

Πολυτεχνείο Κρήτης

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



Διπλωματική εργασία

Ανάπτυξη Ευφυούς Συστήματος Παρακολούθησης και Πρόβλεψης
Ενεργειακής Ζήτησης με Χρήση Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών
(GIS) στην Περιοχή των Χανίων.

Αχιλλέας Ξυπόλυτος

Χανιά 2012

Ευχαριστώ θερμά τους γονείς μου, τους καθηγητές και τους μεταπτυχιακούς φοιτητές που με βοήθησαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

1. Περίληψη

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η συμβολή του ArcGis στην μελέτη του φαινομένου Αστικής Θερμικής Νησίδας και την επιρροή που έχει στην ηλεκτρική κατανάλωση. Αναπτύσσονται μεθοδολογίες για την εισαγωγή, επεξεργασία, χωρική και χρονική αποτύπωση δεδομένων θερμοκρασίας αέρα και ηλεκτρικού φορτίου της πόλης των Χανίων στο περιβάλλον του ArcGis. Συγκρίνεται η αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων χωρικής παρεμβολής που περιλαμβάνει το ArcGis στην εκτίμηση θερμοκρασίας και αναπτύσσονται τεχνικές και μεθοδολογίες για την επεξεργασία, απεικόνιση και συσχέτιση των δεδομένων στο ArcGis. Προτείνονται διάφορες τεχνικές αναπαράστασης δεδομένων και εξετάζεται η συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας και του ηλεκτρικού φορτίου τοπικά.

1. Abstract

This thesis inspects the contribution of ArcGis in the study of Urban Heat Island phenomenon and the effect it has on electrical consumption. In this thesis, there are methodologies developed, in the environment of ArcGis, for importing, processing, spatial and temporal imaging of air temperature and electrical load data, of the city of Chania. The efficiency of interpolation algorithms contained in the ArcGis software, for estimating temperature is compared and techniques for processing, displaying and relating data in ArcGis are developed. Several methods for representing data visually are suggested and the relationship between temperature and electrical load is locally examined.

Περιεχόμενα

1.	Περίληψη	3
1.	Abstract	3
2.	Εισαγωγή – Θεωρία.....	7
2.1	Το φαινόμενο Αστικής Θερμικής Νησίδας.....	7
2.1.1	Αιτίες πρόκλησης φαινομένου	7
2.1.2	Επιπτώσεις του ΑΘΝ.....	8
2.1.3	Στρατηγικές μετριασμού του φαινομένου ΑΘΝ.	9
2.1.4	Η συμβολή του ΑΘΝ στην ηλεκτρική κατανάλωση.....	10
2.2	Η χρήση του ArcGis στην μελέτη του φαινομένου.....	10
2.3	Μέθοδοι Χωρικής Παρεμβολής – Spatial interpolation methods	12
2.3.1	Kriging	12
2.3.2	Inverse Distance Weighted – IDW (Σταθμιστής αντίστροφης απόστασης).....	13
2.3.3	Spline	14
2.4	Μελέτες σύγκρισης απόδοσης των αλγορίθμων χωρικής παρεμβολής. 14	
2.4.1	Συμπέρασμα	15
3.	Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων ηλεκτρικής κατανάλωσης – χωρική αποτύπωση με χρήση του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών ArcGIS. 16	
3.1	Δεδομένα	16
3.1.1	Υποσταθμοί Ζεύξης και περιοχές κάλυψης.	17
3.1.2	Χάρτες.....	19
3.2	Επεξεργασία των μετρήσεων φορτίου.....	19
3.2.1	Δημιουργία ημερήσιας καμπύλης φορτίου.....	20
3.2.2	Τυπική καμπύλη φορτίου.....	20
3.2.3	Εξαγωγή συνάρτησης από την καμπύλη φορτίου – Curve Fitting. 22	
3.2.4	Παραγωγή καμπύλης ημερήσιου φορτίου για κάθε μέρα.	24
3.2.5	Ομαλοποίηση καμπυλών – Smoothing.	26

3.2.6 Παραγωγή τελικών τιμών-εκτιμήσεων φορτίου.	28
3.3 Οπτική αναπαράσταση του ηλεκτρικού φορτίου στον χάρτη με χρήση του ArcMap.	29
3.3.1 Μορφοποίηση δεδομένων και εισαγωγή στο ArcMap.....	30
3.3.2 Σύνδεση χωρικών και χρονικών δεδομένων.....	31
3.3.3 Συμβολισμός και Ενεργοποίηση του πεδίου του χρόνου.	34
3.3.4 Animation.....	35
3.3.5 Τρισδιάστατη απεικόνιση.	38
4. Συλλογή, επεξεργασία και αποτύπωση δεδομένων θερμοκρασίας με χρήση γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών ArcGis.	40
4.1 Περίληψη του κεφαλαίου	40
4.2 Εισαγωγή - Θεωρία.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
4.3 Συλλογή και διαχείριση δεδομένων θερμοκρασίας.	40
4.3.1 Πηγή των δεδομένων, σημεία μετρήσεων, περίοδος και όργανα μετρήσεων.	40
4.3.2 Επιλογή δεδομένων	41
4.3.3 Ελλιπείς μετρήσεις και μετρήσεις από άλλες πηγές.	43
4.3.4 Ανάκτηση δεδομένων από το wunderground	43
4.4 Κάλυψη και Ομογενοποίηση δεδομένων.....	44
4.4.1 Συγχρονισμός	44
4.4.2 Σύγκριση με τα αρχικά δεδομένα.....	44
4.5 Διερεύνηση αποτελεσματικότητας μεθόδων χωρικής παρεμβολής (Spatial Interpolation) στο ArcMap.....	48
4.5.1 Προετοιμασία εκτέλεσης μεθόδων χωρικής παρεμβολής.....	48
4.5.2 Εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων στο ArcMap - Εισαγωγή των σταθμών.	48
4.5.3 Εισαγωγή και σύνδεση των ωριαίων μετρήσεων θερμοκρασίας με τις θέσεις των σταθμών.....	50
4.5.4 Εκτέλεση αλγορίθμων χωρικής παρεμβολής - Χειροκίνητα.	51

4.5.5 Εκτέλεση αλγορίθμων χωρικής παρεμβολής - Με χρήση Python Script.	52
4.5.6 Αποτέλεσμα-έξοδος των αλγορίθμων.....	53
4.6 Διαδικασία σύγκρισης.....	54
4.6.1 Επιλογή σταθμού για την σύγκριση.	55
4.6.2 Ανάλυση – τεχνική επεξήγηση του script.	55
4.7 Αποτελέσματα σύγκρισης – επιλογή αλγορίθμου- συμπεράσματα αποτελεσμάτων.....	56
4.8 Παραγωγή εκτιμήσεων θερμοκρασίας με βάση τον αλγόριθμο IDW για την περιοχή της πόλης των Χανίων την περίοδο 01/06/2007 – 31/08/2007	61
4.8.1 Εισαγωγή δεδομένων – εκτέλεση αλγορίθμου	61
4.8.2 Ταξινόμηση – προσθήκη σε Raster Catalog – εισαγωγή πεδίου χρόνου	62
4.8.3 Ενεργοποίηση του πεδίου του χρόνου	66
4.8.4 Συμβολισμός	66
4.8.5 Animation.....	66
5. Αποτελέσματα.	68
5.1 Εισαγωγή.....	68
5.2 Διερεύνηση συσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών (θερμοκρασίας – ηλεκτρικού φορτίου).	68
5.2.1 Διερεύνηση συσχέτισης ανά περιοχή στην πόλη των Χανίων με χρήση ArcGis.....	72
5.2.2 Διερεύνηση συσχέτισης σε επίπεδο μέρας.	73
5.2.3 Διερεύνηση συσχέτισης σε επίπεδο εβδομάδας.	74
5.3 Πρόβλεψη ενεργειακής ζήτησης	77
6. Συμπεράσματα – Μελλοντικές επεκτάσεις.....	78
6.1 Γενικά συμπεράσματα – Ανασκόπηση.	78
6.2 Μελλοντικές επεκτάσεις.	79
Βιβλιογραφία – Πηγές.	80

2. Εισαγωγή – Θεωρία

2.1 Το φαινόμενο Αστικής Θερμικής Νησίδας.

Το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) είναι ένα φυσικό ατμοσφαιρικό φαινόμενο κατά το οποίο κεντρικές αστικές περιοχές με πυκνή και ψηλή δόμηση παρουσιάζουν σημαντικά μεγαλύτερες τιμές θερμοκρασίας από τις γύρω αστικές, ημιαστικές ή αγροτικές περιοχές. Ουσιαστικά το σύγχρονο αστικό τοπίο εγκλωβίζει τη θερμότητα που δέχεται ή παράγει μέσα στην πυκνή του δόμηση με άμεση συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας στις κεντρικές αστικές περιοχές. Ως ένταση του φαινομένου ορίζεται η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του κέντρου της πόλης και της ανοιχτής υπαίθρου. Το φαινόμενο γίνεται πιο έντονο κατά την διάρκεια της νύχτας και σε συνθήκες ανέμων χαμηλής έντασης.

2.1.1 Αιτίες πρόκλησης φαινομένου

Η κύρια αιτία που προκαλεί το φαινόμενο ΑΘΝ είναι η μεταβολή του τοπίου που προκαλεί η αστική δόμηση. Πολλαπλοί παράγοντες συμβάλλουν στην εμφάνιση και ένταση του φαινομένου.

(α) Η αντικατάσταση φυσικών επιφανειών που αποτελούνται από βλάστηση, με δομικά υλικά όπως ασφαλτός ή τσιμέντο, τα οποία δεν αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία και τείνουν να την αποθηκεύουν και να την απελευθερώνουν ως θερμότητα, προκαλώντας με αυτόν τον τρόπο αύξηση της τοπικής θερμοκρασίας.

(β) Στα αστικά κέντρα τα ψηλά κτήρια και οι στενοί δρόμοι δημιουργούν αστικά φαράγγια, τα οποία εμποδίζουν την διαφυγή της ανακλώμενης ακτινοβολίας. Έτσι η ακτινοβολία απορροφάται από τοίχους κτηρίων και ενισχύεται η απελευθέρωση θερμότητας.

(γ) Αρχικά το σχήμα και το μέγεθος των πόλεων είναι πολύ διαφορετικό από τις αγροτικές περιοχές. Τα ψηλά κτήρια λειτουργούν ως εμπόδια μειώνοντας την ταχύτητα των ανέμων και αποτρέπει έτσι την μεταφορά θερμότητας.

(δ) Ακόμη οι πόλεις λειτουργούν σαν αστικές έρημοι, λόγω της πολύ μικρής έως ελάχιστης βλάστησης που περιέχουν και τα υλικά τα οποία είναι αδιαπέραστα στη βροχή. Ο

συνδυασμός αυτός προκαλεί έλλειψη εξάτμισης και διαπνοής γεγονός που ενισχύει την αισθητή θερμότητα.

(ε) Επίσης το φαινόμενο επηρεάζεται από το αστικό νέφος, το νέφος που σχηματίζεται σε μεγάλες αστικές περιοχές από την ατμοσφαιρική ρύπανση και λειτουργεί σαν μια μικρογραφία του φαινομένου του θερμοκηπίου.

(ζ) Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στην αύξηση της αστικής θερμοκρασίας είναι η θερμότητα που παράγεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η καύση ορυκτών καυσίμων για θέρμανση ή μεταφορά.

2.1.2 Επιπτώσεις του ΑΘΝ

Η αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλεί το ΑΘΝ προκαλεί με τη σειρά της μια αύξηση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη, αυξάνοντας έτσι την παραγωγή ρεύματος στους σταθμούς, γεγονός που προξενεί μεγαλύτερες εκπομπές ρύπων διοξειδίου, και μονοξειδίου του άνθρακα, δηλαδή αερίων που ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπλέον οι υψηλές θερμοκρασίες αέρα που προκαλεί το ΑΘΝ, επιταχύνουν τις φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα που οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος.[1]

Όσο αφορά την άμεση επίδραση του στην ανθρώπινη υγεία, το ΑΘΝ έχει συνδεθεί με προβλήματα στο αναπνευστικό και καρδιοαγγειακό σύστημα. Δυσφορία, θερμοπληξία, θερμική εξάντληση και θερμική συγκοπή είναι μερικά από τα πιο συνηθισμένα περιστατικά, ενώ ένας μεγάλος αριθμός ασθενειών μπορεί να γίνει χειρότερα, ιδιαίτερα σε ευαίσθητους πληθυσμούς.

Εκτός από τις παραπάνω επιπτώσεις, το ΑΘΝ μπορεί να δημιουργήσει μικροκλιματικές επιδράσεις στην τοπική μετεωρολογία, συμπεριλαμβανομένης της μεταβολής των τοπικών ανέμων, την ανάπτυξη νεφών και ομίχλης, την υγρασία, και τα ποσοστά της βροχόπτωσης.[2]

Επιπλέον το ΑΘΝ μπορεί να προκαλέσει μείωση της ποιότητας του νερού. Η υψηλές θερμοκρασίες που έχουν οι αστικές επιφάνειες όπως οι οροφές και τα πεζοδρόμια, μπορούν να θερμάνουν τα απορρέοντα νερά της βροχής. Μελέτες δείχνουν ότι τα πεζοδρόμια με θερμοκρασία 38 °C μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την θερμοκρασία την θερμοκρασία του απορρέοντος νερού της βροχής από περίπου 21 °C σε περισσότερο από 35 °C. Αυτό το θερμό νερό απορρέει σε υπονόμους και αγωγούς και τελικά αυξάνει την θερμοκρασία των λιμνών, ποταμών ή καναλιών που καταλήγει.[3]

Η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει όλες τις πτυχές της υδρόβιας ζωής και κυρίως τον μεταβολισμό και την αναπαραγωγή πολλών υδάτινων ειδών ζωής. Ραγδαίες μεταβολές θερμοκρασίας σε υδάτινα οικοσυστήματα μπορεί να έχουν ακόμα και θανατηφόρο αποτέλεσμα στην υδάτινη ζωή.

2.1.3 Στρατηγικές μετριασμού του φαινομένου ΑΘΝ.

Υπάρχουν δύο κύριες στρατηγικές για τη μείωση των επιπτώσεων του ΑΘΝ: Καταρχήν, η αύξηση της ανακλαστικότητας της αστικής επιφάνειας, προκειμένου να μειωθεί η απορρόφηση ακτινοβολίας. Δεύτερον, η αύξηση του αστικού πρασίνου, κυρίως με τη μορφή των αστικών δασών και πάρκων, με σκοπό να μεγιστοποιηθούν τα πολλαπλά οφέλη της βλάστησης στον έλεγχο της θερμοκρασίας.

