

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ
ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ
ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ
ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΑΝΑΓΛΥΦΟ ΜΕ ΙΔΙΟΤΥΠΑ
ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΚΩΣΤΑΣ Ι. ΧΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2009

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ
ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ
ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ
ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΑΝΑΓΛΥΦΟ ΜΕ ΙΔΙΟΤΥΠΑ
ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΚΩΣΤΑΣ Ι. ΧΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2009

Η έγκριση της παρούσας διατριβής υπό του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα (Ν.5343/1932 άρθρο 202, παρ.2)

ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Ν. ΑΛΒΕΡΤΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α.

ΜΕΛΗ:

Ι. ΤΣΙΡΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α.

Γ. ΚΑΡΤΣΟΥΝΗΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ Γ.Π.Α.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Δ. ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Κ.Π.Α.

Θ. ΚΑΡΑΚΩΣΤΑΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Α.Π.Θ.

Γ. ΣΤΑΥΡΑΚΑΚΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

Ι. ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Α.Τ.Ε.Ι. ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Ν. ΑΛΒΕΡΤΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α.

Ι. ΤΣΙΡΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α.

Γ. ΚΑΡΤΣΟΥΝΗΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ Γ.Π.Α.

Πρόλογος

Η παρούσα διδακτορική διατριβή με τίτλο «Ανάπτυξη και εφαρμογή σύγχρονων τεχνικών ανάλυσης και επεξεργασίας για την εκτίμηση περιβαλλοντικών παραμέτρων σε ανάγλυφο με ιδιότυπα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά» εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Φυσικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα της διατριβής Επίκουρο Καθηγητή κ. Ν. Αλβέρτο για την ουσιαστική καθοδήγηση και συμπαράσταση κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της. Εκφράζω επίσης τις ευχαριστίες μου στο μέλος της εισηγητικής επιτροπής Επίκουρο Καθηγητή κ. Ι. Τσίρο για τη συνεχή καθοδήγηση και την εποικοδομητική ανταλλαγή απόψεων σε καθοριστικά στάδια της μελέτης. Επίσης θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω τον Λέκτορα κ. Γ. Καρτσούνη για τις πολύτιμες συμβουλές του σε θέματα της ειδικότητάς του. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Καθηγητή κ. Ι. Δημόπουλο για τη μετάδοση της γνώσης και εμπειρίας που έχει για το φαράγγι της Σαμαριάς, για τις καθοριστικές υποδείξεις του σε θέματα επεξεργασίας δεδομένων καθώς και για την ηθική συμπαράσταση που μου προσέφερε σε όλα τα στάδια της διατριβής. Τις θερμές μου ευχαριστίες επιθυμώ να εκφράσω επίσης στον Καθηγητή κ. Γ. Σταυρακάκη για τις συμβουλές και υποδείξεις του σε θέματα ουσιαστικά από τα αρχικά ακόμη στάδια εκπόνησης της διατριβής. Ευχαριστώ ιδιαίτερα τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής Καθηγητές κ. Δ. Ασημακόπουλο και κ. Θ. Καρακώστα για το χρόνο που διέθεσαν προκειμένου να μελετήσουν τη διατριβή και να συμβάλουν με τις παρατηρήσεις, κρίσεις και υποδείξεις τους στην αρτιότερη ολοκλήρωσή της.

Οφείλω επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον Διευθυντή του Εργαστηρίου Φυσικής του Γ.Π.Α. Καθηγητή κ. Α. Χούντα για τη δυνατότητα που μου έδωσε να εκπονήσω τη διατριβή αυτή στο εργαστήριο και παράλληλα για τις συμβουλές του και την αμέριστη συμπαράσταση που μου προσέφερε. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του εργαστηρίου για την πολύπλευρη βοήθειά τους. Επίσης, εκφράζω τις ευχαριστίες μου στο αρμόδιο προσωπικό του Δασαρχείου Χανίων για τη βοήθεια και φιλοξενία που μου παρείχαν κατά τις επανειλημμένες επισκέψεις μου στο φαράγγι της Σαμαριάς.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους ανθρώπους του στενού οικογενειακού μου περιβάλλοντος για την αμέριστη συμπαράσταση που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής αυτής.

Περίληψη

Το φαράγγι της Σαμαριάς αποτελεί ιδιαίτερα δύσκολη περίπτωση εκτίμησης θερμοκρασίας αέρος και σχετικής υγρασίας, διότι έχει μεγάλη υψομετρική διακύμανση (από την επιφάνεια της θάλασσας έως 1200m), δεν παρουσιάζει ομοιομορφία ως προς την κατεύθυνσή του (από ΒΔ προσανατολίζεται προς ΝΑ και καταλήγει Ν) και παρουσιάζει έντονη διαφοροποίηση πλάτους και ύψους.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση της δυνατότητας εκτίμησης των συνθηκών θερμοκρασίας αέρος και σχετικής υγρασίας μέσα στο φαράγγι, με χρήση δεδομένων που συλλέγονται σε σημεία εκτός των ορίων του φαραγγιού.

Για το σκοπό αυτό εγκαταστάθηκαν αυτόνομα καταγραφικά όργανα στην είσοδο και έξοδο του φαραγγιού καθώς και σε πέντε επιλεγμένες θέσεις εντός αυτού. Αναπτύχθηκαν δύο μέθοδοι επεξεργασίας δεδομένων. Η πρώτη αντιμετωπίζει τα δεδομένα με τη λογική των χρονοσειρών, και η δεύτερη ανεξάρτητα χρονικής συνέχειας. Δημιουργήθηκαν, για κάθε μέθοδο, διάφορα μοντέλα εκτίμησης είτε υπό τη μορφή εξισώσεων πολλαπλής παλινδρόμησης είτε υπό τη μορφή τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Τα κύρια κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για να διασφαλίσουν την ορθότητα της επιλογής του βέλτιστου μοντέλου εκτίμησης είναι ο συντελεστής προσδιορισμού, το μέσο απόλυτο σφάλμα, τα διαγράμματα διασποράς εκτιμημένων και μετρημένων τιμών και τα ιστογράμματα κατανομής υπολοίπων.

Μετά την αξιολόγηση των μοντέλων εκτίμησης και των δύο μεθόδων, εντοπίστηκε η βέλτιστη μέθοδος η οποία εφαρμόστηκε στην ερευνώμενη περιοχή για την εκτίμηση του μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς και για την εκτίμηση της θερμικής αίσθησης του ανθρώπου. Με τον τρόπο αυτό αξιολογείται η αξιοπιστία του μοντέλου εκτίμησης και από την επιτυχία των εφαρμογών.

Από την αξιολόγηση όλων των μοντέλων που αναπτύχθηκαν διαπιστώθηκε ότι η χρήση των δεδομένων ενός έτους στην εκτίμηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας άλλων ετών, όπως γίνεται στην πρώτη μέθοδο, έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά τη θερμοκρασία αέρος, υστερούσε όμως σημαντικά στην εκτίμηση της σχετικής υγρασίας. Οι εκτιμήσεις των τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας με νευρωνικά δίκτυα, έδειξαν παρόμοια αποτελέσματα με την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, αλλά ελαφρώς βελτιωμένα. Γενικά, η καλύτερη των εκτιμήσεων με την πρώτη μέθοδο επετεύχθη, για τη θερμοκρασία και τη σχετική

υγρασία, με τα μοντέλα εξισώσεων πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης με ταυτόχρονη χρήση μετεωρολογικών δεδομένων εισόδου και εξόδου του φαραγγιού. Η δεύτερη μέθοδος, η οποία δεν χειρίστηκε τα δεδομένα ως χρονοσειρές, έδωσε γενικά καλύτερα αποτελέσματα από την πρώτη μέθοδο. Η υπεροχή της δεύτερης μεθόδου έναντι της πρώτης, ήταν σαφής τόσο με τη χρήση νευρωνικών δικτύων όσο και με τη χρήση εξισώσεων παλινδρόμησης. Οι καλύτερες εκτιμήσεις της θερμοκρασίας αέρος και της σχετικής υγρασίας προέκυψαν από τα μοντέλα νευρωνικών δικτύων λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων των σταθμών εισόδου και εξόδου του φαραγγιού και τις χρονικές στιγμές που αυτές παρατηρήθηκαν.

Η επιτυχής εκτίμηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, με τα μοντέλα αυτά, δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού τόσο του μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς (επιτυχία εκτίμησης από 73% έως 88%) όσο και του δείκτη θερμικής αίσθησης (επιτυχία εκτίμησης από 81,8% έως 93,4%) στο φαράγγι της Σαμαριάς.

Από την εφαρμογή της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στην παρούσα διατριβή σε αστικό περιβάλλον, προκύπτει επίσης το συμπέρασμα ότι είναι δυνατή η αξιόπιστη εκτίμηση της θερμικής αίσθησης σε οδοχαράδρες (επιτυχία εκτίμησης από 83,1% έως 91,9%) από ένα μόνιμα εγκατεστημένο σταθμό που βρίσκεται εκτός των ορίων τους.

Abstract

Estimating air temperature and relative humidity in Samaria Gorge is a particularly difficult task, as there is significant altitude variation (ranging from sea level to 1200m), there is no homogeneity regarding its direction (its orientation turns from NW to SE and ends up S) and presents extensive differentiation in width and height. The aim of this study is to investigate the potential of estimating air temperature as well as relative humidity conditions in the gorge with use of data collected at locations outside the gorge area. For this purpose, autonomous data loggers have been placed at the entrance and exit of the gorge as well as in five selected locations within the gorge. Two methods of data processing have been developed; the first one handles data as time series, while the second one without regard to time sequence. Many models have been created for each method, either in the form of multiple regression equations or in the form of artificial neural networks. The main criteria used to ensure validity and accuracy in choosing the most appropriate model of estimation is the coefficient of determination, the mean absolute error, the scatter plots of measured and estimated values, and the residual distribution histograms.

Having assessed all estimation models of both methods, the best method selected was applied in the investigated region for the estimation of meteorological fire danger and for the estimation of the temperature–humidity index (also known as discomfort index). In this way, the validity of the estimation model is assessed also through the success of its applications. The assessment of all models developed, showed that using data of one year in estimating temperature and relative humidity of other years, as done in the first method, gave satisfactory results regarding air temperature but failed, however, to provide accuracy in estimating relative humidity. Temperature and relative humidity values estimated through neural networks produced results similar to the multiple linear regression, though slightly improved. In general, the best estimation of air temperature and relative humidity through the first method was achieved with multiple linear regression models with simultaneous use of meteorological data from the entrance and exit of the gorge.

The second method, which was not based on the use time series, generally gave better results than the first method. The fact that the second method is preferable to

the first one was obvious both in the application of neural networks and in the use of multiple linear regression. The most accurate estimations of air temperature and relative humidity were given by neural network models, having considered the values of the respective parameters of entrance and exit stations and the time when these were noted.

The precise estimation of temperature and relative humidity through the aforementioned models allows the determination of the meteorological fire danger index (estimation success from 73% to 88%) as well as the temperature–humidity index (estimation success from 81.8% to 93.4%) in Samaria Gorge.

The application of the methodology developed in the present study in an urban environment also provides the conclusion that reliable estimation of temperature–humidity index is possible in street canyons by a meteorological station located outside their boundaries (estimation success from 83.1% to 91.9%).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	4
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΑΥΤΟΝΟΜΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ - ΔΕΔΟΜΕΝΑ	10
3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	10
3.1.1. Γεωλογία - Γεωμορφολογία – Δημιουργία φαραγγίων ΝΔ Κρήτης.....	10
3.1.2. Το φαράγγι της Σαμαριάς.....	13
3.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΘΕΣΕΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	17
3.2. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ - ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	21
3.4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	23
4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ	26
4.1. ΑΠΛΗ - ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ	26
4.2. ΤΕΧΝΗΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	28
4.2.1. Δίκτυα MLP.....	30
4.2.2. Δίκτυα RBF.....	32
4.2.3. Σύγκριση MLP – RBF.....	34
4.2.4. Εκπαίδευση των δικτύων MLP	35
4.3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ.....	37
4.3.1. Μέθοδος A.....	37
4.3.1.1. Διερεύνηση συσχετίσεων χρονοσειρών δεδομένων	37
4.3.1.2. Ανάπτυξη εξισώσεων παλινδρόμησης.....	40
4.3.1.3. Ανάπτυξη μοντέλων Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων	43
4.3.2. Μέθοδος B.....	46
4.3.2.1. Ανάπτυξη εξισώσεων παλινδρόμησης.....	46
4.3.2.2. Ανάπτυξη μοντέλων Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων	47
4.4. ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΕΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	49
4.4.1. Συντελεστής προσδιορισμού.....	49
4.4.2. Υπόλοιπα (residuals)	49
4.4.3. Μέσο απόλυτο σφάλμα.....	50
4.4.4. Γραφικές μέθοδοι.....	50
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	52
5.1. ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	52

5.1.1. Αποτελέσματα πολλαπλής γραμμικής συσχέτισης μεθόδου A.....	52
5.1.2. Αποτελέσματα μοντέλων τεχνητών νευρωνικών δικτύων μεθόδου A.....	54
5.1.3. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων μεθόδου A.....	57
5.1.4. Αποτελέσματα πολλαπλής γραμμικής συσχέτισης μεθόδου B.....	59
5.1.5. Αποτελέσματα μοντέλων τεχνητών νευρωνικών δικτύων μεθόδου B.....	60
5.1.6. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων μεθόδου B.....	61
5.1.7. Σύγκριση και αξιολόγηση βέλτιστης μεθόδου εκτίμησης.....	63
5.2. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ - ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ.....	67
5.2.1. Θεωρητικό μοντέλο εκτίμησης μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς.....	68
5.2.2. Αποτελέσματα μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς.....	70
5.2.3. Θεωρητικό μοντέλο εκτίμησης θερμικής αίσθησης.....	75
5.2.4. Αποτελέσματα εκτίμησης θερμικής αίσθησης.....	77
6. ΕΠΕΚΤΑΣΗ – ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ : Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΟΔΟΧΑΡΑΔΡΩΝ.....	81
6.1. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	81
6.2. ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	85
6.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....	89
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	95
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	105
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	106
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	117
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ.....	137

1. Εισαγωγή

Το πολύπλοκο μορφολογικό ανάγλυφο ορισμένων περιοχών, όπως ακτογραμμές και ορεινές χαράδρες, οδηγεί σε ιδιαίτερα ανομοιογενείς περιοχές από μετεωρολογική άποψη. Οι μετεωρολογικές παράμετροι σε τέτοιο ανάγλυφο εξαρτώνται πολύ από τις ημερήσιες διακυμάνσεις του βαθμού της θερμικής κατάστασης των αερίων μαζών. Η γνώση των συνθηκών του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος σε δύσβατες ορεινές περιοχές με πολύπλοκο μορφολογικό ανάγλυφο είναι κεφαλαιώδους σημασίας. Η μελέτη τους είναι σημαντική και πολύ δύσκολη αφού τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά είναι άμεσα εξαρτώμενα από τις τοπικές συνθήκες.

Οι τεχνικές χωρικής παρεμβολής επιτρέπουν με χρήση δεδομένων από κοντινούς σταθμούς την εκτίμηση των μετεωρολογικών παραμέτρων σε περιοχές για τις οποίες δεν υπάρχουν καταγραφές. Οι τεχνικές αυτές, ενώ εφαρμόζονται με ιδιαίτερη επιτυχία σε ομαλό ανάγλυφο, δεν έχουν απόδοση όταν το δίκτυο σταθμών μέτρησης είναι πολύ αραιό και το ανάγλυφο πολύπλοκο.

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται ντετερμινιστικά αριθμητικά μοντέλα πρόβλεψης ατμοσφαιρικών παραμέτρων, τα οποία αν και εξαιρετικά εξελιγμένα, ακόμα και να μπορούσαν να συμπεριλάβουν όλες τις διεργασίες που διέπουν την ατμόσφαιρα, δε θα ήταν δυνατόν να αποφύγουν την αβεβαιότητα στις προβλέψεις τους λόγω του δυναμικού χάους. Αυτή η αβεβαιότητα αποτελεί την αναγκαιότητα της συλλογής και ανάλυσης μεγάλου αριθμού δεδομένων. Σε γενικές γραμμές, η χρονική εξέλιξη ενός μη γραμμικού ντετερμινιστικού συστήματος (πχ. οι εξισώσεις κίνησης αερίων μαζών) είναι πολύ ευαίσθητη στις αρχικές συνθήκες του συστήματος. Με δεδομένο ότι η παρατήρηση της ατμόσφαιρας είναι σχεδόν πάντα ανεπαρκής, δε θα είναι ποτέ δυνατόν το μαθηματικό μοντέλο να έχει τις ίδιες αρχικές συνθήκες με το πραγματικό σύστημα. Έτσι, ακόμα και το μοντέλο να είναι «τέλειο» δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί πώς θα συμπεριφερθεί η ατμόσφαιρα σε μεγάλο βάθος χρόνου. Επομένως, ντετερμινιστικές προβλέψεις της μελλοντικής ατμοσφαιρικής συμπεριφοράς θα είναι πάντα αβέβαιες και θα απαιτούνται πάντα στατιστικές και πιθανολογικές μέθοδοι για να περιγράψουν επαρκώς τη συμπεριφορά της. Επιπρόσθετα, οι στατιστικές μέθοδοι επιτρέπουν την εκτίμηση της ακρίβειας των

προβλέψεων, η οποία αποτελεί από μόνη της πολύτιμη πληροφορία. (Wilks D.S. 2008)

Η παρούσα εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια, με πρώτο την εισαγωγή. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, ενώ το τρίτο κεφάλαιο εστιάζεται στην περιγραφή της περιοχής μελέτης, ξεκινώντας από τη γεωλογία και γεωμορφολογία της Ν.Δ. Κρήτης και καταλήγοντας στο φαράγγι της Σαμαριάς. Παρουσιάζονται επίσης τα τεχνικά χαρακτηριστικά των επτά αυτόνομων μονάδων μέτρησης – καταγραφής που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις καθώς και τα φυσικά χαρακτηριστικά των σημείων εγκατάστασής τους. Το κεφάλαιο κλείνει με μια πρώτη στατιστική περιγραφή των δεδομένων μέτρησης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μέθοδοι και οι τεχνικές εκτίμησης που δοκιμάστηκαν ή εφαρμόστηκαν στην παρούσα μελέτη. Αναπτύσσεται συνοπτικά η θεωρία των τεχνητών νευρωνικών δικτύων και η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση καθώς και οι τεχνικές για τον έλεγχο της αξιοπιστίας μοντέλων εκτίμησης και πρόβλεψης.

Εκτός από τη γενικότερη μελέτη των μικρομετεωρολογικών συνθηκών μέσα στο φαράγγι της Σαμαριάς, ο κύριος στόχος της διατριβής είναι η εξέταση της δυνατότητας εκτίμησης μετεωρολογικών παραμέτρων μέσα στο φαράγγι, με χρήση δεδομένων που συλλέγονται σε σημεία εκτός των ορίων του φαραγγιού. Οι τεχνικές εκτίμησης που χρησιμοποιήθηκαν στη διατριβή αυτή διαχωρίστηκαν σε δύο μεθόδους: τη μέθοδο Α η οποία αντιμετωπίζει τα δεδομένα σαν χρονοσειρές ανακατασκευασμένες στον χώρο των φάσεων, και τη μέθοδο Β η οποία αντιμετωπίζει τα δεδομένα σαν ανεξάρτητες πειραματικές τιμές χωρίς χρονική συνέχεια. Δημιουργήθηκαν, για κάθε μέθοδο, διάφορα μοντέλα εκτίμησης είτε υπό τη μορφή εξισώσεων παλινδρόμησης, είτε υπό τη μορφή τεχνητών νευρωνικών δικτύων.

Τα αποτελέσματα όλων των μοντέλων εκτίμησης που δοκιμάστηκαν, καθώς και η σύγκριση και αξιολόγηση της βέλτιστης μεθόδου, παρουσιάζονται στο πέμπτο κεφάλαιο. Γίνεται μια πρώτη σύγκριση και επιλογή του καλύτερου μοντέλου της μεθόδου Α και της μεθόδου Β. Μετά την επιλογή αυτή ακολουθεί και η τελική σύγκριση και αξιολόγηση της βέλτιστης μεθόδου εκτίμησης. Επίσης, γίνεται χρήση των εκτιμήσεων αυτών για τον υπολογισμό του μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς και της θερμικής αίσθησης στην υπό μελέτη περιοχή και αξιολογείται επιπλέον η αξιοπιστία του τελικού μοντέλου εκτίμησης με την επιτυχία των εφαρμογών.

Στο έκτο κεφάλαιο επιχειρείται η επέκταση της μεθοδολογίας στο αστικό περιβάλλον και πιο συγκεκριμένα η προσαρμογή της στις οδοχαράδρες της Αθήνας, με επιτυχή αποτελέσματα. Τα τελικά συμπεράσματα παρουσιάζονται στο έβδομο κεφάλαιο.

2. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

Η τροπόσφαιρα αποτελεί το τμήμα της ατμόσφαιρας από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι ύψους 12 (± 4) χιλιομέτρων. Στο χώρο αυτό διαμορφώνονται και εξελίσσονται σχεδόν όλα τα μετεωρολογικά φαινόμενα μικρής και μεγάλης κλίμακας, ενώ περιέχει περίπου το 80% του συνόλου της μάζας της ατμόσφαιρας και σχεδόν όλη την ποσότητα των υδρατμών και του διοξειδίου του άνθρακα. (Φλόκας, 1997)

Η τροπόσφαιρα διακρίνεται σε επί μέρους ατμοσφαιρικά στρώματα (Oke, 1987) όπως το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα (planetary or atmospheric boundary layer), το τυρβώδες επιφανειακό στρώμα (turbulent surface layer), και το στρώμα τραχύτητας (roughness layer). Το ύψος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος εμφανίζει ημερήσια διακύμανση, που είναι συνάρτηση των θερμομετρικών και ανεμομετρικών συνθηκών του αέρα. Έτσι, η καθ' ύψος ανάπτυξη του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος δεν είναι σταθερή καθώς είναι εξαρτώμενη από τις συνθήκες μεταφοράς των παρακείμενων της επιφανείας του εδάφους αερίων μαζών. Το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα, πλησιάζοντας προς την επιφάνεια του εδάφους, παρουσιάζει έντονες τυρβώδεις κινήσεις, που δημιουργούνται από την τραχύτητα της επιφανείας του εδάφους, διαμορφώνοντας το τυρβώδες επιφανειακό στρώμα. Τέλος, το κατώτερο τμήμα του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος χαρακτηρίζεται ως στρώμα τραχύτητας. Στην περίπτωση αυτή, η ροή των αερίων μαζών είναι ακανόνιστη καθώς είναι έντονα επηρεαζόμενη από τη μορφή, το μέγεθος και την απόσταση των αντικείμενων – αιτίων τραχύτητας (δένδρα, θάμνοι, κτίρια ή οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο) και διαμορφώνονται έτσι τυρβώδεις κινήσεις και στροβιλισμοί.

Από έρευνες που έχουν γίνει σε αεροσήραγγες προκειμένου να προσδιοριστεί το ύψος στο οποίο εκτείνεται το στρώμα τραχύτητας διαπιστώθηκε ότι αυτό είναι συνάρτηση του ύψους και της πυκνότητας των αντικείμενων - στοιχείων τραχύτητας (Raupack et al. 1980). Διαπιστώθηκε επίσης ότι το ύψος του στρώματος αυτού είναι το διπλάσιο έως τριπλάσιο του μέσου ύψους των στοιχείων τραχύτητας και μεγαλώνει με την αύξηση της μεταξύ τους απόστασης. Σε ανάλογα συμπεράσματα κατέληξαν και οι έρευνες των Rafailidis (1997) και Louka (1998) ενώ ο Plate (1995) αναφέρει ότι η επίδραση των στοιχείων τραχύτητας στο πεδίο ροής του ανέμου μηδενίζεται σε ύψος πάνω από το τριπλάσιο έως πενταπλάσιο του ύψους τους.

Οι μεταβολές του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος κοντά στην επιφάνεια του εδάφους επηρεάζονται κυρίως από το ανάγλυφο, τον τύπο του εδάφους, ως και τη μορφή και το είδος της εδαφοκάλυψης (Geiger, 1975). Στους ορεινούς όγκους οι παράγοντες αυτοί παρουσιάζουν έντονη ποικιλομορφία με αποτέλεσμα οι συνθήκες στο αέριο στρώμα που εφάπτεται με το έδαφος να παρουσιάζουν έντονες μεταβολές σε μικρή σχετικά έκταση.

Όπως είναι γνωστό η θερμοκρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Κατά την ημέρα η επιφάνεια του εδάφους θερμαίνεται από την άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία ενώ το βράδυ ψύχεται λόγω θερμικής απόδοσης του εδάφους. Η συνεχής ανταλλαγή της θερμότητας μεταξύ της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας δημιουργεί τις ημερήσιες μεταβολές της θερμοκρασίας αέρος. Οι ημερήσιες αυτές μεταβολές παρατηρούνται στο οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας, το ύψος του οποίου διαφοροποιείται με την τραχύτητα του ανάγλυφου (αυξάνεται με την αύξηση των εδαφικών εξάρσεων), τις συνθήκες ευστάθειας της ατμόσφαιρας (αυξάνεται με την αύξηση της αστάθειας), την ταχύτητα του ανέμου, το γεωγραφικό πλάτος κλπ.

Η θερμοκρασία αέρος μειώνεται κατά κανόνα με το ύψος. Η ελάττωση αυτή της θερμοκρασίας στη μονάδα του ύψους εκφράζεται, ως γνωστόν, με τη θερμοβαθμίδα σε $^{\circ}C/100m$. Η τιμή της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας (*environmental lapse rate*) κατά μέσο όρο είναι ίση με $0,65^{\circ}C/100m$ ενώ η ξηρή κατακόρυφη αδιαβατική θερμοβαθμίδα (*dry adiabatic lapse rate*) έχει τη σταθερή τιμή των $0,98^{\circ}C/100m$ (Barry, 1992; Φλόκας, 1997).

Η κατακόρυφη μείωση της θερμοκρασίας αέρος πάνω από μια περιοχή παρουσιάζει διακυμάνσεις και ενίοτε αναστροφή. Αυτό παρατηρείται συνήθως σε ανέφελες και σχετικά νήγεμες νύχτες ιδιαίτερα στα παρεδάφια στρώματα του αέρα, όπου το έδαφος αποδίδει μεγαλύτερα ποσά θερμότητας απ' αυτά που δέχεται. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα στρώμα αέρα που ονομάζεται «επιφανειακό στρώμα αναστροφής», στο οποίο η θερμοκρασία αντί να μειώνεται αυξάνεται (Φλόκας, 1997). Το ανάγλυφο του εδάφους παίζει σημαντικό ρόλο στη δημιουργία και την ένταση της αναστροφής. Στις ορεινές περιοχές οι παρεδάφια αέριες μάζες ψύχονται εντονότερα και ολισθαίνουν από τα μεγαλύτερα στα μικρότερα υψόμετρα. Αυτό ενισχύει το μέγεθος (ένταση) της αναστροφής στις κοιλάδες. Έχει παρατηρηθεί ότι το στρώμα αναστροφής έχει μικρότερο ύψος στις πλαγιές και στις ανοικτές κοιλάδες και μεγαλύτερο στις κλειστές κοιλάδες. Πιο συγκεκριμένα, σε γεωμορφολογικούς σχηματισμούς όπως είναι τα φαράγγια, μεγέθη όπως το υψόμετρο, ο

προσανατολισμός και η κλίση των επιφανειών, παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές σε μικρές σχετικά αποστάσεις με αποτέλεσμα, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, την εποχή και την ώρα της ημέρας, η ένταση και η διάρκεια της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας να παρουσιάζει έντονη μεταβλητότητα στο χώρο και στο χρόνο. Αυτό αποδίδεται κυρίως στη μεταβλητότητα των γωνιών πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων. Επιπλέον, θέσεις όπου η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει κάθετα δέχονται σημαντικά μεγαλύτερα ποσά ενέργειας από τις αντίστοιχες όπου η γωνία πρόσπτωσης είναι πολύ μικρή έως μηδενική. Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας διαφοροποιείται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έτσι σε οριζόντιες επιφάνειες οι μεγαλύτερες τιμές θερμοκρασίας αέρος παρατηρούνται κατά τις μεσημβρινές ώρες. Το ίδιο δεν συμβαίνει στις κεκλιμένες επιφάνειες, όπου η διαμόρφωση της μέγιστης θερμοκρασίας τους είναι συνάρτηση της κλίσης και του προσανατολισμού των επιφανειών ανάλογα με την ώρα της ημέρας (Goulding et al., 1992).

Ο συνδυασμός της μεταβλητότητας του υψομέτρου, των κλίσεων, και του προσανατολισμού των διαφόρων θέσεων παίζει καθοριστικό ρόλο στην προσλαμβανόμενη άμεση ηλιακή και διάχυτη ακτινοβολία και κατ' επέκταση στη διαμόρφωση ανάλογου θερμικού καθεστώτος. Έτσι κατά τις πρωινές ώρες της ημέρας οι ανατολικές και νοτιοανατολικές, και κατά τις απογευματινές οι δυτικές και νοτιοδυτικές εκθέσεις περιοχών του βορείου ημισφαιρίου της γης δέχονται θεωρητικά το ίδιο ποσοστό της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, όμως παρουσιάζουν διαφορετική θερμική κατάσταση.

Οι ανατολικές εκθέσεις είναι γενικά ψυχρότερες από τις δυτικές. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι ένα ποσοστό της ακτινοβολίας καταναλώνεται για την εξάτμιση της πρωινής δρόσου των ανατολικών εκθέσεων, πράγμα που δεν συμβαίνει στις δυτικές όπου το μέγιστο της ακτινοβολίας προσπίπτει όταν τα παρεδάφια αέρια στρώματα έχουν ήδη θερμανθεί από τη διάχυτη ακτινοβολία. Ανεξάρτητα της έκθεσης, οι υπήνεμες θέσεις θερμαίνονται ταχύτερα από τις προσήνεμες λόγω μικρότερης ανταλλαγής αερίων μαζών. Για το λόγο αυτό οι κορυφές των ορέων και οι θέσεις μεγάλου υψομέτρου παρουσιάζουν μειωμένες τιμές θερμοκρασίας αέρα (Schroeder and Buck 1970, Seemann et al. 1979).

Οι υγρομετρικές συνθήκες των παρεδάφιων αερίων μαζών διαφοροποιούνται στις ορεινές και στις πεδινές περιοχές. Οι συνθήκες αυτές εκφράζονται κυρίως από την σχετική υγρασία του αέρα. Η σχετική υγρασία, ως γνωστόν, δείχνει το ποσοστό επί τοις εκατό του κορεσμού της ατμόσφαιρας (τιμές που πλησιάζουν το 100 εκφράζουν

κορεσμένη υγρή ατμόσφαιρα ενώ αντίθετα τιμές που προσεγγίζουν μονοψήφιο αριθμό υποδηλώνουν ιδιαίτερα ξηρές αέριες μάζες). Η πορεία της σχετικής υγρασίας σε κανονικές συνθήκες είναι αντίστροφη της πορείας της θερμοκρασίας αέρος. Παρουσιάζει απλή κύμανση, με μέγιστο και ελάχιστο που εντοπίζεται περίπου στο ελάχιστο και μέγιστο της θερμοκρασίας του αέρα (Φλόκας 1997).

Γενικά, η σχετική υγρασία αυξάνεται με το υψόμετρο (ιδιαίτερα στην ελεύθερη ατμόσφαιρα) λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας του αέρα. Επειδή όμως η θερμοκρασία του αέρα, όπως ήδη αναφέρθηκε, διαφοροποιείται ανάλογα με το υψόμετρο, την έκθεση και κλίση των επιφανειών, οι παράμετροι αυτοί επιδρούν και επηρεάζουν τη διαμόρφωση της σχετικής υγρασίας (παράμετρος άμεσα εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία του αέρα).

Από τις υπόλοιπες παραμέτρους του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος ενδιαφέρον παρουσιάζει η ταχύτητα του ανέμου και τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, τα οποία αυξάνονται γενικά συναρτήσει του ύψους. Ειδικότερα, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου επηρεάζονται σημαντικά από την τραχύτητα της εδαφικής επιφάνειας δηλαδή παραμέτρους του αναγλύφου ανεξάρτητες του υψομέτρου. Ιδιαίτερες ανεμομετρικές συνθήκες διαμορφώνονται στους γεωμορφολογικούς σχηματισμούς (πχ. φαράγγια) όπου ανάλογα με την επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου μπορούν να δημιουργηθούν «κανάλια» υψηλών ταχυτήτων ή περιοχές έντονων στροβιλισμών ή ακόμα θέσεις με εξαιρετικά μειωμένες ταχύτητες ανέμου.

Η κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων διαφοροποιείται στις ορεινές περιοχές. Έτσι, το μεγαλύτερο ύψος βροχής πέφτει στην προσήνεμη πλευρά μιας οροσειράς και η ποσότητά της αυξάνεται περίπου μέχρι το ύψος των 2,5 χιλιομέτρων. Με την περαιτέρω αύξηση του υψομέτρου παρατηρείται μείωση του ύψους βροχής λόγω μειωμένων αποθεμάτων σε υδρατμούς των αερίων αυτών μαζών (Φλόκας 1997).

Εκτός από τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά (υψόμετρο, κλίση, προσανατολισμός) και η μορφή της εδαφοκάλυψης παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των παραμέτρων του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Στην περίπτωση των ορεινών όγκων και των άλλων μορφολογικών σχηματισμών η εδαφοκάλυψη εκφράζεται από τη φύση και τη δομή της, δηλαδή από το ύψος και την πυκνότητα της βλάστησης, την ποικιλομορφία των φυτικών ειδών, από τη μορφή της φυλλικής επιφάνειας, από τη στρωμάτωσή της (πυκνότητα φυτοκαλυμμένης επιφάνειας) και τα διάκενα που παρατηρούνται μέσα σε αυτή (Γκούμα 2001).

Η πυκνότητα και η ποιότητα του χλωρού φυλλώματος, καθώς και το ποσοστό του σε σχέση με το αντίστοιχο ξερό φύλλωμα, έχει άμεση επίδραση στην διαμόρφωση της

θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους και στη διαφοροποίηση των θερμομετρικών συνθηκών. Η βλάστηση τροποποιεί, με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής, τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα. Κάτω από την κόμη των δέντρων η υγρασία είναι συνήθως υψηλότερη την ημέρα και χαμηλότερη τη νύχτα σε σχέση με τις ανοικτές επιφάνειες. Όταν τα δέντρα έχουν φύλλωμα, τότε οι τιμές της υγρασίας την ημέρα είναι ακόμη υψηλότερες, ενώ αν τα δέντρα είναι φυλλοβόλα επιδρούν ελάχιστα στη σχετική υγρασία κατά την περίοδο που δεν έχουν φύλλα (Γκούμα 2001).

Για τη μελέτη των θερμομετρικών συνθηκών σε περιοχές με ήπιο ανάγλυφο έχουν γίνει πολλές μελέτες, που εστιάζονται κυρίως σε γεωργικές εφαρμογές (Geiger 1975, Seemann et al. 1979, Magnusson 1994), στην αστική θερμική νησίδα (Oke et al. 1991, Eliasson and Holmer 2000) και σε άλλα ειδικότερα θέματα.

Σε ορεινές περιοχές με μορφολογικούς σχηματισμούς όπως τα φαράγγια, λόγω του έντονου αναγλύφου διαπιστώνονται σημαντικές μεταβολές στη θερμοκρασία αέρος τόσο του γυμνού όσο και του καλυμμένου με χλόη εδάφους. Η γνώση αυτών των τιμών θερμοκρασίας παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον στις περιοχές των Εθνικών Δρυμών τόσο για την προστασία των φυτών από χαμηλές (παγετός) και υψηλές (καύσωνας) θερμοκρασίες, όσο και για τον προσδιορισμό του δείκτη μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς, που είναι μια παράμετρος καθοριστική στην προστασία των περιοχών αυτών (Δημόπουλος κ.α. 2001).

Στην περίπτωση ορεινών περιοχών, παλαιότερα η μελέτη της θερμικής κατάστασης των αερίων μαζών κοντά στην επιφάνεια του εδάφους γινόταν με μόνιμα εγκατεστημένους σταθμούς (Zhiguang 1983, Barry 1992), που η εμβέλειά τους λόγω του έντονου αναγλύφου ήταν πολύ μικρή. Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν κινητές μονάδες, όπου υπήρχε οδικό δίκτυο, ενώ παράλληλα έγινε συνδυασμός των αποτελεσμάτων με δορυφορικά δεδομένα (Rosner 1992). Στην περίπτωση όμως κάποιων γεωμορφολογικών σχηματισμών όπως τα φαράγγια, η χρήση κινητών μονάδων δεν είναι εφικτή λόγω της έλλειψης οδικού δικτύου, ενώ η εύρεση δορυφορικών δεδομένων είναι εξαιρετικά δύσκολη έως αδύνατη, επειδή η μορφολογία του χώρου δεν επιτρέπει οπτική επαφή στους αντίστοιχους δορυφόρους.

Στις περιπτώσεις που το δίκτυο συλλογής δεδομένων είναι ανεπαρκές χρησιμοποιούνται διάφοροι αλγόριθμοι παρεμβολής για την εκτίμηση των δεδομένων που λείπουν. Σύγχρονες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για παρεμβολή θερμοκρασίας αέρος είναι οι: «thin plate splines» (Hutchinson 1995), «inverse distant

weighting» (Robeson and Willmott 1996) και «kriging» (Cornford 1997). Επίσης, η τεχνική της Πολλαπλής Γραμμικής Παλινδρόμησης (Multiple Linear Regression, *MLR*) θεωρείται ιδιαίτερα αποτελεσματική στην εκτίμηση μετεωρολογικών δεδομένων (Goodale et al. 1998). Πιο συγκεκριμένα, στην ορεινή περιοχή της Πάρνηθας, η μεθοδολογία δημιουργίας εξισώσεων παλινδρόμησης έδωσε ικανοποιητική ακρίβεια στην εκτίμηση των μέσων τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρος (Γκούμα 2001). Ταυτόχρονα, Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks *ANNs*) έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται ευρέως για χωρική παρεμβολή δεδομένων με στόχο να ξεπεραστούν τα εμπόδια που παρουσιάζονται με τη χρήση των κλασικών τεχνικών (Rigol et al. 2001). Τα πλέον χρησιμοποιούμενα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα είναι τα Multilayer Perceptron (*MLP*) ενώ ο πιο διαδεδομένος αλγόριθμος εκπαίδευσής τους είναι ο αλγόριθμος Οπισθόδρομης Διάδοσης (Backpropagation Algorithm) (Rumelhart et al. 1986).

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα φαίνεται να προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των κλασικών τεχνικών, γιατί μπορούν να επεξεργαστούν και να μοντελοποιήσουν μη γραμμικά δεδομένα με θόρυβο (Openshaw and Openshaw 1997). Επιτυχείς χρήσεις των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων σε πρόγνωση μετεωρολογικών δεδομένων είναι η πρόβλεψη της ταχύτητας του ανέμου (Mohandes et al. 1998a, Alexiadis et al. 1998), της ηλιακής ακτινοβολίας (Mohandes et al. 1998b) των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (Hewitson et al. 1994, McGinnis 1994) και της χωρικής κατανομής της θερμοκρασίας αέρος ως κλιματικής παραμέτρου (Lennon et al. 1995). Επίσης τα ANN έχουν με επιτυχία εφαρμοστεί στην εκτίμηση κατανομής ατμοσφαιρικών ρύπων λαμβάνοντας υπόψη τη μορφή του αναγλύφου και της εδαφοκάλυψης (Dimopoulos et al. 2001, Dimopoulos et al. 2003).

Όσον αφορά την επιλογή του κατάλληλου νευρωνικού δικτύου για την κάθε περίπτωση, οι Refenes and Zapranis (1999) ανέπτυξαν μια στρατηγική μέσω υπολογιστών βασισμένη στη στατιστική για την επιλογή των μεταβλητών και των αριθμών των κρυφών κόμβων των μοντέλων ANN. Επίσης οι Swanson and White (1995, 1997a,b) ανέπτυξαν και εφάρμοσαν μια στρατηγική από το ειδικό στο γενικό, καθώς και οι Balkin and Ord (2000) πρότειναν μια επαγωγική μέθοδο για την επιλογή του αριθμού των κρυφών κόμβων του ANN.

Εκτίμηση της θερμοκρασίας αέρος και σχετικής υγρασίας σε ιδιαίτερους από γεωμορφολογική άποψη σχηματισμούς όπως είναι τα φαράγγια δεν έχει μέχρι σήμερα επισημανθεί στη διεθνή βιβλιογραφία.

3. Περιοχή μελέτης – Αυτόνομες μονάδες μέτρησης - Δεδομένα

3.1. Περιγραφή Περιοχής μελέτης

3.1.1. Γεωλογία - Γεωμορφολογία – Δημιουργία φαραγγιών ΝΔ Κρήτης

Τα φαράγγια είναι μορφολογικοί σχηματισμοί που δίνουν στο τοπίο μια ιδιαίτερη αισθητική, είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την ιστορική και πολιτισμική διαδρομή του τόπου και με τις οικονομικές και κοινωνικές συνθήκες των παρακείμενων περιοχών, αφού συνδέονται άμεσα και στενά με την ζωή των κατοίκων των περιοχών αυτών, τα ήθη, τα έθιμα, τις παραδόσεις και την επιβίωσή τους. Τα φαράγγια αποτελούν γεωμορφολογικές δομές που σχετίζονται με πολύπλοκες και μακροχρόνιες διεργασίες. Αυτές είναι η δολομιτίωση των ανθρακικών πετρωμάτων, η αποσάθρωση, η διάβρωση, η μεταμόρφωση και οι τεκτονικές καταπονήσεις, των οποίων η συνδυασμένη και συνεχής δράση, διαμορφώνουν το ανάγλυφο της επιφάνειας της γης. Τα τελευταία χρόνια οι μορφολογικές αυτές δομές συνέβαλαν στη δημιουργία ενός νέου τουριστικού προϊόντος για τις περιοχές αυτές με σημαντικά οικονομικά οφέλη. (Μανούτσογλου 2001, Μπιζούρα κ.ά. 2004).

Είναι πολύ λίγες οι περιοχές σε όλο τον κόσμο που μπορούν να συγκριθούν με την πολυπλοκότητα της γεωλογικής δομής και εξέλιξης της Κρήτης. Πρόκειται για έναν γεωγραφικό χώρο ο οποίος σε μια περίοδο περίπου 500 εκατ. ετών, έχει υποστεί τεράστιες μεταβολές, δεδομένου ότι η περιοχή βρέθηκε πολλές φορές στα βάθη ωκεανών ή ψηλά σε οροσειρές πάνω από τη θάλασσα. Τα τελευταία 30 εκατομμύρια χρόνια οι τεκτονικές κινήσεις που έγιναν, είναι τόσο πολλές και μεγάλες που σχεδόν εξαφάνισαν κάθε ίχνος και αποτύπωμα της μέχρι τότε ήδη πολύπλοκης γεωδυναμικής εξέλιξης. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι τα τελευταία εκατομμύρια χρόνια η Κρήτη βρίσκεται πολύ κοντά στο όριο σύγκρουσης των δύο τεράστιων λιθοσφαιρικών πλακών, της Ευρώπης που προωθείται προς τα νότια και απωθείται, και της Αφρικής που κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση και βυθίζεται κάτω από την Ευρώπη. Αυτή η τεράστια αντίθετης φοράς μετακίνηση των Ηπείρων έχει στην κυριολεξία ανορθώσει, περιστρέψει, τεμαχίσει και συνθλίψει τις πάνω από 10 μεγάλες γεωτεκτονικές ενότητες που λαμβάνουν μέρος στη γεωλογική δομή της

Κρήτης. Η γεωλογία της Κρήτης (Μουντράκης 1985) χαρακτηρίζεται από αλληπάλληλα επωθημένα καλύμματα των τεκτονικών ζωνών της Ελλάδος, τα οποία συνωθούνται με γενική κατεύθυνση από βορρά προς νότο στο μικρό σχετικά γεωγραφικό χώρο του νησιού. Γενικά η Κρήτη συγκροτείται από ένα αυτόχθονο σύστημα πλακωδών ασβεστολίθων (plattenkalk) πάνω στο οποίο τοποθετούνται με λεπιοειδή τεκτονική διάταξη οι σειρές των πετρωμάτων των ζωνών και ενοτήτων που προαναφέρθηκαν. Η ενότητα αυτή των τριαδικών ασβεστολίθων έχει ηλικία από το Πέρμιο μέχρι το Ηώκαινο, δηλαδή δημιουργήθηκε σε διάστημα περίπου 280 εκατ. χρόνων (ξεκίνησε στον παλαιοζωικό και διήρκεσε όλο το μεσοζωικό και έφτασε μέχρι τις αρχές του καινοζωικού αιώνα). Αποτελεί το σχετικά αυτόχθονο υπόβαθρο της Κρήτης και αποκαλύπτεται σε πολλές περιοχές του νησιού υπό μορφή «τεκτονικού παραθύρου» κάτω από τα αλληπάλληλα επωθημένα καλύμματα. Μεγάλες μάζες των ορεινών όγκων των Λευκών ορέων και της Ίδης (Ψηλορείτης) δομούνται από τη σειρά των πλακωδών ασβεστολίθων. Τέλος, πάνω σ'αυτά τα αλπικά επωθημένα καλύμματα «κάθονται» με στρωματογραφική ασυμφωνία ιζήματα του νεογενούς και του τεταρτογενούς (κυρίως κλαστικά θαλάσσια ιζήματα) τα οποία έχουν μεγάλη εξάπλωση και πάχος στις παραλιακές περιοχές της Κρήτης.

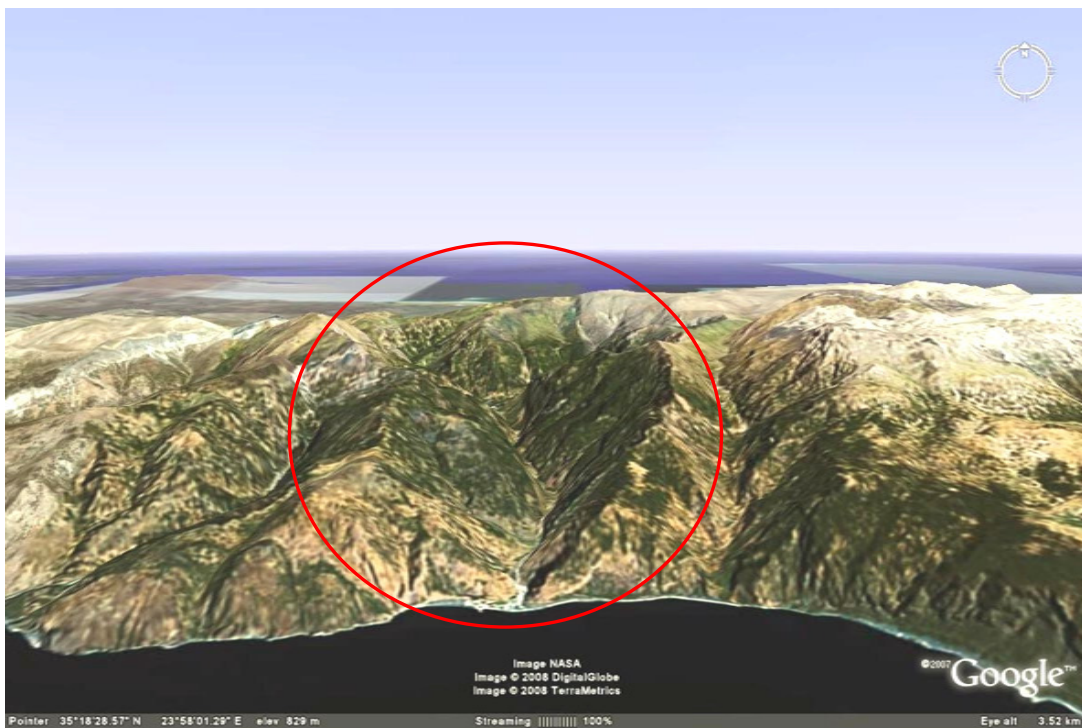
Κατά τους Fasoulas (1998) και Fasoulas et al. (2004) οι ασβεστόλιθοι και γενικά όλα τα πετρώματα που αποτελούνται από ανθρακικό ασβέστιο, όπως είναι τα επικρατέστερα πετρώματα των φαραγγιών της νότιας Κρήτης, διαλύονται με μεγάλη ευκολία από το νερό της βροχής όταν είναι εμπλουτισμένο με οξέα. Αυτή η διαδικασία καλείται και καρστική διάβρωση. Τα πετρώματα αυτά καταστρέφονται και απομακρύνεται το ανθρακικό ασβέστιο που περιέχουν. Δημιουργούνται έτσι τα οροπέδια, τα φαράγγια, τα σπήλαια και άλλες μικρότερες μορφές διάβρωσης κυρίως στην επιφάνεια των πετρωμάτων. Τα πετρώματα αυτά που σχηματίστηκαν μέσα στη θάλασσα και μέχρι σήμερα υπέστησαν πολύπλοκες διαδικασίες ξεκινώντας από τη σύγκρουση της Αφρικανικής με την Ευρωπαϊκή πλάκα, συμπιέστηκαν, πτυχώθηκαν και ανασηκώθηκαν σχηματίζοντας τις οροσειρές. Τα πετρώματα των Λευκών ορέων και ιδιαίτερα οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι αρχικά σκεπάστηκαν από τεράστιο όγκο πετρωμάτων, των οποίων το πάχος ξεπέρασε τα 40 χλμ. Αυτοί οι ασβεστόλιθοι λόγω της πίεσης και της θερμοκρασίας που αναπτύχθηκε, μεταμορφώθηκαν σε μάρμαρα και στη συνέχεια αναδύθηκαν προς την επιφάνεια, σκορπώντας τριγύρω τα υπόλοιπα πετρώματα. Μεγάλα ρήγματα κατακερμάτισαν τη συνέχεια των πετρωμάτων και οριοθέτησαν τα Λευκά όρη στη μορφή που είναι σήμερα. Η ανύψωση των πετρωμάτων στη σημερινή τους θέση ξεκίνησε πριν από 13 περίπου

εκατομμύρια χρόνια, η οποία όμως ήταν εντονότερη τα τελευταία πέντε εκατομμύρια χρόνια. Η μετακίνηση των πετρωμάτων έγινε πάνω στα ρήγματα, όπως συνέβη στην περίπτωση του ρήγματος του Ξυλόσκαλου (πάνω στο οποίο ελίσσεται το μονοπάτι), το οποίο «ανασήκωσε» την περιοχή βόρεια του φαραγγιού ή του ρήγματος Παλαιοχώρας - Σφακίων που «ανασήκωσε» συνολικά τα Λευκά όρη και έδωσε το έναυσμα για την ανάπτυξη όλων των φαραγγιών της περιοχής.

Επίσης, (Fasoulas 1998, Fasoulas et al. 2004) οι τεκτονικές κινήσεις ανύψωσαν διαρκώς την ξηρά σε σχέση με τη θάλασσα, αναγκάζοντας το νερό των ρεμάτων να «σκάβει» όλο και πιο βαθιά τα πετρώματα διαλύοντάς τα, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται τα φαράγγια κάθετα στη διεύθυνση των ρηγμάτων. Η εντύπωση ότι τα φαράγγια ακολουθούν κατά μήκος και βάθος παλαιότερα ρήγματα είναι εσφαλμένη και φαίνεται χαρακτηριστικά στα στενά τμήματα των φαραγγιών της περιοχής (πχ. Ίμπρος, Σαμαριά) όπου τα πετρώματα συνεχίζονται αδιατάρακτα και στις δύο πλευρές του φαραγγιού. Το ρυθμό αλλά και τη συμπεριφορά της δράσης του επιφανειακού νερού καθόριζαν οι διακυμάνσεις της θάλασσας. Έτσι όταν η θάλασσα ανέβαινε, όπως συνέβη πολλές φορές κατά τις μεσοπαγετώδεις περιόδους, τότε το νερό των ρεμάτων αντί να «σκάβει» απέθετε υλικά στην όχθη των φαραγγιών δημιουργώντας τις αναβαθμίδες. Τέτοιες αναβαθμίδες συναντά κανείς γύρω από το χωριό Σαμαριά, αλλά και στην έξοδο του φαραγγιού. Εκεί, κατά την τελευταία πιθανόν μεσοπαγετώδη περίοδο, το νερό απέθεσε χαλίκια και κροκάλες, που ξεκινούν από τις Πόρτες και φτάνουν μέχρι την ακτή. Η τελευταία άνοδος της ξηράς (ή πτώση της θάλασσας) ανάγκασε το νερό να «σκάψει» ξανά τις αποθέσεις του και να σχηματίσει ένα μικρότερο φαράγγι βάθους περίπου έξι μέτρων και πλάτους ενός, που φαίνεται χαρακτηριστικά μετά το περίπτερο στην έξοδο του φαραγγιού.

3.1.2. Το φαράγγι της Σαμαριάς

Το φαράγγι της Σαμαριάς (εικόνα 1) βρίσκεται στα Λευκά Όρη της Δυτικής Κρήτης και εκτείνεται από τη θέση Ξυλόσκαλο (1227m), όπου είναι η βόρεια είσοδος του Εθνικού Δρυμού έως τον όρμο της Αγίας Ρουμέλης, που αποτελεί τη νότια είσοδο, καλύπτοντας μια απόσταση 18km. Το έτος 1962 ανακηρύχτηκε ως Εθνικός Δρυμός για την προστασία της σπάνιας χλωρίδας και πανίδας που περιλαμβάνει. Η θέση Ξυλόσκαλο πήρε την ονομασία της από μια ξύλινη σκάλα που υπήρχε παλιά εκεί και διευκόλυε την κατάβαση στο φαράγγι.



Εικόνα 1. Αποψη του φαραγγιού της Σαμαριάς από ψηλά (πηγή: Google Earth, 2007)

Το φαράγγι της Σαμαριάς είναι ένας μοναδικός σχηματισμός σε όλη τη λεκάνη της Μεσογείου, ο οποίος οριοθετείται από τις κορυφές υψηλών ορέων όπως του Ψιλαφιού (1903m), του Γκίγκιλου (2080m) και του Βολακιά (2116m) στα δυτικά και από τις κορυφές του Μελινταού (2133m) και της Ψιρίστρας στα ανατολικά. Ο πυρήνας του Εθνικού Δρυμού Σαμαριάς καλύπτει συνολική έκταση 51000 στρεμμάτων. Η κάθοδος του φαραγγιού ξεκινά από το Ξυλόσκαλο στην αρχή με σκαλιά, με ξύλινο στηθαίο για την προστασία των επισκεπτών, και συνεχίζει με μικρό

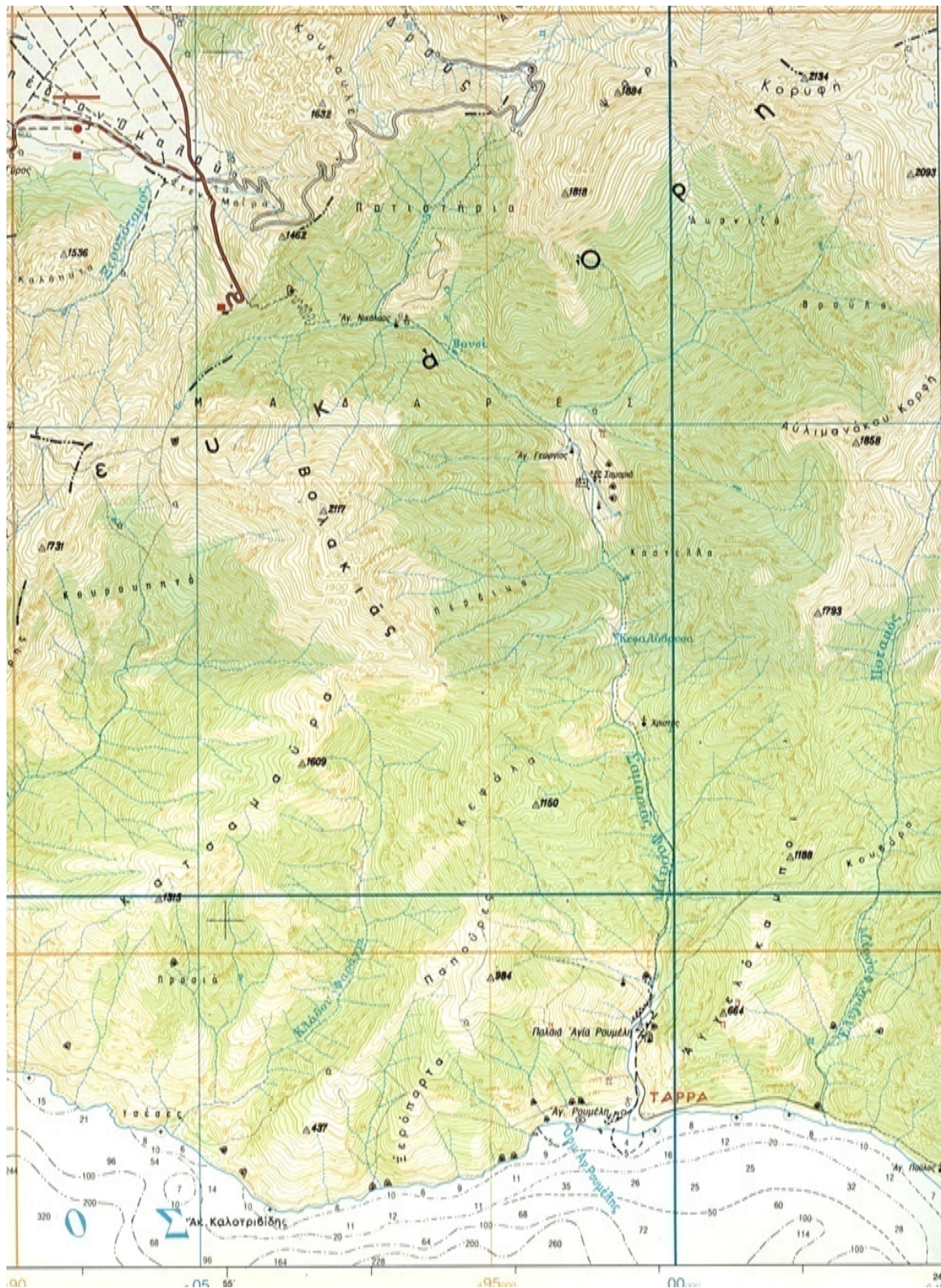
μονοπάτι. Το μονοπάτι ακολουθεί την κοίτη ενός ποταμού (εικόνα 2) κατά μήκος ενός δάσους με ψηλά δέντρα και καταπληκτική θέα. Στο μέσο περίπου της διαδρομής βρίσκεται ο παλιός οικισμός Σαμαριά, ο οποίος εκκενώθηκε λίγο μετά την ανακήρυξη του φαράγγιού ως Εθνικού Δρυμού. Εκεί βρίσκεται μια βυζαντινή εκκλησία αφιερωμένη στην Οσία Μαρία την Αιγυπτία, η οποία έδωσε το όνομά της στην περιοχή. Το όνομα Σαμαριά δεν είναι τίποτα άλλο από μια παραφθορά του ονόματος «Οσία Μαρία» ([http:// www.creta-info.gr](http://www.creta-info.gr)).

