

The evolution of the Etesian Winds over the 21st century: Results of CMIP5 model simulations.

Λογοθέτης Ιωάννης¹, Τουρπάλη Κλεαρέτη², Μήσιος Στέργιος³

¹Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

E-mail: ilogothe@physics.auth.gr

²Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

E-mail: tourpali@auth.gr

³Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

E-mail: misios@auth.gr

Abstract The Etesian winds are northern sector winds of the lower atmosphere that flow over the Aegean Sea during summer and early autumn moderating the summer temperatures and regulating the concentration of pollutants in the SE Mediterranean. This study investigates future projections of the Etesian winds and their possible changes using Earth System Model (ESM) simulations available from the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5), under different Representative Concentration Pathways (RCP), namely RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Here we use simulations of four ESMs (MPI-ESM-MR, MPI-ESM-LR, HadGEM2-CC, CanESM2 and GFDL-HIRAM-C360_amip) which provide data for RCPs scenarios. For the detection of days with etesian winds during the summer months of July and August we used the amplitude and the direction of the winds over the Aegean Sea. The models' ability to simulate realistic etesian winds frequency is evaluated using the CMIP5 historical simulations (1950-2005) and comparing results to the ERA-Interim reanalysis and the L-days index according to Karapiperis (1951). Finally we examined the future development and change of the amplitude, frequency and the seasonal dependence of the etesian winds using climate data projections during 2006-2100 according to IPCC scenarios for three periods (2010-2039, 2040-2069 and 2070-2100). Under the RCP2.6 scenario changes in the Etesian days frequency are insignificant, whereas with the RCP4.5 and RCP8.5 our analysis shows an increase in the number of etesian wind days towards the end of the 21st century, especially during the last 30 years.

Keywords: Etesian Winds · Aegean Sea · Climate Future Projection · Earth System Model (ESM) · Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) · Representative Concentration Pathways (RCP)

1. Εισαγωγή

Οι ετησίες άνεμοι είναι άνεμοι του βορείου τομέα που πνέουν στην κατώτερη ατμόσφαιρα στην περιοχή της νοτιοανατολικής Μεσογείου κατά την περίοδο του καλοκαιριού και νωρίς το φθινόπωρο και αποτελούν ένα από τα πλέον μόνιμα συστήματα κυκλοφορίας ανέμου που εντοπίζονται στην περιοχή του Αιγαίου πελάγους (Anagnostopoulou et al., 2013). Η διεύθυνση πνοής των ανέμων ποικίλει

ανάλογα με την περιοχή. Στο κεντρικό και νότιο Αιγαίο εμφανίζουν βόρειες διευθύνσεις, στο βόρειο Αιγαίο πνέουν σε βορειοανατολικές διευθύνσεις και σε βορειοδυτικές διευθύνσεις στις ακτές της νοτιοανατολικής Τουρκίας. Το αίτιο δημιουργίας των ετησίων ανέμων σχετίζεται με την συνοπτική κυκλοφορία μεγάλης κλίμακας (τις χαμηλές πιέσεις στην περιοχή της νοτιοανατολικής Μεσογείου και της υψηλές πιέσεις στα Βαλκάνια και την κεντρική Ευρώπη) (Repapis et al. 1978; Tritakis 1982; Metaxas and Bartzokas 1994; Kallos et al. 1998; Anagnostopoulou et al., 2014). Η δράση των συστημάτων έχει σαν αποτέλεσμα την μεταφορά ψυχρών αερίων μαζών από την Ρωσία και την Κασπία θάλασσα δρώντας έτσι σαν ένα σύστημα εξαερισμού για την λεκάνη του Αιγαίου (Tyrlis et al., 2012). Η περίοδος κορύφωσης του φαινομένου εστιάζεται τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο (Karapiperis 1951; Metaxas and Barzokas 1994; Rourkou et al. 2011). Ως προς την έντασή τους χαρακτηρίζονται ως ασθενείς, μέτριοι και ισχυροί ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να είναι ακόμα και θυελλώδεις. Συνήθως η δράση τους εμφανίζει ημερήσια κύμανση. Η μεγαλύτερη ένταση εντοπίζεται κατά τις μεσημεριανές και απογευματινές ώρες ενώ συνήθως εξασθενούν κατά τις βραδινές ώρες. Αυτή η εναλλαγή είναι αποτέλεσμα της τοπογραφίας της περιοχής και της μεταβολής των συνθηκών ευστάθειας εντός του οριακού στρώματος. Η πνοή των ετησίων ανέμων έχει ως αποτέλεσμα καθαρό ουρανό, χαμηλή σχετική υγρασία, και απουσία υετού (Ζιακόπουλος Δ., 2008). Η μελέτη τους παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς σχετίζονται με τον περιορισμό των φαινομένων καύσωνα κατά τους θερινούς μήνες (Metaxas and Barzokas, 1994), επηρεάζουν τις θαλάσσιες μεταφορές και τον τουρισμό (Koletsis et al. 2009) καθώς επίσης σχετίζονται με τη διασπορά των ρύπων (και την παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων (Rourkou et al. 2011)). Στο παρελθόν έχουν γίνει μια σειρά από μελέτες οι οποίες ασχολήθηκαν με την πνοή των ετησίων ανέμων και την σχέση τους με τον Ινδικό μουςσώνα (Tyrlis et al. 2012), τον μόνιμο αντικυκλώνα των Αζορών (Prezerakos 1994) και την καλοκαιρινή φάση της βόρειας Ατλαντικής κύμανσης (NAO) (Chronis et al. 2011). Στην παρούσα μελέτη έγινε χρήση προσομοιώσεων μοντέλων γήινου συστήματος (ESMs) από την Πέμπτη φάση του προγράμματος CMIP5 με τη χρήση διαφορετικών σεναρίων RCP τα οποία εστιάζουν σε διαφορετικές μεταβολές στην τιμή του κλιματικού εξαναγκασμού μεταξύ των ετών 2100 και 1750. Τα RCP σεναρία που μελετήθηκαν είναι τρία. Το RCP2.6 που αναφέρεται σε πολύ χαμηλό επίπεδο μεταβολής του κλιματικού εξαναγκασμού, το RCP4.5 (σενάριο σταθερότητας εκπομπής θερμοκηπικών αερίων-μετριοπαθές σενάριο) και το RCP8.5 το οποίο αποτελεί το ακραίο σενάριο (υψηλές εκπομπές θερμοκηπικών αερίων). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων ESM τροποποιήθηκαν πλεγματικά έτσι ώστε να είναι δυνατή η στατιστική ανάλυση των ετησίων ανέμων στο Αιγαίο. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση των μεταβολών στην πνοή των ετησίων ανέμων στην νοτιοανατολική Μεσόγειο και ειδικότερα στην λεκάνη του Αιγαίου. Η χρήση μεθόδων downscaling και η μελέτη περιοχικών μοντέλων μπορεί να βοηθήσει στην αποσαφήνιση και την καλύτερη κατανόηση της πιθανής μεταβολής των ετησίων ανέμων για τον 21^ο αιώνα.

