

Εκτίμηση μελλοντικών κλιματικών αλλαγών με υπολογισμό κλιματικών δεικτών στα νησιά του βορειοανατολικού Αιγαίου

Κωστοπούλου Ε., Μπερτσουκλή Μ. και Κίζος Α.

*Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Λόφος Πανεπιστημίου, Μυτιλήνη 81100, Ελλάδα,
ekostopoulou@aegean.gr*

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη έχει σαν στόχο να ερευνήσει πιθανές μεταβολές στο κλίμα των νησιών του Βορειοανατολικού Αιγαίου, που ενδέχεται να επηρεάσουν οικονομικούς τομείς της περιοχής όπως η γεωργία και ο τουρισμός. Για την πραγματοποίηση της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης του περιφερειακού κλιματικού μοντέλου KNMI-RACMO2, σε σημεία (κόμβους) που αντιστοιχούν στα νησιά του Βορειοανατολικού Αιγαίου, για τη χρονική περίοδο 1950-2100. Ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης εκτιμήθηκαν με τη χρήση δεικτών και επίσης υπολογίστηκαν οι τάσεις των δεικτών σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.1$, με στόχο την εκτίμηση μελλοντικών ακραίων κλιματικών συνθηκών στην περιοχή μελέτης. Συνολικά, η μελέτη παρουσιάζει ενδεχόμενη αύξηση στις μέσες, μέγιστες και ελάχιστες μηνιαίες θερμοκρασίες και μείωση των βροχοπτώσεων, με ιδιαίτερα σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του θέρους. Οι σχετιζόμενοι με τη θερμοκρασία κλιματικοί δείκτες παρουσίασαν τάσεις προς θερμότερες συνθήκες. Παρατηρήθηκε έντονη αύξηση στην εμφάνιση θερμών και πολύ θερμών ημερών, καθώς και των θερμών νυχτών. Αντίθετα, οι δροσερές νύχτες και οι ψυχρές ημέρες τείνουν να μειωθούν σημαντικά. Όσον αφορά στους δείκτες της βροχόπτωσης δεν εξήχθησαν σαφή συμπεράσματα, γεγονός που θεωρείται ότι οφείλεται στις επιδράσεις που δέχεται η βροχόπτωση από τους ιδιαίτερους τοπικούς παράγοντες κάθε περιοχής. Ενώ γενικά, οι μέσες μηνιαίες και ετήσιες βροχοπτώσεις τείνουν να μειωθούν την περίοδο 2050-2100, παρατηρήθηκε ανοδική τάση στις ισχυρές βροχοπτώσεις στο μέλλον, καταδεικνύοντας μεταβολές της μέγιστης ποσότητας του νερού που κατακρημνίζεται σε σύντομο χρονικό διάστημα (εντός τριών συνεχών ημερών) κατά τη διάρκεια του έτους. Η αυξητική τάση αυτής της παραμέτρου, που συνδυάζεται με παράλληλη μείωση της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης, συνεπάγεται ότι αναμένονται περισσότερες και πιο ραγδαίες βροχοπτώσεις στο μέλλον. Νέα πρότυπα βροχόπτωσης ενδέχεται να προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις στην περιοχή μελέτης, που σχετίζονται με ακραίες βροχοπτώσεις, όπως ξηρασίες, αλλά και πλημμυρικά φαινόμενα.

Assessment of future climate change based on the calculation of climate indices on the islands of the northeastern Aegean

Kostopoulou E., Mpertsokli M. and Kizos, A.

*Department of Geography, University of the Aegean, University Hill, Mytilene 81100, Greece,
ekostopoulou@aegean.gr*

Abstract

The present study aims to investigate possible climate changes in the islands of the North Aegean region, which may affect economic sectors of the region, such as agriculture and tourism. The study used daily temperature and precipitation data of the regional climate model KNMI-RACMO2, at specific grid points corresponding to the islands of the North Aegean, for the period 1950-2100. Temperature and precipitation climate extremes indices were calculated and their trends were estimated at a significance level of $\alpha = 0.1$, to project future extreme climatic conditions in the study area. Overall, the study reveals a potential increase in the average, maximum and minimum monthly temperatures and decrease in precipitation, with a substantial reduction in summer precipitation. The temperature related climatic indices showed a tendency towards warmer conditions. A strong increase in the occurrence of warm days, hot days and hot nights is found. Conversely, cool nights and cold

days tend to be significantly reduced. Regarding precipitation indices, they released contrasting results. While in general, the average monthly and annual rainfall tend to reduce in the period 2050-2100, there was an upward trend in heavy rainfall in the future, showing changes in the maximum quantity of water that precipitates in a short time (within three consecutive days) during the year. The upward trend of this parameter, associated with reduction of the total annual precipitation, indicates the potential of more heavy precipitation events to occur in the future. New precipitation patterns may cause significant impacts in the study area, associated with extreme rainfall, such as droughts and floods.