Ο Εθνικός Δρυμός έχει 22 πηγές, πολλούς χείμαρρους και απότομους γκρεμούς ύψους εκατοντάδων μέτρων. Το φαράγγι της Σαμαριάς είναι το μεγαλύτερο της Ευρώπης και συγκεντρώνει πλούσια χλωρίδα και πανίδα. Το πλάτος του κυμαίνεται από 3-150m. Το μικρότερο πλάτος βρίσκεται στη θέση «Πόρτες» ή «Σιδερόπορτες», όπου το ύψος των δύο πλευρών του φτάνει τα 600m (<http://www.creta-info.gr>). Το 1971 απονεμήθηκε στον Εθνικό Δρυμό το Εθνικό Δίπλωμα Προστασίας της Φύσης, το 1979 το Ευρωπαϊκό Δίπλωμα Α' Κατηγορίας του Συμβουλίου της Ευρώπης, ενώ το 1981 η UNESCO τον ανακήρυξε ως «Απόθεμα της Βιόσφαιρας» στο πλαίσιο του προγράμματος «Άνθρωπος και Βιόσφαιρα».

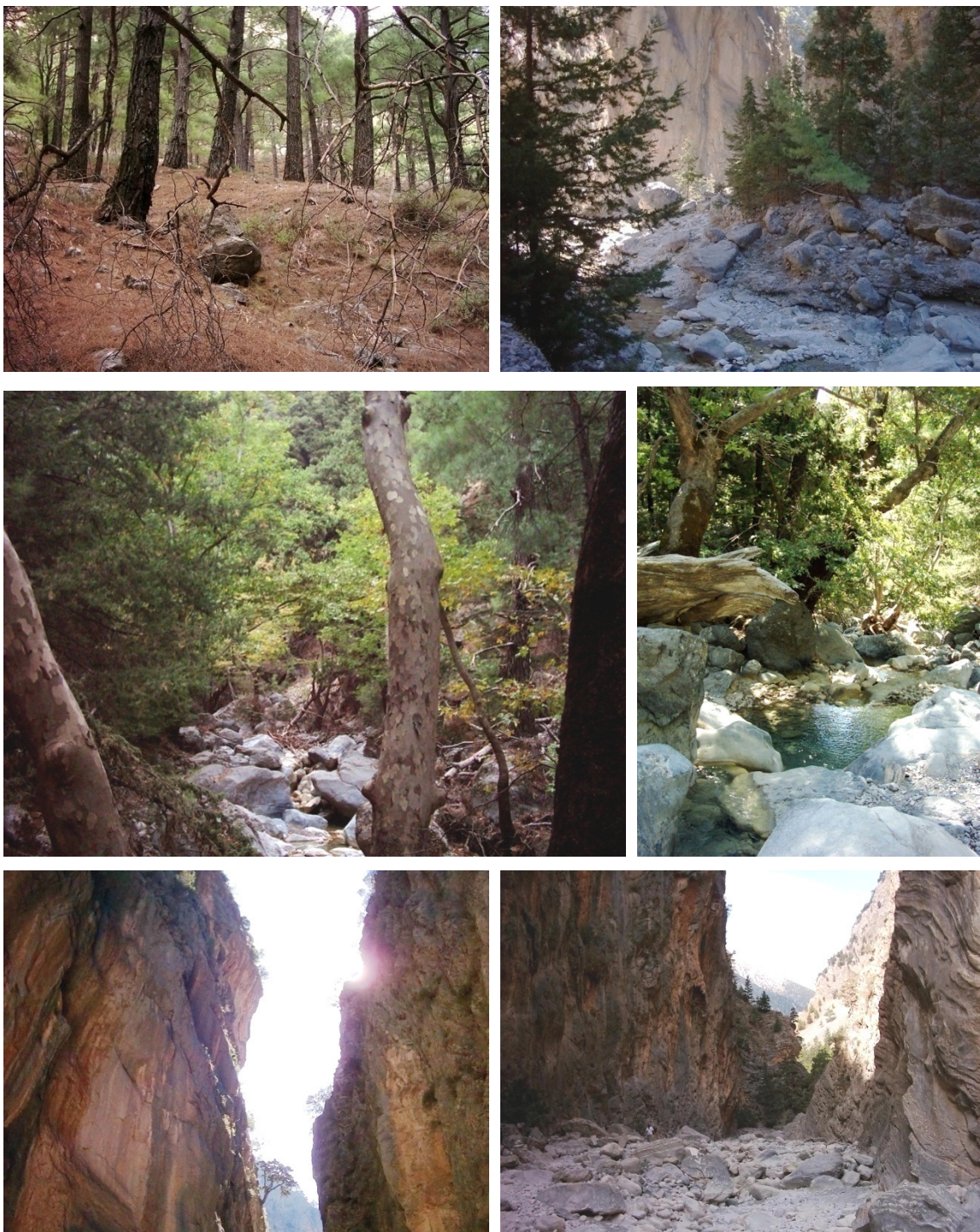
Βασικό χαρακτηριστικό του Εθνικού Δρυμού Σαμαριάς, με ιδιαίτερη αισθητική αξία, είναι η πλούσια εναλλαγή τοπίων (σπήλαια, τρεχούμενα νερά, θαμνώνες, ορεινά λιβάδια και δάση) μέσα στα οποία διατηρούνται μνημεία από όλες σχεδόν τις περιόδους της ανθρώπινης ιστορίας, όπως προϊστορικοί οικισμοί, οι πόλεις Τάρρα και Καινώ, το μαντείο και το ιερό του Απόλλωνα, παλαιοχριστιανικοί τάφοι και ενετικά κάστρα. ([http:// cretanhistory.tripod.com](http://cretanhistory.tripod.com)).

Η χλωρίδα της περιοχής είναι εξαιρετικά πλούσια, δεδομένου ότι περιλαμβάνει πάνω από 450 είδη, απ' τα οποία 70 χαρακτηρίζονται ενδημικά, όπως είναι ο έβενος, ο δίκταμος, η αμπελιτσιά, η τραχεία πεύκη η κρητική, το ελίχρυσσο, η ονοβρυχίς, κ.λπ. Ιδιαίτερα πλούσια είναι και η πανίδα της περιοχής στην οποία την πρώτη θέση κατέχει το σπάνιο είδος του κρητικού αίγαγρου (*Capra Aegagrus cretica*) ή αγριοκάτσικο ή αγρίμι ή κρι-κρι, ενώ ακολουθούν το κρητικό κουνάβι (ζουρίδα), ο κρητικός ασβός ή άρκαλος, ο κρητικός αγκαθοποντικός, η κρητική νυφίτσα ή καλογιαννού, ο κρητικός αγριόγατος ή φουρόγατος. Επίσης, απαντώνται σπάνια είδη ερπετών και αμφίβιων, όπως η βομβίνη, η κολισαύρα, η τρανόσαυρα και το σαμιαμίδι. Η ορνιθοπανίδα της περιοχής περιλαμβάνει επίσης σπάνια αρπακτικά πουλιά, όπως όρνια, γυπαετούς, σπιζαετούς και χρυσαετούς ([http:// www.oreivatein.com](http://www.oreivatein.com)).

3. Περιοχή μελέτης – Αυτόνομες μονάδες μέτρησης – Δεδομένα



Εικόνα 2. Χάρτης του φαραγγιού της Σαμαριάς (πηγή: Γ.Υ.Σ., 1993).



Εικόνα 3. Απόψεις του φαραγγιού της Σαμαριάς κατά τη διέλευση.

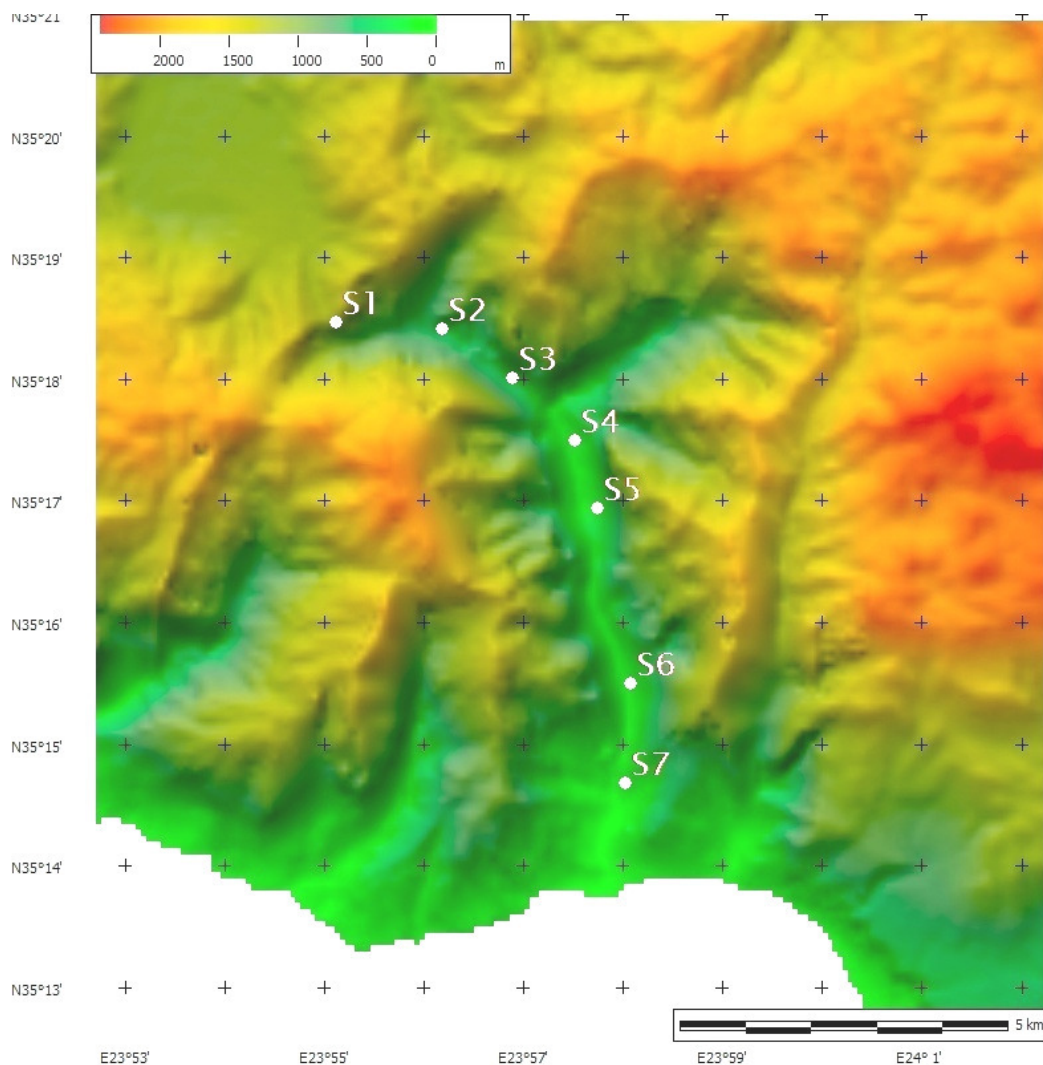
Στο φαράγγι απαγορεύεται το κυνήγι, η συλλογή κάθε είδους λουλουδιών και βοτάνων, το άναμμα φωτιάς καθώς και η διανυκτέρευση. Η διέλευση του φαραγγιού (εικόνα 3) και η εξερεύνηση του Εθνικού Δρυμού επιτρέπεται μόνο κατά την περίοδο Μαΐου-Οκτωβρίου. Τους υπόλοιπους μήνες τα νερά του ποταμού γίνονται πολύ ορμητικά και συχνά σημειώνονται κατολισθήσεις. Η απλή διέλευση του φαραγγιού καλύπτεται με τα πόδια σε διάστημα 6-8 ωρών.

3.3. Χαρακτηριστικά θέσεων εγκατάστασης σταθμών μέτρησης

Οι ακριβείς θέσεις των σταθμών μέτρησης δίνονται στον πίνακα 1 και φαίνονται στο χάρτη της εικόνας 4.

Πίνακας 1. Μετεωρολογικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή.

Όνομα σταθμού	Όνομα τοποθεσίας εγκατάστασης	Γεωγραφικό πλάτος στο σύστημα WGS84	Γεωγραφικό μήκος στο σύστημα WGS84
S1	Ομαλός	35 18'27''N	23 55'06''E
S2	Αγ. Νικόλαος	35 18'24''N	23 56'10''E
S3	Πρινάρι	35 18'00''N	23 56'53''E
S4	Σαμαριά	35 17'29''N	23 57'31''E
S5	Πέρδικα	35 16'56''N	23 57'44''E
S6	Χριστός	35 15'29''N	23 58'04''E
S7	Αγ. Ρουμέλη	35 14'40''N	23 58'01''E



Εικόνα 4. Η περιοχή του φαραγγιού της Σαμαριάς και οι 7 σταθμοί μέτρησης.

Στις παρακάτω εικόνες (εικόνα 5 έως 11) παρουσιάζονται τα διαγράμματα θέασης ορίζοντα σε μοίρες, για τα επτά σημεία τοποθέτησης των σταθμών. Στον οριζόντιο άξονα βρίσκεται το αζιμούθιο σε μοίρες, ενώ στον κατακόρυφο άξονα βρίσκεται η κατακόρυφη γωνία θέασης ορίζοντα. Είναι, με άλλα λόγια, το οριζόντιο ανάπτυσμα του κατακόρυφου στερεομετρικού κυλίνδρου που περιβάλλει τον παρατηρητή, με σημείο εκκίνησης τη γενέτειρα του κυλίνδρου.

Για παράδειγμα, στην εικόνα 7 παρατηρούμε ότι το ελάχιστο αζιμούθιο παρουσιάζεται στις 150 μοίρες και αντιστοιχεί σε μια κατακόρυφη γωνία 5 μοιρών. Αυτό σημαίνει ότι αν κοιτάξουμε στη διεύθυνση των 150 μοιρών ορίζοντα, τον ελεύθερο ορίζοντα θα τον δούμε σε γωνία 5 μοιρών από το οριζόντιο επίπεδο. Με την ίδια λογική αν κοιτάξουμε από το ίδιο σημείο στις 230 μοίρες ορίζοντα, ο ελεύθερος ορίζοντας θα βρίσκεται στις 46 μοίρες κατακόρυφα από το οριζόντιο επίπεδο, λόγω του ορεινού όγκου που υψώνεται προς την κατεύθυνση αυτή.

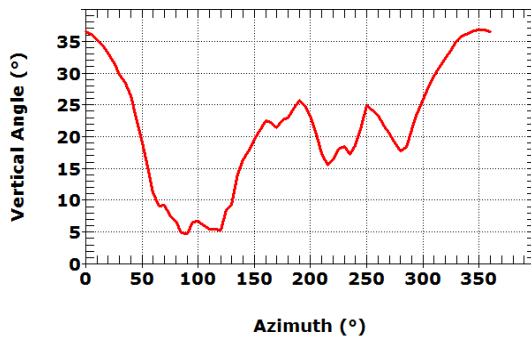
Από τα διαγράμματα θέασης ορίζοντα φαίνεται καθαρά ότι από τον σταθμό S4 μέχρι τον S7 οι πλαγιές που οριοθετούν το φαράγγι γίνονται πιο απόκρημνες και πιο ψηλές σε σύγκριση με το βάθος του με αποκορύφωμα το σημείο πόρτες, όπου το πλάτος είναι 3 μέτρα και οι πλαγιές υψώνονται στα 600 μέτρα περίπου.

Οι θέσεις εγκατάστασης των σταθμών μέτρησης εξαρτήθηκαν από πολλούς παράγοντες. Οι σταθμοί S1 και S7 είναι η βόρεια είσοδος και η νότια έξοδος του φαραγγιού, αντίστοιχα. Η χρήση των δύο αυτών σημείων είναι εκ των ουκ άνευ, αφού αποτελούν τα σημεία από τα δεδομένα των οποίων θα επιχειρηθεί η εκτίμηση των αντίστοιχων παραμέτρων όλων των υπολοίπων σταθμών εντός του φαραγγιού.

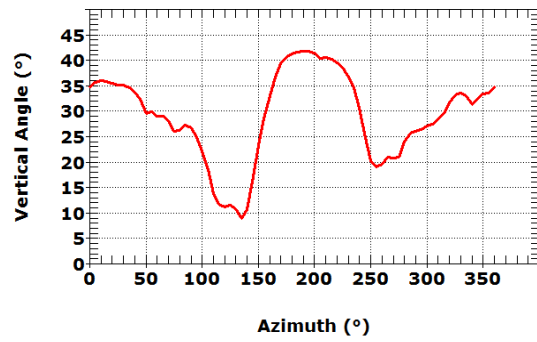
Οι θέσεις των υπολοίπων σταθμών επιλέχθηκαν έτσι ώστε να ισαπέχουν όσο το δυνατόν και σε οριζόντια απόσταση αλλά και σε υψομετρική διαφορά, και ταυτόχρονα να βρίσκονται σε σημεία ενδιαφέροντος ή συγκέντρωσης των επισκεπτών του φαραγγιού.

Η βόρεια είσοδος του φαραγγιού είναι στην νοτιοανατολική άκρη του οροπεδίου του Ομαλού και ο σταθμός S1 τοποθετήθηκε ακριβώς δίπλα στο φυλάκιο της εισόδου του φαραγγιού. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα θέασης ορίζοντα (εικόνα 5) όπου η χαμηλότερη τιμή της κατακόρυφης γωνίας είναι 90 μοίρες, η πορεία καθόδου είναι καθαρά ανατολική. Ο επόμενος σταθμός βρίσκεται στο φυλάκιο του Αγ. Νικολάου όπου η πορεία καθόδου αλλάζει στις 140 μοίρες με κατεύθυνση ανατολική – νοτιοανατολική.

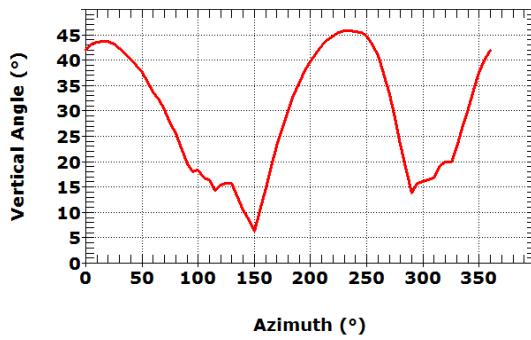
3. Περιοχή μελέτης – Αυτόνομες μονάδες μέτρησης – Δεδομένα



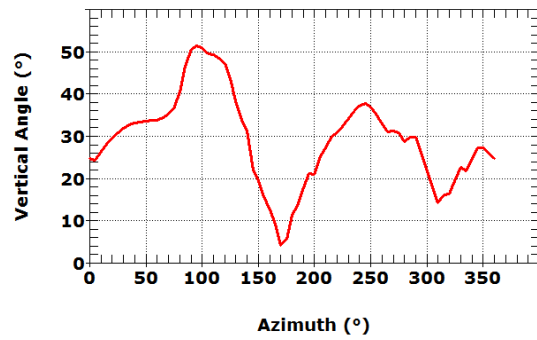
Εικόνα 5. Διάγραμμα θέασης ορίζοντα από το S1



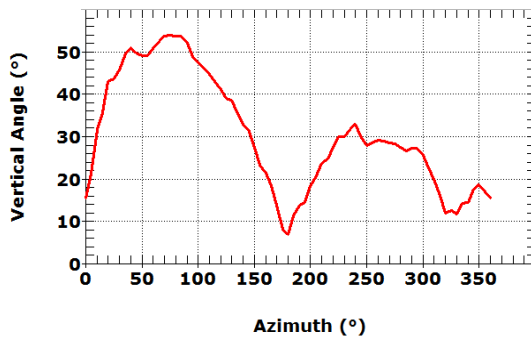
Εικόνα 6. Διάγραμμα θέασης ορίζοντα από το S2



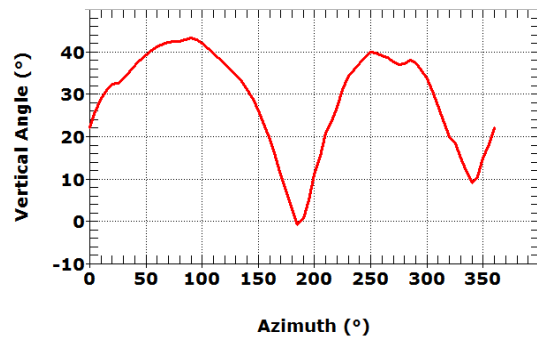
Εικόνα 7. Διάγραμμα θέασης ορίζοντα από το S3



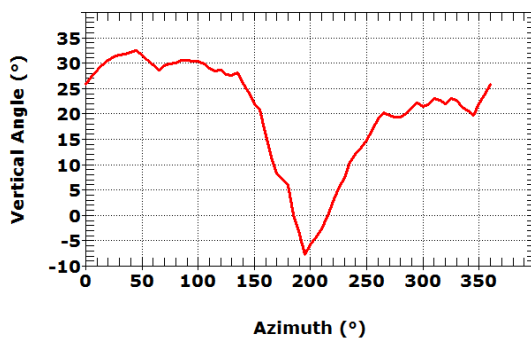
Εικόνα 8. Διάγραμμα θέασης ορίζοντα από το S4



Εικόνα 9. Διάγραμμα θέασης ορίζοντα από το S5



Εικόνα 10. Διάγραμμα θέασης ορίζοντα από το S6



Εικόνα 11. Διάγραμμα θέασης ορίζοντα από το S7

Η θέση Πρινάρι επιλέχτηκε για την εγκατάσταση του S3 διότι βρίσκεται στην μέση της απόστασης μεταξύ Αγ. Νικολάου και Σαμαριάς όπως φαίνεται και στον χάρτη. Στο σημείο αυτό η πορεία καθόδου έχει γίνει καθαρά νοτιοανατολική στις 150 μοίρες περίπου. Ο σταθμός S4 είναι μέσα στο εγκαταλειμμένο χωριό Σαμαριά που στεγάζει σήμερα τους φύλακες του φαραγγιού, το ιατρείο και είναι το κύριο σημείο ξεκούρασης των επισκεπτών. Στη Σαμαριά η πορεία καθόδου είναι πλέον στις 170 μοίρες και είναι σχεδόν νότια.

Το επόμενο σημείο νοτιότερα από τη Σαμαριά που επιλέχθηκε για την τοποθέτηση μετεωρολογικού σταθμού είναι το Πρινάρι, τοποθεσία ενός από τα φυλάκια πυρασφάλειας του φαραγγιού. Η πορεία του φαραγγιού έχει πλέον σταθεροποιηθεί στη νότια διεύθυνση (180 μοίρες).

Ο τελευταίος σταθμός στάσης, ένα πλάτωμα με τρεχούμενο νερό και λίγες ξύλινες κατασκευές τραπεζοκαθισμάτων (τοποθεσία Χριστός), επελέγη για την εγκατάσταση του σταθμού S6. Η κάθοδος είναι τώρα πολύ πιο ομαλή και με μικρότερη κλίση.

Το φυλάκιο εξόδου του φαραγγιού που βρίσκεται κοντά στο χωριό της Αγ. Ρουμέλης, απ' το οποίο πήρε και το όνομά του, είναι το σημείο εγκατάστασης του τελευταίου μετεωρολογικού σταθμού S7. Θετικό είναι το γεγονός ότι μαζί με τον σταθμό S1 του Ομαλού είναι τα μόνα δύο σημεία που είναι προσβάσιμα όλο το χρόνο, αφού πολλές φορές οι καιρικές συνθήκες το χειμώνα καθιστούν την πρόσβαση μέσα στο φαράγγι απαγορευμένη για λόγους ασφαλείας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι έγινε και προσπάθεια εύρεσης δορυφορικών εικόνων της περιοχής του φαραγγιού της Σαμαριάς για τη χρήση τους στην επιβεβαίωση των δεδομένων των επίγειων σταθμών μέτρησης και τη δημιουργία πληρέστερης εικόνας της κατανομής των μετρούμενων παραμέτρων κατά μήκος του φαραγγιού. Δυστυχώς, κατά το χρόνο διεξαγωγής των μετρήσεων, τέτοιες εικόνες δεν έγινε δυνατό να βρεθούν. Ο κυριότερος λόγος είναι ότι η μορφολογία του χώρου μελέτης (στενή θέαση ορίζοντα και μεγάλο βάθος) δεν επιτρέπει οπτική επαφή στους αντίστοιχους δορυφόρους.

3.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά αυτόνομων μονάδων μέτρησης - καταγραφής

Στα πλαίσια της διατριβής αυτής εγκαταστάθηκαν κατά τη θερινή περίοδο, σε επτά διαφορετικές θέσεις του φαραγγιού, σταθμοί μέτρησης θερμοκρασίας αέρος και σχετικής υγρασίας. Σε κάποια σημεία οι σταθμοί ήταν εξοπλισμένοι και με ανεμόμετρα.

Οι σταθμοί μέτρησης αποτελούνται από μικρά αυτόνομα data-loggers με ενσωματωμένους αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας (εικόνα 12), της εταιρείας Onset-computers με την κωδική ονομασία HOBO (<http://www.onsetcomp.com>), τα χαρακτηριστικά των οποίων παρατίθενται στον Πίνακα 2.



Εικόνα 12. Αυτόνομο καταγραφικό HOBO Pro RH/Temp.

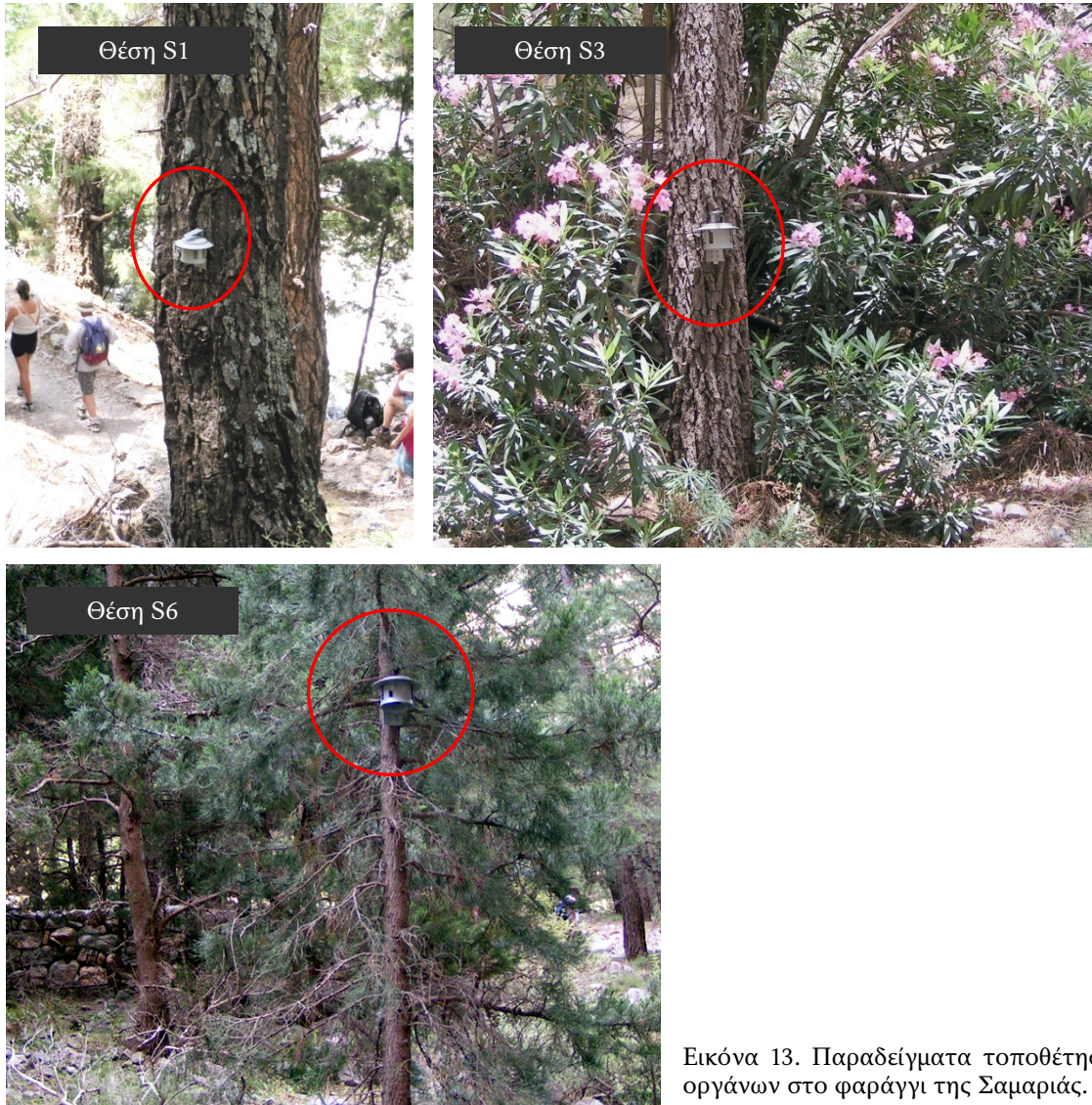
Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά των αισθητήρων HOBO Pro RH/Temp.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:	
Εύρος μέτρησης θερμοκρασίας	-30° έως 50°C
Ακρίβεια μέτρησης θερμοκρασίας	±0.2° στους 21°C
Εύρος μέτρησης σχετικής υγρασίας	0% έως 100% RH
Ακρίβεια μέτρησης σχετικής υγρασίας	±3% RH ή ±4% RH σε περιβάλλον συμπύκνωσης υδρατμών

Τα αυτόνομα καταγραφικά όργανα - σταθμοί τοποθετήθηκαν σε κορμούς δέντρων (εικόνα 13) με κατάλληλη στήριξη και σε ύψος 1,5m περίπου από την επιφάνεια του εδάφους. Κατά την επιλογή του σημείου μέτρησης λαμβάνονται υπόψη πολλοί παράγοντες, που δυστυχώς ορισμένες φορές αλληλοαναιρούνται. Κάποιοι από τους παράγοντες που παίζουν ρόλο στην επιλογή αυτή είναι η αντιπροσωπευτικότητα των μετρήσεων σύμφωνα με τη μεθοδολογία μετρήσεων μετεωρολογικών δεδομένων, η «αισθητική ρύπανση» του δρυμού, η οπτική απόκρυψη από τους τουρίστες που

3. Περιοχή μελέτης – Αυτόνομες μονάδες μέτρησης – Δεδομένα

προστατεύει τους σταθμούς και από πιθανούς βανδαλισμούς και η προστασία από άγρια ζώα και κυρίως από τα άγρια κατσίκια (κρι-κρι) τα οποία ως προστατευόμενο είδος κυκλοφορούν ελεύθερα στον Δρυμό.



Εικόνα 13. Παραδείγματα τοποθέτησης οργάνων στο φαράγγι της Σαμαριάς.

3.4. Δεδομένα μετρήσεων

Οι μετρήσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων έγιναν κατά τη θερινή περίοδο των ετών 2003-2005. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, λόγω της μεγάλης επισκεψιμότητας των χώρων του φαραγγιού, της επίδρασης αστάθμητων παραγόντων λόγω της ιδιομορφίας του χώρου (δρυμός) και του δύσβατου της περιοχής, παρατηρήθηκαν προβλήματα ως προς την απρόσκοπτη λειτουργία των οργάνων κατά τη διάρκεια της περιόδου των μετρήσεων. Για το λόγο αυτό ελήφθησαν υπόψη μόνο τα δεδομένα της ταυτόχρονης λειτουργίας και των επτά σταθμών για το ίδιο έτος. Δηλαδή η μη καταγραφή δεδομένων λόγω πρόσκαιρης βλάβης ή καταστροφής των οργάνων ενός σταθμού είχε ως συνέπεια την εξαίρεση για το συγκεκριμένο διάστημα του έτους και των αντίστοιχων καταγραφών των άλλων σταθμών. Έτσι, η ταυτόχρονη λειτουργία των επτά εγκατεστημένων σταθμών παρουσιάζεται στον πίνακα 3, όπου επίσης παρουσιάζεται και ο συνολικός αριθμός των καταγραφών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας που ήταν αξιοποιήσιμες για στατιστική ανάλυση. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών λήφθηκαν ανά δεκάλεπτο. Υπολογίστηκαν οι μέσες ωριαίες τιμές και στη συνέχεια οι μέσες τιμές της χρονικής περιόδου των μετρήσεων ανά έτος.

Πίνακας 3. Χρονικά διαστήματα ταυτόχρονης λειτουργίας όλων των σταθμών ανά έτος και ο αντίστοιχος συνολικός αριθμός καταγραφών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.

Από		Έως		Σύνολο
12/06/2003	18:00	04/08/2003	09:00	1264 μετρήσεις
06/08/2004	14:00	15/09/2004	02:00	962 μετρήσεις
20/06/2005	00:00	27/10/2005	23:00	3120 μετρήσεις

Οι τιμές των παραμέτρων της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρος υπό μορφή διαγραμμάτων για τα χρονικά διαστήματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 3, αναφέρονται στο παράρτημα Ι.

Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων (Παράρτημα Ι / Διαγράμματα 1 έως 7) των τιμών θερμοκρασίας αέρος του 2003, οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται στο σταθμό S1 ενώ το μικρότερο ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος παρατηρείται στο σταθμό S7.

3. Περιοχή μελέτης – Αυτόνομες μονάδες μέτρησης - Δεδομένα

Γενικά η σταθερότερη κύμανση της θερμοκρασίας αέρος με το σχετικά μικρότερο ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος παρατηρείται στο σταθμό S7 (έξοδος του φαραγγιού).

Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην επίδραση της θάλασσας, η οποία εξισορροπεί τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις. Η θαλάσσια αύρα μειώνει τις ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας αέρος ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας αυτές μπορεί να επηρεαστούν και από τη θερμική απόδοση των μεγάλων ποσοτήτων νερού της θάλασσας, λόγω μεγάλης θερμοχωρητικότητας.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η θερμοϋγρομετρική συμπεριφορά των δεδομένων του έτους 2005 (Παράρτημα I / Διαγράμματα 15 έως 21). Αυτό αποδίδεται στη μεγαλύτερη χρονοσειρά δεδομένων, όπου σαφώς διαφοροποιούνται οι θερμοϋγρομετρικές συνθήκες των διαφορετικών εποχών του έτους, δηλαδή θέρους και φθινοπώρου. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, οι υγρομετρικές συνθήκες παρατηρούνται εξαιρετικά αυξημένες. Αυτό οφείλεται τόσο στη μείωση της θερμοκρασίας, όσο και στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που παρατηρούνται την περίοδο αυτή. Η διαφοροποίηση της σχετικής υγρασίας του θέρους και φθινοπώρου είναι εντονότερη στους σταθμούς της ενδοχώρας (Παράρτημα I / Διαγράμματα 15 έως 19) από την αντίστοιχη του "παραθαλάσσιου" σταθμού εξόδου (S7) και του άμεσα επηρεαζόμενου (S6) απ' αυτόν (Παράρτημα I / Διαγράμματα 20 και 21).

Από τον υπολογισμό των μέσων τιμών της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρος για τα χρονικά διαστήματα της ταυτόχρονης λειτουργίας (πίνακας 3) όλων των σταθμών προέκυψαν οι πίνακες 4 και 5.

Πίνακας 4. Μέση θερμοκρασία αέρος και τυπική απόκλιση ανά σταθμό μέτρησης για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας τους ανά έτος.

Έτη Σταθμοί	2003		2004		2005	
	Μέση θερμοκρασία (°C)	Τυπική απόκλιση	Μέση θερμοκρασία (°C)	Τυπική απόκλιση	Μέση θερμοκρασία (°C)	Τυπική απόκλιση
S1	22,0	3,0	18,8	4,5	18,1	4,8
S2	28,1	3,6	24,4	5,3	23,2	6,1
S3	26,8	3,9	24,9	4,4	23,4	5,4
S4	26,5	3,8	24,9	4,0	23,7	4,3
S5	26,8	4,1	25,3	4,1	23,8	5,7
S6	26,3	3,3	25,4	3,2	24,2	4,6
S7	27,2	2,8	25,9	3,0	25,5	4,5

Πίνακας 5. Μέση σχετική υγρασία και τυπική απόκλιση ανά σταθμό μέτρησης για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας τους ανά έτος.

Έτη Σταθμοί	2003		2004		2005	
	Μέση σχετική υγρασία (%)	Τυπική απόκλιση	Μέση σχετική υγρασία (%)	Τυπική απόκλιση	Μέση σχετική υγρασία (%)	Τυπική απόκλιση
S1	38,3	9,5	51,9	19,8	59,9	16,0
S2	33,8	12,4	37,6	15,4	44,0	19,6
S3	34,7	12,3	38,4	13,4	45,8	20,5
S4	35,2	12,2	38,3	12,2	51,0	23,1
S5	39,0	14,1	40,0	13,0	50,8	24,5
S6	46,9	15,5	46,1	13,5	47,6	17,2
S7	44,1	13,4	45,5	12,9	48,3	15,4

Από τη ανάλυση των μέσων τιμών θερμοκρασίας αέρος ανά σταθμό μέτρησης (Πιν. 4) διαπιστώνεται ότι ο σταθμός S1 παρουσιάζει μικρότερη μέση θερμοκρασία από τους υπόλοιπους σταθμούς, από 3,4°C έως 6,1°C για το έτος 2003, από 5,6°C έως 7,1°C για το 2004, και από 5,1°C έως 7,4°C για το έτος 2005. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι στη διαμόρφωση της θερμικής κατάστασης των θέσεων των σταθμών εκτός από την επίδραση του περιβάλλοντος χώρου, το υψόμετρο επηρεάζει καθοριστικά τη θερμοκρασία του αέρος. Για το λόγο αυτό ο σταθμός στην έξοδο του φαραγγιού (S7), που βρίσκεται στο μικρότερο υψόμετρο, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία αέρος. Από τη λεπτομερή όμως ανάλυση των ωριαίων τιμών της θερμοκρασίας διαπιστώθηκε ότι η απόλυτη μέγιστη παρατηρείται στον σταθμό του Αγ. Νικολάου (S2) με θερμοκρασία που έφτασε τους 40,8°C το 2003, τους 39,3°C το 2004, τους 42,7°C το 2005. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην θερμική επίδραση των δομικών υλικών του παρακείμενου φυλακίου.

Όσον αφορά τη σχετική υγρασία (Πιν. 5), ξηρότερες ατμοσφαιρικές συνθήκες για όλα τα έτη παρουσιάζει ο σταθμός του Αγ. Νικολάου (S2) ενώ υγρότερες εμφανίζει ο σταθμός του Ομαλού (S1) με εξαίρεση το έτος 2003.

Αξίζει να επισημανθεί ότι οι τυπικές αποκλίσεις για τη θερμοκρασία κυμαίνονται από 2,8°C έως 5,7°C ενώ για τη σχετική υγρασία από 9,5% έως 24,5% για όλους τους σταθμούς μέτρησης.

4. Μέθοδοι και τεχνικές εκτίμησης

4.1. Απλή - πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση

Η παλινδρόμηση είναι ένα μέτρο της στατιστικής σχέσης ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες μεταβλητές. Μπορεί κανείς να πει ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι ένα μέτρο του βαθμού στον οποίο οι τιμές δύο μεταβλητών είναι «ανάλογες» μεταξύ τους. Η συσχέτιση είναι υψηλή αν η σχέση μεταξύ των μεταβλητών μπορεί να απεικονισθεί από την εξίσωση μιας ευθείας. Αυτή η ευθεία λέγεται, ως γνωστόν, ευθεία παλινδρόμησης ή ευθεία ελαχίστων τετραγώνων, διότι ορίζεται έτσι ώστε το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων των σημείων του διαγράμματος διασποράς των δύο μεταβλητών από την ευθεία αυτή να είναι το ελάχιστο δυνατό.

Ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος συντελεστής συσχέτισης είναι ο συντελεστής Pearson και συμβολίζεται με r . Ονομάζεται επίσης και συντελεστής γραμμικής συσχέτισης. Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης μπορεί να κυμαίνεται από -1 έως $+1$. Η τιμή -1 αντικατοπτρίζει μια τέλεια αρνητική γραμμική συσχέτιση, η τιμή $+1$ εκφράζει μια τέλεια θετική γραμμική συσχέτιση ενώ η τιμή 0 εκφράζει έλλειψη γραμμικής συσχέτισης.

Μία βασική προσέγγιση που γίνεται για να δοθεί λύση στο πρόβλημα της εκτίμησης της τιμής μιας μεταβλητής γνωρίζοντας την τιμή μιας άλλης μεταβλητής είναι η περιγραφή της υπό διερεύνηση σχέσης μεταξύ τους με μορφή αιτίου – αποτελέσματος. Ως αίτιο της μεταβλητότητας των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής θεωρείται η μεταβλητότητα των τιμών της ανεξάρτητης μεταβλητής. Η μέθοδος της απλής γραμμικής παλινδρόμησης περιγράφεται από μια εξίσωση ευθείας γραμμής της μορφής:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x + e \quad (4.1)$$

όπου: y η εξαρτημένη μεταβλητή,

β_0 και β_1 οι συντελεστές παλινδρόμησης οι οποίοι πρέπει να εκτιμηθούν από τα δεδομένα.

e τα υπόλοιπα (residuals) που είναι το σφάλμα της εκτίμησης,

x η ανεξάρτητη μεταβλητή.

Ο συντελεστής β_0 αναφέρεται στο σημείο τομής του άξονα των τεταγμένων με την ευθεία παλινδρόμησης ενώ ο β_1 εκφράζει το γωνιακό συντελεστή της ευθείας αυτής, δηλαδή την κλίση της.

Η μέθοδος αυτή θεωρείται κατάλληλη και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για τον προσδιορισμό των σχέσεων διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων.

Η μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης αποτελεί επέκταση της προηγούμενης μεθόδου. Χρησιμοποιείται συχνά σε πολλά επιστημονικά πεδία όπου συνήθως η εξαρτημένη μεταβλητή επηρεάζεται από πολλές ανεξάρτητες μεταβλητές των οποίων η συνδυασμένη τους επίδραση στην εξαρτημένη μεταβλητή παίζει πρωτεύοντα ρόλο. Στην περίπτωση αυτή η εξίσωση παλινδρόμησης είναι:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_n \cdot x_n + e \quad (4.2)$$

όπου: y η εξαρτημένη μεταβλητή,

x_1, x_2, \dots, x_n οι ανεξάρτητες μεταβλητές,

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ οι συντελεστές παλινδρόμησης, και

e τα υπόλοιπα (residuals) που είναι το σφάλμα της εκτίμησης.

Η εξίσωση 4.1 αποτελεί υποπερίπτωση της 4.2 για $n=1$. Ο προσδιορισμός της εξίσωσης γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τη δοκιμή F και την τιμή του συντελεστή προσδιορισμού R^2 , ο οποίος αποτελεί κριτήριο για την καλή ή όχι προσαρμογή της εξίσωσης στα δεδομένα.

Η δειγματική διασπορά των παρατηρήσεων y_i αποδεικνύεται ότι χωρίζεται σε δύο αθροίσματα. Συγκεκριμένα ισχύει ότι:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - y_{fi})^2 + \sum_{i=1}^n (y_{fi} - \bar{y})^2 \quad (4.3)$$

Τα τρία αυτά αθροίσματα συμβολίζονται με SST (Sum of Squares Total), SSE (Sum of Squares Error) και SSR (Sum of Squares Regression) αντίστοιχα, δηλαδή,

$$SST = SSE + SSR \quad (4.4)$$

Μπορεί τώρα να θεωρηθεί ότι:

το SST εκφράζει τη συνολική παρατηρούμενη μεταβλητότητα των y_i ,

το SSR εκφράζει τη μεταβλητότητα των προσαρμοσμένων τιμών,

το SSE εκφράζει τη μεταβλητότητα των y_i σε σχέση με τις αντίστοιχες προσαρμοσμένες τιμές y_{fi} .

Τελικά, παρατηρούμε ότι η συνολική παρατηρούμενη μεταβλητότητα των y_i (SST) μπορεί να χωριστεί στα δύο, στην μεταβλητότητα που ερμηνεύεται από το μοντέλο (SSR) και στην μεταβλητότητα που οφείλεται σε παράγοντες που δεν έχουν περιληφθεί στο μοντέλο. Συνεπώς, το πηλίκο:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{fi} - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4.5)$$

εκφράζει το συντελεστή προσδιορισμού R^2 ο οποίος υπολογίζεται από το λόγο του αθροίσματος των τετραγώνων των αποκλίσεων της μέσης τιμής \bar{y} από τη μέση τιμή των προβλεπόμενων τιμών y_{fi} προς το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων κάθε μίας τιμής y_i από τη μέση τιμή \bar{y} (Boutsikas, 2004).

Όπως αναφέρθηκε ήδη, ο συντελεστής συσχέτισης r εκφράζει τη γραμμική σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών. Αν ο συντελεστής συσχέτισης υψωθεί στο τετράγωνο τότε το αποτέλεσμα είναι ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2) και εκφράζει την αναλογία της κοινής διακύμανσης στις δύο μεταβλητές (δηλαδή την «ισχύ» ή το «μέγεθος» της σχέσης).

4.2. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Ο όρος Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (Artificial Neural Network, ANN) αναφέρεται σε μια αρχιτεκτονική, η οποία εκτελεί αριθμητικούς υπολογισμούς χρησιμοποιώντας δομή μαζικού παραλληλισμού (massively parallel structure) ή παράλληλης κατανεμημένης επεξεργασίας (parallel distributed processing).

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν σήμερα ένα ισχυρό εργαλείο μοντελοποίησης σύνθετων προβλημάτων πρόβλεψης (ταξινόμησης ή παλινδρόμησης) με μεγάλο αριθμό ανεξάρτητων μεταβλητών και πολλές αλληλεπιδράσεις. Η δομή και η λειτουργία των νευρωνικών δικτύων είναι εμπνευσμένες από τα βιολογικά νευρικά συστήματα. Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούνται από απλά στοιχεία που λειτουργούν σε παράλληλη διάταξη. Όπως συμβαίνει και στη φύση, η λειτουργία του νευρωνικού δικτύου προσδιορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο με τον οποίο είναι συνδεδεμένα μεταξύ

τους τα επιμέρους στοιχεία του. Η γενική αρχιτεκτονική (τοπολογία) των νευρωνικών δικτύων χαρακτηρίζεται από ένα γράφημα, του οποίου οι κόμβοι κατανέμονται σε:

- α) ένα επίπεδο εισόδου (input layer) ,
- β) ένα επίπεδο εξόδου (output layer) και
- γ) ένα ή περισσότερα ενδιάμεσα κρυμμένα επίπεδα (hidden layers).

Κάθε ένας από τους κόμβους εισόδου ενός νευρωνικού δικτύου πρόσθιας τροφοδότησης (feedforward), αντιστοιχεί σε μια μεταβλητή εισόδου. Κάθε κόμβος εισόδου συνδέεται με όλους τους κόμβους στο πρώτο κρυμμένο επίπεδο. Οι κόμβοι του κρυμμένου επιπέδου συνδέονται με τους κόμβους ενός άλλου κρυμμένου επιπέδου ή με κόμβους στο επίπεδο εξόδου. Οι κόμβοι στο επίπεδο εξόδου αντιστοιχούν σε μια ή περισσότερες μεταβλητές εξόδου.

Οι κόμβοι του νευρωνικού δικτύου ονομάζονται νευρώνες (neurons) ενώ οι δεσμοί μεταξύ των κόμβων ονομάζονται συνάψεις (synapses). Σε κάθε σύναψη αντιστοιχεί ένα βάρος που ονομάζεται συναπτικό βάρος (synaptic weight). Η αρχιτεκτονική (τοπολογία) ενός νευρωνικού δικτύου προσδιορίζεται από τον αριθμό των κόμβων, τον αριθμό των κρυμμένων επιπέδων και τον τρόπο με τον οποίο οι νευρώνες συνδέονται μεταξύ τους. Ο αριθμός των κρυμμένων επιπέδων και νευρώνων και ενδεχομένως τα όρια μέσα στα οποία θα κυμαίνονται τα συναπτικά βάρη είναι στοιχεία που προσδιορίζονται στη φάση του σχεδιασμού του νευρωνικού δικτύου. Η συνάρτηση του δικτύου καθορίζεται ως επί το πλείστον από τις συνδέσεις μεταξύ των μονάδων. Συνεπώς ένα νευρωνικό δίκτυο είναι μια πολυστρωματική διάταξη επεξεργασίας πληροφοριών.

Η πιο σημαντική ιδιότητα ενός νευρωνικού δικτύου είναι η ικανότητά του να μαθαίνει απ' το περιβάλλον του και έτσι να βελτιώνει την απόδοσή του μέσω της μάθησης. Μοιάζει με τον βιολογικό εγκέφαλο στο ότι η γνώση αποκτάται από το δίκτυο μέσω μιας διαδικασίας όπου τα συναπτικά βάρη χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της γνώσης. Ένα νευρωνικό δίκτυο μπορεί να προσαρμοστεί έτσι ώστε να επιτελεί μια συγκεκριμένη λειτουργία, η οποία επιτυγχάνεται με κατάλληλη επιλογή των συναπτικών βαρών. Η επιλογή αυτή των συναπτικών βαρών που θα επιτρέψει στο δίκτυο να επιτελέσει μια συγκεκριμένη λειτουργία ονομάζεται εκπαίδευση του δικτύου (training). Η εκπαίδευση επιτυγχάνεται μέσω μιας επαναλαμβανόμενης διαδικασίας ανανέωσης των βαρών των συνδέσμων του δικτύου. Θεωρητικά, το δίκτυο αποκτά περισσότερη γνώση για το περιβάλλον του μετά από κάθε επανάληψη της διαδικασίας εκπαίδευσης. Η βελτίωση γίνεται σταδιακά με το χρόνο, σύμφωνα με κάποιο προκαθορισμένο μέτρο γνωστό ως ρυθμός μάθησης (learning rate). Συνεπώς

η εκπαίδευση αποτελεί ένα μέσο δυναμικής αναπαράστασης κωδικοποιημένης πληροφορίας στους νευρώνες ενός Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου.

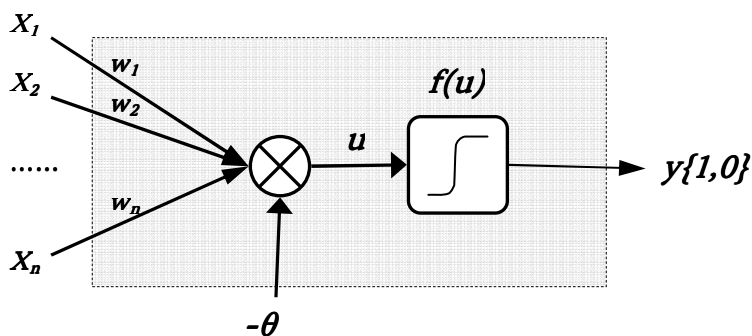
Επειδή ο προσδιορισμός των συναπτικών βαρών απαιτεί συνήθως την ελαχιστοποίηση μιας μη γραμμικής, ως προς τα συναπτικά βάρη, συνάρτησης σφάλματος, επιβάλλεται η χρησιμοποίηση μεθόδων σταδιακής προσέγγισης του ελάχιστου σφάλματος. Η διαδικασία αυτή προσομοιάζεται ως μια διαδικασία εκπαίδευσης των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων με επίβλεψη.

Γενικά, ένα Νευρωνικό Δίκτυο συνιστά μια μη γραμμική απεικόνιση ενός διανύσματος εισόδου σε ένα διάνυσμα εξόδου. Ως εκ τούτου, τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν, με κατάλληλη ερμηνεία της εξόδου, ως μη γραμμικά μοντέλα πρόβλεψης τόσο σε προβλήματα παλινδρόμησης όσο και σε προβλήματα ταξινόμησης.

Πολλά πακέτα λογισμικού έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια για την εύκολη και αποτελεσματική εφαρμογή των νευρωνικών δικτύων προκειμένου να επιλυθούν διάφορα προβλήματα.

4.2.1. Δίκτυα MLP

Η πιο απλή μορφή ενός νευρωνικού δικτύου είναι το «perceptron». Η λέξη «δίκτυο» στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται καταχρηστικά αφού δεν υπάρχουν περισσότεροι του ενός νευρώνες για να συνδεθούν μεταξύ τους. Οι μόνες συνδέσεις που υπάρχουν είναι αυτές μεταξύ του διανύσματος των εισόδων $x = (x_1, \dots, x_n)^T$ και του νευρώνα όπως φαίνεται στην εικόνα 14.



Εικόνα 14. Γενική περιγραφή Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου «Perceptron».

Στο perceptron υλοποιείται η συνάρτηση μεταφοράς:

$$u = \sum_{i=1}^n w_i x_i - \theta \quad (4.6.\alpha)$$

$$y = f(u) \quad (4.6.\beta)$$

παρουσιάζοντας την τιμή του y ως συνάρτηση του x προκύπτει:

$$y_i(x) = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i - \theta\right) \quad (4.7)$$

Οι παράμετροι w_1, w_2, \dots, w_n είναι τα συναπτικά βάρη του νευρώνα ενώ η παράμετρος θ λέγεται κατώφλι ενεργοποίησης. Το διάνυσμα των συναπτικών βαρών και το κατώφλι ενεργοποίησης είναι οι δύο παράμετροι που ρυθμίζουν ουσιαστικά τη συμπεριφορά του δικτύου.

Η συνάρτηση ενεργοποίησης f είναι μη γραμμική και δίνει ως έξοδο 1 αν το $u > 0$ ή 0 σε κάθε άλλη περίπτωση. Η συνάρτηση μεταφοράς u αντιστοιχεί σε ένα υπερεπίπεδο στο χώρο n διαστάσεων (R^n). Τα σημεία x που αντιστοιχούν σε θετικές τιμές $u > 0$ βρίσκονται από την μία πλευρά του υπερεπιπέδου, τα σημεία x που αντιστοιχούν σε $u = 0$ βρίσκονται πάνω στο υπερεπίπεδο, ενώ τα σημεία x που αντιστοιχούν σε αρνητικές τιμές $u < 0$ βρίσκονται από την άλλη πλευρά του υπερεπιπέδου (Διαμαντάρας 2007).

Οι δυνατότητες αναπαράστασης διαχωριστικών επιφανειών είναι περιορισμένες στο δίκτυο perceptron ενός νευρώνα αφού μπορεί να αναπαραστήσει μόνο επίπεδες επιφάνειες διαχωρισμού. Αν χρησιμοποιηθούν περισσότεροι κρυφοί νευρώνες θα μπορούσαν να οριστούν περισσότερες διαχωριστικές επιφάνειες και να γενικευτεί η χρήση του δικτύου σε πιο πολύπλοκες εφαρμογές. Τα δίκτυα perceptron πολλαπλών στρωμάτων (Multi-Layer Perceptron, MLP) μπορούν να υλοποιήσουν πολύπλοκες συναρτήσεις που το απλό perceptron αποτυγχάνει.

Η χρήση της βηματικής συνάρτησης σαν συνάρτηση ενεργοποίησης f του νευρωνικού δικτύου δεν προτιμάται στις εφαρμογές γιατί δεν παραγωγίζεται. Η δυνατότητα παραγωγίσιμης της συνάρτησης είναι απαραίτητη, διότι χρησιμοποιείται στις μεθόδους βελτιστοποίησης των κανόνων εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου.

Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται συνήθως η σιγμοειδής συνάρτηση, η οποία είναι παραγωγίσιμη και μοιάζει πολύ με την βηματική.

$$f(u) = \frac{1}{1 + e^{-u}} \quad (4.8)$$

Εναλλακτικά, μια άλλη συνάρτηση που χρησιμοποιείται, μοιάζει με την βηματική και είναι παραγωγίσιμη είναι η λεγόμενη υπερβολική εφαπτομένη (hyperbolic tangent):

$$\tanh(u) = \frac{e^u - e^{-u}}{e^u + e^{-u}} \quad (4.9)$$

Η σχέση της με την σιγμοειδή είναι απλή :

$$\tanh(u) = 2f(2u) - 1 \quad (4.10)$$

Τα δίκτυα MLP που ενσωματώνουν τη σιγμοειδή συνάρτηση αποδεικνύεται ότι έχουν πολλές δυνατότητες αναπαράστασης συναρτήσεων. Τα δίκτυα αυτά ονομάζονται και «Universal Approximators» (Καθολικοί προσεγγιστές) γιατί μπορούν να προσεγγίσουν οποιαδήποτε συνεχή συνάρτηση με οποιαδήποτε επιθυμούμενη ακρίβεια. (Hornik et al. 1989, Funahashi 1989, Cybenko 1989, Barron and Cover 1991, Barron 1993).

4.2.2. Δίκτυα RBF

Μια άλλη κατηγορία τεχνητών νευρωνικών δικτύων που έχουν ιδιότητες καθολικού προσεγγιστή αντίστοιχα με τα MLP είναι τα Δίκτυα Συναρτήσεων Βάσης Ακτινικού Τύπου (Radial Basis Function networks, RBF).

Μια συνάρτηση $f(x)$ λέγεται συνάρτηση ακτινικού τύπου (radial function) όταν η τιμή της εξαρτάται μόνο από την απόσταση του x από ένα διάνυσμα c το οποίο ονομάζουμε κέντρο.

$$f(x) = f(\|x - c\|) \quad (4.11)$$

Για έναν κύκλο με κέντρο c και ακτίνα $r = \|x - c\|$ η τιμή της f είναι σταθερή. Κλασικό παράδειγμα συνάρτησης ακτινικού τύπου είναι η συνάρτηση Gauss η οποία χρησιμοποιείται ευρύτατα.

