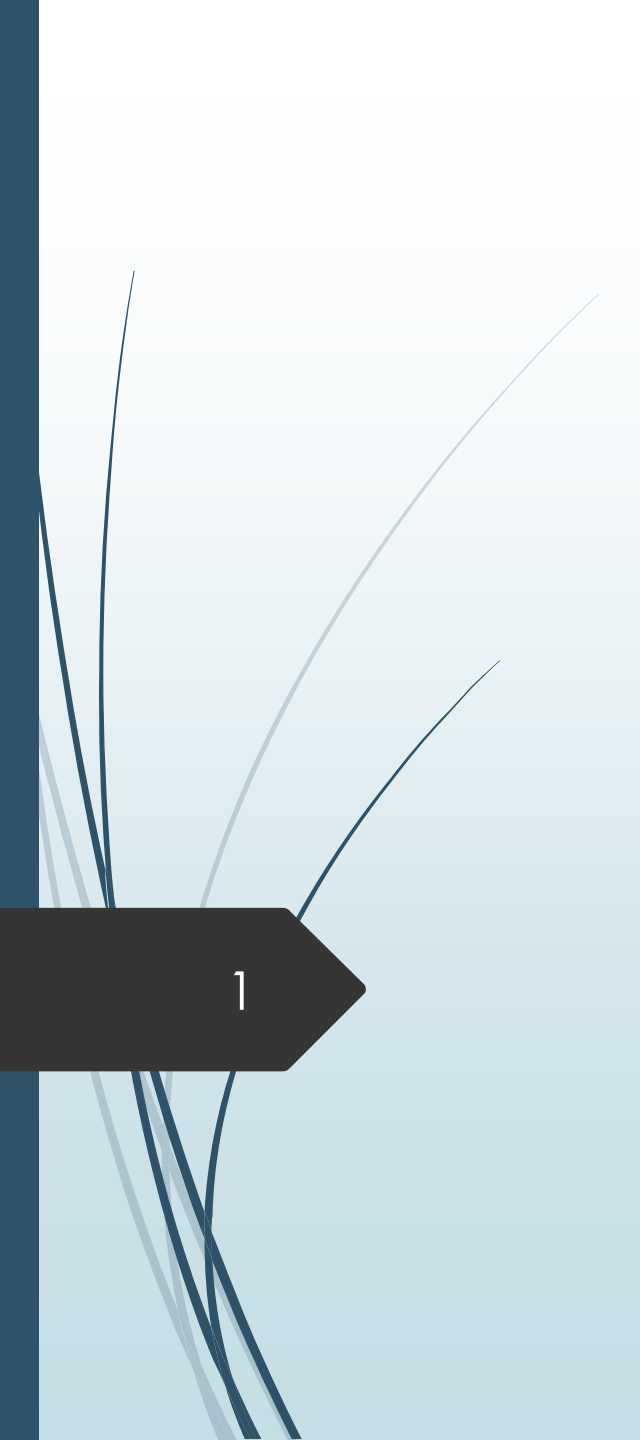




שינוי אקלים עולמי במאה ה-21

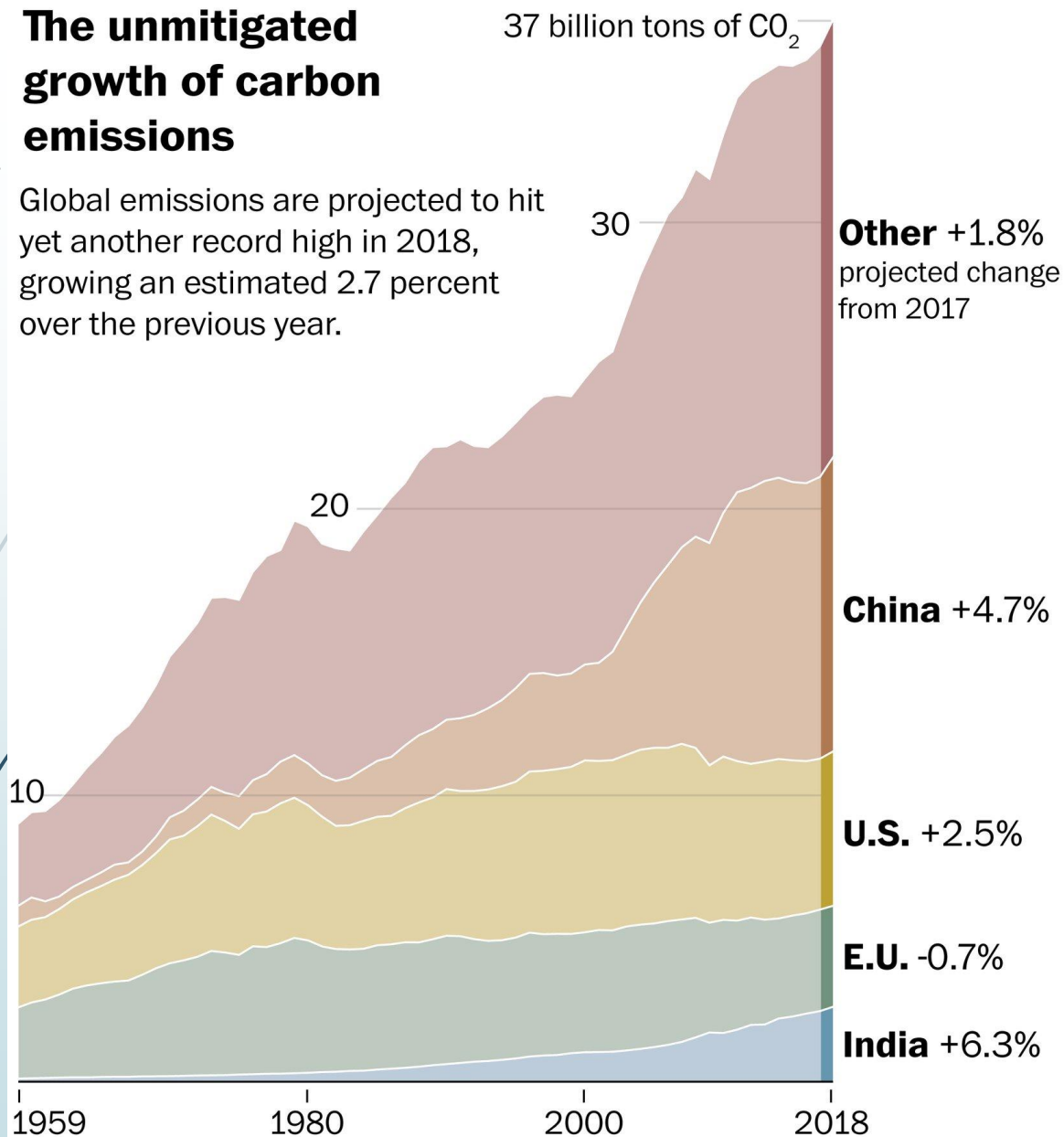
המזרח התיכון וישראל כ"נקודה חמה"

1

פרופ' יואב יאיר
המרכז הבינתחומי הרצליה

The unmitigated growth of carbon emissions

Global emissions are projected to hit yet another record high in 2018, growing an estimated 2.7 percent over the previous year.



Figures show emissions from fossil fuels and industry, which includes cement manufacturing but not deforestation.

Source: Global Carbon Project

JOHN MUYSKENS/THE WASHINGTON POST

...זה מעשה ידינו

למרות הסכם פריז 2015
הפליטה העולמית של פחמן
דו-חמצני נמצאת בעלייה.

הסיבה היא קצב גידול מהיר
יותר בפעילות הכלכלית
ובדרישות האנרגיה מאשר
קצב המעבר לאנרגיות
מתחדשות. (*)

(*) המשבר הכלכלי בעקבות
הקורונה גרם להאטה קלה

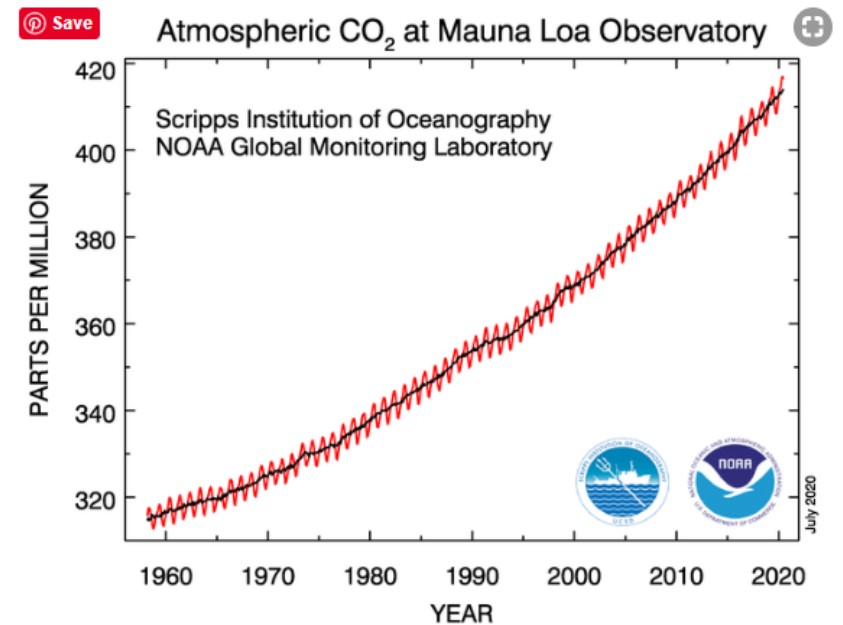
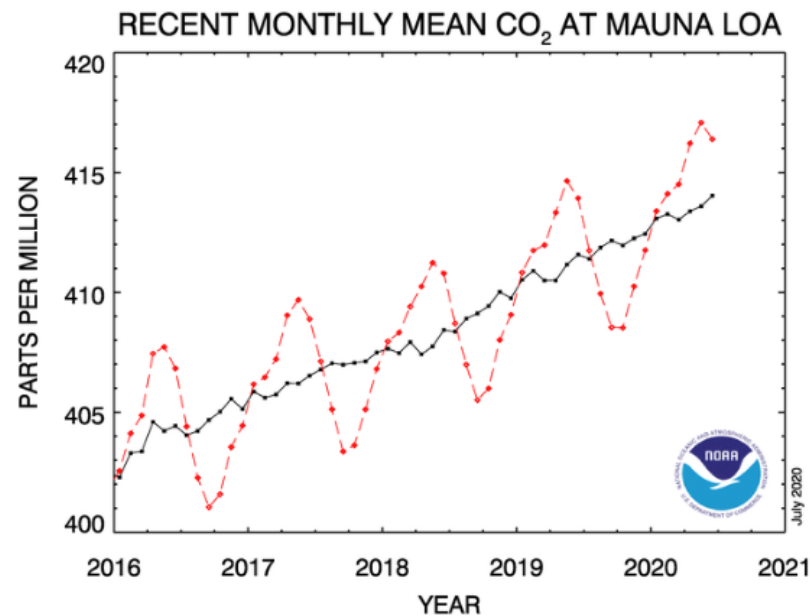
העלייה בריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה נמשכת ברציפות
וחצתה את סף 416 חלקים למיליון. כמות הגז המומסת באוקיינוסים
עולה והחומציות של מי הים גם כן (pH יורד)

