

ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΞΗΡΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Νάντια Πολίτη^{1*}, Παναγιώτης Νάστος¹, Κώστας Δουβής²

¹Φυσικός, Msc, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εργαστήριο Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστημιούπολη, 157 84 Αθήνα, Τηλ. 210 7274191, E-mail: pol.nadia@gmail.com

¹Αναπληρωτής Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εργαστήριο Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστημιούπολη, 157 84 Αθήνα, Τηλ. 210 7274191, E-mail: nastos@geol.uoa.gr

²Φυσικός-Κλιματολόγος, PhD, Κέντρο Ερεύνης Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Κλιματολογίας, Ακαδημία Αθηνών, 3^{ης} Σεπτεμβρίου 131, 115 51 Αθήνα, Τηλ. 210 8832048, E-mail: cdouvis@yahoo.com

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας, είναι η μελέτη της χωρο-χρονικής μεταβολής του δείκτη ξηρότητας (Aridity Index) στην Ελλάδα ανά δεκαετία, κατά την διάρκεια 50 ετών (1951-2000), καθώς και οι μεταβολές του δείκτη για την δεκαετία 2091-2100 (μελλοντικό κλίμα), που βασίστηκαν στα αποτελέσματα προσομοιώσεων ενός συνόλου Περιοχικών Κλιματικών Μοντέλων (RCMs), οι οποίες διεξήχθησαν στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος ENSEMBLE. Η εκτίμηση του μελλοντικού κλίματος έγινε για το σενάριο εκπομπών A1B.

Τα κλιματικά δεδομένα, που χρησιμοποιήθηκαν, αφορούν μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας αέρα από 28 μετεωρολογικούς σταθμούς (22 Ελληνικούς σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας και 6 σταθμούς από γειτονικές χώρες). Για τον υπολογισμό του δείκτη ξηρότητας απαιτείται η εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PET), η οποία έγινε με την μέθοδο του Thornthwaite. Η επεξεργασία των δεδομένων των μετεωρολογικών σταθμών έγινε με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι, μέσα στην εξεταζόμενη περίοδο παρατηρείται μια μετατόπιση από την “υγρή” κλάση, που χαρακτήριζε την μεγαλύτερη έκταση της Ελλάδας, στην “υπό-υγρή” και “ημί-ξηρή” κλάση στις περιοχές της ανατολικής Κρήτης, των Κυκλάδων, της Εύβοιας και της Αττικής, δηλαδή κατά κύριο λόγο στην ανατολική Ελλάδα. Η πιο σημαντική μεταβολή εντοπίζεται την χρονική περίοδο 1991-2000. Οι μελλοντικές προβλέψεις, με την χρήση των προσομοιώσεων του συνόλου των Περιοχικών Κλιματικών Μοντέλων (RCMs) οδηγούν στο συμπέρασμα ότι θα εμφανιστούν ξηρότερες συνθήκες στην Ελλάδα με σημαντικές κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις.

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF THE ARIDITY INDEX IN GREECE

Nadia Politi^{*}, Panagiotis Nastos¹, Kostas Douvis²

¹Physicist, Msc, University of Athens, Faculty of Geology & Geoenvironment, Laboratory of Climatology & Atmospheric Environment, Panepistimiopolis, 157 84 Athens, Tel. 210 7274191, E-mail: pol.nadia@gmail.com

¹Associate Professor, University of Athens, Faculty of Geology & Geoenvironment, Laboratory of Climatology & Atmospheric Environment, Panepistimiopolis, 157 84 Athens, Tel. 210 7274191, E-mail: nastos@geol.uoa.gr

²Physicist-Climatologist, PhD, Research Center for Atmospheric Physics and Climatology, Academy of Athens, 3rd September Str 131, 112 51 Athens, Tel. 210 8832048, E-mail: cdouvis@yahoo.com

Abstract

The objective of this paper is to study the spatial and temporal variability of the Aridity Index (AI) in Greece, per decade, during the 50-year period (1951-2000), as well as the AI variability during the decade 2091-2100 (future climate), based on the simulation results derived by a number of Regional Climatic Models (RCMs), within the ENSEMBLE European Project. The projection of the future climate was done for SRES A1B.

The climatic data used, concern monthly precipitation totals and air temperature from 28 meteorological stations (22 stations from the Hellenic National Meteorological Service and 6 stations from neighboring countries, taken from the Monthly Climatic Data for the World). The calculation of the AI was carried out using the potential evapotranspiration (PET) defined by Thornthwaite. The data processing was done by the application of the Geographical Information Systems (GIS).

