

הקצנה באקלים ישראל

הדמיות אזוריות מעל מזרח הים התיכון



פנחס אלפרט, שמעון קריצ'אק, חיים שפיר, איזבלה אוסטינסקי, מלינה דיין ודוד חיים

מבוא

האחרונות בכ-0.6 מעלת צלזיוס, ויש נטייה גדלה לאירועים קיצוניים של יובש ושיטפונות. בדצמבר 1997 נערכה ועידת קיוטו, שמטרתה היתה להילחם בתופעה. כתוצאה מוועידה זו פורסמה אמנת קיוטו, שבה מתחייבות רוב מדינות העולם להפחית את פליטת גזי החממה. יישום האמנה החל ב-2005. אחת המדינות שלא קיבלו את האמנה היא ארצות-הברית. ב-50 השנים האחרונות התרחשו שינויים באקלים במזרח הים התיכון. העיקריים שבהם הם התחממות בקיץ לצד ירידה מסוימת בטמפרטורות החורף, וכן עלייה במשקעים באזור דרום-מזרח הים התיכון, לעומת המגמה הדומיננטית של ירידה במשקעים ברוב אגן הים התיכון. כמו כן ניכרות עלייה באירועי גשם קיצוניים, לצד ירידה בכמות הכוללת של הגשם. חלק מן השינויים הללו ניתנים להסבר כחלק ממגמת ההתחממות העולמית. ניתן לראות זאת גם בעלייה באינדקס התנודה

בעשורים האחרונים גברה המודעות בעולם לתופעת החימום הגלובלי, הידועה גם בשם "אפקט החממה". מאז המהפכה התעשייתית במאה ה-18, שרפת הדלקים בעולם הוגברה. כתוצאה מכך עלו ריכוזי גזי החממה (פחמן דו-חמצני, אדי מים, פריאונים, מתאן) באטמוספירה. גזים אלה יוצרים מעין שכבה המשתרעת מן הקרקע עד לגובה של כ-10 ק"מ. קרינת השמש המוחזרת כקרינת חום (אינפרא אדום) מכדור-הארץ לאטמוספירה נחשבת על-ידי שכבה זו, היוצרת אפקט הדומה לחממה, ומוחזרת לכדור-הארץ. כתוצאה מכך, הקירור הנורמאלי של כדור-הארץ אינו מתאפשר, והטמפרטורה בו עולה. בשנת 2001 פורסם דו"ח הפאנל הבינלאומי לשינוי אקלים, ה-IPCC, שהוא הדו"ח המקיף ביותר על המחקרים בנושא. על פי דו"ח זה, עלתה הטמפרטורה הממוצעת בכדור-הארץ במאה השנים



העלייה באירועי הגשם הקיצוני בישראל, לעומת המגמה של ירידה בכמויות הגשם הכלליות, משקפת שינוי בהתפלגויות המשקעים. לדעתנו, אחת הסיבות הנוספות לשינוי זה היא עלייה באינטראקציה של תהליכים בין קווי הרוחב הטרופיים (שמדרום לאזורנו) לקווי הרוחב הבינוניים (שבהם מצויה ישראל). דוגמה לכך היא העלייה בשכיחות המצב הסינופטי של "אפיק ים סוף", שמקורו באזור שמדרום לישראל, על חשבון מערכות סינופטיות אשר מביאות יותר משקעים כמו "שקע קפריסאי במזרח הים התיכון", שמקורם באזורים שממערב לישראל (Alpert et al., 2004).

קשרים אחרים בין האקלים במזרח הים התיכון למערכות טרופיות כמו המונסון, אבק ממדבר סהרה והוריקנים נמצאו לאחרונה גם הם כחשובים לאזורנו. לאחרונה נבחנו על-ידינו תוצאות של ריצות מודל אקלימי, במיוחד נבדקו שינויי הטמפרטורה והגשם במזרח הים התיכון בשנים 2071-2100 בהשוואה לתקופת ביקורת של 1961-1990. נתונים אלה

הצפון-אטלנטית, (North Atlantic Oscillation) NAO, המייצג את הפרשי הלחצים האטמוספריים בין נקודת מדידה באיסלנד לנקודת מדידה בפורטוגל, ומצביע על מגמת התחממות במערב אירופה והתקררות בצפון אירופה. עלייה זו היתה קשורה עד שנות התשעים באופן ישיר גם לחורפים קרירים במזרח הים התיכון. העובדה שאזור דרום-מזרח הים התיכון אינו סובל מירידה מובהקת במשקעים קשורה כנראה לתרומה החיובית של אינדקס תנודה אחר, של הפרשי לחצים אטמוספריים בין מזרח האוקיינוס האטלנטי ומערב רוסיה – EA/WR (East Atlantic–West Russia), המגביר גם הוא את גשמי מזרח הים התיכון. כמו כן ניכרת עלייה בתדירות תופעת אל-ניניו (זרם ימי חם באוקיינוס השקט, המשפיע על מזג האוויר באזורים שונים בעולם), שנמצאה בהתאמה חיובית לעלייה במשקעים באזורנו.

