

# תופעות קיצוניות הקשורות להתחממות העולמית וזיקתן לאסונות טבע

סקירות

גיליון חורף 2019 / כרך 10(4) / היערכות למשבר  
January, 2020 ב 5 האקלים

ברוך זיו

המחלקה למדעי הטבע והחיים, האוניברסיטה הפתוחה

ציטוט

זיו ב. 2019. תופעות קיצוניות הקשורות להתחממות העולמית וזיקתן לאסונות טבע. אקולוגיה וסביבה 10(4).  
העתק

## תקציר

מאז אמצע שנות ה-70 העולם מתחמם בהתמדה. ההתחממות מלווה בשינויים במשטר הרוחות והגשמים, שחלק מהם מלווים באירועים קיצוניים, המהווים סכנה לטבע, לאדם ולרכוש. התחממות תגרום ישירות להתרבות גלי חום ולהתארכותם, ולעלייה בעומס החום על החי והצומח, ולכן מהווה סכנה מוחשית עבור האדם. גלי החום הממושכים יגבירו את סכנת השרפות ואת זיהום האוויר הנגרם מהן, שמביא כבר כיום לתמותה נרחבת. התחממות האוקיינוסים גורמת להתפשטות המים, וזו בתוספת זרימת מים מקרחוני היבשה המפשירים גורמות שתיהן לעליית פני הים, שתגיע עד לסוף המאה ה-21 ליותר מחצי מטר. יש סכנת הצפה לחופים שטוחים, ומתקני חוף עלולים להיפגע. עוצמת הגשמים צפויה לעלות ולגרום להחרפה בסכנת השיטפונות. באזורים מסוימים (כגון האזורים הטרופיים) תחול עלייה בכמות המשקעים הכוללת, ובאחרים (למשל באזורים בעלי אקלים ים תיכוני) תתרחש ירידה.

תופעות מסוימות, כגון סופות טרופיות, צפויות להחמיר עקב ההתחממות, אך טרם החמירו. תופעות אחרות, כגון גלי קור, מחמירות, אך לא ברור אם הדבר קשור בהכרח להתחממות העולמית וכיצד. במאמר זה אסקור תופעות משני הסוגים, אציג את הטיעונים לגביהן ואת עמדתי.

בישראל מורגשות כבר כעת התחממות והתייבשות, ויש לצפות שגלי החום ייעשו כבדים וארוכים יותר, שעונת הגשמים תתקצר ושההפוגות שבין אירועי הגשם יתארכו. הואיל וההתחממות מגבירה את ההתאדות מפני הקרקע, תידרש החקלאות המקומית לתוספת השקיה ולהיערכות מוגברת מפני שרפות. בו-בזמן, יש להיערך לשיטפונות קשים יותר ולאירועי שלג כבד באזורים ההרריים.

## על קצה המזלג

- שינוי האקלים גורם באופן ישיר ועקיף למגוון תופעות אקלימיות, המתוארות במאמר זה, כגון הכבדה בעמוס החום, עליית מפלס הים, עלייה בעוצמת הגשם, התעצמותן של סופות טרופיות, התפשטות שטחי המדבריות, גלי חום וקור ושרפות יער.
- הקצנת תופעות אקלימיות עלולה לגרום למשברים הומניטריים, כמו גם לפגוע בטווח הארוך בבריאות הציבור וברווחתו, בעיקר בקרב אוכלוסיות מוחלשות.
- נדרש עדכון מתמיד של הערכת הסיכונים הלאומית לאירועי אקלים קיצוניים, ובהתאם לה להיערך לצמצום השפעתם.
- בישראל מערכת החירום הלאומית מכוונת בעיקר לתת מענה למצבי חירום ביטחוניים וכן לרעידת אדמה, אך יש לרתום את מנגנוניה להתמודדות עם מצבי משבר העלולים להיגרם בעקבות אירועי אקלים קיצוניים.