Τα δίκτυα RBF είναι δίκτυα πρόσθιας τροφοδότησης (feedforward) πλήρως διασυνδεδεμένα και αποτελούνται από το επίπεδο εισόδου, το κρυφό επίπεδο και το επίπεδο εξόδου. Αποδεικνύεται, (Park and Sandberg 1991) ότι οι συναρτήσεις ακτινικού τύπου είναι βάση του χώρου των συνεχών συναρτήσεων και επομένως, αν χρησιμοποιηθεί ικανός αριθμός νευρώνων στο κρυφό επίπεδο, τα τρία επίπεδα αρκούν για να προσεγγιστεί οποιαδήποτε συνεχής συνάρτηση με οποιοδήποτε βαθμό πιστότητας.

Σε ένα δίκτυο RBF με n νευρώνες στο επίπεδο εισόδου, με k νευρώνες στο κρυφό επίπεδο και με m νευρώνες στο επίπεδο εξόδου, με διάνυσμα εξόδου y_i και διάνυσμα εισόδου $x = (x_1, \dots, x_n)^T$ η συνάρτηση του δικτύου είναι η εξής:

$$y_i(x) = \sum_{j=1}^k w_{ij} a_j + w_{i0} \quad (4.12.\alpha)$$

$$a_i = f(\|x - c_i\|, \sigma_i) \quad (4.12.\beta)$$

Κάθε κρυφός νευρώνας i έχει δικό του κέντρο c_i και εύρος συνάρτησης σ_i . Οι συναρτήσεις a_i ονομάζονται ακτινικές συναρτήσεις βάσης, παίρνουν τη μέγιστη τιμή τους στο κέντρο, και η τιμή τους ελαττώνεται εκθετικά καθώς απομακρυνόμαστε από αυτό (Διαμαντάρας 2007).

Η εκπαίδευση ενός δικτύου RBF γίνεται με σκοπό την ελαχιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος μεταξύ πραγματικών και επιθυμητών τιμών εξόδου του δικτύου. Έχουν προταθεί ποικίλες μέθοδοι για την εκπαίδευση ενός δικτύου RBF. Σε γενικές γραμμές η εκπαίδευση του RBF ακολουθεί τρία βήματα. Στο πρώτο βήμα εκπαιδεύονται οι νευρώνες του κρυφού επιπέδου με κάποιο αλγόριθμο χωρίς εποπτεία. Στο δεύτερο βήμα εκπαιδεύονται οι νευρώνες του επιπέδου εξόδου με κάποιο αλγόριθμο με εποπτεία, ενώ στο τρίτο βήμα, και αφού έχει βρεθεί κάποια πρώτη λύση, χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος με εποπτεία για βελτιστοποίηση των δυο επιπέδων. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των δικτύων RBF είναι η ταχύτητα εκπαίδευσης (Ρίζος 1996).

4.2.3. Σύγκριση MLP – RBF

Τόσο τα MLP όσο και τα RBF έχουν την ιδιότητα του καθολικού προσεγγιστή δηλαδή μπορούν υπό κάποιες συνθήκες να προσεγγίσουν οποιαδήποτε συνεχή συνάρτηση. Και τα δύο μπορούν με επιτυχία να χρησιμοποιηθούν και για ταξινόμηση εκτός από προσέγγιση συναρτήσεων. Μια βασική διαφορά μεταξύ των δύο αρχιτεκτονικών είναι η συνάρτηση μεταφοράς τους. Πιο συγκεκριμένα, η σιγμοειδής συνάρτηση μεταφοράς του MLP είναι μη μηδενική σε μια απείρως μεγάλη περιοχή του υπερχώρου των διανυσμάτων εισόδου, ενώ η Gaussian συνάρτηση μεταφοράς του RBF είναι μη μηδενική μόνο σε μια σχετικά μικρή περιοχή του υπερχώρου των διανυσμάτων εισόδου (Ρίζος 1996).

Αυτό που πρέπει να αποτελεί κριτήριο απόφασης μεταξύ των δυο αρχιτεκτονικών για τη λύση κάποιου συγκεκριμένου προβλήματος είναι η ποιότητα της προσέγγισης με πεπερασμένο πλήθος νευρώνων (Διαμαντάρας 2007).

Γενικά, τα δίκτυα RBF εκπαιδεύονται ταχύτερα και δημιουργούν ακριβέστερα όρια κατηγοριών σε προβλήματα ταξινόμησης. Από την άλλη, τα RBF δεν συνιστώνται σε προβλήματα παλινδρόμησης όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα τα δεδομένα εισόδου να είναι εκτός των ορίων των δεδομένων εκπαίδευσης. Αυτό συμβαίνει γιατί (σε αντίθεση με τα MLP) τα RBF δεν ακολουθούν τη συνάρτηση ενεργοποίησης όταν εμφανιστούν στην είσοδο δεδομένα εκτός των ορίων των δεδομένων εκπαίδευσης. Όσο δηλαδή πιο μακριά είναι η είσοδος του RBF από τα ακτινικά κέντρα, τόσο η έξοδος θα πλησιάζει το μηδέν ή στην καλύτερη περίπτωση τη μέση τιμή των δεδομένων. Συνεπώς για την επίλυση προβλημάτων παλινδρόμησης (regression) όπου απαιτείται μη περιορισμένη συνάρτηση μεταφοράς, συνιστώνται τα δίκτυα MLP.

Επίσης στα δίκτυα MLP για τον υπολογισμό μιας εξόδου συμμετέχουν όλοι οι κρυφοί νευρώνες και το δίκτυο «μαθαίνει» χρησιμοποιώντας κατανεμημένη αναπαράσταση. Αυτό σημαίνει ότι η γνώση σχετικά με την επιθυμητή έξοδο για κάποια είσοδο κατανέμεται στις τιμές των βαρών όλων των νευρώνων των κρυφών επιπέδων. Αντίθετα, στα δίκτυα RBF η γνώση σε σχέση με την έξοδο που αντιστοιχεί σε κάποια είσοδο, καταχωρείται στα βάρη εκείνων των νευρώνων, οι οποίοι περιλαμβάνουν τη συγκεκριμένη είσοδο στη «σφαίρα επιρροής» τους. Το συμπέρασμα είναι ότι στα δίκτυα MLP η καταστροφή κάποιων συνδέσεων δεν είναι κρίσιμη για τα δίκτυα

καθιστώντας τα ιδιαίτερα ανεκτικά στα σφάλματα (fault tolerance), πράγμα που δεν συμβαίνει στα δίκτυα RBF.

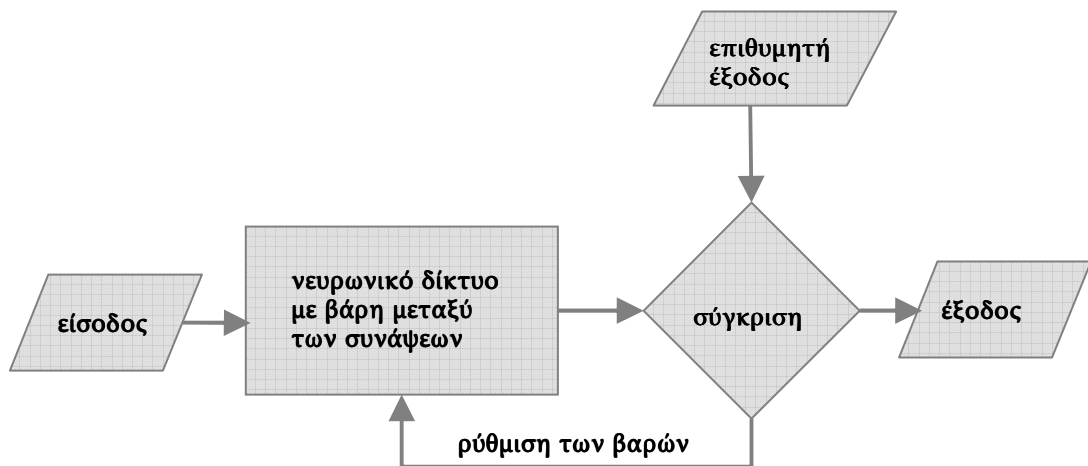
4.2.4. Εκπαίδευση των δικτύων MLP

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα, όπως αναφέρθηκε, είναι παράλληλοι επεξεργαστές που έχουν ως σκοπό την αποθήκευση εμπειρικών πληροφοριών και, με βάση αυτές, την απόκτηση της δυνατότητας πρόβλεψης.

Το Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο μπορεί να εκπαιδευτεί με έναν αριθμό παραδειγμάτων εισόδου, ώστε να εφαρμόζει μία συγκεκριμένη συνάρτηση ρυθμίζοντας τα βάρη μεταξύ των συνδέσεων. Η βασική ιδέα της εκπαίδευσης είναι η εξής: ξεκινώντας με αυθαίρετα βάρη ενεργοποιείται το «Perceptron» εφαρμόζοντας τα διανύσματα εκπαίδευσης. Στην περίπτωση που κάποιο από τα παραδείγματα αυτά δεν ταξινομείται σωστά, αλλάζουν τα βάρη του δικτύου. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται ως ότου το «Perceptron» ταξινομήσει σωστά όλα τα παραδείγματα εισόδου.

Συνήθως τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα εκπαιδεύονται έτσι ώστε μια συγκεκριμένη είσοδος (δηλαδή ένα συγκεκριμένο διάνυσμα εισόδου) να δίνει μια συγκεκριμένη (επιθυμητή) τιμή στην έξοδο (target output) όπως φαίνεται στην εικόνα 15. Η τιμή εξόδου, που επιτυγχάνεται από το δίκτυο για ένα συγκεκριμένο διάνυσμα εισόδου, συγκρίνεται με την επιθυμητή τιμή εξόδου. Στη συνέχεια, το Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο ρυθμίζεται βάσει μιας σύγκρισης της τρέχουσας εξόδου με την επιθυμητή έξοδο, μέχρι αυτές να ταυτιστούν. Αυτός ο τρόπος εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου ονομάζεται μάθηση με επίβλεψη (supervised learning). Για την εκπαίδευση του δικτύου χρησιμοποιούνται πολλά τέτοια ζεύγη εισόδου - επιθυμητής εξόδου.

Μια συγκεκριμένη διαδικασία τροποποίησης των συναπτικών βαρών και των τάσεων ονομάζεται κανόνας μάθησης (learning rule) ή αλγόριθμος εκπαίδευσης (training algorithm). Ο αλγόριθμος εκπαίδευσης (και το εκπαιδευόμενο δίκτυο) δέχεται ως είσοδο ένα σύνολο παραδειγμάτων (σύνολο εκπαίδευσης - training set) που υποδηλώνουν μια κατάλληλη (επιθυμητή) συμπεριφορά του νευρωνικού δικτύου. Η επιθυμητή συμπεριφορά του δικτύου περιγράφεται με ένα σύνολο ζευγών (εισόδου, εξόδου): $\{P_1, Y_1\}, \{P_2, Y_2\}, \dots, \{P_n, Y_n\}$, όπου P_1, P_2, \dots, P_n είναι διανύσματα εισόδου και Y_1, Y_2, \dots, Y_n είναι οι αντίστοιχες επιθυμητές εξοδοί.



Εικόνα 15. Γενικό παράδειγμα εκπαίδευσης νευρωνικού δικτύου με επίβλεψη.

Στόχος της εκπαίδευσης είναι να φθάσει το δίκτυο σε σημείο να ταξινομεί τα παραδείγματα στις σωστές κλάσεις. Με άλλα λόγια, αυτό που επιδιώκεται κατά την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου είναι να μειωθεί το σφάλμα ταξινόμησης, δηλαδή η διαφορά μεταξύ του διανύσματος επιθυμητών τιμών και του διανύσματος των αντίστοιχων τιμών που δίνει το δίκτυο στην έξοδο του (Δεσπότης 2003).

Ο πιο γνωστός αλγόριθμος εκπαίδευσης ενός νευρωνικού δικτύου είναι ο BackPropagation (Patterson 1996). Στον αλγόριθμο αυτό υπολογίζεται το διάνυσμα κλίσης της επιφάνειας του σφάλματος, που είναι και η κατεύθυνση στην οποία πρέπει να κινηθούμε για να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα. Η ακολουθία αυτών των βημάτων επαναλαμβάνεται μέχρι να βρεθεί κάποιο ελάχιστο.

Τα νευρωνικά δίκτυα που χρησιμοποιήθηκαν υλοποιήθηκαν με την πλατφόρμα εργασίας του πακέτου λογισμικού STATISTICA 7.

4.3. Ανάπτυξη τεχνικών εκτίμησης

Για την εκτίμηση των τιμών θερμοκρασίας αέρος και σχετικής υγρασίας στο φαράγγι της Σαμαριάς εφαρμόστηκαν δύο μέθοδοι. Στην μέθοδο A χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του έτους 2005 με τη μορφή χρονοσειρών για τη δημιουργία των μοντέλων εκτίμησης, όπως περιγράφεται αναλυτικά στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Κατόπιν εξετάστηκε η αξιοπιστία τους στα έτη 2003 και 2004 και αξιολογήθηκαν σε σχέση με τα αποτελέσματα της μεθόδου B.

Στην μέθοδο B τα δεδομένα και των τριών ετών εξετάστηκαν μαζί και με τυχαία επιλογή δημιουργήθηκαν δυο σετ δεδομένων, ένα για δημιουργία των μοντέλων και ένα για έλεγχο των μοντέλων. Τα αποτελέσματα και η σύγκρισή τους με τα αντίστοιχα της μεθόδου A παρατίθενται αναλυτικά στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

4.3.1. Μέθοδος A

4.3.1.1. Διερεύνηση συσχετίσεων χρονοσειρών δεδομένων

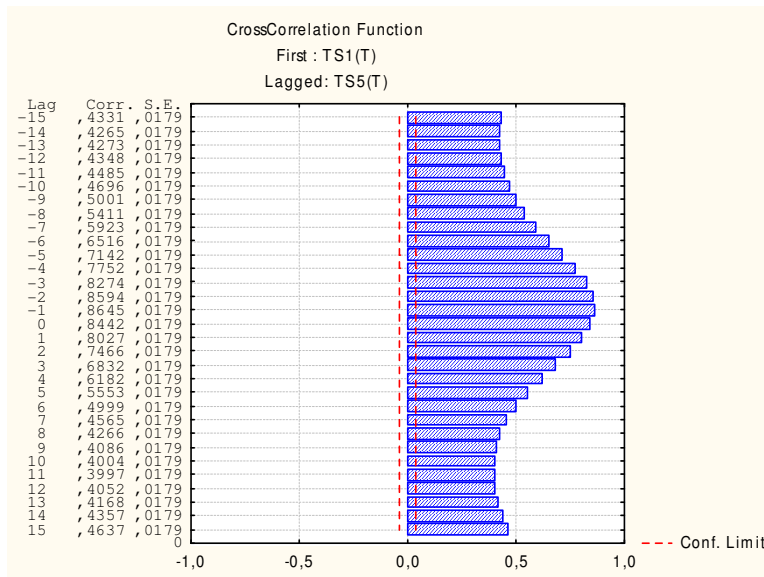
Για τη μελέτη της σχέσης μεταξύ των χρονοσειρών δεδομένων θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση διασυσχέτισης CCF. Εφαρμόστηκε η CCF για τα έτη 2003, 2004 και 2005 για τις χρονοσειρές των θερμοκρασιών και σχετικών υγρασιών για όλους τους σταθμούς μεταξύ τους.

Πιο συγκεκριμένα, για κάθε ζεύγος χρονοσειρών διαφορετικών σταθμών υπολογίστηκε το CCF 30 φορές όπως στο παρακάτω παράδειγμα:

Για τα TS1 και TS5 υπολογίζεται το CCF για τα ζευγάρια: $[TS1(t-15), TS5(t)]$, $[TS1(t-14), TS5(t)]$, ..., $[TS1(t+15), TS5(t)]$. Από τις τιμές του CCF που προέκυψαν δημιουργήθηκε το διάγραμμα της εικόνας 16. Στο ιστόγραμμα της εικόνας 16 φαίνεται ότι η μεγαλύτερη τιμή διασυσχέτισης των TS1 και TS5 είναι για TS1(t-1) και TS5(t), διότι η CCF έχει για το χρόνο (t-1) την υψηλότερη τιμή (0,8645).

Οι υψηλότερες τιμές διασυσχέτισης για όλα τα ζεύγη σταθμών και για τα τρία έτη των παρατηρήσεων, παρατίθενται στους πίνακες 6 και 7.

4. Μέθοδοι και τεχνικές εκτίμησης



Εικόνα 16. Ιστόγραμμα τιμών διασυσχέτισης (CCF) των TS1 και TS5 για κάθε χρονική υστέρηση από -15 έως +15 ώρες με παράλληλη παράθεση και των σταθερών σφαλμάτων.

Πίνακας 6. Συγκεντρωτική παρουσίαση των επιλεγμένων βέλτιστων τιμών του συντελεστή διασυσχέτισης θερμοκρασίας αέρος, για όλους τους συνδυασμούς σταθμών, για όλα τα έτη.

Μεταβλητές με χρονοκαθυστέρηση		CCF					
		TS2(t)	TS3(t)	TS4(t)	TS5(t)	TS6(t)	TS7(t)
2003	TS1	(t) 0,91	(t) 0,88	(t-2) 0,82	(t-1) 0,79	(t-1) 0,71	(t-1) 0,75
2004		(t) 0,94	(t) 0,91	(t-2) 0,71	(t-1) 0,81	(t-1) 0,76	(t-1) 0,83
2005		(t) 0,93	(t) 0,92	(t-2) 0,88	(t-1) 0,87	(t-1) 0,85	(t-1) 0,87
2003	TS2		(t-1) 0,93	(t-3) 0,86	(t-2) 0,82	(t-1) 0,69	(t-2) 0,77
2004			(t-1) 0,95	(t-3) 0,78	(t-2) 0,87	(t-1) 0,81	(t-2) 0,85
2005			(t-1) 0,96	(t-3) 0,87	(t-2) 0,93	(t-1) 0,89	(t-2) 0,91
2003	TS3			(t-2) 0,94	(t-1) 0,93	(t) 0,81	(t-1) 0,81
2004				(t-2) 0,80	(t-1) 0,93	(t) 0,83	(t-1) 0,86
2005				(t-2) 0,90	(t-1) 0,97	(t) 0,91	(t-1) 0,91
2003	TS4				(t+1) 0,97	(t+1) 0,80	(t+1) 0,80
2004					(t+1) 0,82	(t+1) 0,79	(t+1) 0,79
2005					(t+1) 0,89	(t+1) 0,86	(t+1) 0,86
2003	TS5					(t+1) 0,85	(t) 0,82
2004						(t+1) 0,89	(t) 0,89
2005						(t+1) 0,93	(t) 0,92
2003	TS6						(t) 0,90
2004							(t) 0,93
2005							(t) 0,96

4. Μέθοδοι και τεχνικές εκτίμησης

Πίνακας 7. Συγκεντρωτική παρουσίαση των επιλεγμένων βέλτιστων τιμών του συντελεστή διασυσχέτισης σχετικής υγρασίας, για όλους τους συνδυασμούς σταθμών, για όλα τα έτη.

Μεταβλητές με χρονοκαθυστέρηση		CCF					
		RHS2(t)	RHS3(t)	RHS4(t)	RHS5(t)	RHS6(t)	RHS7(t)
2003	RHS1	(t) 0,93	(t) 0,90	(t-2) 0,68	(t-1) 0,80	(t-1) 0,46	(t-1) 0,36
2004		(t) 0,87	(t) 0,71	(t-2) 0,33	(t-1) 0,39	(t-3) 0,27	(t-3) 0,34
2005		(t+1) 0,93	(t) 0,91	(t-2) 0,83	(t-1) 0,83	(t-1) 0,67	(t-1) 0,61
2003	RHS2		(t) 0,94	(t-2) 0,71	(t-1) 0,84	(t-1) 0,50	(t) 0,38
2004			(t) 0,89	(t-3) 0,38	(t-1) 0,56	(t-1) 0,31	(t-2) 0,31
2005			(t) 0,94	(t-3) 0,84	(t-2) 0,84	(t-1) 0,68	(t-2) 0,62
2003	RHS3			(t-2) 0,73	(t-1) 0,86	(t) 0,52	(t) 0,38
2004				(t-2) 0,38	(t-1) 0,74	(t) 0,38	(t) 0,33
2005				(t-2) 0,90	(t-1) 0,93	(t) 0,72	(t) 0,66
2003	RHS4				(t+1) 0,79	(t+1) 0,46	(t+1) 0,36
2004					(t+1) 0,36	(t+1) 0,25	(t) 0,20
2005					(t+1) 0,96	(t+1) 0,77	(t+1) 0,70
2003	RHS5					(t) 0,67	(t) 0,47
2004						(t) 0,60	(t) 0,45
2005						(t) 0,78	(t) 0,71
2003	RHS6						(t) 0,76
2004							(t) 0,79
2005							(t) 0,95

Από τη σύγκριση των πινάκων 6 και 7 φαίνεται ότι οι συσχετίσεις των θερμοκρασιών είναι γενικά κατά πολύ μεγαλύτερες από αυτές των υγρασιών. Επίσης διαπιστώνεται ότι οι τιμές των δεδομένων των γειτονικών σταθμών έχουν πολύ ισχυρότερη συσχέτιση μεταξύ τους από ότι οι αντίστοιχες των απομακρυσμένων. Αυτό γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτό στην περίπτωση της σχετικής υγρασίας, όπου ξεκινώντας από μία πολύ ισχυρή συσχέτιση των διπλανών σταθμών, όσο η απόσταση μεταξύ των σταθμών μεγαλώνει, η συσχέτιση σταδιακά ελαττώνεται και για τους πιο απομακρυσμένους σταθμούς γίνεται στατιστικά μη σημαντική. Αντίθετα, στην θερμοκρασία, ενώ υπάρχει αντίστοιχη μείωση με την απόσταση των σταθμών, η συσχέτιση εξακολουθεί να είναι στατιστικά σημαντική.

Από τους πίνακες 6 και 7 διαπιστώνεται επίσης ότι οι μεγαλύτερες συσχετίσεις εμφανίζονται με χρονική καθυστέρηση από 0 έως 3 ώρες. Γενικά, η μεγαλύτερη τιμή του CCF για τη θερμοκρασία παρατηρείται και για τα τρία έτη των μετρήσεων στην ίδια χρονική καθυστέρηση για κάθε συγκεκριμένο ζευγάρι σταθμών. Στην περίπτωση της σχετικής υγρασίας παρατηρούνται ελάχιστες διαφοροποιήσεις ως προς τη

χρονοκαθυστέρηση των ζευγών. Οι όποιες παρεκκλίσεις αναφέρονται στις περιπτώσεις που η τιμή του CCF δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Από την ανάλυση των πινάκων 6 και 7 φαίνεται επίσης ότι μπορεί να γίνει πρόβλεψη με συναρτήσεις απλής γραμμικής παλινδρόμησης της θερμοκρασίας αέρος και της σχετικής υγρασίας των σταθμών που βρίσκονται μέσα στο φαράγγι με τη χρήση των δεδομένων των σταθμών που βρίσκονται στην είσοδο (S1) και την έξοδο (S7) του φαραγγιού. Για τη δημιουργία των εξισώσεων αυτών θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα ενός εκ των τριών ετών και θα δοκιμαστούν ως προς την ικανότητα εκτίμησης στα δεδομένα των υπόλοιπων δύο ετών. Το έτος που επιλέγεται για τη δημιουργία των εξισώσεων είναι το 2005 διότι έχει το μεγαλύτερο αριθμό δεδομένων (3120) και αναφέρεται σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (από 20 Ιουνίου έως 27 Οκτωβρίου). Επίσης τα δεδομένα του έτους 2005 υπερκαλύπτουν τα χρονικά διαστήματα των δύο προηγούμενων ετών. Τα δεδομένα των ετών 2003 και 2004 θα χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο των εξισώσεων γραμμικής συσχέτισης.

4.3.1.2. Ανάπτυξη εξισώσεων παλινδρόμησης

Με χρήση των δεδομένων του έτους 2005 και των πληροφοριών των πινάκων 6 και 7, αναπτύχθηκαν οι εξισώσεις γραμμικής παλινδρόμησης για τους σταθμούς S2, S3, ..., S7 με τα δεδομένα θερμοκρασίας αέρος του S1 σαν μεταβλητή αναφοράς. Για ευκολία στην ταξινόμηση των μοντέλων ονομάζουμε το μοντέλο αυτό AT1:

$$TS2(t) = +1,70 + 1,19 \cdot TS1(t)$$

$$TS3(t) = +4,73 + 1,04 \cdot TS1(t)$$

$$TS4(t) = +9,63 + 0,78 \cdot TS1(t - 2)$$

$$TS5(t) = +5,24 + 1,02 \cdot TS1(t - 1)$$

$$TS6(t) = +9,54 + 0,81 \cdot TS1(t - 1)$$

$$TS7(t) = +10,79 + 0,81 \cdot TS1(t - 1)$$

Ακολούθως, αναπτύχθηκαν οι εξισώσεις εκτίμησης για τα σημεία των σταθμών S1, S2, ..., S6 χρησιμοποιώντας δεδομένα θερμοκρασίας αέρος του σταθμού S7 (μοντέλο AT2).

$$TS1(t) = -5,52 + 0,93 \cdot TS7(t)$$

$$TS2(t) = -7,55 + 1,21 \cdot TS7(t)$$

$$TS3(t) = -4,54 + 1,10 \cdot TS7(t)$$

$$TS4(t) = +2,89 + 0,82 \cdot TS7(t - 1)$$

$$TS5(t) = -6,01 + 1,17 \cdot TS7(t)$$

$$TS6(t) = -0,72 + 0,98 \cdot TS7(t)$$

Επόμενο βήμα για την εκτίμηση της θερμοκρασίας αέρος είναι να αναπτυχθούν οι εξισώσεις πρόβλεψης για τα σημεία S2, S3, ..., S6 χρησιμοποιώντας δεδομένα θερμοκρασίας αέρος των σταθμών S1 και S7 (μοντέλο AT3).

$$TS2(t) = -5,50 + 0,39 \cdot TS1(t - 2) + 0,85 \cdot TS7(t)$$

$$TS3(t) = -1,38 + 0,55 \cdot TS1(t - 1) + 0,59 \cdot TS7(t)$$

$$TS4(t) = +5,65 + 0,48 \cdot TS1(t - 2) + 0,37 \cdot TS7(t - 1)$$

$$TS5(t) = -4,21 + 0,31 \cdot TS1(t - 1) + 0,88 \cdot TS7(t)$$

$$TS6(t) = -0,34 + 0,07 \cdot TS1(t - 1) + 0,92 \cdot TS7(t)$$

Η ίδια ακριβώς λογική ακολουθήθηκε και για τη δημιουργία των εξισώσεων παλινδρόμησης για τη σχετική υγρασία. Από τα δεδομένα του σταθμού S1 δημιουργήθηκαν οι ακόλουθες εξισώσεις (μοντέλο ARH1):

$$RHS2(t) = -24,00 + 1,14 \cdot RHS1(t)$$

$$RHS3(t) = -23,70 + 1,16 \cdot RHS1(t)$$

$$RHS4(t) = -20,60 + 1,20 \cdot RHS1(t - 2)$$

$$RHS5(t) = -25,40 + 1,27 \cdot RHS1(t - 1)$$

$$RHS6(t) = +4,49 + 0,72 \cdot RHS1(t - 1)$$

$$RHS7(t) = +12,97 + 0,59 \cdot RHS1(t - 1)$$

Ακολούθως, αναπτύχθηκαν οι εξισώσεις εκτίμησης για τα σημεία S1, S2, ..., S6 χρησιμοποιώντας δεδομένα σχετικής υγρασίας του σταθμού S7 (μοντέλο ARH2).

$$RHS1(t) = +29,19 + 0,63 \cdot RHS7(t)$$

$$RHS2(t) = +6,22 + 0,78 \cdot RHS7(t)$$

$$RHS3(t) = +3,26 + 0,88 \cdot RHS7(t)$$

$$RHS4(t) = +0,56 + 1,04 \cdot RHS7(t - 1)$$

$$RHS5(t) = -4,04 + 1,13 \cdot RHS7(t)$$

$$RHS6(t) = -3,65 + 1,06 \cdot RHS7(t)$$

Τελευταίο βήμα για την εκτίμηση της σχετικής υγρασίας είναι η ανάπτυξη των εξισώσεων εκτίμησης για τα σημεία S2, S3, ..., S6 χρησιμοποιώντας δεδομένα σχετικής υγρασίας των σταθμών S1 και S7 (μοντέλο ARH3).

$$RHS2(t) = -20,10 + 0,88 \cdot RHS1(t - 2) + 0,23 \cdot RHS7(t)$$

$$RHS3(t) = -25,30 + 0,98 \cdot RHS1(t - 1) + 0,26 \cdot RHS7(t)$$

$$RHS4(t) = -26,50 + 0,93 \cdot RHS1(t - 2) + 0,46 \cdot RHS7(t - 1)$$

$$RHS5(t) = -32,20 + 0,96 \cdot RHS1(t - 1) + 0,52 \cdot RHS7(t)$$

$$RHS6(t) = -8,04 + 0,15 \cdot RHS1(t - 1) + 0,97 \cdot RHS7(t)$$

4.3.1.3. Ανάπτυξη μοντέλων Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων

Η δειγματοληψία που γίνεται σε προκαθορισμένα, κανονικά χρονικά διαστήματα στην θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία, παράγει τα δεδομένα μετρήσεων μιας χρονοσειράς, δηλαδή ενός βαθμωτού μεγέθους $\{u_i\}$, $i = 1, \dots, N$ όπου N ο αριθμός των μετρήσεων.

$$\{u_i\} = \{u(t_i), \quad t_i = t_0 + i \cdot \Delta t, \quad i = 1, \dots, N\} \quad (4.13)$$

Όπου $\Delta t = \tau_s$ είναι το βήμα δειγματοληψίας.

Το παρελθόν μιας χρονοσειράς παρέχει πληροφορία γύρω από τις μη παρατηρούμενες μεταβλητές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει την κατάσταση του συστήματος στην παρούσα χρονική στιγμή. Η ανακατασκευή του χώρου των καταστάσεων είναι το πρώτο βήμα που πρέπει να γίνει για την ανάλυση μιας χρονοσειράς (ή σήματος). Οι παρελθούσες πληροφορίες που περιέχονται σε μια χρονοσειρά μπορούν να ενσωματωθούν στο διάνυσμα καθυστέρησης που ορίζεται ως εξής:

$$x(t_i) = (u(t_i), u(t_i - \tau_L), \dots, u(t_i - (d_e - 1)\tau_L)) \quad (4.14)$$

Όπου τ_L η χρονική καθυστέρηση και d_e η διάσταση εμβύθισης του διανύσματος ανακατασκευής. (Packard et al. 1980, Παπαϊωάννου 2000)

Οι ποσότητες $u(t_i)$, $u(t_i - \tau_L)$ κλπ είναι οι συνιστώσες του νέου d_e -διάστατου διανύσματος και αποτελούν τις μεταβλητές καθυστέρησης, που θα χρησιμοποιηθούν στη θέση των άγνωστων πραγματικών μεταβλητών, για να δημιουργηθεί το κατάλληλο σύστημα συντεταγμένων μέσα στο οποίο θα αναπτυχθούν τα μοντέλα εκτίμησης.

Η κατηγορία νευρωνικών δικτύων που χρησιμοποιούνται στην μελέτη αυτή είναι τα Multilayer Perceptron (MLP). Ειδικότερα, χρησιμοποιούνται τα MLP με 3 επίπεδα (layers), γιατί χωρίς να αυξάνεται πολύ η πολυπλοκότητα έχουν την ικανότητα να περιγράψουν σχεδόν οποιαδήποτε εξίσωση.

Όσο περισσότερα δεδομένα χρησιμοποιηθούν τόσο πιο αντιπροσωπευτικό θα είναι το MLP. Επομένως, επιλέγονται τα δεδομένα του 2005 για να γίνει η εκπαίδευση των MLP γιατί είναι τα πολυπληθέστερα.

Μετά από αρκετές δοκιμές με διαφορετικό αριθμό νευρώνων στο επίπεδο 2 του MLP διαπιστώνεται ότι με 5 νευρώνες προκύπτουν τα καλύτερα αποτελέσματα. Από το

4. Μέθοδοι και τεχνικές εκτίμησης

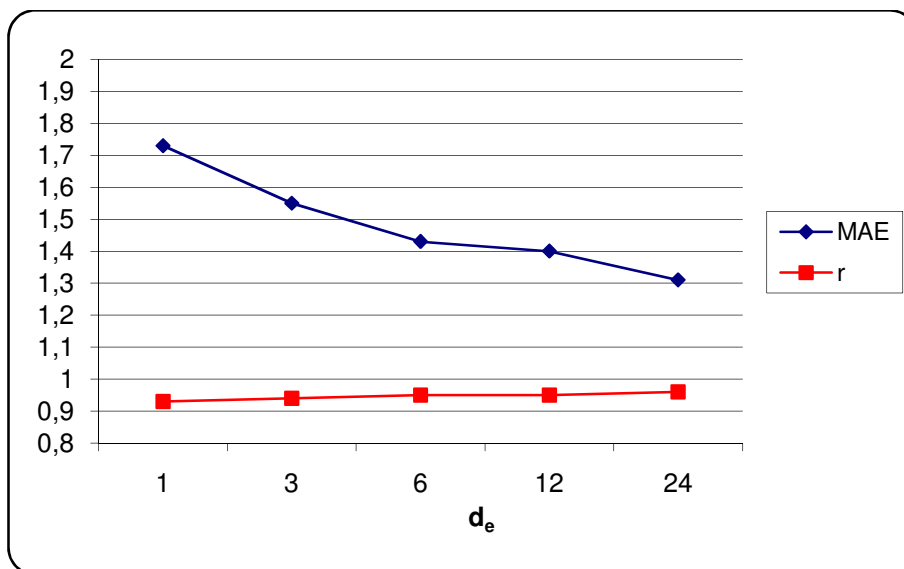
σύνολο των δεδομένων επιλέγεται για «εκπαίδευση» το $1/2$, για «διαλογή» το $1/4$ και για «έλεγχο» το υπόλοιπο $1/4$. Το σετ «διαλογής» χρησιμοποιείται για να ορίσει πότε θα σταματήσει η εκπαίδευση του ANN έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η υπερεξειδίκευσή του στα δεδομένα εισόδου.

Για την εφαρμογή αυτή χρησιμοποιούμε ως είσοδο του νευρωνικού δικτύου το διάνυσμα $x(t_i)$ με $\tau_L=1$ (ώρα) και $d_e=1, 3, 6, 12, 24$.

Μετά από αλληπάλληλες δοκιμές εκτίμησης των τιμών του TS2 από τα δεδομένα του TS1, παρατίθενται τα r και MAE στον πίνακα 8:

Πίνακας 8. Εκτίμηση του TS2 από τα δεδομένα του TS1 σε διαφορετικά χρονικά βήματα με τις αντίστοιχες τιμές των συντελεστών συσχέτισης (r) και των μέσων απόλυτων σφαλμάτων (MAE).

d_e	MAE	r
1	1,73	0,93
3	1,55	0,94
6	1,43	0,95
12	1,40	0,95
24	1,31	0,96



Εικόνα 17. Απεικόνιση των συντελεστών συσχέτισης (r) και των μέσων απόλυτων σφαλμάτων (MAE) σε διαφορετικά χρονικά βήματα.

Από τον πίνακα 8 και ιδιαίτερα από το διάγραμμα της εικόνας 17, φαίνεται ότι το βέλτιστο χρονικό βήμα που δίνει το μικρότερο μέσο απόλυτο σφάλμα και το μέγιστο r είναι για $d_e=24$.

Η λογική αυτή ακολουθείται και για τους υπόλοιπους σταθμούς.

Τα μοντέλα ANN που χρησιμοποιήθηκαν για τη θερμοκρασία είναι τα AT4, AT5 και AT6 τα οποία εκπαιδεύτηκαν για εισόδους τις μεταβλητές TS1, TS7 και (TS1 και TS7) αντίστοιχα. Για τη σχετική υγρασία είναι τα μοντέλα ARH4, ARH5 και ARH6 τα οποία εκπαιδεύτηκαν για εισόδους τις μεταβλητές RHS1, RHS7 και (RHS1 και RHS7) αντίστοιχα.

Πίνακας 9. Συντελεστής διασυσχέτισης μεταξύ πραγματικών και προβλεπομένων τιμών για κάθε θέση σταθμού (S1, S2, ..., S7) και για κάθε μοντέλο εκτίμησης για το έτος 2005.

r	AT4	AT5	AT6	ARH4	ARH5	ARH6
S1		0,90			0,67	
S2	0,96	0,93	0,97	0,94	0,67	0,94
S3	0,94	0,94	0,96	0,91	0,73	0,93
S4	0,92	0,93	0,94	0,85	0,79	0,89
S5	0,92	0,95	0,96	0,85	0,79	0,89
S6	0,91	0,98	0,98	0,68	0,96	0,96
S7	0,93			0,62		

4.3.2. Μέθοδος B

Στην μέθοδο B, η δημιουργία των μοντέλων γίνεται με χρήση δεδομένων από όλα τα έτη. Δηλαδή χρησιμοποιούνται τα δεδομένα όλων των ετών ως ένα σύνολο δεδομένων και όχι ως χρονοσειρά. Διαχωρίστηκαν με τυχαίο τρόπο δύο ενότητες δεδομένων έτσι ώστε η πρώτη ενότητα να περιέχει το 75% των δεδομένων και η άλλη το υπόλοιπο 25%. Η πρώτη ενότητα χρησιμοποιήθηκε για να δημιουργηθούν οι εξισώσεις παλινδρόμησης και να εκπαιδευτούν τα νευρωνικά δίκτυα, ενώ η δεύτερη για τον έλεγχο αξιοπιστίας του κάθε μοντέλου.

4.3.2.1. Ανάπτυξη εξισώσεων παλινδρόμησης

Από την εφαρμογή της μεθόδου A, όσον αφορά τη χρήση των δεδομένων των σταθμών TS1 και TS7 για την εκτίμηση των τιμών των υπόλοιπων σταθμών, διαπιστώθηκε ότι για την αποτελεσματική εκτίμηση των ζητούμενων θα πρέπει οι εισοδοί της εξίσωσης συσχέτισης να είναι οι τιμές και των δύο σταθμών TS1 και TS7. Στην μέθοδο B, όπως ήδη αναφέρθηκε, δεν αντιμετωπίζονται τα δεδομένα ως χρονοσειρές αλλά ανεξάρτητα χρονικής συνέχειας. Εισάγεται επίσης και μια νέα μεταβλητή εισόδου μαζί με τις μεταβλητές των δύο ακραίων σταθμών εισόδου και εξόδου (S1 και S7), η μεταβλητή “time”, που αναφέρεται στην ώρα της ημέρας που έγινε η κάθε παρατήρηση.

Ακολουθούν οι εξισώσεις παλινδρόμησης για την εκτίμηση της θερμοκρασίας των σημείων των σταθμών S2,...,S6 με χρήση δεδομένων των σταθμών S1 και S7, και με χρήση της μεταβλητής της ώρας της ημέρας (time).

Μοντέλο BT1:

$$TS2(t) = -1,40 + 0,98 \cdot TS1(t) + 0,28 \cdot TS7(t)$$

$$TS3(t) = -1,07 + 0,63 \cdot TS1(t) + 0,52 \cdot TS7(t)$$

$$TS4(t) = +3,97 + 0,33 \cdot TS1(t) + 0,55 \cdot TS7(t)$$

$$TS5(t) = -4,37 + 0,29 \cdot TS1(t) + 0,91 \cdot TS7(t)$$

$$TS6(t) = -0,48 + 0,07 \cdot TS1(t) + 0,93 \cdot TS7(t)$$

Μοντέλο BT2:

$$TS2(t) = -0,52 - 0,01 \cdot time + 0,95 \cdot TS1(t) + 0,28 \cdot TS7(t)$$

$$TS3(t) = +0,37 - 0,01 \cdot time + 0,59 \cdot TS1(t) + 0,52 \cdot TS7(t)$$

$$TS4(t) = +5,86 - 0,01 \cdot time + 0,28 \cdot TS1(t) + 0,54 \cdot TS7(t)$$

$$TS5(t) = -2,06 - 0,02 \cdot time + 0,22 \cdot TS1(t) + 0,90 \cdot TS7(t)$$

$$TS6(t) = +0,65 - 0,01 \cdot time + 0,04 \cdot TS1(t) + 0,92 \cdot TS7(t)$$

Οι εξισώσεις παλινδρόμησης για την εκτίμηση της σχετικής υγρασίας των σημείων των σταθμών S2,...,S6 με χρήση δεδομένων των σταθμών S1 και S7, και με χρήση της μεταβλητής της ώρας της ημέρας (time) είναι οι ακόλουθες:

Μοντέλο BRH1:

$$RHS2(t) = -10,60 + 0,80 \cdot RHS1(t) + 0,18 \cdot RHS7(t)$$

$$RHS3(t) = -10,70 + 0,73 \cdot RHS1(t) + 0,29 \cdot RHS7(t)$$

$$RHS4(t) = -9,43 + 0,65 \cdot RHS1(t) + 0,42 \cdot RHS7(t)$$

$$RHS5(t) = -14,30 + 0,63 \cdot RHS1(t) + 0,57 \cdot RHS7(t)$$

$$RHS6(t) = -0,32 + 0,05 \cdot RHS1(t) + 0,96 \cdot RHS7(t)$$

Μοντέλο BRH2:

$$RHS2(t) = -10,70 + 0,00 \cdot time + 0,80 \cdot RHS1(t) + 0,18 \cdot RHS7(t)$$

$$RHS3(t) = -9,99 + 0,04 \cdot time + 0,69 \cdot RHS1(t) + 0,28 \cdot RHS7(t)$$

$$RHS4(t) = -6,00 + 0,19 \cdot time + 0,43 \cdot RHS1(t) + 0,40 \cdot RHS7(t)$$

$$RHS5(t) = -12,00 + 0,13 \cdot time + 0,49 \cdot RHS1(t) + 0,55 \cdot RHS7(t)$$

$$RHS6(t) = -0,46 - 0,01 \cdot time + 0,05 \cdot RHS1(t) + 0,96 \cdot RHS7(t)$$

4.3.2.2. Ανάπτυξη μοντέλων Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων

Για την δομή του νευρωνικού δικτύου που θα χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος δοκιμής και απόρριψης. Τελικά, η κατηγορία νευρωνικών δικτύων που επιλέχθηκε είναι το MLP 3 επιπέδων με 5 νευρώνες στο

επίπεδο 2. Από το σύνολο των δεδομένων όλων των ετών επιλέγεται για εκπαίδευση το 1/2, για διαλογή το 1/4 και για έλεγχο το υπόλοιπο 1/4.

Τα μοντέλα ANN που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της θερμοκρασίας είναι το BT3 με είσοδο τις μεταβλητές (TS1 και TS7), και το BT4 με είσοδο τις μεταβλητές (TS1, TS7 και time). Για τη σχετική υγρασία είναι τα μοντέλα BRH3, BRH4 με εισόδους τις μεταβλητές (RHS1 και RHS7) και (RHS1, RHS7 και time) αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της εκπαίδευσης και εφαρμογής των νευρωνικών δικτύων που αναπτύχθηκαν, παρατίθενται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

4.4. Έλεγχος αξιοπιστίας μοντέλων

Ο έλεγχος της αξιοπιστίας ενός μοντέλου είναι ίσως το πιο σημαντικό βήμα στην διαδικασία της μοντελοποίησης ενός φαινομένου. Έχουν αναπτυχθεί διάφορα εργαλεία για τον έλεγχο της αξιοπιστίας μοντέλων εκτίμησης δεδομένων.

4.4.1. Συντελεστής προσδιορισμού

Για την αξιολόγηση της συσχέτισης μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών είναι σημαντική η γνώση του συντελεστή προσδιορισμού (εξίσωση 4.5). Οι τιμή του R^2 κυμαίνεται μεταξύ του 0 και του 1. Όσο οι τιμή αυτή πλησιάζει το 1, τότε η εκτιμηθείσα εξίσωση ερμηνεύει καλύτερα τη διακύμανση των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής σε σχέση με τις ανεξάρτητες μεταβλητές.

4.4.2. Υπόλοιπα (residuals)

Για τον προσδιορισμό των τυχαίων σφαλμάτων χρησιμοποιούνται, ως γνωστόν, στατιστικές μέθοδοι και τεχνικές που αποτελούν αντικείμενο της Θεωρίας Ανάλυσης Σφαλμάτων. Τα σφάλματα αυτά παραμένουν ακόμη και όταν όλα τα άλλα, ακούσια και συστηματικά, έχουν αποφευχθεί ή έχουν ληφθεί υπ' όψη. Τα τυχαία ή στατιστικά σφάλματα οφείλονται σε συνδυασμό διαφόρων αιτιών όπως ατέλειες των πειραματικών διατάξεων, ατέλειες στις αισθήσεις μας και στα όργανα ή συσκευές που χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις, ακαθόριστες μεταβολές σε διάφορες πειραματικές συνθήκες (γνωστές ή άγνωστες) που υποτίθεται ότι παραμένουν σταθερές ή ότι δεν επηρεάζουν το πείραμα. Τα τυχαία σφάλματα είναι κατά βάση αναπόφευκτα και το μέγεθός τους δεν μπορεί να υπολογιστεί ακριβώς.

Τα υπόλοιπα (residuals) ενός μοντέλου προσαρμογής είναι οι διαφορές μεταξύ των ζευγαριών τιμών των αποκρίσεων του μοντέλου (εκτιμηθείσες τιμές) και των εισόδων του (μετρηθείσες τιμές) και συνεπώς, τα υπόλοιπα είναι εκτιμήσεις του πειραματικού σφάλματος.

Στην περίπτωση που έγιναν n μετρήσεις του y , και η εκτίμηση του μοντέλου είναι \hat{y} , τότε για $i = 1, \dots, n$, τα υπόλοιπα (residuals) ισχύει:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i \quad (4.15)$$

Αν η προσαρμογή στα δεδομένα είναι σωστή, τα υπόλοιπα θα συμπεριφέρονται με τρόπο μη μοντελοποιήσιμο. Μια προσεκτική ματιά στα υπόλοιπα μπορεί να μας πληροφορήσει για το αν οι υποθέσεις που έχουμε κάνει στο μοντέλο μας είναι σωστές ή όχι και κατά συνέπεια αν η επιλογή του μοντέλου είναι η κατάλληλη.

Τα υπόλοιπα μπορούν να θεωρηθούν σαν στοιχεία της διακύμανσης η οποία δεν επεξηγείται από το μοντέλο προσαρμογής. Αφού τα υπόλοιπα είναι μια μορφή σφάλματος, μπορούν να εφαρμοστούν τις ίδιες γενικές υποθέσεις που χρησιμοποιούνται για τα σφάλματα γενικότερα, όπως να έχουν σχετικά κανονική κατανομή με μέση τιμή 0 και κάποια σταθερή διακύμανση. (<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/eda.htm>)

4.4.3. Μέσο απόλυτο σφάλμα

Το μέσο απόλυτο σφάλμα (*Mean Absolute Error, MAE*) ορίζεται από τη σχέση:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (4.16)$$

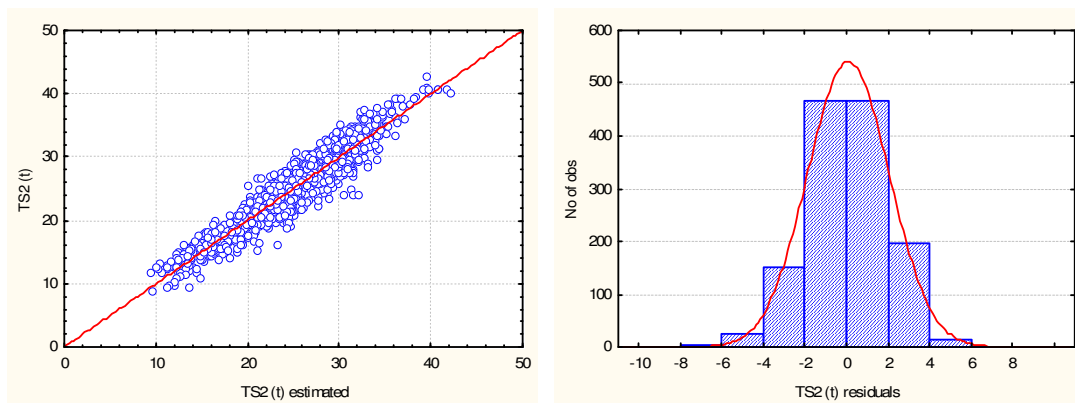
και είναι ένα μέτρο σύγκλισης των προβλεφθέντων τιμών προς τις πραγματικές τιμές. Στην ιδανική περίπτωση που επιτυγχάνεται η τέλεια πρόβλεψη, για κάθε i θα ισχύει $e_i = 0$ και το MAE θα είναι ίσο με 0. Συνεπώς όσο πιο κοντά στο μηδέν είναι οι τιμές του MAE τόσο καλύτερη πρόβλεψη – εκτίμηση έχει επιτευχθεί.

4.4.4. Γραφικές μέθοδοι

Οι γραφικές μέθοδοι (διαγράμματα) έχουν ένα πλεονέκτημα έναντι των αριθμητικών μεθόδων, διότι εύκολα παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα πολύπλοκων πλευρών της σχέσης μεταξύ του μοντέλου και των δεδομένων. Τα αριθμητικά μοντέλα τείνουν να είναι στενά εστιασμένα σε μια συγκεκριμένη παράμετρο της σχέσης μεταξύ του μοντέλου και των δεδομένων και συνήθως τείνουν να συμπιέζουν αυτή την πληροφορία σε έναν ή λίγους μόνο αριθμούς. Από την άλλη, το κύριο μειονέκτημα των γραφικών μεθόδων είναι ότι εξαρτώνται από την υποκειμενικότητα και την

εμπειρία του ερευνητή παρ' όλο που η ματιά του καθοδηγείται από κάποιους κανόνες. (<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/eda.htm>)

Για να διαπιστωθεί ότι τα μοντέλα εκτίμησης που δημιουργήθηκαν είναι τα κατάλληλα για την εφαρμογή αυτή, χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι διαγραμμάτων (Εικ. 18). Το πρώτο είναι ένα διάγραμμα διασποράς (scatter plot) μεταξύ δύο μεταβλητών (Chambers et al. 1983). Ο ένας άξονας αναφέρεται στις παρατηρημένες τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής, ενώ ο άλλος στις εκτιμημένες από το μοντέλο. Το σχήμα του νέφους των σημείων υποδεικνύει το πόσο και με ποιόν τρόπο διαφοροποιούνται οι παρατηρημένες από τις εκτιμημένες τιμές. Στην περίπτωση απόλυτης ταύτισης των εκτιμημένων και παρατηρημένων τιμών αντί για νέφος σημείων θα σχηματιζόταν μια διαγώνιος ευθεία. Όσο πιο πολύ το νέφος σημείων πλησιάζει την ευθεία αυτή, τόσο πιο πετυχημένη θεωρείται η εκτίμηση των τιμών από το μοντέλο.



Εικόνα 18. Δείγματα διαγράμματος διασποράς (scatter plot) μεταξύ δύο μεταβλητών και ιστογράμματος συχνότητας κατανομής υπολοίπων

Το δεύτερο διάγραμμα είναι ένα ιστόγραμμα συχνότητας της κατανομής των υπολοίπων. Στην περίπτωση που το ιστόγραμμα πλησιάζει την κανονική κατανομή, είναι μια ισχυρή ένδειξη πλήρωσης μιας από τις βασικές υποθέσεις καταλληλότητας του χρησιμοποιούμενου μοντέλου.

Όλα τα διαγράμματα τα οποία δημιουργήθηκαν για την κάθε μία περίπτωση λήφθηκαν υπόψη στην επιλογή του βέλτιστου μοντέλου και παρατίθενται στο Παράρτημα II.

5. Αποτελέσματα – Συζήτηση

5.1. Μικροκλιματικές παράμετροι: θερμοκρασία και σχετική υγρασία

5.1.1. Αποτελέσματα πολλαπλής γραμμικής συσχέτισης μεθόδου A

Για να εξεταστεί η επιτυχία της μεθόδου, εφαρμόζονται στα δεδομένα των ετών 2003 και 2004 οι εξισώσεις παλινδρόμησης που δημιουργήθηκαν από τα δεδομένα του 2005. Τα αποτελέσματα για το R^2 και το MAE παρουσιάζονται στους πίνακες 10 και 11 για το 2003 και στους πίνακες 12 και 13 για το 2004, αντίστοιχα:

Πίνακας 10. Συντελεστής προσδιορισμού (R^2) των αποτελεσμάτων των μοντέλων AT1, AT2, AT3, ARH1, ARH2, ARH3 για όλους τους σταθμούς για το 2003

R^2	AT1	AT2	AT3	ARH1	ARH2	ARH3
S1		0,56			0,13	
S2	0,83	0,59	0,83	0,86	0,12	0,86
S3	0,77	0,66	0,81	0,81	0,13	0,77
S4	0,67	0,64	0,74	0,46	0,13	0,44
S5	0,62	0,67	0,72	0,64	0,22	0,62
S6	0,49	0,81	0,81	0,21	0,58	0,61
S7	0,56			0,13		

Πίνακας 11. Μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE) των αποτελεσμάτων των μοντέλων AT1, AT2, AT3, ARH1, ARH2, ARH3 για όλους τους σταθμούς για το 2003

MAE	AT1	AT2	AT3	ARH1	ARH2	ARH3
S1		2,61			19,06	
S2	1,26	3,09	1,49	14,38	11,42	13,31
S3	1,58	2,20	1,38	14,03	11,89	12,14
S4	1,87	2,36	1,81	11,97	14,32	9,68
S5	2,15	2,12	1,75	15,86	13,03	12,17
S6	2,14	1,20	1,18	16,06	8,46	9,54
S7	1,95			11,27		

Από τα αποτελέσματα της θερμοκρασίας που προέκυψαν για το έτος 2003 (Πιν. 10) διαπιστώνεται ότι για την περίπτωση που χρησιμοποιείται ως σταθμός αναφοράς ο S1 (μοντέλο AT1), ο συντελεστής προσδιορισμού κυμαίνεται από 0,83 (S2) έως 0,49 (S6), δηλαδή η τιμή του μειώνεται με την αύξηση της απόστασης από το σταθμό αναφοράς. Το αντίστροφο συμβαίνει όταν ο S7 χρησιμοποιηθεί ως σταθμός αναφοράς (μοντέλο AT2), καθώς παρατηρείται προοδευτική μείωση του συντελεστή προσδιορισμού από τον S6 ($R^2=0,81$) στον S1 ($R^2=0,56$). Καλύτερα αποτελέσματα ($R^2=0,72 - 0,83$) επιτυγχάνονται όταν χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά οι S1 και S7 ως σταθμοί αναφοράς (μοντέλο AT3). Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις μικρότερες τιμές που επιτυγχάνει το MAE στην περίπτωση αυτή (Πιν. 11).

Μείωση των τιμών του R^2 με την απόσταση από τους S1 ή S7 παρατηρείται και στην περίπτωση της σχετικής υγρασίας (Πιν. 10). Η μείωση αυτή είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα ο πιο απομακρυσμένος σταθμός από τους S1 ή S7 να παίρνει εξαιρετικά χαμηλές τιμές ($R^2=0,13$). Καλύτερα αποτελέσματα έδωσαν οι εξισώσεις παλινδρόμησης στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως αναφορά τα δεδομένα της σχετικής υγρασίας των ανωτέρω σταθμών (S1, S7) σε συνδυασμό (μοντέλο ARH3). Στην περίπτωση αυτή το R^2 κυμάνθηκε από 0,86 (S2) έως 0,44 (S4). Γενικά καλύτερα εμφανίζονται τα αποτελέσματα ως προς τις αριθμητικές τιμές του R^2 της θερμοκρασίας αέρος του έτους 2004 (Πιν. 12) συγκρινόμενα με τα αντίστοιχα του έτους 2003 (Πιν. 10). Αντίθετα, σχετικά υψηλές τιμές του R^2 όσον αφορά τη σχετική υγρασία εντοπίζονται μόνο στον πλησιέστερο σταθμό από τους αντίστοιχους σταθμούς αναφοράς. Αξίζει να επισημανθεί ότι οι τιμές του MAE (πίνακες 11 και 13) που αφορούν τη σχετική υγρασία είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες της θερμοκρασίας.

Πίνακας 12. Συντελεστής προσδιορισμού (R^2) των αποτελεσμάτων των μοντέλων AT1, AT2, AT3, ARH1, ARH2, ARH3 για όλους τους σταθμούς για το 2004

R^2	AT1	AT2	AT3	ARH1	ARH2	ARH3
S1		0,71			0,10	
S2	0,88	0,72	0,90	0,76	0,10	0,76
S3	0,83	0,74	0,86	0,50	0,11	0,52
S4	0,50	0,62	0,59	0,11	0,04	0,12
S5	0,66	0,79	0,79	0,15	0,20	0,22
S6	0,58	0,86	0,86	0,06	0,62	0,61
S7	0,71			0,10		

Πίνακας 13. Μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE) των αποτελεσμάτων των μοντέλων AT1, AT2, AT3, ARH1, ARH2, ARH3 για όλους τους σταθμούς για το 2004

MAE	AT1	AT2	AT3	ARH1	ARH2	ARH3
S1		2,21			16,61	
S2	1,53	2,42	1,47	9,47	12,82	8,72
S3	1,78	2,02	1,48	13,27	11,85	11,99
S4	2,37	2,11	2,15	18,61	14,95	16,51
S5	2,41	1,80	1,68	19,05	12,52	16,09
S6	2,06	1,13	1,15	13,78	6,90	7,21
S7	1,62			11,12		

5.1.2. Αποτελέσματα μοντέλων τεχνητών νευρωνικών δικτύων μεθόδου A

Για τον έλεγχο της επιτυχίας της μεθόδου, εφαρμόζονται στα δεδομένα των ετών 2003 και 2004 τα νευρωνικά δίκτυα που δημιουργήθηκαν από τα δεδομένα του 2005.

