

מגמות אקלימיות בישראל 1970-2002: חם וצחיח יותר בפנים הארץ

המו חארל קאפלה^[1] והנדריק ברוינס^[2]*

^[1] המחלקה למדעי כדור הארץ והסביבה, בית הספר ללימודי הסביבה, אוניברסיטת נגויה, יפן
^[2] המכון לחקר המדבר על שם יעקב בלאושטיין, המכון השוויצרי לחקר סביבות צחיחות, אוניברסיטת בן גוריון בנגב, קמפוס שדה בוקר
* hjbruins@bgu.ac.il

המאמר פורסם לראשונה ב־77:63-96 Climatic Change 2009. והוא קוצר ותורגם לעברית

תקציר

במאמר זה נלמדו המגמות האקלימיות בישראל בשנים 1970-2002 על-פי שלוש אמות מידה: הטמפרטורה השנתית הממוצעת, כמות המשקעים השנתית ומדד הצחיחות (הלחות) P/PET (P - כמות המשקעים; PET - ההתאיידות הפוטנציאלית מן הקרקע והצומח). נמצא כי קיימת התחממות ניכרת בכל 12 התחנות המטאורולוגיות, המוצבות באזורים השונים של ישראל. הערכים השנתיים הממוצעים של המשקעים ושל מדד ה־P/PET לאורך חוף הים התיכון נשארו פחות או יותר באותה הרמה. בפנים הארץ, הן במזרח והן בדרום, כמות המשקעים וה־P/PET נמצאים במגמת ירידה, דבר המצביע על עלייה בצחיחות. באילת, בבאר שבע ובברכות המלח בסדום ניכרת עליה בצחיחות, יותר מאשר בשאר האזורים שנבדקו. הקשר בין השינויים בטמפרטורה ובין המשקעים הצביע על מתאם שלילי (עלייה בטמפרטורות מול ירידה במשקעים) בכל המקרים חוץ מאשר באילת - הנמצאת בדרום ישראל, באזור צחיח מאוד. המתאמים השליליים שנמצאו בנגבה, בכפר בלום, בהר כנען, בבאר שבע ובברכות המלח בסדום, מובהקים מבחינה סטטיסטית. לסיכום, האקלים בישראל נעשה צחיח יותר ברוב האזורים, למעט במישור החוף.

מילות מפתח: שינויי אקלים · מידבור · משקעים · טמפרטורה שנתית · מדד הצחיחות

מבוא

בתיכופות בצורות וברמת החומרה שלהן^[9]. לפיכך, הצורך לפתח תכנון מקדים למוכנות והתמודדות עם בצורת נעשה דחוף יותר ויותר, בפרט לנוכח התמעטות מקורות המים המתוקים ורמתן הנמוכה של עתודות הדגן בעולם^[5,3]. במדינות רבות השוכנות באזורים יובשניים, ובהן ישראל, התפתחו מגמות חקלאיות של גידול יבולים עתירי הכנסה. משום כך, נאלצות מדינות אלו לייבא את מרבית אספקת המזון השנתית מהשוק העולמי. מדובר באסטרטגיה מסוכנת, שכן התחממות כדור הארץ, הצחיחות הגוברת ובצורות עתידיות חמורות באזורים העיקריים בהם מיוצר המזון הבסיסי - ארצות הברית, קנדה, סין, הודו - עלולות

משלהי המאה התשע־עשרה עלתה טמפרטורת פני כדור הארץ ב־0.74 מעלות צלסיוס בממוצע^[18]. עם זאת, ההתחממות לא הייתה אחידה, ובאזורים מסוימים מזג האוויר התקרר^[6]. באופן כללי קצב ההתחממות בתשעה אזורים יובשניים (דרום־מערב ארצות הברית, דרום־מערב אסיה, מרכז־מזרח אסיה, צפון אפריקה, אזור הסהל האפריקני, קרן אפריקה, דרום־אפריקה, אוסטרליה ופוטגוניה) היה גבוה מעט יותר מאשר באזורים יבשתיים בעולם^[10]. אם ההתחממות תיצור תנאים ביו־אקלימיים יבשים יותר, התוצרת החקלאית באזורים הצחיחים למחצה ובאזורים התת־לחים בעולם תיפגע. אקלים צחיח מלווה לרוב בעלייה

בתקופה שבין 1970-1971 ועד 2001-2002, ובמקרים אחרים - על-פי המידע הזמין.

