



«Σχεδιασμός Εφαρμοσμένης Έρευνας στη Γεωγραφία»

Ένα παράδειγμα από την έρευνα στην κλιματική αλλαγή

Επιμέλεια: Ε. Κωστοπούλου



Στην παρούσα διάλεξη θα παρουσιαστούν τα στάδια της έρευνας που οδήγησαν στη δημοσίευση άρθρου στο NHESSD με τίτλο: *Spatial and temporal patterns of recent and future climate extremes in the Eastern Mediterranean and the Middle East region*.

(Χωρικά και χρονικά μοτίβα πρόσφατων και μελλοντικών κλιματικών ακραίων στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής)

nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 1565–1577, 2014
<https://doi.org/10.5194/nhess-14-1565-2014>
 © Author(s) 2014. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 3.0 License.

Research article 23 Jun 2014







Spatio-temporal patterns of recent and future climate extremes in the eastern Mediterranean and Middle East region

E. Kostopoulou¹, C. Giannakopoulos², M. Hatzaki², A. Karali², P. Hadjinicolaou³, J. Lelieveld³, and M. A. Lange³

¹University of the Aegean, Department of Geography, Mytilene, Greece
²Institute for Environmental Research and Sustainable Development, National Observatory of Athens, Athens, Greece
³Energy, Environment and Water Research Center, The Cyprus Institute, Nicosia, Cyprus

Received: 02 Aug 2013 – Discussion started: 04 Sep 2013 – Revised: 11 Mar 2014 – Accepted: 11 May 2014 – Published: 23 Jun 2014

Περιεχόμενα

-  Σκοπός της έρευνας
-  Ερευνητικά ερωτήματα
-  Σχεδιασμός της έρευνας
-  Δεδομένα/μεθοδολογία
-  Ανάλυση και αποτελέσματα
-  Δημοσίευση

Σκοπός της έρευνας

Επιλογή του θέματος /στόχοι -αναγκαιότητα της έρευνας

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Το μεταβαλλόμενο κλίμα της Γης είναι ένα κρίσιμο ζήτημα και ενέχει τον κίνδυνο σημαντικών περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών αναταραχών σε όλο τον κόσμο.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή της Μεσογείου έχει χαρακτηριστεί «**Hot-spot**» της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής. Οι εκθέσεις της Διεθνούς Ομάδας για την Κλιματική Αλλαγή (IPPC 2007, 2013) τοποθετούν τη Μεσόγειο και τη Μέση Ανατολή στις πιο ευάλωτες περιοχές στον κόσμο στις επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

ΑΚΡΑΙΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Υπάρχουν ενδείξεις ότι η συχνότητα ορισμένων ακραίων κλιματικών φαινομένων έχει αλλάξει, ιδιαίτερα οι ακραίες θερμοκρασίες και έντονες βροχοπτώσεις.

Η κλιματική αλλαγή συνδέεται με μεταβολές στην **ένταση, συχνότητα** και **διάρκεια** των ακραίων φαινομένων.

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Σήμερα τα ακραία καιρικά φαινόμενα έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην κοινωνία και στο περιβάλλον (οικοσυστήματα).

Οι εντεινόμενες αλλαγές στο παγκόσμιο κλίμα αποτελούν αυξανόμενη απειλή για πολλούς κοινωνικό-οικονομικούς τομείς.

Η Μεσόγειος (Νότια Ευρώπη, Βόρεια Αφρική και Μέση Ανατολή), ενδέχεται να βιώσει από τις υψηλότερες ακραίες θερμοκρασίες και σοβαρή ξηρασία.

Ερευνητικά ερωτήματα

- 1) Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την περιοχή της ανατολικής Μεσογείου-Μέσης Ανατολής (EMME);
- 2) Τι προβάλλει για το κλιματικό μέλλον της περιοχής μελέτης το κλιματικό μοντέλο; Τάσεις κλιματικών μεταβλητών.
- 3) Πόσο αξιόπιστο είναι το κλιματικό μοντέλο;
- 4) Αναμένονται μεταβολές σε ακραίες κλιματικές συνθήκες;
- 5) Πιθανές επιπτώσεις των ακραίων κλιματικών συμβάντων

Spatio-temporal patterns of recent and future climate extremes in the eastern Mediterranean and Middle East region

E. Kostopoulou¹, C. Giannakopoulos², M. Hatzaki², A. Karali², P. Hadjinicolaou³, J. Lelieveld³, and M. A. Lange³

In this work we further describe some of the results obtained from the PRECIS simulations for the EMME region. The emphasis here is on the simulated seasonal minimum, maximum temperature and precipitation and the analysis of their trends over the present and the future period to estimate current and predicted changes. We also calculate several extreme temperature and precipitation climate indices to detect signals of present and future changes. Future climate change is assessed by spatial patterns of change for selected extreme temperature and precipitation indices.

The aim of this study

is to investigate whether the 21st century changes tend to occur in a more rapid rate than during the 20th century, to identify regions in the study area that seem to undergo large amount of climate change, and provide information to policymakers to develop management strategies for sectors which are likely to be impacted by the change, such as electricity demand, tourism and freshwater resources.

Σε αυτή την εργασία περιγράφουμε περαιτέρω ορισμένα από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις PRECIS για την περιοχή EMME. Έμφαση δίνεται στην προσομοιωμένη εποχιακή ελάχιστη, μέγιστη **θερμοκρασία** και **βροχόπτωση** και στην ανάλυση των **τάσεων** τους κατά την παρούσα και τη μελλοντική περίοδο για την εκτίμηση των τρεχουσών και των προβλεπόμενων **αλλαγών**. Υπολογίζουμε **δείκτες ακραίων** κλιματικών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων για να ανιχνεύσουμε σήματα σημερινών και μελλοντικών αλλαγών. Η μελλοντική κλιματική αλλαγή αξιολογείται από χωρικά **μοτίβα** αλλαγής για επιλεγμένους δείκτες ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων.

