



2011

# שינויים אקלימיים בישראל

ממצאי השירות המטאורולוגי



דצמבר 2011

## **שינויים אקלימיים בישראל – ממצאי השירות המטאורולוגי דצמבר 2011**

### **תקציר**

במטרה לשקף את המגמות האקלימיות בארץ ישראל ביצע השירות המטאורולוגי ניתוח המבוסס על נתונים מסדרת שנים ארוכה ככל האפשר. לאור זאת, עובדו נתוני טמפרטורה משנת 1951 ונתוני גשם משנת 1921.

מהלך הטמפרטורה השנתית הממוצעת ב-60 השנים האחרונות הוא של ירידה מערכים גבוהים יחסית בשנות ה-50 לערכים נמוכים יותר בשנות ה-70, התייצבות בשנות ה-80, עלייה בולטת במהלך שנות ה-90 והתייצבות על רמה גבוהה מזו שבשנות ה-50, בשנות ה-2000.

התרומה העיקרית לעליה בטמפרטורה הממוצעת היא העלייה בטמפרטורת המינימום. הדבר ניכר בעיקר בחודשי הקיץ (יוני, יולי, אוגוסט) ובפרט במישור החוף.

ממוצעים שחושבו לתקופה של 15 שנה מלמדים שממוצע הטמפרטורה של 15 השנים 1996-2010 הוא הגבוה ביותר, בהשוואה לממוצע של תקופות זהות באורכן, מאז 1951. ממצא זה נכון גם אם לא כוללים בניתוח את שנת 2010, שהייתה חמה בצורה יוצאת דופן.

קיימת התאמה כללית בין מהלך הטמפרטורה הממוצעת באזורנו למהלך הטמפרטורה העולמי. עם זאת, ההבדל בין הטמפרטורות בשנות ה-2000 לבין אלו של שנות ה-50 אינו כה גדול כפי שקיים בגרף העולמי.

ניתוח נתוני המשקעים מראה שלא חל שינוי מהותי בכמויות המשקעים השנתיות וכן לא בחלוקה העונתית שלהן במהלך 90 השנים האחרונות.

ברצוננו לציין כי מגמות הטמפרטורה והמשקעים המשתקפות בניתוח זה אינן מעידות על השינויים שיתרחשו בעתיד. הערכות לגבי אלה מתבצעות באמצעות מודלי חיזוי אקלימיים, שתוצאותיהם מוצגות בדו"חות ה-IPCC.

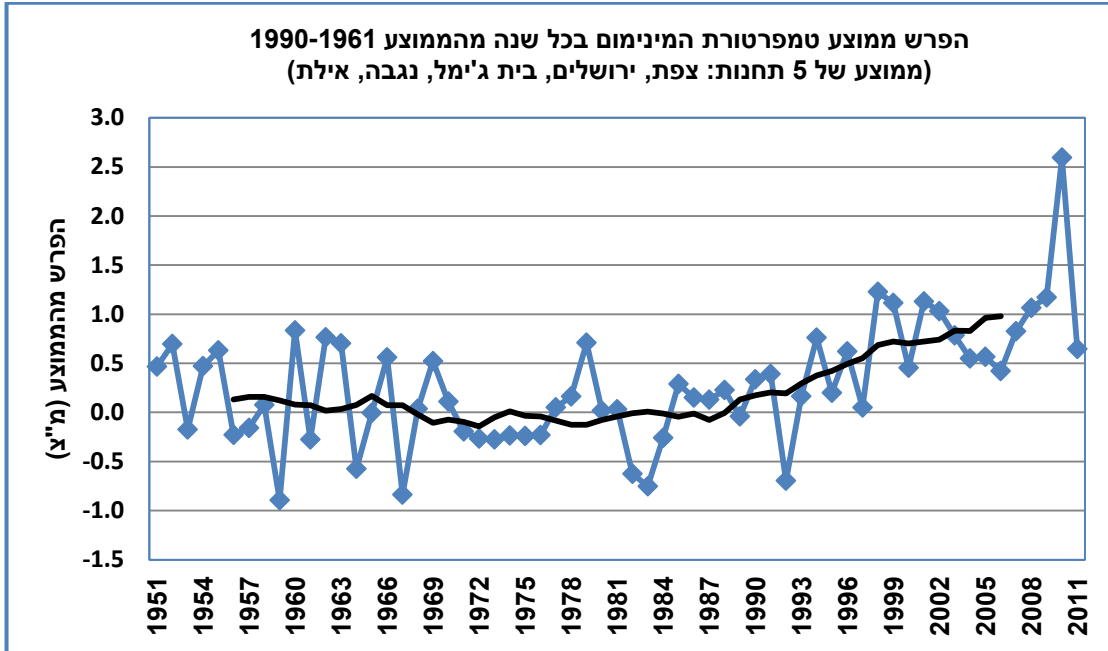
### **טמפרטורה**

המטרה העיקרית של עיבוד הנתונים הייתה לשקף את המגמות בכל מרחב ישראל, מהתקופה המוקדמת ביותר האפשרית, ולנסות ולבחון עד כמה התמונה שמתקבלת תואמת את המגמה הנצפית בטמפרטורה הממוצעת העולמית.