Η πρώτη στρατηγική εφαρμόζεται με την χρήση υλικών που φέρουν μεγάλη ανακλαστικότητα δηλαδή υλικά τα οποία διαθέτουν ή βάφονται σε ανοιχτά χρώματα. Τα ψυχρά υλικά όπως ονομάζονται είναι υλικά τα οποία παρουσιάζουν υψηλή ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία και υψηλό συντελεστή εκπομπής στο υπέρυθρο. Υψηλή ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία σημαίνει ότι έχουμε μικρότερη απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας και αποβολή ευκολότερα της θερμότητας όταν υπάρχει υψηλός συντελεστής εκπομπής. Αυτοί οι δύο παράγοντες, δηλαδή υψηλός συντελεστής ανακλαστικότητας και υψηλός συντελεστής εκπομπής, συμβάλλουν στο να εμφανίζονται μικρότερες επιφανειακές θερμοκρασίες. Αυτό σημαίνει ότι, σε επίπεδο κτηρίου, λιγότερη θερμότητα εισέρχεται στο κτήριο, με αποτέλεσμα να χρειάζεται λιγότερη ενέργεια και να έχουμε μικρότερη κατανάλωση ενέργειας για ψύξη, και σε επίπεδο πόλης σημαίνει ότι λιγότερη θερμότητα μεταδίδεται στον υπερκείμενο αέρα, συνεπώς μετριάζονται με αυτόν τον τρόπο οι επιπτώσεις του ΑΘΝ. Τα υλικά και οι τεχνικές αυτές μπορούν να εφαρμοστούν από οροφές κτηρίων μέχρι και πεζοδρόμια, προσπαθώντας να αλλάξουν την ανακλαστικότητα της επιφάνειας μιας πόλης.[4] [5]

2.1.4 Η συμβολή του ΑΘΝ στην ηλεκτρική κατανάλωση.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι αυξημένες καλοκαιρινές θερμοκρασίες στις πόλεις προκαλούν αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη (κλιματισμός, ψυγεία). Σύμφωνα με έρευνα, η ηλεκτρική ζήτηση για ενέργεια αυξάνεται 1,5-2,0% για κάθε αύξηση της τάξης των 0,6 °C της θερμοκρασίας αέρα, ξεκινώντας από 20 με 25 °C υποδεικνύοντας ότι το 5-10% της κοινοτικής ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για να αντισταθμίσει την επίδραση του ΑΘΝ.[6]

Το φαινόμενο ΑΘΝ προκαλεί αύξηση της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και του φορτίου αιχμής, που συνήθως εμφανίζεται σε ζεστά απογεύματα του καλοκαιριού, σε εργάσιμες ημέρες της εβδομάδας, όταν σε χώρους εργασίας και οικίες λειτουργούν συστήματα ψύξης, φώτα και συσκευές. Κατά τη διάρκεια καυσώνων, οι οποίοι επιδεινώνονται από το ΑΘΝ στις πόλεις, η ζήτηση για ψύξη μπορεί ξεπεράσει τα κανονικά επίπεδα και να δημιουργήσει φαινόμενα υπερφόρτωσης (black out). Για το λόγο αυτό απαιτείται ένα βοηθητικό πρόγραμμα το οποίο εφαρμόζει προγραμματισμένες περιορισμούς ή διακοπές έτσι ώστε να αποφευχθούν οι απροειδοποίητες διακοπές ρεύματος.

Σε επίπεδο ενεργειακής κατανάλωσης κτηρίων μελέτες δείχνουν ότι σε πόλεις που το φαινόμενο ΑΘΝ είναι έντονο (ένταση που ξεπερνάει τους 10 °C) το ηλεκτρικό φορτίο που χρησιμοποιείται για την ψύξη των κτηρίων μπορεί να διπλασιαστεί και το φορτίο αιχμής για σκοπούς ψύξης μπορεί να τριπλασιαστεί, ενώ ο συντελεστής απόδοσης (C_{op}) των κλιματιστικών να μειωθεί έως και 25% λόγω της υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος. [7]

2.2 Η χρήση του ArcGis στην μελέτη του φαινομένου.

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών χρησιμοποιούνται ευρύτατα από ένα μεγάλο μέρος επιστημόνων και επαγγελματιών οι οποίοι χρειάζονται τη χωρική συσχέτιση και οπτική αναπαράσταση μαζί με όλα τα στατιστικά εργαλεία που φέρει το περιβάλλον του ArcGis. Το ArcGis αποτελεί πλέον ένα συνηθισμένο εργαλείο στην μελέτη και επεξεργασία γεωχωρικών δεδομένων αλλά και βάσεων δεδομένων κάθε είδους που συνδέονται με αυτό. Πολλές μελέτες που σκοπεύουν να εξετάσουν το ΑΘΝ υλοποιούνται με την βοήθεια του ArcGis. [14] Στην παρούσα εργασία το ArcGis χρησιμοποιείται αφενός σαν εργαλείο τοπικής σύνδεσης δεδομένων και οπτικής αναπαράστασης δεδομένων αλλά χρησιμοποιείται και για την παραγωγή τιμών θερμοκρασίας με τις μεθόδους χωρικής παρεμβολής.

Προκειμένου να διερευνηθεί αποτελεσματικά η συσχέτιση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας –ΑΘΝ (Urban Heat Island - UHI) με την ηλεκτρική κατανάλωση τοπικά, στην περιοχή της πόλης των Χανίων, είναι καταρχήν απαραίτητο να αποκτηθεί μια σαφής εικόνα σχετικά με την θερμοκρασία στην περιοχή. Δεδομένου ότι τα στοιχεία θερμοκρασίας που είναι διαθέσιμα προέρχονται από καταγραφείς δεδομένων (data loggers) και μετεωρολογικούς σταθμούς που είναι εγκατεστημένοι σε συγκεκριμένα σημεία της περιοχής εμφανίζεται η ανάγκη για την δημιουργία και απόδοση τιμών θερμοκρασίας στα υπόλοιπα σημεία της επιφάνειας της περιοχής της πόλης των Χανίων. Η εγκατάσταση σταθμών μέτρησης ή η χρήση κινητών σταθμών έτσι ώστε να καλυφθεί απόλυτα μια ολόκληρη περιοχή είναι πρακτικά αδύνατη και δεν είναι ουσιαστικά απαραίτητη διότι το πρόβλημα εκτίμησης τιμών σε όλα τα σημεία μιας περιοχής, αντιμετωπίζεται με την μέθοδο χωρικής παρεμβολής (spatial interpolation).

Με την μέθοδο χωρικής παρεμβολής, είναι δυνατόν, διαθέτοντας ένα σύνολο δεδομένων θερμοκρασίας από κάποια σημεία μιας περιοχής, να εκτιμηθούν οι τιμές θερμοκρασίας για τα όλα τα σημεία της περιοχής που μελετάται. Για κάθε άγνωστο σημείο προβλέπεται με μαθηματικές και στατιστικές μεθόδους ένα είδος σταθμισμένου μέσου όρου με βάση τις γνωστές τιμές των γειτονικών σημείων. Δηλαδή από ένα σύνολο σημείων, δημιουργείται μια συνεχής επιφάνεια. Πρόκειται για μια μέθοδο που χρησιμοποιείται ευρέως για δεδομένα θερμοκρασίας αέρα.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι χωρικής παρεμβολής, που υπολογίζουν μια εκτίμηση των τιμών μιας μεταβλητής σε μια περιοχή, η οποία βασίζεται στα σημεία που η τιμή της μεταβλητής είναι γνωστή, δηλαδή στην περίπτωση αυτή, τα σημεία των σταθμών μέτρησης. Κάθε μέθοδος αποτελεί και ένα διαφορετικό μοντέλο στο οποίο γίνονται διαφορετικές υποθέσεις και οι εκτιμήσεις υπολογίζονται με διαφορετικό τρόπο, καθιστώντας έτσι κάποια μοντέλα καταλληλότερα για διαφορετικούς τύπους δεδομένων. Ανάλογα με τον τρόπο που χρησιμοποιούν για να προβλέψουν την τιμή της μεταβλητής οι μέθοδοι κατηγοριοποιούνται σε ντετερμινιστικές και στοχαστικές ή γεωστατιστικές.

- Οι ντετερμινιστικές μέθοδοι αναθέτουν τιμές στα σημεία με βάση τις γειτονικές πραγματικές τιμές που μετρήθηκαν και συγκεκριμένους μαθηματικούς τύπους που καθορίζουν την ομαλότητα της επιφάνειας που προκύπτει. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι Inverse Distance Weighting (IDW), Natural Neighbor και Spline.

- Οι γεωστατιστικές ή στοχαστικές μέθοδοι, βασίζονται σε στατιστικά μοντέλα που περιλαμβάνουν την αυτοσυσχέτιση, δηλαδή την στατιστική σχέση μεταξύ των σημείων που οι τιμές τους έχουν μετρηθεί. Λόγω αυτού του γεγονότος, οι γεωστατιστικές μέθοδοι έχουν τη δυνατότητα, όχι μόνο να παράγουν μια επιφάνεια προβλέποντας τις τιμές της, αλλά επίσης και να παρέχουν κάποιο μέτρο για την ακρίβεια των προβλέψεων. Η μέθοδος Kriging ανήκει σε αυτή την κατηγορία.

Πολλοί διαχωρισμοί μπορούν να γίνουν στις μεθόδους χωρικής παρεμβολής όπως τοπικές (local) ή καθολικές (global). Οι τοπικές μέθοδοι λειτουργούν μέσα σε μια προκαθορισμένη ζώνη χρησιμοποιώντας δεδομένα μόνο από το κοντινότερο γειτονικό περιβάλλον του σημείου. Οι καθολικές μέθοδοι αντιθέτως, χρησιμοποιούν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα από ολόκληρη την περιοχή για να προβλεφθεί μια τιμή. Ένας άλλος διαχωρισμός των μεθόδων έγκειται στο αν ο αλγόριθμος διατηρεί την τιμή στο σημείο όπου μετρήθηκε ή όχι. Οι μέθοδοι που δεν διατηρούν την τιμή αυτή λέγονται προσεγγιστικοί, σε αντίθεση με τους ακριβείς, και αφαιρούν την τοπική αυτή απόκλιση σε μια προσπάθεια να ελαχιστοποιήσουν το προβλεπόμενο σφάλμα. Ακόμη μερικοί αλγόριθμοι θεωρούνται πολυδιάστατοι διότι χρησιμοποιούν επιπλέον γεωαναφερόμενες μεταβλητές.

2.3 Μέθοδοι Χωρικής Παρεμβολής – Spatial interpolation methods

Στα πλαίσια της εργασίας που σκοπό έχει να αξιοποιήσει τις δυνατότητες του λογισμικού γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών ArcGis, χρησιμοποιούνται οι αλγόριθμοι IDW, Kriging και Spline και εξετάζεται η απόδοσή τους. Υπάρχουν δημοσιευμένες μελέτες που συγκρίνουν αυτές τις μεθόδους και προκύπτει ότι, όσον αφορά δεδομένα θερμοκρασίας αέρα η μέθοδος Kriging είχε την καλύτερη απόδοση. [8]

2.3.1 Kriging

Ο αλγόριθμος Kriging αναπτύχθηκε από τον Γάλλο μαθηματικό Georges Matheron και βασίζεται στην ιδέα ότι οι τιμές που μετρήθηκαν σε γειτονικά σημεία τείνουν να μοιάζουν περισσότερο μεταξύ τους από τις τιμές που μετρήθηκαν σε απομακρυσμένα σημεία. Περιγράφεται από τον τύπο:

$$Z = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2.1)$$

Στον κανονικό αλγόριθμο Kriging το βάρος λ_i εξαρτάται από ένα μοντέλο που κανονικοποιείται στα σημεία που περιέχουν τις μετρήσεις, τις χωρικές σχέσεις των τιμών που έχουν μετρηθεί κοντά στο σημείο που γίνεται η πρόβλεψη και την απόσταση από το προβλεπόμενο σημείο. Αυτοί οι παράμετροι δίνονται από το βαριόγραμμα. Ο αλγόριθμος Kriging με μια συνάρτηση ημι-βαριογράμματος περιγράφει την χωρική δομή της μεταβλητής η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$\gamma_i(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) + Z(x_i + h)]^2 \quad (2.2)$$

Όπου $N(h)$ είναι ο αριθμός των σημείων ζευγών, Z είναι η παρεμβαλλόμενη μεταβλητή, h είναι η απόσταση μεταξύ των παρεμβαλλόμενων σημείων, x_i είναι το σημείο εκκίνησης και x_i+h είναι το τελικό σημείο.

2.3.2 Inverse Distance Weighted – IDW (Σταθμιστής αντίστροφης απόστασης)

Πρόκειται για μια μέθοδο η οποία χρησιμοποιεί ως βάρος την απόσταση μεταξύ του προβλεπόμενου σημείου και του σημείου που έχει μετρηθεί. Τα σημεία που περιέχουν τις μετρήσεις αποκτούν βαρύτητα αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης τους από το σημείο για το οποίο γίνεται η πρόβλεψη. Ο γενικός τύπος που περιγράφει τον αλγόριθμο IDW:

$$Z_{(s_0)} = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_{s_i} \quad (2.3)$$

Όπου $Z_{(s_0)}$ η εκτιμώμενη τιμή στο σημείο s_0 , το N δηλώνει τον αριθμό των σημείων κοντά στο εκτιμώμενο σημείο και το λ_i είναι:

$$\lambda_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}} \quad (2.4)$$

Όπου d_{i0} είναι η απόσταση μεταξύ του σημείου s_0 και s .

2.3.3 Spline

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μια μαθηματική συνάρτηση για να ελαχιστοποιήσει την καμπυλότητα της επιφάνειας και παράγει μια λεία επιφάνεια που ταυτίζεται ακριβώς με τα σημεία των οποίων οι μετρήσεις είναι γνωστές. Η κανονικοποιημένη (regularized) μέθοδος Spline περιγράφεται από τον τύπο:

$$Z = \sum_{i=1}^n \lambda_i R(\gamma_i) + T(x, y) \quad (2.5)$$

Όπου Z είναι η εκτιμώμενη τιμή, n ο αριθμός των σημείων, λ_i η παράμετρος που καθορίζεται από μια σειρά γραμμικών εξισώσεων, $R(\gamma_i)$ και $T(x, y)$ όπως φαίνεται:

$$R(\gamma_i) = \frac{\frac{\gamma^2}{4} \left[\ln\left(\frac{\gamma}{2\pi}\right) + c - 1 \right] + \tau^2 \left[k_0 \left(\frac{\gamma}{\tau} \right) + c + \ln\left(\frac{r}{2\pi}\right) \right]}{2\pi} \quad (2.6)$$

$$T(x, y) = a_1 + a_2 x + a_3 y \quad (2.7)$$

Όπου τ^2 είναι η παράμετρος βάρους, r η απόσταση ανάμεσα στα σημεία που έχουν μετρηθεί οι τιμές της μεταβλητής και το εκτιμώμενο σημείο, c είναι μια σταθερά ίση με 0.577125 και a_i είναι οι συνιστώσες των γραμμικών εξισώσεων.