בשנים האחרונות אירעו ברחבי העולם תופעות מזג אוויר קיצוניות, שגרמו לאסונות טבע וגבו קורבנות קשים בנפש וברכוש. גלי חום גדולים גבו אלפי קורבנות במערב אירופה ב-2003, ברוסיה ב-2010 ובהודו ב-2015. בסתיו 2013 אירעו באסיה סופות טיפון (שמו האסייתי של ההוריקן), שגבו בפיליפינים אלפי הרוגים והותירו עשרות אלפים חסרי בית. סופת ההוריקן 'מתי' גרמה למאות הרוגים בהאיטי ב-2016, והסופה 'דוריאן' גרמה הרס נרחב באיי הבהאמה ב-2019. מסתמנת החמרה בעוצמתם של שיטפונות (למשל בדרום בריטניה, במהלך חורף 2013-2014). המפתיעים הם גלי הקור שפקדו בחורף 2013-2014 את מזרח סיביר ואת מזרח ארה"ב, חרף מגמת ההתחממות, וגל קור בצפון-מזרח ארה"ב, ששבר שיאים בחורף 2017-2018. בתקשורת נוטים להציג את האירועים שתוארו לעיל אות לשינוי אקלים הקשור להתחממות העולמית. במאמר זה אנסה לבחון אילו מסוגי האירועים הללו נובעים מתהליכים הקשורים להתחממות העולמית.

## תופעות הנובעות ישירות מההתחממות העולמית

התחממות אינה בהכרח מילה נרדפת להקצנה במזג האוויר, למעט טמפרטורות גבוהות. עם זאת, להלן מספר תופעות הנובעות ישירות מההתחממות העולמית.

### הכבדה בעומס החום

בחיזוי האקלים מסתמכים על תרחישים המגדירים את העלייה הצפויה בריכוז גזי החממה בהתבסס על צריכת הדלק במדינות השונות. על פי התרחיש המקל, שלפיו ינהגו מדינות העולם ריסון בהתאם לאמנות הבין-לאומיות, תעלה הטמפרטורה העולמית הממוצעת עד לסוף המאה בפחות משתי מעלות בהשוואה לתחילת המאה ה-20. מאידך גיסא, צפויה עלייה כפולה מזו במקרה שיתממש הגרוע בתרחישים [6,7]. כמי שחווים את ידו הכבדה של הקיץ הישראלי, קל לנו להבין שהמשך ההתחממות עלול להיות קטלני עבור החיים באזורים החמים של העולם, ובפרט לעובדי האדמה, שייחשפו לעומס חום כבד שגוף האדם יתקשה לשאת.

### עליית מפלס פני הים

התחממות המים באוקיינוסים גורמת לעלייה בנפחם, מה שגורם למפלס פני הים לעלות. סיבה נוספת לעליית פני הים היא הפשרת קרחונים המצויים באזורי הקוטב, למשל בגרינלנד, שממיהם זורמים לאוקיינוסים. על פי ההערכה המקובלת [7], צפויים פני המים לעלות עד סוף המאה ה-21 ביותר מחצי מטר ביחס לגובהם בראשית המאה ה-20. זוהי תחזית מתונה בהשוואה לתחזיות אפוקליפטיות שפורסמו בסוף המאה ה-20, והיא נובעת מההערכה, שמסת הקרח באנטארקטיקה אינה פוחתת. אומנם מדי פעם קורסות מסות של קרח אנטארקטי אל מי האוקיינוס המתחממים, אולם בו-בזמן עולה קצב הצטברות השלג היורד שם. הודות לטמפרטורות בקוטב הדרומי, הנמצאות הרחק מתחת לאפס, השלג הזה מתווסף למסת הקרח האנטארקטי ואינו מפשיר.

עליית מפלס פני הים בעשורים הקרובים תגרום לנסיגה משמעותית בשטחי היבשה רק בחופים מישוריים, כמו בפלורידה, בהולנד ובאיים שטוחים, כמו המלדיביים. בחוף ששיפועו 1%, עליית פני הים בחצי מטר פירושה נסיגת החוף ב-50 מטרים. סכנה נלווית לתהליך זה היא החמרה בפגיעתם של גלים הקשורים לסערות או לצונמי, שעלולים לחדור עמוק יותר אל תוך חופים מישוריים (חוף ירושלים בתל-אביב, למשל, הוא כזה). נוסף על כך, היא עלולה לפגוע בתפקודן של ערי נמל גדולות ולגרור נזקים כלכליים כבדים.

### עלייה בעוצמת הגשמים

אוויר חם מסוגל להכיל כמות גדולה יותר של אדי מים, וכשהללו מתעבים בתוך עננים והופכים לגשם, גם כמות המשקעים גדלה בהתאם. התוצאה היא שבפרקי זמן קצרים

צפויות לרדת כמויות גשם גדולות יותר מבעבר. מגמה זו ניכרת כבר כיום במקומות רבים בעולם, כולל בארץ, אם כי עדיין אין הדבר מובהק מהבחינה הסטטיסטית. הדבר מגביר את סכנת השיטפונות ואת חומרתם, וזאת נוסף על השפעתה השלילית של הבנייה המואצת, הפוגעת ביכולתה של הקרקע לספוג את מי הגשמים. האנרגיה המשתחררת בעת התעבות המים עלולה להגביר תופעות נלוות לגשם, כגון ברד, סופות רעמים ומשבי רוח חזקים.