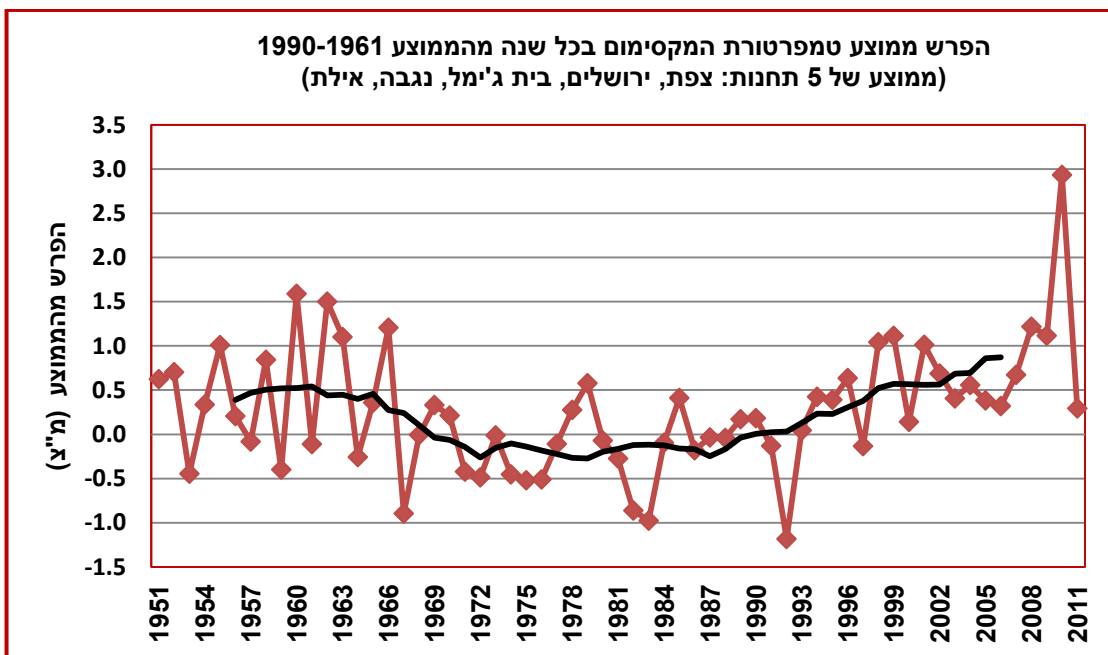
כדי לייצג את כל מרחב ישראל נבחרו 5 תחנות: הר כנען (צפת), ירושלים מרכז, בית ג'ימל, נגבה ואילת, שלהן רשומת נתונים ארוכה שמתחילה לפחות ב-1951. בוצעו בדיקות מקדמיות מהן התברר כי ממוצע המבוסס על חמש התחנות מקיים הפרש יציב עם ממוצע המבוסס על מדגם גדול ומגוון יותר של תחנות במהלך שלושת העשורים האחרונים. הדבר אישש את העובדה שניתן להשתמש בנתוני חמש תחנות אלו לבחינת מגמות השינוי.

לצורך החישובים נעשה שימוש בממוצעים החודשיים של טמפרטורות המקסימום והמינימום היומיות, של כל אחת מהתחנות, בכל חודש, במהלך 60 השנים האחרונות. ממוצעים אלו חושבו ממוצעים חודשיים של הטמפרטורה היומית הממוצעת לכל אחד מ-720 החודשים הנכללים בתקופת המחקר וכן ממוצע שנתי לכל אחת מ-60 השנים.

על סמך נתונים אלה חושבו ערכים מייצגים כלל ארציים על ידי מיצוע של חמש התחנות.  
 באיור 1 מוצג הפרש של ממוצע טמפרטורת המינימום של 5 התחנות, בכל שנה, מהממוצע הרב שנתי של 1961-1990.

