



מה קרה לאקלים העולם?

# חזאים - היכוננו לבלגן!

אז מה היה לנו כאן בשנתיים האחרונות? סופות שלג חסרות תקדים במחצית הראשונה של דצמבר, ואחר כך חודשיים וחצי כמעט ללא משקעים ושלג רב בחורף 2015 - בארבעה אירועים נפרדים. ומה בעולם? סורנדו הרסני בארצות הברית, גשמי זעף באנגליה, וסופות הוריקן וטייפון קטלניות באסיה, לצד גלי חום קשים. למה זה קורה ומה צפוי לנו בעתיד? ד"ר ברוך זיו מנתח את תהפוכות מזג האוויר בתקופה האחרונה, ומנסה להתמודד עם משימה כמעט בלתי-אפשרית: להעריך מה צפוי לנו בעתיד

« ד"ר ברוך זיו

הקצנה אקלימית באה לידי ביטוי באופנים שונים. אחד מהם הוא הגדלת ההשתנות שבין היום ללילה ובין החורף לקיץ, בין תקופות גשומות לתקופות יובש. צורת ביטוי מוכרת יותר היא החרפה בעוצמתם של אירועי מזג אוויר חמור: סופות רוח, עוצמות גשם, גלי חום או בצורות.

בשנים האחרונות התרחשו באזורים שונים בעולם אירועי מזג אוויר חמורים. למשל, בסתיו 2013 אירעו סופות הוריקן וטייפון קטלניות באסיה, החמורה שבהן גבתה בפיליפינים את חייהם של אלפי בני אדם, והותירה עוד אלפי חסרי בית. בשנים האחרונות נרשמו גם גלי חום קשים, שחלקם גבו קורבנות (במערב אירופה ב-2003, וברוסיה - בקיץ 2010). מסתמנת החמרה בעוצמתם של שיטפונות (מיסיסיפי 2010), ונשברו שיאים בנזקי סופות רוח באזורים הממוזגים, שהבולט בהן הוא מותם של למעלה מ-300 בני אדם בסדרה של סופות טורנדו שאירעו בארצות הברית באפריל 2013. בחורף שעבר (2013/14) חווינו אירועים קיצוניים בהחלט. לאחר נובמבר חם ויבש כמעט לחלוטין (אירוע שכמותו כבר חווינו בעבר ואפילו ב-2010), פקדה אותנו בדצמבר סופת גשם ושלג קשה שלוותה בקור חסר תקדים עבור דצמבר, שהוא המתון בין

שלושת חדשי החורף (דצמבר, ינואר ופברואר). התנו-צאה הייתה כמויות שלג חסרות תקדים עבור דצמבר, ודומות לגבוהות ביותר שנרשמו בארץ מאז ומעולם, בפרט בהרי יהודה והשומרון. החל מאמצע דצמבר ועד תחילת מרץ שרר בארץ יובש חסר תקדים. כמויות המשקעים שהצטברו בצפון הארץ עד סוף חודש פברואר הגיעו ל-25% מהממוצע העונתי כולו, כשליש בלבד מהכמות שאליה מגיעים בממוצע בסוף פברואר. המעיינות והנחלים היו יבשים, ומיפלס הכינרת, שבאופן רגיל עולה ב-2-1 מטרים במהלך החורף, עלה בסנטימטרים בודדים בלבד.

## התרחשות מזג אוויר קיצוני אינה מקרית

באותה עת פקדו את האיים הבריטיים סופות גשם חמורות בזו אחר זו, וגרמו בהם הצפות נרחבות ונזקים קשים, ואילו בחלקה המזרחי של ארצות הברית התחוללו סופות שלגים ושרר קור שבאזורים רבים לא נודע כמותו לפני כן. **איור 1 מציג את מפת הסטייה בטמפרטורה מהממוצע עבור ינואר-פברואר 2014 באזור המשתרע ממזרח ארצות הברית ועד מזרח אסיה.** קיימות סטיות נדירות בחריגותן, המגיעות בשיעורן ל-8°C.