נמצא גם כי שינויים בשימושי קרקע מקומיים במרכז ישראל ובדרומה תורמים לעלייה במשקעים באזורים אלה.



הרגישים ביותר בעולם מבחינת דרישת ואספקת מים – אגן הניקוז העליון של נהר הירדן. אזור דרום-מזרח הים התיכון מאופיין בזמינות מים לנפש מהנמוכות ביותר בעולם. הדרישה למים באזור זה הולכת וגוברת, בעוד שזמינות המים הולכת ויורדת בהדרגה. תרחישים אקלימיים למזרח הים התיכון מבוססים על מודלים אטמוספריים בקנה-מידה גדול, אשר חוזים תהליך מדבור גובר יחד עם גידול בהשתנות האקלימית. כמויות המים במקורות עיליים ותחתיים הגיעו כיום לשיאים שליליים, בעיקר נוכח שימוש הולך וגובר במים יחד עם תקופות יובש ובצורות המתרחשות כיום בתדירות גבוהה מבעבר.

אזור אגן ההיקוות של הירדן העליון (UCJR) הוא עמק שאורכו כ-80 ק"מ, רוחבו כ-15-30 ק"מ ושטחו כ-1,600 קמ"ר. הזרימה באגן רציפה לאורך כל השנה. תפוקת המים היא בממוצע כ-500 מיליון מטרים מעוקבים בשנה, והיא מהווה כ-25% ממאזן המים הכולל של ישראל. אזור הירדן העליון כולל את יחידות ניהול מערכת המים העיקריות, ובפרט מהווה מקור מים זה בסיס עיקרי לאספקת מים בצפון ישראל וכן לאזורי חקלאות במישור החוף ובאזורים היבשים והחצי-יבשים במזרח ישראל ובדרומה. לאור כל זאת, המטרות העיקריות של פרויקט GLOWA-Jordan River הן להעריך את זמינות מקורות המים בישראל בתנאים של שינוי אקלימי, ולפתח שיטות יעילות לניהול מערכת המים של נהר הירדן.

בפרק 1 נבחנות טמפרטורות הקיץ – תצפיות נוכחיות לעומת מגמות עתידיות. פרק 2 דן בהשוואה דומה עבור גשמי החורף. לאחר מכן, מוצגים טמפרטורות וגשמי קיצון צפויים בסוף המאה ה-21 (פרק 3 ו-4 בהתאמה). יחסי הגומלין בין המגמות הצפויות למערכות הסינופטיות השונות נידונים בפרק 5, ולאחר מכן מובא סיכום.

1. טמפרטורת הקיץ:

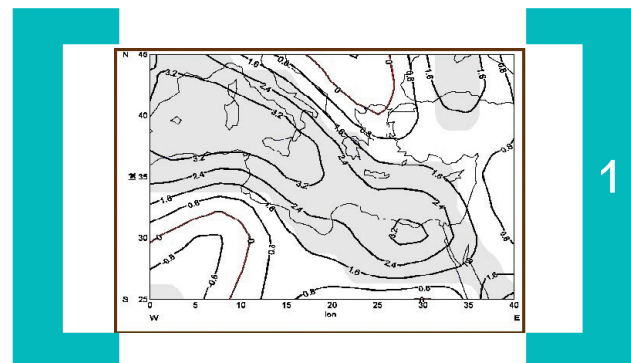
איור 1 (Saaroni et al., 2003) מראה התחממות מובהקת בקיץ (יוני-אוגוסט, JJA), בגובה 850 מילי-בר או מ"ב (כ-1,500 מטר) מעל הים התיכון. מגמת התחממות הנעה בין מעלה וחצי ל-4 מעלות במאה שנה, המבוססת על האנליזות של המרכז האמריקני לחיזוי בוושינגטון (NNRP) לשנים 1948-2000, ניכרת מעל כל אזור הים התיכון, עם ערכי שיא במערב הים התיכון וצפון מצרים. מגמת התחממות זו גבוהה פי 3-4 מהמגמה הגלובלית במאה השנים האחרונות. על פי נתוני הארכיון שהפיקה CRU של האוניברסיטה של מזרח אנגליה, נמצאה מגמת התחממות מעט מתונה יותר. ניתוח של הפרשי

