751**	
0.192	-2.9	0.662	-0.5	0.917	0.1	**213598**	
0.538	-1	0.866	0.3	0.565	0.5	**216101**	
0.949	0.1	0.721	0.6	0.190	0.8	**230300**	
0.680	-0.6	0.804	-0.3	0.796	0.2	**230453**	
0.736	-0.5	0.843	-0.3	0.311	0.7	**230601**	
0.295	-1.7	0.662	-0.6	0.835	-0.2	**320405**	
0.235	-2.1	0.770	-0.4	1.000	0	**320502**	
0.725	-0.5	0.858	0.3	0.792	0.3	**321148**	
0.648	-0.7	0.516	-0.5	0.846	-0.01	**321802**	
0.988	0	0.823	-0.3	0.831	0.2	**133649**	
0.472	1.9	0.507	1.5	0.923	0.2	**133850**	
0.648	1.6	0.380	1.8	0.662	0.5	**134100**	
0.623	1.3	0.469	1.7	0.374	1.2	**136580**	
0.565	1.9	0.402	1.8	0.728	0.6	**136650**	
0.984	-0.1	0.623	1.1	0.247	1.4	**138250**	
0.578	1.5	0.789	0.8	0.118	2	**140050**	
0.839	0.5	0.644	1.2	0.162	1.9	**140201**	
0.925	-0.3	0.421	1.5	0.146	1.9	**140801**	
0.905	-0.4	0.551	1.2	0.545	0.8	**140852**	
0.874	0.5	0.235	2.4	0.159	1.7	**141150**	
0.913	-0.3	0.699	1.1	0.421	1.1	**141746**	
0.917	0.3	0.481	1.7	0.215	1.8	**243150**	
0.713	-1.1	0.862	-0.5	0.808	-0.4	**243500**	
0.758	0.9	0.230	2.7	0.418	1	**244731**	
0.754	0.7	0.688	0.7	0.808	0.3	**246550**	
0.947	-0.2	0.883	-0.5	0.663	0.6	**143952**	
0.854	-0.3	0.641	-0.9	0.988	0	**144249**	
0.302	1.9	0.353	1.2	0.270	0.9	**144800**	
0.897	0.2	0.886	0.2	0.846	0.2	**247550**	
0.756	0.6	0.824	0.3	0.511	0.6	**248397**	
0.917	-0.2	0.637	-0.9	0.862	0.2	**250151**	
0.356	-1.5	0.247	-1.9	0.407	-0.7	**250250**	
0.843	0.3	0.655	0.6	0.850	0.1	**251550**	
0.655	0.4	0.490	0.7	0.202	1	**251691**	
0.816	0.2	0.897	-0.1	0.463	0.4	**252506**	
0.196	-1.1	0.299	-0.7	0.769	-0.1	**253000**	

רמת מובהקות:

<0.01 | <0.05 | <0.1

Max — 0 — Min

נספח 5: כמו נספח 4, רק לסדרת הזמן הקצרה 1981-2021.

Rx7day		Rx3day		Rx1day			
רמת מובהקות	שיפוע [מ"מ/עשור]	רמת מובהקות	שיפוע [מ"מ/עשור]	רמת מובהקות	שיפוע [מ"מ/עשור]	מס' תחנה	אשכול
0.637	2.2	0.132	6.2	0.247	3.1	110050	יזרעאל
0.238	6.1	**0.037**	6.2	0.465	1.5	110502	
0.493	2.6	0.340	3.2	0.458	1.4	110698	
0.086	11	**0.029**	9.5	**0.023**	7	120202	
0.849	1.5	0.452	3.8	0.445	1.8	210748	
0.955	0.8	0.621	1.9	0.225	3	211350	
0.574	-4	0.605	-2.5	0.805	-0.8	210151	יהודה, מרכז
0.884	1	0.875	0.9	0.387	-2.4	210650	
0.711	2.4	0.770	2	0.234	3.4	211900	
0.703	3.1	0.719	1.5	0.669	1.2	212601	
0.678	-2.2	0.796	0.6	0.937	-0.1	310051	
0.946	0.3	0.982	-0.1	0.719	0.6	310603	
0.522	4.3	0.164	4.8	0.271	2.5	311204	
0.928	0.7	0.796	1.2	0.515	2	120750	גליל מערבי, עמק יזרעאל
0.121	10	**0.002**	10.5	**0.030**	5.4	121051	
0.084	6.6	**0.012**	8.9	**0.055**	4	121900	
0.508	3.6	0.181	4.6	0.261	2.4	131002	
0.193	6.5	0.212	4.6	0.567	1.5	131599	
0.552	2.8	0.208	4.3	0.432	1.7	213905	
0.025	7.9	**0.002**	8	0.181	2.9	220601	
0.011	15.6	**0.012**	11.9	0.181	3.3	220901	
0.078	10.3	**0.029**	9.9	**0.005**	7.2	221751	
0.686	-1.2	0.745	1	0.919	-0.3	213598	גליל מזרחי, רמת הגולן
0.208	4.5	**0.084**	6.1	**0.010**	4.7	216101	
0.296	3	0.147	3.9	**0.021**	3.8	230300	
0.629	1.9	0.357	2.8	**0.080**	2.8	230453	
0.537	1.8	0.317	3.1	**0.035**	2.5	230601	
0.745	1.4	0.472	2.2	0.507	1.2	320405	
0.719	1	0.393	1.8	0.317	1.3	320502	
0.745	1.5	0.438	2.7	0.340	2.1	321148	
0.736	-0.9	0.866	-0.3	0.946	0.1	321802	
0.015	12	**0.048**	6.3	**0.062**	5	133649	שרון
0.286	6.8	0.590	2.7	0.154	5.3	133850	
0.019	14.9	**0.071**	7.2	**0.021**	5.1	134100	
0.138	-8.7	0.412	-3.6	0.493	2.2	136580	
0.831	1.9	0.567	2	0.189	4.3	136650	
0.537	-2.8	0.982	-0.1	0.129	4	138250	שרון דרום, מישור
0.728	-2.1	0.902	-0.8	0.537	2.1	140050	
0.814	-1.2	0.637	2.2	0.432	2.4	140201	
0.425	-5	0.559	2.2	0.200	3.9	140801	
0.991	-0.1	0.486	2.1	0.121	3.5	140852	
0.694	-2.6	0.605	2.7	0.276	2.6	141150	
0.991	-0.3	0.745	1.5	0.312	3.3	141746	
0.770	1.6	0.317	5.2	0.257	3.3	243150	
0.334	-7	0.736	-3.3	0.552	-1.2	243500	
1.000	0	0.955	0.4	0.770	-0.8	244731	
0.694	2.1	0.629	2.4	0.438	2.1	246550	
0.982	0.2	0.637	-1.6	0.991	0	143952	נגב
0.312	-4.7	**0.029**	-6.4	**0.090**	-4.1	144249	
0.762	1.4	0.559	-1.6	0.982	-0.1	144800	
0.653	2.1	0.745	1.1	0.946	-0.2	247550	
0.728	1.1	0.831	-0.6	0.653	-1	248397	
0.711	1.6	0.661	1.7	0.271	3.3	250151	
0.973	0.3	0.902	-0.6	0.736	0.7	250250	
0.703	-1	0.515	-1.7	0.813	-0.3	251550	
0.438	2	0.955	-0.1	0.813	-0.3	251691	
0.719	-0.8	0.238	-2	0.286	-1.4	252506	
0.243	-1.9	0.252	-1.5	0.582	-0.7	253000	