2.4 Μελέτες σύγκρισης απόδοσης των αλγορίθμων χωρικής παρεμβολής.

Τα εργαλεία που παρέχει το ArcGis για την εκτέλεση αλγορίθμων χωρικής παρεμβολής χρησιμοποιούνται ευρέως και έτσι έχουν γίνει διάφορες μελέτες που εξετάζουν την αποδοτικότητα των αλγορίθμων χωρικής παρεμβολής σε διάφορες πόλεις και περιοχές του πλανήτη. Κάθε μια παρουσιάζει διαφορετικά αποτελέσματα, ωστόσο είναι χρήσιμες για την απόκτηση μιας γενικής εικόνας.

Στην μελέτη [8] συγκρίνονται πέντε μέθοδοι χωρικής παρεμβολής, ο Inverse Distance Weight (IDW), Spline, Kriging Exponential, Kriging Spherical και Kriging Gaussian χρησιμοποιώντας το λογισμικό ArcGis. Χρησιμοποιούνται δεδομένα χειμερινών και καλοκαιρινών μηνών από μετεωρολογικούς σταθμούς της Κίνας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο Kriging Exponential και ο Kriging Spherical έχουν την μεγαλύτερη ακρίβεια με τον IDW να είναι λιγότερο ακριβής και τους Kriging Gaussian και Spline να έχουν τη μικρότερη ακρίβεια.

Σε άλλη μελέτη [9] συγκρίθηκαν οι αλγόριθμοι Simple Kriging (SK), Ordinary Kriging (OK), Universal Kriging (UK) και IDW χρησιμοποιώντας το ArcGis και δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς της Ισπανίας για έναν χρόνο. Η μελέτη αυτή καταλήγει ότι όλοι αυτοί οι αλγόριθμοι έχουν παρόμοια απόδοση, με τον IDW να είναι ελαφρώς λιγότερο ακριβής, αλλά να προτείνεται σε μελλοντικές μελέτες λόγω της ταχύτητας του και της ευκολίας στη χρήση αφού δεν χρειάζεται την παραγωγή βαριογράμματος όπως οι προσεγγίσεις Kriging.

Σε μια άλλη μελέτη [10] συγκρίνονται οι αλγόριθμοι IDW, Regularized Spline with Tension (RST), Ordinary Kriging (OK), Multiple Linear Regression (MLR) και Residual Kriging (RK). Οι συγκρίσεις γίνονται με την μέθοδο Cross Validation και με βάση στατιστικά μεγέθη όπως Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα και Μέσο Απόλυτο Σφάλμα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι την χειρότερη επίδοση στατιστικά αλλά και οπτικά είχε ο IDW, με τον OK και τον RST να παρουσιάζουν απλοποιημένες αλλά αποδεκτές τιμές θερμοκρασίας. Τα καλύτερα αποτελέσματα παρήγαγε ο αλγόριθμος RK.

2.4.1 Συμπέρασμα

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι δεν υπάρχει μια μέθοδος η οποία ξεπερνάει τις άλλες στην απόδοση αλλά η απόδοση της κάθε μεθόδου εξαρτάται από τις παραμέτρους και τους περιορισμούς της κάθε εφαρμογής. Για το λόγο αυτό στην παρούσα εργασία γίνεται διερεύνηση για την επιλογή του αλγορίθμου που έχει τα καλύτερα αποτελέσματα για τα συγκεκριμένα δεδομένα.

3. Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων ηλεκτρικής κατανάλωσης – χωρική αποτύπωση με χρήση του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών ArcGIS.

Εισαγωγή

Στο μέρος αυτό της εργασίας γίνεται συλλογή επεξεργασία και απεικόνιση της ηλεκτρικής κατανάλωσης σε μια προσπάθεια να εξεταστεί αν υπάρχει κάποια σχέση του φαινομένου ΑΘΝ με την κατανάλωση ενέργειας την περιοχή της πόλης των Χανίων. Η Δ.Ε.Η. Χανίων παραχώρησε μετρήσεις της ηλεκτρικής κατανάλωσης στην πόλη των Χανίων. Τα διαθέσιμα δεδομένα περιλαμβάνουν μετρήσεις γραμμών που εξυπηρετούν ολόκληρη την πόλη αλλά οι μετρήσεις αφορούν τρεις μεγάλους υποσταθμούς ζεύξης που καλύπτουν τρεις περιοχές.

3.1 Δεδομένα

Τα δεδομένα που παραχωρήθηκαν από τη Δ.Ε.Η. Χανίων αποτελούνται από δύο ημερήσιες μετρήσεις φορτίων (μετρημένα σε Ampere), την υψηλότερη τιμή που μετρήθηκε τις πρωινές-μεσημεριανές ώρες και την υψηλότερη τιμή που μετρήθηκε τις απογευματινές-νυχτερινές ώρες. Οι μετρήσεις αφορούν τις διάφορες γραμμές που εξυπηρετούν την ευρύτερη περιοχή των Χανίων και στην παρούσα εργασία δεν χρειάζονται όλες. Χρησιμοποιούνται μόνο οι γραμμές που καταλήγουν σε υποσταθμούς της πόλης των Χανίων. Αυτές είναι οι γραμμές με όνομα 220, 230, 260, 280, 330, 460, 400, 450 όπως φαίνεται στην εικόνα. Η χρονική στιγμή που σημειώνονται οι μέγιστες μετρήσεις δεν είναι καθημερινά η ίδια αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή και τις περιστάσεις. Ωστόσο πάντα κινείται μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος και σε αυτό προσδιορίζεται. Συγκεκριμένα θεωρούμε ότι το πρωινό μέγιστο είναι στις 13:00 και το βραδινό στις 22:00. Τα δεδομένα καλύπτουν το χρονικό διάστημα από το 1996 έως το 2011 ωστόσο χρησιμοποιούνται μόνο αυτά για τους θερινούς μήνες του 2007. Παρακάτω μια εικόνα παράδειγμα από τη αρχική μορφή των δεδομένων.

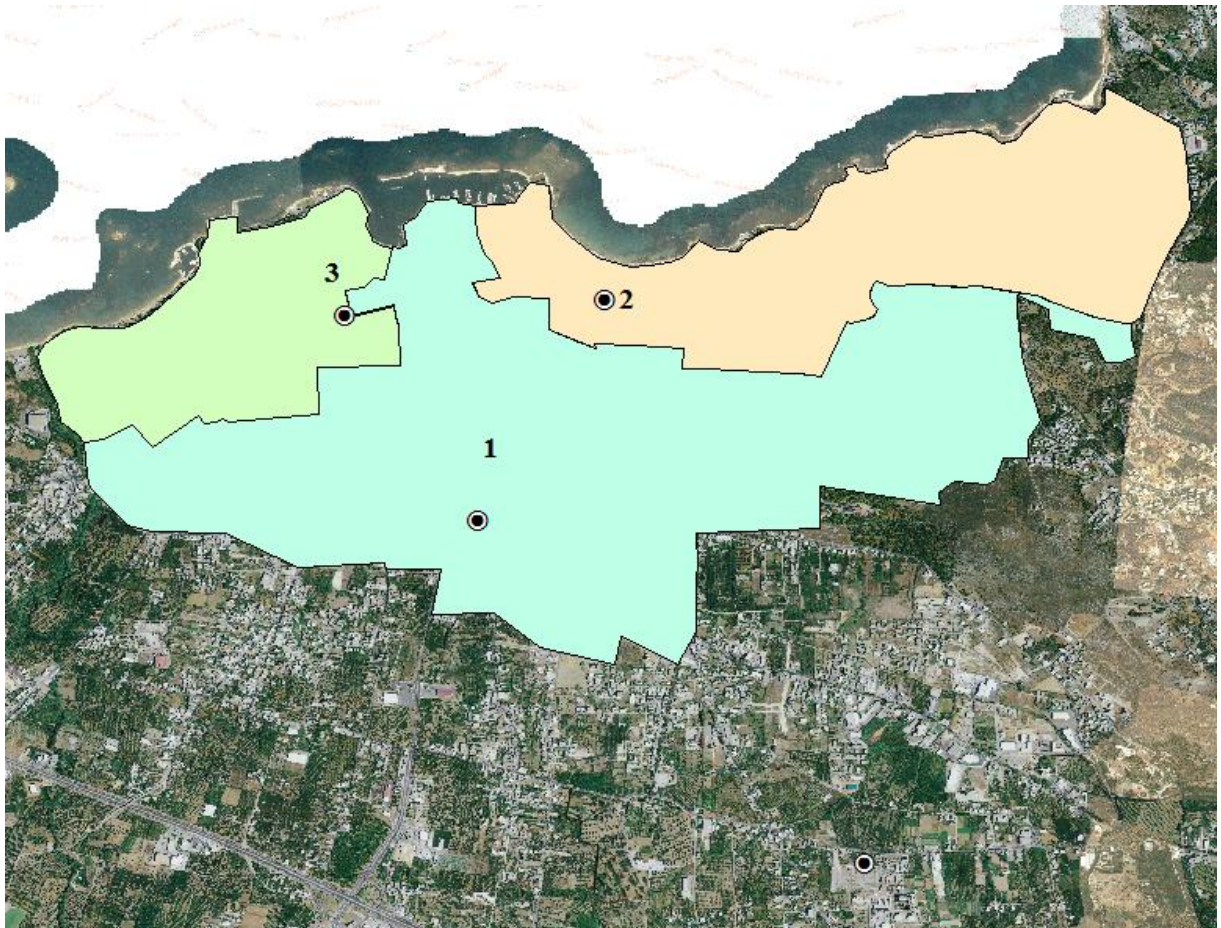
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
1	ΠΙΣΩ	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	320	330	340	350	360	370	380	390	400	415	450	460	
2	1 Π	50	100	110	220	90	40	40	20	70	30	100	140	70	90	60	90	30	30	160	160	90	140	
3	E	30	100	120	220	120	60	40	10	100	20	120	160	80	130	100	100	30	50	180	130	100	180	
4	2 Π	40	110	120	250	120	80	120	50	80	40	100	140	110	140	120	90	40	40	140	170	120	160	
5	E	40	130	140	300	130	70	140	30	90	30	150	180	110	140	100	40	40	50	200	210	130	200	
6	3 Π	70	110	120	270	130	80	130	60	80	30	100	130	120	120	130	100	60	60	140	180	120	160	
7	E	90	130	140	310	130	80	150	40	80	40	160	190	120	150	110	120	50	60	210	230	140	210	
8	4 Π	80	120	140	270	100	110	130	60	60	20	110	150	130	140	150	100	30	30	160	180	160	160	
9	E	90	160	120	360	150	120	140	90	110	40	160	210	120	160	110	130	40	60	230	230	200	250	
10	5 Π	70	140	160	300	140	120	140	90	90	30	110	160	130	120	140	100	40	40	170	180	180	200	
11	E	100	160	180	340	140	120	140	90	90	30	160	200	130	160	100	130	80	60	230	260	200	240	
12	6 Π	60	110	120	260	110	60	60	30	80	30	110	160	100	120	80	110	60	60	180	210	120	180	
13	E	70	120	140	290	130	60	60	30	70	20	140	190	110	150	100	120	40	60	200	250	130	210	
14	7 Π	60	100	110	240	130	40	50	20	80	30	100	140	90	100	80	80	40	40	160	180	100	150	
15	E	80	120	140	300	140	60	60	30	90	20	150	180	100	150	100	120	40	70	210	210	120	240	
16	8 Π	80	120	130	280	100	110	100	80	90	30	100	140	130	110	160	80	80	40	150	160	160	180	
17	E	100	140	160	340	130	80	150	60	90	30	160	200	120	160	110	120	80	60	220	210	160	220	
18	9 Π	70	110	130	260	110	100	120	80	100	30	100	140	120	110	150	80	80	40	130	180	160	180	
19	E	100	150	170	330	130	120	130	80	100	20	150	200	130	140	100	120	30	50	210	240	180	220	
20	10 Π	80	110	120	240	80	100	100	60	70	20	100	150	130	120	180	80	40	20	150	170	150	150	
21	E	90	150	160	350	150	90	140	70	90	40	150	200	120	150	90	120	40	50	210	240	150	220	
22	11 Π	70	120	130	210	90	110	120	80	90	20	110	140	130	120	140	80	70	40	150	170	150	180	
23	E	100	150	170	310	40	120	150	80	100	30	150	200	120	150	80	120	30	50	210	250	180	220	
24	12 Π	100	120	130	240	140	100	140	80	80	30	100	200	140	110	140	80	30	30	150	180	150	160	
25	E	90	140	160	320	140	120	140	80	90	30	150	200	120	140	90	120	50	30	210	230	170	220	
26	13 Π	120	140	160	320	140	100	100	80	100	10	150	160	130	130	80	130	50	50	150	170	170	220	
27	E	90	130	150	340	140	70	100	50	90	30	150	170	110	150	90	140	50	60	210	240	150	220	
28	14 Π	70	100	120	250	100	50	50	20	80	20	130	140	110	120	80	110	20	50	220	240	100	160	
29	E	80	120	140	200	100	60	60	20	80	20	100	200	110	140	90	110	30	50	230	240	110	200	
30	15 Π	90	110	120	250	80	100	120	80	80	20	140	150	130	120	140	80	60	40	160	180	150	160	
31	E	100	140	150	330	160	80	140	60	90	20	120	200	120	140	100	120	60	50	180	200	150	200	
32	16 Π	100	130	140	260	100	110	120	60	70	20	150	140	140	130	150	100	50	30	140	170	150	160	
33	E	100	160	180	330	120	120	140	80	100	30	100	220	140	150	90	120	60	30	190	230	150	210	
34	17 Π	80	110	130	260	120	100	100	80	80	20	160	160	150	130	150	80	60	20	160	190	160	160	
35	E	90	100	160	350	170	80	120	60	80	20	110	200	120	160	80	120	130	60	200	240	190	220	
36	18 Π	130	120	140	270	100	100	120	80	90	20	100	150	150	130	140	100	60	30	140	170	150	170	
37	E	70	150	170	330	240	120	80	80	80	20	100	200	120	150	90	120	60	30	220	240	150	220	
38	19 Π	100	110	130	250	140	100	100	80	80	20	140	140	120	110	140	80	30	30	160	180	160	240	
39	E	70	150	170	340	240	120	80	80	80	20	100	180	140	150	90	120	60	30	200	180	220	160	
40	20 Π	60	100	100	230	130	60	50	30	60	20	140	110	120	100	80	80	20	20	130	180	150	100	
41	E	70	120	140	300	120	70	40	20	80	20	30	120	110	130	100	110	60	20	0	180	220	150	
42	21 Π	60	90	100	240	100	40	50	20	60	20	110	120	110	90	80	90	30	40	140	160	140	180	
43	E	80	90	110	330	90	50	30	60	60	20	90	120	100	120	70	80	60	30	150	220	140	150	
44	22 Π	80	110	120	300	120	100	100	80	70	30	130	90	100	160	100	80	80	20	140	140	90	180	
45	E	60	120	140	240	110	80	100	30	80	20	100	120	100	80	160	120	20	30	200	170	90	180	
46	23 Π	70	110	130	300	100	100	120	60	70	90	130	90	130	120	140	110	50	20	130	160	150	220	
47	E	80	140	150	240	110	110	130	80	100	40	100	130	140	130	180	160	90	30	200	220	130	180	
14	◀ ▶ ↻ 🔍	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ ΜΑΡΤΙΟΣ ΑΠΡΙΛΙΟΣ ΜΑΙΟΣ ΙΟΥΝΙΟΣ ΙΟΥΛΙΟΣ ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ																						

Εικόνα 3.1. Η μορφή των αρχικών δεδομένων. Στον οριζόντιο άξονα είναι οι γραμμές και κάθετα οι μέρες του μήνα με το πρωινό και εσπερινό μέγιστο.