טבלה 1. האזורים היובשניים והאזורים הלחים, מסודרים על-פי הערכים היחסיים של מדד ה-P/PET^[20], ^[21] כפי שהוגדרו על-ידי UNEP ו-^[15] Le Houérou

אזור	ערכי P/PET
אזורי מדבר	
צחיח מאוד	< 0.05
צחיח	0.05 > 0.20
צחיח למחצה	0.20 > 0.50
לח למחצה יובשני	0.50 > 0.65
אזורים לחים	
לח למחצה גשום	0.65 > 0.75
לח	0.75 ויותר

עבור כל תחנה נקבעה שנת הוצאת הקשה ביותר והשנה הגשומה ביותר, כולל השינוי באחוזים בהשוואה למוצע השנתי של המשקעים. המגמה האקלימית ארוכת הטווח של הטמפרטורה השנתית, של כמות המשקעים השנתית ושל מדד הצחיחות השנתי נבדקה בכל אחת מ-39 התחנות המטאורולוגיות בעזרת קו הרגרסיה הליניארית (קו ההתאמה המיטבית). המובהקות הסטטיסטית של קו הרגרסיה הליניארית הוערך באמצעות שימוש ב-*student's t-test*. במאמר זה מוצגות תוצאות הטמפרטורה, כמות הגשמים ומגמות ה-P/PET בתקופה שבין 1970 ל-2002 ב-12 תחנות מטאורולוגיות נבחרות (איור 1). תחנות אלו נבחרו על-פי מיקומן כדי להדגיש את ההבדלים בין מגמות האקלים בחלקים שונים של המדינה.

ארבע תחנות מטאורולוגיות נבחרו לאורך חוף הים התיכון או בסמוך לו, מצפון לדרום: עין החורש, תל אביב שדה דב, חצור-אשדוד ונגבה (איור 1). ארבע תחנות מטאורולוגיות נוספות נבחרו בפנים הארץ, בחלקה המזרחי, מצפון לדרום: כפר בלום (צפון עמק הירדן), הר כנען (הגליל העליון), שדה בוקר (הנגב המרכזי), ואילת (הנגב הדרומי, הים האדום). ארבע התחנות האחרונות נבחרו לאורך הקו החוצה את הנגב הצפוני ממערב למזרח, באזור שבו ישראל מגיעה לשיא רוחבה: חוות הבשור, באר שבע, ערד וברכות המלח בסדום (דרום ים המלח).

להביא לידי מחסור חמור במזון בשוק העולמי^[4].

ישראל שוכנת באזור סובטרופי יבש בין קווי הרוחב 29.5 ו-33.5, מצפון לקו המשווה. אורכה של המדינה כ-450 ק"מ מצפון לדרום, ורוחבה המרבי כ-110 ק"מ בנגב הצפוני. ישראל נמצאת באזור אקלים רגיש מאוד, במעבר מאזור אקלים מדברי לאקלים ים-תיכוני לח למחצה. הנגב ומדבר יהודה הם חלק מחגורת המדבר הגדולה ביותר על פני כדור הארץ. חגורה זו משתרעת מהחוף האטלנטי של הסהרה ועד מדבר טר שבהודו^[8].

חרף ממדיה הקטנים של המדינה, האקלים בישראל מגוון מאוד, ומשתנה על פני מרחקים זעירים^[7, 8]. האקלים במדינה משתנה מן הצפון לדרום, ומן החוף לפנים הארץ. בישראל מצויים ארבעת אזורי האקלים היבש^[14], כפי שהוגדרו על-ידי התוכנית הסביבתית של האו"ם (UNEP)^[20, 21] וועידת האו"ם למאבק במדבר (UNCCD)^[19]: צחיח מאוד, צחיח, צחיח למחצה, ולח למחצה יובשני^[15].