2. Δεδομένα και μεθοδολογία

2.1 Δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από κλιματικά μοντέλα γήινου συστήματος (ESM), που είναι διαθέσιμα από την Πέμπτη φάση του προγράμματος σύγκρισης συζευγμένων μοντέλων (CMIP5) και ανακτήθηκαν από το διαδίκτυο και

τις ιστοσελίδες, για τα μοντέλα, <http://pcmdi9.llnl.gov/esgf-web-fe/> και http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/ για τα δεδομένα επανάλυσης ERA-Interim. Τα δεδομένα αναφέρονται σε μέσες ημερήσιες τιμές των δυο συνιστωσών της ταχύτητας του ανέμου (uas – ζωνική και vas – μεσημβρινή συνιστώσα) στα δέκα μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, την επιφανειακή πίεση (psl) και την επιφανειακή θερμοκρασία (tas). Το πλέγμα των μοντέλων που μελετήθηκαν ήταν της τάξης των 100Km×100Km εκτός από το GFDL-HIRAM-C360_amip του οποίου ήταν περίπου 25Km×25Km προσεγγίζοντας καλύτερα το πλέγμα ανάλυσης του ERA-Interim reanalysis dataset. Τα σενάρια που μελετήθηκαν είναι για το παρόν το historical (1950-2005) και για το μέλλον (21^ο αιώνα) τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5. Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν και ο αριθμός των ensemble τους παρουσιάζονται στον πίνακα 1 (table 1). Έγινε χρήση του δείκτη L-Days Index. Ως L days ορίζονται οι ημέρες κατά τις οποίες στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών κατά το μεσημέρι (12 LST) πνέουν άνεμοι N-NE διεύθυνσης (0°-60°) με ταχύτητα μεγαλύτερη ή ίση από 5 m/s για την περίοδο Ιουνίου – Σεπτεμβρίου. Ο δείκτης L-days θεωρήθηκε σαν ένας δείκτης που περιγράφει την πνοή των ετησίων ανέμων στην περιοχή του κεντρικού Αιγαίου (Karapiperis, 1951; Poupkou et al. 2011).

Πίνακας 1. Μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν και ο αριθμός των ensemble ανά μοντέλο για το παρελθόν και το μέλλον.