Τα αποτελέσματα για το R^2 και το MAE συγκεντρώνονται στους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας 14. Συντελεστής προσδιορισμού (R^2) των αποτελεσμάτων των μοντέλων AT4, AT5, AT6, ARH4, ARH5, ARH6 για όλους τους σταθμούς για το 2003

R^2	AT4	AT5	AT6	ARH4	ARH5	ARH6
S1		0,55			0,15	
S2	0,74	0,58	0,77	0,56	0,16	0,58
S3	0,76	0,72	0,77	0,50	0,17	0,67
S4	0,56	0,64	0,66	0,40	0,16	0,41
S5	0,69	0,72	0,72	0,56	0,28	0,55
S6	0,56	0,81	0,83	0,20	0,61	0,64
S7	0,55			0,13		

5. Αποτελέσματα – Συζήτηση

Πίνακας 15. Μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE) των αποτελεσμάτων των μοντέλων AT4, AT5, AT6, ARH4, ARH5, ARH6 για όλους τους σταθμούς για το 2003

MAE	AT4	AT5	AT6	ARH4	ARH5	ARH6
S1		2,37			18,47	
S2	1,95	3,19	1,89	11,34	10,55	11,06
S3	1,66	2,08	1,50	12,51	10,81	11,43
S4	2,05	2,24	2,09	11,17	12,90	8,73
S5	2,07	1,92	1,84	13,82	12,53	11,76
S6	2,03	1,21	1,12	16,35	8,35	9,75
S7	2,14			12,07		

Από τον πίνακα 14 γίνεται φανερό ότι όταν τα δεδομένα των σταθμών S1 ή S7 χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι στο ANN (μοντέλα AT4, AT5) οι συντελεστές προσδιορισμού μειώνονται αυξανόμενης της απόστασης των υπολοίπων σταθμών από αυτούς. Ο συνδυασμός όμως της χρήσης των δεδομένων των σταθμών S1 και S7 (μοντέλο AT6) δίνει καλύτερα αποτελέσματα για το σύνολο των σταθμών μέτρησης. Ανάλογη εικόνα, αλλά με μικρότερους συντελεστές προσδιορισμού, παρατηρείται στην περίπτωση της σχετικής υγρασίας (μοντέλα ARH4, ARH5 και ARH6).

Το γεγονός ότι τα καλύτερα αποτελέσματα τόσο στη θερμοκρασία αέρος όσο και στη σχετική υγρασία δίνει η συνδυασμένη χρήση των σταθμών αναφοράς S1 και S7 (μοντέλα AT6, ARH6) επιβεβαιώνεται και από τις αντίστοιχα μικρότερες τιμές του MAE που παρατηρούνται στην περίπτωση αυτή (Πιν. 15).

Πίνακας 16. Συντελεστής προσδιορισμού (R^2) των αποτελεσμάτων των μοντέλων AT4, AT5, AT6, ARH4, ARH5, ARH6 για όλους τους σταθμούς για το 2004

R^2	AT4	AT5	AT6	ARH4	ARH5	ARH6
S1		0,69			0,08	
S2	0,94	0,72	0,94	0,72	0,10	0,71
S3	0,86	0,74	0,86	0,45	0,11	0,49
S4	0,59	0,64	0,61	0,09	0,04	0,11
S5	0,79	0,77	0,81	0,14	0,23	0,21
S6	0,71	0,85	0,86	0,05	0,67	0,62
S7	0,76			0,10		

Πίνακας 17. Μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE) των αποτελεσμάτων των μοντέλων AT4, AT5, AT6, ARH4, ARH5, ARH6 για όλους τους σταθμούς για το 2004

MAE	AT4	AT5	AT6	ARH4	ARH5	ARH6
S1		2,13			16,72	
S2	1,17	2,41	1,19	8,83	12,67	7,99
S3	1,55	2,00	1,60	12,41	11,47	10,94
S4	2,21	2,07	2,16	17,61	14,31	15,10
S5	2,07	1,85	1,83	17,75	12,47	15,16
S6	1,77	1,20	1,08	13,93	6,65	7,28
S7	1,51			11,47		

Οι τιμές των συντελεστών προσδιορισμού που αφορούν τη θερμοκρασία αέρος εμφανίζονται μεγαλύτερες στο έτος 2004 (Πιν. 16) σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος (Πιν. 14) με όλα τα μοντέλα (AT4, AT5, AT6) και για όλους τους σταθμούς.

Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο και για τη σχετική υγρασία που οι πλησιέστεροι μόνο σταθμοί στον αντίστοιχο σταθμό αναφοράς εμφανίζουν σχετικά υψηλότερες τιμές του R^2 (μοντέλα ARH4, ARH5). Όσον αφορά στο μέσο απόλυτο σφάλμα (Πιν. 17) για τη περίπτωση της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας αέρος, οι τιμές του MAE γενικά εμφανίζονται μικρότερες στα μοντέλα ARH6 και AT6 απ' ότι στα μοντέλα ARH4, ARH5, AT4 και AT5.

5.1.3. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων μεθόδου A

Όπως φαίνεται από τους πίνακες 10 και 11, χρησιμοποιώντας ως σταθμό αναφοράς για τη θερμοκρασία τον S1 η πρόβλεψη των αντίστοιχων θερμοκρασιών των σταθμών S2, S3, S4, S5, S6 και S7 γίνεται με ικανοποιητική εκτίμηση δεδομένου ότι το R^2 κυμαίνεται από 0,49 (S6) έως 0,83 (S2). Αντίστοιχα, εάν χρησιμοποιηθούν οι τιμές του σταθμού S7 ως αναφορά, οι αντίστοιχες εκτιμώμενες τιμές των υπολοίπων σταθμών έχουν επίσης πολύ καλή εκτίμηση με το R^2 να κυμαίνεται από 0,56 (S1) έως 0,81 (S6). Όπως είναι φυσικό, οι τιμές του R^2 μειώνονται με την απόσταση από τον σταθμό που θεωρείται ως σταθμός αναφοράς για την κάθε περίπτωση.

Όσον αφορά τις τιμές του M.A.E., διαπιστώνεται ότι εμφανίζονται μικρότερες στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ως σταθμός αναφοράς το S1 από ότι το S7. Αυτό υποδηλώνει ότι αξιολογώντας τις δύο περιπτώσεις των εκτιμήσεων, εμφανίζεται σχετικά καλύτερη η περίπτωση του σταθμού S1 από ότι του S7.

Αναμφισβήτητα καλύτερη πρόβλεψη μπορεί να γίνει αν χρησιμοποιηθεί ο συνδυασμός των τιμών των σταθμών S1 και S7 για την εκτίμηση των θερμοκρασιών των υπολοίπων σταθμών. Αυτό φαίνεται, τόσο από τις τιμές του R^2 που κυμαίνονται από 0,72 (S5) έως 0,83 (S2), όσο και από τις τιμές του M.A.E., που η αντίστοιχη κύμανση είναι 1,18 (S6) έως 1,81 (S4).

Ανάλογα αποτελέσματα με μικρές όμως διαφοροποιήσεις, που μπορούν να αποδοθούν στις διαφορετικές χρονοσειρές, εμφανίζονται στις προβλέψεις των τιμών της θερμοκρασίας αέρος για το έτος 2004 (πίνακες 12 και 13), λαμβάνοντας ως σταθμούς αναφοράς τους σταθμούς S1, S7 και τον συνδυασμό αυτών.

Αξιολογώντας τις τρεις αυτές περιπτώσεις καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι είναι δυνατή η επιτυχής εκτίμηση των τιμών της θερμοκρασίας αέρος χρησιμοποιώντας δεδομένα ενός σταθμού εισόδου (S1) ή εξόδου (S7) του φαραγγιού με καλύτερα αποτελέσματα, εάν συνδυαστούν οι τιμές αυτών.

Όσον αφορά την πρόβλεψη των τιμών της σχετικής υγρασίας χρησιμοποιώντας ως σταθμούς αναφοράς τους σταθμούς S1 και S7, φαίνεται να ανταποκρίνεται καλύτερα η περίπτωση του σταθμού S1 για τους πλησιέστερους σ' αυτόν σταθμούς. Όταν όμως αυξάνεται η απόσταση των σταθμών, οι τιμές του R^2 είναι μικρές, το M.A.E. μεγαλώνει και οι εκτιμήσεις δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστες.

Για την περίπτωση του φαραγγιού της Σαμαριάς, όπου είναι ένας ιδιαίτερος μορφολογικός σχηματισμός, με όλες τις δυσκολίες που αυτό συνεπάγεται, η μεθοδολογία εκτίμησης της σχετικής υγρασίας από την συνδυασμένη χρήση των τιμών των σταθμών εισόδου (S1) και εξόδου (S7), έδωσε καλά αποτελέσματα για το έτος 2003 ($R^2 = 0,86$ έως $0,44$ με MLR) όχι όμως και για το 2004 για το σταθμό S4 ($R^2 = 0,12$).

Οι προβλέψεις των τιμών της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρος με νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιώντας τις τιμές των σταθμών S1, S7 και τον συνδυασμό S1 και S7 ως τιμές σταθμών αναφοράς, έδειξαν παρόμοια αποτελέσματα με την γραμμική παλινδρόμηση αλλά ελαφρώς βελτιωμένα, ιδιαίτερα ως προς το Μ.Α.Ε. (Πίνακες 14, 15, 16 και 17).

Η χρήση των δεδομένων ενός έτους στην εκτίμηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας άλλων ετών, δεν έδωσαν σταθερά και ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η διαφοροποίηση του θερμικού καθεστώτος των ετών και οι ιδιαίτερες συνθήκες που διαμορφώνονται στα έτη, είναι κάποιοι από τους παράγοντες που δυσχεραίνουν την εκτίμηση με την μέθοδο αυτή.

Γενικά πάντως συμπεραίνεται ότι η καλύτερη των εκτιμήσεων με την μέθοδο Α μπορεί να επιτευχθεί αν χρησιμοποιηθεί ο συνδυασμός των τιμών των σταθμών S1 και S7.

5.1.4. Αποτελέσματα πολλαπλής γραμμικής συσχέτισης μεθόδου B

Τα αποτελέσματα της πολλαπλής γραμμικής συσχέτισης που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου B σχετικά με τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία αέρος, λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα των σταθμών S1 και S7 σε συνδυασμό, έδειξαν ότι οι συντελεστές προσδιορισμού (Πιν.18) που αφορούν τα αποτελέσματα του μοντέλου BT1 για τους υπόλοιπους σταθμούς S2 έως και S6 κυμάνθηκαν σε πολύ καλά επίπεδα δηλαδή από 0,83 έως 0,90 με εξαίρεση το σταθμό S4 που παρουσίασε μειωμένη τιμή (0,68). Όταν όμως χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός των τιμών της θερμοκρασίας αέρος με την αντίστοιχη χρονική στιγμή του 24ώρου (μοντέλο BT2) τότε οι εκτιμήσεις των συντελεστών προσδιορισμού έδωσαν ακόμη καλύτερες τιμές και μειώθηκε αντίστοιχα (Πιν.19) το μέσο απόλυτο σφάλμα.

Πίνακας 18. Συντελεστής προσδιορισμού (R^2) των αποτελεσμάτων των μοντέλων BT1, BT2, BRH1, BRH2 για όλους τους σταθμούς.

R²	BT1	BT2	BRH1	BRH2
S2	0,89	0,89	0,79	0,79
S3	0,89	0,89	0,74	0,75
S4	0,68	0,69	0,57	0,65
S5	0,83	0,85	0,61	0,65
S6	0,90	0,91	0,79	0,79

Πίνακας 19. Μέσο Απόλυτο Σφάλμα (MAE) των αποτελεσμάτων των μοντέλων BT1, BT2, BRH1, BRH2 για όλους τους σταθμούς.

MAE	BT1	BT2	BRH1	BRH2
S2	1,55	1,54	6,66	6,65
S3	1,39	1,35	7,36	7,32
S4	1,93	1,89	10,71	9,70
S5	1,72	1,62	10,83	10,33
S6	1,01	0,98	4,67	4,69

Όσον αφορά τη σχετική υγρασία οι συντελεστές προσδιορισμού παρουσίασαν και στις δύο περιπτώσεις των μοντέλων BRH1 και BRH2 μικρότερες τιμές (Πιν.18) σε σύγκριση με αυτές της θερμοκρασίας αέρος. Αντίθετα κινήθηκαν (Πιν.19) οι τιμές του μέσου απόλυτου σφάλματος, δηλαδή παρουσίασαν μικρότερες τιμές στην περίπτωση

της θερμοκρασίας από τις αντίστοιχες της σχετικής υγρασίας. Επισημαίνεται ότι οι μεταβολές των τιμών τους μεταξύ των σταθμών παρουσίασαν ανάλογη εικόνα με αυτή της θερμοκρασίας αέρος.

5.1.5. Αποτελέσματα μοντέλων τεχνητών νευρωνικών δικτύων μεθόδου B

Από τη συγκριτική παρουσίαση των τιμών των συντελεστών προσδιορισμού (Πιν. 20), που αφορούν τα αποτελέσματα εφαρμογής των μοντέλων BT3 και BT4, προκύπτει ότι καλύτερες εκτιμήσεις μπορεί να δώσει το μοντέλο BT4 που εμπεριέχει και την παράμετρο του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές των συντελεστών προσδιορισμού, που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου BT4, κυμάνθηκαν από 0,86 έως 0,92 με εξαίρεση αυτή του σταθμού S4 που έλαβε την τιμή 0,72.

Την ίδια εικόνα αλλά με μικρότερες αριθμητικές τιμές παρουσίασαν οι συντελεστές προσδιορισμού που αφορούν τη σχετική υγρασία. Αξίζει να επισημανθεί ότι ιδιαίτερα καλή είναι η εκτίμηση του συντελεστή προσδιορισμού που αφορά τη σχετική υγρασία του σταθμού S4 (0,73) με την εφαρμογή του μοντέλου BRH4, σε σύγκριση με την τιμή (0,59) που προκύπτει από το μοντέλο BRH3 (Πιν. 20).

Πίνακας 20. Συντελεστής προσδιορισμού (R^2) των αποτελεσμάτων των μοντέλων BT3, BT4, BRH3, BRH4 για όλους τους σταθμούς.

R²	BT3	BT4	BRH3	BRH4
S2	0,90	0,90	0,80	0,83
S3	0,89	0,90	0,76	0,80
S4	0,70	0,72	0,59	0,73
S5	0,84	0,86	0,63	0,73
S6	0,90	0,92	0,79	0,81

Πίνακας 21. Μέσο Απόλυτο Σφάλμα (MAE) των αποτελεσμάτων των μοντέλων BT3, BT4, BRH3, BRH4 για όλους τους σταθμούς.

MAE	BT3	BT4	BRH3	BRH4
S2	1,48	1,45	6,35	5,64
S3	1,37	1,33	7,13	6,26
S4	1,87	1,77	10,37	8,58
S5	1,68	1,56	10,39	8,85
S6	1,00	0,90	4,65	4,60

Γενικά οι συντελεστές προσδιορισμού (Πιν. 20) και οι αντίστοιχες τιμές των μέσων απόλυτων σφαλμάτων (Πιν. 21) έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα τόσο στη θερμοκρασία αέρος, όσο και στη σχετική υγρασία με την εφαρμογή των μοντέλων BT4 και BRH4 σε σύγκριση με τις τιμές που έδωσαν αντιστοίχως με τα BT3 και BRH3.

5.1.6. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων μεθόδου B

Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων της μεθόδου B δημιουργήθηκαν οι παρακάτω πίνακες, όπου φαίνεται σε αντιπαραβολή το R^2 και το MAE για κάθε σταθμό μέτρησης και κάθε τρόπο εκτίμησης. Είναι προφανές ότι ο καλύτερος τρόπος είναι αυτός που παρουσιάζει το μεγαλύτερο συντελεστή R^2 και ταυτόχρονα το μικρότερο MAE.

Πίνακας 22. Σύγκριση του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) των αποτελεσμάτων των μοντέλων BT1, BT2, BT3, BT4 για όλους τους σταθμούς.

R^2	BT1	BT2	BT3	BT4
TS2	0,89	0,89	0,90	0,90
TS3	0,89	0,89	0,89	0,90
TS4	0,68	0,69	0,70	0,72
TS5	0,83	0,85	0,84	0,86
TS6	0,90	0,91	0,90	0,92

Πίνακας 23. Σύγκριση του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) των αποτελεσμάτων των μοντέλων BRH1, BRH2, BRH3, BRH4 για όλους τους σταθμούς.

R^2	BRH1	BRH2	BRH3	BRH4
RHS2	0,79	0,79	0,80	0,83
RHS3	0,74	0,75	0,76	0,80
RHS4	0,57	0,65	0,59	0,73
RHS5	0,61	0,65	0,63	0,73
RHS6	0,79	0,79	0,79	0,81

5. Αποτελέσματα – Συζήτηση

Πίνακας 24. Σύγκριση του μέσου απόλυτου σφάλματος (MAE) των αποτελεσμάτων των μοντέλων BT1, BT2, BT3, BT4 για όλους τους σταθμούς.

MAE	BT1	BT2	BT3	BT4
TS2	1,55	1,54	1,48	1,45
TS3	1,39	1,35	1,37	1,33
TS4	1,93	1,89	1,87	1,77
TS5	1,72	1,62	1,68	1,56
TS6	1,01	0,98	1,00	0,90

Πίνακας 25. Σύγκριση του μέσου απόλυτου σφάλματος (MAE) των αποτελεσμάτων των μοντέλων BRH1, BRH2, BRH3, BRH4 για όλους τους σταθμούς.

MAE	BRH1	BRH2	BRH3	BRH4
RHS2	6,66	6,65	6,35	5,64
RHS3	7,36	7,32	7,13	6,26
RHS4	10,71	9,70	10,37	8,58
RHS5	10,83	10,33	10,39	8,85
RHS6	4,67	4,69	4,65	4,60

Από τη σύγκριση των συντελεστών προσδιορισμού, που αναφέρονται στον πίνακα 22, διαπιστώνεται ότι οι μεγαλύτερες τιμές, που εκτιμήθηκαν από την εφαρμογή των διαφορετικών μοντέλων της μεθόδου B, προέκυψαν από το BT4, δηλαδή με τη χρήση νευρωνικών δικτύων λαμβάνοντας υπόψη εκτός των τιμών της θερμοκρασίας αέρος και τις αντίστοιχες χρονικές στιγμές που αυτές σημειώθηκαν. Παράλληλα η συγκριτική παρουσίαση των τιμών του μέσου απόλυτου σφάλματος (Πιν. 24) ενισχύει το συμπέρασμα ότι το μοντέλο BT4 δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα διότι παρουσιάζει αντίστοιχα τις μικρότερες τιμές.

Από τις τιμές των συντελεστών προσδιορισμού και των αντίστοιχων μέσων απόλυτων σφαλμάτων που εκτιμήθηκαν από τα μοντέλα BRH1, BRH2, BRH3, BRH4 και αφορούν τη σχετική υγρασία, διαπιστώνεται ότι το BRH4 δίνει καλύτερες εκτιμήσεις σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μοντέλα.

Συμπερασματικά, όπως φαίνεται στους πίνακες 22,23,24 και 25, η χρήση μοντέλων τεχνητών νευρωνικών δικτύων με είσοδο τις τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρος των σταθμών S1 και S7 συνυπολογίζοντας και την ώρα της ημέρας (μοντέλα BT4 και BRH4), δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα στην εκτίμηση των αντίστοιχων παραμέτρων για τους ενδιάμεσους σταθμούς S2 έως και S6.

5.1.7. Σύγκριση και αξιολόγηση βέλτιστης μεθόδου εκτίμησης

Για την αξιολόγηση του βέλτιστου μοντέλου στην εκτίμηση της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρος των διαφόρων θέσεων στο φαράγγι της Σαμαριάς, έγινε σύγκριση και αξιολόγηση των μοντέλων που αναπτύχθηκαν στην παρούσα διατριβή. Οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν έχουν κάποια δυσκολία στην σύγκρισή τους διότι η πρώτη (Α) αναφέρεται σε δεδομένα και αποτελέσματα των ετών 2003 και 2004 ενώ η δεύτερη (Β) έχει ενοποιήσει τα δεδομένα όλων των ετών και τα αποτελέσματά της είναι ανεξάρτητα από το έτος.

Στη μέθοδο Α ένα καλό ή κακό αποτέλεσμα για ένα έτος δεν μπορεί να εκφράζει μια γενικότερη κατάσταση σε αντίθεση με τη μέθοδο Β. Πιο συγκεκριμένα, για τη μέθοδο Α (πίνακες 26, 28) τα καλύτερα μοντέλα εκτίμησης, σύμφωνα με το κριτήριο του συντελεστή προσδιορισμού, είναι τα AT3 και AT6 για τη θερμοκρασία και τα ARH3 και ARH6 για τη σχετική υγρασία, αντίστοιχα. Ο λόγος που δεν είναι εκ πρώτης όψεως ξεκάθαρο ποιο μοντέλο είναι σαφώς καλύτερο, οφείλεται στο γεγονός ότι το προβάδισμα στις τιμές του R^2 το έχουν εναλλάξ τα δύο μοντέλα, ανάλογα με το έτος εφαρμογής και το σταθμό μετρήσεων. Έτσι, για το έτος 2003 η τιμή του R^2 είναι υψηλότερη με την εφαρμογή του μοντέλου AT3 σε όλους τους σταθμούς εκτός από τον TS4, ενώ τα καλύτερα αποτελέσματα για το 2004 δίνει το μοντέλο AT6. Αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα του μοντέλου AT3 μεταξύ των δύο ετών εφαρμογής του διαπιστώνεται ότι οι καλύτερες τιμές του R^2 απαντώνται στο 2004 για όλους τους σταθμούς εκτός από το σταθμό TS4. Το ίδιο παρατηρείται και με το μοντέλο AT6. Υπάρχει δηλαδή μεγάλη διακύμανση των αποτελεσμάτων από έτος σε έτος πράγμα που κάνει και τα δύο αυτά μοντέλα σχετικά μη αποτελεσματικά για εκτίμηση. Εκτός από το συντελεστή προσδιορισμού και το μέσο απόλυτο σφάλμα, τα διαγράμματα διασποράς των εκτιμημένων και μετρημένων τιμών της θερμοκρασίας αέρος είναι ένα επιπλέον κριτήριο που διασφαλίζει την ορθότητα της επιλογής του μοντέλου. Στα διαγράμματα αυτά η πυκνότητα του νέφους των σημείων γύρω από την γραμμή συσχέτισης είναι δείγμα καλής, ή όχι, προσαρμογής του μοντέλου στα δεδομένα. Άλλο ένα κριτήριο που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των μοντέλων είναι και το ιστόγραμμα της κατανομής των υπολοίπων συγκρινόμενα με την κανονική κατανομή. Στην προκειμένη περίπτωση, η σύγκριση των διαγραμμάτων διασποράς 1, 3, 5, 7 του παραρτήματος II επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα που

προέκυψαν από την σύγκριση του συντελεστή προσδιορισμού σχετικά με την καταλληλότητα των μοντέλων AT3 και AT6.

Είναι εμφανές από τα αντίστοιχα ιστογράμματα κατανομής υπολοίπων (παράρτημα II / διαγράμματα 2, 4, 6, 8) ότι όλες οι κατανομές είναι πολύ κοντά στην κανονική κατανομή, πράγμα που καθιστά τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν στατιστικά ορθά.

Αντίθετα με την ανομοιομορφία των αποτελεσμάτων της μεθόδου A, τα αποτελέσματα της μεθόδου B (κεφ. 5.1.6.) καταλήγουν με σαφήνεια στο μοντέλο BT4 ως το βέλτιστο μοντέλο εκτίμησης θερμοκρασίας αέρος. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται τόσο από τις τιμές του συντελεστή προσδιορισμού (Πιν. 26) και του μέσου απόλυτου σφάλματος (Πιν. 27), όσο και μέσω των διαγραμμάτων διασποράς (παράρτημα II / Διαγρ. 16) και κατανομής υπολοίπων (παράρτημα II / Διαγρ. 17). Παρά το γεγονός ότι σε ελάχιστες μεμονωμένες περιπτώσεις το R^2 των αποτελεσμάτων της μεθόδου A (TS4-AT3,2003 και TS2-AT6,2004) είναι λίγο υψηλότερο από το αντίστοιχο της μεθόδου B, το μοντέλο BT4 είναι πολύ πιο σταθερό και με τις καλύτερες εκτιμήσεις θερμοκρασίας για το σύνολο των σταθμών ελέγχου.

Πίνακας 26. Πίνακας σύγκρισης του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) των μοντέλων εκτίμησης θερμοκρασίας με τα βέλτιστα αποτελέσματα (μοντέλα AT3, AT6, BT4).

R^2	AT3 (2003)	AT3 (2004)	AT6 (2003)	AT6 (2004)	BT4
TS2	0,83	0,90	0,77	0,94	0,90
TS3	0,81	0,86	0,77	0,86	0,90
TS4	0,74	0,59	0,66	0,61	0,72
TS5	0,72	0,79	0,72	0,81	0,86
TS6	0,81	0,86	0,83	0,86	0,92

Πίνακας 27. Πίνακας σύγκρισης του μέσου απόλυτου σφάλματος (MAE) των μοντέλων εκτίμησης θερμοκρασίας με τα βέλτιστα αποτελέσματα (μοντέλα AT3, AT6, BT4).

MAE	AT3 (2003)	AT3 (2004)	AT6 (2003)	AT6 (2004)	BT4
TS2	1,49	1,47	1,89	1,19	1,45
TS3	1,38	1,48	1,50	1,60	1,33
TS4	1,81	2,15	2,09	2,16	1,77
TS5	1,75	1,68	1,84	1,83	1,56
TS6	1,18	1,15	1,12	1,08	0,90

Πίνακας 28. Πίνακας σύγκρισης του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) των μοντέλων εκτίμησης σχετικής υγρασίας με τα βέλτιστα αποτελέσματα (μοντέλα ARH3, ARH6, BRH4).

R^2	ARH3 (2003)	ARH3 (2004)	ARH6 (2003)	ARH6 (2004)	BRH4
RHS2	0,86	0,76	0,58	0,71	0,83
RHS3	0,77	0,52	0,67	0,49	0,80
RHS4	0,44	0,12	0,41	0,11	0,73
RHS5	0,62	0,22	0,55	0,21	0,73
RHS6	0,61	0,61	0,64	0,62	0,81

Πίνακας 29. Πίνακας σύγκρισης του μέσου απόλυτου σφάλματος (MAE) των μοντέλων εκτίμησης θερμοκρασίας με τα βέλτιστα αποτελέσματα (μοντέλα ARH3, ARH6, BRH4).

MAE	ARH3 (2003)	ARH3 (2004)	ARH6 (2003)	ARH6 (2004)	BRH4
TS2	13,31	8,72	11,06	7,99	5,64
TS3	12,14	11,99	11,43	10,94	6,26
TS4	9,68	16,51	8,73	15,10	8,58
TS5	12,17	16,09	11,76	15,16	8,85
TS6	9,54	7,21	9,75	7,28	4,60

Όσον αφορά την εκτίμηση της σχετικής υγρασίας (πιν. 28), τα αποτελέσματα της μεθόδου A είναι μη αποδεκτά για το σύνολο σχεδόν των σταθμών. Μόνη εξαίρεση αποτελεί ο σταθμός S2 όπου η εκτίμηση είναι σχετικά καλή. Σε αντίθεση, το μοντέλο BRH4 δίνει πολύ καλά αποτελέσματα με το R^2 να κυμαίνεται από 0,73 έως και 0,83 έχοντας ταυτόχρονα και τις χαμηλότερες τιμές του MAE (Πιν. 29), διαχωρίζοντάς το σαφώς από τα υπόλοιπα ως το βέλτιστο μοντέλο εκτίμησης της σχετικής υγρασίας.

Αυτό επιβεβαιώνεται επίσης από τα διαγράμματα διασποράς (παράρτημα II / Διαγρ. 9, 11, 13, 15, 17, 19) και από τα ιστογράμματα κατανομής υπολοίπων (παράρτημα II / Διαγρ. 10, 12, 14, 16, 18, 20).

Αν ληφθεί υπόψη ότι η εκτίμηση της σχετικής υγρασίας είναι εξαιρετικά δύσκολη σε ορεινές περιοχές, τότε τα αποτελέσματα αυτά μπορούν με σαφήνεια να χαρακτηριστούν ως πολύ καλά. Η Γκούμα (2001) με εφαρμογή πολλαπλής παλινδρόμησης εκτίμησε τη χωρική κατανομή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρος από παραμέτρους του αναγλύφου (υψόμετρο, κλίση, έκθεση και καμπυλότητα του εδάφους). Η εκτίμηση της θερμοκρασίας θεωρήθηκε πολύ καλή ενώ της σχετικής υγρασίας ικανοποιητική και οι εκτιμώμενες τιμές των παραμέτρων

αυτών χρησιμοποιήθηκαν με επιτυχία για τον υπολογισμό του μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς στην περιοχή της Πάρνηθας (Αττική).

Ανακεφαλαιώνοντας μπορούμε να πούμε ότι είναι εφικτή η επιτυχής εκτίμηση των τιμών της θερμοκρασίας αέρος και της σχετικής υγρασίας χρησιμοποιώντας τις τιμές των σταθμών εισόδου και εξόδου του φαραγγιού της Σαμαριάς λαμβάνοντας υπόψη και την ώρα της ημέρας των αντίστοιχων παρατηρήσεων. Η επιτυχής εκτίμηση των παραμέτρων αυτών δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού τόσο του μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς όσο και του δείκτη θερμικής αίσθησης. Οι εκτίμηση των δεικτών αυτών είναι εξαιρετικά χρήσιμη στην περίπτωση του φαραγγιού της Σαμαριάς για την ασφάλεια και για την άνεση των επισκεπτών, δεδομένου ότι κατά τη κρίσιμη περίοδο του έτους, δηλαδή την περίοδο που είναι ανοικτό το φαράγγι (Μάιος έως Οκτώβριος), παρατηρείται εξαιρετικά μεγάλη επισκεψιμότητα.

Το φαράγγι της Σαμαριάς αποτελεί ιδιαίτερα δύσκολη περίπτωση εκτίμησης θερμοκρασίας αέρος και σχετικής υγρασίας, διότι έχει μεγάλη υψομετρική διαφορά (από την επιφάνεια της θάλασσας έως 1200m), δεν παρουσιάζει ομοιομορφία ως προς την κατεύθυνσή του (από ΒΔ προσανατολίζεται προς ΝΑ και καταλήγει Ν) και παρουσιάζει έντονη διαφοροποίηση πλάτους και ύψους. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που έγινε η επιλογή του συγκεκριμένου φαραγγιού για την εφαρμογή των μεθοδολογιών αυτών.

5.2. Μετεωρολογικοί - βιοκλιματικοί δείκτες

Οι φυσικές χαράδρες ή φαράγγια αποτελούν ιδιαίτερους μορφολογικούς σχηματισμούς, οι οποίοι προκαλούν το ενδιαφέρον και την προτίμηση των επισκεπτών. Η επισκεψιμότητα όμως ενός τέτοιου χώρου πρέπει να πληροί ορισμένες βασικές προϋποθέσεις, όπως φυσική ομορφιά, ευχάριστο ατμοσφαιρικό περιβάλλον και ασφάλεια κατά την παραμονή των επισκεπτών σ' αυτόν. Όσον αφορά την πρώτη προϋπόθεση αυτή εξασφαλίζεται από την πλούσια χλωρίδα και πανίδα των ορεινών περιοχών της χώρας μας. Η χωροχρονική όμως μεταβλητότητα των μετεωρολογικών παραμέτρων σ' αυτές, δημιουργούν συνθήκες που επηρεάζουν την υγεία αλλά και τη διάθεση του ανθρωπίνου οργανισμού, η οποία εκφράζεται με την θερμική αίσθηση.

Το Φαράγγι της Σαμαριάς παρουσιάζει ιδιαιτερότητες όπως το μεγάλο του μήκος (18χλμ.) τη μεγάλη υψομετρική διαφορά από την είσοδο μέχρι την έξοδο (1200m), το κυμαινόμενο πλάτος (3-150m), το μεγάλο ύψος των κλιτύων (600m), και τη διεύθυνση του η οποία ξεκινάει από το οροπέδιο του Ομαλού ως ΒΔ-ΝΑ και στη συνέχεια αλλάζει σε Β-Ν καταλήγοντας στη θάλασσα.

Οι ιδιαιτερότητες αυτές δημιουργούν έντονα μεταβαλλόμενες συνθήκες με αποτέλεσμα οι προβλέψεις των περιβαλλοντικών ατμοσφαιρικών παραμέτρων, όπως είναι της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας να είναι δυσχερείς.

Οι επιτυχείς όμως εκτιμήσεις των παραμέτρων αυτών στο φαράγγι της Σαμαριάς δημιουργεί αισιοδοξία για επιτυχείς προβλέψεις και σε άλλα φαράγγια της Ελλάδας, τα οποία παρουσιάζουν λόγω της δομής τους ομοιογενέστερες ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Η εκτίμηση περιβαλλοντικών παραμέτρων σε ιδιαίτερους μορφολογικούς σχηματισμούς όπως είναι τα φαράγγια έχουν μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον, ιδιαίτερα όταν οι εκτιμήσεις προέρχονται από πρωτογενή στοιχεία μικρού αριθμού σταθμών συλλογής δεδομένων και έχουν μεγάλο βαθμό αξιοπιστίας. Όταν όμως τα αποτελέσματα των επιστημονικών αυτών ερευνών έχουν εφαρμογή στον προσδιορισμό των συνθηκών παραμονής και ασφάλειας των επισκεπτών στους χώρους αυτούς, τότε αποκτούν και μεγάλο πρακτικό ενδιαφέρον. Για το λόγο αυτό κρίθηκε απαραίτητος ο προσδιορισμός των συνθηκών θερμικής αίσθησης και του μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς από τις προβλέψεις των μοντέλων, που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα. Η σύγκριση μεταξύ των εκτιμημένων κλάσεων

θερμικής αίσθησης και κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς από τα αποτελέσματα των μοντέλων και των υπολογισμένων κλάσεων από τις μετρηθείσες τιμές των δεδομένων των σταθμών μέτρησης, προσδιορίζει το ποσοστό επιτυχίας των εκτιμήσεων και τη δυνατότητα πρακτικής εφαρμογής τους.

5.2.1. Θεωρητικό μοντέλο εκτίμησης μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς

Η θεώρηση της βλάστησης ως καύσιμο, το ανάγλυφο, οι μετεωρολογικές συνθήκες, το ιστορικό των πυρκαγιών, αποτελούν τους κύριους παράγοντες κινδύνου έναρξης δασικής πυρκαγιάς. Η εκτίμηση του κινδύνου σε μια ορεινή δασική περιοχή, προσδιορίζεται κυρίως από το συνδυασμό των δεικτών ευφλεκτότητας της βλάστησης και του μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς. Ο πρώτος δείκτης παρουσιάζει σταθερότητα στο χρόνο και μεταβλητότητα στο χώρο, πράγμα που σημαίνει ότι εάν προσδιοριστεί χωρικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλά έτη (Γκούμα 2001). Αντίθετα ο μετεωρολογικός δείκτης κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς, παρουσιάζει έντονη μεταβλητότητα στο χώρο και στο χρόνο, ως εξαρτώμενος από ευμετάβλητες ατμοσφαιρικές παραμέτρους. Για την εκτίμηση του μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς χρησιμοποιούνται δείκτες, οι οποίοι είναι προσαρμοσμένοι στις ιδιαιτερότητες των γενικότερων κλιματικών συνθηκών ενός τόπου. Στην περίπτωση του ελληνικού χώρου καταλληλότερος θεωρείται ο παραλλαγμένος πορτογαλικός δείκτης κινδύνου (Γκούμα 2001), που όταν δίνεται η θερμοκρασία αέρος και η σχετική υγρασία υπολογίζεται από την εξίσωση 5.1.

$$MK_{s,t} = T_{s,t} \cdot \left(T_{s,t} - \frac{237,3 \cdot \left(\log\left(\frac{RH_{s,t}}{100}\right) + \frac{7,5 \cdot T_{s,t}}{237,3 + T_{s,t}} \right)}{7,5 - \left(\log\left(\frac{RH_{s,t}}{100}\right) + \frac{7,5 \cdot T_{s,t}}{237,3 + T_{s,t}} \right)} \right) \quad (5.1)$$

Όπου:

$MK_{s,t}$ Τιμή του δείκτη για τη θέση s και για τη χρονική στιγμή t

$T_{s,t}$ Θερμοκρασία αέρος (ξηρού θερμομέτρου) σε °C που παρατηρείται για τη θέση s και για τη χρονική στιγμή t

$RH_{s,t}$ Σχετική υγρασία (%) που παρατηρείται για τη θέση s και για τη χρονική στιγμή t

Ο δείκτης είναι ένα αδιάστατο τεχνητό μέγεθος, το οποίο παίρνει αριθμητικές τιμές, τις περισσότερες φορές μέσα σε κάποιο προκαθορισμένο εύρος. Το εύρος αυτό χωρίζεται σε περιοχές τιμών, οι οποίες ονομάζονται κλάσεις κινδύνου. Δηλαδή, για πρακτικούς λόγους από τις τιμές του δείκτη δημιουργούνται κλάσεις κινδύνου, τα όρια των οποίων μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την περιοχή μελέτης. Λόγω έλλειψης δεδομένων πυρκαγιάς για την περιοχή μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν ως βάση (πιν. 30) οι κλάσεις κινδύνου της πλησιέστερης εφαρμογής του συγκεκριμένου δείκτη.

Πίνακας 30. Κλάσεις κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς (Γκούμα 2001)

Τιμές δείκτη	Κίνδυνος έναρξης πυρκαγιάς
$600 \leq MK_{s,t}$	Πολύ υψηλός
$450 \leq MK_{s,t} < 600$	Υψηλός
$300 \leq MK_{s,t} < 450$	Μέτριος
$150 \leq MK_{s,t} < 300$	Χαμηλός
$MK_{s,t} < 150$	Πολύ χαμηλός

Σύμφωνα με την Γκούμα (2001) το σύνολο των πυρκαγιών για την περιοχή της Αττικής (Πάρνηθα) έχουν εντοπισθεί σε θέσεις που έχουν χαρακτηριστεί από τις κλάσεις υψηλού και πολύ υψηλού κινδύνου. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμη η ενοποίηση των κλάσεων αυτών διότι οι θέσεις αυτές αποτελούν ως σύνολο προτεραιότητα για παρεμβάσεις προστασίας από πυρκαγιά. Παράλληλα ενοποιήθηκαν οι κλάσεις μέτριου και χαμηλού κινδύνου διαχωρίζοντάς τις από τον πολύ χαμηλό κίνδυνο, οπότε ο πίνακας 30 διαμορφώνεται ως ακολούθως:

Πίνακας 31. Τροποποιημένες κλάσεις κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς

Τιμές δείκτη	Κίνδυνος έναρξης πυρκαγιάς
$450 \leq MK_{s,t}$	Υψηλός και Πολύ υψηλός
$150 \leq MK_{s,t} < 450$	Μέτριος και Χαμηλός
$MK_{s,t} < 150$	Πολύ χαμηλός

Η εξίσωση 5.1 εφαρμόστηκε στα δεδομένα των σταθμών S2, S3, ..., S6 για τα έτη 2003 και 2004 και στα αντίστοιχα δεδομένα που προβλέφθηκαν με τη βέλτιστη μέθοδο, δηλαδή τη χρήση μοντέλου νευρωνικού δικτύου με δεδομένα των σταθμών

S1 και S7 σε συνδυασμό. Ακολούθησε σύγκριση των αποτελεσμάτων για τον προσδιορισμό του ποσοστού επιτυχίας ανά κλάση κινδύνου. Σε ορισμένες περιπτώσεις το ποσοστό κάποιας κλάσης κινδύνου επί του συνόλου των παρατηρήσεων είναι πολύ μικρό και η πιθανή επιτυχής ή ανεπιτυχής πρόβλεψη επί αυτών των λιγοστών δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα. Για το λόγο αυτό έγινε επιπλέον εκτίμηση και του ποσοστού επιτυχίας της πρόγνωσης ανά κλάση κινδύνου, αφού ελήφθη υπόψη το ποσοστό κάθε κλάσης επί του συνόλου των παρατηρήσεων.

5.2.2. Αποτελέσματα μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς

Από την εφαρμογή των ωριαίων τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρος, προέκυψαν για όλη τη περίοδο των μετρήσεων, τα ποσοστά των τριών κλάσεων κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς με βάση τα εύρη των τιμών, που αναφέρονται στον πίνακα 31.

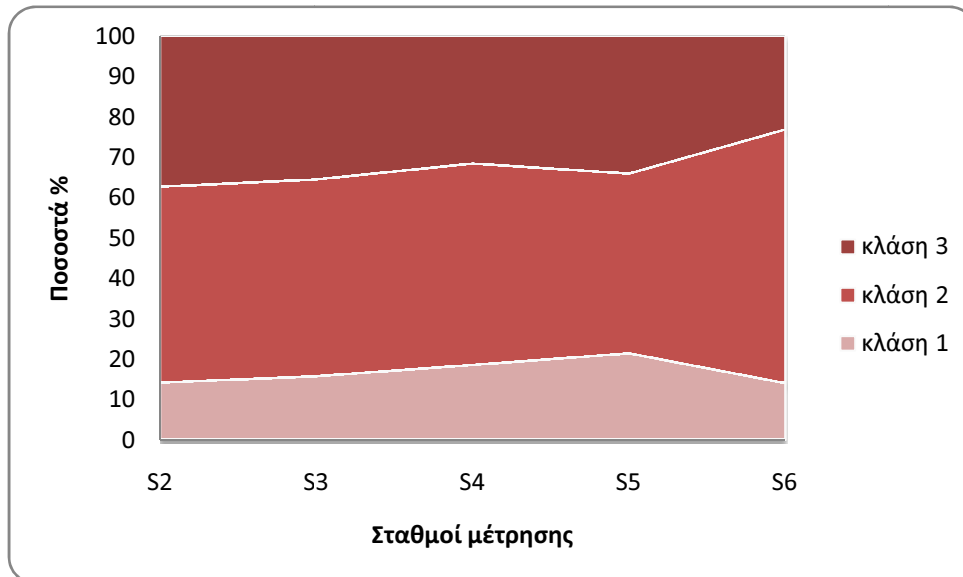
Διαπιστώθηκε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των μετρήσεων για όλους τους σταθμούς εντάσσεται στη κλάση 2, δηλαδή του μέτριου και χαμηλού κινδύνου (Πιν. 32), ακολουθεί σε ποσοστά η κλάση 3 (υψηλός και πολύ υψηλός κίνδυνος), ενώ ο πολύ χαμηλός κίνδυνος (κλάση 1) παρουσιάζεται σε ποσοστά μικρότερα του 21%.

Πίνακας 32. Ποσοστό % των κλάσεων κινδύνου επί του συνόλου των ωριαίων τιμών.

Σταθμός	κλάση 3	κλάση 2	κλάση 1
S2	37	48	14
S3	36	49	16
S4	32	50	19
S5	34	44	21
S6	23	63	14

Από τη μελέτη του διαγράμματος της εικόνας 19 γίνεται αντιληπτό ότι οι σταθμοί μέτρησης μεγάλου και μέτριου υψομέτρου, ανεξάρτητα των γενικότερων μετεωρολογικών συνθηκών που επικράτησαν, παρουσίασαν μεγαλύτερο ποσοστό στη κλάση υψηλού και πολύ υψηλού κινδύνου, ενώ για τους σταθμούς μικρότερου υψομέτρου και πλησιέστερα προς τη θάλασσα το ποσοστό αυτό μικραίνει με αντίστοιχη αύξηση του ποσοστού που εντάσσεται στο μέτριο κίνδυνο (κλάση 2).

Αυτό αποδίδεται στην επίδραση της θάλασσας η οποία διαμορφώνει υψηλότερες τιμές σχετικής υγρασίας και χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας αέρος, παράμετροι καθοριστικές στη δημιουργία των τιμών των κλάσεων του μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς.



Εικόνα 19. Απεικόνιση ποσοστού % των κλάσεων κινδύνου των θέσεων των σταθμών S2,...,S6.

Για τη διερεύνηση των εκτιμήσεων των συμβάντων ανά κλάση δημιουργήθηκαν πίνακες διπλής εισόδου κατανομής αναμενόμενων τιμών και ποσοστών βάσει των αντίστοιχων παρατηρημένων (Παράρτημα III / Πίνακες 1 έως 10). Με αυτόν τον τρόπο διευκρινίζεται σε ποιες κλάσεις κινδύνου κατανεμήθηκε το σφάλμα της εκτίμησης για κάθε σταθμό. Για παράδειγμα, από τις 643 εκτιμηθείσες τιμές της κλάσης 2 του σταθμού S2, οι 82 μετακινήθηκαν στην κλάση 3, οι 22 στην κλάση 1 ενώ εκτιμήθηκαν σωστά οι 532 στην κλάση 2 (Παράρτημα III / Πίνακας 1). Η μετακίνηση αυτή των σφαλμάτων προς την υψηλότερη κλάση κινδύνου παρατηρείται για όλους τους σταθμούς, γεγονός το οποίο είναι θετικό ως προς την καλύτερη προστασία του χώρου και των επισκεπτών του.

Τα συνολικά ποσοστά επιτυχίας ανά κλάση και σταθμό εμφανίζονται στον πίνακα 33.

5. Αποτελέσματα – Συζήτηση

Πίνακας 33. Συγκεντρωτικά ποσοστά επιτυχίας % για κάθε κλάση κινδύνου και σταθμό.

Σταθμός	κλάση 3	κλάση 2	κλάση 1
S2	83	84	89
S3	79	81	86
S4	63	78	80
S5	63	81	74
S6	75	93	86

Όσον αφορά στα ποσοστά επιτυχίας των προβλέψεων, διαπιστώθηκε ότι όλες οι κλάσεις προβλέπονται σε μεγάλο ποσοστό. Πιο συγκεκριμένα, (Πιν. 33) η επιτυχία των προβλέψεων του μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς στις θέσεις των σταθμών S2, S3, ..., S6 κυμάνθηκε από 63% έως 83% για την κλάση 3, από 78% έως 93% για την κλάση 2, ενώ για την κλάση 1 από 74% έως 89%.

Πίνακας 34. Ποσοστό επιτυχίας % επί του ποσοστού εμφάνισης της κάθε κλάσης κινδύνου και σταθμού.

Σταθμοί	κλάση 3	κλάση 2	κλάση 1	Σύνολο
S2	31	41	13	84
S3	28	39	14	81
S4	20	39	15	74
S5	22	36	16	73
S6	17	58	12	88

Βέβαια, το εμφανιζόμενο ως ποσοστό επιτυχίας των προβλέψεων ανά κλάση εξαρτάται και από το ποσοστό κάθε κλάσης επί του συνόλου των παρατηρήσεων. Σαφέστερη και αντικειμενικότερη εικόνα του ποσοστού επιτυχίας της πρόβλεψης παρέχεται, όταν λαμβάνεται ταυτόχρονα υπόψη και το ποσοστό εμφάνισης της κάθε κλάσης επί του συνόλου των περιπτώσεων.

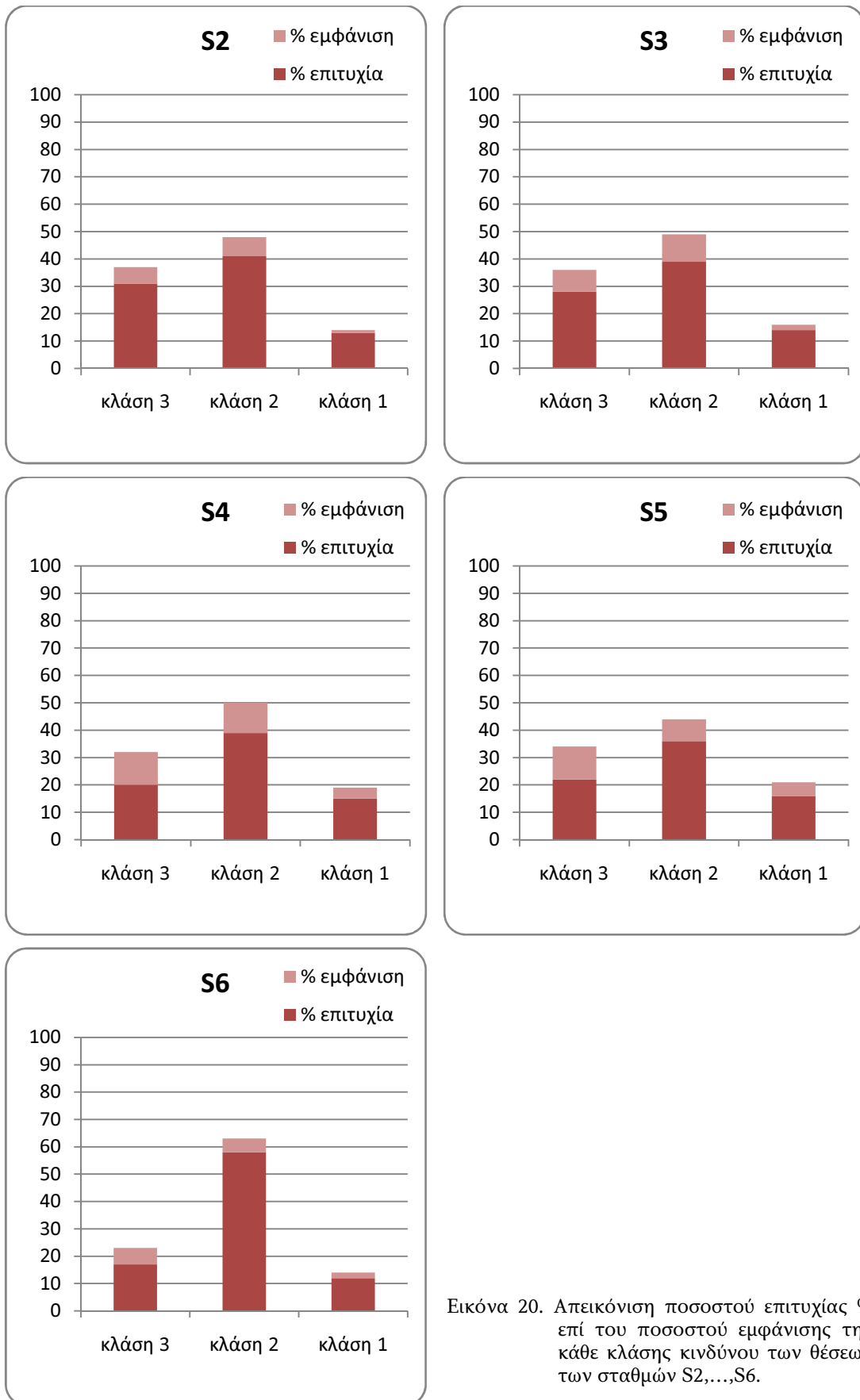
Βλέποντας συνολικά όλες τις κλάσεις, η επιτυχία ή μη της πρόβλεψης εκφράζεται από το άθροισμα των ποσοστών επιτυχίας των επί μέρους κλάσεων. Έτσι, το ποσοστό επιτυχίας της πρόβλεψης επί του συνόλου των κλάσεων ανά σταθμό (Πιν. 34) κυμάνθηκε από 73% έως 88% χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ των σταθμών.

Για την καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκαν τα ιστογράμματα της εικόνας 20, τα οποία παρουσιάζουν το ποσοστό εμφάνισης της κάθε κλάσης του δείκτη κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς ανά σταθμό επί του συνόλου

των παρατηρήσεων. Ταυτόχρονα, το σκούρο χρώμα στο τμήμα της κάθε ράβδου δείχνει το ποσοστό της επιτυχίας της εκτίμησης για τη συγκεκριμένη κλάση και σταθμό.

Από τα παραπάνω συνάγεται το συμπέρασμα ότι σε ιδιαίτερους μορφολογικούς σχηματισμούς, όπως είναι στη προκειμένη περίπτωση τα φαράγγια, οι προβλέψεις των περιβαλλοντικών παραμέτρων θερμοκρασία αέρος και σχετική υγρασία, που προήλθαν από την εφαρμογή των μοντέλων, που αναπτύχθηκαν στη παρούσα μελέτη, μπορούν να έχουν εφαρμογή στην εκτίμηση του κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς με αξιόπιστα αποτελέσματα.

5. Αποτελέσματα – Συζήτηση



Εικόνα 20. Απεικόνιση ποσοστού επιτυχίας % επί του ποσοστού εμφάνισης της κάθε κλάσης κινδύνου των θέσεων των σταθμών S2,...,S6.

5.2.3. Θεωρητικό μοντέλο εκτίμησης θερμικής αίσθησης

Η θερμική αίσθηση αποτελεί το αθροιστικό αποτέλεσμα της επίδρασης μεγάλου αριθμού περιβαλλοντικών παραμέτρων στον ανθρώπινο οργανισμό (Emmanuel 2004). Για την ποσοτικοποίηση της θερμικής αίσθησης δημιουργήθηκαν βιομετεωρολογικοί - βιοκλιματικοί δείκτες, που παρέχουν πληροφορίες για την καταλληλότητα των κλιματικών συνθηκών μιας περιοχής στον ανθρώπινο οργανισμό. Διακρίνονται σε δείκτες απλούς, που συνδυάζουν μικρό αριθμό μετεωρολογικών παραμέτρων και σύνθετους, που αποτελούν συνδυασμό μετεωρολογικών παραμέτρων, γεωμετρικών χαρακτηριστικών περιβάλλοντος χώρου και δεδομένων που αφορούν τον ανθρώπινο οργανισμό (Χαραλαμπόπουλος και Χρονοπούλου-Σερέλη 2006). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διάκριση των δεικτών βάσει των θερμομετρικών συνθηκών δηλαδή των επιβαρύνσεων που προκαλούν στον ανθρώπινο οργανισμό οι εξαιρετικά υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες αέρος (Matzarakis 1995). Στην Ελλάδα η πλειονότητα των θερμικών επιβαρύνσεων του ανθρώπινου οργανισμού προέρχεται από τις υψηλές θερμοκρασίες και γι' αυτό εφαρμόζονται οι δείκτες που αφορούν θερμά περιβάλλοντα. Σ' αυτούς γίνεται συνδυασμός της θερμοκρασίας και υγρασίας αέρος, παράμετροι που επηρεάζουν την εξάτμιση από την επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος (Giles and Balafoutis 1990).

Οι επικρατέστεροι δείκτες για την εκτίμηση της θερμικής αίσθησης είναι ο θερμοϋγρομετρικός δείκτης THI και ο δείκτης Humidex. Οι δείκτες αυτοί υπολογίζονται από δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας αέρος.

Πιο συγκεκριμένα, ο δείκτης THI (Unger 1999) υπολογίζεται από την εξίσωση 5.2:

$$THI = t - (0,55 - 0,0055 \cdot f) \cdot (t - 14,5) \quad (5.2)$$

Όπου: t η θερμοκρασία αέρος (°C) και
 f η σχετική υγρασία (%).

Ο δείκτης THI έχει αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί για περιοχές με μέσο γεωγραφικό πλάτος. Παρέχει μια ρεαλιστική εικόνα και ικανοποιητική προσέγγιση των

επιπτώσεων των μεταβολών του αστικού μικροκλίματος στον άνθρωπο (Emmanuel 2004).

Σύμφωνα με τον THI οι βέλτιστες τιμές είναι μεταξύ 15°C και 20°C, που αποτελεί και τη βάση του ορισμού των άνετων συνθηκών για τον ανθρώπινο οργανισμό. Για τιμές του THI χαμηλότερες των 15°C, η εξάτμιση που διαρκώς παρατηρείται στην επιφάνεια του δέρματος, ακόμα και χωρίς σημάδια εμφανούς εφίδρωσης, απομακρύνει τη θερμότητα από το σώμα με αποτέλεσμα να ζητείται προστασία από το κρύο. Επομένως για THI κάτω από 15°C απαιτούνται αυξημένοι θερμογεννητικοί μηχανισμοί για να αντιμετωπιστεί η δοκιμασία του οργανισμού από το κρύο.

Η αντίθετη διαδικασία παρατηρείται πάνω από τιμές THI 20°C όπου το σύστημα εφίδρωσης αποδεικνύεται αποτελεσματικό ως μηχανισμός ψύξης για την αποφυγή της υπερθέρμανσης. Όσο πιο ψηλός είναι ο THI, τόσο πιο αναποτελεσματικός γίνεται ο μηχανισμός της εφίδρωσης γι' αυτό και πάνω από τη ζώνη της άνεσης υπάρχει μια σειρά κλάσεων όπου η θερμική επιβάρυνση αυξάνεται (Unger 1999).

Για τα δεδομένα του ελληνικού χώρου, ο δείκτης THI έχει αξιολογηθεί ως ο καταλληλότερος για την εκτίμηση των κατηγοριών θερμικής αίσθησης σε ορεινές περιοχές ιδιαίτερα δε κατά τη θερινή περίοδο του έτους (Kamoutsis et al. 2007, Μανώλη 2008).

Η σχέση των τιμών που παίρνει ο THI με την αντίστοιχη κατηγοριοποίησή του (Kyle 1994) φαίνεται στον πίνακα 35.

Πίνακας 35. Κατηγοριοποίηση θερμικής αίσθησης και τιμές του δείκτη THI.

Κατηγοριοποίηση θερμικής αίσθησης	Τιμές THI (°C)
Υπερπαγωμένο	< -40,0
Παγωμένο	-39,9 έως -20,0
Εξαιρετικά κρύο	-19,9 έως -10,0
Πολύ κρύο	-9,9 έως -1,8
Κρύο	-1,7 έως 12,9
Δροσερό	13,0 έως 14,9
Άνετο	15,0 έως 19,9
Ζεστό	20,0 έως 26,4
Πολύ ζεστό	26,5 έως 29,9
Υπέρθερμο	> 30,0

Παράλληλα, ενδιαφέρον παρουσιάζει και ο δείκτης Humidex για την εκτίμηση της θερμικής αίσθησης κατοίκων πόλεων του ευρωπαϊκού χώρου (Conti et al. 2004, Bisanti et al. 2004, Russo and Bisanti 2004) κατά τη θερμή περίοδο του έτους, ιδιαίτερα σε περιόδους καύσωνα.

Για την εκτίμηση της θερμικής αίσθησης στο φαράγγι της Σαμαριάς εφαρμόστηκε η εξίσωση 5.2 στα δεδομένα μετρήσεων των σταθμών S2, S3,..., S6 και στα αντίστοιχα δεδομένα που εκτιμήθηκαν με τη βέλτιστη μέθοδο, δηλαδή τη μέθοδο BT4 και BRH4 για τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία αέρος αντίστοιχα.