The results of the analysis showed that, within the examined period, a shift from the “humid” class, which characterized the wider area of Greece, towards the “sub-humid” and “semi-arid” classes was appeared in the eastern Crete Island, the Cyclades complex, the Evia and Attica, that is mainly the eastern Greece. The most significant change appears during the period 1991-2000. The future projections, using simulations from a number of RCMs, drive to the conclusion that drier conditions will establish in Greece, associated with adverse socio-economic impacts.

Λέξεις κλειδιά: Δείκτης Ξηρότητας, Κλιματική Μεταβολή, Ελλάδα

Key words: Aridity Index, Climate Change, Greece

1. Εισαγωγή

Η ξηρασία είναι μια φυσική, περιστασιακή και προσωρινή κατάσταση συνεχούς μείωσης στη βροχόπτωση και στη διαθεσιμότητα ύδατος αναφορικά με τις κανονικές τιμές, που εκτείνεται σε μια σημαντική χρονική περίοδο και καλύπτει μια ευρεία περιοχή. Διακρίνεται σε μετεωρολογική, υδρολογική και γεωργική ξηρασία. Είναι ένα τοπικό φαινόμενο που χαρακτηρίζεται από τρεις παραμέτρους: την ένταση, την διάρκεια και τη έκταση (Rossi et al., 1992). Πρόσφατες μελέτες προτείνουν ότι, η ένταση της ξηρασίας θα έπρεπε να αξιολογείται, βασιζόμενη στις αναμενόμενες καταστροφές που μπορεί να προκαλέσει σε ποικίλους τομείς της οικονομίας, του περιβάλλοντος και της κοινωνίας της πληγείσας περιοχής. Οι Nastos and Zerefos (2009) μελετώντας την χωρική και χρονική κατανομή των διαδοχικών ξηρών και υγρών ημερών, συμπέραναν ότι οι διαχρονικές μεταβολές των διαδοχικών υγρών ημερών, σε ετήσια βάση, εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%) αρνητικές τάσεις, κυρίως στις δυτικές περιοχές της Ελλάδος, ενώ μη στατιστικά σημαντικές θετικές τάσεις για τις διαδοχικές ξηρές ημέρες εμφανίζονται σε σχεδόν ολόκληρη την Ελλάδα και ιδιαίτερα στις νοτιοανατολικές περιοχές.

Ο προσδιορισμός των ζωνών ξηρασίας της γης βρίσκεται σε αναφορές πριν δύο χιλιετίες. Η κλασική ελληνική σκέψη αναγνώρισε ότι το γεωγραφικό πλάτος επηρεάζει τις άνυδρες, εύκρατες και ψυχρές ζώνες της γης. Υπήρχε η αντίληψη ότι, τα άνυδρα κλίματα στα μικρά γεωγραφικά πλάτη ήταν ξηρά. Ο δείκτης ξηρότητας κατατάσσει τον τύπο του κλίματος σε σχέση με την διαθεσιμότητα του νερού. Πρόκειται για μετεωρολογικό δείκτη, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παρακολούθηση και πρόβλεψη της ξηρασίας και υπολογίζεται από τη συλλογή και την επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων, όπως θερμοκρασίας αέρα, βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής. Όμως, δεν μπορούσαν να αναπτυχθούν αξιόπιστοι δείκτες ξηρότητας μέχρις ότου μακροχρόνιες καταγραφές ήταν διαθέσιμες από όργανα και χάρτες παγκόσμιας βλάστησης. Έτσι λοιπόν, οι δείκτες ξηρότητας είναι προϊόν του εικοστού αιώνα (Dzerdzezevski, 1958; Hare, 1977; Tsakiris and Vangelis, 2005; Livada and Assimakopoulos, 2007). Ο υπολογισμός των δεικτών ξηρότητας περιλαμβάνει την εισαγωγή δεδομένων εξατμισοδιαπνοής, η οποία εκτιμάται με την εξίσωση Penman-Monteith (Allen et al. 1998). Απαραίτητα όμως δεδομένα, που πρέπει εισαχθούν, είναι δεδομένα εδάφους και ατμόσφαιρας, όπως η ηλιακή ακτινοβολία και η ροή θερμότητας εδάφους, δεδομένα που συλλέγονται δύσκολα στις περισσότερες περιοχές του κόσμου. Αυτό οδήγησε το 1992 την UNEP να προτείνει μια ταξινόμηση βασισμένη σε μια πιο απλή προσέγγιση υπολογισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, προτεινόμενη από τον Thornthwaite. Ο δείκτης

ξηρότητας που πρόεκυψε, χρησιμοποιείται επίσης και από τον FAO (Food and Agriculture Organization).