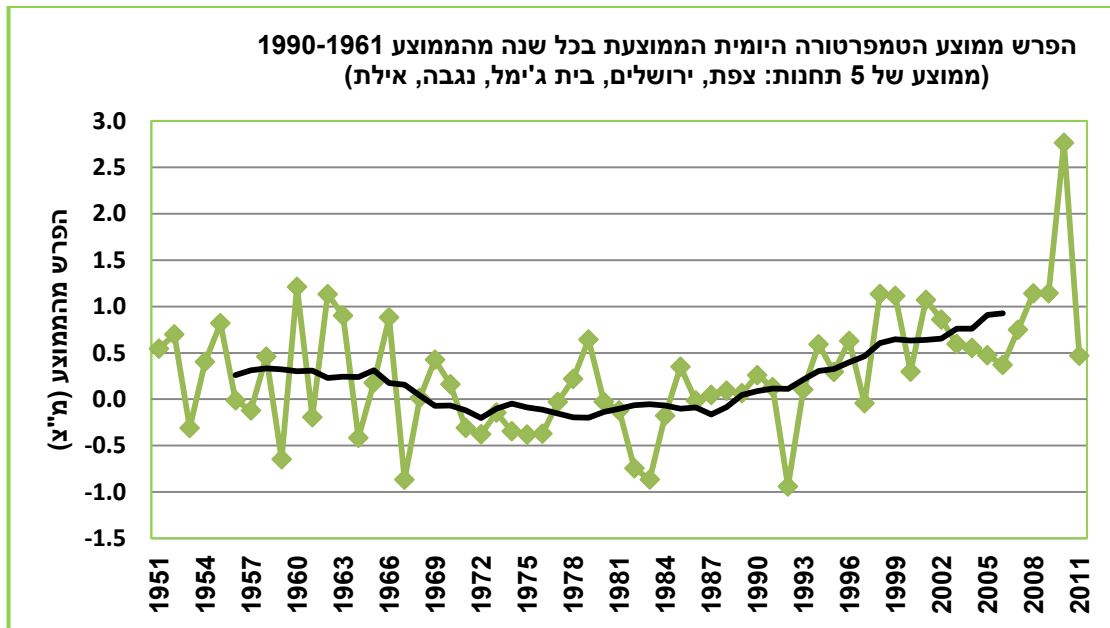


איור 1: הפרש ממוצע טמפרטורות המינימום של 5 התחנות, בכל שנה, מהממוצע הרב שנתי של 1961-1990. על הגרף השנתי (בכחול) מוצג ממוצע רץ של 11 שנה (בשחור). בולטת מאד שנת 2010 שהייתה חמה באופן חריג.  
 מאיור 1 ניכר שעיקר השינוי בטמפרטורות המינימום החל בשנות ה-90, אז התרחשה עלייה משמעותית בטמפרטורות עד לרמה הגבוהה בשנות ה-2000. לפני כן השינויים היו קטנים.



איור 2: הפרש ממוצע טמפרטורות המקסימום של 5 התחנות, בכל שנה, מהממוצע הרב שנתי של 1961-1990. על הגרף השנתי (באדום) מוצג ממוצע רץ של 11 שנה (בשחור).

באיור 2 מוצג הפרש ממוצע טמפרטורות המקסימום של 5 התחנות, בכל שנה, מהממוצע הרב שנתי של 1961-1990. בולטת העובדה, שבשונה מהתמונה שהתקבלה עבור טמפרטורות המינימום, טמפרטורות המקסימום בשנות ה-50 ותחילת שנות ה-60 היו חמות במידה דומה לאלו של שנות ה-2000 וגבוהות משמעותית מאלו של שנות ה-70 וה-80.



איור 3: הפרש הטמפרטורה היומית הממוצעת של 5 התחנות, בכל שנה, מהממוצע הרב שנתי של 1961-1990. על הגרף השנתי (בירוק) מוצג ממוצע רץ של 11 שנה (בשחור). הטמפרטורה היומית הממוצעת מחושבת כממוצע החשובני של טמפרטורות המקסימום והמינימום המוצגות באיורים 1 ו-2.

איור 3 מציג את הפרש הטמפרטורה היומית הממוצעת של 5 התחנות, בכל שנה, מהממוצע הרב שנתי של 1961-1990. הוא משלב, לפיכך, את המהלך של טמפרטורת המינימום וטמפרטורת המקסימום שבאיורים 1 ו-2. מהלך הטמפרטורה היומית הוא של ירידה מערכים גבוהים יחסית בשנות ה-50 לערכים נמוכים יותר בשנות ה-70 וה-80 ועלייה משמעותית מאמצע שנות ה-90 לערכים גבוהים בשנות ה-2000. ניכר שהאחרונים גבוהים יותר, באופן ממוצע, מאלו של שנות ה-50, אולם, בעוד שהערכים הגבוהים בשנות ה-50 נגרמים בעיקר על ידי טמפרטורות המקסימום, הרי שהעובדה ששנות ה-2000 חמות יותר משנות ה-50 נגרמת בעיקר בגין ההבדל המשמעותי בטמפרטורת המינימום. הדבר בולט בעיקר בעונת הקיץ (לא מוצג). יש לציין הבדל נוסף: בעוד שבשנות ה-50 היו בצד השנים החמות מאד גם שנים קרות, משנת 1993 ועד 2011, לא הייתה אף שנה קרה מהממוצע הרב שנתי לתקופה 1961-1990.

