

# **Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**

**Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών**

*Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος*

## **Μεταπτυχιακή Διατριβή**



**Αναπαράσταση της Θερινής Θερμοκρασίας στην Νότια Ελλάδα τους Τελευταίους Αιώνες με Χρήση των Αυξητικών Δακτυλίων και Σχέση με τις Πυρκαγιές στον Ελλαδικό Χώρο**

**Ανδρούλλα Θεοχαρίδου**

**Επιβλέπων Καθηγητής  
Δημήτριος Σαρρής**

**Μάιος 2018**

# **Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**

**Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών**

*Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος*

## **Μεταπτυχιακή Διατριβή**

**Αναπαράσταση της Θερινής Θερμοκρασίας στην Νότια Ελλάδα τους Τελευταίους Αιώνες με Χρήση των Αυξητικών Δακτυλίων και Σχέση με τις Πυρκαγιές στον Ελλαδικό Χώρο**

**Ανδρούλλα Θεοχαρίδου**

**Επιβλέπων Καθηγητής  
Δημήτριος Σαρρής**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στη Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

**Μάιος 2018**

*«Όλη η περιβόητη τεχνολογική μας πρόοδος -ο ίδιος ο πολιτισμός μας- είναι σαν ένα τσεκούρι στα χέρια ενός ψυχοπαθούς.»*

Αλβέρτος Αϊνστάιν, 1879- 1955,

## Περίληψη

Τα δάση της Ελλάδας τα τελευταία χρόνια πλήττονται από μεγαλύτερης έκτασης και έντασης πυρκαγιές. Οι αιτίες για την πρόκληση μεγάλης έκτασης πυρκαγιών είναι αντικείμενο πολλών ερευνών με την αύξηση της θερμοκρασίας και της ξηρασίας να θεωρούνται ως ένας από τους κύριους παράγοντες. Όμως οι μετεωρολογικές μετρήσεις που υπάρχουν στην Ελλάδα ξεκινούν εντός του 20<sup>ου</sup> αιώνα και κυρίως κατά το 2<sup>ο</sup> μισό του με αποτέλεσμα να μην είναι σαφές ποιες είναι οι πρόσφατες τάσεις της θερμοκρασίας σε σχέση με τους προηγούμενους αιώνες και αν μπορεί να δοθεί εξήγηση για τις πρόσφατες μεγάλης κλίμακας πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο. Η ανακατασκευή της θερμοκρασίας από τους δακτυλίους των κορμών των δέντρων με μεθόδους δενδροχρονολόγησης μπορεί να καλύψει αυτό το κενό για αρκετούς αιώνες πριν, για να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα και για τις μελλοντικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι αυξητικοί δακτύλιοι 24 δένδρων Μαύρης Πεύκης (*Pinus nigra*) από την κορυφή σχεδόν του όρους Ταΰγετος, κοντά στα ψύχρο-όρια της εξάπλωσης του είδους όπου είναι ευαίσθητο στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Με την χρήση εξειδικευμένων μεθόδων και προγραμμάτων (ARSTAN) για την αναπαράσταση της θερμοκρασίας και αφαιρώντας στατιστικά τις μη κλιματικές επιδράσεις από τις δακτυλιοχρονοσειρές, διαφάνηκε ότι η μέγιστη θερμοκρασία του καλοκαιριού έχει μια αυξητική τάση, με αυτή των τελευταίων 30 ετών να είναι η υψηλότερη τιμή τουλάχιστον των τελευταίων 250 ετών. Οι τάσεις αυτές βρέθηκαν παρόμοιες με αντίστοιχες τάσεις από ανακατασκευή της θερινής θερμοκρασίας στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. Μάλιστα, ακραίες τιμές της θερινής θερμοκρασίας από τη Νότια Ελλάδα συμπίπτουν χρονικά με τα έτη που εμφανίστηκαν οι χειρότερες πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο (1988, 1998, 2000 και 2007). Συνεπώς, οι μεγάλης έντασης-έκτασης πυρκαγιές των τελευταίων ετών έχουν την επίδραση της κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον αύξηση της θερινής θερμοκρασίας στην Ελλάδα θα έχει σαν αποτέλεσμα αυξημένο κίνδυνο για μεγαλύτερης έκτασης και έντασης πυρκαγιές.

## Summary

The forests of Greece in recent years have been affected by larger and more intense fires. The reasons for causing large fires are the subject of many surveys and the rise in temperature and drought have been considered as one of the main factors. However, meteorological measurements in Greece begin in the 20th century and mainly during its 2nd half, therefore it is unclear what is the relation between recent temperature trends and previous centuries and whether an explanation can be given for the recent large-scale fires in the Greek territory. Reconstruction of temperature from tree rings by dendrochronology methods can fill this gap for several centuries before, so that conclusions can also be drawn about the future impacts of climate change. For this purpose, the growth rings of 24 *Pinus nigra* trees were used, almost from the top of Taygetos Mountain near the cold-range spread of the species where it is sensitive to temperature changes. By using specialized methods and programs (ARSTAN) to reconstruct the temperature and statistically removing the non-climatic effects from the tree-ring time series, it was revealed that the maximum summer temperature has an upward trend, with that of the last 30 years being the highest value of at least the past 250 years. These trends were similar to corresponding trends from summer temperature reconstruction in the Eastern Mediterranean region. In fact, extreme summer temperatures from southern Greece coincide with the years when the worst fires occurred in Greece (1988, 1998, 2000 and 2007). Therefore, large-scale fires of recent years have the effect of climate change. A further increase in summer temperatures in Greece will result in an increased risk of larger and more intense fires.

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Δημήτρη Σαρρή για την καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια εκπόησης της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

# Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b> .....	<b>1</b>
1.1	Γενική Περιγραφή .....	1
1.2	Κλίμα και κλιματική αλλαγή.....	4
1.3	Κλιματική αλλαγή στην ανατολική Μεσόγειο .....	5
1.4	Διαπιστώσεις και προβλέψεις για το παρόν και το μέλλον του κλίματος σε Μεσόγειο και Ελλάδα .....	7
1.5	Ευρήματα από την Ελλάδα για τις επιπτώσεις στα δάση από την πρόσφατη μείωση των βροχοπτώσεων.....	9
1.6	Πυρκαγιές στην Ελλάδα.....	10
<b>2</b>	<b>Δενδροχρονολόγηση</b> .....	<b>12</b>
2.1	Εισαγωγή .....	12
2.2	Δενδροχρονολογία και Δενδροκλιματολογία .....	13
2.3	Οι αυξητικοί δακτύλιοι των δένδρων ως μέσα για την χρονολόγηση γεγονότων αλλά και ως κλιματικοί δείκτες του παρελθόντος.....	14
2.4	Διασταύρωση χρονολογιών (cross dating).....	18
2.5	Σταθεροποίηση (standardization).....	18
2.6	Ανακατασκευές θερμοκρασίας με βάση δακτύλιους δέντρων.....	19
<b>3</b>	<b>Μεθοδολογία</b> .....	<b>23</b>
3.1	Γενική Περιγραφή.....	23
3.2	Μέθοδοι .....	25
3.3	Δενδροχρονολογική ανάλυση.....	26
3.4	Διασταύρωση χρονολογιών.....	27
3.5	Σταθεροποίηση.....	27
<b>4</b>	<b>Αποτελέσματα</b> .....	<b>36</b>
4.1	Δενδροκλιματολογική ανάλυση.....	36
4.2	Αναπαράσταση θερμοκρασίας με το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης.....	41
4.3	Αύξηση της θερμοκρασίας και των πυρκαγιών.....	45
4.4	Ανακατασκευασμένα στοιχεία πυρκαγιών .....	47
4.5	Ετήσιες τάσεις των πυρκαγιών στην Ελλάδα γενικά.....	47

<b>5</b>	<b>Συζήτηση.....</b>	<b>49</b>
5.1	Εισαγωγή.....	49
5.2	Πρόγραμμα Millennium.....	49
5.3	Κύμα καύσωνα 2003 .....	51
5.4	Κύμα καύσωνα 2010.....	54
5.5	Ηφαιστειακές εκρήξεις.....	55
5.6	Μεταβολές του παρελθόντος και του τρέχοντος κλίματος στην περιοχή της Μεσογείου.....	57
5.7	Τάση θερμοκρασίας στην Ανατολική Μεσόγειο και στη Μέση Ανατολή.....	58
5.8	Κλιματικό σύστημα.....	66
5.9	Παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας.....	66
5.10	Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα.....	68
5.11	Τα Μεσογειακά Δάση απέναντι στην Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή.....	70
5.12	Μέτρα προστασίας δασικών οικοσυστημάτων.....	73
5.13	Μέτρα πρόληψης δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα .....	73
5.14	Στόχοι ΕΕ για μείωση των εκπομπών και περιορισμού της κλιματικής αλλαγής.....	76
5.15	Ενέργειες μείωσης εκπομπών αερίων στην Ελλάδα .....	79
5.16	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας .....	79
5.17	Πραγματικότητα.....	85
<b>6</b>	<b>Συμπεράσματα.....</b>	<b>87</b>



## **Παραρτήματα**

- A Οδηγός Χρήσης Προγράμματος ARSTAN**
- B Επιλογές και Χρονοσειρές με το Πρόγραμμα ARSTAN**
  - B.1 Χρονοσειρές με διάταξη σταθεροποίησης 33% αποκοπή
  - B.2 Χρονοσειρές με διάταξη σταθεροποίησης 50% αποκοπή
  - B.3 Χρονοσειρές με διάταξη σταθεροποίησης 67% αποκοπή
  - B.4 Χρονοσειρές με διάταξη σταθεροποίησης Briffa 67% αποκοπή
- Γ Τιμές Αρχικής Χρονοσειράς Μετατεθημένες κατά 1 – 5 πίσω**
- Δ Τιμές Χρονοσειράς Briffa 67% Μετατεθημένες κατά 1 – 5 πίσω**
- Ε Συσχετίσεις χρονοσειρών με τα προηγούμενα 1 – 5 χρόνια**
- ΣΤ Τιμές Θερμοκρασίας**
- Z Τιμές Θερμοκρασίας και Χρονοσειρών Δακτυλίων**
- Η Έλεγχος Κανονικής Κατανομής**
- Θ Συσχετίσεις Χρονοσειρών Θερμοκρασιών και Δακτυλίων**
- I Ταξινόμηση Δεδομένων με Βάση τον Συντελεστή Συσχέτισης**
- K Επεξεργασία χρονοσειράς 33% cutoffs για αναπαράσταση της θερμοκρασίας Ιουνίου – Αυγούστου**
- Λ Γραμμική Παλινδρόμηση**

## **Βιβλιογραφία**

# Κεφάλαιο 1

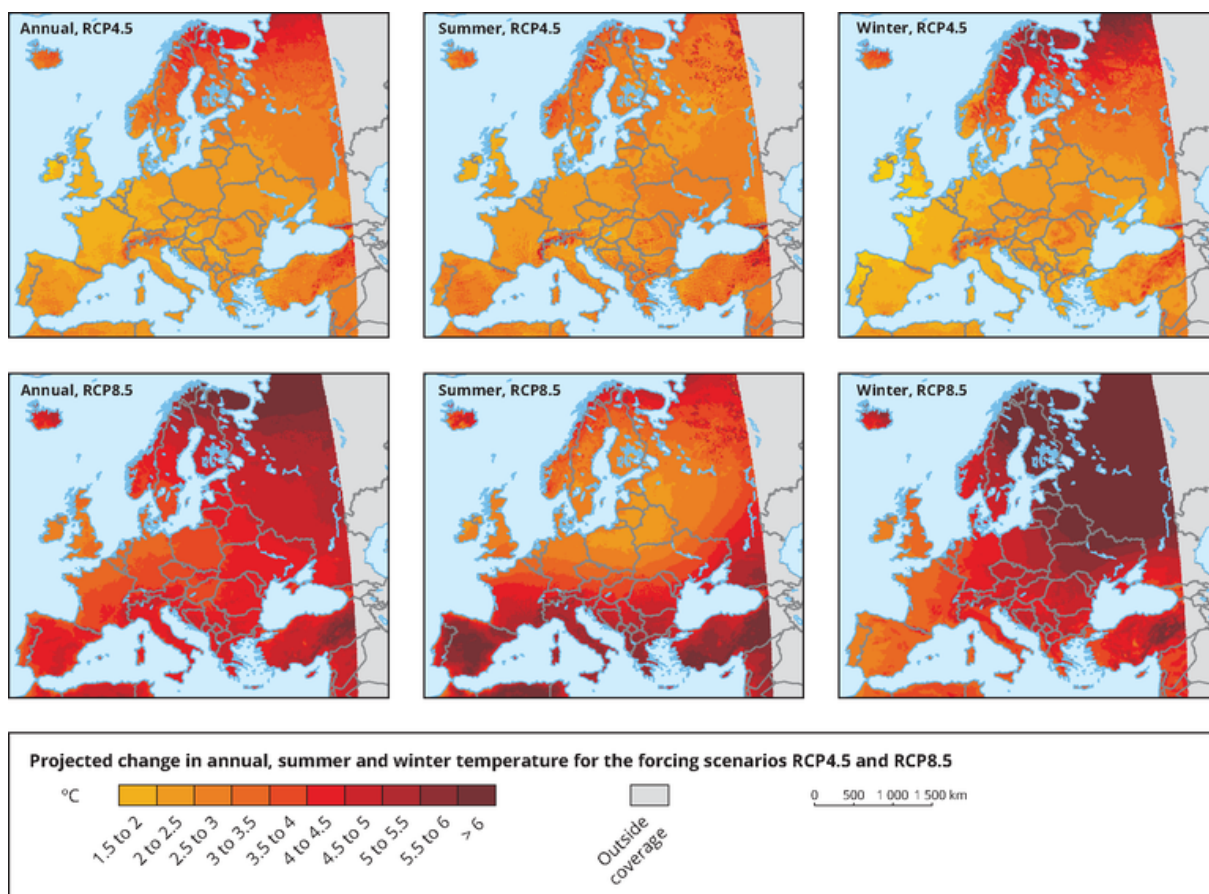
## Εισαγωγή

### 1.1 Γενική Περιγραφή

Η κύρια πρόκληση που αντιμετωπίζει σήμερα ο πλανήτης μας είναι ο αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής – μια παγκόσμια απειλή με πολλές όψεις. Με τον όρο **κλιματική αλλαγή** αναφερόμαστε στη μεταβολή του παγκοσμίου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του, που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερων ακόμα ετών. Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες, καθώς και σε ανθρώπινες δραστηριότητες με επιπτώσεις στο κλίμα, όπως η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας. Στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCCC, 1992), η κλιματική αλλαγή ορίζεται ειδικότερα ως η μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από την κλιματική μεταβλητότητα που έχει φυσικά αίτια.

Είτε πρόκειται για πλημμύρες είτε για ξηρασία, οι επιπτώσεις των αλλαγών σήμερα αλλά και στο μέλλον ποικίλλουν ανάλογα με τον τόπο διαμονής (Ahner, 2009). Στις αρχές του 21ου αιώνα είναι φανερό ότι ο τρόπος χρήσης των πόρων της γης επηρεάζει αρνητικά τους φυσικούς κύκλους του πλανήτη μας: ο κύκλος του νερού, του αζώτου, του οξυγόνου και, κυρίως, του άνθρακα επηρεάζονται από τα 6 δισ. ανθρώπων που ζουν στον πλανήτη σήμερα. Τώρα, περισσότερο από ποτέ, ο κόσμος απειλείται με μεγάλους πληθυσμούς, περιορισμένες προμήθειες τροφίμων και τη συρρίκνωση των αποθεμάτων ενέργειας. Μεγάλης διάρκειας ξηρασία ή παρατεταμένα ακραία καιρικά φαινόμενα σε σημαντικές κατοικημένες ή γεωργικές περιοχές θα μπορούσαν να προκαλέσουν παγκόσμια κρίση και ενδεχόμενη καταστροφή (Fritts et al., 1979).

Τα περισσότερα μοντέλα προβλέπουν αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη από 2 °C στην καλύτερη περίπτωση ως και 5-6 °C τα επόμενα 100 έτη (European Environmental Agency, 2007).



Εικόνα 1 - Προβλεπόμενες μεταβολές στην ετήσια, καλοκαιρινή και χειμερινή θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα (° C) κατά την περίοδο 2071-2100, σε σύγκριση με την περίοδο 1971-2000 (European Environment Agency, 2018).

Η κλιματική αλλαγή επιδρά αρνητικά στον καθέναν, αλλά και στα είδη με τα οποία μοιράζονται οι άνθρωποι τον πλανήτη. Παρακάτω ακολουθούν μόνο τρεις από τους κύριους τομείς που θα επηρεαστούν δραματικά από την κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη:

- *Νερό*

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επιφέρει μείζονες αλλαγές στη διαθεσιμότητα του νερού σε όλη την Ευρώπη, αυξάνοντας τη λειψυδρία σε περιοχές όπως η Νότια Ευρώπη και τον κίνδυνο πλημμύρας σε όλη σχεδόν την ήπειρο.

- Δημόσια Υγεία

Το κεντρικό συμπέρασμα των μελετών που έχουν εκπονηθεί σχετικά με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην ανθρώπινη υγεία είναι πως η κλιματική αλλαγή μπορεί να προκαλέσει, μεταξύ άλλων (WHO, 2003):

α) **αυξημένη θνησιμότητα λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας**, αλλά και συγχρόνως μειωμένη θνησιμότητα στις λιγότερες θερμές χώρες για τον ίδιο λόγο,

β) **μεγαλύτερη συχνότητα επιδημιών** μεταδοτικών ασθενειών λόγω πλημμυρών και ακραίων καιρικών φαινομένων,

γ) **υπολογίσιμες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία** λόγω της μετακίνησης πληθυσμών εξαιτίας της αύξησης της στάθμης των θαλασσών και της αυξημένης συχνότητας ακραίων καιρικών φαινομένων.

Οι υγειονομικές αρχές στις Ηνωμένες Πολιτείες διακρίνουν επισήμως 11 κατηγορίες επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην υγεία (CDC, 2009):

α) Άσθμα, αναπνευστικές αλλεργίες και ασθένειες από τον ατμοσφαιρικό αέρα

β) Νεοπλάσματα

γ) Καρδιοαναπνευστικά προβλήματα και εμφράγματα

δ) Τροφιμογενείς ασθένειες και λοιμώξεις

ε) Νοσηρότητα και θνησιμότητα από τη ζέστη

στ) Επιπλοκές στην ανθρώπινη ανάπτυξη

ζ) Ψυχική υγεία και διαταραχές άγχους

η) Νευρολογικές διαταραχές

θ) Ασθένειες που προκαλούνται από φορείς

ι) Ασθένειες που προκαλούνται από το νερό

ια) Νοσηρότητα και θνησιμότητα από τον καιρό (ακραία καιρικά φαινόμενα)(Υφαντόπουλος κ.α. 2011).

Θα αυξηθούν οι θάνατοι που οφείλονται στη ζέστη. Εάν η θερμοκρασία αυξηθεί κατά 2°C, ο αριθμός των θανάτων στις αστικές περιοχές θα διπλασιαστεί ή και θα τριπλασιαστεί. Εάν συνεχίσουμε την ελεύθερη εμπορία χωρίς την προσήκουσα προσοχή στην αειφορία, ο αριθμός των θανάτων λόγω της ζέστης αναμένεται να αυξάνεται κατά 100 000 ετησίως έως το 2100. Εάν ληφθεί υπόψη η μείωση του αριθμού των θανάτων λόγω ψύχους, η αύξηση των θανάτων περιορίζεται σε 86000 ετησίως. Ο δεύτερος παράγοντας είναι η διαθεσιμότητα και η ποιότητα του νερού.

Το 2070, ο αριθμός των ανθρώπων που θα υποφέρουν από υπερένταση όσον αφορά τους υδάτινους πόρους αναμένεται να κυμαίνεται από 16 έως 44 εκατομμύρια. Ο τρίτος είναι η αύξηση των ασθενειών που συνδέονται με τρόφιμα και ζώα που είναι φορείς ασθενειών σε περιοχές όπου δεν υπήρχαν προηγουμένως, έτσι παρατηρείται σήμερα εξάπλωση ασθενειών που συνδέονταν παραδοσιακά με τα θερμότερα κλίματα.

- *Δασικές Πυρκαγιές*

Τα δασικά οικοσυστήματα παράγουν ποικιλία υλικών αγαθών όπως ξυλική βιομάζα (τεχνική και καύσιμη ξυλεία, χαρτοπολτό), καρπούς, μανιτάρια, μέλι, συμβάλλουν στην παραγωγή και ποιότητα του νερού, την ποιότητα του αέρα, τη δέσμευση και αποθήκευση του CO<sub>2</sub>, προσφέρουν ποικίλες άυλες υπηρεσίες όπως προστασία εδαφικών πόρων, βιοποικιλότητα. Τα δάση μπορούν να χαρακτηριστούν ως 'αποθήκες' του άνθρακα καθώς από το σύνολο του δεσμευμένου στους φυτικούς οργανισμούς παγκοσμίως, το 77% βρίσκεται στα δάση (Karjalainen et al., 2003). Επιπρόσθετα, αυτά έχουν σημαντική πολιτιστική και αισθητική αξία καθώς προσφέρουν ευκαιρίες για ποικίλες δραστηριότητες αναψυχής (πεζοπορία, κατασκήνωση, θήρα, κ.λπ.), στοιχεία απαραίτητα για τη διατήρηση και προστασία της βιοκοινότητας, του περιβάλλοντος και εν κατακλείδι την ευζωία του ανθρώπου. Η αφθονία των αγαθών και η ποιότητα των υπηρεσιών εξαρτώνται πρωτίστως από τη σταθερότητα των οικοσυστημάτων, που είναι συνάρτηση της βιοποικιλότητας καθώς και από τις διεργασίες που επιτελούνται σε αυτά. Η ευεξία και η δυναμική αύξησης των φυτών εξαρτώνται άμεσα από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, το διαθέσιμο νερό και τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους ενώ επηρεάζονται και από συνοικολογικούς παράγοντες, όπως ο ανταγωνισμός, οι επιδράσεις της ζωοκοινότητας και των μικροοργανισμών, οι πυρκαγιές κ. ά. (Johnsen et al., 2001).

Τα δασικά οικοσυστήματα θα ζημιωθούν κατά κύριο λόγο από τα μειωμένα κατακρημνίσματα και τις υψηλές θερμοκρασίες που θα επικρατήσουν κατά την ξηροθερμική περίοδο, ενώ διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο καταστροφικών πυρκαγιών (Giannakopoulos et al., 2009).

Τα καλοκαίρια του 2003 και του 2004, η Ισπανία, η Πορτογαλία, η Γαλλία και η Ελλάδα επλήγησαν από μεγάλο κύμα δασικών πυρκαγιών. Ο αυξημένος κίνδυνος οφείλεται σε ένα συνδυασμό παραγόντων που περιλαμβάνουν την άτακτη εξάπλωση αστικής περιοχής, την πλημμελώς ελεγχόμενη ανάπτυξη της υπαίθρου, την κακοδιαχείριση των δασών και την αύξηση των επισκεπτών στις ευαίσθητες περιοχές. Εάν σε αυτούς προστεθεί η κλιματική αλλαγή και η επίδρασή της (πιο ζεστοί και ξηροί μήνες), καθίσταται προφανής η ανάγκη για στρατηγικές προσαρμογής που προβλέπουν τον εμπλουτισμό της βιοποικιλότητας μιας περιοχής (EURP, 2009).

Η μεταπτυχιακή αυτή διατριβή θα ασχοληθεί με το φαινόμενο αυτό της αύξησης των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα. Στόχος είναι με την χρήση των δακτυλίων αιωνόβιων δέντρων μαύρης πεύκης να γίνει αναπαράσταση της θερμοκρασίας για περισσότερα από 150 χρόνια ούτως ώστε να μπορούν να διερευνηθούν οι μακροπρόθεσμες αλληλεπιδράσεις θερμοκρασίας/πυρκαγιάς στην περιοχή της Νότιας Πελοποννήσου και να εξαχθούν καλύτερα στοιχεία για την εξήγηση της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς.

## 1.2 Κλίμα και κλιματική αλλαγή

**Το κλίμα (μακροκλίμα)**, αναφέρεται στις γενικές ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν, στη διάρκεια του χρόνου, σε μία μεγάλης έκτασης περιοχή της γης και χαρακτηρίζεται συνήθως από τη θερμοκρασία, την υγρασία και τις βροχοπτώσεις.

Τα χερσαία και θαλάσσια οικοσυστήματα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη **ρύθμιση του κλίματος**. Σήμερα απορροφούν περίπου τις μισές ανθρωπογενείς ανθρακούχες εκπομπές. Οι υπηρεσίες που παρέχουν η βιοποικιλότητα και τα οικοσυστήματα (biodiversity-ecosystem services) βοηθούν τον άνθρωπο να προσαρμοστεί στην κλιματική αλλαγή και να τη μετριάσει. Επομένως, κατέχουν κρίσιμη θέση στην προσπάθεια καταπολέμησης της κλιματικής αλλαγής.

Ταυτόχρονα, **η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τα φυσικά οικοσυστήματα**. Η συνεχιζόμενη απώλεια βιοποικιλότητας και υποβάθμιση των οικοσυστημάτων εξασθενίζει την ικανότητά τους να παρέχουν βασικές υπηρεσίες, σε βαθμό που υπάρχει κίνδυνος να καταλήξουν σε μη αναστρέψιμα «σημεία ανατροπής».

Προστατεύοντας τη φύση και αποκαθιστώντας τα οικοσυστήματα, μειώνεται η ευπάθεια και αυξάνεται η προσαρμοστικότητα. Η προστασία και η αποκατάσταση της φύσης είναι ένας μεγάλος, οικονομικά αποδοτικός σύμμαχος στον αγώνα κατά της κλιματικής αλλαγής. **Η κλιματική αλλαγή επιδρά αρνητικά στη βιοποικιλότητα.** Είναι μία από τις αιτίες της απώλειας βιοποικιλότητας. Ταυτόχρονα, η κλιματική αλλαγή θα επιταχυνθεί ακόμα περισσότερο αν δεν προστατευτεί αποτελεσματικά η βιοποικιλότητα και τα οικοσυστήματα (Δημόπουλος κ.α., 2013).

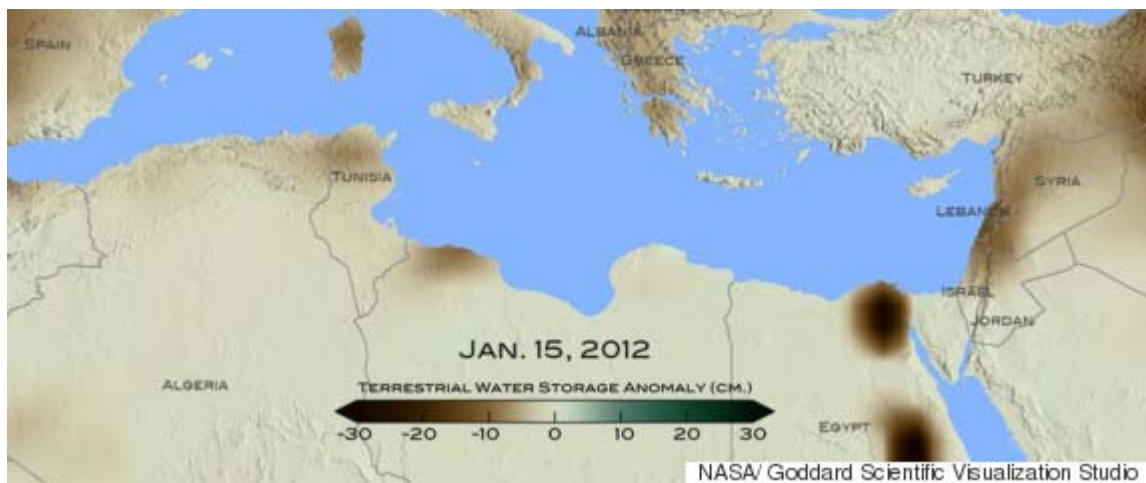
Η επίδραση του CO<sub>2</sub> στην σημερινή θέρμανση φαίνεται να αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα καθώς αυτός ο μεγάλος ρυθμός θέρμανσης δεν μπορεί να ερμηνευτεί ή να συσχετιστεί με συγκεκριμένα γεωλογικά γεγονότα π.χ. τροχιακοί παράμετροι της Γης, κατάρευση των υδριτών μεθανίου, μεταβολή στην κυκλοφορία των ωκεάνιων ρευμάτων, ηφαιστειακή δραστηριότητα, μετακίνηση ηπείρων, μεταβολές στην ηλιακή δραστηριότητα, τα οποία αποτελούσαν αιτίες παγκόσμιας θέρμανσης στο γεωλογικό παρελθόν (Παπανικολάου και Παπανικολάου, 2011).

### **1.3 Κλιματική αλλαγή στην ανατολική Μεσόγειο**

Το 1998 άρχισε η χειρότερη περίοδος ξηρασίας των τελευταίων 900 ετών στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου και του Λεβάντε (Κύπρος, Ισραήλ, Ιορδανία, Λίβανος, Παλαιστίνη, Συρία, Τουρκία).

Οι επιστήμονες της αμερικανικής διαστημικής υπηρεσίας κατέγραψαν την ιστορία των ξηρασιών στη Μεσόγειο μελετώντας τους δακτυλίους των δέντρων στο πλαίσιο μιας προσπάθειας κατανόησης του κλίματος της περιοχής και τι προκαλεί τη μετακίνηση νερού από και προς τη συγκεκριμένη περιοχή. Οι λεπτοί δακτύλιοι υποδεικνύουν χρόνια ξηρασίας, ενώ οι πιο παχείς υποδεικνύουν χρόνια κατά τα οποία το νερό ήταν άφθονο. Πέραν των πλέον ξηρών ετών, οι επιστήμονες ανακάλυψαν μοτίβα στη γεωγραφική κατανομή των ξηρασιών, κάτι που αποτελεί σημαντική βοήθεια για τον εντοπισμό των αιτίων. Μαζί, αυτά τα δεδομένα δείχνουν το εύρος των φυσικών εξελίξεων που επηρεάζουν τη συχνότητα των ξηρασιών, κάτι που επιτρέπει στους επιστήμονες να κάνουν διαχωρισμό από τους ανθρώπινους παράγοντες, όπως την προκληθείσα από τον άνθρωπο αύξηση της θερμοκρασίας.

Στο πλαίσιο της έρευνας, ο Μπεν Κουκ, επικεφαλής συντάκτης της έρευνας και κλιματολόγος του Goddard Institute for Space Studies στη NASA και στο Lamont Doherty Earth Observatory, και η ομάδα του, χρησιμοποίησαν τον Old World Drought Atlas (αρχείο δακτυλίων δένδρων) για να κατανοήσουν καλύτερα πόσο συχνές και πόσο έντονες ήταν οι περίοδοι ξηρασίας κατά το παρελθόν. Ελήφθησαν δείγματα από δέντρα, ζωντανά και νεκρά, από περιοχές όπως η βόρεια Αφρική, η Ελλάδα, ο Λίβανος, η Ιορδανία, ο Λίβανος, η Συρία και η Τουρκία. Σε συνδυασμό με δεδομένα από την Ισπανία, τη νότια Γαλλία και την Ιταλία, τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την αναδημιουργία μωτίβων γεωγραφικά και ανά το πέρασμα του χρόνου μέσα στην τελευταία χιλιετία. Τα αποτελέσματα της έρευνας δημοσιεύτηκαν στο Journal of Geophysical Research-Atmospheres.



Εικόνα 2 - Αποθήκευση Επίγειου Νερού – Cook et. al., 2016

Μεταξύ του 1100 και του 2012, διαπιστώθηκαν περίοδοι ξηρασίας που περιγράφονται σε ιστορικά συγγράμματα. Κατά τον Κουκ, το εύρος των ακραία υγρών και ακραία ξηρών περιόδων είναι ιδιαίτερα μεγάλο, αλλά η πρόσφατη περίοδος ξηρασίας στον Λεβάντε, από το 1998 μέχρι το 2012, φαίνεται ότι είναι κατά 50% πιο ξηρή από την πλέον ξηρή των τελευταίων 50 ετών και 10%-20% ξηρότερη από την πλέον ξηρή των τελευταίων 900 ετών.

Ένα ερώτημα που προκύπτει είναι το εξής: Όταν υπάρχει ξηρασία στην ανατολική Μεσόγειο, δεν υπάρχει ξηρασία και στη δυτική; Η απάντηση, σύμφωνα με τον Κέβιν Αντσουκάιτις, κλιματολόγο του Πανεπιστημίου της Αριζόνα στο Τάκσον, είναι ναι, τις περισσότερες φορές.



«Τόσο για τη σύγχρονη κοινωνία, και σίγουρα για τους αρχαίους πολιτισμούς, σημαίνει ότι εάν μια περιοχή υπέφερε από τις επιπτώσεις της ξηρασίας, οι ίδιες συνθήκες ήταν πιθανό να υπάρχουν και σε ολόκληρη τη λεκάνη της Μεσογείου» σημείωσε σχετικά.

Επιπρόσθετα, διαπιστώθηκε ότι όταν η βόρεια Μεσόγειος- Ελλάδα, Ιταλία, ακτές Γαλλίας και Ισπανίας- περνούσαν περιόδους ξηρασίας, υπήρχε υγρασία στο ανατολικό κομμάτι της βόρειας Αφρικής, και το αντίθετο (Cook et al., 2016).

## **1.4 Διαπιστώσεις και προβλέψεις για το παρόν και το μέλλον του κλίματος σε Μεσόγειο και Ελλάδα**

Στην 4η έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC 2007) εκτιμάται ότι αν το ισοδύναμο συγκεντρώσεων CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα φτάσει το 2100 τα 850 ppm (μέρη στο εκατομμύριο) σε σχέση με συγκέντρωση CO<sub>2</sub> 379 ppm το 2005 εξαιτίας του γνωστού «φαινομένου του θερμοκηπίου», η βροχόπτωση θα αυξηθεί, με πιθανότητα πάνω από 90%, στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη του πλανήτη, ενώ αναμένεται, με πιθανότητα πάνω από 66%, να μειωθεί στις περισσότερες υποτροπικές χερσαίες περιοχές. Τα κλιματικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την παραπάνω πρόγνωση προβλέπουν ότι στη Μεσόγειο και ειδικότερα στην ανατολική της λεκάνη, αναμένεται σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων και περαιτέρω αύξησης της θερμοκρασίας μέσα στον 21<sup>ο</sup> αιώνα σε σχέση με τα τέλη του 20ού. Ειδικότερα, για την περιοχή της Α. Μεσογείου και τον ελλαδικό χώρο, σύμφωνα με το πιο πάνω σενάριο, προβλέπεται μείωση της βροχόπτωσης έως 30% σε ετήσια βάση (έως 30% το χειμώνα, μεγαλύτερη προς τα νότια της χώρας και πάνω από 30% το καλοκαίρι). Επίσης, προβλέπεται ότι η αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας θα κυμανθεί μεταξύ 2,5 °C και 3,5 °C και της μέσης θερμοκρασίας της χειμερινής περιόδου μεταξύ 2 °C και 3 °C. Το καλοκαίρι, όμως, η αύξηση προβλέπεται να κυμανθεί σε ακόμη υψηλότερα επίπεδα και να φτάσει τους 4 °C. Η συνεπακόλουθη ένταση της ξηρασίας (μείωση της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας για τη βλάστηση και αύξηση της εξατμισοδιαπνοής) αναμένεται να αυξήσει την καταπόνηση στα δασικά μεσογειακά οικοσυστήματα, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες.

Τις τελευταίες δεκαετίες του 20<sup>ου</sup> αιώνα παρατηρήθηκε μια σημαντική πτωτική τάση στην χειμερινή βροχόπτωση της Μεσογείου που είχε αντίκτυπο και στην ετήσια βροχόπτωση του ελλαδικού χώρου. Έτσι, τέτοιες περιοχές οδηγήθηκαν πολύ πιθανώς σε μειωμένη εδαφική υγρασία το καλοκαίρι. Ειδικότερα σε έρευνα για τη μελέτη των τάσεων της βροχόπτωσης στην Ελλάδα (1955-2001), οι μελετητές αναφέρουν ότι παρατηρείται μια στατιστικά σημαντική μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης σε όλη την Ελλάδα κυρίως λόγω μείωσης της χειμερινής βροχόπτωσης με εξαίρεση το κεντρικό Αιγαίο και τη νότια ηπειρωτική χώρα. Υποστηρίζουν ότι η στατιστικά σημαντική μείωση της βροχόπτωσης της περιόδου 1955-2001 επήλθε μετά το 1984, τόσο για την ετήσια όσο και για τη χειμερινή βροχόπτωση της Ελλάδας, ενώ υπάρχουν περιοχές όπου η μετάπτωση προς ξηρότερες συνθήκες ξεκίνησε ήδη από τα μέσα της δεκαετίας του 1970. Οι πορεία των τάσεων της καλοκαιρινής βροχόπτωσης, από την άλλη, δεν εμφανίζει μια σταθερή εικόνα. Τα δεδομένα αυτά, όμως, καλύπτουν μια σχετικά μικρή χρονικά περίοδο.

Για περισσότερο μακροχρόνιες εκτιμήσεις έχουν πραγματοποιηθεί αναπαραστάσεις του κλίματος της Μεσογείου βασισμένες σε ιστορικά ντοκουμέντα και παλαιές μετεωρολογικές μετρήσεις. Επίσης, έχουν αξιοποιηθεί κλιματικές πληροφορίες που μπορούν να εξαχθούν από αυξητικούς δακτύλιους δένδρων, πυρήνες πάγου, κοράλλια, σταλακτίτες και σταλαγμίτες και πάλι σε συνδυασμό με ιστορικά αρχεία κλιματικών παρατηρήσεων και μακροχρόνια μετεωρολογικά δεδομένα. Από τις μέχρι τώρα αναπαραστάσεις του μεσογειακού κλίματος των τελευταίων 500 ετών φαίνεται ότι η τάση της χειμερινής βροχόπτωσης από τη δεκαετία του 1960 έως τα τέλη του 20ου αιώνα έχει γίνει αρνητική.

## **1.5 Ευρήματα από την Ελλάδα για τις επιπτώσεις στα δάση από την πρόσφατη μείωση των βροχοπτώσεων.**

Κατά το δεύτερο ήμισυ του 20ου αιώνα και ιδιαίτερα προς τα τέλη του, εντοπίστηκαν αρνητικές επιπτώσεις στην **παραγωγικότητα (μεταβολή της βιομάζας/έτος)** των δασών τραχείας (*Pinus halepensis* subsp. *brutia*) και χαλέπιου (*Pinus halepensis* subsp. *halepensis*) πεύκης της θερμο-μεσογειακής ζώνης βλάστησης της χώρας μας σε δένδρα κοντά στα **θερμοόρια** εξάπλωσης του είδους.