רמת מובהקות:

<0.01 | <0.05 | <0.1

Max — 0 — Min

נספח 6: תוצאות מבחן השוואתי Mann-Whitney U test לבחינת השינוי בתדירות האירועים בין שתי תקופות: 1951-1985 ו- 1986-2021. בעמודות ה-"שינוי" צבע כחול מציין עליה וצבע אדום ירידה בתדירות. בעמודות "רמת מובהקות" מקרים מובהקים מודגשים וצבועים. NaN מצביע על אי שוני בין התקופות.

R4day_120mm		R3day_100mm		R2day_80mm		R70mm		R50mm			
רמת מובהקות	שינוי	רמת מובהקות	שינוי	רמת מובהקות	שינוי	רמת מובהקות	שינוי	רמת מובהקות	שינוי	מס תחנה	אשכול
0.307	עולה	**0.021**	עולה	**0.067**	עולה	**0.022**	עולה	0.291	עולה	110050	אגן עליון
0.227	עולה	**0.098**	עולה	**0.036**	עולה	0.199	עולה	**0.082**	עולה	110502	
0.342	עולה	0.247	עולה	0.293	יורד	0.496	עולה	0.269	עולה	110698	
0.022	עולה	**0.015**	עולה	**0.002**	עולה	**0.033**	עולה	0.123	עולה	120202	
0.196	עולה	0.128	עולה	**0.020**	עולה	0.142	עולה	0.169	עולה	210748	
0.110	עולה	**0.047**	עולה	**0.053**	עולה	0.104	עולה	**0.041**	עולה	211350	
0.232	יורד	0.392	עולה	0.419	עולה	0.409	עולה	0.267	עולה	210151	אגן תחתון
0.109	יורד	0.107	יורד	0.132	יורד	**0.002**	יורד	**0.053**	יורד	210650	
0.400	יורד	0.446	יורד	0.474	יורד	0.364	עולה	0.441	עולה	211900	
0.230	יורד	0.398	יורד	0.334	יורד	0.401	עולה	0.220	יורד	212601	
0.322	יורד	0.487	עולה	0.218	יורד	0.385	יורד	0.500	עולה	310051	
0.136	יורד	0.362	יורד	0.210	יורד	0.494	יורד	0.125	יורד	310603	
0.258	עולה	0.236	יורד	0.192	עולה	0.170	עולה	0.449	יורד	311204	
0.280	עולה	0.185	עולה	0.478	עולה	**0.047**	עולה	0.303	עולה	120750	מרכז ואגן ים
0.395	יורד	0.221	עולה	**0.060**	עולה	**0.051**	עולה	**0.019**	עולה	121051	
0.205	עולה	**0.048**	עולה	0.372	עולה	0.341	עולה	0.196	עולה	121900	
0.390	עולה	0.369	עולה	0.334	עולה	0.159	עולה	0.264	עולה	131002	
0.309	עולה	0.492	יורד	0.192	עולה	0.149	עולה	0.154	עולה	131599	
0.426	עולה	0.139	יורד	0.423	עולה	0.439	יורד	0.257	עולה	213905	
0.079	עולה	**0.075**	עולה	**0.095**	עולה	**0.082**	עולה	0.440	יורד	220601	
0.047	עולה	**0.076**	עולה	**0.054**	עולה	0.300	עולה	**0.023**	עולה	220901	
0.294	עולה	0.227	עולה	**0.054**	עולה	**0.016**	עולה	**0.016**	עולה	221751	
0.378	עולה	0.250	יורד	0.500	עולה	0.367	עולה	0.387	יורד	213598	אגן מרכז ערבה
0.179	יורד	0.153	עולה	**0.048**	עולה	0.261	עולה	0.497	יורד	216101	
0.487	יורד	0.367	עולה	0.409	עולה	0.293	עולה	**0.063**	עולה	230300	
0.365	עולה	0.487	יורד	0.187	עולה	**0.083**	עולה	0.449	יורד	230453	
0.169	עולה	0.293	עולה	**0.050**	עולה	0.169	עולה	0.402	יורד	230601	
0.316	יורד	0.157	עולה	**0.072**	עולה	0.494	יורד	0.476	יורד	320405	
0.494	יורד	**0.034**	עולה	**0.072**	עולה	0.494	יורד	0.215	עולה	320502	
0.244	עולה	0.116	עולה	**0.024**	עולה	0.212	עולה	0.153	עולה	321148	
NaN	NaN	0.162	יורד	0.162	יורד	1.000	NaN	0.494	יורד	321802	
0.381	עולה	0.264	עולה	0.131	עולה	0.247	עולה	0.165	עולה	133649	הכרמל
0.081	עולה	0.180	עולה	0.214	עולה	0.243	עולה	0.185	עולה	133850	
0.465	עולה	**0.092**	עולה	**0.082**	עולה	0.114	עולה	0.129	עולה	134100	
0.354	עולה	0.199	עולה	0.278	עולה	0.192	עולה	0.277	עולה	136580	
0.332	עולה	0.130	עולה	**0.094**	עולה	0.218	עולה	0.237	עולה	136650	
0.135	עולה	0.165	עולה	**0.066**	עולה	**0.049**	עולה	**0.008**	עולה	138250	הגליל העליון
0.358	עולה	0.222	עולה	**0.085**	עולה	**0.044**	עולה	**0.074**	עולה	140050	
0.434	עולה	0.250	עולה	**0.038**	עולה	**0.055**	עולה	0.118	עולה	140201	
0.466	יורד	0.367	עולה	0.123	עולה	0.265	עולה	**0.012**	עולה	140801	
0.436	עולה	0.212	עולה	0.167	עולה	**0.026**	עולה	**0.058**	עולה	140852	
0.188	עולה	0.321	עולה	0.106	עולה	0.161	עולה	0.130	עולה	141150	
0.124	עולה	0.415	עולה	0.428	עולה	**0.035**	עולה	0.147	עולה	141746	
0.120	עולה	0.387	עולה	**0.048**	עולה	0.293	עולה	0.206	עולה	243150	
0.264	יורד	0.222	יורד	0.230	עולה	0.470	עולה	0.318	עולה	243500	
0.359	עולה	0.261	עולה	0.328	עולה	**0.059**	עולה	0.332	יורד	244731	
0.309	עולה	0.284	עולה	0.295	עולה	0.300	עולה	0.212	עולה	246550	
0.397	עולה	0.360	יורד	0.295	עולה	0.232	עולה	0.172	עולה	143952	אזר
0.161	עולה	0.366	עולה	0.133	יורד	0.353	יורד	0.452	עולה	144249	
0.212	עולה	0.365	עולה	0.128	עולה	0.169	עולה	0.123	עולה	144800	
0.353	יורד	0.257	יורד	0.400	עולה	0.276	יורד	0.195	יורד	247550	
0.364	עולה	0.212	עולה	0.418	עולה	0.179	עולה	0.269	עולה	248397	
0.219	יורד	0.442	עולה	0.348	עולה	0.143	עולה	0.439	עולה	250151	
0.219	יורד	0.367	יורד	0.140	יורד	0.490	יורד	0.436	עולה	250250	
0.276	יורד	0.293	עולה	0.494	יורד	1.000	NaN	0.476	יורד	251550	
0.500	יורד	0.500	יורד	0.164	עולה	0.169	עולה	**0.012**	עולה	251691	
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	0.169	עולה	252506	
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	**0.086**	עולה	253000	

רמת מובהקות:

<0.01 | <0.05 | <0.1

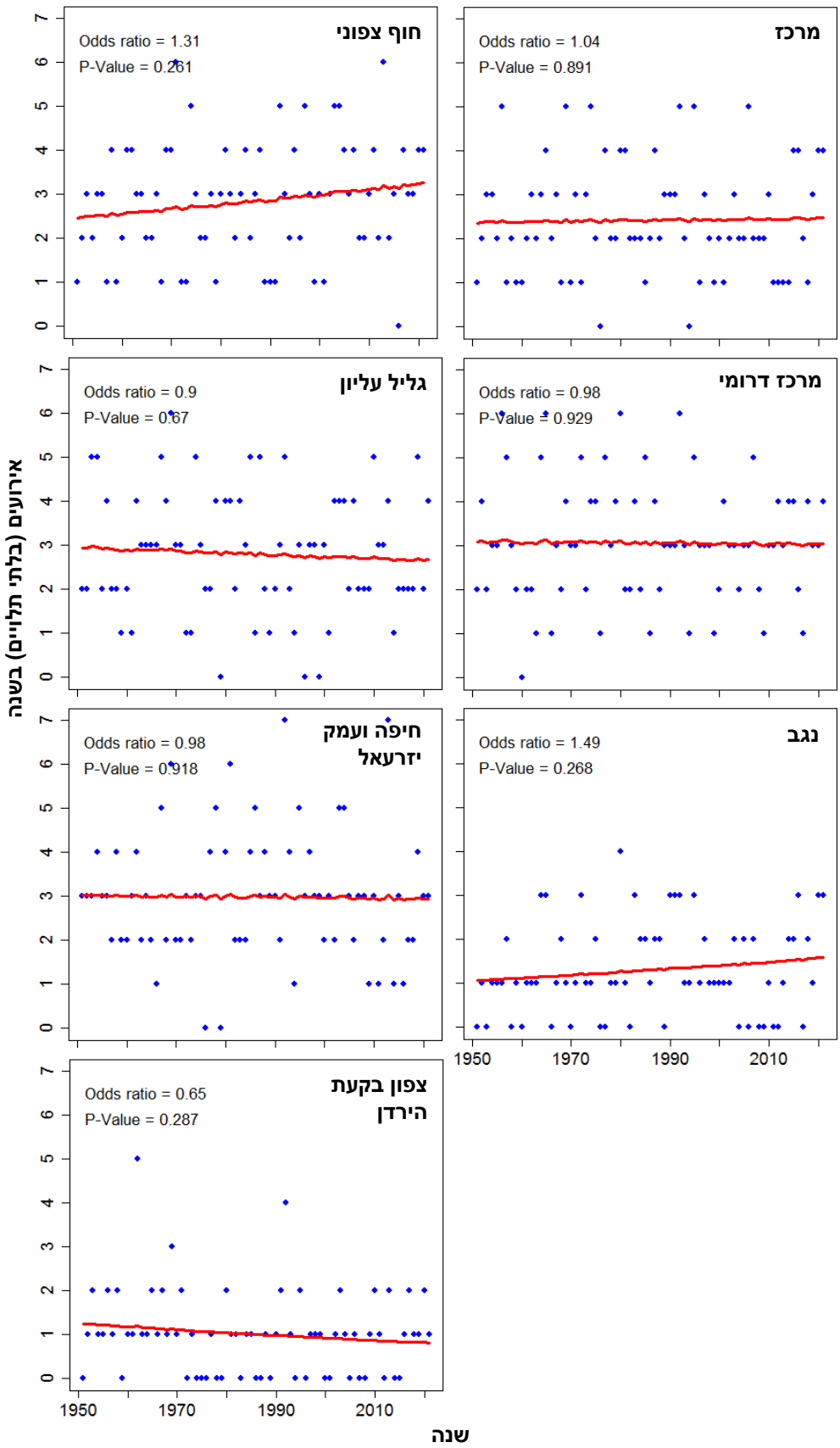
נספח 7: כמו נספח 6, רק לתדירות השנים בהם היה או לא היה אירוע.