ברצף השנים החם ביותר בשנים האחרונות - 1998-2010 הייתה הטמפרטורה הממוצעת 20.5 מ"צ לעומת ממוצע של 19.9 מ"צ ברצף השנים החם ביותר באורך דומה בעבר - 1951-1963. נמצא כי הערך הגבוה בתקופה האחרונה מושפע מאד משנת 2010 שהייתה חמה באופן חסר תקדים (איורים 1-3). לפיכך נבחן ההבדל בערך החציוני. כאן מצטמצם ההפרש: 20.4 מ"צ בשנים האחרונות לעומת 20.0 מ"צ בתקופה המוקדמת יותר.

מגמת הטמפרטורה הנצפית בישראל תואמת את המגמה הכללית העולמית, הווה אומר, ירידה מהערכים, הגבוהים יחסית, באמצע המאה ה-20 לערכים נמוכים יותר בשנות ה-70 ועלייה מחדשת לערכים גבוהים יותר בשנות ה-2000. עם זאת, יש לציין, כי בשונה מהתמונה העולמית, ההפרש בין הערכים בשנות ה-2000 לאלו של התקופה החמה המוקדמת יותר קטן יותר בישראל. בנוסף, מגמת העלייה בישראל נצפית מאמצע שנות ה-90 ואילך בעוד שבטמפרטורה העולמית ישנה עליה כמעט רציפה משנות ה-70.

### **משקעים**

הארגון המטאורולוגי העולמי ממליץ לחשב ממוצעי משקעים לתקופה של לפחות 30 שנה. ההמלצה תקפה גם באזורים הממוזגים, בהם יורדים משקעים כל השנה, ולכן מהווה דרישת מינימום למשטר המשקעים בישראל, המתאפיין בקיץ יבש ובשונות בין שנתית גבוהה יותר. לפיכך, אם מנסים להעריך מגמות במשטר המשקעים חייבים לכלול בניתוח סדרות נתונים ארוכות ככל האפשר. לאור זאת, ביצע השירות המטאורולוגי ניתוח המבוסס על נתונים משנת 1921 ואילך, ובכך נכללה תקופה של 90 שנה.

ניתוח הנתונים בוצע בשתי דרכים עיקריות: 1. שימוש במרב התחנות הפעילות כדי לייצג ערך כלל ארצי בכל שנה ושנה, גם אם חלק מאותן תחנות לא פעל לאורך כל התקופה. 2. ניתוח של נתונים מ-15 תחנות, הפרושות באזורים שונים בארץ, שפעלו במשך כל 90 השנים.

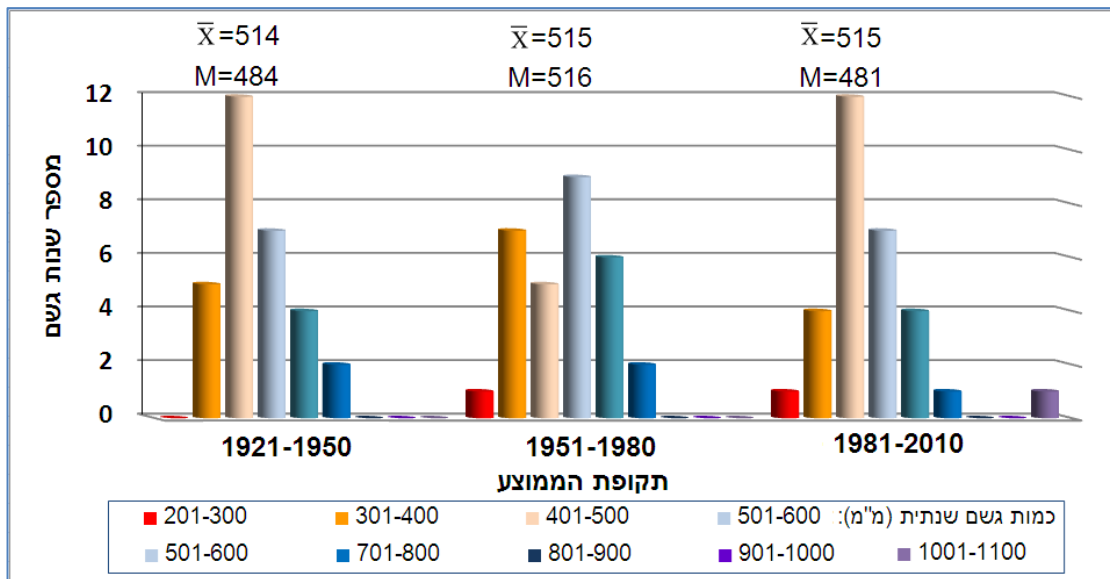
איור 4 מציג את התפלגות כמות המשקעים השנתית בכל אחת מתקופות המיצוע בנות 30 השנה: 1921-1950; 1951-1980; 1981-2010. הכמויות חושבו על בסיס כל התחנות הפעילות בשטח בו יורדת כמות משקעים ממוצעת של 100 מ"מ לשנה ויותר, אך לא כולל את רמת הגולן, מאחר ולא היו לנו נתונים מאזור זה לפני 1968. ראוי לציין שמספר התחנות ופרישתן המרחבית אינם זהים בכל אחת מהתקופות, כאשר בתקופה הראשונה (1921-1950) מספר התחנות היה קטן יותר, בעיקר בתחילתה. עם זאת, שיטת החישוב הקטינה, עד כמה שניתן, את ההשפעה של השינויים במספר התחנות ובתפרוסתן<sup>1</sup>.