Ο προσδιορισμός του ποσοστού επιτυχίας της πρόβλεψης ανά κλάση θερμικής αίσθησης αλλά και στο σύνολό τους, έγινε με τη σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων. Επειδή όμως σε ορισμένες περιπτώσεις το ποσοστό κάποιας κλάσης θερμικής αίσθησης σε ένα σταθμό επί του συνόλου των παρατηρήσεων είναι πολύ μικρό και η πιθανή επιτυχής ή ανεπιτυχής πρόβλεψη επί των λιγοστών αυτών δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα, έγινε εκτίμηση και του ποσοστού επιτυχίας της πρόγνωσης ανά κλάση, αφού ελήφθη υπόψη το ποσοστό κάθε κλάσης επί του συνόλου των παρατηρήσεων.

5.2.4. Αποτελέσματα εκτίμησης θερμικής αίσθησης

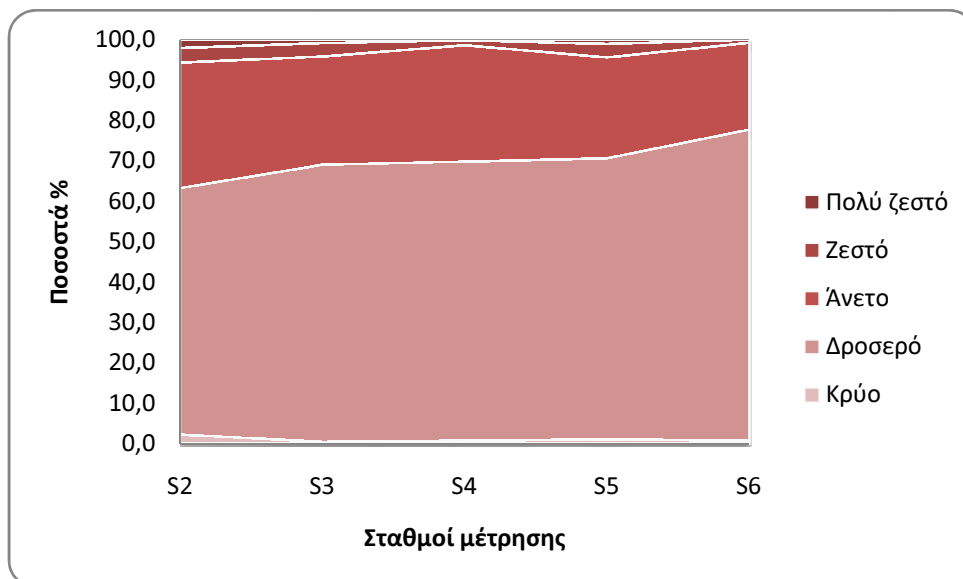
Λαμβάνοντας υπόψη τα εύρη των τιμών του THI (Πιν. 35) ανά κλάση θερμικής αίσθησης, και τις τιμές του THI που προέκυψαν από την εφαρμογή της εξίσωσης 5.2 στις ωριαίες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρος για όλη την περίοδο των μετρήσεων, εκτιμήθηκε το ποσοστό κάθε κλάσης θερμικής αίσθησης επί του συνόλου των παρατηρήσεων.

Πίνακας 36. Ποσοστό % κάθε κλάσης του THI επί του συνόλου των παρατηρήσεων.

Σταθμοί	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	Δροσερό	Κρύο
S2	2,1	3,6	31,1	61,0	2,2
S3	0,9	3,3	26,8	68,6	0,4
S4	0,2	1,2	28,8	69,1	0,7
S5	1,1	3,3	25,0	69,6	1,0
S6	0,0	0,8	21,5	77,0	0,7

Ο πίνακας 36 δείχνει ότι η κλάση θερμικής αίσθησης, που αναδεικνύεται με μεγαλύτερα ποσοστά επί του συνόλου των παρατηρήσεων είναι η κλάση “Δροσερό”, με τιμές που κυμαίνονται από 61,0% έως 77,0%. Μικρότερα ποσοστά καταγράφονται στη κλάση “Άνετο”, με κύμανση από 21,5% έως 28,8%, ενώ οι υπόλοιπες κλάσεις έχουν εξαιρετικά χαμηλές τιμές (μικρότερες του 4%). Αξίζει να επισημανθεί ότι όσο

μειώνεται το υψόμετρο πλησιάζοντας τη θάλασσα, το ποσοστό εμφάνισης της κλάσης “Δροσερό” αυξάνεται σε βάρος όλων των υπολοίπων κλάσεων (εικόνα 21).



Εικόνα 21. Απεικόνιση ποσοστού % των κλάσεων του THI των θέσεων των σταθμών S2,...,S6.

Για τη διερεύνηση των εκτιμήσεων των συμβάντων ανά κλάση δημιουργήθηκαν πίνακες διπλής εισόδου κατανομής αναμενόμενων τιμών και ποσοστών βάσει των αντίστοιχων παρατηρήσεων (Παράρτημα ΙΙΙ / Πίνακες 11 έως 20). Τα συνολικά ποσοστά επιτυχίας ανά κλάση και σταθμό εμφανίζονται στον πίνακα 37.

Πίνακας 37. Συγκεντρωτικά ποσοστά επιτυχίας % για κάθε κλάση του THI και σταθμό.

Σταθμοί	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	Δροσερό	Κρύο
S2	35,7	41,7	78,4	92,1	75,9
S3	16,7	65,9	74,4	91,4	100,0
S4	0,0	25,0	57,9	93,9	0,0
S5	20,0	45,5	65,0	93,2	46,2
S6	0,0	9,1	87,4	96,4	55,6

Σχετικά με τα ποσοστά επιτυχίας των προβλέψεων ανά κλάση θερμικής αίσθησης διαπιστώθηκε ότι η επικρατέστερη κλάση (Δροσερό) κυμάνθηκε από 91,4% έως 96,4% (Πιν. 37), ποσοστά ιδιαίτερα ικανοποιητικά. Βέβαια, το εμφανιζόμενο ως ποσοστό επιτυχίας των προβλέψεων ανά κλάση εξαρτάται και από το ποσοστό κάθε κλάσης επί του συνόλου των παρατηρήσεων. Αυτό, εάν δεν ληφθεί υπόψη, μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένες εντυπώσεις, όπως είναι η περίπτωση του ποσοστού

επιτυχίας (100%) της πρόβλεψης της κλάσης “Κρύο” του σταθμού S3 (Πιν. 37), το οποίο εκφράζει μόνο το 0,4% του συνόλου των παρατηρήσεων (Πιν. 36).

Σαφέστερη και αντικειμενικότερη εικόνα του ποσοστού επιτυχίας της πρόβλεψης παρέχεται, όταν λαμβάνεται ταυτόχρονα υπόψη και το ποσοστό εμφάνισης της κάθε κλάσης επί του συνόλου των περιπτώσεων. Βλέποντας συνολικά όλες τις κλάσεις, η επιτυχία ή μη της πρόβλεψης εκφράζεται από το άθροισμα των ποσοστών επιτυχίας των επί μέρους κλάσεων. Έτσι, το ποσοστό επιτυχίας της πρόβλεψης επί του συνόλου των κλάσεων ανά σταθμό (Πιν. 38) κυμάνθηκε από 81,8% έως 93,4% για τις θέσεις των σταθμών S4 και S6 αντίστοιχα.

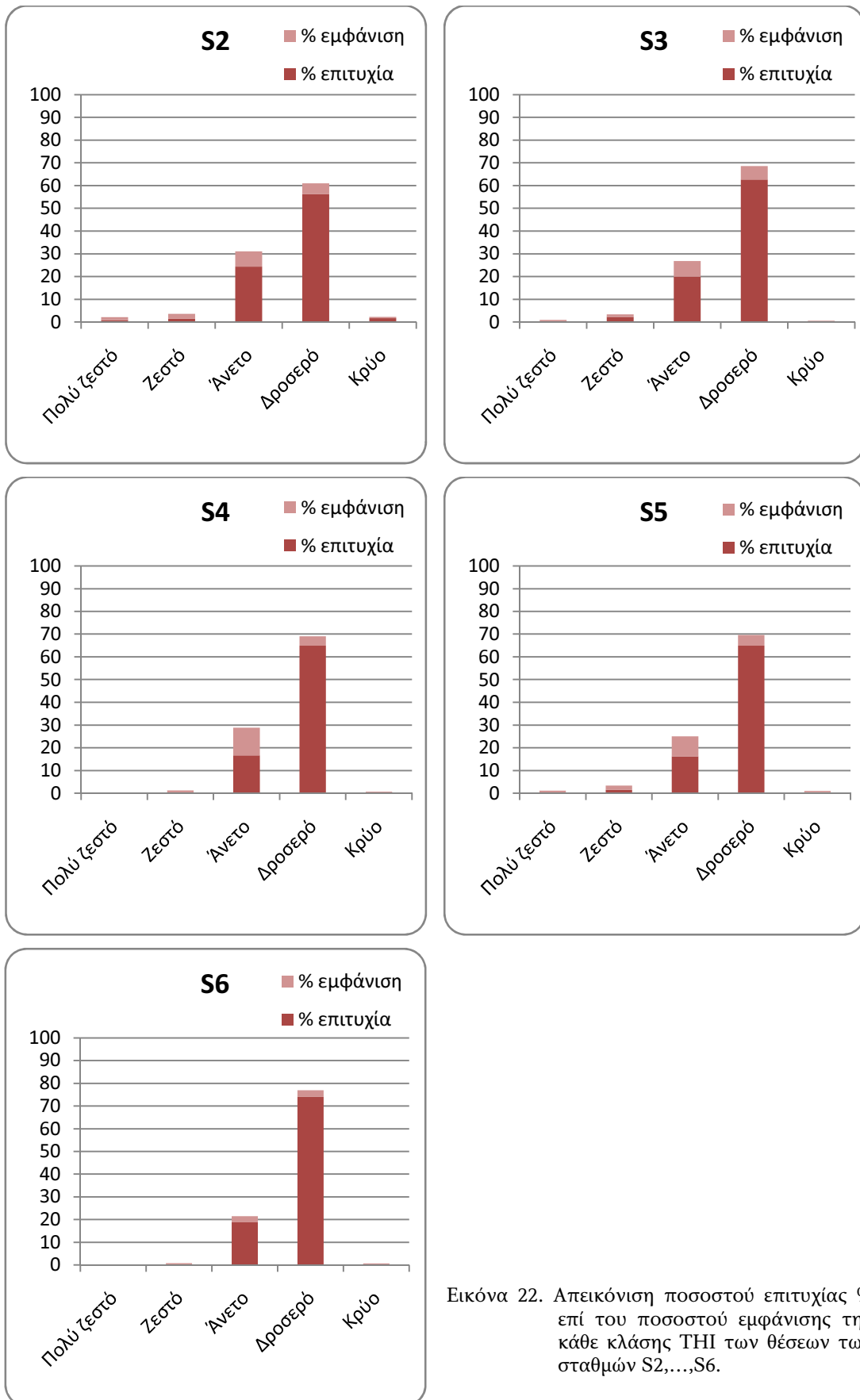
Πίνακας 38. Ποσοστό επιτυχίας % επί του ποσοστού εμφάνισης της κάθε κλάσης THI και σταθμού.

Σταθμοί	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	Δροσερό	Κρύο	Σύνολο
S2	0,8	1,5	24,4	56,2	1,7	84,5
S3	0,2	2,2	19,9	62,7	0,4	85,4
S4	0,0	0,3	16,7	64,9	0,0	81,8
S5	0,2	1,5	16,2	64,9	0,5	83,3
S6	0,0	0,1	18,8	74,2	0,4	93,4

Για την καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων της θερμικής αίσθησης δημιουργήθηκαν τα ιστογράμματα της εικόνας 22, όπου το σκούρο χρώμα στο τμήμα της κάθε ράβδου δείχνει το ποσοστό της επιτυχίας της εκτίμησης για κάθε κλάση και σταθμό. Κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί ότι η επιτυχία εκτίμησης της θερμικής αίσθησης για το σταθμό S6 είναι σαφώς μεγαλύτερη από την αντίστοιχη όλων των υπόλοιπων σταθμών, γεγονός το οποίο μπορεί να αποδοθεί στις σταθερότερες θερμοϋγρομετρικές συνθήκες που διαμορφώνονται σε περιοχές που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα.

Τέλος, συμπεραίνεται ότι τα αποτελέσματα των μεθόδων εκτίμησης περιβαλλοντικών παραμέτρων (θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας) που αναπτύχθηκαν στην παρούσα διατριβή μπορούν να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία στην εκτίμηση της θερμικής αίσθησης στο φαράγγι της Σαμαριάς.

5. Αποτελέσματα – Συζήτηση



Εικόνα 22. Απεικόνιση ποσοστού επιτυχίας % επί του ποσοστού εμφάνισης της κάθε κλάσης ΤΗΙ των θέσεων των σταθμών S2,...,S6.

6. Επέκταση – προσαρμογή μεθοδολογίας στο αστικό περιβάλλον : Η περίπτωση των οδοχαραδρών.

6.1. Γενικά χαρακτηριστικά

Καθώς η περιβαλλοντική ευαισθησία και η αειφόρος ανάπτυξη αποκτούν ολοένα και περισσότερη σημασία, χρειάζεται να αναπτυχθούν πιο αποτελεσματικά εργαλεία διαχείρισης της ενέργειας και των φυσικών πόρων.

Η αναγκαιότητα αυτή γίνεται πιο επιτακτική στις αστικές περιοχές όπου η χωρική διάταξη των οικιστικών δομών και των ελεύθερων χώρων παίζει σημαντικό ρόλο στην κυκλοφορία του αέρα, και κατά συνέπεια στην κατανομή των θερμοκρασιών.

Συγκεκριμένα, οι δρόμοι σε ένα τυπικό αστικό περιβάλλον καλύπτουν συνήθως μεγάλο ποσοστό της συνολικής έκτασης του, επομένως η μορφολογία των αστικών χαραδρών παίζει καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία του αστικού κλίματος. (Shashua-Bar and Hoffman 2003).

Οδοχαράδρα χαρακτηρίζεται ο σχετικά στενός δρόμος, που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο σειρές υψηλών ως επί το πλείστον κτιρίων χωρίς κενά μεταξύ τους και οι οποίες παρατάσσονται εκατέρωθεν του δρόμου για μεγάλη απόσταση κατά μήκος αυτού (Nicholson 1975). Φυσικά, υπάρχουν πολλές παραλλαγές, όπως συμβαίνει και με τις χαράδρες που συναντάμε στο φυσικό περιβάλλον.

Οι διαστάσεις της οδοχαράδρας εκφράζονται από τους λόγους :

$$Υ/Π \text{ και } Μ/Υ$$

Όπου: Υ= το μέσο ύψος των κτιρίων εκατέρωθεν της οδοχαράδρας

Π= η απόσταση μεταξύ των κτιρίων (πλάτος δρόμου και πεζοδρομίων)

Μ= το μήκος του δρόμου έως τις πρώτες κάθετες διασταυρώσεις

Όταν ο λόγος Υ/Π είναι μεγαλύτερος του 2 τότε η οδοχαράδρα χαρακτηρίζεται ως «βαθιά». Τέτοιες βαθιές χαράδρες είναι πολύ συνηθισμένο φαινόμενο στις πυκνοκατοικημένες μεσογειακές πόλεις όπως είναι η Αθήνα.

Όταν ο λόγος Μ/Υ είναι περίπου ίσος με τις τιμές 3, 5 και 7 τότε η οδοχαράδρα χαρακτηρίζεται αντίστοιχα ως μικρού, μεσαίου, και μεγάλου μήκους. Ακόμη, όταν το

μέσο ύψος των κτιρίων εκατέρωθεν του δρόμου είναι περίπου ίδιο τότε οι οδοχαραδρές χαρακτηρίζονται ως συμμετρικές ενώ στην αντίθετη περίπτωση ως μη συμμετρικές (Vardoulakis et al. 2003).



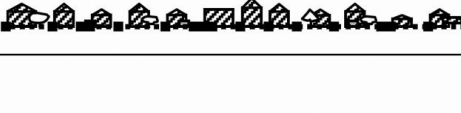



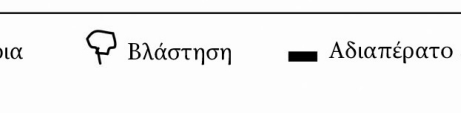
Τέλος η μορφή της οροφής (ΜΟ) των κτιρίων αποτελεί βασικό γεωμετρικό χαρακτηριστικό των αστικών χαραδρών δεδομένου ότι καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την κατανομή του ανέμου μέσα σ' αυτές και κατ' επέκταση τη διάχυση των ρύπων (Kastner-Klein and Plate 1999). Πειράματα μέσα σε αεροσήραγγα έδειξαν ότι η ταχύτητα του ανέμου, όταν συναντά κτίρια με κεκλιμένη στέγη, μειώνεται απότομα σε σύγκριση με την αντίστοιχη ταχύτητα ανέμου που διαμορφώνεται όταν συναντά κτίρια με επίπεδες οροφές (Rafailidis 1997).





Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δρόμων (Υ, Π, Μ, ΜΟ) του αστικού χώρου προσδιορίζουν σε μεγάλο ποσοστό την τραχύτητα της επιφάνειάς του και κατ' επέκταση τους συντελεστές τριβής, οι οποίοι επιβραδύνουν τη ροή του ανέμου μέσα σ' αυτόν. Στην εικόνα 23 φαίνεται η πυκνοδομημένη περιοχή του κέντρου των πόλεων (ποσοστό δόμησης > 90%) με βαθιές οδοχαραδρές (Υ/Π > 2) που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο συντελεστή τραχύτητας (8) σε σύγκριση με τις προαστιακές (6) και ημι-αγροτικές ή ελεύθερες - εξοχικές περιοχές (συντελεστής τραχύτητας 4). Αυτό έχει ως συνέπεια την επιβράδυνση της ροής του ανέμου μέσα στους χώρους αυτούς ανάλογα με το συντελεστή τραχύτητας. Πιο συγκεκριμένα σε περιοχές του κέντρου των πόλεων η ταχύτητα του ανέμου (εικόνα 23) παρουσιάζεται σημαντικά μειωμένη σε σύγκριση με την προαστιακή και ελεύθερη - αγροτική περιοχή (Ghiaus et al. 2005).

Ειδικότερα, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός δρόμου (Υ, Π, Μ, ΜΟ) σε συνδυασμό με τη γωνία πρόσπτωσης του ανέμου καθορίζουν το είδος της ροής του μέσα σ' αυτόν. Έτσι, άνεμος με διεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα του δρόμου δημιουργεί ανάλογης διεύθυνσης ροή μέσα σ' αυτόν, εκτός από τις περιοχές κοντά στις κατακόρυφες επιφάνειες των κτιρίων, όπου παρατηρείται ανοδική ροή.

Η συνηθέστερη περίπτωση πνοής ανέμου πάνω από τα κτίρια μιας πόλης είναι όταν η διεύθυνσή του σχηματίζει γωνία ως προς τον οδικό άξονα. Τότε η ροή του ανέμου χαρακτηρίζεται από ελικοειδή κίνηση κατά πλάτος του δρόμου ενώ ταυτόχρονα διαδίδεται κατά μήκος του. Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατός ο φυσικός αερισμός του χώρου των κτιρίων, όμως είναι συνάρτηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του δρόμου. Δηλαδή το δυναμικό του αερισμού είναι αντιστρόφως ανάλογο του λόγου του ύψους των κτιρίων προς το πλάτος του δρόμου.

6. Επέκταση – προσαρμογή μεθοδολογίας στο αστικό περιβάλλον : Η περίπτωση των οδοχαραδρών.

Κλιματική ζώνη δομημένης περιοχής	Μορφή δομημένης περιοχής	Κατηγορία τραχύτητας	Λόγος Υ/Π	% Δόμησης (Αδιαπέρατη)
1. Έντονα ανεπτυγμένη αστική περιοχή με πανταχόθεν ελεύθερα, ψηλά κτίρια, πολύ κοντά το ένα στο άλλο, πχ. κέντρο μεγάλης πόλης		8	> 2	> 90
2. Έντονα ανεπτυγμένη και πυκνοδομημένη αστική περιοχή με κτίρια 2-5 ορόφων, σε επαφή ή πολύ κοντά μεταξύ τους, πχ. παλιό κέντρο πόλης ή χαμηλές πολυκατοικίες		7	1.2 – 2.5	> 85
3. Αρκετά ανεπτυγμένη αστική περιοχή με μεσαίας πυκνότητας δόμηση και κτίρια σε σειρά ή πανταχόθεν ελεύθερα αλλά κοντά μεταξύ τους, πχ. αστική περιοχή με μονοκατοικίες, μαγαζιά και διαμερίσματα.		7	0.5 – 1.5	70
4. Αρκετά ανεπτυγμένη αστική περιοχή με μικρής ή μεσαίας πυκνότητας δόμηση, με χαμηλά και πλατιά κτίρια μαζί με πλακοστρωμένους χώρους στάθμευσης πχ. εμπορικά κέντρα, αποθήκες		5	0.05 – 0.2	75 - 95
5. Μεσαίας ανάπτυξης προαστιακή περιοχή χαμηλής πυκνότητας δόμησης με κτίρια 1-2 ορόφων πχ. κατοικίες προαστίων		6	0.2 – 0.5, έως >1 με ψηλά δέντρα	35 - 65
6. Μικτή χρήση γης με μεγάλα κτίρια σε ανοιχτούς χώρους, πχ. ιδρύματα όπως νοσοκομεία, πανεπιστήμια		5	0.1 – 0.5, εξαρτάται από τα δέντρα	< 40
7. Ημιαγροτική ή εξοχική περιοχή με αραιά και διασκορπισμένα σπίτια, πχ. φάρμες, κτήματα		4	> 0.05, εξαρτάται από τα δέντρα	< 10

Υπόμνημα συμβόλων:  Κτίρια  Βλάστηση  Αδιαπέρατο έδαφος  Διαπερατό έδαφος

Εικόνα 23 Κατά προσέγγιση ταξινόμηση διαφορετικών δομημένων περιοχών ως προς την επίδραση που έχουν στον τοπικό άνεμο, τη θερμοκρασία και την σχετική υγρασία (Προσαρμογή από Oke, 2004).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η πνοή του ανέμου πάνω από τα κτίρια όταν έχει διεύθυνση περίπου κάθετη προς τον άξονα του δρόμου. Στην περίπτωση αυτή, όταν το ύψος των κτιρίων είναι μικρό και το πλάτος του δρόμου μεγάλο ($Υ/Π < 0,3-0,4$) ο

6. Επέκταση – προσαρμογή μεθοδολογίας στο αστικό περιβάλλον : Η περίπτωση των οδοχαράδρων.

άνεμος διεισδύει στο δρόμο, διατρέχει ένα τμήμα του και στη συνέχεια εξέρχεται, δημιουργώντας συνθήκες ιδιαίτερα καλού αερισμού στο χώρο των κτιρίων. (Πετρακάκης 2003).

Αντίθετα, όταν ο λόγος Υ/Π αυξάνει αλλά παραμένει μικρότερος του 0,7 ο άνεμος εισέρχεται μερικώς στο δρόμο και στη συνέχεια εξέρχεται έτσι ώστε το δυναμικό αερισμού των κτιρίων να είναι περιορισμένο. Στην περίπτωση που ο λόγος Υ/Π είναι μεγαλύτερος του 0,7 τότε ο άνεμος που κινείται πάνω από τα κτίρια πρακτικά δεν εισέρχεται στο δρόμο, δημιουργείται όμως μια ροή χαμηλής ταχύτητας στο χώρο των κτιρίων με μικρό δυναμικό φυσικού αερισμού. Τέλος στις «βαθιές» οδοχαράδρες που ο λόγος Υ/Π είναι μεγαλύτερος του 2 ο φυσικός αερισμός των κτιρίων είναι πρακτικά ανύπαρκτος.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός δρόμου, όπως ήδη αναφέρθηκε, παίζουν καθοριστικό ρόλο στις συνθήκες κίνησης αερίων μαζών οι οποίες κατ' επέκταση επηρεάζουν και τις θερμοϋγρομετρικές συνθήκες του χώρου των κτιρίων.

Οι οδοχαράδρες λοιπόν, επηρεάζουν άμεσα την θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία και την κίνηση του αέρα μέσα και έξω από αυτές, συμβάλλοντας σημαντικά στην ένταση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας. Λόγω της ιδιαίτερης μορφολογίας τους, οι οδοχαράδρες δυσχεραίνουν την διάχυση και απομάκρυνση της θερμότητας και των ρύπων που δημιουργούνται και συσσωρεύονται σ' αυτές από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες στα κτίρια που τις ορίζουν, και τις εκπομπές των οχημάτων που κινούνται κατά μήκος τους.

Είναι φανερό ότι όσο οι θερμοκρασιακές συνθήκες σε μια αστική περιοχή πλησιάζουν τις ακραίες υψηλές τιμές τους, τόσο περισσότερη ενέργεια θα καταναλώνεται από τους κατοίκους για κλιματισμό έχοντας σαν αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση των θερμοκρασιών.

Όσον αφορά νέες κατασκευές κτιρίων και δρόμων, εναλλακτικές μορφές παθητικού κλιματισμού (Santamouris and Asimakopoulos 1996), φυσικού αερισμού (Allard 1998) και ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προτείνονται από τους σχεδιαστές ούτως ώστε να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας και να βελτιωθεί το μικρόκλιμα των αστικών περιοχών. Στην κατεύθυνση αυτή, η πιο ελκυστική και ταυτόχρονα αποτελεσματική λύση είναι η φυσική βλάστηση, η οποία λειτουργεί σαν ανανεώσιμη δεξαμενή θερμότητας. Σε αρκετές πρόσφατες μελέτες βρέθηκε ότι η ψύξη λόγω εξατμισοδιαπνοής σε δέντρα πάρκων και παρακείμενους δρόμους είναι της τάξης των 3 με 4°C το μεσημέρι της καλοκαιρινής περιόδου σε εύκρατα κλίματα.

Οι θερμικές επιπτώσεις της γεωμετρίας δόμησης μαζί με τη χρήση δροσερών

επιφανειών και βλάστησης στις πόλεις είναι σημαντικές. Οι προσομοιώσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από τους Rosenfeld et al. (1995) δείχνουν εξοικονόμηση μέχρι και 20% της ετήσιας ενέργειας για κλιματισμό.

Οι επιπτώσεις του παθητικού δροσισμού μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο σε περιοχές με εξαιρετικά θερμές κλιματικές συνθήκες αλλά οι οποίες βρίσκονται στα όρια της θερμικής άνεσης, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των μεσογειακών ακτών (Τελ Αβίβ) και των ημιορεινών περιοχών (Ιερουσαλήμ) του Ισραήλ. Μια μείωση 1 με 2 °C στην αστική θερμοκρασία αέρα το μεσημέρι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού μπορεί να οδηγήσει σε αποδεκτές συνθήκες άνεσης σε αυτές τις περιοχές (Swaid et al. 1993). Εκτός από τους φυσικούς μηχανισμούς δροσισμού και δημιουργίας ευνοϊκών συνθηκών, έχουν εφαρμοσθεί με επιτυχία σε περιοχές του μεσογειακού χώρου, ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης ενέργειας για εσωτερικούς χώρους κτιρίων, με εξοικονόμηση ενέργειας μεγαλύτερη του 30% σε σύγκριση με τα υπάρχοντα συστήματα κλιματισμού (Koloikotsa et al. 2005)

Ένα πρόσφατο παράδειγμα πιλοτικής υλοποίησης ενός «οικολογικού» κτιρίου στον Ελλαδικό χώρο (οδός Χαρίτων 31, Παλαιό Φάληρο) είναι ένα πενταόροφο κτίριο 600 τετραγωνικών μέτρων. Το κτίριο εξωτερικά δεν διαφέρει από τα υπόλοιπα κτίρια της περιοχής, ωστόσο είναι ένα ενεργειακά αυτόνομο κτίριο, το μοναδικό στην Ελλάδα και από τα λίγα στην Ευρώπη. Δεν έχει ανάγκη ηλεκτροδότησης από τη ΔΕΗ, ούτε παροχής φυσικού αερίου, και δεν διαθέτει χώρο αποθήκευσης πετρελαίου για θέρμανση. Η προσπάθεια αυτή παρεμβαίνει καθοριστικά στον τομέα της ενεργειακής βελτιστοποίησης των κτιρίων με ενσωμάτωση ήπιων εφαρμογών για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και κλιματισμού. Τα αποτελέσματα είναι αύξηση της συμμετοχής της ηλιακής ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας και μείωση της ατμοσφαιρικής επιβάρυνσης σε CO₂.

6.2. Μικροκλιματικές συνθήκες

Η αστικοποίηση όπως είναι γνωστό, έχει επιφέρει σημαντικές αλλαγές στις τοπικές κλιματικές συνθήκες, η σημαντικότερη των οποίων είναι η διαφοροποίηση του θερμικού καθεστώτος των πόλεων. Γενικά ο αστικός χώρος χαρακτηρίζεται από υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας αέρος σε σύγκριση με αυτές που επικρατούν στην περιβάλλουσα ύπαιθρο (Arnfield 1990, 2003).

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αστική θερμική νησίδα (Urban Heat Island, UHI), η παρουσία της έχει επισημανθεί τον τελευταίο περίπου αιώνα και αποτελεί ίσως το πιο τεκμηριωμένο φαινόμενο κλιματικής αλλαγής. Η έντασή της διαφοροποιείται ανάλογα με τις ώρες του εικοσιτετράωρου, την εποχή του έτους και τις γενικότερες επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες (Hogbert et al. 1988).

Η δημιουργία της αστικής θερμικής νησίδας αποδίδεται κυρίως στις αλλαγές της έντασης της προσπίπτουσας και αποδιδόμενης ακτινοβολίας και στη διαμόρφωση διαφορετικού ισοζυγίου ενέργειας στις διαφορετικές περιοχές δημιουργώντας έτσι μειωμένους ρυθμούς δροσισμού στις αστικές περιοχές σε σύγκριση με την περιβάλλουσα ύπαιθρο. Στην ίδια αιτιολογία αποδίδεται η εμφάνιση θερμών και ψυχρών περιοχών μέσα στον αστικό ιστό λόγω διαφορετικής χρήσης γης. Πιο συγκεκριμένα, φυτοκαλυμμένες επιφάνειες – πάρκα εμφανίζονται δροσερότερα από τη δομημένη περιοχή. Οι υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας αέρος εντοπίζονται στο κέντρο της πόλης, όπου επικρατούν τα ψηλά κτίρια, οι ασφαλτοστρωμένες επιφάνειες και απουσιάζει το πράσινο, μικρότερες σε περιοχές κατοικίας με μικρό ποσοστό δενδροστοιχιών και ακόμη μικρότερες σε κατοικημένες περιοχές με μεγαλύτερο ποσοστό δένδρων. Η θερμομετρική διαφοροποίηση μεταξύ πάρκων και δομημένης περιοχής μπορεί να φτάσει και τους 7°C (Hogbert et al. 1988, Spronken-Smith and Oke 1988, Urmanis et al. 1998) ενώ αυτή αυξάνεται στους 12 και 15°C (Πετρακάκης 2003) όταν αφορά θερμομετρική διαφοροποίηση μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών κατά τη διάρκεια της νύχτας με συνθήκες νηνεμίας και ανέφελου ουρανού.

Οι σημαντικότερες αιτίες αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα στον αστικό ιστό είναι η δομή της πόλης και τα χρησιμοποιούμενα υλικά (Oke et al. 1991). Πιο συγκεκριμένα, τα υλικά (άσφαλτος, μπετό, τούβλα κ.ά.) που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των κτιρίων και την επίστρωση δρόμων και πεζοδρόμων στη πόλη, έχουν μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από το φυτικό υλικό (δένδρα, θάμνοι, πόες) και το χώμα που καλύπτει το αγροτικό τοπίο, με αποτέλεσμα να συμβάλλουν καθοριστικά λόγω της επικράτησής τους στην αύξηση της έντασης της αστικής θερμικής νησίδας.

Η αστική θερμική νησίδα ,όπως είναι φυσικό, επηρεάζει την υγεία και τη θερμική άνεση των κατοίκων της πόλης. Οι επιπτώσεις διαφοροποιούνται ανάλογα με την εποχή του έτους. Οι υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας αέρος, που επικρατούν στον αστικό ιστό κατά τη διάρκεια του χειμώνα έχουν θετική επίδραση λόγω μειωμένων αναγκών θέρμανσης. Αντίθετα κατά τη θερινή περίοδο, ιδιαίτερα σε ξηροθερμικά

6. Επέκταση – προσαρμογή μεθοδολογίας στο αστικό περιβάλλον : Η περίπτωση των οδοχαραδρών.

μεσογειακά κλίματα όπως είναι της χώρας μας, η περαιτέρω αύξηση της θερινής θερμοκρασίας μπορεί να δημιουργήσει σοβαρότατα προβλήματα στην υγεία των κατοίκων των αστικών κέντρων. Χαρακτηριστική είναι η επίπτωση της αστικής θερμικής νησίδας στην αύξηση κρουσμάτων θερμοπληξίας σε ευπαθείς κατηγορίες πληθυσμού. Όταν δε αυτή συνδυαστεί και με μεταφορά θερμών αερίων μαζών από την αφρικανική ήπειρο, μπορεί να έχει τραγικά αποτελέσματα. Εντυπωσιακό παράδειγμα για το λεκανοπέδιο των Αθηνών είναι ο μεγάλος αριθμός θανατηφόρων κρουσμάτων από θερμοπληξία, που παρατηρήθηκε το έτος 1987 και αφορούσε κυρίως ηλικιωμένα άτομα. Επίσης η θνησιμότητα ηλικιωμένων και ευπαθών ατόμων, που παρατηρήθηκε κατά το ιδιαίτερα θερμό θέρος του έτους 2003 στην Ιταλία, ήταν αυξημένη στους κατοίκους των αστικών περιοχών λόγω του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (Conti et al. 2004).

Για την εκτίμηση της έντασης της αστικής θερμικής νησίδας αναπτύχθηκαν από διάφορους ερευνητές στατιστικά μοντέλα με εισόδους διαφορετικές μετεωρολογικές παραμέτρους (νέφωση, ταχύτητα ανέμου, ατμοσφαιρική σταθερότητα, θερμοκρασία, υγρασία κ.ά.) ως και άλλες παραμέτρους όπως είναι η πληθυσμιακή κατάσταση των πόλεων, η αναλογία τύπων χρήσης γης, η γεωμετρία οδοχαραδρών και ο παράγοντας θέασης ουρανού θόλου (Unger et al. 2000).

Άλλοι μικρότερης σημασίας παράγοντες που επηρεάζουν την αστική θερμική νησίδα είναι οι ανθρωπογενείς πηγές θερμότητας, η ατμοσφαιρική ρύπανση και η μειωμένη εξάτμιση που παρατηρείται στον αστικό χώρο (Oke 1987).

Είναι γνωστό ότι η γεωμετρία και ο προσανατολισμός παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των μετεωρολογικών χαρακτηριστικών μιας αστικής περιοχής δεδομένου ότι καθορίζουν το ποσοστό διείσδυσης της ηλιακής ακτινοβολίας και διαμορφώνουν τις συνθήκες σκιάσής της. Έτσι, η γεωμετρία των δρόμων, των κτιρίων και άλλων αντικειμένων, παίζουν καθοριστικό ρόλο στο ενεργειακό ισοζύγιο και κατ' επέκταση στη διαμόρφωση του θερμικού καθεστώτος της πόλης (Voogt 2002, Eliasson 2000). Η δομή του αστικού ιστού σχετίζεται άμεσα με το συντελεστή θέασης ουρανού θόλου (SVF), ο οποίος είναι μια αριθμητική έκφραση των συνθηκών σκίασης στην επιφάνεια του εδάφους ως αποτέλεσμα της παρεμπόδισης της ηλιακής ακτινοβολίας από φυσικά ή τεχνητά εμπόδια. Η παράμετρος αυτή έχει αποδειχθεί ότι συνδέεται με τη μέγιστη ένταση της αστικής θερμικής νησίδας (Oke 1981, Park 1987, Eliasson 1996).

Ο παράγοντας SVF επηρεάζεται καθοριστικά από την αναλογία του ύψους των κτιρίων, προς το πλάτος του δρόμου (Υ/Π). Έτσι σύμφωνα με τους Shashua-Bar and

Hoffman (2003) σε μια οδοχαράδρα ο SVF δίνεται από τον τύπο: $SVF = \cos(\arctan(2Y/\Pi))$. Στο μοντέλο CTTC δύο είναι οι παράγοντες που αντιπροσωπεύουν την αστική γεωμετρία, η πυκνότητα δόμησης και η αναλογία Y/Π . Εκτός από τη γεωμετρία του χώρου, καθοριστική σημασία παίζει και ο προσανατολισμός. Για τον προσανατολισμό δύο παράμετροι λαμβάνονται υπόψη, το αζιμούθιο του ήλιου και το αζιμούθιο του άξονα του δρόμου. Προσανατολισμοί B-N και A-Δ αποτελούν αντικείμενο πολλών μελετών γιατί αντιπροσωπεύουν τις δύο ακραίες περιπτώσεις (Swaid and Hoffman 1990, Elnahas and Williamson 1997, Nakamura and Oke 1988). Αν και η συνολική ημερήσια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι σχεδόν ίδια και στις δύο περιπτώσεις, η ημερήσια κατανομή της είναι διαφορετική για τους δύο τύπους προσανατολισμού. Σε μία οδοχαράδρα με ψηλή και πυκνή δεντροστοιχία η σκίαση του δρόμου οφείλεται κυρίως στην κόμη των δέντρων επομένως οι επιπτώσεις της γεωμετρίας και του προσανατολισμού στη σκίαση είναι ουσιαστικά ασήμαντες. Στην περίπτωση αυτή καμία σημαντική επίδραση δροσισμού δεν οφείλεται στον προσανατολισμό αλλά εξαρτάται κυρίως από το ποσοστό της σκιασμένης επιφάνειας και την πυκνότητα σκίασης (Shashua-Bar and Hoffman 2003).

6.3. Εφαρμογή μεθοδολογίας

Οι οδοχαράδρες, οι τεχνητοί αυτοί μορφολογικοί σχηματισμοί των κτηρίων, έχουν σε σύγκριση με τα φυσικά φαράγγια πολύ πιο ομοιόμορφη δομή, η οποία κατά συνέπεια δημιουργεί και ομοιομορφία στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα οι μετρούμενες τιμές σ' ένα σημείο της οδοχαράδρας δεν έχουν αξιοσημείωτη διαφοροποίηση για μικρό σχετικά ύψος από την επιφάνεια του εδάφους σχεδόν καθ' όλο το μήκος της, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για βαθιές οδοχαράδρες (Πετρακάκης 2003). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το πολύ μικρό μήκος των οδοχαραδρών σε σύγκριση με αυτό των φυσικών και ιδιαίτερα της Σαμαριάς λειτούργησε αποτρεπτικά για την άμεση εφαρμογή της μεθοδολογίας στο αστικό περιβάλλον. Για τους λόγους αυτούς κρίθηκε απαραίτητη η τροποποίηση της λογικής στην εκτίμηση της θερμοκρασίας αέρος στις οδοχαράδρες, χρησιμοποιώντας τιμές ενός μόνιμα εγκατεστημένου μετεωρολογικού σταθμού που βρίσκεται σε αρκετή απόσταση (4,2 – 4,7Km) από τα σημεία των μετρήσεων.

Τα δεδομένα (θερμοκρασία αέρος και σχετική υγρασία) που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή στον αστικό χώρο συλλέχθηκαν από 4 σταθμούς οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε ύψος 3m (1^{ος} όροφος) από την επιφάνεια του δρόμου. Ο πρώτος σταθμός μέτρησης τοποθετήθηκε στην οδό Βεντήρη (περιοχή Hilton). Εκφράζει ασύμμετρη οδοχαράδρα με ύψος κτιρίων περίπου ίσο με το πλάτος του δρόμου. Οι υπόλοιποι τρεις τοποθετήθηκαν στην περιοχή Παγκρατίου. Πιο συγκεκριμένα, ο δεύτερος σταθμός τοποθετήθηκε στην οδό Λάσκου που είναι πεζόδρομος με έντονη παρουσία βλάστησης και ύψος κτιρίων ίσο περίπου με το πλάτος του δρόμου, ο τρίτος σταθμός τοποθετήθηκε στην οδό Φιλολάου (Υ/Π<2), ενώ ο τέταρτος στην οδό Στέντορος που εκφράζει βαθιά οδοχαράδρα (Υ/Π>2) μικρού μήκους. Δεδομένα θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας χρησιμοποιήθηκαν και από τον μετεωρολογικό σταθμό του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (ΓΠΑ). Η χρονική περίοδος των μετρήσεων είναι από 1/8/2008 έως 31/10/2008 (2203 μέρες ωριαίες τιμές).

Από τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων θερμοκρασίας αέρος (Πιν. 39) και σχετικής υγρασίας (Πιν. 40) διαπιστώνεται ότι όλοι οι σταθμοί μέτρησης έχουν υψηλό συντελεστή συσχέτισης ($r=0,89-0,98$).

6. Επέκταση – προσαρμογή μεθοδολογίας στο αστικό περιβάλλον : Η περίπτωση των οδοχαραδρών.

Πίνακας 39. Συντελεστές συσχέτισης (r) θερμοκρασίας αέρος των 5 σταθμών μέτρησης (οι συσχετίσεις είναι σημαντικές με $p < 0,05$).

r	Στέντορος	Φιλολάου	Λάσκου	ΓΠΑ	Hilton
Στέντορος	1,00	0,96	0,96	0,94	0,95
Φιλολάου	0,96	1,00	0,99	0,94	0,97
Λάσκου	0,96	0,99	1,00	0,94	0,97
ΓΠΑ	0,94	0,94	0,94	1,00	0,96
Hilton	0,95	0,97	0,97	0,96	1,00

Πίνακας 40. Συντελεστές συσχέτισης (r) σχετικής υγρασίας των 5 σταθμών μέτρησης (οι συσχετίσεις είναι σημαντικές με $p < 0,05$).

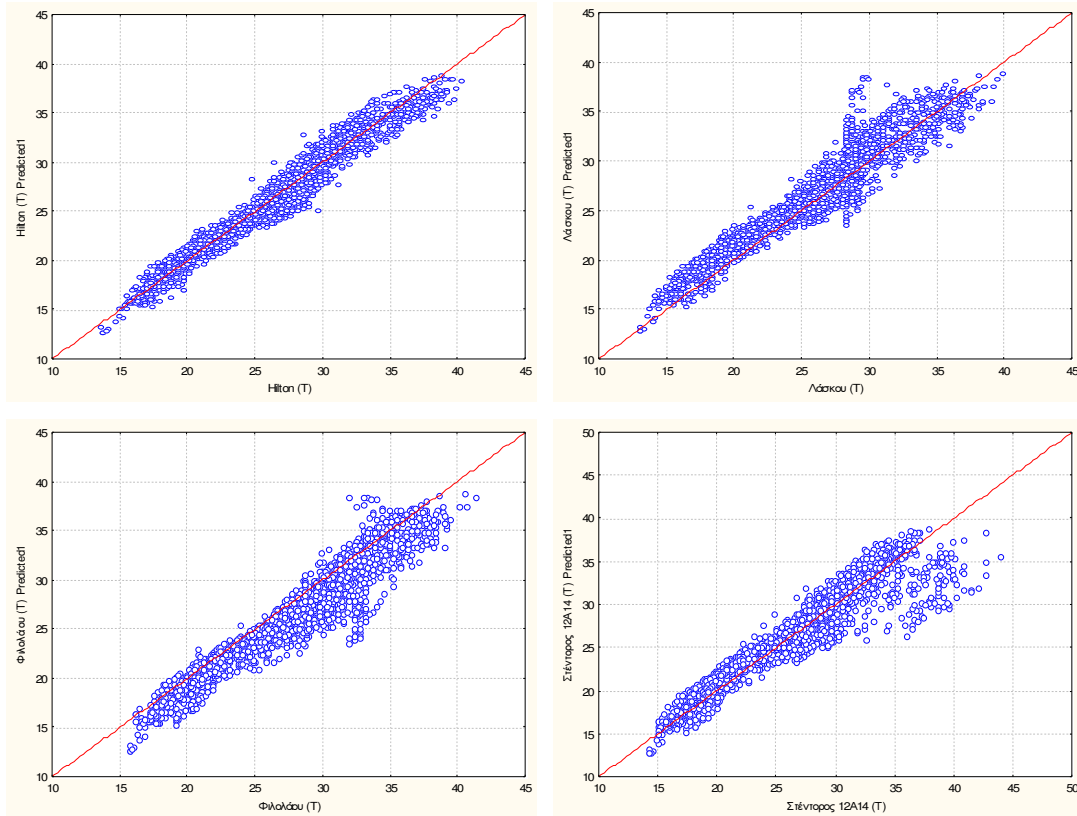
r	Στέντορος	Φιλολάου	Λάσκου	ΓΠΑ	Hilton
Στέντορος	1,00	0,98	0,97	0,90	0,97
Φιλολάου	0,98	1,00	0,98	0,89	0,97
Λάσκου	0,97	0,98	1,00	0,89	0,97
ΓΠΑ	0,90	0,89	0,89	1,00	0,93
Hilton	0,97	0,97	0,97	0,93	1,00

Μετά τη δημιουργία νευρωνικού δικτύου με δεδομένα εισόδου τα δεδομένα του σταθμού ΓΠΑ και έξοδο τα δεδομένα του σταθμού της οδού Βεντήρη (Hilton), ελέγχεται το πόσο ικανοποιητικά είναι τα αποτελέσματα αν συγκριθούν με τις τιμές και των 4 σταθμών της περιοχής του Παγκρατίου. Από την παρατήρηση των πινάκων 41 και 42 διαπιστώνεται ότι τα αποτελέσματα είναι πολύ ικανοποιητικά για κάθε σταθμό, τόσο για τη θερμοκρασία όσο και για τη σχετική υγρασία, ενώ αντίστοιχα ικανοποιητική είναι και η διασπορά των σημείων μετρημένων και εκτιμημένων τιμών θερμοκρασίας (εικόνα 24) και σχετικής υγρασίας (εικόνα 25) αέρος.

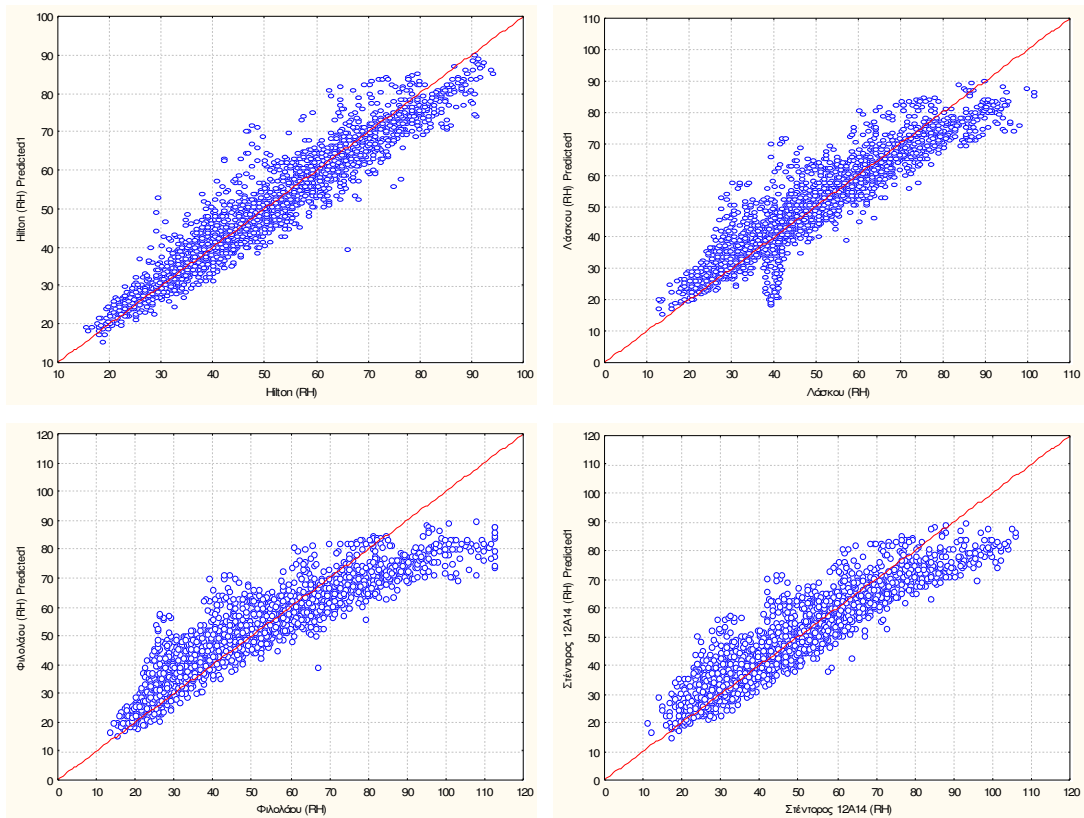
Πίνακας 41. Συντελεστής προσδιορισμού (R^2) και μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE) των προβλέψεων της θερμοκρασίας αέρος των σταθμών μέτρησης.

Σταθμοί μέτρησης	R^2	MAE
Hilton	0.96	0.88
Λάσκου	0,92	1,57
Φιλολάου	0,92	1,49
Στέντορος	0,89	1,46

6. Επέκταση – προσαρμογή μεθοδολογίας στο αστικό περιβάλλον : Η περίπτωση των οδοχαραδρών.



Εικόνα 24. Διαγράμματα διασποράς σημείων μετρημένων και εκτιμημένων τιμών θερμοκρασίας για τους 4 σταθμούς.



Εικόνα 25. Διαγράμματα διασποράς σημείων μετρημένων και εκτιμημένων τιμών σχετικής υγρασίας για τους 4 σταθμούς.

6. Επέκταση – προσαρμογή μεθοδολογίας στο αστικό περιβάλλον : Η περίπτωση των οδοχαραδρών.

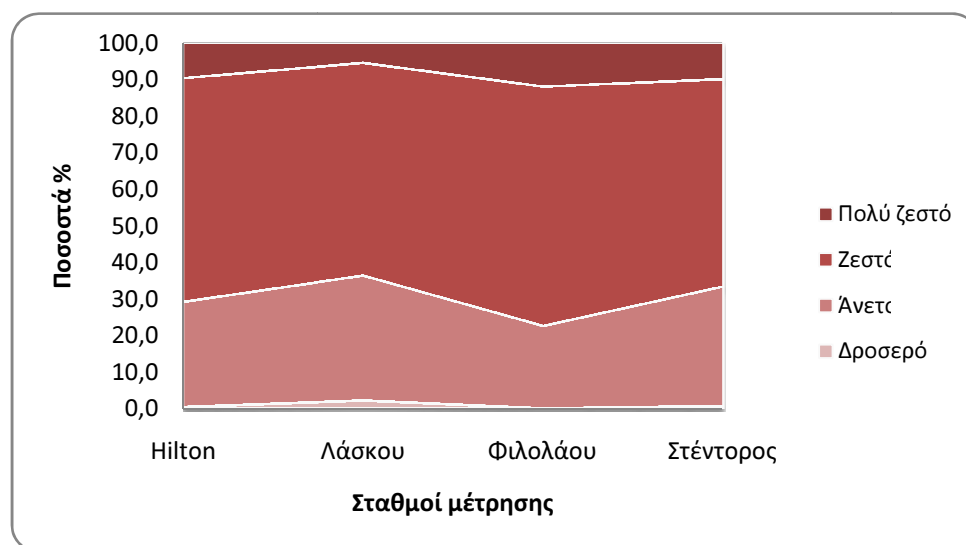
Πίνακας 42. Συντελεστής προσδιορισμού (R^2) και μέσο απόλυτο σφάλμα (ΜΑΕ) των εκτιμήσεων της σχετικής υγρασίας για τους 4 σταθμούς.

Σταθμοί μέτρησης	R^2	ΜΑΕ
Hilton	0,91	3,80
Λάσκου	0,84	5,39
Φιλολάου	0,85	7,20
Στέντορος	0,85	5,79

Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι κλάσεις θερμικής αίσθησης με την εξίσωση του δείκτη ΤΗΙ από τα δεδομένα των σταθμών μέτρησης και τα αντίστοιχα δεδομένα των εκτιμημένων τιμών και ακολουθεί σύγκριση αυτών για να αξιολογηθεί η επιτυχία της μεθοδολογίας.

Πίνακας 43. Ποσοστό % κάθε κλάσης του ΤΗΙ επί του συνόλου των παρατηρήσεων

Σταθμοί	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	Δροσερό
Hilton	9,7	61,2	28,7	0,4
Λάσκου	5,5	58,2	34,2	2,1
Φιλολάου	12,0	65,5	22,5	0,0
Στέντορος	9,9	56,7	32,7	0,6



Εικόνα 26. Διάγραμμα του ποσοστού % κάθε κλάσης του ΤΗΙ επί του συνόλου των παρατηρήσεων

6. Επέκταση – προσαρμογή μεθοδολογίας στο αστικό περιβάλλον : Η περίπτωση των οδοχαραδρών.

Από τις τιμές των ποσοστών των κλάσεων θερμικής αίσθησης (πίνακας 43) διαπιστώνεται ότι το μικρότερο ποσοστό (5,5%) της κλάσης πολύ ζεστό εντοπίζεται στον πεζόδρομο της οδού Λάσκου (έντονη παρουσία βλάστησης) ενώ το μεγαλύτερο (12%) στην οδό Φιλολάου. Αντίστροφα κινούνται τα ποσοστά όσον αφορά την κλάση δροσερό. Οι διαπιστώσεις αυτές αποτυπώνονται παραστατικότερα στην εικόνα 26.

Για τη διερεύνηση των εκτιμήσεων των συμβάντων ανά κλάση δημιουργήθηκαν πίνακες διπλής εισόδου κατανομής αναμενόμενων τιμών και ποσοστών βάσει των αντίστοιχων παρατηρήσεων. (Παράρτημα III / Πίνακες 21 έως 28). Τα συνολικά ποσοστά επιτυχίας ανά κλάση και σταθμό εμφανίζονται στον πίνακα 44.

Πίνακας 44. Συγκεντρωτικά ποσοστά % επιτυχίας της κάθε κλάσης του THI.

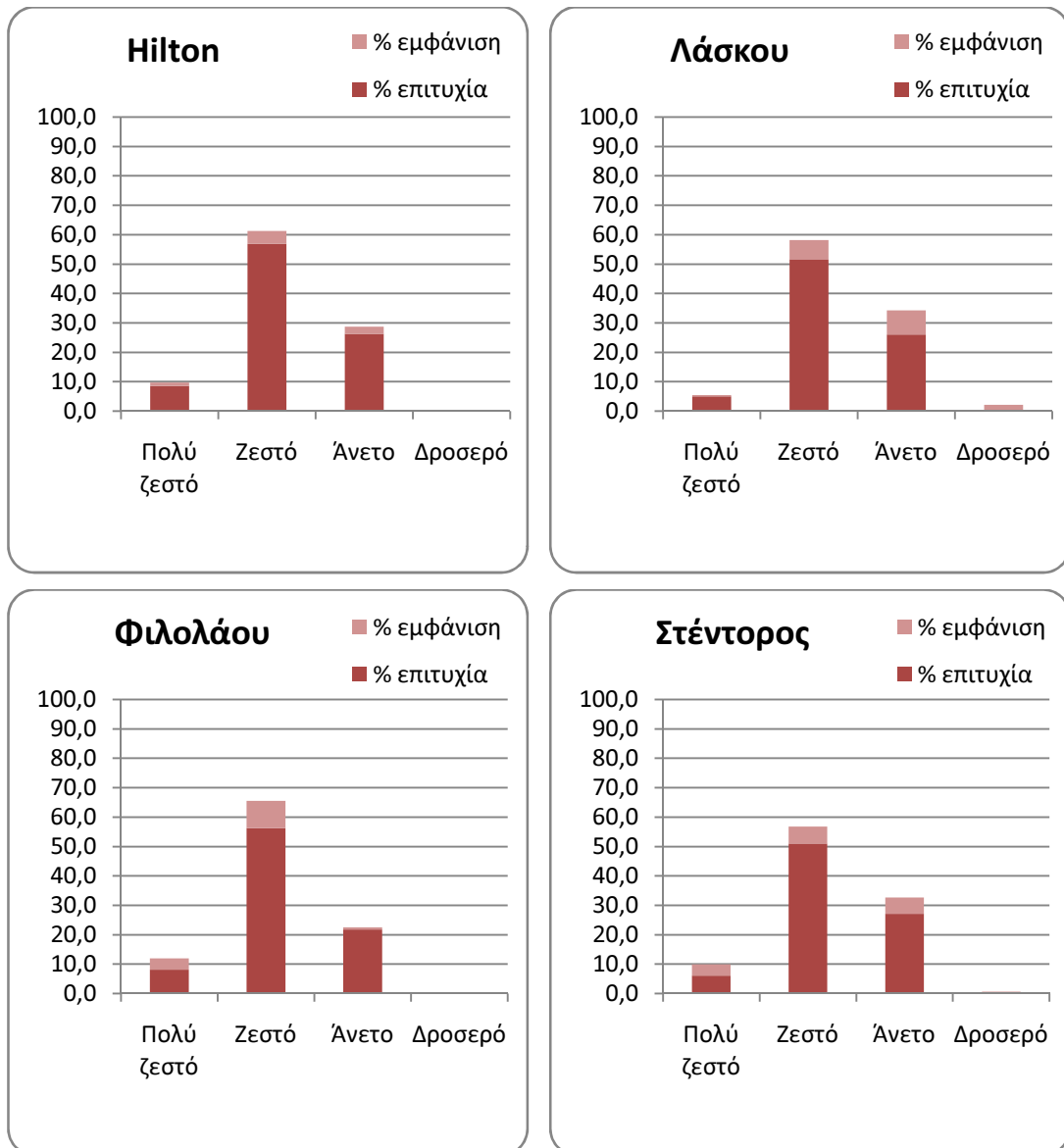
Σταθμοί	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	Δροσερό
Hilton	87,8	92,8	91,3	87,5
Λάσκου	90,9	88,8	76,0	21,7
Φιλολάου	67,8	85,9	96,6	0,0
Στέντορος	61,0	90,0	83,1	57,1

Το ποσοστό επιτυχίας των εκτιμήσεων ανα κλάση (πίνακας 44) εξαρτάται από το ποσοστό της κάθε κλάσης επι του συνόλου των παρατηρήσεων. Στην προκειμένη περίπτωση επειδή η κλάση δροσερό έχει μικρό ποσοστό σ' όλους τους σταθμούς (πίνακας 43) αυτό μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα. Για το λόγο αυτό υπολογίστηκε το ποσοστό επιτυχίας επι του ποσοστού εμφάνισης της κάθε κλάσης θερμικής αίσθησης (πίνακας 45).