3.1.1 Υποσταθμοί Ζεύξης και περιοχές κάλυψης.

Η διανομή του ρεύματος, ξεκινάει από τον σταθμό παραγωγής ο οποίος τροφοδοτεί με ρεύμα τους υποσταθμούς ζεύξης. Από τους υποσταθμούς ζεύξης το ρεύμα διανέμεται σε άλλους μικρότερους υποσταθμούς - διανομείς και από εκεί φτάνει στον τελικό καταναλωτή. Στην περιοχή των Χανίων υπάρχουν ένας σταθμός παραγωγής και τρεις υποσταθμοί ζεύξης που χωρίζουν την πόλη σε τρεις περιοχές. Στον χάρτη φαίνονται οι τρεις σταθμοί με τις περιοχές που τροφοδοτεί ο καθένας. Οι μετρήσεις που χρησιμοποιούνται σε αυτή την εργασία είναι στο επίπεδο υποσταθμών ζεύξης. Ο υποσταθμός ζεύξης 1 καλύπτει την γαλάζια περιοχή και τροφοδοτείται από τις γραμμές 220, 230, 260 και 280. Ο υποσταθμός ζεύξης 2 καλύπτει την μπεζ περιοχή και σε αυτόν καταλήγουν οι γραμμές 330 και 460. Ο υποσταθμός ζεύξης 3 καλύπτει την πράσινη περιοχή και τροφοδοτείται από τις γραμμές 400 και 450.

Όσο αφορά το τεχνικό μέρος οι περιοχές κάλυψης και οι θέσεις των σταθμών σχεδιάστηκαν στο Google Earth από υπεύθυνο υπάλληλο της Δ.Ε.Η. Από το Google earth έγινε εξαγωγή ενός αρχείου τύπου kmz. Το αρχείο μετατράπηκε σε αρχείο τύπου shapefile μέσω μιας εφαρμογής στο διαδίκτυο (Kml2shp) και προστέθηκε στο ArcMap. Έπειτα οι περιοχές ξανασχεδιάστηκαν στο ArcMap με μεγαλύτερη λεπτομέρεια.



Εικόνα 3.2. Χάρτης με τις περιοχές που καλύπτει ο κάθε υποσταθμός ζεύξης και τη θέση του. Το σημείο έξω από την πόλη των Χανίων αντιπροσωπεύει τον κεντρικό σταθμό της Δ.Ε.Η.

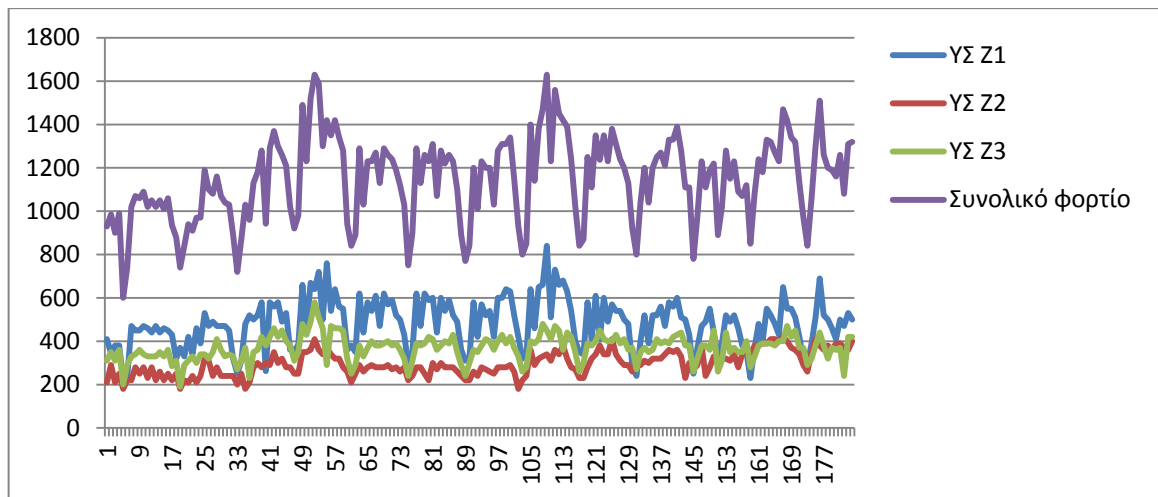
Πίνακας 3.1. Θέση σταθμών στο χάρτη και σύνδεση με γραμμές		
Σταθμός		Γραμμές
1	Υποσταθμός Ζεύξης 1	220, 230, 260, 280
2	Υποσταθμός Ζεύξης 2	330, 460
3	Υποσταθμός Ζεύξης 3	400, 450

3.1.2 Χάρτες

Ο Δήμος Χανίων έχει αναπτύξει ιστοσελίδα (<http://gis.chania.gr/>) η οποία χρησιμοποιεί Γεωγραφικό Σύστημα Δεδομένων (GIS) και περιλαμβάνει δεδομένα χαρτών. Από αυτήν την ιστοσελίδα με το πρόγραμμα MapGrabber αποθηκεύτηκε το τμήμα του χάρτη της περιοχής των Χανίων που χρησιμοποιείται στην εργασία αυτή. Αποθηκεύτηκε σε τύπο αρχείου tiff, ένας τύπος αρχείου εικόνας που μπορεί να φέρει πρόσθετες πληροφορίες όπως γεωγραφική θέση και σύστημα συντεταγμένων. Μετά την εισαγωγή στο ArcMap ο χάρτης δεν χρειάζεται καμία επιπλέον επεξεργασία και χρησιμοποιείται σαν επίπεδο βάσης πάνω στο οποίο τοποθετούνται επίπεδα που αναπαριστούν πληροφορία.

3.2 Επεξεργασία των μετρήσεων φορτίου.

Με ορισμένα τα γεωγραφικά όρια της κάθε περιοχής και γνωστές τις γραμμές που την τροφοδοτούν υπολογίστηκαν τα πρωινά και εσπερινά μέγιστα α) συνολικά για την περιοχή των Χανίων, β) για την περιοχή που καλύπτει ο κάθε υποσταθμός. Αυτό έγινε χρησιμοποιώντας το excel και προσθέτοντας τις στήλες των γραμμών μεταφοράς ανά περιοχή. Από την προεπεξεργασία αυτή δημιουργούμε το παρακάτω διάγραμμα στο excel που δείχνει τα δύο μέγιστα κάθε ημέρας για τους τρεις υποσταθμούς ζεύξης και για το συνολικό φορτίο.



Εικόνα 3.3. Γραφική παράσταση μεγίστων ηλεκτρικού φορτίου για κάθε υποσταθμό ζεύξης.

3.2.1 Δημιουργία ημερήσιας καμπύλης φορτίου.

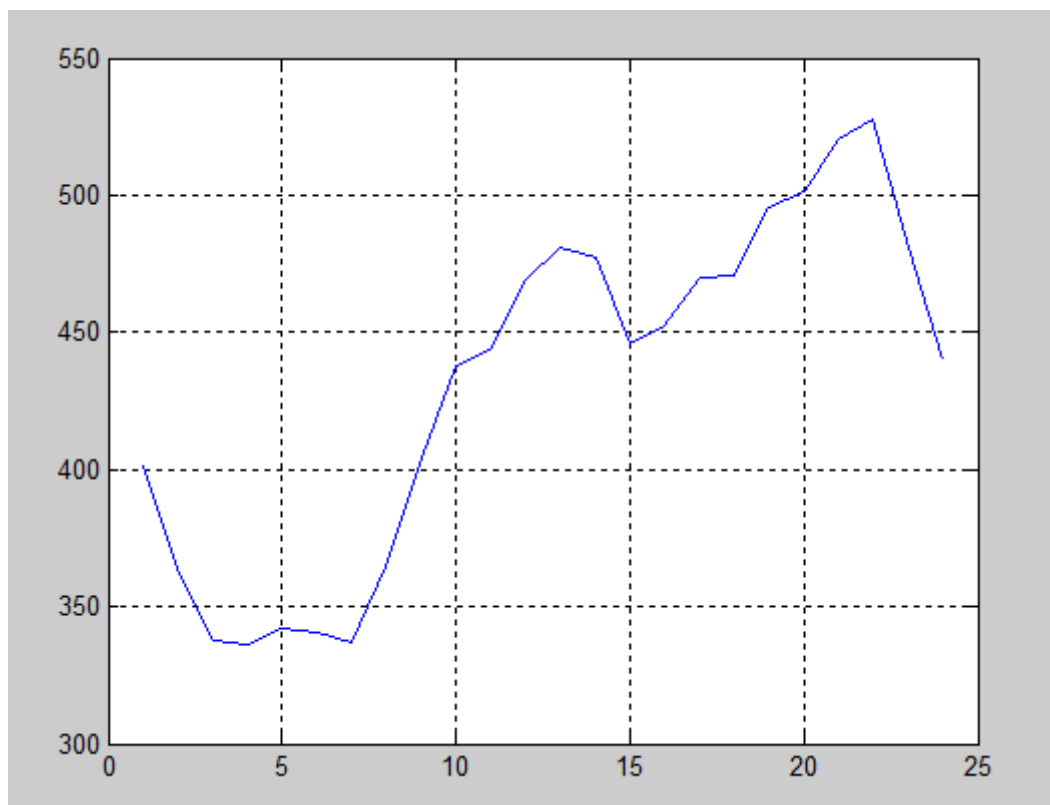
Για να γίνει έλεγχος και αντιστοίχιση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας με τη θερμοκρασία θεωρήθηκε απαραίτητη η δημιουργία της ημερήσιας καμπύλης κατανάλωσης ή καμπύλη φορτίου όπως ονομάζεται διαφορετικά. Η ημερήσια καμπύλη κατανάλωσης είναι ένα γράφημα που δείχνει την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας στο διάστημα 24 ωρών. Αυτό γίνεται έτσι ώστε να μπορεί να γίνει μια μια-προς-μια αντιστοίχιση των τιμών κατανάλωσης και θερμοκρασίας και να εξεταστεί κατά πόσο υπάρχει κάποια συσχέτιση. Επειδή τα διαθέσιμα δεδομένα παρέχουν μόνο δύο τιμές ανά μέρα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποια υπάρχουσα καμπύλη ως οδηγός έτσι ώστε να «παραχθούν» οι μετρήσεις κατανάλωσης και για τις υπόλοιπες ώρες. Αυτό σημαίνει ότι αναζητούμε μια τυπική καμπύλη κατανάλωσης μιας πόλης.

3.2.2 Τυπική καμπύλη φορτίου.

Ψάχνοντας για μια τυπική καμπύλη κατανάλωσης, κάποιος παρατηρεί ότι υπάρχει μια πληθώρα μελετών πάνω στο θέμα και συνειδητοποιεί ότι δεν υπάρχει μια τυπική καμπύλη κατανάλωσης που να μπορεί να περιγράψει όλες τις περιπτώσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί χρησιμοποιείται για να περιγράψει διάφορες χρήσεις όπως οικιακή, εμπορική, βιομηχανική, κοινοτική, αρδευτική σε διαφορετικές εποχές και σε διαφορετικά μεγέθη (επίπεδο οικίας, οικισμού, πόλης, νομού) ενώ ακόμα γεωγραφικά και μετεωρολογικά στοιχεία έχουν καθοριστικό ρόλο. Κάθε μια από τις προαναφερθείσες παραμέτρους μπορεί να επηρεάσει

σημαντικά την τελική μορφή της καμπύλης. Τελικά καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι τοπικές και ειδικές παράμετροι που καθορίζουν μια περιοχή είναι από τις πιο σημαντικές και έτσι πρέπει να γίνει χρήση μιας καμπύλης που αναφέρεται σε δεδομένα των Χανίων. Επειδή αυτά τα δεδομένα δεν ήταν διαθέσιμα, χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις φορτίων ολόκληρης της Κρήτης. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα είναι ωριαίες μετρήσεις (24 για κάθε μέρα) του συνόλου του φορτίου για όλη την Κρήτη (σε Ampere) και καλύπτουν ολόκληρο το καλοκαίρι του 2008.

Από τα διαθέσιμα αυτά δεδομένα βρέθηκε ότι η τυπική μέρα καλοκαιριού με βάση το φορτίο είναι η 25/7/2008. Αυτό υπολογίστηκε ως εξής: Αρχικά, από το άθροισμα των καθαρών ωριαίων φορτίων Κρήτης για κάθε μέρα του καλοκαιριού εξάγεται το συνολικό φορτίο ημέρας. Έπειτα, υπολογίζεται ο μέσος όρος των συνολικών φορτίων ημέρας. Η μέρα που το συνολικό της φορτίο έχει τη μικρότερη διαφορά από τον μέσο όρο είναι η τυπική μέρα καλοκαιριού με βάση το φορτίο. Η καμπύλη της ημέρας αυτής θα λειτουργήσει ως οδηγός για την διαμόρφωση των καμπυλών όλων των άλλων ημερών σε σύνθεση με τις μετρήσεις ηλεκτρικού φορτίου των θερινών μηνών του 2007.