Μοντέλο/Σενάριο	Historical	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
	Αριθμός ensemble και χρονικοί περίοδοι			
MPI-ESM-MR	3 (1950-2005)	1 (2006-2100)	3 (2006-2100)	1 (2006-2100)
MPI-ESM-LR	3 (1950-2005)	-	2 (2006-2100)	2 (2006-2100)
HadGEM2-CC	2 (1964-2003)	-	3 (2006-2100)	2 (2006-2100)
CanESM2	5 (1979-2005)	-	-	5 (2006-2100)
GFDL-HIRAM-C360_amip	1 (1979-2008)	-	-	-
ERA-Interim	Period 1979-2012	-	-	-

2.2 Μεθοδολογία

Η μελέτη βασίστηκε στην στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων που ανακτήθηκαν από το διαδίκτυο για τα μοντέλα του προγράμματος CMIP5 και των δεδομένων επανάλυσης ERA-



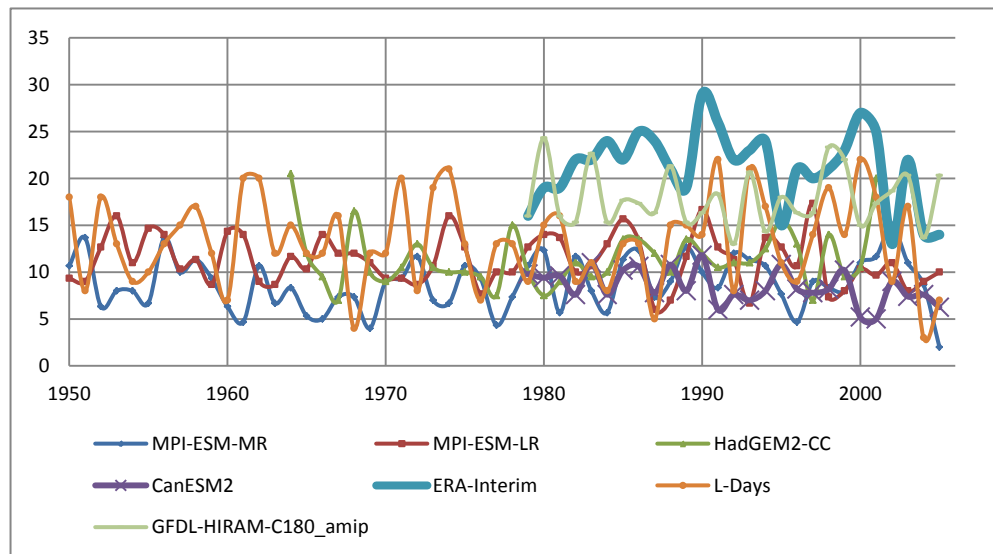
Γράφημα 1. Το σημείο αναφοράς για την μελέτη των ετησίων ανέμων στο Αιγαίο και οι άνεμοι να πνέουν σε NE – N – NW διευθύνσεις στο σημείο με γεωγραφικό πλάτος 37.5°N και γεωγραφικό μήκος 25.0°E (σημείο αναφοράς). Η επιλογή του συγκεκριμένου

δεδομένων επανάλυσης ERA-Interim reanalysis dataset καθώς και του δείκτη L-Days που παραχωρήθηκε από την κ. Πούπκου Α. Το κριτήριο για την κατηγοριοποίηση μιας ημέρας του εκτεταμένου καλοκαιριού (J-A-S) σαν ημέρα που πνέουν ετησίες άνεμοι είναι ότι η μέση ημερήσια ένταση του ανέμου πρέπει να έχει τιμή μεγαλύτερη ή ίση από 5m/s

σημείου σαν σημείο αναφοράς για τη μελέτη των ετησίων ανέμων δεν έγινε τυχαία καθώς βρίσκεται στο κεντρικό Αιγαίο και χρησιμοποιείται εκτενώς στη βιβλιογραφία (Ρουρκου et al. 2011). Για να ελεγχθεί κατά πόσο είναι αντιπροσωπευτικό το σημείο αναφοράς έγινε έλεγχος ευαισθησίας για τα δεδομένα επανανάλυσης του ERA-Interim και του μοντέλου MPI-ESM-MR για την περίοδο 1979-2005. Για την βελτίωση του πλέγματος των δεδομένων έγινε τροποποίηση του πλέγματος και επιλογή της περιοχής που περιλαμβάνει γεωγραφικά πλάτη από 5°E μέχρι 60°E και γεωγραφικά μήκη από 10°N μέχρι 45°N. Για τους μήνες του εκτεταμένου καλοκαιριού η μεγαλύτερη συχνότητά σύμφωνα με το ERA-Interim reanalysis dataset παρατηρήθηκε τον μήνα Αύγουστο ο οποίος και επιλέχθηκε σαν κεντρικός μήνας μελέτης για την πνοή των ετησίων ανέμων τόσο στο παρελθόν (σενάριο historical) όσο και στο μέλλον σύμφωνα με την μελέτη που έγινε κατά τα σενάρια RCPs. Επίσης υπολογίσθηκε η κατανομή των μέσων ημερήσιων ταχυτήτων του ανέμου ανά Αύγουστο της ημέρες που έπνεαν ετησίες άνεμοι σε κλάσεις του 1 m/s για ταχύτητες μεγαλύτερες ή ίσιες από 5m/s.