Λέξεις κλειδιά: ακραία φαινόμενα, βορειοανατολικό Αιγαίο, κλιματικοί δείκτες

Key words: extreme events, northeastern Aegean, climate indices

Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών του 20ου αιώνα, άρχισε να διεξάγεται μία έντονη συζήτηση σχετικά με το αν τα αυξημένα επίπεδα του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα, που προέρχονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, έχουν συμβάλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Η συζήτηση προκάλεσε ισχυρό επιστημονικό ενδιαφέρον με έντονες αντιπαραθέσεις και οδήγησε στην εκπόνηση ποικιλίας μελετών, από денδροχρονολογικές αναλύσεις και παρακολούθηση της έκτασης των παγετώνων έως μελλοντικές κλιματικές προβλέψεις στηριζόμενες σε δεδομένα μοντέλων γενικής κυκλοφορίας. Οι πρόσφατες κλιματικές μελέτες οδηγούν όλο και περισσότερο τους επιστήμονες στο συμπέρασμα ότι το κλίμα του πλανήτη μας δεν μένει το ίδιο. Μεγάλες επιστημονικές οργανώσεις, συμπεριλαμβανομένης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), έχουν δεχτεί ως αναμφισβήτητο την υπερθέρμανση του πλανήτη, γεγονός που οφείλεται, τουλάχιστον εν μέρει, στις ανθρωπογενούς προέλευσης εκπομπές θερμοκηπικών αερίων στην γήινη ατμόσφαιρα.

Σύμφωνα με την νεώτερη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC (2013) η υπερθέρμανση του κλιματικού συστήματος είναι αδιαμφισβήτητη και πολλές από τις παρατηρούμενες αλλαγές από το 1950 έως σήμερα είναι άνευ προηγουμένου, για σειρά δεκαετιών έως χιλιετιών. Η ατμόσφαιρα και οι ωκεανοί έχουν θερμανθεί, τα ποσά του χιονιού και του πάγου έχουν μειωθεί, το επίπεδο της θάλασσας έχει αυξηθεί, και οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου έχουν αυξηθεί. Οι παγκόσμιες μέσες τιμές των θερμοκρασιών ξηράς και θάλασσας παρουσιάζουν μια αύξηση της τάξης των 0.89°C κατά την περίοδο 1901-2012. Όσον αφορά το βόρειο ημισφαίριο, η τριακονταετία 1983-2012 ήταν πιθανόν η θερμότερη περίοδος κατά τα τελευταία 1.400 χρόνια. Κατά την περίοδο 1901-2010, η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας ανέβηκε κατά 0,19m. Στη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών τα παγοκαλύμματα της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής έχουν χάσει μάζα, ενώ οι ορεινοί παγετώνες έχουν συρρικνωθεί σχεδόν σε όλο τον κόσμο. Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια σηματοδεύτηκαν από ασυνήθιστα ακραία φαινόμενα παγκοσμίως, συμπεριλαμβανομένων των ξηρασιών, των ραγδαίων βροχοπτώσεων, των καυσώνων και μεταβολών στη ένταση και συχνότητα των τροπικών κυκλώνων. Σύμφωνα με μια πρόσφατη έρευνα, οι τροπικοί κυκλώνες απομακρύνονται από τον ισημερινό και απειλούν πλέον περιοχές, που είναι εντελώς απροετοίμαστες για ένα τέτοιο καταστροφικό φαινόμενο (Kossin et al. 2014).

Μελέτες της κλιματικής αλλαγής στον ευρύτερο χώρο της Μεσογείου, καταδεικνύουν την τρωτότητα της περιοχής στην αλλαγή του κλίματος του πλανήτη που σχετίζεται με έντονη αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση των βροχοπτώσεων (Giorgi and Lionello 2008; Sheffield and Wood 2008). Οι βροχοπτώσεις στη Μεσόγειο παρουσιάζουν εποχιακή και χωρική μεταβλητότητα κυρίως στις νότιες περιοχές, και διαφαίνεται σημαντικός κίνδυνος για μειωμένα ποσά βροχόπτωσης στο μέλλον (Lionello et al. 2012), και ενδεχόμενες μεταβολές στις τοπικές κατανομές και μείωση στο υδάτινο δυναμικό σε επίπεδα κατώτερα της μέσης κατανάλωσης και σοβαρό κίνδυνο λειψυδρίας (Arnell 2004). Μελέτες δεικτών ακραίων κλιματικών συνθηκών αναφέρουν μεταβολές κυρίως στις θερινές θερμοκρασίες, όπου τόσο οι ελάχιστες αλλά και οι μέγιστες ακραίες θερμοκρασίες παρουσιάζουν σημαντικές αυξητικές τάσεις (Kostopoulou and Jones 2005). Οι δείκτες βροχόπτωσης παρουσιάζουν περιφερειακές αντιθέσεις, με μεγαλύτερα συνολικά ποσά και έντονες βροχοπτώσεις στην κεντρική