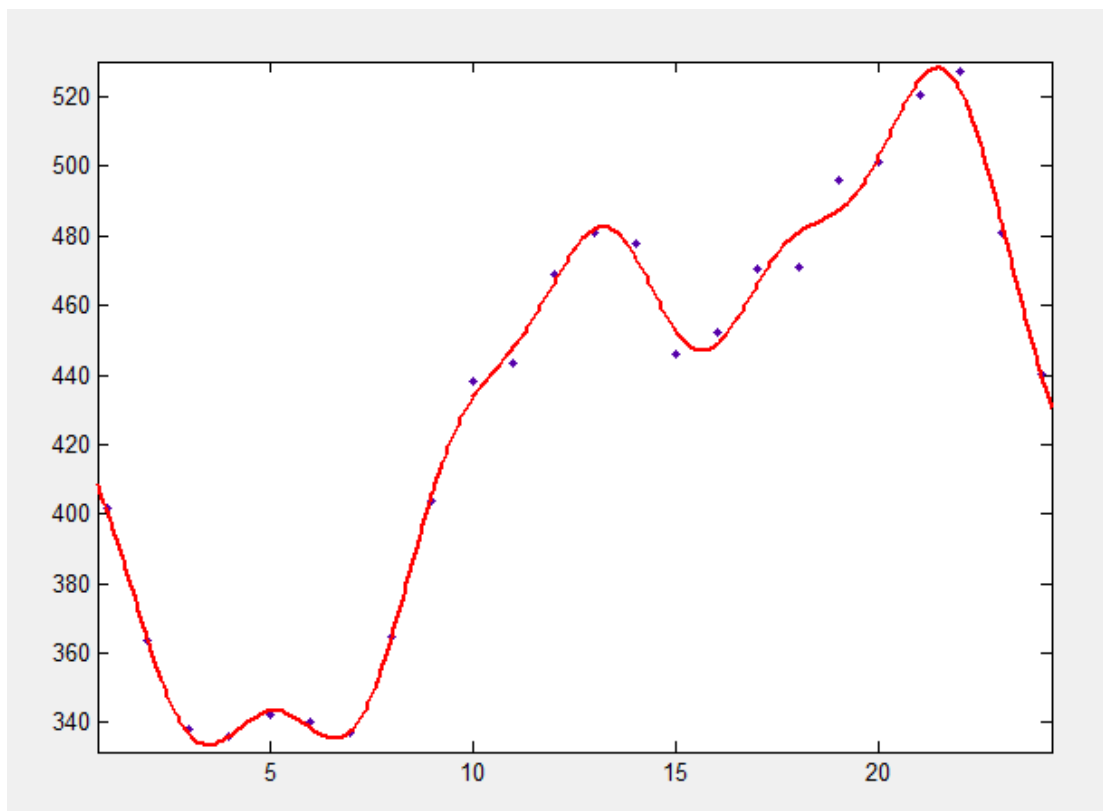


Συνολικό φορτίο (A) – Χρόνος (h)

Εικόνα 3.4. Γραφική παράσταση φορτίου της ημέρας 25/7/2008 από τις αρχικές μετρήσεις.

3.2.3 Εξαγωγή συνάρτησης από την καμπύλη φορτίου – Curve Fitting.

Έχοντας την μορφή της καμπύλης έπρεπε να γίνει εξαγωγή κάποιου μαθηματικού τύπου που την περιγράφει. Αυτό έγινε με το εργαλείο Curve Fitting από τις εργαλειαίες της Matlab. Η διαδικασία είναι αρκετά απλή. Αφού γίνει η εισαγωγή των μετρήσεων της 25/7/2008 σε μορφή διανύσματος (1x24), έπειτα μέσα από το fitting γίνεται η προσπάθεια να βρεθεί μια συνάρτηση η οποία προσεγγίζει όσο καλύτερα γίνεται τα σημεία κρατώντας την πολυπλοκότητα της όμως σε μικρό επίπεδο. Το εργαλείο δίνει διαφορετικούς τύπους συναρτήσεων για επιλογή όπως Fourier, Gaussian, Weibull, πολυωνυμική, εκθετική και άλλες. Επειδή από κάθε ημέρα είναι διαθέσιμα μόνο τα δύο μέγιστα στην επιλογή της καμπύλης προσπαθούμε να επιλέξουμε μια καμπύλη που τα μέγιστα της είναι όσο πιο κοντά γίνεται στα πραγματικά μέγιστα. Προσπαθούμε να επιλέξουμε μια λύση χαμηλού βαθμού διότι όσο αυξάνεται ο βαθμός της τόσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα της και συνεπώς ο χρόνος εκτέλεσης. Καταλήγουμε στην επιλογή του αθροίσματος ημιτόνων (Sum of Sin Functions) που έχει μικρή απόκλιση από τα πραγματικά δεδομένα όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.5 και στα στατιστικά που μας δείχνει η Matlab.



Συνολικό φορτίο (A) – Χρόνος (h)

Εικόνα 3.5. Curve Fitting: Η καμπύλη φορτίου της ημέρας 25/7/2008 όπως προσεγγίζεται από άθροισμα ημιτονοειδών συναρτήσεων.

Από το εργαλείο Curve Fitting εξάγεται η συνάρτηση.

Γενικό μοντέλο 6 ημιτόνων:

$$f(x) = \sum_{n=1}^6 a_n \sin(b_n x + c_n) \quad (3.1)$$

Συντελεστές (με 95% όρια εμπιστοσύνης - confidence bounds):

$$a_1 = 785.3 \text{ } (-2.996\text{e}+007, 2.996\text{e}+007)$$

$$b_1 = 0.0756 \text{ } (-833, 833.2)$$

$$c_1 = 1.314 \text{ } (-1.006\text{e}+004, 1.006\text{e}+004)$$

$$a_2 = 422.8 \text{ } (-2.871\text{e}+007, 2.871\text{e}+007)$$

$$b_2 = 0.1499 \text{ } (-3110, 3110)$$

$$c_2 = 3.991 \text{ } (-3.605\text{e}+004, 3.606\text{e}+004)$$

$$a_3 = 42.27 \text{ } (-3.949\text{e}+005, 3.95\text{e}+005)$$

$$b_3 = 0.4457 \text{ } (-1030, 1031)$$

$$c_3 = 3.192 \text{ } (-1.45\text{e}+004, 1.451\text{e}+004)$$

$$a_4 = 13.7 \text{ } (-2.676\text{e}+004, 2.679\text{e}+004)$$

$$b_4 = 0.7396 \text{ } (-172.5, 173.9)$$

$$c_4 = 5.09 \text{ } (-2765, 2775)$$

$$a_5 = 1.11 \text{ } (-425, 427.3)$$

$$b_5 = 1.197 \text{ } (-138.7, 141.1)$$

$$c_5 = 1.098 \text{ } (-1940, 1942)$$

$$a_6 = 9.715 \text{ } (-233.1, 252.6)$$

$$b_6 = 1.513 \text{ } (-1.315, 4.342)$$

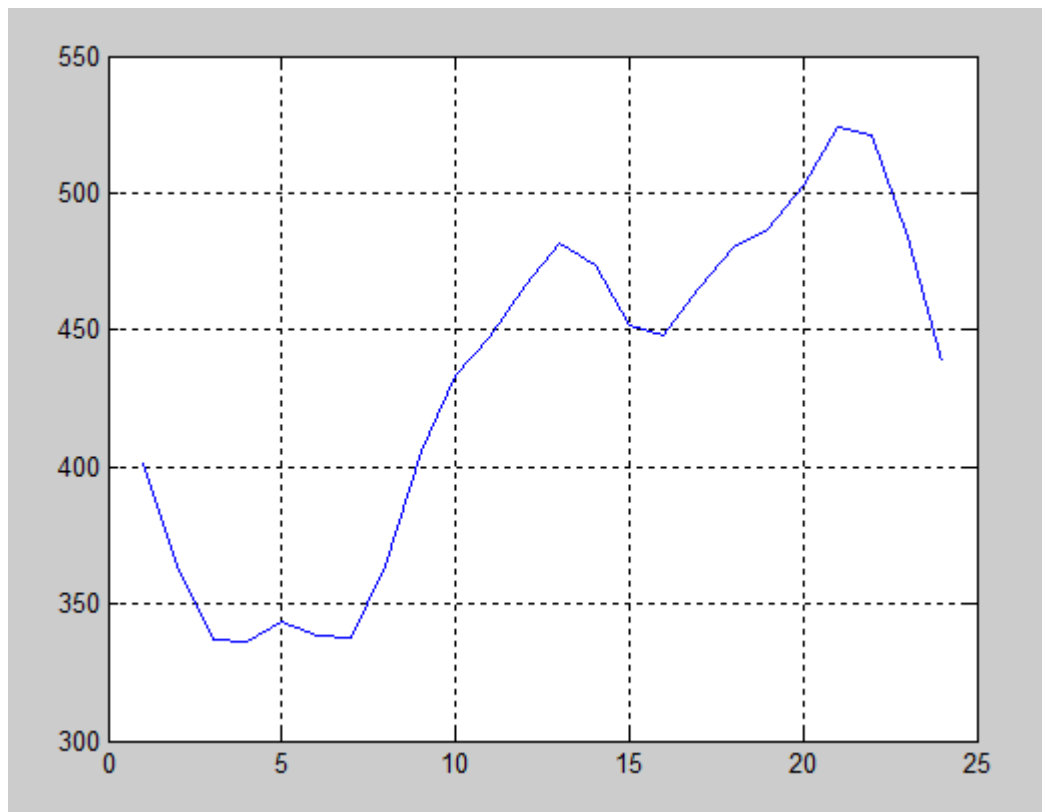
$$c_6 = 0.1355 \text{ } (-34.84, 35.11)$$

Το εργαλείο Curve Fitting επίσης παράγει τα στατιστικά συμφωνίας της λύσης με τα δεδομένα.

Πίνακας 3.2 Στατιστικά συμφωνίας της συνάρτησης με τα δεδομένα.	
Αθροισμα τετραγωνικού σφάλματος (SSE)	379
Συντελεστής Προσδιορισμού (R-square)	0.9959
Προσαρμοσμένος Συντελεστής Προσδιορισμού (Adjusted R-square)	0.9843
Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (RMSE)	7.947

3.2.4 Παραγωγή καμπύλης ημερήσιου φορτίου για κάθε μέρα.

Τα μέγιστα σε αυτή τη καμπύλη όπως φαίνεται σημειώνονται στις 13:20 το πρωινό και στις 21:40 το εσπερινό το οποίο είναι και το ολικό μέγιστο. Ωστόσο αυτό δεν έχει σημασία γιατί έχοντας επιλέξει την συνάρτηση αυτή, την χρησιμοποιούμε για να παράγουμε την γραφική της ημέρας για τα 24 διακριτά σημεία - ώρες που χρειάζεται.



Συνολικό φορτίο (A) – Χρόνος (h)

Εικόνα 3.6. Η γραφική φορτίου της ημέρας 25/7/2007 όπως παράγεται από την συνάρτηση για 24 σημεία.

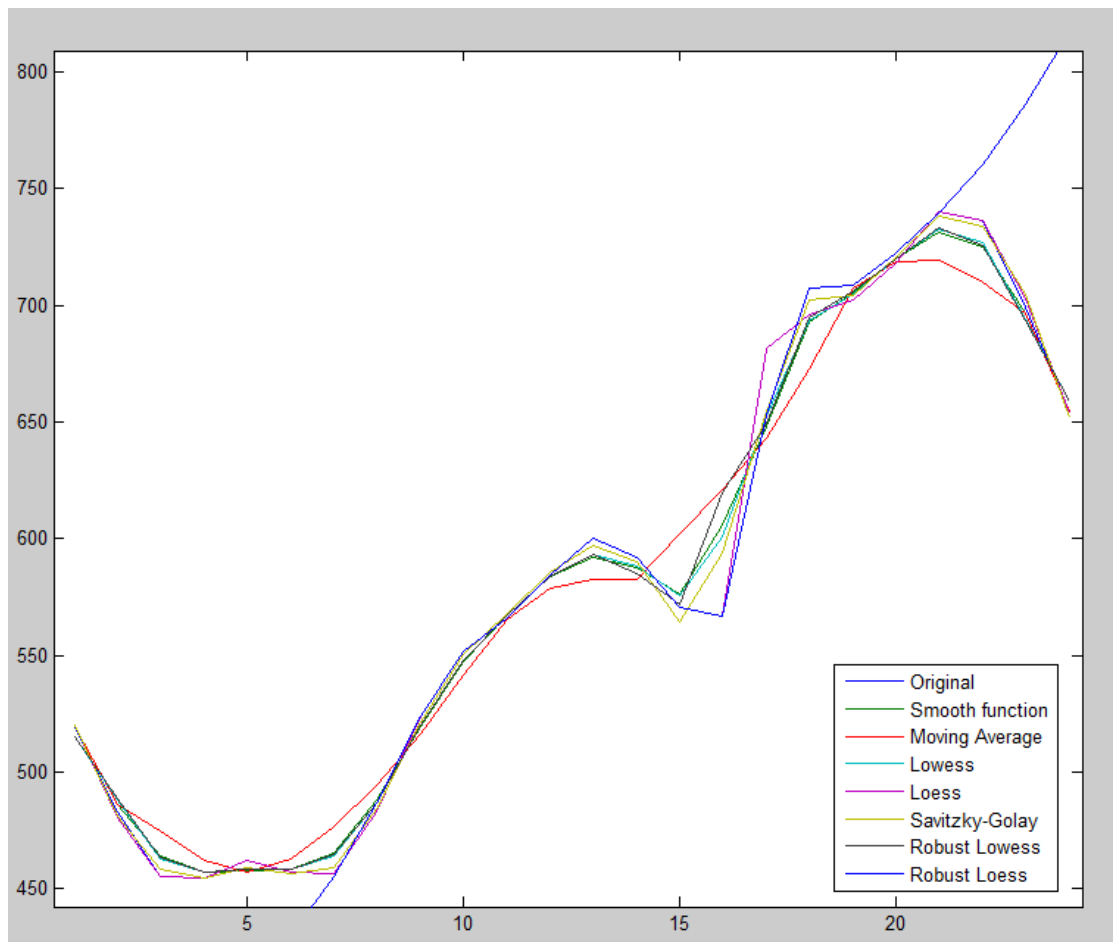
Συγκρίνοντας την γραφική αυτή με την Εικόνα 3.5 παρατηρείται ότι έχουν μεγάλο βαθμό ομοιότητας με την σημαντική διαφορά ότι το μέγιστο της προσέγγισης σημειώνεται στις 21:00 αντί για τις 22:00 που είναι στην πραγματικότητα. Αυτό συμβαίνει γιατί η προσέγγιση αν και είναι αρκετά καλή δεν είναι τέλεια. Αυτό το πρόβλημα θα λυθεί παρακάτω.

