



ברוך זיו, הדס שערוני, פנחס אלפרט

# מתחמם

החורף הופך לקצר יותר וההפוגות בין אירועי הגשם גדלות. במקביל הופך הקיץ לחם יותר ויותר. איך כל זה קשור להתחממות הגלובלית? מגמות אקלימיות הצפויות בישראל

לקיומן של המדבריות העולמיות, כגון מדבריות המזרח התיכון, סהרה שבצפונה של אפריקה ונמיביה שבדרומה. התעבות אדי המים לעננים באזורים הטרופיים משחררת חום, וחום זה הוא הכוח המניע של תא הדלי. ככל שהטמפרטורה באזור המשווני גבוהה יותר, מתאדים מים רבים יותר מהאוקיינוסים, ולכן צפוי שהתחממות האקלים תגביר את עוצמתו של תא הדלי ותרחיב את השפעתו. ישראל נמצאת מעט צפונית משוליו של תא הדלי, בהם שוקע האוויר, מה שמסביר את אופיו המדברי של הנגב. תא הדלי נודד צפונה בקיץ, מה שמסביר את העונה היבשה הנמשכת בארץ ממאי ועד אוקטובר; ונע דרומה בחורף, עונה בה ישראל ממוקמת בשוליהם של מסלולי השקעים הברומטריים הגורמים לירידת הגשם. התפשטות פוטנציאלית נוספת של תא הדלי בעקבות התחממות כדור הארץ תגרום לשוליו להתקדם צפונה לאורך ישראל, להתקצרות עונת הגשם ולהפחתה כללית בכמויות המשקעים. כתוצאה מכך, קווי הגבול האקלימיים העוברים לרוחב הארץ ומפרידים בין האזור שבו שורר אקלים

הסביבה ובחלקו על ידי הקרן הקיימת לישראל, מתוך כוונה לדעת לקראת מה עלינו להיערך בעקבות שינויים אפשריים באקלים הארץ, ובפרט במשטר הגשם והטמפרטורה. התקופה שבה התמקד המחקר היא 35 השנים האחרונות, משנת 1975, בהן מתחמם העולם בעקביות.

## צפי לשינויים אקלימיים

על פי התחזיות של מרכזי המחקר המובילים בעולם, צפויה באזורנו התחממות בכל עונות השנה והפחתה בכמויות המשקעים. ההפחתה בכמות המשקעים קשורה בצפי להתפשטות השוליים של "תא הדלי" לכיוון קווי הרוחב הממוזגים. תא הדלי הוא כינוי למעגל זרימה אדיר ממדים, שבו האוויר באזור המשווה עולה, ואגב כך יוצר עננים ומשקעים מרובים, נע בשכבות הגבוהות של האטמוספירה צפונה ודרומה לאזורים הסובטרופיים ושוקע בהם. שקיעת האוויר גורמת להתחממות שלו, ומונעת היווצרות עננים וירידת משקעים באזורים הסובטרופיים, והיא המקור

בשנים האחרונות גובר החשש מפני שינויים אקלימיים. כתוצאה מכך רבים מגיבים בצורה מוגזמת לאירועים חריגים. לדוגמה, קיץ 2011 היה חם במידה חסרת תקדים, מה שהחריף את התחושה שהאקלים מתחמם במהירות. הקיץ האחרון (2012) "צינן" מעט את הבהלה. דוגמה נוספת היא חורף 2010/11 שהיה חם, ובכמה אירועים נמדדה בו טמפרטורה של 30 מעלות ויותר. הרושם הקשה שהוא עורר נמחק בחורף הנוכחי, שהוא קר מהממוצע. הדבר מלמד על כך שמוג האוויר בארץ (ולא רק בה) נתון לתנודות חריפות משנה לשנה, ואף מחודש לחודש, ואין להסיק מאירועים בודדים מסקנות באשר לשינויים אקלימיים. לשם כך נחוץ לבחון תקופות ארוכות של עשרות שנים.

מאמר זה מסכם את ממצאיו של מחקר לבחינת המגמות האקלימיות בארץ, שהתבסס על נתוני עשרות תחנות מטאורולוגיות בתפרוסת רחבה, והוא חלק מהמאמץ העולמי להתחקות אחר ביטויה של ההתחממות הגלובלית ברמה האזורית. המחקר מומן ברובו על ידי המשרד להגנת

ים-תיכוני בצפון הארץ ובמרכזה, לבין האזור הצחיח שבדרום הארץ – עתידים להצפין.

## חדשות חמות

הממצא הבולט ביותר בתחום הטמפרטורה הוא מגמת עלייה מובהקת מבחינה סטטיסטית. בעונת הקיץ, שיעורה חצי מעלה בעשר שנים, שיעור העולה פי שניים על שיעור ההתחממות הגלובלית (0.8 מעלות ב-35 השנים האחרונות). הסיבה להתחממות הקיצונית, בנוסף לגורם הגלובלי, היא היחלשות הרוחות המערביות העונתיות השולטות באזורנו בקיץ ומקלות את החום. לא ברור מה גרם לשינוי זה, ולכן אי אפשר לקבוע האם מדובר בשינוי חולף, דהיינו תנודה, או בתהליך מתמשך. מגמת ההתחממות בכל החודשים החמים, יוני-אוקטובר, מובהקת בכל חלקי הארץ (איור 1). גם בעונת החורף מסתמנת מגמת התחממות, אך שיעורה קטן משיעורה בקיץ (ומובהק רק בחלק מתחנות המדידה). מגמת העלייה ניכרת הן בטמפרטורות המקסימום והן בטמפרטורות המינימום. עם זאת, טמפרטורת המינימום עולה בשיעור גבוה יותר מטמפרטורת המקסימום באזור החוף ובאזורים המישוריים, ואילו באזורי ההרים דווקא טמפרטורות המקסימום עולות בקצב מהיר יותר. אחת ההשלכות של שוני זה הוא שלילת הקיץ באזור החוף נעשים קשים יותר. עומס החום, שהוא מדד המבטא את ההשפעה המשולבת של הטמפרטורה והלחות, נמצא אף הוא בעלייה מובהקת בעונה החמה וזאת בשל ההתחממות הבולטת, ללא שינוי מובהק בלחות היחסית.

## גלי חום וגלי קור

אחת התופעות הקשות המאפיינות אקלים חם היא גלי חום, בפרט אלו הנמשכים כמה ימים ברציפות. לצורך המחקר הוגדר 'גל חום' כאירוע שבו הטמפרטורה עברה את הסף של 33 מעלות צלזיוס, המקובל כסף הטמפרטורה עבור תנאי שרב. נמצא שבמהלך 35 השנים האחרונות לא רק שהתרבו גלי החום אלא גם התארכו, עובדה שלה השלכות סביבתיות קשות.

כדי להתחקות אחר מגמות בסיכוני קרה התמקדנו בלילות שבהם ירדה הטמפרטורה בסוכה המטאורולוגית (בגובה 2 מ') מתחת לחמש מעלות (מצב בו הטמפרטורה סמוך לקרקע נמוכה מזו שבסוכה במידה כזו שעלולה להגיע לנקודת הקיפאון, מה שעלול לגרום לקרה). ניכרת ירידה במספר הלילות הקרים, כנגזר ממגמת ההתחממות הכללית, אם כי



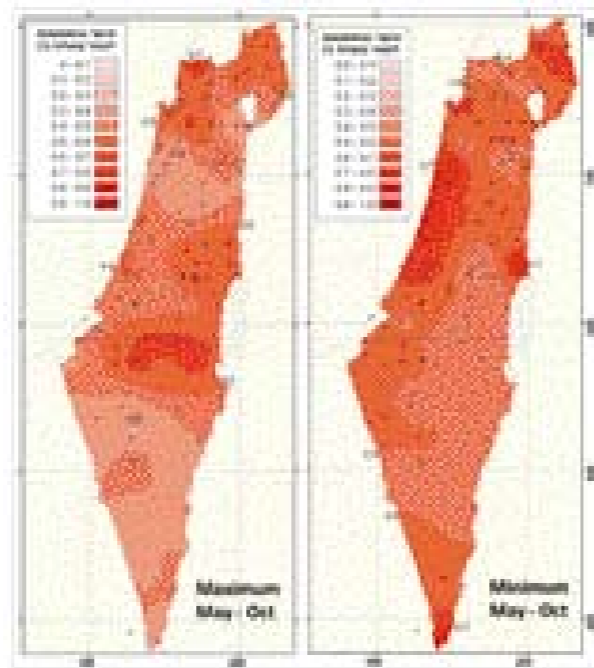
**הממצא הבולט ביותר בתחום הטמפרטורה הוא מגמת עלייה מובהקת מבחינה סטטיסטית. בעונת הקיץ שיעורה חצי מעלה בעשר שנים, שיעור העולה פי שניים על שיעור ההתחממות הגלובלית**

הארץ השונים, על פי חלוקה גיאוגרפית, מוצג באיור 2. אפשר לראות שבכל האזורים המצוינים במפה המגמה היא ירידה (ברוב האזורים היא, כאמור, בלתי מובהקת). חל גם שינוי בחלוקת הגשמים לאורך העונה. הפחתה משמעותית ומובהקת נרשמה בגשמי סוף העונה, בחודשים מארס-אפריל. גם בסתיו קיימת מגמת הפחתה, אבל זעירה ובלתי מובהקת. לעומת זאת, בשיא החורף יש דווקא עלייה קלה ובלתי מובהקת. כדי להעריך את השינויים שחלו באורכה של עונת הגשמים תיעדנו עבור כל שנה את התאריכים שבהם הצטברו 10%, 50% ו-90% מכמות הגשם שירדה באותה העונה. התאריך שבו מצטברים 10% בשנה כלשהי מציין את תחילת עונת הגשמים בשנה זו – והמועד שבו מצטברים 90% – את סיומה. משך העונה הוגדר כפרק הזמן שביניהם. על פי הגדרה זו, תחילת העונה חלה בדרך כלל בראשית נובמבר, וסיומה – בסוף מארס. לדוגמה, בחורף 2010/11 הצטברו עשרת האחוזים הראשונים רק ב-10 בדצמבר, מאוחר בהרבה מהרגיל. מבדיקת מגמות השינוי במועדי תחילת העונה וסיומה עולה שעונת הגשמים מתקצרת, ושהסיבה העיקרית לכך היא הקדמת מועד סיומה, עובדה התואמת את ההפחתה הגדולה ביותר בעונת האביב. עם

עדיין נצפים לילות קרים ואירועי קרה ברוב חלקי הארץ. בניגוד לעונת הקיץ, שבה מגמת העלייה במספר הימים החמים עקבית, מגמת הירידה במספר הלילות הקרים אינה עקבית, ועדיין נצפים אירועי קרה קיצוניים. אחת התקופות העתירות בלילות קרים היתה בתפר שבין שנות השמונים והתשעים, במיוחד בחורף 1988/9, שבו נגרמו נזקים קשים לחקלאות עקב קור יבש ללא גשם, ובחורף 1991/2, שהיה קר וגשום מאוד. לאחר ירידה משמעותית במספר הלילות הקרים בסוף שנות התשעים ובשנות האלפיים הראשונות, חזרו אירועי הקרה. חורף 2007/8 היה קר ויבש במידה ניכרת ואירוע קרה קיצוני ביותר התרחש בינואר 2008.

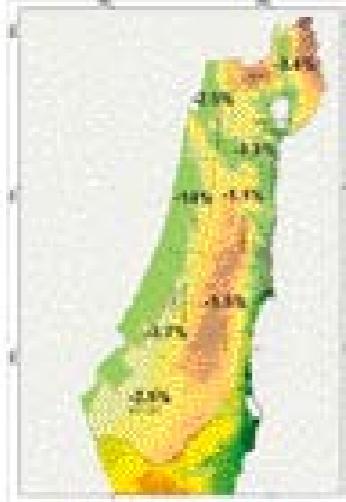
**מגמות שינוי במשטר הגשמים**

כאמור, אזורנו עתיד לסבול ממגמת התייבשות. ואכן, ב-35 השנים האחרונות קיימת מגמת הפחתה בכמות המשקעים השנתית ברוב חלקי הארץ, אם כי היא מובהקת סטטיסטית רק בדרום הנגב ובמזרח רמת הגולן. לעומת זאת, יש מקומות שבהם נרשמה דווקא עלייה, אמנם זעירה, בעיקר במרכז הארץ, ובפרט בגוש דן, כתוצאה אפשרית של עיור גובר (העיר מייצרת חום, שעשוי להגביר יצירת עננים). שיעור מגמת השינוי בחלקי



**איור 4:** התפרסת המרחבית של מגמת השינוי בטמפרטורת המקסימום, משמאל, והמינימום, מימין, למחצית השנה החמה (מאי-אוקטובר). הקווקו האלכסוני מציין שהמגמה מובהקת. ניכר שטמפרטורת המינימום עלתה במישורים ובשפלה יותר מאשר טמפרטורת המקסימום, ואילו באזורי ההר טמפרטורת המקסימום עולה בשיעור גבוה יותר. איור: השירות המטאורולוגי. נכלל בדוח הגנת הסביבה 2011

זאת, גם ראשית העונה ואמצעה מתאחרים. במהלך 35 שנות המחקר התקצרה עונת הגשמים ב-12 יום. מגמה זו, גם אם אינה מובהקת סטטיסטית, היא מדאיגה. משמעותה היא, בין השאר, שהחקלאים אינם יכולים לסמוך עוד על גשמי הסתיו והאביב, ועליהם להאריך את עונת ההשקיה, ומן הסתם לצרוך יותר מים, בעיקר בשולי העונה שבהם גם שיעור ההתאדות גבוה יותר. אחת הציפיות הקשורות בהתחממות הגלובלית היא הגברת עוצמת הגשם, מגמה שעלולה להחמיר את סכנת השיטפונות, בפרט באזורים עירוניים, בהם מערכות הניקוז מוגבלות ביכולתן לסלק את מי הגשם המצטברים. מגמת עלייה בכמות המשקעים היממתית, שהיא ביטוי לעוצמת הגשם, זוהתה בארצות שלחוף מערב הים התיכון ומרכזו. בישראל, המצטיינת בכמויות יממתיות גדולות, אי אפשר היה להצביע על מגמה ברורה של שינוי בכמויות הגשם היממתיות. עם זאת, במישור החוף, שבו הרגישות לשיטפונות גדולה במיוחד, מסתמנת עלייה בשיעור הימים הגשומים שבהם יורדים יותר



**איור 2:** מגמת השינוי בכמות המשקעים השנתית (באחוזים לעשור) בחלוקה לשמונה אזורים גיאוגרפיים. אף אחת מהמגמות האזוריות אינה מובהקת סטטיסטית. איור: השירות המטאורולוגי. נכלל בדוח הגנת הסביבה 2011

מ-30 מ"מ ומ-50 מ"מ, ממצא מדאיג, גם אם אינו מובהק סטטיסטית. נושא נוסף שנבדק הוא משך ההפוגות שבין אירועי הגשם. נמצא כי בעוד אורך אירועי הגשם עצמם אינו משתנה, קיימת מגמה של התארכות בהפוגות שבין האירועים, המובהקת במספר אזורים בישראל. לסיכום, אפשר לומר שהמגמות שנמצאו, גם אם חלקן אינן מובהקות סטטיסטית, מצביעות על החרפה במאפיינים הבעייתיים של אקלים הארץ; הקיץ נעשה חם יותר, עומס החום וגלי החום גוברים, כמות המשקעים קטנה, עונת הגשמים מתקצרת וההפוגות בין הגשמים הולכות ומתארכות. ❖

**ד"ר ברוך זיו** הוא ראש קבוצת הפיסיקה באוניברסיטה הפתוחה וחוקר בתחום האקלים. **פרופ' הדס סערוני** היא פרופסור חבר בחוג לגיאוגרפיה באוניברסיטת תל-אביב, החוג לגיאוגרפיה. **פרופ' פנחס אלפרט** הוא ראש בית ספר "פורטר" לאיכות הסביבה, אוניברסיטת תל אביב.

**לקריאה נוספת**  
דוח מס' 8-810 של המשרד להגנת הסביבה: "תנודות ומגמות בטמפרטורה, בעומס חום ובמשקעים בישראל ב-30 השנים האחרונות – האם עדות לשינוי אקלימי? בחינה קלימטולוגית-סינופטית", ב. זיו, ה. סערוני ופ. אלפרט 2011