

פרשת תולדות

# עֵינֵינוּ

גליון 40  
פרשת פקודי תשע"ד



## תזזית מזג האויר

בקרוב: תחזית מזג אויר כמעט מדויקת, כולל כמות גשם ושלג - באמצעות האנטנות הסלולאריות

## הפנים והפנים

אבחון תווי הפנים, אינטואיטיבי או מדעי? המורפו-פסיכולוגיה

# הצד השלישי של המטבע

סיפורה של מפלצת האינפלציה: ממכרות הבסף, דרך תקן הזהב עד המטבע הווירטואלי

הר הבסף והעייר פוטוסי, בוליביה. מצד שמאל: ועל המדרונות, ניתן לראות את בתמי הבסף - אזורי המכרות

ר' לויסון

# תדדית מצג האוויר

האנטנות הסלולאריות מסוגלות לחזות תנודות במזג האוויר. ב-100000 נקודות הפזורות ברחבי הארץ

חורף תשע"ד עתיד להותיר את חותמו כאחד החורפים הפרדוקסאליים ביותר בהיסטוריה של ארץ ישראל. גם זקני החוזאים אינם זוכרים שינויים כה קיצוניים במזג אוויר במשך זמן כה קצר - החל מיריית פתיחה של גל קור קיצוני, שפתח את החורף והפתיע את תושבי ההרים עם כמויות שלג נדירות שלא שיערום, וכלה בקרני השמש שהמסו באיטיות את הנוף הלכן והקר והחליפו אותו במזג אוויר חם ונוח ברוכ אזורי הארץ. במהלך חודשי החורף המרכזיים ענני הגשם מאנו להופיע כמעט, ולנו נותר רק להתפלל "ועננו בורא עולם" שהחורף הנוכחי לא יותיר אותנו יבשים, ושהבצורת המאיימת לפתחנו תיסוג מעט לאחור ותאפשר בכל זאת לחורף הנוכחי לקבל ברכת גשם.

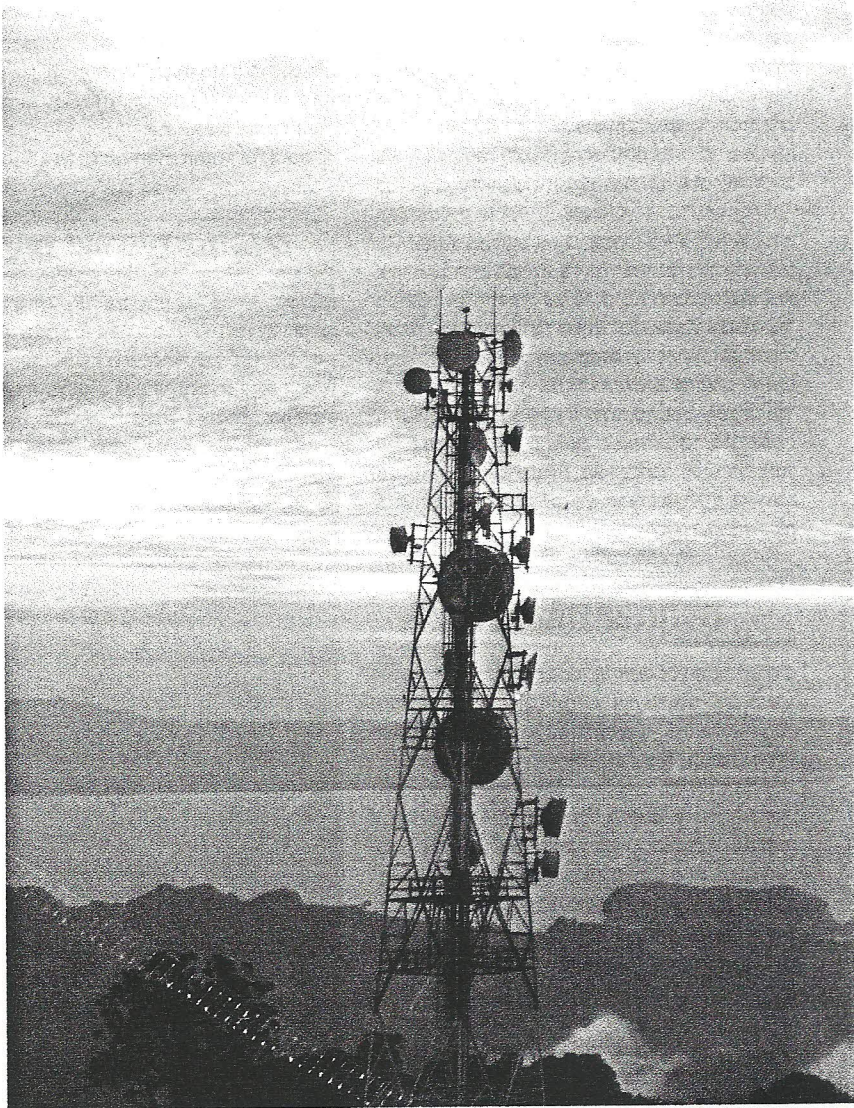
בעוד אנחנו, מביטים אל השמים ומחפשים עננים בעומדנו על האדמה, חוקרי מזג האוויר רואים את גזירת שמים בעצירת הגשמים דרך אמצעי המחקר המטאורולוגיים, ויכולים לראות בפועל כיצד העננים נעצרים על פתחנו. אחד מהם הוא הפרופ' פנחס אלפרט, ראש בית הספר פורטר ללימודי הסביבה, החוקר מזה שני עשורים את מזג האוויר ואת ההשפעות הסביבתיות עליו. "המאפיין העיקרי של החורף הזה", אומר פרופ' אלפרט, "הינה תופעת ה'בלוקינג' (חסימה). בחורף ללא תופעות חסימה, נוצרות מדי פעם מערבולות בעת מפגש של אוויר קר באוויר חם. אצבעות של אוויר קר נשלחות מצפון לדרום, בעוד האוויר החם שבא מדרום פורץ דרך בחזית הבאה מן הקוטב. המערבולות הללו יוצרות מעגל טבעי וגלי מזג אוויר מתחלפים, המביאים מספר ימים של גשם לאזורנו ואחר כך מספר ימים של הפסקה, כך לסירוגין לאורך העונה. על המערכת המסודרת הזו ניצבות לעיתים מספר חסימות בלתי טבעיות, העוצרות את מחזור הגשמים. אחת החסימות הגדולות היא ה'בלוקינג', החוסמת את המפגש בין השקע הקר לאוויר החם ו'נועלת' אותם כל אחד במקומו. במקום שינועו מעל האזור שלנו שקע ואז רמה ואז שקע, יש שקע מצפון ורמה מדרום ש'נועלים' במקום, וכך אנו נותרים עם ימים חמים במשך חורף שלם, 'נועלים' ללא גשמים. שקע חזק של גשמים וסערה התיישב מעל אירופה, בעוד שמעל אזורנו התיישבה 'רמה' חמה ללא נוע.