Monthly Average Mauna Loa CO₂

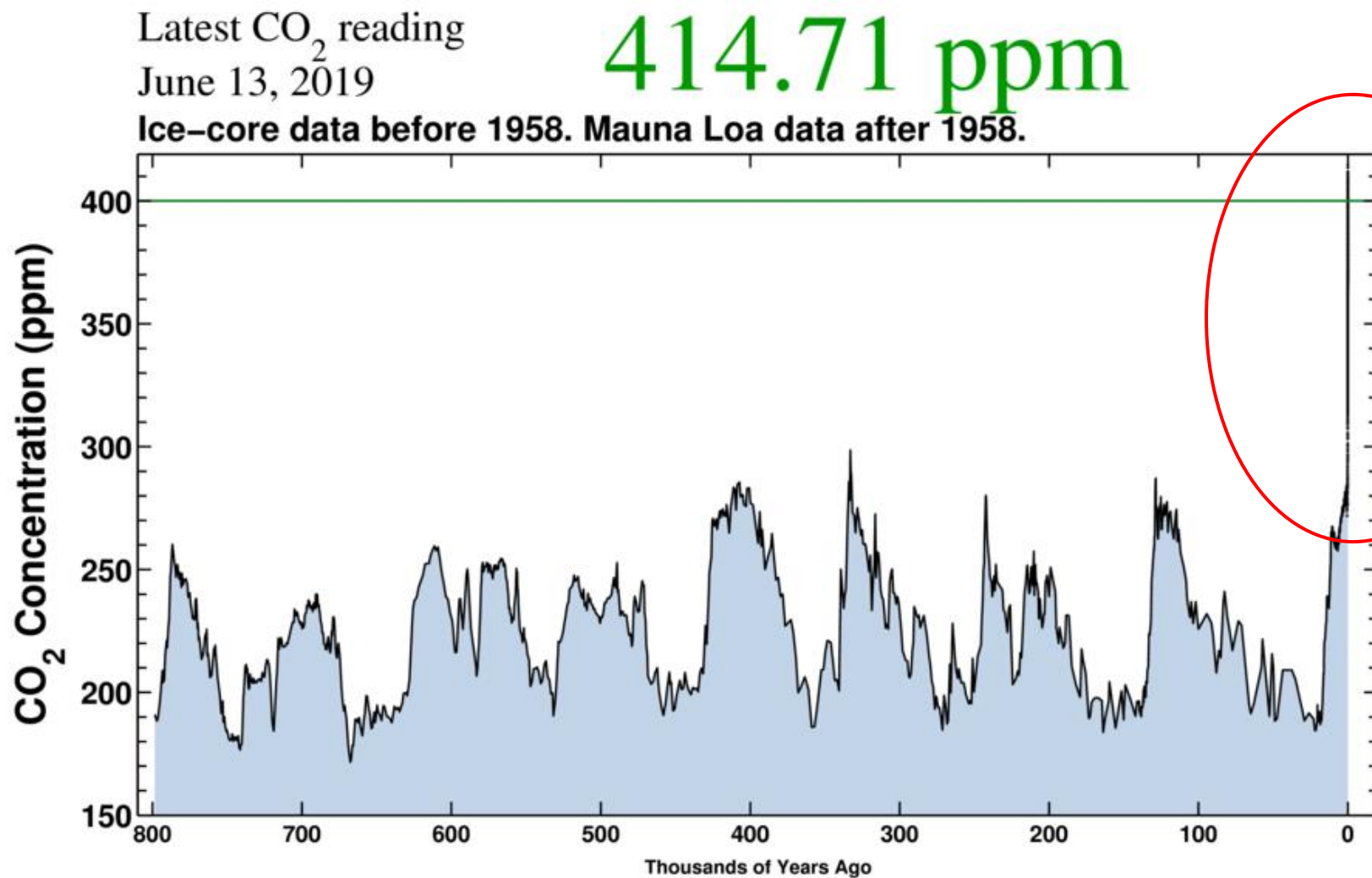
June 2020: 416.39 ppm

June 2019: 413.93 ppm

Last updated: July 6, 2020



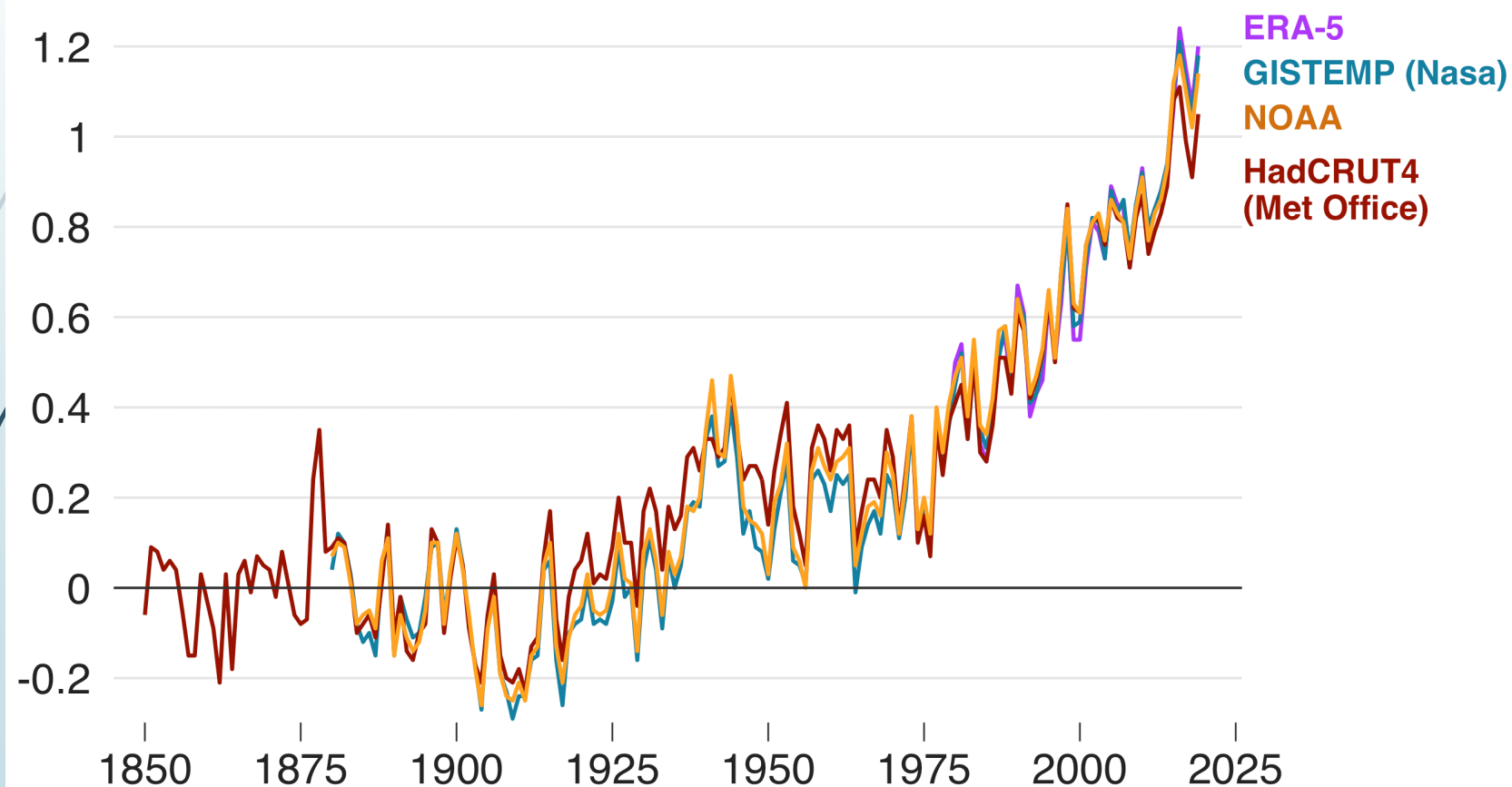
ללא תקדים ב-800 אלף שנים



מגמת ההתחממות נמשכת

Temperature rise since 1850

Global mean temperature change from pre-industrial levels, °C

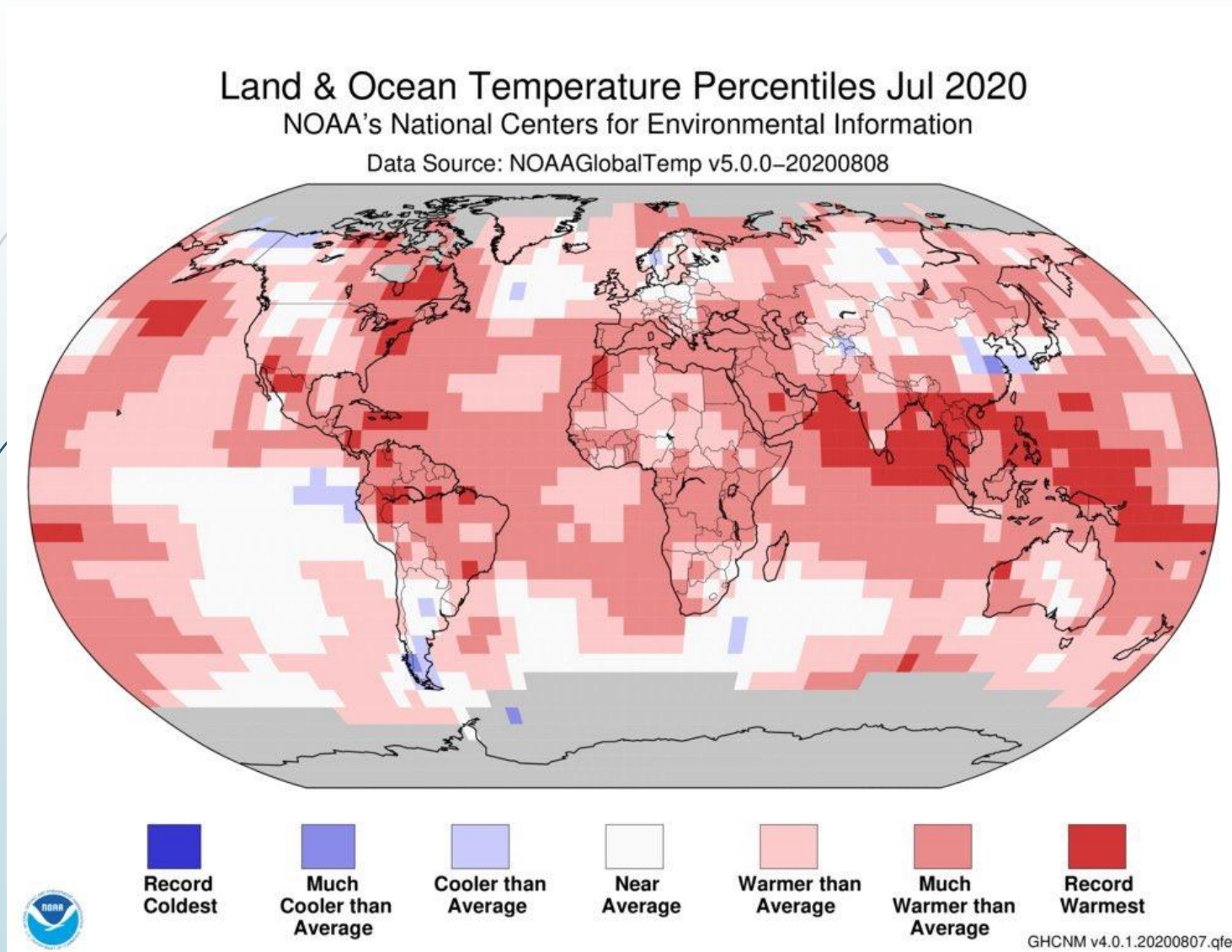


Source: Met Office

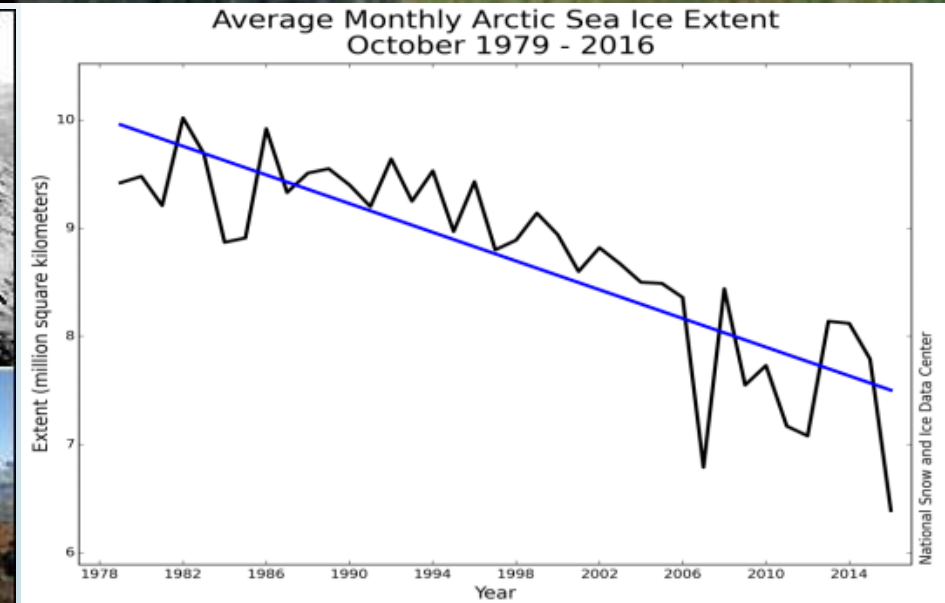
BBC

ההתחממות מדאיגה במיוחד בקווי-רוחב צפוניים (סיביר, החוג הארקטי) זאת בשל ההפשרה המהירה של הקרח והסיכוי להאצת העלמות הקרח בגרינלנד

"The New Normal" – צריך להתרגל לעולם חם יותר

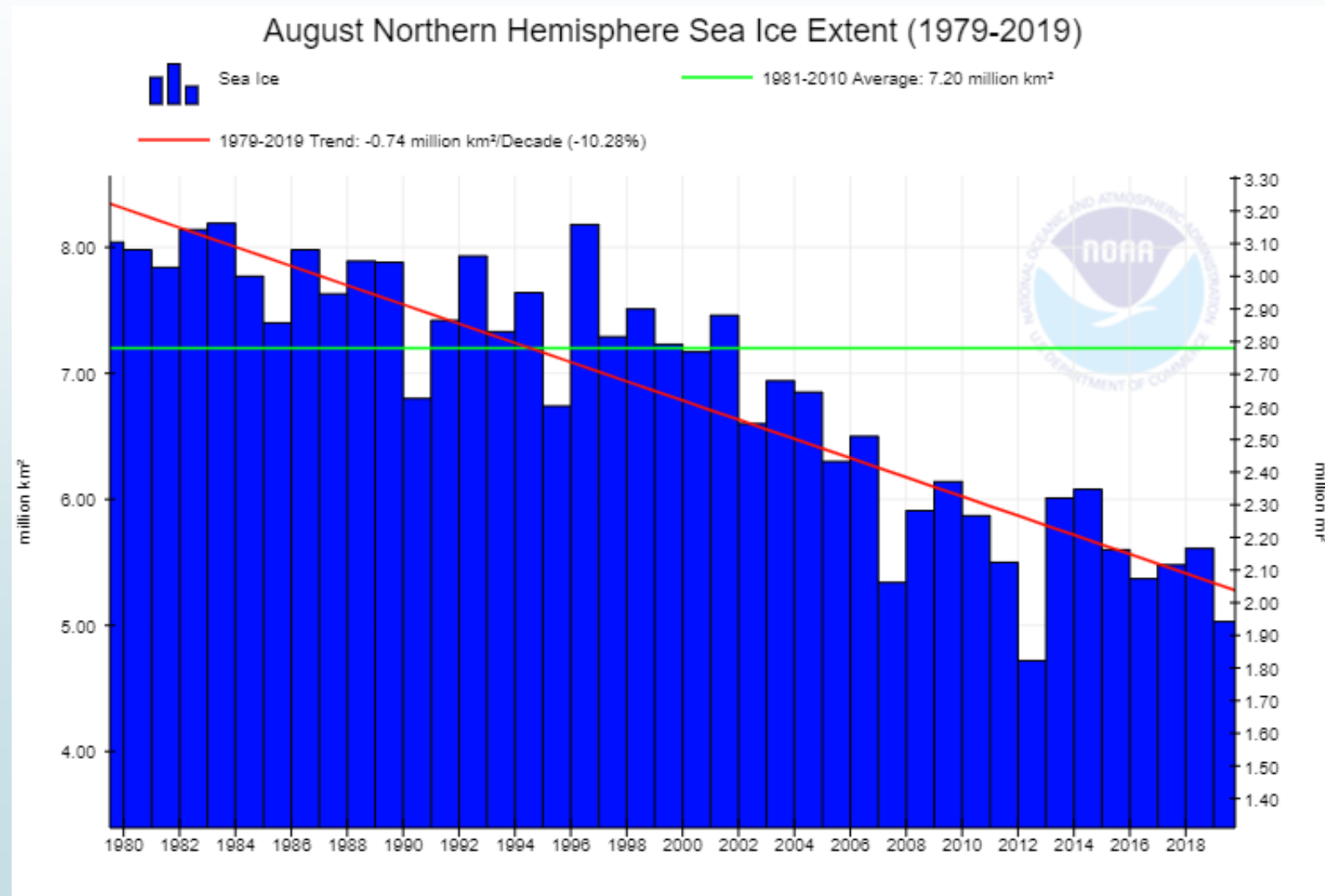


המבנה המורכב של
מפת השינוי מעיד על
שינויים במשטר
הרוחות, מה שמצביע
על שינויים
במאפיינים נוספים
של האקלים