Πίνακας 45. Ποσοστό επιτυχίας % επί του ποσοστού εμφάνισης της κάθε κλάσης του THI.

Σταθμοί	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	Δροσερό	Σύνολο
Hilton	8,5	56,8	26,2	0,3	91,9
Λάσκου	5,0	51,7	26,0	0,5	83,1
Φιλολάου	8,1	56,2	21,7	0,0	86,1
Στέντορος	6,0	51,1	27,1	0,4	84,6

6. Επέκταση – προσαρμογή μεθοδολογίας στο αστικό περιβάλλον : Η περίπτωση των οδοχαραδρών.



Εικόνα 27. Απεικόνιση ποσοστού επιτυχίας % επί του ποσοστού εμφάνισης της κάθε κλάσης THΙ των θέσεων των σταθμών.

Αντικειμενικότερη εικόνα δίνει το άθροισμα των επί μέρους ποσοστών επιτυχίας των κλάσεων και όχι η κάθε κλάση χωριστά (πίνακας 45). Η διακύμανση του ποσοστού επιτυχίας εξαρτάται από τη μορφή του περιβάλλοντος χώρου των θέσεων μέτρησης σε σύγκριση με τον σταθμό αναφοράς. Επισημαίνεται ότι το συνολικό ποσοστό επιτυχίας της εκτίμησης για τους σταθμούς μέτρησης κυμάνθηκε από 83,1% έως 91,9%, ποσοστά που θεωρούνται εξαιρετικά καλά και καθιστούν την μεθοδολογία που εφαρμόστηκε επιτυχή.

7. Συμπεράσματα

Από την ανάλυση και αξιολόγηση των μεθόδων A και B που αναπτύχθηκαν στην παρούσα διατριβή και αφορούν την εκτίμηση των θερμοϋγρομετρικών δεδομένων μέσα στο φαράγγι της Σαμαριάς, χρησιμοποιώντας δεδομένα θερμοκρασίας αέρος και σχετικής υγρασίας των σταθμών εισόδου και εξόδου του φαραγγιού, προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Η χρήση των δεδομένων ενός έτους στην εκτίμηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας άλλων ετών, όπως γίνεται στη μέθοδο A, έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά τη θερμοκρασία αέρος, υστερούσε όμως σημαντικά στην εκτίμηση της σχετικής υγρασίας. Οι εκτιμήσεις των τιμών της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας με νευρωνικά δίκτυα, έδειξαν παρόμοια αποτελέσματα με την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, αλλά ελαφρώς βελτιωμένα. Γενικά, η καλύτερη των εκτιμήσεων με την μέθοδο A επετεύχθη με τα μοντέλα AT3 και AT6 για τη θερμοκρασία και ARH3 και ARH6 για τη σχετική υγρασία αντίστοιχα.

Η μέθοδος B, η οποία βασίστηκε στη χρήση των δεδομένων ως σύνολο, έδωσε γενικά καλύτερα αποτελέσματα από τη μέθοδο A, η οποία χειρίστηκε τα δεδομένα ως χρονοσειρές. Η υπεροχή της μεθόδου B έναντι της A ήταν σαφής τόσο με τη χρήση νευρωνικών δικτύων όσο και με τη χρήση εξισώσεων παλινδρόμησης. Οι καλύτερες εκτιμήσεις της θερμοκρασίας αέρος και της σχετικής υγρασίας προέκυψαν από τα μοντέλα BT4 και BRH4 αντίστοιχα, δηλαδή με τη χρήση νευρωνικών δικτύων λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων των σταθμών εισόδου και εξόδου του φαραγγιού και τις χρονικές στιγμές που αυτές σημειώθηκαν.

Η επιτυχής εκτίμηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, με τα μοντέλα BT4 και BRH4 αντίστοιχα, δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού τόσο του μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς (επιτυχία εκτίμησης από 73% έως 88%) όσο και του δείκτη θερμικής αίσθησης (επιτυχία εκτίμησης από 81,8% έως 93,4%) στο φαράγγι της Σαμαριάς. Η εκτίμηση των δεικτών αυτών είναι εξαιρετικά χρήσιμη για την ασφάλεια και την άνεση των επισκεπτών, δεδομένου ότι κατά τη κρίσιμη περίοδο

του έτους, δηλαδή την περίοδο που είναι ανοικτό το φαράγγι, παρατηρείται εξαιρετικά μεγάλη επισκεψιμότητα.

Από την επέκταση της εφαρμογής της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στην παρούσα διατριβή σε αστικό χώρο, προκύπτει επίσης το συμπέρασμα ότι είναι δυνατή η αξιόπιστη εκτίμηση της θερμικής αίσθησης σε οδοχαράδρες (επιτυχία εκτίμησης από 83,1% έως 91,9%) από ένα μόνιμα εγκατεστημένο σταθμό που βρίσκεται εκτός των ορίων τους.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Alexiadis, M.C., Dokopoulos, P.S., Sahsamanoglou, H.S., Manousaridis, I.M., 1998. Short-term forecasting of wind speed and related electrical power. *Solar Energy*, 63(1), pp.61-68.
- Allard, F., 1998. *Natural ventilation in buildings*. A Design Handbook.
- Arnfield, A.J., 1990. Street design and urban canyon solar access. *Energy and Buildings*, 14(2), pp.117-131.
- Arnfield, A.J., 2003. Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23(1), pp.1-26.
- Balkin, S.D., Ord, J.K., 2000. Automatic neural network modeling for univariate time series. *International Journal of Forecasting*, 16(4), pp.509-515.
- Barron, A.R., 1993. Universal approximation bounds for superpositions of a sigmoidal function. *IEEE Transactions on Information Theory*, 39(3), pp.930-945.
- Barron, A.R., Cover, T.M., 1991. Minimum complexity density estimation. *IEEE Transactions on Information Theory*, 37(4), pp.1034-1054
- Barry, R.G., 1992. *Mountain weather and climate*. 2nd ed. Routledge: London and New York.
- Bisanti, L., Cadum, E., Costa, G., Michelozzi, P., Perucci, C. and Russo, A., 2004. 2003 heat waves and mortality in Italy. *Epidemiology*, 15(4), pp.97.
- Boutsikas, M.V., 2004. *Σημειώσεις μαθήματος «Στατιστικά Προγράμματα»*. Τμήμα Στατ. & Ασφ. Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιώς
- Chambers, J.M., Beat Kleiner, and Tukey, P.A., 1983. *Graphical Methods for Data Analysis*. Chapman & Hall.
- Conti, S., Meli, P., Minelli, G., Solimini, R., Toccaceli, V., Vichi, M., Beltrano, M.C. and Perini, L., 2004. Epidemiologic study of mortality during the summer of 2003 in Italy. *Environmental Research*, 10, pp.1-10.
- Cornford, D., 1997. *The development and application of techniques for mapping daily minimum air temperatures*. Ph.D. UK: Department of Geography, University of Birmingham.

- Cybenko, G., 1989. Approximation by superpositions of a sigmoidal function. *Mathematics of Control, Signals, and Systems*, 2(4), pp.303-314.
- Dimopoulos, I., Serelis, K., Tsiros, I. and Chronopoulou-Sereli, A., 2001. Statistical modeling to estimate spatial distribution of airborne fluoride in natural vegetation around an industrial point emission source. *Proceedings of the 7th Conference on Environmental Science and Technology, Vol. C. Syros*, 3-6 September 2001. University of Aegean: Lesbos.
- Dimopoulos, I., Tsiros, I., Serelis, K., Kamoutsis, A. and Chronopoulou-Sereli, A., 2003. An application of Parametric and Nonparametric Models to the Assessment of Fluoride Levels in Vegetation Exposed to Stack Emissions of an Aluminium Reduction Plant in Greece. *Air & Waste Manage. Assoc.*, 53, pp.396-405.
- Eliason, I., 1996. Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. *Atmospheric Environment*, 30, pp.379-392.
- Eliasson, I. and Holmer, B., 2000. Urban heat island circulation in Göteborg, Sweden. *Theory and Application of Climatology*, 42, pp.187-196.
- Eliasson, I., 2000. The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and Urban planning*, 48, pp.31-44.
- Elnahas, M.M., Williamson, T.J., 1997. An improvement of the CTTC model for predicting urban air temperatures. *Energy and Buildings*, 25(1), pp.41-49.
- Emmanuel, R., 2004. Thermal comfort of urbanization in a warm – humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. *Building and Environment*, 40, pp.1591-1601.
- Fasoulas, C., 1998. The structural evolution of central Crete: insight into the tectonic evolution of the south Aegean (Greece). *Journal of Geodynamics*, 27, pp.23-43.
- Fasoulas, C., Rahl, J.M., Ague, J. and Henderson, K., 2004. Patterns and conditions of deformation in the Plattenkalk nappe, Crete, Greece: A preliminary Study. *Proceedings of the 10th International Congress*, Thessaloniki, 2004.
- Funahashi, K.-I., 1989. On the approximate realization of continuous mappings by neural networks. *Neural Networks*, 2(3), pp.183-192.
- Geiger, 1975. *The climate near the ground*. Harvard Univ. Press, Cambridge, M.A.
- Ghiaus, C., Allard, F., Santamouris, M., Georgakis, C. and Nicol, F., 2006. Urban environment influence on natural ventilation potential. *Building and Environment*, 41(4), pp.395-406.

- Giles, B.D., Balafoutis, C.J., 1990. The Greek heatwaves of 1987 and 1988. *International Journal of Climatology*, 10(5), pp.505-517.
- Goodale, C.L., Aber, J.D. and Ollinger, A.V., 1998. Mapping monthly precipitation, temperature, and solar radiation for Ireland with polynomial regression and a digital elevation model. *Clim. Res.*, 10, pp.35-49.
- Goulding, J.R., Owen Lewis, J., Steemers, T.C., 1992. *Energy Conscious Design. A primer for Architects*. ECSC-EEC-EAEC Brussels and Luxemburg. Ελλην. Εκδ. Μάλιαρης Α. – Παιδεία Α.Ε. (1994).
- Hewitson, B.C. and Crane, R.G., 1994. Precipitation controls in Southern Mexico. *In Neural Nets: Applications in Geography*, edited by B.C. Hewitson and R.G. Crane. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp.121-143.
- Horbert, M., Kirchberg, A., Chronopoulou-Sereli, A. and Chronopoulos, J., 1998. The impact of green in an urban atmosphere in Athens. *Scientific Series of the International Bureau of the Kernforschungsanlage*. Julich, Germany.
- Hornik, K., Stinchcombe, M., White, H., 1989. Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural Networks*, 2(5), pp.359-366.
- Hutchinson, M.F., 1995. Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9, pp.385-403.
- Kamoutsis, A., Matsoukis, A., Charalampopoulos, I., and Chronopoulou-Sereli, A. 2007. Biometeorological conditions in mountainous communities and adjacent urban center in Greece by the use of indices: the case study of mountainous Nafpaktia. *In Developments in Tourism Climatology*, edited by A. Matzarakis, C.R. de Freitas, D. Scott, pp.144-149.
- Kastner-Klein, P., Plate, E.J., 1999. Wind tunnel study of concentrations fields in street canyons. *Atmospheric Environment*, 33, pp.3973-3979.
- Kolokotsa, D., Niachou, K., Geros, V., Kalaitzakis, K., Stavrakakis, G.S. and Santamouris, M., 2005. Implementation of an integrated indoor environment and energy management system. *Energy and Buildings*, 37(1), pp.93-99.
- Kyle, W.J., 1994. The human bioclimate of Hong Kong. Brazdil R., Kolar M.(eds). *Proceedings of the Contemporary Climatology Conference, Brno*. TISK LITERA, Brno, pp.345-350.
- Lennon, J.J. and Turner, J.R.G., 1995. Predicting the spatial distribution of climate: temperature in Great Britain. *Journal of Animal Ecology*, 64, pp.370-392.

- Louka, P., 1998. *Measurements of Airflow in an urban Environment*. Ph.D., England: Department of Meteorology, University of Reading.
- Magnusson, B., 1994. Local climate mapping with applications to Agriculture. *GUNI Report 35*, University of Gothenburg, Department of Physical Geography.
- Matzarakis, A., 1995. *Human-biometeorological Assessment of the climate of Greece*. Ph.D., Thessaloniki (in Greek).
- McGinnis, D.L., 1994. Predicting snowfall from synoptic circulation: A comparison of linear regression and neural network methodologies. *In Neural Nets: Applications in Geography*, edited by B.C. Hewitson and R.G. Crane, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp.79-100.
- Mohandes, M.A., Rehman, S. and Halawani, T.O., 1998a. A neural networks approach for wind speed prediction. *Renewable Energy*, 13(3), pp.345-354.
- Mohandes, M.A., Rehman, S. and Halawani, T.O., 1998b. Estimation of global solar radiation using artificial neural networks. *Renewable Energy*, 14(1-4), pp.179-184.
- Nakamura, Y., Oke, T.R., 1998. Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon. *Atmospheric Environment*, 22(12), pp.2691-2700.
- Nicholson, S.E., 1975. A pollution model for street-level air. *Atmospheric Environment*, 9, pp.19-31.
- Oke, T.R., 1981. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *J. Climatol.*, 1, pp.237-254.
- Oke, T.R., 1987. *Boundary Layer Climates*. 2nd ed., Routledge (Taylor & Francis Group).
- Oke, T.R., 2004. Urban Observations, Instruments and Methods of Observation Programme. *IOM Report, World Meteorol. Organiz.*, Geneva.
- Oke, T.R., Johnson, G.T., Steyn, D.G. and Watson, I.D., 1991. Simulation of surface urban heat islands under ideal conditions at night. 2. Diagnosis of causation. *Boundary – Layer Meteorol.*, 56, pp.233-245.
- Openshaw, S. and Openshaw, C., 1997. *Artificial Intelligence in Geography*. Chichester: John Wiley and Sons Ltd.
- Packard, N., Crutchfield, J., Farmer, J., and Shaw, R., 1980. Geometry from a time series. *Phys. Rev. Lett.*, 45, pp.712.
- Park, H.-S. 1987. City size and urban heat island intensity for Japanese and Korean cities. *Geographical Review of Japan, Series A*, 60(4), pp.238-250.

- Park, J., Sandberg, I.W., 1991. Universal approximation using radial-basis-function networks. *Neural Computation*, 3(2), pp.246-257.
- Patterson, D., 1996. Artificial Neural Networks. Singapore: Prentice Hall.
- Plate, E.J., 1995. Urban climates and Urban climate Modelling: An Introduction. *In Wind Climate in Cities*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp.23-39.
- Rafailidis, S., 1997. Influence of building areal density and roof shape on the wind characteristics above a town. *Boundary-Layer Meteorology*, 85, pp.255-271.
- Refenes, A.-P.N., Zapranis, A.D., 1999. Neural model identification, variable selection and model adequacy. *Journal of Forecasting*, 18(5), pp.229-332.
- Rigol, J.P., Jarvis, C.H. and NEIL Stuart, N., 2001. Artificial neural networks as a tool for spatial interpolation. *Int. J. Geographical Information Science*, 15(4), pp.323-343.
- Robeson, S.M. and Willmott, C.J., 1996. Spherical spatial interpolation and terrestrial air temperature variability. *In GIS and Environmental Modelling: Progress and Research Issues*, edited by M.F. Goodchild, B.O. Parks and L.T. Steyaert (Fort Collins: GIS World Inc.), pp.111-115.
- Rosenfeld, A.H., Akbari, H., Bretz, S., Fishman, B.L., Kurn, D.M., Sailor, D. and Taha, H., 1995. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. *Energy and Buildings*, 22(3), pp.255-265.
- Rosner, H.-J., 1992. Geländeklimatologische Untersuchungen im Raum Feldberg-Altglashütten (Hochschwarzwald) und die Regionalisierung der Ergebnisse mit Methoden der Digitalen Bildverarbeitung. *Freiburger Geographische Hefte*, 39, pp.178.
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. and Williams, R.J., 1986. Learning representations by back-propagating error. *Nature*, 323, pp.533-536.
- Russo, A., Bisanti, L., 2004. Heat wave effect on frail population in metropolitan Milano, Italy. *Epidemiology*, 15(4), pp.97-98.
- Santamouris, M. and Asimakopoulos, D., 1996. *Passive Cooling of Buildings*. London: James and James (science publishers) LTD.
- Schroeder, M. and Buck, 1970. *Fire weather. A guide for application of meteorological information to forest fire control operations*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Agriculture Handbook 360.
- Seemann, J., Chirkov, Y.I., Lomas, J. and Primault, B., 1979. *Agrometeorology*. Springer-Verlag.

- Shashua-Bar, L., Hoffman, M.E., 2003. Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees. *Energy and Buildings*, 35(1), pp.61-68.
- Spronken-Smith, Oke, T.R., 1998. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *Inst. J. Remote Sens.*, 19, pp.2085-2104.
- Swaid, H. and Hoffman, M.E., 1990. Thermal effects of artificial heat sources and shaded ground areas in the urban canopy layer. *Energy and Buildings*, 15(C), pp.253-261.
- Swaid, H., Bar-El, M. and Hoffman, M.E., 1993. A bioclimatic design methodology for urban outdoor spaces. *Theoretical and Applied Climatology*, 48(1), pp.49-61.
- Swanson, N.R. and White, H.A., 1995. Model selection approach to assessing the information in the term structure using linear models and artificial neural networks. *Journal of Business and Economic Statistics*, 13(3), pp.265-275
- Swanson, N.R. and White, H.A., 1997a. Forecasting economic time series using flexible versus fixed specification and linear versus nonlinear econometric models. *International Journal of Forecasting*, 13(4), pp.439-461
- Swanson, N.R. and White, H.A., 1997b. Model selection approach to real-time macroeconomic forecasting using linear models and artificial neural networks. *Review of Economics and Statistics*, 79(4), pp.540-550.
- Unger, J., 1999. Comparisons of urban and rural bioklimatological conditions in the case of a Central-European city. *International Journal of Biometeorology*, 43, pp.139-144.
- Unger, J., Bottyan, Z., Sumeghy, Z. and Gulyas, A., 2000: Urban heat island development affected by urban surface factors. *Quarterly J. of the Hungarian Meteorological Service*, 104(4), pp.253-268.
- Upmanis, H., Eliasson, I. and Lindqvist, S., 1998. The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden). *International Journal of Climatology*, 18, pp.681-700.
- Vardoulakis, S., Fisher, B.E.A., Pericleous, K., Gonzalez-Flesca, N., 2003. Modelling air quality in street canyons: a review. *Atmospheric Environment*, 37, pp.155-182.
- Voogt, J.A., 2002. Urban heat island. In: I. Douglas (Ed.), Causes and consequences of global environmental change, 3, pp.660-666. *Encyclopedia of global environmental change*. Chichester, UK: Wiley.

- Wilks, D.S., 2008. Effects of stochastic parametrization on conceptual climate models. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*, 366(1875), pp.2477-2490.
- Zhiguang, L., 1983. A study of the influence of orography on diurnal variations of temperature, pressure, wind velocity, precipitation, relative humidity and duration of sunshine. *Proceedings of the First Sino-American Workshop on Mountain Meteorology*, Beijing, China, pp.665-681.
- Γ.Υ.Σ., 1993. «Βατόλακκος». *Χάρτης Γενικής Χρήσεως*. 1:50.000, εκδόσεις Γ.Υ.Σ., Αθήνα.
- Γκούμα, Β.Ι., 2001. *Μεθοδολογία χωροχρονικής εκτίμησης του μετεωρολογικού κινδύνου δασικής πυρκαγιάς σε ορεινές περιοχές, εφαρμογή στον ορεινό όγκο της Πάρνηθας*. Διδακτορική διατριβή. Αθήνα.
- Δεσπότης, Δ., 2003. *Σημειώσεις μαθήματος «Νευρωνικά Δίκτυα»*. Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Πληροφορικής, Εργ. Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων.
- Δημόπουλος, Ι., Σταυρακάκης, Γ., Γκούμα, Β. και Χρονοπούλου-Σερέλη, Α., 2001. *Έρευνα των μικροκλιματικών συνθηκών και μοντέλα πρόγνωσης για τη βέλτιστη διαχείριση πυρκαγιάς στον Εθνικό Δρυμό Σαμαριάς*. Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Διαμαντάρας, Κ., 2007. *Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- Καρατάσος, Κ., 2006. *Μετρήσεις και σφάλματα*. Αριστοτέλειο Παν/μιο Θεσσαλονίκης, τμήμα χημ. Μηχ.- Εργαστήριο Φυσικής Χημείας.
- Μανούτσογλου, Ε., Σπυρίδωνος, Ε., Soujon, A. and Jacobshagen, V., 2001. Αναθεώρηση του γεωλογικού χάρτη και τρισδιάστατη προσομοίωση της γεωλογικής δομής της ευρύτερης περιοχής του φαραγγιού της Σαμαριάς, Δ. Κρήτη. *Πρακτ. 9ου Διεθνούς Συνεδρίου. Δελτίο Ελλην. Γεωλ. Εταιρίας*, 34(1), σελ.29-36, Αθήνα.
- Μανώλη, Ε., 2008. *Διερεύνηση βιοκλιματικών συνθηκών και προοπτικές ανάπτυξης στα Γεράνια Όρη*. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Μουντράκης, Δ., 1985. *Γεωλογία Ελλάδος*. Univ.Studio Press.
- Μπιζούρα, Κ., Μανούτσογλου, Ε. και Σπυρίδωνος, Ε., 2004. Απεικόνιση με Γ.Σ.Π. του φαραγγιού της Αγίας Ειρήνης, στις νότιες παρυφές των Λευκών ορέων, ΝΔ Κρήτη. *Πρακτ.10ου Διεθνούς Συνεδρίου. Δελτίο Ελλην. Γεωλ. Εταιρίας*, 36, Θεσσαλονίκη.

- Παπαϊωάννου, Γ.Π., 2000. *Χαοτικές Χρονοσειρές*. Αθήνα: Leader Books.
- Πετρακάκης, Μ.Ι., 2003. *Η ατμοσφαιρική ρύπανση σε αστικό περιβάλλον και η εξέλιξη των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Θεσσαλονίκης*. Δήμος Θεσσαλονίκης, Τμήμα Περιβάλλοντος. Αρ. Μελ. 12.
- Ρίζος, Γ., 1996. *Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα*. Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.
- Φλόκας, Α., 1997. *Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας*. Θεσσαλονίκη: Εκδ. Ζήτη.
- Χαραλαμπόπουλος, Ι. και Χρονοπούλου-Σερέλη, Α., 2006. Ο ρόλος του περιβάλλοντος χώρου στη διαμόρφωση των τιμών του βιομετεωρολογικού δείκτη PMV (Predicted Mean Vote). *8^ο Συνέδριο Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας*, Αθήνα, 24-26 Μαΐου 2006, Γ.Π.Α.

Πηγές από αναζήτηση στο διαδίκτυο:

<http://cretanhistory.tripod.com>

<http://www.creta-info.gr>

<http://www.onsetcomp.com/>

<http://www.oreivatein.com>

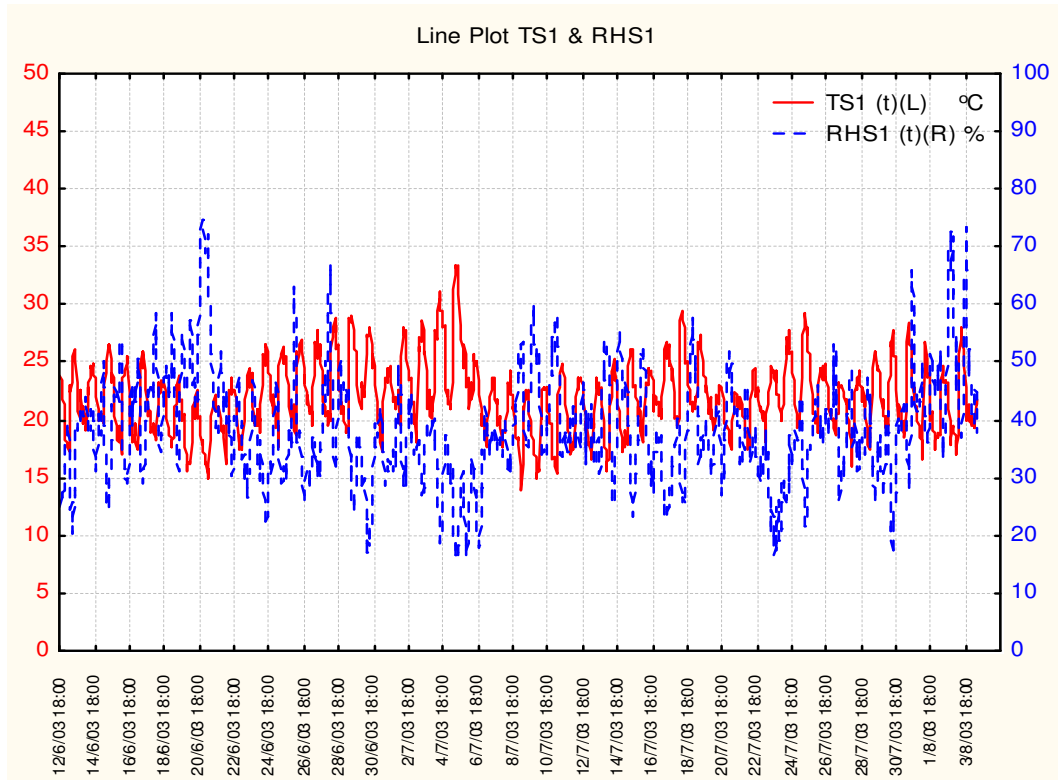
<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/eda.htm>

Google earth, 2007. Εικόνα του φαραγγιού της Σαμαριάς.

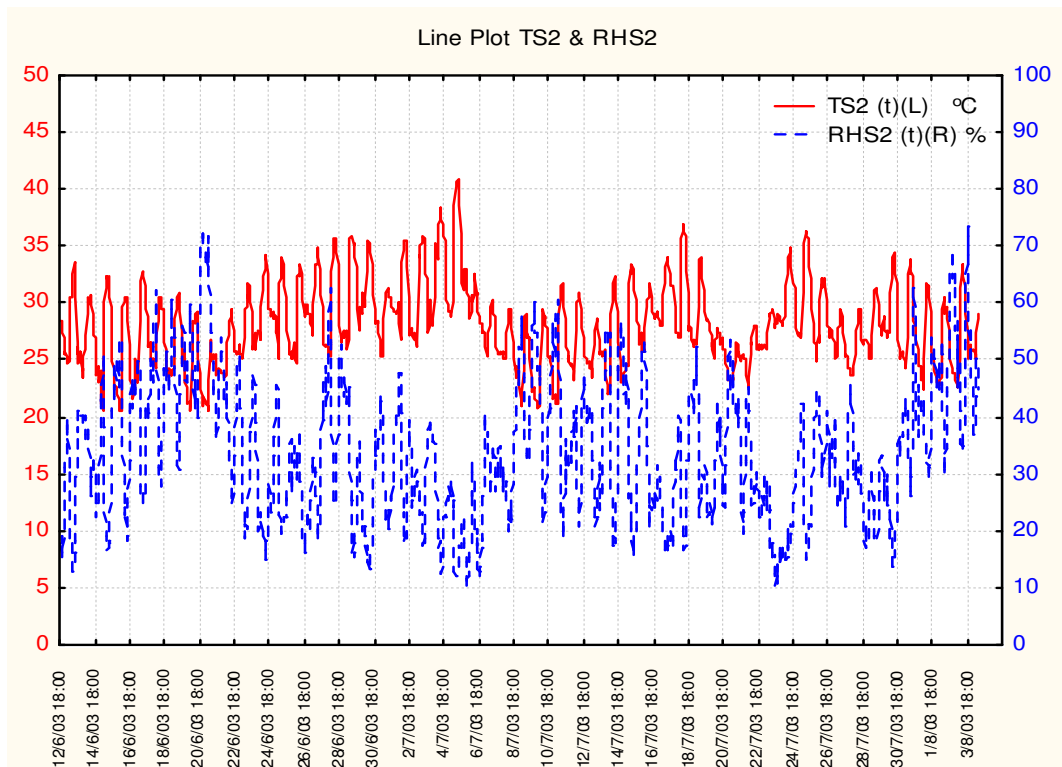
Παραρτήματα

- Παράρτημα I:** Διαγράμματα δεδομένων θερμοκρασίας αέρος και σχετικής υγρασίας των σταθμών S1, ..., S7 για το χρονικό διάστημα των μετρήσεων των ετών 2003, 2004 και 2005.
- Παράρτημα II:** Διαγράμματα διασποράς εκτιμημένων και μετρημένων τιμών θερμοκρασίας αέρος (μοντέλα AT3, AT6, BT4) και σχετικής υγρασίας (μοντέλα ARH3, ARH6, BRH4) με τα αντίστοιχα ιστογράμματα κατανομής υπολοίπων, για τους σταθμούς μέτρησης στο φαράγγι της Σαμαριάς.
- Παράρτημα III:** Πίνακες διπλής εισόδου κατανομής εκτιμηθέντων και παρατηρηθέντων τιμών και ποσοστών του δείκτη μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς για τους σταθμούς μέτρησης στο φαράγγι της Σαμαριάς (Πίνακες 1 έως 10).
Πίνακες διπλής εισόδου κατανομής εκτιμηθέντων και παρατηρηθέντων τιμών και ποσοστών του THI για τους σταθμούς μέτρησης στο φαράγγι της Σαμαριάς (Πίνακες 11 έως 21).
Πίνακες διπλής εισόδου κατανομής εκτιμηθέντων και παρατηρηθέντων τιμών και ποσοστών του THI για τους σταθμούς μέτρησης στο αστικό περιβάλλον (Πίνακες 21 έως 28).

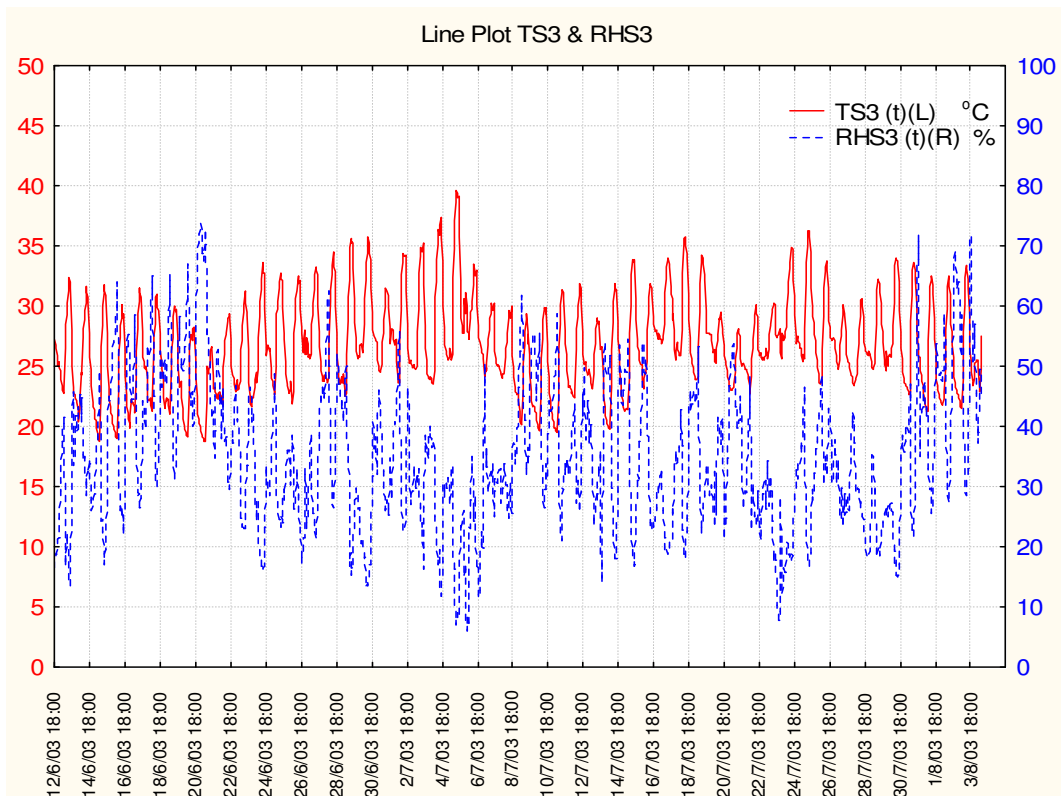
Παράρτημα I



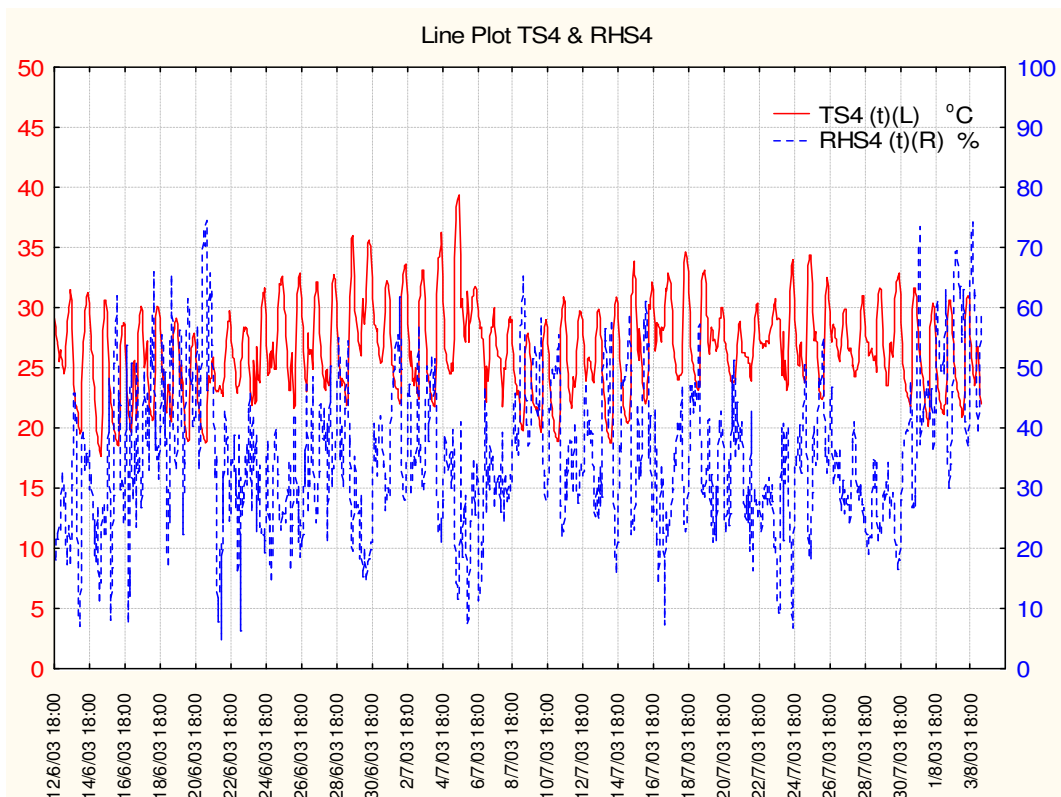
Διάγραμμα 1: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, TS1) και σχετικής υγρασίας (% , RHS1) του σταθμού S1 για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (12/06/03 – 04/08/03) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2003.



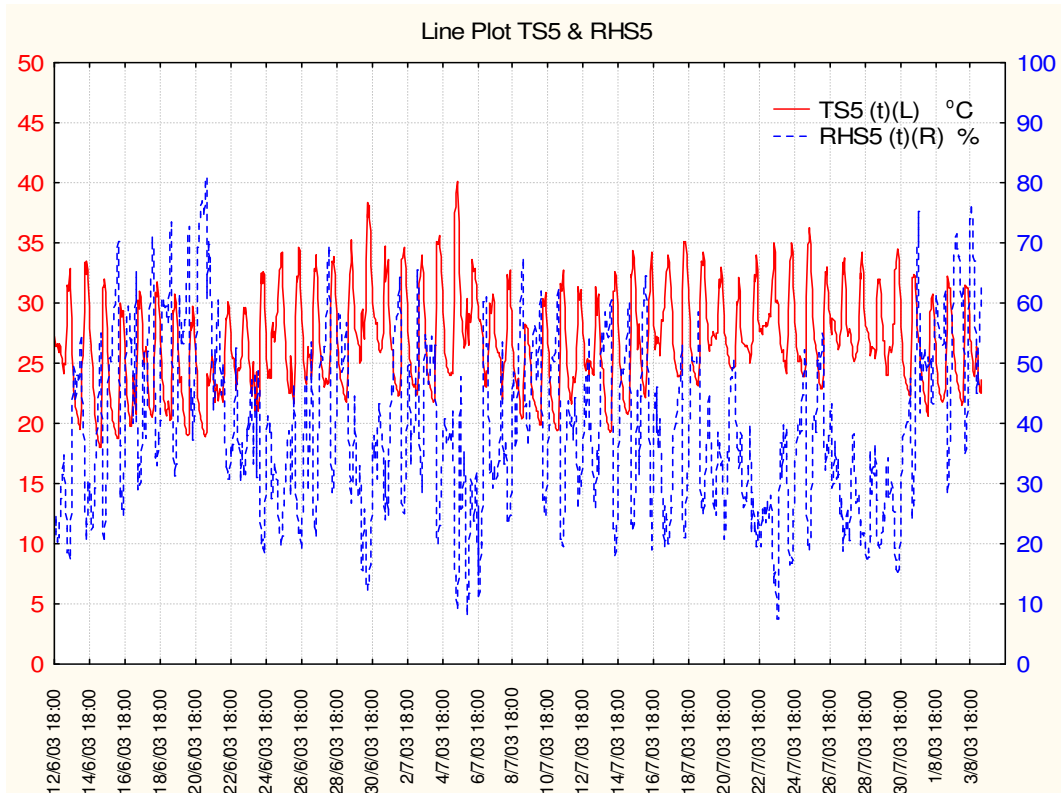
Διάγραμμα 2: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, TS2) και σχετικής υγρασίας (% , RHS2) του σταθμού S2 για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (12/06/03 – 04/08/03) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2003.



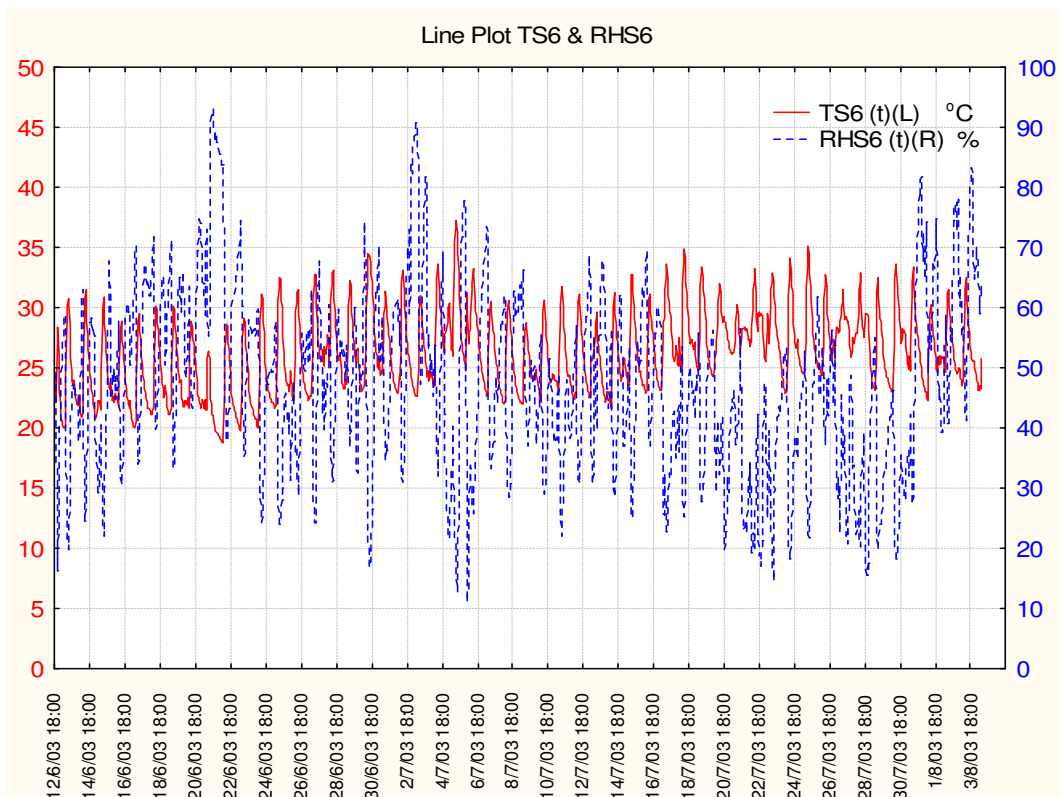
Διάγραμμα 3: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, TS3) και σχετικής υγρασίας (% , RHS3) του σταθμού S3 για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (12/06/03 – 04/08/03) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2003.



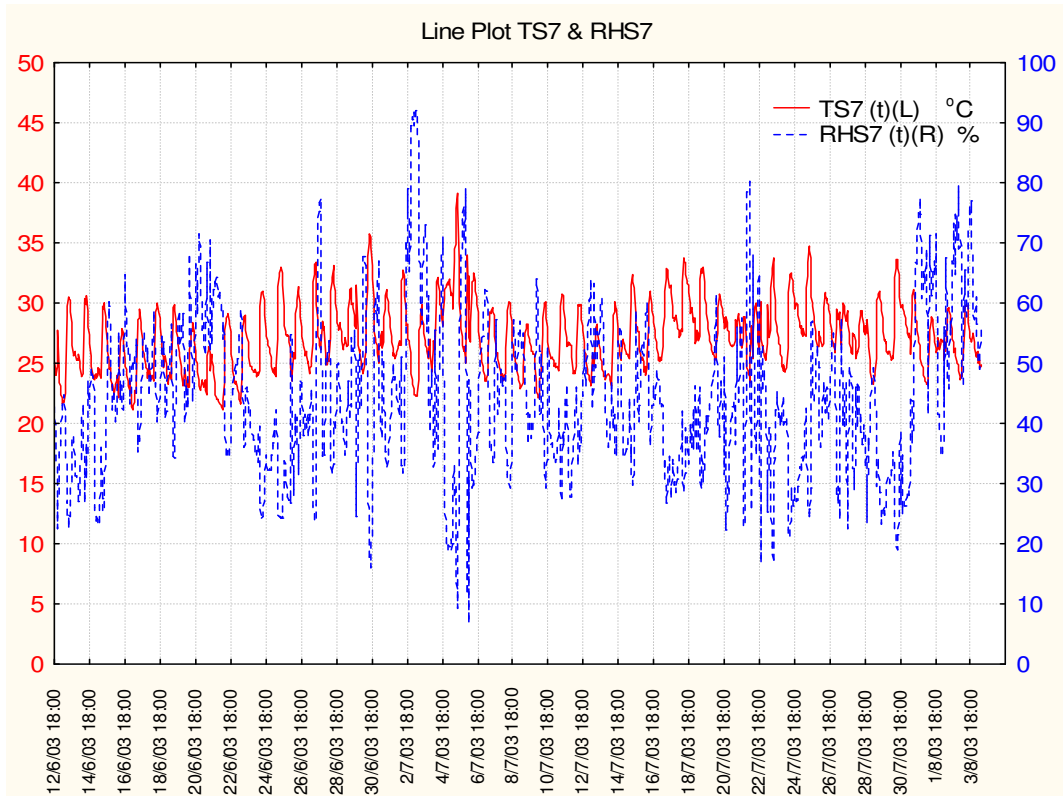
Διάγραμμα 4: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, TS4) και σχετικής υγρασίας (% , RHS4) του σταθμού S4 για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (12/06/03 – 04/08/03) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2003.



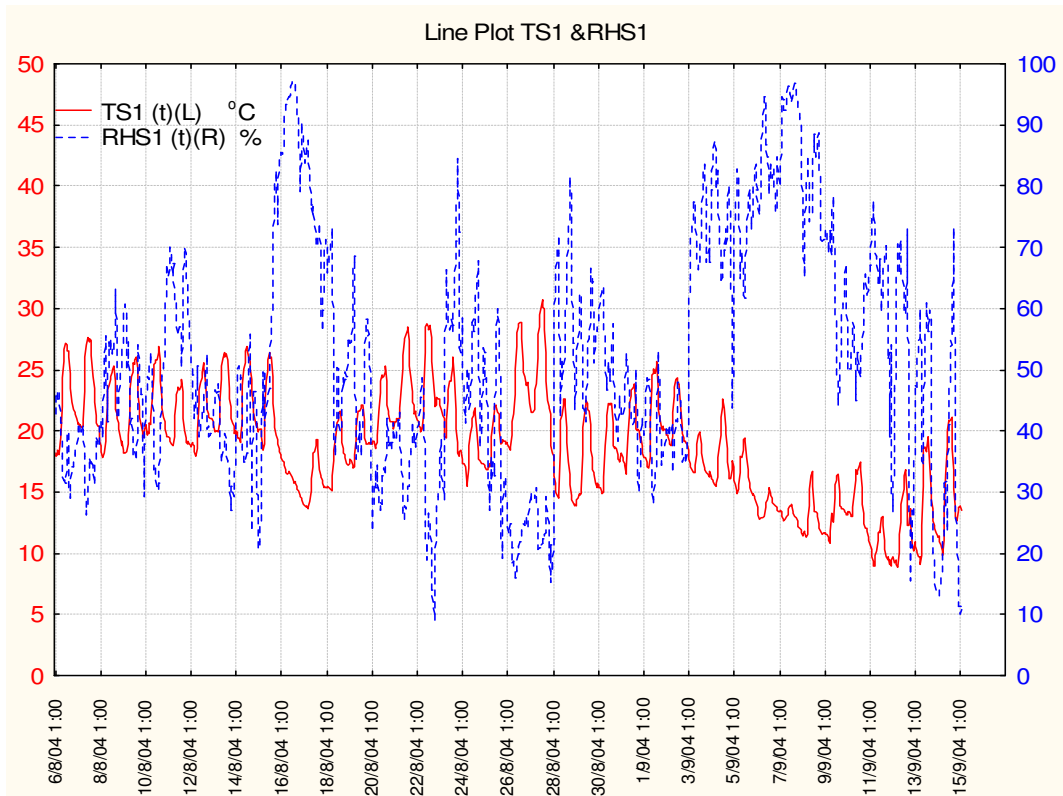
Διάγραμμα 5: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, TS5) και σχετικής υγρασίας (% , RHS5) του σταθμού S5 για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (12/06/03 – 04/08/03) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2003.



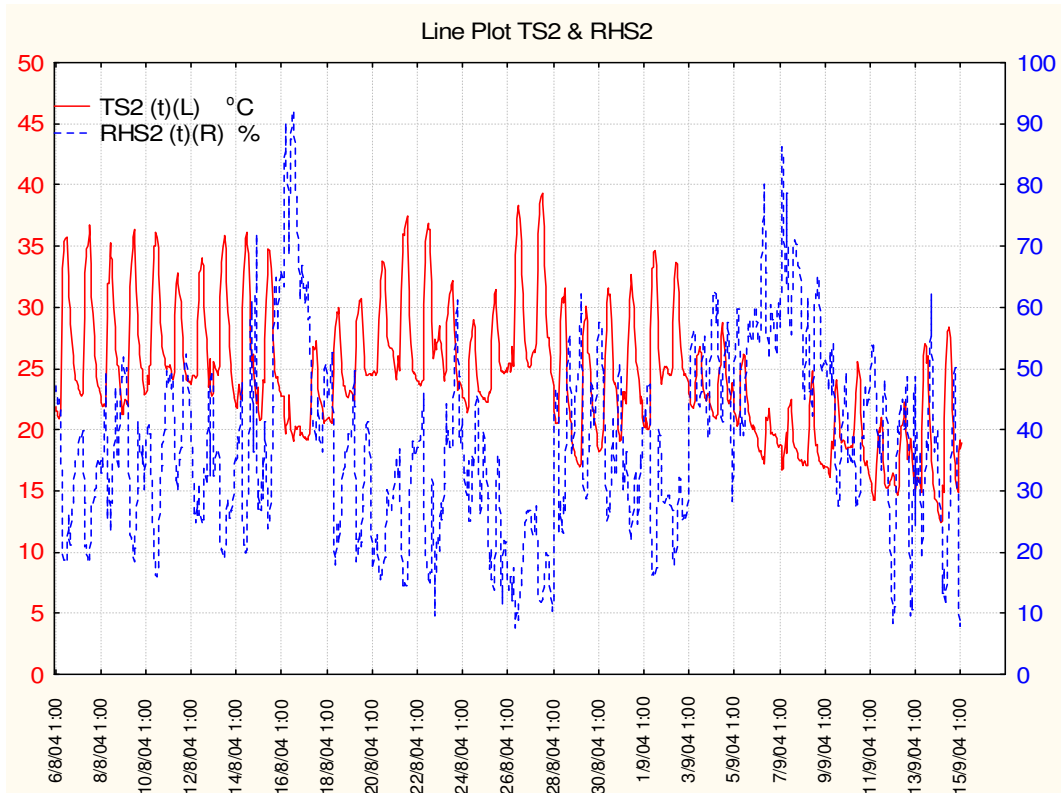
Διάγραμμα 6: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, TS6) και σχετικής υγρασίας (% , RHS6) του σταθμού S6 για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (12/06/03 – 04/08/03) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2003.



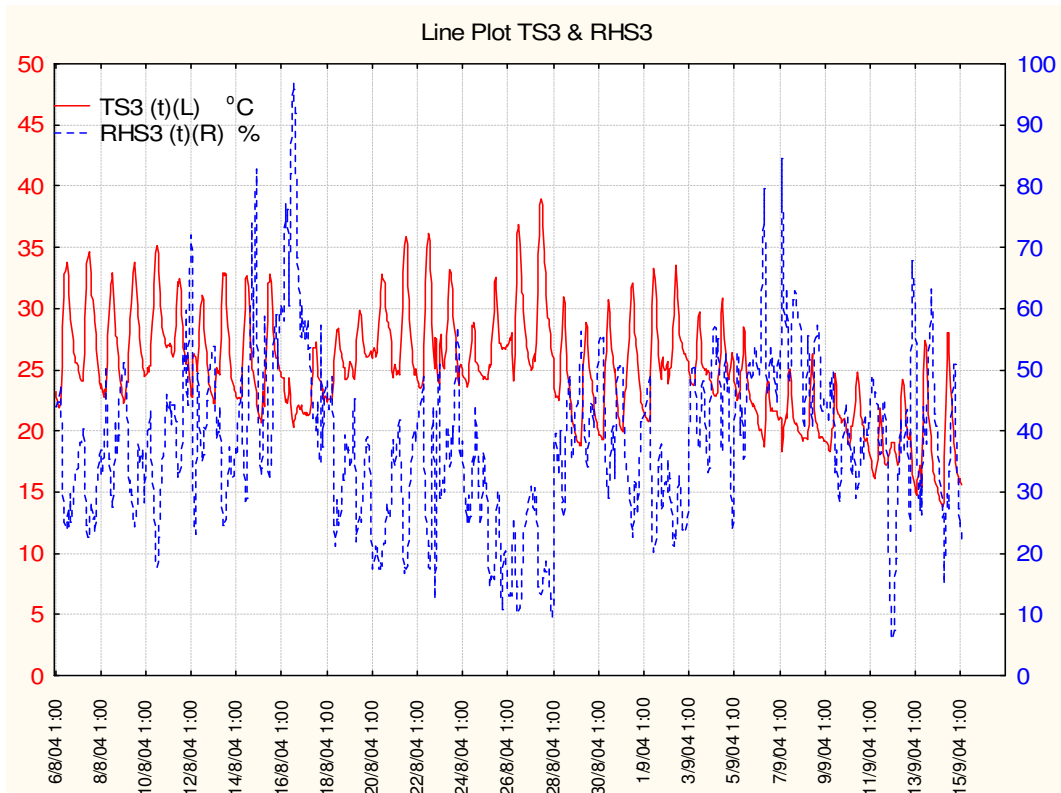
Διάγραμμα 7: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, TS7) και σχετικής υγρασίας (% , RHS7) του σταθμού S7 για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (12/06/03 – 04/08/03) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2003.



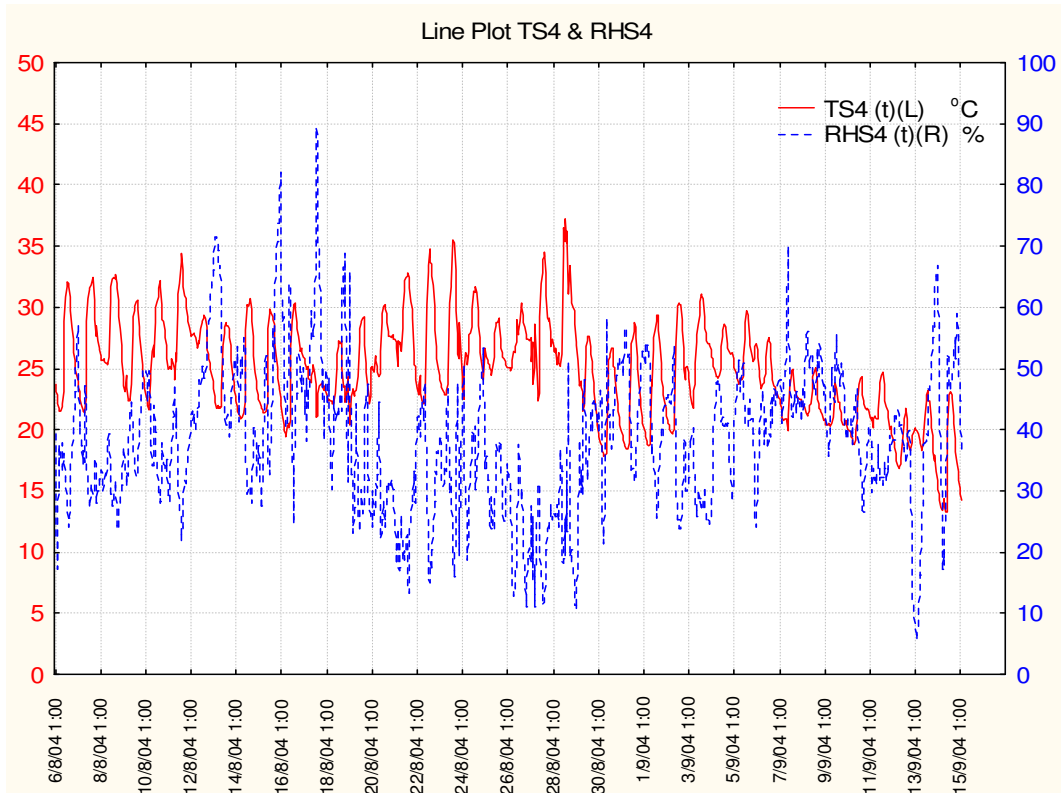
Διάγραμμα 8: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, TS1) και σχετικής υγρασίας (% , RHS1) του σταθμού S1 για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (06/08/04 – 15/09/04) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2004.



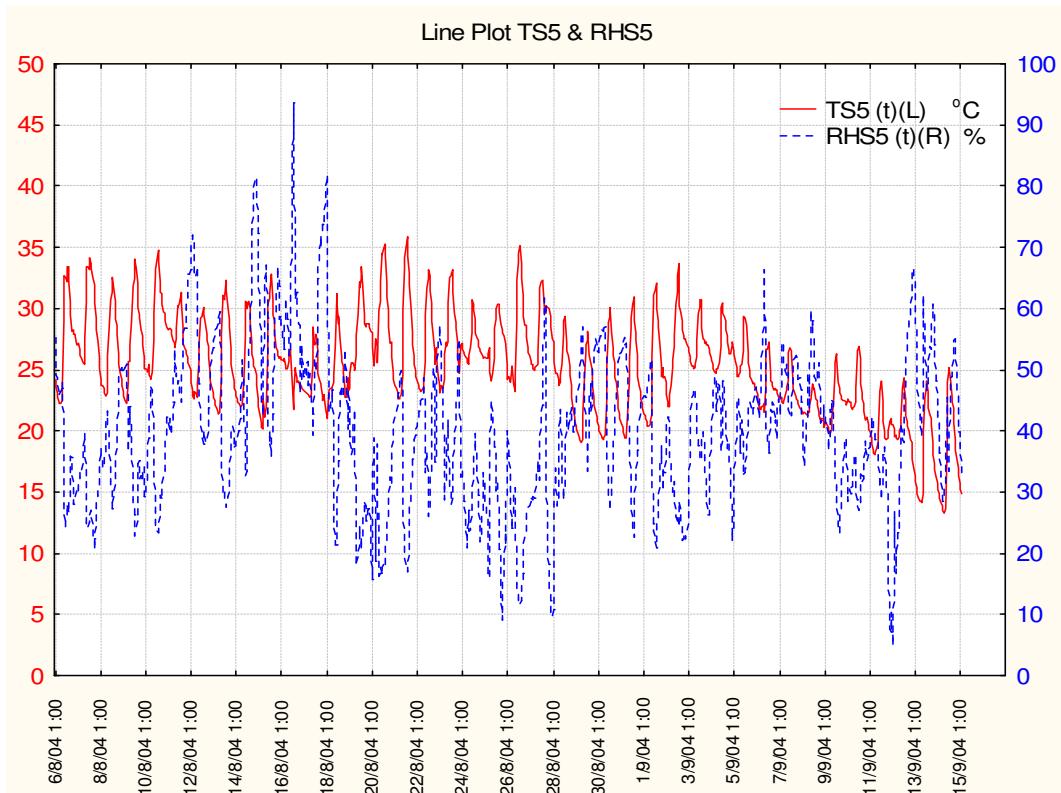
Διάγραμμα 9: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, TS2) και σχετικής υγρασίας (% , RHS2) του σταθμού S2 για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (06/08/04 – 15/09/04) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2004.