ניתן לראות באיור 4, שאין כל הבדל ממשי בין ממוצעי שלוש התקופות. עם זאת, ניכרים הבדלים בהתפלגות כמות המשקעים השנתית, כאשר בתקופה האמצעית (1951-1980) פיזור כמות המשקעים אחיד יותר ומתבטא בערך חציוני וממוצע כמעט זהים, ואילו בתקופה הראשונה והאחרונה בולטת הקטגוריה של שנים עם כמות משקעים נמוכה במעט מהממוצע, והדבר מתבטא בחציון נמוך בשתי תקופות אלו בהשוואה לזה של התקופה האמצעית.

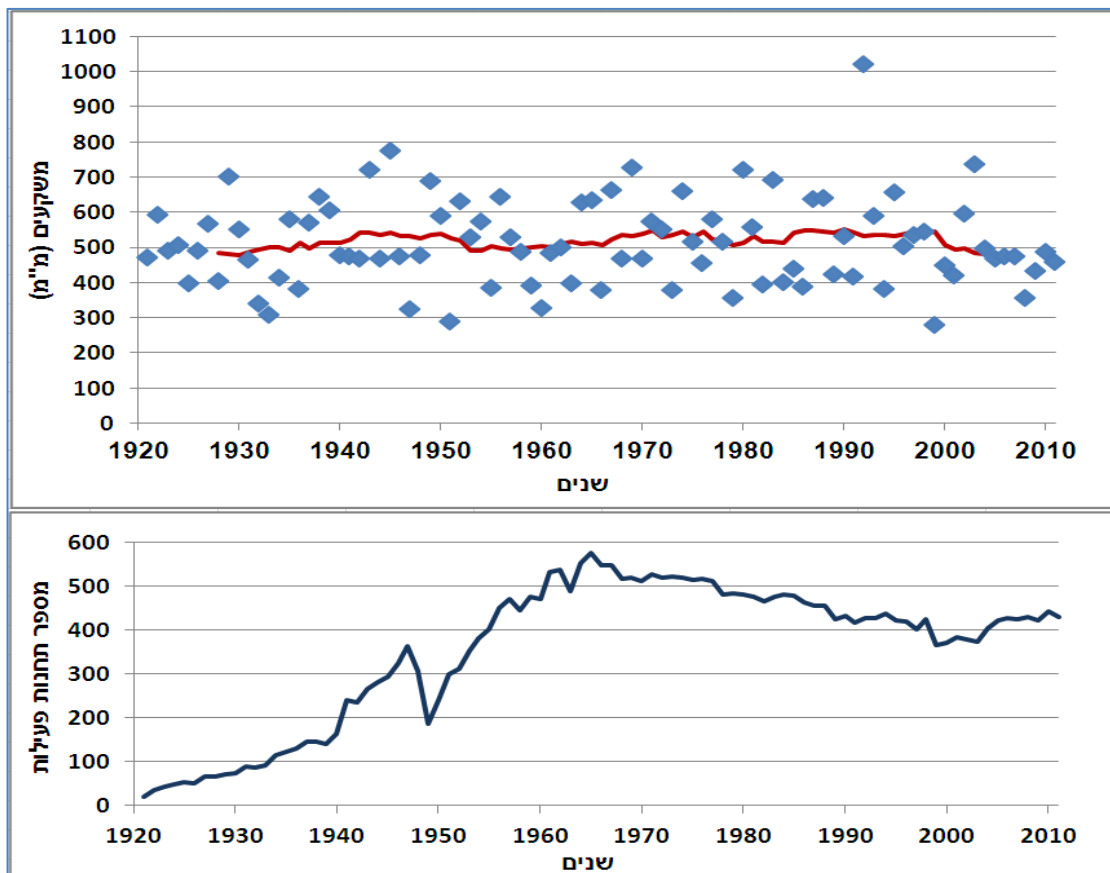
בחלקו העליון של איור 5 מוצגת כמות המשקעים השנתית הממוצעת בכל שנה על סמך אותן תחנות ששימשו באיור 4. בחלקו התחתון של האיור מוצג מספר התחנות שפעלו בכל שנה. על פי גרף הממוצע הרץ של 15 שנה ניתן לראות שאין שינוי מהותי במשך 90 השנים האחרונות, החורג מטווח