במאמר זה מוצג מחקר העוסק במגמות האקלימיות בישראל בשנים 1970-2002. המחקר מבוסס על ניתוח מפורט של טמפרטורה חודשית וכמות משקעים שנתית - מידע שנאסף ב-39 תחנות מטאורולוגיות. ניתוח המגמות האקלימיות שביצענו בוחן שלושה מדדים בתקופה של כשלושים שנה: טמפרטורה שנתית, כמות משקעים שנתית ומדד הצחיחות השנתית P/PET (P - כמות המשקעים; PET - ההתאיידות הפוטנציאלית מן הקרקע והצומח). אקלים יבש יותר או לח יותר במונחים ביו-אקלימיים או חקלאיים אינו רק פועל יוצא של כמות הגשמים, אלא גם של פוטנציאל ההתאיידות, ומשום כך הטמפרטורה היא גורם רב חשיבות. אם הטמפרטורה עולה, גם ה-PET עולה, ובשל כך יורד מדד ה-P/PET (אם ה-P נשאר כשהיה), וכך גם להפך.

שיטות

האקלים בישראל מתאפיין בקיץ יבש בחודשים יוני, יולי ואוגוסט. העונה הגשומה והשנה החקלאית מתחילות בספטמבר-אוקטובר, והגשמים מסתיימים באפריל-מאי. השנה הקלנדרית, המתחילה ב-1 בינואר, חוצה את עונת הגשמים לשניים. לכן השתמשנו בחלוקה שנתית המתחילה ב-1 בספטמבר ומסתיימת ב-31 באוגוסט - חלוקה מקובלת בישראל בכל הנוגע למחקרים העוסקים בגשמים ובאקלים.

אף שטמפרטורה ומשקעים הם אמות מידה יעילות מאוד לחקר שינויי האקלים, כל אחת מהן בנפרד, הרי שמדד הצחיחות או היובש P/PET מבטא טוב יותר את שינויי האקלים ואת משמעותם במונחים ביו-אקלימיים. אזורי האקלים השונים, כפי שהוגדרו על פי ערכי ה-P/PET, מוצגים בטבלה 1, על-פי המיון של UNEP^[20, 21] ושל UNCCD^[19], ראו גם Hulme ועמיתיו^[11] ו-^[15] Le Houérou.

המגמות האקלימיות נבדקו ב-39 תחנות מטאורולוגיות, לרוב



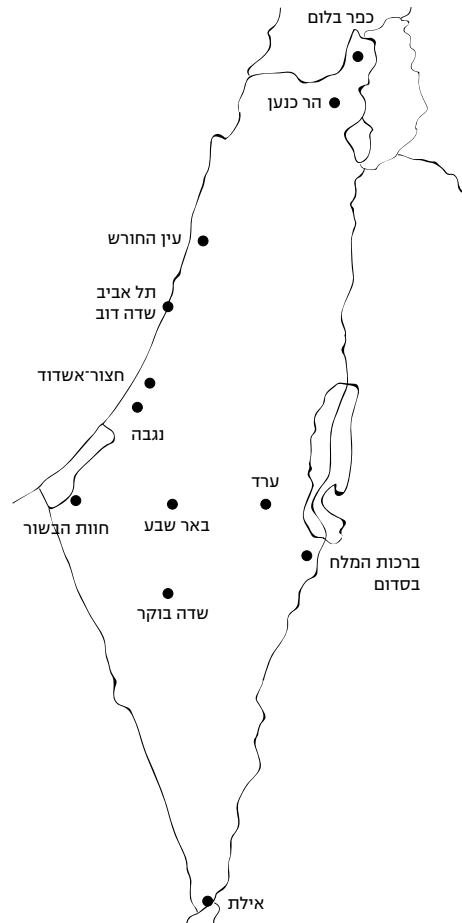
חזית המחקר

תוצאות ודיון

טבלה 2 מוצגים דפוסי הטמפרטורה השנתית הממוצעת בארבע תחנות מטאורולוגיות לאורך חוף הים התיכון בשנים 1970-2002. ארבע תחנות אלו הראו דפוסיים דומים של שינויי טמפרטורות בתקופה שבה נבדקו, חוץ מתחנת עין החורש בשנים 1972-1973, 1974-1973, ו-1974-1975. עין החורש היא הנקודה הצפונית ביותר מכל התחנות לאורך החוף. עליפי המחקר שלנו, בכל ארבע התחנות נצפתה עלייה ניכרת בטמפרטורות.