Ο στόχος αυτής της μελέτης είναι να διερευνηθεί εάν οι αλλαγές του **21ου αιώνα** τείνουν να συμβαίνουν με ταχύτερο ρυθμό από ό,τι κατά τον 20ο αιώνα, να εντοπιστεί **περιφέρειες** στην περιοχή μελέτης που φαίνεται να υφίστανται μεγάλο βαθμό βαθμό κλιματικής αλλαγής και να παράσχει **πληροφορίες** στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής για ανάπτυξη στρατηγικών διαχείρισης για **τομείς** που είναι πιθανό να επηρεαστούν από την αλλαγή, όπως η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, ο τουρισμός και οι πόροι γλυκού νερού.

Σχεδιασμός της έρευνας



Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Συλλογή βιβλιογραφίας:

- Google scholar
- Climate research journals
- References of a similar study



Δεδομένα

- Κλιματικό μοντέλο Hadley Centre PRECIS RCM.
- Ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας και υετού.
- Για την αξιολόγηση του μοντέλου: πραγματικά δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς και CRU.
- Ανάλυση δύο περιόδων για να ερευνηθούν οι καταστάσεις του κλίματος στην περιοχή μελέτης σε παρόν (1961-1990) και μέλλον (2070-2099).



Μεθοδολογία

- Αξιολόγηση των δεδομένων του μοντέλου συγκρίνοντας τα με ημερήσιες παρατηρήσεις για την περίοδο αναφοράς (1961-1990)
- Εκτίμηση τάσεων στις 30ετείς χρονοσειρές θερμοκρασίας και υετού.
- Υπολογισμός κλιματικών δεικτών (αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η τιμή της θερμοκρασίας / βροχόπτωσης βρίσκεται πάνω ή κάτω από ένα ορισμένο κατώφλι).



Απεικόνιση αποτελεσμάτων

Παραγωγή χαρτών και διαγραμμάτων για την ανάλυση και απεικόνιση των αποτελεσμάτων που θα βοηθήσουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων.

1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με τα κλιματικά μοντέλα→

The last decades have seen a rapid growth in the development of regional climate models (RCMs), due to advances in modelling and physical understanding of the climate system (Christensen et al., 2007a; Meehl et al., 2007). RCMs are widely used for simulations of regional climate conditions (Rummukainen, 2010), as well as in areas of complex topography and land use distribution (Christensen et al., 2007a). ...Many studies emphasise the models' ability to simulate the present natural climate variability (e.g. Vidale et al., 2003; Frei et al., 2006; Jacob et al., 2007; Christensen et al., 2007b; Kostopoulou et al., 2012), indicating strengths and weaknesses of models associated with internal climate variability.

Βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με την κλιματική αλλαγή στην περιοχή μελέτης→

...the eastern Mediterranean and Middle East (EMME) regions, which seem to be particularly sensitive to climate change with pronounced warming and reduced precipitation (IPCC, 2007; Giorgi and Lionello, 2008; Sheffield and Wood, 2008). Arnell (2004) showed that the countries most prone to increasing water stress are located around the Mediterranean and the Middle East. Precipitation in the Mediterranean is scarce and irregular in many southern areas, and there is a significant risk of much drier future climate conditions (Lionello et al., 2012). Overall, a warming tendency for the Mediterranean has been reported (Brunet et al., 2007; Brunetti et al., 2009) which is pronounced in summer, while several locations do not show a significant trend in winter (Ulbrich et al., 2012).....

Βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με τα ακραία φαινόμενα στην περιοχή μελέτης και τη χρήση δεικτών για τη μελέτη αυτών→

...According to the Fourth IPCC report (2007), "confidence has increased that some extremes will become more frequent, more widespread and/or more intense during the 21st century". In recent years, temperature- and precipitation-associated extreme events are studied through the use of indices mainly based on percentiles and/or fixed absolute thresholds (Klein Tank et al., 2009; Zwiers et al., 2013). ... studies can be found in the literature for the western part of our study region (Kostopoulou and Jones, 2005; Giannakopoulos et al., 2010; Kuglitsch et al., 2010; Hadjinicolaou et al., 2011)..... Relevant studies have also shown that the Mediterranean area tends to experience a warmer climate with less total precipitation but with positive trends in intense daily precipitation (Goubanova and Li, 2007; Nastos and Zerefos, 2008)..... Kuglitsch et al. (2010) have shown increases in the number, intensity and length of heat waves in the eastern Mediterranean. Regarding future projections, Lelieveld et al. (2013) suggested that the annual number of heat wave days may increase drastically by the end of 21st century in the EMME Zhang et al. (2005) examined trends in extreme temperature and precipitation indices...