Μελέτες από τη Σάμο, την Ιεράπετρα, τη Ζάκυνθο και τη Σκύρο κατέδειξαν ότι η δευτερογενής κατά πάχος αύξηση των δέντρων από τις παραπάνω περιοχές κυριαρχείται από τις μεταβολές της βροχόπτωσης και έφτασε στα χαμηλότερά της ιστορικά επίπεδα την τελευταία δεκαετία του 20ου αιώνα, ακόμη και για δέντρα ηλικίας 200-250 ετών.

Επίσης, βρέθηκε πως συντελέστηκαν αλλαγές στην κρίσιμη περίοδο βροχόπτωσης που χρησιμοποιούν τα δένδρα για την ετήσια αύξησή τους. Στα χρόνια με άφθονες βροχοπτώσεις η κρίσιμη περίοδος βροχόπτωσης στα παραπάνω τα δένδρα μπορεί να κυμαίνεται από λίγες εβδομάδες ή μήνες πριν ή και κατά την έναρξη της αυξητικής περιόδου, ενώ κατά την πολύ ξηρή περίοδο στα τέλη του 20ου αιώνα έφτασε έως και έξι χρόνια προ και συμπεριλαμβανομένου του έτους αύξησης. Το φαινόμενο δείχνει πως τα αποθέματα εδαφικής υγρασίας από βροχοπτώσεις προηγούμενων ετών έχουν μεγάλη σημασία για την ετήσια αύξηση της χαλέπιου και της τραχείας πεύκης στα θερμο-όρια της εξάπλωσής τους κατά τη διάρκεια πολύ ξηρών κλιματικά περιόδων.

Όμως, τα αποθέματα εδαφικής υγρασίας έχουν τα όριά τους εφόσον οι βροχοπτώσεις μιας σειράς ετών δεν επιτρέψουν την επαρκή αναπλήρωσή τους. Στην περίπτωση αυτή τα δέντρα μπορεί να φτάσουν πολύ κοντά στα όρια της επιβίωσης, πράγμα που μπορεί να επιφέρει ακόμη και την **απονέκρωση** τους λόγω ξηρασίας. Τέτοια περιστατικά καταγράφηκαν στη Σάμο και στην Αχαΐα, όπου ακόμη και 80-χρονα πεύκα ξεράθηκαν στο τέλος των καλοκαιριών του 2000 και 2007.

Συνεπώς, εάν συνθήκες όπως οι παραπάνω επικρατήσουν κατά τον 21ο αιώνα, εκτιμάται ότι μπορεί να αυξηθεί σημαντικά ο κίνδυνος άμεσων καταστροφών τουλάχιστον για τα δάση της θερμο-μεσογειακής ζώνης βλάστησης και ιδιαίτερα αν αυτές συνδυαστούν με αυξημένες θερινές θερμοκρασίες και πυρκαγιές.

Όμως, υπάρχουν και περιπτώσεις όπου η **παραγωγικότητα** και κατ' επέκταση η εξάπλωση της χαλέπιου πεύκης μπορεί να ευνοηθεί από τη μείωση των βροχοπτώσεων. Σε υγροτοπικά συστήματα όπου το έδαφος είναι κορεσμένο σε νερό, μειώνεται σημαντικά η ποσότητα του αέρα στο έδαφος κατά την αυξητική περίοδο των φυτών. Σε αυτά τα συστήματα **περιοριστικός παράγοντας** για την παραγωγικότητα των φυτών είναι η έλλειψη οξυγόνου στο έδαφος (ανοξία).

Το οξυγόνο είναι στοιχείο απαραίτητο για την διατήρηση του ριζικού συστήματος των φυτών. Η κουκουναριά (*Pinus pinea*) είναι φυτό προσαρμοσμένο σε υγροτοπικές συνθήκες, ενώ το ριζικό σύστημα της χαλέπιου πεύκης δεν διαθέτει τέτοιες προσαρμογές με αποτέλεσμα να μην εξαπλώνεται σε υγροτοπικά εδάφη (Δημόπουλος κ.α., 2013).

## 1.6 Πυρκαγιές στην Ελλάδα

Η ένταση και η συχνότητα των πυρκαγιών εξαρτάται από την ποσότητα της εύφλεκτης βιομάζας, τις υψηλές θερμοκρασίες, την παρατεταμένη ξηρασία και την ταχύτητα του ανέμου. Στον Ελλαδικό χώρο οι πυρκαγιές είναι πολύ συχνές, υποβαθμίζοντας τη δομή, τη σύνθεση και τη λειτουργία των δασικών οικοσυστημάτων και περιορίζοντας τις ευεργετικές επιδράσεις τους. Τα έτη 1990-2000 εκδηλώθηκαν 18.545 πυρκαγιές που κατέκαυσαν 519.745 εκτ. γης, εκ των οποίων το 49% ήταν παραγωγικά δάση (ΥΠΕΚΑ, 2010). Τα έτη 2000-2010 (Γκουρμπάτσης, 2010) εκδηλώθηκαν στην Ελλάδα συνολικά 111.642 πυρκαγιές που αποτεφρώσαν 611.706 εκτ. αγροτοδασικής γης (δεν υπάρχει διαχωρισμός δασικών πυρκαγιών). Δηλ. κατά μέσο όρο αποτεφρώθηκαν 52 χιλ. εκτ. δασικής γης ετησίως τη δεκαετία 1990-2000 και 61 χιλ. εκτ. αγροδασικής γης τη δεκαετία 2000-2010. Οι προβλέψεις (Hennessy et al., 2007) είναι δυσοίωνες καθώς η συχνότητα των ημερών υψηλού κινδύνου πυρκαγιών αναμένεται να αυξηθεί από 15% έως και 70% μέχρι το 2050. Για την Ελλάδα, σύμφωνα με τους Giannakopoulos et al. (2009), η περίοδος αυξημένου κινδύνου πυρκαγιών θα επεκταθεί από 2 έως 6 εβδομάδες. Είναι γεγονός ότι πολλές από τις δασικές φυτοκοινότητες είναι προσαρμοσμένες στις πυρκαγιές και αυτοαναγεννώνται. Με επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές όμως και σε βάθος χρόνου, ευνοείται η εγκατάσταση θαμνώδους και φρυγανώδους βλάστησης, εις βάρος της δενδρώδους. (Νάστης, κ.α., 2011)

Το 2007, στην Ελλάδα μετά από δύο εβδομάδες ξηρών και ισχυρών ανέμων και θερμοκρασιών μέχρι και 40°C από τις 24 Αυγούστου ξεκίνησε ένα κύμα περίπου 3000 εστιών πυρκαγιάς. Η πύρινη λαίλαπα διήρκησε περίπου επτά ημέρες και συνολικά 1,900.000 στρέμματα αποτεφρώθηκαν, 150 χωριά καταστράφηκαν και 64 άτομα έχασαν τη ζωή τους. Για τις πυρκαγιές συνελήφθησαν 32 ύποπτοι για εμπρησμούς (Greenpeace 2014).

# Κεφάλαιο 2

## Δενδροχρονολόγηση

### 2.1 Εισαγωγή

Ανακατασκευασμένα ή έμμεσα στοιχεία (proxy data), όπως χρονοσειρά του πάχους και της σύνθεσης των ιζημάτων της λίμνης, τα στρώματα παγετώνων, αυξήσεις σε κοράλλια, σταλακτίτες και δέντρα, κατανομή θερμοκρασίας γεωτρήσεων, και τα τεκμηριωμένα στοιχεία είναι καθοριστικά για την κατανόηση και τον ποσοτικό προσδιορισμό των κλιματολογικών συνθηκών του παρελθόντος (Bradley και Jones 1992, Jones et al. 1996, Jones and Mann 2004, Moberg et al. 2005).

Τα δεδομένα από αυτά τα αρχεία συγκρίνονται γενικά και συσχετίζονται με τις μετρήσεις οργάνων για την ποσοτικοποίηση των κλιματικών ευαισθησιών και των σημάτων τους και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για να τεκμηριώσουν το κλίμα πριν από την περίοδο των ύπαρξης μετρήσεων με όργανα (Esper et al., 2006). Επειδή οι σειρές των δακτυλίων των δέντρων έχουν ετήσια ανάλυση, η ανάλυση και η ακρίβεια των άλλων πηγών είναι γενικά χαμηλότερες (Briffa and Matthews 2002). Οι μεγαλύτερες αδυναμίες είναι ότι οι χρονολογίες δακτυλίων αποτυπώνουν μόνο ένα κλάσμα της μεταβλητότητας του κλίματος. Η ανταπόκρισή τους μπορεί να περιοριστεί σε συγκεκριμένα εποχιακά "παράθυρα", ορισμένα δε ανταποκρίνονται άμεσα σε μια μηνιαία ή και εποχική μεταβλητή του κλίματος. Η χρήση τους για την ανακατασκευή του παρελθόντος κλίματος βασίζεται στην υπόθεση ότι οι ίδιοι παράγοντες, ενεργώντας με τον ίδιο τρόπο, κατά το παρελθόν είχαν τον ελεγχόμενο σχηματισμό δέντρων, όπως στον εικοστό αιώνα. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εξάλειψη της μη κλιματικής μεταβλητότητας, όπως αυτή που προκαλείται από την τάση των ηλικιών / μεγέθους των δένδρων και τις αλληλεπιδράσεις με τους γείτονες, περιορίζουν σε πολλές περιπτώσεις την πιστή αναπαράσταση των κλιματικών μεταβολών σε εκατονταετηρίδες και μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες (Hughes, 2002).

## 2.2 Δενδροχρονολογία και Δενδροκλιματολογία

Δενδροχρονολογία είναι η επιστήμη που χρησιμοποιεί τους αυξητικούς δακτυλίους των δένδρων για τη χρονολόγηση και μελέτη γεγονότων του παρελθόντος, καθώς και για την επίλυση προβλημάτων του κλίματος και του περιβάλλοντος γενικότερα. (Fritts, 1976, Cook and Kairiukstis, 1990, Kaennel and Scanweingruber, 1995).

Η Δενδροκλιματολογία, η οποία είναι υποκλάδος της Δενδροχρονολογίας χρησιμοποιεί τις χρονοσειρές των δακτυλίων των δένδρων ώστε να ανακατασκευάσει και να μελετήσει τα κλίματα του παρελθόντος και του παρόντος.

Αναγνωρισμένος πατέρας της δενδροχρονολογίας θεωρείται ο αστρονόμος Andreus Douglass (Fritts, 1976). Ο Douglass στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, προσπαθούσε να αποδείξει ότι οι ηλιακές κηλίδες επηρεάζουν το κλίμα της γης και ιδιαίτερα την βροχόπτωση. Σε ένα ταξίδι του στη Αριζόνα το 1901 παρατήρησε τη μεγάλη αυξομείωση του πλάτους των αυξητικών δακτυλίων σε κορμούς πεύκης στα δάση. Συγκρίνοντας τα δάση της Αριζόνας με αυτά της Νέας Αγγλίας που γνώριζε, παρατήρησε ότι στην Αριζόνα τα δέντρα ήταν σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους ενώ στην Νέα Αγγλία τα δάση ήταν πυκνά και με πολλή χαμηλή βλάστηση. Γνώριζε ότι στην Αγγλία η κατά πάχος αύξηση των δέντρων επηρεαζόταν κυρίως από την σκίαση και τον ανταγωνισμό στα δάση. Διερωτήθηκε αν τα δέντρα στην Αριζόνα επηρεάζονταν περισσότερο από την υγρασία παρά από τον ανταγωνισμό και εάν η υγρασία επηρέαζε το πλάτος των δακτυλίων. Αυτό αιτιολογούσε το ότι τα ξηρά χρόνια θα αποτυπώνονταν με στενούς δακτύλιους και θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει τους δακτύλιους σαν ανακατασκευασμένα στοιχεία για μακροχρόνια καταγραφή του καιρού και του κλίματος.

Το 1911 αναγνώρισε ο ίδιος την πραγματική σημασία των παρατηρήσεων του όταν το ίδιο πρότυπο (pattern) από λεπτούς και πλατιούς δακτύλιους αποτυπωνόταν και σε άλλες περιοχές. Με αυτό το τρόπο ο Douglass καθιέρωσε την διασταύρωση χρονολογιών ή συγχρονισμό (cross-dating), μια διαδικασία με την οποία εντοπίζεται ο ακριβής χρόνος στον οποίο δημιουργήθηκαν οι δακτύλιοι των δέντρων με την μελέτη των λεπτών και πλατιών δακτυλίων.

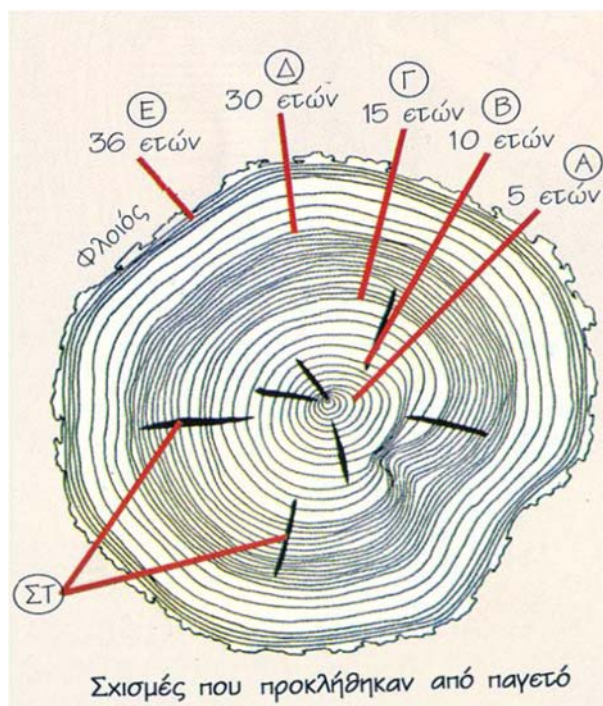
Το άλλο συμπέρασμα του Douglass. ήταν ότι οι αυξομειώσεις του πλάτους των δακτυλίων αποτελούσαν δείκτη των περιβαλλοντικών συνθηκών του παρελθόντος. Έτσι ενώ οι δακτύλιοι κάθε δένδρου αντιπροσώπευαν το μικροκλίμα, ο μέσος όρος του πλάτους πολλών δένδρων έδιναν σαφή εικόνα των περιβαλλοντικών συνθηκών της περιοχής.

## **2.3 Οι αυξητικοί δακτύλιοι των δένδρων ως μέσα για την χρονολόγηση γεγονότων αλλά και ως κλιματικοί δείκτες του παρελθόντος**

Ο αριθμός των ομόκεντρων αυξητικών δακτυλίων σε μια τομή του κορμού, μας δείχνει την ηλικία του δένδρου. Κάθε δακτύλιος αντιστοιχεί στη αύξηση του δένδρου σε διάστημα ενός έτους. Το πάχος των δακτυλίων ποικίλλει ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούσαν τη χρονιά που σχηματίστηκαν. Έτσι, στη διάρκεια μιας χρονιάς που οι καιρικές συνθήκες (υγρασία, θερμοκρασία κ.ά.) ήταν ευνοϊκές για την ετήσια αύξηση του δέντρου, σχηματίστηκε ένας καλά ανεπτυγμένος δακτύλιος. Αντίθετα, σε χρονιά που επικρατούσαν δυσμενείς καιρικές συνθήκες (ξηρασία, χαμηλές ή πολύ υψηλές θερμοκρασίες κ.ά.), σχηματίστηκε ένας λεπτός δακτύλιος.

Οι αυξητικοί δακτύλιοι δεν είναι πάντα ομόκεντροι εξαιτίας της επίδρασης διαφόρων εξωτερικών παραγόντων (ρύπανση, φωτιά, τραυματισμός κ.ά.). Οι εγκάρσιες σχισμές που παρατηρούνται σε μια τομή του κορμού, αποτελούν ένδειξη παγετού (ΚΠΕΚ, 2015).

Στα φυτά των εύκρατων περιοχών το κάμβιο (ο ιστός δηλαδή των φυτών που διαιρούμενος φτιάχνει τα διάφορα τμήματα τους) έχει περιοδική δραστηριότητα. Μπορεί να δραστηριοποιείται ανάλογα με το κλίμα της κάθε περιοχής από την άνοιξη έως το φθινόπωρο (όσο δηλαδή οι θερμοκρασίες είναι ευνοϊκές) και εισέρχεται συνήθως σε λήθαργο το χειμώνα (όταν οι θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλές).



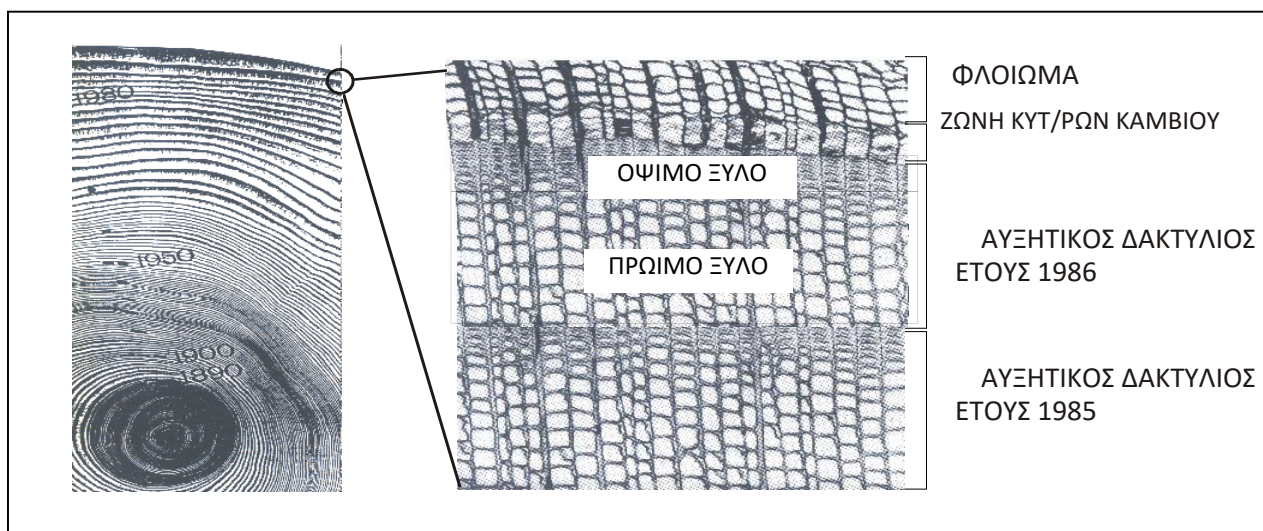
Εικόνα 3 – Αυξητικοί δακτύλιοι (Δημόπουλος κ.α., 2013)

Από τη δραστηριότητα του καμβίου παράγεται προς το κέντρο του βλαστού το δευτερογενές ξύλωμα (ξύλο). Στα κωνοφόρα αποτελείται από τραχειίδες, σκληροματικές ίνες και παρεγχυματικά κύτταρα, στοιχεία λίγο ή πολύ αποξυλωμένα που εξυπηρετούν τη μεταφορά υδατικών διαλυμάτων, την στήριξη και την αποταμίευση ουσιών. Το τμήμα του δευτερογενούς ξυλώματος (ξύλου) που παράγεται σε μια βλαστητική περίοδο ονομάζεται **αυξητικός δακτύλιος** (Δημόπουλος κ.α., 2013).

Όταν κατά τη διάρκεια του έτους υπάρχει μόνο μια βλαστητική περίοδος, ο αυξητικός δακτύλιος περιγράφεται ως ετήσιος δακτύλιος. Κάθε ετήσιος δακτύλιος αποτελείται από το πρώιμο (εαρινό) και το όψιμο (φθινοπωρινό) ξύλο. Το πρώιμο ξύλο σχηματίζεται στην αρχή της βλαστητικής περιόδου (άνοιξη) και χαρακτηρίζεται από λεπτότοιχα και φαρδιά σε διάμετρο αγγεία για να καλύψουν τις ανάγκες μεταφοράς αυξημένων ποσοτήτων νερού που έχει το φυτό κατ' αυτή την περίοδο. Το όψιμο ξύλο σχηματίζεται τις επόμενες εποχές, χαρακτηρίζεται από παχύτερα και στενότερα αγγεία, τα οποία το φθινόπωρο έχουν τη μικρότερη διάμετρο και εξυπηρετεί, επίσης, τη στήριξη του φυτού. Η μετάβαση από το εαρινό στο φθινοπωρινό ξύλο είναι βαθμιαία, ενώ εκείνη από το φθινοπωρινό ξύλο του παλαιότερου δακτυλίου στο εαρινό ξύλο του επομένου χρόνου είναι απότομη και διακρίνεται πολύ καλά στην εγκάρσια τομή ενός κορμού ως διαχωριστικός κύκλος.



Το γεγονός αυτό επιτρέπει να υπολογιστεί η ηλικία ενός δένδρου και επιτρέπει τη χρονολόγηση και μελέτη γεγονότων του παρελθόντος, (Εικόνα 4).



Εικόνα 4 – Πρώιμο και όψιμο ξύλο (Δημόπουλος κ.α., 2013)

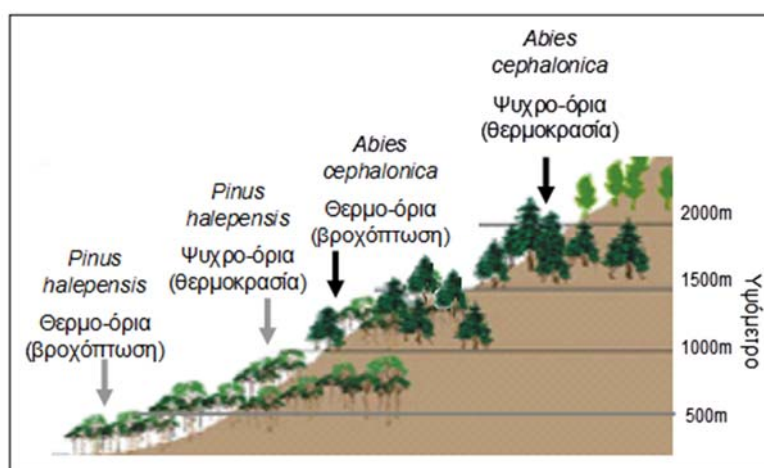
Τη χρονολόγηση του ξύλου (ετήσιων δακτυλίων) και μέσω αυτού τη χρονολόγηση και μελέτη γεγονότων του παρελθόντος όπως αναφέρεται πιο πάνω ερευνά η **Δενδροχρονολογία**. Τέτοιες εφαρμογές έχουν υπάρξει ως σήμερα π.χ. στην αρχαιολογία. Συγκρίνοντας ξύλο από ζωντανά δένδρα με αυτό ιστορικών κτηρίων ή αρχαιολογικών ανασκαφών επιτρέπεται η χρονολόγηση των τελευταίων όπως έδειξαν για περιπτώσεις που μελετήθηκαν στην Ελλάδα.

Κλάδος της Δενδροχρονολογίας είναι και η **Δενδροκλιματολογία** που επικεντρώνει σε προβλήματα κλιματικής φύσεως και ερευνά τις σχέσεις μεταξύ των ετήσιων δακτυλίων των δέντρων και του κλίματος του παρελθόντος.

Οι βασικές αρχές της Δενδροχρονολογίας που εφαρμόζονται και στην περίπτωση της Δενδροκλιματολογίας είναι οι τρεις παρακάτω:

- **Η αρχή είναι των περιοριστικών παραγόντων** (The principle of limiting factors) που αποτελεί και βασική αρχή της Οικολογίας. Σύμφωνα με αυτή, μια βιολογική διεργασία όπως η δευτερογενής κατά πάχος αύξηση των δέντρων, δεν μπορεί να προχωρήσει γρηγορότερα απ' ότι επιτρέπεται από τον παράγοντα που βρίσκεται σε ανεπάρκεια, ακόμη και αν οι άλλοι παράγοντες βρίσκονται στο άριστο. Αν, όμως, ο περιοριστικός παράγοντας αλλάξει και η τιμή του αυξηθεί, τότε η αύξηση των δέντρων επιταχύνεται μέχρι κάποιος άλλος παράγοντας γίνει περιοριστικός.

Ένας ή περισσότεροι περιοριστικοί παράγοντες μπορεί να καθορίσουν το συγχρονισμό του πλάτους αύξησης των δέντρων. Η επίδραση αυτή γίνεται μεγαλύτερη όταν ο περιοριστικός παράγοντας δρα σε ευρεία περιοχή και για μεγάλο χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, αν περιοριστικός παράγοντας σε μια περιοχή είναι η βροχόπτωση, θα έχει ως αποτέλεσμα, τις χρονιές που είναι μειωμένη, να υπάρχει αντίστοιχη μείωση και στο πλάτος των δακτυλίων των δέντρων στο οποίο επιδρά. Αν στην περιοχή αυτή, όμως, η βροχόπτωση αυξηθεί σημαντικά, τότε μπορεί να πάψει να αποτελεί περιοριστικό παράγοντα και τότε το πλάτος των δακτυλίων των δέντρων να καθορίζεται πλέον από άλλον παράγοντα που μπορεί να είναι η θερμοκρασία. Στην περίπτωση αυτή η αρχική σχέση μεταξύ πλάτους αύξησης των δέντρων και βροχόπτωσης θα χαθεί.



Εικόνα 5 – Θερμο-όρια και ψυχρο-όρια (Δημόπουλος κ.α., 2013)

- **Η αρχή του οικολογικού εύρους.** Σύμφωνα με αυτή την αρχή το γενετικό δυναμικό κάθε φυτικού είδους καθορίζει το οικολογικό εύρος μέσα στο οποίο επιτρέπεται η επιβίωση του. Κυρίαρχο ρόλο σε αυτό παίζει το κλίμα. Για παράδειγμα, η αύξηση ενός φυτού επηρεάζεται κυρίως στα θερμο-όρια του από τη βροχόπτωση και στα ψυχρο-όρια του από τη θερμοκρασία. Τα δέντρα που διαβιούν στα όρια αυτού του εύρους είναι και τα πιο ευαίσθητα στις μεταβολές του αντίστοιχου κλιματικού περιοριστικού παράγοντα (Εικόνα 5).
- **Η αρχή της ομοιότητας** (The uniformitarian principle) που αναφέρεται από τον Fritts (1976). Σύμφωνα με αυτή την αρχή για ένα δεδομένο δένδρο υπάρχουν περιβαλλοντολογικοί παράγοντες που επιδρούν και καθορίζουν την αύξηση του σήμερα. Η αύξηση του κατά το παρελθόν, υπό την επίδραση των ίδιων παραγόντων, θα είχε οδηγήσει την αύξηση του στο ίδιο αποτέλεσμα με το σημερινό.

Εφόσον, λοιπόν, είναι δυνατόν να διατυπωθεί σχέση μεταξύ της αύξησης του δένδρου και των κλιματικών συνθηκών σήμερα, η μελέτη των αυξητικών δακτυλίων του κατά το παρελθόν μπορεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα για τις μεταβολές του κλίματος την αντίστοιχη περίοδο. Τα συμπεράσματα αυτά γίνονται περισσότερο ασφαλή όσο περισσότερο ευαίσθητο είναι το δένδρο που επιλέγεται στις μεταβολές του κλίματος (Fritts 1976).

## **2.4 Διασταύρωση χρονολογιών (cross dating)**

Η πλειονότητα των μελετών δενδροχρονολογίας χρησιμοποιεί αυξητικούς πυρήνες ως δείγματα ξύλου. Αυτοί εξάγονται από τα δέντρα με τη χρήση τυποποιημένων διατρητών διαμέτρου 4.3 ή 5.0 mm. Οι πυρήνες λειάνονται προκειμένου να διακρίνονται τα όρια των δακτυλίων πριν από τη διασταύρωση και τη μέτρηση. Ο στόχος της λείανσης είναι να παρέχει μια ομαλή εγκάρσια επιφάνεια στο ξύλο. Για να εξασφαλιστεί η απόλυτη χρονολόγηση και να εντοπιστούν τα ελλιπή ή ψεύτικα δαχτυλίδια, είναι απαραίτητο να διασταυρωθούν οι πυρήνες πριν από τη μέτρηση. Διασταύρωση χρονολογιών (crossdating) είναι η διαδικασία της ταύτισης του πλάτους των πανομοιότυπων μοτίβων δαχτυλιδιών μεταξύ των συλλεχθέντων πυρήνων. Η διαδικασία αυτή, αν και αρκετά απλή πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή και είναι η πιο χρονοβόρα διαδικασία στη δημιουργία χρονολογιών. Η μέτρηση ξεκίνα από τον τελευταίο δακτύλιο που σχηματίστηκε και συνεχίζεται αντίστροφα με την χρονολογική σειρά. Μόλις χρονολογούνται αρκετοί πυρήνες με αυτόν τον τρόπο, τα πρότυπα που προκύπτουν χρησιμοποιούνται ως βασικά διαδοχικά έτη (key crossdating years) (Pucket, 1981).

## **2.5 Σταθεροποίηση (standardization)**

Οι πρώτες μετρήσεις του πλάτους των δακτυλίων των δέντρων (σε mm) και της μέγιστης πυκνότητας του ξύλου (σε g/cm<sup>3</sup>) είναι το αποτέλεσμα πολλών φυσιολογικών διεργασιών. Μερικές από αυτές είναι στενά συνδεδεμένες με το κλίμα και μερικές συνδέονται με μη κλιματικές πηγές, π.χ. η ηλικιακή τάση. Η τάση ηλικίας είναι υπεύθυνη για τη μείωση του πλάτους του δακτυλίου ή της πυκνότητας με την αυξανόμενη ηλικία των δέντρων. Αυτό προκύπτει από τη γεωμετρική ιδιότητα προσθήκης περισσότερης ή λιγότερης σταθερής βιομάζας σε μια αυξανόμενη επιφάνεια καθώς το δέντρο μεγαλώνει.

Αυτή η τάση πρέπει να εξαλειφθεί πριν από κλιματικές αναλύσεις, διαφορετικά το πλάτος του δακτυλίου ή η μέγιστη πυκνότητα του ξύλου αντικατοπτρίζουν την ηλικία των δέντρων και όχι το κλίμα. Αυτή η ηλικιακή τάση συνήθως αφαιρείται με διαδικασίες απομάκρυνσης (Esper et al., 2006).

Η σταθεροποίηση (standardization) των τιμών του πλάτους των ετησίων δακτυλίων ενός δένδρου, πριν από τη συσχέτιση με τις κλιματικές μεταβλητές (βροχόπτωση, θερμοκρασία κ.λπ.) είναι μια τέτοια βασική διαδικασία στη δενδροχρονολογία που θεωρείται από ορισμένους ως αρχή. Τα πλάτη των δακτυλίων μπορούν να ποικίλουν όχι μόνο από τις διακυμάνσεις των περιβαλλοντικών συνθηκών, αλλά και από τις φυσιολογικές αλλαγές στην ηλικία των δέντρων, το ύψος του κορμού και τις συνθήκες και την παραγωγικότητα του τόπου. Σε μελέτες της μεταβλητότητας του εύρους του δακτυλίου που σχετίζεται με το κλίμα είναι συνήθως εύκολο να εκτιμηθούν οι φυσιολογικές μεταβολές στο πλάτος του δακτυλίου που σχετίζονται με την ηλικία και να απομακρυνθούν από τις μετρήσεις. Αυτή η διόρθωση του πλάτους του δακτυλίου για την μεταβαλλόμενη ηλικία και γεωμετρία του δέντρου είναι γνωστή ως σταθεροποίηση και οι μετασηματισμένες τιμές ονομάζονται δείκτες πλάτους δακτυλίων. Οι δείκτες γενικά δεν έχουν γραμμική τάση η μέση τιμή τους είναι μία και η μεγαλύτερη μεταβλητότητα στο πλάτος του δακτυλίου των νεότερων, ταχέως αναπτυσσόμενων τμημάτων ενός δέντρου γίνεται συγκρίσιμη με τη μικρότερη μεταβλητότητα στο πλάτος του δακτυλίου των παλαιότερων βραδύτερων αναπτυσσόμενων τμημάτων του δέντρου. Οι δείκτες τυποποίησης των μεμονωμένων δένδρων υπολογίζονται κατά μέσον όρο για να ληφθεί η μέση χρονολόγηση για μια περιοχή δειγματοληψίας.

## **2.6 Ανακατασκευές Θερμοκρασίας με βάση δακτύλιους δέντρων**

Οι χρονολογίες των δακτυλίων των δέντρων χρησιμοποιούνται ευρέως για την ανακατασκευή παραλλαγών υψηλής και χαμηλής συχνότητας σε θερμοκρασίες εποχιακής ανάπτυξης για αιώνες έως χιλιετίες. Η σχέση αυτών των χρονοσειρών σε ανακατασκευές κλίματος μεγάλης κλίμακας καθορίζονται συχνά από την ισχύ της συσχέτισης τους με δεδομένα μετρήσεων της θερμοκρασίας από όργανα.

Ωστόσο, αυτό το ενιαίο κριτήριο αγνοεί αρκετά σημαντικά ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των χρονολογιών των δέντρων. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι :

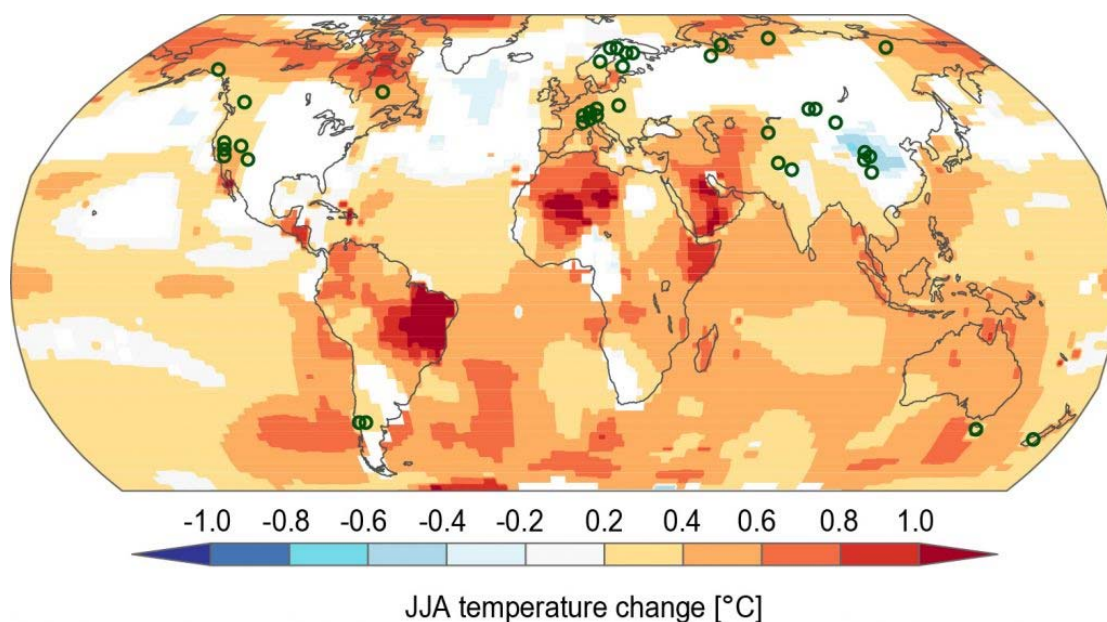
- (i) η ομοιογένεια των δεδομένων,
- (ii) η αναπαραγωγή του δείγματος,
- (iii) συνοχή της ανάπτυξης,
- (iv) χρονολογική ανάπτυξη,
- (v) κλιματικό σήμα, συμπεριλαμβανομένης της συσχέτισης με τα οργανικά δεδομένα.

Βάσει αυτών των 5 χαρακτηριστικών, εφαρμόστηκε ένα σύστημα αποκατάστασης και βαθμολόγησης σε 39 δημοσιευμένες, χιλιετούς διάρκειας θερμοκρασιακές ανακατασκευές από την Ασία, την Ευρώπη και την Βόρεια Αμερική και το νότιο ημισφαίριο. Τα αποτελέσματα δεν αποκαλύπτουν υψηλότερες βαθμολογίες ανοικοδόμησης σε κάθε κατηγορία και το καθένα έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και αδυναμίες. Παρέχοντας ένα πλήρες σύνολο κριτηρίων αξιολογούνται οι χρονολογίες των δακτυλίων των δέντρων και μπορεί να βελτιωθεί η ανάπτυξη ανακατασκευών θερμοκρασίας μεγάλης κλίμακας που καλύπτουν την προηγούμενη χιλιετία (Esper et al. 2006).

Οι χρονολογίες των δέντρων αποτελούν σημαντική πηγή πληροφοριών σε μεγάλης κλίμακας ανακατασκευές θερμοκρασίας (IPCC, 2013). Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της μεταβλητότητας της θερμοκρασίας στην Ευρώπη αλλά και σε παγκόσμια κλίμακα κατά τα τελευταία 1000 χρόνια, επιτρέποντας συγκρίσεις μεταξύ κλιματικών μεταβολών κατά τη διάρκεια της προβιομηχανικής και βιομηχανικής περιόδου. Η σημασία των χρονολογιών των δέντρων σε αυτές τις ανακατασκευές προκύπτει από την ακριβή ετήσια χρονολόγηση που παρέχει αυτό το ανακατασκευασμένο στοιχείο (proxy data) και μια καλά καθορισμένη μηχανική κατανόηση της επίδρασης της θερμοκρασίας στην ετήσια αύξηση των δένδρων (Fritts, 1976). Η σχετική σημασία των χρονολογιών των δέντρων-δακτυλίων, σε σύγκριση με άλλα ανακατασκευασμένα στοιχεία σε μεγάλης κλίμακας ανακατασκευές, αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου.

Οι χρονολογίες των δέντρων συνήθως αποτελούνται από πλάτος δακτυλίων δέντρων ή μέγιστες σειρές μέτρησης πυκνότητας αργού ξύλου από πολλά δέντρα (Fritts, 1976).

Μια χρονολόγηση μπορεί να επεκταθεί σε ολόκληρη χιλιετία εάν ένα ή περισσότερα μεμονωμένα δένδρα είναι 1000 έτη ή περισσότερο σε ηλικία. Αυτή η μακροβιότητα, ωστόσο, περιορίζεται σε λίγες μόνο γνωστές τοποθεσίες. Οι περισσότερες παράγονται συνδυάζοντας δείγματα από ζωντανά δέντρα με παλιότερο υλικό από αρχαιολογικές και ιστορικές κατασκευές, νεκρό ξύλο στο έδαφος (υπόλοιπα δείγματα) ή ξύλο διατηρημένο κάτω από το έδαφος και στις λίμνες (απολιθώματα). Ο επιτυχημένος συνδυασμός ζωντανών δέντρων με ιστορικό / υπολειμματικό / απολιθωματικό υλικό βελτιώνεται όταν η προέλευση όλων των δειγμάτων είναι οικολογικά σταθερή. Αν όχι, παλαιότερα τμήματα μιας χρονολογικής περιόδου χιλιετούς διάρκειας μπορούν να διαφέρουν στους ρυθμούς ανάπτυξης και τα κλιματικά μηνύματα σε σχέση με τα τμήματα που κυριαρχούν στα δείγματα από ζωντανά δέντρα.