טבלה 2 מראה כי בתחנת תל אביב שדה דב, אחת מארבע התחנות לאורך חוף הים התיכון. הייתה מגמת ההתחממות הברורה ביותר מבין כל התחנות שלאורך החוף, עם עלייה שנתית ממוצעת של 0.0465 מעלות צלסיוס. חוקרים רבים בעבר ציינו את השפעות העיור על התחממות פני הקרקע^[12] בערים רבות בעולם. ייתכן שסיבת ההתחממות בתחנה זו קשורה גם להשפעות העיור,

איור 1. מיקומן של 12 התחנות המטאורולוגיות הנזכרות במאמר



אף שהתחנה המטאורולוגית תל אביב שדה דב נמצאת בשולי המטרופולין תל אביב. מגמת התחממות ניכרת גם קיימת בפנים הארץ (טבלה 2). העלייה הגדולה ביותר בטמפרטורה התרחשה באילת, בבאר שבע ובברכות המלח בסדום. כדאי לציין שאילת וברכות המלח בסדום נמצאות באזור צחיח מאוד.

מגמות משקעים

טבלה 3 מוצגים ערכי המגמה הלינארית (מ"מ/שנה) ורמות המובהקות הסטטיסטית בנוגע לשינויי כמות המשקעים השנתית הממוצעת בכל שלושת האזורים הנ"ל.

מכל ארבע התחנות המטאורולוגיות שבמישור החוף, נגבה הייתה התחנה היחידה שבה נראתה מגמה שלילית (כמות

טבלה 2. ערכי המגמה הלינארית (טמפרטורה/שנה) ורמת המובהקות הסטטיסטית של הטמפרטורות בכל 12 התחנות המטאורולוגיות בשלשת האזורים

אזור	תקופת המדידה	ערך המגמה הלינארית של הטמפרטורה/שנה
מישור החוף		
עין החורש	2002-1970	0.0284 a
תל אביב	2002-1970	0.0465 b
חצור אשדוד	2002-1970	0.0215 a
נגבה	2002-1970	0.0381 b
מזרחה בפנים הארץ		
כפר בלום	2002-1970	0.0381 b
הר כנען	2002-1970	0.0423 b
שדה בוקר	2002-1970	0.0269 b
אילת	2002-1970	0.0369 c
צפון הנגב		
חוות הבשור	2000-1975	0.0341 b
באר שבע	2002-1970	0.0509 c
ערד	1999-1970	0.0287 a
ברכות המלח בסדום	2002-1970	0.0453 c

a - מובהק ב 97.5%
 b - מובהק ב 99.5%
 c - מובהק ב 99.95%

טבלה 3. ערכי המגמה הלינארית (מ"מ/שנה) ומובהקותם עבור כל 12 התחנות המטאורולוגיות בשלשת האזורים

אזור	תקופת המדידה	ערך המגמה הלינארית של המשקעים (מ"מ/שנה)
מישור החוף		
עין החורש	2002-1970	0.646 (ns)
תל אביב	2002-1970	1.2937 (ns)
חצוראשדוד	2002-1970	2.0846 (ns)
נגבה	2002-1970	-0.032 (ns)
מזרחה בפנים הארץ		
כפר בלום	2002-1970	-1.656 (ns)
הר כנען	2002-1970	-0.902 (ns)
שדה בוקר	2002-1970	-0.916 (ns)
אילת	2002-1970	-0.511 (ns)
צפון הנגב		
חוות הבשור	2002-1975	1.236 (ns)
באר שבע	2002-1970	-1.561 (ns)
ערד	1999-1970	-0.704 (ns)
ברכות המלח בסדום	2002-1970	-0.961 a

a - מובהק ב-97.5%
ns - לא מובהק

תל אביב שדה דב, דרומה יותר, נמצאת באזור צחיח למחצה, וערך ה-PET השנתי שלה הוא 0.40. ערכי ה-PET הממוצעים בחצוראשדוד ובנגבה הם 0.47 ו-0.41 בהתאמה, ושתיהן נמצאות באזור צחיח למחצה. כל ארבע התחנות בחלקה המזרחי יותר של ישראל, מצפון לדרום, מראות מגמה של צחיחות גוברת, וערכי ה-PET מראים מגמה שלילית (טבלה 4). ערך ה-PET בכפר בלום ירד בשנים 2002-1970 מ-0.43 ל-0.34, אך שהתחנה נשארה באזור צחיח למחצה. ערך ה-PET של הר כנען ירד מ-0.72 ל-0.63 והאקלים באזור השתנה מלח למחצה ללח למחצה יובשני (טבלה 1). גם אזור שדה בוקר בנגב המרכזי נעשה צחיח יותר, מדד ה-PET ירד מ-0.08 ל-0.06, והתקרב לגבול האזור הצחיח מאוד (טבלה 1). אילת נעשתה צחיחה באופן קיצוני, וערך ה-PET בה ירד מ-0.015 ל-0.007. אשר לתחנות שנחקרו בצפון הנגב - חוות הבשור הראתה מגמה שונה מן האחרות. בחוות הבשור