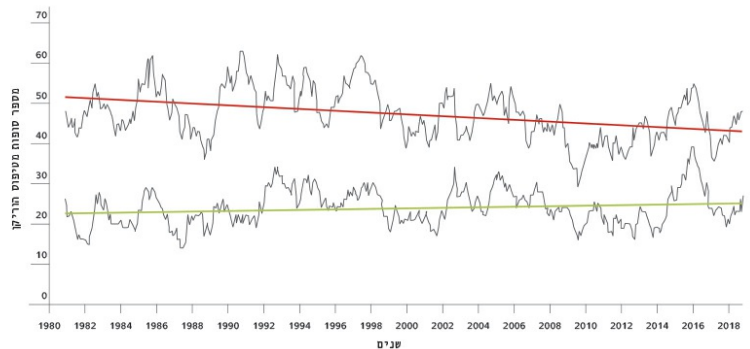
## התעצמותן של סופות טרופיות

סופות אלה נוצרות ומתעצמות בעוברן מעל האוקיינוסים הטרופיים. הן שואבות את האנרגיה שלהן מהחום האצור במים. ככל שהמים חמים יותר, גדלים סיכוייה של סופה טרופית להפוך ל"הוריקן" (באוקיינוס האטלנטי), "טייפון" (בכינויה האסייתי) או "ציקלון" (באוקיינוס ההודי). סופות חמורות אלה נעות מערבה, וכאשר הן פוגעות באיים הטרופיים ובחלקים המזרחיים של היבשות הן גורמות בהם לרוחות עזות ולגשמי זעף, המגיעים למאות מ"מ ביום (כמות הדומה בסדר הגודל שלה לכמות השנתית בארץ).

הפרטים המזעזעים המתפרסמים לאחרונה על היקף הנפגעים והנזק של סופות אלה יוצרים רושם שהתופעה הולכת ומחמירה. אולם, ההיסטוריה מלמדת על אירועי עבר חמורים לא פחות, כגון "ההוריקן הגדול של 1780", שגבה את חייהם של 22,000 איש באיים מרטיניק וברבדוס, וההוריקן שהחריב בשנת 1900 את העיר גלווסטון בטקסס וכילה שלישי מתושביה. גם בחציה הראשון של המאה ה-20 אירעו סופות חמורות, וב-1935 הגיעה מהירות הרוח לשיא של 320 קמ"ש ב"הוריקן יום העבודה". סביר שחלק מהרושם האפוקליפטי נובע מהחשיפה המוגברת שיש כיום לאסונות, ומהנטייה של כלי התקשורת להתחרות זה בזה בדרמטיות של המסרים שבפיהם.

הערכה אמينة של המגמות בסופות אלה צריכה להישען על סטטיסטיקה של תצפיות בכל רחבי האזורים שהן מתרחשות בהם. מדי כחמש שנים מפורסם דו"ח על הסופות הטרופיות בכל העולם [9]. הגרסה המעודכנת מוצגת באיור 1, ומראה מגמת ירידה קלה במספר הסופות הכולל, אך עלייה, מזערית במספר הסופות הקיצוניות. שתי המגמות אינן מובהקות סטטיסטית, כלומר, השנוי איטי ואינו ודאי. ייתכן שקיימים גורמים נוספים שמשתינים עם ההתחממות העולמית במגמה המחלישה את הסערות, אך הם טרם נחקרו.

איור 1. שכיחות הסופות הטרופיות מטיפוס הוריקן (הוריקן, טייפון וציקלון) וקו עליון ומספר הסופות החמורות (קו חתון) בכל האוקיינוסים הטרופיים בתקופה 1980-2019 [9].  
בכל הסופות עוצמת הרוח לפחות 64 קשר, ואילו בסופות החמורות העוצמה לפחות 96 קשר.