השנה הנוכחית היא דוגמא להקצנה מיוחדת במזג האוויר. לא זכור כדבר הזה בעשורים האחרונים: בחודשים העיקריים של החורף אין כמעט משקעים. לא יורד גשם, השמש לוחטת, ולא זו בלבד, אלא שהחורף נפתח בגל קור כבד ושלג שלא היה בעוצמתו במאה שנים האחרונות. אלו תנודות קיצוניות של מזג האוויר."

## פחות, אבל חזק

לפני עשור, פרסם אלפרט מאמר אודות תיאוריית ההתחממות הגלובלית של כדור הארץ. המאמר דאז ציין כי "המגמה ההולכת וגוברת בעקבות ההתחממות היא הקצנה במזג האוויר, מן 'שבירת' מוסכמות' בוטה, המפרה את מאזן המשקעים, פוגעת במזג האוויר האופייני לעונה ומשנה את פניו, לצערנו הרב. כמויות הגשמים הבין-שנתיות נעשו קיצוניות הרבה יותר", כך כאמור, לפני עשור, "מצד אחד תהיינה הרבה יותר שנות בצורת עם כמויות משקעים מתחת לממוצע השנתי, ועם זאת ירשמו יותר

**בקרב: תחזית מזג אוויר כמעט מדויקת, כולל כמות גשם ושלג, גם לשבועות הקרובים. החזאי התורן: האנטנות הסלולאריות נושאים עיניים לשמים**



אירועים חריגים בעלי כמות משקעים גבוהה. מזג האוויר "ינהג" באופן פרדוקסלי, ובסך הכלי כמויות הגשם יהיו בידיה מתמדת".

החורף הזה די עונה להגדרה: ירידה קיצונית של כמויות הגשם, מול סופה נדירה בעוצמתה.

לדבריו של אלפרט, ישנם כיום נתונים מדעיים שמצביעים על ההקצנה הזו, ומוכיחים על שכחות גבוהה יותר של רוחות חזקות או סערות בעונת החורף בארץ, במיוחד באזור החוף והים, ועל עלייה בשכיחותן של סופות רעמים וברקים - אך הנושא טרם נחקר בצורה מערכתית. לפי הנתונים הללו, תופעות של סופות רוח וגשם חזקות, וכן סופות רעמים וברקים, יהיו שכחות פחות בעתיד, אך כשהן תופענה - הן תהיינה חזקות מאוד. כך גם לגבי ברד - שכחות הופעתו תרד, אך כאשר הוא ירד, הוא יהיה כבד וחזק יותר.

אך לדבריו, גם לפעילות האדם יש השפעה על הקצנת מזג האוויר. "בחמישים השנים האחרונות יש עלייה בכמות סופות האבק באזור תל אביב. זו מגמה שכנראה תגבר בעתיד, והיא תוצאה ישירה של פליטת גזי החממה וכן של פעילות האדם המוגברת בשטחי מקורות האבק, כמו למשל בשטחי החול בנגב".

לטענתו של אלפרט, הרבר קורה לא רק בישראל, אלא באופן כללי בכל המזרח התיכון. המרחקים בין אירועי הגשם הולכים וגדלים והתקופות הגשומות בחורף נעשות קצרות יותר. "מחסור בגשמים מביא לטמפרטורות גבוהות ויובש, אלו גורמים להפצת אבק, חלקיקי האבק, החום והיובש, מזיקים מאד לעולם

## "אין להתהדר במתקני התפלה מתקדמים המפיקים מים לשתייה ולשימוש ביתי, כי גם זה אינו פותר את בעיית המים לחלוטין. גם אם רשות המים תתפיל כמויות של מים פי מאה - עדיין שטחי הטבע הפתוחים, העצים ובעלי החיים יישארו רחוקים מאד מיעדי רשות המים"

החיו והצומח, ועלולים לגרום לזיהום אוויר חמור אשר אינו מתנקה עד בוא הגשם. זיהום האוויר מאיץ את ההתחממות הגלובלית, המקצינה את מזג האוויר וגורמת למחסור בגשמים, וחוזר חלילה. חלק מיתרונותיו של הגשם בכך שהוא מטהר את האוויר ומנקה אותו, וכאשר לא יורד גשם - רמת זיהום האוויר עולה במידה משמעותית".

## נוסעים, שורפים ומהגמים

אלפרט מזהיר, כי גם תדירות פריצת השרפות הטבעיות רק תגדל, כפי שקורה במקומות אחרים בעולם, דוגמת קליפורניה, שסבלה משריפת ענק בתחילת הקיץ שעבר, כתוצאה ממיעוט גשמים ורוחות עזות שנשארו אוויר חם ויבש. לדבריו, הגורמים העיקריים התורמים



שריפת ענק סמוך לבית שמש, שפרצה בעקבות גל חום גדול בתמוז תש"ט

להגברה בשריפות הם טמפרטורות גבוהות יותר ופרקי יובש ארוכים יותר, ואלה חזויים לעשרות השנים הקרובות. גורם מקומי נוסף הוא, רוחות מזרחיות חזקות, המלכות את האש בעיקר כשהן באות אחרי תקופת יובש ארוכה, כפי שקרה בשרפה בכרמל בחנוכה תשע"א.

"שנת בצורת גורמת לנוק לכלל החיים בטבע", אומר אלפרט. "אין להתהדר במתקני התפלה מתקדמים המפיקים מים לשתייה ולשימוש ביתי, כי גם זה אינו פותר את בעיית המים לחלוטין. גם אם רשות המים תתפיל כמויות של מים פי מאה - עדיין שטחי הטבע הפתוחים, העצים ובעלי החיים יישארו רחוקים מאד מיעדי רשות המים. האדם יכול לכוון את הצינוחות, לדאוג לאספקה ביתית, אך הדבר אינו פותר את הבעיה הכללית על פני הארץ. כמו כן, מאגרי המים התת קרקעיים בתחומים אינם מתמלאים, אין זרימה בנהלים, ובמצב זה חסרות דורכות מים חיוניות לבני האדם.

על פי מחקרו של אלפרט, ההתחממות הגלובלית צפויה רק ללכת ולגדול, והוא תולה אותה חד משמעית במחדלים של הפעילות האנושית, המשנים את הרכב האטמוספירה.

"כאשר מחלקים את כל הכמות ל-7 מיליון תושבים אשר מתגוררים במדינה, כל אחד מתושבי ישראל אחראי בממוצע על "ייצור" של 10 טונות תרכובות פחמן דו חמצני המשתחרר לחלל האוויר. כל זאת כתוצאה מייצור חשמל, שריפת דלק והתפתחות תעשייתית. זהו זיהום הנוצר ללא ידיעתנו. אנחנו לא חשים אחראים לזיהום הנוצר כתוצאה מהשימוש שלנו בחשמל, למשל. תוך כדי נסיעה תמימה מתל אביב לירושלים, נסיעה אחת פשוטה, נשרפים עשרות ליטרים של דלק. כל ליטר כזה הופך כרוכו לפחמן דו חמצני בתהליך השריפה והפליטה. אלו מספר פעילויות יומיומיות היוצרות את הגורם האנושי והמכריע בזיהום הסביבה".

## יש קליטה? יש תחזית

תגליתו החדשה של פרופ' אלפרט, הזוכה לפרסים יוקרתיים ברחבי העולם, מגייסת לחיזוי מזג האוויר דווקא את... האנטנות הסלולאריות.

האנטנות הללו, המוצבות בכל רחבי הארץ ומשמשות לצרכי תקשורת מתקדמת, הן לא אחת סלע מחלוקת בין חברות הסלולר לארגוני איכות הסביבה. מצד אחד טוענים הארגונים, כי האנטנות מסוכנות באזורי מגורים ופולטות קרינה ברמה גבוהה מן המתור, ומן הצד השני עומדות החברות המעוניינות להעניק קליטה סלולארית מלאה לכל לקוחותיהם בכל מקום. אלא שלאנטנות שארגוני הסביבה לוחמים נגדן, ישנו יתרון מפתיע, שדווקא תורם לסביבה: הן מסוגלות להיות כלי לחיזוי מזג האוויר.

"צוות המחקר שלנו היה החלוץ שגילה כי לשם חיזוי מזג האוויר ניתן להשתמש בנתונים של אנטנות סלולאריות המשדרות אחת לשנייה בגלי מיקרו, גלים



פקק אינסופי בתוך השלג הכבד. הסופה הגדולה של תחילת החורף. חיזוי מדויק עשוי להצביע על המקומות המועדים ועל כמות המשקעים

המערכת לחיזוי מזג האוויר באמצעות אנטנות סלולאריות פועלת באמצעות מודלים פיזיקליים, הפותרים את המשוואות של המתרחש באטמוספירה. המערכת צורכת נתונים עדכניים מדי רבע שעה, עוקבת אחר התקדמות הגשם וקובעת לפיהן מהן כמויות המשקעים הצפויות ומהו מיקומן. כמובן שיכולת החיזוי מוגבלת בזמן, וככל שמתרחקים מתאריך היעד עלולות להיות שגיאות משמעותיות בחיזוי מזג האוויר. כיום ניתן להשיג תוצאות מדויקות וטובות לחמישה ימים הקרובים - שזהו גם טווח הזמן של השירות המטאורולוגי, אך מידת הדיוק שלו פחותה.

"כדי לבצע תחזית לטווח הארוך של ימים ושבעות, יש צורך לפתח מודלים חדשים, ועל כך אנו עוסקים בפיתוח בשנים הבאות. השירות המטאורולוגי מתעניין מאד בפיתוח שלנו ומעוניין לקדם אותו, אך בשביל להפעיל זאת צריך משאבים רבים לפיתוח ואחזקת המחקר, והשירות המטאורולוגי אינו יכול להקציב זאת עבורנו. על כן אנו עושים זאת בשנים האחרונות באמצעים העומדים לרשותנו, ובפרקי זמן ארוכים יותר, ומקווים להגיע למצב שבו יקבלו תושבי ישראל תחזית מזג אוויר מדויקת כמעט לחלוטין, וארוכת טווח".

שיטת המדידה החדשה לא רק תסייע לנו להישאר יבשים, אלא כאמור גם תמנע נזקים, עגמת נפש ואפילו אבדות בנפש. אך אין דרך להבטיח שיהיו לה משקעים למרדו, מלבד הדרך הידועה והמסורה לנו, "והיה אם שמוע תשמעו... ונתתי מטר ארצכם בעתו, יורה ומלקוש".

## "על משתמשים ברשתות הסלולאריות אין כל השפעה בדרך כלל. החברות הסלולאריות דואגות לזהות שינויים בגלי השידור של האנטנות. אם יש תנודות בקבלת האינפורמציה וחוסר קליטה, הן מגבירות את עוצמת הקליטה של אנטנות השידור"

במידת האפשר את כמות השלג העשויה לרדת בהרים, היכן צפויים משקעים רבים יותר והיכן פחות. תחנות מדידה ע"י המערכות הסלולאריות עשויות להשלים את המערכת שהינה חלשה בכיסוי האזורים הללו, ואשר לא תמיד יכולה לספק תמונה מדויקת".