Με βάση λοιπόν αυτό το σχήμα που αντιπροσωπεύει τον μέσο όρο των καμπυλών και την παραδοχή ότι τα μέγιστα όλων των ημερών θα σημειώνονται τις ίδιες ώρες προσπαθούμε να δημιουργήσουμε καμπύλες για όλες τις μέρες του καλοκαιριού. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα script στη Matlab. Με διαθέσιμες τις πραγματικές μετρήσεις των δύο μεγίστων ανά μέρα, προσαρμόζουμε την τυπική καμπύλη έτσι ώστε η μέτρηση του πρωινού μεγίστου να ταυτίζεται με το πρωινό μέγιστο της καμπύλης. Αυτό γίνεται πολύ απλά αφαιρώντας από την πρωινή μέτρηση το ύψος της καμπύλης στο σημείο που αντιστοιχεί στις 13:00. Η τιμή της καμπύλης στο σημείο είναι 481.4 (A). Με τον τρόπο αυτό η συνάρτηση έχει πρωινό μέγιστο την πραγματική μέτρηση στις 13:00. Στην συνέχεια γίνεται το ίδιο για το εσπερινό μέγιστο. Δηλαδή αφαιρείται από το εσπερινό μέγιστο η τιμή της συνάρτησης στις 22:00 που είναι

524.28 (A). Έτσι πλέον για κάθε μέρα υπάρχουν δυο καμπύλες που η κάθε μια ταυτίζεται με το ένα από τα δύο μέγιστα. Έτσι τώρα πρέπει να γίνει η σύνθεση αυτών των δύο καμπυλών για να προκύψει η καμπύλη για κάθε μέρα. Η σύνθεση γίνεται κρατώντας από την πρώτη καμπύλη το μέρος έως και τις 16:00 και τοποθετώντας στο υπόλοιπο το μέρος 16:00-24:00 της δεύτερης καμπύλης. Η τομή επιλέχθηκε να γίνει στις 16:00 γιατί βρίσκεται κοντά στο μέσο της απόστασης μεταξύ του 13:00 και του 22:00 αλλά και γιατί εκεί σημειώνεται ένα τοπικό ελάχιστο το οποίο θα κάνει την επικόλληση του δεύτερου μέρους να φαίνεται πιο ομαλή δημιουργώντας αληθοφανείς τιμές. Αφού τελικά ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία έχουμε την καμπύλη για κάθε μέρα.

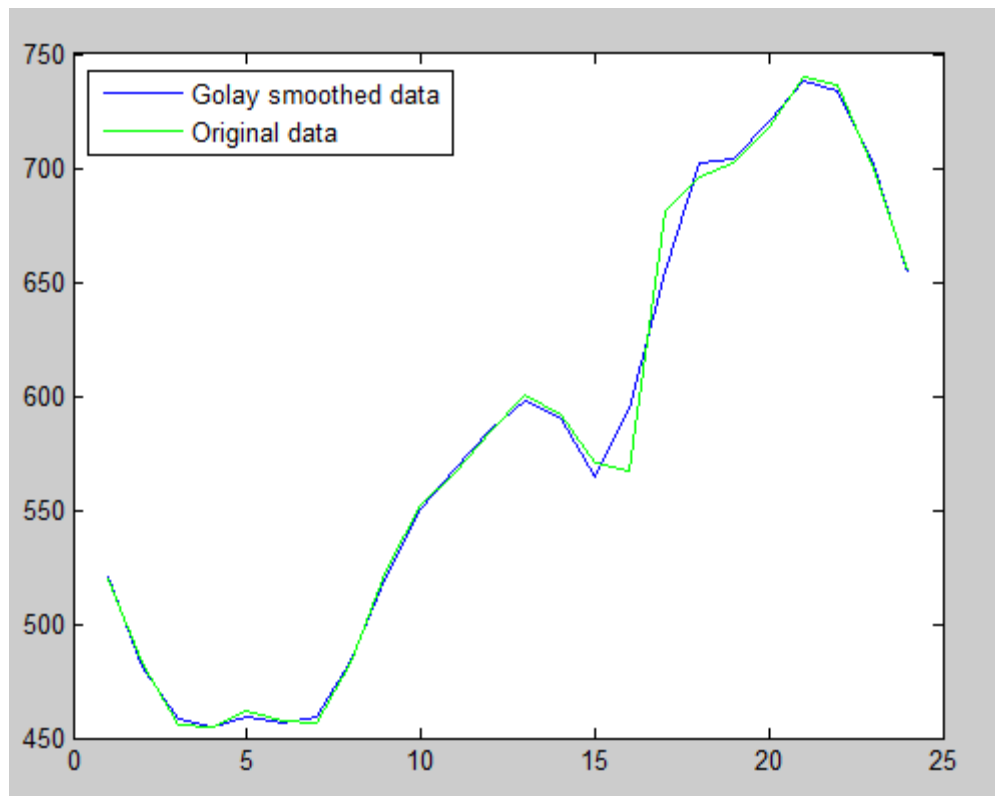
3.2.5 Ομαλοποίηση καμπυλών – Smoothing.

Για να γίνει λίγο πιο ομαλή η ένωση, έγινε η χρήση της συνάρτησης Smooth της Matlab ή οποία κάνει πιο ομαλές και λείες τις γραφικές. Ο λόγος είναι ότι σε ορισμένες περιπτώσεις από το σημείο που γίνεται η ένωση και μετά παρουσιάζονται δραματικές αλλαγές με συνέπεια η γραφική να παρουσιάζει μεγάλη κλίση που στην πραγματικότητα θα φαινόταν αφύσικη. Στην προσπάθεια να ομαλοποιηθούν αυτές οι κλίσεις έγινε χρήση της συνάρτησης smoothing. Ανάμεσα στις πολλές επιλογές μεθόδων, που παρέχονται από την συνάρτηση, επιλέχθηκε το φίλτρο Savitzky-Golay, διότι λειάνει την συνάρτηση ως ένα βαθμό, χωρίς όμως να καταργεί τα ακρότατα της, διατηρώντας το γενικότερο αρχικό σχήμα της και τις τιμές των μεγίστων πολύ κοντά στις πραγματικές, αντίθετα με άλλες μεθόδους που είτε ακολουθούν πιστά την αρχική γραφική (Loess), είτε έχουν μεγάλη απόκλιση (Robust Loess) όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.6. Παρατηρείται όμως ότι με το φίλτρο τα δυο μέγιστα μετατοπίζονται ελάχιστα και για το λόγο αυτό τοποθετούνται οι πραγματικές τιμές στις θέσεις 13:00 και 22:00. Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν οι ημερήσιες γραφικές παραστάσεις συνολικού φορτίου ή κατανάλωσης για την περιοχή της πόλης των Χανίων το καλοκαίρι του 2007.



Συνολικό φορτίο (A) – Χρόνος (h)

Εικόνα 3.7. Σύγκριση μεθόδων smoothing για την γραφική της ημέρας 2/6/2007 .



Συνολικό φορτίο (A) – Χρόνος (h)

Εικόνα 3.8. Η επίδραση της μεθόδου smoothing Savitzky-Golay στην γραφική της ημέρας 2/6/2007 .

3.2.6 Παραγωγή τελικών τιμών-εκτιμήσεων φορτίου.

Εφαρμόζοντας ολόκληρη την διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω σε ένα Matlab script, και χρησιμοποιώντας ως είσοδο τις μετρήσεις για κάθε υποσταθμό παράγονται οι τελικές καμπύλες για κάθε μέρα και κάθε περιοχή από τις οποίες εξάγονται 24 τιμές φορτίου για κάθε μέρα. Συνοψίζοντας με αυτήν την διαδικασία έγινε παραγωγή νέων, θεωρητικώς αξιόπιστων τιμών, με βάση πραγματικές μετρήσεις και πραγματική καμπύλη κατανάλωσης. Από τις 184 μετρήσεις (δύο για κάθε μια από τις 92 μέρες του καλοκαιριού) που ήταν διαθέσιμες στην αρχή, καταλήξαμε να έχουμε 2.208 ωριαίες τιμές φορτίου για κάθε σταθμό διατηρώντας τις αρχικές.

Χρόνος	ΥΣ Ζ1	ΥΣ Ζ2	ΥΣ Ζ3	Συνολικό Φορτίο
01/06/2007 01:00	330,319	130,319	230,3188	850,3188112
01/06/2007 02:00	290,866	90,8661	190,8661	810,8660986
01/06/2007 03:00	268,575	68,5753	168,5753	788,5753202
01/06/2007 04:00	264,853	64,8534	164,8534	784,8534036
01/06/2007 05:00	268,839	68,8391	168,8391	788,8390948
01/06/2007 06:00	266,489	66,4894	166,4894	786,4894097
01/06/2007 07:00	269,347	69,3473	169,3473	789,347286
01/06/2007 08:00	294,182	94,1823	194,1823	814,182253
01/06/2007 09:00	331,692	131,692	231,6917	851,6916746
01/06/2007 10:00	360,321	160,321	260,3215	880,3214748
01/06/2007 11:00	378,235	178,235	278,2346	898,2346148
01/06/2007 12:00	395,763	195,763	295,7634	915,7633993
01/06/2007 13:00	410	210	310	930
01/06/2007 14:00	400,088	200,088	300,088	920,0880121
01/06/2007 15:00	392,031	179,603	283,0311	901,7453618
01/06/2007 16:00	351,322	188,608	278,3224	902,1795883
01/06/2007 17:00	312,435	220,149	290,4352	921,5780321
01/06/2007 18:00	289,682	247,11	303,6816	939,9673102
01/06/2007 19:00	309,178	254,178	314,178	949,1780276
01/06/2007 20:00	325,618	270,618	330,618	965,6180352
01/06/2007 21:00	343,139	288,139	348,1393	983,1393299
01/06/2007 22:00	345	290	350	985
01/06/2007 23:00	306,29	251,29	311,2897	946,2896528
02/06/2007 00:00	258,922	203,922	263,922	898,9219645
02/06/2007 01:00	300,319	130,319	230,3188	820,3188112
02/06/2007 02:00	260,866	90,8661	190,8661	780,8660986
02/06/2007 03:00	238,575	68,5753	168,5753	758,5753202
02/06/2007 04:00	234,853	64,8534	164,8534	754,8534036
02/06/2007 05:00	238,839	68,8391	168,8391	758,8390948
02/06/2007 06:00	236,489	66,4894	166,4894	756,4894097
02/06/2007 07:00	239,347	69,3473	169,3473	759,347286

Εικόνα 3.9. Πίνακας με τις τιμές φορτίου που παρήχθησαν για κάθε υποσταθμό. Τα δύο μέγιστα της κάθε μέρας δεν έχουν δεκαδικά ψηφία διότι ανήκουν στις αρχικές μετρήσεις και δεν είναι εκτιμήσεις με βάση την καμπύλη φορτίου όπως οι υπόλοιπες.

3.3 Οπτική αναπαράσταση του ηλεκτρικού φορτίου στον χάρτη με χρήση του ArcMap.

Με κεντρική ιδέα την δημιουργία ενός γενικότερου συστήματος εποπτείας και διαχείρισης του ηλεκτρικού φορτίου και τις μετρήσεις-εκτιμήσεις για κάθε ώρα του καλοκαιριού ανά περιοχή της πόλης των Χανίων διαθέσιμες, είναι εφικτό και πολύ χρηστικό να γίνει η οπτική αναπαράσταση των τελευταίων στον χάρτη των Χανίων. Σκοπός είναι να γίνει μια ποσοτική αναπαράσταση που εκφράζει το μέγεθος του φορτίου κάθε στιγμή σε κάθε μια από τις τρεις περιοχές που καλύπτουν οι υποσταθμοί ζεύξης. Η αναπαράσταση γίνεται με το ArcMap και η διαδικασία είναι ελαφρώς πολύπλοκη καθώς εμπλέκονται πολλές μεταβλητές και περιορισμοί του προγράμματος.

Αρχικά θα δημιουργηθούν τα χωρικά δεδομένα δηλαδή τα σχήματα των περιοχών. Θα ακολουθήσει η εισαγωγή των μετρήσεων φορτίου και χρόνου σε μορφή πινάκων. Στην συνέχεια θα με χρήση διαφόρων τεχνικών θα γίνει η σύνδεση των δυο και τελικά θα γίνει οπτική αναπαράσταση του φορτίου κάθε περιοχής στο χάρτη με βάση τον χρόνο.

Το κυριότερο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο το ArcGis διαχειρίζεται τα χρονικά δεδομένα. Συγκεκριμένα στο ArcGis ένα shapefile, δηλαδή ένας από τους πιο βασικούς τύπους αρχείων χωρικών δεδομένων, δεν μπορεί να αποθηκεύσει δεδομένα ώρας. Ο τύπος αρχείου Shapefile, δεν υποστηρίζει δεδομένα χρόνου ως ώρα και λεπτά σαν χαρακτηριστικό. Υποστηρίζει μόνο δεδομένα τύπου ημερομηνίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το shapefile χρησιμοποιεί μια παλαιότερη προδιαγραφή του dBase αρχείου (.Dbf) για να αποθηκεύσει τον πίνακα χαρακτηριστικών. Ωστόσο υπάρχει τρόπος να ξεπεραστεί αυτός ο περιορισμός. Τα δεδομένα χρόνου (ώρας και λεπτών), μπορούν να αποθηκευτούν τοπικά σε μία από τις μορφές ESRI Geodatabase δηλαδή σε File Geodatabase ή Personal Geodatabase. Όμως ακόμη και με αυτές τις μορφές, υπάρχουν περιορισμοί σχετικά με το πόσο καλά υποστηρίζονται πεδία χαρακτηριστικών τύπου χρόνου.

3.3.1 Μορφοποίηση δεδομένων και εισαγωγή στο ArcMap.

Αρχικά όπως στις περισσότερες εργασίες στο ArcMap δημιουργούμε μια βάση τύπου File Geodatabase για την αποθήκευση όλων των δεδομένων. Αυτό είναι απαραίτητο ειδικότερα όταν υπάρχουν χρονικά δεδομένα και πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε ένα animation. Έπειτα γίνεται η δημιουργία του Shapefile τύπου Polygon features, με σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων το «GCS_WGS_1984». Σε αυτό σχεδιάζονται οι τρεις περιοχές με το εργαλείο Draw από την εργαλειοθήκη Editor. Κάθε περιοχή αποθηκεύεται ανεξάρτητα στο Shapefile παρόλο που και οι τρεις περιοχές συνορεύουν και μοιράζονται κοινές γραμμές, έχουν ένα μοναδικό κλειδί (FID) στον πίνακα χαρακτηριστικών.