« הבולטות ביותר הן סטייה כלפי מעלה בקוטב

**מסתמנת החמרה בעוצמתם של שיטפונות, ונשברו שיאים בנזקי סופות רוח באזורים הממוזגים, שהבולט בהן הוא מותם של למעלה מ-300 בני אדם בסדרה של סופות טורנדו שאירעו בארצות הברית**



הסערות הצפויות  
בעתיד עלולות  
לחשוך אותנו  
לשיטפונות חמורים,  
הן בשל עוצמתן  
של סופות הגשם  
והן עקב הבנייה  
המואצת, אשר  
פוגעת ביכולת  
הקרקע לספוג את  
מי הגשמים. ייתכן  
שחומרתה של סופת  
השלגים שאירעה  
בדצמבר 2013 היא  
הסנונית הראשונה  
המבשרת על הישנות  
סופות מסוג זה



המצאים גם מאשרים שבמקביל לכך, סערות גשם חמורות מוסיפות להתרחש, אולי אף ביתר שאת. אלו קשורות בפריצות של אוויר קר מצפון אירופה לאזורנו. **איור 2 מבטא את השפעתן של ההפוגות בגשמים על מראה הנוף.**

ההתחממות הגלובלית, הנצפית בעשורים האחרונים, תואמת את התחזיות של המודלים האקלימיים, אשר מתבססות על העלייה בכמות הפחמן הדו-חמצני, שהוא גז חממה. על פי מודלים אלה צפויים גם שינויים אקלימיים במשטר הרוחות והמשקעים. למשל, באזור הים התיכון צפויה הפחתה בכמות המשקעים, ואילו באזורים הטרופיים צפויה החמרה בעוצמתן של הסופות הטרופיות.

### הפחתת מספר ימי הגשם וקיצור עונת הגשמים

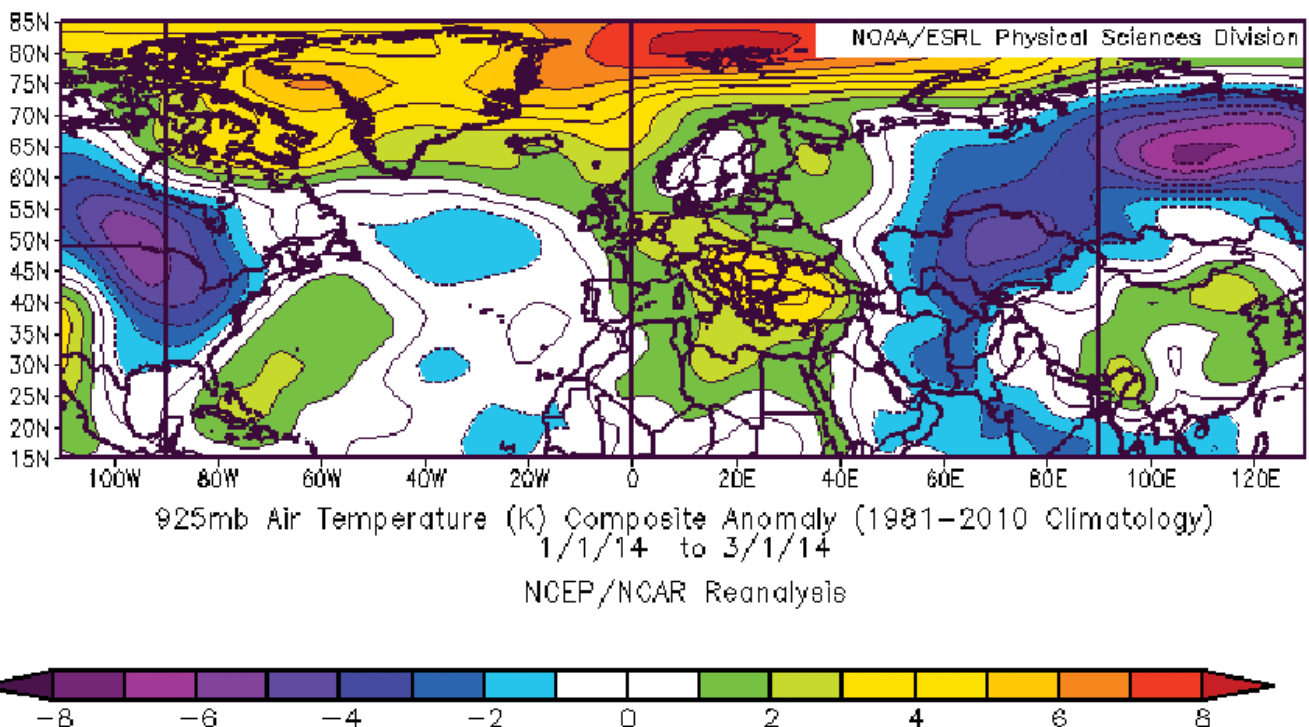
שאלה מרכזית כללית שעליה אין עדיין תשובה חד-משמעית היא, האם ההתחממות תלווה בהקצנה אקלימית, ובמה יתבטא הדבר. אם ההתחממות גלובלית פירושה הקצנה, הרי שהמשך מגמת ההתחממות בעתיד עתיד להביא להחרפה במגמת ההקצנה. מחק-