Εικόνα 6 - Κατάταξη των ανακατασκευών θερμοκρασίας που βασίζονται στους δακτύλιους των δέντρων (Esper et al., 2016).

Οι κύκλοι καθορίζουν την θέση ανακατασκευών θερμοκρασίας. Τα χρώματα υποδηλώνουν την αλλαγή θερμοκρασίας Ιουνίου-Αυγούστου μεταξύ του μέσου όρου της περιόδου 1964-2013 μείον το μέσο όρο της περιόδου 1914-1963 χρησιμοποιώντας GISS 1200 χλμ. δεδομένα πλέγματος (Esper et al., 2016).

# Κεφάλαιο 3

## Μεθοδολογία

### 3.1 Γενική Περιγραφή

Τα βουνά της λεκάνης της Βόρειας Μεσογείου αντιμετωπίζουν δύο μεγάλες απειλές στο πλαίσιο της παγκόσμιας αλλαγής. Ξηρασία και διαθέσιμο καύσιμο υλικό και αναμένεται να αυξηθούν λόγω της κλιματικής αλλαγής και αλλαγή στην χρήση γης, αυξάνοντας τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Μπορεί ήδη να υπάρχουν ενδείξεις αυτών των αποτελεσμάτων στην περίπτωση των δασών μαύρης πεύκης και Κεφαλληνιακής Ελάτης στο βουνό Ταΰγετος (νότια Ελλάδα). Ανακατασκευάστηκε το κλίμα χρησιμοποιώντας δακτυλίους δέντρων για τα τελευταία 150 χρόνια και έγινε σύγκριση με ανακατασκευασμένα σημάδια των πυρκαγιών σε δέντρα μαύρης πεύκης. Επτά, από τις δέκα μεγάλες πυρκαγιές που είχε βιώσει ο Ταΰγετος συνδέθηκαν με κάτω από την φυσιολογική βροχόπτωση (P) ή πάνω από το κανονικό μέγιστη θερμοκρασία (Tμέγιστη). Οι μεγαλύτερες πυρκαγιές εμφανίστηκαν στα τέλη του καλοκαιριού του 1879, 1944, 1998, και 2007. Ωστόσο, μόνο οι πρόσφατες πυρκαγιές (1998 και 2007) είχε τόσο χαμηλή βροχόπτωση και υψηλή Tμέγιστη το οποίο επιβεβαιώθηκε επίσης από τα μακροπρόθεσμα μετεωρολογικά δεδομένα (Sarris et al. 2013).

Η συνέργεια μεταξύ κλίματος και της διαθεσιμότητας των καυσίμων μπορεί να εξηγήσει την πολύ υψηλή ένταση των πυρκαγιών του 1998 και του 2007 που έκαψαν κυρίως τα δέντρα στην κορυφή. Οι άλλες δύο μεγάλες εκδηλώσεις πυρκαγιάς (1879 και 1944) πιθανότατα συνέβησαν υπό μειωμένη διαθεσιμότητα σε καύσιμο υλικό και σχετίζονται με Tμέγιστη πάνω από το κανονικό. Τα ευρήματά υποστηρίζουν την πρόβλεψη ότι οι μεσογειακές ορεινές περιοχές θα αντιμετωπίσουν μια πολύ μεγάλη απειλή από πυρκαγιές τον εικοστό πρώτο αιώνα, αν οι κοινωνικοοικονομικές αλλαγές που οδηγούν σε εγκατάλειψη της γης και τη συσσώρευση των καυσίμων συνδυαστούν με την εντατικοποίηση της ξηρασίας που προβλέπεται για την περιοχή από την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη αναμένεται να ενταθεί κατά το εικοστό πρώτο αιώνα και η ξηρασία προβλέπεται να αυξηθεί στην Βόρεια Μεσόγειο (IPCC, 2007), Η περιοχή αναμένεται να υποφέρει ακόμη περισσότερο από τις δασικές πυρκαγιές (Schröter et al.2005, Moriondo et al. 2006, Giannakopoulos et al. 2009), όπως συμβαίνει και σε άλλες περιοχές του κόσμου με παρόμοιο κλίμα (Westerling & Briant 2008). Συγκεκριμένα, ένας επιπλέον μήνας κινδύνου πυρκαγιάς το καλοκαίρι αναμένεται σε ένα μεγάλο μέρος της περιοχής μέχρι τα μέσα του εικοστού πρώτου αιώνα (2° C λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη) (Giannakopoulos et al. 2009), ενώ οι περιοχές που θα καούν από πυρκαγιά μπορεί να αυξηθούν 3-5 φορές στο τέλος του εικοστού πρώτου αιώνα συγκριτικά με το παρών (Dury et al. 2011). Εκτός από τις δασικές πυρκαγιές, οι επιπτώσεις από την έλλειψη νερού, μετατοπίσεις προς βορρά, η κατανομή των χαρακτηριστικών ειδών δέντρων, και οι απώλειες του γεωργικού δυναμικού κάνουν την περιοχή της Μεσογείου από τις πιο ευάλωτες στην κλιματική αλλαγή μεταξύ όλων των ευρωπαϊκών περιφερειών (Schröter et al. 2005).

Κατά τη διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου του καλοκαιριού του 2007, η Ελλάδα βίωσε τη χειρότερη φυσική καταστροφή στην σύγχρονη ιστορία της, η χειρότερη χρονιά στα αρχεία πυρκαγιών της χώρας, καθώς και μια από τις χειρότερες στην περιοχή της Μεσογείου. Οι καταστροφές από πυρκαγιές ήταν 280,000 ha (εκτάρια) (περίπου 2% της Ελληνικής επιφάνεια της γης) από δάση, θάμνους, και γεωργικές περιοχές που κάηκαν, χάθηκαν πάνω από 60 ανθρώπινες ζωές, αφήσαν χιλιάδες άστεγους, και έβλαψαν την τοπική οικονομία (Founda et al. 2008). Η Πελοποννήσος, στην νότια Ελλάδα, ήταν η περιοχή που πλήγηκε περισσότερο με 189.952 ha καμένη περιοχή (περίπου 1,5% του ελληνικού επιφάνειας της γης, 117.188 εκτάρια δασών και δασικών περιοχών κάηκαν Koutsias et al. 2012).

Οι αιτίες πίσω από αυτή την καταστροφή είναι ένα αντικείμενο έντονης έρευνας. Το κλίμα είναι ένας παράγοντας που μπορεί να διαδραματίσει ένα βασικό ρόλο (Founda and Giannakopoulos 2009, Koutsias et al. 2013, Sarris and Koutsias 2014), Ενώ μια συνέργεια της αλλαγής της χρήσης γης και του κλίματος είναι επίσης πιθανή (Koutsias et al. 2012). Αλλαγές σε αυτούς τους παράγοντες με παρόμοιες δραματικές επιπτώσεις έχουν καταγραφεί τόσο στη λεκάνη της Μεσογείου (Pino et al. 1998, Pausas 2004, Moreira et al. 2011, Pausas and Ferna'ndez-Muno, 2012) και σε άλλα μέρη (Westerling et al. 2006, Flannigan et al. 2009).



Ωστόσο, για πολλές περιοχές της Μεσογείου τοπικά αρχεία του κλίματος, της χρήσης γης και τα στατιστικά στοιχεία πυρκαγιών περιορίζονται στα τελευταία 40-50 χρόνια. Για παράδειγμα, για την πυρκαγιά που έπληξε περιοχές της Πελοποννήσου, τα πλησιέστερα μακροπρόθεσμα στοιχεία του κλίματος (Που καλύπτουν το σύνολο του εικοστού αιώνα) είναι διαθέσιμα από μια απόσταση περ 150 χιλιόμετρα, στο σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Koutsias et al. 2013).

Η αναπαράσταση που βασίζεται σε δέντρο-δακτυλίους (δενδροχρονολογία) είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για τη διερεύνηση περιστατικών και εξάπλωσης πυρκαγιών στο παρελθόν (Baisan & Swetnam 1990, Brown et al. 1999, Fule' et al. 2008 Farris et al. 2010) καθώς και το παρελθόν του κλίματος (Briffa et al. 1992, Touchan et al. 1999, Briffa et al. 2001, Esper et al. 2007, Nicault et al. 2008). Με την απουσία πραγματικών μετρήσεων, χρησιμοποιώντας αυτά τα ανακατασκευασμένα στοιχεία στην εξέταση αιτιότητας μπορεί να είναι ζωτικής σημασίας για την ταυτοποίηση της συνύπαρξης ακραίων κλιματικών γεγονότων και πυρκαγιών (Christopoulou et al. 2013).

Ο σκοπός αυτής της διατριβής είναι να ανακατασκευάσει, χρησιμοποιώντας δακτύλιους από παλιά δέντρα στο βουνό Ταΰγετος, τις κλιματικές επί τόπου συνθήκες κατά τις οποίες συνέβησαν οι πιο σημαντικές πυρκαγιές στο βουνό μέσα στον τελευταίο ενάμιση αιώνα. Η ιστορική σχέση μεταξύ των κλιματικών συνθηκών και της εκδήλωσης πυρκαγιάς παρέχει ένα χρήσιμο πλαίσιο για την κατανόηση κατά πόσο ήταν ή δεν ήταν κλιματικά ακραία τα τελευταία μεγάλα γεγονότα πυρκαγιών σε κλίμακα αιώνων. Υποθέτουμε ότι αν οι προβλέψεις για το μέλλον για την αύξηση των ζημιών πυρκαγιάς στην περιοχή αυτή στο πλαίσιο υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι έγκυρες, θα πρέπει επίσης να υπάρχουν αποδεικτικά στοιχεία για τις συσχετίσεις μεταξύ της ξηρασίας και των πυρκαγιών εντός των τελευταίων 150 χρόνων .

## **3.2 Μέθοδοι**

Για δενδροκλιματολογική αναπαράσταση των προϋποθέσεων της καλοκαιρινής ξηρασίας για τον Ταΰγετο κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων αιώνων, επιλέγηκε το είδος δέντρου μαύρη πεύκη (*P. nigra* Arnold) που είναι από τα μακροβιότερα είδη δέντρων στο βουνό (Brandes 2007).

Το είδος αυτό είναι κατάλληλο για δενδροκλιματολογικές μελέτες γιατί παράγει σαφείς δακτύλιους (Schweingruber 1996). Ειδικά δασικά ενδιατήματα επιλέγηκαν όπου το πλάτος των δακτυλίων των δέντρων θα έπρεπε να καθορίζεται από το καλοκαιρινό κλίμα (βροχόπτωση ή θερμοκρασία). Στα κατώτερα υψόμετρα η ετήσια αύξηση των δέντρων είναι πιο πιθανό να καθορίζεται από την βροχόπτωση, ενώ στην ίδια περιοχή σε μεγαλύτερα υψόμετρα η θερμοκρασία είναι πιθανό να είναι ο κύριος παράγοντας που περιορίζει την ετήσια αύξηση (Sarris et al. 2011). Τα δεδομένα της εργασίας ήταν από περιοχές με μαύρη πεύκη στο μεγαλύτερο υψόμετρο 1,600-1,750 m, του Ταΰγετου.

Όλες οι περιοχές ήταν απαλλαγμένες από εκδήλωση πυρκαγιάς (δεν είχαν δέντρα με εμφανή τα σημάδια πυρκαγιάς, ούτε είχαν στοιχεία πυρκαγιάς τα τελευταία χρόνια) για την αποφυγή διαταραχών λόγω πυρκαγιάς στους δακτυλίους και κατά συνέπεια στο κλιματικό σήμα που καταγράφηκε. Χρησιμοποιώντας ένα δειγματοληπτικό διατρητή διάμετρο 5-mm- λήφθηκαν δείγματα από πυρήνες 24 δέντρων μαύρης πεύκης κατά τη διάρκεια 2010-2012.

Τουλάχιστον δύο πυρήνες ανά δένδρο ελήφθησαν από αντίθετες πλευρές του κορμού (οι πλευρές που ήταν 90° στο επίπεδο του εδάφους) και συγκρίθηκαν για να ελεγχθεί αν υπήρχε ξύλο συμπίεσης (το αποτέλεσμα δέντρου που κλίνει σε κάποιο μέρος της ζωής που προκαλεί διαταραχές στη σχέση μεταξύ της ετήσιας αύξησης των δένδρων και το κλίμα). Η στρατηγική δειγματοληψίας ήταν να ληφθούν δείγματα από τα πιο επικρατέστερα δέντρα με βάση την περιφέρεια του κορμού (CR) και το ύψος (HT) και στη συνέχεια, επεκτάθηκε με δέντρα όλων των διαθέσιμων μεγεθών κορμού με μέγιστη CR και HT περίπου. 4.5 και 16-18 m, αντίστοιχα και ελάχιστη CR και HT 0.4 m και 7-8 m, αντίστοιχα. Τα επιλεγμένα δέντρα δεν είχαν σημάδια καταπίεσης, π.χ. καλλιέργεια υπό σκιά ή σημάδια φθοράς, κορμούς λυγισμένους και δεν έγινε δειγματοληψία από δέντρα δίπλα σε κούτσουρα ή νεκρά δέντρα (Sarris et al. 2013).

### **3.3 Δενδροχρονολογική ανάλυση**

Μετά την ξήρανση, οι πυρήνες δείγματα τοποθετήθηκαν σε ξύλο με υποδοχές για λείανση με γυαλόχαρτο για ακριβή χρονολόγηση και τη μέτρηση του πλάτους των δακτυλίων. Η μέτρηση των ετήσιων αυξήσεων διεξήχθη στα πλησιέστερα 0,01 mm, αρχίζοντας από τον φλοιό προς τον πυρήνα με ένα λογισμικό.

Στην περίπτωση του δείγματος που δεν έφθανε στον πυρήνα του κορμού, ο αριθμός των δακτυλίων που έλειπαν υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας ομόκεντρους κύκλους, που αντιπροσωπεύουν πρότυπα αύξησης παρόμοια με αυτά των διαθέσιμων πρώτων χρόνων της αύξησης. Μετά την χρονολόγηση, τα δείγματα των πεύκων βρέθηκαν να αντιστοιχούσαν σε 56-362 χρόνια.

Τα πρώτα 19 χρόνια αύξησης από το πυρήνα του κορμού δεν χρησιμοποιήθηκαν, για να αποφευχθούν πιθανές διαταραχές κατά τη διάρκεια της φάσης δημιουργίας των δέντρων.

### **3.4 Διασταύρωση χρονολογιών**

Οι καμπύλες των δακτυλίων υπολογίστηκαν κατά μέσο όρο σε χρονολογίες για κάθε δείγμα και χρησιμοποιήθηκαν ως χρονολογίες αναφοράς για διασταύρωση χρονολογιών (cross-dating) των δειγμάτων. Από τα 24 επιλεγμένα πεύκα, τρία ήταν 56-80 ετών (δηλαδή, όλα τα 24 δέντρα διαθέσιμα από το 1956), πέντε ήταν 81 - 160 (δηλαδή, 21 δέντρα διαθέσιμα από το 1931), επτά ήταν 161 με 240 (δηλαδή, 16 δέντρα διαθέσιμα από το 1851), και εννέα ήταν από 241-362 ετών (δηλαδή, 9 δέντρα διαθέσιμα από το 1771).

### **3.5 Τυποποίηση των δακτυλιοχρονοσειρών**

Ο σχηματισμός των δακτυλίων μπορεί να αντανακλά στις ιδιαιτερότητες του φυσικού περιβάλλοντος. Μερικά δέντρα μπορούν να αναπτύσσονται σε πιο ρηχά εδάφη και, ως εκ τούτου, παράγουν συνεχώς στενότερο δακτυλίου από άλλα δέντρα του ίδιου οικοτόπου που αναπτύσσονται κάπως βαθύτερα στο έδαφος. Για την απομάκρυνση αυτών των «θορυβών» που σχετίζονται με τις επιδράσεις του περιβάλλοντος έχει σταθεροποιηθεί κάθε χρονοσειρά δακτυλίων διαιρώντας κάθε ετήσιο πλάτος δακτυλίου με το μέσο πλάτος όλων των δακτυλίων από τη συγκεκριμένη σειρά (μέσος όρος για όλα τα έτη αύξησης των δέντρων). Αυτό μετέτρεψε τα αρχικά δεδομένα σε δείκτες, οι οποίοι διατήρησαν τη μεταβολή από έτος σε έτος, αλλά και αντικειμενικό μέσο όρο σε όλο τον οικότοπο.

Επιδράσεις στο πλάτος των δακτυλίων λόγω της ηλικίας των δέντρων απομακρύνθηκαν με την μεθοδολογία ABD Age Band Decomposition. (Briffa et al. 2001 Sarris et al. 2007, 2011).

Χρησιμοποιήθηκαν ζώνες δεκαετιών των χρονοσειρών από 20-29 ετών μέχρι 270-279 ετών. Κατά την δημιουργία της χρονοσειράς ηλικιακής αφαίρεσης υπολογίζεται ο μέσος όρος της δεκαετούς ζώνης που ακολουθεί κάθε χρόνο.

Τα δεδομένα μέχρι αυτό το σημείο είχαν προκύψει στα πλαίσια προηγούμενων μελετών (Sarris et al. 2013). Στην συνέχεια για περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ARSTAN. Ο βασικός οδηγός χρήσης του προγράμματος επισυνάπτεται σαν Παράρτημα Α. Το πρόγραμμα ARSTAN καταγράφει μεμονωμένες σειρές μητρικών δακτυλικών αποτυπωμάτων με ανεπιθύμητες τάσεις, ιδιαίτερα τις τάσεις που σχετίζονται με την ηλικία και εκείνες από τοπικές / περιφερειακές διαταραχές άσχετες με το κλίμα.

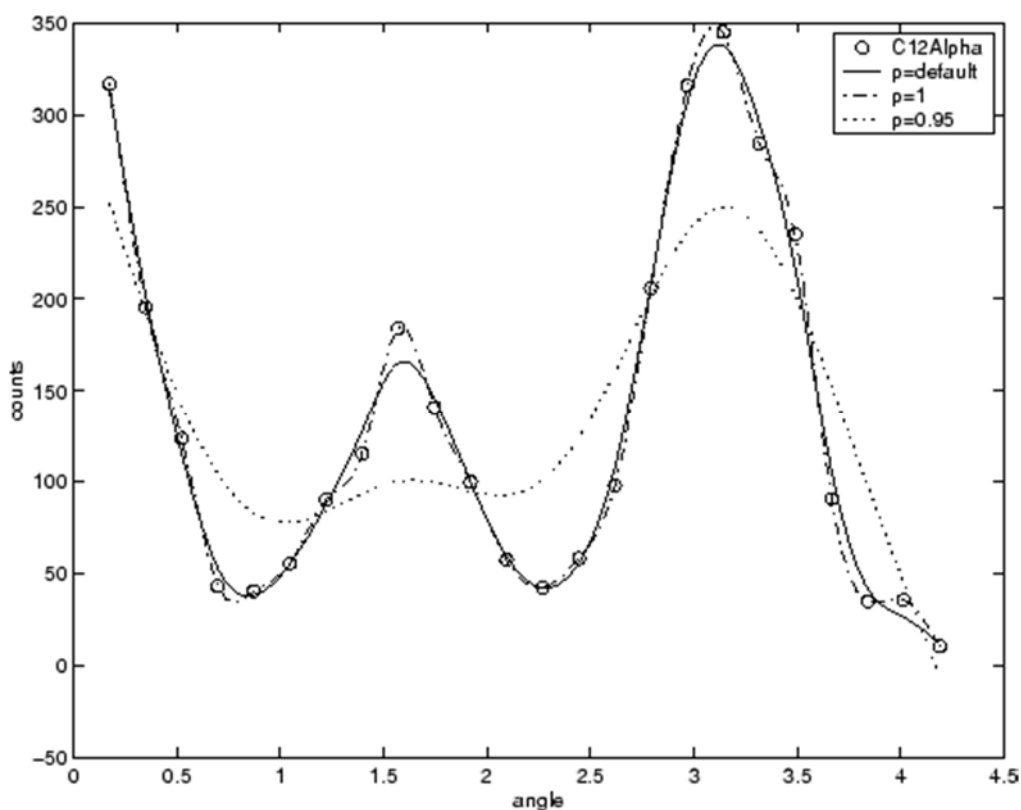
Το πρόγραμμα ARSTAN είναι το προσωπικό ερευνητικό πρόγραμμα του Dr. Edward R. Cook, εξελισσόμενο από το μεταπτυχιακό του έργο στο Πανεπιστήμιο της Αριζόνα, τη δεκαετία του 1980, όταν η επιστήμη της δενδροχρονολογίας αγωνιζόταν να εξάγει σημαντικές πληροφορίες από τα δένδρα. Η μεθοδολογία ARSTAN (AutoRegressive STANdardization) αναπτύχθηκε για να αντιμετωπίσει μια συγκεκριμένη κατηγορία προβλημάτων που είναι κοινά για τα δέντρα που αναπτύσσονται σε περιβάλλοντα δασικών εκτάσεων κλειστού τύπου: το πρόβλημα της «ενδογενούς διαταραχής» (Paul J. Krusic, 2005).

Το πρόγραμμα ARSTAN παράγει χρονολογίες από σειρές μέτρησης δακτυλίων δέντρου με την απομάκρυνση ανεπιθύμητων παραγόντων και την σταθεροποίηση της σειράς, στη συνέχεια, εφαρμόζει μια αξιόπιστη εκτίμηση της συνάρτησης μέσης τιμής για την εξάλειψη των επιδράσεων των διαταραχών της ενδογενούς τάσης. Η αυτορυθμιζόμενη μοντελοποίηση των σειρών δεικτών συχνά ενισχύει το κοινό σήμα. Εκτεταμένη στατιστική ανάλυση ενός κοινού χρονικού διαστήματος παρέχει χαρακτηρισμό του συνόλου δεδομένων. Τρεις διαφορετικές χρονοσειρές παράγονται και αποσκοπούν στο να περιέχουν ένα μέγιστο κοινό σήμα και ελάχιστο ποσό θορύβου.

Παρέχονται πολλές επιλογές ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί η επεξεργασία σε μια ευρεία ποικιλία καταστάσεων και σκοπών (Edward R. Cook and Richard L. Holmes, 1986).

Επιπρόσθετα το ARSTAN παρέχει την δυνατότητα της σταθεροποίησης της διακύμανσης και χρησιμοποιήθηκε για να διορθωθεί η σταδιακή αύξηση του αριθμού των δένδρων που εκπροσωπούνται στο δείγμα από το 1850 μέχρι τα νεότερα χρόνια (Sarris et al 2013).

Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν τέσσερις φορές στο ARSTAN επιλέγοντας κάθε φορά διαφορετικό τρόπο επεξεργασίας. Η διαφορά ήταν η επιλογή της καμπύλης εξομάλυνσης σε κάθε περίπτωση. Η καμπύλη εξομάλυνσης χρησιμοποιείται στην στατιστική για να αφαιρεί ακραίες τιμές από μια κατανομή δεδομένων ούτως ώστε να μπορούν να εξαχθούν σωστά συμπεράσματα. Η μαθηματική φόρμουλα της καμπύλης εξομάλυνσης βασίζεται στην παράμετρο  $p$  (παράμετρος εξομάλυνσης). Απλό παράδειγμα φαίνεται στην πιο κάτω γραφική παράσταση. Όταν το  $p=1$  η καμπύλη συμπίπτει με τα σημεία των μετρήσεων. Στην περίπτωση που  $p=0,95$  δηλαδή με αποκοπή 5% η καμπύλη γίνεται πιο ομαλή.



Γραφική Παράσταση 1 – Καμπύλη εξομάλυνσης

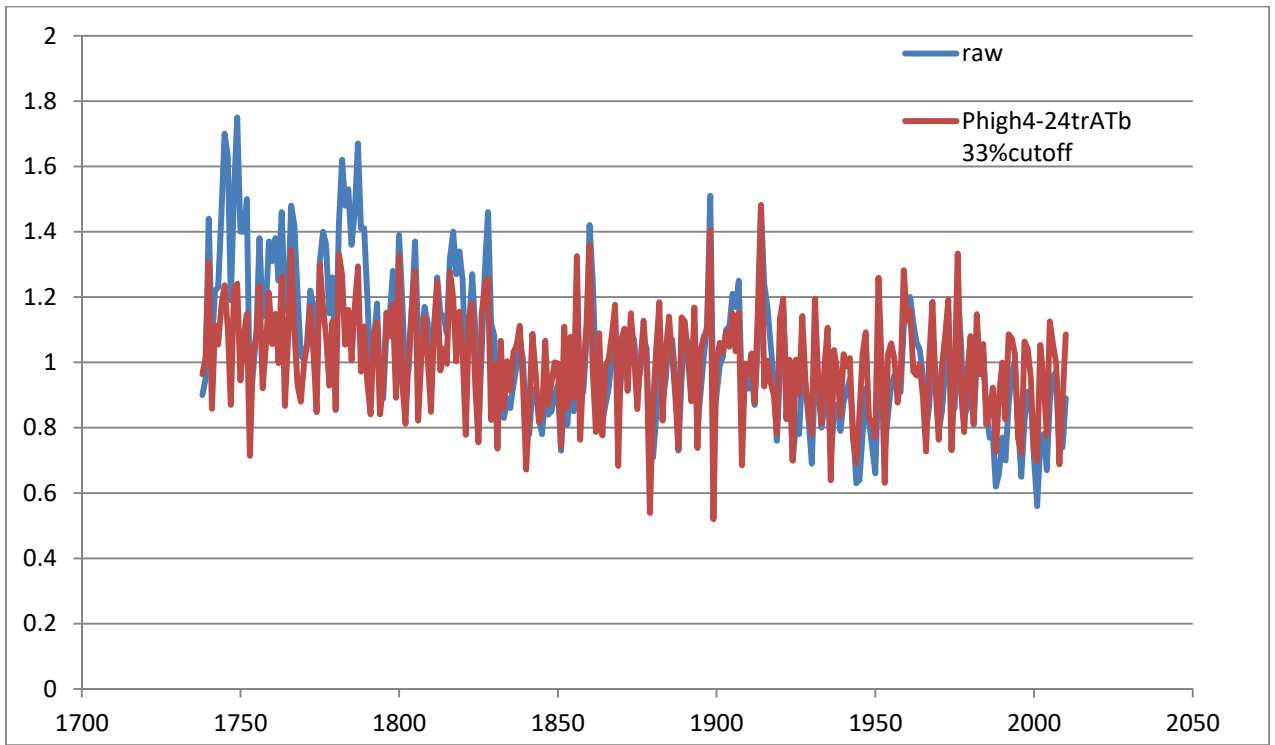
<https://www.mathworks.com/help/curvefit/smoothing-splines.html>

ΤΟ πρόγραμμα κάθε φορά δημιουργούσε τρία βασικά είδη δακτυλιοχρονοσειρών:

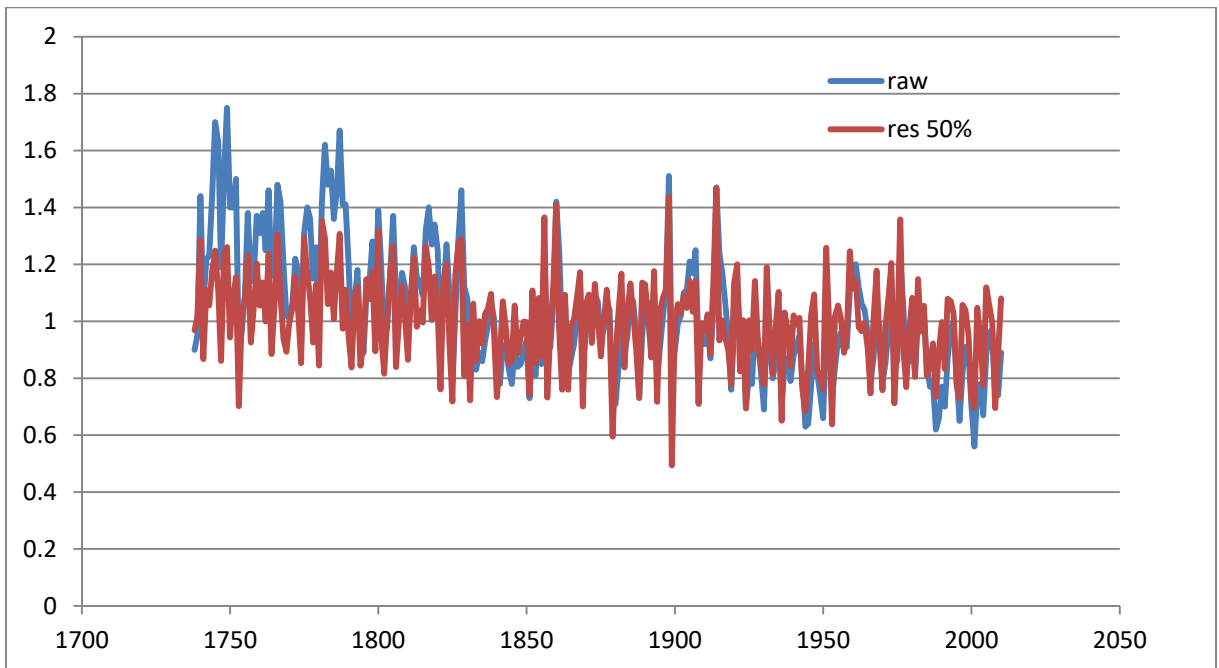
- Την αρχική (raw) χωρίς σταθεροποίηση διακύμανσης
- Την υπολειμματική (residual) αυτορυθμιζόμενη μοντελοποίηση με το ανάλογο ποσοστό αποκοπής με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν καθόλου τάσεις χαμηλής συχνότητας
- Την ARSTAN συγκεντρωμένη ιδιότητα αυτορύθμισης που προέρχεται από όλες τις σειρές, θεωρείται ότι έχει κλιματική προέλευση, και στη συνέχεια τοποθετείται πίσω στην υπολειμματική σειρά

Με αυτό τον τρόπο παρήχθησαν τέσσερις υπολειμματικές (residual) χρονοσειρές χρησιμοποιώντας την καμπύλη εξομάλυνσης (smoothing spline) με διαφορετικό ποσοστό αποκοπής (cut-off) και οι αντίστοιχες ARSTAN. Η πρώτη, χρησιμοποιώντας το 33%, η δεύτερη με αποκοπή 50% , η τρίτη με αποκοπή 67% και η τέταρτη με αποκοπή 67% Briffa. Οι αρχικές χρονοσειρές (raw) διατηρήθηκαν επίσης και χρησιμοποιήθηκαν για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις σταθεροποιημένες και σε σχέση με το κλίμα. Αναμένεται ότι οι χρονοσειρές με σταθεροποιημένη διακύμανση θα έχουν βελτιωμένη συσχέτιση με το κλίμα σε σχέση με τις αντίστοιχες αρχικές. Το Παράρτημα Β παρουσιάζει τις οθόνες του προγράμματος με τις επιλογές και τις αντίστοιχες χρονοσειρές που παρήχθησαν.

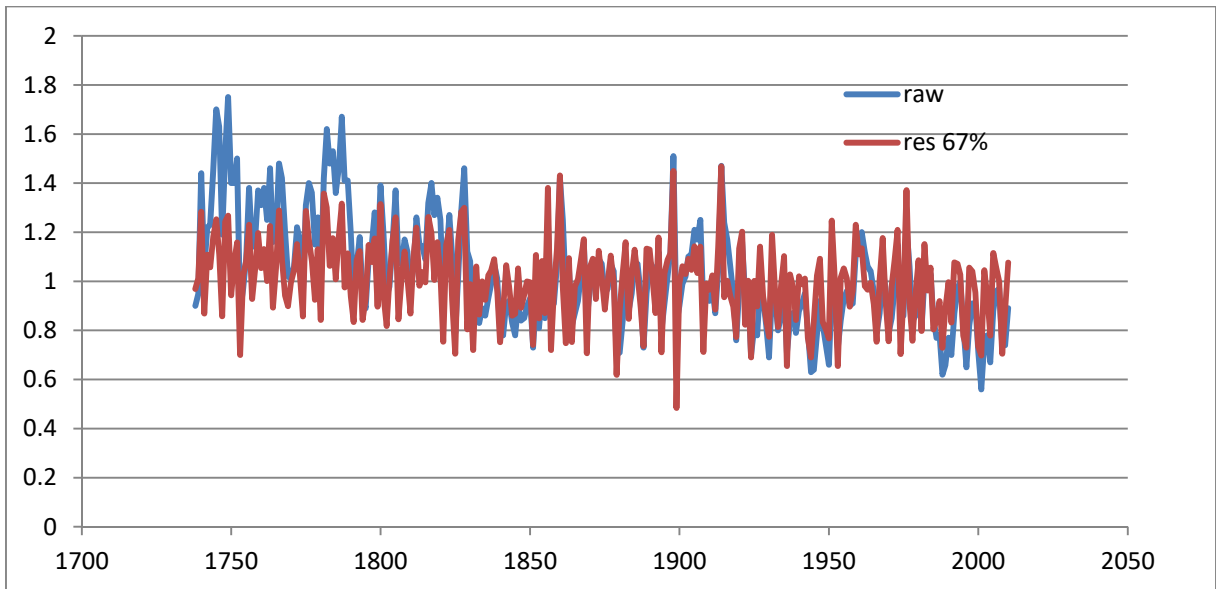
Οι γραφικές παραστάσεις των τεσσάρων υπολειμματικών χρονοσειρών σε σχέση με την αρχική χρονοσειρά παρουσιάζονται πιο κάτω:



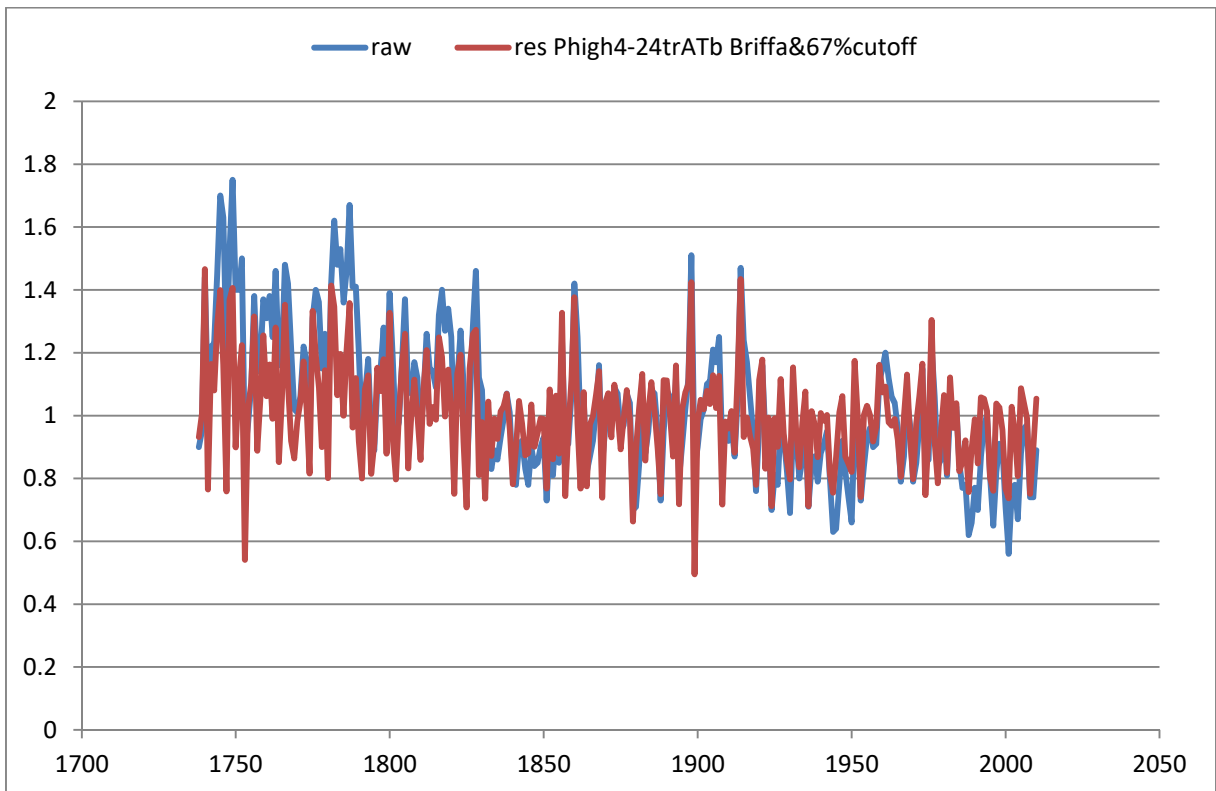
Γραφική παράσταση 2 - Χρονοσειρά με αποκοπή 33%



Γραφική παράσταση 3 - Χρονοσειρά με αποκοπή 50%



Γραφική παράσταση 4 – Χρονοσειρά με αποκοπή 67%



Γραφική παράσταση 5 – Χρονοσειρά με αποκοπή 67%Briffa

Η αρχική (raw) χρονοσειρά δακτυλίων ελέγχθηκε για αυτοσυσχέτιση (correlation) με τη χρήση του προγράμματος SPSS.



Το SPSS είναι πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης και μεταξύ άλλων βασίζεται στους πιο κάτω δείκτες:

- Συντελεστής συσχέτισης (Pearson Correlation coefficient)= $r$  ο οποίος καθορίζει την σχέση δυο μεταβλητών  $x$  και  $y$  γραμμικής σχέσης. Αυτό που απαιτείται για την ανίχνευση των σχέσεων είναι να υπάρχει αναλογική σχέση μεταξύ των δυο μεταβλητών. Δηλαδή, όσο μεγαλώνει η μια να μεγαλώνει και η άλλη ή όσο μεγαλώνει η μια η άλλη να μικραίνει. Ο συντελεστής  $r$  υπολογίζεται με την πιο κάτω εξίσωση (Κουγιουμτζής, 2011).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2)(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n\bar{y}^2)}}$$

Το εύρος που μπορεί να πάρει ο  $r$  είναι από -1 έως και +1. Το πρώτο μέγεθος μας δείχνει μια τέλεια αρνητική σχέση (αντιστρόφως ανάλογη σχέση), ενώ το δεύτερο μια τέλεια θετική (ευθέως ανάλογη) σχέση μεταξύ των δυο μεταβλητών.