Σκοπός της παρούσας εργασίας, είναι η εκτίμηση και η χωρο-χρονική μεταβολή του δείκτη ξηρότητας (AI) για την Ελλάδα, τόσο κατά την διάρκεια 50 ετών (1951-2000), όσο και την δεκαετία 2091-2100 (μελλοντικό κλίμα), με την βοήθεια προσομοιώσεων ενός συνόλου Περιοχικών Κλιματικών Μοντέλων (RCMs), οι οποίες διεξήχθησαν στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος ENSEMBLE. Η εκτίμηση του μελλοντικού κλίματος έγινε για το σενάριο εκπομπών A1B.

2. Δεδομένα και Ανάλυση

2.1 Μετεωρολογικά Δεδομένα

Στην παρούσα εργασία, τα μετεωρολογικά δεδομένα, που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση, αφορούν μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα και της βροχόπτωσης από 28 μετεωρολογικούς σταθμούς, για την χρονική περίοδο πενήντα ετών από το 1951 ως το 2000. Οι 22 μετεωρολογικοί σταθμοί αφορούν σταθμούς που παρεχωρήθησαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY), ενώ τα δεδομένα των υπόλοιπων σταθμών προέρχονται από γειτονικές χώρες και ελήφθησαν από την κλιματική βάση Monthly Climatic Data for the World. Διευκρινίζεται ότι η χρήση δεδομένων από σταθμούς εκτός Ελλάδας έγινε για την καλύτερη χωρική παρεμβολή στην περιοχή της Ελλάδας. Στην συνέχεια, υπολογίστηκαν οι μέσες μηνιαίες και ετήσιες τιμές για κάθε δεκαετία (1951-1960, ..., 1991-2000). Η γεωγραφική κατανομή των μετεωρολογικών σταθμών παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη.

Αναλυτικότερα, η επεξεργασία των δεδομένων των μετεωρολογικών σταθμών έγινε με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS, ArcInfo 9.2). Επίσης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος χωρικής παρεμβολής Kriging, για την χωρική κατανομή του δείκτη ξηρότητας στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδος.

2.2 Πλεγματικά δεδομένα και Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα

Για την μελλοντική πρόβλεψη (δεκαετία 2091-2100) του δείκτη ξηρότητας χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα προσομοιώσεων της θερμοκρασίας του αέρα και της βροχόπτωσης από ένα σύνολο Περιοχικών Κλιματικών Μοντέλων (RCMs), οι οποίες διεξήχθησαν στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος ENSEMBLE. Οι προαναφερθείσες κλιματικές παράμετροι παρέχονται για κάθε πλεγματικό σημείο του πλέγματος των CRU (Climate Research Unit) με χωρική ανάλυση $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, που ανήκει στον Ελληνικό χώρο ($18.125^{\circ}A < \lambda < 29.875^{\circ}A$, $34.875^{\circ}B < \varphi < 42.125^{\circ}B$). Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα προσομοιώσεων των ακόλουθων 8 Περιοχικών Κλιματικών Μοντέλων (RCMs): C4IRCA3, DMI-HIRHAM5, ETHZ-CLM, METO-HC_HadRM3Q0, ICTP-REGCM3, KNMI-RACMO2, MPI-M-REMO και SMHIRCA_A1B, τα οποία στις προσομοιώσεις τους

χρησιμοποίησαν ως αρχικές και οριακές συνθήκες τα δεδομένα εξόδου διαφόρων Μοντέλων Γενικής κυκλοφορίας (GCMs). Πιο συγκεκριμένα τα RCMs DMI-HIRHAM5 ICTP-REGCM3, KNMI-RACMO2, MPI-M-REMO χρησιμοποίησαν ως αρχικές και οριακές συνθήκες τα δεδομένα εξόδου του ECHAM5 GCM, ενώ τα υπόλοιπα RCMs δεδομένα του HadCM3 GCM.

Για κάθε πλεγματικό σημείο υπολογίστηκαν για κάθε έτος της περιόδου 1951-2100 η μέση τιμή των 8 RCMs (ensemble mean) των μέσων μηνιαίων τιμών των δύο προαναφερθέντων κλιματικών παραμέτρων. Από τις μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα και της βροχόπτωσης υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (βλέπε παρακάτω) και στη συνέχεια οι τιμές του δείκτη ξηρότητας. Μόνο η χωρική κατανομή του δείκτη ξηρότητας για την τελευταία δεκαετία του 21^{ου} αιώνα παρουσιάζεται (Σχήμα 3).