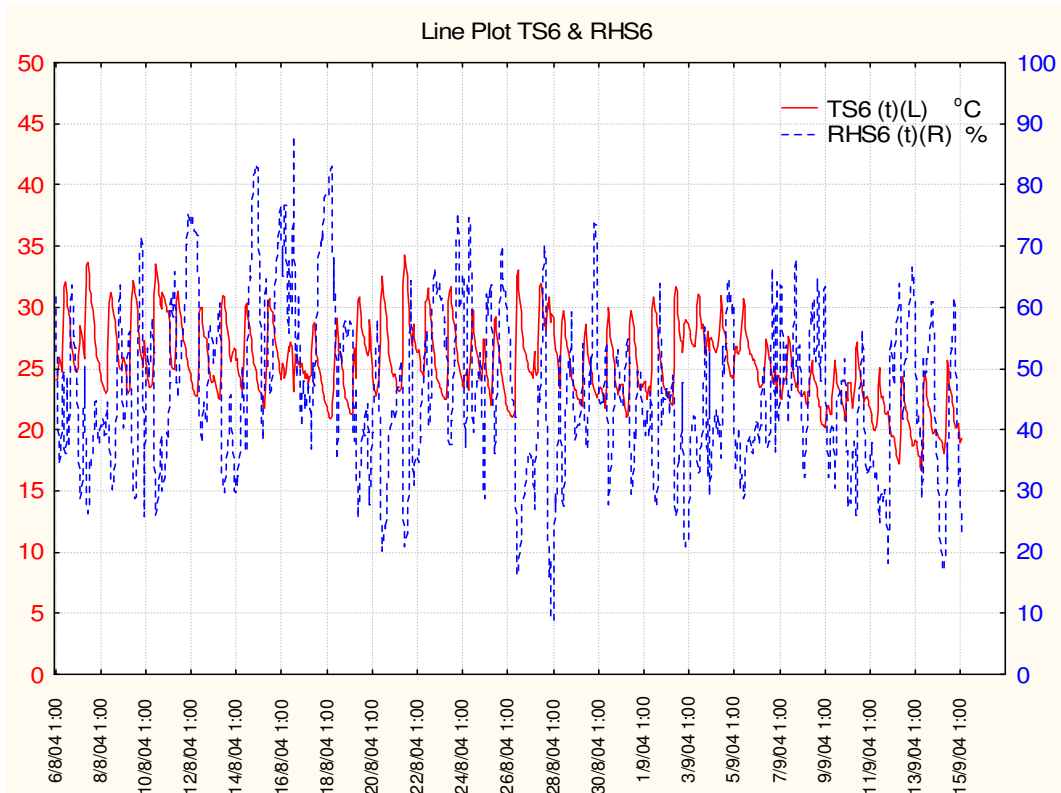
Διάγραμμα 10: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, TS3) και σχετικής υγρασίας (% , RHS3) του σταθμού S3 για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (06/08/04 – 15/09/04) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2004.



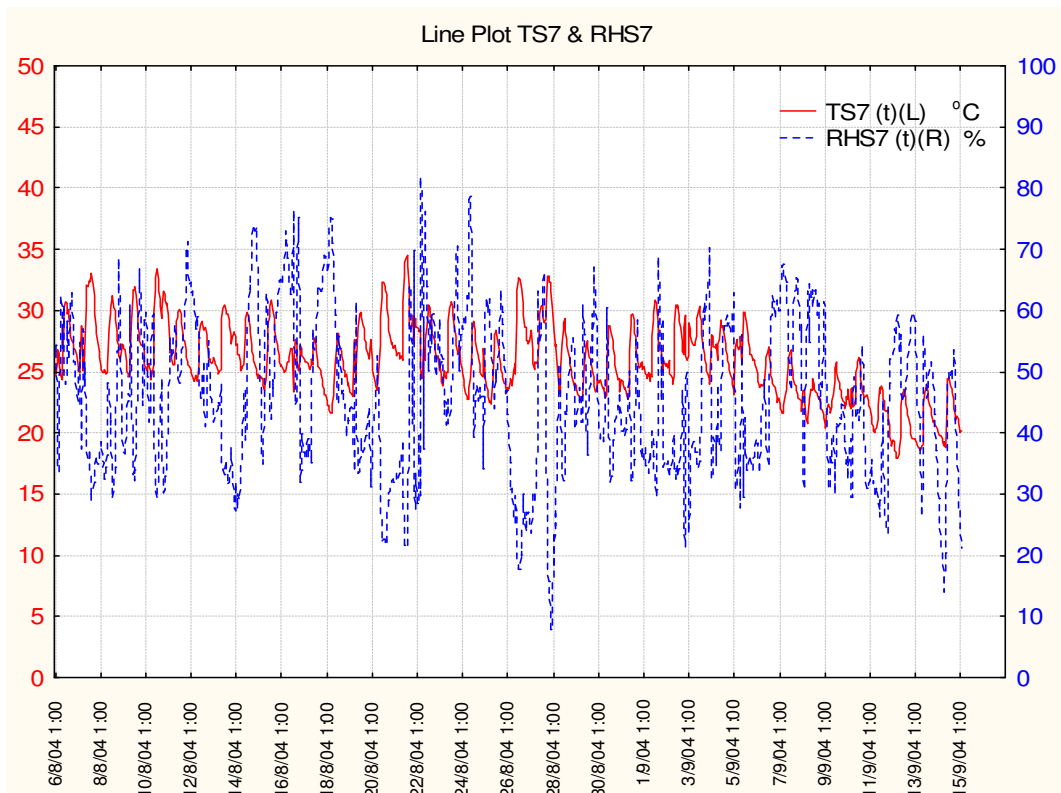
Διάγραμμα 11: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, $TS4$) και σχετικής υγρασίας (% , $RHS4$) του σταθμού $S4$ για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (06/08/04 – 15/09/04) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2004.



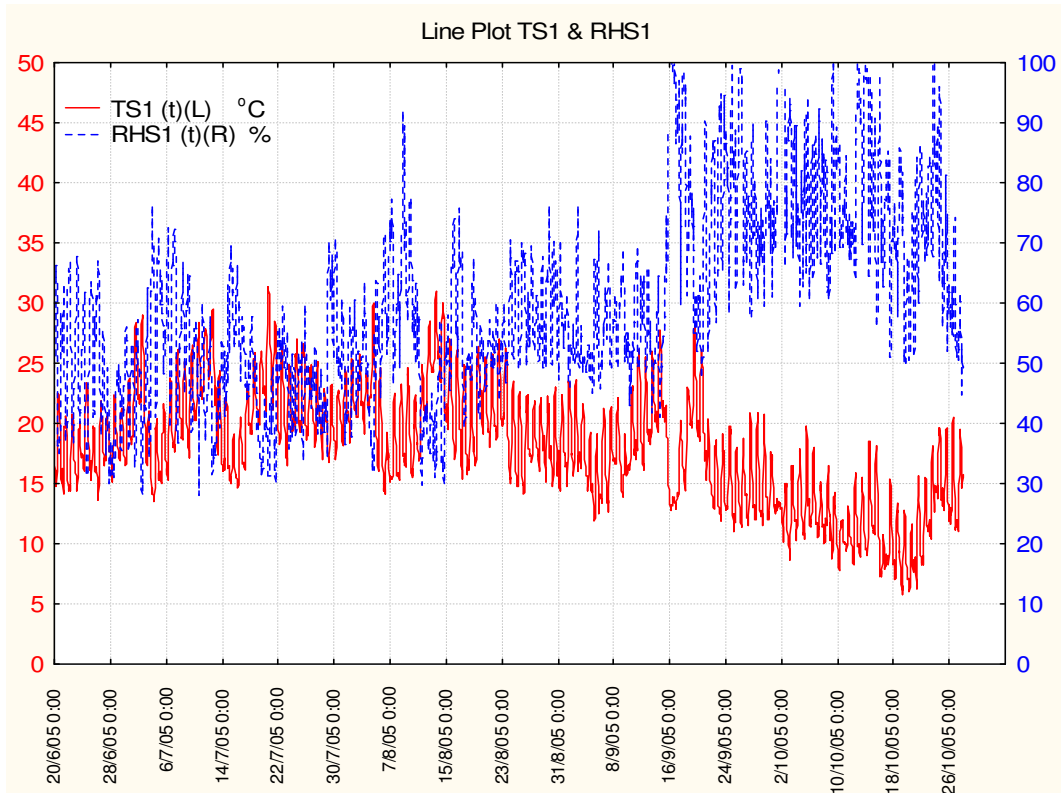
Διάγραμμα 12: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, $TS5$) και σχετικής υγρασίας (% , $RHS5$) του σταθμού $S5$ για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (06/08/04 – 15/09/04) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2004.



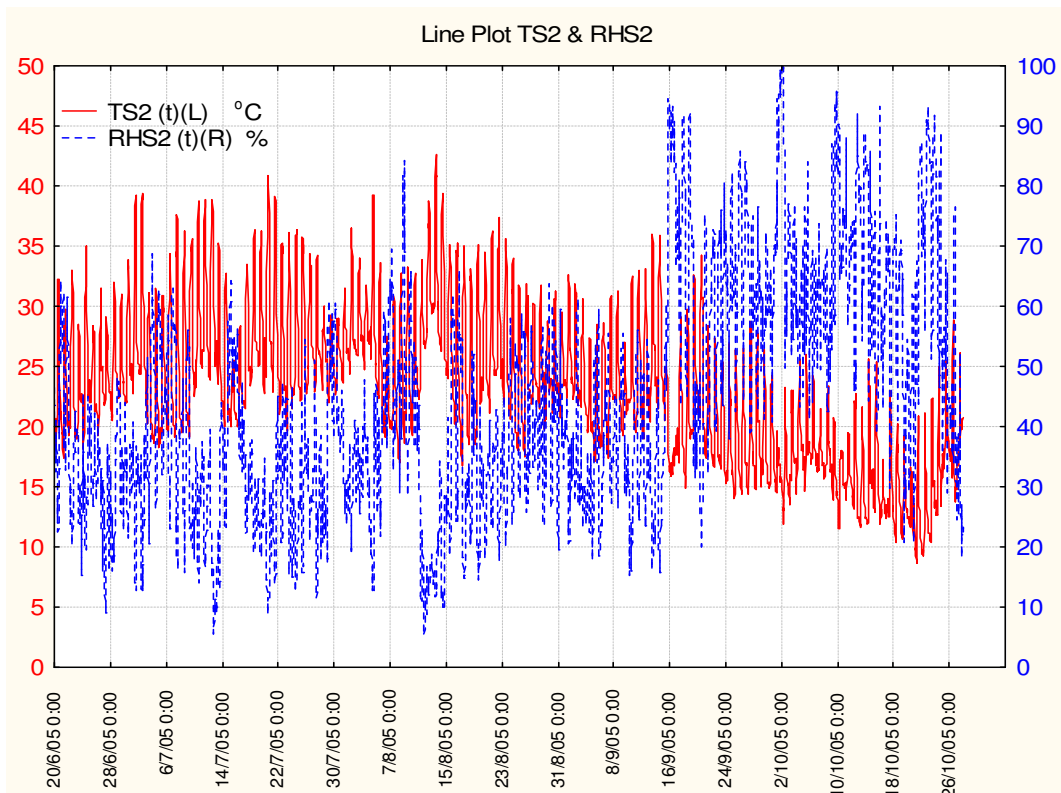
Διάγραμμα 13: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, TS6) και σχετικής υγρασίας (% , RHS6) του σταθμού S6 για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (06/08/04 – 15/09/04) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2004.



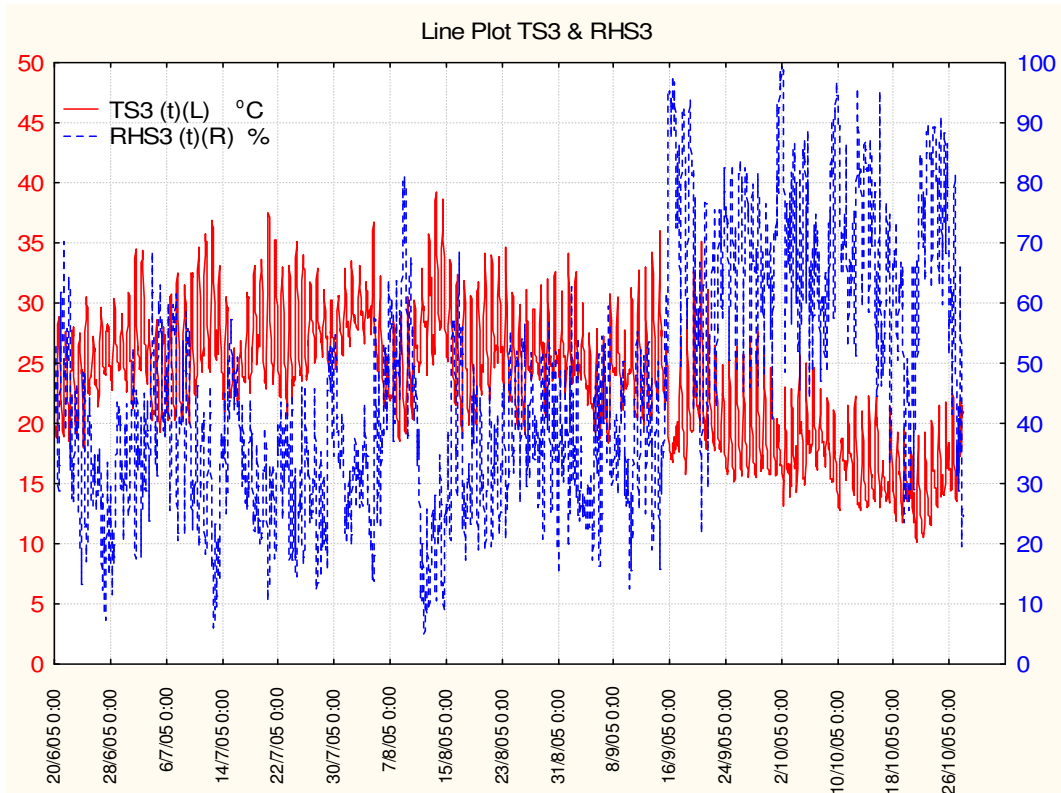
Διάγραμμα 14: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, TS7) και σχετικής υγρασίας (% , RHS7) του σταθμού S7 για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (06/08/04 – 15/09/04) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2004.



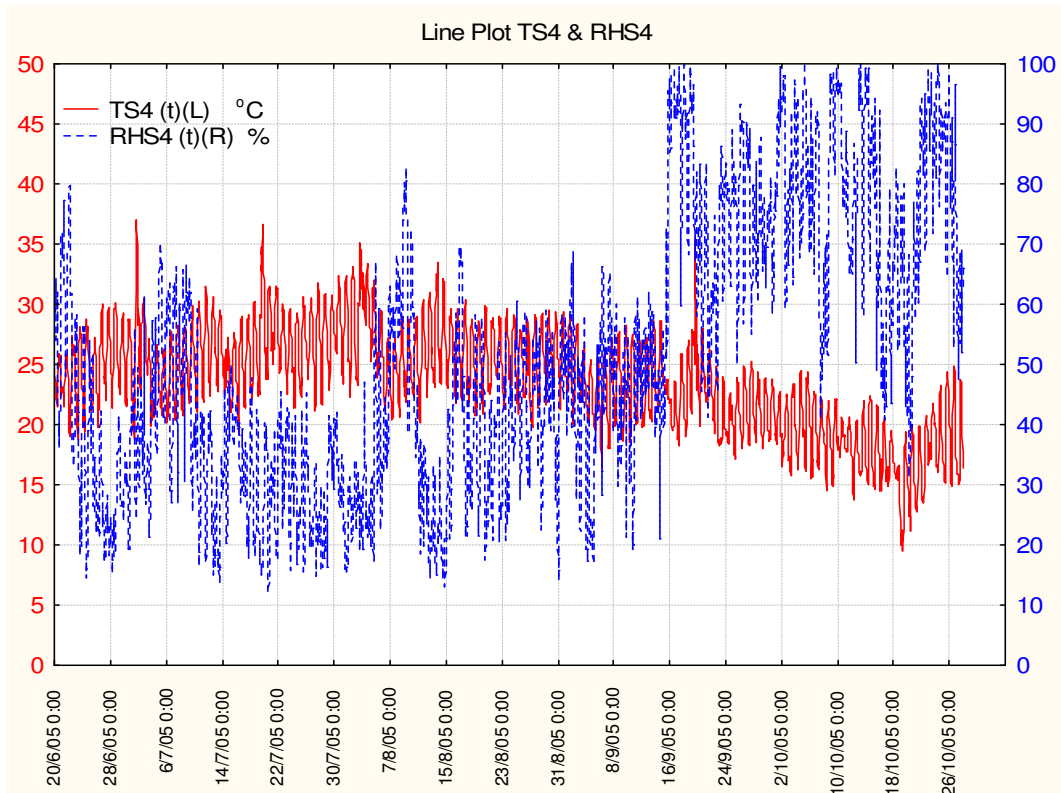
Διάγραμμα 15: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, $TS1$) και σχετικής υγρασίας (% $RHS1$) του σταθμού $S1$ για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (20/06/05 – 27/10/05) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2005.



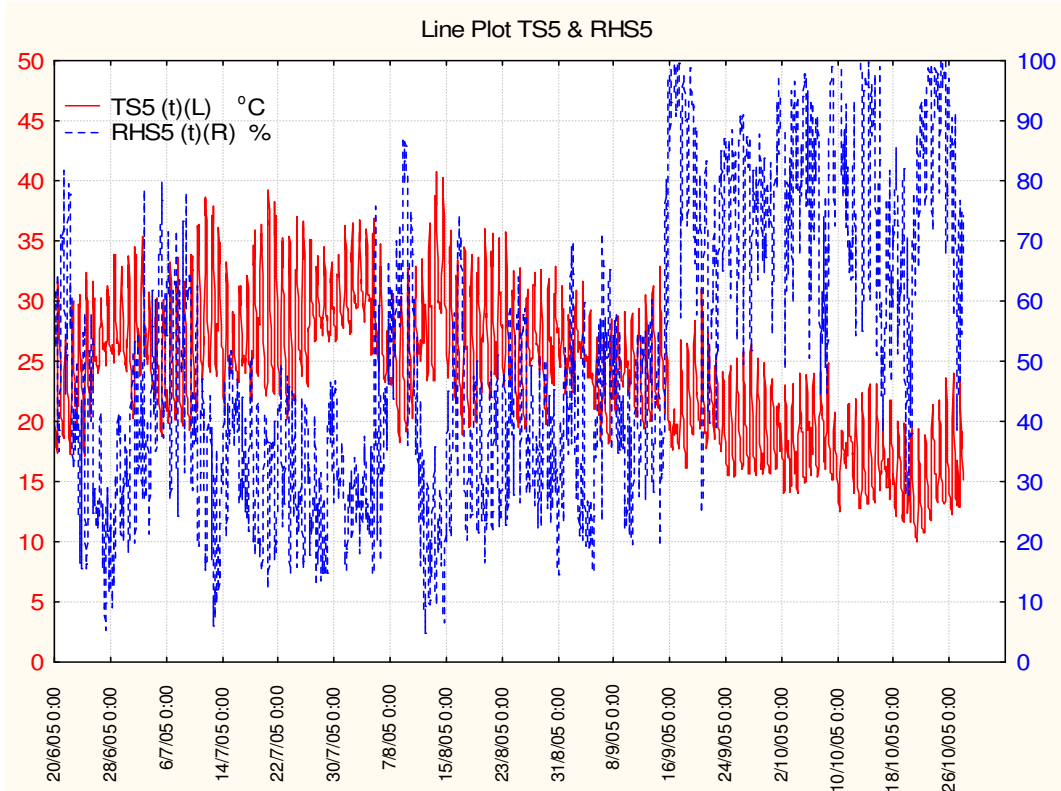
Διάγραμμα 16: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, $TS2$) και σχετικής υγρασίας (% $RHS2$) του σταθμού $S2$ για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (20/06/05 – 27/10/05) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2005.



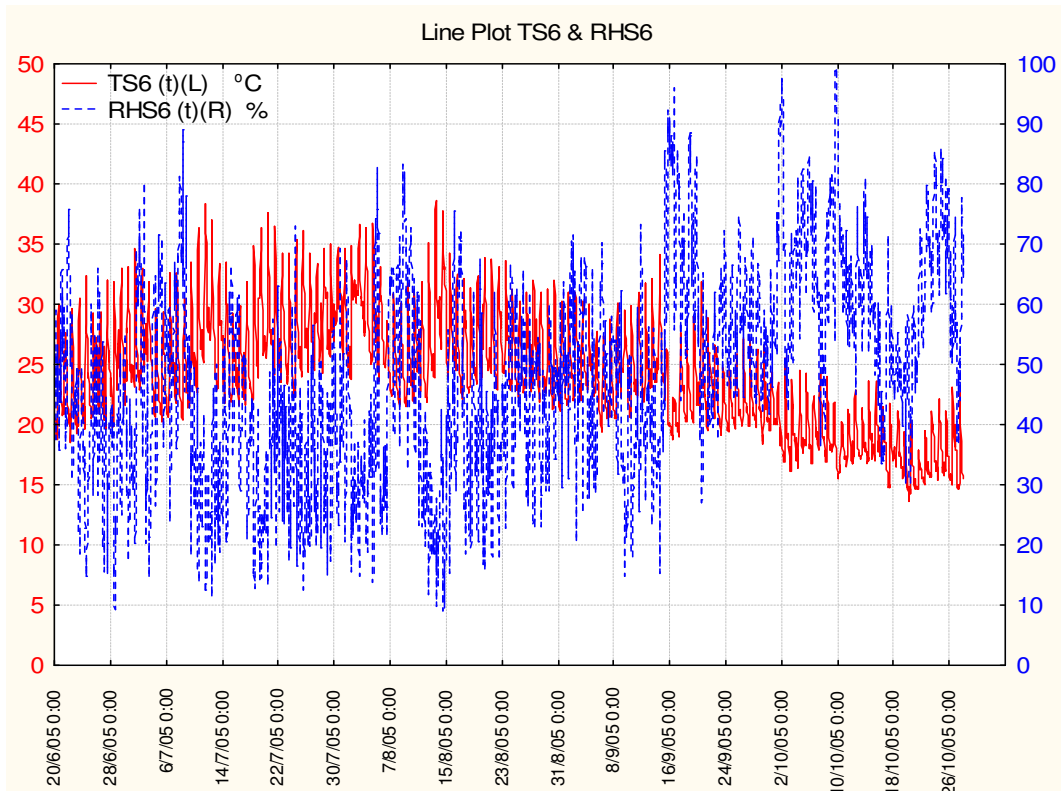
Διάγραμμα 17: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, $TS3$) και σχετικής υγρασίας (% $RHS3$) του σταθμού $S3$ για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (20/06/05 – 27/10/05) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2005.



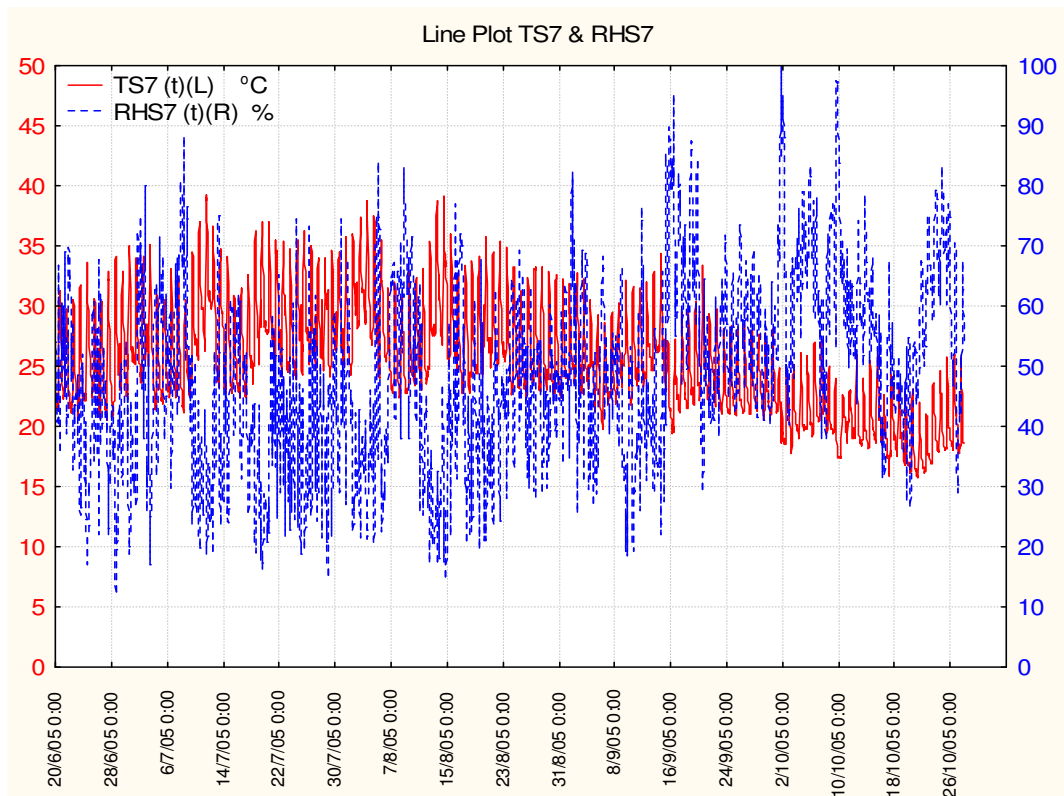
Διάγραμμα 18: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, $TS4$) και σχετικής υγρασίας (% $RHS4$) του σταθμού $S4$ για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (20/06/05 – 27/10/05) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2005.



Διάγραμμα 19: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, $TS5$) και σχετικής υγρασίας (% $RHS5$) του σταθμού $S5$ για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (20/06/05 – 27/10/05) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2005.

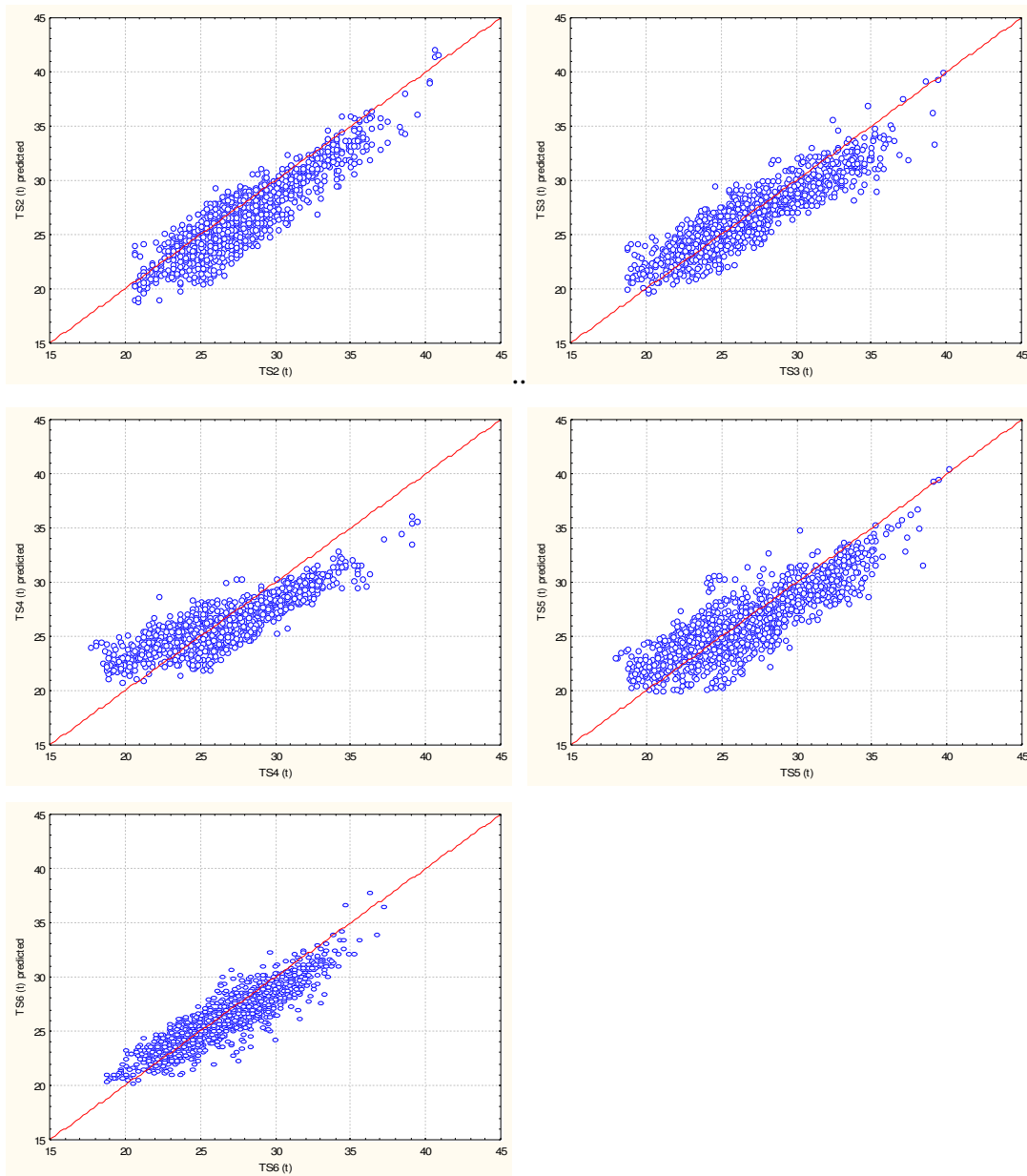


Διάγραμμα 20: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, $TS6$) και σχετικής υγρασίας (% $RHS6$) του σταθμού $S6$ για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (20/06/05 – 27/10/05) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2005.

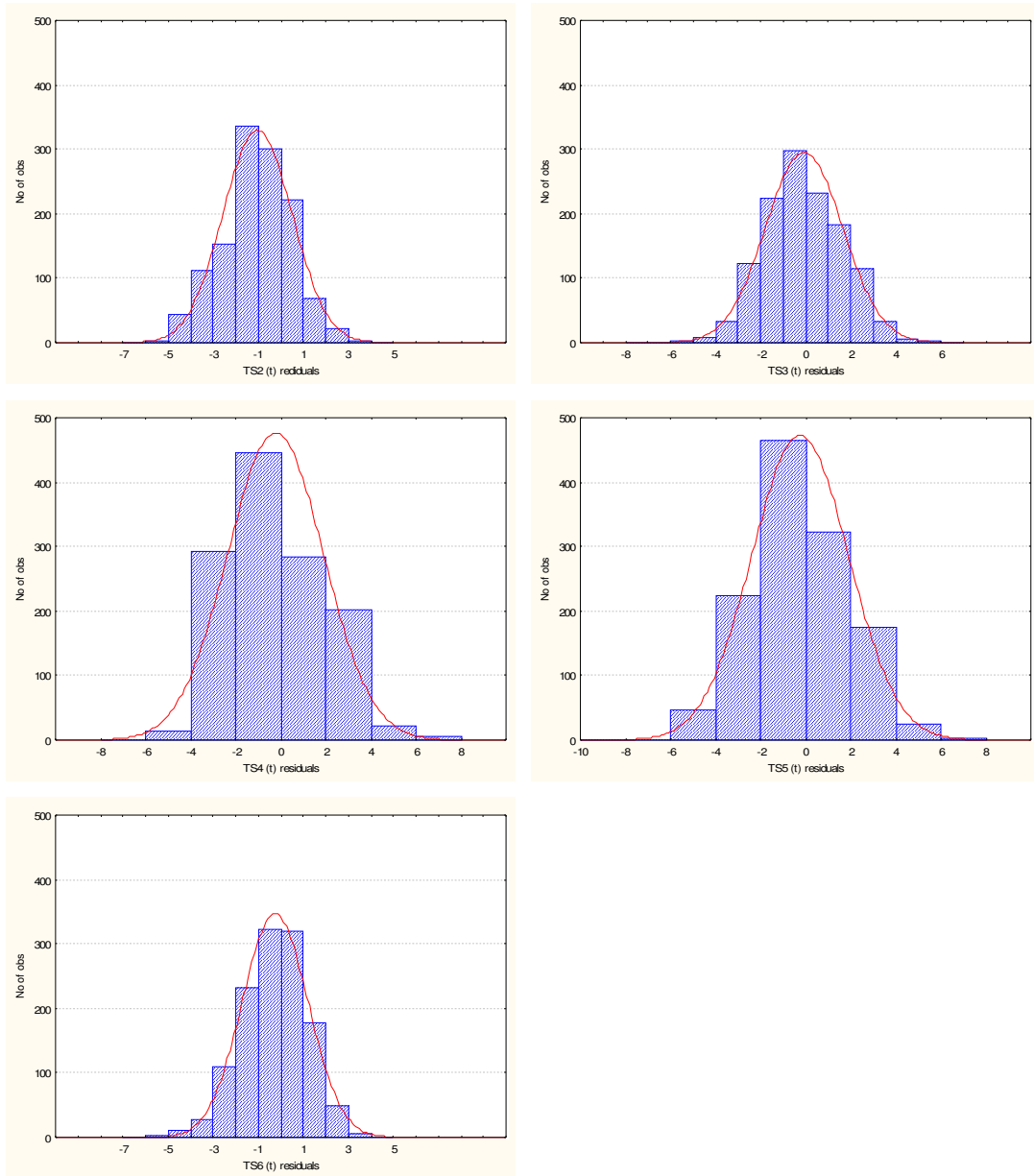


Διάγραμμα 21: Απεικόνιση δεδομένων θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$, TS7) και σχετικής υγρασίας (% , RHS7) του σταθμού S7 για το χρονικό διάστημα της ταυτόχρονης λειτουργίας (20/06/05 – 27/10/05) όλων των σταθμών του φαραγγιού της Σαμαριάς του έτους 2005.

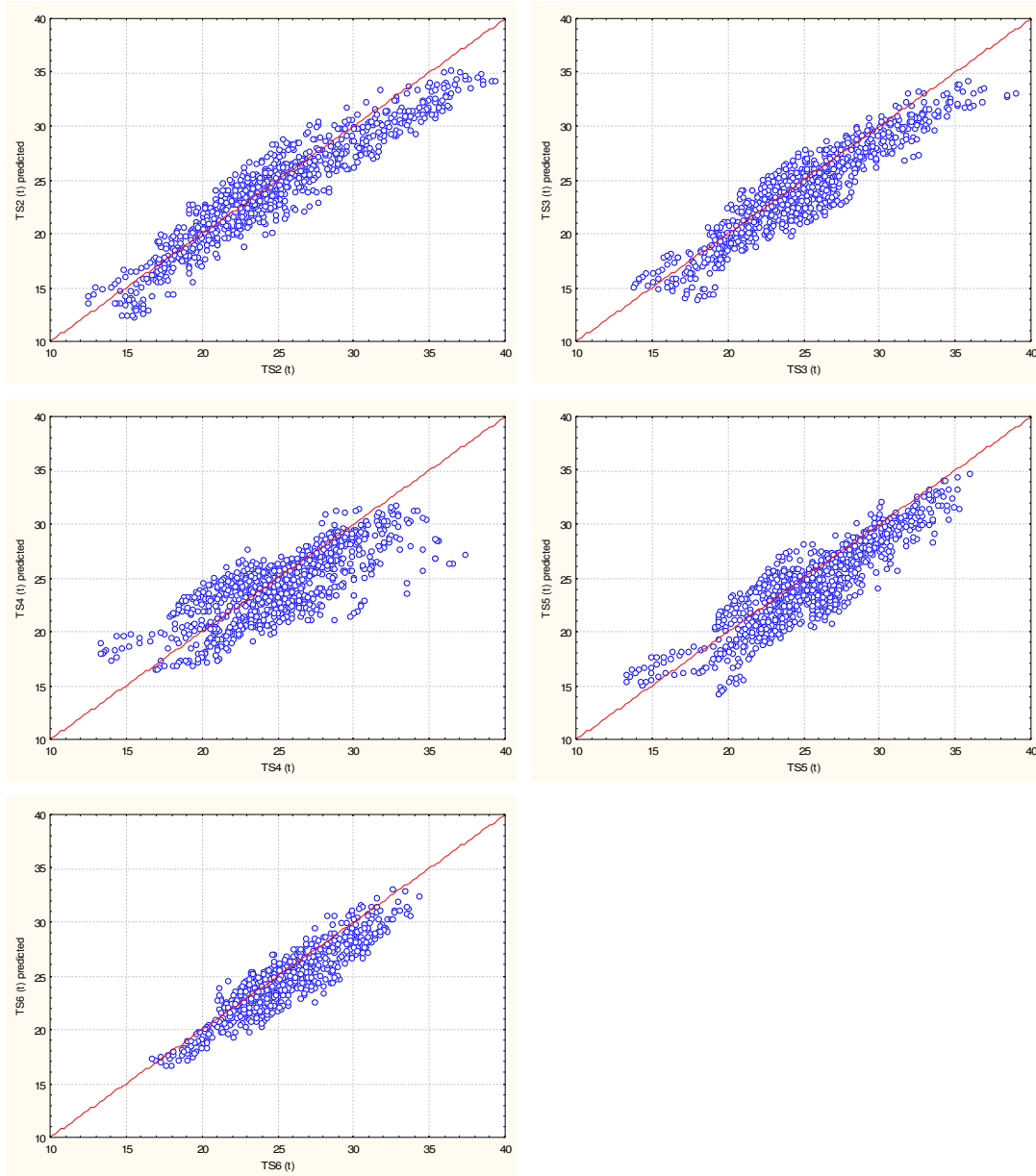
Παράρτημα II



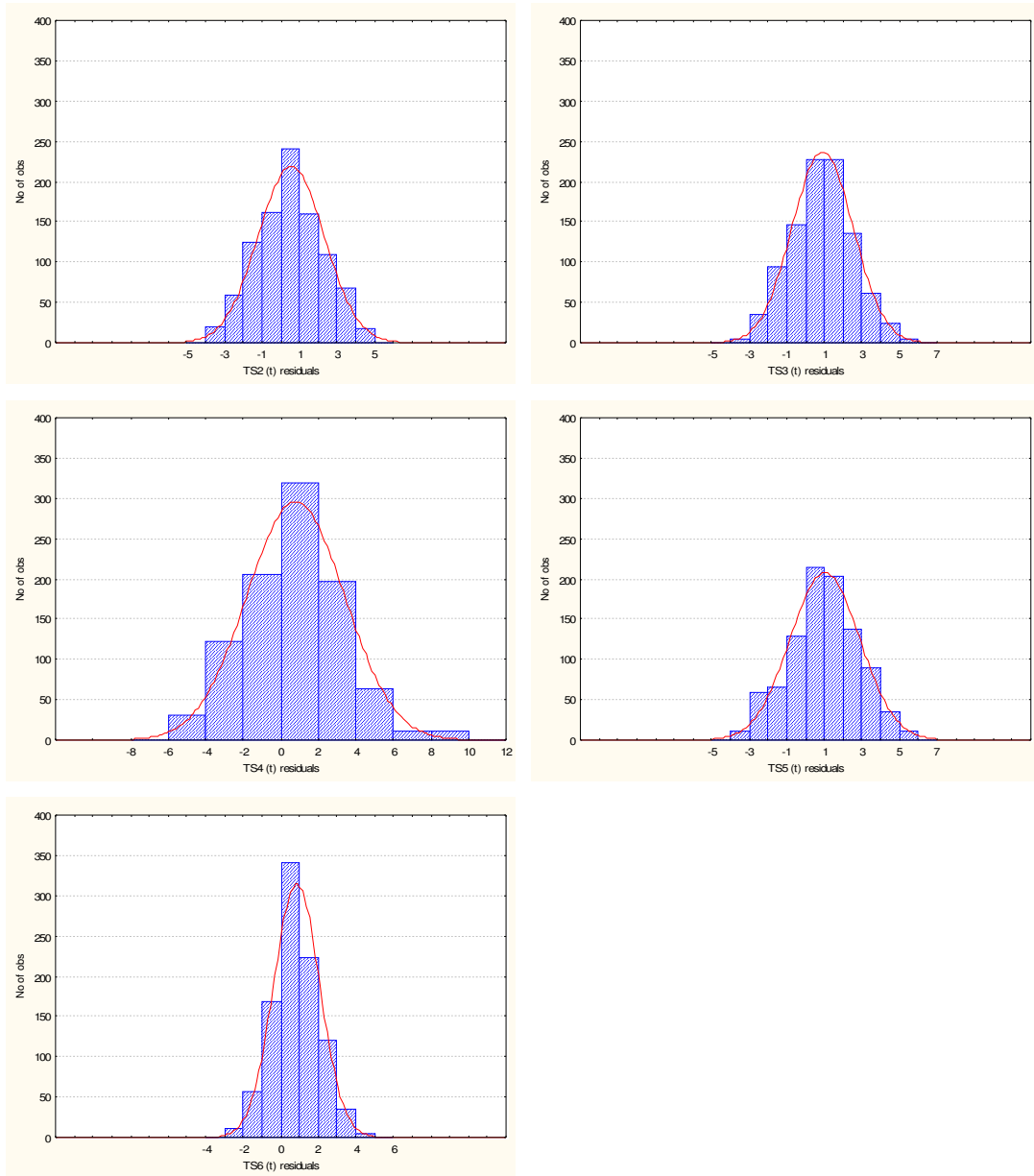
Διάγραμμα 1: Διασπορά μετρημένων και εκτιμημένων τιμών θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}C$) με το μοντέλο AT3 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για το σύνολο των δεδομένων του έτους 2003.



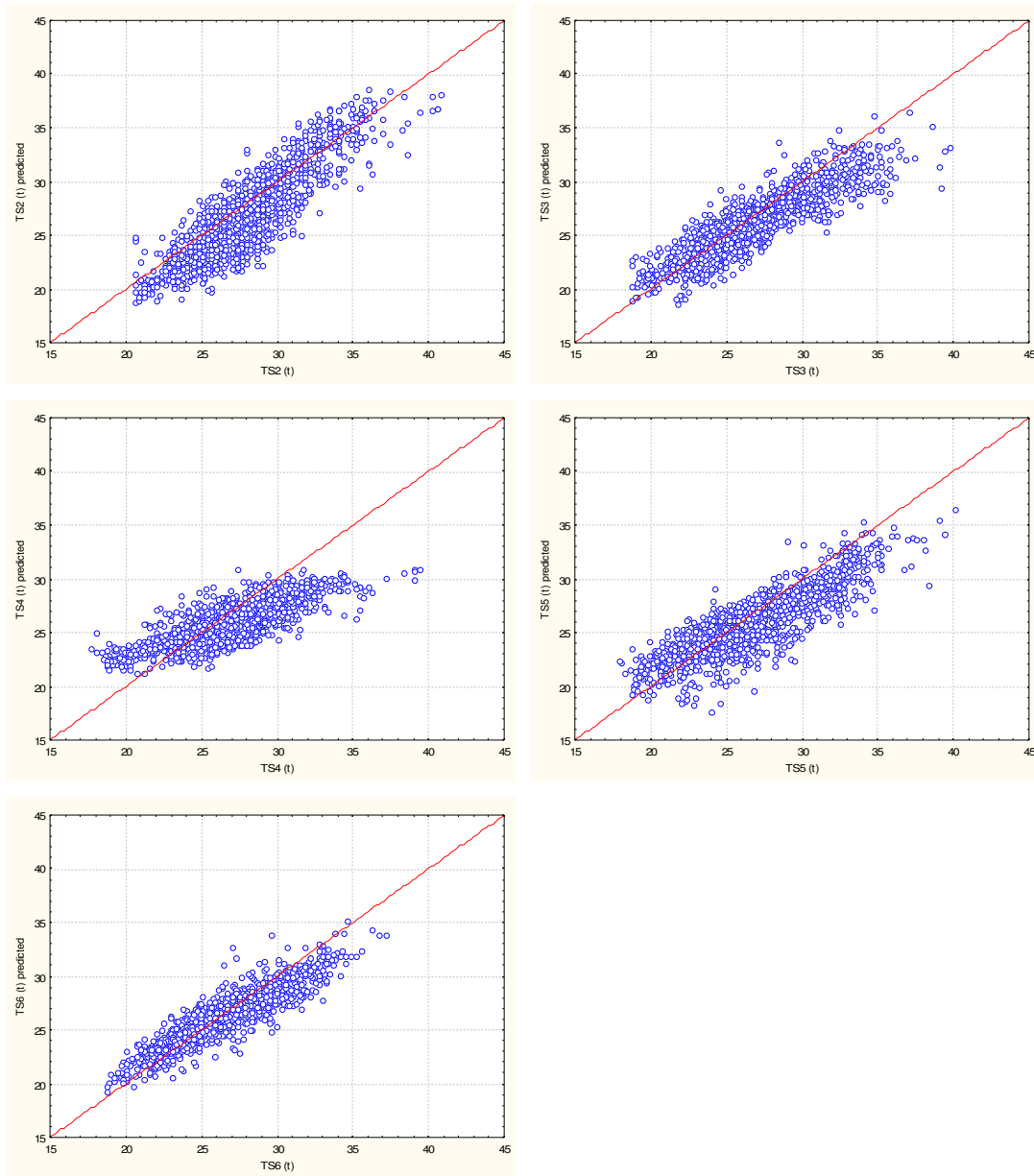
Διάγραμμα 2: Ιστογράμματα κατανομής υπολοίπων της εκτίμησης της θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}C$) με το μοντέλο AT3 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για το σύνολο των δεδομένων του έτους 2003.



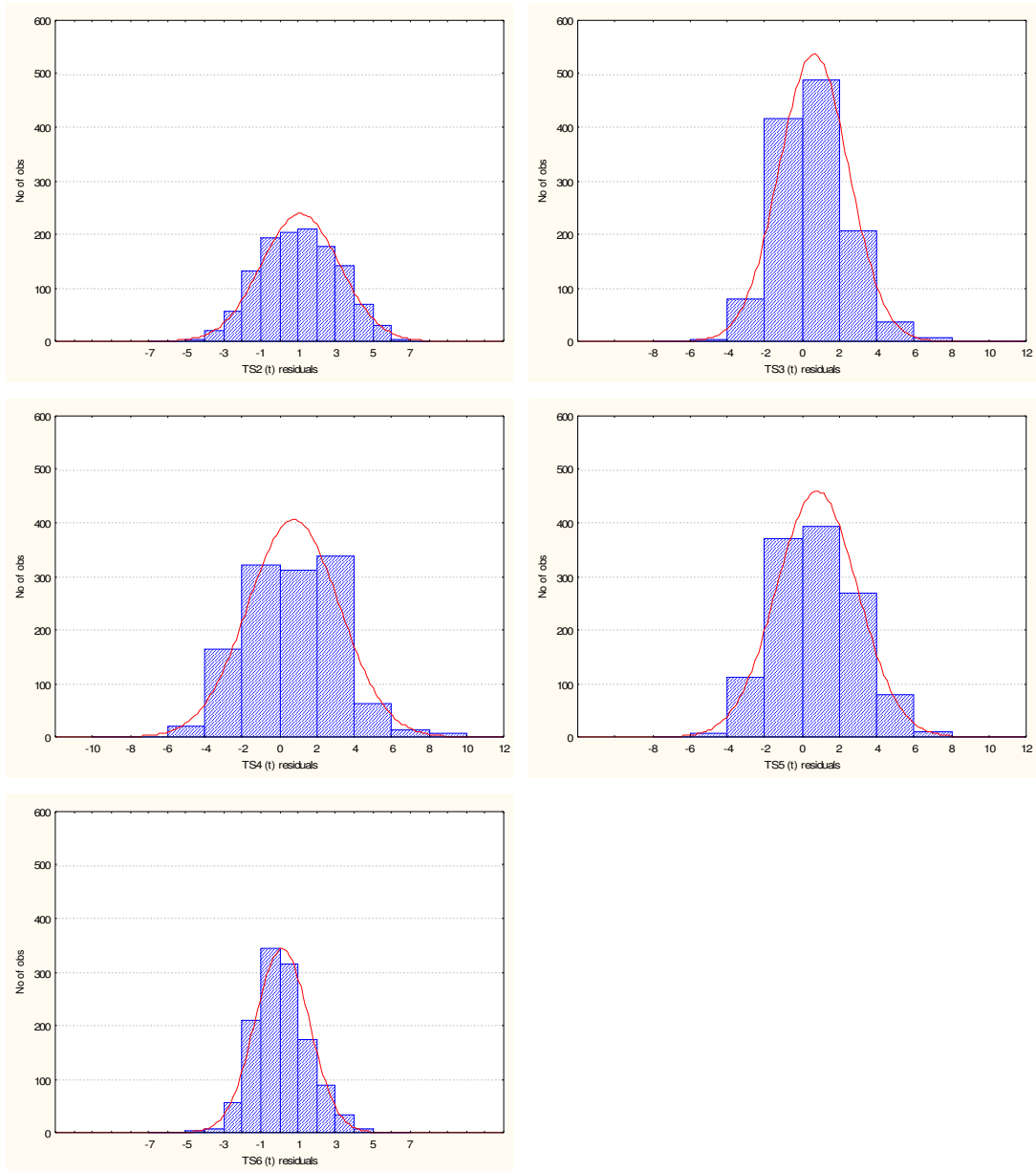
Διάγραμμα 3: Διασπορά μετρημένων και εκτιμημένων τιμών θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}C$) με το μοντέλο AT3 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για το σύνολο των δεδομένων του έτους 2004.



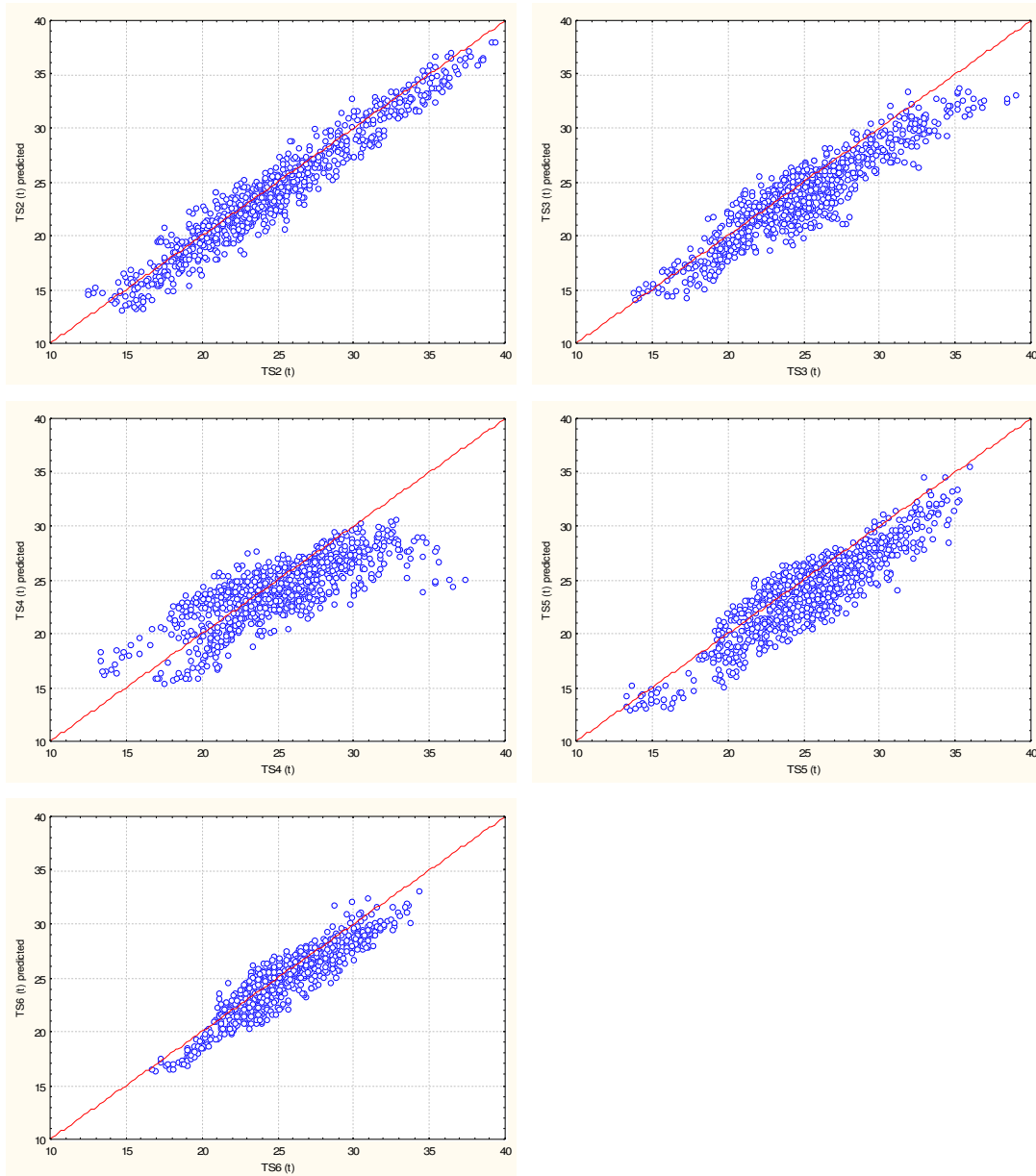
Διάγραμμα 4: Ιστογράμματα κατανομής υπολοίπων της εκτίμησης της θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$) με το μοντέλο AT3 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για το σύνολο των δεδομένων του έτους 2004.



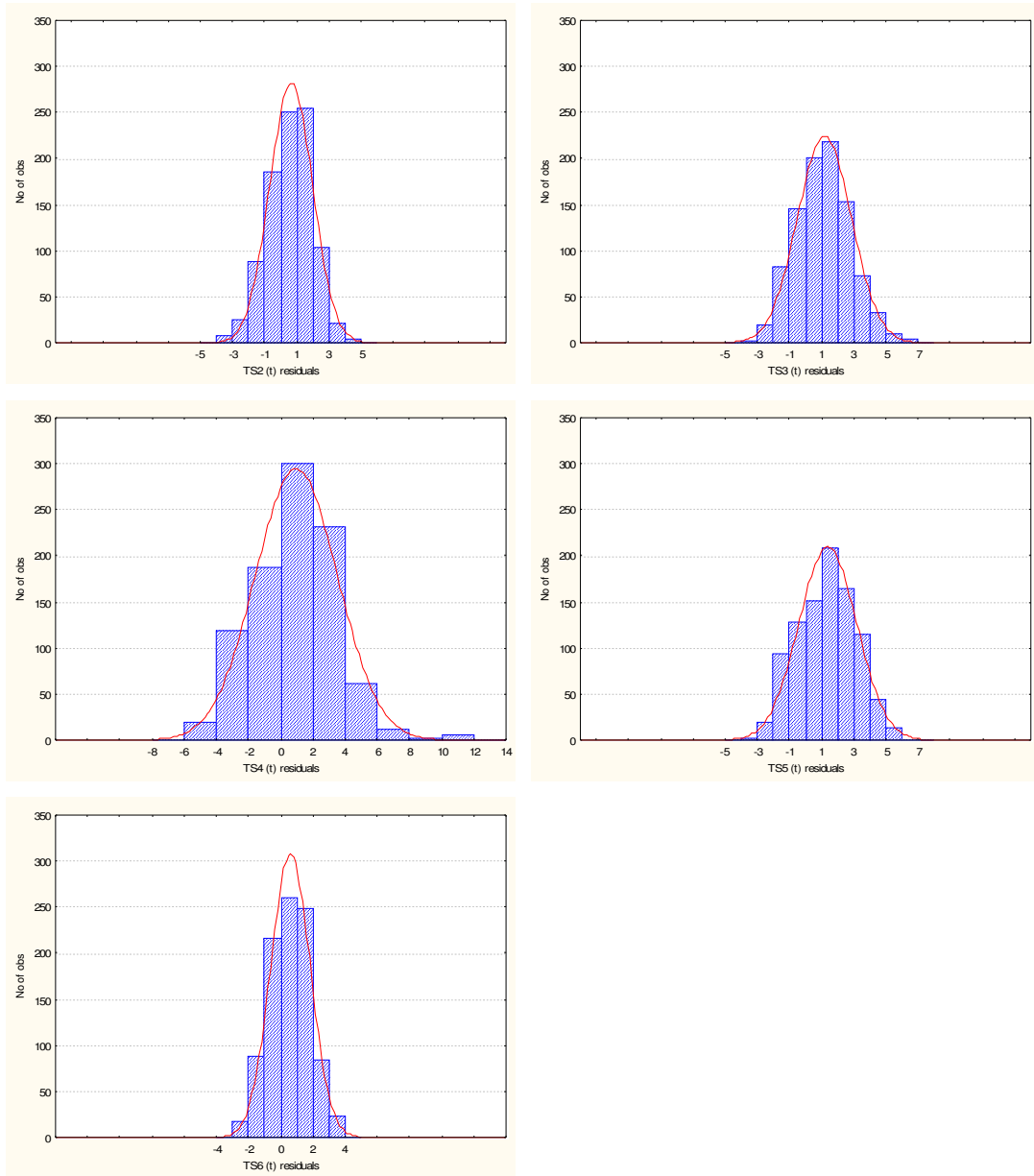
Διάγραμμα 5: Διασπορά μετρημένων και εκτιμημένων τιμών θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}C$) με το μοντέλο AT6 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για το σύνολο των δεδομένων του έτους 2003.



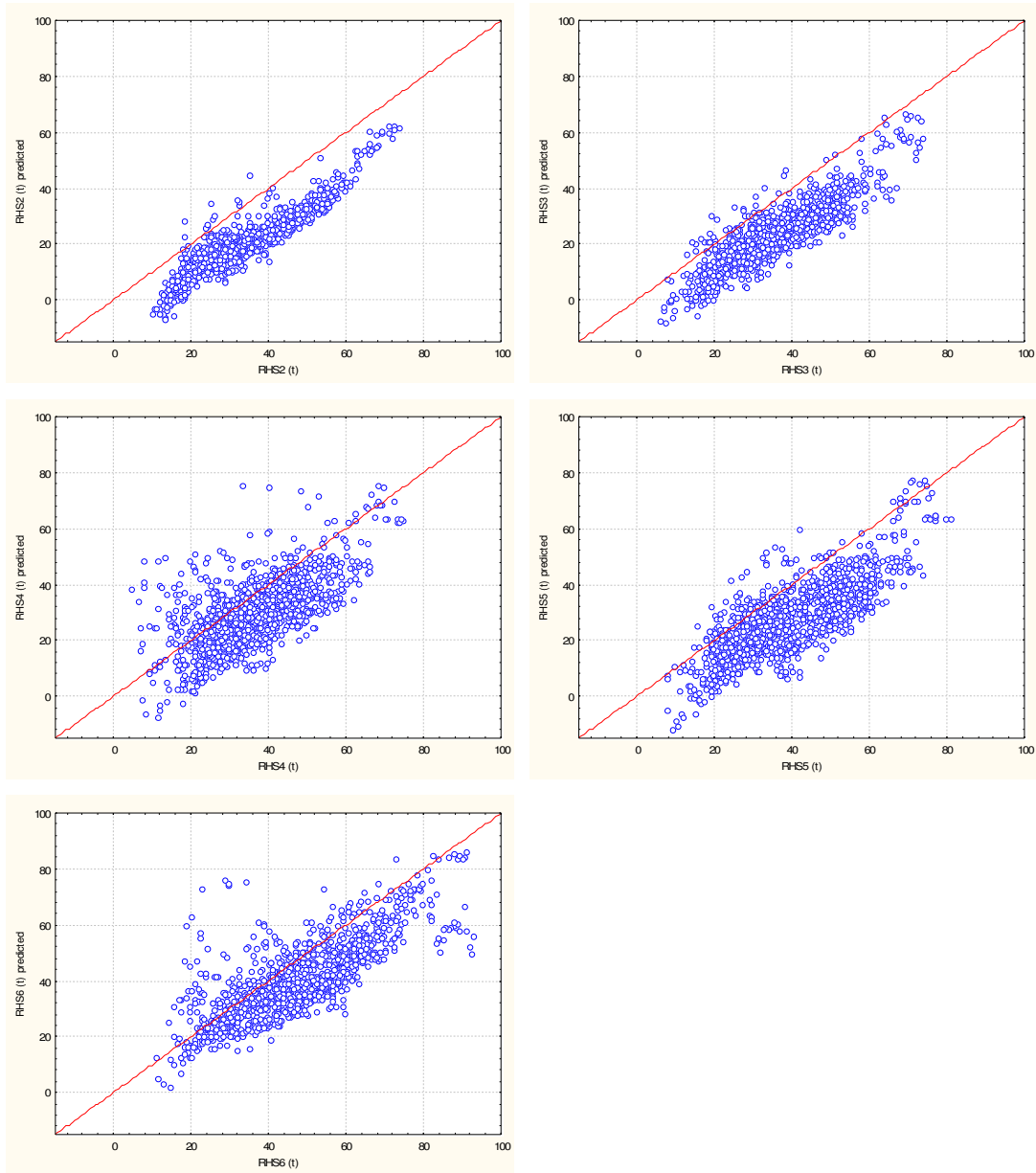
Διάγραμμα 6: Ιστογράμματα κατανομής υπολοίπων της εκτίμησης της θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}C$) με το μοντέλο AT6 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για το σύνολο των δεδομένων του έτους 2003.