**איור 1**  
**שכיחות הסופות הטרופיות מטיפוס הוריקן (הוריקן, טייפון וציקלון) וקו עליון ומספר הסופות החמורות (קו חתון) בכל האוקיינוסים הטרופיים בתקופה 1980-2019** [9]

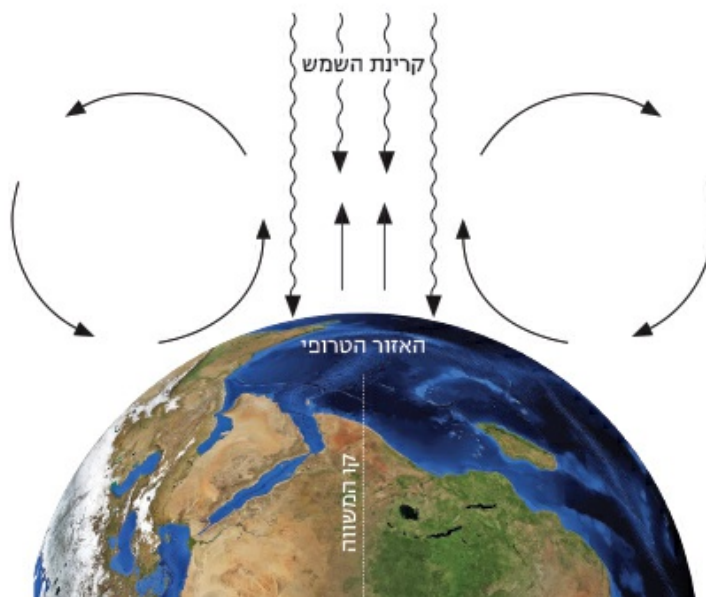
בכל הסופות עוצמת הרוח לפחות 64 קשר, ואילו בסופות החמורות העוצמה לפחות 96 קשר.

## התפשטות של שטחי המדבריות הגדולים

תהליך מדאיג הקשור להתחממות העולמית קשור ל**תא הדלי** (hadley), מעגל זרימה (circulation) הנקרא על שם ג'ורג' הדלי, שזיהה לפני כ-300 שנה שני תאים כאלה משני צידי של קו המשווה, הקיימים שם משום שאזור המשווה חם מסביבותיו (איור 2).

לפי מחקרים, הנתמכים בתצפיות, ההתחממות באזור המשווה גורמת להתפשטות תאי הדלי צפונה ודרומה [10,8,6]. אי לכך, מדבר סהרה עתיד להתפשט לעבר הים התיכון, דבר שיביא במדינות צפון אפריקה והים התיכון להפחתה בכמות המשקעים, לעלייה בשכיחות הבצורות ולהתקצרות עונת הגשמים, כפי שאכן נמצא בתצפיות בארץ [15,1]. ישראל נמצאת על גבול המדבר, המוגדר על-ידי קו כמות הגשם השנתית של 200 מ"מ. קו זה עובר כיום באזור באר שבע, והתהליך שתואר עתיד להעתיק אותו צפונה.

**איור 2. מראה סכמטי של שני תאי הדלי במבט מהצד** [2]  
 האוויר החם עולה בקו המשווה. עליית האוויר גורמת לו להתקרר, ומאחר שהוא לח, נוצרים בו עננים ויורדים משקעים. הודות לתא הדלי, האזור הטרופי הוא הגשום בעולם. בהגיע האוויר לגובה של 10 ק"מ הוא מתפצל צפונה ודרומה. בסביבות קו הרוחב 25° הוא נבלם ושוקע כלפי מטה, משני צידי קו המשווה. הירידה גורמת לאוויר להתייבש, ולכן בקווי רוחב אלה מועטים הגשמים ומצויים בהם המדבריות העולמיים (כדוגמת מדבר סהרה והמדבר הערבי שבסעודיה). ליד הקרקע שב האוויר וזורם לקו משווה [2].



### איור 2 מראה סכמטי של שני תאי הדלי במבט מהצד

האוויר החם עולה בקו המשווה. עליית האוויר גורמת לו להתקרר, ומאחר שהוא לח, נוצרים בו עננים ויורדים משקעים. הודות לתא הדלי, האזור הטרופי הוא הגשום בעולם. בהגיע האוויר לגובה של 10 ק"מ הוא מתפצל צפונה ודרומה. בסביבות קו הרוחב 25° הוא נבלם ושוקע כלפי מטה, משני צידי קו המשווה. הירידה גורמת לאוויר להתייבש, ולכן בקווי רוחב אלה מועטים הגשמים ומצויים בהם המדבריות העולמיים (כדוגמת מדבר סהרה והמדבר הערבי שבסעודיה). ליד הקרקע שב האוויר וזורם לקו משווה [2].