הגשמים ירדה) בשנים 1970-2002. בשלוש התחנות האחרות - עין החורש, תל אביב-שדה דב וחצוראשדוד, נראתה מגמה חיובית (כמות הגשמים עלתה, טבלה 3). עם זאת, מגמות אלו אינן מובהקות.

התוצאות שלנו תומכות בממצאיהם של Alpert ועמיתיו^[1]: גם הם הבחינו במגמות המעורבות של ירידת הגשמים לאורך חוף הים התיכון של ישראל בשנים 1951-1995, ללא מגמה מובהקת. באזורים הפנימיים המזרחיים יותר של ישראל נמצאה בכל ארבע התחנות - כפר בלום, הר כנען, שדה בוקר ואילת - מגמה שלילית של ירידה בכמות הגשמים (טבלה 3). כמות המשקעים הממוצעת ירדה בכפר בלום שבצפון עמק הירדן מ-530 ל-480 מ"מ, בהר כנען שבגליל העליון מ-695 ל-665 מ"מ, ובאילת, הנמצאת בחלקו הצחיח ביותר של הנגב, מ-35 ל-20 מ"מ. דפוס דומה נמצא גם בשלוש מארבע התחנות המטאורולוגיות שלאורך הקו החוצה את צפון הנגב ממערב למזרח. בתחנה המערבית ביותר, הסמוכה לים התיכון - חוות הבשור - נמצאה עלייה במשקעים (טבלה 3). כמות הגשמים הממוצעת בחוות הבשור עלתה מ-190 ל-230 מ"מ. עם זאת, כאשר נעים מזרחה ומתרחקים מהים התיכון, בשלוש התחנות האחרות בצפון הנגב נמצאה ירידה בכמות המשקעים. כמות הגשמים הממוצעת בבאר שבע בשנים 2002-1970 ירדה מ-230 מ"מ ל-180 מ"מ, בערד ירדה הכמות מ-140 מ"מ ל-115 מ"מ, ובברכות המלח בסדום ירדה הכמות מ-58 מ"מ ל-28 מ"מ. ייתכן שהגורם לשינוי בדפוס המשקעים לאורך הקו החוצה ממערב למזרח הוא השפעת הקרבה לים^[7].

תוצאות המגמה הלינארית של המשקעים בתחנות המטאורולוגיות השונות אינן מובהקות, למעט ברכות המלח בסדום (ראו טבלה 3). ניתוח כמות הגשמים החודשית והשנתית הראה שינויים משמעותיים ביותר בדרום הארץ^[2]. על-פי התוצאות שלנו, כמות המשקעים לאורך חוף הים התיכון עלתה מעט, ואילו כל התחנות שנבדקו בפנים הארץ (במזרח ובדרום) מראות ירידה קלה בכמות הגשמים.

מגמות מדד הצחיחות PET/P

בטבלה 4 מוצגים ערכי המגמה הלינארית (לשנה) של מדד הצחיחות PET/P ומובהקותם עבור כל 12 התחנות המטאורולוגיות הממוקמות במישור החוף לאורך הים התיכון, בפנים הארץ ובנגב הצפוני בשנים 2002-1970.

מדד הצחיחות PET/P נבחן בארבע התחנות המטאורולוגיות במישור החוף. בתל אביב ובנגבה נמצאה מגמה שלילית, ואילו בעין החורש וחצוראשדוד נמצאה מגמה חיובית. ערך ה-PET/P השנתי הממוצע בעין החורש נשאר כ-0.5, ערך המציב אותה על הגבול שבין אזור צחיח למחצה לאזור לח למחצה יובשני. תחנת



חזית המחקר

הצחיח מאוד לרמת צחיחות קיצונית יותר בשנים אלו.