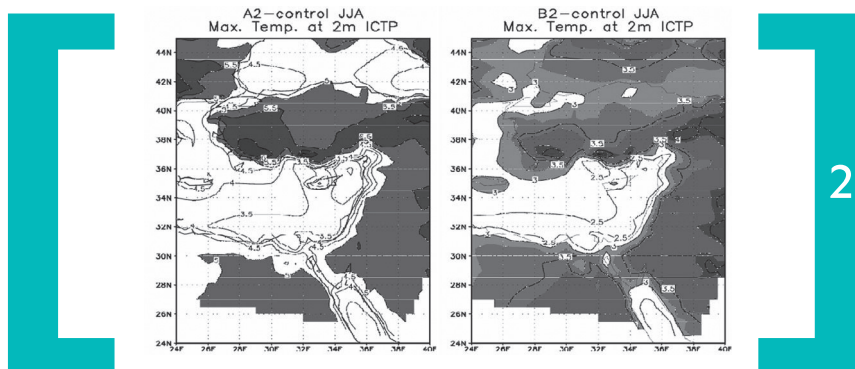
מבוססים על הדמיות בעזרת מודל אקלימי אזורי שבוצעו לצורך פרויקט אירופי שבו היינו שותפים, EU PRUDENCE. הדמיות המודל אותחלו באמצעות תוצאות ממודל גלובלי בריטי, HadAMH, ובוצעו במרכז הבינלאומי לפיזיקה תאורטית (ICTP). בתקופה העתידית (2071-2100), נבחנו במודל שני תרחישים, A2 ו-B2, כפי שהגדיר אותם הפאנל הבינלאומי לשינוי אקלימי (ה-IPCC). תרחישים אלו מתארים שני מצבים אפשריים לשנים 2071-2100, אשר מתבטאים בקצב שונה של פליטות גזי חממה. B2 הוא התרחיש הפחות חמור, שעל פיו יפעל העולם על מנת להפחית את פליטת גזי החממה על פי אמנת קיוטו. A2 הוא התרחיש החמור יותר, שעל פיו לא ייעשה דבר כדי להפחית את פליטת הגזים ו"העולם כמנהגו ינהג" ואף חמור מכך, תהיה האצה בפעילות הכלכלית. תוצאות ראשוניות של ההדמיות מוצגות ונידונות במאמר זה, תוך השוואה למגמות נוכחיות שנצפו וחושבו לשנים 1948-2000 ומבוססות על מאגר נתונים של המרכז האמריקני לחיזוי, NNRP, וכן על נתוני ארכיון של ה-CRU (Climatic Research Unit), אנגליה.

מטרת מאמר זה היא, ראשית, לסכם את המגמות האקלימיות הנוכחיות במזרח הים התיכון ולהשוותן לתחזיות האקלימיות; ושנית, לספק הבנה סטטיסטית של השינויים הצפויים באזור המצומצם של אגן נהר הירדן. אגן זה חשוב מאוד למאזן המים של ישראל ושכנותיה. פרויקט GLOWA-Jordan River מתרכז בחקר אזור זה (ראו בהמשך).

פרויקט GLOWA-Jordan River

פרויקט GLOWA-Jordan River מתמקד באחד האזורים





מדיגשם (IPCC (2001), Alpert et al. (2002). ניתן להשוות מחקרים אלו לריצות המודל האזורי של ה-ICTP לשנים 2071-2100 בהשוואה ל-1961-1990. ריצות אלו מראות הבדלים גדולים בין תרחיש A2 לתרחיש B2 (איור 3). הריבוע השחור מציין את ישראל ואת אזור ההיקוות של נהר הירדן. בתרחיש A2, רוב אזור מזרח הים התיכון מראה מגמת ירידה בגשם של כ-15% עד 75% בחודשי החורף (December-February, DJF), השקול לירידה משמעותית של כ-10% עד 30%. בחודשי ה- DJF מושקעת במזרח הים התיכון רוב כמות הגשם השנתית, ולכן כמות גשם זו משקפת גם את כמות הגשם השנתית, אף שצפויים גם שינויים בהתפלגות הגשם העונתית. בתרחיש B2, לעומת זאת (איור 3), הירידה בגשם היא באופן מובהק נמוכה יותר ובשיעור של 0% עד 5% בגשם הטוטלי, בעוד שמעל רוב טורקיה ניכרת אף עלייה מובהקת בכמויות הגשם. שינויי הגשם הנחזים דומים לאלה שנצפו מעל מזרח הים התיכון בעשורים האחרונים (ראו לדוגמה IPCC, 2001), המראים גם הם ירידות גדולות בכמויות הגשם באזורי צפון-מזרח הים התיכון, ועליות מסוימות בדרום-מזרח הים התיכון.

