



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Διπλωματική εργασία**  
**« Ανάλυση υδρομετεωρολογικών δεδομένων**  
**στην περιοχή Τυμπακίου »**

**ΚΟΥΤΡΙΜΠΑΝΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ**

**A.M.:2013050035**

**Επιβλέπων: Τρύφων Δάρας**

**Χανιά 2020**

**Τριμελής εξεταστική επιτροπή**

**Δάρας Τρύφων**

**Μανουσάκης Αντώνης**

**Βαρουχάκης Μανώλης**

"Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η 1 Στο εξώφυλλο δίνεται η δυνατότητα στον συγγραφέα να βάλει επιπλέον του τίτλου μια φωτογραφία/ή διάγραμμα ή σκίτσο (graphical abstract). Με διαστάσεις έως 5x5 cm. Δείτε υπόδειγμα 2. -2- ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης"

## Περίληψη

Το Τυμπάκι και η γύρω από αυτό περιοχή είναι ιδιαίτερης ιστορικής, πολιτιστικής αλλά και γεωργικής σημασίας. Από ιστορικής άποψης βρίσκεται κοντά στην αρχαία Φαιστό. Από γεωργικής, λόγω επενδύσεων σε θερμοκήπια, νωπά κηπευτικά προϊόντα παράγονται σε μεγάλες ποσότητες και εξάγονται. Ακόμα, από γεωργικής τουλάχιστον άποψης, μετεωρολογικοί και υδρολογικοί παράγοντες είναι μείζονος σπουδαιότητας. Στην εργασία αυτή, ασχολούμαστε τόσο με μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής (θερμοκρασίας, υγρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας, ταχύτητας ανέμου, βροχόπτωσης) όσο και υδρολογικά (αγωγιμότητας νερού, ύψους στάθμης νερού κ.α). Προσπαθούμε να αναλύσουμε το καθένα από αυτά αρχικά σαν χρονοσειρά, κατόπιν να κάνουμε προβλέψεις και τέλος θέλουμε να δούμε αν υπάρχουν τυχόν συσχετίσεις ανάμεσά τους. Επιπλέον, γίνεται σύγκριση των δεδομένων της περιοχής του Τυμπακίου με την περιοχή της Σούδας (Χανιά).

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο, δίνεται μια σύντομη περιγραφή της περιοχής του Τυμπακίου Κρήτης (γεωγραφικά, ιστορικά, πολιτιστικά κ.λ.π). Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο, δίνονται μερικά βασικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας και του καιρού. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται μετεωρολογικές παράμετροι όπως θερμοκρασία, βροχόπτωση, υγρασία κ.λ.π. Στο τέταρτο δίνονται πληροφορίες για γεωλογικές και υδρολογικές παραμέτρους όπως αγωγιμότητα, στάθμη νερού κ.α. Στο πέμπτο κεφάλαιο της περιγράφονται τα χαρακτηριστικά μιας χρονοσειράς δεδομένων (τάση, περιοδικότητα, κύκλος, τυχαίες κυμάνσεις) και δίνονται μέθοδοι πρόβλεψης χρονοσειρών (διάσπαση χρονοσειράς και εξομάλυνση).

Στο έκτο και έβδομο κεφάλαιο αντίστοιχα δίνονται τ' αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων μας για την περιοχή του Τυμπακίου αναφορικά με μετεωρολογικές και υδρολογικές μεταβλητές. Τέλος, εξετάζονται συσχετίσεις των δεδομένων του Τυμπακίου με την περιοχή της Σούδας (Χανιά). Τέλος, στο όγδοο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας.

## Abstract

Tympaki and the surrounding area are of special historical, cultural and agricultural interest. From a historical point of view it is located near ancient Phaistos. From agriculture, due to investments in greenhouses, fresh vegetables are produced in large quantities and exported. Meteorological and hydrological factors are of major importance for the region as they affect both local production and the economy. In this work, we deal with both meteorological data of the area (temperature, humidity, solar radiation, wind speed, rainfall) and hydrological (water conductivity, water level, etc.). We try to analyze each of these variables first as a time series, then make predictions and finally we examine if there are any correlations between them. In addition, the data of the area of Tympaki is compared with data from the area of Souda (Chania). More precisely, in the first chapter, a brief description of the area of Tympaki, Crete (geographical, historical, cultural, etc.) is given. Then, in the second chapter, some basic characteristics of atmosphere and weather are being noted. The third chapter describes meteorological parameters such as temperature, rainfall, humidity, etc. The fourth provides information on geological and hydrological parameters such as conductivity, water level, etc. The fifth chapter gives the characteristics of a time series (trend, periodicity, cycle, random fluctuations) and time series prediction methods (time series decomposition and smoothing). The sixth and seventh chapter, respectively, give the results of the statistical analysis of our data for the region of Tympaki regarding meteorological and hydrological variables. Also, correlations of the data of Tympaki area with those from the area of Souda (Chania) are examined. Finally, in the eighth chapter the conclusions of the thesis are given.

# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Abstract.....	4
Ευρετήριο εικόνων.....	9
Κεφάλαιο 1: .....	11
1.1 Κρήτη.....	11
1.2 Τυμπάκι.....	11
1.2.1 Οικονομία της περιοχής.....	12
1.2.2 Ιστορική αναφορά και προέλευση της ονομασίας.....	16
Κεφάλαιο 2. Ατμόσφαιρα – Καιρός και χαρακτηριστικά τους .....	17
2.1 Ατμόσφαιρα .....	17
2.1.1 Τι ονομάζουμε ατμόσφαιρα .....	17
2.1.2 Σύσταση της ατμόσφαιρας .....	17
2.1.3 Ισορροπία ατμοσφαιρικών αερίων.....	17
2.2 Ύψος και στρωμάτωση της ατμόσφαιρας .....	18
2.4 Στρατόσφαιρα .....	20
2.5 Μεσόσφαιρα.....	21
2.6 Θερμόσφαιρα .....	21
2.7 Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (ΑΟΣ).....	22
2.7.1 Ορισμός.....	22
2.7.2 Χαρακτηριστικά του ΑΟΣ .....	22
2.7.3 Στρωμάτωση του ΑΟΣ .....	22
Κεφάλαιο 3: Μετεωρολογικές Παράμετροι .....	24
3.1 Θερμοκρασία .....	24
3.1.1 Ορισμός.....	24
3.1.2 Μονάδες και όργανα μέτρησης.....	24
3.1.3 Παράμετροι που διαμορφώνουν τη θερμοκρασία .....	25
3.2 Άνεμος.....	26
3.2.1 Ορισμός.....	26
3.2.2 Χαρακτηριστικές παράμετροι ανέμου .....	26
3.2.3 Κατηγοριοποίηση/Ταξινόμηση Ανέμου.....	28
3.2.4 Όργανα μέτρησης .....	28
3.3 Ατμοσφαιρική πίεση .....	30

3.3.1 Ορισμός.....	30
3.3.2 Όργανα και μονάδες μέτρησης .....	30
3.3.3 Βαροβαθμίδα-Ισοβαρείς Καμπύλες.....	31
3.4 Υγρομετρικές Παράμετροι.....	32
3.4.1 Γενικά .....	32
3.4.2 Τάση υδρατμών ( $e_s$ ) και ( $e$ ).....	32
Η τάση των υδρατμών, ως όρος, αναφέρεται στη μερική πίεση που ασκούν οι υδρατμοί μέσα στον αέρα. Το σύμβολο ( $e_s$ ) αναφέρεται στους «κορεσμένους υδρατμούς (μέγιστη τάση των υδρατμών) και το σύμβολο $e$ στους «ακόρεστους» υδρατμούς. ....	32
3.4.3 Απόλυτη Υγρασία ( $p_v$ ) .....	33
3.4.4 Σχετική Υγρασία (RH) .....	33
3.5 Ηλιακή ακτινοβολία .....	34
3.5.1 Ορισμός και σημασία.....	34
3.5.2 Ένταση και ηλιακή σταθερά .....	34
3.5.3 Όργανα μέτρησης .....	35
3.5.4 Κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και ενεργειακό ισοζύγιο .....	36
3.6 Εξάτμιση κ εξατμισοδιαπνοή .....	38
3.6.1 Γενικά .....	38
3.6.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή .....	38
3.6.3 Μέθοδοι εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής .....	39
1. Μέθοδοι άμεσης εκτίμησης: .....	39
2. Μέθοδοι έμμεσης εκτίμησης: .....	39
3.7 Βροχόπτωση.....	40
3.7.1 Παράγοντες που προκαλούν βροχοπτώσεις .....	40
3.7.2 Μέτρηση και κατηγοριοποίηση βροχοπτώσεων.....	41
Κεφάλαιο 4: Γεωλογικές /Υδρολογικές πληροφορίες .....	42
4.1 Γεωλογική δομή του υπεδάφους της περιοχής.....	42
4.2 Υδρολογία της περιοχής .....	44
4.3 Υφαλμύριση .....	46
4.3.1 Επεξήγηση του φαινομένου .....	46
4.3.2 Αίτια υφαλμύρισης .....	47
4.3.3 Επιπτώσεις της υφαλμύρισης.....	48
Κεφάλαιο 5: Θεωρία ανάλυσης Χρονολογικών Σειρών .....	49
5.1 Χρονολογική σειρά.....	49

5.1.1 Χρονολογική σειρά και προβλέψεις .....	49
5.2 Προβλέψεις.....	50
5.2.1 Στάδια διαδικασίας πρόβλεψης .....	50
5.2.2 Μέθοδοι προβλέψεων.....	51
5.2.3 Υποδείγματα χρονολογικών σειρών .....	52
5.2.4 Μέθοδοι εκτίμησης σφάλματος πρόβλεψης.....	52
5.3 Μέθοδοι ανάλυσης χρονολογικών .....	53
5.3.1 Προβλέψεις με ανάλυση χρονολογικών σειρών .....	53
5.3.2 Χαρακτηριστικά χρονολογικής σειράς.....	54
5.3.3 Μέθοδοι εξομάλυνσης.....	55
Κεφάλαιο 6: Ανάλυση Μετεωρολογικών Δεδομένων .....	58
6.1 Βαρομετρική πίεση .....	58
Περιγραφική Στατιστική: Barometric Pressure (AVG) .....	58
6.2 Θερμοκρασία .....	59
6.2.1 Περιγραφική Στατιστική: Temperature (AVG).....	59
6.2.2 Διάσπαση της χρονοσειράς της θερμοκρασίας.....	60
6.2.3 Μέθοδος εξομάλυνσης Winters .....	62
6.2.4 Συσχέτιση Μεταβλητών .....	64
6.3 Ηλιακή ακτινοβολία .....	66
6.3.1 Περιγραφική Στατιστική: Solar irradiance .....	66
6.3.2 Διάσπαση χρονοσειράς της ηλιακής ακτινοβολίας.....	66
6.3.3 Μέθοδος εξομάλυνσης Winters .....	68
6.3.4 Συσχέτιση Μεταβλητών .....	69
6.4 Σχετική υγρασία .....	70
6.4.1 Περιγραφική Στατιστική: Relative Humidity (AVG) .....	70
6.4.2 Διάσπαση της χρονοσειράς της σχετικής υγρασίας .....	70
6.4.3 Μέθοδος εξομάλυνσης Winters .....	73
6.4.4 Συσχέτιση Μεταβλητών .....	73
6.5 Ταχύτητα ανέμου .....	78
6.5.1 Περιγραφική Στατιστική: Wind speed (AVG) .....	78
6.5.2 Διάσπαση της χρονοσειράς της ταχύτητας του ανέμου.....	79
6.5.3 Συσχέτιση Μεταβλητών .....	80
6.6 Ύψος Βροχόπτωσης.....	82

6.6.1 Περιγραφική Στατιστική: Precipitation (SUM).....	82
6.6.2 Διάσπαση της χρονοσειράς της βροχόπτωσης.....	82
6.6.3 Συσχέτιση Μεταβλητών.....	83
6.7 Διάρκεια βροχόπτωσης.....	86
6.7.1 Περιγραφική Στατιστική: Rain duration.....	86
6.7.2 Συσχέτιση Μεταβλητών.....	86
6.8 Σύγκριση μετεωρολογικών δεδομένων περιοχών Σούδας, Τυμπακίου.....	89
6.8.1 Σύγκριση θερμοκρασίας.....	89
6.8.2 Σύγκριση βροχόπτωσης.....	90
6.8.3 Σύγκριση υγρασίας.....	92
Κεφάλαιο 7: Ανάλυση Υδρολογικών Δεδομένων.....	94
7.1 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Υπόγειου Ύδατος.....	94
7.1.1 Περιγραφική Στατιστική: Conductivity.....	94
7.1.2 Συσχέτιση Μεταβλητών.....	95
7.2 Στάθμη Υπόγειου Ύδατος.....	98
7.2.1 Συσχέτιση Μεταβλητών.....	99
Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα.....	101
8.1 Μετεωρολογικοί παράγοντες.....	101
8.2 Σύγκριση μετεωρολογικών δεδομένων περιοχών Σούδας, Τυμπακίου.....	103
(I) Σύγκριση θερμοκρασίας.....	103
(II) Σύγκριση βροχόπτωσης.....	103
(III) Σύγκριση υγρασίας.....	103
8.3 Υδρολογικά δεδομένα.....	104
Βιβλιογραφία.....	105
Βιβλία/ Σημειώσεις.....	105
Διαδικτυακές πηγές.....	106



## **Ευρετήριο εικόνων**

Εικόνα 1.1: Αεροφωτογραφία της πόλης του Τυμπακίου.....	12
Εικόνα 1.2: Χάρτης χρήσεων Γης της πόλης του Τυμπακίου.....	13
Εικόνα 1.3: Χάρτης χρήσεων Γης της ευρύτερης περιοχής.....	13
Εικόνα 1.4: Παραλία Κόμμου.....	14
Εικόνα 1.5: Σπηλιές παραλίας Ματάλων.....	15
Εικόνα 1.6: Αρχαιολογικός χώρος Φαιστού.....	15
Εικόνα 2.1: Υψομετρική διαίρεση της ατμόσφαιρας.....	19
Εικόνα 2.2: Στρωμάτωση του ΑΟΣ.....	23
Εικόνα 3.1: Κλωβός προστασίας του αισθητήρα θερμοκρασίας αέρα.....	24
Εικόνα 3.2: Ανεμορόμβιο με τις 16 βασικές διευθύνσεις των ανέμων.....	26
Εικόνα 3.3: Ταχύτητα του ανέμου σύμφωνα με την κλίμακα Beaufort.....	27
Εικόνα 3.4: Κλίμακες μεγέθους της ατμοσφαιρικής κίνησης και μέση διάρκειά τους.....	28
Εικόνα 3.5: Κυπελλοφόρο ανεμόμετρο.....	29
Εικόνα 3.6: Σύστημα με ανεμόμετρο υπερήχων και αναλυτή αερίων.....	29
Εικόνα 3.7: Ραντάρ Doppler.....	30
Εικόνα 3.8 : Μεταλλικός βαρογράφος.....	31
Εικόνα 3.9: Βαρόμετρο υδραργύρου.....	31
Εικόνα 3.10: Μετεωρολογικός Δορυφόρος.....	35
Εικόνα 3.11: Πυρανόμετρο.....	35
Εικόνα 3.12: Σχηματική απεικόνιση ημερήσιου κύκλου ισοζυγίου ενέργειας.....	36
Εικόνα 3.13: Σχηματική αναπαράσταση ενεργειακού ισοζυγίου της Γης.....	37
Εικόνα 3.14: Χωρική κατανομή του μέσου ετήσιου ισοζυγίου ακτινοβολίας.....	37
Εικόνα 3.15: Λυσίμετρο.....	39
Εικόνα 4.1: Γεωλογικός χάρτης Τυμπακίου και της ευρύτερης περιοχής,(κλίμακα 1:150000, ΙΓΜΕ).....	43
Εικόνα 4.2: Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης της Μεσσαράς.....	43

Εικόνα 4.3: Υπόμνημα Χάρτη.....	44
Εικόνα 4.4: Φράγμα στη λίμνη Φανερωμένης.....	45
Εικόνα 4.5: Χάρτης υπογείων υδάτων Τυμπακίου και της ευρύτερης περιοχής.....	45
Εικόνα 4.6: Υδρολογικός χάρτης Τυμπακίου και της ευρύτερης περιοχής.....	46
Εικόνα 4.7: Μέτωπο υφαλμύρισης σε παράκτιους υδροφορείς α) Ελεύθερος υδροφορέας β) Περιορισμένος υδροφορέας.....	47
Εικόνα 5.1: Σχηματική απεικόνιση χαρακτηριστικών χρονολογικής σειράς.....	49
Εικόνα 5.2: Σχηματική απεικόνιση των χαρακτηριστικών χρονολογικής σειράς.....	54
Εικόνα 5.3: Σχηματική απεικόνιση χρονολογικής σειράς με την χρήση της μεθόδου του απλού κινητού μέσου.....	56
Εικόνα 5.4: Σχηματική απεικόνιση εκθετικής εξομάλυνσης χρονολογικής σειράς.....	57
Εικόνα 7.1: Πίνακας ποιότητας του νερού.....	95

# Κεφάλαιο 1:

## 1.1 Κρήτη

Η Κρήτη αποτελεί το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και ένα από τα μεγαλύτερα στη Μεσόγειο. Βρίσκεται στο νότιο τμήμα του Αιγαίου Πελάγους. Στα βόρεια περιβάλλεται από το Κρητικό Πέλαγος το οποίο τη χωρίζει από την ηπειρωτική χώρα. Περιβρέχεται, ανατολικά από το Καρπάθιο και νότια από το Λιβυκό Πέλαγος.

Το νησί, η έκταση του οποίου είναι περίπου 8336km<sup>2</sup>, έχει πρωτεύουσα την πόλη του Ηρακλείου ενώ ο πληθυσμός του ανέρχεται στα 634.930 άτομα σύμφωνα με την απογραφή της Eurostat του 2019. Διοικητικά, η περιφέρεια της Κρήτης χωρίζεται στους νομούς Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου και Λασιθίου. Σημαντικές πόλεις είναι τα Χανιά, το Ρέθυμνο, ο Άγιος Νικόλαος, η Σητεία και η Ιεράπετρα.

Όσον αφορά την οικονομία, η Περιφέρεια Κρήτης συμμετέχει στο Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν της χώρας σε ποσοστό της τάξεως του 5%. Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής, το έτος 2017 το ΑΕΠ της Κρήτης ανήλθε σε 9.095 εκατ. ευρώ και σε ποσοστό 5,04% του εθνικού ΑΕΠ (180.218 εκατ. ευρώ)

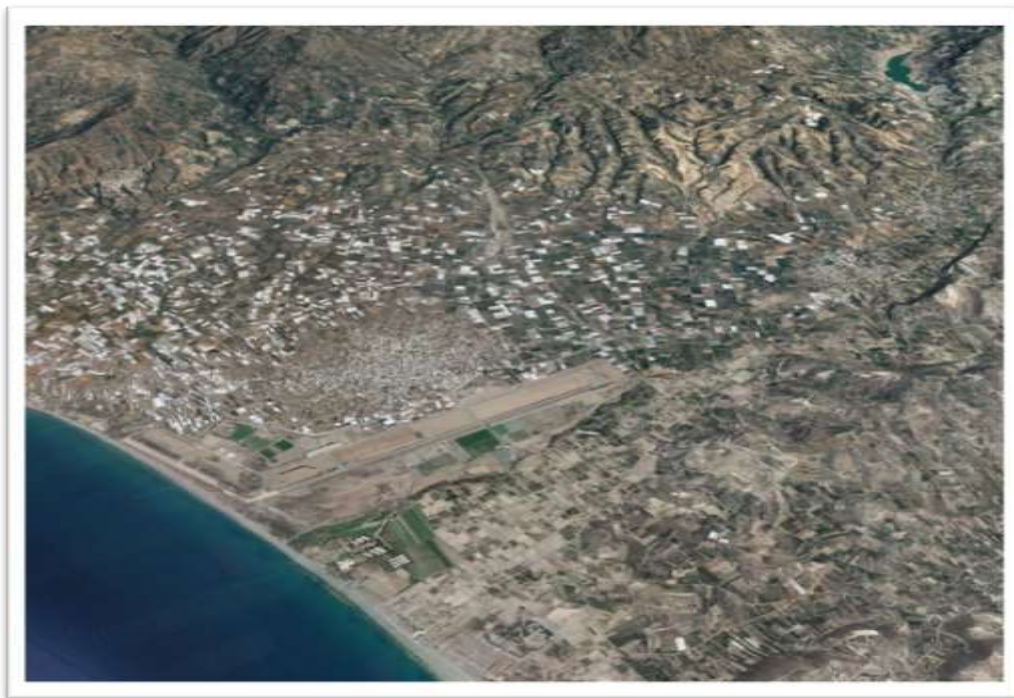
Την υψηλότερη συμμετοχή στο περιφερειακό ΑΕΠ με ποσοστό 47,96% έχει η Περιφερειακή Ενότητα Ηρακλείου, ενώ ακολουθεί η ΠΕ Χανίων με ποσοστό 25,68%. Σε πιο χαμηλά επίπεδα διαμορφώνεται η συμμετοχή των ΠΕ Ρεθύμνου (13,48%) και ΠΕ Λασιθίου (12,86%).

## 1.2 Τυμπάκι

Το Τυμπάκι είναι μικρή κωμόπολη, η οποία ανήκει στο νομό Ηρακλείου και βρίσκεται 65km από την ομώνυμη πρωτεύουσα του νομού, στο δυτικό άκρο της πεδιάδας της Μεσσαράς σε υψόμετρο 38 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας.

Διοικητικά, από το 2010, υπάγεται στον καλλικρατικό Δήμο Φαιστού, ο οποίος αποτελεί συνένωση των δήμων Μοιρών, Τυμπακίου και Ζαρού, με την πόλη του Τυμπακίου να αποτελεί πλέον την ιστορική έδρα του.

Τα αποτελέσματα της απογραφής που διενήργησε η ΕΛ.ΣΤΑΤ το 2011 έδειξαν ότι στην πόλη του Τυμπακίου διέμεναν 5.276 κάτοικοι, ενώ σε ολόκληρη τη Δημοτική Ενότητα (πρώην Δήμο Τυμπακίου), αυτοί ξεπερνούσαν τους 10.000.

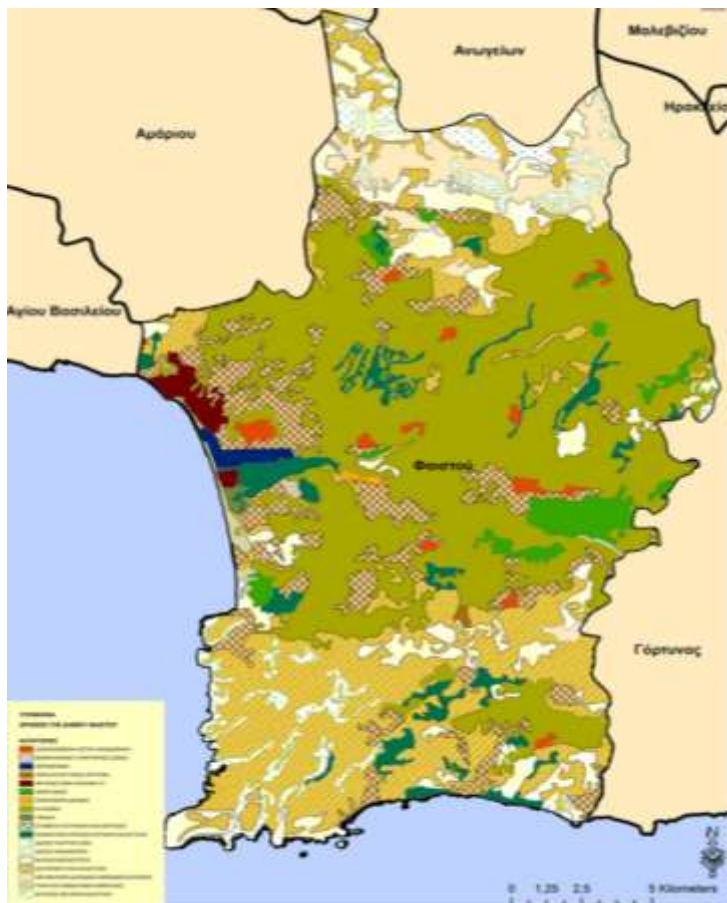


*Εικόνα 1.1: Αεροφωτογραφία της πόλης του Τυμπακίου*

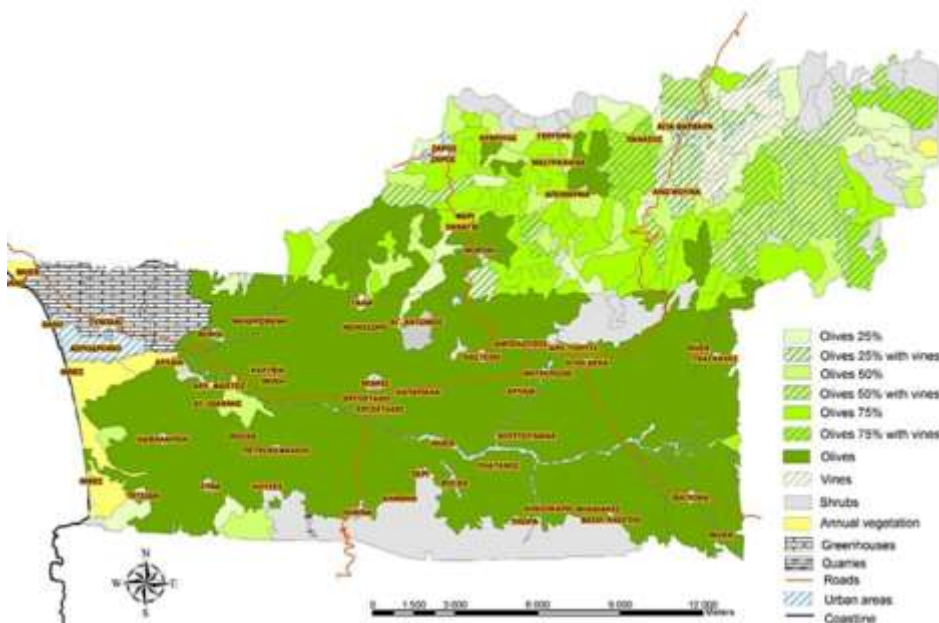
### **1.2.1 Οικονομία της περιοχής**

Η οικονομία του Τυμπακίου βασίζεται πρωτίστως στη γεωργική και έπειτα στην κτηνοτροφική δραστηριότητα. Ειδικότερα, όντας τμήμα της πεδιάδας της Μεσσαράς, παρατηρείται εκτεταμένη χρήση γης για την καλλιέργεια ελιάς, αμπελιού και εσπεριδοειδών κατά κύριο λόγο.

Επίσης, στην περιοχή γίνεται καλλιέργεια φρούτων, λαχανικών και δημητριακών ενώ η παρουσία ήπιου καιρού και ηλιοφάνειας ακόμη και τους χειμερινούς μήνες, οδήγησε σε ιδιωτικές επενδύσεις εγκατάστασης πολλών θερμοκηπίων. Συνολικά, πρόκειται για μια αρδευόμενη έκταση 40.000 στρεμμάτων.



Εικόνα 1.2: Χάρτης χρήσεων Γης του Δήμου Φαιστού



Εικόνα 1.3: Χάρτης χρήσεων Γης της ευρύτερης περιοχής

Επιπλέον, σημαντικό οικονομικό παράγοντα για την πόλη του Τυμπακίου αποτελεί ο τουριστικός κλάδος.

Πιο συγκεκριμένα, η πόλη του Τυμπακίου αλλά και γειτονικές περιοχές προσελκύουν μεγάλο αριθμό εγχώριων και ξένων παραθεριστών λόγω της φυσικής ομορφιάς του τοπίου. Παράδειγμα, όπως για παράδειγμα, τον υγρότοπο της λίμνης Καταλυκής και τις σπηλιές στην παραλία των Ματάλων, ενώ για τους λάτρεις των θαλάσσιων σπορ οι παραλίες του Κόμμου και του Αφραθιά αποτελούν δημοφιλείς προορισμούς.

Τέλος, τα αρχαιολογικά μνημεία που βρίσκονται κοντά στην πόλη όπως για παράδειγμα το ανάκτορο της Φαιστού και ο αρχαιολογικός χώρος της Αγίας Τριάδας αποτελούν πόλο έλξης επισκεπτών από ολόκληρη την Ευρώπη.

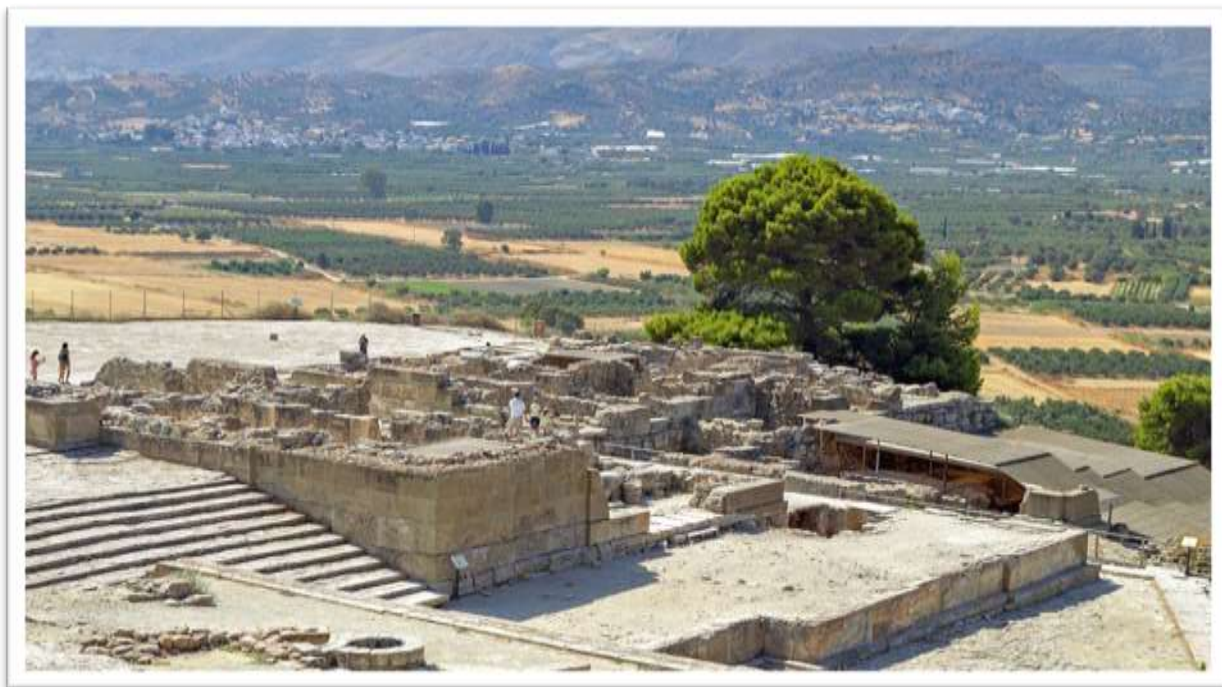


Εικόνα 1.4: Παραλία Κόμμου





Εικόνα 1.5: Σπηλιές παραλίας Ματάλων



Εικόνα 1.6: Αρχαιολογικός χώρος Φαιστού

### 1.2.2 Ιστορική αναφορά και προέλευση της ονομασίας

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η προέλευση του ονόματος. Η πρώτη γραπτή αναφορά παρουσιάζεται σε έγγραφο του 1248 με τον όρο Chimbachi, ενώ αναφορά στον ίδιο όρο γίνεται ξανά σε έγγραφο του 1390 που ανήκει στο Δουκικό Αρχείο της Κρήτης. Οι Nicolaus Visscher (1638), Vincenzo Coronelli (1689) και Georg Mattheus Seutter (1725) αναφέρουν τον οικισμό σε χάρτες τους ως «Timeachi».

Την περίοδο της τουρκοκρατίας και ειδικότερα το 1671 και 1672 καταγράφεται σε αρχεία απογραφών ως Dibaki. Η παλαιότερη γραπτή αναφορά του οικισμού με υ, γίνεται από τον Spratt το 1852 ως Tybaki. Γενικά, η προέλευση του ονομασίας αποτελεί αντικείμενο διαφωνίας στην επιστημονική κοινότητα.

Αρκετά διαδεδομένη είναι η άποψη ότι έχει τη ρίζα της στην αρχαία ελληνική λέξη τύμβος και, επομένως, η ετυμολογία του τοπωνυμίου να εξελίχθηκε από το (τύμβος + -άκιον > Τυμβάκιον > Τυμπάκιον > Τυμπάκι). Η ερμηνεία αυτή δεν μπορεί να τεκμηριωθεί καθώς στην περιοχή του Τυμπακίου δεν συναντώνται τύμβοι.

Ένα στοιχείο που θα μπορούσε να ενισχύσει το επιχείρημα ότι το όνομα της πόλης συσχετίζεται με τον «τύμβο» είναι η ανακάλυψη ενός μεγάλου κυκλικού θολωτού τάφου στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα κοντά στο αεροδρόμιο του Τυμπακίου καθώς και το ότι με τη πάροδο των χρόνων η λέξη τύμβος κατέληξε να είναι συνώνυμη της λέξης τάφος. Βέβαια, θα πρέπει να αναφερθεί εδώ ότι οι θολωτοί τάφοι της Πρωτομινωικής περιόδου που εντοπίζονται στην Κρήτη και ιδίως στην περιοχή της Μεσσαράς είναι υπέργειοι και δεν διαθέτουν τύμβο.

Μια διαφορετική αλλά εξίσου ενδιαφέρουσα προσέγγιση είναι εκείνη του καθηγητή και λαογράφου Ανδρέα Λενακάκη, ο οποίος υποστηρίζει ότι η ονομασία προέρχεται από την αρχαία κρητική πόλη Θήβη.

Ειδικότερα, σύμφωνα με την παραπάνω πρόταση η ετυμολογία του τοπωνυμίου προκύπτει από τη ρίζα ak- (= νερό) με τον ακόλουθο τρόπο :

- Θήβα + ρίζα ak + επίθημα -ιον → Θηβάκιον → Θηβάκι → Τηβάκι → Tibaki → Τημπάκι.

Υπό αυτό το πρίσμα, συνδέθηκε με τον τύμβο, από τον οποίο άντλησε την ορθογραφία του. Είναι το Τημπάκι ή Τυμπάκι, δηλαδή η περιοχή της αρχαίας Θήβης με τα νερά της.

Συνοψίζοντας, η προέλευση της ονομασίας της πόλης δεν είναι ξεκάθαρη, γεγονός που δίνει περιθώρια για περαιτέρω ερμηνείες. Σαφώς, δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία που να καταδεικνύουν ότι αυτή συνδέεται ετυμολογικά με τη λέξη τύμβος, ενώ η προσέγγιση του κ. Ανδρέα Λενακάκη φαίνεται περισσότερο πειστική και έχει περισσότερη απήχηση.

*(Πηγή: Εμμανουήλ Χαλκιαδάκης-Τυμπάκι-Από τους απελευθερωτικούς αγώνες και τη ναζιστική ισοπέδωση στην ανοικοδόμηση και την ανάπτυξη).*



## **Κεφάλαιο 2. Ατμόσφαιρα – Καιρός και χαρακτηριστικά τους**

### **2.1 Ατμόσφαιρα**

#### **2.1.1 Τι ονομάζουμε ατμόσφαιρα**

Ο όρος ατμόσφαιρα περιγράφει το αεριώδες περίβλημα της Γης. Η ατμόσφαιρα συμπεριστρέφεται γύρω από τη Γη, με ταχύτητα που κυμαίνεται από 300-600 km/h.

Είναι αόρατη και άοσμη ενώ αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη λόγω του μεγάλου αριθμού των παραμέτρων που εξαρτώνται από αυτή.

#### **2.1.2 Σύσταση της ατμόσφαιρας**

Ο ατμοσφαιρικός αέρας αποτελείται από ένα μείγμα αερίων, τα οποία συγκρατούνται κοντά στην επιφάνεια της Γης λόγω της επίδρασης του βαρυτικού της πεδίου. Ειδικότερα, τα κύρια ατμοσφαιρικά αέρια είναι το μοριακό άζωτο ( $N_2$ ), το μοριακό οξυγόνο ( $O_2$ ) και το αργό (Ar), με περιεκτικότητα κατ' όγκο σε ποσοστό 78,08%, 20,95% και 0,93%, αντίστοιχα.

#### **2.1.3 Ισορροπία ατμοσφαιρικών αερίων**

“Στην επιφάνεια του εδάφους υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ της καταστροφής και παραγωγής των προαναφερθέντων αερίων. Για παράδειγμα, το άζωτο απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα κυρίως μέσα από βιολογικές διεργασίες που διενεργούνται από βακτήρια του εδάφους. Το ατμοσφαιρικό άζωτο εισέρχεται επίσης στη θαλάσσια τροφική αλυσίδα, μέσω της πρόσληψής του από το πλανγκτόν και της μετατροπής του σε θρεπτικά συστατικά. Επιστρέφει ξανά στην ατμόσφαιρα κυρίως μέσω της αποσύνθεσης της φυτικής ύλης και των ζώων. Το οξυγόνο απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα μέσω της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης και της αλληλεπίδρασής του με άλλες ουσίες, για την παραγωγή οξειδίων.

Επίσης, δεσμεύεται από τους ζώντες οργανισμούς με την αναπνοή, κατά την οποία οι πνεύμονες προσλαμβάνουν οξυγόνο και απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ). Η έκλυση του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα γίνεται κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης, όπου τα φυτά, παρουσία ηλιακού φωτός, συνδυάζουν διοξείδιο του άνθρακα και νερό, για την παραγωγή σακχάρων και οξυγόνου.” (Περιβαλλοντική Μετεωρολογία , Σημειώσεις Μαθήματος Δρ. Κολοκοτσά Διονυσία)

Στο χώρο της ατμόσφαιρας παρατηρείται μετατροπή της ηλιακής αλλά και γήινης ακτινοβολίας σε άλλες μορφές ενέργειας. Επομένως, αυτή θεωρείται ως ένα πολύπλοκο σύστημα θερμοδυναμικών και φυσικοχημικών διεργασιών που έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία διάφορων φαινομένων.

## 2.2 Ύψος και στρωμάτωση της ατμόσφαιρας

Το ύψος μέχρι το οποίο εκτείνεται η ατμόσφαιρα δεν είναι εύκολα υπολογίσιμο και επομένως προσδιορισμένο με ακρίβεια. Η δυσκολία του υπολογισμού έγκειται στο γεγονός ότι με την αύξηση του υψόμετρου τα στρώματα γίνονται τόσο αραιά με αποτέλεσμα να γίνεται αρκετά δύσκολο να διαχωριστούν από τον ενδοαστρικό χώρο. Επομένως, οι επιστήμονες καταφεύγουν σε εκτιμήσεις βασιζόμενοι σε μετρήσεις ή στην παρουσία διαφόρων φαινομένων, για την πραγματοποίηση των οποίων απαιτείται ορισμένη ποσότητα "ατμοσφαιρικής ύλης".

Στην επιστήμη της Μετεωρολογίας εφαρμόζεται η ταξινόμηση που χρησιμοποιεί η Διεθνής Ένωση Γεωδαισίας και Γεωφυσικής, η οποία διαιρεί την ατμόσφαιρα σε διάφορα στρώματα με βάση την καθ' ύψος μεταβολή της θερμοκρασίας. Ο ρυθμός ελάττωσης της θερμοκρασίας του αέρα σε συνάρτηση με το ύψος ονομάζεται κατακόρυφη θερμοβαθμίδα.

Βάσει αυτής, η ατμόσφαιρα διαιρείται σε 4 κύρια στρώματα, ορίζοντας ως επίπεδο αναφοράς την επιφάνεια της Γης:

- την Τροπόσφαιρα ( $0 \leq H \leq 11\text{km}$ ),
- τη Στρατόσφαιρα ( $11 \leq H \leq 47 \text{ km}$ ),
- τη Μεσόσφαιρα ( $47 \leq H \leq 84,9\text{km}$ )
- τη Θερμόσφαιρα ( $84,9 \leq H \text{ km}$ )

Μεταξύ των στρωμάτων αυτών παρεμβάλλονται οι τρεις παρακάτω μεταβατικές ζώνες:

- Τροπόπαυση ( $H = 11 \text{ km}$ )
- Στρατόπαυση ( $H = 47 \text{ km}$ )
- Μεσόπαυση ( $H = 84.9 \text{ km}$ )

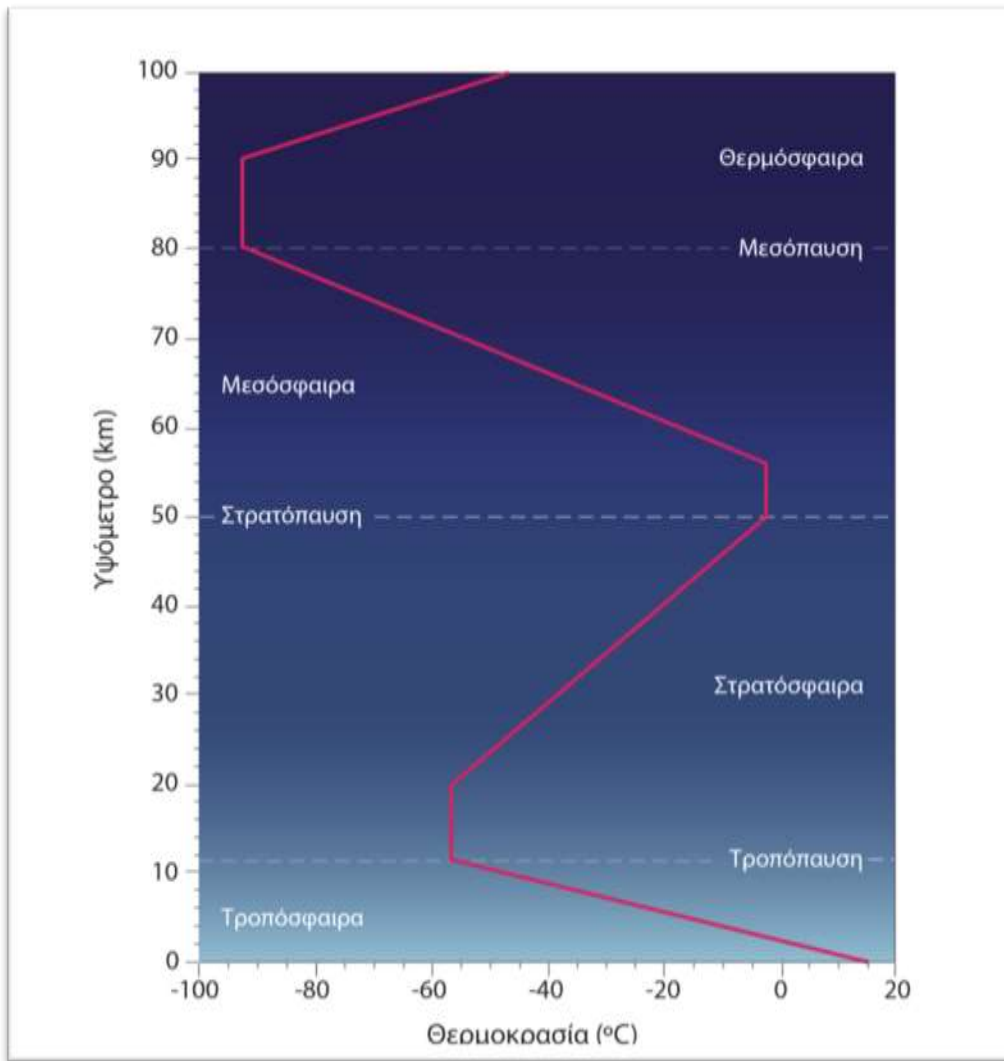
## 2.3 Τροπόσφαιρα

Αποτελεί το κατώτερο τμήμα της ατμόσφαιρας, στο οποίο η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα εμφανίζει τιμή  $6,5^\circ\text{C}/1000\text{m}$ .

Η θερμοκρασία παρουσιάζει συνεχή ελάττωση από την επιφάνεια της Γης μέχρι περίπου το υψόμετρο των 11 km. Αυτή η ελάττωση της θερμοκρασίας οφείλεται στο γεγονός ότι ο Ήλιος θερμαίνει την επιφάνεια της Γης, η οποία με τη σειρά της θερμαίνει τον υπερκείμενο αέρα.

Σε αυτό το τμήμα της ατμόσφαιρας καθορίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των ατμοσφαιρικών φαινομένων που επηρεάζουν τη διαμόρφωση του καιρού στη Γη.

Ειδικότερα, το τμήμα της τροπόσφαιρας που εκτείνεται μέχρι το ύψος των 1500m περίπου, αποτελεί ένα στρώμα τριβής, μέσα στο οποίο παρατηρούνται ανοδικές και καθοδικές κινήσεις αέριων μαζών ενώ πραγματοποιούνται οι περισσότερες μεταβολές της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια της ημέρας και ονομάζεται Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (ΑΟΣ).



Εικόνα 2.1: Υψομετρική διαίρεση της ατμόσφαιρας

Στην πορεία θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στο ΑΟΣ καθώς αποτελεί παράγοντα εξέχουσας σημασίας στην επιστήμη της Μετεωρολογίας αλλά και κατ' επέκταση στην οικονομία ενός τόπου, λόγω της επίδρασης του στην πρωτογενή παραγωγή.

Η τροπόσφαιρα διαιρείται σε επιπλέον 4 ζώνες, με βάση τη μεταβολή της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας, όπως παρουσιάζεται παρακάτω:

- Κατώτερη τροπόσφαιρα, ( $0 \leq H \leq 1,5\text{km}$ ), με τιμή θερμοβαθμίδας  $0,3-0,4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ .
- Μέση τροπόσφαιρα, ( $1,5 \leq H \leq 6\text{km}$ ), με τιμή θερμοβαθμίδας  $0,5-0,6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ .
- Ανώτερη τροπόσφαιρα, ( $6 \leq H \leq 9\text{km}$ ), με τιμή θερμοβαθμίδας  $0,65-0,75^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ .
- Όρια τροπόπαυσης, ( $H > 9\text{km}$ ), τιμή θερμοβαθμίδας  $0,2-0,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ .

Σε ότι αφορά την τροπόπαυση, αυτή είναι ένα ισόθερμο στρώμα το οποίο αποτελεί μεταβατική ζώνη ανάμεσα στην τροπόσφαιρα και την στρατόσφαιρα. Ο προσδιορισμός του ύψους εκκίνησής και του πάχους της είναι εύκολος καθώς η τιμή της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας παραμένει μηδέν. Το ύψος στο οποίο συναντάται δεν είναι σταθερό. Αυτό ποικίλλει ανάλογα με την εποχή και το γεωγραφικό πλάτος. Ειδικότερα, σε γεωγραφικά πλάτη μεταξύ  $0^{\circ}$ - $30^{\circ}$  εμφανίζεται η τροπική τροπόπαυση, σε ύψη μεταξύ 14-17 km με μέση θερμοκρασία που κυμαίνεται από  $-70^{\circ}\text{C}$  έως  $-80^{\circ}\text{C}$ . Έπειτα, σε γεωγραφικά πλάτη μεταξύ  $30^{\circ}$ - $40^{\circ}$  παρατηρείται μια ζώνη ασυνέχειας με ανάμιξη τροποσφαιρικού και στρατοσφαιρικού αέρα και την παρουσία αεροχειμάρρων (Jetstreams), δηλαδή πολύ ισχυρών ρευμάτων αέρα με ταχύτητες άνω των 100km/h. Τέλος, σε γεωγραφικό πλάτος  $40^{\circ}$ - $90^{\circ}$  και ύψη μεταξύ 7-12 km παρουσιάζεται η πολική τροπόπαυση με μέση θερμοκρασία από  $-55^{\circ}\text{C}$  έως  $-60^{\circ}\text{C}$ .

Κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι λόγω της εποχιακής μεταβολής, η τροπόπαυση συναντάται υψηλότερα το καλοκαίρι και χαμηλότερα το χειμώνα σε κάθε γεωγραφικό πλάτος.

## 2.4 Στρατόσφαιρα

Ονομάζεται το ατμοσφαιρικό στρώμα το οποίο εκτείνεται πάνω από την τροπόπαυση έως το ύψος των 50km από την επιφάνεια του εδάφους και οριοθετείται με βάση το ανώτερο στρώμα της, την στρατόπαυση.

Η στρατόσφαιρα χωρίζεται σε δύο τμήματα. Το πρώτο ονομάζεται κατώτερη στρατόσφαιρα, εκτείνεται από το τέλος της τροπόπαυσης μέχρι περίπου τα 35 km και αποτελεί ένα ευσταθές στρώμα λόγω της σχεδόν μηδενικής τιμής που λαμβάνει η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα. Εκεί παρατηρείται μειωμένη κατακόρυφη κυκλοφορία αερίων μαζών αλλά αυξημένη κίνηση των οριζόντιων αερίων μαζών.

Το δεύτερο στρώμα είναι η ανώτερη στρατόσφαιρα, η οποία εκτείνεται από τα 35 μέχρι τα 50 km. Εδώ συναντάται το στρώμα του όζοντος ( $\text{O}_3$ ), ένας σχηματισμός ιδιάζουσας σημασίας, καθώς αυτός απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας ( $0,2\mu\text{m} < \lambda < 0,3\mu\text{m}$ ) που αποτελεί κίνδυνο για οποιονδήποτε ζωντανό οργανισμό, ενώ παράλληλα επιτρέπει την δίοδο ενός μικρού μέρους της που είναι απαραίτητο για την διατήρηση της ζωής. Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας οδηγεί σε συνεχή αύξηση της θερμοκρασίας, και επομένως στη δημιουργία ευσταθών συνθηκών που εμποδίζουν την κατακόρυφη κίνηση των αερίων μαζών. Το τέλος της οριοθετείται από τη στρατόπαυση, ένα ισόθερμο στρώμα όπου η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα παίρνει τη μέγιστη τιμή της.

Χαρακτηριστικό για το πόσο αραιή γίνεται η ατμόσφαιρα στα ανώτερα τμήματά της αποτελεί το γεγονός ότι το 99,9% της συνολικής της μάζας “περιέχεται” στο στρώμα που ξεκινά από την επιφάνεια της Γης και εκτείνεται μέχρι και τα όρια της στρατόπαυσης.

## 2.5 Μεσόσφαιρα

Η Μεσόσφαιρα αποτελεί το τρίτο κατά σειρά στρώμα της ατμόσφαιρας από την επιφάνεια της Γης. Ξεκινά με το τέλος της στρατόπαυσης κ εκτείνεται μέχρι το ύψος των 85-90 km.

Πρόκειται για μια περιοχή με αρκετά δυναμικά χαρακτηριστικά και παρουσία πολύ ισχυρών ανέμων. Χαρακτηριστικές είναι οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες που επικρατούν καθιστώντας το στρώμα αυτό, την ψυχρότερη περιοχή της ατμόσφαιρας. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην απουσία του όζοντος. Το πάχος της μεσόσφαιρας μεταβάλλεται με βάση το γεωγραφικό πλάτος αλλά και την εποχή του έτους όντας μεγαλύτερο τον χειμώνα και στους τροπικούς, ενώ μικρότερο το καλοκαίρι και κοντά στους πόλους. Τέλος, το ανώτερο όριο της μεσόσφαιρας ονομάζεται μεσόπαυση και θεωρείται ως το ψυχρότερο τμήμα αυτής, με θερμοκρασίες που κυμαίνονται από -90 °C το καλοκαίρι έως -140 °C τον χειμώνα.

## 2.6 Θερμόσφαιρα

Ονομάζεται το τέταρτο στρώμα της ατμόσφαιρας, το οποίο ξεκινά αμέσως μετά τη μεσόπαυση, την ανώτερη επιφάνεια της μεσόσφαιρας σε ύψος 80 - 90 km. Σε αυτό το στρώμα παρατηρείται ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας από τους -92 °C μετά τη μεσόπαυση η οποία ανέρχεται στους 2.000 °C στα 400 km ή ενίοτε ακόμα και τους 2.500 °C.

Η απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας οφείλεται σε δύο παράγοντες. Κατ' αρχήν, παρατηρείται απορρόφηση του μεγαλύτερου μέρους της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας με μήκος κύματος  $\lambda < 200\text{nm}$ , κυρίως από μόρια οξυγόνου με αποτέλεσμα την διάσπασή τους σε ατομικό  $\text{O}_2$  όπως περιγράφει η παρακάτω αντίδραση:



Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, όπου σε συνδυασμό με την ύπαρξη ελάχιστου αριθμού μορίων της ατμόσφαιρας σε αυτό το ύψος είναι ικανή να αυξήσει σημαντικά τη μέση κινητική τους ενέργεια, και συνεπώς να οδηγήσει σε μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας.

Επιπλέον, ένας ακόμη παράγοντας είναι η επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας και ειδικότερα, η απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας από τα ατμοσφαιρικά σωματίδια και η αλληλεπίδρασή τους με τα σωματίδια του ηλιακού ανέμου.

Το τέλος της θερμόσφαιρας οριοθετείται από τη θερμόπαυση, ένα στρώμα ελάχιστου πάχους η οποία βρίσκεται σε ύψος περίπου 800km.

## 2.7 Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (ΑΟΣ)

### 2.7.1 Ορισμός

Ορίζεται το κατώτερο τμήμα της τροπόσφαιρας, το οποίο επηρεάζεται άμεσα από την επιφάνεια της Γης και ανταποκρίνεται στις επιφανειακές μεταβολές σε χρονική κλίμακα της τάξης περίπου μερικών ωρών ή λιγότερο.

### 2.7.2 Χαρακτηριστικά του ΑΟΣ

Οι μεταβολές που πραγματοποιούνται στο οριακό στρώμα οφείλονται στην επίδραση της τριβής, τα φαινόμενα εξάτμισης και διαπνοής, την οριζόντια μεταφορά θερμότητας και υγρασίας, σε εκπομπές αέριων ρύπων καθώς και από τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής.

Η διακύμανση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους δεν παρατηρείται αντίστοιχα σε ανώτερα υψόμετρα. Επομένως, αποτελεί αρκετά χρήσιμο παράγοντα για τον προσδιορισμό των ορίων του.

Μέσα στο οριακό στρώμα κυριαρχεί η τυρβώδης ροή. Αυτό επιτρέπει στο ΑΟΣ να ανταποκρίνεται σχετικά γρήγορα σε κάθε μεταβολή που πραγματοποιείται στην επιφάνεια της Γης. Λόγω της επίδρασης του ανάγλυφου, ο άνεμος μέσα στο ΑΟΣ στρέφεται από τις υψηλές προς τις χαμηλές πιέσεις, ενώ πάνω από αυτό πνέει παράλληλα προς τις ισοβαρείς. Αυτή η στροφή του ανέμου δημιουργεί μια σπειροειδή κίνηση γνωστή και ως σπείρα Eckman. Το ύψος στο οποίο ο άνεμος παύει να στρέφεται, θεωρείται ως το ανώτερο όριο του ΑΟΣ.

Το ύψος του h μεταβάλλεται σημαντικά κατά την διάρκεια της ημέρας αλλά και λόγω των μετεωρολογικών συνθηκών, ενώ αποτελεί μια πολύ σημαντική παράμετρο, η οποία επιδρά ουσιαστικά στη δομή του. Παραδείγματος χάριν, πάνω από την ξηρά ανέρχεται περίπου σε 1-2 km, ενώ πάνω από τους ωκεανούς σε περίπου 0,5 km.

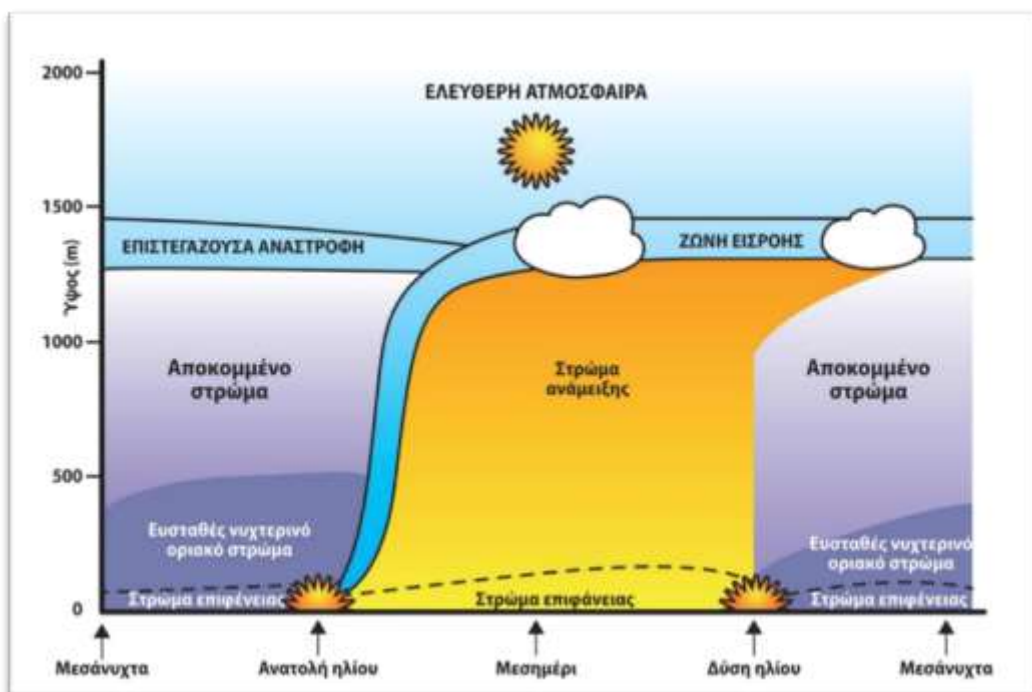
### 2.7.3 Στρωμάτωση του ΑΟΣ

Το τυπικό ΑΟΣ έχει μια σχετικά καθορισμένη δομή, η οποία εξελίσσεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί παρακάτω.

Τα 3 βασικά μέρη του είναι:

- **Στρώμα ανάμειξης (Mixed layer):** Καταλαμβάνει περίπου το 75% του ασταθούς οριακού στρώματος. Εδώ παρατηρείται μετάδοση θερμότητας από το έδαφος στα κατώτερα στρώματα του ΑΟΣ με αποτέλεσμα την έντονη ανοδική κίνηση αέριων μαζών και τη δημιουργία τυρβώδους ροής. Το προφίλ της ταχύτητας του ανέμου παρουσιάζει λογαριθμική αύξηση από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι το ανώτερο άκρο του. Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις διάφορων ρυπαντών λαμβάνουν μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με την υπερκείμενη ελεύθερη ατμόσφαιρα, καθώς μεταφέρονται από τις πηγές εκπομπής τους που βρίσκονται στο έδαφος μέσω θερμών ανοδικών αέριων ρευμάτων. Τέλος, αυτό το στρώμα του ΑΟΣ χαρακτηρίζεται από έντονη ανάμειξη, δηλαδή αστάθεια.

- **Εναπομείναν στρώμα (Residual Layer):** Καλά αναμεμειγμένο στρώμα, όπου η θερμοκρασία μειώνεται σε συνάρτηση με το ύψος. Το στρώμα αυτό δε βρίσκεται σε άμεση επαφή με το έδαφος. Εδώ, εμφανίζονται ρυπαντές με αρχικές τιμές συγκέντρωσης ίδιες με αυτές στο στρώμα ανάμειξης. Παραμένει για μικρό χρονικό διάστημα έπειτα και από την ανατολή του ηλίου ευνοώντας με αυτόν τον τρόπο τις φωτοχημικές αντιδράσεις.
- **Ευσταθές οριακό στρώμα (Stable Layer):** Σχηματίζεται κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η ευστάθεια του στρώματος αυτού συνδέεται άμεσα με την ψύξη του εδάφους λόγω της εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας τη νύχτα. Χαρακτηριστικά του αποτελούν η σταθερή ροή αέρα και οι σποραδικές αναταράξεις. Ειδικότερα, ενώ η ταχύτητα του ανέμου στο επίπεδο του εδάφους είναι ασθενής, σε μεγαλύτερα ύψη αυξάνεται παίρνοντας τιμές μεγαλύτερες του γεωστροφικού ανέμου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία του φαινομένου του νυχτερινού αεροχείμαρρου που προκαλεί τοπικά έντονη τύρβη. Το ανώτερο όριο του δεν είναι καλά προσδιορισμένο και θεωρείται ως το ύψος όπου η ένταση της τύρβης παίρνει πολύ χαμηλές τιμές σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους. Το ευσταθές οριακό στρώμα μπορεί να εμφανιστεί σπανιότερα κατά της ημέρας όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους είναι χαμηλότερη από αυτή του υπερκείμενου στρώματος αέρα.



Εικόνα 2.2: Στρωμάτωση του ΑΟΣ

## Κεφάλαιο 3: Μετεωρολογικές Παράμετροι

### 3.1 Θερμοκρασία

#### 3.1.1 Ορισμός

Θερμοκρασία είναι η μέτρηση της έντασης ή του βαθμού της θερμότητας ενός σώματος. Αποτελεί, δηλαδή, ένα μέτρο της θερμικής κατάστασης ενός σώματος και εκφράζει το πόσο θερμό ή ψυχρό είναι ένα σώμα. Αποτελεί διαφορετικό φαινόμενο από τη θερμότητα, η οποία είναι η ποσότητα της ενέργειας που βρίσκεται σε ένα σώμα και είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της μάζας του εν λόγω σώματος. Τεχνικά προσδιορίζεται από τη μέση ταχύτητα των μορίων του. (Εφαρμοσμένη Μετεωρολογία, Ευάγγελος Μπαλτάς)

#### 3.1.2 Μονάδες και όργανα μέτρησης

Υπάρχουν διάφορες κλίμακες μέτρησης της θερμοκρασίας. Η πιο διαδεδομένη είναι η κλίμακα σε βαθμούς Κελσίου, η οποία αναπτύχθηκε το 1742 από τον Σουηδό αστρονόμο Anders Celsius. Επιπλέον, σε αγγλόφωνες χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο και οι ΗΠΑ χρησιμοποιείται αρκετά συχνά η κλίμακα Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ), ενώ γνωστή είναι και η κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας Kelvin (K). Οι παραπάνω συνδέονται μεταξύ τους σύμφωνα με τις εξισώσεις που ακολουθούν:

$$\begin{aligned} &\text{➤ } K = 273 + C \\ &\text{➤ } C = \frac{(F - 32)}{1.8} \end{aligned}$$

Η μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα πραγματοποιείται με αισθητήρες που αποτελούνται συνήθως από ημιαγωγούς και στεγάζονται σε ειδικό κλωβό για το σωστό αερισμό του οργάνου αλλά και την προστασία του από τη μεγάλη μήκους κύματος επίγεια θερμική ακτινοβολία, την ηλιακή ακτινοβολία, και τη βροχή.



Εικόνα 3.1: Κλωβός προστασίας του αισθητήρα θερμοκρασίας αέρα



### 3.1.3 Παράμετροι που διαμορφώνουν τη θερμοκρασία

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που διαμορφώνουν τις θερμοκρασιακές συνθήκες μίας περιοχής είναι:

1. Το ισοζύγιο ακτινοβολίας του συστήματος Γης-Ατμόσφαιρας.
2. Η μεταφορά θερμότητας με οριζόντιες και κατακόρυφες κινήσεις.
3. Τα ποσά θερμότητας που εκλύονται ή προσλαμβάνονται κατά τους μηχανισμούς της συμπύκνωσης των υδρατμών και της εξάτμισης του ύδατος.
4. Το τοπογραφικό ανάγλυφο της υπό μελέτη περιοχή.
5. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους που συνδέονται με την ανακλαστικότητα και τη φυτοκάλυψη.
6. Τα θαλάσσια ρεύματα που τυχόν περνούν κοντά από τον τόπο αυτό.

## 3.2 Άνεμος

### 3.2.1 Ορισμός

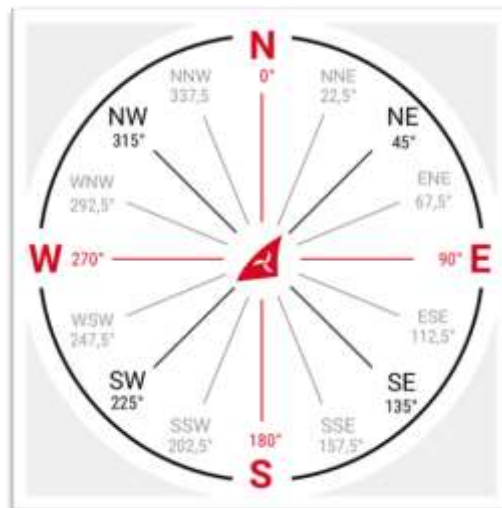
Ο άνεμος ορίζεται ως μια αέρια μάζα κινούμενη προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, όπου η οριζόντια συνιστώσα κίνησης υπερβαίνει κατά μεγάλο βαθμό την κατακόρυφη. (Εφαρμοσμένη Μετεωρολογία, Ευάγγελος Μπαλτάς)

Η ανομοιόμορφη θέρμανση της Γης λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας στα διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη, η περιστροφική κίνηση που αυτή πραγματοποιεί γύρω από τον άξονά της και η επίδραση του αναγλύφου συντελούν στη χωρική διαφοροποίηση της ατμοσφαιρικής πίεσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση του αέρα μέσα στην ατμόσφαιρα.

### 3.2.2 Χαρακτηριστικές παράμετροι ανέμου

Ο άνεμος ως μετεωρολογική παράμετρος προσδιορίζεται από δύο χαρακτηριστικά:

1. τη **διεύθυνση** του, δηλαδή το σημείο του ορίζοντα από το οποίο προέρχεται ο άνεμος και μετρίεται σε μοίρες (από 0° έως 360°) με σημείο αναφοράς το Βορρά.



Εικόνα 3.2: Ανεμορόμβιο με τις 16 βασικές διευθύνσεις των ανέμων

2. την ταχύτητα του, η οποία μετρείται σε kmph, mph, ή στην εμπειρική κλίμακα Beaufort.

BEAUFORT SCALE						
Force		Anemometer reading			Description	
		mph	kmh	m/s	knts	
0	○	0-1	<1	<0.3	0-1	Calm; smoke rises vertically. Calm
1	☞	1-3	1-5	0.3-1.5	1-3	Direction of wind shown by smoke drift, but not by wind vane. Light air
2	☞	4-7	6-11	1.5-3.3	4-6	Wind felt on face; leaves rustle; ordinary vanes moved. Light Breeze
3	☞	8-12	12-19	3.3-5.5	7-10	Leaves and small twigs in constant motion; wind extends light flag. Gentle Breeze
4	☞	13-18	20-28	5.5-8.0	11-16	Raises dust and loose paper; small branches are moved. Moderate Breeze
5	☞	19-24	29-38	8.0-10.8	17-21	Small trees in leaf begin to sway; crested wavelets form on inland waters. Fresh Breeze
6	☞	25-31	39-49	10.8-13.9	22-27	Large branches in motion; whistling heard in telegraph. Strong Breeze
7	☞	32-38	50-61	13.9-17.2	28-33	Whole trees in motion; inconvenience felt when walking. Near Gale
8	☞	39-46	62-74	17.2-20.7	34-40	Breaks twigs off trees; generally impedes progress. Gale
9	☞	47-54	75-88	20.7-24.5	41-47	Slight structural damage occurs (chimney-pots and slates removed). Severe Gale
10	☞	55-63	89-102	24.5-28.4	48-55	Seldom experienced inland; trees uprooted; considerable structural damage occurs. Storm
11	☞	64-72	103-117	28.4-32.6	56-63	Very rarely experienced; accompanied by wide-spread damage. Violent Storm
12	☞	73-83	≥118	≥32.6	64-71	Hurricane

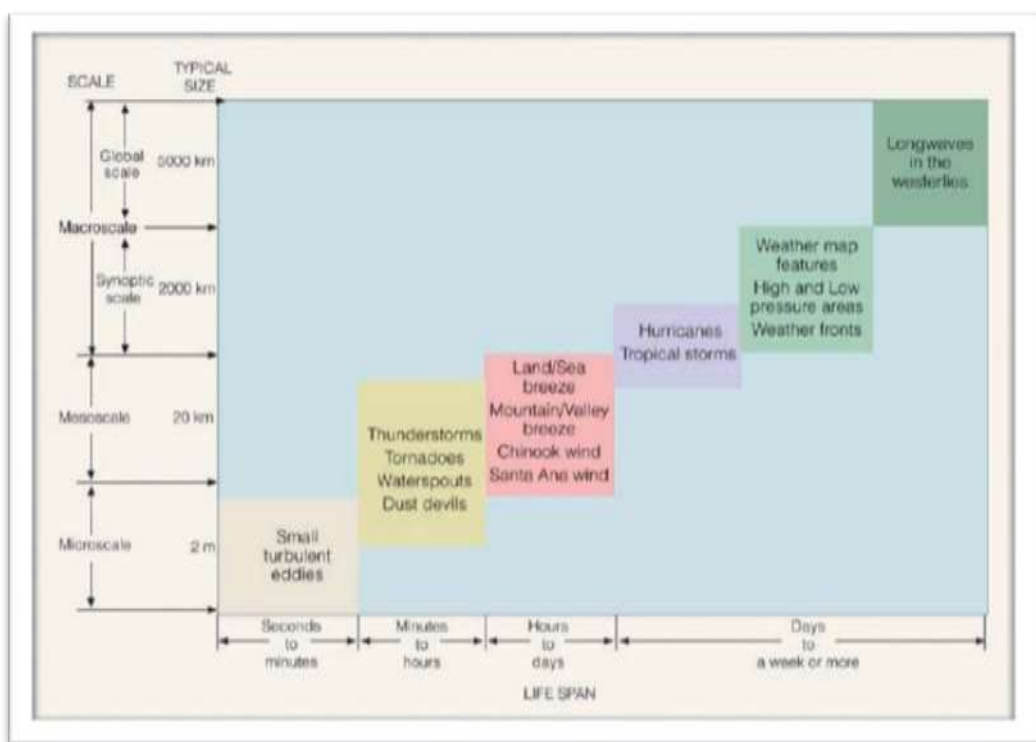
Εικόνα 3.3: Ταχύτητα του ανέμου σύμφωνα με την κλίμακα Beaufort

### 3.2.3 Κατηγοριοποίηση/Ταξινόμηση Ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να ποικίλλει, από μικρές ριπές ανέμου, τυρβώδεις στροβίλους και συστήματα θυελλών μεγάλου μεγέθους (τροπικός κυκλώνας). Στην επιστήμη της μετεωρολογίας, η κατηγοριοποίηση της κίνησης του ανέμου γίνεται σύμφωνα με το μέγεθός της και είναι γνωστή ως κλίμακα της κίνησης.

Οι κινήσεις του αέρα στην ατμόσφαιρα, ως επί το πλείστον, διακρίνονται σε:

- Μικρής κλίμακας,  $u < 2\text{m}$
- Μεσαίας κλίμακας,  $u < 20\text{km}$
- Μεγάλης κλίμακας, οι οποίοι χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες:
  1. Συνοπτικής κλίμακας,  $u < 2000\text{ km}$
  2. Πλανητικής κλίμακας,  $u > 2000\text{ km}$



Εικόνα 3.4: Κλίμακες μεγέθους της ατμοσφαιρικής κίνησης και μέση διάρκειά τους

### 3.2.4 Όργανα μέτρησης

Για τη μέτρηση της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου οι επιστήμονες χρησιμοποιούν μια σειρά από όργανα ανάλογα με την αμεσότητα και την ακρίβεια που επιζητούν. Για παράδειγμα, υπάρχουν όργανα που είναι και απλά στην χρήση τους και άλλα πιο σύνθετα τα οποία είναι διαθέσιμα μόνο σε μεγάλους μετεωρολογικούς σταθμούς.

Μερικά από αυτά είναι:

- Κυπελλοφόρο ανεμόμετρο
- Ανεμόμετρο υπερήχων
- Ραντάρ Doppler



Εικόνα 3.5: Κυπελλοφόρο ανεμόμετρο



Εικόνα 3.6: Σύστημα με ανεμόμετρο υπερήχων και αναλυτή αερίων



Εικόνα 3.7: Παντάρ Doppler

### 3.3 Ατμοσφαιρική πίεση

#### 3.3.1 Ορισμός

Ατμοσφαιρική ή βαρομετρική πίεση (atmospheric pressure) είναι η δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας που ασκείται από το βάρος του υπερκείμενου ατμοσφαιρικού αέρα.

Στην περίπτωση που η ατμόσφαιρα βρίσκεται σε ηρεμία, η πίεση ισούται με το βάρος της αέριας στήλης πάνω από το σημείο μέτρησης και ονομάζεται στατική. Εάν στην ατμόσφαιρα εκδηλώνονται ιδιαίτερα έντονες κινήσεις αέριων μαζών, τότε στην παραπάνω στατική πίεση προστίθεται και η δυναμική πίεση.

#### 3.3.2 Όργανα και μονάδες μέτρησης

Η ατμοσφαιρική πίεση και οι μεταβολές της προσδιορίζονται με όργανα που ονομάζονται βαρόμετρα. Ανάλογα, δε με την αρχή λειτουργίας τους αυτά διακρίνονται σε υδραργυρικά και μεταλλικά.

Η λειτουργία των οργάνων αυτών στηρίζεται σε ένα υγρό ή στερεό στοιχείο που αντιδρά στη δύναμη του βάρους που ασκεί ο ατμοσφαιρικός αέρας σε αυτό.

Τα βαρόμετρα διακρίνονται σε απλής ένδειξης (Fortin, Renou) και σε αυτογραφικά, τα οποία ονομάζονται βαρογράφοι. (Εφαρμοσμένη Μετεωρολογία, Ευάγγελος Μπαλτάς)



Εικόνα 3.8 : Μεταλλικός βαρογράφος



Εικόνα 3.9: Βαρόμετρο υδραργύρου

Η συνηθέστερη μονάδα μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι η πίεση μιας ατμόσφαιρας (1atm), η οποία ορίζεται ως η πίεση που ασκείται σε επιφάνεια εμβαδού  $1\text{cm}^2$  με σημείο αναφοράς το επίπεδο της θάλασσας.

Λοιπές μονάδες που χρησιμοποιούνται ευρέως για την έκφραση της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι χιλιοστά στήλης υδραργύρου (mmHg), η χιλιοβαρίδα (mb), και τα Πασκάλ (Pa).

Παρ'όλα αυτά στην επιστήμη την μετεωρολογίας, έχει καθιερωθεί διεθνώς, ως μονάδα μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης να χρησιμοποιείται η χιλιοβαρίδα (millibar), καθώς αυτή δεν εξαρτάται από τις ιδιότητες κάποιου υλικού όπως ο υδράργυρος.

Οι σχέσεις ανάμεσα στις μονάδες μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι οι εξής:

- $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
- $1 \text{ mb} = 100 \text{ Pa} = 100 \text{ N/m}^2$
- $1 \text{ mmHg} = 1.333 \text{ mb}$  ή  $1 \text{ mb} = 0.760 \text{ mmHg}$
- $1 \text{ Atm} = 760 \text{ mmHg} = 1013.25 \text{ mb}$

### 3.3.3 Βαροβαθμίδα-Ισοβαρείς Καμπύλες

Ο όρος βαροβαθμίδα εκφράζει τη μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης σε διεύθυνση κάθετη στις ισοβαρείς στη μονάδα του μήκους και αποτελεί μέτρο των μεταβολών της.

Η βαροβαθμίδα **G** ορίζεται ως η μεταβολή της πίεσης  $\Delta p$  ανάμεσα σε δύο ισοβαρείς καμπύλες που απέχουν απόσταση  $\Delta n$ .

Επομένως,

$$G = - \frac{\Delta p}{\Delta n}$$

Το αρνητικό πρόσημο δηλώνει ότι η φορά του διανύσματος της βαροβαθμίδας είναι προς τη διεύθυνση των χαμηλών πιέσεων.´´ (Εφαρμοσμένη Μετεωρολογία, Ευάγγελος Μπαλτάς)

Επιπλέον, οι ισοβαρείς καμπύλες, στις οποίες έγινε αναφορά παραπάνω, είναι γραμμές που ενώνουν σημεία που έχουν την ίδια τιμή ατμοσφαιρικής πίεσης την ίδια χρονική περίοδο.

Οι ισοβαρείς καμπύλες στους χάρτες καιρού απεικονίζουν σε δεδομένη χρονική περίοδο τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν πάνω από μία περιοχή. Όσο πυκνότερες είναι αυτές, τόσο μεγαλύτερη τιμή παίρνει η βαροβαθμίδα.

## 3.4 Υγρομετρικές Παράμετροι

### 3.4.1 Γενικά

Οι υγρομετρικές παράμετροι αποτελούν ένα σύνολο μεταβλητών που εκφράζουν την υγρασία, δηλαδή την ποσότητα υδρατμών που περιέχονται στην ατμόσφαιρα σε δεδομένη χρονική στιγμή.

Η παρουσία νερού στον ατμοσφαιρικό αέρα παρατηρείται σε όλες τις φάσεις, δηλαδή σε υγρή, στερεή και αέρια, ενώ εξαρτάται κυρίως από δύο παράγοντες:

1. Τις διεργασίες εξατμισοδιαπνοής που λαμβάνουν χώρα
2. Τα διάφορα φαινόμενα υετού

Για δεδομένη τιμή της θερμοκρασίας, ο αέρας έχει την ικανότητα να συγκρατεί ορισμένη ποσότητα υδρατμών. Όταν η ποσότητα αυτή φτάσει τη μέγιστη, τότε ο αέρας ονομάζεται κορεσμένος σε υδρατμούς. Σε διαφορετική περίπτωση ονομάζεται μη κορεσμένος. Τέλος, σε περίπτωση που η ποσότητα των υδρατμών συνεχίζει να αυξάνεται, αυτή δεν δύναται να συγκρατηθεί από τον αέρα με αποτέλεσμα να υγροποιηθεί.

Η παραπάνω ιδιότητα του αέρα είναι συνάρτηση της επικρατούσας θερμοκρασίας με συνέπεια να μεταβάλλεται για διαφορετικές τιμές της.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται διάφορες υγρομετρικές παράμετροι.

### 3.4.2 Τάση υδρατμών ( $e_s$ ) και ( $e$ )

Η τάση των υδρατμών, ως όρος, αναφέρεται στη μερική πίεση που ασκούν οι υδρατμοί μέσα στον αέρα. Το σύμβολο ( $e_s$ ) αναφέρεται στους «κορεσμένους υδρατμούς (μέγιστη τάση των υδρατμών) και το σύμβολο  $e$  στους «ακόρεστους» υδρατμούς.



Η τάση των υδρατμών είναι ανάλογη της ποσότητας των υδρατμών που περιέχονται στη ατμόσφαιρα. Επομένως, είναι και ανάλογης της θερμοκρασίας. Στην περίπτωση που η ατμόσφαιρα είναι κορεσμένη, η τάση των υδρατμών λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της,  $e_s$ .

Σύμφωνα με τον εμπειρικό τύπο Magnus-Tetens ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$e_s = e_{so} * 10^{\frac{\alpha * \theta}{\beta + \theta}}$$

όπου,

- $e_{so} = 6.11 \text{ mb}$
- $\theta =$  ατμοσφαιρική θερμοκρασία ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $\alpha = 7,5^{\circ}\text{C}$  και  $\beta = 237,3^{\circ}\text{C}$  πάνω από το νερό (εξαέρωση)
- $\alpha = 9,7^{\circ}\text{C}$  και  $\beta = 265,5^{\circ}\text{C}$  πάνω από τον πάγο (εξάχνωση)

### 3.4.3 Απόλυτη Υγρασία ( $p_v$ )

Απόλυτη υγρασία είναι η πυκνότητα των υδρατμών στην ατμόσφαιρα, δηλαδή η μάζα τους ανά μονάδα όγκου υγρού αέρα στον οποίο περιέχονται.

Ορίζεται ως το πηλίκο της μάζας των υδρατμών  $m_v$  προς το συνολικό όγκο  $V$  όπως φαίνεται παρακάτω:

$$p_v = \frac{m_v}{V}$$

Είναι ποσότητα, ανάλογη της θερμοκρασίας του αέρα. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι περιόδους που παρατηρούνται υψηλότερες θερμοκρασίες, όπως το καλοκαίρι, καταγράφονται μεγαλύτερες τιμές απόλυτης υγρασίας. Η μονάδα μέτρησής της είναι  $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ . Αξίζει να αναφερθεί ότι για γνωστές τιμές των μεταβλητών  $e_s$  και  $T$ , μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη προσεγγιστική σχέση:

$$p_v = \frac{1.0599 * e}{1 + 0.00367 * T}$$

### 3.4.4 Σχετική Υγρασία (RH)

Ορίζεται ως ο λόγος της ποσότητας (μάζας) υδρατμών που περιέχονται στην ατμόσφαιρα μια δεδομένη χρονική στιγμή προς τη μέγιστη ποσότητα υδρατμών που θα μπορούσε αυτή να συγκρατήσει κάτω από την ίδια πίεση και θερμοκρασία.

Επίσης, δύναται να εκφραστεί ως ο λόγος της τάσης υδρατμών  $e$  ως προς τη μέγιστη τάση υδρατμών  $e_s$  στην ίδια θερμοκρασία  $T$ .

Είναι αδιάστατο μέγεθος, με την τιμή της κυμαίνεται από 0 έως και 1, ενώ είναι πιο συνηθισμένο να εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ισχύει ότι:

$$RH = \frac{m_v}{m_{vs}} * 100\% = \frac{e}{e_s} * 100\%$$

Η διαφορά  $e_s - e$  ονομάζεται έλλειμμα κορεσμού και αποτελεί ένα μέτρο για το πόσο κοντά ή μακριά από το σημείο κορεσμού βρίσκεται μια αέρια μάζα.

## 3.5 Ηλιακή ακτινοβολία

### 3.5.1 Ορισμός και σημασία

Ορίζεται ως η ακτινοβολία ή ενέργεια που λαμβάνει ο πλανήτης μας από τον ήλιο.

Ο ήλιος αποτελεί την κύρια πηγή ενέργειας του πλανήτη. Επομένως, η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί παράγοντα μείζονος σημασίας για πολλές διεργασίες, όπως οι ροές ενέργειας και υγρασίας, η φωτοσύνθεση και η εξατμισοδιαπνοή. Οι μικρής κλίμακας διακυμάνσεις της επηρεάζουν τη βλάστηση και την ανάπτυξη των φυτών, την παραγωγικότητά τους, καθώς και τα ισοζύγια νερού και ενέργειας του εδάφους.

Η ηλιακή ακτινοβολία διακρίνεται σε:

- Άμεση: ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος που προσπίπτει απ'ευθείας στην επιφάνεια του εδάφους.
- Διάχυτη: ακτινοβολία που διαχέεται λόγω σύγκρουσης της με ατμοσφαιρικά σωματίδια, ιόντα, άτομα.
- Ανακλώμενη: ακτινοβολία που ανακλάται από νέφη, ατμοσφαιρικά αιωρήματα και την εδαφική επιφάνεια.

### 3.5.2 Ένταση και ηλιακή σταθερά

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης εξαρτάται από:

- την απόσταση ηλίου-γης
- το ύψος του ηλίου πάνω από το εκάστοτε επίπεδο αναφοράς
- την διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα

Η ηλιακή σταθερά αποτελεί το πιο χαρακτηριστικό μέγεθος της ηλιακής ακτινοβολίας. Ορίζεται ως η ολοφασματική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει ανά μονάδα επιφάνειας ( $1\text{m}^2$ ) στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας. Αυτή, έχει μέση τιμή  $S = 1.370 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ , που αντιστοιχεί σε μέση ροή ηλιακής ενέργειας στην επιφάνεια της Γης ίση με  $350 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ . Στην πράξη, λόγω του μέτρου

ανακλαστικότητα γνωστό και ως λευκαύγεια, διατίθενται περίπου  $225 \frac{W}{m^2}$  για την άμεση και έμμεση θέρμανση της.

### 3.5.3 Όργανα μέτρησης

Για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας οι επιστήμονες έχουν στην διάθεση τους διαφορετικά όργανα, τα οποία χρησιμοποιούν ανάλογα με την ακρίβεια αλλά και την αμεσότητα που επιθυμούν. Τα πιο συνηθισμένα είναι τα εξής:

- Πυρανόμετρα
- Πυρηλιόμετρα
- Φασματοηλιογράφοι
- Μετεωρολογικοί Δορυφόροι (Πολικής τροχίας, γεωστάσιμοι)



Εικόνα 3.10: Μετεωρολογικός Δορυφόρος

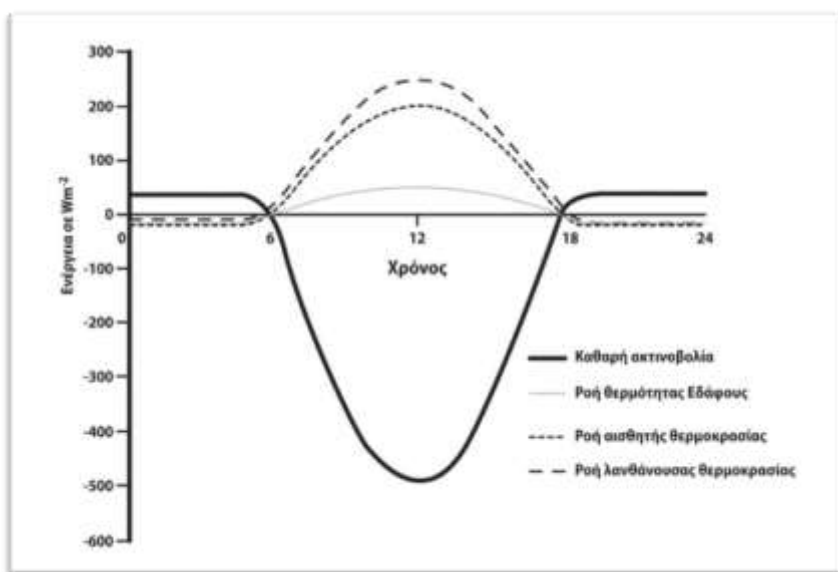


Εικόνα 3.11: Πυρανόμετρο

### 3.5.4 Κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και ενεργειακό ισοζύγιο

Η επιφάνεια της Γης είναι η κύρια περιοχή μεταφοράς ενέργειας για την πραγματοποίηση διάφορων ατμοσφαιρικών διεργασιών. Θερμαίνεται από την μικρού μήκους κύματος προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, ανακλώντας ένα μέρος της. Επιπρόσθετα, απορροφά την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που προέρχεται από τα νέφη, σωματίδια και αέρια, επανεκπέμποντας ένα μέρος της πίσω στην ατμόσφαιρα.

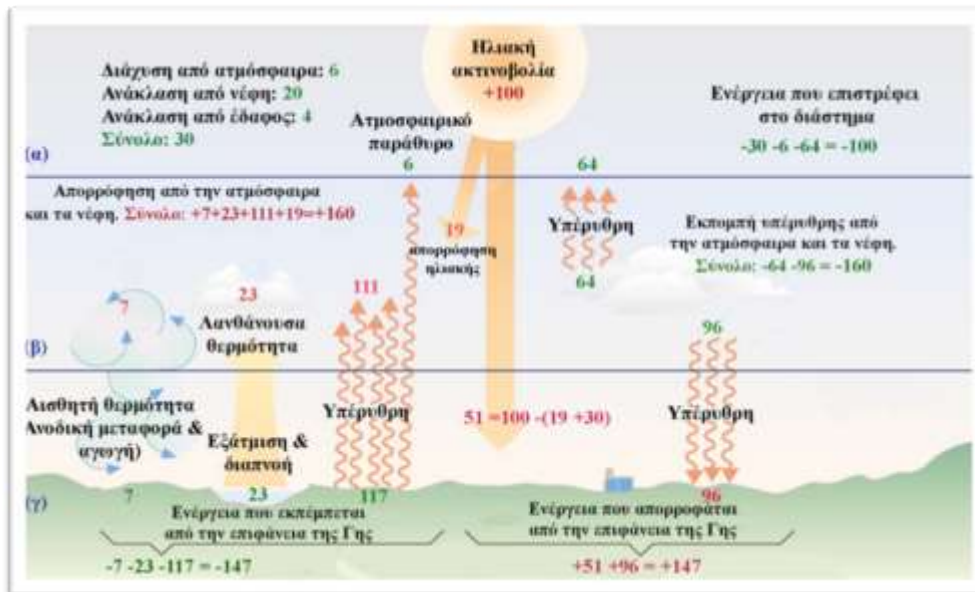
Στο ολικό ενεργειακό ισοζύγιο, η επιφάνεια της Γης λαμβάνει περισσότερη ενέργεια από όση αποβάλλει. Οι μηχανισμοί που είναι υπεύθυνοι για την μεταφορά της περίσσειας αυτής ενέργειας προς την ατμόσφαιρα ονομάζονται αισθητή και λανθάνουσα ροή θερμότητας. Επίσης, ενέργεια μεταφέρεται στο έδαφος μέσω της ροής θερμότητας του εδάφους και αποθηκεύεται από τα φυτά και τα κτίρια.



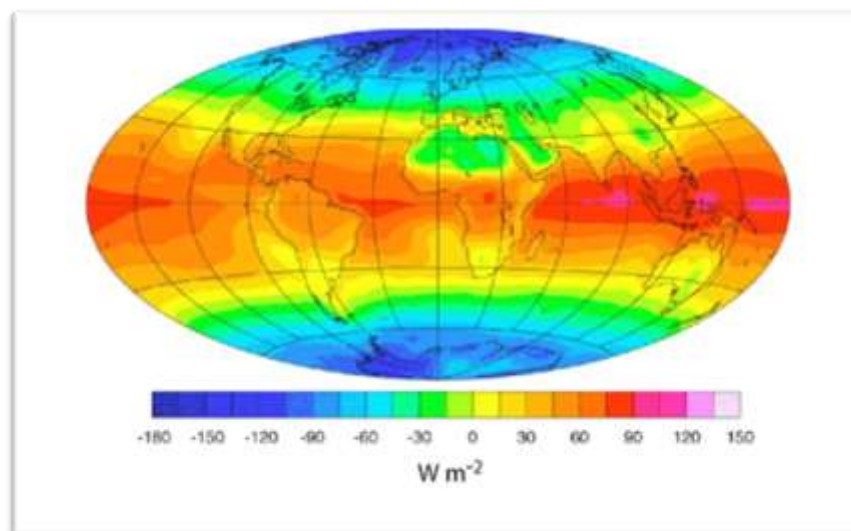
Εικόνα 3.12: Σχηματική απεικόνιση ημερήσιου κύκλου ισοζυγίου ενέργειας

Έχει υπολογιστεί, κατά προσέγγιση, ότι η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη Γη κατανέμεται όπως φαίνεται παρακάτω:

- το 2% απορροφάται πάνω από την τροπόσφαιρα
- το 19% απορροφάται μέσα στο στρώμα της τροπόσφαιρας
- το 48% απορροφάται από την επιφάνεια της γης
- Το 31% επιστρέφει στο διάστημα (ανάκλαση στα νέφη και στην επιφάνεια της γης, σκέδαση στην ατμόσφαιρα)



Εικόνα 3.13: Σχηματική αναπαράσταση ενεργειακού ισοζυγίου της Γης



Εικόνα 3.14: Χωρική κατανομή του μέσου ετήσιου ισοζυγίου ακτινοβολίας

## **3.6 Εξάτμιση κ εξατμισοδιαπνοή**

### **3.6.1 Γενικά**

Εξάτμιση ονομάζεται η αλλαγή φάσης του νερού από την υγρή ή τη στερεή, στην αέρια και η μεταφορά του στην ατμόσφαιρα.

Αποτελεί μια από τις σημαντικότερες διεργασίες του υδρολογικού κύκλου, καθώς αυτή αναδιανέμει το νερό μεταξύ του συστήματος Γης - ατμόσφαιρας.

Οι ωκεανοί, οι θάλασσες, οι λίμνες και τα ποτάμια παρέχουν περίπου το 90% της υγρασίας της ατμόσφαιρας, ενώ τα φυτά, μέσω της διαπνοής παρέχουν το υπόλοιπο 10%.

Ως εξατμισοδιαπνοή ορίζεται η ποσότητα του ύδατος που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα και περιλαμβάνει τόσο τη διαπνοή από τη βλάστηση και το έδαφος όσο και την εξάτμιση από υδάτινες επιφάνειες, το χιόνι, τον πάγο.

### **3.6.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή**

Η εξατμισοδιαπνοή είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο. Επομένως, οι τιμές που λαμβάνει είναι συνάρτηση διάφορων μεταβλητών. Παρακάτω, παρατίθενται οι σημαντικότεροι παράγοντες που την επηρεάζουν:

1. Γεωγραφικό πλάτος
2. Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας
3. Θερμοκρασία αέρα
4. Ταχύτητα του ανέμου
5. Επίπεδα ατμοσφαιρικής υγρασίας
6. Στάδιο ανάπτυξης των φυτών/δένδρων



Εικόνα 3.15: Λυσίμετρο

### 3.6.3 Μέθοδοι εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής

#### 1. Μέθοδοι άμεσης εκτίμησης:

- Καζάνια και δεξαμενές εξάτμισης
- Λυσίμετρα
- Χρήση αγροτεμαχίων

#### 2. Μέθοδοι έμμεσης εκτίμησης:

##### α) Μέθοδος Υδατικού Ισοζυγίου

Αποτελεί μια απλή και συνάμα αποτελεσματική προσέγγιση για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής. Βασίζεται στη λήψη μετρήσεων για τον υπολογισμό διάφορων παραμέτρων. Έπειτα, η εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται ως ο εναπομείναν όρος της παρακάτω εξίσωσης:

$$ET = P + \Delta SW \pm RO - D$$

όπου,

- **P**: ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχόπτωση, χιονόπτωση)
- **$\Delta SW$** : μεταβολή της ποσότητας του εδαφικού ύδατος
- **RO**: επιφανειακές απορροές
- **D**: διήθηση

### **b) Μέθοδος Penman-Monteith**

Αποτελεί τροποποίηση της μεθόδου Penman. Η εξατμισοδιαπνοή εδαφικής επιφάνειας υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση που ακολουθεί:

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma'} * \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma'}{\Delta + \gamma'} * F(u) * D$$

όπου,

- $\Delta$ : κλίση της καμπύλης κορεσμού των υδρατμών, [hPa/ °C]
- $\lambda$ : λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, [kJ/kg]
- $R_n$ : ολική καθαρή ενέργεια ακτινοβολίας, [kJ/ (m<sup>2</sup>\*d)]
- $D$ : έλλειμα κορεσμού των υδρατμών, [hPa]
- $\gamma$ : ψυχομετρικός συντελεστής, [hPa/ °C]
- $\gamma'=(1+0,33*u)*\gamma$ : τροποποιημένος ψυχομετρικός συντελεστής, [hPa/ °C]
- $F(u)=\frac{90}{T*273}*u$ : τροποποιημένη μορφή συνάρτησης ανέμου, [kg/ (hPa\*m<sup>2</sup>\*d)]
- $u$ : ταχύτητα ανέμου, [m/s]
- $T$ : θερμοκρασία αέρα, [°C]

## **3.7 Βροχόπτωση**

Η βροχόπτωση αποτελεί ένα είδος υγρής κατακρήμνισης. Όταν στο εσωτερικό ενός νέφους η συγκέντρωση των υδρατμών αυξηθεί αρκετά δημιουργούνται υδροσταγονίδια. Τα εν λόγω υδροσταγονίδια ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζοντας σταγόνες, και όταν η μάζα τους ξεπεράσει ένα όριο έλκονται από το βαρυτικό πεδίο της Γης, με αποτέλεσμα να πέφτουν προς το έδαφος. Αν αυτά παραμείνουν σε υγρή μορφή πριν φτάσουν στην επιφάνεια της Γης, τότε εμφανίζεται το φαινόμενο που ονομάζουμε βροχόπτωση.

Η βροχή αποτελεί μια από τις κυριότερες διεργασίες του υδρολογικού κύκλου. Πιο αναλυτικά, συμβάλλει στην ομοιόμορφη κατανομή υδάτων στην επιφάνεια της Γης και στον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων με νερό το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για ύδρευση όσο και για άρδευση. Επιπλέον, το βρόχινο νερό παρέχει στο έδαφος πρόσθετο άζωτο και οξυγόνο, συμβάλλοντας έτσι στη βιοποικιλότητα και την καρποφορία της γης.

### **3.7.1 Παράγοντες που προκαλούν βροχοπτώσεις**

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 3.4, ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να συγκρατήσει ορισμένη ποσότητα υδρατμών μέχρι τον κορεσμό του, η οποία μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν. Πέρα από αυτό το σημείο, οι υδρατμοί υγροποιούνται σχηματίζοντας



σταγόνες που κατευθύνονται προς το έδαφος με τη μορφή κατακρημνισμάτων. Επομένως, οι μεταβολές που παρουσιάζονται στη συνέχεια έχουν καταλυτικό ρόλο στην εμφάνιση βροχής:

1. Μείωση της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα και κατ' επέκταση μείωση της ποσότητας υδρατμών που μπορεί να συγκρατεί σε αέρια μορφή.
2. Αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης και κατ' επέκταση μείωση της ποσότητας υδρατμών που μπορεί να συγκρατεί σε αέρια μορφή.
3. Αύξηση της ποσότητας υδρατμών υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία.

### **3.7.2 Μέτρηση και κατηγοριοποίηση βροχοπτώσεων**

Για τη μέτρηση του ύψους βροχόπτωσης γίνεται χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού, όπως για παράδειγμα τα ραντάρ Doppler. Πιο συνηθισμένη είναι η χρήση βροχόμετρων και βροχογράφων που τοποθετούνται σε κατάλληλες θέσεις. Οι επιστήμονες κατατάσσουν τα διάφορα φαινόμενα βροχόπτωσης με βάση το ύψος βροχής που καταγράφεται στην εκάστοτε περιοχή την ώρα της εξέλιξης του φαινομένου. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, διαμορφώνονται οι παρακάτω κατηγορίες:

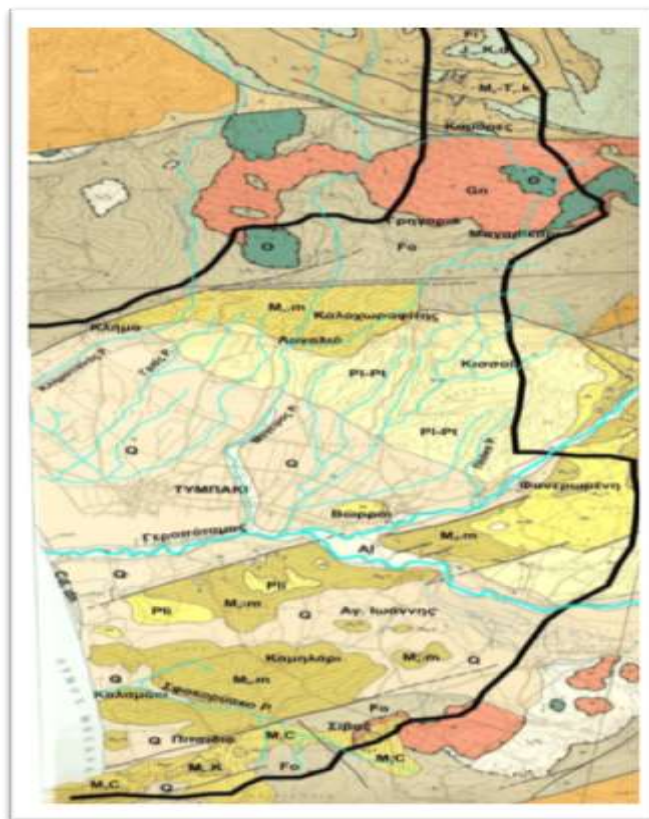
- Ασθενής βροχόπτωση, όταν  $H_{\text{βροχής}} < 2.5 \text{ mm/h}$
- Μέση βροχόπτωση, όταν  $H_{\text{βροχής}} = 2.5 - 7.5 \text{ mm/h}$
- Ισχυρή βροχόπτωση, όταν  $H_{\text{βροχής}} > 7.5 \text{ mm/h}$
- Καταρρακτώδης βροχόπτωση, όταν  $H_{\text{βροχής}} > 50 \text{ mm/h}$

## Κεφάλαιο 4: Γεωλογικές /Υδρολογικές πληροφορίες

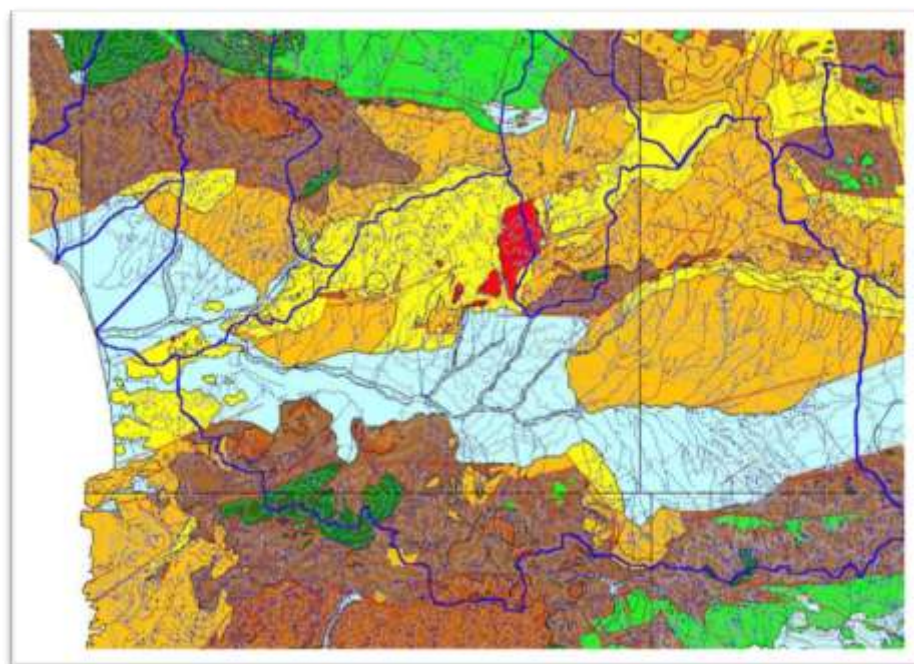
### 4.1 Γεωλογική δομή του υπεδάφους της περιοχής

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα γεωλογικών τομών που έχουν πραγματοποιηθεί παλαιότερα, αντλούνται οι παρακάτω πληροφορίες που αφορούν την γεωλογική στρωμάτωση της περιοχής μελέτης.

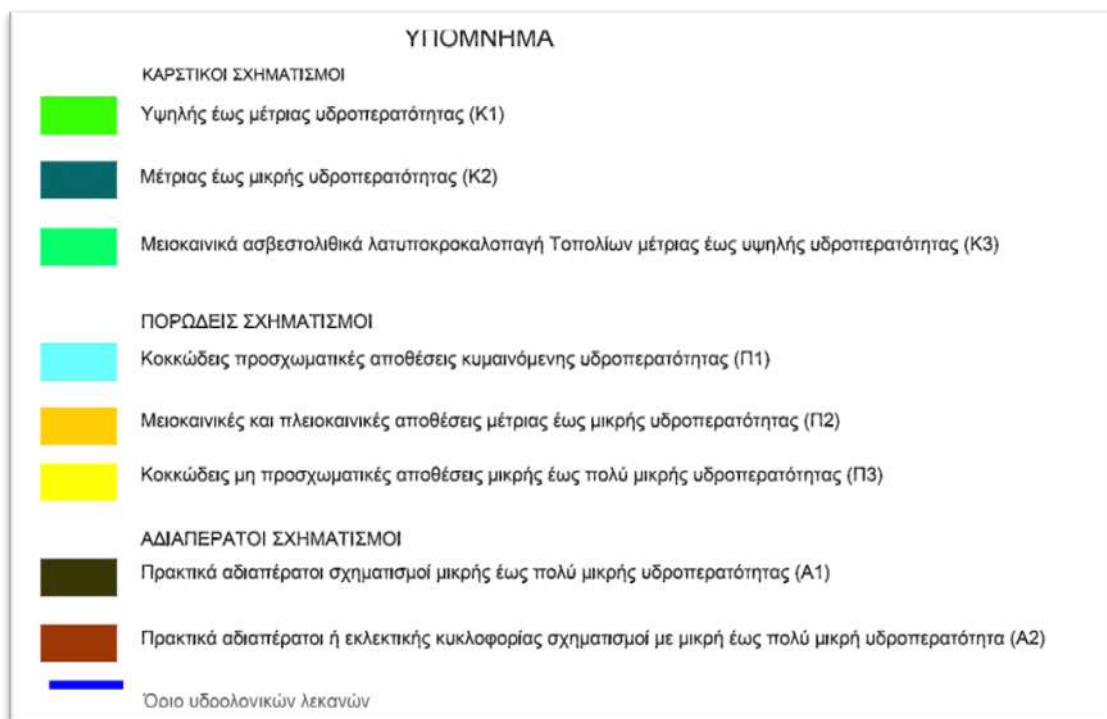
- Παράκτιες αποθέσεις της Ολόκαινου Περιόδου (Cd, Dn): Πρόκειται για άμμους, προσκολλημένες σε ψαμμίτες και κροκάλες. Οι αποθέσεις συναντώνται την παράκτια ζώνη της περιοχής του Τυμπακίου, στις εκβολές του Γεροποτάμου.
- Κροκαλοπαγή άμμους και αργίλους του Πλειστόκαινου (Pl-Pt): Πρόκειται γενικά για συγκολλημένα αλλουβιακά ριπίδια και ιζήματα ερυθρού, κίτρινου ή γκρίζου χρώματος σε συνδυασμό με παρεμβολές λιμναίων μαργαϊκών ασβεστολίθων.
- Θαλάσσιες αποθέσεις του Κατώτερου Πλειόκενου (Pl<sub>i</sub>): Περιλαμβάνουν λευκές και καστανωπές φυλλώδεις μάργες, λευκούς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Επιπλέον, στα ανώτερα μέρη του σχηματισμού παρουσιάζονται άμμοι, κροκαλοπαγή καθώς επίσης και κλαστικοί ασβεστόλιθοι.
- Αλλουβιακές Αποθέσεις (Al) του Τεταρτογενούς (Ολόκαινο): Αποθέσεις που δημιουργούνται σταδιακά από τη συσσώρευση κλαστικών προϊόντων αποσάθρωσης και θρυμματισμού πετρωμάτων. Αποτελούνται από χαλίκια, άμμους, ιλύ και άλλα φερτά υλικά. Τα προαναφερθέντα υλικά αποτέθηκαν από το ρέον νερό των ποταμών Γεροποτάμου, Κουτσουλίδη και Μάγειρα, στις κοίτες τους.
- Ερυθρά Κροκαλοπαγή, άμμοι και άργιλοι (Q) του Τεταρτογενούς (Αδιαίρετου): Πρόκειται για αποστρογγυλεμένα κομμάτια πετρωμάτων μαζί με άμμο και ιλύ ποταμολιμναίας προέλευσης.
- Μάργες και Γύψοι του Νεογενούς (M, m-g) (Ανώτερο Μειόκαινο– Μεσσήνιο): Εμφανίζονται ομογενείς και φυλλώδεις μάργες. Στο σύνολό τους, οι μάργες βρίσκονται πάνω καθώς και γύρω από τα ασβεστολιθικά στρώματα. Σε μικρό βαθμό, παρατηρούνται κροκαλοπαγής και σελινιτικές γύψοι, οι οποίες είναι ενδιαστρωμένες μεταξύ των εναλλασσόμενων στρωμάτων των ομοιογενών και φυλλωδών μαργών.
- Αποθέσεις Θαλάσσιες, Υφάλμυρες ή Γλυκού Νερού του Νεογενούς (Pt) (Ανώτερο Μειόκαινο–Τορτόνιο): Χαρακτηρίζονται από ανώμαλες εναλλαγές κροκαλοπαγών, ψαμμιτών, άμμων, αργίλων και μαργών. Τοπικά παρεμβάλλονται λιγνίτες και λιμναίοι ασβεστόλιθοι



Εικόνα 4.1: Γεωλογικός χάρτης Τυμπακίου και της ευρύτερης περιοχής, (κλίμακα 1:150000, ΙΓΜΕ)



Εικόνα 4.2: Υδρογεωλογικός χάρτης της λεκάνης της Μεσσαράς



Εικόνα 4.3: Υπόμνημα Χάρτη

## 4.2 Υδρολογία της περιοχής

Η υδρολογική λεκάνη του Τυμπακίου αποτελεί τμήμα της ευρύτερης λεκάνης της Μεσσαράς και βρίσκεται στο ανατολικό άκρο της.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η πόλη του Τυμπακίου και η ευρύτερη πεδιάδα αποτελούν κύρια αγροτική περιοχή της Κρήτης με μεγάλο αριθμό θερμοκηπίων και στρεμμάτων καλλιεργήσιμης γης. Ως εκ τούτου, οι αρδευτικές ανάγκες της περιοχής είναι τεράστιες και καλύπτονται σε μεγάλο βαθμό από αντλούμενα υπόγεια ύδατα μέσω γεωτρήσεων. Το ίδιο ισχύει και για την κάλυψη των αναγκών της πόλης σε πόσιμο νερό.

Γενικά, η αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων της λεκάνης πραγματοποιείται από τα ποτάμια που τη διασχίζουν, όπως για παράδειγμα ο ποταμός Μάγειρος, ο Ληθαίος ποταμός. Επιπλέον, μικρή είναι η συμβολή των βροχοπτώσεων στον εμπλουτισμό τους, κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες.

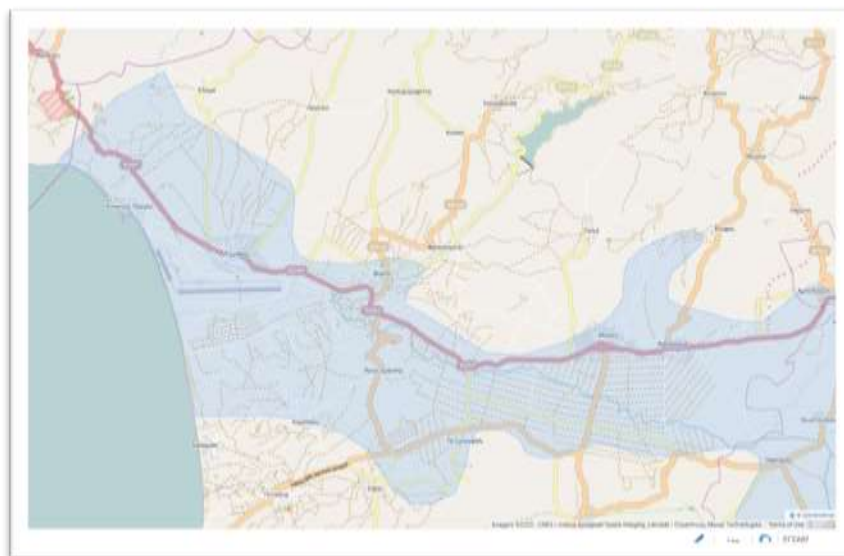
Με την πάροδο του χρόνου, οι ανεξέλεγκτοι ρυθμοί άντλησης και η αλόγιστη χρήση του νερού από τους κατοίκους οδήγησαν στην υπερεκμετάλλευση των υδροφόρων στρωμάτων της περιοχής. Το αποτέλεσμα ήταν να προσχωρήσει θαλασσινό νερό από τον παρακείμενο κόλπο στον υδροφόρα, οδηγώντας στην εμφάνιση του φαινομένου της υφαλμύρισης. Το πρόβλημα αυτό επιδεινώθηκε από την πληθώρα παράνομων γεωτρήσεων που λειτουργούσαν στην περιοχή. Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιούνται συντονισμένες προσπάθειες για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Οι τοπικές αρχές σε συνεννόηση με το υπουργείο περιβάλλοντος προχώρησαν στον εντοπισμό και το σφράγισμα πολλών παράνομων γεωτρήσεων.

Επίσης σημαντική συμβολή στην αντιμετώπιση του προβλήματος είχε η κατασκευή της τεχνητής λίμνης και του φράγματος της Φανερωμένης. Πρόκειται για ένα χωμάτινο φράγμα κλασσικού τύπου με χωρητικότητα ταμειυτήρα  $17 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , το οποίο βρίσκεται περίπου 7 km βορειοανατολικά του Τυμπακίου. Η κατασκευή του ολοκληρώθηκε το 2003, με σκοπό να συμβάλλει τόσο στην κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της πεδιάδας της Μεσσαράς, όσο και στην παροχή πόσιμου νερού στην πόλη του Τυμπακίου και σε όμορους οικισμούς



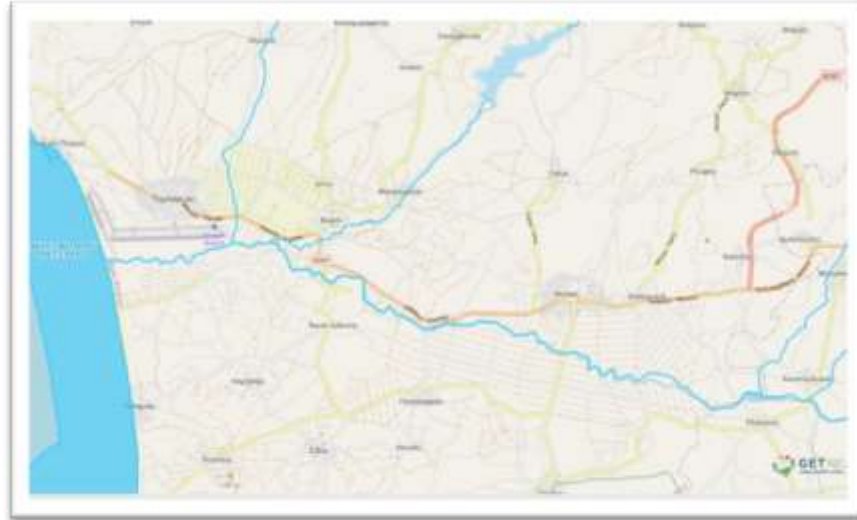
Εικόνα 4.4: Φράγμα στη λίμνη Φανερωμένης

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται 2 χάρτες με χρήσιμες πληροφορίες για την υδρολογία της περιοχής.



Εικόνα 4.5: Χάρτης υπογείων υδάτων Τυμπακίου και της ευρύτερης περιοχής





Εικόνα 4.6: Υδρολογικός χάρτης Τυμπακίου και της ευρύτερης περιοχής

### 4.3 Υφαλμύριση

Στην παράγραφο αυτή θα ασχοληθούμε με το φαινόμενο της υφαλμύρισης. Ειδικότερα, γίνεται αναφορά στην τρόπο που αυτό δημιουργείται, εξετάζονται κάποιοι από τους παράγοντες, φυσικούς και ανθρωπογενείς, που οδηγούν στην εμφάνιση του και τις συνέπειες που προκαλεί.

Με τον όρο υφαλμύριση εννοούμε την αύξηση της αλατότητας του “καθαρού” ύδατος, η οποία προκαλείται συνήθως από την ανάμιξη του με θαλασσινό.

«Καθαρό ύδωρ» ονομάζεται εκείνο που πληρεί τις προδιαγραφές για να χρησιμοποιηθεί για ύδρευση και για άρδευση.

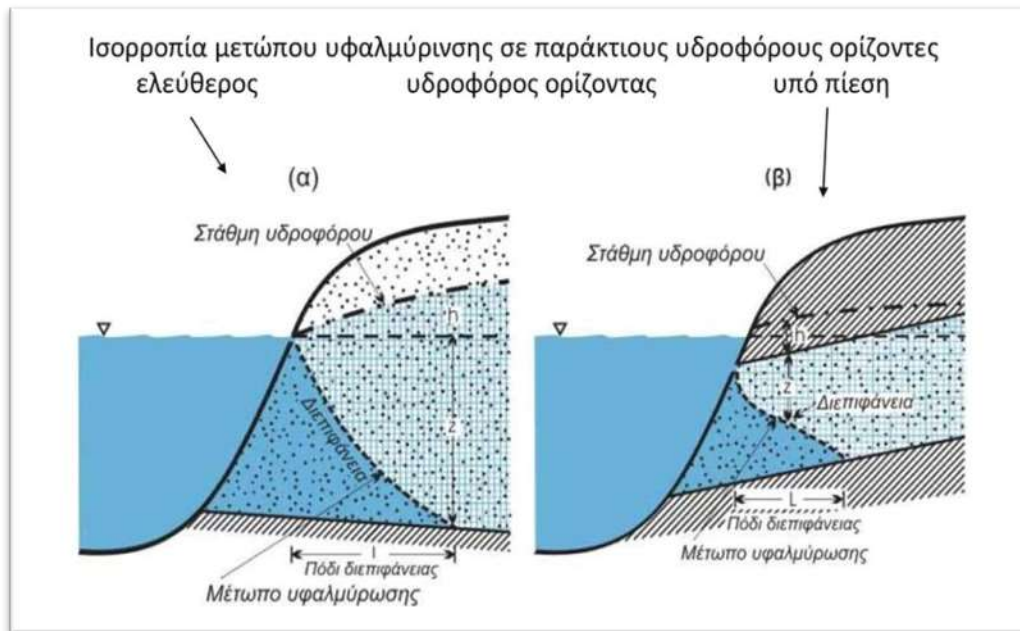
#### 4.3.1 Επεξήγηση του φαινομένου

Παρατηρείται σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης του νατρίου, χλωρίου και άλλων ιόντων με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού.

Οι πυκνότητες των δύο υδάτων είναι διαφορετικές. Το γλυκό νερό έχει πυκνότητα περίπου  $1,004 \frac{gr}{cm^3}$ , ενώ το θαλασσινό έχει  $1,1 \frac{gr}{cm^3}$ . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι το γλυκό νερό θα επιπλέει πάνω από το θαλασσινό, το οποίο εντοπίζεται σε κατώτερα τμήματα του υπεδάφους. Υπό φυσιολογικές συνθήκες λοιπόν, σχηματίζονται δύο υδάτινα στρώματα τα οποία διαχωρίζονται από μία ενδιάμεση ζώνη, η οποία ονομάζεται ζώνη διεπιφάνειας ή ζώνη μετάβασης.

Παρ' όλα αυτά, ορισμένες φορές παρατηρείται εισχώρηση του θαλασσινού ύδατος στον υπερκείμενο υδροφόρα.

Το φαινόμενο της υφαλμύρισης παρατηρείται σε πολλές περιοχές της χώρας μας και συχνότερα σε αγροτικές περιοχές που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα, ενώ εμφανίζεται τόσο σε ελεύθερους όσο και σε περιορισμένους υδροφορείς.



Εικόνα 4.7: Μέτωπο υφαλμύρινσης σε παράκτιους υδροφορείς α) Ελεύθερος υδροφορέας β) Περιορισμένος υδροφορέας

#### 4.3.2 Αίτια υφαλμύρινσης

Κάποιοι από τους παράγοντες, τόσο φυσικοί όσο και ανθρωπογενείς, που συμβάλλουν στην δημιουργία του φαινομένου αυτού:

- Μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχόπτωση, επιφανειακή απορροή) λόγω της κλιματικής αλλαγής
- Άνοδος της στάθμης της θάλασσας
- Διάλυση αλάτων στον υδροφορέα από γεωλογικούς σχηματισμούς
- Υπεράντληση νερού υπόγειων υδροφορέων
- Παράνομες γεωτρήσεις
- Αποστραγγιστικά έργα
- Υγρά απόβλητα υψηλής αλατότητας ανθρώπινης προελεύσεως (Μονάδες αφαλάτωσης)

Για τον έλεγχο της ποιότητας των υδάτων πραγματοποιούνται μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε γεωτρήσεις ή πηγάδια παρακολούθησης που βρίσκονται κοντά στην περιοχή που εμφανίζεται το πρόβλημα. Επίσης, πραγματοποιούνται λήψεις δειγμάτων νερού για έλεγχο συγκέντρωσής του σε διάφορα ιόντα όπως χλωριόντα, ιόντα νατρίου και ασβεστίου.

### 4.3.3 Επιπτώσεις της υφαλμύρισης

Οι επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει είναι ποικίλες. Αρχικά, αυτό το είδος του ύδατος δεν είναι πόσιμο και δύναται να προκαλέσει μακροχρόνια προβλήματα υγείας, ειδικά στις ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού.

Επιπλέον, η παρουσία υφάλμυρου νερού είναι ικανή να οδηγήσει σε διατάραξη του τοπικού οικοσυστήματος. Και αυτό διότι είναι επιβλαβής για αρκετούς ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς, οι οποίοι δεν μπορούν να προσαρμοστούν σε αυτό.

Σε ότι αφορά την αγροτική παραγωγή, όταν η ποσότητα καθαρού νερού δεν είναι επαρκής συχνά υπερκαλύπτεται με την χρήση υφάλμυρου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της αλατότητας του εδάφους, που με τη σειρά της, αντίστοιχα, οδηγεί σε σημαντική συρρίκνωση της καλλιεργήσιμης έκτασης και της δυναμικότητάς της.

Εκτός από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, το γεγονός αυτό έχει αναμφίβολα και οικονομικές προεκτάσεις τόσο για τους καταναλωτές, οι οποίοι βλέπουν αύξηση της τελικής τιμής των αγαθών που αγοράζουν, όσο βέβαια και για τους παραγωγούς, οι οποίοι υφίστανται σημαντική μείωση του εισοδήματός τους.

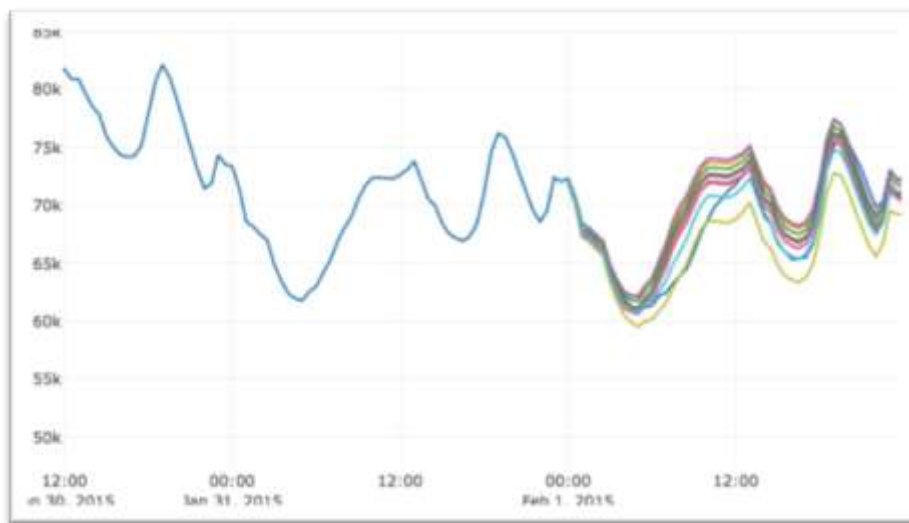
Ένα ακόμη πρόβλημα είναι η διάβρωση των σωληνώσεων στα τοπικά δίκτυα παροχής και μεταφοράς νερού. Πιο συγκεκριμένα, η αυξημένη περιεκτικότητα σε άλατα οδηγεί σε μείωση του χρόνου ζωής τους, και αύξηση του λειτουργικού κόστους του δικτύου λόγω επισκευής και συντήρησης του.



## Κεφάλαιο 5: Θεωρία ανάλυσης Χρονολογικών Σειρών

### 5.1 Χρονολογική σειρά

Σαν *χρονολογική σειρά* θεωρούμε ένα σύνολο τιμών (μετρήσεις ή παρατηρήσεις) μιας μεταβλητής (χαρακτηριστικού) που μας ενδιαφέρει, οι δε τιμές αυτές λαμβάνονται σε ίσα συνήθως χρονικά διαστήματα. Έτσι, η θερμοκρασία ή η υγρασία μίας περιοχής για ένα (συγκεκριμένο) χρονικό διάστημα, το ύψος των τριμηνιαίων πωλήσεων μίας εταιρείας ο αριθμός των επισκεπτών ενός αρχαιολογικού χώρου κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα χρονολογικών σειρών.



Εικόνα 5.1: Σχηματική απεικόνιση χαρακτηριστικών χρονολογικής σειράς

#### 5.1.1 Χρονολογική σειρά και προβλέψεις

Σκοπός της λεγόμενης *ανάλυσης (μελέτης) χρονολογικών σειρών* είναι η πρόβλεψη μελλοντικών τιμών της. Έχοντας δηλαδή μια σειρά από τιμές της στο παρελθόν, αναζητούμε τον αριθμό που θα ακολουθήσει (πρόβλεψη), κάνοντας την υπόθεση ότι οι παράγοντες που διαμόρφωσαν τη χρονολογική σειρά στο «κοντινό» παρελθόν θα συνεχίζουν να τη διαμορφώνουν (με ανάλογο τρόπο) και στο μέλλον. Μ' άλλα λόγια η  $\chi.σ$  θα ακολουθήσει το ίδιο μοτίβο και στο μέλλον. Η πρόβλεψη αυτή γίνεται (κυρίως) είτε μελετώντας χαρακτηριστικά των χρονολογικών σειρών είτε περιγράφοντας μαθηματικά το μηχανισμό που γεννά τις τιμές της. Η δυσκολία κατά την ανάλυση μιας χρονολογικής σειράς είναι να εκτιμηθεί, με κάποιο τρόπο, σωστά ο μηχανισμός που την παράγει.

Ανάλογα με τη χρονική διάρθρωση των τιμών της μεταβλητής, μια χρονολογική σειρά μπορεί να είναι:

- **Συνεχής  $\chi.σ$ :** εάν οι τιμές της αναφέρονται/αντιστοιχούν σε κάθε σημείου του χρόνου (θερμοκρασία).

- **Διακριτή χ.σ.**, εάν οι μετρήσεις/παρατηρήσεις της μεταβλητής γίνονται/ αντιστοιχούν σε προκαθορισμένα (σταθερά) χρονικά διαστήματα (αριθμός πελατών σε ένα κατάστημα κατά τη διάρκεια μιας ημέρας).

Μια πρώτη εικόνα/ανάλυση μιας χρονολογικής σειράς γίνεται με τη βοήθεια του λεγόμενου *χρονοδιαγράμματος* (διάγραμμα των τιμών της μεταβλητής αναφορικά με το χρόνο).

## 5.2 Προβλέψεις

Η ανάλυση/μοντελοποίηση χρονολογικών σειρών είναι ένας χώρος που έχει προσελκύσει την προσοχή της επιστημονικής έρευνας τις τελευταίες δεκαετίες. Στόχος της είναι η συλλογή και μελέτη των τιμών της χ.σ στο παρελθόν, για την ανάπτυξη ενός μοντέλου που περιγράφει δομή της. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μελλοντικών τιμών για τη σειρά, δηλαδή για την πραγματοποίηση προβλέψεων. (Raicharoen, Lursinsap & Sanguanbhoki, 2003). Είναι προφανές ότι μια επιτυχής πρόβλεψη εξαρτάται από την κατάλληλη προσαρμογή του μοντέλου.

Επιπλέον, η επιστημονική γνώση χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο για την πραγματοποίηση αξιόπιστων προβλέψεων. Βασικοί λόγοι είναι ότι:

- (α) Οι στατιστικοί ανέπτυξαν μεθόδους όπως π.χ. της παλινδρόμησης, του κινούμενου μέσου όρου κ.α.
- (β) Οι οικονομολόγοι ανέπτυξαν οικονομετρικά πρότυπα προβλέψεων και οι επιχειρησιακοί ερευνητές ανέπτυξαν τις μεθόδους της εκθετικής εξομάλυνσης, ευρύτατα διαδεδομένες σε επιχειρηματικά μοντέλα προβλέψεων.
- (γ) Τέλος, επιστήμονες οι οποίοι ασχολούνται με μακροχρόνιους προγραμματισμούς σε επιχειρήσεις/δημόσια διοίκηση ανέπτυξαν μια σειρά ποιοτικών μεθόδων (Ψωινός, 1989).

### 5.2.1 Στάδια διαδικασίας πρόβλεψης

Τα στάδια της διαδικασίας πρόβλεψης, περιληπτικά, είναι τα εξής:

- *Ορισμός του προβλήματος*,
- *Συγκέντρωση δεδομένων/πληροφοριών* (αριθμητικά δεδομένα ή/και ποιοτικές πληροφορίες δηλαδή προσωπικές απόψεις/κρίσεις εξειδικευμένων στελεχών).
- *Ανάλυση και διερεύνηση δεδομένων*. αναλύουμε τα ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα που συγκεντρώθηκαν, και διερευνούμε τάσεις αύξησης, μείωσης, περιοδικότητας κ.λ.π.
- *Προσαρμογή στα δεδομένα του κατάλληλου μαθηματικού πρότυπου/μοντέλου* από ένα πλήθος δυνατών (μαθηματικών) προτύπων πρόβλεψης.
- Χρήση του επιλεγμένου μοντέλου για *προβλέψεις των μελλοντικών τιμών* της μεταβλητής που μας ενδιαφέρει. Αξιολογούμε ακόμα την ακρίβεια των προβλέψεων και μπορούμε να αναπροσαρμόσουμε το πρότυπο και τη διαδικασία πρόβλεψης.

Οι προβλέψεις μπορούν να χαρακτηριστούν σαν:

- ✓ *βραχυπρόθεσμες* όταν αναφέρονται στο άμεσο μέλλον,
- ✓ *μακροπρόθεσμες* αναφέρονται στο απώτερο μέλλον
- ✓ *Μεσοπρόθεσμες*, όταν αναφέρονται σε ενδιάμεσο χρονικό ορίζοντα προγραμματισμού.

Η ταξινόμηση αυτή είναι αρκετά σχετική και εξαρτάται κυρίως από το είδος των διαθέσιμων δεδομένων.

## 5.2.2 Μέθοδοι προβλέψεων

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός μεθόδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πραγματοποίηση προβλέψεων. Είναι σχετικά πρόσφατες, βασίζονται δε όλο και περισσότερο στην επιστημονική γνώση (π.χ. μοντέλα παλινδρόμησης, οικονομικά μοντέλα κ.α.) και σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξή τους έπαιξε:

(α) η ραγδαία ανάπτυξη των κατάλληλων υπολογιστικών προγραμμάτων.

(β) η στατιστική ανάλυση, η οποία χρησιμοποιείται από τις περισσότερες από τις μεθόδους πρόβλεψης.

Οι κυριότερες (μεθοδολογικά) διαδικασίες πρόβλεψης είναι οι παρακάτω τρεις:

### (Α) Μέθοδοι ανάλυσης χρονολογικών σειρών και προβολής τάσης

Προσπαθούμε με τη βοήθεια ενός μαθηματικού μοντέλου να περιγράψουμε, τον τρόπο με τον οποίο διαμορφώθηκαν οι τιμές μιας μεταβλητής στο πρόσφατο παρελθόν (σαν συνάρτηση του χρόνου), και να προβάλλουμε τον ίδιο τρόπο στο μέλλον. Εφαρμόζονται όταν υπάρχουν διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία και ο χρονικός ορίζοντας της πρόβλεψης είναι μικρός. Εδώ ανήκουν:

- ✓ η *διάσπαση χρονολογικών σειρών*
- ✓ οι *μέθοδοι εξομάλυνσης*,
- ✓ η *στοχαστική μέθοδος Box – Jenkins* (μοντέλα *ARIMA*).

### (Β) Αιτιοκρατικές μέθοδοι

Κατασκευάζουμε μαθηματικά πρότυπα που αποδίδουν με σχετική ακρίβεια τη συμπεριφορά της μεταβλητής που μας ενδιαφέρει και τις αιτίες που προκάλεσαν τις μεταβολές της στο πρόσφατο παρελθόν. Τέτοια μαθηματικά πρότυπα είναι συνήθως:

- ✓ *υποδείγματα απλής ή πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης*,
- ✓ *πολύπλοκα οικονομετρικά υποδείγματα*

Περιγράφουν με συναρτήσεις (μία ή περισσότερες στατιστικές εξισώσεις) τις σχέσεις ανάμεσα σε μια εξαρτημένη και μία ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές, που σχετίζονται με αυτή και διαμορφώνουν την τιμή της. Γίνεται η παραδοχή ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές (οικονομικής, κοινωνικής ή άλλης φύσεως) προσδιορίζουν ή γίνονται η αιτία των μεταβολών των τιμών των παρατηρήσεων. Για το λόγο αυτό τα πρότυπα αυτά είναι επίσης γνωστά σαν *αιτιολογικά πρότυπα/αιτιοκρατικές μέθοδοι*. (Δερβιτσιώτης, 1980).

### (Γ) Ποιοτικές μέθοδοι ή μέθοδοι κρίσης.

Ορισμένες από τις μεθόδους πρόβλεψης στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό στην πείρα και τις υποκειμενικές εκτιμήσεις ανθρώπων μέσα ή έξω από μια επιχείρηση/οργανισμό. Καταλήγουμε δηλαδή σε ποσοτικές εκτιμήσεις των μελλοντικών τιμών της μεταβλητής του ενδιαφέροντός μας βασιζόμενοι σε υποκειμενικές κρίσεις / προσωπική γνώμη μιας ομάδας ειδικών (ποιοτικά στοιχεία/ πληροφορίες). Χρησιμοποιούνται όταν δεν υπάρχουν στη διάθεσή μας αξιόπιστα στατιστικά στοιχεία ή αρκετός διαθέσιμος χρόνος για τη διαμόρφωση πρόβλεψης με αναλυτική τεχνική. Χαρακτηριστική μέθοδος σε αυτή εδώ είναι η λεγόμενη **μέθοδος των Δελφών**.

### 5.2.3 Υποδείγματα χρονολογικών σειρών

Τα υποδείγματα/πρότυπα χρονολογικών σειρών διακρίνονται σε

- *προσδιοριστικά* (deterministic)
- *στοχαστικά* (stochastic)

Στην περίπτωση που οι τιμές μιας της χρονολογικής σειράς μπορούν να καθορισθούν από μια συνάρτηση (και επομένως να προβλεφθούν επακριβώς), τότε η σειρά ονομάζεται *αιτιοκρατική*. Αν όμως οι μελλοντικές τιμές της καθορίζονται πιθανοθεωρητικά (κατανομή πιθανότητας), τότε η σειρά ονομάζεται *στοχαστική*.

Το στοιχείο που διαφοροποιεί τις δύο κατηγορίες είναι ο ρόλος που παίζει η *τυχαιότητα* στην τιμή της μεταβλητής που θέλουμε να προβλέψουμε. Στα προσδιοριστικά υποδείγματα χρησιμοποιούνται μαθηματικές μορφές (κινούμενοι μέσοι όροι, εκθετική εξομάλυνση), με την τυχαιότητα να προστίθεται σαν σφάλμα σε κάθε χρονική στιγμή. Στα στοχαστικά υποδείγματα η τυχαιότητα αποτελεί το μηχανισμό μέσα από τον οποίο δημιουργείται η χρονολογική σειρά.

### 5.2.4 Μέθοδοι εκτίμησης σφάλματος πρόβλεψης

Μια πρόβλεψη των τιμών μιας χρονολογικής σειράς δεν είναι πλήρης αν δεν συνοδεύεται από μια εκτίμηση του αναμενόμενου σφάλματος. Υπάρχουν διάφοροι δείκτες ακρίβειας της πρόβλεψης, παρόμοιοι με το τυπικό σφάλμα εκτίμησης στην ανάλυση παλινδρόμησης. Οι πιο συνηθισμένοι είναι:

**(α) Το μέσο σφάλμα τετραγώνου (MSE):** είναι ίσο με το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων των προβλέψεων διαιρούμενο με τον αριθμό των αντίστοιχων χρονικών περιόδων (n), δηλαδή:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y(t) - \hat{Y}(t))^2$$

$Y(t)$  η πραγματική τιμή της χ.σ τη περίοδο t και  $\hat{Y}(t)$  η προβλεπόμενη τιμή της χ.σ. την περίοδο t.

Ο δείκτης MSE δίνει βαρύτητα στα μεγάλα σφάλματα έναντι των μικρών. Είναι κατάλληλος να χρησιμοποιηθεί όταν το κόστος που δημιουργείται από το σφάλμα αυξάνεται έντονα με το μέγεθος του σφάλματος στην πρόβλεψη.

**(β) Η μέση απόλυτη απόκλιση (MAD):** πρόκειται για τη μέση τιμή των αποκλίσεων (δηλαδή των σφαλμάτων):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y(t) - \hat{Y}(t)|$$

όπου  $|\dots|$  η απόλυτη τιμή αριθμού.

Είναι κατάλληλη όταν το κόστος από σφάλματα είναι το ίδιο, ανεξάρτητα αν προέρχονται από πολλά μικρά σφάλματα ή λίγα μεγάλα. Η σχέση που συνδέει την τυπική απόκλιση σ ίδιων σφαλμάτων με το δείκτη (MAD) είναι  $\sigma = 1,25 * (MAD)$ .

## 5.3 Μέθοδοι ανάλυσης χρονολογικών

### 5.3.1 Προβλέψεις με ανάλυση χρονολογικών σειρών

Στην ανάλυση χρονολογικών σειρών γίνεται η παραδοχή ότι: η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής μιά συγκεκριμένη χρονική περίοδο (Y) είναι αποτέλεσμα τεσσάρων παραγόντων (συνθετικά στοιχεία της χρονολογικής σειράς) τα οποία ονομάζονται **χαρακτηριστικά της χρονοσειράς**, συμβολικά,  $Y = f(T, C, S, R)$  όπου :

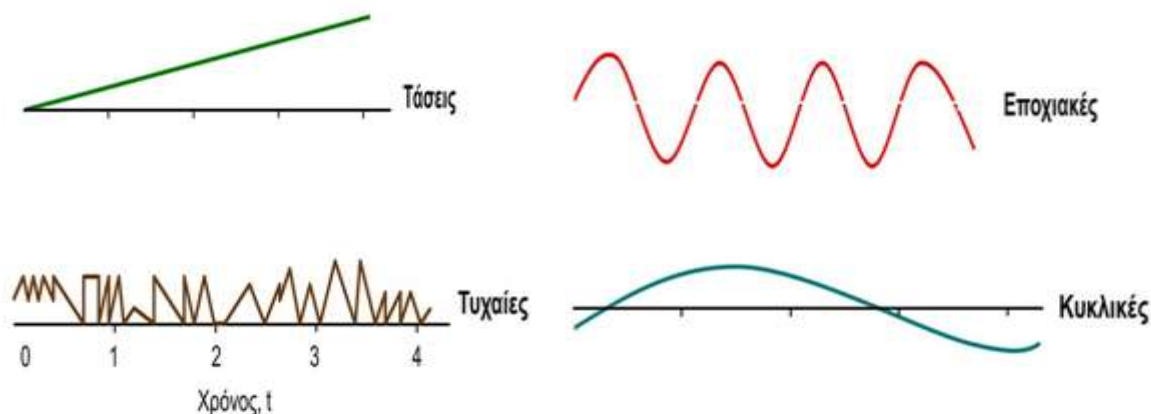
- Y = η *πραγματική τιμή* της εξαρτημένης μεταβλητής σε δεδομένη χρονική στιγμή
- T = η *μακροχρόνια τάση* (ανοδική ή καθοδική) ,
- C = η *κυκλική διακύμανση* που οφείλεται σε παράγοντες οικονομικούς, τεχνολογικούς, κοινωνικούς κ.α
- S = η *εποχική διακύμανση* (επανάληψη του ίδιου μοτίβου ανά τακτά χρονικά διαστήματα)
- R = η *τυχαία ή απρόβλεπτη διακύμανση*, η οποία δεν αποδίδεται στους παραπάνω παράγοντες.

### 5.3.2 Χαρακτηριστικά χρονολογικής σειράς

Σε πολλές περιπτώσεις χρονολογικών σειρών υπάρχει συνδυασμός των παραπάνω χαρακτηριστικών και η αναγνώρισή τους είναι γενικά πρόβλημα δύσκολο κάνοντας έτσι την πρόβλεψη διαδικασία αρκετά πολύπλοκη.

Τα χαρακτηριστικά λοιπόν μιας χρονοσειράς είναι:

- Η *μακροπρόθεσμη τάση*,  $T$ , η οποία προσδιορίζεται από την άνοδο (ή κάθοδο) στο μέσο ύψος της μεταβλητής του ενδιαφέροντος για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Δηλαδή αν και μερικές παρατηρήσεις παρουσιάζουν μικρότερη/ μεγαλύτερη τιμή από τις αμέσως προηγούμενες τους, στο σύνολό τους οι τιμές της χ.σ. τείνουν να αυξάνονται ή να μειώνονται.
- Η *κυκλική διακύμανση* ή *κύκλος* που αναφέρεται στην απόκλιση της πραγματικής τιμής της μεταβλητής από την προβλεπόμενη (βάσει της τάσης) εξαιτίας π.χ οικονομικών κύκλων. Οι κύκλοι, δεν επανέρχονται με την ίδια συχνότητα, ούτε έχουν την ίδια μορφή γι αυτό είναι αδύνατη ή πρόβλεψή τους και ο έλεγχός τους.
- Σε αρκετές χ.σ (προϊόντα/υπηρεσίες) παρατηρούνται κυκλικές μεταβολές, που επαναλαμβάνονται ετησίως. Σε αντίθεση με τους κύκλους που δεν μπορούν να προβλεφθούν, οι *εποχικές διακυμάνσεις* επανέρχονται με την ίδια μορφή κάθε χρόνο και η ύπαρξή τους σχετίζεται με μεταβολές διαφόρων παραγόντων (καιρός, κοινωνικές θρησκευτικές παραδόσεις κ.α.). Αναφέρεται σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους που σχετίζονται συνήθως με φυσικές εποχές του έτους, όπως μήνα ή τρίμηνο.
- Η πραγματική τιμή μιας χ.σ. διαφέρει σχεδόν πάντα από την τιμή που θα μπορούσαμε να προβλέψουμε εξαιτίας της τάσης, της φάσης του κύκλου που διερχόμαστε και της εποχικότητας. Η παρατηρούμενη αυτή ανεξήγητη απόκλιση ονομάζεται *τυχαία διακύμανση* θεωρούμε ότι είναι τυχαία και οφείλεται στην αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει το περιβάλλον. Επομένως, οι τυχαίες διακυμάνσεις είναι απρόβλεπτες και κάποιες φορές ανεξέλεγκτες.



Εικόνα 5.2: Σχηματική απεικόνιση των χαρακτηριστικών χρονολογικής σειράς

Το επόμενο βήμα, μετά τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της χ.σ, είναι ο καθορισμός της μορφής της συνάρτησης που τα συνδέει. Τα είδη προτύπων που χρησιμοποιούνται είναι το **αθροιστικό** και το **πολλαπλασιαστικό**.

Στο αθροιστικό πρότυπο, η πραγματική τιμή μιας μεταβλητής θεωρείται ότι προκύπτει από το άθροισμα των επιρροών των τεσσάρων χαρακτηριστικών, δηλαδή:

$$Y = (T + C + S) + (R)$$

Στο πρότυπο αυτό κάθε όρος εκφράζεται με τις ίδιες μονάδες.

Στο πολλαπλασιαστικό πρότυπο, η πραγματική τιμή μιας μεταβλητής προσδιορίζεται από το γινόμενο των επιρροών των τεσσάρων χαρακτηριστικών, δηλαδή:

$$Y = (T * C * S) * (R)$$

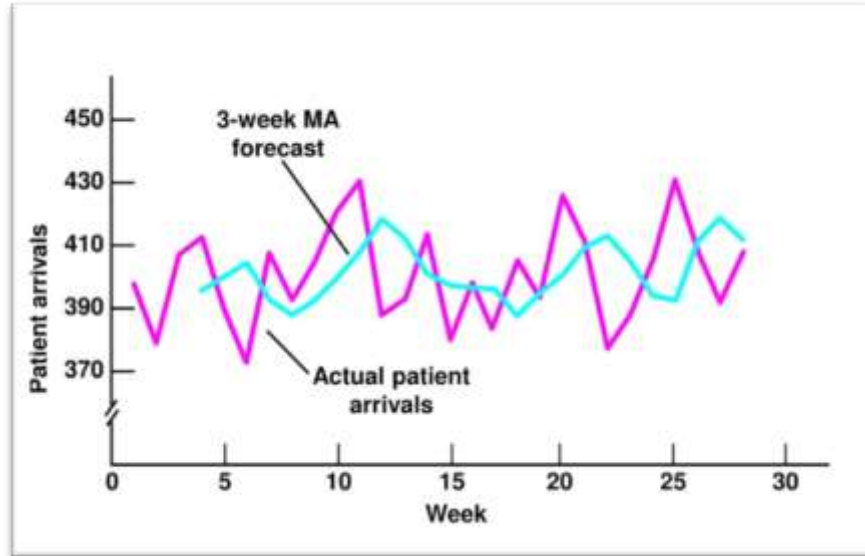
Στη πρότυπο αυτό η τιμή της μεταβλητής εκφράζεται με μονάδες μόνο στον όρο της μακροπρόθεσμης τάσης (T), ενώ τα αποτελέσματα των άλλων χαρακτηριστικών εμφανίζονται σαν ποσοστιαίες προσαρμογές της τάσης (T).

### 5.3.3 Μέθοδοι εξομάλυνσης

Οι **μέθοδοι εξομάλυνσης** (smoothing methods) είναι τεχνικές με τις οποίες προσδιορίζονται οι μελλοντικές τιμές μιας μεταβλητής με βάση τον τρόπο εφαρμογής τους. Το όνομα τους προκύπτει από το γεγονός ότι η δημιουργία των προβλέψεων προέρχεται από την εξομάλυνση της διαχρονικής εξέλιξης των τιμών της μεταβλητής, ώστε να αναγνωριστεί καλύτερα ο τρόπος συμπεριφοράς της. Οι κυριότερες μέθοδοι εξομάλυνσης είναι:

- *Απλός κινητός ή κινούμενος μέσος* (κατάλληλη για στάσιμες χ.σ)
- *Απλή εκθετική εξομάλυνση* (όταν οι πρόσφατες παρατηρήσεις θεωρούμε ότι περιέχουν περισσότερες πληροφορίες από τις παλαιότερες)
- *Διπλός κινητός μέσος*
- *Μέθοδος Brown* (για χ.σ. με τάση)
- *Μέθοδος Holt* (για χ.σ. με τάση)
- *Μέθοδος Winters* (για χ.σ. με τάση και εποχικότητα)

Ένας απλός τρόπος πρόβλεψης των τιμών της χ.σ. για την επόμενη (μόνον) χρονική περίοδο είναι με έναν *απλό κινητό μέσο* (μέσος όρος δεδομένων/τιμών συγκεκριμένου αριθμού προηγούμενων χρονικών περιόδων).



Εικόνα 5.3: Σχηματική απεικόνιση χρονολογικής σειράς με την χρήση της μεθόδου του απλού κινητού μέσου

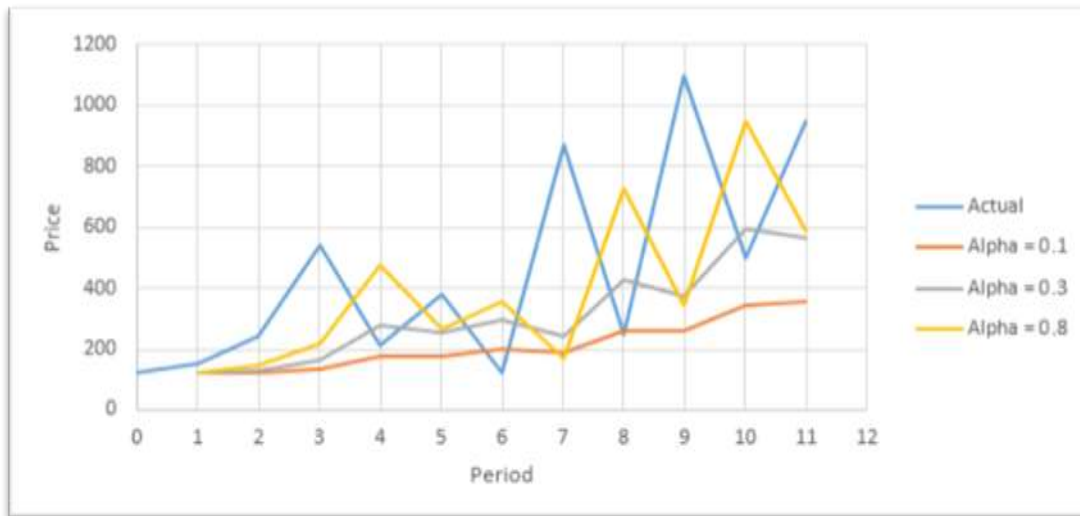
#### ➤ Χρονολογική σειρά και κινητοί μέσοι

Η μέθοδος αυτή έχει δύο μειονεκτήματα:

- (α) δίνει ίδιο βάρος (σταθμίζει) σε καθένα από τα δεδομένα των προηγούμενων περιόδων (γεγονός που μπορεί να μην εκφράζει ικανοποιητικά την παρούσα κατάσταση). Όσο πιο πολύ στο παρελθόν αναφέρονται τα δεδομένα, τόσο μικρότερη συνήθως είναι η συμβολή τους στη διαμόρφωση μιας πρόβλεψης
- (β) η ανάγκη αποθήκευσης δεδομένων για κάθε περίοδο δημιουργεί σημαντικές απαιτήσεις μνήμης ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Μια μέθοδος που εξουδετερώνει τα δύο αυτά μειονεκτήματα, *σταθμίζοντας* τα δεδομένα πρόσφατων περιόδων με συντελεστές βαρύτητας μεγαλύτερους από αυτούς των περιόδων του «μακρινού» παρελθόντος είναι η *εκθετική εξομάλυνση*.





Εικόνα 5.4: Σχηματική απεικόνιση εκθετικής εξομάλυνσης χρονολογικής σειράς

### ➤ Χρονολογική σειρά και εκθετική εξομάλυνση

Η μέθοδος περιγράφεται με τη βοήθεια της παρακάτω εξίσωσης:

$$E(t+1) = E(t) + a \cdot (Y(t) - E(t))$$

όπου  $E(t)$ , η προβλεπόμενη τιμή της χρονολογικής σειράς για την περίοδο  $(t)$ ,  $Y(t)$  η πραγματική τιμή της χρονολογικής σειράς για την περίοδο  $(t)$  και  $a$  ο **συντελεστής εξομάλυνσης**, όπου  $0 < a < 1$ . Δηλαδή, η προβλεπόμενη τιμή της χρονολογικής σειράς για την περίοδο  $(t + 1)$  είναι ίση με τη τιμή της που είχε προβλεφθεί για την περίοδο  $(t)$  συν το γινόμενο του σφάλματος της πρόβλεψης  $[Y(t) - E(t)]$  πολλαπλασιασμένη με τη σταθερά εξομάλυνσης

Όταν ο συντελεστής εξομάλυνσης  $a = 0$ , τότε η προβλεπόμενη τιμή της χ.σ την περίοδο  $(t + 1)$  ισούται με την προβλεπόμενη τιμή της χ.σ. την περίοδο  $t$ , δηλαδή η μέθοδος αγνοεί την πραγματική τιμή της περιόδου  $t$ . Για σταθερά εξομάλυνσης  $a = 1$ , η προβλεπόμενη τιμή της περιόδου  $(t + 1)$  ισούται με την πραγματική τιμή της περιόδου  $t$ , δηλαδή η μέθοδος αγνοεί τις προηγούμενες τιμές του παρελθόντος. Η τιμή του συντελεστή εξομάλυνσης προσδιορίζεται δοκιμαστικά με κριτήριο την ελαχιστοποίηση κάποιου δείκτη του σφάλματος πρόβλεψης.

Οι υπόλοιπες μέθοδοι εξομάλυνσης ορίζονται ανάλογα.

## Κεφάλαιο 6: Ανάλυση Μετεωρολογικών Δεδομένων

Αναλύουμε παρακάτω, πρώτα, μετεωρολογικά δεδομένα που αφορούν την περιοχή του Τυμπακίου όπως:

(α) Βαρομετρική πίεση

(β) Θερμοκρασία

(γ) Ηλιακή ακτινοβολία

(δ) Σχετική υγρασία

(ε) Ταχύτητα ανέμου

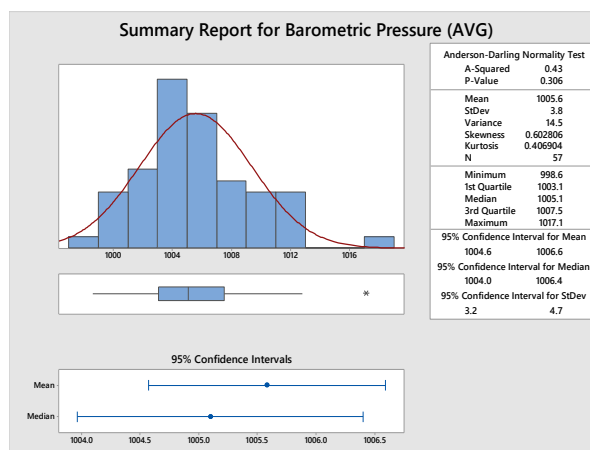
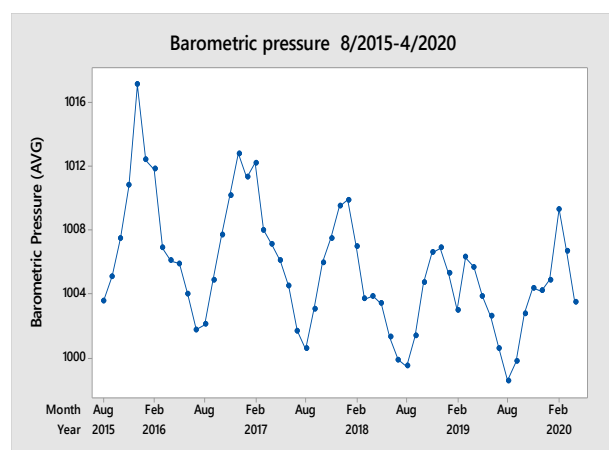
(στ) Ύψος βροχόπτωσης

Τα δεδομένα (μέσες μηνιαίες τιμές) για κάθε μια από τις παραπάνω ποσότητες, αφορούν την περίοδο Αύγουστος 2015 - Απρίλιος 2020. Προσπαθούμε να αναλύσουμε κάθε μια από τις μετεωρολογικές μεταβλητές πρώτα σαν χρονοσειρά, κατόπιν να κάνουμε προβλέψεις και τέλος να εξετάσουμε αν υπάρχουν τυχόν συσχετίσεις ανάμεσά τους.

### 6.1 Βαρομετρική πίεση

#### Περιγραφική Στατιστική: Barometric Pressure (AVG)

Variable	Mean	St.Dev	Minimum	Maximum	Range	Skewness	Kurtosis
Barometric Pressure (AVG)	1005.6	3.81	998.6	1017.1	18.5	0.60	0.41



Από το χρονοδιάγραμμα της χρονολογικής σειράς (χ.σ.) μπορεί να δει κανείς ότι, η βαρομετρική πίεση αποτελεί μια περιοδική σειρά (με περίοδο 12 μήνες) με μέση τιμή 1005.6 mmHg μικρή

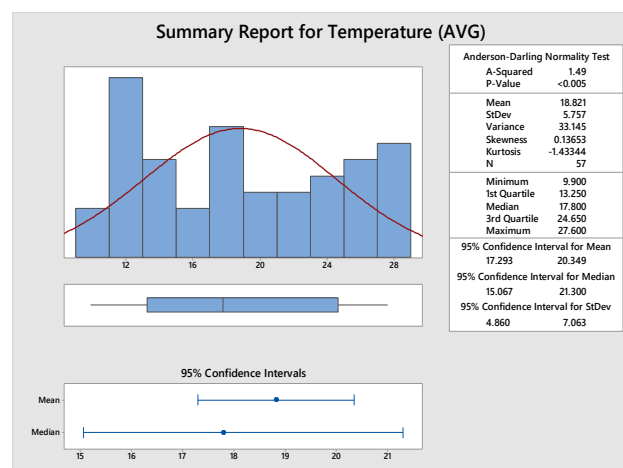
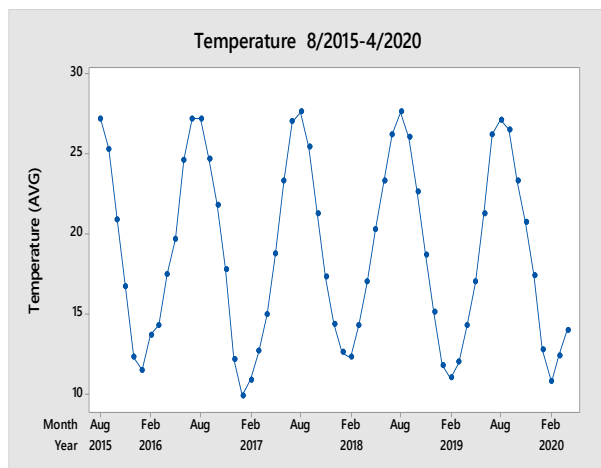
τυπική απόκλιση 3.81 mmHg (ελάχιστη τιμή 998.6 mmHg και μέγιστη τιμή 1017.1 mmHg). Ακόμα μπορεί να δει κανείς την πτωτική της τάση.

## 6.2 Θερμοκρασία

Τα δεδομένα της θερμοκρασίας (μέση μηνιαία θερμοκρασία) στην περιοχή του Τυμπακίου αφορούν την περίοδο Αύγουστος 2015 - Απρίλιος 2020. Από το χρονοδιάγραμμα της χ.σ. μπορεί να δει κανείς ότι, η θερμοκρασία αποτελεί μια (σχεδόν) *σταθερή περιοδική σειρά* (με περίοδο 12 μήνες) με ελάχιστη θερμοκρασία συνήθως το Φεβρουάριο (με μέση ελάχιστη θερμοκρασία τους 10-12 βαθμούς °C) και μέγιστη θερμοκρασία τον Αύγουστο (περίπου 28 °C). Δηλαδή το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται από τους ήπιους χειμώνες και τα όχι ιδιαίτερα θερμά καλοκαίρια (μέση μηνιαία θερμοκρασία 18.8 °C, τυπική απόκλιση 5.757 °C και 95% διάστημα εμπιστοσύνης (17.29, 20.34)).

### 6.2.1 Περιγραφική Στατιστική: Temperature (AVG)

Variable	Mean	St.Dev	Minimum	Maximum	Range	Skewness	Kurtosis
Temperature (AVG)	18.821	5.757	9.900	27.600	17.700	0.14	-1.43



Θέλοντας να μελετήσουμε περαιτέρω τη χρονοσειρά της θερμοκρασίας και να κάνουμε προβλέψεις, θα χρησιμοποιήσουμε δύο μεθόδους: (α) τη διάσπαση της σειράς (θεωρώντας τη χ.σ. σαν ένα προσθετικό μοντέλο των χαρακτηριστικών της// additive model) και (β) τη μέθοδο εξομάλυνσης Winters. Τα δεδομένα μας αναφέρονται όπως είπαμε σε χρονική περίοδο 57 μηνών.

## 6.2.2 Διάσπαση της χρονοσειράς της θερμοκρασίας

Time Series Decomposition for Temperature (AVG) Method

Model type	Additive Model
Data	Temperature (AVG)
Length	57
NMissing	0

Fitted Trend Equation (προσαρμοσμένη) γραμμή τάσης

$$Y_t = 18.884 + 0.00490 \times t$$

Στη συνέχεια δίνονται οι περιοδικοί δείκτες (μιας και πρόκειται για περιοδική χρονοσειρά) και δείκτες ακρίβειας της προσαρμογής του μοντέλου διάσπασης της. Η ερμηνεία των δεικτών είναι η εξής π.χ η ποσότητα -6.96111 σημαίνει ότι η μέση μηνιαία θερμοκρασία τον Ιανουάριο είναι 6.96 °C μικρότερη από τη μηνιαία θερμοκρασία που δίνει η γραμμή τάσης.

Seasonal Indices

Period	Index
Αύγουστος	7.94931
Σεπτέμβριος	6.35347
Οκτώβριος	3.10556
Νοέμβριος	-0.93194
Δεκέμβριος	-5.12778
Ιανουάριος	-6.96111
Φεβρουάριος	-7.42361
Μάρτιος	-5.55903
Απρίλιος	-3.10278
Μάιος	0.23056
Ιούνιος	4.08264
Ιούλιος	7.38472

Accuracy Measures

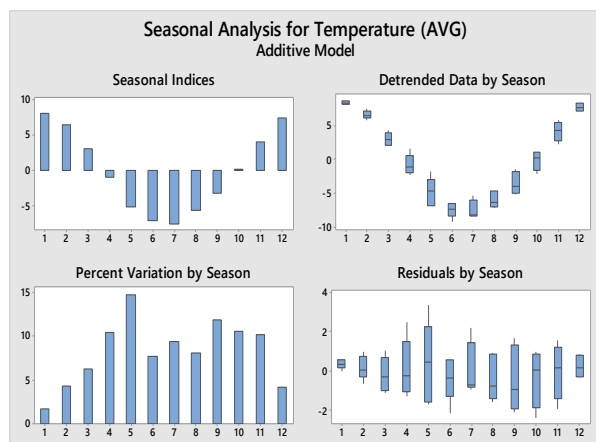
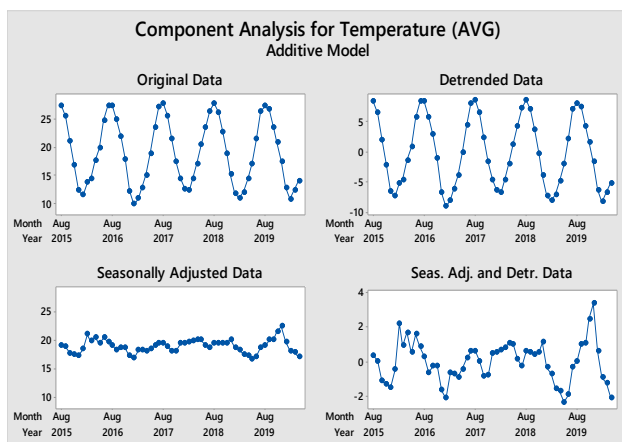
MAPE	5.85184
MAD	0.93599
MSD	1.35711

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι προβλέψεις (με τη βοήθεια της διάσπασης) της θερμοκρασίας για τους επόμενους (μετά τον Ιούνιο του 2020), 12 μήνες.

Period	Forecast	Period	Forecast
May/2020	19.3988	Nov/2020	18.2657
Jun/2020	23.2558	Dec/2020	14.0748
Jul/2020	26.5628	Jan/2021	12.2464
Aug/2020	27.1323	Feb/2021	11.7888
Sep/2020	25.5414	Mar/2021	13.6582
Oct/2020	22.2983	Apr/2021	16.1194

Στο αριστερό σχήμα παρακάτω μπορεί να δει κανείς τη μορφή που παίρνουν τα δεδομένα κατά τη διάσπαση της χρονοσειράς:

- (I) πάνω αριστερά τα δεδομένα μας
- (II) πάνω δεξιά τα δεδομένα όταν αφαιρεθεί η τάση (σχεδόν ίδια με τα δεδομένα μας αφού δεν υπάρχει (έντονη) τάση)
- (III) κάτω αριστερά τα δεδομένα όταν αφαιρεθεί η περιοδικότητα (σχεδόν σταθερή χ.σ )
- (IV) κάτω δεξιά τα δεδομένα μας με αφαιρεμένη την τάση και την περιοδικότητα (τυχαίες κυμάνσεις).



### 6.2.3 Μέθοδος εξομάλυνσης Winters

Winters' Method for Temperature (AVG)

Model type	Additive Method
Data	Temperature (AVG)
Length	57

Smoothing Constants (δείκτες εξομάλυνσης)

$\alpha$ (level)	0.01
$\gamma$ (trend)	0.01
$\delta$ (seasonal)	0.01

Accuracy Measures

MAPE	5.97061
MAD	0.95124
MSD	1.39963

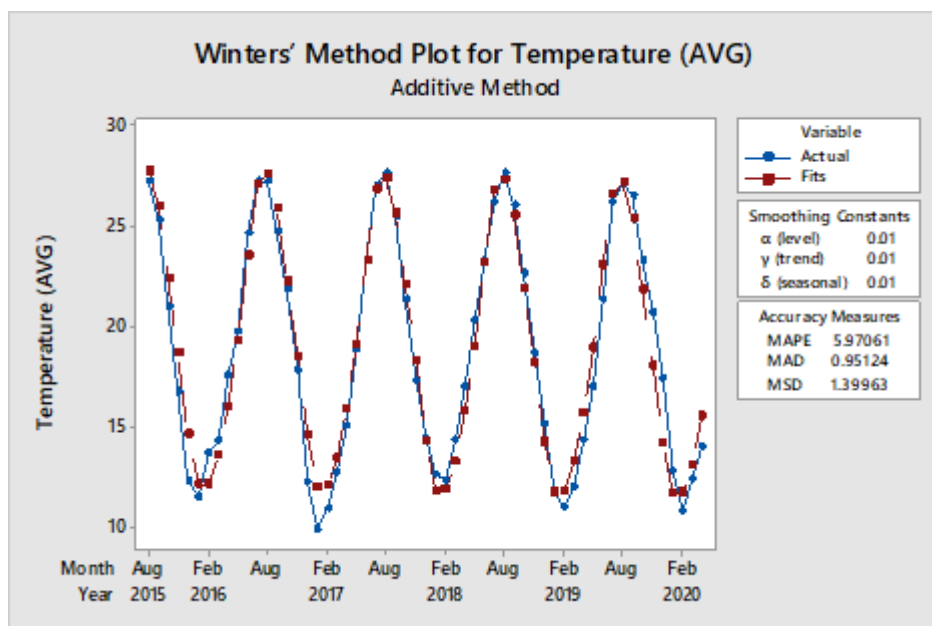
Model Summary

Time	Temp	Smooth	Predict	Error	Time	Temp	Smooth	Predict	Error
Aug/2015	27.2	27.7057	27.6969	-0.49695	Dec/2017	14.4	14.3140	14.3039	0.09611
Sep/2015	25.3	25.9599	25.9511	-0.65112	Jan/2018	12.6	11.7927	11.7826	0.81736
Oct/2015	20.9	22.3725	22.3637	-1.46369	Feb/2018	12.3	11.8697	11.8597	0.44027
Nov/2015	16.7	18.6370	18.6280	-1.92799	Mar/2018	14.3	13.2878	13.2778	1.02216
Dec/2015	12.3	14.6766	14.6674	-2.36745	Apr/2018	17.0	15.7421	15.7322	1.26776
Jan/2016	11.5	12.1117	12.1023	-0.60228	May/2018	20.3	18.9905	18.9808	1.31920
Feb/2016	13.7	12.1442	12.1347	1.56530	Jun/2018	23.3	23.2069	23.1973	0.10272
Mar/2016	14.3	13.5783	13.5690	0.73105	Jul/2018	26.2	26.7434	26.7339	-0.53386
Apr/2016	17.5	16.0242	16.0149	1.48506	Aug/2018	27.6	27.2693	27.2596	0.34036
May/2016	19.7	19.2801	19.2710	0.42901	Sep/2018	26.0	25.5175	25.5079	0.49208
Jun/2016	24.6	23.4782	23.4691	1.13085	Oct/2018	22.6	21.9346	21.9250	0.67498
Jul/2016	27.2	27.0334	27.0244	0.17557	Nov/2018	18.7	18.2098	18.2003	0.49965
Aug/2016	27.2	27.5716	27.5626	-0.36265	Dec/2018	15.1	14.2632	14.2538	0.84619
Sep/2016	24.7	25.8254	25.8165	-1.11646	Jan/2019	11.8	11.7573	11.7479	0.05207

<b>Oct/2016</b>	21.8	22.2252	22.2161	-0.41609	<b>Feb/2019</b>	11.0	11.8236	11.8143	-0.81429
<b>Nov/2016</b>	17.8	18.4953	18.4861	-0.68614	<b>Mar/2019</b>	12.0	13.2356	13.2261	-1.22613
<b>Dec/2016</b>	12.2	14.5429	14.5337	-2.33367	<b>Apr/2019</b>	14.3	15.6703	15.6608	-1.36079
<b>Jan/2017</b>	9.9	11.9957	11.9863	-2.08631	<b>May/2019</b>	17.0	18.8933	18.8836	-1.88361
<b>Feb/2017</b>	10.9	12.0348	12.0252	-1.12520	<b>Jun/2019</b>	21.3	23.0656	23.0557	-1.75574
<b>Mar/2017</b>	12.7	13.4336	13.4239	-0.72387	<b>Jul/2019</b>	26.2	26.5770	26.5670	-0.36696
<b>Apr/2017</b>	15.0	15.8720	15.8622	-0.86221	<b>Aug/2019</b>	27.1	27.1127	27.1026	-0.00261
<b>May/2017</b>	18.8	19.0935	19.0835	-0.28354	<b>Sep/2019</b>	26.5	25.3586	25.3485	1.15151
<b>Jun/2017</b>	23.3	23.2906	23.2807	0.01935	<b>Oct/2019</b>	23.3	21.7835	21.7736	1.52643
<b>Jul/2017</b>	27.0	26.8243	26.8144	0.18562	<b>Nov/2019</b>	20.7	18.0652	18.0553	2.64465
<b>Aug/2017</b>	27.6	27.3563	27.3464	0.25361	<b>Dec/2019</b>	17.4	14.1431	14.1336	3.26643
<b>Sep/2017</b>	25.4	25.6079	25.5980	-0.19798	<b>Jan/2020</b>	12.8	11.6534	11.6442	1.15585
<b>Oct/2017</b>	21.3	22.0228	22.0129	-0.71291	<b>Feb/2020</b>	10.8	11.7223	11.7132	-0.91320
<b>Nov/2017</b>	17.3	18.2864	18.2765	-0.97646	<b>Mar/2020</b>	12.4	13.1294	13.1202	-0.72021

Ο παραπάνω πίνακας μας δίνει τα αποτελέσματα της εξομάλυνσης: στην 2<sup>η</sup> και 7<sup>η</sup> στήλη φαίνονται οι πραγματικές θερμοκρασίες, στην 3<sup>η</sup> και 8<sup>η</sup> τα εξομαλυμένα δεδομένα, στην 4<sup>η</sup> και στην 9<sup>η</sup> οι προβλέψεις από το μοντέλο (μέθοδος Winters), στην 5<sup>η</sup> και στη 10<sup>η</sup> τα σφάλματα της πρόβλεψης.

Τέλος, στο διάγραμμα που ακολουθεί, παριστάνεται η χρονοσειρά των δεδομένων μας καθώς και το διάγραμμα της χρονοσειράς πρόβλεψης (από το μοντέλο/ μέθοδος Winters). Μπορεί να δει κανείς ότι τα δύο διαγράμματα σχεδόν ταυτίζονται (πολύ καλή πρόβλεψη/προσαρμογή).



## 6.2.4 Συσχέτιση Μεταβλητών

Στη συνέχεια θα θέλαμε να δούμε αν υπάρχει (γραμμική) σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία και άλλους μετεωρολογικούς παράγοντες. Παρακάτω ερευνούμε μια τέτοια πιθανή σχέση με τη βαρομετρική πίεση.

### (I) Θερμοκρασία και βαρομετρική πίεση

❖ Regression Analysis: Barometric Pressure (AVG) versus Temperature (AVG)

The regression equation is:

$$\text{Barometric Pressure (AVG)} = 1015 - 0.4811 \text{ Temperature (AVG)}$$

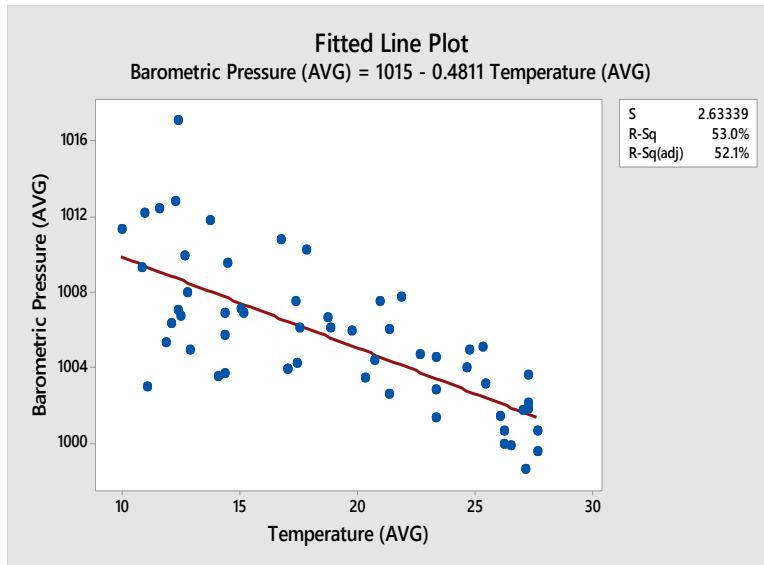
Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)
2.63339	52.97%	52.11%

Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	429.577	429.577	61.95	0.000
Error	55	381.411	6.935		
Total	56	810.989			

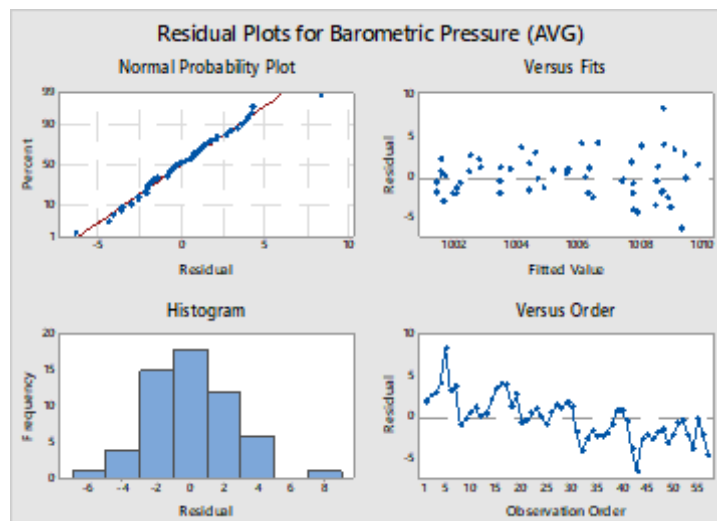




Από το διάγραμμα διασποράς φαίνεται ότι υπάρχει μια αρνητική (σχετικά) ισχυρή γραμμική (στατιστικά σημαντική) σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία και τη βαρομετρική πίεση (όταν αυξάνεται η θερμοκρασία η βαρομετρική πίεση, όπως αναμενόταν συνήθως μειώνεται). Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης είναι  $R=0.727$ .

Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι, οι υποθέσεις της απλής γραμμικής παλινδρόμησης πληρούνται όπως μπορεί να δει κανείς από το διάγραμμα που ακολουθεί:

- (I) το πάνω δεξιά διάγραμμα φανερώνει ότι τα κατάλοιπα/υπόλοιπα του μοντέλου ακολουθούν την κανονική κατανομή (δεδομένα κοντά σε ευθεία γραμμή)
- (II) το πάνω δεξιά ότι, τα υπόλοιπα έχουν την ίδια διασπορά, αφού είναι τυχαία κατανεμημένα
- (III) το κάτω αριστερά δείχνει και πάλι την κανονικότητά τους
- (V) το κάτω δεξιά, αν εξαιρέσει κανείς τη σειρά που παίρνονται τα δεδομένα, την ανεξαρτησία των υπολοίπων.

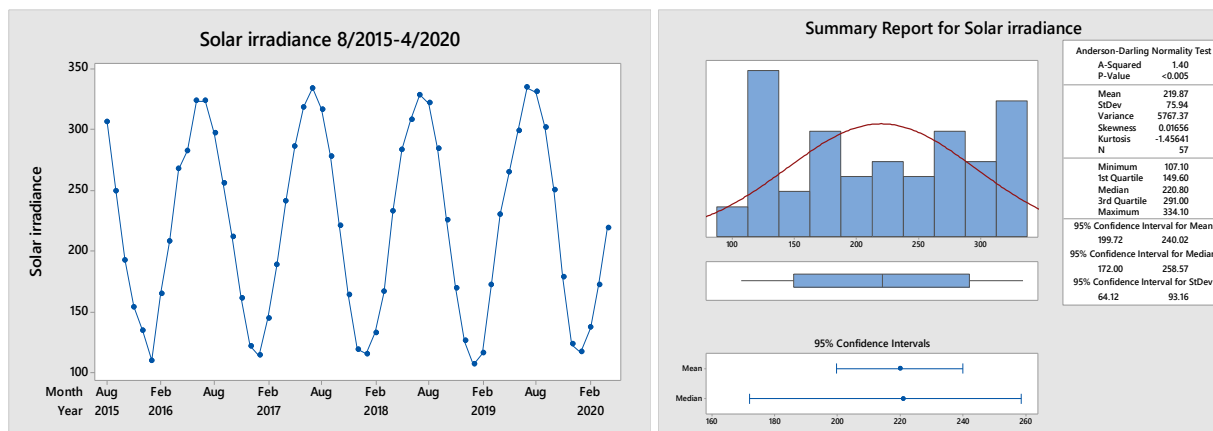


## 6.3 Ηλιακή ακτινοβολία

Τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας (μέση μηνιαία ένταση ηλιακής ακτινοβολίας) στην περιοχή μελέτης αφορούν την περίοδο Αύγουστος 2015-Απρίλιος 2020. Από το διάγραμμα της χρονολογικής σειράς γίνεται αντιληπτό ότι, η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί μια σταθερή περιοδική σειρά (με περίοδο 12 μήνες). Η μέση τιμή της πυκνότητας ηλιακής ακτινοβολίας ανέρχεται στα  $219,9 \frac{W}{m^2}$ . Αυξημένες τιμές καταγράφονται ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες, με τη μέγιστη τιμή να ανέρχεται στα  $334,1 \frac{W}{m^2}$  το μήνα Αύγουστο. Αντίθετα, χαμηλές τιμές παρατηρούνται το χειμώνα, λόγω του ότι το διάστημα αυτό παρουσιάζονται αυξημένες νεφώσεις και βροχοπτώσεις στην περιοχή. Η ελάχιστη τιμή πυκνότητας ηλιακής ακτινοβολίας καταγράφεται τον Ιανουάριο και να ισούται με  $107,1 \frac{W}{m^2}$ . Τέλος, τυπική απόκλιση  $75,94 \frac{W}{m^2}$  και 95% διάστημα εμπιστοσύνης (172, 258.7).

### 6.3.1 Περιγραφική Στατιστική: Solar irradiance

Variable	Mean	St.Dev	Minimum	Maximum	Range	Skewness	Kurtosis
Solar irradiance	219.9	75.9	107.1	334.1	227.0	0.02	-1.46



Θέλοντας να μελετήσουμε περαιτέρω τη  $\chi$ .σ. της ηλιακής ακτινοβολίας και να κάνουμε προβλέψεις, θα χρησιμοποιήσουμε και σε αυτό το σημείο δύο μεθόδους: (α) τη διάσπαση της σειράς (θεωρώντας την σαν ένα προσθετικό μοντέλο των χαρακτηριστικών της) και (β) τη μέθοδο εξομάλυνσης Winters.

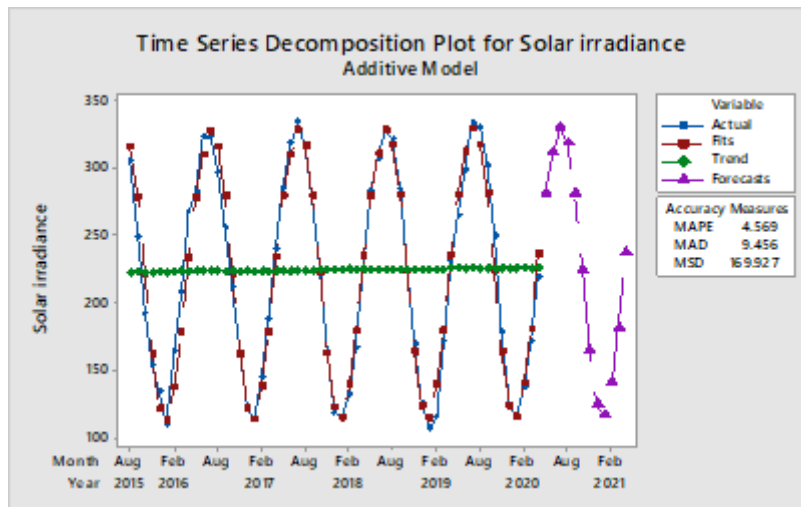
### 6.3.2 Διάσπαση χρονοσειράς της ηλιακής ακτινοβολίας

Time Series Decomposition for Solar irradiance

Model type	Additive Model
Data	Solar irradiance
Length	57

Fitted Trend Equation-(προσαρμοσμένη) γραμμή τάσης

$$Y_t = 222.61 + 0.054 \times t$$



<b>MAPE</b>	<b>4.569</b>
<b>MAD</b>	<b>9.456</b>
<b>MSD</b>	<b>169.927</b>

Το παραπάνω διάγραμμα παριστάνει τη χρονοσειρά των δεδομένων της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και τη χρονοσειρά πρόβλεψης (από το μοντέλο/ διάσπαση της χρονοσειράς). Μπορεί να δει κανείς ότι τα δύο διαγράμματα σχεδόν ταυτίζονται (πολύ καλή πρόβλεψη/προσαρμογή). Ακόμα μπορεί να δει κανείς μια πολύ μικρή ανοδική τάση στην ηλιακή ακτινοβολία. Τέλος, δίνονται οι προβλέψεις για τους επόμενους (μετά τον Ιούνιο του 2020), 12 μήνες. Οι ακριβείς προβλέψεις δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

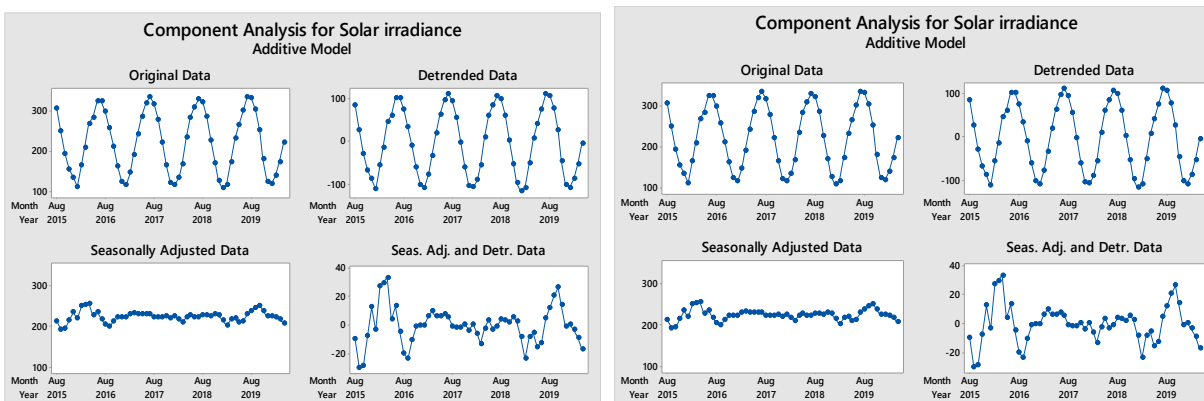
Period	Forecast	Period	Forecast
<b>May/2020</b>	280.860	<b>Nov/2020</b>	164.770
<b>Jun/2020</b>	311.847	<b>Dec/2020</b>	124.723
<b>Jul/2020</b>	329.916	<b>Jan/2021</b>	116.735
<b>Aug/2020</b>	318.419	<b>Feb/2021</b>	141.024
<b>Sep/2020</b>	281.573	<b>Mar/2021</b>	181.284
<b>Oct/2020</b>	224.337	<b>Apr/2021</b>	236.752

Στο αριστερό σχήμα παρακάτω μπορεί να δει κανείς τη μορφή που παίρνουν δεδομένα κατά τη διάσπαση της χρονοσειράς:

- (I) πάνω αριστερά στο σχήμα, τα δεδομένα μας
- (II) πάνω δεξιά τα δεδομένα όταν αφαιρεθεί η τάση (σχεδόν ίδια με τα δεδομένα μας αφού δεν υπάρχει (έντονη) τάση)

(III) κάτω αριστερά τα δεδομένα όταν αφαιρεθεί η περιοδικότητα (σχεδόν σταθερή χ.σ.)

(IV) κάτω δεξιά τα δεδομένα μας με αφαιρεμένη την τάση και την περιοδικότητα (τυχαίες κυμάνσεις).



### 6.3.3 Μέθοδος εξομάλυνσης Winters

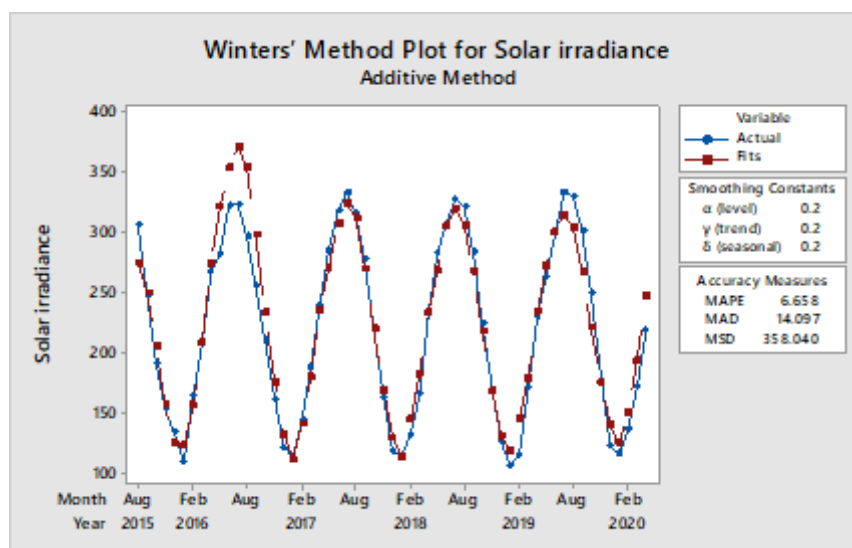
Winters' Method for Solar irradiance

Model type	Additive Method
Data	Solar irradiance
Length	57

Smoothing Constants (δείκτες εξομάλυνσης)

$\alpha$ (level)	0.2
$\gamma$ (trend)	0.2
$\delta$ (seasonal)	0.2

MAPE	6.658
MAD	14.097
MSD	358.040



Τέλος, στο παραπάνω διάγραμμα, παριστάνεται η χ.σ. των δεδομένων της ηλιακής ακτινοβολίας μας καθώς και το διάγραμμα της χρονοσειράς πρόβλεψης της (από το μοντέλο/ μέθοδος Winters). Μπορεί να δει κανείς ότι τα δύο διαγράμματα σχεδόν ταυτίζονται. Επιπλέον, η τιμή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος είναι ίση με  $MSD = 358.040$ , που υπολείπεται της τιμής  $MSD = 169.927$  που παίρνει κανείς με τη διάσπαση της χρονοσειράς (επομένως η 2<sup>η</sup> προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα μας).

### 6.3.4 Συσχέτιση Μεταβλητών

Στη συνέχεια εξετάζουμε αν υπάρχει (γραμμική) σχέση ανάμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία και άλλους μετεωρολογικούς παράγοντες. Παρακάτω ερευνούμε μια τέτοια πιθανή σχέση με τη θερμοκρασία.

#### (I) Ηλιακή ακτινοβολία και θερμοκρασία

❖ Regression Analysis: Solar irradiance versus Temperature (AVG)

The regression equation is:

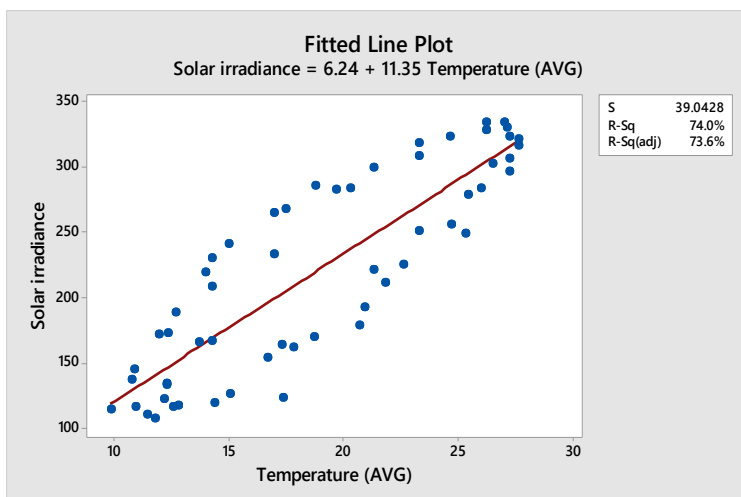
**Solar irradiance = 6.24 + 11.35 Temperature (AVG)**

Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)
39.0428	74.04%	73.57%

Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	239134	239134	156.88	0.000
Error	55	83839	1524		
Total	56	322973			



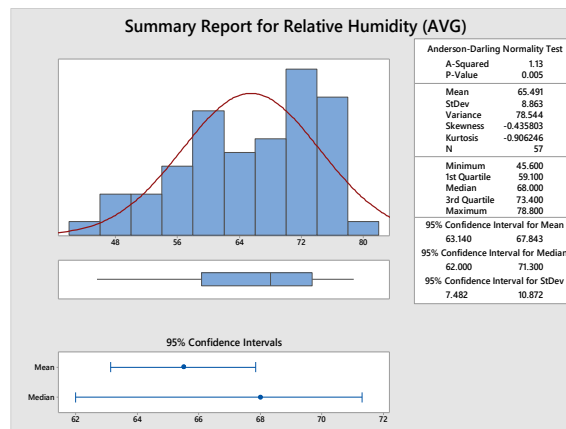
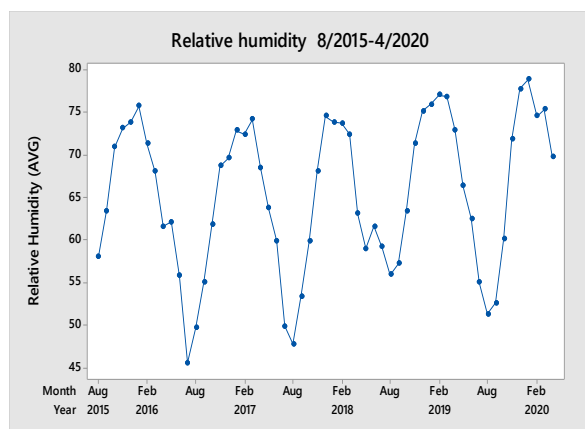
Παρατηρώντας το διάγραμμα διασποράς φαίνεται να υπάρχει μια αρκετά ισχυρή (θετική) γραμμική στατιστικά σημαντική σχέση ανάμεσα στις μεταβλητές ηλιακή ακτινοβολία και θερμοκρασία (τιμή του συντελεστή συσχέτισης είναι  $R=0.86$ ). Μεγάλες τιμές της θερμοκρασίας αντιστοιχούν (όπως αναμενόταν) σε μεγάλες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. καλοκαίρια).

## 6.4 Σχετική υγρασία

Από το χρονοδιάγραμμα βλέπουμε ότι, η σχετική υγρασία αποτελεί και αυτή μια περιοδική σειρά (με περίοδο 12 μήνες), με μικρή ίσως αυξητική τάση. Η μέση τιμή της υγρασίας που επικρατεί στην περιοχή είναι 65.5%, με τυπική απόκλιση 8.86%, και 95% διάστημα εμπιστοσύνης (63.14%, 67.84%). Επιπλέον, η ελάχιστη τιμή της παρουσιάζεται συνήθως την περίοδο Ιουλίου-Αυγούστου, ενώ η μέγιστη τιμή την περίοδο Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου.

### 6.4.1 Περιγραφική Στατιστική: Relative Humidity (AVG)

Variable	Mean	St.Dev	Minimum	Maximum	Range	Skewness	Kurtosis
Relative Humidity (AVG)	65.49	8.86	45.60	78.80	33.20	-0.44	-0.91



Η περαιτέρω μελέτη τη χρονοσειράς της σχετικής υγρασίας με (α) τη διάσπαση της σειράς (θεωρώντας την σαν ένα προσθετικό μοντέλο των χαρακτηριστικών της) και (β) τη μέθοδο εξομάλυνσης Winters δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα.

### 6.4.2 Διάσπαση της χρονοσειράς της σχετικής υγρασίας

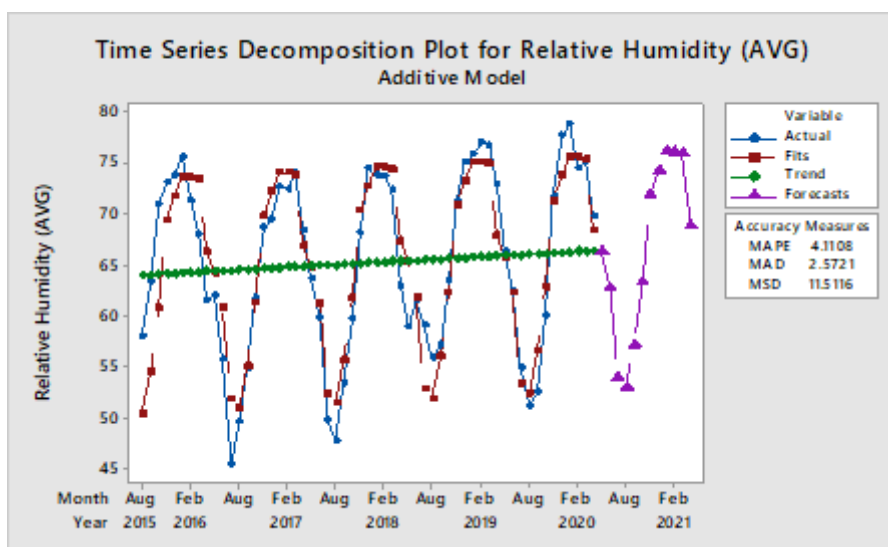
Time Series Decomposition for Relative Humidity (AVG)

Model type	Additive Model
Data	Relative Humidity (AVG)
Length	57

### 1223 Fitted Trend Equation-(προσαρμοσμένη) γραμμή τάσης

$$Y_t = 63.974 + 0.0424 \times t$$

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, παριστάνεται η χ.σ των δεδομένων μας (σχετική υγρασία) καθώς και το διάγραμμα της χρονοσειράς πρόβλεψης (από το μοντέλο διάσπαση της χρονοσειράς). Μπορεί να δει κανείς ότι τα δύο διαγράμματα σχεδόν ταυτίζονται (πολύ καλή πρόβλεψη/προσαρμογή). Ακόμα μπορεί να δει κανείς τη μικρή αυξητική τάση. Τέλος, δίνονται οι προβλέψεις για τους επόμενους (μετά τον Ιούνιο του 2020), 12 μήνες.



Στη συνέχεια, φαίνονται οι περιοδικό δείκτες και δείκτες ακρίβειας της προσαρμογής του μοντέλου (διάσπασης). Π.χ η ποσότητα 7.6 (Δεκέμβριος) σημαίνει ότι η σχετική υγρασία το μήνα αυτό είναι 7.6% μεγαλύτερη από αυτή που δίνει η γραμμή τάσης.

#### Seasonal Indices

Period	Index
Αύγουστος	-13.5792
Σεπτέμβριος	-9.4271
Οκτώβριος	-3.2750
Νοέμβριος	5.2125
Δεκέμβριος	7.6042
Ιανουάριος	9.3958
Φεβρουάριος	9.3250
Μάρτιος	9.0750

#### Accuracy Measures

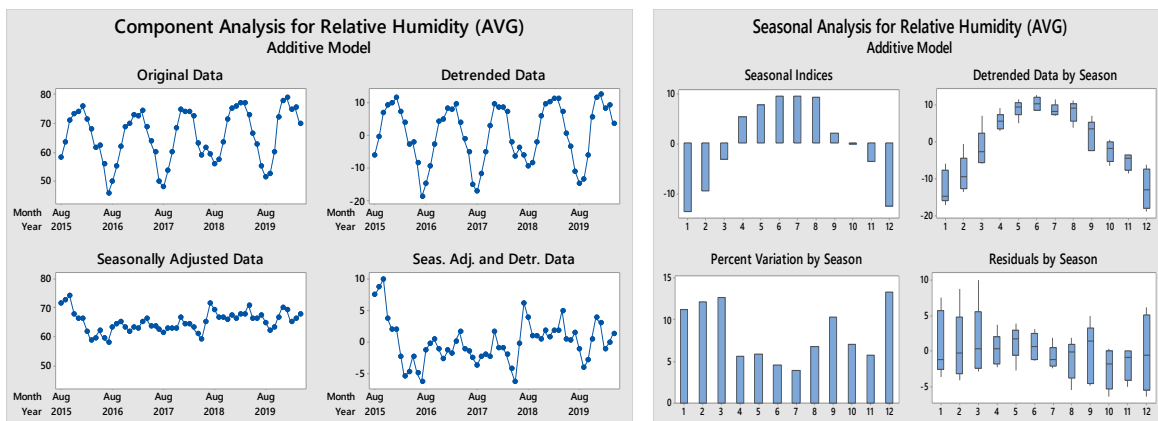
MAPE	4.1108
MAD	2.5721
MSD	11.5116

<b>Απρίλιος</b>	1.9896
<b>Μάιος</b>	-0.0562
<b>Ιούνιος</b>	-3.6917
<b>Ιούλιος</b>	-12.5729

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι προβλέψεις (με τη βοήθεια της διάσπασης) της σχετικής υγρασίας για τους επόμενους (μετά τον Ιούνιο του 2020), 12 μήνες.

Period	Forecast	Period	Forecast
<b>May/2020</b>	66.3796	<b>Nov/2020</b>	71.9030
<b>Jun/2020</b>	62.7866	<b>Dec/2020</b>	74.3371
<b>Jul/2020</b>	53.9478	<b>Jan/2021</b>	76.1712
<b>Aug/2020</b>	52.9840	<b>Feb/2021</b>	76.1428
<b>Sep/2020</b>	57.1785	<b>Mar/2021</b>	75.9353
<b>Oct/2020</b>	63.3730	<b>Apr/2021</b>	68.8923

Στο αριστερό σχήμα παρακάτω μπορεί να δει κανείς τη μορφή που παίρνουν τα δεδομένα κατά τη διάσπαση της χρονοσειράς:





### 6.4.3 Μέθοδος εξομάλυνσης Winters

Winters' Method for Relative Humidity (AVG) Method

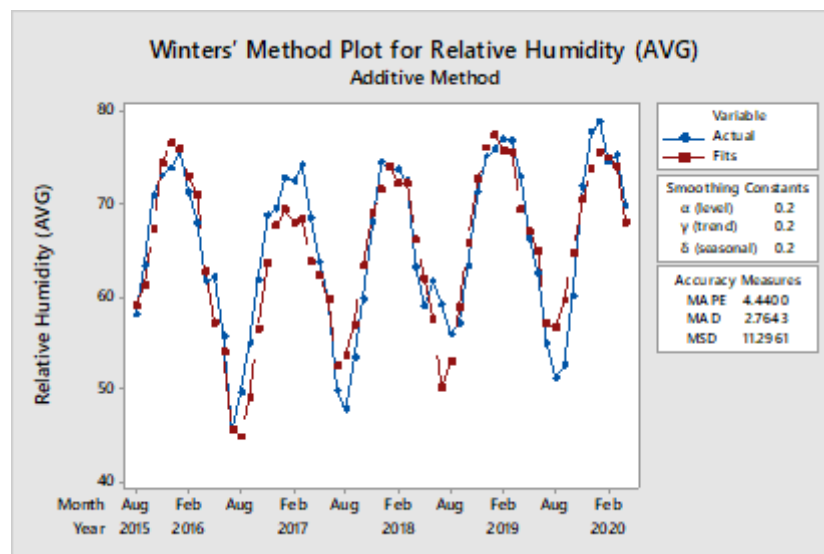
Model type	Additive Method
Data	Relative Humidity (AVG)
Length	57

Smoothing Constants (δείκτες εξομάλυνσης)

$\alpha$ (level)	0.2
$\gamma$ (trend)	0.2
$\delta$ (seasonal)	0.2

Accuracy Measures

MAPE	4.4400
MAD	2.7643
MSD	11.2961



Συγκρίνοντας τη διάσπαση της χρονοσειράς με τη μέθοδο Winters, παρατηρούμε ότι η δεύτερη είναι ελάχιστα καλύτερη ως προς την προσαρμογή (MSE 11,2961 έναντι 11,5116).

### 6.4.4 Συσχέτιση Μεταβλητών

Στη συνέχεια εξετάζουμε αν υπάρχει (γραμμική) σχέση (συσχέτιση) ανάμεσα στη σχετική υγρασία και άλλους μετεωρολογικούς παράγοντες. Πρώτα, ερευνούμε μια τέτοια πιθανή σχέση με τη θερμοκρασία.

#### (I) Σχετική υγρασία και θερμοκρασία

❖ Regression Analysis: Relative Humidity (AVG) versus Temperature (AVG)

The regression equation is:

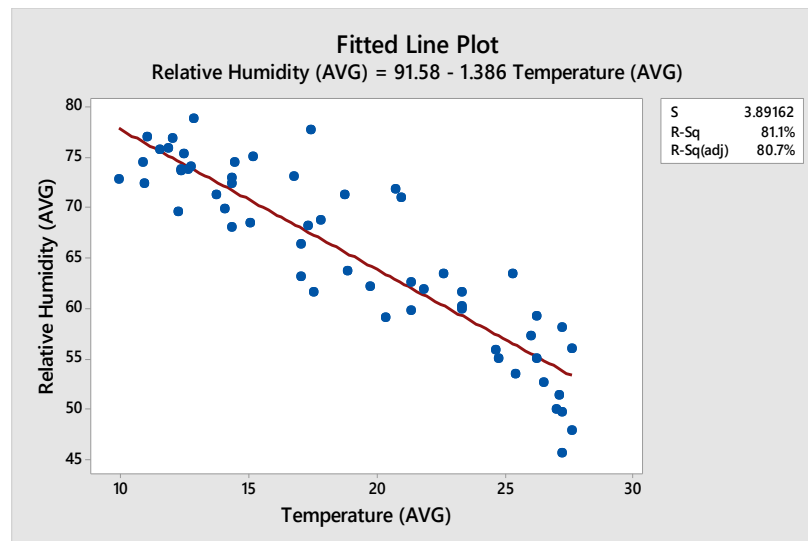
**Relative Humidity (AVG) = 91.58 - 1.386 Temperature (AVG)**

Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)
3.89162	81.06%	80.72%

Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	3565.53	3565.53	235.43	0.000
Error	55	832.96	15.14		
Total	56	4398.49			



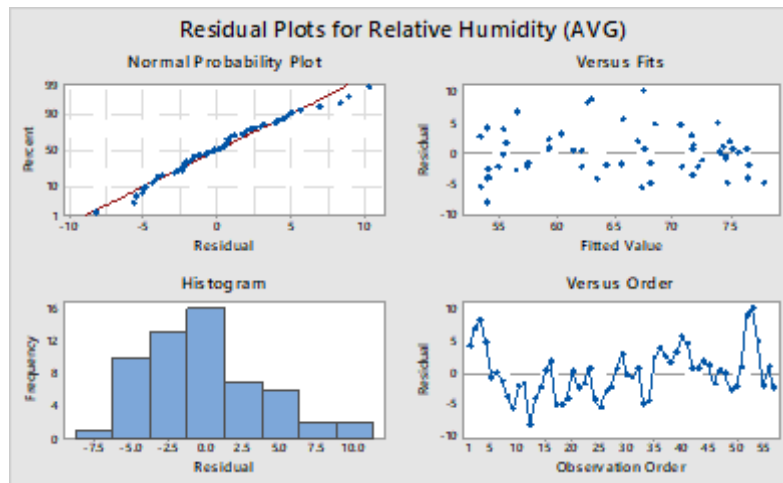
Από το διάγραμμα διασποράς και τον πίνακα ανάλυσης διασποράς φαίνεται ότι, υπάρχει μια αρνητική αρκετά ισχυρή (στατιστικά σημαντική) γραμμική σχέση ανάμεσα στη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία. Ειδικότερα, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, η υγρασία, όπως αναμενόταν, μειώνεται. Η ισχυρή σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών φαίνεται και από την τιμή του συντελεστή συσχέτισης ( $R=0.816$ ).

Οι υποθέσεις της απλής γραμμικής παλινδρόμησης πληρούνται όπως μπορεί να δει κανείς από το διάγραμμα που ακολουθεί:

- (I) το πάνω δεξιά διάγραμμα φανερώνει ότι τα κατάλοιπα/υπόλοιπα του μοντέλου ακολουθούν την κανονική κατανομή (δεδομένα κοντά σε ευθεία γραμμή)
- (II) το πάνω δεξιά ότι τα υπόλοιπα έχουν σχεδόν την ίδια διασπορά, αφού είναι τυχαία κατανεμημένα

(III) το κάτω αριστερά δείχνει και πάλι την κανονικότητά τους

(VI) το κάτω δεξιά, την ανεξαρτησία των υπολοίπων.



## (II) Σχετική υγρασία και βαρομετρική πίεση

Στη συνέχεια εξετάζουμε αν υπάρχει (γραμμική) σχέση ανάμεσα στη σχετική υγρασία τη βαρομετρική πίεση.

❖ Regression Analysis: Barometric Pressure (AVG) versus Humidity (AVG)

The regression equation is:

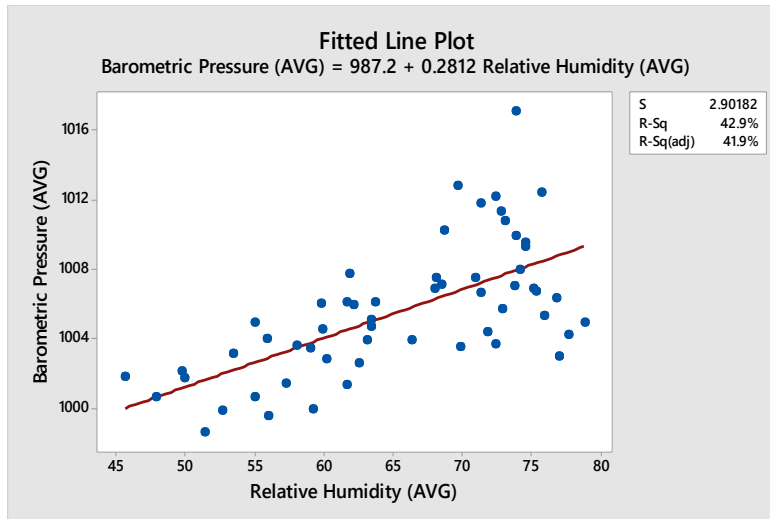
**Barometric Pressure (AVG) = 987.2 + 0.2812 Relative Humidity (AVG)**

Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)
2.90182	42.89%	41.85%

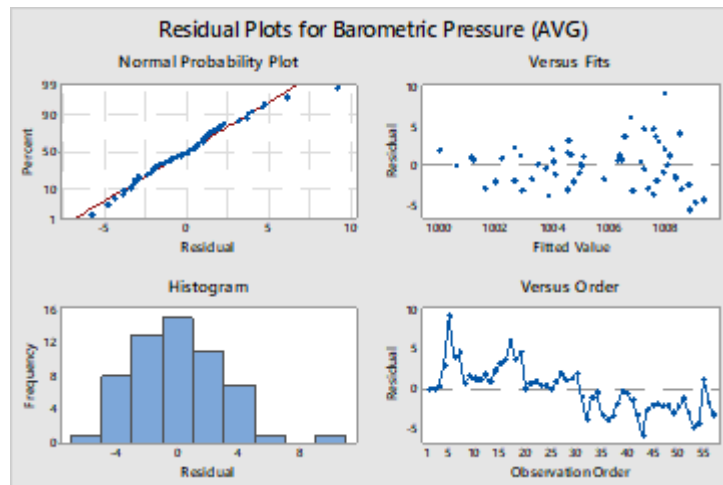
Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	347.857	347.857	41.31	0.000
Error	55	463.131	8.421		
Total	56	810.989			



Εξετάζοντας το διάγραμμα διασποράς παρατηρούμαι ότι υπάρχει μια θετική ασθενής (στατιστικά σημαντική) γραμμική σχέση ανάμεσα στις δύο μεταβλητές, καθώς η αύξηση της βαρομετρικής πίεσης δεν επηρεάζει σημαντικά τις τιμές σχετικής υγρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα. Αυτό φαίνεται και από το συντελεστή συσχέτισης, ο οποίος λαμβάνει τιμή  $R=0.65$ .

Οι υποθέσεις της απλής γραμμικής παλινδρόμησης πληρούνται και εδώ όπως μπορεί να δει κανείς από το διάγραμμα που ακολουθεί.



### (III) Σχετική υγρασία και ηλιακή ακτινοβολία

Εξετάζουμε τώρα αν υπάρχει (γραμμική) σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία και την ηλιακή ακτινοβολία.

❖ Regression Analysis: Relative Humidity (AVG) versus Solar irradiance

The regression equation is:

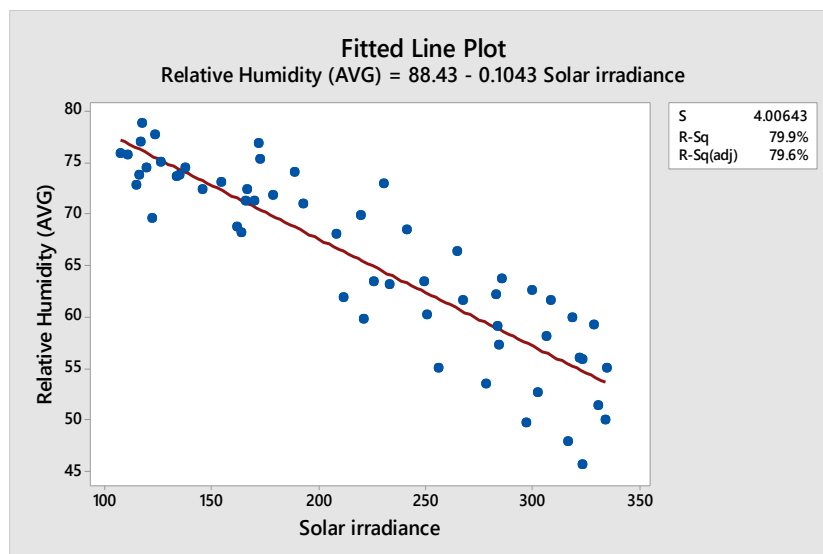
**Relative Humidity (AVG) = 88.43 - 0.1043 Solar irradiance**

#### Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)
4.00643	79.93%	79.56%

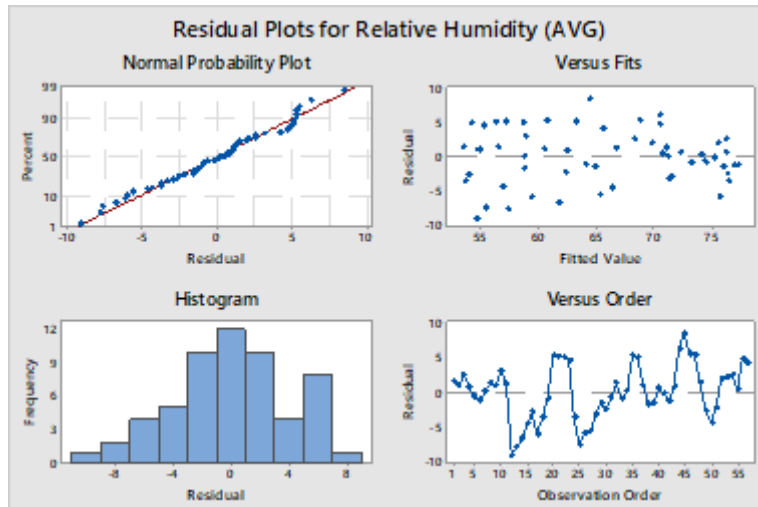
#### Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	3515.65	3515.65	219.02	0.000
Error	55	882.83	16.05		
Total	56	4398.49			



Από το παραπάνω διάγραμμα διασποράς φαίνεται ότι υπάρχει μια πολύ ισχυρή αρνητική γραμμική σχέση ανάμεσα στη σχετική υγρασία και την ηλιακή ακτινοβολία. Πιο αναλυτικά, παρατηρούμε ότι τα μεγαλύτερα ποσοστά σχετικής υγρασίας, της τάξης του 70-80%, καταγράφονται σε διαστήματα όπου η τιμή της πυκνότητας ηλιακής ακτινοβολίας είναι σε χαμηλά επίπεδα. Αντιθέτως, όσο η τιμή της αυξάνεται η σχετική υγρασία σταδιακά μειώνεται, με αποτέλεσμα ο ατμοσφαιρικός αέρας να περιέχει μικρότερη ποσότητα υδρατμών και το κλίμα γίνεται πιο ξηρό.

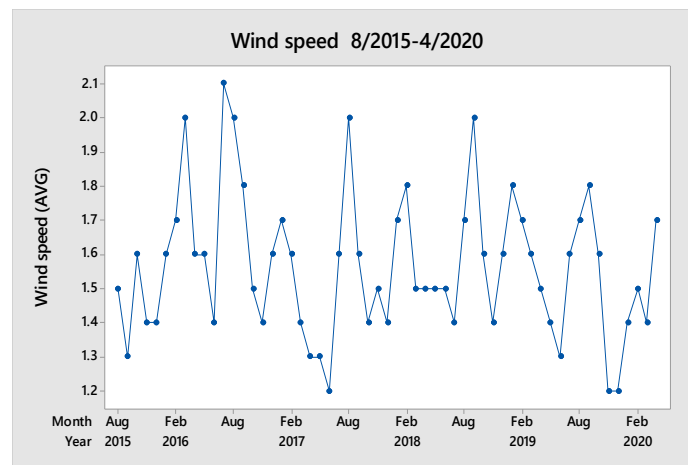
Η ισχυρή σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών φαίνεται και από την τιμή του συντελεστή συσχέτισης ( $R=0.89$ ). Οι υποθέσεις της απλής γραμμικής παλινδρόμησης πληρούνται όπως μπορεί να δει κανείς από το διάγραμμα που ακολουθεί:



## 6.5 Ταχύτητα ανέμου

### 6.5.1 Περιγραφική Στατιστική: Wind speed (AVG)

Variable	Mean	St.Dev	Minimum	Maximum	Range	Skewness	Kurtosis
Wind speed (AVG)	1.5632	0.2093	1.2000	2.1000	0.9000	0.58	0.19



Από το χρονοδιάγραμμα είναι φανερό ότι, η ταχύτητα του ανέμου είναι μια σχετικά σταθερή χρονοσειρά (με μέση τιμή 1.56 B και τυπική απόκλιση 0.2093 B) με μια μικρή πτωτική τάση κατά τα τελευταία χρόνια. Οι μέγιστες τιμές του ανέμου συμβαίνουν τον Αύγουστο (όπως αναμενόταν λόγω μελεμιών) και το Φλεβάρη (λόγω χειμών), ενώ οι ελάχιστες συνήθως τον Ιούλιο και τον Ιανουάριο.

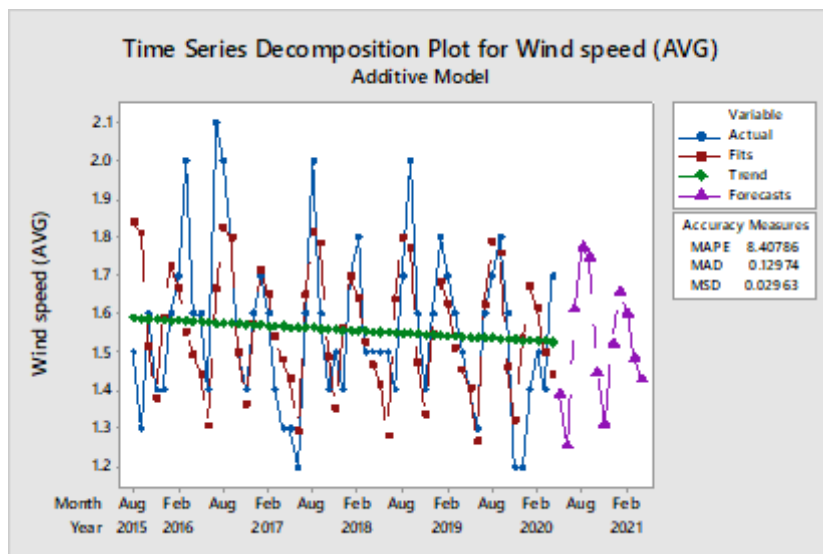
## 6.5.2 Διάσπαση της χρονοσειράς της ταχύτητας του ανέμου

Time Series Decomposition for Wind speed (AVG) Method

Model type	Additive Model
Data	Wind speed (AVG)
Length	57

Fitted Trend Equation-(προσαρμοσμένη) γραμμή τάσης

$$Y_t = 1.5896 - 0.00110 \times t$$



MAPE	8.40786
MAD	0.12974
MSD	0.02963

Στο διάγραμμα παριστάνεται η χρονοσειρά των δεδομένων της ταχύτητας του ανέμου καθώς και η χρονοσειρά πρόβλεψης (από το μοντέλο/ διάσπαση της χρονοσειράς). Μπορεί να δει κανείς ότι τα δύο διαγράμματα σχεδόν ταυτίζονται (πολύ καλή πρόβλεψη/προσαρμογή). Ακόμα μπορεί να δει κανείς τη μικρή πτωτική τάση στην ταχύτητα του ανέμου.

Τέλος, δίνονται οι προβλέψεις για τους επόμενους (μετά τον Ιούνιο του 2020), 12 μήνες.

Period	Forecast	Period	Forecast
May/2020	1.39089	Nov/2020	1.31135
Jun/2020	1.25437	Dec/2020	1.52275
Jul/2020	1.61160	Jan/2021	1.65914
Aug/2020	1.77508	Feb/2021	1.60179
Sep/2020	1.74689	Mar/2021	1.48610

Oct/2020	1.44787	Apr/2021	1.42667
----------	---------	----------	---------

### 6.5.3 Συσχέτιση Μεταβλητών

Εξετάζουμε στη συνέχεια εάν υπάρχει σχέση ανάμεσα στην ταχύτητα του ανέμου και τη θερμοκρασία.

#### (I) Ταχύτητα ανέμου και θερμοκρασία

❖ Regression Analysis: Wind speed (AVG) versus Temperature (AVG)

The regression equation is:

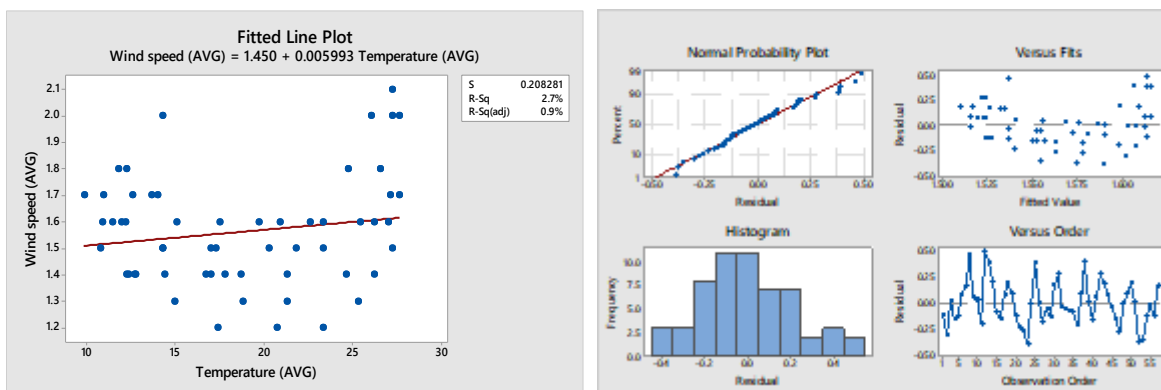
$$\text{Wind speed (AVG)} = 1.450 + 0.005993 \text{ Temperature (AVG)}$$

Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)
0.208281	2.72%	0.95%

Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.06667	0.0666712	1.54	0.220
Error	55	2.38596	0.0433811		
Total	56	2.45263			



Από το παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε ότι υπάρχει μια πολύ ασθενής, σχεδόν ανύπαρκτη γραμμική σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία και την ταχύτητα του ανέμου (η σχέση αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική).

Θα προσπαθήσουμε να προσαρμόσουμε κάποιου άλλου είδους καμπύλη στα δεδομένα (π.χ πολυώνυμο 2<sup>ου</sup> βαθμού). Το αποτελέσματα μιας τέτοιας προσαρμογής φαίνονται παρακάτω.



❖ The regression equation is:

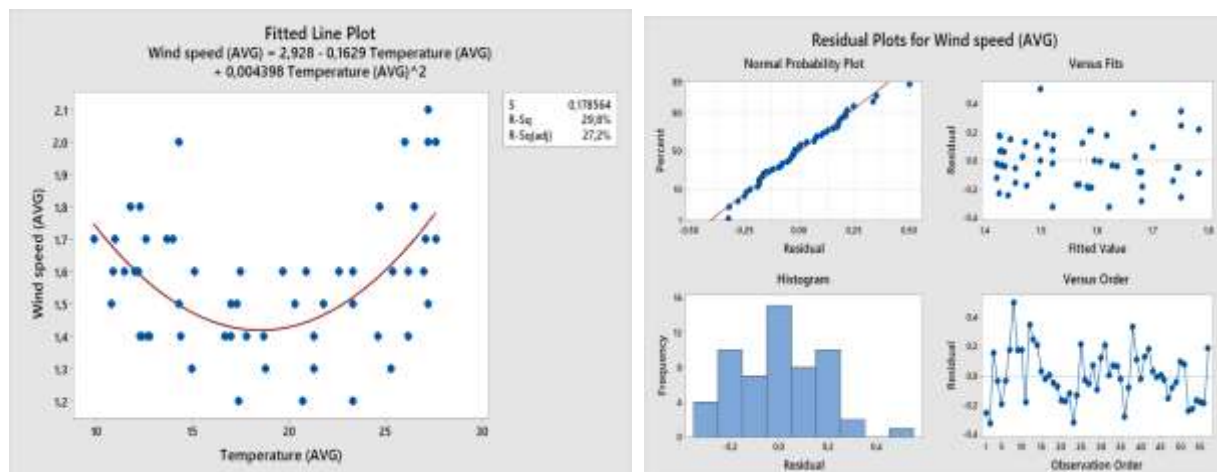
$$\text{Wind speed (AVG)} = 2,928 - 0,1629 \text{ Temperature (AVG)} + 0,004398 \text{ Temperature (AVG)}^2$$

Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)
0,178564	29,80%	27,20%

Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,73084	0,365418	11,46	0,000
Error	54	1,72180	0,031885		
Total	56	2,45263			



Από το παραπάνω διάγραμμα διασποράς βλέπουμε ότι υπάρχει μια ασθενής στατιστικά σημαντική μη-γραμμική (πολυωνυμική 2<sup>ου</sup> βαθμού) σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία και την ταχύτητα του ανέμου (συντελεστής συσχέτισης 0.545). Η καμπύλη φαίνεται να ταιριάζει καλύτερα στα δεδομένα σε σχέση με μια ευθεία παλινδρόμησης (βλέπουμε ότι χαμηλές τιμές θερμοκρασίας/ χειμώνας και υψηλές τιμές θερμοκρασίας/καλοκαίρι αντιστοιχούν σε υψηλές τιμές ταχύτητας του ανέμου // το καλοκαίρι λόγω μετεμίων ίσως).

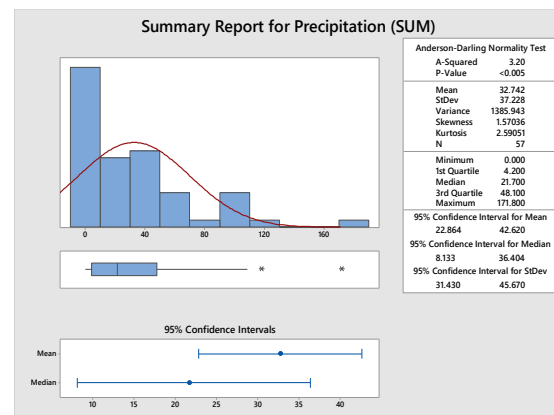
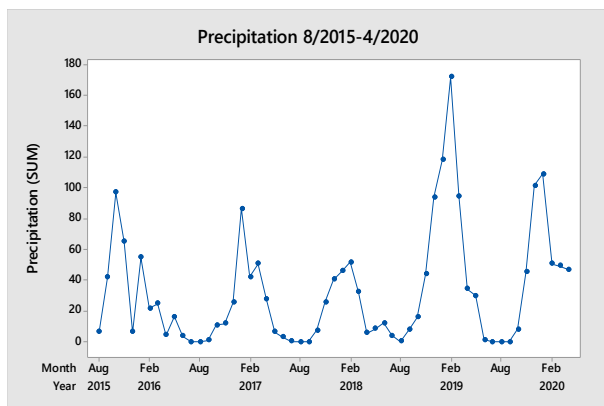
## 6.6 Ύψος Βροχόπτωσης

Τα βροχομετρικά δεδομένα (μέσο μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης) στην περιοχή του Τυμπακίου αφορούν και αυτά την περίοδο Αύγουστος 2015-Απρίλιος 2020.

Από το χρονοδιάγραμμα της σειράς μπορεί να δει κανείς ότι η βροχόπτωση, όπως ίσως αναμένεται, αποτελεί μια περιοδική σειρά (με περίοδο 12 μήνες), με (σχετικά μικρή) ανοδική τάση (μέση μηνιαία βροχόπτωση 32.74 mm και τυπική απόκλιση 37.23 mm). Ελάχιστες τιμές της (μηδενικά ύψη βροχής) συμβαίνουν κατά τους θερινούς μήνες και μέγιστες κατά τους χειμερινούς. Ακόμα παρατηρούμε ότι, ιδιαίτερα βροχερό ήταν το φθινόπωρο και ο χειμώνας τους 2019 (το Φλεβάρη του 2019 είχαμε ρεκόρ ύψους βροχόπτωσης με μηνιαίο ύψος πάνω από 160 mm).

### 6.6.1 Περιγραφική Στατιστική: Precipitation (SUM)

Variable	Mean	St.Dev	Minimum	Maximum	Range	Skewness	Kurtosis
Precipitation (SUM)	32.74	37.23	0.00	171.80	171.80	1.57	2.59

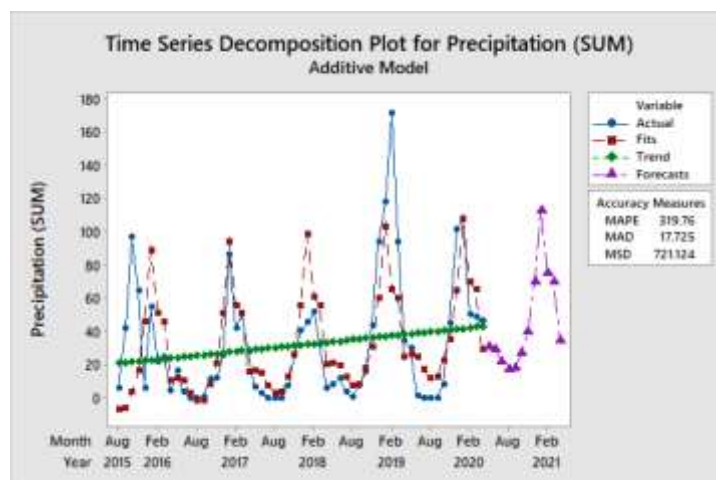


### 6.6.2 Διάσπαση της χρονοσειράς της βροχόπτωσης

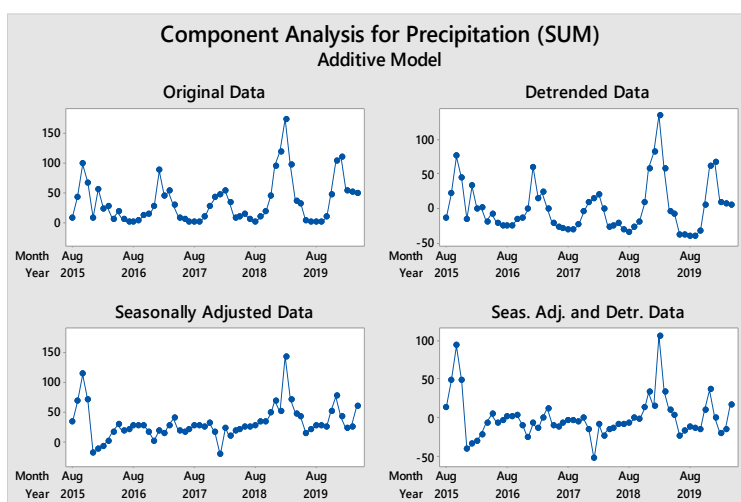
Time Series Decomposition for Precipitation (AVG) Method

Model type	Additive Model
Data	Precipitation (AVG)
Length	57
NMissing	0

MAPE	319.76
MAD	17.725
MSD	721.124



Στο παραπάνω διάγραμμα, παριστάνεται η χρονοσειρά των δεδομένων μας (βροχόπτωση) καθώς και η χρονοσειρά πρόβλεψης με τη βοήθεια του μοντέλου διάσπασης της χρονοσειράς. Και εδώ είναι φανερό ότι η προσαρμογή του μοντέλου στα πραγματικά μας δεδομένα είναι αρκετά καλή. Ακόμα μπορεί να δει κανείς τη μικρή αυξητική τάση.



### 6.6.3 Συσχέτιση Μεταβλητών

Στη συνέχεια εξετάζουμε αν υπάρχει (γραμμική) σχέση (συσχέτιση) μεταξύ του ύψους βροχής που καταγράφεται στην περιοχή και άλλους μετεωρολογικούς παράγοντες. Πρώτα, ερευνούμε μια τέτοια πιθανή σχέση με τη θερμοκρασία.

#### (I) Βροχόπτωση και θερμοκρασία

❖ Regression Analysis: Precipitation (SUM) versus Temperature (AVG)

The regression equation is:

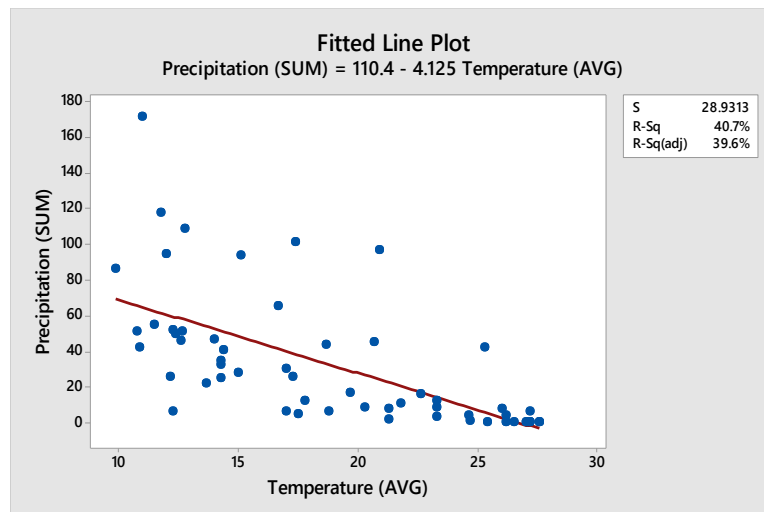
$$\text{Precipitation (SUM)} = 110.4 - 4.125 \text{ Temperature (AVG)}$$

Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

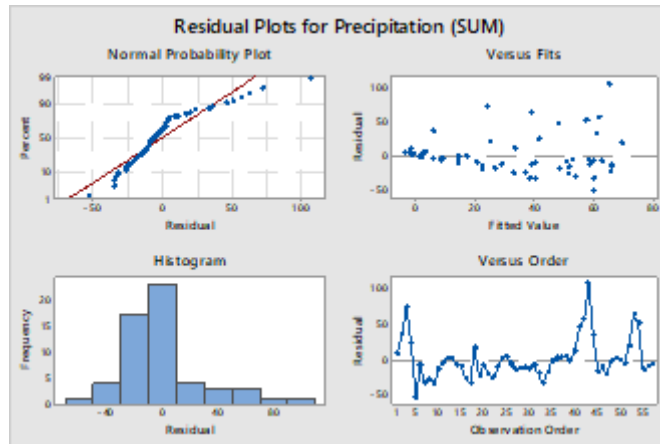
S	R-sq	R-sq(adj)
28.9313	40.69%	39.61%

Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	31576.8	31576.8	37.73	0.000
Error	55	46036.0	837.0		
Total	56	77612.8			



Από το διάγραμμα διασποράς φαίνεται ότι υπάρχει μια αρνητική ασθενής στατιστικά σημαντική (αρνητική) γραμμική σχέση ανάμεσα στη βροχόπτωση και τη θερμοκρασία (συντελεστής συσχέτισης  $R=0.637$ ). Σε υψηλές (μέσες) θερμοκρασίες αντιστοιχούν χαμηλά ύψη βροχής (χαρακτηριστικό π.χ των καλοκαιρινών μηνών όπου η βροχόπτωση είναι μηδενική).



## (II) Βροχόπτωση και ηλιακή ακτινοβολία

Αναφορικά με την πιθανή γραμμική σχέση ανάμεσα στη βροχόπτωση και την ηλιακή ακτινοβολία έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

❖ Regression Analysis: Precipitation (SUM) versus Solar irradiance

The regression equation is:

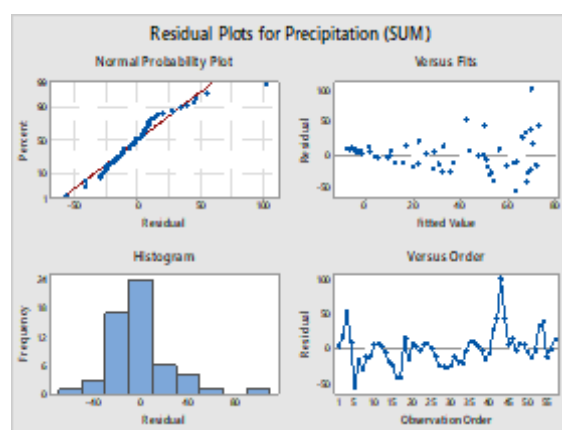
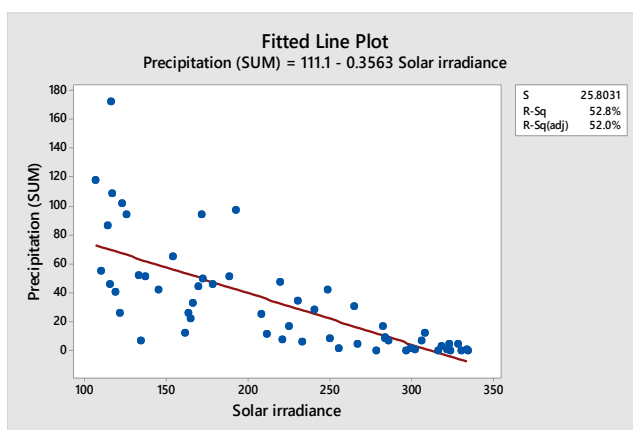
**Precipitation (SUM) = 111.1 - 0.3563 Solar irradiance**

Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)
25.8031	52.82%	51.96%

Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	40993.8	40993.8	61.57	0.000
Error	55	36619.0	665.8		
Total	56	77612.8			

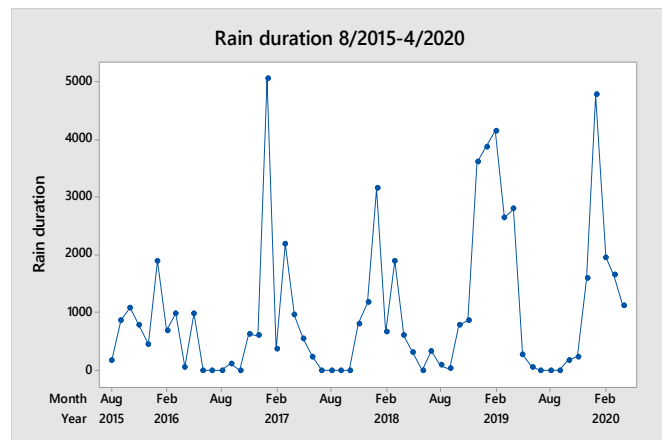
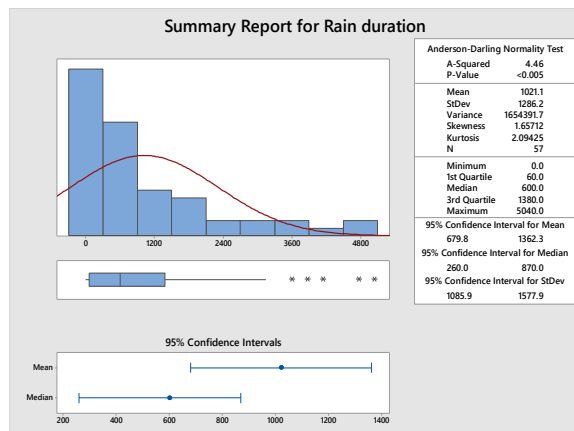


Από το διάγραμμα διασποράς φαίνεται ότι υπάρχει μια αρνητική (σχετικά) ισχυρή στατιστικά σημαντική (αρνητική) γραμμική σχέση ανάμεσα στη βροχόπτωση και την ηλιακή ακτινοβολία (συντελεστής συσχέτισης  $R=0.726$ ). Σε υψηλές (μέσες) τιμές βροχόπτωσης αντιστοιχούν χαμηλά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας (γεγονός π.χ που συμβαίνει κατά τη διάρκεια του χειμώνα).

## 6.7 Διάρκεια βροχόπτωσης

### 6.7.1 Περιγραφική Στατιστική: Rain duration

Variable	Mean	St.Dev	Minimum	Maximum	Range	Skewness	Kurtosis
Rain duration	1021	1286	0	5040	5040	1.66	2.09



Από το χρονοδιάγραμμα της σειράς μπορεί να δει κανείς ότι και η διάρκεια της βροχόπτωσης αποτελεί μια περιοδική σειρά (με περίοδο 12 μήνες), με μέγιστες τιμές κατά τη διάρκεια του χειμώνα και ελάχιστες (μηδενικές) τους καλοκαιρινούς. Ακόμα, υπάρχει μια σημαντική ανοδική τάση τα τελευταία χρόνια.

### 6.7.2 Συσχέτιση Μεταβλητών

Σε αυτό το σημείο διερευνούμε την πιθανή ύπαρξη (γραμμικής) σχέσης της διάρκειας βροχόπτωσης με μερικές από τις υπόλοιπες εξεταζόμενες παραμέτρους. Αρχικά, εξετάζουμε με τη θερμοκρασία και έπειτα με την ηλιακή ακτινοβολία

#### (I) Διάρκεια βροχόπτωσης και θερμοκρασία

❖ Regression Analysis: Rain duration versus Temperature (AVG)

The regression equation is:

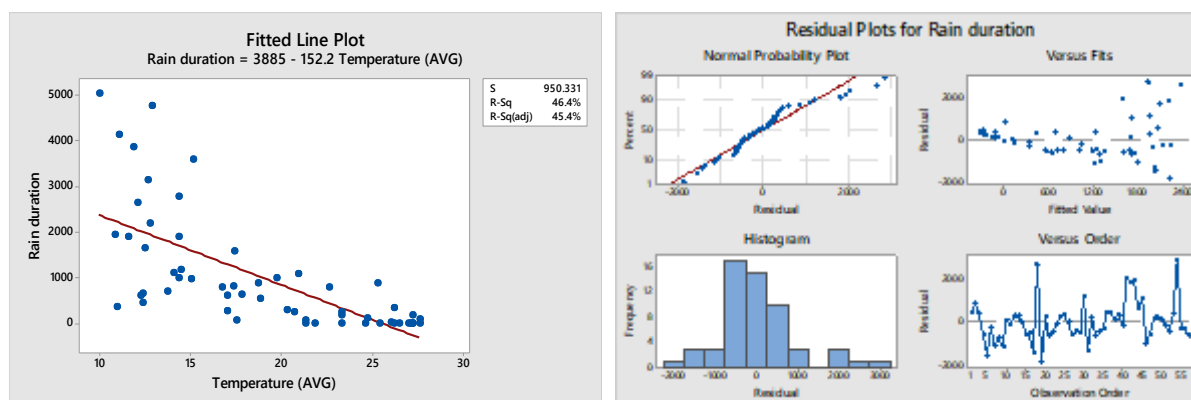
$$\text{Rain duration} = 3885 - 152.2 \text{ Temperature (AVG)}$$

### Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)
950.331	46.38%	45.41%

### Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	42973811	42973811	47.58	0.000
Error	55	49672126	903130		
Total	56	92645937			



Από το διάγραμμα και τον πίνακα ανάλυσης διασποράς φαίνεται ότι υπάρχει μια αρνητική ασθενής στατιστικά σημαντική (αρνητική) γραμμική σχέση ανάμεσα στη διάρκεια βροχόπτωσης και τη θερμοκρασία (συντελεστής συσχέτισης  $R=0.68$ ). Σε υψηλές (μέσες) θερμοκρασίες αντιστοιχεί χαμηλή διάρκεια βροχόπτωσης (χαρακτηριστικό π.χ των καλοκαιρινών μηνών όπου η βροχόπτωση είναι μηδενική).

## (II) Διάρκεια βροχόπτωσης και ηλιακή ακτινοβολία

❖ Regression Analysis: Rain duration versus Solar irradiance

The regression equation is:

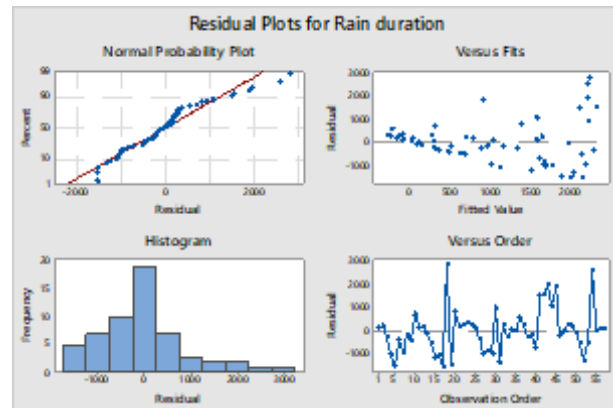
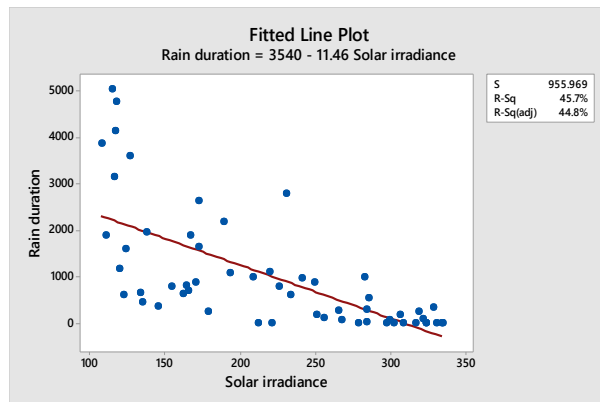
**Rain duration = 3540 - 11.46 Solar irradiance**

### Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)
955.969	45.75%	44.76%

Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	42382687	42382687	46.38	0.000
Error	55	50263250	913877		
Total	56	92645937			



Το διάγραμμα και ο πίνακας ανάλυσης διασποράς φανερώνει ότι υπάρχει μια αρνητική ασθενής στατιστικά σημαντική (αρνητική) γραμμική σχέση ανάμεσα στη διάρκεια βροχόπτωσης και την ηλιακή ακτινοβολία (συντελεστής συσχέτισης  $R=0.676$ ). Σε υψηλές (μέσες) τιμές ηλιακής ακτινοβολίας (που συμβαίνουν συνήθως τους καλοκαιρινούς μήνες) αντιστοιχεί χαμηλή διάρκεια βροχόπτωσης (χαρακτηριστικό π.χ των καλοκαιρινών μηνών όπου η βροχόπτωση είναι μηδενική).

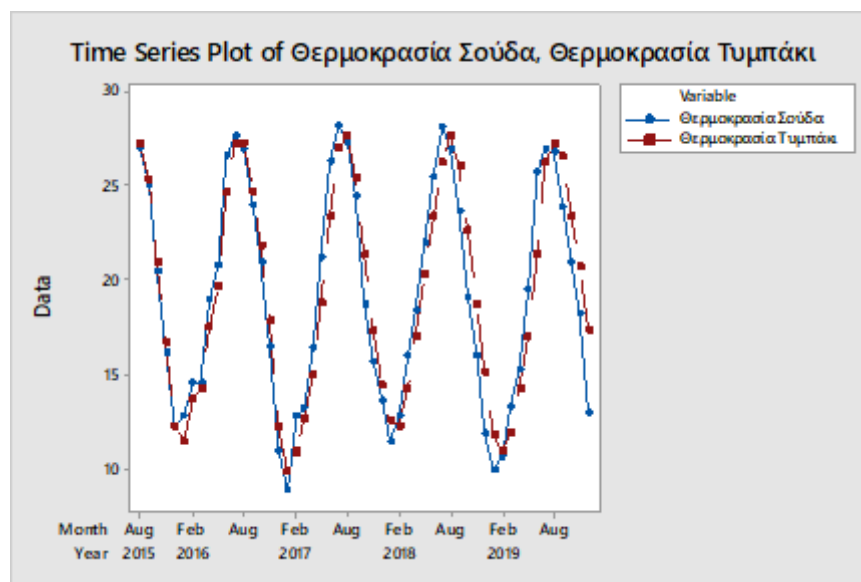


## 6.8 Σύγκριση μετεωρολογικών δεδομένων περιοχών Σούδας, Τυμπακίου.

Θα προσπαθήσουμε τώρα να συγκρίνουμε μετεωρολογικούς παράγοντες της περιοχής Τυμπακίου με την περιοχή της Σούδας (του νομού Χανίων).

Το χρονοδιάγραμμα που ακολουθεί παριστάνει την κατανομή της θερμοκρασίας των δύο αυτών περιοχών.

### 6.8.1 Σύγκριση θερμοκρασίας



Μελετώντας το διάγραμμα μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

- (α) Η χρονοσειρά της θερμοκρασίας και στις δύο περιοχές έχει την ίδια μορφή (γεγονός που ίσως αναμενόταν λόγω της μικρής σχετικά απόστασης των δύο περιοχών).
- (β) Υπάρχει μια χρονική υστέρηση (κατά μερικές ημέρες) της χρονοσειράς της θερμοκρασίας της περιοχής του Τυμπακίου σε σχέση με την αντίστοιχη της Σούδας (γεγονός και αυτό αναμένεται λόγω του ότι η Σούδα βρίσκεται δυτικότερα και η μεταβολή του καιρού συμβαίνει συνήθως από τα δυτικά προς τ' ανατολικά της Κρήτης).
- (γ) Φαίνεται ότι οι μέσες θερμοκρασίες στη Σούδα να είναι ελάχιστα υψηλότερες από αυτές του Τυμπακίου (αν και κάποιος θα περίμενε το αντίθετο, λόγω του ότι το Τυμπάκι βρίσκεται νοτιότερα).

❖ Regression Analysis: Θερμοκρασία Τυμπάκι versus Θερμοκρασία Σούδα

The regression equation is:

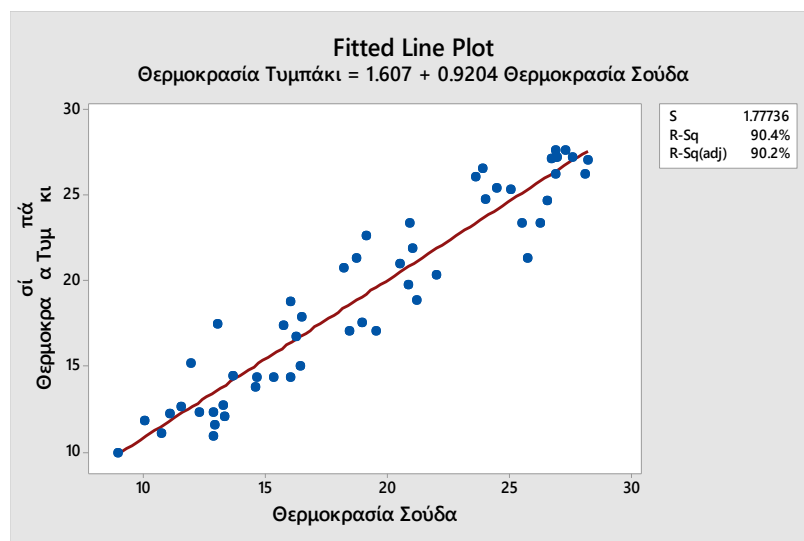
$$\text{Θερμοκρασία Τυμπάκι} = 1.607 + 0.9204 \text{ Θερμοκρασία Σούδα}$$

Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)
1.77736	90.40%	90.22%

Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1517.86	1517.86	480.49	0.000
Error	51	161.11	3.16		
Total	52	1678.97			



Η σχέση μεταξύ των δύο αυτών μεταβλητών (χρονοσειρών) φαίνεται και από το παραπάνω διάγραμμα διασποράς (και τον πίνακα διασποράς που ακολουθεί). Έτσι, έχουμε μια πολύ ισχυρή θετική γραμμική στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στη θερμοκρασία στην περιοχή της Σούδας και τη θερμοκρασία στην περιοχή του Τυμπακίου (συντελεστής συσχέτισης  $R=0.95$ ).

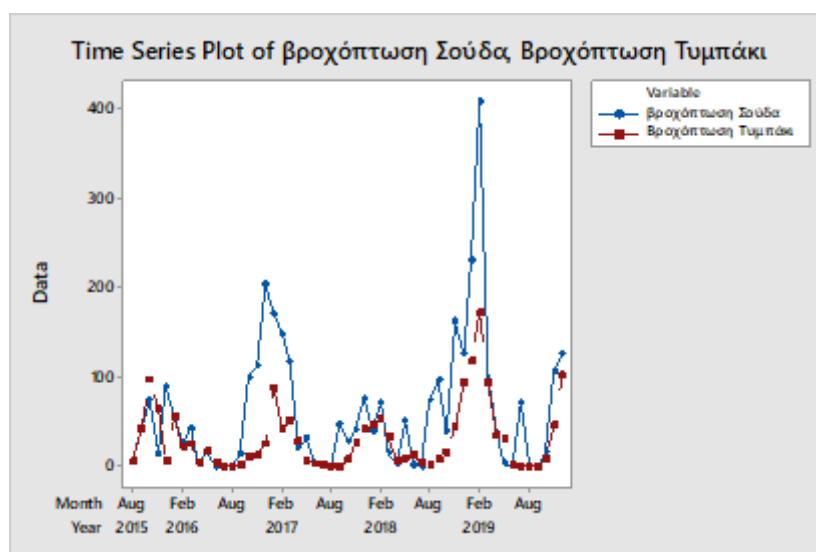
## 6.8.2 Σύγκριση βροχόπτωσης

Μελετώντας το χρονοδιάγραμμα βλέπουμε τα εξής:

- (α) Η χρονοσειρά της βροχόπτωσης και στις δύο περιοχές έχει περίπου την ίδια μορφή (ίσως και πάλι λόγω της μικρής σχετικά απόστασης των δύο περιοχών)

(β) Υπάρχει μια χρονική υστέρηση (μερικών ημερών) της χρονοσειράς της βροχόπτωσης της περιοχής του Τυμπακίου σε σχέση με την αντίστοιχη της Σούδας (γεγονός και αυτό αναμένεται λόγω του ότι η Σούδα βρίσκεται δυτικότερα και βροχοπτώσεις συνήθως ξεκινούν από τα δυτικά της Κρήτης).

(γ) Φαίνεται να υπάρχει σημαντική διαφορά στην ποσότητα της βροχόπτωσης που δέχονται οι περιοχές, με τη Σούδα να δέχεται τις υψηλότερες (γεγονός που ίσως αναμένεται γιατί η Σούδα βρίσκεται δυτικότερα του Τυμπακίου και βορειότερα).



❖ Regression Analysis: Βροχόπτωση Τυμπάκι vs Βροχόπτωση Σούδα

The regression equation is:

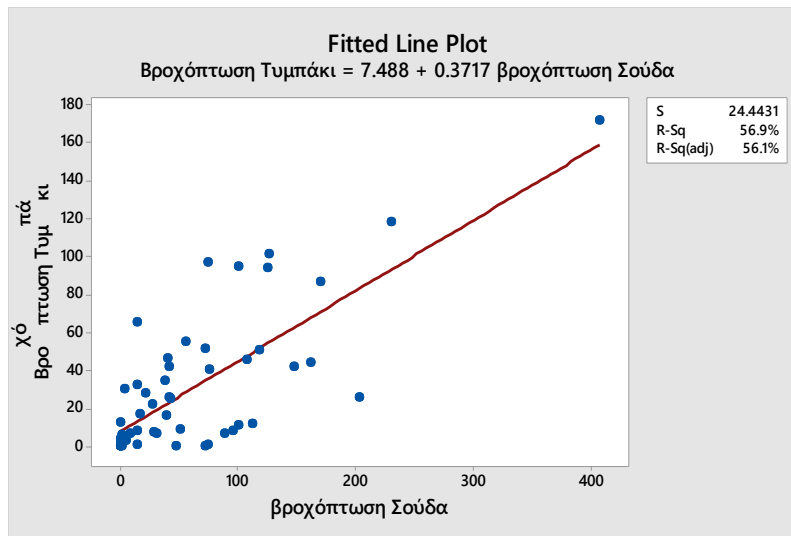
$$\text{Βροχόπτωση Τυμπάκι} = 7.488 + 0.3717 \text{ βροχόπτωση Σούδα}$$

Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)
24.4431	56.93%	56.09%

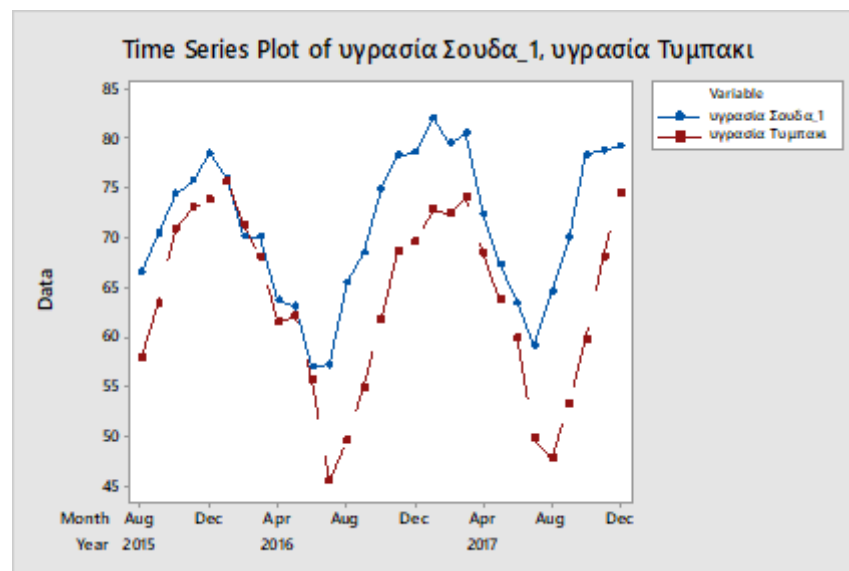
Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	40278.2	40278.2	67.42	0.000
Error	51	30470.7	597.5		
Total	52	70749.0			



Από το διάγραμμα και τον πίνακα διασποράς, φαίνεται να υπάρχει μια (σχετικά) ισχυρή (θετική) στατιστικά σημαντική σχέση ανάμεσα στα ποσά της βροχόπτωσης στην περιοχή του Τυμπακίου και τα αντίστοιχα της Σούδας (συντελεστής συσχέτισης 0.734). Ακόμα, από το διάγραμμα μπορεί να δει κανείς την ακραία τιμή της βροχόπτωσης το χειμώνα του 2018 (Δεκέμβρης 2018-Φλεβάρης 2019).

### 6.8.3 Σύγκριση υγρασίας



Ανάλογα αποτελέσματα, με τα παραπάνω, μπορεί να δει κανείς και για την υγρασία ανάμεσα στις δύο περιοχές. Έτσι τα δεδομένα της υγρασίας και για τις δύο περιοχές αποτελούν χρονοσειρές με την ίδια περίπου μορφή αλλά χρονική καθυστέρηση μερικών ημερών. Επιπλέον υπάρχει μια μικρή αυξητική τάση στην υγρασία τα τελευταία χρόνια. Η περιοχή της Σούδας έχει αρκετά γενικά μεγαλύτερη ποσότητα υγρασίας σε σχέση με την αντίστοιχη του Τυμπακίου.

❖ Regression Analysis: Υγρασία Τυμπάκι vs Υγρασία Σούδα

The regression equation is:

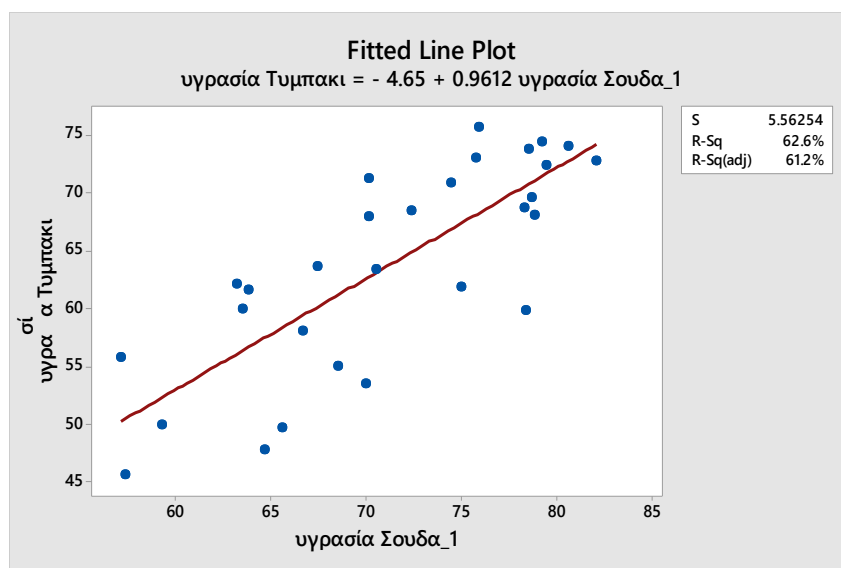
$$\text{Υγρασία Τυμπάκι} = - 4.65 + 0.9612 \text{ Υγρασία Σούδα}$$

Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)
5.56254	62.57%	61.18%

Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1396.30	1396.30	45.13	0.000
Error	27	835.43	30.94		
Total	28	2231.73			



Τέλος, υπάρχει μια ισχυρή (θετική) στατιστικά σημαντική σχέση ανάμεσα στα ποσά της υγρασίας στην περιοχή του Τυμπακίου και τα αντίστοιχα της Σούδας (συντελεστής συσχέτισης 0.791).

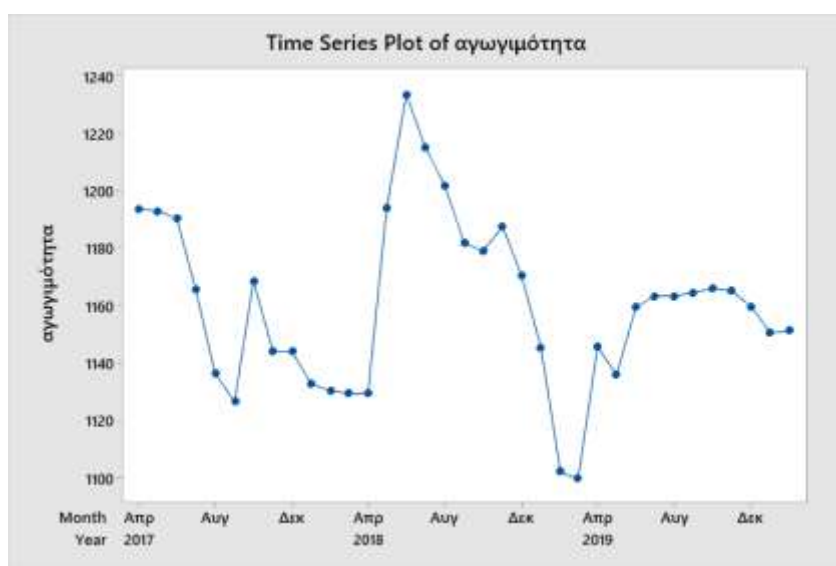
## Κεφάλαιο 7: Ανάλυση Υδρολογικών Δεδομένων

### 7.1 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Υπόγειου Ύδατος

Τα υδρολογικά δεδομένα (μέσες μηνιαίες τιμές) στην περιοχή του Τυμπακίου αφορούν την περίοδο Απρίλιος 2017 – Φεβρουάριος 2020.

#### 7.1.1 Περιγραφική Στατιστική: Conductivity

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Maximum
Conductivity	35	1160,5	29,8	1099,6	1233,3



Από το χρονοδιάγραμμα της χρονολογικής σειράς της αγωγιμότητας μπορεί να δει κανείς ότι αυτή αποτελεί μια χρονοσειρά με μικρές διακυμάνσεις με ελάχιστη αγωγιμότητα  $1099,6 \frac{\mu S}{cm}$  και μέγιστη  $1233,3 \frac{\mu S}{cm}$ , η οποία καταγράφηκε τον Ιούνιο του 2018. Η μέση τιμή ισούται με  $1160,5 \frac{\mu S}{cm}$ . Τον τελευταίο χρόνο υπάρχει μια σταθερότητα στις τιμές της. Μικρότερες τιμές της παρατηρούνται συνήθως κατά τους χειμερινούς μήνες. Σύμφωνα με τις παραπάνω μετρήσεις, παρατηρείται σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας του γλυκού νερού στην περιοχή.

Ανατρέχοντας στην παράγραφο 6.6.1 και πιο συγκεκριμένα στο διάγραμμα της βροχόπτωσης γίνεται αντιληπτό ότι το διάστημα από τον μήνα Δεκέμβριο μέχρι και το Μάρτιο αποτελεί την περίοδο που πέφτουν τα περισσότερα χιλιοστά βροχής στην περιοχή. Επομένως, είναι πιθανό η μείωση των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας να οφείλεται στον εμπλουτισμό του υδροφορέα από τα όμβρια ύδατα. Το γλυκό νερό της βροχής εισχωρεί στο υπέδαφος μειώνοντας τη συγκέντρωση των TDS και των ιόντων, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στη

μείωση της αλατότητας του υδροφορέα. Επιπλέον, η αύξηση της στάθμης του γλυκού νερού εμποδίζει την περαιτέρω εισχώρηση θαλασσινού νερού από τον παρακείμενο κόλπο της Μεσσαράς.

Salinity hazard class	EC in (mS/cm)	Remark on quality	Range (No. of samples)
C1	100-250	Excellent	136.7-245.2 (13)
C2	250-750	Good	272.3-426 (03)
C3	750-2250	Doubtful	1428-1562 (02)
C4 & C5	> 2250	Unsuitable	2364-4562 (02)

Εικόνα 7.1: Πίνακας ποιότητας του νερού

## 7.1.2 Συσχέτιση Μεταβλητών

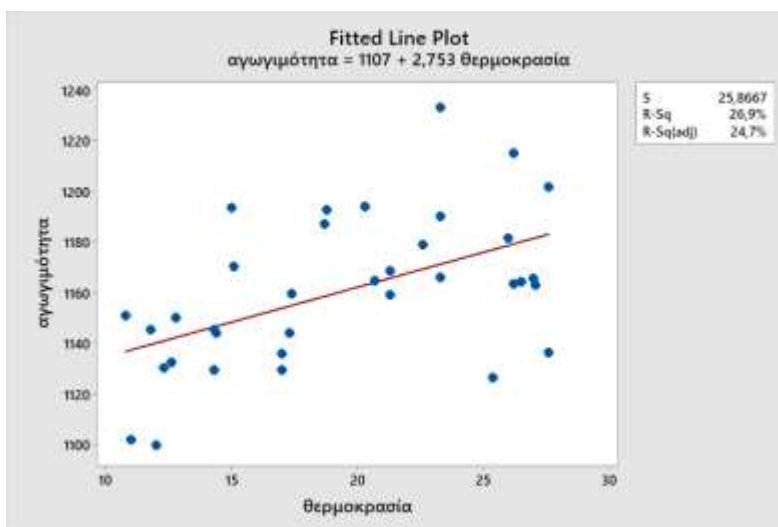
### (I) Αγωγιμότητα και θερμοκρασία

The regression equation is:

$$\text{αγωγιμότητα} = 1107,1 + 2,753 \text{ θερμοκρασία}$$

Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
25,8667	26,90%	24,69%	17,32%



Από το διάγραμμα διασποράς φαίνεται ότι υπάρχει μία θετική (σχετικά) ασθενής γραμμική (στατιστικά σημαντική) σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία και την αγωγιμότητα (όταν αυξάνεται η

θερμοκρασία η αγωγιμότητα, όπως αναμενόταν συνήθως αυξάνεται). Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης είναι  $R=0.518$ .

## (II) Αγωγιμότητα και σχετική υγρασία

The regression equation is:

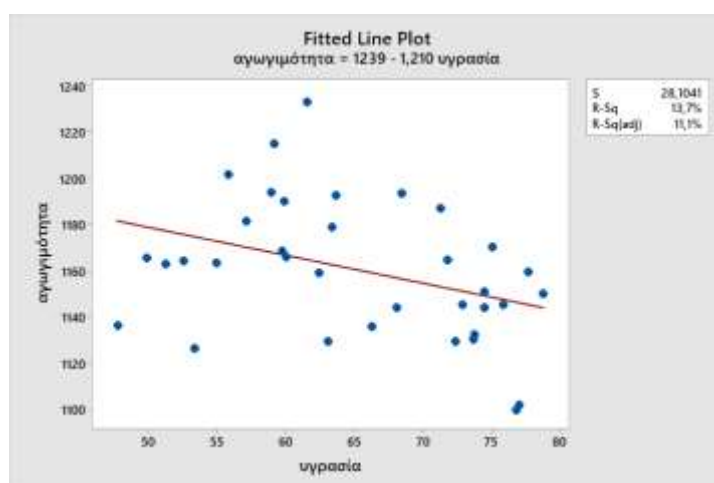
$$\text{αγωγιμότητα} = 1239 - 1,210 \text{ υγρασία}$$

Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)
28,1041	13,71%	11,10%

Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	4142,3	4142,25	5,24	0,029
Error	33	26064,7	789,84		
Total	34	30206,9			



Από το διάγραμμα διασποράς φαίνεται ότι υπάρχει μία αρνητική ασθενής γραμμική (στατιστικά σημαντική) σχέση ανάμεσα στη υγρασία και την αγωγιμότητα (όταν αυξάνεται η υγρασία, φαινόμενο των χειμερινών μηνών, η αγωγιμότητα μειώνεται). Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης είναι  $R=0.37$ .

## (III) Αγωγιμότητα και ηλιακή ακτινοβολία

The regression equation is:



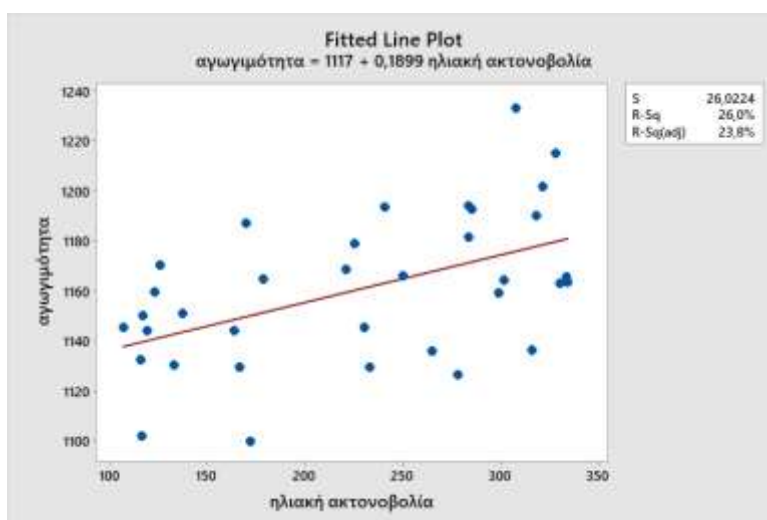
$$\text{αγωγιμότητα} = 1117,4 + 0,1899 \text{ ηλιακή ακτινοβολία}$$

Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
26,0224	26,02%	23,78%	17,24%

Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	7860,5	7860,46	11,61	0,002
Error	33	22346,5	677,17		
Total	34	30206,9			



Από το διάγραμμα διασποράς φαίνεται ότι υπάρχει μία θετική ασθενής γραμμική (στατιστικά σημαντική) σχέση ανάμεσα στη ηλιακή ακτινοβολία και την αγωγιμότητα (όταν αυξάνεται η ηλιακή ακτινοβολία, φαινόμενο των καλοκαιρινών μηνών, η αγωγιμότητα μειώνεται). Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης είναι  $R=0.51$ .

#### (IV) Αγωγιμότητα και βροχόπτωση

The regression equation is:

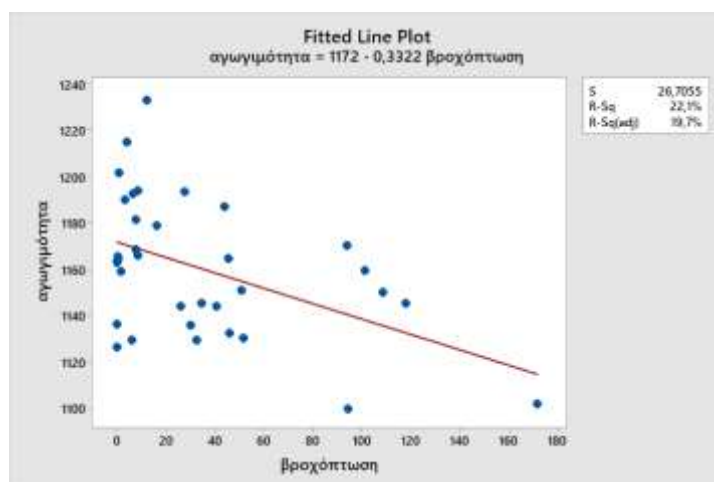
$$\text{αγωγιμότητα} = 1171,84 - 0,332 \text{ βροχόπτωση}$$

### Model Summary (συντελεστής προσδιορισμού)

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
26,7055	22,09%	19,73%	13,45%

### Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	6671,9	6671,89	9,36	0,004
Error	33	23535,0	713,18		
Total	34	30206,9			

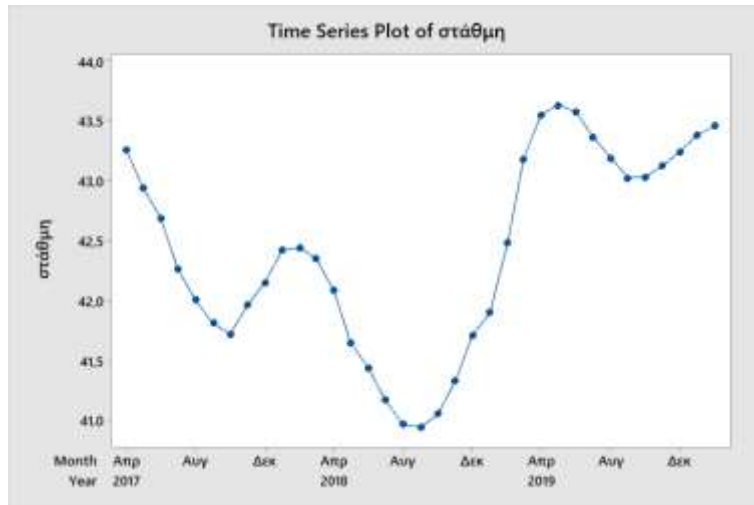


Από το διάγραμμα φαίνεται ότι υπάρχει μία αρνητική ασθενής γραμμική (στατιστικά σημαντική) σχέση ανάμεσα στη βροχόπτωση και την αγωγιμότητα (όταν αυξάνεται η βροχόπτωση, φαινόμενο των χειμερινών μηνών, η αγωγιμότητα μειώνεται). Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης είναι  $R=0.47$ .

## 7.2 Στάθμη Υπόγειου Ύδατος

Τα υδρολογικά δεδομένα (μέσες μηνιαίες τιμές) στην περιοχή του Τυμπακίου αφορούν την περίοδο Απρίλιος 2017 – Φεβρουάριος 2020.

Από το διάγραμμα της χρονολογικής σειράς του ύψους στάθμης του υπόγειου ύδατος μπορεί κανείς να διακρίνει ότι αποτελεί μια χρονοσειρά με μικρές σχετικά διακυμάνσεις. Η ελάχιστη στάθμη που καταγράφηκε στο μελετώμενο διάστημα ήταν 40,9 m και η μέγιστη 43,6 m. Αύξηση της στάθμης παρατηρείται ξεκινώντας από το μήνα Δεκέμβριο, το οποίο είναι λογικό αν αναλογιστούμε ότι τους επόμενους μήνες παρατηρούνται αυξημένες βροχοπτώσεις, οι οποίες συμβάλλουν στην αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων. Οι μέγιστες τιμές κάθε έτους καταγράφονται συνήθως τον Φεβρουάριο ή τον Μάρτιο. Μικρότερες τιμές παρατηρούνται συνήθως τους καλοκαιρινούς μήνες.



## 7.2.1 Συσχέτιση Μεταβλητών

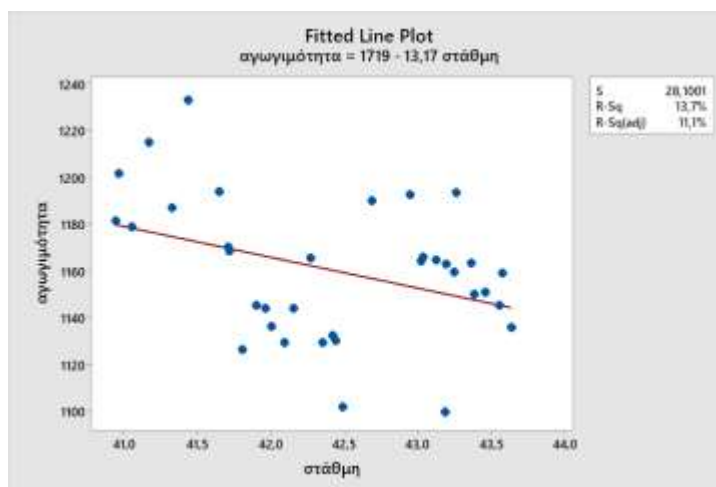
### (I) Στάθμη και αγωγιμότητα

The regression equation is:

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
28,1001	13,74%	11,12%	4,41%

Analysis of Variance (πίνακας ανάλυσης διασποράς // σημαντικότητα της σχέσης)

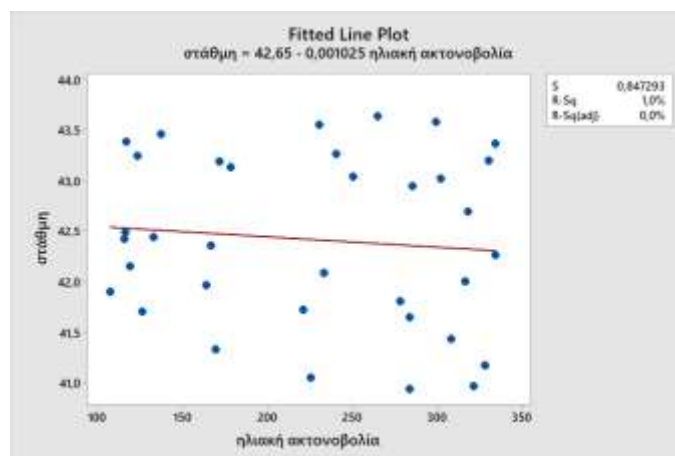
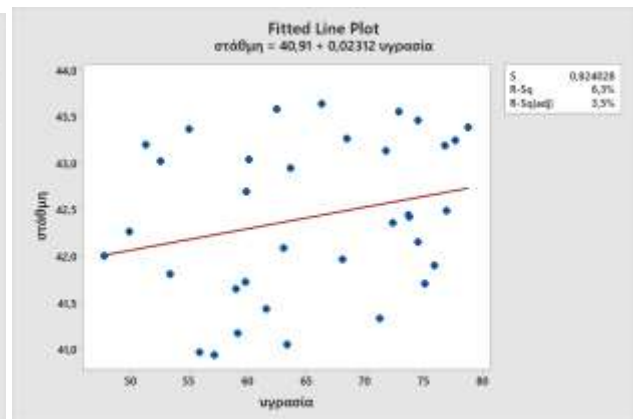
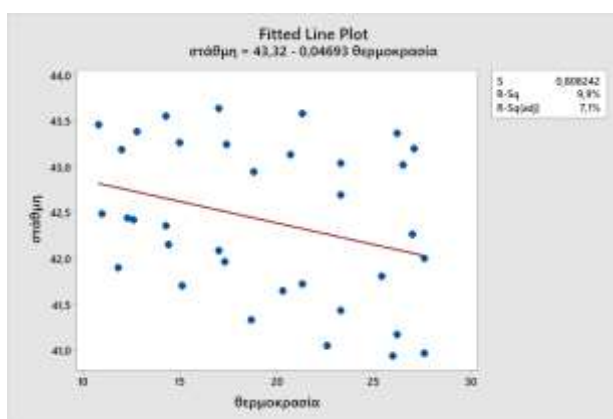
Source	DF	SS	MS	F	P
<b>Regression</b>	1	4149,5	4149,54	5,26	0,028
<b>Error</b>	33	26057,4	789,62		
<b>Total</b>	34	30206,9			



Από το διάγραμμα φαίνεται ότι υπάρχει μία αρνητική ασθενής γραμμική (στατιστικά σημαντική) σχέση ανάμεσα στη στάθμη και την αγωγιμότητα (όταν αυξάνεται η στάθμη, φαινόμενο των χειμερινών μηνών, η αγωγιμότητα μειώνεται λόγω του ότι ποσότητες γλυκού νερού αποταμιεύονται στο έδαφος). Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης είναι  $R=0.37$ .

Στη συνέχεια, διερευνάτε η πιθανή ύπαρξη και το είδος της σχέσης του ύψους στάθμης του υπόγειου ύδατος με άλλες μετεωρολογικές παραμέτρους, ειδικότερα με την θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, την ηλιακή ακτινοβολία και τέλος τη βροχόπτωση.

Έπειτα από στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, στον έλεγχο της σημαντικότητας της παλινδρόμησης μεταξύ των δύο κάθε φορά μεταβλητών, η τιμή της παραμέτρου **p-value είναι μεγαλύτερη του 5%**, σημαίνει ότι οι σχέσεις που προκύπτουν μεταξύ τους δεν είναι στατιστικά σημαντικές



## Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα

### 8.1 Μετεωρολογικοί παράγοντες

Στην εργασία, αναλύσαμε πρώτα, μετεωρολογικά δεδομένα που αφορούν την περιοχή του Τυμπακίου όπως: (α) βαρομετρική πίεση (β) ηλιακή ακτινοβολία (γ) θερμοκρασία (δ) σχετική υγρασία (ε) ταχύτητα ανέμου και (στ) ύψος και διάρκεια βροχόπτωσης. Τα δεδομένα (μέσες μηνιαίες τιμές) για κάθε μια από τις παραπάνω μεταβλητές, αφορούσαν την περίοδο Αύγουστος 2015 - Απρίλιος 2020. Προσπαθήσαμε να αναλύσουμε κάθε μια από τις μεταβλητές πρώτα σαν χρονοσειρά, κατόπιν να κάνουμε προβλέψεις και τέλος να εξετάσουμε αν υπάρχουν τυχόν συσχετίσεις ανάμεσά τους.

Τ' αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν τα παρακάτω:

- (α) Η βαρομετρική πίεση αποτελεί μια περιοδική σειρά (με περίοδο 12 μήνες) με μέση τιμή 1005.6 mmHg μικρή τυπική απόκλιση 3.81 mmHg και πτωτική τάση.
- (β) Η θερμοκρασία αποτελεί μια (σχεδόν) *σταθερή περιοδική σειρά* (με περίοδο 12 μήνες) με ελάχιστη θερμοκρασία συνήθως το Φεβρουάριο (10-12 βαθμούς °C) και μέγιστη θερμοκρασία τον Αύγουστο (περίπου 28 ° C). Δηλαδή το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται από τους ήπιους χειμώνες και τα όχι ιδιαίτερα θερμά καλοκαίρια. Υπάρχει μιά αρνητική (σχετικά) ισχυρή γραμμική σχέση (στατιστικά σημαντική) ανάμεσα στη θερμοκρασία και τη βαρομετρική πίεση (όταν αυξάνεται η θερμοκρασία η βαρομετρική πίεση, όπως αναμενόταν συνήθως μειώνεται).
- (γ) Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί μια σταθερή περιοδική σειρά (με περίοδο 12 μήνες) με μέση τιμή στα  $219,9 \frac{W}{m^2}$ . Αυξημένες τιμές της καταγράφονται ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες και χαμηλές τιμές παρατηρούνται το χειμώνα, εξ' αιτίας συχνών νεφώσεων και βροχοπτώσεων.
- (δ) Η σχετική υγρασία αποτελεί και αυτή μια περιοδική σειρά (με περίοδο 12 μήνες), με μικρή ίσως αυξητική τάση (μέση τιμή 65.5%). Η ελάχιστη τιμή της παρουσιάζεται συνήθως την περίοδο Ιουλίου-Αυγούστου, ενώ η μέγιστη τιμή την περίοδο Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου.
- (I) Υπάρχει μιά αρνητική αρκετά ισχυρή (στατιστικά σημαντική) γραμμική σχέση ανάμεσα στη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία. Ειδικότερα,όταν αυξάνεται η θερμοκρασία (καλοκαίρια), η υγρασία, όπως αναμενόταν, μειώνεται
- (II) Υπάρχει μια θετική ασθενής (στατιστικά σημαντική) γραμμική σχέση ανάμεσα σχετική υγρασία και τη βαρομετρική πίεση. Η αύξηση της βαρομετρικής πίεσης δεν επηρεάζει σημαντικά τις τιμές σχετικής υγρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα.
- (III) Υπάρχει μιά πολύ ισχυρή αρνητική γραμμική σχέση ανάμεσα στη σχετική υγρασία και την ηλιακή ακτινοβολία. Τα μεγαλύτερα ποσοστά σχετικής υγρασίας, της τάξης του 70-80%, καταγράφονται σε διαστήματα όπου η τιμή της πυκνότητας ηλιακής ακτινοβολίας είναι σε χαμηλά επίπεδα. Αντιθέτως, όσο η τιμή της αυξάνεται η σχετική υγρασία σταδικά

μειώνεται, με αποτέλεσμα ο ατμοσφαιρικός αέρας να περιέχει μικρότερη ποσότητα υδρατμών και το κλίμα γίνεται πιο ξηρό.

- (ε) Η ταχύτητα του ανέμου είναι μία σχετικά σταθερή χρονοσειρά (με μέση τιμή 1.56 B) με μία μικρή πτωτική τάση κατά τα τελευταία χρόνια. Οι μέγιστες τιμές του ανέμου συμβαίνουν τον Αύγουστο (όπως αναμενόταν λόγω μετεμιών) και το Φλεβάρη (λόγω χειμώνα), ενώ οι ελάχιστες συνήθως τον Ιούλιο και τον Ιανουάριο.

Υπάρχει μια ασθενής στατιστικά σημαντική μη-γραμμική (πολυωνυμική 2<sup>ου</sup> βαθμού) σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία και την ταχύτητα του ανέμου (συντελεστής συσχέτισης 0.545). Η καμπύλη φαίνεται να ταιριάζει καλύτερα στα δεδομένα σε σχέση με μια ευθεία παλινδρόμησης (βλέπουμε ότι χαμηλές τιμές θερμοκρασίας/ χειμώνας και υψηλές τιμές θερμοκρασίας/καλοκαίρι αντιστοιχούν σε υψηλές τιμές ταχύτητας του ανέμου // το καλοκαίρι λόγω μετεμιών ίσως).

- (στ) Η βροχόπτωση, όπως ίσως αναμένεται, αποτελεί μια περιοδική σειρά (με περίοδο 12 μήνες), με (σχετικά μικρή) ανοδική τάση (μέση μηνιαία βροχόπτωση 32.74 mm). Ελάχιστες τιμές της (μηδενικά ύψη βροχής) συμβαίνουν κατά τους θερινούς μήνες και μέγιστες κατά τους χειμερινούς. Ακόμα παρατηρούμε ότι, ιδιαίτερα βροχερό ήταν το φθινόπωρο και ο χειμώνας τους 2018 (το Φλεβάρη του 2019 είχαμε ρεκόρ ύψους βροχόπτωσης με μηνιαίο ύψος πάνω από 160 mm).

(I) Υπάρχει μία αρνητική ασθενής στατιστικά σημαντική (αρνητική) γραμμική σχέση ανάμεσα στη βροχόπτωση και τη θερμοκρασία. Σε υψηλές (μέσες) θερμοκρασίες αντιστοιχούν χαμηλά ύψη βροχής (χαρακτηριστικό π.χ των καλοκαιρινών μηνών όπου η βροχόπτωση είναι μηδενική).

(II) Υπάρχει μία αρνητική (σχετικά) ισχυρή στατιστικά σημαντική (αρνητική) γραμμική σχέση ανάμεσα στη βροχόπτωση και την ηλιακή ακτινοβολία. Σε υψηλές (μέσες) τιμές βροχόπτωσης αντιστοιχούν χαμηλά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας (γεγονός π.χ που συμβαίνει κατά τη διάρκεια του χειμώνα).

- (ζ) Η διάρκεια της βροχόπτωσης αποτελεί μια περιοδική σειρά (με περίοδο 12 μήνες), με μέγιστες τιμές κατά τη διάρκεια του χειμώνα και ελάχιστες (μηδενικές) τους καλοκαιρινούς. Ακόμα, υπάρχει μια σημαντική ανοδική τάση τα τελευταία χρόνια.

(I) Υπάρχει μία αρνητική ασθενής στατιστικά σημαντική (αρνητική) γραμμική σχέση ανάμεσα στη διάρκεια βροχόπτωσης και τη θερμοκρασία. Σε υψηλές (μέσες) θερμοκρασίες αντιστοιχεί χαμηλή διάρκεια βροχόπτωσης (χαρακτηριστικό π.χ των καλοκαιρινών μηνών όπου η βροχόπτωση είναι μηδενική).

(II) Υπάρχει μία αρνητική ασθενής στατιστικά σημαντική (αρνητική) γραμμική σχέση ανάμεσα στη διάρκεια βροχόπτωσης και την ηλιακή ακτινοβολία. Σε υψηλές (μέσες) ηλιακής ακτινοβολίας (που συμβαίνουν συνήθως τους καλοκαιρινούς μήνες) αντιστοιχεί χαμηλή διάρκεια βροχόπτωσης (χαρακτηριστικό π.χ των καλοκαιρινών μηνών όπου η βροχόπτωση είναι μηδενική).

## **8.2 Σύγκριση μετεωρολογικών δεδομένων περιοχών Σούδας, Τυμπακίου.**

Στη συνέχεια συγκρίναμε μετεωρολογικούς παράγοντες της περιοχής Τυμπακίου με την περιοχή της Σούδας (του νομού Χανίων).

### **(I) Σύγκριση θερμοκρασίας**

- (α) Η χρονοσειρά της θερμοκρασίας και στις δύο περιοχές έχει την ίδια μορφή (γεγονός που ίσως αναμενόταν λόγω της μικρής σχετικά απόστασης των δύο περιοχών).
- (β) Υπάρχει μια χρονική υστέρηση (κατά μερικές ημέρες) της χρονοσειράς της θερμοκρασίας της περιοχής του Τυμπακίου σε σχέση με την αντίστοιχη της Σούδας (γεγονός και αυτό αναμένεται λόγω του ότι η Σούδα βρίσκεται δυτικότερα και η μεταβολή του καιρού συμβαίνει συνήθως από τα δυτικά στ' ανατολικά της Κρήτης).
- (γ) Φαίνεται ότι οι μέσες θερμοκρασίες στη Σούδα να είναι ελάχιστα υψηλότερες από αυτές του Τυμπακίου (αν και κάποιος θα περίμενε το αντίθετο, λόγω του ότι το Τυμπάκι βρίσκεται νοτιότερα)

Έχουμε μια πολύ ισχυρή θετική γραμμική στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στη θερμοκρασία στην περιοχή της Σούδας και τη θερμοκρασία στην περιοχή του Τυμπακίου.

### **(II) Σύγκριση βροχόπτωσης**

- (α) Η χρονοσειρά της βροχόπτωσης και στις δύο περιοχές έχει περίπου την ίδια μορφή (ίσως και πάλι λόγω της μικρής σχετικά απόστασης των δύο περιοχών)
  - (β) Υπάρχει μια χρονική υστέρηση (μερικών ημερών) της χρονοσειράς της βροχόπτωσης της περιοχής του Τυμπακίου σε σχέση με την αντίστοιχη της Σούδας (γεγονός και αυτό αναμένεται λόγω του ότι η Σούδα βρίσκεται δυτικότερα και βροχοπτώσεις συνήθως ξεκινούν από τα δυτικά της Κρήτης).
  - (γ) Φαίνεται να υπάρχει σημαντική διαφορά στην ποσότητα της βροχόπτωσης που δέχονται οι περιοχές, με τη Σούδα να δέχεται τις υψηλότερες (γεγονός που ίσως αναμένεται γιατί η Σούδα βρίσκεται δυτικότερα του Τυμπακίου και βορειότερα).
- Υπάρχει μια (σχετικά) ισχυρή (θετική) στατιστικά σημαντική σχέση ανάμεσα στα ποσά της βροχόπτωσης στην περιοχή του Τυμπακίου και τα αντίστοιχα της Σούδας (συντελεστής συσχέτισης 0.734).

### **(III) Σύγκριση υγρασίας**

Ανάλογα αποτελέσματα, με τα παραπάνω, προκύπτουν και για την υγρασία ανάμεσα στις δύο περιοχές. Έτσι τα δεδομένα της υγρασίας και για τις δύο περιοχές αποτελούν χρονοσειρές με την ίδια περίπου μορφή αλλά χρονική καθυστέρηση μερικών ημερών. Επιπλέον υπάρχει μια

μικρή αυξητική τάση στην υγρασία τα τελευταία χρόνια. Η περιοχή της Σούδας έχει αρκετά γενικά μεγαλύτερη ποσότητα υγρασίας σε σχέση με την αντίστοιχη του Τυμπακίου.

Τέλος, υπάρχει μια ισχυρή (θετική) στατιστικά σημαντική σχέση ανάμεσα στα ποσά της υγρασίας στην περιοχή του Τυμπακίου και τα αντίστοιχα της Σούδας.

### 8.3 Υδρολογικά δεδομένα

Επιπλέον, στην εργασία αναλύσαμε υδρολογικά δεδομένα που αφορούν την περιοχή του Τυμπακίου όπως: (α) ηλεκτρική αγωγιμότητα και (β) ύψος στάθμης των υπόγειων υδάτων. Τα δεδομένα (μέσες μηνιαίες τιμές) για κάθε μια από τις παραπάνω μεταβλητές, αφορούσαν την περίοδο Απρίλιος 2017 – Φεβρουάριος 2020. Προχωρήσαμε σε ανάλυση για κάθε μια από τις μεταβλητές σαν χρονοσειρά και κατόπιν εξετάσαμε την ύπαρξη τυχόν συσχετίσεων ανάμεσά τους.

Τ' αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν τα παρακάτω:

(α) Η χρονοσειρά της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εμφανίζει μικρές διακυμάνσεις. Το εύρος των τιμών κυμαίνεται από  $1099,6 \frac{\mu S}{cm}$  μέχρι και  $1233,3 \frac{\mu S}{cm}$ , με μέση τιμή τα  $1160,5 \frac{\mu S}{cm}$ . Από τις καταγραφόμενες μετρήσεις, γίνεται αντιληπτό πως υπάρχει πρόβλημα υφαλμύρινσης στην περιοχή με την ποιότητα του γλυκού νερού να είναι υποβαθμισμένη. Τίς περιόδους Δεκεμβρίου – Μαρτίου, παρατηρούμε μείωση στις τιμές της, ενώ παράλληλα την ίδια περίοδο καταγράφονται τα περισσότερα χιλιοστά βροχής στην περιοχή. Επομένως, είναι πιθανό η μείωση των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας να οφείλεται κατά ένα μέρος στον εμπλουτισμό του υδροφορέα από την αυξημένη ποσότητα όμβριων υδάτων στην περιοχή. Τέλος, η σταθεροποίηση των τιμών το τελευταίο έτος, είναι πιθανότατα αποτέλεσμα των συντονισμένων προσπάθειών του δήμου και της περιφέρειας για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

(β) Από το διάγραμμα της χρονολογικής σειράς του ύψους στάθμης του υπόγειου ύδατος μπορεί κανείς να διακρίνει ότι αποτελεί μια χρονοσειρά με μικρές σχετικά διακυμάνσεις. Η ελάχιστη στάθμη που καταγράφηκε στο μελετώμενο διάστημα ήταν 40,9 m και η μέγιστη 43,6 m. Αύξηση της στάθμης παρατηρείται ξεκινώντας από το μήνα Δεκέμβριο, το οποίο είναι λογικό αν αναλογιστούμε ότι τους επόμενους μήνες παρατηρούνται αυξημένες βροχοπτώσεις, οι οποίες συμβάλλουν στην αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων. Οι μέγιστες τιμές κάθε έτους καταγράφονται συνήθως τον Φεβρουάριο ή τον Μάρτιο. Μικρότερες τιμές παρατηρούνται συνήθως τους καλοκαιρινούς μήνες.



# Βιβλιογραφία

## Βιβλία/ Σημειώσεις

- Αγιουτάντη Ε., 2016, *Μελέτη της υφιστάμενης κατάστασης των υδατικών πόρων στη λεκάνη του Τυμπακίου Κρήτης με χρήση του μοντέλου VISUAL FLOW και μετρήσεων ηλεκτρικής αγωγιμότητας*, Διπλωματική Εργασία, Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Αποστολάκη Μ., 2015, *Υπολογισμός όγκου αντλήσεων στη λεκάνη Γεροποτάμου, με συνεχή 20ετή προσομοίωση της διαδικασίας διήθησης των επιφανειακών υδάτων και συσχέτισή τους με το υπόγειο υδατικό δυναμικό της λεκάνης*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Δεπτοράκη Μ., 2012, *Συνδυασμός του μοντέλου προσομοίωσης ροής υπογείων υδάτων VISUAL FLOW με το μοντέλο βελτιστοποίησης GWM για τη βέλτιστη διαχείριση του παράκτιου υδροφορέα του Τυμπακίου*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Θεοχάρους Μ., 2016, *Υφαλμύριση στον υδροφορέα του Ακρωτηρίου στην Κύπρο*, Πτυχιακή εργασία, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Λεμεσός
- Καλές Μ., 2013, *Χαρακτηρισμός των υδάτινων σωμάτων Ανατολικής Κρήτης*, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ
- Καρακώστας Θ., *Γενική Μετεωρολογία, Σημειώσεις Μαθήματος*, ΑΠΘ
- Κολοκοτσά Δ., 2016, *Περιβαλλοντική Μετεωρολογία και Μοντέλα Ποιότητας αέρα*, Σημειώσεις Μαθήματος
- Λευθεριώτης Γ., 2015, *Αιολική Ενέργεια & Ενέργεια του Νερού*, Σημειώσεις Μαθήματος, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών
- Μουστρής Κ. Π., *Τεχνολογία Περιβαλλοντικών Μετρήσεων*, Σημειώσεις Μαθήματος, ΑΕΙ Πειραιά
- Μπαλτάς Ε., 2013, *Εφαρμοσμένη Μετεωρολογία*, εκδόσεις Ζήτη, 2<sup>η</sup> έκδοση
- Μπάρμπας Φ. 2013, *Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την αξιοποίηση της δυνατότητας περιορισμού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με τη χρήση φωτοκαταλυτικών επιστρώσεων*, Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ

- Παπαμικρούλης Μ., 2018, *Εφαρμογή-Ανάλυση ευαισθησίας του υδρογεωλογικού μοντέλου MODFLOW στη λεκάνη της Μεσσαράς*, Μεταπτυχιακή εργασία, ΕΜΠ
- Παππά Α., 2016, *Το φαινόμενο της υπαλμύρισης και η αντιμετώπισή του - Περιπτώσεις υπαλμύρισης παράκτιων υδροφορέων στην Ελλάδα*, Πτυχιακή Εργασία, Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Φεΐδας Χ., *Η υγρασία της ατμόσφαιρας- Γενική Μετεωρολογία*, Αν. καθηγητής ΑΠΘ
- Χαλκιαδάκης Ε., 2015, *“Τυμπάκι-Από τους απελευθερωτικούς αγώνες και τη ναζιστική ισοπέδωση στην ανοικοδόμηση και την ανάπτυξη”*
- Ψωινός Δ., 1989, *Εφαρμοσμένη στατιστική*, Εκδόσεις Ζήτη
- Ahrens C. D., 2006, *Meteorology Today*, Brooks Cole; 8th edition
- Raicharoen, T., Lursinsap, C. and Sanguanbhoki, P. (2003) *Application of Critical Support Vector Machine to Time Series Prediction*, Proceedings of the International Symposium on Circuits and Systems, Bangkok, 25-28 May 2003
- Wallace J.M., and P.V. Hobbs, 2006, *Atmospheric Science. An Introductory Survey*, Academic Press, Elsevier

### **Διαδικτυακές πηγές**

- [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3732/1/02\\_chapter\\_03.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3732/1/02_chapter_03.pdf) [03/2020]
- <https://www.statistics.gr/2011-census-pop-hous> [03/2020]
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CF%81%CE%BF%CF%87%CE%AE#%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%B7%CE%B3%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B5%CF%82> [03/2020]
- <http://www.geo.auth.gr/763/ch5.html> [04/2020]
- <https://www.axionable.com/wp-content/uploads/2018/02/forecast.png> [05/2020]
- <https://hellenicweather.com/pos-ephreazoun-oi-synthikes-tou-perivallontos-tis-vasikes-kalliergeies/> [05/2020]
- <https://image3.slideserve.com/5760484/time-series-methods-simple-moving-average5-l.jpg> [05/2020]
- <https://www.excel-easy.com/smi/examples/exponential-smoothing.png> [05/2020]

- <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tgs00003/default/table?lang=en> [06/2020]
- <http://geodata.gov.gr/maps/?locale=el> [08/2020]
- <http://wfdgis.ypeka.gr/> [08/2020]
- <https://www.hc-crete.gr/7%CE%B7-%CF%85%CF%80%CE%B5/%CE%B7-%CE%BA%CF%81%CE%B7%CF%84%CE%B7-%CE%BC%CE%B1%CF%82-%CE%B7%CF%81%CE%B1%CE%BA%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CE%BF-%CE%B4%CE%B7%CE%BC%CE%BF%CE%B9> [09/2020]
- <http://www.desire-his.eu/index.php/en/photo-gallery-resourcesmenu-198/category/81/itemPage/5/asInline> [09/2020]
- <https://www.elter.gr/default.asp?pid=15&la=1&ct=28&proID=91> [09/2020]