הקשר בין טמפרטורה לגשמים

הקשר בין הטמפרטורה למשקעים במחקר זה הצביע על מתאם שלילי בכל המקרים למעט אילת (טבלה 5). מבין כל התחנות במישור החוף, רק בנגבה נמצא מתאם שלילי משמעותי מבחינה סטטיסטית (טבלה 5). המתאם המצביע על כך שעלייה של מעלה אחת בטמפרטורה השנתית הממוצעת קשורה לירידה של 147 מ"מ בכמות המשקעים השנתית הממוצעת בשנים 1970-2002. כמות המשקעים הממוצעת בתקופה הנ"ל בנגבה היא 517 מ"מ. בכפר בלום ובהר כנען התקבל מתאם שלילי משמעותי בחלקה הפנימי המזרחי של הארץ. חלה עלייה של מעלה אחת בטמפרטורה השנתית הממוצעת וירידה בכמות המשקעים של 120 מ"מ בכפר בלום ושל 126 מ"מ בהר כנען. כמות המשקעים

טבלה 5. ערכי המתאם בין הטמפרטורה למשקעים בשנים 1970-1971 ועד 2001-2002 בכל 12 התחנות

אזור	המתאם בין טמפרטורה למשקעים
מישור החוף	
עין החורש	-0.11 (ns)
תל אביב	-0.26 (ns)
חצור-אשדוד	-0.33 (ns)
נגבה	-0.48 a
מזרחה בפנים הארץ	
כפר בלום	-0.51 a
הר כנען	-0.46 a
שדה בוקר	-0.32 (ns)
אילת	0.01 (ns)
צפון הנגב	
חוות הבשור	-0.34 (ns)
באר שבע	-0.45 a
ערד	-0.34 (ns)
ברכות המלח בסדום	-0.36 b

a - מובהק ב-99%
 b - מובהק ב-95%
 ns - לא מובהק

חלה עלייה בלחות, ומדד ה-P/PET עלה מ-0.14 ל-0.16, אך שהיא נשארה באזור הצחיח. שלוש התחנות האחרות בצפון הנגב הראו עלייה בצחיחות. בבאר שבע ירד מדד ה-P/PET באופן משמעותי מ-0.16 ל-0.11 בתוך האזור המוגדר צחיח. בערד ירד ערך ה-P/PET מ-0.10 ל-0.08, גם כן בתחום האזור הצחיח. בברכות המלח בסדום ירד מדד ה-P/PET מ-0.023 ל-0.010.

טבלה 4. ערכי המגמה הלינארית (לשנה) ורמת המובהקות הסטטיסטית של מדד הצחיחות P/PET בכל 12 התחנות

אזור	תקופת המדידה	ערך המגמה הלינארית של מדד הצחיחות/שנה
מישור החוף		
עין החורש	2002-1970	0.001 (ns)
תל אביב	2002-1970	-0.0007 (ns)
חצור-אשדוד	2002-1970	0.0014 (ns)
נגבה	2002-1970	-0.0007 (ns)
מזרחה בפנים הארץ		
כפר בלום	2002-1970	-0.0026 (ns)
הר כנען	2002-1970	-0.0028 (ns)
שדה בוקר	2002-1970	-0.0008 (ns)
אילת	2002-1970	-0.0003 a
צפון הנגב		
חוות הבשור	2002-1975	-0.0006 (ns)
באר שבע	2002-1970	-0.0016 b
ערד	1999-1970	-0.0008 (ns)
ברכות המלח בסדום	2002-1970	-0.0004 c

a - מובהק ב-97.5%
 b - מובהק ב-95%
 c - מובהק ב-99%
 ns - לא מובהק

שלוש תחנות מטאורולוגיות - אילת, באר שבע וברכות המלח בסדום - הראו מגמות מובהקות מבחינה סטטיסטית של מדד הצחיחות בתקופה שבה נבדקו - 2002-1970 (טבלה 4). לפיכך האקלים בבאר שבע נעשה צחיח יותר באופן משמעותי, ובאזור אילת, ליד הים האדום, וברכות המלח בסדום הגיע האקלים



חזית המחקר

ובסמוך לו, למעט בנגבה. התחנות המטאורולוגיות האחרות בפנים הארץ ובחלקה המזרחי של ישראל, וכן התחנות בצפון הנגב, כולן הראו ירידה בכמות המשקעים. מגמות המשקעים אינן מובהקות מבחינה סטטיסטית בכל אחת מהתחנות כשהיא לעצמה, חוץ מאשר בברכות המלה בסדום, אבל מגמת הירידה הכללית בכמות המשקעים במרבית התחנות המטאורולוגיות בפנים הארץ מעניקה לנתון ללא ספק משקל סטטיסטי בעל משמעות.

הקשרים שבין שינויי הטמפרטורה ובין כמות המשקעים הצביעו על מתאם שלילי בכל המקרים, למעט באילת (טבלה 5). המתאם השלילי בין הטמפרטורה לכמות המשקעים בנגבה (מישור החוף), בכפר בלום ובהר כנען, בבאר שבע ובברכות המלח בסדום (צפון הנגב) משמעותי מבחינה סטטיסטית ב־12 התחנות שנבדקו.

ניתוח המגמה של מדד P/PET במישור החוף העלה תוצאות מעורבות. בשלוש תחנות לאורך החוף או בסמוך לו, לא הושפע ה־ PET במידה ניכרת ממגמת ההתחממות, ואילו ערכי המשקעים (P) עלו מעט לכל אורך התקופה הנחקרת – 1970–2002. רק בתל אביב שדה דב ניכרה עלייה בצחיחות חרף העלייה בכמות המשקעים. מגמות מדד P/PET אינן מובהקות מבחינה סטטיסטית באף אחת מהתחנות לאורך מישור החוף.

בכל התחנות האחרות הממוקמות בפנים הארץ ובחלקה המזרחי של הארץ ניכרה ירידה בכמות המשקעים וכן ירידה בערכי ה־ P/PET , והדבר בוודאי משקף את העלייה בצחיחות. מגמות מדד הצחיחות באילת, בבאר שבע ובברכות המלח בסדום מובהקות

השנתית הממוצעת בתקופה זו הייתה 507 מ"מ בכפר בלום, ו־681 בהר כנען.

בנגב הצפוני – בבאר שבע ובברכות המלח בסדום התקבל מתאם שלילי – ירידה של 40 ו־13 מ"מ בכמות המשקעים השנתית, בהתאמה, לעלייה של מעלה אחת בטמפרטורה השנתית הממוצעת בתקופה הנחקרת. כמות המשקעים הממוצעת בבאר שבע ובברכות המלח בסדום הייתה 204 מ"מ ו־42 מ"מ, בהתאמה. Striem^[17] מצא קשר בין עלייה של 5.9 מ"מ בכמות המשקעים ובין ירידה של מעלה אחת בטמפרטורה בתקופת הגשמים העיקרית, בחודשים נובמבר–אפריל. גם המחקר שערך Hulme^[10] על מדבריות העולם העלה כי קיים קשר שלילי משמעותי בין הטמפרטורה למשקעים באזורים המדבריים בצפון אפריקה, באזור הסהל ובדרום אפריקה. השנים החמות יותר נטו להיות גם השנים היבשות יותר. עם זאת, Jones and Reid^[13] הראו שלא תמיד אזורים שהושפעו מתהליכי מדבור מתחממים.

מסקנות

כפי שהראינו במחקר, קיימת מגמת התחממות משמעותית בכל 12 התחנות המטאורולוגיות שנבדקו, תחנות הממוקמות באזורים שונים בישראל. בתחנות בתל אביב שדה דוב ובאילת הייתה עלייה של מעלה אחת בטמפרטורה השנתית במהלך התקופה שבין 1970 ל־2002. השנים 1998–1999 היו השנים החמות ביותר, ו־1991–1992 היו השנים הקרירות ביותר בכל התחנות המטאורולוגיות שנבדקו במחקר. בכמות המשקעים ניכרה עלייה לאורך חוף הים התיכון



שץ שיטה מת בערבה כתוצאה מהתחממות האקלים. | צילום: הנדריק ברוינס.

- [7] Goldreich Y. 1994. The spatial distribution of annual rainfall in Israel- a review. *Theor Appl Climatol* 50:45-59.
- [8] Goldreich Y. 2003. The climate of Israel: observation, research and application. Springer, New York.
- [9] Heathcote RL. (1986) The arid lands: their use and abuse. Longman, New York.
- [10] Hulme M. 1996. Recent climatic change in the world's drylands. *Geophys Res Lett* 23:61-64.
- [11] Hulme M, Marsh R, and Jones PD. 1992. Global changes in humidity index between 1931-60 and 1961-90. *Clim Res* 2:1-22.
- [12] Jones PD. 1990. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land. *Nature* 347:169-172.
- [13] Jones PD and Reid PA. 2001. Temperature trends in regions affected by increasing aridity/humidity. *Geophys Res Lett* 28(20):3919-3922.
- [14] Kharel H and Bruins HJ. 2004. Drought and desertification hazards in Israel: time-series analysis 1970-2002. In: Malzahn D, Plapp T. (Eds) Disasters and society-from hazard assessment to risk reduction. Proceedings of the International Conference, University of Karlsruhe. Logos Verlag, Berlin, pp 91-98.
- [15] Le Houérou HN. 1996. Climate change, drought and desertification. *J Arid Environ* 34:133-185.
- [16] Penman HL. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc R Soc Sec A* 193:120-145.
- [17] Striem HL. 1979. Some aspects of the relation between monthly temperatures and rainfall, and its use in evaluating earlier climates in the Middle East. *Clim Change* 2:69-74.
- [18] Trenberth KE, Jones PD, Ambenje P, Bojariu R, Easterling D, Klein Tank A, Parker D, Rahimzadeh F, Renwick JA, Rusticucci M, Soden B, and Zhai P. 2007. Observations: surface and atmospheric climate change. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (Eds) Climate change 2007: the Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [19] UNCCD (1994) United Nations convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. Permanent Secretariat UNCCD Bonn. Web-site: www.unccd.int
- [20] UNEP (1992) World atlas of desertification, 1st edn. Middleton N (coordinating ed) Edward Arnold, Nairobi.
- [21] UNEP (1997) World atlas of desertification, 2nd edn. Middleton N, Thomas D (coordinating eds) Edward Arnold, London.

מבחינה סטטיסטית. הדבר מראה שהאקלים נעשה צחיח יותר בשנים 1970-2002 באזורים המדבריים של ישראל.

התחנה בברכות המלח בסדום היא התחנה היחידה מבין 12 התחנות המטאורולוגיות שבה התקבלה מגמה מובהקת מבחינה סטטיסטית בכל המדדים שנבדקו (טמפרטורה, משקעים ומדד הצחיחות). אולם, אם נבחן את התוצאות באופן קיבוצי ונביא בחשבון את המגמות שנמצאו ברוב התחנות המטאורולוגיות השונות, אין ספק שהאקלים נעשה צחיח יותר במרבית אזורים של ישראל, למעט במישור החוף ובצפון-מערב הנגב באזור הסמוך אל החוף.

תודות

אנו מודים לבית הספר הבינלאומי ללימודי מדבר ע"ש אלברט כץ אשר במכונים לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושוטיין (אוניברסיטת בן גוריון בנגב), על שהעניקו מלגה ללימודי מ"א להמו חארל קאפלה. אנו מודים לשירות המטאורולוגי הישראלי על שהעמיד לרשותנו את נתוני הטמפרטורות והמשקעים של התחנות המטאורולוגיות השונות. אנו מודים על ההצעות המועילות של יאיר גולדרייך (אוניברסיטת בר אילן) ושל יסושי ימגוצ'י (אוניברסיטת נגויה).

מקורות

- [1] Alpert P, Ben-Gai T, Baharad A, Benjamini Y, Yekutieli D, Colacino M, Diodato L, Ramis C, Homar V, Romero R, Michaelides S, Manes A. 2002. The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophys Res Lett* 29 (1536): 31-34.
- [2] Ben-Gai T, Biten A, Manes A, Alpert P, Rubin S. 1998. Spatial and temporal changes in rainfall frequency distribution patterns in Israel. *Theor Appl Climatol* 61:177-190.
- [3] Bruins HJ. 2000. Proactive contingency planning vis-à-vis declining water security in the 21st century. *J Conting Crisis Manag* 8:63-72.
- [4] Bruins HJ and Bu F. (2006) Food security in China and contingency planning: the significance of grain reserves. *J Conting Crisis Manag* 14(3):114-124.
- [5] Bruins HJ and Lithwick H. 1998. Proactive planning and interactive management in arid frontier development. In: Bruins HJ and Lithwick H, (Eds) The arid frontier: interactive management of environment and development. Kluwer, Dordrecht, pp 3-29. Springer, New York edn 2004.
- [6] Easterling DR, Horton B, Jones PD, Peterson TC, Karl TR, Parker DE, Salinger MJ, Razuvayev V, Plummer N, Jamason P, and Folland CK. 1997. Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science* 277:364-367.