3. טמפרטורות קיצון

תוצאות המודל לתקופת הביקורת (1960-1990) אינן תואמות בהכרח את נתוני התצפיות. באותו אופן, תוצאות המודל עבור התרחישים העתידיים לא בהכרח מספקות תחזית יומיומית מדויקת. אחת הסיבות לכך היא, שהתחזיות של המודלים האקלימיים הקיימים והנתונים המאתחלים אותם אינם מדויקים דיים, גם בשל מגבלות מחשוב. לכן, כדי לקבל הערכה טובה יותר של תוצאות ריצות המודל האקלימי, והערכים הקיצוניים בהן, הכרחי לספק פירוש סטטיסטי לנתונים. לצורך

טמפרטורות הקרקע בין 2071-2100 בהשוואה ל-1961-1990 נערך על-ידי IPCC (2001) ועל-ידי Giorgi. Giorgi הסתמך על נתוני המודל האקלימי האזורי של המרכז הבינלאומי לפיזיקה תיאורטית, ה-ICTP, לשני תרחישי פליטות גזי חממה שהגדיר הפאנל הבינלאומי לשינוי אקלימי, IPCC: A2-B2. התוצאות מראות שעל פי תרחיש A2, החמור יותר, שינויי הטמפרטורה מעל מזרח הים התיכון הם מסדר גודל של 3°C עד 5°C , בעוד שעל פי תרחיש B2 העלייה בטמפרטורה היא של 2.5°C עד 3.5°C בלבד (איור 2). מעניין לציין שמגמת ההתחממות מעל הים נמוכה מאשר על פני היבשה (לשנים 2071-2100). תוצאה זו מנוגדת למגמת ההתחממות הנצפית מאז 1948. על פי התצפיות (איור 1) ההתחממות מעל היבשה היא של $0.8^{\circ}\text{C}/100\text{y}$, ובאזורים מסוימים (אלג'יריה, הבלקן) נראית אפילו מגמת התקררות. מאחר שההתחממות בים התיכון היא מאותו סדר גודל, האם אפשר להסיק מכך שההתחממות מעל היבשה עומדת להיות מואצת במאה ה-21? או אולי המודלים האקלימיים אינם מהימנים מספיק? אפשרות נוספת היא ששינויי הטמפרטורה בגובה של 850 מ"ב אינם מייצגים היטב את השינויים קרוב לקרקע. התשובה עדיין אינה ברורה. ריצות מודל אקלימי המבוצעות באוניברסיטת תל-אביב, המבוססות על נתונים גלובליים ממרכז הדלי בבריטניה (PRECIS), מראות גם הן על מגמה דומה.

2. גשמי החורף

מגמות הגשם הנצפות מעל כמעט כל אזור הים התיכון הן שליליות באופן מכריע (כלומר ירידה בכמות הגשם) בהתבסס על השנים 1948-2000. הראינו זאת בהתבסס על אנליזות ה-NNRP, וכן מתוך מחקרים רבים המבוססים על מדידות

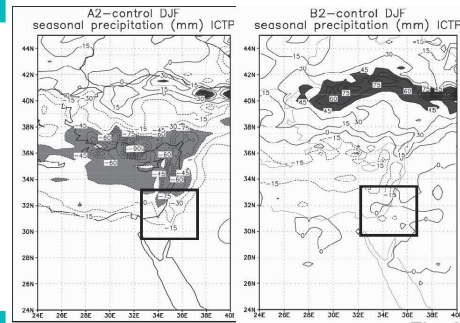
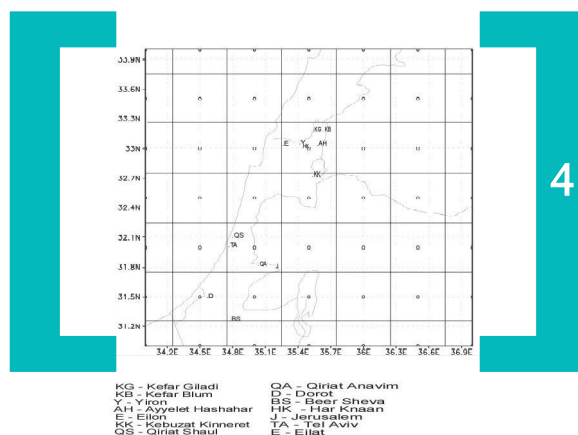


2100 לתקופה 1961-1990. תוצאות דומות נתקבלו בשאר 11 תחנות המדידה שנבדקו בישראל.