Στην συνέχεια δημιουργούμε ένα αρχείο excel που περιέχει όλες τις μετρήσεις φορτίου για όλες τις περιοχές ανά χρονική στιγμή. Ο τύπος και η μορφή των δεδομένων του αρχείου είναι σημαντικός καθώς αυτό θα εισαχθεί στην βάση του ArcMap. Το αρχείο excel περιέχει 4 στήλες Υποσταθμός, Φορτίο, FID, Χρονική στιγμή (Timestamp). Η στήλη υποσταθμού περιέχει το κωδικό-όνομα του υποσταθμού (ys1,ys2,ys3) για να γνωρίζουμε σε ποιον υποσταθμό ζεύξης αναφέρεται. Η στήλη «Φορτίο» φέρει τις μετρήσεις φορτίου που δημιουργήθηκαν. Το πεδίο FID παίρνει τιμές από 1 έως 3 οι οποίες αντιστοιχούν στο μοναδικό κλειδί-κωδικό (FID) που έχει το κάθε πολύγωνο στο shapefile. Ουσιαστικά το FID

σε ορολογία βάσεων δεδομένων είναι ένα foreign key και υπάρχει για να γίνει η ένωση αυτού του πίνακα με το shapefile. Τέλος η χρονική στιγμή είναι ένα πεδίο τύπου αριθμού και περιέχει τις ημερομηνίες ώρες για την κάθε μέτρηση στη μορφή Έτος-Μήνας-Ημέρα-Ωρα-Λεπτό (π.χ. 200706011400). Τα λεπτά αν και δεν ήταν απαραίτητα καθώς όλες οι μετρήσεις είναι στις ακριβώς χρησιμοποιούνται για να ικανοποιήσουν το format της ημερομηνίας και ώρας που χρησιμοποιεί το ArcGis.

Στη βάση (File geodatabase) δημιουργούμε έναν πίνακα (Δεξί κλικ, New, Table) και στην επιλογή των πεδίων που θα περιέχει κάνουμε εισαγωγή (Import) του αρχείου excel. Ονομάζουμε τον πίνακα Time Table. Κατά την εισαγωγή προσέχουμε έτσι ώστε τα πεδία που δημιουργούνται να είναι του ίδιου ή παρόμοιου τύπου (π.χ. το ArcMap διαβάζει το πεδίο της χρονικής στιγμής ως double - δεκαδικό αριθμό διπλής ακρίβειας). Έτσι ο πίνακας που δημιουργήθηκε έχει τα πεδία του αρχείου excel. Στην συνέχεια φορτώνουμε τα δεδομένα στον πίνακα, μέσα από το ArcCatalog με δεξί κλικ στον πίνακα, Load, Load Data και επιλογή του αρχείου excel.

3.3.2 Σύνδεση χωρικών και χρονικών δεδομένων.

Σε αυτό το σημείο έχουμε ένα shapefile με τις περιοχές και μια βάση τύπου File Geodatabase που περιέχει έναν πίνακα με τις μετρήσεις φορτίου σε κάθε περιοχή. Για να εισάγουμε τις περιοχές του shapefile στην βάση δημιουργούμε ένα αρχείο τύπου Feature Class με δεξί κλικ πάνω στη βάση, New, Feature Class. Για το Feature Class αρχείο που δημιουργούμε, επιλέγουμε να έχει Polygon Features και για το σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων κάνουμε εισαγωγή του Shapefile το οποίο χρησιμοποιεί το σύστημα «GCS_WGS_1984». Το ονομάζουμε «Areas», επειδή φέρει τα γεωγραφικά στοιχεία των περιοχών. Κατά την δημιουργία των πεδίων του Feature Class, γίνεται και πάλι εισαγωγή όλων των πεδίων του Shapefile. Αφού δημιουργηθεί ο πίνακας γίνεται φόρτωση των στοιχείων του Shapefile, μέσα από το ArcCatalog με δεξί κλικ στο Feature Class, Load, Load Data.

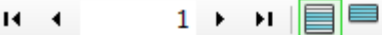
Με όλα τα δεδομένα πλέον μέσα στην βάση, η σύνδεση του Feature Class με το «Time Table» γίνεται με την δημιουργία ενός Query Table. Το Query Table είναι όπως φαίνεται και από το όνομα του ένας πίνακας που προκύπτει από μια αναζήτηση (query) σε βάση δεδομένων δηλαδή η File Geodatabase που χρησιμοποιούμε. Η δημιουργία ενός Query Table γίνεται από το Arctoolbox, Data Management Tools, Layers and table views, Make Query Table, όπου και ανοίγει το αυτόματο εργαλείο. Αφού επιλέξουμε το «Time Table» και

το «Areas» (Feature Class) ως είσοδο, αυτό εμφανίζει τα πεδία τους, για να επιλεγούν αυτά που θα περιέχονται στον Query Table που θα παραχθεί. Στην συνέχεια πρέπει να εισάγουμε την συνθήκη σύμφωνα με την οποία θα γίνει η ένωση των πινάκων. Όπως έχει αναφερθεί οι δύο πίνακες περιέχουν ένα πεδίο το FID ή ObjectID όπως εμφανίζεται, το οποίο είναι ένας αριθμός από το 1 μέχρι το 3 και αντιστοιχεί σε ένα από τα 3 πολύγωνα αποτελώντας έτσι μοναδικό κλειδί. Ο αρχείο Areas έχει το ObjectID και το σχήμα και θέση στο χώρο κάθε πολυγώνου και το «Time Table» περιέχει το FID και τις μετρήσεις φορτίου για κάθε περιοχή που αντιστοιχεί σε ένα πολύγωνο κάθε στιγμή. Συνεπώς η συνθήκη που εισάγουμε είναι το FID του «Time Table» να είναι ίσο με το ObjectID του «Areas» (Time_table.Fid = Areas.OBJECTID). Τελικά προκύπτει το Query Table το οποίο όμως πρέπει να αποθηκευτεί. Έτσι για να αποθηκεύσουμε το αποτέλεσμα αυτής της ένωσης κάνουμε εξαγωγή του Query Table ως Shapefile (Δεξί κλικ, Data, Export Data) και το ονομάζουμε «Area_TimeEn».

Το νέο Shapefile περιέχει όλα τα απαραίτητα πεδία αλλά όχι στην κατάλληλη μορφή. Το πεδίο της ημερομηνίας είναι σε μορφή κειμένου (string) και αυτό δεν μπορεί να ταξινομηθεί χρονικά από το ArcGis. Άρα πρέπει να γίνει η μετατροπή του σε μια έγκυρη μορφή ημερομηνίας. Όμως όπως έχει αναφερθεί ένα Shapefile δεν μπορεί να συγκρατήσει δεδομένα ημερομηνίας και ώρας και για το λόγο αυτό δημιουργούμε ένα καινούργιο Feature Class. Με δεξί κλικ στη File Geodatabase, New, Feature Class και εισάγοντας, όπως προηγουμένως, το σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων και τα πεδία του «Area_TimeEn» δημιουργείται ένα Feature Class όμοιο με το «Area_TimeEn». Το νέο Feature Class ονομάζεται «Final_Class» και σε αυτό φορτώνονται τα δεδομένα του «Area_TimeEn» μέσα από το ArcCatalog με δεξί κλικ, Load, Load Data και επιλογή του Shapefile. Στο «Final_Class» γίνεται η μετατροπή της ημερομηνίας, με τη χρήση του εργαλείου Convert Time Field, που βρίσκεται στο ArcToolBox,ata Management Tool, Fields.

Το εργαλείο αυτό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει ένα πίνακα που περιέχει ένα πεδίο με πληροφορία και πρότυπο ημερομηνίας οποιουδήποτε τύπου μεταβλητής (long, short, float, double, text, date) και αυτό σύμφωνα με την επιλογή του χρήστη το μετατρέπει σε κάποιον άλλο τύπο και το αποθηκεύει σε ένα καινούργιο πεδίο στον πίνακα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγουμε το πεδίο που περιέχει την ημερομηνία τύπου String, το πρότυπο το οποίο ακολουθεί (δηλαδή το yyyyMMddHHmm) και το όνομα του πεδίου στο οποίο αποθηκεύεται. Αφού εκτελεσθεί επιτυχώς το εργαλείο, το Feature Class αποκτά ένα ακόμη πεδίο με την ημερομηνία σε τύπο ημερομηνίας και ώρας που αναγνωρίζει το ArcGis.

QueryTable						
	Areas.OBJECTID	Areas.SHAPE *	Substation	Load	Fid	Dtstamp
	3	Polygon	ys1	480,322445	3	200708311600
	3	Polygon	ys1	458,435175	3	200708311700
	3	Polygon	ys1	447,681596	3	200708311800
	3	Polygon	ys1	464,178028	3	200708311900
	3	Polygon	ys1	480,618035	3	200708312000
	3	Polygon	ys1	498,13933	3	200708312100
	3	Polygon	ys1	500	3	200708312200
	3	Polygon	ys1	461,289653	3	200708312300
	3	Polygon	ys1	413,921964	3	200709010000
	2	Polygon	ys2	130,318811	2	200706010100
	2	Polygon	ys2	90,866099	2	200706010200
	2	Polygon	ys2	68,57532	2	200706010300
	2	Polygon	ys2	64,853404	2	200706010400
	2	Polygon	ys2	68,839095	2	200706010500
	2	Polygon	ys2	66,48941	2	200706010600
	2	Polygon	ys2	69,347286	2	200706010700
	2	Polygon	ys2	94,182253	2	200706010800
	2	Polygon	ys2	131,691675	2	200706010900
	2	Polygon	ys2	160,321475	2	200706011000
	2	Polygon	ys2	178,234615	2	200706011100
	2	Polygon	ys2	195,763399	2	200706011200
	2	Polygon	ys2	210	2	200706011300
	2	Polygon	ys2	200,088012	2	200706011400
	2	Polygon	ys2	179,602505	2	200706011500
	2	Polygon	ys2	188,60816	2	200706011600
	2	Polygon	ys2	220,149461	2	200706011700


 1 (0 out of 6624 Selected)

Εικόνα 3.10. Το Query Table που προκύπτει είναι με όλα τα πεδία του.

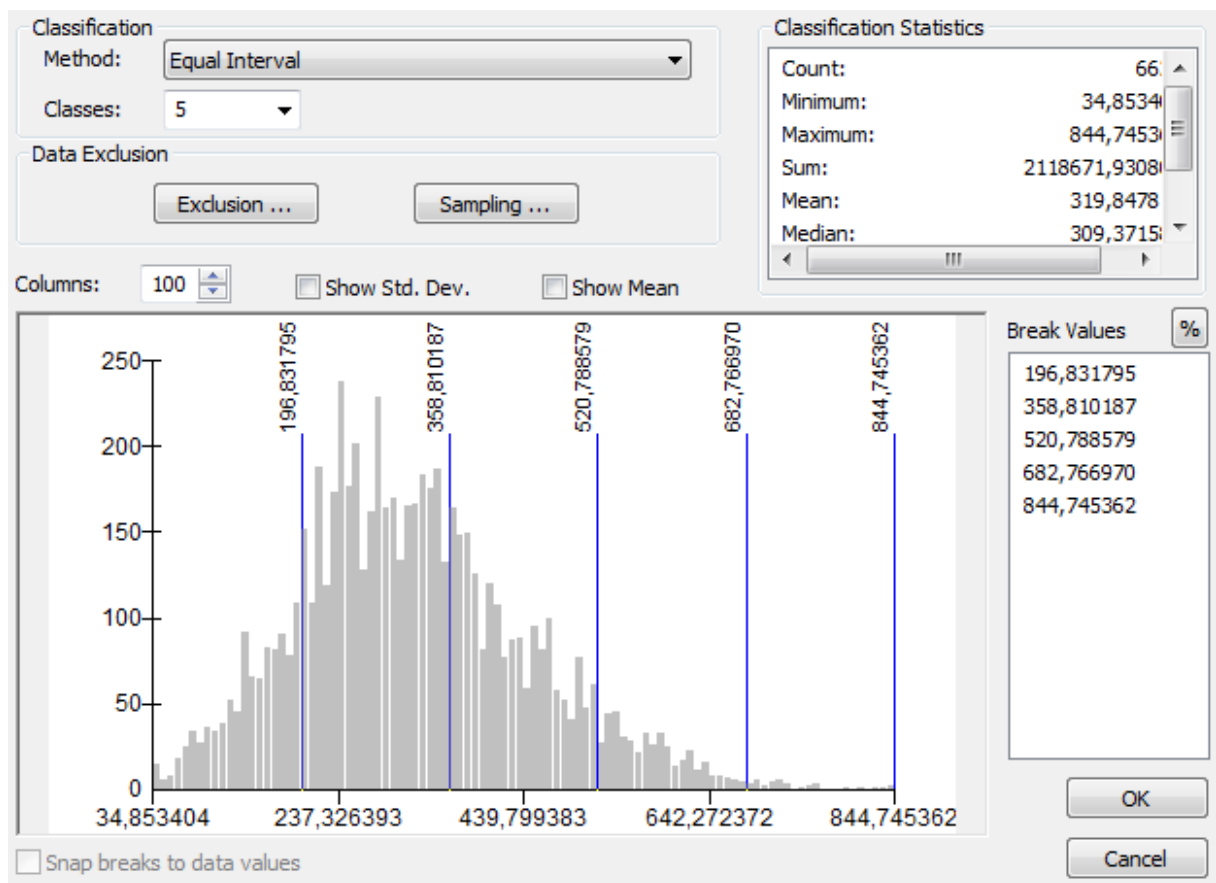
	OBJECTID *	SHAPE *	Ti	Ar	Time	Load	Date_num	Real Date	SHAPE Length	SHAPE Area
	1	Polygon	3	3	ys1	330,318811	200706010100	1/6/2007 1:00:00 πμ	0,144317	0,000385
	2	Polygon	3	3	ys1	290,866099	200706010200	1/6/2007 2:00:00 πμ	0,144317	0,000385
	3	Polygon	3	3	ys1	268,57532	200706010300	1/6/2007 3:00:00 πμ	0,144317	0,000385
	4	Polygon	3	3	ys1	264,853404	200706010400	1/6/2007 4:00:00 πμ	0,144317	0,000385
	5	Polygon	3	3	ys1	268,839095	200706010500	1/6/2007 5:00:00 πμ	0,144317	0,000385
	6	Polygon	3	3	ys1	266,48941	200706010600	1/6/2007 6:00:00 πμ	0,144317	0,000385
	7	Polygon	3	3	ys1	269,347286	200706010700	1/6/2007 7:00:00 πμ	0,144317	0,000385
	8	Polygon	3	3	ys1	294,182253	200706010800	1/6/2007 8:00:00 πμ	0,144317	0,000385
	9	Polygon	3	3	ys1	331,691675	200706010900	1/6/2007 9:00:00 πμ	0,144317	0,000385
	10	Polygon	3	3	ys1	360,321475	200706011000	1/6/2007 10:00:00 πμ	0,144317	0,000385
	11	Polygon	3	3	ys1	378,234615	200706011100	1/6/2007 11:00:00 πμ	0,144317	0,000385
	12	Polygon	3	3	ys1	395,763399	200706011200	1/6/2007 12:00:00 μ	0,144317	0,000385
	13	Polygon	3	3	ys1	410	200706011300	1/6/2007 1:00:00 μμ	0,144317	0,000385
	14	Polygon	3	3	ys1	400,088012	200706011400	1/6/2007 2:00:00 μμ	0,144317	0,000385
	15	Polygon	3	3	ys1	392,031076	200706011500	1/6/2007 3:00:00 μμ	0,144317	0,000385
	16	Polygon	3	3	ys1	351,322445	200706011600	1/6/2007 4:00:00 μμ	0,144317	0,000385
	17	Polygon	3	3	ys1	312,435175	200706011700	1/6/2007 5:00:00 μμ	0,144317	0,000385
	18	Polygon	3	3	ys1	289,681596	200706011800	1/6/2007 6:00:00 μμ	0,144317	0,000385
	19	Polygon	3	3	ys1	309,178028	200706011900	1/6/2007 7:00:00 μμ	0,144317	0,000385
	20	Polygon	3	3	ys1	325,618035	200706012000	1/6/2007 8:00:00 μμ	0,144317	0,000385
	21	Polygon	3	3	ys1	343,13933	200706012100	1/6/2007 9:00:00 μμ	0,144317	0,000385
	22	Polygon	3	3	ys1	345	200706012200	1/6/2007 10:00:00 μ	0,144317	0,000385
	23	Polygon	3	3	ys1	306,289653	200706012300	1/6/2007 11:00:00 μ	0,144317	0,000385
	24	Polygon	3	3	ys1	258,921964	200706020000	2/6/2007	0,144317	0,000385