2.3 Δείκτης Ξηρότητας

Για τον υπολογισμό του δείκτη ξηρότητας (AI) απαιτείται η γνώση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PET), για τον υπολογισμό της οποίας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Thornthwaite. Η εξίσωση για τον υπολογισμό της μηνιαίας τιμής PET είναι η ακόλουθη:

$$PET = 1.6 (10T / I)^a$$

όπου T είναι η μηνιαία θερμοκρασία. Ο Thornthwaite εισήγαγε έναν εμπειρικό συντελεστή I, που είναι το άθροισμα των δώδεκα μηνιαίων τιμών της θερμοκρασίας του αέρα και δίνεται από την σχέση:

$$I = \sum(T / 5)$$

και ο παράγοντας a δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$a = 0.000000675 I^3 - 0.000077 I^2 + 0.01792 I + 0.49239$$

Ο δείκτης ξηρότητας δίνεται από τη σχέση:

$$AI = P / PET$$

όπου P είναι η μηνιαία βροχόπτωση και PET η μηνιαία εξατμισοδιαπνοή.

Ο AI είναι ένας κλιματικός δείκτης, η χρησιμότητα του οποίου έγκειται στην γενική παρατήρηση και την εξέλιξη του φαινομένου της ξηρασίας. Σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης και σε συνδυασμό με κάποιους επιπλέον δείκτες ξηρότητας καθίσταται δυνατή η ποσοτική εκτίμηση των κλιματικών ανωμαλιών της έντασης, χωρικής έκτασης και συχνότητας της ξηρασίας, για αποφάσεις υδατικής και γεωργικής διαχείρισης.

3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

Η χωρική κατανομή του δείκτη ξηρότητας ανά δεκαετία για την χρονική περίοδο 1951-2000 παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Η κλίμακα ταξινόμησης που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή που προτάθηκε από το United Nations Environment Programme (UNEP, 1992) (Πίνακας 1). Στον ίδιο Πίνακα παρουσιάζεται και η προηγούμενη ταξινόμηση, που είχε προταθεί από τον United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO, 1979).

Πίνακας 1. Όρια κλιματικών ζωνών με βάση τον δείκτη ξηρότητας.

Κλιματική Ζώνη	UNESCO (1979) P/PET (Penman method)	UNEP (1992) P/PET (Thorntwaite method)
Υπέρξηρη (Hyper-arid)	<0.03	<0.05
Ξηρή (Arid)	0.03 – 0.20	0.05 – 0.20
Ημίξηρη (Semi-arid)	0.20 – 0.50	0.20 – 0.50
Ύφυγη (Sub-humid)	0.50 – 0.75	0.50 – 0.65
Υγρή (Humid)	>0.75	>0.65