- Συντελεστής σημαντικότητας (Sig. (2-tailed)). Στη στατιστική θεωρείται κάτι τυχαίο όταν είναι αρκετά συνηθισμένο, δηλαδή συμβαίνει αρκετές φορές, τουλάχιστο στο 5% των περιπτώσεων. Σε αντίθεση, όταν συμβαίνει λιγότερες από 5 στις 100 φορές, τότε το αποτέλεσμα θεωρείται ότι δεν συμβαίνει κατά τύχη αλλά υποδηλώνει μια στατιστικά σημαντική σχέση. Το SPSS ελέγχει τους συντελεστές σημαντικότητας για το 5% και το 1% (Εμβαλιώτης κ.α., 2006).

Η ανάπτυξη κάθε έτους της αρχικής χρονοσειράς ( $raw$ ) μεταφέρθηκε 1 – 5 χρόνια πίσω (Παράρτημα Γ) και βρέθηκε να σχετίζεται σημαντικά με την ανάπτυξη των προηγούμενων χρόνων σύμφωνα με τις τιμές του  $r$  που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Αυτή η αυτοσυσχέτιση (autocorrelation) απομακρύνθηκε με το πρόγραμμα ARSTAN όπως φαίνεται στον Πίνακα 2 που απεικονίζει την χρονοσειρά με αποκοπή 67% Briffa που επίσης μεταφέρθηκε 1- 5 χρόνια πίσω (Παράρτημα Δ). Το ίδιο ισχύει και για τις άλλες ανακατασκευασμένες (residual) χρονοσειρές όπως φαίνεται στο Παράρτημα Ε.

### Correlations

		raw	raw-1	raw-2	raw-3	raw-4	raw-5
raw	Pearson Correlation	1	.682**	.505**	.495**	.520**	.470**
	Sig. (2-tailed)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	N	273	272	271	270	269	268
raw-1	Pearson Correlation	.682**	1	.682**	.505**	.495**	.520**
	Sig. (2-tailed)	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000
	N	272	273	272	271	270	269
raw-2	Pearson Correlation	.505**	.682**	1	.682**	.505**	.495**
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000
	N	271	272	273	272	271	270
raw-3	Pearson Correlation	.495**	.505**	.682**	1	.682**	.505**
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000
	N	270	271	272	273	272	271
raw-4	Pearson Correlation	.520**	.495**	.505**	.682**	1	.682**
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000
	N	269	270	271	272	273	272
raw-5	Pearson Correlation	.470**	.520**	.495**	.505**	.682**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	N	268	269	270	271	272	273

\*\*. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Πίνακας 1 – Αυτοσυσχέτιση αρχικής (raw) χρονοσειράς

		res Phigh4-24trATb Briffa&67% cutoff	res Phigh4-24trATb Briffa&67% cutoff -1	res Phigh4-24trATb Briffa&67% cutoff -2	res Phigh4-24trATb Briffa&67% cutoff -3	res Phigh4-24trATb Briffa&67% cutoff -4	res Phigh4-24trATb Briffa&67% cutoff -5
res Phigh4-24trATb Briffa&67% cutoff	Pearson Correlation	1	-0.00578	-0.11056	0.049497	0.206224	0.09668
	Sig. (2-tailed)		0.924373	0.069189	0.417915	0.000666	0.114332
	N	273	272	271	270	269	268

Πίνακας 2 – Αυτοσυσχέτιση ανακατασκευασμένης (residual 67% briffa) χρονοσειράς

Το επόμενο στάδιο ήταν να μελετηθεί κατά πόσο συσχετίζονται οι πιο πάνω χρονοσειρές των δακτυλίων με την θερμοκρασία. Η μηνιαία μέση μέγιστη θερμοκρασία (Tmax) που χρησιμοποιήθηκε ήταν από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό «Αρτεμισία» που απέχει περίπου από 6 χιλιόμετρα απόσταση μέχρι 20 χιλιόμετρα από όλα τα σημεία δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκαν για να προσδιοριστεί το σήμα του κλίματος που καταγράφηκε στους δακτυλίους. Ωστόσο, αυτός ο σταθμός παρείχε πλήρη μηνιαία στοιχεία για την θερμοκρασία από το 1961 μέχρι το 1987 και διάσπαρτα μεταγενέστερα στοιχεία (1998-2000 και 2002), τα οποία διορθώθηκαν με τη χρήση των στοιχείων του πλησιέστερου μετεωρολογικού σταθμού Καλαμάτας με πλήρη δεδομένα κατά τη διάρκεια της περιόδου για 1971-2008.

Τα δεδομένα της θερμοκρασίας (Tmax) περιείχαν 41 περιόδους, μηνιαίες και περιόδους με ενσωμάτωση πολλαπλών μηνών (ξεκινώντας με τους 12 ημερολογιακούς μήνες χωριστά και στη συνέχεια περιόδοι που κάλυπταν από 2-12 μήνες).

Αυτό κάλυπτε όλες τις πιθανές περιόδους αύξησης των δακτυλίων εντός της άνοιξης ως το φθινόπωρο καθώς και την επίδραση του κλίματος κατά τη διάρκεια των προηγούμενων μηνών.

Επίσης αυτοί οι παράμετροι μετατοπίστηκαν 1 χρόνο πίσω για να συγκριθεί η επίδραση του κλίματος του προηγούμενου έτους σχετικά με την αύξηση του τρέχοντος έτους π.χ., για να ελεγχθούν οι επιπτώσεις της θερμοκρασίας της περιόδου 1963-2007 στην ετήσια αύξηση των δένδρων της περιόδου 1964-2008 (Παράρτημα ΣΤ).

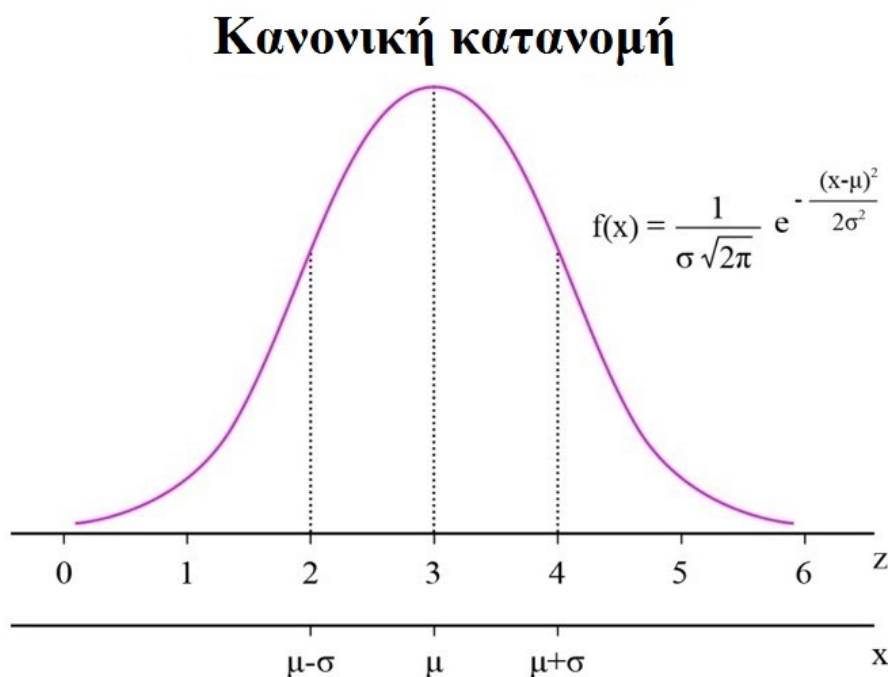
# Κεφάλαιο 4

## Αποτελέσματα

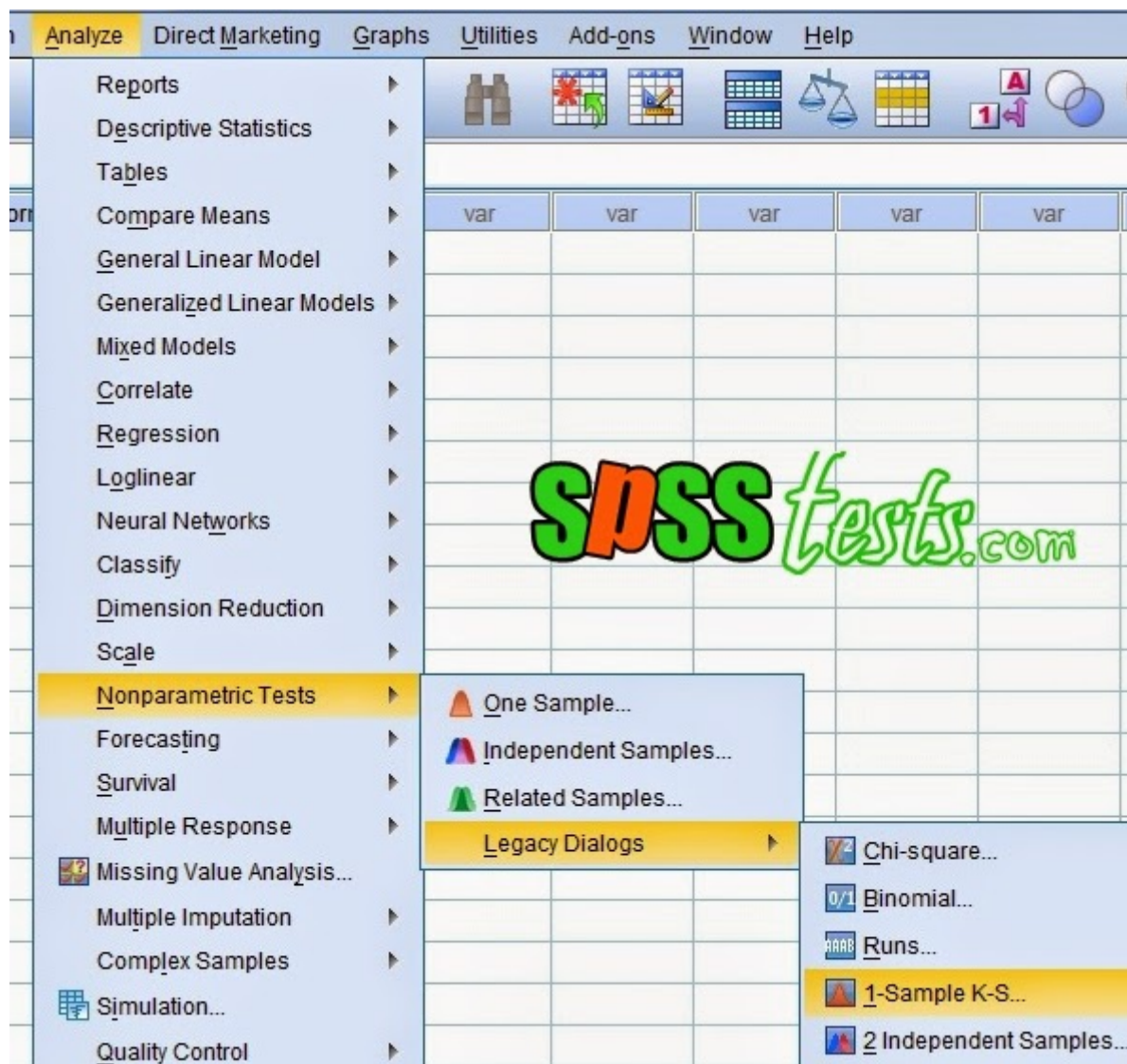
### 4.1 Δενδροκλιματολογική ανάλυση

Για έλεγχο συσχέτισης μεταφέρθηκαν όλα τα δεδομένα των χρονοσειρών των δακτυλίων και των θερμοκρασιών (Παράρτημα Ζ) σε ένα αρχείο (excel).

Λόγω του μεγάλου όγκου ελέγχθηκαν όλα τα δεδομένα για κανονική κατανομή με το Kolmogorov-Smirnov Test το οποίο γίνεται στο SPSS (Εικόνα8). Η κανονική κατανομή είναι προϋπόθεση για να είναι έγκυρα τα αποτελέσματα του συντελεστή συσχέτισης. Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές των μεταβλητών πρέπει να κατανέμονται κανονικά. Η κανονική κατανομή θα πρέπει να ακολουθεί ένα σχήμα σαν αυτό της «καμπάνας» όπως το παράδειγμα της Εικόνας 7. Οι πιο πολλές τιμές είναι κοντά στον μέσο όρο και όσο οι τιμές απομακρύνονται από τον μέσο όρο μειώνονται (Εμβαλιώτης κ.α., 2006).



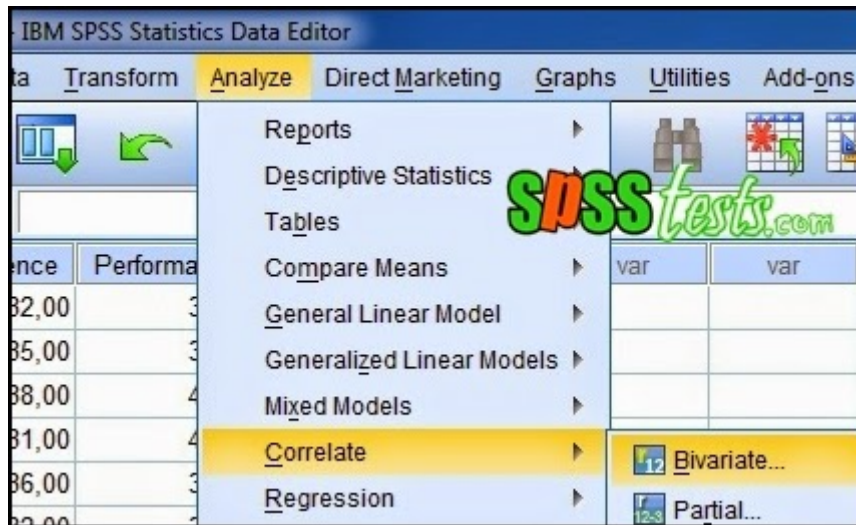
Εικόνα 7 – Καμπύλη κανονικής κατανομής -  
<http://eclass.teiep.gr/modules/units/?course=TEXG118&id=1008>



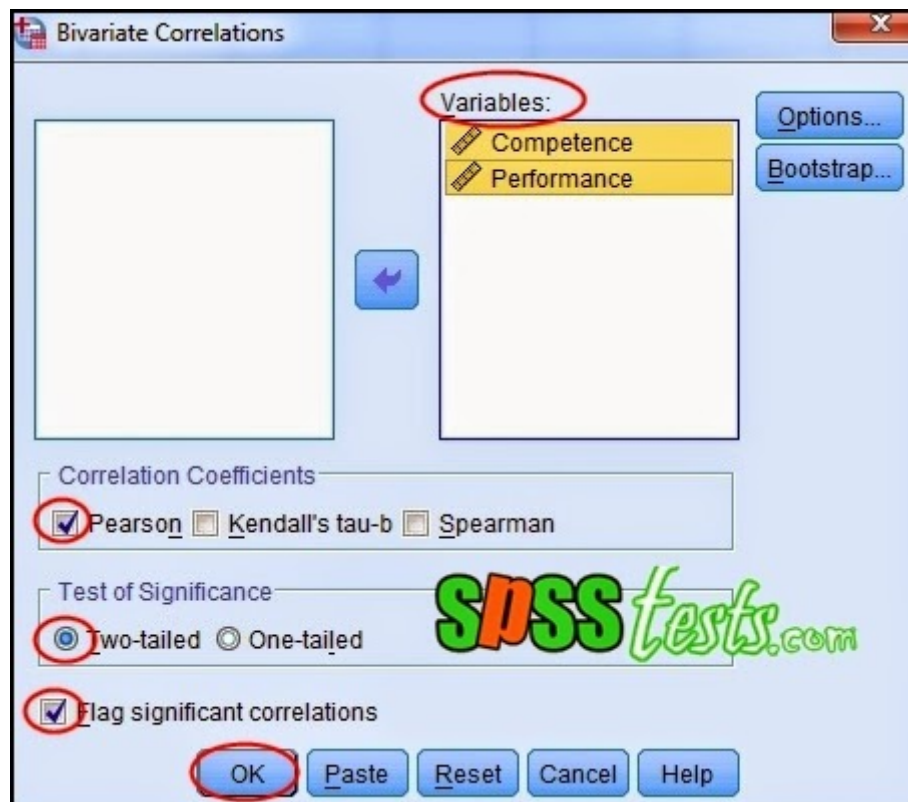
Εικόνα 8 – Επιλογή Kolmogorov-Smirnov Test - <https://www.spsstests.com>

Το αποτέλεσμα του ελέγχου παρουσιάζεται στο Παράρτημα Η και επιβεβαιώνει ότι όλα τα δεδομένα είναι κανονικά κατανομημένα.

Ακολούθως κάθε υπολειμματική, ARSTAN και αρχική χρονοσειρά συγκρίθηκαν με τις συγκεκριμένες χρονοσειρές θερμοκρασίας που καταγράφηκε από τους μετεωρολογικούς σταθμούς για την περίοδο 1964 – 2008 για εντοπισμό της καλύτερης συσχέτισης. Η δραστηριότητα αυτή εκτελέστηκε στο SPSS επιλέγοντας τους δείκτες pearson και two-tailed (Εικόνες 9 & 10) και το αποτέλεσμα μεταφέρθηκε σε αρχείο excel (Παράρτημα Θ). Το αρχείο διαμορφώθηκε ώστε να μπορεί να γίνει ταξινόμηση με βάση τον συντελεστή συσχέτισης (Παράρτημα Ι).



Εικόνα 9 – Επιλογή συσχέτισης στο SPSS - <https://www.spsstests.com>



Εικόνα 10 – Επιλογή δεικτών στο SPSS - <https://www.spsstests.com>

Οι δυο πρώτες τιμές όλων των περιπτώσεων με την καλύτερη συσχέτιση μεταφέρθηκαν και ταξινομήθηκαν με βάση τον συντελεστή συσχέτισης όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.

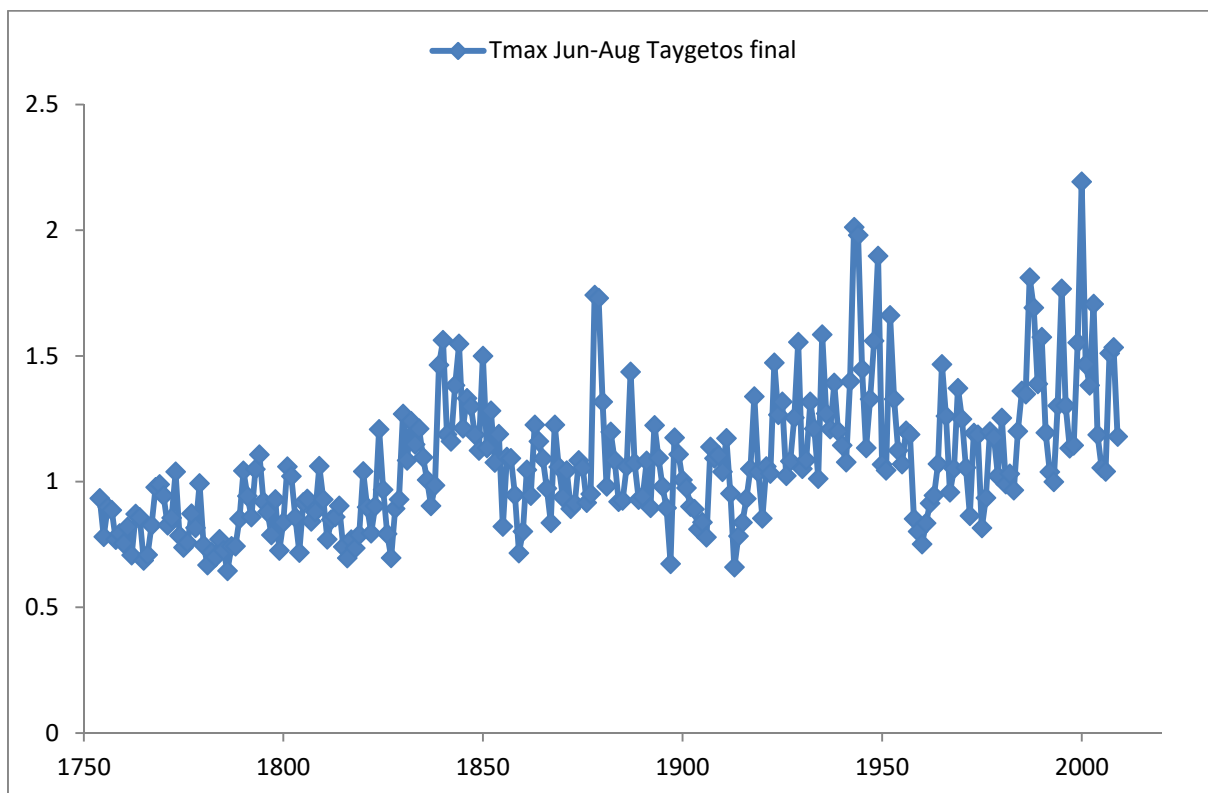
33%cuttoffars	jun-1T-aug	-0.56922	0.00004496
50%cut offars	jun-1T-aug	-0.56920	0.00004500
33%cuttoffars	jun-1T-sep	-0.56870	0.00004584
50%cut offars	jun-1T-sep	-0.56701	0.00004886
67%cutoffraw	jun-1T-sep	-0.56562	0.00005146
33%cutoffraw	jun-1T-sep	-0.56562	0.00005146
50%cut offraw	jun-1T-sep	-0.56562	0.00005146
67%cutoffraw	jun-1T-aug	-0.56532	0.00005205
33%cutoffraw	jun-1T-aug	-0.56532	0.00005205
50%cut offraw	jun-1T-aug	-0.56532	0.00005205
Briffa67%cuttoffars	jun-1T-aug	-0.56341	0.00005588
Briffa67%cuttoffars	jun-1T-sep	-0.56134	0.00006032
67%cuttoffars	jun-1T-aug	-0.56114	0.00006076
67%cuttoffars	jun-1T-sep	-0.55886	0.00006607
33%cuttoffres	Jul-1T-Sep	-0.52493	0.00021391
50%cut offres	Jul-1T-Sep	-0.51607	0.00028490
Briffa67%cuttoffres	Jul-1T-Sep	-0.51253	0.00031883
33%cuttoffres	may-1T-sep	-0.51250	0.00031915
67%cuttoffres	Jul-1T-Sep	-0.50828	0.00036438
50%cut offres	may-1T-sep	-0.50499	0.00040344
Briffa67%cuttoffres	may-1T-sep	-0.50052	0.00046272
67%cuttoffres	may-1T-sep	-0.49657	0.00052136

Πίνακας 3 – Ταξινόμηση με βάση τον συντελεστή συσχέτισης και τον συντελεστή σημαντικότητας

Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι η μεγαλύτερη συσχέτιση ήταν μεταξύ της χρονοσειράς 33% cutoff arstan και της θερμοκρασίας Ιουνίου – Αυγούστου της προηγούμενης χρονιάς. Δεύτερη σε σειρά μεγαλύτερη συσχέτιση ήταν μεταξύ της χρονοσειράς 50% cutoff arstan και της θερμοκρασίας Ιουνίου – Αυγούστου της προηγούμενης χρονιάς.

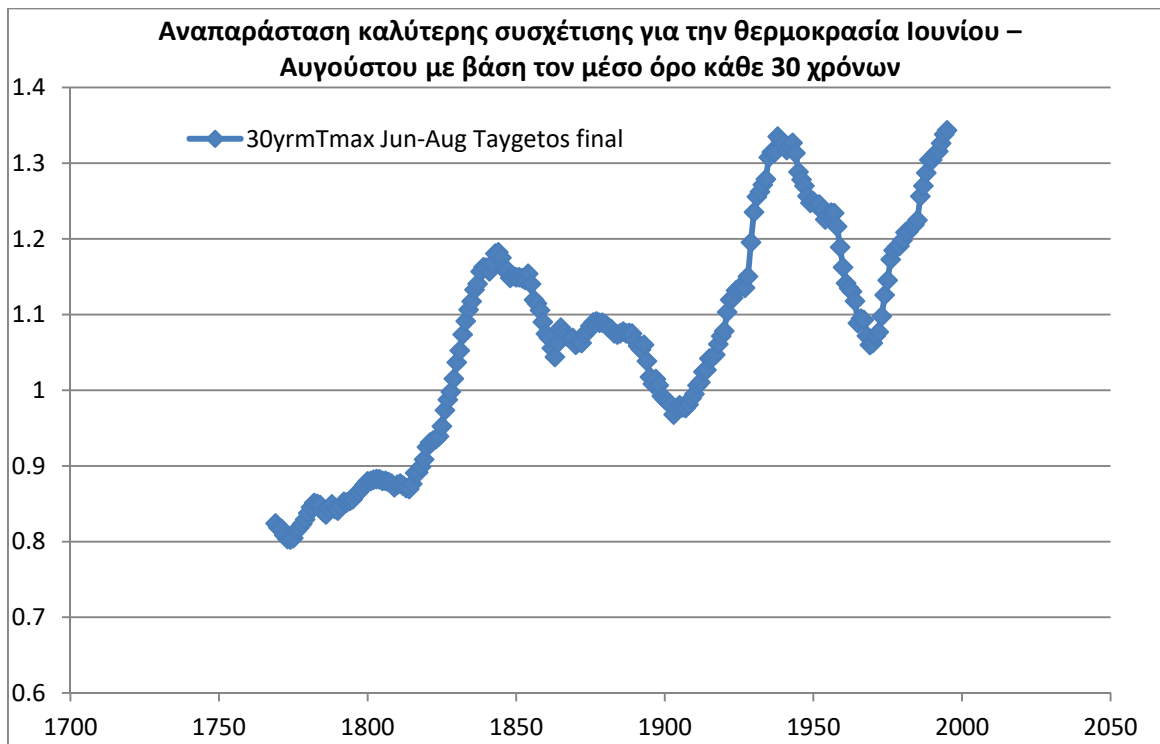


Λόγω του ότι η θερμοκρασία με την μεγαλύτερη συσχέτιση αφορούσε την προηγούμενη χρονιά οι τιμές της χρονοσειράς 33% cutoff arstan έπρεπε να μεταφερθούν ένα χρόνο πίσω. Επιπρόσθετα επειδή η συσχέτιση ήταν αρνητική δηλαδή αντιστρόφως ανάλογες τιμές, αντιστράφηκαν οι τιμές της 33% cutoff arstan (Παράρτημα Κ). Οι τελικές τιμές παρουσιάζονται στην πιο κάτω γραφική παράσταση.



Γραφική Παράσταση 6 - Αναπαράσταση καλύτερης συσχέτισης

Για καλύτερη στατιστική ανάλυση λήφθηκε ο μέσος όρος κάθε 30 χρόνων (Παράρτημα Κ) και η αναπαράσταση της τάσης της θερμοκρασίας φαίνεται στην πιο κάτω γραφική παράσταση.



Γραφική Παράσταση 7 - Αναπαράσταση καλύτερης συσχέτισης με βάση τον μέσο όρο 30 χρόνων

## 4.2 Αναπαράσταση θερμοκρασίας με το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης

Η χρονοσειρά της θερμοκρασίας που βρέθηκε να αναπαράγει καλύτερα τη μεταβλητότητα στην ετήσια αύξηση των δένδρων κανονικοποιήθηκε (z-scores) υπολογίζοντας την διαφορά της τιμής κάθε χρόνου από τον μέσο όρο της περιόδου 1964 – 2008 και διαιρώντας την με την τυπική απόκλιση των δεδομένων της περιόδου (Nicholson 1983, Piervitali και Colacino 2003, Sarris et al. 2007).

Η τυπική απόκλιση είναι η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων της διαφοράς κάθε τιμής από τον μέσο όρο δια τον αριθμό των τιμών που περιέχονται στο δείγμα μειωμένο κατά 1. Η τυπική τιμή ή z-τιμή δείχνει πόσες τυπικές αποκλίσεις πάνω ή κάτω από τον μέσο όρο βρίσκεται η αντίστοιχη τιμή. Άρα επαναπροσδιορίζουμε την κάθε τιμή στο δείγμα μας με βάση πόσο κοντά ή μακριά βρίσκεται από τον μέσο όρο. Αυτός ο επαναπροσδιορισμός σημαίνει ότι οι τιμές θα ακολουθούν μια κατανομή όπου ο μέσος όρος  $MO=0$  και η τυπική απόκλιση  $TA=1$ . (Ζαμπετάκης, 2013)

Για την αναπαράσταση της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression). Το μοντέλο της ανάλυσης παλινδρόμησης είναι το πιο απλό προβλεπτικό μοντέλο. Η συσχέτιση δυο μεταβλητών είναι συμμετρική ως προς τα  $x$  και  $y$  ενώ στην απλή γραμμική παλινδρόμηση η εξαρτημένη μεταβλητή  $y$  καθοδηγείται από την ανεξάρτητη μεταβλητή  $x$ . Στην συγκεκριμένη περίπτωση η μεταβλητή  $x$  είναι τα δεδομένα των δακτυλίων της χρονοσειράς 33% cutoffarst και η μεταβλητή  $y$  η χρονοσειρά της θερμοκρασίας της περιόδου Ιουνίου - Αυγούστου του προηγούμενου χρόνου. Υποθέτοντας ότι η εξάρτηση εκφράζεται από γραμμική σχέση η εξίσωση της γραμμικής παλινδρόμησης είναι

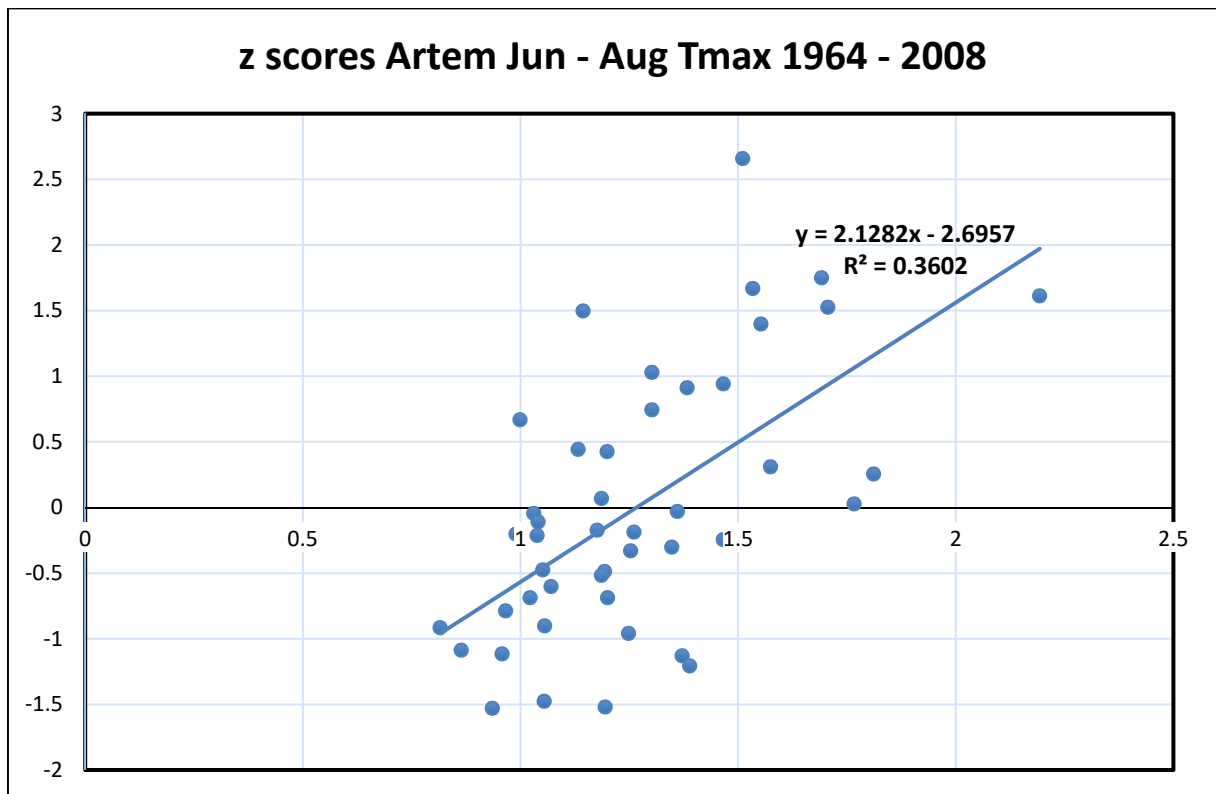
$$y = a + \beta x$$

Το  $a$  είναι η τιμή του  $y$  όταν το  $x = 0$  και το  $\beta$  είναι κλίση της ευθείας ή αλλιώς ο συντελεστής παλινδρόμησης (regression coefficient) (Κουγιουμτζής, 2011). Στόχος είναι να καθοριστούν οι συντελεστές  $a$  και  $\beta$  για τα δεδομένα των μετεωρολογικών μετρήσεων της θερμοκρασίας την περίοδο 1964 - 2008 ούτως ώστε να μπορεί να γίνει αναπαράσταση για τα προηγούμενα χρόνια και συγκεκριμένα την περίοδο 1754 - 1963. Οι εξισώσεις για το  $a$  και το  $\beta$  καθορίζονται στην στατιστική και είναι οι εξής:

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \tilde{x} \tilde{y}}{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2}$$

$$a = \tilde{y} - \beta \tilde{x}$$

Οι χρονοσειρές της θερμοκρασίας (z-scores) και των δακτυλίων της 33% cutoffarst για τα έτη 1964 - 2008 που είχαν την μεγαλύτερη συσχέτιση μεταφέρθηκαν σε ένα αρχείο excel για περαιτέρω επεξεργασία. Με την χρήση της στατιστικής ανάλυσης (trendline chart) που παρέχει το λογισμικό δημιουργήθηκε η εξίσωση της γραμμικής παλινδρόμησης και καθορισμός των τιμών των  $a$  και  $\beta$  (Παράρτημα Λ).

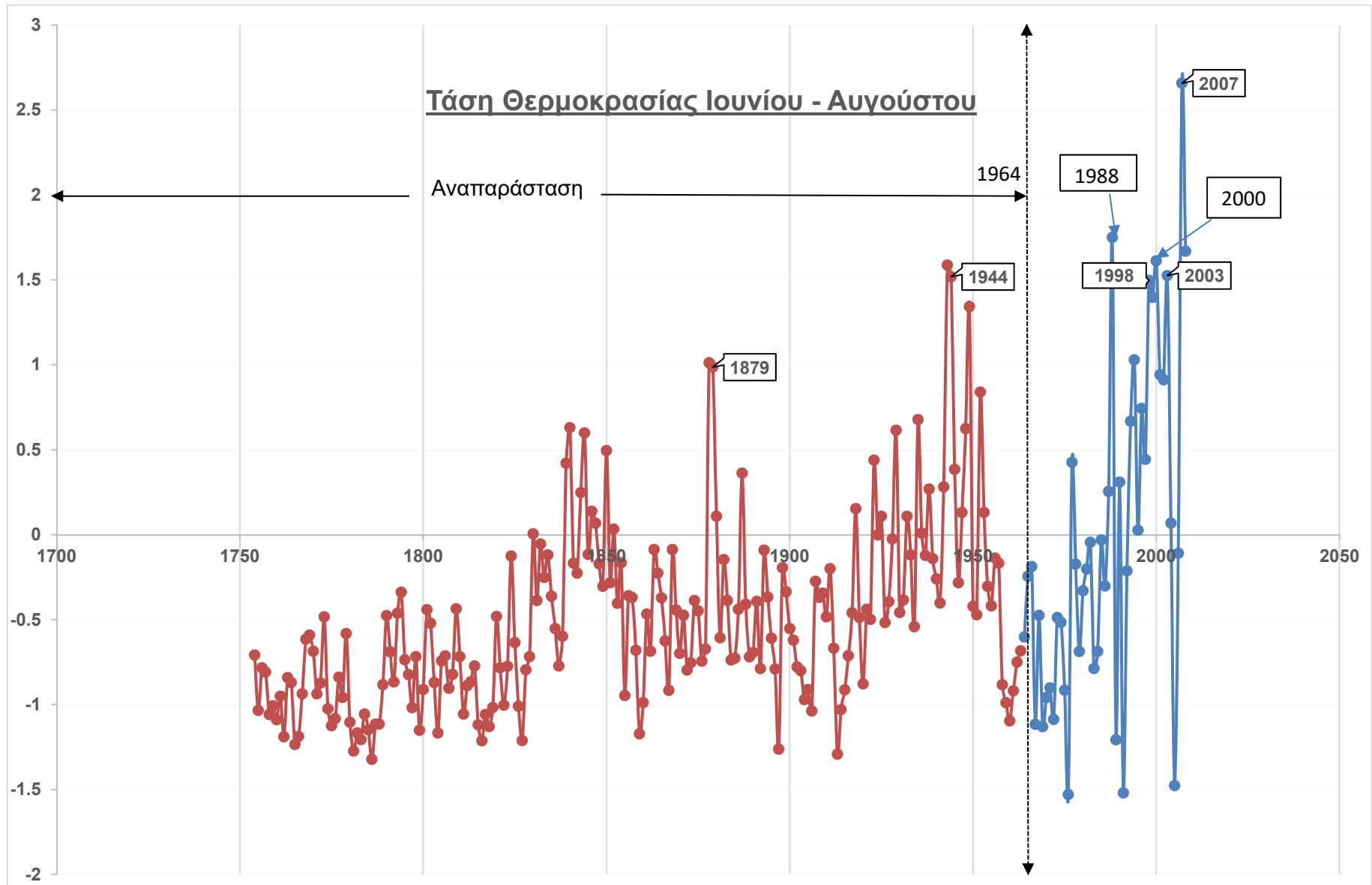


Γραφική Παράσταση 8 – Εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης

Ο συντελεστής συσχέτισης  $r$  είναι 0.600188 που είναι αρκετά ψηλός.

Η εξίσωση  $y=a+\beta x$  εφαρμόστηκε για να υπολογιστεί η τιμή του  $y$  στο υπόλοιπο της χρονοσειράς της θερμοκρασίας (1754 – 1964) που δεν υπήρχαν μετρήσεις.

Η ανακατασκευασμένη χρονοσειρά της τάσης της θερμοκρασίας από τους δακτύλιους του Ταύγετου για τα έτη 1754 – 1963 (Tmax Tayg Jun – Aug reconstructed) και η χρονοσειρά των μετρήσεων για τα έτη 1964 – 2008 (z scores Tmax Jun- Aug Artem) απεικονίζονται στην πιο κάτω γραφική παράσταση.