3. Αποτελέσματα

Στο γράφημα 2 παρουσιάζεται η μεταβολή του αριθμού των ημερών που πνέουν ετησίες άνεμοι ανά Αύγουστο την περίοδο 1950-2005 ανά μοντέλο καθώς επίσης ο αριθμός των ημερών του ERA-Interim και του δείκτη L-days. Τα περισσότερα μοντέλα υποεκτιμούν τον αριθμό των ημερών κατά τις οποίες πνέουν ετησίες άνεμοι όπως αυτός προκύπτει από τα αποτελέσματα του ERA-Interim. Εξάιρεση αποτελεί το μοντέλο GFDL-HIRAM-C360_amip (Fig. 2). Η μεταβολή του αριθμού των ημερών πνοής ετησίων ανέμων για την περίοδο 1950-2005 προκύπτει να μειώνεται ελάχιστα (στατιστικά μη σημαντική μεταβολή).

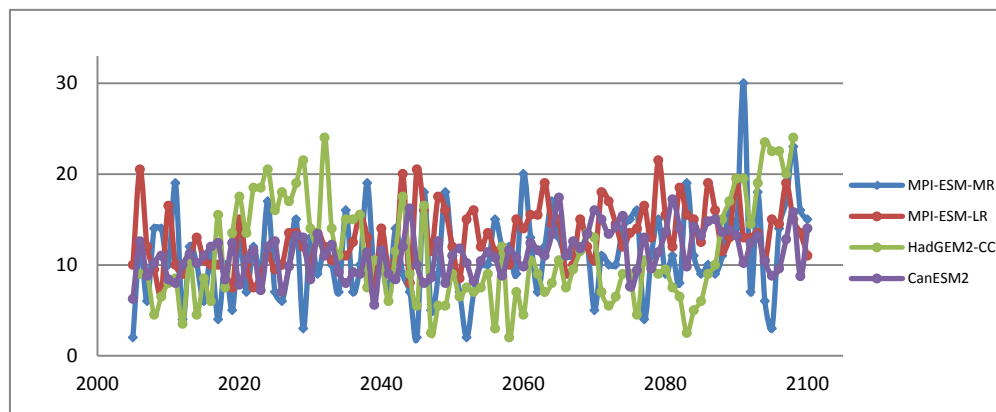


Γράφημα 2. Χρονοσειρά μεταβολής του αριθμού των ημερών που πνέουν ετησίες άνεμοι τον Αύγουστο την περίοδο 1950-2005.

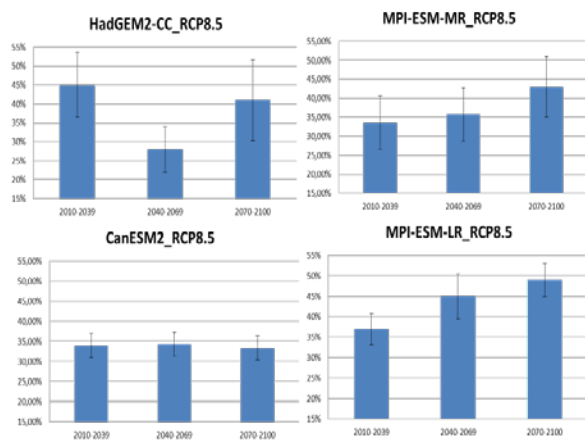
Στο μέλλον η μεταβολή του αριθμού των ημερών πνοής ετησίων ανέμων τον Αύγουστο διαφοροποιείται ανά σενάριο. Για το σενάριο RCP2.6 δεν παρατηρείται κάποια στατιστικά σημαντική μεταβολή ενώ για το σενάριο RCP4.5 παρατηρείται μικρή μεταβολή του αριθμού πνοής ετησίων ανέμων. Οι πιο σημαντικές διαφορές

εντοπίζονται στο σενάριο RCP8.5 και κυρίως εστιάζονται την περίοδο των τριάντα τελευταίων ετών (2070-2100) για τον μήνα Αύγουστο, με τον μήνα αυτό να εμφανίζει μεγαλύτερη συχνότητα (Fig. 3 and Fig 4). Εξάιρεση αποτελεί το μοντέλο CanESM2 στο οποίο μεγαλύτερη συχνότητα εμφανίζει ο μήνας Ιούλιος ο οποίος ακολουθεί την τάση των άλλων προσομοιώσεων του CMIP5 που μελετήθηκαν για τον μήνα Αύγουστο. Για το μέλλον σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 τα μοντέλα MPI-ESM-MR και MPI-ESM-LR εμφανίζουν αύξηση του αριθμού ημερών πνοής ετησίων ανέμων την περίοδο 2010-2100. Η αύξηση αυτή είναι μεγαλύτερη κατά το τέλος του 21^{ου} αιώνα (2070-2100). Το μοντέλο HadGEM2-CC σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα (Fig. 4) με μεγαλύτερη συχνότητα τις περιόδους 2010-2040 και 2070-2100 και μικρότερη την περίοδο 2040-2070. Το μοντέλο MPI-ESM-LR για το σενάριο RCP8.5 δείχνει αύξηση του αριθμού πνοής ετησίων ανέμων για τον 21^ο αιώνα η οποία είναι εντονότερη την περίοδο 2040-2100 και κυρίως την περίοδο 2070-2100. Επίσης για το μοντέλο αυτό η μέση τιμή ανά τριακονταετία της μέσης ημερήσιας έντασης του ανέμου ενυσιχτεί κατά περίπου 0,5 m/s την περίοδο 2070-2100 σε σχέση με την περίοδο 2010-2040 (Fig. 5).