בשנת 2017 פרסמו שני חוקרים ממכון ויצמן [13] מאמר החוזה הפחתה משמעותית בגשמים בארץ. עבודתם מתמקדת במסלול תנועתם של השקעים הברומטריים נושאי הגשם, הנעים בדרך כלל ממערב למזרח דרך צפון אירופה. גם אזור הים התיכון נהנה

מהשפעתם של שקעים אלה, המתבטאת בגשמי החורף. החוקרים חוזים שמסלול תנועתם של השקעים האירופיים יועתק 2 מעלות צפונה, ומסיקים מכך שגבול השפעתם יצפין בהתאם, ומכאן שגבול המדבר בישראל יועתק לעבר לבנון, מה שיהפוך את המדינה כולה למדבר. מחקרים שהייתי שותף להם מראים שגשמי הים התיכון, וישראל בכללם, נגרמים משקעים הנוצרים בים התיכון עצמו, 20 מעלות (כ-2,000 ק"מ) דרומה ממסלול השקעים האירופיים, ולא בהשפעת השקעים האירופיים עצמם [16]. אומנם השקעים הים תיכוניים חבים את קיומם לשקעים האירופיים. עם זאת, אין לתרגם את תזוזת המסלול של השקעים האירופיים לתזוזה זהה במסלול השקעים הים תיכוניים, שנקבע בעיקר על ידי התוואים הגיאוגרפיים של אגן הים התיכון עצמו. סביר שהתרחקות השקעים האירופיים תוביל להפחתה במספר השקעים הים תיכוניים המגיעים לישראל וממטירים בה גשמים, אבל אין לקבוע את שיעורה באופן פשוטני. יש לציין שלדעת חוקרים רבים מיקומו של גבול המדבר הוא בהמשך הקו המשתרע מהחוף הצפון האפריקאי מזרחה. המשמעות היא שהפחתה בכמות השקעים הים תיכוניים, הגם שתגרע מכמות המשקעים הכוללת בישראל, לא תגרור בהכרח את תזוזת גבול המדבר צפונה בצורה כל כך משמעותית. לסיכום, נראה שההפחתה הצפויה בגשמי ישראל צריכה לעורר דאגה, אך אין להסיק מכך שהמדבר עומד לפלוש לגליל.

## גלי חום

גלי חום היו ונותרו חלק בלתי נפרד מהמציאות האקלימית. מובן שתופעות אלה יחמירו גם אם השינוי היחידי יהיה עלייה בטמפרטורה הממוצעת. עם זאת, ישנן הערכות שלפיהן גלי החום בקיץ ייעשו ארוכים יותר וכבדים יותר מעבר לנובם מעצם העלייה בטמפרטורה הממוצעת. גל חום קשה וממושך, שפקד את מערב אירופה ומרכזה בקיץ 2003, נחקר לעומק [4]. החוקרים מצאו שהגורם הראשוני להתפתחותו היה רמה ברומטרית, שנוצרה מעל היבשת וחסמה את הרוח המערבית המגיעה מהאוקיינוס האטלנטי ומצננת בקיץ את אירופה. עקב החום גברה ההתאדות וגרמה להתייבשות בקרקע ובצומח, מה שהעלה עוד את הטמפרטורה. מצב זה גרם להתפשטות הרמה הברומטרית אל הרום ולהתקבעות גל החום.

מעקב אחר התפתחות הזרימה הממוצעת ברום 5 ק"מ בעשורים האחרונים מראה מגמת התפתחות של רמה מעל מערב אירופה. הדבר מעיד על התחזקות המנגנון שגורם שם לגלי החום. ואכן, גלי חום בעלי מאפיינים דומים שבו ופקדו את אירופה בשנים האחרונות, כולל בקיץ 2019, אז חצתה הטמפרטורה את סף ה-45° בצרפת ובאיטליה ונשברו שיאי הטמפרטורה של כל הזמנים. ייתכן שהתהליך המתואר קשור לתגובת המהירה של יבשת אירופה להתחממות בהשוואה לזו של האוקיינוס, דבר שיוצר ברום שקע מעל האוקיינוס האטלנטי ורמה מעל אירופה, אולם קשר זה עדיין טעון הוכחה.