R4day_120mm		R3day_100mm		R2day_80mm		R70mm		R50mm			
רמת מובהקות	שינוי	רמת מובהקות	שינוי	רמת מובהקות	שינוי	רמת מובהקות	שינוי	רמת מובהקות	שינוי	מס תחנה	אשכול
0.311	עולה	**0.017**	עולה	**0.063**	עולה	**0.014**	עולה	0.206	עולה	110050	מרכז טוב
0.265	עולה	0.147	עולה	0.147	עולה	0.213	עולה	0.199	עולה	110502	
0.336	עולה	0.259	עולה	0.362	יורד	0.485	יורד	0.280	עולה	110698	
0.061	עולה	**0.009**	עולה	**0.006**	עולה	0.105	עולה	0.209	עולה	120202	
0.209	עולה	0.273	עולה	**0.008**	עולה	0.146	עולה	0.395	יורד	210748	
0.064	עולה	**0.017**	עולה	**0.082**	עולה	0.141	עולה	0.336	עולה	211350	
0.143	יורד	0.194	יורד	0.467	עולה	0.431	עולה	0.426	יורד	210151	הר, רמת
0.199	יורד	0.189	יורד	0.342	יורד	**0.001**	יורד	0.145	יורד	210650	
0.452	יורד	0.467	עולה	0.284	עולה	0.347	עולה	0.362	עולה	211900	
0.273	יורד	0.372	עולה	0.426	יורד	0.449	עולה	0.237	עולה	212601	
0.209	יורד	0.359	יורד	0.141	יורד	0.362	יורד	0.439	יורד	310051	
0.136	יורד	0.362	יורד	0.188	יורד	0.494	יורד	**0.091**	יורד	310603	
0.213	עולה	0.268	יורד	0.183	עולה	0.179	עולה	0.449	עולה	311204	
0.463	עולה	0.431	יורד	**0.014**	יורד	**0.089**	עולה	0.336	עולה	120750	מישור חוף,
0.372	יורד	0.202	עולה	0.147	עולה	**0.080**	עולה	**0.087**	עולה	121051	
0.199	עולה	**0.023**	עולה	0.284	עולה	0.329	עולה	**0.019**	עולה	121900	
0.372	יורד	0.359	עולה	0.362	עולה	0.167	עולה	**0.055**	עולה	131002	
0.265	עולה	0.367	עולה	0.284	עולה	0.121	עולה	**0.058**	עולה	131599	
0.426	עולה	0.144	יורד	0.365	יורד	0.413	עולה	0.439	יורד	213905	
0.085	עולה	**0.075**	עולה	0.105	עולה	**0.075**	עולה	0.455	יורד	220601	
0.023	עולה	**0.061**	עולה	0.138	עולה	0.347	עולה	0.357	עולה	220901	
0.352	עולה	0.362	עולה	**0.099**	עולה	**0.018**	עולה	**0.091**	עולה	221751	
0.395	עולה	0.268	יורד	0.467	יורד	0.382	עולה	0.282	יורד	213598	עמק יזרעאל
0.179	יורד	0.167	עולה	**0.047**	עולה	0.244	עולה	0.352	עולה	216101	
0.487	יורד	0.382	עולה	0.405	עולה	0.293	עולה	**0.053**	עולה	230300	
0.365	עולה	0.487	יורד	0.179	עולה	**0.083**	עולה	0.476	יורד	230453	
0.169	עולה	0.293	עולה	**0.050**	עולה	0.169	עולה	0.382	עולה	230601	
0.316	יורד	0.157	עולה	**0.072**	עולה	0.494	יורד	0.476	יורד	320405	
0.494	יורד	**0.034**	עולה	**0.072**	עולה	0.494	יורד	0.236	עולה	320502	
0.244	עולה	0.116	עולה	**0.025**	עולה	0.212	עולה	0.175	עולה	321148	
NaN	NaN	0.162	יורד	0.162	יורד	NaN	NaN	0.494	יורד	321802	
0.446	עולה	0.367	עולה	0.367	עולה	0.252	עולה	0.199	עולה	133649	נגב
0.143	עולה	0.284	עולה	0.435	יורד	0.277	עולה	0.371	עולה	133850	
0.465	יורד	**0.099**	עולה	**0.062**	עולה	0.145	עולה	0.146	עולה	134100	
0.347	עולה	0.207	עולה	0.146	עולה	0.259	עולה	0.194	עולה	136580	
0.342	עולה	**0.062**	עולה	**0.039**	עולה	0.189	עולה	0.372	עולה	136650	
0.132	עולה	**0.098**	עולה	**0.061**	עולה	**0.042**	עולה	**0.017**	עולה	138250	מרכז דרום,
0.342	עולה	0.202	עולה	0.147	עולה	**0.085**	עולה	**0.091**	עולה	140050	
0.352	עולה	0.205	עולה	**0.039**	עולה	**0.060**	עולה	0.372	עולה	140201	
0.449	עולה	0.365	עולה	0.146	עולה	0.259	עולה	**0.007**	עולה	140801	
0.435	עולה	0.199	עולה	**0.099**	עולה	**0.029**	עולה	0.199	עולה	140852	
0.121	עולה	0.356	עולה	**0.099**	עולה	0.259	עולה	**0.091**	עולה	141150	
0.175	עולה	0.460	יורד	0.277	יורד	**0.080**	עולה	0.371	עולה	141746	
0.137	עולה	0.365	עולה	**0.099**	עולה	0.347	עולה	0.280	עולה	243150	
0.199	יורד	0.236	יורד	0.118	עולה	0.277	יורד	0.244	יורד	243500	
0.352	עולה	0.277	עולה	0.463	עולה	**0.085**	עולה	0.476	עולה	244731	
0.329	עולה	0.269	עולה	0.207	עולה	0.321	עולה	0.435	יורד	246550	
0.273	יורד	0.277	יורד	0.352	עולה	0.311	עולה	0.205	עולה	143952	אזר
0.179	עולה	0.405	עולה	**0.067**	יורד	0.336	יורד	0.467	יורד	144249	
0.212	עולה	0.365	עולה	0.128	עולה	0.169	עולה	0.116	עולה	144800	
0.336	יורד	0.250	יורד	0.426	עולה	0.276	יורד	0.146	יורד	247550	
0.336	יורד	0.212	עולה	0.357	יורד	0.490	יורד	0.431	עולה	248397	
0.219	יורד	0.366	יורד	0.435	עולה	0.157	עולה	0.460	יורד	250151	
0.219	יורד	0.349	יורד	0.108	יורד	0.490	יורד	0.284	יורד	250250	
0.276	יורד	0.293	עולה	0.494	יורד	NaN	NaN	0.490	יורד	251550	
0.500	יורד	0.500	יורד	0.164	עולה	0.169	עולה	**0.012**	עולה	251691	
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	0.169	עולה	252506	
0.162	יורד	NaN	NaN	0.162	יורד	0.162	יורד	0.293	עולה	253000	