Γραφική Παράσταση 9 – Αναπαράσταση τάσης Θερμοκρασίας 1754 - 1963

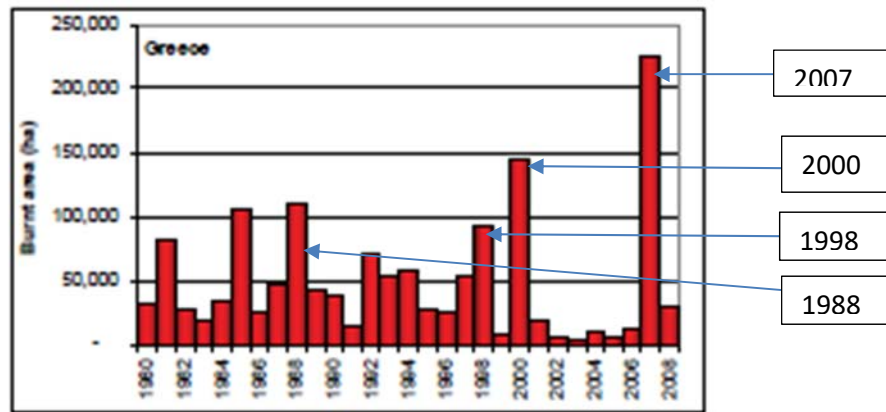
### 4.3 Αύξηση της θερμοκρασίας και των πυρκαγιών

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μια αυξανόμενη τάση τόσο των πυρκαγιών όσο και της περιοχής που καίγεται σε πολλές περιοχές του κόσμου. Επιπλέον, υπάρχει μια παγκόσμια ανησυχία σχετικά με την αυξανόμενη παρουσία πυρκαγιών στα δάση που ήταν ιστορικά επιρρεπείς σε επιφανειακές πυρκαγιές. Μεταξύ των πρόσφατα επηρεασμένων οικοσυστημάτων των ορεινών δασών είναι η μαύρη πεύκη, ένα οικολογικά και οικονομικά σημαντικό είδος που διανέμεται ευρέως γύρω από τη λεκάνη της Μεσογείου και στην περιοχή του Ταΰγετου (Christopoulou et. al., 2013).

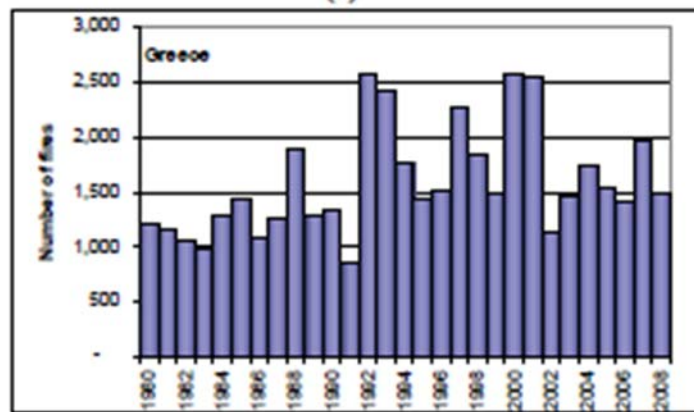
Οι γραφικές παραστάσεις 7 και 9 αποτυπώνουν την ανοδική πορεία της θερμοκρασίας της περιόδου Ιουνίου – Αυγούστου στην Πελοπόννησο και συγκεκριμένα στην περιοχή του Ταΰγετου συγκριτικά με τους προηγούμενους αιώνες αλλά και την παρουσία ακραίων τιμών στο παρόν αλλά και στο παρελθόν.

Η αναπαράσταση της θερμοκρασίας έγινε με σκοπό να διερευνηθούν οι μακροπρόθεσμες αλληλεπιδράσεις θερμοκρασίας/πυρκαγιάς στην περιοχή της Νότιας Πελοποννήσου και να εξαχθούν καλύτερα στοιχεία για την εξήγηση της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς. Η θερμοκρασία και άλλοι παράγοντες θεωρούνται ότι επηρεάζουν τη δραστηριότητα της φωτιάς σε μια περιοχή, συμπεριλαμβανομένων των άλλων καιρικών συνθηκών (π.χ. βροχόπτωση), των χαρακτηριστικών καυσίμων, τις δραστηριότητες διαχείρισης πυρκαγιάς, τις αλλαγές χρήσης της γης και την κλιματική αλλαγή (Dimitrakopoulos et al., 2011).

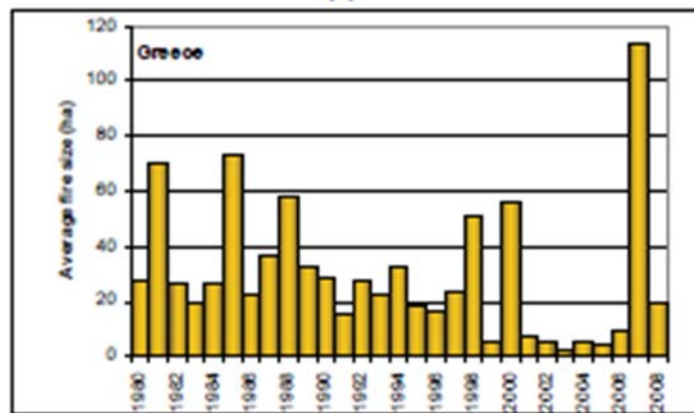
Η γραφική παράσταση 9 αποτυπώνει ψηλές θερμοκρασίες τις χρονιές 1879, 1944, 1949 και 1952 την περίοδο της αναπαράστασης της θερμοκρασίας (1754 – 1963). Οι μετεωρολογικές μετρήσεις κατέγραψαν σαν χρονιές για διερεύνηση τις 1988, 1998, 2000, 2003 και 2007. Σύμφωνα με τα στατιστικά που δημοσιεύονται στο Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών για τις Πυρκαγιές (EFFIS) όλες οι πιο πάνω χρονολογίες εκτός από το 2003 ήταν χρονιές με μεγάλης έκτασης πυρκαγιές στην Ελλάδα (EFFIS, 2008).



(a)



(b)



(c)

Γραφική Παράσταση 10 – (α) καμένη έκταση (β) αριθμός πυρκαγιών και (γ) μέσος όρος μεγέθους πυρκαγιών στην Ελλάδα από το 1980 - 2008

<http://effis.jrc.ec.europa.eu/>

Για την περίοδο πριν το 1980 που δεν υπάρχουν καταγεγραμμένες πληροφορίες έγινε σύγκριση όπως περιγράφεται πιο κάτω με ανακατασκευασμένα στοιχεία πυρκαγιών.

## **4.4 Ανακατασκευασμένα στοιχεία πυρκαγιών**

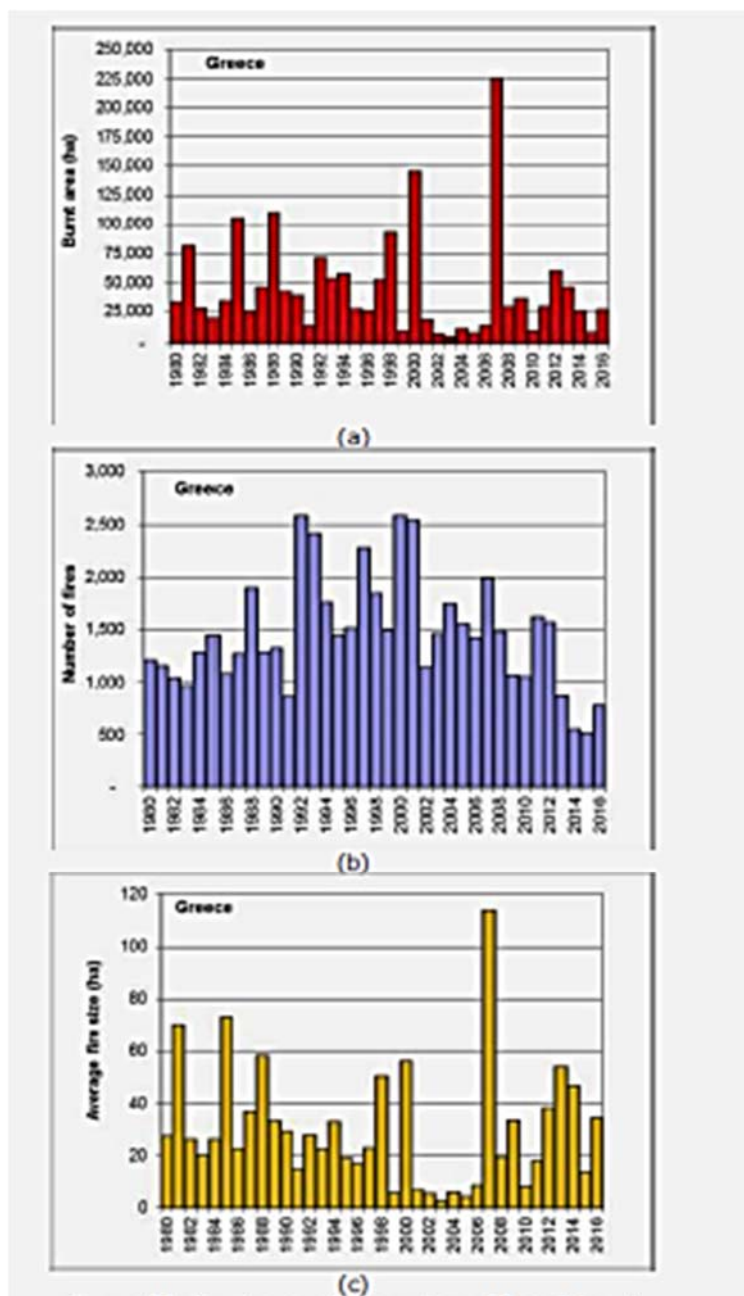
Στα πλαίσια μελέτης για αναπαράσταση των πυρκαγιών οι περισσότερες σημειώθηκαν κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Με την εξαίρεση του 1879 τον 19ο αιώνα, τα έτη πυρκαγιών που ξεπερνούν το μέσο ποσοστό καμένης έκτασης ήταν το 1944, το 1998 και το 2007, με το 2007 να αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο ποσοστό καμένης έκτασης. Μάλιστα, από το 1944 παρατηρείται μια τάση αύξησης του ποσοστού της καμένης έκτασης. Τα τρία μεγαλύτερα γεγονότα πυρκαγιών των τελευταίων 33 ετών που έκαψαν πάνω από 100 εκτάρια ήταν το 1977, το 1998 και το 2007. Η θέση των σημείων πυρκαγιών που βρέθηκαν εντός των δακτυλίων είναι παρόμοια σε όλη την έκταση την περίοδο 1801 έως το 2010, γεγονός που οδηγεί στο ότι η εποχή της φωτιάς δεν έχει αλλάξει τα τελευταία 210 χρόνια, με τις περισσότερες από τις πυρκαγιές να εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της θερινής ξηροθερμικής περιόδου (Christoroulou et. al., 2013).

Οι πιο πάνω χρονολογίες συμπίπτουν με ακραίες τιμές θερμοκρασίας του καλοκαιριού στην γραφική παράσταση 9. Τόσο οι μετεωρολογικές μετρήσεις για την περίοδο 1964 – 2008 όσο και οι ανακατασκευασμένες τιμές της περιόδου 1754 – 1963 καταγράφουν θερμοκρασίες πολύ ψηλές στις συγκεκριμένες χρονολογίες. Αυτό επιβεβαιώνει ότι οι ακραίες τιμές θερμοκρασίας τους καλοκαιρινούς μήνες είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με μεγάλης έντασης και έκτασης πυρκαγιές.

## **4.5 Ετήσιες τάσεις των πυρκαγιών στην Ελλάδα γενικά**

Οι ετήσιες τάσεις στην περίπτωση της Ελλάδας από το 1980 μέχρι το 2016 φαίνονται στη Γραφική Παράσταση 11. Όσο αφορά την καμένη έκταση είχε μειωθεί αισθητά μεταξύ 2001 – 2006 μετά έγινε η καταστροφική πυρκαγιά του 2007 και ακολούθως κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα από 0 – 60.000 ha. Παρόλο που ο αριθμός των πυρκαγιών φαίνεται να μειώνεται τα τελευταία χρόνια, ο μέσος όρος του μεγέθους των περιστατικών ανά έτος αυξάνεται.





Γραφική Παράσταση 11 – (α) καμένη έκταση (β) αριθμός πυρκαγιών και (γ) μέσος όρος μεγέθους πυρκαγιών στην Ελλάδα από το 1980 – 2016 - <http://effis.jrc.ec.europa.eu/>

# Κεφάλαιο 5

## Συζήτηση

### 5.1 Εισαγωγή

Η επαλήθευση των κλιματικών αναπαραστάσεων με ανεξάρτητα δεδομένα καθορίζει την αξιοπιστία του εκτιμώμενου κλίματος χρησιμοποιώντας διαστήματα εκτός της περιόδου αναφοράς και μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους (Fritts et al. 1979):

- (1) στατιστική επαλήθευση με ανεξάρτητες μετεωρολογικές παρατηρήσεις,
- (2) επαλήθευση από ανακατασκευασμένα δεδομένα και
- (3) επαλήθευση με βάση τα ιστορικές παρατηρήσεις και εκθέσεις.

Η αναπαράσταση της θερμοκρασίας στα πλαίσια της διατριβής εύκολα μπορεί να επαληθευτεί λόγω των πολλών ερευνών και μελετών που έγιναν για το πώς έχει εξελιχθεί η θερμοκρασία της Ελλάδας και γενικά της Μεσογείου, ολόκληρης της Ευρώπης αλλά και της γύρω περιοχής τα προηγούμενα χρόνια. Παρόλο που υπήρξαν αυξομειώσεις της θερμοκρασίας και στο παρελθόν, η τάση τα τελευταία χρόνια είναι ανοδική και παράλληλα αυξάνονται και γίνονται εντονότερα τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Σαν επακόλουθο της αύξησης της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με την ξηρασία είναι φυσικά και οι δασικές πυρκαγιές. Πολλοί είναι οι παράγοντες που συμβάλουν στην μεταβολή της θερμοκρασίας και οι επιστήμονες προσπαθούν να τους απομονώσουν με διάφορους τρόπους. Οι δακτύλιοι των δέντρων αποτελούν βασικό παράγοντα αναπαράστασης της θερμοκρασίας για περιόδους πριν την ύπαρξη μετρήσεων με όργανα.

### 5.2 Πρόγραμμα Millennium

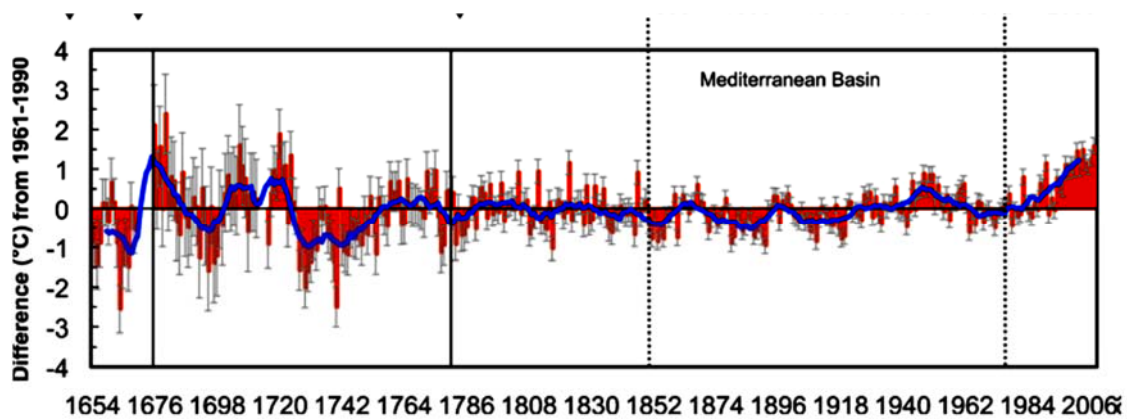
Το μεσογειακό κλίμα απασχόλησε πολλούς ερευνητές και έγιναν πολλές μελέτες για την εξέλιξη του. Λόγω του ότι δεν υπάρχουν μετεωρολογικές μετρήσεις για όλο τον 20ο αιώνα οι επιστήμονες επεξεργάστηκαν διάφορα δεδομένα Ευρωπαϊκών χωρών μαζί με τις πρόσφατες μετρήσεις με όργανα.

Στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Millennium για την αναπαράσταση της θερμοκρασίας από το 1500 λήφθηκαν κυρίως στοιχεία από την Ισπανία, την Γαλλία, την Πορτογαλία και την Ιταλία. Τα στοιχεία περιλάμβαναν πηγές εγγράφων δηλαδή αφηγηματικές, διοικητικές και ημερήσια αρχεία καταγραφής καιρού με διαφορετική αξιοπιστία (Enzi και Camuffo 1995, Pfister et al., 1999).

Οι αφηγηματικές πηγές είναι γενική περιγραφή γεγονότων, όπως τα χρονικά, τα ημερολόγια, οι πρώιμες επιστημονικές διατριβές, ποιήματα, αλληλογραφία και συλλογές αξιοσημείωτων γεγονότων, για "έκτακτα γεγονότα". Συνήθως αναφέρουν εξαιρετικά κλιματικά γεγονότα με κάποια επίδραση στην κοινωνία, π.χ. ακραία κρύα ή ζεστά, περιόδους αδράνειας των ελαιοτριβείων, αποξήρανση των πηγών για έλλειψη της ύδρευσης, έλλειψη νερού που παρεμποδίζει την ποταμοπολοία, υπερβολικά άφθονες βροχές και ποτάμια σε πλημμύρες, μεγάλα υδάτινα σώματα παγωμένα εντελώς σε έναν ασυνήθιστα δροσερό χειμώνα. Οι διοικητικές πηγές είναι έγγραφα γραμμένα συνήθως από δημόσιους υπαλλήλους για να συζητήσουν ένα συγκεκριμένο πρόβλημα, τον αντίκτυπό του και την πορεία της δράσης που αναλαμβάνεται για να το λύσει. Τα έγγραφα αυτά είναι αντικειμενικά, αξιόπιστα, με ακριβή ημερομηνία και συχνά σχηματίζουν σειρά από γεγονότα τοποθετημένα με ακρίβεια (Camuff D. et al., 2010).

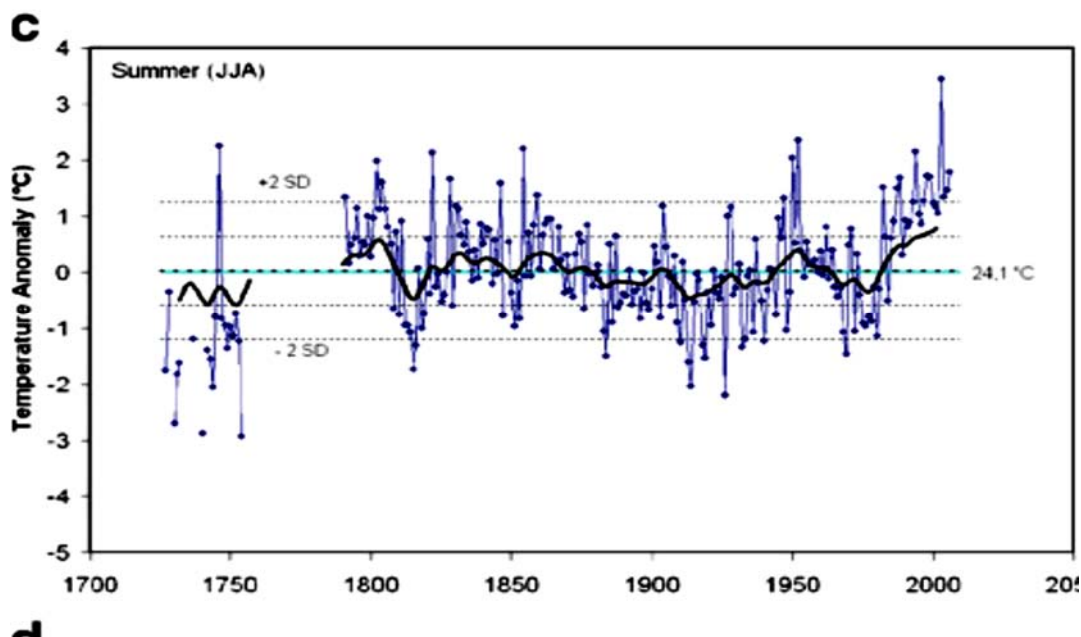
Ενδιαφέρον παρουσιάζει το αποτέλεσμα της πιο κάτω γραφικής παράστασης που προέκυψε στα πλαίσια του προγράμματος. Συγκρινόμενη η θερμοκρασία της λεκάνης της Μεσογείου την περίοδο 1655 – 2007 με την μέση θερμοκρασία της περιόδου 1961-1990 παρατηρείται ότι τα τελευταία 50 χρόνια η θερμοκρασία της Μεσογείου ευθυγραμμίζεται με την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Όμως μακροπρόθεσμα η ζεστή και ξηρή περίοδος δεν είναι εξαίρεση για τη Μεσόγειο, η οποία χαρακτηρίζεται από μια ακολουθία κύκλων θέρμανσης-ψύξης και βροχερού-ξηρού ανάλογα με τη σχετική επιρροή του Ατλαντικού, της ανατολικής πλευράς και της Αφρικής.



Γραφική Παράσταση 12 - Ετήσια διαφορά θερμοκρασίας στη λεκάνη της Μεσογείου για το διάστημα 1655 έως 2007 σε σχέση με την μέση θερμοκρασία το 1961-1990 (Camuff D. et al., 2010).

Σημαντική είναι και η αναπαράσταση της θερμοκρασίας του καλοκαιριού της Νότιας Ιταλίας (Γραφική Παράσταση 13) που γειτνιάζει με την Ελλάδα. Η θερμοκρασία επίσης παρουσιάζει ανοδική πορεία τα τελευταία 50 χρόνια.



Γραφική Παράσταση 13 - Θερινή ανωμαλία θερμοκρασίας (°C) Νότιας Ιταλίας (Camuff D. et al., 2010)

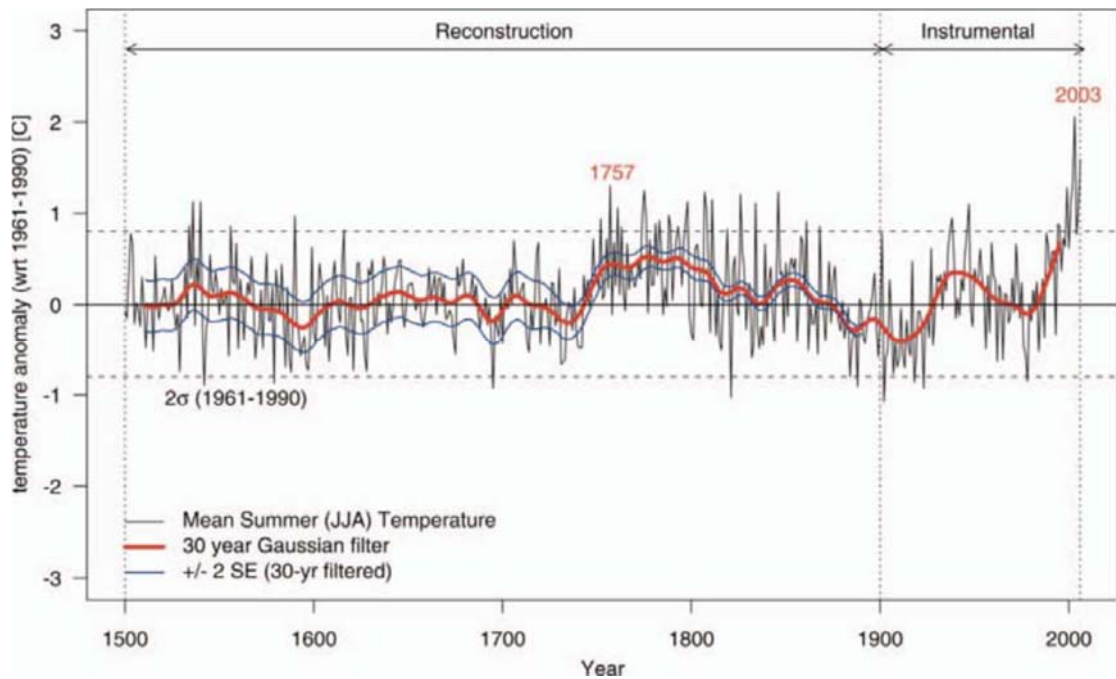
### 5.3 Κύμα καύσωνα 2003

Ένα μεγάλο γεγονός που κέντρισε το ενδιαφέρον πολλών μελετητών ήταν και το κύμα καύσωνα που έπληξε πολλές περιοχές της Ευρώπης το καλοκαίρι του 2003 και αποτέλεσε το επίκεντρο έρευνας για τα ακραία καιρικά φαινόμενα.

Στα πλαίσια των μελετών έγινε και αναπαράσταση της θερμοκρασίας στην Ευρώπη από το 1500 και η Γραφική Παράσταση 13 προσομοιάζει με την Γραφική Παράσταση 9 που είναι η αναπαράσταση της θερμοκρασίας στα πλαίσια της διατριβής.

Σύμφωνα με την έκθεση του Κλιματικού Κέντρου για το 2003 (Levinson & Waple, 2004), η παγκόσμια ετήσια μέση θερμοκρασία επιφάνειας το 2003 ήταν μεταξύ των τριών υψηλότερων την περίοδο που υπάρχουν μετεωρολογικές μετρήσεις. Οι μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου υπερέβησαν τις 40 ° C σε περισσότερες από τις εσωτερικές περιοχές της Ισπανίας και της κεντρικής Πορτογαλίας, 36 ° -38 ° C σε νότια και κεντρική Γαλλία και 32 ° -36 ° C σε όλη τη βόρεια Γαλλία. Γενικά, αυτές οι θερμοκρασίες ήταν 7.5 ° -12.5 ° C άνω του μέσω όρου. Για τον μέσο όρο της Γερμανίας, τόσο τον Ιούνιο όσο και τον Αύγουστο ήταν οι θερμότεροι μήνες από την αρχή του εικοστού αιώνα (Schönwiese et al., 2004). Έτσι, το καλοκαίρι (JJA) ήταν το πιο ζεστό στη Γερμανία από το 1901 (μέση θερμοκρασία 19,6 ° C, η οποία ήταν 3,4 ° C παραπάνω από την περίοδο 1961-1990) και με εξαίρεση μερικούς σταθμούς στην βόρεια και βορειοδυτική Γερμανία, ήταν το καυτότερο καλοκαίρι από την αρχή των καταγεγραμμένων μετρήσεων (Levinson & Waple, 2004). Επίσης, στην Πορτογαλία, το ιστορικό ρεκόρ των απόλυτων ακραίων θερμοκρασιών ξεπεράστηκε την 1η Αυγούστου, με τη μέγιστη (ελάχιστη) θερμοκρασία να φτάνει μια νέα καταγραφή όλων των εποχών των 47,3 ° (30,6 ° ) βαθμών ( Garcia-Herrera R. et al., 2010).

Το μοτίβο της θερμοκρασίας που καταγράφει το ρεκόρ ανωμαλιών, ερευνήθηκε με το παρελθόν για να δοθεί έμφαση στο ρόλο των κύριων συντελεστών που ευθύνονταν για την εμφάνιση και την επιμονή αυτού του γεγονότος. Η αναπαράσταση της μηνιαίας και εποχιακής ευρωπαϊκής θερμοκρασίας μέχρι το 1500 έγινε αρχικά το 2004 με τη χρήση συνδυασμού στοιχείων από δεδομένα μετρήσεων, αποδεικτικά έγγραφα και λίγα εποχιακά φυσικά υποκατάστατα (Luterbacher et al., 2004). Οι αναπαραστάσεις επανυπολογίστηκαν το 2005 (Xoplaki et al. (2005), προσαρμοσμένες σε νέα επικαιροποιημένα (Mitchell και Jones, 2005) με τη χρήση μόνο μακροχρόνιων δεδομένων θερμοκρασίας οργάνου και δείκτες θερμοκρασίας που προέρχονται από αποδεικτικά στοιχεία (Luterbacher et al., 2007). Η ενημερωμένη καλοκαιρινή μέση σειρά από το 1500-2006 παρουσιάζεται στη Γραφική Παράσταση 14 (Garcia-Herrera R. et al., 2010).



Γραφική Παράσταση 14 - Θερινή (JJA) μέση ευρωπαϊκή ανωμαλία θερμοκρασίας (σε σχέση με το 1961 έως την περίοδο αναφοράς 1990) για την περίοδο από το 1500 έως το 2006 (Garcia-Herrera R. et al., 2010)

Οι κύριοι συντελεστές για την πρόκληση του καύσωνα ήταν η ατμοσφαιρική κυκλοφορία, η ελλειπής υγρασία του εδάφους και η θερμοκρασία της θάλασσας.

Η ατμοσφαιρική κυκλοφορία κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο, σε τμήματα της Βόρειας Ευρώπης και της Σκανδιναβίας ήταν υπό την επίδραση συστημάτων χαμηλής πίεσης που ευθύνονται για ελαφρά υψηλότερη από τη συνηθισμένη βροχόπτωση αντισταθμίζοντας τις ξηρές συνθήκες στον τομέα αυτό. Ωστόσο, πάνω από την κεντρική και την νότια Ευρώπη, οι καλοκαιρινοί μήνες (JJA) χαρακτηρίστηκαν από εξαιρετικά ζεστές και ξηρές συνθήκες που προκαλούνται από μια έντονη μεσημβρινή κυκλοφορία. Συνοψίζοντας, το καλοκαίρι του 2003 χαρακτηρίστηκε από την παρουσία διαδοχικών επεισοδίων έντονων αντικυκλωνικών ανωμαλιών με έντονα μεσημβρινά εξαρτήματα ροής αέρα.

Οι ανωμαλίες της υγρασίας του εδάφους επηρεάζουν κυρίως τις αλλαγές της θερμοκρασίας της επιφάνειας στο τοπικό ισοζύγιο επιφανειακής ενέργειας (μειωμένη έντονη εξατμισοδιαπνοή και η λανθάνουσα ψύξη, η οποία αντισταθμίζεται από αισθητά αυξημένη ροή θερμότητας). Εκτός από αυτές τις τοπικές επιπτώσεις στο προϋπολογισμό της ενέργειας, συνθήκες ξηρασίας μπορεί να έχουν απομακρυσμένη επίδραση στις περιβάλλουσες περιοχές μέσω αλλαγών στο την κυκλοφορία στην ηπειρωτική κλίμακα.

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2003, οι συνθήκες ξηρασίας είχαν ενισχυθεί και είχαν επιμηκύνει τις (προϋπάρχουσες) αντικυκλικές κυκλοφοριακές ανωμαλίες, οι οποίες με τη σειρά τους θετικά τροφοδοτούνταν πίσω στις θερμοκρασίες της επιφάνειας (Fischer et al., 2007).

Έχει καταγραφεί ότι οι μηνιαίες θερμοκρασίες της θαλάσσιας επιφάνειας (κατά μέσο όρο σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής της Μεσόγειου) από τον Μάιο έως τον Αύγουστο ήταν συνεχώς πάνω από την αντίστοιχη μέση τιμή για τα προηγούμενα 45 χρόνια (Grazzini & Viterbo 2003).

Ο συνδυασμός ανώμαλων υψηλών θερμοκρασιών στις περισσότερες από τις δυτικές περιοχές της Ευρώπης και η συνακόλουθη ξηρασία προκάλεσαν μια σειρά από οικολογικές, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις. Περιλαμβάνονται οι περιβαλλοντικές και οικολογικές επιπτώσεις δασικές πυρκαγιές, αυξημένη ρύπανση, απώλεια ζώων, μαραμμένες καλλιέργειες και απώλεια δασικής κάλυψης και άγριας φύσης (UNEP, 2004).

Διαφορετικές μελέτες προβλέπουν ότι επεισόδια παρόμοια με το 2003 μπορεί να εμφανιστούν πιο συχνά στο μέλλον λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη (Garcia-Herrera et al., 2010). Μακροπρόθεσμα, η πρόληψη και η διαχείριση των διαφόρων επιπτώσεων σε μελλοντικά κύματα καύσωνα θα πρέπει να γίνει σε ένα πιο παγκόσμιο πλαίσιο που θα υιοθετηθεί μετά από μια συστηματική ανάλυση της ευπάθειας (Fussell 2007, Vescovi et al., 2005).

## **5.4 Κύμα καύσωνα 2010**

Το καλοκαίρι του 2010 ήταν εξαιρετικά ζεστό στην Ανατολική Ευρώπη και σε μεγάλες περιοχές της Ρωσίας. Η ανώμαλη θερμότητα του 2010 που προκάλεσε δυσμενείς επιπτώσεις υπερέβη το πλάτος και το χωρικό εύρος του προηγούμενου καυτού καλοκαιριού του 2003. Οι καύσωνες του 2003 και του 2010 έσπασαν τις εποχιακές θερμοκρασιακές εγγραφές των 500 ετών σε περιοχές σχεδόν πάνω από το 50% της Ευρώπης. Σύμφωνα με τα περιφερειακά πειράματα πολλαπλών μοντέλων, η πιθανότητα ένα καλοκαίρι που βιώνει καύσωνες θα αυξηθεί κατά ένα συντελεστή 5 έως 10 μέσα στα επόμενα 40 χρόνια.

Ωστόσο, το μέγεθος του γεγονότος του 2010 ήταν τόσο ακραίο που παρά την αύξηση αυτή, η πιθανότητα ανάλογου στην ίδια περιοχή παραμένει αρκετά χαμηλή μέχρι το δεύτερο μισό του 21ου αιώνα.

Η αύξηση των συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου αναμένεται να ενισχύσει τη μεταβλητότητα των αθροιστικών θερμοκρασιών στην Ευρώπη. Μαζί με τη μέση αύξηση της θερμοκρασίας, η αυξημένη μεταβλητότητα έχει ως αποτέλεσμα πιο συχνούς, ανθεκτικούς και έντονους καύσωνες.

Η Ευρώπη γνώρισε καταστροφικούς καύσωνες τα τελευταία χρόνια. Το καλοκαίρι του 2010 προκάλεσε περίπου 70.000 θανάτους λόγω θέρμανσης, κυρίως στη δυτική και κεντρική Ευρώπη. Σύμφωνα με μελέτες και άλλες χώρες (χώρες της Βαλτικής, Λευκορωσία, Ουκρανία και Καζακστάν) αντιμετώπισαν επίσης ακραίες θερμοκρασίες που έσπασαν τα θερινά αρχεία των τελευταίων 140 ετών σε πολλές χρονικές κλίμακες. Η καταστροφική περίοδος για ιστορικά δεδομένα άρχισε την 1η Ιουλίου 2010 και παρέμεινε μέχρι τη δεύτερη εβδομάδα του Αυγούστου. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, εκτεταμένες πυρκαγιές στη Δυτική Ρωσία σκότωσαν 53 άτομα και κατέληξαν 3500 ανθρώπους σε άστεγους και η Μόσχα υπέστη καταστροφική αύξηση της θνησιμότητας, του καπνού από πυρκαγιές και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Τα συστήματα υψηλής πίεσης είναι γνωστό ότι παράγουν θερμές συνθήκες στην επιφάνεια με την ενίσχυση της καθίζησης, της ηλιακής θέρμανσης και της προσαγωγής με ζεστό αέρα. Η έλλειψη διαθεσιμότητας νερού έχει ως αποτέλεσμα τη συνεχή μείωση της υγρασίας του εδάφους και την αύξηση της ευαισθησίας του θερμοκηπίου, η οποία επιδεινώνει την ισχύ των καλοκαιρινών κυμάτων καύσωνα.

Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι μαζί με τις μεγάλες διακυμάνσεις σε τοπικούς καύσωνες αυξάνεται η πιθανότητα για καύσωνες σε πυκνοκατοικημένες περιοχές της Ευρώπης με μεγέθη τέτοια ώστε να υπερβαίνουν τις εβδομαδιαίες έως εποχιακές μέγιστες θερμοκρασίες της, εντός των επόμενων τεσσάρων δεκαετιών (Barriopedro D., 2011).



## 5.5 Ηφαιστειακές εκρήξεις

Όσο παράξενο και αν φαίνεται οι ηφαιστειακές εκρήξεις συμβάλουν στην μείωση της θερμοκρασίας 1 ή 2 χρόνια μετά την έκρηξη.

Η πτώση της θερμοκρασίας μετά από μια μεγάλη ηφαιστειακή έκρηξη εντοπίστηκε ως σημαντικό συστατικό στην φυσική μεταβλητότητα του κλίματος. Ωστόσο, λόγω του περιορισμένου αριθμού από τις μεγάλες εκρήξεις που συνέβησαν κατά τη διάρκεια της περιόδου παρατηρήσεων με χρήση οργάνων, το ακριβές εύρος της μετά-ηφαιστειακής ψύξης δεν είναι αρκετά περιορισμένο. Παρουσιάζονται νέα στοιχεία ψύξης της θερινής θερμοκρασίας στην Ευρώπη τα επόμενα χρόνια μετά από ηφαιστειακές εκρήξεις. Χρησιμοποιήθηκε ένα ενημερωμένο δίκτυο χρονολογιών δακτυλίων δέντρων που καλύπτει τους τελευταίους εννέα αιώνες και συγκρίνει τις υπογραφές ψύξης σε αυτό το δίκτυο. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μετά τον ηφαιστειακό Ιούνιο-Αύγουστο η ψύξη είναι ισχυρότερη στη Βόρεια Ευρώπη 2 χρόνια μετά το τέλος της έκρηξης ( $-0,52 \pm 0,05$  °C), ενώ στην Κεντρική Ευρώπη η απόκριση θερμοκρασίας είναι μικρότερη και συμβαίνει 1 χρόνο μετά από ένα έκρηξη ( $-0,18 \pm 0,07$  °C). Δεν βρέθηκε σημαντική μετά-ηφαιστειακή ψύξη στην θερμοκρασία που διαρκεί περισσότερο από 2 χρόνια άρα αμφισβητείται η ικανότητα των μεγάλων εκρήξεων να ξεκινήσουν μακροπρόθεσμα μεταβολές της θερμοκρασίας μέσω μηχανισμών ανατροφοδότησης του κλιματικού συστήματος (Esper 2013).

Θεϊκά αερολύματα, από ηφαιστειακό θείο που εγχέεται στη στρατόσφαιρα από τις εκρήξεις, τείνουν να μειώνουν την παγκόσμια επιφανειακή θερμοκρασία (Cole-Dai 2010). Τα αερολύματα διασκορπίζονται εισερχόμενα την ηλιακή ακτινοβολία και απορροφούν την εξερχόμενη υπέρυθρη ακτινοβολία και προκαλούν θέρμανση της κάτω στρατόσφαιρας και ψύξη της επιφάνειας της γης (Robock 2000).

Εκτίμηση του βαθμού ψύξης από εκρήξεις πριν από την εποχή της οργανικής παρατήρησης απαιτεί τη χρήση των ετησίων ανακατασκευασμένων μεταβλητών θερμοκρασίας που εξηγούν ένα κλάσμα της θερμοκρασιακής διακύμανσης της οποίας μόνο οι δακτύλιοι των δέντρων και μερικά αρχεία εγγράφων, έχουν τη χρονική ακρίβεια και μπορούν να παρέχουν επαρκείς πληροφορίες για το παρελθόν (Frank et al., 2010).