2 Δεδομένα – περιοχή μελέτης

Περιοχή Μελέτης – *Eastern Mediterranean and Middle East (EMME)*

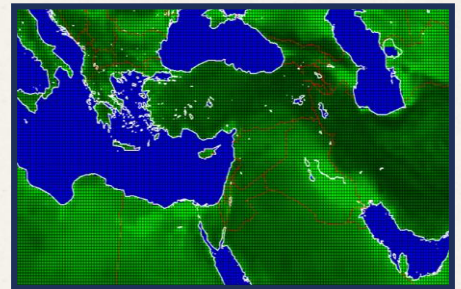


- ✓ Μεταβλητή τοπογραφία (ξηρά που εναλλάσσεται με μεγάλα υδάτινα σώματα)
- ✓ Ποικιλομορφία της τοπογραφίας (από ερήμους σε βουνά ύψους πολλών χιλιομέτρων)
- ✓ Σταυροδρόμι ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (επηρεασμένο από τις ροές του Βόρειου Ατλαντικού και της Νότιας Ασίας)
- ✓ Αντιθέσεις Βορρά-Νότου στις κλιματικές συνθήκες

2 Δεδομένα

Κλιματικό Μοντέλο – *Regional Climate Model Data*

- Το περιφερειακό κλιματικό μοντέλο του Hadley Centre PRECIS RCM χρησιμοποιεί τις οριακές και αρχικές συνθήκες όπως το μητρικό μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας Ατμόσφαιρας-Ωκεανού (AOGCM) HadCM3Q0
- Οριζόντια ανάλυση 25km (οριζόντια ανάλυση γεωγρ.πλάτους και μήκους 0,22° και 19 κατακόρυφα επίπεδα), χρησιμοποιώντας το σενάριο εκπομπών IPCC SRES A1B.
 - *EMME region 22° to 46°N & 10° to 62°E.*
- Περίοδος αναφοράς – παροντικές κλιματικές συνθήκες 1961–1990. Χρησιμοποιείται ως αναφορά για σύγκριση με μελλοντικές προβολές.
- Μελετώνται τρεις μελλοντικές χρονικές περιοδοί: 2010–2039, 2040–2069 και 2070–2099.



2 Δεδομένα

Χωρική απεικόνιση των δεδομένων του Κλιματικού Μοντέλου

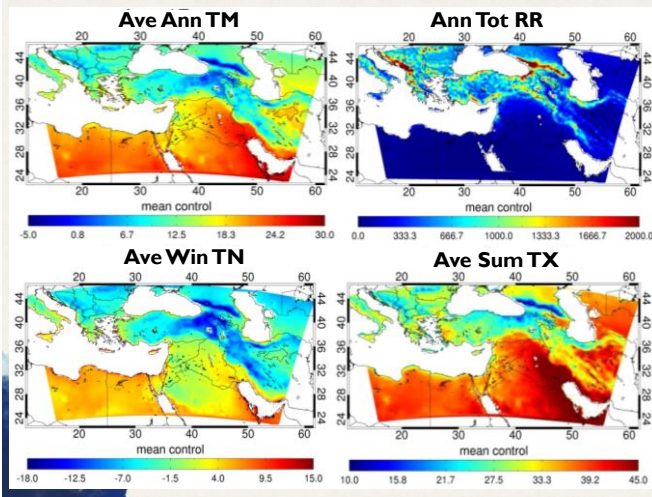
Προσομοιώσεις του κλιματικού μοντέλου για την παροντική περίοδο

Ως προκαταρκτικό βήμα υπολογίζονται η μέση ετήσια θερμοκρασία (**Ave Ann TM**), η συνολική ετήσια βροχόπτωση (**Ann Tot RR**), η μέση ελάχιστη χειμερινή θερμοκρασία (**Ave Win TN**) και η μέση μέγιστη θερινή θερμοκρασία (**Ave Sum TX**).

Οι εκτελέσεις ελέγχου (**control runs**) παρέχουν μια εκτίμηση της εσωτερικής μεταβλητότητας του κλιματικού μοντέλου.

Το μοντέλο προσομοιώνει ρεαλιστικά τα κλιματολογικά (μέσες τιμές 30-ετίας) χαρακτηριστικά της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης.

Θα ακολουθήσει αξιολόγηση του RCM vs. CRU



2 Δεδομένα

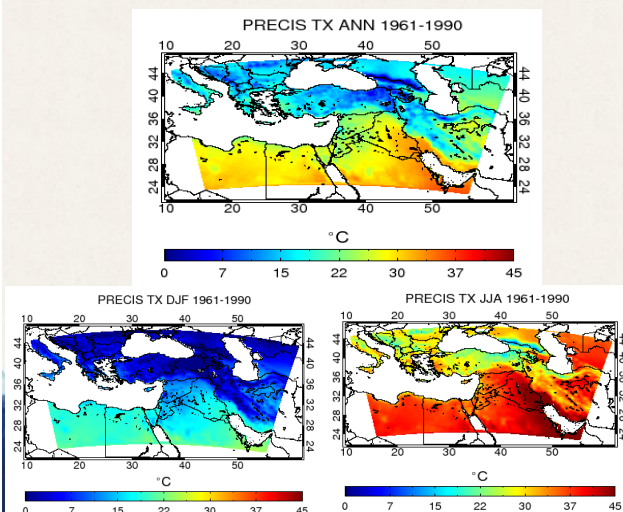
Χωρική απεικόνιση των δεδομένων του Κλιματικού Μοντέλου

Προσομοιώσεις της TX από PRECIS – παροντική περίοδο (1961–1990)

ΕΤΟΣ (ANN): Ο ετήσιος μέσος όρος TX κυμαίνεται από λιγότερο από 10°C σε τοποθεσίες σε γεωγραφικά πλάτη 36°B και άνω, έως και 35°C σε ηπειρωτικές τοποθεσίες της Αραβικής Χερσονήσου.

ΧΕΙΜΩΝΑΣ (DJF): Η TX προσεγγίζει τους 10°C στα βόρεια, ενώ φτάνει έως και τους 25°C στη Βόρεια Αφρική και την Αραβική Χερσόνησο.

ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ (JJA): στα βόρεια τμήματα TX περίπου 22°–30°C. Πολύ ζεστές καλοκαιρινές συνθήκες, με TX να ξεπερνά τους 40°C, εμφανίζονται στη Μέση Ανατολή και τη Βόρεια Αφρική.