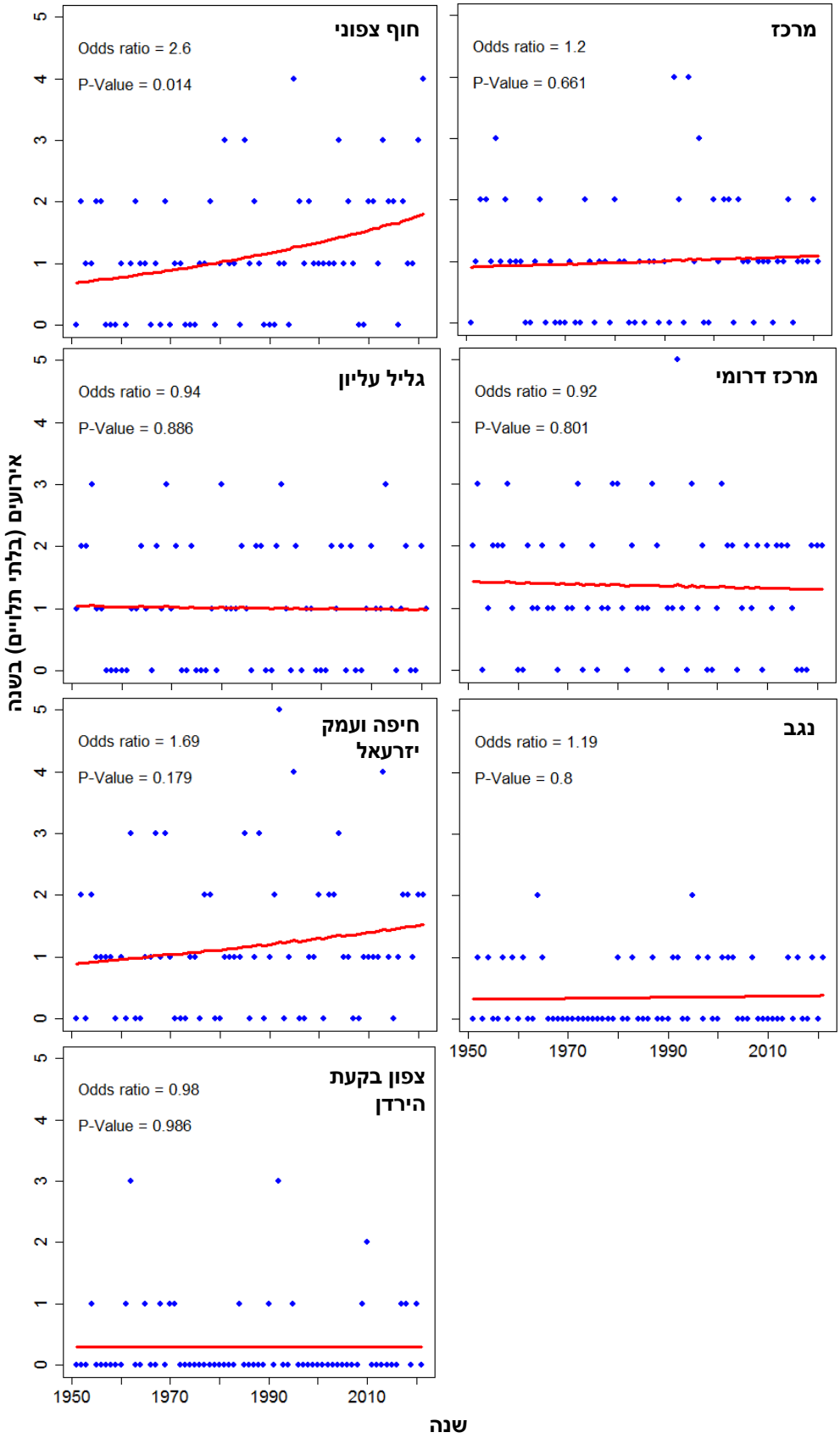
רמת מובהקות:

<0.01 | **<0.05** | **<0.1**

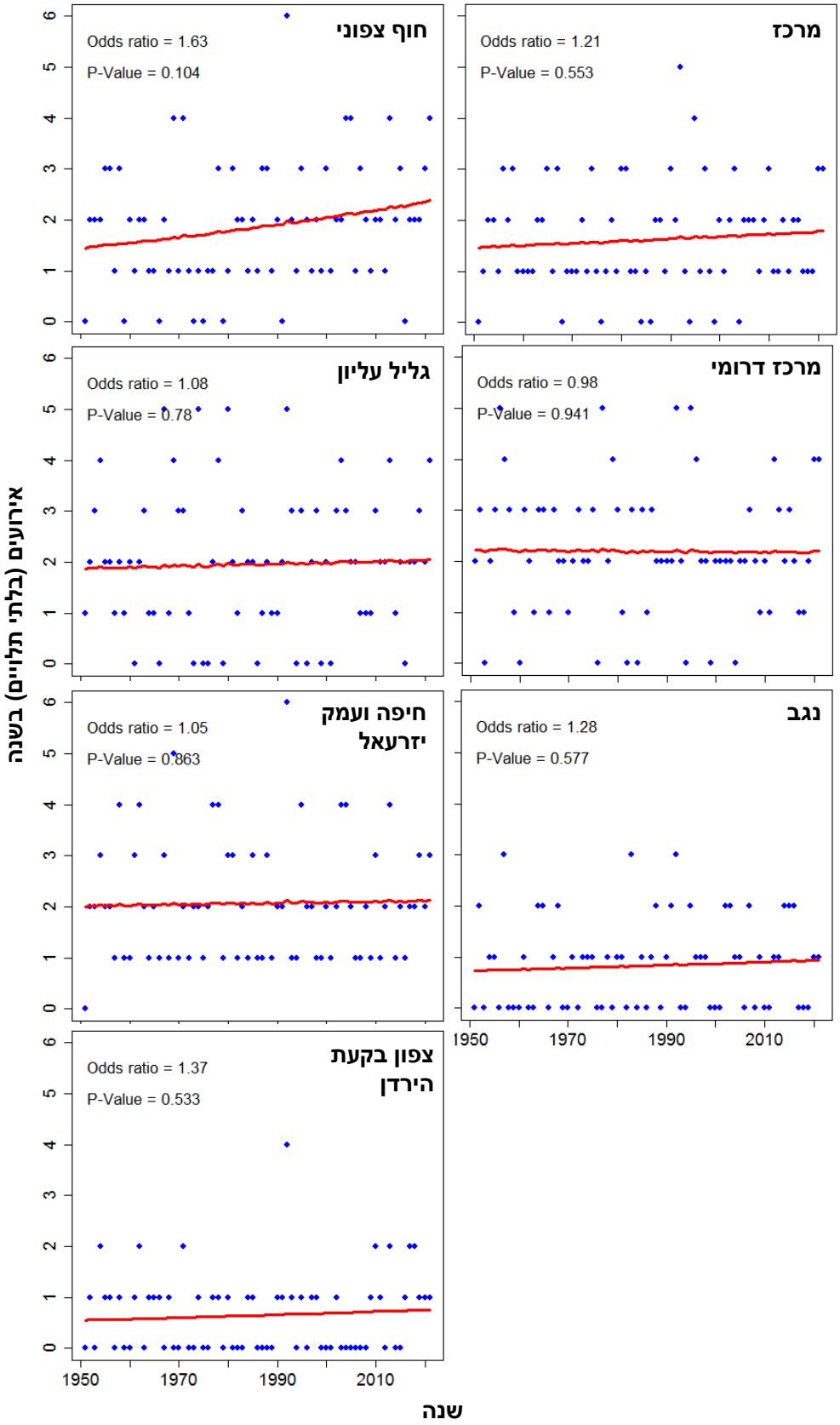
נספח 8: תוצאות הרגרסיה הלוגיסטית לאשכולות השונים למדד R50mm.