<sup>1</sup> שיטת החישוב התבססה על חלוקת סכום כל כמויות הגשם שירדו בפועל בכל שנת גשם בסכום כל הכמויות הממוצעות (1961-1990) לתחנות הפעילות באותה שנה ספציפית. מתוך כך חושבה הכמות היחסית הארצית לאותה שנה. כדי להציג גרף מוחשי יותר עם כמויות מוחלטות, הוכפלה הכמות היחסית שחושבה עבור כל שנה ושנה בערך ארצי קבוע שהוא ממוצע כל ממוצעי 1961-1990 של התחנות שהשתתפו במחקר.

ההשתנות הטבעית של המשקעים. עם זאת, יש לציין כי בהיבט כלל ארצי, הרצף של 8 השנים האחרונות, בהן לא עלתה כמות המשקעים על הממוצע ולו פעם אחת, הוא חריג.

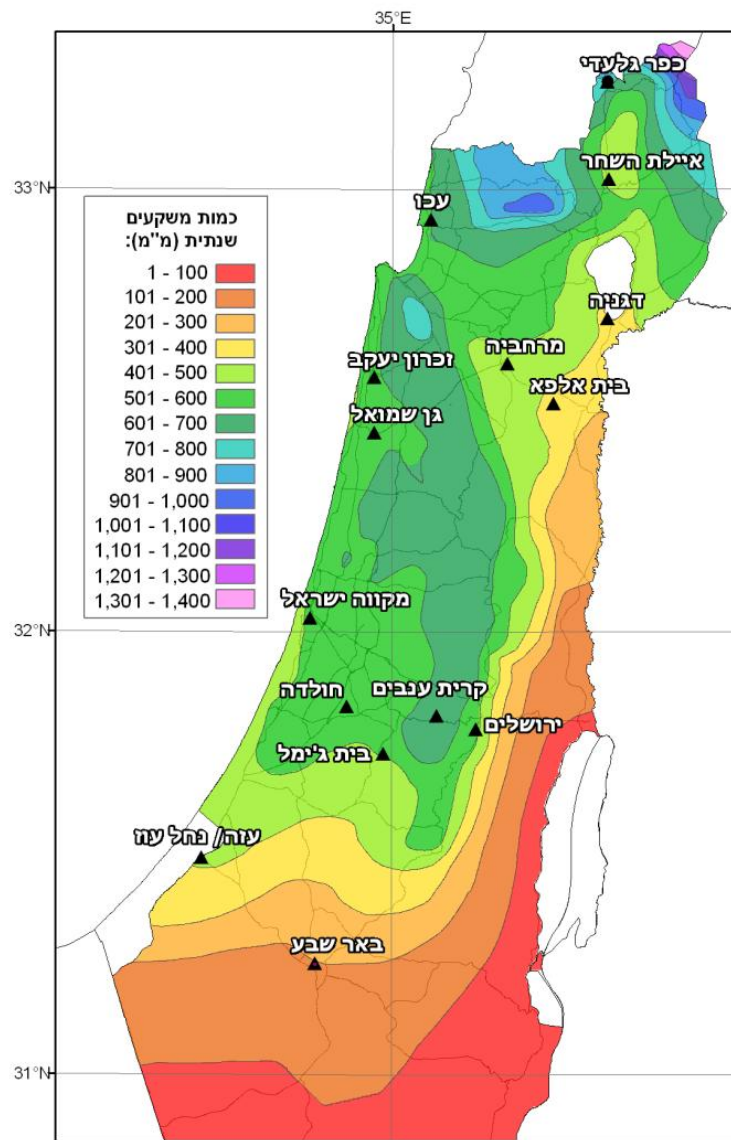


איור 4: התפלגות כמות המשקעים השנתית בכל אחת מתקופות המיצוע בהתבסס על מרב התחנות הפעילות בכל שנה. הערך  $\bar{X}$  מציין את הממוצע והערך M מציין את החציון של כמות המשקעים השנתית במילימטרים בכל תקופת מיצוע.



איור 5: בגרף העליון מוצגת כמות המשקעים השנתית הממוצעת בכל שנה מ-1921 ועד 2010. הקו האדום המלא מייצג ממוצע רץ של 15 שנה. בגרף התחתון מוצג מספר התחנות שפעלו בכל שנה.