Μεσόγειο, αλλά με τάσεις προς ξηρότερες συνθήκες στις ανατολικές και νότιες περιοχές της Μεσογείου (Kostopoulou and Jones 2005). Σχετικές μελέτες έχουν επίσης δείξει ότι η Μεσογειακή ζώνη τείνει να αντιμετωπίσει ένα θερμότερο κλίμα με λιγότερη συνολική βροχόπτωση, αλλά με θετικές τάσεις στα επεισόδια ραγδαίας ημερήσιας βροχόπτωσης (Goubanova and Li 2007; Nastos and Zerefos 2008). Μία πρόσφατη έρευνα (Kostopoulou et al. 2014) παρουσιάζει τις εκτιμήσεις κλιματικού μοντέλου για το μελλοντικό κλίμα στην ανατολική μεσόγειο, όπου εκτιμώνται να παρατηρηθούν έως και δύο επιπλέον μήνες ανά έτος, με μέγιστες θερμοκρασίες άνω των 25°C στο τέλος του 21ου αιώνα. Επίσης εκτιμάται να αυξηθούν οι πολύ θερμές ημέρες (μέγιστη θερμοκρασία >35°C), αλλά και οι τροπικές νύχτες (ελάχιστη θερμοκρασία >20°C). Σε αντίθεση, οι υγρές ημέρες και οι ημέρες παγετού αναμένεται να μειωθούν. Τέτοιες μεταβολές στις κλιματικές συνθήκες μπορεί να επιφέρουν δυσμενείς επιπτώσεις σε πολλούς τομείς της οικονομίας της περιοχής, όπως η γεωργία, ο τουρισμός και ο τομέας της ενέργειας. Επίσης, η αύξηση της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με τη μείωση των διαθέσιμων υδάτινων πόρων ενδεχομένως να οδηγήσει σε αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και τα οικοσυστήματα.

Στην παρούσα εργασία, το ενδιαφέρον εστιάζεται σε τοπική κλίμακα με την ανάλυση χρονοσειρών κλιματικών δεδομένων μοντέλου για κάθε ένα από τα εννέα νησιά του Βορειοανατολικού Αιγαίου (Λέσβος, Λήμνος, Άγιος Ευστράτιος, Χίος, Ψαρά, Οινούσες, Σάμος, Ικαρία, Φούρνοι) με στόχο τη μελέτη των ακραίων κλιματικών φαινομένων στην περιοχή ενδιαφέροντος. Η μελέτη της αλλαγής του κλίματος κατά τις τελευταίες δεκαετίες είναι σημαντική για την εκτίμηση ενδεχόμενων επιπτώσεων από πιθανές μελλοντικές κλιματικές αλλαγές για την αγροτική παραγωγή και γενικότερα της διαχείριση της γης και των φυσικών πόρων (έδαφος, νερό), αλλά και για το σχεδιασμό πολιτικών αντιμετώπισης των σχετιζόμενων κινδύνων σε ζωτικούς οικονομικούς τομείς που για τα νησιά αναφοράς είναι κυρίως ο τουρισμός.

Δεδομένα και μεθοδολογία

Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του περιφερειακού κλιματικού μοντέλου RACMO2, με διακριτική ικανότητα 0.25 μοιρών (25 χιλιομέτρων περίπου), το οποίο αναπτύχθηκε στο Βασιλικό Μετεωρολογικό Ινστιτούτο της Ολλανδίας (KNMI). Το περιφερειακό κλιματικό μοντέλο RACMO2 (Meijgaard et al. 2008) βασίζεται στο παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο ECHAM5-r3 (GCM), χρησιμοποιεί κατά την κατακόρυφη διεύθυνση 40 κατακόρυφα επίπεδα και εκτείνεται σε οριζόντιο πλέγμα 95 × 85 μοιρών (γεωγραφικού πλάτους × γεωγραφικού μήκους). Τα δεδομένα καλύπτουν συνολικά μία χρονική περίοδο 150 ετών (1950-2100) και βασίζεται στο σενάριο εκπομπών A1B της Διακυβερνητικής Επιτροπής του ΟΗΕ (IPCC SRES 2000). Τα κλιματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, αφορούν σε χρονοσειρές ημερήσιων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης για καθένα από τα νησιά του Β.Α. Αιγαίου. Αρχικά από το κλιματικό μοντέλο εξήχθησαν 5 κόμβοι με δεδομένα γύρω από κάθε θέση μελέτης, που ορίστηκε ως η γεωγραφική θέση της πρωτεύουσας κάθε νησιού. Πραγματοποιήθηκε ένας βασικός έλεγχος αξιοπιστίας των δεδομένων του μοντέλου (όπου υπήρχαν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα σταθμών) και τελικά για κάθε θέση προχωρήσαμε σε περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων ενός μόνο κόμβου, του πλησιέστερου στη θέση μελέτης. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα μοντέλα εμπεριέχουν κάποιο ποσοστό αβεβαιότητας, που πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη στις εκτιμήσεις των κλιματικών παραμέτρων. Ειδικά για τον ελλαδικό χώρο, η ορογραφία και η επίδραση της θάλασσας επηρεάζουν σημαντικά το κλίμα και δεν παραμετροποιούνται με ακρίβεια από τα κλιματικά μοντέλα.

Για τη μελέτη των ακραίων κλιματικών φαινομένων έχουν υπολογιστεί μια σειρά από κλιματικούς δείκτες, με βάση τις ημερήσιες χρονοσειρές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης, για τα εννέα νησιά του Β.Α. Αιγαίου και παρατηρούνται οι τάσεις μεταβολής τους κατά τη μελλοντική (2050-2100) και την περίοδο αναφοράς (1950-2000). Οι ενδεχόμενες αλλαγές σε αυτούς τους δείκτες μπορούν να ασκήσουν σημαντικές επιδράσεις σε ιδιαίτερους τομείς της κοινωνίας και της διαχείρισης της γης και των οικοσυστημάτων.