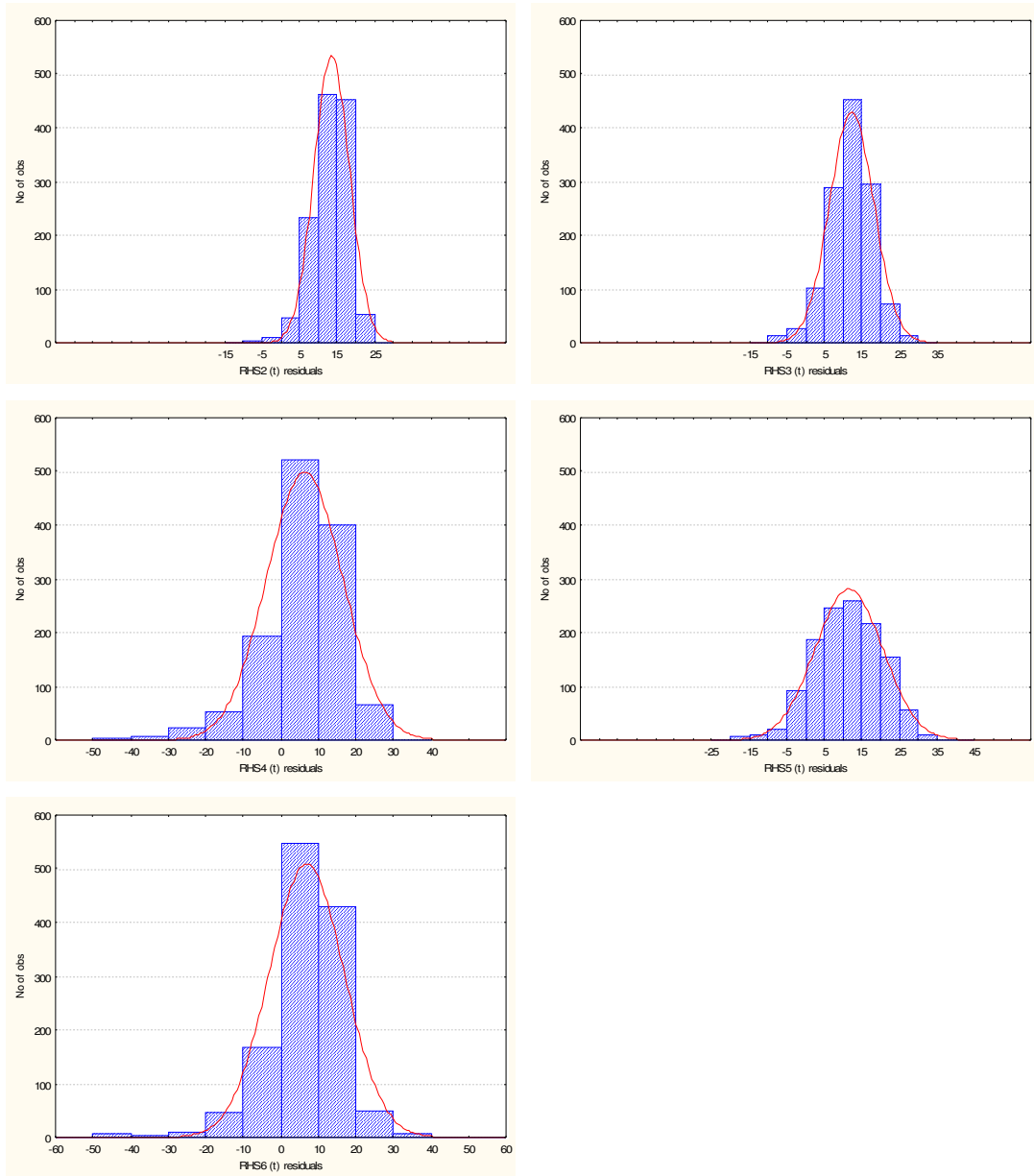
Διάγραμμα 7: Διασπορά μετρημένων και εκτιμημένων τιμών θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}C$) με το μοντέλο AT6 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για το σύνολο των δεδομένων του έτους 2004.



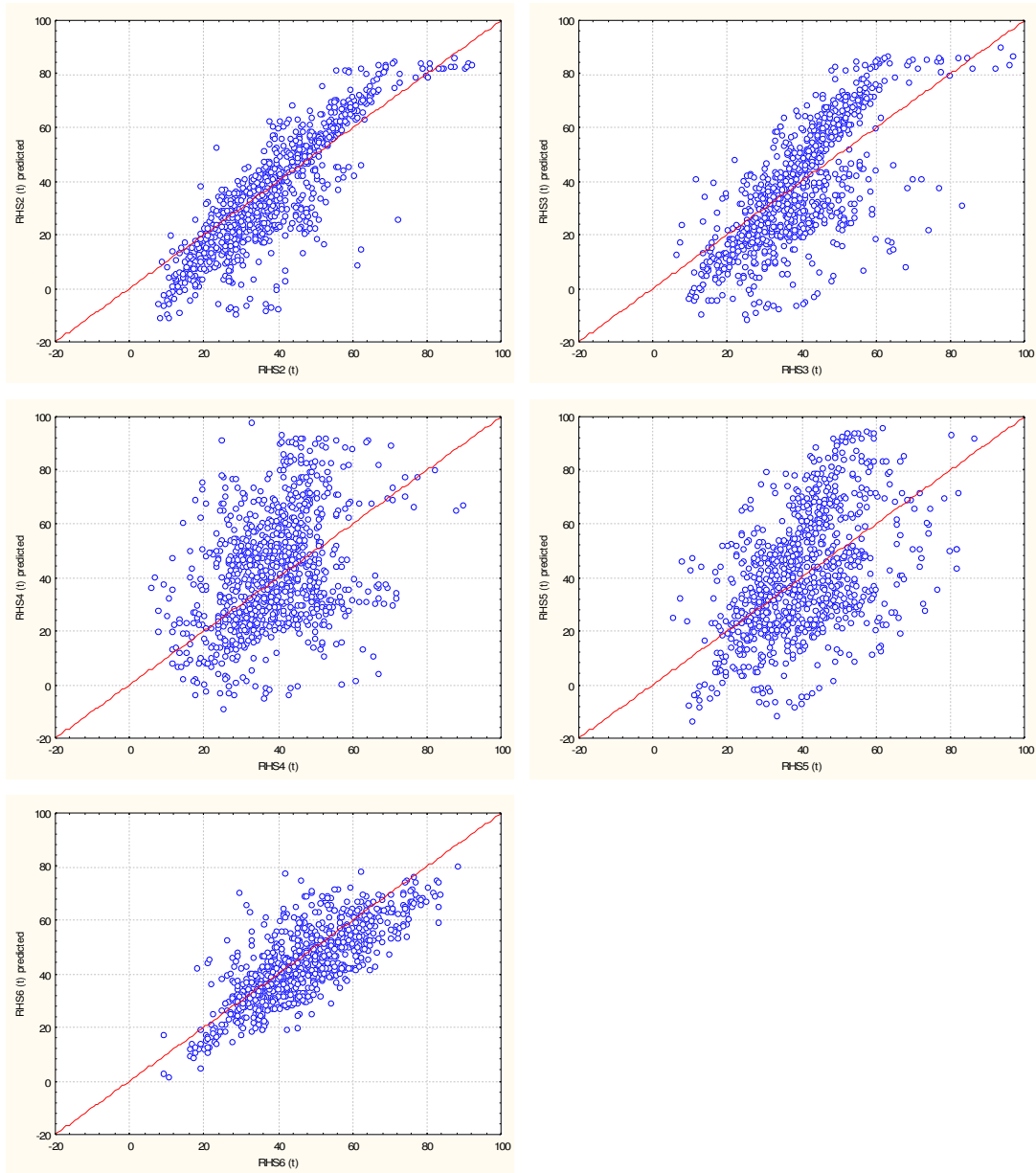
Διάγραμμα 8: Ιστογράμματα κατανομής υπολοίπων της εκτίμησης της θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}C$) με το μοντέλο AT6 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για το σύνολο των δεδομένων του έτους 2004.



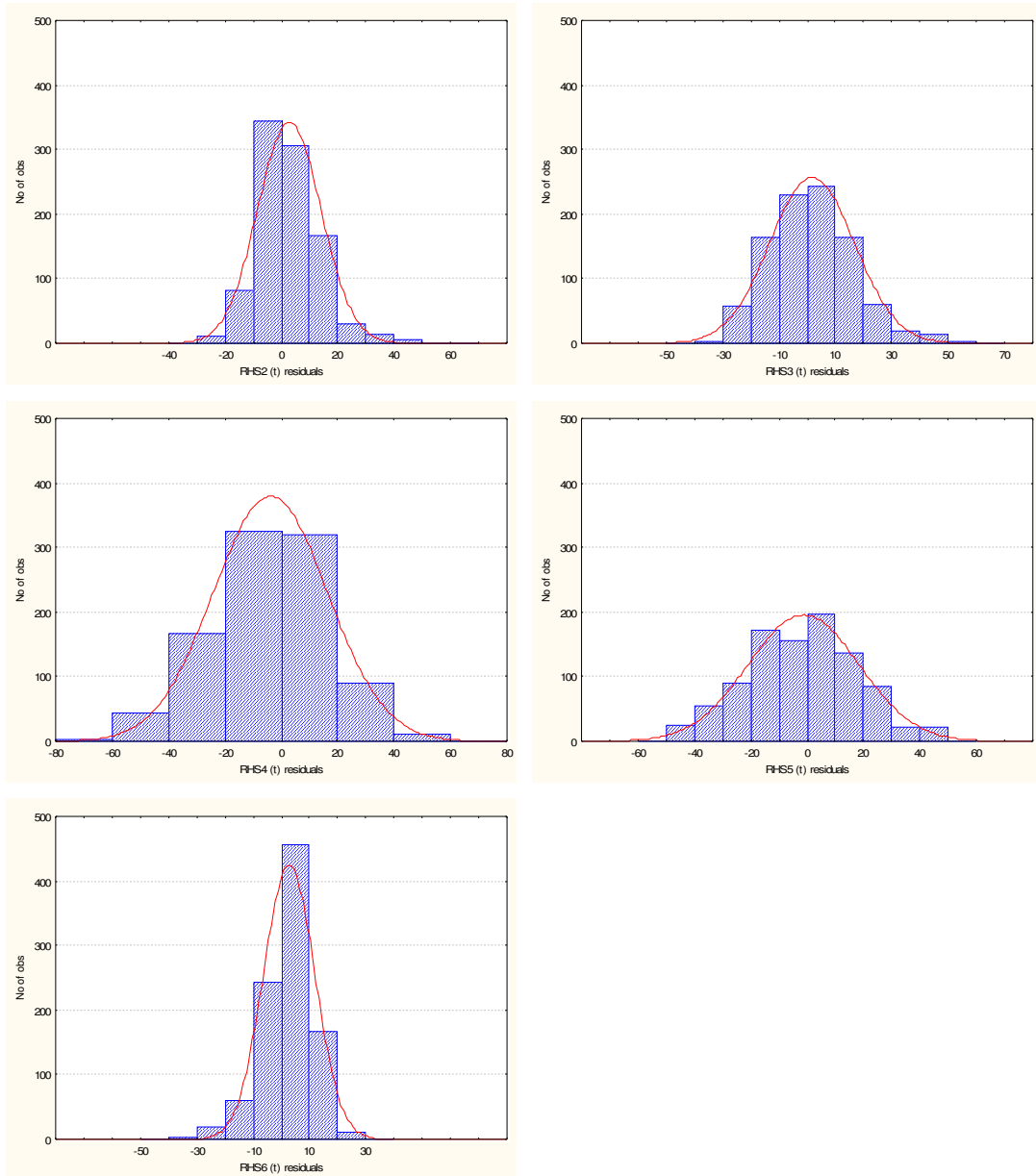
Διάγραμμα 9: Διασπορά μετρημένων και εκτιμημένων τιμών σχετικής υγρασίας αέρος (%) με το μοντέλο ARH3 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για το σύνολο των δεδομένων του έτους 2003.



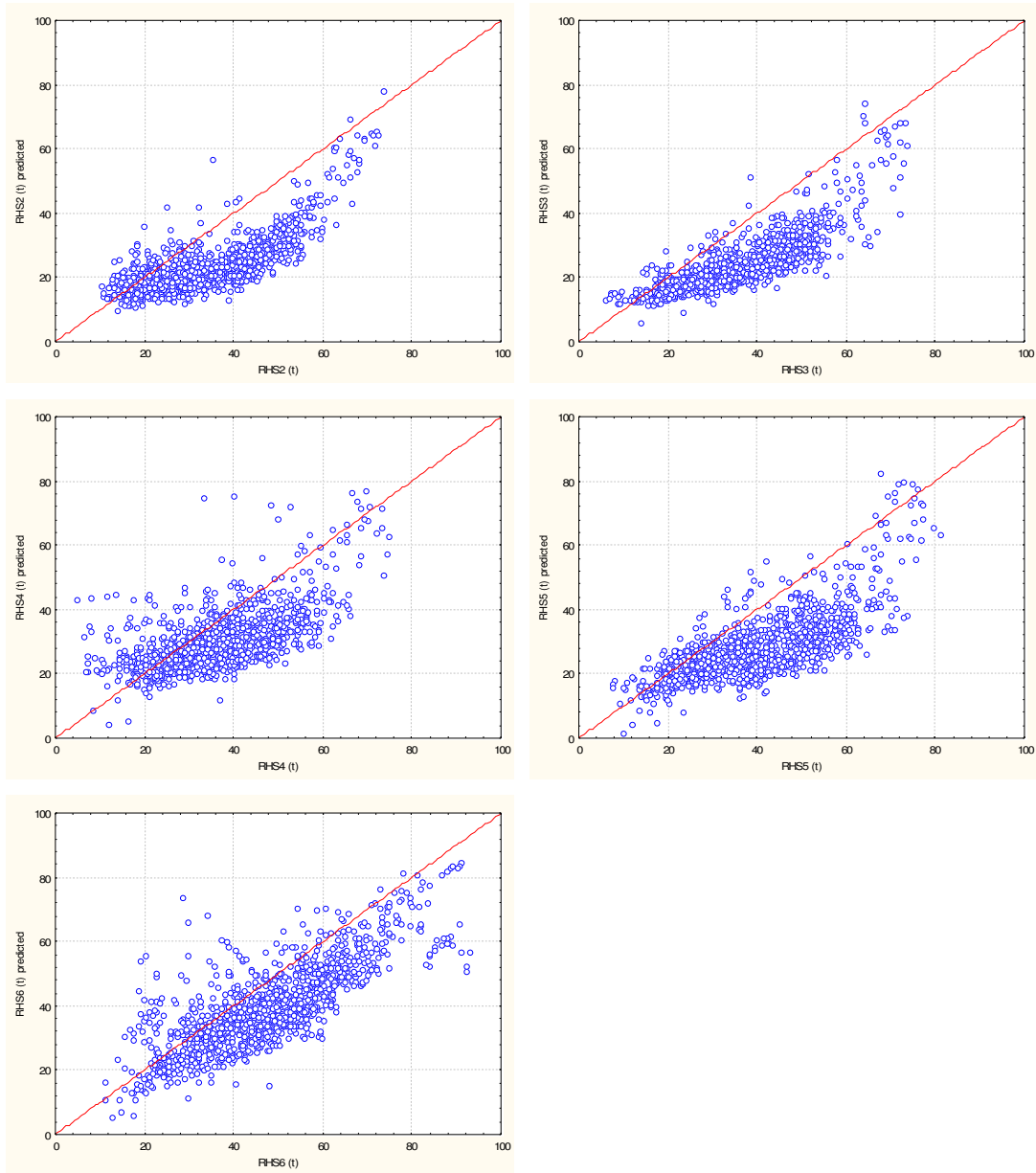
Διάγραμμα 10: Ιστογράμματα κατανομής υπολοίπων της εκτίμησης της σχετικής υγρασίας αέρος (%) με το μοντέλο ARH3 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για το σύνολο των δεδομένων του έτους 2003.



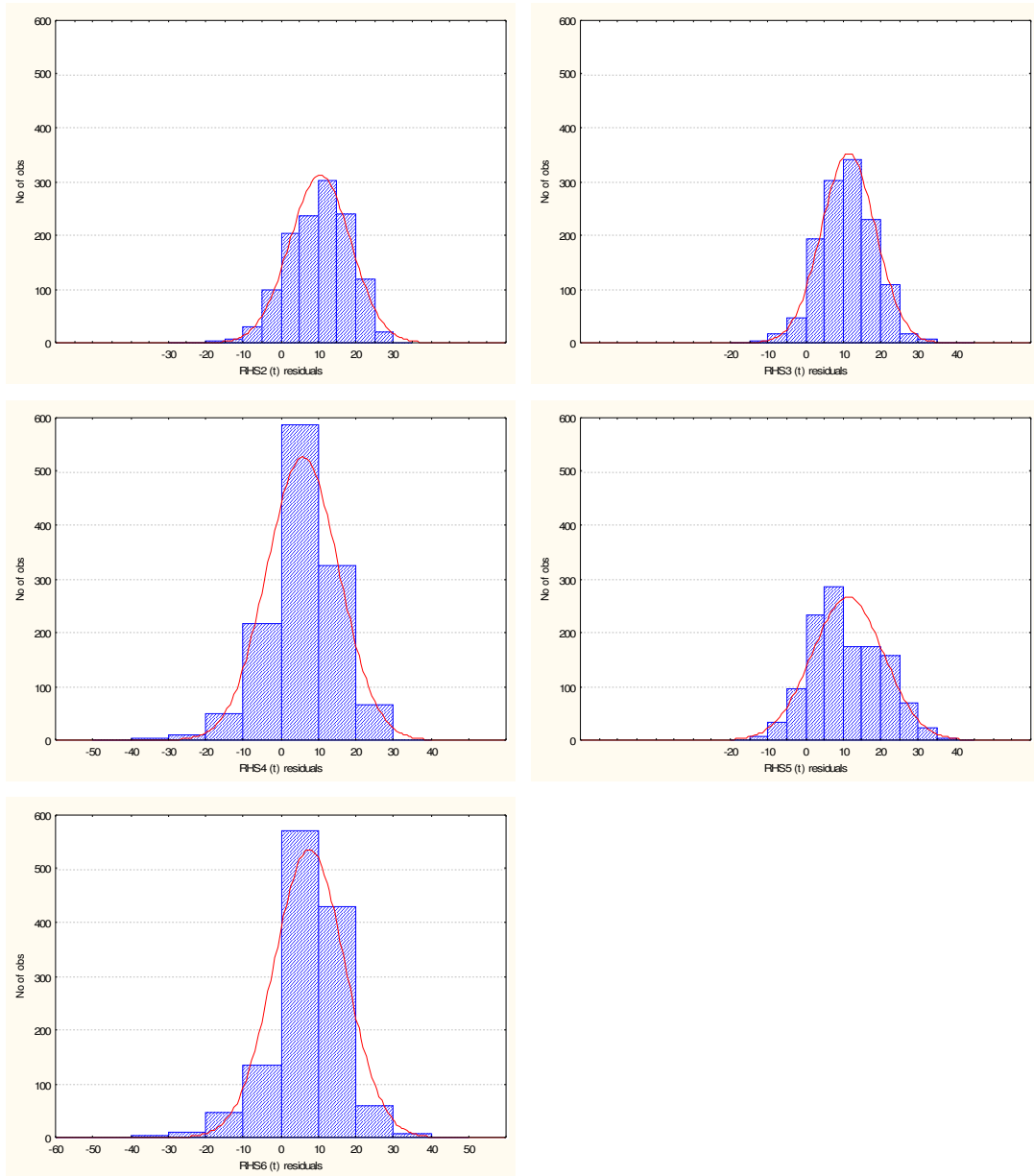
Διάγραμμα 11: Διασπορά μετρημένων και εκτιμημένων τιμών σχετικής υγρασίας αέρος (%) με το μοντέλο ARH3 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για το σύνολο των δεδομένων του έτους 2004.



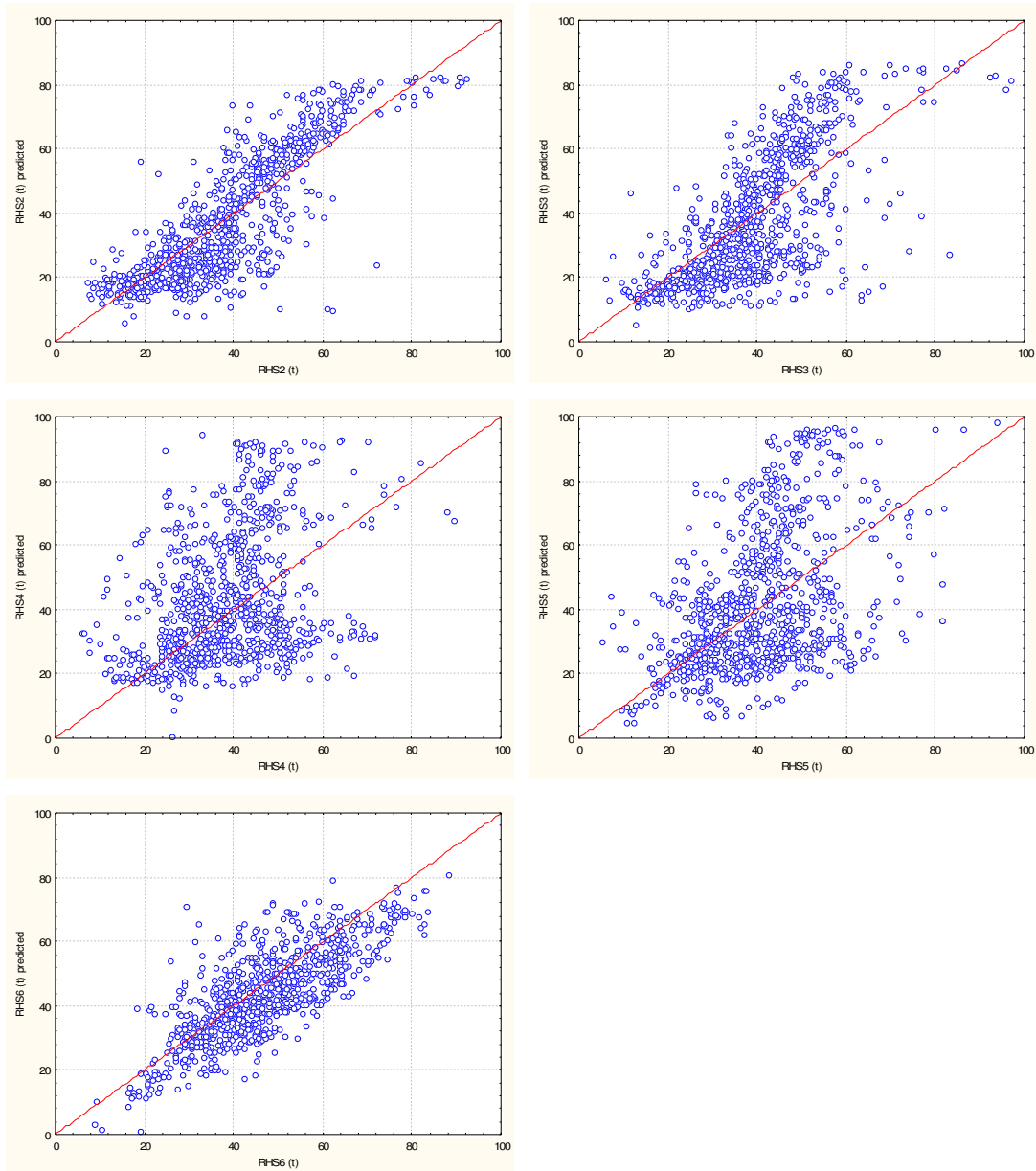
Διάγραμμα 12: Ιστογράμματα κατανομής υπολοίπων της εκτίμησης της σχετικής υγρασίας αέρος (%) με το μοντέλο ARH3 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για το σύνολο των δεδομένων του έτους 2004.



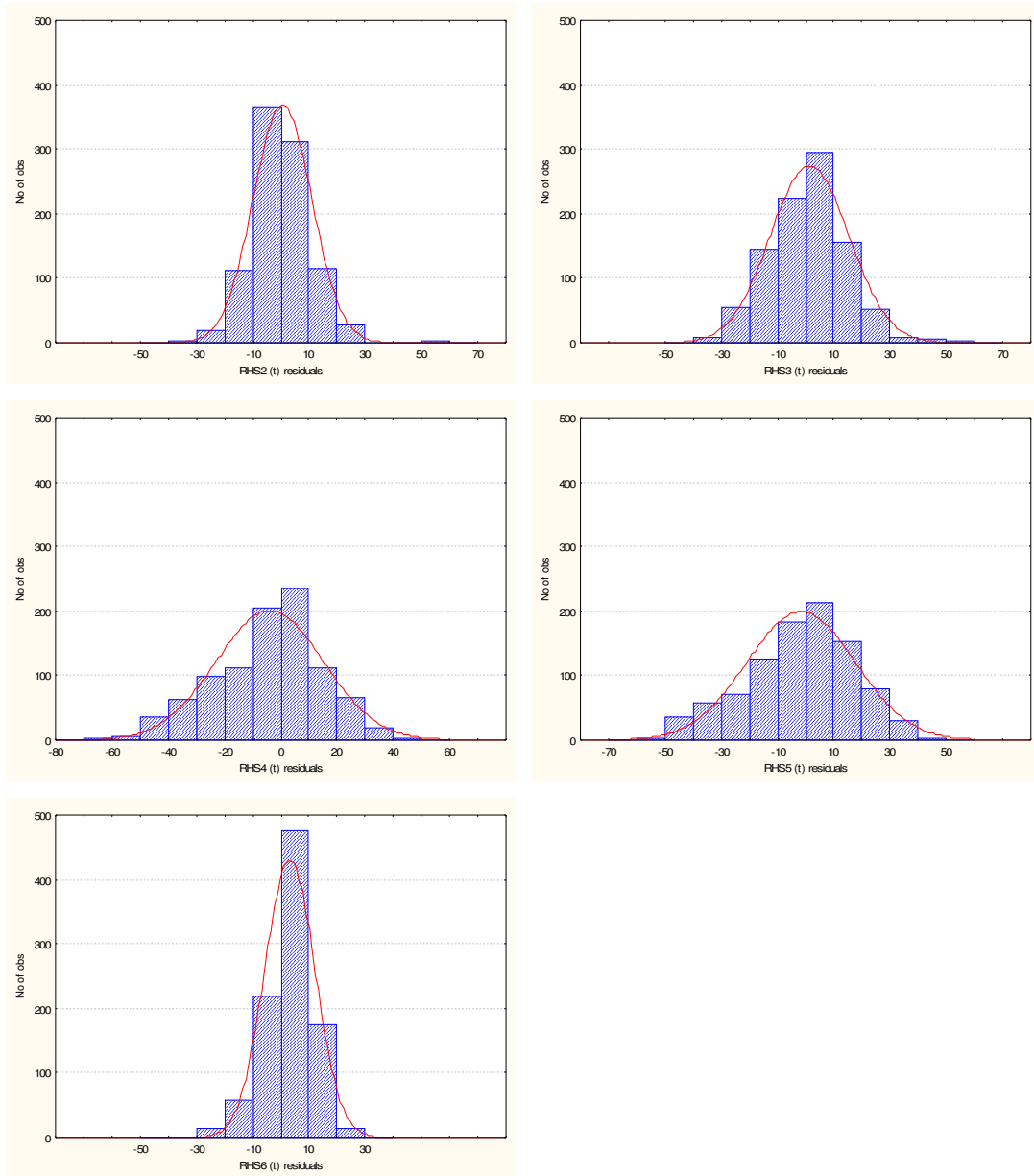
Διάγραμμα 13: Διασπορά μετρημένων και εκτιμημένων τιμών σχετικής υγρασίας αέρος (%) με το μοντέλο ARH6 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για το σύνολο των δεδομένων του έτους 2003.



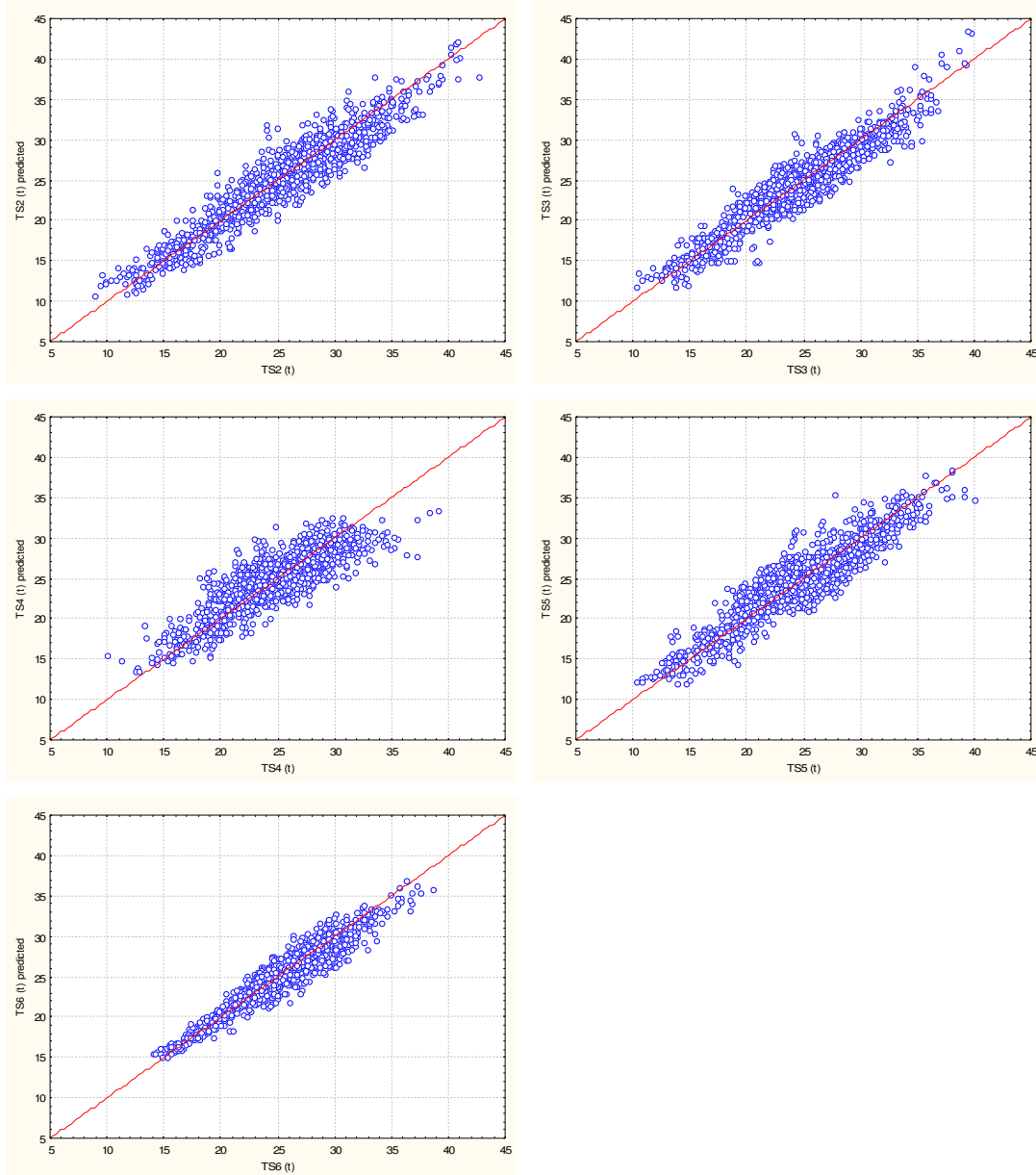
Διάγραμμα 14: Ιστογράμματα κατανομής υπολοίπων της εκτίμησης της σχετικής υγρασίας αέρος (%) με το μοντέλο ARH6 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για το σύνολο των δεδομένων του έτους 2003.



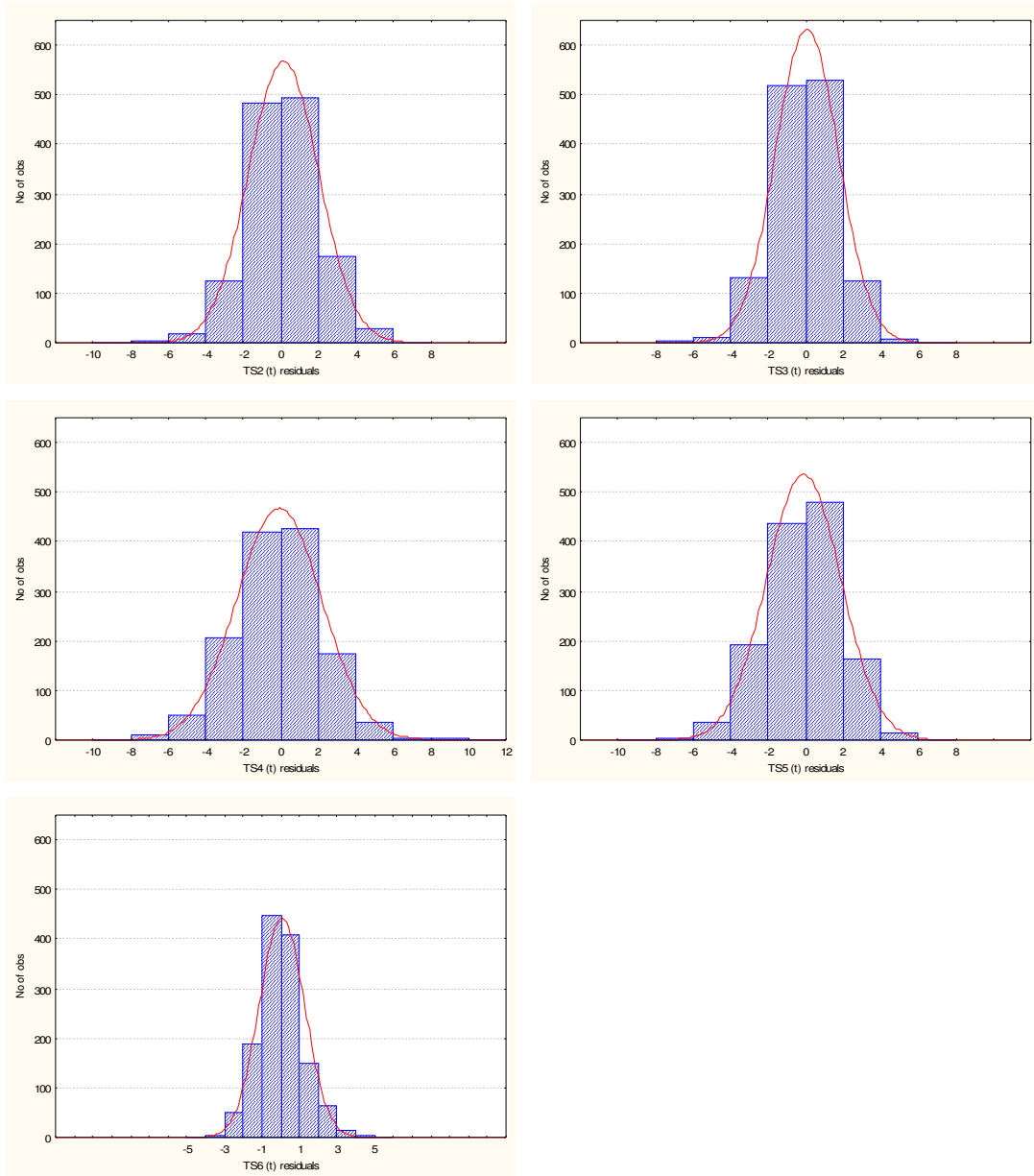
Διάγραμμα 15: Διασπορά μετρημένων και εκτιμημένων τιμών σχετικής υγρασίας αέρος (%) με το μοντέλο ARH6 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για το σύνολο των δεδομένων του έτους 2004.



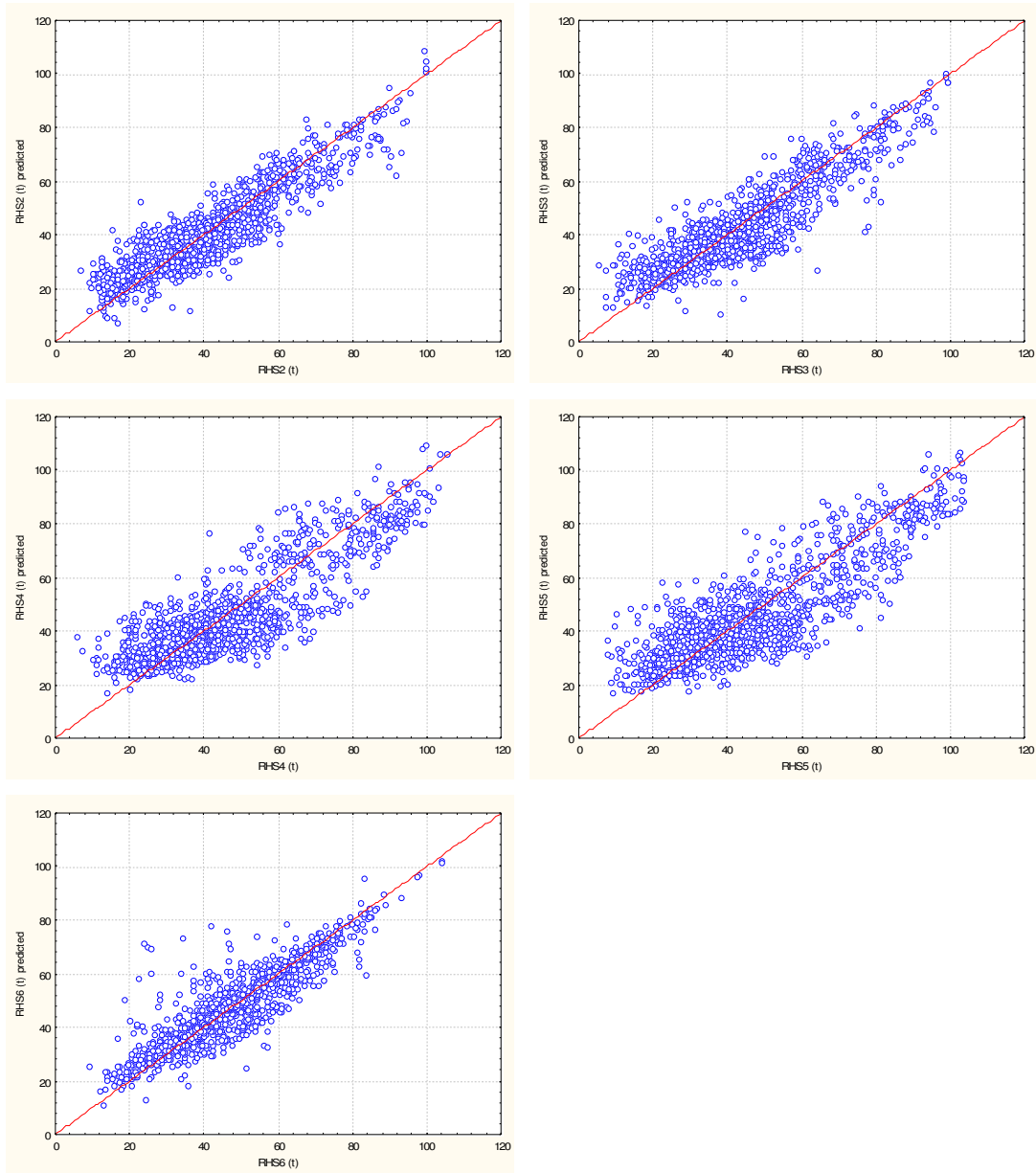
Διάγραμμα 16: Ιστογράμματα κατανομής υπολοίπων της εκτίμησης της σχετικής υγρασίας αέρος (%) με το μοντέλο ARH6 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για το σύνολο των δεδομένων του έτους 2004.



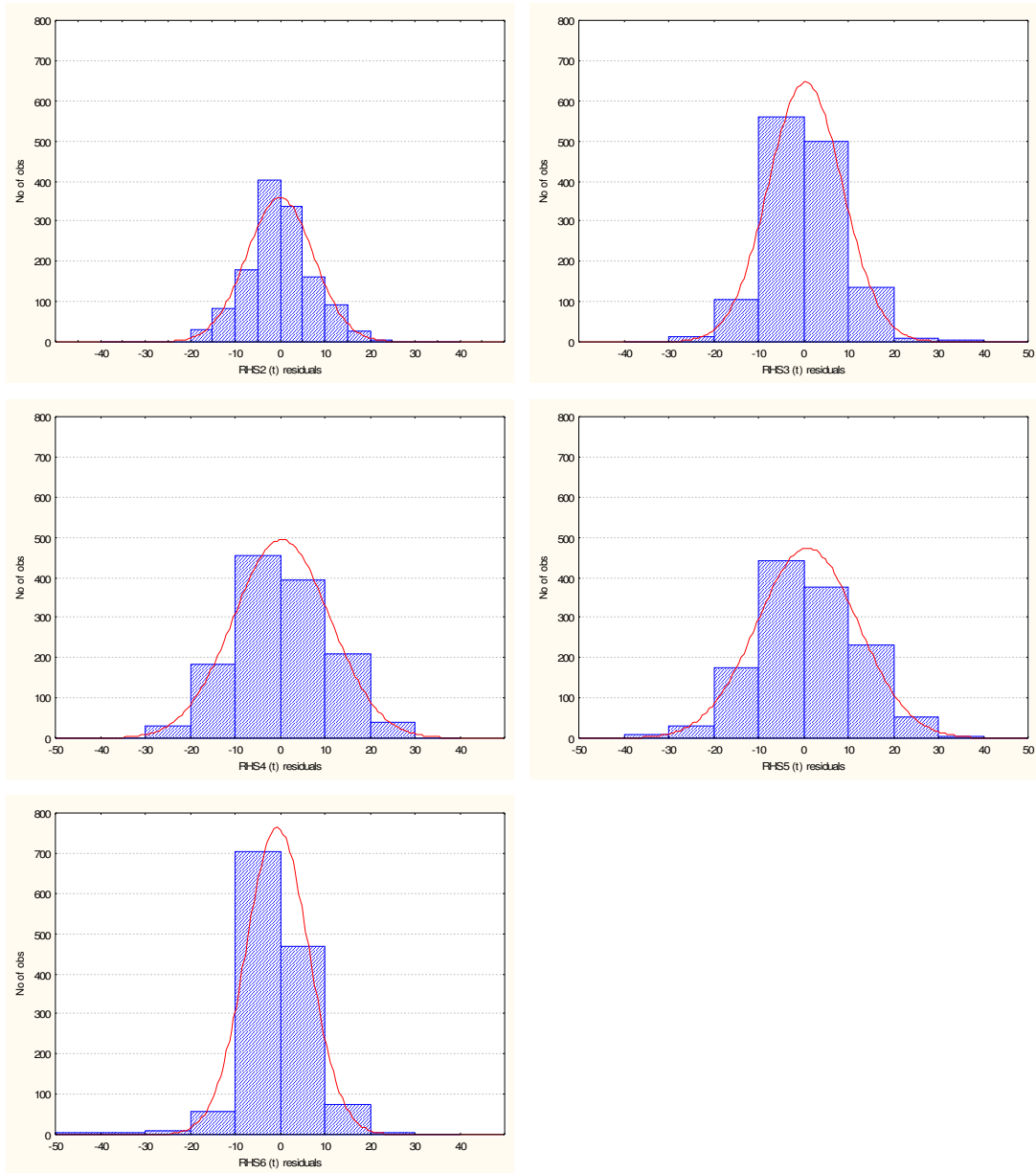
Διάγραμμα 17: Διασπορά μετρημένων και εκτιμημένων τιμών θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}\text{C}$) με το μοντέλο BT4, των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για τα δεδομένα ελέγχου αξιοπιστίας των μοντέλων.



Διάγραμμα 18: Ιστογράμματα κατανομής υπολοίπων της εκτίμησης της θερμοκρασίας αέρος ($^{\circ}C$) με το μοντέλο BT4 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για τα δεδομένα ελέγχου αξιοπιστίας των μοντέλων.



Διάγραμμα 19: Διασπορά μετρημένων και εκτιμημένων τιμών σχετικής υγρασίας αέρος (%) με το μοντέλο BRH4, των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για τα δεδομένα ελέγχου αξιοπιστίας των μοντέλων.



Διάγραμμα 20: Ιστογράμματα κατανομής υπολοίπων της εκτίμησης της σχετικής υγρασίας (%) με το μοντέλο BRH4 των σταθμών S2,...,S6 στο φαράγγι της Σαμαριάς, για τα δεδομένα ελέγχου αξιοπιστίας των μοντέλων.

Παράρτημα III

Πίνακας 1: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων τιμών ανά κλάση κινδύνου για το σταθμό S2.

		Εκτιμήσεις			Σύνολο
		S2	Κλάση 3	Κλάση 2	
Παρατη- ρήσεις	Κλάση 3	411	84	0	495
	Κλάση 2	82	539	22	643
	Κλάση 1	0	21	167	188

Πίνακας 2: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων ποσοστών (%) ανά κλάση κινδύνου για το σταθμό S2.

		Εκτιμήσεις %			Σύνολο
		S2	Κλάση 3	Κλάση 2	
Παρατη- ρήσεις	Κλάση 3	83,0	17,0	0,0	100
	Κλάση 2	12,8	83,8	3,4	100
	Κλάση 1	0,0	11,2	88,8	100

Πίνακας 3: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων τιμών ανά κλάση κινδύνου για το σταθμό S3.

		Εκτιμήσεις			Σύνολο
		S3	Κλάση 3	Κλάση 2	
Παρατη- ρήσεις	Κλάση 3	373	98	0	471
	Κλάση 2	98	521	27	646
	Κλάση 1	0	29	180	209

Πίνακας 4: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων ποσοστών (%) ανά κλάση κινδύνου για το σταθμό S3.

		Εκτιμήσεις %			Σύνολο
		S3	Κλάση 3	Κλάση 2	
Παρατη- ρήσεις	Κλάση 3	79,2	20,8	0,0	100
	Κλάση 2	15,2	80,7	4,2	100
	Κλάση 1	0,0	13,9	86,1	100

Πίνακας 5: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων τιμών ανά κλάση κινδύνου για το σταθμό S4.

		Εκτιμήσεις			Σύνολο
		S4	Κλάση 3	Κλάση 2	
Παρατηρήσεις	Κλάση 3	262	157	0	419
	Κλάση 2	107	516	38	661
	Κλάση 1	0	48	198	246

Πίνακας 6: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων ποσοστών (%) ανά κλάση κινδύνου για το σταθμό S4.

		Εκτιμήσεις %			Σύνολο
		S4	Κλάση 3	Κλάση 2	
Παρατηρήσεις	Κλάση 3	62,5	37,5	0,0	100
	Κλάση 2	16,2	78,1	5,7	100
	Κλάση 1	0,0	19,5	80,5	100

Πίνακας 7: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων τιμών ανά κλάση κινδύνου για το σταθμό S5.

		Εκτιμήσεις			Σύνολο
		S5	Κλάση 3	Κλάση 2	
Παρατηρήσεις	Κλάση 3	287	165	0	452
	Κλάση 2	91	477	22	590
	Κλάση 1	0	75	209	284

Πίνακας 8: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων ποσοστών (%) ανά κλάση κινδύνου για το σταθμό S5.

		Εκτιμήσεις %			Σύνολο
		S5	Κλάση 3	Κλάση 2	
Παρατηρήσεις	Κλάση 3	63,5	36,5	0,0	100
	Κλάση 2	15,4	80,8	3,7	100
	Κλάση 1	0,0	26,4	73,6	100

Πίνακας 9: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων τιμών ανά κλάση κινδύνου για το σταθμό S6.

		Εκτιμήσεις			Σύνολο
		S6	Κλάση 3	Κλάση 2	
Παρατηρήσεις	Κλάση 3	230	73	4	307
	Κλάση 2	37	771	25	833
	Κλάση 1	0	26	160	186

Πίνακας 10: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων ποσοστών (%) ανά κλάση κινδύνου για το σταθμό S6.

		Εκτιμήσεις %			Σύνολο
		S6	Κλάση 3	Κλάση 2	
Παρατηρήσεις	Κλάση 3	74,9	23,8	1,3	100
	Κλάση 2	4,4	92,6	3,0	100
	Κλάση 1	0,0	14,0	86,0	100

Πίνακας 11: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων τιμών ανά κλάση THI για το σταθμό S2.

		Εκτιμήσεις					Σύνολο
		S2	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	Δροσερό	
Παρατηρήσεις	Πολύ ζεστό	22	7	0	0	0	29
	Ζεστό	19	745	45	0	0	809
	Άνετο	0	70	323	19	0	412
	Δροσερό	0	0	21	20	7	48
	Κρύο	0	0	0	18	10	28

Πίνακας 12: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων ποσοστών (%) ανά κλάση THI για το σταθμό S2.

		Εκτιμήσεις %					Σύνολο
		S2	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	Δροσερό	
Παρατηρήσεις	Πολύ ζεστό	75,9	24,1	0,0	0,0	0,0	100
	Ζεστό	2,3	92,1	5,6	0,0	0,0	100
	Άνετο	0,0	17,0	78,4	4,6	0,0	100
	Δροσερό	0,0	0,0	43,8	41,7	14,6	100
	Κρύο	0,0	0,0	0,0	64,3	35,7	100

Πίνακας 13: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων τιμών ανά κλάση THI για το σταθμό S3.

		Εκτιμήσεις					Σύνολο
		S3	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	Δροσερό	
Παρατηρήσεις	Πολύ ζεστό	5	0	0	0	0	5
	Ζεστό	16	832	62	0	0	910
	Άνετο	0	74	264	17	0	355
	Δροσερό	0	0	11	29	4	44
	Κρύο	0	0	0	10	2	12

Παραρτήματα

Πίνακας 14: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων ποσοστών (%) ανά κλάση THI για το σταθμό S3.

		Εκτιμήσεις %					Σύνολο
		S3	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	Δροσερό	
Παρατηρήσεις	Πολύ ζεστό	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100
	Ζεστό	1,8	91,4	6,8	0,0	0,0	100
	Άνετο	0,0	20,8	74,4	4,8	0,0	100
	Δροσερό	0,0	0,0	25,0	65,9	9,1	100
	Κρύο	0,0	0,0	0,0	83,3	16,7	100

Πίνακας 15: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων τιμών ανά κλάση THI για το σταθμό S4.

		Εκτιμήσεις					Σύνολο
		S4	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	Δροσερό	
Παρατηρήσεις	Πολύ ζεστό	0	9	0	0	0	9
	Ζεστό	0	860	56	0	0	916
	Άνετο	0	158	221	3	0	382
	Δροσερό	0	0	12	4	0	16
	Κρύο	0	0	1	2	0	3

Πίνακας 16: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων ποσοστών (%) ανά κλάση THI για το σταθμό S4.

		Εκτιμήσεις %					Σύνολο
		S4	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	Δροσερό	
Παρατηρήσεις	Πολύ ζεστό	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100
	Ζεστό	0,0	93,9	6,1	0,0	0,0	100
	Άνετο	0,0	41,4	57,9	0,8	0,0	100
	Δροσερό	0,0	0,0	75,0	25,0	0,0	100
	Κρύο	0,0	0,0	33,3	66,7	0,0	100

Πίνακας 17: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων τιμών ανά κλάση THI για το σταθμό S5.

		Εκτιμήσεις					Σύνολο
		S5	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	Δροσερό	
Παρατηρήσεις	Πολύ ζεστό	6	7	0	0	0	13
	Ζεστό	21	860	42	0	0	923
	Άνετο	0	104	215	12	0	331
	Δροσερό	0	0	21	20	3	44
	Κρύο	0	0	0	12	3	15

Παραρτήματα

Πίνακας 18: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων ποσοστών (%) ανά κλάση THI για το σταθμό S5.

		Εκτιμήσεις %					Σύνολο	
		S5	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	Δροσερό		Κρύο
Παρατηρήσεις	Πολύ ζεστό		46,2	53,8	0,0	0,0	0,0	100
	Ζεστό		2,3	93,2	4,6	0,0	0,0	100
	Άνετο		0,0	31,4	65,0	3,6	0,0	100
	Δροσερό		0,0	0,0	47,7	45,5	6,8	100
	Κρύο		0,0	0,0	0,0	80,0	20,0	100

Πίνακας 19: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων τιμών ανά κλάση THI για το σταθμό S6.

		Εκτιμήσεις					Σύνολο	
		S6	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	Δροσερό		Κρύο
Παρατηρήσεις	Πολύ ζεστό		5	4	0	0	0	9
	Ζεστό		6	984	31	0	0	1021
	Άνετο		0	35	249	1	0	285
	Δροσερό		0	0	10	1	0	11
	Κρύο		0	0	0	0	0	0

Πίνακας 20: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων ποσοστών (%) ανά κλάση THI για το σταθμό S6.

		Εκτιμήσεις %					Σύνολο	
		S6	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	Δροσερό		Κρύο
Παρατηρήσεις	Πολύ ζεστό		55,6	44,4	0,0	0,0	0,0	100
	Ζεστό		0,6	96,4	3,0	0,0	0,0	100
	Άνετο		0,0	12,3	87,4	0,4	0,0	100
	Δροσερό		0,0	0,0	90,9	9,1	0,0	100
	Κρύο		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0

Πίνακας 21: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων τιμών ανά κλάση THI για το σταθμό στη θέση Hilton.

		Εκτιμήσεις				Σύνολο	
		Hilton	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο		Δροσερό
Παρατηρήσεις	Πολύ ζεστό		187	26	0	0	213
	Ζεστό		59	1252	38	0	1349
	Άνετο		0	52	578	3	633
	Δροσερό		0	0	0	7	7

Παραρτήματα

Πίνακας 22: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων ποσοστών (%) ανά κλάση ΤΗΙ για το σταθμό στη θέση Hilton.

		Εκτιμήσεις %				Σύνολο
		Hilton	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	
Παρατη- ρήσεις	Πολύ ζεστό	87,8	12,2	0,0	0,0	100
	Ζεστό	4,4	92,8	2,8	0,0	100
	Άνετο	0,0	8,2	91,3	0,5	100
	Δροσερό	0,0	0,0	0,0	100,0	100

Πίνακας 23: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων τιμών ανά κλάση ΤΗΙ για το σταθμό στη θέση Λάσκου.

		Εκτιμήσεις				Σύνολο
		Λάσκου	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	
Παρατη- ρήσεις	Πολύ ζεστό	110	11	0	0	121
	Ζεστό	136	1138	8	0	1282
	Άνετο	0	181	573	0	754
	Δροσερό	0	0	35	10	45

Πίνακας 24: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων ποσοστών (%) ανά κλάση ΤΗΙ για το σταθμό στη θέση Λάσκου.

		Εκτιμήσεις %				Σύνολο
		Λάσκου	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	
Παρατη- ρήσεις	Πολύ ζεστό	90,9	9,1	0,0	0,0	100
	Ζεστό	10,6	88,8	0,6	0,0	100
	Άνετο	0,0	24,0	76,0	0,0	100
	Δροσερό	0,0	0,0	77,8	22,2	100

Πίνακας 25: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων τιμών ανά κλάση ΤΗΙ για το σταθμό στη θέση Φιλολάου.

		Εκτιμήσεις				Σύνολο
		Φιλολάου	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	
Παρατη- ρήσεις	Πολύ ζεστό	179	85	0	0	264
	Ζεστό	67	1239	137	0	1443
	Άνετο	0	6	479	10	495
	Δροσερό	0	0	0	0	0

Πίνακας 26: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων ποσοστών (%) ανά κλάση ΤΗΙ για το σταθμό στη θέση Φιλολάου.

		Εκτιμήσεις %				Σύνολο
		Φιλολάου	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	
Παρατη- ρήσεις	Πολύ ζεστό	67,8	32,2	0,0	0,0	100
	Ζεστό	4,6	85,9	9,5	0,0	100
	Άνετο	0,0	1,2	96,8	2,0	100
	Δροσερό	0,0	0,0	0,0	0,0	0

Πίνακας 27: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων τιμών ανά κλάση ΤΗΙ για το σταθμό στη θέση Στέντορος.

		Εκτιμήσεις				Σύνολο
		Στέντορος	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	
Παρατη- ρήσεις	Πολύ ζεστό	133	85	0	0	218
	Ζεστό	112	1125	13	0	1250
	Άνετο	0	120	598	2	720
	Δροσερό	0	0	5	8	13

Πίνακας 28: Κατανομή εκτιμημένων και παρατηρημένων ποσοστών (%) ανά κλάση ΤΗΙ για το σταθμό στη θέση Στέντορος.

		Εκτιμήσεις %				Σύνολο
		Στέντορος	Πολύ ζεστό	Ζεστό	Άνετο	
Παρατη- ρήσεις	Πολύ ζεστό	61,0	39,0	0,0	0,0	100
	Ζεστό	9,0	90,0	1,0	0,0	100
	Άνετο	0,0	16,7	83,1	0,3	100
	Δροσερό	0,0	0,0	38,5	61,5	100