לשאלנו, האם גם צרכני הסלולר מושפעים מתנודות מזג האוויר המשפיעות על האנטנות, משיב אלפרט בשלילה. "שינויים בגלי השידור בין האנטנות, המושפעות משינויים באטמוספירה - אכן נרשמים, ובעזרתם מפוענחות תחזיות מזג אוויר, אך על משתמשים ברשתות הסלולאריות אין כל השפעה בדרך כלל. החברות הסלולאריות דואגות לזהות שינויים בגלי השידור של האנטנות. אם יש תנודות בקבלת האינפורמציה וחוסר קליטה, הן מגבירות את עוצמת הקליטה של אנטנות השידור".

שאורכם כסנטימטר - הארוכים יותר מגלי קרינת השמש", אומר פרופ' אלפרט. "הגלים הללו מושפעים במידה רבה ומשמעותית מגשם ומלחות באטמוספירה. נוכחות של לחות המבשרת גשם תשפיע על העברת הגלים, ותרשומו באופן אוטומטי נתונים בחברה הסלולארית.

הוכחנו מחקרית, שאנו יכולים להשתמש בנתון שנאסף באופן אוטומטי, לפענח אותו בנוסחאות מדויקות ולציין היכן בדיוק עתיד לרדת גשם סמוך לזמן אמת, ובאיזו עוצמה. הנתונים הללו מועברים ע"י המערכות הסלולאריות במידה מדויקת הרבה יותר מזו של המערכת המטאורולוגית המשמשת לחיזוי מזג האוויר כיום. מערכת חיזוי סלולארית מפענחת, כאמור, את הנתונים המתקבלים באנטנות הסלולאריות, ומסוגלת לתת התראה קצרת מועד אך משמעותית אודות נתוני משקעים עתידיים בשעות הקרובות. העובדה שהאנטנות נמצאות בכל מקום, מסייעת לדיוק של התחזית. לשם השוואה, לשירות המטאורולוגי ישנן כיום אולי מאה מערכות, המפוזרות במאה נקודות, אשר על ידן מודדים את מזג האוויר הארצי. את המדידה הסלולארית ניתן לבצע ב-10,000 נקודות מדידה, מה שמעלה לאין ערוך את הדיוק של התחזית ושל כמות המשקעים".

"במחקר שערכתי", מוסיף פרופ' אלפרט, "מצאתי שניתן להשתמש בנתוני האנטנות הסלולאריות לבניית מודל מתאים המורכב ממשוואות שונות, וע"י כך לחזות את מזג האוויר. הכל נעשה על בסיס נתונים מן האטמוספירה, המשפיעים באופן ישיר על האנטנות. עוד לא ערכנו מחקר, כיצד לפתח תחזית ארוכת טווח ולזהות שנות בצורת מראש וכדומה, אך זה אמור להיכנס לאחד המודלים העתידיים שלנו ולשפר את התחזית הסלולארית".

## יותר דיוק, ליותר זמן

כזכור, אחת הסיבות לנזקים הגדולים שגרמה סופת השלג בתחילת החורף, הייתה העובדה שאי אפשר היה לחזות מראש את עוצמתה ולהיערך בהתאם. החזאים ידעו לספר שסופה ממשמשת ובאה, אך לא יכלו לשער עד לאלו ממדים היא תגיע. על פי המודל הסלולארי של פרופ' אלפרט, ניתן יהיה לתת חיזוי מדויק ולמנוע תקלות, נזקים ואבדות בנפש. "במייוחד", אומר פרופטור אלפרט, "תגדל יכולת ההתרעה מפני שטפונות דרומיים, הפרוצים לפתע פתאום. לא אחת גבו השטפונות באזור הנחלים בדרום חיי אדם יקרים. תאורטית, אם היינו מפעילים את מערכות החיזוי הללו, היה ביכולתנו להתריע שעה לפני הזמן על אזור מדויק המיועד לכמות ממטרים חריגה ולשיטפון, ובכך למנוע כניסת מטיילים לטווח הסכנה. חיזוי סלולארי של הסופה בחורף הזה, אולי היה מאפשר גם לכוחות השיטור והעירייה להיות ערוכים לכמויות השלג העצומות. ניתן היה לחזות