Για παράδειγμα σημαντικός για τη γεωργία είναι ο δείκτης FD0, που δίνει τις μέρες που παρουσιάζεται παγετός. Παγετός δημιουργείται όταν η ελάχιστη θερμοκρασία της μέρας είναι μικρότερη από 0°C. Τόσο η γεωργία, όσο και ο τομέας του τουρισμού, αλλά επίσης και η δημόσια υγεία και ο τομέας της ενέργειας επηρεάζονται από υψηλές θερμοκρασίες. Ο δείκτης TR20 δίνει τις Τροπικές νύχτες, στις οποίες η ελάχιστη θερμοκρασία είναι πάνω από 20°C. Ο δείκτης SU25 δίνει τις θερινές μέρες ή αλλιώς μέρες καλοκαιρίας. Τέτοιες μέρες χαρακτηρίζονται αυτές που η μέγιστη θερμοκρασία τους ξεπερνά τους 25°C. Ο δείκτης HD30 δίνει τις πολύ θερμές ημέρες, δηλαδή τις ημέρες που η μέγιστη θερμοκρασία ξεπερνά τους 30°C. Ο Πίνακας 1 συνοψίζει τους οκτώ δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία και παρουσιάζει τους ορισμούς και τους συμβολισμούς τους. Όλοι οι δείκτες αντιστοιχούν σε αριθμό ημερών, που πληρούν το κριτήριο του δείκτη.

Πίνακας 1: Οι κλιματικοί δείκτες που μελετούνται στην παρούσα εργασία.

Σύμβολο δείκτη	Όνομα δείκτη	Ορισμός δείκτη	Μονάδες
FD0	Ημέρες παγετού (Frost days)	Ημέρες όπου η ελάχιστη θερμοκρασία (TN) είναι $\leq 0^{\circ}\text{C}$	Ημέρες
TR20	Τροπικές νύχτες (Tropical nights)	Ημέρες όπου η ελάχιστη θερμοκρασία (TN) είναι $\geq 20^{\circ}\text{C}$	Ημέρες
HD30	Πολύ θερμές ημέρες (Hot days)	Ημέρες όπου η μέγιστη θερμοκρασία (TX) είναι $\geq 30^{\circ}\text{C}$	Ημέρες
SU25	Θερινές ημέρες (Summer days)	Ημέρες όπου η μέγιστη θερμοκρασία (TX) είναι $\geq 25^{\circ}\text{C}$	Ημέρες
TNQ10	Ψυχρές νύχτες (Cool nights)	Ημέρες όπου η ελάχιστη θερμοκρασία (TN) είναι \leq του 10ου εκατοστημορίου	Ημέρες
TXQ90	Θερμές ημέρες (Warm days)	Ημέρες όπου η μέγιστη θερμοκρασία (TX) είναι \geq του 90ου εκατοστημορίου	Ημέρες
PQ10	Ασθενείς βροχοπτώσεις	Μέρες όπου η βροχόπτωση είναι \leq του 10ου εκατοστημορίου	Ημέρες
PQ90	Ισχυρές βροχοπτώσεις	Ημέρες όπου η βροχόπτωση είναι \geq του 90ου εκατοστημορίου	Ημέρες

Οι παραπάνω δείκτες υπολογίστηκαν σε ετήσια βάση για τις δύο μελετώμενες περιόδους, για την παροντική '1950-2000' και τη μελλοντική '2050-2100' κλιματική κατάσταση. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων γίνεται με τον υπολογισμό της γραμμικής τάσης κάθε δείκτη για κάθε μία από τις δύο περιόδους. Για να υπολογίσουμε τη γραμμική τάση εφαρμόστηκε η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε έλεγχος για την στατιστική σημαντικότητα της τάσης του κάθε δείκτη, υπολογίζοντας την τιμή του τυπικού σφάλματος της εκτίμησης (Std Error). Το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης είναι ένα μέτρο διασποράς των σημείων γύρω από την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων και το περιθώριο σφάλματος μπορεί ορίσει το επιθυμητό επίπεδο εμπιστοσύνης. Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε το 90% επίπεδο εμπιστοσύνης και έτσι ορίζεται ως στατιστικά σημαντική κάθε τάση όπου εμφανίζει τιμή $\alpha \leq$ του 0.1. Στην ακόλουθη ενότητα περιγράφονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών των τάσεων και παρατίθεται εικόνα που συνοψίζει χωρικά τα σημαντικότερα ευρήματα των τάσεων των ακραίων κλιματικών δεικτών στο Β.Α. Αιγαίο, για τις δύο μελετώμενες χρονικές περιόδους.

Ανάλυση των κλιματικών δεικτών

Ο δείκτης FD0 εκτιμά τις ημέρες όπου η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία είναι μικρότερη από 0°C, δηλαδή τα επεισόδια μερικού παγετού. Ο συγκεκριμένος δείκτης δεν φαίνεται να είναι ιδιαίτερα σημαντικός στην περιοχή μελέτης και από πλευράς στατιστικής σημαντικότητας των τάσεων των δεικτών, στο παρόν κλίμα μόνο για τη Σάμο οι τιμές του βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές. Γενικά, η τάση του δείκτη είναι αρνητική στο παρόν

(1950-2000), αλλά και στο μέλλον (2050-2100), υποδηλώνοντας ελάττωση στον αριθμό ημερών που παρατηρούνται επεισόδια παγετού.

Ο δείκτης TR20 υπολογίζει τις Τροπικές νύχτες δηλαδή, τις νύχτες στις οποίες η ελάχιστη θερμοκρασία ξεπερνά τους 20°C. Παρατηρείται θετική τάση στο δείκτη για όλα τα νησιά σε παρόν και μέλλον (εκτός από τον Άγιο Ευστράτιο). Οι τάσεις του δείκτη βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές για την παροντική περίοδο στη Χίο και τη Σάμο, και σε όλα νησιά (με μόνη εξαίρεση τα Ψαρά) για τη μελλοντική περίοδο. Συγκεκριμένα, παρατηρείται αύξηση με ρυθμό από 1 έως 2,4 ημέρες ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2000, με το μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης να παρατηρείται στα νησιά της Χίου και Σάμου. Μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός αύξησης των τροπικών νυχτών για την περίοδο 2050-2100, όπου κυμαίνεται από 6 έως 9,4 περισσότερες ημέρες ανά δεκαετία.

Ο δείκτης HD30 δίνει τις πολύ θερμές ημέρες, που ορίζονται ως οι ημέρες που η μέγιστη θερμοκρασία ξεπερνά τους 30°C. Παρατηρείται επίσης θετική τάση του δείκτη, δηλαδή ο αριθμός των θερμών ημερών το έτος αυξάνεται, ιδιαίτερα για τη μελλοντική περίοδο. Οι τιμές είναι στατιστικά σημαντικές για την περίοδο 1950-2000 για τη Χίο και τη Λήμνο, με ρυθμό αύξησης 2,5 και 2,3 ημέρες ανά δεκαετία αντίστοιχα. Αναφορικά με τη μελλοντική περίοδο, όλα τα νησιά παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές τάσεις και ο ρυθμός αύξησης των πολύ θερμών ημερών κυμαίνεται μεταξύ 0,9 και 6,2 περισσότερες ημέρες ανά δεκαετία.

Ο δείκτης SU25 υπολογίζει τον αριθμό θερινών ημερών ή αλλιώς ημερών καλοκαιρίας. Τέτοιες ημέρες χαρακτηρίζονται εκείνες που η μέγιστη θερμοκρασία τους ξεπερνά τους 25°C. Παρατηρείται μία σαφής θετική τάση στον αριθμό των θερινών ημερών στο παρόν, αλλά με ιδιαίτερο ρυθμό αύξησης στο μέλλον. Η στατιστική σημαντικότητα της τάσης περιορίζεται όμως, μόνο στον Άγιο Ευστράτιο για την περίοδο 1950-2000 (της τάξης των 2 ημερών ανά δεκαετία), ενώ για το σύνολο των νησιών παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές τάσεις στο μέλλον. Για τη μελλοντική περίοδο, ο ρυθμός αύξησης των ημερών καλοκαιρίας κυμαίνεται από 3,9 έως 8,7 μέρες ανά δεκαετία.

Ο δείκτης TNQ10, υπολογίζει τον αριθμό των ημερών που η ελάχιστη θερμοκρασία καταγράφηκε ως μικρότερη του 10ου εκατοστημορίου. Με άλλα λόγια ορίζει τις νύχτες που θεωρούνται δροσερές το καλοκαίρι και ψυχρές το χειμώνα. Η τάση του δείκτη στη Χίο είναι η μοναδική που βρέθηκε στατιστικά σημαντική για την παροντική περίοδο, ενώ στατιστικά σημαντικές βρέθηκαν οι τάσεις σε όλα τα νησιά για τη μελλοντική περίοδο. Για την πενήνταετία 1950-2000, παρατηρείται μείωση των ψυχρών νυχτών με ρυθμό μείωσης -1, -2 μέρες ανά δεκαετία στη Χίο, ενώ στην περίοδο 2050-2100, ο ρυθμός μείωσης των ψυχρών νυκτών κυμαίνεται από -1,7 μέρες έως και -2 ημέρες ανά δεκαετία. Η μείωση των ψυχρών νυκτών αποτελεί επίσης ένδειξη μετάβασης της περιοχής μελέτης σε ένα θερμότερο μέλλον.

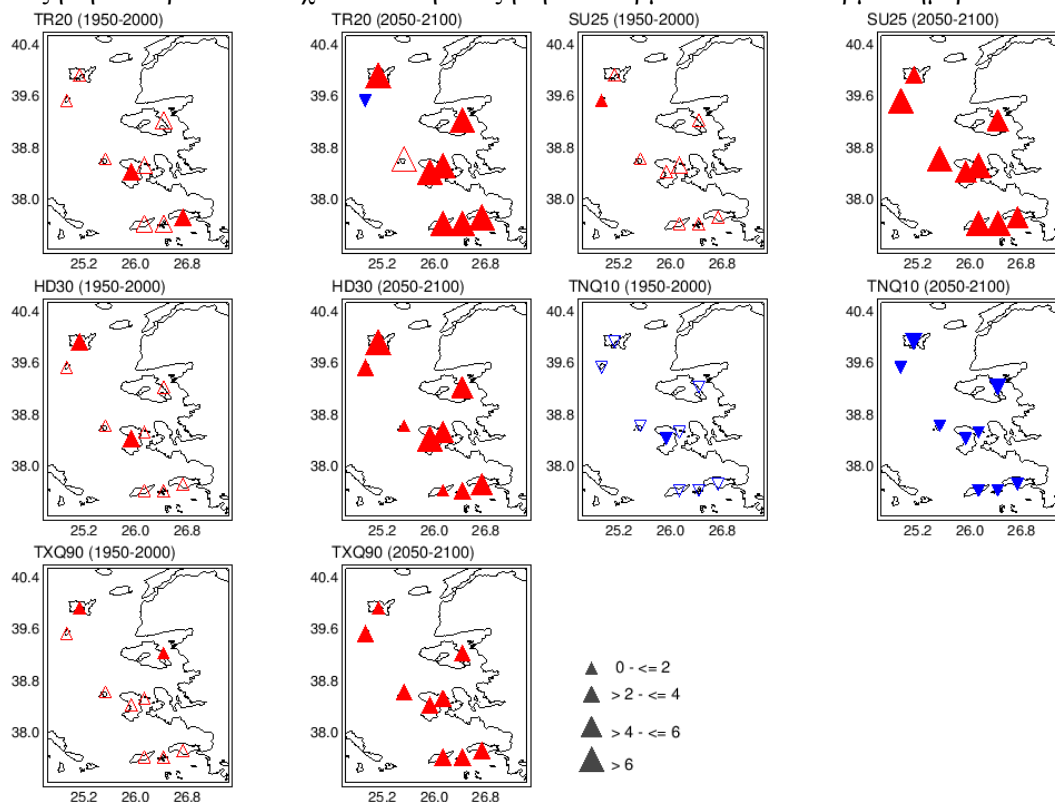
Ο δείκτης TXQ90, υπολογίζει τον αριθμό των ημερών που η μέγιστη θερμοκρασία καταγράφηκε ως μεγαλύτερη του 90ου εκατοστημορίου και αντιστοιχεί στις πολύ θερμές ημέρες. Βρέθηκαν μικρές ανοδικές τάσεις του δείκτη στο παρόν, που ωστόσο δείχνουν να αυξάνουν στη μελλοντική περίοδο. Στατιστικά σημαντική είναι η τάση του δείκτη στη Λέσβο και τη Λήμνο στο παρόν με ρυθμό αύξησης 1,4 μέρες ανά δεκαετία, ενώ για το μέλλον οι τάσεις σε όλες τις μελετώμενες θέσεις εκτιμήθηκαν ως στατιστικά σημαντικές, με το ρυθμό αύξησης να κυμαίνεται από 2,3 έως 3,3 μέρες ανά δεκαετία.

Ο δείκτης PQ10, υπολογίζει τον αριθμό των ημερών με καταγραφή μικρότερη του 10ου εκατοστημορίου της ολικής ετήσιας βροχόπτωσης και αντιστοιχεί στις ασθενείς βροχοπτώσεις. Οι τάσεις του δείκτη βρέθηκαν θετικές τόσο για την περίοδο 1950-2000 όσο και για την περίοδο 2050-2100, για την τελευταία ωστόσο οι τιμές των τάσεων εξασθενούν σημαντικά. Στατιστικά σημαντική βρέθηκε η τάση του δείκτη για τις Οινούσες με ρυθμό της τάξης των 2,8 ημερών ανά δεκαετία στο παρόν, ενώ στο μέλλον δεν υπάρχει καμία στατιστικά σημαντική τάση του δείκτη.

Τέλος ο δείκτης PQ90, υπολογίζει τον αριθμό των ημερών με καταγραφή κατακρημνισμάτων μεγαλύτερη του 90ου εκατοστημορίου της ολικής ετήσιας βροχόπτωσης και χαρακτηρίζει τις ισχυρές βροχοπτώσεις. Αναφορικά με τον συγκεκριμένο δείκτη, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αντίθεση μεταξύ παροντικής και μελλοντικής περιόδου στην κλίση της τάσης. Ενώ οι περισσότερες θέσεις (με μόνη εξαίρεση τον Άγιο Ευστράτιο) εμφανίζουν ελάττωση στα φαινόμενα ακραίας βροχόπτωσης στο παρόν, για το μέλλον εκτιμάται ότι τα φαινόμενα

αυτά θα αυξηθούν. Ωστόσο θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι τάσεις δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές στον έλεγχο στατιστική σημαντικότητας του δείκτη.

Στην Εικόνα 1 συνοψίζονται τα σημαντικότερα ευρήματα των τάσεων των ακραίων κλιματικών δεικτών. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται ανά ζεύγη (παρόν/μέλλον) οι τάσεις για τους δείκτες των Τροπικών νυκτών (TR20), θερινών ημερών (SU25), πολύ θερμών ημερών (HD30) και τέλος των ημερών με ελάχιστη θερμοκρασία μικρότερη του 10ου εκατοστημορίου (TNQ10) και των ημερών με μέγιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη του 90ου εκατοστημορίου (TXQ90). Οι θετικές τάσεις συμβολίζονται με τρίγωνα ανοδικής φοράς κόκκινου χρώματος, ενώ οι αρνητικές τάσεις συμβολίζονται με τρίγωνα καθοδικής φοράς μπλε χρώματος. Το μέγεθος του τριγώνου αντιστοιχεί στο ρυθμό μεταβολής της τάσης σε αριθμό ημερών ανά δεκαετία. Τα γεμάτα χρώμα τρίγωνα υποδεικνύουν τις στατιστικά σημαντικές τάσεις σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.1$. Συνολικά, οι δείκτες αυτοί συνηγορούν στη αλλαγή του κλίματος της περιοχής μελέτης προς θερμότερες συνθήκες προς το τέλος του 21^{ου} αιώνα, όπως φαίνεται από την ελάττωση που παρατηρείται στις ψυχρές νύχτες, την αύξηση των τροπικών νυχτών και την αύξηση των θερμών και πολύ θερμών ημερών.



Εικόνα 1: Οι τάσεις των κλιματικών δεικτών για τις δύο μελετώμενες περιόδους. Τρίγωνα με φορά προς τα επάνω (κάτω), κόκκινου (μπλε) χρώματος δείχνουν θετικές (αρνητικές) τάσεις. Το μέγεθος του τριγώνου αντιστοιχεί στο ρυθμό μεταβολής της τάσης σε αριθμό ημερών ανά δεκαετία. Τα γεμάτα χρώμα τρίγωνα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές τάσεις σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.1$.

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων του περιφερειακού κλιματικού μοντέλου KNMI-RACMO2 που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, μαρτυρούν μια πιθανή εικόνα του μέλλοντος της περιοχής του Βόρειου-Ανατολικού Αιγαίου. Το μοντέλο προβλέπει αύξηση στις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες τόσο στις μέγιστες τιμές όσο και στις ελάχιστες μελλοντικά καθώς και μείωση των βροχοπτώσεων στο μέλλον, με ιδιαίτερα πολύ σημαντική μείωση των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Η θερμοκρασιακή αύξηση στη μέση μηνιαία μέγιστη θερμοκρασία σε πολλές περιοχές όπως στη Σάμο, αναμένεται να ξεπεράσει ακόμα και τους 5°C την περίοδο μετά το 2070. Ωστόσο, επειδή η περιοχή μελέτης είναι νησιωτική οι μεταβολές δεν αναμένονται

ιδιαίτερα μεγάλες, όσο ενδεχομένως θα αναμενόταν στην ηπειρωτική Ελλάδα, καθώς σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του κλίματος διαδραματίζει η επίδραση της θάλασσας. Αναφορικά με τη βροχόπτωση, τα ευρήματα είναι περισσότερο αβέβαια για να εξαχθούν γενικά συμπεράσματα. Σε ότι αφορά τις μέσες μηνιαίες και τις ετήσιες βροχοπτώσεις, παρατηρείται μεγάλη μείωση των βροχοπτώσεων τους θερινούς μήνες, σε σημείο τέτοιο όπου στο μέλλον σχεδόν σε όλα τα νησιά του Β.Α. Αιγαίου κατά την ξηρή περίοδο του έτους οι βροχοπτώσεις να μην ξεπερνούν το 1mm. Σε ότι αφορά τους υγρούς μήνες, προβλέπεται επίσης μείωση στα ύψη της βροχής.

Σχεδόν όλοι οι σχετιζόμενοι με τη θερμοκρασία κλιματικοί δείκτες δείχνουν θετικές τάσεις προς θερμότερες συνθήκες. Υπάρχει έντονη αύξηση στην εμφάνιση θερινών ημερών καθώς και τροπικών νυχτών. Οι δροσερές νύχτες μειώνονται σημαντικά και οι θερμές νύχτες παρουσιάζουν μεγάλη αύξηση. Οι ψυχρές μέρες παρουσιάζουν επίσης αρνητική τάση με τις περισσότερες περιοχές να παρουσιάζουν θετική τάση εμφάνισης θερμών ημερών. Όσον αφορά τους δείκτες βροχόπτωσης, η εικόνα δεν είναι σαφής, γεγονός που θεωρείται ότι οφείλεται στην ίδια τη φύση της βροχόπτωσης, η οποία παρουσιάζει διαφορετική εικόνα από περιοχή σε περιοχή. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι μέσες μηνιαίες και ετήσιες βροχοπτώσεις τείνουν να μειωθούν την περίοδο 2050-2100, ωστόσο οι δείκτες παρουσιάζουν θετική τάση τόσο στις μικρές όσο και στις μεγάλες βροχοπτώσεις, οι οποίες αναμένονται να αυξηθούν στο μέλλον. Παρά το φαινομενικά παράδοξό του, το συμπέρασμα της συγκεκριμένης ανάλυσης, βρίσκεται σε συμφωνία με παρόμοιες μελέτες που έχουν προηγηθεί, γενικά για τον ελλαδικό χώρο, που καταδεικνύουν σε γενικές γραμμές μεταβολές της μέγιστης ποσότητας του νερού που κατακρημνίζεται σε σύντομο χρονικό διάστημα (εντός τριών συνεχών ημερών) κατά τη διάρκεια του έτους. Η αυξητική τάση αυτής της παραμέτρου, που συνδυάζεται με παράλληλη μείωση της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης, συνεπάγεται ότι περισσότερες και πιο ραγδαίες βροχές στο μέλλον.