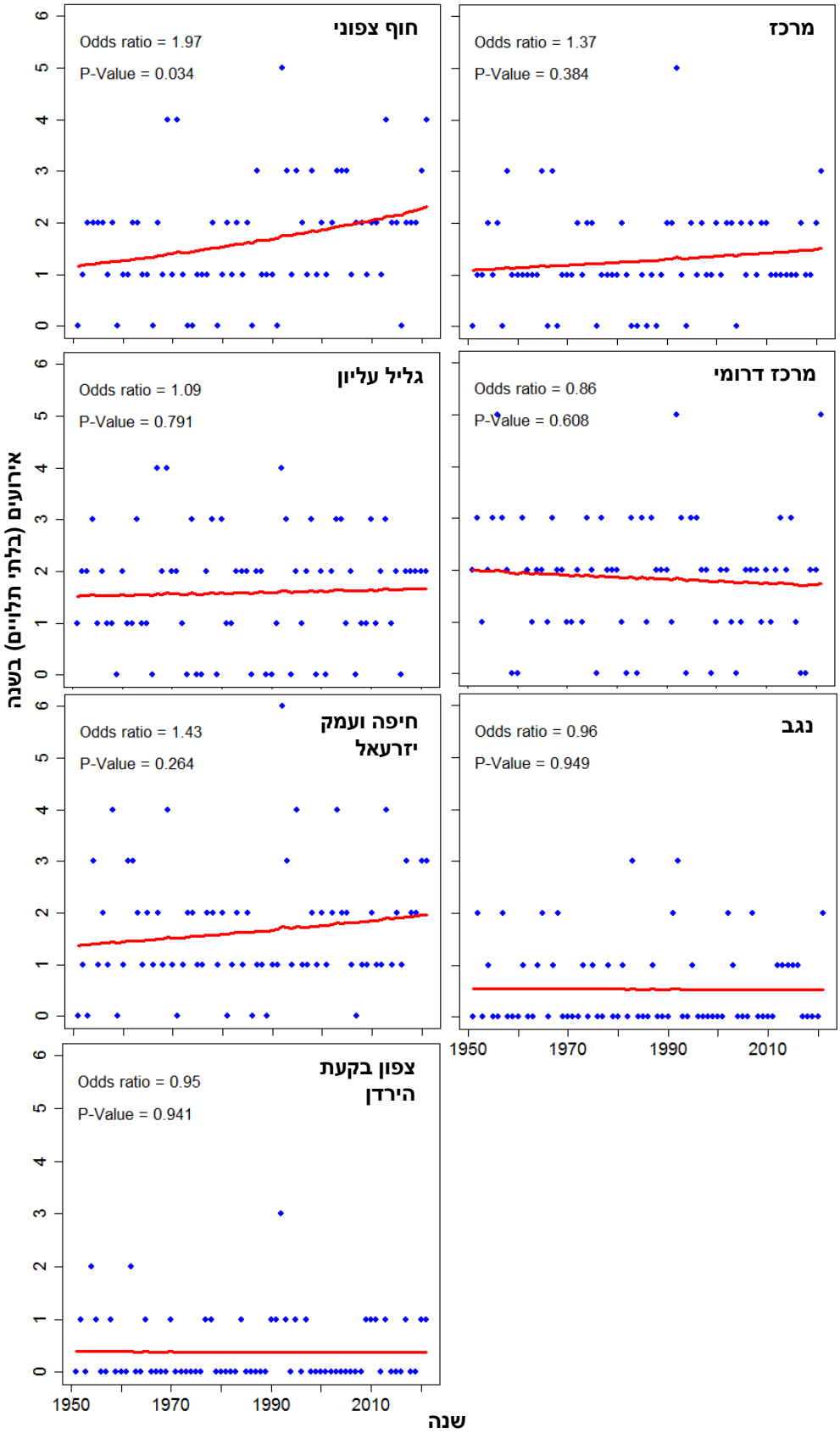
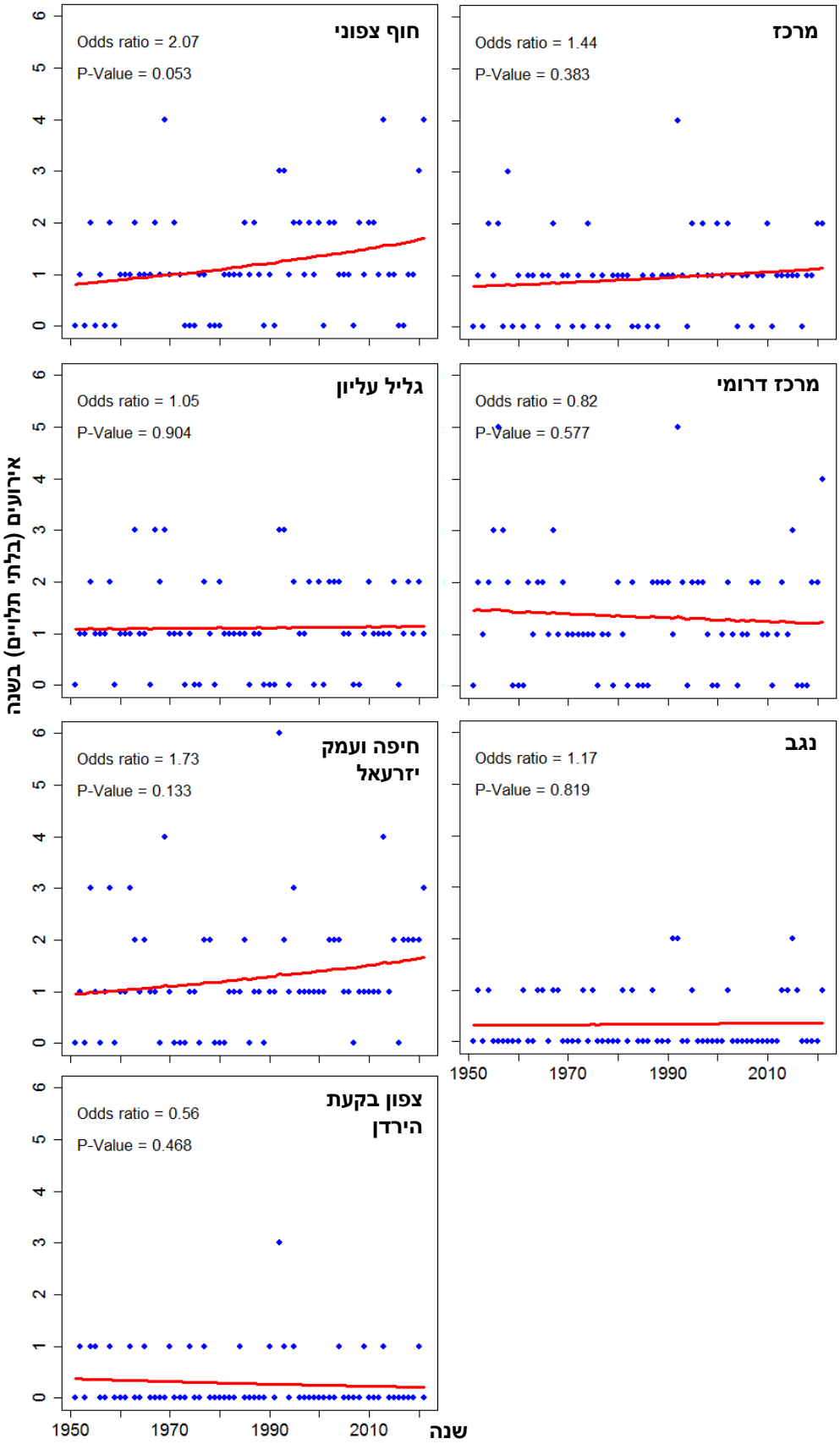
נספח 9: כמו נספח 8, ל-R70mm.



נספח 10: כמו נספח 8, ל-R2day_80mm.



נספח 11: כמו נספח 8, ל-R3day_100mm.



נספח 12: כמו נספח 8, ל-R4day_120mm.