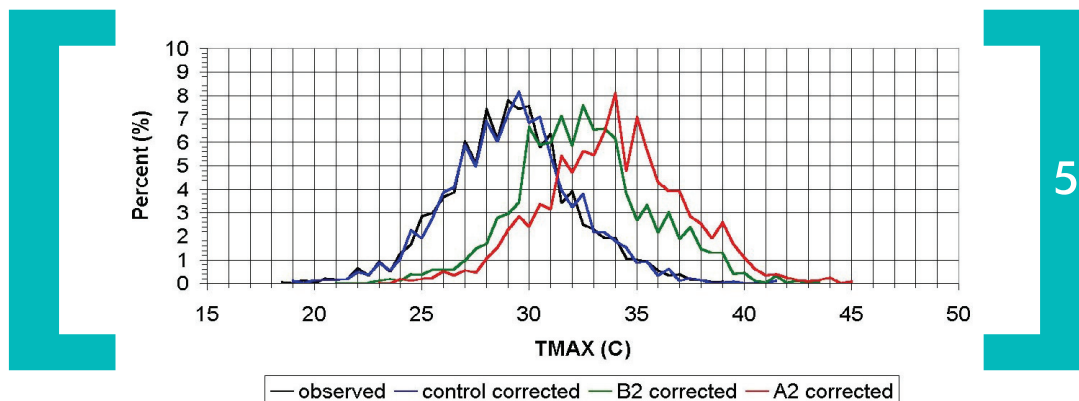
4. אירועי גשם קיצוניים

אותה שיטה לפירוש סטטיסטי ששימשה אותנו לניתוח ולתיקון הטמפרטורות שימשה אותנו גם לניתוח ולתיקון נתוני הגשם. נמצא כי כמות הגשם החזויה לשנים 2071-2100 בשני התרחישים היא נמוכה מעט יותר מאשר כמות הגשם בתקופת הביקורת לרוב האחוזונים. ואולם, באחוזונים העליונים (מעל 95%) המגמה היא הפוכה, ומראה עלייה מובהקת באירועים של גשם חזק וקיצוני. האינטרפרטציה הסטטיסטית נערכה ל-12 תחנות גשם בישראל. בטבלה נראים מספר ימי הגשם הקיצוני, שבהם הגשם עבר את ה-50 מ"מ ליום בתקופות של 30 שנה בתרחישים השונים. קיימות כמה תוצאות מעניינות: ראשית, בין תחנות קרובות אחת לשנייה קיימים לעתים הבדלים מובהקים ביותר במספר אירועי הגשם הקיצוניים בתרחישים השונים. לדוגמה, בין תחנות הר כנען וכפר בלום באגן הניקוז של הירדן העליון, או בין תחנות ירושלים וקריית ענבים. שנית, ככל שהתחנה צפונית יותר קיימת מגמה של התרבות ימי הגשם הקיצוני (ראו תחנות 7, 8, 10 ו-12).

תוצאה מעניינת אחרת היא ההתפלגות העונתית של ימי הגשם הקיצוני (איור 6). באיור זה נראית התרכזות הגשם הקיצוני בתרחיש העתידי B2 בחודשי הסתיו וראשית החורף (השיא הוא בדצמבר). לעומתו, בתרחיש A2 מתרכזים ימי הגשם הקיצוני בחודשי האביב (שיא בינואר ושיאים משניים במרץ ובמאי). איורים 7א ו-7ב מסכמים את הממוצעים



זה אימצנו את השיטה שהוצעה על-ידי Deque (2006). השטח שבו התמקדנו הוא צפון ישראל, ובייחוד אגן הניקוז של הירדן העליון. איור 4 מראה את האזור שבו התמקדנו, ואשר עליו הורץ המודל האקלימי בהפרדה של 50 ק"מ. כאן מוצגות התוצאות רק לגבי תחנת הר כנען, הנמצאת בגובה של כ-1,000 מ'. השיטה לפירוש סטטיסטי שהוצעה על-ידי Deque (2006), ושאותה אימצנו, בוצעה כדלהלן: ברשותנו נתוני תצפית מהר כנען עבור השנים 1961-1990. כמו כן ברשותנו ריצות מודל אקלימי לשנים אלה – ריצות הביקורת (control). כמו כן ברשותנו ריצות לתרחישים B2 ו-A2 לשנים 2071-2100. נתוני הטמפרטורה עבור ארבע הריצות בהר כנען מסודרות לפי אחוזונים, כאשר הטמפרטורה הנמוכה ביותר מקבלת אחוזון של 10%, והגבוהה ביותר היא 99%-100. השיטה מניחה שלריצת הביקורת יש שגיאה שיטתית יחסית לתצפיות. שגיאה זו מתוקנת לכל האחוזונים של ריצת הביקורת, תוך התאמה לתצפיות. אם נניח כי לריצות העתידיות של המודל האקלימי (B2 ו-A2) יש אותה שגיאה שיטתית כמו לריצת הביקורת, עלינו לתקן את כל האחוזונים ב-A2 ו-B2 על פי אותו תיקון שבוצע בריצת הביקורת. בדרך זו קיבלנו ערכים מתוקנים של B2 ו-A2. לאחר התיקון מתקבלת עליית טמפרטורה בהר כנען ב-A2 (שנים 2071-2100) של כ-6°C בכל האחוזונים, וב-B2 מתקבלת עלייה של כ-4°C בכל האחוזונים עבור אותן שנים. איור 5 מראה את התפלגות טמפרטורות המקסימום היומיות בהר כנען עבור התצפיות, B2, control ו-A2 (לאחר התיקון הסטטיסטי). הערך השכיח ביותר עבור התצפיות וריצת הביקורת הוא 29°C, לעומת ערכים של 32.5°C ו-34°C עבור תרחישי B2 ו-A2 בהתאמה. מכאן, שנראה כי ההתחממות הגלובלית גורמת לעלייה של כ-3.5°C ו-5°C בהר כנען בשני התרחישים הללו בהתאמה, כאשר משווים בין התקופה 2071-