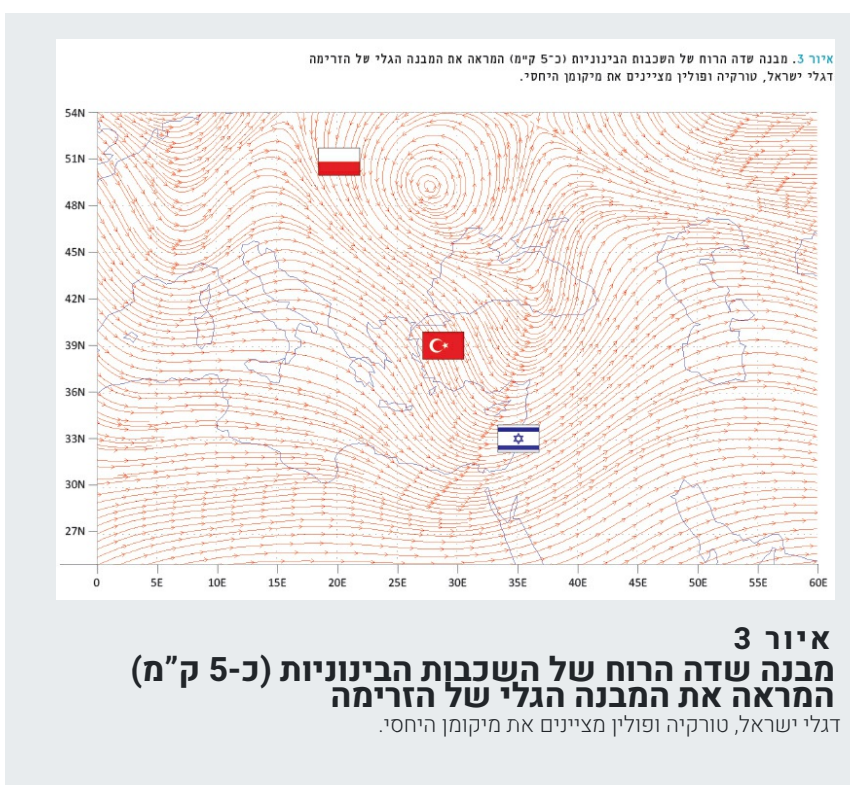
גלי חום המתפתחים באזורים עתירי צמחייה גורמים לעלייה משמעותית בשכיחותן של שרפות יער ובהיקפן

## שרפות יער

גלי החום המתפתחים באזורים עתירי צמחייה גורמים לעלייה משמעותית בשכיחותן של שרפות יער ובהיקפן. הדבר נובע מירידה בתכולת המים בצמחים כשהם נתונים בעומס חום, שהופכת אותם לחומר הנדלק ביתר קלות. השרפות שהתרחשו בעת גל החום שהיה ברוסיה ב-2010 גרמו שם לזיהום אוויר קשה שהביא למותם של בני אדם רבים. התופעה חזרה על עצמה ביוון ב-2016 ובפורטוגל ב-2018.

## גלי קור

נושא מפתיע, שטרם הושגה לגביו הסכמה בין המדענים, הוא ההקצנה בעוצמתם של גלי קור. הדבר מפליא במיוחד לנוכח העובדה שאזורי הקוטב הם אלה המתחממים במהירות בשיעור המהיר ביותר, מה שגורם להקטנת הפער בין קווי הרוחב הגבוהים והנמוכים. הסבר שהוצע להקצנה זו [3] מתבסס על הגלים שקיימים בזרימה האטמוספירית, הגורמים לתנועת אוויר מצפון לדרום ולהיפך, וכך לשינויים בטמפרטורה, כפי שמודגם באיור 3. במצב המתואר ישראל נתונה תחת זרימה קרירה מצפון-מערב. תוך יממה יגיע אליה אוויר מטורקיה ויגרום להתקררות יחסית. במצב רגיל, הגל ינוע בשלמותו מזרחה בהשפעת הרוחות המערביות השולטות ברום, ולמחרת יגיע לארץ אוויר מיוון, קריר באופן דומה, וביום שלאחריו אולי תחוג הרוח לדרום-מערבית והטמפרטורה תעלה. לעומת זאת, אם הגלים יישארו במקומם, יגיע ביום השני לטורקיה אוויר מפולין, וביום השלישי יגיע אוויר זה לישראל, ויגרום בה לגל קור קיצוני. מסיבות שתקצר היריעה לתאר כאן, הקטנת פער הטמפרטורה אמורה לגרום להחלשה ברוחות המערביות השולטות ברום האטמוספירה, בייחוד בחורף. החלשה הצפויה ברוחות המערביות הללו תגרום לגלים לנוע לאט יותר, מה שיגרום לתהליך שתואר לעיל להיות שכיח יותר, יחריף את גלי הקור והחום, ואף יאריך אותם.