הצפוני וסטייה כלפי מטה בצפון-מזרח אסיה, היכן ששורות הטמפרטורות הנמוכות בעולם בחודשים אלה. הסטייה בארצות הברית היא כלפי מטה, בשיעור של 6°C "בלבד". באזורנו, שהצטיין בגרעון קיצוני במשקעים, הסטייה בטמפרטורות מראה שהיה חם מהמוצע, אך במידה מזערית, עקב הלילות היבשים והקרים שאיפיינו את החורף.

התרחשות מזג אוויר קיצוני באזורים כה מרוחקים אינה מקרית, והיא מעידה על האופי הגלי של הזרימה האטמוספירית. הרוחות בשכבות העליונות של הטרופוספירה (בגבהים של 5-10 קילומטרים, בהם טסים מטוסי הנוסעים) נושבות ממערב, אך נוצרים בהן גלים, הגורמים לסטיית הרוח דרומה, באזורים מסוימים, וצפונה באחרים. כך, למשל, האזורים המושפעים מרוחות המגיעות מצפון נתונים למזג אוויר קר מהמוצע, ואלה המושפעים מרוחות הבאות מדרום - ממזג אוויר חם מהמוצע.

ניתוח תצפיות שנערך בשנים האחרונות בארץ (למשל, סערוני וחוב, 2011) מראה שבמקביל למגמת ההתחממות עצמה, גלי החום מחמירים ומתארכים, עונת הגשם מתקצרת, ופרקי היובש שבה מתארכים.

### איור 1 < מפת הסטייה מהמוצע הרב-שנתי במפרטורה באירופה, באסיה ובצפון אמריקה בחודשים ינואר-פברואר 2014





**ההתחממות הגלובלית הנצפית בעשירונים האחרונים תואמת את התחזיות של המודלים האקלימיים, המתבססות על העלייה בכמות הפחמן הדו-חמצני, שהוא גז חממה. על פי מודלים אלה צפויים שינויים נוספים על עצם ההתחממות**



רים מהשנים האחרונות מצביעים על מנגנונים אקלימיים, הקשורים בשינויי האקלים הגלובליים, שיש בהם כדי להסביר מגמות אלה.

תהליך אחד קשורה להתפשטות המידבריות הסובטרופיים לאזורנו. כידוע, אזורים נרחבים בקווי הרוחב הסובטרופיים הם מידבר. הדבר נובע משקיעה (התמו-ככות) של אוויר כלפי מטה, תהליך שגורם לו להתחמם ולהתייבש, ולכן מונע היווצרות עננים או ירידת משקעים. הדוגמה הקרובה אלינו היא מידבר סהרה.

על פי מאמרם של Seidel et al., 2008, צפויים האזוריים רים שבהם האוויר מתמוכך להתפשט מעבר לקווי הרוחב 20 עד 30, לעבר קו הרוחב 35, כלומר לקווי הרוחב בהם נמצאים ישראל וחלקים נוספים מהים התיכון. הדבר אמור להפחית את מספר ימי הגשם ולקצר את עונת הגשמים. תחזית זו עולה בקנה אחד עם התקצרות החורף והתארכות פרקי היובש, שנצפו באזורנו (Ziv et al., 2013).

תהליך השני הוא התחזקות זרימת האוויר המערבית בסטרטוספירה, ברום של מעל 50 קילומטרים. התנאים בגובה זה אינם קשורים ישירות למזג

האוויר, וכלי טיס אינם מגיעים אליהם. עם זאת, מחקר-רים תיאורטיים וניתוח תצפיות מראים, שככל שרוחות אלה חזקות יותר, הן מגבירות את עוצמתם של גלים אשר משפיעים ישירות על מזג האוויר, כגון זה המזרים אוויר ממקורות קוטביים למזרח הים התיכון וגורם אירועי סערות חמורות באזורנו מהסוג שחווינו בחורפים האחרונים. הדוגמאות האחרונות הבולטות הן סופת הגשם שהתחוללה בינואר 2013 וזו של דצמבר 2013, שגרמה את סופת השלג הקשה והנדירה.