Η καταλληλότητα των ανακατασκευασμένων δεδομένων των δακτυλίων των δέντρων στην ανίχνευση της θερμικής υπογραφής των ηφαιστειακών εκρήξεων, στο χρόνο και στο χώρο έχει αποδειχθεί με επιτυχία (Briffa et al., 1998, Hegerl et al., 2003, Anchukaitis et al., 2012, Esper et al., 2013).

## **5.6 Μεταβολές του παρελθόντος και του τρέχοντος κλίματος στην περιοχή της Μεσογείου**

Οι μεσογειακές κλιματικές αλλαγές κατά τα τελευταία 60 χρόνια βασίζονται σε ομογενοποιημένα δεδομένα ημερήσιας θερμοκρασίας και ποιοτικών ελεγχόμενων βροχοπτώσεων και προϊόντα πλέγματος. Οι εκτιμώμενες αλλαγές δείχνουν στατιστικά σημαντική αύξηση της θερινής θερμοκρασίας της Μεσογείου και μείωση των χειμερινών βροχοπτώσεων σε συγκεκριμένες περιοχές. Οι ανακατασκευές της στάθμης της θάλασσας της Μεσογείου υποδηλώνουν άνοδο της τάξης των 150 mm από την αρχές του δέκατου ένατου αιώνα. Μια επανεξέταση 20 ετών (1985-2007) παρουσιάζει μακροπρόθεσμη μεταβλητότητα θερμοκρασίας και θετική τάση αλατότητας στα ωκεάνια στρώματα σε βάθος 1.500 μ. από την επιφάνεια. Μια έντονη αύξηση στις ακραίες θερμοκρασίες το καλοκαίρι εμφανίζονται σε ολόκληρη την περιοχή της Μεσογείου. Η ανασυγκρότηση και ερμηνεία των χωρικών και χρονικών προτύπων του κλίματος η αλλαγή σε προηγούμενους αιώνες είναι ένα απαραίτητο καθήκον για την εκτίμηση του βαθμού στον οποίο η περίοδος των μετρήσεων με όργανα είναι ασυνήθιστη σε σχέση με την μεταβλητότητα του προ-βιομηχανικού κλίματος. Η περιοχή της Μεσογείου προσφέρει μια μεγάλη ποσότητα και ποιότητα δεδομένων από πολλούς μετεωρολογικούς σταθμούς, ένα ευρύ φάσμα αποδεικτικών στοιχείων (δηλ χρονοδιαγράμματα, ημερήσιες αναφορές καιρού, ημερολόγια πλοίων, χρόνος κλεισίματος και ανοίγματος των υδάτινων οδών, τις θρησκευτικές τελετές κλπ.) ως καθώς και τα υψηλά και τα χαμηλά χωρο-χρονικά επιλυμένα φυσικά ανακατασκευασμένα στοιχεία (δέντρα, τροπικά και μη τροπικά κοράλλια, σταλακτίτες, ιζήματα λίμνης, υφάλους (Luterbacher et al., 2006, 2012).

Η ουσιώδης χειμερινή θέρμανση άρχισε στα τέλη του 19ου αιώνα. Στο πλαίσιο της τελευταίας μισής χιλιετίας, οι τελευταίες χειμερινές δεκαετίες του εικοστού / είκοσι πρώτου αιώνα ήταν μεταξύ των πιο θερμών.

Σύμφωνα με την ευρύτατη αύξηση των καυτών ακραίων τιμών την πρώτη δεκαετία ο εικοστός πρώτος αιώνας χαρακτηρίζεται από συχνούς καύσωνες στο εσωτερικό της Μεσογειακής-Ευρωπαϊκής περιοχής.

Οι αναλύσεις των ακραίων θερμοκρασιών είναι γενικά σύμφωνες με τις προηγούμενες μελέτες της Μεσογείου και είναι γενικά σύμφωνες με την παγκόσμια εικόνα των τάσεων: δηλαδή, λιγότερες ψυχρές ακραίες συνθήκες και πιο θερμές / καυτές ακραίες συνθήκες (Frich et al., 2002; Κωστοπούλου και Τζόουνς 2005; Alexander et al., 2006; Brunet et al., 2007).

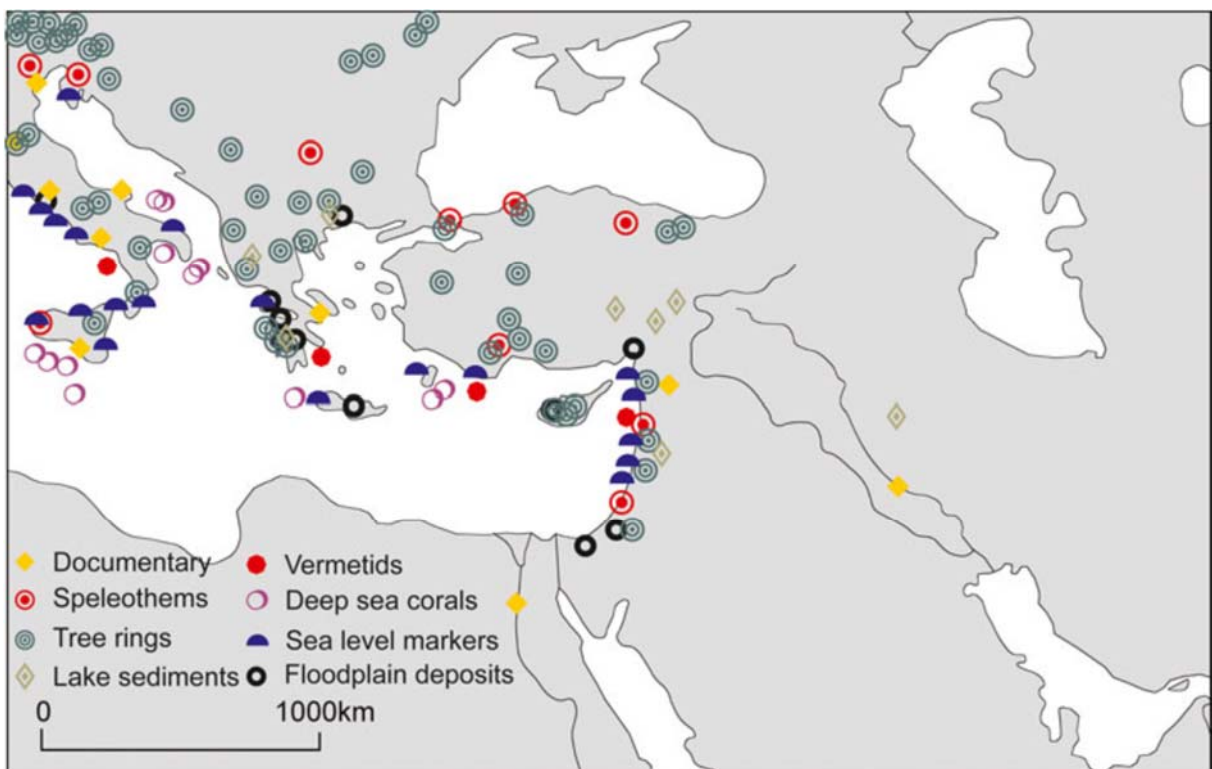
## **5.7 Τάση θερμοκρασίας στην Ανατολική Μεσόγειο και στη Μέση Ανατολή**

Η Ανατολική Μεσόγειος και η Μέση Ανατολή (ΑΜΜΑ) είναι πολύ πιθανό να επηρεάζονται στο μέλλον από την αλλαγή του κλίματος, που συνδέεται με αυξήσεις της συχνότητας και της έντασης της ξηρασίας και κακές καιρικές συνθήκες. Δεδομένου ότι το κλίμα στην περιοχή ποικίλει και οι ακραίες κλιματικές συνθήκες είναι ήδη συνήθειες, οι επιπτώσεις θα είναι δυσανάλογες. Αναλύσεις με μακροπρόθεσμα μετεωρολογικά σύνολα δεδομένων καθώς και προβολές περιφερειακών κλιματικών μοντέλων για τον 21ο αιώνα υποδηλώνουν σταδιακή και σχετικά ισχυρή θέρμανση περίπου 3,5-7 ° C μεταξύ της περιόδου αναφοράς 1961-1990 με την περίοδο 2070-2099. Οι μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες φαίνεται να αυξάνονται πιο γρήγορα στο βόρειο τμήμα της περιοχής, δηλαδή στη Βαλκανική Χερσόνησο και στην Τουρκία. Οι συνθήκες καυτού καλοκαιριού που σπανίως συνέβησαν κατά την περίοδο αναφοράς μπορεί να γίνουν ο κανόνας από τη μέση και το τέλος του 21ου αιώνα. Οι προβλεπόμενες αλλαγές βροχόπτωσης είναι αρκετά μεταβλητές. Οι βροχοπτώσεις ετησίως αναμένεται να μειωθούν στην περιοχή της νότιας Ευρώπης - Τουρκίας και του Λεβάντε ενώ στην περιοχή του Αραβικού Κόλπου μπορεί να αυξηθούν. Στην πραγματικότητα στην πρώτη περιοχή η βροχόπτωση αναμένεται να αυξηθεί το χειμώνα, ενώ θα μειωθεί την άνοιξη και το καλοκαίρι, με μια σημαντική αύξηση του αριθμού των ημερών χωρίς βροχόπτωση. Στις αναμενόμενες περιφερειακές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής περιλαμβάνεται το θερμικό στρες, που συνδέεται με την κακή ποιότητα του αέρα στο αστικό περιβάλλον και την αύξηση της έλλειψης γλυκού νερού (Lelieveld et al., 2011).

Το κλίμα της βόρειας AMMA είναι ως επί το πλείστο εύκρατο με θερμό έως ζεστό, ξηρό καλοκαίρι, περιστασιακές ξηρασίες και ήπιους, σχετικά υγρούς χειμώνες (Bolle 2003, Lionello et al., 2006). Στην νότια AMMA, επικρατεί ένα ξηρό καυτό κλίμα ερήμου, όπου οι βροχοπτώσεις είναι χαμηλές και η βλάστηση λιγοστή (Issar και Zohar 2007). Παρ' όλα αυτά, τα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν με συνέπεια μια συνολική ξήρανση της περιοχής (Gibelin και Déqué 2003; IPCC 2007; Kitoh et al., 2008), η οποία θα επηρεάσει τα μεγάλα ποτάμια συστήματα και τους υδάτινους πόρους και την παραγωγή τροφίμων. Η περιοχή της γεωργικής γης που βασίζεται στη βροχή μπορεί να μειωθεί και η παράταση της περιόδου ξηρασίας θα μειώσει τη διαθεσιμότητα των χορτονομών για βοσκότοπους (Evans 2009). Αν και οι αποδόσεις των καλλιεργειών ενδέχεται να αυξηθούν το χειμώνα, μπορεί να μειωθούν κατά το υπόλοιπο του έτους και να αυξηθεί ο κίνδυνος πυρκαγιάς και η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να επιδεινώσει την περιβαλλοντική ένταση (Giannakopoulos et al. 2009).

Οι κλίσεις και οι αντιθέσεις είναι χαρακτηριστικές για την AMMA, όχι μόνο σε κλιματολογικές συνθήκες, αλλά και σε κοινωνικές και οικονομικές πτυχές, στην πρόσβαση σε φυσικούς πόρους, καθώς και σε πολιτιστικές και πολιτιστικές δραστηριότητες και θρησκευτικές παραδόσεις. Αυτή η ποικιλομορφία είναι ένα περιφερειακό χαρακτηριστικό, αλλά μπορεί επίσης να συνδεθεί με πολιτικές εντάσεις. Δεδομένου ότι η περιοχή αποτελεί πρωταρχική "hot spot" της κλιματικής αλλαγής, υπάρχει ανησυχία σχετικά με τη μελλοντική κατάσταση του περιβάλλοντος και των κοινωνικών συνεπειών (Giorgi 2006, IPCC 2007). Ένα μεγάλο μέρος της AMMA είναι πασίγνωστο για τη λειψυδρία. Η ζήτηση για γλυκό νερό αυξάνεται συνεχώς, που συνδέεται με την αύξηση του πληθυσμού και την οικονομική ανάπτυξη. Η Μέση Ανατολή έχει αναγνωριστεί ως η πρώτη περιοχή παγκοσμίως για την εξάντληση του φρέσκου νερού (Allan 2001). Μολονότι ορισμένες υποπεριφέρειες είναι ακατάλληλες για τη γεωργία, άλλες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την γεωργία και η αλλαγή του κλίματος είναι πιθανό να επιβάλει προκλήσεις που θα μπορούσαν να επιδεινώνουν τις περιφερειακές εντάσεις. Το καλοκαίρι η AMMA μπορεί να είναι καυτή και η αλλαγή του κλίματος μπορεί να εντείνει τα κύματα καύσωνα με συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία, τη χρήση ενέργειας και την οικονομική δραστηριότητα, συμπεριλαμβανομένου του τουριστικού τομέα.

Άμεσα διαθέσιμες μετρήσεις με όργανα για τις κλιματικές μεταβλητές στην περιοχή της Μεσογείου υπάρχουν μόνο κατά τους τελευταίους 1-2 αιώνες, και είναι χρήσιμο να χρησιμοποιηθούν έμμεσοι δείκτες, δηλαδή "ανακατασκευασμένα" στοιχεία, για την αναδημιουργία προηγούμενων αλλαγών του κλίματος (Jansen et al., 2007, PAGES 2009). Οι πληροφορίες προέρχονται από φυσικά αρχεία και αποδεικτικά στοιχεία (Brázdil et al., 2005). Η Μεσόγειος είναι μια περιοχή με ευρύ φάσμα δεδομένων μεσολάβησης, τόσο σε χρόνο όσο και σε χώρο που επιτρέπουν κλιματικές ανακατασκευές τους τελευταίους αιώνες. Η εικόνα 11 δείχνει τις θέσεις για τις οποίες είναι διαθέσιμα τα θαλάσσια και επίγεια "ανακατασκευασμένα" στοιχεία (proxies) από την AMMA.

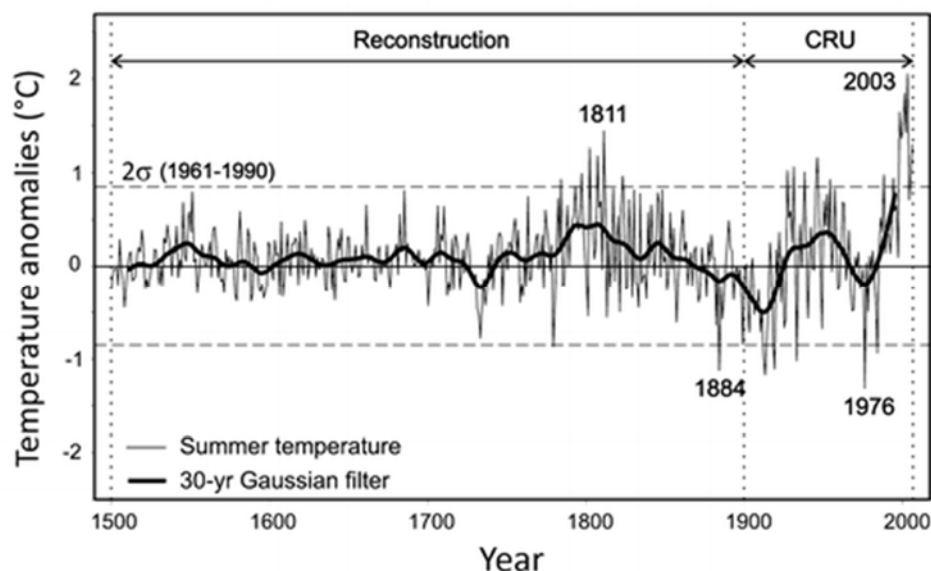


Εικόνα 11 - θέσεις για τις οποίες είναι διαθέσιμα τα θαλάσσια και επίγεια "ανακατασκευασμένα" στοιχεία (Lelieveld et al., 2011)

Οι πηγές δεδομένων υποστηρίζονται από το βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής και παρέχουν μια ένδειξη του δυναμικού των κλιματικών παραγόντων για την ανασυγκρότηση των κλιματικών μεταβολών σε κλίμακα τοπικού επιπέδου και επίσης έχουν περιορισμούς στην ανακατασκευή ολόκληρης της φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος συμπεριλαμβανομένων των διακυμάνσεων σε ετήσια βάση έως πολυετείς διακυμάνσεις. Τα μήκη των χρονολογικών σειρών ποικίλλουν μεταξύ των "ανακατασκευασμένων" στοιχείων.

Τα "ανακατασκευασμένα" στοιχεία είναι επίσης ευαίσθητα σε σήματα πολλαπλού κλίματος (π.χ. θερμοκρασία, βροχόπτωση, μεταβολές της στάθμης της θάλασσας, pH, θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας και κυκλοφορία του νερού). Επιπλέον, τα "ανακατασκευασμένα" στοιχεία είναι διαφορετικά όσον αφορά τη χρονική ανάλυση (εποχιακά όπως οι δακτυλίους των δέντρων, σε πολλά δεκαδικά, όπως θαλάσσια κοράλλια βαθιών υδάτων) και αντιπροσωπεύουν τις κλιματικές συνθήκες κατά τη διάρκεια διαφορετικών μερών του έτους (Hegerl et al., 2011). Πτυχές όπως η ευαισθησία, η αναπαραγωγικότητα, η τοπική διαθεσιμότητα και η συνέχεια σε όλες τις χρονικές περιόδους μπορεί επίσης να διαφέρουν (Mann 2002). Στην AMMA, η εποχικότητα των βροχοπτώσεων έχει μεγάλη σημασία. Υπάρχει μια ισχυρή βορειοδυτική-νοτιοανατολική κλίση της συμβολής των χειμερινών βροχοπτώσεων στα ετήσια σύνολα. Στην Ιταλία η χειμερινή βροχόπτωση αντιπροσωπεύει συνήθως το 30-40% της συνολικής βροχόπτωσης. Από τη νότια Ελλάδα και τη Λιβύη προς τη Μέση Ανατολή τη συμβολή των χειμερινών βροχοπτώσεων στα ετήσια σύνολα υπερβαίνει το 50%. Σε μέρη της Αιγύπτου, Ιορδανίας, Ισραήλ, Λίβανος, νότια Τουρκία και την Κύπρο, φθάνει το 60-80% (Xoplaki 2002).

Η Γραφική Παράσταση 15 παρουσιάζει τις μέσες καλοκαιρινές ανωμαλίες θερμοκρασίας AMMA πάνω από την ξηρά της περιόδου 1500-2006 (σε σχέση με τον μέσο όρο 1961-1990 των 29.7 °C). Οι οριζόντιες διακεκομμένες γραμμές δείχνουν τις τυπικές αποκλίσεις κατά την περίοδο 1961-1990. Οι καλοκαιρινές θερμοκρασίες από το 1500 έως το 1800 φαίνεται ότι δεν ήταν σαφώς χαμηλότερες σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς. Η ζεστή φάση γύρω στο 1800 θα μπορούσε στην πραγματικότητα να είναι τεχνητή λόγω πιθανών ανομοιογενειών στις μετρήσεις των οργάνων πριν από τα μέσα του 19ου αιώνα και άλλων παραγόντων (Frank et al., 2007). Ο 20ος αιώνας χαρακτηρίζεται από μια ισχυρή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του καλοκαιριού μέχρι τη δεκαετία του 1950 ακολουθούμενη από ψύξη μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1970. Στη συνέχεια, μια εξαιρετικά ισχυρή, πρωτοφανής θέρμανση παρατηρήθηκε, συμπεριλαμβανομένου του καυτού καλοκαιριού που καταγράφηκε το 2003, ξεπερνώντας σαφώς την τυπική απόκλιση της περιόδου 1961-1990.



Γραφική Παράσταση 15 - Μέσες καλοκαιρινές ανωμαλίες θερμοκρασίας ΑΜΜΑ πάνω από την ξηρά της περιόδου 1500-2006 (σε σχέση με τον μέσο όρο 1961-1990) (Lelieveld et al., 2011)

Οι προβλέψεις για το μέλλον παρουσιάζουν ισχυρότερη θέρμανση το καλοκαίρι στην βόρεια ΑΜΜΑ. Σημαντικές θα είναι οι μεταβολές της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας (TX) και της ελάχιστης (TN) θερμοκρασίας το καλοκαίρι, την εποχή με την μεγαλύτερη προβλεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας στην περιοχή (Christensen et al., 2007, Hadjinicolaou et al., 2010, Γιαννακόπουλος κ.ά., 2010) και με ενδεχομένως ισχυρές επιπτώσεις. Τα αποτελέσματα μελέτης δείχνουν ότι η περιφερειακή αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι βαθμιαία, τόσο TX όσο και TN, που κυμαίνεται από 1 °C έως 3 °C στο εγγύς μέλλον (2010-2039), σε 3-5 °C η περίοδος των μέσων αιώνα (2040-2069) και 3,5-7 °C μέχρι τα τέλη του αιώνα (2070-2099). Σε κάθε περίοδο, αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας είναι πιο ομοιόμορφη για το χειμερινό TN, ενώ για το TX η μεγαλύτερη είναι πιο σαφής σε γεωγραφικό πλάτος βορείως των 36 ° -38 ° Βόρεια (που φθάνει τους 6-7 °C στα Βαλκάνια, την Τουρκία και τον Καύκασο έως το 2070-2099) και ασθενέστερη στη νότια ΑΜΜΑ (~ 3,5 °C στη Λιβύη, δυτική Σαουδική Αραβία και νότιο Ιράν). Η σχετικά ισχυρή ανοδική τάση στην βόρεια ΑΜΜΑ υποδηλώνει τη συνέχιση της αυξανόμενης έντασης και της διάρκειας των κυμάτων καύσωνα που παρατηρήθηκαν σε αυτή την περιοχή από το 1960 (Kuglitsch et al., 2010).

Περαιτέρω, στο νοτιοανατολικό της ΑΜΜΑ η TN αυξάνεται κατά τουλάχιστον 1,5 °C πιο έντονα από το TX από 2070-2099 ως συνέπεια των ολοένα και πιο συννεφιασμένων συνθηκών και ψύξης λόγω μειωμένης ακτινοβολίας, ιδιαίτερα το καλοκαίρι.

Οι υπολογισθείσες μεταβολές των αριθμών ζεστών ημερών ανά έτος είναι θετικές σε όλη την ΑΜΜΑ και εξαιρετικά μεγάλες και στατιστικά σημαντικές σε όλες τις περιόδους (2010-2039, 2040-2069 και 2070-2099). Για αναφορά, υπολογίζεται η χωρική μορφή του δείκτη θερμής ημέρας ( $TX > 35 \text{ } ^\circ \text{C}$ ) της περιόδου 1961-1990. Μέχρι το τέλος του αιώνα ο δείκτης αυξάνεται κατά 0-15 ημέρες στις υψηλότερες περιοχές ανύψωσης και 20-40 ημέρες για το μεγαλύτερο μέρος του τομέα. Η ισχυρότερη αύξηση (περισσότερο από 2 μήνες) εμφανίζεται πάνω από το Λεβάντε και την Βόρεια Αφρική, πλησιάζοντας τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή του Κόλπου κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς. Ο τροπικός δείκτης νύχτας ( $TN > 25 \text{ } ^\circ \text{C}$ ) για την περίοδο αναφοράς είναι μεταξύ 0 και 20 ημέρες το χρόνο για το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής και 3-4 μήνες γύρω από τον Αραβικό Κόλπο.

Προβλέπεται σταδιακή μελλοντική αύξηση ξεκινώντας από τα νότια της ΑΜΜΑ και προχωρώντας προς τα βόρεια, να αυξάνεται κατά σχεδόν ένα μήνα στις χαμηλές περιοχές των Βαλκανίων, το Λίβανο, τις ακτές της Βόρειας Αφρικής και το νότιο Ιράν, και κατά 2 μήνες και περισσότερο στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής (συμπεριλαμβανομένων και ορισμένων τοποθεσιών γύρω από το Αιγαίο Πέλαγος και την Κύπρο). Η αξιοσημείωτη εξαίρεση είναι η μικρή αύξηση που αναμένεται στις ορεινές περιοχές (λιγότερο από 10 ημέρες).

Οι υποπεριφέρειες για τις οποίες προβλέπονται οι μεγαλύτερες αυξήσεις στον τροπικό δείκτη νύχτας ( $TN > 25 \text{ } ^\circ \text{C}$ ) αναμένεται να παρουσιάσουν τις μικρότερες αυξήσεις δείκτη της ζεστής ημέρας ( $TX > 35 \text{ } ^\circ \text{C}$ ). και το αντίστροφο ισχύει επίσης, Παρόλα αυτά, η συνολική θερμική ένταση μπορεί να είναι πολύ μεγάλη. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για το Περιοχή του Αραβικού Κόλπου όπου επικρατούν ήδη καυτές και υγρές καιρικές συνθήκες το καλοκαίρι. Δεδομένου ότι οι τροπικές νύχτες τείνουν να επιδεινώσουν τις δυσμενείς επιπτώσεις της θερμικής έντασης κατά τη διάρκεια της ημέρας (Fischer and Schär 2010) αύξηση του αριθμού ημερών με  $TN > 25 \text{ } ^\circ \text{C}$  κατά περισσότερο από 2 μήνες προκαλεί μεγάλη ανησυχία.

Πιθανές επιπτώσεις στην αλλαγή του κλίματος θα είναι και η άνοδος των εξαιρετικά υψηλών θερινών θερμοκρασιών.



Οι θερμότερες συνθήκες που παρατηρήθηκαν σπάνια κατά την περίοδο αναφοράς μπορούν να γίνουν ο κανόνας από το μέσο και το τέλος του αιώνα. Τα πιο καυτά καλοκαίρια κατά την περίοδο 2070-2099 να είναι θερμότερα από τα πιο καυτά κατά τη διάρκεια του 1961-1990.

Η ποιότητα του αέρα αναμένεται να γίνει φτωχότερη στην ΑΜΜΑ. Αν και οι εκπομπές που προκαλούνται από τον άνθρωπο στην πλειονότητα της Ευρώπης μειώνονται, αυξάνονται στην Τουρκία και στη Μέση Ανατολή, και επηρεάζουν τη ρύπανση του αέρα από το όζον και τα σωματίδια, οδηγώντας σε υπερβολική νοσηρότητα και θνησιμότητα. Στη βόρεια ΑΜΜΑ η ξηρότητα αυξάνεται πιθανότατα με τη πρόκληση των πυρκαγιών και των επακόλουθων εκπομπών ρύπανσης. Επιπλέον, η ΑΜΜΑ έχει πολλές μεγάλες πόλεις, συμπεριλαμβανομένων αρκετών μεγαλουπόλεων στις οποίες η ποιότητα του αέρα υποβαθμίζεται σοβαρά (π.χ. Κάιρο, Τεχεράνη).

Υπάρχουν αναμφισβήτητα στοιχεία ότι οι μέγιστες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ημέρας (ΤΧ) στην ΑΜΜΑ αυξάνονται, και προβλέπεται να συνεχιστεί στο μέλλον, οδηγώντας σε εκτεταμένα κύματα καύσωνα. Ενώ τα κύματα καύσωνα καθορίζονται σε σχέση με τις τοπικές συνθήκες, είναι προφανές ότι το επίπεδο δυσφορίας επηρεάζεται από τις ήδη πολύ υψηλές θερινές θερμοκρασίες. Γενικά, τα κύματα καύσωνα είναι το είδος των ακραίων καιρικών συνθηκών με τα περισσότερα θύματα. Η υπερβολική θνησιμότητα είναι μεγαλύτερη μεταξύ ευαίσθητων ομάδων όπως τα άτομα που πάσχουν από ασθένεια, ηλικιωμένους, παιδιά και παιδιά γενικά τον αστικό πληθυσμό. Συνεργιστικά αποτελέσματα με συναφή θέματα όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση και η διαθεσιμότητα νερού θα πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω. Αυτό ισχύει επίσης και για φορέα παρασιτικών και ιογενών ασθενειών, οι οποίες πρόσφατα επεκτάθηκαν στην ΑΜΜΑ μετά από πολλά χρόνια απουσίας.

Η ΑΜΜΑ έχει υψηλή βιοποικιλότητα, ιδίως φυτικών ειδών, που σχετίζονται με τις μεγάλες κλίσεις στην τοπογραφία, τη γονιμότητα του εδάφους και τις κλιματολογικές συνθήκες. Κατά τη διάρκεια της προηγούμενης χιλιετίας η μετατροπή των φυσικών οικοσυστημάτων σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις και η υπερβόσκηση έχουν ήδη διαμορφώσει έντονα τη κάλυψη της γης. Η ΑΜΜΑ περιλαμβάνει υποπεριφέρειες πολύ κατάλληλες για τη γεωργία.

Οι χειμώνες θα είναι πιο ήπιοι στο βορρά που συνδέεται με την επιμήκυνση της καλλιεργητικής περιόδου κατά περίπου ένα μήνα το χρόνο στα μέσα του αιώνα. Ωστόσο, αυτή η επωφελής επίδραση πιθανόν θα επισκιαστεί από τις δυσμενείς συνέπειες των ακραίων καιρικών συνθηκών · για παράδειγμα, ο αυξανόμενος αριθμός πολύ θερμές ημέρες ( $TX > 35^{\circ}C$ ) κατά 2-4 εβδομάδες / έτος, και τη μείωση της υγρασίας του εδάφους. Η Μεσόγειος Θάλασσα μπορεί να θεωρηθεί ως ένας μικρής κλίμακας ωκεανός με κυκλοφορία που καθοδηγείται από μεταβολές της πυκνότητας, ενδιάμεσων και βαθιών μεταφορών νερού. Η ανατολική Μεσόγειος είναι ουσιαστικά χερσαία λεκάνη απορροής με επιφανειακά νερά χαμηλής περιεκτικότητας σε θρεπτικά στοιχεία ("θαλάσσια έρημος"). Στα δύο τελευταία δεκαετίες έχουν παρατηρηθεί ραγδαίες αυξήσεις της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας, όπου κυριαρχείται από αλλαγές στο καλοκαίρι. Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι πιο έντονη το καλοκαίρι από ότι το χειμώνα. Οι μελέτες μοντέλων δείχνουν ότι αυτή η τάση θα συνεχίσει στο μέλλον, και η θέρμανση των επιφανειακών και βαθιών υδάτων θα οδηγήσει σε αλάτωση και σταθεροποίηση μάζας νερού.

Η θαλάσσια βιοποικιλότητα μπορεί να επηρεαστεί, π.χ. μέσω μειωμένης παροχής θρεπτικών συστατικών στα επιφανειακά ύδατα, την "τροπικοποίηση" και την εισβολή ξένων ειδών μέσω της διώρυγας του Σουέζ.

Αναμένεται ότι η ετήσια βροχόπτωση θα μειωθεί κατά κανόνα κατά 5-25% το 2040-2069 και 5-30% σε 2070-2099 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990. Οι μειώσεις θα είναι ιδιαίτερα (> 15%) στην Κύπρο, την Ελλάδα, το Ισραήλ, την Ιορδανία, το Λίβανο, τις περιοχές της Παλαιστίνης και τη Συρία. Σε συνδυασμό με τις προβλέψεις πληθυσμού των Ηνωμένων Εθνών για το 2040-2069, το ανά κεφαλή μέρος των υδάτινων πόρων μπορεί να μειωθεί κατά δύο τρίτα στην Κύπρο και την Ιορδανία, και σχεδόν κατά το μισό στη Συρία.

Στην ΑΜΜΑ, τα ορυκτά καύσιμα κυριαρχούν στον ενεργειακό εφοδιασμό και η χρήση τους αυξάνεται με ρυθμό μεταξύ των υψηλότερων παγκοσμίως. Ειδικά στα κράτη του Αραβικού Κόλπου η κατανάλωση ενέργειας για τη βιομηχανία, την κυκλοφορία, τον κλιματισμό και την αφαλάτωση είναι ασταμάτητα. Αυτό παράγει αέρα ρύπανσης, συμπεριλαμβανομένου του CO<sub>2</sub>, συμβάλλοντας στην περιβαλλοντική και κλιματική αλλαγή.

Τα αποτελέσματα μοντέλων δείχνουν ότι σε περιβάλλον κατοικημένης περιοχής κατά τη διάρκεια της ζεστής εποχής η ανάγκη για ψύξη των χώρων θα αυξηθεί έντονα. Αυτό περιλαμβάνει έντονη ψύξη, εκφρασμένη ως ο αριθμός των ημερών / έτος κατά τις οποίες ο κλιματισμός χρειάζεται να μειώσει τη θερμοκρασία περισσότερο από 5 ° C για να φτάσει σε ένα άνετο 25 ° C (δηλ. ημερών βαθμού ψύξης, CCD > 5 ° C) και ανακουφίσει το άγχος που προκαλείται από τα κύματα καύσωνα. Η προβλεπόμενη αύξηση του CCD > 5 ° C στο μέσο αιώνα σε σχέση με την περίοδο ελέγχου 1961-1990 είναι περίπου 1-2 μήνες. Η χρήση ενέργειας για τον κλιματισμό θα αυξηθεί παράλληλα με τα υδάτινα ελλείμματα, τα οποία επιπλέον, απειλούνται για την παραγωγή ενέργειας από την ανάγκη αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού και θα αυξηθεί ο ανταγωνισμός με άλλους τομείς που χρειάζονται νερό. Από την άλλη πλευρά, η θέρμανση οι απαιτήσεις κατά τη διάρκεια του χειμώνα θα μειωθούν στο βόρειο τμήμα της περιοχής, το οποίο μετριάσει τη συνολική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και των σχετικών εκπομπών ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Ωστόσο, αυτές οι αντισταθμιστικές αλλαγές συμβαίνουν σε διαφορετικές χώρες και εποχές και δεν θα μετριάσουν την ανάγκη για εκτεταμένη ψύξη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Η μέση τάση θερμοκρασίας κατά την περίοδο 1950-2100, με επίκεντρο τις πρωτεύουσες της ΑΜΜΑ, είναι περίπου  $0,37 \pm 0,9$  ° C / δεκαετία. Αυτό δείχνει ότι η περιοχή θερμαίνεται πολύ περισσότερο και ισχυρότερα από άλλες περιοχές (IPCC 2007). Η αναμενόμενη ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας στην ΑΜΜΑ τον 21ο αιώνα, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, σε συνδυασμό με μια γενική τάση ξηράνσεως, υποδηλώνουν σημαντικές περιφερειακές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

## 5.8 Κλιματικό σύστημα

Οι παρατηρήσεις του κλιματικού συστήματος βασίζονται σε άμεσες μετρήσεις και τηλεπισκόπηση από δορυφόρους και άλλες πλατφόρμες. Οι παρατηρήσεις σε παγκόσμιο επίπεδο από την οργανική εποχή ξεκίνησαν στα μέσα του 19ου αιώνα για τη θερμοκρασία και άλλες μεταβλητές, με πιο ολοκληρωμένα και ποικίλα σύνολα παρατηρήσεων διαθέσιμων για την περίοδο 1950 και μετά. Οι ανακατασκευές του Παλαιοκλίματος επεκτείνουν ορισμένα αρχεία σε εκατοντάδες έως εκατομμύρια χρόνια.

Μαζί, παρέχουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της μεταβλητότητας και των μακροπρόθεσμων αλλαγών στην ατμόσφαιρα, τον ωκεανό, την και την επιφάνεια της γης. Η θέρμανση του κλιματικού συστήματος είναι αδιαμφισβήτητη και, από τη δεκαετία του 1950, πολλές από τις παρατηρούμενες αλλαγές είναι πρωτοφανείς εδώ και δεκαετίες έως χιλιετίες. Η ατμόσφαιρα και ο ωκεανός έχουν θερμανθεί, οι ποσότητες χιονιού και πάγου έχουν μειωθεί, η στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί και οι συγκεντρώσεις αερίων θερμοκηπίου έχουν αυξηθεί. Κάθε μία από τις τελευταίες τρεις δεκαετίες ήταν διαδοχικά θερμότερη στην επιφάνεια της Γης από οποιαδήποτε προηγούμενη δεκαετία από το 1850 (IPCC, 2013).

## 5.9 Παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας

Η άνοδος της θερμοκρασίας του πλανήτη οφείλεται σε αλλαγές που παρατηρούνται στο κλίμα της Γης. Αυτές οι αλλαγές σχετίζονται με τη μεταβολή της συγκέντρωσης στην ατμόσφαιρα των αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία παγιδεύουν την υπεριώδη ακτινοβολία που ανακλάται στην επιφάνεια της Γης και προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σε αυτό ακριβώς το φαινόμενο έχουν δοθεί ονομασίες όπως αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, υπερθέρμανση της Γης, παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει ταυτιστεί με την κλιματική αλλαγή. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, όμως, είναι ένα φυσικό φαινόμενο, με ευεργετικά αποτελέσματα στο κλίμα της Γης. Η απειλή προέρχεται από την υπερβολή, η οποία οφείλεται στις ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων. Έχει εξακριβωθεί ότι τα αέρια του θερμοκηπίου επιτρέπουν τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας προς τη Γη, ενώ, αντίθετα, απορροφούν και επανεκπέμπουν προς το έδαφος ένα μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια του πλανήτη. Αυτή η παγίδευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα συγκεκριμένα αέρια ονομάζεται φαινόμενο του θερμοκηπίου. Πρόκειται για ένα γεωφυσικό φαινόμενο που είναι ουσιώδες και απαραίτητο για την ύπαρξη, τη διατήρηση και την εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη. Χωρίς αυτόν το μηχανισμό η μέση θερμοκρασία της Γης θα ήταν περίπου κατά 35°C χαμηλότερη, δηλαδή -20°C αντί για +15°C που είναι σήμερα, και η ύπαρξη ζωής θα ήταν αδύνατη, τουλάχιστον στη σημερινή της μορφή.