איור 3  
מבנה שדה הרוח של השכבות הבינוניות (כ-5 ק"מ) המראה את המבנה הגלי של הזרימה

דגלי ישראל, טורקיה ופולין מציינים את מיקומן היחסי.

טענה הסותרת תאוריה זו היא שההתחממות המוגברת של הקטבים תגרום לגלי הקור להיות "מרוכזים". יתרה מזו, התבוננות במפות המטאורולוגיות של עשרות השנים האחרונות עדיין אינה מראה מגמת שינוי בעוצמת הרוחות המערביות ברום.



בשנת 1992 עבר על ישראל חורף קר, שהיה הגשום ביותר במאה השנים האחרונות ואף הצטיין בריבוי אירועי שלג כבד. גם בשנת 1983 היה חורף קר וגשום באופן חריג. לכל אחד משני חורפים אלה קדמה התפרצות געשית שגרמה ל"הצפת" הסטרטוספירה הנמוכה (בגבהים שבין 10 ל-25 ק"מ) באפר געשי [11]. השפעתו של אפר זה על תהליכים קרינתיים הגדילה את הפרש הטמפרטורה בגבהים אלה בין קווי הרוחב הנמוכים והגבוהים, וחיזקה בקווי הרוחב הבינוניים את הרוחות המערביות. התחזקות הרוחות הללו גרמה ל"נעילה" של גל שהביא שוב ושוב לאירופה אוויר חם ולמזרח התיכון אוויר קר [11], ועל כן החורפים האלה היו קרים וגשומים מהרגיל. השנים הגשומות שלאחר ההתפרצויות הגעשיות הללו מרמזות על האפשרות של התגברות הנטייה להתפרצות אוויר קר בחורף לאזורנו בעתיד [5]. רעיון זה מבוסס על העלייה הצפויה בהפרש הטמפרטורה בין קווי הרוחב הנמוכים והגבוהים בסטרטוספירה (בניגוד למגמה בטרופוספירה, מתחת לגובה של 10 ק"מ), עקב העלייה בפחמן הדו-חמצני, בדומה לאפקט שיוצר האפר הגעשי בהגיעו לשכבות אלה. ייתכן שהמגמה עשויה להסביר את אירועי השלג הכבד שאירעו בשנים האחרונות, כמו זה שחסם בדצמבר 2013 את הגישה ליישובים רבים ביהודה ושומרון למספר ימים.

מחקרים רבים הוקדשו לבדיקת הקשר בין מבנה מערך הרוחות המערביות בסטרטוספירה בחורף לבין התפרצויות של גלי קור שהתרחשו בעשורים האחרונים באירופה, ברוסיה ובמזרח ארה"ב. הרוחות המערביות מקיפות כטבעת מוארכת את הקוטב הצפוני בחורף, ומכונות "המערבולת הקוטבית" (The polar vortex). נמצא שבנסיבות מסוימות המערבולת נשברת, והדבר מוביל לשינויים בטרופוספירה, המתפשטים עד לפני השטח, בין השאר בצורה של גלי קור הפוקדים במיוחד את האזורים שהוזכרו לעיל [14]. מאחר שבעשורים האחרונים התרבו מקרים של שבירת המערבולת הקוטבית, הועלתה השערה שהדבר קשור לשינויים במשטר הטמפרטורה בקוטב עקב שינוי בתפוצת קרחוני הקוטב בעקבות הפשרתם. הדמיות מחשב שנעשו כדי לבחון את משקלו של גורם זה [12] הראו שהדבר עלול לקרות גם ללא ההתחממות העולמית. מכאן עולה שאין ודאות לגבי משקלה בעלייה של מספר גלי הקור בשנים האחרונות, ואין עדיין אפשרות לקבוע אם מגמת ההחמרה בהם תימשך.