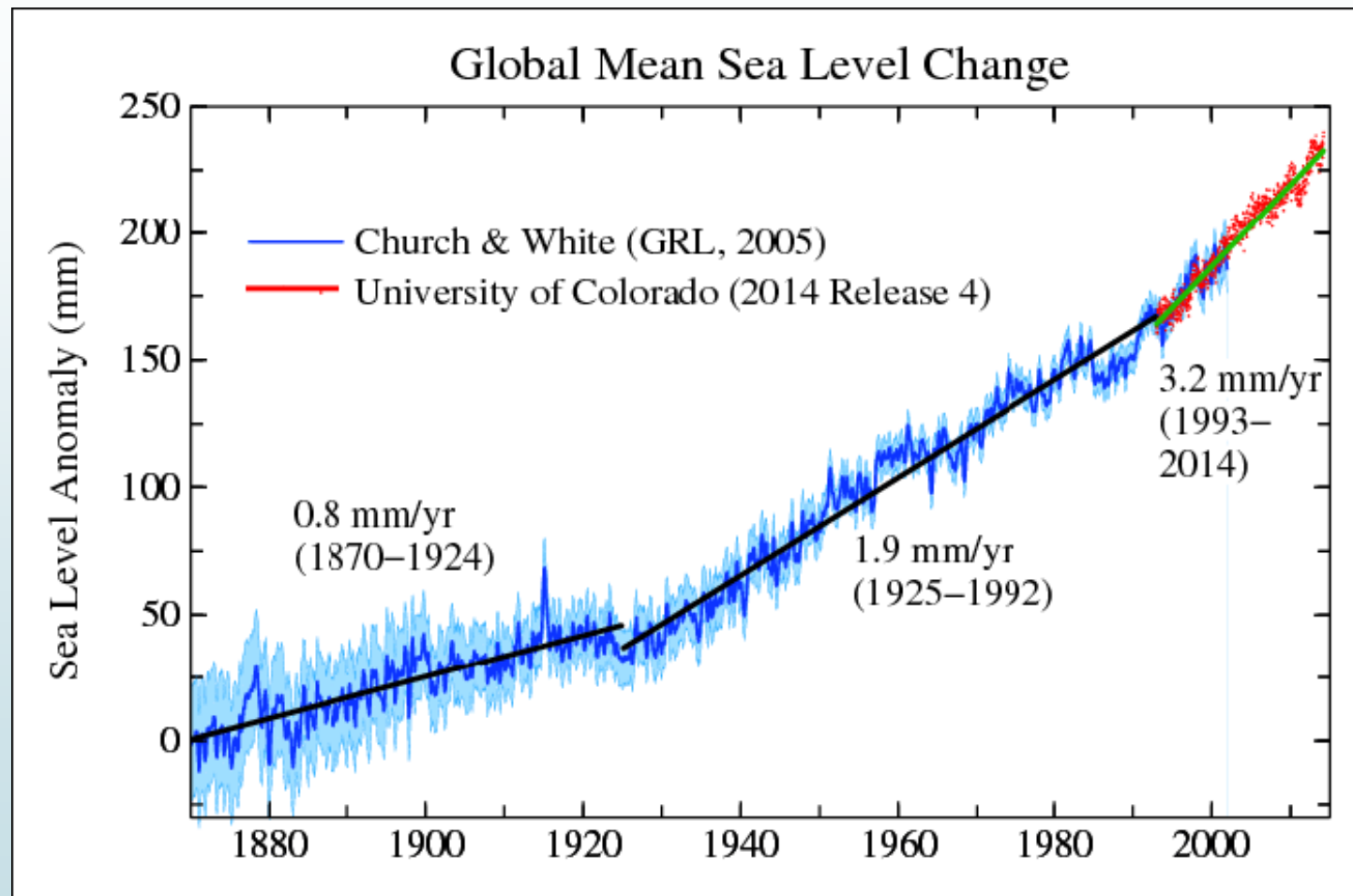


הקרח היבשתי מפשר ומצטמצם, שטח הקרח
הימי קטן בצורה מהירה מאד

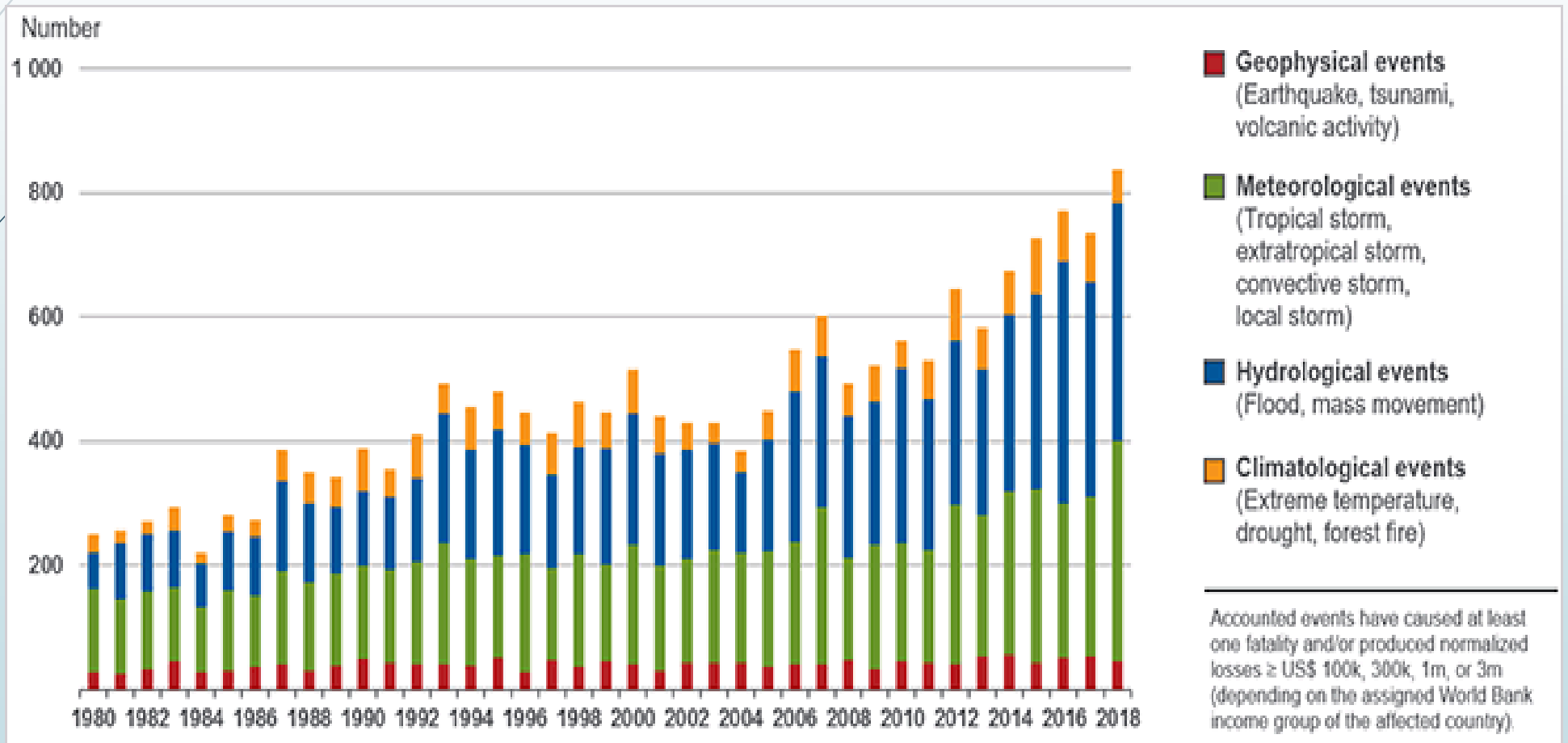
הקטנת שטח כיפת הקרח הארקטית



עלייה רציפה במפלס פני-הים



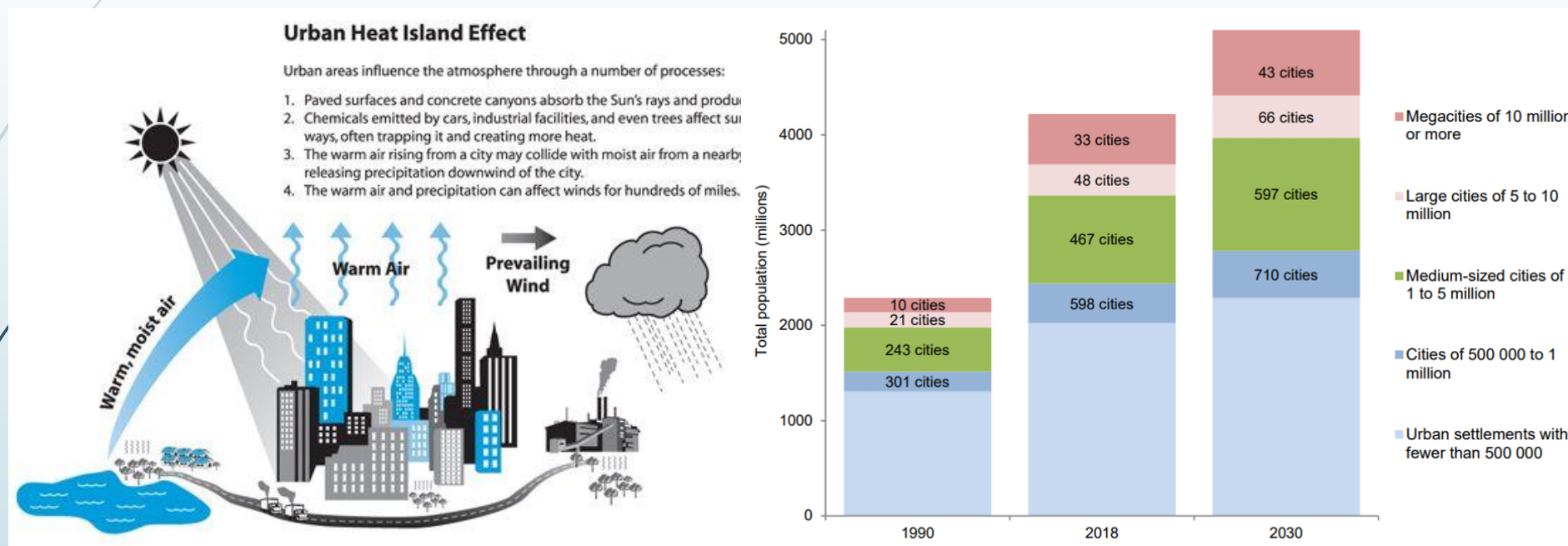
עליה בנזקים של אסונות טבע וארועים קיצוניים (נתונים של Munich-Re)



שיטפונות ביפן, אוגוסט 2019, הוריקן דוריאן בהאמה 2019



מגמת העיור הגלובלית מחמירה את עוצמת גלי- החום, השיטפונות ואירועי הקיצון



The accumulated losses could be up to 10.9% of a city's gross domestic product by 2100. Results from a survey of 1,962 cities including Tokyo, New York, Beijing, Lagos, Sao Paulo, London and Moscow (Estrada et al., Nature Climate Change, 2017).



תחזיות גלובליות

Global Climate Change

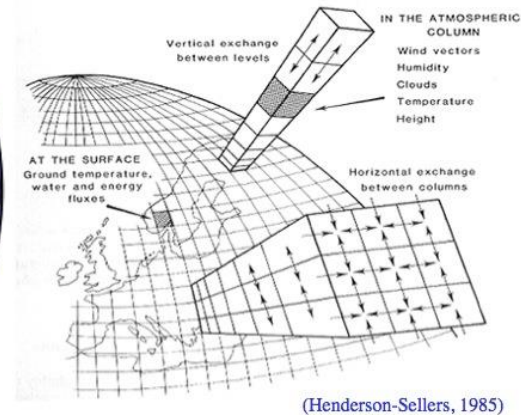
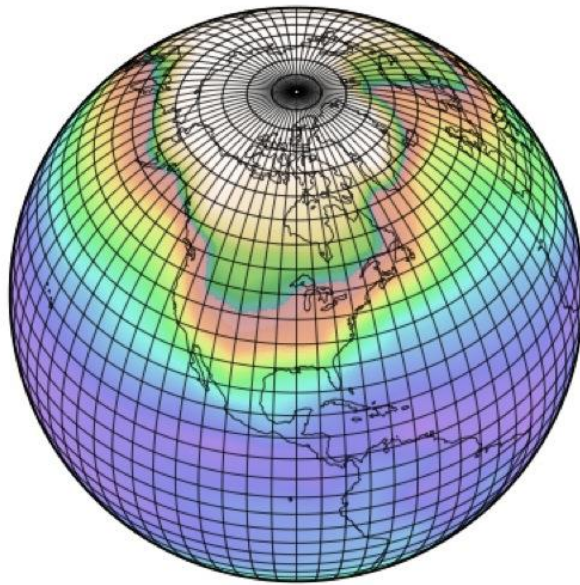
כיצד עובד מודל לחיזוי אקלימי?

Grid Point Models

בוחרים תרחיש התפתחות גלובלית לעשורים הקרובים:
פיתוח כלכלי, צריכת אנרגיה, גודל האוכלוסייה, עיור,
חקלאות, טכנולוגיות

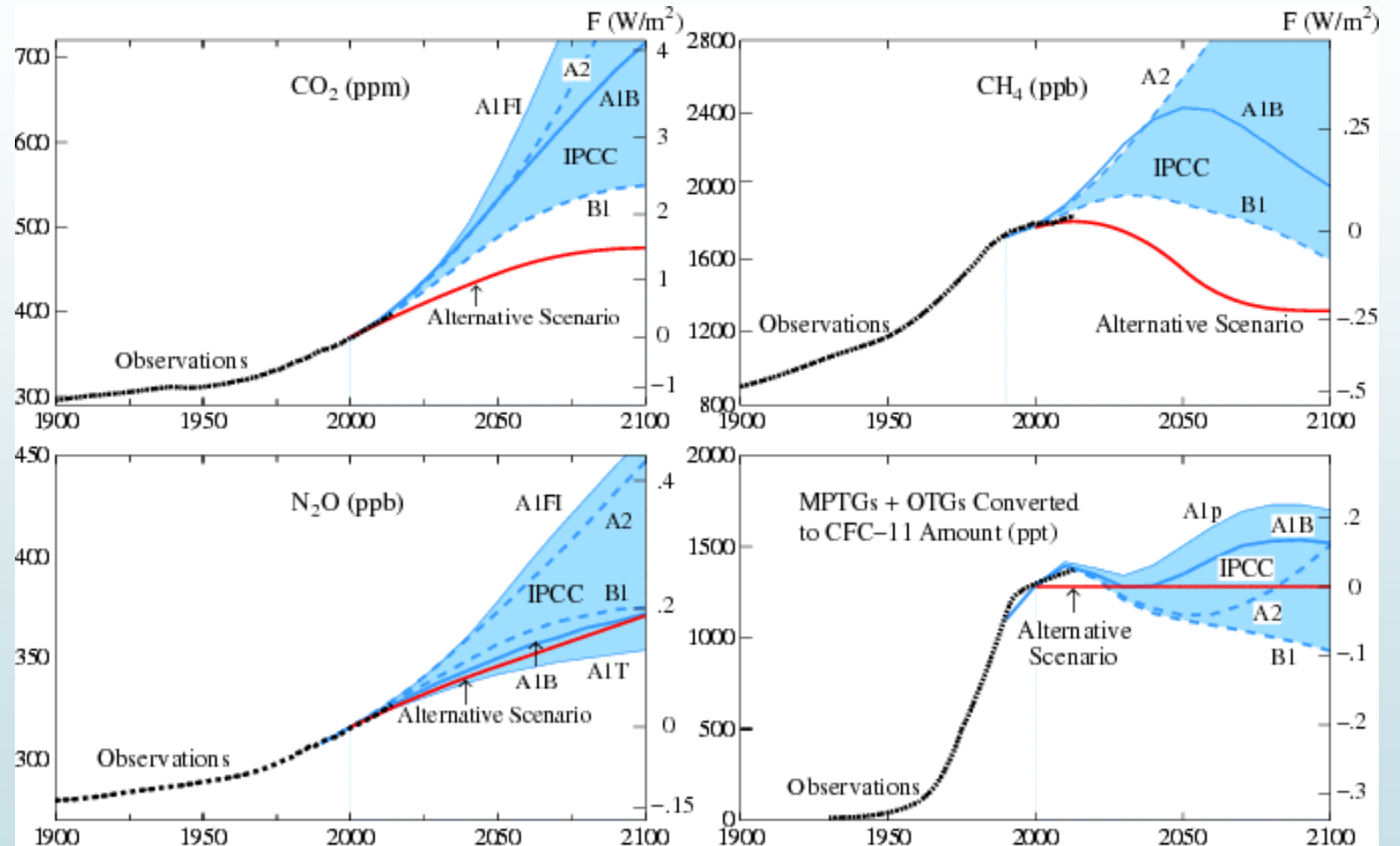
בונים את תמונת העולם הגאוגרפית: היכן מתרחשים
התהליכים וכיצד משתנות תכונות פני-השטח

ממפים את מנגנוני המשוב (Feedback)!



אחרי שבחרים תרחיש, פותרים את מערכת
המשוואות הפסיקליות בגריד אופקי ואנכי על פני כל
כדור-הארץ, לטווחי זמן רצויים. כושר הדיוק תלוי
בכושר ההפרדה, שמחייב כוח חישוב עצום.

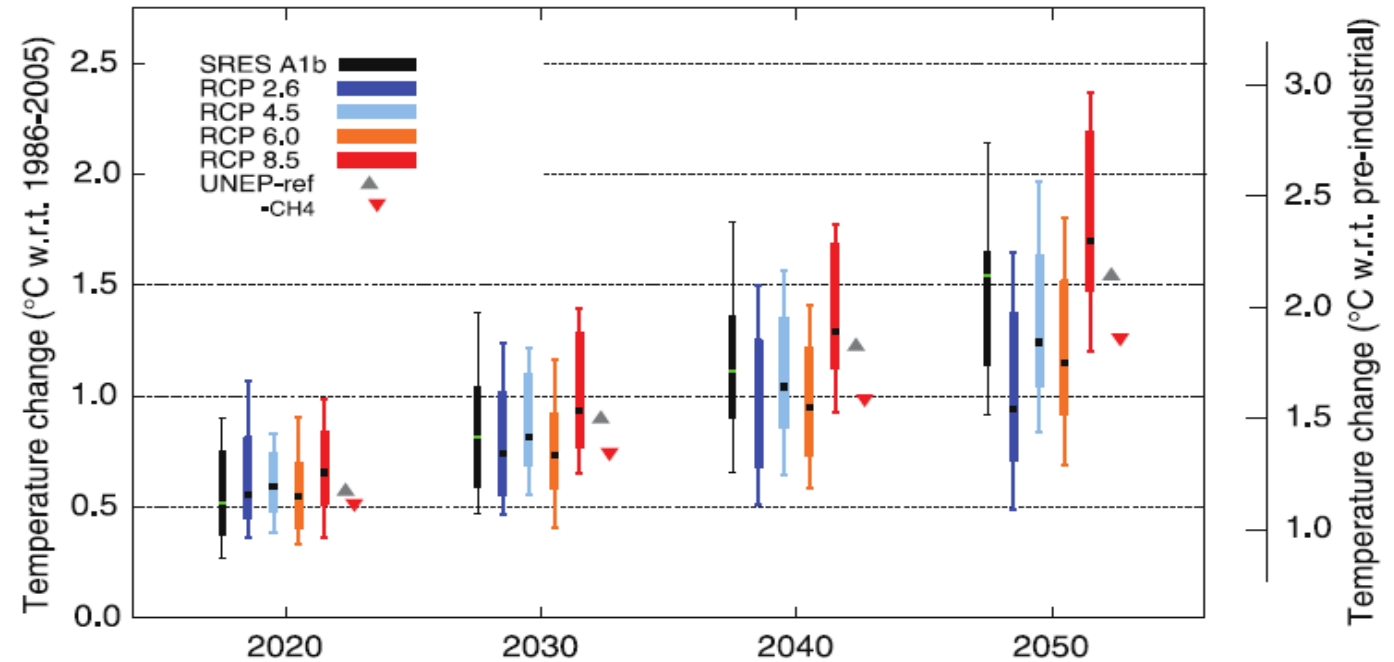
תרחישים לפליטת גזי-חממה בעתיד (RCP)



Hansen, 2015

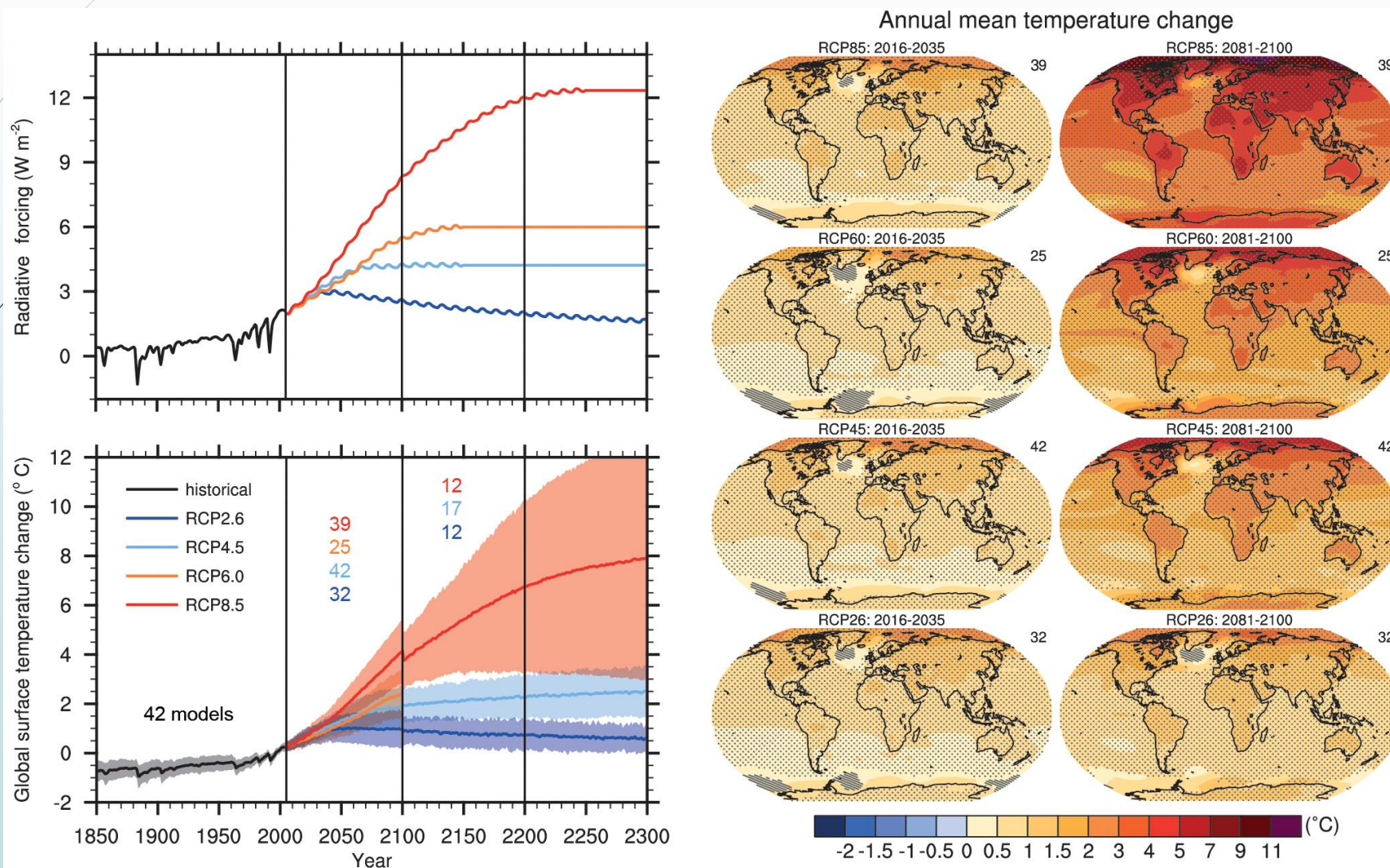
עלייה בריכוז גזי חממה פירושה גידול באילוף הקרינת