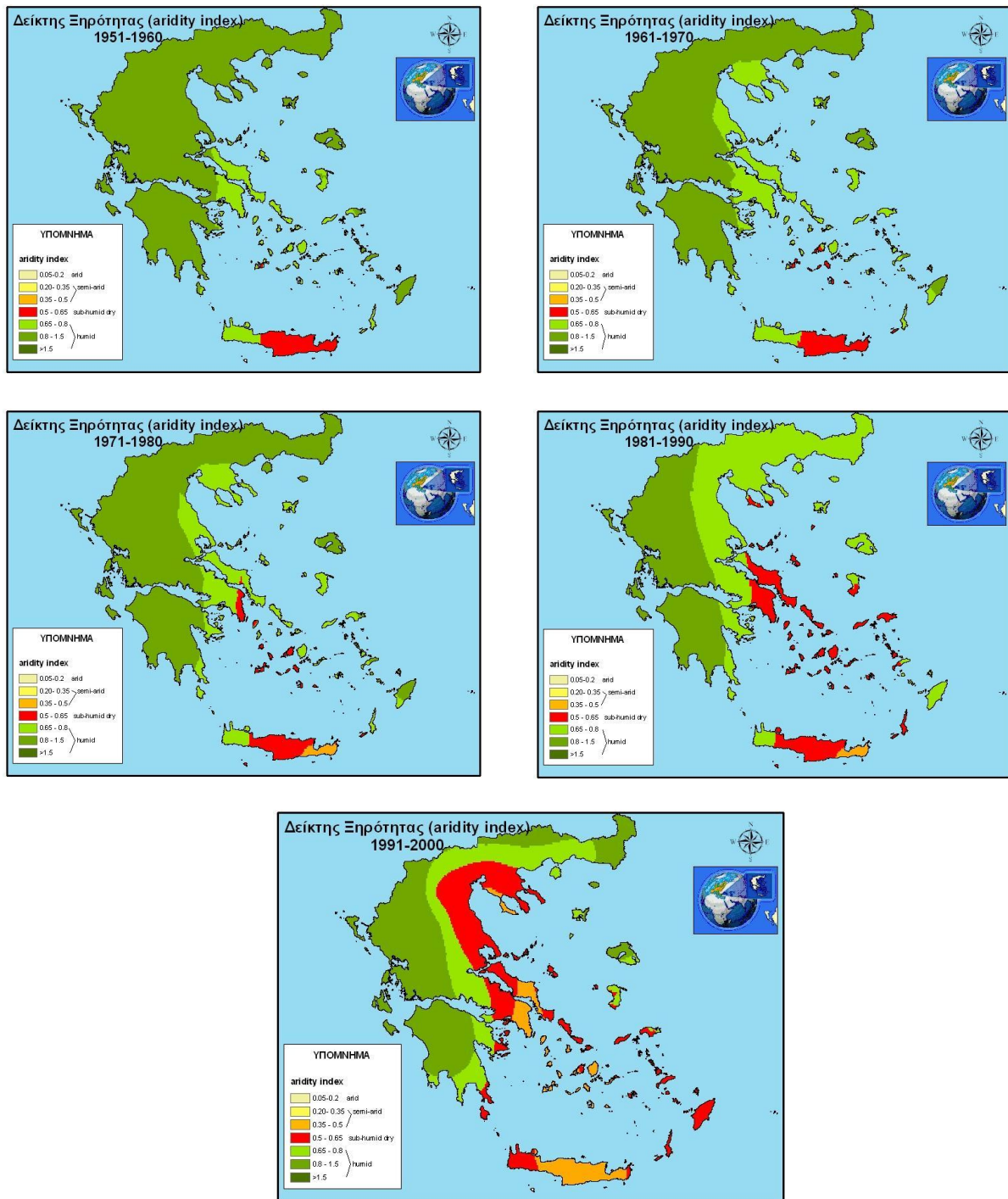
Κατά την δεκαετία 1951-1960, σχεδόν ολόκληρη η περιοχή της Ελλάδας χαρακτηρίζεται ως «υγρή» με τις τιμές του δείκτη ξηρότητας να κυμαίνονται πάνω από 0.65, με εξαίρεση τις κεντρικές/ανατολικές περιοχές της Κρήτης, που χαρακτηρίζονται ως «ύφυγες». Με την πάροδο των ετών όμως, οι περιοχές της ανατολικής Κρήτης, των Κυκλάδων, της Εύβοιας και του νομού Αττικής, δηλαδή κατά κύριο λόγο η ανατολική Ελλάδα, μεταβαίνουν σταδιακά στην «ύφυγη κλιματική ζώνη». Ιδιαίτερα κατά την τελευταία δεκαετία μελέτης 1991-2000, το μεγαλύτερο τμήμα της Κρήτης, οι Κυκλάδες, η ανατολική Αττική, η κεντρική/νότια Εύβοια και η δυτική περιοχή της Χαλκιδικής έχουν μετατοπιστεί στην «ημίξηρη» κλιματική ζώνη.

Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να ερμηνευτούν αφενός από την μείωση των βροχοπτώσεων στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου και της Ελλάδος (Pnevmatikos and Katsoulis, 2006; Feidas et.al. 2007; Nastos and Zerefos, 2007; 2008; Νάστος, 2008) καθώς επίσης και από την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα στην Ελλάδα, ιδιαίτερα κατά την θερινή περίοδο (Feidas et al., 2004; Proedrou et al., 1997; Philandras et al., 2008, Nastos and Matzarakis, 2008), που οδηγεί σε αύξηση της εξατμισοδιαπνοής και ως εκ τούτου στην μείωση του δείκτη ξηρότητας. Όσον αφορά τη μεταβλητότητα της βροχόπτωσης στην Ελλάδα, οι χωρικές κατανομές των τάσεων των ετήσιων ποσών βροχόπτωσης και ημερών βροχής δείχνουν πτωτικές τάσεις, ως επί το πλείστον στατιστικά σημαντικές (95% ε.ε.). Οι ανωμαλίες αυτές στην κατανομή της βροχόπτωσης, συνδέονται με τη συμπεριφορά του δείκτη ταλάντωσης του Βορείου Ατλαντικού (NAOI) (Hurrell and van Loon, 1997).