3 Μεθοδολογία

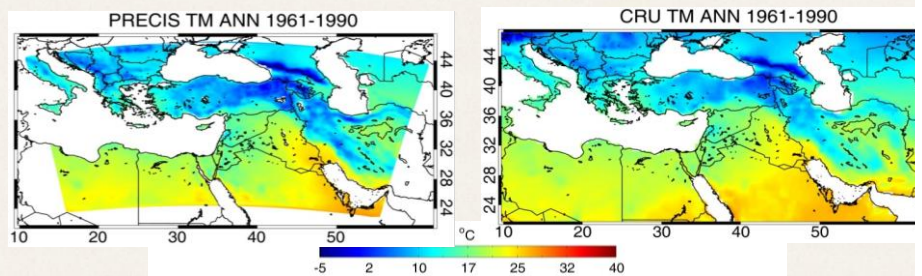
Αξιολόγηση του Κλιματικού Μοντέλου

Για τη σύγκριση του κλιματικού μοντέλου με τις πραγματικές τιμές των κλιματικών μεταβλητών χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα TS3.0 του Climatic Research Unit (CRU) <http://badc.nerc.ac.uk/data/cru/>

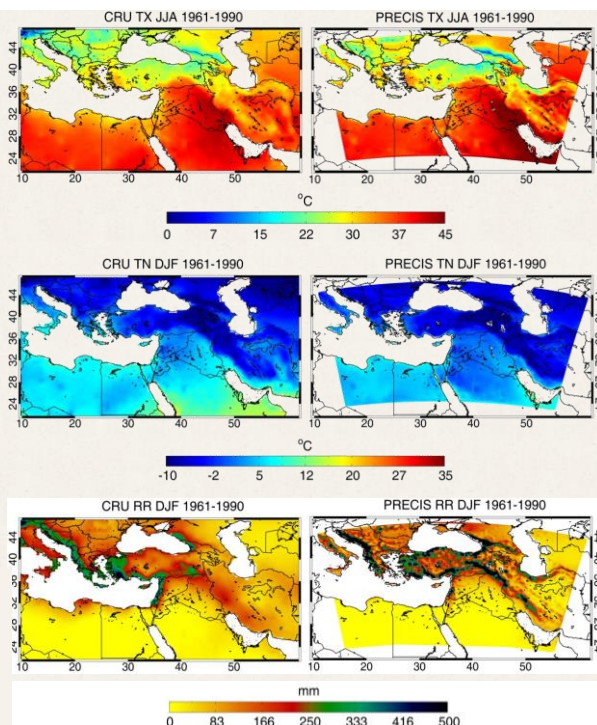
Αυτό το σύνολο δεδομένων προσφέρει την πιο πλήρη, συνεπή και ενημερωμένη συλλογή δεδομένων βροχοπτώσεων και θερμοκρασίας σε παγκόσμιας κλίμακας πλέγμα.

Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε χωρική ανάλυση 0,5° γεωγραφικό πλάτος/μήκος, και καλύπτουν την περίοδο 1901-2006.

Control simulations Κλιματικό μοντέλο vs. CRU



Αξιολόγηση του Κλιματικού Μοντέλου



Control simulations Κλιματικό μοντέλο vs. CRU

Μοτίβα της μέσης μέγιστης καλοκαιρινής θερμοκρασίας (TX JJA), της μέσης χειμερινής ελάχιστης θερμοκρασίας (TN DJF), των μέσων χειμερινών (RR DJF) βροχοπτώσεων.

Οι χάρτες στα αριστερά βασίζονται σε δεδομένα CRU και στα δεξιά στο μοντέλο PRECIS.



Μεθοδολογία

Αξιολόγηση του Κλιματικού Μοντέλου- μεμονωμένες τοποθεσίες

Συντάσσουμε τους ετήσιους κύκλους της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης για να εξετάσουμε την ικανότητα του μοντέλου να προσομοιώσει τα παρατηρούμενα περιφερειακά κλιματολογικά χαρακτηριστικά.

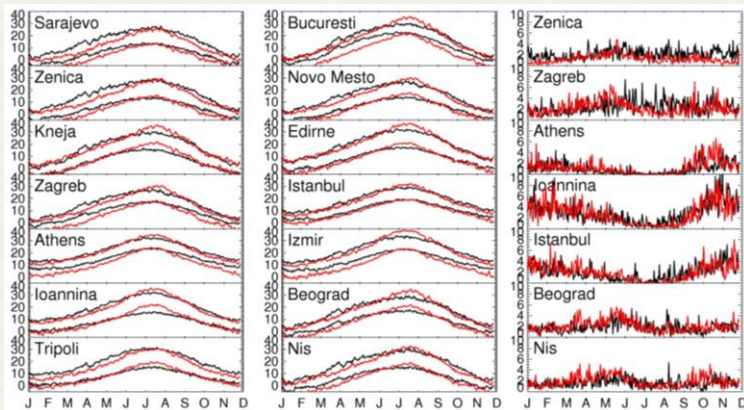
Ο ετήσιος κύκλος της θερμοκρασίας υπολογίστηκε με χρησιμοποιώντας ένα χρονικό παράθυρο 3 ημερών με κέντρο την ημερολογιακή ημέρα. Στη συνέχεια, το αποτέλεσμα εξομαλύνθηκε υπολογίζοντας μία κυβική καμπύλη με παράγοντα εξομάλυνσης (cubic smoothing spline algorithm, Chambers and Hastie, 1992).

Για τη βροχόπτωση ο ετήσιος κύκλος εξετάστηκε για κάθε σταθμό με υπολογισμό της μέσης τιμής 30-ετίας για κάθε ημερολογιακή ημέρα της περιόδου αναφοράς και στη συνέχεια εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο εξομάλυνσης.