Οι επιπτώσεις για την αγροτική παραγωγή και τη διαχείριση της γης αναμένεται να είναι σημαντικές, παρόλο που οι σημαντικότερες χρήσεις γης στην περιοχή είναι προσαρμοσμένες σε Μεσογειακές κλιματικές συνθήκες. Οι χρήσεις γης είναι κυρίως μόνιμες φυτείες (ελαιώνες, αμπελώνες, μαστιχώνες και εσπεριδοειδή) και φρυγανική βλάστηση που χρησιμοποιείται ως βοσκότοπος για εκτροφή προβάτων και αιγών. Οι τάσεις αναμένεται να αυξήσουν την καταπόνηση των φυτών στη διάρκεια της ξηρής περιόδου και ως αποτέλεσμα να απαιτείται άρδευση στις μη αρδευόμενες χρήσεις και ένταση της άρδευσης στις αρδευόμενες εκτάσεις. Οπότε, η διαχείριση του υδάτινου δυναμικού αναμένεται να αποτελέσει σημαντικό ζήτημα, καθώς είναι ένας πόρος ήδη εν ανεπάρκεια στα περισσότερα νησιά και κυρίως στα μικρότερα και “διεκδικείται” και από τουριστικές και αστικές δραστηριότητες.

Συνοψίζοντας τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης, παρατηρείται συμφωνία με τις προβλέψεις άλλων μελετών που υποστηρίζουν μια τάση προς ένα θερμότερο και ξηρότερο κλίμα στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου και της Ελλάδας, υπό την επιφύλαξη της αβεβαιότητας που εμπεριέχεται στα σύγχρονα κλιματικά μοντέλα. Ωστόσο, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη αξιοποίησης των κλιματικών ερευνών, από τους αρμόδιους φορείς, με σκοπό την υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου προγράμματος προσαρμογής της χώρας στις ενδεχόμενες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Ευχαριστίες

Οφείλουμε ευχαριστίες στον Δρ. Χρήστο Γιαννακόπουλο, Κύριο Ερευνητή στο Ινστιτούτο Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για την παροχή των δεδομένων του Περιφερειακού κλιματικού μοντέλου.

Βιβλιογραφία

- Arnell N.W., 2004. Climate change and global water resources: SRES emissions and socio economic scenarios, *Global Environmental Change*, 14, 31–52.
- Giorgi F. and Lionello P., 2008. Climate change projections for the Mediterranean region, *Global and Planetary Change*, 63, 90–104.

- Goubanova K. and Li L., 2007. Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensemble of future climate scenario simulations, *Global and Planetary Change*, 57, 27–42.
- IPCC SRES, 2000. Nakićenović N. and Swart R. (Eds.), *Special Report on Emissions Scenarios: A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, UK, 570 pp.
- IPCC 2013: *Climate Change, 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Kossin J.P., Emanuel K.A. and Vecchi G.A., 2014. The poleward migration of the location of tropical cyclone maximum intensity, *Nature* 509, 349–352, doi:10.1038/nature13278.
- Kostopoulou E. and Jones P.D., 2005. Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 89, 69-85, doi: 10.1007/s00703-005-0122-2.
- Kostopoulou E., Giannakopoulos C., Hatzaki M., Karali A., Hadjinicolaou P., Lelieveld J. and Lange MA., 2014. Spatio-temporal patterns of recent and future climate extremes in the eastern Mediterranean and Middle East region. *Natural Hazards and Earth System Science*, 14, 1565-1577.
- Lionello P. (Eds.), 2012. *The Climate of the Mediterranean Region: From the Past to the Future*, Amsterdam: Elsevier (Netherlands) 9780124160422, 502p.
- Meijgaard E., van Ulft L.H., van de Berg W.J., Bosveld F.C., van den Hurk B.J.J.M., Lenderink G. and Siebesma A. P., 2008. The KNMI regional atmospheric climate model RACMO, version 2.1, KNMI Technical Report 302, 43 pp. Available from KNMI, Postbus 201, 3730 AE, De Bilt, The Netherlands
- Nastos P.T. and Zerefos C.S, 2008. Decadal changes in extreme daily precipitation in Greece, *Advances in Geosciences*, 16, 55–62, doi: 10.5194/adgeo-16-55-2008.
- Sheffield, J. and Wood, E. F., 2008. Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi scenario, IPCC AR4 simulations, *Climate Dynamics*, 31, 79–105.