Τα αποτελέσματα προσομοιώσεων της θερμοκρασίας του αέρα και της βροχόπτωσης από ένα σύνολο Περιοχικών Κλιματικών Μοντέλων (RCMs), οι οποίες διεξήχθησαν στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος ENSEMBLE, χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του δείκτη ξηρότητας για την περίοδο 2010-2100. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του δείκτη ξηρότητας για την τελευταία δεκαετία του 21^{ου} αιώνα (2091-2100). Είναι φανερό η αλλαγή κλιματικής ζώνης από «υγρή» ή «ύφυγη» σε «ημίξηρη», που εμφανίζεται στην ευρύτερη περιοχή των ανατολικών τμημάτων της ηπειρωτικής Ελλάδας, των νησιών του Αιγαίου Πελάγους και ιδιαίτερα της νότιας/νοτιοανατολικής Ελλάδας. Οι ορεινές περιοχές της Πελοποννήσου και ο ορεινός όγκος της Πίνδου παραμένουν στην «υγρή» κλιματική ζώνη.

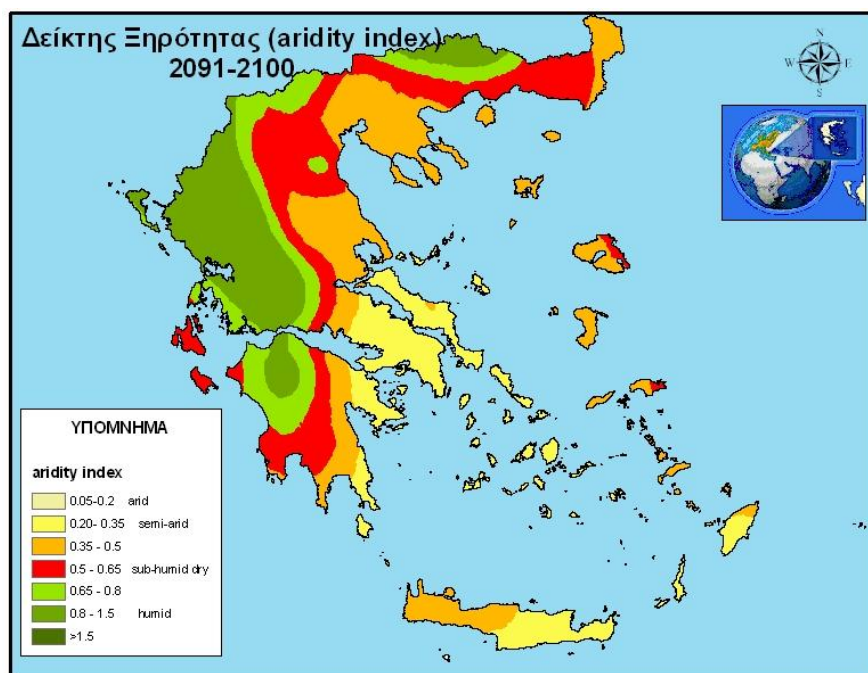
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν ότι αναμένεται μια πολύ μεγάλη μεταβολή του δείκτη ξηρότητας, κατά το δεύτερο ήμισυ του 21^{ου} αιώνα, με δραματική μείωση της τάξεως του 55% των περιοχών που μέχρι το 2000 χαρακτηρίζονταν «υγρές». Συγκεκριμένα, η μισή σχεδόν έκταση του Ελλαδικού χώρου χαρακτηρίζεται ως «ημίξηρη», με το μεγαλύτερο ποσοστό των τιμών του δείκτη ξηρότητας να κυμαίνεται μεταξύ 0.35 – 0.5 (πορτοκαλί χρώμα) και σε μικρότερο ποσοστό μεταξύ 0.2 - 0.35 (κίτρινο χρώμα).

Η περιοχή της Μεσογείου, η οποία ευρίσκεται στο νοτιότερο άκρο της βόρειας ζώνης των μέσων πλατών, φαίνεται να είναι περισσότερο ευαίσθητη στις μεταβολές της παγκόσμιας θέρμανσης με σημαντικές επιπτώσεις στην παράμετρο της βροχόπτωσης.



Σχήμα 2. Χωρική κατανομή του Δείκτη Ξηρότητας ανά δεκαετία για την περίοδο 1951-2000.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα κλιματικών μοντέλων (A1B σενάριο) οι βροχοπτώσεις αναμένεται να μετατοπισθούν βόρεια. Στις περιοχές της νοτιοανατολικής Μεσογείου οι βροχοπτώσεις το 2080-2099, είναι πολύ πιθανόν να σημειώσουν μείωση πάνω από 20% σε σχέση με την περίοδο 1980-1999 (IPCC, 2007), ενώ θα σημειωθεί μείωση στη συχνότητα των έντονων κυκλώνων στη περιοχή της Μεσογείου, αλλά με αντίστοιχη αύξηση της έντασης τους σε σχέση με σήμερα, ειδικότερα στο επίπεδο των 500 hPa (Anagnostopoulou et al. 2006). Επίσης, οι Tselioudis et.al. (2008) με την βοήθεια κλιματικών μοντέλων έδειξαν μια έντονη μείωση της χειμερινής βροχόπτωσης στην περιοχή της Μεσογείου γύρω στα 20% κατά τα τέλη του 21^{ου} αιώνα.



Σχήμα 3. Χωρική κατανομή του Δείκτη Ξηρότητας για την μελλοντική δεκαετία 2091-2100.

Η ξηρασία επηρεάζει την ανάπτυξη της φυσικής βλάστησης. Τα επόμενα χρόνια, οι επικρατούσες κλιματικές συνθήκες κατά την διάρκεια των καλλιεργητικών περιόδων των ετήσιων καλλιεργειών μπορεί να είναι τόσο δυσμενείς, που τα εδάφη να παραμένουν ακάλυπτα, δημιουργώντας ευνοϊκές συνθήκες για αύξηση της επιφανειακής απορροής και της διάβρωσης, οδηγώντας στην ερημοποίηση της γης. Ωστόσο, η υπάρχουσα μεσογειακή βλάστηση χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη ικανότητα προσαρμογής και αντίστασης στις ξηροθερμικές κλιματικές συνθήκες. Το μειωμένο ποσοστό της βροχόπτωσης σε συνδυασμό με τους υψηλούς ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής προκαλεί δραστική μείωση στο ποσοστό υγρασίας του εδάφους, που είναι διαθέσιμο για την ανάπτυξη των φυτών. Η μειωμένη παραγωγή βιομάζας, με τη σειρά της, επηρεάζει άμεσα το ποσοστό οργανικής ύλης του εδάφους, τη δημιουργία συσσωματωμάτων και την σταθερότητα της επιφάνειας του εδάφους κατά της διάβρωσης. Όπως εκτίμησαν οι Yassoglou et al. (1994), μια ενδεχόμενη μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης κατά 30% χωρίς να σημειωθεί καμιά μεταβολή στην θερμοκρασία, μπορεί να επιφέρει μείωση στην παραγωγή της βιομάζας των σιτηρών κατά 40%. Στην περίπτωση που συμβεί επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2 °C, η μείωση στην παραγωγή της βιομάζας των σιτηρών εκτιμάται σε ποσοστό 55%.

Συμπεράσματα

Η εργασία αυτή εξετάζει την χωροχρονική αποτίμηση του δείκτη ξηρότητας στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδος για την χρονική περίοδο 1951-200, βασισμένη σε μετεωρολογικά δεδομένα σταθμών, και για την μελλοντική περίοδο 2091-2100, βασισμένη σε αποτελέσματα προσομοιώσεων από ένα σύνολο Περιφερειακών Κλιματικών Μοντέλων (RCMs), οι οποίες διεξήχθησαν στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος ENSEMBLE. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, ιδιαίτερα κατά την τελευταία δεκαετία μελέτης 1991-2000, το μεγαλύτερο τμήμα της Κρήτης, οι Κυκλάδες, η ανατολική Αττική, η κεντρική/νότια Εύβοια και η δυτική περιοχή της Χαλκιδικής έχουν μετατοπιστεί στην «ημίξηρη» κλιματική ζώνη. Κατά την τελευταία δεκαετία του 21^{ου} αιώνα, παρατηρείται μια μετατόπιση από την «υγρή» στην «ημίξηρη» κλιματική ζώνη περιοχών, που καλύπτουν το 50% της χώρας. Αυξημένη τρωτότητα εμφανίζουν οι νοτιοανατολικές περιοχές (Κρήτη, Κυκλάδες) και οι ανατολικές περιοχές (ανατολικές ακτές Πελοποννήσου, Αττική, Εύβοια) της ηπειρωτικής Ελλάδος καθώς και τα νησιά του Αιγαίου Πελάγους.