Αξιολόγηση μοντέλου - μεμονωμένες τοποθεσίες

TX & TN

RR



— Σταθμοί
— PRECIS

Αναπαράσταση ετήσιων κύκλων

- Οι μέσοι όροι για TX και TN αντιπροσωπεύονται καλά για τους περισσότερους σταθμούς, εκτός από λίγες υποεκτιμήσεις (υπερεκτιμήσεις) στη χειμερινή TN (θερινή TX).
- Οι αποκλίσεις περιορίζονται σε ηπειρωτικούς και μεγάλο υψομέτρου σταθμούς και πιθανώς σχετίζονται με τοπικά φαινόμενα (π.χ. έντονη τοπογραφία επιφάνειας).
- Οι μοντελοποιημένοι ετήσιοι κύκλοι βροχόπτωσης αναπαράγουν την παρατηρούμενη υγρή/ξηρή εποχιακή κατανομή βροχοπτώσεων στις περισσότερες περιπτώσεις. Ωστόσο, για λίγες τοποθεσίες η ημερήσια RR παρουσιάζει συστηματική υποεκτίμηση της προσομοιωμένης βροχόπτωσης από το μοντέλο.

3 Μεθοδολογία

Υπολογισμός τάσεων των κλιματικών μεταβλητών

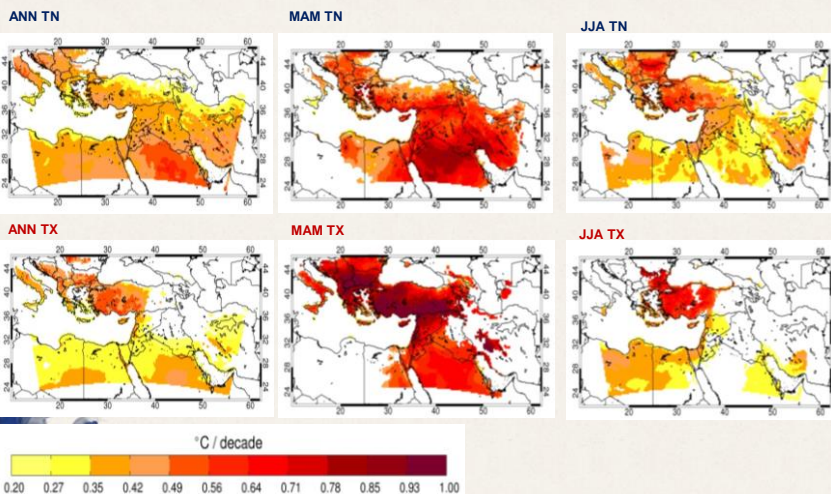
Για τον υπολογισμό των χρονικών τάσεων στις κλιματικές μεταβλητές χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης ελαχίστων τετραγώνων. Ο προσδιορισμός των τάσεων έγινε για περιόδους 30 ετών, υποδεικνύοντας περιφερειακές διαφοροποιήσεις στους ρυθμούς μεταβολής.

Τα μεγέθη της τάσης εκφράζονται ως ρυθμοί μεταβολής ανά δεκαετία και η στατιστική σημαντικότητα αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας τη μη παραμετρική δοκιμή Kendall tau (Kendall, 1970, Hiesel and Hirsch, 1992). Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε ίσο με 0,05 (5%) για τον εντοπισμό στατιστικά σημαντικών τάσεων.

4 Ανάλυση και αποτελέσματα

Υπολογισμός τάσεων των κλιματικών μεταβλητών

Στατιστικά σημαντικές τάσεις (παροντική περίοδος: 1961-1990)



Η γραμμική τάση των 30 ετών προσδιορίστηκε για κάθε σημείο του πλέγματος και χρησιμοποιήθηκε η δοκιμή Kendall-tau για την εκτίμηση της στατιστικής σημασίας των τάσεων.

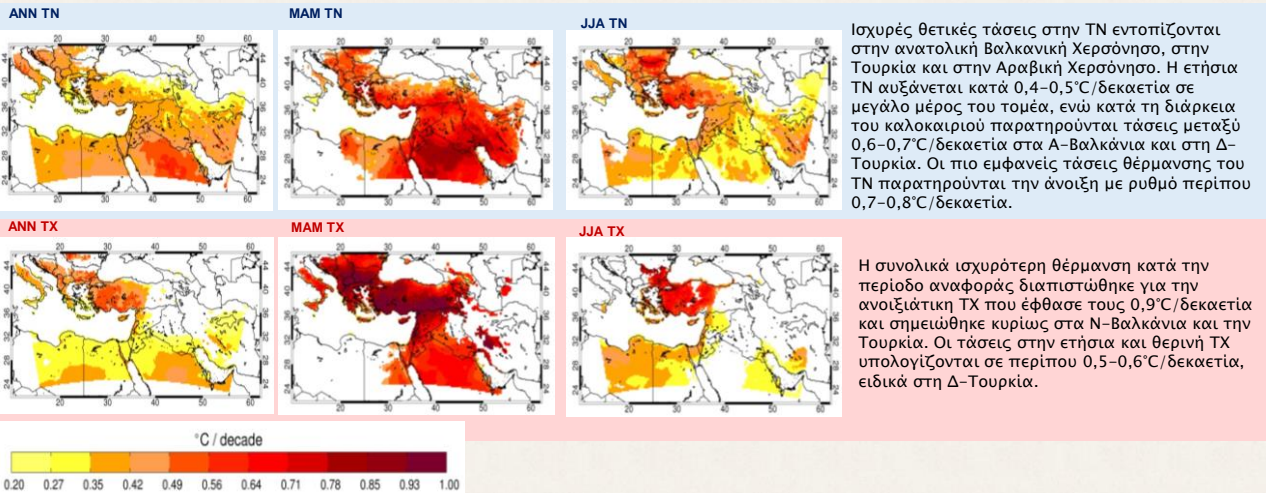
Μόνο τα σημεία με στατιστικά σημαντικές τάσεις χρωματίζονται

Κάποια συμπεράσματα στην επόμενη διαφάνεια...