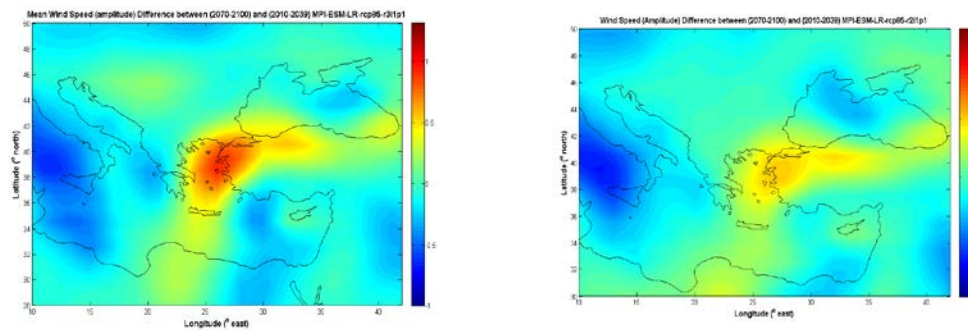
Για τις προσομοιώσεις που μελετήθηκαν μεγαλύτερη βαρύτητα δόθηκε στο μοντέλο MPI-ESM-MR λόγω της αντιπροσωπευτικής εικόνας που αποτυπώνει σαν μέση κατάσταση των προσομοιώσεων καθώς και λόγω της πληρότητας ως προς τις χρησιμοποιούμενες μεταβλητές. Σύμφωνα με αυτό την περίοδο 2070-2100 παρατηρείται αύξηση (μη στατιστικά σημαντική) της μέσης τιμής ανά τριαντακονταετία της μέσης ημερήσιας έντασης του ανέμου σε σχέση με την περίοδο 1975-2005 κατά περίπου 0,5 m/s (Fig. 6). Κατά το τέλος του 21^{ου} αιώνα ενισχύονται οι δυο συνιστώσες του ανέμου με την μεσημβρινή συνιστώσα να αυξάνεται εντονότερα. Η ενίσχυση της μέσης έντασης των ετησίων ανέμων κατά τον Αύγουστο είναι αποτέλεσμα της βάθυνσης του χαμηλού βαρομετρικού που βρίσκεται στην περιοχή της Κύπρου στην νοτιοανατολική Μεσόγειο και της αύξησης των πιέσεων στα Βαλκάνια και την κεντρική Ευρώπη (Fig. 7). Η μείωση της μέσης τιμής ανά περίοδο μελέτης (2070-2100 και 1975-2005) της μέσης επιφανειακής πίεσης (psl) στη Μεσόγειο είναι αποτέλεσμα της αυξητικής μεταβολής της μέσης τιμής ανά περίοδο μελέτης της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας για τις περιόδους 2070-2100 (σενάριο RCP8.5) και 1975-2005 (σενάριο historical).



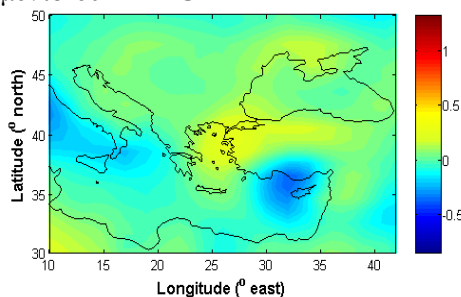
Γράφημα 3. Αριθμός των ημερών που πνέουν ετησίως άνεμοι ανά Αύγουστο σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 ανά μοντέλο.



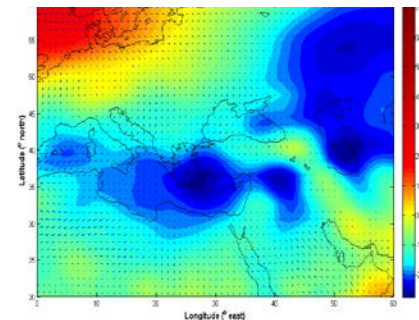
Γράφημα 4. Συχνότητα του αριθμού πνοής ετησίων ανέμων ανά τριαντακονταετία τον 21ο αιώνα σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 ανά προσομοίωση που μελετήθηκε.



Γράφημα 5. Μεταβολή της μέσης τιμής ανά περίοδο της μέσης ημερήσιας έντασης του ανέμου για τις περιόδους 2070-2100 και 2010-2040 για δυο ensemble για την προσομοίωση του μοντέλου MPI-ESM-LR