תרחישי התחממות גלובלית לפי דו"ח ה-IPCC



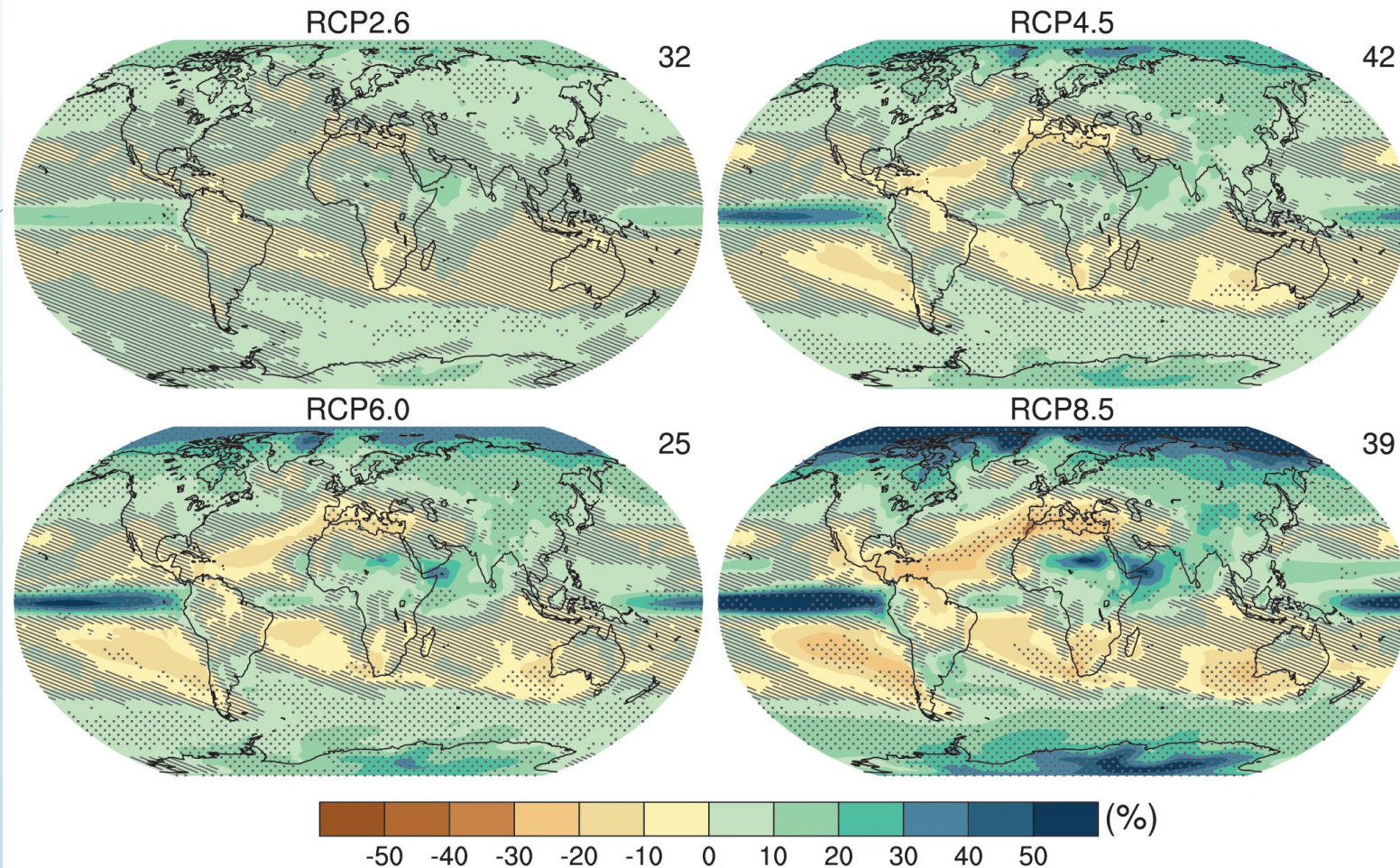
בתרחיש RCP4.5 פליטות גזי החממה העולמיות תגענה למקסימום בין השנים 2030 ל- 2040 ולאחר מכן תפחתנה. בתרחיש RCP 8.5 לא תהייה כל הפחתה והמגמות הנוכחיות תימשכנה

טמפרטורה חזויה באמצע ובסוף המאה ה-21



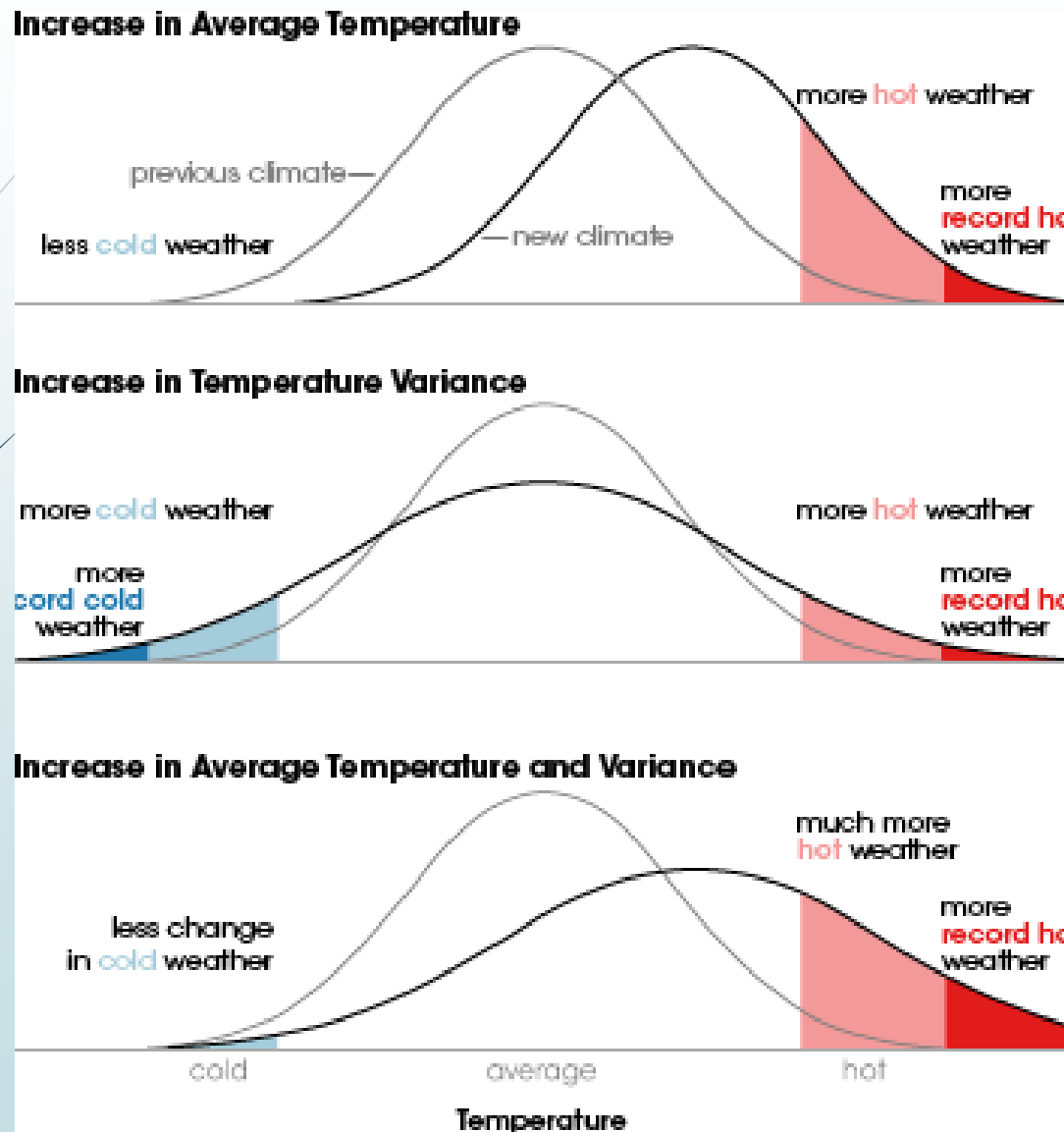
משקעים באמצע ובסוף המאה ה-21

Annual mean precipitation change (2081-2100)



גלי חום ממושכים וחזקים יותר באקלים העתידי

19

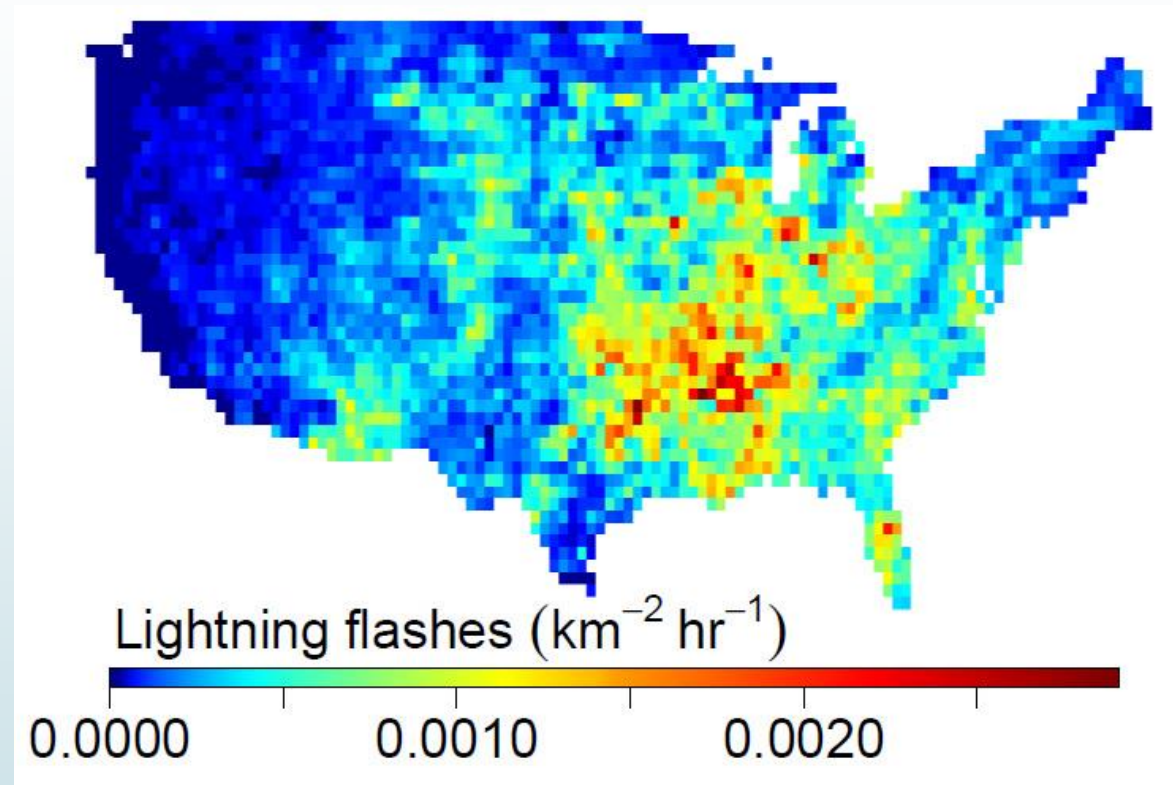


1. כאשר הטמפרטורה הממוצעת עולה: יש יותר ימים חמים ויותר ימים שוברי שיאים

2. כאשר השונות (ואריאנס) גדלה: יש יותר ארועים קיצוניים – גם חמים וגם קרים מהממוצע

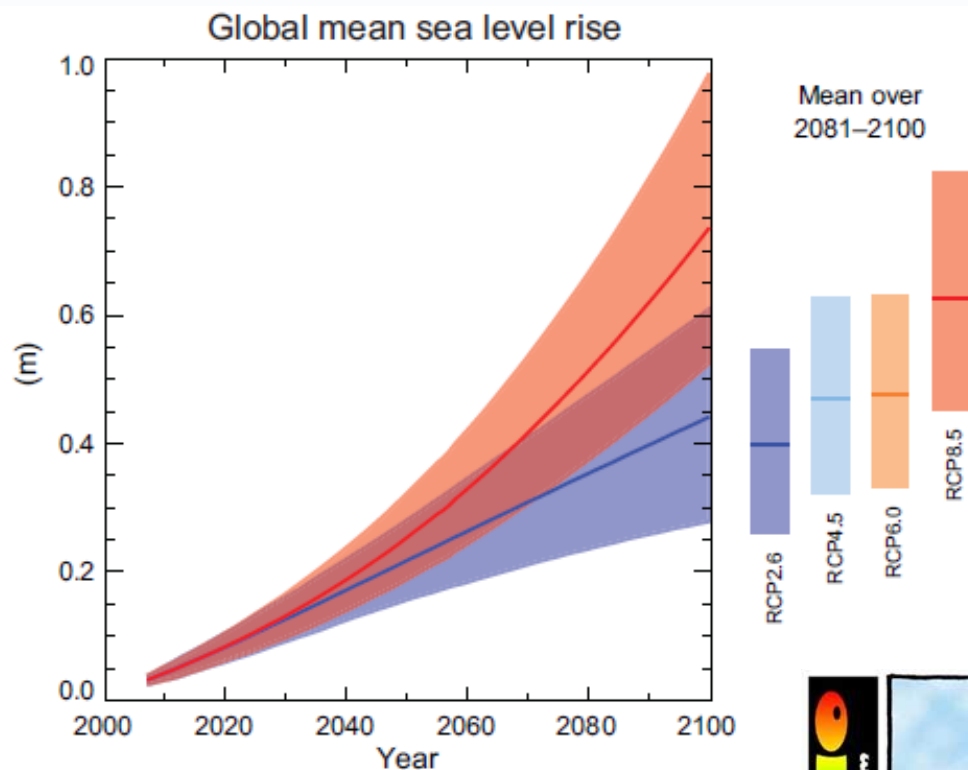
3. שילוב של עלייה בטמפרטורה הממוצעת וגידול בשונות מביא לכך שיהיו יותר ימים חמים ויותר ארועים קיצוניים חמים, והפחתה בארועים קרים

העלייה הצפויה בשכיחות סופות ברקים במתאר של התחממות עתידית:
גידול ב-12% לכל מעלה התחממות (Romps et al., 2014)

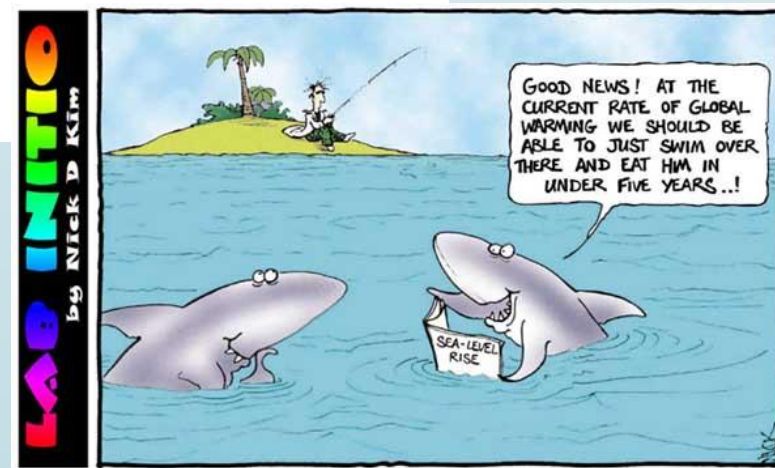


- יותר ברקים שכיחות גבוהה יותר של גורם-ההצתה
- עונת השריפות מתארכת בגלל שינוי האקלים, הקרקע מתייבשת במהירות משום שהשלגים מפשירים מוקדם יותר (All-year fire season)
- יותר צמחים יבשים ביערות / מחלות לעצים מחטניים בשל התפשטות אזור התפוצה של מזיקים כגון חיפושיות Bark Beetle

העלייה החזויה במפלס האוקיינוסים (AR5)



עלייה איטית ורציפה שתימשך מאות שנים
בגלל הפשרה של קרחונים יבשתיים (בעיקר
אנטארקטיקה וגרינלנד) ובשל התפשטות
תרמלית של המים





התמקדות באגן הים התיכון וישראל

Regional Climate Change

אגן הים התיכון מתחמם מהר יותר ביחס לשינוי הגלובלי (Cramer et al., 2019)