בכדי לבדוק האם השינוי במספר התחנות שפעלו במשך התקופה עשוי לגרום להטיה בתוצאות הניתוח, ביצענו ניתוח דומה המבוסס על 15 תחנות ותיקות שפעלו במשך כל 90 השנים<sup>2</sup>. פרישתן המרחבית מוצגת במפה 1 על רקע מפת כמות המשקעים השנתית הממוצעת (מ"מ) לתקופה 1981-2010. העיבוד המבוסס על 15 תחנות אלו כלל גם הרחבת הבחינה לרזולוציה עונתית וחדשית.

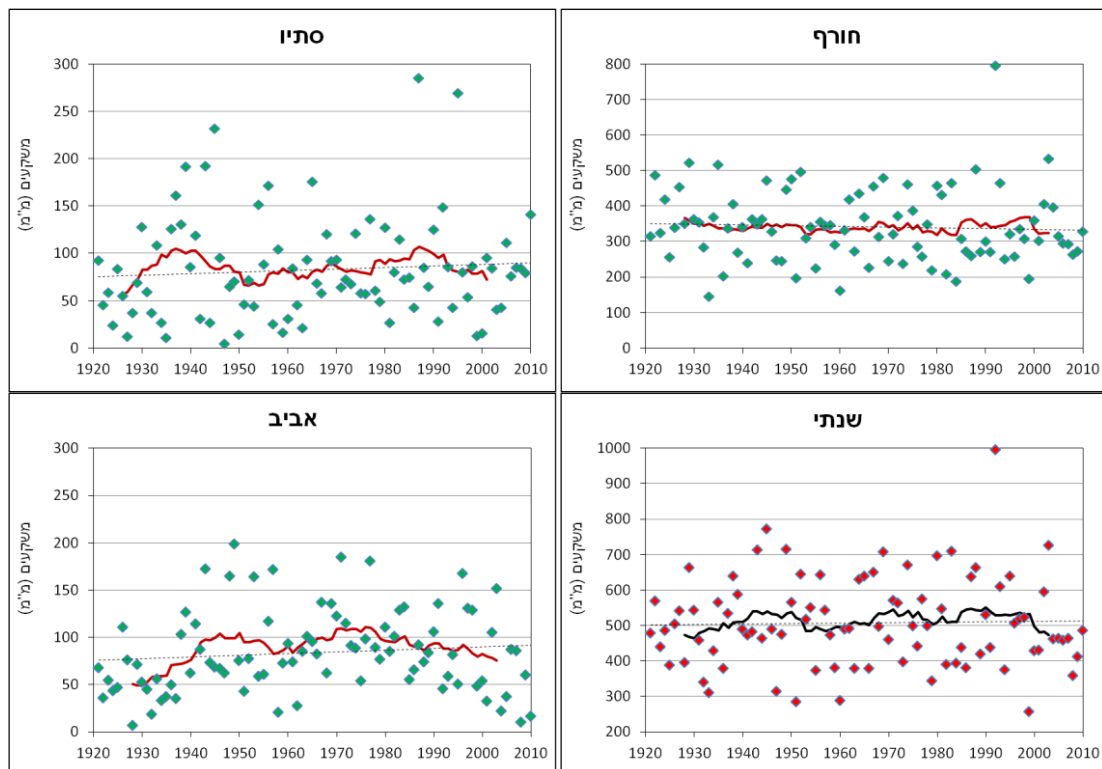


מפה 1: פרישת 15 התחנות הוותיקות על רקע מפת כמות המשקעים השנתית הממוצעת לתקופה 1981-2010.

<sup>2</sup> בתחנות בודדות היו כל הנתונים זמינים. באחרות היה חוסר נתונים במעט שנים. ערכי כמות הגשם בשנים אלו שוערכו בעזרת תחנות הסביבה. תחנה אחת התבססה על שילוב נתונים משני מקומות סמוכים: עזה - בעשורים הראשונים, ונחל עוז (מרחק אווירי של 4 ק"מ מעזה וכמות שנתית ממוצעת דומה לה) - החל מ-1952. זאת במטרה לאפשר ייצוג של מישור החוף הדרומי בבחינה זו.