Το ανησυχητικό είναι η ενίσχυση του φαινομένου ως αποτέλεσμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, συνεπώς η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Εκτός από τις ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καταλυτικό ρόλο στην εξέλιξη του φαινομένου παίζει και η συνεχιζόμενη εκτεταμένη καταστροφή των τροπικών δασών, τα οποία έχουν σημαντική συμβολή στην ισορροπία των κυριότερων θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα. Συγκεκριμένα, τα δάση, μέσω της φωτοσύνθεσης, δεσμεύουν το διοξείδιο του άνθρακα και παράγουν οξυγόνο. Ειδικότερα, τα τροπικά δάση ρυθμίζουν τις ποσότητες των υδρατμών στην ατμόσφαιρα των τροπικών πλατών και κατ' επέκταση ολόκληρου του πλανήτη. Οι υδρατμοί έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου. Παρ' όλα αυτά, η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα επηρεάζεται σε μικρότερο βαθμό από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Γι' αυτόν το λόγο, είναι πιο σημαντικά τα αέρια εκείνα των οποίων οι συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα αυξάνονται σημαντικά λόγω της ανθρώπινης παρέμβασης. Τα κυριότερα αέρια της ατμόσφαιρας που ευθύνονται για την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου καθώς και ο βαθμός συνεισφοράς τους επί τοις 100 (%), είναι:

- διοξείδιο του άνθρακα 50-60%,
- χλωροφθοράνθρακες 15-25%,
- μεθάνιο 12-20%,
- υποξείδιο του αζώτου 5%,
- όζον και άλλα αέρια 11%.

Τα αέρια που ευθύνονται για την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου εκλύονται στο πλαίσιο ανθρώπινων δραστηριοτήτων που αφορούν κυρίως:

1) Τον ενεργειακό τομέα (περιλαμβανομένων και των μεταφορών), που με τη χρήση ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο, πετρέλαιο, βενζίνη κ.λπ.) συμβάλλει στο 50% των συνολικών εκπομπών. Από τις εκπομπές αυτές, το 40% αφορά το διοξείδιο του άνθρακα, ενώ το υπόλοιπο 10% άλλα αέρια, με κυριότερα το μεθάνιο, το τροποσφαιρικό όζον, το μονοξείδιο του άνθρακα και άλλες ενώσεις.

2) Την αποψύλωση δασικών εκτάσεων, που συνεισφέρει στην παραγωγή επιπλέον αερίων του θερμοκηπίου κατά 15%. Από τα αέρια αυτά κυριότερο είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο αποτελεί περίπου το 10%, ενώ η καύση και η αποσύνθεση των δασών συνιστούν πηγές υποξειδίου του αζώτου, μονοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου, που καλύπτουν το υπόλοιπο 5%.

3) Τη γεωργία, που ευθύνεται για το 15% των εκπομπών, με κυριότερα αέρια το μεθάνιο, το οποίο προέρχεται από την εκτροφή βοοειδών, και τις καλλιέργειες ρυζιού, το υποξείδιο του αζώτου, που απελευθερώνεται λόγω της χρήσης λιπασμάτων και το διοξείδιο του άνθρακα, που εκλύεται από γεωργικές βιομηχανίες (ΕΤΠ, 2013).

Οι σωρευτικές εκπομπές CO<sup>2</sup> καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την παγκόσμια μέση υπερθέρμανση του πλανήτη από τα τέλη του 21ου αιώνα και μετά. Οι συνεχείς εκπομπές αερίων θερμοκηπίου θα προκαλέσουν περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας και αλλαγές σε όλες τις συνιστώσες του κλιματικού συστήματος. Ο περιορισμός της αλλαγής του κλίματος θα απαιτήσει ουσιαστική και συνεχή μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Οι περισσότερες πτυχές της αλλαγής του κλίματος θα εξακολουθήσουν να υφίστανται εδώ και πολλούς αιώνες, ακόμη και αν σταματήσουν οι εκπομπές CO<sup>2</sup>. Αυτό αντιπροσωπεύει μια ουσιαστική δέσμευση κλιματικής αλλαγής πολλών αιώνων που δημιουργήθηκε από προηγούμενες, παρούσες και μελλοντικές εκπομπές CO<sup>2</sup> (IPCC, 2013).

## **5.10 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα**

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ενδέχεται να είναι πιο σοβαρές εξαιτίας της αλλαγής της εμφάνισης ακραίων κλιματικών φαινομένων παρά εξαιτίας μιας αλλαγής στο «μέσο» κλίμα. αυτό συμβαίνει διότι μια αλλαγή στη μέσο κλίμα μπορεί να επιφέρει μια δυσανάλογα μεγαλύτερη αλλαγή σε ακραία φαινόμενα.

Κλιματικές προβλέψεις για τη μεσόγειο εκτιμούν ότι η περιοχή θα γίνει θερμότερη και ξηρότερη με αυξημένη συχνότητα εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων. Οι συνθήκες αυτές συνιστούν απειλή για τις αστικές περιοχές λόγω του αυξημένου κινδύνου πρόκλησης πλημμυρών και επεισοδίων καύσωνα. Τέτοιες κλιματικές μεταβολές θα έχουν αναπόφευκτες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων στη διαθεσιμότητα των υδάτινων πόρων, τη διείδυση αλμυρού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα, την ατμοσφαιρική ρύπανση και τον κίνδυνο πυρκαγιάς σε περιστατικές δασικές εκτάσεις.

Η αυξημένη συχνότητα επεισοδίων καύσωνα, καθώς και οι μεγάλης διάρκειας ακολουθίες ημερών με υψηλές θερμοκρασίες είναι οι βασικές πτυχές της αλλαγής του κλίματος.

Οι τομείς των επιπτώσεων κυμαίνονται από τις άμεσες επιπτώσεις στα φυσικά οικοσυστήματα (όπως ο κίνδυνος πλημμυρικών επεισοδίων ή δασικής πυρκαγιάς), ως τις έμμεσες επιπτώσεις που προέρχονται από τη συνδυασμένη δράση κλιματικών-κοινωνικών-οικονομικών παραμέτρων (όπως η ενεργειακή ζήτηση, τουρισμός και υγεία).

Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί δείχνουν ότι με βάση την μέση καμένη έκταση ανά πυρκαγιά, η Ελλάδα αντιμετωπίζει το σοβαρότερο πρόβλημα δασικών πυρκαγιών ανάμεσα στις χώρες της Ε.Ε. Εκτιμάται ότι η μέση καμένη δασική έκταση ανά πυρκαγιά είναι 394 στρέμματα στην Ελλάδα, 284,7 στρέμματα στην Ισπανία, 197,4 στρέμματα στην Ιταλία και 152,9 στρέμματα στην Πορτογαλία.

Η καταστροφή των δασών αποτελεί μείζον θέμα καθώς ως συνέπειες αυτού παρατηρούνται φαινόμενα όπως πλημμύρες, διάβρωση του εδάφους και επακόλουθη μείωση της γονιμότητας του. Επιπρόσθετα, οι δασικές πυρκαγιές καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό το καθαρό ισοζύγιο άνθρακα κάθε δάσους. Με αυτόν τον τρόπο ίσως επηρεάζουν αυξητικά τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, έχοντας άμεσο αντίκτυπο στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής.

Οι δασικές πυρκαγιές όπως κάθε άλλη φυσική διαδικασία ενός οικοσυστήματος, επηρεάζονται πολύ εύκολα από την κλιματική αλλαγή καθώς η εξάπλωση της φωτιάς συναρτάται άμεσα από την υγρασία της καύσιμης ύλης, που με τη σειρά της καθορίζεται από τη βροχόπτωση, τη σχετική υγρασία και θερμοκρασία του αέρα και την ταχύτητα του ανέμου. Έτσι η προβλεπόμενη άνοδος της μέσης θερμοκρασίας εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής θα αυξήσει την ανυδρία της καύσιμης ύλης με το φαινόμενο αυτό να γίνεται πιο έντονο στις περιοχές που μειώνονται και οι βροχοπτώσεις. παράλληλα η αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ακραίων καιρικών συνθηκών αναμένεται να έχει μεγάλη επίπτωση στην τρωτότητα των δασών από πυρκαγιές (WWF, 2009).

## 5.11 Τα Μεσογειακά Δάση απέναντι στην Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή

Τα δάση περιλαμβάνονται αναμφίβολα ανάμεσα στα πιο σημαντικά οικοσυστήματα της Μεσογείου. Είναι πολύ πλούσια σε βιοποικιλότητα και παρέχουν μια σειρά περιβαλλοντικών υπηρεσιών. Οι ταχείες και ξαφνικές αλλαγές στις χρήσεις γης λόγω των κακών πρακτικών διαχείρισης, συμπεριλαμβανομένης της υπερεκμετάλλευσης, η ανάπτυξη και οι πιέσεις της διεθνούς αγοράς, η υποβάθμιση και απώλεια φυσικών ενδιαιτημάτων και η ρύπανση, είναι λίγοι μόνο από τους κύριους παράγοντες που επιδρούν στα Μεσογειακά δάση και προκαλούν την υποβάθμισή τους. Αν προστεθεί και η κλιματική αλλαγή σε αυτούς τους παράγοντες, συνοδευόμενη από ακραία καιρικά φαινόμενα όπως κύματα καύσωνα, καταρρακτώδεις βροχές, περιόδους ξηρασίας και δυνατές ανεμοθύελλες, η ανθεκτικότητα και η ικανότητα προσαρμογής των δασών μειώνεται δραστικά. Οι μεγάλης κλίμακας πυρκαγιές των δασών βρίσκονται ανάμεσα στις πιο άμεσες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής που επηρεάζουν τα Μεσογειακά δάση. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε συνδυασμό με τις αλλαγές χρήσεων γης και την κακοδιαχείριση των δασών, προκαλούν αύξηση της συχνότητας, της έντασης και της έκτασης των πυρκαγιών. Αυτή η τάση παρατηρήθηκε κυρίως στις χώρες της βόρειας Μεσογείου (π.χ. Πορτογαλία, νότια Γαλλία, Ισπανία, Ιταλία και Ελλάδα) κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών. Εάν οι συνθήκες αυτές επικρατήσουν στις νότιες περιοχές της Μεσογείου, οι επιπτώσεις στα δασικά οικοσυστήματα ολόκληρης της Μεσογείου θα είναι δραματικές.

Τα δάση καλύπτουν σήμερα το ένα τέταρτο της συνολικής έκτασης της Ελλάδας (25,5% ή 33.590.000 στρ.) τα οποία στην πλειοψηφία τους είναι φυσικά. Επιπλέον, το 23,9% (31.540.000 στρ.) της ελληνικής επικράτειας καλύπτεται από δασικές εκτάσεις, οι οποίες όμως συχνά είναι υποβαθμισμένες εξαιτίας κυρίως ανθρώπινων δραστηριοτήτων και ραγδαίων αλλαγών χρήσεων γης, όπως η επέκταση των οικονομικών δραστηριοτήτων και του αστικού χώρου, ο κατακερματισμός των δασικών εκτάσεων από τις μεταφορικές υποδομές, η υπερεκμετάλλευση των πόρων και η ρύπανση του περιβάλλοντος. Τα παραπάνω αποτελούν τις βασικές απειλές των δασικών οικοσυστημάτων και ευρύτερα στη Μεσόγειο .



Στις απειλές αυτές προστίθενται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, όπως η άνοδος της θερμοκρασίας, τα ακραία καιρικά φαινόμενα και η ξηρασία, με αποτέλεσμα να εξαντλούνται οι αντοχές και οι δυνατότητες προσαρμογής των δασικών οικοσυστημάτων. Η κλιματική αλλαγή είναι ένα φαινόμενο το οποίο βιώνουμε, πλέον, και οι επιπτώσεις του άρχισαν ήδη να γίνονται αισθητές και στην Ελλάδα.

Παρατεταμένες περίοδοι ξηρασίας, συχνές και έντονες καταιγίδες, πλημμύρες, αυξημένες ημέρες καύσωνα και περισσότερες μεγαπυρκαγιές μαρτυρούν τη μεταβολή του κλίματος. Προκειμένου να διαφυλάξουμε τα σημαντικά αυτά οικοσυστήματα θα πρέπει να αναγνωρίσουμε την απειλή που αποτελεί η κλιματική αλλαγή για τα δάση μας, να μελετήσουμε τις επιπτώσεις της και να προσδιορίσουμε τρόπους διαχείρισης των δασών μας, με σκοπό την ήπια προσαρμογή τους, λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες σε περιβαλλοντικό, αλλά και κοινωνικο-οικονομικό επίπεδο.

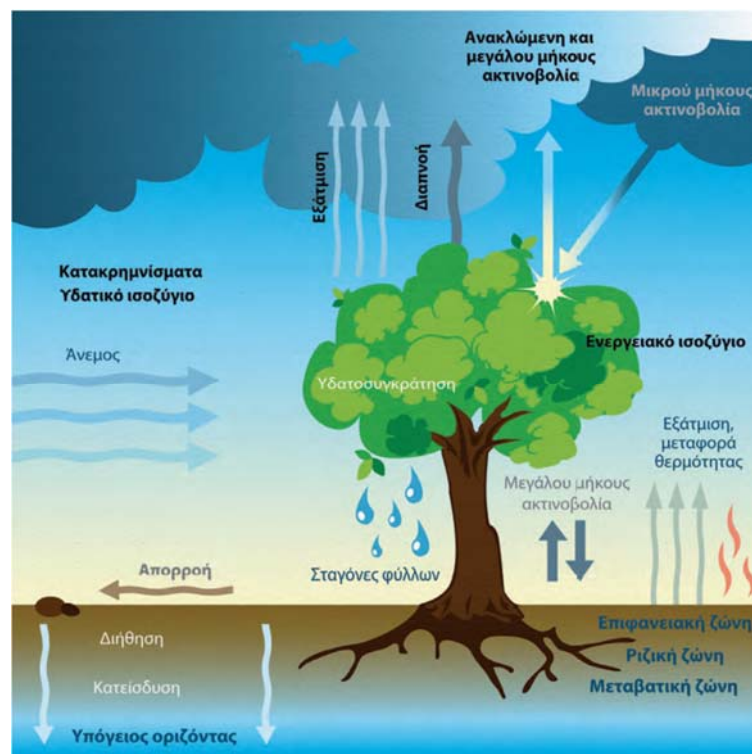
Τα δασικά οικοσυστήματα διατηρούν σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, αμβλύνοντας τις επιπτώσεις της πιο συγκεκριμένα:

✓ Τα δάση και τα δασικά εδάφη δεσμεύουν το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) της ατμόσφαιρας και το μετατρέπουν σε βιομάζα. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα δάση αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες CO<sub>2</sub> ετησίως, περιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο τα αέρια του θερμοκηπίου. Παράλληλα, με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης απελευθερώνουν οξυγόνο (O<sub>2</sub>).

✓ Τα δάση μειώνουν την επίδραση των ακραίων καιρικών φαινομένων, ως εξής:

- Οι κόμης των δένδρων και η βλάστηση, γενικότερα, λειτουργούν ως ένα πρώτο εμπόδιο που μετριάξει την ορμή του νερού (π.χ. καταιγίδες), ενώ, παράλληλα, απορροφούν και μέρος της ποσότητας που πέφτει. Νερό απορροφά και το ριζικό σύστημα των φυτών, το οποίο, επιπλέον, επιδρά θετικά και στη διήθηση των κατακρημνισμάτων, αφού διασωληνώνει το έδαφος, αυξάνοντας το πορώδες του. Οπότε, το δάσος συγκρατεί το νερό της βροχής, εμπλουτίζει τον υδροφόρο ορίζοντα και βελτιώνει την ποιότητα του νερού.
- Το φύλλωμα των δένδρων απορροφά μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας και απελευθερώνει προς το έδαφος μεγάλο μήκος ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να λειτουργεί ως φυσικό φίλτρο και να μειώνει τη θερμοκρασία.

- Τα δάση ανακόπτουν, επίσης, την ταχύτητα του ανέμου και μειώνουν την ένταση των ισχυρών ανέμων.
  - Το φύλλωμα των δένδρων συγκρατεί αιωρούμενα μικροσωματίδια του αέρα, με αποτέλεσμα να απορρυπαίνει την ατμόσφαιρα.
- ✓ Τα δάση, ως μεγαδιαπλάσεις (biota), διατηρούν σημαντική βιοποικιλότητα, ενώ επιφέρουν οικολογική ισορροπία στα χερσαία οικοσυστήματα. Η απουσία τους δε μπορεί να επιτείνει το φαινόμενο της ερημοποίησης (Regato, 2010).



Εικόνα 11 - Οικολογική ισορροπία (Regato, 2010)

## 5.12 Μέτρα προστασίας δασικών οικοσυστημάτων

Τα ειδικά μέτρα που προκρίνονται για την ικανοποιητική ανταπόκριση των δασικών οικοσυστημάτων στις παραγωγικές και προστατευτικές παροχές τους αποτελούν:

Η σύνταξη και η εφαρμογή μελετών για δασικά συγκροτήματα και όχι μόνο για τα δάση, που να αποσκοπούν στη βελτίωση της σύνθεσης και της αρχιτεκτονικής των δασικών οικοσυστημάτων. Αυτές θα προβλέπουν εφαρμογή ειδικών καθαρισμών και έντονων καλλιεργητικών επεμβάσεων για αριστοποίηση της συγκόμωσης σε σχέση με το υδατικό δυναμικό για περιορισμό του ανταγωνισμού και βελτίωση της βιοποικιλότητας.

Αυστηρή επιλογή ανθεκτικού στην ξηρασία γενετικού υλικού και χρησιμοποίηση ευρύτερων φυτευτικών συνδέσμων στις αναδασώσεις για περιορισμό του ανταγωνισμού. Οι παρεμβάσεις αυτές είναι απαραίτητες τόσο για τα μεμονωμένα φυτά όσο και για τα οικοσυστήματα ώστε να αντισταθούν αποτελεσματικότερα και να μη ζημιωθεί η ευρωστία τους μόνιμα τις περιόδους της παρατεταμένης ξηρασίας, καύσωνα και έντονων ακραίων καιρικών φαινομένων.

Ο εκσυγχρονισμός του εξοπλισμού δασοπυρόσβεσης, η εγκατάσταση συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης, η απόκτηση λογισμικού ταχείας απρόσκοπτης εκκένωσης περιοχών, η κατασκευή πρόσθετων διόδων διαφυγής κ.λπ. καθώς και η πρόσληψη και εκπαίδευση πρόσθετου ανθρώπινου δυναμικού για πρόληψη, περιορισμό καταστροφών, αποφυγή ανθρώπινων θυμάτων αλλά και για την αποκατάσταση των φυσικών οικοσυστημάτων και των υποδομών από τις πυρκαγιές και τις συνεπακόλουθες πλημμύρες (ΝΑΣΤΗΣ, κ.α., 2011).

### **5.13 Μέτρα πρόληψης δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα**

Τις τρεις τελευταίες δεκαετίες, έχει υπάρξει διεθνώς μία τάση για την ανάθεση σε φορείς πυρόσβεσης ή πολιτικής προστασίας της κατάσβεσης των πυρκαγιών στο φυσικό περιβάλλον, παραβλέποντας το γεγονός ότι οι φωτιές αυτές αποτελούν ένα φυσικό φαινόμενο αλλά και μια σύνθετη φυσική καταστροφή με σαφείς περιβαλλοντικές, κοινωνικές, οικονομικές και πολιτικές παραμέτρους, που αλληλοεπιδρούν έντονα μεταξύ τους.

Η προσέγγιση αυτή είχε ως συνέπεια να δίδεται απόλυτη έμφαση στην καταστολή, σε βάρος της πρόληψης και της έγκαιρης επέμβασης, πράγμα που πολλαπλασίασε και το κόστος κατάσβεσης.

Αυτή η εξέλιξη στη Ελλάδα υπήρξε έντονη, ιδιαίτερα μετά τη μεταφορά το 1998 της δασοπυρόσβεσης από τη Δασική Υπηρεσία στο Πυροσβεστικό Σώμα. Το μέσο ετήσιο κόστος της πυρόσβεσης έχει πενταπλασιαστεί (ξεπερνά τα 500 εκατ. ευρώ), ενώ στα χρόνια που ακολούθησαν καταγράφηκαν οι μεγαλύτερες ιστορικά καταστροφές από πυρκαγιές σε αγροδασικές εκτάσεις, υποδομές, περιουσίες και κυρίως σε απώλειες ανθρώπινων ζωών.

Σε αυτά βέβαια πρέπει να προστεθεί και το κόστος που πληρώνει ο αγροτικός τομέας της χώρας μας, ο οποίος κατά μέσο όρο χάνει κάθε χρόνο περί τα 100.000 στρ. καλλιέργειες.

Όμως η εξέλιξη αυτή επέφερε και την ελλιπή έως ανύπαρκτη διαχείριση στα δάση, που σε συνδυασμό με την εγκατάλειψη της υπαίθρου οδηγούν νομοτελειακά σε συσσώρευση δασικής βιομάζας και αύξηση του κινδύνου που προέρχεται από την καύσιμη ύλη, άρα και σε καταστροφικές πυρκαγιές.

Το σύνολο των ιδιωτικών και πλέον του 95% των δημοσίων δασών, στερούνται διαχειριστικών μελετών με αποτέλεσμα η συσσωρευμένη βιομάζα να τα έχει μεταβάλει σε μπαρουταποθήκες, αλλά και να τα έχει καταστήσει μη προσπελάσιμα.

Όλα αυτά δείχνουν ότι η πολιτική αυτή έχει εξαντλήσει τα όριά της. Δεν πρέπει να αυξάνεται αενάως η ισχύ της πυρόσβεσης σε αναλογία με τον αυξανόμενο κίνδυνο, που μάλιστα σε συνδυασμό με την αλλαγή του κλίματος, η πιθανότητα να υπάρξουν στο εγγύς μέλλον καταστροφικές περιόδους όπως εκείνη του 2007 είναι εξαιρετικά μεγάλη. Η ανάγκη αλλαγής του μοντέλου διαχείρισης των πυρκαγιών στη χώρα είναι προφανής, μεγάλη και μάλιστα επείγουσα.

Σωστός σχεδιασμός θα υπάρξει μόνο όταν προσεγγίσουμε τις δασικές πυρκαγιές από τη πλευρά των αιτίων που τις προξενούν, κι αυτές είναι τρεις:

α) η σύνθεση της χλωρίδας των μεσογειακών δασικών οικοσυστημάτων που είναι πυρόφιλη και είναι βέβαια υπόθεση της φύσης. Δεν είναι εύκολη η αλλαγή της και ενέχει και κινδύνους οικολογικής υποβάθμισης,

β) οι καιρικές συνθήκες που κι αυτές είναι υπόθεση της φύσης και αναμενόμενες. Καλοκαίρι χωρίς μελτέμια δεν υπάρχει στην Ελλάδα και

γ) η ανθρώπινη συμπεριφορά που αφορά κυρίως τον εγκληματικά αμελή πολίτη, από τον αγρότη που καίει τη καλαμιά στα σιτοχώραφα, μέχρι τον επισκέπτη που πετάει το αποστίγαρό του.

Αν οι δύο πρώτες ευνοούν τις δασικές πυρκαγιές, η τρίτη είναι αυτή που τις προξενεί και καθορίζει και το μέγεθος των καταστροφών. Ένας σωστός σχεδιασμός προστασίας από τις πυρκαγιές πρέπει να στηρίζεται κυρίως στη πρόληψη και δευτερευόντως στη καταστολή.

Επιτυχής πρόληψη είναι αυτή που μειώνει μέχρι μηδενισμού τις πιθανότητες ανάφλεξης. Κι αυτό απαιτεί ορθολογική διαχείριση και επαρκή φύλαξη. Δυστυχώς μέχρι σήμερα το 80% των δασών είναι χωρίς διαχειριστική έκθεση και το 100% χωρίς καθαρισμό και ουσιαστική φύλαξη. Επιτυχής καταστολή θεωρείται αυτή που γίνεται άμεσα. Κι αυτό συμβαίνει όταν μέσα σε 10 λεπτά από την έναρξη του επεισοδίου της φωτιάς υπάρξει επέμβαση. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι από το 1983 έως το 1998 στο 64% των δασικών πυρκαγιών που υπήρξε έγκαιρη επέμβαση αντιστοιχεί μόλις το 2% των εκτάσεων που κάηκαν, ενώ για το υπόλοιπο 36% των πυρκαγιών που δεν υπήρξε έγκυρη επέμβαση αντιστοιχεί το υπόλοιπο 98%.

Ο διαχωρισμός της πρόληψης από την καταστολή στέρησε τη δυνατότητα στη Δασική Υπηρεσία, που ασχολείται με τη διαχείριση των δασών, να συμμετέχει στη δασοπυρόσβεση. Όμως δεν υπάρχει προηγούμενο ο διαχειριστής ενός φυσικού οικοσυστήματος, ο Δασάρχης στη προκειμένη περίπτωση, να απουσιάζει όταν αυτό καταστρέφεται. Στη διαχείριση των πυρκαγιών (αλλά και των άλλων φυσικών κινδύνων) δεν περισσεύει κανείς. Αυτό αφορά το προσωπικό των φορέων, που πρέπει να έχει σχέση με τις πυρκαγιές και είναι: το Πυροσβεστικό Σώμα με την τεράστια εμπειρία των στελεχών του, η Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας με τον επιτελικό της ρόλο, η Δασική Υπηρεσία με τη γνώση του αναγλύφου και του σχεδίου πρόληψης της περιοχής που εξελίσσεται ένα επεισόδιο και τέλος η Τοπική Αυτοδιοίκηση που μπορεί να κινητοποιεί τους εθελοντές δασοπυροσβέστες αλλά και απλούς πολίτες.

Όμως ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στους κατοίκους της υπαίθρου που ασχολούνται με τον πρωτογενή τομέα της οικονομίας, μια και αυτοί έχουν από τις πυρκαγιές τις περισσότερες επιπτώσεις από οποιονδήποτε άλλο. Γι' αυτό μακροπρόθεσμα πρέπει να δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις εκείνες που θα επιτρέψουν στους κατοίκους των ορεινών περιοχών να ασχοληθούν ενεργά με τη δασοπροστασία και την εκμετάλλευση των δασών.

Μια τέτοια στροφή θα δημιουργήσει και δυνατότητες μερικής απασχόλησης σε πολλούς νέους, που θέλουν να ασχοληθούν με την αγροτική δραστηριότητα, για να συμπληρώσουν το εισόδημά τους σε επίπεδο τέτοιο που θα τους επιτρέψει είτε να μείνουν, είτε να επιστρέψουν στις ρίζες τους (Αποστόλου, 2017).

## **5.14 Στόχοι ΕΕ για μείωση των εκπομπών και περιορισμού της κλιματικής αλλαγής**

Στη διάσκεψη του Παρισιού για το κλίμα (COP21) τον Δεκέμβριο του 2015, 195 χώρες υιοθέτησαν την πρώτη παγκόσμια, νομικά δεσμευτική παγκόσμια συμφωνία για το κλίμα.

Η δράση για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αποτελεί προτεραιότητα για την ΕΕ. Συγκεκριμένα, οι ηγέτες της ΕΕ δεσμεύτηκαν να μετατρέψουν την Ευρώπη σε μια οικονομία υψηλής ενεργειακής απόδοσης και χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Η πρώτη δέσμη μέτρων της ΕΕ για το κλίμα και την ενέργεια έθετε τρεις βασικούς στόχους για το 2020:

- μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20%
- αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο 20%
- βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20%

Οι στόχοι αυτοί είναι γνωστοί ως «στόχοι 20-20-20».

Η ΕΕ έθεσε επίσης ως στόχο να μειώσει έως το 2050 τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 80-95% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 (ΕΣ, 2018).

Οι καθοριστικής σημασίας στόχοι της ΕΕ για το 2030:

- μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 40% τουλάχιστον σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990
- άντληση του 27% τουλάχιστον της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- αύξηση της ενεργειακής απόδοσης κατά 27% τουλάχιστον

### Ο μακροπρόθεσμος στόχος για το 2050:

Μέχρι το 2050, η ΕΕ σκοπεύει να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές της – κατά 80-95% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 – στο πλαίσιο των προσπαθειών που απαιτούνται από το σύνολο των ανεπτυγμένων χωρών.

Αν η Ευρώπη μετατραπεί σε μια οικονομία υψηλής ενεργειακής απόδοσης και χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, θα ενισχυθεί ο τομέας της οικονομίας, θα δημιουργηθούν θέσεις εργασίας και θα βελτιωθεί η ανταγωνιστικότητα της Ευρώπης.

### Δράση για την επίτευξη των στόχων για το κλίμα

Η ΕΕ επιδιώκει τους στόχους της για το κλίμα μέσω ενός συνδυασμού χρηματοδοτικών ενισχύσεων και κανονιστικών ρυθμίσεων.

- Χρηματοδοτική στήριξη
  - Τουλάχιστον το 20% του προϋπολογισμού της ΕΕ για το διάστημα 2014-2020, που ανέρχεται σε 180 δισ. ευρώ, θα πρέπει να δαπανηθεί για την προστασία του κλίματος. Το ποσό αυτό προστίθεται στη χρηματοδότηση που παρέχει κάθε επιμέρους χώρα της ΕΕ.
  - Από την πώληση των πιστοποιητικών εκπομπών η ΕΕ χρηματοδοτεί έργα επίδειξης σχετικά με την επίτευξη χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Τα έργα αυτά αφορούν τεχνολογίες κατακράτησης του διοξειδίου του άνθρακα από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, καθώς και αποθήκευσής του στο έδαφος, γνωστές ως τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS).
- Κανονιστικές ρυθμίσεις
  - Το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της ΕΕ είναι το βασικό εργαλείο μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τον βιομηχανικό κλάδο με το μικρότερο κόστος.
  - Οι χώρες της ΕΕ καλούνται να στηρίξουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ο άνεμος, ο ήλιος και η βιομάζα, και να επιτύχουν τους στόχους παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

- Οι χώρες της ΕΕ πρέπει να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας από τα κτίρια και οι βιομηχανίες οφείλουν να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση ενός ευρέος φάσματος εξοπλισμού και οικιακών συσκευών.
- Οι αυτοκινητοβιομηχανίες πρέπει να μειώσουν τις εκπομπές CO<sub>2</sub> που παράγουν τα νέα επιβατικά αυτοκίνητα και τα ελαφρά φορτηγά.

#### Προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε μια στρατηγική προσαρμογής της ΕΕ και επιθυμεί όλα τα κράτη μέλη της να καταρτίσουν εθνικά σχέδια αντιμετώπισης των αναπόφευκτων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής μέχρι το 2017. Ορισμένα κράτη μέλη έχουν ήδη αναπτύξει στρατηγικές προσαρμογής.

Οι στρατηγικές αυτές περιλαμβάνουν μέτρα όπως:

- μικρότερη κατανάλωση νερού
- αναπροσαρμογή των οικοδομικών κανονισμών
- κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων
- ανάπτυξη καλλιεργειών οι οποίες αντέχουν καλύτερα σε συνθήκες ξηρασίας

#### Διατήρηση της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη κάτω από τους 2°C

Η υπερθέρμανση του πλανήτη πρέπει να περιοριστεί σε 2°C το πολύ σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία κατά την προβιομηχανική εποχή, ώστε να αποφευχθούν οι σοβαρότερες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και οι πιθανές καταστροφικές αλλαγές στο περιβάλλον της γης. Αυτό συμφωνήθηκε το 1992 από όλες σχεδόν τις χώρες του κόσμου που υπέγραψαν τη σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος (UNFCCC). Για να γίνει κάτι τέτοιο, πρέπει να πάψει η αύξηση, σε παγκόσμιο επίπεδο, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2020 και να επιτευχθεί μέχρι το 2050 η μείωσή τους κατά 60% σε σχέση με το 2010.

Τα πιο πρόσφατα επιστημονικά στοιχεία δείχνουν ότι εάν δεν αναληφθεί η κατάλληλη δράση για τη μείωση των παγκόσμιων εκπομπών, μέχρι το τέλος του αιώνα μας η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι πιθανό να υπερβεί τον στόχο των 2°C και θα μπορούσε να φθάσει μέχρι και τους 5°C (ΕΠ, 2018).



## 5.15 Ενέργειες μείωσης εκπομπών αερίων στην Ελλάδα

Η Ελλάδα μπορεί και πρέπει να συνεισφέρει σε αυτή την παγκόσμια προσπάθεια με δεσμεύσεις που εξασφαλίζουν την ενεργειακή ασφάλεια, την προστασία του περιβάλλοντος, τη μακροχρόνια οικονομική βιωσιμότητα του ενεργειακού μας μοντέλου και την κοινωνική δικαιοσύνη:

- Δραστική μείωση της χρήσης λιγνίτη ως το 2030.
- Απόδοση στις λιγνιτικές περιφέρειες της χώρας τμήματος των εσόδων από τη δημοπράτηση δικαιωμάτων εκπομπών με στόχο τη δημιουργία θέσεων εργασίας.
- Αύξηση του μεριδίου συμμετοχής των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή κατά 60% ως το 2030.
- Ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, με στόχο την απεξάρτηση από το πετρέλαιο (WWF, 2015).

## 5.16 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Τον σημαντικότερο ρόλο στην αναχαίτηση της κλιματικής αλλαγής τον κατέχουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οι οποίες πρέπει να αντικαταστήσουν τις υφιστάμενες μονάδες παραγωγής ενέργειας .

Οι ΑΠΕ είναι οι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Το ουσιαστικό είναι ότι για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας.

Επίσης, πρόκειται για «πράσινες» μορφές ενέργειας, οι οποίες είναι πολύ «φιλικές» προς το περιβάλλον, που δεν εκλύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται πολύ περισσότερο.

Συνεχώς ανακαλύπτονται νέες τεχνολογίες ΑΠΕ με στόχο μεγαλύτερη παραγωγή, λιγότερο κόστος, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, περισσότερα πλεονεκτήματα και λιγότερα μειονεκτήματα.

### Φωτοβολταϊκά συστήματα

Με τα φωτοβολταϊκά συστήματα η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική, και η ενέργεια που δημιουργείται με αυτόν τον τρόπο μπορεί να καταναλωθεί από το ίδιο το κτίριο στο οποίο είναι τοποθετημένα ή να τροφοδοτήσει το ηλεκτρικό δίκτυο.

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται πάντα από ένα ή μια συστοιχία πάνελ τα οποία τοποθετούνται όπου υπάρχει ηλιοφάνεια τις περισσότερες ώρες της μέρας και με τέτοια κλίση προς τον ήλιο ούτως ώστε να έχουν τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση.

Επιπρόσθετα μπορούν να δημιουργηθούν φωτοβολταϊκά πάρκα για μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας.

### Συγκεντρωτική ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ακτινοβολία, εκτός από τους φωτοβολταϊκούς ηλιακούς συλλέκτες, μπορεί να αξιοποιηθεί και στην παραγωγή ηλιακής συγκεντρωτικής ενέργειας. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει μηχανοκίνητα κάτοπτρα που ακολουθούν τη διεύθυνση του ήλιου και στέλνουν την ακτινοβολία σε ένα δοχείο με νερό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού μέσα στο δοχείο μέχρι και 550°C, με συνέπεια τη δημιουργία ατμού. Στη συνέχεια ο ατμός περνάει από στρόβιλο ο οποίος τον μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία διανέμεται στο δίκτυο. Το πρώτο σύστημα τέτοιου είδους στην Ευρώπη εφαρμόστηκε στην Ισπανία, όπου 624 κάτοπτρα, 120 τ.μ. το καθένα ακολουθούν τον ήλιο και κατευθύνουν τη συγκεντρωτική ακτινοβολία σε μία δεξαμενή, η οποία βρίσκεται σε πύργο ύψους 115 μέτρων. Η ενέργεια που παράγεται από τη συγκεκριμένη εγκατάσταση καλύπτει τις ανάγκες περίπου 6.000 νοικοκυριών.

Εκτός όμως από το σύστημα με τον πύργο, η ίδια διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί και μέσω παραβολικών κατόπτρων που είναι τοποθετημένα γραμμικά [εικόνα 12]. Τα κάτοπτρα αυτά κατευθύνουν τη δέσμη του ήλιου σε σωλήνες, οι οποίοι είναι γεμάτοι με ένα υγρό, συνήθως πετρέλαιο. Όταν το υγρό ζεσταίνεται, διέρχεται από έναν θερμικό εναλλάκτη παράγοντας ατμό, ο οποίος με τη σειρά του θέτει σε λειτουργία τον στρόβιλο.

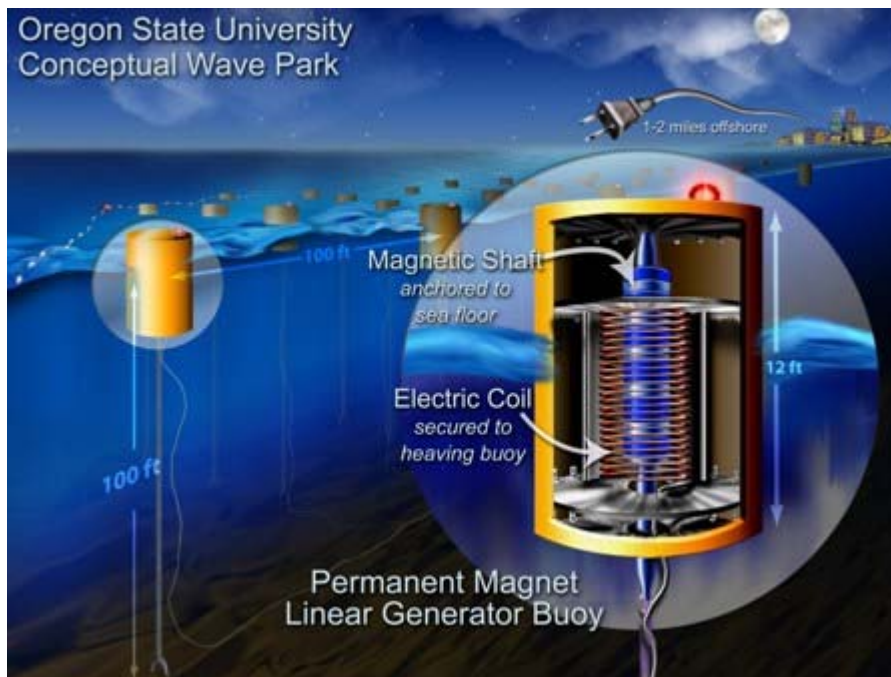
Τα κάτοπτρα σε αυτή την περίπτωση τοποθετούνται στον άξονα βορά νότου και περιστρέφονται για να ακολουθούν την πορεία του ήλιου. Εκτός από παραβολικά κάτοπτρα υπάρχουν και επιμήκη, τα οποία είναι κατά 15% περίπου λιγότερο αποδοτικά, αλλά αρκετά πιο οικονομικά στην κατασκευή τους (ZEBO, 2012).



Εικόνα 12 - Συγκεντρωτική ηλιακή ενέργεια (ZEBO, 2012)

#### Παραγωγή ενέργειας από κύματα

Η λύση για την ηλεκτρική ενέργεια είναι και η θάλασσα. Ένας καινούργιος τρόπος παραγωγής ενέργειας είναι από την δυναμική ενέργεια που μεταφέρουν τα κύματα της θάλασσας. Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα είναι βασισμένη σε υποθαλάσσιες εγκαταστάσεις, που πρόσφατα αναπτύχθηκαν στην Ευρώπη.