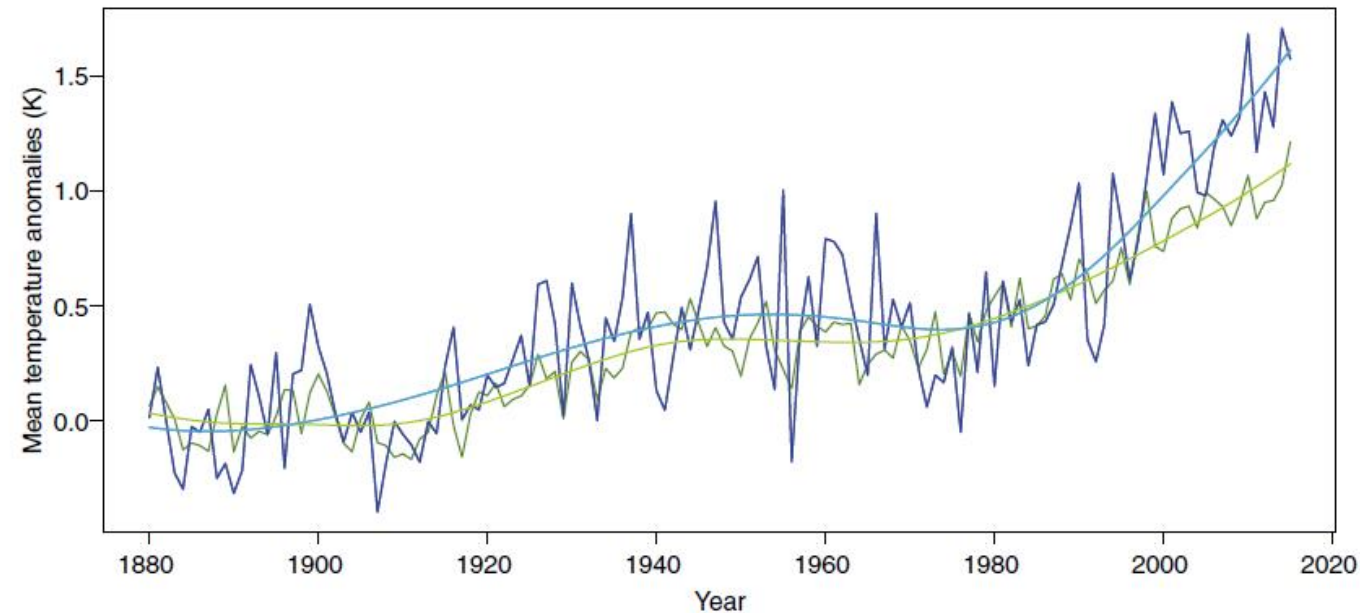
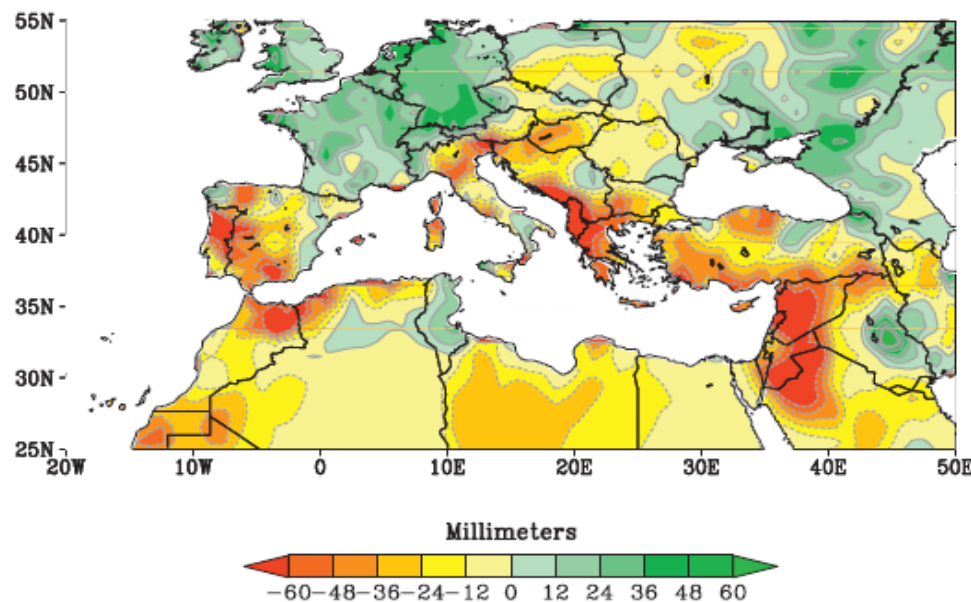
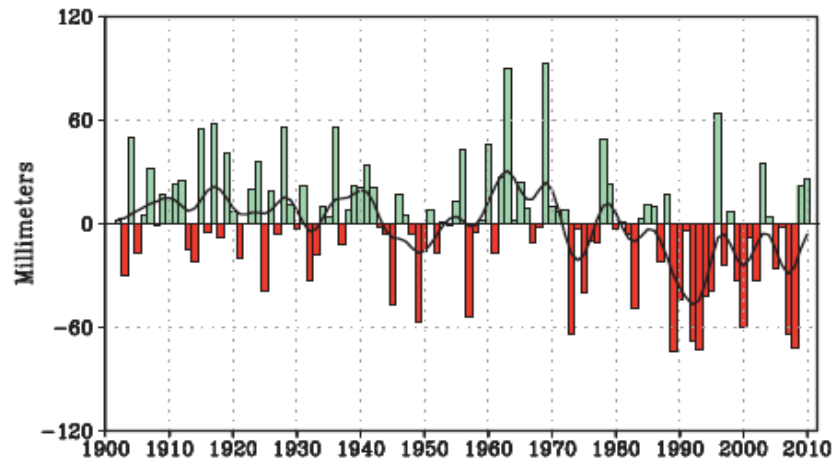


Fig. 1 | Historic warming of the atmosphere globally and in the Mediterranean Basin. Annual mean air temperature anomalies are shown with respect to the period 1880–1899, with the Mediterranean Basin (blue) and the globe (green) presented with (light curves) and without (dark curves) smoothing. Data from <http://berkeleyearth.org/>

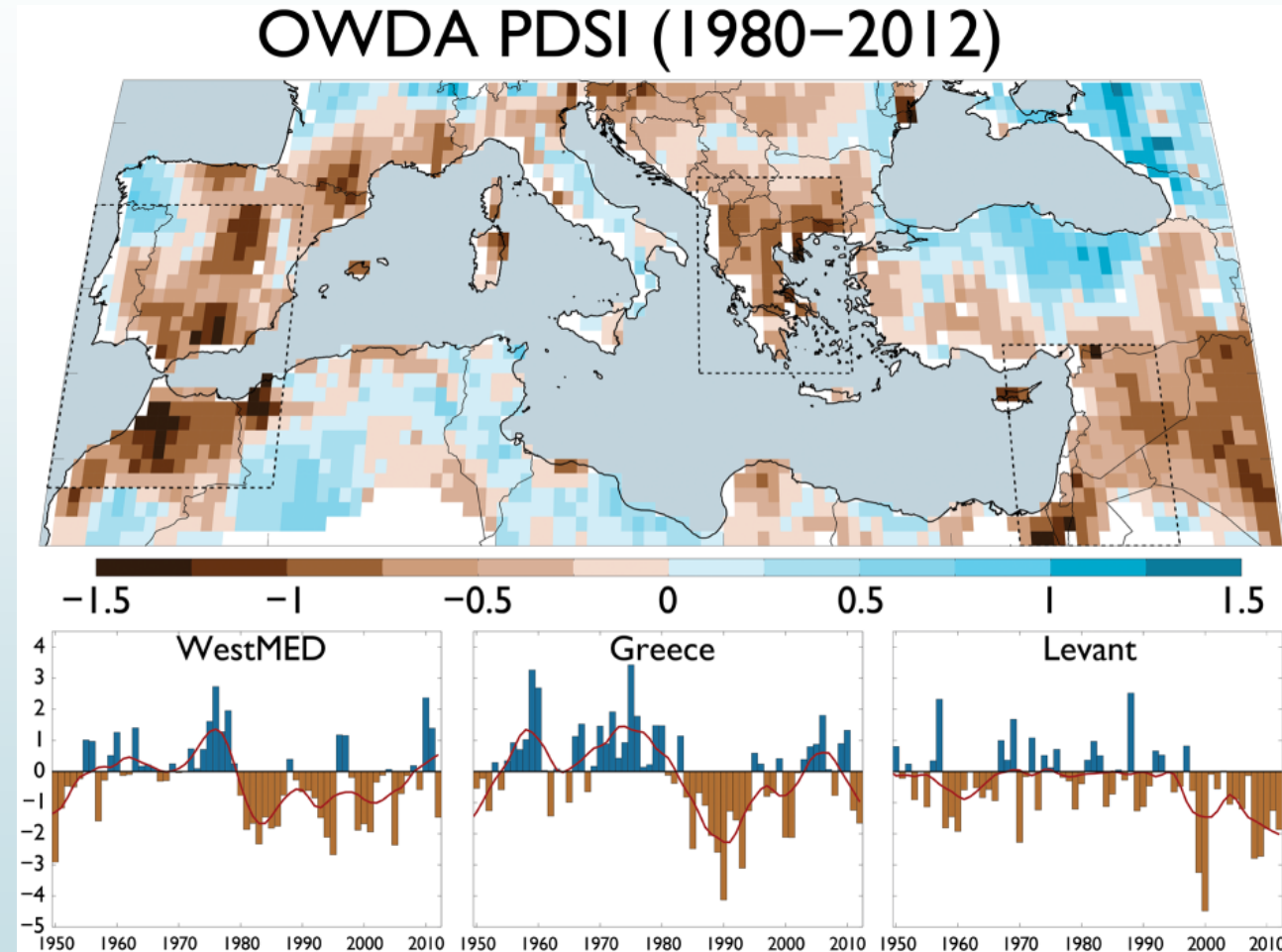
תצפיות: כמות המשקעים בחורף (Hoerling et al. , 2012)



סדרת הזמן של כמות המשקעים במזרח-התיכון בחורף, לתקופה 1902-2010 (גרף עליון) והשינוי היחסי של המשקעים בעונה הקרה לתקופה 1902-1970 (הגרף התחתון) 1971-2010 פחות

האנומליות במ"מ הן ביחס לממוצע של התקופה 1902-2010

מדד הבצורת באגן הים התיכון (Cook et al., 2016)



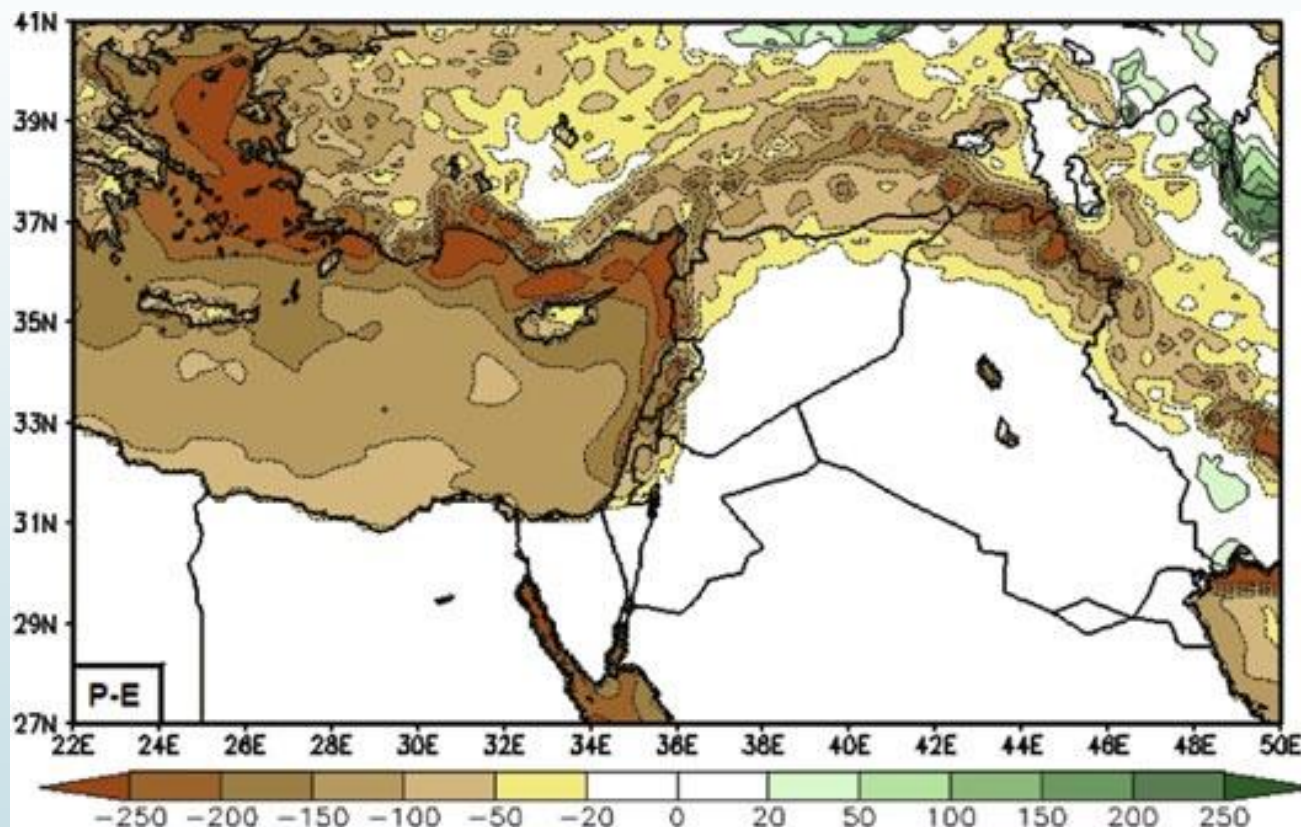
Journal of Geophysical Research: Atmospheres

Volume 121, Issue 5, pages 2060–2074, 4 MAR 2016 DOI: 10.1002/2015JD023929

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2015JD023929/full#jgrd52762-fig-0011>

תחזית מודל להתייבשות הסהר הפורה במאה ה-21

(Alpert et al., 2008)



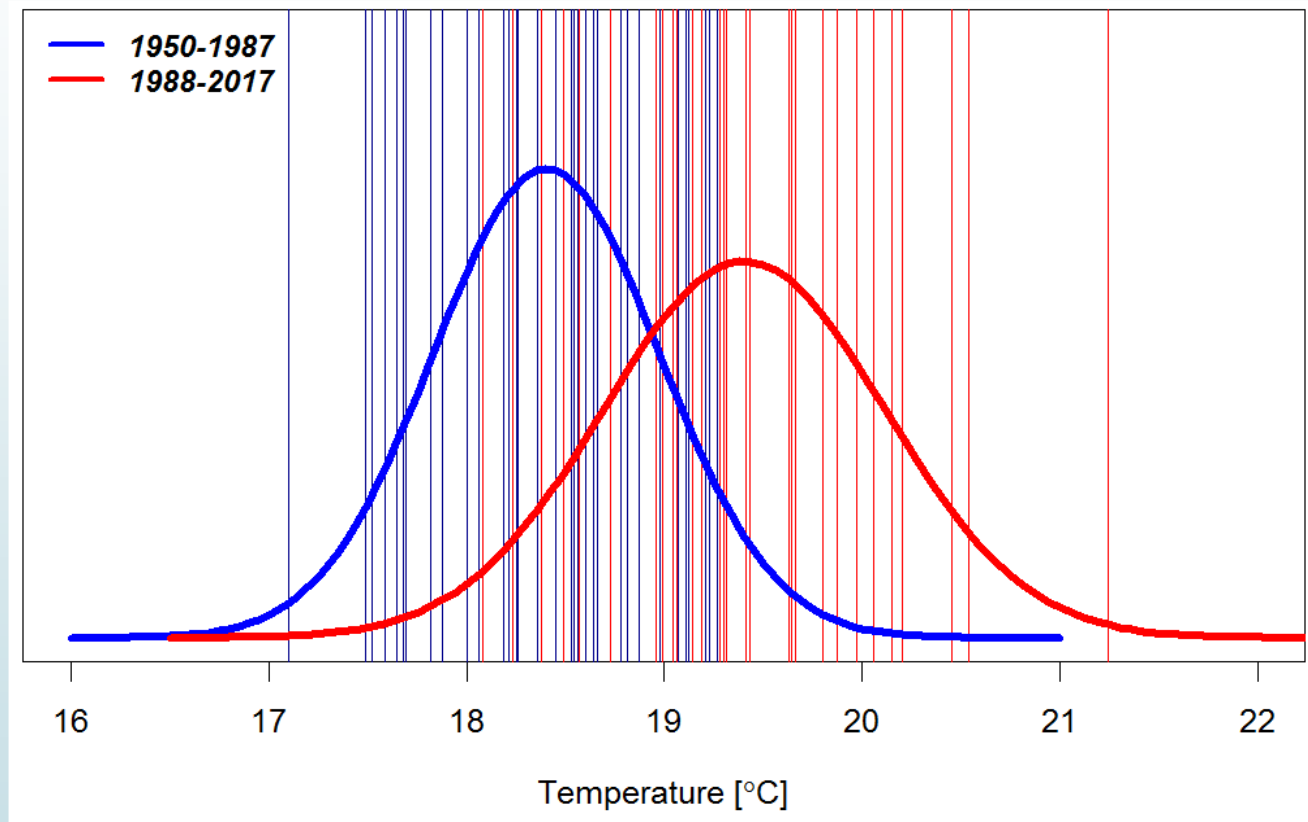
התייבשותו של הסהר הפורה נחזתה כבר ב-2008 במודל אקלימי בעל רזלוציה גבוהה (20 ק"מ) שמלמד על הפחתה דרמטית בכמות המים הזמינים בסוף המאה ה-21 (בשנים 2075-2099 ביחס לממוצע של השנים 1979-2007)

מגמת שינויי הטמפרטורה בישראל: תצפיות ותחזיות

- הטמפרטורה הממוצעת בישראל עלתה בכ-1.4 מ"צ בתקופה 1950-2017 (שלושים השנים האחרונות תרמו תרומה מכרעת לעליה זו).
- הטמפרטורה הממוצעת בישראל צפויה לעלות מהתקופה הנוכחית (מ-2018) ועד סוף 2050 בעוד כ-0.9 מ"צ בתרחיש האופטימי (RCP4.5) או בכ-1.2 מ"צ בתרחיש הפסימי (RCP8.5).
- נמצאה עליה בתדירות מספר הימים והלילות החמים ביחד עם ירידה בתדירות הימים והלילות הקרים, מגמה שצפויה להימשך.
- מגמת ההתחממות בולטת יותר בעונת הקיץ, הן במדידות העבר והן בתחזיות.

יוסף, י', בהר"ד, ע', אוזן, ל', אוסטינסקי-צדקי, א', כרמונה, י', חלפון, נ', פורשפן, א', לוי, י', סתיו, נ' (2019). שינוי האקלים בישראל מגמות עבר ומגמות חזויות במשטר הטמפרטורה והמשקעים. דו"ח מחקר מס' 4000-0804-2019-0000075, השירות המטאורולוגי הישראלי.

התפלגות טמפרטורת המינימום הממוצעת בקיץ בירושלים בתקופה 1950-1987 (בכחול) ו- 1988-2017 (באדום).



עיקר ההתחממות היא ב-30 השנה האחרונות. – קל לראות שיש יותר ימים חמים ופחות ימים קרים בקיץ.