5. מערכות סינופטיות

השינויים הצפויים בטמפרטורות ובמשקעים שהוצגו כאן קשורים, ככל הנראה, לשינויים במצבים הסינופטיים במזרח הים התיכון. לכן, מעניין לדעת אם המודלים האקלימיים הגלובליים אכן "רואים" שינויים אלה במערכות הסינופטיות. באיור 8 ניתן לראות את התדירויות השנתיות (המבוטאות בימים לשנה) של שבע המערכות הסינופטיות הבולטות במזרח הים התיכון. מספר הימים שבהם הופיעה כל אחת מהמערכות נספר באופן אובייקטיבי בתקופה שבין 1950-2000 בהתבסס על האנליזות של המרכז האמריקני לחיזוי, NNRP (ראו Alpert et al., 2004). ב-Alpert et al. (2004) נמצא כי העלייה המובהקת ביותר חלה בשכיחות המצב הסינופטי "אפיק ים סוף", מכ-50 ימים בשנה של מצב זה בשנות החמישים, לכ-100 ימים בשנה בשנות ה-2000. עלייה זו בשכיחות "אפיק ים סוף" ניתן אולי

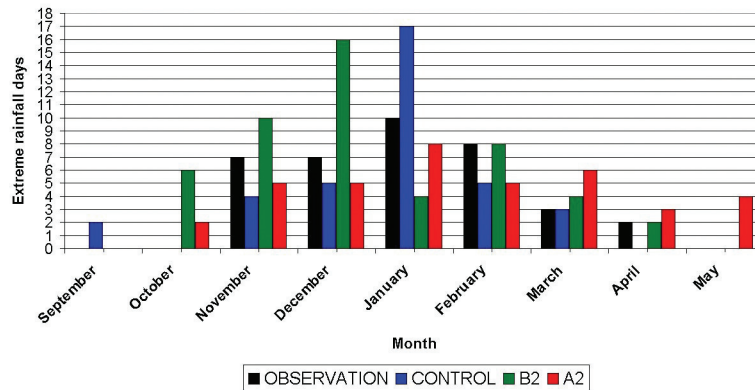
השנתיים וההשתנות של סטיית התקן (בהתאמה) משנה לשנה עבור 12 תחנות הגשם. הממצא העיקרי הנראה כאן הוא ירידה ניכרת במוצעי הגשם השנתי בתרחיש A2. לעומת זאת, על פי תרחיש B2 (אשר בו מניחים הפחתה מסוימת בפליטת גזי החממה), אין צפויה ירידה משמעותית בכמויות הגשם בישראל. עם זאת, בשני התרחישים נראית עלייה בסטיית התקן של הגשם השנתי הממוצע על פני 30 שנה, כלומר ההבדלים במוצעי הגשם השנתי בין שנה לשנה צפויים לגדול בהשוואה להיום, כך שייכתנו שנים גשומות מאוד לעומת שנים שבהן תהיה בצורת חריפה. ממצא זה תואם מחקרים אחרים החוזים עלייה בהשתנות הבינ-שנתית כתוצאה מההתחממות הגלובלית (IPCC, 2001). באזור הים התיכון השתנות זו מתקיימת באופן פרדוקסלי יחד עם ירידה בגשם כפי שנמצא על-ידי Alpert et al. (2002).