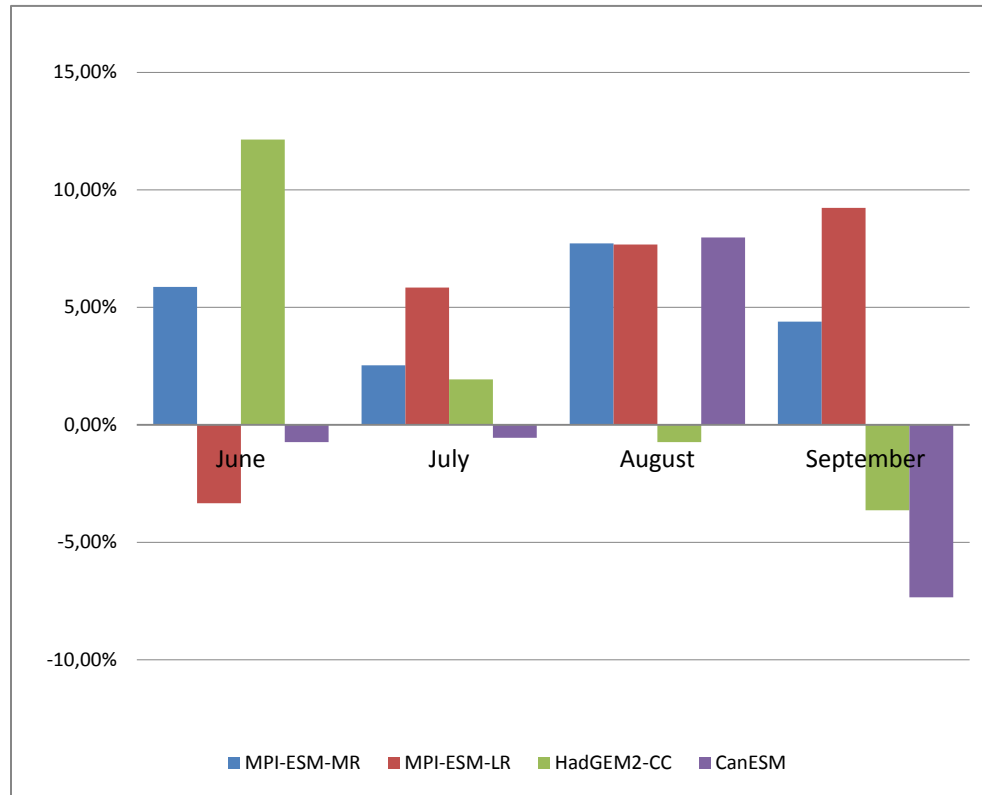
Γράφημα 6. Μεταβολή της μέσης έντασης του ανέμου για τις περιόδους 2070-2100 και 1975-2005



Γράφημα 7. Μεταβολή της μέσης επιφανειακής πίεσης (psl) και του ανέμου (uas, vas) μεταξύ των περιόδων 2070-2100 και 1975-2005 για το μοντέλο MPI-ESM-MR

Στο μέλλον, σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5, την περίοδο 2070-2100, παρατηρείται αύξηση σε σχέση με την περίοδο 1979-2005 (historical scenario) της συχνότητας πνοής ετησίων ανέμων κατά τους μήνες του εκτεταμένου καλοκαιριού. Τον Αύγουστο η αύξηση εντοπίζεται περίπου στο 7-8% (Fig. 8). Εξαίρεση αποτελεί το

μοντέλο CanESM2 για το οποίο κεντρικός μήνας πνοής ετησίων ανέμων είναι ο Ιούλιος. Στις προσομοιώσεις του προγράμματος CMIP5 που μελετήθηκαν για το μέλλον οι περισσότερες ημέρες κατά τις οποίες έπνεαν ετησίες άνεμοι (περίπου 75% της κατανομής ταχυτήτων) εντοπίζονται σε κλάσεις μέσων ημερήσιων ταχυτήτων από 5–9 m/s. Συγκρίνοντας την κατανομή των μέσων ημερήσιων ταχυτήτων των ετησίων ανέμων κατά τον μήνα Αύγουστο για τις προσομοιώσεις του σεναρίου RCP8.5 και historical παρατηρείται αύξηση των ταχυτήτων για κλάσεις μεγαλύτερες από 9 m/s. Διαφορετική εικόνα παρουσιάζει το μοντέλο HadGEM2-CC σύμφωνα με το οποίο παρατηρείται αύξηση της συχνότητας κατανομής στις μεγαλύτερες κλάσεις ταχυτήτων και μείωση στις μικρές.