## סיכום

על פי תצפיות ותחזיות, הפליטות המוגברות של גזי החממה צפויות לא רק לגרום להמשך מגמת ההתחממות של האטמוספירה והאוקיינוסים ולהאצתה, אלא גם לשינויים סביבתיים ולתופעות מזג אוויר קיצוניות שילכו ויגברו, שעלולים להמיט על העולם פגעים ואסונות טבע. הדבר יתבטא בהחרפה של גלי חום ובפריצת שרפות נרחבות, בעלייה של מפלס פני הים, בהתגברות עוצמתם של שיטפונות ושינויים בכמויות המשקעים, שייתבטאו בהתפשטות המדבריות העולמיים אל עבר קווי הרוחב הבינוניים ובהפיכת האזורים הטרופיים הגשומים לגשומים עוד יותר. סביר שתחול עלייה באחוז הסופות הטרופיות שיגיעו לעוצמה קטלנית, וייתכן, אם כי ברמת ודאות נמוכה, שמזרח ארה"ב, אירופה וצפון רוסיה יחוו אחת לכמה שנים גלי קור קשים.

בישראל נסבול מעלייה בעומס החום בקיץ, מעלייה במספר ימי השרב, ובעקבותיה מהחרפת סכנת השרפות. תימשך מגמת ההפחתה בכמות המשקעים, שתהיה מלווה בעלייה בשכיחות אירועי בצורת ובהתברות הפוגות ארוכות בגשם בעיצומו של החורף. הואיל וההתחממות מגבירה את ההתאדות מן הקרקע והצמחייה, כדי לשמור על מאזן המים נדרש להשקיה מוגברת, ולכן הקמת מפעלים להתפלת מים היא מעשה בעיתו, שיהיה צורך להמשיך בו ולתכנן את משק המים בישראל בהתאם למגמה. בד בבד עם מגמת הבצורת, צפויים בארץ אירועים של גשמי זעף ושיטפונות בצידם, וייתכן מאד שלמרות ההתחממות העולמית, נוסף להיות עדים לסופות גשם חמורות ולאירועי שלג משמעותיים, אולי אף יותר מבעבר.

1. זיו ב, סערוני ה ואלפרט פ. 2011. תנודות ומגמות בטמפרטורה, בעומס חום ובמשקעים בישראל ב-30 השנים האחרונות – האם עדות לשינוי אקלימי? בחינה קלימטולוגית-סינופטית. דו"ח מחקר שהוגש למשרד להגנת הסביבה (מס' 8/810).

2. יאיר י וזיו ב. 2014. מבוא למטאורולוגיה, חלק א. רעננה: האוניברסיטה הפתוחה

3. Francis JA and Vavrus SJ. 2012. Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes. *Geophysical Research Letters* 39(6): L06801.
4. García-Herrera R, Díaz J, Trigo RM, et al. 2010. A review of the European summer heat wave of 2003, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 40(4): 267-306.
5. Givati A and Rosenfeld D. 2013. The Arctic Oscillation, climate change and the effects on precipitation in Israel. *Atmospheric Research* 132-133: 114-124.
6. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. The Physical Science Basis, Summary for Policymakers (contribution of WGI to the 5th Assessment Report of the IPCC), WMO and UNEP.
7. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri RK and Meyer LA (Eds)]. Geneva (Switzerland): IPCC.
8. Jin F, Kitoh A, and Alpert P. 2010. Water cycle changes over the Mediterranean: A comparison study of a super-high-resolution global model with CMIP3. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 368: 1-13.
9. Maue RN. 2011. Recent historically low global tropical cyclone activity. *Geophysical Research Letters* 38(14). doi.org/10.1029/2011GL047711.
10. Seidel DJ, Fu Q, Randel WJ, and Reichler TJ. 2008. Widening of the tropical belt in a changing climate. *Nature Geoscience* 1: 21-24.
11. Robock A. 2000. Volcanic eruptions and climate. *Reviews of Geophysics* 38(2): 191-219.
12. Seviour WJM. 2017. Weakening and shift of the Arctic stratospheric polar vortex: Internal variability or forced response? *Geophysical Research Letters* 44(7): 3365-3373.
13. Tamarin-Brodsky T and Kaspi Y. 2017. Enhanced poleward propagation of storms under climate change. *Nature Geoscience* 10: 908-913.
14. Tomassini L, Gerber EP, Baldwin MP, et al. 2012. The role of stratosphere-troposphere coupling in the occurrence of extreme winter cold spells over northern Europe. *Journal of*



15. Yosef Y, Aguilar E, and Alpert P. 2019. Changes in extreme temperature and precipitation indices: Using an innovative daily homogenized database in Israel. *International Journal of Climatology* doi: 10.1002/joc.6125.
  16. Ziv B, Harpaz T, Saaroni H, and Blender R. 2015. A new methodology for identifying daughter cyclogenesis – Application for the Mediterranean Basin. *International Journal of Climatology* 35. doi: 10.1002/joc.4250
-