מספר	תחנה	תצפיות 1961-1990	ביקורת 1961-1990	B2 2071-2100	A2 2071-2100
1	באר שבע	1	1	2	1
2	דורות	13	6	2	2
3	ירושלים	43	44	24	30
4	קריית ענבים	73	65	67	53
5	תל אביב	28	22	24	23
6	קריית שאול	30	32	27	24
7	אילון	56	44	67	46
8	יראון	59	46	65	48
9	קבוצת כנרת	8	4	2	10
10	הר כנען	37	36	50	38
11	כפר בלום	12	6	19	14
12	כפר גלעדי	53	44	59	40

טבלה: מספר הימים ב-30 שנה שבהם ירד גשם קיצוני של מעל 50 מ"מ ליום ב-12 התחנות בישראל בתצפיות, בריצת הביקורת ובתרחישים השונים (A2 ו-B2)

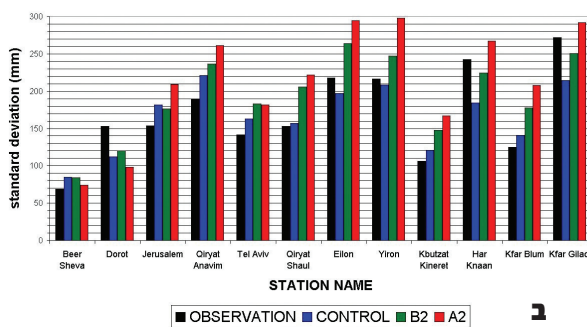


Monthly extreme rainfall days (>50 mm/d) in 30 years periods (mountain station)



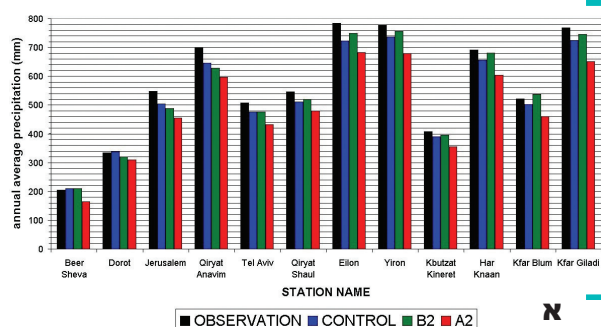
6

STANDARD DEVIATION



ב

ANNUAL AVERAGES



א

7

בתצפיות ה-NNRP בשנים 2003-1948. ממצא זה מצביע על כך שדרוש מחקר נוסף כדי להבין טוב יותר את הסיבה לחוסר ההתאמה בשכיחות "אפיק ים סוף" בין המודלים והתצפיות, והמשמעות שלו לגבי איכות התחזיות של המודלים הגלובליים למזרח הים התיכון.

סיכום

מודלים אקלימיים גלובליים לאזור הים התיכון חוזים ירידה בגשם של 3-35%, והתחממות של 3-5°C בשנים 2071-2100 בהשוואה לתקופה הנוכחית. תוצאות ריצות המודלים האזוריים המפורטים יותר, שנחקרו על-ידינו, תומכות בכך, וחוזות ירידה גדולה יותר בגשם, עלייה דומה בטמפרטורה

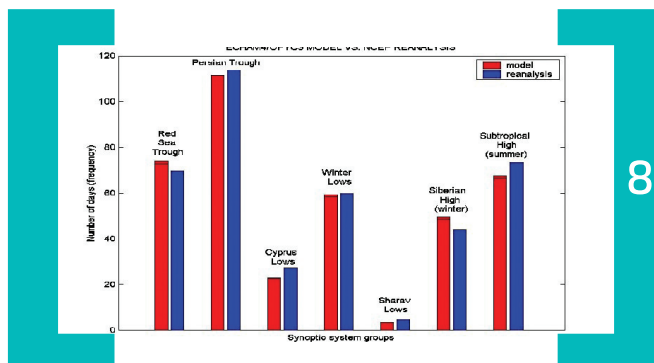
לייחס להתחממות הגלובלית. באיור 8 השכיחויות הנצפות (מתוך ה-NNRP) הושוו לאלו שבמודל האקלים הגרמני - ECHAM4/OPYC3. מעניין לציין שהמודל הגלובלי הגרמני הצליח לקבל את השכיחויות השונות בצורה מדויקת. ואולם, המגמה המובהקת ביותר, זו של העלייה בשכיחות המצב הסינופטי "אפיק ים סוף" בשנים 1950-2000, לא הודממה נכון על-ידי המודל (לא נראה כאן). גם המודל הגלובלי הבריטי HadCM3 לא הצליח לדמות עלייה זו בשכיחות של "אפיק ים סוף". כמו כן נבדק השינוי עם הזמן בשכיחות "אפיק ים סוף" על פי תרחיש B2 של ECHAM עד לשנת 2099, ושם נתגלתה אף ירידה קטנה בשכיחות של מצב זה בשנים 1950-2099, למרות המגמה הבולטת של העלייה בשכיחות "אפיק ים סוף"

המודלים הגלובליים.