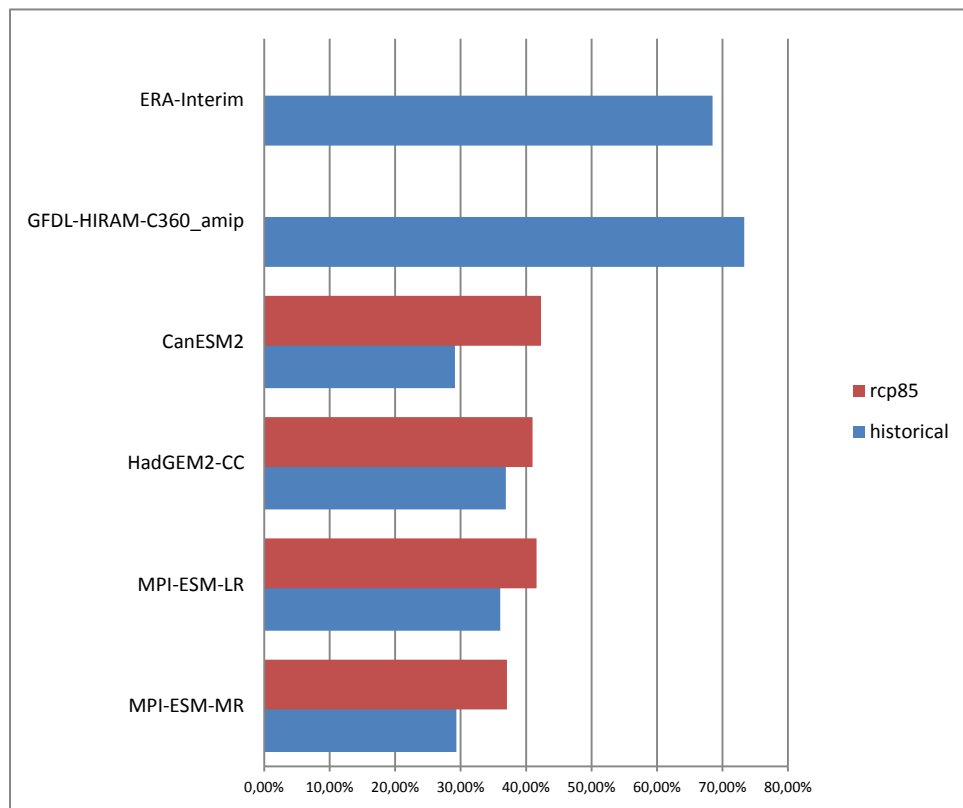
Γράφημα 8. Απόλυτη διαφορά συχνότητας εμφάνισης πνοής ετησίων ανέμων κατά τους μήνες του εκτεταμένου καλοκαιριού ανά προσομοίωση για τα σενάρια RCP8.5(2070-2100) και historical (1979-2005).

4. Συμπεράσματα

Από την μελέτη που έγινε όλες οι προσομοιώσεις που χρησιμοποιήθηκαν φάνηκε να υποεκτιμούν την συχνότητα εμφάνισης ημερών που πνέουν ετησίες άνεμοι σε σχέση με το ERA-Interim reanalysis dataset. Εξαίρεση αποτελεί το μοντέλο GFDL-HIRAM-C360_amip (Γράφημα 9). Ο πιο πιθανός λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι η ανάλυση των προσομοιώσεων που μελετήθηκαν καθώς το ERA-Interim Reanalysis dataset και το GFDL-HIRAM-C360 έχουν παρόμοια ανάλυση.

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των προσομοιώσεων για το μέλλον, για τα σενάρια RCP2.6 και RCP4.5, η συχνότητα και η κατανομή των ταχυτήτων δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές μεταβολές σε σχέση με το παρελθόν (historical scenario).

Για το μέλλον παρατηρείται αύξηση της συχνότητας και της έντασης πνοής των ετησίων ανέμων σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 με τις εντονότερες μεταβολές να εντοπίζονται την περίοδο 2070-2100 σε σύγκριση με την περίοδο 2010-2069 και το σενάριο historical (1950-2005) (Πίνακας 2). Σε κάθε ένα από τα μοντέλα που μελετήθηκαν προκύπτει αύξηση της συχνότητας πνοής των ετησίων ανέμων για το μέλλον (Γράφημα 9). Για τα μοντέλα MPI-ESM-MR, MPI-ESM-LR, HadGEM2-CC και GFDL-HIRAM-C180_amip η μέγιστη συχνότητα εντοπίζεται τον μήνα Αύγουστο, όπως επίσης προέκυψε για την περίοδο 1979-2013 από τα αποτελέσματα του ERA-Interim Reanalysis dataset. Από την εικόνα αυτή αποκλίνει το μοντέλο CanESM2 στο οποίο η μέγιστη συχνότητα εντοπίζεται τον μήνα Ιούλιο. Η μέση ημερήσια ένταση του ανέμου αυξάνεται στο μέλλον κατά 11% για κλάσεις ταχυτήτων από 5-10m/s. Σε όλα τα μοντέλα που μελετήθηκαν αυξάνεται η ένταση του ανέμου. Εξάιρεση αποτελεί το μοντέλο HadGEM2-CC. Επίσης αυξημένη είναι η συχνότητα για τις μεγάλες κλάσεις ταχυτήτων (μεγαλύτερες από 10 m/s). Η μελέτη περισσότερων μοντέλων γήινου συστήματος (ESM), περιοχικών μοντέλων καθώς επίσης και η χρήση μεθόδων downscaling μπορεί να οδηγήσει σε βελτίωση της μελέτης της εξέλιξης του φαινομένου των ετησίων ανέμων στην SE Μεσόγειο για τον 21^ο αιώνα.



Γράφημα 9. Συχνότητα εμφάνισης ημερών που πνέουν ετησίες άνεμοι τον Αύγουστο τις περιόδους 2070-2100 (σενάριο RCP8.8) και 1979-2005 (σενάριο historical)

Πίνακας 2. Ποιοτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων που μελετήθηκαν για το σενάριο RCP8.5 για τον μήνα Αύγουστο την περίοδο 2005-2100.

RCP8.5		Αύγουστος				
Μοντέλο	Περίοδος	Κύριος μήνας που πνέουν ετησίως άνεμοι winds)	Κύριες ταχύτητες ανέμου m/s	Συχνότητα (τάση μεταβολής)	Τάση για την μέση ταχύτητα του ανέμου	Αύξηση του αριθμού των ημερών που πνέουν ετησίως άνεμοι ανά δεκαετία
MPI-ESM-MR	2006-2100	Αύγουστος (37%)	5 - 6	αυξημένη	Αυξημένη (κυρίως κατά τα τελευταία 30 χρόνια)	0,435
MPI-ESM-LR	2006-2100	Ιούλιος - Αύγουστος (43,7%)	5 - 7	αυξημένη	Αύξηση αρχικά, μετά παραμένει σταθερή και αυξάνεται κατά τα τελευταία 30 χρόνια	0,47 (μεγάλη μεταβλητότητα)
HadGEM2-CC	2006-2100	Αύγουστος (37%)	6 - 7	αυξημένη (μεγάλη μεταβλητότητα)	Αύξηση για ταχύτητες μεγαλύτερες από 10 m/s και μείωση για ταχύτητες μικρότερες από 7 m/s	Μεγάλη μεταβλητότητα
CanESM2	2006-2100	Ιούλιος (43%)	5 - 6	αυξημένη	αυξημένη	0,34

Ευχαριστίες Ευχαριστούμε την ομάδα εργασίας του Παγκόσμιου Ερευνητικού Προγράμματος για το Κλίμα που ασχολείται με τα Συζευγμένα Μοντέλα το οποίο είναι υπεύθυνο για το πρόγραμμα CMIP και τις ομάδες μοντέλων για την παραγωγή και την διαθεσιμότητα των αποτελεσμάτων αυτών των μοντέλων. Οι συγγραφείς θα ήθελαν επίσης να εκφράσουν τις ευχαριστίες τους στην Δρ. Α. Πούγκου για τα δεδομένα των ημερών L - days.

Αναφορές

- Anagnostopoulou C., Zannis P., Katragou E., Tegoulas I., Tolika K., Recent Past and Future Patterns of the Etesian Winds based regional scale climate model simulations Clim Dyn (2014) 42:1819–1836, doi 10.1007/s00382-013-1936-0
- Karapiperis L (1951) On the periodicity of Etesian in Athens. Weather 6:378–379
- Chronis, Themis, Dionysios E. Raitsos, Dimitris Kassis, Athanassios Sarantopoulos, 2011: The Summer North Atlantic Oscillation Influence on the Eastern Mediterranean. *J. Climate*, **24**, 5584–5596. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2011JCLI3839.1>
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., Hólm, E. V., Isaksen, I., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N. and Vitart, F. (2011), The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. Q.J.R. Meteorol. Soc., 137: 553–597. doi: 10.1002/qj.828
- Kallos G, Kotroni V, Lagouvardos K, Papadopoulos A (1998) On the long range transport of air pollutants from Europe to Africa. Geophys Res Lett 25:619–622. doi:10.1029/97GL03317
- Metaxas DA, Bartzokas A (1994) Pressure covariability over the Atlantic, Europe and N. Africa. Application: Centers of Action for Temperature, Winter Precipitation and Summer Winds in Athens, Greece. Theor Appl Climatol 49:9–18. doi:10.1007/BF00866284
- Poupkou A, Zannis P, Natsios P, Papanastasiou D, Melas D, Tourpali K, Zerefos C, Present Climate Trend Analysis of the etesian Winds in Aegean Sea., Theor Appl Climatol (2011) 106:459–472 doi 10.1007/s00704-011-0443-7
- Repapis C, Zerefos C, Tritakis B (1978) On the Etesians over the Aegean. Proceedings of the Academy of Athens 52:572–606
- Tritakis BP (1982) Etesians distribution within the Bartel rotations no. 1938–2027 (1975–1981). Geophys Res Lett 9:1225–1226. doi:10.1029/GL009i011p01225
- Tyrlis E, Levievel Jos, Steil B, The Summer Circulation over the Eastern Mediterranean and middle East: influence of the South Asian monsoon., Clim Dyn (2013) 40:1103–1123 DOI 10.1007/s00382-012-1528-4

- Maheras P (1980) The problem of Etesians [Le probleme des Etesiens]. *Mediterranée* 40:57–66
- Makrogiannis TJ, Dikaiakos JC (1990) Large scale patterns of atmospheric circulation anomalies associated to long spells of etesian wind-days over Greece. In: Brazdil R (ed) *Climatic change in the historical and the instrumental periods*. Masaryk University, Brno, pp 307–309
- Ζιακόπουλος Δ., "Καιρός ο γιός της γης και του ήλιου Τόμος Ι "Η Γνώση", Αθήνα 2008, ISBN:SET978-960-92667-0-3 A 978-960-92667-1-0.