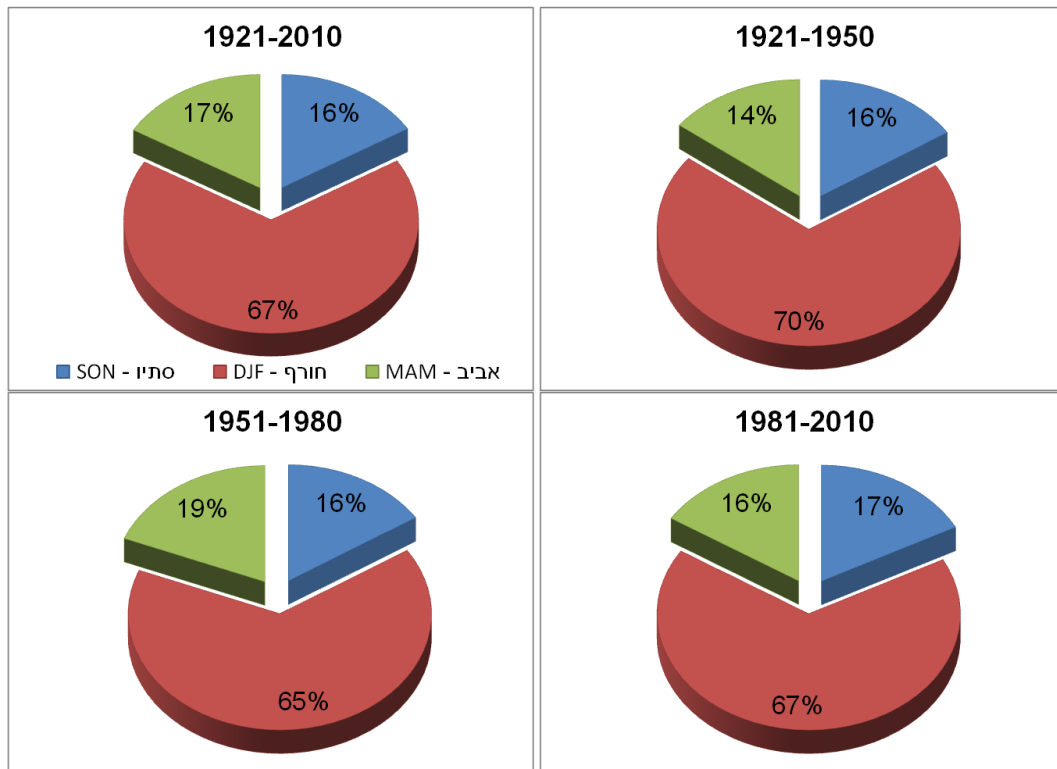
מצאנו כי יש מתאם גבוה מאד בין כמויות המשקעים השנתיות, המבוססות על מרב התחנות בכל שנה, לבין כמויות המשקעים השנתיות המבוססות על 15 התחנות הוותיקות ( $r^2=0.98$ ) גם אם משמיטים את השנה הקיצונית (1991/2). בנוסף, נמצא כי אין מגמה בהפרש בין כמויות אלו במשך 90 השנים (לא מוצג).

איור 6 מציג את כמויות המשקעים השנתיות המבוססות על ממוצע 15 התחנות הוותיקות המופיעות במפה 1. ניכר דמיון בין גרף המשקעים השנתי לזה המופיע באיור 5. בגרפים העונתיים בולטת הירידה בכמויות הגשם באביב בעשור האחרון, אך ניתן לראות שכמויות המשקעים בעונה זו היו נמוכות באופן דומה גם בשנות ה-20 וה-30 של המאה הקודמת. כמויות המשקעים בסתיו היו גם הן נמוכות בשנות ה-20 וזאת בעיקר בגלל מיעוט גשמי אוקטובר בתקופה זו (לא מוצג). ככלל, ניתן לראות כי אין מגמה חד משמעית באף אחת מהעונות.



איור 6: כמות המשקעים השנתית ובכל אחת מהעונות: סתיו (ספטמבר, אוקטובר, נובמבר), חורף (דצמבר, ינואר, פברואר) ואביב (מרץ, אפריל, מאי), על בסיס 15 התחנות המופיעות במפה 1. הקו הרציף מייצג ממוצע רץ ל-15 שנים ואילו הקו המקווקו מבטא ניסיון להתאים קו מגמה ליניארי וממחיש את היעדר המגמה הליניארית הברורה בעונות השונות ובשנה כולה.





איור 7: ההתפלגות העונתית של המשקעים בכל 90 השנים (משמאל למעלה) ובכל אחת מתקופות המיצוע, על בסיס 15 התחנות המופיעות במפה 1.

איור 7 מציג את ההתפלגות העונתית של המשקעים במהלך 90 השנים ובכל אחת מתקופות המיצוע, על סמך 15 התחנות הוותיקות. נראה כי קיימים הבדלים קלים בלבד בחלוקה העונתית של כמויות המשקעים בין תקופות המיצוע השונות אך ככלל, חלוקה זו נשמרת (בחורף - כשני שלישים מכמות המשקעים השנתית, כשישית מהכמות בסתיו וכשישית מהכמות באביב).

לסיכום ניתן לומר שלא נצפה שינוי מהותי בכמויות המשקעים והחלוקה העונתית שלהן במהלך 90 השנים האחרונות.

הערה חשובה: ניתוח זה מתייחס למגמות שינויי האקלים בארץ עד כה ואיננו מתיימר לעסוק בחיזוי האקלים העתידי. הערכות לגבי שינויי האקלים שיתרחשו בעתיד מחושבות באמצעות מודלים דינמיים לחיזוי אקלימי, שתוצאותיהם מוצגות בדו"חות ה-IPCC.