בעיה אחרת היא שהחימום המקסימלי שנצפה (מאז 1948) נמצא מעל הים התיכון, אך המודלים האקלימיים חוזים את החימום המקסימלי במאה ה-21 מעל היבשה. מעניין לציין כי המודלים הגלובליים חוזים עלייה במספר הימים של אירועי גשם קיצוני (מעל 50 מ"מ ליום) מעל ישראל בפרט באזור הירדן העליון, יחד עם ירידה בכמות הגשם הכללית באזורים אלה, מה שמתאים לתצפיות חמישים השנים האחרונות.

הכרת תודה

המחקר נעשה במסגרת פרויקט GLOWA-Jordan River הממומן על-ידי משרד המדע והחינוך הגרמני (BMBF), בשיתוף עם משרד המדע והטכנולוגיה הישראלי. המחברים מודים ל-F. Giorgi שסיפק לנו תוצאות של הדמיות אקלימיות נוכחיות ועתידיות שנעשו במודל האקלימי האזורי RegCM במרכז לפיזיקה תאורטית הנמצא במרכז אבדוס סאלאם הבינלאומי בטרייסטה, איטליה. הריצות בוצעו במסגרת פרויקט PRUDENCE-EVK2-CT2001-00132 במסגרת התכנית החמישית לפיתוח אנרגיה וסביבה של האיגוד האירופי. ■



ומגמה של התחזקות אירועים קיצוניים. פרטים נוספים נתקבלו מהמודלים האזוריים, במיוחד לאחר ההתאמה הסטטיסטית לישראל שבוצעה כאן, תוך התמקדות באזור אגן ההיקוות של הירדן העליון. בעוד שברוב אזור הים התיכון קיימת מגמה של ירידה בגשם, קיימת עלייה בגשם באזורי מרכז/דרום ישראל. ייתכן שעובדה זו קשורה בעלייה המובהקת בשכיחותו של המצב הסינופטי "אפיק ים סוף", מצב שלא נחזה על-ידי

פחפ' פנחס אלפרט הנו פרויקטור לדינמיקה של האטמוספירה ולאקלים, ראש החוג לגאופיזיקה ולמדעים פלנטריים באוניברסיטת תל-אביב. ד"ר שמעון קריצ'אק הנו חוקר בכיר בתחום מודלים אטמוספריים ואקלים בחוג לגאופיזיקה ולמדעים פלנטריים באוניברסיטת תל-אביב. חיים שפיר הנו מוסמך החוג לגאופיזיקה ולמדעים פלנטריים באוניברסיטת תל-אביב. מועסק כעמית מחקר בחוג. איזבלה אוסטינסקי הגישה את עבודת הדוקטורט שלה בנושא "מצבים סינופטיים ואקלים בים התיכון" בחוג לגאופיזיקה ולמדעים פלנטריים באוניברסיטת תל-אביב. כיום חוקרת פוסט-דוק באוניברסיטת בר-אילן בחוג לפיזיקה. מלינה דיין הנה מוסמכת החוג לגאופיזיקה ולמדעים פלנטריים באוניברסיטת תל-אביב. מועסקת כעמית מחקר בחוג. דוד חיים הנו מוסמך החוג לכלכלה (המרכז לחקר משאבי הטבע והסביבה) באוניברסיטת חיפה. מועסק כעמית מחקר בחוג לכלכלה באוניברסיטת חיפה.

לקריאה נוספת:

- Alpert P., T. Ben-Gai, A. Baharad, Y. Benjamini, D. Yekutieli, M. Colacino, L. Diodato, C. Ramis, V. Homar, R. Romero, S. Michaelides and A. Manes, 2002: The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters*, 29, 11, 31-1 – 31-4, (June issue).
- Alpert P., I. Osetinsky, B. Ziv and H. Shafir, 2004: Semi-objective classification for daily synoptic systems: Application to the Eastern Mediterranean climate change, *International Journal of Climatology*, 24, 1001-1011, 2004.
- Deque, M. 2006: Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: model results and statistical correction according to observed values, *Global and Planetary Changes*, (accepted).
- IPCC, Climate Change, 2001. The Scientific Basis, Contribution of WG I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge Univ. Press, 2001.
- Saaroni H., B. Ziv and P. Alpert, 2003: Long-term variations in summer temperatures over the eastern Mediterranean, *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, No. 18, 1946, doi:10.1029/2003GL017742.