Εικόνα 13 - Παραγωγή ενέργειας από κύματα (Sailing-info, 2018)

Η Πορτογαλία έφτιαξε τον Agucadoura, την πρώτη παγκοσμίως φάρμα κυμάτων, που αποτελείται από τρεις μετατροπείς ενέργειας Κυμάτων, που παράγουν συνολικά 2.25 MW.

Οι μακριές μεταλλικές συσκευές, ανεβοκατεβαίνουν με τα κύματα, ενώ εσωτερικά πιστόνια σταθερά στερεωμένα, αντλούν υδραυλικά υγρό. Αυτό κινεί ηλεκτρικές γεννήτριες, η ενέργεια των οποίων μεταφέρεται στη στεριά μέσω υποθαλάσσιων ηλεκτρικών καλωδίων. Η φάρμα κυμάτων παράγει τώρα σταθερά συνεχή, ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια για τις ανάγκες 1500 νοικοκυριών (Sailing-info, 2018).

### Αιολικά πάρκα

Αιολικό πάρκο Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας ονομάζεται η χερσαία ή θαλάσσια έκταση στην οποία έχει τοποθετηθεί ένας αριθμός ανεμογεννητριών με σκοπό τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική.

Λόγω του μεγέθους της έκτασης που χρειάζεται ένα χερσαίο αιολικό πάρκο τα θαλάσσια αιολικά πάρκα ολοένα και αυξάνονται. Επίσης οι άνεμοι που πνέουν στα πελάγη είναι κατά κανόνα πιο ισχυροί και έχουν μικρότερη μεταβλητότητα απ' ό,τι στη στεριά.

Κυρίως όμως, επειδή από οικονομοτεχνική άποψη η θάλασσα είναι το μοναδικό περιβάλλον όπου μπορούν να εγκατασταθούν ανεμογεννήτριες με μεγάλο μέγεθος και ισχύ γιατί η αξία του ρεύματος που θα παράγουν μπορεί να γίνει μεγαλύτερη από το κόστος για την κατασκευή, την τοποθέτηση και τη συντήρησή τους.

Το πρώτο πλωτό αιολικό πάρκο έγινε στη Σκωτία και αποτελείται από πέντε μεγάλες τουρμπίνες ύψους 172 μέτρων που βρίσκονται σε βάθος μέχρι και 129 μέτρα. Παράγουν 6 μεγαβάτ ηλεκτρικής ενέργειας έκαστη, με τη συνολική ισχύ να ανέρχεται στα 30 μεγαβάτ. Αυτό σημαίνει ότι έχουν τη δυναμική να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες περίπου 20.000 σπιτιών.

Όμως και στην Ελλάδα επιστήμονες από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), το Μετσόβιο Πολυτεχνείο και το Πανεπιστήμιο Πατρών μαζί με συναδέλφους τους από ακόμη εννέα ευρωπαϊκές χώρες, συμμετέχουν στο ερευνητικό πρόγραμμα Innpwind.EU. Ο στόχος του προγράμματος είναι να εγκατασταθούν θεόρατες ανεμογεννήτριες σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων από τη στεριά και να παράγουν «καθαρή» ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες ποσότητες και με αρκετά χαμηλό κόστος.

Στο πλαίσιο του προγράμματος οι ερευνητές θα αναπτύξουν τις μεγαλύτερες θαλάσσιες ανεμογεννήτριες που σχεδιάστηκαν ποτέ. Έτσι, τη στιγμή που η μεγαλύτερη μονάδα που έχει ανακοινωθεί μέχρι σήμερα, και η οποία θα είναι έτοιμη το 2014, θα φτάνει τα 8 MW, οι επιστήμονες θα ξεκινήσουν από ένα μοντέλο με ισχύ 10 MW και θα φτάσουν σε ανεμογεννήτριες έως και 20 MW.

Οι ανεμογεννήτριες που θα αναπτυχθούν θα έχουν μεγάλες διαστάσεις –μια ανεμογεννήτρια 10 MW υπολογίζεται πως θα έχει ύψος 180 μέτρα και διάμετρο πτερυγίων 20-30 μέτρα– με την προοπτική να δημιουργηθούν θαλάσσια αιολικά πάρκα τα οποία θα αποτελούνται από δεκάδες μονάδες. Τα πάρκα προβλέπεται να έχουν ισχύ 250-500 MW, όση δηλαδή κι ένα συμβατικό θερμοηλεκτρικό εργοστάσιο, για να καλύπτει το καθένα τις ανάγκες τουλάχιστον 250.000 νοικοκυριών σε ρεύμα (Δεληγιάννης, 2012).

### Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια προκαλεί δέος, αλλά είναι εκπληκτικά απλή. Πρόκειται, απλά, για την αξιοποίηση της φυσικής θερμότητας της γης (5.500°C στον πυρήνα της) για τις δικές μας ανάγκες. Τα εξωτερικά 3 μέτρα της επιφάνειας της γης διατηρούνται σε, σχεδόν, σταθερή θερμοκρασία 10-16°C όλον τον χρόνο, και αυτή η θερμότητα μπορεί να αξιοποιηθεί για τη θέρμανση κτιρίων, νερού και άλλων στοιχείων. Μπορούμε ακόμα να τη μετατρέψουμε σε ηλεκτρική ενέργεια, χρησιμοποιώντας εργοστάσια γεωθερμικής ενέργειας που χρησιμοποιούν τη θερμότητα της γης για την παραγωγή ατμού, ο οποίος κινεί μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Γεωθερμική ενέργεια είναι στην κυριολεξία η θερμότητα που εμπεριέχεται στη γη, είναι τεράστια σε μέγεθος και η οποία δημιουργεί διάφορα γεωλογικά φαινόμενα. ▪ Συνήθως με τον όρο «γεωθερμική ενέργεια», εννοούμε το τμήμα της γήινης θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένο με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού σε ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες (< 3 km).

Συνεχής παροχή ενέργειας. Η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη 24 ώρες την ημέρα, 365 ημέρες το χρόνο, σε αντίθεση με άλλες ΑΠΕ. Οι γ/θ μονάδες παραγωγής έχουν συντελεστή λειτουργίας (load factor) που μπορεί να φτάσει και το 90% (π.χ. μιας υδροηλεκτρικής μονάδας ~ 70%, ενώ για ηλιακές και αιολικές μονάδες κυμαίνεται μεταξύ 20% και 35%). Μικρό λειτουργικό κόστος. Εκπομπές στο περιβάλλον. Δεν εκπέμπονται καθόλου σωματίδια, ενώ με τον κύκλο Rankine μηδενικές εκπομπές. Απαιτήσεις γης - δεν απαιτούν αποθηκευτικούς χώρους Μικρές ανάγκες για μεταφορά υλικών Τοπική μορφή ενέργειας Συμβολή στην μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας (Κουτσούκος, 2017).

### Ηλιακοί δρόμοι

Οι δρόμοι μπορούν να μετατραπούν σε καθαρές, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, που τροφοδοτούν ηλεκτρικά αυτοκίνητα, ή σπίτια και επιχειρήσεις που βρίσκονται κοντά τους. Η εταιρεία Solar Roadways έχει αναπτύξει ακριβώς ένα σύστημα με πλαίσια κατασκευασμένα από ψημένο γυαλί, που αντέχουν να συγκρατούν ένα στόλο φορτηγών και διαθέτουν φώτα LED για τη σήμανση των οδικών σημάτων και γραμμών. Είναι εξοπλισμένα με θερμαντικά στοιχεία που λιώνουν το χιόνι και περιέχουν μικροεπεξεργαστές για να επικοινωνούν, κάτι που τα κάνει έξυπνα.

Αυτό επιτρέπει στα πάνελ να επικοινωνούν μεταξύ τους, με ένα κεντρικό σταθμό ελέγχου και με οχήματα. Το γυαλί έχει μια επιφάνεια η οποία είναι ισοδύναμη με την ασφαλτο.

Έχουν ολοκληρωθεί δύο συμβάσεις χρηματοδότησης με το Υπουργείο Μεταφορών των ΗΠΑ και μόλις τον Νοέμβριο του 2015 απονεμήθηκε μια τρίτη σύμβαση.

Τα ηλεκτρικά οχήματα θα φορτίζονται με καθαρή ενέργεια από τον ήλιο, πρώτα στους ηλιακούς χώρους στάθμευσης και όταν επεκταθεί σε υποδομή αυτοκινητοδρόμων, θα φορτίζονται κατά την διαδρομή (SR, 2016).

## 5.17 Πραγματικότητα

Οι Ευρωπαϊκές Οδηγίες και κανονισμοί καθορίζουν προγράμματα με τους στόχους που πρέπει να επιτευχθούν από τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την μείωση του ρυθμού της κλιματικής αλλαγής. Τα κράτη μέλη συμμορφώνονται και σταδιακά μειώνονται οι εκπομπές CO<sup>2</sup>. Παρόλα αυτά η ΕΕ συμβάλει σε ποσοστό μόνο 10% στις παγκόσμιες εκπομπές CO<sup>2</sup>.

Σε παγκόσμιο επίπεδο γίνονται προσπάθειες μέσω της Σύμβασης - Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNCCC), όπου στις 12 Δεκεμβρίου 2015, τα μέρη της κατέληξαν σε μια συμφωνία ορόσημο για την καταπολέμηση της αλλαγής του κλίματος με σκοπό να επιταχύνουν και να εντατικοποιήσουν τις δράσεις και τις επενδύσεις που απαιτούνται για ένα βιώσιμο μέλλον χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Η σύμβαση απαιτεί από όλα τα μέρη, λαμβάνοντας υπόψη τις ευθύνες και τις δυνατότητές τους, να διαμορφώσουν και να εφαρμόσουν προγράμματα που περιλαμβάνουν μέτρα για την άμβλυση της κλιματικής αλλαγής. Τα προγράμματα αυτά στοχεύουν στην οικονομική δραστηριότητα με στόχο να κίνητρα οι δράσεις που είναι καθαρότερες ή αντικίνητρα εκείνων που οδηγούν σε μεγάλες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου. Περιλαμβάνουν πολιτικές, συστήματα κινήτρων και επενδυτικά προγράμματα που καλύπτουν όλους τους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής και της χρήσης ενέργειας, των μεταφορών, των κτιρίων, της βιομηχανίας, της γεωργίας, της δασοκομίας και άλλης χρήσης της γης, και της διαχείρισης των αποβλήτων.

Τα μέτρα μετριασμού μεταφράζονται, για παράδειγμα, στην αυξημένη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στην εφαρμογή νέων τεχνολογιών, όπως τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, ή στις αλλαγές σε πρακτικές ή συμπεριφορές. Περαιτέρω, περιλαμβάνουν την επέκταση των δασών και άλλων συλλεκτών για να αφαιρέσουν τις μεγαλύτερες ποσότητες CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα.

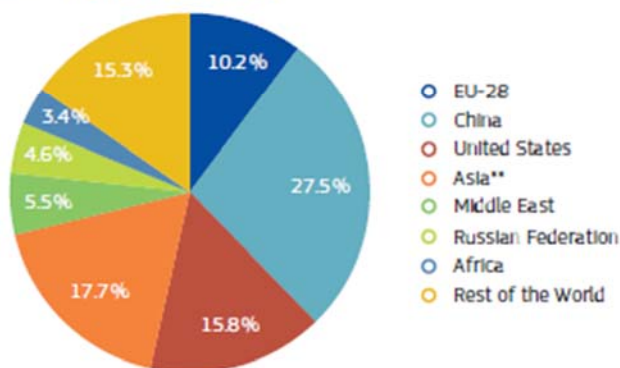
Συμφωνίες έχουν γίνει όμως και στο παρελθόν αλλά δεν έχουν αποδώσει. Συνολικά οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα αυξάνονται σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής που παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα. Συνεπώς η κλιματική αλλαγή δεν είναι αναστρέψιμη.

### 1.1.9 World CO<sub>2</sub> Emissions\* by Region

(Mio ton CO<sub>2</sub>)

	1995	2000	2005	2010	2014	2014(%)
EU-28	4012	4036	4205	3898	3425	10.2%
China	2951	3159	5459	7848	9222	27.5%
United States	5211	5790	5854	5496	5290	15.8%
Asia**	3275	3836	4412	5221	5925	17.7%
Middle East	816	951	1229	1595	1846	5.5%
Russian Federation	1562	1488	1497	1552	1532	4.6%
Africa	614	700	899	1041	1148	3.4%
Rest of the World	3639	4038	4480	4926	5124	15.3%
World	22080	23997	28034	31576	33511	100.0%

TOTAL 2014: 33 289 Mio ton CO<sub>2</sub>



Πίνακας 4 – Εκπομπές CO<sub>2</sub> σε παγκόσμιο επίπεδο (EU Energy, 2017)



# Κεφάλαιο 6

## Συμπεράσματα

Η εφαρμογή της δενδροχρονολογίας στην κλιματολογία και σε άλλες επιστήμες του περιβάλλοντος αποδείχτηκε πολύ σημαντική. Οι αυξητικοί δακτύλιοι των δένδρων καθορίζουν τις κλιματολογικές συνθήκες του παρελθόντος για τα χρόνια που δεν υπάρχει καταγραφή με όργανα. Η ιδιότητα αυτή οφείλεται στην ισχυρή συσχέτιση της θερμοκρασίας με την αύξηση των δακτυλίων.

Η αναπαράσταση της τάσης της θερμοκρασίας που έγινε με την χρήση εξειδικευμένων προγραμμάτων από τα δεδομένα δακτυλίων δέντρων στον Ταϋγετο για την περίοδο 1754 -2008 κατέδειξε την αυξητική τάση της θερμοκρασίας. Παρόλο που η αναπαράσταση φαίνεται να παρουσιάζει κάποια απόκλιση για την περίοδο περίπου 1754 – 1840 συγκριτικά με άλλες αναπαραστάσεις της περιοχής, για την περίοδο 1841 – 2008 ταυτίζεται η διακύμανση τους.

Οι καταστροφικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής μέσω της συνεχόμενης αύξησης της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με άλλα ακραία καιρικά φαινόμενα συμπεριλαμβάνουν και τις μεγάλης έκτασης και έντασης πυρκαγιές. Οι ακραίες τιμές της περιόδου της αναπαράστασης φαίνεται να συνδέονται άμεσα με τις μεγάλες πυρκαγιές των χρονολογιών 1879 και 1944 και οι μετεωρολογικές μετρήσεις το επιβεβαιώνουν για τις χρονολογίες 1977, 1998, 2000 και 2007.

Λόγω του ότι οι προβλέψεις για τον Ελλαδικό χώρο τον κατατάσσουν σε περιοχή υψηλού κινδύνου με αναμενόμενη αύξηση θερμοκρασίας τους καλοκαιρινούς μήνες μέχρι και 4oC τον 21ο αιώνα, πρέπει να ληφθούν άμεσα μέτρα για προστασία των δασών και κατά συνέπεια της χώρας από τις καταστροφές.

# Βιβλιογραφία

- Ahner, D. (2009) Climate change – universal impact, regional effect. Panorama 31 - Climate Change - Responses at regional level. [http://ec.europa.eu/regional\\_policy/en/information/publications/panorama-magazine/2009/panorama-31-climate-change-responses-at-regional-level](http://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/panorama-magazine/2009/panorama-31-climate-change-responses-at-regional-level)
- Anchukaitis KJ et al (2012) Tree rings and volcanic cooling. Nat Geosc 5:836–837
- Baisan CH, Swetnam TW (1990) Fire history on a desert mountain range: Rincon Mountain Wilderness, Arizona, USA. Can J For Res 20:1559–1569
- Barriopedro David, Erich M. Fischer, Jürg Luterbacher, Ricardo M. Trigo, Ricardo García-Herrera (2011) The Hot Summer of 2010: Redrawing the Temperature Record Map of Europe VOL 332 SCIENCE [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)220 <https://www.researchgate.net/publication/50420099> The Hot Summer of2010 [Redrawing the Temperature Record Map of Europe](https://www.researchgate.net/publication/50420099)
- Benjamin I. Cook , Kevin J. Anchukaitis Ramzi Touchan, David M. Meko, Edward R. Cook , (2016) - Spatiotemporal drought variability in the Mediterranean over the last 900 years, Journal of Geophysical Research-Atmospheres, Volume 121, Issue 5 ,16 March 2016 , Pages 2060–2074.
- Bradley R.S. and Jones P.D. (1992). Climate since A.D.1500. Routledge, London, 679 pp.
- Brandes R (2007) Forest borders of Greek high mountains. Dissertation, University of Erlangen
- Briffa K.R. and Matthews J.A. (2002). ADVANCE-10K – a European contribution towards a hemispheric dendroclimatology for the Holocene. olocene 12: 639–642.
- Briffa KR, Jones PD, Bartholin TS, Eckstein D, Schweingruber FH, Karlen W, Zetterberg P, Eronen M (1992) Fennoscandian summers from AD 500: temperature changes on short and long timescales. Clim Dyn 7:111–119
- Briffa KR, Jones PD, Schweingruber FH, Osborn TJ (1998) Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years. Nature 393:450–455
- Briffa KR, Osborn TJ, Schweingruber FH, Harris IC, Jones PD, Shiyatov SG, Vaganov EA (2001) Low frequency temperature variations from a Northern tree ring density network. J Geophys Res 106(D3):2929–2941
- Brown PM, Kaufmann MR, Shepperd WD (1999) Long-term, landscape patterns of past fire events in a montane ponderosa pine forest of central Colorado. Landsc Ecol 14:513–532

- Camuffo Dario, · C. Bertolin, · M. Barriendos, · F. Dominguez-Castro, · C. Cocheo, ·S. Enzi, · M. Sghedoni, · A. della Valle, · E. Garnier, · M.-J. Alcoforado, · E. Xoplaki, ·J. Luterbacher, · N. Diodato, · M. Maugeri, · M. F. Nunes, · R. Rodriguez. (2010). 500-year temperature reconstruction in the Mediterranean Basin by means of documentary data and instrumental observations *Climatic Change* (2010) 101:169–199 DOI 10.1007/s10584-010-9815-8
- CDC, 2009. The Interagency Working Group on Climate Change and Health (IWGCCH), A Human Health Perspective on Climate Change: A report outlining the research needs on the human health effects on climate change, Environmental Health Perspectives, National Institute of Environmental Health Sciences,
- Christopoulou A, Fule´ PZ, Andriopoulos P, Sarris D, Arianoutsou M (2013) Dendrochronology-based fire history of *Pinus nigra* forests in Mount Taygetos, Southern Greece. *For Ecol Manage* 293:132–139
- Cole-Dai J (2010) Volcanoes and climate. *WIREs ClimChange* 1:824–839
- Cook E. R. and Holmes R. L., Guide for computer program ARSTAN, Research, The University of Arizona, (1986), pages 50 to 65. [https://www6.nancy.inra.fr/foret-bois-lerfob/content/.../1/.../Manuel\\_ARSTAN.pdf](https://www6.nancy.inra.fr/foret-bois-lerfob/content/.../1/.../Manuel_ARSTAN.pdf)
- Cook E. R., Kairiukstis L.A., (1990). *Methods of Dendrochronology. Applications in the environmental sciences.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 394 pp.
- Cook B. I., Anchukaitis K. J., Touchan R., Meko D. M., Cook E. R. (2016) Spatiotemporal drought variability in the Mediterranean over the last 900 years, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*. <https://doi.org/10.1002/2015JD023929>
- *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 40:267–306, 2010 Copyright © Taylor & Francis Group, LLC ISSN: 1064-3389 print / 1547-6537 online DOI: 10.1080/10643380802238137
- Dury M, Hambuckers A, Warnant P, Henrot A, Favre E, Ouberdous M, Francois L (2011) Responses of European forest ecosystems to 21st century climate: assessing changes in interannual variability and fire intensity. *iForest* 4:82–99
- ECRP, (2009) European Commission - Regional Policy, Climate change – universal impact, regional effect. *Panorama 31 - Climate Change - Responses at regional level*
- EFFIS European Forest Fire Information System (2016) <http://effis.jrc.ec.europa.eu/>
- EFFIS, European Forest Fire Information System (2008) <http://effis.jrc.ec.europa.eu/>

- Esper J, Büntgen U, Luterbacher J, Krusic P (2013) Testing the hypothesis of post-volcanic missing rings in temperature sensitive dendrochronological data. *Dendrochronologia*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.dendro.2012.11.002>
- Esper J, Frank DC, Büntgen U, Verstege A, Luterbacher J, Xoplaki E (2007) Long-term drought severity variations in Morocco. *Geophys Res Lett* 34:L17702
- Esper J, Frank C. D. and Jürg J.(2006) On Selected Issues and Challenges in Dendroclimatology – A Changing World, Challenges for Landscape Research- pp 113-132  
[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-4436-6\\_8](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-4436-6_8)
- Esper Jan & Lea Schneider & Paul J. Krusic & Jürg Luterbacher & Ulf Büntgen & Mauri Timonen & Frank Sirocko & Eduardo Zorita, (2013) European summer temperature response to annually dated volcanic eruptions over the past nine centuries.
- Esper Jan, , Paul J. Krusic, Fredrik C. Ljungqvist, Jürg Luterbacher, Marco Carrer, Ed Cook, Nicole K. Davi, Claudia Hartl-Meier, Alexander Kirilyanov, Oliver Konter Vladimir Myglan, Mauri Timonen, Kerstin Treydte, Valerie Trouet, Ricardo Villalba, Bao Yang, Ulf Büntgen.(2016) Ranking of tree-ring based temperature reconstructions of the past millennium. *Quaternary Science Reviews*, Volume 145, 1 August 2016, Pages 134-151  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379116301469>
- EU Energy in Figures, (2017), EUROPEAN COMMISSION  
<https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2e046bd0-b542-11e7-837e-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-search>
- European Environmental Agency, (2007). "Climate change: The cost of inaction and the cost of adaptation", EEA Technical Report, No 13 / 2007.
- European Environmental Agency, (2018). Projected changes in annual, summer and winter temperature  
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-changes-in-annual-summer-1>
- Farris CA, Baisan CH, Falk DA, Yool SR, Swetnam TW (2010) Spatial and temporal corroboration of a fire-scar based history in a frequently burned ponderosa pine forest. *Ecol Appl* 20:1598–1614
- Feudale, L., and Shukla, J. (2007). Role of Mediterranean SST in enhancing the European heat wave of summer 2003. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L03811.
- Fischer, E. M., Seneviratne, S. I., Vidale, P. L., Lüthi, D., and Schär, C. (2007b). Soil moisture—atmosphere interactions during the 2003 European summer heatwave. *J. Clim.*, 20, 5081–5099.

- Flannigan MD, Krawchuk MA, De Groot WJ, Wotton BM, Gowman LM (2009) Implications of changing climate for global wildland fire. *Int J Wildland Fire* 18(5):483–507
- Founda D, Giannakopoulos C (2009). The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece—a typical summer in the future climate? *Global Planet Change* 67:227–236
- Founda D, Giannakopoulos C, Sarantopoulos A, Petrakis M, Zerefos C (2008) Estimating present and future fire risk in Greece: links with the destructive fires of summer 2007. *Geophys Res Abstr* 10, EGU2008-A-07848, 2008, SRef-ID:1607–7962/gra/EGU2008-A-07848
- Frank D, Esper J, Zorita E, Wilson RJS (2010) A noodle, hockey stick, and spaghetti plate: a perspective on high-resolution paleoclimatology. *WIREs Clim Change* 1:507–516
- Fritts C. H., Lofgren R. G., Gordon A. G., (1979). Variations in climate since 1602 as reconstructed from tree rings. *Quaternary Research*. Volume 12, Issue 1, July 1979, Pages 18-46.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0033589479900905>
- Fritts, H.C., (1976). *Tree-rings and climate*. Academic Press, London, New York, San Francisco, 567 pp.
- Fritts, H.C., 1976. *Tree Rings and Climate*. Academic press, London.
- Fule PZ, Ribas M, Gutierrez E, Vallejo R, Kaye MW (2008) Forest structure and fire history in an old *Pinus nigra* forest eastern Spain. *For Ecol Manage* 255:1234–1242
- Fussel, H. M. (2007). Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environ. Change*, 17, 155–167.
- Garcia Herrera R., J. D’Iaz, R. M. Trigo, J. Luterbacher and E. M. Fischer, (2010) A Review of the European Summer Heat Wave of 2003, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* Volume 40, 2010 - Issue 4  
<https://doi.org/10.1080/10643380802238137>
- Giannacopoulos, C., P. Le Sager, M. Bindi, M. Moriondo, E. Kostopoulou and C. M. Goodes (2009), "Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming". *Global and Planetary change*, 68, 209-224.
- Giannakopoulos C, Le Sager P, Bindi M, Moriondo M, Kostopoulou, E, Goodess CM (2009) Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2\_C global warming. *Global Planet Change* 68(3):209–224
- Giorgi F (2006) Climate change hot-spots. *Geophys Res Lett* 33:L08707
- Grazzini, F., and Viterbo, P. (2003). Record breaking warm sea surface temperature of the Mediterranean Sea. *ECMWF Newsletter*, 98, 30–31.

- Greenpeace (2014), "Το μέλλον στις φλόγες", [Online]. Available from: <http://www.greenpeace.org/greece/Global/greece/report/2009/8/forest.pdf>.
- Hegerl GC, Crowley TS, Baum SK, Kim K-Y, Hyde WT (2003) Detection of volcanic, solar and greenhouse gas signals in paleoreconstructions of Northern Hemispheric temperature. *Geophys Res Lett* 30. doi:10.1029/2002GL016635
- Hennessy, K, B. Fitzharris, B.C. Bates, N. Harvey, S.M. Howden, L. Hughes, J. Salinger and R. Warrick (2007), "Australia and New Zealand. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability". In: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK.  
[https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_synthesis\\_report.htm](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm)
- Hughes K. M., (2002). Dendrochronology in climatology – the state of the art. *Dendrochronologia*. Volume 20, Issues 1–2, 2002, Pages 95–116  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1125786504700119>
- IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Synthesis Report
- IPCC, 2013. 5TH IPCC Assessment Report [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_SPM\\_FINAL.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf)
- Johnsen, K., L. Samuelson, R. Teskey, S. MvNulty and T. Fox (2001), "Process models as tools in forestry research and management", *Forest Science*, 47, 2–8.
- Jones P.D. and Mann M.E. (2004). Climate over past millennia. *Review of Geophysics* 42, doi: 10.1029/2003RG000143.
- Jones P.D., Bradley S.R. and Jouzel J. (1996). Climatic variations and forcing mechanisms of the last 2000 years. Springer, Berlin, 649 pp.
- Kaennel M., Schweingruber F. H., (1995). Multilingual Glossary of Dendrochronology. Paul Haupt Publishers, Berne, Stuttgart, Vienna, 493 pp.
- Karjalainen, T., A. Pussinen, J. Liski, G.-J. Nabuurs, T. Eggers, T. Lapveteläinen and T. Kaipainen (2003), "Scenario analysis of the Impacts of forest management and climate change on the European forest sector carbon budget", *Forest Policy and Economics*, 5, 141–155.
- Koutsias N, Arianoutsou M, Kallimanis AS, Mallinis G, Halley JM, Dimopoulos P (2012) Where did the fires burn in Peloponnisos, Greece the summer of 2007? Evidence for a synergy of fuel and weather. *Agric For Meteorol* 156:41–53
- Koutsias N, Xanthopoulos G, Founda D, Xystrakis F, Nioti, F, Pleniou M, Mallinis G, Arianoutsou M (2013) On the relationships between forest fires and weather conditions in Greece from long-term national observations (1894–2010). *Int J Wildland Fire*. doi:10.1071/WF12003

- Krusic P. J. (2005), Program ARSTAN, A Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive Time Series Modeling, with Interactive Graphics, UA Science, Laboratory of Tree-Ring Research, The University of Arizona
- Lelieveld J. & P. Hadjinicolaou & E. Kostopoulou & J. Chenoweth & M. El Maayar & C. Giannakopoulos & C. Hannides & M. A. Lange & M. Tanarhte & E. Tyrlis & E. Xoplaki, (2012) Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle East Climatic Change (2012) 114:667–687 DOI 10.1007/s10584-012-0418-4
- Levison, D.H., and Waple, A.M. (2004). State of the climate in 2003. Bull. Am. Meteorol. Soc., 85, S1–S72.
- Luterbacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M., and Wanner, H. (2004). European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500. *Science*, 303, 1499–1503.
- Luterbacher, J., Liniger, M.A., Menzel, A., Estrella, N., Della-Marta, P.M., Pfister, C., Rutishauser, T., and Xoplaki, E. (2007). The exceptional European warmth of Autumn 2006 and Winter 2007: Historical context, the underlying dynamics and its phenological impacts. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L12704.
- Mitchell, T., and Jones, P. (2005). An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *Int. J. Climatol.*, 25, 693–712.
- Moberg A.D., Sonechkin M., Holmgren K., Datsenko N.M. and Karlen W. (2005). Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data. *Nature* 433: 613–617.
- Moreira F., Viedma D., Arianoutsou M. et al., (2011) Landscape-wildfire interactions in Southern Europe: implications for landscape management. *J Environ Manage* 92:2389–2402
- Moriondo M, Good P, Durao R, Bindi M, Giannakopoulos C, Corte-Real J (2006) Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Climate Res* 31:85–95
- NASA (2016) NASA Finds Drought in Eastern Mediterranean Worst of Past 900 Years, <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/nasa-finds-drought-in-eastern-mediterranean-worst-of-past-900-years>
- Nicault A, Alleaume S, Brewer S, Carrer M, Nola P, Guiot J (2008) Mediterranean drought fluctuation during the last 500 years based on tree-ring data. *Clim Dyn* 31:227–245
- Nicholson SE (1983) Subsaharan rainfall and the years 1976–80: evidence of continued drought. *Mon Weather Rev* 111:1646–1654

- Pausas J, Fernandez-Munoz S. (2012) Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought driven fire regime. *Clim Change* 110:215–226
- Pausas JG (2004) Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin). *Clim Change* 63(3):337–350
- Piervitali E, Colacino M (2003) Precipitation scenarios in the centralwestern Mediterranean Basin. In: Bolle HJ (ed) *Mediterranean climate—variability and trends*. Springer, Berlin, pp 246–258
- Pinol J, Terradas J, Lloret F (1998) Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Clim Change* 38(3):345–357
- Puckett J. L., (1981). Dendroclimatic Estimates of a Drought Index for Northern Virginia GEOLOGICAL SURVEY WATER-SUPPLY PAPER 2080 <https://pubs.er.usgs.gov/publication/wsp2080>
- Regato P. (2010). Τα Μεσογειακά Δάση απέναντι στην Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή [http://www.wwf.gr/images/pdfs/gr\\_adapting.pdf](http://www.wwf.gr/images/pdfs/gr_adapting.pdf)
- Robock A (2000) Volcanic eruptions and climate. *RevGeophys* 38:191–219
- Sailing-info, (2018). Ηλεκτρονικό Περιοδικό για την Ιστιοπλοΐα και την Θάλασσα <http://www.sailing-info.gr/articles/genika/oikologia/1262-energeia-apo-kimata>, 2018
- Sarris D, Christodoulakis D, Korner C (2007) Recent decline in precipitation and tree growth in the eastern Mediterranean. *Global Change Biol* 13:1187–1200
- Sarris D, Christodoulakis D, Korner C (2011) Impact of recent climatic change on growth of low elevation eastern Mediterranean forest trees. *Clim Change* 106(2):203–223
- Sarris D, Koutsias N (2014) Ecological adaptations of plants to drought influencing the recent fire regime in the Mediterranean. *Agric For Meteorol* 184:158–169
- Sarris Dimitrios, Anastasia Christopoulou, Eleni Angelonidi, Nikos Koutsias, Peter Z. Fule, Margarita Arianoutsou (2014). Increasing extremes of heat and drought associated with recent severe wildfires in southern Greece *Reg Environ Change* 14:1257–1268  
DOI 10.1007/s10113-013-0568-6
- Schonwiese, C.D., Staeger, T., and Tromel, S. (2004). The hot summer 2003 in Germany. Some preliminary results of a statistical time series analysis. *Meteorol. Zeitschrift*, 13, 323–327.



- Schroter D, Cramer W, Leemans R et al (2005) Ecosystem service supply and human vulnerability to global change in Europe. *Science* 310:1333–1337
- Schweingruber FH (1996) *Tree rings and environment, dendroecology*. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, and Paul Haupt Verlag, Berne, Stuttgart, Vienna
- SR, (2016) *Solar Roadways*  
<http://www.solarroadways.com/Home/Index>, 2016
- Touchan R, Meko D, Hughes MK (1999) A 396-year reconstruction of precipitation in southern Jordan. *J Am Water Resour Assoc* 35(1):49–59
- UNEP. (2004). *The European summer heat wave of 2003*. UNEP Brief. United Nations Environmental Programme, Nairobi, Kenya.
- UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations, (1992), No.1, clause 3
- UNFCCC (2015). Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος  
<http://www.wwf.gr/cop21/>
- UNFCCC, (2016) United Nations Framework Convention on Climate Change  
<https://unfccc.int/>
- Vescovi, L., Rebetez, M., and Rong, F. (2005). Assessing public health risk due to extremely high temperatures events: Climate and social parameters. *Clim. Res.*, 30, 71–78.
- Westerling A, Hidalgo H, Cayan D, Swetnam T (2006) Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity. *Science* 313:940–943
- Westerling AL, Bryant BP (2008) Climate change and wildfire in California. *Clim Change* 87:231–249
- WHO, (2003). World Health Organization (WHO), *Climate Change and Human Health: Risks and Responses*.
- WWF, (2009). WWF Ελλάς, “Το αύριο της Ελλάδας: επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα κατά το άμεσο μέλλον”, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2009.  
[https://www.wwf.gr/images/pdfs/wwf-to\\_avrio\\_tis\\_elladas.pdf](https://www.wwf.gr/images/pdfs/wwf-to_avrio_tis_elladas.pdf)
- Xoplaki, E., Luterbacher, J., and Gonz’alez-Rouco, J.F. (2006). Mediterranean summer temperature and winter precipitation, large-scale dynamics, trends. *Il Nuovo Cimento*, 29, 45–54.
- Xoplaki, E., Luterbacher, J., Paeth, H., Dietrich, D., Steiner, N., Grosjean, M., and Wanner, H. (2005). European spring and autumn temperature variability and change of extremes over the last half millennium. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L15713.

- ZEBO, (2012). Zero Energy Buildings Organisation  
<http://www.zeroenergybuildings.org/2012/10/blog-post.html>
- Αποστόλου Β., (2017) Πώς θα σώσουμε τα δάση  
<https://dasarxeio.com/2017/07/15/46658/>
- Γκουρμπάτσης, Α. (2010), "Η γεωγραφία αγροτοδασικών πυρκαγιών", (2000-2010).  
<http://olympia.gr/2010/08/05/>.
- Δεληγιάννης Κ, (2012). Τεράστιες θαλάσσιες ανεμογεννήτριες, Energyin  
<http://energyin.gr/2012/11/19/τεράστιες-θαλάσσιες-ανεμογεννήτριες/>
- Δημόπουλος Δ., Πανίτσα Μ., Σαρρής Δ., (2013). Οικολογία Ι, Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Δυτικής Ελλάδας  
[http://www.env.upatras.gr/files/.../ergastiriakes\\_askiseis\\_oikologias\\_i\\_2014.doc](http://www.env.upatras.gr/files/.../ergastiriakes_askiseis_oikologias_i_2014.doc)
- Εμβαλιώτης Α., Κατσής Α. και Σιδερίδης Γ., (2006). Στατιστική Μεθοδολογία Εκπαιδευτικής Έρευνας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου  
[www.actuar.aegean.gr/notes/Embalotis%20et%20aL\\_%20Stat\\_Notes.pdf](http://www.actuar.aegean.gr/notes/Embalotis%20et%20aL_%20Stat_Notes.pdf)
- ΕΠ, (2018), Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Ενέργεια, κλιματική αλλαγή, περιβάλλον Δράση για το κλίμα, 2018  
[https://ec.europa.eu/clima/citizens/eu\\_el](https://ec.europa.eu/clima/citizens/eu_el)
- ΕΣ (2018). Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης  
<http://www.consilium.europa.eu/el/policies/climate-change>
- ΕΤΠ, (2013) Εγκυκλοπαίδεια του Περιβάλλοντος, ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ  
<https://www.inedivim.gr/images/ng-egkykpolaideia/ng-egkykpolaideia-perivalon-2-klimatiki-allagi.pdf>
- Ζαμπετάκης Λεωνίδα, (2013). Η κανονική κατανομή -Έλεγχος κανονικότητας - Μη παραμετρικά τεστ. Πανεπιστήμιο Κρήτης  
<ftp://ftp.sc.uoc.gr/Psycho/Zampetakis>
- Κουγιουμτζής Δημήτρης (2011) Data Analysis, Division of Electronics and Computer Engineering, Faculty of Engineering Department of Electrical and Computer Engineering, Aristotle University of Thessaloniki  
[users.auth.gr/dkugiu/Teach/DataAnalysis/Chp5](http://users.auth.gr/dkugiu/Teach/DataAnalysis/Chp5)ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ:
- Κουτσούκος Π., (2017) Ήπιες Μορφές Ενέργειας Γεωθερμία, Πανεπιστήμιο Πάτρας  
[https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CMNG2155/geothermal\\_Lecture\\_15\\_12\\_2017.pdf](https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CMNG2155/geothermal_Lecture_15_12_2017.pdf)
- ΚΠΕΚ, (2015) - Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Καστρίου  
[kpe-kastr.ark.sch.gr/site/seminars/EisSem201501/Introd/IlikDentr\\_KPE.pdf](http://kpe-kastr.ark.sch.gr/site/seminars/EisSem201501/Introd/IlikDentr_KPE.pdf)

- Ναστής Αναστάσιος, Ηλίας Καρμίρης , Ευτύχιος Σαρτζετάκης, Στέφανος Ναστής, (2011). Οικονομικές και Φυσικές Επιπτώσεις της Κλιματικής Μεταβολής στα Δάση και τα Δασικά Οικοσυστήματα της Ελλάδας, Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδος
- Παπανικολάου Δ. & Παπανικολάου Μ. (2011) Παλαιοκλιματικές Αλλαγές, Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδος, Ευρωσύστημα.  
<http://www.bankofgreece.gr/Pages/el/klima/relevant.aspx>
- Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (2010), "Απολογισμός δραστηριοτήτων δασικών υπηρεσιών έτους 2008", Αθήνα.
- Υφαντόπουλος Ιωάννης, Ανδρέας Παπανδρέου, Δημοσθένης Παναγιωτάκος, Αναστάσιος Πάτωκος, Δήμητρα Λάτσου, (2011). Κλιματική Αλλαγή και Υγεία, Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδος