



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Στατιστική και στοχαστική ανάλυση της ωριαίας ταχύτητας
ανέμου για την προσομοίωση παραγωγής αιολικής ενέργειας.
Εφαρμογή σε σταθμούς της Κεντρικής Ελλάδας.**



Αριάδνη - Μαρία Φιλιππίδου

Επιβλέπων : Δημήτριος Κουτσογιάννης, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Στατιστική και στοχαστική ανάλυση της ωριαίας ταχύτητας
ανέμου για την προσομοίωση παραγωγής αιολικής ενέργειας.
Εφαρμογή σε σταθμούς της Κεντρικής Ελλάδας.**

Αριάδνη - Μαρία Φιλιππίδου

Επιβλέπων : Δημήτριος Κουτσογιάννης, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2015

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.

Αριάδνη Φιλιππίδου

*Στον Ηρακλή, τον Ανδρέα,
τη Σόφη και το Γιώργο*

Ευχαριστίες

Θα ήθελα σε αυτό το σημείο να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτρη Κουτσογιάννη για τη βοήθεια που μου προσέφερε στη διπλωματική μου εργασία, για τις πολύτιμες συμβουλές που μου έχει δώσει, αλλά και γιατί με ενέπνευσε να ακολουθήσω την κατεύθυνση της υδρολογίας. Θέλω να ευχαριστήσω το Σίμωνα Παπαλεξίου για τη συνεργασία μας και για τις ώρες που αφιέρωσε με χαρά για να με βοηθήσει. Χωρίς τη βοήθειά του δε θα είχατε στα χέρια σας αυτή την εργασία. Ειδική μνεία οφείλω να κάνω και για τον Παναγιώτη Κοσσιέρη, ο οποίος με πολλή προθυμία με βοήθησε καθοριστικά σε πολλά σημεία της εργασίας μου. Ευχαριστώ επίσης τον κ. Νίκο Μαμάση για τις συμβουλές και τη βοήθειά του. Δε θα ξεχάσω τις εκπαιδευτικές εκδρομές στις οποίες μας συνόδευσε, ιδιαίτερα αυτή στην Ολλανδία. Επιπλέον, ευχαριστώ τον κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη και τον Παναγιώτη Δημητριάδη, καθώς ήταν εκεί για να με βοηθήσουν στην εργασία μου.

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ στους γονείς μου. Είναι οι κύριοι υπεύθυνοι γι' αυτό που είμαι σήμερα. Τους χρωστάω τα πάντα. Εύχομαι στα δύο μου αδέρφια που τώρα ξεκινούν την πορεία τους σαν φοιτητές, να περάσουν όσο όμορφα πέρασα κι εγώ αυτά τα χρόνια.

Πώς να μην ευχαριστήσω τους υπέροχους φίλους μου, με τους οποίους εδώ και πολλά χρόνια μοιράζομαι τη ζωή μου. Φυσικά αναφέρομαι σε εσάς Κέλυ, Βάσια, Αλέξανδρε, Λήδα, Μάνο, Δήμητρα, Θεολογία, Γιάννη, Ντίνα, Δημήτρη, Βασίλη, Μαρία, Κέλα, Γωγώ, Ελένη, Σάκη, Γιώργο.

Θα κλείσω με μια ευχή, τη μόνη μου ευχή αυτές τις μέρες. Κάποια στιγμή να ορθοποδήσει η χώρα μας, την οποία όλοι πονάμε. Να γίνει ένας τόπος δικαιοσύνης και ευημερίας για όλους.

Αριάδνη

16 Ιουλίου 2015

Περίληψη

Εξετάζεται η ωριαία ταχύτητα του ανέμου σε σταθμούς της Κεντρικής Ελλάδας. Γίνεται στατιστική ανάλυση των σταθμών με διαγράμματα εμπειρικής πυκνότητας πιθανότητας, θηκογράμματα, υπολογισμό ωριαίας μέσης τιμής, τυπικής απόκλισης, συντελεστή ασυμμετρίας, συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης και ποσοστού νηνεμίας. Επιχειρείται η προσαρμογή κατάλληλης θεωρητικής κατανομής στα δεδομένα της ταχύτητας με τη βοήθεια των L-ροπών. Εξάγεται το συμπέρασμα του διπλού κύκλου που ακολουθεί η μεταβλητή της ωριαίας ταχύτητας, δηλαδή η διακύμανσή της μέσα στην ημέρα, αλλά και η εποχικότητα που εμφανίζει. Επίσης, λόγω του σημαντικού ποσοστού νηνεμίας που δε μπορεί να παραβλεφθεί, συμπεραίνεται πως η ωριαία ταχύτητα είναι μεταβλητή μικτού τύπου. Δηλαδή, διαχωρίζεται στο διακριτό μέρος, που αποτελείται από τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας και στο συνεχές μέρος, με τις θετικές τιμές. Έτσι, η στοχαστική ανάλυση γίνεται σε δύο φάσεις. Αρχικά, παράγεται μία συνθετική χρονοσειρά 1 000 ετών, που προσομοιώνει τις θετικές τιμές της ωριαίας ταχύτητας, με τη βοήθεια του μοντέλου CAR1. Πρόκειται για ένα διπλά κυκλοστάσιμο μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης, με παράλληλη διατήρηση της ασυμμετρίας. Έπειτα, οι μηδενικές τιμές της ταχύτητας προσομοιώνονται με τη βοήθεια μίας αλυσίδας Markov πρώτης τάξης επίσης 1 000 ετών, η οποία παράγει τις τιμές 0 (περίπτωση νηνεμίας) και 1 (θετικός άνεμος), σύμφωνα με τις πιθανότητες μετάβασης. Οι δύο χρονοσειρές πολλαπλασιάζονται, ώστε να προκύψει η τελική συνθετική χρονοσειρά της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου. Τα στατιστικά χαρακτηριστικά της συγκλίνουν με αυτά της ιστορικής χρονοσειράς. Τέλος, υπολογίζεται η παραγωγή αιολικής ενέργειας, με τη βοήθεια της καμπύλης ισχύος επιλεγμένης ανεμογεννήτριας εμπορίου.

Abstract

Statistical and stochastic analysis of hourly wind speed for the simulation of wind energy generation. Application in wind stations in Greece.

Hourly wind speed is examined in wind stations of Central Greece. Statistical analysis of the data includes the presentation of histograms and boxplots, as well as the calculation of the hourly mean values, the standard deviation, the skewness coefficient, the autocorrelation coefficient of first order and the probability calm percentage. Fitting of a theoretical distribution to the hourly wind data is examined, using L-moments. It is concluded that hourly wind speed appears to have double cyclostationarity, because hourly wind speed values vary significantly during the day and according to the season. What is more, due to the significant probability calm percentage, hourly wind speed has to be considered as a mixed type variable. It is divided into the discrete part, which includes the zero values of hourly wind speed and the continuous part, with the positive values only. Stochastic analysis includes the above assumptions. A synthetic timeseries of 1 000 years is generated, which simulates the positive values of hourly wind speed, from the model CAR1. It refers to a double cyclostationary autoregressive model of order 1, while maintaining the skewness. Zero wind speed values are simulated by a first order Markov chain of 1 000 years, which generates the value 0 in case of calm weather and the value 1 in case of positive wind speed, always according to the probability transition matrices. These two timeseries are multiplied so as to result to the final synthetic timeseries of hourly wind speed. The statistical characteristics approach satisfyingly those of the historic data. Finally, wind energy generation is calculated, using the power curve of a specific wind turbine.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	i
Περίληψη	ii
Abstract	iii
1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Γενική τοποθέτηση	1
1.2 Αντικείμενο Μελέτης	2
1.3 Διάρθρωση Εργασίας	3
2 Η εξέλιξη της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα και τον κόσμο	5
2.1 Αιολική ενέργεια - Ιστορική αναδρομή.....	5
2.1.1 Μια σύντομη αναδρομή στους ανεμόμυλους.....	5
2.1.2 Άνεμος και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	8
2.1.3 Η επανεμφάνιση της Αιολικής Ενέργειας.....	9
2.2 Η σύγχρονη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στον κόσμο και την Ευρώπη ...	10
2.2.1 Παγκόσμια παραγωγή αιολικής ενέργειας.....	10
2.2.2 Παραγωγή αιολικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	13
2.2.3 Πράσινη Βίβλος - Κλίμα και ενέργεια με χρονικό ορίζοντα το 2030.....	16
2.3 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα	18
2.3.1 Το ενεργειακό μίγμα στην Ελλάδα	18
2.3.2 Σύντομη ιστορική αναφορά στην αιολική ενέργεια στην Ελλάδα.....	20
2.3.3 Εξέλιξη και προβλήματα στην εγκατάσταση αιολικής ισχύος στην Ελλάδα. ...	21
2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας.....	24
3 Χαρακτηριστικά του ανέμου	27
3.1 Η μεταβλητότητα του ανέμου	28
3.1.1 Η διακύμανση του ανέμου καθ' ύψος.....	28
3.1.2 Η διακύμανση του ανέμου στο χρόνο	29
3.2 Το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας	30

3.3	Συλλογή των ανεμολογικών δεδομένων.....	34
3.3.1	Λήψη ανεμολογικών δεδομένων από την υπηρεσία NCDC	35
3.3.2	Επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων στο λογισμικό Υδρογνώμων	39
4	Στατιστική ανάλυση της ταχύτητας του ανέμου στην ωριαία κλίμακα	40
4.1	Εμπειρική πυκνότητα πιθανότητας δεδομένων και θηκογράμματα (boxplots)	40
4.1.1	Διαγράμματα εμπειρικής πυκνότητας πιθανότητας	40
4.1.2	Θηκογράμματα	43
4.2	Η μέθοδος των ροπών.....	48
4.2.1	Υπολογισμός της δειγματικής μέσης τιμής.....	48
4.2.2	Υπολογισμός της τυπικής απόκλισης της έντασης του ανέμου	55
4.2.3	Υπολογισμός της ασυμμετρίας της έντασης του ανέμου.....	60
4.3	Υπολογισμός της πιθανότητας νηνεμίας στους σταθμούς ενδιαφέροντος.....	66
4.4	Υπολογισμός του ωριαίου συντελεστή αυτοσυσχέτισης.....	68
4.5	Θεωρητικές συναρτήσεις κατανομής της ταχύτητας του ανέμου	71
4.5.1	Η κατανομή Lognormal	72
4.5.2	Η κατανομή Gamma	73
4.5.3	Η κατανομή Weibull	75
4.5.4	Η κατανομή Pareto II	76
4.6	Η μέθοδος των L-ροπών.....	77
4.7	Προσαρμογή σε θεωρητική κατανομή με τη βοήθεια των L-ροπών.....	78
5	Στοχαστική ανάλυση της ταχύτητας του ανέμου σε ωριαία κλίμακα.....	83
5.1	Βιβλιογραφία	83
5.1.1	Στοχαστική προσομοίωση.....	83
5.1.2	Διπλωματικές και ερευνητικές εργασίες.....	84
5.2	Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου.....	85
5.2.1	Το μοντέλο AR1.....	87
5.2.2	Το κυκλοστάσιμο μοντέλο με διατήρηση ασυμμετρίας CAR1.	88

5.2.3	Εφαρμογή του μοντέλου CAR1 στα δεδομένα του σταθμού Νέα Αγχίαλος.....	91
5.2.4	Αλυσίδες Markov και πιθανότητες μετάβασης.....	92
5.2.5	Εφαρμογή των αλυσίδων Markov στο σταθμό Νέα Αγχίαλος	95
5.2.6	Παραγωγή τελικής συνθετικής χρονοσειράς της ωριαίας ταχύτητας	95
6	Προσομοίωση παραγωγής αιολικής ενέργειας	98
6.1	Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας και συντελεστής ισχύος	98
6.2	Υπολογισμός της ταχύτητας του ανέμου στο ύψος τοποθέτησης	103
6.3	Υπολογισμός της παραγόμενης αιολικής ενέργειας.....	103
7	Σύνοψη - Συμπεράσματα	107
8	Βιβλιογραφικές Αναφορές	110
	Παράρτημα Α1.....	113
	Παράρτημα Α2.....	150
	Παράρτημα Β.....	193

1 Εισαγωγή

1.1 Γενική τοποθέτηση

Ο άνεμος είναι μία κλιματική μεταβλητή που απασχολεί τους τομείς των κατασκευών, της ναυσιπλοΐας και της ενέργειας. Η μελέτη του ανέμου μπορεί να παράσχει χρήσιμες πληροφορίες στους εκάστοτε ενδιαφερόμενους μηχανικούς για το σωστό σχεδιασμό των τεχνικών έργων. Στον κλάδο των κατασκευών, οι μηχανικοί ενδιαφέρονται για τις ακραίες (μέγιστες) τιμές που λαμβάνει η ταχύτητα του ανέμου, η οποία θα επηρεάσει το έργο κατά τη διάρκεια ζωής του. Στον κλάδο της ακτομηχανικής και των παράκτιων κατασκευών, ενδιαφέρουν οι μέγιστες τιμές της ταχύτητας του ανέμου, η διάρκεια πνοής του, καθώς επίσης και η διεύθυνσή του, παραδείγματος χάριν για την κατασκευή κυματοθραυστών. Όσον αφορά τον κλάδο της ενέργειας, η διάρκεια πνοής του ανέμου, η ταχύτητα και η διεύθυνσή του αποτελούν χρήσιμες και απαραίτητες πληροφορίες για την εξαγωγή του αιολικού δυναμικού και τον αποτελεσματικό σχεδιασμό μίας αιολικής εγκατάστασης παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας.

Το τυπικό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται στον σχεδιασμό των έργων, στα οποία υπεισέρχεται η μεταβλητή του ανέμου, είναι η έλλειψη καταγραφών μεγάλου μήκους για τις χρονοσειρές του. Η σύγχρονη φιλοσοφία σχεδιασμού προϋποθέτει τη χρήση χρονοσειρών μεγάλου μήκους για την επίτευξη του απαιτούμενου βαθμού αξιοπιστίας, ο οποίος εξαρτάται από το διαθέσιμο μήκος χρονοσειράς. Ωστόσο, η καταγραφή μετεωρολογικών δεδομένων σχετιζόμενων με τον άνεμο ξεκίνησε στις αρχές του προηγούμενου αιώνα, και όπως είναι λογικό οι καταγραφές σπανίως ξεπερνούν τα 100 έτη. Επομένως, ο υπολογισμός του φορτίου του ανέμου για τις κατασκευές και του προφίλ της ταχύτητάς του για την παραγωγή ενέργειας, πρέπει να καθορίζονται έπειτα από την προσομοίωση των δεδομένων της ταχύτητας. Για τον λόγο αυτό κρίνεται αναγκαία η χρήση συνθετικών χρονοσειρών, η γέννηση των οποίων πραγματοποιείται μέσω στοχαστικών μοντέλων.

Τα στοχαστικά μοντέλα αποτελούν σημαντικό βοήθημα στην παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών δεδομένων και έχουν μεγάλη εφαρμογή στον τομέα της αιολικής ενέργειας. Χρησιμοποιώντας στοχαστικά μοντέλα, επιλέγεται να διατηρηθούν τα στατιστικά χαρακτηριστικά της μεταβλητής της ταχύτητας του ανέμου, όπως αυτά έχουν προκύψει από

τα παρατηρημένα δεδομένα. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, η ασυμμετρία, η δομή αυτοσυσχέτισης και η πιθανότητα νηνεμίας. Επιτυγχάνεται με αυτό τον τρόπο, η πιστή αναπαραγωγή της πραγματικότητας, μέσω της γέννησης συνθετικών χρονοσειρών ταχύτητας ανέμου. Έπειτα, τα συνθετικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση του συνολικού προφίλ της ταχύτητας του ανέμου και για τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού της εκάστοτε περιοχής μελέτης. Έχοντας τα παραπάνω, μπορεί να γίνει αξιόπιστος υπολογισμός της αιολικής ενέργειας που μπορεί να παραχθεί.

Έχει μεγάλη αξία η προσπάθεια επεξεργασίας των δεδομένων ταχύτητας ανέμου, για την εξαγωγή του αιολικού δυναμικού κάθε περιοχής. Όλα τα παραπάνω έχουν ως απώτερο στόχο τη δημιουργία, όσο το δυνατόν, περισσότερο αξιόπιστων αιολικών πάρκων, τα οποία θα παράγουν καθαρή ηλεκτρική ενέργεια. Η αξία της αιολικής ενέργειας είναι δεδομένη, αν αναλογιστεί κανείς πως ο άνεμος αποτελεί ανανεώσιμη, ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Κατά την παραγωγή της, δεν απελευθερώνονται αέριοι ρύποι, επιβλαβείς για το περιβάλλον. Επιπλέον, αντικαθιστώντας την ενέργεια που παράγεται από τα ορυκτά καύσιμα, με την ενέργεια που παράγεται από τον άνεμο, αποκτάται μεγαλύτερη ανεξαρτησία από αυτά, καθώς δεν είναι ανεξάντλητα και η καύση τους προκαλεί περιβαλλοντικά προβλήματα.

1.2 Αντικείμενο Μελέτης

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η στατιστική και στοχαστική ανάλυση της ταχύτητας του ανέμου στην ωριαία κλίμακα και η προσομοίωση παραγωγής αιολικής ενέργειας. Η εφαρμογή των μεθόδων που επιλέχθηκαν γίνεται στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας, συλλέγοντας δεδομένα από έξι σταθμούς της ΕΜΥ. Οι σταθμοί αυτοί είναι διάσπαρτοι και βρίσκονται στη Λάρισα, στη Νέα Αγχίαλο, στο Φίλιππο (Κοζάνη), στη Λαμία, στο Αγρίνιο και στα Τρίκαλα.

Η στατιστική ανάλυση θα γίνει στα ωριαία δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου. Περιλαμβάνει την εξαγωγή, για κάθε σταθμό, διαγραμμάτων εμπειρικής πυκνότητας πιθανότητας, θηκογραμμάτων, πινάκων και διαγραμμάτων μέσω ωριαίων τιμών της ταχύτητας του ανέμου, ωριαίων τυπικών αποκλίσεων, ωριαίων ασυμμετριών, ωριαίων αυτοσυσχετίσεων, καθώς και ωριαίων ποσοστών νηνεμίας. Επιπρόσθετα, θα αναζητηθεί

κατάλληλη θεωρητική κατανομή που να προσαρμόζεται ικανοποιητικά στο δείγμα των σταθμών, με τη βοήθεια των L - ροπών.

Η στοχαστική ανάλυση θα εφαρμοστεί επίσης στα ωριαία δεδομένα. Για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών επιλέγεται ένα διπλά κυκλοστάσιμο μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης CAR1 με παράλληλη διατήρηση της ασυμμετρίας. Το μοντέλο είναι κυκλοστάσιμο δύο κύκλων, καθώς τα χαρακτηριστικά της ωριαίας ταχύτητας αλλάζουν τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας, όσο και κατά τη διάρκεια των μηνών (εποχικότητα). Ένα άλλο πρόβλημα που θα αντιμετωπιστεί, είναι η εμφάνιση μηδενικών τιμών της ωριαίας ταχύτητας στα ανεμολογικά δεδομένα, δηλαδή οι περιπτώσεις όπου επικρατεί νηνεμία. Θα αναζητηθεί τρόπος να προσομοιωθούν αυτές οι μηδενικές τιμές με τη βοήθεια των αλυσίδων Markov.

Τέλος, από την τελική συνθετική χρονοσειρά της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου που προκύπτει, υπολογίζεται η αιολική ενέργεια που παράγεται, υποθέτοντας την τοποθέτηση συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας.

1.3 Διάρθρωση Εργασίας

Η εργασία αποτελείται από οκτώ κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο είναι η εισαγωγή, στην οποία γίνεται αναφορά στο συνολικό περιεχόμενο της διπλωματικής. Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική ανάδρομή στη χρήση της αιολικής ενέργειας και περιγράφεται η σύγχρονη εκμετάλλευσή της και οι προοπτικές εγκατάστασης νέας αιολικής ισχύος. Παρουσιάζεται εν συντομία το καθεστώς που ισχύει στην Ελλάδα και διατυπώνονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του ανέμου και εξηγείται η μεταβλητότητα που παρουσιάζει τόσο καθ' ύψος, αλλά και στο χρόνο. Επίσης, γίνεται σύντομη αναφορά στο αιολικό δυναμικό της Ελλάδας. Τέλος, περιγράφεται η συλλογή των δεδομένων και ο τρόπος της αρχικής επεξεργασίας τους.

Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά στη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τους σταθμούς. Γίνεται υπολογισμός της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης, του συντελεστή ασυμμετρίας, του συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης και του ποσοστού νηνεμίας για την ωριαία ταχύτητα του ανέμου και εξάγονται συμπεράσματα για τη μεταβλητότητα μέσα στην ημέρα και την εποχικότητα που τυχόν παρουσιάζει. Επιπλέον,

αναζητείται κατάλληλη θεωρητική κατανομή, ώστε να προσαρμοστεί στα δεδομένα των σταθμών, χρησιμοποιώντας τις L - ροπές.

Το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τη στοχαστική ανάλυση της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου. Επιλέγεται να γίνει προσομοίωση διπλού κύκλου, λόγω της ημερήσιας μεταβλητότητας και της εποχικότητας που διαπιστώθηκε ότι παρουσιάζει η ωριαία ταχύτητα. Η παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς του ανέμου επιτυγχάνεται με το κυκλοστάσιμο μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης CAR1, με διατήρηση της ασυμμετρίας. Επιπλέον για να προσομοιωθούν σωστά και οι μηδενικές τιμές της ωριαίας ταχύτητας (περίοδοι νηνεμίας), χρησιμοποιείται μία αλυσίδα Markov πρώτης τάξης.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται προσομοίωση της παραγωγής αιολικής ενέργειας. Χρησιμοποιείται η συνθετική χρονοσειρά της ωριαίας ταχύτητας που παράχθηκε και η καμπύλη ισχύος συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας εμπορίου, ώστε να υπολογιστεί η καμπύλη της ωριαίας παραγόμενης ενέργειας. Επίσης, υπολογίζονται η μηνιαία, όπως και η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται μία σύνοψη και αναλύονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη, ενώ στο τελευταίο κι όγδοο κεφάλαιο καταγράφονται οι βιβλιογραφικές αναφορές.

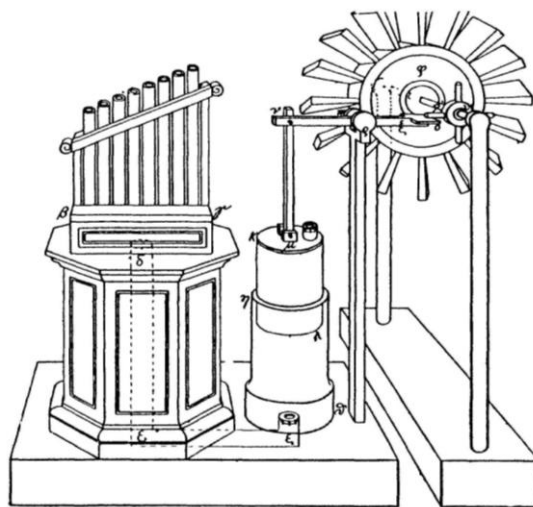
2 Η εξέλιξη της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα και τον κόσμο

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μία συνοπτική ιστορική αναδρομή στη χρήση της ενέργειας του ανέμου και μία αναφορά στη σύγχρονη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας παγκοσμίως, στην Ευρώπη και την Ελλάδα. Επίσης, γίνεται μία περιγραφή των στόχων της Πράσινης Βίβλου, το πλαίσιο που κατευθύνει τις πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ενέργεια και το κλίμα. Τέλος διατυπώνονται εν συντομία τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας.

2.1 Αιολική ενέργεια - Ιστορική αναδρομή¹

2.1.1 Μια σύντομη αναδρομή στους ανεμόμυλους

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας από τον άνθρωπο χάνεται στα βάθη της ιστορίας. Πρώτος σταθμός φαίνεται να είναι η αξιοποίηση της ενέργειας του ανέμου στη ναυσιπλοΐα ήδη από το 5500 π.Χ, με την κατασκευή των πρώτων ιστιοφόρων πλοίων, που αποτέλεσαν το κύριο μέσο μετακίνησης στο νερό. Η τεχνογνωσία που αποκτήθηκε από τη χρήση ιστίων για τις θαλάσσιες μετακινήσεις αξιοποιήθηκε και στη στεριά, οδηγώντας στην κατασκευή διατάξεων που εκμεταλλεύονταν την κινητική ενέργεια του ανέμου, τους πρώτους ανεμόμυλους (Παππά, 2014).



Εικόνα 2.1: Ο ανεμόμυλος του Ήρωνα (Πηγή: Wikipedia)

¹Η παρούσα ενότητα αποτελεί μετάφραση μέρους του βιβλίου των Manwell J.F. et al, *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, 2009.

Η πρώτη γνωστή ιστορική αναφορά σε ανεμόμυλο έγινε από τον Ήρωνα από την Αλεξάνδρεια, στο έργο του «Πνευματικά». Σε αυτό περιγράφει ένα μηχάνημα το οποίο διοχετεύει πεπιεσμένο αέρα σε ένα όργανο με τη βοήθεια ενός ανεμόμυλου (Εικόνα 2.1).

Η επόμενη αναφορά χρονολογείται τον 9^ο αιώνα μ.Χ. κατά τον οποίο χρησιμοποιούνταν ανεμόμυλοι στην περιοχή Σεϊστάν της Περσίας (σημερινό Ιράν). Οι ανεμόμυλοι αυτοί χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα.

Η πρώτη καταγεγραμμένη εμφάνιση ανεμόμυλων στη βόρεια Ευρώπη (Αγγλία) έγινε το 12^ο αιώνα, αλλά πιθανώς η άφιξή τους να έγινε το 10^ο ή τον 11^ο αιώνα. Αυτοί οι ανεμόμυλοι διέφεραν εμφανισιακά από εκείνους στο Σεϊστάν και έχει υπάρξει σημαντικός προβληματισμός για το αν και πώς οι μύλοι στο Σεϊστάν επηρέασαν αυτούς που εμφανίστηκαν αργότερα στην Ευρώπη. Λέγεται πως οι Βίκινγκς, οι οποίοι έκαναν συχνά ταξίδια από τη βόρεια Ευρώπη στη Μέση Ανατολή, ίσως μετέφεραν την τεχνογνωσία.

Όλοι οι πρώτοι ευρωπαϊκοί ανεμόμυλοι είχαν οριζόντιο άξονα και χρησιμοποιούνταν για την άντληση νερού, την άλεση σιτηρών και το πριόνισμα ξύλου. Ήταν κατασκευασμένοι πάνω σε στύλους (post mills), με σκοπό ο κορμός του ανεμόμυλου να μπορεί να περιστρέφεται ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου. Συνήθως είχαν τέσσερα περύγια, ο αριθμός και το μέγεθος των οποίων πιθανώς βασιζόταν στην ευκολία της κατασκευής, καθώς και την εμπειρικά καθορισμένη στατικότητα (Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.2: Post mill (Πηγή: Wikipedia)

Κατά τον 18^ο αιώνα, ο ευρωπαϊκός ανεμόμυλος είχε φτάσει ένα υψηλό επίπεδο σχεδιασμού. Πλέον το μεγαλύτερο μέρος του ανεμόμυλου ήταν σταθερό και μόνο η κορυφή μπορούσε να στρέφεται προς τον επικρατούντα άνεμο. Τα πτερύγια είχαν αποκτήσει αεροδυναμικό σχήμα και είχαν τη δυνατότητα στροφής.

Αξιοσημείωτη περίπτωση αποτελούν οι ανεμόμυλοι στο Kinderdijk της Ολλανδίας. Χτίστηκαν τα έτη μεταξύ 1738 και 1740, με σκοπό την άντληση των υδάτων για την αποφυγή εκτεταμένων πλημμυρών. Οι 19 ανεμόμυλοι του Kinderdijk προστατεύονται από την UNESCO, αποτελούν εθνικό μνημείο της Ολλανδίας και διαδεδομένο τουριστικό αξιοθέατο (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3: Οι ανεμόμυλοι του Kinderdijk (Πηγή: Προσωπικό αρχείο, 2013)

Μία σημαντική εξέλιξη το 18^ο αιώνα ήταν η εισαγωγή του επιστημονικού ελέγχου και της αξιολόγησης των ανεμόμυλων. Ο Άγγλος John Smeaton διατύπωσε τρεις βασικούς κανόνες που ισχύουν και σήμερα: η ταχύτητα του άκρου των πτερυγίων είναι ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου, η μέγιστη ροπή είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας του ανέμου και η μέγιστη δύναμη είναι ανάλογη του της ταχύτητας του ανέμου υψωμένη στον κύβο.

Καθώς η χρήση των ευρωπαϊκών ανεμόμυλων άρχισε να φθίνει, μία άλλη εκδοχή του ανεμόμυλου διαδιδόταν στις Ηνωμένες Πολιτείες. Αυτό το είδος ανεμόμυλου χρησιμοποιούνταν κυρίως για άντληση νερού στα κτηνοτροφικά αγροκτήματα της δύσης (Εικόνα 2.4). Ξεχώριζαν για τα πολλαπλά τους πτερύγια και για το απλό αλλά αποτελεσματικό σύστημα ρύθμισης. Αυτό επέτρεπε στον κινητήριο τροχό να λειτουργεί χωρίς παρακολούθηση, για μεγάλες περιόδους. Τέτοια συστήματα αποτέλεσαν τον προάγγελο

των αυτόματων συστημάτων ελέγχου, τα οποία είναι αναπόσπαστο μέρος των σύγχρονων ανεμογεννητριών.



Εικόνα 2.4: Ανεμόμυλος σε κτηνοτροφική μονάδα στην Αϊόβα (Πηγή: <http://en.wikipedia.org/wiki/Windpump>)

Ο άνεμος αποτέλεσε κύρια πηγή ενέργειας στην Ευρώπη κατά την περίοδο έως τη Βιομηχανική Επανάσταση. Όμως αμέσως μετά, η χρήση των ανεμόμυλων άρχισε να υποχωρεί, κάτι το οποίο αποδίδεται πρωταρχικά στη μη δυνατότητα μεταφοράς και αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας. Ο άνθρακας είχε αρκετά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τον άνεμο, καθώς μπορούσε να μεταφερθεί και να χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε και οποτεδήποτε χρειαζόταν.

2.1.2 Άνεμος και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η πρωταρχική χρήση του ανέμου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περιελάμβανε την επιτυχημένη εμπορική ανάπτυξη μικρών ανεμογεννητριών. Το πρώτο παράδειγμα ήρθε από τις Ηνωμένες Πολιτείες με την ανεμογεννήτρια του Charles Brush, που κατασκευάστηκε το 1888 στο Cleveland του Ohio. Οι μικρές ανεμογεννήτριες, με τις οποίες πρωτοπόρησε ο Marcellus Jacobs, αποτέλεσαν το λογικό διάδοχο του αντλητικού ανεμόμυλου. Επιπλέον,

αξιοσημείωτο ήταν το γεγονός ότι διέθεταν τρεις πτερωτές με αεροδυναμικό σχήμα και μπορούν να θεωρηθούν ο πρόδρομος των σημερινών ανεμογεννητριών.

Το πρώτο μισό του 20^{ου} αιώνα κατασκευάστηκε ένας αριθμός μεγαλύτερων ανεμογεννητριών, οι οποίες ουσιαστικά επηρέασαν την εξέλιξη της σημερινής τεχνολογίας. Πιθανώς η πιο σημαντική συνέχεια στην κατασκευή ανεμογεννητριών παρατηρήθηκε στη Δανία, όπου αμέσως μετά τον πόλεμο, ο Johannes Juul ανέγειρε την ανεμογεννήτρια Gedser, ισχύος 200 kW (Εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.5: Ανεμογεννήτρια Gedser (Πηγή: <http://ele.aut.ac.ir/~wind/en/pictures/juul.htm>)

2.1.3 Η επανεμφάνιση της Αιολικής Ενέργειας

Η επανεμφάνιση της αιολικής ενέργειας θεωρείται ότι έγινε στα τέλη της δεκαετίας του 1960. Τότε αρκετοί αντιλήφθηκαν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της βιομηχανικής ανάπτυξης. Κύριοι υπεύθυνοι ήταν τα ορυκτά καύσιμα. Επίσης, οι πιθανοί κίνδυνοι της πυρηνικής ενέργειας έγιναν ευρέως γνωστοί. Η συζήτηση γύρω από αυτά, δημιούργησε το υπόβαθρο για περιβαλλοντικές κινήσεις που υποστήριζαν καθαρότερες πηγές ενέργειας.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, παρά το αυξανόμενο ενδιαφέρον για το περιβάλλον, η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας δεν επηρεάστηκε, παρά μόνο κατά την πετρελαϊκή κρίση στο μέσο της δεκαετίας του 1970. Τότε μια νέα προσπάθεια ξεκίνησε για την ανάπτυξη εναλλακτικών πηγών ενέργειας, μία από τις οποίες ήταν και η αιολική. Το υπουργείο ενέργειας (US

Department of Energy) χρηματοδότησε έναν αριθμό έργων για την ανάπτυξη της τεχνολογίας, από την ανεμογεννήτρια των 100 kW της NASA με 38 m διάμετρο, έως την ανεμογεννήτρια των 3.2 MW με 98 m διάμετρο. Αρκετή τεχνολογία αποκτήθηκε, αλλά κανένα από αυτά τα μεγάλα έργα δεν είχε εμπορική χρήση.

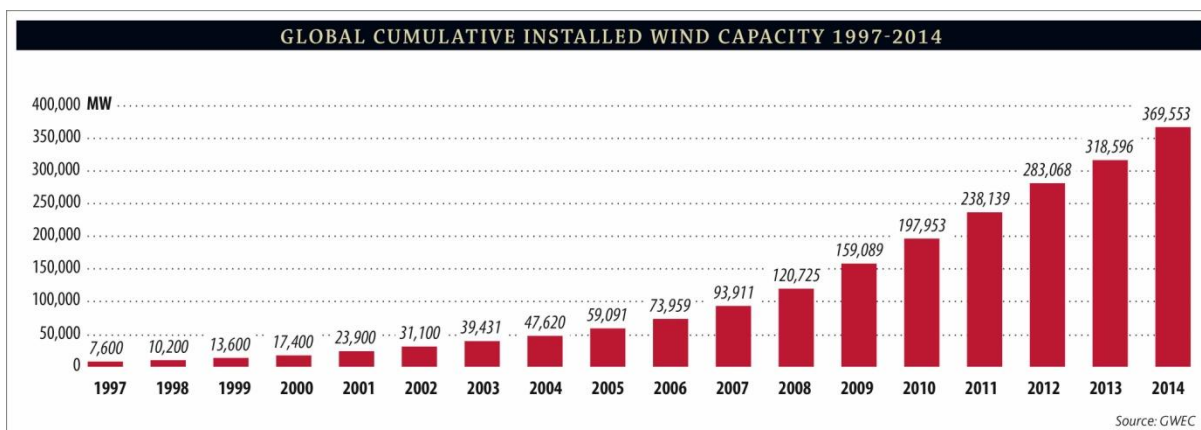
Στα τέλη της δεκαετίας του 1970, η κυβέρνηση παρείχε κίνητρα σε όσους επιθυμούσαν να επενδύσουν στην αιολική ενέργεια, όπως σύνδεση των ανεμογεννητριών με το δίκτυο και παροχή φορολογικών ελαφρύνσεων σε όσους εγκαθιστούσαν ανεμογεννήτριες. Η πολιτεία που παρείχε τα περισσότερα κίνητρα και επιπλέον είχε μεγάλο διαθέσιμο αιολικό δυναμικό, ήταν η Καλιφόρνια. Ήταν πλέον δυνατή η δημιουργία αιολικών πάρκων, η σύνδεσή τους στο δίκτυο ηλεκτροδότησης και η απόκτηση κέρδους από την παραγωγή ενέργειας. Η εγκατεστημένη ισχύς έφτασε τα 1.5 GW περίπου.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, η κατασκευή ανεμογεννητριών στράφηκε προς την Ευρώπη, συγκεκριμένα τη Δανία και τη Γερμανία. Η ανησυχία για την υπερθέρμανση του πλανήτη και οι κίνδυνοι της πυρηνικής ενέργειας οδήγησαν στην επιτακτική ανάγκη για περισσότερη αιολική ηλεκτροπαραγωγή σε πολλές χώρες. Ο 21^{ος} αιώνας είδε κάποιους από τους κυρίαρχους ευρωπαϊούς προμηθευτές να εγκαθιστούν κατασκευαστικά εργοστάσια σε άλλες χώρες, όπως η Κίνα, η Ινδία και οι Ηνωμένες Πολιτείες.

2.2 Η σύγχρονη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στον κόσμο και την Ευρώπη

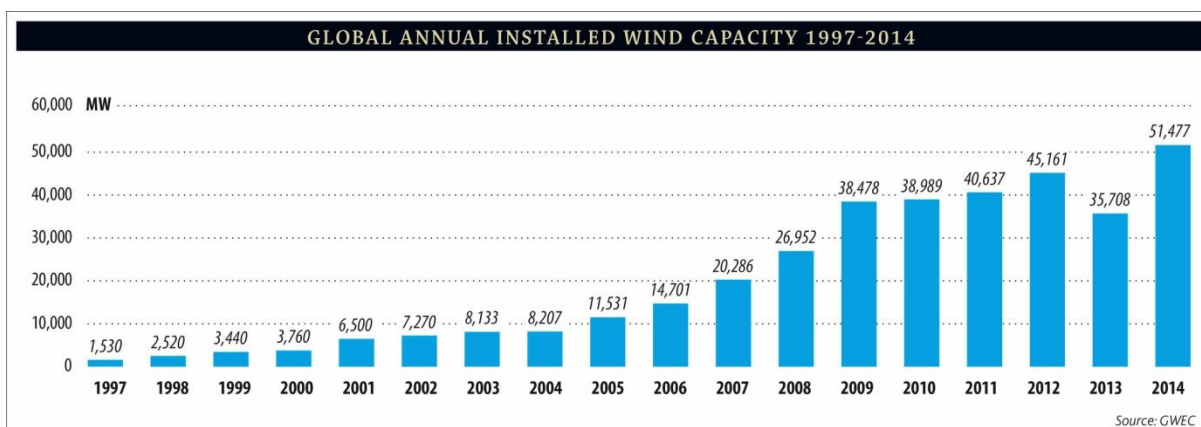
2.2.1 Παγκόσμια παραγωγή αιολικής ενέργειας

Το Παγκόσμιο Συμβούλιο Αιολικής Ενέργειας (Global Wind Energy Council) ανακοίνωσε πρόσφατα τα στατιστικά στοιχεία της αιολικής ενέργειας για το 2014. Όπως σημειώνεται, η συνολική παγκόσμια ισχύς αγγίζει τα 369.6 GW, αυξημένη κατά κάτι παραπάνω από 200 GW τα τελευταία πέντε έτη (Εικόνα 2.6). Πρέπει να σημειωθεί πως η παγκόσμια αγορά αιολικής ενέργειας το 2014 σημείωσε εντυπωσιακή άνοδο 44% , σε σχέση με το 2013.



Εικόνα 2.6: Παγκόσμια αθροιστική εγκατεστημένη αιολική ισχύς 1997 - 2014 (Πηγή GWEC: <http://www.gwec.net/global-figures/graphs/>)

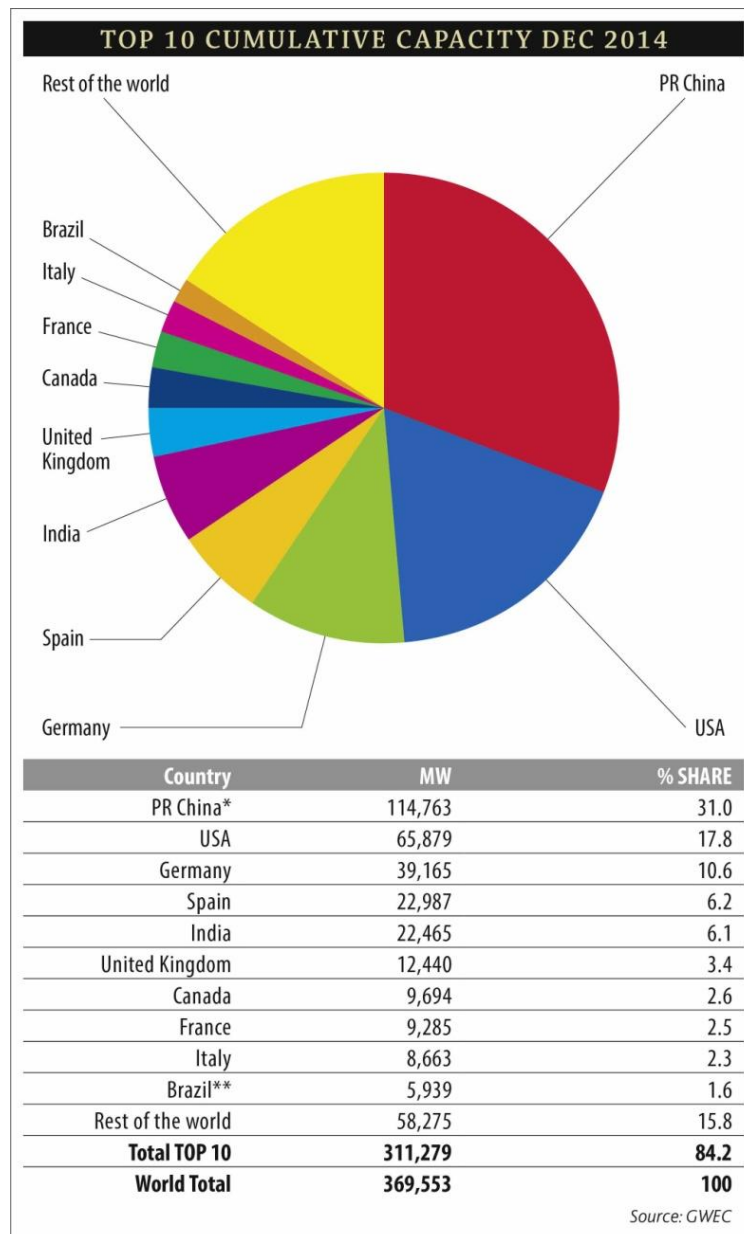
Παρατηρείται πως το 2014, η εγκατάσταση νέας αιολικής ισχύος ξεπέρασε για πρώτη φορά τα 50 GW, όπως ανακοινώθηκε από το GWEC. Το 2013 σημειώθηκε πτώση στη νέα εγκατάσταση αιολικών πάρκων, σχεδόν 10 GW συγκριτικά με το 2012 (Εικόνα 2.7). Αυτό οφείλεται κυρίως στη μείωση των νέων εγκαταστάσεων στις ΗΠΑ λόγω της πολιτικής που ακολούθησε το Κογκρέσο το 2012. Παρόλο που το 2013 υπήρξε δύσκολη χρονιά για τη βιομηχανία της αιολικής ενέργειας με αύξηση της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος μόνο κατά 12.5%, το 2014 ήταν σαφώς βελτιωμένο. Η εγκατάσταση νέας αιολικής ισχύος έφτασε τα 51.5 GW, 44% αυξημένη σε σχέση με το 2013. Η άνοδος αυτή αποτελεί απόδειξη της επαναφοράς της παγκόσμιας βιομηχανίας αιολικής ενέργειας, μετά την καθίζηση των τελευταίων ετών.



Εικόνα 2.7: Παγκόσμια εγκατεστημένη νέα αιολική ισχύς ανά έτος 1997 - 2014 (Πηγή EWEC: <http://www.gwec.net/global-figures/graphs/>)

Οι μεγάλοι μέτοχοι στον παγκόσμιο χάρτη της αιολικής ενέργειας φαίνονται στην Εικόνα 2.8. Η Κίνα αποτελεί μεγάλο παραγωγό αιολικής ενέργειας, καθώς το 2014 κατείχε το 31% της

παγκόσμιας παραγωγής (ποσοστό αυξημένο σε σχέση με το 28.7% του 2013), δηλαδή περίπου 115 GW εγκατεστημένης αιολικής ισχύος. Η Κίνα είναι μια αναπτυσσόμενη οικονομία και υπάρχει κυβερνητική δέσμευση για αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος στα 200 GW έως το 2020. Οι ΗΠΑ κατέχουν το 19,2% της παγκόσμιας ισχύος (αυξημένο σε σχέση με το 17.8% του 2013), δηλαδή περίπου 66 GW.



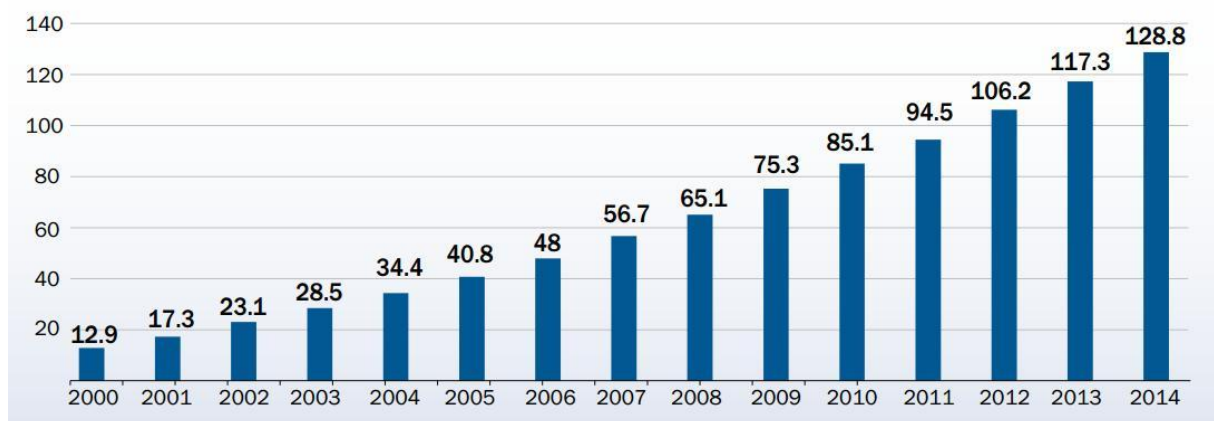
Εικόνα 2.8: Οι 10 μεγαλύτεροι παραγωγοί αιολικής ενέργειας παγκοσμίως το 2014 (Πηγή GWEC: <http://www.gwec.net/global-figures/graphs/>)

Στις 10 χώρες με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη αιολική ισχύ παγκοσμίως βρίσκονται πολλές ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Γερμανία (10.6%), η Ισπανία (6.2%), το Ηνωμένο Βασίλειο (3.4%), η Ιταλία (2.3%) και η Γαλλία (2.5%). Αν αθροιστεί η ισχύς των ευρωπαϊκών χωρών

που βρίσκονται στην πρώτη δεκάδα, προκύπτει συνολική εγκατεστημένη ισχύς 92.5 GW. Παρατηρείται δηλαδή πως μόνο πέντε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 2014 κατείχαν το 25% του συνόλου της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος.

2.2.2 Παραγωγή αιολικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Από την προηγούμενη υποενότητα προκύπτει ο πρωτεύων ρόλος της Ευρώπης στην παγκόσμια παραγωγή αιολικής ενέργειας. Η ΕΕ φαίνεται μέχρι στιγμής να κατέχει τα πρωτεία στον κόσμο με τη συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύ για το 2014 να ανέρχεται στα 128.8 GW (34.8% επί του συνόλου). Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Ενέργειας (European Wind Energy Association), τα 120.6 GW εγκατεστημένης ισχύος αφορούν σε επίγεια αιολικά πάρκα, ενώ μόλις τα 8 GW αφορούν σε θαλάσσια αιολικά πάρκα. Η EWEA ισχυρίζεται πως, με τη μέχρι το 2014 εγκατεστημένη αιολική ισχύ στην Ευρώπη των 28, μπορούν να παραχθούν 284 TWh ενέργειας, αρκετή για να καλύψει το 10.2% της ευρωπαϊκής κατανάλωσης. Ακολουθεί το γράφημα που δείχνει τη ραγδαία αύξηση των αιολικών εγκαταστάσεων στην ΕΕ για τα έτη 2000 - 2014 (Εικόνα 2.9). Παρατηρείται πως η αθροιστική ισχύς της ΕΕ αυξάνεται περίπου 9% κάθε έτος (το 2014 σημειώθηκε 9.8% αύξηση στη συνολική εγκατεστημένη ισχύ).

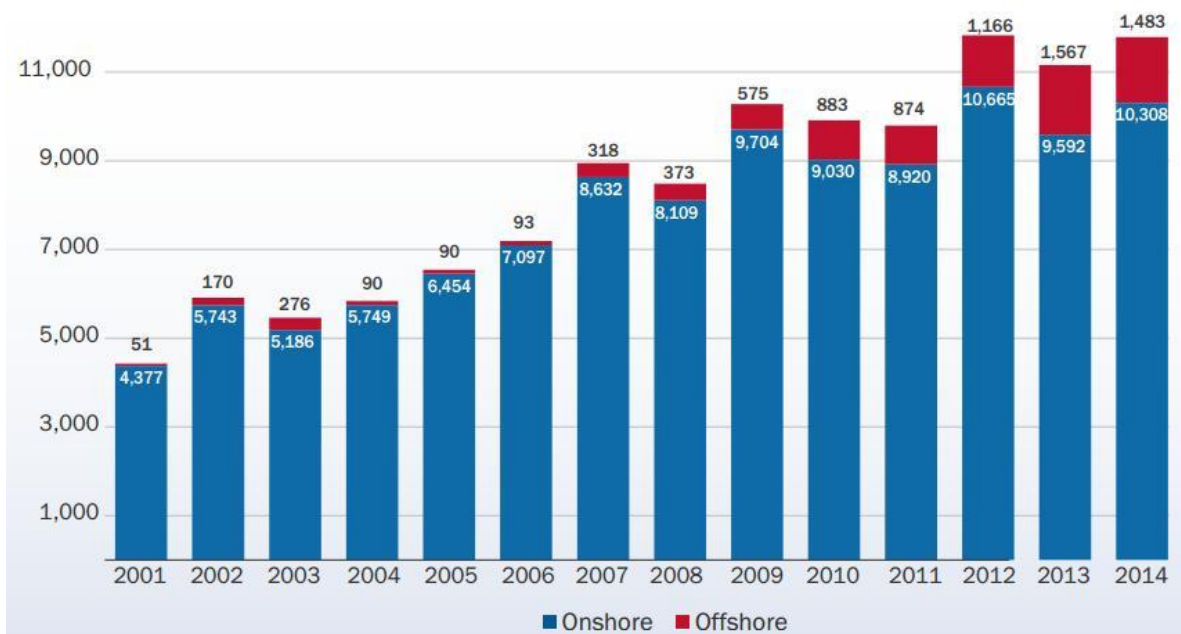


Εικόνα 2.9: Αθροιστική εγκατεστημένη ισχύς στην ΕΕ σε GW για τα έτη 2000-2014 (Πηγή EWEA: <http://www.ewea.org/statistics/european/>)

Όσον αφορά το 2014, η ισχύς της αιολικής ενέργειας αυξήθηκε κατά 11.8 GW στην ΕΕ των 28 χωρών και 3.8% σε σχέση με το 2013. Πρέπει να παρατηρηθεί πως το 2013 σημειώθηκε μείωση στην εγκατάσταση νέας αιολικής ισχύος κατά 8% σε σχέση με το 2012. Η αύξηση

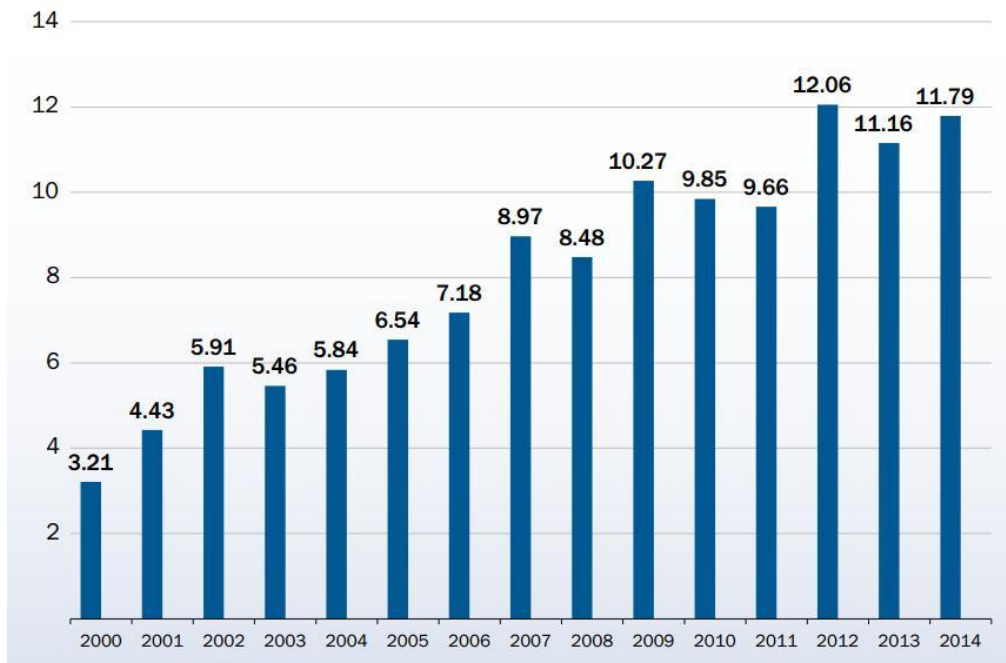
κατά 3.8% της αιολικής ισχύος το 2014, δε συμβαδίζει με την παγκόσμια αύξηση του 2014 που φτάνει το 44%. Σύμφωνα με την EWEA, ο μικρότερος ρυθμός ανάπτυξης των αιολικών καταδεικνύει την αρνητική επίδραση που προκαλεί η πολιτική αβεβαιότητα και η αστάθεια των αγορών στην Ευρώπη. Τα αποσταθεροποιημένα νομοθετικά πλαίσια για την αιολική ενέργεια υπονομεύουν τις επενδύσεις. Παρ' όλα αυτά, σημαντικό είναι πως, από τα 26.9 GW συνολικής ισχύος που εγκαταστάθηκαν το 2014 στην ΕΕ, το 43.7% (11.8 GW) αφορά σε αιολική ισχύ, ποσοστό 12% μεγαλύτερο από το 2013. Επιπλέον, το 79.1% (21.3 GW) αφορά σε εγκατάσταση ισχύος για παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Είναι προφανές πως ο ενεργειακός κλάδος της ΕΕ στρέφεται πλέον σε καθαρές μορφές ενέργειας και απομακρύνεται από τα ορυκτά καύσιμα.

Στη συνέχεια παρατίθεται το γράφημα με την ετήσια εγκατάσταση ισχύος στην Ευρωπαϊκή Ένωση για τα έτη 2001 - 2014 (Εικόνα 2.10). Το γράφημα διαχωρίζει τις επίγειες εγκαταστάσεις από τις υπεράκτιες. Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση των θαλάσσιων αιολικών πάρκων σε 1.57 GW το έτος 2013 και σε 1.48 GW το έτος 2014. Κατά την EWEA, η υπεράκτια αιολική ισχύς μπορεί να καλύψει το 1% της κατανάλωσης ενέργειας κατ' έτος, στην Ευρώπη των 28.



Εικόνα 2.10: Ετήσιες τιμές επίγειας (onshore) και θαλάσσιας (offshore) εγκατεστημένης ισχύος στην ΕΕ σε GW (Πηγή EWEA: <http://www.ewea.org/statistics/european/>)

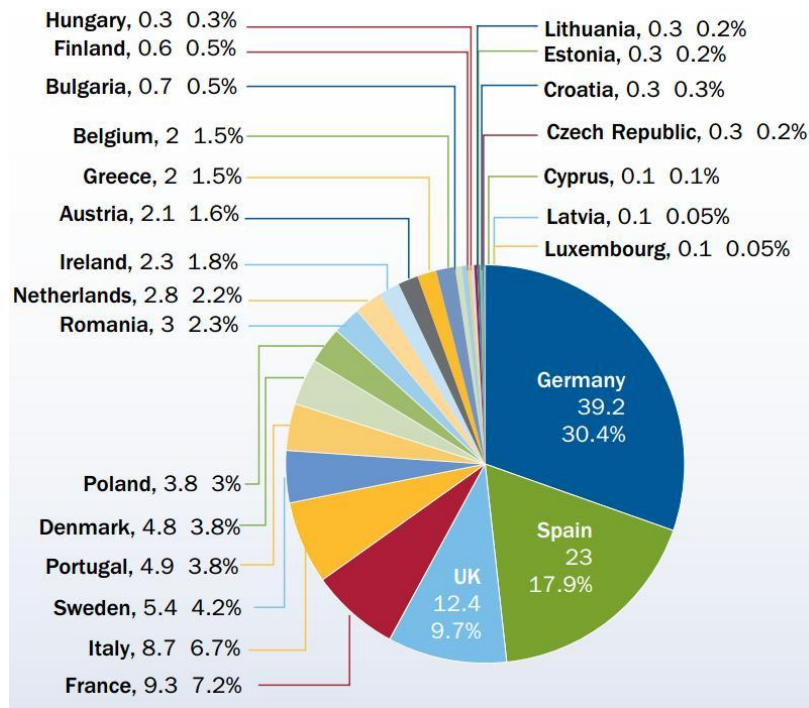
Η συνολική (επίγεια και υπεράκτια) ετήσια νέα εγκατάσταση αιολικής ισχύος απεικονίζεται καλύτερα στην Εικόνα 2.11.



Εικόνα 2.11: Η ετήσια εγκατάσταση νέας αιολικής ισχύος στην ΕΕ (GW) για τα έτη 2000-2014 (Πηγή: EWEA)

Σε ό,τι αφορά την κατανομή της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Γερμανία παραμένει η χώρα με τη μεγαλύτερη συνολική εγκατεστημένη ισχύ (39.2 GW το 2014), ακολουθούμενη από την Ισπανία, το Ηνωμένο Βασίλειο και τη Γαλλία (Εικόνα 2.12). Σύμφωνα με τα στοιχεία για το 2014, δεκαπέντε χώρες τις ΕΕ έχουν εγκαταστήσει περισσότερα από 1 GW, ενώ οκτώ έχουν περισσότερα από 4 GW ισχύος.

Η μεταβλητότητα και η αστάθεια στην Ευρώπη οδήγησαν στη συγκέντρωση του 59.5% των νέων εγκαταστάσεων για το 2014 σε δύο μόνο χώρες, τη Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Το 77.2% όλων των νέων εγκαταστάσεων συγκεντρώθηκε σε τέσσερις χώρες (Γερμανία, Ηνωμένο Βασίλειο, Σουηδία και Γαλλία). Αντιθέτως, η τάση των προηγούμενων ετών ήταν οι νέες εγκαταστάσεις να απλώνονται με ταχύτητα στις υγιείς ευρωπαϊκές αγορές. Κάποιες από τις πρώην υγιείς αγορές, όπως η Ισπανία και η Ιταλία είδαν το 2014 το ποσοστό των νέων εγκαταστάσεων ισχύος να μειώνεται σημαντικά, κατά 84.3% και 75.4% αντίστοιχα. Η Ελλάδα κατέχει το 1.5% της ευρωπαϊκής εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, δηλαδή σχεδόν 2GW.



Εικόνα 2.12: Η εγκατεστημένη αιολική ισχύς στις χώρες της ΕΕ σε GW (Πηγή: <http://www.ewea.org/statistics/european/>)

2.2.3 Πράσινη Βίβλος - Κλίμα και ενέργεια με χρονικό ορίζοντα το 2030

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και την απόφαση που εξέδωσε στις 27 Μαρτίου 2013, η ΕΕ διαθέτει σαφές πλαίσιο που κατευθύνει τις πολιτικές της για την ενέργεια και το κλίμα έως το 2020. Στο πλαίσιο αυτό εντάσσονται διάφοροι στόχοι πολιτικής, όπως η μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, η διασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και η υποστήριξη της ανάπτυξης, της ανταγωνιστικότητας και των θέσεων εργασίας, μέσα από την εφαρμογή προσέγγισης που αποτελεί συγκερασμό υψηλής τεχνολογίας, αποδοτικότητας σε θέματα κόστους και αποδοτικής χρήσης πόρων. Οι προαναφερόμενοι στόχοι πολιτικής θα υλοποιηθούν μέσα από τρεις πρωταρχικούς στόχους, δηλαδή τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Ενώ η ΕΕ σημειώνει ικανοποιητική πρόοδο στην πορεία επίτευξης των στόχων για το 2020, δημιουργίας της εσωτερικής αγοράς ενέργειας και επίτευξης άλλων στόχων ενεργειακής πολιτικής, εκείνο που χρειάζεται σήμερα είναι ο προβληματισμός σχετικά με το νέο πλαίσιο που θα διέπει τις πολιτικές για το κλίμα και την ενέργεια το 2030. Το πλαίσιο αυτό για το 2030 πρέπει να είναι αρκετά φιλόδοξο ώστε να διασφαλίζεται ότι η ΕΕ βρίσκεται στον ορθό

δρόμο για την επίτευξη των μακροπρόθεσμων στόχων για το κλίμα. Αλλά πρέπει επίσης να αντανakλά ορισμένες από τις σημαντικές αλλαγές που συντελέστηκαν από τότε που συμφωνήθηκε το αρχικό πλαίσιο το 2008/9. Τέτοιες αλλαγές είναι οι συνέπειες της συνεχιζόμενης οικονομικής κρίσης, τα δημοσιονομικά προβλήματα για τα κράτη μέλη και τις επιχειρήσεις που αντιμετωπίζουν δυσκολίες να συγκεντρώσουν κεφάλαια για μακροπρόθεσμες επενδύσεις και οι εξελίξεις στην ΕΕ και στις παγκόσμιες αγορές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των εξελίξεων σε σχέση με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τις μη συμβατικές πηγές πετρελαίου και φυσικού αερίου και την πυρηνική ενέργεια.

Πιο συγκεκριμένα οι στόχοι έχουν τεθεί ως εξής:

- i. Έως το 2030, θα χρειαστεί να μειωθούν οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά 40% στην ΕΕ για να καταστεί δυνατόν να επιτευχθεί μείωση στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά 80-95% έως το 2050 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, με βάση το διεθνώς συμφωνημένο στόχο να περιορισθεί η αύξηση της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα σε λιγότερο από 2 βαθμούς Κελσίου.
- ii. Η αύξηση των μεριδίων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι βελτιώσεις στον τομέα της ενεργειακής απόδοσης και η συγκρότηση καλύτερων και εξυπνότερων υποδομών ενέργειας αποτελούν αναμφιβόλως θετικές επιλογές για τον μετασχηματισμό του συστήματος ενέργειας της ΕΕ.
- iii. Για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα σενάρια πολιτικής στον ενεργειακό χάρτη πορείας για το 2050 κάνουν λόγο για μερίδιο περίπου 30% το 2030.
- iv. Για τον εκσυγχρονισμό του ενεργειακού συστήματος απαιτούνται σημαντικές επενδύσεις, με ή χωρίς απαλλαγή από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, πράγμα που θα έχει αντίκτυπο στις τιμές της ενέργειας κατά την περίοδο έως το 2030.

Όσον αφορά το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας το 2020, η ΕΕ έχει σημειώσει πρόοδο στην πορεία επίτευξης του στόχου του 20%. Το 2010, το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ΕΕ ανέρχόταν σε 12.7%, σε σύγκριση με 8.5%, το 2005. Κατά την περίοδο 1995-2000, όταν δεν υπήρχε ρυθμιστικό πλαίσιο, το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξήθηκε κατά 1.9% ετησίως. Μετά την καθιέρωση ενδεικτικών στόχων (2001-2010), το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξήθηκε κατά 4.5% ετησίως. Με τη θέσπιση νομικά δεσμευτικών εθνικών στόχων η ανάπτυξη ενισχύθηκε, αλλά θα πρέπει να φθάσει κατά μέσο όρο σε επίπεδο 6.3% ετησίως προκειμένου να επιτευχθεί ο συνολικός στόχος για το 2020.

2.3 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα

2.3.1 Το ενεργειακό μίγμα στην Ελλάδα

Η ενεργειακή παραγωγή στην Ελλάδα στηρίζεται στο λιγνίτη, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, την εισαγωγή ενέργειας από τις γείτονες χώρες και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το νερό, τον άνεμο και την ηλιακή ακτινοβολία.

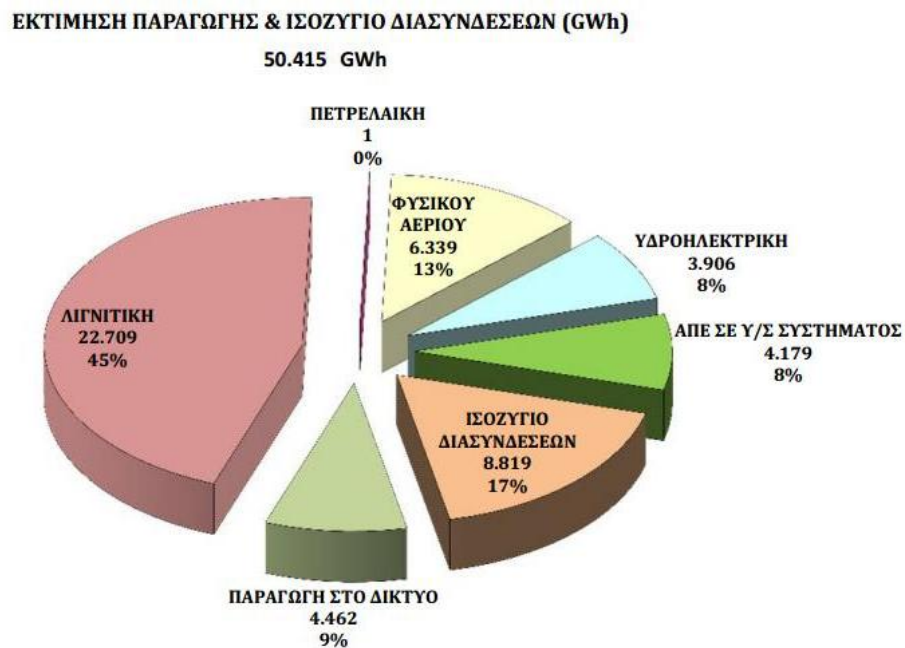
Ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αποτελούν τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία δεν είναι ανεξάντλητα στη φύση. Η Ελλάδα διαθέτει κοιτάσματα λιγνίτη στις περιοχές της Πτολεμαΐδας, του Αμυνταίου, της Φλώρινας, της Μεγαλόπολης, της Ελασσόνας, του Αλιβερίου Ευβοίας και της Δράμας. Το υψηλό ποσοστό υγρασίας του λιγνίτη τον κάνει εξαιρετικά επικίνδυνο για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, καθώς από την καύση του προκαλείται μεγάλη ατμοσφαιρική ρύπανση, κάτι που έχει κάνει διάφορους επιστήμονες να υποστηρίζουν ότι ο λιγνίτης πρέπει να μένει θαμμένος στη γη και να μην εξορύσσεται. Σύμφωνα με υπολογισμούς, τα αποθέματα είναι αρκετά για τα επόμενα 45 χρόνια (Wikipedia). Η χώρα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εξόρυξη του λιγνίτη, καθώς το 2014 το 45% της παραγόμενης ενέργειας ήταν λιγνιτική (ΑΔΜΗΕ).

Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο εισάγονται από διάφορες χώρες. Ο κυριότερος εισαγωγέας αυτών των ορυκτών καυσίμων στην Ελλάδα είναι η Ρωσία. Το πετρέλαιο εισάγεται επίσης από τη Λιβύη, το Καζακστάν και τη Σαουδική Αραβία, ενώ το φυσικό αέριο εισάγεται και από την Αλγερία. Το πετρέλαιο, ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιείται κυρίως στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα, δηλαδή στα μη διασυνδεδεμένα νησιά της Ελλάδας. Το 2014, στο διασυνδεδεμένο σύστημα, το 13% της παραγωγής προήλθε από το φυσικό αέριο, ενώ δε χρησιμοποιήθηκε το πετρέλαιο για την ηλεκτροπαραγωγή (ΑΔΜΗΕ).

Επιπλέον, η Ελλάδα εισάγει και εξάγει ενέργεια από και προς τις γείτονες χώρες Ιταλία, Αλβανία, ΠΓΔΜ, Βουλγαρία και Τουρκία. Το ισοζύγιο των διασυνδέσεων είναι εισαγωγικό, δηλαδή η Ελλάδα εισάγει περισσότερη ενέργεια από ό,τι εξάγει. Το 2014, οι εισαγωγές κάλυψαν το 17% της ενεργειακής παραγωγής (ΑΔΜΗΕ).

Όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αυτές είναι η αιολική, η ηλιακή, η υδραυλική, η γεωθερμική και η ενέργεια από βιομάζα. Η παραγωγή του 2014 καλύφθηκε κατά 8% από την υδραυλική ενέργεια (προερχόμενη από τα υδροηλεκτρικά έργα) και κατά 8% από τις υπόλοιπες ΑΠΕ (κυρίως από τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά πάρκα).

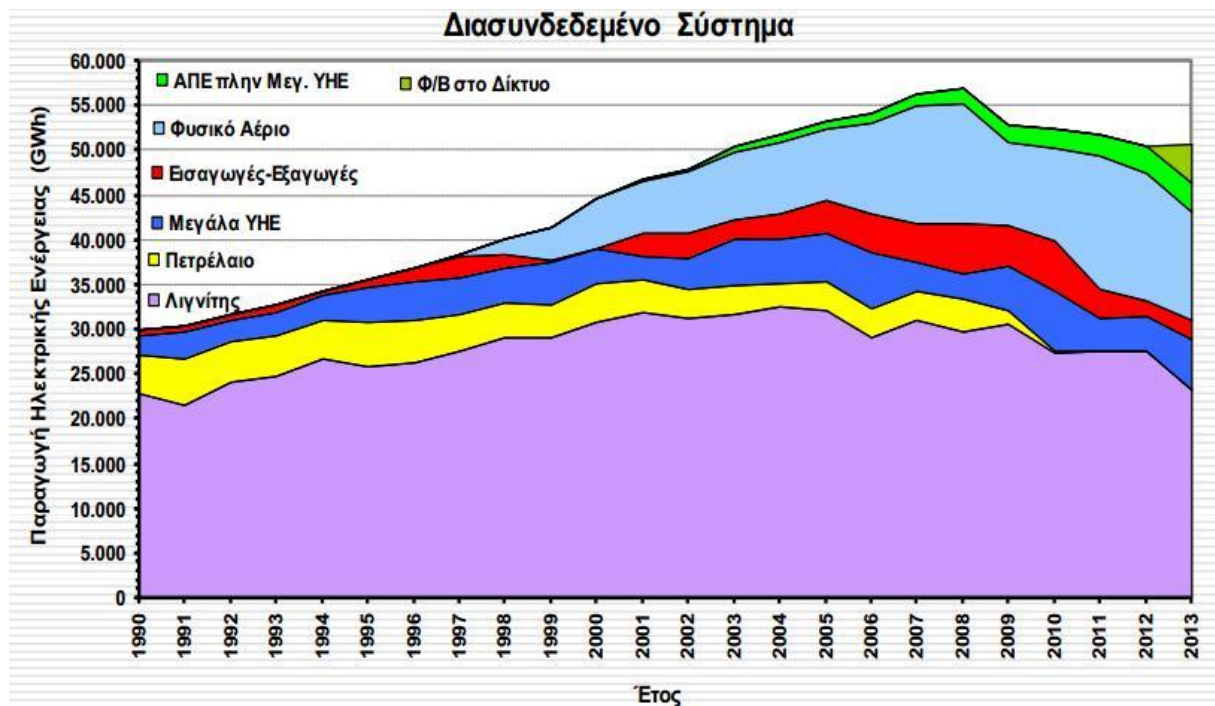
Ακολουθεί το γράφημα (Εικόνα 2.13) με την κατανομή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2014 στο διασυνδεδεμένο σύστημα, όπως παρουσιάζεται από τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ).



Εικόνα 2.13: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο διασυνδεδεμένο σύστημα το 2014 σε GWh (Πηγή: ΑΔΜΗΕ)

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πριν την άφιξη της οικονομικής κρίσης στην Ελλάδα είχε συνεχώς αυξητικές τάσεις. Κάθε χρόνο σημειωνόταν αύξηση της κατανάλωσης έως το 2008. Από το 2009 έως και σήμερα, η κατανάλωση ενέργειας μειώθηκε, με την τάση να σταθεροποιηθεί στις 50 500 GWh το έτος. Για παράδειγμα, το 2013 η παραγωγή ανήλθε στις 50 717 GWh και το 2014 στις 50 415 GWh στο διασυνδεδεμένο σύστημα. Η εξάρτηση από το λιγνίτη είναι αρκετά μεγάλη (45% της παραγωγής για το 2014), βέβαια τα τελευταία χρόνια υπάρχει μία μικρή τάση μείωσης. Η ζήτηση σε φυσικό αέριο φαίνεται να αυξάνεται, ενώ τα τελευταία χρόνια δε χρησιμοποιείται το πετρέλαιο για παραγωγή ενέργειας στο διασυνδεδεμένο σύστημα. Παρατηρείται πως από το 2000, το ισοζύγιο των εξαγωγών είναι πάντοτε εισαγωγικό. Τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα φαίνεται πως έχουν παγώσει στην

Ελλάδα εδώ και χρόνια, καθώς πρόκειται για έργα με υψηλό κόστος κατασκευής και σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τέλος, η παραγωγή από τις υπόλοιπες ΑΠΕ, κυρίως τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά πάρκα εμφανίστηκε τα τελευταία δέκα περίπου έτη στη χώρα και δυστυχώς δεν έχει υπάρξει μέχρι στιγμής οργανωμένη και με σχέδιο στροφή προς τις καθαρές μορφές ενέργειας. Στην (Εικόνα 2.14) αποτυπώνεται η εξέλιξη της παραγωγής ενέργειας τα έτη μεταξύ 1990 και 2013.



Εικόνα 2.14: Η εξέλιξη της παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα 1990 - 2013 (Πηγή Ι. Στεφανάκος)

Καθώς οι ενεργειακές απαιτήσεις της Ελλάδας σταθεροποιούνται, τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων μειώνονται, η καύση τους έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία και υπάρχει μεγάλη ενεργειακή εξάρτηση από άλλες χώρες, κρίνεται αναγκαία η στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

2.3.2 Σύντομη ιστορική αναφορά στην αιολική ενέργεια στην Ελλάδα

Ήδη από την αρχαιότητα οι Έλληνες αξιοποίησαν τον άνεμο στη ναυσιπλοΐα με τα ιστιοφόρα πλοία. Σημαντική θέση είχε στην ελληνική μυθολογία ο Αίολος, ο διορισμένος από το Δία ταμίας των ανέμων. Κρατούσε τους ανέμους μέσα στον ασκό του και τους άφηνε έπειτα από εντολή του Δία. Οι οκτώ βοηθοί του Αιόλου απεικονίζονται στον πύργο των Αέρηδων

(κτίσμα του 1^{ου} π.Χ. αιώνα) και ήταν ο Βορέας (Τραμουντάνα), ο Καικίας (Γραίγος), ο Απηνλιώτης (Λεβάντες), ο Εύρος (Σιρόκος), ο Νότος (Όστρια), ο Λιψ (Γαρμπής), ο Ζέφυρος (Πουνέντες) και ο Σκύρων (Μαΐστρος), (Μαμάσης, 2010). Στην Οδύσσεια του Ομήρου, γίνεται αναφορά στον Αίοιο που προσφέρθηκε να βοηθήσει τον Οδυσσέα να επιστρέψει στην Ιθάκη, τοποθετώντας σε ένα ασκί όλους τους ανέμους εκτός από τον ούριο Ζέφυρο, ώστε να πνέει ευνοϊκά γι' αυτούς. Όμως, οι σύντροφοι του Οδυσσέα άνοιξαν το ασκί ελευθερώνοντας όλους τους ανέμους, με αποτέλεσμα να ξεσπάσει θύελλα που απομάκρυνε το καράβι του Οδυσσέα από την Ιθάκη.

Η εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του ανέμου ξεκίνησε ήδη από το 13^ο αιώνα με τους πρώτους ανεμόμυλους, που χρησιμοποιούνταν για την άλεση σιτηρών, να εμφανίζονται στα αιγαιοπελαγίτικα νησιά. Στις Κυκλάδες λειτούργησαν πάνω από 600 πυργόμυλοι. Σε μια άλλη περιοχή, το οροπέδιο Λασιθίου, τις δεκαετίες του 1950 και 1960 υπήρχαν περίπου 16 χιλιάδες ανεμόμυλοι που αντλούσαν τα υπόγεια ύδατα, με τα οποία πότιζαν τις καλλιέργειές τους οι κάτοικοί του. Το οροπέδιο ήταν ένα από τα πρώτα αιολικά πάρκα της Ευρώπης. Σήμερα εξακολουθούν να λειτουργούν χίλιοι ανεμόμυλοι (Εικόνα 2.15).

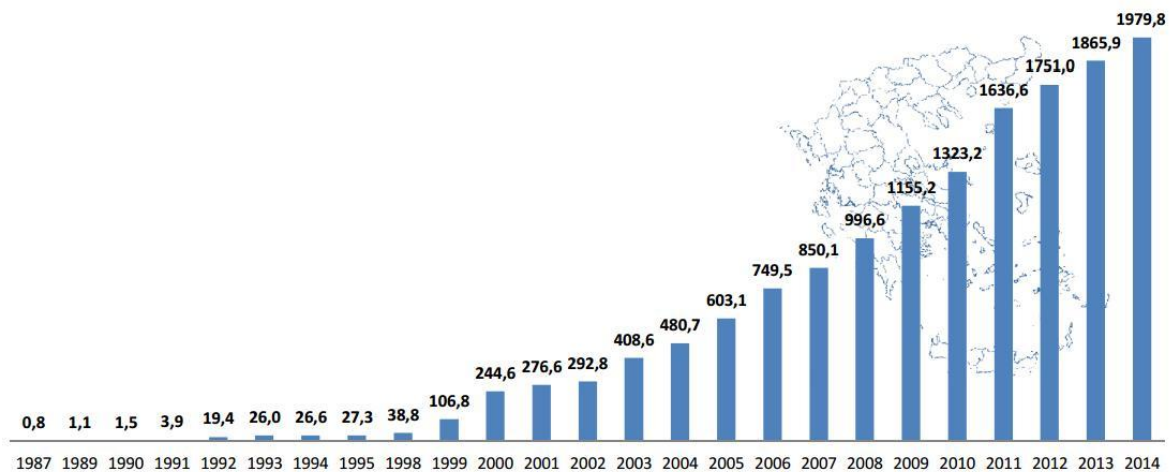


Εικόνα 2.15: Αντλητικός ανεμόμυλος στο οροπέδιο Λασιθίου (Πηγή: Wikipedia)

2.3.3 Εξέλιξη και προβλήματα στην εγκατάσταση αιολικής ισχύος στην Ελλάδα.

Στη σύγχρονη Ελλάδα, η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας αντιμετωπίζει μέχρι τώρα αρκετά προβλήματα, τα οποία έχουν ενταθεί λόγω της εγχώριας οικονομικής κρίσης. Παρά τη

σημαντική αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος τα προηγούμενα χρόνια, είναι κοινά αποδεκτό ότι αυτή η αύξηση είναι πολύ περιορισμένη, δεδομένου του πλούσιου αιολικού δυναμικού της Ελλάδας. Από τα στατιστικά στοιχεία που εξέδωσε η Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ), προκύπτει το παρακάτω γράφημα με την αθροιστική εγκατεστημένη αιολική ισχύ στην Ελλάδα για τα έτη 1987 - 2014 (Εικόνα 2.16).



Εικόνα 2.16: Αθροιστική εγκατεστημένη αιολική ισχύς στην Ελλάδα τα έτη 1987 - 2014 (Πηγή: ΕΛΕΤΑΕΝ)

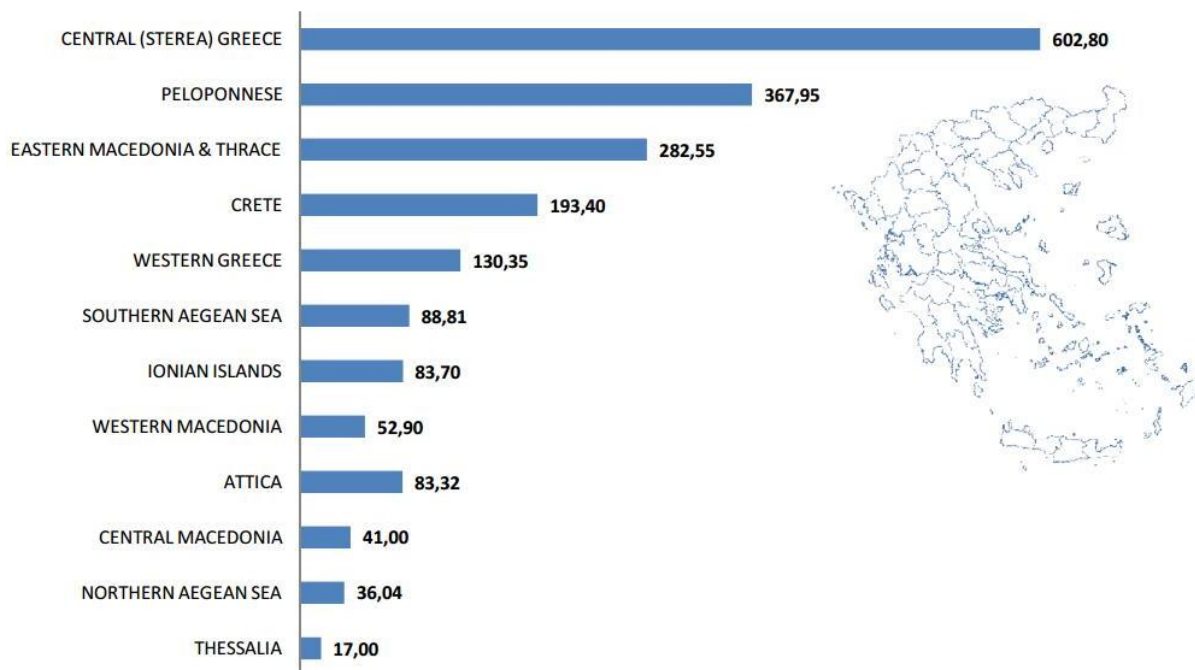
Κύριος λόγος για τη μικρή ανάπτυξη μέχρι το 2002 ήταν το νομοθετικό καθεστώς και το μονοπωλιακό μοντέλο της οικονομίας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μετά τις νομοθετικές αλλαγές στο χώρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και την απελευθέρωση στην αγορά ενέργειας, η κατάσταση βελτιώθηκε σημαντικά. Η νομοθεσία προσφέρει αρκετά ικανοποιητικά κίνητρα για τους επενδυτές, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα το αυξημένο ενδιαφέρον τους για ανάπτυξη πολλών MW αιολικής ισχύος. Όμως το επενδυτικό ενδιαφέρον δεν είναι αρκετό. Χαρακτηριστικά, ο στόχος της χώρας για το 2010 ως προς την ηλεκτροπαραγωγή από αιολική ενέργεια, ήταν η εγκατεστημένη ισχύς να φτάσει περίπου τα 3.5 GW, ενώ τελικά αυτή ανήλθε μόλις στα 1.3 GW. Είναι φανερό ότι σε μια χώρα που έχει στόχο να αυξήσει την ηλεκτροπαραγωγή από αιολική ενέργεια και δε λείπουν οι επενδυτικές προτάσεις, η ανάπτυξη των αιολικών πάρκων καθυστερεί σημαντικά. Ο στόχος έχει πλέον μεταταθεί για το 2020 με εγκατεστημένη ισχύ που θα πρέπει να φτάσει περίπου τα 7.5 GW. Οι προβλέψεις μέχρι τώρα δεν είναι ευοίωνες καθώς οι καθυστερήσεις στην έκδοση αδειών και εγκατάστασης είναι σημαντικές.

Οι αιτίες για τις καθυστερήσεις είναι η, τουλάχιστον μέχρι το 2009, μακροσκελής και περίπλοκη αδειοδοτική διαδικασία, η αδυναμία του δικτύου σε πολλές περιπτώσεις (π.χ.

Εύβοια, Κρήτη) να υποστηρίξει επιπλέον εγκατεστημένη ισχύ, οι αντιδράσεις των κατοίκων κυρίως για θέματα οπτικής και ακουστικής όχλησης και η έλλειψη χωροταξικού και ενεργειακού σχεδιασμού. Τα παραπάνω προβλήματα έχουν τεθεί υπό συζήτηση και έχουν καταβληθεί σημαντικές προσπάθειες για την επίλυσή τους, όπως η δημιουργία, αρχικά, του νόμου 3468/2006, ο οποίος απλοποίησε κατά ένα μέρος τον τρόπο λήψης άδειας παραγωγής και σε δεύτερη φάση του νόμου 3851/2010, ο οποίος έχει επιταχύνει σημαντικά την αδειοδοτική διαδικασία (ιδιαίτερα στο τμήμα της περιβαλλοντικής αδειοδότησης), χωρίς όμως να λείπουν και σε αυτή την περίπτωση κενά και αντικρουόμενες αρμοδιότητες μεταξύ κρατικών φορέων. Επίσης, έχουν δρομολογηθεί επεκτάσεις κι ενισχύσεις του δικτύου μεταφοράς ρεύματος, ένα έργο το οποίο ενδέχεται να βοηθήσει μακροπρόθεσμα και την αδειοδότηση αλλά και τη γρήγορη εισαγωγή των έργων αιολικής ενέργειας στο δίκτυο. Τα προβλήματα των κοινωνικών αντιδράσεων, εφόσον αυτά οφείλονται σε οπτική όχληση από την ύπαρξη των ανεμογεννητριών, είναι πάντα δύσκολο να αντιμετωπιστούν, υπό την έννοια ότι το αν σε κάποιον αρέσει ή όχι η όψη μιας ανεμογεννήτριας, είναι κάτι το υποκειμενικό. Καλό θα ήταν να γίνεται προσπάθεια από τους επενδυτές, ώστε να αποφεύγονται οι υπερβολές και οι μαζικές επεμβάσεις στο τοπίο μιας περιοχής με κατανόηση στις ιδιαιτερότητες των τοπικών κοινωνιών. Το θέμα του χωροταξικού σχεδιασμού οριοθετείται από το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού για τις ΑΠΕ, το οποίο από τις αρχές του Δεκεμβρίου του 2008 βρίσκεται σε εφαρμογή και έχει ενταχθεί στην αδειοδοτική διαδικασία των αιολικών πάρκων.

Στο ήδη προβληματικό καθεστώς που περιγράφηκε για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα, έχει προστεθεί το πρόβλημα της οικονομικής κρίσης, η οποία έχει δημιουργήσει προβλήματα στη χρηματοδότηση των υπό ένταξη έργων, με αποτέλεσμα την καθυστέρησή τους και σε βάθος χρόνου τη ματαίωσή τους.

Η εκμετάλλευση του, ομολογουμένως πλούσιου, διαθέσιμου αιολικού δυναμικού δε φαίνεται να έχει προχωρήσει επαρκώς στην Ελλάδα. Τα στοιχεία του 2014, που αφορούν στη συνολικά εγκατεστημένη αιολική ισχύ ανά περιφέρεια, δίνονται στην Εικόνα 2.17. Παρατηρείται πως η μεγαλύτερη αξιοποίηση έχει σημειωθεί στη Στερεά Ελλάδα και την Πελοπόννησο, τις περιφέρειες που βρίσκονται σε κοντινότερη απόσταση από την Αττική. Περιφέρειες όπως το Νότιο και Βόρειο Αιγαίο, η Κεντρική Μακεδονία, η Κρήτη, όπως και η Θεσσαλία αναμένουν την αξιοποίησή τους.



Εικόνα 2.17: Εγκατεστημένα MW αιολικής ισχύος ανά περιφέρεια το 2014 (Πηγή: ΕΛΕΤΑΕΝ)

2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας

Θεωρείται σκόπιμο να παρουσιαστούν συγκεντρωμένα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που απορρέουν από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Στην ενότητα αυτή, γίνεται αναφορά σε όσα γράφονται για την αιολική ενέργεια, στις σημειώσεις του μαθήματος της Εισαγωγής στην Ενεργειακή Τεχνολογία (Μαμάσης, 2013).

Το κυριότερο πλεονέκτημα είναι πως η αιολική ενέργεια για να παραχθεί χρειάζεται τον άνεμο, ο οποίος είναι πηγή ενέργειας ελεύθερη, άφθονη κι ανεξάντλητη. Η παραγωγή αιολικής ενέργειας είναι φιλική στο περιβάλλον, δε συμβάλλει καθόλου στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Κατά την παραγωγή της, δεν απελευθερώνονται αέριοι ρύποι, επιβλαβείς για το περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία. Με τη βοήθεια της αιολικής ενέργειας αποκτάται μεγαλύτερη ανεξαρτησία από τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία δεν είναι ανεξάντλητα και η καύση τους προκαλεί περιβαλλοντικά προβλήματα. Επομένως, καθώς μεγάλο μέρος των ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, φυσικό αέριο) εισάγεται από άλλες χώρες του εξωτερικού, ενισχύεται η ενεργειακή ανεξαρτησία της χώρας. Πρόκειται για ενέργεια οικονομικά ανταγωνιστική και η συναρμολόγηση και εγκατάσταση του αιολικού πάρκου μπορεί να είναι γρήγορη και τυποποιημένη. Το λειτουργικό κόστος είναι χαμηλό και το σύστημα παραγωγής

ενέργειας έχει μικρές απώλειες. Η αιολική ενέργεια βοηθά στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος μειώνοντας απώλειες μεταφοράς ενέργειας και δημιουργεί θέσεις απασχόλησης στην περιφέρεια.

Στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων και των ανεμογεννητριών συγκαταλέγεται ο εκπεμπόμενος θόρυβος που προέρχεται από τα περιστρεφόμενα μηχανικά μέσα και την περιστροφή των πτερυγίων, ο οποίος εκτιμάται σε περίπου 44 db (αντιστοιχεί σε ένταση ήχου σε ένα ήσυχο σπίτι) σε απόσταση 200 m για ταχύτητα ανέμου 8 m/s. Το ποσοστό των πουλιών που σκοτώνονται ετησίως από πρόσκρουση σε ανεμογεννήτριες είναι ασήμαντο (0.5%) σε σχέση με αυτό που οφείλεται σε πρόσκρουση σε οχήματα και τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (60%). Φυσικά θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, στη χωροθέτηση των αιολικών πάρκων, τυχόν προστατευόμενες περιοχές και να εξετάζεται η τοποθέτηση συστήματος υπερήχων. Η οπτική όχληση αποτελεί ένα ζήτημα υποκειμενικής φύσεως. Δεδομένου ότι οι ανεμογεννήτριες είναι ορατές από απόσταση, πρέπει να γίνεται προσπάθεια ενσωμάτωσής τους στο τοπίο. Αντιδράσεις υπάρχουν από τοπικές κοινωνίες για το γεγονός ότι τα αιολικά πάρκα εμποδίζουν τις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες στην περιοχή εγκατάστασής τους. Όμως, ένα μεγάλο μέρος της γης που φιλοξενεί ένα αιολικό πάρκο είναι διαθέσιμο και για άλλες χρήσεις.

Το σημαντικότερο, ίσως, μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι η αδυναμία να προβλεφθεί πότε και πόσο θα φυσήξει, δηλαδή η αδυναμία ακριβούς υπολογισμού του πότε και πόση ενέργεια θα παραχθεί. Η στοχαστικότητα του ανέμου έχει σαν αποτέλεσμα την απρόβλεπτη διακύμανση ενέργειας που δίνουν οι αιολικές μηχανές. Σύμφωνα με έρευνες, εάν το ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα) στην παραγωγή ξεπεράσει το 20%, το σύστημα παραγωγής ενέργειας γίνεται αρκετά ασταθές με κίνδυνο να προκληθεί μπλακ άουτ εάν ξαφνικά σταματήσουν ο άνεμος και η ηλιοφάνεια. Γι' αυτό απαιτείται να υπάρχει συνεχώς εφεδρεία, ώστε να καλύψει το κενό των αιολικών και των φωτοβολταϊκών. Τέτοια εφεδρεία αποτελούν οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί, οι οποίοι θα πρέπει να βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία.

Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα, είναι τα υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας που συνδυάζουν την υδροηλεκτρική παραγωγή με την αιολική και τα φωτοβολταϊκά. Εδώ ο αιολικός και ο φωτοβολταϊκός σταθμός συνδέονται με την αντλία του υδροηλεκτρικού έργου κι όχι με το κεντρικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικού ρεύματος. Όταν παράγει ενέργεια ο αιολικός σταθμός, το ρεύμα πηγαίνει για την άντληση νερού από ένα ταμιευτήρα σε έναν άλλο που βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο. Όταν χρειάζεται ενέργεια το σύστημα,

ελευθερώνεται ποσότητα νερού από τον άνω ταμιευτήρα και με τη λειτουργία στροβίλου αυτή τη φορά, παράγεται ενέργεια που εξυπηρετεί τις ανάγκες του συστήματος. Με αυτό τον τρόπο το κεντρικό σύστημα δεν επηρεάζεται από την έντονη διακύμανση της αιολικής παραγωγής.

Ένα τελευταίο μειονέκτημα της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας είναι το υψηλό κόστος κατασκευής του έργου. Αρχικά, είναι απαραίτητη η έρευνα του αιολικού δυναμικού κάθε περιοχής εγκατάστασης. Το αιολικό δυναμικό θα πρέπει να μελετάται με μεγάλη προσοχή, καθώς από τη σωστή εκτίμησή του εξαρτάται η βιωσιμότητα και το κέρδος του έργου. Πέρα από τις ιστορικές καταγραφές της έντασης του ανέμου στην ευρύτερη περιοχή του έργου που θα πρέπει να μελετώνται, είναι απαραίτητη και η μέτρηση του αιολικού δυναμικού στη θέση του έργου, με τοποθέτηση ανεμομέτρων για τουλάχιστον ένα έτος. Το κόστος, λοιπόν, του υπολογισμού του αιολικού δυναμικού είναι αρκετά υψηλό, όπως επίσης και το κόστος διαμόρφωσης του αιολικού πάρκου, των ανεμογεννητριών και της ανέγερσής τους. Πολλές φορές είναι απαραίτητο να διαμορφωθεί ειδικά το οδικό δίκτυο, ώστε να μπορέσουν να μεταφερθούν, μέχρι το λόφο εγκατάστασης, όλα τα μεγάλου μήκους εξαρτήματα (πύργος και πτερύγια) των ανεμογεννητριών.

3 Χαρακτηριστικά του ανέμου

Ο άνεμος είναι μια πηγή ενέργειας που προέρχεται από τις διαφοροποιήσεις στην ατμοσφαιρική πίεση, οι οποίες οφείλονται στην άνιση θέρμανση της επιφάνειας της γης και της θάλασσας από τον ήλιο. Επομένως, η αιολική ενέργεια είναι έμμεση μορφή της ηλιακής ενέργειας και περίπου 1 - 2% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης μετατρέπεται σε άνεμο. Καθώς ο αέρας θερμαίνεται στις τροπικές ζώνες αρχικά ανυψώνεται στην ατμόσφαιρα και κατόπιν οδεύει προς τους πόλους. Η κίνηση αυτή της ατμόσφαιρας επηρεάζεται σημαντικά από την περιστροφή της γης, η επίδραση της οποίας είναι μεγαλύτερη στον ισημερινό και μηδενική στους πόλους, από την αναλογία της επιφάνειας της ξηράς προς την αντίστοιχη της θάλασσας, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της ξηράς (βουνά, πεδιάδες) και από τις εποχές του χρόνου. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω δημιουργούνται συγκεκριμένα «πρότυπα» της κίνησης των ανέμων στη γη (Ανδρίτσος Ν., 2008).

Ο άνεμος κινείται από τις ζώνες υψηλής βαρομετρικής πίεσης προς τις ζώνες χαμηλής βαρομετρικής πίεσης και η κίνηση του επηρεάζεται από την περιστροφή της γης, ιδιαίτερα σε μέσα και σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Αποτέλεσμα αυτής της επίδρασης είναι η μεταβολή διεύθυνσης του ανέμου από διεύθυνση κάθετη στις ισοβαρείς γραμμές, σε διεύθυνση παράλληλη σε αυτές. Στο βόρειο ημισφαίριο, ο άνεμος κινείται γύρω από τις περιοχές χαμηλού βαρομετρικού κατά φορά αντίθετη της περιστροφής των δεικτών του ρολογιού, ενώ σε περιοχές υψηλού βαρομετρικού κατά την φορά περιστροφής των δεικτών του ρολογιού. Στο νότιο ημισφαίριο οι διευθύνσεις κίνησης του ανέμου είναι αντίθετες των προαναφερομένων.

Άνεμοι δημιουργούνται και σε τοπική κλίμακα με διάφορους μηχανισμούς, όπως η δημιουργία θαλάσσιας ή απογείου αύρας και τα καθοδικά ρεύματα προς τις κοιλάδες από τα βουνά. Η θαλάσσια αύρα αρχίζει δύο με τρεις ώρες μετά την ανατολή του ηλίου. Το μέγιστο της έντασής της σημειώνεται την ώρα της μέγιστης θερμοκρασιακής διαφοράς γης - θάλασσας. Στις πρώτες νυχτερινές ώρες παύει να πνέει. Όταν το ανάγλυφο του εδάφους είναι ομαλό και η θερμοκρασιακή διαφορά μεγάλη, η θαλάσσια αύρα μπορεί να φτάσει μέχρι τα 20 - 40 km από την ακτή, με ύψος ρεύματος έως και 500 m. Η απόγειος αύρα πνέει το βράδυ μέχρι περίπου την ανατολή του ηλίου. Η ένταση και το ύψος της είναι μικρότερο από ό,τι της θαλάσσιας αύρας. Οι αύρες κοιλάδων και βουνών πνέουν κατά τη διάρκεια της ημέρας από

τα χαμηλότερα στα ψηλότερα σημεία επικλινών εδαφών (αύρα κοιλάδων) και κατά τη νύκτα πνέουν αντίθετα (αύρα βουνών). Η αύρα κοιλάδων είναι εντονότερη στις νότιες πλαγιές και μερικές φορές φτάνει τα 5 m/s. Γίνεται αισθητή και σε ύψη 100 - 150 m από το έδαφος. Το καλοκαίρι, όταν ο ανερχόμενος αέρας ψύχεται, συμπυκνώνεται ένα μέρος των υδρατμών του και δημιουργούνται συνήθως βροχές ή και καταιγίδες. Η νυκτερινή αύρα ορέων είναι συνήθως ασθενέστερη κοντά στο έδαφος (ΤΕΕ, 2013).

Οι ταχύτητες του ανέμου διαφέρουν με το ανάγλυφο μιας περιοχής και ποικίλλουν σημαντικά με την εποχή και την ημέρα. Ως εκ τούτου, ο άνεμος αποτελεί ένα ιδιαίτερα μεταβλητό μέγεθος, τόσο κυρίως με το χρόνο, όσο και με το ύψος από το έδαφος. (Ανδρίτσος Ν., 2008).

3.1 Η μεταβλητότητα του ανέμου

3.1.1 Η διακύμανση του ανέμου καθ' ύψος

Η ένταση του ανέμου αυξάνεται με την αύξηση του ύψους και η κατακόρυφη κατανομή του αέρα ακολουθεί τη συμπεριφορά τυρβώδους οριακού στρώματος. Σύμφωνα με τους Κουτσογιάννη και Ξανθόπουλο (1999), η υψομετρική μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου δίνεται από τη σχέση

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{\ln \frac{z_2}{z_0}}{\ln \frac{z_1}{z_0}} \quad (3.1)$$

Όπου u_1 και u_2 , η ταχύτητα του ανέμου σε ύψη z_1 και z_2 αντίστοιχα και z_0 η παράμετρος τραχύτητας. Ακολουθεί ο Πίνακας 3.1 με τις τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας z_0 , για διάφορες φυσικές επιφάνειες.

Πίνακας 3.1: Τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας

Πάγος	0.001
Ασφαλτοστρωμένη επιφάνεια	0.002
Υδάτινη επιφάνεια	0.01-0.06

Χλόη ύψους μέχρι 1 cm	0.1
Χλόη ύψους μέχρι 1-10 cm	0.1-0.2
Χλόη-σιτηρά κλπ ύψους 10-50 cm	2-5
Φυτοκάλυψη ύψους 1-2 m	20
Δένδρα ύψους 10-15 m	40-70

Οι καλύτερες θέσεις για παραγωγή αιολικής ενέργειας είναι η κορυφή ομαλών λόφων, μακριά από άλλους λόφους. Γενικά, θα πρέπει να προηγείται επίπεδη επιφάνεια ή θάλασσα για εκατοντάδες μέτρα.

3.1.2 Η διακύμανση του ανέμου στο χρόνο

Η διακύμανση του ανέμου στο χρόνο είναι αρκετά έντονη. Διακύμανση παρατηρείται τόσο σε επίπεδο ημέρας (εικοσιτετράωρο), όσο και σε επίπεδο μήνα ή εποχής (εποχικότητα). Δηλαδή ο άνεμος εμφανίζει περιοδικότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας, του μήνα και της εποχής.

Η ταχύτητα του ανέμου υφίσταται διακυμάνσεις συνέχεια και κατά συνέπεια μεταβάλλεται, αντίστοιχα και η περιεχόμενη στον άνεμο ενέργεια. Το ακριβές μέγεθος των μεταβολών εξαιτίας των διακυμάνσεων εξαρτάται τόσο από τις καιρικές συνθήκες, όσο και από την υφιστάμενη επιφανειακή τραχύτητα και από τυχόν υπάρχοντα εμπόδια για την ροή του ανέμου. Στις περισσότερες περιοχές της γης οι άνεμοι κατά την διάρκεια της ημέρας είναι ισχυρότεροι από τους αντίστοιχους ανέμους που υφίστανται κατά την διάρκεια της νύχτας. Αυτή η παρατηρούμενη μεταβλητότητα είναι αποτέλεσμα κυρίως των μεγαλύτερων θερμοκρασιακών διαφορών, για παράδειγμα, μεταξύ της θάλασσας και της ξηράς, οι οποίες υφίστανται κατά την διάρκεια της ημέρας σε σχέση με τις αντίστοιχες που υφίστανται κατά την διάρκεια της νύχτας. Επίσης, ο άνεμος έχει εντονότερα τυρβώδη χαρακτηριστικά και τείνει να αλλάζει διευθύνσεις συχνότερα κατά την διάρκεια της ημέρας, παρά κατά την διάρκεια της νύχτας.

Μία εργασία στην οποία καταδεικνύονται η εποχικότητα και η περιοδικότητα του ανέμου μέσα στην ημέρα, είναι αυτή των Abdalla και Attili (1991), όπου μελετήθηκε η ημερήσια και η ωριαία κατανομή της ταχύτητας του ανέμου στο Μπαχρέιν. Όσον αφορά την ημερήσια

κατανομή της ταχύτητας μέσα στο μήνα, σε μετρήσεις που έγιναν για 11 συνεχή έτη, παρατηρήθηκε ότι η ταχύτητα του ανέμου παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις τις ημέρες των χειμερινών μηνών. Η διακύμανση στις ημερήσιες ταχύτητες, για τους μήνες από τον Αύγουστο έως το Σεπτέμβριο είναι μικρότερη. Γενικότερα ισχυρότεροι ημερήσιοι άνεμοι παρατηρήθηκαν το χειμώνα (Νοέμβριο με Ιανουάριο) και το καλοκαίρι (Ιούνιο και Ιούλιο), γνωστοί ως Shamal, που σημαίνει άνεμος προερχόμενος από το βορρά. Συνεχίζοντας με τις ωριαίες ταχύτητες του ανέμου, έγιναν μετρήσεις 8 ετών, οι οποίες έδειξαν μία μόνιμη και σταθερή ημερήσια διακύμανση του ανέμου. Η ταχύτητα φτάνει τη μέγιστη τιμή της μεταξύ 10:00 και 12:00 τοπική ώρα. Η μέση ωριαία ταχύτητα παίρνει την ελάχιστη τιμή της μεταξύ 20:00 και 21:00, τοπική ώρα κι έπειτα αρχίζει να αυξάνεται σταδιακά κατά τη διάρκεια της νύκτας, μέχρι να φτάσει τη μέγιστη τιμή της το άλλο πρωί. Η μέγιστη τιμή της ταχύτητας σημειώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, λόγω της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο προφίλ της ημερήσιας ταχύτητας του ανέμου. Ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, υπάρχει ξεκάθαρη διαφορά της ταχύτητας του ανέμου μεταξύ των ωρών της ημέρας και της νύκτας. Αυτό οφείλεται στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας που, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, προσπίπτει στην επιφάνεια της γης και μετατρέπεται σε άνεμο. Σε κάθε περίπτωση, και στην ωριαία κατανομή διακρίνεται η εποχικότητα του ανέμου. Από το Σεπτέμβριο έως το Νοέμβριο, ο άνεμος είναι σχετικά μικρής έντασης, αλλά δυναμώνει από το Δεκέμβριο μέχρι το Μάρτιο. Ο ισχυρότερος άνεμος παρατηρήθηκε τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο εξαιτίας των ανέμων Shamal.

3.2 Το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας

Η Ελλάδα διαθέτει πλούσιο αιολικό δυναμικό, σε πολλές περιοχές της χώρας, όπως η Κρήτη, η Πελοπόννησος, η Εύβοια και φυσικά τα νησιά του Αιγαίου. Κρίσιμη παράμετρος για την υλοποίηση μίας επένδυσης, είναι η γνώση του αιολικού δυναμικού της περιοχής εγκατάστασης του αιολικού πάρκου. Για αυτό είναι απαραίτητο να υπάρξουν πηγές πληροφόρησης του αιολικού δυναμικού. Αυτές είναι οι ιστορικές μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου από τους σταθμούς της EMY, οι χάρτες αιολικού δυναμικού που προέρχονται από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), οι επιτόπου μετρήσεις του αιολικού δυναμικού και τα μακροσκοπικά μοντέλα μετεωρολογικών προβλέψεων.

Ο άνεμος αποτελεί ένα ιδιαίτερα μεταβλητό μέγεθος, τόσο κυρίως με το χρόνο, όσο και το ύψος από το έδαφος. Επομένως, για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής χρειάζονται αναλυτικές μετρήσεις της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου. Σημειώνεται πως οι επιτόπου μετρήσεις του αιολικού δυναμικού της περιοχής είναι απαραίτητες για τον καλό σχεδιασμό και προγραμματισμό του αιολικού σταθμού. Επομένως, θα πρέπει να προβλέπεται εγκατάσταση μεταλλικού ιστού, ύψους τουλάχιστον 10 m, στον οποίο τοποθετούνται ένα ή περισσότερα ελικοφόρα ανεμόμετρα και ανεμοδείκτες ακριβείας για τουλάχιστον ένα έτος (Μαμάσης, 2013).

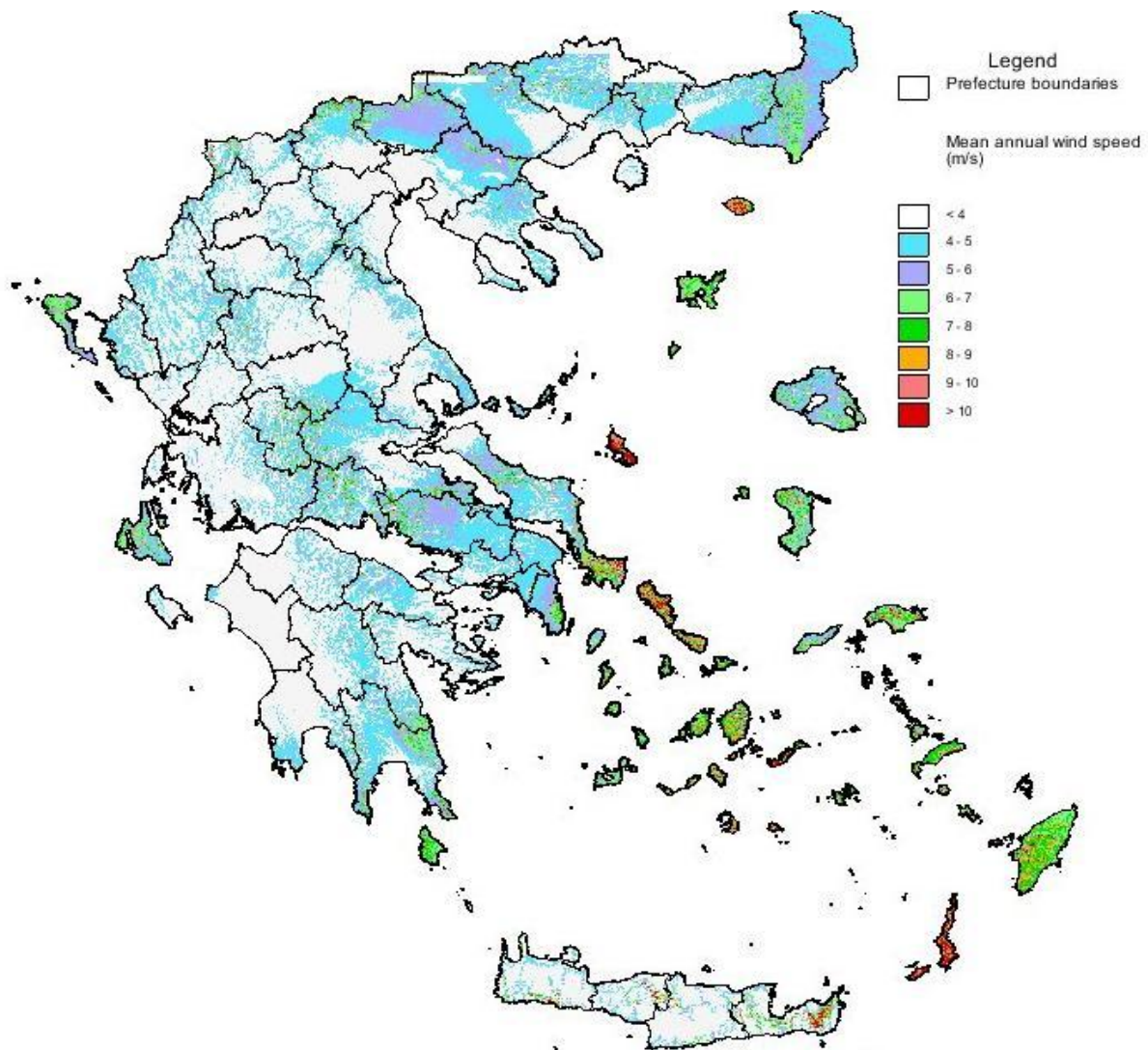
Από τις διάφορες πηγές πληροφόρησης εξάγεται μία εκτίμηση της κατηγορίας του αιολικού δυναμικού της ευρύτερης περιοχής εγκατάστασης. Η ασφάλεια αυτής της εκτίμησης εξαρτάται από παράγοντες όπως την τοπογραφία της θέσης, τυχόν εμπόδια, το πλήθος και την αξιοπιστία των ιστορικών δεδομένων της περιοχής και τις επαρκείς επιτόπου μετρήσεις. Οι κατηγορίες του αιολικού δυναμικού έχουν ως εξής:

- i. Ανεπαρκές < 4 m/s
- ii. Χαμηλό 4 – 5.5 m/s
- iii. Μέσο 5.5 – 7 m/s
- iv. Υψηλό 7 – 9 m/s
- v. Πολύ υψηλό > 9 m/s

Ο εντοπισμός των κατάλληλων περιοχών (με πλούσιο αιολικό δυναμικό) είναι σημαντικός, ώστε να γίνει η μεγαλύτερη δυνατή χωρική συγκέντρωση των αιολικών πάρκων. Περιοχές με κατάλληλο αιολικό δυναμικό θεωρούνται όσες έχουν μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (στα 10 m πάνω από το έδαφος) μεγαλύτερη από 4 m/s. Όμως για να είναι εκμεταλλεύσιμο το αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα απαιτείται μέση ετήσια ταχύτητα μεγαλύτερη από 5.5 – 6 m/s. Άλλα χαρακτηριστικά για την ύπαρξη κατάλληλου αιολικού δυναμικού είναι τα χαμηλά επίπεδα τύρβης, η μη συχνή εμφάνιση ριπών, η χαμηλή μέγιστη ταχύτητα του ανέμου, η θέση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου να βρίσκεται σε υψόμετρο μικρότερο από 1 000 m και μεγαλύτερο από -10 m και να απέχει απόσταση μεγαλύτερη των 500 m από μεγάλη πόλη.

Επιπλέον, για να γίνει αποδεκτή μία θέση εγκατάστασης, πέρα από το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό, απαιτείται η εγκατάσταση να ελαχιστοποιεί τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, η λειτουργία των ανεμογεννητριών να είναι συμβατή με τη λειτουργία του δικτύου, να έχουν ληφθεί υπόψη οι πιθανές ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες (παγετός,

εξαιρετικά ισχυροί άνεμοι κλπ.) και να μην υπάρχουν αντιδράσεις από τις επηρεαζόμενες κοινωνικές ομάδες.



Εικόνα 3.1: Το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας (Πηγή: ΚΑΠΕ)

Στον προηγούμενο χάρτη (Εικόνα 3.1) απεικονίζεται το αιολικό δυναμικό όλης της χώρας, όπως έχει δοθεί από την ΚΑΠΕ. Παρατηρείται το ισχυρό αιολικό δυναμικό των Κυκλάδων, των Δωδεκανήσων και περιοχών της Κρήτης, της Στερεάς Ελλάδας, της Πελοποννήσου και της Θράκης. Σε αρκετά νησιά των Κυκλάδων, των Δωδεκανήσων, στο νότιο τμήμα της Εύβοιας, όπως και στα Κύθηρα, η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται γύρω από τα 7 m/s (υψηλό αιολικό δυναμικό). Στα νησιά Κάρπαθος, Άνδρος και Σκύρος και σε τμήμα του νομού Λασιθίου και νομού Ευβοίας, η μέση ετήσια ταχύτητα είναι πάνω από 9 - 10 m/s, κάτι που τις καθιστά περιοχές με πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό. Η ανατολική Στερεά Ελλάδα και η Αττική διαθέτουν μέσο αιολικό δυναμικό, καθώς αναπτύσσονται μέσες ταχύτητες ανέμου

περί τα 5 - 6 m/s, ενώ στη δυτική Στερεά Ελλάδα και την Ήπειρο η μέση ταχύτητα είναι αρκετά μικρή, κάτω των 4 m/s. Στην περιφέρεια Πελοποννήσου, η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται μεταξύ 4 - 7 m/s. Στην κεντρική Μακεδονία παρατηρείται αιολικό δυναμικό της τάξεως των 5 - 6 m/s και στη Θράκη συναντώνται λίγο μεγαλύτερες μέσες ετήσιες ταχύτητες μεταξύ 5 - 8 m/s.

Στην περιοχή ενδιαφέροντος, την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας, παρατηρείται χαμηλότερο αιολικό δυναμικό. Αυτό οφείλεται κυρίως στην οροσειρά της Πίνδου και την πληθώρα βουνών στην περιοχή, τα οποία λειτουργούν ως τείχος στον άνεμο που πνέει από τα δυτικά και τα βόρεια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η περιοχή αυτή να προστατεύεται από τους ισχυρούς ανέμους. Παρ' όλα αυτά, στην περιοχή μεταξύ της Λαμίας και της Καρδίτσας φαίνεται πως αναπτύσσονται ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες των 5 m/s κατά μέσο όρο, κάτι που σημαίνει πως υπάρχει εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό.

Στην εργασία του Δημάκου (2014), αναφέρεται μία μελέτη (Chronopoulou et al., 2010), η οποία εξέτασε τη συμπεριφορά του ανέμου στον Ελλαδικό χώρο. Τα δεδομένα της εργασίας εξήχθησαν από 59 σταθμούς ομαλά κατανεμημένων στην ηπειρωτική και νησιωτική Ελλάδα, τα έτη 1999 - 2000. Από τον ετήσιο ανεμολογικό χάρτη που παράχθηκε, προέκυψε το συμπέρασμα πως εντονότεροι άνεμοι πνέουν στη νησιωτική, από ό,τι στην ηπειρωτική Ελλάδα, με μέση ετήσια ταχύτητα 1 - 5 m/s και μέγιστο που παρατηρείται στο κεντρικό Αιγαίο. Στην περιοχή του Ιονίου, η μέση ετήσια ταχύτητα κυμαίνεται στα 1 - 2 m/s και στην περιοχή των ακτών της νότιας Πελοποννήσου φτάνει τα 3 - 4 m/s. Στη βόρεια και κεντρική ηπειρωτική Ελλάδα, η μέση ετήσια ταχύτητα έχει εύρος 1.5 - 2.5 m/s. Στο βόρειο ηπειρωτικό τμήμα κυμαίνεται μεταξύ 3.5 - 4 m/s. Όσον αφορά την κατεύθυνση του ανέμου σε ετήσια χρονική κλίμακα, το 78% των ανέμων έχει προέλευση από το βορρά, τα βορειοανατολικά και τα βορειοδυτικά. Στη μελέτη εξετάζεται και η εποχικότητα του ανέμου. Οι μεγαλύτερες ταχύτητες εμφανίζονται το χειμώνα με εύρος των μέσων τιμών 1 - 6 m/s. Μέγιστες ταχύτητες (5.5 - 6 m/s) παρατηρούνται στα νησιά του βορείου Αιγαίου, στις ανατολικές Κυκλάδες και στα νησιά των βόρειων Δωδεκανήσων. Η πιο ήπια εποχή του έτους είναι η άνοιξη, με εύρος ταχυτήτων 1 - 5.5 m/s και μέγιστα 5 - 5.5 m/s για το κεντρικό Αιγαίο και την Κρήτη και 2.5 - 3.5 m/s για τις ανατολικές Σποράδες. Οι διευθύνσεις του ανέμου την άνοιξη είναι βόρειες, βορειοδυτικές και βορειοανατολικές κατά χαμηλότερο ποσοστό 68%. Το καλοκαίρι εμφανίζεται τελείως διαφορετική συμπεριφορά με εύρος ταχυτήτων 0.5 - 6 m/s και μέγιστα 5.5 - 6 m/s στο νότιο και νοτιοανατολικό Αιγαίο. Ειδικά στα Δωδεκάνησα οι άνεμοι επηρεάζονται από το ανεμολογικό ρεύμα που έρχεται από την Ινδία και εμπλουτίζει τα

παράλια της Μικράς Ασίας, αλλά και την περιοχή των Δωδεκανήσων. Επίσης, η έντονη παρουσία μελτεμιών στην περιοχή του Αιγαίου καθιστά το καλοκαίρι πλούσιο σε ανέμους. Τέλος, το φθινόπωρο το εύρος των τιμών της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου είναι 1 - 5 m/s, με τις μέγιστες τιμές να είναι μεταξύ 4.5 - 5 m/s και να εμφανίζονται και πάλι στο κεντρικό Αιγαίο. Οι ταχύτητες μειώνονται στα 2 - 3 m/s στις ανατολικές ακτές της ηπειρωτικής χώρας και αυξάνονται στα 3.5 - 4 m/s στις ακτές της Μικράς Ασίας. Από την παραπάνω ανάλυση προέκυψε το συμπέρασμα ότι η Ελλάδα είναι μία από τις πιο ανεμώδεις περιοχές της Ευρώπης. Επίσης, οι ταχύτητες του ανέμου στην περιοχή του Αιγαίου είναι μεγαλύτερες από ό,τι στην ηπειρωτική χώρα, με μέγιστο την περιοχή του κεντρικού Αιγαίου.

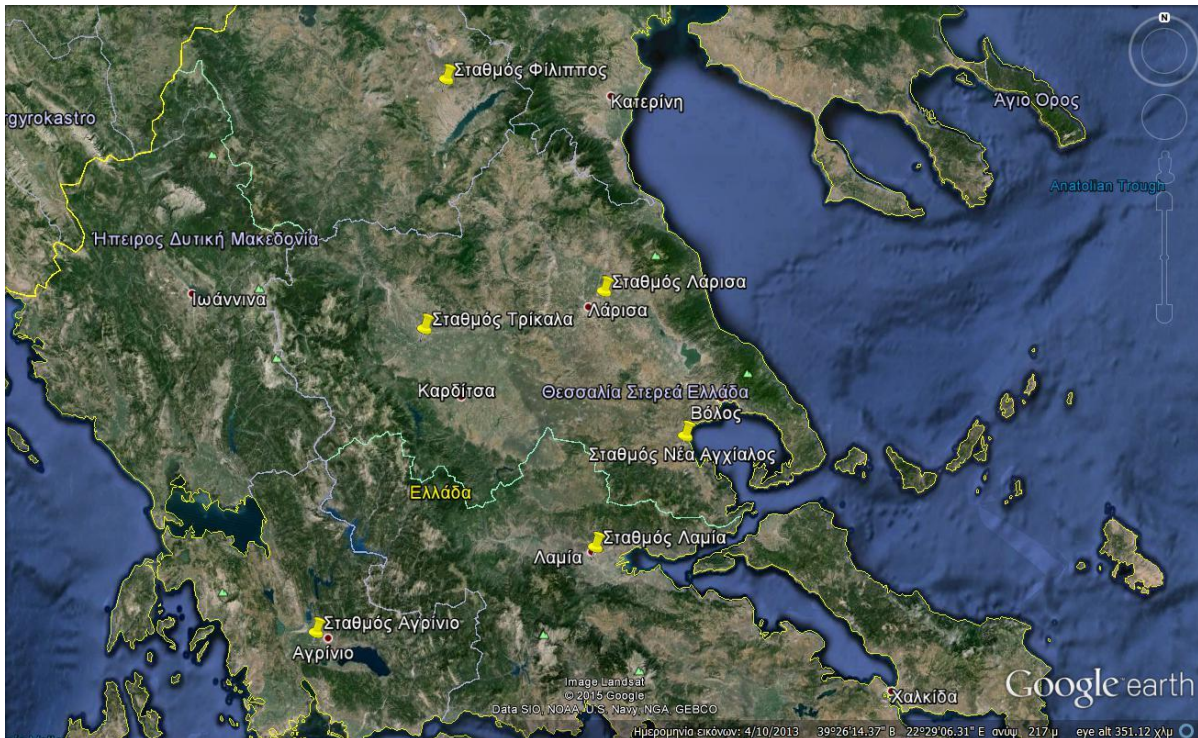
Σε μία άλλη επιστημονική εργασία (Katsoulis, 1993), πραγματοποιείται σύγκριση της ταχύτητας του ανέμου, που προκύπτει από διάφορες περιοχές του Ελλαδικού χώρου. Πραγματεύεται την ενέργεια που μπορεί δυνητικά να παραχθεί, με τη βοήθεια της θεωρητικής κατανομής Weibull, υπολογίζοντας τις παραμέτρους της. Οι πλέον κατάλληλες τοποθεσίες είναι παραθαλάσσιες και ειδικά τα νησιά του Αιγαίου με διαθέσιμη ετήσια παραγωγή ενέργειας (power density) 600 W/m^2 . Επιπλέον, τα νησιά του Ιονίου αποτελούν πιθανή περιοχή εγκατάστασης αιολικών πάρκων, καθώς μπορούν να δώσουν 200 W/m^2 . Άλλες ηπειρωτικές θέσεις, χαμηλού υψομέτρου με ήπια τοπογραφία που εξετάστηκαν, εμφάνισαν χαμηλότερο υποψήφιο ενεργειακό δυναμικό, υποπολλαπλάσιας τάξης (20 W/m^2).

Στη συγκεκριμένη εργασία λήφθηκαν δεδομένα από 42 σταθμούς, διάσπαρτους σε όλη τη χώρα. Η ανάλυση έγινε με ετήσιες και μηνιαίες μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου. Έγινε προσπάθεια να υπολογιστεί το ενεργειακό αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα, μέσω της κατανομής Weibull. Κάτι τέτοιο παρουσίασε δυσκολίες καθώς η ταχύτητα του ανέμου είναι μία μεταβλητή που παρουσιάζει έντονη διακύμανση ανάμεσα στις διάφορες ώρες της ημέρας, αλλά και ανάλογα με την εποχή του χρόνου. Επίσης, επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους, όπως είναι η έντονη τοπογραφία και η γειτνίαση με παραθαλάσσιες περιοχές. Έγινε η διερεύνηση για την καταλληλότητα της κατανομής Weibull για την προσαρμογή των δεδομένων. Η προσαρμογή των δεδομένων στην Weibull κρίθηκε ικανοποιητική και έγινε υπολογισμός των παραμέτρων της κατανομής, k (παράμετρος σχήματος) και a (παράμετρος κλίμακας).

3.3 Συλλογή των ανεμολογικών δεδομένων

3.3.1 Λήψη ανεμολογικών δεδομένων από την υπηρεσία NCDC

Στην παρούσα διπλωματική εξετάζεται η ένταση του ανέμου στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας, επομένως αναζητήθηκαν τα ανεμολογικά δεδομένα στους σταθμούς της ΕΜΥ Λάρισα, Νέα Αγχίαλος, Τρίκαλα, Φίλιππος (Κοζάνη), Λαμία και Αγρίνιο. Οι θέσεις των σταθμών απεικονίζονται στον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2: Γεωγραφική θέση των υπό μελέτη σταθμών της ΕΜΥ (Πηγή: Google Earth)

Η Εθνική Υπηρεσία Κλιματικών Δεδομένων της Αμερικής (National Climatic Data Center), που τελεί υπό την αιγίδα του National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), διαθέτει διαδικτυακά εργαλεία για την απόκτηση μακροχρόνιων παγκόσμιων κλιματικών δεδομένων. Η υπηρεσία Climate Data Online (CDO) διαθέτει πληθώρα δεδομένων και εφαρμογών σε παγκόσμια κλίμακα. Αυτές οι βάσεις δεδομένων περιέχουν μεταβλητές όπως η θερμοκρασία, ο υετός, η ατμοσφαιρική πίεση, η ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου σε χρονικά βήματα της μίας ώρας ή και μικρότερα της ώρας.

Τα δεδομένα, λοιπόν της ταχύτητας του ανέμου συλλέχθηκαν από το διαδίκτυο και την ιστοσελίδα της NCDC και συγκεκριμένα από τον ιστότοπο <http://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/#app=cdo&cfg=cdo&theme=alltimes>. Στη σελίδα αυτή υπάρχει ένας παγκόσμιος χάρτης που απεικονίζει τις θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών

ανά τον κόσμο. Επιλέγοντας το σταθμό από όπου θα αντληθούν τα δεδομένα, εμφανίζονται βασικές πληροφορίες για το σταθμό, όπως η περίοδος των μετρήσεων, το υψόμετρο της εγκατάστασης, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος. Προχωρώντας στη συλλογή των δεδομένων, εμφανίζεται πίνακας με τις κλιματικές μεταβλητές. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η μεταβλητή του ανέμου (wind observation). Στο επόμενο βήμα, επιλέγεται η επιθυμητή χρονική περίοδος των δεδομένων. Έπειτα από τα παραπάνω, είναι εφικτή η συλλογή των δεδομένων σε μορφή txt.

Ο Πίνακας 3.2, που ακολουθεί, καταγράφει τις περιόδους των μετρήσεων, το υψόμετρο, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος του κάθε σταθμού.

Πίνακας 3.2: Στοιχεία των υπό μελέτη σταθμών

Σταθμός	Περίοδος Καταγραφών	Υψόμετρο (m)	Γ. Πλάτος	Γ. Μήκος
Λάρισα	1932/11/1 - 2014/9/30	73.5	39.650°	22.465°
Νέα Αγχίαλος	1965/12/4 - 2014/10/1	25.3	39.219°	22.794°
Φίλιππος	1938/1/3 - 1/10/2014	627.6	40.286°	21.840°
Λαμία	1932/11/1 - 2014/9/30	13.8	38.883°	22.433°
Τρίκαλα	1939/1/1 - 2005/9/9	116.0	39.550°	21.766°
Αγρίνιο	1938/1/1 - 2009/11/17	24.0	38.600°	21.350°

Τα ανεμολογικά δεδομένα που δόθηκαν από την Εθνική Υπηρεσία Κλιματικών Δεδομένων της Αμερικής (NCDC) περιλαμβάνουν τις καταγραφές της ταχύτητας του ανέμου και τη διεύθυνσή του για συγκεκριμένη ημερομηνία και ώρα. Μετά από ερώτηση στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY), η κάθε καταγραφή αφορά στη μέση τιμή του δεκαλέπτου της παρατήρησης. Επιπλέον, δίνονται πληροφορίες για την ποιότητα της κάθε μέτρησης, δηλαδή εάν αυτή έχει περάσει όλους τους ελέγχους ποιότητας. Τέλος, δίνονται οι καταγραφές των ριπών του ανέμου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις δεν έχουν σταθερό χρονικό βήμα. Αυτό κυμαίνεται από μίση ώρα για κάποιες περιόδους (κυρίως συναντάται τα πιο πρόσφατα έτη, μετά το 2000) έως δώδεκα ώρες (τα παλαιότερα έτη). Επίσης, για τους σταθμούς Τρίκαλα και Αγρίνιο υπάρχουν καταγραφές μόνο τρεις φορές την ημέρα (στις 06:00, 12:00 και 18:00) ενώ για τη Λαμία οκτώ φορές την ημέρα (στις 00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00). Στους υπόλοιπους σταθμούς (Λάρισα, Νέα Αγχίαλος, Φίλιππος) συναντώνται μετρήσεις όλες τις ώρες του εικοσιτετραώρου. Όσον αφορά το σύνολο των σταθμών, την περίοδο 1940 - 1949

δεν υπάρχουν καταγραφές της ταχύτητας του ανέμου. Υπάρχουν και άλλες περίοδοι, διαφορετικές σε κάθε σταθμό, κατά τη διάρκεια των οποίων δεν έγιναν μετρήσεις. Ακολουθεί ο Πίνακας 3.3 με τον αριθμό των ετών που έγιναν μετρήσεις και τον αριθμό των μετρήσεων. Τα περισσότερα έτη (74) και ο μεγαλύτερος αριθμός μετρήσεων (301 643) συναντώνται στο σταθμό της Λάρισας. Ακολουθούν ο σταθμός στη Νέα Αγχίαλο με 181 955 καταγραφές της ταχύτητας του ανέμου και 36 έτη καταγραφών. Ο Φίλιππος έχει 41 έτη μετρήσεων και αριθμό καταγραφών 128 726 και η Λαμία, με 51 έτη μετρήσεων έχει 107 538 καταγραφές. Οι σταθμοί στα Τρίκαλα και το Αγρίνιο έχουν μετρήσεις για 24 και 25 έτη και αριθμό μετρήσεων 12 963 και 17 993 αντίστοιχα. Δεδομένου ότι οι δύο αυτοί σταθμοί καταγράφουν τρεις φορές την ημέρα την ταχύτητα του ανέμου, ο αριθμός των μετρήσεων είναι πολύ μικρός.

Πίνακας 3.3: Έτη μετρήσεων και αριθμός μετρήσεων

Σταθμός	Έτη Μετρήσεων	Αριθμός Μετρήσεων
Λάρισα	74	301 643
Νέα Αγχίαλος	36	181 955
Φίλιππος	41	128 726
Λαμία	51	107 538
Τρίκαλα	24	12 963
Αγρίνιο	25	17 993

Πρέπει να σημειωθεί πως τα αρχικά αυτά δεδομένα περιλαμβάνουν πολλές μηδενικές τιμές, οι οποίες περιγράφουν συνθήκες νηνεμίας. Παρατηρήθηκε ότι σε κανένα σταθμό δεν υπάρχουν καταγραφές για ταχύτητες ανέμου από 0.1 έως 0.5 m/s. Από αυτή την παρατήρηση, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πως όταν ο άνεμος πνέει με ταχύτητα κάτω του 0.5 m/s, τα ανεμόμετρα καταγράφουν την τιμή 0 m/s. Επομένως, όταν υπάρχει μέτρηση 0 m/s, σημαίνει πως ο άνεμος πνέει με μία πολύ μικρή ταχύτητα της τάξεως των 0 - 0.5 m/s. Το ποσοστό νηνεμίας (πολύ μικρές τιμές ταχύτητας) είναι αρκετά υψηλό στις μετρήσεις των σταθμών ενδιαφέροντος. Ακολουθεί ο πίνακας με τα ποσοστά νηνεμίας (μηδενικές τιμές ταχύτητας προς θετικές τιμές ταχύτητας) κάθε σταθμού, όπως προέκυψε από τα πρωτογενή δεδομένα με το ακανόνιστο χρονικό βήμα.

Πίνακας 3.4: Ποσοστά νηνεμίας των σταθμών μελέτης (από τα πρωτογενή δεδομένα)

Σταθμός	Ποσοστό νηνεμίας
Λάρισα	57.6%
Νέα Αγχίαλος	22.4%
Φίλιππος	48.2%
Λαμία	20.7%
Τρίκαλα	2.8%
Αγρίνιο	27.5%

Παρατηρείται πολύ μεγάλο ποσοστό άπνοιας στις θέσεις Λάρισα και Φίλιππος (Κοζάνη). Με βάση τις καταγραφές, στη Λάρισα δε φυσάει (ταχύτητες ανέμου 0 - 0.5 m/s) στο 57.6% των παρατηρήσεων, ενώ στο Φίλιππο στο 48.2% των μετρήσεων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι δύο αυτές περιοχές περιτριγυρίζονται από τους ορεινούς όγκους της Πίνδου και του Ολύμπου. Τα βουνά ανακόπτουν την ταχύτητα του ανέμου και ευνοούν τις συνθήκες νηνεμίας στις περιοχές που βρίσκονται ανάμεσά τους. Όσον αφορά τους σταθμούς στη Νέα Αγχίαλο και τη Λαμία, ο πρώτος είναι παραθαλάσσιος και ο δεύτερος βρίσκεται επίσης κοντά στη θάλασσα. Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του παρόντος κεφαλαίου, στη θάλασσα δημιουργούνται η θαλάσσια και η απόγειος αύρα. Είναι λογικό λοιπόν στις περιοχές κοντά στη θάλασσα, ο άνεμος να πνέει περισσότερες ώρες το χρόνο, άρα το ποσοστό άπνοιας να είναι μικρότερο. Δηλαδή, στη Νέα Αγχίαλο, επικρατεί νηνεμία στο 22.4% των παρατηρήσεων, ενώ στη Λαμία στο 20.7%. Το Αγρίνιο βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της Ελλάδας. Δυτικά του Αγρινίου δε συναντάται κάποιος ορεινός όγκος, ενώ στα ανατολικά βρίσκεται η οροσειρά της Πίνδου. Αυτό βοηθάει τους κυρίαρχους βόρειους και βορειοδυτικούς ανέμους να πνέουν ανεμπόδιστοι κατά τη διάρκεια του έτους, με αποτέλεσμα το ποσοστό άπνοιας να ανέρχεται στο 27.5% των μετρήσεων. Το ποσοστό νηνεμίας που συναντάται στα Τρίκαλα, προκύπτει πολύ μικρό από τις διαθέσιμες ιστορικές μετρήσεις, μόνο 2.8%. Αν ληφθεί υπόψη το γεγονός πως και η πόλη των Τρικάλων περιβάλλεται από ορεινούς όγκους, εξάγεται το συμπέρασμα πως πρόκειται για σφάλμα στις ιστορικές μετρήσεις και αποφασίστηκε να εξαιρεθεί ο σταθμός αυτός από την ανάλυση. Επιπλέον, αποφασίστηκε και εξαίρεση του σταθμού στο Αγρίνιο από την περεταίρω επεξεργασία, καθώς περιέχει λίγα δεδομένα μετρήσεων, μόνο τρεις φορές την ημέρα, τα οποία δεν επαρκούν για την μετέπειτα ασφαλή εκτίμηση των στατιστικών χαρακτηριστικών της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή.

Συμπερασματικά, προς περαιτέρω επεξεργασία θα συνεχίσουν οι παρακάτω τέσσερις σταθμοί: Φίλιππος, Λαμία, Λάρισα και Νέα Αγχίαλος.

3.3.2 Επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων στο λογισμικό Υδρογνώμων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το χρονικό βήμα δεν είναι σταθερό στις χρονοσειρές των περισσότερων σταθμών μέτρησης. Στο σταθμό της Λαμίας υπάρχουν σταθερές καταγραφές οκτώ φορές την ημέρα. Επομένως σε αυτό το σταθμό, το χρονικό βήμα είναι σταθερό. Στους υπόλοιπους όμως (Λάρισα, Νέα Αγχίαλος, Φίλιππος), οι καταγραφές δε γίνονται πάντοτε τις ίδιες ώρες μέσα στο εικοσιτετράωρο, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεταβλητό χρονικό βήμα. Συναντώνται, για παράδειγμα, μετρήσεις στις 14:30, 14:50 και 15:00. Στόχος ήταν να κανονικοποιηθεί το χρονικό βήμα σε ωριαίο, δηλαδή όλες οι μετρήσεις να αναφέρονται στο πρώτο λεπτό της ώρας.

Για την επεξεργασία και την κανονικοποίηση του χρονικού βήματος στα ανεμολογικά δεδομένα των διάφορων σταθμών της EMY, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Υδρογνώμων (www.itia.ntua.gr/help/misc/hydrognomon-el/). Αρχικά διαγράφηκαν οι τιμές 999.9 που υπήρχαν στα δεδομένα καθώς αφορούν σε σφάλματα μέτρησης. Έπειτα με τη βοήθεια του Υδρογνώμονα, έγινε κανονικοποίηση του χρονικού βήματος για τις χρονοσειρές μετρήσεων κάθε σταθμού. Αυτό έγινε με χρήση της εντολής `regularize step`, απ' όπου εξήχθησαν χρονοσειρές με ωριαίο χρονικό βήμα για κάθε σταθμό.

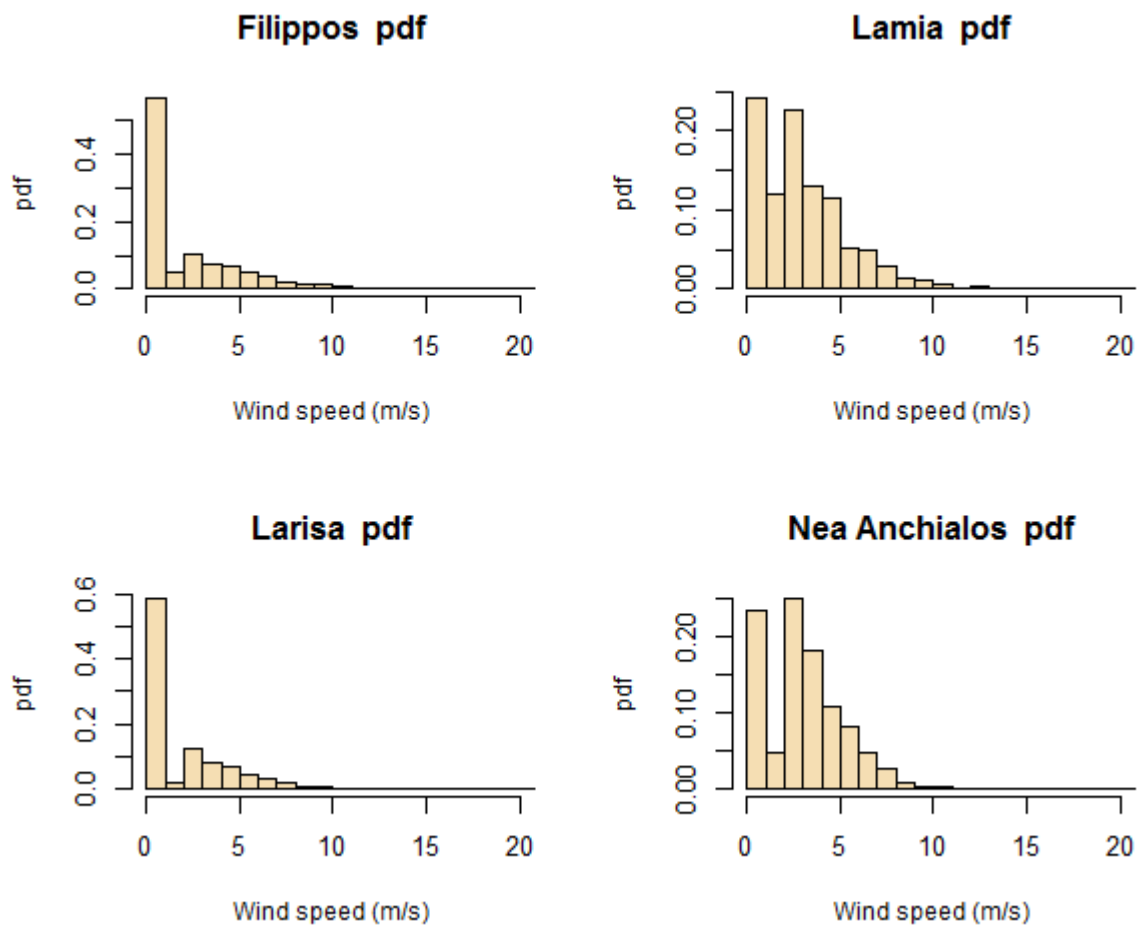
4 Στατιστική ανάλυση της ταχύτητας του ανέμου στην ωριαία κλίμακα

Η μεθοδολογία που υιοθετήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων της ταχύτητας του ανέμου, με σκοπό την εύρεση κατάλληλης θεωρητικής κατανομής, και την εξαγωγή γενικότερων συμπερασμάτων, περιγράφεται στο παρόν κεφάλαιο. Έγινε επεξεργασία των δεδομένων και εξαγωγή διαγραμμάτων πυκνότητας πιθανότητας και θηκογραμμάτων. Επιπλέον, έγινε υπολογισμός των στατιστικών χαρακτηριστικών του δείγματος ακολουθώντας τη μέθοδο των ροπών κι έπειτα τη μέθοδο των L-ροπών και αναζητήθηκε η προσαρμογή κατάλληλης θεωρητικής κατανομής. Οι υπολογισμοί έγιναν τόσο στο excel, όσο και στο Rstudio.

4.1 Εμπειρική πυκνότητα πιθανότητας δεδομένων και θηκογράμματα (boxplots)

4.1.1 Διαγράμματα εμπειρικής πυκνότητας πιθανότητας

Παρακάτω απεικονίζεται η εμπειρική κατανομή πυκνότητας πιθανότητας (probability density function) της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου για κάθε σταθμό επεξεργασίας (Εικόνα 4.1). Παρατηρείται ότι η πιθανότητα εμφάνισης μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου στο εύρος 0 - 1 m/s, είναι αρκετά μεγάλη. Στο Φίλιππο και τη Λάρισα η πιθανότητα υπερβαίνει το 50%, ενώ στη Λαμία και τη Νέα Αγχίαλο πλησιάζει το 25%. Το ποσοστό εμφάνισης ταχυτήτων στο εύρος 0 - 1 m/s σε αυτές τις περιοχές είναι μικρότερο, καθώς όπως έχει προαναφερθεί, πρόκειται για περιοχές κοντά στη θάλασσα. Το ποσοστό εμφάνισης μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου στο εύρος 1 - 2 m/s, είναι αισθητά μικρότερο σε όλους τους σταθμούς. Στο επόμενο εύρος τιμών, 2 - 3 m/s, η πιθανότητα αυξάνεται σε όλους τους σταθμούς, με το ποσοστό στο Φίλιππο και τη Λάρισα να φτάνει το 10%, ενώ στη Λαμία και τη Νέα Αγχίαλο το 25% περίπου. Έπειτα, η πιθανότητα εμφάνισης μεγαλύτερων τιμών ταχύτητας μειώνεται σταδιακά στους σταθμούς, ώσπου πρακτικά να τείνει στο μηδέν μετά τα 15 - 20 m/s. Ακολουθούν τα διαγράμματα εμπειρικής πυκνότητας πιθανότητας για τον ωριαίο άνεμο, σε όλους τους υπό επεξεργασία σταθμούς (Εικόνα 4.1).

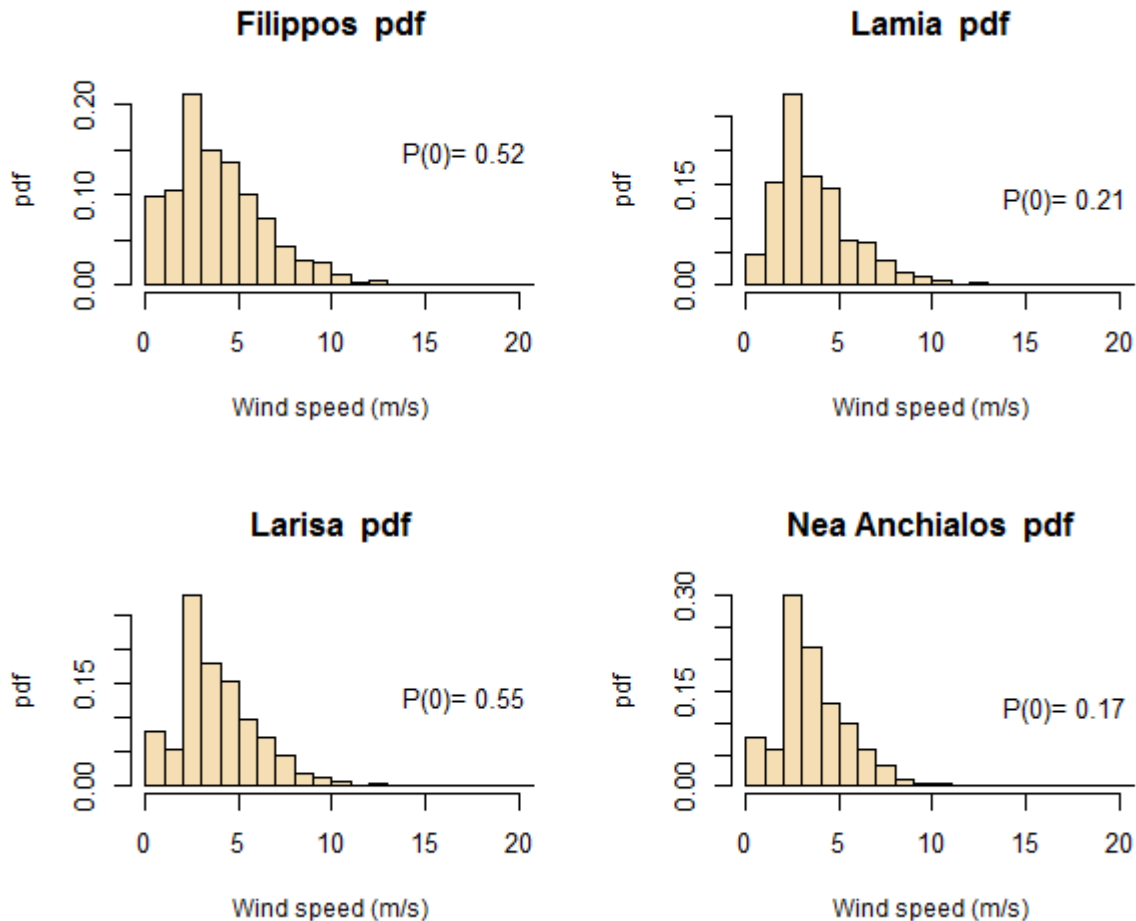


Εικόνα 4.1: Εμπειρική πυκνότητα πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου στους σταθμούς Φίλιππος, Λαμία, Λάρισα και Νέα Αγχίαλος

Κρίνοντας από τη φύση των δεδομένων, συμπεραίνεται πως δε μπορεί να προσαρμοστεί μία κατανομή συνολικά σε όλες τις τιμές της ωριαίας ταχύτητας. Επειδή το ποσοστό νηνεμίας είναι μεγάλο, η ανάλυση θα πρέπει να γίνει χωριστά για τις μηδενικές και τις θετικές τιμές της ταχύτητας, δηλαδή σε δύο φάσεις Συνεπώς, η μεταβλητή που εξετάζεται, δηλαδή η ωριαία ταχύτητα του ανέμου, θα πρέπει να αντιμετωπιστεί ως μεταβλητή μικτού τύπου.

Η μεταβλητή της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου θα διαχωριστεί σε δύο μέρη ως εξής: το πρώτο είναι το διακριτό μέρος που περιλαμβάνει όλες τις μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου που έχουν τιμή μηδέν και το δεύτερο είναι το συνεχές μέρος και περιλαμβάνει τις τιμές της ταχύτητας του ανέμου που ανήκουν στο διάστημα $(0, +\infty)$, είναι δηλαδή θετικές. Στο συνεχές μέρος θα εξεταστεί η προσαρμογή κατάλληλης θεωρητικής κατανομής σε επόμενη υποενότητα. Ακολουθούν τα διαγράμματα εμπειρικής πυκνότητας πιθανότητας μόνο για τις θετικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου (Εικόνα 4.2). Δηλαδή, απεικονίζεται η

πυκνότητα πιθανότητας του συνεχούς μέρους της μεταβλητής του ανέμου. Όσον αφορά το διακριτό μέρος, αναγράφεται η πιθανότητα μέτρησης μηδενικής ταχύτητας $P(0)$ για κάθε σταθμό.



Εικόνα 4.2: : Εμπειρική πυκνότητα πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου για τις θετικές τιμές της ταχύτητας στους σταθμούς Φίλιππος, Λαμία, Λάρισα και Νέα Αγχίαλος

Αρχικά, οι πιθανότητες εμφάνισης ταχυτήτων του ανέμου στα διαστήματα 0 - 1 m/s και 1 - 2 m/s είναι μικρές στους σταθμούς. Η πιθανότητα εμφάνισης ταχύτητας στο εύρος 2 - 3 m/s γίνεται μέγιστη σε όλους τους σταθμούς, με τιμή περίπου 20% στο Φίλιππο, 25% στη Λαμία και τη Λάρισα και 30% στην Νέα Αγχίαλο, επί των θετικών τιμών της ταχύτητας. Για τιμές μεγαλύτερες των 3 m/s, η πιθανότητα μειώνεται σταδιακά, έως ότου πρακτικά μηδενιστεί για τιμές μεγαλύτερες των 15 m/s. Όπως φαίνεται, η κατανομή σε όλους τους σταθμούς παρουσιάζει θετική ασυμμετρία και υποεκθετική ουρά, κάτι που αποτελεί τυπική ιδιότητα της μεταβλητής του ανέμου. Οι πιθανότητες καταγραφής μηδενικής ταχύτητας του ανέμου $P(0)$,

επί του συνόλου των καταγραφών, είναι 52% στο Φίλιππο, 21% στη Λαμία, 55% στη Λάρισα και 17% στη Νέα Αγχίαλο.

4.1.2 Θηκογράμματα

Ακολούθως, έγινε ανάλυση των δεδομένων των μετρήσεων με τη δημιουργία θηκογραμμάτων (boxplots) στο περιβάλλον του Rstudio. Πρόκειται για ένα τύπο γραφήματος που απεικονίζει τους δείκτες ενός δείγματος, όπως τη διάμεσο, το πρώτο και το τρίτο τεταρτημόριο και τις ακραίες τιμές.

Η διάμεσος ενός δείγματος υπολογίζεται, έχοντας τοποθετήσει τις παρατηρήσεις σε αύξουσα σειρά, ως η μεσαία παρατήρηση, εάν το πλήθος τους είναι άρτιο ή ο μέσος όρος των δύο μεσαίων παρατηρήσεων, εάν το πλήθος τους είναι περιττό. Δηλαδή, η διάμεσος βρίσκεται στο 50% των παρατηρήσεων, αν αυτές έχουν τοποθετηθεί σε αύξουσα σειρά. Διαφορετικά, η διάμεσος ονομάζεται και δεύτερο τεταρτημόριο ($Q_{50\%}$). Το πρώτο ($Q_{25\%}$) και το τρίτο ($Q_{75\%}$) τεταρτημόριο, είναι οι τιμές οι οποίες έχουν από αριστερά το 25% και το 75% των δεδομένων και από δεξιά το $(100 - 25)\%$ και το $(100 - 75)\%$ αντίστοιχα, εφόσον οι παρατηρήσεις έχουν διαταχθεί σε αύξουσα σειρά. Έχοντας ορίσει το πρώτο και το τρίτο τεταρτημόριο, μπορεί να υπολογιστεί κι ένας άλλος δείκτης, το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος, το οποίο ισούται με (σχέση (4.1)):

$$IQR = Q_{75\%} - Q_{25\%} \quad (4.1)$$

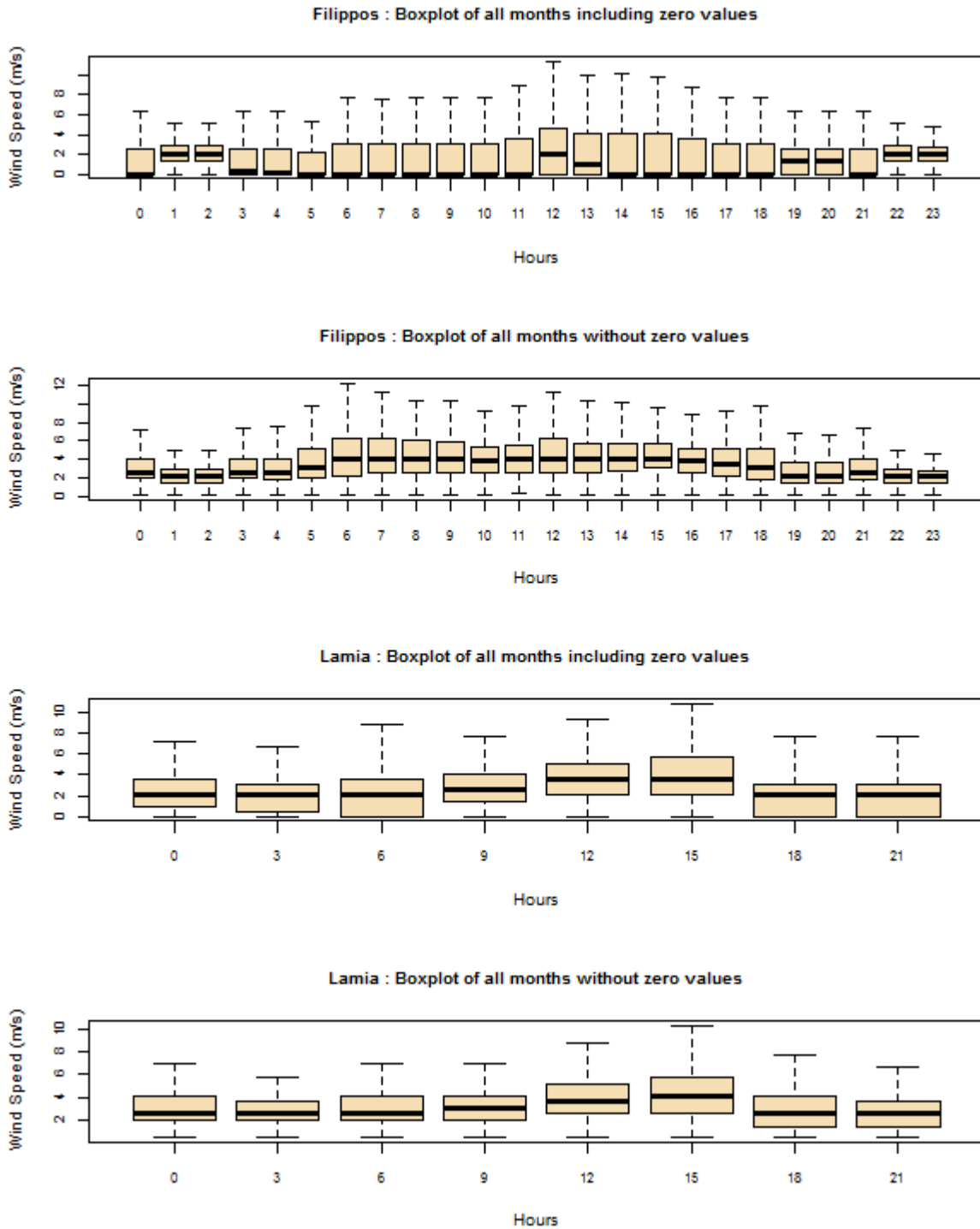
Η τιμή του ενδοτεταρτημοριακού πλάτους (IQR) δείχνει το διάστημα όπου συγκεντρώνεται το 50% των μεσαίων τιμών του δείγματος. Εάν το διάστημα είναι μικρό, τότε οι παρατηρήσεις έχουν μεγάλη συγκέντρωση και μικρή διασπορά. Αντίθετα, μεγάλη τιμή του IQR σημαίνει μεγάλη διασπορά των τιμών των παρατηρήσεων. Είναι προφανές πως το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος δεν επηρεάζεται από πιθανές ακραίες τιμές που συναντώνται στα δεδομένα.

Επιστρέφοντας στα θηκογράμματα, πρόκειται για γραφήματα τα οποία συνοψίζουν βασικά περιγραφικά μέτρα, όπως η διάμεσος, το πρώτο και το τρίτο τεταρτημόριο, το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος, καθώς επίσης και τις ακραίες τιμές. Επίσης, μπορούν να προϋδεάσουν για τη σχηματική μορφή της κατανομής ως προς την ασυμμετρία που πιθανώς αυτή εμφανίζει. Το θηκόγραμμα αποτελείται από ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο με ύψος

ίσο με IQR. Η κάτω οριζόντια πλευρά του ορθογωνίου αποτελεί το πρώτο τεταρτημόριο ($Q_{25\%}$), ενώ η πάνω οριζόντια πλευρά το τρίτο τεταρτημόριο ($Q_{75\%}$). Η οριζόντια μαύρη γραμμή στο εσωτερικό του ορθογωνίου απεικονίζει τη διάμεσο. Επιπλέον υπάρχουν οριζόντιες γραμμές (φράκτες) σε αποστάσεις ίσες το πολύ με $1.5 \times \text{IQR}$ από τη γραμμή του κάθε τεταρτημορίου. Εάν η μικρότερη ή η μεγαλύτερη παρατήρηση βρίσκεται εντός των περιοχών αυτών, τότε οι φράκτες τοποθετούνται ακριβώς στο ύψος των παρατηρήσεων αυτών. Οι κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές, που ενώνουν τις οριζόντιες γραμμές των τεταρτημορίων με τους φράκτες, ονομάζονται μύστακες. Οι παρατηρήσεις που βρίσκονται εκτός των φρακτών ονομάζονται ακραία σημεία. Εσωτερικός φράκτης λέγεται το διάστημα $\pm 1.5 \times \text{IRQ}$ από τις οριζόντιες γραμμές των τεταρτημορίων, ενώ εξωτερικός φράκτης το διάστημα $\pm 3 \times \text{IRQ}$. Οι τιμές που βρίσκονται έξω από τον εσωτερικό φράκτη, θεωρούνται ύποπτες για ακρότητα και εξετάζονται με προσοχή. Οι τιμές που βρίσκονται έξω από τον εξωτερικό φράκτη κρίνονται ως ακραίες.

Ακολουθούν τα θηκογράμματα για κάθε σταθμό και κάθε ώρα της ημέρας, λαμβάνοντας υπόψη αρχικά όλες τις μετρήσεις ταχύτητας του ανέμου και έπειτα μόνο τις θετικές μετρήσεις (Εικόνα 4.3 και Εικόνα 4.4). Επιπλέον, στο παράρτημα Α1 παρατίθενται τα θηκογράμματα για κάθε μήνα και σταθμό χωριστά.

Στο σταθμό του Φιλίππου, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις μετρήσεις παρατηρείται πως η διάμεσος σχεδόν όλες τις ώρες της ημέρας παίρνει τιμή 0 m/s. Δηλαδή, τουλάχιστον το 50% των παρατηρήσεων τις ώρες αυτές, στον εν λόγω σταθμό είναι μηδενικές. Αυτό γίνεται φανερό και από την εμπειρική πυκνότητα πιθανότητας όπου το ποσοστό μετρήσεων μηδενικής ταχύτητας του ανέμου είναι $P(0) = 52\%$ (Εικόνα 4.2). Παρατηρώντας το γράφημα με τις θετικές ταχύτητες, η διάμεσος πλέον παίρνει θετική τιμή όλες τις ώρες και είναι αυξημένη τις ώρες της ημέρας σε σχέση με τη νύκτα. Η απόσταση διαμέσου και τρίτου τεταρτημορίου ($Q_{75\%}$) είναι για τις περισσότερες ώρες μεγαλύτερη από την απόσταση διαμέσου και πρώτου τεταρτημορίου ($Q_{25\%}$). Αυτό δείχνει πως οι τιμές είναι περισσότερο συγκεντρωμένες μεταξύ $Q_{25\%}$ και $Q_{50\%}$, από ό,τι μεταξύ $Q_{50\%}$ και $Q_{75\%}$. Επιπλέον, η απόσταση μεταξύ των 0 m/s (κάτω φράκτης) και του $Q_{25\%}$ είναι όλες τις ώρες μικρότερη από την απόσταση μεταξύ της τιμής $Q_{75\%}$ και του άνω φράκτη. Οι δύο παραπάνω παρατηρήσεις καταδεικνύουν πως η ασυμμετρία όλων σχεδόν των ωρών είναι θετική.



Εικόνα 4.3: Θηκογράμματα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου για τους σταθμούς Φίλιππος και Λαμία

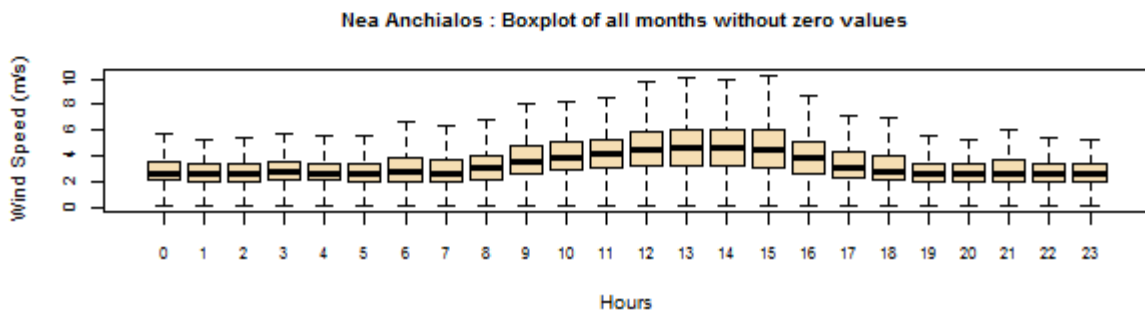
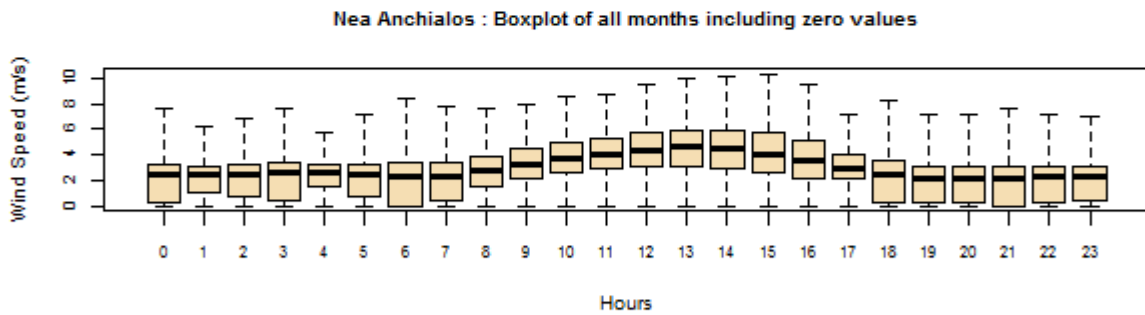
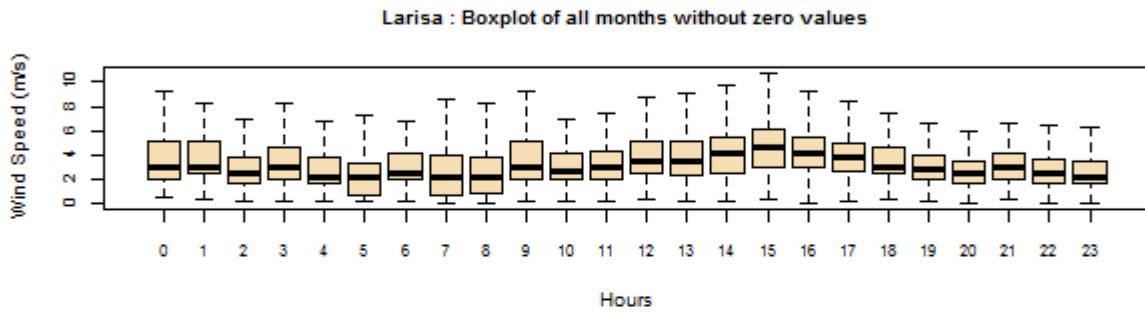
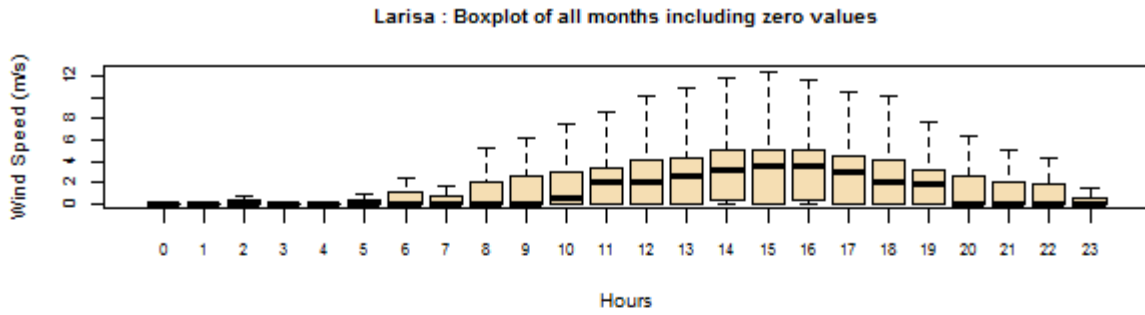
Προχωρώντας στο σταθμό της Λαμίας, εμφανίζονται τα θηκογράμματα ανά τρεις ώρες, καθώς αυτές είναι οι διαθέσιμες μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου. Το γράφημα που περιλαμβάνει τις μηδενικές τιμές ταχύτητας και αυτό που δεν τις περιλαμβάνει, παρατηρείται

πως δε διαφέρουν πολύ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο σταθμό της Λαμίας το ποσοστό νηνεμίας (καταγραφές μηδενικής ταχύτητας του ανέμου) είναι μικρότερο, της τάξης του 21% του συνόλου των μετρήσεων. Η διάμεσος είναι μικρότερη τις νυκτερινές ώρες, ενώ αυξάνεται σταδιακά τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες, για να φτάσει στη μέγιστη τιμή της στις 3 το απόγευμα. Το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος διατηρείται περίπου σταθερό μεταξύ των ωρών του εικοσιτετραώρου.

Στο σταθμό της Λάρισας, τα δύο γραφήματα παρουσιάζουν σημαντική διαφορά. Στο πρώτο, όπου περιλαμβάνονται οι τιμές όλων των μετρήσεων, η διάμεσος για τις ώρες της νύκτας είναι μηδενική, ενώ παίρνει θετικές τιμές μόνο τις ώρες μεταξύ 10:00 και 19:00. Άλλωστε, το ποσοστό νηνεμίας, όπως φάνηκε στην εμπειρική πυκνότητα πιθανότητα, είναι 55%. Εντύπωση κάνει το γεγονός ότι τα ενδοτεταρτημοριακά πλάτη των νυκτερινών ωρών είναι πολύ μικρά και συγκεντρωμένα κοντά στα 0 m/s. Αυτό σημαίνει πως τις βραδινές ώρες συχνά δε φυσάει, ενώ όταν φυσάει, η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ μικρή. Τις ώρες της ημέρας, οι διάμεσοι και τα ενδοτεταρτημοριακά πλάτη αυξάνονται σταδιακά, μέχρι να γίνουν μέγιστα στις 3 το απόγευμα κι έπειτα μειώνονται.

Στο δεύτερο γράφημα της Λάρισας, το οποίο περιέχει τα δεδομένα χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας, όλες οι διάμεσοι των θηκογραμμάτων είναι προφανώς θετικές. Παρατηρείται μία αύξηση των τιμών τους κατά τις μεσημεριανές ώρες, με μέγιστη τιμή διαμέσου, αυτή στις 15:00. Το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος (IQR) προκύπτει μεγαλύτερο τις βραδινές ώρες και μικρότερο τις μεσημεριανές, συγκριτικά με το γράφημα που περιλαμβάνει και τις μηδενικές τιμές.

Στη Νέα Αγχίαλο, η εικόνα των δύο γραφημάτων δε διαφέρει πολύ, λόγω του ποσοστού νηνεμίας της περιοχής του σταθμού, που είναι χαμηλότερο των άλλων σταθμών, της τάξης του 17%. Σε αυτό το σταθμό, είναι περισσότερο εμφανής η διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου στο εικοσιτετράωρο. Το βράδυ οι τιμές της ταχύτητας είναι συνήθως χαμηλές και σταδιακά αυξάνονται την ημέρα, μέχρι το μεσημέρι, που λαμβάνουν τις μεγαλύτερες τιμές, συνήθως γύρω στις 14:00. Τις επόμενες ώρες η ταχύτητα μειώνεται σταδιακά, έως ότου σταθεροποιηθεί ξανά σε χαμηλά επίπεδα τις βραδινές ώρες. Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στη θαλάσσια αύρα που πνέει τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες στις παραθαλάσσιες περιοχές.



Εικόνα 4.4:Θηκογράμματα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου για τους σταθμούς Λαμία και Νέα Αγχιάλος

4.2 Η μέθοδος των ροπών

Η βασική ιδέα της μεθόδου των ροπών είναι η εξίσωση των θεωρητικών ροπών της κατανομής, οι οποίες εξαρτώνται από τις άγνωστες παραμέτρους της, με τις δειγματικές ροπές που εξαρτώνται από το δείγμα. Έτσι αν X_1, \dots, X_n είναι ένα τυχαίο δείγμα μιας κατανομής με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f_X(x)$, m αγνώστων παραμέτρων $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$, τότε οι εκτιμήσεις των παραμέτρων $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_m$, υπολογίζονται εξισώνοντας τις m πρώτες θεωρητικές ροπές με τις m πρώτες δειγματικές ροπές και επιλύοντας τις εξισώσεις που προκύπτουν ως προς τις άγνωστες παραμέτρους.

Οι θεωρητικές ροπές ως προς την αρχή δίνονται από τη σχέση (4.2) ενώ οι δειγματικές από τη σχέση (4.3).

$$m_r = E(X^r) = \int_{-\infty}^{\infty} x^r f_X(x) dx \quad (4.2)$$

$$\hat{m}_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^r \quad (4.3)$$

Στην ενότητα αυτή υπολογίζονται οι πιο τυπικές εκτιμήτριες που αναφέρονται σε στατιστικές ροπές του πληθυσμού. Συγκεκριμένα, δίνονται εκτιμήτριες για τη μέση τιμή, τη διασπορά και την τρίτη κεντρική ροπή μίας μεταβλητής. Δε γίνεται υπολογισμός ροπών μεγαλύτερης τάξης, γιατί η εξαγωγή αμερόληπτων εκτιμητριών είναι αρκετά πολύπλοκη και η αποτελεσματικότητά τους είναι περιορισμένη για μικρά δείγματα, με αποτέλεσμα οι αντίστοιχες εκτιμήσεις να είναι ασαφείς. Ακόμη και η εκτίμηση της τρίτης ροπής είναι αρκετά ασαφής για μικρά δείγματα, όμως αυτή χρησιμοποιείται συχνά για το λόγο ότι περιγράφει την ασυμμετρία της κατανομής (Κουτσογιάννης, 1997).

4.2.1 Υπολογισμός της δειγματικής μέσης τιμής

Η πιο κοινή στατιστική συνάρτηση είναι η δειγματική μέση τιμή, η οποία υπολογίζεται από τη σχέση (4.4).

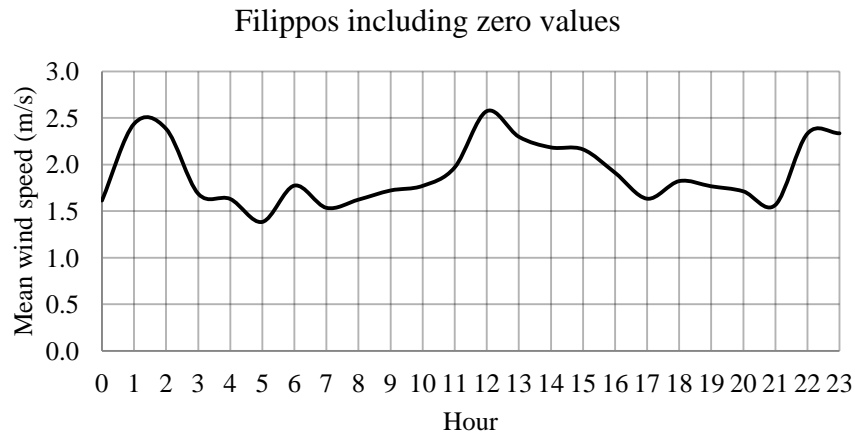
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.4)$$

όπου x_i είναι οι τιμές των μετρήσεων και n ο αριθμός του δείγματος.

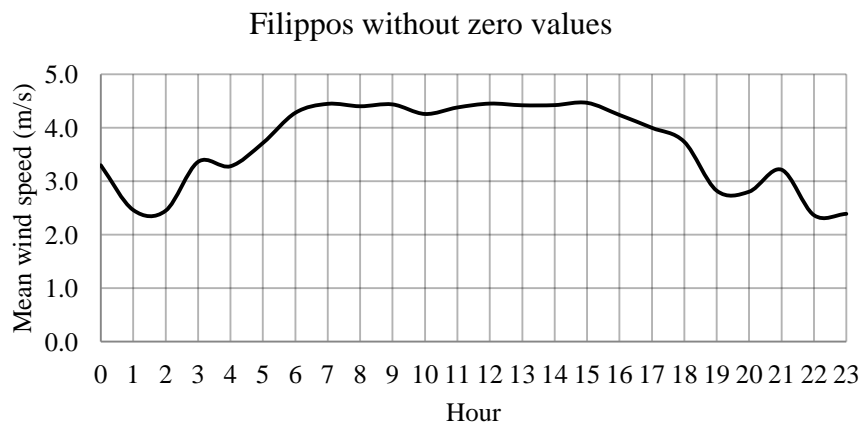
Συγκεκριμένα για κάθε σταθμό μετρήσεων έγινε υπολογισμός των μέσων ωριαίων τιμών για κάθε μήνα και όλα τα έτη μέτρησης. Οι πίνακες και τα διαγράμματα που προέκυψαν για κάθε μήνα, ώρα και κάθε σταθμό έχουν συγκεντρωθεί στα παραρτήματα Α1 και Α2. Τα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζουν τις μέσες ωριαίες ταχύτητες του ανέμου μέσα στο εικοσιτετράωρο, όπως υπολογίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη όλους τους μήνες και τα έτη μετρήσεων για κάθε σταθμό (Εικόνα 4.5 - Εικόνα 4.12). Απεικονίζονται χωριστά τα διαγράμματα με τις μέσες ωριαίες τιμές, όπως προέκυψαν από το σύνολο των δεδομένων και από τα δεδομένα με τις μη μηδενικές τιμές της ταχύτητας. Αυτός ο διαχωρισμός γίνεται για να αναδειχθούν οι διαφορές των στατιστικών χαρακτηριστικών των συνολικών δεδομένων και των δεδομένων με τις μη μηδενικές ταχύτητες ανέμου. Επιπλέον, τα στατιστικά χαρακτηριστικά του συνεχούς μέρους της εξεταζόμενης μεταβλητής (μη μηδενικές ταχύτητες) θα χρειαστούν στη στοχαστική ανάλυση, η οποία έπεται.

Συνολικά, παρατηρείται πως ο άνεμος δεν παραμένει σταθερός μέσα στην ημέρα. Αντιθέτως, παρουσιάζει διακύμανση και έχει περιοδικότητα στο εικοσιτετράωρο. Στα διαγράμματα που περιλαμβάνουν όλες τις τιμές της ταχύτητας, η μέγιστη μέση ταχύτητα του ανέμου συναντάται τις μεσημεριανές ώρες, κυρίως τις ώρες μεταξύ 13:00 και 15:00, ενώ οι μικρότερες ταχύτητες ανέμου σημειώνονται τις βραδινές ώρες. Αυτή η διακύμανση μπορεί να εξηγηθεί με δύο λόγους. Πρώτον, όπως αναφέρθηκε στο τρίτο κεφάλαιο, η μέγιστη τιμή της ταχύτητας σημειώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, λόγω της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο προφίλ της ημερήσιας ταχύτητας του ανέμου. Σημειώνεται ότι η αιολική ενέργεια είναι έμμεση μορφή της ηλιακής ενέργειας και περίπου 1 - 2% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης μετατρέπεται σε άνεμο. Δεύτερον, υπάρχει ένα άλλο φαινόμενο κατά τη διάρκεια της ημέρας, κυρίως στις παραθαλάσσιες περιοχές, η θαλάσσια αύρα. Αρχίζει δύο με τρεις ώρες μετά την ανατολή του ηλίου και το μέγιστο της έντασής της σημειώνεται την ώρα της μέγιστης θερμοκρασιακής διαφοράς γης - θάλασσας.

Τα διαγράμματα των μέσων ωριαίων θετικών ταχυτήτων του ανέμου επίσης παρουσιάζουν μεταβολή μεταξύ των ωρών της ημέρας στους περισσότερους σταθμούς και αφορούν στο σύνολο των μηνών του έτους.

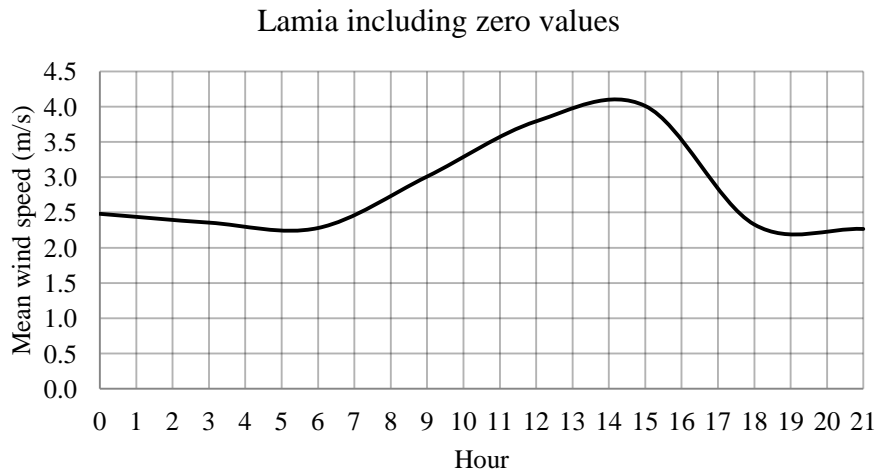


Εικόνα 4.5: Μέση ωριαία ταχύτητα του ανέμου (m/s) στο εικοσιτετράωρο στο σταθμό Φίλιππος (Κοζάνη) για το σύνολο των μηνών

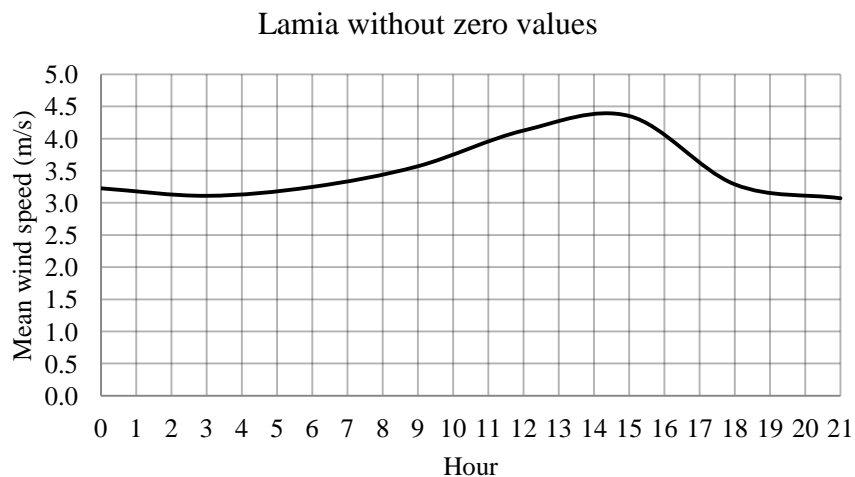


Εικόνα 4.6: Μέση ωριαία ταχύτητα του ανέμου (m/s) στο εικοσιτετράωρο χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας στο σταθμό Φίλιππος (Κοζάνη)

Αναλυτικότερα, στο σταθμό Φίλιππος, όσον αφορά τα συνολικά δεδομένα (Εικόνα 4.5), η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι 1.9 m/s, η μέγιστη μέση τιμή είναι 2.6 m/s και παρατηρείται στις 12:00 ενώ η ελάχιστη μέση ένταση ανέμου έχει τιμή 1.4 m/s και σημειώνεται στις 05:00. Όσον αφορά τα θετικά δεδομένα, η μέση ταχύτητα ανεβαίνει στα 3.7 m/s. Στο σταθμό αυτό, δεν παρουσιάζεται έντονη μεταβολή της μέσης ωριαίας ταχύτητας όπως περιγράφηκε παραπάνω.



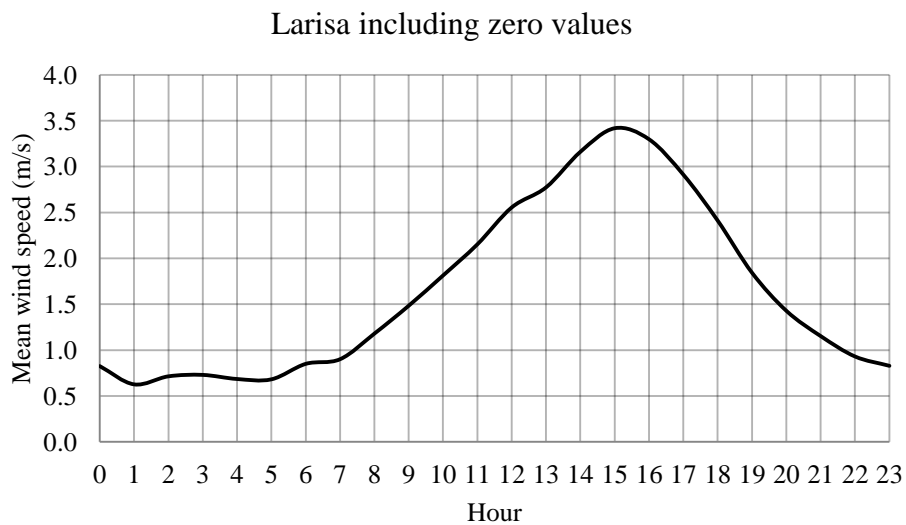
Εικόνα 4.7: Μέση ωριαία ταχύτητα του ανέμου (m/s) στο εικοσιτετράωρο στο σταθμό Λαμία για το σύνολο των μηνών



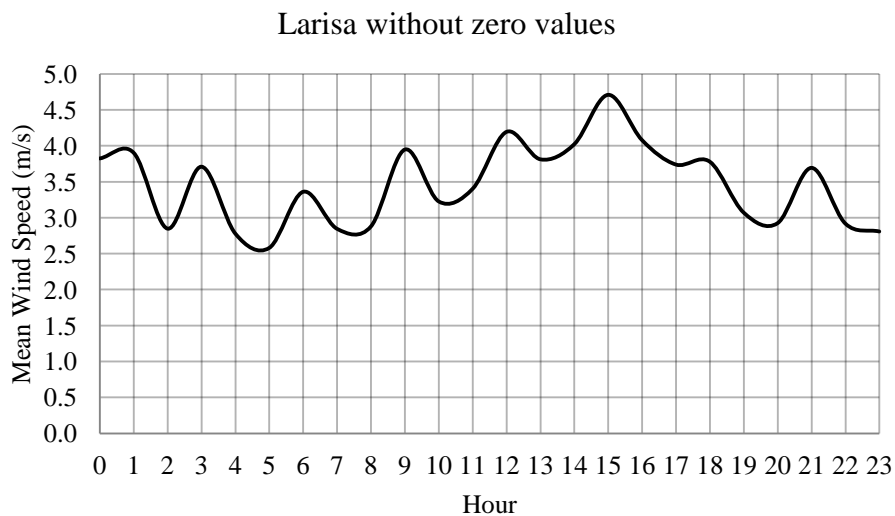
Εικόνα 4.8 Μέση ωριαία ταχύτητα του ανέμου (m/s) στο εικοσιτετράωρο χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας στο σταθμό Λαμία

Στο σταθμό της Λαμίας, στην Εικόνα 4.7, η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι 2.9 m/s, η μέγιστη τιμή είναι 4.0 m/s και παρατηρείται στις 15:00 ενώ η ελάχιστη ένταση ανέμου έχει τιμή 2.3 m/s και συμβαίνει στις 21:00. Από τα θετικά δεδομένα, η μέση ωριαία ταχύτητα προκύπτει 3.5 m/s. Παρατηρείται πως και στα δύο διαγράμματα η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται τις πρωινές ώρες μέχρι το μεσημέρι που φτάνει τη μέγιστη τιμή της. Τις βραδινές ώρες διατηρείται περίπου σταθερή σε χαμηλότερα επίπεδα. Η μορφή του διαγράμματος μέσω ωριαίων ταχυτήτων δε μεταβάλλεται όταν αφαιρούνται οι μηδενικές τιμές της

ταχύτητας, καθώς το ποσοστό τους είναι περιορισμένο στο σταθμό της Λαμίας. Τα ποσοστά νηνεμίας θα παρουσιαστούν παρακάτω.



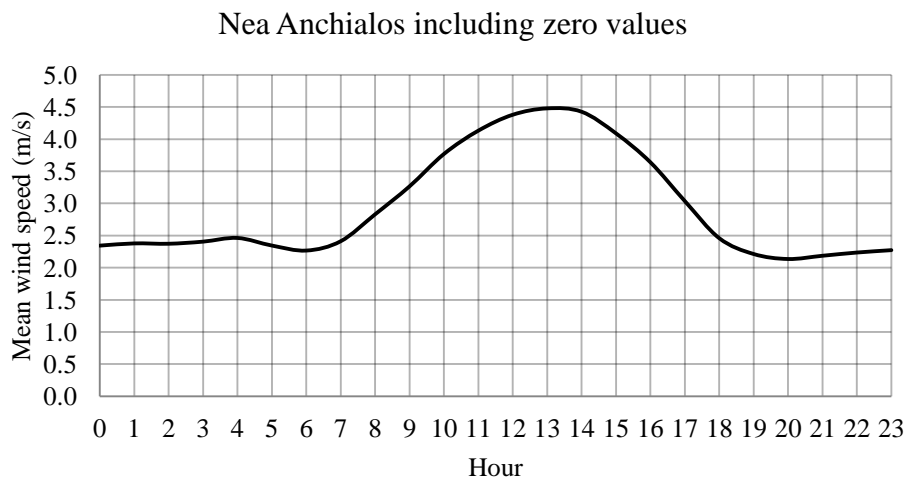
Εικόνα 4.9: Μέση ωριαία ταχύτητα του ανέμου (m/s) στο εικοσιτετράωρο στο σταθμό Λάρισα για το σύνολο των μηνών



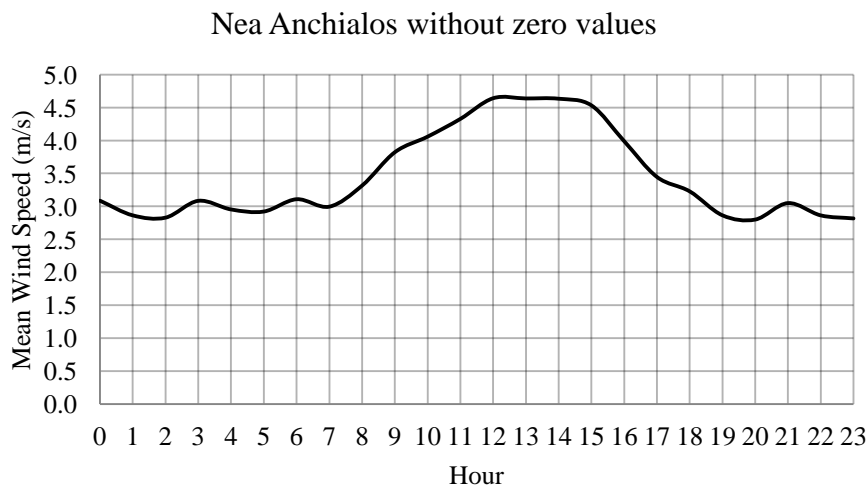
Εικόνα 4.10: Μέση ωριαία ταχύτητα του ανέμου (m/s) στο εικοσιτετράωρο χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας στο σταθμό Λάρισα

Στο σταθμό της Λάρισας η μέση ένταση είναι 1.7 m/s και παρατηρείται έντονη περιοδικότητα στην Εικόνα 4.9. Η μέγιστη μέση ένταση εντοπίζεται στις 15:00, με τιμή 3.4 m/s, ενώ η ελάχιστη ένταση στη 01:00, με τιμή 0.6 m/s. Στην Εικόνα 4.10 η μορφή του διαγράμματος αλλάζει σημαντικά, πράγμα που υποδηλώνει πως το ποσοστό των μηδενικών τιμών της ταχύτητας είναι υψηλό στο συγκεκριμένο σταθμό. Η διακύμανση αυτή οφείλεται στο μικρό

δείγμα, που προκύπτει αφαιρώντας τις μηδενικές τιμές. Η μέση ταχύτητα του ανέμου προκύπτει από τα θετικά δεδομένα ίση με 3.5 m/s.



Εικόνα 4.11: Μέση ωριαία ταχύτητα του ανέμου (m/s) στο εικοσιτετράωρο στο σταθμό Νέα Αγχίαλος για το σύνολο των μηνών



Εικόνα 4.12 Μέση ωριαία ταχύτητα του ανέμου (m/s) στο εικοσιτετράωρο χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας στο σταθμό Νέα Αγχίαλος

Στη Νέα Αγχίαλο η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι 3.0 m/s, η μέγιστη μέση τιμή είναι 4.5 m/s και παρατηρείται στις 13:00 ενώ η ελάχιστη ένταση ανέμου έχει τιμή 2.1 m/s και συμβαίνει στις 23:00. Όσον αφορά τα θετικά δεδομένα, η μέση ωριαία ταχύτητα είναι 3.5 m/s. Η μορφή του διαγράμματος της μέσης τιμής της ταχύτητας διατηρείται στις δύο εικόνες, πράγμα που υποδηλώνει πως το ποσοστό νηνεμίας είναι χαμηλό σε αυτό το σταθμό.

Τα παραπάνω στοιχεία συγκεντρώθηκαν στους πίνακες που ακολουθούν.

Πίνακας 4.1: Μέση, μέγιστη μέση, ελάχιστη μέση ταχύτητα ανέμου και μέγιστη και ελάχιστη τιμή ταχύτητας για το σύνολο των δεδομένων σε κάθε εξεταζόμενο σταθμό (m/s)

Σταθμός	Μέση ταχύτητα	Μέγιστη μέση ταχύτητα	Ελάχιστη μέση ταχύτητα	Μέγιστη ταχύτητα	Ελάχιστη ταχύτητα
Φίλιππος	1.9	2.6	1.4	30.9	0.0
Λαμία	2.9	4.0	2.3	41.1	0.0
Λάρισα	1.7	3.4	0.6	30.9	0.0
Νέα Αγχίαλος	3.0	4.5	2.1	51.0	0.0

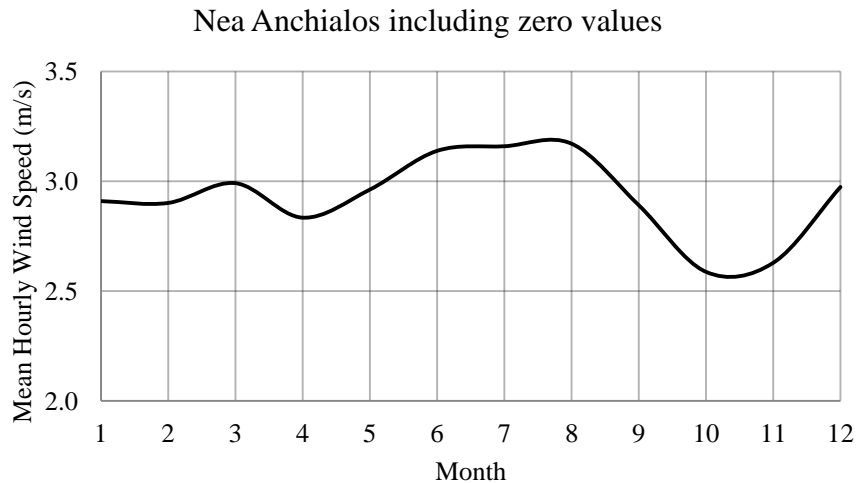
Πίνακας 4.2: Μέση ταχύτητα ανέμου για το σύνολο και για τα θετικά δεδομένα σε κάθε εξεταζόμενο σταθμό (m/s)

Σταθμός	Μέση ταχύτητα (σύνολο δεδομένων)	Μέση ταχύτητα (θετικά δεδομένα)
Φίλιππος	1.9	3.7
Λαμία	2.9	3.5
Λάρισα	1.7	3.5
Νέα Αγχίαλος	3.0	3.5

Παρατηρείται μεγαλύτερη ταχύτητα του ανέμου στις περιοχές Νέα Αγχίαλος και Λαμία. Αυτό εξηγείται διότι η Νέα Αγχίαλος είναι παραλιακό μέρος, ενώ η Λαμία βρίσκεται αρκετά κοντά στη θάλασσα (φαινόμενο της θαλάσσιας και της απόγειου αύρας). Μικρότερη ένταση ανέμου συναντάται στη Λάρισα και την Κοζάνη (Φίλιππος), καθώς είναι περιοχές που περιβάλλονται από βουνά, τα οποία τις προστατεύουν έναντι ανέμου.

Η μέση ταχύτητα του ανέμου αυξάνει περισσότερο στο Φίλιππο και τη Λάρισα όταν υπολογίζεται από τα θετικά δεδομένα, καθώς οι σταθμοί αυτοί έχουν μεγάλο ποσοστό νηνεμίας. Αντιθέτως, στους σταθμούς Λαμία και Νέα Αγχίαλο, όπου τα ποσοστά νηνεμίας είναι σημαντικά μικρότερα, η μέση ταχύτητα εμφανίζει μικρότερη αύξηση στα θετικά δεδομένα.

Επιπλέον, υπολογίζεται η διακύμανση της μέσης ωριαίας ταχύτητας ανά μήνα. Η παρουσίαση γίνεται αναλυτικά με πίνακες και γραφήματα στο παράρτημα Α2. Παρακάτω παρουσιάζεται ενδεικτικά η μηνιαία μεταβολή της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου για το σταθμό Νέα Αγχίαλος, ξεκινώντας από τον Ιανουάριο (τιμή 1 του οριζόντιου άξονα) έως το Δεκέμβριο. Παρατηρείται μία διακύμανση μεταξύ των μηνών. Τους θερινούς μήνες εμφανίζεται η μεγαλύτερη ωριαία ταχύτητα και ακολουθούν οι χειμερινοί μήνες. Το φθινόπωρο και την άνοιξη παρατηρούνται οι μικρότερες ωριαίες ταχύτητες ανέμου.



Εικόνα 4.13 Μέση ωριαία ταχύτητα του ανέμου (m/s) ανά μήνα στο σταθμό Νέα Αγχίαλος

4.2.2 Υπολογισμός της τυπικής απόκλισης της έντασης του ανέμου

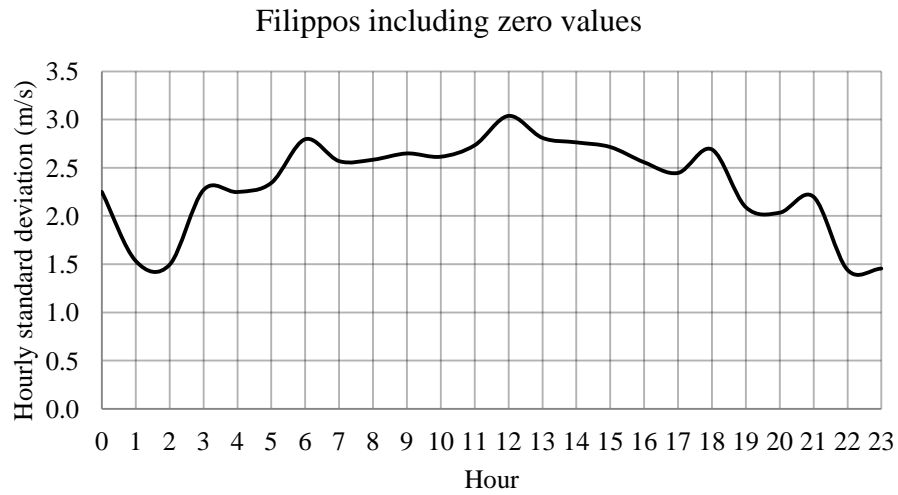
Η εκτίμηση της διασποράς s^2 δίνεται στη σχέση (4.5), ενώ η τυπική απόκλιση s (4.6) είναι απλά η τετραγωνική της ρίζα.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4.5)$$

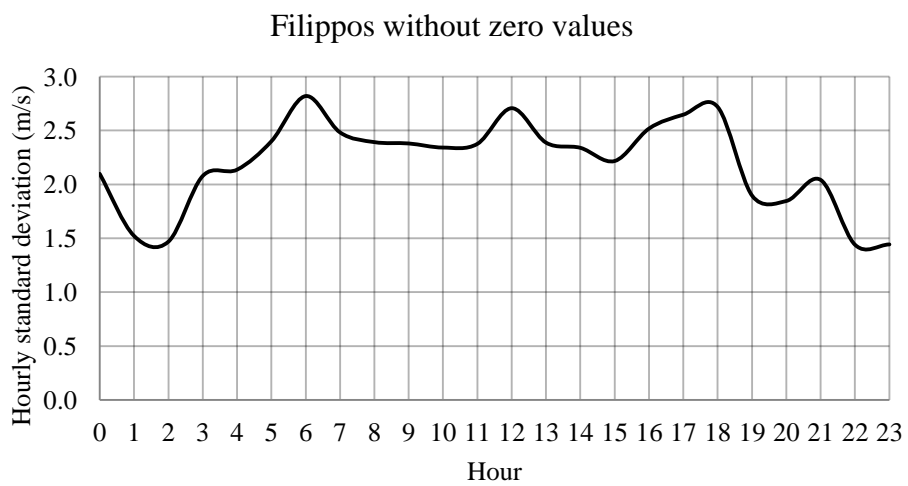
$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.6)$$

όπου x_i είναι οι τιμές των μετρήσεων, n ο αριθμός του δείγματος και \bar{x} ο μέσος όρος των μετρήσεων.

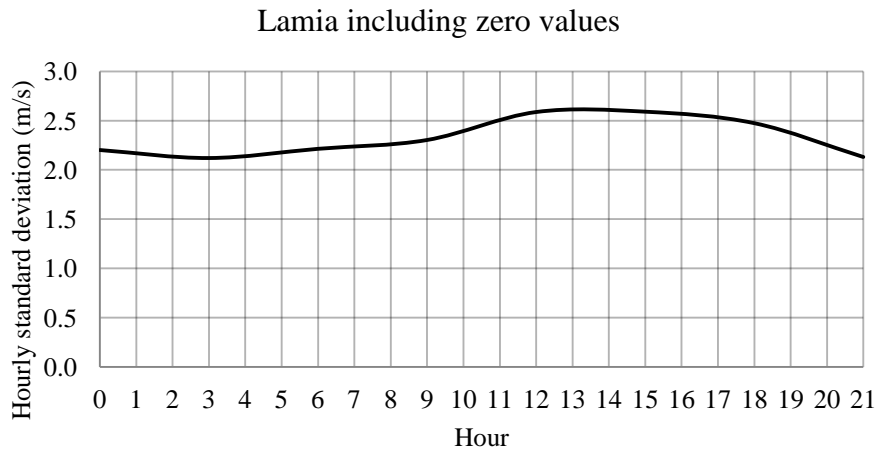
Ακολουθούν τα γραφήματα (Εικόνα 4.14 - Εικόνα 4.21) που απεικονίζουν τις τυπικές αποκλίσεις για κάθε σταθμό μέσα στο εικοσιτετράωρο για το σύνολο των δεδομένων, αλλά και για τα θετικά δεδομένα. Οι πίνακες και τα διαγράμματα αυτών των αποτελεσμάτων για κάθε μήνα, ώρα και σταθμό έχουν συγκεντρωθεί στα παραρτήματα Α1 και Α2.



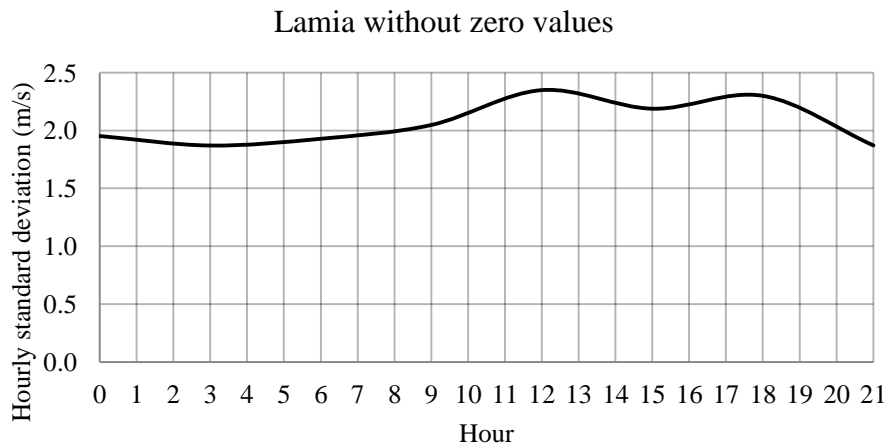
Εικόνα 4.14: Ωριαία τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου (m/s) στο σταθμό Φίλιππος



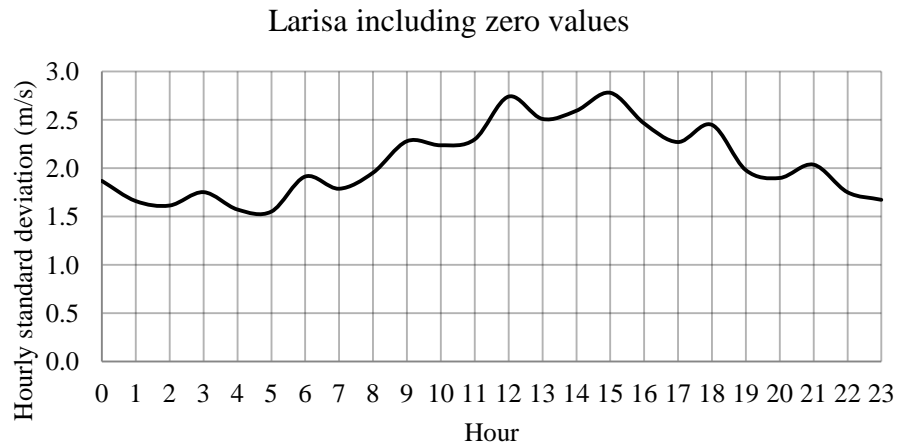
Εικόνα 4.15 Ωριαία τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου (m/s) χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας στο σταθμό Φίλιππος



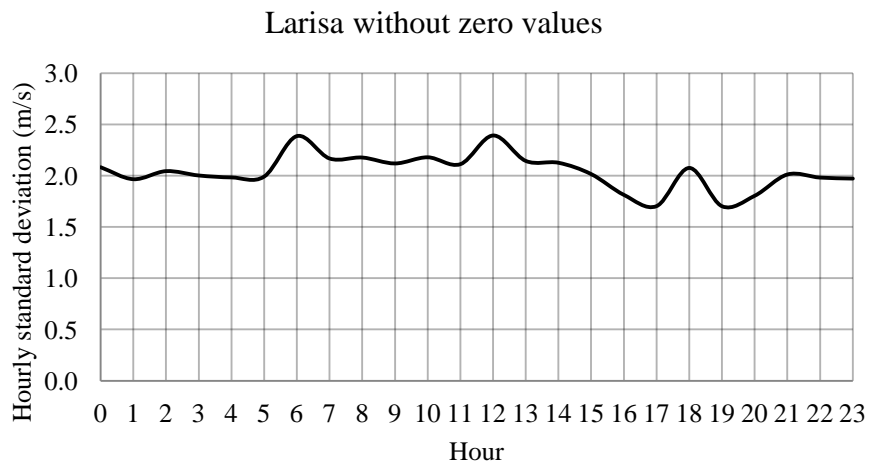
Εικόνα 4.16: Ωριαία τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου (m/s) στο σταθμό Λαμία



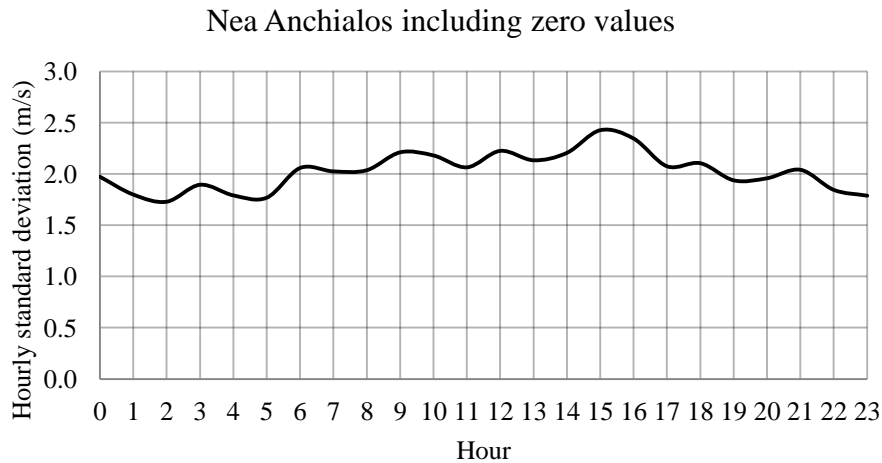
Εικόνα 4.17: Ωριαία τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου (m/s) χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας στο σταθμό Λαμία



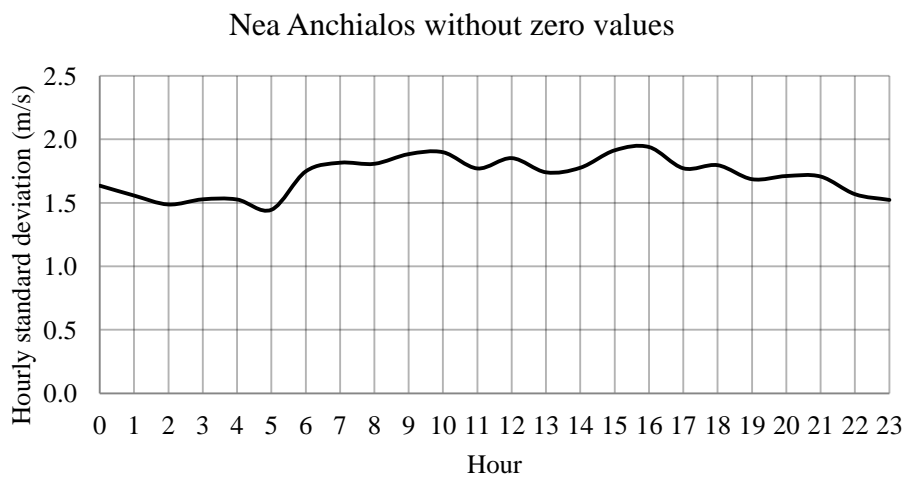
Εικόνα 4.18: Ωριαία τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου (m/s) στο σταθμό Λάρισα



Εικόνα 4.19: Ωριαία τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου (m/s) χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας στο σταθμό Λάρισα



Εικόνα 4.20: Ωριαία τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου (m/s) στο σταθμό Νέα Αγχίαλος



Εικόνα 4.21: Ωριαία τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου (m/s) χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας στο σταθμό Νέα Αγχίαλος

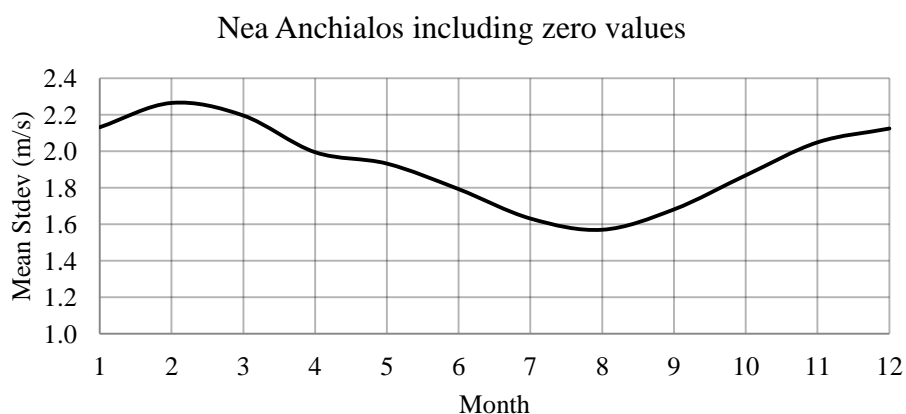
Πίνακας 4.3: Μέση τυπική απόκλιση στο εικοσιτετράωρο για το σύνολο και τα θετικά δεδομένα για κάθε σταθμό (m/s)

Σταθμός	Μέση τυπική απόκλιση (συνολικά δεδομένα)	Μέση τυπική απόκλιση (θετικά δεδομένα)
Φίλιππος	2.6	2.2
Λαμία	2.5	2.1
Λάρισα	2.4	2.0
Νέα Αγχίαλος	2.2	1.7

Σε ό,τι αφορά τα συνολικά δεδομένα, παρατηρείται πως η τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου παρουσιάζει μικρή διακύμανση μέσα στο εικοσιτετράωρο. Σημειώνεται μία μικρή

αύξηση, σε όλους τους σταθμούς μελέτης, κατά τη διάρκεια της ημέρας, κυρίως τις μεσημεριανές ώρες. Η μέση τυπική απόκλιση της ημέρας είναι παραπλήσια σε όλους τους σταθμούς. Η ίδια εικόνα παρατηρείται και στα θετικά δεδομένα. Η μέση τυπική απόκλιση στην περίπτωση αυτή, παρουσιάζει μικρή μείωση σε όλους τους σταθμούς.

Η διακύμανση της ωριαίας τυπικής απόκλισης ανά μήνα φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 4.22 να μειώνεται σταδιακά τους θερινούς μήνες. Τους χειμερινούς μήνες η τυπική απόκλιση εμφανίζει μικρή αύξηση. Αναλυτικότερη παρουσίαση των μηνιαίων διαγραμμάτων γίνεται στο παράρτημα Α2.



Εικόνα 4.22 Ωριαία τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου (m/s) ανά μήνα στο σταθμό Νέα Αγκιάλιος

4.2.3 Υπολογισμός της ασυμμετρίας της έντασης του ανέμου

Το μέτρο ασυμμετρίας ελέγχει κατά πόσο μία κατανομή είναι συμμετρική ή ασύμμετρη, καθώς και αν η ασυμμετρία είναι δεξιά ή αριστερά. Βασικό μέτρο ασυμμετρίας είναι ο συντελεστής ασυμμετρίας, που ορίζεται από τη σχέση (4.7).

$$C_s = \frac{\mu_3}{\sigma^3} \quad (4.7)$$

όπου μ_3 η τρίτη κεντρική ροπή και σ η τυπική απόκλιση. Η κεντρική ροπή r τάξης δίνεται στη σχέση (4.8), όπου μ η μέση τιμή του πληθυσμού και $f_X(x)$ η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της τυχαίας μεταβλητής X .

$$\mu_r = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^r f_X(x) dx \quad (4.8)$$

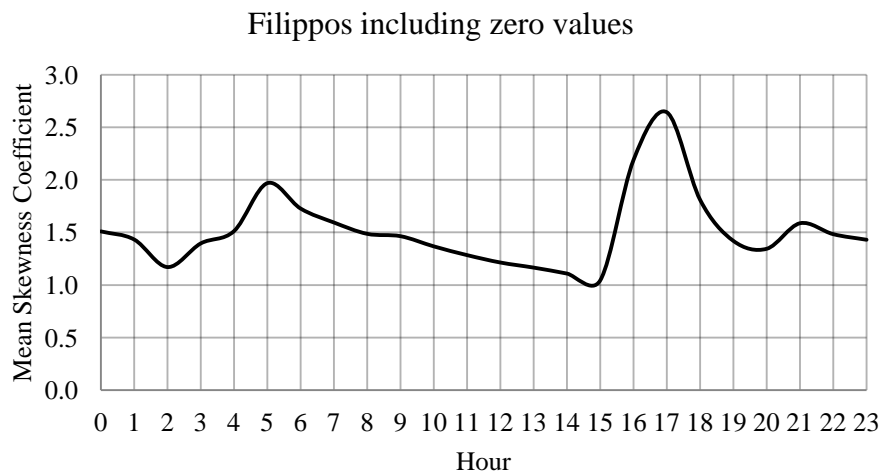
Η εκτίμηση του συντελεστή ασυμμετρίας C_s δίνεται στη σχέση (4.9).

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad (4.9)$$

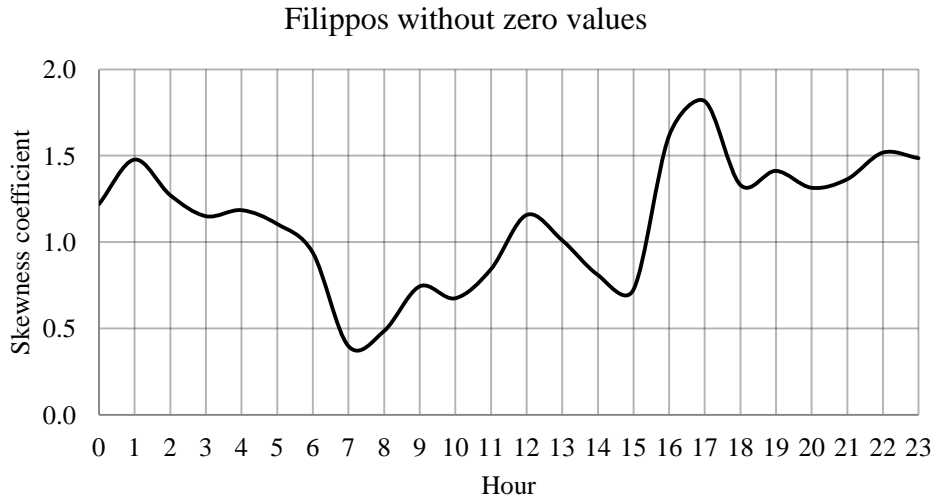
Θετική τιμή του C_s σημαίνει πως οι περισσότερες τιμές βρίσκονται δεξιά της επικρατούσας τιμής, ενώ αρνητική, κατά αναλογία, αριστερά.

Όπως έχει αναφερθεί, η εκτίμηση της τρίτης ροπής είναι ασαφής για τα μικρά δείγματα. Επομένως, απαιτείται προσοχή στα συμπεράσματα που θα εξαχθούν από τον υπολογισμό της ασυμμετρίας.

Ακολουθούν τα γραφήματα (Εικόνα 4.23 - Εικόνα 4.30) που απεικονίζουν τους συντελεστές ασυμμετρίας για κάθε σταθμό μέσα στο εικοσιτετράωρο για όλους τους μήνες συγκεντρωτικά, χωριστά για τα συνολικά δεδομένα και τα θετικά δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου. Οι πίνακες και τα διαγράμματα αυτών των αποτελεσμάτων για κάθε μήνα, ώρα και σταθμό έχουν συγκεντρωθεί στα παραρτήματα A1 και A2. Συνολικά, παρατηρείται πως η ασυμμετρία εμφανίζει ακανόνιστη διακύμανση μέσα στο εικοσιτετράωρο. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο μικρό δείγμα, που συνεπάγεται τον αβέβαιο υπολογισμό της ασυμμετρίας.

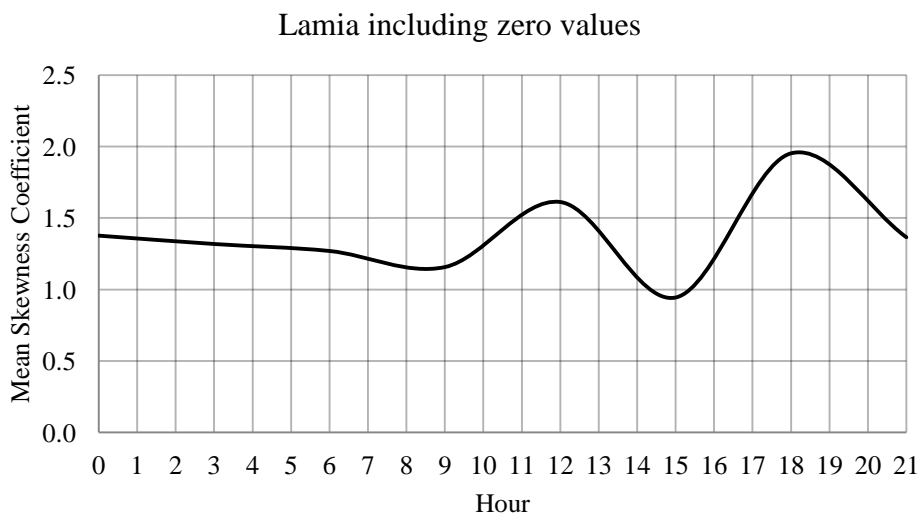


Εικόνα 4.23: Ωριαίος συντελεστής ασυμμετρίας της ταχύτητας του ανέμου στο σταθμό Φίλιππος

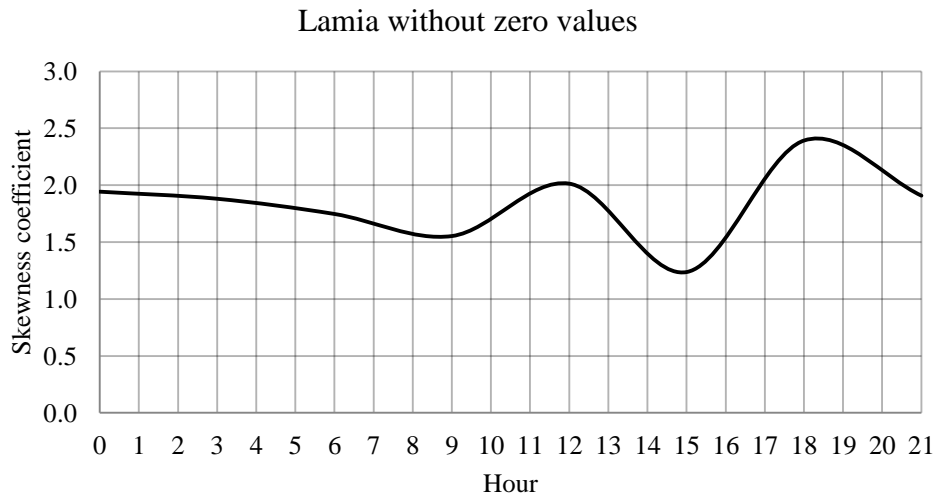


Εικόνα 4.24: Ωριαίος συντελεστής ασυμμετρίας της ταχύτητας του ανέμου χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας στο σταθμό Φίλιππος

Στο σταθμό του Φιλίππου, στο σύνολο των δεδομένων (Εικόνα 4.23), ο συντελεστής ασυμμετρίας διατηρείται σχετικά σταθερός γύρω από την τιμή 1.5 όλο το εικοσιτετράωρο. Τις μεσημεριανές ώρες παρουσιάζει μία μικρή μείωση. Στην Εικόνα 4.24, εμφανίζεται το γράφημα του συντελεστή ασυμμετρίας μέσα στην ημέρα. Ο μέσος συντελεστής έχει τιμή 1.1. Στο σταθμό αυτό, η ωριαία τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας δε φαίνεται να έχει περιοδικότητα.

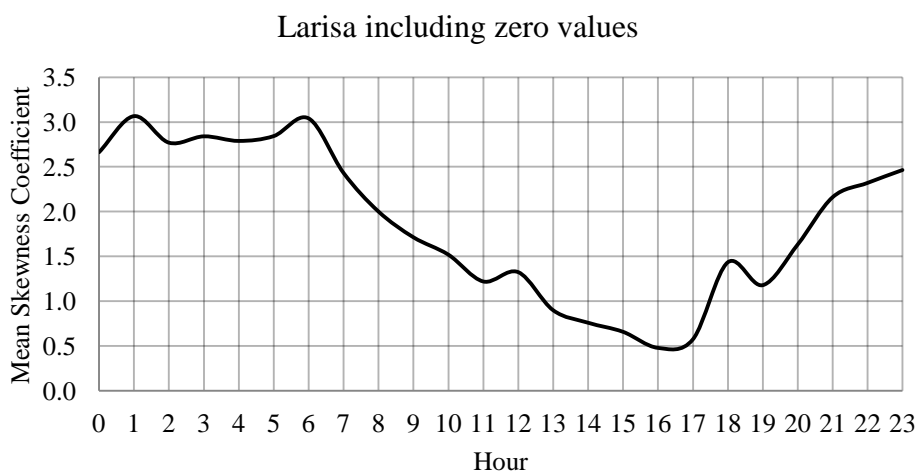


Εικόνα 4.25: Ωριαίος συντελεστής ασυμμετρίας της ταχύτητας του ανέμου στο σταθμό Λαμία

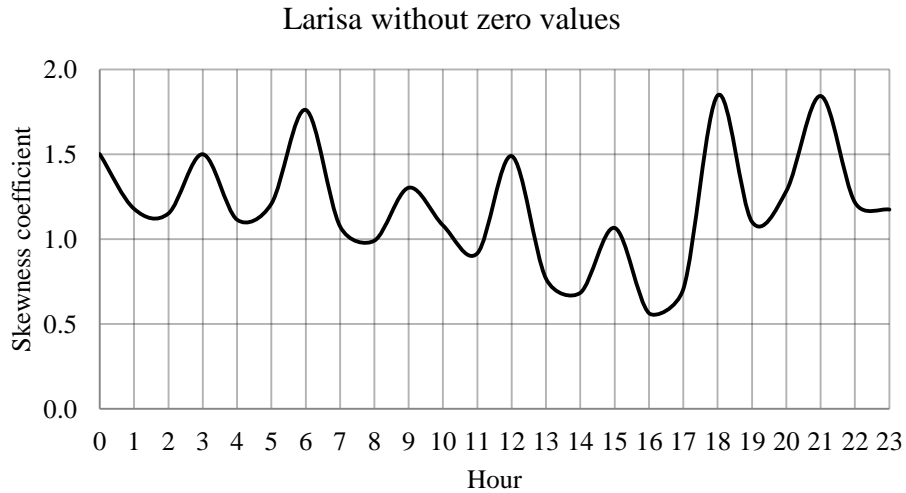


Εικόνα 4.26: Ωριαίος συντελεστής ασυμμετρίας της ταχύτητας του ανέμου χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας στο σταθμό Λαμία

Στη Λαμία (Εικόνα 4.25), ο άνεμος παρουσιάζει σταθερή θετική ασυμμετρία (συντελεστής ασυμμετρίας 1.5) τις νυκτερινές ώρες, η οποία τις μεσημεριανές ώρες μειώνεται. Η ίδια εικόνα επικρατεί και στα θετικά δεδομένα (Εικόνα 4.26). Ο μέσος συντελεστής για το σύνολο των δεδομένων είναι 1.3, ενώ για τα θετικά δεδομένα 1.8. Επιπλέον, δεν παρατηρείται περιοδικότητα της ασυμμετρίας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Όπως έχει προαναφερθεί, ο υπολογισμός της ασυμμετρίας είναι αβέβαιος, καθώς στον υπολογισμό υπεισέρχεται η τρίτη ροπή.

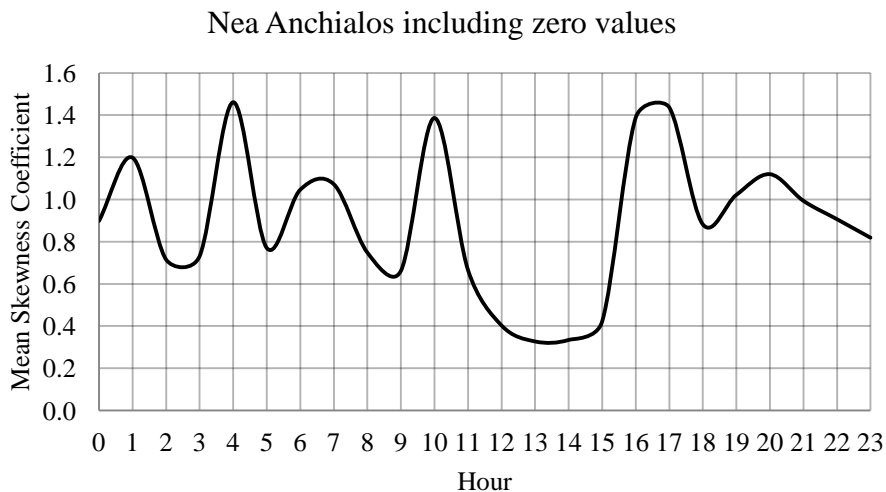


Εικόνα 4.27: Ωριαίος συντελεστής ασυμμετρίας της ταχύτητας του ανέμου στο σταθμό Λάρισα

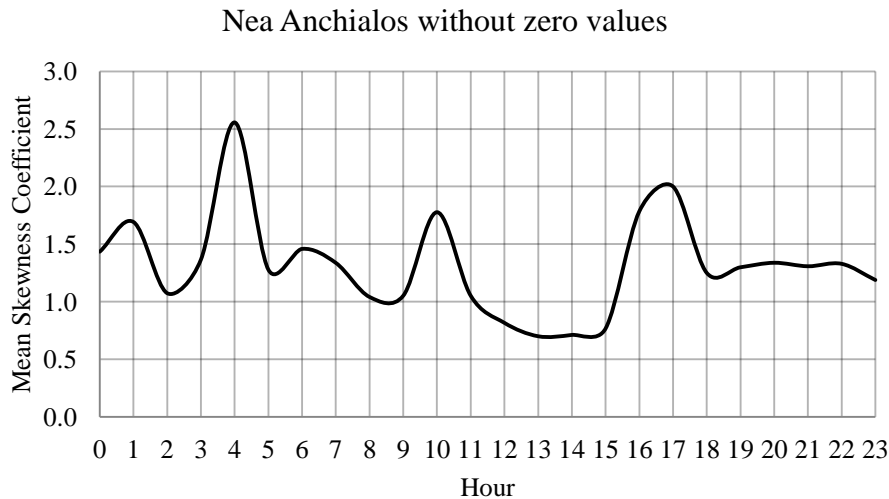


Εικόνα 4.28: Ωριαίος συντελεστής ασυμμετρίας της ταχύτητας του ανέμου χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας στο σταθμό Λάρισα

Στο σταθμό της Λάρισας είναι εμφανές πως η ασυμμετρία μειώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και διατηρείται σταθερή τη νύκτα (Εικόνα 4.27). Τις βραδινές ώρες ο συντελεστής ασυμμετρίας αυξάνεται στις τιμές 2.5 - 3. Η μέση τιμή του για το σύνολο των δεδομένων είναι 1.5, ενώ για τα θετικά δεδομένα 1.2. Στο γράφημα των θετικών δεδομένων (Εικόνα 4.28), ο ωριαίος συντελεστής ασυμμετρίας μεταβάλλεται ακανόνιστα γύρω από τη μέση τιμή του και δεν παρουσιάζει περιοδικότητα.



Εικόνα 4.29: Ωριαίος συντελεστής ασυμμετρίας της ταχύτητας του ανέμου στο σταθμό Νέα Αγχιάλος



Εικόνα 4.30: Ωριαίος συντελεστής ασυμμετρίας της ταχύτητας του ανέμου χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας στο σταθμό Νέα Αγχίαλος

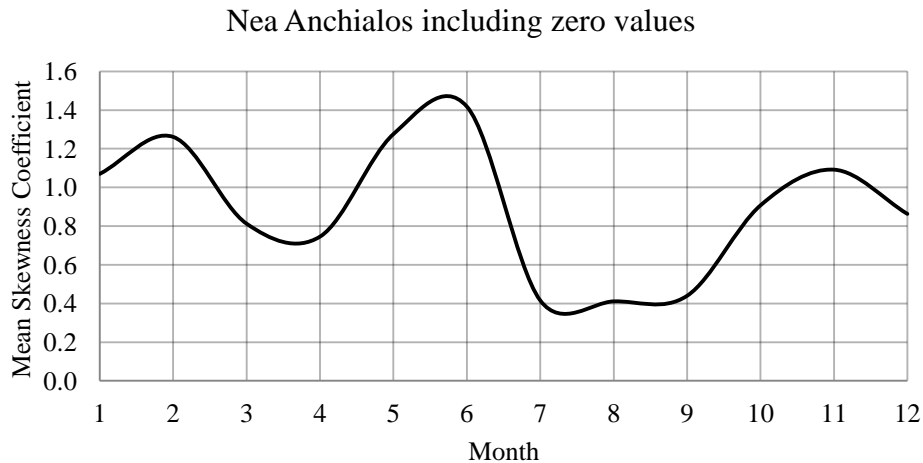
Στη Νέα Αγχίαλο, η ασυμμετρία παρουσιάζει αυξομειώσεις μέσα στο εικοσιτετράωρο και απότομες μεταβολές και στα δύο γραφήματα. Η μέση τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας για το σύνολο των δεδομένων είναι 0.9, ενώ για τα θετικά δεδομένα 1.3.

Ακολουθεί ο Πίνακας 4.4 με τους μέσους συντελεστές ασυμμετρίας για τα συνολικά και τα θετικά δεδομένα. Η μέση τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας για όλες τις ώρες της ημέρας διαφέρει πολύ στους σταθμούς. Όλοι οι σταθμοί έχουν θετική ασυμμετρία όλες τις ώρες της ημέρας, γεγονός που αποτελεί τυπικό χαρακτηριστικό του ανέμου.

Πίνακας 4.4: Μέση ασυμμετρία στο εικοσιτετράωρο για κάθε σταθμό

Σταθμός	Μέση ασυμμετρία (συνολικά δεδομένα)	Μέση ασυμμετρία (θετικά δεδομένα)
Φίλιππος	1.5	1.1
Λαμία	1.3	1.8
Λάρισα	1.5	1.2
Νέα Αγχίαλος	0.9	1.3

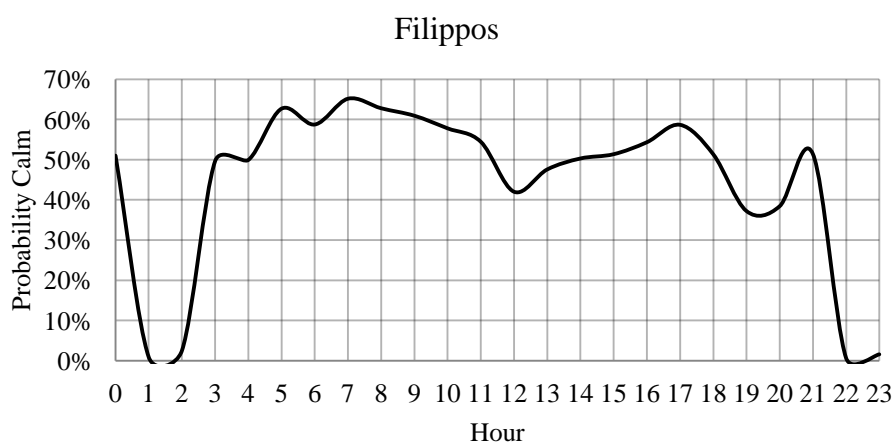
Η διακύμανση του ωριαίου συντελεστή ασυμμετρίας μεταξύ των μηνών είναι επίσης έντονη και παρουσιάζεται αναλυτικά στο παράρτημα Α2. Εδώ παρουσιάζεται ενδεικτικά η μεταβολή του συντελεστή ασυμμετρίας ανά μήνα για το σταθμό Νέα Αγχίαλος (Εικόνα 4.31).



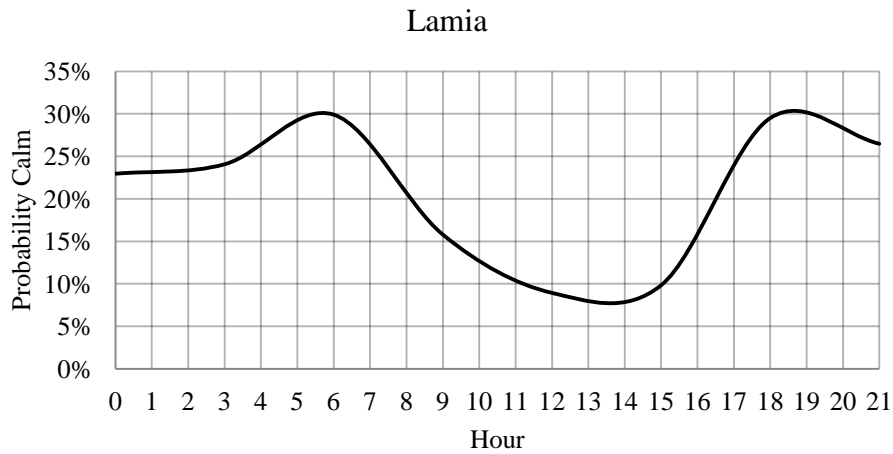
Εικόνα 4.31: Ωριαίος συντελεστής ασυμμετρίας της ταχύτητας του ανέμου ανά μήνα στο σταθμό Νέα Αγχίαλος

4.3 Υπολογισμός της πιθανότητας νηνεμίας στους σταθμούς ενδιαφέροντος

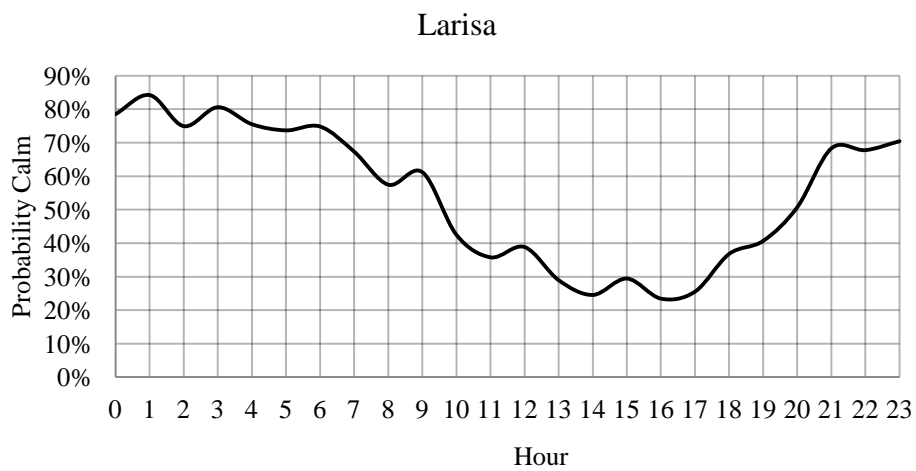
Έγινε υπολογισμός του ωριαίου ποσοστού νηνεμίας (το κλάσμα του αριθμού μετρήσεων μηδενικής ταχύτητας του ανέμου προς το συνολικό αριθμό των μετρήσεων την ώρα i) σε κάθε εξεταζόμενο σταθμό. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα γραφήματα με τα ωριαία ποσοστά νηνεμίας, συγκεντρωτικά για όλους τους μήνες, για κάθε σταθμό χωριστά (Εικόνα 4.32 - Εικόνα 4.35). Στα παραρτήματα A1 και A2 βρίσκονται πίνακες και γραφήματα με τις πιθανότητες νηνεμίας των σταθμών για κάθε ώρα και μήνα. Πρέπει να σημειωθεί, πως για την εξαγωγή κάθε πιθανότητας νηνεμίας (για κάθε ώρα και μήνα), τέθηκε όριο να υπάρχουν τουλάχιστον είκοσι μετρήσεις για κάθε ώρα.



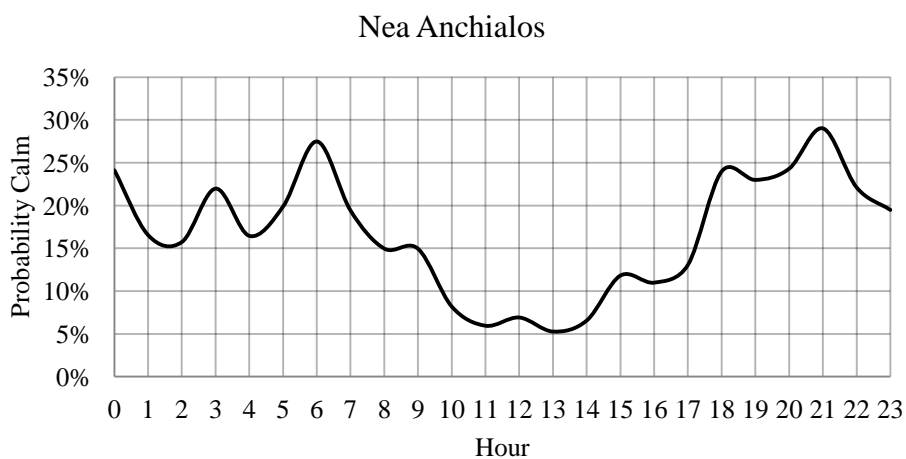
Εικόνα 4.32: Ωριαία πιθανότητα νηνεμίας (%) στο σταθμό Φίλιππος



Εικόνα 4.33: Ωριαία πιθανότητα ηνεμίας (%) στο σταθμό Λαμία



Εικόνα 4.34: Ωριαία πιθανότητα ηνεμίας (%) στο σταθμό Λάρισα



Εικόνα 4.35: Ωριαία πιθανότητα ηνεμίας (%) στο σταθμό Νέα Αγχίαλος

Παρατηρείται πως στην πλειοψηφία των σταθμών (εξαιρουμένου του Φιλίππου) η πιθανότητα νηνεμίας μειώνεται σημαντικά τις ώρες της ημέρας και κυρίως τις μεσημεριανές ώρες. Τις βραδινές ώρες το ποσοστό άπνοιας αυξάνεται. Στην παραθαλάσσια Νέα Αγχιάλο και τη Λαμία, παρατηρούνται σημαντικά μικρότερα ποσοστά νηνεμίας, συγκριτικά με τη Λάρισα και το Φίλιππο. Στο Φίλιππο παρατηρείται μηδενικό ποσοστό νηνεμίας κάποιες βραδινές ώρες, το οποίο οφείλεται προφανώς δε σφάλμα των μετρήσεων. Ακολουθεί ο Πίνακας 4.5 με τη μέση πιθανότητα νηνεμίας για κάθε σταθμό.

Πίνακας 4.5: Μέση πιθανότητα νηνεμίας για κάθε σταθμό

Σταθμός	Πιθανότητα νηνεμίας (%)
Φίλιππος	44.1
Λαμία	19.6
Λάρισα	55.1
Νέα Αγχιάλος	16.8

4.4 Υπολογισμός του ωριαίου συντελεστή αυτοσυσχέτισης

Η αυτοσυσχέτιση (autocorrelation) αποτελεί μία μαθηματική έκφραση του βαθμού ομοιότητας ανάμεσα σε μία χρονοσειρά και την ίδια χρονοσειρά μετατοπισμένη στο χρόνο. Πρόκειται για την ίδια διαδικασία με τον υπολογισμό της ετεροσυσχέτισης μεταξύ δύο διαφορετικών χρονοσειρών ίδιου μήκους. Κατά τον υπολογισμό της αυτοσυσχέτισης, η ίδια χρονοσειρά χρησιμοποιείται δύο φορές, μία στην αρχική μορφή της και μία εφόσον έχει μετατοπιστεί κατά μία ή περισσότερες χρονικές μονάδες προς τα πίσω. Αυτή η μετατόπιση ονομάζεται υστέρηση (lag). Ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης μπορεί να λάβει τιμές μεταξύ του -1 και του +1. Η τιμή +1 αντιπροσωπεύει την τέλεια θετική συσχέτιση (μία παρατηρημένη αύξηση στη μία χρονοσειρά οδηγεί σε ανάλογη αύξηση στην άλλη χρονοσειρά). Η τιμή -1 αντιπροσωπεύει την τέλεια αρνητική συσχέτιση (μία παρατηρημένη αύξηση στη μία χρονοσειρά οδηγεί σε ανάλογη μείωση στην άλλη χρονοσειρά).

Έστω μία συνεχής τυχαία μεταβλητή x με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(x)$ και συνάρτηση κατανομής $F(x)$. Ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης με υστέρηση τ , $\rho_\tau(t)$, ορίζεται από τη σχέση (4.10) (Κουτσογιάννης, 2013).

$$\rho_{\tau}(t) = \frac{Cov[\underline{x}(t), \underline{x}(t - \tau)]}{\sqrt{Var[\underline{x}(t)]Var[\underline{x}(t - \tau)]}} \quad (4.10)$$

όπου η αυτοσυνδιασπορά (autocovariance) ορίζεται από τη σχέση (4.11):

$$Cov[\underline{x}(t), \underline{x}(t - \tau)] = E[(\underline{x}(t) - \mu(t))(\underline{x}(t - \tau) - \mu(t - \tau))] \quad (4.11)$$

και η διασπορά (variance) από τις σχέσεις (4.12) και (4.13):

$$Var[\underline{x}(t)] = E[(\underline{x}(t) - \mu(t))^2] \quad (4.12)$$

$$Var[\underline{x}(t - \tau)] = E[(\underline{x}(t - \tau) - \mu(t - \tau))^2] \quad (4.13)$$

Πρέπει να σημειωθεί πως η κεντρική ροπή τάξης r ($r = 0, 1, 2, \dots$) ορίζεται από τη σχέση (4.14):

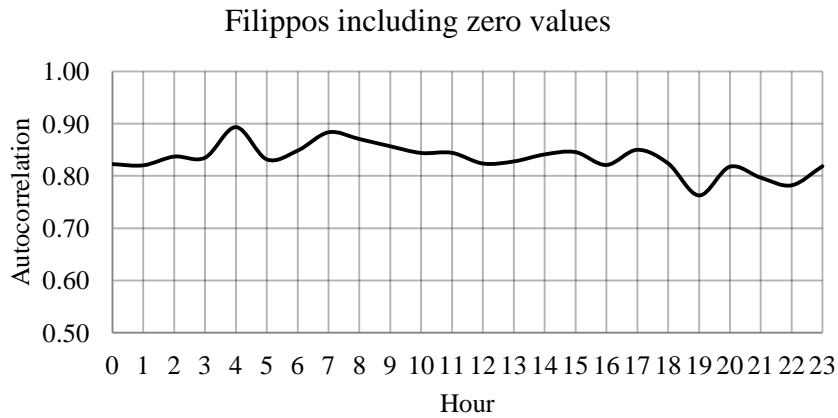
$$\mu_r = E[(\underline{x} - \mu)^r] = \int_{-\infty}^{+\infty} (\underline{x} - \mu)^r f(x) dx \quad (4.14)$$

Η εκτίμηση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης δίνεται στη σχέση (4.15).

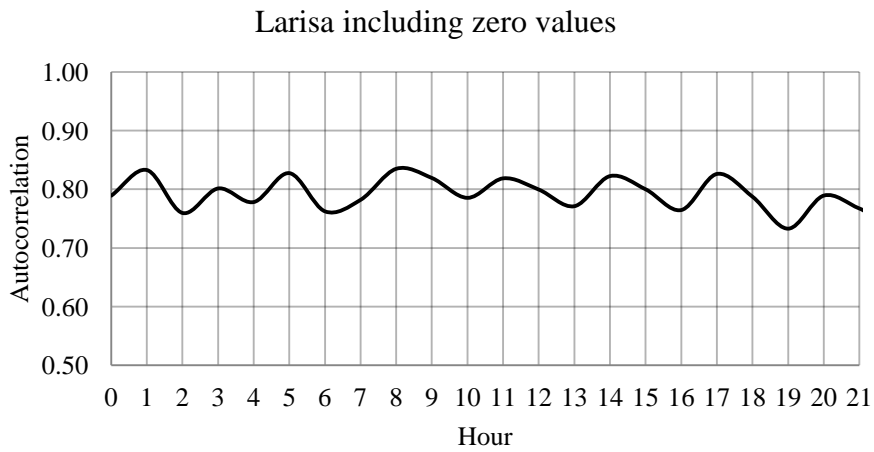
$$\rho_{\tau} = \frac{1}{(n - \tau)S^2} \sum_{t=1}^{n-\tau} (\underline{x}(t) - \overline{\underline{x}(t)})(\underline{x}(t - \tau) - \overline{\underline{x}(t - \tau)}) \quad (4.15)$$

Ακολουθούν τα γραφήματα που παριστάνουν την ωριαία αυτοσυσχέτιση για υστέρηση μίας ώρας για όλους τους μήνες και κάθε σταθμό χωριστά (Εικόνα 4.36 - Εικόνα 4.39). Στα παραρτήματα A1 και A2 παρουσιάζονται οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης για κάθε ώρα και μήνα, σε πίνακες και αντίστοιχα γραφήματα.

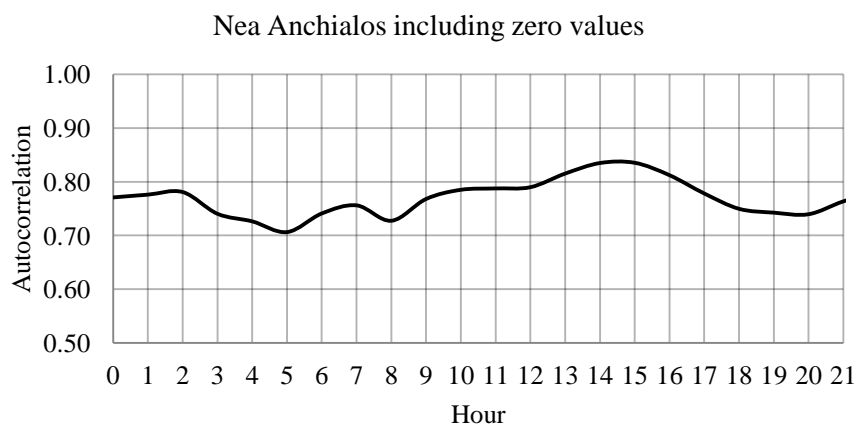
Η αυτοσυσχέτιση πρώτης τάξης (υστέρηση lag = 1) εμφανίζει μικρή διακύμανση μέσα στο εικοσιτετράωρο. Ο συντελεστής διατηρείται περίπου σταθερός μέσα στην ημέρα με τιμή 0.8 περίπου. Παρατηρείται δηλαδή, ισχυρή δομή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης.



Εικόνα 4.36: Ωριαία αυτοσυσχέτιση στο σταθμό Φίλιππος

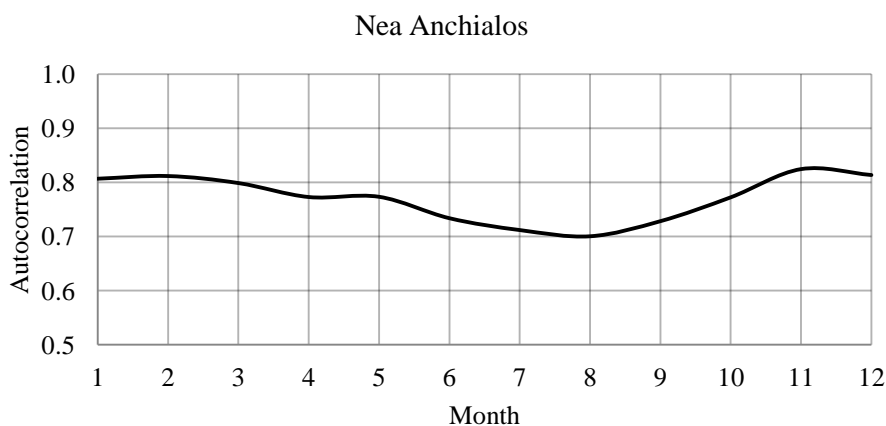


Εικόνα 4.37: Ωριαία αυτοσυσχέτιση στο σταθμό Λάρισα



Εικόνα 4.38: Ωριαία αυτοσυσχέτιση στο σταθμό Νέα Αγχίαλος

Σε ό,τι αφορά τον ωριαίο συντελεστή αυτοσυσχέτισης για κάθε μήνα παρατηρείται μία μικρή διακύμανση 0.7 - 0.8 στο σταθμό στη Νέα Αγχίαλο. Αναλυτικά για όλους τους σταθμούς εμφανίζονται πίνακες και γραφήματα για την αυτοσυσχέτιση στο παράρτημα Α2.



Εικόνα 4.39: Ωριαία αυτοσυσχέτιση ανά μήνα στο σταθμό Νέα Αγχίαλος

4.5 Θεωρητικές συναρτήσεις κατανομής της ταχύτητας του ανέμου

Όπως έχει προαναφερθεί στην υποενότητα 4.1.1, η μεταβλητή της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου είναι μικτού τύπου. Αποτελείται, δηλαδή, από ένα διακριτό μέρος, το οποίο είναι οι μηδενικές τιμές της ταχύτητας που έχουν καταγραφεί και από το συνεχές μέρος, το οποίο περιλαμβάνει τις θετικές καταγραφές της ταχύτητας. Όπως φάνηκε από την εμπειρική πυκνότητα πιθανότητας (υποενότητα 4.1.1, Εικόνα 4.1), τα δύο μέρη (μηδενικές και θετικές τιμές) θα πρέπει να αντιμετωπιστούν διαφορετικά. Θα επιχειρηθεί η προσαρμογή κατάλληλης θεωρητικής κατανομής, στο συνεχές μέρος της μεταβλητής. Επιλέχθηκε να εξεταστούν οι εξής στατιστικές κατανομές: κατανομή Lognormal, κατανομή Gamma, κατανομή Weibull και κατανομή Pareto II.

Ακολουθεί η περιγραφή της κάθε κατανομής, όπως αναφέρονται στο βιβλίο του Κουτσογιάννη (1997). Περιγράφονται οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας, η συνάρτηση κατανομής και οι εξισώσεις των παραμέτρων των κατανομών.

4.5.1 Η κατανομή Lognormal

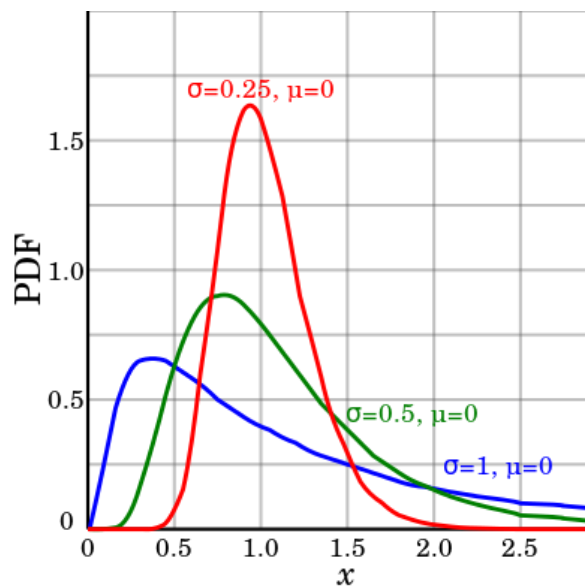
Η λογαριθμοκανονική κατανομή (lognormal) δύο παραμέτρων προκύπτει από την κανονική κατανομή και το μετασχηματισμό (4.16).

$$\underline{y} = \ln \underline{x} \Leftrightarrow \underline{x} = e^{\underline{y}} \quad (4.16)$$

Έτσι, η τυχαία μεταβλητή \underline{x} ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή δύο παραμέτρων εάν η \underline{y} ακολουθεί κανονική κατανομή $N(\underline{\mu}_y, \underline{\sigma}_y)$. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και η συνάρτηση κατανομής φαίνονται παρακάτω (εξισώσεις (4.17) και (4.18)).

$$f_{\underline{x}}(x) = \frac{1}{x \sqrt{2\pi\sigma_{\underline{y}}^2}} e^{-\frac{(\ln x - \mu_{\underline{y}})^2}{2\sigma_{\underline{y}}^2}} \quad (4.17)$$

$$F_{\underline{x}}(x) = \int_0^x f_{\underline{x}}(s) ds \quad (4.18)$$



Εικόνα 4.40: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Lognormal για διαφορετικές τιμές του σ (Πηγή: Wikipedia)

Ως άμεση συνέπεια του παραπάνω μετασχηματισμού, η μεταβλητή \underline{x} είναι θετική. Η λογαριθμοκανονική κατανομή έχει πάντα θετική ασυμμετρία. Έτσι, το σχήμα της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας είναι πάντα κωδωνοειδές και θετικά ασύμμετρο. Αυτές οι βασικές ιδιότητες της λογαριθμοκανονικής κατανομής είναι συμβατές με τις

παρατηρημένες ιδιότητες της ταχύτητας του ανέμου. Σημειώνεται ακόμη ότι το γινόμενο δύο μεταβλητών που ακολουθούν λογαριθμοκανονική κατανομή δύο παραμέτρων, ακολουθεί επίσης λογαριθμοκανονική κατανομή. Η εκτίμηση των παραμέτρων της κατανομής με τη μέθοδο των ροπών δίνει (εξισώσεις (4.19) και (4.20)):

$$\sigma_{\underline{y}} = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{s_{\underline{x}}^2}{\bar{x}^2}\right)} \quad (4.19)$$

$$\mu_{\underline{y}} = \ln \bar{x} - \sigma_{\underline{y}}^2/2 \quad (4.20)$$

Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας δίνει τις ακόλουθες εκτιμήσεις (4.21) και (4.22):

$$\sigma_{\underline{y}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \mu_{\underline{y}})^2 / n} = s_{\underline{y}} \quad (4.21)$$

$$\mu_{\underline{y}} = \sum_{i=1}^n \ln x_i / n = \bar{y} \quad (4.22)$$

Παρατηρείται πως οι δύο μέθοδοι όχι μόνο δίνουν διαφορετικές εκτιμήσεις των παραμέτρων, αλλά στηρίζονται και σε διαφορετικά δειγματικά χαρακτηριστικά. Έτσι, η μέθοδος των ροπών στηρίζεται στη μέση τιμή και την (μεροληπτική) τυπική απόκλιση της μεταβλητής \underline{x} , ενώ η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας στηρίζεται στη μέση τιμή και την (μεροληπτική) τυπική απόκλιση του λογαρίθμου της μεταβλητής \underline{x} .

4.5.2 Η κατανομή Gamma

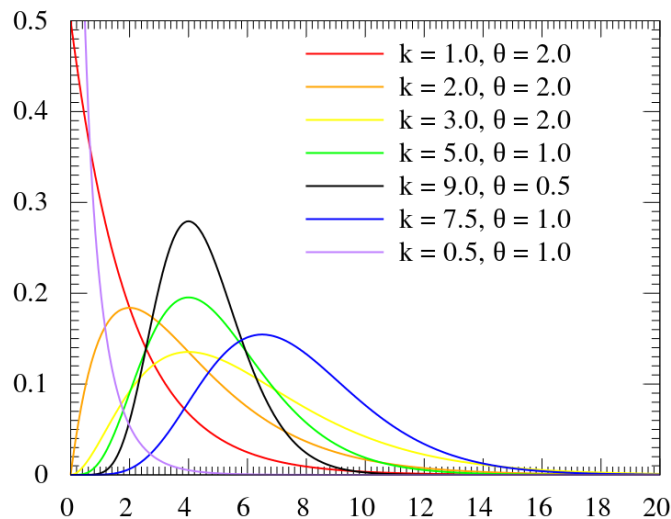
Η κατανομή γάμα δύο παραμέτρων είναι από τις πιο διαδεδομένες κατανομές. Είναι θετικά ασύμμετρη και ορίζεται μόνο για θετικές τιμές της μεταβλητής. Οι ιδιότητες αυτές την κάνουν συμβατή με τα χαρακτηριστικά της ταχύτητας του ανέμου.

Ακολουθούν η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (4.23) και η συνάρτηση κατανομής (4.24).

$$f_{\underline{x}}(x) = \frac{\theta^{\kappa}}{\Gamma(\kappa)} x^{\kappa-1} e^{-\theta x} \quad (4.23)$$

$$F_{\underline{x}}(x) = \int_0^x f_{\underline{x}}(s) ds \quad (4.24)$$

Η κατανομή γάμα έχει δύο παραμέτρους, την παράμετρο κλίμακας $\theta > 0$ και την παράμετρο σχήματος $\kappa > 0$. Για $\kappa = 1$, η κατανομή ταυτίζεται με την εκθετική, η οποία είναι ειδική περίπτωση της γάμα. Για $\kappa > 1$, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής εμφανίζει κωδωνοειδές σχήμα, ενώ για $\kappa < 1$ το σχήμα της γίνεται ανεστραμμένο J, με άπειρη τεταγμένη στη θέση $x = 0$. Για μεγάλες τιμές του κ (πάνω από 15 - 30), η κατανομή γάμα πλησιάζει προς την κανονική.



Εικόνα 4.41: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Gamma για διαφορετικές τιμές των κ και θ (Πηγή: Wikipedia)

Η κατανομή γάμα, όπως και η κανονική, είναι κλειστή ως προς την πρόσθεση, αλλά μόνο όταν υπάρχει στοχαστική ανεξαρτησία και κοινή παράμετρος κλίμακας των προσθετέων. Έτσι, το άθροισμα δύο ανεξάρτητων μεταβλητών που ακολουθούν κατανομές γάμα με κοινή παράμετρο κλίμακας λ , ακολουθεί επίσης κατανομή γάμα.

Για την εκτίμηση των παραμέτρων κ και θ , η μέθοδος των ροπών δίνει άμεσα τις ακόλουθες απλές εκτιμήσεις (εξισώσεις (4.25) και (4.26)).

$$\kappa = \frac{\bar{x}^2}{s_{\underline{x}}^2} \quad (4.25)$$

$$\theta = \frac{\bar{x}}{s_{\bar{x}}^2} \quad (4.26)$$

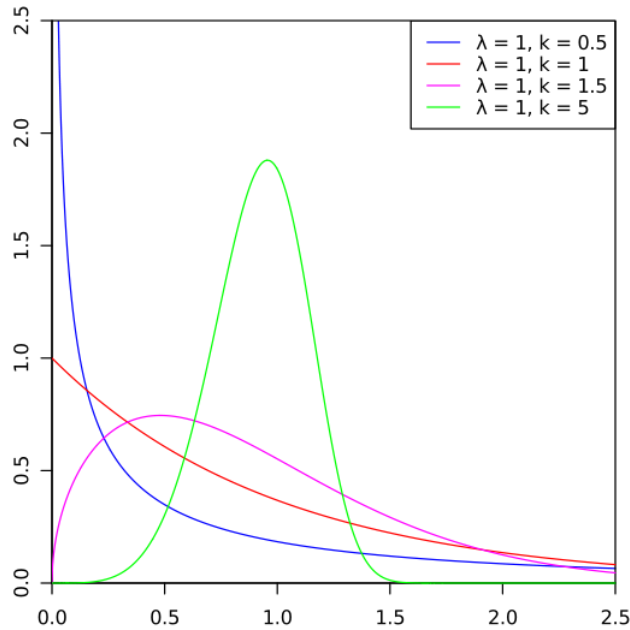
4.5.3 Η κατανομή Weibull

Η κατανομή Weibull είναι διπαραμετρική και η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη στην ανάλυση της ταχύτητας του ανέμου και πρόκειται για κατανομή ελαχίστων. Η πρώτη παράμετρος είναι αυτή της κλίμακας $\lambda > 0$ και η δεύτερη είναι η παράμετρος σχήματος $\kappa > 0$. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (4.27) και η συνάρτηση κατανομής (4.28) ακολουθούν.

$$f_{\underline{x}}(x) = \frac{\kappa}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{\kappa-1} e^{-(x/\lambda)^\kappa} \quad (4.27)$$

$$F_{\underline{x}}(x) = 1 - e^{-(x/\lambda)^\kappa} \quad (4.28)$$

Η μορφή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Weibull διαφοροποιείται ανάλογα με την τιμή της παραμέτρου κ . Για $\kappa < 1$, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας τείνει στο άπειρο ($+\infty$) καθώς το x τείνει στο μηδέν και έπειτα μειώνεται απότομα. Για $\kappa = 1$, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας τείνει στην τιμή $1/\lambda$ από κάτω, καθώς το x τείνει στο μηδέν και έπειτα μειώνεται απότομα. Για $\kappa > 1$, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας τείνει στο μηδέν, καθώς το x τείνει στο μηδέν από πάνω, αυξάνεται μέχρι την πιθανότερη τιμή (mode) της συνάρτησης κι έπειτα μειώνεται. Επίσης, εάν $0 < \kappa < 1$, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας στη θέση $x = 0$ έχει άπειρη αρνητική κλίση, για $1 < \kappa < 2$ έχει άπειρη θετική κλίση, για $\kappa = 2$ έχει πεπερασμένη θετική κλίση και για $\kappa > 2$ έχει μηδενική κλίση στο $x = 0$.



Εικόνα 4.42: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Weibull για διαφορετικές τιμές του κ (Πηγή: Wikipedia)

Όσον αφορά την εκτίμηση των παραμέτρων, οι εξισώσεις της μεθόδου των ροπών είναι οι ακόλουθες (4.29) και (4.30). Η επίλυση της πρώτης εξίσωσης ως προς κ , γίνεται μόνο αριθμητικά.

$$\frac{\Gamma(1 + 2/\kappa)}{\Gamma^2(1 + 1/\kappa)} = \frac{s_{\underline{x}}^2}{\bar{x}^2} + 1 \quad (4.29)$$

$$\lambda = \frac{\bar{x}}{\Gamma(1 + 1/\kappa)} \quad (4.30)$$

4.5.4 Η κατανομή Pareto II

Η κατανομή Pareto τύπου II (διαφορετικά κατανομή Lomax) είναι διπαραμετρική κατανομή και έχει εφαρμογή στην οικονομία και τη μοντελοποίηση. Η κατανομή χρησιμοποιείται όταν η μεταβλητή \underline{x} παίρνει θετικές τιμές. Οι δύο παράμετροι είναι η παράμετρος κλίμακας $\lambda > 0$ και η παράμετρος σχήματος $\alpha > 0$. Ακολουθούν η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (4.31) και η συνάρτηση κατανομής (4.32).

$$f_{\underline{x}}(x) = \frac{\alpha}{\lambda} \left(1 + \frac{x}{\lambda}\right)^{-(\alpha+1)} \quad (4.31)$$

$$F_{\underline{x}}(x) = 1 - \left(1 + \frac{x}{\lambda}\right)^{-\alpha} \quad (4.32)$$

4.6 Η μέθοδος των L-ροπών

Εκτός από τα παραπάνω περιγραφικά αριθμητικά μέτρα (μέσος όρος, διασπορά και ασυμμετρία), που βασίζονται στη μέθοδο των ροπών, υπάρχουν και αντίστοιχα στατιστικά μέτρα που βασίζονται σε μια άλλη μέθοδο, τη μέθοδο των L-ροπών.

Οι τέσσερις πρώτες L-ροπές $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ αποτελούν μέτρα θέσης, διασποράς, ασυμμετρίας και κύρτωσης αντίστοιχα. Από αυτές προκύπτουν οι αδιάστατοι L-συντελεστές διασποράς, ασυμμετρίας και κύρτωσης που ορίζονται από τις σχέσεις (4.33), (4.34) και (4.35) αντίστοιχα και συμβολίζονται με τ_2, τ_3, τ_4 .

$$\tau_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (4.33)$$

$$\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \quad (4.34)$$

$$\tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2} \quad (4.35)$$

Τιμή του $\tau_3 < 0$ υποδηλώνει αρνητική ασυμμετρία, ενώ όταν ο $\tau_3 > 0$ η ασυμμετρία είναι θετική. Η τιμή του L-συντελεστή κύρτωσης για την κανονική κατανομή είναι 0.1226.

Οι L-συντελεστές, έχει αποδειχθεί πως έχουν καλύτερες στατιστικές ιδιότητες από τους αντίστοιχους αδιάστατους συντελεστές που προκύπτουν από τις κλασικές ροπές και συνεπώς η χρήση τους ως περιγραφικών μέτρων προτιμάται έναντι της χρήσης περιγραφικών μέτρων που βασίζονται στις κλασικές ροπές. Για τον υπολογισμό των κλασικών ροπών απαιτείται ύψωση σε δύναμη, κάτι που οδηγεί σε αβέβαιο αποτέλεσμα ειδικά εάν το δείγμα είναι μικρό, κάτι που δε συμβαίνει με τις L-ροπές. Έτσι, ο υπολογισμός των L-ροπών μπορεί να θεωρηθεί περισσότερο αξιόπιστος.

4.7 Προσαρμογή σε θεωρητική κατανομή με τη βοήθεια των L-ροπών

Μετά από την επεξεργασία των δεδομένων όλων των σταθμών στο πρόγραμμα excel, συγκεντρώθηκαν οι ωριαίες τιμές για κάθε έτος μέτρησης, κάθε μήνα και κάθε σταθμό χωριστά. Επομένως για κάθε ώρα, μήνα και σταθμό προέκυψε ένας αριθμός τιμών (μέσων ωριαίων ταχυτήτων ανέμου), ίσος με τον αριθμό των ετών των μετρήσεων. Υπενθυμίζεται ο παρακάτω Πίνακας 4.6, όπου φαίνονται τα έτη των μετρήσεων σε κάθε σταθμό.

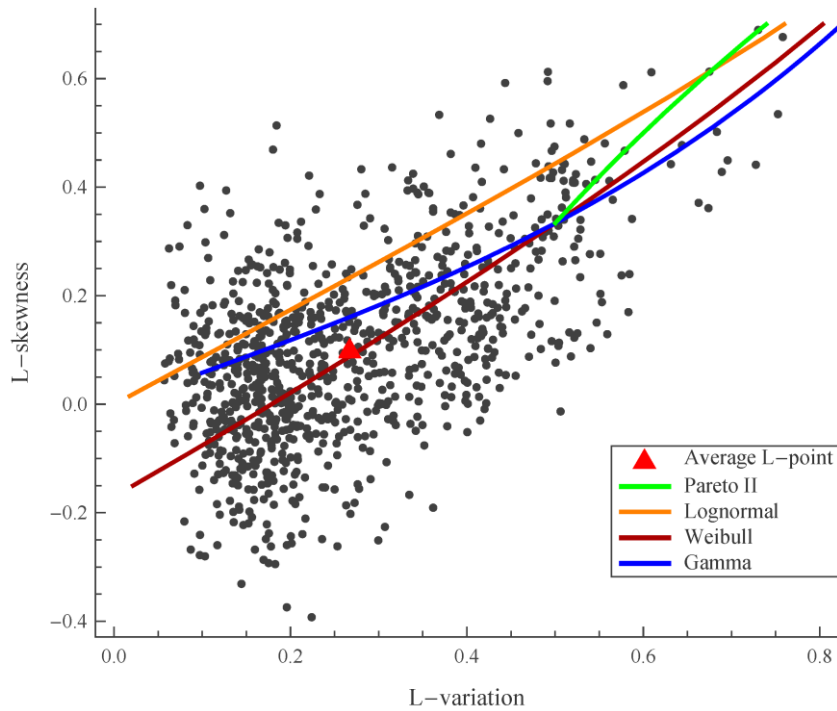
Πίνακας 4.6: Έτη και αριθμός μετρήσεων

Σταθμός	Έτη Μετρήσεων	Αριθμός Μετρήσεων
Λάρισα	74	301 643
Νέα Αγχίαλος	36	181 955
Φίλιππος	41	128 726
Λαμία	51	107 538
Τρίκαλα	24	12 963
Αγρίνιο	25	17 993

Ο σταθμός των Τρικάλων διαπιστώθηκε πως έχει σχετικά λίγα έτη μετρήσεων, μικρό αριθμό μετρήσεων (Πίνακας 4.6) και ότι ο κύριος όγκος των μετρήσεων έγινε πριν το 1970. Όλα αυτά καθιστούν τα δεδομένα του σταθμού στα Τρίκαλα αναξιόπιστα, επομένως ο σταθμός αυτός εξαιρέθηκε από την περαιτέρω επεξεργασία.

Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι το χρονικό βήμα στην καταγραφή της ταχύτητας του ανέμου δεν ήταν σταθερό σε κανένα σταθμό μέτρησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχουν καταγραφές πάντοτε για κάθε ώρα της ημέρας, κάθε μήνα και έτος. Διαπιστώθηκε λοιπόν, πως υπάρχουν κενά σε κάποιες ώρες. Για την καλύτερη δυνατή επεξεργασία, αποφασίστηκε να εξαιρεθούν από την επεξεργασία, όσες ώρες διέθεταν κάτω από δέκα έτη μετρήσεων.

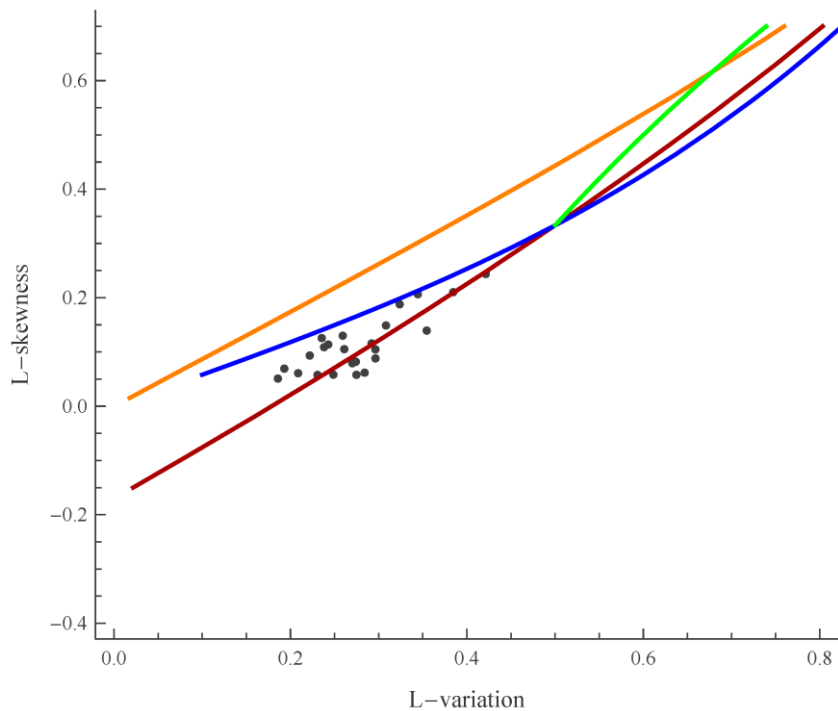
Έχοντας πλέον τα προς επεξεργασία δεδομένα, υπολογίστηκε για κάθε ώρα, μήνα και σταθμό, οι τιμές L-διασπορά (τ_2) και L-ασυμμετρία (τ_3). Τα σημεία L-διασποράς και L-ασυμμετρίας που προέκυψαν (προσεγγιστικά 24 ώρες \times 12 μήνες \times 5 σταθμοί) τοποθετήθηκαν στο παρακάτω γράφημα (Εικόνα 4.43), μαζί με τις καμπύλες των κατανομών Pareto II, Lognormal, Weibull και Gamma.



Εικόνα 4.43: Τα σημεία L-διασποράς και L-ασυμμετρίας για κάθε ώρα, μήνα και σταθμό

Παρατηρείται ένα αρκετά μεγάλο εύρος στις τιμές της L-διασποράς και της L-ασυμμετρίας, δηλαδή $0,05 < \tau_2 < 0,75$ και $-0,4 < \tau_3 < 0,65$. Οι κατανομές Weibull και Gamma φαίνεται οπτικά πως προσεγγίζουν καλύτερα το δείγμα. Είναι ενδεικτικό πως το μέσο L-σημείο (μέσος όρος όλων των σημείων του δείγματος) βρίσκεται πάνω στην καμπύλη της κατανομής Weibull.

Έπειτα, έγιναν επιμέρους επεξεργασίες για κάθε ώρα της ημέρας, απ' όπου προέκυψαν 24 σημεία (24 ώρες). Σε κάθε σημείο λοιπόν, έχουν συνυπολογιστεί τα δεδομένα από όλους τους μήνες και τους σταθμούς (Εικόνα 4.44).

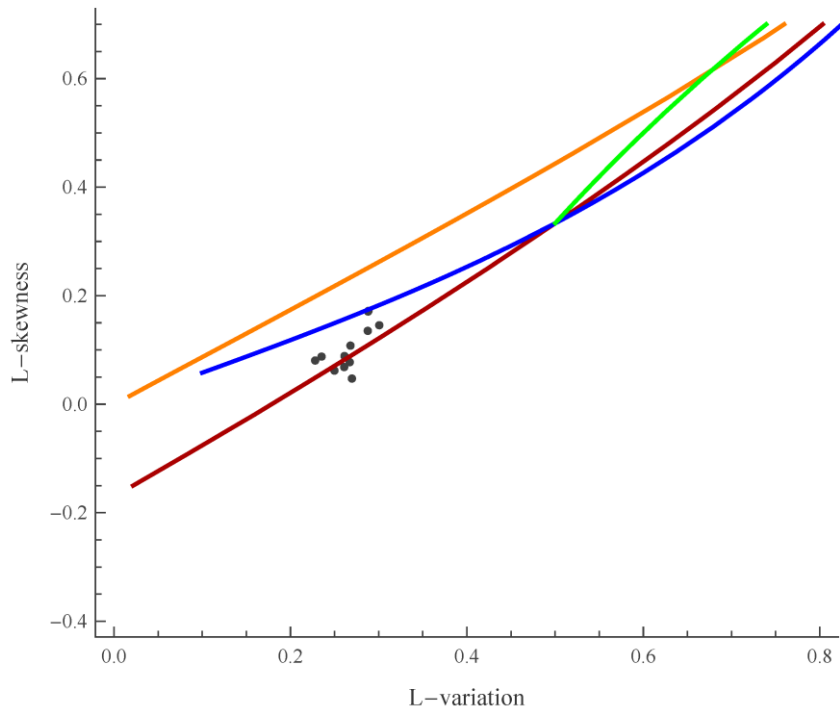


Εικόνα 4.44: Τα σημεία L-διασποράς και L-ασυμμετρίας για κάθε ώρα της ημέρας

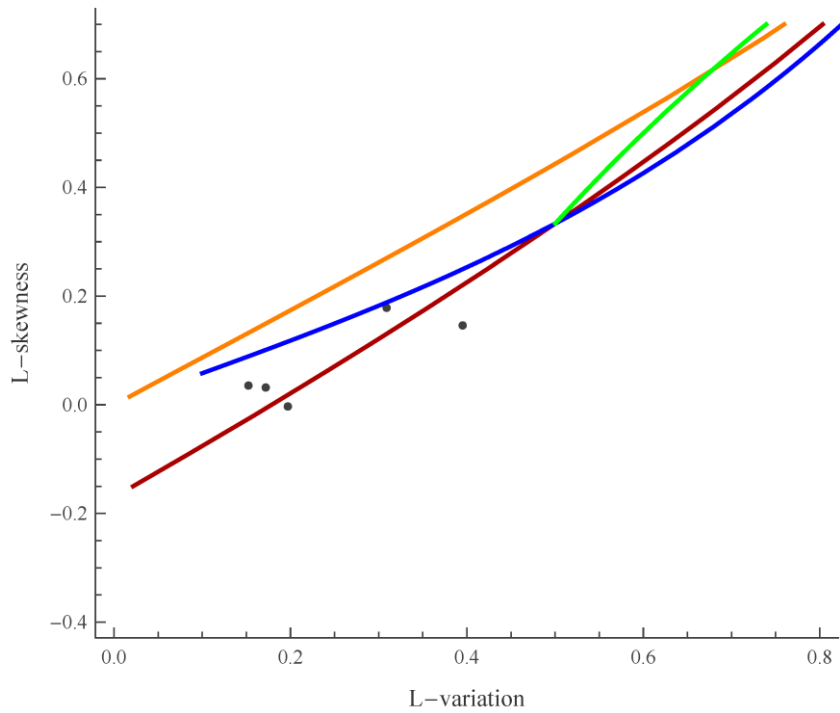
Φαίνεται πως τα σημεία συγκεντρώνονται κυρίως γύρω από την κατανομή Weibull, ενώ λιγότερα προσεγγίζουν καλύτερα την κατανομή Gamma.

Ακολουθεί το γράφημα (Εικόνα 4.45) με τα σημεία που προέκυψαν για κάθε μήνα του έτους (12 σημεία). Εδώ σε κάθε σημείο έχουν συνυπολογιστεί τα δεδομένα από όλες τις ώρες του εικοσιτετραώρου και τους σταθμούς. Και πάλι είναι ξεκάθαρο πως σχεδόν όλα τα σημεία προσεγγίζουν την κατανομή Weibull.

Τέλος, συνυπολογίστηκαν τα δεδομένα από όλες τις ώρες του εικοσιτετραώρου και τους μήνες, για να προκύψουν τα 5 σημεία των σταθμών. Φαίνεται πως σχεδόν όλα τα σημεία προσαρμόζονται καλύτερα στην κατανομή Weibull, εκτός από το σταθμό της Λάρισας, του οποίου το σημείο βρίσκεται πάνω στην καμπύλη της κατανομής Gamma (Εικόνα 4.46).



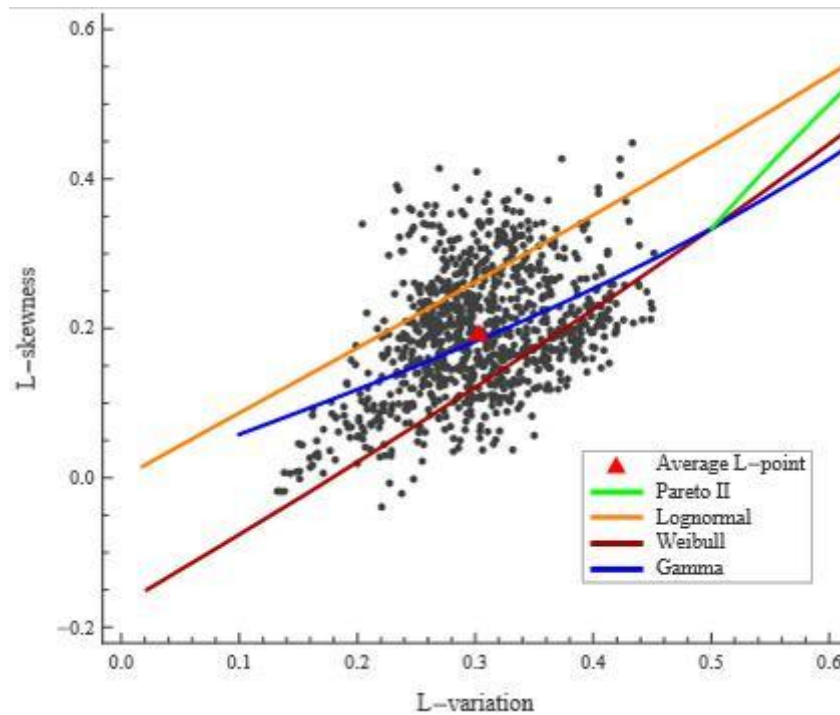
Εικόνα 4.45: Τα σημεία L-διασποράς και L-ασυμμετρίας για κάθε μήνα



Εικόνα 4.46: Τα σημεία L-διασποράς και L-ασυμμετρίας για κάθε σταθμό

Η διαδικασία επαναλήφθηκε για τα θετικά δεδομένα της ταχύτητας. Δηλαδή, αφαιρώντας τις μηδενικές τιμές της ωριαίας ταχύτητας, υπολογίστηκαν οι L-συντελεστές διασποράς και

ασυμμετρίας. Στην Εικόνα 4.47 φαίνεται πως το μέσο L-σημείο βρίσκεται πάνω στην καμπύλη της κατανομής Gamma. Ο συντελεστής της L-ασυμμετρίας παίρνει τιμές $0 < \tau_3 < 0.4$ και ο συντελεστής της L-διασποράς $0.15 < \tau_2 < 0.45$.



Εικόνα 4.47: Τα σημεία L-διασποράς και L-ασυμμετρίας για κάθε ώρα, μήνα και σταθμό για τα θετικά δεδομένα της ταχύτητας

5 Στοχαστική ανάλυση της ταχύτητας του ανέμου σε ωριαία κλίμακα

Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης εξαρτάται από την ποιότητα και την ποσότητά των δεδομένων της ταχύτητας του ανέμου. Η ποιότητα των δεδομένων ταχύτητας του ανέμου αφορά στο εάν το σύνολο των δεδομένων είναι αξιόπιστο και ομοιογενές. Αξιόπιστο θεωρείται ένα σύνολο δεδομένων εάν το όργανο μέτρησης λειτουργεί σωστά, δεν επηρεάζεται από εμπόδια. Επιπλέον, ένα σύνολο δεδομένων θεωρείται ομοιογενές, όταν τα δεδομένα αποκτώνται κάτω από πανομοιότυπες συνθήκες. Το μέγεθος των δεδομένων (ποσότητα) αφορά στη χρονική περίοδο κατά την οποία γίνονται οι καταγραφές της ταχύτητας του ανέμου (Hafzullah et al, 2004).

Επομένως, για τον αξιόπιστο σχεδιασμό αιολικών εγκαταστάσεων απαιτείται η γνώση χρονοσειρών ταχύτητας του ανέμου μεγάλου μήκους, δηλαδή η ύπαρξη συνεχών καταγραφών πολλών ετών. Κάτι τέτοιο είναι εξαιρετικά σπάνιο, καθώς οι μετρήσεις των μετεωρολογικών διεργασιών ξεκίνησαν στην Ελλάδα στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Τα δεδομένα που διατίθενται, κατά πλειοψηφία είναι ελλιπή και διακόπτονται κατά τις περιόδους του Β' παγκόσμιου πολέμου και του εμφυλίου.

Οι παραπάνω συνθήκες δημιουργούν την ανάγκη εύρεσης μίας διαδικασίας παραγωγής συνθετικών χρονοσειρών πολλών ετών για την ταχύτητα του ανέμου. Με τον τρόπο αυτό, αποκτάται μία ολοκληρωμένη εικόνα της ταχύτητας του ανέμου. Οι παραγόμενες χρονοσειρές αποτελούν αξιόπιστα δεδομένα για την περεταίρω επεξεργασία της μεταβλητής της ταχύτητας και τη διερεύνηση της δυνατότητας παραγωγής αιολικής ενέργειας. Η προσομοίωση των δεδομένων της ταχύτητας γίνεται με στοχαστικά μοντέλα.

5.1 Βιβλιογραφία

5.1.1 Στοχαστική προσομοίωση

Με τον όρο στοχαστική ή Monte Carlo προσομοίωση αναφέρονται οι υπολογιστικές τεχνικές που κάνουν χρήση γεννητριών τυχαίων αριθμών και χρησιμοποιούνται για την επίλυση

πολύπλοκων προβλημάτων, τα οποία είτε δεν έχουν αναλυτική λύση, είτε η αριθμητική του επίλυση είναι χρονοβόρα. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ιδιαίτερος χρήσιμη για την προσομοίωση πολύπλοκων συστημάτων, τα οποία διέπονται από διάφορες αβεβαιότητες ως προς τα δεδομένα εισόδου.

Χαρακτηριστική περίπτωση είναι τα συστήματα που σχετίζονται με τις μετεωρολογικές διεργασίες, όπως ένα σύστημα παραγωγής αιολικής ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως είναι γνωστό είναι αδύνατη η πρόβλεψη της εξέλιξης των μετεωρολογικών διεργασιών κι έτσι ασφαλής πρόγνωση αυτών είναι δυνατό να γίνει μόνο για χρονικό ορίζοντα λίγων ημερών. Αυτή η αδυναμία πρόγνωσης οδηγεί στη θεώρηση αυτών των διεργασιών ως στοχαστικές και την αντιμετώπισή αυτών ως στοχαστικές ανελίξεις. Με γνώμονα αυτή τη θεώρηση και κάνοντας χρήση στοχαστικών μοντέλων, τα οποία ποσοτικοποιούν την αβεβαιότητα γύρω από την ανέλιξη των μετεωρολογικών διεργασιών, γίνεται η παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών. Οι συγκεκριμένες χρονοσειρές αναπαράγουν τη στοχαστική δομή και τα κύρια στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών χρονοσειρών. Συνήθως, οι συνθετικές χρονοσειρές που παράγονται, αποτελούν δεδομένα εισόδου σε πιο σύνθετα μοντέλα, π.χ. μοντέλα βελτιστοποίησης συστημάτων υδατικών πόρων.

5.1.2 Διπλωματικές και ερευνητικές εργασίες

Στη διπλωματική του εργασία, ο Τσεκούρας (2012) ασχολήθηκε με τη στοχαστική ανάλυση και προσομοίωση υδρομετεωρολογικών διεργασιών σχετικών με την αιολική και ηλιακή ενέργεια. Διερεύνησε την ύπαρξη μακροπρόθεσμης εμμονής μέσω του υπολογισμού του συντελεστή Hurst για τις μεταβλητές της ταχύτητας του ανέμου και της διάρκειας ηλιοφάνειας σε ετήσια κλίμακα σε σταθμούς της Ευρώπης. Διαπιστώθηκε η ύπαρξη εμμονής και για τα δύο μεγέθη. Επιχειρήθηκε επίσης η ταυτόχρονη γέννηση συνθετικών χρονοσειρών των δύο μεταβλητών σε ετήσια, μηνιαία και ημερήσια κλίμακα κάνοντας χρήση πολυμεταβλητού στοχαστικού μοντέλου. Παράχθηκαν ετήσιες συνθετικές χρονοσειρές απλής ομοιοθεσίας (simple scaling) με τη βοήθεια του γενικευμένου μοντέλου συμμετρικών κινούμενων μέσων (SMA) για πολυμεταβλητή προσομοίωση, ώστε να διατηρείται η εμμονή σε ετήσια κλίμακα. Η γέννηση των μηνιαίων και των ημερήσιων συνθετικών χρονοσειρών έγινε με το περιοδικό μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης PAR1, καθώς η μηνιαία και η ημερήσια ανέλιξη θεωρούνται κυκλοστάσιμες, δηλαδή διατηρούν σταθερά στατιστικά

χαρακτηριστικά σε κάθε χρονική υποπερίοδο (μήνα). Το μοντέλο γενικεύτηκε για πολυμεταβλητή προσομοίωση. Στην ημερήσια συνθετική χρονοσειρά επιχειρήθηκε και η διατήρηση της ασυμμετρίας και της πιθανότητας νηνεμίας.

Στη μεταπτυχιακή του εργασία ο Δημάκος (2014) ασχολήθηκε με τη στατιστική και στοχαστική ανάλυση και την προσομοίωση σε μηνιαία και ημερήσια κλίμακα της ταχύτητας του ανέμου σε σταθμούς όλης της Ελλάδας. Διερεύνησε την ύπαρξη μακροπρόθεσμης εμμονής με τον υπολογισμό του συντελεστή Hurst. Από την εξέταση των κλιμακογραμμάτων προέκυψε ενιαία τιμή για το συντελεστή Hurst για όλη την Ελλάδα στην ημερήσια κλίμακα, $H = 0.75$. Επίσης, έγινε παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών απλής ομοιοθεσίας με το μοντέλο των τυχαίων διακυμάνσεων πολλαπλής κλίμακας, ώστε πέρα από τα στατιστικά χαρακτηριστικά να διατηρηθεί κι η εμμονή. Η ανέλιξη που δημιουργείται αποτελεί συνδυασμό τριών Markov ανελιξεων AR1.

Στην ερευνητική τους εργασία, οι Koutsoyiannis et al (2008) ανέπτυξαν μία προχωρημένη στοχαστική μεθοδολογία, όπου σέβεται τη μακρόχρονη εμμονή των υδρομετεωρολογικών διεργασιών, εφαρμόζεται σε κατανομές με εκθετική ή υπερεκθετική ουρά, είναι κυκλοστάσιμη και λειτουργεί για πρόγνωση και για προσομοίωση.

5.2 Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου

Όπως διαπιστώθηκε από τη στατιστική ανάλυση που έγινε, η ωριαία ταχύτητα του ανέμου έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά. Αρχικά, πρόκειται για μεταβλητή μικτού τύπου. Στους σταθμούς επεξεργασίας σημαντικό ποσοστό των μετρήσεων καταγράφεται ως 0 m/s. Επομένως, η μεταβλητή διαχωρίστηκε στο διακριτό μέρος που περιλαμβάνει όλες τις μηδενικές τιμές και στο συνεχές μέρος που περιέχει όλες τις θετικές τιμές της ταχύτητας. Παρατηρήθηκε στα δεδομένα πως εμφανίζονται αλληλουχίες μηδενικών μετρήσεων στους σταθμούς. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην απόφαση να προσομοιωθούν χωριστά το διακριτό από το συνεχές μέρος της μεταβλητής.

Το διακριτό μέρος επιλέχθηκε να προσομοιωθεί με αλυσίδες Markov πρώτης τάξης. Πρόκειται για τυχαία διαδικασία που παράγει αλληλουχίες τιμών 0 και 1, όπου η τιμή 0 αντιπροσωπεύει το γεγονός να μη φυσάει, ενώ η τιμή 1 το γεγονός να φυσάει τη δεδομένη

ώρα της ημέρας. Οι αλληλουχίες αυτές παράγονται μέσω του πίνακα πιθανοτήτων μετάβασης. Οι αλυσίδες Markov και ο τρόπος παραγωγής τους αναλύονται σε επόμενη υποενότητα.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της ταχύτητας του ανέμου που παρατηρήθηκε, είναι η μεταβλητότητα που παρουσιάζει σε δύο επίπεδα. Ο άνεμος εμφανίζει διαφορετικά στατιστικά χαρακτηριστικά ανάλογα με την ώρα της ημέρας και το μήνα. Αυτό συμβαίνει γιατί η ταχύτητα μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες κατά κανόνα ο άνεμος πνέει πιο δυνατά σε σύγκριση με τις απογευματινές και βραδινές ώρες. Επιπλέον, η ταχύτητα του ανέμου διαφοροποιείται ανάλογα με το μήνα και την εποχή. Κατά κανόνα, τους καλοκαιρινούς και τους χειμερινούς μήνες η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη.

Οι παραπάνω διαπιστώσεις για τη διπλή μεταβλητότητα της ταχύτητας του ανέμου οδήγησαν στην απόφαση για εφαρμογή διπλά κυκλοστάσιμου στοχαστικού μοντέλου προκειμένου να παραχθούν συνθετικές χρονοσειρές. Οι συνθετικές χρονοσειρές αυτές θα είναι κυκλοστάσιμες στοχαστικές ανελίξεις σε διακριτό χρόνο.

Στοχαστική ανέλιξη ονομάζεται μία οικογένεια τυχαίων μεταβλητών, έστω x_t , όπου t είναι παράμετρος που παίρνει τιμές από ένα κατάλληλο σύνολο T (δεικτοσύνολο), το οποίο συνήθως παριστάνει χρόνο. Ανέλιξη σε διακριτό χρόνο συναντάται όταν το δεικτοσύνολο αντιστοιχεί σε διακριτές μονάδες χρόνου, $T = \{0, 1, 2, \dots\}$ (Κουτσογιάννης, 2013). Στην προκειμένη περίπτωση, κατά την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών, οι μονάδες χρόνου θα είναι διακριτές, καθώς θα αφορούν στις ώρες της ημέρας. Επιπλέον, κυκλοστάσιμη ονομάζεται η ανέλιξη, της οποίας οι στατιστικές παράμετροι, π.χ. η μέση τιμή, μεταβάλλονται στο χρόνο. Δηλαδή, η συνάρτηση κατανομής μίας κυκλοστάσιμης στοχαστικής ανέλιξης επηρεάζεται από το χρόνο.

Στην περίπτωση του ωριαίου ανέμου, συναντάται διπλή κυκλοστασιμότητα. Οι στατιστικές παράμετροι μεταβάλλονται ανάλογα με την ώρα της ημέρας και το μήνα. Επομένως, πρόκειται να εφαρμοστεί διπλά κυκλοστάσιμο στοχαστικό μοντέλο για την αναπαραγωγή της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η διατήρηση των ωριαίων και των μηνιαίων στατιστικών χαρακτηριστικών. Το κυκλοστάσιμο μοντέλο θα εφαρμοστεί στο συνεχές μέρος της μεταβλητής της ταχύτητας του ανέμου, δηλαδή μόνο στις θετικές τιμές της ταχύτητας.

Η στοχαστική ανάλυση πρόκειται να εφαρμοστεί στο σταθμό Νέα Αγχίαλος. Έχοντας παραγάγει την αλυσίδα Markov με τιμές 0 και 1 και τη συνθετική χρονοσειρά από τις θετικές ταχύτητες, πρόκειται να γίνει πολλαπλασιασμός αυτών των δύο χρονοσειρών προκειμένου να προκύψει η τελική συνθετική χρονοσειρά της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου.

Παρακάτω αναλύονται οι διαδικασίες παραγωγής συνθετικών χρονοσειρών ανέμου με τη βοήθεια ενός κυκλοστάσιμου μοντέλου AR1 και αλυσίδων Markov πρώτης τάξης.

5.2.1 Το μοντέλο AR1

Το μοντέλο Markov σε διακριτό χρόνο ή αλλιώς το μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης AR1 (autoregressive model of order 1) είναι μία τυχαία διαδικασία που παράγει στοχαστικές ανελίξεις $\underline{x}(t)$, που έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος και την αυτοσυσχέτιση πρώτης τάξης. Η κάθε τιμή της στοχαστικής ανελίξης εξαρτάται γραμμικά από την αμέσως προηγούμενη τιμή και περιγράφεται από την παρακάτω σχέση (5.1).

$$\underline{x}(t) = a \underline{x}(t-1) + \underline{w}(t) \quad (5.1)$$

Η ακολουθία των $\underline{w}(t)$ αποτελεί λευκό θόρυβο, δηλαδή ασυσχέτιστες μεταξύ τους τιμές που ακολουθούν την ίδια κατανομή σε διακριτό χρόνο. Για την εφαρμογή του συγκεκριμένου μοντέλου απαιτείται ο υπολογισμός των στατιστικών χαρακτηριστικών του λευκού θορύβου και του συντελεστή a . Οι παρακάτω εξισώσεις απεικονίζουν τη μέση τιμή, την τυπική απόκλιση και το συντελεστή ασυμμετρίας του λευκού θορύβου, καθώς επίσης και το συντελεστή a .

$$\mu_{\underline{w}} = \mu_x(1 - a) \quad (5.2)$$

$$\sigma_{\underline{w}}^2 = \sigma_x^2(1 - a^2) \quad (5.3)$$

$$CS_{\underline{w}} = CS_x \frac{(1 - \rho_1^3)}{(1 - \rho_1^2)^{3/2}} \quad (5.4)$$

$$a = \rho_1 \quad (5.5)$$

Όπου μ_x και σ_x^2 αντιπροσωπεύουν τη μέση τιμή και τη διασπορά του δείγματος, ενώ ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης είναι ο ρ_1 .

5.2.2 Το κυκλοστάσιμο μοντέλο με διατήρηση ασυμμετρίας CAR1.

Για τη στοχαστική ανάλυση των δεδομένων θα χρησιμοποιηθεί το κυκλοστάσιμο μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης CAR1 (cyclostationary autoregressive of order 1), διατηρώντας παράλληλα την ασυμμετρία των δεδομένων. Πρόκειται για τυχαία διαδικασία που παράγει στοχαστικές ανελίξεις, η κάθε τιμή των οποίων εξαρτάται γραμμικά από την προηγούμενη τιμή και περιγράφεται από την παρακάτω σχέση (5.6).

$$\underline{x}(t) = a(t) \underline{x}(t-1) + \underline{w}(t) \quad (5.6)$$

Η $\underline{x}(t)$ είναι κυκλοστάσιμη ανελίξη σε διακριτό χρόνο. Η ακολουθία των $\underline{w}(t)$ αποτελεί λευκό θόρυβο σε διακριτό χρόνο. Τα στατιστικά χαρακτηριστικά του λευκού θορύβου για το κυκλοστάσιμο μοντέλο, δηλαδή η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής ασυμμετρίας υπολογίζονται από τις εξισώσεις (5.7), (5.8) και (5.9) αντίστοιχα. Ο συντελεστής $a(t)$ περιέχει την αυτοσυσχέτιση πρώτης τάξης και υπολογίζεται από την εξίσωση (5.10). Το μοντέλο που εφαρμόζεται αποτελεί επέκταση μίας μεθοδολογίας για τη βροχόπτωση του Παπαλεχιού (2015), ώστε να περιλαμβάνει διπλό κύκλο.

$$\mu_{\underline{w}}(t) = \mu_x(t) - a(t) \times \mu_x(t-1) \quad (5.7)$$

$$\sigma_{\underline{w}}^2(t) = (1 - \rho_1(t)^2) \times \sigma_x(t)^2 \quad (5.8)$$

$$CS_{\underline{w}}(t) = \frac{CS_x(t) - \rho_1(t) \times CS_x(t-1)}{(1 - \rho_1(t)^2)^{3/2}} \quad (5.9)$$

$$a(t) = \frac{\sigma_x(t)}{\sigma_x(t-1)} \times \rho_1(t) \quad (5.10)$$

Τα παραπάνω μεγέθη υπολογίζονται με τη βοήθεια των στατιστικών χαρακτηριστικών του δείγματος. Όπως έχει αναφερθεί, το μοντέλο που αναπτύσσεται είναι διπλά κυκλοστάσιμο. Τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ταχύτητας του ανέμου μεταβάλλονται τόσο κατά τη διάρκεια των ωρών της ημέρας (h), όσο και κατά τη διάρκεια των μηνών (m). Κάθε χρονική

στιγμή t αντιστοιχεί σε κάποια ώρα της ημέρας και κάποιο μήνα και σε κάποιο έτος. Επομένως, για τον υπολογισμό των παραπάνω μεγεθών χρειάζονται οι εξής πληροφορίες.

- $\mu_x(t)$, η μέση τιμή του δείγματος που αναφέρεται στο μήνα m και την ώρα h
- $\sigma_x^2(t)$, η διασπορά του δείγματος που αναφέρεται στο μήνα m και την ώρα h
- $\sigma_x(t)$, η τυπική απόκλιση του δείγματος που αναφέρεται στο μήνα m και την ώρα h
- $CS_x(t)$, ο συντελεστής ασυμμετρίας του δείγματος που αναφέρεται στο μήνα m και την ώρα h
- $\rho_1(t)$, ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης του δείγματος που αναφέρεται στο μήνα m και την ώρα h
- $\mu_x(t - 1)$, η μέση τιμή του δείγματος που αναφέρεται στο μήνα m και την ώρα $h-1$
- $\sigma_x(t - 1)$, η τυπική απόκλιση του δείγματος που αναφέρεται στο μήνα m και την ώρα $h-1$
- $CS_x(t - 1)$, ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης του δείγματος που αναφέρεται στο μήνα m και την ώρα $h-1$

Το μοντέλο λειτουργεί με τον παρακάτω τρόπο. Δίνεται μία αρχική τυχαία τιμή για την ωριαία ταχύτητα του ανέμου, η οποία ακολουθεί την κατανομή του λευκού θορύβου και αντιστοιχεί στην πρώτη ώρα (00:00), του πρώτου μήνα (Ιανουαρίου), του πρώτου έτους. Οι επόμενες τιμές ακολουθούν τη σχέση (5.6). Η κάθε τιμή υπολογίζεται με βάση τα στατιστικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε ώρας της ημέρας για το μήνα Ιανουάριο. Την πρώτη ώρα (00:00) του επόμενου μήνα (Φεβρουαρίου), η τιμή της ωριαίας ταχύτητας υπολογίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά του μήνα αυτού. Ακολουθούν οι υπόλοιποι μήνες, ο καθένας με τα δικά του στατιστικά χαρακτηριστικά. Τα επόμενα έτη, η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Επομένως, κάθε τιμή υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τα στατιστικά χαρακτηριστικά της δεδομένης ώρας και του μήνα.

Η ωριαία ταχύτητα του ανέμου εμφανίζει θετική ασυμμετρία, η οποία επίσης πρέπει να διατηρηθεί στη συνθετική χρονοσειρά που θα παραχθεί. Σε αυτό θα συμβάλει η κατανομή που θα επιλεγεί για το λευκό θόρυβο. Είναι απαραίτητο ο λευκός θόρυβος να ακολουθεί κατανομή τριών παραμέτρων. Με αυτό τον τρόπο, θα είναι εφικτή η διατήρηση της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης και της ασυμμετρίας των ιστορικών δεδομένων.

Επιλέχθηκε λοιπόν, ο λευκός θόρυβος να ακολουθεί τριπαραμετρική γάμα κατανομή ή αλλιώς κατανομή Pearson τύπου III. Ακολουθεί η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής.

$$f(x) = \frac{1}{b\Gamma(c)} \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left(-\frac{x-a}{b}\right) \quad (5.11)$$

Οι τρεις παράμετροι της κατανομής είναι οι a , $b > 0$, $c > 0$, οι οποίες αποτελούν τις παραμέτρους θέσης, κλίμακας και σχήματος αντίστοιχα. Οι παράμετροι μπορούν να εκτιμηθούν αναλυτικά από τις παρακάτω εξισώσεις, εφόσον είναι γνωστά τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος.

$$a = \mu - cb \quad (5.12)$$

$$b = \frac{\sigma}{\sqrt{c}} \quad (5.13)$$

$$c = \frac{4}{CS^2} \quad (5.14)$$

Όπου μ , σ και CS είναι η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής ασυμμετρίας του δείγματος. Στα παραπάνω μεγέθη θα αντικατασταθούν οι τιμές των χαρακτηριστικών του λευκού θορύβου $\mu_{\underline{w}}(t)$, $\sigma_{\underline{w}}(t)$, και $CS_{\underline{w}}(t)$ αντίστοιχα. Επομένως, κάθε τιμή του λευκού θορύβου $\underline{w}(t)$ θα είναι τυχαία από την τριπαραμετρική γάμα κατανομή.

Ο λόγος που επιλέχθηκε η τριπαραμετρική γάμα κατανομή έναντι κάποιας άλλης τριών παραμέτρων που ορίζεται στο θετικό άξονα και θα ήταν θεωρητικά πιο συνεπής, είναι ότι η μέση τιμή του λευκού θορύβου $\mu_{\underline{w}}(t)$ στο κυκλοστάσιμο μοντέλο όπως αυτό ορίζεται με κυκλοστασιμότητα σε επίπεδο ώρας μπορεί να προκύψει αρνητική (εξίσωση (5.7)) και κατά συνέπεια απαιτείται μία κατανομή με δυνατότητα να λαμβάνει και αρνητική μέση τιμή.

Πρέπει να σημειωθεί πως το παραπάνω μοντέλο ενώ διατηρεί τη μέση τιμή, την τυπική απόκλιση, την ασυμμετρία και το συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης των ιστορικών δεδομένων για κάθε μήνα και ώρα, δεν έχει τη δυνατότητα να διατηρήσει την εμμονή. Σύμφωνα με τις πανεπιστημιακές εργασίες που αναφέρθηκαν παραπάνω, η εμμονή είναι ένα φαινόμενο που συναντάται στην ταχύτητα του ανέμου. Πρόκειται για την τάση ομαδοποίησης χαμηλών (ή ψηλών) τιμών σε μεγαλύτερες περιόδους, φτωχών ανεμολογικά (ή πλούσιων ανεμολογικά) ετών (Κουτσογιάννης, 2013). Η εμμονή αναφέρεται σε μελέτη κλίμακας πολλών ετών. Στην παρούσα εργασία, γίνεται μελέτη της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου και όχι της ετήσιας. Η ταυτόχρονη διατήρηση της εμμονής με δεδομένη την στοχαστική ανάλυση στην ωριαία κλίμακα αποτελεί επίπονη διαδικασία και δεν επιχειρήθηκε στην παρούσα εργασία.

5.2.3 Εφαρμογή του μοντέλου CAR1 στα δεδομένα του σταθμού Νέα Αγχίαλος

Όπως έχει αναφερθεί, το κυκλοστάσιμο μοντέλο CAR1 με διατήρηση της ασυμμετρίας θα εφαρμοστεί μόνο στις θετικές τιμές της ταχύτητας. Η εφαρμογή του μοντέλου και η γένεση της συνθετικής χρονοσειράς έγινε για το σταθμό Νέα Αγχίαλος, στο περιβάλλον του Rstudio. Έπειτα, η συνθετική χρονοσειρά που θα παραχθεί, θα πολλαπλασιαστεί με την αλυσίδα Markov που έχει δημιουργηθεί, ώστε να προκύψει η τελική χρονοσειρά της ταχύτητας του ανέμου που θα περιλαμβάνει και μηδενικές τιμές.

Εφόσον το στοχαστικό μοντέλο είναι κυκλοστάσιμο δύο κύκλων, επιλέχθηκε να διατηρηθούν τα στατιστικά χαρακτηριστικά κάθε ώρας και κάθε μήνα. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, ο συντελεστής ασυμμετρίας και ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης των δεδομένων. Επομένως δημιουργήθηκαν πίνακες με 12 γραμμές, αντιπροσωπεύοντας τους μήνες και 24 στήλες αντιπροσωπεύοντας τις ώρες της ημέρας, με τα στατιστικά χαρακτηριστικά των δεδομένων. Αυτοί οι πίνακες απεικονίζονται στο παράρτημα A2.

Σε ό,τι αφορά τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των θετικών τιμών της ταχύτητας, παρατηρείται μία κυκλική μεταβολή μέσα στην ημέρα. Συγχρόνως, παρατηρείται ομαλή μεταβολή αυτών των στατιστικών χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια των μηνών. Επομένως, αποφασίστηκε να διατηρηθούν η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για κάθε ώρα της ημέρας και κάθε μήνα.

Η ασυμμετρία των θετικών δεδομένων εμφανίζει ακανόνιστη διακύμανση, κάτι που σημαίνει πως δε μπορεί να θεωρηθεί πως υπάρχει ημερήσια ή εποχιακή δομή και κυκλικότητα. Όμως αποφασίστηκε να διατηρηθεί ο συντελεστής ασυμμετρίας για κάθε ώρα και μήνα, για κάθε σταθμό, ώστε να δημιουργηθεί το πλήρες μοντέλο.

Η αυτοσυσχέτιση πρώτης τάξης των θετικών δεδομένων διατηρείται περίπου σταθερή για τις ώρες της ημέρας και τους μήνες. Κι εδώ αποφασίστηκε να διατηρηθεί η μέση τιμή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης για κάθε ημέρα και μήνα, για κάθε σταθμό.

Έπειτα από τη δημιουργία των πινάκων, υπολογίστηκαν τα στατιστικά χαρακτηριστικά του λευκού θορύβου (εξισώσεις (5.7) έως (5.9)) και ο συντελεστής που περιέχει την

αυτοσυσχέτιση (εξίσωση (5.10)). Επίσης, υπολογίστηκαν οι παράμετροι της τριπαραμετρικής γάμα κατανομής (εξισώσεις (5.12) έως (5.14)).

Ακολούθησε η επαναληπτική διαδικασία παραγωγής της συνθετικής χρονοσειράς ωριαίας ταχύτητας του ανέμου 1 000 ετών (8 760 000 ωριαίες τιμές). Σαν αρχική τιμή στην επαναληπτική διαδικασία δόθηκε μία τυχαία τιμή που ακολουθεί τριπαραμετρική γάμα κατανομή με παραμέτρους αυτές που υπολογίστηκαν από τα χαρακτηριστικά του λευκού θορύβου. Οι επόμενες τιμές προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου CAR1 με διατήρηση της ασυμμετρίας, όπως αναπτύχθηκε στην υποενότητα 5.2.2. Το μοντέλο παρήγαγε διαδοχικές ωριαίες τιμές της ταχύτητας όπου κάθε τιμή υπολογίστηκε με βάση τα αντίστοιχα στατιστικά χαρακτηριστικά των θετικών δεδομένων, ανάλογα με την ώρα και το μήνα. Οι ελάχιστες αρνητικές τιμές που προέκυψαν από την επαναληπτική διαδικασία, αντικαταστάθηκαν από μηδενικές τιμές.

Είναι δυνατό να γίνουν ομαδοποιήσεις των στατιστικών χαρακτηριστικών ώστε η προσομοίωση να γίνει ταχύτερη. Θα μπορούσε παραδείγματος χάριν, να χρησιμοποιηθεί μία μέση τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας για όλες τις ώρες και τους μήνες, όπως και ενιαία τιμή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης. Είναι δυνατό επίσης, να ομαδοποιηθεί η μέση ωριαία τιμή, σε μέση τιμή έξι ωρών και σε μέση τιμή ανά εποχή. Το ίδιο μπορεί να ισχύσει και για την τυπική απόκλιση. Επιλέχθηκε στην παρούσα εργασία να εφαρμοστεί το πλήρες μοντέλο.

5.2.4 Αλυσίδες Markov και πιθανότητες μετάβασης

Το επόμενο βήμα ήταν να δημιουργηθούν αλυσίδες Markov πρώτης τάξης. Η αλυσίδα Markov, που πήρε το όνομά της από τον ρώσο μαθηματικό Andrey Markov, είναι ένα μαθηματικό σύστημα που μεταβάλλεται από μία κατάσταση σε μία άλλη, ανάμεσα σε ένα πεπερασμένο αριθμό καταστάσεων. Είναι μία τυχαία διαδικασία που δε διατηρεί μνήμη για τις προηγούμενες μεταβολές. Η επόμενη κατάσταση εξαρτάται μόνο από την παρούσα κατάσταση, εφόσον αυτή είναι γνωστή και σε καμία περίπτωση από αυτές που προηγήθηκαν. Αυτό το συγκεκριμένο είδος αμνησίας ονομάζεται μαρκοβιανή ιδιότητα. Οι αλυσίδες Markov περιγράφονται πλήρως με τον ορισμό πιθανοτήτων μετάβασης από τη μία κατάσταση στις άλλες.

Μία αλυσίδα Markov πρώτης τάξης είναι μία ακολουθία τυχαίων μεταβλητών $x_1, x_2, x_3 \dots$ με τη μαρκοβιανή ιδιότητα, δηλαδή με δεδομένη την παρούσα κατάσταση, οι παλαιότερες και οι μελλοντικές καταστάσεις είναι ανεξάρτητες. Ορίζεται η σχέση (5.15):

$$P(x_{t+1} = x | x_1 = x_1, x_2 = x_2, \dots, x_t = x_t) = P(x_{t+1} = x | x_t = x_t) \quad (5.15)$$

Μπορεί να υπάρξει και μαρκοβιανή αλυσίδα m τάξης, όπου το m είναι πεπερασμένο και είναι μία διαδικασία που ικανοποιεί την παρακάτω σχέση (5.16).

$$\begin{aligned} P(x_t = x_t | x_{t-1} = x_{t-1}, x_{t-2} = x_{t-2}, \dots, x_1 = x_1) \\ = P(x_t = x_t | x_{t-1} = x_{t-1}, x_{t-2} = x_{t-2}, \dots, x_{t-m} = x_{t-m}), \text{ για } n > m \end{aligned} \quad (5.16)$$

Με άλλα λόγια η μελλοντική κατάσταση εξαρτάται από τις προηγούμενες m καταστάσεις.

Εν προκειμένω, δημιουργήθηκαν αλληλουχίες (αλυσίδες Markov) με τις διακριτές τιμές 0 και 1, όπου η τιμή 0 αντιπροσωπεύει την περίπτωση να μη φυσάει την ώρα t , ενώ η τιμή 1 την περίπτωση να φυσάει. Κάθε αλυσίδα Markov αποτελείται από 24 τιμές, όσες και οι ώρες της ημέρας. Κάθε τιμή της αλυσίδας εξαρτάται αποκλειστικά από την προηγούμενη τιμή και καθορίζεται από τις πιθανότητες μετάβασης.

Για τη δημιουργία, λοιπόν, μίας αλυσίδας Markov απαιτείται γνώση των πιθανοτήτων μετάβασης. Εν προκειμένω, για τον ωριαίο άνεμο δημιουργήθηκε ένας πίνακας με πιθανότητες μετάβασης (probability transition matrix) για κάθε ώρα της ημέρας και κάθε μήνα ($24 \times 12 = 288$ πίνακες). Κάθε πίνακας αποτελείται από τις εξής πιθανότητες (5.17):

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{pmatrix} \quad (5.17)$$

Απαιτείται η δημιουργία αυτού του πίνακα για κάθε ώρα και μήνα, όπου η πιθανότητα P_{00} εκφράζει την πιθανότητα τώρα (ώρα t) να μη φυσάει, δεδομένου ότι την προηγούμενη ώρα ($t-1$) δε φυσούσε, η P_{01} την πιθανότητα την ώρα t να φυσάει, δεδομένου ότι την ώρα $t-1$ δε φυσούσε, η P_{10} την πιθανότητα την ώρα t να μη φυσάει, δεδομένου ότι την ώρα $t-1$ φυσούσε και τέλος, η P_{11} την πιθανότητα την ώρα t να φυσάει, δεδομένου ότι την ώρα $t-1$ φυσούσε. Συνοπτικότερα, η πιθανότητα P_{ij} εκφράζεται ως εξής (σχέση (5.18)):

$$P_{ij} = P(x_t = j | x_{t-1} = i) \quad (5.18)$$

Στον πίνακα πιθανοτήτων μετάβασης, κάθε γραμμή αποτελείται από συμπληρωματικές πιθανότητες. Στην πρώτη γραμμή, είναι δεδομένο ότι την ώρα $t-1$ δε φυσούσε. Επομένως, την

ώρα t τα ενδεχόμενα είναι δύο: είτε να φυσάει, είτε να μη φυσάει και ισχύει $P_{01}=1-P_{00}$. Αντίστοιχα, στη δεύτερη γραμμή, όπου είναι δεδομένο ότι την προηγούμενη ώρα ($t-1$) φυσούσε, ισχύει $P_{11}=1-P_{10}$.

Επομένως, για τη δημιουργία κάθε πίνακα με τις πιθανότητες μετάβασης αρκεί να υπολογιστούν οι πιθανότητες P_{00} και P_{10} , καθώς οι πιθανότητες P_{01} και P_{11} αποτελούν συμπλήρωμα των άλλων δύο αντίστοιχα. Για τον υπολογισμό των P_{00} και P_{10} ισχύουν τα εξής (σχέσεις (5.19)):

$$P_{00} = \frac{N_{00}}{N_{00} + N_{01}}, P_{10} = \frac{N_{10}}{N_{10} + N_{11}} \quad (5.19)$$

Όπου N_{00} είναι ο αριθμός των διαδοχικών ζευγών τιμών της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου όπου τις ώρες t και $t-1$ δε φύσηξε, N_{01} ο αριθμός των διαδοχικών ζευγών τιμών της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου όπου την ώρα t φύσηξε και την ώρα $t-1$ δε φύσηξε, N_{10} ο αριθμός των διαδοχικών ζευγών τιμών της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου όπου την ώρα t δε φύσηξε και την ώρα $t-1$ φύσηξε και N_{11} ο αριθμός των διαδοχικών ζευγών τιμών της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου όπου τις ώρες t και $t-1$ φύσηξε. Εάν μία τουλάχιστον τιμή από το ζεύγος που εξετάζεται είναι κενή (not available), το ζεύγος αποκλείεται από την επεξεργασία.

Εφόσον υπολογιστούν όλοι οι πίνακες των πιθανοτήτων μετάβασης, μπορούν να παραχθούν αλυσίδες Markov, δηλαδή αλληλουχίες τιμών 0 (δε φυσάει) και 1 (φυσάει) που να αναπαράγουν τη δομή των δεδομένων μετρήσεων. Η παραγωγή των αλυσίδων Markov $B(t)$ έγινε όπως αναλύεται παρακάτω (σχέση (5.20)). Η μεταβλητή \underline{u} ακολουθεί ομοιόμορφη κατανομή και παίρνει τυχαίες τιμές μεταξύ του διαστήματος (0,1). Εάν την ώρα $t-1$ δε φυσάει, δηλαδή $B(t-1) = 0$ και η τιμή που παίρνει η μεταβλητή \underline{u} είναι μικρότερη από την πιθανότητα P_{00} , τότε για την ώρα t ισχύει $B(t) = 0$, διαφορετικά $B(t) = 1$. Εάν την ώρα $t-1$ φυσάει, δηλαδή $B(t-1) = 1$ και η τιμή που παίρνει η μεταβλητή \underline{u} είναι μικρότερη από την πιθανότητα P_{10} , τότε για την ώρα t ισχύει $B(t) = 0$, διαφορετικά $B(t) = 1$.

$$B(t) = \begin{cases} B(t-1) = 0, & \text{if } (\underline{u} < P_{00}, 0, 1) \\ B(t-1) = 1, & \text{if } (\underline{u} < P_{10}, 0, 1) \end{cases} \quad (5.20)$$

5.2.5 Εφαρμογή των αλυσίδων Markov στο σταθμό Νέα Αγχίαλος

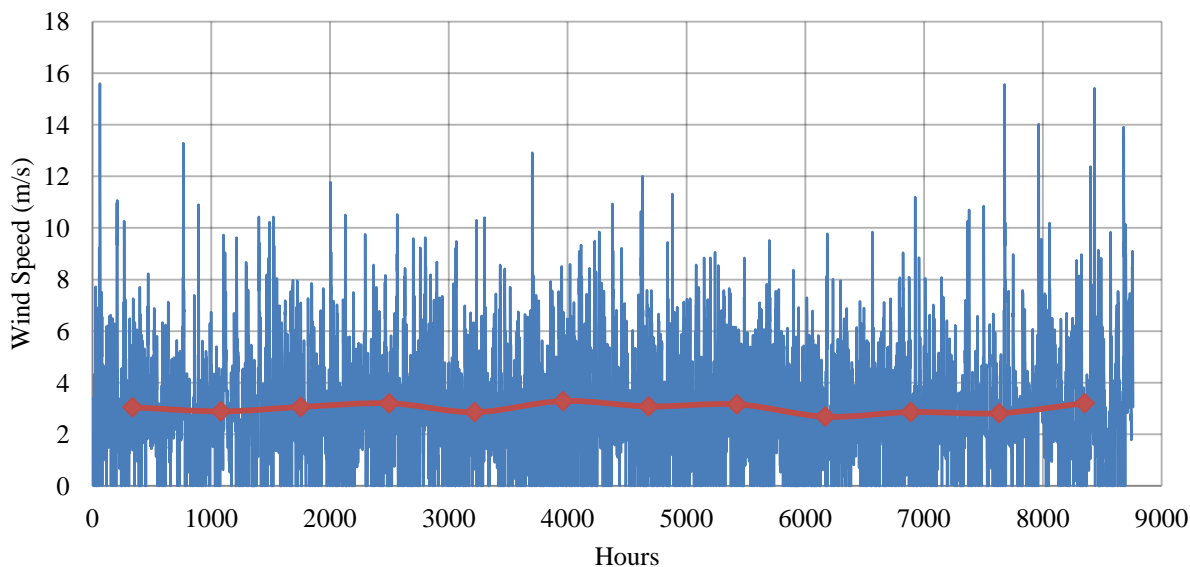
Για το σταθμό στη Νέα Αγχίαλο, υπολογίστηκαν οι πίνακες των πιθανοτήτων μετάβασης και παρουσιάζονται στο παράρτημα Β. Παρατηρείται πως η πιθανότητα P_{00} είναι μεγαλύτερη της συμπληρωματικής της P_{01} , με μέση τιμή για όλες τις ώρες και τους μήνες 0.62 και 0.38 αντίστοιχα. Δηλαδή είναι πιθανότερο όταν την ώρα $t-1$ επικρατεί νηνεμία, την ώρα t να εξακολουθήσει το ίδιο καθεστώς. Η πιθανότητα P_{00} εμφανίζει σημαντική διακύμανση μέσα στην ημέρα, καθώς τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες μειώνεται αισθητά. Επιπλέον, παρουσιάζει διακύμανση και κατά τη διάρκεια των μηνών, καθώς η πιθανότητα P_{00} μειώνεται τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό οφείλεται στο ότι η πιθανότητα νηνεμίας κατά τη διάρκεια της ημέρας και των θερινών μηνών είναι χαμηλότερη των άλλων περιόδων. Τα παραπάνω καταδεικνύουν την αναγκαιότητα διατήρησης αυτής της συστηματικής διακύμανσης μέσω της αλυσίδας Markov.

Στην περίπτωση των συμπληρωματικών πιθανοτήτων P_{10} και P_{11} , παρατηρείται πως όταν την ώρα $t-1$ η ταχύτητα του ανέμου είναι θετική (δηλαδή φυσάει), η συντριπτική πιθανότητα είναι και την επόμενη ώρα t να επικρατεί το ίδιο καθεστώς. Οι μέσες τιμές για τις δύο αυτές πιθανότητες είναι 0.06 και 0.94 αντίστοιχα.

Ακολούθησε η επαναληπτική διαδικασία παραγωγής της αλυσίδας Markov πρώτης τάξης 1 000 ετών (8 760 000 ωριαίες τιμές). Παράχθηκαν διαδοχικές τιμές για κάθε ώρα, με βάση τις πιθανότητες μετάβασης που έχουν εξαχθεί.

5.2.6 Παραγωγή τελικής συνθετικής χρονοσειράς της ωριαίας ταχύτητας

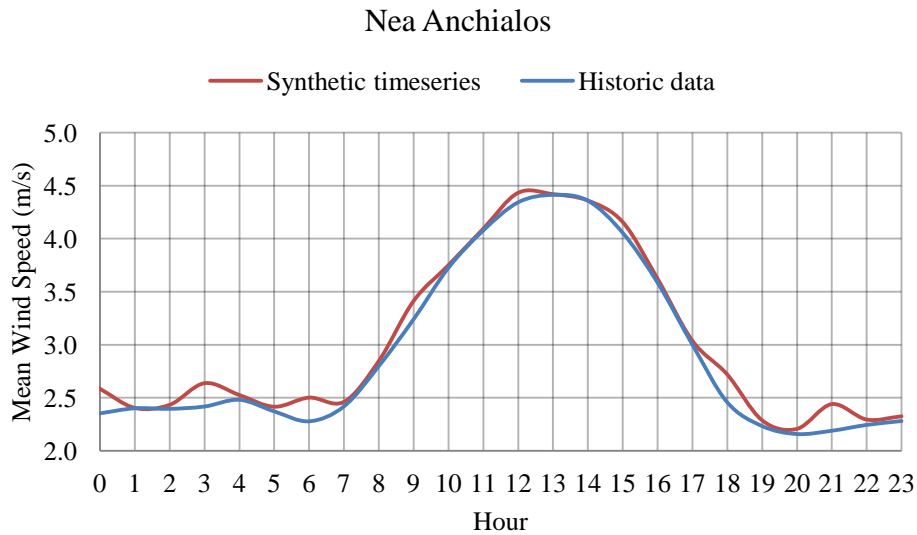
Το τελικό στάδιο του μοντέλου ήταν ο πολλαπλασιασμός της συνθετικής χρονοσειράς των 1 000 ετών με την αλυσίδα Markov πρώτης τάξης 1 000 ετών. Με αυτό τον τρόπο, προέκυψε η τελική συνθετική ωριαία χρονοσειρά της ταχύτητας του ανέμου. Στο παρακάτω γράφημα (Εικόνα 5.1), εμφανίζεται η προσομοίωση της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου όπως έγινε, για ένα έτος (8 760 ώρες). Με την κόκκινη καμπύλη παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της ωριαίας ταχύτητας για τον κάθε μήνα. Παρατηρείται μικρή αύξηση τους θερινούς μήνες.



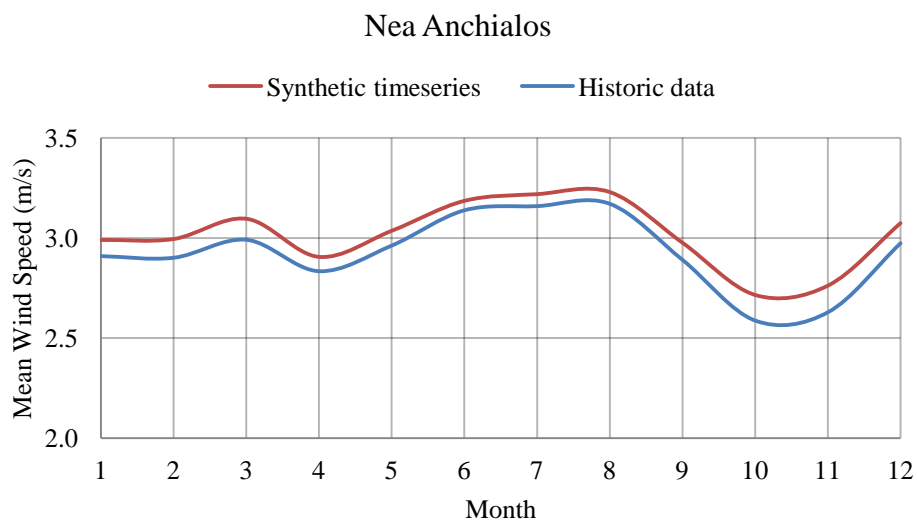
Εικόνα 5.1: Προσομοίωση ενός έτους (8 760 ώρες) της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου.

Υπολογίστηκαν οι πίνακες της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης, του συντελεστή ασυμμετρίας, του συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης και της πιθανότητας νηνεμίας της τελικής χρονοσειράς, ώστε να συγκριθούν με τους αρχικούς πίνακες των δεδομένων και τελικά να εξαχθεί η ακρίβεια και η αποτελεσματικότητα του μοντέλου CAR1 που εφαρμόστηκε για το σταθμό στη Νέα Αγχίαλο. Οι πίνακες και τα γραφήματα παρουσιάζονται στο παράρτημα Β.

Στα γραφήματα του παραρτήματος Β συγκρίνονται τα χαρακτηριστικά της συνθετικής χρονοσειράς με αυτά των αρχικών δεδομένων. Προκύπτει πως όλα τα χαρακτηριστικά έχουν προσομοιωθεί πολύ ικανοποιητικά και συγκλίνουν μεταξύ τους. Η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση και η ασυμμετρία ανά ώρα και ανά μήνα προσομοίωσης δεν αποκλίνει σχεδόν καθόλου από τα ιστορικά δεδομένα. Η πιθανότητα νηνεμίας και ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης ανά ώρα και μήνα έχουν προσομοιωθεί αρκετά ικανοποιητικά, με πολύ μικρές αποκλίσεις. Στα παρακάτω γραφήματα (Εικόνα 5.2 - Εικόνα 5.3) εμφανίζεται η σύγκλιση των ιστορικών δεδομένων με το αποτέλεσμα της συνθετικής χρονοσειράς, σε ό,τι αφορά τη μέση τιμή της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου.



Εικόνα 5.2: Σύγκριση των ιστορικών δεδομένων και της συνθετικής χρονοσειράς της ωριαίας μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου για το σταθμό Νέα Αγχιάλος



Εικόνα 5.3: Σύγκριση των ιστορικών δεδομένων και της συνθετικής χρονοσειράς της ωριαίας μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου ανά μήνα για το σταθμό Νέα Αγχιάλος

6 Προσομοίωση παραγωγής αιολικής ενέργειας

Έπειτα από τον υπολογισμό της συνθετικής χρονοσειράς της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου, μπορεί να υπολογιστεί η ωριαία παραγωγή αιολικής ενέργειας. Θα επιλεγθεί ένας συγκεκριμένος τύπος ανεμογεννήτριας και θα υπολογιστεί η αιολική ενέργεια που μπορεί να παραγάγει μία ανεμογεννήτρια.

6.1 Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας και συντελεστής ισχύος²

Η καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας (ρυθμός μεταβολής της ενέργειας στη μονάδα του χρόνου) είναι η καμπύλη που περιγράφει τη σχέση μεταξύ της καθαρής ενέργειας που παράγεται από μία ανεμογεννήτρια και της ταχύτητας του ανέμου στη συγκεκριμένη θέση. Οι καμπύλες ισχύος συνήθως εκτιμώνται εμπειρικά, από μετρήσεις πεδίου της ταχύτητας του ανέμου με ανεμόμετρο και μέτρηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος.

Η σχέση μεταξύ ταχύτητας του ανέμου και ηλεκτρικής ισχύος δεν είναι γραμμική. Η ανεμογεννήτρια δεν αποδίδει καθόλου ισχύ για ταχύτητες ανέμου μικρότερες από κάποιο κάτω όριο, όπως και για ταχύτητες μεγαλύτερες από κάποιο άνω όριο. Από το κάτω όριο η παραγόμενη ισχύς αυξάνεται με αρχικά μικρό ρυθμό. Στη συνέχεια η καμπύλη παίρνει τη μέγιστη κλίση, ώσπου να φτάσει σε ένα πλατό, όπου η ισχύς παραμένει σταθερή παρά την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου. Στο άνω όριο της ταχύτητας σταματά η παραγωγή ισχύος.

Η θεωρητική ισχύς της ανεμογεννήτριας υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση (Μαμάσης, 2013).

$$I = E/t = (1/2)mu^2/t = (1/2)\rho LAu^2/t = (1/2)\rho Au^3 \quad (6.1)$$

Όπου,

- I , η αιολική ισχύς (W)
- E , η κινητική ενέργεια (J)
- t , ο χρόνος (s)
- m , η μάζα αέρα (kg)

² Τμήμα αυτής της ενότητας πάρθηκε από τη διπλωματική εργασία του Ιωάννου, 2012.

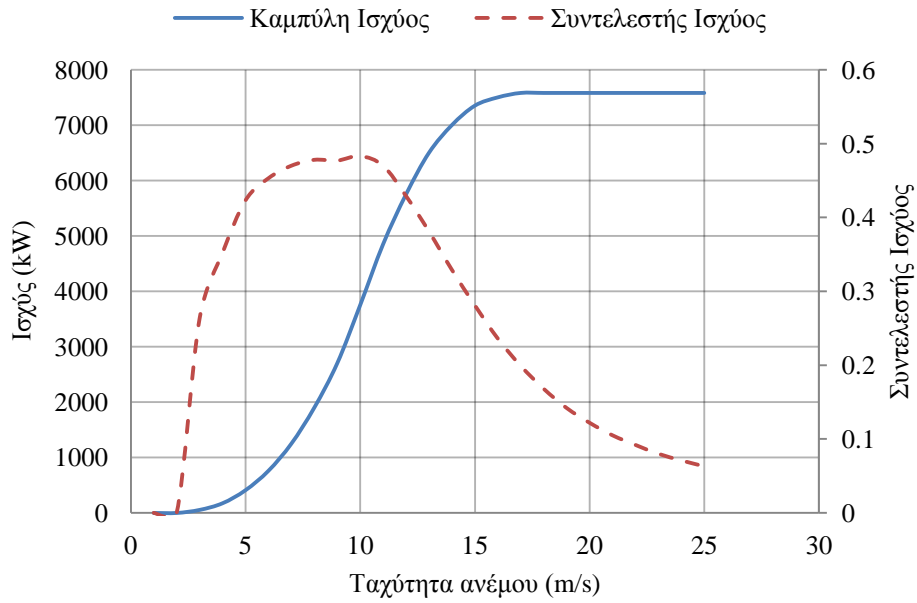
- u , η ταχύτητα του ανέμου (m/s)
- ρ , η πυκνότητα του αέρα (kg/m^3)
- A , η επιφάνεια αναφοράς (m^2)
- L , η διαδρομή του ανέμου σε χρόνο t (m)

Ο συντελεστής ισχύος είναι ο λόγος της ισχύος που παράγει η ανεμογεννήτρια για κάθε ταχύτητα του ανέμου προς τη θεωρητική ισχύ. Δηλαδή, είναι ο αεροδυναμικός βαθμός απόδοσης πτερωτής και έχει μέγιστο όριο την τιμή $C \leq 16/27 = 0.593$ (όριο Betz, 1919). Άρα υψηλός συντελεστής ισχύος ισοδυναμεί με υψηλή εκμετάλλευση της διατιθέμενης ενέργειας και αντίστοιχα χαμηλός συντελεστής με χαμηλή εκμετάλλευση. Ο συντελεστής αυξάνεται απότομα με την έναρξη λειτουργίας της ανεμογεννήτριας και συνεχίζει να αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας έως ένα μέγιστο. Έπειτα, ο συντελεστής μειώνεται συνεχώς μέχρι το σημείο που σταματά να λειτουργεί η ανεμογεννήτρια. Ο συντελεστής σε εκείνη την περιοχή του διαγράμματος έχει πολύ χαμηλή τιμή, αφού με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου η αποδιδόμενη ισχύς παραμένει σταθερή.

Η ανεμογεννήτρια που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της παραγόμενης αιολικής ενέργειας είναι η E126 / 7.5 MW της Enercon. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της παρουσιάζονται στην παρακάτω Εικόνα 6.1. Σημειώνεται πως είναι από τις ισχυρότερες αιολικές μηχανές, διαθέσιμες στο εμπόριο.

Ισχύς:	7 500 kW	Ταχύτητα περιστροφής:	Κυμαινόμενη, 5-11.7 rpm
Διάμετρος ρότορα:	127 m	Pitch control:	ENERCON single blade pitch system;
Ύψος κόμβου:	135 m		one independent pitch system per rotor
Wind zone (DIBt):	WZ III		blade with allocated emergency supply
Wind class (IEC):	IEC/NVN IA	Drive train with generator	
Ρότορας		Κόμβος:	Rigid
Τύπος:	Upwind rotor with active pitch control	Main bearing:	Single-row tapered roller bearing
Κατεύθυνση περιστροφής:	Ωρολογιακή	Generator:	ENERCON direct-drive annular generator
Αριθμός πτερυγίων	3	Grid feed:	ENERCON inverter
Περιοχή σάρωσης:	12 668 m ²	Brake systems:	– 3 independent pitch control systems with emergency power supply
Υλικό λεπίδας:	GRP (epoxy resin) / GRP; GRP (epoxy resin) / steel; Built-in lightning protection	Yaw system:	– Rotor brake Active via yaw gear, load-dependent damping
		Cut-out wind speed:	28 – 34 m/s
		Remote monitoring:	ENERCON SCADA

Εικόνα 6.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας E126 / 7.5 MW της Enercon



Εικόνα 6.2: Καμπύλη ισχύος και συντελεστής ισχύος της επιλεγμένης ανεμογεννήτριας

Στην Εικόνα 6.2 φαίνεται η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας που επιλέχθηκε, καθώς και ο συντελεστής ισχύος. Η ελάχιστη ταχύτητα ανέμου που απαιτείται για την παραγωγή ενέργειας είναι τα 3 m/s. Η μέγιστη ταχύτητα ανέμου, πάνω από την οποία σταματά η παραγωγή ενέργειας είναι τα 25 m/s. Ο πίνακας από όπου παράχθηκαν οι παραπάνω καμπύλες απεικονίζεται παρακάτω (Πίνακας 6.1).

Πίνακας 6.1: Ισχύς και συντελεστής ισχύος για τις διάφορες ταχύτητες του ανέμου για την ανεμογεννήτρια E126 / 7.5 MW της Enercon

Ταχ. Ανέμου (m/s)	Ισχύς (KW)	Συντελεστής Ισχύος
1	0	0
2	0	0
3	55	0.263
4	175	0.352
5	410	0.423
6	760	0.453
7	1250	0.47
8	1900	0.478
9	2700	0.477
10	3750	0.483
11	4850	0.47
12	5750	0.429
13	6500	0.381
14	7000	0.329
15	7350	0.281
16	7500	0.236
17	7580	0.199
18	7580	0.168
19	7580	0.142
20	7580	0.122
21	7580	0.105
22	7580	0.092
23	7580	0.08
24	7580	0.071
25	7580	0.063

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προσαρμόστηκε πολυωνυμική καμπύλη στην καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας και προέκυψε η παρακάτω σχέση (6.2) για την αποδιδόμενη ισχύ.

$$y = -0.0029x^6 + 0.2339x^5 - 7.092x^4 + 95.5x^3 - 526.21x^2 + 1222.8x - 865.71 \quad (6.2)$$

Η αποδιδόμενη ισχύς πολλαπλασιαζόμενη με το χρονικό διάστημα πνοής του ανέμου με τη συγκεκριμένη ταχύτητα, δίνει την παραγόμενη ενέργεια.

6.2 Υπολογισμός της ταχύτητας του ανέμου στο ύψος τοποθέτησης

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας, η ταχύτητα του ανέμου πρέπει να αναχθεί στο ύψος του κόμβου της ανεμογεννήτριας. Όπως έχει αναφερθεί, η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται με το υψόμετρο. Σύμφωνα με τους Κουτσογιάννη και Ξανθόπουλο (1999), η υψομετρική μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου δίνεται από την παρακάτω σχέση.

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{\ln \frac{z_2}{z_0}}{\ln \frac{z_1}{z_0}} \quad (6.3)$$

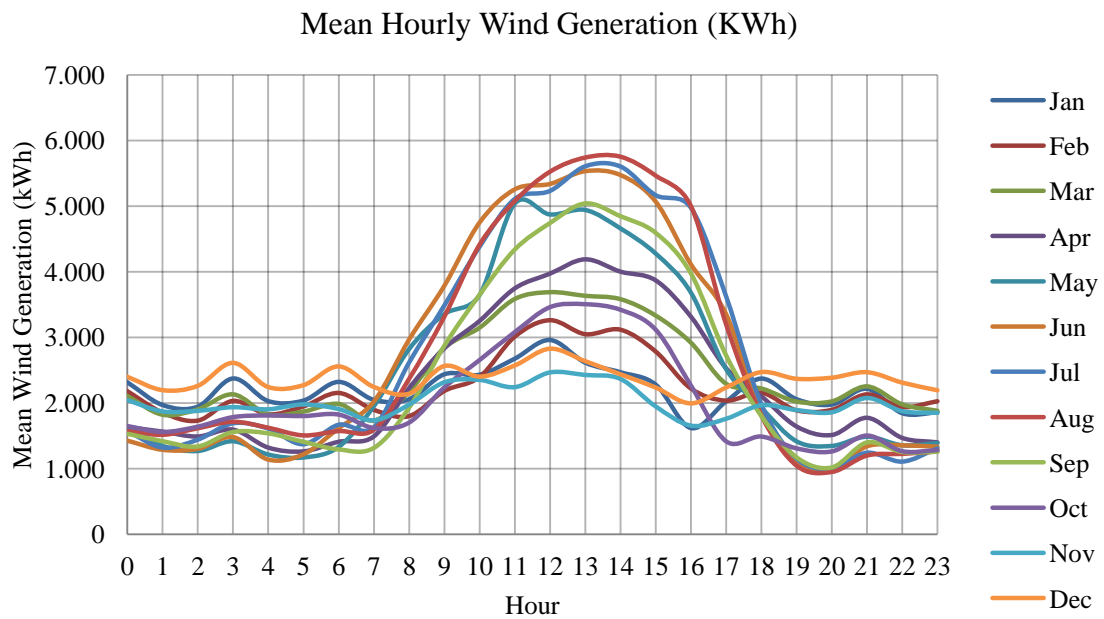
Όπου u_1 και u_2 , η ταχύτητα του ανέμου σε ύψη z_1 και z_2 αντίστοιχα και z_0 η παράμετρος τραχύτητας του εδάφους. Το ύψος μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου, δηλαδή το ύψος τοποθέτησης του ανεμόμετρου στο σταθμό Νέα Αγχίαλος είναι $z_1 = 10$ m και το ύψος κόμβου της επιλεγμένης ανεμογεννήτριας $z_2 = 135$ m. Επιλέχθηκε συντελεστής τραχύτητας $z_0 = 2$, καθώς ο σταθμός είναι τοποθετημένος στην περιοχή του αεροδρομίου της Νέας Αγχιάλου και στη γύρω περιοχή δε συναντώνται εμπόδια.

6.3 Υπολογισμός της παραγόμενης αιολικής ενέργειας

Έγινε η εφαρμογή της παραπάνω διαδικασίας στη συνθετική χρονοσειρά της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου στο σταθμό της Νέας Αγχιάλου. Αρχικά, έγινε αναγωγή της ωριαίας ταχύτητας στο ύψος του κόμβου τοποθέτησης της ανεμογεννήτριας, σύμφωνα με τη σχέση (6.3). Έπειτα, για κάθε τιμή της ταχύτητας υπολογίστηκε η αποδιδόμενη ισχύς, σύμφωνα με τη σχέση (6.2). Εφόσον πρόκειται για ωριαία ταχύτητα, η αποδιδόμενη ισχύς είναι επίσης ωριαία. Η ωριαία ενέργεια που παράγεται, προκύπτει εάν πολλαπλασιαστεί η ωριαία αποδιδόμενη ισχύς με το χρόνο, δηλαδή τη μία ώρα. Έπειτα από τα παραπάνω και τον υπολογισμό των μέσων ωριαίων τιμών της ενέργειας, προέκυψαν τα παρακάτω γραφήματα Εικόνα 6.3 - Εικόνα 6.6.

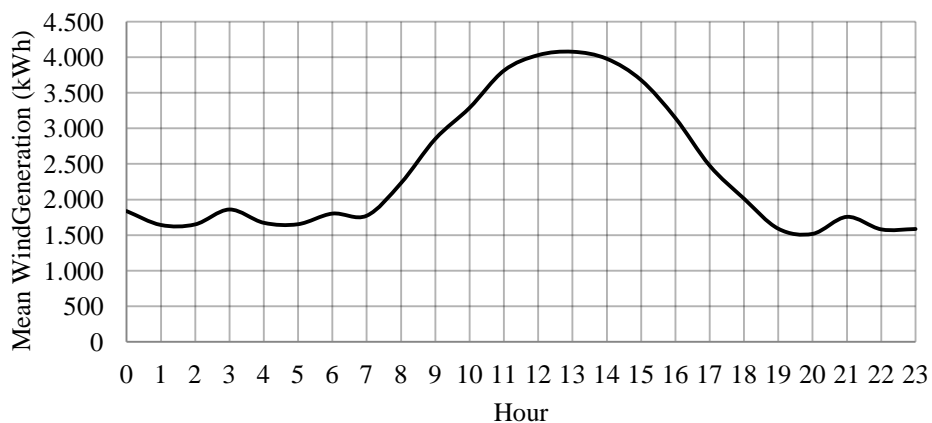
Στην Εικόνα 6.3 απεικονίζεται η μέση ωριαία παραγωγή ενέργειας για κάθε μήνα σε KWh. Παρατηρείται έντονη διακύμανση τους θερινούς μήνες με τη μέση ενέργεια να τριπλασιάζεται τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες, σε σχέση με τις βραδινές. Η μορφή του

γραφήματος αλλάζει τους χειμερινούς μήνες, όπου τα γραφήματα παρουσιάζουν μικρή διακύμανση στο εικοσιτετράωρο.



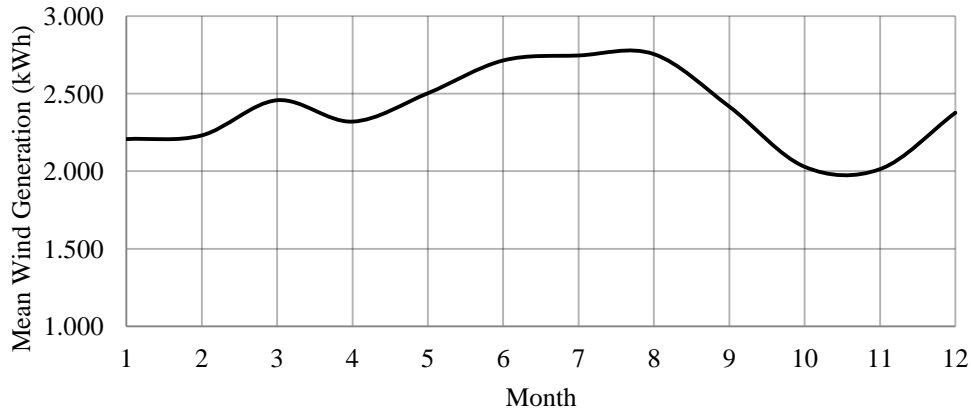
Εικόνα 6.3: Μέση ωριαία παραγωγή ενέργειας για κάθε μήνα (kWh) στο σταθμό Νέα Αγχίαλος

Παρακάτω (Εικόνα 6.4) παρουσιάζεται το γράφημα της μέσης ωριαίας παραγωγής ενέργειας για όλους τους μήνες. Η μορφή του γραφήματος είναι συναφής με αυτή της μέσης ωριαίας ταχύτητας του ανέμου. Η μέση ωριαία παραγωγή ενέργειας ανέρχεται σε 2.4 MWh.



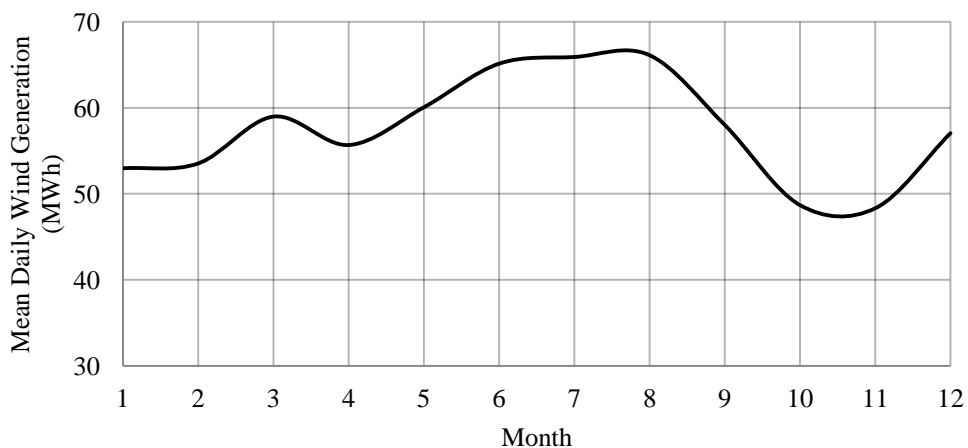
Εικόνα 6.4: Μέση ωριαία παραγωγή ενέργειας (kWh) στο σταθμό Νέα Αγχίαλος

Στην Εικόνα 6.5 παρουσιάζεται η μέση ωριαία παραγωγή ενέργειας ανά μήνα, ξεκινώντας από τον Ιανουάριο (τιμή 1 του οριζόντιου άξονα) έως το Δεκέμβριο. Η μορφή και αυτού του γραφήματος είναι συναφής με αυτή της μέσης ωριαίας ταχύτητας ανά μήνα.



Εικόνα 6.5: Μέση ωριαία παραγωγή ενέργειας (kWh) ανά μήνα στο σταθμό Νέα Αγχιάλος

Έπειτα έγινε αναγωγή της ωριαίας παραγωγής ενέργειας σε ημερήσια. Το γράφημα της μέσης ημερήσιας παραγωγής ανά μήνα απεικονίζεται παρακάτω. Η μέση ημερήσια παραγωγή ενέργειας (δηλαδή σε 24 ώρες) είναι 57.5 MWh, ικανή να καλύψει τις ημερήσιες ανάγκες περίπου 2 000 νοικοκυριών (με παραδοχή μέσης ημερήσιας κατανάλωσης τις 27.7 kWh ανά νοικοκυριό).



Εικόνα 6.6: Μέση ημερήσια παραγωγή ενέργειας ανά μήνα σε MWh.

Κάνοντας αναγωγή στη μηνιαία και την ετήσια κλίμακα προκύπτει πως η μέση παραγωγή ανέρχεται σε 1 725 MWh το μήνα και σε 20 988 MWh το έτος περίπου. Ο συντελεστής δυναμικότητας της ανεμογεννήτριας είναι $20\,988\text{ MWh}/(8766\text{ h} \times 7.5\text{ MW}) = 0.32$.

7 Σύνοψη - Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρήθηκε η στατιστική και στοχαστική ανάλυση της ταχύτητας του ανέμου στην ωριαία κλίμακα. Η ανάλυση εφαρμόστηκε σε σταθμούς της ΕΜΥ στην Κεντρική Ελλάδα. Τέλος, έγινε προσομοίωση της αιολικής παραγωγής ενέργειας, έχοντας ως δεδομένα τα αποτελέσματα που παράχθηκαν κατά τη στοχαστική ανάλυση της μεταβλητής της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου. Παρακάτω, θα περιγραφεί εν συντομία η διαδικασία που ακολουθήθηκε και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν.

Αρχικά, έγινε η συλλογή των δεδομένων της ταχύτητας του ανέμου, μέσω της διαδικτυακής υπηρεσίας του NCDC (National Climatic Data Center). Αναζητήθηκαν τα ανεμολογικά δεδομένα στους σταθμούς της ΕΜΥ Λάρισα, Νέα Αγχίαλος, Τρίκαλα, Φίλιππος (Κοζάνη), Λαμία και Αγρίνιο. Διαπιστώθηκε πως οι σταθμοί στα Τρίκαλα και το Αγρίνιο διαθέτουν ελλιπή δεδομένα, επομένως αποκλείστηκαν από τη μετέπειτα επεξεργασία. Στα δεδομένα των υπόλοιπων σταθμών έγινε κανονικοποίηση του χρονικού βήματος σε ωριαίο ώστε κάθε μέτρηση να αναφέρεται στο πρώτο λεπτό της ώρας, με τη βοήθεια του προγράμματος Υδρογνώμων. Επομένως, τα ανεμολογικά δεδομένα ήταν έτοιμα προς στατιστική επεξεργασία.

Έπειτα, έγινε υπολογισμός των διαγραμμάτων εμπειρικής πυκνότητας πιθανότητας για κάθε σταθμό. Στα διαγράμματα αυτά, φάνηκε πως μη αμελητέο ποσοστό των δεδομένων μετρήσεων της ωριαίας ταχύτητας είναι μηδέν, δηλαδή σε σημαντικό ποσοστό του χρόνου επικρατούν συνθήκες νηνεμίας. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε σε όλους τους σταθμούς και οδήγησε στο συμπέρασμα πως η ωριαία ταχύτητα του ανέμου είναι μεταβλητή μικτού τύπου. Αποτελείται δηλαδή, από το διακριτό μέρος με τις μηδενικές τιμές και από το συνεχές μέρος με τις θετικές τιμές της ταχύτητας.

Ακολούθησε η παρουσίαση των θηκογραμμάτων ανά μήνα, ανά ώρα, για κάθε σταθμό και για τις δύο περιπτώσεις, δηλαδή για τα συνολικά δεδομένα και τα θετικά δεδομένα. Παρατηρήθηκε σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των θηκογραμμάτων με τα συνολικά δεδομένα και των αυτών με τα θετικά, ειδικά για τους σταθμούς για τους οποίους προέκυψε υψηλό ποσοστό νηνεμίας (Φίλιππος, Λάρισα). Γενικότερα, η διάμεσος της ωριαίας ταχύτητας φάνηκε να αυξάνεται από το πρωί έως το μεσημέρι και να μειώνεται τις βραδινές ώρες. Επίσης, αυτή η διακύμανση είναι εντονότερη κατά τους θερινούς μήνες, από ό,τι κατά τους χειμερινούς. Από τα θηκογράμματα λοιπόν, εντοπίστηκε μία διπλή διακύμανση της ωριαίας

ταχύτητας του ανέμου, δηλαδή διακύμανση μέσα στην ημέρα και διακύμανση κατά τη διάρκεια των μηνών.

Ακολούθησε η στατιστική ανάλυση των δεδομένων των σταθμών. Στο περιβάλλον του Rstudio υπολογίστηκαν τα ωριαία στατιστικά χαρακτηριστικά της ταχύτητας του ανέμου και εξήχθησαν πίνακες και γραφήματα. Από τη μέση τιμή της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου διαπιστώθηκε και πάλι πως η ταχύτητα του ανέμου δεν είναι σταθερή, αλλά παρουσιάζει μία μη αμελητέα και ομαλή μεταβολή, τόσο μέσα στην ημέρα, όσο και μεταξύ των μηνών. Στο εικοσιτετράωρο, η ταχύτητα αυξάνεται την ημέρα, με μέγιστη τιμή τις μεσημεριανές ώρες, ενώ το βράδυ μειώνεται. Επιπλέον, η μέση τιμή της ωριαίας ταχύτητας συνήθως είναι μεγαλύτερη κατά τους θερινούς και τους χειμερινούς μήνες, από ό,τι την άνοιξη και το φθινόπωρο.

Σε ό,τι αφορά την τυπική απόκλιση της ωριαίας ταχύτητας, διαπιστώθηκε ότι παραμένει περίπου σταθερή τόσο μέσα στο εικοσιτετράωρο, όσο και κατά τη διάρκεια των μηνών (σε κάποιους σταθμούς μειώνεται λίγο τους θερινούς μήνες). Η ασυμμετρία είναι θετική, τυπικό χαρακτηριστικό των ανεμολογικών δεδομένων. Τα γραφήματα για το συντελεστή ασυμμετρίας φανέρωσαν ακανόνιστη διακύμανση στο εικοσιτετράωρο, αλλά και μεταξύ των μηνών. Ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης διατηρείται περίπου σταθερός, με μικρές διακυμάνσεις μέσα στην ημέρα, αλλά και κατά τη διάρκεια των μηνών και έχει μέση τιμή περίπου 0.8 στους σταθμούς, κάτι που φανερώνει ισχυρή δομή αυτοσυσχέτισης. Τέλος, εξετάστηκε η πιθανότητα νηνεμίας, όπου παρατηρήθηκε αυξημένη πιθανότητα τις βραδινές ώρες και μειωμένη τις μεσημεριανές ώρες σε όλους τους σταθμούς. Επιπλέον, φάνηκε πως τους θερινούς μήνες η πιθανότητα νηνεμίας μειώνεται.

Η στοχαστική ανάλυση βασίστηκε στα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας. Αποφασίστηκε να γίνει προσομοίωση διπλού κύκλου, δηλαδή να παραχθεί μία συνθετική χρονοσειρά που να μπορεί να διατηρεί τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά και των μηνών. Επιλέχθηκε το διπλά κυκλοστάσιμο μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης CAR1, με διατήρηση της ασυμμετρίας. Το μοντέλο εφαρμόστηκε στα θετικά δεδομένα της ωριαίας ταχύτητας.

Παράλληλα, αντιμετωπίστηκε το ζήτημα των μηδενικών τιμών της ωριαίας ταχύτητας, που όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση αποτελούν σημαντικό ποσοστό των δεδομένων. Για την προσομοίωσή τους δημιουργήθηκε μία αλυσίδα Markov πρώτης τάξης. Πρόκειται για τυχαία διαδικασία που βασίστηκε στις πιθανότητες μετάβασης και παρήγαγε μία αλληλουχία

τιμών 0 και 1, όπου η τιμή 0 αναπαριστά το ενδεχόμενο να μη φυσάει τη δεδομένη ώρα της ημέρας, ενώ η τιμή 1 το ενδεχόμενο να φυσάει.

Η γέννηση της τελικής συνθετικής χρονοσειράς της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου 1 000 ετών έγινε με τον πολλαπλασιασμό της χρονοσειράς που προέκυψε από το μοντέλο CAR1 με διατήρηση ασυμμετρίας και της αλυσίδας Markov. Τα αποτελέσματα φάνηκε πως ανταποκρίνονται πολύ ικανοποιητικά στην πραγματικότητα. Με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε, η συνθετική χρονοσειρά μπόρεσε να διατηρήσει τη μέση τιμή, την τυπική απόκλιση, το συντελεστή ασυμμετρίας, το συντελεστή αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης καθώς και την πιθανότητα νηνεμίας των ιστορικών δεδομένων για κάθε ώρα της ημέρας και κάθε μήνα.

Εφόσον επιβεβαιώθηκε ότι το μοντέλο λειτούργησε ικανοποιητικά, υπολογίστηκε η παραγόμενη ωριαία αιολική ενέργεια που προκύπτει από τη συνθετική χρονοσειρά της ωριαίας ταχύτητας και την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας που επιλέχθηκε. Η ωριαία παραγωγή ενέργειας ακολουθεί ίδιας μορφής καμπύλη με τη μέση ωριαία ταχύτητα του ανέμου. Υπολογίστηκαν η μέση ημερήσια, μηνιαία και ετήσια παραγωγή ενέργειας. Η μέση ετήσια παραγωγή είναι 21 GWh και ο συντελεστής δυναμικότητας της ανεμογεννήτριας είναι 0.32.

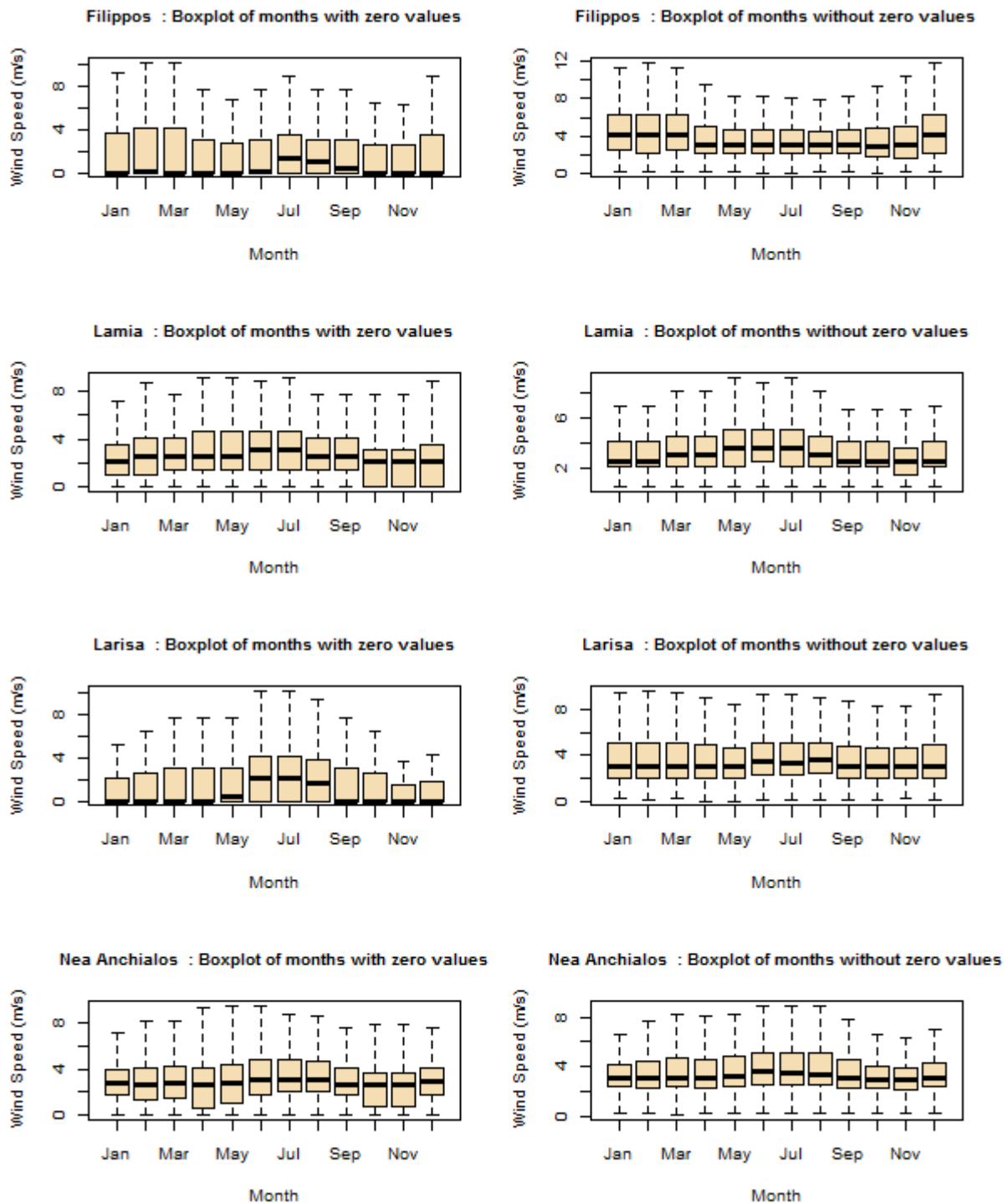
8 Βιβλιογραφικές Αναφορές

1. Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999. (<http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/115/>)
2. Κουτσογιάννης, Δ., *Στατιστική Υδρολογία*, Έκδοση 4, 312 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1997. (<http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/122/>)
3. Κουτσογιάννης, Δ., *Σημειώσεις Στοχαστικών Μεθόδων στους Υδατικούς Πόρους*, Έκδοση 4, 100 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2013. (<http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/207/>)
4. Ανδρίτσος, Ν., *Ενέργεια και περιβάλλον*, Διδακτικές σημειώσεις, 324 σελίδες, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2008.
5. Μαμάσης, Ν., *Αιολική Ενέργεια*, Σημειώσεις Εισαγωγής στην Ενεργειακή Τεχνολογία, 26 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2013. (http://users.itia.ntua.gr/nikos/energy/ene_wind_13.pdf)
6. Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ), *Μηνιαίο Δελτίο Ενέργειας*, 32 σελίδες, Δεκέμβριος 2014. (<http://www.admie.gr/>)
7. Τσεκούρας, Γ., *Στοχαστική ανάλυση και προσομοίωση υδρομετεωρολογικών διεργασιών σχετικών με την αιολική και ηλιακή ενέργεια*, Διπλωματική εργασία, 246 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2012. (<http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1300/>)
8. Ιωάννου, Χ., *Στοχαστική προσομοίωση και βελτιστοποίηση υβριδικού συστήματος ανανεώσιμης ενέργειας*, Διπλωματική εργασία, 122 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2012.
9. Δημάκος, Ι., *Στοχαστική ανάλυση και προσομοίωση πολλαπλής κλίμακας του ανέμου στην Ελλάδα*, Μεταπτυχιακή εργασία, σελ. 7-8, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2014. (<http://www.itia.ntua.gr/en/docinfo/1446/>)
10. Παππά, Ι., *Πιθανοτική ανάλυση της ταχύτητας του ανέμου και διερεύνηση της αιολικής παραγωγής στον Ελλαδικό χώρο*, Διπλωματική εργασία, σελ. 4, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2014. (<http://www.itia.ntua.gr/en/docinfo/1479/>)
11. Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ), *Η στατιστική της αιολικής ενέργειας για το 2014*. (<http://eletaen.gr/>)

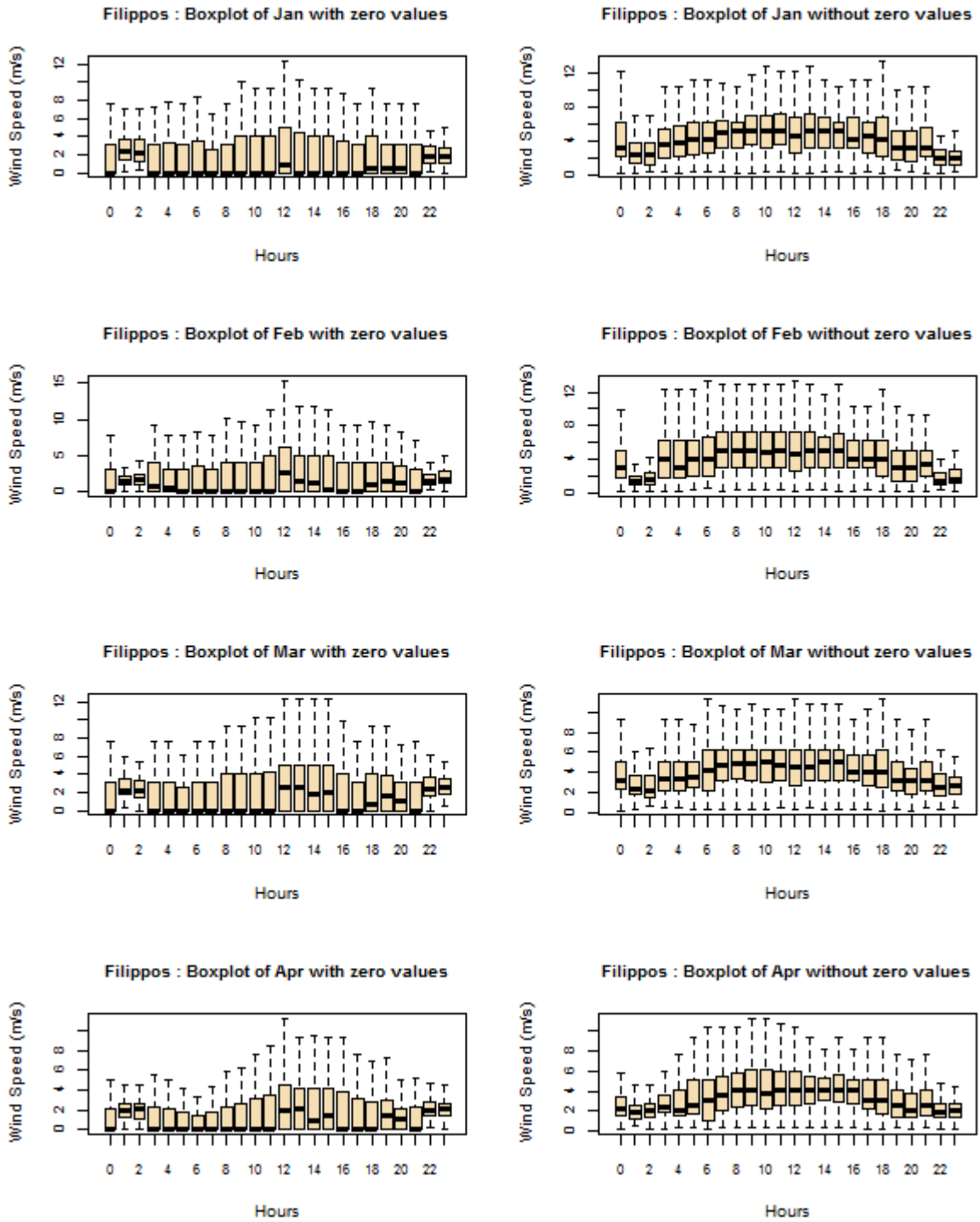
12. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Πράσινη Βίβλος: *Πλαίσιο για τις πολιτικές που αφορούν το κλίμα και την ενέργεια με χρονικό ορίζοντα το έτος 2030*, Βρυξέλλες, 2013. (<http://eur-lex.europa.eu/>)
13. Στεφανάκος, Ι., *Σημειώσεις του μαθήματος Υδροηλεκτρικά Έργα*, 2013.
14. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ), 2013, (<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/dg2013/ktirio/DE3-Bioklimatika-final.pdf>)
15. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) (<http://www.cres.gr/kape/index.htm>)
16. Λογισμικό Υδρογνώμων (www.itia.ntua.gr/help/misc/hydrognomon-el/)
17. Wikipedia, the free encyclopedia (<http://en.wikipedia.org/>)
18. National Climatic Data Center (NCDC) (<http://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/#app=cdo&cfg=cdo&theme=alltimes>)
19. Google Earth
20. Manwell, J.F., J.G. McGowan, A.L. Rogers, *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, 704 pages, 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd., United Kingdom, 2009.
21. Global Wind Energy Council (GWEC), *Global Statistics*, 2014. (<http://www.gwec.net/>)
22. European Wind Energy Association (EWEA), *Wind in power: 2014 European statistics*. (<http://www.ewea.org/>)
23. Το δίκαιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Πράσινη Βίβλος, Βρυξέλλες, 2013) (<http://eur-lex.europa.eu/>)
24. Abdalla, Yousef A. G., B. S. Attili, *Daily and hourly wind speed distribution in Bahrain*, Mechanical Engineering Department, University of Bahrain, Mathematics Department, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia, 1992.
25. Chronopoulou, S., Nastos P.T., Kampanis N.A., *Estimation of the wind potential in Greece*, Department of Geography and Climatology, faculty of Geology and Geoenvironment, University of Athens & Foundation for Research and Technology – Hellas Institute of Applied and Computational Mathematics, Laboratory of Coastal Research & Applications, 2010.
26. Hafzullah, A., Z. Fuat Toprak, Ali Aytek, N. Erdem Unal, *Stochastic generation of hourly mean wind speed data*, Department of Civil Engineering, Civil Engineering Faculty, Istanbul Technical University, Hydraulics Division, Turkey, 2004.

27. Katsoulis, B.D., *A survey on the assessment of wind energy potential in Greece*, Department of Physics, University of Ioannina, Greece, 1993.
28. Koutsoyiannis, D., H. Yao, and A. Georgakakos, *Medium-range flow prediction for the Nile: a comparison of stochastic and deterministic methods*, *Hydrological Sciences Journal*, 142 - 164, 2008.
29. Papalexiou, S. M., *Quick and not dirty method of rainfall modeling*, Department of Civil Engineering, National Technical University of Athens, Athens, 2015, in preparation.
30. Papalexiou, S. M., *Reforming asymmetric autoregressive models and applications in geophysical processes*, Department of Civil Engineering, National Technical University of Athens, Athens, 2015, in preparation.

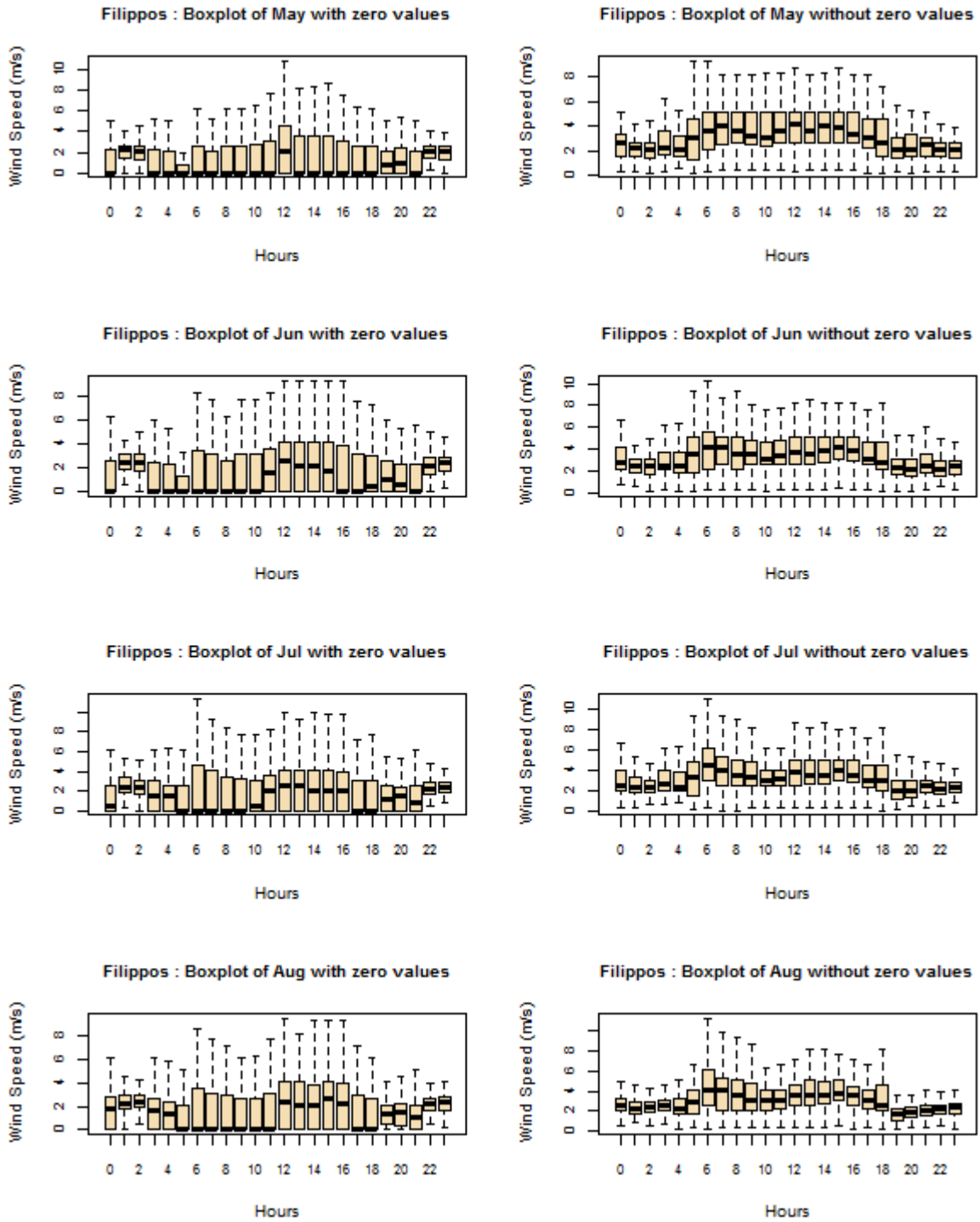
Παράρτημα Α1



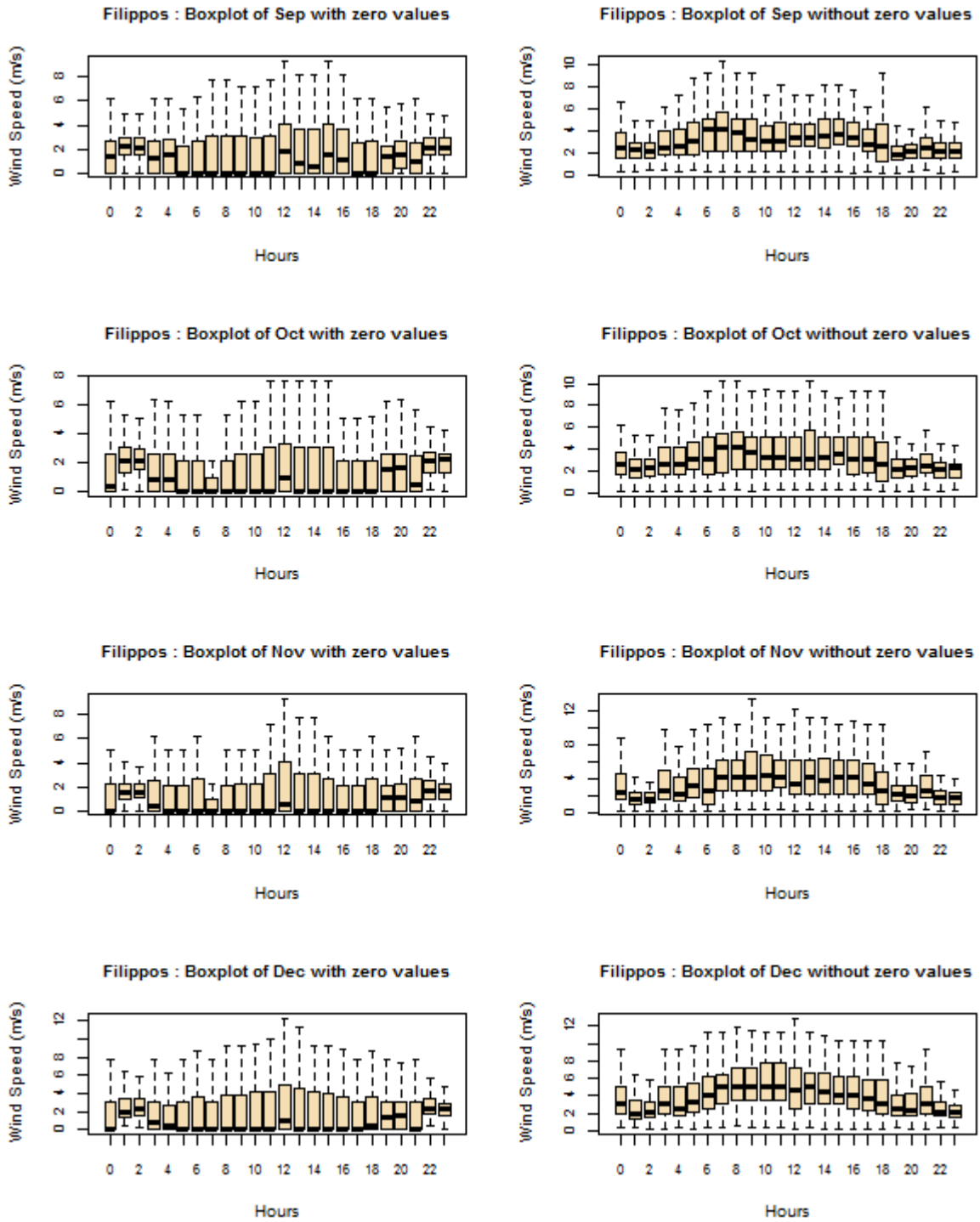
Εικόνα Α1.1: Θηκογράμματα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου για τους σταθμούς συγκεντρωτικά για όλους τους μήνες



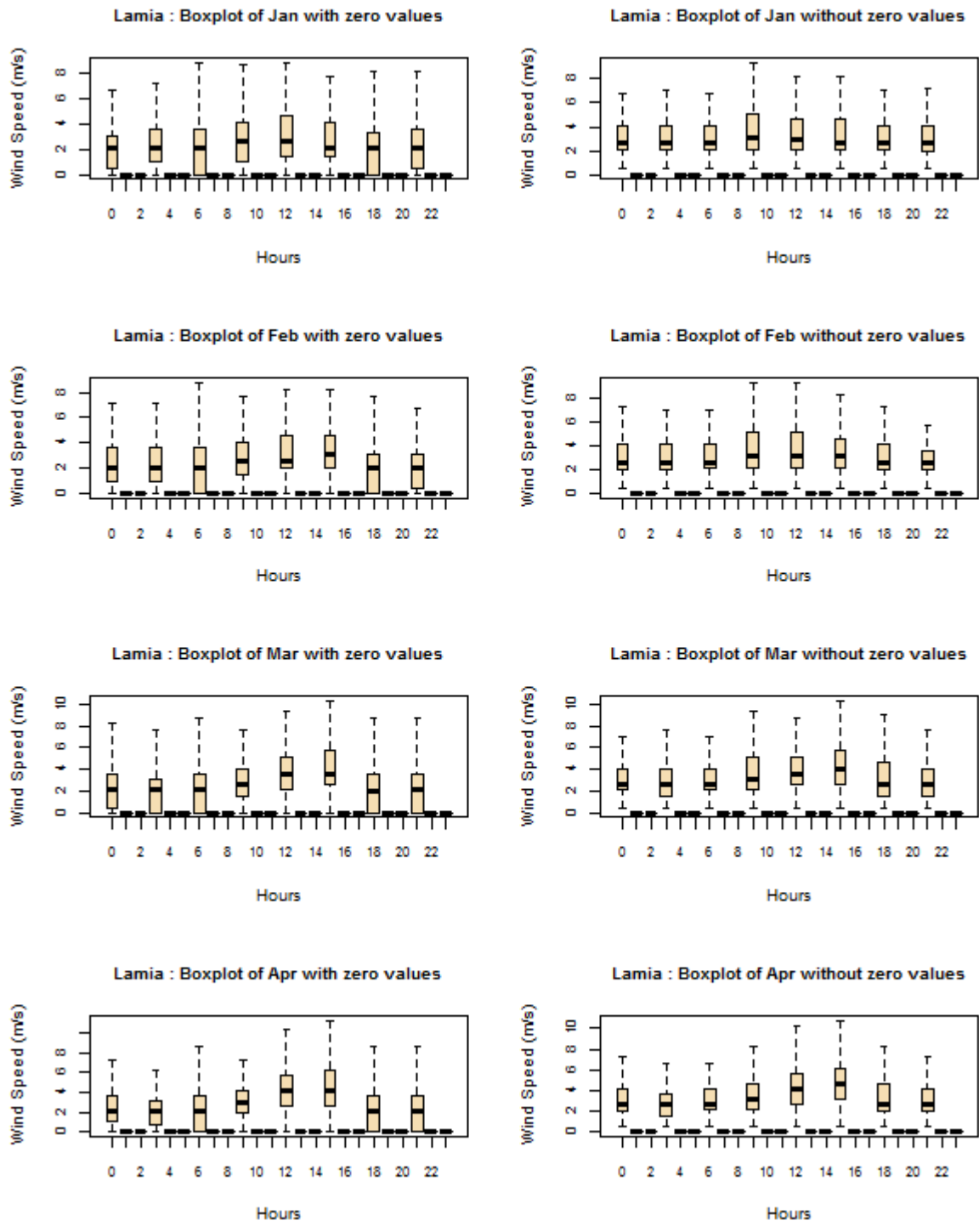
Εικόνα Α1.2: Θηκογράμματα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου για το σταθμό Φίλιππος και τους μήνες Ιανουάριο έως και Απρίλιο



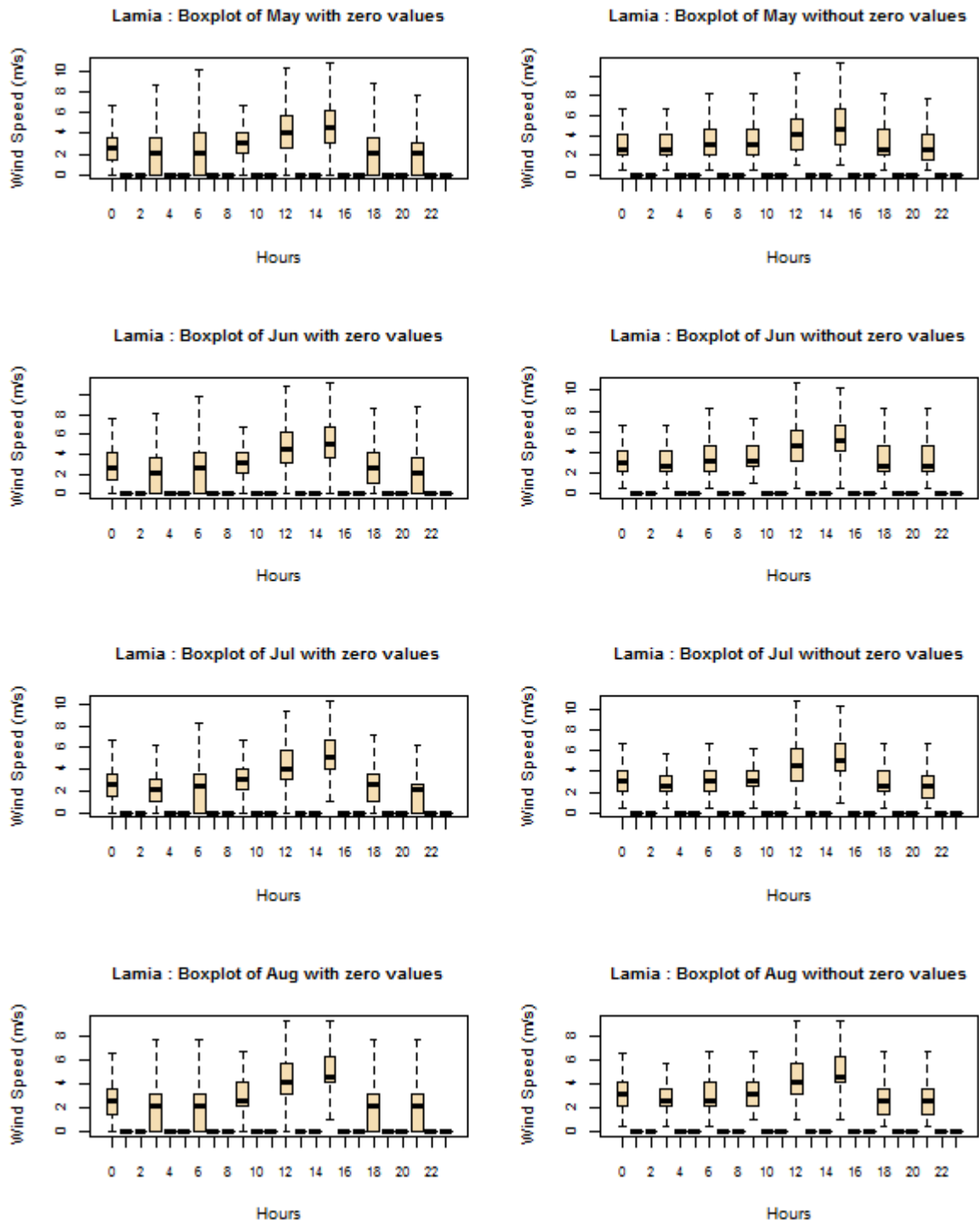
Εικόνα Α1.3: Θηκογράμματα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου για το σταθμό Φίλιππος και τους μήνες Μάιο έως και Αύγουστο



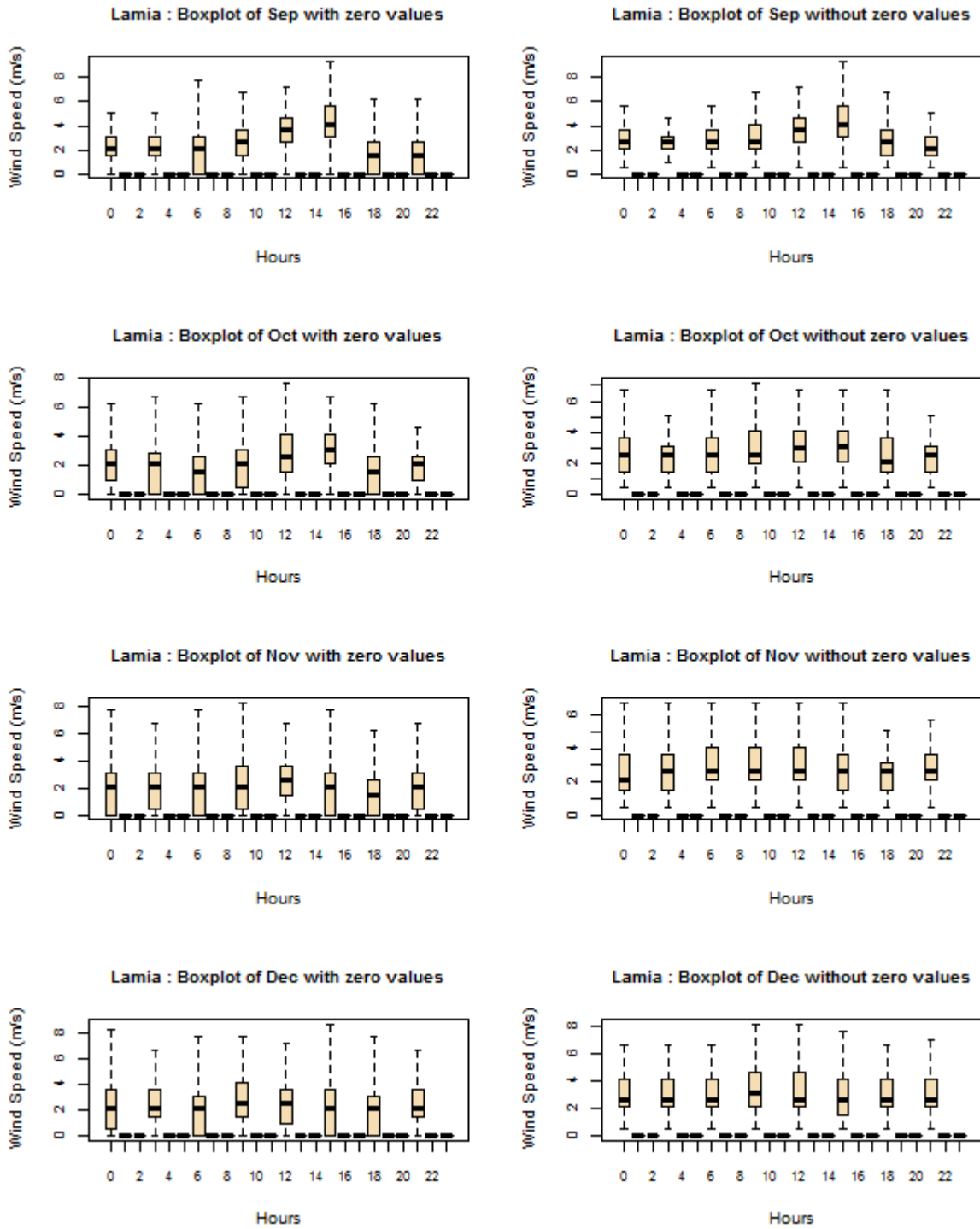
Εικόνα Α1.4: Θηκογράμματα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου για το σταθμό Φίλιππος και τους μήνες Σεπτέμβριο έως και Δεκέμβριο