4 Ανάλυση και αποτελέσματα

Υπολογισμός τάσεων των κλιματικών μεταβλητών

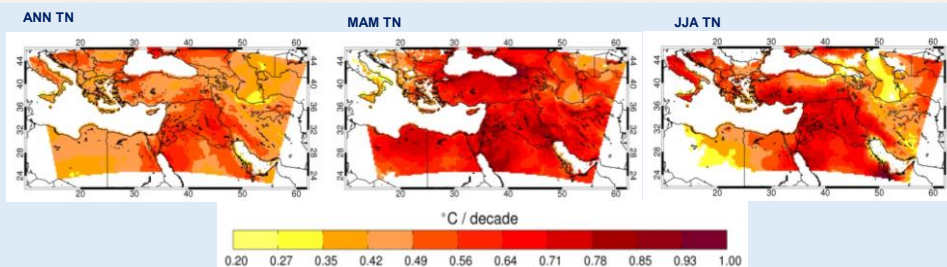
Στατιστικά σημαντικές τάσεις (παροντική περίοδος: 1961-1990)



4 Ανάλυση και αποτελέσματα

Υπολογισμός τάσεων των κλιματικών μεταβλητών

Στατιστικά σημαντικές τάσεις (μελλοντική περίοδος: 2070-2099)

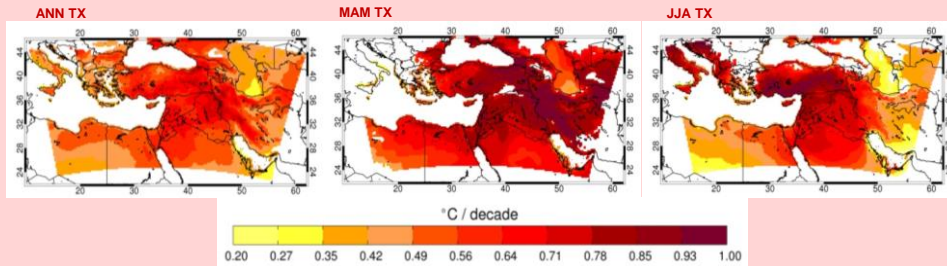


- Οι τάσεις βρέθηκαν θετικές σε όλες τις περιπτώσεις και στατιστικά σημαντικές σε ολόκληρη σχεδόν την περιοχή μελέτης. Ισχυρές θετικές τάσεις στην TN εντοπίζονται στην ανατολική Βαλκανική Χερσόνησο, στην Τουρκία και στην Αραβική Χερσόνησο.
- Η ετήσια TN αυξάνεται κατά 0,4–0,6°C /δεκαετία σε μεγάλο μέρος του τομέα, ενώ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού εντοπίζονται τάσεις μεταξύ 0,6–0,8°C /δεκαετία στα Ε-Βαλκάνια, την Ελλάδα και τη Δ-Τουρκία.
- Οι πιο εμφανείς τάσεις θέρμανσης της TN παρατηρούνται την άνοιξη με ρυθμό περίπου 0,7–0,8°C /δεκαετία.

4 Ανάλυση και αποτελέσματα

Υπολογισμός τάσεων των κλιματικών μεταβλητών

Στατιστικά σημαντικές τάσεις (μελλοντική περίοδος: 2070-2099)



- Οι τάσεις της ετήσιας TX υπολογίζονται σε περίπου 0,5 και 0,6°C /δεκαετία ειδικά στη Δ-Τουρκία.
- Σε συμφωνία με τα ευρήματα για την περίοδο αναφοράς, οι προβλέψεις του μοντέλου υποδηλώνουν εξέχουσες τάσεις θέρμανσης κατά τη μελλοντική περίοδο την εαρινή TX που φθάνουν τους 0,9°C /δεκαετία κυρίως στην Τουρκία και στην E-EMME.
- Όσον αφορά το καλοκαίρι, τη TX E-Βαλκάνια και η N-Τουρκία εκτιμάται ότι θα παρουσιάσουν θέρμανση έως και 0,9°C /δεκαετία.

3 Μεθοδολογία

Υπολογισμός δεικτών ακραίων κλιματικών γεγονότων

Για να εκτιμήσουμε τις αλλαγές στις ακραίες κλιματικές συνθήκες στην περιοχή EMME, υπολογίζονται **κλιματικοί δείκτες** και εκφράζονται ως ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες μια τιμή θερμοκρασίας ή βροχόπτωσης πέφτει πάνω ή κάτω από ένα ορισμένο όριο.

Οι δείκτες ορίζονται από την Ομάδα Εμπειρογνομώνων για την Ανίχνευση και τους Δείκτες της Κλιματικής Αλλαγής (Expert Team on Climate Change Detection and Indices, ETCCDI, Karl et al., 1999; Peterson, 2005; Klein Tank et al., 2009).

