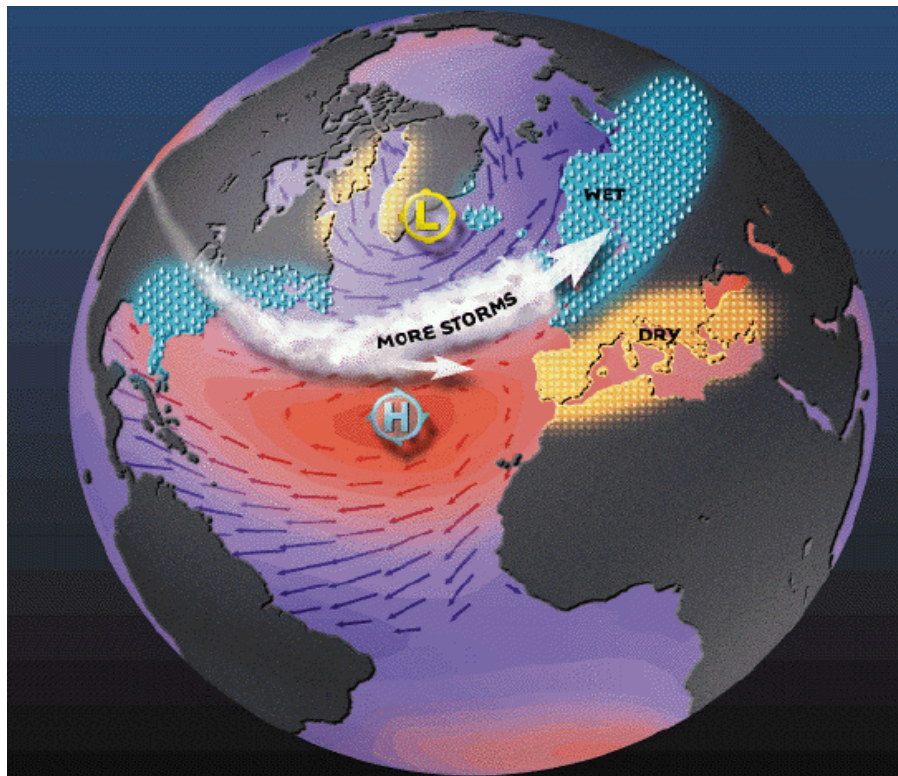




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
«ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ  
ΜΑΚΡΑΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ  
ΕΛΛΑΔΑ»**

*Εμμανουέλα Ιακωβίδου*

*Επιβλέπων καθηγητής: Δημήτρης Κουτσογιάννης*

**Αθήνα 2010**

*Στη μνήμη της γιαγιάς μου, Αλίκης*

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου, κ. Δημήτρη Κουτσογιάννη, ο οποίος δεν έπαυε να μου δίνει ερεθίσματα για να εξελίξω αυτήν την εργασία και ήταν πάντα απλός, προσιτός και διαθέσιμος, παρά τις πολλές υποχρεώσεις του, να συζητήσουμε οποιονδήποτε προβληματισμό μου. Τον ευχαριστώ γιατί πάνω από κάθε εργασία, μου δίδαξε ότι το πιο ουσιαστικό είναι «το απλό».

Τον κ. Μαμάση, ο οποίος, αν και δε συνεργαστήκαμε στα πλαίσια αυτής της εργασίας, είναι η αιτία που αγάπησα το μάθημα της τεχνικής υδρολογίας, το οποίο στη συνέχεια έγινε η αφορμή να ακολουθήσω την κατεύθυνση των νερών.

Το Γιάννη Μαρκώνη για την άψογη συνεργασία και την πολύτιμη βοήθειά του, σε κάθε στάδιο της εργασίας. Τόσο με τις γνώσεις του, όσο και με την υπομονή του με βοήθησε να παραμείνω συγκεντρωμένη στο σκοπό της εργασίας αυτής και να μη βγω εκτός θέματος. Ο χρόνος που μου διέθεσε ήταν πολύ σημαντικός και θέλω να του ευχηθώ κάθε επιτυχία στην επαγγελματική του σταδιοδρομία.

Το Σίμωνα Παπαλεξίου, που έδινε πάντα με χαρά τη γνώμη του και έψαχνε λύσεις σε διάφορα ζητήματα που αφορούσαν την επεξεργασία των δεδομένων. Επίσης για τις πολύ χρήσιμες για την επεξεργασία εντολές του Excel που μου έμαθε. Του εύχομαι να ολοκληρώσει επιτυχώς το διδακτορικό του.

Όλους τους φίλους και φίλες μου που κατά καιρούς με ανέχτηκαν, με συμβούλευσαν, με καθησύχασαν και με στήριξαν σε αυτήν την προσπάθεια. Τους ευχαριστώ για την ηθική στήριξη, αλλά κυρίως επειδή μου αφιέρωσαν μέρος του πολύτιμου χρόνου τους. Με την ελπίδα ότι δεν αδικώ κανέναν, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος το Γιάννη και το Σταύρο, το «συνεργείο τεχνικής υποστήριξης» του λίγο παλαιάς τεχνολογίας υπολογιστή μου, τη Σοφία για την αγγλική περίληψη, τη Γιάννα για την προσπάθεια μορφοποίησης, τη Χριστίνα για την προθυμία της να συμβάλει στη συγγραφή της εργασίας αυτής και τα ανέκδοτά της και την Έφη που μου έδινε θάρρος.

Τέλος τα λόγια είναι περιττά για να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον Κώστα, που αν και βρίσκεται πολλά χιλιόμετρα μακριά, είναι πάντα δίπλα μου, τους πολυαγαπημένους μου γονείς, Γιάννη και Εύα και την αδερφή μου, Αλίκη.

*Αθήνα, 5 Μαρτίου 2010*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	2

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
1.1 Ορισμός θέματος.....	3
1.2 Διάρθρωση εργασίας.....	4

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΞΗΡΑΣΙΑ.....	5
2.1 Το κλίμα.....	5
2.1.1 Ορισμός.....	5
2.1.2 Η ατμόσφαιρα.....	5
2.1.3 Τα κατακρημνίσματα.....	6
2.1.4 Παράμετροι του κλίματος.....	8
2.2 Το κλίμα της Ελλάδας.....	11
2.2.1 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά.....	11
2.2.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά.....	11
2.3 Ξηρασία.....	12
2.3.1 Ορισμός.....	12
2.3.2 Η ξηρασία σε σχέση με άλλες φυσικές καταστροφές.....	14
2.3.3 Τα χαρακτηριστικά της ξηρασίας.....	15
2.3.4 Μεταβλητότητα της βροχόπτωσης και ξηρασία.....	16
2.3.5 Παράμετροι ξηρασίας.....	17
2.3.6 Ευάλωτες στην ξηρασία περιοχές του πλανήτη.....	19
2.4 Ανασκόπηση μεγάλων ξηρασιών στην Ελλάδα και τον κόσμο.....	20
2.4.1 Η μεγάλη ξηρασία στην περιοχή Σαχέλ.....	20

2.4.2 Η ξηρασία της Αιθιοπίας.....	22
2.4.3 Ξηρασίες στην Κίνα.....	23
2.4.4 Ξηρασίες στην Ελλάδα.....	24
2.4.5 Άλλα περιστατικά ξηρασιών και έντονης κλιματικής μεταβλητότητας στον κόσμο.....	25

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ**

<b>3.1 Κλιματικοί δείκτες.....</b>	<b>26</b>
3.1.1 Γενικά.....	26
3.1.2 Northern Atlantic Oscillation (NAO).....	27
3.1.3 El Niño Southern Oscillation (ENSO).....	30
<b>3.2 Οι μελέτες πάνω στους κλιματικούς δείκτες.....</b>	<b>35</b>
3.2.1 Η επίδραση του NAO στο κλίμα του Βόρειου Ημισφαιρίου.....	35
3.2.2 Ο ENSO και η μεταβλητότητα του κλίματος στη Μεσόγειο.....	38
3.2.3 Η πιθανή σχέση των δύο μεγάλων ωκεανών.....	39
<b>3.3 Συσχέτιση κλιματικών δεικτών με το φαινόμενο της     ξηρασίας.....</b>	<b>40</b>
3.3.1 Γενικά	
3.3.2 Η σχέση της μεταβλητότητας της SST των ωκεανών σε χρονική κλίμακα ετών και δεκαετιών με το φαινόμενο της ξηρασίας.....	40

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ..... 42**

<b>4.1 Περιοχή μελέτης και δεδομένα.....</b>	<b>42</b>
<b>4.2 Μεθοδολογία.....</b>	<b>44</b>
4.2.1 Χρονική κλίμακα έτους.....	45
4.2.2 Χρονική κλίμακα εποχής.....	46

4.2.3 Χρονική κλίμακα ενός μήνα.....	47
<b>4.3 Δείκτες ξηρασίας.....</b>	<b>48</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΝΑΟ/ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ..... 50**

<b>5.1 Αθήνα.....</b>	<b>50</b>
5.1.1 Χρονική κλίμακα έτους.....	50
5.1.2 Χρονική κλίμακα εποχής.....	55
5.1.3 Χρονική κλίμακα μήνα.....	60
<b>5.2 Αλιάρτος.....</b>	<b>65</b>
5.2.1 Χρονική κλίμακα έτους.....	65
5.2.2 Χρονική κλίμακα εποχής.....	68
5.2.3 Χρονική κλίμακα μήνα.....	70
<b>5.3 Ηράκλειο.....</b>	<b>72</b>
5.3.1 Χρονική κλίμακα έτους.....	73
5.3.2 Χρονική κλίμακα εποχής.....	75
5.3.3 Χρονική κλίμακα μήνα.....	76
<b>5.4 Πάτρα.....</b>	<b>79</b>
5.4.1 Χρονική κλίμακα έτους.....	79
5.4.2 Χρονική κλίμακα εποχής.....	81
5.4.3 Χρονική κλίμακα μήνα.....	82
<b>5.5 Θεσσαλονίκη.....</b>	<b>85</b>
5.5.1 Χρονική κλίμακα έτους.....	85
5.5.2 Χρονική κλίμακα εποχής.....	87
5.5.3 Χρονική κλίμακα μήνα.....	88
<b>5.6 Κέρκυρα.....</b>	<b>91</b>
5.6.1 Χρονική κλίμακα έτους.....	91
5.6.2 Χρονική κλίμακα εποχής.....	93
5.6.3 Χρονική κλίμακα μήνα.....	94
<b>5.7 Λάρισα.....</b>	<b>97</b>
5.7.1 Χρονική κλίμακα έτους.....	97

5.7.2	Χρονική κλίμακα εποχής.....	99
5.7.3	Χρονική κλίμακα μήνα.....	101

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

### **ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ENSO/ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ**

<b>6.1</b>	<b>Αθήνα.....</b>	<b>105</b>
6.1.1	Χρονική κλίμακα έτους.....	105
6.1.2	Χρονική κλίμακα εποχής.....	108
6.1.3	Χρονική κλίμακα μήνα.....	111
6.1.4	El Niño και La Niña έτη.....	112
<b>6.2</b>	<b>Ηράκλειο.....</b>	<b>114</b>
6.2.1	Χρονική κλίμακα έτους.....	114
6.2.2	Χρονική κλίμακα εποχής.....	116
6.2.3	Χρονική κλίμακα μήνα.....	117
6.2.4	El Niño και La Niña έτη.....	118

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**

### **ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....120**

<b>7.1</b>	<b>Χρονική κλίμακα έτους.....</b>	<b>120</b>
<b>7.2</b>	<b>Χρονική κλίμακα εποχής.....</b>	<b>122</b>
7.2.1	Χειμώνας.....	122
7.2.2	Φθινόπωρο.....	124
<b>7.3</b>	<b>Χρονική κλίμακα μήνα.....</b>	<b>125</b>
7.3.1	Δεκέμβριος.....	125
7.3.2	Νοέμβριος.....	127
7.3.3	Ιανουάριος.....	128

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8**

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... 130**

<b>8.1</b>	<b>ΝΑΟ.....</b>	<b>130</b>
------------	-----------------	------------

<b>8.2 ENSO.....</b>	<b>132</b>
<b>ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....</b>	<b>134</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α ΝΑΟ-ΕΤΗΣΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ.....</b>	<b>140</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β ΝΑΟ-ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ.....</b>	<b>146</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ ΝΑΟ-ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ.....</b>	<b>151</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ ENSO-ΕΤΗΣΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ.....</b>	<b>160</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε ENSO-ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ.....</b>	<b>163</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ ENSO-ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ.....</b>	<b>165</b>



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η βελτίωση της δυνατότητας πρόβλεψης της μετεωρολογικής ξηρασίας στην Ελλάδα, καθώς και συνθηκών ξηρότητας γενικότερα, όσο και η αναζήτηση κάποιων ενδεικτικών μηχανισμών της ατμόσφαιρας, που προκαλούν κλιματικές διασυνδέσεις μεταξύ περιοχών του πλανήτη που βρίσκονται χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά. Οι πιο χαρακτηριστικοί κλιματικοί δείκτες μακράς κλίμακας που περιγράφουν τέτοιες διασυνδέσεις είναι οι δείκτες NAO και ENSO<sup>34</sup>. Ο πρώτος καταγράφει τη διαφορά πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας ανάμεσα στο σύστημα υψηλής πίεσης στις Αζόρες και στο σύστημα χαμηλής πίεσης στην Ισλανδία και ο δεύτερος την απόκλιση από τη μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας στην περιοχή 5°N-5°S, 170°E-120°W στον τροπικό Ειρηνικό ωκεανό. Οι παραπάνω δείκτες συσχετίστηκαν με τα βροχομετρικά δεδομένα 7 πόλεων του ελλαδικού χώρου, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς το βροχομετρικό καθεστώς τους. Με εξαγωγή συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των χρονοσειρών και περαιτέρω ανάλυση με κυρίως γραφική απεικόνιση, επιχειρήθηκε η εύρεση πιθανών διασυνδέσεων μεταξύ των ακραία χαμηλών τιμών της βροχόπτωσης σε διάφορες χρονικές κλίμακες (μήνα, εποχής, έτους) και των μέσων τιμών των δεικτών σε περιόδους (μήνα, εποχή), που προηγούνται της εμφάνισης των τιμών αυτών. Ωστόσο, παρά τη διεξοδική έρευνα που πραγματοποιήθηκε, δεν εντοπίστηκαν ισχυρές συσχετίσεις με τους εν λόγω κλιματικούς δείκτες, γεγονός που ενισχύει την άποψη πως το παγκόσμιο κλιματικό σύστημα είναι πολύ περίπλοκο για να περιγραφεί στο σύνολο του μόνο με απλουστευμένους κλιματικούς δείκτες και ότι η επίδραση των συγκεκριμένων φαινομένων στο κλίμα της Ελλάδας είναι έμμεση και αμυδρή.

## **ABSTRACT**

This Diploma Thesis aims to improve the possibility of forecasting the meteorological drought and conditions of dryness in general, in Greece. Also, an attempt to investigate the presence of some specific conditions in the atmosphere that lead to correlations, in terms of climate, between areas that are located far away from each other, is done. The most representative climatic indices are the NAO and the ENSO34 index. The first one expresses the difference of sea level pressure between the tropical high in Azores and the polar low in Iceland. The second represents the sea surface temperature anomaly in a place located in the tropical Equatorial Pacific with geographical coordinates 5°N-5°S, 170°E-120°W. In order to achieve the objective of the research, precipitation data of seven distinct Greek cities with divergent precipitation conditions were examined. The determination of potential correlations between the extremely low values of precipitation in various time scales (monthly, seasonally, yearly) and the average values of the used indices in preceding time periods (month, season) was approached through correlation coefficients between the given time series and extended analysis through graphical material. Despite the thorough examination, only tenuous correlations were reached. This fact strengthens the view, that the global climatic system is remarkably too complicated to be described only by simplified climatic indices and that the impact of these phenomena on the climate of Greece is indirect and weak.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Ορισμός θέματος

Η κλιματική μεταβλητότητα είναι μια έννοια που έχει απασχολήσει αρκετά τους επιστήμονες και αποτελεί αντικείμενο μελέτης και προβληματισμού. Πώς αλληλεπιδρούν μεταξύ τους τα φυσικά φαινόμενα και ποια είναι η συμβολή του ανθρωπογενούς παράγοντα στη μεταβλητότητα που παρατηρείται σε διάφορες χρονικές κλίμακες, είναι μόνο μερικά από τα ερωτήματα, στα οποία καλούνται να απαντήσουν οι επιστήμες της υδρομετεωρολογίας και της κλιματολογίας. Δεδομένου επίσης ότι η διαχείριση και η διανομή των υδατικών πόρων αποτελούν από τα σημαντικότερα ζητήματα του σύγχρονου πολιτισμού, η πρόβλεψη ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης σε μεγάλες χρονικές κλίμακες αποτελεί πρόκληση για την επιστήμη της μετεωρολογίας. Σε αυτό το εγχείρημα έχουν συμβάλει κλιματικοί δείκτες μακράς κλίμακας, οι οποίοι καταγράφουν την κλιματική μεταβλητότητα, όπως αυτή εκφράζεται από δίπολα αντίθετων συνθηκών θερμοκρασίας και πίεσης ανάμεσα σε περιοχές του πλανήτη που βρίσκονται χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά και οι οποίοι έχει αποδειχτεί ότι συνδέονται με φαινόμενα ξηρασίας και πλημμυρών σε πολλές περιοχές του πλανήτη.

Στην παρούσα εργασία αναζητείται η συσχέτιση μεταξύ των κλιματικών δεικτών NAO και ENSO και της μετεωρολογικής ξηρασίας, καθώς και συνθηκών ξηρότητας γενικότερα, στον Ελλαδικό χώρο, τόσο για λόγους πρόβλεψης του φαινομένου σε διάφορες χρονικές κλίμακες, όσο και για τη διερεύνηση ενδεικτικών μηχανισμών ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που πιθανόν να συνδέουν την Ελλάδα με τις θαλάσσιες περιοχές στις οποίες λαμβάνουν χώρα τα φυσικά φαινόμενα που οι δείκτες αυτοί καταγράφουν. Αν και οι περιοχές αυτές βρίσκονται σε πολύ μακρινά γεωγραφικά μήκη και πλάτη, ωστόσο δεν αποκλείεται το φαινόμενο της διασποράς των φαινομένων, αν όχι σταθερά, τουλάχιστον υπό ορισμένες συνθήκες, μέχρι τη χώρα μας. Παρόλο που δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε ποιες συνθήκες είναι αυτές, θα ήταν ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε αν και πώς κάποιες μεταβολές στη βροχόπτωση της Ελλάδας συμβαδίζουν με

μεταβολές των δεικτών και σε ποιο βαθμό. Άλλωστε, οι μηχανισμοί του κλίματος είναι τόσο πολύπλοκοι, που δεν μπορούμε να αποκλείσουμε κανένα σενάριο.

## **1.1 Διάρθρωση της εργασίας**

Στο Κεφάλαιο 2 δίνονται οι ορισμοί και γίνεται ανάλυση βασικών εννοιών, όπως του κλίματος, της ατμόσφαιρας, της ξηρασίας κλπ. Περιγράφονται αναλυτικά οι παράμετροι του κλίματος και της ξηρασίας, ενώ γίνεται ανασκόπηση μεγάλων ξηρασιών στην Ελλάδα και τον κόσμο. Τα συγκεκριμένα περιστατικά σε παγκόσμια κλίμακα επελέγησαν λόγω των τεράστιων κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων που είχαν, αλλά και λόγω του ενδιαφέροντος που παρουσιάζουν οι ατμοσφαιρικές διεργασίες που συνδέονται με αυτά.

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφονται τα φαινόμενα που καταγράφουν οι υπό μελέτη δείκτες και οι ατμοσφαιρικές διαταραχές που συνδέονται με αυτά. Επίσης γίνεται εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση των συνδέσεων που έχουν βρεθεί μεταξύ των δεικτών αυτών και της μεταβλητότητας σε κλιματικές παραμέτρους, καθώς και περιστατικών ξηρασίας σε διάφορες περιοχές του πλανήτη.

Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των χρονοσειρών.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα διαγράμματα και οι πίνακες που προέκυψαν από την επεξεργασία των χρονοσειρών βροχόπτωσης (7 στον αριθμό) σε σχέση με το δείκτη ΝΑΟ.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα διαγράμματα και οι πίνακες που προέκυψαν από την επεξεργασία των χρονοσειρών (2 στον αριθμό) βροχόπτωσης σε σχέση με τον ENSO.

Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται συγκριτικοί πίνακες των αποτελεσμάτων όλων των σταθμών που μελετήθηκαν και συνοψίζονται οι ομοιότητες που προέκυψαν μεταξύ τους.

Στο Κεφάλαιο 8 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της μελέτης.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΞΗΡΑΣΙΑ**

#### **2.1 Το κλίμα**

##### **2.1.1 Ορισμός**

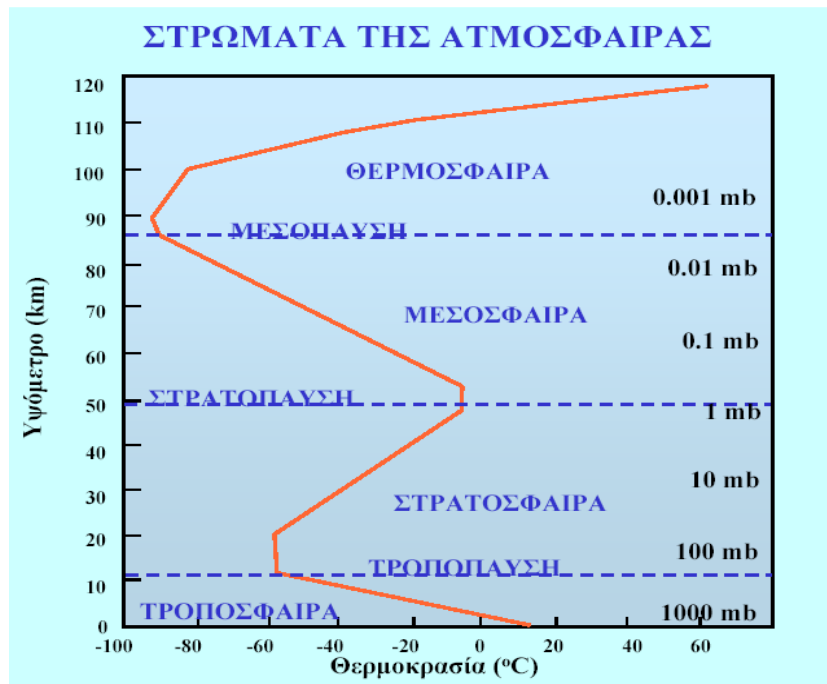
Με τον όρο κλίμα εννοούμε τη σύνθεση των στοιχείων του καιρού για ένα μακρό χρονικό διάστημα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι κλίματος. Μερικοί από αυτούς που θα μας απασχολήσουν στην παρούσα εργασία είναι:

- Μεσογειακό (Mediterranean): Παρουσιάζεται στη λεκάνη της Μεσογείου και χαρακτηρίζεται από θερμά-ξηρά καλοκαίρια και ήπιους-βροχερούς χειμώνες.
- Θαλάσσιο (Maritime-marine): Παρουσιάζεται σε περιοχές που είναι κοντά στη θάλασσα και χαρακτηρίζεται από υψηλή σχετική υγρασία και από μικρό εύρος θερμοκρασίας σε ετήσια και ημερήσια βάση.
- Ξηρό (Dry): Χαρακτηρίζεται από μικρή βροχόπτωση με μεγάλη μεταβλητότητα.

##### **2.1.2 Η ατμόσφαιρα**

Η ατμόσφαιρα της Γης είναι μοναδική στο ηλιακό σύστημα. Η Αφροδίτη πλήττεται από καταιγίδες όξινης βροχής, ακραίες θερμοκρασίες και ανέμους που πνέουν με ταχύτητα 320 km/h. Ο Άρης υποφέρει από ξηρασίες. Όμως κανένα από τα παραπάνω φαινόμενα δε θεωρείται επικίνδυνο, αφού στους πλανήτες αυτούς δεν υπάρχει ανθρώπινη ζωή για να απειληθεί. Αντίθετα η ατμόσφαιρα της γης παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Αποτελείται κατά 78.08% από άζωτο, κατά 20.94% από οξυγόνο, κατά 4% από νερό (μέγιστο), κατά 0.93% από αργό, μόνο κατά 0.035% από διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και από άλλα στοιχεία σε πολύ μικρά ποσοστά (νέον, ήλιον, υδρογόνο, ξένο, μεθάνιο κ.ά). Η ατμόσφαιρα έχει πάχος πάνω από 80 km αλλά τα κλιματικά φαινόμενα (νέφη, καταιγίδες, κατακρημνίσεις, άνεμοι) συμβαίνουν στο κατώτερο στρώμα πάχους 8-12 km, την τροπόσφαιρα (Σχήμα 2.1). Η θερμοκρασία της τροπόσφαιρας μειώνεται με το ύψος και αυτό επειδή η κύρια πηγή θερμότητας είναι η γη, η οποία θερμαίνεται

από τον ήλιο. Ισχυρά κατακόρυφα ρεύματα αναπτύσσονται στην τροπόσφαιρα με συνέπεια να προκαλούν ισχυρές καταιγίδες (Μιμίκου, Μπαλτάς, 2003). Στην τροπόσφαιρα, που έπεται της τροπόσφαιρας, συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή η θερμοκρασία παραμένει σταθερή κι επομένως λειτουργεί σαν καπάκι στο κατώτερο τμήμα της ατμόσφαιρας, το οποίο λειτουργεί ανασταλτικά για διάφορα ακραία κλιματικά φαινόμενα.



Σχήμα 2.1: Τα στρώματα της ατμόσφαιρας (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2000).

### 2.1.3 Τα κατακρημνίσματα

Με τον όρο κατακρημνίσματα εννοούμε κάθε μορφή υγρασίας που πέφτει από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της γης (Μιμίκου, Μπαλτάς, 2003). Η ατμόσφαιρα εμπλουτίζεται με υγρασία μέσω της εξάτμισης του νερού από υδάτινους όγκους και από υγρές επιφάνειες γενικότερα και μέσω τις διαπνοής από τα φυτά. Ανοδικά ρεύματα ανεβάζουν τους υδρατμούς στα ανώτερα στρώματα, όπου επικρατούν χαμηλότερες πιέσεις και θερμοκρασίες. Επειδή όμως σε χαμηλή θερμοκρασία ο αέρας δεν μπορεί πια να συγκρατεί όλη τη μάζα των υδρατμών, ένα μέρος τους συμπυκνώνεται και σχηματίζει τα σύννεφα. Τα ρεύματα του αέρα κινούν τα σύννεφα γύρω από την υδρόγειο. Παράλληλα τα σταγονίδια νερού που σχηματίζουν τα σύννεφα συγκρούονται και μεγαλώνουν και τελικά πέφτουν από τον ουρανό ως κατακρημνίσματα (Σχήμα 2.2). Στην Ελλάδα, κύρια πηγή εμπλουτισμού της ατμόσφαιρας σε υγρασία είναι η κεντρική και δυτική λεκάνη της Μεσογείου. Οι μεγαλύτερες βροχοπτώσεις εμφανίζονται όταν οι υγρές αέριες

μάζες από την περιοχή αυτή μεταφέρονται με δυτικούς ανέμους κυρίως στη Δυτική Ελλάδα (Παπαζαφειρίου, 1983).



Σχήμα 2.2: Ο κύκλος του νερού (πηγή: <http://www.itia.ntua.gr/getfile/660/1/documents/2005watercyclegreek.pdf>)

Το ποσοστό των υδρατμών στην ατμόσφαιρα είναι μικρό (0-4%) αλλά σημαντικό για κάθε μορφής ζωή καθώς και για τη διανομή της θερμικής ενέργειας στον πλανήτη. Για την εξάτμιση του νερού απαιτείται θερμότητα η οποία απελευθερώνεται ξανά όταν οι υδρατμοί συμπυκνώνονται. Κατ' αυτόν τον τρόπο η θερμότητα διακινείται μέσω των μετεωρολογικών φαινομένων. Η δυναμική των υδρατμών της ατμόσφαιρας και η χωρική και χρονική μεταβλητότητά τους ευθύνεται σε μεγάλο ποσοστό για τη μεταβλητότητα του καιρού. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των υδρατμών βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας και μειώνονται με το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο και την απόσταση από την ακτογραμμή (Μιμίκου, Μπαλτάς, 2003). Εδώ πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η ποσότητα των υδρατμών πάνω από μια περιοχή δε σχετίζεται απαραίτητα με την ποσότητα των κατακρημνισμάτων σε αυτή (Μιμίκου, Μπαλτάς, 2003).

Οι μορφές των κατακρημνισμάτων είναι η βροχή, το χιόνι, το χαλάζι και οι παραλλαγές αυτών (χιονόβροχο, δρόσος, πάχνη, ομίχλη). Τα χαρακτηριστικά ενός κατακρημνίσματος είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών του ανερχόμενου αέρα και του μηχανισμού ανυψώσεως (Eagleson, 1970).

#### **2.1.4 Παράμετροι του κλίματος**

Το κλίμα χαρακτηρίζεται από τρεις παράγοντες, τη θερμοκρασία, την ατμοσφαιρική πίεση και την υγρασία. Η μορφή και η ποσότητα των κατακρημνισμάτων (προϊόν των υδρατμών της ατμόσφαιρας) εξαρτάται από αυτούς τους τρεις παράγοντες, ενώ η ατμοσφαιρική υγρασία είναι απαραίτητη αλλά όχι αρκετή για την πρόκληση κατακρήμνισης (Μιμίκου, 1990). Η θερμοκρασία λειτουργεί καταλυτικά στη γένεση των μετεωρολογικών φαινομένων σε όλο τον πλανήτη. Η μεταβολή της θερμοκρασίας σε μια περιοχή του πλανήτη επηρεάζει την ατμοσφαιρική πίεση ακόμα και σε περιοχές μακριά από αυτήν, η οποία με τη σειρά της διαμορφώνει τη διεύθυνση και την ένταση των ρευμάτων και των ανέμων. Τα επίπεδα της υγρασίας στον αέρα επηρεάζουν την ευστάθεια των αερίων μαζών, ελέγχοντας έτσι τη βροχόπτωση. Καθένα, λοιπόν, από τα στοιχεία αυτά ασκεί τη δική του επιρροή στη γένεση των φυσικών φαινομένων.

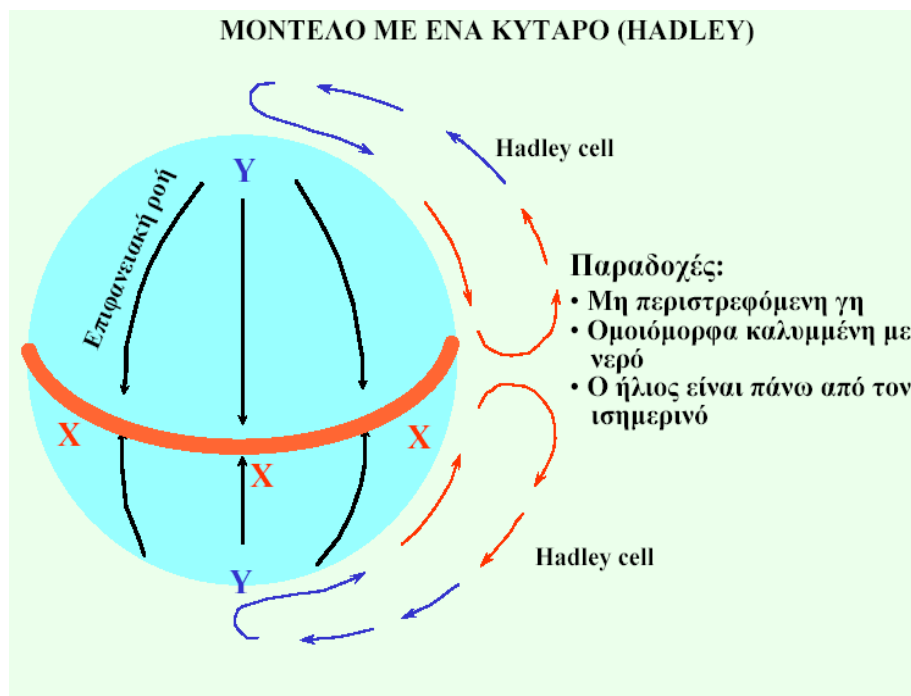
##### **A. Θερμοκρασία**

Η πηγή της θερμότητας στην ατμόσφαιρα είναι κυρίως η γη. Η επιφάνεια της γης δέχεται ηλιακή ενέργεια με τη μορφή ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος. Ένα μικρό ποσοστό (17%) απορροφάται απευθείας από την ατμόσφαιρα, ενώ το υπόλοιπο φτάνει στην επιφάνεια της γης. Εκεί ένα ποσοστό απορροφάται και θερμαίνει τη γη. Η γη στη συνέχεια επανεκπέμπει θερμότητα στην ατμόσφαιρα με τη μορφή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος. Επιπρόσθετη θερμική ενέργεια στην ατμόσφαιρα μεταφέρεται και μέσω της εξάτμισης του επιφανειακού νερού με τη μορφή υδρατμών. Αυτή η θέρμανση που άλλοτε είναι εντονότερη και άλλοτε ασθενέστερη επηρεάζει την ατμοσφαιρική πίεση και κατ' επέκταση δημιουργεί κινήσεις ρευμάτων.

Για παράδειγμα στον Ισημερινό, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, η ατμόσφαιρα θερμαίνεται πολύ με αποτέλεσμα μια ζεστή ζώνη αέρα να ανέρχεται στα ανώτερα στρώματα αυτής. Όσο ανεβαίνει σε μεγαλύτερα υψόμετρα κρυώνει και συμπυκνώνεται σχηματίζοντας έτσι σύννεφα που προκαλούν τις σφοδρές τροπικές βροχοπτώσεις. Κατ' αυτόν τον τρόπο ένα μεγάλο μέρος της υγρασίας επιστρέφει στη γη και ο αέρας φτάνει στον τροπόσφαιρα κρύος και ξηρός. Όσο όμως κατέρχεται, τόσο θερμαίνεται, γεγονός που του αφαιρεί οποιαδήποτε παραμένουσα υγρασία. Κατά συνέπεια αυτές οι κατερχόμενες ζώνες αέρα είναι πολύ ξηρές και χωρίς σύννεφα, δημιουργώντας συνθήκες ξηρότητας εκατέρωθεν του Ισημερινού. Αυτές οι περιοχές ονομάζονται υποτροπικές και οριοθετούνται από τους τροπικούς του Καρκίνου και του



Αιγόκερω. Ο κατερχόμενος αέρας συμπιέζει την κατώτερη ατμόσφαιρα, δημιουργώντας έτσι πεδίο υψηλών πιέσεων. Ο κατερχόμενος στις υποτροπικές περιοχές αέρας μοιράζεται σε δύο κατευθύνσεις, μία προς τους πόλους και μία προς τον Ισημερινό. Όταν ο αέρας φτάσει στους πόλους επιστρέφει και πάλι στον Ισημερινό κρύος και πυκνός. Ο κύκλος που έχει ολοκληρωθεί είναι γνωστός με το όνομα Hadley cell (Hadley, 1700), σύμφωνα με το απλουστευμένο μοντέλο γενικής κυκλοφορίας με ένα κύτταρο (Σχήμα 2.3). Στην πορεία του αυτή συναντά το ρεύμα του ζεστού αέρα το οποίο κινείται από τους τροπικούς προς τους πόλους (βλ. παραπάνω). Ο ζεστός αέρας, αν πνέει πάνω από ωκεανούς, εμπλουτίζεται με υγρασία. Στο μέτωπο (front) που δημιουργείται ανάμεσα στον πολικό και στον τροπικό αέρα, ο ζεστός και υγρός τροπικός ανεβαίνει πάνω από τον κρύο και ξηρό πολικό. Κατά την άνοδό του ψυχραίνεται και συμπυκνώνεται με αποτέλεσμα να δημιουργεί μια περιοχή αυξημένης βροχόπτωσης (Frampton, Chaffey, Hardwick, McNaught, 1996).



**Σχήμα 2.3:** Το απλουστευμένο μοντέλο γενικής κυκλοφορίας με ένα κύτταρο (Hadley cell) (πηγή: Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2000)

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμοκρασία είναι:

- Απόσταση από τη θάλασσα: Οι παραθαλάσσιες περιοχές χαρακτηρίζονται γενικά από ήπιο κλίμα. Όσο απομακρυνόμαστε από τη θάλασσα, τόσο η μεταβλητότητα της θερμοκρασίας αυξάνει δεδομένης της μικρότερης θερμοχωρητικότητας της γης σε σχέση με τον ωκεανό.
- Υψόμετρο: Οι περιοχές που βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο χαρακτηρίζονται από χαμηλότερες θερμοκρασίες, διότι βρίσκονται πιο μακριά από την πηγή θερμότητας, τη γη. Επίσης η ατμοσφαιρική πίεση είναι χαμηλότερη.
- Κατεύθυνση ανέμου: Η θερμοκρασία των ανέμων που πνέουν σε μια περιοχή επηρεάζει τη θερμοκρασία της.
- Γεωγραφικό πλάτος: Σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη επικρατούν γενικά χαμηλότερες θερμοκρασίες εξαιτίας της μικρότερης γωνίας πρόσπτωσης του ηλίου (Frampton, Chaffey, Hardwick, McNaught, 1996).

## **B. Ατμοσφαιρική πίεση**

Η πίεση που ασκεί η ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της γης ισοδυναμεί με βάρος  $10000 \text{ kg/m}^2$  και εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα. Ο θερμός αέρας είναι αραιός με αποτέλεσμα να ασκεί μικρότερη πίεση σε σχέση με τον ψυχρό, ο οποίος ζυγίζει περισσότερο. Η διαφορά θερμοκρασίας προκαλεί διαφορά πίεσης, η οποία προκαλεί τους ανέμους εφόσον οι αέριες μάζες μετακινούνται από περιοχή υψηλών σε περιοχή χαμηλών πιέσεων. Επίσης η πίεση επηρεάζεται από την άνοδο και κάθοδο αερίων μαζών. Στις περιοχές, όπου ο αέρας κατέρχεται από την ανώτερη ατμόσφαιρα (στις υποτροπικές ζώνες, π.χ. έρημος Σαχάρα) η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται. Σε άλλες περιοχές οι ισχυροί άνεμοι στην ανώτερη τροπόσφαιρα συμπαρασύρουν αέριες μάζες από την κατώτερη ατμόσφαιρα μειώνοντας έτσι την ατμοσφαιρική πίεση. Οι ξηρασίες συνδέονται με συστήματα υψηλής πίεσης, επειδή ο κατερχόμενος θερμός αέρας στερείται υγρασίας. Αντίθετα, οι ισχυρές βροχοπτώσεις και οι πλημμύρες συνδέονται με χαμηλής πίεσης συστήματα τα οποία προκαλούν ανερχόμενο αέρα, συμπύκνωση και σύννεφα.

## **Γ. Υγρασία**

Η υγρασία καθορίζει τη σταθερότητα των αερίων μαζών. Ο ξηρός αέρας είναι πιο σταθερός από τον υγρό. Όταν ο αέρας ανεβαίνει ψυχραίνεται και οι υδρατμοί που περιέχει συμπυκνώνονται, με

αποτέλεσμα να γεννώνται καταιγίδες. Οι πλούσιες σε υγρασία αέριες μάζες συνδέονται με τους τροπικούς κυκλώνες, τις καταιγίδες και τις πλημμύρες, ενώ οι αέριες με χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία συνδέονται με τις ξηρασίες (Frampton, Chaffey, Hardwick, McNaught, 1996).

## **2.2 Το κλίμα της Ελλάδας**

### **2.2.1 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά**

Η χώρα μας βρίσκεται ανάμεσα στα γεωγραφικά πλάτη 34-42°N, δηλαδή στην περιοχή δράσης των εξωτροπικών κυκλώνων. Η κατανομή ξηράς θάλασσας είναι 1:3 και το μήκος των ακτών είναι περίπου 15 000 km. Παρουσιάζει μεγάλη γεωμορφολογική ποικιλία, ιδίως στα δυτικά.

### **2.2.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά**

Η Ελλάδα βρέχεται από την Ανατολική Μεσόγειο, κατά συνέπεια το κλίμα της είναι σε γενικές γραμμές Μεσογειακό, δηλαδή χαρακτηρίζεται από ήπιους και υγρούς χειμώνες και σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια. Επίσης, η ηλιοφάνεια όλο σχεδόν το χρόνο είναι ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά του. Η Βόρεια Ελλάδα επηρεάζεται από τα κλιματικά χαρακτηριστικά της Νοτιοανατολικής Ευρώπης ενώ η Νότια έχει τυπικό θαλάσσιο Μεσογειακό κλίμα. Το χειμώνα η χώρα μας βρίσκεται κάτω από την επιρροή του Σιβηρικού αντικυκλώνα ή των διερχόμενων από δυτικά υφέσεων. Το καλοκαίρι βρίσκεται κάτω από την επιρροή του αντικυκλώνα του Ατλαντικού και του χαμηλού των Ινδιών.

Η πολύπλοκη τοπογραφική διαμόρφωση της χώρας μας, που έχει μεγάλες διαφορές υψομέτρου και εναλλαγή ξηράς-θάλασσας, έχει ως αποτέλεσμα να συναντάμε διαφορετικούς κλιματικούς τύπους (πάντα βέβαια στα πλαίσια του Μεσογειακού κλίματος) ακόμα και μεταξύ περιοχών που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, φαινόμενο σπάνιο σε παγκόσμια κλίμακα. Από κλιματολογικής άποψης το έτος μπορεί να χωριστεί σε δύο μεγάλες περιόδους: την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο, που διαρκεί από τα μέσα Οκτωβρίου μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο. Η άνοιξη έχει μικρή διάρκεια, διότι ο χειμώνας είναι όψιμος και το καλοκαίρι αρχίζει πρόωρα. Το φθινόπωρο είναι μακρύ και θερμό ενώ συχνά παρατείνεται μέχρι τα μέσα Δεκεμβρίου, κυρίως στη Νότια Ελλάδα (Αναγνωστοπούλου, 2003).

## 2.3 Ξηρασία

### 2.3.1 Ορισμός

Με τον όρο ξηρασία εννοούμε μια μακρά χρονική περίοδο, όπου η παρουσία του γλυκού νερού σε μια γεωγραφική περιοχή είναι σημαντικά μικρότερη από την αναμενόμενη, όπως αυτή έχει προσδιοριστεί με βάση το κλιματικό καθεστώς, αλλά και τις απαιτήσεις νερού για την κάλυψη των τοπικών αναγκών (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007). Το νερό που εισέρχεται σε μια περιοχή μέσω των κατακρημνισμάτων απορρέει ως παροχή ποταμών είτε αποθηκεύεται προσωρινά ως εδαφική υγρασία ή ως απόθεμα στους υπόγειους υδροφορείς και στις λίμνες (φυσικές και τεχνητές), μέχρι να εξατμιστεί ή να καταλήξει στη θάλασσα.

Ξηρασίες διαφόρων εντάσεων και διάρκειας έχουν πλήξει τις περισσότερες περιοχές του πλανήτη κάποια στιγμή. Η ξηρασία είναι ένα επαναλαμβανόμενο φαινόμενο του κλίματος της Ευρώπης και μπορεί να εμφανιστεί τόσο σε άνυδρες όσο και σε περιοχές πλούσιες σε βροχόπτωση και σε οποιαδήποτε εποχή (European Environment Agency, 2001). Επίσης είναι μία από τις πιο “ακριβές” φυσικές καταστροφές στις σύγχρονες ανεπτυγμένες κοινωνίες, όπου ένα μεγάλο μέρος της οικονομίας βασίζεται στη γεωργία (FEMA, 1995). Επιπλέον κοστίζει ακριβά σε όρους ανθρώπινης ζωής σε κοινωνίες όπου η επιβίωση βασίζεται στη γεωργία (FAO, 2004). Η ξηρασία συχνά αναφέρεται ως μια από τις πιο σοβαρές φυσικές καταστροφές του ανεπτυγμένου κόσμου. Διαφέρει από τις υπόλοιπες καταστροφές, όπως οι πλημμύρες και οι τυφώνες, ως προς το γεγονός ότι δεν απειλεί άμεσα την ανθρώπινη ζωή. Σε μια περίοδο ξηρασίας οι άνθρωποι δεν απειλούνται από το ίδιο το φαινόμενο αλλά από την έλλειψη τροφής και υγιεινής που αυτό συνεπάγεται. Οι χειρότερες καταγίδες μπορεί να σκοτώσουν μερικές εκατοντάδες ανθρώπους, όμως η ξηρασία του 1770 στην Ινδία κόστισε τη ζωή σε 10 000 και στην Κίνα το 1878 σε 10 000 000 ανθρώπους (Clarke, Curson, Kayastha, Nag, 1989).

Η εκδήλωση της ξηρασίας εξαρτάται από την αλληλεπίδραση του φυσικού φαινομένου της βροχόπτωσης (λιγότερη βροχή από την αναμενόμενη και συνεπώς μικρότερη διαθεσιμότητα νερού) με τη διαχείριση των υδατικών συστημάτων από τον άνθρωπο ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις σε νερό (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007). Αν ωστόσο, παρά τη μειωμένη βροχόπτωση, οι απαιτήσεις σε νερό, είτε για την κάλυψη των ανθρωπίνων αναγκών (ύδρευση, άρδευση, υδροηλεκτρική ενέργεια, αναψυχή και ναυσιπλοΐα), είτε αυτών του οικοσυστήματος, δεν υπερβαίνουν τη διαθέσιμη ποσότητα, τότε δεν μπορούμε να μιλάμε για φαινόμενο ξηρασίας.

Αντίστοιχα αν σε μια περιοχή λόγω της ελλιπούς υποδομής (έλλειψη ταμιευτήρων) ή της μη σωστής διαχείρισης των υδατικών πόρων (π.χ. ανταγωνιστικές χρήσεις νερού) η ζητούμενη ποσότητα υπερβαίνει τη διαθέσιμη, είναι δυνατή η εμφάνιση συνθηκών ξηρασίας ακόμα και σε περιόδους που η βροχόπτωση κυμαίνεται σε κανονικά με βάση το κλιματικό καθεστώς της περιοχής επίπεδα.

Για τους παραπάνω λόγους έχουν αποδοθεί στο φαινόμενο διάφοροι ορισμοί στη διεθνή βιβλιογραφία, οι οποίοι κατατάσσονται σε 4 κατηγορίες (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007):

- Ως *μετεωρολογική-κλιματική* ξηρασία ορίζεται το φαινόμενο, κατά το οποίο η βροχόπτωση σε μια περιοχή (ετήσιο ύψος, αριθμός ημερών βροχής) είναι μικρότερη από την αναμενόμενη με βάση το κλιματικό καθεστώς της, όπως αυτό διαμορφώνεται από την ατμοσφαιρική κυκλοφορία. Π.χ. ατμοσφαιρικές διαταραχές μεγάλης κλίμακας, όπως η παρουσία σε μια περιοχή για μεγάλο χρονικό διάστημα ενός πεδίου υψηλών πιέσεων που συνεπάγεται απουσία βροχής μπορούν να προκαλέσουν ξηρασία.
- Η *γεωργική* ξηρασία ορίζεται με βάση τις επιπτώσεις που έχει στη γεωργία η μετεωρολογική ξηρασία. Η μειωμένη βροχόπτωση συνεπάγεται μειωμένη εδαφική υγρασία η οποία είναι συχνά ανεπαρκής για την κάλυψη των αναγκών των φυτών. Η ένταση της γεωργικής ξηρασίας προσδιορίζεται από τη διαφορά μεταξύ βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμοδιαπνοής. Υπενθυμίζεται ότι ο όρος δυνητική εξατμοδιαπνοή περιγράφει το σύνολο των απωλειών νερού από την εξάτμιση εδαφών και από τη διαπνοή των φυτών κάτω από συνθήκες απεριόριστης διαθεσιμότητας νερού (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).
- Η *υδρολογική* ξηρασία ορίζεται με βάση τις επιπτώσεις που έχει στην επιφανειακή και υπόγεια απορροή η μετεωρολογική ξηρασία και εκδηλώνεται με τη μείωση της παροχής των ποταμών, της στάθμης φυσικών και τεχνητών λιμνών, των αποθεμάτων των υπόγειων νερών και της εδαφικής υγρασίας (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007). Η μετεωρολογική ξηρασία επιδρά άμεσα στην εδαφική υγρασία και κατά συνέπεια στις καλλιέργειες αλλά με χρονική υστέρηση στην παροχή των ποταμών, στη στάθμη των λιμνών και των ταμιευτήρων καθώς και στα αποθέματα των υπόγειων νερών.
- Η *κοινωνικοοικονομική* ξηρασία αφορά στις επιπτώσεις της λειψυδρίας σε όλες τις κοινωνικές δραστηριότητες που σχετίζονται με τη χρήση νερού, όπως κατανάλωση νερού για λόγους επιβίωσης, για πότισμα καλλιεργειών, για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας κ.ά. Η κοινωνικοοικονομική ξηρασία εκδηλώνεται όταν η ζήτηση ξεπερνάει την προσφορά

νερού, γεγονός που μπορεί να συμβεί όχι μόνο λόγω μειωμένης διαθεσιμότητας αλλά και μη ορθολογικής διαχείρισης των ήδη διατιθέμενων υδατικών πόρων. Συχνά οι πολιτικές διαδικασίες και οι διαμάχες μεταξύ κρατών και κοινωνικών ομάδων (π.χ. διακρατικά ποτάμια) έχουν γίνει η αιτία ώστε μεγάλες ομάδες πληθυσμών να υποφέρουν από λειψυδρία, ακόμα και όταν το νερό διατίθεται άφθονο στις πηγές και στα ποτάμια.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο που μπορεί να εμφανιστεί σχεδόν σε όλες τις κλιματικές ζώνες της γης, αφού η μεταβλητότητα του κλίματος είναι μόνο ένας ανάμεσα σε μια σειρά οικονομικών και κοινωνικών παραγόντων.

Υπάρχουν ωστόσο περιοχές που είναι πιο ευάλωτες στο φαινόμενο και χαρακτηρίζονται ως άνυδρες ή ημιάνυδρες. Η ξηρότητα είναι ένα μόνιμο χαρακτηριστικό περιοχών με χαμηλό μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης, ενώ η ξηρασία είναι ένα περιστασιακό φαινόμενο, το οποίο μπορεί να συμβεί σε κάθε περιοχή του πλανήτη ανά πάσα στιγμή και με μικρή ή χωρίς προειδοποίηση (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007). Όσον αφορά στη χώρα μας, η μετεωρολογική ξηρασία είναι πιο πιθανό να συμβεί σε περιοχές με μικρά ύψη βροχόπτωσης και μεγάλη μεταβλητότητα, δηλαδή στην Ανατολική Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στην Αττική και στα νησιά του κεντρικού Αιγαίου. Η γεωργική ξηρασία πλήττει περισσότερο περιοχές με μεγάλες απαιτήσεις σε αρδευτικό νερό (π.χ. Θεσσαλία, Αργολίδα), ενώ η υδρολογική εμφανίζεται σε περιοχές με μικρές λεκάνες απορροής ή σε νησιά τα οποία δεν τροφοδοτούνται από ταμιευτήρες ή γεωτρήσεις. Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στη μετεωρολογική ξηρασία.

### **2.3.2 Η ξηρασία σε σχέση με άλλες φυσικές καταστροφές**

Στον Πίνακα 2.1 βλέπουμε μια συγκριτική παρουσίαση των φυσικών καταστροφών. Παρατηρούμε ότι η ξηρασία κατατάσσεται πρώτη σε διάρκεια, κόστος σε οικονομικές μονάδες και ανθρώπινες ζωές, μακροπρόθεσμες επιπτώσεις, πληγείσα γεωγραφική έκταση κ.λπ.

Επίσης είναι φαινόμενο που εξελίσσεται σιωπηλά και χωρίς σαφή χρονικά όρια αρχής και λήξης. Σύμφωνα και με τον πίνακα οι επιδράσεις μπορεί να παραμείνουν για αρκετά χρόνια μετά τη λήξη του. Επιπλέον δεν προσελκύει τόσο το ενδιαφέρον της κοινής γνώμης, γιατί δεν προκαλεί καταστροφή σε υποδομές και δεν έχει άμεσες και ορατές επιπτώσεις όπως άλλες καταστροφές (πλημμύρες, τυφώνες, σεισμοί). Για το ις παραπάνω λόγους και δεδομένης της απουσίας ενός διεθνώς αναγνωρισμένου ορισμού, συνήθως προκαλείται σύγχυση μέχρι να προσδιοριστεί η ένταση του φαινομένου και γενικά είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν οι

επιπτώσεις του, καθώς και να προβλεφθεί αρωγή για τους πληγέντες (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007).

**Πίνακας 2.1:** Συγκριτικός πίνακας φυσικών καταστροφών. Το 1 είναι η υψηλότερη και το 5 η χαμηλότερη βαθμολογία. (Frampton, Chaffey, Hardwick, McNaught, 1996)

	Ένταση	Διάρκεια	Γεωγρ. έκταση	Απώλειες ζωής	Οικον. ζημία	Κοινων. επιπτώσεις	Μακροπρ. επιπτώσεις	Αιφνι-διασμός
Ξηρασία	1	1	1	1	1	1	1	4
Τροπικοί κυκλώνες	1	2	2	2	2	2	1	5
Πλημμύρα	2	2	2	1	1	1	2	4
Σεισμός	1	5	1	2	1	1	2	3
Ηφαιστειακή έκρηξη	1	4	4	2	2	2	1	3
Τροπική καταιγίδα	1	3	2	2	2	2	2	5
Τσουνάμι	2	4	1	2	2	2	3	4
Πυρκαγιά	3	3	3	3	3	3	3	2
Άνοδος της θερμοκρασίας της θάλασσας	5	1	1	5	3	5	1	5
Παγόβουνο	4	1	1	4	4	5	5	2
Καταιγίδα σκόνης	3	3	2	5	4	5	4	1
Κατολισθήσεις	4	2	2	4	4	4	5	2
Χιονοθύελλα	4	3	3	5	4	4	5	2
Ισχυροί άνεμοι τοπικής κλίμακας	5	4	3	5	5	5	5	1
Πτώσεις βράχων	5	5	5	5	5	5	5	1

### 2.3.3 Τα χαρακτηριστικά της ξηρασίας

Η ένταση της ξηρασίας εκφράζεται από την απόκλιση της βροχόπτωσης και άλλων παραμέτρων που συνδέονται με την εξάτμιση (θερμοκρασία, άνεμος, υγρασία) από τις αναμενόμενες κλιματικές τιμές. Η ποσοτικοποίηση της έντασης μπορεί να γίνει με χρήση της στατιστικής, μέσω της οποίας μπορεί να εκτιμηθεί η πιθανότητα εμφάνισης των συγκεκριμένων τιμών των μετεωρολογικών μεταβλητών ή με τη χρήση δεικτών που ενσωματώνουν τις κλιματικές παραμέτρους (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007).

Η χρονική διάρκεια της ξηρασίας δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί, καθώς οι χρονικές στιγμές λήξης και έναρξης του φαινομένου δεν είναι ξεκάθαρες. Επίσης οι επιπτώσεις της μετεωρολογικής ξηρασίας μπορεί να συνεχιστούν ακόμα και μήνες μετά την έναρξη της

βροχόπτωσης, αφού η επαναφόρτιση όλων των υδάτινων σωμάτων (κυρίως των υπογείων) απαιτεί χρόνο (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007).

Η *γεωγραφική έκταση* της ξηρασίας εξαρτάται όχι μόνο από τα κλιματικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της, αλλά και από τα έργα υποδομής για την αποθήκευση και μεταφορά νερού. Π.χ. η Αθήνα τροφοδοτείται από τις πλούσιες σε βροχοπτώσεις λεκάνες του Μόρνου και του Ευήνου στη Δυτική Ελλάδα και από τις ξηρότερες λεκάνες του Κηφισού και του Χαράδρου στην Ανατολική Ελλάδα. Αυτή η διπλή τροφοδοσία επέτρεψε την αποφυγή φαινομένων λειψυδρίας στην πρωτεύουσα κατά τα έτη εκείνα όπου η βροχόπτωση ήταν μειωμένη κατά 25% στην Ανατολική Ελλάδα και κατά 15% στη Δυτική, καθώς τα δύο φαινόμενα δε σημειώθηκαν ταυτόχρονα (Μαμάσης, 1997).

Τέλος, η *καταστροφικότητα* της ξηρασίας είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων. Η μειωμένη βροχόπτωση θεωρείται καταστροφική όταν δεν μπορεί να καλύψει τις ανθρώπινες ανάγκες και τις ανάγκες του οικοσυστήματος. Κάτι τέτοιο εξαρτάται από την ένταση του φαινομένου, τη διάρκεια, τη γεωγραφική έκταση που επηρεάζει αλλά και από ανθρωπογενείς παράγοντες. Μερικοί από τους σημαντικότερους είναι τα υφιστάμενα έργα υποδομής, η διαχείριση της προσφοράς και της ζήτησης, ο τύπος καλλιεργειών που φύονται σε κάθε περιοχή και ο βαθμός αστικοποίησης.

#### **2.3.4 Μεταβλητότητα της βροχόπτωσης και ξηρασία**

Η μεταβλητότητα της βροχόπτωσης είναι μια έννοια στενά συνδεδεμένη με την ξηρασία. Συχνά σε άνυδρες ή ημιάνυδρες περιοχές είναι πολύ πιθανό να μη βρέξει για πολλούς μήνες και ένα και μοναδικό ισχυρό επεισόδιο βροχόπτωσης να είναι αρκετό για να καλύψει το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης. Το αν θα εμφανιστεί υδρολογική και γεωργική ξηρασία ως αποτέλεσμα της μετεωρολογικής, εξαρτάται πέραν των κοινωνικών και οικονομικών συνθηκών που προαναφέρθηκαν, και από τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης που τελικά πραγματοποιείται, της δυνητικής εξατμοδιαπνοής και της γεωμορφολογίας της περιοχής (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007). Μάλιστα στις ημιάνυδρες περιοχές τα περισσότερα φυτά έχουν προσαρμοστεί στη λειψυδρία έχοντας αναπτύξει βαθύ ριζικό σύστημα, μικρά φύλλα για μειωμένη εξατμοδιαπνοή (π.χ. κάκτοι) και ένα βραχύ κύκλο ζωής που διαρκεί όσο η υγρή περίοδος. Στις τροπικές περιοχές το έδαφος είναι αρκετά παχύ και καλύπτεται από πυκνή βλάστηση ώστε να συγκρατεί το μεγάλης ορμής νερό που απορροφεί από τον σύντομο κύκλο των σύντομων αλλά πολύ ισχυρών



βροχοπτώσεων. Σε περιοχές κοντά στον Ισημερινό, όπου επικρατεί μια ξηρή περίοδος μεγαλύτερη των 2 μηνών, αν και το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ξεπερνάει τα 1000 mm, δεν συντηρούνται τροπικά δάση τα οποία απαιτούν βροχόπτωση όλο το χρόνο, αλλά φυτρώνει βλάστηση τύπου Σαβάνας (υψηλό σκληρό χορτάρι) μαζί με χαμηλά φυλλοβόλα δέντρα ανθεκτικά σε αυτή τη σύντομη λειψυδρία (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007). Άρα η ίδια η φύση είναι αυτή που προνοεί για την αποφυγή φυσικών καταστροφών. Επίσης το κλίμα των ερήμων παρουσιάζει μεταβλητότητα σε χρονική κλίμακα δεκαετιών. Τις δεκαετίες του 1950 και 1960 η βροχόπτωση στην περιοχή Σαχέλ (νότια της ερήμου Σαχάρα) ήταν υψηλότερη από τη μέση τιμή. Αντίθετα τις δεκαετίες 1970 και 1980 ήταν χαμηλότερη (Clark, Curson, Kayastha, Nag, 1989).

### **2.3.5 Παράμετροι ξηρασίας**

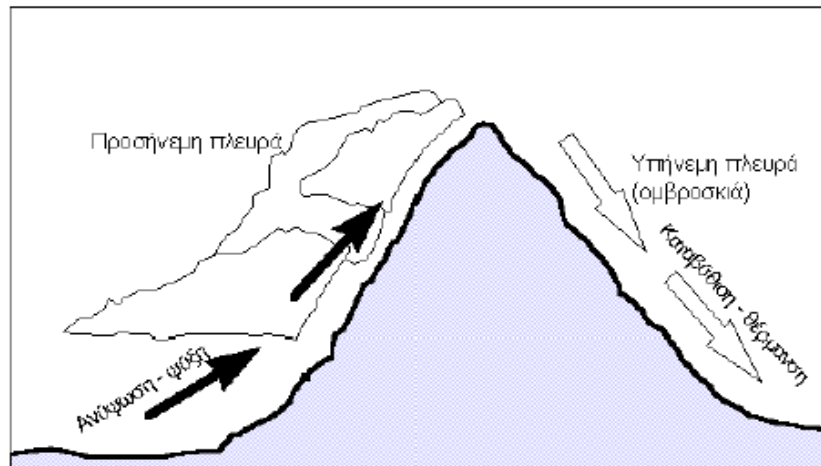
Οι παράμετροι που επηρεάζουν την εμφάνιση κάθε μορφής ξηρασίας είναι:

#### **A. Χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης που πραγματοποιείται:**

Στις τροπικές περιοχές γύρω από τον Ισημερινό σημειώνονται τα μεγαλύτερα ετήσια ύψη βροχόπτωσης (άνω των 1500 mm) και η βροχόπτωση παρουσιάζει ισοκατανομή στους μήνες. Στις μεγάλες ερήμους σε γεωγραφικά πλάτη γύρω στις 30° και στους πόλους, όπου το ετήσιο ύψος δεν ξεπερνά τα 300 mm, είναι δυνατόν να μην πραγματοποιηθεί βροχή για δύο χρόνια και σε μια ξαφνική νεροποντή να καταγραφεί ύψος διπλάσιο από το μέσο ετήσιο.

#### **B. Κλιματικά και γεωγραφικά χαρακτηριστικά περιοχής:**

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Ελλάδα, η οποία παρά το γεγονός ότι κατατάσσεται σε μία κλιματική ζώνη, παρουσιάζει μεγάλη χωρική ανισοκατανομή στο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ανάμεσα στο δυτικό και ανατολικό τμήμα της. Στη Δυτική Ελλάδα η μέση ετήσια βροχόπτωση ξεπερνά τα 1200 και τοπικά τα 1500 mm, ενώ στην Αττική και στις Κυκλάδες μόλις που φτάνει τα 400 mm. Κάτι τέτοιο οφείλεται στο γεγονός ότι η χώρα μας βρίσκεται μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 30° και 60°N, όπου η ατμοσφαιρική κυκλοφορία έχει κατεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά, και στην παρουσία της Πίνδου, η οποία δημιουργεί μια υπήνεμη άνυδρη (ομβροσκιά) και μια προσήνεμη βροχερή πλευρά (Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4: Η οροσειρά ως φυσικό εμπόδιο για τον άνεμο (πηγή: Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2000)

### Γ. Χαρακτηριστικά δυνητικής εξατμοδιαπνοής:

Η δυνητική εξατμοδιαπνοή εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και την ταχύτητα του ανέμου. Η διαπνοή μόνη της εξαρτάται από το είδος του φυτού. Η δυνητική εξατμοδιαπνοή αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και του ανέμου, ενώ μειώνεται με την αύξηση της υγρασίας. Κατά συνέπεια είναι μεγάλη στις θερμές περιοχές, μικρή στις ψυχρές και ιδιαίτερα χαμηλή στις πολικές. Αν σε μια περιοχή το μεγαλύτερο μέρος της βροχόπτωσης παρατηρείται τη θερμή περίοδο, τότε η περιοχή αυτή θα είναι ξηρή εφόσον η εξατμοδιαπνοή κατά τη θερμή περίοδο θα είναι αυξημένη. Το αντίθετο θα συμβεί αν το μεγαλύτερο μέρος της βροχόπτωσης πραγματοποιηθεί κατά την ψυχρή περίοδο. Παράδειγμα η Αθήνα με ετήσιο ύψος βροχόπτωσης μόλις 400 mm δε θεωρείται ότι έχει ξηρό κλίμα γιατί το μεγαλύτερο μέρος της βροχόπτωσης πραγματοποιείται την ψυχρή περίοδο και επιτρέπει την ανάπτυξη πολλών ειδών βλάστησης (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007).

### Δ. Υδρολογικά χαρακτηριστικά περιοχής:

Τα υδρολογικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής συνίστανται στην ποσότητα της επιφανειακής και υπόγειας απορροής, οι οποίες είναι συνάρτηση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής, του βαθμού αστικοποίησης και της υπάρχουσας υποδομής για τη συλλογή και μεταφορά του νερού. Ο συντελεστής απορροής μιας περιοχής μπορεί να αυξηθεί λόγω των πυρκαγιών, της αυξημένης οικοδομικής δραστηριότητας ή να μειωθεί λόγω της κατασκευής

ταμιευτήρων, έργων επαναφόρτισης υπόγειων υδροφορέων ή αναδάσωσης. Η αύξηση του συντελεστή απορροής μειώνει τα διαθέσιμα αποθέματα στο υδατικό σύστημα και κάνει πιο πιθανή την εμφάνιση υδρολογικής ξηρασίας και μάλιστα πιο γρήγορα αφού μειώνει τη χρονική υστέρηση μεταξύ μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας.

#### **Ε. Διαχείριση υδατικών συστημάτων:**

Η διαχείριση των υδατικών συστημάτων συνίσταται στην εξισορρόπηση προσφοράς και ζήτησης (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007). Τα έργα αποθήκευσης νερού έχουν ως στόχο την κάλυψη της ζήτησης και την αποφυγή κοινωνικοοικονομικής ξηρασίας σε περιόδους μειωμένων βροχοπτώσεων. Επίσης τα έργα μεταφοράς νερού έχουν ως στόχο τη μεταφορά νερού από περιοχές όπου η προσφορά υπερβαίνει κατά πολύ τη ζήτηση (π.χ. Αρκτική, ακατοίκητες εκτάσεις, ορεινές περιοχές) σε περιοχές που συμβαίνει το αντίθετο. Επίσης ιδιαίτερα προσεκτική διαχείριση απαιτείται όταν υπάρχουν ανταγωνιστικές χρήσεις νερού καθώς και στα διακρατικά ποτάμια.

#### **2.3.6 Ευάλωτες στην ξηρασία περιοχές του πλανήτη**

Στον πλανήτη υπάρχουν κάποιες περιοχές που ανάλογα με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία από πάνω τους, μπορούν να θεωρηθούν ως οι πλέον ευάλωτες σε φαινόμενα ξηρασίας. Τέτοιες περιοχές είναι:

- Οι υποτροπικές περιοχές υψηλής ατμοσφαιρικής πίεσης (κοντά στους τροπικούς του Καρκίνου και του Αιγόκερο) αναμένεται να έχουν χαμηλές βροχοπτώσεις επειδή ο αέρας θερμαίνεται και στερείται υγρασίας. Τέτοιες περιοχές είναι η Αραβική έρημος και η Σαχάρα.
- Ημι-ηπειρωτικές περιοχές (π.χ. η έρημος Γκόμπι) έχουν χαμηλές βροχοπτώσεις εξαιτίας της απόστασής τους από τον υγρό θαλασσινό αέρα.
- Έρημοι κοντά σε ακτές, όπως η Καλαχάρι, σχηματίζονται όταν τα υπάρχοντα ηπειρωτικά ρεύματα μεταφέρουν ξηρό άνεμο πάνω από τις ακτές. Έτσι οι άνεμοι των ακτών είναι λιγότερο υγροί από το αναμενόμενο καθότι τα ηπειρωτικά ρεύματα κυριαρχούν έναντι των θαλασσινών. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί στις ανατολικές ακτές των ηπείρων (αν οι άνεμοι που πνέουν εκεί είναι δυτικοί) αλλά το φαινόμενο απαντάται συχνότερα στις δυτικές ακτές όπου οι ανατολικοί άνεμοι κουβαλούν ξηρό αέρα.

- Έρημοι που βρίσκονται στην υπήνεμη πλευρά μιας οροσειράς, όπως η έρημος Ατακάμα στη Ν. Αμερική. Το μεγαλύτερο μέρος της υγρασίας μετατρέπεται σε βροχή στην προσήνεμη πλευρά της οροσειράς, έτσι ο αέρας κατέρχεται ξηρός στις υπήνεμες πλαγιές (Frampton, Chaffey, Hardwick, McNaught, 1996).

Στις παραπάνω περιοχές, αν και χαρακτηρίζονται ως ευάλωτες στην ξηρασία, η μειωμένη βροχοπτώση δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως φυσική καταστροφή, επειδή οι εγχώριοι πληθυσμοί είναι προσαρμοσμένοι σε αυτήν και δεν την αντιμετωπίζουν ως έκτατο περιστατικό. Η μεγαλύτερη απειλή υφίσταται σε ημιάνυδρες περιοχές, όπου η βροχοπτώση παρουσιάζει μεταβλητότητα σε μεγάλες χρονικές κλίμακες και κατά συνέπεια η ξηρασία μπορεί να εκδηλωθεί ανά πάσα στιγμή.

## **2.4 Ανασκόπηση μεγάλων ξηρασιών στην Ελλάδα και τον κόσμο**

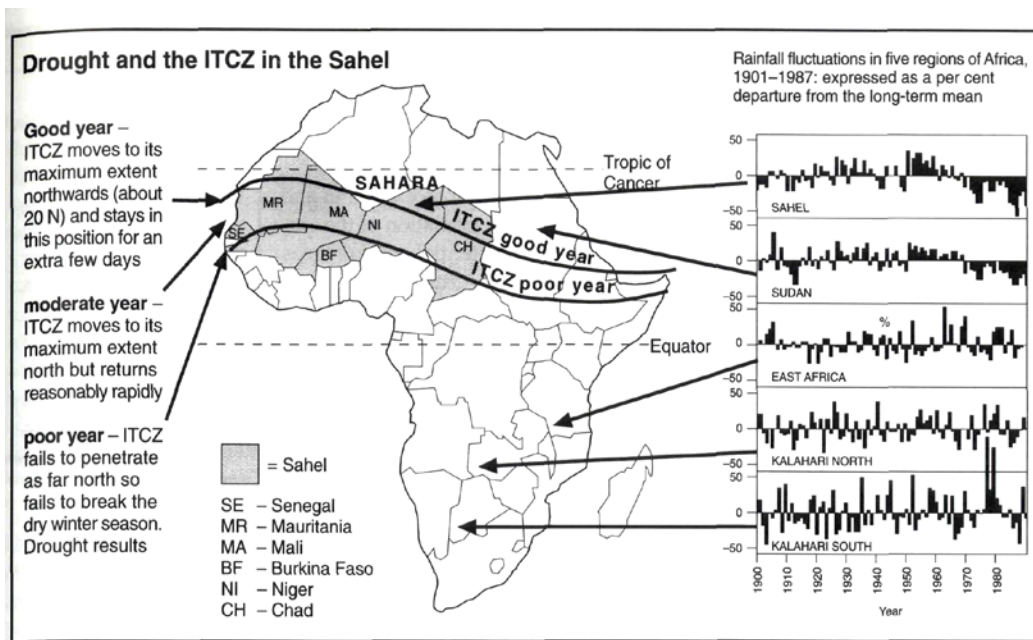
### **2.4.1 Η μεγάλη ξηρασία στην περιοχή Σαχέλ**

Η περιοχή Σαχέλ της Αφρικής βρίσκεται νότια της Σαχάρας, αποτελείται από 10 εθνότητες και χαρακτηρίζεται ως ημιάνυδρη. Έχει καταγραφεί στην ιστορία σαν παράδειγμα περιοχής που έχει ζήσει πολλές και καταστροφικές ξηρασίες. Κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα η περιοχή γνώρισε ξηρασίες τις περιόδους 1910-1914, 1940-1944 και πιο πρόσφατα την περίοδο 1968-1973 (Clarke, Curson, Kayastha, Nag 1989). Η τελευταία αυτή ξηρασία είχε ως αποτέλεσμα το θάνατο πολλών εκατοντάδων χιλιάδων ανθρώπων. Κάτι τέτοιο προκαλεί έκπληξη, διότι θα περίμενε κανείς ότι οι ντόπιοι πληθυσμοί έχουν αναπτύξει ένα βαθμό προσαρμογής και μπορούν να αντιμετωπίσουν το φαινόμενο με μειωμένες απώλειες.

Κυρίαρχο ρόλο στα παραπάνω επεισόδια ξηρασίας έπαιξε η μεταβλητότητα της βροχοπτώσης στην περιοχή σε μεγάλες χρονικές κλίμακες (Frampton, Chaffey, Hardwick, McNaught, 1996). Απόδειξη αποτελεί το ότι η μέση ετήσια βροχοπτώση ποικίλει από 100 έως 400 mm. Η καλλιέργεια βοσκότοπων και η τεχνικές ξηρών καλλιεργειών μπορούν να αξιοποιήσουν τη χαμηλή βροχοπτώση, αλλά η χρονική κατανομή της αποτελεί πρόβλημα.

Οι βροχοπτώσεις στα τροπικά δάση παράγονται στην ενδοτροπική ζώνη σύγκλισης (Intertropical Convergence Zone-INCZ) κατά μήκος του Ισημερινού (Σχήμα 2.5). Η ζώνη αυτή μετακινείται βόρεια τον Ιούνιο και για ένα μικρό χρονικό διάστημα τον Ιούνιο και τον Ιούλιο στην περιοχή του Σαχέλ επικρατούν τροπικές βροχοπτώσεις. Μέχρι το Σεπτέμβρη η ITCZ έχει μεταφερθεί πίσω στον Ισημερινό, ενώ μέχρι τον Ιανουάριο τη βρίσκουμε στο νότιο ημισφαίριο.

Το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης στην περιοχή του Σαχέλ εξαρτάται αποκλειστικά από το πόσο βόρεια μετακινείται η ζώνη αυτή και πόσο καιρό παραμένει εκεί μέχρι να επιστρέψει και πάλι στον Ισημερινό και να συνεχίσει να μεταφέρεται προς τα νότια. Όταν η ζώνη απομακρυνθεί πάνω από το Σαχέλ τότε ξεκινά μια περίοδος λειψυδρίας για την περιοχή (Frampton, Chaffey, Hardwick, McNaught, 1996).



Σχήμα 2.5: Οι μετακινήσεις της ενδοτροπικής ζώνης σύγκλισης (ITCZ) και η ξηρασία στη περιοχή Σαχέλ. (πηγή: Frampton, Chaffey, Hardwick, McNaught, 1996)

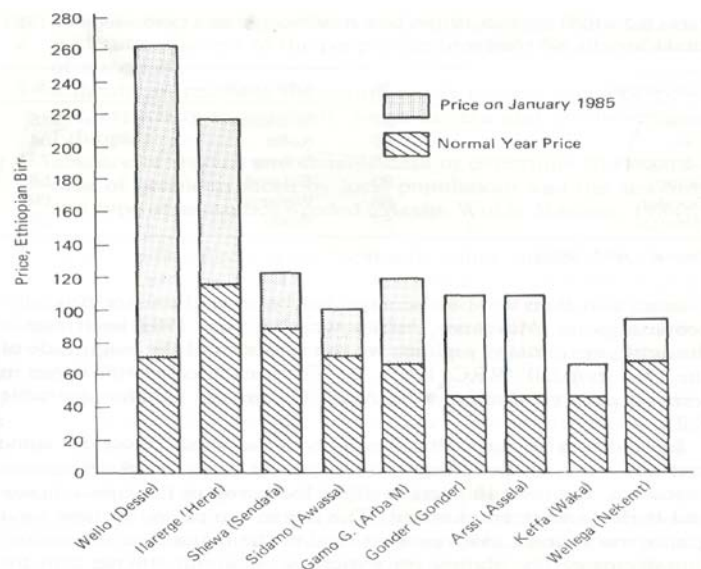
Η υδρολογική ξηρασία επίσης συχνά επιδεινώνεται λόγω της ανθρωπογενούς δραστηριότητας. Η αποψίλωση των δασών και η υπερβολική βόσκηση χωρίς ενδιάμεσες περιόδους παύσης, έχουν ως αποτέλεσμα την καταστροφή του ριζικού συστήματος των φυτών. Το έδαφος αδυνατεί πλέον να συγκρατήσει μεγάλες ποσότητες νερού, με αποτέλεσμα την έντονη διάβρωση τόσο από το νερό που απορρέει πιο ορμητικά όσο και από τον άνεμο. Κατά συνέπεια σε ένα ισχυρό επεισόδιο βροχόπτωσης το νερό απορρέει αντί να συγκρατείται, το υπόγεια αποθέματα μειώνονται και οι συνθήκες ξηρασίας ευνοούνται (Frampton, Chaffey, Hardwick, McNaught, 1996).

## 2.4.2 Η ξηρασία της Αιθιοπίας

Η ξηρασία που έπληξε την Αιθιοπία το 1984 έχει επίσης μείνει στην ιστορία για το πλήθος των μεταναστών και για τους θανάτους που προκάλεσε (Clarke, Curson, Kayastha, 1989). Περίπου μισό εκατομμύριο άνθρωποι αναγκάστηκαν να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους μέσα σε ένα μόλις χρόνο εξαιτίας του λοιμού που έπληξε όλη τη χώρα. Βέβαια το περιστατικό αυτό ξηρασίας δε συνέβη απροειδοποίητα, αλλά αποτελεί ένα μόνο ανάμεσα σε μια σειρά μεγάλων και μικρών επεισοδίων το δεύτερο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Η περιοχές που επλήγησαν σε μεγαλύτερο βαθμό ήταν οι Wello, Tigray και Eritrea, στο βόρειο τμήμα της χώρας (Πίνακας 2.2). Σύμφωνα με το RRC (Rehab and Rehabilitation Commission, 1984), 2 500 000 άνθρωποι δέχτηκαν ανθρωπιστική βοήθεια σε 195 κέντρα διανομής τροφής. Οι οικονομικά πιο εύρωστες κοινωνικές τάξεις κατάφεραν να επιβιώσουν, ενώ εκατοντάδες χιλιάδες πέθαναν από την ασιτία και την έλλειψη υγιεινής στα υπερπλήρη καταφύγια. Επιπλέον, σαν αποτέλεσμα της λειψυδρίας προέκυψαν πυρκαγιές, ασθένειες σε φυτά και ζώα καθώς και άνοδος των τιμών των προϊόντων, πολιτικές αναταραχές και εμφύλιοι πόλεμοι (Clarke, Curson, Kayastha, 1989). Δεδομένου ότι η οικονομία της χώρας βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στη γεωργία, η οικονομική κατάρπωση που βίωσε δεν είχε προηγούμενο (Σχήμα 2.6). Αξίζει να σημειωθεί ότι το 1984 παρουσιάστηκε έντονο La Niña επεισόδιο που διήρκεσε από τον Οκτώβριο μέχρι τον Ιούνιο του υδρολογικού έτους (παρατήρηση ιστορικής χρονοσειράς του ENSO34 από τη συγγραφέα).

**Πίνακας 2.2:** Ποσοστό πληθυσμού που επηρέασαν η ξηρασία και ο λοιμός της Αιθιοπίας το 1984. (πηγή: Clarke, Curson, Kayastha, Nag, 1989)

No.	Kifle Hager	Total population, 1984	No. of people affected	Percentage of total
1	Wello	3,609,918	2,587,420	71.6
2	Tigray	2,409,700	1,429,390	59.3
3	Eritrea	2,704,000	827,000	30.6
4	Gonder	2,905,362	346,500	11.9
5	Sidamo	3,790,579	532,500	14.0
6	Gamogofa	1,248,034	106,330	8.5
7	Harerge	4,151,706	864,340	20.8
8	Shewa	9,503,140	779,820	8.2
9	Arssi	1,662,233	76,460	4.6
10	Bale	1,006,491	120,920	12.0
11	Gojam	3,244,882	76,120	2.3
12	Keffa	2,450,369	90,000	3.7
13	Illubabor	963,327	25,000	1.1
14	Wellega	2,369,677	—	—
	Total	42,019,418	7,861,800	18.7



**Σχήμα 2.6:** Οι τιμές των προϊόντων στις αγορές 9 εθνότητων της Αιθιοπίας πριν και μετά την ξηρασία του 1984. (πηγή: Clarke, Curson, Kayastha, Nag, 1989)

### 2.4.3 Ξηρασίες στην Κίνα

Η Κίνα έχει βιώσει ξηρασίες που έχουν μείνει στην ιστορία λόγω του πλήθους των θυμάτων τις χρονιές 1640, 1877 και 1957. Οι δύο τελευταίες συγκαταλέγονται ανάμεσα στις χρονιές κατά τις οποίες σημειώθηκαν έντονα El Niño επεισόδια που διήρκησαν αρκετούς μήνες (παρατήρηση της χρονοσειράς ENSO34 από τη συγγραφέα). Το 1957 παρατηρήθηκε το πρωτοφανές φαινόμενο εμφάνισης πλημμυρών στις ακτές της χώρας και ανομβρία στο εσωτερικό της (Clarke, Curson, Kayastha, Nag, 1989). Κάτι τέτοιο οφείλεται πιθανότατα στο γεγονός, ότι οι τροπικοί τυφώνες φτάνοντας στις ακτές της χώρας εμποδίζονταν στην πορεία τους προς το εσωτερικό από τα ηπειρώτικα ρεύματα.

Χαρακτηριστικά η ελληνική εφημερίδα «ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ» στο φύλλο της 4<sup>ης</sup> Απριλίου 1961 αναφέρει: «Εν τούτοις φαίνεται πως ο καιρός είναι η λύσις που ευρίσκουν οι Κινέζοι δια να καλύψουν την αποτυχία της αγροτικής τους πολιτικής και κυρίως την αποτυχία των αγροτικών κοινοβίων».

#### 2.4.4 Ξηρασίες στην Ελλάδα

Σειρές από ξηρά έτη έχουν αναφερθεί και στη χώρα μας με καταστροφικές συνέπειες κυρίως για τη γεωργία (Πίνακας 2.3).

**Πίνακας 2.3:** Συγκεντρωτικά κάποια περιστατικά ξηρασιών στη χώρα μας και οι συνέπειες αυτών. (κατόπιν βιβλιογραφικής έρευνας στις ελληνικές εφημερίδες ΣΚΡΙΠ, ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ)

1897	Κόρινθος	Περονόσπορος στις αμπελοκαλλιέργειες λόγω ανομβρίας
1898	Χωριά της Πίνδου	Οι κάτοικοι λιμοκτονούν λόγω της καταστροφής των καλλιεργειών, ζητούν τη συνδρομή της κυβέρνησης.
1901	Λάρισα Χαλκίδα Καλαμάτα	Καταστροφή σοδειάς
1902	Πάτρα	Καταστροφή καλλιεργειών δημητριακών
1908	Λιβαδειά	Καταστροφή σοδειάς
1949-1951	Αθήνα	Η λίμνη του Μαραθώνα και άλλες πηγές ύδρευσης παρουσιάζουν τη χαμηλότερη απόδοση από το 1925.
1957	Αθήνα	Καθηγητές και μετεωρολόγοι βασιζόμενοι σε αναφορές αρχαίων κειμένων καθώς και σε αντικειμενικά στοιχεία μιλούν για εντεκαετείς κύκλους πολυομβρίας και ανομβρίας.
1957	Κρήτη	Μειωμένη παραγωγή σταφίδας
1966	Αθήνα	Πτώση της στάθμης της Υλίκης, διακοπή άντλησης για κάποιες ημέρες
1988-1994	Αθήνα	Λήψη μέτρων για τον περιορισμό της κατανάλωσης νερού

Πιο πρόσφατα η περιοχή της Αθήνας βίωσε μια 7ετία έντονης και έμμονης ξηρασίας. Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 ξεκίνησε ένα έντονο φαινόμενο υδρολογικής ξηρασίας που κράτησε μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1990 (1988-1994). Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από μειωμένες τιμές της απορροής τόσο στη λεκάνη του Β. Κηφισού όσο και του Μόρνου. Από μετεωρολογικής άποψης, παρατηρήθηκε ότι στα περισσότερα από αυτά τα έτη μειώθηκαν σε μεγάλο βαθμό οι βροχοπτώσεις των μηνών Οκτωβρίου, Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου, Μαρτίου, ενώ τους μήνες Μάιο, Ιούλιο και Αύγουστο οι βροχές ήταν πολύ μεγαλύτερες από το μέσο όρο και στις δύο υδρολογικές λεκάνες. Κάποιες από αυτές τις χρονιές δεν ανήκουν στις ξηρότερες από πλευράς ετήσιου ύψους βροχόπτωσης, εφόσον αυτό καλύφθηκε κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η εμφάνιση ωστόσο υδρολογικής ξηρασίας αποδίδεται στους ιδιαίτερα πολύπλοκους και ευαίσθητους ως προς την κατανομή της βροχής μηχανισμούς μετατροπής της βροχόπτωσης σε επιφανειακή απορροή (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007).



## 2.4.5 Άλλα περιστατικά ξηρασιών και έντονης κλιματικής μεταβλητότητας στον κόσμο

Στον Πίνακα 2.4 και την Εικόνα 2.1 παρατηρούμε την έντονη κλιματική μεταβλητότητα αρκετούς αιώνες πίσω, όχι μόνο όσον αφορά τη βροχόπτωση αλλά και τη θερμοκρασία. Οι περίοδοι ξηρασίας και οι περίοδοι ήπιου ή ψυχρού καιρού διαδέχονται η μία την άλλη.

**Πίνακας 2.4:** Η κλιματική μεταβλητότητα ανά τον κόσμο (κατόπιν βιβλιογραφικής έρευνας στις εφημερίδες (ΣΚΡΙΠ, ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ).

1434		Το Παρίσι καλύπτεται από χιόνι επί 40 μέρες.
1446		Ο Μάιος ο ψυχρότερος μήνας όλων των εποχών
1468	Γαλλία	Στις ταβέρνες κόβουν το κρασί με τσεκούρι.
16ος αιώνας		Ηλιόλουστος καιρός και ξηρασίες
1650 και μετά		Βελτίωση του καιρού
1829-1830		Όλος ο Σηκουάνας παγώνει.
1908	Αργεντινή	Καταστροφή καλλιεργειών, πείνα λόγω ξηρασίας
1947	Τσεχοσλοβακία	Καταστροφή του ενός τρίτου της εθνικής παραγωγής
1953	Λονδίνο	34 συνεχόμενες μέρες χωρίς βροχή
1953	Ρουμανία	Λοιμός λόγω ανομβρίας
1954-1959	Βραζιλία	Μεγάλες εκτάσεις μετατρέπονται σε ερήμους, στο λεξικό προστίθεται η λέξη «φλαγκελάντος» (θύματα της ανομβρίας), συζητείται η μετανάστευση μεγάλου μέρους του πληθυσμού.
1963	Ισραήλ	Πρώτη φορά ξηρασία μετά από 30 χρόνια

**Πρωτοφανής** μετεωρολογική κατάσταση επικρατεί κατ' αὐτὰς εἰς τὴν βορειοδυτικὴν Ἑυρώπην. Εἰς τὴν Γαλλίαν καὶ εἰς τὴν Ἀγγλίαν, ἐν ᾗ ἡ ἀκμὴ τοῦ θέρους εἶχε παρέλθει καὶ τὸ φθινοπωρινὸν ψῦχος εἶχεν ἀναγκάσει τοὺς ἀνθρώπους νὰ τυλιχθῶν εἰς τῆς γούνες των καὶ ἐν ᾗ τρομεραὶ καταγίγδες εἶχον ἐνσκήψει, ἐπεναγκοῦσαι πολλὰ δυστυχήματα, ἰδίως εἰς τὴν Γαλλίαν, αἴφνης γίνεται ἕνας καύσων καὶ μία ξηρασία πρωτόκρουστος καὶ αὐτοὶ ἐκεῖνοι, οἱ ὅποιοι πρὸ ὀλίγων ἡμερῶν ἐτουρτούριζαν ἀπὸ τὸ κρῦο ἀπέθαναν ἐξ ἡλιάσεως. Οἱ ἀττρονόμοι καὶ οἱ μετεωρολόγοι τὰ ἔχουν χαμένα. Ὡς ἐπὶ τὸ πλεῖστον ἡ αἰτία τῆς ἀτάκτου αὐτῆς ἀτμοσφαιρικῆς καταστάσεως ἀποδίδεται εἰς τὴν γνωστὴν ἐμφάνισιν τῆς δευτέρας σελήνης.

Ὅπως ἤκουσε οἱ Παρισσινοὶ καὶ οἱ Λονδῖνοι βάλλουν κραυγὰς φρενιτιδος διὰ τὸν καύσωνα τῶν 37 καὶ 40 βαθμῶν, ὁ ὁποῖος τοὺς ψήνει, καὶ, τὸ πρωτοφανέστερον ὅλων, διὰ τὴν ἔλλειψιν νεροῦ, ἡ ὁποία τοὺς μαστίζει. Ὁ Τάμεσις καὶ ὁ Σηκουάνας κοντεῦουν ν' ἀποξηρανθῶν. Ὅλαι αἱ ἐργασίαι αἱ ἀπαιτούσαι φωτιὰς καὶ κκμίνα διεκόπησαν. Ἴδιως εἰς τὸ Λονδῖνον ἡ ἔλλειψις τοῦ νεροῦ καὶ ἡ ξηρασία εἶνε ἀφόρητοι.

Εικόνα 2.1: Απόκομμα από την εφημερίδα ΣΚΡΙΠ, φύλλο της 7/9/1898, σελ. 3.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

#### 3.1 Κλιματικοί δείκτες

##### 3.1.1 Γενικά

Ξηρασίες διαφόρων συχνοτήτων, εντάσεων και διάρκειας έχουν πλήξει τις περισσότερες περιοχές του πλανήτη σε κάποια χρονική στιγμή. Όπως προαναφέρθηκε, η ξηρασία είναι μία από τις πιο “ακριβές” φυσικές καταστροφές στις σύγχρονες ανεπτυγμένες κοινωνίες, όπου ένα μεγάλο μέρος της οικονομίας βασίζεται στη γεωργία (FEMA, 1995). Επιπλέον κοστίζει ακριβά σε όρους ανθρώπινης ζωής σε κοινωνίες όπου η επιβίωση βασίζεται στη γεωργία (FAO, 2004). Για τους παραπάνω λόγους έχουν γίνει πολλές προσπάθειες πρόβλεψης ξηρασιών και κατ’ επέκταση καλύτερου ελέγχου του φαινομένου. Σε αυτήν την προσπάθεια έχουν συμβάλει κλιματικοί δείκτες, οι οποίοι περιγράφουν την κλιματική ποικιλότητα όπως αυτή εκφράζεται από “δίπολα” αντίθετων κλιματικών συνθηκών (teleconnections). Για παράδειγμα όταν σε κάποια θαλάσσια περιοχή του πλανήτη εμφανίζονται μεγαλύτερες του μέσου όρου θερμοκρασίες, την ίδια στιγμή σε κάποια άλλη περιοχή χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά εμφανίζονται θερμοκρασίες χαμηλότερες της μέσης τιμής και έχει αποδειχτεί ότι τα φαινόμενα αυτά δεν είναι άσχετα μεταξύ τους (Trenberth et al., 1997). Οι δείκτες αυτοί έχουν προκύψει από δεδομένα ατμοσφαιρικής πίεσης (Sea Level Pressure, SLP) και θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (Sea Surface Temperature, SST) και εκφράζουν τη μεταβλητότητα του κλίματος σε διάφορες χρονικές κλίμακες (από ετών μέχρι δεκαετιών) σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Τέτοιοι είναι ο δείκτης ENSO (El Nino Southern Oscillation) (Walker, 1923), NAO (Northern Atlantic Oscillation) (Hurrell, 1995), PDO (Pacific Decadal Oscillation) (Mantua, 1997) και AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation) (Kerr, 2000). Από δω και πέρα οι δείκτες θα αναφέρονται με το όνομα της ταλάντωσης (oscillation) που περιγράφουν. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στους δείκτες ENSO34 και NAO και τη σχέση τους με μια σημαντική παράμετρο του φαινομένου της ξηρασίας, τη βροχόπτωση (Trenberth et al., 1998; McCabe and Palecki, 2006).

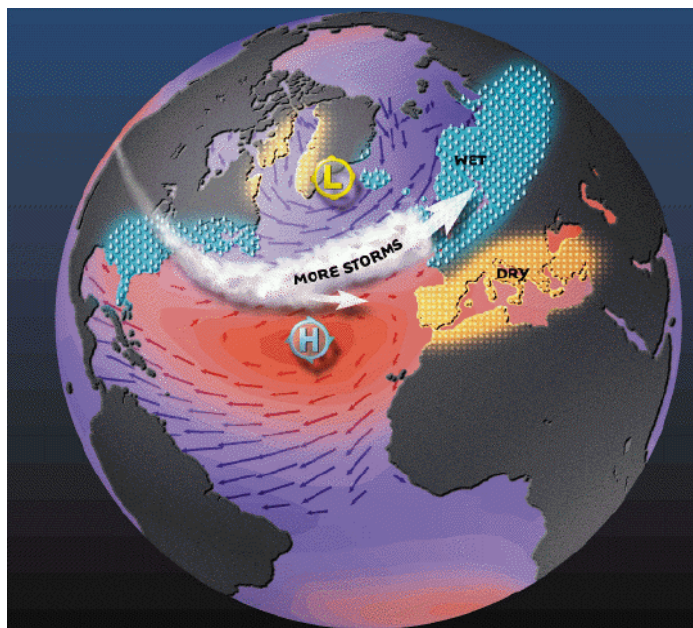
Ο NAO έχει μονάδες πίεσης (hPa) και εκφράζει τη διαφορά πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας μεταξύ της περιοχής υψηλών πιέσεων στις Αζόρες ή στο Γιβραλτάρ και της περιοχής χαμηλών πιέσεων στην Ισλανδία.

Ο ENSO34 έχει μονάδες θερμοκρασίας (°C) και εκφράζει την απόκλιση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας στην περιοχή 5°N-5°S, 170°E-120°W του τροπικού Ειρηνικού ωκεανού από τη μέση τιμή της. Είναι ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος μεταξύ δεικτών ENSO, που αφορούν άλλες περιοχές τους τροπικού Ειρηνικού.

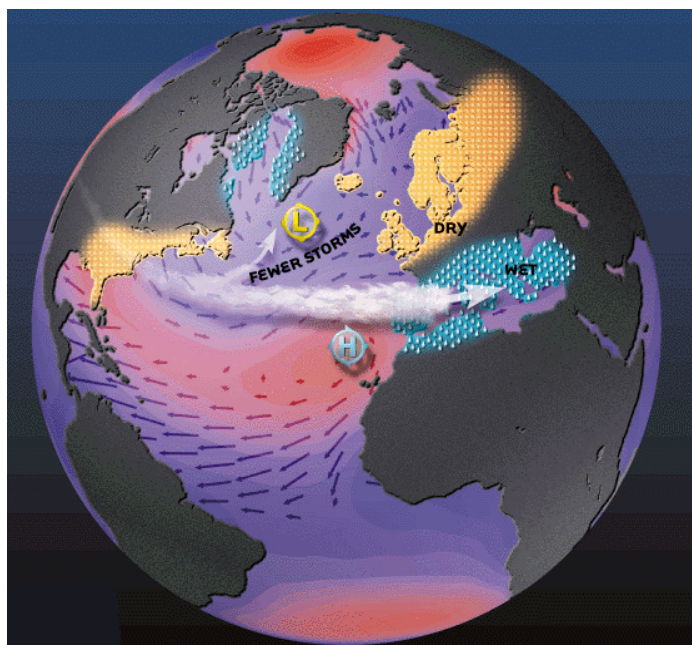
Οι δύο αυτοί δείκτες περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

### **3.1.2 Northern Atlantic Oscillation (NAO)**

Ο δείκτης NAO (NAO index) αντιπροσωπεύει την κλιματική μεταβλητότητα από την ανατολική ακτή των ΗΠΑ μέχρι τη Σιβηρία και από την Αρκτική μέχρι τον Ισημερινό. Καταγράφει την απόκλιση από τα κανονικά επίπεδα της SLP ανάμεσα στο σύστημα χαμηλής πίεσης στην περιοχή της Ισλανδίας (polar low) και στο σύστημα υψηλής πίεσης στη θαλάσσια περιοχή στις Αζόρες (subtropical high). Οι Walker και Bliss (1923) παρατήρησαν ότι όταν η πίεση ήταν υψηλότερη από το σύνηθες στις Αζόρες και χαμηλότερη στην Ισλανδία, οι δυτικοί άνεμοι (westerlies) στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη ήταν ενισχυμένοι, γεγονός που διαπίστωσαν ότι σχετίζεται με χαμηλότερες θερμοκρασίες και ξηρότερες συνθήκες στο Βορειοδυτικό Ατλαντικό (Βόρειο Καναδά και Γροιλανδία), υψηλότερες και υγρότερες συνθήκες στη Βόρεια Ευρώπη (από την Ισλανδία μέχρι τη Σκανδιναβία) και ξηρότερες στη Νότια (Σχήμα 3.1). Αντίστοιχα παρατήρησαν ότι όταν συνέβαινε το αντίστροφο (αρνητικός NAO), οι δυτικοί άνεμοι ήταν ασθενέστεροι, με αποτέλεσμα να μεταφέρονται κρύα, αλλά ξηρά ρεύματα στη Βόρεια Ευρώπη και υγρά ρεύματα στη Μεσόγειο. Κατά συνέπεια ο αρνητικός NAO συνοδεύεται από ξηρότερες συνθήκες στη Βόρεια Ευρώπη και αυξημένη βροχόπτωση στην Τουρκία και σε άλλες χώρες της Ανατολικής Μεσογείου (Σχήμα 3.2). Η ταλάντωση αυτή εκδηλώνεται πιο έντονα κατά τους χειμερινούς μήνες του Βόρειου ημισφαιρίου (Δεκέμβριο-Μάρτιο) -όταν η ατμοσφαιρική κυκλοφορία είναι πιο έντονη- και πρόκειται για φυσικό φαινόμενο.



**Σχήμα 3.1:** Μετακίνηση ρευμάτων κατά τη θετική φάση του NAO και επιπτώσεις αυτής. (πηγή: <http://www.ldeo.columbia.edu>)

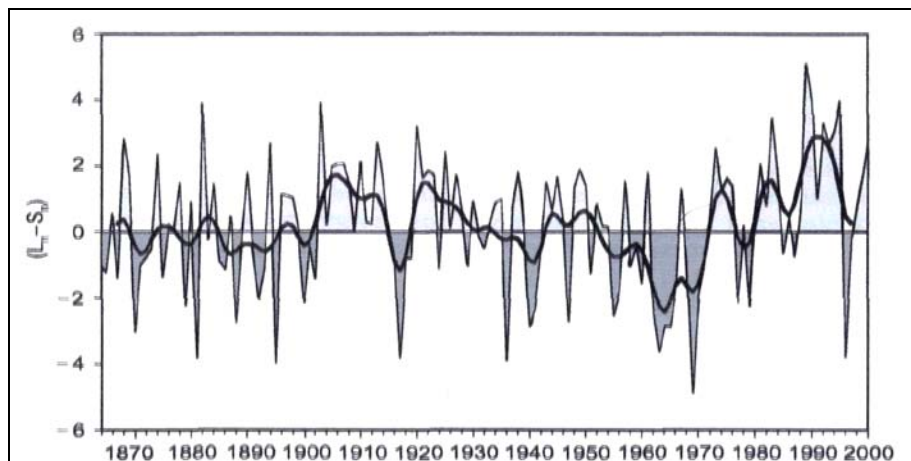


**Σχήμα 3.2:** Μετακίνηση ρευμάτων κατά την αρνητική φάση του NAO και επιπτώσεις αυτής. (πηγή: <http://www.ldeo.columbia.edu>)

Ο δείκτης NAO παρουσιάζει μεγάλη χρονική μεταβλητότητα και λαμβάνει τόσο θετικές όσο και αρνητικές τιμές (Σχήμα 3.3). Μεταξύ 2 φάσεων του NAO (φάση θετικών-φάση

αρνητικών τιμών) έχουν παρατηρηθεί διαφορές στην πίεση της επιφάνειας του Ατλαντικού μεγαλύτερες από 15 hPa (Hurrell, 1995).

Πιο συγκεκριμένα κατά τη θετική φάση έχουν παρατηρηθεί τιμές υψηλότερες του κανονικού νότια των 55°N, ενώ σε μια ευρεία περιοχή της Αρκτικής τιμές ακανόνιστα χαμηλές (Walsh et al., 1996). Δεν έχει αποδειχτεί αν ο NAO παρουσιάζει μεταβλητότητα σε κάποια συγκεκριμένη χρονική κλίμακα. Για την ακρίβεια μεταβολές μπορεί να συμβούν από ένα χειμώνα στον επόμενο αλλά και κατά τη διάρκεια ενός χειμώνα. Κάτι τέτοιο είναι εμφανές και από το Σχήμα 3.3, από το οποίο διαπιστώνουμε ότι ο NAO μπορεί να περάσει από τη θετική φάση στην αρνητική και το αντίστροφο σε διάστημα 1-15 χρόνων. Το φαινόμενο αυτό βρίσκεται πιθανόν την εξήγησή του στο γεγονός, ότι οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους κατά τέτοιο τρόπο ώστε να προκύπτουν τυχαίας κλίμακας μεταβλητότητες (Hurrell, 1995).



**Σχήμα 3.3:** Χρονοσειρά του δείκτη NAO (\*10<sup>-1</sup>) βασισμένη στη διαφορά πίεσης ανάμεσα στη Λισσαβόνα και στο Stykkisholmur/Reykjavic της Ισλανδίας από το 1864 μέχρι το 2000. Η παχιά μαύρη γραμμή αντιπροσωπεύει τη χρονοσειρά από την οποία έχουν αφαιρεθεί οι διακυμάνσεις με περίοδο < 4 χρόνια (πηγή: Hurrell, 1995)

Τα τελευταία 30 χρόνια παρατηρείται αυξητική τάση του δείκτη (Σχήμα 2.3), γεγονός που έχει κινητοποιήσει την έρευνα σχετικά με τα αίτια αυτής. Κάτι τέτοιο δεν έχει παρατηρηθεί ξανά, τόσο σε ιστορικές χρονοσειρές (Hurrell, 1995a), όσο και σε χρονοσειρές αιώνων πίσω, που έχουν κατασκευαστεί με βάση παλαιοκλιματικά δεδομένα (Stockton and Glueck, 1999). Η αύξηση αυτή έχει συνδεθεί με διάφορα φαινόμενα, όπως:

- Ηπιότεροι χειμώνες στην Ευρώπη και πιο βαρείς στον Ανατολικό Καναδά και στο Βορειοδυτικό Ατλαντικό (Wallace et al., 1995).
- Μείωση της μέσης SLP στην Αρκτική (Walsh et al., 1996).

- Αύξηση τμήματος των παγετώνων της Β. Ευρώπης (Hagen, 1995) και υποχώρηση των Αλπικών (Frank, 1997).
- Μεταβολή του ύψους των κυμάτων στο Β. Ατλαντικό (Kushnir et al., 1997).

Από τα παραπάνω εγείρεται το ερώτημα αν η αυξητική τάση του δείκτη συνδέεται με την υπερθέρμανση του πλανήτη και σε τι ποσοστό αυτή είναι αποτέλεσμα ανθρωπογενούς παράγοντα. Ο Hurrell (1996) υποστηρίζει ότι η αύξηση του δείκτη ευθύνεται για την αύξηση της θερμοκρασίας σε Ευρώπη και Ασία, καθώς και για τη μείωση αυτής στο Βορειοδυτικό Ατλαντικό κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Καθ' ότι η θερμοκρασία του πλανήτη καθορίζεται σε μεγαλύτερο ποσοστό από τη θερμοκρασία του βόρειου ημισφαιρίου, είναι πιθανό οι μεταβολές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία, ως φυσικό φαινόμενο, να ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη (Hurrell, 1996), και όχι τόσο τα αέρια του θερμοκηπίου. Οι Corti et al. (1999), ωστόσο, υποστηρίζουν ότι η ανθρωπογενής δραστηριότητα και τα αέρια του θερμοκηπίου μπορεί να παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αυξητική τάση του δείκτη.

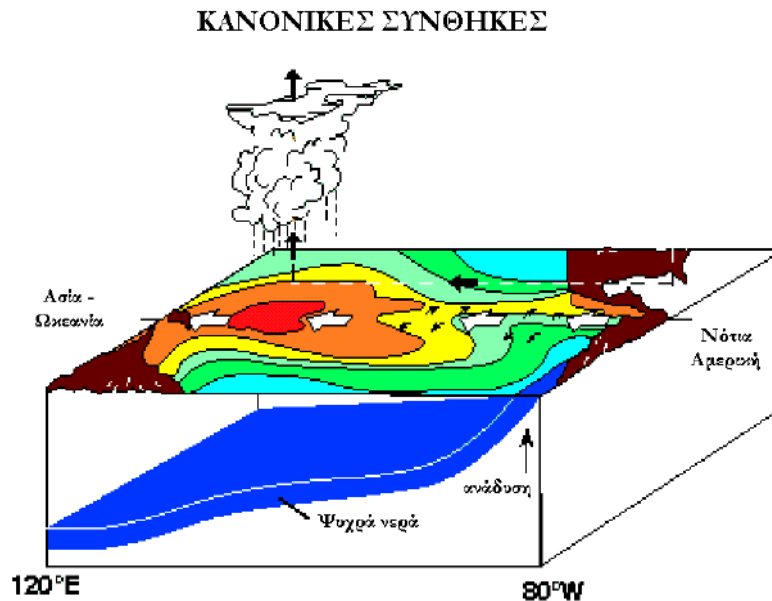
### **3.1.3 El Niño Southern Oscillation (ENSO)**

Το νερό στην επιφάνεια του ωκεανού είναι πιο θερμό σε σχέση με τον πυθμένα γιατί θερμαίνεται από τον ήλιο. Υπό κανονικές συνθήκες στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία της τροπικής ζώνης κυριαρχούν οι αληγεείς ανατολικοί άνεμοι που πνέουν από την Ν. Αμερική προς την Ασία και την Ωκεανία. Οι ανατολικοί αυτοί άνεμοι παρασύρουν και συσσωρεύουν θερμά επιφανειακά νερά στο δυτικό Ειρηνικό και τον Ινδικό ωκεανό με αποτέλεσμα η στάθμη της θάλασσας στην Ινδονησία να είναι 50-60 cm υψηλότερη σε σχέση με τις ακτές του Ισημερινού και του Περού.

Παράλληλα, στον ανατολικό Ειρηνικό, κατά μήκος των δυτικών ακτών της Νότιας Αμερικής συμβαίνει το φαινόμενο της ανόδου των κρύων κατώτερων θαλάσσιων στρωμάτων προς την επιφάνεια (upwelling). Κατά συνέπεια ο Ινδικός ωκεανός και ο Ειρηνικός στην περιοχή του Ισημερινού (Equatorial Pacific) είναι βαθύτερος και θερμότερος στα δυτικά (Western Pacific Warm Pool), με θερμοκρασία άνω των 28°C, σε αντίθεση με τη σχετικά κρύα ανατολική πλευρά (Eastern Equatorial Pacific Cold Tongue), όπου η θερμοκρασία είναι 5-10 βαθμούς χαμηλότερη.

Τα θερμά νερά θερμαίνουν τον αέρα που βρίσκεται από πάνω τους και αυτός γίνεται αραιός και ελαφρύς. Έτσι οι αέριες μάζες που εισέρχονται στην περιοχή από τα δυτικά φορτωμένες υγρασία, θερμαίνονται και γίνονται αρκετά ελαφριές ώστε να ανέρχονται και οι

υδρατμοί να συμπυκνώνονται σχηματίζοντας έτσι σύννεφα γεμάτα βροχή (Σχήμα 3.4). Γι' αυτό το λόγο οι έντονες βροχοπτώσεις είναι συνηθισμένες στην περιοχή της Ινδονησίας.

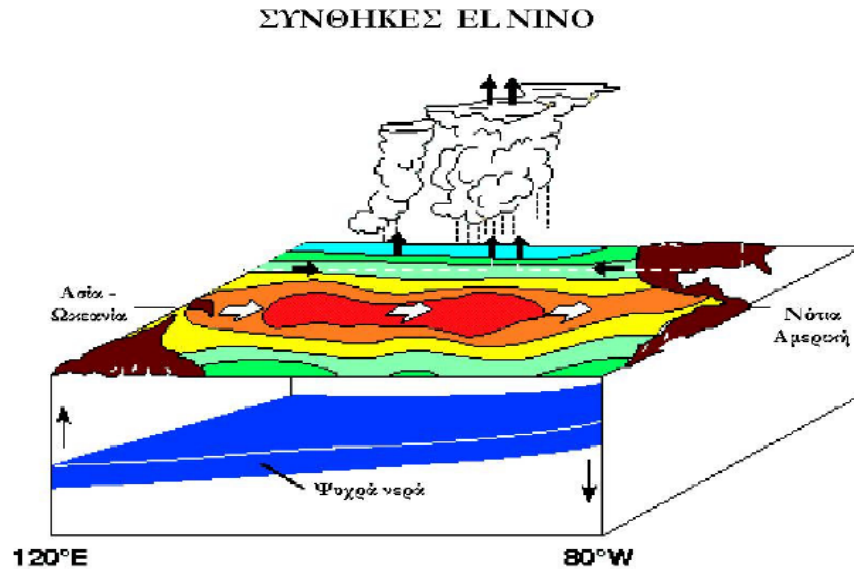


**Σχήμα 3.4:** Ο Νότιος Ειρηνικός υπό κανονικές συνθήκες. Με κόκκινο χρώμα οι περιοχές υψηλών θερμοκρασιών και με μπλε-πράσινο οι περιοχές χαμηλών θερμοκρασιών. (πηγή: <http://www.pmel.noaa.gov>)

Ο αέρας στη συνέχεια κατέρχεται ξηρός από τα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας προς την ανατολική πλευρά. Εκεί, η χαμηλή θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας έχει ως αποτέλεσμα ο αέρας που βρίσκεται από πάνω της να είναι κρύος, πολύ πυκνός και βαρύν για να ανυψωθεί και να δώσει σύννεφα και βροχή. Αυτές οι κινήσεις των ρευμάτων (άνοδος στα δυτικά-κάθοδος στα ανατολικά) είναι γνωστές ως κυκλοφορία Walker (Walker circulation) και η μεταβλητότητα στη θέση και στην ένταση ευθύνεται για τη Βόρεια Ταλάντωση (Southern Oscillation) (Walker, 1923).

Όταν οι ανατολικοί άνεμοι εξασθενούν, το φαινόμενο της ανόδου των κατώτερων κρύων στρωμάτων προς την επιφάνεια της θάλασσας (upwelling) φθίνει, το θερμοκλίνας αυξάνει σε βάθος και κατά συνέπεια αυξάνεται η θερμοκρασία του Ανατολικού Ειρηνικού στην περιοχή του Ισημερινού (East Equatorial Pacific) πέραν του αναμενόμενου. Επιπλέον ο υγρός αέρας πάνω από τον ωκεανό θερμαίνεται και είναι αρκετά ελαφρύν και «ζωηρός» ώστε να σχηματίζει σύννεφα τα οποία παράγουν βροχή στη ζώνη του Ισημερινού. Ως συνέπεια των παραπάνω, το κέντρο της χαμηλής ατμοσφαιρικής πίεσης μεταφέρεται προς τα ανατολικά μεταφέροντας υγρό αέρα και ισχυρή βροχόπτωση, με συνέπεια επιπλέον εξασθένιση των ανατολικών ανέμων, η

οποία με τη σειρά της οδηγεί σε περαιτέρω θέρμανση κ.ο.κ. (Σχήμα 3.5). Όταν συμβαίνουν αυτές οι αμοιβαίες διαταραχές ωκεανού ατμόσφαιρας, λέμε ότι βρισκόμαστε σε μια αρνητική φάση (warm episode) της Βόρειας Ταλάντωσης ή αλλιώς ότι εξελίσσεται το φαινόμενο El Niño.



**Σχήμα 3.5:** Ο Νότιος Ειρηνικός υπό συνθήκες El Niño. Τα θερμά νερά (κόκκινο) έχουν μετατοπιστεί ανατολικότερα. (πηγή: <http://www.pmel.noaa.gov>)

Αντίστοιχα σε μια θετική φάση (cold episode) η θερμοκρασία της επιφάνειας του Ανατολικού Ειρηνικού πέφτει κάτω του κανονικού εφόσον, οι παραπάνω κατάσταση αντιστρέφεται λόγω των ισχυρότερων αυτή τη φορά ανατολικών ανέμων κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας στον κεντρικό και ανατολικό Ειρηνικό και η κυκλοφορία Walker γίνεται εντονότερη. Αυτό είναι το φαινόμενο La Niña.

Σε μια φυσιολογική κατάσταση οι ακτές του (ζεστού) Δυτικού Ειρηνικού (συμπεριλαμβανομένης και της Ινδονησίας και της Ν. Γουινέας) πλήττονται από δυνατές βροχές ενώ στον ψυχρότερο Ανατολικό Ειρηνικό η βροχοπτώση είναι μειωμένη.

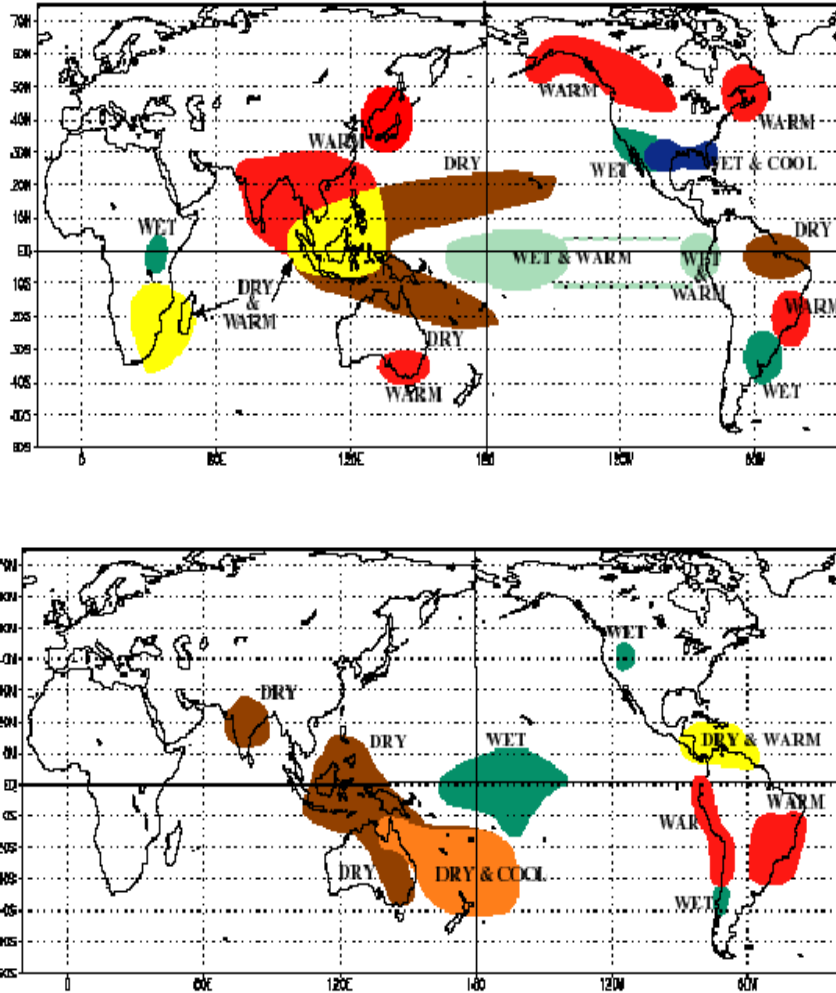
Κατά τη διάρκεια ενός έντονου El Niño επεισοδίου (strong warm episode) η κυκλοφορία Walker αντιστρέφεται πλήρως (Χορλακί, 2002). Στο Νότιο ημισφαίριο οι επιπτώσεις του El Niño είναι άμεσες και πιο έντονες σε σχέση με το Βόρειο ημισφαίριο. Στη Ν. Αμερική και ιδιαίτερα στο Περού και τον Ισημερινό η εκδήλωση El Niño επεισοδίου συνεπάγεται θερμά και πολύ υγρά καλοκαίρια (Δεκέμβριος-Φεβρουάριος) με μεγάλης συχνότητας πλημμυρικά επεισόδια. Όσο κινούμαστε προς την ενδοχώρα (Βραζιλία-Αργεντινή) οι συνθήκες είναι θερμότερες και υγρότερες από το κανονικό αλλά εντοπίζονται κυρίως την περίοδο της άνοιξης και στις αρχές



του καλοκαιριού (Σεπτέμβριος-Δεκέμβριος), ενώ αυξάνεται η συχνότητα των χιονοπτώσεων κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Αντίθετα στη Νοτιοανατολική Ασία και τη Βόρεια Αυστραλία επικρατούν θερμές και ξηρές συνθήκες με συχνές εκδηλώσεις καταστροφικών πυρκαγιών. Παράλληλα στη Δυτική Ανταρκτική παρατηρείται αύξηση της παγοκάλυψης. Στη Βόρεια Αμερική οι συνέπειες του φαινομένου είναι κατά βάση έμμεσες, με θερμότερους από τα κανονικά επίπεδα χειμώνες στις Βορειοδυτικές ΗΠΑ και τον Καναδά και αρκετά ξηρούς στις δυτικές ΗΠΑ. Τέλος, στις περιοχές της Ανατολικής Αφρικής οι συνεχείς βροχοπτώσεις της περιόδου από το Μάρτη έως και το Μάιο παρουσιάζουν μέγιστο (Nicholls, 2003).

Άλλες βασικές ενδείξεις με τις οποίες μπορεί να διαπιστωθεί η εκδήλωση El Niño είναι η αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης στον Ινδικό ωκεανό, την Ινδονησία και την Αυστραλία με ταυτόχρονη μείωση στην Ταϊτή και γενικότερα στον Ανατολικό Ειρηνικό ωκεανό. Έμμεσες επιπτώσεις του φαινομένου παρατηρούνται σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Στο Σχήμα 3.6 παρουσιάζονται οι επιπτώσεις αυτές σε παγκόσμια κλίμακα.

Το El Niño παρατηρήθηκε για πρώτη φορά από ναυτικούς που ψάρευαν σε ακτές της Νότιας Αμερικής, οι οποίοι διαπίστωσαν ότι η ασυνήθιστα υψηλή θερμοκρασία του νερού προκαλούσε ανεπιθύμητες μεταβολές στους πληθυσμούς των διαφόρων θαλάσσιων ειδών. Κάτι τέτοιο παρατηρήθηκε κυρίως κατά την περίοδο των Χριστουγέννων γι' αυτό και το φαινόμενο ονομάστηκε El Niño (μικρό αγόρι στα ισπανικά) (<http://www.meteo.gr>). Το El Niño συμβαίνει με τη μέγιστη έντασή του κάθε 3-7 χρόνια, ξεκινά περίπου τους μήνες Μάρτιο με Μάιο και συνήθως διαρκεί 12-18 μήνες. Ακολουθείται συχνά από το La Niña. Το La Niña διαρκεί επίσης περίπου 1 χρόνο, κατά τη διάρκεια του οποίου παρουσιάζονται υψηλότερες από τις συνήθεις βροχοπτώσεις στη Βόρεια Αυστραλία, την Ινδία, την Ινδονησία και τη Μαλαισία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, τη Βορειοανατολική Βραζιλία και τη Νοτιοανατολική Αφρική κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ στη δυτική ακτή των ΗΠΑ, στα υποτροπικά γεωγραφικά πλάτη της Βόρειας Αμερικής και από τη Νότια Βραζιλία μέχρι την κεντρική Αργεντινή οι βροχοπτώσεις είναι μειωμένες.



**Σχήμα 3.6:** Περιοχές υπό την επιρροή του El Niño κατά την περίοδο του καλοκαιριού του Ν. Ημισφαιρίου (Δεκ-Φεβ) πάνω και κατά την περίοδο του χειμώνα του Ν. Ημισφαιρίου (Ιούνιο-Αύγουστο) κάτω.  
(πηγή:<http://www.ngdc.noaa.gov>)

Το πρώτο El Niño επεισόδιο καταγράφηκε επίσημα το 1877. Κατά τη χρονιά 1877-1878 σοβαρή ξηρασία έπληξε το μεγαλύτερο μέρος της Κίνας. Ταυτόχρονα στην Ινδία περισσότεροι από 8 000 000 θάνατοι αποδόθηκαν στο λοιμό που επίσης προκλήθηκε από την ξηρασία. Από ξηρασίες επίσης επλήγησαν η Βορειοανατολική Βραζιλία, η Β. Αφρική, τα νησιά Φίτζι, η Αυστραλία και η Ινδονησία. Αντίθετα στη δυτική ακτή της Β. Αμερικής και στην Ταϊτή οι πλημμύρες και οι έντονες βροχοπτώσεις κόστισαν τη ζωή σε εκατοντάδες ανθρώπους. Πολύ έντονα El Niño επεισόδια συνέβησαν κατά το πρώτο τέταρτο του 20<sup>ου</sup> αιώνα, ενώ πιο ασθενή κατά το 2<sup>ο</sup>. Μετά το 1950 τα επεισόδια El Niño και La Niña εντάθηκαν.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η ατμόσφαιρα είναι ευαίσθητη στις αλλαγές της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας και ο ωκεανός προσαρμόζεται ταχέως στις αλλαγές

των ανέμων (Chang και Zebiak, 2003). Αυτή η αλληλεπίδραση μεταξύ ωκεανού και ατμόσφαιρας ονομάστηκε El Nino Southern Oscillation (ENSO) από τους Hendrik Berlage και Jacob Bjerknes, οι οποίοι στις αρχές του 1960 υποστήριξαν ξεχωριστά ότι τα δύο φαινόμενα (η εξασθένιση των ανέμων και η χωρική και χρονική μεταβλητότητα του πεδίου υψηλών πιέσεων) σχετίζονται. Παρόλο που το El Niño εκδηλώνεται στο Νότιο Ειρηνικό ωκεανό, έχει επιπτώσεις σε όλο τον πλανήτη εξαιτίας των ατμοσφαιρικών κυμάτων και μπορεί να επηρεάσει τη μεταβλητότητα του καιρού και του κλίματος σε όλη την υδρόγειο. Γι' αυτό το λόγο θεωρείται κύρια πηγή της κλιματικής μεταβλητότητας σε παγκόσμια κλίμακα (Halpert and Ropelewski, 1992).

## **3.2 Οι μελέτες πάνω στους κλιματικούς δείκτες**

### **3.2.1 Η επίδραση του NAO στο κλίμα του Βόρειου ημισφαιρίου<sup>1</sup>**

Κατόπιν εντατικών και μακροχρόνιων μελετών από μετεωρολόγους έχει αποδειχτεί η επίδραση του NAO στο κλίμα της λεκάνης του Ατλαντικού (Hurrell, 2001). Πιο συγκεκριμένα υποστηρίζεται ότι ο NAO συνδέεται με την υπερετήσια μεταβλητότητα της θερμοκρασίας της περιοχής του Ατλαντικού σε ξηρά και θάλασσα (Wallace et al., 1995), της βροχόπτωσης (Hurrell and Van Loon, 1997) και του Αλπικού παγετού (Frank, 1997). Επίσης επηρεάζει τα οικοσυστήματα της περιοχής (περίοδος επώασης αυγών, ανθοφορίας φυτών κλπ) (Post and Stenseth, 1999). Πιο αναλυτικά έχει διαπιστωθεί ότι συνδέεται με τα παρακάτω:

#### **A. Θερμοκρασία ξηράς και θάλασσας**

Ο NAO επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη θερμοκρασία του αέρα στην επιφάνεια της γης και της θάλασσας σχεδόν σε όλο το Βόρειο ημισφαίριο. Η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας (που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του αέρα πάνω από τους ωκεανούς) παρουσιάζει έντονη συσχέτιση με τη μεταβλητότητα του NAO στο Βόρειο Ατλαντικό, τη Βόρεια Αμερική, τη Μεσόγειο, την Αρκτική και την Ευρασία (Hurrell, 1996).

<sup>1</sup>: Μεγάλο μέρος αυτού του εδάφιου προέρχεται από το: Hurrell, J. W., *North Atlantic Oscillation*, Academic Press, National Center for Atmospheric research, 1904-1911, USA, 2001

Όταν ο NAO είναι θετικός ενισχυμένα δυτικά ρεύματα στο Βόρειο Ατλαντικό προκαλούν ζεστούς και ελαφρά υγρούς ανέμους πάνω από το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης, ενώ δυνατά βόρεια ρεύματα πάνω από τη Γροιλανδία και το Βορειοανατολικό Καναδά κουβαλούν κρύο αέρα προς τα νότια και μειώνουν τη θερμοκρασία σε ξηρά και θάλασσα πάνω από το Βορειοδυτικό Ατλαντικό. Η έντονη ωρολογιακή ροή γύρω από τον υποτροπικό Ατλαντικό, όπου επικρατεί υψηλή πίεση προκαλεί πτώση της θερμοκρασίας στη Βόρεια Αφρική και στη Μέση Ανατολή και άνοδο αυτής στη Βόρεια Αμερική. Ωστόσο και οι ίδιες οι μεταβολές της SST σε κλίμακα δεκαετιών, των οποίων η αιτία ακόμα δεν έχει ξεκαθαριστεί, είναι υπεύθυνες για τη μεταβλητότητα της SLP, αφού όπως έχει προαναφερθεί ωκεανός και ατμόσφαιρα αποτελούν ένα δίπολο που αλληλεπιδρά και προς τις δύο κατευθύνσεις. Αντιλαμβανόμαστε, λοιπόν, ότι ο NAO συνδέεται με τη μεταβλητότητα στη θερμοκρασία και ιδιαίτερα της ξηράς, εφόσον αυτή είναι λιγότερο θερμομονωτική από τον ωκεανό. Έχει αποδειχτεί ότι η μεταβλητότητα του NAO εξηγεί σε ποσοστό περίπου 33% την υπερετήσια μεταβλητότητα της θερμοκρασίας του Βόρειου ημισφαιρίου κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Hurrell, 1995). Από τις αρχές του 1980 η θερμοκρασία στη Βόρεια Αμερική και την Ευρασία είναι αισθητά υψηλότερη από το μέσο όρο ενώ ο Βόρειος Ατλαντικός είναι ελαφρώς πιο κρύος από το μέσο όρο. Σύμφωνα και με τα παραπάνω κάτι τέτοιο σχετίζεται στενά με την άνοδο του δείκτη NAO. Σε τι βαθμό έχει επηρεάσει η ανθρωπογενής δραστηριότητα κλιματικούς δείκτες όπως αυτός παραμένει αντικείμενο μελέτης.

## **B. Βροχόπτωση**

Οι ατμοσφαιρικές αναταραχές σε κλίμακα μιας εβδομάδας ή λιγότερο (storms) που συνδέονται με τις μεταβολές του NAO επηρεάζουν τη μεταφορά υγρασίας και κατά επέκταση τις βροχοπτώσεις και την εξάτμιση. Ο θετικός NAO υποδηλώνει μια προς τα νότια μεταβολή των αναταραχών στον Ατλαντικό, με εντονότερη δραστηριότητα στη Βόρεια Ευρώπη (από τη Νότια Γροιλανδία μέχρι την Ισλανδία) και με πιο μέτρια στη Νότια (από τις Αζόρες και σε όλη την Ιβηρική χερσόνησο, καθώς και στη Μεσόγειο). Επίσης ο θετικός NAO συνεπάγεται πιο έντονες και συχνές ατμοσφαιρικές αναταραχές στη γειτονιά της Ισλανδίας και της Νορβηγικής Θάλασσας.

Σε χειμώνες με μεγάλο δείκτη NAO (από το 1980 και μετά) η εξάτμιση υπερβαίνει τη βροχόπτωση στο μεγαλύτερο μέρος της Γροιλανδίας και της Καναδικής Αρκτικής. Από την

Ισλανδία μέχρι τη Σκανδιναβία βρέχει περισσότερο από το μέσο όρο. Μάλιστα η Σκανδιναβία είναι από τις λίγες περιοχές του πλανήτη όπου ο παγετός δεν έχει μειωθεί, σε αντίθεση με τις Άλπεις όπου κατά τους τελευταίους χειμώνες σημειώθηκαν οι μικρότερες σε διάρκεια και ύψος χιονοπτώσεις του 20<sup>ου</sup> αιώνα (Hurrell, 1996). Ακόμα η υποχώρηση του Αλπικού παγετού είναι <sup>1</sup> πλέον καθεστώς. Επιπλέον στο μεγαλύτερο μέρος της κεντρικής και νότιας Ευρώπης, στη Μεσόγειο και σε πολλές περιοχές της Μέσης Ανατολής επικρατούν ξηρότερες συνθήκες με την Ισπανία και την Πορτογαλία να πλήττονται από έντονες και έμμονες ξηρασίες.

### **Γ. Παγετός**

Η μεταβλητότητα του παγετού σε υπερετήσια κλίμακα μεταξύ των θαλασσών του Λαμπραντόρ και της Γροιλανδίας είναι γεγονός. Μάλιστα τα τελευταία 30 χρόνια έχει σημειωθεί τάση μείωσης του πάγου κατά τη διάρκεια του χειμώνα στην Ανατολική Γροιλανδία και αύξηση αυτού στη Δυτική. Αυτή η μεταβλητότητα δείχνει να συμβαδίζει με αυτήν της SLP, την οποία αντιπροσωπεύει ο δείκτης του NAO.

Όταν ο NAO είναι στη θετική του φάση ο παγετός της θάλασσα του Λαμπραντόρ επεκτείνεται προς τα νότια, ενώ της θάλασσας της Γροιλανδίας προς τα βόρεια. Κάτι τέτοιο συμπίπτει με το φαινόμενο των ενισχυμένων βόρειων ρευμάτων πάνω από τη Γροιλανδία. Κατά συνέπεια η μεταβλητότητα των ορίων του παγετού συσχετίζεται με την ατμόσφαιρα είτε μέσω των ανέμων είτε μέσω των μεταβολών στη θερμοκρασία της επιφάνειας του ωκεανού, γεγονός που αποδεικνύει τη συσχέτιση των μεταβολών του παγετού με τη μεταβλητότητα του NAO, όχι όμως κατά τρόπο μονοσήμαντο καθότι και η τοπική ατμοσφαιρική κυκλοφορία είναι μείζονος σημασίας.

### **Δ. Οικολογία**

Οι μεταβολές που έχουν προαναφερθεί έχουν σαφή επίδραση στην παραγωγή ζωοπλαγκτό καθώς και στους πληθυσμούς διαφόρων ειδών ψαριών. Μεταβολές έχουν παρατηρηθεί όχι μόνο σε κλίμακα δεκαετιών αλλά και λίγων χρόνων.

Αλλά και τα φυτά της ξηράς έχουν επηρεαστεί λόγω της μεταβλητότητας της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Για παράδειγμα στη Νορβηγία τα περισσότερα είδη φυτών ανθίζουν 2-4 εβδομάδες νωρίτερα εξαιτίας των θερμότερων και πιο υγρών χειμώνων. Επιπλέον η περίοδος αναπαραγωγής πολλών αμφίβιων και πουλιών της Ευρώπης είναι νωρίτερα τις

τελευταίες δύο με τρεις δεκαετίες, γεγονός που οφείλεται στις μεταβολές στη διαθεσιμότητα της τροφής. Επίσης έχουν παρατηρηθεί μεταβολές στη γονιμότητα και τους πληθυσμούς των μεγάλων θηλαστικών της Αμερικής και της Ευρώπης.

### **3.2.2 Ο ENSO και η μεταβλητότητα του κλίματος στη Μεσόγειο**

Όπως προαναφέρθηκε τα φαινόμενα El Niño και La Niña καθώς και η Βόρεια Ταλάντωση λαμβάνουν χώρα στον τροπικό Ειρηνικό ωκεανό και οι επιπτώσεις τους είναι πιο άμεσες και ορατές στο Νότιο ημισφαίριο (<http://www.meteo.gr>). Ωστόσο ο ENSO επηρεάζει περιοχές του πλανήτη αρκετά μακριά από τις ειρηνικές ακτές (π.χ. Βόρεια Αφρική) και γενικά θεωρείται ως το σημαντικότερο φαινόμενο που συνδέεται με τη μεταβλητότητα του κλίματος σε μεγάλες χρονικές κλίμακες σε όλο σχεδόν τον πλανήτη (Hurrell, 1996). Θα μπορούσε λοιπόν να αναρωτηθεί κανείς κατά πόσο οι διάφορες ατμοσφαιρικές αναταραχές που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια του φαινομένου εξαπλώνονται μέχρι τη λεκάνη της Μεσογείου και αν ισχύει κάτι τέτοιο, μήπως αυτό συμβαίνει με κάποια χρονική υστέρηση.

Πολυάριθμες είναι οι μελέτες σχετικά με την επίδραση του ENSO πάνω στο κλίμα της Μεσογείου με αντικρουόμενα αποτελέσματα. Οι Huang et al. (1998), Trenberth et al. (1998) και οι Pozo-Vázquez et al. (2001) υποστήριξαν στις μελέτες τους ότι μόνο κατά τη διάρκεια ενός έντονου επεισοδίου El Niño είναι πιθανό να βρεθεί επιρροή του ENSO στο Βόρειο Ατλαντικό και στην Ευρώπη. Επίσης σύμφωνα με το *u* Pozo-Vázquez et al. (2001) η διασπορά του φαινομένου σε μακρινά γεωγραφικά μήκη συμβαίνει με χρονική υστέρηση 3 μηνών.

Οι Fraedrich και Müller (1992) διαπίστωσαν ότι η περιοχή της Δυτικής και Νοτιοδυτικής Ευρώπης μέχρι τη Μαύρη θάλασσα είχε λιγότερες βροχές κατά τη διάρκεια των ψυχρών επεισοδίων, ενώ το ίδιο διαπίστωσαν για την ανατολική Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένης και της Τουρκίας κατά τη διάρκεια των θερμών επεισοδίων.

Ο Rocha (1999) βρήκε ασθενή συσχέτιση μεταξύ του ENSO και της βροχόπτωσης στην Ιβηρική χερσόνησο κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Σύμφωνα με τον Kadioğlu et al. (1999) φαίνεται ότι κατά τις El Niño χρονιές δημιουργούνται περιοχές χαμηλού βαρομετρικού στη Νότια Τουρκία και υψηλού βαρομετρικού στη Βορειοδυτική. Επίσης οι κυκλώνες κινούνται προς τα βόρεια και αυτή μπορεί να είναι η αιτία της μείωσης των βροχοπτώσεων στη Νοτιοδυτική Τουρκία (Kadioğlu et al., 1999). Για την ακρίβεια βρέθηκε ότι το El Niño ευθύνεται για το 6% της μεταβλητότητας της βροχόπτωσης στη

Νότια Τουρκία. Η μείωση της βροχόπτωσης του Δεκεμβρίου στη συγκεκριμένη περιοχή είναι αρκετά κρίσιμη και μπορεί να οδηγήσει σε ξηρασία εφόσον οι βροχοπτώσεις του Δεκεμβρίου συμβάλλουν σε ποσοστό 15-25% στο ετήσιο ύψος.

Οι Price et al. (1998) διαπίστωσαν θετική συσχέτιση ανάμεσα στο El Niño και τη βροχόπτωση στο Ισραήλ για τα τελευταία 20 με 25 χρόνια, κάτι που παύει να ισχύει όσο προχωράμε πίσω στο παρελθόν. Τα συμπεράσματά τους βρίσκονται σε συμφωνία με αυτά των Kadioğlu et al. Η αιτία που η συσχέτιση αυτή διαπιστώνεται μόνο τα τελευταία 25 χρόνια πιθανόν να είναι το γεγονός ότι η συχνότητα και η ένταση των El Niño επεισοδίων έχει αυξηθεί σε σχέση με τα La Niña επεισόδια από τα μέσα του 1970 (Trenberth και Hoar, 1997; Rajagopalan et al., 1997). Η αιτία αυτών των μεταβολών αποτελεί αντικείμενο μελέτης και διερεύνησης.

Οι Quadrelli et al. (2001) και Diaz et al. (2001) δε βρήκαν καμία σημαντική συσχέτιση μεταξύ της χειμερινής (Ιανουάριος-Φεβρουάριος-Μάρτιος) βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας της Μεσογείου και του δείκτη ENSO. Οι τελευταίοι μελέτησαν την περίοδο 1948-2000.

Οι Rodó et al. (1997) και οι Ward et al. (1999) διαπίστωσαν χαμηλότερες του κανονικού SLP από τη βόρεια θάλασσα μέχρι τη Β. Αίγυπτο, συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας, της Ιταλίας, των Βαλκανίων και της Δυτικής Τουρκίας, κατά τη διάρκεια θερμών επεισοδίων κατά τους μήνες Μάρτιο-Μάιο. Υψηλότερες SLP διαπιστώθηκαν από τους Moron και Ward (1998) στον κεντρικό Ατλαντικό, τη δυτική και Νότια Μεσόγειο (Ισπανία, Πορτογαλία, Μαρόκο, Αλγερία, Τυνησία, Λιβύη). Επίσης οι Moron και Ward (1998) διαπίστωσαν μειωμένη εαρινή βροχόπτωση στη Ν. Ελλάδα (Κρήτη) και στη Ιταλία.

Διαπιστώνουμε την ποικιλία των ευρημάτων στο θέμα αυτό καθώς και το γεγονός ότι ο κάθε ερευνητής έχει επικεντρώσει την έρευνά του σε διαφορετικές χρονικές περιόδους καθώς και σε διαφορετική περίοδο του έτους.

### **3.2.3 Η πιθανή σχέση των δύο μεγάλων ωκεανών**

Οι Dong et al. (2006) απέδειξαν ότι η έντονη θερμική κυκλοφορία συνδέει τον τροπικό Ατλαντικό με τον τροπικό Ειρηνικό. Οι Dong και Sutton (2006) υποστηρίζουν ότι οι αναταραχές του νερού στο Β. Ατλαντικό μειώνουν τη θερμική κυκλοφορία και προκαλούν ένα δίπολο θερμοκρασίας ανάμεσα στο Βόρειο και στο Νότιο Ατλαντικό (όταν ο μεν ζεσταίνεται ο δε κρυώνει και το αντίστροφο), καθώς και αύξηση της μεταβλητότητας του ENSO. Η έρευνα αυτή

εμπλουτίζεται από τη μελέτη των Torrence και Webster (1998, 1999), η οποία έδειξε ότι η περίοδος υψηλής μεταβλητότητας του ENSO (πριν το 1920 και μετά το 1960) συμπίπτει με την “κρύα περίοδο” του Β. Ατλαντικού ενώ η περίοδος χαμηλής μεταβλητότητας (από τα μέσα του 1920 μέχρι λίγο μετά το 1960) με τη “θερμή περίοδο”. Επίσης οι Dong et al. (2006) απέδειξαν ότι εκτός από τις εσωτερικές αλληλεπιδράσεις ατμόσφαιρας ωκεανού, είναι και η ηλιακή ακτινοβολία και τα αέρια μιας ηφαιστειακής έκρηξης, τα οποία επιδρούν στην SST του Β. Ατλαντικού και ρυθμίζουν τη μεταβλητότητα του ENSO.

Από τις παραπάνω μελέτες καθίσταται σαφές το γεγονός ότι υπάρχει έντονη συσχέτιση ανάμεσα στις ατμοσφαιρικές διεργασίες και στις μεταβολές θερμοκρασίας που λαμβάνουν χώρα στους 2 μεγάλους ωκεανούς.

### **3.3 Συσχέτιση κλιματικών δεικτών με το φαινόμενο της ξηρασίας**

#### **3.3.1 Γενικά**

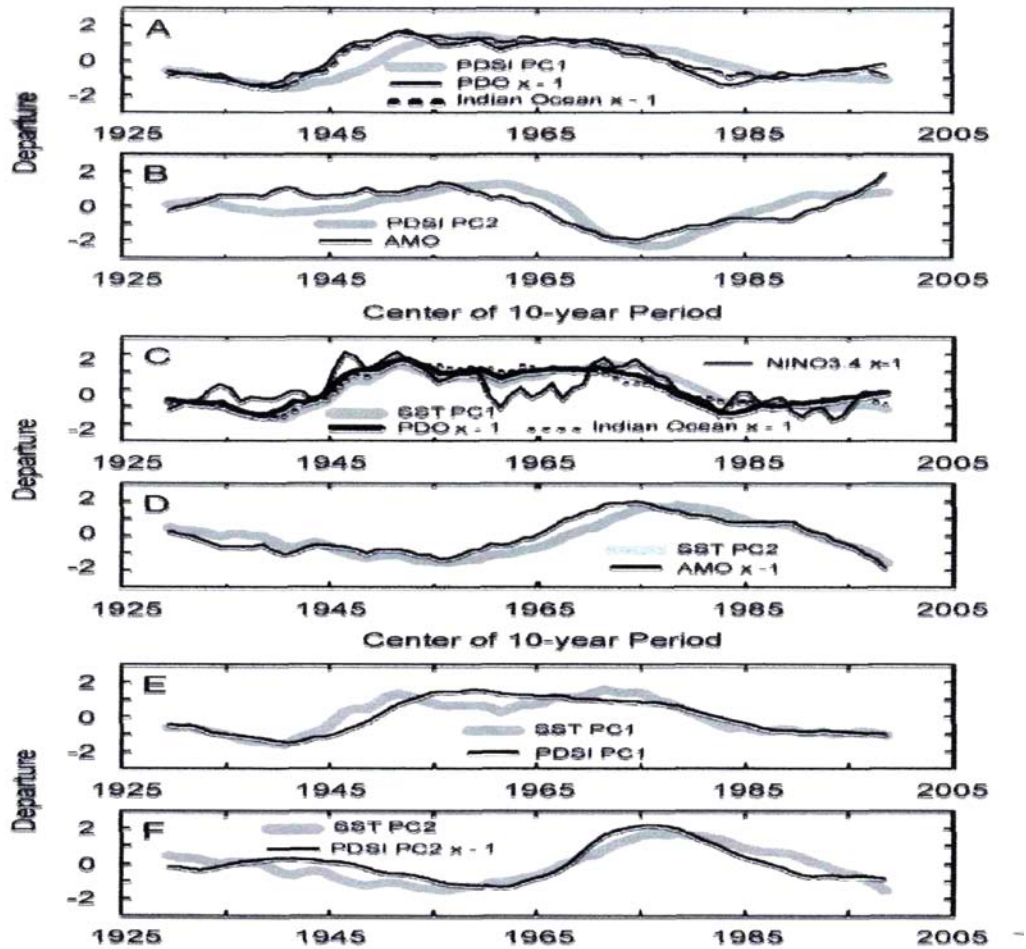
Τα φαινόμενα El Niño και La Niña έχουν συνδεθεί με περιστατικά ξηρασιών σε διάφορες περιοχές του πλανήτη (Diaz and Markgraf, 2000; Walker, 1923; Ropelewski and Halpert, 1986, 1989; Kiladis and Diaz, 1989; Goodrich, 2007).

Πολυάριθμες επίσης είναι οι μελέτες που έχουν υποστηρίξει την επίδραση της μεταβλητότητας του SST στον Ατλαντικό στη μεταβλητότητα της βροχόπτωσης και στο φαινόμενο της ξηρασίας στη Βόρεια Αμερική (Enfield et al., 2001), την Αφρική (Fontain and Janicot, 1996), την Ευρώπη (Sutton and Hodson, 2005, McCabe and Palecki, 2006), τη Νότια Αμερική (Carton et al., 1996) και την Καραϊβική (Giannini et al., 2003).

#### **3.3.2 Η σχέση της μεταβλητότητας της SST των ωκεανών σε χρονική κλίμακα ετών και δεκαετιών με το φαινόμενο της ξηρασίας**

Οι McCabe και Palecki (2006) εξέτασαν τη σχέση του δείκτη PDSI (Palmer Drought Severity Index) και του SST του Β. Ατλαντικού με τους δείκτες AMO, PDO, το SST του Ινδικού Ωκεανού και το NINO 3.4 (πρόκειται για το SSTA για την περιοχή 5°N-5°S και 170°E-120°W) για την περίοδο 1925-2003 με χρήση των μεθόδων ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (Principal Component Analysis, PCA) και SVD (Singular Value Decomposition). Επίσης, εξετάστηκε η συσχέτιση ανάμεσα στον PDSI και την SST απευθείας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα (Σχήμα 3.2).





**Σχήμα 3.1:** A, B: Συσχέτιση του PDSI PC1 με τον PDO και του PDSI PC2 με τον AMO, C: Συσχέτιση του SST PC1 με τον PDO και το NINO 3.4, D: Συσχέτιση του SST PC2 με τον AMO, E, F: Απευθείας συσχέτιση των SST και PDSI (πηγή: McCabe et al., 2007)

Διαπιστώνουμε την έντονη συσχέτιση μεταξύ των PDSI και SST και όλων των κλιματικών δεικτών εκτός του NINO 3.4. Επίσης και ο PDSI με τον SST παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση. Προκύπτει το συμπέρασμα ότι “η μεταβλητότητα σε χρονική κλίμακα δεκαετιών της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας και η ποικιλότητα του κλίματος της ξηράς συνδέονται μέσω χωρικά σύνθετων αλλά αργά μεταβαλλόμενων τηλεσυνδέσεων ανάμεσα στους ωκεανούς του πλανήτη” (McCabe και Palecki, 2006).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

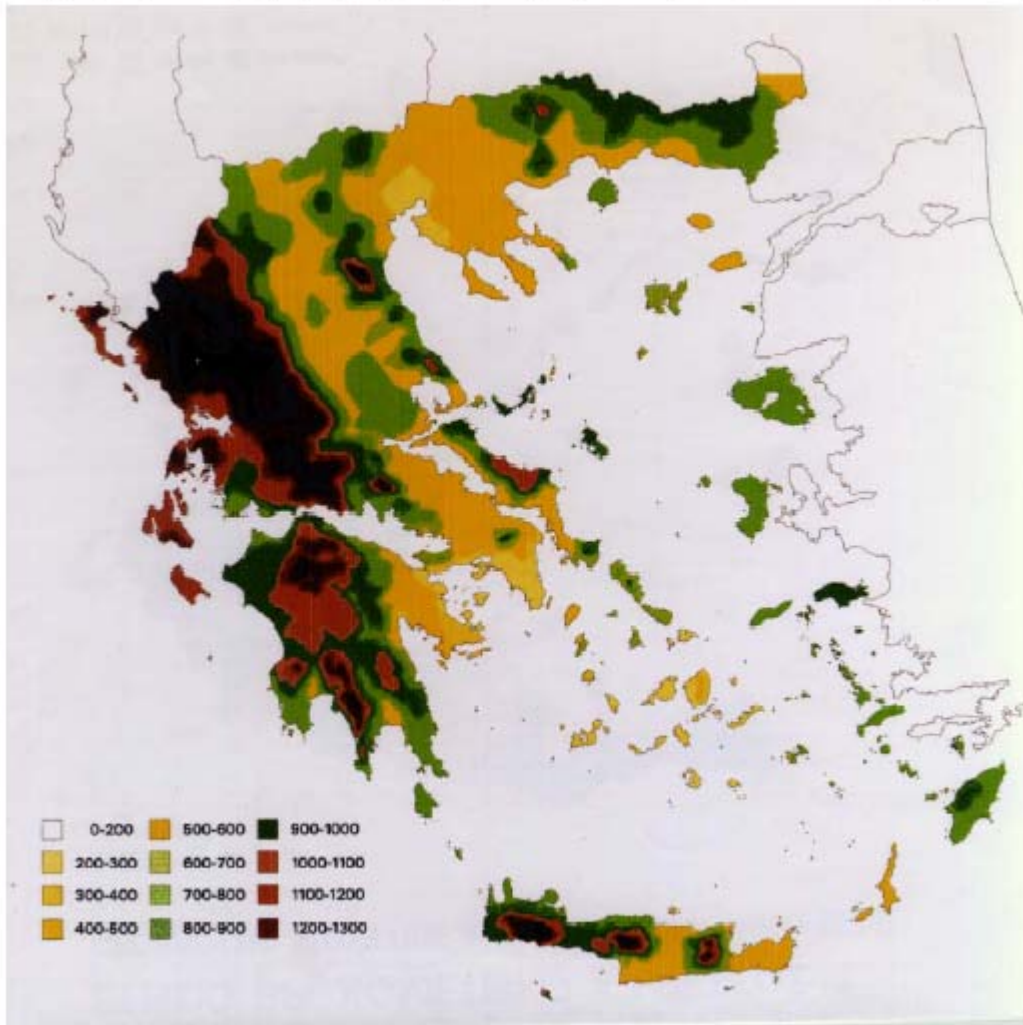
#### 4.1 Περιοχή μελέτης και δεδομένα

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 7 βροχομετρικούς σταθμούς της Ελλάδας οι οποίοι επιλέχτηκαν με βάση τα εξής κριτήρια: α) να είναι κατανεμημένοι σχεδόν σε όλη τη χώρα, από την υγρή δυτική μέχρι την ξηρότερη ανατολική και από τη Θεσσαλονίκη μέχρι την Κρήτη, β) να δίνουν όσο το δυνατόν μακρύτερες χρονοσειρές βροχόπτωσης, με όσο το δυνατόν λιγότερα κενά, γ) η διαθεσιμότητα των δεδομένων στο διαδίκτυο σε μηνιαία κλίμακα. Η μεγαλύτερη χρονοσειρά είναι μήκους 139 ετών και η μικρότερη 51. Θεωρήσαμε καλό για τη συγκεκριμένη μελέτη να έχουμε δεδομένα από όλη την Ελλάδα και όχι από μια μόνο υδρολογική λεκάνη, καθώς η χώρα μας παρουσιάζει μεγάλη ανομοιογένεια όσον αφορά στο βροχομετρικό καθεστώς της και αν και το κλίμα της κατατάσσεται στην κατηγορία εύκρατο, υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση στο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης π.χ. ανάμεσα στην ανατολική και στη δυτική Ελλάδα (Σχήμα 4.1).

Οι χρονοσειρές βροχοπτώσεων που χρησιμοποιήθηκαν διατίθενται στο διαδίκτυο στη διεύθυνση [www.climexp.knmi.nl](http://www.climexp.knmi.nl). Αναλυτικά στοιχεία για τους βροχομετρικούς σταθμούς δίνονται στο Παράρτημα δεδομένων. Στον ίδιο ιστότοπο βρήκαμε και τις χρονοσειρές των δεικτών NAO και ENSO.

Συγκεκριμένα για το δείκτη NAO χρησιμοποιήθηκε η χρονοσειρά Αζόρες-Ρέικιαβικ 1865-2001. Η χρονοσειρά αυτή, που έχει μονάδες πίεσης (hPa), έχει προκύψει ως η διαφορά ανάμεσα σε δύο χρονοσειρές SLP, μία για τη θαλάσσια περιοχή στις Αζόρες και μία για τη θαλάσσια περιοχή της Ισλανδίας. Η χρονοσειρά του NAO συγκρίθηκε με χρονοσειρές από 7 σταθμούς.

Για τον ENSO χρησιμοποιήθηκε η χρονοσειρά ENSO34 1870-2008, η οποία αφορά τη θαλάσσια περιοχή 5°S-5°N, 170°E-120°W του τροπικού Ειρηνικού ωκεανού. Ο ENSO34 έχει μονάδες θερμοκρασίας (°C) και οι τιμές του αντιπροσωπεύουν την απόκλιση της θερμοκρασίας της θάλασσας (Sea Surface Temperature Anomaly, SSTA) από τη μέση τιμή για τη συγκεκριμένη περιοχή.



**Σχήμα 4.1:** Η γεωγραφική κατανομή της ετήσιας βροχόπτωσης στην Ελλάδα (πηγή: Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007)

Από τις τιμές αυτές για κάθε μήνα έχει αφαιρεθεί ο μέσος όρος της τριακονταετίας 1971-2000. Τα δεδομένα αυτά προέκυψαν από μετρήσεις θερμοκρασίας της θάλασσας μέσω δορυφόρου από το Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature (HadISST). Η χρονοσειρά του ENSO συγκρίθηκε με 2 από τις 7 χρονοσειρές, τις μεγαλύτερες σε μήκος.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τόσο τα δεδομένα βροχόπτωσης, όσο και των δεικτών έχουν προσαρμοστεί στο υδρολογικό έτος, δηλ. από τον Οκτώβριο μέχρι το Σεπτέμβριο.

Σημαντικό στοιχείο των χρονοσειρών είναι το μήκος τους, καθότι όσο μεγαλύτερο είναι το δείγμα που μελετάμε τόσο πιο αξιόπιστα θεωρούνται τα αποτελέσματα.

## 4.2 Μεθοδολογία

Η σχέση που αναζητούμε μεταξύ των υπό μελέτη μεγεθών είναι γραμμική, δηλαδή της μορφής

$$Y = a + b X \quad (4.1)$$

όπου  $a$  και  $b$  αριθμητικές σταθερές γνωστές ως απόκομμα (intercept) και κλίση (slope) της ευθείας αντίστοιχα (Κουτσογιάννης, 1996).

Η γραμμική συσχέτιση είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική για την εύρεση σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών  $X$  και  $Y$  (De Luis et al., 2000; Maheras and Anagnostopoulou, 2003). Ο τρόπος συσχέτισης στηρίζεται στο γεγονός ότι η παραγόμενη γραμμή τάσης παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα εκτίμησης της εξαρτημένης μεταβλητής  $X$  από την ανεξάρτητη  $Y$ . Ανεξάρτητη μεταβλητή είναι ο εκάστοτε δείκτης και εξαρτημένη το ύψος βροχόπτωσης. Ο συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficient)  $r$ , με τιμές

$$-1 \leq r \leq 1 \quad (4.2)$$

και μαθηματική έκφραση

$$r = \sqrt{d} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.3)$$

μας δείχνει αν οι δύο μεταβλητές συσχετίζονται ή όχι. Η στατιστική σημαντικότητα των αποτελεσμάτων για επίπεδο  $\alpha=5\%$  αξιολογήθηκε σύμφωνα με την κρίσιμη τιμή

$$r_c = \frac{2}{\sqrt{n}} \quad (4.4)$$

όπου  $n$  το μέγεθος του δείγματος.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε χρησιμοποιεί επίσης ευρέως τη γραφική απεικόνιση (διαγράμματα σημείων) των τιμών της βροχόπτωσης σε σχέση με τις τιμές του δείκτη για διάφορες χρονικές κλίμακες (μηνιαία, εποχιακή, ετήσια) μαζί με την απεικόνιση της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων, όπου αυτή βρέθηκε να έχει κλίση (συντελεστής  $r$ ) στατιστικά σημαντική.

Δεδομένου επίσης ότι η πρόγνωση των ακραίων τιμών της βροχόπτωσης αποτελεί μια πρόκληση για τους μετεωρολόγους, αλλά και γενικότερα για τη διαχείριση των υδατικών πόρων, επιχειρείται η εύρεση συσχετίσεων ανάμεσα σε ακραίες τιμές της βροχόπτωσης σε διάφορες

χρονικές κλίμακες (μηνιαία, εποχιακή, ετήσια) και σε μέσες τιμές του δείκτη για χρονικές περιόδους (μήνας, εποχή, έτος) που προηγούνται της εμφάνισης των ακραίων αυτών τιμών.

Επίσης μας ενδιαφέρει να διαπιστώσουμε αν η χώρα μας (ή κάποιες περιοχές αυτής) βρίσκονται στην ακτίνα διασποράς των φαινομένων που περιγράψαμε και αν ναι, σε ποιες χρονικές κλίμακες και υπό ποιες συνθήκες μπορεί να συμβεί κάτι τέτοιο.

Η μεθοδολογία είναι κοινή και για τους δύο δείκτες και τα βήματα που ακολουθήθηκαν περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

#### **4.2.1 Χρονική κλίμακα έτους**

Έγινε επεξεργασία των χρονοσειρών σε χρονική κλίμακα ενός έτους. Σε πρώτη φάση υπολογίστηκαν οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της ετήσιας βροχόπτωσης, του ετήσιου ΝΑΟ και των τριών εποχιακών της ίδιας υδρολογικής χρονιάς α) για όλη τη χρονοσειρά και β) για τα έτη που χαρακτηρίστηκαν ως έτη ξηρασίας μέσω του δείκτη SPI. Μια τέτοια σύγκριση γίνεται για λόγους εύρεσης συσχέτισης μεταξύ ξηρασίας σε ετήσια βάση και του δείκτη των εποχών που προηγούνται της εμφάνισης αυτής. Κάτι τέτοιο είναι πολύ σημαντικό για τη διαχείριση των υδατικών πόρων καθ' ότι μπορεί να συμβάλλει στη λήψη μέτρων ενόψει ενός επερχόμενου άνυδρου καλοκαιριού. Ως εποχές στην παρούσα μελέτη έχουμε θεωρήσει: χειμώνα τους μήνες Ιανουάριο-Φεβρουάριο-Μάρτιο (ΙΦΜ), άνοιξη Απρίλιο-Μάιο-Ιούνιο (ΑΜΙ), καλοκαίρι Ιούλιο-Αύγουστο-Σεπτέμβρη (ΙΑΣ) και φθινόπωρο Οκτώβριο-Νοέμβριο-Δεκέμβριο (ΟΝΔ).

Ο συντελεστής συσχέτισης είναι μια πρώτη ένδειξη για την ύπαρξη ή όχι σύνδεσης, αλλά σε δεύτερη φάση, αυτό που έχει σημασία είναι η κατανομή των ξηρών ετών σε σχέση με το σύνολο. Γι' αυτό το λόγο, στη συνέχεια, οι περιπτώσεις που είχαμε στατιστικά σημαντική συσχέτιση απεικονίστηκαν σε διάγραμμα δείκτη-ύψους βροχόπτωσης, στο οποίο εμφανίζονται με άλλο χρώμα τα ξηρά έτη και με άλλο τα έτη κανονικής βροχόπτωσης. Αλλά και περιπτώσεις που δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικό συντελεστή, αλλά είχαν κάποιο ενδιαφέρον ως προς την εικόνα των ξηρών ετών, απεικονίζονται σε διαγράμματα σημείων. Από τα διαγράμματα αυτά προέκυψαν πίνακες 3x3, προκειμένου να διαπιστωθεί αν υπάρχει διαφοροποίηση στην πιθανότητα εμφάνισης ενός ξηρού έτους ανάλογα με τα διάφορα διαστήματα τιμών που λαμβάνει ο κάθε δείκτης.

Η μέθοδος πίνακα 3x3 έχει χρησιμοποιηθεί από τον Eltahir (1996) σε ανάλογη μελέτη για τη σχέση του ENSO με τις απορροές του Νείλου για χρονικό διάστημα 100 ετών. Μετά από εφαρμογή της μεθόδου σε δείγμα απορροών του Νείλου μήκους 140 ετών, διαπιστώθηκε ότι όσο πιο μεγάλο είναι το δείγμα, τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται και σίγουρα μπορούν να θεωρηθούν πιο αξιόπιστα. Γι' αυτό το λόγο η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόστηκε μόνο στο δείγμα της Αθήνας μήκους 137 ετών για το NAO και 139 για τον ENSO, καθώς και στη συγκεντρωτική επεξεργασία των δεδομένων όλων των βροχομετρικών σταθμών μαζί που παρουσιάζεται στο Κεφ. 7. Τα διαστήματα που επελέγησαν είναι τα εξής:  $x \leq -0,5$ ,  $-0,5 < x \leq 0,5$  και  $x > 0,5$ . Για το δείκτη ENSO οι τιμές  $-0,5$  και  $0,5$  θεωρούνται κρίσιμες γιατί οριοθετούν την έναρξη La Niña και El Niño συνθηκών αντίστοιχα. Όταν δηλαδή ο μηνιαίος ENSO είναι μικρότερος του  $-0,5$  για 5 συνεχόμενους μήνες και πάνω μιλάμε για επεισόδιο La Niña, αλλιώς μιλάμε για συνθήκες La Niña. Αντίστοιχα για El Niño επεισόδιο μιλάμε όταν ENSO  $> 0,5$  για παραπάνω από 5 συνεχόμενους μήνες. Στο ενδιάμεσο διάστημα οι τιμές θεωρούνται φυσιολογικές. Ομοίως για το δείκτη NAO, όταν βρίσκεται στο διάστημα από  $-0,5$  έως  $0,5$  θεωρούμε ότι δεν παρουσιάζει σημαντική μεταβολή. Για τιμές πέραν αυτών, θεωρούμε ότι η αύξηση ή μείωση είναι σημαντική.

#### **4.2.2 Χρονική κλίμακα εποχής**

Σε αυτό το βήμα έγινε επεξεργασία των χρονοσειρών σε χρονική κλίμακα μιας εποχής, δηλαδή τριών μηνών. Περισσότερο ενδιαφέρον για τη συγκεκριμένη μελέτη έχει η συμπεριφορά της χειμερινής και της φθινοπωρινής βροχόπτωσης σε σχέση με το δείκτη γιατί αυτές οι δύο εποχές συμβάλλουν κατά μεγαλύτερο ποσοστό στο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και όταν παρουσιάζουν μειωμένη βροχόπτωση είναι εξαιρετικά πιθανό να παρουσιαστεί ξηρασία σε ετήσια κλίμακα. Γι' αυτό και υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ της χειμερινής και φθινοπωρινής βροχόπτωσης και των τριών προηγούμενων εποχών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους (π.χ. χειμερινή βροχόπτωση και NAO φθινοπώρου του ίδιου υδρολογικού έτους και NAO καλοκαιριού και άνοιξης του προηγούμενου υδρολογικού έτους) α) για όλη τη χρονοσειρά μήκους  $n$ , β) για το πλήθος  $k < n$  των ετών που παρουσίασαν ξηρό χειμώνα και γ) για το πλήθος  $m < n$  των ετών που παρουσίασαν ξηρό φθινόπωρο. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για τη βελτίωση της δυνατότητας πρόβλεψης συνθηκών ξηρότητας κατά τη διάρκεια του χειμώνα ή του φθινοπώρου 3-9 μήνες πριν αυτές εμφανιστούν και κατ' επέκταση

να συμβάλλει στη λήψη μέτρων για την πρόληψη ενός επερχόμενου καλοκαιριού, κατά το οποίο η διαθεσιμότητα νερού στους υδάτινους αποδέκτες θα είναι μειωμένη έως και 1 έτος νωρίτερα.

Σε δεύτερη φάση κατασκευάσαμε και πάλι διαγράμματα σημείων στα οποία απεικονίζονται με άλλο χρώμα τα έτη με ξηρό φθινόπωρο ή χειμώνα και με άλλο το σύνολο των ετών.

Ο χαρακτηρισμός των εποχών ως ξηρές ή μη έγινε με τη βοήθεια του δείκτη ξηρασίας SPA, που περιγράφεται σε επόμενο εδάφιο.

#### 4.2.3 Χρονική κλίμακα ενός μήνα

Έγινε επεξεργασία των χρονοσειρών σε μηνιαία χρονική κλίμακα. Για κάθε μία από τις υπό μελέτη περιοχές βρέθηκαν οι δύο βροχερότεροι μήνες του έτους και υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στη βροχόπτωση του κάθε ένα από αυτούς τους μήνες και των δεικτών των 6 προηγούμενων μηνών α) για όλα τη χρονοσειρά μήκους  $n$  και β) για το πλήθος  $m < n$  των ετών κατά τα οποία ο κάθε ένας από αυτούς τους μήνες χαρακτηρίστηκε ως ξηρός. Τα υπόλοιπα βήματα είναι τα ίδια με αυτά της επεξεργασίας έτους και εποχής.

Μπορεί ο όρος ξηρασία να μην παραπέμπει σε συνθήκες ξηρότητας για ένα μήνα, ωστόσο η δυνατότητα πρόβλεψης ενός ξηρού μήνα μεμονωμένα είναι μείζονος σημασίας για τη γεωργική παραγωγή. Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι σε χρονιές με ετήσιο ύψος βροχόπτωσης κοντά στο αναμενόμενο, δηλαδή σε χρονιές που δεν εκδηλώνεται μετεωρολογική ξηρασία σε μια υδρολογική λεκάνη, εκδηλώνεται υδρολογική ξηρασία, δηλαδή μείωση των απορροών, γεγονός που οφείλεται στη μηνιαία κατανομή της βροχόπτωσης. Πιο συγκεκριμένα έχει διαπιστωθεί ότι όταν διακόπτεται ο βροχόπτωση κατά τους χειμερινούς μήνες, η απορροή είναι μειωμένη όχι μόνο κατά τους μήνες αυτούς αλλά και κατά τους θερινούς (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007), γεγονός που κάνει το ενδεχόμενο εκδήλωσης ξηρασίας πολύ πιθανό.

Για παράδειγμα κατά τη διάρκεια της 7ετούς (1987-1994) έμμονης και έντονης υδρολογικής ξηρασίας που σημειώθηκε στο Βοιωτικό Κηφισό, παρατηρήθηκε ότι μόνο 3 από τις 7 αυτές χρονιές παρουσίασαν και μετεωρολογική ξηρασία στην περιοχή του Αλίου. Για την ακρίβεια η βροχόπτωση του Ιανουαρίου στις 5 από τις 7 αυτές χρονιές ήταν ιδιαίτερα μειωμένη έως μηδενική ενώ και στις 7 χρονιές η βροχόπτωση του Φεβρουαρίου ήταν κάτω του μέσου όρου (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007). Η συγκεκριμένη μελέτη ωστόσο δεν αφορά στην υδρολογική ξηρασία Τέλος, ο χαρακτηρισμός ενός μήνα ως ξηρού ή μη έγινε με τη βοήθεια του δείκτη ξηρασίας SPA, που περιγράφεται παρακάτω.

Η παραπάνω επεξεργασία σε όλα τα βήματα έγινε με τη χρήση του προγράμματος EXCEL του πακέτου Microsoft Office 2003. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η παράγραφος της Αθήνας είναι η μόνη στην οποία απεικονίζονται όλα τα διαγράμματα, γιατί θεωρούμε, ότι λόγω του μεγέθους της χρονοσειράς τα αποτελέσματα είναι πιο αξιόπιστα. Επίσης στην Αθήνα έγινε εφαρμογή της μεθόδου του Eltahir (1996) και πάλι λόγω μεγέθους δείγματος. Στις υπόλοιπες πόλεις τα συμπεράσματα εξήχθησαν κατόπιν παρατήρησης των διαγραμμάτων και των πινάκων και έχουν απεικονιστεί μόνο τα διαγράμματα, στα οποία βρέθηκε στατιστικά σημαντικός  $r$  και όσα έχουν κάτι ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε. Τα υπόλοιπα διαγράμματα βρίσκονται στο Παράρτημα Σχημάτων. Όλοι οι πίνακες που κατασκευάστηκαν βρίσκονται στο κυρίως σώμα της εργασίας.

### 4.3 Δείκτες ξηρασίας

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης Standardized Precipitation Index (SPI) προκειμένου να διαχωρίσουμε τα ξηρά και πολύ ξηρά έτη από αυτά κανονικής ή αυξημένης βροχόπτωσης. Οι McKee et al. (1993 και 1995) δημιούργησαν το συγκεκριμένο δείκτη με σκοπό να προσδιοριστεί η ένταση επεισοδίων ξηρασίας. Ο υπολογισμός του είναι σχετικά απλός γιατί χρησιμοποιεί μόνο δεδομένα ύψους βροχόπτωσης έναντι άλλων δεικτών, π.χ. PDSI, που απαιτούν δεδομένα εξατμοδιαπνοής, απορροής, υπόγειας υγρασίας κ.ά. Ο SPI αποτελεί βελτίωση των προηγούμενων δεικτών ξηρασίας, εφόσον χαρακτηρίζεται από εύκολη χρήση, χρονική και χωρική ευελιξία. Είναι πολύ απλά η μετατροπή της θεωρητικής κατανομής που προσομοιάζει τα δεδομένα βροχόπτωσης του δείγματος στην τυποποιημένη κανονική κατανομή (κατανομή  $z$ ).

Σύμφωνα με το κεντρικό οριακό θεώρημα η οριακή κατανομή αθροίσματος τυχαίων μεταβλητών-συνιστωσών, ανεξάρτητα από τις κατανομές των συνιστωσών του αθροίσματος, είναι πάντα η ίδια, η γνωστή κανονική κατανομή (Κουτσογιάννης, 1996). Θεωρώντας λοιπόν ότι η ετήσια βροχόπτωση σε μια όχι άνυδρη περιοχή μπορεί να θεωρηθεί ως άθροισμα πολλών επεισοδίων βροχής κατά τη διάρκεια του έτους (Κουτσογιάννης, 1996), μπορούμε να πούμε ότι η κανονική κατανομή περιγράφει ικανοποιητικά την ετήσια βροχόπτωση για κάθε σταθμό που μελετήθηκε. Ο SPI δίνεται από τον τύπο

$$SPI = Z = \frac{x - m}{s} \quad (4.4)$$



που δεν είναι άλλη από την κανονικοποιημένη μεταβλητή  $z$ , όπου  $m$  και  $s$  είναι η δειγματική μέση τιμή και τυπική απόκλιση αντίστοιχα. Η κατάταξη σύμφωνα με τον SPI δίνεται στον Πίνακα 4.1.

**Πίνακας 4.1:** Κατάταξη σύμφωνα με τον SPI και πιθανότητα εμφάνισης κάθε κατηγορίας (McKee et.al, 1993).

SPI	Category	Probability %
> 2.00	Extremely wet	2.3
1.50 to 1.99	Severely wet	4.4
1.00 to 1.49	Moderately wet	9.2
0 to 0.99	Mildly wet	34.1
0 to -0.99	Mild drought	34.1
-1.00 to -1.49	Moderate drought	9.2
-1.50 to -1.99	Severe drought	4.4
< -2.00	Extreme drought	2.3

Οι Maheras et al. (1998) σε μελέτη τους σχετικά με τη σχέση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στη λεκάνη της Μεσογείου με την εμφάνιση ξηρών μηνών, χρησιμοποίησαν τη μηνιαία κανονικοποιημένη ανωμαλία βροχόπτωσης (Standardized Precipitation Anomaly, SPA). Ο SPA για κάθε μήνα ισούται με

$$SPA_i = \frac{X_i - m}{s} \quad (4.5)$$

όπου  $m$  η μηνιαία μέση τιμή της βροχόπτωσης,  $s$  η τυπική απόκλιση και  $x_i$  η μηνιαία βροχόπτωση. Στη συνέχεια, ανάλογα με την τιμή του SPA, προκύπτει ο δείκτης Hydric Indice (HI), ανάλογα με τον οποίο οι μήνες χαρακτηρίζονται ως ξηροί, κανονικοί ή υγροί (Πίνακας 4.2). Υγροί μήνες θεωρούνται εκείνοι για τους οποίους  $HI=1, 2, 3$  ενώ για τους ξηρούς  $HI=-1, -2$ . Αυτή η τεχνική έχει επίσης χρησιμοποιηθεί από τους Kutiel και Paz (1998) για τη μελέτη της ξηρασίας στην περιοχή του Ισραήλ. Ο ίδιος δείκτης χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό των εποχών ως ξηρές, κανονικές ή υγρές.

**Πίνακας 4.2:** Τιμές του HI ανάλογα με τον SPA. (Maheras et. al, 1998)

SPA	HI
SPA < -2.0	-3
-2.0 < SPA < -1.3	-2
-1.3 < SPA < -0.6	-1
-0.6 < SPA < 0.7	0
0.4 < SPA < 1.4	1
1.4 < SPA < 2.1	2
2.1 < SPA	3

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

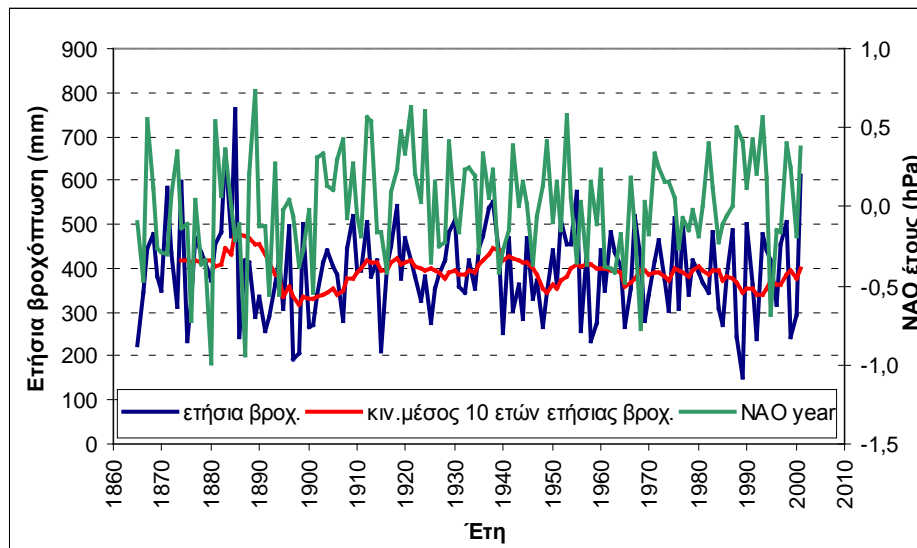
### ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΝΑΟ/ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

#### 5.1 Αθήνα

Ο βροχομετρικός σταθμός της Αθήνας με κωδικό 16714 (WMO) έχει συντεταγμένες 38°N, 23.70°E και βρίσκεται σε υψόμετρο 107 m. Διαθέτει στοιχεία μηνιαίας βροχόπτωσης για την περίοδο 1870-2008. Στις παραγράφους της Αθήνας παρουσιάζονται όλα τα διαγράμματα που έγιναν. Όπου συναντούμε το σύμβολο -, η χρονική περίοδος ανήκει στο προηγούμενο υδρολογικό έτος.

##### 5.1.1 Χρονική κλίμακα έτους

Μια πρώτη εικόνα για την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ της ετήσιας βροχόπτωσης και του ετήσιου δείκτη μας δίνει το Σχήμα 5.1, όπου έχουν απεικονιστεί οι 2 χρονοσειρές συναρτήσε του υδρολογικού έτους.

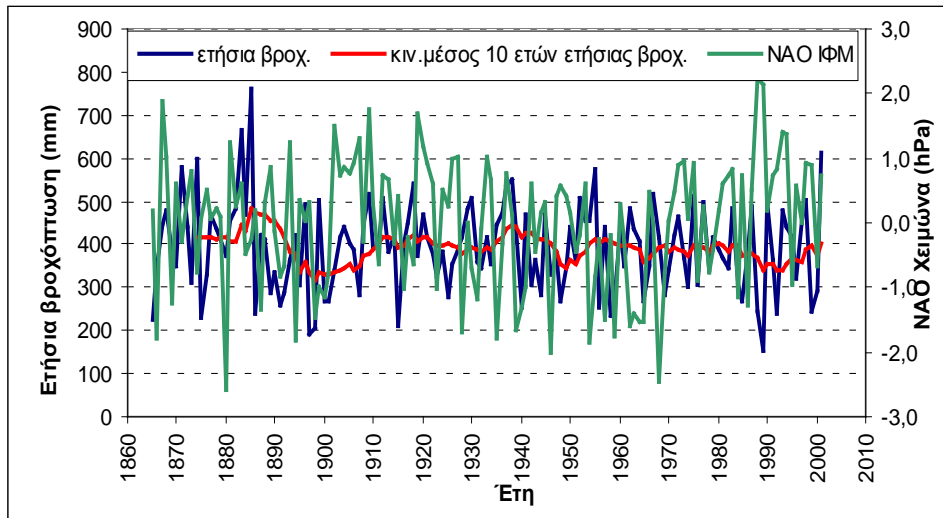


Σχήμα 5.1: Ετήσια βροχόπτωση στην Αθήνα και NAO έτους συναρτήσε της υδρολογικής χρονιάς.

Με μια πρώτη ματιά δε διαφαίνεται η ύπαρξη σημαντικής και σταθερά υψηλής συσχέτισης, υπάρχουν ωστόσο διαστήματα που οι 2 γραμμές μεταβάλλονται με τον ίδιο τρόπο, π.χ. η 5ετία 1921-1924, όπου  $r=0.94$ , η 5ετία 1922-26, όπου  $r=0.92$ . Βρέθηκε ωστόσο και 5ετία με υψηλά

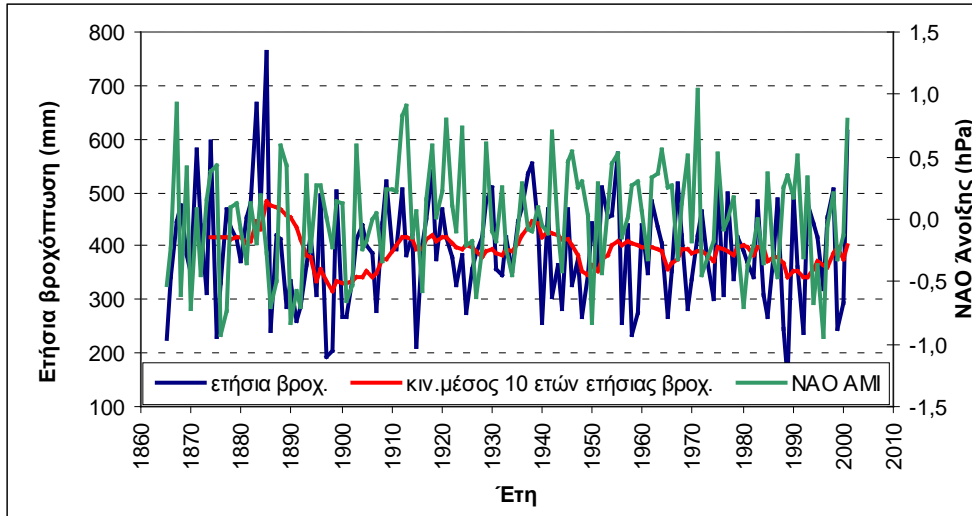
αρνητική συσχέτιση: 1955-59, όπου  $r=-0.9$ . Επίσης και για χρονικό διάστημα 40 ετών βρέθηκαν κάποιες στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις, π.χ. 1890-1929, όπου  $r=0.36$ .

Παρόμοια εικόνα παρουσιάζει η ετήσια βροχόπτωση σε σχέση με τους εποχιακούς NAO του ίδιου υδρολογικού έτους (Σχήματα 5.2-5.4).

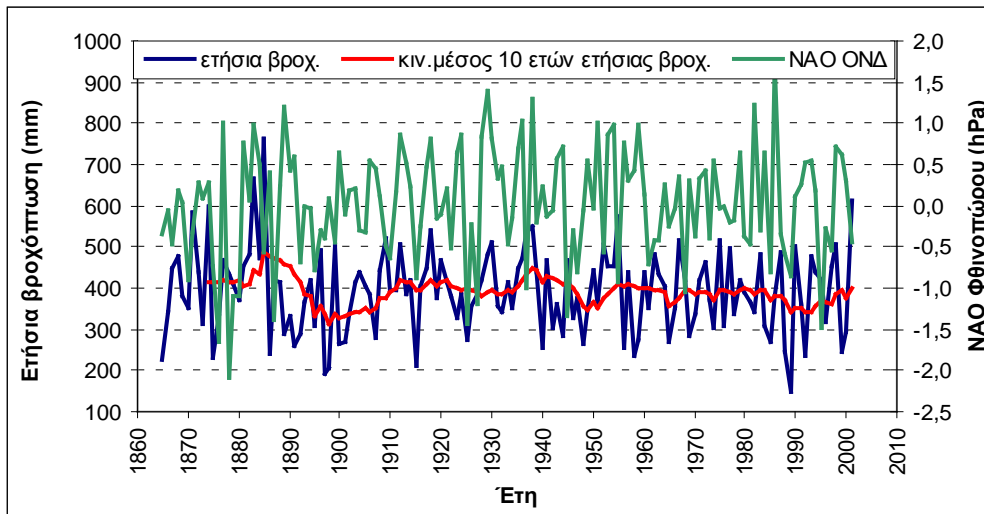


**Σχήμα 5.2:** Ετήσια βροχόπτωση στην Αθήνα και NAO χειμώνα του ίδιου υδρολογικού έτους.

Και πάλι συναντούμε 10ετίες με στατιστικά σημαντική και υψηλή συσχέτιση, π.χ. 1870-1879, όπου  $r=-0.73$  και 10ετίες με πολύ χαμηλό ή και μηδενικό π.χ. 1960-69 όπου  $r=0$ . Βέβαια το χρονικό διάστημα των 10 ετών είναι πολύ μικρό για να μας δώσει ένα ασφαλές συμπέρασμα και ένας μελετητής που θα περιοριζόταν σε ένα τόσο μικρό δείγμα, πιθανόν να οδηγείτο σε λάθος συμπεράσματα. Επίσης παρατηρήθηκε ότι όσο μεγαλώνει το χρονικό παράθυρο τόσο μειώνεται η συσχέτιση.



Σχήμα 5.3: Ετήσια βροχόπτωση στην Αθήνα και NAO άνοιξης του ίδιου υδρολογικού έτους.



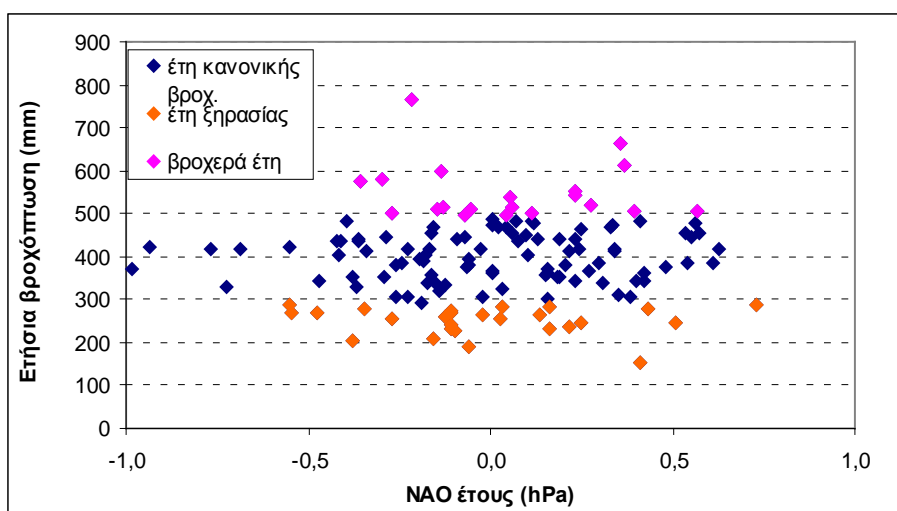
Σχήμα 5.4: Ετήσια βροχόπτωση στην Αθήνα και NAO φθινοπώρου του ίδιου υδρολογικού έτους.

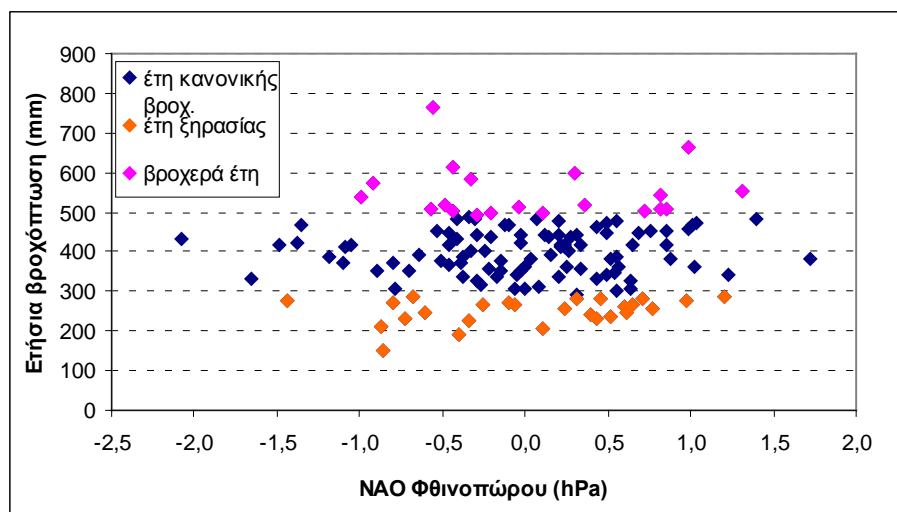
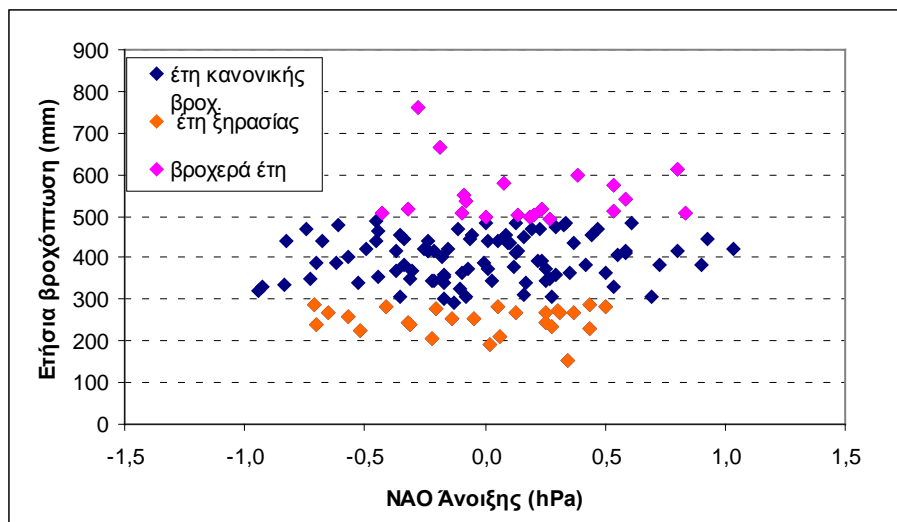
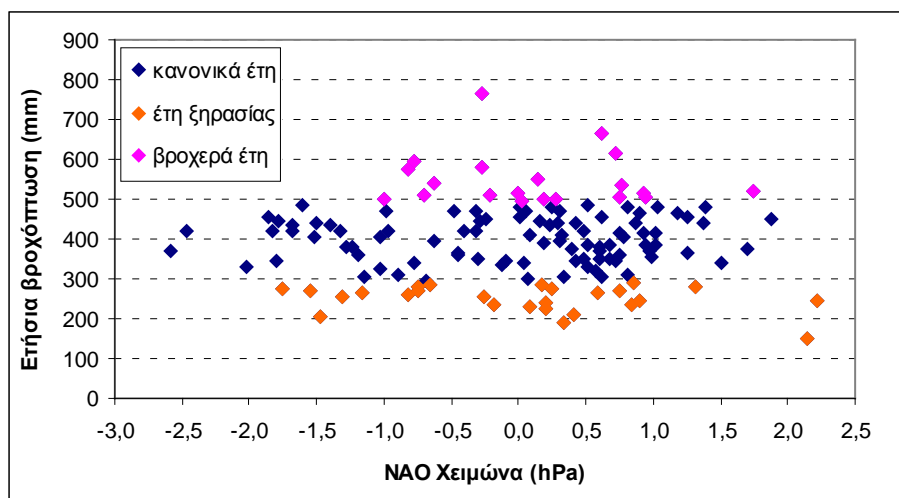
Ωστόσο τα παραπάνω αποτελέσματα δεν αποκλείουν το ενδεχόμενο τα ξηρά έτη να συνδέονται με κάποιο τρόπο με το δείκτη. Οι μηχανισμοί κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας είναι αρκετά πολύπλοκοι και η απουσία συσχέτισης στο σύνολο των ετών δεν αποκλείει κατά τα ξηρά έτη να διαμορφώνονται τέτοιες συνθήκες που να δίνουν στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ των υπό μελέτη μεγεθών. Από τον Πίνακα 5.1 διαπιστώνουμε ότι κάτι τέτοιο δεν ισχύει για την ετήσια βροχόπτωση της Αθήνας.

**Πίνακας 5.1 :** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ετήσιας βροχόπτωσης στην Αθήνα, ετήσιου και εποχιακών NAO του ίδιου υδρολογικού έτους για τα έτη έντονης ξηρασίας, τα έτη ξηρασίας συνολικά και το σύνολο όλων των ετών.

	Πλήθος ετών	NAO έτους	NAO φθινοπώρου	NAO χειμώνα	NAO άνοιξης	r critical
έτη έντονης ξηρασίας	8	-0,31	0,54	-0,51	-0,30	0,71
έτη ξηρασίας	26	-0,10	0,35	-0,32	-0,07	0,39
όλα τα έτη	137	0,07	0,04	0,00	0,13	0,17

Τέλος στο Σχήμα 5.5 έχουμε πλοτάρει με άλλο χρώμα το σύνολο των ετών και με άλλο χρώμα τα ξηρά, κανονικά και υγρά έτη. Βλέπουμε ότι τα σημεία που αναπαριστούν τα ξηρά έτη συγκεντρώνονται κυρίως στο ουδέτερο διάστημα του δείκτη για το NAO έτους και άνοιξης ενώ είναι σχεδόν ισομοιρασμένα στα τρία διαστήματα για χειμώνα και φθινόπωρο. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο, γιατί κατά τους φθινοπωρινούς και κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες η διαφορά πίεσης ανάμεσα στα δύο κέντρα είναι γενικά μεγαλύτερη σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες του έτους. Αυτό που αξίζει περισσότερο όμως να παρατηρήσουμε, είναι τα ξηρά έτη σε σχέση με το σύνολο των ετών. Από τα σχήματα διαφαίνεται ότι η κατανομή των σημείων που αναπαριστούν τα έτη ξηρασίας δεν είναι αισθητά διαφοροποιημένη από το σύνολο των σημείων, γεγονός που συνεπάγεται ότι και στα τρία διαστήματα του δείκτη αναμένουμε σχεδόν παρόμοια πιθανότητα εμφάνισης ξηρασίας σε ετήσια κλίμακα.





**Σχήμα 5.5:** Ετήσια βροχόπτωση Αθήνας και NAO α) έτους, β) χειμώνα, γ) άνοιξης, δ) φθινοπώρου του ίδιου υδρολογικού έτους για όλα τα έτη, για τα έτη ξηρασίας και για τα βροχερά έτη.

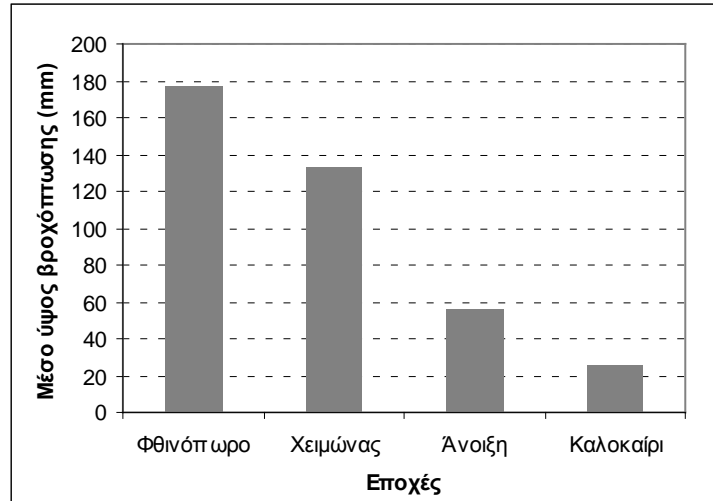
Κάτι τέτοιο επιβεβαιώνεται και από τον Πίνακα 5.2, στον οποίο παρατηρούμε ότι και στις τρεις περιοχές του δείκτη το πιο πιθανό ενδεχόμενο είναι αυτό μιας κανονικής χρονιάς και η πιθανότητα εμφάνισης ξηρασίας δε διαφοροποιείται αισθητά στις τρεις περιοχές. Κάποιες σημαντικές διαφορές παρατηρούμε για το NAO άνοιξης, όπου η πιθανότητα εμφάνισης ξηρασίας όταν ο NAO είναι υψηλός είναι αρκετά μικρότερη από αυτήν υγρού έτους, ενώ η πιθανότητα εμφάνισης ξηρασίας μεταξύ περιοχής χαμηλού και υψηλού NAO είναι 30% έναντι 5,56%. Αυτή η διαφορά δικαιολογείται εν μέρει από το θετικό συντελεστή συσχέτισης ( $r=0,13$ ), ο οποίος όμως είναι στατιστικά ασήμαντος, άρα όπως φαίνεται και από το Σχήμα 5.5γ οφείλεται στο δείγμα.

**Πίνακας 5.2:** Πιθανότητες % εμφάνισης ξηρασίας, κανονικής ή υψηλής βροχ. στην Αθήνα ανάλογα με την περιοχή τιμών του NAO α) έτους, β) χειμώνα, γ) άνοιξης και δ) φθινοπώρου.

		ξηρασία	κανονική βροχ.	υψηλή βροχ.
α) έτος	χαμηλός NAO	25	75	0
	κανονικός NAO	18,49	65,55	15,97
	υψηλός NAO	20	70	10
β) χειμώνας	χαμηλός NAO	22,50	65	12,50
	κανονικός NAO	18,75	64,58	16,67
	υψηλός NAO	16,33	69,39	14,29
γ) άνοιξη	χαμηλός NAO	<b>29,41</b>	70,59	<b>0</b>
	κανονικός NAO	19,61	65,69	14,71
	υψηλός NAO	<b>5,56</b>	66,67	<b>27,78</b>
δ) φθινοπώρο	χαμηλός NAO	25,93	59,26	14,81
	κανονικός NAO	14,67	72	13,33
	υψηλός NAO	22,86	60	17,14

### 5.1.2 Χρονική κλίμακα εποχής

Εδώ εξετάζουμε το ύψος της χειμερινής και της φθινοπωρινής βροχόπτωσης εφόσον είναι οι εποχές που συμβάλλουν κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στο ετήσιο ύψος (Σχήμα 5.6). Η δυνατότητα πρόβλεψης ενός ξηρού χειμώνα ή ενός ξηρού φθινοπώρου είναι πολύ σημαντική για τη διαχείριση των υδατικών πόρων και τη λήψη προληπτικών μέτρων ενόψει ενός πιθανόν άνυδρου επερχόμενου καλοκαιριού.



Σχήμα 5.6: Εποχιακή κατανομή βροχόπτωσης στην Αθήνα.

Στη συνέχεια βλέπουμε τους συντελεστές συσχέτισης (Πίνακες 5.3, 5.4) μεταξύ της χειμερινής και φθινοπωρινής βροχόπτωσης, του χειμερινού και φθινοπωρινού NAO αντίστοιχα και των 3 εποχών που προηγούνται αυτών α) για τα έτη με ξηρό χειμώνα ή φθινόπωρο και β) για το σύνολο της χρονοσειράς. Σύμφωνα με το δείκτη SPA, 43 έτη βρέθηκε ότι έχουν παρουσιάσει ξηρό χειμώνα και 41 ξηρό φθινόπωρο.

**Πίνακας 5.3:** Συντελεστές συσχέτισης χειμερινής βροχόπτωσης στην Αθήνα με NAO χειμώνα και φθινοπώρου της ίδιας υδρολογικής χρονιάς και NAO άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς (το - συμβολίζει την προηγούμενη υδρολογική χρονιά).

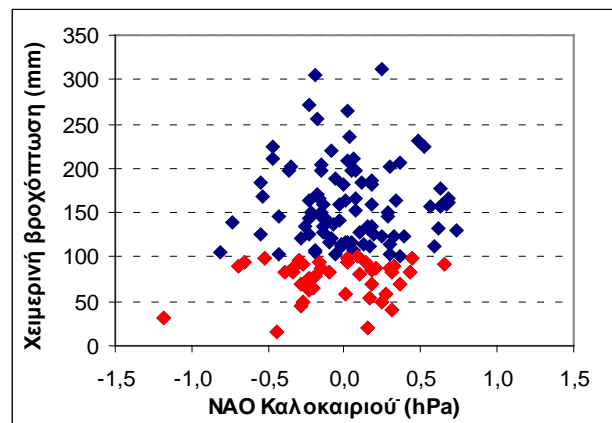
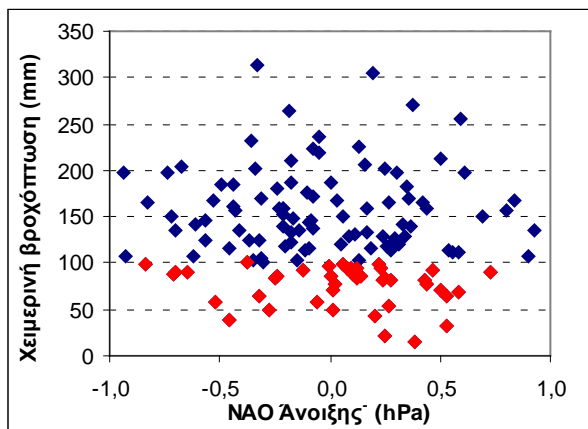
		Συντ. συσχέτισης χειμερινής βροχόπτωσης με:				<i>r</i> critical
		NAO άνοιξης <sup>-</sup>	NAO καλοκαιριού <sup>-</sup>	NAO φθινοπώρου <sup>-</sup>	NAO χειμώνα	
πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	43	-0,19	0,13	0,03	-0,15	0,30
όλα τα έτη	137	-0,06	0,09	-0,01	-0,04	0,17

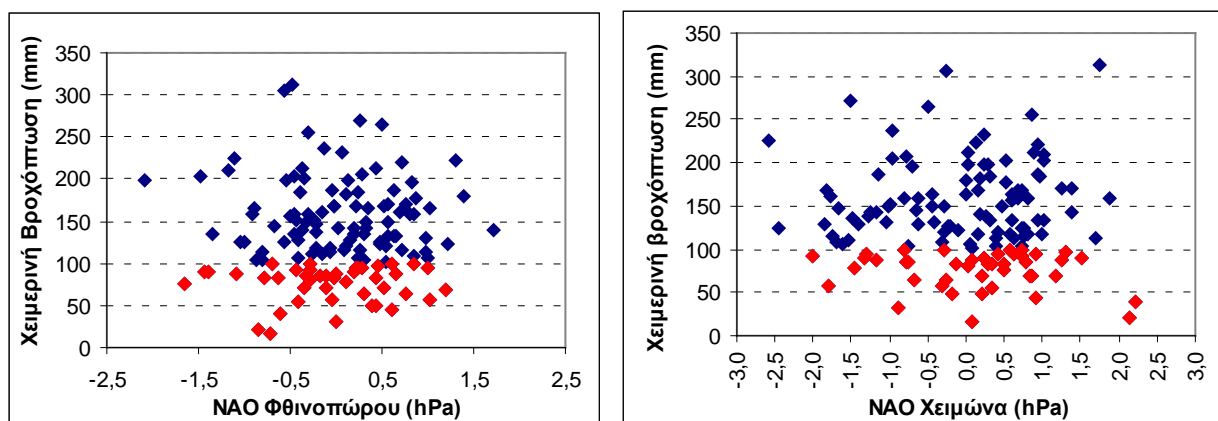
**Πίνακας 5.4:** Συντελεστές συσχέτισης φθινοπωρινής βροχόπτωσης στην Αθήνα με NAO φθινοπώρου της ίδιας υδρολογικής χρονιάς και NAO χειμώνα, άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς (το - συμβολίζει την προηγούμενη υδρολογική χρονιά).

		Συντ. συσχέτισης φθινοπωρινής βροχόπτωσης με:				<i>r</i> critical
		NAO χειμώνα <sup>-</sup>	NAO άνοιξης <sup>-</sup>	NAO καλοκαιριού <sup>-</sup>	NAO φθινοπώρου <sup>-</sup>	
πλήθος ετών με ξηρό φθινόπωρο	41	-0,12	0,06	0,17	0,09	0,31
όλα τα έτη	137	-0,06	-0,06	-0,08	0,00	0,17



Διαπιστώνουμε στατιστικά ασήμαντες έως μηδενικές συσχετίσεις. Και πάλι πλοτάροντας στο ίδιο διάγραμμα (Σχήμα 5.7) εποχιακών NAO-χειμερινής βροχόπτωσης και εποχιακών NAO-φθινοπωρινής βροχόπτωσης (Σχήμα 5.8) το σύνολο της χρονοσειράς και τα έτη με ξηρό χειμώνα και φθινόπωρο αντίστοιχα, δε διαφαίνεται ομαδοποίηση των τιμών σε κάποιο διάστημα του δείκτη. Στο Σχήμα 5.7β) παρατηρούμε ότι η πλειονότητα των κόκκινων και των μπλε σημείων βρίσκεται στην ουδέτερη περιοχή του δείκτη, ενώ ελάχιστες τιμές είναι ακραία χαμηλές ή υψηλές (π.χ. NAO καλοκαιριού του 1975=-1.18). Παρατηρούμε όμως ότι στην περιοχή χαμηλού NAO καλοκαιριού έχουμε μεγαλύτερη συγκέντρωση κόκκινων σημείων σε σχέση με την περιοχή υψηλού, γεγονός που συνεπάγεται μεγαλύτερη πιθανότητα ξηρού χειμώνα όταν ο NAO είναι < -0.5. Στα Σχήματα α) (άνοιξης), γ) (φθινοπώρου) και δ) (χειμώνα) παρατηρούμε ότι τόσο τα κόκκινα, όσο και τα μπλε σημεία είναι περίπου ισομοιρασμένα και στα τρία διαστήματα του δείκτη. Κάτι τέτοιο επιβεβαιώνεται και από τον Πίνακα 5.5. Αν και δε φαίνεται ξεκάθαρα στο σχήμα γ), παρατηρούμε από τον 5.5 ότι το ίδιο με το NAO καλοκαιριού ισχύει σε μικρότερο βαθμό και για το NAO του φθινοπώρου που προηγείται. Επίσης παρατηρούμε το μεγαλύτερο εύρος τιμών του δείκτη κατά το χειμώνα και το φθινόπωρο, γεγονός αναμενόμενο, εφόσον οι ατμοσφαιρικές διαταραχές είναι εντονότερες.



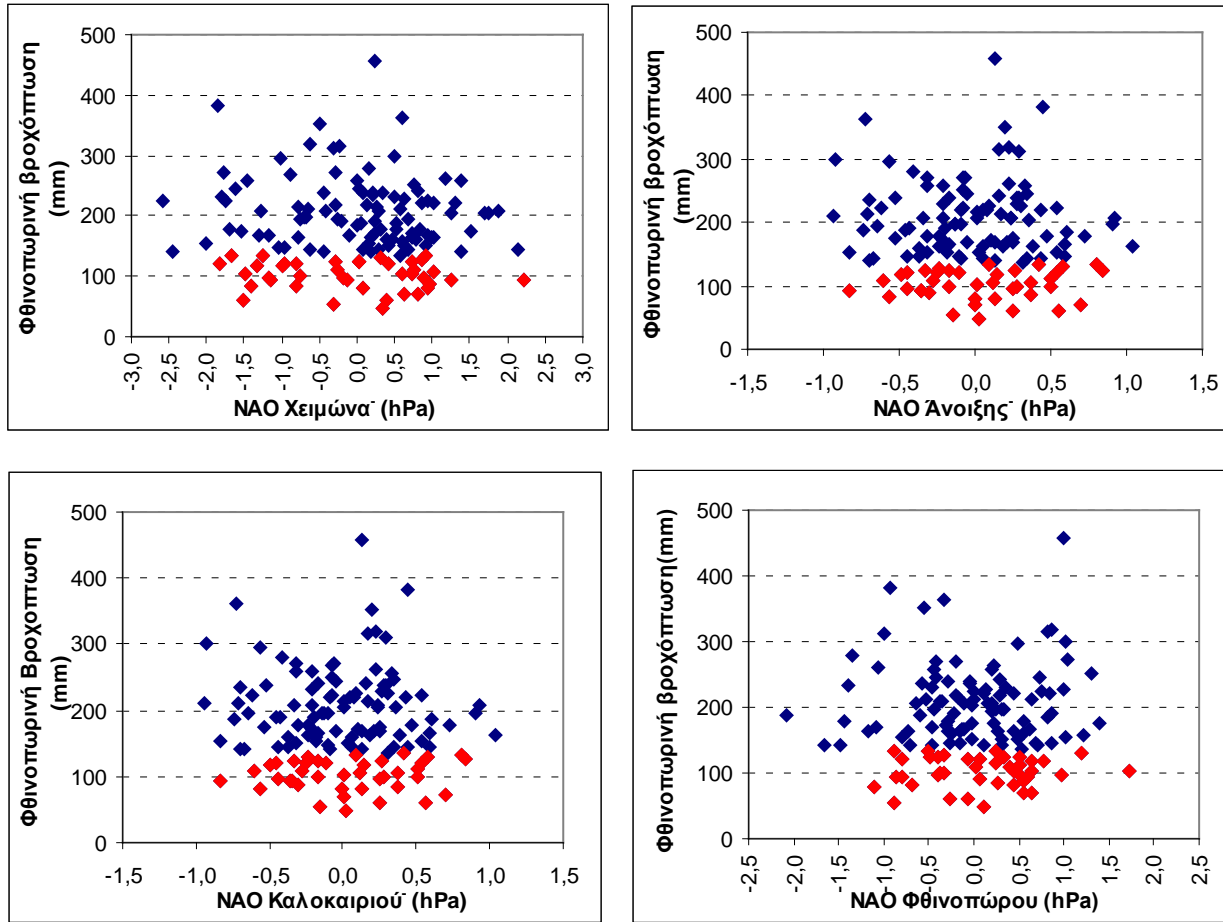


**Σχήμα 5.7:** Χειμερινή βροχόπτωση στην Αθήνα και NAO α) άνοιξης, β) καλοκαιριού του προηγούμενου υδρολογικού έτους και γ) φθινοπώρου, δ) χειμώνα του ίδιου έτους για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό χειμώνα (κόκκινο).

**Πίνακας 5.5:** Πιθανότητες % εμφάνισης ξηρού, κανονικού ή υγρού χειμώνα στην Αθήνα ανάλογα με την περιοχή τιμών του NAO α) άνοιξης, β) καλοκαιριού, γ) φθινοπώρου και δ) χειμώνα.

		ξηρός χειμ.	κανονικός χειμ.	υγρός χειμ.
α) άνοιξη	χαμηλός NAO	29,41	52,94	17,65
	κανονικός NAO	32,04	47,57	20,39
	υψηλός NAO	29,41	47,06	23,53
β) καλοκαίρι	χαμηλός NAO	<b>44,44</b>	44,44	11,11
	κανονικός NAO	32,76	45,69	21,55
	υψηλός NAO	<b>8,33</b>	75	16,67
γ) φθινόπωρο	χαμηλός NAO	<b>37,04</b>	40,74	22,22
	κανονικός NAO	32,00	46,67	21,33
	υψηλός NAO	<b>25,71</b>	57,14	17,14
δ) χειμώνας	χαμηλός NAO	27,50	55,00	17,50
	κανονικός NAO	33,33	43,75	22,92
	υψηλός NAO	32,65	46,94	20,41

Το Σχήμα 5.8β) για τη φθινοπωρινή βροχόπτωση και ο Πίνακας 5.6 δείχνουν ότι όταν ο NAO άνοιξης  $> 0.5$ , η πιθανότητα ξηρού φθινοπώρου είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με αυτήν όταν  $NAO < -0.5$ , ενώ για τις υπόλοιπες εποχές οι διαφορές στις πιθανότητες είναι ασήμαντη.



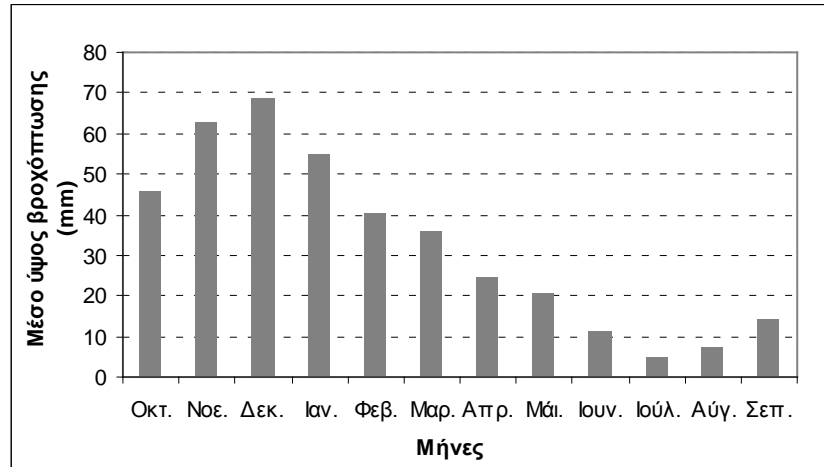
**Σχήμα 5.8:** Φθινοπωρινή βροχόπτωση στην Αθήνα και NAO α) χειμώνα, β) άνοιξης, γ) καλοκαιριού του προηγούμενου υδρολογικού έτους και δ) φθινόπωρο του ίδιου έτους για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό φθινόπωρο (κόκκινο)

**Πίνακας 5.6:** Πιθανότητες % εμφάνισης ξηρού, κανονικού ή υγρού φθινοπώρου στην Αθήνα ανάλογα με την περιοχή τιμών του NAO α) χειμώνα, β) άνοιξης, γ) καλοκαιριού και δ) φθινοπώρου.

		ξηρό φθιν.	κανονικό φθιν.	υγρό φθιν.
α) χειμώνας	χαμηλός NAO	35,00	45,00	20,00
	κανονικός NAO	26,53	44,90	28,57
	υψηλός NAO	29,17	58,33	12,50
β) άνοιξη	χαμηλός NAO	<b>17,65</b>	52,94	29,41
	κανονικός NAO	29,13	48,54	22,33
	υψηλός NAO	<b>47,06</b>	52,94	0,00
γ) καλοκαίρι	χαμηλός NAO	22,22	44,44	33,33
	κανονικός NAO	31,03	49,14	19,83
	υψηλός NAO	25,00	58,33	16,67
δ) φθινόπωρο	χαμηλός NAO	29,63	44,44	25,93
	κανονικός NAO	28,00	53,33	18,67
	υψηλός NAO	34,29	45,71	20,00

### 5.1.3 Χρονική κλίμακα μήνα

Οι δύο βροχερότεροι μήνες για την περιοχή της Αθήνας είναι ο Νοέμβριος και ο Δεκέμβριος (Σχήμα 5.9).



Σχήμα 5.9: Κατανομή μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στην Αθήνα.

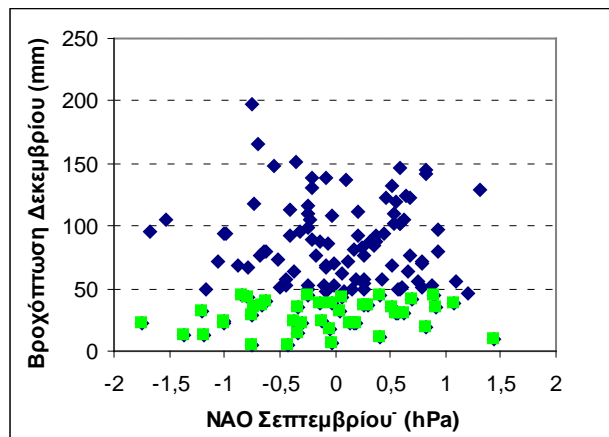
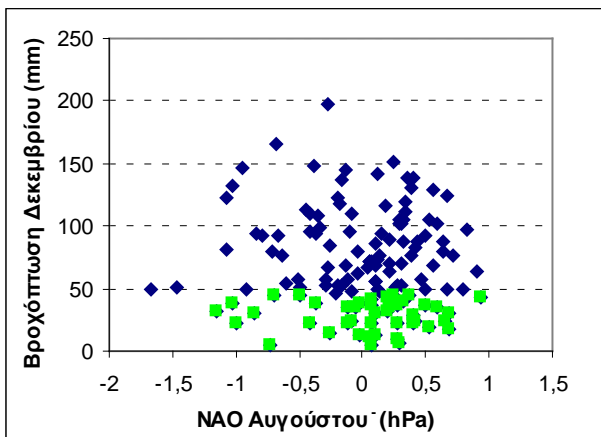
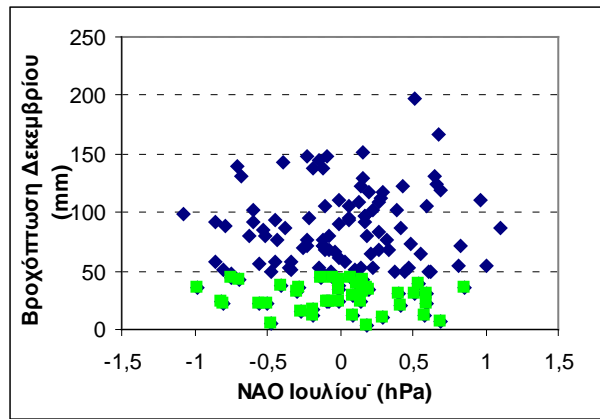
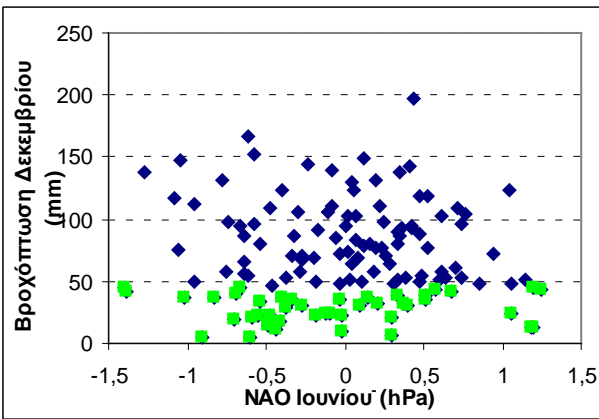
Σύμφωνα με το δείκτη SPA, βρέθηκε ότι σε 48 από τα 137 έτη της χρονοσειράς ο Νοέμβριος μπορεί να χαρακτηριστεί ως ξηρός, ενώ ξηρό Δεκέμβρη συναντούμε σε 44 έτη. Τους συντελεστές συσχέτισης για το Δεκέμβριο τους βλέπουμε στον Πίνακα 5.7.

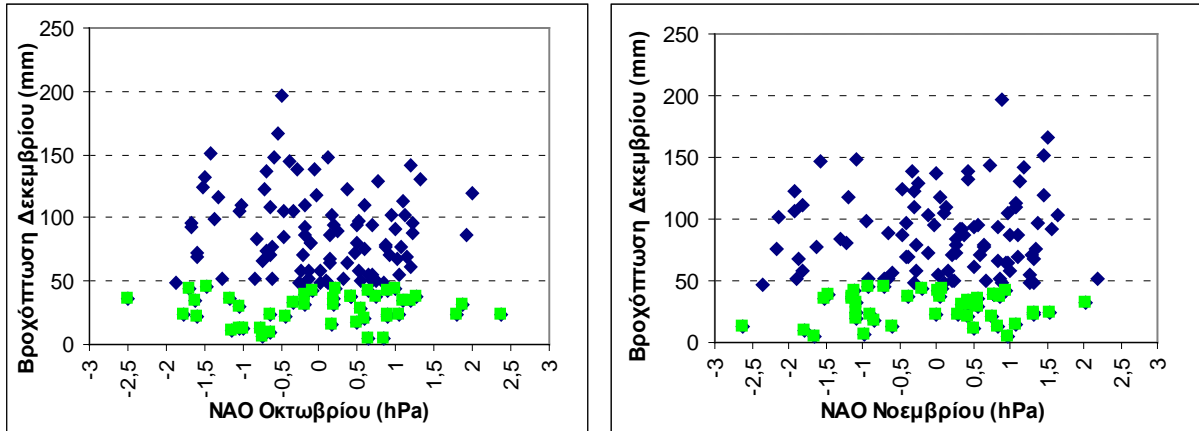
**Πίνακας 5.7:** Συντελεστές συσχέτισης της βροχόπτωσης του μήνα Δεκέμβρη στην Αθήνα με το NAO του ίδιου και των 6 προηγούμενων μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους (με – οι μήνες του προηγούμενου έτους).

	Συντ. συσχέτισης βροχόπτωσης Δεκεμβρίου με:							<i>r</i> critical	
	NAO Οκτ.	NAO Νοε.	NAO Δεκ.	NAO Ιουνίου	NAO Ιουλίου	NAO Αυγ.	NAO Σεπτ.		
πλήθος ετών με ξηρό Δεκέμβριο	44	0,06	0,09	0,16	0,04	-0,11	-0,03	0,15	0,30
όλα τα έτη	137	-0,06	0,09	0,01	-0,03	0,06	-0,06	0,07	0,17

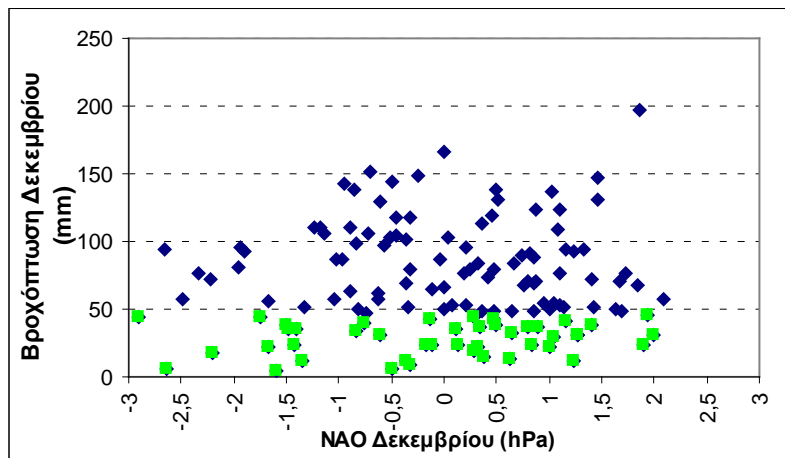
Στο Σχήμα 5.10 παρατηρούμε ότι η πλειονότητα των πράσινων σημείων συγκεντρώνεται στο ουδέτερο διάστημα του δείκτη για τους μήνες Ιούνιο-Σεπτέμβριο ενώ για τους Οκτώβριο-Δεκέμβριο είναι σχεδόν ομοιόμορφα κατανεμημένα και στα τρία διαστήματα. Παρατηρώντας και πάλι τα ξηρά έτη σε σχέση με το σύνολο, διαπιστώνουμε ότι η κατανομή τους (η οποία δείχνει να είναι τυχαία) δεν αλλάζει στα περισσότερα διαγράμματα, επομένως η πιθανότητα εμφάνισης ξηρού Δεκεμβρίου δε διαφοροποιείται σημαντικά είτε ο NAO βρεθεί στη χαμηλή, είτε στην

ουδέτερη, είτε στην υψηλή περιοχή τιμών. Παρατηρήθηκε μόνο αυξημένη πιθανότητα ξηρού Δεκεμβρίου σε περιοχή υψηλών τιμών NAO Ιουνίου και χαμηλών NAO Σεπτεμβρίου του προηγούμενου έτους. Τέλος στο διάγραμμα Οκτωβρίου παρατηρούνται δύο ακραίες τιμές (NAO Οκτωβρίου του 1880=-2.49 hPa και NAO Οκτωβρίου του 2000= 2.38 hPa). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι παρατηρήθηκε (κατόπιν εφαρμογής της μεθόδου του Eltahir) πως για τους μήνες Ιούνιο-Αύγουστο η πιθανότητα ξηρασίας ήταν λίγο αυξημένη (με τη μεγαλύτερη διαφορά στον Ιούνιο) σε περιοχή χαμηλού NAO, ενώ για τους μήνες Σεπτέμβριο-Δεκέμβριο σε περιοχή υψηλού NAO (με μεγαλύτερη διαφορά τα Σεπτέμβριο). Τέλος, στο Σχήμα 5.11 βλέπουμε τη βροχόπτωση του Δεκεμβρίου σε σχέση με το NAO του ίδιου. Δεν παρατηρούμε διαφοροποίηση.



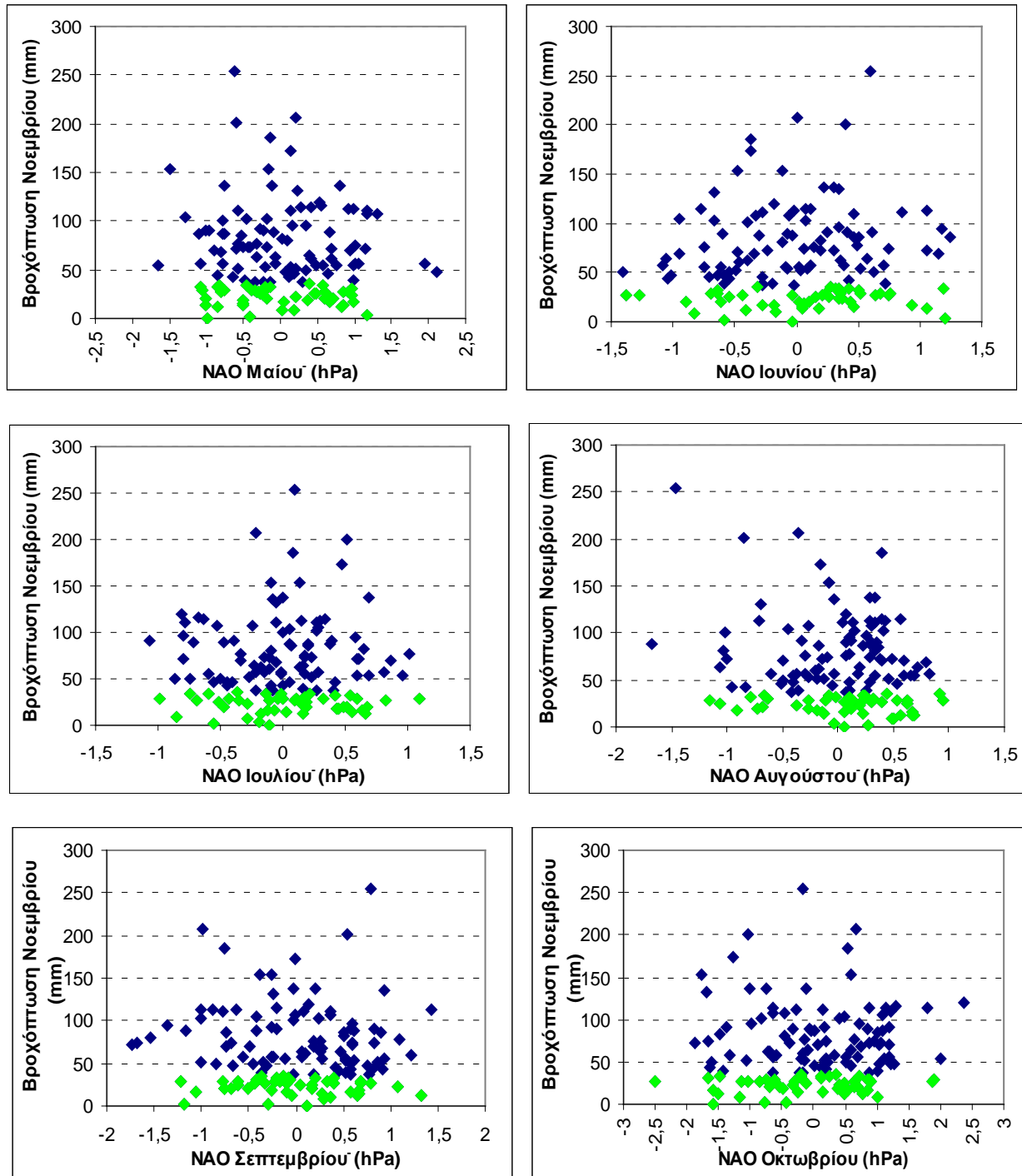


**Σχήμα 5.10:** Βροχόπτωση Δεκεμβρίου στην Αθήνα και NAO των 6 προηγούμενων μηνών της προηγούμενης και της ίδιας υδρολογικής χρονιάς για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Δεκέμβριο (πράσινο).

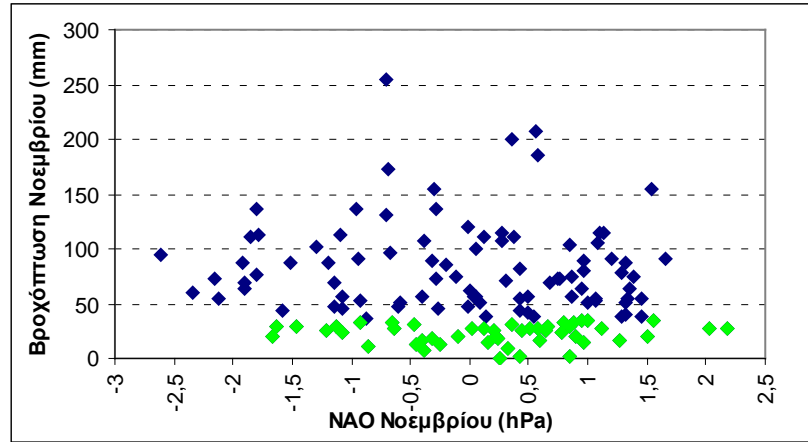


**Σχήμα 5.11:** Βροχόπτωση Δεκεμβρίου στην Αθήνα και NAO του ίδιου μήνα για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Δεκέμβριο (πράσινο).

Για το μήνα Νοέμβριο (Σχήμα 5.12) δεν παρατηρούμε κάποια «ασυνήθιστα» χαρακτηριστικά των ετών με ξηρό Νοέμβριο (πράσινο) σε σχέση με το σύνολο των ετών (μπλε).



**Σχήμα 5.12:** Βροχόπτωση Νοεμβρίου στην Αθήνα και NAO των 6 προηγούμενων μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Νοέμβριο (πράσινα).



**Σχήμα 5.13:** Βροχόπτωση Νοεμβρίου στην Αθήνα και NAO Νοεμβρίου για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Νοέμβριο (πράσινο).

Με προσεκτικότερη παρατήρηση βλέπουμε ότι τον Οκτώβριο οι τιμές του NAO είναι σχεδόν ισομοιρασμένες και στα 3 διαστήματα, ενώ κατά τους ανοιξιάτικους και καλοκαιρινούς μήνες υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση στην ουδέτερη περιοχή. Και πάλι όμως εφόσον η κατανομή των ετών με ξηρό Νοέμβριο δε διαφοροποιείται σημαντικά σε σχέση με το σύνολο, οι πιθανότητες εμφάνισης ξηρού Νοεμβρίου και για τις 3 περιοχές δεν αναμένουμε να διαφοροποιηθούν ιδιαίτερα. Στον Πίνακα 5.8 βλέπουμε ότι η συσχέτιση (αρνητική) με το NAO Αυγούστου είναι λίγο αυξημένη και από το σχήμα αναμένουμε ότι στην υψηλή περιοχή η πιθανότητα εμφάνισης ξηρασίας θα είναι μεγαλύτερη από την πιθανότητα εμφάνισης υγρού έτους (διαπιστώθηκε ανεπαίσθητη διαφορά στις πιθανότητες). Τέλος, στο Σχήμα 5.13 παρατηρούμε μεγαλύτερη πιθανότητα ξηρού Νοεμβρίου όταν NAO Νοεμβρίου  $>0.5$ .

**Πίνακας 5.8:** Συντελεστές συσχέτισης βροχόπτωσης Νοεμβρίου με το NAO του ίδιου και των 6 προηγούμενων μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους (το - συμβολίζει το προηγούμενο έτος).

		Συντ. συσχέτισης βροχόπτωσης Νοεμβρίου με:							<i>r</i> critical
		NAO Οκτ.	NAO Νοε.	NAO Μαΐου <sup>-</sup>	NAO Ιουνίου <sup>-</sup>	NAO Ιουλίου <sup>-</sup>	NAO Αυγ <sup>-</sup>	NAO Σεπτ. <sup>-</sup>	
πλήθος ετών με ξηρό Νοέμβριο	48	0,11	0,04	-0,09	0,08	0,03	-0,10	-0,08	0,29
όλα τα έτη	137	0,03	-0,12	-0,05	0,04	0,00	-0,16	-0,04	0,17

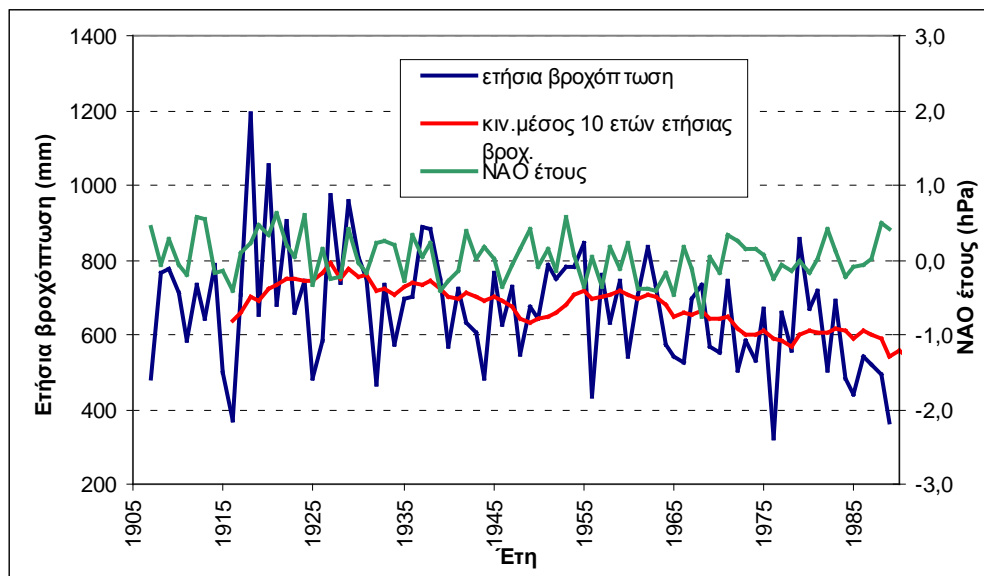


## 5.2 Αλιάρτος

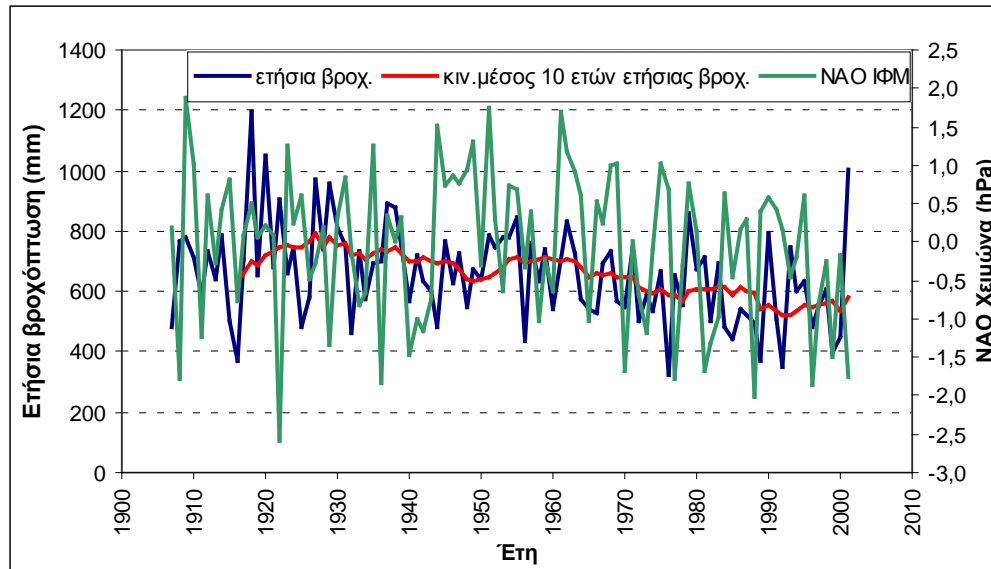
Ο βροχομετρικός σταθμός του Αλιάρτου με κωδικό 16674 (WMO) έχει συντεταγμένες 38.40°N, 23.10°E και βρίσκεται σε υψόμετρο 110 m. Διαθέτει δεδομένα μηνιαίας βροχόπτωσης για την περίοδο 1907-2001. Στις παρακάτω παραγράφους απεικονίζονται όλοι οι πίνακες συσχετίσεων, αλλά μόνο τα διαγράμματα στα οποία έχουμε να κάνουμε κάποιες παρατηρήσεις. Όσα δεν απεικονίζονται τα βλέπουμε στο Παράρτημα σχημάτων.

### 5.2.1 Χρονική κλίμακα έτους

Στο Σχήμα βλέπουμε την ετήσια βροχόπτωση σε σχέση με τον ετήσιο και το χειμερινό NAO (του ίδιου υδρολογικού έτους) συναρτήσει του υδρολογικού έτους. Το διάγραμμα της άνοιξης και του φθινοπώρου τα βλέπουμε στο Παράρτημα.



Σχήμα 5.14: Ετήσια βροχόπτωση στον Αλιάρτο και NAO έτους συναρτήσει της υδρολογικής χρονιάς.



Σχήμα 5.15: Ετήσια βροχόπτωση στον Αλιάρτο και NAO χειμώνα.

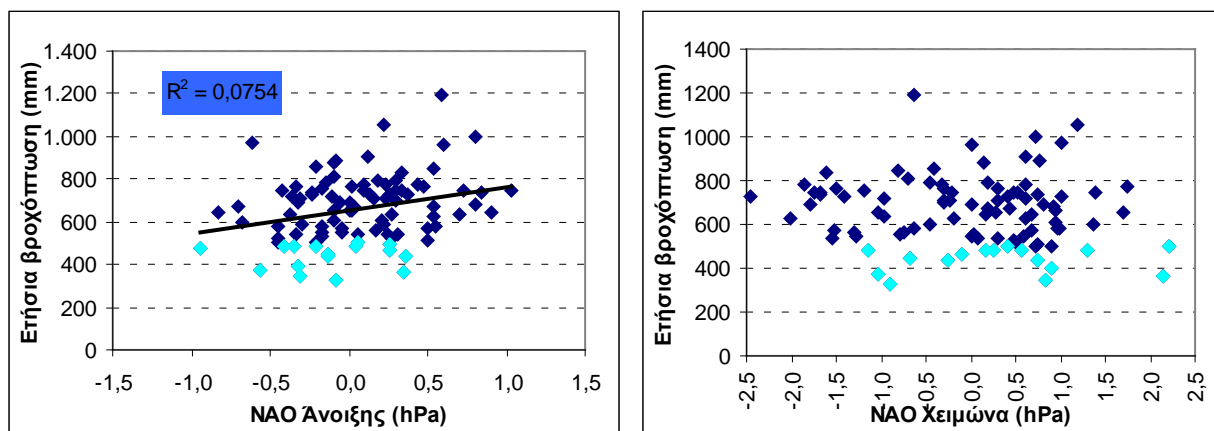
Για τον Αλιάρτο διαπιστώθηκε ότι 16 έτη μπορούν να χαρακτηριστούν ως έτη ξηρασίας σύμφωνα με το δείκτη SPI. Στον Πίνακα 5.9 βλέπουμε τις συσχετίσεις μεταξύ της ετήσιας βροχόπτωσης και του ετήσιου και των εποχιακών NAO α) για αυτά τα έτη μόνο και β) για όλη τη χρονοσειρά.

Πίνακας 5.9: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ετήσιας βροχόπτωσης του Αλιάρτου και NAO έτους και εποχιακών NAO του ίδιου υδρολογικού έτους.

		Συντ. συσχέτισης ετήσιας βροχόπτωσης με:				r critical
		NAO έτους	NAO χειμώνα	NAO άνοιξης	NAO φθινοπώρου	
έτη έντονης ξηρασίας	5	0,39	0,41	-0,20	0,14	0,89
έτη ξηρασίας	16	0,06	0,11	0,03	-0,11	0,50
όλα τα έτη	95	0,06	-0,10	<b>0,27</b>	0,02	0,21

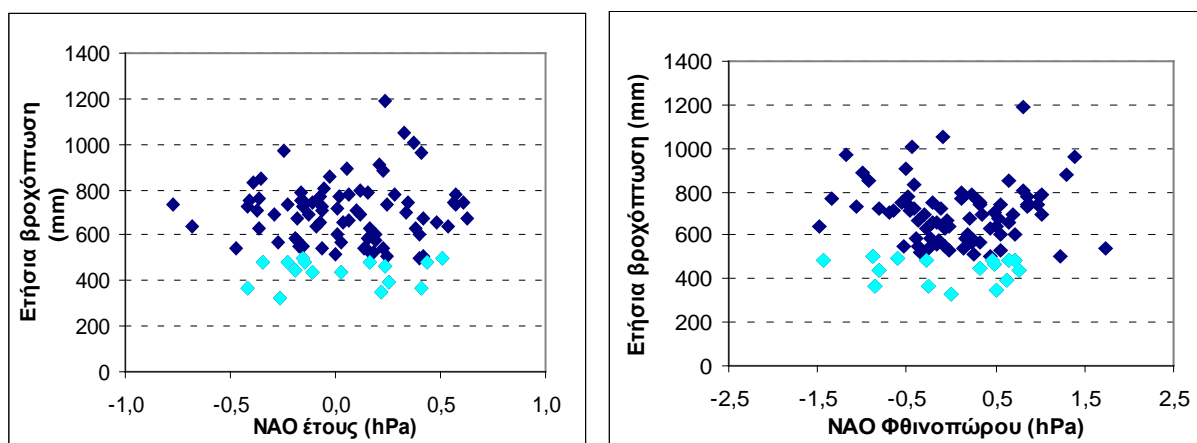
Διαπιστώνουμε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ ετήσιας βροχόπτωσης και NAO άνοιξης για όλο το μήκος της χρονοσειράς. Από το Σχήμα 5.16 α) διαπιστώνουμε ότι σχεδόν όλα τα έτη ξηρασίας (με γαλάζιο) βρίσκονται στην περιοχή τιμών όπου η μεταβολή του δείκτη θεωρείται ασήμαντη. Εδώ μπορούμε να πούμε, ότι λόγω της ύπαρξης αυτής της συσχέτισης η κατανομή των μπλε σημείων διαφοροποιείται λίγο από αυτή των γαλάζιων (ξηρά

έτη) άρα διαφοροποιείται η πιθανότητα εμφάνισης υγρού έτους στην περιοχή υψηλού NAO σε σχέση με την περιοχή χαμηλού (είναι σημαντικά υψηλότερη εφόσον  $r > 0$ ). Για την ακρίβεια η πιθανότητα ξηρασίας όταν  $NAO > 0.5$  είναι 0 (και λόγω θετικής συσχέτισης αλλά και λόγω κατανομής ξηρών ετών σε σχέση με το σύνολο). Επίσης στο διάγραμμα του χειμώνα (β) η πιθανότητα εμφάνισης ξηρασίας και στα τρία διαστήματα δεν παρουσιάζει αξιοσημείωτη διαφορά.



**Σχήμα 5.16:** Ετήσια βροχόπτωση στον Αλιάρτο και NAO α) άνοιξης και β) χειμώνα του ίδιου υδρολογικού έτους για όλα τα έτη (μπλε) και τα έτη ξηρασίας (γαλάζιο).

Στο Σχήμα 5.17 δεν παρατηρείται διαφοροποίηση στην κατανομή των ξηρών ετών σε σχέση με το σύνολο.



**Σχήμα 5.17:** Ετήσια βροχόπτωση στον Αλιάρτο και NAO α) έτους και β) φθινοπώρου του ίδιου υδρολογικού έτους για όλα τα έτη (μπλε) και για τα ξηρά έτη (γαλάζιο).

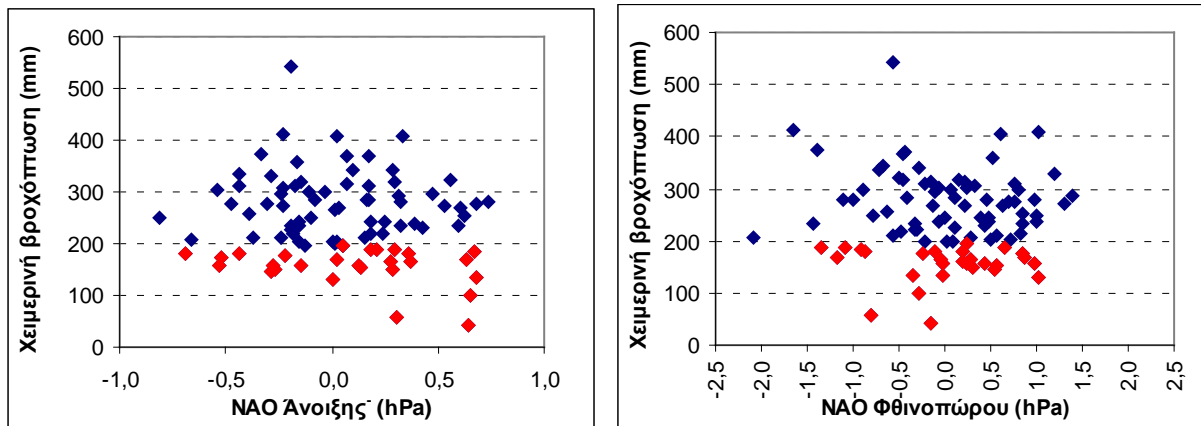
### 5.2.2 Χρονική κλίμακα εποχής

Στον Πίνακα 5.10 παρατηρούμε αυξημένη (αν και στατιστικά ασήμαντη) συσχέτιση με το NAO άνοιξης, τόσο για το σύνολο όσο και για τα έτη με ξηρό χειμώνα.

**Πίνακας 5.10:** Συντελεστές συσχέτισης χειμερινής βροχόπτωσης με NAO χειμώνα και φθινοπώρου της ίδιας υδρολογικής χρονιάς και NAO άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς.

		Συντ. συσχέτισης χειμερινής βροχόπτωσης με:				r critical
		NAO χειμώνα	NAO άνοιξης	NAO καλοκαιριού	NAO φθινοπ.	
πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	28	0,00	-0,32	-0,08	0,00	0,38
όλα τα έτη	95	0,05	-0,13	-0,08	-0,06	0,21

Συγκρίνοντας και πάλι τη χειμερινή βροχόπτωση με το NAO των προηγούμενων εποχών, βλέπουμε ότι τα περισσότερα κόκκινα σημεία συγκεντρώνονται στην ουδέτερη περιοχή μεταβολής του δείκτη και η συγκέντρωση των κόκκινων σημείων και στα τρία διαστήματα δεν παρουσιάζει σημαντική διαφορά. (ενδεικτικά Σχήμα 5.18).

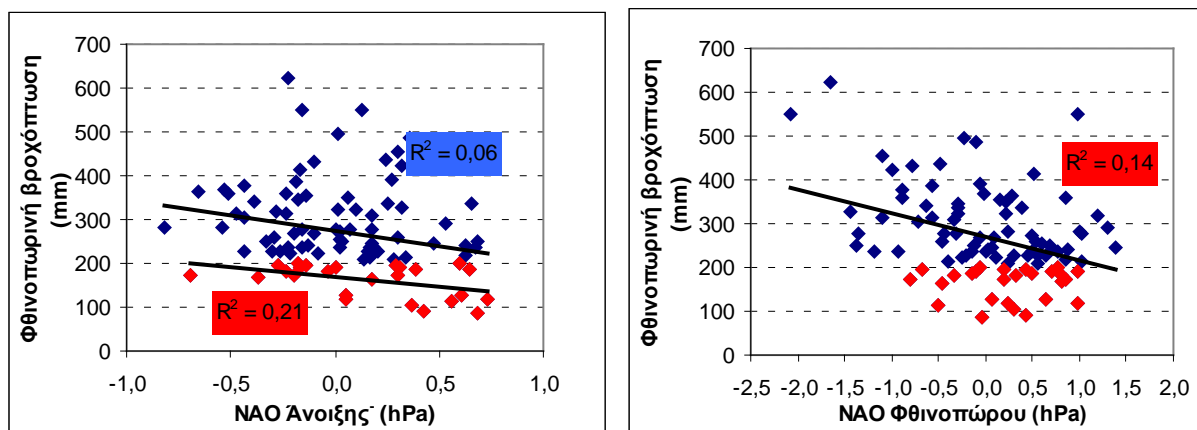


**Σχήμα 5.18:** Χειμερινή βροχόπτωση στον Αλιάρτο και α) NAO άνοιξης, β) NAO φθινοπώρου για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό χειμώνα (κόκκινο).

Για τη φθινοπωρινή βροχόπτωση στατιστικά σημαντικός  $r$  προέκυψε με το NAO άνοιξης του προηγούμενου υδρολογικού έτους (σε συμφωνία με την Αθήνα) και το NAO φθινοπώρου του ίδιου έτους (Σχήμα 5.19). Επίσης μόνο για τα ξηρά έτη με το NAO του χειμώνα που προηγήθηκε (Πίνακας 5.10).

**Πίνακας 5.11:** Συντελεστές συσχέτισης φθινοπωρινής βροχόπτωσης στον Αλίαρτο με NAO φθινοπώρου της ίδιας υδρολογικής χρονιάς και NAO χειμώνα, άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς.

		Συντ. συσχέτισης φθινοπωρινής βροχόπτωσης με:				r critical
		NAO χειμώνα <sup>-</sup>	NAO άνοιξης <sup>-</sup>	NAO καλοκαιριού <sup>-</sup>	NAO φθινοπ.	
πλήθος ετών με ξηρό φθινόπωρο	26	<b>-0,51</b>	<b>-0,46</b>	-0,29	0,01	0,39
όλα τα έτη	95	0,06	<b>-0,24</b>	0,00	<b>-0,37</b>	0,21

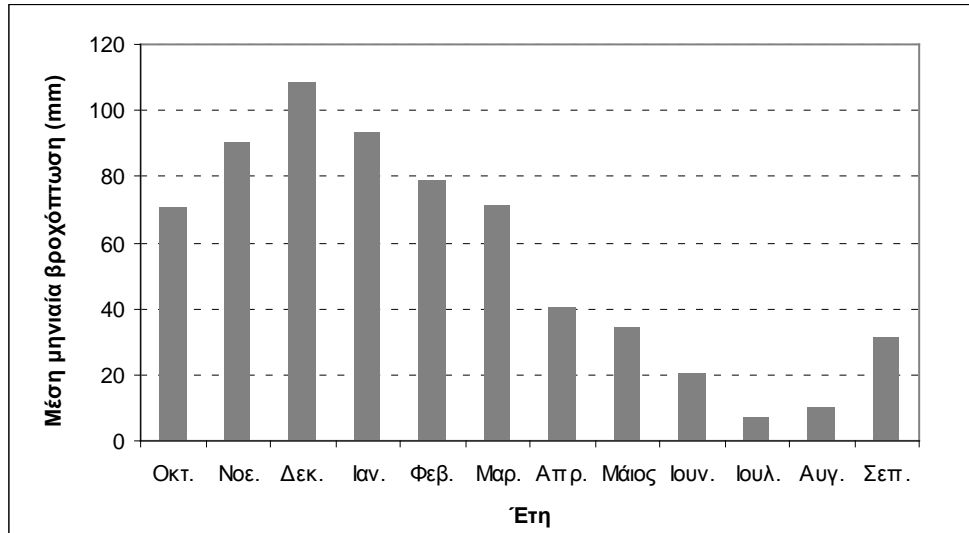


**Σχήμα 5.19:** Φθινοπωρινή βροχόπτωση στον Αλίαρτο και NAO α) άνοιξης<sup>-</sup> και β) φθινοπώρου για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό φθινόπωρο (κόκκινο).

Διαπιστώνουμε και πάλι ότι λίγα κόκκινα σημεία βρίσκονται στην περιοχή χαμηλών και υψηλών τιμών και περισσότερα στην ουδέτερη περιοχή. Το ίδιο ισχύει και για τα μπλε σημεία. Λόγω αρνητικής συσχέτισης (στο α), αλλά και κατανομής των ετών με ξηρό φθινόπωρο (στο β), η πιθανότητα ξηρού φθινοπώρου αυξάνει όσο αυξάνει ο NAO φθινοπώρου καθώς και της άνοιξης που προηγήθηκε .

### 5.2.3 Χρονική κλίμακα μήνα

Οι βροχερότεροι μήνες για την περιοχή του Αλιάρτου είναι ο Δεκέμβριος και ο Ιανουάριος (Σχήμα 5.20).



Σχήμα 5.20: Μέση μηνιαία βροχόπτωση για τον Αλιάρτο.

Σύμφωνα με το δείκτη SPA, 34 από τα 95 έτη παρουσιάζουν ξηρό Δεκέμβρη και 24 στα 95 ξηρό Ιανουάριο. Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ της βροχόπτωσης των 2 αυτών μηνών και του NAO των 6 προηγούμενων τους μηνών φαίνονται στους Πίνακες 5.12 και 5.13.

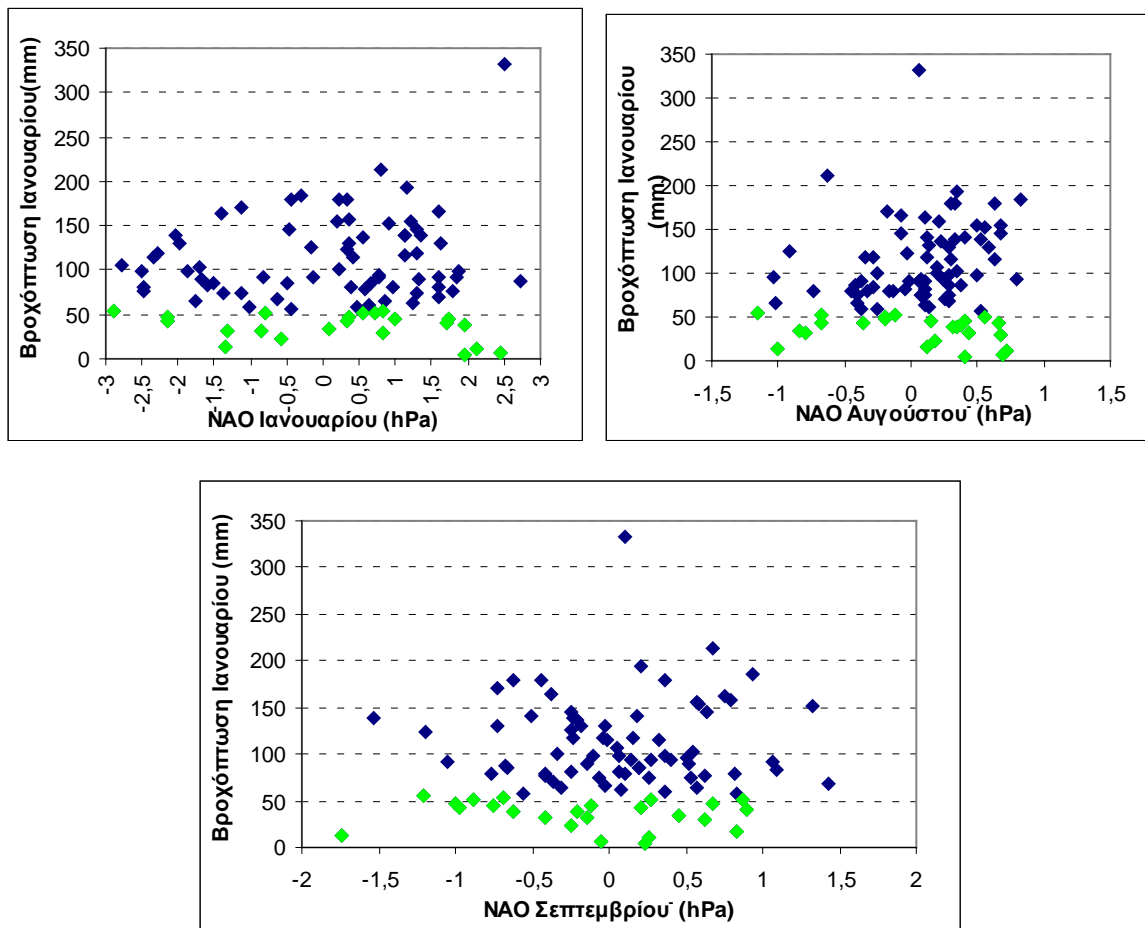
**Πίνακας 5.12:** Συντελεστές συσχέτισης βροχόπτωσης Δεκεμβρίου στον Αλιάρτο με το NAO του ίδιου και των 6 προηγούμενων μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους.

		Συντ. συσχέτισης βροχόπτωσης Δεκεμβρίου με:							r critical
		NAO Οκτ.	NAO Νοε.	NAO Δεκ.	NAO Ιουνίου	NAO Ιουλίου	NAO Αυγ.	NAO Σεπτ.	
πλήθος ετών με ξηρό Δεκ.	34	0,17	-0,12	-0,12	0,01	-0,06	-0,08	-0,10	0,34
όλα τα έτη	95	-0,19	-0,02	-0,10	0,13	0,03	0,02	0,03	0,21

**Πίνακας 5.13:** Συντελεστές συσχέτισης βροχόπτωσης Ιανουαρίου με NAO του ίδιου και των 6 προηγούμενων μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους.

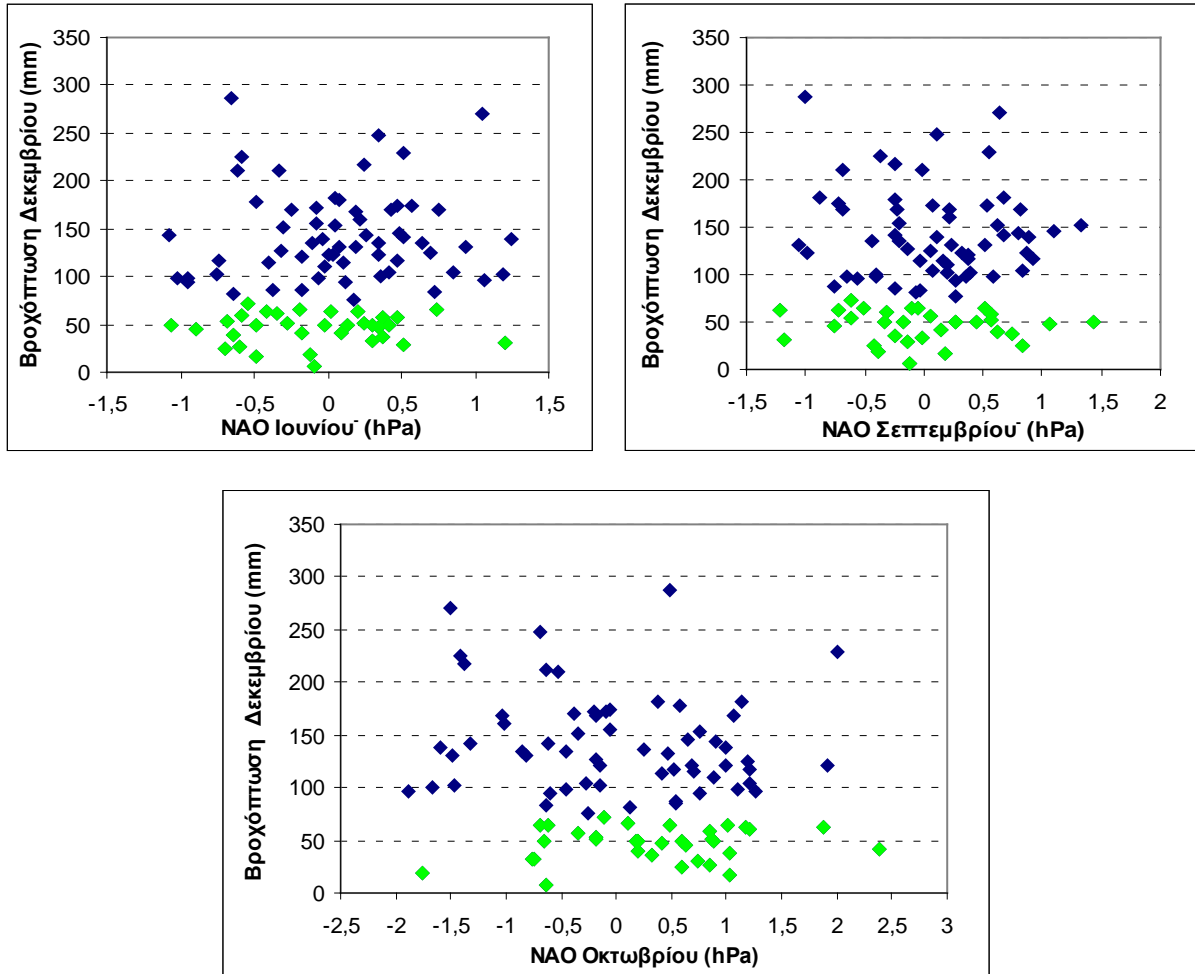
		Συντ. συσχέτισης βροχόπτωσης Ιανουαρίου με:							r critical I
		NAO Οκτ.	NAO Νοε.	NAO Δεκ.	NAO Ιαν.	NAO Ιουλίου	NAO Αυγ.	NAO Σεπτ.	
πλήθος ετών με ξηρό Ιαν.	24	0,11	0,26	0,07	-0,19	0,33	-0,28	-0,14	0,41
όλα τα έτη	95	-0,15	-0,09	-0,02	0,08	0,07	0,16	0,09	0,21

Διαπιστώνουμε ότι όλες οι συσχετίσεις είναι στατιστικά ασήμαντες. Ενδεικτικά παρατίθενται τα διαγράμματα NAO Ιανουαρίου-βροχόπτωσης Ιανουαρίου και NAO Αυγούστου της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς-βροχόπτωσης Ιανουαρίου (Σχήμα 5.21). Στο πρώτο παρατηρείται ότι τα σημεία παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά (αναμενόμενο για χειμερινό μήνα γιατί τότε το φαινόμενο εκδηλώνεται πιο έντονα) τόσο για τα έτη με ξηρό Ιανουάριο, όσο και για το σύνολο. Κατά το μήνα Αύγουστο (β) παρατηρούμε μεγαλύτερη πιθανότητα ξηρασίας όταν ο NAO Αυγούστου είναι χαμηλός. Ομοίως και για το NAO Σεπτεμβρίου (γ).



**Σχήμα 5.21:** Βροχόπτωση Ιανουαρίου στον Αλίαρτο και NAO α) Ιανουαρίου, β) Αυγούστου, γ) Σεπτεμβρίου για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Ιανουάριο (πράσινο).

Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και για τη βροχόπτωση του Δεκεμβρίου. Ενδεικτικά από το σχήμα 5.22α) βλέπουμε ότι όταν ο NAO Ιουνίου  $< -0.5$ , η πιθανότητα ξηρού Δεκεμβρίου είναι μεγαλύτερη. Ομοίως για το NAO Σεπτεμβρίου που προηγείται (β). Αντίθετα αυξημένη πιθανότητα ξηρού Δεκεμβρίου παρατηρούμε σε περιοχή υψηλού NAO Οκτωβρίου (γ).



**Σχήμα 5.22:** Βροχόπτωση Δεκεμβρίου στον Αλιάρτο και NAO α) Ιουνίου<sup>-</sup> και β) Σεπτεμβρίου<sup>-</sup>, γ) Οκτωβρίου για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Δεκέμβριο (πράσινο).

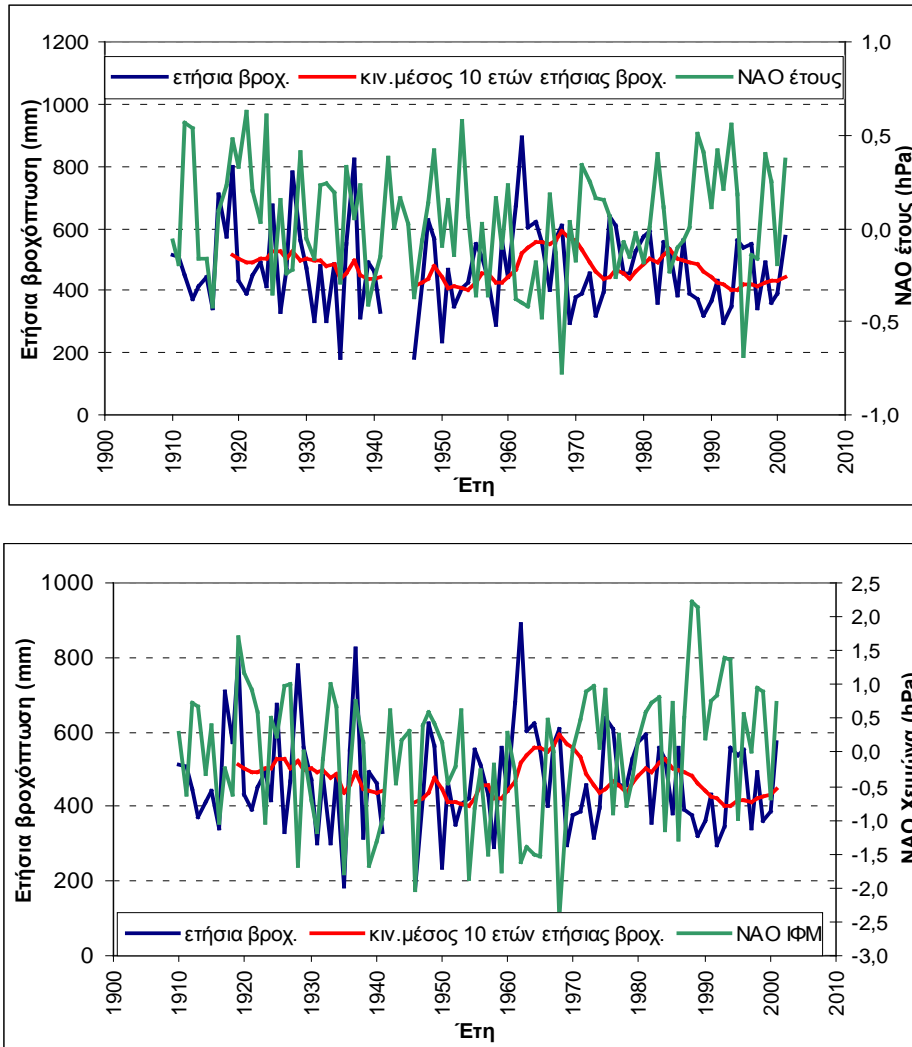
### 5.3 Ηράκλειο

Ο βροχομετρικός σταθμός του Ηρακλείου Κρήτης με κωδικό 16754 έχει συντεταγμένες 35.30°N, 25.10°E και βρίσκεται σε υψόμετρο 39m. Διαθέτει μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης για την περίοδο 1910-2001. Η συγκεκριμένη χρονοσειρά παρουσιάζει αρκετά κενά στις μηνιαίες τιμές. Τα έτη που είχαν κενά σε περισσότερους από 2 μήνες εξαιρέθηκαν από τη μελέτη. Και εδώ παρουσιάζονται τα σχήματα, στα οποία έχουμε παρατηρήσεις, ενώ τα υπόλοιπα τα βλέπουμε στο Παράρτημα.



### 5.3.1 Χρονική κλίμακα έτους

Στα διαγράμματα ετήσιας βροχόπτωσης-NAO έτους παρατηρούμε και πάλι ότι υπάρχουν περίοδοι θετικής, αρνητικής και μηδενικής συσχέτισης μεταξύ των 2 μεταβλητών. Ενδεικτικά η ετήσια βροχόπτωση σε σχέση με τον ετήσιο και το χειμερινό NAO (Σχήμα 5.23).



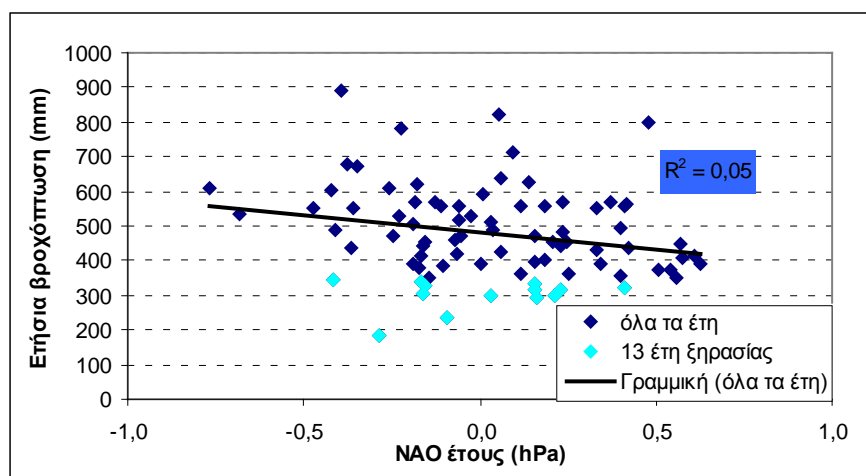
Σχήμα 5.23: Ετήσια βροχόπτωση στο Ηράκλειο και NAO α) έτους, β) χειμώνα.

Στον Πίνακα 5.14 βλέπουμε ότι βρέθηκε ασθενής αρνητική συσχέτιση μεταξύ ετήσιας βροχόπτωσης και NAO έτους για το σύνολο των ετών.

**Πίνακας 5.14:** Συντελεστές συσχέτισης ετήσιας βροχόπτωσης στο Ηράκλειο με NAO έτους και NAO των εποχών του ίδιου υδρολογικού έτους.

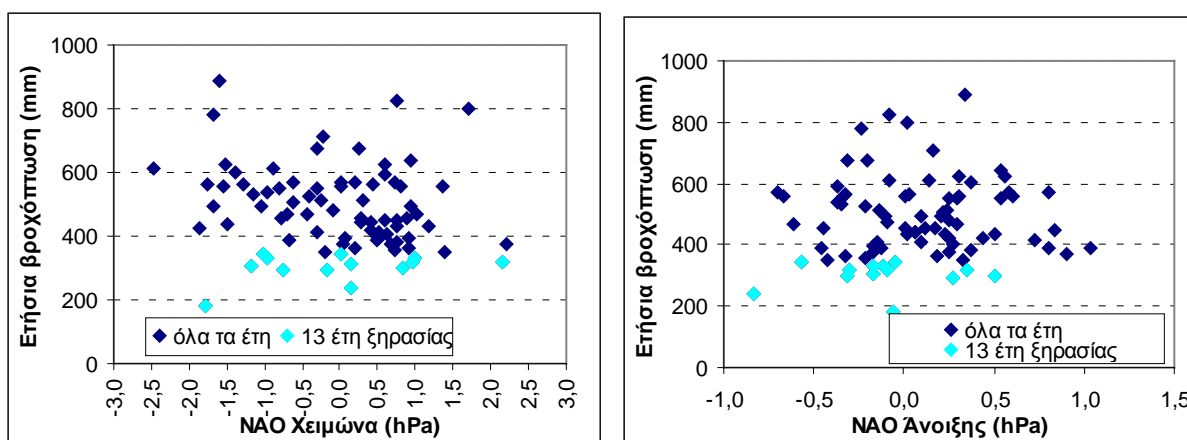
		Συντ. συσχέτισης ετήσιας βροχόπτωσης με:				r critical
		NAO έτους	NAO χειμώνα	NAO άνοιξης	NAO φθινοπώρου	
έτη ξηρασίας	13	0,21	0,37	0,11	-0,43	0,55
όλα τα έτη	88	<b>-0,23</b>	-0,18	0,06	-0,05	0,21

Παρατηρούμε (Σχήμα 5.24) ότι σχεδόν όλα τα σημεία που αναπαριστούν ξηρά έτη βρίσκονται στην ουδέτερη περιοχή. Ίσως μας φαίνεται περίεργο το γεγονός ότι η συσχέτιση μεταξύ των ξηρών ετών, αν και ασήμαντη, είναι θετική ενώ στο σύνολο έχουμε αρνητικό  $r$ . Κάτι τέτοιο δεν είναι όμως απίθανο, γι' αυτό άλλωστε εξετάζουμε χωριστά τις ξηρές συνθήκες σε όλες τις κλίμακες. Οι μηχανισμοί της ατμόσφαιρας που καθορίζουν και επηρεάζουν τα φυσικά φαινόμενα είναι χαοτικού χαρακτήρα και το μοντέλο αίτιο-αποτέλεσμα δεν είναι πάντα αρκετό για να τα περιγράψει.



**Σχήμα 5.24:** Ετήσια βροχόπτωση και NAO έτους στο Ηράκλειο.

Για το χειμώνα βλέπουμε ότι τα περισσότερα σημεία που αναπαριστούν ξηρό έτος, βρίσκονται στη χαμηλή και ουδέτερη περιοχή, ενώ στο διάγραμμα της άνοιξης παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν έτη ξηρασίας στην περιοχή υψηλού NAO (Σχήμα 5.25).



Σχήμα 5.25: Ετήσια βροχόπτωση του Ηρακλείου και NAO α) χειμώνα, β) άνοιξης του ίδιου υδρολογικού έτους.

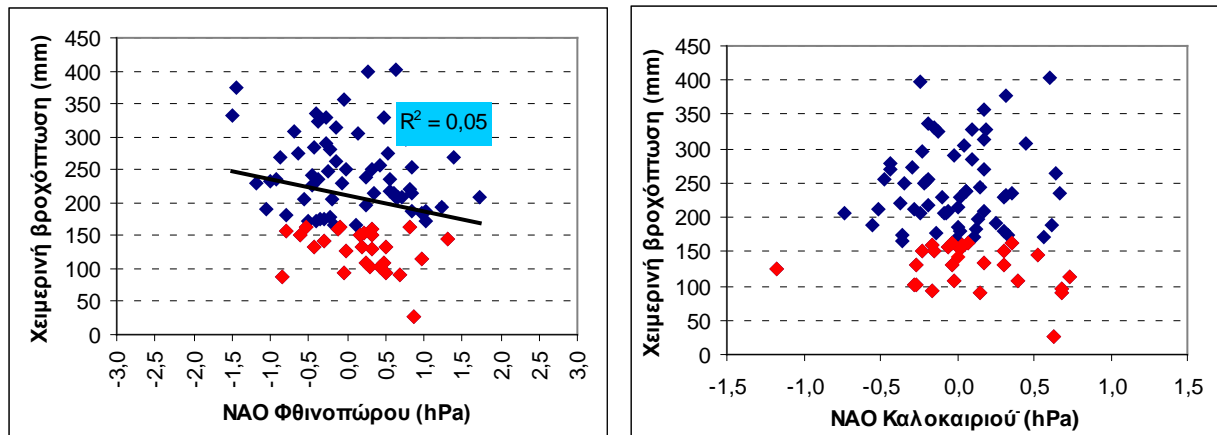
### 5.3.2 Χρονική κλίμακα εποχής

Βρέθηκε ασθενής συσχέτιση μεταξύ χειμερινής βροχόπτωσης και NAO φθινοπώρου της ίδιας υδρολογικής χρονιάς. Επίσης και τα ξηρά έτη παρουσιάζουν ασθενή συσχέτιση η οποία όμως είναι στατιστικά ασήμαντη (Πίνακας 5.15 και Σχήμα 5.26).

**Πίνακας 5.15:** Συντελεστές συσχέτισης χειμερινής βροχόπτωσης στο Ηράκλειο με NAO χειμώνα και φθινοπώρου της ίδιας υδρολογικής χρονιάς και NAO άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς.

		Συντ. συσχέτισης χειμερινής βροχόπτωσης με:				r critical
		NAO χειμώνα	NAO άνοιξης	NAO καλοκαιριού	NAO φθινοπ.	
πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	28	-0,03	-0,18	-0,32	-0,30	0,38
όλα τα έτη	92	-0,11	0,05	-0,08	<b>-0,21</b>	0,21

Παρατηρούμε (Σχήμα 5.26) ότι η κατανομή όλων των ετών και των ετών με ξηρό χειμώνα είναι ίδια στο διάγραμμα του φθινοπώρου (α), αλλά όχι και του καλοκαιριού (β) του προηγούμενου έτους, όπου τα κόκκινα σημεία είναι συγκεντρωμένα στην περιοχή ουδέτερου και υψηλού NAO. Μόνο το καλοκαίρι του 1975 παρατηρήθηκε μια ασυνήθιστα (για το συγκεκριμένο δείγμα τιμών) χαμηλή τιμή (NAO=-1.18). Το ίδιο παρατηρήθηκε και στη χρονοσειρά της Αθήνας. Προφανώς ο χειμώνας του 1976 ήταν ξηρός και για τις 2 πόλεις.



**Σχήμα 5.26:** Χειμερινή βροχόπτωση στο Ηράκλειο και NAO α) φθινόπωρου και β) καλοκαιριού για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό χειμώνα (κόκκινο).

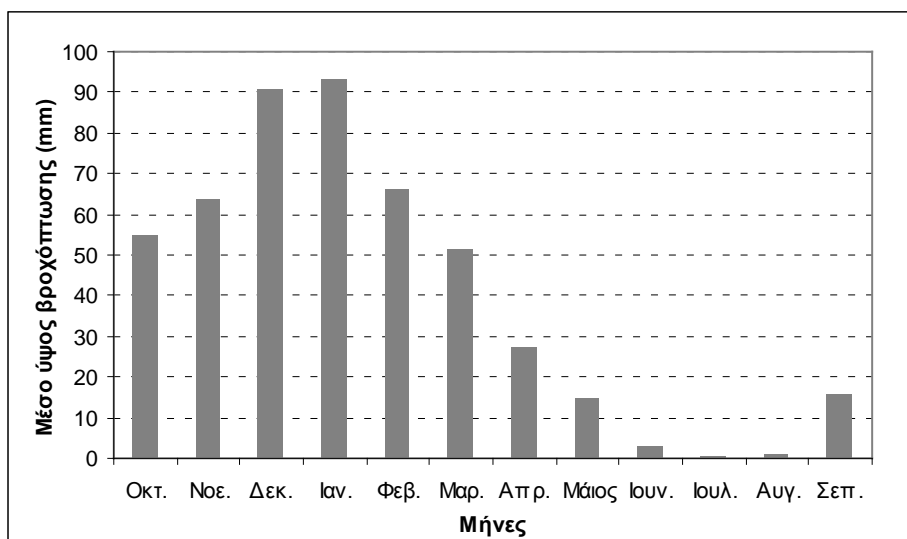
Αντίστοιχα για τη φθινοπωρινή βροχόπτωση οι συσχετίσεις είναι στατιστικά αδιάφορες (Πίνακας 5.16). Στα διαγράμματα, επίσης, δεν παρατηρήθηκε κάποια διαφοροποίηση μεταξύ των ετών με ξηρό φθινόπωρο και του συνόλου (βλ. Παράρτημα).

**Πίνακας 5.16:** Συντελεστές συσχέτισης φθινοπωρινής βροχόπτωσης στο Ηράκλειο με NAO φθινόπωρου της ίδιας υδρολογικής χρονιάς και NAO χειμώνα, άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς.

		Συντ. συσχέτισης φθινοπωρινής βροχόπτωσης με:				r critical
		NAO χειμώνα	NAO άνοιξης	NAO καλοκαιριού	NAO φθινοπ.	
πλήθος ετών με ξηρό φθινόπωρο	25	-0,03	-0,15	-0,17	-0,07	0,40
όλα τα έτη	92	-0,04	-0,02	0,01	-0,04	0,21

### 5.3.3 Χρονική κλίμακα μήνα

Οι βροχερότεροι μήνες για την περιοχή του Ηρακλείου είναι ο Δεκέμβριος και ο Ιανουάριος (Σχήμα 5.27).



Σχήμα 5.27: Κατανομή μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης για το Ηράκλειο.

Σύμφωνα με τον ΗΙ βρέθηκε ότι 26 από τα 85 χρόνια παρουσιάζουν ξηρό Δεκέμβριο και 29 από τα 88 ξηρό Ιανουάριο. Από τους Πίνακες 5.17 και 5.18 διαπιστώνουμε ότι οι συντελεστές είναι στατιστικά ασήμαντοι.

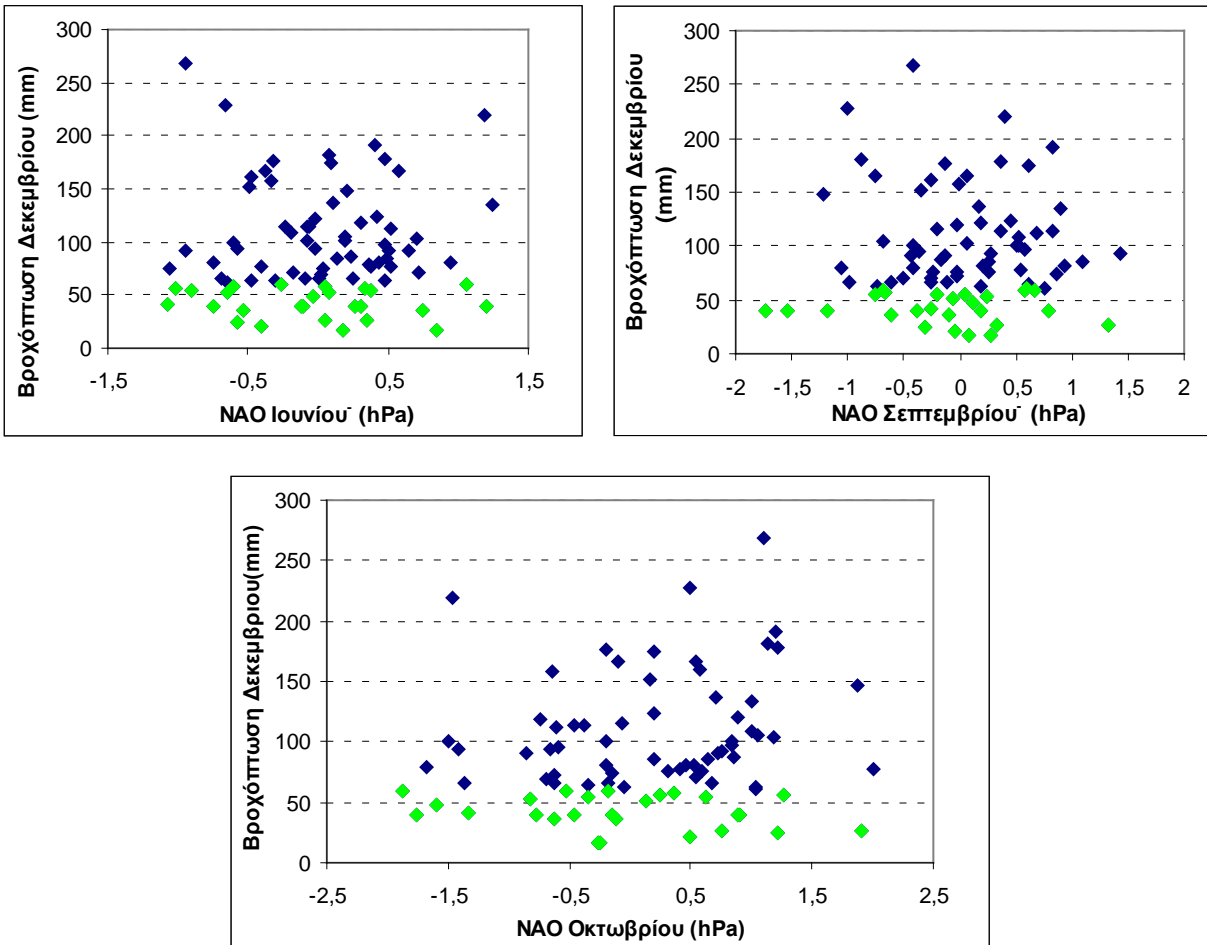
Πίνακας 5.17: Συντελεστές συσχέτισης βροχόπτωσης Δεκ. στο Ηράκλειο με το NAO του ίδιου και των 6 προηγούμενων μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους.

	Συντ. συσχέτισης βροχόπτωσης Δεκεμβρίου με:							r critical	
	NAO Οκτ.	NAO Νοε.	NAO Δεκ.	NAO Ιουνίου	NAO Ιουλίου	NAO Αυγ.	NAO Σεπτ.		
πλήθος ετών με ξηρό Δεκέμβριο	26	-0,25	-0,20	0,34	-0,15	0,15	-0,20	-0,06	0,39
όλα τα έτη	85	0,17	0,20	0,15	0,02	-0,10	0,00	0,02	0,22

Πίνακας 5.18: Συντελεστές συσχέτισης βροχόπτωσης Ιανουαρίου στο Ηράκλειο με το NAO του ίδιου και των 6 προηγούμενων μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους.

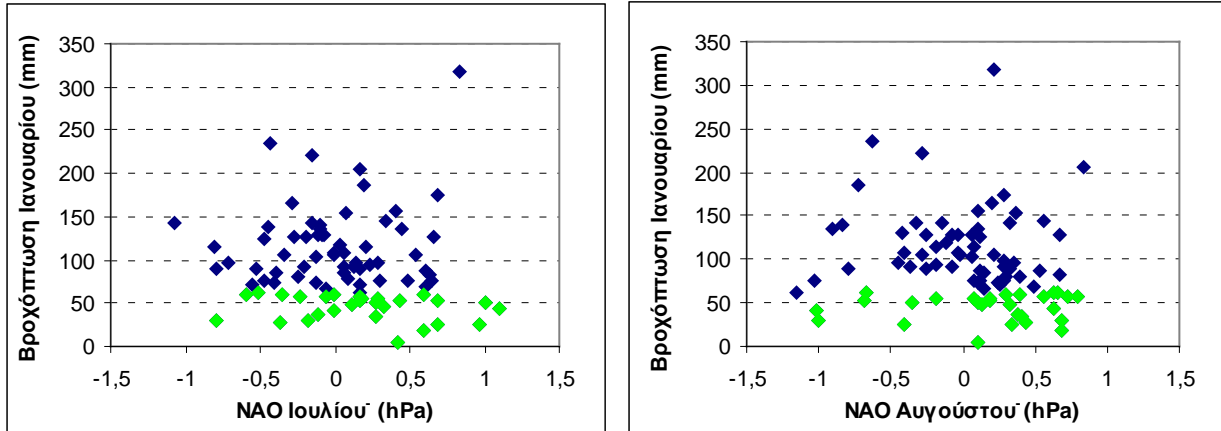
	Συντ. συσχέτισης βροχόπτωσης Ιανουαρίου με:							r critical	
	NAO Οκτ.	NAO Νοε.	NAO Δεκ.	NAO Ιαν.	NAO Ιουλίου	NAO Αυγ.	NAO Σεπτ.		
πλήθος ετών με ξηρό Ιανουάριο	29	-0,17	0,30	0,22	-0,01	-0,19	0,06	0,06	0,37
όλα τα έτη	88	-0,02	-0,15	0,04	0,04	-0,09	-0,12	0,09	0,21

Από το σχήμα 5.28 διαπιστώνουμε ότι τα ξηρά έτη δεν παρουσιάζουν ασυνήθιστα χαρακτηριστικά σε σχέση με το σύνολο για τον Ιούνιο (α), αλλά βλέπουμε ελαφρώς μεγαλύτερη πιθανότητα ξηρού Δεκεμβρίου όταν NAO Σεπτεμβρίου και NAO Οκτωβρίου  $< -0.5$  (β)



**Σχήμα 5.28:** Βροχόπτωση Δεκεμβρίου στο Ηράκλειο και NAO α) Ιουνίου<sup>-</sup>, β) Σεπτεμβρίου<sup>-</sup>, γ) Οκτωβρίου για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Δεκέμβριο (πράσινο).

Για τον Ιανουάριο παρατηρούμε ότι η πιθανότητα ξηρών συνθηκών είναι μεγαλύτερη όταν ο NAO Ιουλίου<sup>-</sup>, Αυγούστου<sup>-</sup>  $> 0.5$  (σχεδόν διπλάσια) (Σχήμα 5.29). Για τους υπόλοιπους μήνες δεν έχουμε να παρατηρήσουμε κάτι αντίστοιχο.



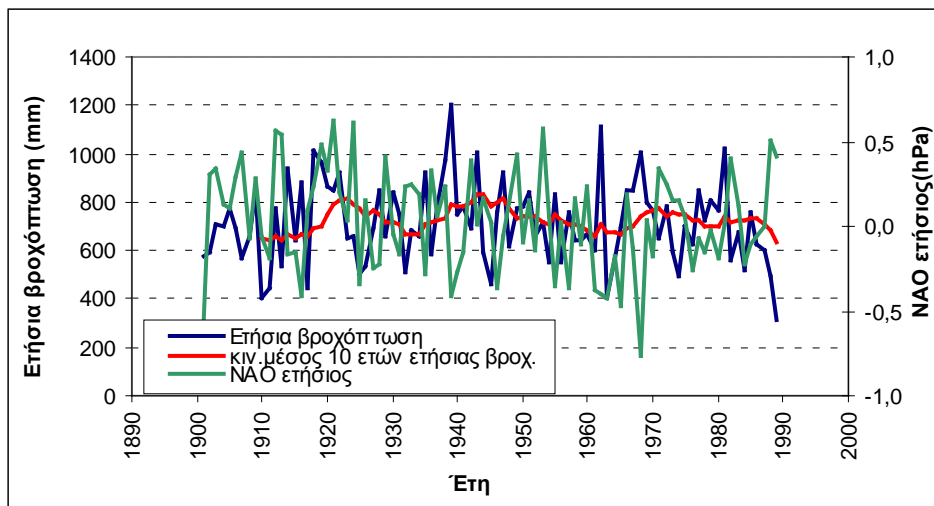
Σχήμα 5.29: Βροχόπτωση Ιανουαρίου στο Ηράκλειο και NAO α) Ιουλίου-, β) Αυγούστου- για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Ιανουάριο (πράσινο).

## 5.4 Πάτρα

Ο βροχομετρικός σταθμός της Πάτρας με κωδικό 16689 έχει συντεταγμένες 38.20°N , 21.70°E και βρίσκεται σε υψόμετρο 3m. Για αυτό το σταθμό έχουμε δεδομένα μηνιαίας βροχόπτωσης για την περίοδο 1901-1989. Παρουσιάζονται τα διαγράμματα με αξιοσημείωτες παρατηρήσεις.

### 5.4.1 Χρονική κλίμακα έτους

Ενδεικτικά παραθέτουμε τα διαγράμματα ετήσιας βροχόπτωσης και ετήσιου NAO (Σχήμα 5.30).



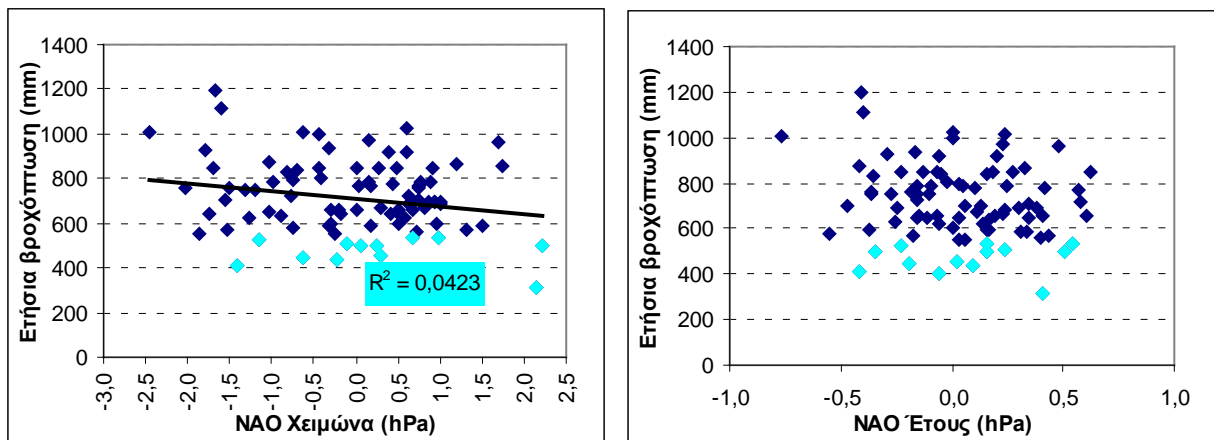
Σχήμα 5.30: Ετήσια βροχόπτωση στην Πάτρα και ετήσιος NAO συναρτήσεως του υδρολογικού έτους.

Παρατηρούμε κυρίως διαστήματα, όπου οι δύο γραμμές μεταβάλλονται με αντίθετο τρόπο. Στον Πίνακα 5.19 βλέπουμε και πάλι ότι οι συσχετίσεις είναι ασήμαντες, εκτός ασθενή συσχέτιση με τον NAO χειμώνα.

**Πίνακας 5.19:** Συντελεστές συσχέτισης ετήσιας βροχόπτωσης στην Πάτρα με τον ετήσιο και τους εποχιακούς NAO του ίδιου υδρολογικού έτους.

		Συντ. συσχέτισης ετήσιας βροχόπτωσης με:					r critical
		NAO έτους	NAO χειμώνα	NAO άνοιξης	NAO καλοκαιριού	NAO φθινοπώρου	
έτη έντονης ξηρασίας	6	-0,56	-0,70	-0,10	0,15	0,26	0,82
έτη ξηρασίας	13	0,08	-0,15	-0,25	0,26	0,37	0,55
όλα τα έτη	89	-0,17	<b>-0,21</b>	-0,04	0,03	0,01	0,21

Η συσχέτιση αυτή είναι πολύ χαμηλή επομένως αναμένουμε μικρές διαφοροποιήσεις στις πιθανότητες στα διάφορα διαστήματα τιμών του NAO (Σχήμα 5.31α). Ακόμα παρατηρούμε ότι τα περισσότερα γαλάζια σημεία (ξηρά έτη) βρίσκονται στην ουδέτερη περιοχή και λιγότερα στην υψηλή και στη χαμηλή. Στο Σχήμα 5.31β βλέπουμε ότι σχεδόν όλα τα γαλάζια σημεία βρίσκονται στην ουδέτερη περιοχή αλλά αυτό αποτελεί έτσι κι αλλιώς χαρακτηριστικό όλης της χρονοσειράς, γιατί ο NAO έτους έχει μικρότερο εύρος τιμών σε σχέση με το χειμερινό. Μία αρκετά χαμηλή τιμή που παρατηρείται δεν ανήκει σε ξηρό έτος.



**Σχήμα 5.31:** Ετήσια βροχόπτωση στην Πάτρα και NAO α) έτους και β) χειμώνα του ίδιου έτους για όλη τη χρονοσειρά (μπλε) και για τα ξηρά έτη (γαλάζιο).

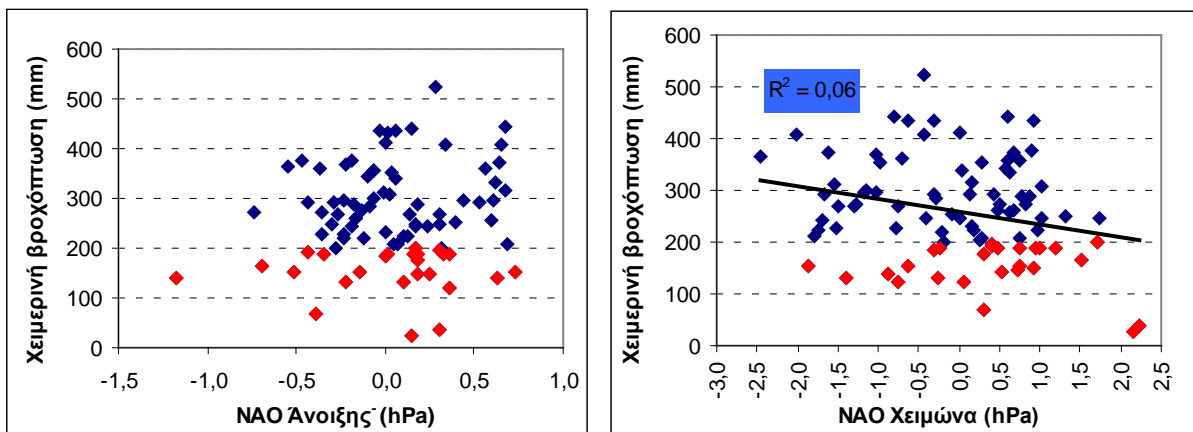


### 5.4.2 Χρονική κλίμακα εποχής

Μόνο μεταξύ NAO χειμώνα και χειμερινής βροχόπτωσης παρατηρήθηκε αρνητική σημαντική συσχέτιση (Πίνακας 5.20).

**Πίνακας 5.20:** Συντελεστές συσχέτισης χειμερινής βροχόπτωσης στην Πάτρα με NAO χειμώνα και φθινοπώρου της ίδιας υδρολογικής χρονιάς και NAO άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς

		Συντ. συσχέτισης χειμερινής βροχόπτωσης με:				<i>r</i> <i>critical</i>
		NAO χειμώνα	NAO άνοιξης <sup>-</sup>	NAO καλοκαιριού <sup>-</sup>	NAO φθινοπ.	
πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	27	-0,12	0,02	0,06	0,12	0,38
όλα τα έτη	89	<b>-0,25</b>	0,10	0,15	0,02	0,21



**Σχήμα 5.32:** Χειμερινή βροχόπτωση στην Πάτρα και NAO α) άνοιξης του προηγούμενου έτους και β) χειμώνα του ίδιου έτους για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό χειμώνα (κόκκινο).

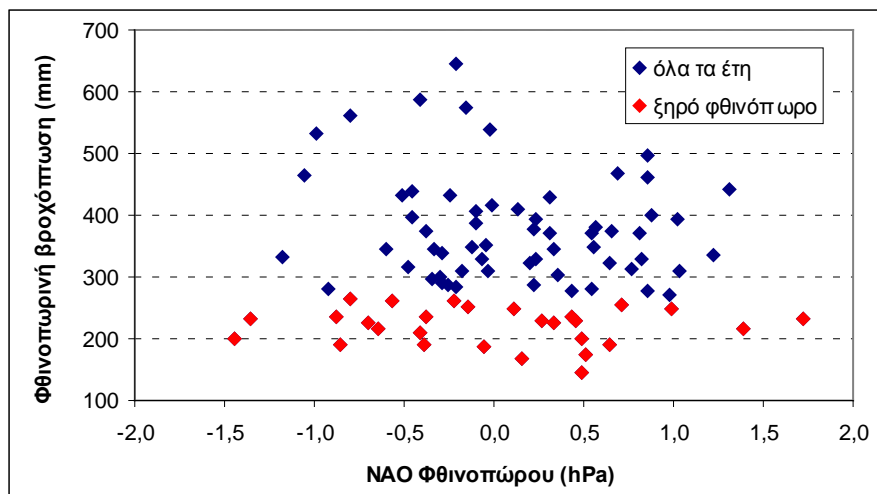
Στο Σχήμα 5.32α) παρατηρούμε αρκετά μεγαλύτερη πιθανότητα ξηρασίας όταν  $NAO < -0.5$ . Στο β) βλέπουμε ότι τα κόκκινα σημεία ισομοιράζονται στις 3 περιοχές και ότι λόγω αυτής της αρνητικής συσχέτισης αναμένεται η πιθανότητα εμφάνισης ξηρού χειμώνα όταν  $NAO > 0.5$  να είναι λίγο υψηλότερη από αυτήν όταν  $NAO < -0.5$ .

Για τη φθινοπωρινή βροχόπτωση οι συσχετίσεις είναι ασήμαντες (Πίνακας 5.21).

**Πίνακας 5.21:** Συντελεστές συσχέτισης φθινοπωρινής βροχόπτωσης στην Πάτρα με NAO φθινοπώρου της ίδιας υδρολογικής χρονιάς και NAO χειμώνα, άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς.

		Συντ. συσχέτισης φθινοπωρινής βροχόπτωσης με:				r critical
		NAO χειμώνα	NAO άνοιξης	NAO καλοκαιριού	NAO φθινοπ.	
πλήθος ετών με ξηρό φθινόπωρο	28	-0,10	-0,07	-0,21	-0,06	0,38
όλα τα έτη	89	-0,11	-0,03	-0,05	-0,04	0,21

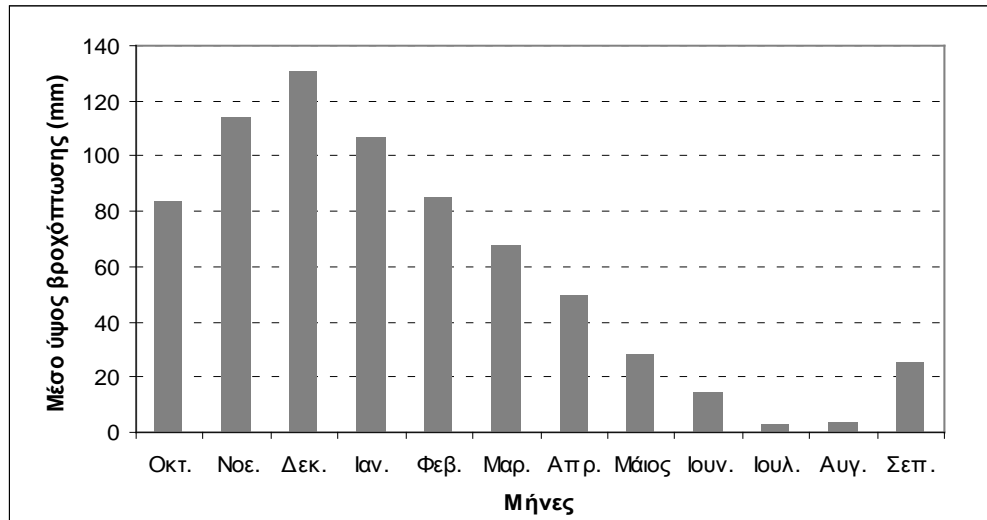
Ενδεικτικά παραθέτουμε το διάγραμμα NAO φθινοπώρου–φθινοπωρινής βροχόπτωσης (Σχήμα 5.33). Παρατηρούμε ότι για 2 ξερά φθινόπωρα παρατηρήθηκαν αρκετά υψηλές τιμές NAO, το χειμώνα του 1909 όπου  $NAO=1.74$  και το χειμώνα του 1988 όπου  $NAO=2.22$ . Ωστόσο πολύ χαμηλή τιμή παρατηρήθηκε σε χρονιά με κανονικό φθινόπωρο (χειμώνας 1968:  $NAO=-2.46$ ). Τέλος παρατηρούμε μεγαλύτερη συγκέντρωση ξηρών φθινοπώρων στην περιοχή χαμηλού NAO σε σχέση με την περιοχή υψηλού.



**Σχήμα 5.33:** NAO φθινοπώρου και φθινοπωρινή βροχόπτωση στην Πάτρα.

### 5.4.3 Χρονική κλίμακα μήνα

Πρόεκυψε ότι οι βροχερότεροι μήνες για την περιοχή της Πάτρας είναι ο Δεκέμβριος και ο Νοέμβριος (Σχήμα 5.34).



Σχήμα 5.34: Κατανομή μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στην Πάτρα.

Στους Πίνακες 5.22 και 5.23 βλέπουμε τις συσχετίσεις για τους μήνες αυτούς. Προέκυψε στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ NAO Ιουλίου<sup>-</sup> και βροχόπτωσης Δεκεμβρίου για τα 28 έτη με ξηρό Δεκέμβριο και μεταξύ NAO Νοεμβρίου και βροχόπτωσης Νοεμβρίου για το σύνολο των 89 ετών.

Πίνακας 5.22: Συντελεστές συσχέτισης βροχόπτωσης Δεκ. στην Πάτρα με τον NAO του ίδιου και των 6 προηγούμενων μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους.

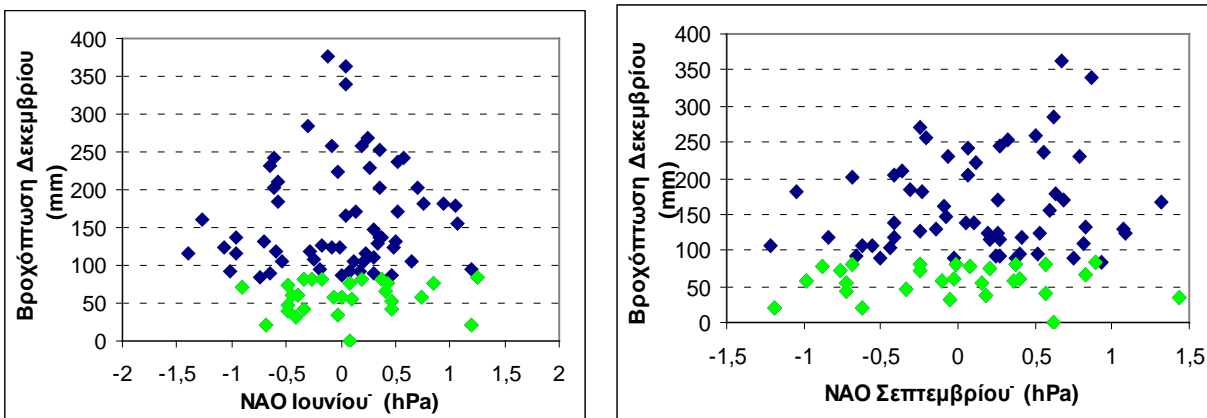
	Συντ. συσχέτισης βροχόπτωσης Δεκεμβρίου με:								<i>r</i> <i>critical</i>
	NAO Οκτ	NAO Νοε	NAO Δεκ	NAO Ιουνίου <sup>-</sup>	NAO Ιουλίου <sup>-</sup>	NAO Αυγ. <sup>-</sup>	NAO Σεπτ. <sup>-</sup>		
πλήθος ετών με ξηρό Δεκέμβριο	28	0,19	0,10	-0,09	0,10	<b>-0,38</b>	-0,29	0,02	0,38
όλα τα έτη	89	-0,14	0,05	-0,08	0,04	0,15	-0,11	0,06	0,21

Πίνακας 5.23: Συντελεστές συσχέτισης βροχόπτωσης Νοεμβρίου στην Πάτρα με τον NAO του ίδιου και των 6 προηγούμενων μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους.

	Συντ. συσχέτισης βροχόπτωσης Νοεμβρίου με:								<i>r</i> <i>critical</i>
	NAO Οκτ	NAO Νοε	NAO Μαΐου <sup>-</sup>	NAO Ιουνίου <sup>-</sup>	NAO Ιουλίου <sup>-</sup>	NAO Αυγ. <sup>-</sup>	NAO Σεπτ. <sup>-</sup>		
πλήθος ετών με ξηρό Νοέμβριο	26	0,22	-0,19	-0,13	-0,10	0,37	0,01	0,27	0,39
όλα τα έτη	89	-0,07	<b>-0,22</b>	-0,06	-0,09	-0,02	0,00	-0,06	0,21

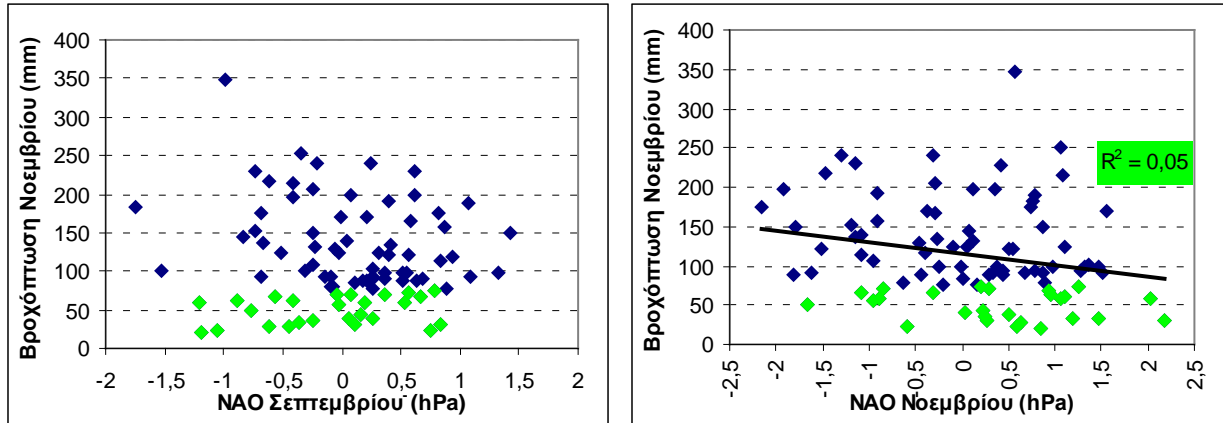
Σε αυτήν την περίπτωση μπορούμε να πούμε ότι μεταξύ ετών που παρουσίασαν ξηρό Δεκέμβριο, όσο πιο ξηρός ήταν αυτός ο μήνας, τόσο χαμηλότερος ήταν ο NAO του Ιουλίου που προηγήθηκε αυτού. Αυτό σε συνδυασμό με την απουσία συσχέτισης στο σύνολο, μπορεί να μαρτυρά ότι για κάποια έτη διαμορφώθηκαν τέτοιες συνθήκες στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας που τα 2 μεγέθη μεταβάλλονταν με τον ίδιο τρόπο. Κάτι τέτοιο ίσως δεν πρέπει να μας προκαλεί μεγάλη έκπληξη αφενός γιατί αυτή η συσχέτιση στην παρούσα περίπτωση είναι ασθενής και αφετέρου γιατί η πολυπλοκότητα του συστήματος ωκεανού-ατμόσφαιρας είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη μεταβλητότητα της βροχόπτωσης. Επίσης δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η εμφάνιση κάποιας στατιστικά σημαντικής τιμής γενικότερα δεν συνεπάγεται απαραίτητα ότι τα δύο μεγέθη έχουν σχέση αίτιου-αιτιατού.

Στο Σχήμα 5.35α) παρατηρούμε αυξημένη πιθανότητα ξηρού Δεκεμβρίου όταν  $NAO_{\text{Ιουνίου}} > 0.5$  και όταν  $NAO_{\text{Σεπτεμβρίου}} < -0.5$ .



**Σχήμα 5.35:** Βροχόπτωση Δεκεμβρίου στην Πάτρα και NAO α) Ιουνίου και β) Σεπτεμβρίου της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Δεκέμβριο (πράσινο).

Η αρνητική συσχέτιση στο σύνολο της χρονοσειράς όπως έχει αναφερθεί και νωρίτερα έχει ως αποτέλεσμα να περιμένουμε μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης ξηρού έτους όταν ο NAO Νοεμβρίου  $> 0.5$ . (Σχήμα 5.36β). Στο 5.36α παρατηρούμε μεγαλύτερη πιθανότητα ξηρού Νοεμβρίου, όταν  $NAO_{\text{Σεπτεμβρίου}} < -0.5$ .



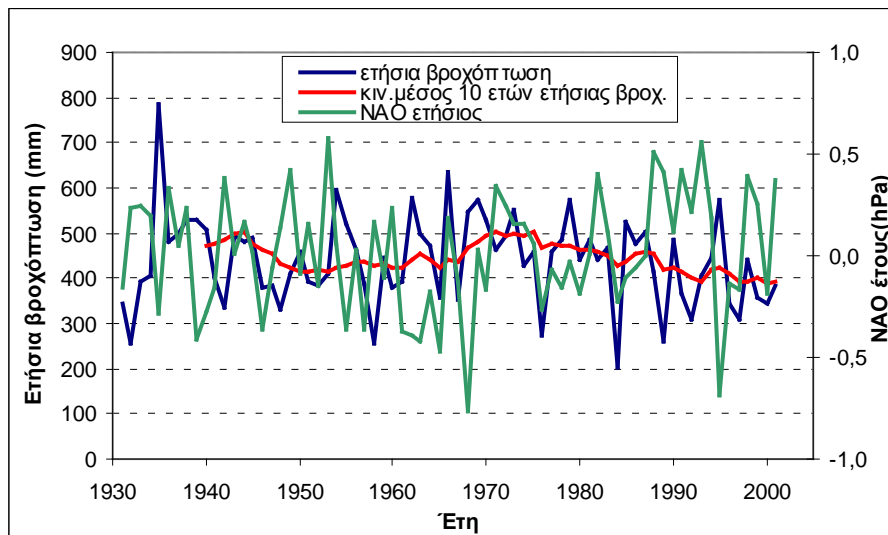
**Σχήμα 5.36:** Βροχόπτωση Νοεμβρίου στην Πάτρα και NAO α) Σεπτεμβρίου και β) Νοεμβρίου για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Νοέμβριο (πράσινο).

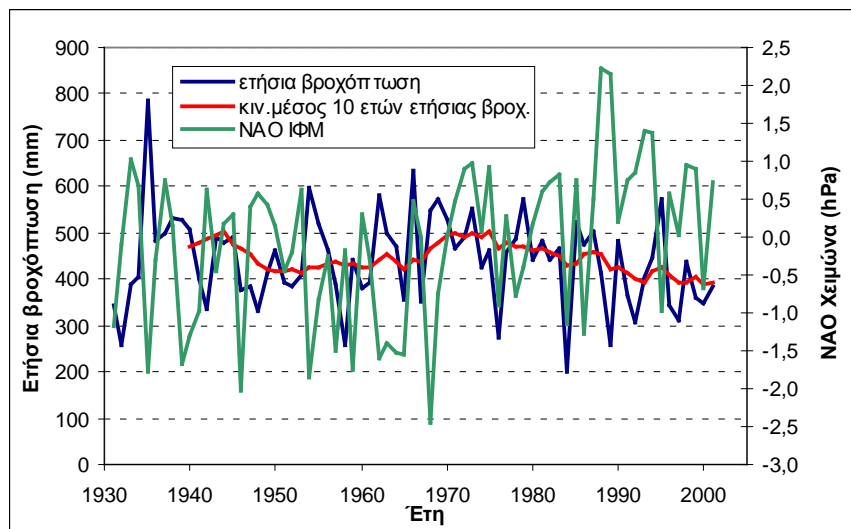
## 5.5 Θεσσαλονίκη

Ο βροχομετρικός σταθμός της Θεσσαλονίκης με κωδικό 16622, έχει συντεταγμένες 40.60°N, 23°E και βρίσκεται σε υψόμετρο 40 m. Διαθέτει δεδομένα μηνιαίας βροχόπτωσης για την περίοδο 1931-2001. Παρουσιάζονται τα διαγράμματα με αξιοσημείωτες παρατηρήσεις.

### 5.5.1 Χρονική κλίμακα έτους

Τα διαγράμματα ετήσιας βροχόπτωσης σε σχέση με το NAO έτους και το χειμερινό NAO παρουσιάζουν και για τη Θεσσαλονίκη παρόμοια εικόνα με τις προηγούμενες πόλεις.





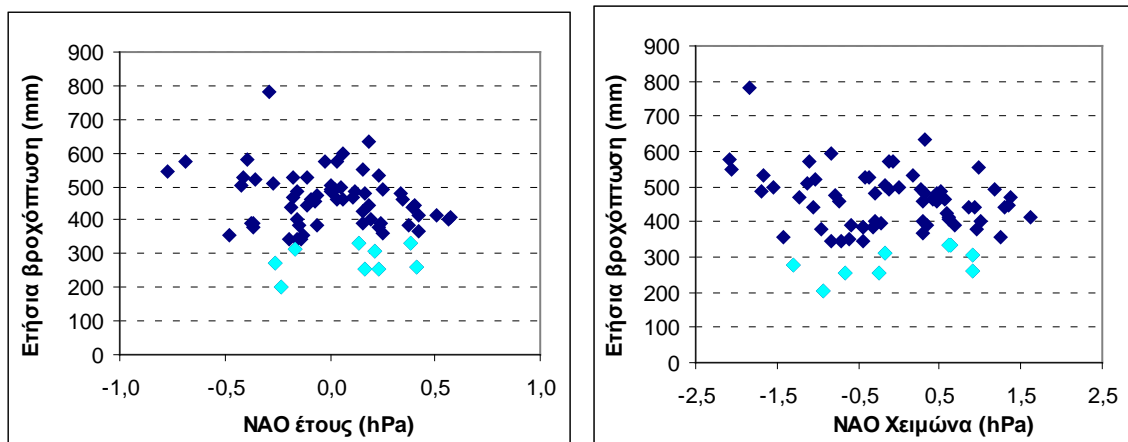
**Σχήμα 5.37:** Ετήσια βροχόπτωση και α) NAO έτους, β) NAO χειμώνα για τη Θεσ/νίκη.

Στον Πίνακα 5.24 παρατηρούμε ότι οι συσχετίσεις με το NAO έτους και το NAO χειμώνα είναι κάπως υψηλότερες τόσο στο σύνολο όσο και στα ξηρά έτη, αν και στατιστικά αδιάφορες.

**Πίνακας 5.24:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ετήσιας βροχόπτωσης στη Θεσσαλονίκη και NAO έτους και εποχιακών βροχοπτώσεων του ίδιου υδρολογικού έτους

		Συντ.συσχέτισης ετήσιας βροχόπτωσης με:				r critical
		NAO έτους	NAO χειμώνα	NAO άνοιξης	NAO φθινοπώρου	
έτη ξηρασίας	9	0,32	0,58	0,42	-0,36	0,67
όλα τα έτη	71	-0,23	-0,21	0,04	-0,03	0,24

Σχεδόν σε όλα τα διαγράμματα που απεικονίζουν την ετήσια βροχόπτωση σε σχέση με τους εποχιακούς NAO παρατηρήθηκε ότι όλα τα ξηρά έτη συγκεντρώνονται στην ουδέτερη περιοχή, γεγονός που πιθανόν να οφείλεται στο μικρό μέγεθος του δείγματος (ενδεικτικά Σχήμα 5.38α). Στο Σχήμα 5.38β παρατηρούμε σχεδόν ίσο καταμερισμό στα τρία διαστήματα.



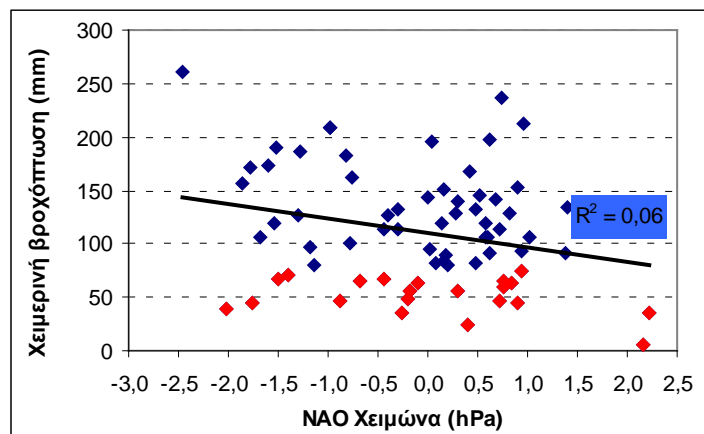
**Σχήμα 5.38:** Ετήσια βροχόπτωση στη Θεσ/νίκη και NAO α) έτους και β) χειμώνα για όλα τα έτη (μπλε) και για τα ξηρά έτη (γαλάζιο).

### 5.5.2 Χρονική κλίμακα εποχής

Παρατηρούμε στατιστικά σημαντική συσχέτιση με το NAO χειμώνα και αυξημένη με το NAO άνοιξης (αρνητική και στις δύο περιπτώσεις) (Πίνακας 5.25 και Σχήμα 5.39).

**Πίνακας 5.25:** Συντελεστές συσχέτισης χειμερινής βροχόπτωσης στη Θεσ/νίκη με NAO χειμώνα και φθινοπώρου της ίδιας υδρολογικής χρονιάς και NAO άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς

		Συντ. συσχέτισης χειμερινής βροχόπτωσης με:				$r$ critical
		NAO χειμώνα	NAO άνοιξης <sup>-</sup>	NAO καλοκαιριού <sup>-</sup>	NAO φθινοπ.	
πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	21	-0,33	-0,33	-0,05	0,33	0,44
όλα τα έτη	71	-0,25	-0,19	-0,02	-0,13	0,24

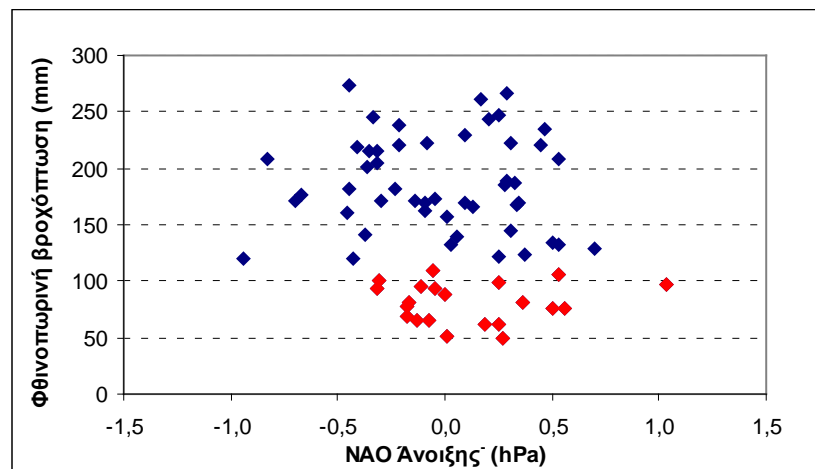


**Σχήμα 5.39:** Χειμερινή βροχόπτωση στη Θεσσαλονίκη και NAO χειμώνα του ίδιου έτους για όλα τα έτη και για τα έτη (μπλε) με ξηρό χειμώνα (κόκκινο).

Λόγω αρνητικής συσχέτισης περιμένουμε μικρότερη πιθανότητα ξηρού χειμώνα όταν  $NAO < -0.5$ , κάτι που ωστόσο δε φαίνεται από το Σχήμα 5.39. Για τη φθινοπωρινή βροχόπτωση οι συσχετίσεις που βρέθηκαν με τους εποχιακούς NAO είναι στατιστικά αδιάφορες (Πίνακας 5.26). Παρατηρήθηκε ότι όταν ο NAO άνοιξης λαμβάνει υψηλότερες τιμές, η πιθανότητα ξηρού φθινοπώρου αυξάνει, ενώ στην περιοχή χαμηλών τιμών είναι μηδενική (Σχήμα 5.40).

**Πίνακας 5.26:** Συντελεστές συσχέτισης φθινοπωρινής βροχόπτωσης στη Θεσ/νίκη με NAO φθινοπώρου της ίδιας υδρολογικής χρονιάς και NAO χειμώνα, άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς.

		Συντ. συσχέτισης φθινοπωρινής βροχόπτωσης με:				r critical
		NAO χειμώνα <sup>-</sup>	NAO άνοιξης <sup>-</sup>	NAO καλοκαιριού <sup>-</sup>	NAO φθινοπ.	
πλήθος ετών με ξηρό φθινόπωρο	21	0,24	0,02	-0,17	0,09	0,44
όλα τα έτη	71	-0,03	-0,16	0,18	-0,11	0,24

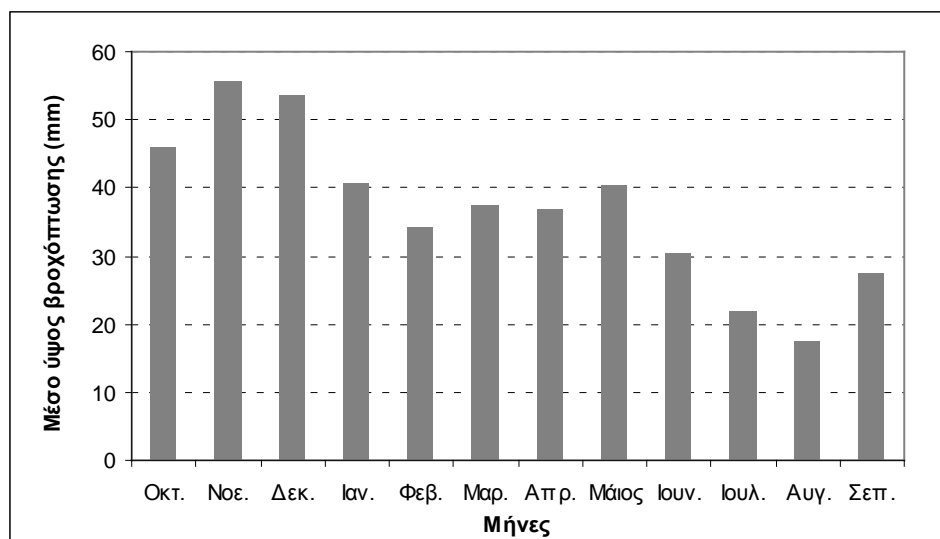


**Σχήμα 5.40:** Φθινοπωρινή βροχόπτωση στη Θεσσαλονίκη και NAO άνοιξης του προηγούμενου έτους για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό φθινόπωρο (κόκκινο).

### 5.5.3 Χρονική κλίμακα μήνα

Οι βροχερότεροι μήνες για την περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι ο Νοέμβριος και ο Δεκέμβριος (Σχήμα 5.41).





**Σχήμα 5.41:** Κατανομή μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στη Θεσ/νίκη.

Για κανέναν από τους δύο μήνες δε βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις με το NAO των προηγούμενων μηνών (Πίνακες 5.27, 5.28).

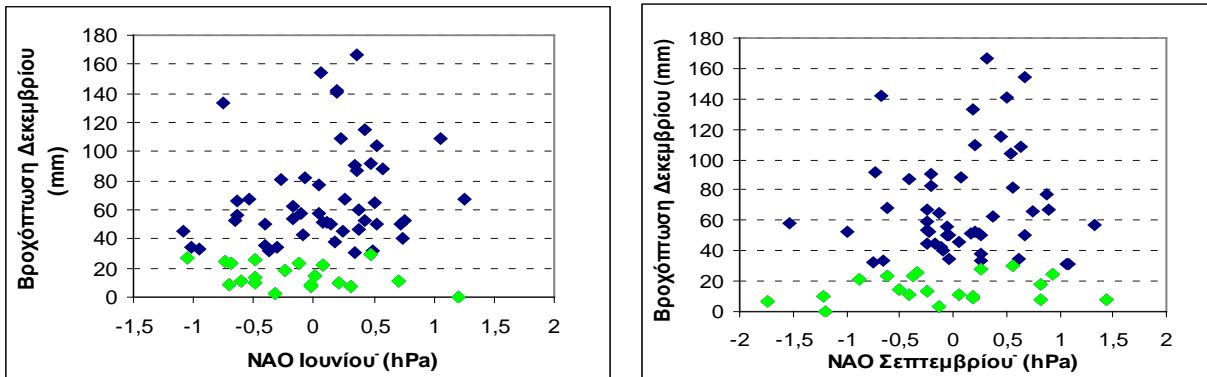
**Πίνακας 5.27:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ βροχόπτωσης Δεκεμβρίου στη Θεσσαλονίκη και NAO του ίδιου μήνα και των 6 προηγούμενων του μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους.

		Συντ.συσχέτισης βροχόπτωσης Δεκεμβρίου με:							<i>r</i> critical
		NAO Οκτ.	NAO Νοε.	NAO Δεκ.	NAO Ιουνίου <sup>-</sup>	NAO Ιουλίου <sup>-</sup>	NAO Αυγ. <sup>-</sup>	NAO Σεπτ. <sup>-</sup>	
πλήθος ετών με ξηρό Δεκέμβριο	20	-0,02	0,19	0,24	-0,39	0,22	0,38	0,21	0,45
όλα τα έτη	71	-0,07	-0,21	-0,04	0,22	0,16	-0,04	0,17	0,24

**Πίνακας 5.28:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ βροχόπτωσης Νοεμβρίου στη Θεσσαλονίκη και NAO του ίδιου μήνα και των 6 προηγούμενων του μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους.

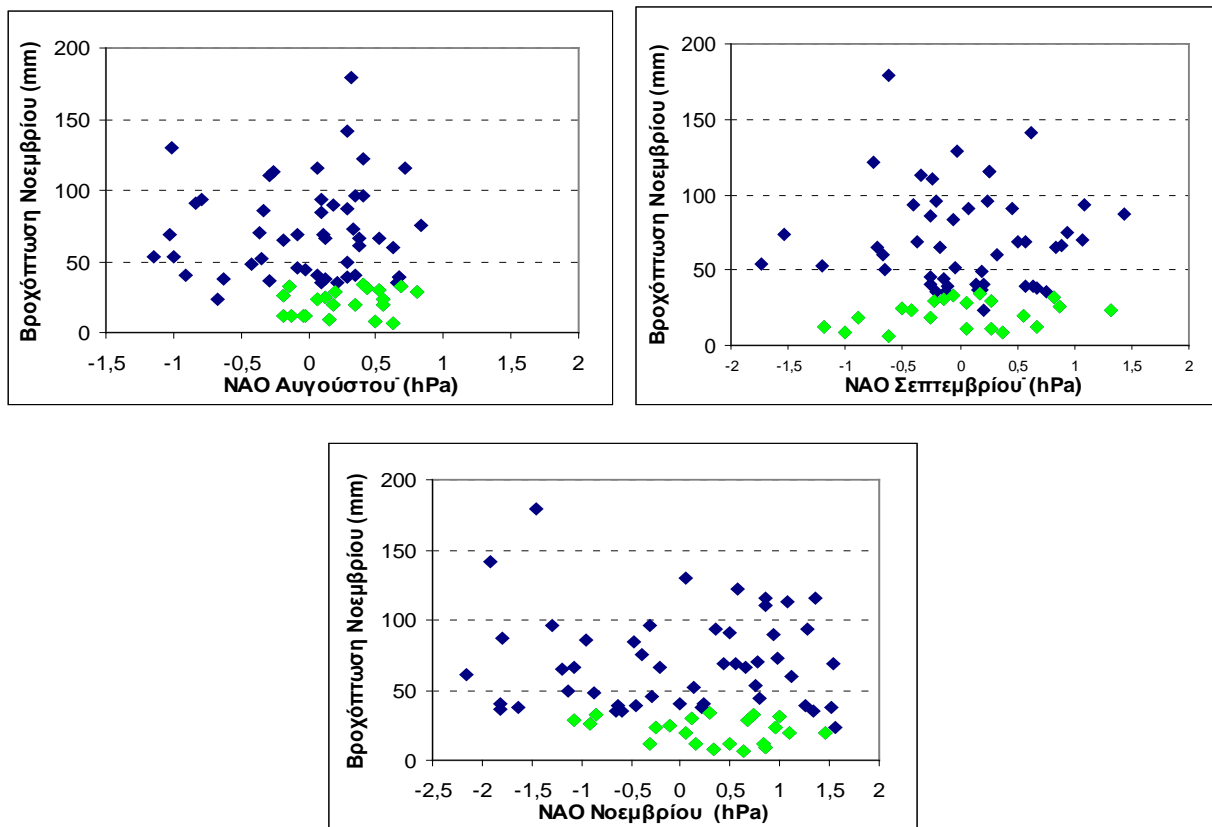
		Συντ.συσχέτισης βροχόπτωσης Νοεμβρίου με:							<i>r</i> critical
		NAO Οκτ.	NAO Νοε.	NAO Μαΐου <sup>-</sup>	NAO Ιουνίου <sup>-</sup>	NAO Ιουλίου <sup>-</sup>	NAO Αυγ. <sup>-</sup>	NAO Σεπτ. <sup>-</sup>	
πλήθος ετών με ξηρό Νοέμβριο	22	-0,10	-0,24	-0,22	-0,17	0,21	0,23	0,27	0,43
όλα τα έτη	71	-0,12	-0,13	-0,02	-0,13	0,05	-0,11	0,01	0,24

Στο Σχήμα 5.42α και β παρατηρούμε ότι τα πράσινα σημεία έχουν ελαφρά μεγαλύτερη συγκέντρωση στην περιοχή χαμηλού NAO σε σχέση με την περιοχή  $NAO > 0.5$ .



**Σχήμα 5.42:** Βροχόπτωση Δεκεμβρίου στη Θεσ/νίκη και NAO α) Ιουνίου, β) Σεπτεμβρίου για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Δεκέμβριο (πράσινο).

Για το Νοέμβριο παρατηρήσαμε χαμηλή έως μηδενική πιθανότητα ξηρασίας όταν NAO Αυγούστου και NAO Νοεμβρίου  $< -0.5$  (Σχήμα 5.43α και γ) και υψηλότερη όταν NAO Σεπτεμβρίου  $< -0.5$  (5.43β).



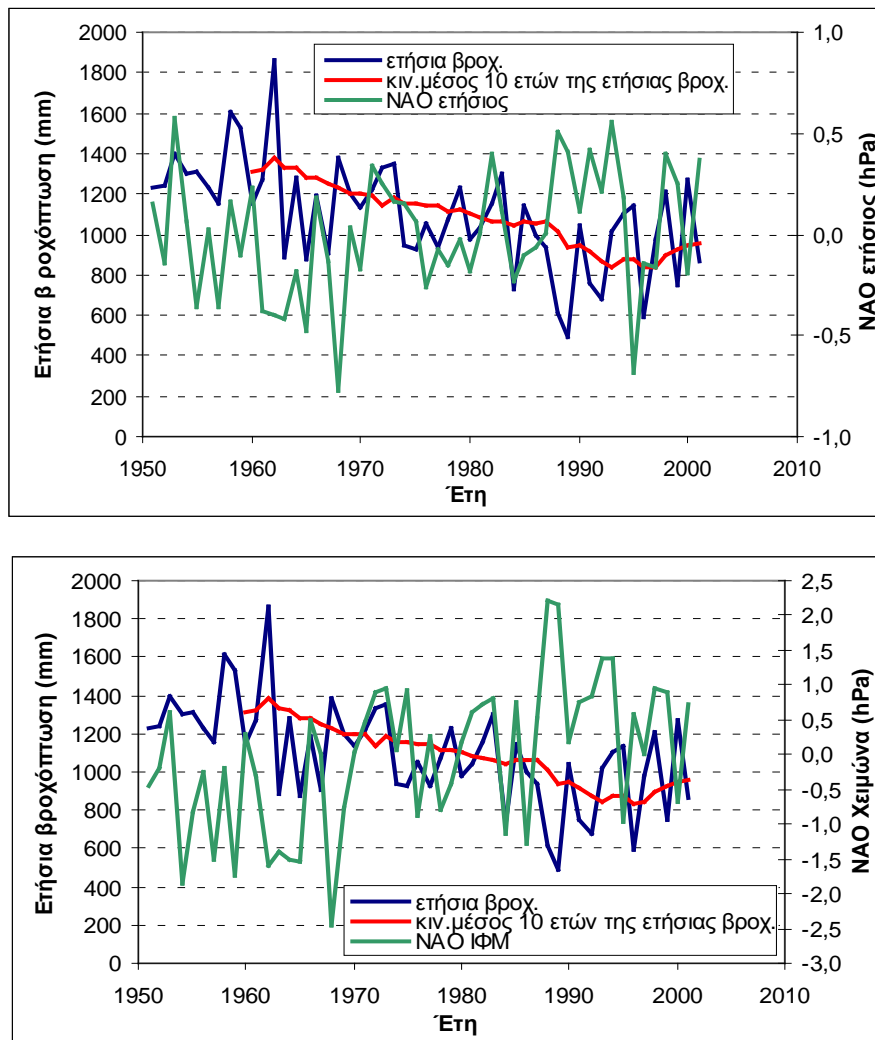
**Σχήμα 5.43:** Βροχόπτωση Νοεμβρίου στη Θεσ/νίκη και NAO α) Αυγούστου και β) Σεπτεμβρίου και γ) Νοεμβρίου για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Νοέμβριο (πράσινο).

## 5.6 Κέρκυρα

Ο βροχομετρικός σταθμός της Κέρκυρας με κωδικό 16641 έχει συντεταγμένες 39.60°N , 19.90°E και βρίσκεται σε υψόμετρο 2 m. Διαθέτει δεδομένα μηνιαίας βροχόπτωσης για την περίοδο 1951-2001. Παρουσιάζονται τα διαγράμματα με αξιοσημείωτες παρατηρήσεις.

### 5.6.1 Χρονική κλίμακα έτους

Αν και από το Σχήμα 5.44 δε φαίνεται ξεκάθαρα αν τα 2 μεγέθη συσχετίζονται, πάραυτα στον πίνακα βλέπουμε στατιστικά σημαντική συσχέτιση με το NAO χειμώνα για όλα τα έτη και για τα ξηρά έτη (Πίνακας 5.29).



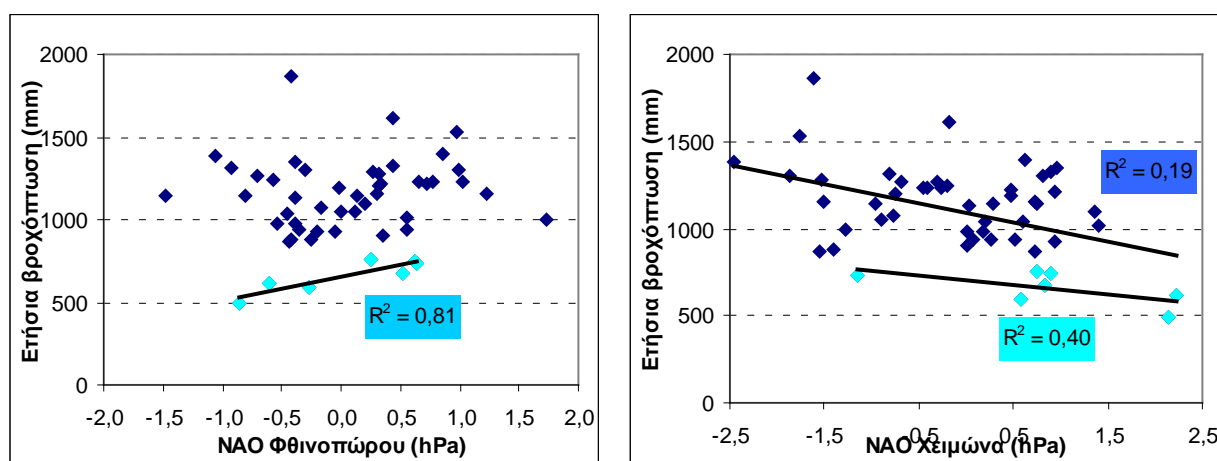
Σχήμα 5.44: Ετήσια βροχόπτωση στην Κέρκυρα και NAO α) έτους και β) χειμώνα.

**Πίνακας 5.29:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ετήσιας βροχόπτωσης στην Κέρκυρα, ετήσιου NAO και εποχιακών NAO της ίδιας υδρολογικής χρονιάς.

		Συντ. συσχέτισης ετήσιας βροχόπτωσης με:				r critical
		NAO έτους	NAO χειμώνα	NAO άνοιξης	NAO φθινοπώρου	
έτη ξηρασίας	7	-0,20	<b>-0,63</b>	-0,07	<b>0,90</b>	0,76
όλα τα έτη	51	-0,21	<b>-0,44</b>	0,19	0,10	0,28

Στο Σχήμα 5.45β βλέπουμε ότι όσο υψηλότερος είναι ο NAO χειμώνα τόσο χαμηλότερη είναι η ετήσια βροχόπτωση για τα 51 έτη του δείγματος. Επίσης η πιθανότητα ξηρασίας είναι πολύ μικρή όταν ο NAO χειμώνα είναι μικρότερος του -0.5. Βέβαια το δείγμα αυτό είναι αρκετά μικρό και μπορεί να ευθύνεται για αυτό το αποτέλεσμα.

Ο στατιστικά σημαντικός συντελεστής που εμφανίστηκε με το NAO φθινοπώρου για τα έτη ξηρασίας μόνο μας δείχνει ότι για αυτά τα ξηρά έτη όσο χαμηλότερος είναι ο δείκτης τόσο χαμηλότερη και η βροχόπτωση (Σχήμα 5.45α). Βέβαια τα 7 αυτά έτη αποτελούν ένα πολύ περιορισμένο δείγμα, ωστόσο και πάλι μπορούμε να πούμε ότι η απουσία συσχέτισης στο σύνολο δεν αποκλείει για κάποια έτη να διαμορφωθούν τέτοιες συνθήκες στην ατμόσφαιρα που να έχουμε μεταφορά της διαταραχής από τον Ατλαντικό πάνω από τη χώρα μας. Βέβαια, μπορεί και να πρόκειται για ένα καθαρά τυχαίο γεγονός και τα δύο φαινόμενα να μην έχουν καμία απολύτως σχέση.



**Σχήμα 5.45:** Ετήσια βροχόπτωση στην Κέρκυρα και α) NAO φθινοπώρου, β) NAO χειμώνα για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη ξηρασίας (γαλαζιο).

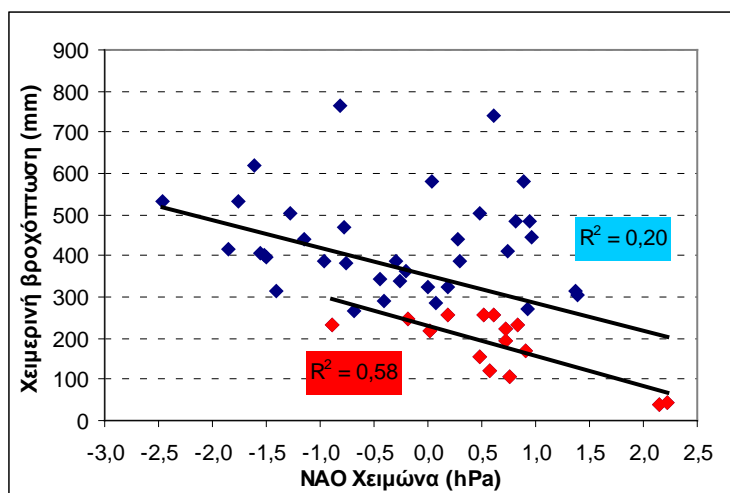
### 5.6.2 Χρονική κλίμακα εποχής

Στον Πίνακα 5.30 παρατηρούμε έντονα αρνητική συσχέτιση της χειμερινής βροχόπτωσης με το NAO χειμώνα.

**Πίνακας 5.30:** Συντελεστές συσχέτισης χειμερινής βροχόπτωσης στην Κέρκυρα με NAO χειμώνα και φθινοπώρου της ίδιας υδρολογικής χρονιάς και NAO άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς

		Συντ. συσχέτισης χειμερινής βροχόπτωσης με:				<i>r</i> critical
		NAO χειμώνα	NAO άνοιξης <sup>-</sup>	NAO καλοκαιριού <sup>-</sup>	NAO φθινοπ.	
πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	15	<b>-0,76</b>	-0,33	-0,05	0,38	0,52
όλα τα έτη	51	<b>-0,45</b>	0,09	0,14	0,05	0,28

Στο Σχήμα 5.46 παρατηρούμε ότι τα έτη με ξηρό χειμώνα συγκεντρώνονται στην πλειονότητά τους στην ουδέτερη και στην περιοχή υψηλού NAO χειμώνα, γεγονός που συνάδει με τον αρνητικό δείκτη.



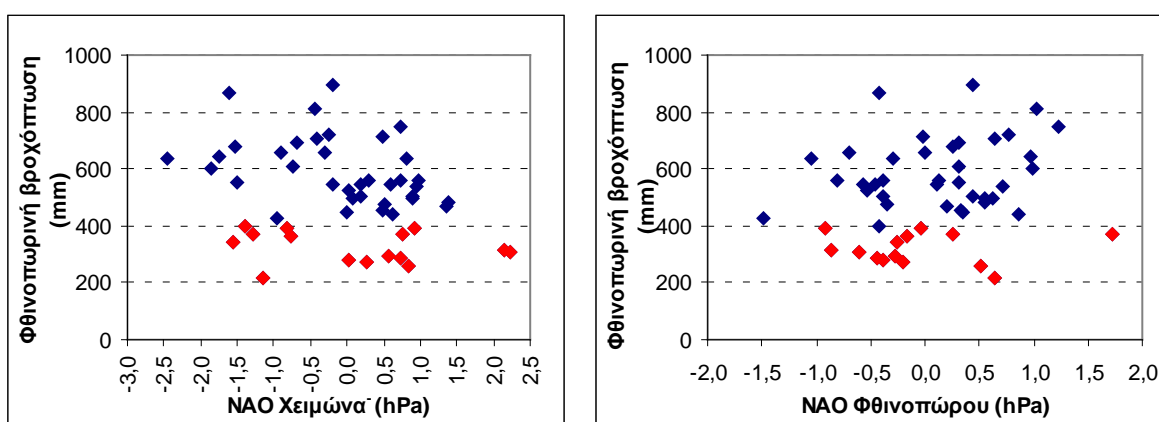
**Σχήμα 5.46:** Χειμερινή βροχόπτωση στην Κέρκυρα και NAO χειμώνα του ίδιου έτους.

Και πάλι το μικρό μέγεθος δείγματος (51 έτη) προβληματίζει και μπορεί να είναι υπεύθυνο για τα παραπάνω αποτελέσματα. Ωστόσο υψηλότερη συσχέτιση -και μάλιστα αρνητική- με το NAO χειμώνα έχει παρατηρηθεί και σε κάποιες από τις προηγούμενες πόλεις. Στον Πίνακα 5.31 της φθινοπωρινής βροχόπτωσης παρατηρούμε στατιστικά ασήμαντες συσχετίσεις (αν και λίγο αυξημένες με το NAO χειμώνα).

**Πίνακας 5.31:** Συντελεστές συσχέτισης φθινοπωρινής βροχόπτωσης στην Κέρκυρα με NAO φθινοπώρου της ίδιας υδρολογικής χρονιάς και NAO χειμώνα, άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς.

		Συντ. συσχέτισης φθινοπωρινής βροχόπτωσης με:				
		NAO χειμώνα	NAO άνοιξης	NAO καλοκαιριού	NAO φθινοπ.	r critical
πλήθος ετών με ξηρό φθινόπωρο	15	-0,23	0,03	0,18	-0,08	0,52
όλα τα έτη	51	-0,14	-0,15	-0,07	0,21	0,28

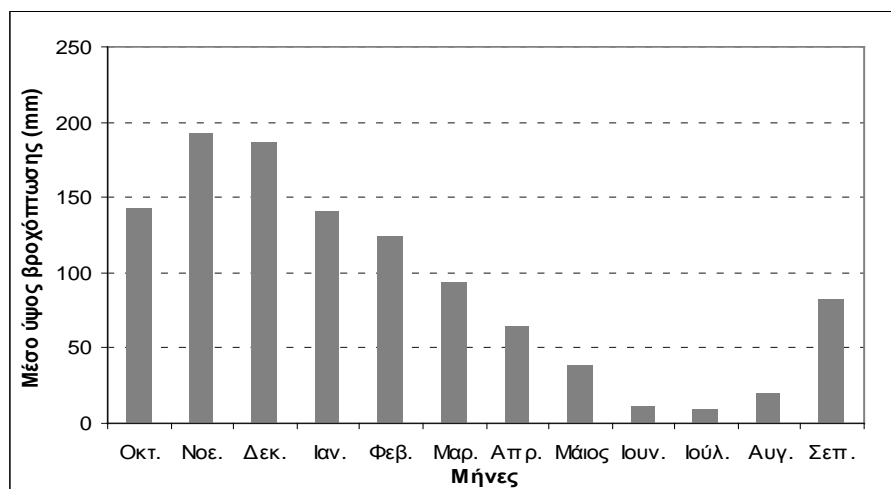
Στο Σχήμα 5.47α παρατηρούμε μεγαλύτερη συγκέντρωση των ετών με ξηρό φθινόπωρο στη περιοχή χαμηλού NAO χειμώνα. Ομοίως για το NAO φθινοπώρου (5.47β).



**Σχήμα 5.47:** Φθινοπωρινή βροχόπτωση στην Κέρκυρα και NAO α) χειμώνα και β) φθινοπώρου για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό φθινόπωρο (κόκκινο).

### 5.6.3 Χρονική κλίμακα μήνα

Οι βροχερότεροι μήνες στην Κέρκυρα είναι ο Νοέμβριος και ο Δεκέμβριος (Σχήμα 5.48).



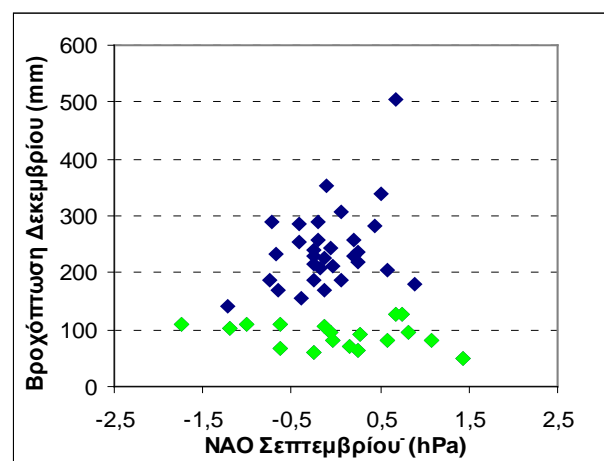
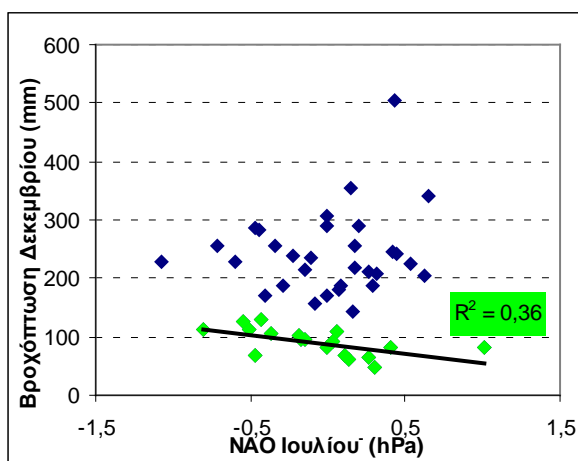
**Σχήμα 5.48:** Κατανομή μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στην Κέρκυρα (Σχήμα 5.48).

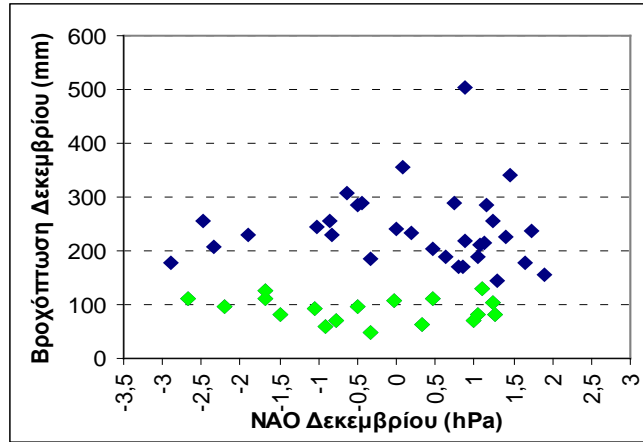
Στον Πίνακα 5.32 παρατηρούμε ότι υψηλή συσχέτιση βρέθηκε μόνο μεταξύ βροχόπτωσης Δεκεμβρίου και NAO Ιουλίου του προηγούμενου υδρολογικού έτους για τα 18 έτη που παρουσίασαν ξηρό Δεκέμβριο.

**Πίνακας 5.32:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ βροχόπτωσης Δεκεμβρίου στην Κέρκυρα, μηνιαίου NAO του ίδιου μήνα και των 6 προηγούμενων μηνών της ίδιας ή της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς

	Συντ. συσχέτισης βροχόπτωσης Δεκεμβρίου με:								<i>r</i> critical
	NAO Οκτ.	NAO Νοε.	NAO Δεκ.	NAO Ιουνίου <sup>-</sup>	NAO Ιουλίου <sup>-</sup>	NAO Αυγ. <sup>-</sup>	NAO Σεπτ. <sup>-</sup>		
πλήθος ετών με ξηρό Δεκέμβριο	18	0,17	0,30	-0,15	0,07	<b>-0,60</b>	-0,20	-0,28	0,47
όλα τα έτη	50	-0,02	0,00	0,17	0,22	0,07	-0,14	0,01	0,28

Στο σύνολό της η χρονοσειρά παρουσιάζει σχεδόν μηδενική συσχέτιση και η αρνητική μεταξύ των ετών με ξηρό Δεκέμβριο ίσως είναι λίγο περίεργη (Σχήμα 5.49α). Και πάλι είναι πιθανό οι μηχανισμοί της ατμόσφαιρας και η κυκλοφορία να παρουσιάζει τέτοιες μεταβολές ώστε να προκύπτουν τέτοιου είδους παράδοξα. Βέβαια το μέγεθος του δείγματος είναι αρκετά μικρό και σίγουρα δεν μπορεί να προκύψει ένα ασφαλές συμπέρασμα. Στο Σχήμα 5.49β) και γ) βλέπουμε ότι η πιθανότητα ξηρού Δεκεμβρίου είναι μεγαλύτερη όταν NAO Σεπτεμβρίου<sup>-</sup> > 0.5 και Δεκεμβρίου<sup>-</sup> < -0.5. Τέλος παρατηρούμε τη μεγαλύτερη θετική συσχέτιση (αν και στατιστικά ασήμαντη) με το NAO Ιουνίου<sup>-</sup>.



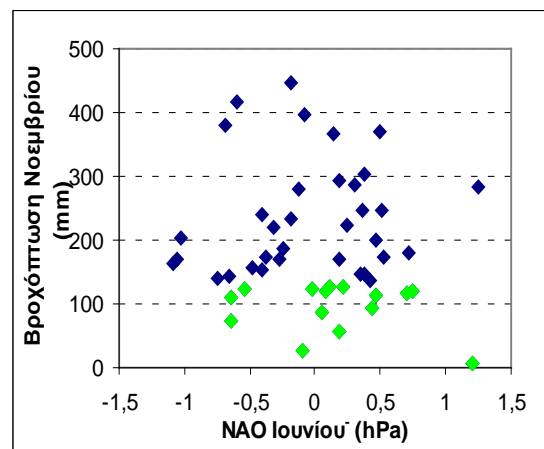
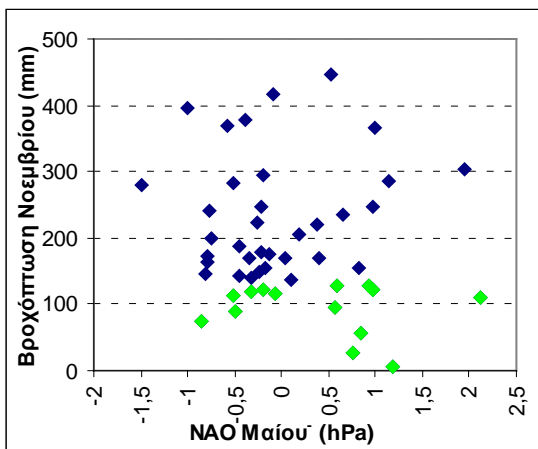


**Σχήμα 5.49:** Βροχόπτωση Δεκεμβρίου στην Κέρκυρα και NAO α) Ιουλίου, β) Σεπτεμβρίου και γ) Δεκεμβρίου για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Δεκέμβριο (πράσινο).

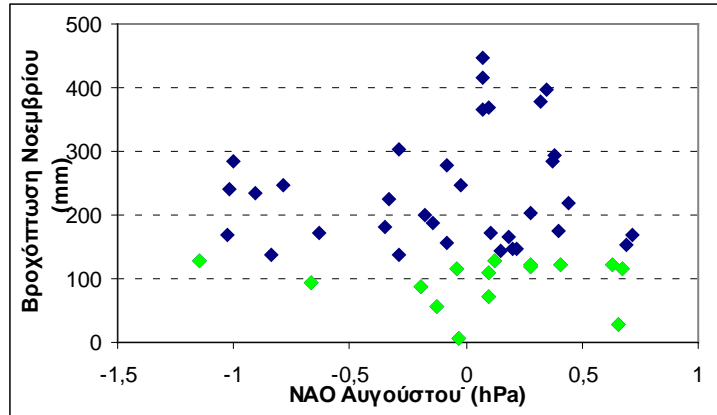
Για το Νοέμβριο (Πίνακας 5.33) δεν παρατηρούμε κάποια στατιστικά υψηλή τιμή, μόνο λίγο αυξημένη συσχέτιση με το NAO Οκτωβρίου. Στο Σχήμα 5.50α, β, γ παρατηρούμε μεγαλύτερη πιθανότητα ξηρασίας όταν NAO Μαΐου, Ιουνίου και Αυγούστου > 0.5.

**Πίνακας 5.33:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ βροχόπτωσης Νοεμβρίου στην Κέρκυρα, μηνιαίου NAO του ίδιου και των 6 προηγούμενων του μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους.

	Συντ. συσχέτισης μεταξύ βροχόπτωσης Νοεμβρίου και:								<i>r</i> critical
	NAO Οκτ.	NAO Νοε.	NAO Μαΐου	NAO Ιουνίου	NAO Ιουλίου	NAO Αυγ.	NAO Σεπτ.		
πλήθος ετών με ξηρό Νοέμβριο	15	0,44	-0,24	-0,13	-0,24	0,01	-0,05	0,31	0,52
όλα τα έτη	51	0,23	-0,01	-0,15	-0,07	-0,15	-0,02	-0,08	0,28







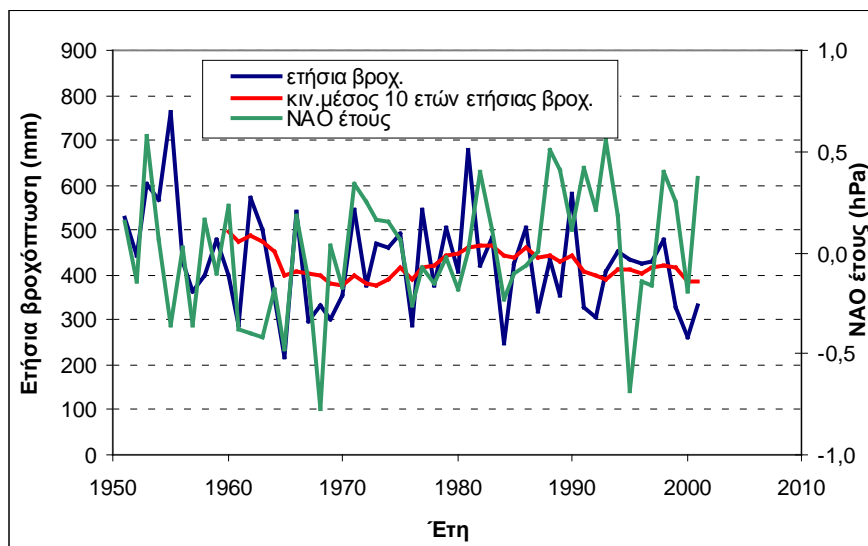
Σχήμα 5.50: Βροχόπτωση Νοεμβρίου στην Κέρκυρα και NAO α) Μαΐου και β) Οκτωβρίου για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Νοέμβριο (πράσινο).

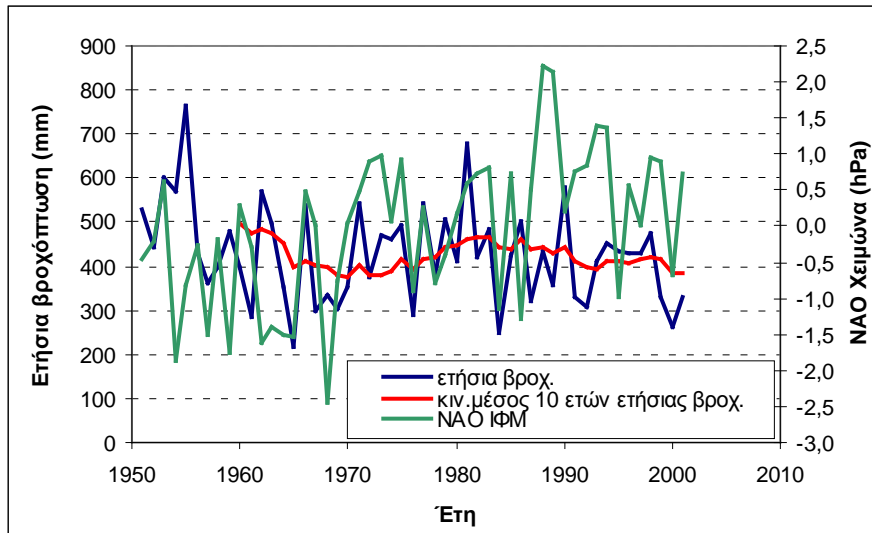
## 5.7 Λάρισα

Ο βροχομετρικός σταθμός της Λάρισας με κωδικό 16648 έχει συντεταγμένες 39.60°N, 22.40°E και βρίσκεται σε υψόμετρο 73 m. Από το σταθμό αυτό έχουμε δεδομένα μηνιαίας βροχόπτωσης για την περίοδο 1951-2001. Παρουσιάζονται τα διαγράμματα με αξιοσημείωτες παρατηρήσεις.

### 5.7.1 Χρονική κλίμακα έτους

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε ότι κατά περιόδους οι δύο μεταβλητές μεταβάλλονται με τον ίδιο τρόπο ενώ άλλες φορές είναι ασυσχέτιστες.





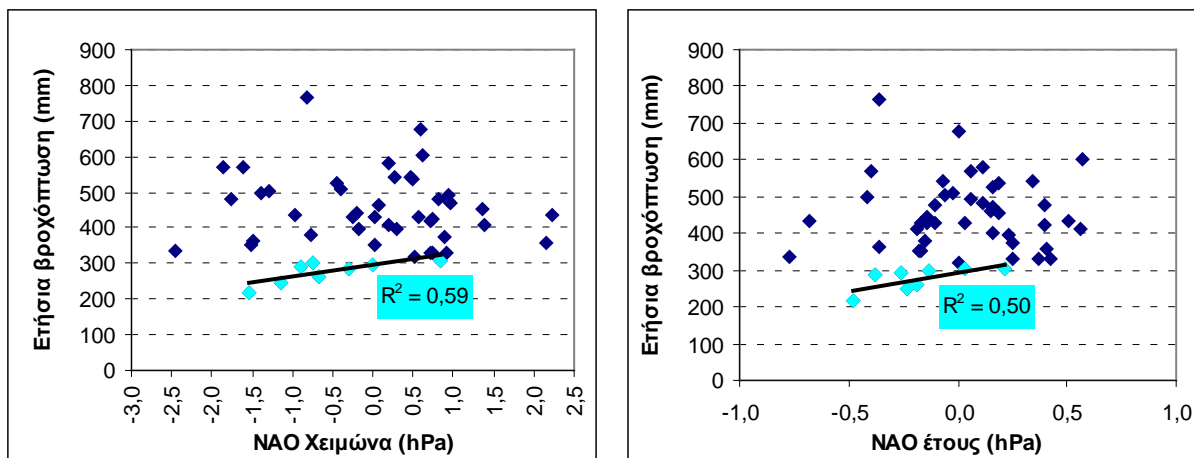
**Σχήμα 5.51:** Ετήσια βροχόπτωση στη Λάρισα και NAO α) έτους και β) χειμώνα της ίδιας υδρολογικής χρονιάς.

Στον πίνακα 5.34 των συντελεστών βλέπουμε υψηλές συσχετίσεις με το NAO χειμώνα και το NAO έτους μόνο για τα ξηρά έτη. Στο σύνολο δε βρέθηκε καμία στατιστικά σημαντική τιμή. Λίγο μεγαλύτερη συσχέτιση στο σύνολο παρατηρούμε με το NAO άνοιξης.

**Πίνακας 5.34:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ετήσιας βροχόπτωσης στη Λάρισα, ετήσιου και εποχιακών NAO του ίδιου υδρολογικού έτους.

		Συντ. συσχέτισης ετήσιας βροχόπτωσης με:				r critical
		NAO έτους	NAO χειμώνα	NAO άνοιξης	NAO φθινοπώρου	
έτη ξηρασίας	8	0,70	<b>0,77</b>	-0,16	0,16	0,71
όλα τα έτη	51	0,14	0,05	0,19	0,02	0,28

Στο Σχήμα 5.52α βλέπο με ό π ο ι τιμές το υ NAO χειμώνα για τα ξηρά έτη συγκεντρώνονται στο διάστημα -1,5 – 1, με τις περισσότερες τιμές να βρίσκονται στο διάστημα χαμηλών τιμών, ενώ για το σύνολο το εύρος τιμών είναι αρκετά μεγαλύτερο. Μια τέτοια διαφορά μπορεί να οφείλεται στο μικρό μέγεθος του δείγματος. Για το NAO έτους (5.52β) παρατηρούμε μεγαλύτερη συγκέντρωση στην ουδέτερη περιοχή.



Σχήμα 5.52: Ετήσια βροχόπτωση στη Λάρισα και α) NAO χειμώνα, β) NAO έτους για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη ξηρασίας.

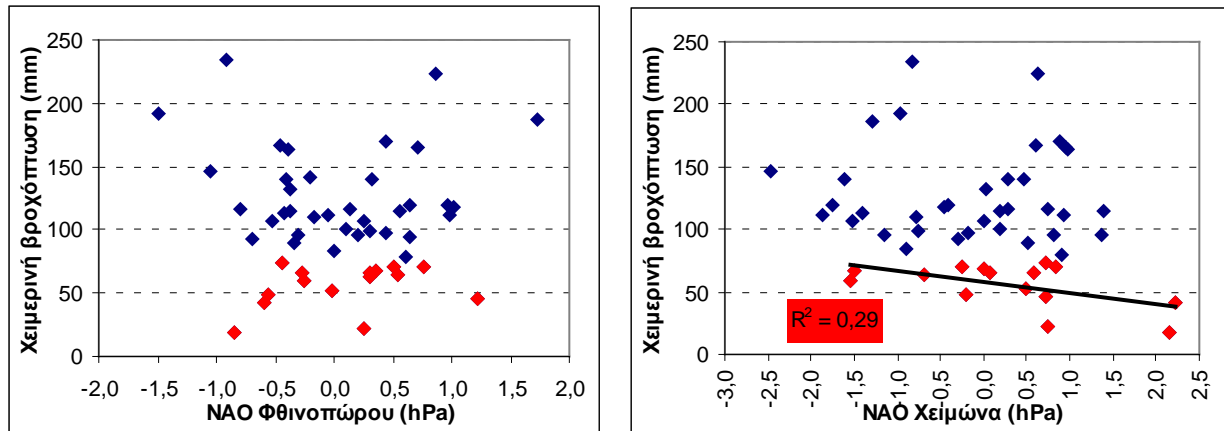
### 5.7.2 Χρονική κλίμακα εποχής

Στον Πίνακα 5.35 παρατηρούμε στατιστικά σημαντικό  $r$  μεταξύ χειμερινής βροχόπτωσης και NAO χειμώνα για τα ξηρά έτη. Και στο σύνολο παρατηρούμε τιμή κοντά στην κρίσιμη.

Πίνακας 5.35: Συντελεστές συσχέτισης χειμερινής βροχόπτωσης στη Λάρισα με NAO χειμώνα και φθινοπώρου της ίδιας υδρολογικής χρονιάς και NAO άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς.

		Συντ. συσχέτισης χειμερινής βροχόπτωσης με:				$r$ critical
		NAO χειμώνα	NAO άνοιξης	NAO καλοκαιριού	NAO φθινοπ.	
πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	15	<b>-0,54</b>	-0,01	-0,26	0,32	0,52
όλα τα έτη	51	-0,22	-0,11	0,09	-0,03	0,28

Στο Σχήμα 5.53β NAO χειμώνα–χειμερινής βροχόπτωσης παρατηρούμε ότι αρκετά κόκκινα σημεία είναι συγκεντρωμένα στην ουδέτερη ζώνη, αρκετά επίσης στην περιοχή υψηλού NAO και πολύ λίγα στη ζώνη χαμηλού. Άρα αναμένεται μικρότερη πιθανότητα ξηρασίας όταν ο NAO χειμώνα είναι χαμηλός (και λόγω αρνητικής συσχέτισης). Στο 5.53α δεν έχουμε να παρατηρήσουμε κάποια σημαντική διαφορά.



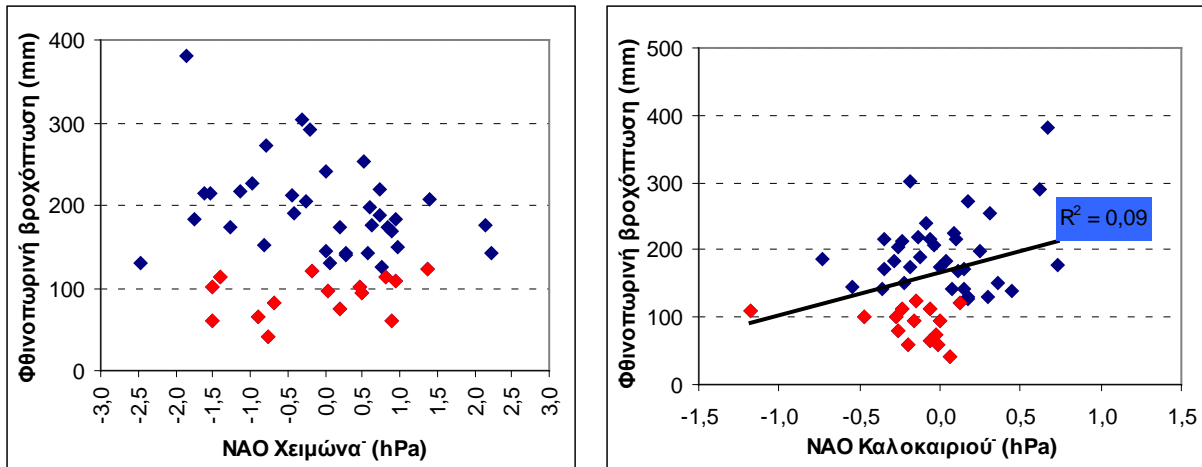
**Σχήμα 5.53:** Χειμερινή βροχόπτωση στη Λάρισα και NAO α) φθινοπώρου και β) χειμώνα του ίδιου υδρολογικού έτους για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό χειμώνα (κόκκινο).

Στον πίνακα 5.36 παρατηρούμε στατιστικά σημαντική συσχέτιση με το NAO καλοκαιριού για το σύνολο των ετών.

**Πίνακας 5.36:** Συντελεστές συσχέτισης φθινοπωρινής βροχόπτωσης στη Λάρισα με NAO φθινοπώρου της ίδιας υδρολογικής χρονιάς και NAO χειμώνα, άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς.

		Συντ. συσχέτισης φθινοπωρινής βροχόπτωσης με:				<i>r</i> critical
		NAO χειμώνα <sup>-</sup>	NAO άνοιξης <sup>-</sup>	NAO καλοκαιριού <sup>-</sup>	NAO φθινοπ.	
πλήθος ετών με ξηρό φθινόπωρο	15	0,34	-0,10	-0,28	0,18	0,52
όλα τα έτη	51	0,04	-0,18	<b>0,31</b>	0,01	0,28

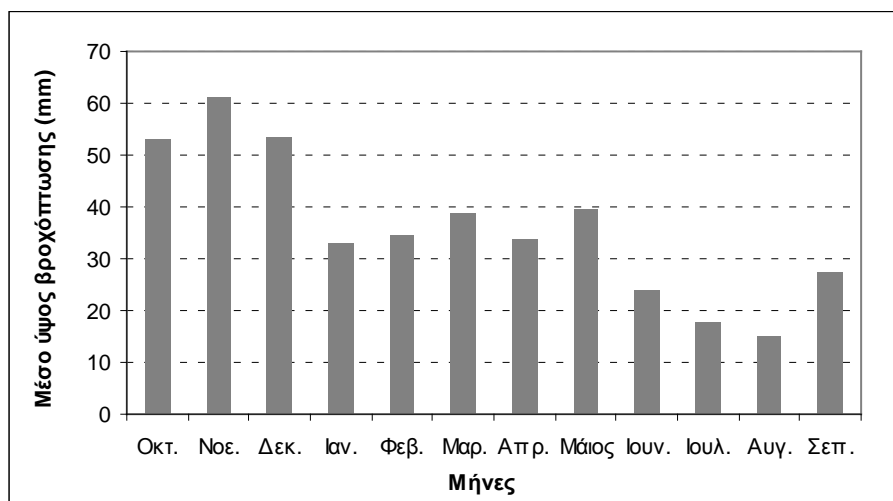
Στο Σχήμα 5.54β βλέπουμε ότι για τα έτη με ξηρό φθινόπωρο οι τιμές του NAO του καλοκαιριού που προηγείται είναι στην ουδέτερη περιοχή, εκτός από το καλοκαίρι του 1975 όπου NAO=-1.18. Στο 5.54α παρατηρούμε ελαφρά μεγαλύτερη συγκέντρωση ετών με ξηρό φθινόπωρο στην περιοχή κάτω από -0.5



Σχήμα 5.54: Φθινοπωρινή βροχόπτωση στη Λάρισα και α) NAO χειμώνα , β) NAO καλοκαιριού για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό φθινόπωρο (κόκκινο).

### 5.7.3 Χρονική κλίμακα μήνα

Οι βροχερότεροι μήνες για την περιοχή της Λάρισας είναι ο Νοέμβριος και ο Δεκέμβριος (Σχήμα 5.55).



Σχήμα 5.55: Κατανομή μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στη Λάρισα.

Στους Πίνακες 5.37 και 5.38 βλέπουμε ότι προέκυψε συσχέτιση μεταξύ NAO Νοεμβρίου και βροχόπτωσης Δεκεμβρίου για το σύνολο των 51 ετών και μεταξύ NAO Οκτωβρίου και βροχόπτωσης Νοεμβρίου για τα ξηρά έτη μόνο.

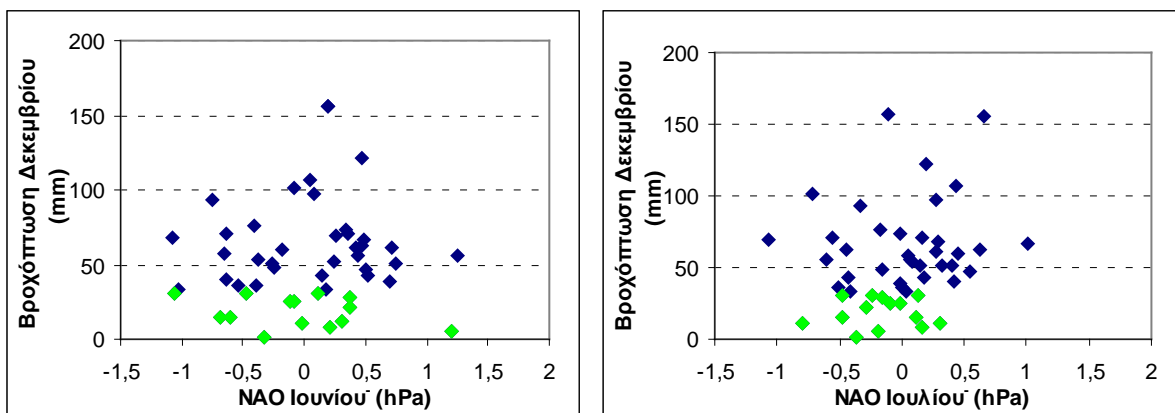
**Πίνακας 5.37:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ βροχόπτωσης Δεκεμβρίου στη Λάρισα, NAO του ίδιου μήνα και NAO των 6 προηγούμενων μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους.

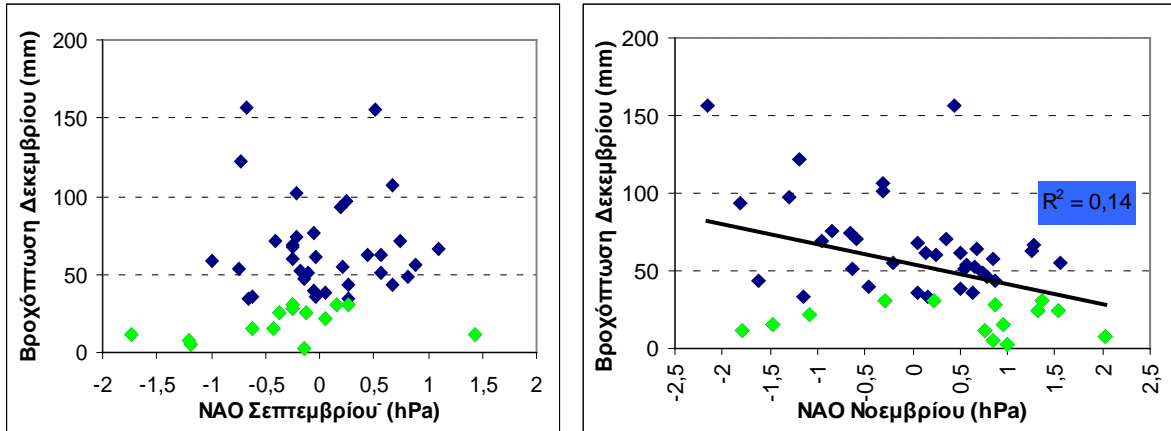
		Συντ.συσχέτισης βροχόπτωσης Δεκεμβρίου με:							<i>r</i> critical
		NAO Οκτ.	NAO Νοε.	NAO Δεκ.	NAO Ιουνίου	NAO Ιουλίου	NAO Αυγ	NAO Σεπτ	
πλήθος ετών με ξηρό Δεκέμβριο	14	0,00	0,00	0,30	-0,32	0,04	0,27	0,33	0,53
όλα τα έτη	51	-0,12	<b>-0,38</b>	-0,05	0,08	0,21	-0,06	0,17	0,28

**Πίνακας 5.38:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ βροχόπτωσης Νοεμβρίου στη Λάρισα, NAO του ίδιου μήνα και NAO των 6 προηγούμενων μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους

		Συντ. συσχέτισης βροχόπτωσης Νοεμβρίου με:							<i>r</i> critical
		NAO Οκτ.	NAO Νοε.	NAO Μαΐου	NAO Ιουνίου	NAO Ιουλίου	NAO Αυγ	NAO Σεπτ	
πλήθος ετών με ξηρό Νοέμβριο	14	<b>0,53</b>	-0,12	-0,51	-0,25	0,09	-0,24	0,27	0,53
όλα τα έτη	51	-0,07	0,09	-0,15	-0,05	0,16	0,17	-0,01	0,28

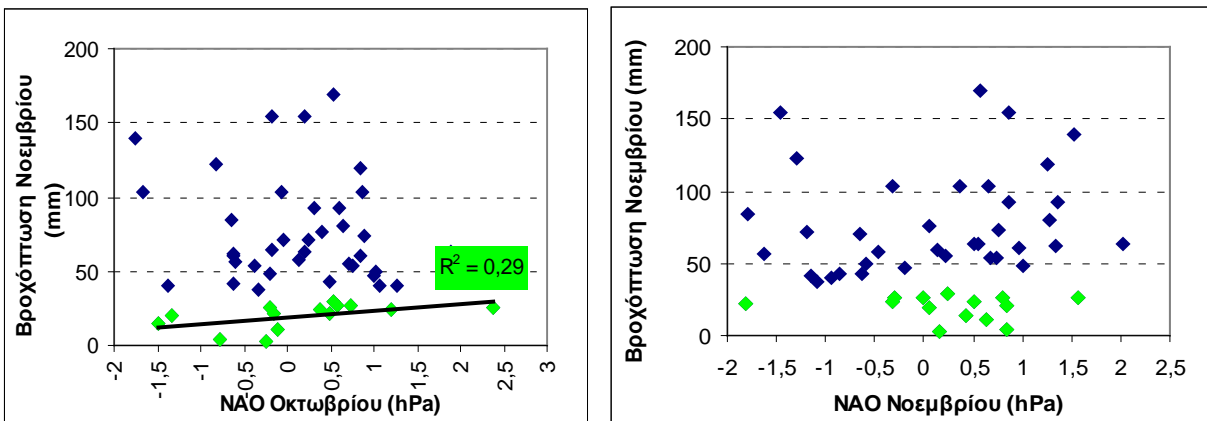
Στο Σχήμα 5.56α, β και γ παρατηρούμε μεγαλύτερη συγκέντρωση ετών με ξηρό Δεκέμβριο στην περιοχή χαμηλού NAO Ιουνίου, Ιουλίου και Σεπτεμβρίου του προηγούμενου υδρολογικού έτους. Στο 5.56δ παρατηρούμε ότι όσο αυξάνει ο NAO, τόσο μειώνεται η βροχόπτωση, όμως η συγκέντρωση των πράσινων σημείων μας δείχνει ότι η πιθανότητα ξηρού Δεκεμβρίου είναι περίπου ίδια, είτε ο NAO Νοεμβρίου βρίσκεται στην περιοχή υψηλών, είτε στην περιοχή χαμηλών τιμών.





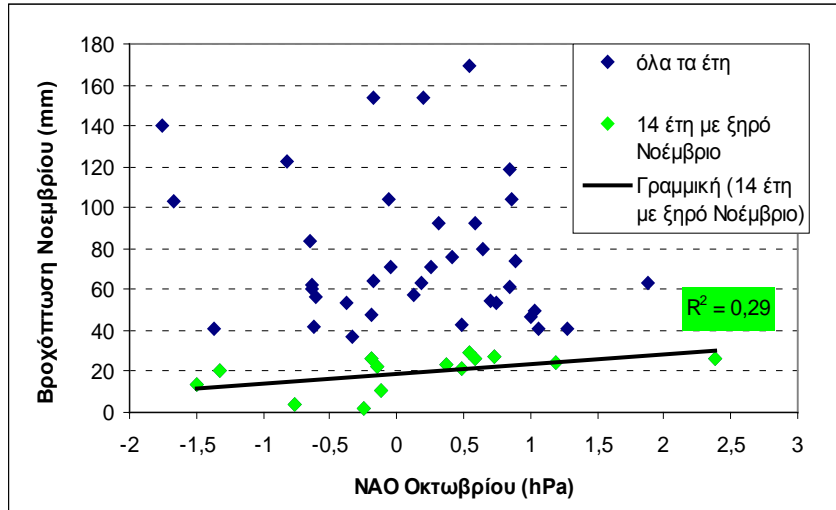
**Σχήμα 5.56:** Βροχόπτωση Δεκεμβρίου στη Λάρισα και NAO α) Ιουνίου, β) Ιουλίου, γ) Σεπτεμβρίου του προηγούμενου υδρολογικού έτους και δ) Νοεμβρίου του ίδιου έτους για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Δεκέμβριο (πράσινο).

Στο Σχήμα 5.57α βλέπουμε ότι η κατανομή των ετών με ξηρό Νοέμβριο δε μεταβάλλεται σημαντικά σε σχέση με το σύνολο, ενώ στο 5.57β παρατηρούμε ότι η πιθανότητα να έχουμε ξηρό Νοέμβριο όταν NAO του ίδιου < -0.5 είναι σχεδόν μηδενική.



**Σχήμα 5.57:** Βροχόπτωση Νοεμβρίου στη Λάρισα και α) NAO Οκτωβρίου, β) NAO Νοεμβρίου για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Νοέμβριο (πράσινο).

Τέλος στο Σχήμα 5.58 βλέπουμε και πάλι ότι το σύνολο των ετών με ξηρό Νοέμβριο δε διαφοροποιείται σε σχέση με το σύνολο.



Σχήμα 5.58: Βροχόπτωση Νοεμβρίου στη Λάρισα και ΝΑΟ Οκτωβρίου για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Νοέμβριο (πράσινο).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

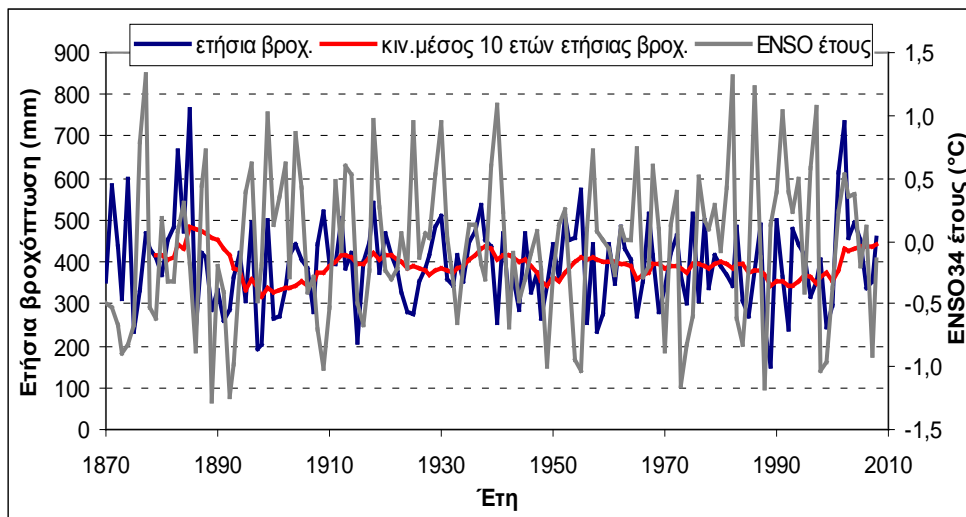
### ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ENSO/ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

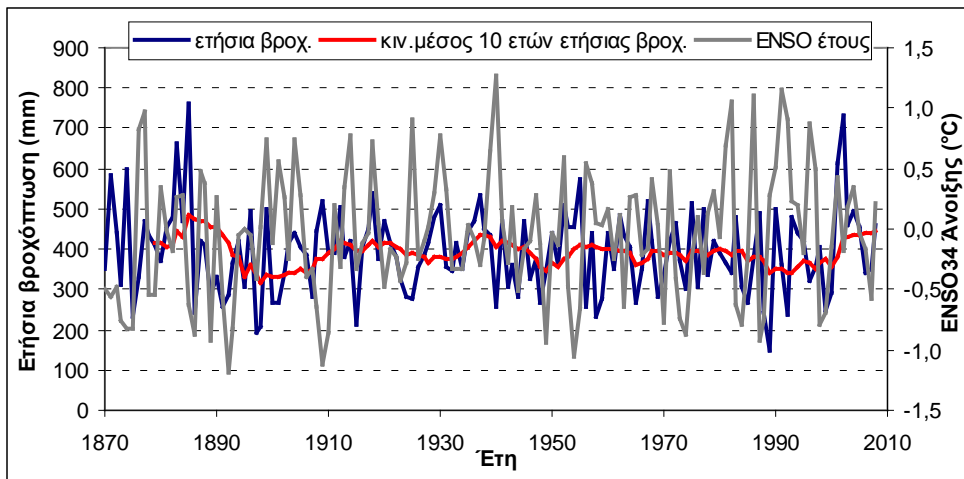
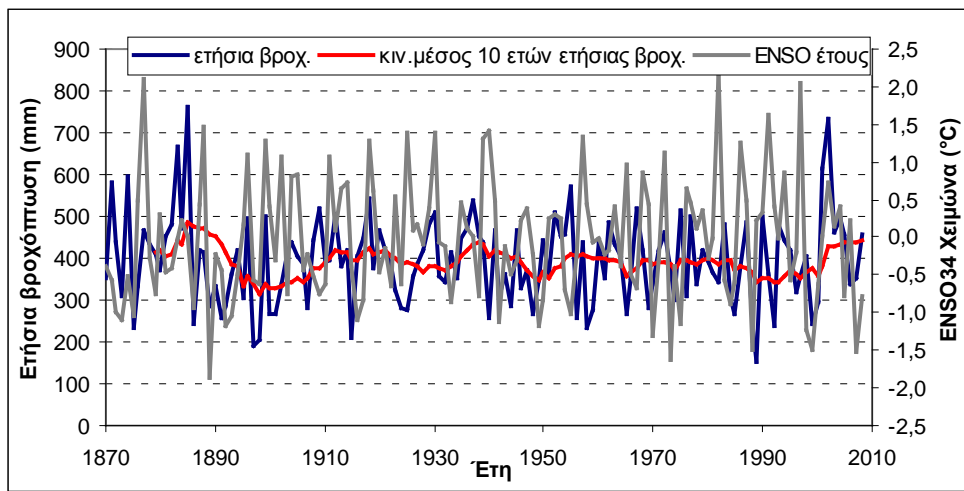
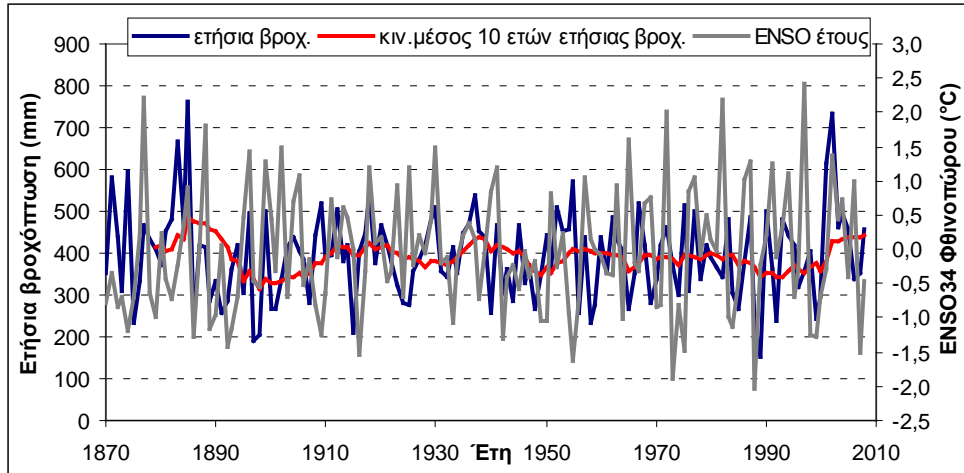
#### 6.1 Αθήνα

Για τη μελέτη της συσχέτισης με τον ENSO τα βήματα που ακολουθήσαμε είναι ίδια με αυτά για το NAO. Η περίοδος δεδομένων που μελετήθηκε για την Αθήνα είναι από το 1870 μέχρι το 2008 (139 έτη). Πρόκειται για αρκετά μεγάλο δείγμα, το οποίο μπορεί να μας δώσει αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα. Στην παράγραφο της Αθήνας, παρουσιάζονται τα διαγράμματα, στα οποία έχουμε να κάνουμε κάποια σημαντική παρατήρηση. Οπουδήποτε συναντούμε το σύμβολο -, σημαίνει ότι αναφερόμαστε στην προηγούμενη υδρολογική χρονιά.

##### 6.1.1 Χρονική κλίμακα έτους

Από το Σχήμα 6.1 παίρνουμε μια πρώτη εικόνα για την σχέση της ετήσιας βροχόπτωσης και των εποχιακών ENSO του ίδιου υδρολογικού έτους.





Σχήμα 6.1: Ετήσια βροχόπτωση στην Αθήνα και ENSO α) έτους, β) φθινοπώρου, γ) χειμώνα και δ) άνοιξης του ίδιου υδρολογικού έτους.

Στον Πίνακα 6.1 βλέπουμε ότι οι συντελεστές που προέκυψαν για την ετήσια βροχόπτωση στην Αθήνα είναι στατιστικά αδιάφοροι.

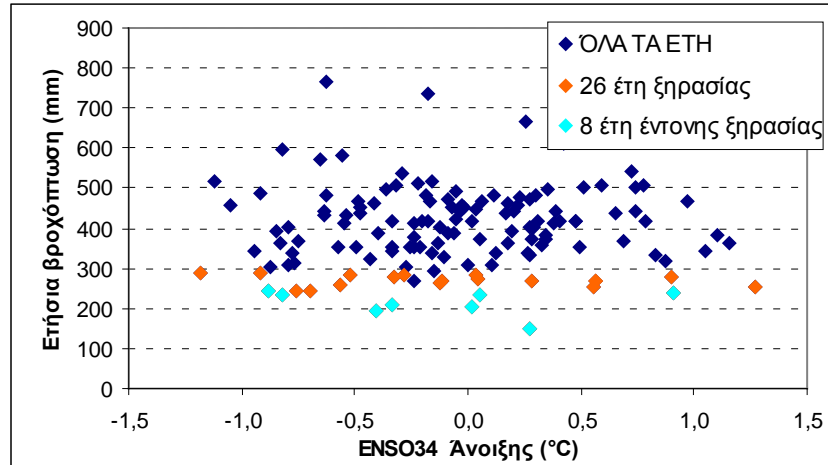
**Πίνακας 6.1:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ετήσιας βροχόπτωσης της Αθήνας και ENSO έτους, φθινοπώρου, χειμώνα και άνοιξης του ίδιου υδρολογικού έτους.

		Συντ. συσχέτισης μεταξύ ετήσιας βροχόπτωσης και:				<i>r</i> critical
		ENSO έτους	ENSO χειμώνα	ENSO φθινοπώρου	ENSO άνοιξης	
έτη έντονης ξηρασίας	8	-0,24	-0,19	-0,21	-0,20	0,71
έτη ξηρασίας	26	0,01	0,00	0,11	-0,06	0,39
όλα τα έτη	139	0,12	0,14	0,16	0,01	0,17

Στον Πίνακα 6.2 παρατηρούμε διαφορές στην πιθανότητα εμφάνισης ξηρασίας στις 3 περιοχές του δείκτη για το β και γ, γεγονός που οφείλεται αφενός στους θετικούς συντελεστές συσχέτισης (κοντά στην κρίσιμη τιμή) και αφετέρου στην κατανομή των ξηρών ετών στο δείγμα. Επίσης διαφοροποίηση παρατηρούμε στη πιθανότητα ξηρασίας στα διάφορα διαστήματα του ENSO άνοιξης παρ' ότι ο συντελεστής συσχέτισης για το σύνολο είναι σχεδόν μηδενικός. Κάτι τέτοιο προφανώς οφείλεται στο δείγμα (Σχήμα 6.2).

**Πίνακας 6.2:** Πιθανότητες % εμφάνισης ξηρασίας, κανονικής και υψηλής βροχόπτωσης στην Αθήνα, ανάλογα με την περιοχή τιμών του ENSO α) έτους, β) χειμώνα, γ) φθινοπώρου, δ) άνοιξης του ίδιου υδρολογικού έτους.

		ξηρασία	κανονική βροχ.	υψηλή βροχ.
α) έτος	χαμηλός ENSO	20,00	63,33	16,67
	κανονικός ENSO	20,48	68,88	10,64
	υψηλός ENSO	11,54	73,08	15,38
β) χειμώνας	χαμηλός ENSO	<b>24,39</b>	60,98	14,63
	κανονικός ENSO	20,29	68,57	11,14
	υψηλός ENSO	<b>6,90</b>	79,31	13,79
γ) φθινόπωρο	χαμηλός ENSO	<b>31,11</b>	57,78	11,11
	κανονικός ENSO	15,25	72,88	11,77
	υψηλός ENSO	<b>8,57</b>	74,29	17,14
δ) άνοιξη	χαμηλός ENSO	<b>40,00</b>	50,00	10,00
	κανονικός ENSO	13,48	74,16	12,36
	υψηλός ENSO	<b>10,00</b>	75,00	15,00



**Σχήμα 6.2:** Ετήσια βροχόπτωση στην Αθήνα και ENSO34 άνοιξης για όλα τα έτη (μπλε), για το σύνολο των ξηρών ετών (πορτοκαλί) και για τα έντονα ξηρά έτη (γαλάζιο).

### 6.1.2 Χρονική κλίμακα εποχής

Για την περιοχή της Αθήνας παρουσιάστηκε σε 42 από τα 139 έτη ξηρός χειμώνας και σε 41 ξηρό φθινόπωρο. Στους Πίνακες 6.3 και 6.4 παρατηρούμε στατιστικά ασήμαντες συσχετίσεις.

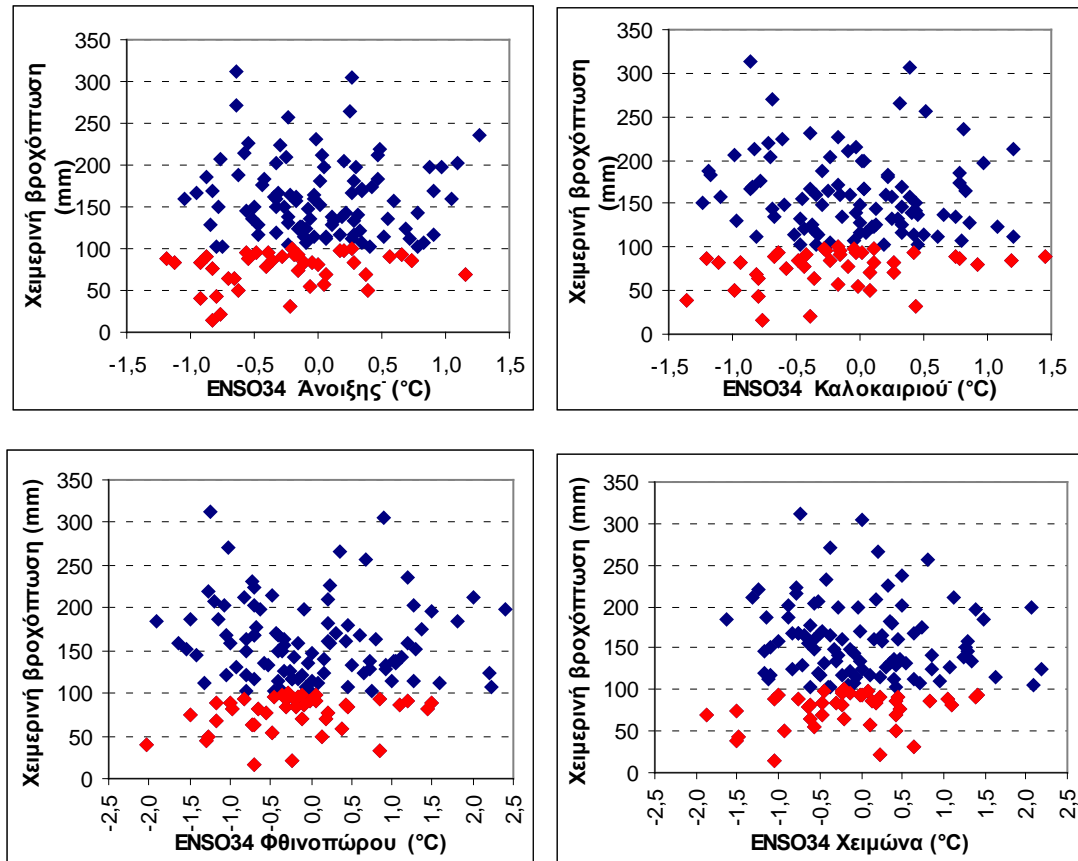
**Πίνακας 6.3:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ χειμερινής βροχόπτωσης στην Αθήνα και ENSO φθινοπώρου και χειμώνα της ίδιας και ENSO άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς (το - αναφέρεται στην προηγούμενη υδρολογική χρονιά).

		Συντ. συσχέτισης μεταξύ χειμερινής βροχόπτωσης και:				<i>r</i> critical
		ENSO χειμώνα	ENSO άνοιξης	ENSO καλοκαιριού	ENSO φθινοπώρου	
πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	42	0,27	0,25	0,27	0,25	0,31
Όλα τα έτη	139	0,03	0,14	0,07	0,06	0,17

**Πίνακας 6.4:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ φθινοπωρινής βροχόπτωσης και ENSO φθινοπώρου και χειμώνα της ίδιας και ENSO άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς.

		Συντ. συσχέτισης μεταξύ φθινοπωρινής βροχόπτωσης και:				<i>r</i> critical
		ENSO χειμώνα	ENSO άνοιξης	ENSO καλοκαιριού	ENSO φθινοπώρου	
πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	41	0,17	0,10	0,00	0,05	0,31
Όλα τα έτη	139	0,03	0,14	0,07	0,06	0,17

Στο Σχήμα 6.3 εποχιακών ENSO-χειμερινής βροχόπτωσης παρατηρούμε μεγαλύτερη συγκέντρωση κόκκινων σημείων στο διάστημα χαμηλού ENSO σε σχέση με το διάστημα υψηλού, άρα αναμένουμε μεγαλύτερη πιθανότητα ξηρασίας, παρά το γεγονός ότι οι συσχετίσεις είναι στατιστικά αδιάφορες.



**Σχήμα 6.3:** Χειμερινή βροχόπτωση στην Αθήνα και ENSO α) άνοιξης, β) καλοκαιριού, γ) φθινοπώρου και δ) χειμώνα για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό χειμώνα (κόκκινο).

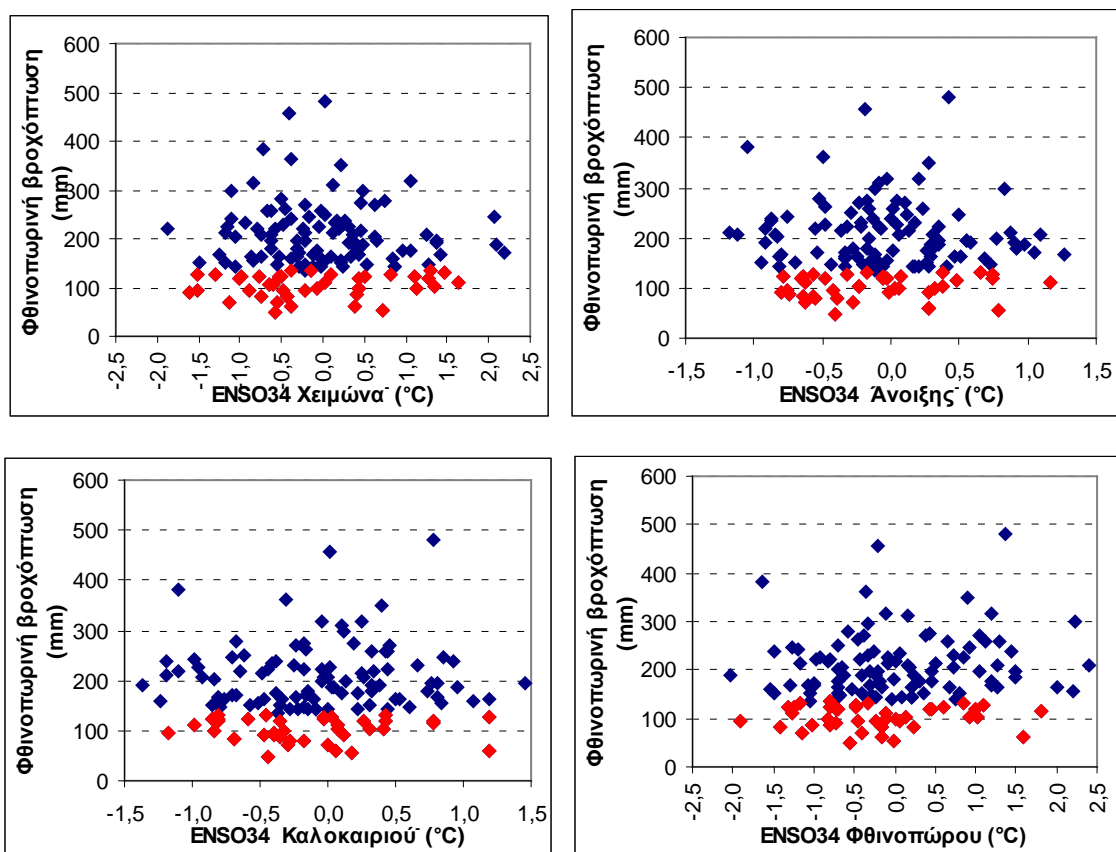
Κάτι τέτοιο επαληθεύεται και από τον Πίνακα 6.5, στον οποίο παρατηρούμε ότι η πιθανότητα ξηρασίας είναι εμφανώς μεγαλύτερη (σχεδόν διπλάσια) στην περιοχή χαμηλών τιμών.

**Πίνακας 6.5:** Πιθανότητες % ξηρού, κανονικού και βροχερού χειμώνα στην Αθήνα, ανάλογα με το διάστημα τιμών του ENSO α) χειμώνα, β) άνοιξης, γ) καλοκαιριού του προηγούμενου έτους και δ) φθινοπώρου του ίδιου έτους.

		ξηρασία	κανονική βροχ.	υψηλή βροχ.
α) χειμώνας	χαμηλός ENSO	<b>30,23</b>	44,19	25,58
	κανονικός ENSO	34,78	47,83	17,39
	υψηλός ENSO	<b>18,52</b>	59,26	22,22
β) άνοιξη	χαμηλός ENSO	<b>48,28</b>	31,03	20,69
	κανονικός ENSO	25,56	53,33	21,11

	υψηλός ENSO	<b>25,00</b>	55,00	20,00
γ) καλοκαίρι	χαμηλός ENSO	<b>38,71</b>	32,26	29,03
	κανονικός ENSO	29,07	56,98	13,95
	υψηλός ENSO	<b>22,73</b>	45,45	31,82
δ) φθινόπωρο	χαμηλός ENSO	<b>30,43</b>	41,30	28,26
	κανονικός ENSO	37,70	49,18	13,12
	υψηλός ENSO	<b>15,63</b>	59,38	25,00

Το ίδιο παρατηρείται στο Σχήμα 6.4γ και 6.4δ, ENSO καλοκαιριού και φθινοπώρου αντίστοιχα-φθινοπωρινής βροχόπτωσης, ενώ στα α και β (χειμώνα και άνοιξης) παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά συγκέντρωσης ετών με ξηρό φθινόπωρο στα δύο διαστήματα. Κάτι τέτοιο επαληθεύεται και από τον Πίνακα 6.6.



Σχήμα 6.4: Φθινοπωρινή βροχόπτωση στην Αθήνα και ENSO34 α) χειμώνα, β) άνοιξης, γ) καλοκαιριού και δ) φθινοπώρου για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό φθινόπωρο (κόκκινο).

**Πίνακας 6.6:** Πιθανότητες % ξηρού, κανονικού και υγρού φθινοπώρου στην Αθήνα ανάλογα με το διάστημα τιμών του ENSO α) χειμώνα, β) άνοιξης γ) καλοκαιριού και δ) φθινοπώρου.

		ξηρασία	κανονική βροχ.	υψηλή βροχ.
α) χειμώνας	χαμηλός ENSO	39,02	46,05	14,63
	κανονικός ENSO	17,91	56,22	25,87
	υψηλός ENSO	41,94	45,16	12,90
β) άνοιξη	χαμηλός ENSO	33,33	50,00	16,67
	κανονικός ENSO	26,97	50,56	22,47
	υψηλός ENSO	35,00	50,00	15,00
γ) καλοκαίρι	χαμηλός ENSO	<b>37,50</b>	46,88	15,62
	κανονικός ENSO	27,06	47,23	25,71
	υψηλός ENSO	<b>27,27</b>	67,18	5,55
δ) φθινόπωρο	χαμηλός ENSO	<b>36,96</b>	50,00	13,04
	κανονικός ENSO	27,42	53,84	18,74
	υψηλός ENSO	<b>22,58</b>	45,16	32,26

### 6.1.3 Χρονική κλίμακα μήνα

Για τους 2 βροχερότερους μήνες, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, παρατηρούνται σχεδόν μηδενικές συσχετίσεις (Πίνακες 6.7 και 6.8).

**Πίνακας 6.7:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ βροχόπτωσης Νοεμβρίου στην Αθήνα και ENSO του ίδιου μήνα και των 6 προηγούμενων του μηνών της ίδιας ή της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς.

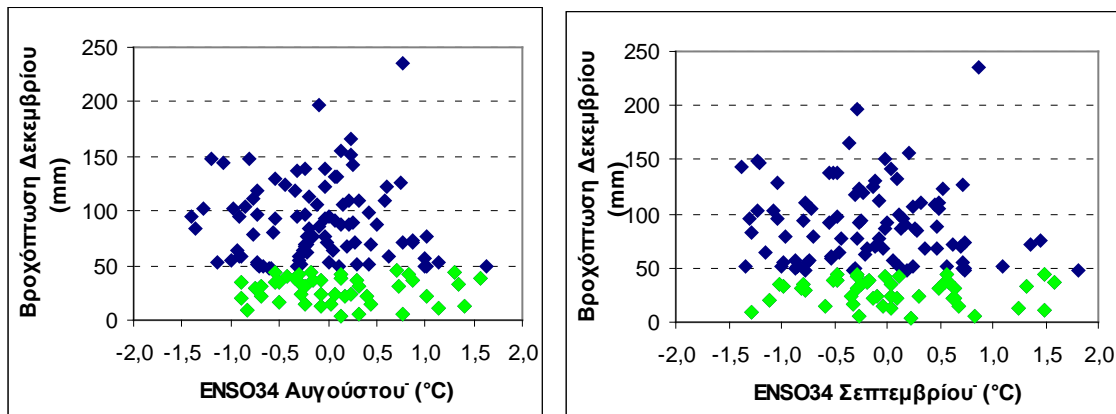
		Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ βροχόπτωσης Νοεμβρίου και:							<i>r</i> critical
		ENSO Οκτ.	ENSO Νοε.	ENSO Μαΐου	ENSO Ιουνίου	ENSO Ιουλίου	ENSO Αυγ.	ENSO Σεπτ.	
πλήθος ετών με ξηρό Νοέμβριο	50	-0,15	-0,11	0,00	-0,10	-0,05	-0,11	-0,13	0,28
όλα τα έτη	139	0,08	0,13	0,03	-0,02	0,04	0,05	0,07	0,17

**Πίνακας 6.8:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ βροχόπτωσης Δεκεμβρίου στην Αθήνα και ENSO του ίδιου μήνα και των 6 προηγούμενων του μηνών της ίδιας ή της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς.

		Συντ. συσχέτισης βροχόπτωσης Δεκεμβρίου με:							<i>r</i> critical
		ENSO Οκτ.	ENSO Νοε.	ENSO Δεκ.	ENSO Ιουνίου	ENSO Ιουλίου	ENSO Αυγ.	ENSO Σεπτ.	
πλήθος ετών με ξηρό Δεκέμβριο	45	-0,09	-0,02	-0,03	-0,01	0,01	-0,02	-0,05	0,30
όλα τα έτη	139	-0,06	-0,05	-0,09	-0,02	-0,05	-0,10	-0,11	0,17

Ενδεικτικά, στο Σχήμα 6.5 α) ENSO Αυγούστου και β) ENSO Σεπτεμβρίου-βροχόπτωσης Δεκεμβρίου παρατηρούμε ότι τα πράσινα σημεία έχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση στην περιοχή

υψηλού ENSO σε σχέση με την περιοχή χαμηλού. Στα διαγράμματα των άλλων μηνών δεν παρατηρήθηκε κάτι αντίστοιχο.



**Σχήμα 6.5:** Βροχόπτωση Δεκεμβρίου στην Αθήνα και ENSO34 α) Αυγούστου και β) Σεπτεμβρίου του προηγούμενου έτους, για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Δεκέμβριο (πράσινο).

Τέλος στα διαγράμματα βροχόπτωσης Νοεμβρίου και ENSO των προηγούμενων του μηνών δεν παρατηρήθηκε κάποια διαφοροποίηση ανάμεσα στα τρία διαστήματα του δείκτη, γεγονός που συνεπάγεται ότι αναμένουμε περίπου την ίδια πιθανότητα εμφάνισης ξηρού Νοεμβρίου.

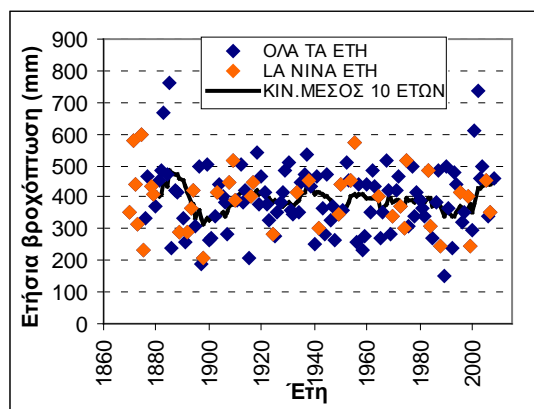
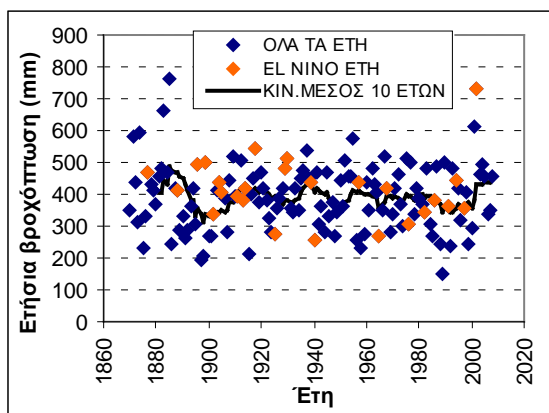
#### 6.1.4 El Niño και La Niña έτη

Στα Σχήματα 6.6-6.8 βλέπουμε την ετήσια, τη χειμερινή και τη φθινοπωρινή βροχόπτωση για όλα τα έτη καθώς και για τα έτη που χαρακτηρίστηκαν ως El Niño ή La Niña (Πίνακας 6.9). Γενικά ο χαρακτηρισμός ενός έτους ως El Niño ή La Niña έχει απασχολήσει αρκετά τους επιστήμονες και υπάρχουν πολλά κριτήρια. Στην παρούσα εργασία μια υδρολογική χρονιά χαρακτηρίστηκε με βάση το κριτήριο: αν  $ENSO > 0,5$  για 5 συνεχόμενους μήνες και άνω τότε η (υδρολογική χρονιά) χαρακτηρίστηκε ως El Niño χρονιά, ενώ αν  $ENSO < -0,5$  για 5 συνεχόμενους μήνες και άνω έχουμε La Niña χρονιά. Η πλειονότητα των ετών που προέκυψαν συμφωνεί με τη βιβλιογραφία. Επειδή, ωστόσο, ως έτος στην παρούσα εργασία θεωρούμε το υδρολογικό και όχι το ημερολογιακό, τόσο για τις βροχοπτώσεις, όσο και για το δείκτη, προέκυψαν και κάποιες διαφορές.

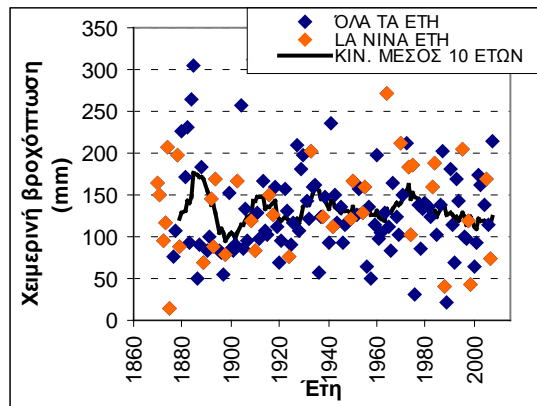
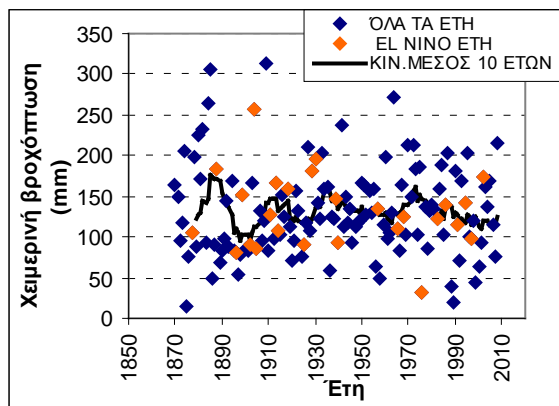


**Πίνακας 6.9:** Έτη El Niño και La Niña.

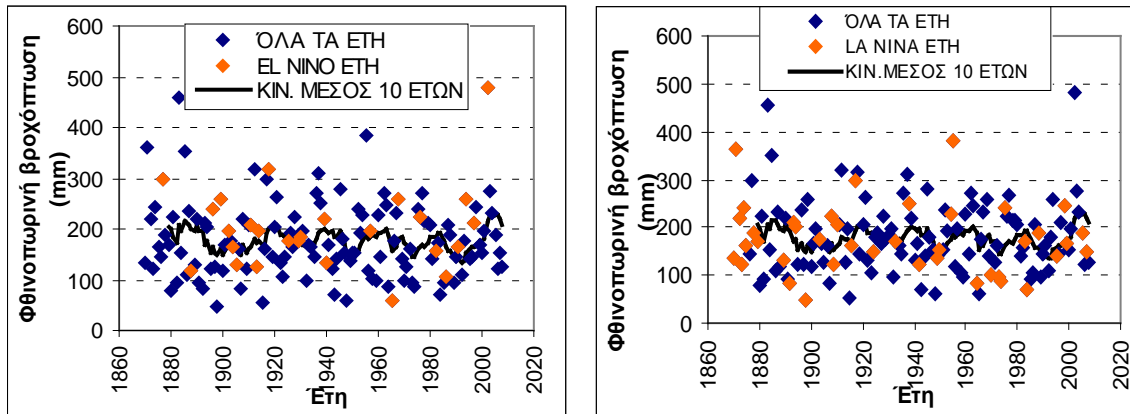
Έτη El Niño	Έτη El Niño	Έτη La Niña	Έτη La Niña	Έτη La Niña
1877-78	1940-41	1870-71	1909-10	1974-75
1888-89	1957-58	1871-71	1910-11	1975-76
1896-97	1965-66	1872-73	1916-17	1983-84
1899-1900	1968-69	1873-74	1917-18	1984-85
1902-03	1976-77	1874-75	1924-25	1988-89
1904-05	1982-83	1875-76	1933-34	1995-96
1905-06	1986-87	1878-79	1938-39	1998-99
1911-12	1991-92	1879-80	1942-43	1999-00
1913-14	1994-95	1889-90	1949-50	2005-06
1914-15	1997-98	1892-93	1950-51	2007-08
1918-19	2002-03	1893-94	1954-55	
1925-26		1894-95	1955-56	
1929-30		1898-99	1964-65	
1930-31		1903-04	1970-71	
1939-40		1908-09	1973-74	



**Σχήμα 6.6:** Ετήσια βροχόπτωση στην Αθήνα κατά τα El Niño και La Niña έτη.



**Σχήμα 6.7:** Χειμερινή βροχόπτωση στην Αθήνα κατά τα El Niño και La Niña έτη.



Σχήμα 6.8: Φθινοπωρινή βροχόπτωση στην Αθήνα κατά τα El Niño και La Niña έτη.

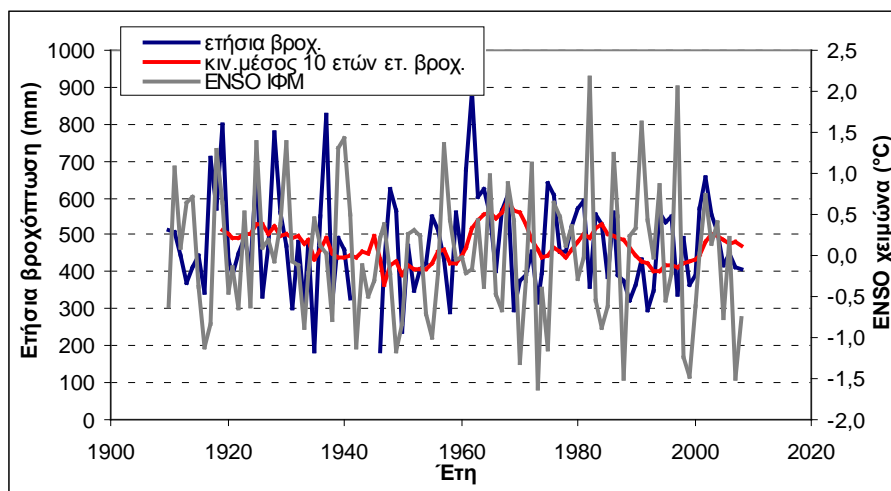
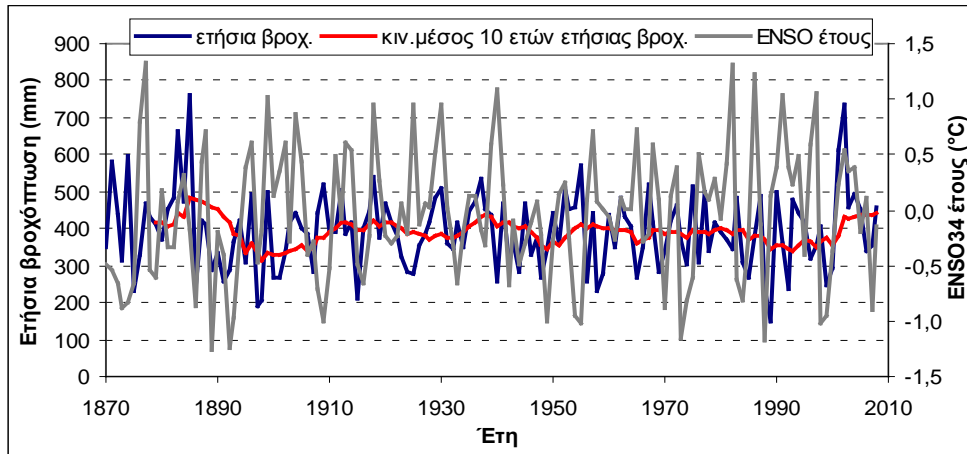
Παρατηρούμε ότι τα σημεία, που αναπαριστούν El Niño ή La Niña έτη δεν ομαδοποιούνται πάνω ή κάτω από το μέσο όρο και γενικά υπάρχει σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή στα διαστήματα χαμηλής, κανονικής και υψηλής βροχόπτωσης (ετήσιας, χειμερινής και φθινοπωρινής). Βέβαια η παραπάνω απεικόνιση είναι ενδεικτική και σίγουρα απαιτείται περαιτέρω ανάλυση για ένα σίγουρο συμπέρασμα.

## 6.2 Ηράκλειο

Επεξεργαστήκαμε χρονοσειρά μήκους 99 ετών (1910-2008). Από τη μελέτη εξαιρέθηκαν έτη με κενές τιμές σε πάνω από δύο μήνες. Στις παρακάτω παραγράφους παρουσιάζονται μόνο τα διαγράμματα στα οποία έχουμε να κάνουμε παρατηρήσεις.

### 6.2.1 Χρονική κλίμακα έτους

Στο Σχήμα 6.9 βλέπουμε τον ENSO έτους και χειμώνα σε σχέση με την ετήσια βροχόπτωση.



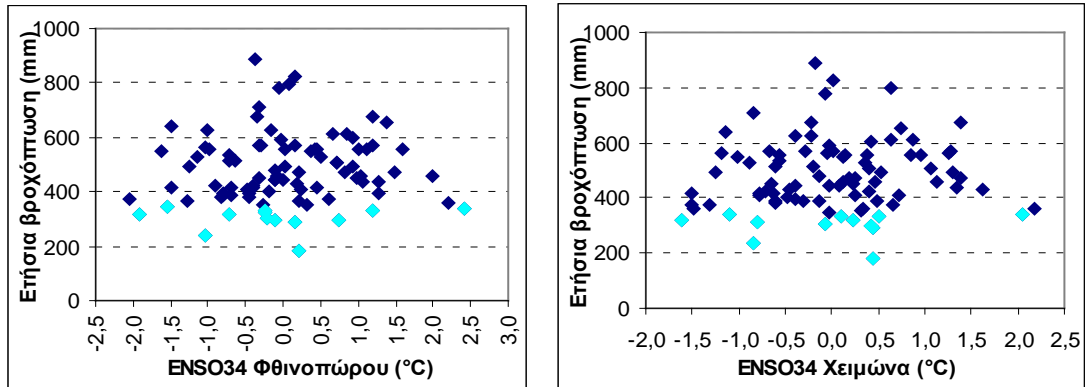
Σχήμα 6.9: Ετήσια βροχόπτωση στο Ηράκλειο και ENSO α) έτους και β) χειμώνα.

Δεν παρατηρούμε κάποια σημαντική συσχέτιση για την ετήσια βροχόπτωση και τους εποχιακούς δείκτες (Πίνακας 6.10).

Πίνακας 6.10: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ ετήσιας βροχόπτωσης στο Ηράκλειο και ENSO έτους, φθινοπώρου, χειμώνα, άνοιξης του ίδιου υδρολογικού έτους.

		Συντ. συσχέτισης μεταξύ ετήσιας βροχόπτωσης και:				<i>r</i> critical
		ENSO έτους	ENSO φθινοπώρου	ENSO χειμώνα	ENSO άνοιξης	
έτη ξηρασίας	13	-0,01	0,08	0,03	-0,02	0,55
όλα τα έτη	99	0,13	0,09	0,06	0,04	0,20

Ενδεικτικά στο Σχήμα 6.10 βλέπουμε τον ENSO φθινοπώρου και χειμώνα σε σχέση με την ετήσια βροχόπτωση. Παρατηρούμε πολύ λιγότερα ξηρά έτη όταν  $ENSO > 0.5$  (ομοίως με Αθήνα).



Σχήμα 6.10: Ετήσια βροχόπτωση και ENSO α) φθινοπώρου και β) χειμώνα για όλα τα έτη (μπλε) και για τα ξηρά έτη (γαλάζιο).

### 6.2.2 Χρονική κλίμακα εποχής

Από τους Πίνακες 6.11 και 6.12 διαπιστώνουμε ότι οι συσχετίσεις για το σύνολο είναι σχεδόν μηδενικές.

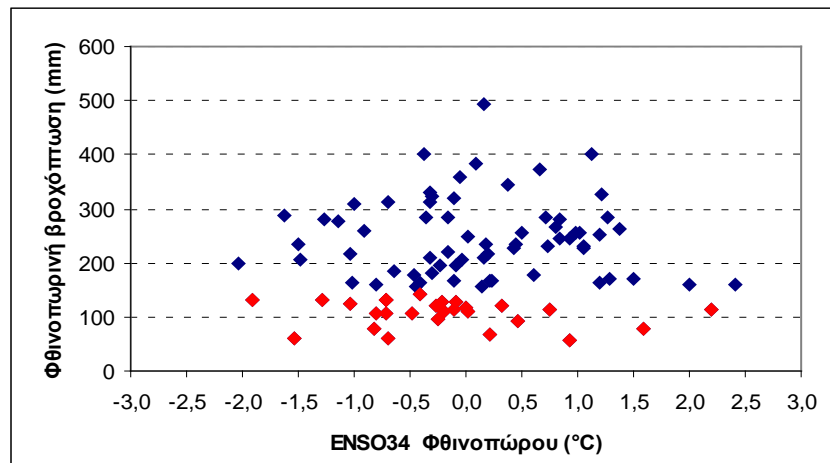
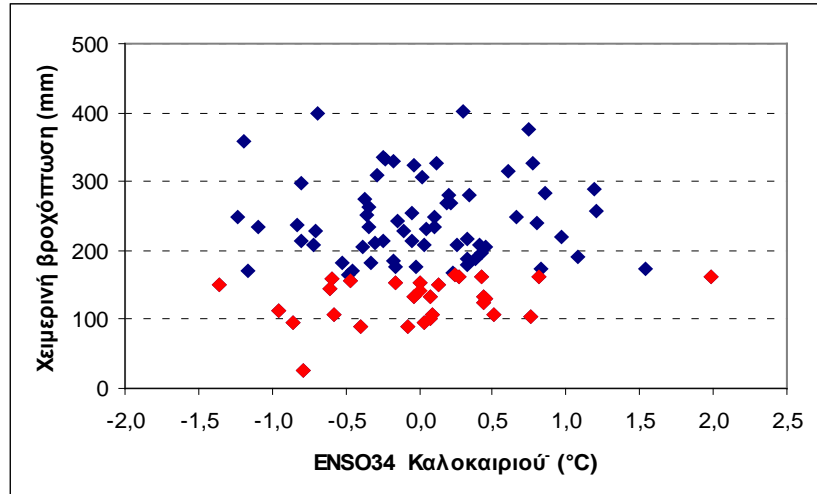
**Πίνακας 6.11:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ χειμερινής βροχόπτωσης στο Ηράκλειο και ENSO φθινοπώρου και χειμώνα της ίδιας και ENSO άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς.

		Συντ. συσχέτισης μεταξύ χειμερινής βροχόπτωσης και:				<i>r</i> critical
		ENSO χειμώνα	ENSO άνοιξης	ENSO καλοκαιριού	ENSO φθινοπώρου	
πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	29	0,12	0,16	0,30	0,22	0,37
Όλα τα έτη	99	-0,06	-0,04	0,04	-0,02	0,20

**Πίνακας 6.12:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ φθινοπωρινής βροχόπτωσης στο Ηράκλειο και ENSO φθινοπώρου της ίδιας, καθώς και ENSO χειμώνα, άνοιξης και καλοκαιριού της προηγούμενης υδρολογικής χρονιάς.

		Συντ. συσχέτισης φθινοπωρινής βροχόπτωσης με:				<i>r</i> critical
		ENSO χειμώνα	ENSO άνοιξης	ENSO καλοκαιριού	ENSO φθινοπώρου	
πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	27	0,29	0,16	-0,07	-0,19	0,38
Όλα τα έτη	99	0,01	-0,02	0,05	0,09	0,20

Στο Σχήμα 6.11α και β παρατηρούμε μεγαλύτερη συγκέντρωση των ετών με ξηρό χειμώνα και φθινόπωρο αντίστοιχα όταν ENSO < -0.5 (σε συμφωνία με την Αθήνα). Στα υπόλοιπα διαγράμματα δεν έχουμε να παρατηρήσουμε κάτι αντίστοιχο.



**Σχήμα 6.11:** α) Χειμερινή βροχόπτωση στο Ηράκλειο και ENSO καλοκαιριού, β) φθινοπωρινή βροχόπτωση και ENSO φθινοπώρου για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό χειμώνα και φθινόπωρο αντίστοιχα (κόκκινο).

### 6.2.3 Χρονική κλίμακα μήνα

Από τους Πίνακες 6.12 και 6.13 διαπιστώνουμε ότι οι συσχετίσεις που αναζητούμε είναι σχεδόν μηδενικές. Ωστόσο στον 6.12 παρατηρούμε ότι για τα έτη με ξηρό Ιανουάριο, οι συσχετίσεις με τους 6 προηγούμενους μήνες είναι κάπως αυξημένες. Το ίδιο βλέπουμε και για τα έτη με ξηρό Δεκέμβριο στον ENSO Ιουνίου<sup>-</sup> και Ιουλίου<sup>-</sup>.

**Πίνακας 6.13:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ βροχόπτωσης Δεκεμβρίου στο Ηράκλειο και ENSO του ίδιου μήνα και των 6 προηγούμενων του μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους.

		Συντ. συσχέτισης βροχόπτωσης Δεκεμβρίου με:							<i>r</i> critical
		ENSO Οκτ.	ENSO Νοε.	ENSO Δεκ.	ENSO Ιουνίου	ENSO Ιουλίου	ENSO Αυγ.	ENSO Σεπτ.	
πλήθος ετών με ξηρό Δεκέμβριο	28	0,10	0,08	0,06	0,23	0,22	0,15	0,11	0,38
όλα τα έτη	92	-0,02	-0,06	0,00	0,01	0,04	-0,02	-0,06	0,21

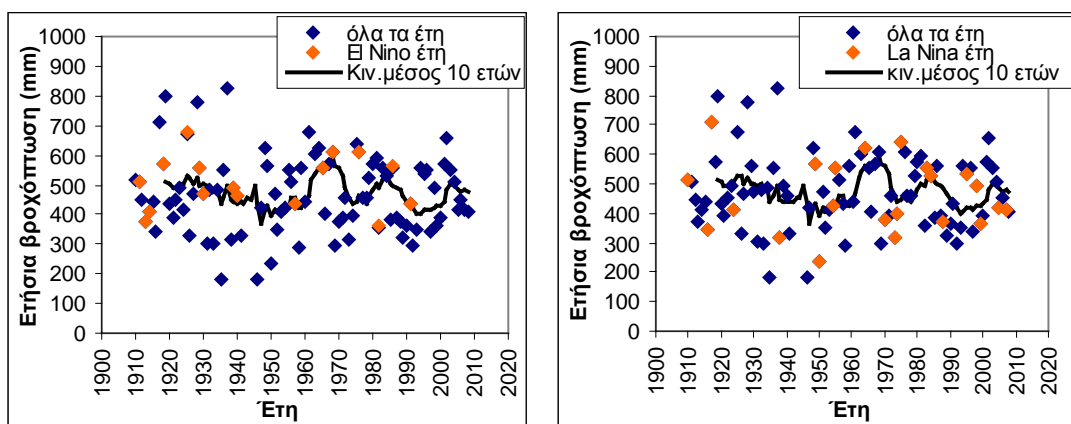
**Πίνακας 6.14:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ βροχόπτωσης Ιανουαρίου στο Ηράκλειο και ENSO του ίδιου μήνα και των 6 προηγούμενων του μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους

		Συντ. συσχέτισης μεταξύ βροχόπτωσης Ιανουαρίου και:							<i>r</i> critical
		ENSO Οκτ.	ENSO Νοε.	ENSO Δεκ.	ENSO Ιαν.	ENSO Ιουλίου	ENSO Αυγ.	ENSO Σεπτ.	
πλήθος ετών με ξηρό Ιανουάριο	31	0,23	0,31	0,27	0,25	0,26	0,28	0,20	0,36
όλα τα έτη	95	0,02	0,01	0,02	-0,03	-0,04	-0,06	-0,01	0,21

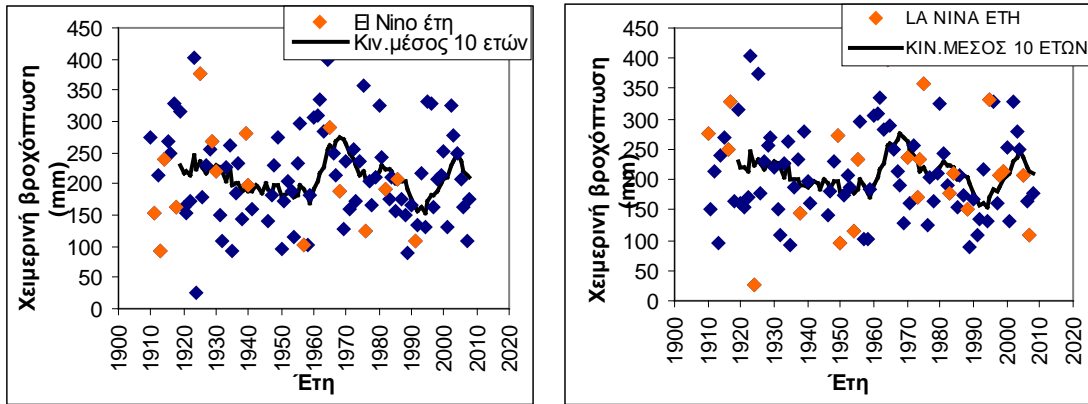
Δεν παρατηρήθηκε κάποια σημαντική διαφοροποίηση των ξηρών ετών σε σχέση με το σύνολο (βλ. Παράρτημα Σχημάτων).

#### 6.2.4 El Niño και La Niña έτη

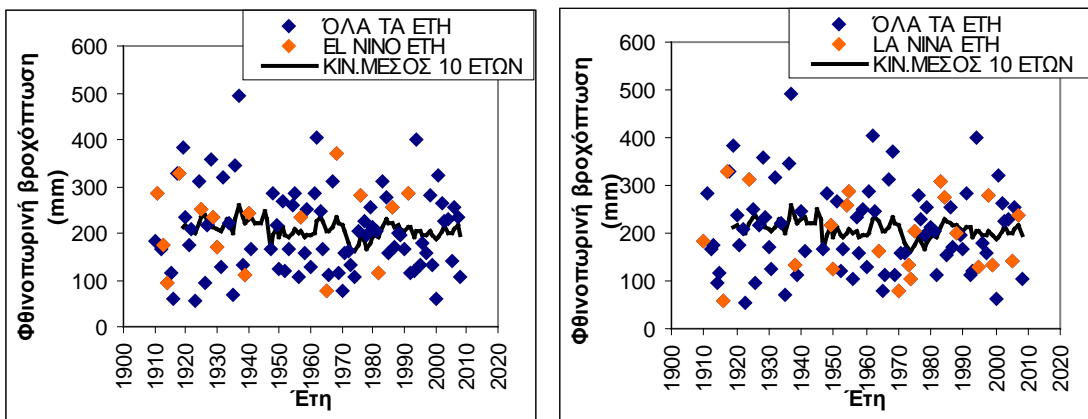
Στα Σχήματα 6.12-6.14 βλέπουμε την ετήσια, τη χειμερινή και τη φθινοπωρινή βροχόπτωση για όλα τα έτη καθώς και για τα έτη που χαρακτηρίστηκαν ως El Niño ή La Niña



**Σχήμα 6.12:** Ετήσια βροχόπτωση στο Ηράκλειο για τα El Niño και La Niña έτη.



Σχήμα 6.13: Χειμερινή βροχόπτωση στο Ηράκλειο για τα El Niño και La Niña έτη.



Σχήμα 6.14: Φθινοπωρινή βροχόπτωση στο Ηράκλειο για τα El Niño και La Niña έτη.

Δεν παρατηρούμε κάποια σημαντική διαφοροποίηση ανάμεσα στα El Niño και La Niña έτη για την ετήσια, τη φθινοπωρινή και τη χειμερινή βροχόπτωση, ούτε ομαδοποίηση των ετών αυτών σε κάποιο διάστημα τιμών βροχόπτωσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

#### 7.1 Χρονική κλίμακα έτους

Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι συντελεστές συσχέτισης για την ετήσια βροχόπτωση των 7 βροχομετρικών σταθμών του ΝΑΟ και των 2 του ENSO.

**Πίνακας 7.1:** Συγκεντρωτικός πίνακας συντελεστών συσχέτισης ετήσιας βροχόπτωσης με τον ετήσιο και τους εποχιακούς ΝΑΟ/ENSO του ίδιου υδρολογικού έτους για όλους τους σταθμούς.

		Πλήθος ετών	ΝΑΟ έτους	ΝΑΟ φθινοπώρου	ΝΑΟ χειμώνα	ΝΑΟ άνοιξης	r critical	
ΝΑΟ	Αθήνα	έτη έντονης ξηρασίας	8	-0,31	0,54	-0,51	-0,30	0,71
		έτη ξηρασίας	26	-0,10	0,35	-0,32	-0,07	0,39
		όλα τα έτη	137	0,07	0,04	0,00	0,13	0,17
	Αλιάρτος	έτη έντονης ξηρασίας	5	0,39	0,14	0,41	-0,20	0,89
		έτη ξηρασίας	16	0,06	-0,11	0,11	0,03	0,50
		όλα τα έτη	95	0,06	0,02	-0,10	<b>0,27</b>	0,21
	Ηράκλειο	έτη ξηρασίας	13	0,21	0,11	-0,43	0,37	0,55
		όλα τα έτη	88	<b>-0,23</b>	0,06	-0,05	-0,18	0,21
	Θεσ/νίκη	έτη ξηρασίας	9	0,32	-0,36	0,58	0,42	0,67
		όλα τα έτη	71	-0,23	-0,03	-0,21	0,04	0,24
	Πάτρα	έτη έντονης ξηρασίας	6	-0,56	0,26	-0,70	-0,10	0,82
		έτη ξηρασίας	13	0,08	0,37	-0,15	-0,25	0,55
		όλα τα έτη	89	-0,17	0,01	<b>-0,21</b>	-0,04	0,21
	Κέρκυρα	έτη ξηρασίας	7	-0,20	<b>0,90</b>	-0,63	-0,07	0,76
		όλα τα έτη	51	-0,21	0,10	<b>-0,44</b>	0,19	0,28
Λάρισα	έτη ξηρασίας	8	0,70	0,16	<b>0,77</b>	-0,16	0,71	
	όλα τα έτη	51	0,14	0,02	0,05	0,19	0,28	
ENSO	Αθήνα	έτη έντονης ξηρασίας	8	-0,24	-0,21	-0,19	-0,20	0,71
		έτη ξηρασίας	26	0,01	0,11	0,00	-0,06	0,39
		όλα τα έτη	139	0,12	0,16	0,14	0,01	0,17
	Ηράκλειο	έτη ξηρασίας	13	-0,01	0,08	0,03	-0,02	0,55
		όλα τα έτη	99	0,13	0,09	0,06	0,04	0,20



Οι περισσότερες στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις παρατηρούνται με το NAO χειμώνα. Συγκεκριμένα με την Πάτρα και την Κέρκυρα (αρνητικές τιμές) στο σύνολο και με τη Λάρισα (θετική τιμή) για τα έτη ξηρασίας.

Επίσης, από τα διαγράμματα σημείων παρατηρήθηκε ότι για τις πόλεις Αθήνα, Ηράκλειο, Αλιάρτο και Λάρισα (ειδικά σε αυτήν) υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα ξηρασίας όταν NAO χειμώνα  $< -0.5$ . Ο Πίνακας 7.2 παρουσιάζει τις πιθανότητες για τα δεδομένα των 4 αυτών σταθμών μαζί. Διαπιστώνουμε πολύ μικρή διαφορά στην πιθανότητα ξηρασίας ανάμεσα στα διαστήματα χαμηλού και υψηλού NAO. Ίδιας τάξης διαφορά παρατηρήθηκε και για το σύνολο των δεδομένων όλων των σταθμών (Πίνακας 7.3).

Στην Κέρκυρα αντίθετα (δυτική Ελλάδα) παρατηρήθηκε μηδενική πιθανότητα ξηρασίας όταν NAO χειμώνα  $< -0.5$ . Ωστόσο το μέγεθος του δείγματος (51 έτη) είναι σχετικά μικρό.

**Πίνακας 7.2:** Πιθανότητες % εμφάνισης έτους ξηρασίας, κανονικής και υψηλής βροχ., ανάλογα με το διάστημα τιμών του NAO χειμώνα, για τους σταθμούς Αθήνα, Αλιάρτος, Ηράκλειο και Λάρισα.

	ξηρασία	κανονική βροχ.	υψηλή βροχ.
χαμηλός NAO	<b>19,27</b>	66,06	14,68
κανονικός NAO	12,50	68,95	18,75
υψηλός NAO	<b>11,63</b>	72,87	15,50

**Πίνακας 7.3:** Πιθανότητες % εμφάνισης έτους ξηρασίας, κανονικής και υψηλής βροχ., ανάλογα με το διάστημα τιμών του NAO χειμώνα, για το σύνολο των 7 σταθμών.

	ξηρασία	κανονική βροχ.	υψηλή βροχ.
χαμηλός NAO	<b>12,99</b>	71,75	15,26
κανονικός NAO	9,69	76,02	14,29
υψηλός NAO	<b>7,36</b>	80,39	12,25

Στις 3 μεγαλύτερες χρονοσειρές (Αλιάρτου, Αθήνας και Ηρακλείου) μεμονωμένα, παρατηρήθηκε ότι όταν ο NAO άνοιξης λαμβάνει τιμή  $< -0.5$ , η πιθανότητα ξηρασίας σε ετήσια βάση είναι μεγαλύτερη (Πίνακας 7.4). Στις υπόλοιπες 4 πόλεις δεν παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη διαφοροποίηση, αλλά και από τον Πίνακα 7.4 παρατηρούμε ότι η διαφορά ανάμεσα στο διάστημα υψηλών και χαμηλών τιμών για το σύνολο των δεδομένων των 3 αυτών πόλεων δεν είναι μεγάλη.

**Πίνακας 7.4:** Πιθανότητες % εμφάνισης έτους ξηρασίας, κανονικής και υψηλής βροχ. ανάλογα με το διάστημα τιμών του NAO άνοιξης για τους σταθμούς Αθήνα, Αλίαρτος, Ηράκλειο (μαζί).

	ξηρασία	κανονική βροχ.	υψηλή βροχ.
χαμηλός NAO	<b>22,34</b>	53,19	24,47
κανονικός NAO	14,68	69,72	15,6
υψηλός NAO	<b>13,39</b>	69,91	16,07

Τέλος για τον ENSO παρατηρούμε ότι δε βρέθηκε καμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση. Ωστόσο από τα συγκριτικά διαγράμματα σημείων παρατηρήθηκε ότι και στις δύο πόλεις η πιθανότητα εμφάνισης ξηρού έτους ήταν αυξημένη όταν ENSO χειμώνα ή φθινοπώρου < -0.5 (Πίνακας 6.2 για Αθήνα, Σχήμα 6.5 για Ηράκλειο).

## 7.2 Χρονική κλίμακα εποχής

### 7.2.1 Χειμώνας

Στον Πίνακα 7.5 βλέπουμε τους συντελεστές συσχέτισης της χειμερινής βροχόπτωσης για το σύνολο των σταθμών. Μεγαλύτερες συσχετίσεις παρατηρούνται με το NAO χειμώνα, ενώ για τον ENSO δε βρέθηκε καμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση.

**Πίνακας 7.5:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ χειμερινής βροχόπτωσης και NAO/ENSO της ίδιας εποχής και των τριών εποχών που προηγούνται αυτής, για όλους τους βροχομετρικούς σταθμούς που μελετήθηκαν.

		Πλήθος ετών	Συντ. συσχέτισης χειμερινής βροχόπτωσης με:				r critical	
			NAO άνοιξης	NAO καλοκαιριού	NAO φθινοπ.	NAO χειμώνα		
NAO	Αθήνα	πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	43	-0,19	0,13	0,03	-0,15	0,30
		όλα τα έτη	137	-0,06	0,09	-0,01	-0,04	0,17
	Αλίαρτος	πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	28	-0,32	-0,08	0,00	0,00	0,38
		όλα τα έτη	95	-0,13	-0,08	-0,06	0,05	0,21
	Ηράκλειο	πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	28	-0,18	-0,32	-0,30	-0,03	0,38
		όλα τα έτη	92	0,05	-0,08	<b>-0,21</b>	-0,11	0,21
	Θεσ/νίκη	πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	21	-0,33	-0,05	0,33	-0,33	0,44
		όλα τα έτη	71	-0,19	-0,02	-0,13	<b>-0,25</b>	0,24
	Πάτρα	πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	27	0,02	0,06	0,12	-0,12	0,38

	όλα τα έτη	89	0,10	0,15	0,02	<b>-0,25</b>	0,21	
Κέρκυρα	πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	15	-0,33	-0,05	0,38	<b>-0,76</b>	0,52	
	όλα τα έτη	51	0,09	0,14	0,05	<b>-0,45</b>	0,28	
Λάρισα	πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	15	-0,01	-0,26	0,32	<b>-0,54</b>	0,52	
	όλα τα έτη	51	-0,11	0,09	-0,03	-0,22	0,28	
ENSO	Αθήνα	πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	42	0,25	0,27	0,25	0,27	0,31
		όλα τα έτη	139	0,14	0,07	0,06	0,03	0,17
	Ηράκλειο	πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	29	0,16	0,30	0,22	0,12	0,37
		όλα τα έτη	99	-0,04	0,04	-0,02	-0,06	0,20

Από το γραφική απεικόνιση, αλλά και από τους αρνητικούς συντελεστές συσχέτισης διαπιστώθηκε ότι υπάρχει μικρότερη πιθανότητα εμφάνισης ξηρού χειμώνα όταν ο NAO του ίδιου είναι  $< -0.5$  για τους σταθμούς της Θεσσαλονίκης, της Πάτρας, της Κέρκυρας και της Λάρισας. Σε αυτό συμφωνεί και ο Πίνακας πιθανοτήτων 7.6 των 4 αυτών σταθμών μαζί. Η διαφορά που παρατηρείται ωστόσο δεν είναι σημαντική.

**Πίνακας 7.6:** Πιθανότητες % εμφάνισης ξηρού, κανονικού και βροχερού χειμώνα, ανάλογα με το διάστημα τιμών του NAO χειμώνα για τους σταθμούς Θεσ/νίκη, Πάτρα, Κέρκυρα, Λάρισα.

	ξηρασία	κανονική βροχ.	υψηλή βροχ.
χαμηλός NAO	<b>13,58</b>	61,73	24,69
κανονικός NAO	20,48	65,26	14,25
υψηλός NAO	<b>20,41</b>	67,35	12,24

Για τον ENSO, ενώ δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις, βρέθηκε ότι η πιθανότητα ξηρού χειμώνα στην Αθήνα είναι αισθητά αυξημένη όταν ENSO του ίδιου και των τριών εποχών που προηγούνται αυτού  $< -0.5$  (Πίνακας 6.5). Το ίδιο παρατηρήθηκε για τον ENSO καλοκαιριού και τη χειμερινή βροχόπτωση στο Ηράκλειο (Σχήμα 6.11α).

### 7.2.2 Φθινόπωρο

Στον Πίνακα 7.7 παρατηρούμε λίγες στατιστικά σημαντικές τιμές για το NAO και καμία για τον ENSO.

**Πίνακας 7.7:** Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ φθινοπωρινής βροχόπτωσης και NAO/ENSO της ίδιας εποχής και των τριών εποχών που προηγούνται αυτής, για όλους τους βροχομετρικούς σταθμούς που μελετήθηκαν.

		Πλήθος ετών	Συντ. συσχέτισης φθινοπωρινής βροχόπτωσης με:				r critical	
			NAO χειμώνα <sup>-</sup>	NAO άνοιξης <sup>-</sup>	NAO καλοκαιριού <sup>-</sup>	NAO φθινοπ.		
NAO	Αθήνα	πλήθος ετών με ξηρό φθινόπωρο	41	-0,12	0,06	0,17	0,09	0,31
		όλα τα έτη	137	-0,06	-0,06	-0,08	0,00	0,17
	Αλιάρτος	πλήθος ετών με ξηρό φθινόπωρο	26	<b>-0,51</b>	<b>-0,46</b>	-0,29	0,01	0,39
		όλα τα έτη	95	0,06	<b>-0,24</b>	0,00	<b>-0,37</b>	0,21
	Ηράκλειο	πλήθος ετών με ξηρό φθινόπωρο	25	-0,03	-0,15	-0,17	-0,07	0,40
		όλα τα έτη	92	-0,04	-0,02	0,01	-0,04	0,21
	Θεσ/νίκη	πλήθος ετών με ξηρό φθινόπωρο	21	0,24	0,02	-0,17	0,09	0,44
		όλα τα έτη	71	-0,03	-0,16	0,18	-0,11	0,24
	Πάτρα	πλήθος ετών με ξηρό φθινόπωρο	28	-0,10	-0,07	-0,21	-0,06	0,38
		όλα τα έτη	89	-0,11	-0,03	-0,05	-0,04	0,21
	Κέρκυρα	πλήθος ετών με ξηρό φθινόπωρο	15	-0,23	0,03	0,18	-0,08	0,52
		όλα τα έτη	51	-0,14	-0,15	-0,07	0,21	0,28
	Λάρισα	πλήθος ετών με ξηρό φθινόπωρο	15	0,34	-0,10	-0,28	0,18	0,52
		όλα τα έτη	51	0,04	-0,18	<b>0,31</b>	0,01	0,28
ENSO	Αθήνα	πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	41	0,17	0,10	0,00	0,05	0,31
		Όλα τα έτη	139	0,03	0,14	0,07	0,06	0,17
	Ηράκλειο	πλήθος ετών με ξηρό χειμώνα	27	0,29	0,16	-0,07	-0,19	0,38
		Όλα τα έτη	99	0,01	-0,02	0,05	0,09	0,20

Για τον Αλιάρτο, τη Θεσσαλονίκη και την Αθήνα παρατηρήθηκε ότι όταν NAO άνοιξης < - 0.5 η πιθανότητα εμφάνισης ξηρού φθινοπώρου είναι αρκετά μειωμένη σε σχέση με το διάστημα τιμών > 0.5. Σε αυτό συμφωνούν και οι αρνητικοί συντελεστές συσχέτισης για τους σταθμούς αυτούς. Ο Πίνακας 7.8 έχει προκύψει από τα δεδομένα των τριών σταθμών μαζί, ωστόσο παρατηρούμε ότι η διαφορά είναι ασήμαντη.

**Πίνακας 7.8:** Πιθανότητες % εμφάνισης χαμηλής, κανονικής και υψηλής φθινοπωρινής βροχ. ανάλογα με το διάστημα τιμών του NAO άνοιξης για τους σταθμούς Αλιάρτου, Αθήνας και Θεσσαλονίκης.

	ξηρασία	κανονική βροχ.	υψηλή βροχ.
χαμηλός NAO	<b>25,00</b>	51,00	24,41
κανονικός NAO	30,17	52,89	16,94
υψηλός NAO	<b>28,00</b>	52,56	19,44

Επίσης παρατηρήθηκε ότι για τους σταθμούς Πάτρας και Κέρκυρας υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα για ξηρό φθινόπωρο όταν NAO φθινοπώρου < -0.5. Σε αυτό συμφωνεί και ο Πίνακας 7.9.

Για τον ENSO παρατηρήθηκε ότι όταν ENSO φθινοπώρου < -0.5, αναμένεται μεγαλύτερη πιθανότητα ξηρασίας το φθινόπωρο, τόσο για την Αθήνα, όσο και για το Ηράκλειο (Σχήμα 6.4 δ για Αθήνα, 6.11β για Ηράκλειο).

**Πίνακας 7.9:** Πιθανότητες % εμφάνισης χαμηλής, κανονικής και υψηλής φθινοπωρινής βροχόπτωσης ανάλογα με το διάστημα τιμών του NAO φθινοπώρου για τους σταθμούς Πάτρας και Κέρκυρας.

	ξηρασία	κανονική βροχ.	υψηλή βροχ.
χαμηλός NAO	<b>39,13</b>	30,43	30,43
κανονικός NAO	33,33	43,59	21,79
υψηλός NAO	<b>25,64</b>	56,41	17,95

## 7.3 Χρονική κλίμακα μήνα

### 7.3.1 Δεκέμβριος

Στον Πίνακα 7.10 παρατηρούμε ότι οι συσχετίσεις που αναζητούμε είναι μηδαμινές.

**Πίνακας 7.10:** Συντελεστές συσχέτισης της βροχόπτωσης του μήνα Δεκέμβρη με το NAO/ENSO των 6 προηγούμενων μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους για τις πόλεις με βροχερότερο μήνα το Δεκέμβριο.

NAO		Πλήθος ετών	Συντ. συσχέτισης βροχόπτωσης Δεκεμβρίου με:							<i>r</i> critical	
			NAO Ιουνίου	NAO Ιουλίου	NAO Αυγ.	NAO Σεπτ.	NAO Οκτ	NAO Νοε	NAO Δεκ		
NAO	Αθήνα	πλήθος ετών με ξηρό Δεκέμβριο	44	0,03	-0,10	0,00	0,17	0,04	0,08	0,18	0,30
		όλα τα έτη	137	-0,03	0,06	-0,06	0,07	-0,06	0,09	0,01	0,17

ENSO	Αλίαρτος	πλήθος ετών με ξηρό Δεκ.	34	0,01	-0,04	-0,08	-0,10	0,17	-0,12	-0,12	0,34	
		όλα τα έτη	95	0,13	0,06	0,02	0,03	-0,19	-0,02	-0,10	0,21	
	Ηράκλειο	πλήθος ετών με ξηρό Δεκέμβριο	26	-0,15	0,15	-0,20	-0,06	-0,25	-0,20	0,34	0,39	
		όλα τα έτη	85	0,02	-0,10	0,00	0,02	0,17	0,20	0,15	0,22	
	Θεσ/νίκη	πλήθος ετών με ξηρό Δεκέμβριο	20	-0,39	0,22	0,38	0,21	-0,02	0,19	0,24	0,45	
		όλα τα έτη	71	0,22	0,16	-0,04	0,17	-0,07	-0,21	-0,04	0,24	
	Πάτρα	πλήθος ετών με ξηρό Δεκέμβριο	28	0,10	<b>-0,38</b>	-0,29	0,02	0,19	0,10	-0,09	0,38	
		όλα τα έτη	89	0,04	0,15	-0,11	0,06	-0,14	0,05	-0,08	0,21	
	Κέρκυρα	πλήθος ετών με ξηρό Δεκέμβριο	18	0,07	<b>-0,60</b>	-0,20	-0,28	0,17	0,30	-0,15	0,47	
		όλα τα έτη	50	0,22	0,07	-0,14	0,01	-0,02	0,00	0,17	0,28	
	Λάρισα	πλήθος ετών με ξηρό Δεκέμβριο	14	-0,32	0,04	0,27	0,33	0,00	0,00	0,30	0,53	
		όλα τα έτη	51	0,08	0,21	-0,06	0,17	-0,12	<b>-0,38</b>	-0,05	0,28	
	ENSO	Αθήνα	πλήθος ετών με ξηρό Δεκέμβριο	45	-0,01	0,01	-0,02	-0,05	-0,09	-0,02	-0,03	0,30
			όλα τα έτη	139	-0,02	-0,05	-0,10	-0,11	-0,06	-0,05	-0,09	0,17
Ηράκλειο		πλήθος ετών με ξηρό Δεκέμβριο	28	0,23	0,22	0,15	0,11	0,10	0,08	0,06	0,38	
		όλα τα έτη	92	0,01	0,04	-0,02	-0,06	-0,02	-0,06	0,00	0,21	

Παρατηρήθηκε αυξημένη πιθανότητα ξηρού Δεκεμβρίου όταν ο NAO Σεπτεμβρίου του προηγούμενου υδρολογικού έτους είναι  $< 0.5$  για όλους τους σταθμούς εκτός της Κέρκυρας. Κάτι τέτοιο φαίνεται και στον Πίνακα 7.11.

**Πίνακας 7.11:** Πιθανότητες % εμφάνισης ξηρού, κανονικού και βροχερού Δεκεμβρίου, ανάλογα με την περιοχή τιμών του NAO Σεπτεμβρίου, στους σταθμούς Αθήνας, Αλίαρτου, Πάτρας, Θεσ/νίκης, Λάρισας και Ηρακλείου μαζί.

	ξηρός Δεκ.	κανονικός Δεκ.	υγρός Δεκ.
χαμηλός NAO	<b>40</b>	43,81	16,19
κανονικός NAO	27,60	53,40	19,00
υψηλός NAO	<b>28,36</b>	47,01	386,57

Παρατηρήθηκε αυξημένη πιθανότητα ξηρού Δεκεμβρίου σε περιοχή υψηλού NAO Οκτωβρίου στους σταθμούς Αλιάρτου, Πάτρας και Κέρκυρας. Σε αυτό συμφωνεί και ο Πίνακας 7.12.

**Πίνακας 7.12:** Πιθανότητες % εμφάνισης ξηρού, κανονικού και βροχερού Δεκεμβρίου ανάλογα με την περιοχή τιμών του NAO Οκτωβρίου στους σταθμούς Αθήνας, Πάτρας και Κέρκυρας μαζί.

	ξηρός Δεκ.	κανονικός Δεκ.	υγρός Δεκ.
χαμηλός NAO	<b>24,19</b>	48,39	27,42
κανονικός NAO	32,93	45,12	21,95
υψηλός NAO	<b>35,56</b>	48,89	15,56

Τέλος βρέθηκε αυξημένη πιθανότητα ξηρού Δεκεμβρίου στους σταθμούς Θεσσαλονίκης, Κέρκυρας και Λάρισας σε περιοχή χαμηλών τιμών του NAO Ιουνίου. Σε αυτό συμφωνεί και ο Πίνακας 7.13.

Για τον ENSO δεν παρατηρήθηκε κάποια ομοιότητα ανάμεσα στους δύο σταθμούς που εξετάστηκαν.

**Πίνακας 7.13:** Πιθανότητες % εμφάνισης ξηρού, κανονικού και βροχερού Δεκεμβρίου ανάλογα με την περιοχή τιμών του NAO Ιουνίου στους σταθμούς Θεσ/νίκης, Λάρισας και Κέρκυρας (συνολικά).

	ξηρός Δεκ.	κανονικός Δεκ.	υγρός Δεκ.
χαμηλός NAO	<b>43,75</b>	40,63	15,63
κανονικός NAO	17,71	55,35	25,92
υψηλός NAO	<b>20,83</b>	58,33	20,83

### 7.3.2 Νοέμβριος

Οι αυξημένοι συντελεστές συσχέτισης που βρέθηκαν για την Αθήνα και το NAO δε διατηρούνται και για τους άλλους σταθμούς. Για τον ENSO δε διαπιστώθηκε καμία στατιστικά σημαντική τιμή (Πίνακας 7.14).

**Πίνακας 7.14:** Συντελεστές συσχέτισης βροχόπτωσης Νοεμβρίου με το NAO/ENSO του ίδιου και των 6 προηγούμενων μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους (το - συμβολίζει το προηγούμενο έτος) για τις πόλεις με βροχερότερο μήνα το Νοέμβριο.

			Συντ. συσχέτισης βροχόπτωσης Νοεμβρίου με:								
			Πλήθος ετών	NAO Μαΐου <sup>-</sup>	NAO Ιουνίου <sup>-</sup>	NAO Ιουλίου <sup>-</sup>	NAO Αυγ <sup>-</sup>	NAO Σεπτ. <sup>-</sup>	NAO Οκτ.	NAO Νοε.	<i>r</i> critical
NAO	Αθήνα	πλήθος ετών με ξηρό Νοέμβριο	48	-0,09	0,08	0,03	-0,10	-0,08	0,11	0,04	0,29
		όλα τα έτη	137	0,09	<b>0,23</b>	<b>-0,36</b>	<b>0,33</b>	0,05	<b>0,21</b>	-0,09	0,17
	Θεσ/νίκη	πλήθος ετών με ξηρό Νοέμβριο	22	-0,22	-0,17	0,21	0,23	0,27	-0,10	-0,24	0,43
		όλα τα έτη	71	-0,02	-0,13	0,05	-0,11	0,01	-0,12	-0,13	0,24
	Πάτρα	πλήθος ετών με ξηρό Νοέμβριο	26	-0,13	-0,10	0,37	0,01	0,27	0,22	-0,19	0,39
		όλα τα έτη	89	-0,06	-0,09	-0,02	0,00	-0,06	-0,07	<b>-0,22</b>	0,21
	Κέρκυρα	πλήθος ετών με ξηρό Νοέμβριο	15	-0,13	-0,24	0,01	-0,05	0,31	0,44	-0,24	0,52
		όλα τα έτη	51	-0,15	-0,07	-0,15	-0,02	-0,08	0,23	-0,01	0,28
	Λάρισα	πλήθος ετών με ξηρό Νοέμβριο	14	-0,51	-0,25	0,09	-0,24	0,27	<b>0,53</b>	-0,12	0,53
		όλα τα έτη	51	-0,15	-0,05	0,16	0,17	-0,01	-0,07	0,09	0,28
ENSO	Αθήνα	πλήθος ετών με ξηρό Νοέμβριο	50	0,00	-0,10	-0,05	-0,11	-0,13	-0,15	-0,11	0,28
		όλα τα έτη	139	0,03	-0,02	0,04	0,05	0,07	0,08	0,13	0,17

Για το Νοέμβριο παρατηρήθηκε ότι στην Πάτρα, τη Λάρισα και τη Θεσσαλονίκη, η πιθανότητα εμφάνισης ξηρού Νοεμβρίου ήταν υψηλότερη όταν NAO Σεπτεμβρίου<sup>-</sup> < -0.5 ή NAO Νοεμβρίου > 0.5. Στη συνολική επεξεργασία και των τριών σταθμών, ωστόσο, βρέθηκε ότι οι διαφορές είναι ασήμαντες.

### 7.3.3 Ιανουάριος

Οι δύο πόλεις που είχαν ως βροχερότερο μήνα τον Ιανουάριο δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις με το NAO. Ομοίως για τον ENSO και τη βροχόπτωση Ιανουαρίου στο



Ηράκλειο (Πίνακας 7.15). Επίσης από τα διαγράμματα NAO δε βρέθηκαν ομοιότητες μεταξύ των δύο σταθμών και για τον ENSO στο Ηράκλειο δεν έχουμε να παρατηρήσουμε κάτι ιδιαίτερο.

**Πίνακας 7.15:** Συντελεστές συσχέτισης βροχόπτωσης Ιανουαρίου με το NAO/ENSO του ίδιου και των 6 προηγούμενων μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους (το - συμβολίζει το προηγούμενο έτος) για τις πόλεις με βροχερότερο μήνα τον Ιανουάριο.

		Πλήθος ετών	Συντ. συσχέτισης βροχόπτωσης Ιανουαρίου με:							r critical	
			NAO Ιουλίου	NAO Αυγ.	NAO Σεπτ.	NAO Οκτ.	NAO Νοε.	NAO Δεκ.	NAO Ιαν.		
NAO	Αλίαρτος	πλήθος ετών με ξηρό Ιαν.	24	0,33	-0,28	-0,14	0,11	0,26	0,07	-0,19	0,41
		όλα τα έτη	95	0,07	0,16	0,09	-0,15	-0,09	-0,02	0,08	0,21
	Ηράκλειο	πλήθος ετών με ξηρό Ιανουάριο	29	-0,19	0,06	0,06	-0,17	0,30	0,22	-0,01	0,37
		όλα τα έτη	88	-0,09	-0,12	0,09	-0,02	-0,15	0,04	0,04	0,21
ENSO	Ηράκλειο	πλήθος ετών με ξηρό Ιανουάριο	31	0,26	0,28	0,20	0,23	0,31	0,27	0,25	0,36
		όλα τα έτη	95	-0,04	-0,06	-0,01	0,02	0,01	0,02	-0,03	0,21

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

#### 8.1 ΝΑΟ

- Σε χρονική κλίμακα έτους, διαπιστώσαμε ότι στις τρεις πόλεις με τα περισσότερα διαθέσιμα δεδομένα (Αθήνα, Ηράκλειο, Αλιάρτο) η πιθανότητα ξηρασίας ανάμεσα στο διάστημα υψηλών και χαμηλών τιμών του ΝΑΟ χειμώνα δεν παρουσιάζει μεγάλη διαφορά (κατόπιν επεξεργασίας όλων των τιμών μαζί), ενώ ίδιας τάξης διαφορά προέκυψε και για το σύνολο των σταθμών. Οι συσχέτιση και για τις τρεις πόλεις ήταν ασθενής. Η Αθήνα και το Ηράκλειο βρίσκονται περίπου στην ίδια ζώνη ετήσιου ύψους βροχόπτωσης (300-450 mm), ενώ ο Αλιάρτος έχει μέσο ετήσιο ύψος περίπου 650 mm.
- Στην Κέρκυρα, αντίθετα, (δυτική Ελλάδα) διαπιστώθηκε ότι η πιθανότητα ξηρασίας σε ετήσια κλίμακα όταν ο ΝΑΟ του χειμώνα του ίδιου έτους είναι μικρότερος του -0.5 είναι σχεδόν μηδενική, γεγονός που συμφωνεί με τη διεθνή βιβλιογραφία. Η Κέρκυρα, λοιπόν, διαφοροποιείται από το σύνολο, αλλά το μικρό δείγμα δεδομένων της θέτει το αποτέλεσμα υπό αμφισβήτηση. Ωστόσο δεν μπορούμε να αγνοήσουμε τον στατιστικά σημαντικό και αρκετά υψηλότερο σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς αρνητικό συντελεστή συσχέτισης, τόσο για το σύνολο των ετών, όσο και για τα έτη ξηρασίας. Αντίθετα για τη Λάρισα (ανατολικά της Πίνδου) παρατηρήθηκε αρκετά μεγαλύτερη πιθανότητα ξηρασίας σε ετήσια κλίμακα όταν ο ΝΑΟ χειμώνα είναι μικρότερος του -0.5.
- Για την Κέρκυρα επίσης, διαπιστώθηκε ότι η πιθανότητα εμφάνισης ξηρού χειμώνα όταν ο ΝΑΟ του ίδιου είναι μικρότερος του -0.5 είναι μικρότερη σε σχέση με την περιοχή υψηλών τιμών (σε συμφωνία με τη Θεσσαλονίκη και την Πάτρα). Ωστόσο, η πληροφορία αυτή δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για λόγους πρόβλεψης, εφόσον το μεγαλύτερο ποσοστό του ετήσιου ύψους έχει ήδη καλυφθεί με το τέλος του χειμώνα (79,3%) και ένα σημαντικό ποσοστό με το τέλος του φθινοπώρου (46,9%). Πάραυτα, κάτι τέτοιο μπορεί να είναι ενδεικτικό του γεγονότος ότι η Βόρεια Ταλάντωση συμβαίνει πιο έντονα κατά τους χειμερινούς μήνες, επομένως δεν αποκλείεται να υπάρχει διασπορά του φαινομένου σε μακρινά γεωγραφικά πλάτη και μήκη. Το αποτέλεσμα αυτό επίσης είναι σύμφωνο με τη διεθνή βιβλιογραφία, που υποστηρίζει ξηρότερες συνθήκες στη Ν. Ευρώπη όταν ο ΝΑΟ

θετικός είναι θετικός (γενικά). Το δείγμα της όμως είναι πολύ περιορισμένο και το αποτέλεσμα αυτό δεν μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστο. Επίσης το ίδιο αποτέλεσμα παρουσιάστηκε και στη Λάρισα (Ανατολική Ελλάδα).

- Όσον αφορά στη φθινοπωρινή βροχόπτωση, η Κέρκυρα και η Πάτρα (περιοχές με παρόμοιο βροχομετρικό καθεστώς) έδειξαν ότι υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα (αν και όχι με σημαντική διαφορά) ξηρού φθινοπώρου όταν ο NAO του ίδιου είναι μικρότερος του  $-0.5$ . Οι συντελεστές συσχέτισης, όμως, είναι ασθενείς.
- Επίσης, παρόμοια συμπεριφορά μεταξύ τους παρουσιάζουν οι περιοχές της Ανατολικής Ελλάδας Αλιάρτος, Θεσσαλονίκη και Αθήνα όσον αφορά τη φθινοπωρινή βροχόπτωση σε σχέση με το NAO της άνοιξης που προηγήθηκε (βρέθηκε ότι όταν ο NAO της άνοιξης που προηγείται είναι μικρότερος του  $-0.5$ , η πιθανότητα ξηρασίας είναι μικρότερη, γεγονός που συμφωνεί με τη βιβλιογραφία). Σημαντικός συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε μόνο με τον Αλιάρτο και η διαφορά στη συνολική επεξεργασία και των τριών μεταξύ περιοχής χαμηλών και περιοχής υψηλών τιμών ήταν ελάχιστη.
- Σε χρονική κλίμακα μήνα, όλες οι πόλεις, εκτός της Κέρκυρας, συμφωνούν στο ότι όταν ο NAO Σεπτεμβρίου είναι μικρότερος του  $-0.5$ , η πιθανότητα ξηρού Δεκεμβρίου είναι πολύ μεγαλύτερη. Επίσης τα αποτελέσματα για την Κέρκυρα είναι σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, και πάλι όμως μας προβληματίζει το μήκος της χρονοσειράς των δεδομένων της.
- Εν τέλει, μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι διαφορές που παρουσιάζει η Κέρκυρα και οι υψηλότεροι συντελεστές είναι κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι δέχεται πρώτη τους δυτικούς ανέμους που πνέουν από τον Ατλαντικό, οι οποίοι κατά τη θετική φάση του NAO είναι ενισχυμένοι και προκαλούν ξηρασία, ενώ κατά την αρνητική μεταφέρουν υγρά ρεύματα στη Νότια Ευρώπη και τη Μεσόγειο. Η Πίνδος στη συνέχεια, όπως έχει προαναφερθεί, λειτουργεί ως φυσικό εμπόδιο και μπορεί να είναι ο λόγος που ανακόπτεται αυτή η αξιοσημείωτη σύνδεση με το φαινόμενο της Βόρειας Ταλάντωσης, όταν αυτή βρίσκεται στο ζενίθ της (κατά τη διάρκεια του χειμώνα). Ωστόσο, αυτό που μας προβληματίζει και καθιστά αυτήν την υπόθεση μάλλον ασταθή είναι το γεγονός ότι η χειμερινή βροχόπτωση της Λάρισας (αμέσως ανατολικά της Πίνδου) παρουσιάζει την ίδια σχέση με το NAO χειμώνα που παρουσιάζει και η Κέρκυρα, άρα πιθανόν η υψηλή συσχέτιση που παρουσιάστηκε είναι τυχαία. Τέλος, είναι πιθανό μια παρόμοια μελέτη να

παρουσίαζε πλουσιότερα ευρήματα αν η περιοχή μελέτης μετακινούνταν προς τα δυτικά, π.χ. στην Ιταλία.

- Στη Θεσσαλονίκη, την Κέρκυρα και τη Λάρισα παρουσιάστηκε αρκετά αυξημένη πιθανότητα ξηρού Δεκεμβρίου όταν ο NAO Ιουνίου είναι μικρότερος του -0.5. Εδώ υπάρχει ασυμφωνία με τη διεθνή βιβλιογραφία. Αυτές οι πόλεις διαφέρουν σημαντικά ως προς το βροχομετρικό καθεστώς τους.
- Ασήμαντες διαφορές και συσχετίσεις διαπιστώθηκαν για το Νοέμβριο και τον Ιανουάριο.
- Εν τέλει, τα αντιφατικά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι στατιστικά σημαντικές συνδέσεις που εμφανίστηκαν είναι μάλλον τυχαίες και ο συγκεκριμένος δείκτης δεν είναι χρήσιμος για σκοπούς πρόβλεψης της ξηρασίας στη χώρα μας.

## 8.2 ENSO

- Για τον ENSO διαπιστώθηκε και στους δύο σταθμούς που εξετάστηκαν, ότι η πιθανότητα εμφάνισης ξηρασίας σε ετήσια βάση είναι μεγαλύτερη (για την Αθήνα η διαφορά είναι αρκετά μεγάλη) όταν ο ENSO του χειμώνα ή του φθινοπώρου είναι μικρότερος του -0.5. Το αποτέλεσμα αυτό βρίσκεται σε ασυμφωνία με τη βιβλιογραφία, η οποία έδειξε λιγότερες βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια θερμών επεισοδίων στην Ανατολική Ευρώπη (Fraedrich and Müller, 1992), όμως δεν γνωρίζουμε σε ποια χρονική κλίμακα και περιοχή της Ανατολικής Ευρώπης έχει εστιαστεί η παραπάνω έρευνα. Από πλευράς ετήσιου ύψους, οι δύο περιοχές δε διαφέρουν σημαντικά (390 mm στην Αθήνα-470 mm στο Ηράκλειο).
- Και για τις δύο πόλεις παρατηρήθηκε σημαντική σχέση χειμερινής βροχόπτωσης με τον ENSO του καλοκαιριού που προηγείται και φθινοπωρινής με τον ENSO φθινοπώρου (χαμηλή τιμή, μεγαλύτερη πιθανότητα ξηρασίας). Και πάλι υπάρχει διαφωνία με τη βιβλιογραφία.
- Για τη βροχόπτωση σε κλίμακα μήνα δε βρέθηκε κάποια σύνδεση με τον ENSO.
- Ο ENSO θεωρείται ο πιο σημαντικός δείκτης σε παγκόσμια κλίμακα και δεν είναι απίθανο το φαινόμενο υπό κάποιες συνθήκες να διασπείρεται μέχρι την Ελλάδα. Αν και εξετάσαμε μόνο δύο πόλεις, το γεγονός ότι παρουσίασαν αρκετές ομοιότητες σε συνδυασμό με το ότι ανήκουν στην ίδια ζώνη, ενισχύει αυτό το σενάριο. Βέβαια η οποιαδήποτε σχέση δείχνει να

είναι εξαιρετικά ασθενής και μάλλον, τελικά, ο συγκεκριμένος δείκτης δεν είναι χρήσιμος για λόγους πρόβλεψης της ξηρασίας στην Ελλάδα. Σίγουρα όμως θα έπρεπε να εξεταστούν περισσότερες περιοχές για πιο ασφαλές συμπέρασμα.

- Άλλωστε η βιβλιογραφία (με την οποία παρουσιάστηκε ασυμφωνία) αναφέρεται σε θερμά και κρύα επεισόδια, που σημαίνει ότι ο δείκτης πρέπει να παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά για αρκετούς συνεχόμενους μήνες. Στην παρούσα μελέτη δεν έγινε αναζήτηση σύνδεσης με επεισόδια, αλλά με συνθήκες El Niño και La Niña (βλ. Κεφ. 4).

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

### ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αναγνωστοπούλου, Γ. Χ., *Συμβολή στη μελέτη της ξηρασίας στον ελληνικό χώρο*, Διδακτορική Διατριβή, 222 σελίδες, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2003
- Κουτσογιάννης, Δ., Ξανθόπουλος, Θ., *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, Τομέας Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999
- Κουτσογιάννης, Δ., *Στατιστική Υδρολογία*, Έκδοση 3, 307 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1996
- Μαμάσης, Ν., *Ανάλυση βροχοπτώσεων κατά τύπο καιρού*, Διδακτορική διατριβή, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1997.
- Μαμάσης Ν., Δ. Κουτσογιάννης, *Σημειώσεις Υδρομετεωρολογίας - Μέρος 2*, Έκδοση 2, 176 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2000
- Διατίθεται επίσης στην ιστοσελίδα: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/117/>
- Μαμάσης, Ν., και Δ. Κουτσογιάννης, Φυσικές, κοινωνικές και τεχνολογικές πτυχές της ξηρασίας - Το παράδειγμα της Αθήνας, *Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές στην Ευρώπη και την Ελλάδα*, επιμέλεια Κ. Σαπουντζάκη, 61–88, Gutenberg, Αθήνα, 2007
- Μιμίκου, Μ. Α., Μπαλτάς, Ε. Α., *Τεχνική Υδρολογία*, Γ Έκδοση, 11-30, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2003
- Μιμίκου, Μ., *Τεχνολογία Υδατικών Πόρων*, ΕΜΠ, Αθήνα, 1990
- Παπαζαφειρίου, Ζ., *Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων*, ΑΠΘ, Αθήνα, 1983

### ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Carton, J. A., Cao, X., Giese, B. S., Da Silva, A. M., Decadal and interannual SST variability in the tropical Atlantic Ocean, *Journal of Physical Oceanography*, 26(7), 1165-1175, 1996

- Clarke, J. I., P. Curson, S. L. Kayastha, P. Nag, *Population and Disaster*, 320 pp., Institute of British Geographers Special Publications, Blackwell Pub, 1989
- Corti, S., F. Molteni, and T. N. Palmer, Signature of recent climate change in frequencies of natural atmospheric circulation regimes, *Nature*, 398(6730), 799-802, 1999
- Diaz, H. F., M. P. Hoerling, and J. K. Eischeid, ENSO variability, Teleconnections and climate change, *Int. J. Climatology*, 21, 1845-1862, 2001
- Diaz, H. F., Markgraf, V. (Eds), *El Nino and the Southern Oscillation*, 496pp, Cambridge University Press, United Kingdom, 2000
- Dong, B., Sutton, R. T., Scaife, A. A., Multidecadal modulation of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) variance by Atlantic Ocean sea surface temperatures, *Geophysical Research Letters*, 33, L08705, 2006
- Eagleson, P. S., *Dynamic Hydrology*, 448 pp, McGraw-Hill Inc., US, 1970
- Eltahir, E., El Niño and the natural variability in the flow of the Nile River, *Water Resources Research*, 32(1), 131-137, Cambridge, 1996
- Enfield, D. B., Mestas-Nuñez, A. M. and Trimble, P. J., The Atlantic multidecadal oscillation and its relationship to rainfall and river flow in the continental, *US Geophysical Research Letters*, 28, 277-280, 2001
- FAO, *The State of Food Insecurity in the World*, Food and Agricultural Organization of the United Nations, 41pp, Rome, Italy, 2004
- FEMA, *National Mitigation Strategy*, Partnerships for building safer communities, Mitigation Directorate, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 1995
- Fontaine, B., Janicot, S., Sea surface temperature fields associated with West African rainfall anomaly times, *Journal of Climate*, 9, 2935-2940, 1996
- Frampton, S., Chaffey, J., McNaught, A., Hardwick, J., *Natural Hazards-Causes, Consequences and Management*, 2<sup>nd</sup> edition, 7-30, UK, 1996
- Fraedrich, K., and K. Müller, Climate anomalies in Europe associated with ENSO extremes, *Int. J. Climatology*, 12, 25-31, 1992
- Frank, P., Changes in the glacier area in the Austrian Alps between 1973 and 1992 derived from LANDSAT data, *MPI Report No. 242*, 21 pp, 1997

- Giannini, A., R. Saravanan and P. Chang, Oceanic forcing of Sahel rainfall on interannual and interdecadal time scales, *Science*, 302(5647), 1027-1030, 2003
- Hagen, J. O., Recent trends in the mass balance of glaciers in Scandinavia and Svalbard, *Proceedings of the International Symposium on Environmental Research in the Arctic*, 343-354, National Institute of Polar Research, Watanabe, Okitsugu (Eds.), Tokyo, Japan, 1995
- Halpert, M. S., and C. F. Ropelewski, Surface temperature patterns associated with the SO, *J. Climate*, 5, 577-593, 1992
- Huang, J., K. Higuchi, and A. Shabbar, The relationship between the North Atlantic Oscillation and the El-Niño Southern Oscillation, *Geophys. Res. Lett.*, 25(14), 2707-2710, 1998
- Hurrell, J. W., Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation, *Science*, 269(5224), 676-679, 1995
- Hurrell, J. W., Transient eddy forcing of the rotational flow during northern winter, *Journal of Atmospheric Science*, 52(12), 2286-2301, 1995a
- Hurrell, J. W., Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperatures, *Geophysical Research Letters*, 23(6), 665-668, 1996
- Kadioğlu, M., Y. Tulunay, and Y. Borhan, Variability of Turkish precipitation compared to El Niño events, *Geophys. Res. Lett.*, 26(11), 1597-1600, 1999
- Kerr, R. A., A North Atlantic climate pacemaker for the centuries, *Science*, 288 (5473), 1984-1986, 2000
- Kiladis, G. N., Diaz, H. F., Global climate anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation, *Journal of Climate*, 2 (9), 1069-1090, 1989
- Kushnir, Y., V. J. Cardone, J. G. Greenwood, and M. Cane, On the recent increase in North Atlantic wave heights, *Journal of Climate*, 10(8), 2107-2113, 1997
- Kutiel, H., and S. Paz, Sea level pressure departures in the Mediterranean and their relationship with monthly rainfall conditions in Israel, *Theoretical and Applied Climatology*, 60(1-4), 93-109, 1998
- Lloyd-Hughes, B. and M. A. Saunders, A drought climatology for Europe, *Int. J. of Climatology*, 22, 1571-1592, 2002



- Maheras, P., E. Xoplaki, and H. Kutiel, Wet and dry monthly anomalies across the Mediterranean basin and their relationship with circulation, 1860-1990, *Theoretical and Applied Climatology*, 64(3-4), 189-199, 1999
- Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace, and R. C. Francis, A Pacific decadal climate oscillation with impacts on salmon, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 1069-1079, 1997
- McCabe, G. J., Palecki, M. A., Multidecadal climate variability of global lands and oceans, *International Journal of Climatology*, 26, 849-865, 2006
- McCabe, J. G., J. L. Betancourt, S. T. Gray, M. A. Palecki, H. G. Hidalgo, Associations of multi-decadal sea-surface temperature variability with US drought, *Quaternary International*, 188, 31-40, 2008
- McKee, T. B., N. J. Doesken and J. Kliest, The relationship of drought frequency and duration to time scales, *Proceedings of the 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology*, 179-184, American Meteorological Society, Anaheim, CA, 17-22 January, 1993
- Moron, V., and M. N. Ward, ENSO teleconnections with climate variability in the European and African sectors, *Weather*, 53, 287-295, 1998
- Nicholls, N., Historical El Niño/Southern Oscillation variability in the Australian region, In Diaz, H. F. and V. Markgraf (eds), *El Niño, Historical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation*, Cambridge University Press, UK, 1992
- Pozo-Vázquez, D., M. J. Esteban-Parra, F. S. Rodrigo, and Y. Castro-Diez, The association between ENSO and winter atmospheric circulation and temperature in the North Atlantic Region, *J. Climate*, 14(16), 3408-3420, 2001
- Quadrelli, R., V. Pavan, and F. Molteni, Wintertime variability of Mediterranean precipitation and its links with large-scale circulation anomalies, *Clim. Dyn.*, 17(5-6), 457-466, 2001
- Rajagopalan, B., U. Lall, and M. A. Cane, Anomalous ENSO occurrences, an alternative view, *J. Climate*, 10(9), 2351-2357, 1997
- Rasmusson, E. M., and T. H. Carpenter, Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño, *Mon. Weather Rev.*, 111, 517-528, 1983

- Rocha, A., Low frequency variability of seasonal rainfall over the Iberian Peninsula and ENSO, *Int. J. Climatology*, 19, 889-901, 1999
- Ropelewski, C. F., and M. S. Halpert, Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation, *Mon. Weather Rev.*, 115, 1606-1626, 1987
- Ropelewski, C. F., and M. S. Halpert, Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation, *Journal of Climate*, 2, 268-284, 1989
- Stockton, C. W., and M. F. Glueck, Long-term variability of the North Atlantic oscillation (NAO), *Proc. Amer. Met. Soc. 10<sup>th</sup> Symp. Global Change Studies*, 290-293, Dallas, TX, 11-15 January 1999
- Sutton, R. T. , Hodson, D. L. R., Atlantic Ocean forcing of multi-decadal variations in North American and European summer climate, *Science*, 309(5431), 115-118, 2005
- Torrence, C., Webster, P. J., Interdecadal changes in the ENSO-Monsoon system, *Journal Climate*, 12(8), 2679-2690, 1999
- Torrence, C., Webster, P. J., The annual cycle of persistence in the El Niño-Southern Oscillation, *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, 124(550), 1985-2004, 1998
- Trenberth, K. E., The definition of El Niño, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(12), 2771-2777, 1997
- Trenberth , K. E., and T. J. Hoar, El Niño and climate change, *Geophys. Res. Lett.*, 24(23), 3057-3060, 1997
- Walker, G. T., 1923, Correlation in seasonal variations of weather, VIII, A preliminary study of world-weather, *Memoirs of the Indian Meteorological Department no. 24*, Part 4, 75-131, 1923
- Wallace, J. M., Y. Zhang, and J. A. Renwick, Dynamic contribution to hemispheric mean temperature trends, *Science*, 270(5237), 780-783, 1995
- Walsh, J. E., W. L. Chapman, and T. L. Shy, Recent decrease of sea level pressure in the central Arctic. *Journal of Climate*, 9(2), 480-486, 1996
- Ward, M. N., P. J. Lamb, D. H. Portis, M. El Hamly, and R. Sebbari, Climate variability in North Africa, In: Navarra, A. (Ed.), *Beyond El Niño: Decadal variability in the climate system*, Springer-Verlag, 119-140, 1999

Xoplaki, E., *Climate Variability over the Mediterranean*, PhD Thesis, 211 pp., University of Bern, 2002

## ΕΦΗΜΕΡΙΔΕΣ

### ΣΚΡΙΠ

Τεύχος 30/4/1902, σελ. 3

Τεύχος 24/8/1898

Τεύχος 12/5/1930, σελ. 4

Τεύχος 3/8/1912, σελ. 2

Τεύχος 7/12/1903, σελ. 6

Τεύχος 13/9/1895, σελ. 2

Τεύχος 7/9/1898, σελ. 3

### ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ

Τεύχος 22/2/1957

Τεύχος 21/5/1967,

Τεύχος 26/3/1953, σελ. 4

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

[www.hnms.gr](http://www.hnms.gr)

[www.ldeo.columbia.edu](http://www.ldeo.columbia.edu)

<http://www.pmel.noaa.gov>

[www.meteo.gr](http://www.meteo.gr)

<http://www.itia.ntua.gr>

<http://www.ngdc.noaa.gov>

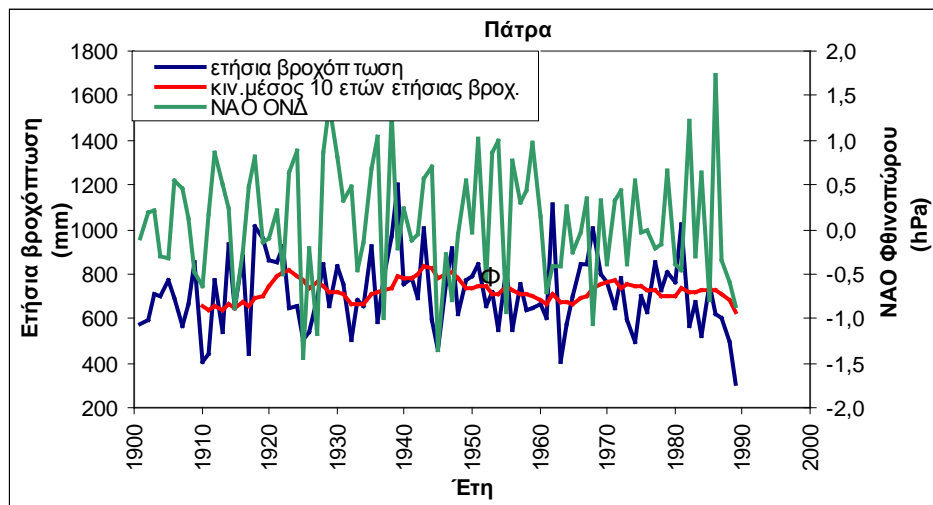
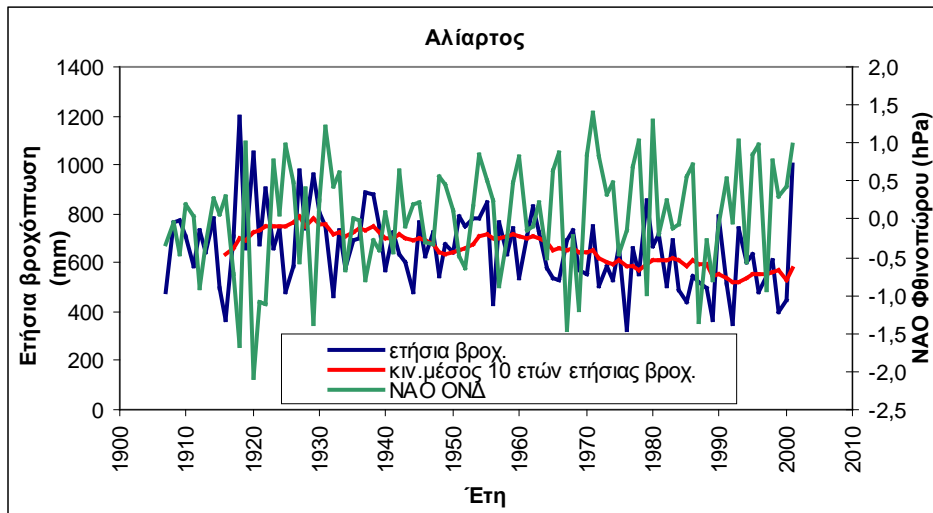
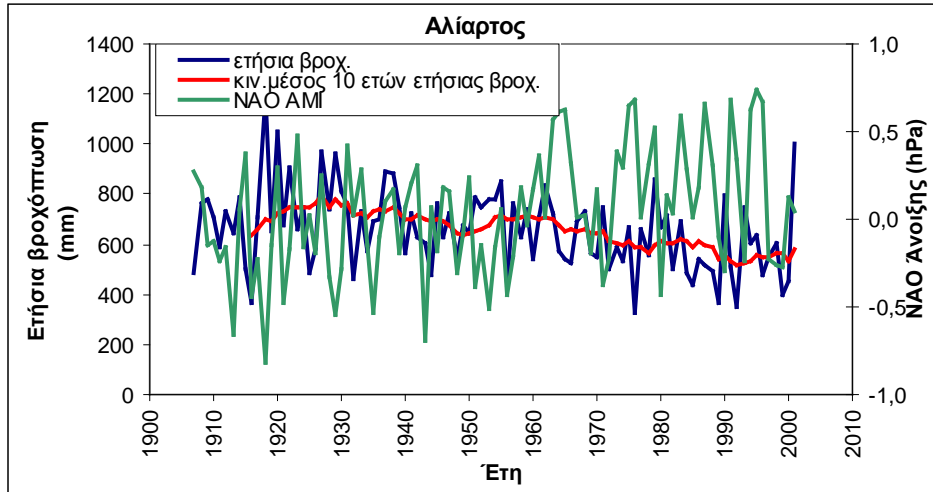
[www.climexp.knmi.nl](http://www.climexp.knmi.nl)

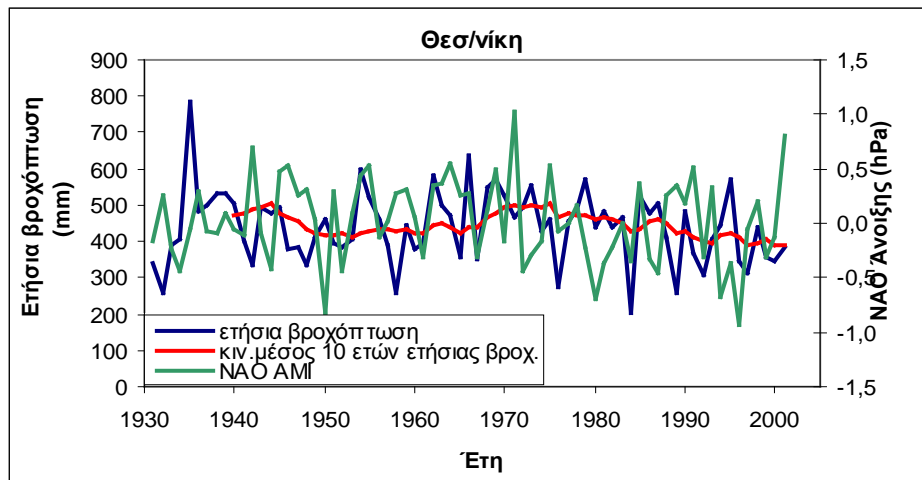
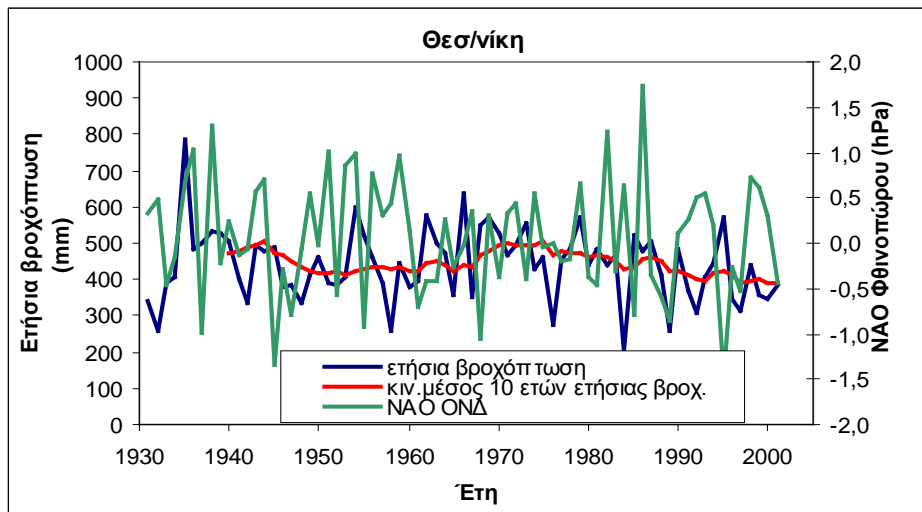
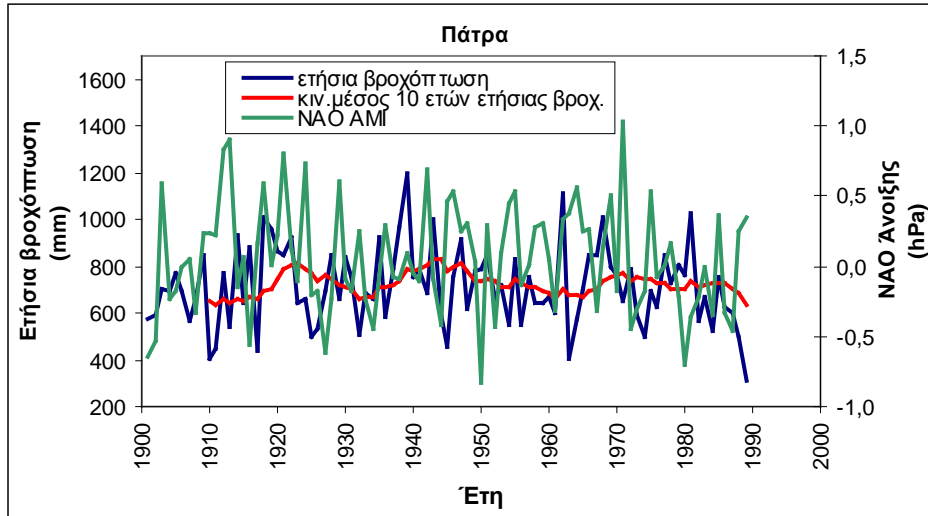
<http://drought.unl.edu>

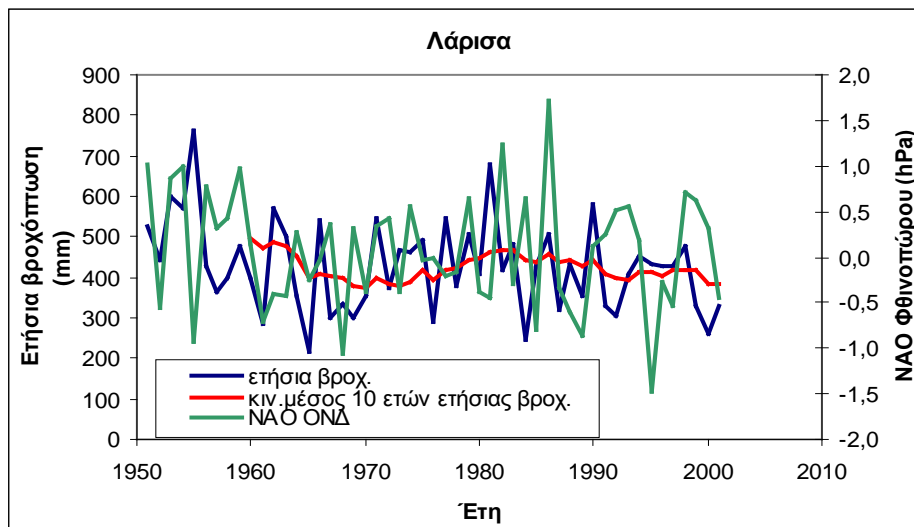
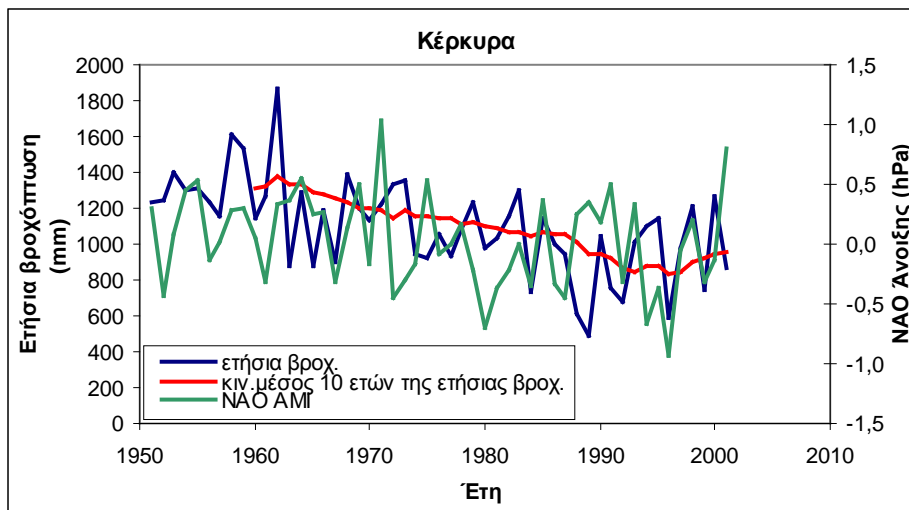
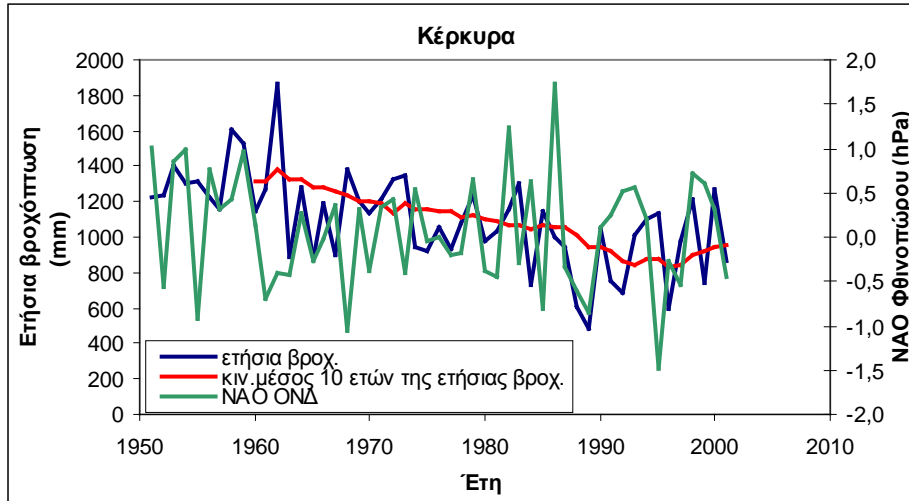
## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

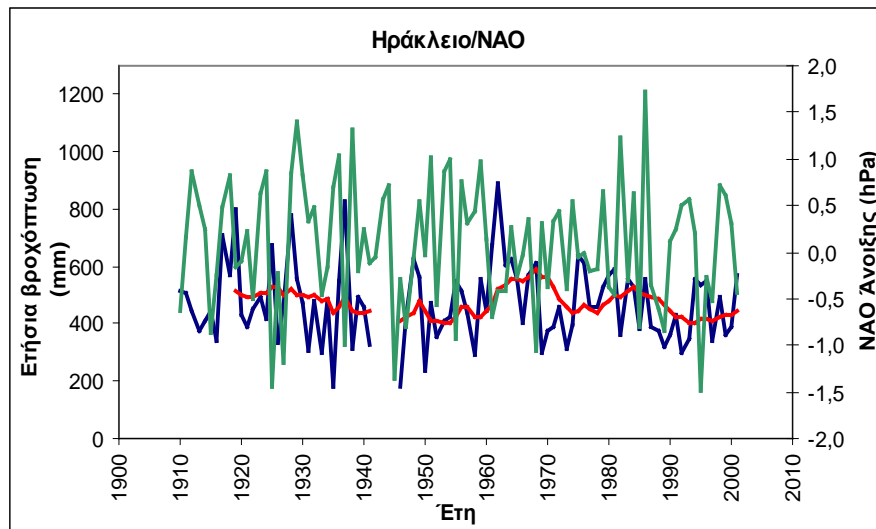
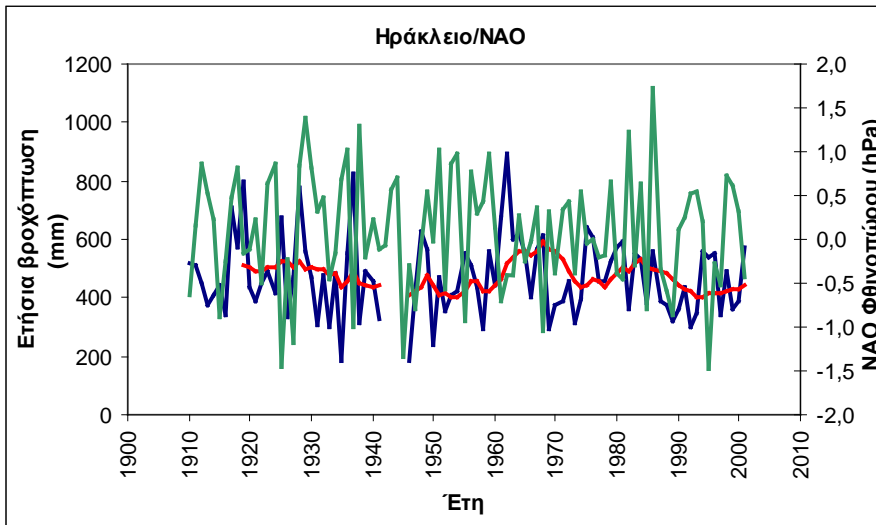
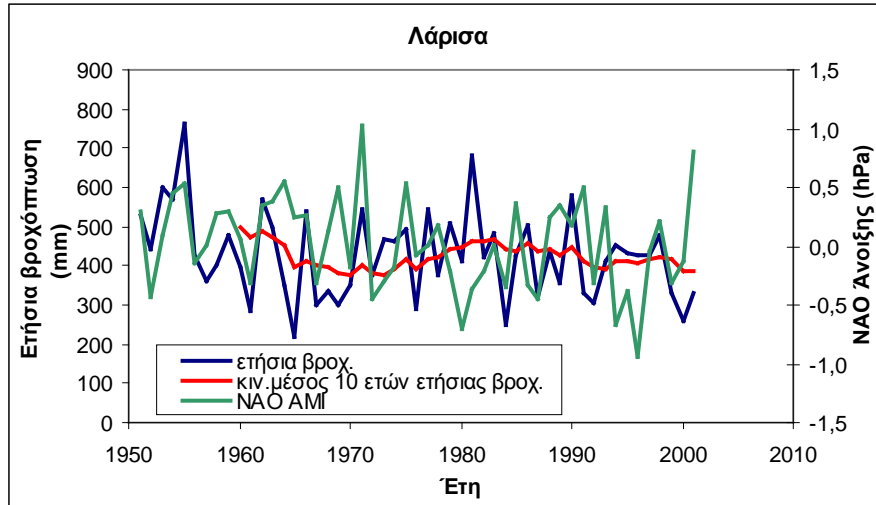
### **ΝΑΟ-ΕΤΗΣΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ**

Το Παράρτημα Α περιλαμβάνει όλα τα διαγράμματα ΝΑΟ-ετήσιας βροχόπτωσης για όλους τους σταθμούς, τα οποία δεν απεικονίζονται στο κυρίως σώμα της εργασίας.



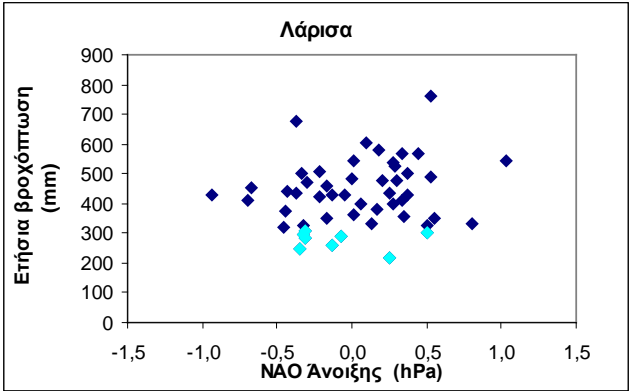
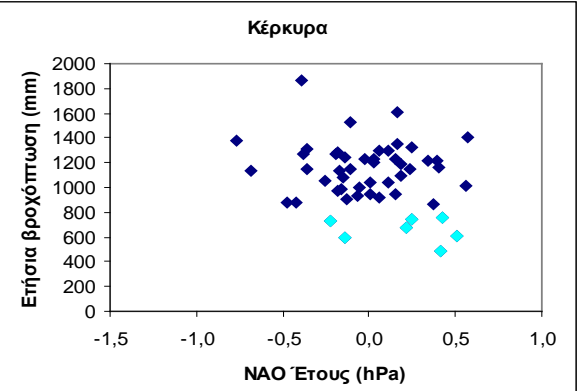
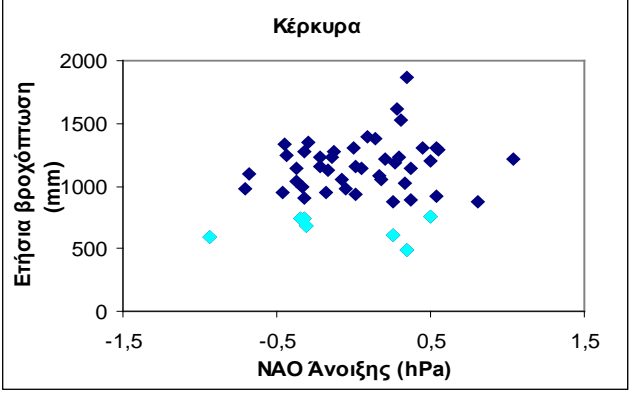
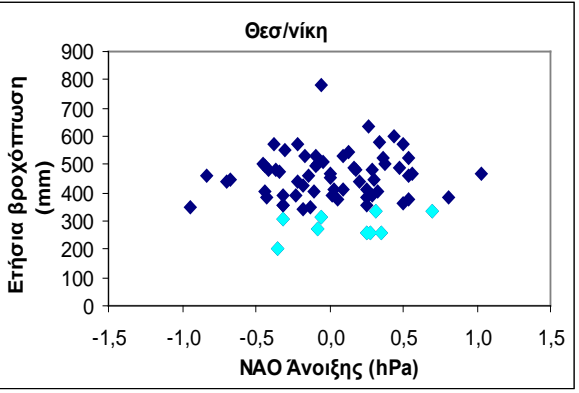
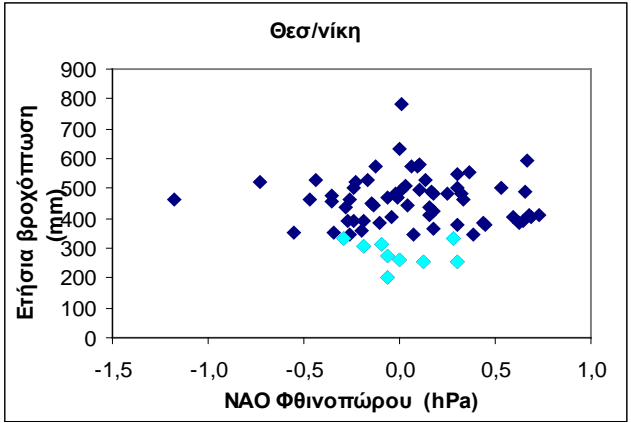
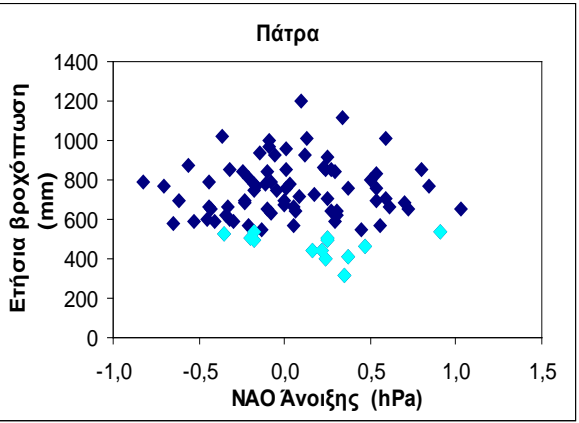
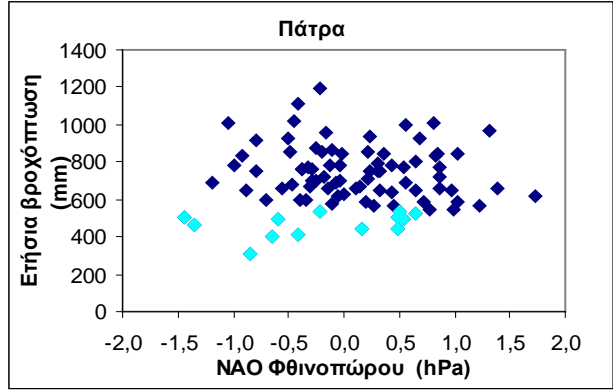
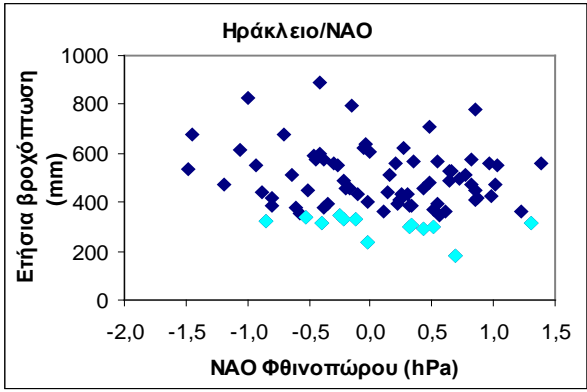






**Σχήμα Α.1: Ετήσια βροχόπτωση και NAO άνοιξης και φθινοπώρου για τις πόλεις Αλιάρτος, Πάτρα, Ηράκλειο, Θεσ/νίκη, Κέρκυρα και Λάρισα.**



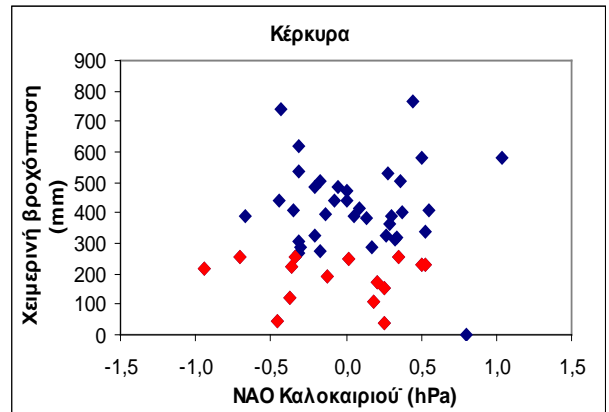
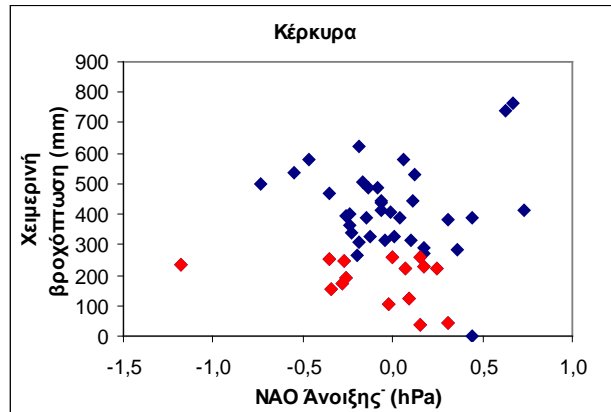
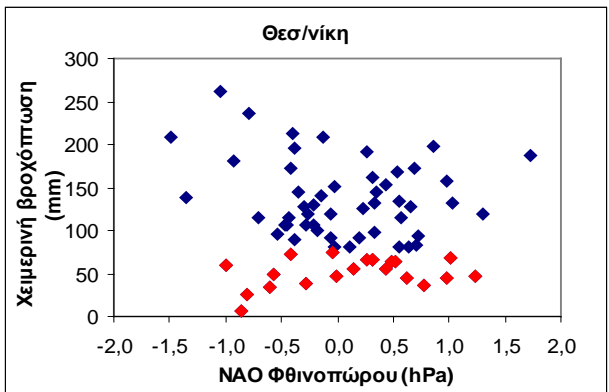
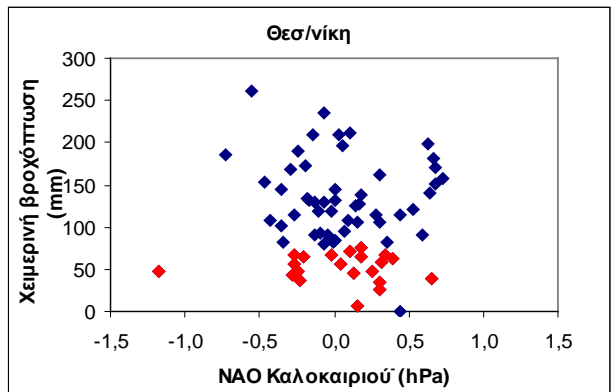
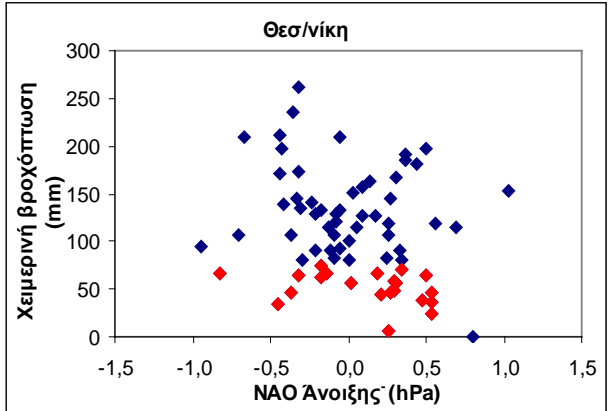
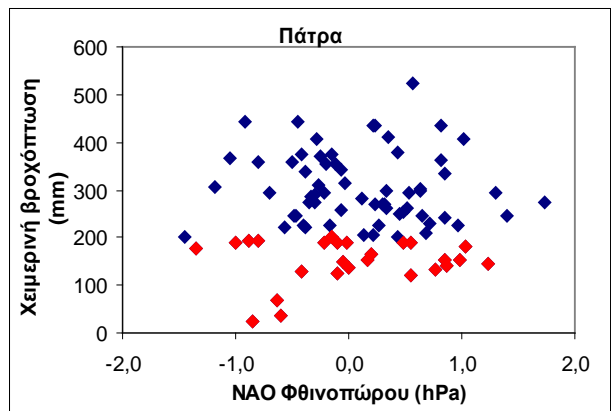
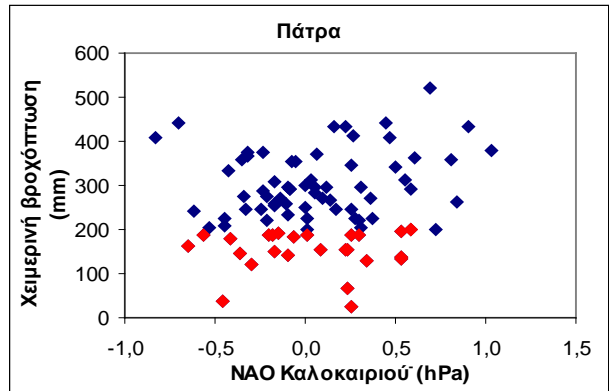
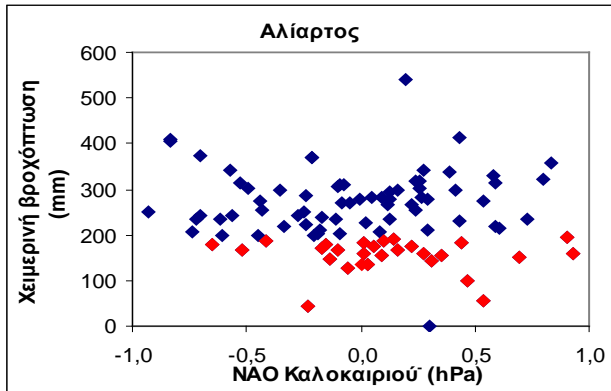


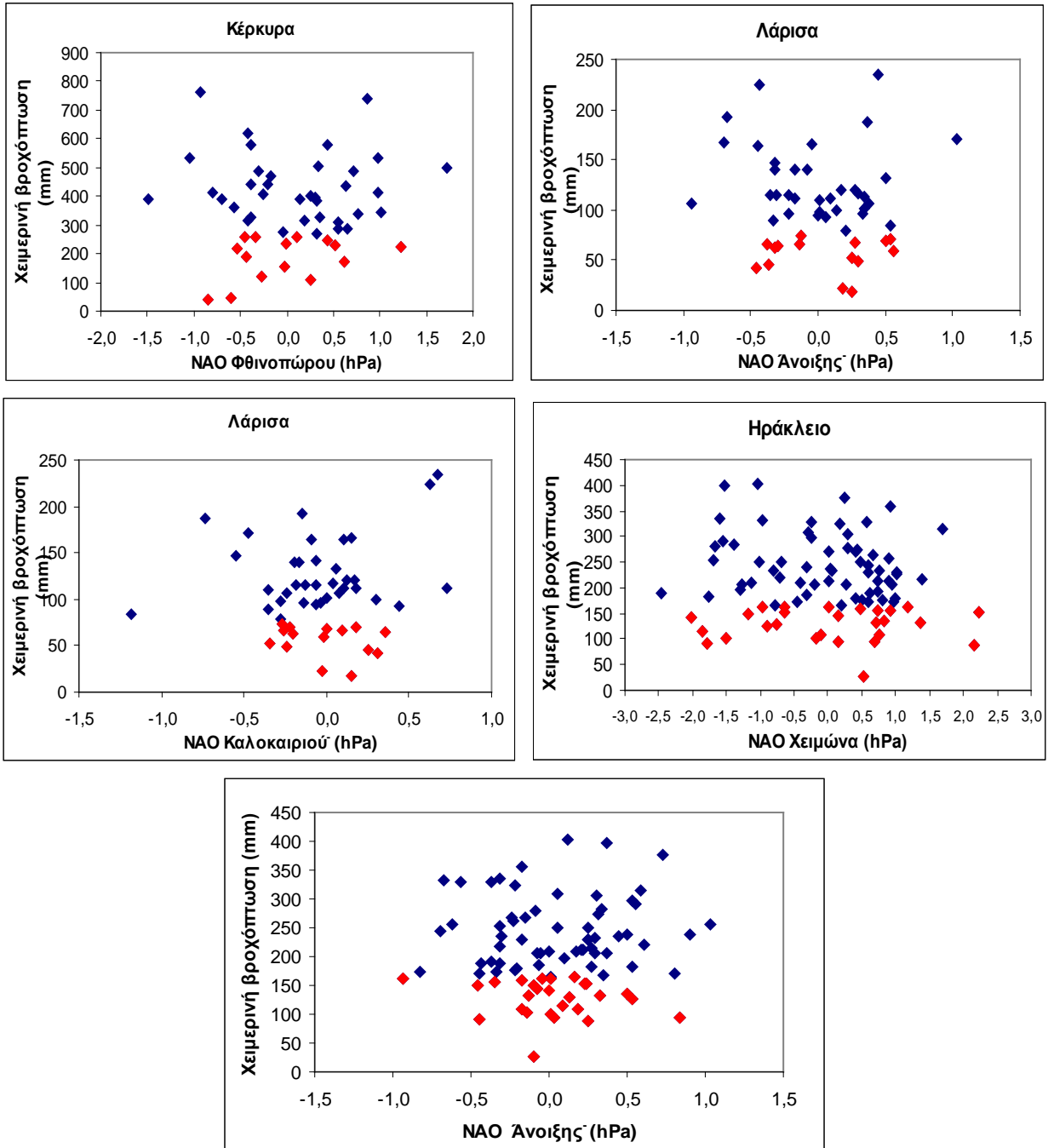
Σχήμα Α.2: Ετήσια βροχόπτωση σε σχέση με NAO έτους και εποχιακούς NAO του ίδιου υδρολογικού έτους για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη ξηρασίας (γαλάζιο).

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

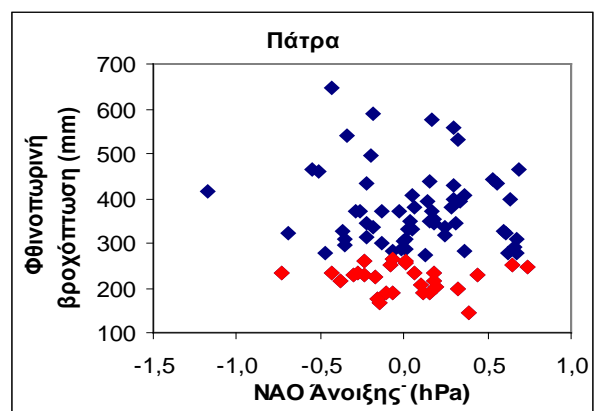
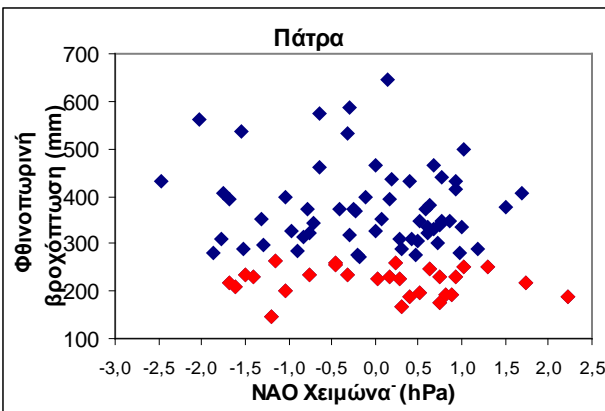
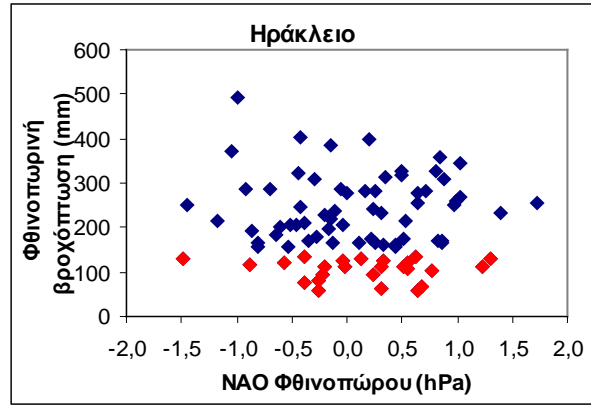
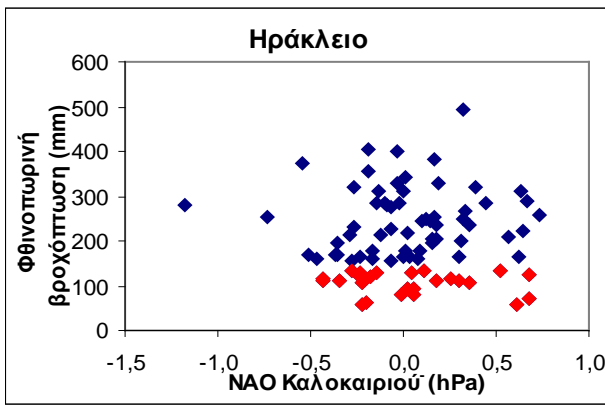
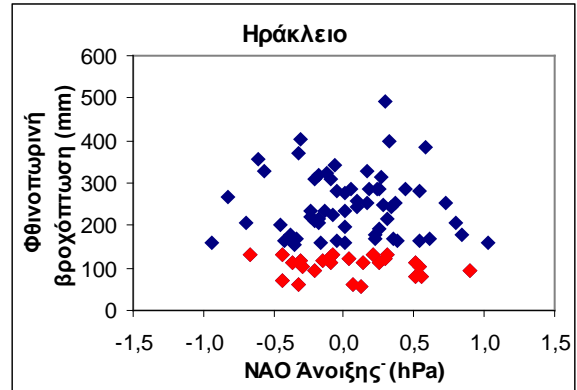
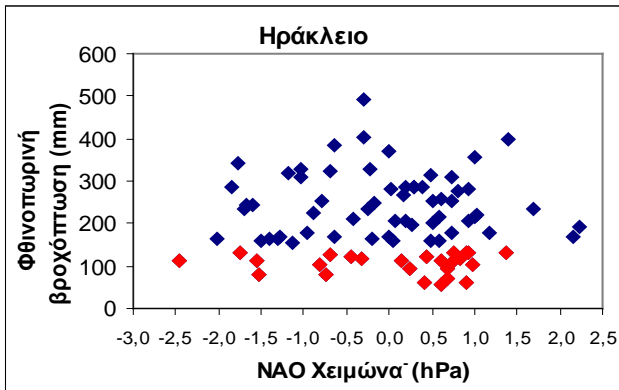
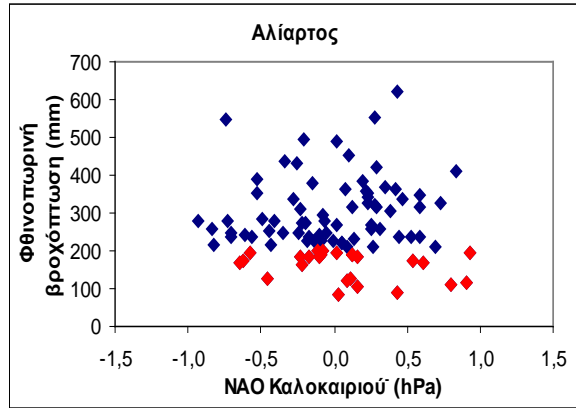
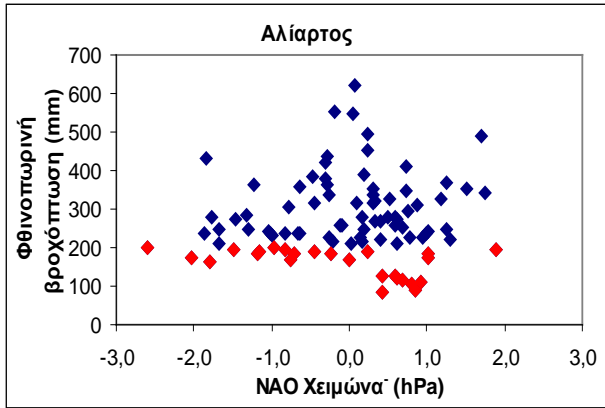
### **ΝΑΟ-ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ**

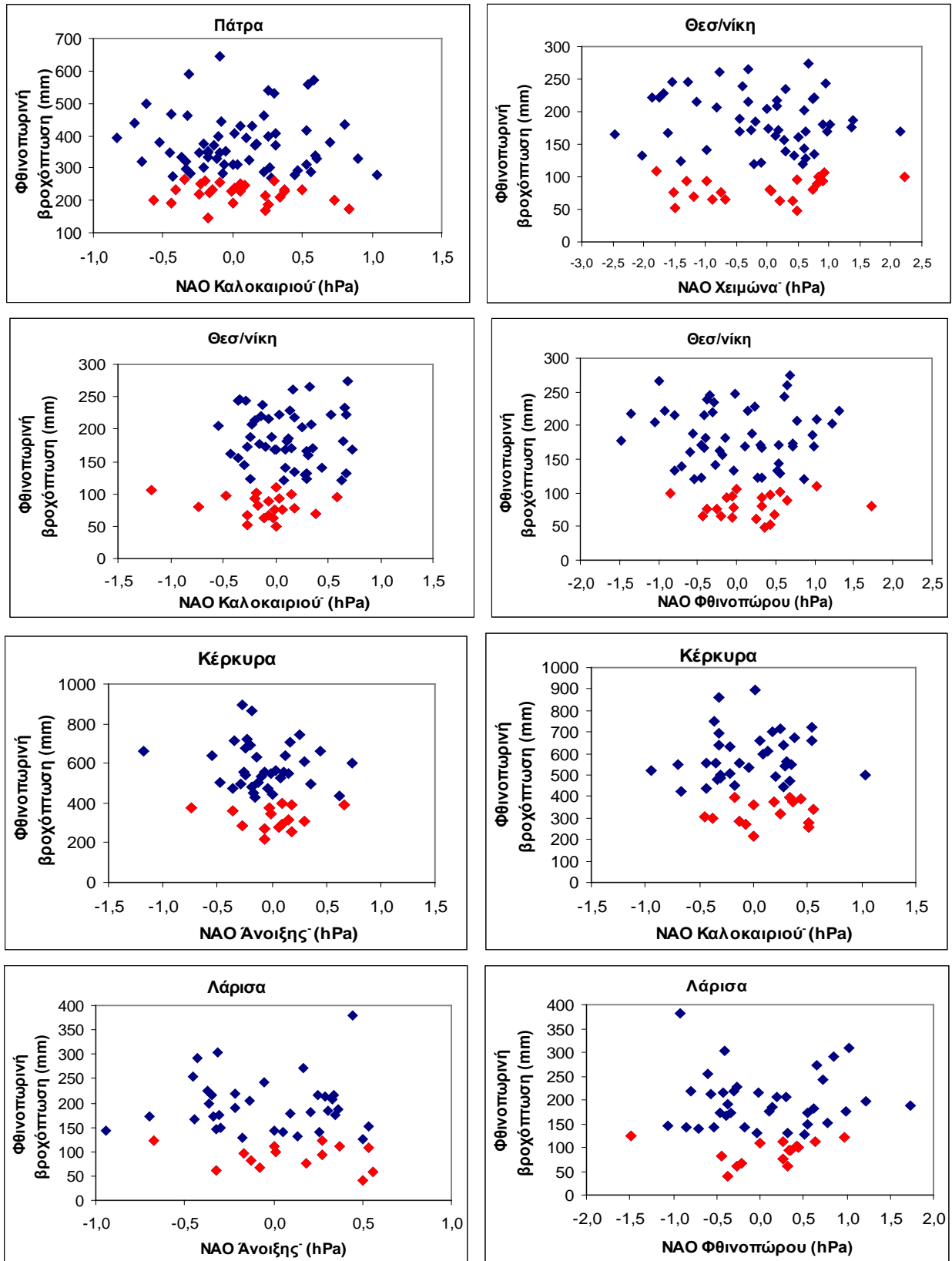
Στο Παράρτημα Β περιλαμβάνονται όλα τα διαγράμματα ΝΑΟ-φθινοπωρινής και χειμερινής βροχόπτωσης για όλους τους σταθμούς, τα οποία δεν απεικονίζονται στο κυρίως σώμα της εργασίας.





Σχήμα Β.1: Χειμερινή βροχόπτωση σε σχέση με το NAO των εποχών που προηγούνται για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό χειμώνα (κόκκινο).



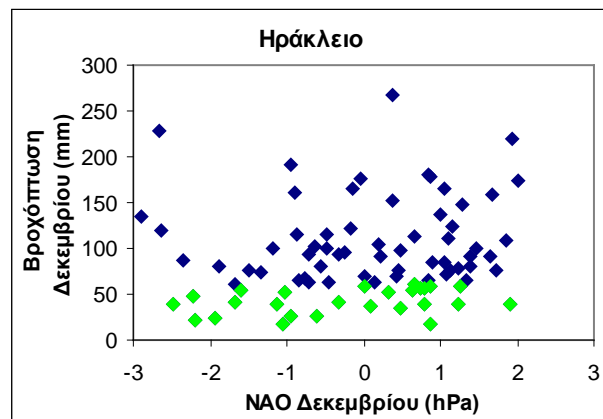
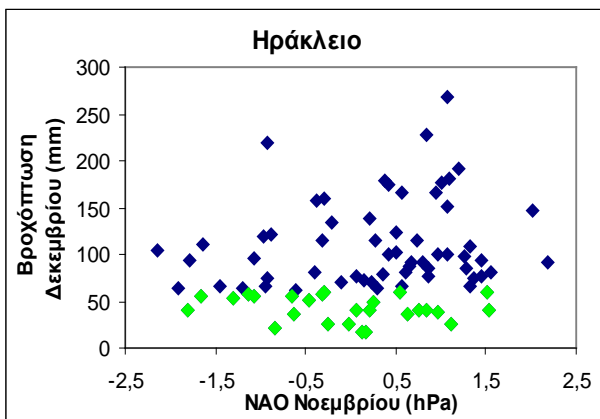
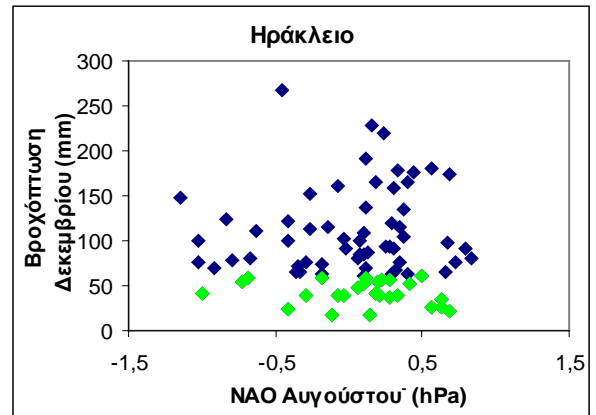
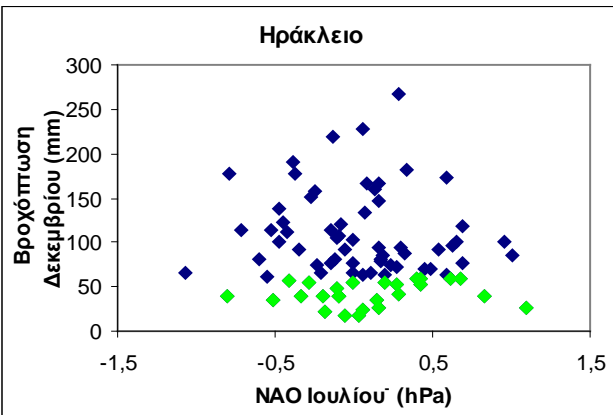
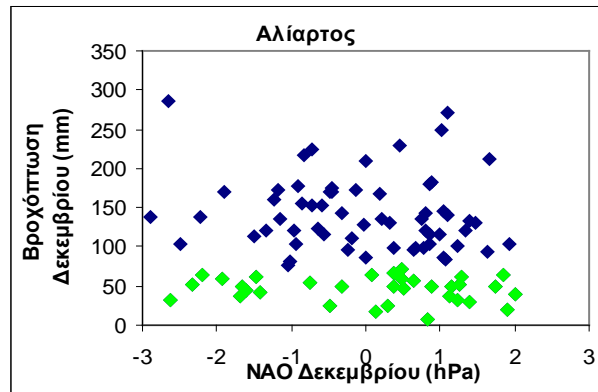
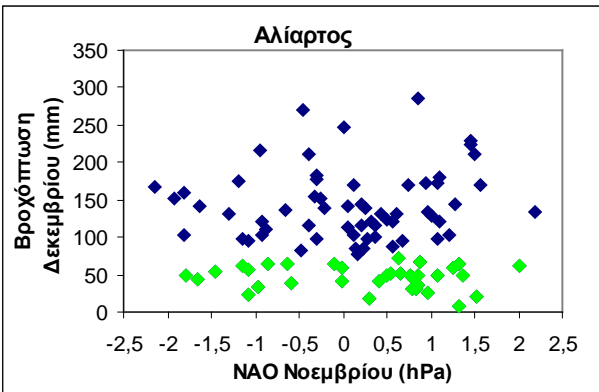
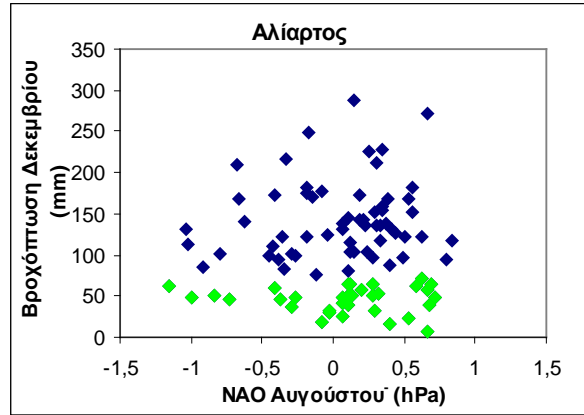
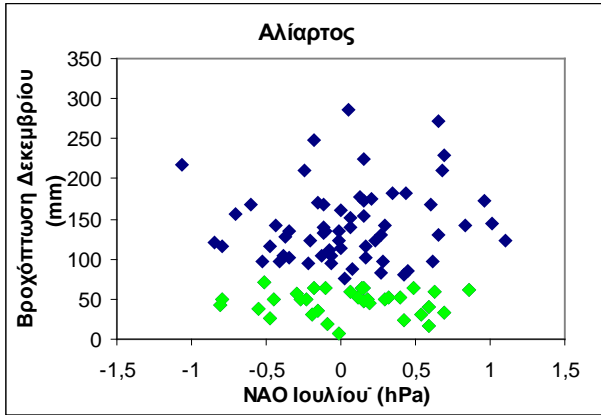


Σχήμα Β.2: Φθινοπωρινή βροχόπτωση σε σχέση με το NAO του ίδιου και των προηγούμενων εποχών για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό φθινόπωρο (κόκκινο).

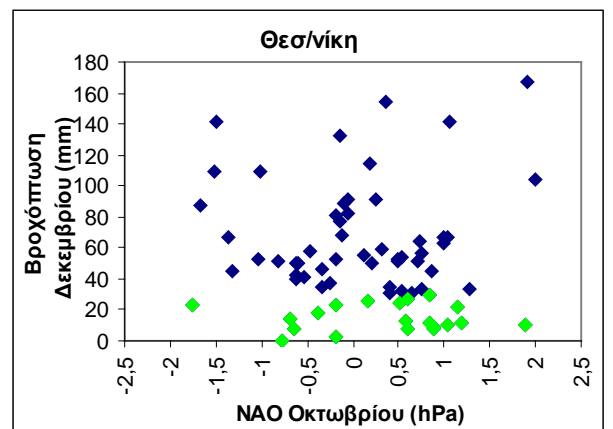
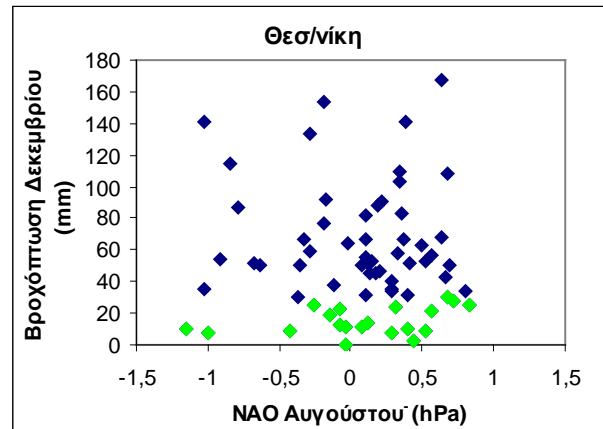
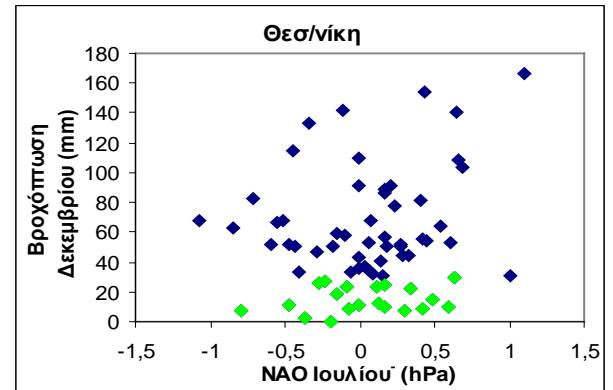
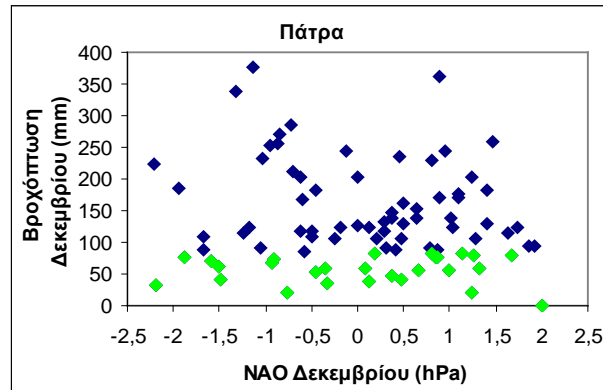
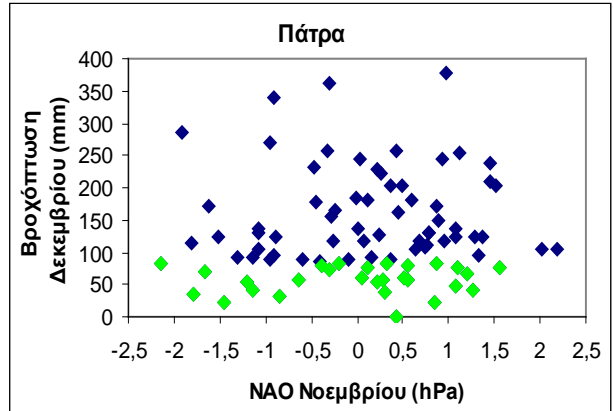
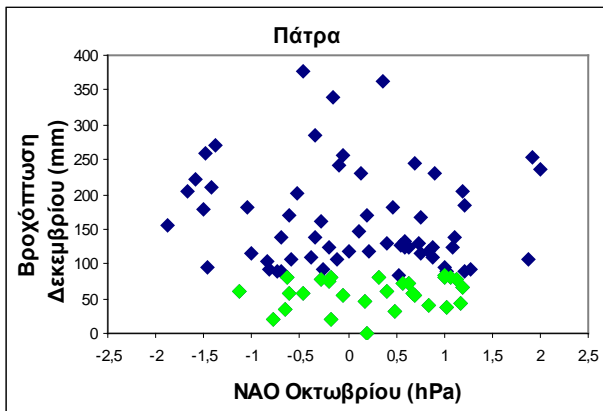
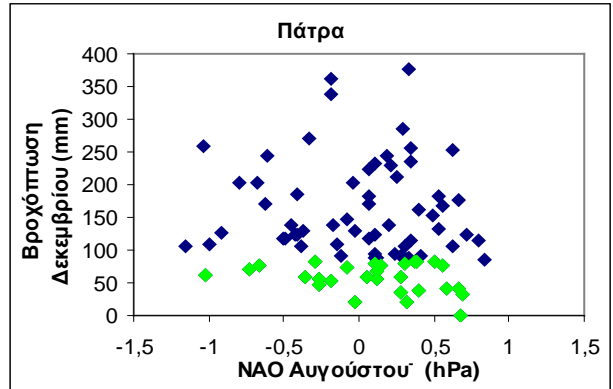
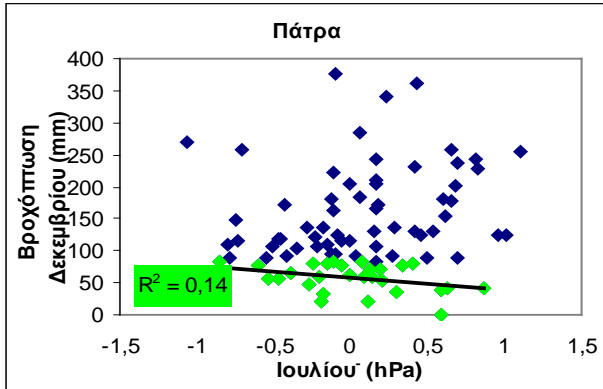
## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ**

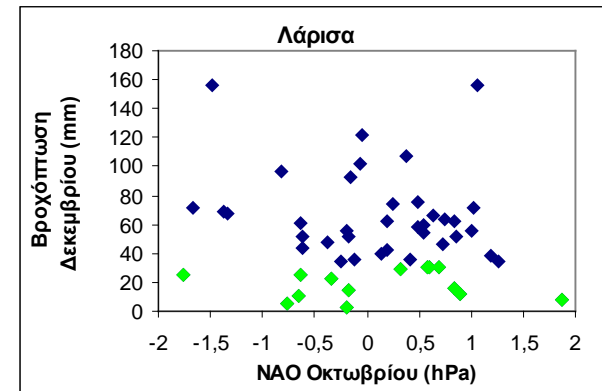
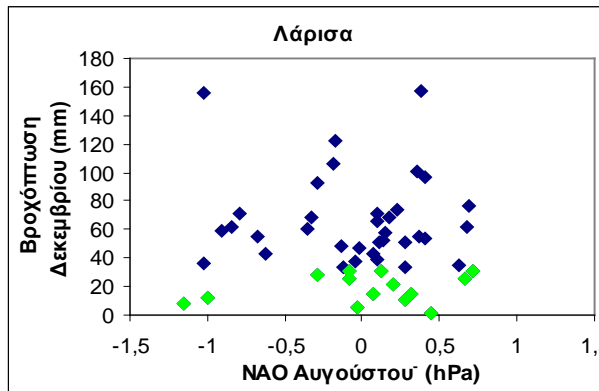
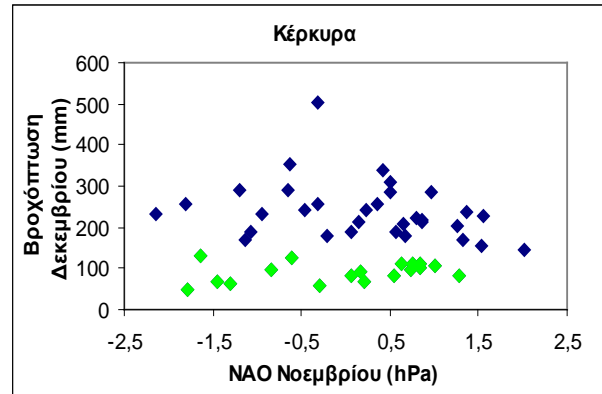
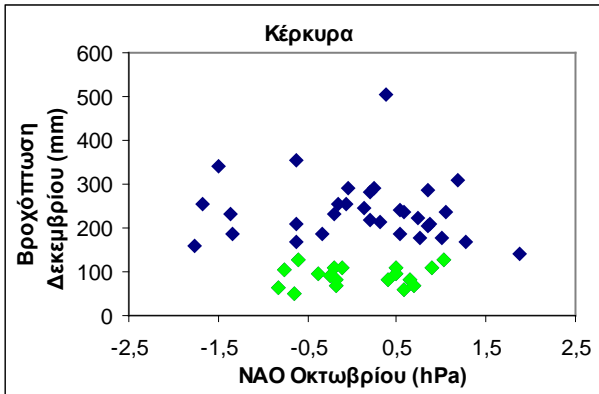
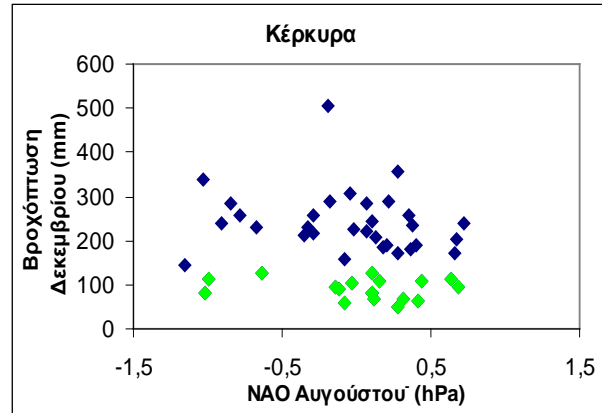
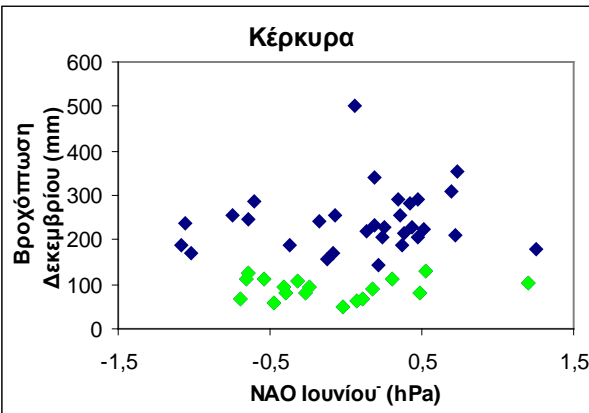
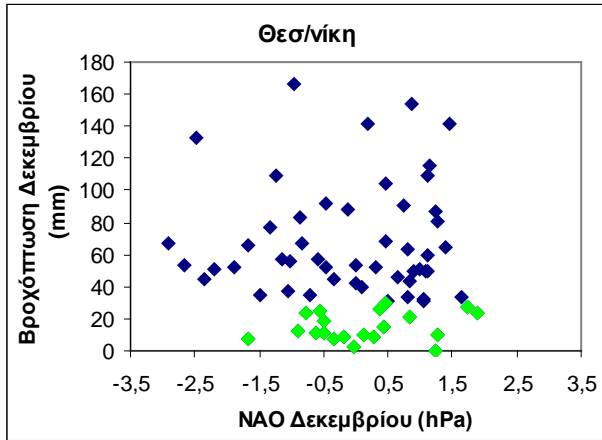
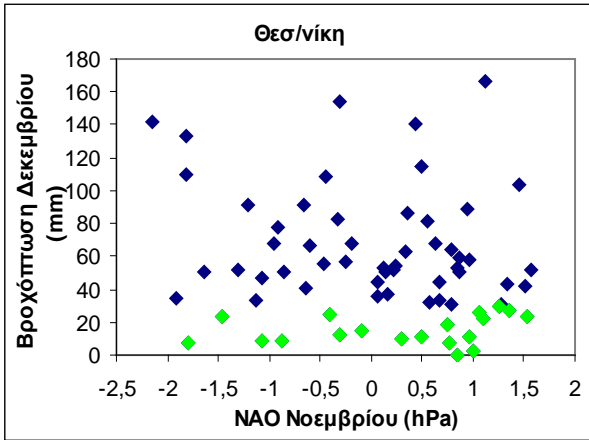
### **ΝΑΟ-ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ**

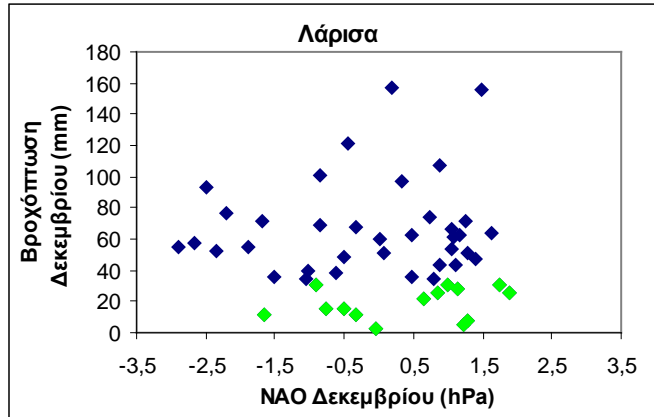
Το Παράρτημα Γ περιλαμβάνει όλα τα διαγράμματα ΝΑΟ-βροχόπτωσης Νοεμβρίου/Δεκεμβρίου/Ιανουαρίου για όλους τους σταθμούς, τα οποία δεν απεικονίζονται στο κυρίως σώμα της εργασίας.



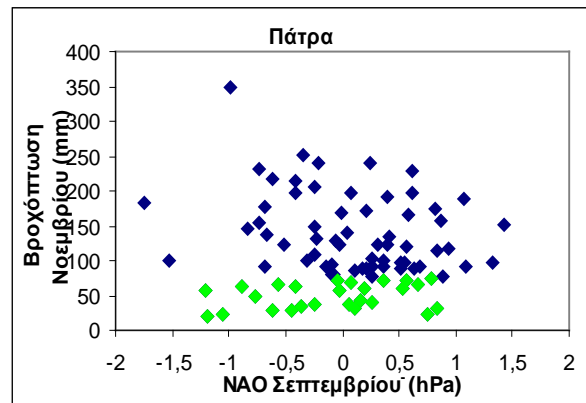
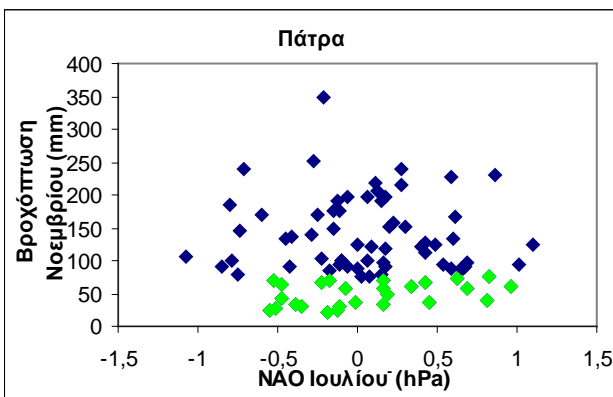
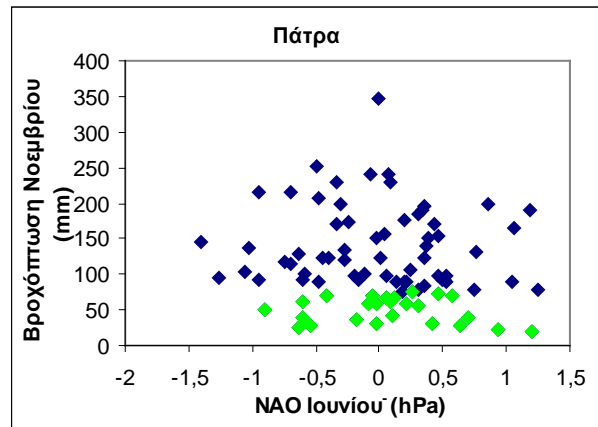
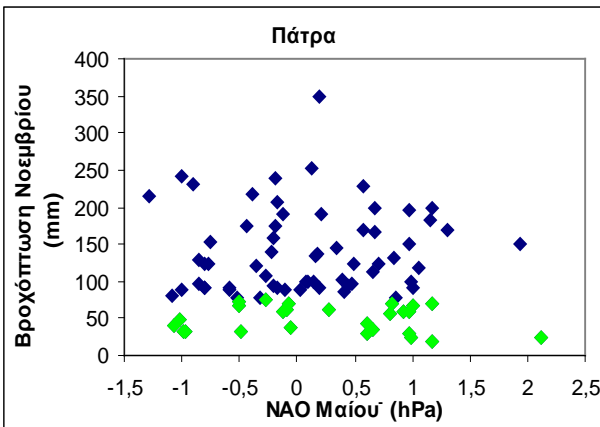


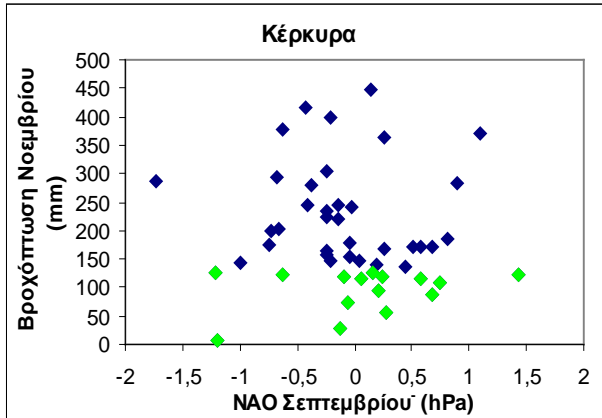
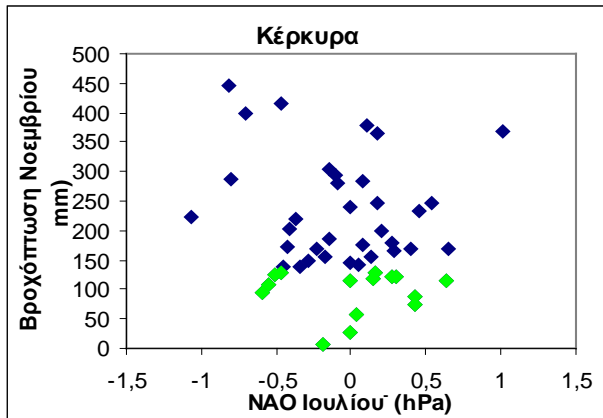
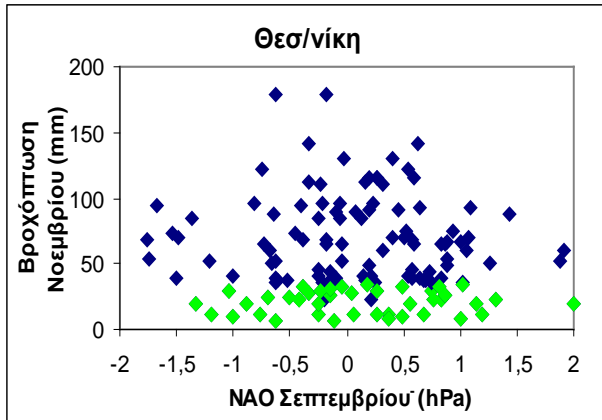
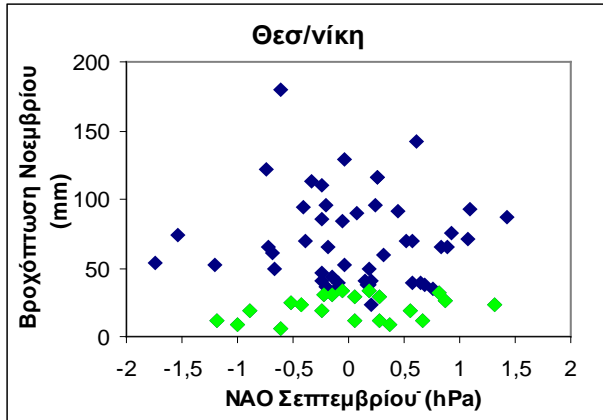
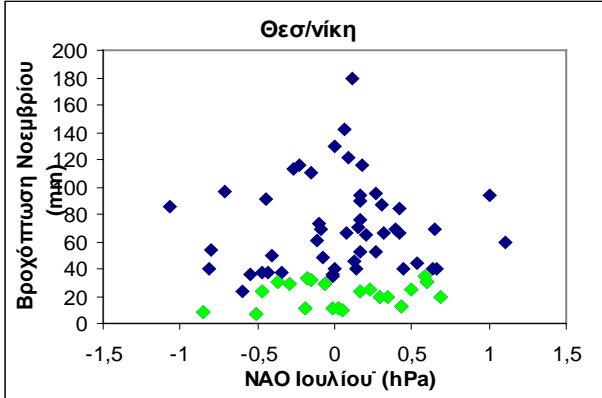
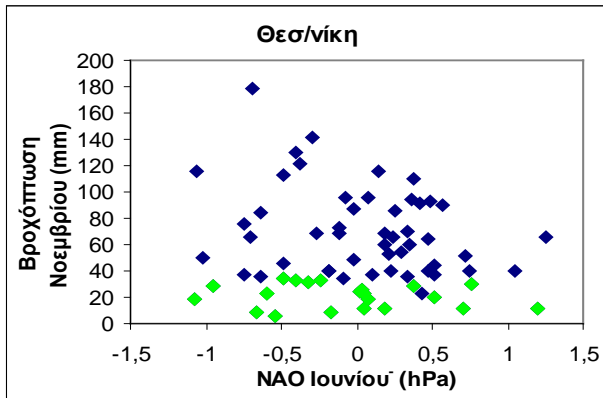
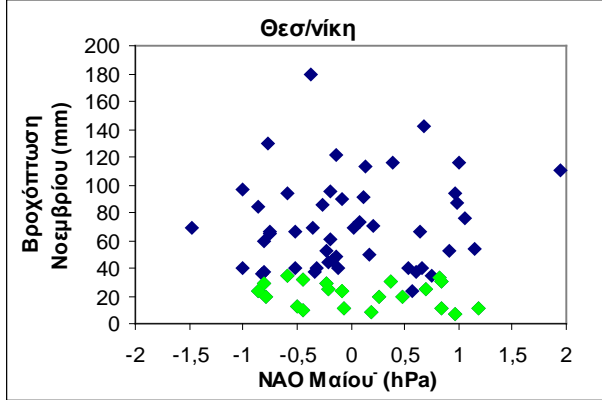
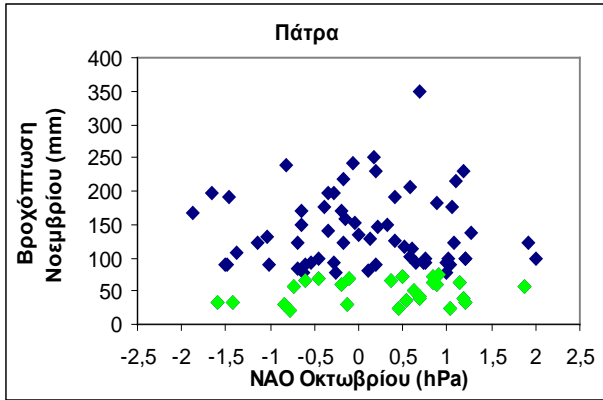


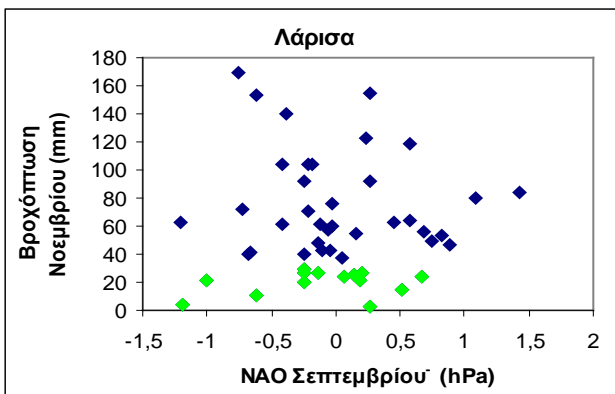
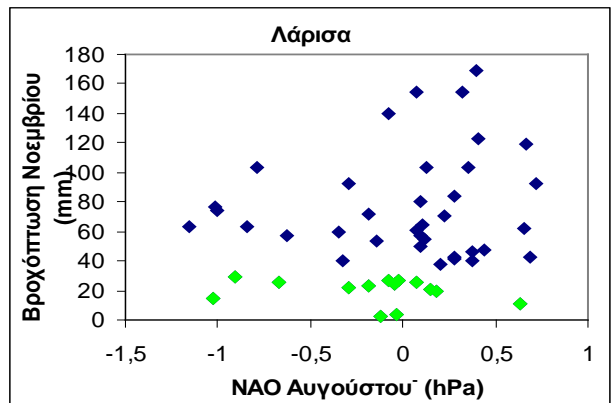
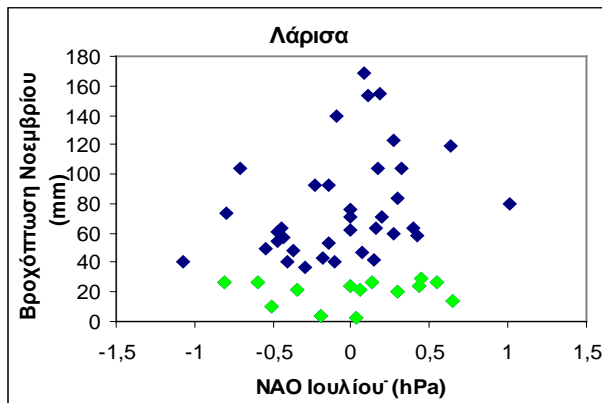
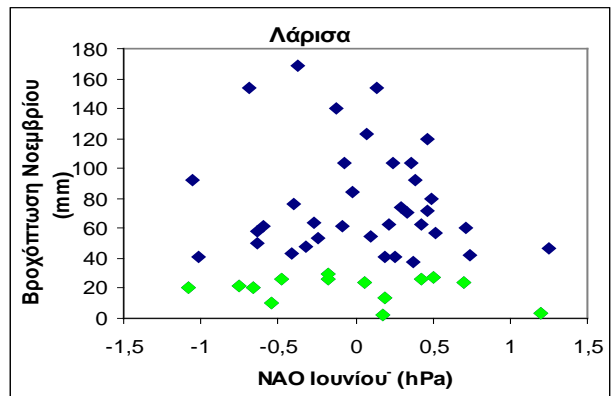
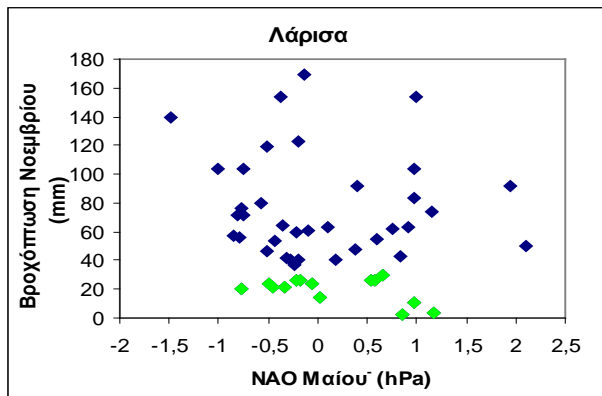
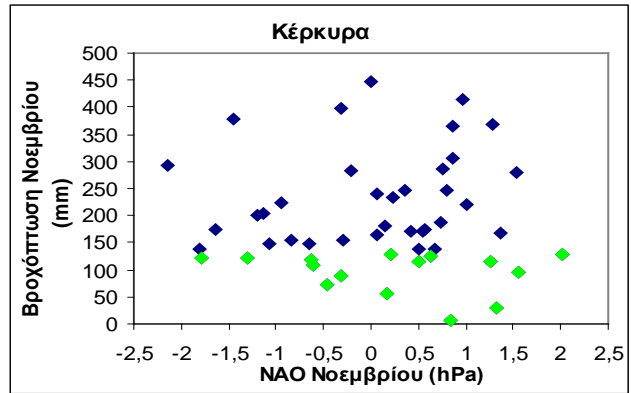
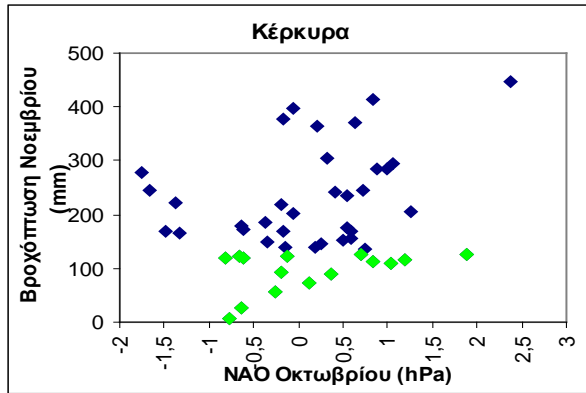




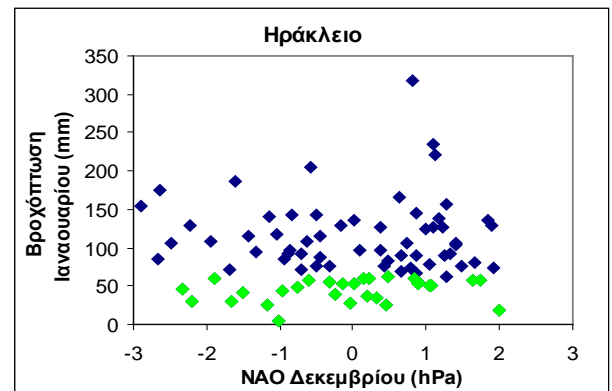
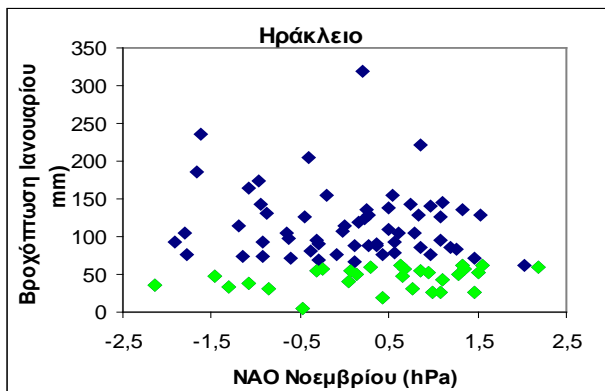
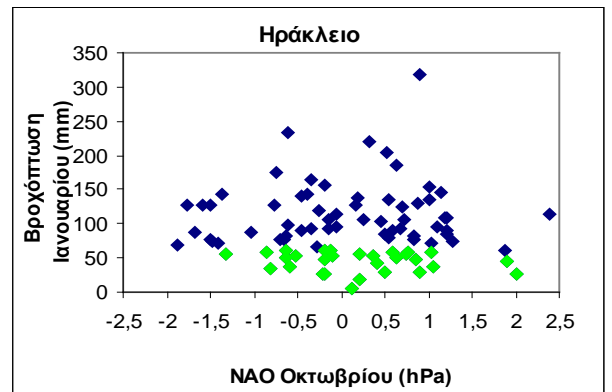
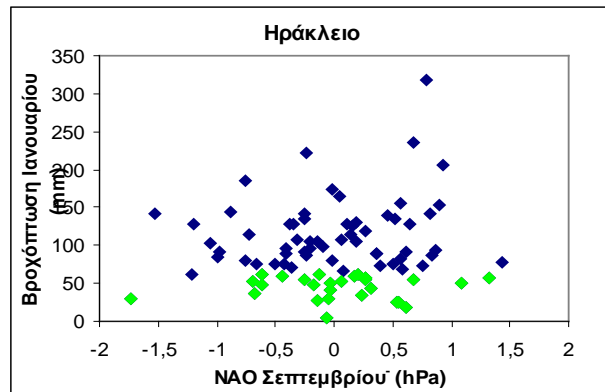
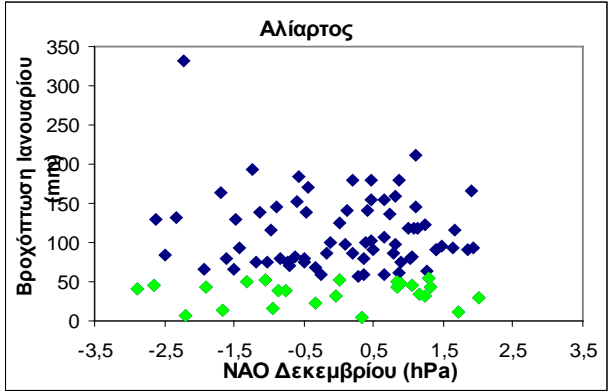
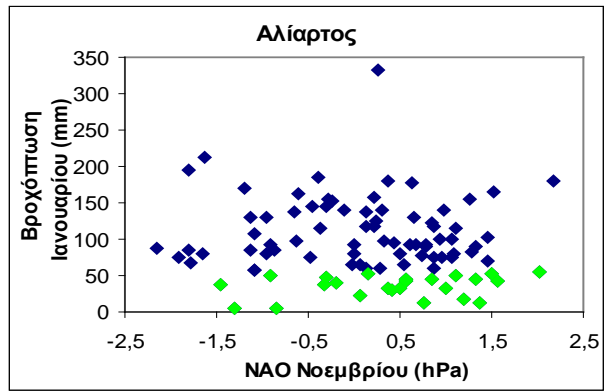
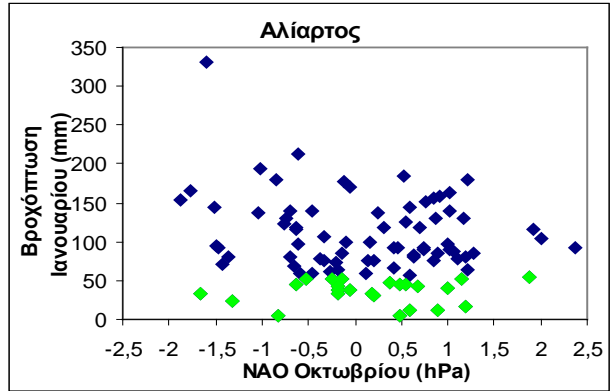
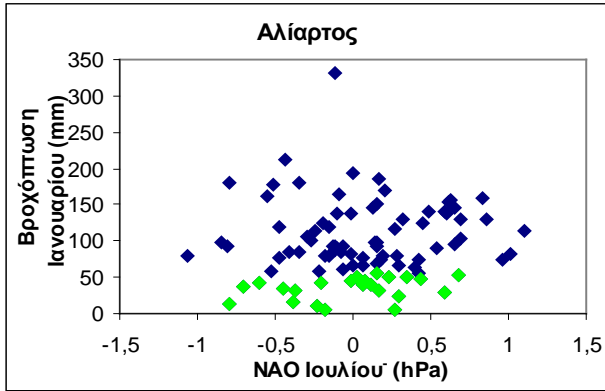
Σχήμα Γ.1: Βροχόπτωση Δεκεμβρίου και NAO των προηγούμενων μηνών του ίδιου ή του προηγούμενου υδρολογικού έτους για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Δεκέμβριο (πράσινο).

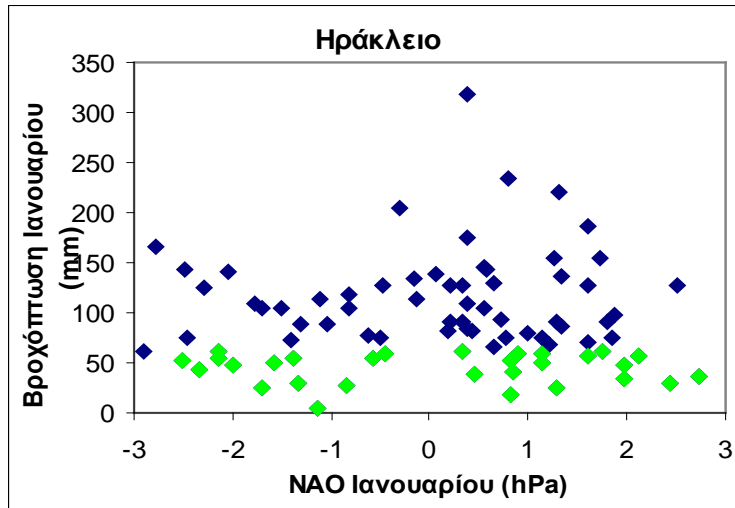






Σχήμα Γ.2: Βροχόπτωση Νοεμβρίου και NAO των προηγούμενων μηνών για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Νοέμβριο (πράσινο).





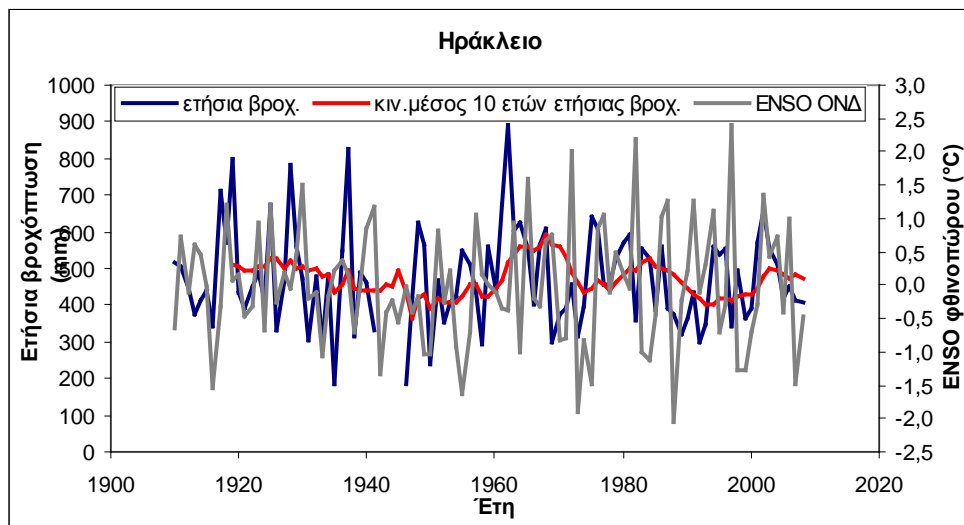
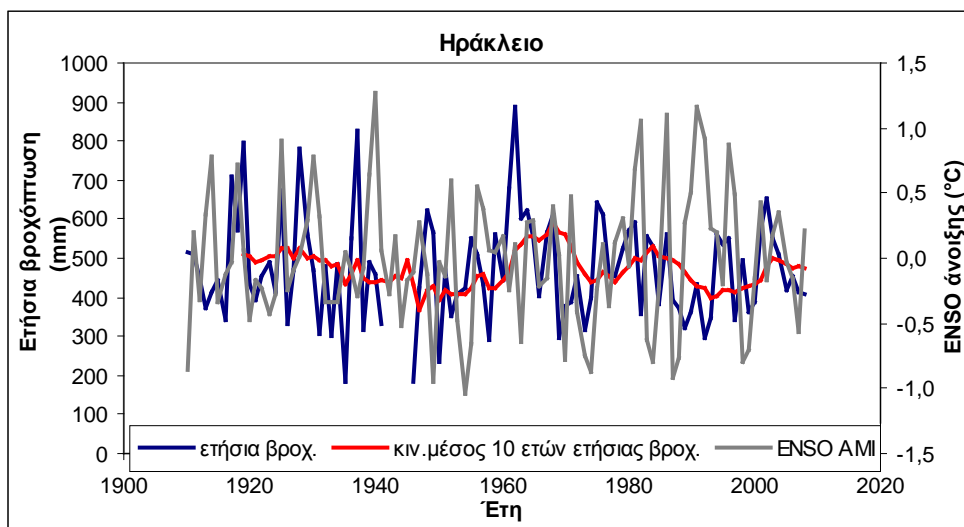
Σχήμα Γ.3: Βροχόπτωση Ιανουαρίου και NAO προηγούμενων μηνών για όλα τα έτη (μπλε) και για έτη με ξηρό Ιανουαρίου (πράσινο).

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ**

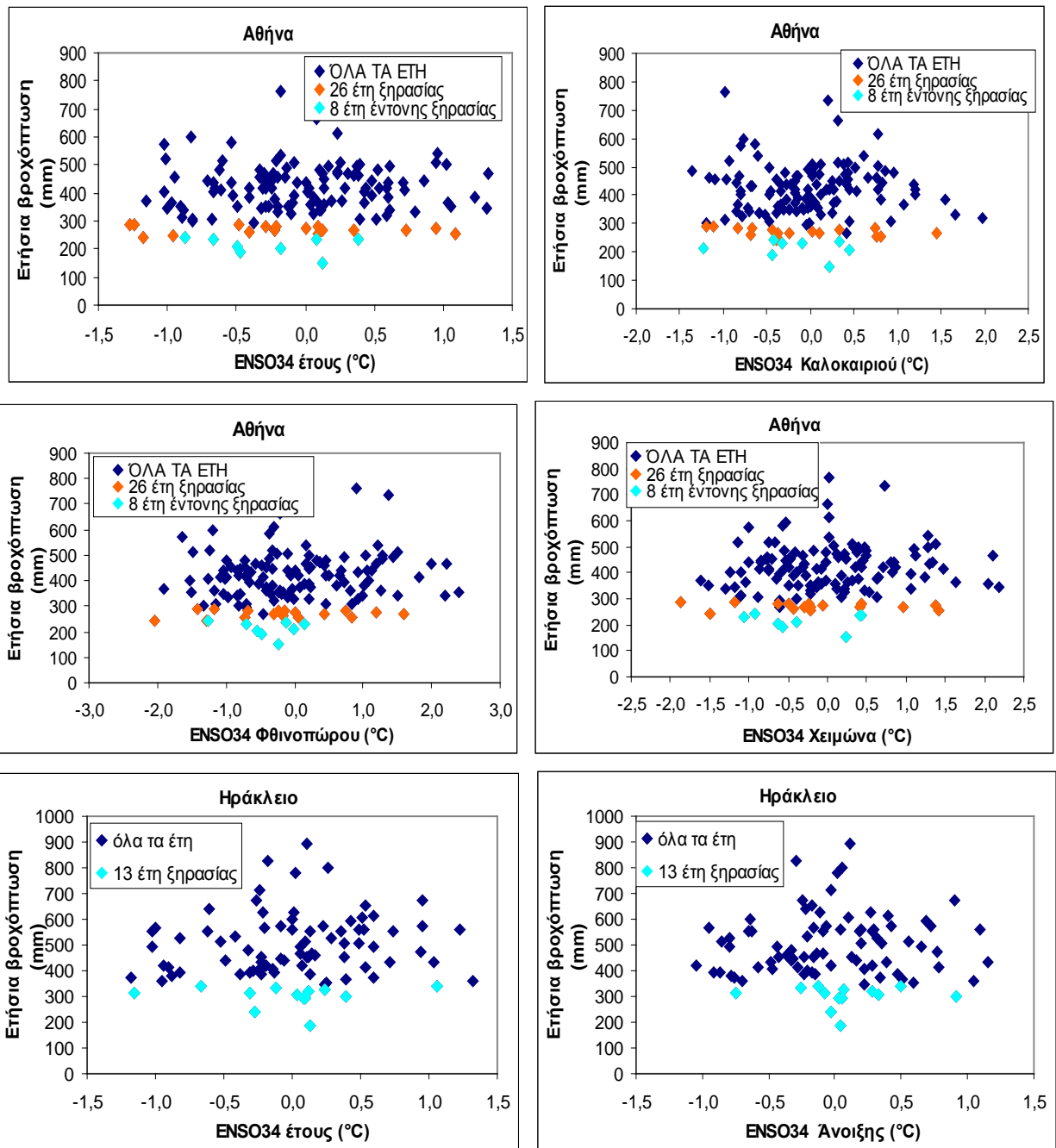
### **ENSO-ΕΤΗΣΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ**

Στο Παράρτημα Δ περιλαμβάνονται όλα τα διαγράμματα ENSO-ετήσιας βροχόπτωσης για όλους τους σταθμούς, τα οποία δεν απεικονίζονται στο κυρίως σώμα της εργασίας.





Σχήμα Δ.2: Ετήσια βροχόπτωση και εποχιακοί ENSO συναρτήσεις του υδρολογικού έτους.

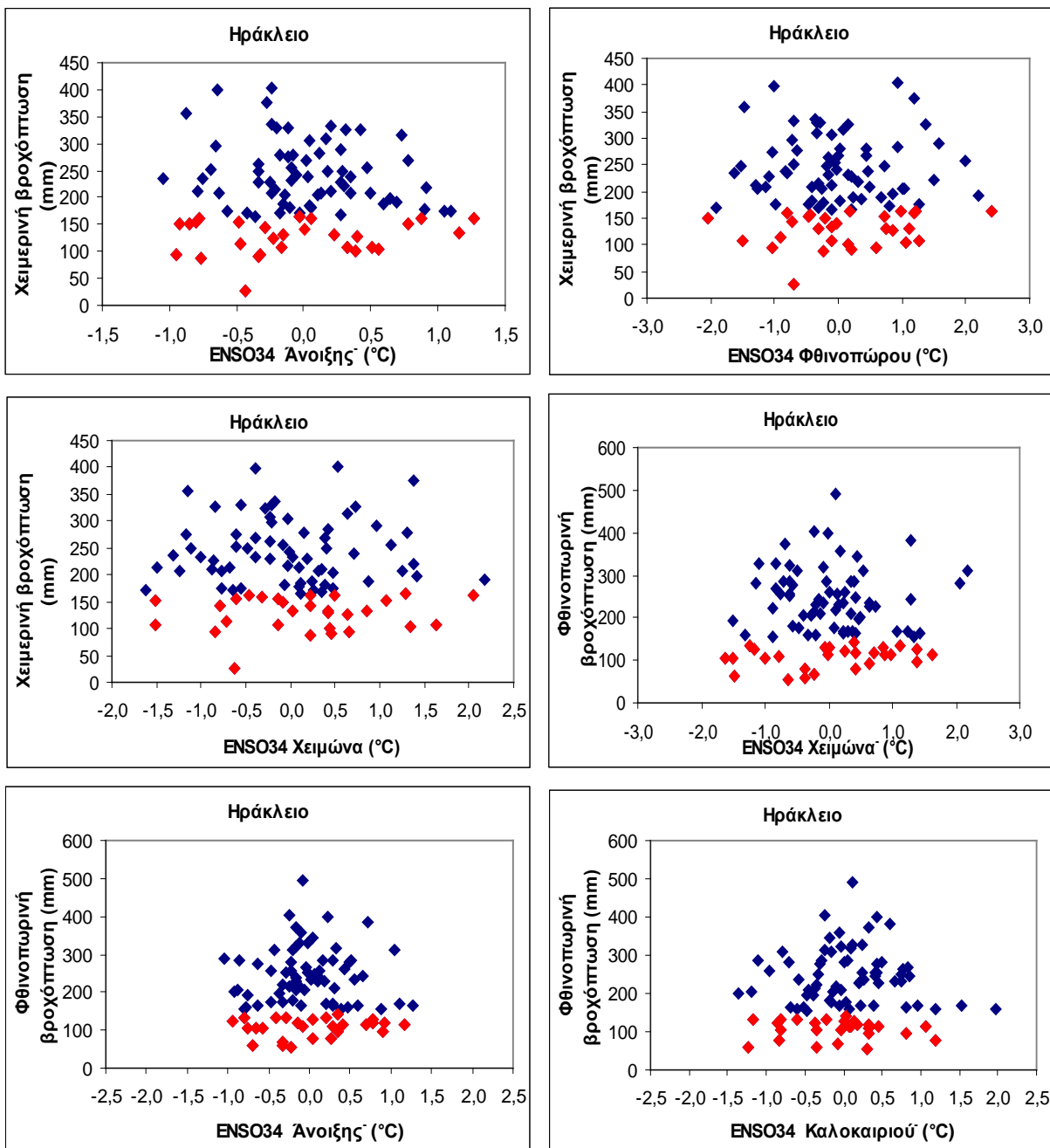


Σχήμα Δ.3: Ετήσια βροχόπτωση και ENSO έτους και των εποχών του ίδιου υδρολογικού έτους.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε**

### **ENSO-ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ**

Στο Παράρτημα Ε παρουσιάζονται όλα τα διαγράμματα ENSO-χειμερινής και φθινοπωρινής βροχόπτωσης, τα οποία δεν απεικονίζονται στο κυρίως σώμα της εργασίας.

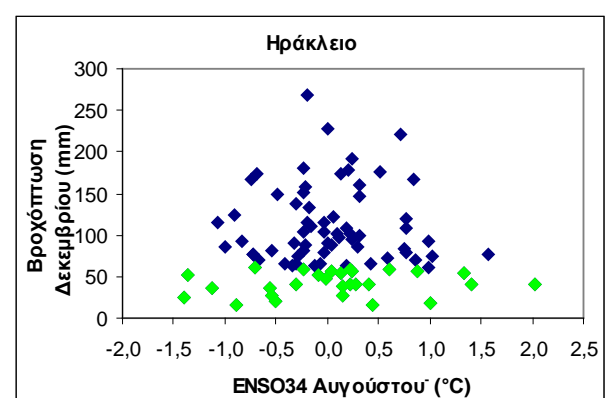
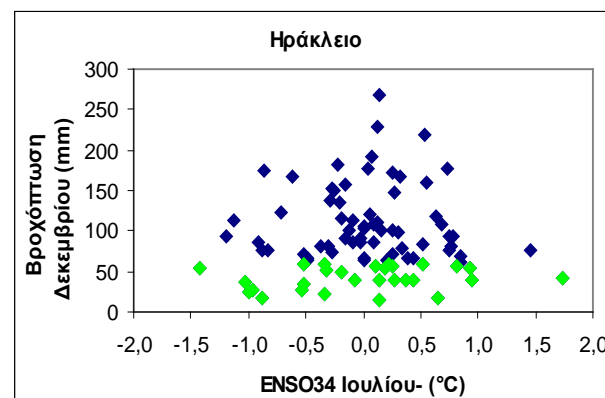
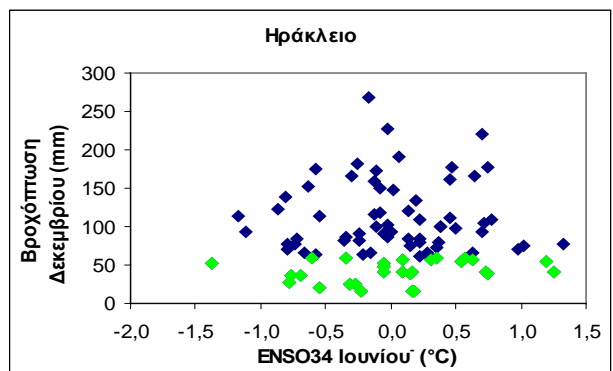
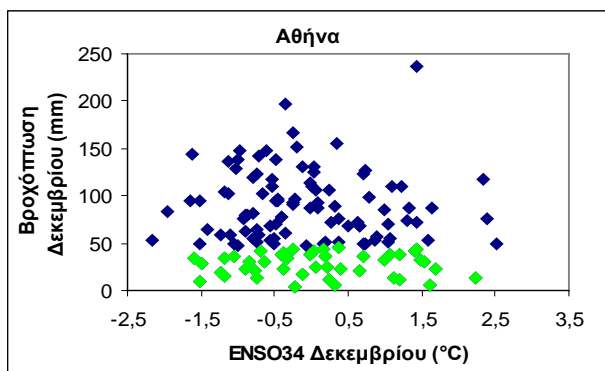
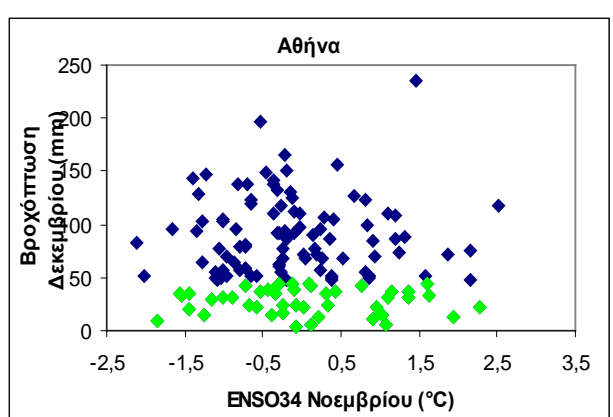
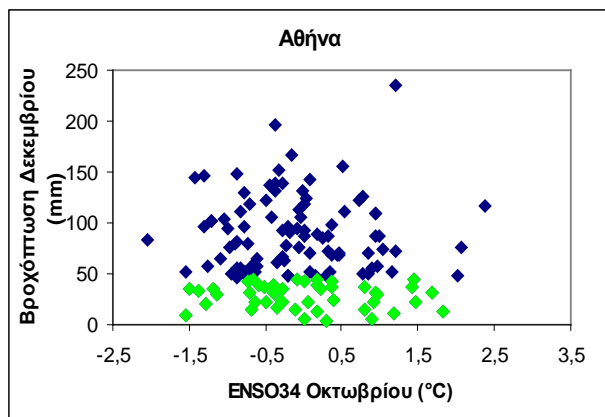
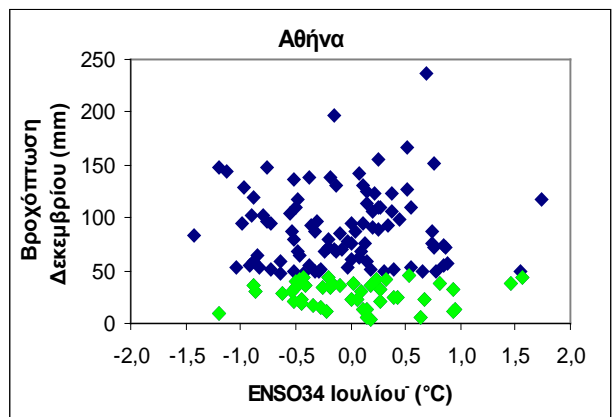
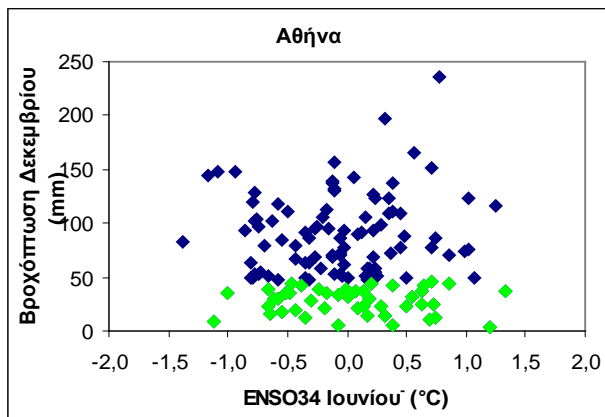


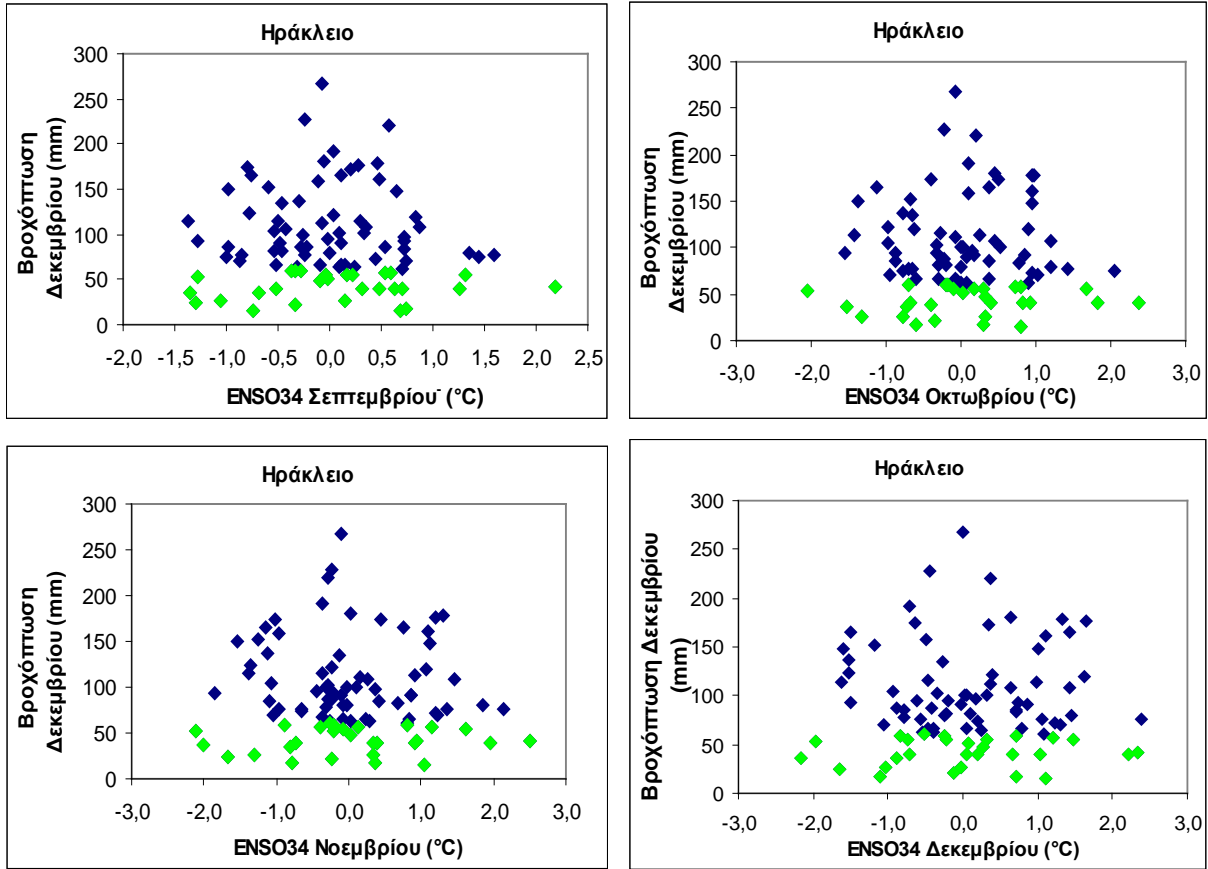
Σχήμα Ε.1: Φθινοπωρινή και χειμερινή βροχόπτωση και ENSO των προηγούμενων εποχών για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό φθινόπωρο ή χειμώνα (κόκκινο).

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ**

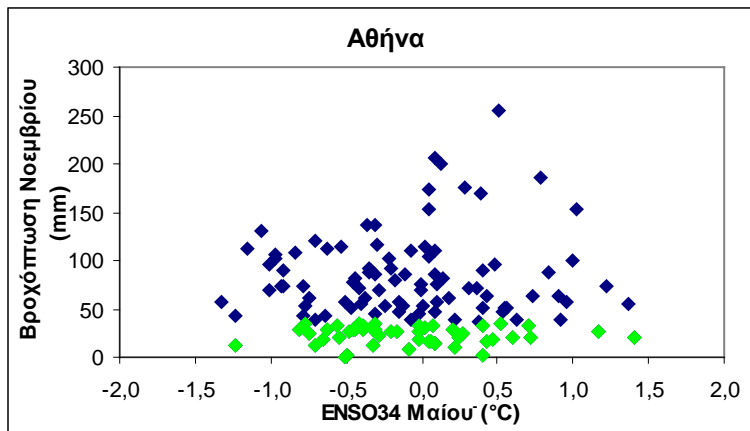
### **ENSO-ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ**

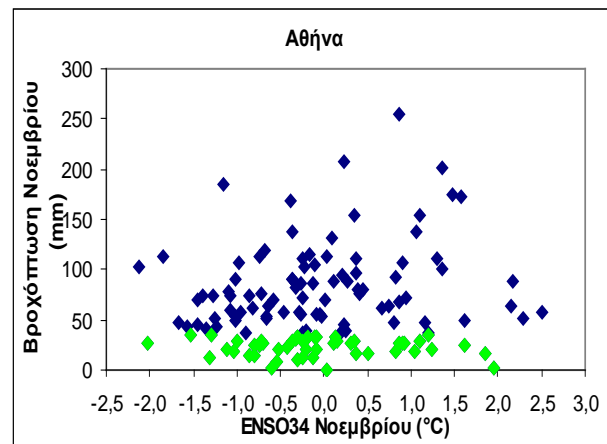
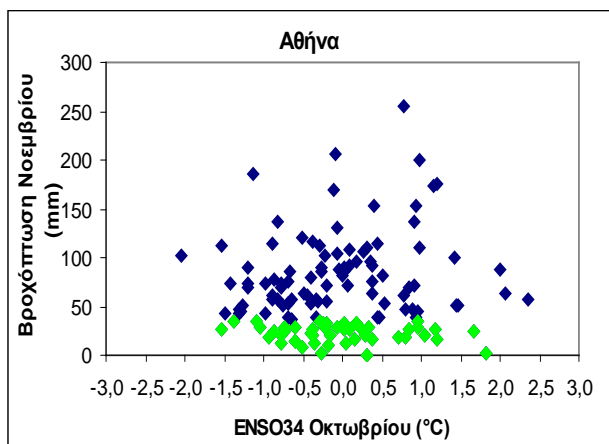
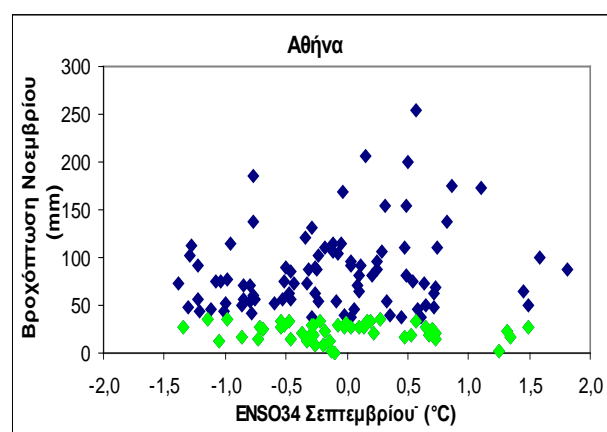
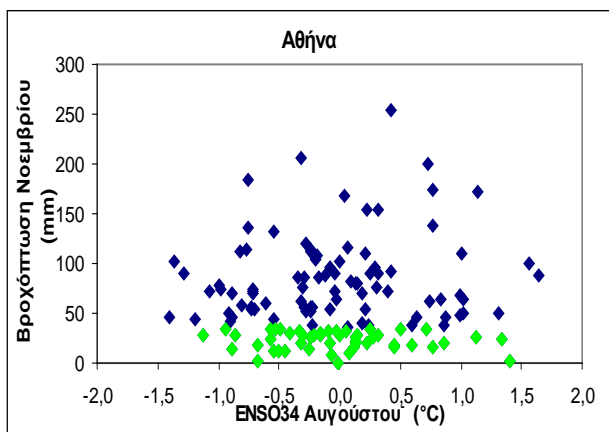
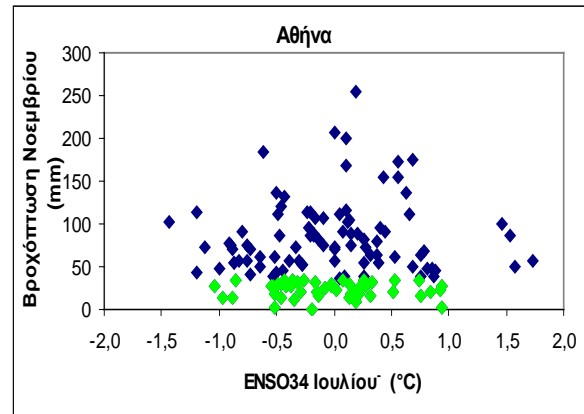
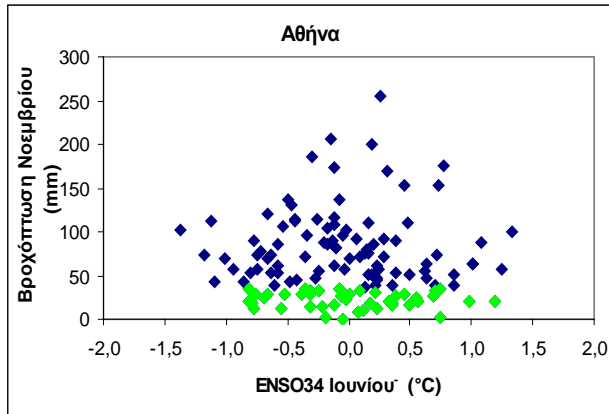
Το Παράρτημα ΣΤ περιλαμβάνει τα διαγράμματα ENSO-βροχόπτωσης Νοεμβρίου/Δεκεμβρίου/Ιανουαρίου, τα οποία δεν απεικονίζονται στο κυρίως σώμα της εργασίας.





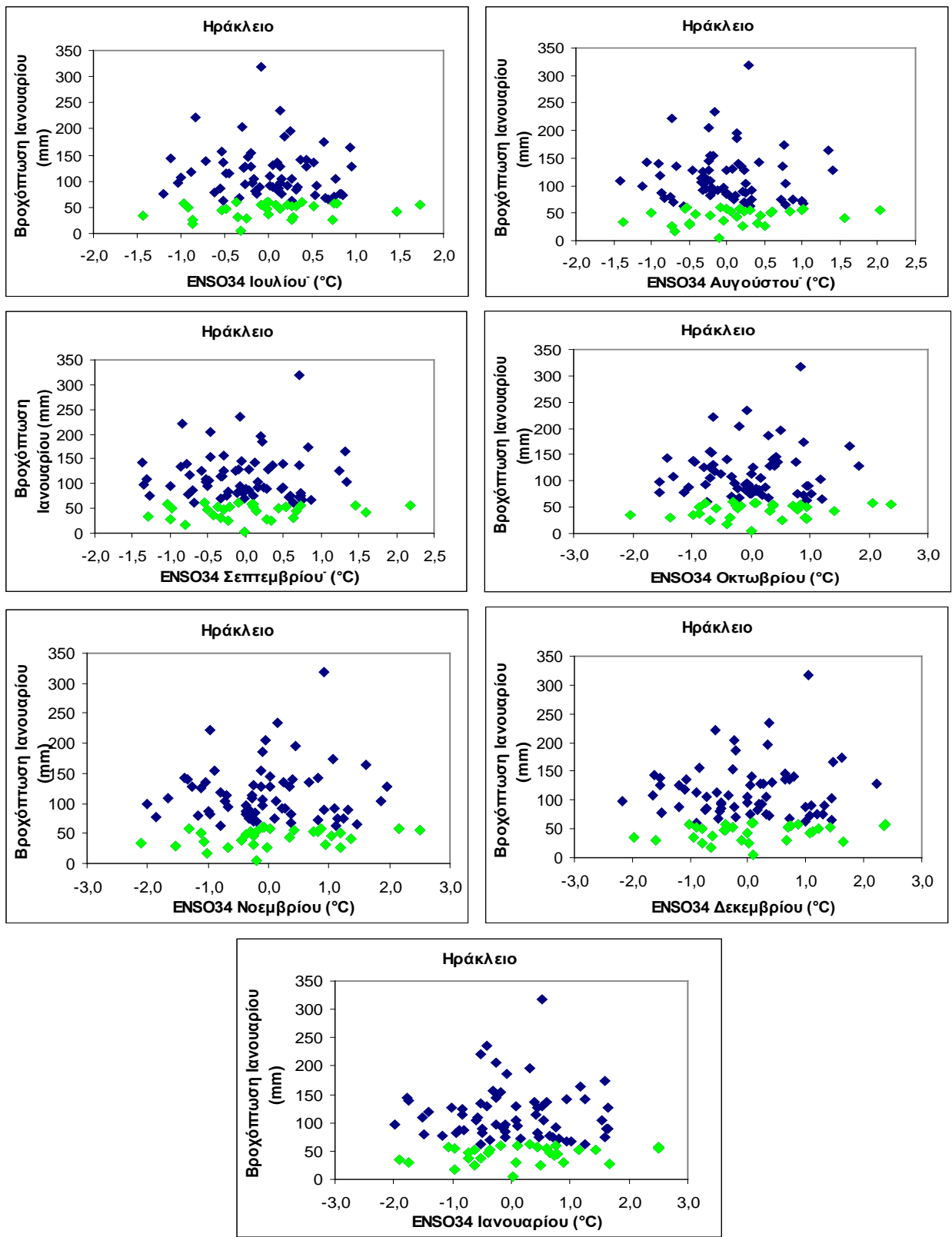
Σχήμα ΣΤ.1: Βροχόπτωση Δεκεμβρίου και ENSO του ίδιου και των προηγούμενων μηνών για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Δεκέμβριο (πράσινο).





Σχήμα ΣΤ.2: Βροχόπτωση Νοεμβρίου και ENSO του ίδιου και των προηγούμενων μηνών για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Νοέμβριο (πράσινο).





Σχήμα ΣΤ.4: : Βροχόπτωση Ιανουαρίου και ENSO του ίδιου και των προηγούμενων μηνών για όλα τα έτη (μπλε) και για τα έτη με ξηρό Ιανουάριο (πράσινο).