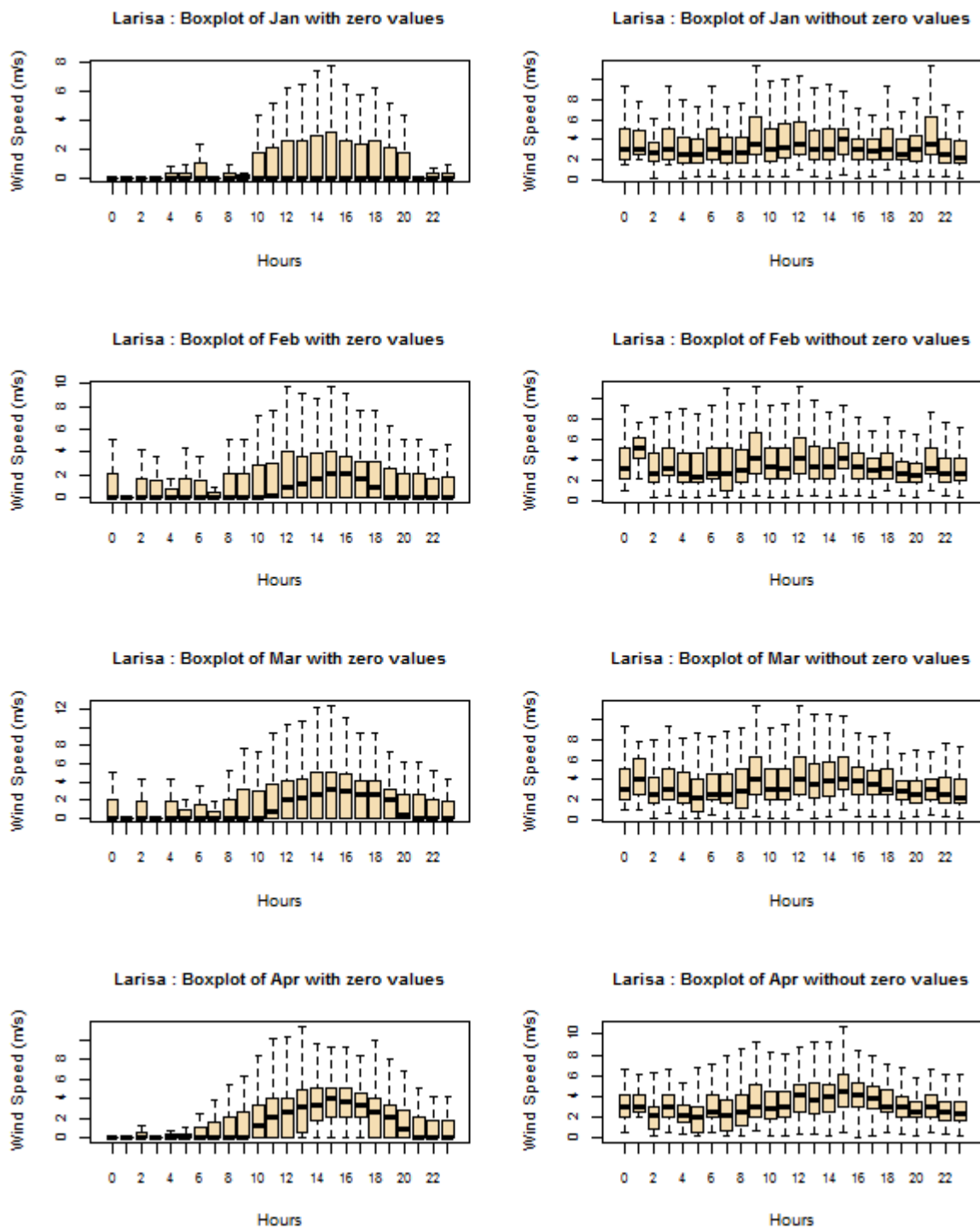
Εικόνα Α1.5: Θηκογράμματα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου για το σταθμό Λαμία και τους μήνες Ιανουάριο έως και Απρίλιο



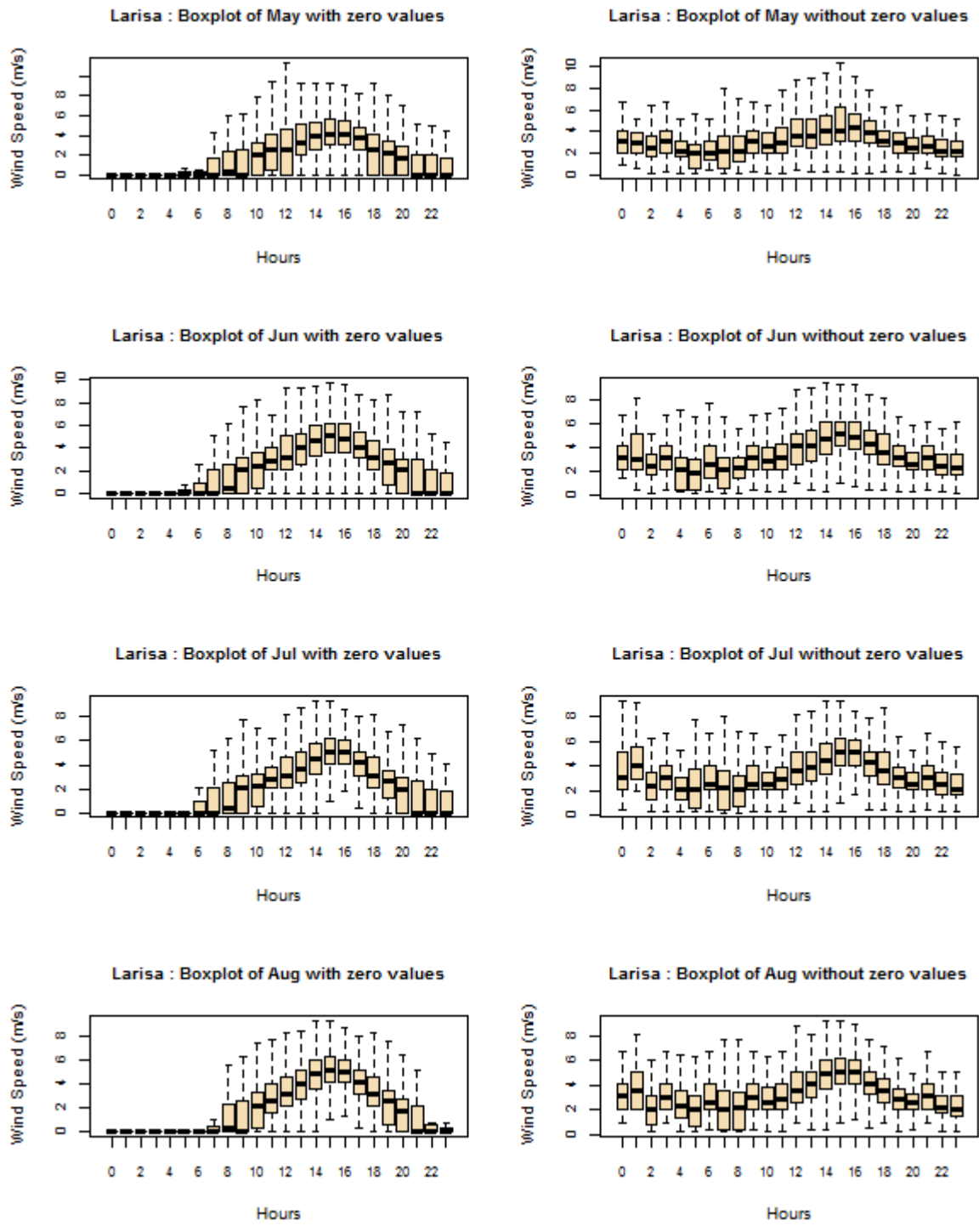
Εικόνα Α1.6: Θηκογράμματα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου για το σταθμό Λαμία και τους μήνες Μάιο έως και Αύγουστο



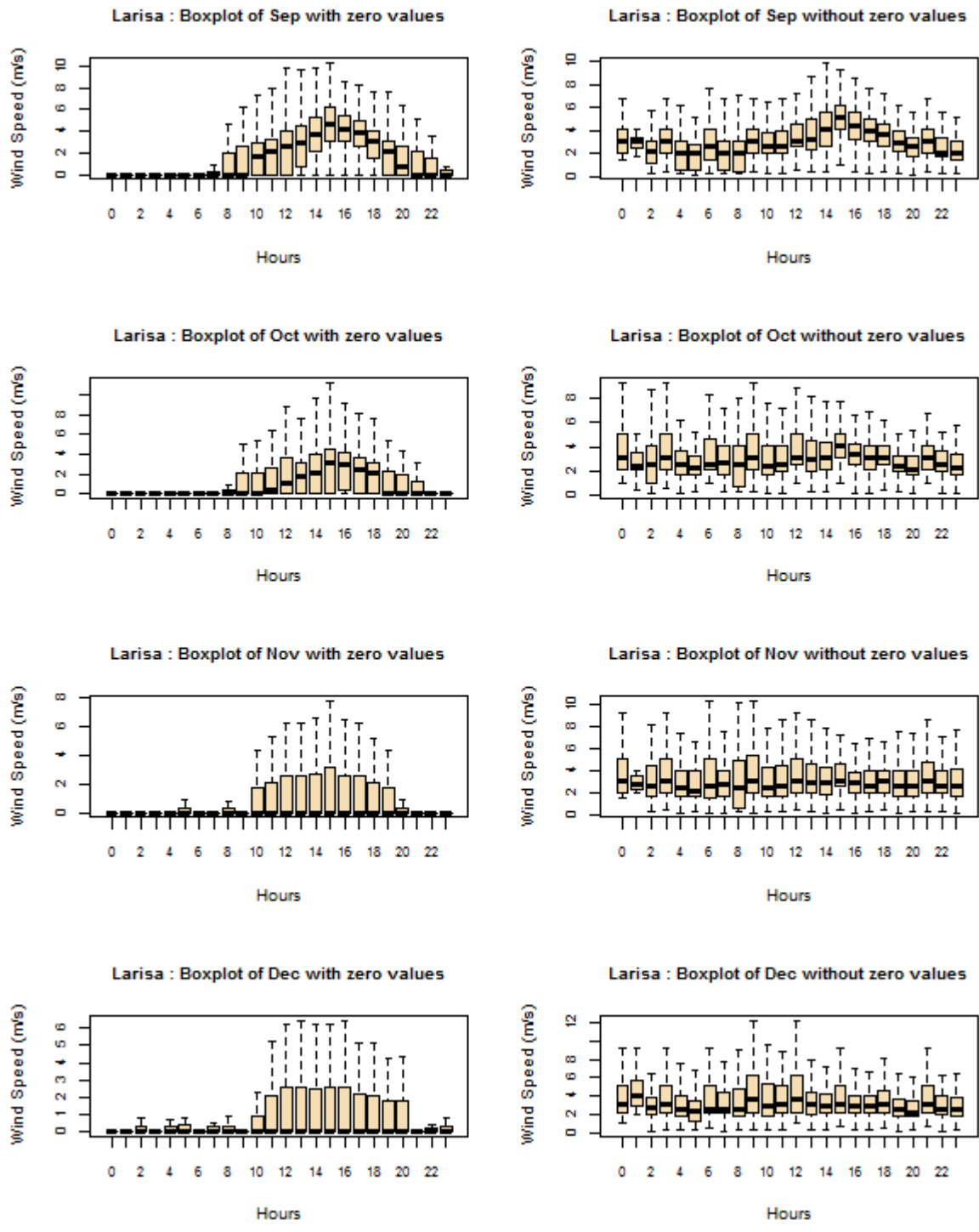
Εικόνα Α1.7: Θηκογράμματα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου για το σταθμό Λαμία και τους μήνες Σεπτέμβριο έως και Δεκέμβριο



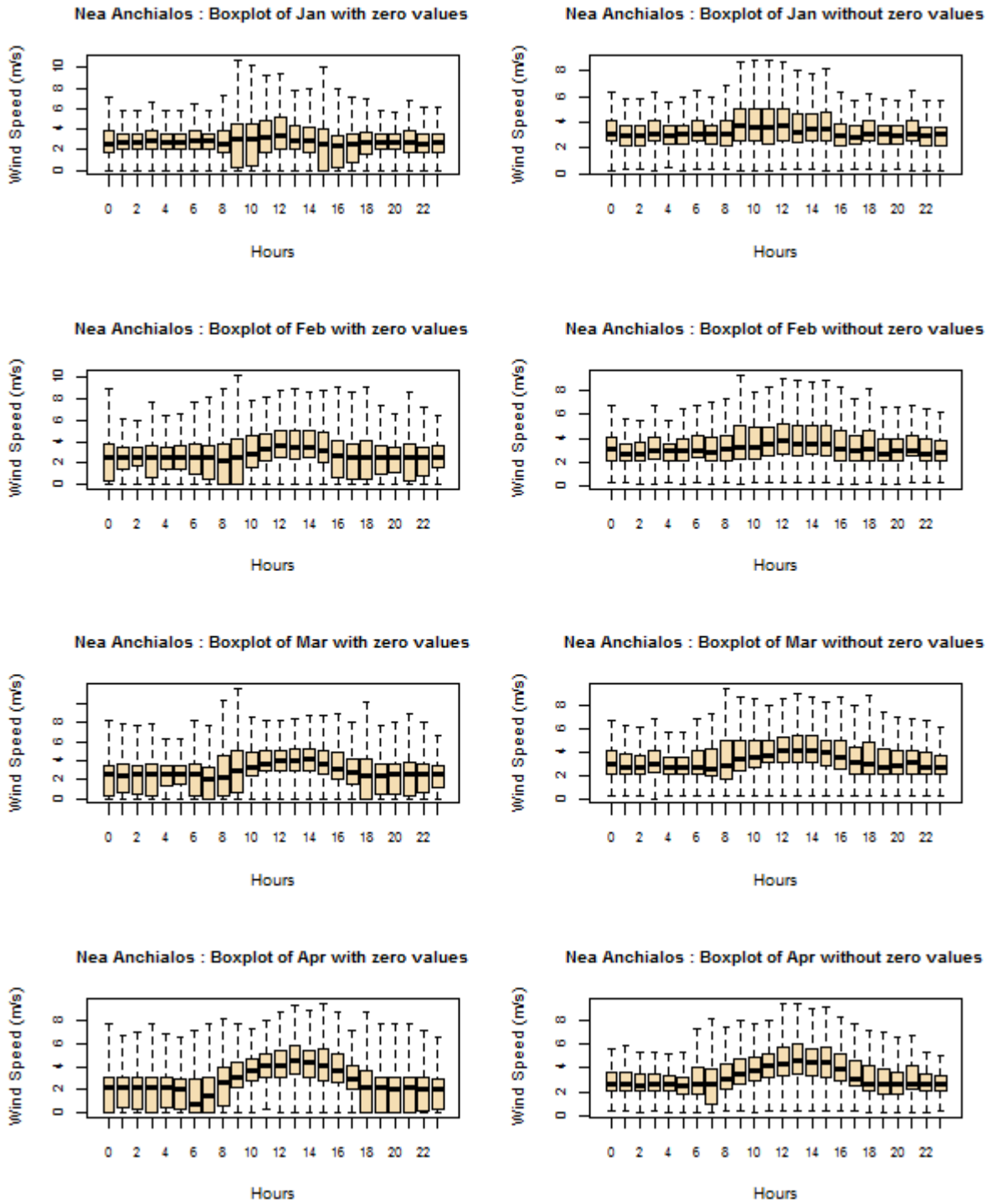
Εικόνα Α1.8: Θηκογράμματα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου για το σταθμό Λάρισα και τους μήνες Ιανουάριο έως και Απρίλιο



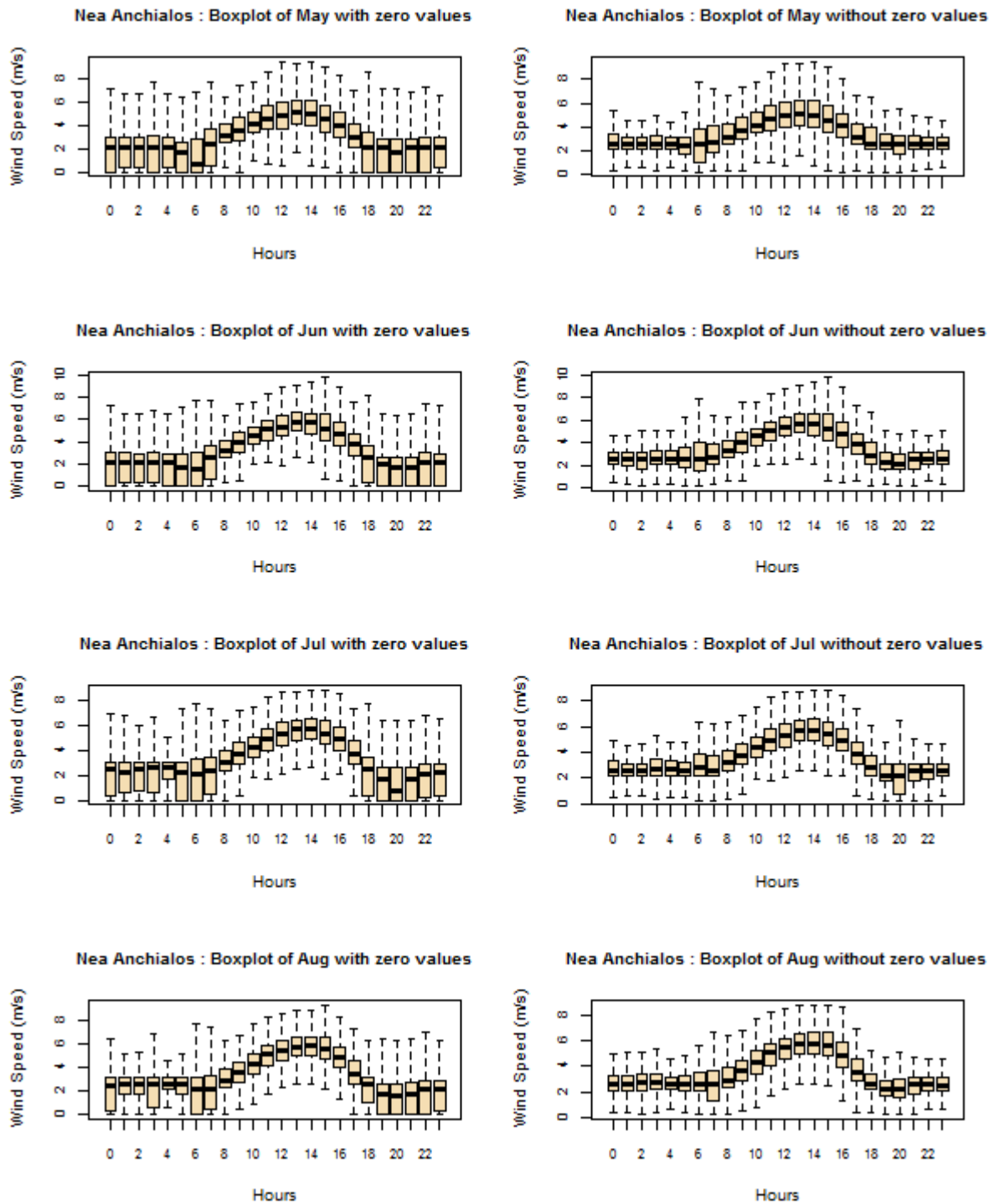
Εικόνα Α1.9: Θηκογράμματα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου για το σταθμό Λάρισα και τους μήνες Μάιο έως και Αύγουστο



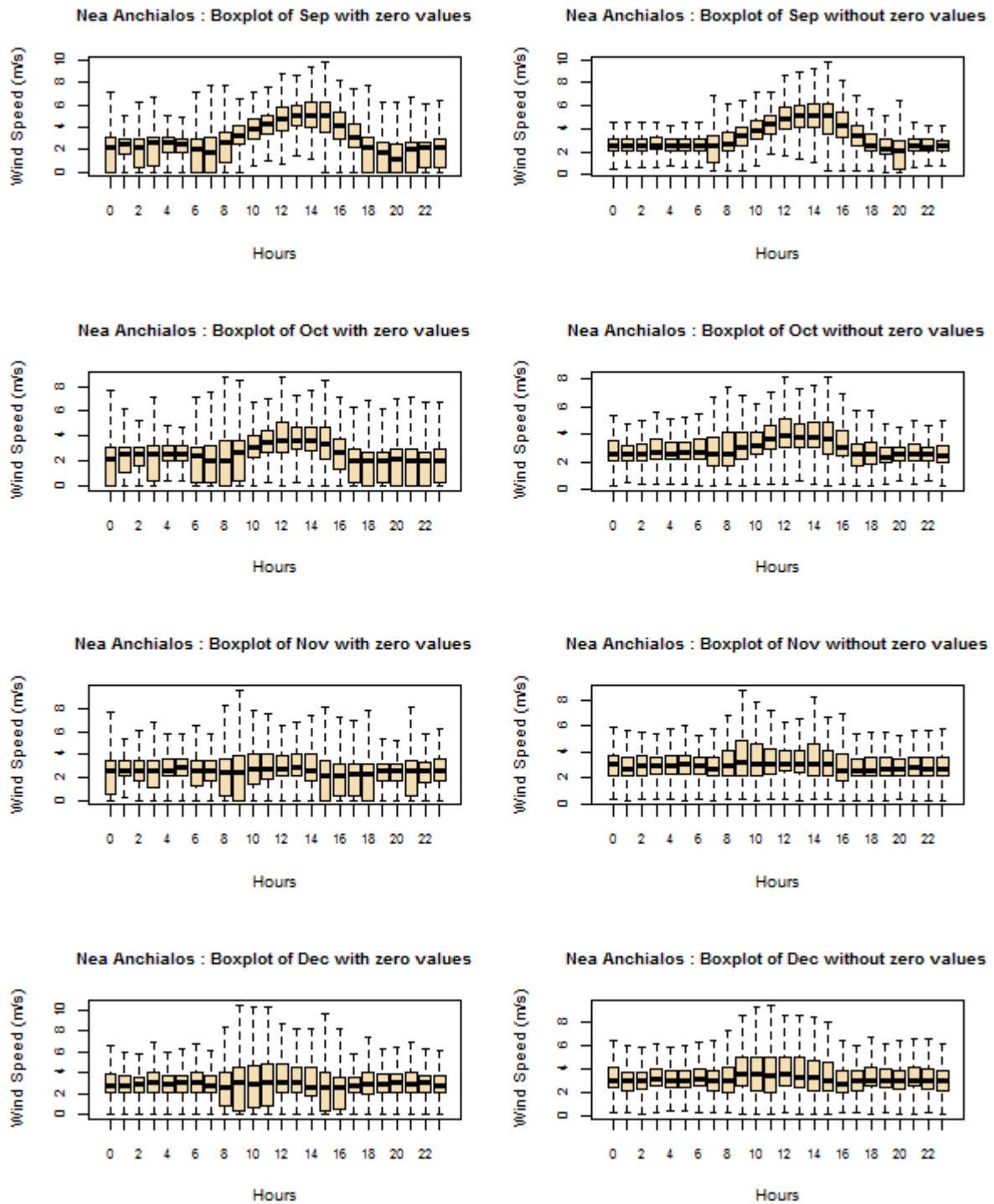
Εικόνα Α1.10: Θηκογράμματα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου για το σταθμό Λάρισα και τους μήνες Σεπτέμβριο έως και Δεκέμβριο



Εικόνα Α1.11: Θηκογράμματα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου για το σταθμό Νέα Αγχιάλος και τους μήνες Ιανουάριο έως και Απρίλιο

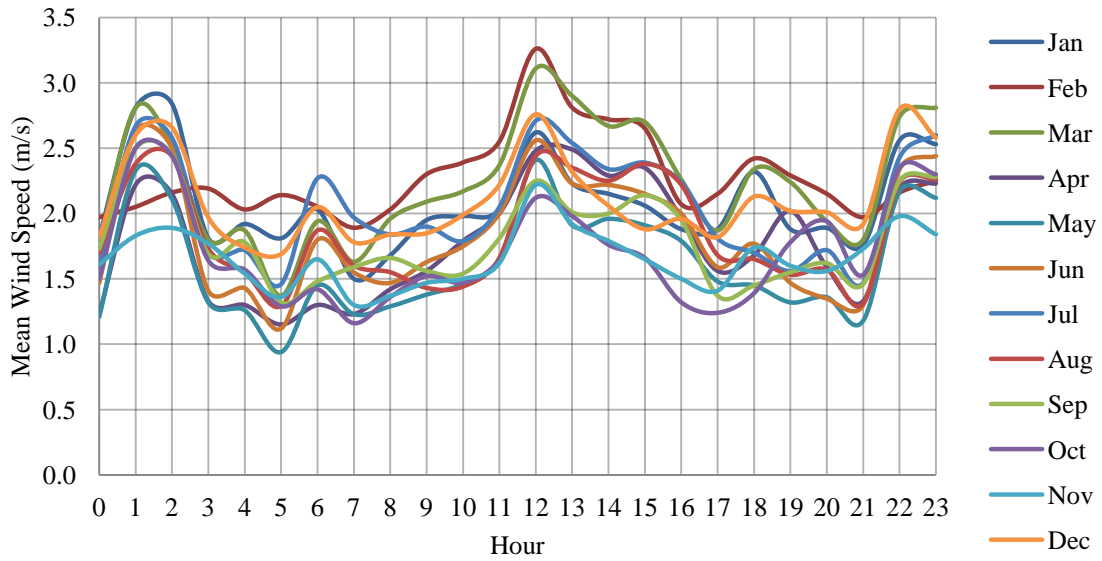


Εικόνα Α1.12: Θηκογράμματα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου για το σταθμό Νέα Αγχιάλος και τους μήνες Μάιο έως και Αύγουστο

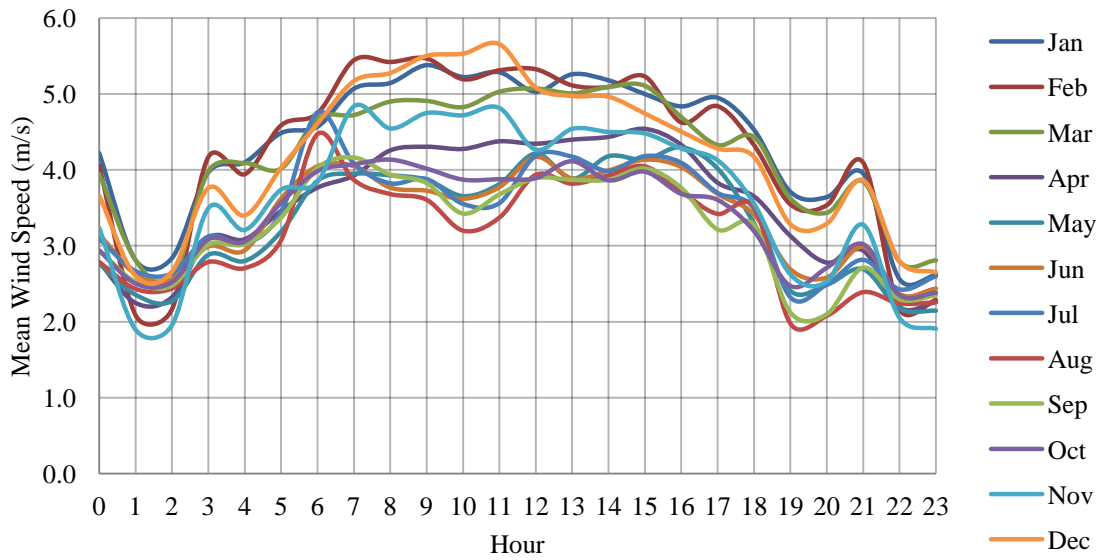


Εικόνα Α1.13: Οηκογράμματα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου για το σταθμό Νέα Αγχιάλος και τους μήνες Σεπτέμβριος έως και Δεκέμβριο

Filippos Hourly Mean

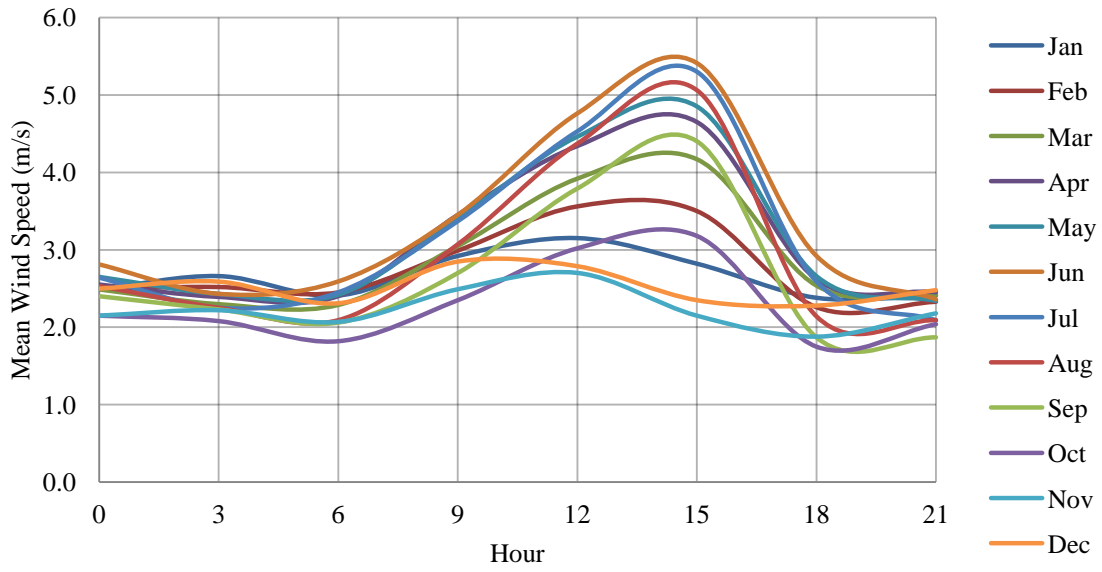


Filippos Hourly Mean Without Zero Values

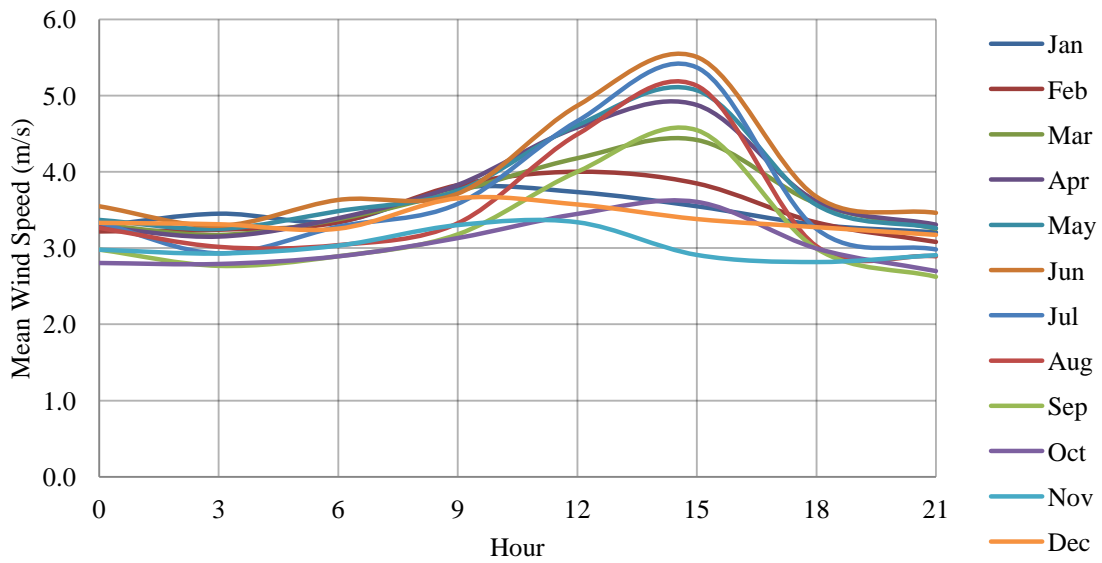


Εικόνα Α1.14: Μέση ταχύτητα του ανέμου ανά μήνα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές για το σταθμό Φίλιππος

Lamia Hourly Mean

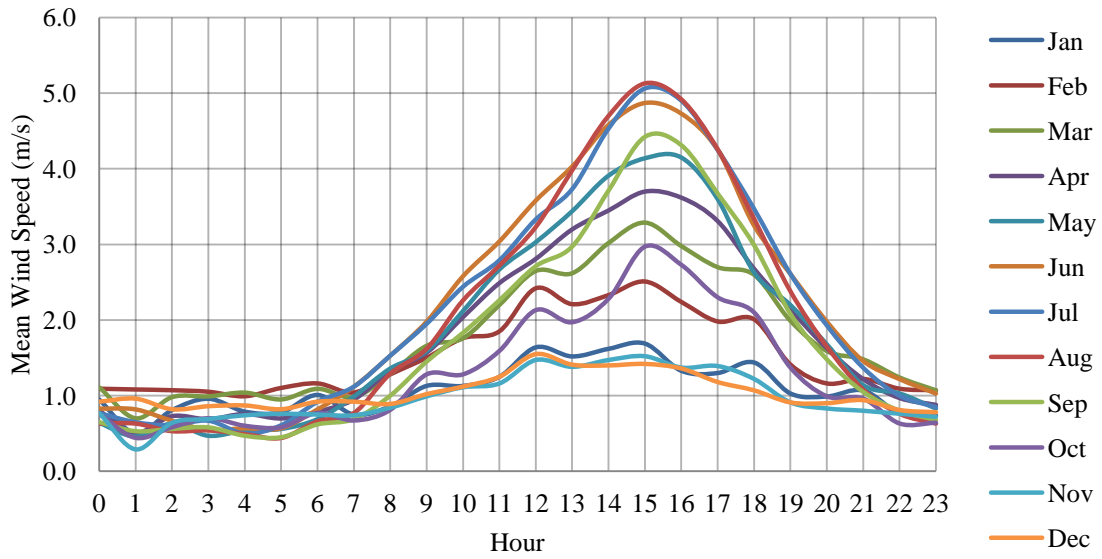


Lamia Hourly Mean Without Zero Values

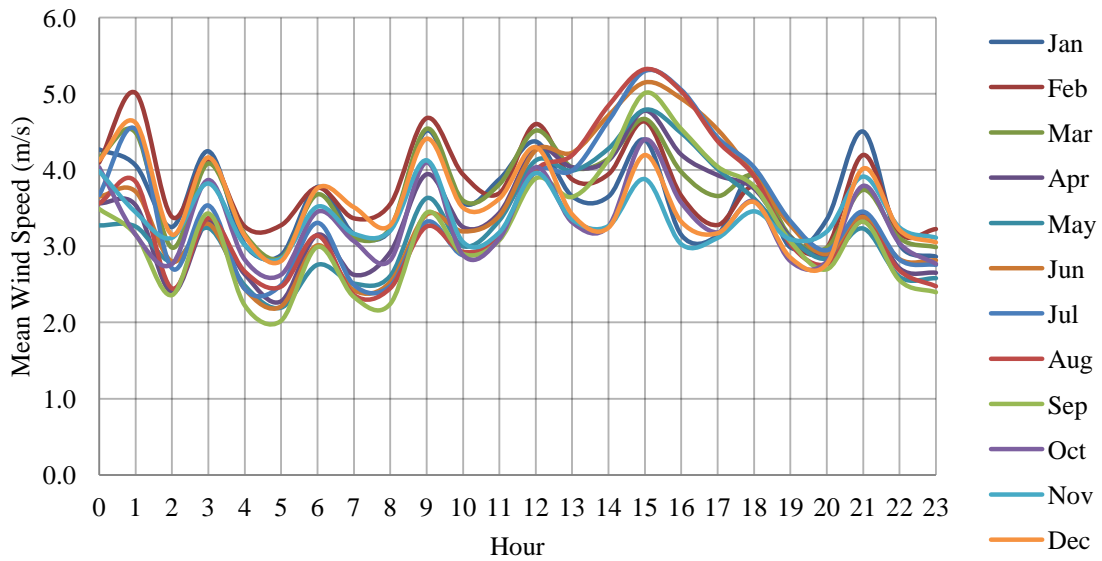


Εικόνα Α1.15: Μέση ταχύτητα του ανέμου ανά μήνα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές για το σταθμό Λαμία

Larisa Hourly Mean

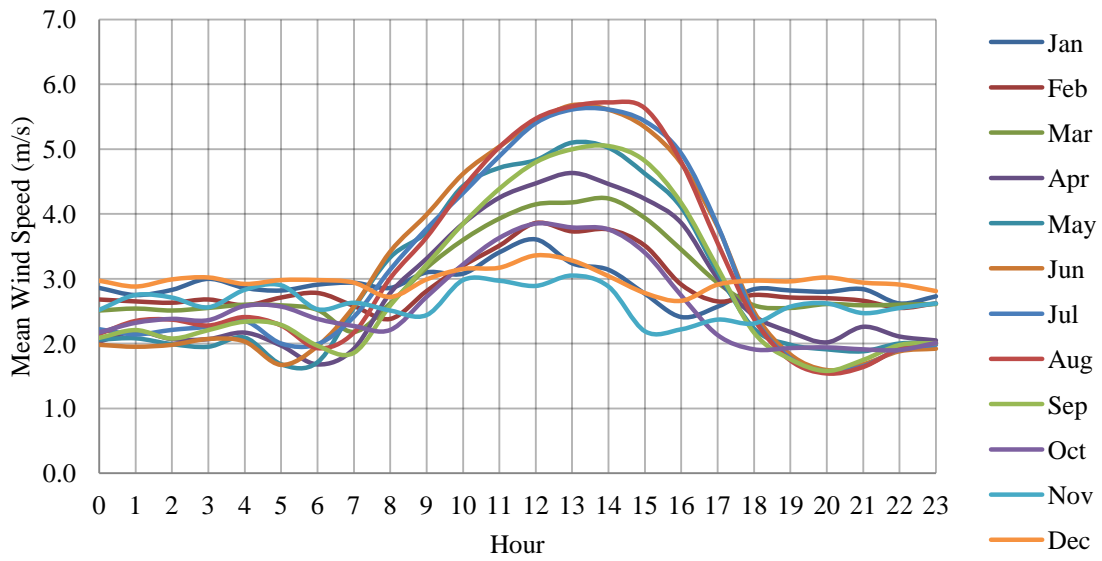


Larisa Hourly Mean Without Zero Values

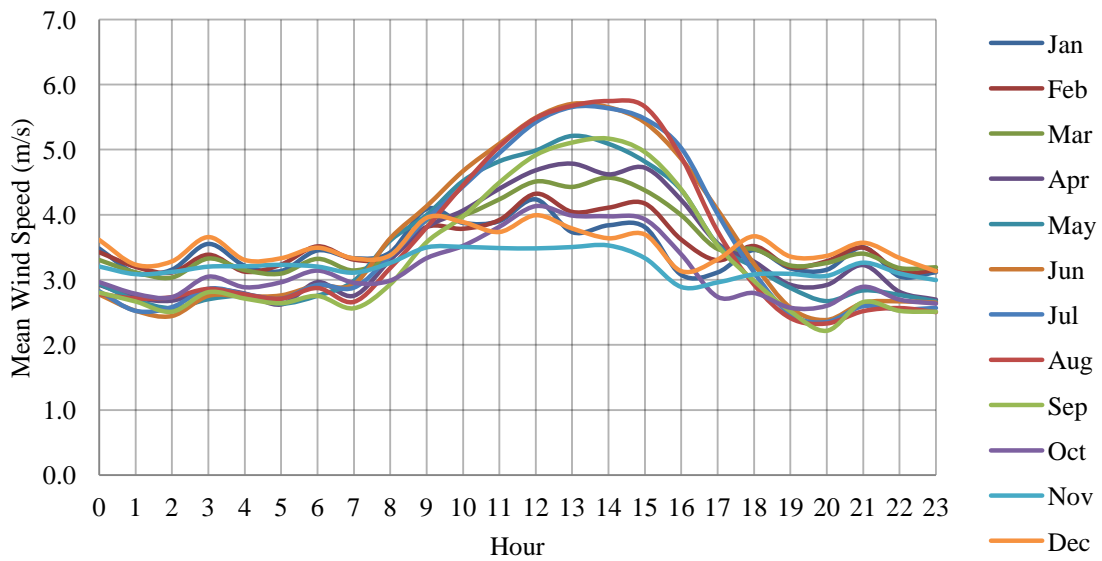


Εικόνα Α1.16: Μέση ταχύτητα του ανέμου ανά μήνα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές για το σταθμό Λάρισα

Nea Anchialos Hourly Mean

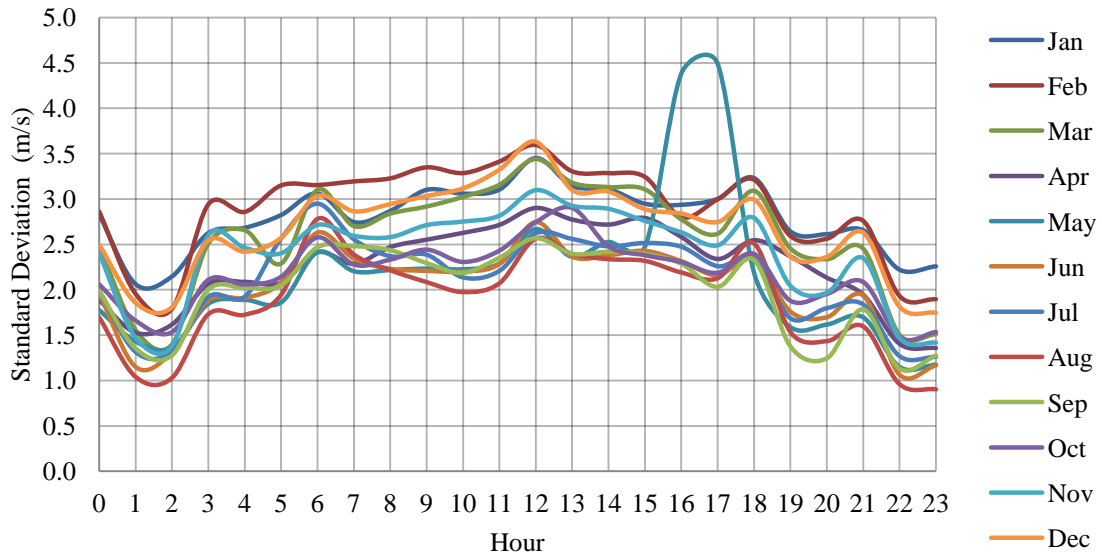


Nea Anchialos Hourly Mean Without Zero Values

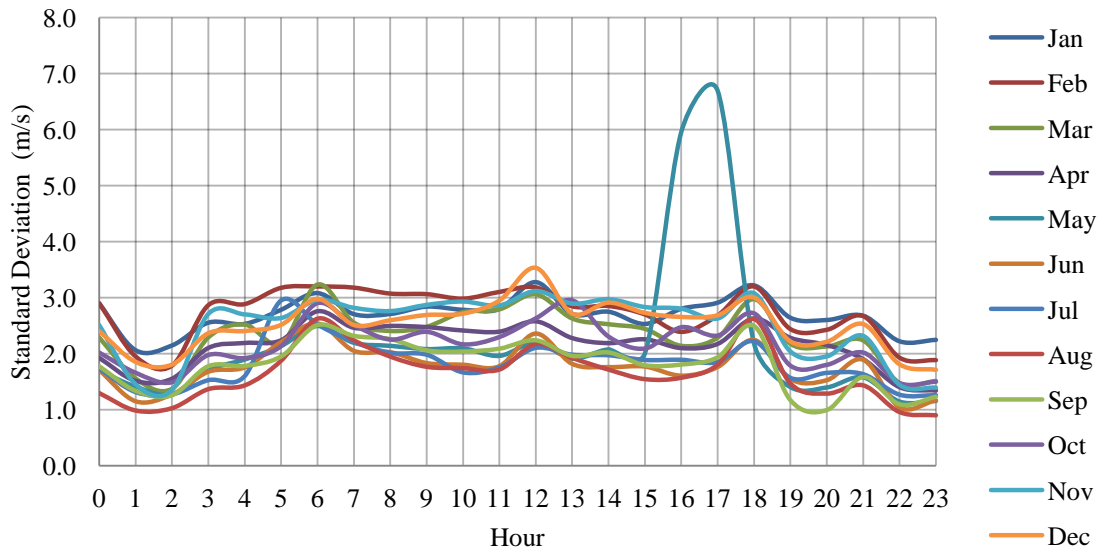


Εικόνα Α1.17: Μέση ταχύτητα του ανέμου ανά μήνα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές για το σταθμό Νέα Αγχίαλος

Filippos Hourly Standard Deviation

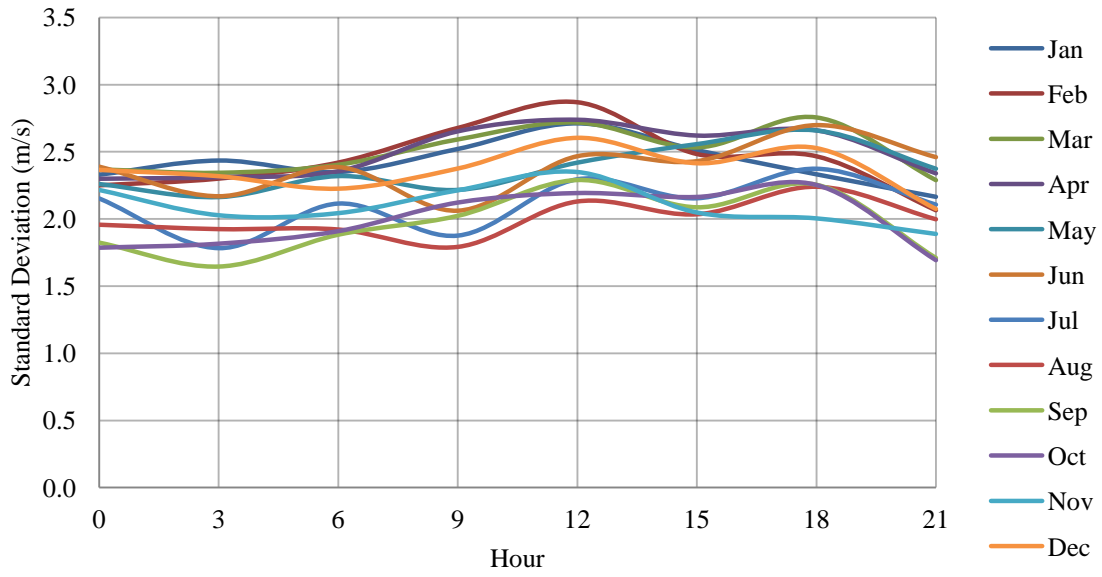


Filippos Hourly Standard Deviation Without Zero Values

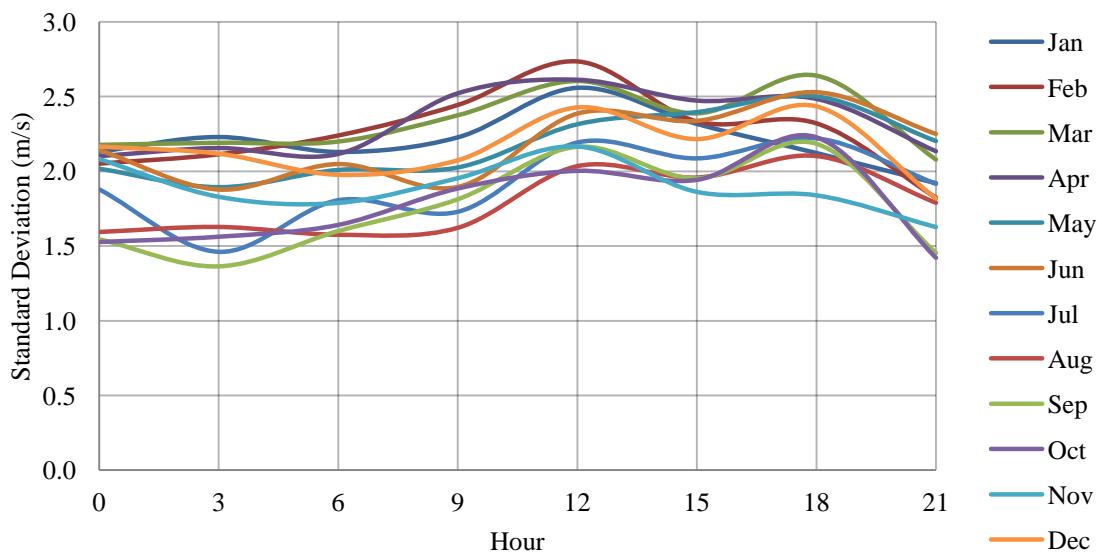


Εικόνα A1.18: Τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου ανά μήνα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές για το σταθμό Φίλιππος

Lamia Hourly Standard Deviation

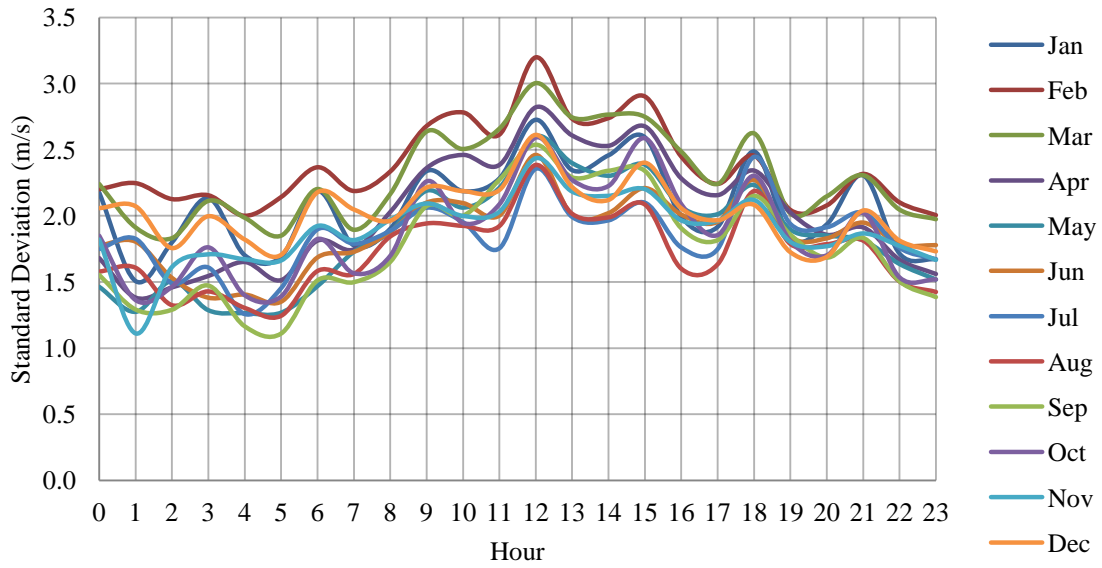


Lamia Hourly Standard Deviation Without Zero Values

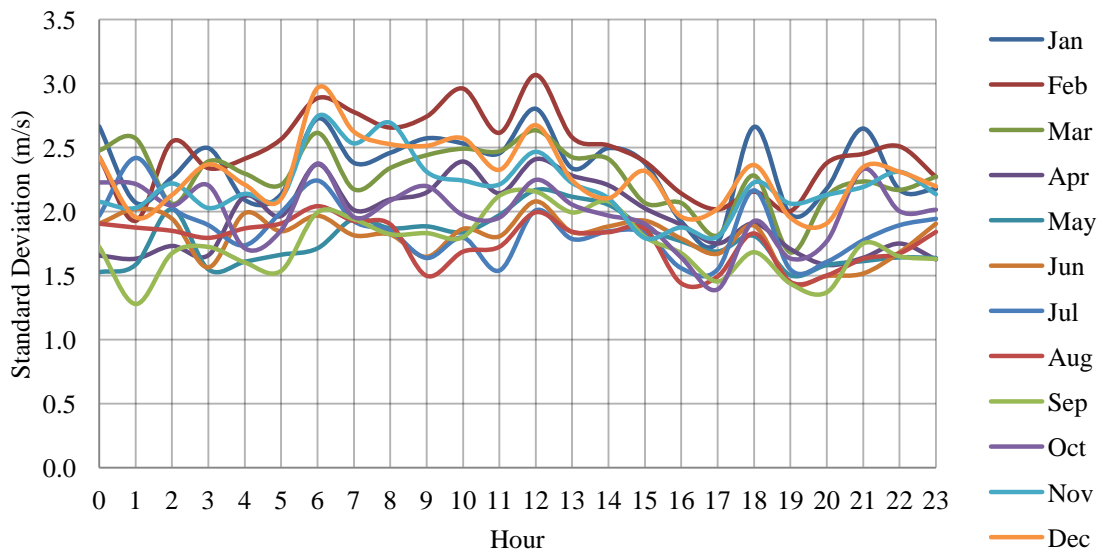


Εικόνα Α1.19: Τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου ανά μήνα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές για το σταθμό Λαμία

Larisa Hourly Standard Deviation

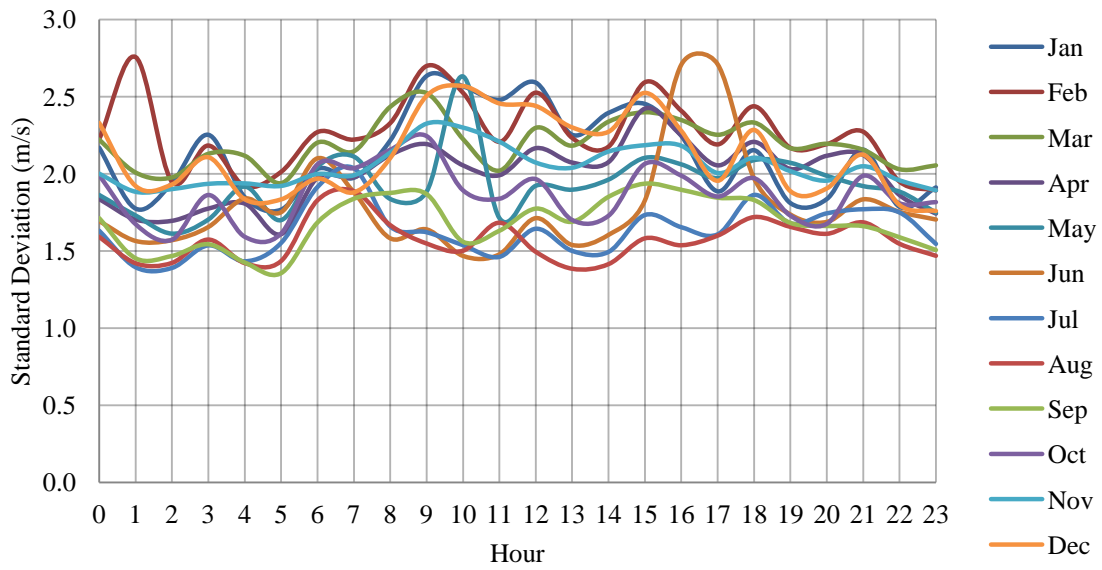


Larisa Hourly Standard Deviation Without Zero Values

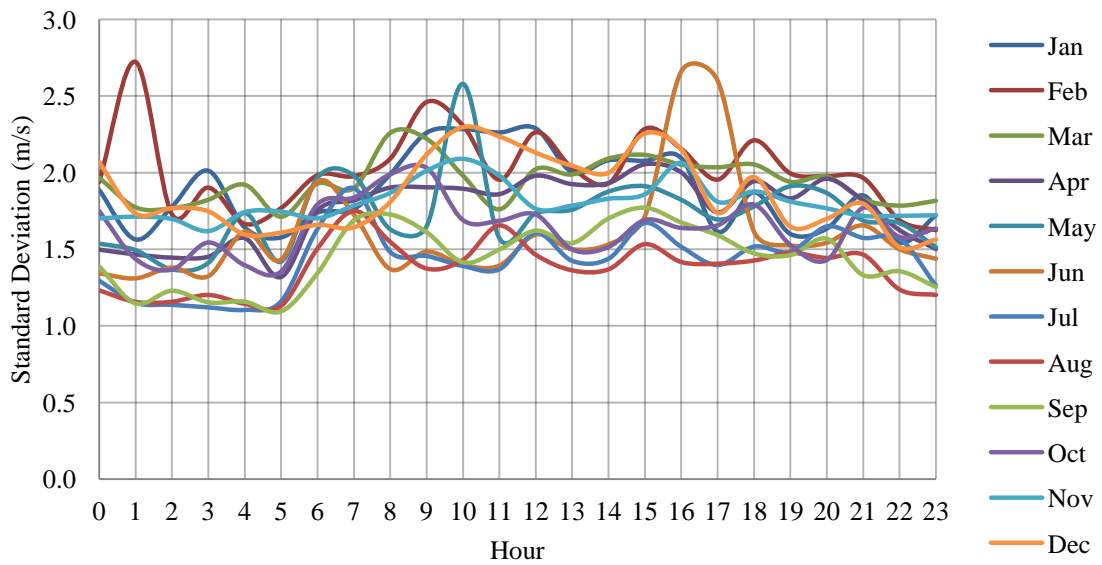


Εικόνα Α1.20: Τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου ανά μήνα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές για το σταθμό Λάρισα

Nea Anchialos Hourly Standard Deviation

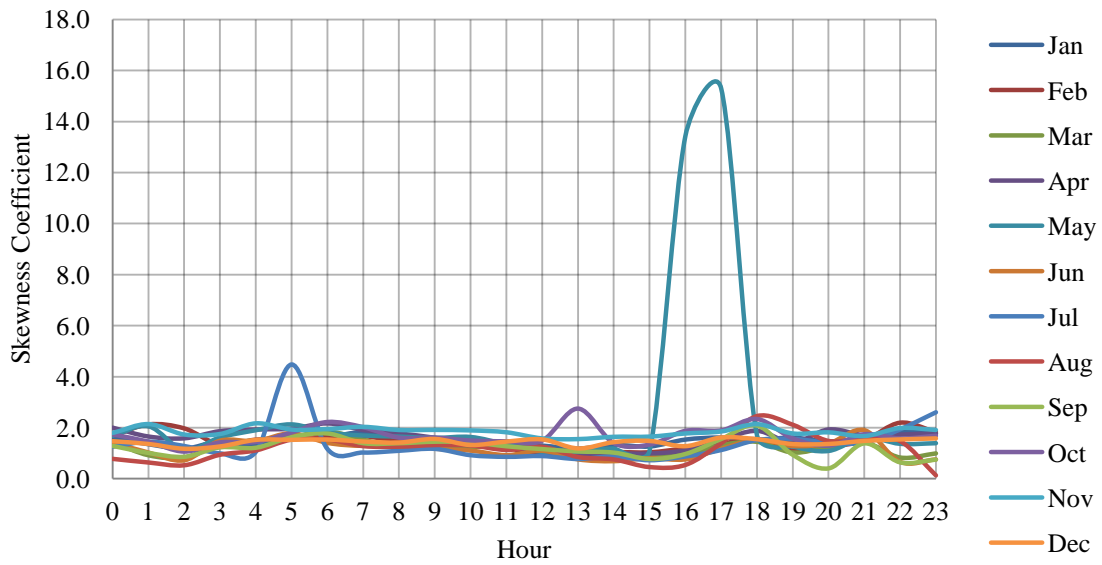


Nea Anchialos Hourly Standard Deviation Without Zero Values

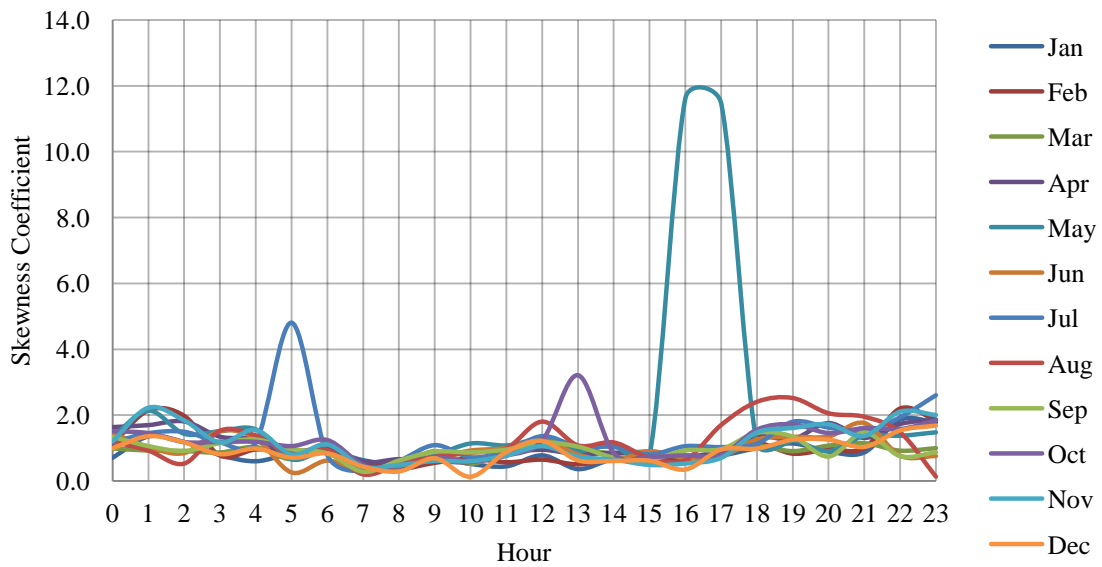


Εικόνα A1.21: Τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου ανά μήνα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές για το σταθμό Νέα Αγχιάλος

Filippos Hourly Skewness Coefficient

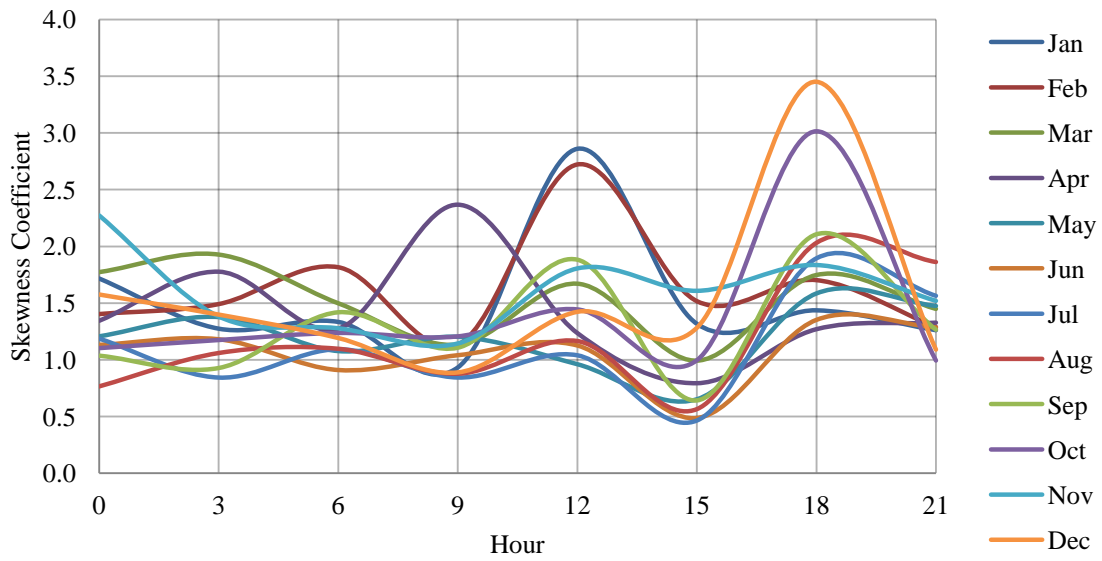


Filippos Hourly Skewness Coefficient Without Zero Values

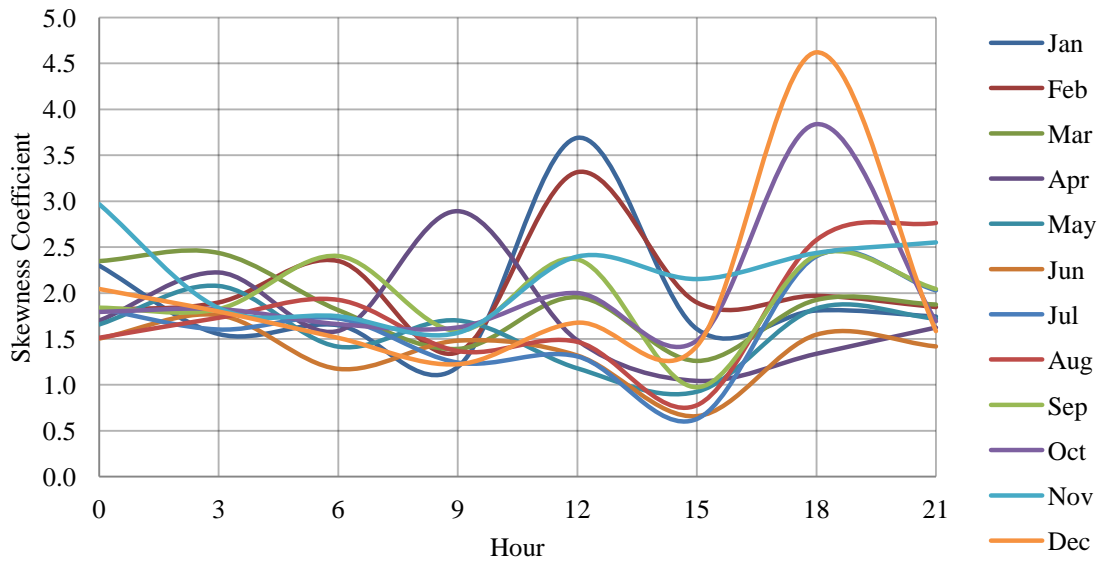


Εικόνα Α1.22: Συντελεστής ασυμμετρίας της ταχύτητας του ανέμου ανά μήνα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές για το σταθμό Φίλιππος

Lamia Hourly Skewness Coefficient

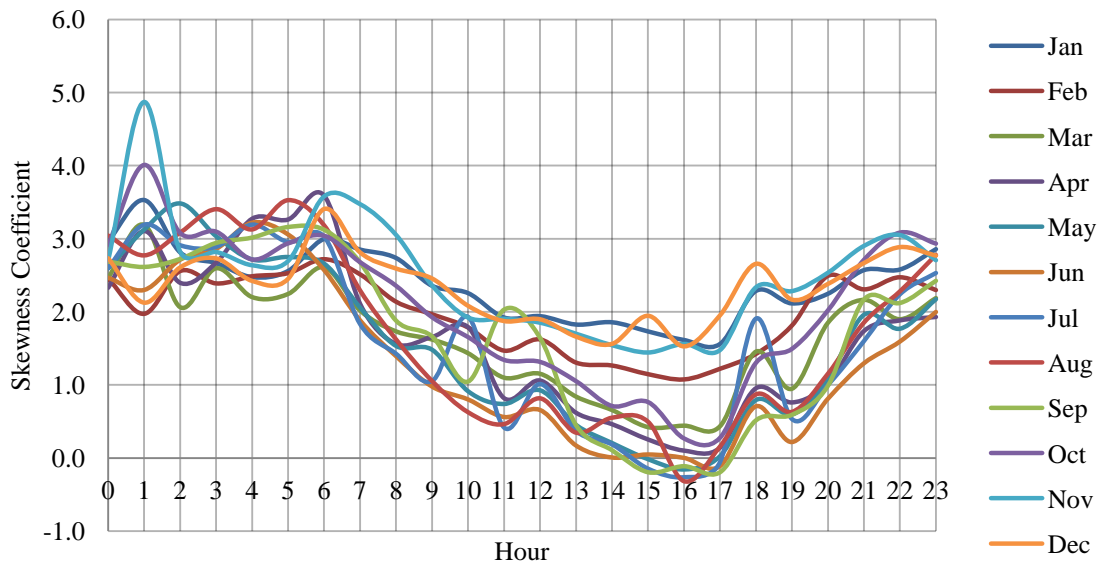


Lamia Hourly Skewness Coefficient Without Zero Values

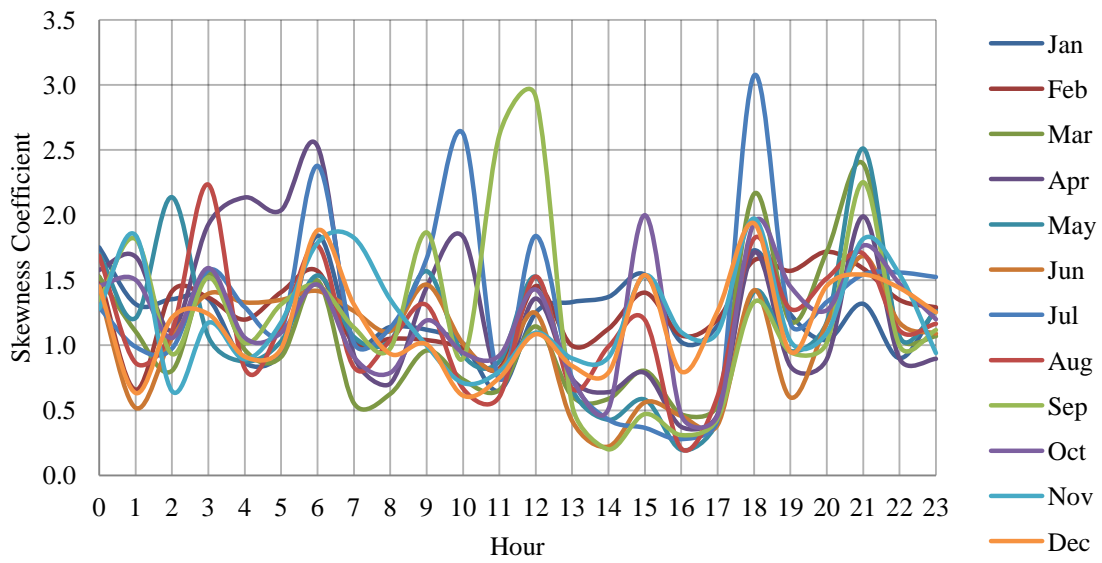


Εικόνα Α1.23: Συντελεστής ασυμμετρίας της ταχύτητας του ανέμου ανά μήνα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές για το σταθμό Λαμία

Larisa Hourly Skewness Coefficient

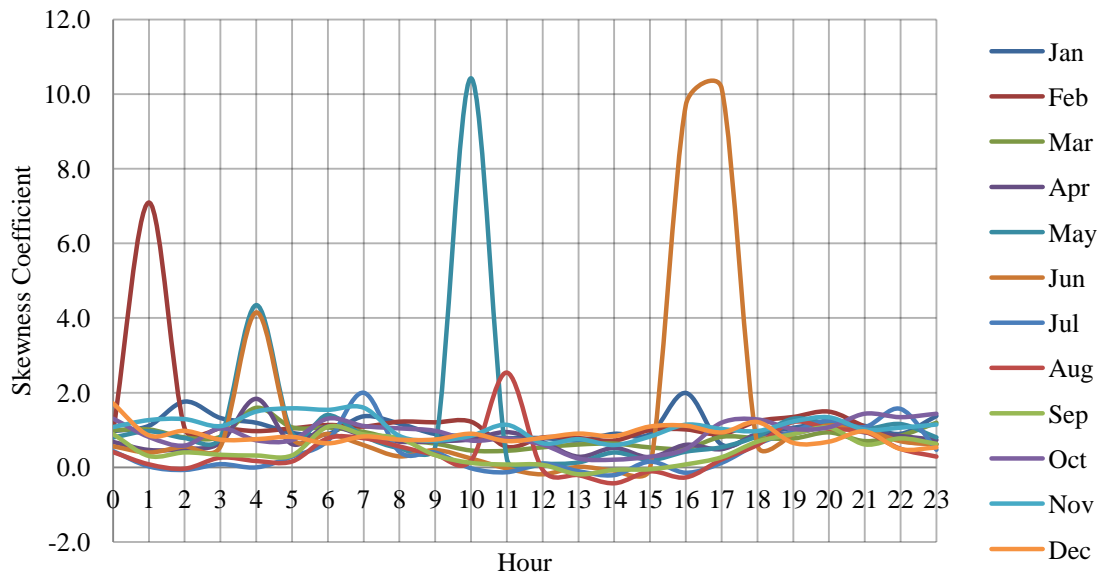


Larisa Hourly Skewness Coefficient Without Zero Values

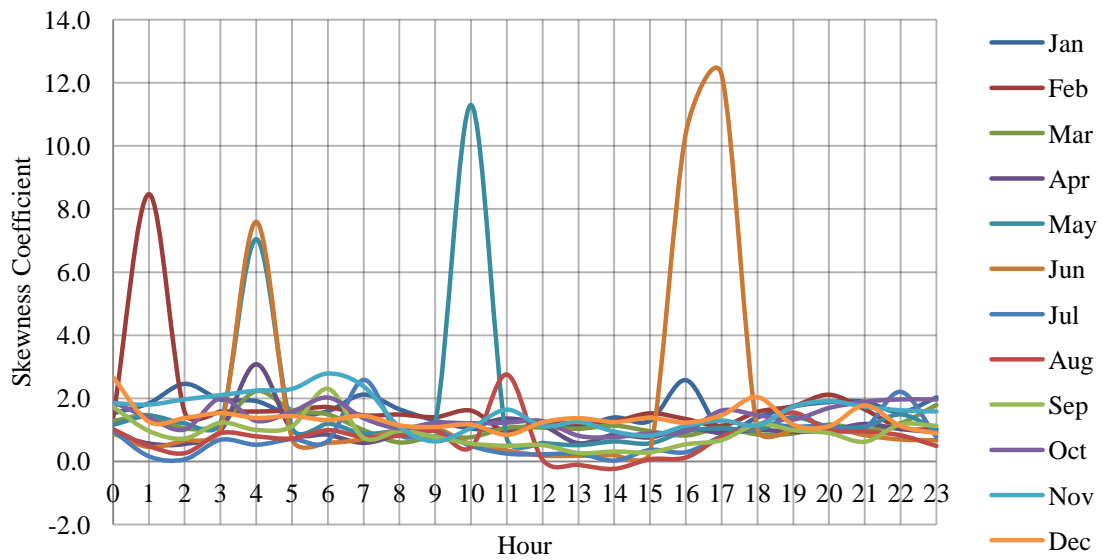


Εικόνα Α1.24: Συντελεστής ασυμμετρίας της ταχύτητας του ανέμου ανά μήνα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές για το σταθμό Λάρισα

Nea Anchialos Hourly Skewness Coefficient

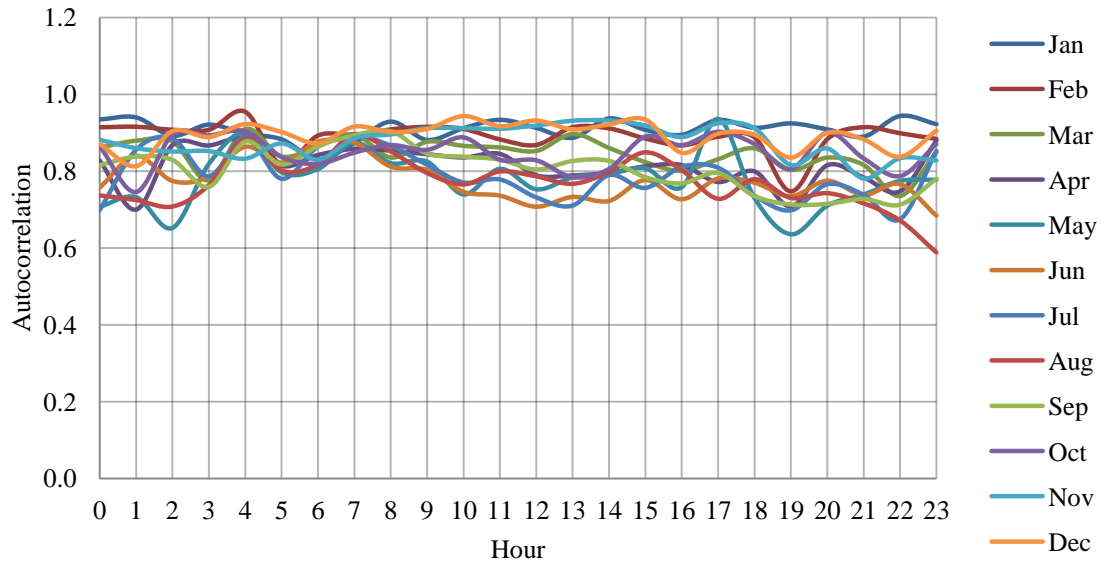


Nea Anchialos Hourly Skewness Coefficient Without Zero Values

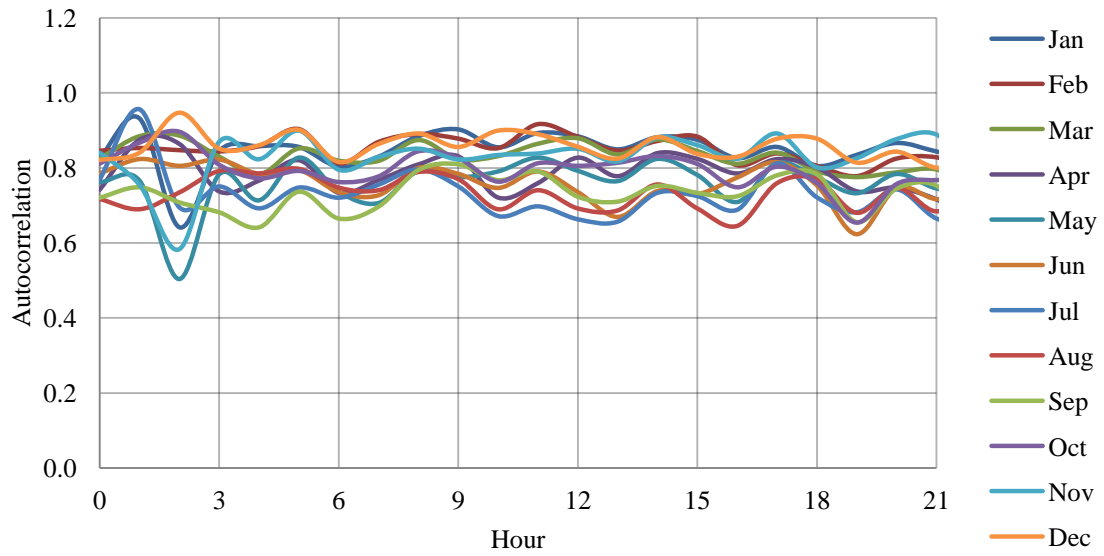


Εικόνα Α1.25: Συντελεστής ασυμμετρίας της ταχύτητας του ανέμου ανά μήνα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές για το σταθμό Νέα Αγχίαλος

Filippos Hourly Autocorrelation

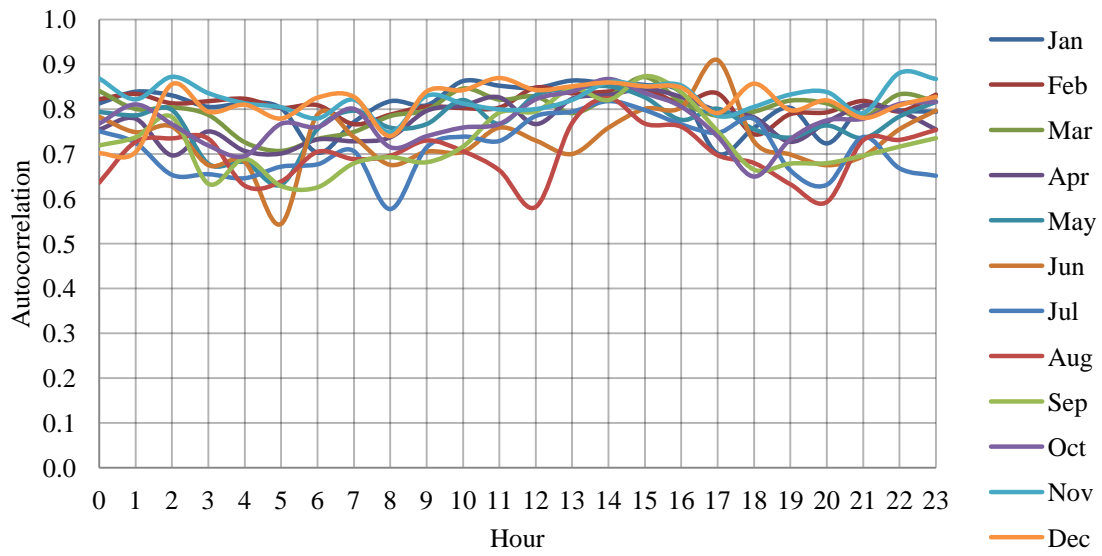


Larisa Hourly Autocorrelation



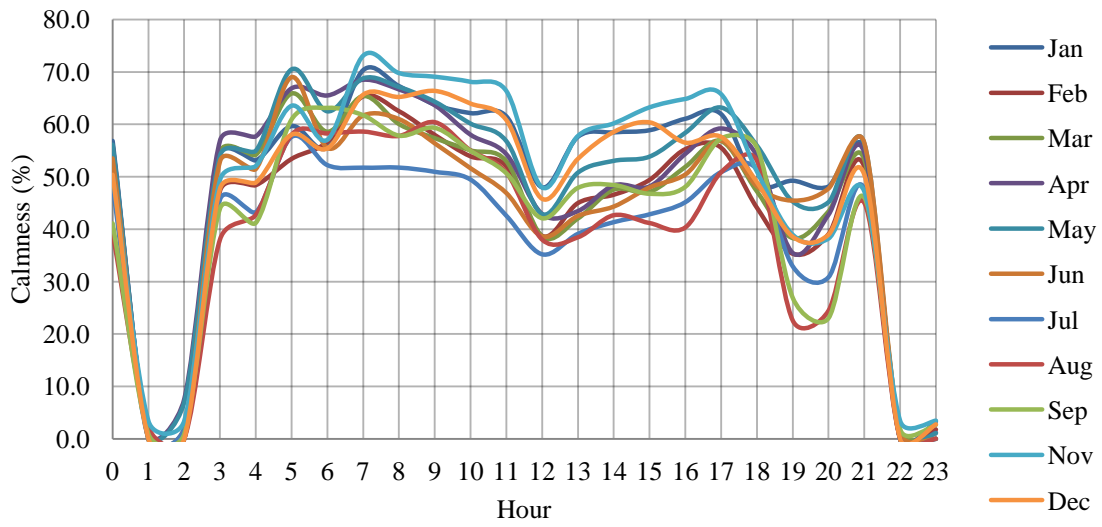
Εικόνα Α1.26: Συντελεστής αυτοσυσχέτισης της ταχύτητας του ανέμου ανά μήνα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές για τους σταθμούς Φίλιππος και Λάρισα

Nea Anchialos Hourly Autocorrelation

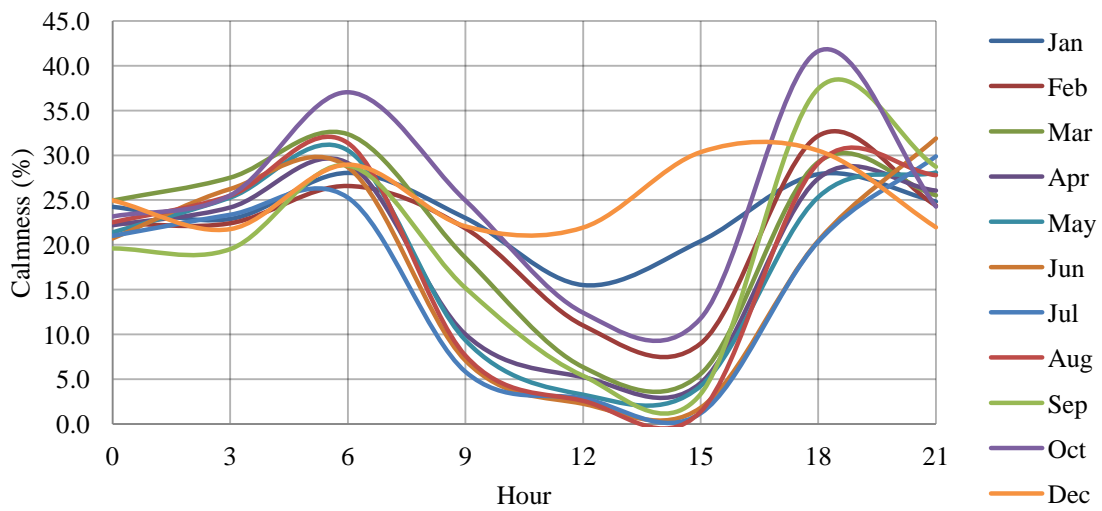


Εικόνα A1.27: Συντελεστής αυτοσυσχέτισης της ταχύτητας του ανέμου ανά μήνα με και χωρίς τις μηδενικές τιμές για το σταθμό Νέα Αγχίαλος

Filippos Hourly Calmness

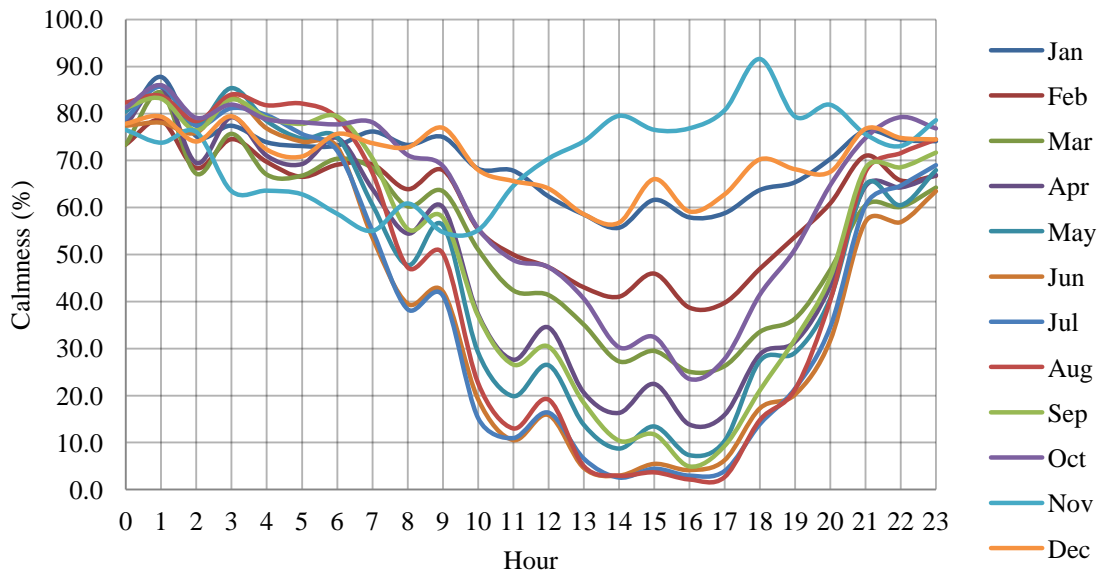


Lamia Hourly Calmness

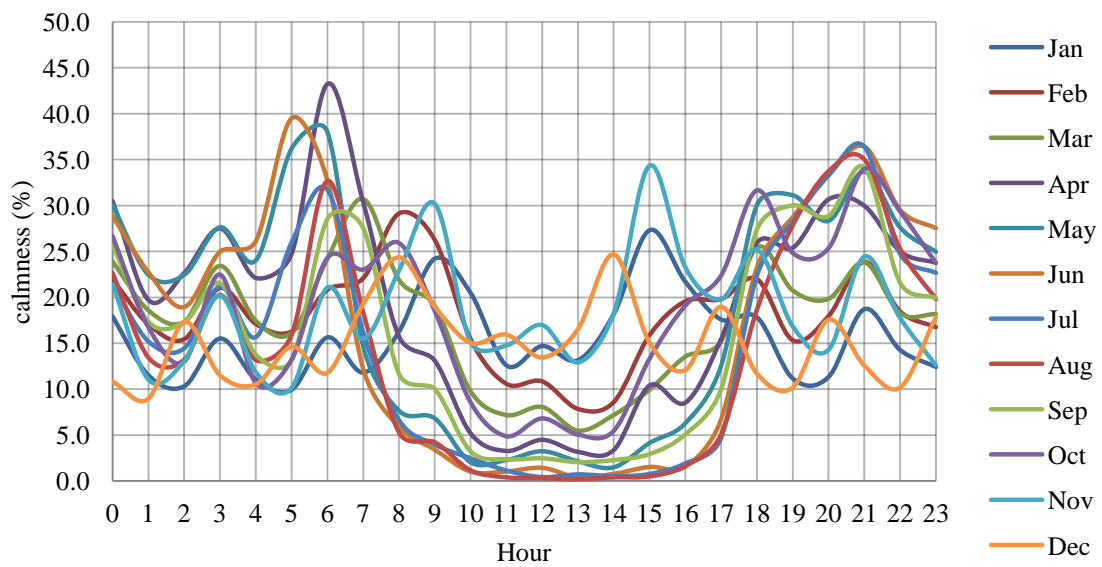


Εικόνα A1.28: Πιθανότητα νηνεμίας ανά μήνα για τους σταθμούς Φίλιππος και Λαμία

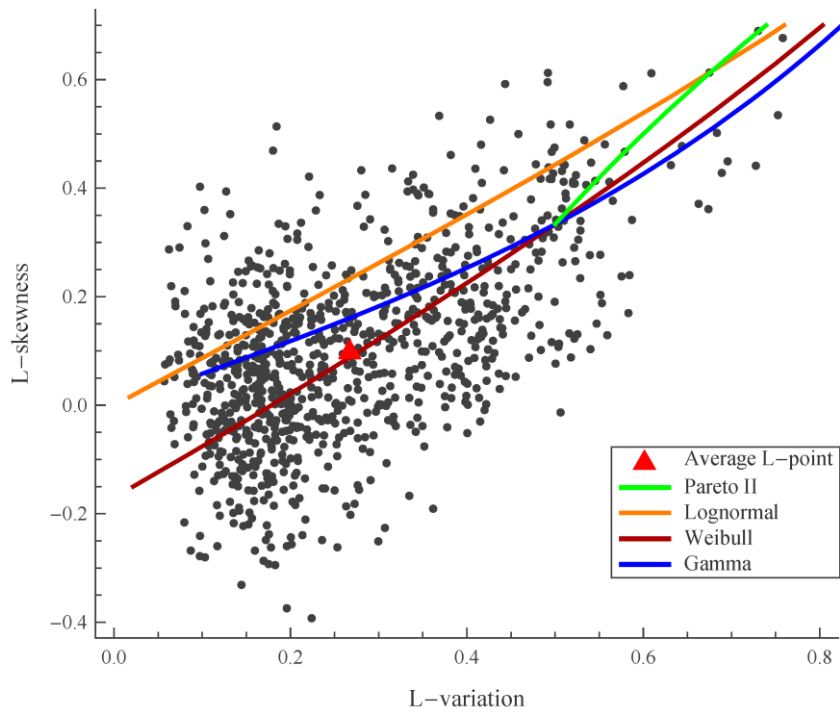
Larisa Hourly Calmness



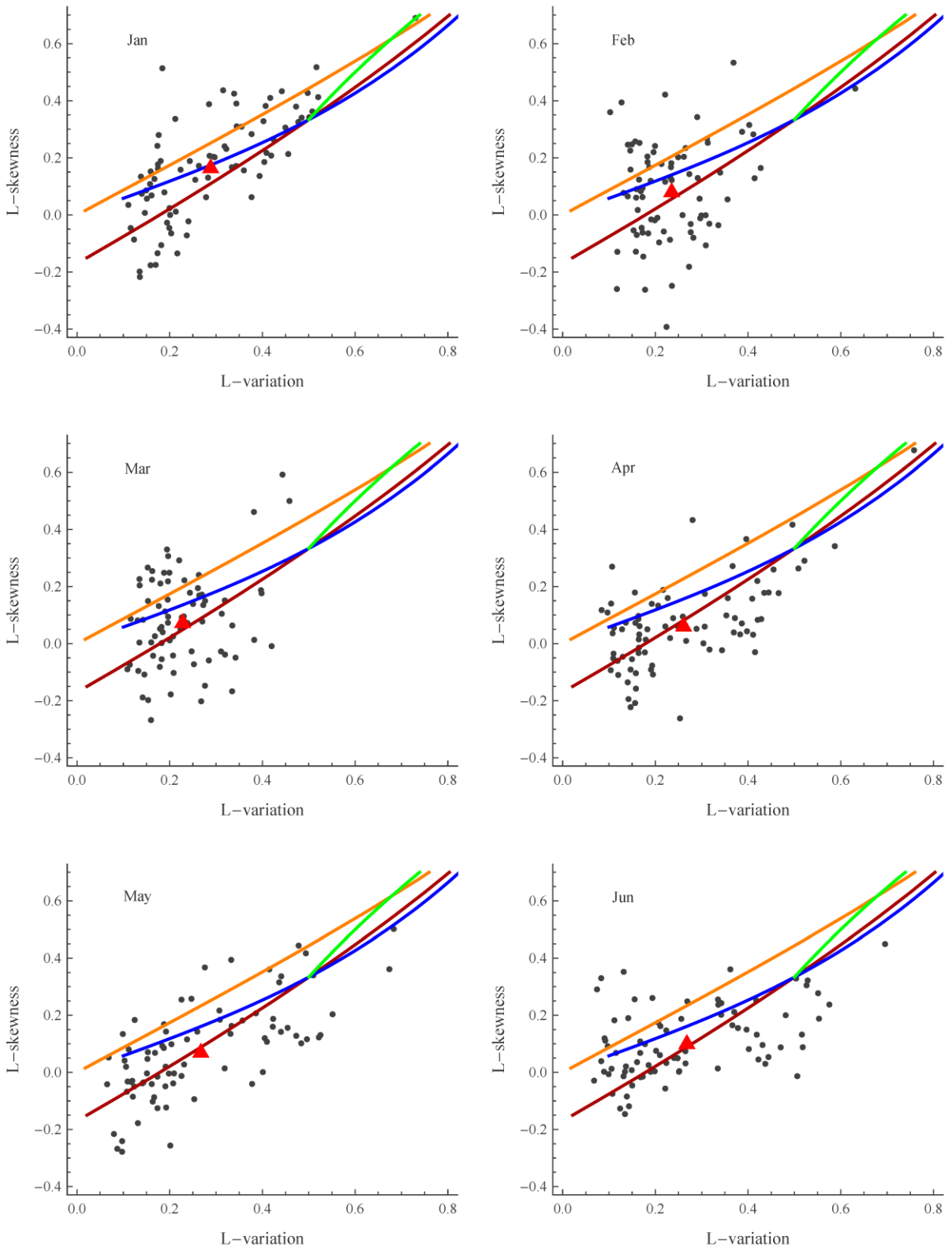
Nea Anchialos Hourly Calmness



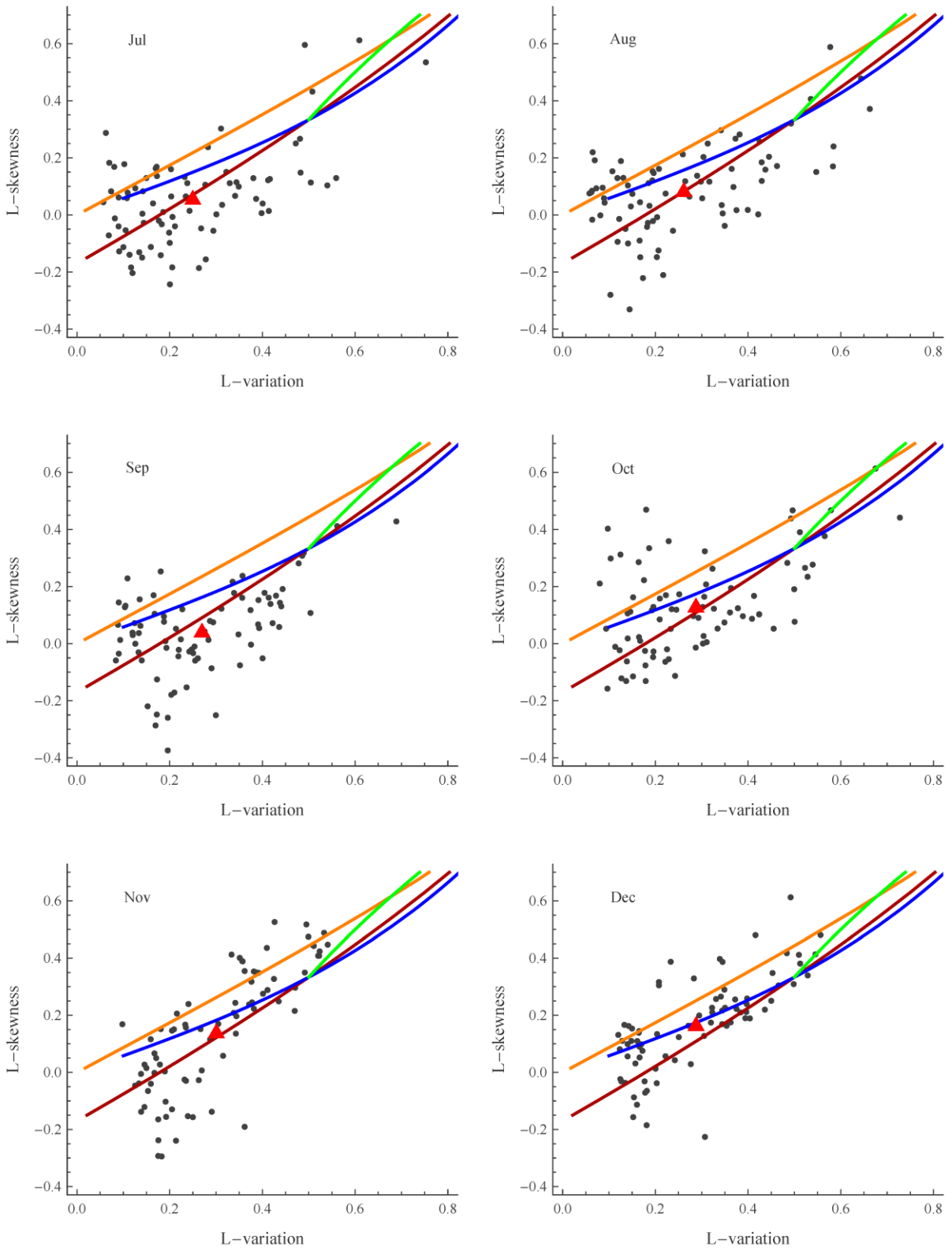
Εικόνα Α1.29: Πιθανότητα ηνεμίας ανά μήνα για τους σταθμούς Λάρισα και Νέα Αγχιάλος



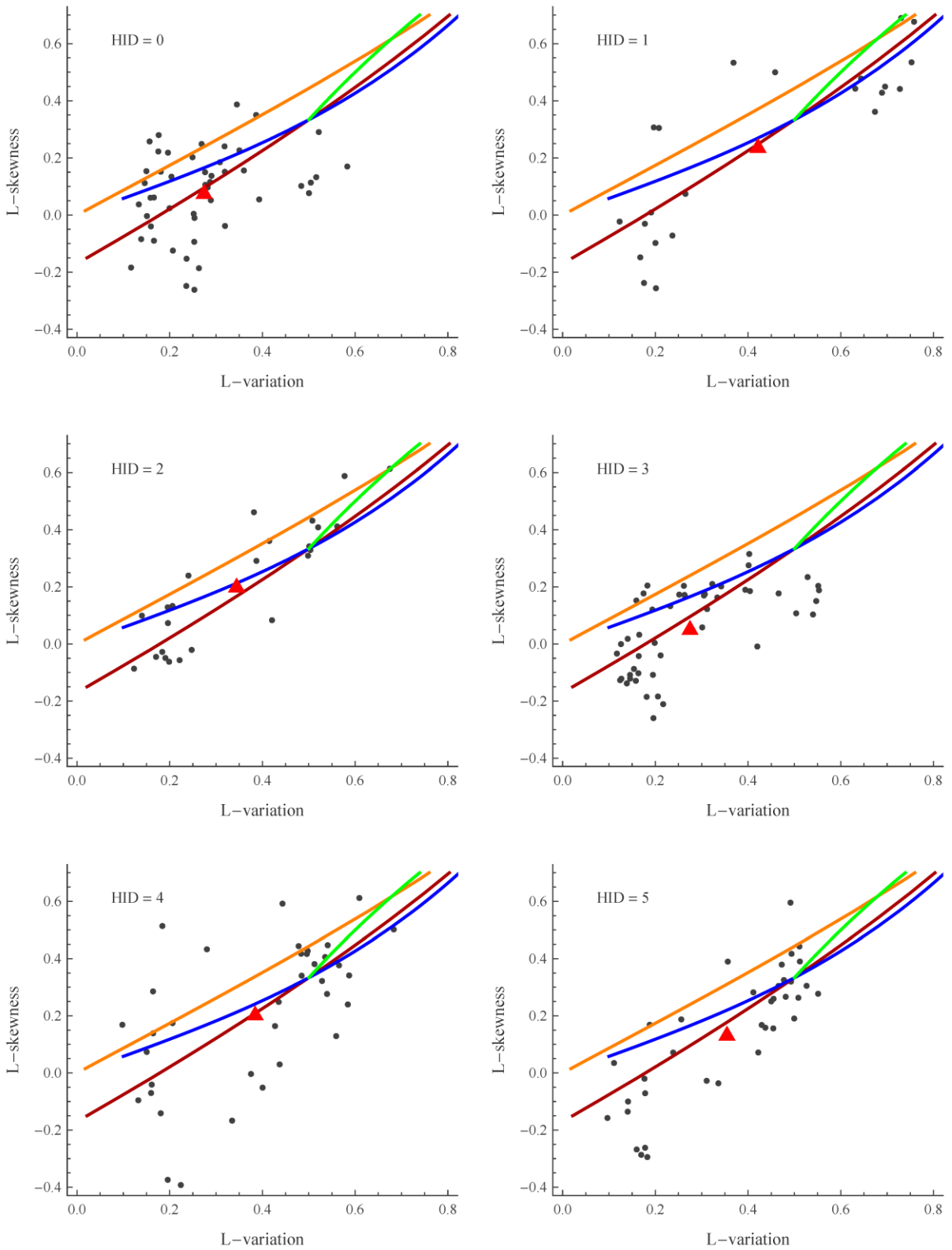
Εικόνα A1.30: Τα σημεία L-διασπορά_L-ασυμμετρία για κάθε ώρα, μήνα και σταθμό



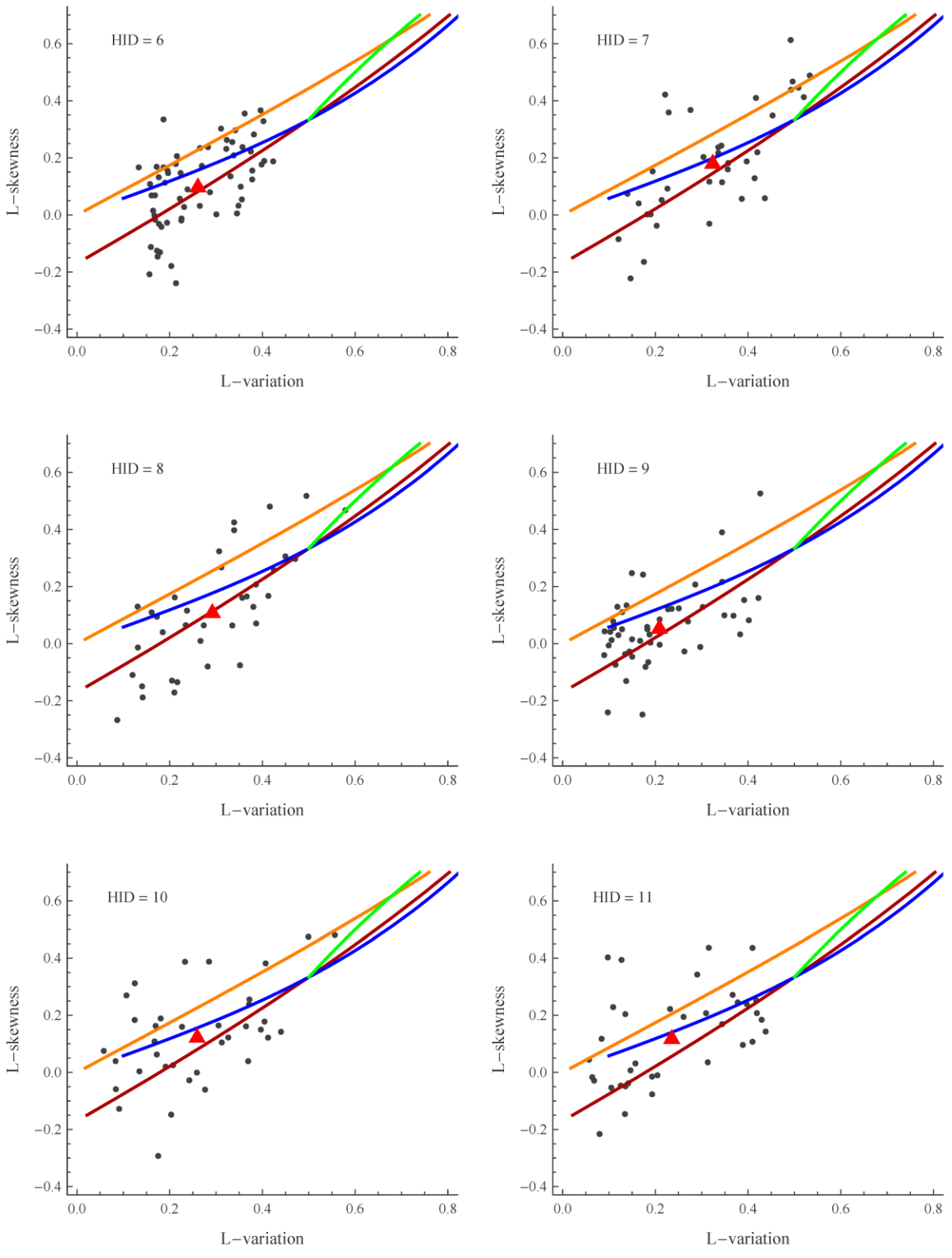
Εικόνα A1.31: Τα σημεία L-διασπορά_L-ασυμμετρία για κάθε ώρα και σταθμό



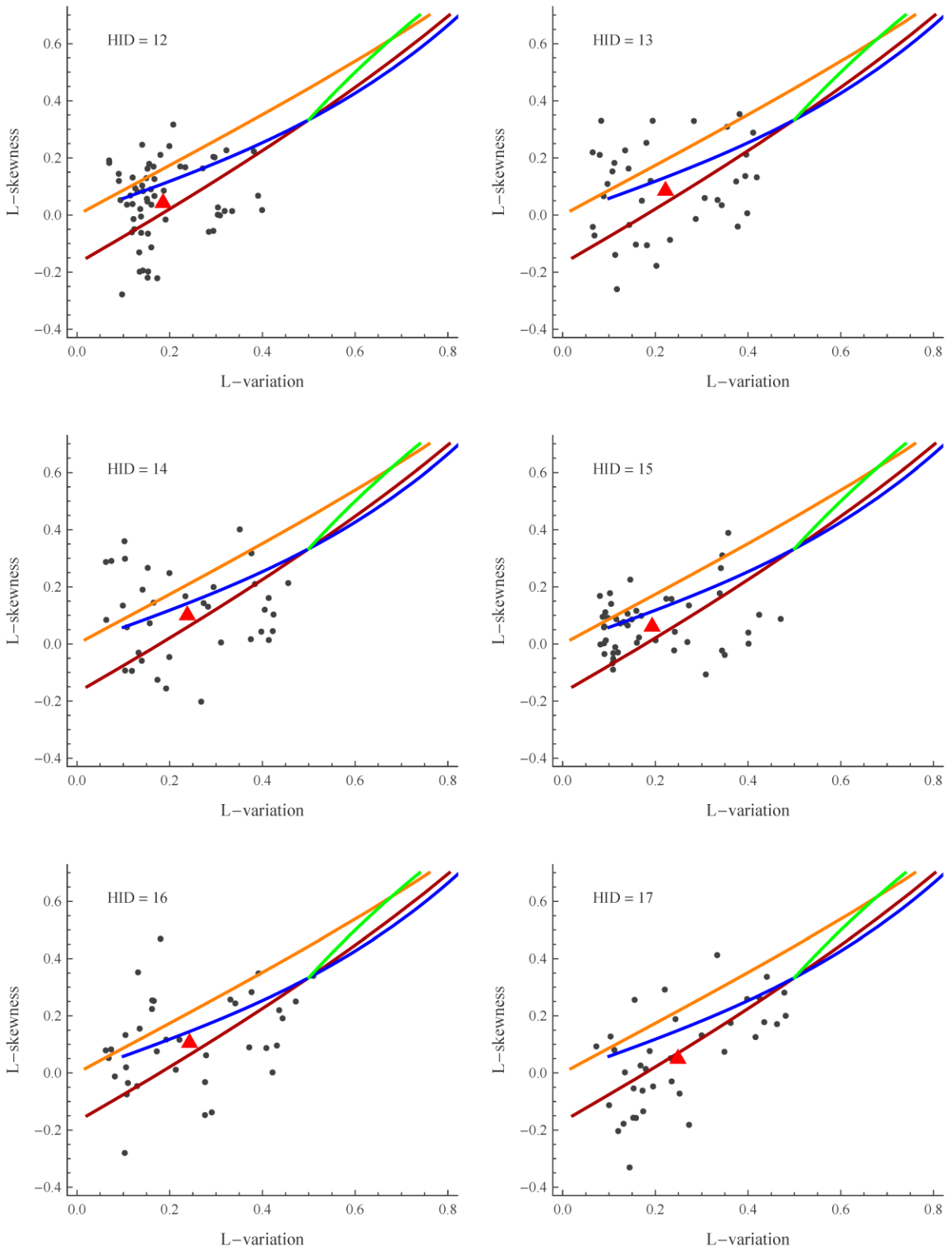
Εικόνα A1.32: Τα σημεία L-διασπορά_L-ασυμμετρία για κάθε ώρα και σταθμό



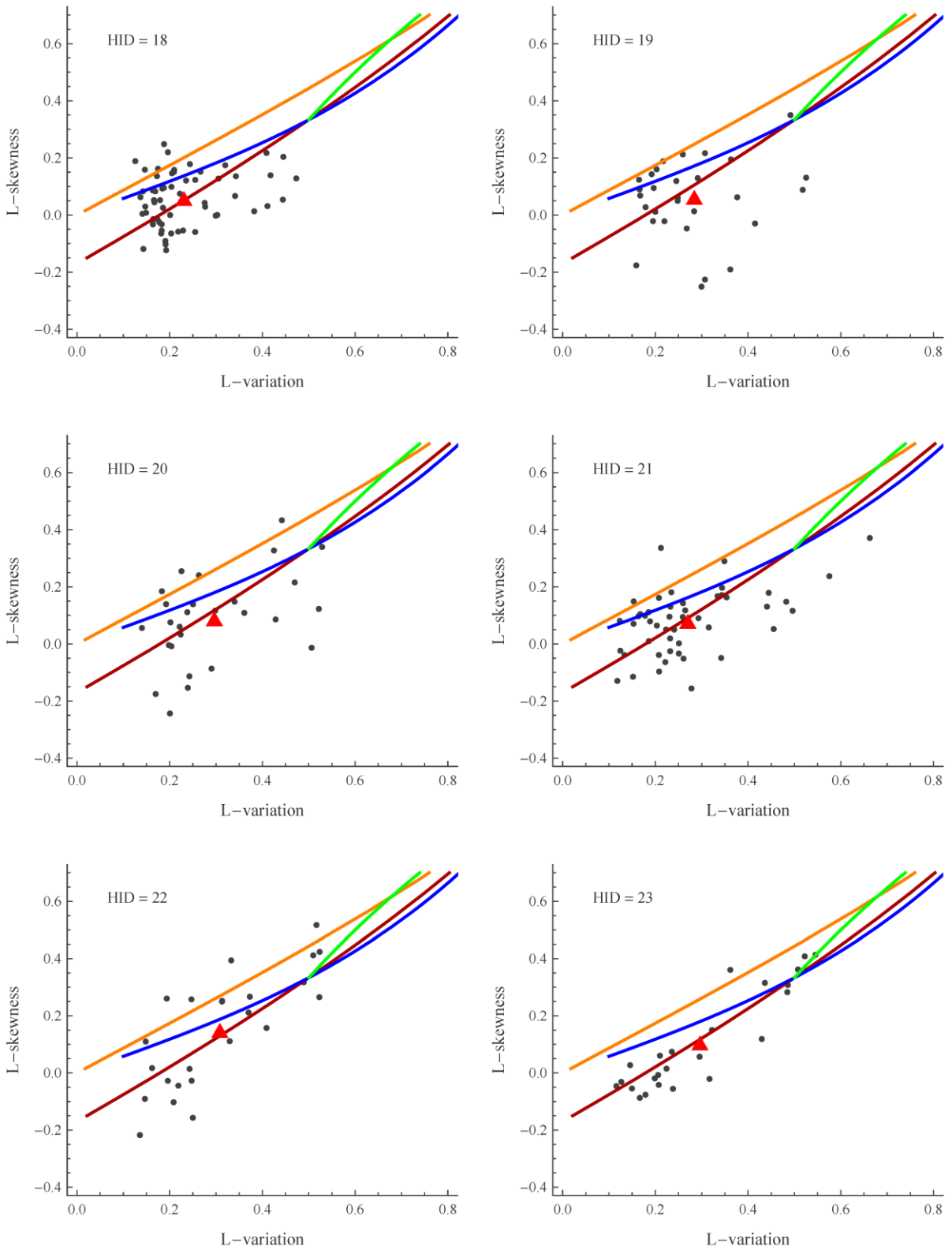
Εικόνα A1.33: Τα σημεία L-διασπορά_L-ασυμμετρία για κάθε μήνα και σταθμό



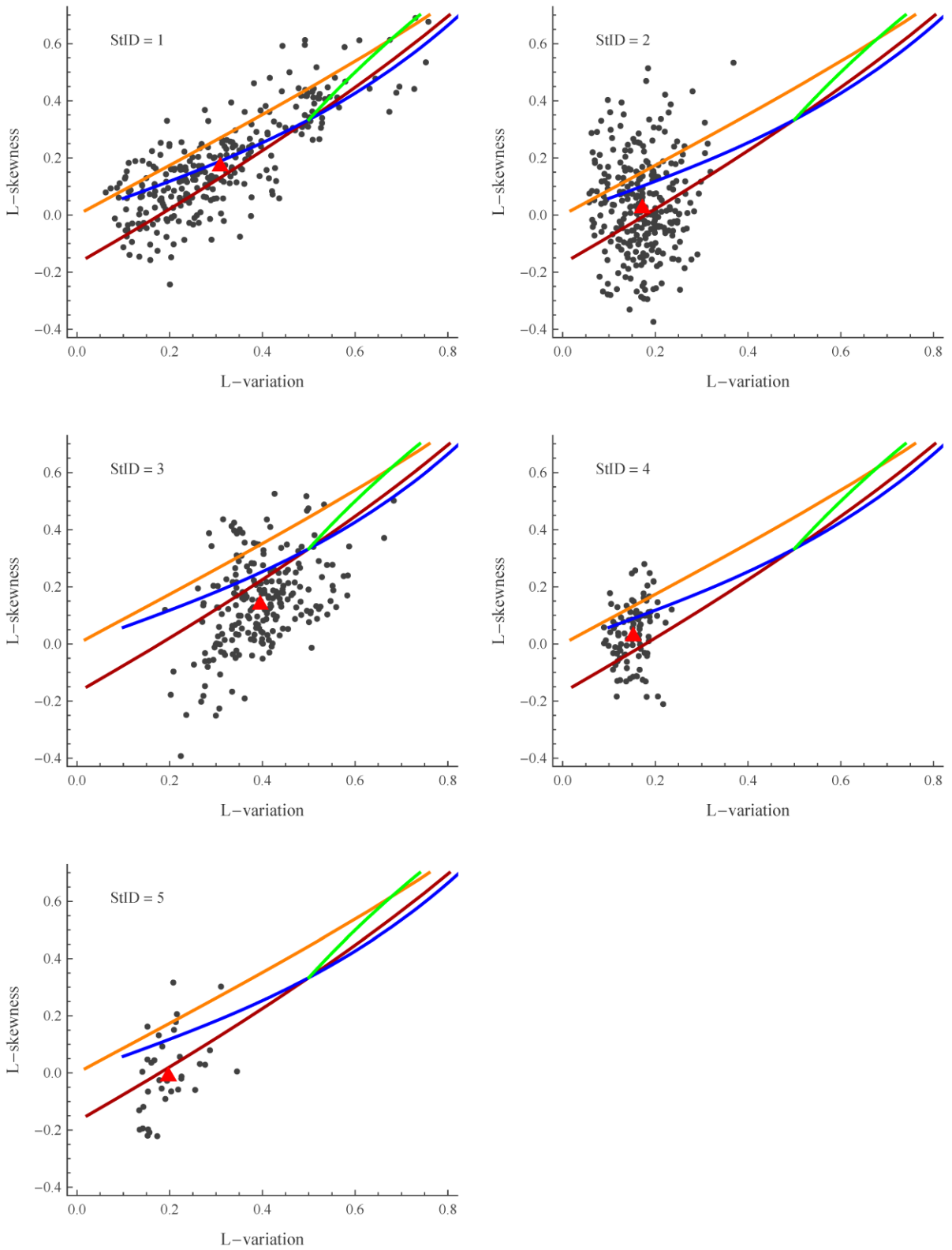
Εικόνα A1.34: Τα σημεία L-διασπορά_L-ασυμμετρία για κάθε μήνα και σταθμό



Εικόνα A1.35: Τα σημεία L-διασπορά_L-ασυμμετρία για κάθε μήνα και σταθμό



Εικόνα A1.36: Τα σημεία L-διασπορά_L-ασυμμετρία για κάθε μήνα και σταθμό



Εικόνα A1.37: Τα σημεία L-διασπορά_L-ασυμμετρία για κάθε ώρα και μήνα

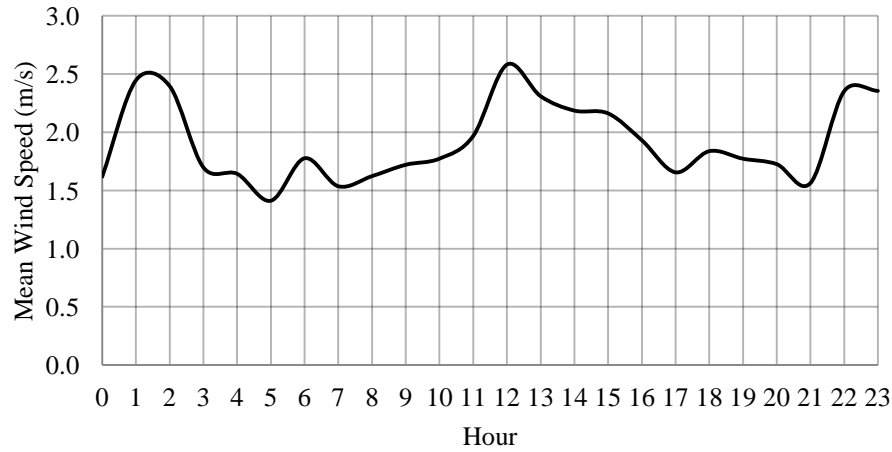
Παράρτημα Α2

Ακολουθούν οι πίνακες των στατιστικών χαρακτηριστικών της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου για τους σταθμούς επεξεργασίας. Στις γραμμές αναγράφονται οι υπολογισμοί για τους μήνες με τιμές 1 - 12, οι οποίες αφορούν στους μήνες από Ιανουάριο έως Δεκέμβριο. Στις στήλες αναγράφονται οι ώρες της ημέρας με τιμές 0 - 23. Στο παράρτημα αυτό περιλαμβάνονται επίσης και γραφήματα που αφορούν στις μέσες τιμές των αποτελεσμάτων των πινάκων ανά ώρα της ημέρας και ανά μήνα.

Table A2.1: Filippos hourly mean including zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	1.8	2.8	2.8	1.8	1.9	1.8	2.0	1.5	1.7	2.0	2.0	2.0	2.6	2.2	2.2	2.1	1.9	1.9	2.3	1.9	1.9	1.8	2.6	2.5	2.08
2	2.0	2.1	2.2	2.2	2.0	2.1	2.1	1.9	2.0	2.3	2.4	2.6	3.3	2.8	2.7	2.7	2.1	2.2	2.4	2.3	2.2	2.0	2.2	2.3	2.28
3	1.8	2.8	2.5	1.8	1.9	1.4	1.9	1.6	2.0	2.1	2.2	2.4	3.1	2.9	2.7	2.7	2.3	1.9	2.3	2.2	1.9	1.8	2.7	2.8	2.24
4	1.2	2.2	2.2	1.3	1.3	1.2	1.3	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	2.5	2.3	2.4	2.0	1.6	1.7	2.0	1.6	1.3	2.2	2.2	1.79
5	1.2	2.3	2.1	1.3	1.3	0.9	1.5	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	2.4	1.9	2.0	1.9	1.8	1.5	1.5	1.3	1.4	1.2	2.2	2.1	1.61
6	1.5	2.6	2.5	1.4	1.4	1.1	1.8	1.6	1.5	1.6	1.8	2.0	2.6	2.2	2.2	2.2	2.0	1.6	1.8	1.5	1.4	1.3	2.3	2.4	1.84
7	1.6	2.7	2.6	1.7	1.7	1.5	2.3	2.0	1.8	1.9	1.8	2.1	2.7	2.5	2.3	2.4	2.2	1.8	1.7	1.6	1.7	1.5	2.4	2.6	2.04
8	1.7	2.4	2.4	1.7	1.6	1.3	1.9	1.6	1.6	1.4	1.4	1.7	2.4	2.4	2.3	2.4	2.2	1.7	1.7	1.5	1.6	1.3	2.2	2.3	1.86
9	1.7	2.5	2.5	1.7	1.8	1.3	1.5	1.6	1.7	1.6	1.5	1.8	2.3	2.0	2.0	2.1	2.0	1.4	1.5	1.6	1.6	1.5	2.3	2.3	1.81
10	1.5	2.5	2.4	1.6	1.6	1.3	1.4	1.2	1.4	1.5	1.5	1.6	2.1	2.0	1.8	1.7	1.3	1.2	1.4	1.8	1.9	1.5	2.4	2.3	1.70
11	1.6	1.8	1.9	1.8	1.5	1.4	1.7	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	2.2	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.7	1.6	1.6	1.7	2.0	1.8	1.66
12	1.8	2.6	2.7	2.0	1.7	1.7	2.1	1.8	1.8	1.9	2.0	2.2	2.8	2.3	2.1	1.9	2.0	1.8	2.1	2.0	2.0	1.9	2.8	2.6	2.10
Mean	1.62	2.44	2.39	1.70	1.64	1.41	1.78	1.54	1.62	1.72	1.77	1.97	2.58	2.31	2.18	2.16	1.93	1.66	1.84	1.77	1.73	1.56	2.35	2.35	

Per Hour



Per Month

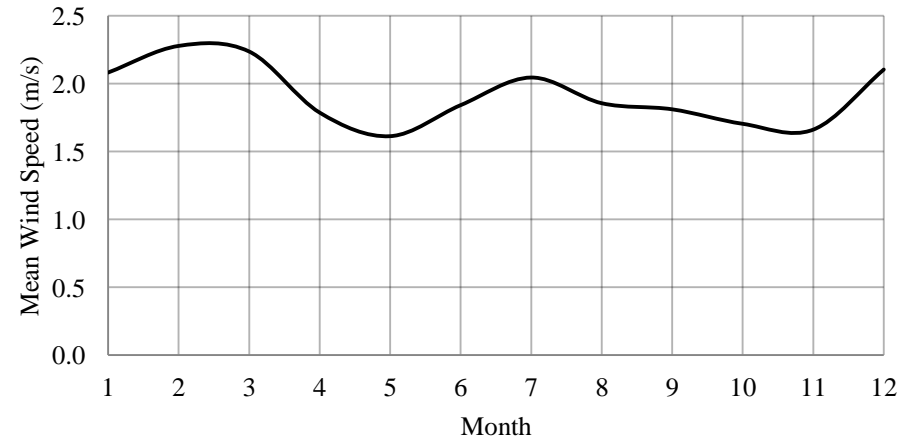
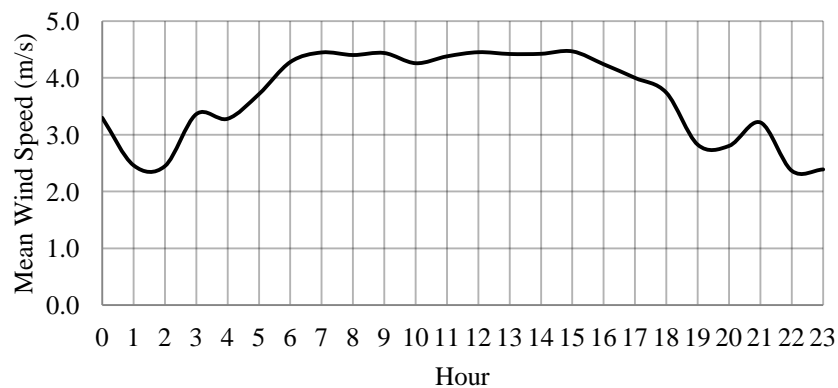


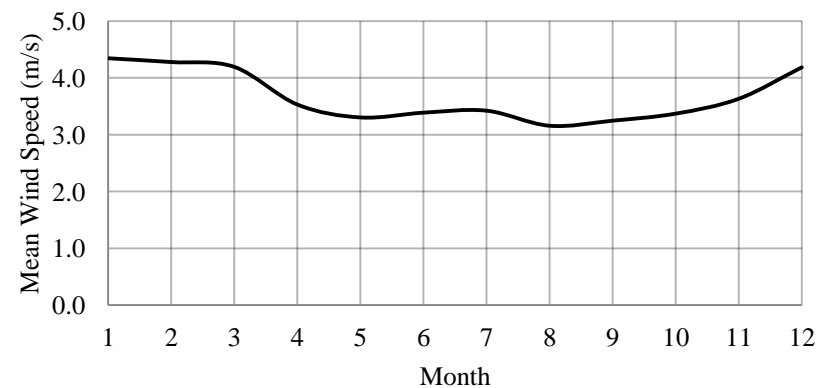
Table A2.2: Filippos hourly mean without zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	4.22	2.81	2.84	3.97	4.10	4.48	4.57	5.07	5.14	5.38	5.22	5.28	5.03	5.26	5.18	5.00	4.83	4.95	4.53	3.71	3.64	3.95	2.56	2.61	4.35
2	4.05	2.08	2.16	4.17	3.94	4.59	4.74	5.44	5.42	5.47	5.19	5.31	5.32	5.11	5.09	5.23	4.62	4.84	4.32	3.54	3.53	4.09	2.16	2.29	4.28
3	3.95	2.81	2.55	3.98	4.09	4.02	4.67	4.72	4.90	4.91	4.83	5.03	5.07	5.01	5.09	5.11	4.70	4.33	4.43	3.62	3.43	3.85	2.79	2.81	4.19
4	2.79	2.25	2.32	3.10	3.09	3.46	3.76	3.92	4.25	4.30	4.27	4.37	4.34	4.40	4.43	4.54	4.33	3.83	3.65	3.13	2.78	2.94	2.19	2.26	3.53
5	2.77	2.35	2.27	2.88	2.80	3.19	3.85	3.95	3.93	3.87	3.65	3.81	4.21	3.88	4.18	4.13	4.30	4.02	3.30	2.40	2.49	2.69	2.17	2.14	3.30
6	3.15	2.63	2.56	2.99	2.94	3.62	4.05	4.05	3.77	3.73	3.62	3.77	4.17	3.89	3.99	4.14	4.04	3.68	3.41	2.69	2.58	2.99	2.36	2.44	3.39
7	3.09	2.67	2.64	3.12	3.02	3.44	4.76	4.09	3.82	3.88	3.55	3.56	4.19	4.17	3.98	4.18	4.09	3.70	3.49	2.32	2.49	2.82	2.43	2.60	3.42
8	2.79	2.43	2.44	2.79	2.71	3.07	4.47	3.87	3.68	3.61	3.20	3.37	3.93	3.82	3.93	4.05	3.71	3.42	3.52	1.97	2.08	2.39	2.24	2.26	3.16
9	2.94	2.53	2.47	3.01	3.02	3.37	4.03	4.16	3.94	3.83	3.42	3.68	3.89	3.87	3.87	4.02	3.76	3.21	3.28	2.12	2.10	2.71	2.30	2.35	3.24
10	2.94	2.50	2.52	3.08	3.05	3.57	3.98	4.07	4.13	4.02	3.87	3.88	3.89	4.11	3.86	3.97	3.68	3.60	3.19	2.47	2.71	3.02	2.35	2.38	3.37
11	3.24	1.89	1.96	3.49	3.21	3.74	3.84	4.84	4.55	4.75	4.72	4.82	4.26	4.54	4.50	4.48	4.28	4.13	3.56	2.62	2.53	3.28	2.05	1.91	3.63
12	3.66	2.60	2.66	3.76	3.40	4.03	4.61	5.17	5.28	5.50	5.53	5.66	5.08	4.97	4.96	4.74	4.50	4.28	4.17	3.28	3.29	3.86	2.80	2.65	4.19
Mean	3.30	2.46	2.45	3.36	3.28	3.71	4.28	4.45	4.40	4.44	4.26	4.38	4.45	4.42	4.42	4.46	4.24	4.00	3.74	2.82	2.80	3.22	2.37	2.39	

Per Hour

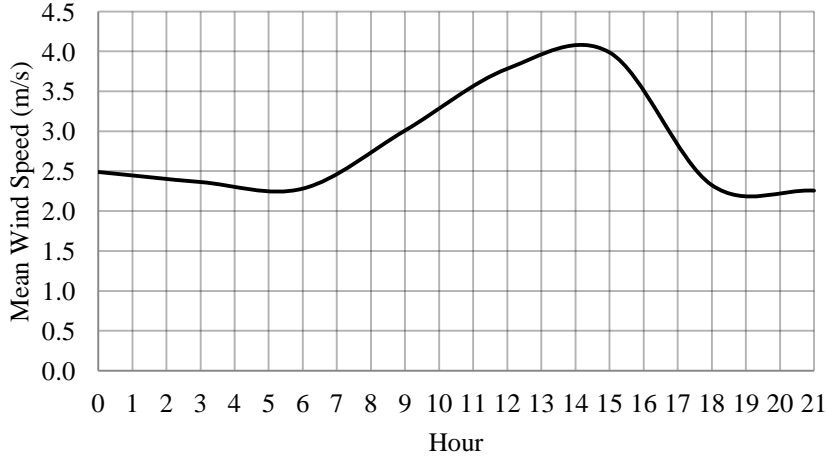


Per Month

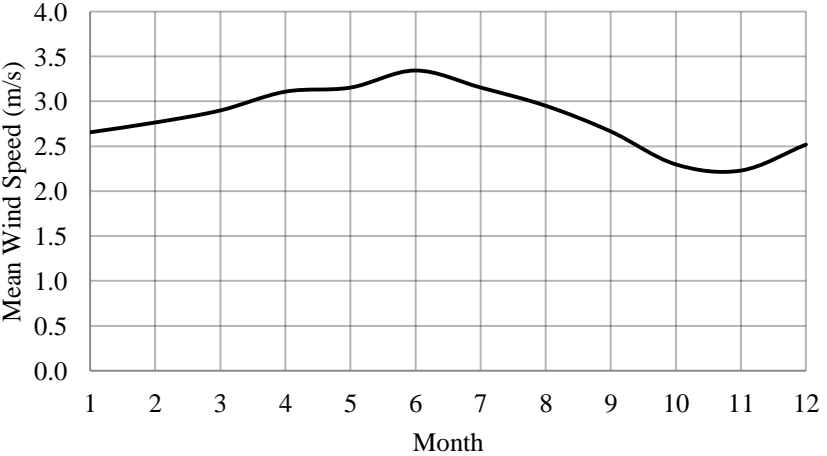


	0	3	6	9	12	15	18	21	Mean
1	2.5	2.7	2.4	2.9	3.2	2.8	2.4	2.4	2.66
2	2.5	2.5	2.5	3.0	3.6	3.5	2.3	2.3	2.76
3	2.5	2.3	2.3	3.1	3.9	4.2	2.5	2.4	2.90
4	2.6	2.4	2.4	3.5	4.3	4.7	2.6	2.5	3.11
5	2.7	2.4	2.4	3.4	4.5	4.9	2.7	2.3	3.15
6	2.8	2.4	2.6	3.5	4.8	5.4	2.9	2.4	3.34
7	2.6	2.3	2.5	3.4	4.5	5.3	2.6	2.1	3.15
8	2.5	2.3	2.1	3.1	4.4	5.1	2.1	2.1	2.95
9	2.4	2.2	2.1	2.7	3.8	4.4	1.9	1.9	2.67
10	2.2	2.1	1.8	2.4	3.0	3.2	1.8	2.0	2.30
11	2.2	2.2	2.1	2.5	2.7	2.2	1.9	2.2	2.23
12	2.5	2.6	2.3	2.9	2.8	2.4	2.3	2.5	2.52
Mean	2.49	2.36	2.28	3.01	3.78	3.99	2.32	2.26	

Per Hour

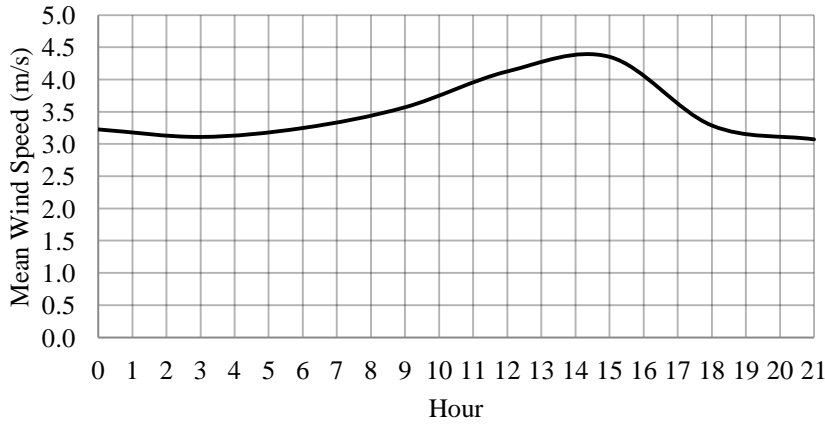


Per Month



	0	3	6	9	12	15	18	21	Mean
1	3.29	3.45	3.35	3.79	3.73	3.55	3.30	3.20	3.46
2	3.22	3.24	3.34	3.83	4.00	3.85	3.34	3.08	3.49
3	3.31	3.17	3.38	3.75	4.18	4.42	3.59	3.26	3.63
4	3.28	3.15	3.39	3.83	4.58	4.88	3.62	3.31	3.75
5	3.37	3.25	3.48	3.75	4.61	5.07	3.57	3.26	3.80
6	3.55	3.29	3.63	3.72	4.87	5.51	3.68	3.46	3.96
7	3.34	2.93	3.28	3.58	4.67	5.37	3.25	2.98	3.68
8	3.26	3.01	3.04	3.32	4.49	5.13	3.02	2.89	3.52
9	2.98	2.77	2.89	3.18	4.00	4.55	3.00	2.62	3.25
10	2.80	2.79	2.89	3.13	3.45	3.61	3.00	2.70	3.05
11	2.98	2.93	3.03	3.30	3.34	2.91	2.82	2.91	3.03
12	3.33	3.31	3.25	3.65	3.57	3.38	3.27	3.17	3.37
Mean	3.23	3.11	3.25	3.57	4.12	4.35	3.29	3.07	

Per Hour



Per Month

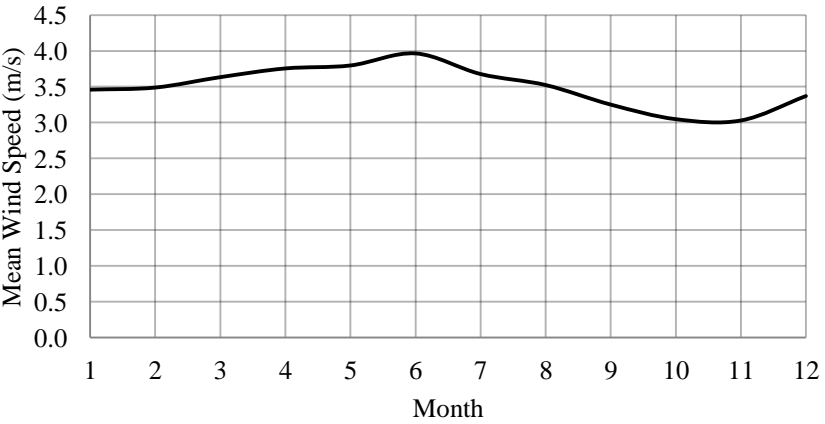
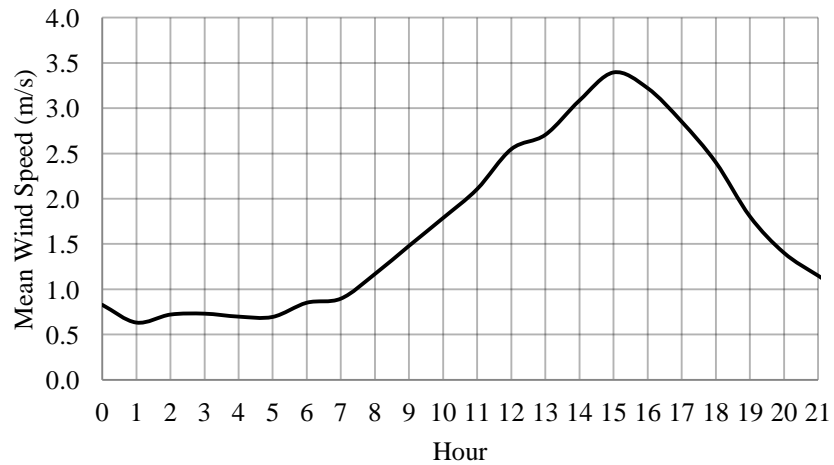


Table A2.5: Larisa hourly mean including zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	1.0	0.5	0.8	1.0	0.8	0.8	1.0	0.8	0.9	1.1	1.1	1.3	1.6	1.5	1.6	1.7	1.3	1.3	1.4	1.0	1.0	1.1	0.8	0.7	1.09
2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	1.2	1.0	1.3	1.5	1.8	1.9	2.4	2.2	2.3	2.5	2.2	2.0	2.0	1.4	1.2	1.2	1.1	1.1	1.53
3	1.1	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.3	1.7	1.8	2.2	2.7	2.6	3.0	3.3	3.0	2.7	2.6	2.0	1.6	1.5	1.2	1.1	1.75
4	0.8	0.5	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	1.0	1.3	1.6	2.0	2.5	2.8	3.2	3.5	3.7	3.6	3.3	2.7	2.1	1.6	1.2	1.0	0.9	1.79
5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.7	1.0	1.4	1.6	2.1	2.7	3.0	3.4	3.9	4.1	4.2	3.6	2.6	2.2	1.7	1.1	1.0	0.8	1.85
6	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.8	1.1	1.5	2.0	2.6	3.0	3.6	4.0	4.6	4.9	4.7	4.3	3.3	2.6	2.0	1.5	1.2	1.0	2.19
7	0.8	0.7	0.6	0.7	0.5	0.6	0.9	1.1	1.5	2.0	2.4	2.8	3.3	3.7	4.5	5.1	4.9	4.3	3.5	2.6	1.9	1.4	1.0	0.9	2.15
8	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.7	0.8	1.3	1.6	2.3	2.7	3.2	4.0	4.7	5.1	4.9	4.3	3.3	2.4	1.7	1.1	0.8	0.6	2.03
9	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.7	1.0	1.5	1.8	2.3	2.7	3.0	3.7	4.4	4.3	3.7	3.0	2.1	1.5	1.1	0.8	0.7	1.75
10	0.8	0.4	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	0.7	0.8	1.3	1.3	1.6	2.1	2.0	2.3	3.0	2.7	2.3	2.1	1.4	1.0	1.0	0.6	0.6	1.30
11	0.8	0.3	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.5	1.4	1.5	1.5	1.4	1.4	1.2	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.97
12	0.9	1.0	0.8	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1	1.3	1.6	1.4	1.4	1.4	1.4	1.2	1.1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	1.05
Mean	0.83	0.63	0.72	0.73	0.70	0.69	0.85	0.90	1.17	1.48	1.79	2.11	2.55	2.71	3.08	3.39	3.22	2.85	2.40	1.80	1.40	1.15	0.92	0.83	

Per Hour



Per Month

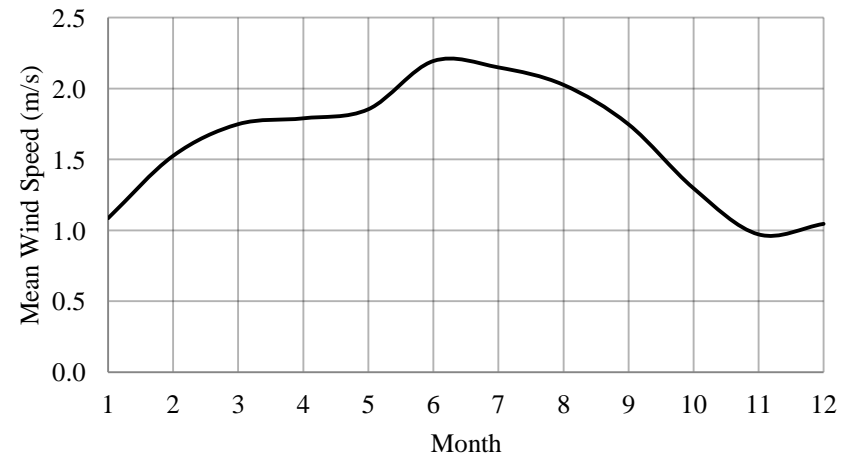
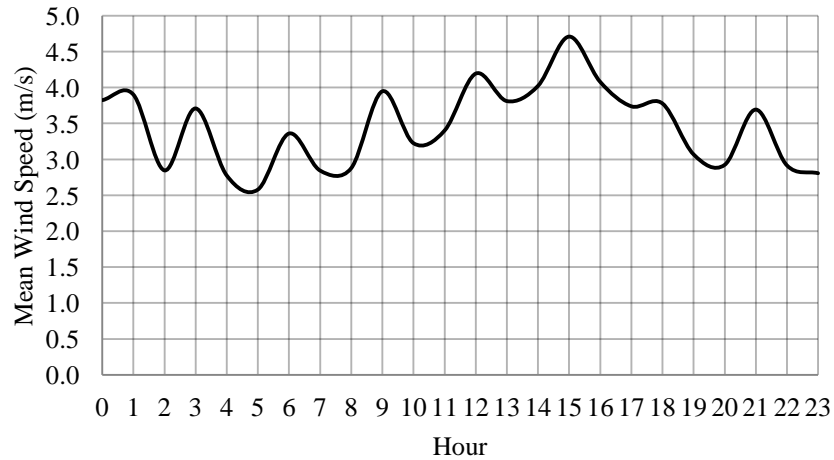


Table A2.6: Larisa hourly mean without zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	4.27	4.06	3.25	4.24	3.02	2.88	3.78	3.16	3.21	4.51	3.56	3.88	4.37	3.65	3.65	4.39	3.15	3.15	3.96	2.98	3.35	4.50	3.02	2.86	3.62
2	4.10	5.01	3.38	4.14	3.26	3.28	3.77	3.37	3.55	4.68	3.94	3.70	4.60	3.88	3.95	4.64	3.66	3.28	3.78	3.06	2.98	4.20	3.17	3.23	3.77
3	4.17	4.49	2.98	4.09	3.16	2.85	3.68	3.11	3.24	4.54	3.60	3.81	4.52	4.04	4.15	4.67	3.98	3.66	3.92	3.13	2.98	3.74	3.11	2.99	3.69
4	3.56	3.54	2.39	3.32	2.63	2.28	3.15	2.63	2.92	3.94	3.25	3.44	4.29	4.04	4.13	4.78	4.20	3.93	3.76	3.12	2.87	3.44	2.71	2.65	3.37
5	3.27	3.26	2.80	3.24	2.49	2.20	2.76	2.51	2.61	3.63	3.00	3.34	4.13	3.99	4.28	4.79	4.48	4.01	3.63	3.11	2.84	3.23	2.60	2.58	3.28
6	3.65	3.72	2.80	3.30	2.44	2.21	3.01	2.42	2.53	3.41	3.20	3.40	4.26	4.23	4.72	5.15	4.94	4.53	3.93	3.28	2.90	3.39	2.83	2.82	3.46
7	3.67	4.54	2.71	3.54	2.44	2.49	3.31	2.49	2.48	3.32	2.88	3.14	3.99	3.99	4.65	5.30	5.05	4.43	4.04	3.33	2.95	3.45	2.82	2.76	3.49
8	3.56	3.85	2.45	3.37	2.67	2.47	3.14	2.36	2.45	3.26	2.92	3.13	4.00	4.19	4.84	5.32	5.03	4.38	3.92	3.03	2.76	3.32	2.68	2.47	3.40
9	3.49	3.15	2.36	3.43	2.23	2.02	2.99	2.34	2.24	3.44	2.90	3.08	3.89	3.65	4.14	5.01	4.54	4.04	3.79	3.06	2.70	3.32	2.55	2.40	3.20
10	4.04	3.15	2.77	3.87	2.82	2.63	3.45	3.07	2.82	4.10	2.88	3.10	4.04	3.32	3.26	4.40	3.57	3.18	3.59	2.81	2.80	3.79	3.04	2.77	3.30
11	3.99	3.45	3.11	3.82	3.02	2.84	3.52	3.16	3.20	4.13	3.05	3.18	3.96	3.35	3.26	3.88	3.03	3.11	3.46	3.09	3.19	3.91	3.24	3.11	3.38
12	4.13	4.62	3.15	4.16	3.14	2.81	3.76	3.51	3.28	4.41	3.51	3.62	4.30	3.42	3.24	4.19	3.32	3.17	3.58	2.85	2.77	4.02	3.21	3.05	3.55
Mean	3.82	3.90	2.85	3.71	2.78	2.58	3.36	2.84	2.88	3.95	3.23	3.40	4.19	3.81	4.02	4.71	4.08	3.74	3.78	3.07	2.92	3.69	2.92	2.81	

Per Hour



Per Month

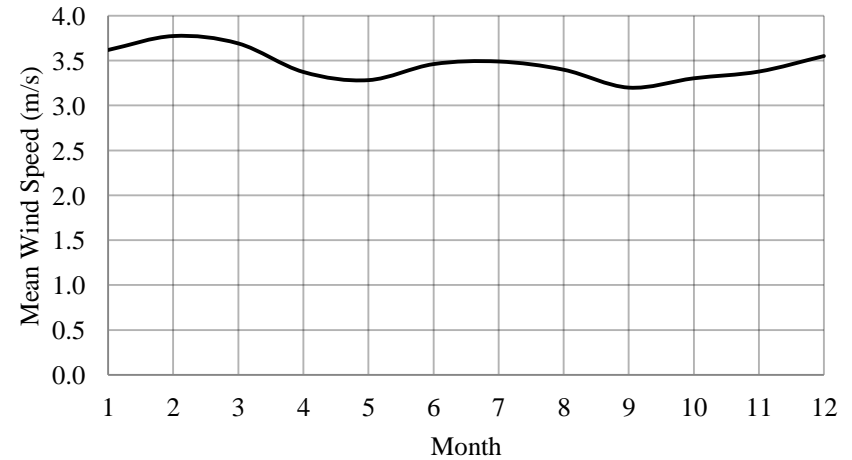
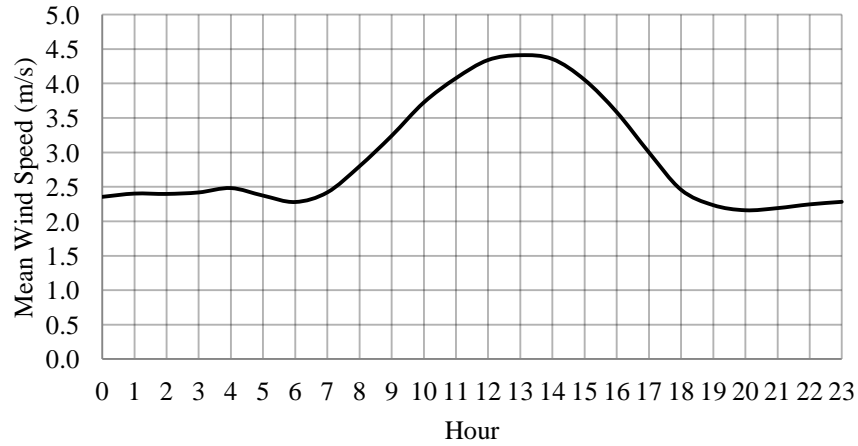


Table A2.7: Nea Anchialos hourly mean including zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	2.9	2.8	2.8	3.0	2.9	2.8	2.9	2.9	2.9	3.1	3.1	3.4	3.6	3.2	3.1	2.8	2.4	2.6	2.8	2.8	2.8	2.8	2.6	2.7	2.91
2	2.7	2.7	2.6	2.7	2.6	2.7	2.8	2.6	2.4	2.8	3.2	3.5	3.9	3.7	3.8	3.5	2.9	2.7	2.8	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.90
3	2.5	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.5	2.2	2.6	3.2	3.6	3.9	4.2	4.2	4.2	3.9	3.5	2.9	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.99
4	2.0	2.2	2.1	2.1	2.2	2.0	1.7	1.9	2.8	3.3	3.9	4.3	4.5	4.6	4.5	4.2	3.9	3.0	2.4	2.2	2.0	2.3	2.1	2.1	2.83
5	2.1	2.1	2.0	2.0	2.1	1.7	1.7	2.6	3.3	3.7	4.4	4.7	4.8	5.1	5.0	4.6	4.1	3.1	2.2	2.0	1.9	1.9	2.0	2.0	2.96
6	2.0	2.0	2.0	2.1	2.0	1.7	2.0	2.6	3.4	4.0	4.6	5.0	5.4	5.7	5.6	5.3	4.8	3.8	2.5	1.8	1.6	1.7	1.9	1.9	3.14
7	2.2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.0	2.0	2.4	3.1	3.8	4.3	4.9	5.4	5.6	5.6	5.4	4.9	3.8	2.4	1.8	1.6	1.7	1.9	2.0	3.16
8	2.2	2.4	2.4	2.3	2.4	2.3	1.9	2.2	3.0	3.6	4.4	5.0	5.5	5.7	5.7	5.6	4.8	3.6	2.4	1.7	1.5	1.6	1.9	2.0	3.17
9	2.1	2.2	2.1	2.2	2.3	2.3	2.0	1.9	2.6	3.2	3.9	4.4	4.8	5.0	5.1	4.8	4.2	3.2	2.2	1.8	1.6	1.8	2.0	2.0	2.89
10	2.2	2.3	2.4	2.4	2.6	2.6	2.4	2.3	2.2	2.7	3.2	3.6	3.9	3.8	3.8	3.4	2.7	2.1	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.59
11	2.5	2.8	2.7	2.6	2.8	2.9	2.5	2.6	2.5	2.4	3.0	3.0	2.9	3.1	2.9	2.2	2.2	2.4	2.3	2.6	2.6	2.5	2.6	2.6	2.63
12	3.0	2.9	3.0	3.0	2.9	3.0	3.0	2.9	2.7	3.0	3.2	3.2	3.4	3.3	3.0	2.8	2.7	2.9	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.8	2.97
Mean	2.35	2.40	2.40	2.42	2.48	2.37	2.28	2.42	2.80	3.24	3.73	4.08	4.34	4.41	4.36	4.06	3.59	3.00	2.46	2.23	2.16	2.19	2.24	2.28	

Per Hour



Per Month

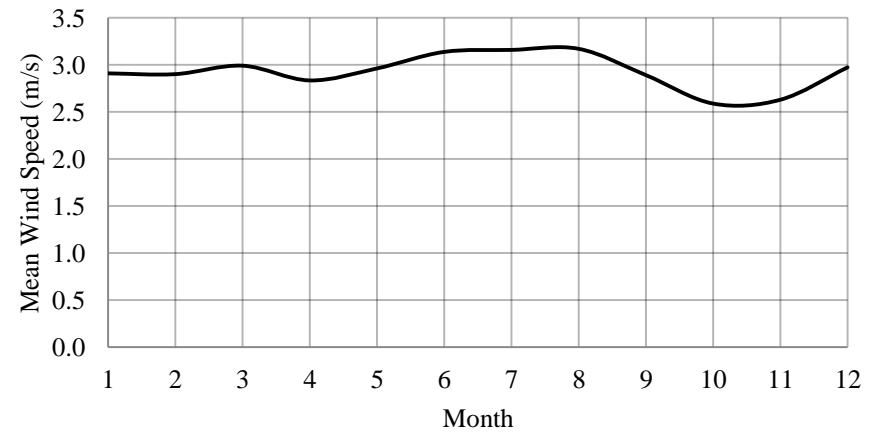
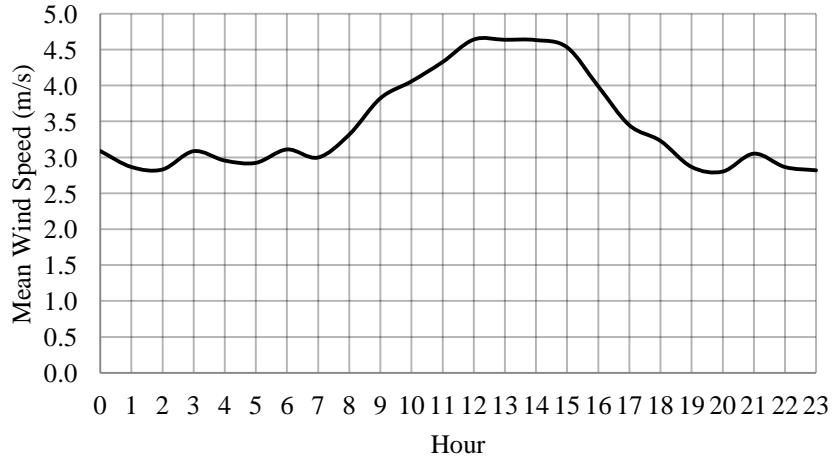


Table A2.8: Nea Anchialos hourly mean without zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	3.48	3.10	3.16	3.55	3.22	3.14	3.45	3.33	3.42	4.09	3.87	3.90	4.23	3.73	3.84	3.81	3.08	3.11	3.46	3.17	3.16	3.50	3.05	3.12	3.46
2	3.43	3.20	3.11	3.39	3.13	3.24	3.52	3.31	3.35	3.81	3.79	3.92	4.32	4.05	4.11	4.17	3.62	3.30	3.52	3.20	3.29	3.50	3.12	3.15	3.52
3	3.30	3.11	3.03	3.33	3.15	3.09	3.32	3.14	3.36	3.91	3.99	4.24	4.51	4.43	4.57	4.37	3.99	3.47	3.47	3.22	3.26	3.40	3.18	3.19	3.59
4	2.92	2.73	2.68	2.85	2.79	2.62	2.96	2.75	3.30	3.81	4.06	4.40	4.68	4.78	4.62	4.72	4.22	3.56	3.28	2.92	2.92	3.23	2.81	2.69	3.43
5	2.94	2.69	2.56	2.70	2.75	2.63	2.75	2.98	3.60	4.00	4.52	4.82	4.99	5.21	5.09	4.82	4.38	3.54	3.19	2.87	2.67	2.84	2.77	2.67	3.50
6	2.78	2.53	2.45	2.76	2.75	2.76	2.92	2.93	3.64	4.13	4.67	5.09	5.49	5.70	5.65	5.42	4.86	4.08	3.25	2.57	2.38	2.65	2.67	2.65	3.62
7	2.82	2.52	2.58	2.86	2.78	2.71	2.92	2.88	3.36	3.93	4.43	4.95	5.42	5.66	5.64	5.48	5.02	4.01	3.11	2.47	2.35	2.59	2.54	2.57	3.57
8	2.78	2.71	2.73	2.86	2.78	2.71	2.87	2.66	3.18	3.80	4.45	5.05	5.48	5.67	5.75	5.66	4.88	3.74	2.92	2.41	2.33	2.52	2.57	2.50	3.54
9	2.80	2.67	2.51	2.81	2.71	2.64	2.75	2.57	2.93	3.58	3.97	4.50	4.92	5.11	5.17	4.96	4.39	3.53	2.98	2.52	2.22	2.66	2.53	2.51	3.33
10	2.96	2.79	2.73	3.05	2.89	2.96	3.14	2.96	2.99	3.33	3.52	3.81	4.13	3.99	3.97	3.93	3.39	2.74	2.80	2.57	2.60	2.89	2.70	2.63	3.14
11	3.20	3.09	3.12	3.20	3.21	3.23	3.20	3.11	3.26	3.50	3.51	3.49	3.48	3.50	3.53	3.33	2.89	2.96	3.08	3.09	3.06	3.26	3.10	3.00	3.23
12	3.61	3.23	3.28	3.66	3.30	3.33	3.49	3.33	3.38	3.95	3.89	3.73	3.99	3.79	3.64	3.70	3.13	3.31	3.67	3.36	3.37	3.57	3.33	3.13	3.51
Mean	3.09	2.86	2.83	3.08	2.95	2.92	3.11	3.00	3.32	3.82	4.06	4.33	4.64	4.64	4.63	4.53	3.99	3.45	3.23	2.86	2.80	3.05	2.86	2.82	

Per Hour



Per Month

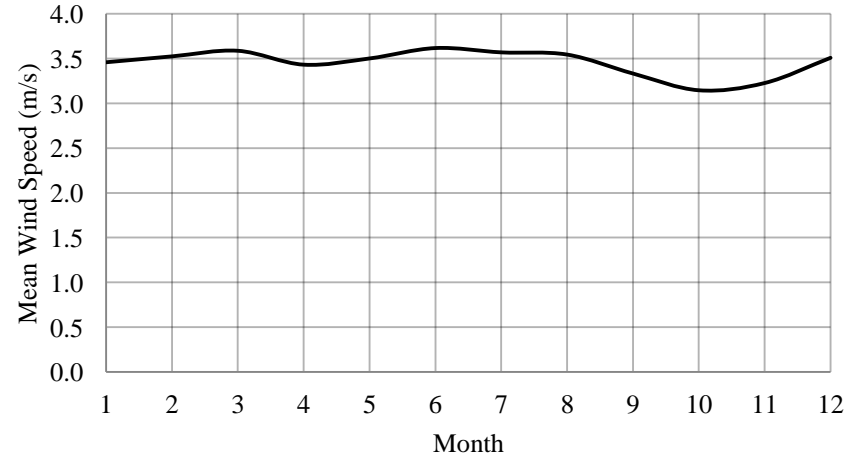
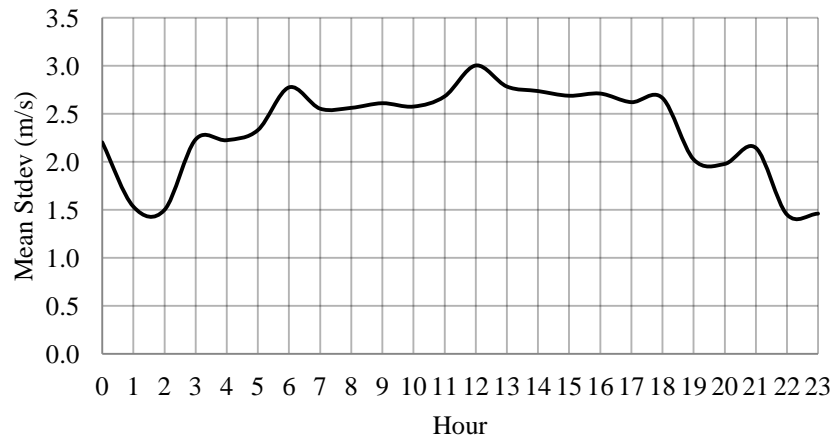


Table A2.9: Filippos hourly standard deviation including zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	2.83	2.06	2.15	2.62	2.68	2.82	3.06	2.74	2.87	3.10	3.06	3.10	3.45	3.14	3.11	2.95	2.94	3.00	3.23	2.64	2.61	2.66	2.22	2.26	2.80
2	2.86	1.96	1.79	2.94	2.86	3.15	3.15	3.19	3.23	3.35	3.29	3.41	3.60	3.31	3.29	3.24	2.80	3.00	3.21	2.59	2.56	2.76	1.93	1.89	2.89
3	2.49	1.56	1.40	2.51	2.66	2.29	3.10	2.70	2.84	2.92	3.02	3.16	3.44	3.18	3.13	3.11	2.78	2.62	3.09	2.46	2.34	2.45	1.50	1.51	2.59
4	1.88	1.53	1.62	2.06	2.09	2.08	2.41	2.29	2.47	2.55	2.63	2.71	2.90	2.77	2.72	2.79	2.58	2.34	2.54	2.37	2.13	1.94	1.40	1.36	2.26
5	1.78	1.43	1.36	1.85	1.89	1.86	2.41	2.20	2.22	2.23	2.23	2.29	2.67	2.36	2.53	2.47	4.38	4.49	2.19	1.59	1.62	1.70	1.15	1.17	2.17
6	1.96	1.15	1.31	1.89	1.91	2.08	2.63	2.34	2.23	2.21	2.20	2.29	2.75	2.37	2.38	2.43	2.32	2.16	2.35	1.76	1.70	1.94	1.06	1.17	2.02
7	1.99	1.32	1.32	1.92	1.92	2.56	2.95	2.56	2.37	2.39	2.14	2.21	2.62	2.56	2.48	2.52	2.47	2.26	2.33	1.69	1.80	1.84	1.27	1.26	2.11
8	1.70	1.04	1.03	1.73	1.72	1.94	2.78	2.39	2.22	2.09	1.98	2.07	2.56	2.39	2.34	2.32	2.19	2.13	2.51	1.53	1.43	1.60	0.96	0.90	1.90
9	1.99	1.35	1.28	2.00	2.02	2.05	2.47	2.48	2.44	2.29	2.19	2.35	2.57	2.40	2.42	2.40	2.29	2.03	2.33	1.37	1.24	1.78	1.13	1.27	2.01
10	2.06	1.66	1.53	2.11	2.06	2.14	2.58	2.28	2.33	2.44	2.31	2.43	2.74	2.90	2.48	2.38	2.30	2.19	2.39	1.88	1.95	2.09	1.48	1.54	2.18
11	2.40	1.47	1.38	2.60	2.46	2.40	2.72	2.59	2.58	2.71	2.75	2.82	3.10	2.93	2.89	2.76	2.63	2.49	2.79	2.04	1.97	2.35	1.47	1.42	2.40
12	2.50	1.86	1.81	2.54	2.42	2.57	3.03	2.86	2.94	3.03	3.12	3.32	3.63	3.10	3.08	2.89	2.84	2.75	2.99	2.36	2.36	2.63	1.81	1.75	2.67
Mean	2.20	1.53	1.50	2.23	2.22	2.33	2.77	2.55	2.56	2.61	2.57	2.68	3.00	2.78	2.74	2.69	2.71	2.62	2.66	2.02	1.98	2.14	1.45	1.46	

Per Hour



Per Month

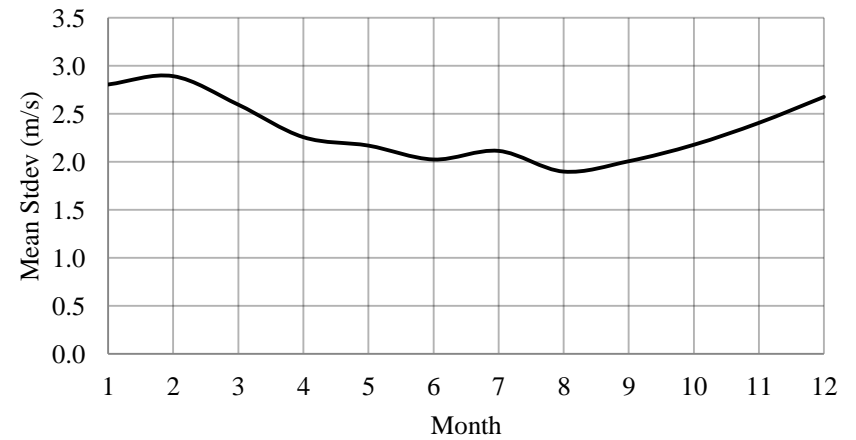
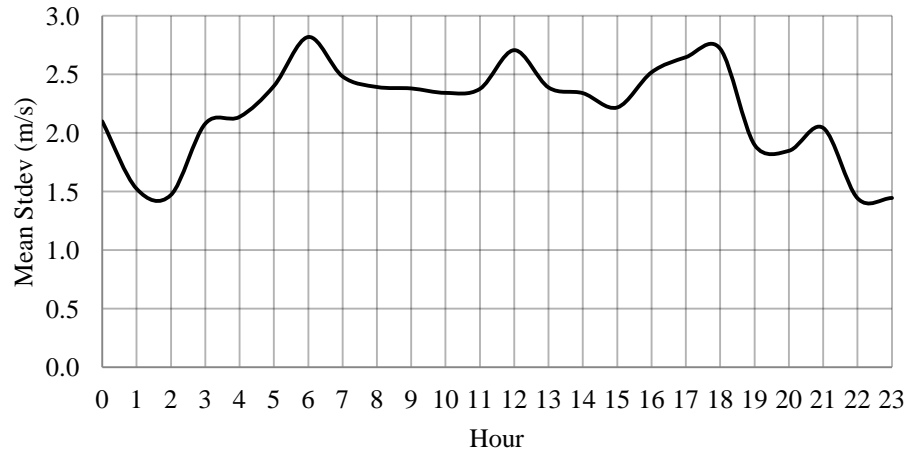


Table A2.10: Filippos hourly standard deviation without zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	2.90	2.06	2.15	2.55	2.53	2.78	3.08	2.71	2.71	2.84	2.78	2.80	3.28	2.71	2.75	2.53	2.80	2.91	3.22	2.64	2.60	2.68	2.22	2.25	2.69
2	2.90	1.95	1.79	2.87	2.88	3.17	3.20	3.18	3.07	3.06	2.98	3.10	3.18	2.84	2.85	2.70	2.39	2.68	3.20	2.44	2.43	2.67	1.93	1.89	2.72
3	2.29	1.56	1.37	2.29	2.52	2.18	3.23	2.56	2.40	2.48	2.74	2.79	3.06	2.63	2.53	2.44	2.14	2.29	2.97	2.18	2.13	2.24	1.47	1.51	2.33
4	1.93	1.52	1.55	2.10	2.19	2.24	2.76	2.46	2.49	2.47	2.41	2.39	2.58	2.28	2.19	2.26	2.10	2.17	2.63	2.28	2.16	1.90	1.40	1.34	2.16
5	1.70	1.41	1.28	1.71	1.90	2.14	2.50	2.20	2.14	2.08	2.10	1.96	2.20	1.92	2.08	2.01	5.96	6.69	2.19	1.41	1.40	1.58	1.15	1.16	2.20
6	1.71	1.15	1.27	1.68	1.76	2.21	2.54	2.05	2.03	1.83	1.80	1.78	2.36	1.82	1.76	1.77	1.61	1.76	2.25	1.55	1.53	1.89	1.04	1.17	1.76
7	1.73	1.32	1.28	1.53	1.60	2.95	2.52	2.21	2.02	1.98	1.67	1.75	2.11	1.98	1.97	1.89	1.89	1.85	2.22	1.57	1.66	1.64	1.27	1.26	1.83
8	1.30	0.99	1.03	1.37	1.44	1.88	2.62	2.24	1.95	1.77	1.74	1.72	2.17	1.92	1.72	1.55	1.57	1.81	2.62	1.47	1.29	1.44	0.96	0.90	1.64
9	1.78	1.34	1.26	1.78	1.78	1.95	2.51	2.32	2.26	2.06	2.04	2.09	2.24	1.96	2.02	1.80	1.81	1.94	2.50	1.17	0.99	1.59	1.10	1.23	1.81
10	2.02	1.66	1.49	1.98	1.92	2.13	2.90	2.51	2.25	2.39	2.17	2.30	2.63	2.95	2.30	2.09	2.47	2.32	2.72	1.79	1.80	2.02	1.48	1.50	2.16
11	2.51	1.46	1.35	2.71	2.70	2.64	2.96	2.82	2.76	2.87	2.93	2.86	3.12	2.89	2.97	2.83	2.80	2.63	3.08	2.04	1.95	2.32	1.45	1.40	2.50
12	2.41	1.86	1.81	2.37	2.41	2.52	2.98	2.51	2.60	2.69	2.72	2.95	3.53	2.72	2.91	2.73	2.66	2.69	3.00	2.22	2.22	2.53	1.81	1.71	2.52
Mean	2.10	1.52	1.47	2.08	2.14	2.40	2.82	2.48	2.39	2.38	2.34	2.37	2.70	2.39	2.34	2.22	2.52	2.65	2.72	1.90	1.85	2.04	1.44	1.44	

Per Hour



Per Month

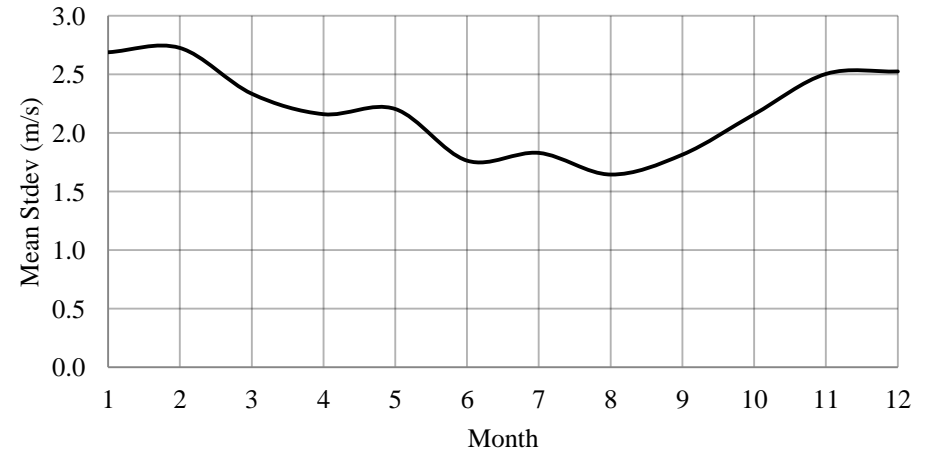
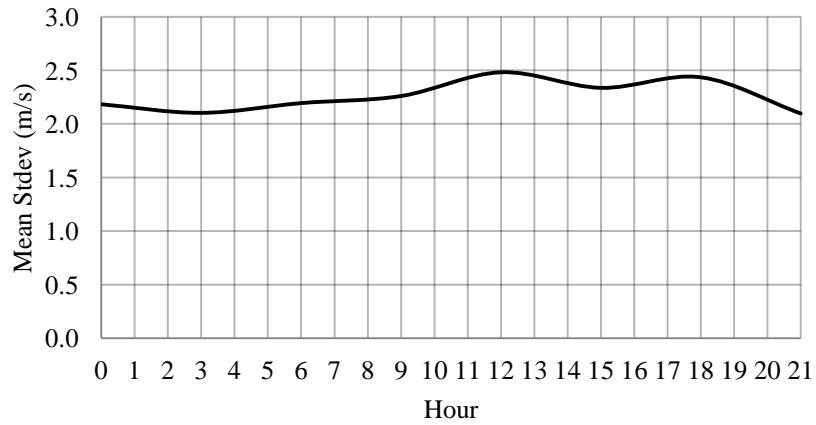


Table A2.11: Lamia hourly standard deviation including zero values per month & per hour									
	0	3	6	9	12	15	18	21	Mean
1	2.33	2.44	2.35	2.52	2.71	2.51	2.33	2.17	2.42
2	2.25	2.30	2.42	2.68	2.87	2.48	2.47	2.07	2.44
3	2.37	2.34	2.40	2.59	2.72	2.53	2.76	2.29	2.50
4	2.30	2.31	2.36	2.65	2.74	2.62	2.66	2.34	2.50
5	2.26	2.16	2.32	2.22	2.42	2.56	2.66	2.37	2.37
6	2.39	2.17	2.39	2.06	2.47	2.43	2.70	2.46	2.38
7	2.15	1.78	2.11	1.88	2.30	2.15	2.37	2.11	2.11
8	1.96	1.92	1.92	1.79	2.13	2.03	2.24	2.00	2.00
9	1.82	1.64	1.88	2.02	2.29	2.09	2.26	1.71	1.96
10	1.79	1.82	1.91	2.12	2.19	2.16	2.25	1.69	1.99
11	2.22	2.03	2.04	2.21	2.35	2.05	2.00	1.89	2.10
12	2.37	2.32	2.23	2.38	2.61	2.42	2.53	2.07	2.36
Mean	2.18	2.10	2.19	2.26	2.48	2.34	2.44	2.10	

Per Hour



Per Month

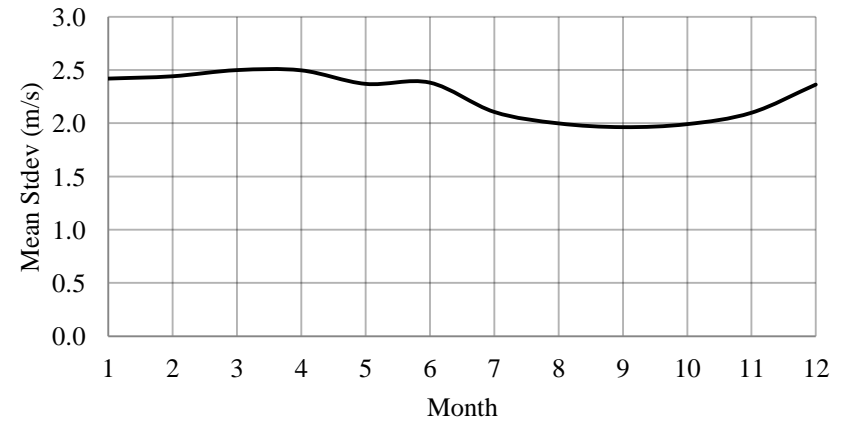
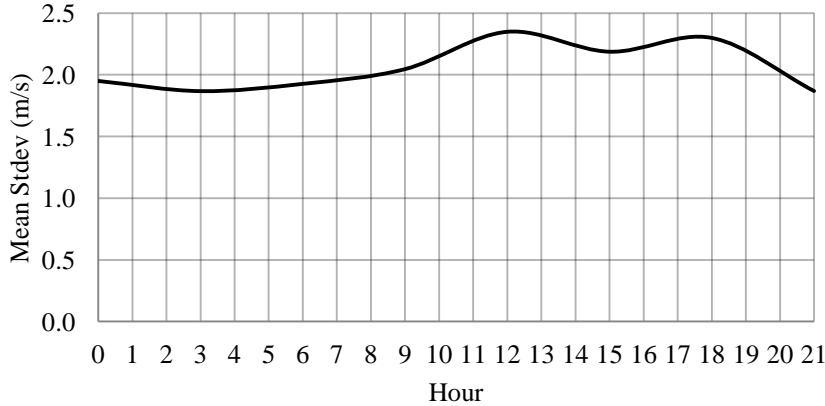


Table A2.12: Lamia hourly standard deviation without zero values per month & per hour

	0	3	6	9	12	15	18	21	Mean
1	2.13	2.23	2.13	2.23	2.56	2.32	2.12	1.92	2.20
2	2.05	2.11	2.24	2.44	2.74	2.33	2.32	1.82	2.26
3	2.18	2.19	2.20	2.37	2.60	2.39	2.64	2.08	2.33
4	2.10	2.15	2.12	2.52	2.61	2.47	2.48	2.13	2.32
5	2.02	1.89	2.01	2.02	2.31	2.40	2.50	2.20	2.17
6	2.14	1.88	2.05	1.90	2.39	2.34	2.53	2.25	2.18
7	1.88	1.46	1.81	1.73	2.19	2.09	2.22	1.92	1.91
8	1.59	1.63	1.58	1.62	2.03	1.96	2.10	1.79	1.79
9	1.55	1.36	1.60	1.81	2.16	1.95	2.18	1.45	1.76
10	1.53	1.56	1.64	1.88	2.00	1.94	2.23	1.42	1.78
11	2.08	1.83	1.79	1.95	2.17	1.86	1.84	1.63	1.89
12	2.17	2.12	1.98	2.07	2.43	2.22	2.43	1.82	2.15
Mean	1.95	1.87	1.93	2.05	2.35	2.19	2.30	1.87	

Per Hour



Per Month

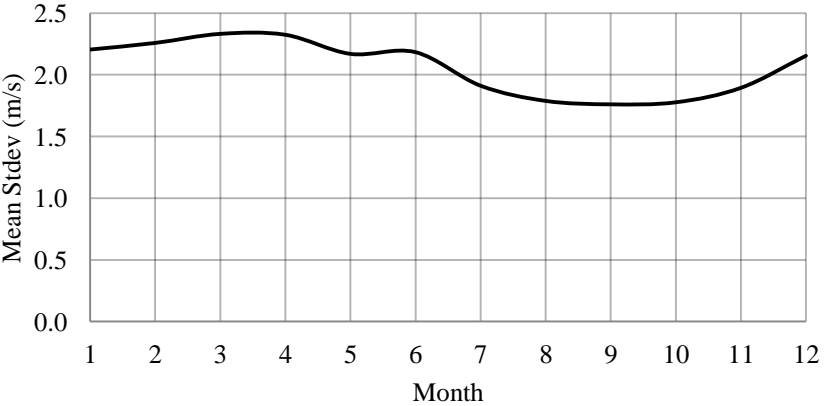
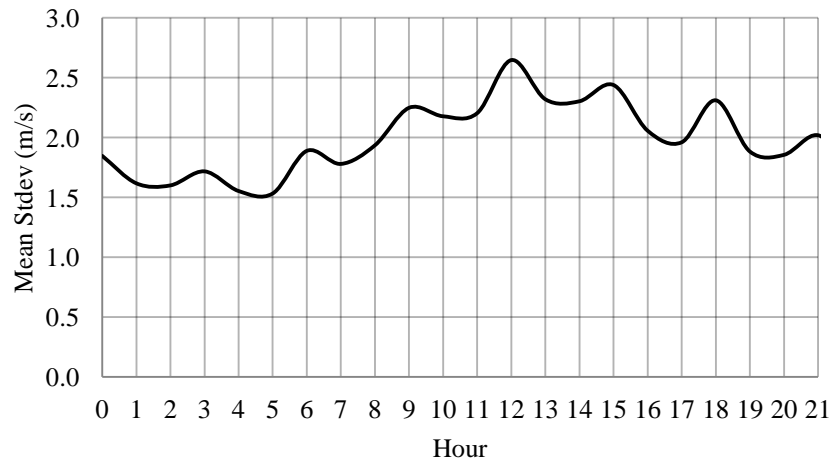


Table A2.13: Larisa hourly standard deviation including zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	2.18	1.51	1.80	2.13	1.70	1.69	2.19	1.78	1.90	2.34	2.19	2.28	2.73	2.35	2.46	2.60	1.99	1.92	2.49	1.84	1.94	2.31	1.72	1.67	2.07
2	2.20	2.25	2.13	2.16	2.00	2.14	2.37	2.19	2.34	2.68	2.78	2.61	3.20	2.73	2.74	2.90	2.45	2.24	2.45	2.04	2.08	2.32	2.10	2.00	2.38
3	2.24	1.91	1.83	2.11	1.99	1.85	2.20	1.89	2.16	2.64	2.51	2.66	3.00	2.74	2.77	2.75	2.49	2.24	2.62	2.02	2.15	2.31	2.05	1.97	2.30
4	1.68	1.38	1.46	1.54	1.65	1.51	1.81	1.75	2.03	2.36	2.46	2.38	2.82	2.61	2.53	2.68	2.28	2.16	2.34	2.02	1.86	1.91	1.67	1.56	2.02
5	1.46	1.28	1.51	1.29	1.27	1.27	1.47	1.73	1.88	2.19	2.06	2.21	2.60	2.40	2.30	2.39	2.07	2.01	2.23	1.90	1.85	1.82	1.64	1.52	1.85
6	1.78	1.81	1.53	1.38	1.40	1.35	1.69	1.73	1.88	2.10	2.10	2.00	2.46	2.00	2.02	2.21	2.01	1.96	2.27	1.84	1.83	1.95	1.78	1.78	1.87
7	1.75	1.83	1.49	1.61	1.26	1.45	1.90	1.79	1.89	2.06	1.95	1.75	2.36	1.99	1.97	2.10	1.76	1.75	2.45	1.94	1.91	2.02	1.76	1.67	1.85
8	1.58	1.61	1.32	1.43	1.30	1.24	1.58	1.56	1.84	1.94	1.92	1.92	2.38	2.02	1.99	2.09	1.60	1.63	2.19	1.79	1.78	1.81	1.50	1.42	1.73
9	1.55	1.29	1.29	1.47	1.16	1.11	1.51	1.50	1.65	2.07	2.00	2.27	2.54	2.29	2.34	2.34	1.91	1.82	2.15	1.86	1.68	1.83	1.50	1.38	1.77
10	1.85	1.36	1.46	1.76	1.40	1.39	1.82	1.56	1.70	2.26	1.94	2.09	2.59	2.27	2.23	2.59	2.09	1.85	2.30	1.81	1.70	2.02	1.53	1.52	1.88
11	1.82	1.11	1.61	1.71	1.67	1.66	1.92	1.82	1.97	2.09	2.00	2.03	2.43	2.18	2.15	2.20	1.96	1.96	2.12	1.80	1.77	1.87	1.77	1.67	1.89
12	2.06	2.07	1.76	2.00	1.82	1.71	2.18	2.05	1.96	2.22	2.19	2.20	2.61	2.22	2.12	2.40	2.06	1.97	2.08	1.73	1.69	2.04	1.81	1.73	2.03
Mean	1.85	1.62	1.60	1.72	1.55	1.53	1.89	1.78	1.93	2.25	2.18	2.20	2.64	2.32	2.30	2.44	2.06	1.96	2.31	1.88	1.85	2.02	1.74	1.66	

Per Hour



Per Month

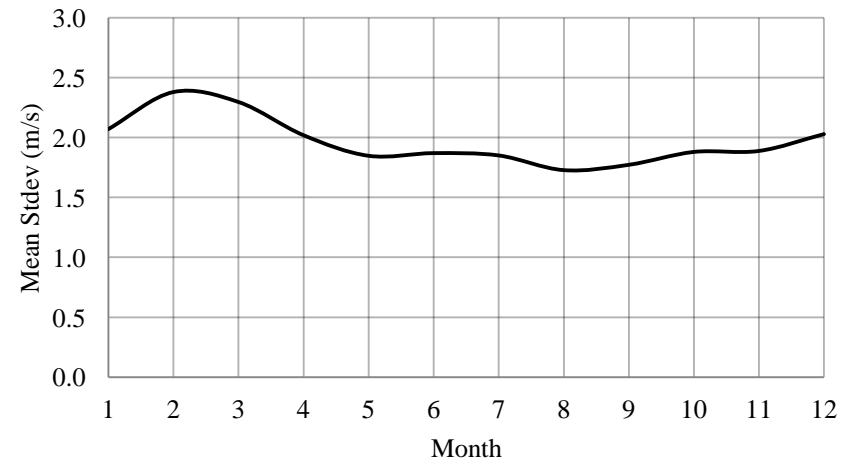
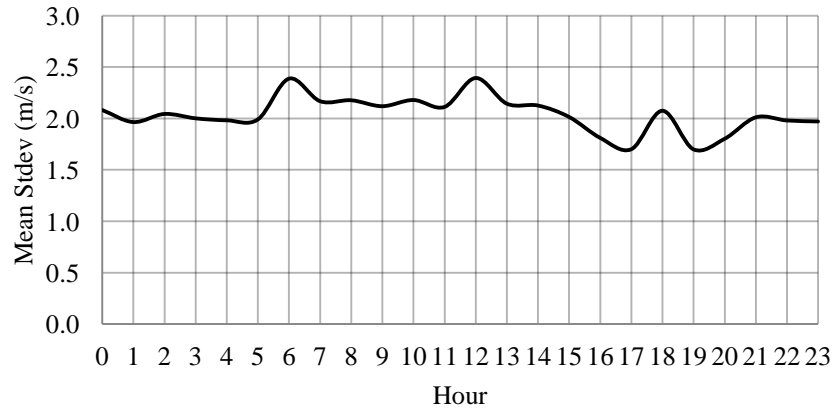


Table A2.14: Larisa hourly standard deviation without zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	2.67	2.07	2.27	2.50	2.09	2.13	2.73	2.38	2.46	2.57	2.53	2.46	2.80	2.34	2.50	2.38	1.92	1.76	2.66	1.98	2.18	2.65	2.17	2.18	2.35
2	2.42	1.93	2.55	2.34	2.41	2.57	2.89	2.78	2.66	2.74	2.96	2.61	3.07	2.58	2.52	2.39	2.14	2.02	2.16	2.00	2.38	2.45	2.51	2.27	2.47
3	2.48	2.57	2.06	2.39	2.30	2.21	2.61	2.17	2.34	2.44	2.49	2.47	2.63	2.42	2.41	2.07	2.07	1.81	2.28	1.68	2.12	2.24	2.17	2.27	2.28
4	1.66	1.63	1.73	1.66	2.12	1.97	2.37	2.01	2.10	2.15	2.39	2.14	2.41	2.28	2.21	2.03	1.90	1.75	1.91	1.71	1.58	1.64	1.75	1.63	1.95
5	1.53	1.58	2.02	1.55	1.61	1.66	1.71	1.94	1.87	1.88	1.84	1.97	2.17	2.11	2.05	1.87	1.77	1.69	1.81	1.50	1.58	1.61	1.64	1.64	1.78
6	1.91	2.02	1.94	1.57	1.99	1.85	1.97	1.82	1.82	1.65	1.87	1.81	2.08	1.84	1.88	1.93	1.79	1.67	1.89	1.44	1.50	1.52	1.68	1.91	1.81
7	1.97	2.42	2.03	1.89	1.74	2.00	2.24	1.93	1.85	1.64	1.80	1.54	2.01	1.79	1.85	1.83	1.56	1.55	2.17	1.55	1.61	1.78	1.89	1.94	1.86
8	1.91	1.87	1.85	1.79	1.87	1.91	2.04	1.93	1.90	1.50	1.69	1.72	1.99	1.84	1.84	1.86	1.44	1.49	1.83	1.45	1.50	1.63	1.67	1.84	1.77
9	1.73	1.28	1.68	1.72	1.60	1.54	1.99	1.94	1.82	1.83	1.80	2.12	2.16	1.99	2.08	1.80	1.68	1.45	1.68	1.44	1.37	1.75	1.65	1.63	1.74
10	2.23	2.21	2.05	2.20	1.71	1.85	2.37	1.96	2.09	2.20	1.97	1.95	2.25	2.05	1.97	1.90	1.64	1.39	1.93	1.63	1.77	2.33	2.00	2.01	1.99
11	2.08	2.03	2.22	2.03	2.14	2.11	2.74	2.53	2.69	2.31	2.24	2.21	2.47	2.22	2.10	1.79	1.88	1.80	2.23	2.06	2.13	2.19	2.31	2.14	2.19
12	2.43	1.96	2.13	2.37	2.21	2.10	2.97	2.62	2.53	2.51	2.57	2.33	2.68	2.25	2.11	2.32	1.96	2.02	2.36	1.95	1.91	2.35	2.31	2.20	2.30
Mean	2.08	1.96	2.04	2.00	1.98	1.99	2.39	2.17	2.18	2.12	2.18	2.11	2.39	2.14	2.13	2.01	1.81	1.70	2.08	1.70	1.80	2.01	1.98	1.97	

Per Hour



Per Month

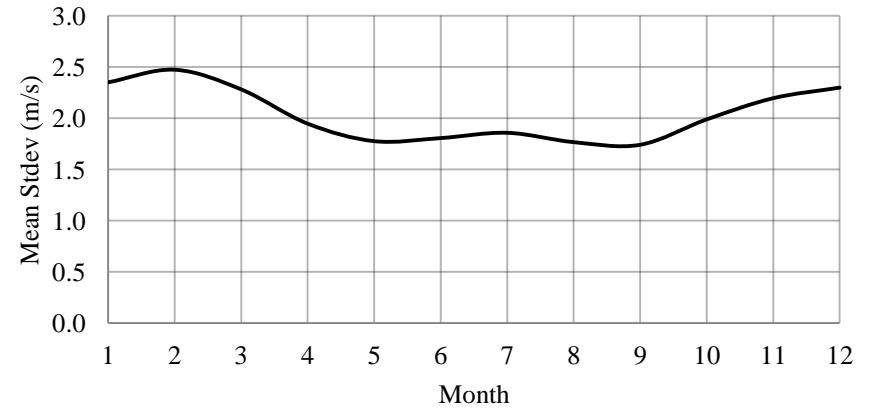
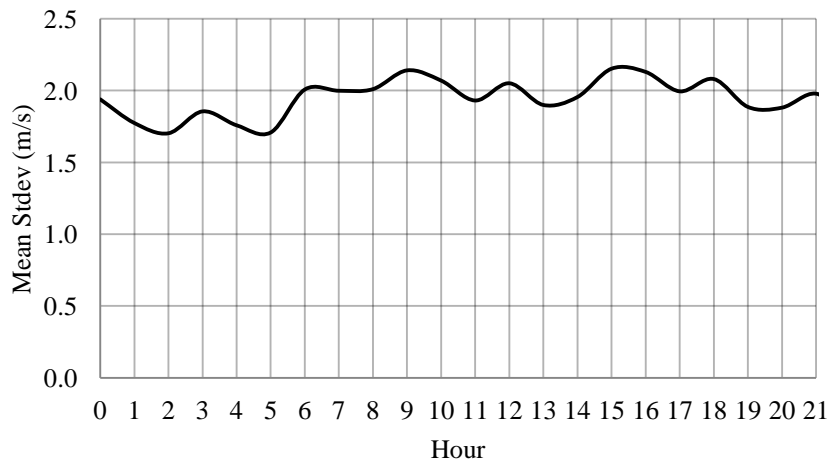


Table A2.15: Nea Anchialos hourly standrad deviation including zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	2.17	1.77	1.94	2.25	1.85	1.77	2.03	1.97	2.22	2.63	2.57	2.48	2.59	2.25	2.39	2.45	2.25	1.89	2.15	1.81	1.84	2.16	1.79	1.91	2.13
2	2.22	2.76	1.95	2.18	1.92	2.01	2.27	2.22	2.33	2.70	2.53	2.21	2.53	2.23	2.18	2.59	2.41	2.19	2.44	2.17	2.19	2.27	1.95	1.89	2.26
3	2.22	2.01	1.98	2.13	2.12	1.94	2.20	2.15	2.43	2.52	2.22	2.02	2.30	2.18	2.34	2.40	2.35	2.25	2.33	2.17	2.19	2.15	2.03	2.05	2.19
4	1.84	1.70	1.70	1.77	1.81	1.61	1.97	1.98	2.12	2.19	2.05	1.99	2.17	2.07	2.08	2.42	2.25	2.05	2.21	2.03	2.12	2.12	1.86	1.74	1.99
5	1.86	1.73	1.61	1.70	1.92	1.70	2.05	2.11	1.84	1.88	2.63	1.71	1.92	1.90	1.96	2.10	2.06	1.97	2.09	2.07	1.99	1.92	1.88	1.75	1.93
6	1.69	1.56	1.57	1.65	1.84	1.75	2.10	1.88	1.58	1.64	1.47	1.48	1.71	1.54	1.60	1.83	2.71	2.71	1.97	1.74	1.69	1.83	1.75	1.70	1.79
7	1.63	1.39	1.39	1.54	1.43	1.55	1.91	2.04	1.66	1.62	1.54	1.46	1.64	1.50	1.49	1.73	1.65	1.61	1.86	1.68	1.74	1.77	1.75	1.55	1.63
8	1.59	1.42	1.42	1.57	1.42	1.43	1.83	1.89	1.67	1.55	1.50	1.68	1.49	1.38	1.41	1.58	1.54	1.60	1.72	1.66	1.61	1.69	1.55	1.47	1.57
9	1.71	1.45	1.47	1.54	1.43	1.36	1.68	1.84	1.88	1.87	1.56	1.63	1.77	1.69	1.85	1.94	1.90	1.85	1.83	1.68	1.66	1.66	1.59	1.51	1.68
10	1.99	1.67	1.57	1.86	1.59	1.61	2.06	2.04	2.16	2.24	1.89	1.84	1.97	1.70	1.73	2.06	1.99	1.85	1.97	1.73	1.68	1.99	1.81	1.82	1.87
11	2.00	1.88	1.90	1.94	1.94	1.92	2.00	1.99	2.14	2.33	2.30	2.21	2.07	2.04	2.15	2.19	2.18	2.01	2.10	2.02	1.96	2.05	1.96	1.89	2.05
12	2.33	1.92	1.93	2.11	1.84	1.83	1.97	1.88	2.10	2.50	2.57	2.46	2.44	2.30	2.27	2.52	2.28	1.96	2.28	1.89	1.91	2.12	1.80	1.76	2.12
Mean	1.94	1.77	1.70	1.85	1.76	1.71	2.01	2.00	2.01	2.14	2.07	1.93	2.05	1.90	1.95	2.15	2.13	1.99	2.08	1.89	1.88	1.98	1.81	1.75	

Per Hour



Per Month

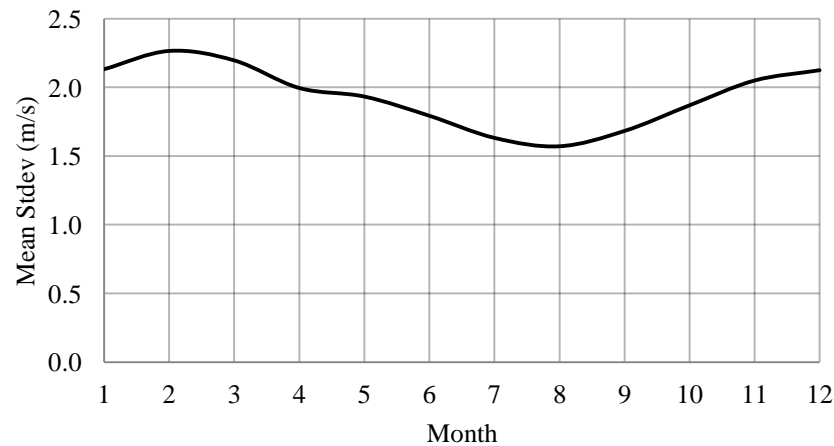
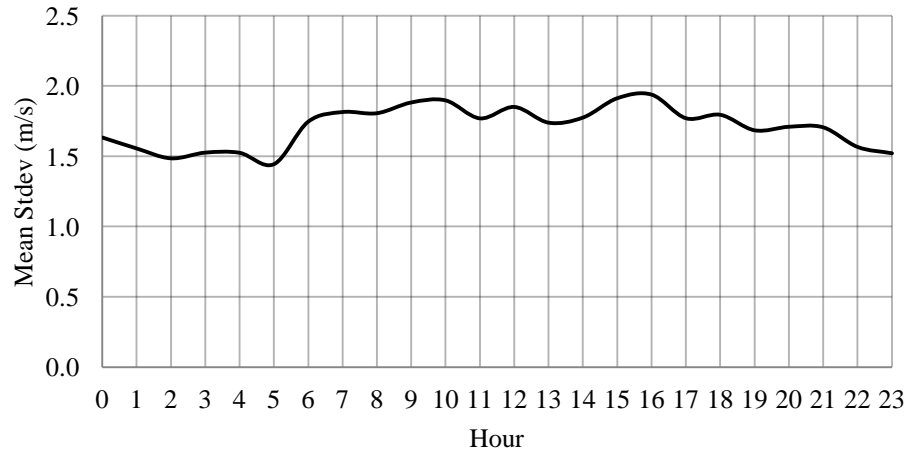


Table A2.16: Nea Anchialos hourly standard deviation without zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	1.89	1.56	1.78	2.01	1.64	1.58	1.74	1.76	1.99	2.26	2.28	2.26	2.29	2.00	2.08	2.08	2.09	1.61	1.87	1.60	1.64	1.85	1.55	1.72	1.88
2	1.94	2.72	1.73	1.90	1.66	1.77	1.98	1.98	2.09	2.46	2.31	1.95	2.26	2.03	1.93	2.29	2.15	1.95	2.21	1.99	1.98	1.97	1.69	1.62	2.02
3	1.97	1.77	1.77	1.82	1.92	1.71	1.93	1.90	2.26	2.22	1.98	1.76	2.02	1.99	2.09	2.12	2.05	2.04	2.05	1.94	1.97	1.83	1.79	1.82	1.95
4	1.50	1.47	1.45	1.45	1.57	1.32	1.75	1.82	1.90	1.90	1.90	1.86	1.98	1.93	1.93	2.06	2.00	1.74	1.94	1.83	1.96	1.82	1.62	1.50	1.76
5	1.54	1.49	1.37	1.41	1.74	1.42	1.97	1.98	1.63	1.65	2.58	1.57	1.74	1.76	1.88	1.91	1.82	1.69	1.78	1.91	1.87	1.69	1.67	1.51	1.73
6	1.34	1.31	1.38	1.32	1.61	1.43	1.94	1.73	1.37	1.48	1.40	1.39	1.60	1.50	1.53	1.72	2.66	2.60	1.61	1.52	1.54	1.66	1.50	1.44	1.61
7	1.29	1.15	1.14	1.12	1.10	1.16	1.63	1.90	1.48	1.46	1.39	1.37	1.61	1.42	1.44	1.67	1.52	1.40	1.52	1.48	1.65	1.57	1.57	1.26	1.43
8	1.23	1.16	1.16	1.20	1.14	1.13	1.51	1.75	1.55	1.37	1.43	1.66	1.46	1.36	1.37	1.53	1.42	1.41	1.43	1.48	1.44	1.47	1.24	1.20	1.38
9	1.39	1.15	1.23	1.15	1.16	1.09	1.34	1.69	1.73	1.61	1.41	1.50	1.62	1.54	1.70	1.77	1.68	1.59	1.47	1.46	1.57	1.33	1.36	1.25	1.45
10	1.75	1.44	1.37	1.54	1.40	1.36	1.79	1.84	1.99	2.03	1.69	1.69	1.73	1.50	1.52	1.69	1.64	1.66	1.79	1.53	1.43	1.77	1.58	1.64	1.64
11	1.70	1.71	1.70	1.62	1.74	1.75	1.70	1.79	1.87	2.01	2.09	1.98	1.76	1.79	1.83	1.86	2.06	1.81	1.88	1.81	1.77	1.72	1.72	1.72	1.81
12	2.07	1.73	1.77	1.75	1.60	1.61	1.66	1.64	1.81	2.12	2.30	2.24	2.13	2.04	2.00	2.26	2.15	1.74	1.97	1.65	1.70	1.80	1.51	1.56	1.87
Mean	1.63	1.56	1.49	1.53	1.52	1.44	1.75	1.81	1.81	1.88	1.90	1.77	1.85	1.74	1.77	1.91	1.94	1.77	1.79	1.68	1.71	1.71	1.57	1.52	

Per Hour



Per Month

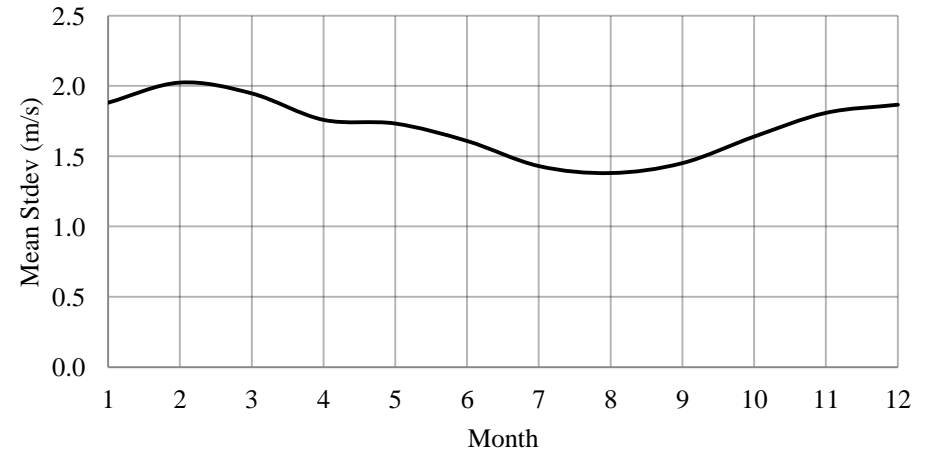
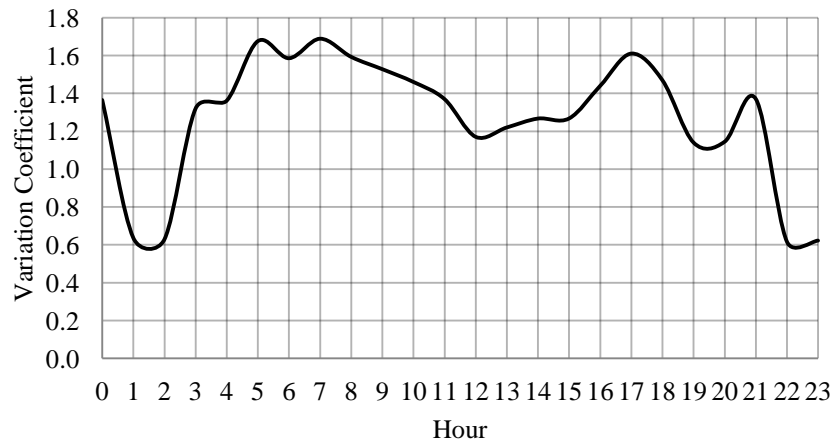


Table A2.17: Filippos hourly variation coefficient including zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	1.55	0.73	0.76	1.45	1.40	1.56	1.51	1.83	1.71	1.59	1.54	1.53	1.32	1.41	1.45	1.43	1.56	1.60	1.39	1.41	1.38	1.51	0.87	0.89	1.39
2	1.45	0.95	0.83	1.34	1.41	1.47	1.54	1.69	1.59	1.46	1.38	1.34	1.10	1.18	1.21	1.22	1.35	1.39	1.33	1.13	1.19	1.40	0.89	0.84	1.28
3	1.41	0.55	0.56	1.40	1.42	1.67	1.60	1.66	1.45	1.40	1.39	1.33	1.11	1.10	1.17	1.15	1.23	1.40	1.32	1.10	1.21	1.36	0.55	0.54	1.21
4	1.53	0.69	0.75	1.55	1.60	1.80	1.86	1.86	1.74	1.64	1.47	1.36	1.17	1.11	1.19	1.19	1.31	1.50	1.51	1.17	1.34	1.46	0.64	0.61	1.34
5	1.47	0.61	0.64	1.40	1.50	1.98	1.66	1.79	1.72	1.62	1.52	1.39	1.11	1.24	1.29	1.29	2.45	3.03	1.51	1.20	1.19	1.44	0.53	0.55	1.42
6	1.33	0.44	0.52	1.34	1.34	1.85	1.46	1.51	1.52	1.36	1.26	1.14	1.07	1.06	1.07	1.13	1.16	1.36	1.33	1.20	1.26	1.49	0.45	0.48	1.17
7	1.24	0.49	0.51	1.13	1.12	1.76	1.30	1.30	1.29	1.26	1.19	1.08	0.97	1.01	1.06	1.05	1.10	1.25	1.37	1.08	1.04	1.25	0.52	0.49	1.08
8	1.00	0.44	0.42	1.00	1.11	1.51	1.49	1.49	1.43	1.46	1.37	1.25	1.05	1.02	1.04	0.97	0.99	1.27	1.52	1.00	0.91	1.22	0.43	0.40	1.07
9	1.15	0.54	0.52	1.19	1.14	1.55	1.67	1.56	1.47	1.47	1.42	1.30	1.14	1.19	1.21	1.12	1.17	1.48	1.61	0.89	0.77	1.22	0.50	0.56	1.16
10	1.37	0.66	0.63	1.29	1.31	1.66	1.81	1.96	1.71	1.61	1.57	1.48	1.29	1.46	1.41	1.43	1.75	1.76	1.72	1.06	1.01	1.36	0.63	0.67	1.36
11	1.49	0.80	0.73	1.47	1.60	1.77	1.65	2.00	1.88	1.85	1.83	1.74	1.40	1.52	1.62	1.67	1.76	1.77	1.61	1.28	1.26	1.36	0.74	0.77	1.48
12	1.37	0.71	0.68	1.29	1.39	1.52	1.48	1.61	1.60	1.64	1.57	1.50	1.32	1.34	1.50	1.54	1.45	1.51	1.41	1.17	1.17	1.37	0.65	0.68	1.31
Mean	1.36	0.64	0.63	1.32	1.36	1.68	1.59	1.69	1.59	1.53	1.46	1.37	1.17	1.22	1.27	1.27	1.44	1.61	1.47	1.14	1.14	1.37	0.62	0.62	

Per Hour



Per Month

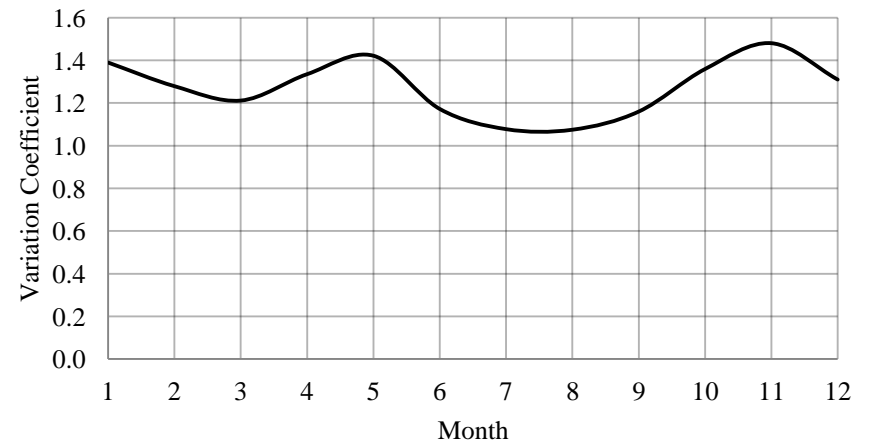
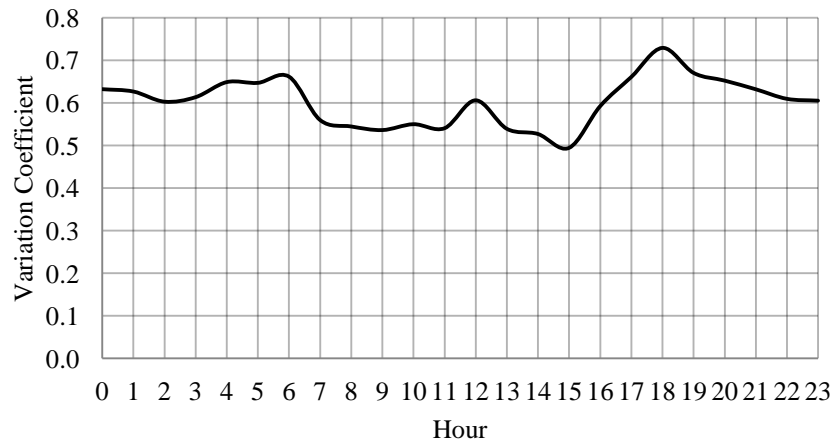


Table A2.18: Filippos hourly variation coefficient without zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.69	0.73	0.76	0.64	0.62	0.62	0.67	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.65	0.52	0.53	0.51	0.58	0.59	0.71	0.71	0.71	0.68	0.87	0.86	0.64
2	0.72	0.94	0.83	0.69	0.73	0.69	0.67	0.58	0.57	0.56	0.57	0.58	0.60	0.56	0.56	0.52	0.52	0.55	0.74	0.69	0.69	0.65	0.89	0.83	0.66
3	0.58	0.55	0.54	0.58	0.62	0.54	0.69	0.54	0.49	0.51	0.57	0.56	0.60	0.52	0.50	0.48	0.46	0.53	0.67	0.60	0.62	0.58	0.53	0.54	0.56
4	0.69	0.67	0.67	0.68	0.71	0.65	0.73	0.63	0.59	0.57	0.56	0.55	0.59	0.52	0.49	0.50	0.48	0.57	0.72	0.73	0.78	0.65	0.64	0.59	0.62
5	0.62	0.60	0.56	0.59	0.68	0.67	0.65	0.56	0.55	0.54	0.57	0.52	0.52	0.49	0.50	0.49	1.39	1.67	0.66	0.59	0.56	0.59	0.53	0.54	0.65
6	0.54	0.44	0.50	0.56	0.60	0.61	0.63	0.51	0.54	0.49	0.50	0.47	0.57	0.47	0.44	0.43	0.40	0.48	0.66	0.57	0.59	0.63	0.44	0.48	0.52
7	0.56	0.49	0.48	0.49	0.53	0.86	0.53	0.54	0.53	0.51	0.47	0.49	0.50	0.47	0.50	0.45	0.46	0.50	0.64	0.68	0.67	0.58	0.52	0.48	0.54
8	0.47	0.41	0.42	0.49	0.53	0.61	0.59	0.58	0.53	0.49	0.54	0.51	0.55	0.50	0.44	0.38	0.42	0.53	0.74	0.74	0.62	0.60	0.43	0.40	0.52
9	0.61	0.53	0.51	0.59	0.59	0.58	0.62	0.56	0.57	0.54	0.60	0.57	0.58	0.51	0.52	0.45	0.48	0.60	0.76	0.55	0.47	0.58	0.48	0.52	0.56
10	0.69	0.66	0.59	0.64	0.63	0.60	0.73	0.62	0.54	0.60	0.56	0.59	0.68	0.72	0.60	0.53	0.67	0.64	0.85	0.72	0.66	0.67	0.63	0.63	0.64
11	0.78	0.77	0.69	0.78	0.84	0.71	0.77	0.58	0.61	0.60	0.62	0.59	0.73	0.64	0.66	0.63	0.65	0.64	0.87	0.78	0.77	0.71	0.71	0.73	0.70
12	0.66	0.71	0.68	0.63	0.71	0.62	0.65	0.49	0.49	0.49	0.49	0.52	0.70	0.55	0.59	0.58	0.59	0.63	0.72	0.68	0.67	0.65	0.65	0.65	0.62
Mean	0.63	0.63	0.60	0.61	0.65	0.65	0.66	0.56	0.54	0.54	0.55	0.54	0.61	0.54	0.53	0.49	0.59	0.66	0.73	0.67	0.65	0.63	0.61	0.60	

Per Hour



Per Month

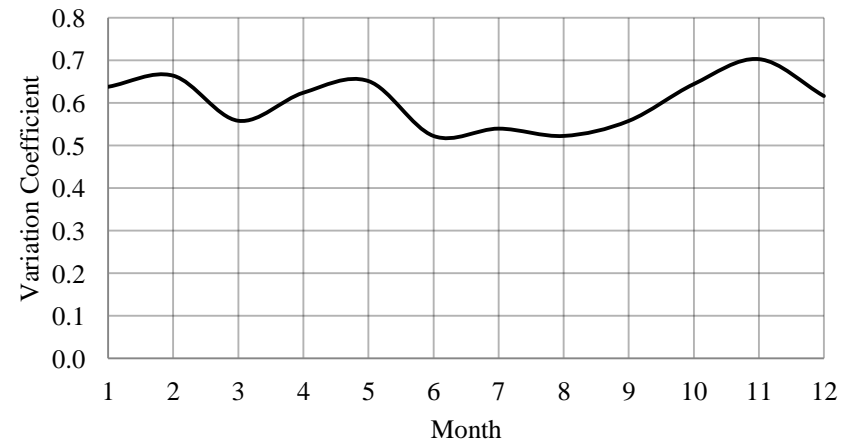
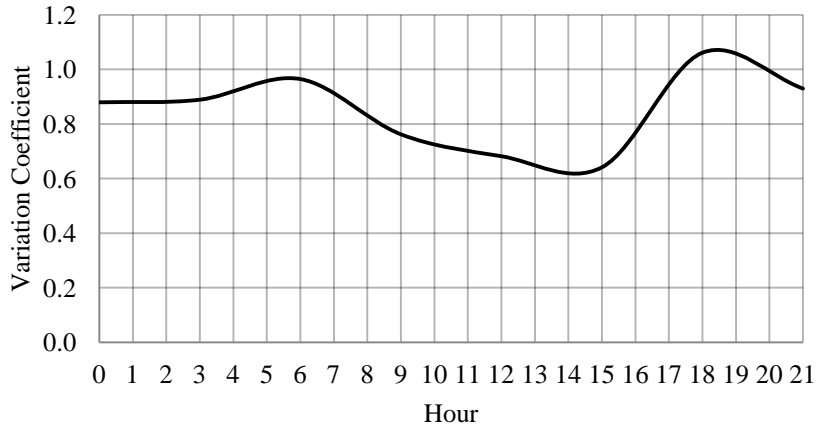


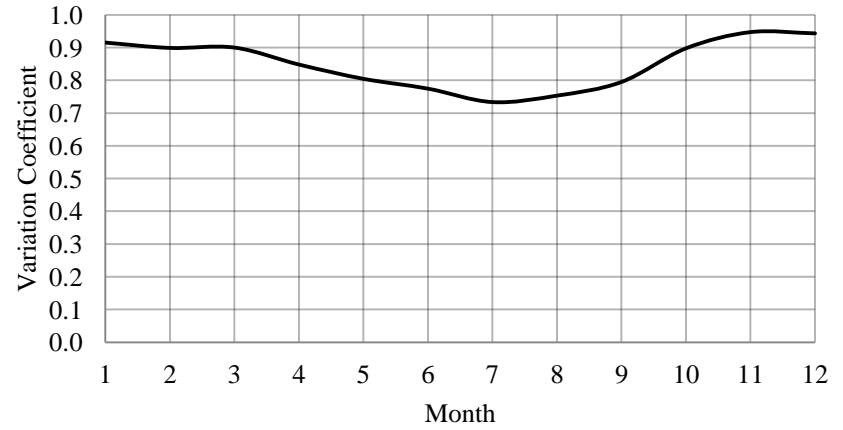
Table A2.19: Lamia hourly variation coefficient including zero values per month & per hour

	0	3	6	9	12	15	18	21	Mean
1	0.94	0.92	0.98	0.86	0.86	0.89	0.98	0.90	0.92
2	0.90	0.91	0.99	0.90	0.81	0.71	1.09	0.89	0.90
3	0.95	1.02	1.05	0.85	0.69	0.61	1.08	0.95	0.90
4	0.90	0.97	0.98	0.77	0.63	0.56	1.02	0.96	0.85
5	0.85	0.89	0.96	0.65	0.54	0.53	1.00	1.01	0.80
6	0.85	0.89	0.92	0.60	0.52	0.45	0.92	1.04	0.77
7	0.82	0.79	0.86	0.56	0.51	0.41	0.92	1.01	0.73
8	0.77	0.86	0.92	0.58	0.49	0.40	1.05	0.96	0.75
9	0.76	0.74	0.91	0.75	0.60	0.47	1.21	0.91	0.79
10	0.83	0.87	1.05	0.90	0.73	0.68	1.29	0.83	0.90
11	1.03	0.91	0.99	0.89	0.87	0.95	1.07	0.87	0.95
12	0.95	0.90	0.96	0.83	0.93	1.03	1.11	0.84	0.94
Mean	0.88	0.89	0.96	0.76	0.68	0.64	1.06	0.93	

Per Hour

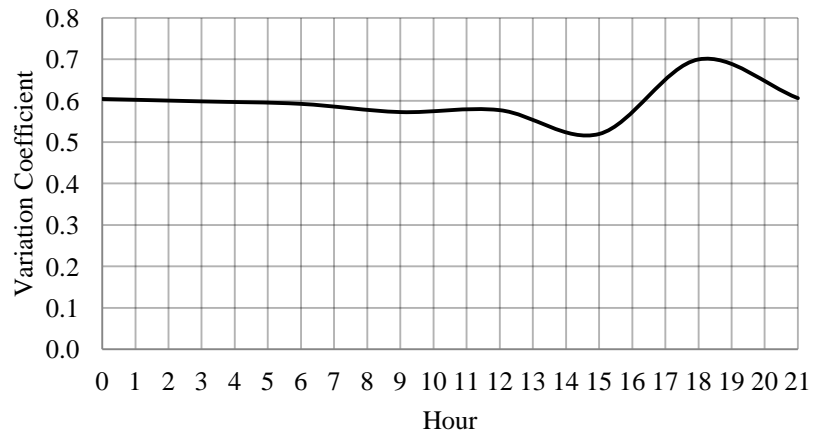


Per Month



	0	3	6	9	12	15	18	21	Mean
1	0.65	0.65	0.64	0.59	0.69	0.65	0.64	0.60	0.64
2	0.64	0.65	0.67	0.64	0.68	0.61	0.70	0.59	0.65
3	0.66	0.69	0.65	0.63	0.62	0.54	0.74	0.64	0.65
4	0.64	0.68	0.62	0.66	0.57	0.51	0.69	0.64	0.63
5	0.60	0.58	0.58	0.54	0.50	0.47	0.70	0.68	0.58
6	0.60	0.57	0.56	0.51	0.49	0.42	0.69	0.65	0.56
7	0.56	0.50	0.55	0.48	0.47	0.39	0.68	0.64	0.53
8	0.49	0.54	0.52	0.49	0.45	0.38	0.69	0.62	0.52
9	0.52	0.49	0.55	0.57	0.54	0.43	0.73	0.55	0.55
10	0.54	0.56	0.57	0.60	0.58	0.54	0.74	0.53	0.58
11	0.70	0.62	0.59	0.59	0.65	0.64	0.65	0.56	0.63
12	0.65	0.64	0.61	0.57	0.68	0.66	0.74	0.57	0.64
Mean	0.60	0.60	0.59	0.57	0.58	0.52	0.70	0.61	

Per Hour



Per Month

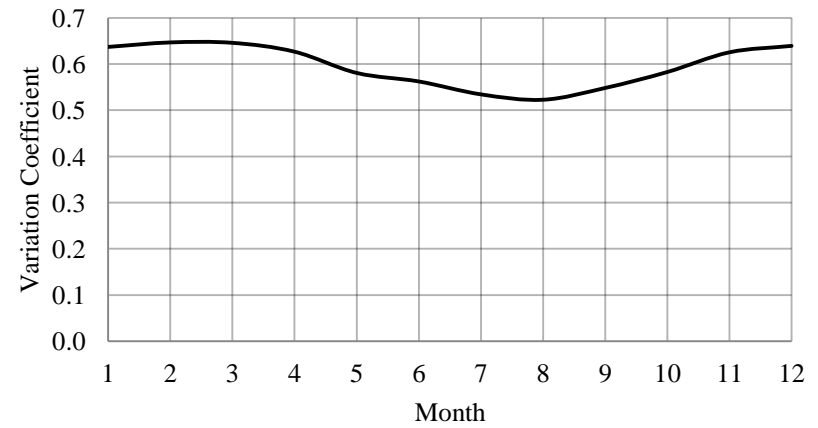
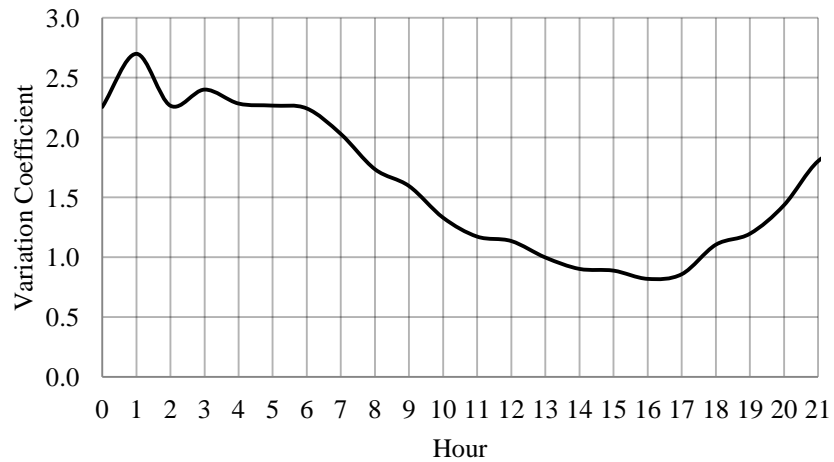


Table A2.21: Larisa hourly variation coefficient including zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	2.29	3.02	2.22	2.22	2.16	2.17	2.17	2.37	2.21	2.07	1.94	1.83	1.66	1.54	1.52	1.54	1.50	1.48	1.73	1.78	1.96	2.16	2.23	2.26	2.00
2	2.02	2.08	1.99	2.05	2.02	1.95	2.04	2.10	1.82	1.79	1.58	1.41	1.32	1.24	1.18	1.16	1.09	1.13	1.22	1.45	1.79	1.90	1.93	1.87	1.67
3	2.02	2.73	1.87	2.13	1.91	1.95	2.02	1.93	1.68	1.59	1.42	1.21	1.13	1.05	0.92	0.84	0.83	0.83	1.01	1.01	1.35	1.56	1.65	1.85	1.52
4	2.10	2.71	2.00	2.24	2.17	2.16	2.29	1.84	1.53	1.50	1.21	0.96	1.00	0.81	0.73	0.72	0.63	0.65	0.87	0.95	1.14	1.57	1.72	1.77	1.47
5	2.29	2.77	2.39	2.74	2.34	2.27	2.13	1.75	1.38	1.38	0.97	0.83	0.86	0.70	0.59	0.58	0.50	0.56	0.85	0.86	1.10	1.59	1.59	1.83	1.45
6	2.14	2.20	2.28	2.51	2.46	2.37	2.06	1.54	1.23	1.06	0.81	0.66	0.69	0.50	0.44	0.45	0.42	0.46	0.70	0.71	0.92	1.34	1.46	1.73	1.30
7	2.27	2.81	2.44	2.40	2.51	2.38	2.06	1.60	1.23	1.06	0.80	0.63	0.71	0.53	0.43	0.41	0.36	0.41	0.71	0.74	0.99	1.48	1.76	1.97	1.36
8	2.50	2.55	2.50	2.64	2.66	2.83	2.40	2.03	1.43	1.20	0.85	0.71	0.74	0.51	0.42	0.41	0.33	0.38	0.65	0.75	1.08	1.68	1.98	2.26	1.48
9	2.39	2.44	2.30	2.54	2.48	2.46	2.44	2.17	1.65	1.43	1.09	1.01	0.94	0.77	0.63	0.53	0.44	0.49	0.72	0.89	1.14	1.75	1.88	2.04	1.53
10	2.43	3.10	2.52	2.52	2.33	2.40	2.37	2.34	2.10	1.77	1.52	1.31	1.22	1.15	0.98	0.87	0.76	0.81	1.10	1.32	1.72	2.11	2.43	2.37	1.81
11	2.36	3.83	2.52	2.48	2.26	2.19	2.56	2.45	2.34	2.11	1.80	1.75	1.66	1.58	1.46	1.45	1.43	1.41	1.74	1.98	2.13	2.33	2.33	2.31	2.10
12	2.24	2.16	2.14	2.32	2.09	2.08	2.37	2.23	2.21	2.17	1.95	1.76	1.69	1.57	1.52	1.69	1.51	1.67	1.95	1.90	1.88	2.17	2.24	2.22	1.99
Mean	2.25	2.70	2.26	2.40	2.28	2.27	2.24	2.03	1.73	1.59	1.33	1.17	1.13	1.00	0.90	0.89	0.82	0.86	1.10	1.20	1.43	1.80	1.93	2.04	

Per Hour



Per Month

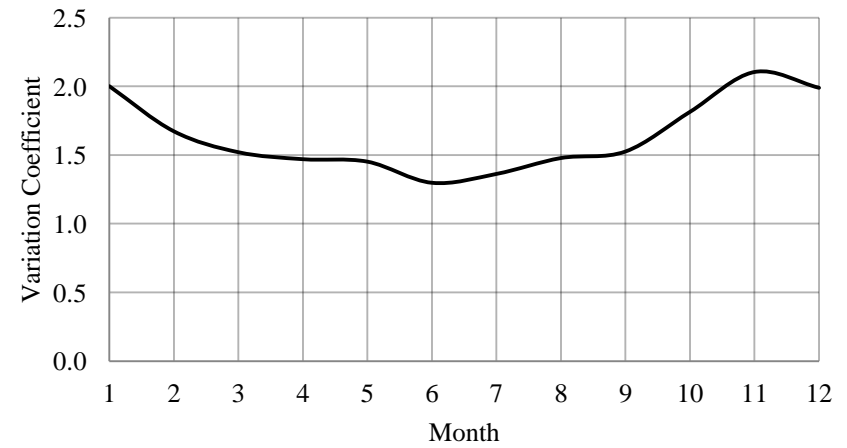
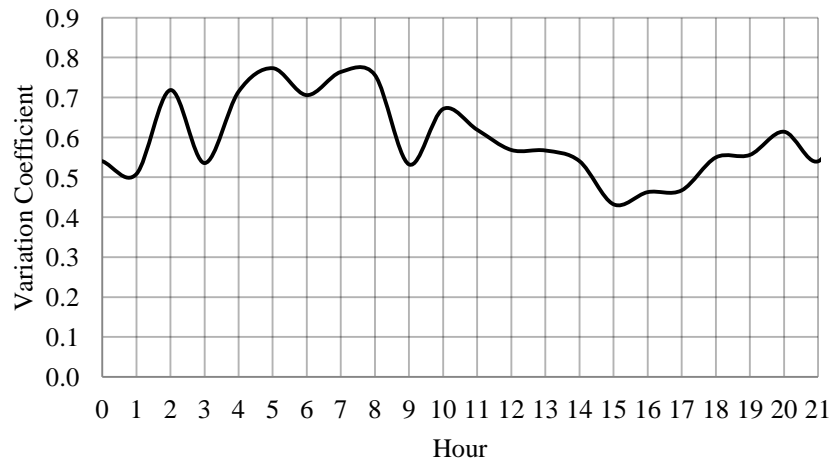


Table A2.22: Larisa hourly variation coefficient without zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.62	0.51	0.70	0.59	0.69	0.74	0.72	0.75	0.77	0.57	0.71	0.63	0.64	0.64	0.68	0.54	0.61	0.56	0.67	0.66	0.65	0.59	0.72	0.76	0.66
2	0.59	0.38	0.75	0.57	0.74	0.78	0.77	0.82	0.75	0.59	0.75	0.71	0.67	0.67	0.64	0.52	0.58	0.62	0.57	0.66	0.80	0.58	0.79	0.70	0.67
3	0.59	0.57	0.69	0.59	0.73	0.78	0.71	0.70	0.72	0.54	0.69	0.65	0.58	0.60	0.58	0.44	0.52	0.50	0.58	0.54	0.71	0.60	0.70	0.76	0.63
4	0.46	0.46	0.72	0.50	0.81	0.86	0.75	0.77	0.72	0.54	0.74	0.62	0.56	0.56	0.53	0.42	0.45	0.45	0.51	0.55	0.55	0.48	0.65	0.61	0.60
5	0.47	0.49	0.72	0.48	0.65	0.76	0.62	0.77	0.72	0.52	0.61	0.59	0.53	0.53	0.48	0.39	0.39	0.42	0.50	0.48	0.56	0.50	0.63	0.63	0.56
6	0.52	0.54	0.69	0.47	0.81	0.83	0.65	0.75	0.72	0.48	0.58	0.53	0.49	0.44	0.40	0.37	0.36	0.37	0.48	0.44	0.52	0.45	0.59	0.68	0.55
7	0.54	0.53	0.75	0.54	0.71	0.80	0.68	0.77	0.75	0.49	0.62	0.49	0.50	0.45	0.40	0.35	0.31	0.35	0.54	0.47	0.55	0.51	0.67	0.71	0.56
8	0.53	0.49	0.76	0.53	0.70	0.77	0.65	0.82	0.78	0.46	0.58	0.55	0.50	0.44	0.38	0.35	0.29	0.34	0.47	0.48	0.54	0.49	0.62	0.74	0.55
9	0.49	0.41	0.71	0.50	0.72	0.76	0.67	0.83	0.81	0.53	0.62	0.69	0.55	0.55	0.50	0.36	0.37	0.36	0.44	0.47	0.51	0.53	0.65	0.68	0.57
10	0.55	0.70	0.74	0.57	0.61	0.71	0.69	0.64	0.74	0.54	0.68	0.63	0.56	0.62	0.60	0.43	0.46	0.44	0.54	0.58	0.63	0.61	0.66	0.73	0.61
11	0.52	0.59	0.71	0.53	0.71	0.74	0.78	0.80	0.84	0.56	0.73	0.70	0.62	0.66	0.64	0.46	0.62	0.58	0.64	0.67	0.67	0.56	0.71	0.69	0.66
12	0.59	0.42	0.68	0.57	0.70	0.75	0.79	0.75	0.77	0.57	0.73	0.64	0.62	0.66	0.65	0.55	0.59	0.64	0.66	0.68	0.69	0.58	0.72	0.72	0.66
Mean	0.54	0.51	0.72	0.54	0.71	0.77	0.71	0.76	0.76	0.53	0.67	0.62	0.57	0.57	0.54	0.43	0.46	0.47	0.55	0.56	0.61	0.54	0.68	0.70	

Per Hour



Per Month

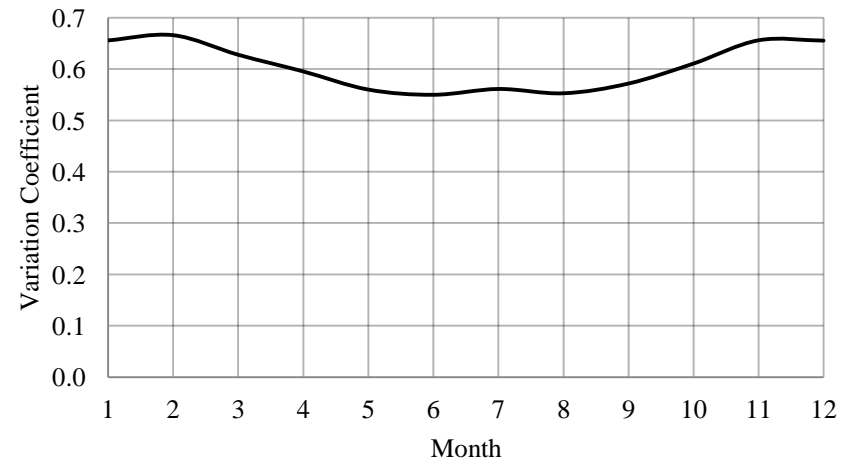
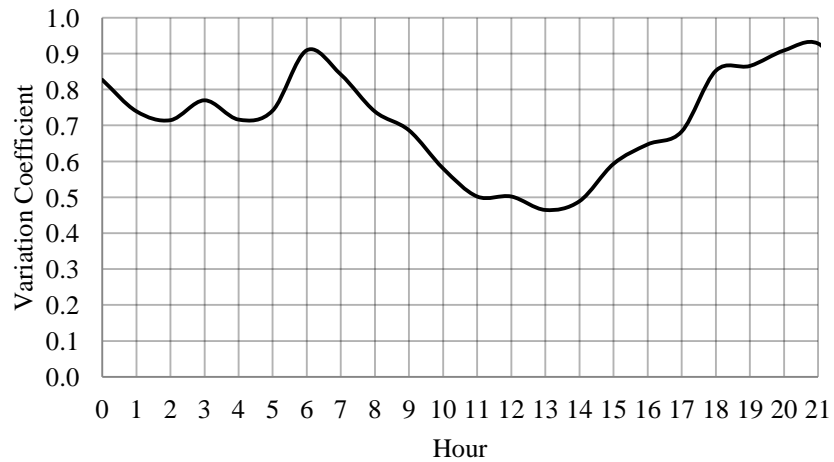


Table A2.23: Nea Anchialos hourly variation coefficient including zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.76	0.65	0.69	0.75	0.65	0.63	0.70	0.67	0.77	0.85	0.83	0.73	0.72	0.70	0.76	0.89	0.93	0.73	0.76	0.64	0.66	0.76	0.68	0.70	0.73
2	0.83	1.04	0.74	0.81	0.74	0.74	0.82	0.86	0.98	0.96	0.79	0.63	0.65	0.60	0.58	0.74	0.83	0.83	0.89	0.80	0.81	0.85	0.76	0.72	0.79
3	0.88	0.79	0.79	0.83	0.81	0.75	0.87	0.98	0.93	0.80	0.62	0.51	0.55	0.52	0.55	0.61	0.68	0.77	0.90	0.85	0.84	0.83	0.78	0.79	0.76
4	0.90	0.78	0.82	0.86	0.83	0.82	1.18	1.03	0.76	0.66	0.53	0.47	0.48	0.45	0.47	0.57	0.58	0.68	0.91	0.93	1.05	0.94	0.88	0.85	0.77
5	0.90	0.83	0.81	0.87	0.92	1.01	1.20	0.83	0.55	0.51	0.59	0.36	0.40	0.37	0.39	0.46	0.50	0.64	0.94	1.05	1.04	1.02	0.94	0.87	0.75
6	0.86	0.80	0.79	0.80	0.91	1.05	1.07	0.73	0.46	0.41	0.32	0.29	0.32	0.27	0.29	0.34	0.57	0.71	0.79	0.95	1.06	1.09	0.93	0.89	0.70
7	0.73	0.65	0.63	0.68	0.61	0.78	0.96	0.85	0.53	0.43	0.36	0.30	0.30	0.27	0.27	0.32	0.34	0.42	0.77	0.95	1.11	1.07	0.92	0.78	0.63
8	0.74	0.60	0.60	0.69	0.59	0.63	0.95	0.87	0.55	0.43	0.34	0.33	0.27	0.24	0.25	0.28	0.32	0.45	0.72	0.95	1.05	1.03	0.81	0.73	0.60
9	0.82	0.66	0.71	0.70	0.61	0.59	0.86	0.99	0.72	0.58	0.41	0.37	0.37	0.34	0.37	0.40	0.45	0.58	0.84	0.96	1.05	0.95	0.80	0.75	0.66
10	0.92	0.72	0.66	0.79	0.62	0.63	0.87	0.90	0.98	0.83	0.59	0.51	0.51	0.45	0.46	0.61	0.73	0.87	1.03	0.90	0.86	1.04	0.95	0.90	0.76
11	0.79	0.69	0.70	0.76	0.68	0.66	0.79	0.76	0.85	0.95	0.77	0.74	0.72	0.67	0.74	1.00	0.98	0.85	0.91	0.79	0.75	0.83	0.77	0.72	0.79
12	0.78	0.67	0.65	0.70	0.63	0.62	0.66	0.64	0.77	0.84	0.82	0.77	0.73	0.70	0.75	0.91	0.86	0.67	0.77	0.64	0.63	0.72	0.62	0.63	0.71
Mean	0.83	0.74	0.71	0.77	0.72	0.74	0.91	0.84	0.74	0.69	0.58	0.50	0.50	0.46	0.49	0.59	0.65	0.68	0.85	0.87	0.91	0.93	0.82	0.78	

Per Hour



Per Month

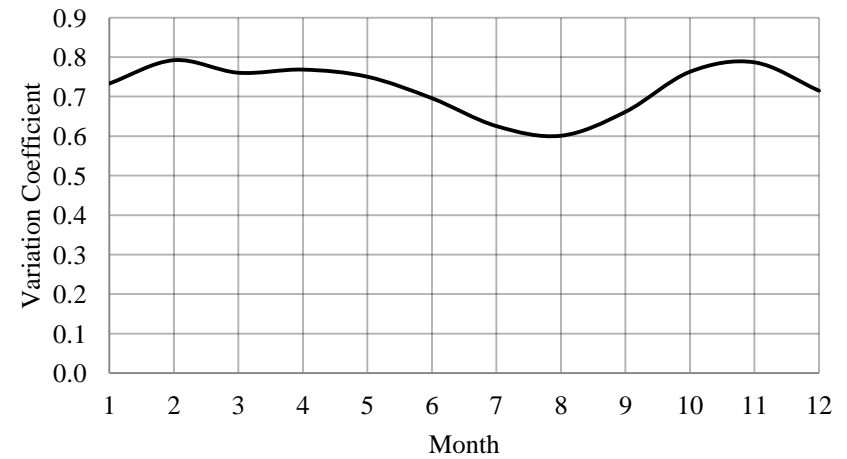
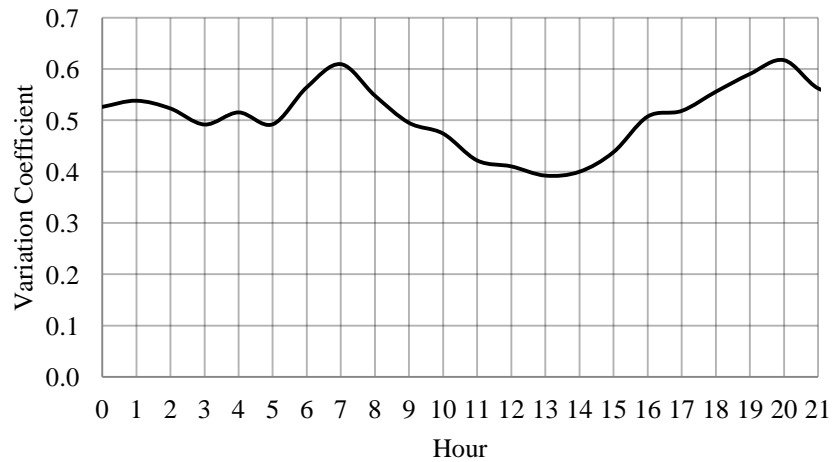


Table A2.24: Nea Anchialos hourly variation coefficient without zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.54	0.50	0.56	0.57	0.51	0.50	0.50	0.53	0.58	0.55	0.59	0.58	0.54	0.54	0.54	0.55	0.68	0.52	0.54	0.50	0.52	0.53	0.51	0.55	0.54
2	0.57	0.85	0.55	0.56	0.53	0.55	0.56	0.60	0.62	0.65	0.61	0.50	0.52	0.50	0.47	0.55	0.60	0.59	0.63	0.62	0.60	0.56	0.54	0.52	0.58
3	0.60	0.57	0.58	0.55	0.61	0.55	0.58	0.60	0.67	0.57	0.50	0.42	0.45	0.45	0.46	0.48	0.51	0.59	0.59	0.60	0.61	0.54	0.56	0.57	0.55
4	0.51	0.54	0.54	0.51	0.56	0.50	0.59	0.66	0.58	0.50	0.47	0.42	0.42	0.40	0.42	0.44	0.47	0.49	0.59	0.63	0.67	0.56	0.58	0.56	0.53
5	0.52	0.56	0.53	0.52	0.63	0.54	0.71	0.66	0.45	0.41	0.57	0.33	0.35	0.34	0.37	0.40	0.42	0.48	0.56	0.66	0.70	0.59	0.60	0.57	0.52
6	0.48	0.52	0.56	0.48	0.59	0.52	0.67	0.59	0.38	0.36	0.30	0.27	0.29	0.26	0.27	0.32	0.55	0.64	0.50	0.59	0.65	0.63	0.56	0.54	0.48
7	0.46	0.46	0.44	0.39	0.40	0.43	0.56	0.66	0.44	0.37	0.31	0.28	0.30	0.25	0.26	0.31	0.30	0.35	0.49	0.60	0.70	0.61	0.62	0.49	0.44
8	0.44	0.43	0.42	0.42	0.41	0.42	0.52	0.66	0.49	0.36	0.32	0.33	0.27	0.24	0.24	0.27	0.29	0.38	0.49	0.61	0.62	0.58	0.48	0.48	0.42
9	0.49	0.43	0.49	0.41	0.43	0.41	0.49	0.66	0.59	0.45	0.36	0.33	0.33	0.30	0.33	0.36	0.38	0.45	0.49	0.58	0.71	0.50	0.54	0.50	0.46
10	0.59	0.52	0.50	0.51	0.48	0.46	0.57	0.62	0.67	0.61	0.48	0.44	0.42	0.38	0.38	0.43	0.48	0.60	0.64	0.59	0.55	0.61	0.59	0.62	0.53
11	0.53	0.56	0.54	0.51	0.54	0.54	0.53	0.57	0.57	0.58	0.60	0.57	0.51	0.51	0.52	0.56	0.71	0.61	0.61	0.59	0.58	0.53	0.55	0.58	0.56
12	0.57	0.54	0.54	0.48	0.48	0.48	0.48	0.49	0.54	0.54	0.59	0.60	0.53	0.54	0.55	0.61	0.69	0.52	0.54	0.49	0.50	0.50	0.45	0.50	0.53
Mean	0.53	0.54	0.52	0.49	0.52	0.49	0.56	0.61	0.55	0.50	0.47	0.42	0.41	0.39	0.40	0.44	0.51	0.52	0.56	0.59	0.62	0.56	0.55	0.54	

Per Hour



Per Month

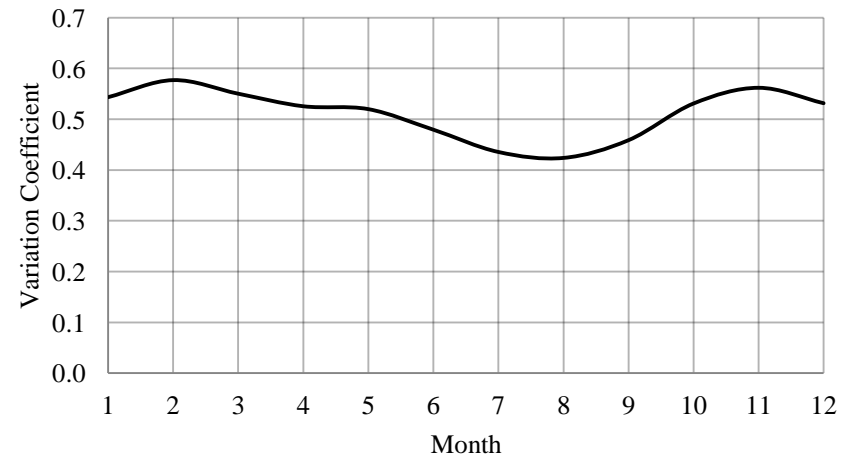
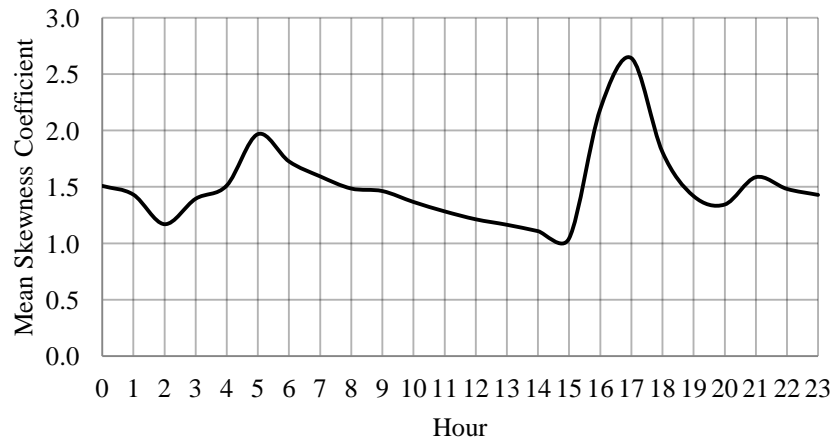


Table A2.25: Filippos hourly skewness coefficient including zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	1.59	1.35	1.18	1.47	1.31	1.62	1.63	1.83	1.63	1.53	1.43	1.38	1.30	1.18	1.33	1.27	1.54	1.62	1.53	1.61	1.46	1.60	1.86	1.76	1.50
2	1.67	2.13	1.97	1.34	1.53	1.58	1.67	1.67	1.46	1.34	1.28	1.20	0.92	0.93	1.04	1.03	1.19	1.37	1.55	1.10	1.24	1.50	2.20	1.82	1.45
3	1.44	0.92	0.84	1.37	1.50	1.64	1.86	1.53	1.24	1.30	1.25	1.29	1.16	0.96	0.96	0.92	0.95	1.32	1.45	1.03	1.25	1.44	0.84	1.00	1.23
4	2.00	1.65	1.58	1.86	1.93	1.96	2.17	1.91	1.77	1.60	1.36	1.28	1.13	0.91	0.99	0.98	1.11	1.52	1.87	1.42	1.93	1.70	1.73	1.78	1.59
5	1.68	2.06	1.12	1.62	1.91	2.13	1.82	1.70	1.66	1.60	1.64	1.35	1.06	1.07	1.19	1.11	13.43	15.30	1.71	1.27	1.09	1.62	1.37	1.40	2.58
6	1.43	1.03	0.72	1.49	1.48	1.79	1.41	1.29	1.40	1.18	1.10	0.92	1.10	0.76	0.69	0.81	0.76	1.17	1.53	1.29	1.39	1.91	0.66	0.75	1.17
7	1.25	1.45	1.28	0.99	1.05	4.48	1.16	1.02	1.09	1.17	0.92	0.85	0.88	0.77	0.87	0.72	0.87	1.12	1.51	1.56	1.41	1.41	1.93	2.60	1.35
8	0.78	0.64	0.53	0.94	1.11	1.53	1.54	1.28	1.26	1.32	1.30	1.13	1.25	0.85	0.76	0.46	0.54	1.39	2.46	2.12	1.48	1.59	1.47	0.13	1.16
9	1.28	1.01	0.86	1.22	1.21	1.62	1.77	1.39	1.39	1.45	1.42	1.27	1.16	1.06	1.02	0.77	0.96	1.55	2.08	0.93	0.40	1.38	0.64	0.75	1.19
10	1.73	1.45	1.07	1.42	1.44	1.81	2.22	2.02	1.61	1.61	1.50	1.47	1.49	2.74	1.40	1.34	1.87	1.89	2.34	1.58	1.30	1.74	1.58	1.68	1.68
11	1.79	2.14	1.73	1.75	2.17	1.92	1.94	2.03	1.91	1.91	1.89	1.82	1.58	1.55	1.64	1.65	1.77	1.85	2.13	1.77	1.81	1.67	1.98	1.91	1.85
12	1.47	1.36	1.17	1.26	1.52	1.52	1.53	1.46	1.42	1.55	1.32	1.45	1.54	1.19	1.43	1.48	1.28	1.61	1.55	1.36	1.36	1.48	1.54	1.58	1.43
Mean	1.51	1.43	1.17	1.40	1.51	1.97	1.73	1.59	1.49	1.46	1.37	1.28	1.21	1.17	1.11	1.04	2.19	2.64	1.81	1.42	1.34	1.59	1.48	1.43	

Per Hour



Per Month

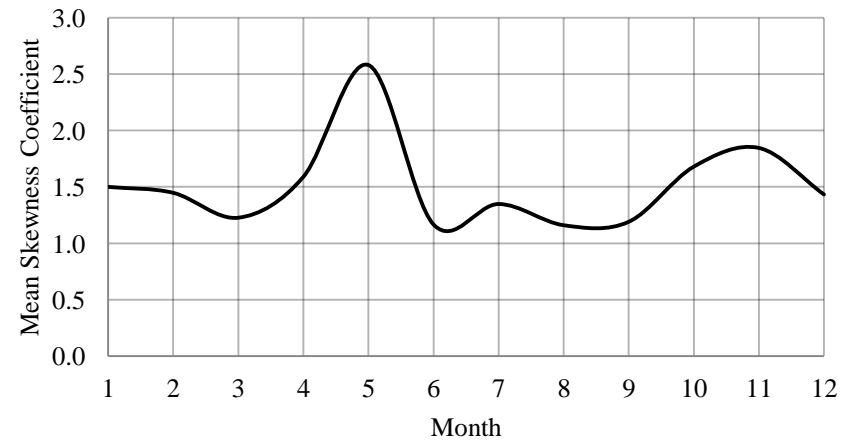
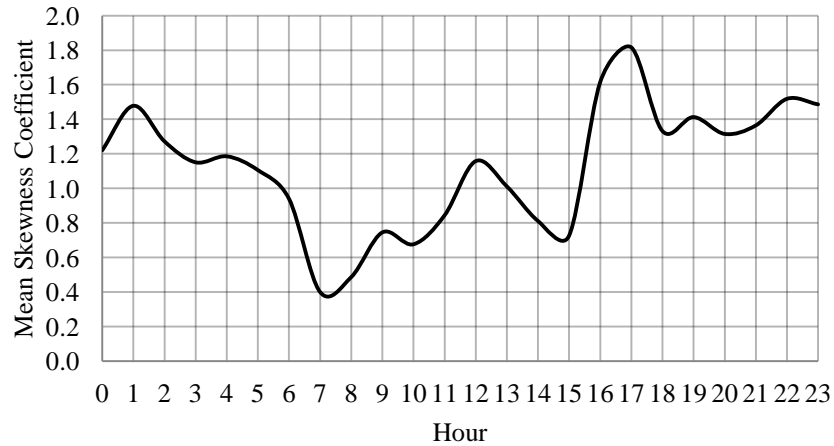


Table A2.26: Filippos hourly skewness coefficient without zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.70	1.35	1.18	0.79	0.60	0.84	0.93	0.63	0.51	0.70	0.52	0.44	0.78	0.36	0.66	0.58	0.69	0.77	1.00	1.14	0.90	0.87	1.86	1.78	0.86
2	1.12	2.14	1.97	0.77	0.95	0.90	0.95	0.55	0.37	0.55	0.68	0.57	0.65	0.51	0.67	0.72	0.66	0.94	1.15	0.83	0.96	1.00	2.20	1.85	0.99
3	0.99	0.92	0.91	0.87	1.03	0.66	1.13	0.35	0.45	0.91	0.52	0.93	1.17	1.01	0.83	0.89	0.71	0.84	1.07	0.91	1.08	1.15	0.92	1.00	0.88
4	1.63	1.69	1.80	1.34	1.26	0.80	1.02	0.57	0.66	0.60	0.57	0.83	0.94	0.81	0.85	0.82	0.74	0.91	1.35	1.27	1.76	1.30	1.73	1.86	1.13
5	1.34	2.14	1.43	1.51	1.57	0.66	0.91	0.28	0.48	0.77	1.14	1.08	1.26	0.91	1.09	0.80	11.62	11.46	1.14	1.23	0.90	1.37	1.37	1.48	2.00
6	1.44	1.03	0.85	1.51	1.29	0.25	0.62	0.27	0.53	0.70	0.92	1.00	1.26	0.80	0.63	0.90	0.69	0.74	1.26	1.34	1.35	1.76	0.77	0.75	0.94
7	1.17	1.45	1.49	1.17	1.16	4.80	0.77	0.29	0.61	1.08	0.72	0.90	1.36	1.05	1.03	0.80	1.05	1.03	1.13	1.80	1.62	1.49	1.93	2.60	1.35
8	1.20	0.92	0.53	1.53	1.38	0.82	0.94	0.20	0.51	0.73	0.86	0.99	1.80	1.08	1.17	0.70	0.64	1.70	2.40	2.52	2.05	1.95	1.47	0.13	1.18
9	1.34	1.06	0.91	1.15	1.26	0.97	0.84	0.28	0.62	0.89	0.87	0.96	1.17	1.04	0.71	0.64	0.93	0.97	1.47	1.35	0.74	1.48	0.76	0.87	0.97
10	1.51	1.45	1.18	1.19	1.19	1.06	1.24	0.49	0.32	0.70	0.59	0.77	1.23	3.21	0.85	0.74	0.78	0.78	1.56	1.72	1.46	1.61	1.58	1.84	1.21
11	1.20	2.22	1.84	1.17	1.55	0.80	1.10	0.43	0.48	0.60	0.60	0.77	1.05	0.73	0.64	0.48	0.53	0.70	1.47	1.61	1.72	1.37	2.10	2.00	1.13
12	1.00	1.36	1.17	0.82	0.99	0.71	0.84	0.44	0.29	0.69	0.13	0.88	1.22	0.63	0.61	0.62	0.35	0.96	0.99	1.25	1.26	1.04	1.54	1.68	0.89
Mean	1.22	1.48	1.27	1.15	1.19	1.11	0.94	0.40	0.49	0.74	0.68	0.84	1.16	1.01	0.81	0.73	1.62	1.82	1.33	1.41	1.32	1.36	1.52	1.49	

Per Hour



Per Month

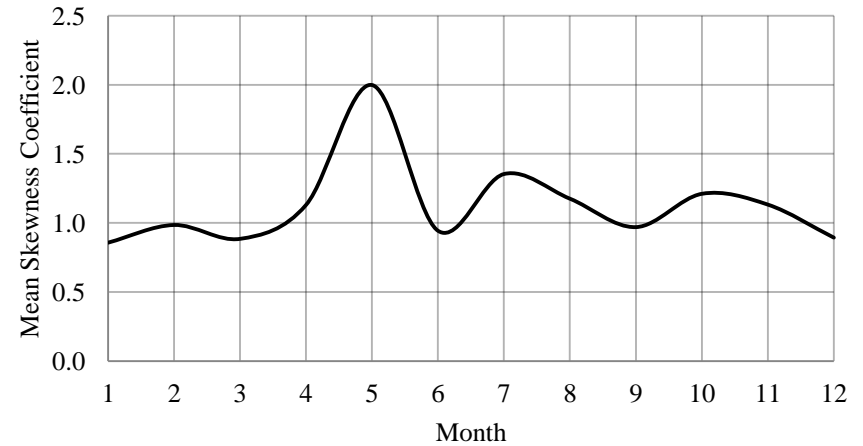
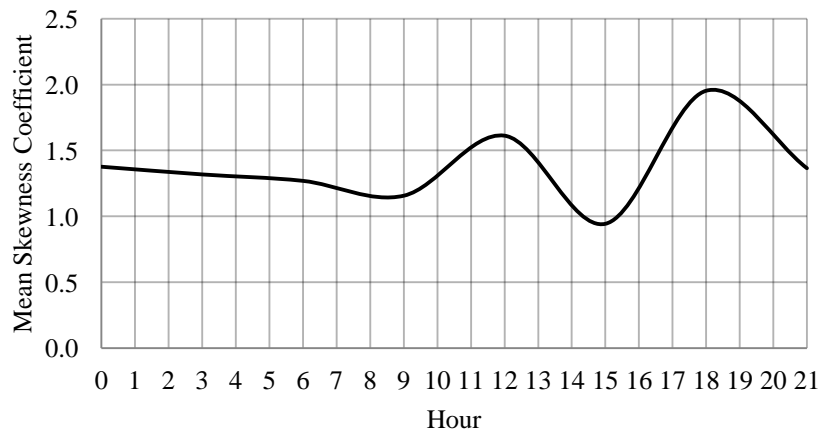


Table A2.27: Lamia hourly skewness coefficient including zero values per month & per hour

	0	3	6	9	12	15	18	21	Mean
1	1.72	1.27	1.33	0.93	2.86	1.32	1.44	1.26	1.52
2	1.40	1.49	1.82	1.13	2.72	1.52	1.70	1.29	1.63
3	1.77	1.93	1.50	1.13	1.67	0.99	1.75	1.45	1.52
4	1.34	1.78	1.28	2.37	1.24	0.79	1.27	1.33	1.42
5	1.21	1.38	1.08	1.20	0.96	0.65	1.58	1.47	1.19
6	1.13	1.18	0.91	1.04	1.13	0.49	1.35	1.29	1.06
7	1.19	0.84	1.09	0.84	1.04	0.47	1.89	1.56	1.12
8	0.77	1.06	1.10	0.88	1.17	0.57	2.03	1.86	1.18
9	1.04	0.93	1.42	1.11	1.88	0.64	2.11	1.27	1.30
10	1.10	1.17	1.24	1.21	1.44	1.00	3.01	0.99	1.40
11	2.27	1.38	1.28	1.14	1.81	1.61	1.83	1.52	1.61
12	1.58	1.40	1.19	0.89	1.42	1.28	3.45	1.09	1.54
Mean	1.38	1.32	1.27	1.16	1.61	0.94	1.95	1.37	

Per Hour



Per Month

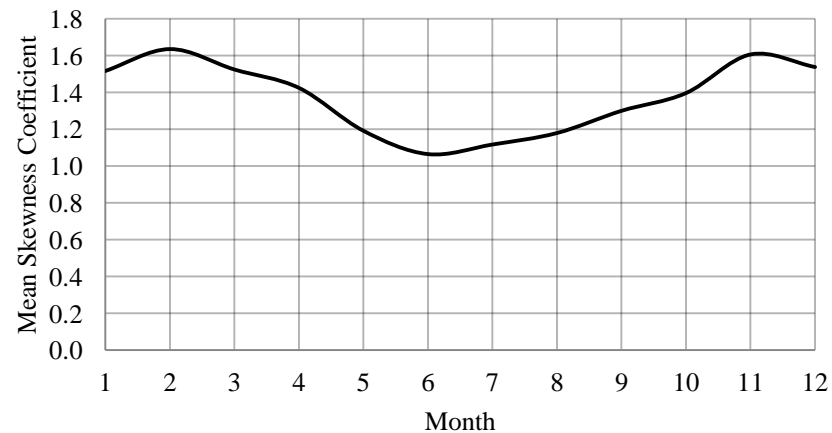
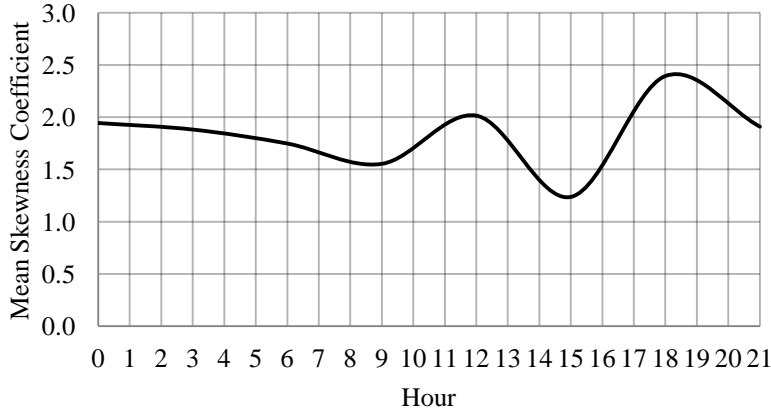


Table A2.28: Lamia hourly skewness coefficient without zero values per month & per hour

	0	3	6	9	12	15	18	21	Mean
1	2.30	1.55	1.65	1.20	3.69	1.61	1.81	1.74	1.94
2	1.82	1.90	2.35	1.35	3.31	1.90	1.97	1.85	2.06
3	2.35	2.44	1.81	1.39	1.95	1.26	1.92	1.87	1.87
4	1.70	2.22	1.59	2.89	1.48	1.04	1.34	1.62	1.74
5	1.66	2.08	1.42	1.70	1.18	0.93	1.83	1.72	1.56
6	1.50	1.76	1.17	1.48	1.32	0.66	1.55	1.42	1.36
7	1.83	1.60	1.72	1.24	1.31	0.63	2.40	2.03	1.59
8	1.51	1.73	1.93	1.37	1.47	0.78	2.58	2.76	1.77
9	1.84	1.83	2.40	1.59	2.37	0.97	2.41	2.04	1.93
10	1.79	1.82	1.66	1.62	2.00	1.48	3.84	1.69	1.99
11	2.97	1.84	1.75	1.57	2.40	2.15	2.44	2.55	2.21
12	2.04	1.80	1.51	1.22	1.68	1.42	4.62	1.58	1.98
Mean	1.94	1.88	1.75	1.55	2.01	1.24	2.39	1.91	

Per Hour



Per Month

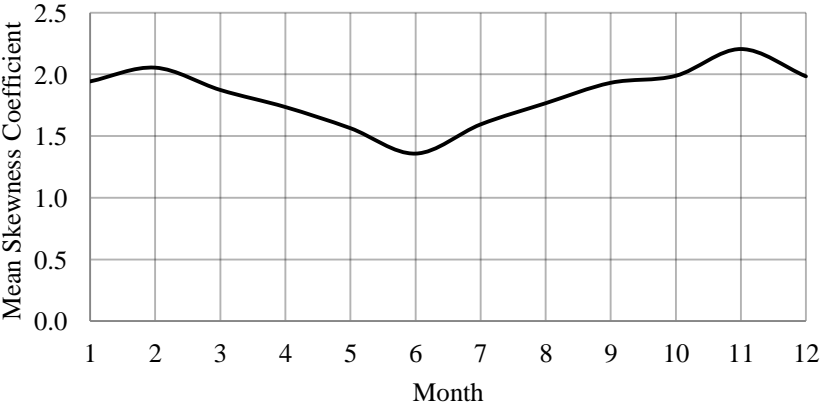
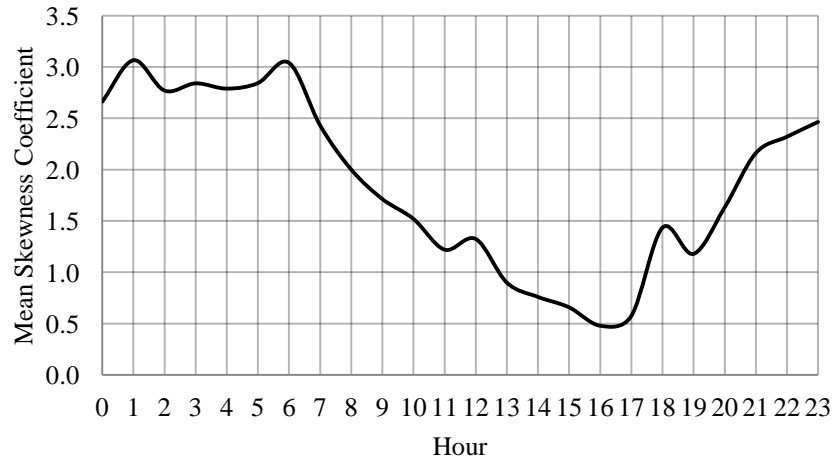


Table A2.29: Larisa hourly skewness coefficient including zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	2.96	3.53	2.81	2.66	2.47	2.56	2.99	2.85	2.73	2.35	2.25	1.92	1.94	1.82	1.86	1.73	1.61	1.56	2.28	2.11	2.25	2.57	2.58	2.86	2.39
2	2.45	1.97	2.56	2.39	2.49	2.53	2.72	2.51	2.14	1.97	1.79	1.47	1.62	1.31	1.27	1.15	1.08	1.22	1.42	1.81	2.49	2.31	2.47	2.30	1.98
3	2.47	3.19	2.06	2.60	2.20	2.25	2.61	2.02	1.73	1.62	1.43	1.10	1.15	0.84	0.66	0.42	0.44	0.44	1.46	0.95	1.85	2.17	1.90	2.19	1.66
4	2.33	3.11	2.40	2.67	3.27	3.26	3.59	2.11	1.56	1.66	1.79	0.82	1.06	0.62	0.46	0.25	0.10	0.14	0.95	0.76	1.02	1.74	1.88	1.93	1.65
5	2.59	3.12	3.48	3.03	2.72	2.75	2.66	2.06	1.53	1.48	0.91	0.74	0.93	0.45	0.21	-0.02	-0.16	0.03	0.79	0.59	1.08	1.96	1.77	2.17	1.54
6	2.46	2.30	2.71	2.86	3.22	3.06	2.57	1.88	1.39	0.97	0.80	0.56	0.65	0.17	0.00	0.05	0.00	-0.11	0.71	0.22	0.81	1.29	1.59	2.00	1.34
7	2.60	3.19	2.91	2.89	3.19	2.96	3.03	1.83	1.43	1.05	1.93	0.42	1.01	0.37	0.19	-0.15	-0.26	-0.06	1.91	0.53	1.00	1.60	2.24	2.53	1.60
8	3.04	2.77	3.08	3.40	3.13	3.53	3.18	2.29	1.62	1.05	0.63	0.46	0.82	0.35	0.55	0.50	-0.32	0.16	0.87	0.63	1.15	1.85	2.28	2.78	1.66
9	2.69	2.62	2.72	2.94	3.02	3.16	3.13	2.68	1.88	1.66	1.05	2.03	1.64	0.45	0.11	-0.19	-0.11	-0.19	0.52	0.59	0.99	2.17	2.12	2.43	1.67
10	2.92	4.01	3.08	3.10	2.72	2.94	3.04	2.68	2.35	1.92	1.65	1.34	1.31	1.05	0.71	0.76	0.27	0.27	1.30	1.49	2.02	2.71	3.08	2.93	2.07
11	2.71	4.87	2.82	2.82	2.64	2.69	3.58	3.47	3.05	2.36	1.92	1.90	1.85	1.70	1.54	1.44	1.56	1.48	2.34	2.28	2.54	2.90	3.05	2.71	2.51
12	2.73	2.12	2.61	2.73	2.42	2.45	3.41	2.81	2.59	2.45	2.08	1.87	1.90	1.66	1.56	1.94	1.53	1.95	2.66	2.17	2.38	2.67	2.88	2.77	2.35
Mean	2.66	3.07	2.77	2.84	2.79	2.84	3.04	2.43	2.00	1.71	1.52	1.22	1.32	0.90	0.76	0.66	0.48	0.57	1.43	1.18	1.63	2.16	2.32	2.46	

Per Hour



Per Month

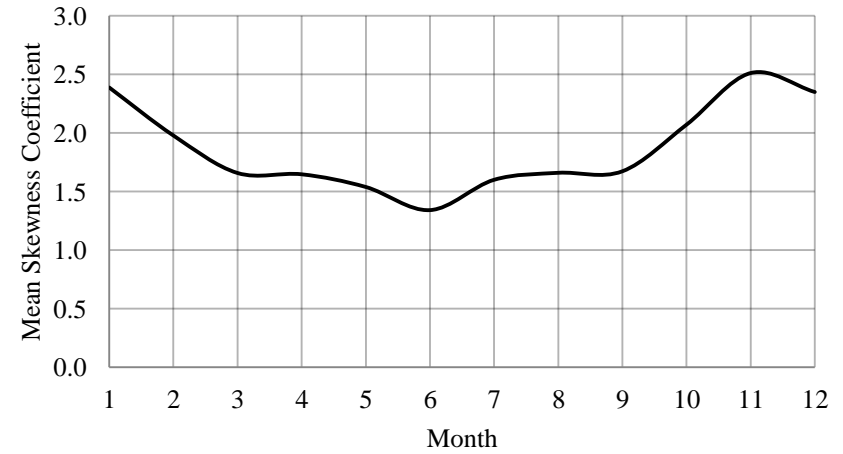
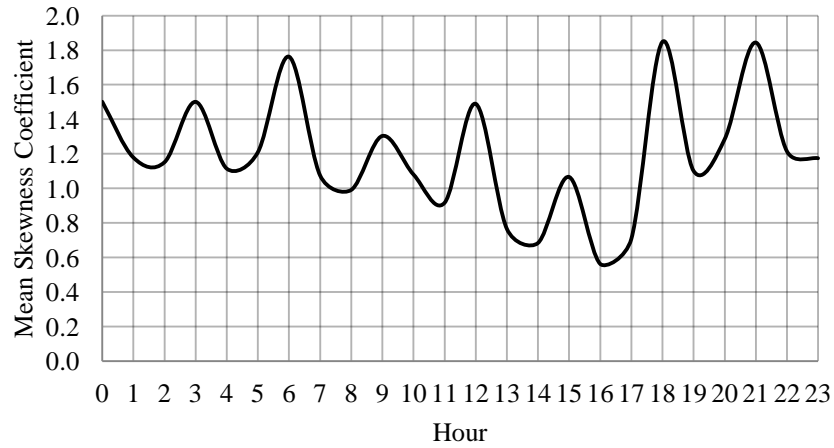


Table A2.30: Larisa hourly skewness coefficient without zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	1.75	1.32	1.35	1.36	0.87	0.94	1.84	1.03	1.14	1.12	1.01	0.65	1.25	1.33	1.37	1.54	1.02	1.15	1.73	1.24	1.04	1.32	0.90	1.28	1.23
2	1.53	0.66	1.41	1.37	1.20	1.41	1.57	1.01	1.05	1.04	0.98	0.82	1.46	1.00	1.13	1.40	1.08	1.20	1.65	1.57	1.72	1.59	1.35	1.29	1.27
3	1.53	1.11	0.80	1.55	0.97	0.91	1.50	0.56	0.63	0.96	0.74	0.66	1.15	0.61	0.59	0.80	0.47	0.55	2.16	1.18	1.72	2.40	1.07	1.07	1.07
4	1.58	1.68	1.11	1.93	2.14	2.04	2.53	0.93	0.70	1.44	1.83	0.74	1.36	0.74	0.64	0.79	0.37	0.47	1.71	0.84	0.89	1.99	0.90	0.90	1.26
5	1.70	1.21	2.14	1.06	0.88	1.03	1.54	1.06	1.04	1.57	0.92	0.88	1.53	0.66	0.43	0.58	0.20	0.42	1.41	0.96	1.18	2.51	1.06	1.26	1.13
6	1.41	0.52	1.06	1.40	1.33	1.35	1.42	1.26	1.11	1.47	1.01	0.81	1.25	0.42	0.22	0.56	0.46	0.39	1.42	0.60	1.17	1.69	1.17	1.09	1.02
7	1.29	0.99	0.98	1.58	1.29	1.11	2.38	1.02	1.13	1.67	2.63	0.75	1.84	0.75	0.43	0.37	0.28	0.43	3.07	1.17	1.33	1.54	1.56	1.53	1.30
8	1.69	0.87	1.11	2.23	0.82	1.15	1.77	0.83	1.04	1.31	0.67	0.61	1.53	0.67	0.99	1.19	0.21	0.61	1.82	1.28	1.51	1.70	1.11	1.17	1.16
9	1.35	1.82	0.93	1.52	1.02	1.31	1.46	1.14	0.98	1.87	0.90	2.62	2.91	0.54	0.20	0.47	0.31	0.44	1.33	0.95	1.02	2.25	1.00	1.12	1.23
10	1.46	1.50	1.06	1.59	1.06	1.10	1.47	0.91	0.79	1.19	0.94	0.92	1.43	0.74	0.51	2.00	0.46	0.46	1.94	1.45	1.27	1.77	1.47	1.20	1.20
11	1.28	1.85	0.65	1.17	0.89	1.18	1.79	1.83	1.35	1.00	0.71	0.80	1.10	0.90	0.91	1.54	1.10	1.10	1.97	1.03	1.09	1.82	1.54	0.94	1.23
12	1.45	0.63	1.21	1.24	0.91	0.97	1.88	1.31	0.93	1.01	0.61	0.75	1.09	0.84	0.79	1.54	0.80	1.26	1.94	0.95	1.46	1.54	1.44	1.25	1.16
Mean	1.50	1.18	1.15	1.50	1.11	1.21	1.76	1.07	0.99	1.30	1.08	0.92	1.49	0.77	0.68	1.07	0.56	0.71	1.85	1.10	1.28	1.84	1.21	1.17	

Per Hour



Per Month

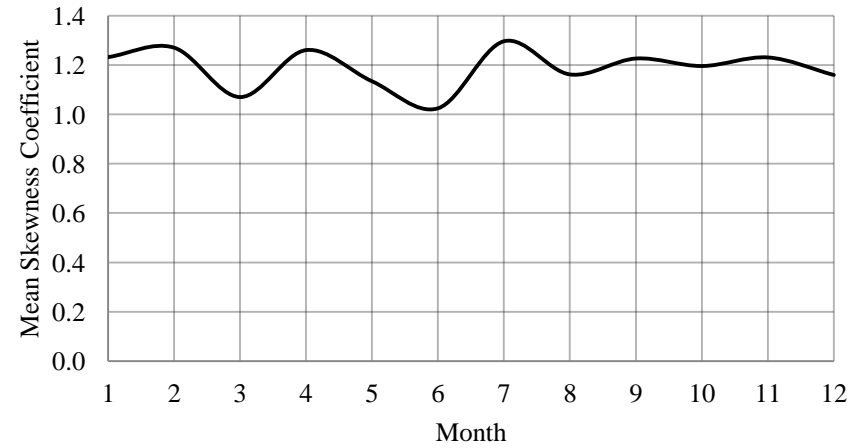
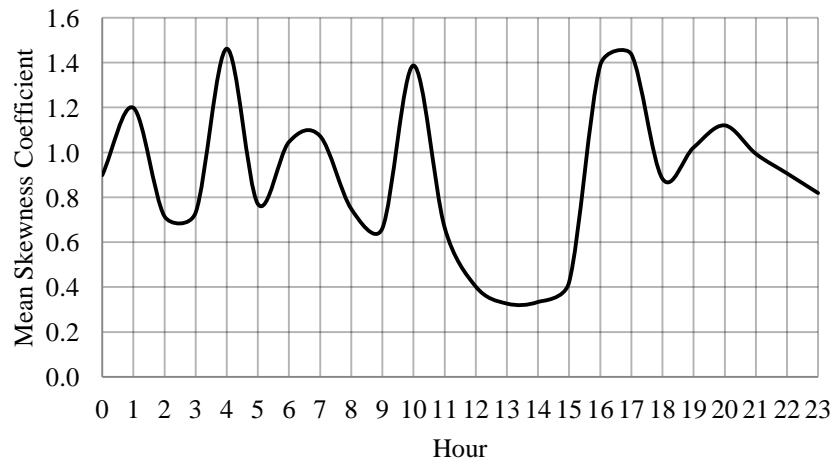


Table A2.31: Nea Anchialos hourly skewness coefficient including zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.97	1.11	1.76	1.32	1.19	0.92	0.89	1.37	1.17	0.89	0.84	0.78	0.78	0.72	0.90	0.89	1.99	0.61	0.90	1.06	1.19	1.11	0.90	1.38	1.07
2	0.96	7.10	1.04	1.05	0.97	1.04	1.13	1.09	1.22	1.20	1.22	0.55	0.80	0.78	0.72	1.00	1.01	0.88	1.23	1.35	1.49	1.09	0.71	0.62	1.26
3	1.00	1.01	0.80	0.82	1.60	1.07	1.07	0.95	0.73	0.64	0.45	0.44	0.54	0.61	0.64	0.54	0.51	0.82	0.78	0.77	0.94	0.70	0.85	1.20	0.81
4	0.68	0.46	0.49	0.66	1.83	0.62	1.10	0.84	0.68	0.69	0.74	0.94	0.67	0.28	0.52	0.26	0.60	0.48	0.87	0.90	1.08	0.93	0.83	0.73	0.75
5	0.80	0.96	0.78	0.80	4.34	0.91	1.40	0.84	0.52	0.56	10.42	0.22	0.10	0.13	0.40	0.20	0.42	0.54	0.83	1.30	1.16	1.03	1.16	0.80	1.28
6	0.56	0.40	0.56	0.56	4.15	0.79	0.90	0.59	0.29	0.46	0.24	-0.03	-0.19	0.01	-0.08	-0.02	9.72	10.16	0.60	0.90	1.12	1.01	0.70	0.61	1.42
7	0.43	0.02	-0.07	0.08	0.00	0.29	0.71	2.00	0.41	0.39	-0.03	-0.13	0.10	-0.11	-0.21	0.15	-0.15	0.12	0.62	0.96	1.26	1.08	1.56	0.47	0.42
8	0.40	0.08	-0.04	0.26	0.17	0.15	0.78	0.78	0.56	0.33	0.18	2.54	-0.07	-0.21	-0.43	-0.11	-0.27	0.21	0.60	1.21	1.03	0.95	0.49	0.28	0.41
9	0.89	0.30	0.40	0.33	0.31	0.32	1.09	0.88	0.77	0.32	0.12	0.07	0.06	-0.19	-0.07	-0.05	0.08	0.27	0.69	0.89	1.06	0.61	0.77	0.63	0.44
10	1.31	0.81	0.59	1.05	0.72	0.73	1.31	1.11	1.04	0.98	0.72	0.77	0.61	0.24	0.21	0.29	0.49	1.20	1.28	1.03	1.08	1.44	1.35	1.44	0.91
11	1.08	1.26	1.29	1.10	1.49	1.58	1.54	1.60	0.84	0.71	0.84	1.14	0.64	0.75	0.59	0.82	1.14	1.03	0.97	1.23	1.34	1.01	1.06	1.14	1.09
12	1.72	0.86	0.98	0.74	0.76	0.82	0.65	0.83	0.74	0.75	0.90	0.71	0.79	0.91	0.84	1.10	1.12	0.94	1.22	0.66	0.69	0.97	0.49	0.54	0.86
Mean	0.90	1.20	0.72	0.73	1.46	0.77	1.05	1.07	0.75	0.66	1.39	0.67	0.40	0.33	0.33	0.42	1.39	1.44	0.88	1.02	1.12	0.99	0.91	0.82	

Per Hour



Per Month

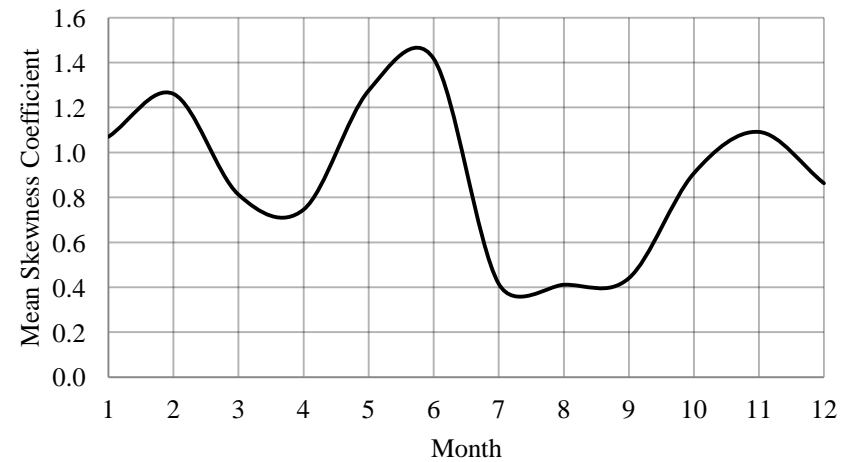
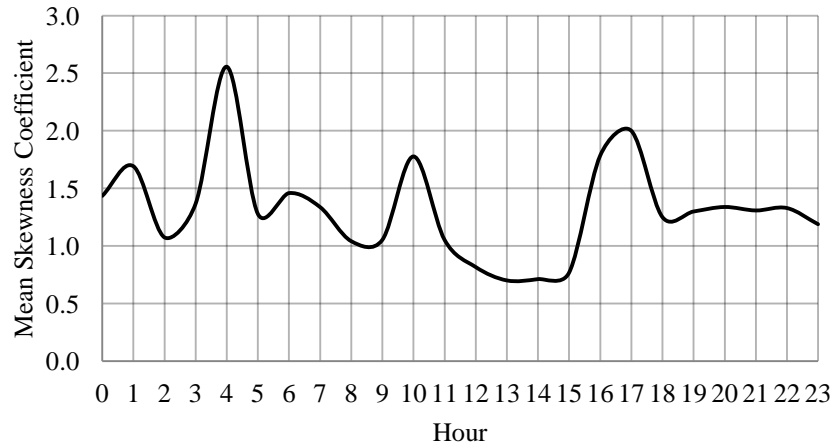


Table A2.32: Nea Anchialos hourly skewness coefficient without zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	1.53	1.85	2.46	1.96	1.91	1.47	1.60	2.12	1.65	1.29	1.05	1.01	1.18	1.08	1.40	1.29	2.58	0.98	1.40	1.74	1.88	1.89	1.56	2.03	1.62
2	1.37	8.47	1.55	1.58	1.58	1.62	1.72	1.46	1.48	1.40	1.61	0.92	1.22	1.19	1.26	1.52	1.34	1.13	1.57	1.75	2.11	1.64	1.06	1.01	1.73
3	1.27	1.46	1.04	1.19	2.22	1.63	1.48	0.99	0.60	0.79	0.76	1.06	1.07	1.03	1.13	0.95	0.82	1.06	0.85	0.88	1.16	0.99	1.21	1.78	1.14
4	0.90	0.57	0.56	0.98	3.08	1.00	0.85	0.59	0.87	1.20	1.12	1.36	1.14	0.58	0.85	0.77	1.05	0.91	1.00	0.94	0.99	1.19	1.03	0.93	1.02
5	1.15	1.44	1.20	1.23	7.04	1.06	1.20	0.88	0.99	1.24	11.30	0.72	0.58	0.51	0.63	0.57	0.96	1.05	1.00	1.40	1.10	1.11	1.49	1.01	1.70
6	0.88	0.45	0.67	1.03	7.60	0.71	0.59	0.71	0.99	1.05	0.54	0.34	0.18	0.18	0.20	0.30	10.41	12.26	1.02	1.00	1.08	0.83	0.69	0.67	1.85
7	0.97	0.16	0.07	0.69	0.53	0.71	0.65	2.59	0.85	0.97	0.49	0.25	0.23	0.25	0.03	0.36	0.29	0.80	1.18	1.11	1.13	1.06	2.21	0.78	0.76
8	1.02	0.49	0.26	0.90	0.79	0.73	0.99	0.77	0.82	0.97	0.45	2.75	0.05	-0.11	-0.23	0.07	0.13	0.78	1.15	1.55	1.00	0.95	0.83	0.49	0.73
9	1.73	0.96	0.73	1.22	1.00	1.11	2.30	0.75	0.97	0.78	0.56	0.49	0.52	0.27	0.31	0.29	0.54	0.67	1.18	0.99	0.90	0.62	1.17	1.13	0.88
10	1.88	1.39	1.01	1.99	1.28	1.58	2.02	1.37	1.05	1.23	1.21	1.23	1.28	0.82	0.77	0.90	0.94	1.61	1.47	1.33	1.69	1.89	1.96	1.96	1.41
11	1.84	1.80	1.96	2.10	2.24	2.30	2.78	2.37	1.09	0.63	1.06	1.64	1.11	1.25	0.94	0.81	1.12	1.29	1.14	1.73	1.91	1.73	1.62	1.58	1.59
12	2.67	1.26	1.37	1.53	1.38	1.44	1.31	1.45	1.14	1.09	1.17	0.84	1.24	1.37	1.25	1.38	1.23	1.46	2.04	1.16	1.11	1.78	1.12	0.89	1.36
Mean	1.43	1.69	1.07	1.37	2.56	1.28	1.46	1.34	1.04	1.05	1.78	1.05	0.82	0.70	0.71	0.77	1.78	2.00	1.25	1.30	1.34	1.31	1.33	1.19	

Per Hour



Per Month

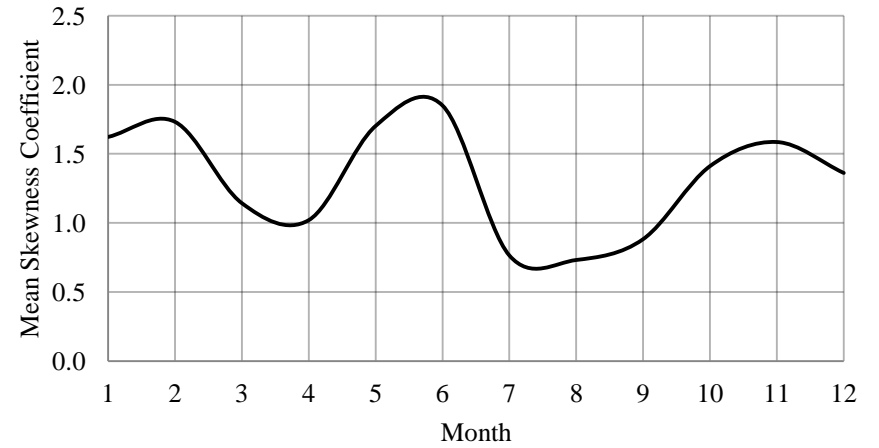
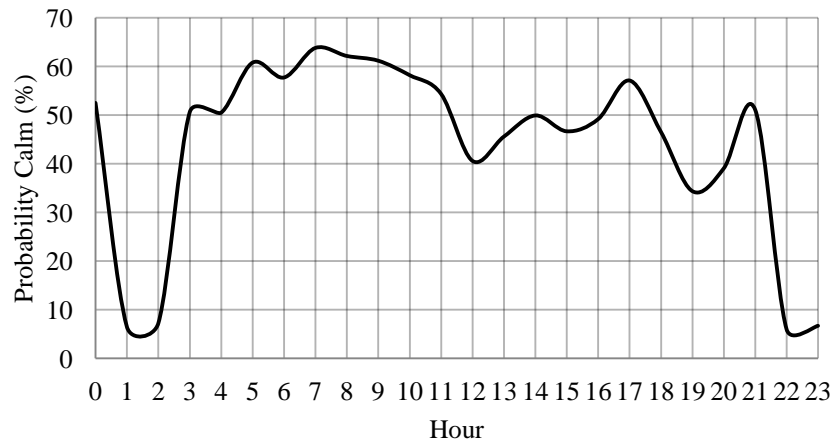


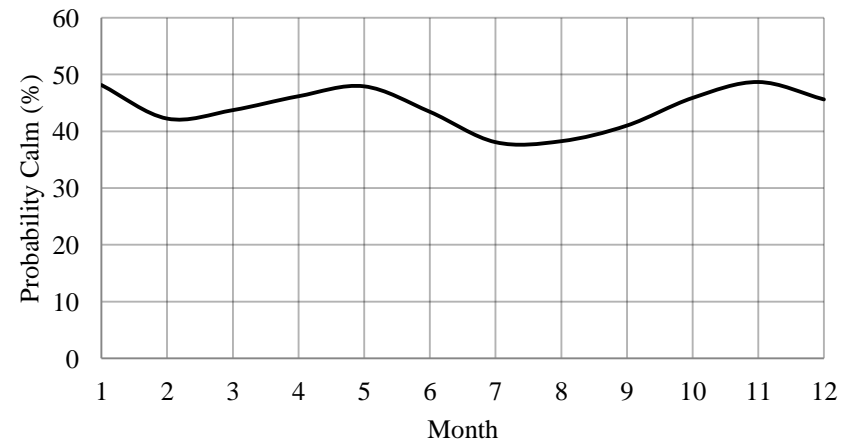
Table A2.33: Filippos hourly probability calm (%) per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	56.8	0.0	0.0	54.3	53.1	59.7	55.6	70.3	67.3	63.7	62.1	61.5	48.0	57.6	58.5	58.9	61.1	61.9	48.7	49.2	48.1	55.4	0.0	3.3	48.1
2	51.4	1.7	0.0	47.3	48.4	53.4	56.7	65.3	62.5	58.0	53.9	52.0	38.7	45.0	46.6	49.4	55.3	55.5	44.1	35.3	39.1	51.8	0.0	1.8	42.2
3	55.4	0.0	1.6	54.7	54.2	65.9	58.6	65.4	60.0	57.4	55.0	52.9	38.6	42.1	47.6	47.1	51.9	56.8	47.2	38.3	43.4	53.3	1.6	0.0	43.7
4	56.0	1.2	7.6	56.9	57.7	66.9	65.5	68.5	66.7	63.7	58.0	54.3	42.9	43.5	48.4	48.2	54.4	59.2	54.0	35.5	42.8	54.6	0.0	1.2	46.2
5	56.1	1.1	7.0	54.1	55.0	70.5	62.5	68.8	67.1	64.3	60.2	56.8	42.9	50.8	53.1	53.9	58.4	63.2	56.0	45.3	45.2	56.3	0.0	1.1	47.9
6	53.5	0.0	2.1	53.0	51.5	69.0	55.5	61.7	61.0	56.4	51.6	46.9	38.6	42.5	44.3	48.0	50.4	56.9	48.2	45.5	47.8	56.4	1.1	0.0	43.4
7	48.2	0.0	2.1	45.7	43.3	57.6	52.2	51.8	51.8	51.0	49.5	42.6	35.2	39.1	41.4	42.9	45.2	50.9	51.4	32.9	30.9	47.7	0.0	0.0	38.1
8	39.1	2.2	0.0	38.0	42.7	58.0	58.2	58.6	57.8	60.4	55.0	50.8	38.0	38.4	42.7	41.1	40.3	50.9	53.0	22.6	24.4	45.0	0.0	0.0	38.2
9	41.1	0.9	0.9	44.0	41.2	61.0	63.2	61.8	57.9	59.3	54.9	50.7	42.1	47.9	48.4	46.8	48.1	57.3	55.6	26.9	23.0	46.0	1.8	2.7	41.0
10	71.4	67.2	62.1	61.9	57.6	45.4	51.9	54.3	58.4	64.1	65.7	56.3	28.1	28.5	49.3	0.0	3.3	48.9	0.0	3.3	46.7	48.4	63.7	64.2	45.9
11	50.2	3.4	3.4	49.4	52.1	63.6	57.1	73.1	69.8	69.1	68.1	66.4	48.0	57.8	60.2	63.3	64.9	65.8	51.0	39.0	38.2	47.2	3.4	3.5	48.7
12	50.4	0.0	0.0	47.7	48.9	58.0	55.4	65.6	65.2	66.4	63.9	60.8	45.8	53.4	58.5	60.4	56.5	57.6	48.9	38.5	39.0	50.4	0.0	2.8	45.6
Mean	52.5	6.5	7.2	50.6	50.5	60.7	57.7	63.8	62.1	61.1	58.2	54.3	40.6	45.6	49.9	46.6	49.1	57.1	46.5	34.3	39.0	51.1	6.0	6.7	

Per Hour

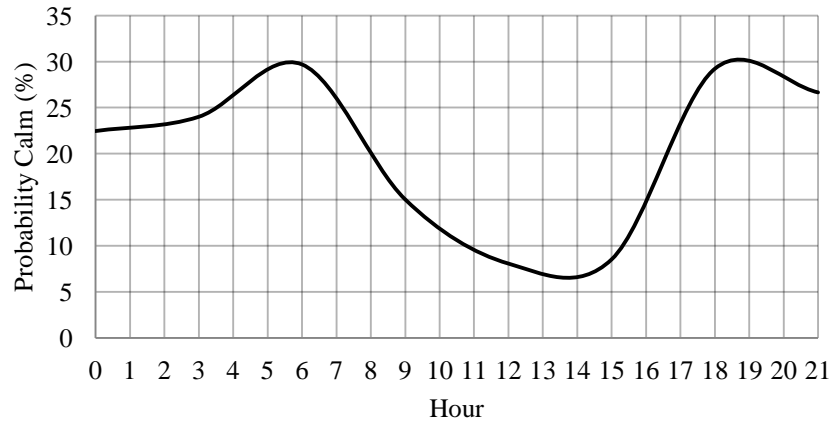


Per Month



	0.0	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	Mean
1	24.2	22.9	28.0	23.0	15.5	20.4	27.9	24.8	23.4
2	22.4	22.4	26.6	21.8	11.0	9.0	32.2	24.4	21.2
3	24.9	27.5	32.3	18.5	6.3	5.6	29.2	25.5	21.2
4	22.2	24.2	29.1	10.0	5.2	4.6	27.4	26.1	18.6
5	21.4	25.3	30.6	9.3	3.3	4.2	25.3	28.1	18.4
6	20.7	26.2	28.7	7.1	2.3	1.8	20.5	31.9	17.4
7	21.0	23.4	25.3	5.8	2.9	1.2	20.4	29.9	16.2
8	22.5	25.5	31.4	7.6	2.6	1.4	29.1	27.8	18.5
9	19.6	19.5	28.9	15.2	5.4	3.4	37.5	28.7	19.8
10	23.2	25.5	37.0	24.9	12.4	11.8	41.6	24.3	25.1
12	25.0	21.8	28.9	22.1	21.9	30.3	30.5	22.0	25.3
Mean	22.5	24.0	29.7	15.0	8.1	8.5	29.2	26.7	

Per Hour



Per Month

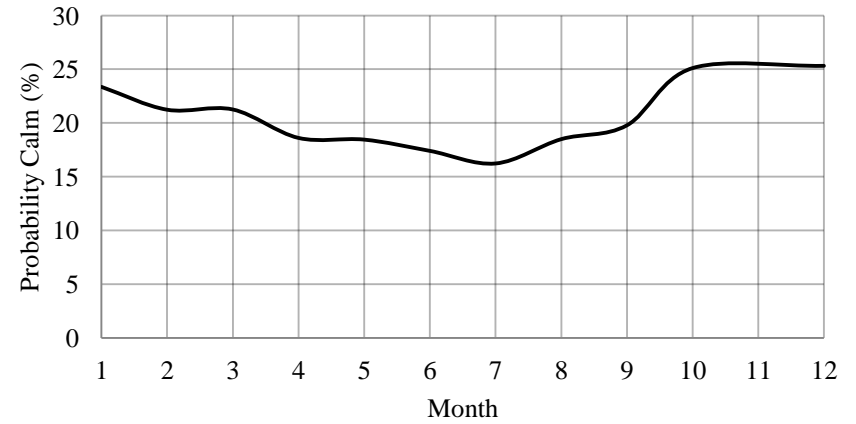


Table A2.35: Larisa hourly probability calm (%) per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	77.7	87.8	75.2	77.4	73.9	73.1	73.2	76.2	73.3	75.0	68.2	67.8	62.4	58.5	55.7	61.6	57.9	58.8	63.7	65.4	70.3	76.3	74.4	74.1	69.9
2	73.4	78.5	68.4	74.5	69.7	66.5	69.1	69.2	63.9	67.9	55.4	50.0	47.3	43.0	41.0	46.0	38.7	39.7	47.0	53.8	60.9	71.0	65.8	66.7	59.5
3	73.4	84.4	67.2	75.7	67.0	66.8	70.4	68.4	60.3	63.5	51.1	42.4	41.4	35.1	27.3	29.5	25.1	26.3	33.6	36.4	46.8	60.5	60.2	64.2	53.2
4	77.6	85.7	69.5	79.2	71.0	69.3	74.8	64.0	54.5	60.1	37.3	27.6	34.5	20.7	16.3	22.5	13.9	15.9	28.7	31.4	43.3	64.5	64.3	66.9	49.7
5	80.4	86.0	77.5	85.4	78.4	74.7	75.0	60.6	47.8	56.2	29.2	19.9	26.5	13.8	8.8	13.5	7.4	10.4	27.4	29.2	40.7	64.8	60.5	68.0	47.6
6	77.4	78.0	75.9	83.4	76.8	74.0	72.9	53.6	39.5	42.2	19.2	10.5	15.9	4.6	3.0	5.5	4.2	6.3	17.3	20.2	31.7	57.0	56.9	63.5	41.2
7	78.9	85.7	77.4	81.1	79.6	75.7	72.1	55.1	38.4	41.3	15.3	11.0	16.4	6.6	2.6	4.5	3.0	4.0	13.9	21.5	34.6	60.5	64.7	69.0	42.2
8	82.3	83.7	78.4	84.0	81.7	82.1	79.0	67.4	47.3	50.2	22.7	13.0	19.1	5.0	2.9	3.7	2.1	2.7	14.8	21.3	40.2	67.6	71.5	74.5	45.7
9	81.3	83.2	76.4	83.0	79.1	77.8	79.4	70.5	55.4	57.9	37.0	26.6	30.4	18.5	10.4	11.7	4.9	9.3	21.1	32.0	45.1	68.4	68.6	71.7	50.0
10	81.2	86.0	79.1	81.9	78.8	78.1	77.6	78.1	71.2	68.8	55.6	48.8	47.3	40.6	30.3	32.5	23.6	27.8	41.5	51.1	64.7	74.8	79.2	76.8	61.5
11	76.5	73.8	76.1	63.5	63.6	62.8	58.7	55.0	60.9	54.8	55.2	64.6	70.4	74.1	79.5	76.5	76.8	80.7	91.6	79.3	81.8	75.6	73.1	78.6	71.0
12	77.8	79.3	74.0	79.4	72.3	70.8	75.6	73.7	72.8	76.9	68.0	65.6	64.0	58.6	56.8	66.0	59.2	62.8	70.2	68.1	67.6	76.7	74.8	74.5	70.2
Mean	78.2	82.7	74.6	79.0	74.3	72.6	73.2	66.0	57.1	59.6	42.9	37.3	39.6	31.6	27.9	31.1	26.4	28.7	39.2	42.5	52.3	68.1	67.8	70.7	

Per Hour



Per Month

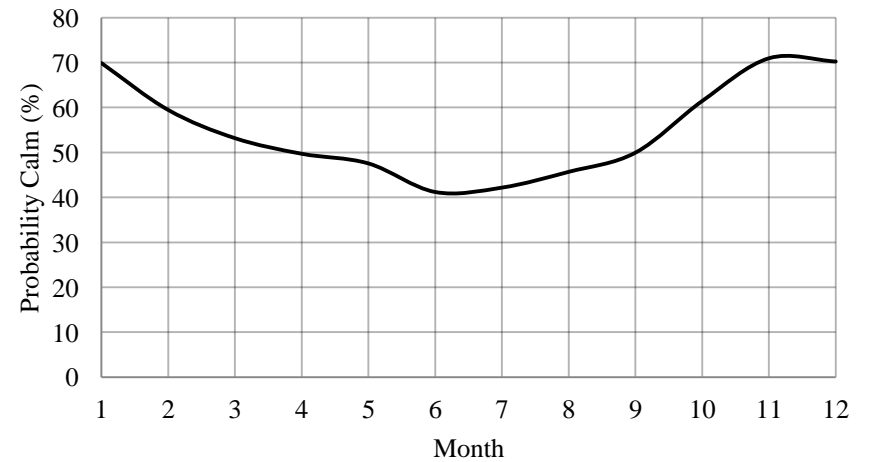
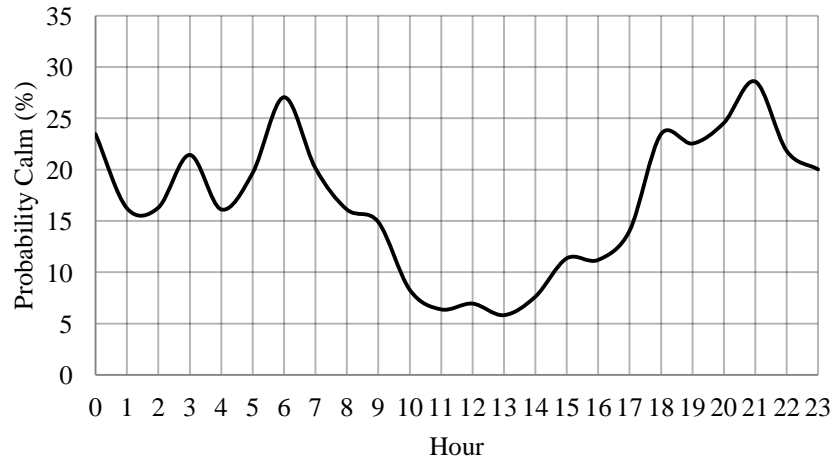


Table A2.36: Nea Anchialos hourly probability calm (%) per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	17.9	11.5	10.3	15.5	11.1	10.0	15.7	11.8	16.3	24.2	20.5	12.6	14.7	13.2	18.2	27.3	21.7	17.6	17.8	11.2	11.3	18.7	14.3	12.4	15.7
2	21.9	17.1	15.4	21.0	17.1	16.3	20.8	22.1	29.1	26.3	15.4	10.6	10.8	7.8	8.6	15.9	19.6	19.8	22.0	15.3	18.0	23.9	18.5	16.8	17.9
3	23.9	18.6	17.3	23.4	17.4	16.2	24.2	30.7	21.9	19.1	9.8	7.2	8.1	5.5	7.2	10.0	13.5	15.2	25.4	20.7	19.8	23.8	18.3	18.2	17.3
4	30.5	19.7	22.7	27.5	22.1	24.7	43.2	30.4	15.7	13.1	5.2	3.3	4.5	3.2	3.4	10.4	8.5	15.5	26.0	25.4	30.7	30.0	25.0	23.8	19.3
5	30.0	22.5	22.4	27.6	24.0	36.2	38.0	14.6	7.7	6.8	2.0	2.3	3.2	2.1	1.5	4.1	6.3	12.6	30.0	31.1	28.3	33.7	27.6	24.9	18.3
6	28.8	22.7	18.9	25.0	26.1	39.5	32.7	12.2	5.9	3.4	1.0	1.0	1.4	0.4	0.8	1.5	1.6	6.7	23.3	28.7	33.3	36.4	29.5	27.5	17.0
7	21.4	15.2	14.5	21.2	15.7	26.0	31.7	16.2	6.6	4.0	2.5	1.2	0.4	0.7	0.6	0.8	1.9	4.7	22.4	28.3	33.3	36.4	24.7	22.7	14.7
8	22.6	13.4	13.2	20.3	13.2	15.9	32.7	18.4	5.3	4.2	1.2	0.4	0.3	0.2	0.4	0.5	1.6	5.1	18.7	27.8	33.7	35.0	25.3	19.8	13.7
9	25.6	17.3	17.3	21.6	13.8	13.2	28.5	27.5	11.7	10.0	3.2	2.4	2.5	2.1	2.3	2.9	5.1	10.0	27.4	30.0	28.9	34.2	21.6	20.0	15.8
10	26.7	16.7	13.0	22.5	10.6	13.2	24.3	23.0	25.9	18.5	8.5	4.9	6.8	5.0	5.5	13.3	19.1	22.4	31.6	24.8	25.3	34.0	29.3	23.7	18.7
11	21.4	11.0	13.1	20.2	11.9	10.2	21.1	15.5	22.9	30.2	15.1	14.8	17.0	12.9	18.3	34.3	23.2	19.8	25.2	16.8	14.3	24.4	17.7	12.6	18.5
12	10.8	9.0	17.3	11.5	10.5	14.6	11.8	19.3	24.4	19.0	15.0	16.0	13.5	16.6	24.7	15.1	12.1	19.0	11.7	10.2	17.6	12.6	10.2	17.9	15.0
Mean	23.5	16.2	16.3	21.4	16.1	19.7	27.1	20.1	16.1	14.9	8.3	6.4	6.9	5.8	7.6	11.4	11.2	14.0	23.5	22.5	24.5	28.6	21.8	20.0	

Per Hour



Per Month

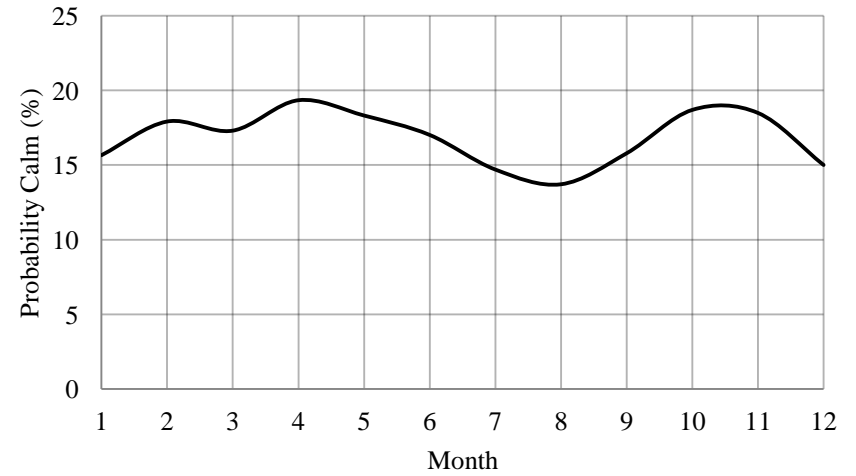
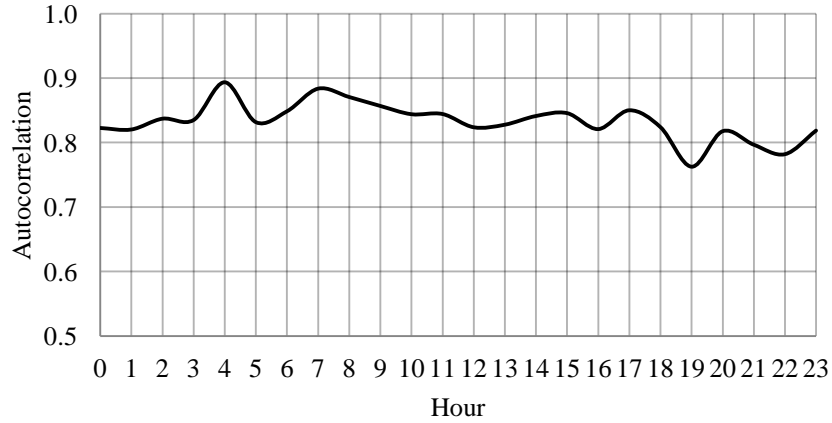


Table A2.37: Filippos hourly autocorrelation per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.93	0.94	0.89	0.92	0.90	0.88	0.83	0.87	0.93	0.88	0.91	0.93	0.91	0.89	0.94	0.91	0.89	0.93	0.91	0.92	0.91	0.89	0.94	0.92	0.91
2	0.91	0.92	0.91	0.91	0.95	0.82	0.89	0.89	0.91	0.92	0.91	0.88	0.87	0.91	0.91	0.89	0.87	0.89	0.89	0.75	0.88	0.91	0.90	0.88	0.89
3	0.86	0.88	0.88	0.78	0.91	0.84	0.87	0.90	0.84	0.88	0.87	0.86	0.85	0.90	0.86	0.82	0.80	0.83	0.86	0.80	0.84	0.82	0.74	0.85	0.85
4	0.83	0.70	0.87	0.87	0.88	0.81	0.84	0.86	0.85	0.84	0.84	0.84	0.79	0.79	0.80	0.81	0.82	0.77	0.80	0.71	0.82	0.78	0.75	0.88	0.81
5	0.71	0.73	0.65	0.82	0.90	0.80	0.81	0.87	0.82	0.82	0.74	0.81	0.75	0.78	0.79	0.81	0.76	0.94	0.73	0.64	0.71	0.74	0.77	0.78	0.78
6	0.76	0.84	0.77	0.79	0.86	0.82	0.88	0.87	0.81	0.80	0.75	0.74	0.71	0.73	0.72	0.78	0.73	0.78	0.77	0.73	0.77	0.74	0.77	0.68	0.78
7	0.70	0.86	0.88	0.79	0.89	0.78	0.86	0.89	0.87	0.82	0.77	0.78	0.73	0.71	0.79	0.76	0.81	0.81	0.74	0.70	0.77	0.74	0.67	0.85	0.79
8	0.74	0.72	0.71	0.76	0.88	0.80	0.82	0.90	0.85	0.79	0.77	0.80	0.79	0.77	0.80	0.85	0.80	0.73	0.78	0.73	0.74	0.72	0.67	0.59	0.77
9	0.82	0.84	0.83	0.76	0.88	0.82	0.87	0.89	0.90	0.85	0.84	0.83	0.80	0.83	0.83	0.78	0.77	0.80	0.74	0.71	0.72	0.73	0.71	0.78	0.80
10	0.87	0.75	0.89	0.89	0.90	0.84	0.82	0.85	0.87	0.86	0.89	0.83	0.83	0.78	0.81	0.89	0.87	0.90	0.87	0.81	0.90	0.83	0.79	0.87	0.85
11	0.88	0.86	0.85	0.85	0.83	0.87	0.83	0.89	0.90	0.91	0.91	0.91	0.92	0.93	0.93	0.92	0.89	0.92	0.91	0.82	0.86	0.78	0.83	0.83	0.88
12	0.87	0.81	0.90	0.89	0.92	0.90	0.87	0.92	0.90	0.91	0.94	0.92	0.93	0.91	0.92	0.93	0.85	0.90	0.89	0.84	0.90	0.88	0.84	0.91	0.89
Mean	0.82	0.82	0.84	0.83	0.89	0.83	0.85	0.88	0.87	0.86	0.84	0.84	0.82	0.83	0.84	0.85	0.82	0.85	0.82	0.76	0.82	0.80	0.78	0.82	

Per Hour



Per Month

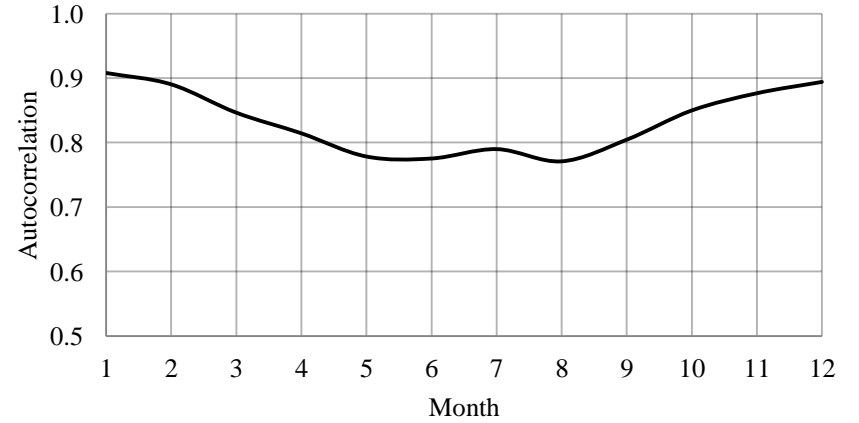
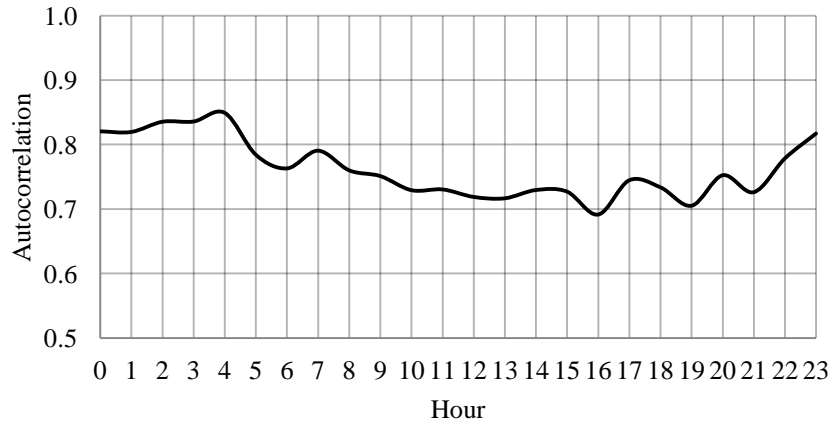


Table A2.38: Filippos hourly autocorrelation without zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.93	0.94	0.89	0.92	0.85	0.82	0.75	0.75	0.84	0.77	0.84	0.86	0.84	0.80	0.87	0.83	0.81	0.87	0.85	0.89	0.87	0.86	0.94	0.92	0.85
2	0.91	0.92	0.91	0.91	0.93	0.79	0.84	0.82	0.83	0.86	0.84	0.82	0.81	0.85	0.84	0.81	0.75	0.77	0.82	0.69	0.85	0.88	0.90	0.88	0.84
3	0.86	0.88	0.88	0.77	0.84	0.74	0.73	0.79	0.70	0.75	0.75	0.75	0.75	0.82	0.79	0.72	0.66	0.70	0.76	0.76	0.78	0.75	0.73	0.85	0.77
4	0.82	0.69	0.87	0.86	0.85	0.79	0.77	0.76	0.72	0.73	0.71	0.74	0.69	0.69	0.69	0.67	0.68	0.63	0.71	0.69	0.76	0.73	0.74	0.88	0.75
5	0.71	0.72	0.65	0.81	0.84	0.77	0.68	0.78	0.68	0.72	0.59	0.66	0.63	0.67	0.64	0.67	0.59	0.95	0.55	0.53	0.56	0.57	0.78	0.78	0.69
6	0.76	0.84	0.77	0.80	0.82	0.78	0.78	0.77	0.68	0.69	0.59	0.56	0.54	0.59	0.52	0.58	0.50	0.59	0.63	0.62	0.67	0.60	0.76	0.68	0.67
7	0.70	0.86	0.88	0.79	0.81	0.75	0.77	0.81	0.74	0.67	0.58	0.64	0.55	0.49	0.64	0.59	0.67	0.65	0.61	0.62	0.70	0.68	0.68	0.85	0.70
8	0.74	0.74	0.70	0.76	0.82	0.72	0.71	0.78	0.73	0.67	0.62	0.65	0.64	0.61	0.66	0.64	0.62	0.53	0.66	0.70	0.72	0.61	0.67	0.59	0.68
9	0.81	0.83	0.82	0.78	0.84	0.75	0.78	0.82	0.82	0.75	0.74	0.72	0.71	0.73	0.70	0.63	0.63	0.70	0.65	0.63	0.57	0.61	0.70	0.79	0.73
10	0.86	0.75	0.89	0.89	0.88	0.77	0.74	0.77	0.78	0.76	0.80	0.73	0.75	0.65	0.66	0.82	0.82	0.85	0.83	0.78	0.88	0.80	0.78	0.87	0.80
11	0.88	0.85	0.85	0.85	0.83	0.85	0.78	0.80	0.81	0.84	0.83	0.84	0.87	0.88	0.89	0.88	0.84	0.88	0.88	0.80	0.83	0.76	0.82	0.82	0.84
12	0.87	0.81	0.90	0.89	0.88	0.86	0.81	0.84	0.77	0.80	0.86	0.80	0.87	0.83	0.85	0.87	0.74	0.82	0.85	0.76	0.86	0.86	0.84	0.90	0.84
Mean	0.82	0.82	0.84	0.84	0.85	0.78	0.76	0.79	0.76	0.75	0.73	0.73	0.72	0.72	0.73	0.73	0.69	0.74	0.73	0.70	0.75	0.73	0.78	0.82	

Per Hour



Per Month

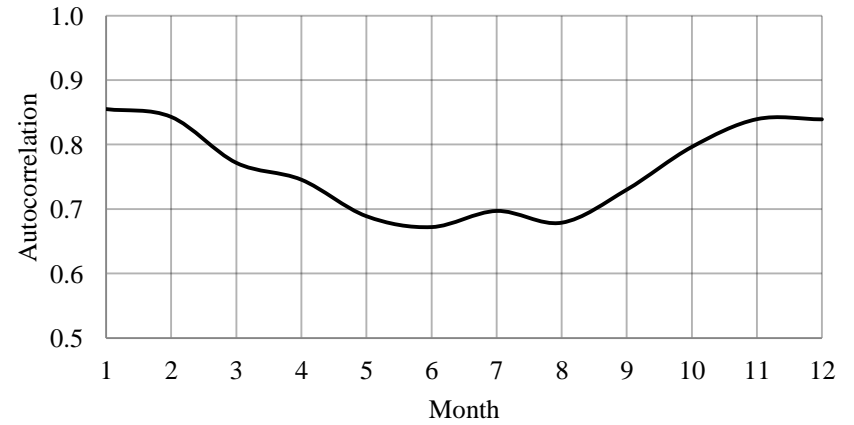
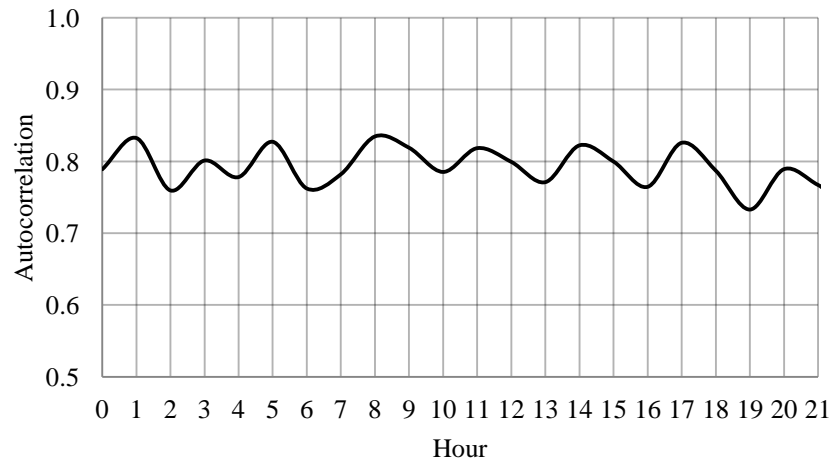


Table A2.39: Larisa hourly autocorrelation per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.83	0.93	0.64	0.84	0.86	0.86	0.80	0.83	0.88	0.90	0.85	0.89	0.88	0.85	0.88	0.87	0.83	0.86	0.80	0.83	0.87	0.84	0.82	0.89	0.85
2	0.85	0.85	0.85	0.84	0.86	0.90	0.81	0.87	0.89	0.88	0.85	0.92	0.88	0.85	0.87	0.88	0.81	0.84	0.81	0.78	0.83	0.83	0.80	0.87	0.85
3	0.83	0.88	0.89	0.83	0.78	0.85	0.82	0.82	0.87	0.82	0.83	0.86	0.88	0.84	0.88	0.84	0.81	0.84	0.79	0.78	0.79	0.80	0.74	0.85	0.83
4	0.74	0.87	0.86	0.74	0.77	0.82	0.73	0.77	0.81	0.83	0.72	0.76	0.83	0.78	0.84	0.82	0.78	0.82	0.80	0.74	0.75	0.72	0.66	0.78	0.78
5	0.76	0.77	0.50	0.78	0.71	0.83	0.74	0.71	0.79	0.78	0.79	0.83	0.79	0.76	0.82	0.78	0.71	0.81	0.77	0.73	0.78	0.75	0.74	0.79	0.76
6	0.79	0.82	0.81	0.82	0.78	0.79	0.74	0.73	0.80	0.78	0.75	0.79	0.74	0.67	0.74	0.73	0.77	0.82	0.75	0.62	0.75	0.72	0.73	0.78	0.76
7	0.77	0.96	0.69	0.75	0.69	0.75	0.72	0.76	0.80	0.75	0.67	0.70	0.66	0.66	0.73	0.72	0.69	0.81	0.72	0.68	0.74	0.67	0.66	0.79	0.73
8	0.72	0.69	0.73	0.79	0.78	0.80	0.75	0.74	0.79	0.77	0.69	0.74	0.69	0.69	0.76	0.69	0.64	0.76	0.77	0.68	0.75	0.68	0.74	0.76	0.73
9	0.72	0.75	0.71	0.68	0.64	0.74	0.66	0.70	0.79	0.81	0.77	0.79	0.72	0.71	0.75	0.73	0.72	0.78	0.78	0.66	0.75	0.75	0.64	0.75	0.73
10	0.81	0.87	0.90	0.81	0.77	0.79	0.76	0.78	0.84	0.83	0.76	0.81	0.81	0.81	0.83	0.81	0.75	0.80	0.76	0.65	0.76	0.77	0.77	0.83	0.80
11	0.84	0.75	0.58	0.87	0.82	0.90	0.79	0.83	0.85	0.82	0.83	0.84	0.85	0.82	0.88	0.86	0.82	0.89	0.80	0.83	0.88	0.89	0.79	0.86	0.83
12	0.82	0.84	0.95	0.85	0.86	0.90	0.82	0.86	0.89	0.86	0.90	0.89	0.86	0.82	0.88	0.84	0.83	0.88	0.88	0.81	0.84	0.80	0.82	0.85	0.86
Mean	0.79	0.83	0.76	0.80	0.78	0.83	0.76	0.78	0.83	0.82	0.79	0.82	0.80	0.77	0.82	0.80	0.76	0.83	0.79	0.73	0.79	0.77	0.74	0.82	

Per Hour



Per Month

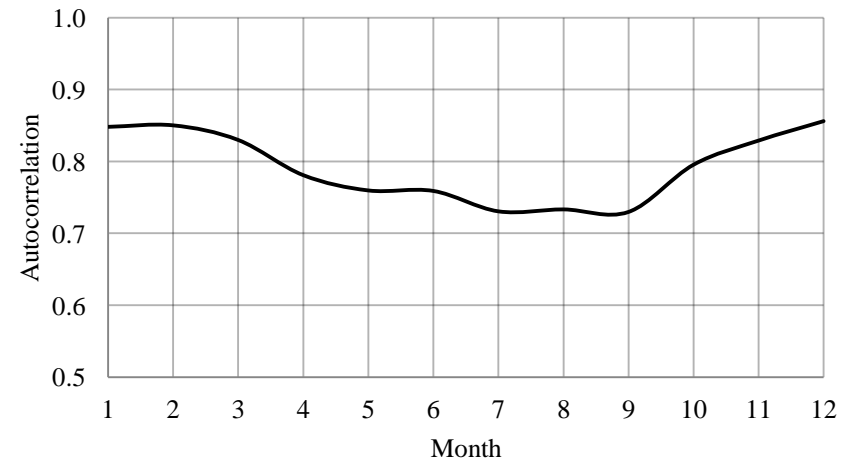
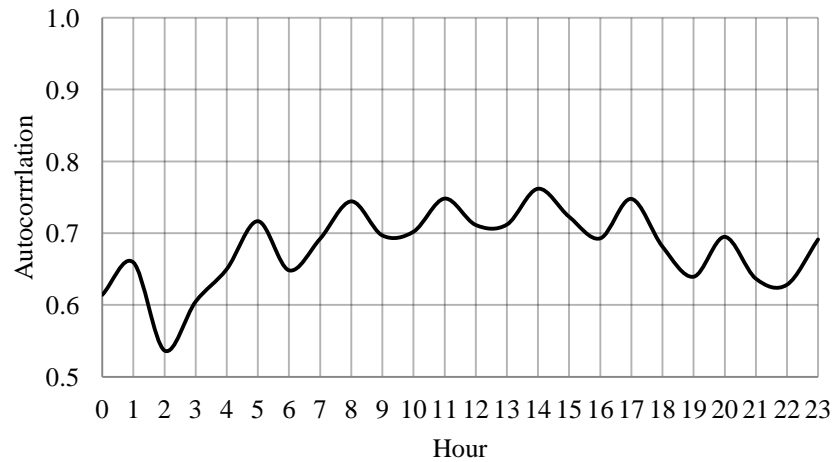


Table A2.40: Larisa hourly autocorrelation without zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.66	0.85	0.34	0.66	0.75	0.75	0.68	0.74	0.78	0.81	0.74	0.80	0.76	0.75	0.79	0.78	0.71	0.68	0.62	0.73	0.78	0.71	0.71	0.78	0.72
2	0.71	0.62	0.53	0.70	0.75	0.84	0.71	0.78	0.83	0.77	0.76	0.87	0.80	0.78	0.80	0.80	0.71	0.75	0.67	0.70	0.76	0.73	0.72	0.78	0.75
3	0.71	0.70	0.55	0.68	0.68	0.76	0.74	0.72	0.79	0.66	0.74	0.78	0.80	0.76	0.81	0.74	0.72	0.76	0.64	0.64	0.70	0.69	0.65	0.76	0.72
4	0.46	0.74	0.71	0.49	0.68	0.72	0.65	0.69	0.69	0.70	0.60	0.72	0.75	0.74	0.80	0.76	0.71	0.75	0.70	0.64	0.64	0.55	0.52	0.61	0.67
5	0.59	0.61	0.02	0.54	0.53	0.69	0.60	0.61	0.71	0.64	0.74	0.77	0.74	0.72	0.79	0.74	0.68	0.76	0.71	0.63	0.68	0.62	0.60	0.65	0.64
6	0.65	0.65	0.73	0.67	0.69	0.69	0.66	0.67	0.71	0.68	0.70	0.75	0.70	0.65	0.72	0.71	0.75	0.79	0.71	0.54	0.66	0.60	0.64	0.65	0.68
7	0.62	0.92	0.47	0.53	0.52	0.58	0.54	0.67	0.72	0.65	0.60	0.65	0.60	0.63	0.70	0.68	0.65	0.78	0.67	0.62	0.66	0.53	0.51	0.64	0.63
8	0.51	0.41	0.51	0.59	0.66	0.66	0.63	0.67	0.73	0.65	0.65	0.70	0.63	0.67	0.73	0.69	0.64	0.73	0.74	0.61	0.69	0.54	0.65	0.60	0.64
9	0.46	0.53	0.34	0.41	0.45	0.61	0.51	0.60	0.69	0.71	0.68	0.72	0.66	0.65	0.68	0.68	0.72	0.74	0.70	0.58	0.60	0.60	0.49	0.58	0.60
10	0.62	0.82	0.82	0.59	0.61	0.67	0.66	0.61	0.70	0.67	0.65	0.69	0.68	0.75	0.75	0.69	0.62	0.68	0.61	0.54	0.66	0.64	0.63	0.72	0.67
11	0.68	0.45	0.46	0.73	0.71	0.82	0.70	0.75	0.77	0.67	0.74	0.71	0.70	0.73	0.80	0.73	0.70	0.80	0.63	0.73	0.79	0.78	0.69	0.76	0.71
12	0.69	0.61	0.94	0.67	0.76	0.83	0.72	0.79	0.81	0.76	0.81	0.81	0.72	0.72	0.77	0.66	0.70	0.75	0.76	0.71	0.72	0.64	0.71	0.76	0.74
Mean	0.61	0.66	0.54	0.60	0.65	0.72	0.65	0.69	0.74	0.70	0.70	0.75	0.71	0.71	0.76	0.72	0.69	0.75	0.68	0.64	0.69	0.64	0.63	0.69	

Per Hour



Per Month

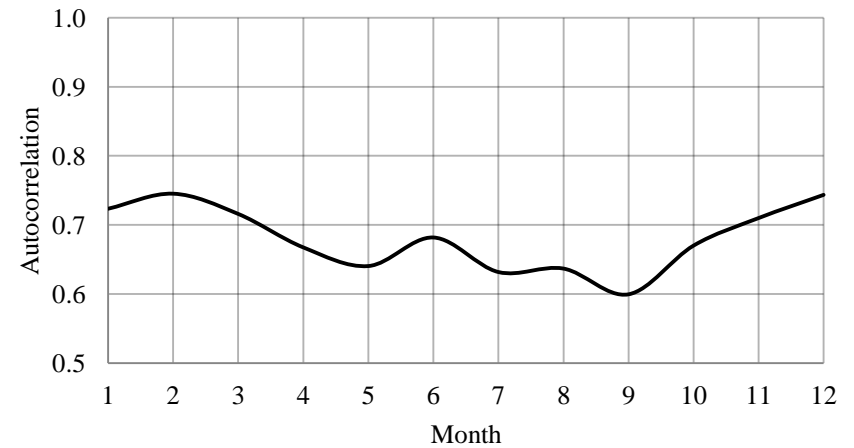
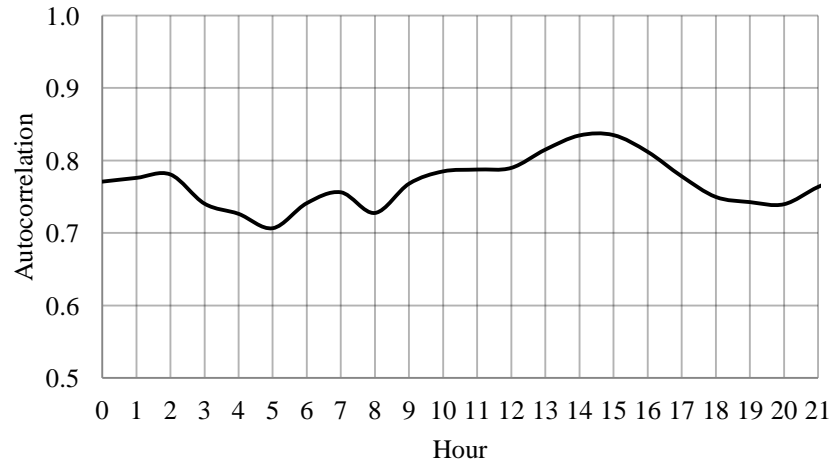


Table A2.41: Nea Anchialos hourly autocorrelation per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.81	0.84	0.83	0.81	0.81	0.80	0.70	0.77	0.82	0.81	0.86	0.85	0.85	0.86	0.86	0.85	0.84	0.70	0.76	0.80	0.72	0.81	0.80	0.79	0.81
2	0.82	0.83	0.81	0.82	0.82	0.80	0.81	0.77	0.79	0.81	0.80	0.80	0.85	0.84	0.84	0.85	0.81	0.84	0.74	0.79	0.79	0.82	0.80	0.83	0.81
3	0.84	0.80	0.80	0.79	0.73	0.71	0.73	0.75	0.78	0.80	0.85	0.82	0.83	0.79	0.83	0.87	0.82	0.78	0.79	0.82	0.81	0.78	0.83	0.82	0.80
4	0.75	0.78	0.70	0.75	0.71	0.70	0.73	0.73	0.74	0.80	0.81	0.83	0.77	0.82	0.83	0.85	0.83	0.80	0.78	0.73	0.77	0.81	0.80	0.76	0.77
5	0.79	0.79	0.80	0.68	0.68	0.63	0.76	0.80	0.76	0.77	0.82	0.77	0.83	0.85	0.85	0.83	0.78	0.80	0.76	0.74	0.76	0.74	0.78	0.82	0.77
6	0.78	0.75	0.76	0.67	0.68	0.54	0.79	0.74	0.68	0.70	0.70	0.76	0.73	0.70	0.76	0.80	0.80	0.91	0.73	0.70	0.67	0.69	0.76	0.80	0.73
7	0.75	0.72	0.65	0.66	0.65	0.67	0.68	0.71	0.58	0.71	0.74	0.73	0.78	0.79	0.82	0.80	0.77	0.75	0.78	0.66	0.63	0.74	0.67	0.65	0.71
8	0.64	0.73	0.73	0.73	0.63	0.64	0.70	0.69	0.70	0.73	0.71	0.66	0.58	0.77	0.82	0.77	0.76	0.70	0.68	0.63	0.59	0.73	0.73	0.75	0.70
9	0.72	0.74	0.78	0.63	0.69	0.63	0.63	0.68	0.69	0.68	0.72	0.79	0.80	0.85	0.82	0.87	0.84	0.75	0.67	0.68	0.68	0.70	0.72	0.74	0.73
10	0.77	0.81	0.77	0.72	0.70	0.77	0.76	0.80	0.72	0.74	0.76	0.77	0.82	0.84	0.87	0.84	0.81	0.74	0.65	0.73	0.77	0.78	0.81	0.82	0.77
11	0.87	0.82	0.87	0.84	0.81	0.80	0.78	0.82	0.75	0.83	0.81	0.80	0.80	0.82	0.86	0.85	0.85	0.79	0.81	0.83	0.84	0.79	0.88	0.87	0.82
12	0.70	0.70	0.86	0.79	0.81	0.78	0.83	0.83	0.74	0.84	0.84	0.87	0.84	0.85	0.86	0.85	0.85	0.79	0.86	0.80	0.82	0.78	0.81	0.83	0.81
Mean	0.77	0.78	0.78	0.74	0.73	0.71	0.74	0.76	0.73	0.77	0.79	0.79	0.79	0.82	0.83	0.84	0.81	0.78	0.75	0.74	0.74	0.76	0.78	0.79	

Per Hour



Per Month

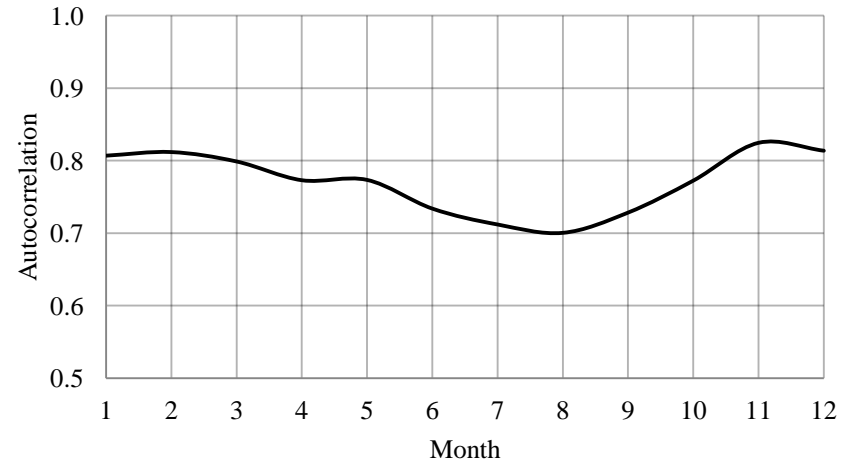
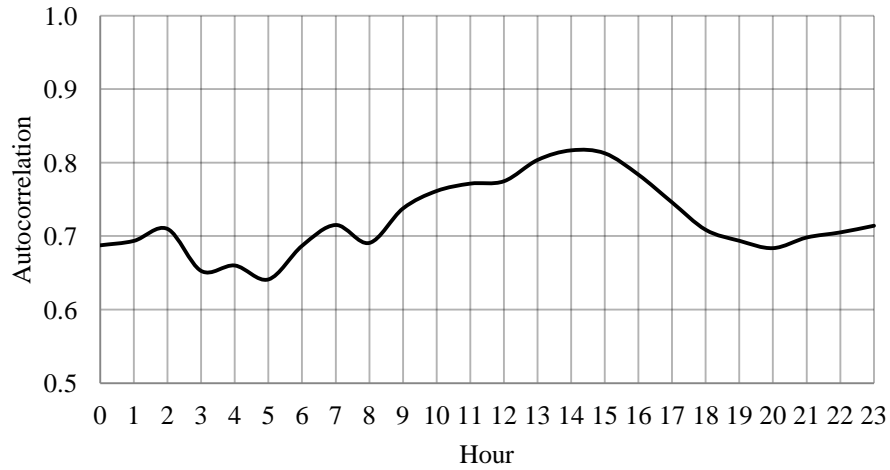


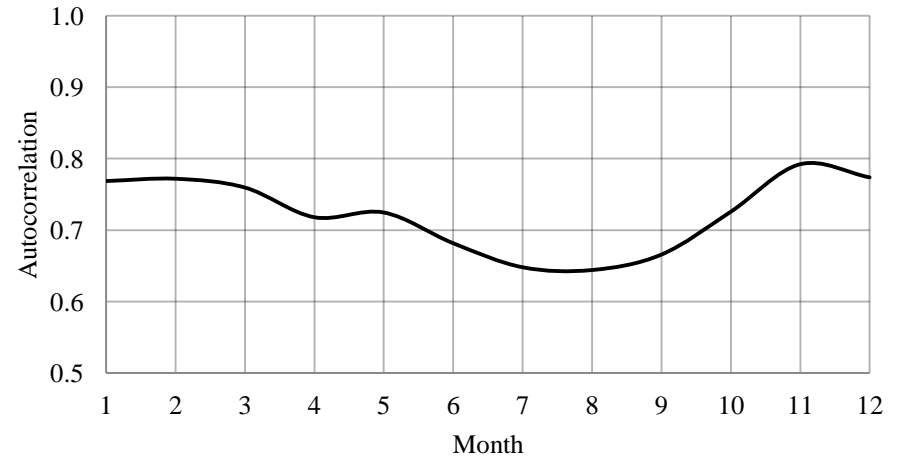
Table A2.42: Nea Anchialos hourly autocorrelation without zero values per month & per hour

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.77	0.80	0.79	0.77	0.79	0.77	0.68	0.74	0.79	0.78	0.81	0.81	0.82	0.83	0.82	0.81	0.79	0.64	0.70	0.76	0.69	0.79	0.76	0.76	0.77
2	0.76	0.80	0.74	0.78	0.79	0.76	0.77	0.74	0.77	0.76	0.76	0.77	0.84	0.82	0.81	0.82	0.77	0.79	0.69	0.74	0.77	0.77	0.73	0.78	0.77
3	0.79	0.77	0.75	0.72	0.67	0.65	0.70	0.72	0.73	0.76	0.81	0.79	0.80	0.78	0.81	0.85	0.79	0.76	0.76	0.77	0.76	0.72	0.79	0.77	0.76
4	0.65	0.66	0.61	0.65	0.63	0.59	0.67	0.63	0.69	0.77	0.80	0.82	0.77	0.82	0.81	0.83	0.80	0.77	0.73	0.68	0.72	0.74	0.71	0.69	0.72
5	0.70	0.67	0.72	0.56	0.61	0.53	0.67	0.76	0.74	0.76	0.81	0.76	0.81	0.83	0.85	0.82	0.77	0.80	0.73	0.70	0.71	0.67	0.70	0.74	0.72
6	0.66	0.61	0.67	0.57	0.57	0.46	0.72	0.70	0.66	0.68	0.70	0.76	0.73	0.71	0.75	0.79	0.79	0.91	0.70	0.65	0.59	0.61	0.68	0.68	0.68
7	0.65	0.61	0.53	0.47	0.51	0.58	0.57	0.64	0.53	0.69	0.73	0.73	0.79	0.80	0.81	0.80	0.76	0.72	0.75	0.59	0.55	0.66	0.54	0.53	0.65
8	0.51	0.62	0.64	0.63	0.54	0.55	0.65	0.64	0.66	0.72	0.70	0.67	0.58	0.77	0.82	0.76	0.74	0.66	0.65	0.59	0.50	0.62	0.60	0.62	0.64
9	0.60	0.61	0.69	0.49	0.61	0.55	0.53	0.61	0.66	0.65	0.70	0.77	0.78	0.83	0.81	0.86	0.82	0.72	0.60	0.63	0.62	0.60	0.60	0.64	0.67
10	0.69	0.76	0.70	0.64	0.65	0.71	0.72	0.79	0.67	0.71	0.75	0.75	0.80	0.83	0.85	0.80	0.75	0.68	0.61	0.67	0.70	0.71	0.74	0.74	0.73
11	0.84	0.79	0.85	0.80	0.79	0.79	0.76	0.81	0.71	0.78	0.77	0.78	0.78	0.80	0.83	0.81	0.80	0.75	0.77	0.80	0.81	0.75	0.83	0.83	0.79
12	0.63	0.63	0.83	0.76	0.77	0.75	0.79	0.81	0.69	0.79	0.80	0.84	0.81	0.83	0.83	0.81	0.82	0.75	0.82	0.74	0.78	0.74	0.76	0.78	0.77
Mean	0.69	0.69	0.71	0.65	0.66	0.64	0.69	0.72	0.69	0.74	0.76	0.77	0.77	0.80	0.82	0.81	0.78	0.75	0.71	0.69	0.68	0.70	0.71	0.71	

Per Hour



Per Month

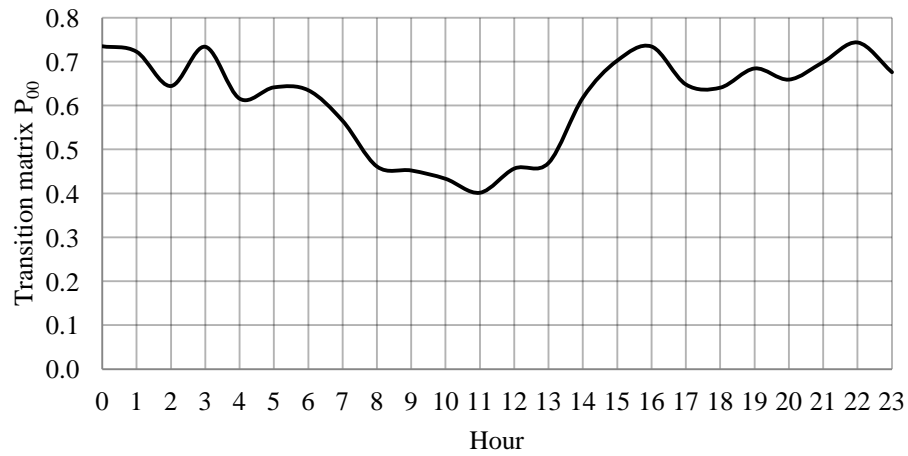


Παράρτημα Β

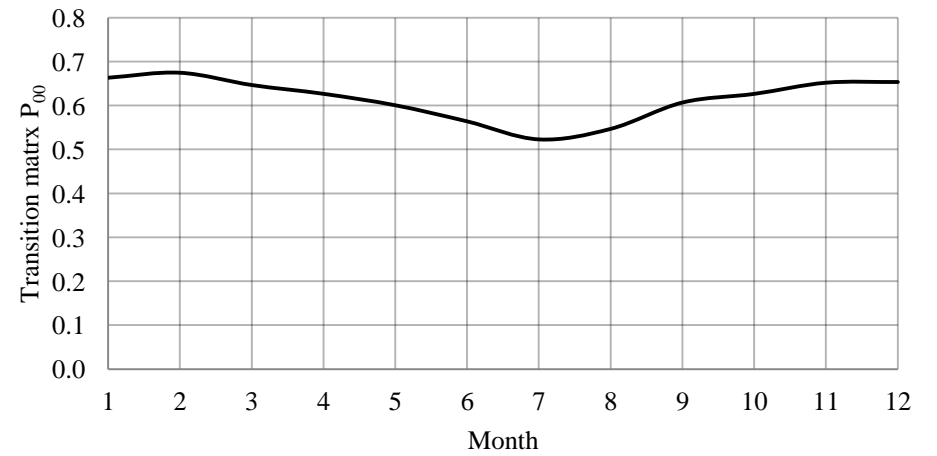
Ακολουθούν οι πίνακες πιθανοτήτων μετάβασης P00, P01, P10 και P11 και τα αντίστοιχα γραφήματα των μέσων τιμών τους ανά ώρα και ανά μήνα. Έπειτα, αναγράφονται οι πίνακες και τα γραφήματα με τα αποτελέσματα και τα στατιστικά χαρακτηριστικά των συνθετικών χρονοσειρών που παράχθηκαν.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.73	0.73	0.71	0.68	0.67	0.57	0.49	0.68	0.67	0.73	0.66	0.59	0.58	0.69	0.83	0.86	0.64	0.55	0.47	0.67	0.64	0.73	0.76	0.62	0.66
2	0.74	0.69	0.73	0.70	0.67	0.65	0.72	0.75	0.60	0.60	0.53	0.52	0.53	0.71	0.64	0.76	0.69	0.69	0.60	0.69	0.73	0.80	0.75	0.71	0.67
3	0.72	0.75	0.66	0.73	0.65	0.56	0.67	0.64	0.47	0.45	0.58	0.59	0.59	0.59	0.79	0.74	0.56	0.59	0.65	0.74	0.65	0.69	0.68	0.78	0.65
4	0.79	0.69	0.68	0.76	0.66	0.71	0.71	0.57	0.40	0.51	0.39	0.35	0.09	0.75	0.54	0.83	0.74	0.68	0.70	0.65	0.69	0.75	0.76	0.64	0.63
5	0.80	0.80	0.67	0.71	0.73	0.79	0.61	0.37	0.40	0.41	0.36	0.30	0.80	0.50	0.25	0.57	0.58	0.60	0.67	0.70	0.64	0.68	0.76	0.73	0.60
6	0.77	0.78	0.61	0.73	0.76	0.83	0.56	0.26	0.38	0.15	0.17	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	1.00	0.71	0.83	0.73	0.65	0.63	0.73	0.77	0.56
7	0.68	0.58	0.57	0.80	0.59	0.72	0.65	0.37	0.32	0.36	0.33	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00	1.00	0.89	0.72	0.66	0.66	0.63	0.64	0.71	0.52
8	0.65	0.74	0.67	0.71	0.52	0.59	0.68	0.43	0.23	0.35	0.33	0.00	0.00	0.00	1.00	0.50	1.00	0.75	0.57	0.69	0.68	0.65	0.73	0.65	0.55
9	0.67	0.82	0.63	0.73	0.48	0.60	0.71	0.65	0.29	0.28	0.30	0.67	0.60	0.50	0.67	0.70	0.75	0.58	0.67	0.72	0.55	0.70	0.63	0.66	0.61
10	0.68	0.68	0.52	0.76	0.41	0.72	0.71	0.63	0.52	0.33	0.33	0.38	0.71	0.64	0.69	0.87	0.81	0.57	0.50	0.59	0.75	0.71	0.83	0.70	0.63
11	0.76	0.74	0.74	0.71	0.62	0.40	0.61	0.66	0.66	0.59	0.56	0.57	0.59	0.64	0.80	0.77	0.59	0.57	0.55	0.68	0.61	0.72	0.87	0.64	0.65
12	0.83	0.67	0.56	0.79	0.62	0.57	0.50	0.77	0.61	0.68	0.66	0.52	0.65	0.62	0.70	0.82	0.45	0.59	0.77	0.70	0.65	0.69	0.79	0.49	0.65
Mean	0.73	0.72	0.64	0.73	0.62	0.64	0.63	0.57	0.46	0.45	0.43	0.40	0.46	0.47	0.62	0.70	0.73	0.65	0.64	0.68	0.66	0.70	0.74	0.68	

Per Hour

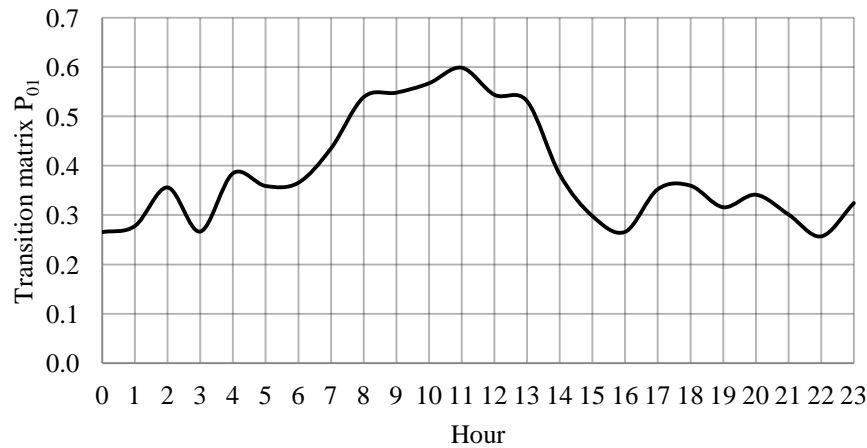


Per Month



	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.27	0.27	0.29	0.32	0.33	0.43	0.51	0.32	0.33	0.27	0.34	0.41	0.42	0.31	0.17	0.14	0.36	0.45	0.53	0.33	0.36	0.28	0.24	0.38	0.34
2	0.26	0.31	0.27	0.30	0.33	0.35	0.28	0.25	0.40	0.40	0.47	0.48	0.47	0.29	0.36	0.24	0.31	0.31	0.40	0.31	0.27	0.20	0.25	0.29	0.33
3	0.28	0.25	0.34	0.27	0.35	0.44	0.33	0.36	0.53	0.55	0.42	0.41	0.41	0.41	0.21	0.26	0.44	0.41	0.35	0.26	0.35	0.31	0.32	0.22	0.35
4	0.21	0.31	0.32	0.24	0.34	0.29	0.29	0.43	0.60	0.49	0.61	0.65	0.91	0.25	0.46	0.17	0.26	0.32	0.30	0.35	0.31	0.25	0.24	0.36	0.37
5	0.20	0.20	0.33	0.29	0.27	0.21	0.39	0.63	0.60	0.59	0.64	0.70	0.20	0.50	0.75	0.43	0.42	0.40	0.33	0.30	0.36	0.32	0.24	0.27	0.40
6	0.23	0.22	0.39	0.27	0.24	0.17	0.44	0.74	0.62	0.85	0.83	1.00	1.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.29	0.17	0.27	0.35	0.37	0.28	0.23	0.44
7	0.32	0.42	0.43	0.20	0.41	0.28	0.35	0.63	0.68	0.64	0.67	0.67	0.67	1.00	1.00	1.00	0.00	0.11	0.28	0.34	0.34	0.37	0.36	0.29	0.48
8	0.35	0.26	0.33	0.29	0.48	0.41	0.32	0.57	0.77	0.65	0.67	1.00	1.00	1.00	0.00	0.50	0.00	0.25	0.43	0.31	0.32	0.35	0.27	0.35	0.45
9	0.33	0.18	0.37	0.27	0.52	0.40	0.29	0.35	0.71	0.72	0.70	0.33	0.40	0.50	0.33	0.30	0.25	0.42	0.33	0.28	0.45	0.30	0.37	0.34	0.39
10	0.32	0.32	0.48	0.24	0.59	0.28	0.29	0.37	0.48	0.67	0.67	0.63	0.29	0.36	0.31	0.13	0.19	0.43	0.50	0.41	0.25	0.29	0.17	0.30	0.37
11	0.24	0.26	0.26	0.29	0.38	0.60	0.39	0.34	0.34	0.41	0.44	0.43	0.41	0.36	0.20	0.23	0.41	0.43	0.45	0.32	0.39	0.28	0.13	0.36	0.35
12	0.17	0.33	0.44	0.21	0.38	0.43	0.50	0.23	0.39	0.32	0.34	0.48	0.35	0.38	0.30	0.18	0.55	0.41	0.23	0.30	0.35	0.31	0.21	0.51	0.35
Mean	0.27	0.28	0.36	0.27	0.38	0.36	0.37	0.43	0.54	0.55	0.57	0.60	0.54	0.53	0.38	0.30	0.27	0.35	0.36	0.32	0.34	0.30	0.26	0.32	

Per Hour



Per Month

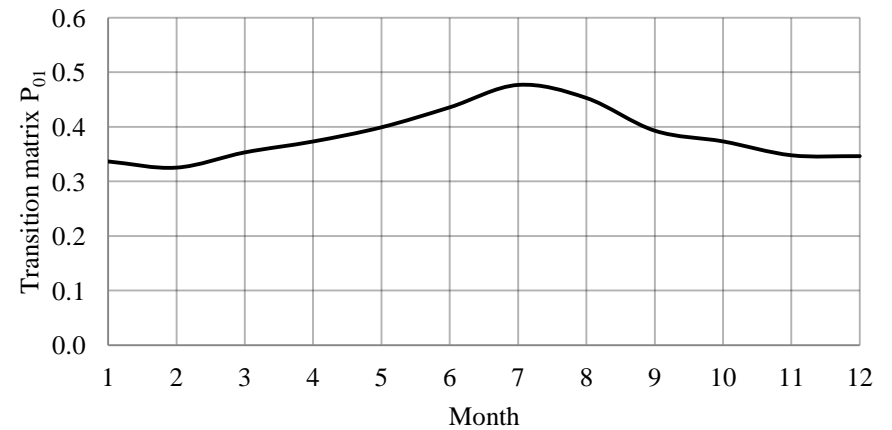
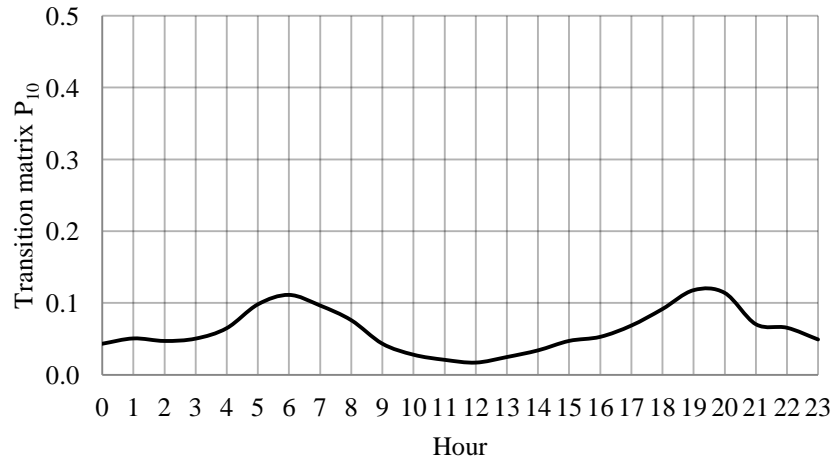


Table B.3: Transition matrix P_{10}

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.03	0.02	0.02	0.01	0.05	0.04	0.06	0.07	0.09	0.12	0.06	0.02	0.04	0.05	0.09	0.10	0.08	0.06	0.03	0.03	0.05	0.06	0.04	0.05	0.05
2	0.03	0.06	0.03	0.05	0.05	0.05	0.06	0.11	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.04	0.06	0.04	0.06
3	0.04	0.09	0.04	0.06	0.06	0.07	0.10	0.21	0.09	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.03	0.08	0.08	0.11	0.07	0.07	0.05	0.07	0.05	0.06
4	0.07	0.05	0.10	0.06	0.09	0.12	0.25	0.12	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.09	0.08	0.15	0.17	0.06	0.08	0.10	0.07
5	0.06	0.06	0.07	0.07	0.09	0.23	0.15	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.09	0.15	0.18	0.13	0.10	0.08	0.06	0.07
6	0.07	0.06	0.06	0.08	0.12	0.24	0.13	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.14	0.16	0.20	0.13	0.10	0.07	0.07
7	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.15	0.13	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.11	0.19	0.20	0.11	0.07	0.05	0.06
8	0.03	0.05	0.04	0.04	0.06	0.08	0.16	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.10	0.20	0.20	0.08	0.05	0.04	0.05
9	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.13	0.17	0.04	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.07	0.11	0.20	0.16	0.05	0.07	0.04	0.06
10	0.04	0.06	0.03	0.06	0.04	0.05	0.08	0.15	0.15	0.05	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03	0.05	0.10	0.13	0.12	0.10	0.07	0.07	0.09	0.04	0.07
11	0.02	0.04	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.07	0.14	0.10	0.05	0.08	0.04	0.06	0.09	0.16	0.09	0.07	0.05	0.06	0.03	0.04	0.03	0.02	0.06
12	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.02	0.06	0.13	0.08	0.09	0.05	0.04	0.06	0.07	0.09	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05	0.03	0.05
Mean	0.04	0.05	0.05	0.05	0.07	0.10	0.11	0.10	0.08	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.05	0.07	0.09	0.12	0.11	0.07	0.07	0.05	

Per Hour



Per Month

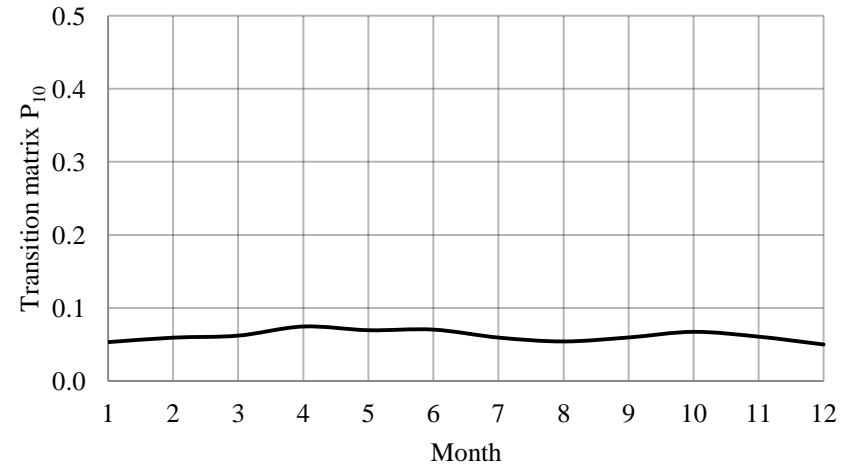
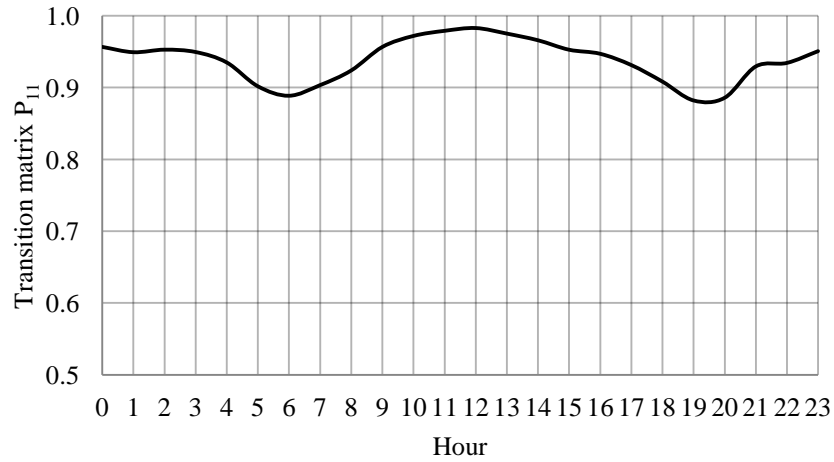


Table B.4: Transition matrix P_{11}

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.97	0.98	0.98	0.99	0.95	0.96	0.94	0.93	0.91	0.88	0.94	0.98	0.96	0.95	0.91	0.90	0.92	0.94	0.97	0.97	0.95	0.94	0.96	0.95	0.95
2	0.97	0.94	0.97	0.95	0.95	0.95	0.94	0.89	0.83	0.93	0.96	0.97	0.97	0.96	0.95	0.93	0.90	0.92	0.94	0.95	0.94	0.96	0.94	0.96	0.94
3	0.96	0.91	0.96	0.94	0.94	0.93	0.90	0.79	0.91	0.97	0.99	0.99	0.99	0.98	0.96	0.97	0.92	0.92	0.89	0.93	0.93	0.95	0.93	0.95	0.94
4	0.93	0.95	0.90	0.94	0.91	0.88	0.75	0.88	0.95	0.99	0.98	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.96	0.91	0.92	0.85	0.83	0.94	0.92	0.90	0.93
5	0.94	0.94	0.93	0.93	0.91	0.77	0.85	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.96	0.91	0.85	0.82	0.87	0.90	0.92	0.94	0.93
6	0.93	0.94	0.94	0.92	0.88	0.76	0.87	0.97	0.98	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.95	0.86	0.84	0.80	0.87	0.90	0.93	0.93
7	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.85	0.87	0.96	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99	0.97	0.89	0.81	0.80	0.89	0.93	0.95	0.94
8	0.97	0.95	0.96	0.96	0.94	0.92	0.84	0.91	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.90	0.80	0.80	0.92	0.95	0.96	0.95
9	0.97	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.87	0.83	0.96	0.98	0.98	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	0.97	0.93	0.89	0.80	0.84	0.95	0.93	0.96	0.94
10	0.96	0.94	0.97	0.94	0.96	0.95	0.92	0.85	0.85	0.95	0.97	0.98	0.99	0.98	0.97	0.95	0.90	0.87	0.88	0.90	0.93	0.93	0.91	0.96	0.93
11	0.98	0.96	0.97	0.96	0.95	0.95	0.95	0.93	0.86	0.90	0.95	0.92	0.96	0.94	0.91	0.84	0.91	0.93	0.95	0.94	0.97	0.96	0.97	0.98	0.94
12	0.96	0.97	0.97	0.96	0.96	0.95	0.98	0.94	0.87	0.92	0.91	0.95	0.96	0.94	0.93	0.91	0.96	0.97	0.96	0.97	0.97	0.96	0.95	0.97	0.95
Mean	0.96	0.95	0.95	0.95	0.93	0.90	0.89	0.90	0.92	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98	0.97	0.95	0.95	0.93	0.91	0.88	0.89	0.93	0.93	0.95	

Per Hour



Per Month

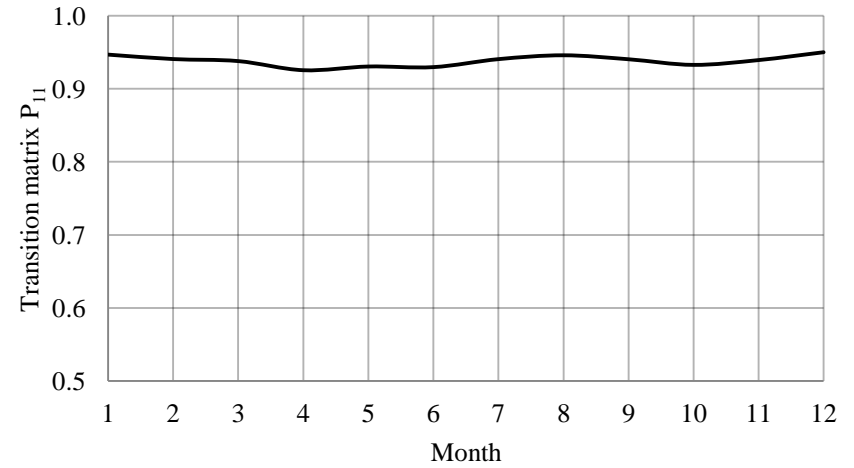
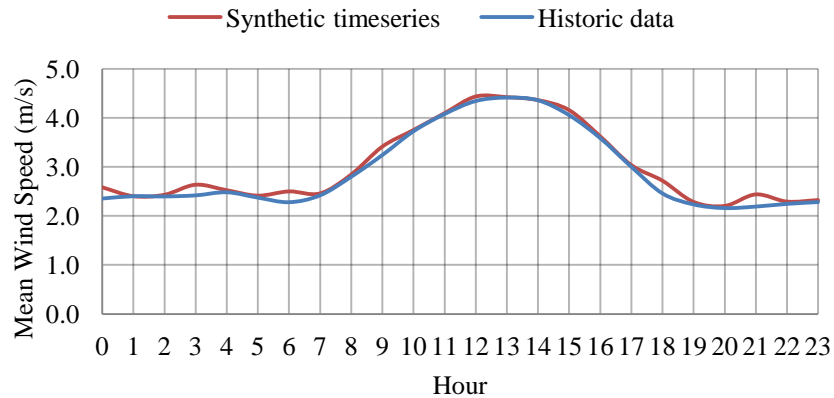


Table B.5: Nea Anchialos synthetic hourly mean

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	3.09	2.78	2.86	3.28	2.90	2.85	3.11	2.90	2.85	3.19	3.16	3.42	3.77	3.27	3.14	2.91	2.42	2.61	3.10	2.88	2.84	3.04	2.65	2.73	2.99
2	2.89	2.67	2.67	2.91	2.70	2.80	2.98	2.63	2.49	3.03	3.26	3.55	4.00	3.71	3.73	3.61	2.97	2.68	2.95	2.72	2.76	2.92	2.58	2.65	2.99
3	2.80	2.53	2.56	2.78	2.65	2.66	2.72	2.26	2.73	3.49	3.69	3.99	4.29	4.23	4.25	4.01	3.52	2.95	2.80	2.60	2.67	2.83	2.65	2.64	3.10
4	2.23	2.17	2.11	2.25	2.19	1.96	1.87	1.98	2.81	3.46	3.85	4.29	4.60	4.63	4.47	4.44	3.89	3.07	2.73	2.21	2.05	2.35	2.07	2.04	2.91
5	2.27	2.09	2.03	2.16	2.15	1.71	1.91	2.58	3.38	3.83	4.42	4.74	4.86	5.08	5.00	4.68	4.13	3.12	2.52	2.04	1.93	2.10	2.05	2.06	3.04
6	2.06	1.94	2.01	2.20	2.06	1.69	2.06	2.65	3.43	4.07	4.63	5.04	5.48	5.66	5.61	5.35	4.76	3.81	2.67	1.88	1.63	1.90	1.92	1.93	3.19
7	2.30	2.14	2.25	2.45	2.39	2.08	2.18	2.52	3.17	3.81	4.33	4.87	5.39	5.62	5.61	5.44	4.92	3.84	2.67	1.83	1.58	1.86	1.95	2.06	3.22
8	2.37	2.28	2.36	2.49	2.45	2.33	2.20	2.20	3.02	3.70	4.39	5.04	5.49	5.66	5.73	5.66	4.83	3.56	2.57	1.77	1.56	1.84	1.96	2.04	3.23
9	2.42	2.26	2.15	2.40	2.40	2.33	2.18	1.86	2.60	3.38	3.85	4.37	4.84	5.01	5.04	4.83	4.18	3.20	2.51	1.81	1.63	2.05	2.02	2.10	2.98
10	2.48	2.34	2.42	2.61	2.62	2.63	2.66	2.28	2.31	2.97	3.31	3.66	3.96	3.80	3.73	3.54	2.82	2.18	2.23	2.06	2.07	2.31	2.06	2.11	2.72
11	2.88	2.74	2.77	2.82	2.83	2.94	2.89	2.70	2.56	2.80	2.99	2.94	3.05	3.05	2.89	2.43	2.27	2.45	2.66	2.66	2.71	2.88	2.69	2.69	2.76
12	3.22	2.90	3.00	3.29	2.97	3.01	3.25	2.97	2.77	3.22	3.14	3.23	3.47	3.31	3.11	2.99	2.76	2.97	3.23	2.98	3.02	3.19	2.92	2.85	3.07
Mean	2.58	2.40	2.43	2.64	2.53	2.42	2.50	2.46	2.85	3.41	3.75	4.09	4.43	4.42	4.36	4.16	3.62	3.04	2.72	2.29	2.21	2.44	2.29	2.32	

Per Hour



Per Month

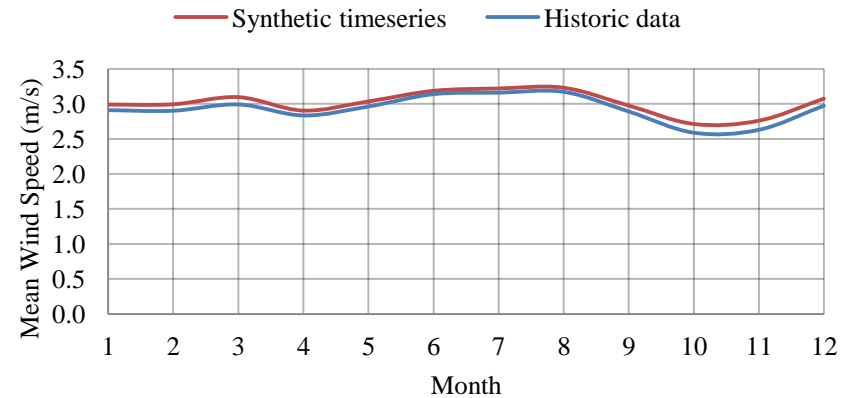
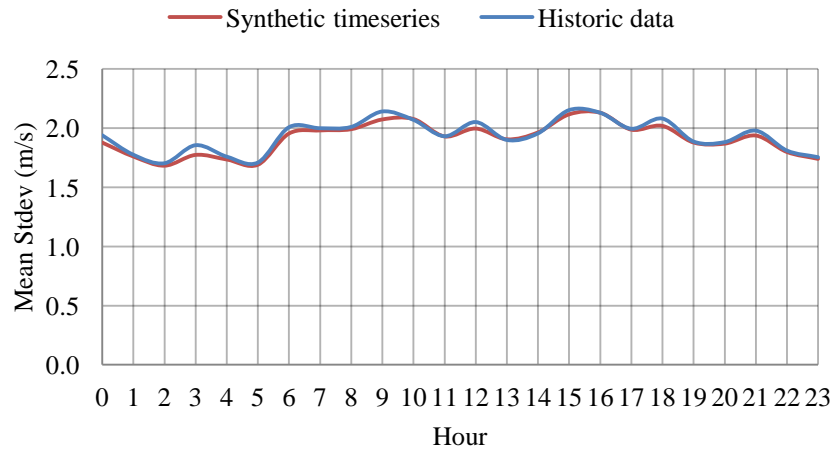


Table B.6: Nea Anchialos synthetic hourly standard deviation

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	2.15	1.77	1.94	2.16	1.84	1.77	1.98	2.00	2.23	2.63	2.56	2.47	2.53	2.24	2.39	2.42	2.25	1.88	2.07	1.79	1.82	2.10	1.80	1.94	2.11
2	2.13	2.63	1.87	2.08	1.88	1.98	2.19	2.20	2.31	2.66	2.50	2.19	2.44	2.26	2.22	2.59	2.43	2.19	2.41	2.18	2.19	2.22	1.92	1.87	2.23
3	2.17	2.01	1.97	2.08	2.11	1.93	2.16	2.14	2.39	2.43	2.18	1.98	2.20	2.14	2.33	2.36	2.33	2.24	2.29	2.16	2.17	2.08	2.01	2.05	2.16
4	1.81	1.71	1.69	1.74	1.78	1.60	1.98	1.95	2.09	2.10	2.05	1.96	2.07	2.08	2.08	2.29	2.22	2.02	2.14	2.01	2.09	2.08	1.85	1.73	1.96
5	1.81	1.72	1.60	1.65	1.94	1.69	2.05	2.07	1.79	1.78	2.90	1.81	1.99	2.02	2.06	2.08	2.07	1.99	2.04	2.07	1.96	1.91	1.86	1.72	1.94
6	1.68	1.58	1.58	1.62	1.79	1.73	2.07	1.84	1.57	1.54	1.44	1.44	1.59	1.54	1.57	1.78	2.80	2.71	1.92	1.75	1.70	1.84	1.76	1.70	1.77
7	1.58	1.38	1.36	1.43	1.41	1.54	1.89	2.03	1.64	1.56	1.52	1.48	1.65	1.49	1.46	1.72	1.64	1.57	1.77	1.67	1.73	1.77	1.74	1.52	1.61
8	1.51	1.44	1.42	1.47	1.39	1.40	1.80	1.86	1.64	1.49	1.51	1.70	1.47	1.40	1.42	1.59	1.51	1.60	1.64	1.65	1.61	1.67	1.52	1.45	1.55
9	1.61	1.42	1.44	1.45	1.39	1.34	1.63	1.81	1.87	1.77	1.54	1.65	1.72	1.68	1.87	1.92	1.88	1.84	1.74	1.67	1.65	1.63	1.58	1.48	1.65
10	1.95	1.67	1.56	1.77	1.59	1.60	2.02	2.03	2.15	2.19	1.85	1.82	1.87	1.68	1.74	1.97	1.97	1.85	1.96	1.73	1.67	1.98	1.81	1.81	1.84
11	1.88	1.88	1.87	1.84	1.93	1.90	1.87	1.97	2.13	2.27	2.29	2.21	2.01	2.03	2.14	2.17	2.18	2.00	2.05	2.00	1.92	1.92	1.92	1.86	2.01
12	2.23	1.89	1.90	1.97	1.78	1.81	1.83	1.86	2.08	2.45	2.57	2.45	2.39	2.29	2.27	2.50	2.26	1.93	2.18	1.86	1.90	2.04	1.81	1.75	2.08
Mean	1.88	1.76	1.68	1.77	1.73	1.69	1.95	1.98	1.99	2.07	2.08	1.93	2.00	1.90	1.96	2.12	2.13	1.99	2.02	1.88	1.87	1.94	1.80	1.74	

Per Hour



Per Hour

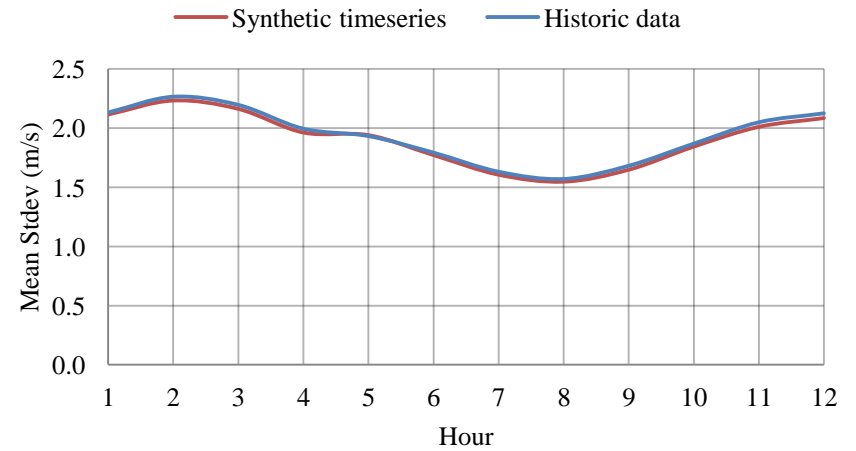
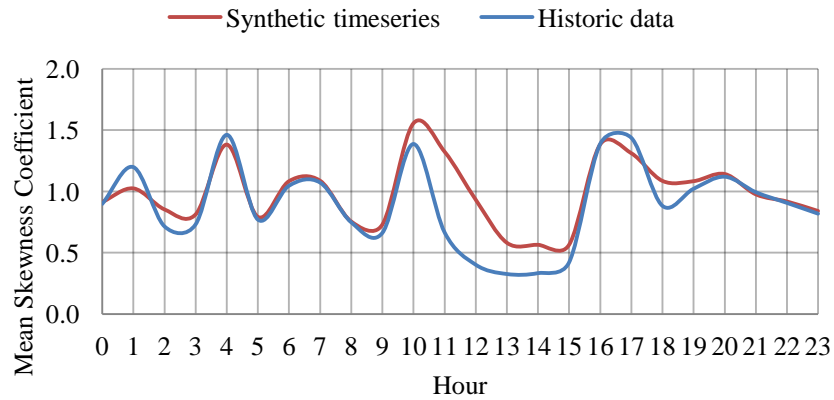


Table B.7: Nea Anchialos synthetic hourly skewness coefficient

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	1.10	1.07	1.80	1.53	1.27	0.96	1.07	1.34	1.18	0.91	0.82	0.76	0.82	0.73	0.94	0.87	1.96	0.62	1.01	1.17	1.26	1.23	0.97	1.57	1.12
2	0.95	4.94	2.49	1.77	1.30	1.27	1.21	1.06	1.15	1.16	1.20	0.54	0.79	0.74	0.68	1.01	1.06	0.89	1.20	1.36	1.55	1.17	0.73	0.60	1.28
3	0.99	0.98	0.81	0.79	1.54	1.04	1.03	0.88	0.74	0.63	0.48	0.53	0.68	0.66	0.65	0.59	0.53	0.83	0.72	0.77	0.91	0.62	0.84	1.26	0.81
4	0.60	0.48	0.49	0.57	1.60	0.58	0.94	0.84	0.67	0.77	0.79	1.07	0.94	0.37	0.59	0.43	0.60	0.50	0.81	0.88	1.06	0.86	0.83	0.71	0.75
5	0.69	0.96	0.77	0.73	4.11	0.81	1.29	0.85	0.60	0.79	12.29	7.87	4.29	2.37	2.04	1.21	0.82	0.73	0.76	1.29	1.14	0.93	1.10	0.76	2.05
6	0.54	0.43	0.57	0.51	3.28	0.76	0.89	0.63	0.32	0.77	0.33	0.07	0.19	0.00	0.02	0.08	8.96	8.29	3.31	1.74	1.32	0.92	0.72	0.64	1.47
7	0.39	0.10	-0.04	0.03	-0.01	0.26	0.61	2.18	0.43	0.46	-0.01	-0.21	0.11	-0.06	0.13	0.32	-0.10	0.18	0.64	0.95	1.27	0.97	1.55	0.43	0.44
8	0.39	0.09	-0.03	0.23	0.14	0.15	0.66	0.78	0.58	0.52	0.16	2.65	1.03	0.43	0.15	0.17	-0.10	0.21	0.60	1.16	1.03	0.81	0.47	0.27	0.52
9	1.01	0.32	0.41	0.36	0.36	0.34	1.07	0.87	0.77	0.47	0.11	0.03	0.16	-0.15	-0.09	-0.01	0.13	0.31	0.62	0.86	1.07	0.45	0.76	0.67	0.45
10	1.24	0.79	0.59	1.13	0.75	0.78	1.39	1.07	1.01	0.95	0.77	0.77	0.78	0.28	0.21	0.35	0.51	1.21	1.24	1.05	1.05	1.36	1.30	1.39	0.92
11	1.25	1.31	1.42	1.29	1.49	1.67	2.00	1.71	0.86	0.61	0.84	1.12	0.64	0.72	0.58	0.71	1.12	0.99	0.89	1.20	1.40	1.11	1.15	1.15	1.13
12	1.81	0.83	0.96	0.82	0.76	0.88	0.84	0.85	0.73	0.71	0.90	0.71	0.77	0.89	0.87	1.04	1.12	1.00	1.23	0.59	0.66	1.30	0.60	0.63	0.90
Mean	0.91	1.03	0.85	0.81	1.38	0.79	1.08	1.09	0.75	0.73	1.56	1.33	0.93	0.58	0.56	0.56	1.38	1.31	1.09	1.08	1.14	0.98	0.92	0.84	

Per Hour



Per Month

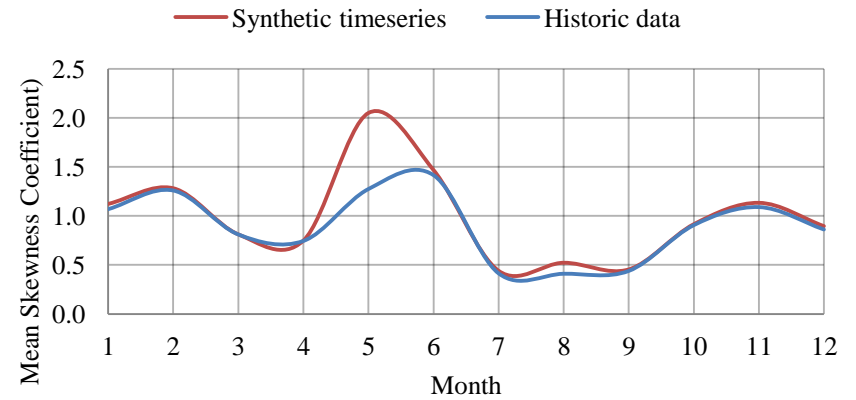
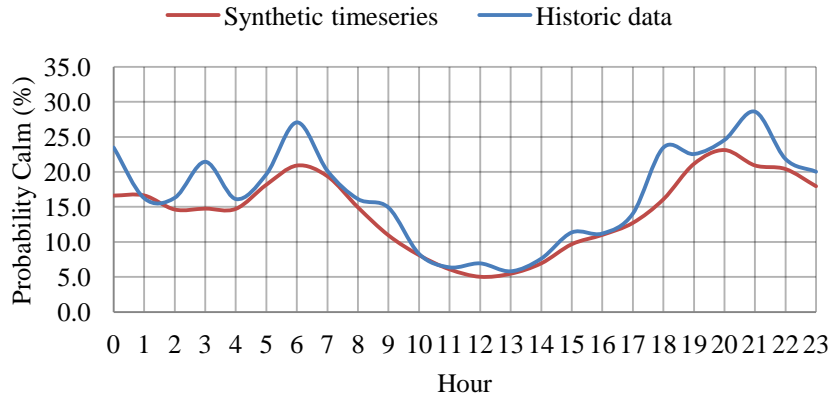


Table B.8: Nea Anchialos synthetic probability calm (%)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	12.0	10.8	9.6	7.7	9.9	9.4	10.1	12.9	16.6	22.0	18.7	12.5	10.8	12.2	18.0	23.4	21.4	16.7	10.4	9.1	9.9	13.1	13.4	12.7	13.5
2	14.5	16.6	13.3	13.5	13.7	13.5	14.8	20.8	25.7	20.5	14.2	10.0	7.9	8.9	9.9	14.1	18.7	19.6	16.8	15.2	16.2	16.3	17.1	15.7	15.3
3	16.0	19.4	16.4	16.7	16.0	14.6	18.3	29.2	23.1	12.4	8.1	5.8	4.8	4.4	6.9	8.3	12.1	15.4	20.4	20.4	18.5	16.8	16.8	17.2	14.9
4	24.2	21.8	22.9	21.6	21.6	25.2	37.7	31.1	15.5	8.6	4.9	2.4	1.7	3.2	3.3	5.9	7.7	13.6	17.4	25.2	31.2	26.6	26.3	24.5	17.7
5	22.6	22.3	20.7	20.2	22.2	36.5	33.9	16.3	5.8	3.6	2.1	1.9	2.8	3.0	2.1	2.8	5.7	12.2	21.0	29.6	29.3	26.2	25.6	22.7	16.3
6	25.8	25.2	20.3	20.3	25.1	40.0	33.2	11.9	5.6	1.2	0.6	0.7	0.0	0.5	0.5	1.0	2.5	7.4	17.7	27.0	32.0	29.8	29.3	27.7	16.1
7	17.7	15.4	13.3	14.1	14.2	23.5	26.3	13.2	5.9	2.8	2.3	1.4	0.5	0.7	0.2	0.4	1.8	4.0	14.1	26.1	34.1	28.7	23.1	20.1	12.7
8	15.0	15.7	14.0	12.7	11.7	13.7	23.7	20.0	4.6	2.7	1.3	0.2	0.0	0.3	0.5	0.5	1.3	5.1	12.4	26.8	33.9	27.2	23.3	18.7	11.9
9	13.6	15.0	14.3	14.3	11.2	11.8	20.5	30.4	12.5	5.5	3.1	2.8	1.6	2.0	2.7	2.7	4.8	9.6	16.0	28.6	29.9	23.5	20.2	16.4	13.0
10	17.3	16.5	11.7	14.2	9.7	11.7	15.9	23.3	24.6	11.7	6.4	4.4	4.2	4.6	5.9	9.5	16.9	20.7	20.3	20.2	20.7	20.5	24.3	20.3	14.8
11	10.3	11.1	11.0	12.0	11.7	8.8	9.8	13.0	21.8	21.6	16.1	15.8	12.8	13.0	18.4	27.9	25.6	18.2	14.8	14.4	11.5	11.9	13.2	10.4	14.8
12	10.7	10.0	8.2	9.9	9.8	9.4	6.9	10.6	17.6	18.6	19.5	15.3	13.3	12.8	15.0	19.7	13.8	10.2	11.7	11.2	10.4	10.5	12.5	9.3	12.4
Mean	16.6	16.6	14.6	14.8	14.7	18.2	20.9	19.4	14.9	10.9	8.1	6.1	5.0	5.5	6.9	9.7	11.0	12.7	16.1	21.2	23.1	20.9	20.4	18.0	

Per Hour



Per Month

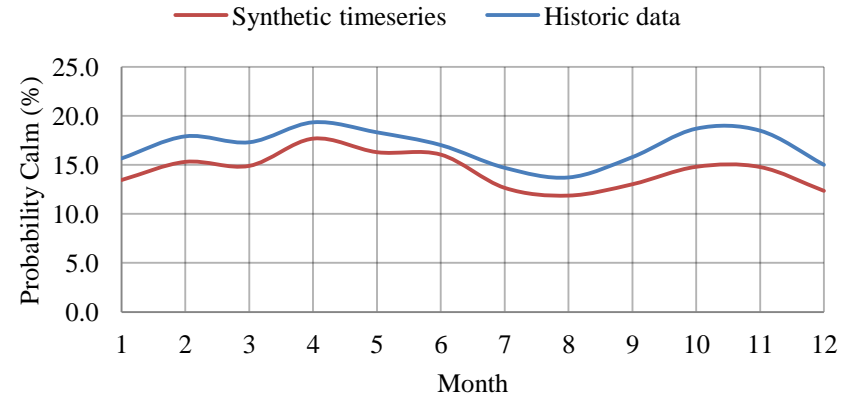
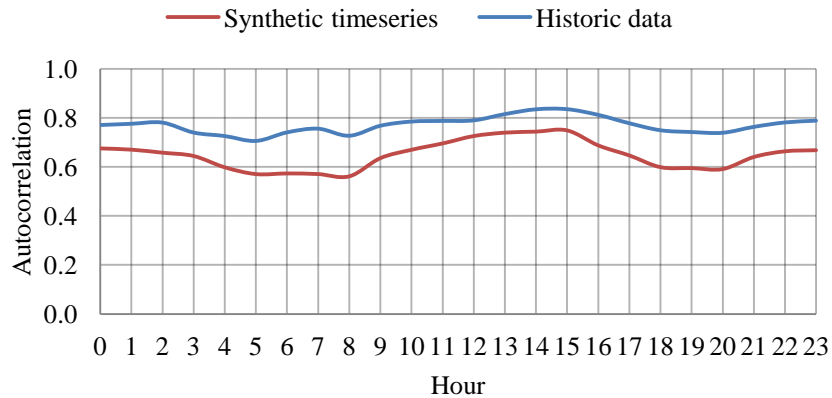


Table B.9: Nea Anchialos synthetic hourly autocorrelation

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Mean
1	0.74	0.78	0.75	0.75	0.69	0.68	0.58	0.65	0.68	0.65	0.71	0.74	0.73	0.74	0.72	0.72	0.66	0.57	0.62	0.72	0.63	0.70	0.72	0.67	0.69
2	0.72	0.74	0.71	0.71	0.69	0.67	0.70	0.63	0.57	0.64	0.66	0.68	0.74	0.75	0.72	0.72	0.65	0.69	0.62	0.69	0.71	0.74	0.69	0.72	0.69
3	0.73	0.67	0.69	0.67	0.62	0.58	0.60	0.52	0.56	0.65	0.75	0.75	0.76	0.74	0.75	0.79	0.64	0.63	0.62	0.71	0.67	0.67	0.69	0.72	0.67
4	0.66	0.64	0.57	0.65	0.57	0.54	0.48	0.48	0.54	0.70	0.70	0.75	0.69	0.77	0.75	0.77	0.74	0.64	0.64	0.55	0.57	0.70	0.65	0.58	0.64
5	0.68	0.67	0.64	0.57	0.58	0.45	0.50	0.58	0.66	0.69	0.68	0.69	0.80	0.76	0.74	0.77	0.68	0.64	0.58	0.55	0.58	0.59	0.66	0.68	0.64
6	0.66	0.66	0.61	0.57	0.56	0.46	0.51	0.51	0.58	0.58	0.66	0.69	0.69	0.69	0.74	0.78	0.75	0.87	0.58	0.54	0.48	0.52	0.61	0.67	0.62
7	0.63	0.56	0.52	0.56	0.51	0.49	0.51	0.50	0.48	0.64	0.63	0.67	0.75	0.73	0.76	0.77	0.72	0.68	0.59	0.46	0.45	0.56	0.54	0.58	0.60
8	0.57	0.64	0.64	0.64	0.49	0.51	0.51	0.48	0.56	0.66	0.65	0.62	0.58	0.75	0.81	0.74	0.73	0.59	0.52	0.45	0.43	0.57	0.62	0.62	0.60
9	0.62	0.65	0.62	0.55	0.53	0.52	0.48	0.48	0.49	0.56	0.62	0.75	0.77	0.76	0.76	0.82	0.74	0.60	0.52	0.49	0.46	0.60	0.57	0.63	0.61
10	0.65	0.69	0.62	0.61	0.54	0.66	0.62	0.60	0.50	0.56	0.64	0.68	0.77	0.77	0.76	0.74	0.64	0.54	0.48	0.56	0.66	0.65	0.69	0.69	0.64
11	0.80	0.74	0.80	0.72	0.70	0.65	0.68	0.70	0.57	0.62	0.65	0.65	0.69	0.70	0.72	0.63	0.62	0.63	0.67	0.72	0.73	0.70	0.81	0.77	0.69
12	0.65	0.61	0.75	0.71	0.69	0.65	0.70	0.72	0.55	0.68	0.68	0.69	0.73	0.72	0.71	0.74	0.68	0.69	0.76	0.70	0.71	0.68	0.72	0.68	0.69
Mean	0.68	0.67	0.66	0.64	0.60	0.57	0.57	0.57	0.56	0.64	0.67	0.70	0.73	0.74	0.74	0.75	0.69	0.65	0.60	0.60	0.59	0.64	0.66	0.67	

Per Hour



Per Month