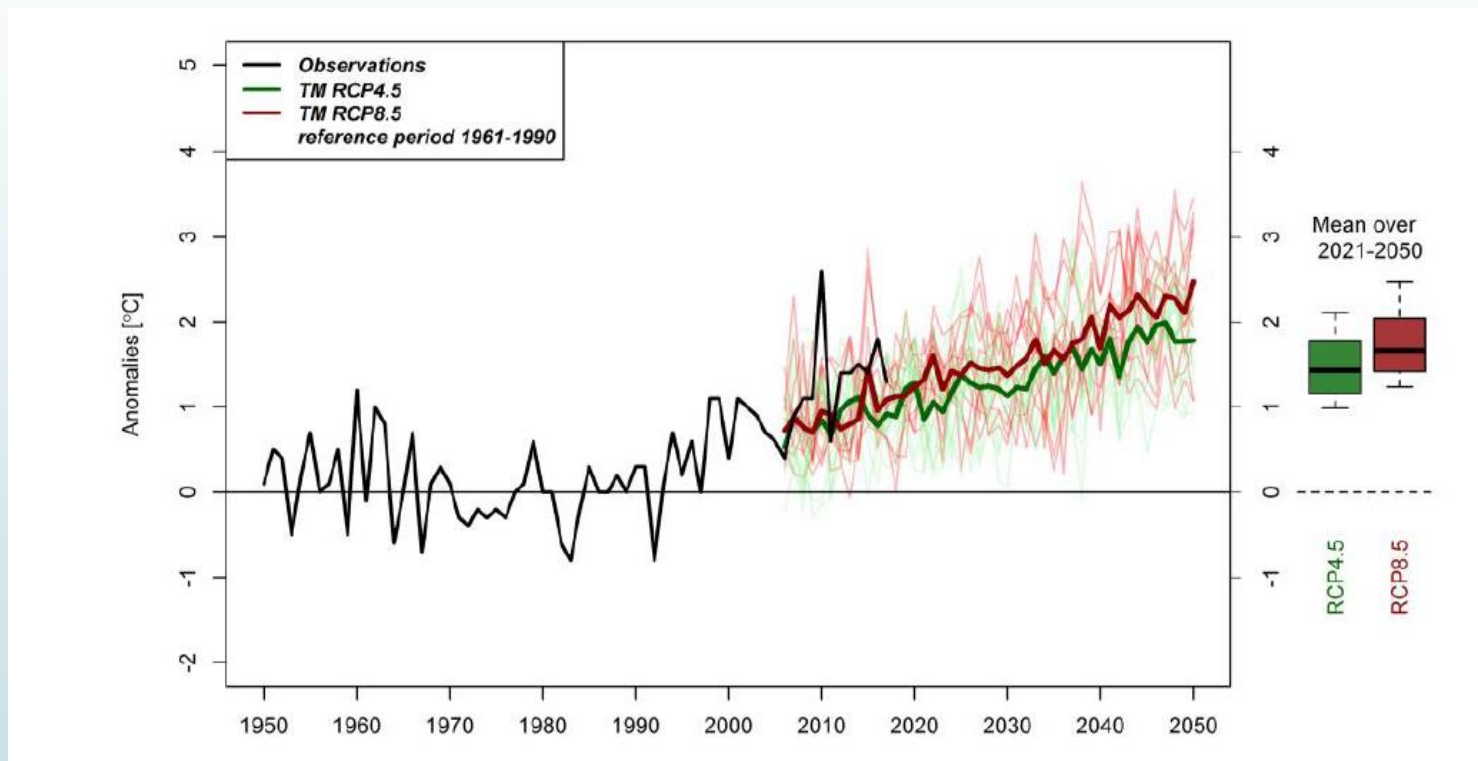
מגמת השינוי במספר הימים החמים

אילת	שדה בוקר	עין החורש	בית דגן	ירושלים	הר כנען	מסדה		
172.8	50.6	13.7	16.0	11.3	11.9	145.1	> 33	מספר הימים החמים ממוצע מעל ספים שונים
130.0	9.9	4.3	4.5	1.5	1.5	90.6	> 36	
69.5	1.1	1.0	1.1	0.0	0.0	23.1	> 39	
68.0						2.6	> 42	
+2.4	+7.6	+2.0	+3.2	+2.8	+2.6	+3.4	> 33	מגמת השינוי (מס' ימים בעשור)
+5.0	+1.0	+0.7	+0.5	-0.1	+0.2	+9.7	> 36	
+8.2	+0.1	+0.0	-0.0	+0.0	+0.0	+5.6	> 39	
29						+0.6	> 42	

מספר הימים הממוצע (למרץ-נובמבר) בהם הטמפרטורה עוברת ספי חום משמעותיים ושיעור מגמת השינוי (בימים לעשור). מגמות מובהקות ב- 95% מודגשות

בכל האזורים מספרם של הימים החמים עולה. המגמה במספר ימי השרב (33°C) מובהקת ושיעורה עולה על 5% לעשור ברוב האזורים

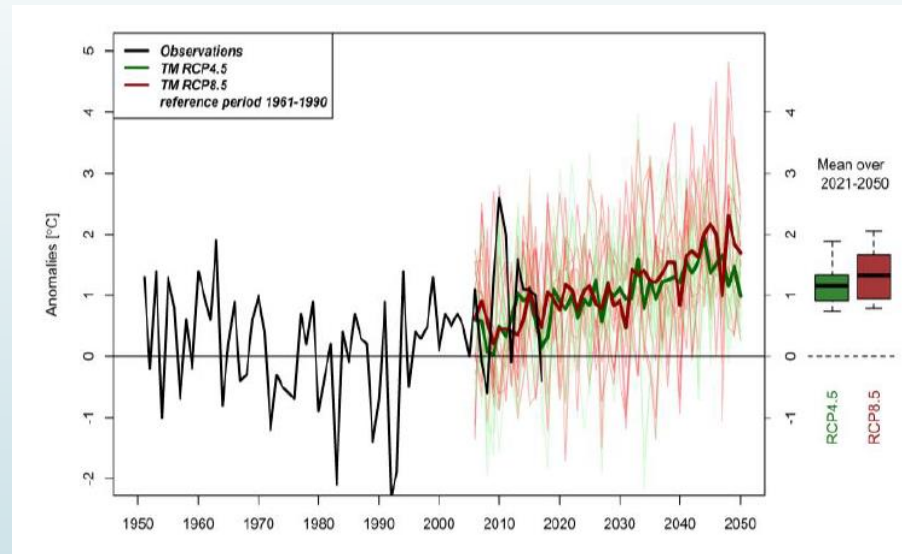
התחממות צפויה בישראל בשני תרחישים: RCP4.5; RCP8.5, ביחס לממוצע 1961-1990



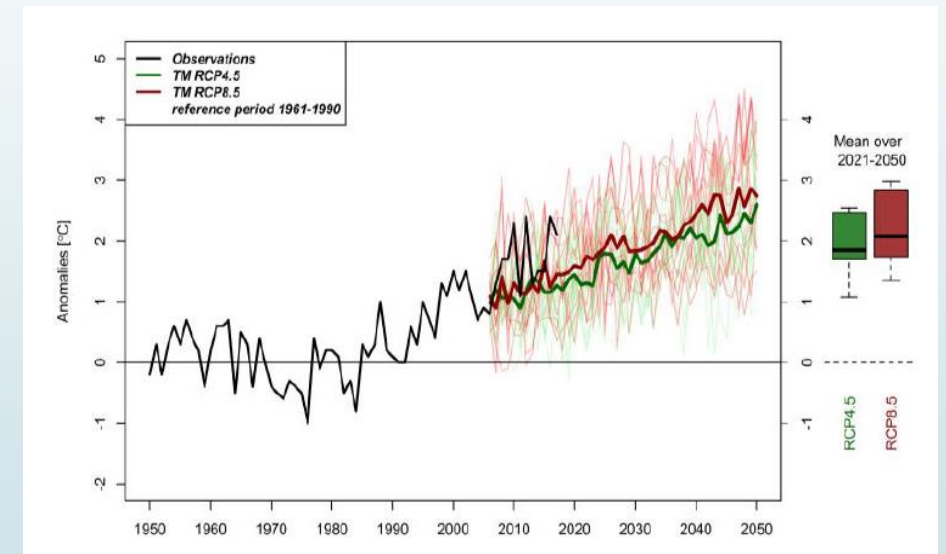
לפי תרחיש RCP4.5 הטמפרטורה הממוצעת בתקופה 2021 עד 2050 צפויה להיות גבוהה ב- 1.5 מעלות בממוצע, וב- 1.8 מעלות בממוצע לפי תרחיש RCP8.5 וזאת ביחס לממוצע התקופה 1961 עד 1990

מגמות הטמפרטורה הממוצעת החזויה בישראל בשני התרחישים עד שנת 2050

חורף

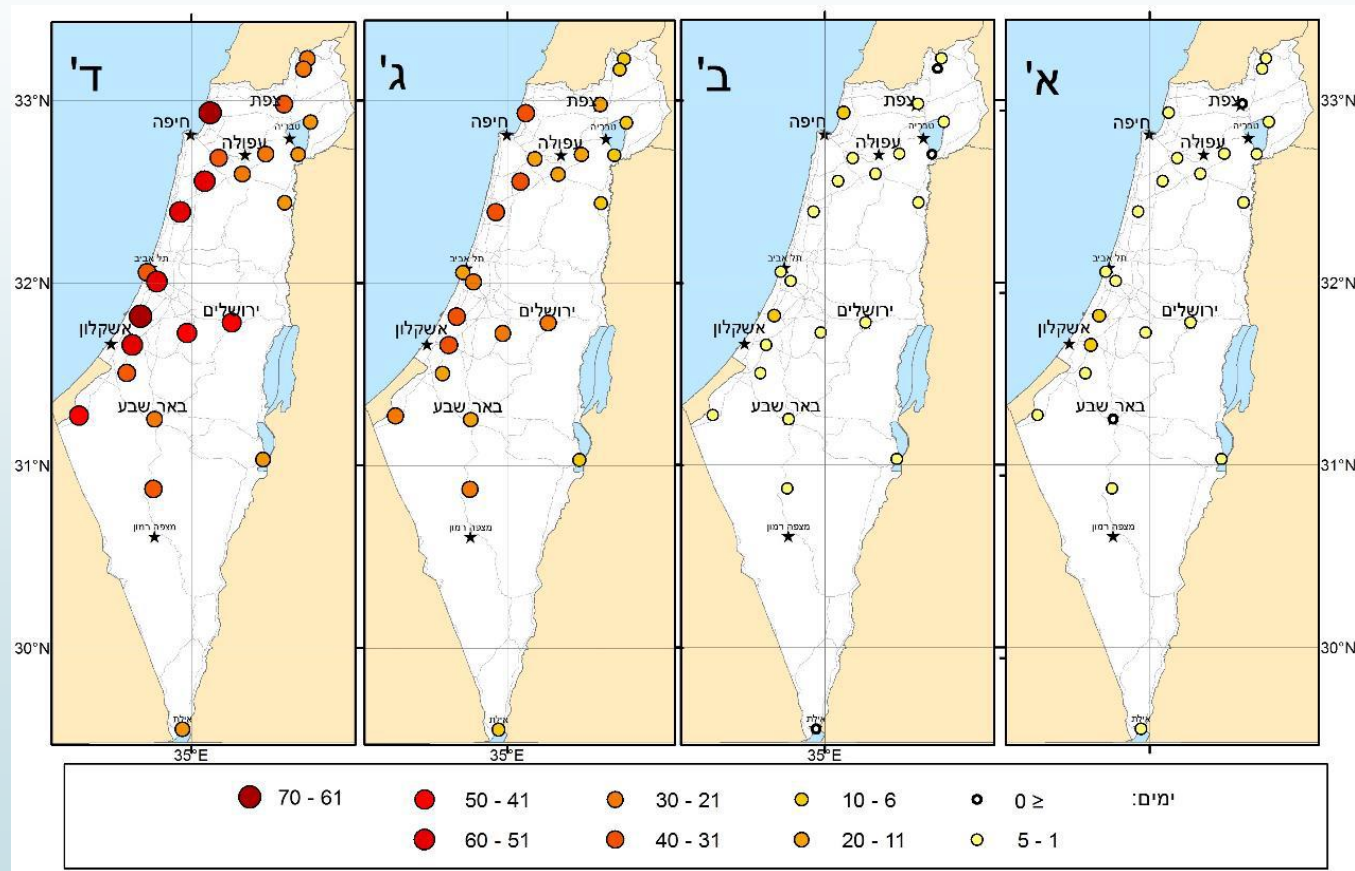


קיץ



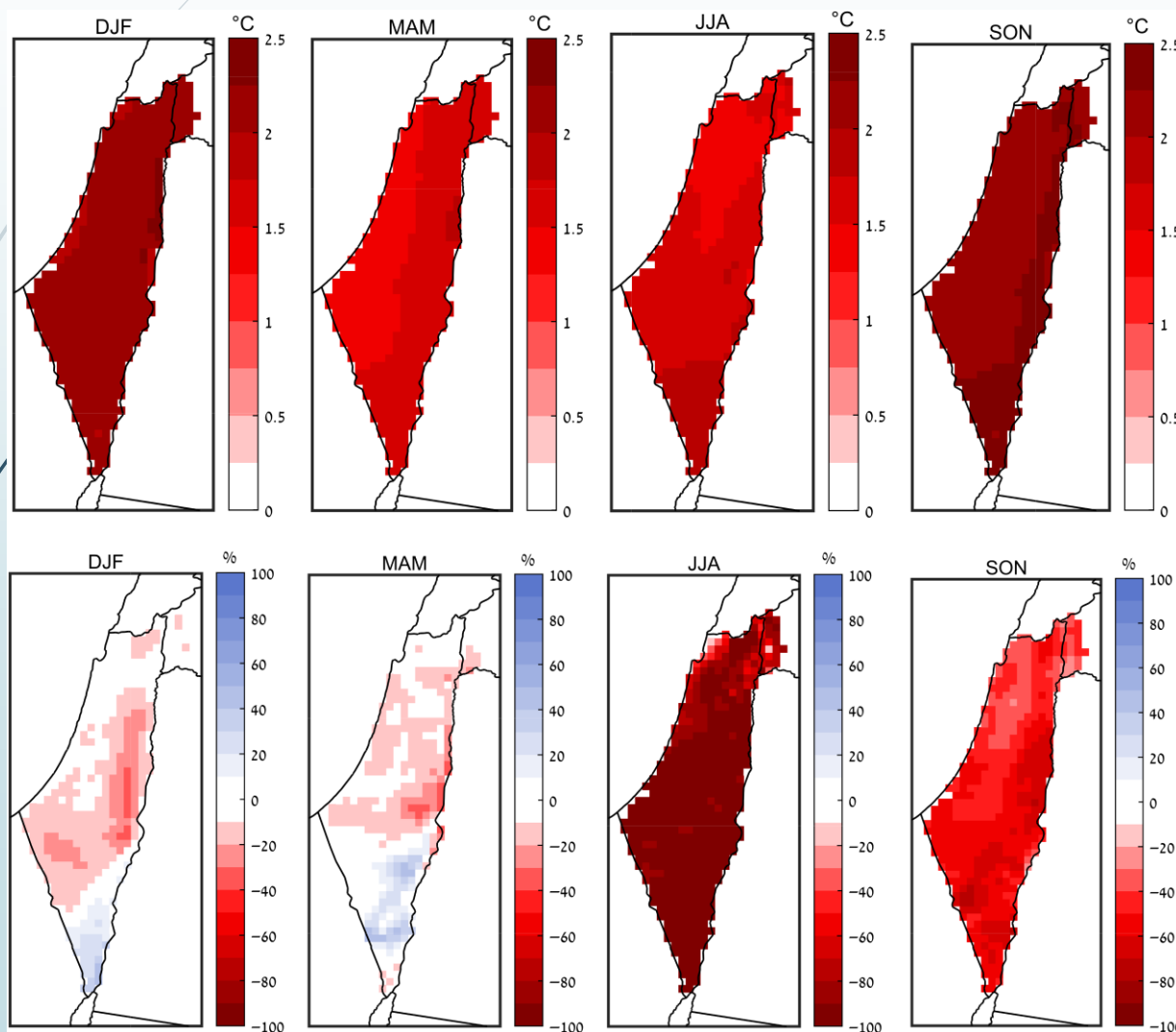
מגמת ההתחממות בולטת יותר בעונת הקיץ, הן במדידות העבר והן בתחזיות. הטמפרטורה הממוצעת בקיץ בתקופה 2021 עד 2050, צפויה לעלות ב-1.9 מ"צ בממוצע בתרחיש RCP4.5 וב-2.2 מ"צ בממוצע, בתרחיש RCP8.5 (איור 2). לעומת זאת, בעונת החורף (איור 3) מגמת השינוי ארוך הטווח בולטת מעט פחות. העלייה בטמפרטורה הממוצעת בחורף צפויה להיות כ-1.3 מ"צ בממוצע, בתקופה 2021 עד 2050.

מגמת השינוי במספר הימים בהם הטמפרטורה מעל 30 מעלות מראה עלייה מובהקת



RCP8.5. 2050-2021 (ד), 2017-1988 (ג), 2000-1971 (ב), 1979-1950 (א)

תחזיות לטמפרטורה ומשקעים לאמצע המאה ה-21 (Hochman et al., 2018)



שינויים בממוצע החודשי של
טמפרטורה (למעלה)
ומשקעים (למטה) החזויים
בישראל לתקופה של 2041-
2070 ביחס לממוצע של
התקופה 1981-2010.

התוצאות הן על פי מודל
COSMO-CLM 8 ק"מ
אזורי
RCP 4.5 בתרחיש

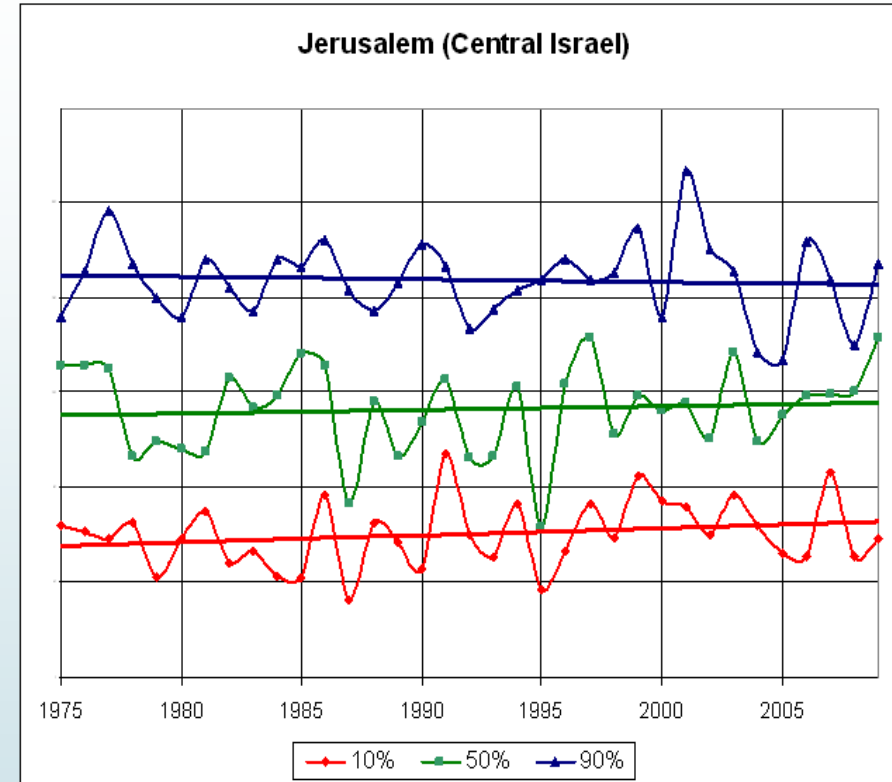
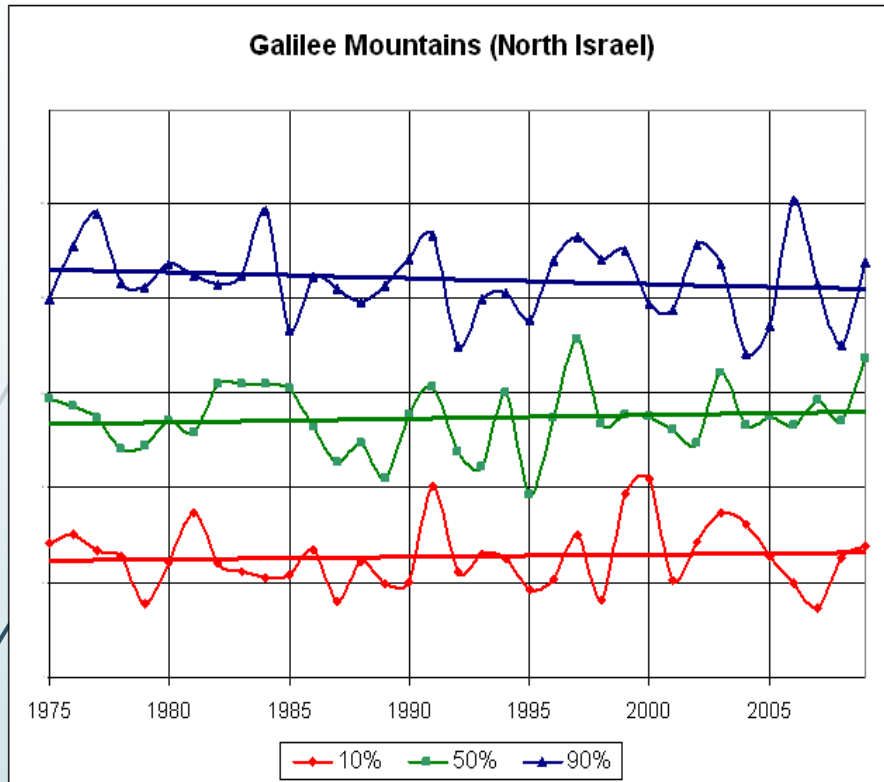
מגמת שינויי המשקעים בישראל: תצפיות ותחזיות

- בשלושים השנים האחרונות ישנה מגמת הפחתה בכמות המשקעים הכללית.
- על פי המודלים האקלימיים, כמות המשקעים צפויה לפחות בסוף המאה (2071 עד 2100) בשיעור ממוצע של כ- 10%-20% ביחס לתקופה האחרונה 1988 עד 2017 (ופחיתה של כ- 15%-25% ביחס לתקופת הייחוס 1961 עד 1990).
- נמצאה נטייה להפחתה במספר ימי הגשם בעשורים האחרונים. על פי המודלים האקלימיים מגמה זו צפויה להימשך.
- מגמות ההפחתה בכמות המשקעים ובמספר ימי הגשם בסדרות המדידה אינן מובהקות סטטיסטית*.

יוסף, י', בהר"ד, ע', אוזן, ל', אוסטינסקי-צדקי, א', כרמונה, י', חלפון, נ', פורשפן, א', לוי, י', סתיו, נ' (2019). שינוי האקלים בישראל מגמות עבר ומגמות חזויות במשטר הטמפרטורה והמשקעים. דו"ח מחקר מס' 4000-0804-2019-0000075, השירות המטאורולוגי הישראלי.

שינויים באורך עונת הגשם

המהלך של מועדי הצטברות 10%, 50% ו 90% מכמות הגשם השנתית



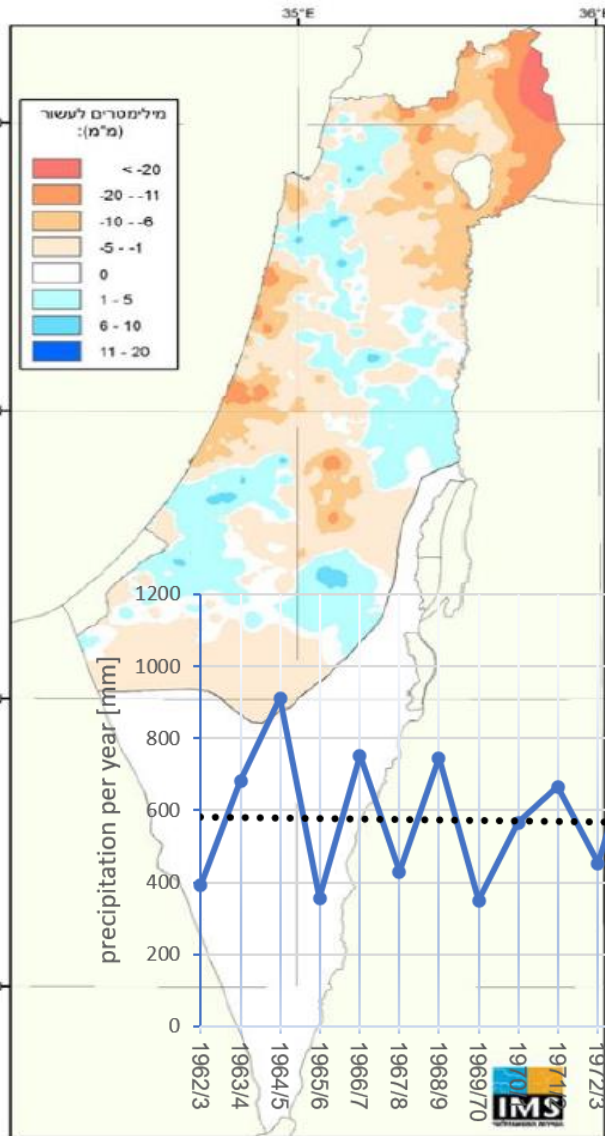
החורף התקצר ב- 12 יום בממוצע (לא מובהק)

סוף העונה (מועד צבירת 90%) נסוג ב- 8.5 ימים במהלך תקופת
המחקר וראשיתה (מועד צבירת 10%) התאחר ב- 3.5 ימים

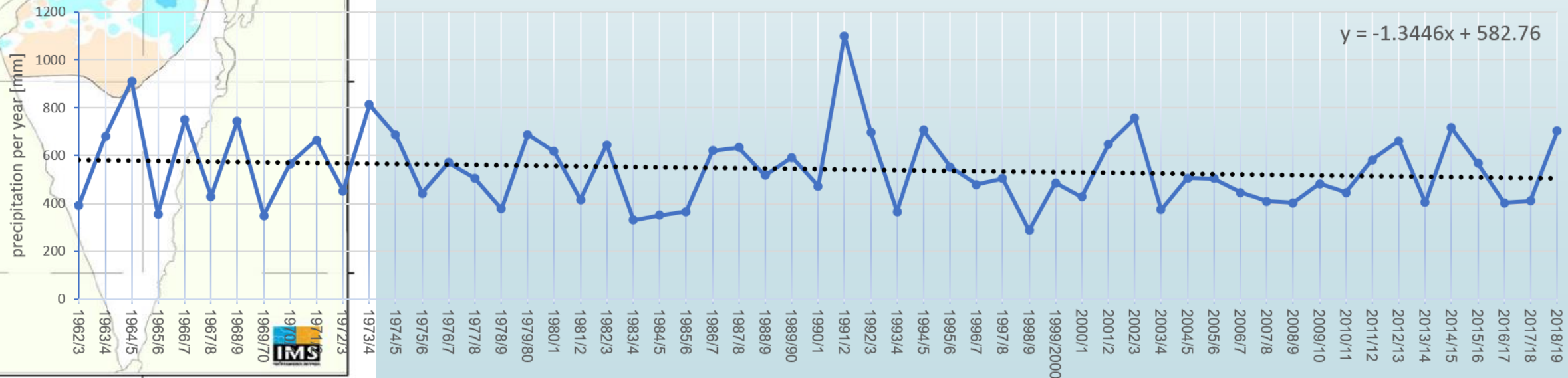
מגמת שינוי בכמויות הגשם 1953-2019

במפה רואים את הפיזור הגאוגרפי של מגמות המשקעים בישראל משנת 1953. מרבית מישור החוף והגליל המזרחי סובלים מירידה משמעותית, אך יש אזורים בהם ניכרת עלייה קטנה. הממוצע הכלל ארצי מלמד על מגמת ירידה של 25 מ"מ גשם לעשור.

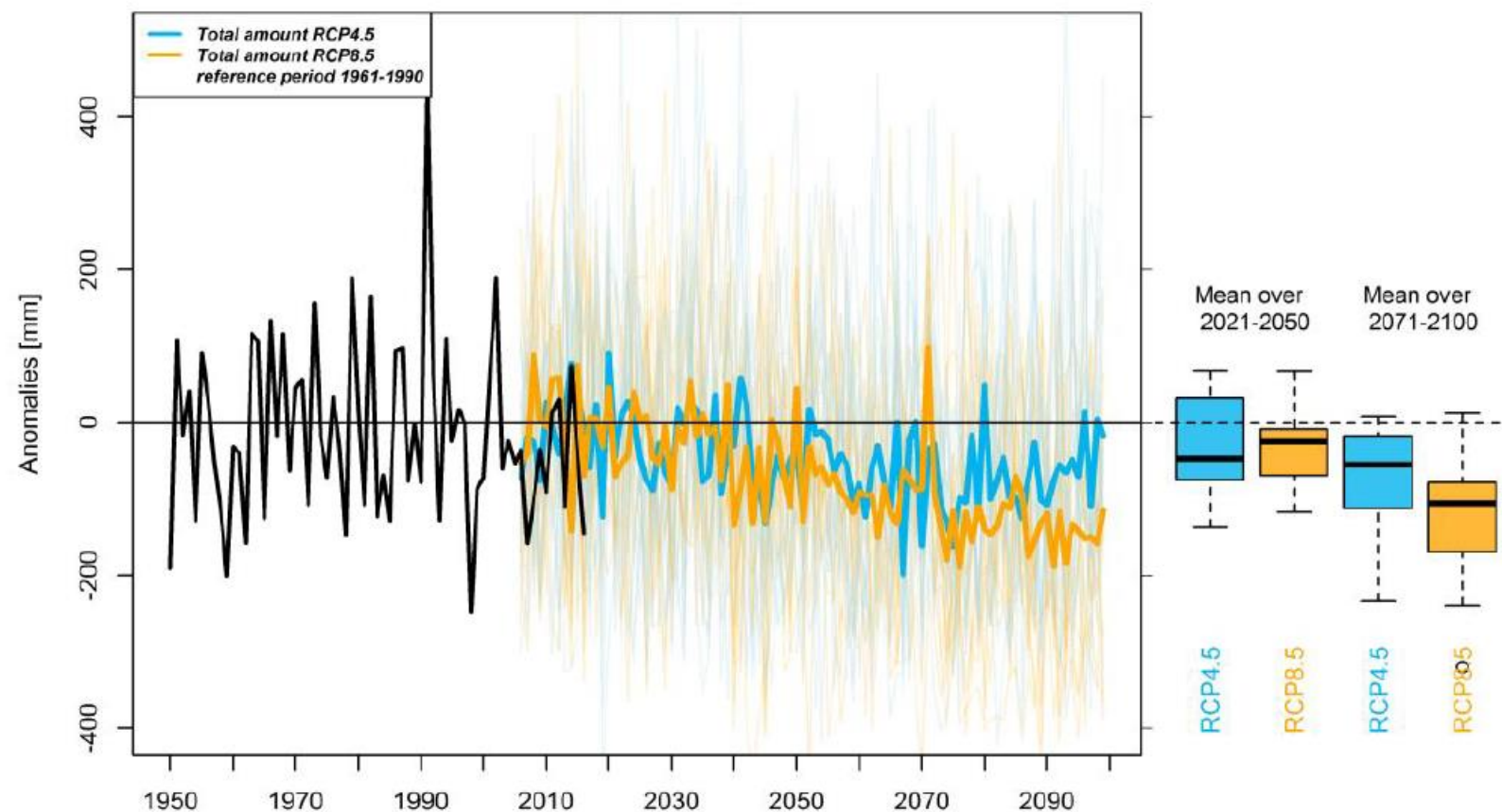
בגרף התחתון נתוני גשם בתחנת בית-דגן של השרות המטאורולוגי מ-1962 עד 2019 המגמה הכללית היא של הפחתה איטית בכמות הגשם הכוללת, עם שונות רב שנתית ובין-שנתית רבה



Amount of precipitation

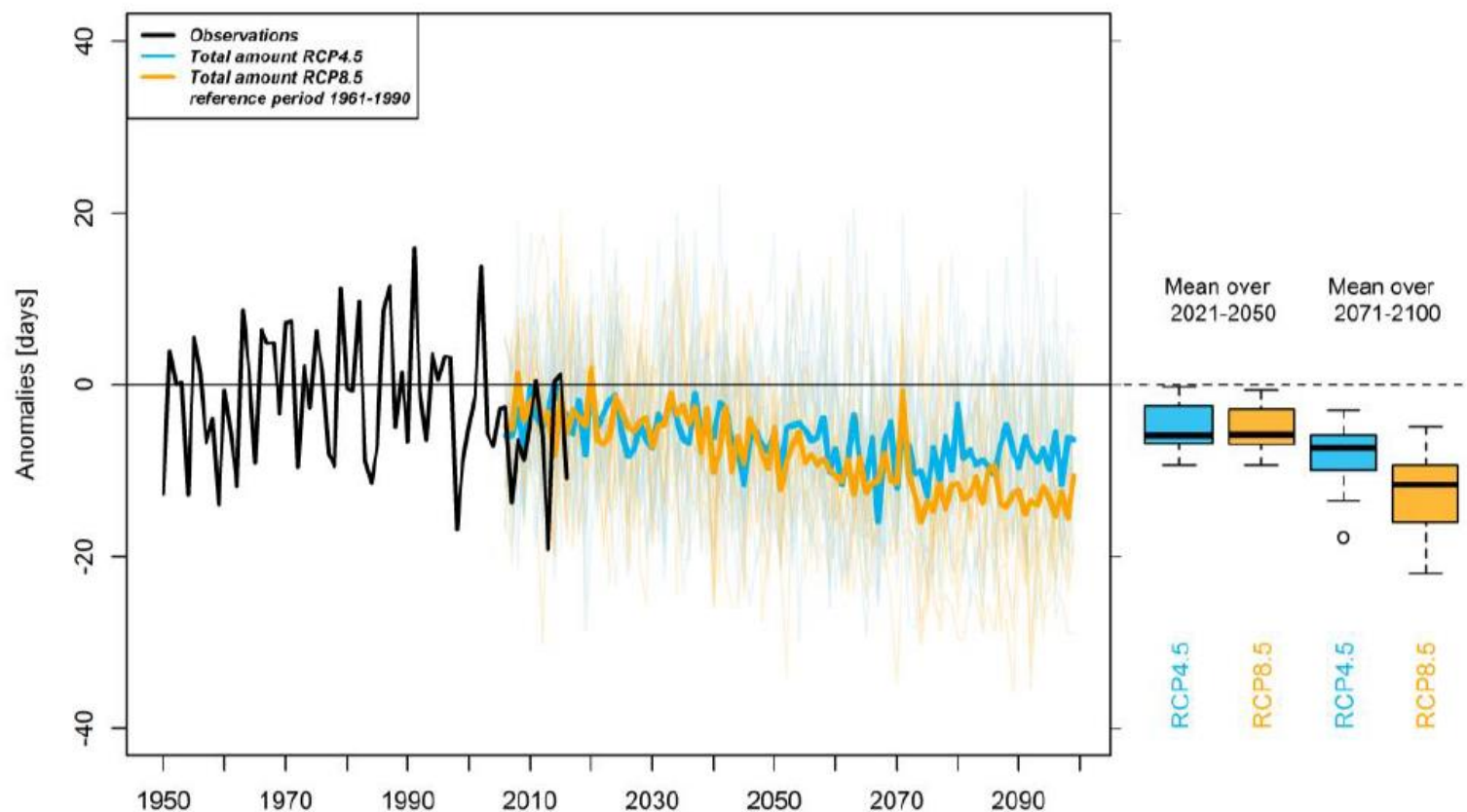


השינוי הצפוי בכמות הגשם: מגמת הפחתה רציפה



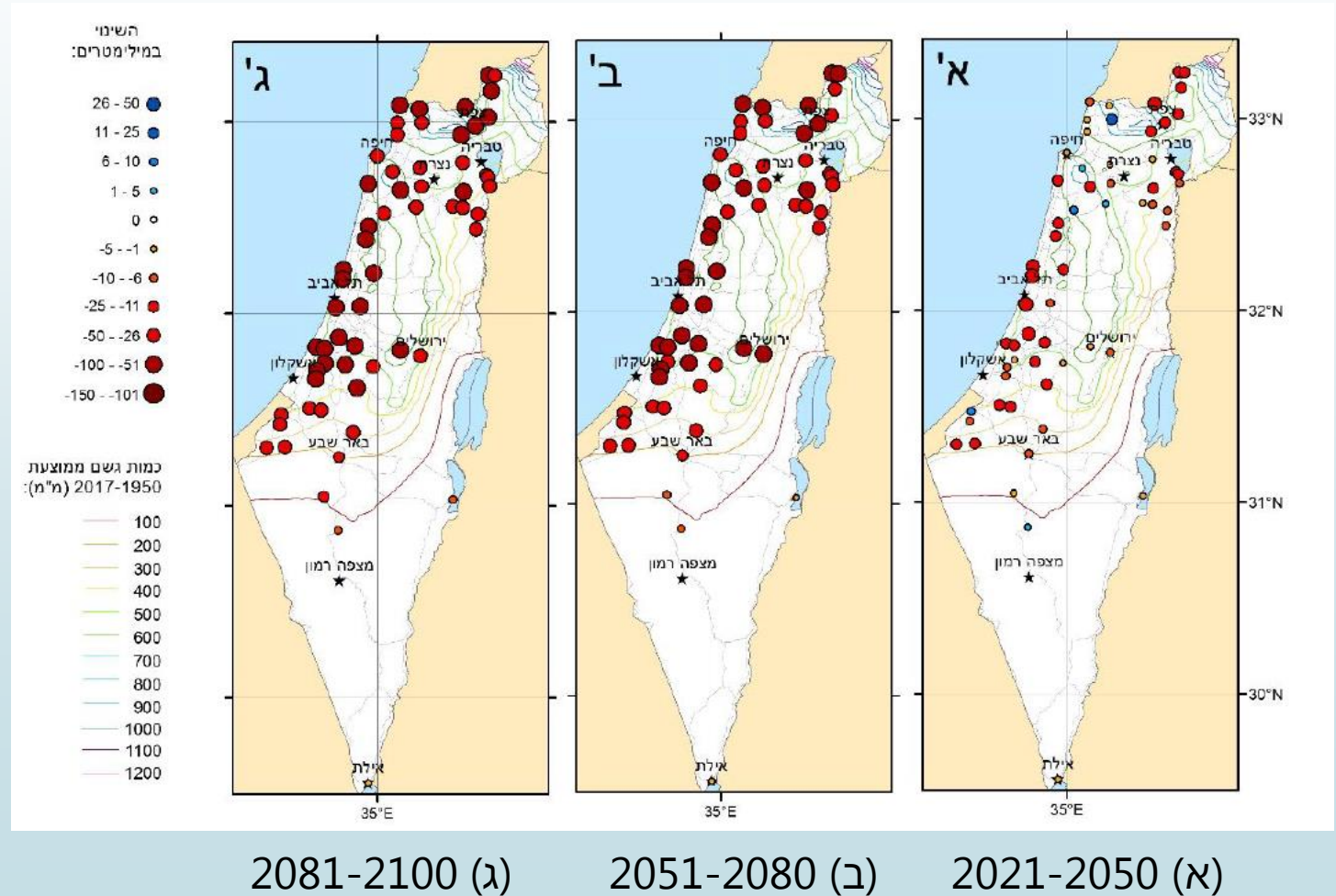
איור 11. השינוי בכמות הגשם הכללית בישראל (מ"מ) ביחס לתקופה 1961-1990. ממוצע התצפיות (בשחור), ממוצע האנסמבל עבור תרחיש RCP4.5 (בתכלת בולט), ממוצע האנסמבל עבור תרחיש RCP8.5 (בכתום בולט). קווים דקים מציינים את פיזור תוצאות המודלים השונים בהתאם לתרחישים RCP4.5 (בתכלת) ו-RCP8.5 (בכתום). תרשימי הקופסה (boxplots) מתארים את התפלגות ממוצעי המודלים השונים לכל תרחיש, לתקופה 2021-2050 ו-2071-2100. חציון ההתפלגות מצוין בקו אופקי שחור.

השינוי הצפוי במספר ימי הגשם: פחות ימים גשומים בהם הכמות גבוהה מ-1 מ"מ

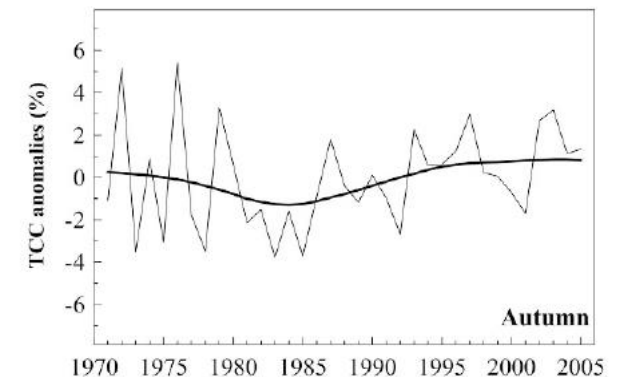
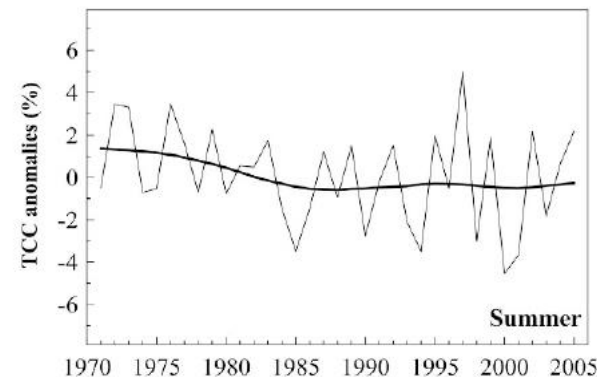
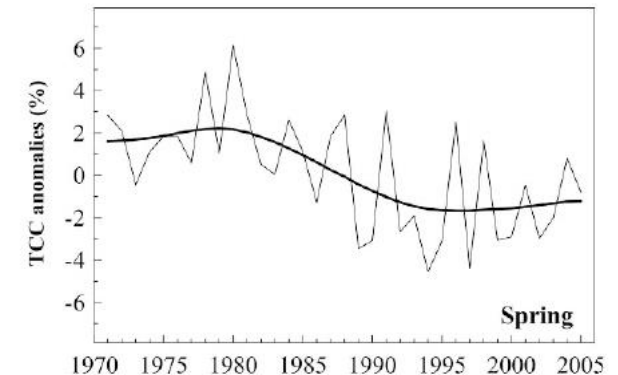
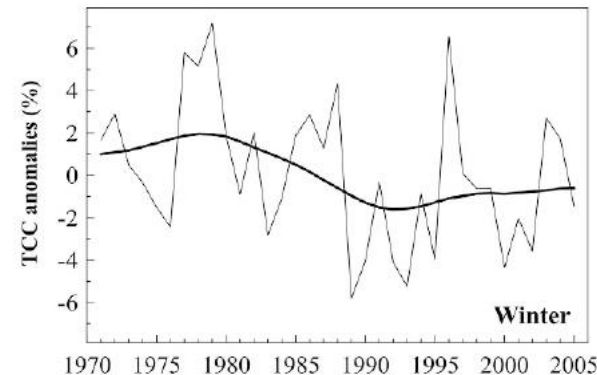
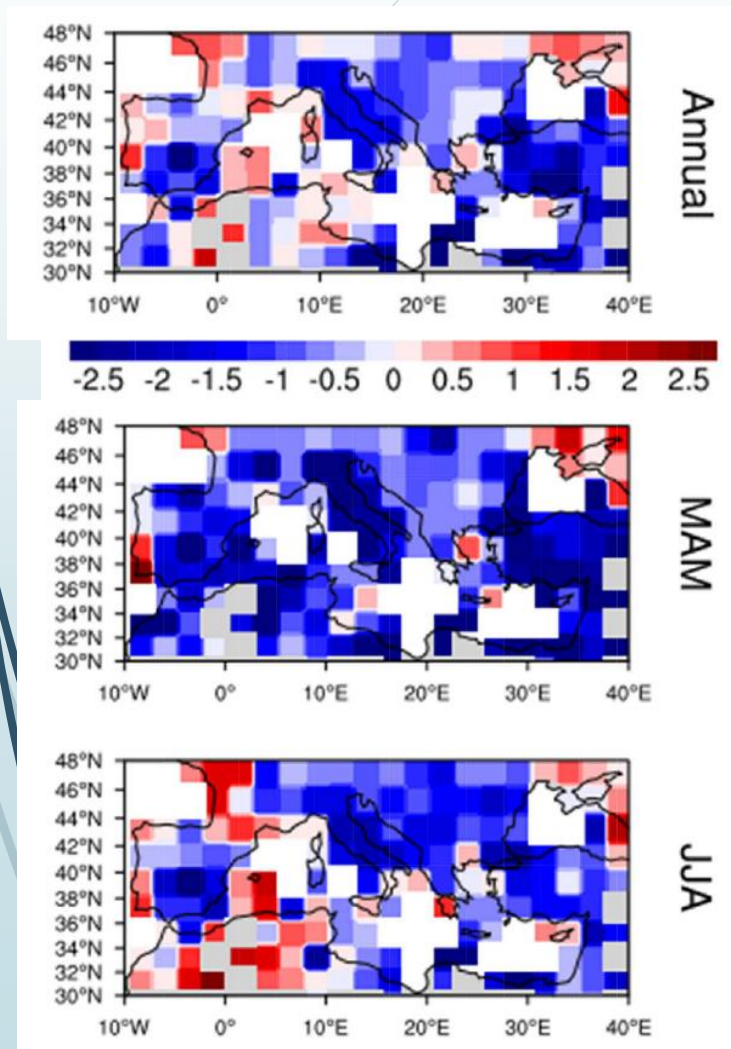


מגמות הפיזור הגאוגרפי של כמות המשקעים השנתית הממוצעת בתרחיש RCP4.5

ביחס לתקופה
1951-2017



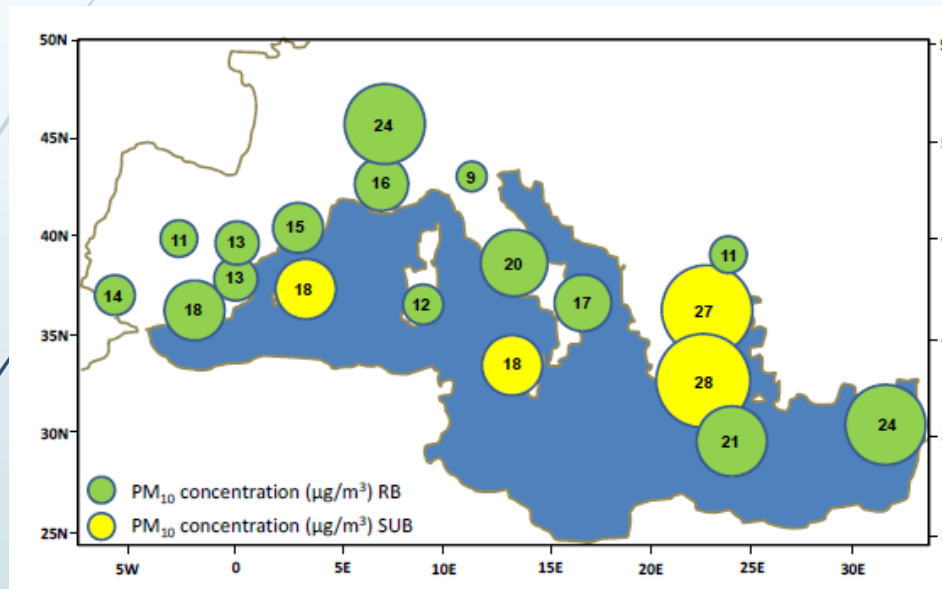
מגמות עננות באגן הים התיכון 1970-2005 (Sanchez-Lorenzo et al., 2017)



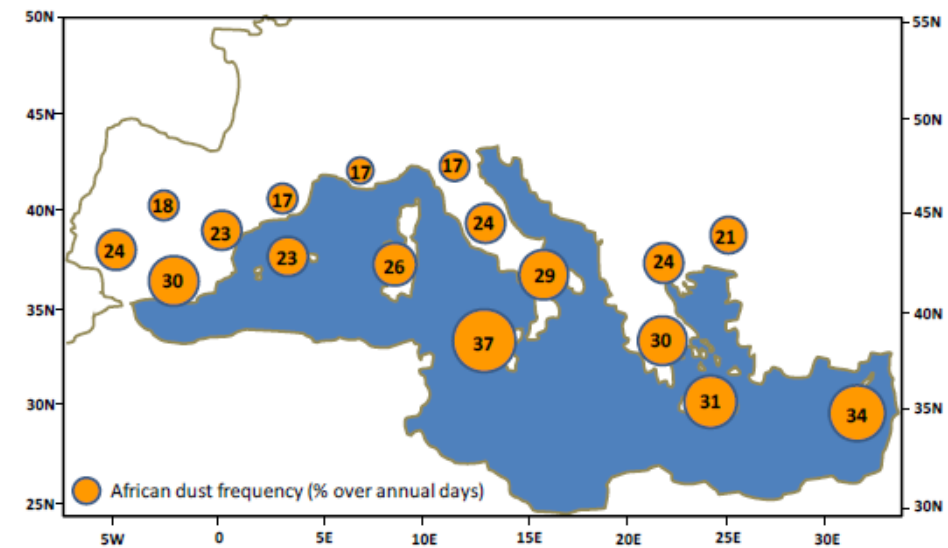
נצפית מגמה של הפחתה בכמות העננות באגן הים התיכון, בפרט בשנות ה-70 וה-80 בחודשי האביב, על פי תצפיות ומודלים. ההסבר הפיסיקלי נעוץ בהתפשטות תא הדלי צפונה

מספר סופות אבק באגן הים התיכון בשנים 2001-2011

Pey et al., 2013



Annual PM₁₀ levels (μgm⁻³) at regional (RB) and suburban (SUB) background sites across the Mediterranean for 2001-2011



The mean frequency of African dust outbreaks in the Mediterranean Basin for the period 2001-2011 (in % of days)

ניטור כמויות אבק במזרח הים התיכון 2006-2017

Achilleos et al., 2020

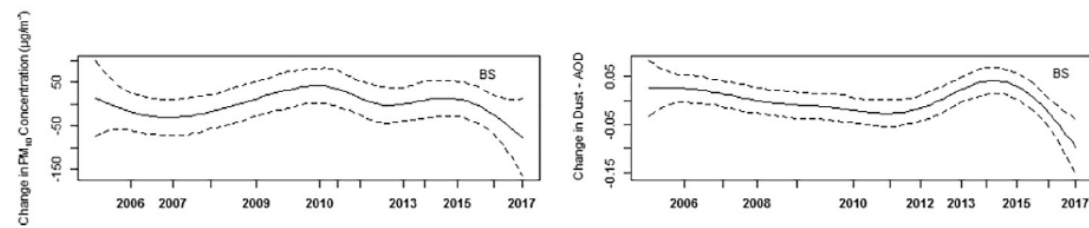
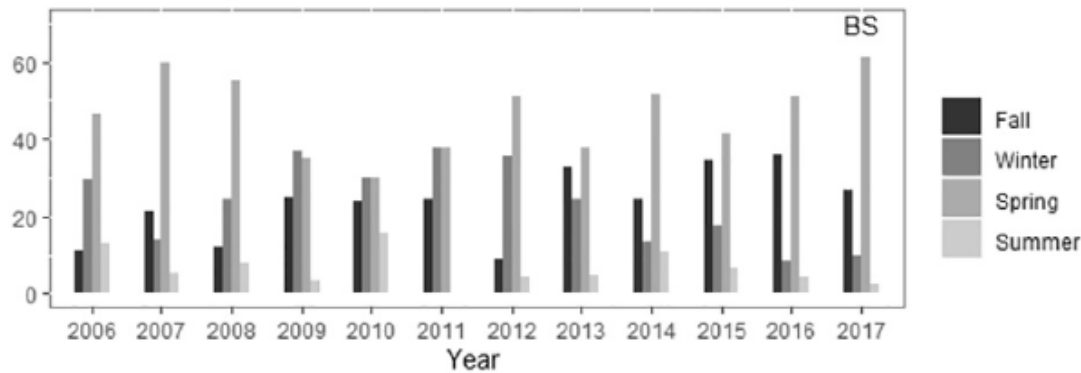


Fig. 6. Time trends of DDS-PM₁₀ and DDS-DustAOD for AM, FKL, and BS station. (Dashed lines represent the 95% confidence intervals for the estimate, and marks on x-axis represent the end of the year).



Fig. 1. Location of the three monitoring sites in Crete-Greece (Finokalia), Cyprus (Ayia Marina Xyliatou), and Israel (Beer Sheva).

מחקר השוואתי בין יוון, קפריסין וישראל.
קיימת שונות בין-שנתית גדולה, אין מגמה ברורה

- יגברו תופעות קיצוניות הנובעות ישירות מההתחממות: **גלי חום קשים וממושכים ואולי** התעצמות הסופות הטרופיות (אפיקי ים סוף)
- התקצרות החורף והפחתה בכמות המשקעים השנתית תוריד את כמות המים הטבעיים הזמינים
- כמות העננות הולכת ופוחתת בכל אגן הים התיכון, בפרט באביב
- אבק אטמוספרי – שונות רב-שנתית, אין מגמה אקלימית ברורה
- **המגמות של הטמפרטורה והמשקעים הן בלתי-הפיכות בעתיד הנראה לעין**

משמעות המגמות בישראל

■ משטר הטמפרטורה

- רצפים של ימים ולילות חמים יחייבו קירור נרחב וממושך יותר של מרחבי תעסוקה ומגורים
- מספר השעות החמות ביממה יגביר דרישה להספקים גבוהים מרשת החשמל
- עלייה בכמות הימים הבהירים תאפשר ניצולת גבוהה יותר של אנרגיה סולארית
- השפעה על תפעול שדות תעופה, מתקני תשתית

■ משטר המשקעים

- פחות מים זמינים באופן טבעי – תלות גוברת בהתפלה / השבה / מיחזור
- התקצרות עונת החורף והשפעה על החקלאות – פגיעה בביטחון תזונתי
- התאמת גידולים למשטר משקעים קצר והתאדות מהירה – השקיה

■ אירועי קיצון שכיחים יותר

תודה על ההקשבה!