Ειδικότερα, οι συνθήκες θέρμανσης εκφράζονται με τον αριθμό των «θερμών» ημερών, ο οποίος καθορίζει τον ετήσιο αριθμό ημερών με $TX > 25^{\circ}\text{C}$. Ο αριθμός των «πολύ θερμών» ημερών ορίζεται ως εκείνων με $TX > 35^{\circ}\text{C}$ και ο αριθμός των «τροπικών» νυχτών είναι ημέρες ανά έτος με $TN > 20^{\circ}\text{C}$. Ο αριθμός των ημερών παγετού ορίζεται από ημέρες με $TN < 0^{\circ}\text{C}$.

Όσον αφορά τη βροχόπτωση χρησιμοποιούμε τον μέσο αριθμό ημερών (αριθμός υγρών ημερών) με $RR > 1,0 \text{ mm}$, και η έντονη βροχόπτωση ορίζεται από τον ετήσιο αριθμό ημερών με $RR > 10 \text{ mm}$

(μια πλήρης περιγραφή των δεικτών παρέχεται στη διεύθυνση http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml).

3 Μεθοδολογία

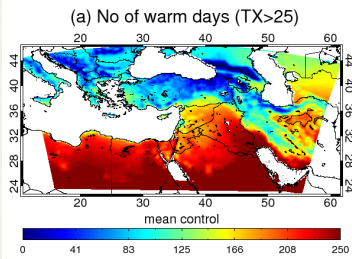
Ακραία Κλιματικά Γεγονότα – Δείκτες

Δείκτες (αριθμός ημερών)	Ορισμός
Θερμές ημέρες (<i>warm days</i>)	Ημερήσια $T_{max} > 25^{\circ} C$
Πολύ θερμές ημέρες (<i>hot days</i>)	Ημερήσια $T_{max} > 35^{\circ} C$
Ημέρες παγετού (<i>frost nights</i>)	Ημερήσια $T_{mix} < 0^{\circ} C$
Τροπικές νύχτες (<i>tropical nights</i>)	Ημερήσια $T_{mix} > 20^{\circ} C$
Υγρές ημέρες (<i>wet days</i>)	Ημερήσια $RR > 1.0 \text{ mm}$
Ημέρες με ισχυρή βροχόπτωση (<i>heavy precip. days</i>)	Ημερήσια $RR > 10.0 \text{ mm}$

5 Ανάλυση και αποτελέσματα

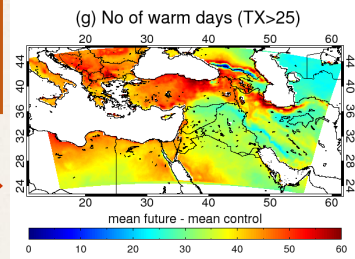
Διαφορές στους κλιματικούς δείκτες:
μέλλον - παρόν

Κλιματικοί δείκτες 1961-1990



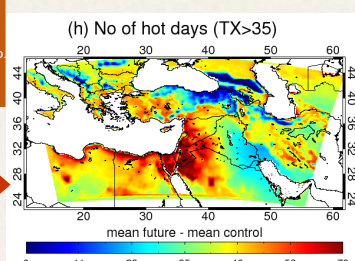
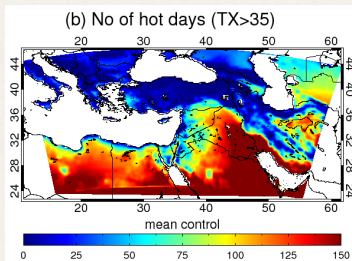
Ο ετήσιος αριθμός ημερών με $TX > 25^{\circ} C$ κυμαίνεται από 1 μήνα (σε αραιές περιοχές) έως 3 μήνες στη Β-EMME, ενώ στη Ν-EMME τα 2/3 του έτους μπορούν να θεωρηθούν ως θερμές μέρες

Ο αριθμός των θερμών ημερών αυξάνεται ιδιαίτερα στη Β-EMME κατά 50-60 επιπλέον ημέρες/έτος μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα



Πολύ θερμές ημέρες 30-50 ημέρες/έτος σε περιοχές χαμηλού υψόμετρου της Β-EMME και λιγότερο από ένα μήνα σε περιοχές με υψόμετρο. Στη Ν-EMME είναι συχνές και έως και 5 μήνες/έτος (περιοχή Κόλπου)

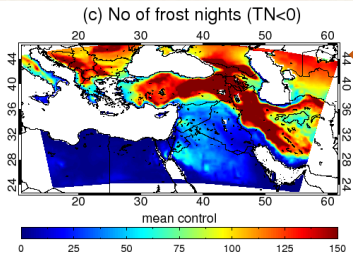
Οι χαμηλές και παράκτιες περιοχές στη Β-EMME θα έχουν 1-2 επιπλέον μήνες με $TX > 35^{\circ} C$, ενώ η Ν-EMME αναμένεται να αντιμετωπίσουν σοβαρές θερμές συνθήκες με 2 επιπλέον μήνες πολύ θερμές ημέρες/έτος



5 Ανάλυση και αποτελέσματα

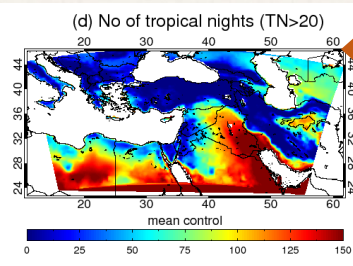
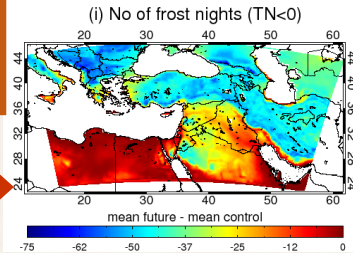
Διαφορές στους κλιματικούς δείκτες: μέλλον - παρόν

Κλιματικοί δείκτες 1961-1990



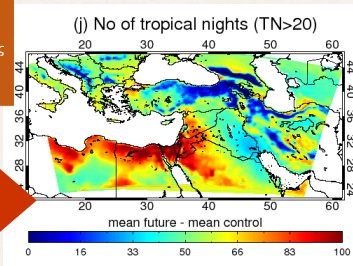
Οι ηπειρωτικές (> 36°B) και οι περιοχές μεγάλου υψόμετρου βιώνουν έως και 150 ημέρες παγετού/έτος, ενώ στα νότια ο ετήσιος αριθμός ημερών παγετού δεν υπερβαίνει τις 20 ημέρες/έτος

Ο αριθμός των ημερών παγετού μειώνεται κατά 1-2 μήνες, με λιγότερες ημέρες παγετού/έτος (σε ηπειρωτικές και μεγάλοι υψόμετρου τοποθεσίες μεγάλοι πλάτους)



Οι τροπικές νύχτες (TN>20°C) είναι σπάνιες (έως 1 μήνα/έτος) στη B-EMME, ενώ στο νότο εμφανίζονται συνήθως 1-2 μήνες και περισσότερο από 3 μήνες/έτος γύρω από τον Περσικό Κόλπο

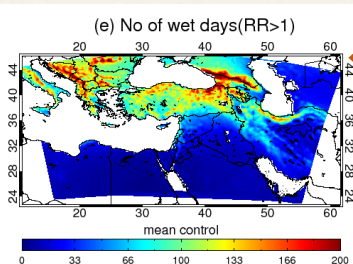
1-2 επιπλέον μήνες τροπικών νυχτών/έτος στο βορρά και 3 επιπλέον μήνες στη N-EMME μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα



5 Ανάλυση και αποτελέσματα

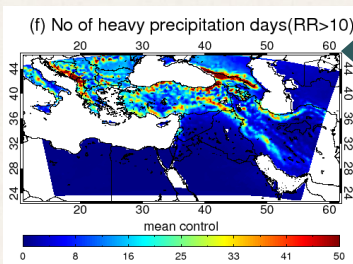
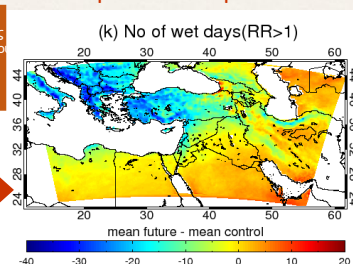
Διαφορές στους κλιματικούς δείκτες: μέλλον - παρόν

Κλιματικοί δείκτες 1961-1990



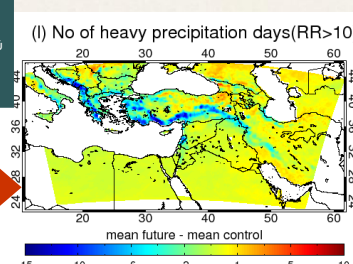
Ο αριθμός των υγρών ημερών κυμαίνεται από 200 ημέρες/έτος σε μεγάλα υψόμετρα και περίπου 100 ημέρες/έτος στη B-EMME έως λιγότερες από 40 ημέρες/έτος σε N-EMME

Στη B-EMME ο αριθμός των υγρών ημερών μπορεί να μειωθεί κατά 10-30 ημέρες/έτος



Στη Δ-Βαλκανική και περιοχές με υψόμετρο σημειώνονται ισχυρές βροχοπτώσεις το πολύ 40-50 ημέρες/έτος. Οι ημέρες έντονων βροχοπτώσεων είναι ασυνήθιστες στη N-EMME

Στη B-EMME ο αριθμός των ημερών με έντονη βροχόπτωση είναι πιθανό να μειωθεί στις περιοχές με υψόμετρο κατά 15 ημέρες/έτος μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα



5 Συμπεράσματα

- Τα αποτελέσματα που βασίζονται στο μοντέλο PRECIS υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας στην περιοχή EMME περίπου 0,5–0,6°C/δεκαετία, η οποία προβλέπεται να συνεχιστεί στο μέλλον.
- Οι τάσεις της θέρμανσης εντοπίζονται σε ετήσια και εποχιακές ημερήσιες TX και TN, με τις εαρινές θερμοκρασίες να αυξάνονται με ταχύτερο ρυθμό.
- Προς ένα θερμότερο και ξηρότερο κλίμα στην EMME, τα αποτελέσματα του PRECIS υποδηλώνουν αύξηση των θερμών, πολύ θερμών ημερών και των τροπικών νυχτών.
- Η προβλεπόμενη αύξηση της TX είναι πιο γρήγορη στο βόρειο τμήμα της EMME, με έως και δύο μήνες επιπλέον ζεστές ημέρες/έτος μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα.
- Αντίθετα, οι ημέρες παγετού και υγρές ημέρες προβλέπεται να μειωθούν.

5 Συμπεράσματα

Η αναμενόμενη ταχεία θέρμανση στο EMME τον 21ο αιώνα, σε συνδυασμό με μια γενική τάση ξήρανσης και η μεγαλύτερη συχνότητα ακραίων κλιματικών φαινομένων μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις

Η οικονομία της περιοχής είναι ιδιαίτερα ευάλωτη λόγω του φάσματος των πιθανών επιπτώσεων



Άμεσες επιπτώσεις στην οικονομία

(γεωργία, τουρισμός και ενεργειακά συστήματα)

Κοινωνικές επιπτώσεις

(επιδείνωση της ποιότητας του αέρα, ανθρώπινη υγεία, εξάπλωση ασθενειών που μεταδίδονται με φορείς)

Έμμεσες επιπτώσεις

(διαθεσιμότητα γλυκού νερού, απώλεια βιοποικιλότητας - χερσαία και θαλάσσια οικοσυστήματα)