Η προσπάθεια προσδιορισμού των κύριων διεργασιών και παραγόντων ερημοποίησης με την επιλογή συγκεκριμένων δεικτών, όπως είναι ο χρησιμοποιούμενος δείκτης ξηρότητας και

η δημιουργία της κατάλληλης βάσης δεδομένων και χαρτών παρέχει τη δυνατότητα συγκρότησης της υποδομής, που απαιτείται για την εκτίμηση του μεγέθους, του βαθμού και της τάσης υποβάθμισης της γης.

Βιβλιογραφία

- Νάστος, Π. Θ., 2008: Χωρική και χρονική μεταβλητότητα της έντασης της βροχής στην Ελλάδα. *Πρακτικά 8^{ου} Διεθνούς Υδρογεωλογικού Συνεδρίου*, Αθήνα, 651-660.
- Anagnostopoulou, C., Tolika, K., Flocas, H., Maheras, P., 2006: Cyclones in the Mediterranean region: Present and future climate scenarios derived from a general circulation model (HadAM3P). *Advances in Geosciences*, **7**, 9-14.
- Dziedzhevskii, B. L., 1963: Sukhoveis and drought control. (Sukhovei ikh proiskhozhdenie i borba s nimi). Published by Israel Program for Scientific Translations; [available from the Office of Technical Services, U.S. Dept. of Commerce, Washington] in Jerusalem .
- Feidas, H., Nouloupoulou, N., Makrogiannis, T., Bora-Senta, E., 2007: Trend analysis of precipitation time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955-2001. *Theoretical and Applied Climatology*, **87**, 155-177.
- Feidas, H., Makrogiannis, T., Bora-Senta, E., 2004: Trend analysis of air temperature time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955-2001. *Theoretical and Applied Climatology* **79**, 185-208.
- Hare, F. K., 1977: Climate and desertification. Desertification: Its Causes and Consequences. U,N, Conference on Desertification, Pergamon, 63-120
- Hurrell, J. W., Van Loon, H., 1997: Decadal variations in climate associated with the North Atlantic oscillation. *Climatic Change*, **36**, 301-326.
- IPCC, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth IPCC Assessment Report, Chapter 11 Regional Climate Projections.
- Livada, I., Assimakopoulos, V. D., 2007: Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Theoretical and Applied Climatology*, **89**, 143-153.
- Nastos, P. T., Zerefos, C. S., 2007: On extreme daily precipitation totals at Athens, Greece. *Advances in Geosciences*, **10**, 59-66.
- Nastos, P. T., Matzarakis, A., 2008: Variability of tropical days over Greece within the second half of the twentieth century. *Theoretical and Applied Climatology*, **93**, 75-89.
- Nastos, P. T., Zerefos, C. S., 2008: Decadal changes in extreme daily precipitation in Greece. *Advances in Geosciences*, **16**, 55-62.
- Nastos, P. T., Zerefos, C. S., 2009: Spatial and temporal variability of consecutive dry and wet days in Greece. *Atmospheric Research*, **94**, 616-628.
- Philandras, C. M., Nastos, P. T., Repapis, C. C., 2008: Air Temperature Variability and Trends Over Greece. *Global NEST Journal*, **10** (2), 273-285.
- Pneumatikos, J. D., Katsoulis, B. D., 2006: The changing rainfall regime in Greece and its impact on climatological means. *Meteorological Applications*, **13**, 331-345.
- Proedrou, M., Theoharatos, G., Cartalis, C., 1997: Variations and trends in annual and seasonal air temperature in Greece determined from ground and satellite measurements. *Theoretical and Applied Climatology*, **57**, 65-78.
- Tsakiris, G., Vangelis, H., 2005: Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration. *European Water*, **9-10**, 3-11.
- Tselioudis, G., Zerefos, C., Zanis, P., Repapis, C., Kapsomenakis, I., 2008: Future Trends in Mediterranean Precipitation and Possible Connections with the Phase of the North Atlantic Oscillation. *Proceedings 9th Conference of Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, Thessaloniki, 28-31 May 2008, p. 513-520.
- UNEP, 1992: World Atlas of Desertification. Edward Arnold, London.
- Yassoglou, N., Kosmas, C. S., Moustakasa, N., Tzianis, E., Danalatos, N. G., 1994: Cracking in recent alluvial soils as related to easily determined soil properties. *Geoderma*, **63** (3-4), 289-298