תהליך השלישי הוא החלשת הרוחות המערביות ברום (בגבהים של 5-10 קילומטרים) כתוצאה מכך שהקטבים מתחממים יותר מאזורי המשווה. באופן נורמלי מתקדמים הגלים, שתוארו לעיל, מזרחה, כשהם נתונים להשפעתם של שני כוחות מנוגדים. הכוח האחד, הרוחות המערביות השולטות, מניע אותם מזרחה. הכוח השני (שהוא חלש מהראשון) קשור במנגנון הפנימי של הגלים ומניע אותם מערבה, כנגד הרוח השולטת. **האופי הגלי של הטרופוספירה מודגם באיור 3.**

החלשת הרוחות המערביות כתוצאה

איור 2 < קרקע סדוקה בעיצומו של חורף ליד הבניאס. צולם על ידי ברוך זיו בדצמבר 2011, שהיה יבש במיוחד



**כמויות המשקעים שהצטברו בחורף הארץ עד סוף חודש פברואר היו רק 25% מהממוצע העונתי כולו, כשליש בלבד מהכמות שאליה מגיעים בממוצע. המעיינות והנחלים היו יבשים, ומפלס הכנרת עלה בס"מ בודדים בלבד. לעומת זאת, בחורף 2015 נרשמו בארץ ארבע סופות שלג!**

ג'ניפר פרנסיס לאחרונה בכנס מדעי, אך טענה זו טרם הוכחה. המגמות המסתמנות בחקר שינויי האקלים מחזקות את הצפי להתקצרות עונת החורף, התארכות ההפוגות בין אירועי הגשם, והחרפה בעוצמתן של סערות החורף באזורנו. למגמות אלה השלכות סביבתיות מרחיקות לכת. ההפוגות המתארכות בגשמים ידרשו מהחקלאים להרבות בהשקיית שדותיהם בחורף, ויפגעו בצומח הטבעי ובשפיעת המעיינות. מנגד, הסערות הצפויות בעתיד עלולות לחשוף אותנו לשיטפונות חמורים, הן בגלל עוצמתן של סופות הגשם והן בשל הבנייה המואצת, אשר פוגעת ביכולת הקרקע לספוג את מי הגשמים. חומרתה של סופת השלגים שאירעה בדצמבר 2013 הייתה למעשה סנונית ראשונה שבישרה על הישנות ארבע סופות בסדר גודל כמעט דומה גם בחורף 2014/15. ומה יהיה בעתיד? האם יש בסופות האלה משום רמיזה לשנים הבאות? מה שבטוח הוא, שלחזאים צפויה עבודה קשה בשנים הקרובות, נוכח "בלגן" אקלימי - תהפוכות מזג אוויר, כפי שחזינו לאחרונה. &

מההתחממות הגלובלית מאיטה את הגלים, ועלולה לגרום סטגנציה (עמידה במקום) של הגלים, ונטייה של מזג האוויר החריג להתמיד לאורך זמן.

### המגמות מחזקות את הצפי להתקצרות החורף

לדוגמה, בחורף 2013/14 הייתה ארצות הברית נתונה תחת זרימה צפון-מערבית, עקב מיקומה ביחס לגל הסמוך אליה, במשך מספר שבועות ברציפות. האפקט הלך והצטבר והביא לכך, שבנוסף לרצף של ימים קרים, עוצמת הקור הלכה וגברה. הדבר נבע מכך שהאוויר שזרם לשם תחילה היה במקורו מדרום קנדה, כלומר קר. בהמשך התהליך הוצף דרום-מזרחה של קנדה באוויר שמוצאו מצפון קנדה, והוא זה שבהמשך הזמן חדר למזרח ארצות הברית. הנטייה של התקבעות הגלים עשויה להסביר גם היא את ההפוגות הממושכות בגשמים בארץ, מחד גיסא, ואת אירועי הגשם הממושך והכבד, מהסוג שפקד אותנו בינואר 2013, מאידך גיסא. על הקשר בין ההתחממות הגלובלית לבין תנועת הגלים עמדה

איור 3 < מפה סכמטית המתארת את אופיה הגלי של הזרימה המערבית בטרופוספירה