Εικόνα 3.11. Ο πίνακας χαρακτηριστικών του “Final Class” που προκύπτει μετά την χρήση του Convert Time Field. Παρατηρείται ότι το ArcGis αναγνωρίζει το πεδίο “Real Date” σαν ημερομηνία και ώρα και εμφανίζει ανάλογα τους δείκτες πμ και μμ.

3.3.3 Συμβολισμός και Ενεργοποίηση του πεδίου του χρόνου.

Για να συμβολιστεί ποσοτικά ανά τον χρόνο το φορτίο στις περιοχές πρέπει να επιλεγεί η μεταβλητή δηλαδή το πεδίο το οποίο θα δείχνει ο χάρτης. Με την πληροφορία που περιέχει ο πίνακας χαρακτηριστικών του «Final Class» είναι πλέον εφικτό να γίνει η οπτική αναπαράσταση του φορτίου στον χάρτη ανά τον χρόνο. Αρκεί να καθορίσουμε ποια μεταβλητή πρέπει να εμφανίζεται στο χάρτη και δεύτερον να ενεργοποιήσουμε τον χρόνο στον χάρτη. Αυτό γίνεται από τις ιδιότητες του «Final Class». Με δεξί κλικ μέσα από τον πίνακα περιεχομένων του ArcMap, Properties, Symbology και επιλέγουμε το πεδίο η τιμή του οποίου θέλουμε να αναπαρασταθεί γραφικά, δηλαδή το «Load». Επίσης επιλέγουμε τη χρωματική κλίμακα που προβάλλεται.

Μια ενδιαφέρουσα και χρήσιμη επιλογή στην καρτέλα αυτή είναι το Classify, στο οποίο ο χρήστης επιλέγει το μοντέλο της δημιουργίας των κλάσεων που αντιστοιχούν στη χρωματική κλίμακα. Με ορατή την κατανομή των μετρήσεων, επιλέγουμε το Equal Interval με 5 κλάσεις έτσι ώστε τα διαστήματα που χωρίζουν την κάθε κλάση να είναι ίσα. Τα όρια της κάθε κλάσης διαμορφώνονται αυτόματα και φαίνονται την εικόνα 3.12.



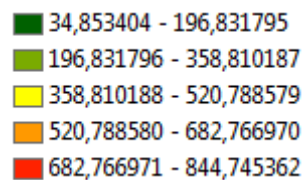
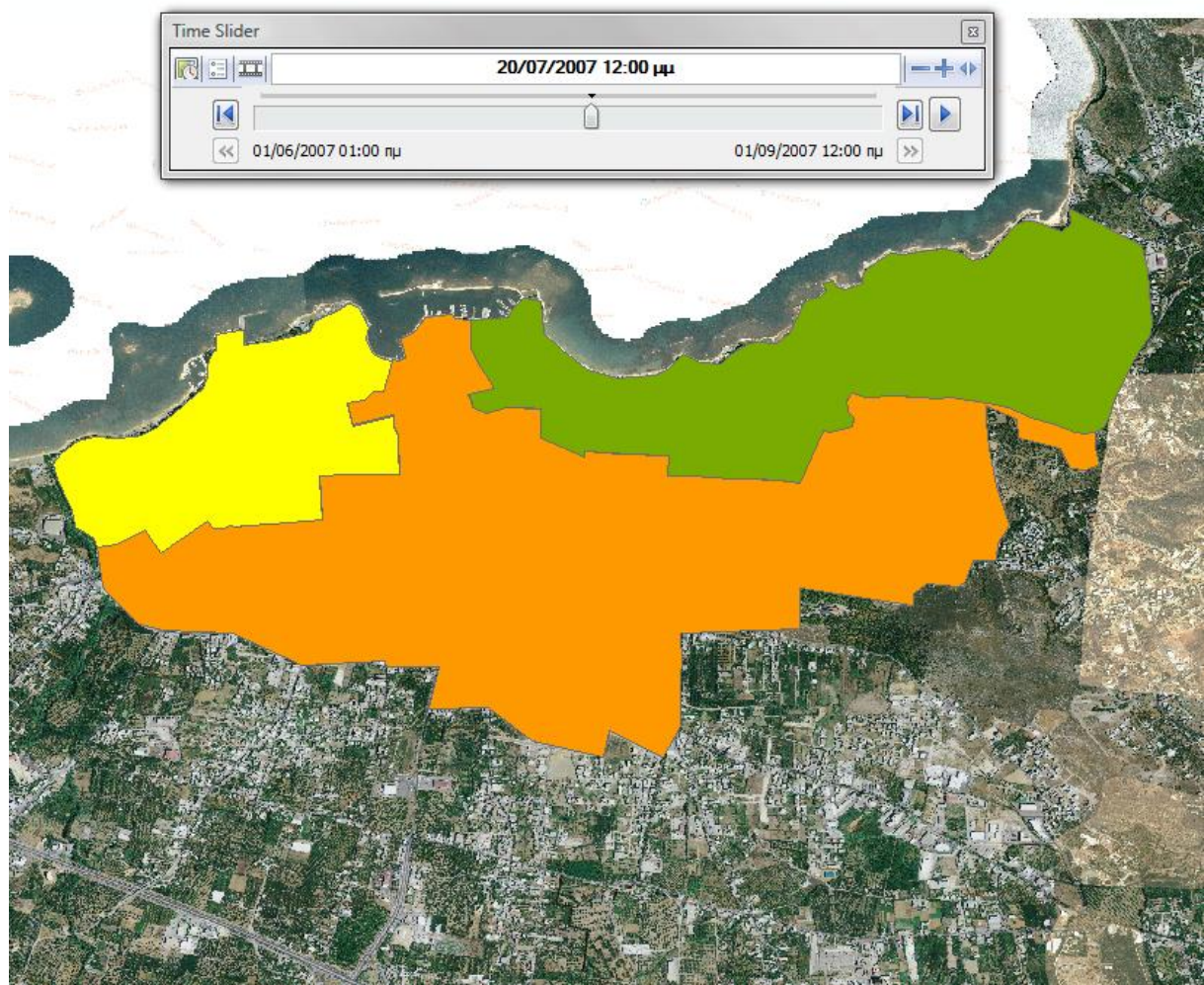
Εικόνα 3.12. Η κατανομή των μετρήσεων και τα όρια των κλάσεων. Πάνω δεξιά παρουσιάζονται κάποια στατιστικά στοιχεία.

Αυτό που απομένει τώρα είναι να ενεργοποιήσουμε το πεδίο του χρόνου. Με δεξί κλικ στο «Final Class» μέσα από τον πίνακα περιεχομένων του ArcMap, επιλέγουμε Properties και στην συνέχεια Time. Ενεργοποιούμε το χρόνο με κλικ στο “Enable time on this layer” και στο πεδίο “Layer Time” επιλέγουμε ότι το κάθε χαρακτηριστικό έχει ένα πεδίο χρόνου (Each feature has a single time field). Στη συνέχεια ορίζουμε ως μεταβλητή χρόνου (Time Field) το πεδίο “Real Date”. Ορίζουμε το πρότυπο της ημερομηνίας σε <Date/Time> (Ημερομηνία/Ωρα) και το χρονικό διάστημα (Time Step Interval) μεταξύ των μετρήσεων στη 1 ώρα.

3.3.4 Animation.

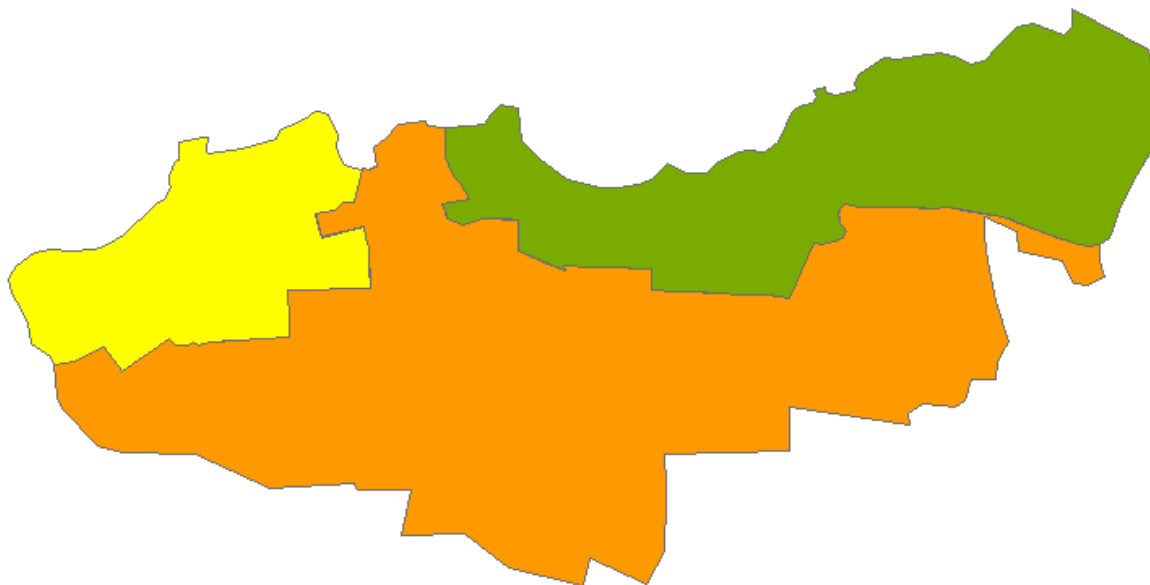
Με το αρχείο «Final Class» να εμφανίζεται πάνω στο χάρτη και να δείχνει το ηλεκτρικό φορτίο ανά περιοχή και το χρόνο ενεργοποιημένο για το επίπεδο αυτό, είναι πολύ εύκολο να δημιουργηθεί ένα animation. Το μόνο που χρειάζεται είναι ένα Time slider, δηλαδή μια μπάρα που ελέγχει την χρονική στιγμή που εμφανίζεται στο χάρτη. Από το

βασικό μενού του ArcMap και την εργαλειοθήκη Tools επιλέγουμε το Open Time Slider Window. Εμφανίζεται το παράθυρο του Time Slider στο οποίο επιλέγουμε Options για να καθορίσουμε τις παραμέτρους του. Στην καρτέλα Time Display θέτουμε την ζώνη ώρας της τοποθεσίας (GMT +02:00) και το χρονικό διάστημα στην 1 ώρα και ορίζουμε το πρότυπο της ημερομηνίας και της ώρας. Μεταφερόμαστε στην καρτέλα Time Extend και επιλέγουμε ότι το επίπεδο στο οποίο θα περιοριστεί η πλήρης έκταση της ώρας είναι το «Final Class». Αυτή η επιλογή χρησιμεύει όταν υπάρχουν πολλά επίπεδα με ενεργοποιημένο το χρόνο σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και πρέπει να επιλέξουμε με βάση ποιο θα παρουσιαστεί το animation. Τέλος γνωρίζοντας την αρχή και το τέλος των μετρήσεων θέτουμε ως στιγμή εκκίνησης την 01/06/2007 01:00:00 πμ και ως στιγμή λήξης την 01/09/2007 12:00:00 πμ. Στην καρτέλα Playback μπορεί να καθοριστεί ο χρόνος για τον οποίο θα προβάλλονται τα δεδομένα της κάθε χρονικής στιγμής ή αλλιώς η ταχύτητα του animation. Πατώντας Play στο Time Slider το animation παίζει ολόκληρο για όλα τα δεδομένα και μετακινώντας τον δείκτη δίνεται η δυνατότητα να επιλογής της χρονικής στιγμής καθώς τα δεδομένα μεταβάλλονται δυναμικά.



Εικόνα 3.13. Στιγμιότυπο από το ArcMap. Με τον Time Slider γίνεται επιλογή χρονικής στιγμής για προβολή ενώ με το Play προβάλλεται σαν animation.

Για την δημιουργία του τελικού animation μπορούμε να προσθέσουμε στον χάρτη την προβολή της ημερομηνίας ώρας ως κείμενο χωρίς να χρειάζεται να εμφανίζεται το παράθυρο του Time Slider. Από το κεντρικό μενού του ArcMap επιλέγουμε View, Layout View και η προβολή του χάρτη αλλάζει. Από το κεντρικό μενού ξανά επιλέγουμε Insert, Dynamic Text, Data Frame Time και η εκάστοτε χρονική στιγμή εμφανίζεται στο χάρτη.



Current Data Frame Time: 27/07/2007 05:00 μμ

Εικόνα 3.14. Στιγμιότυπο από το τελικό animation.

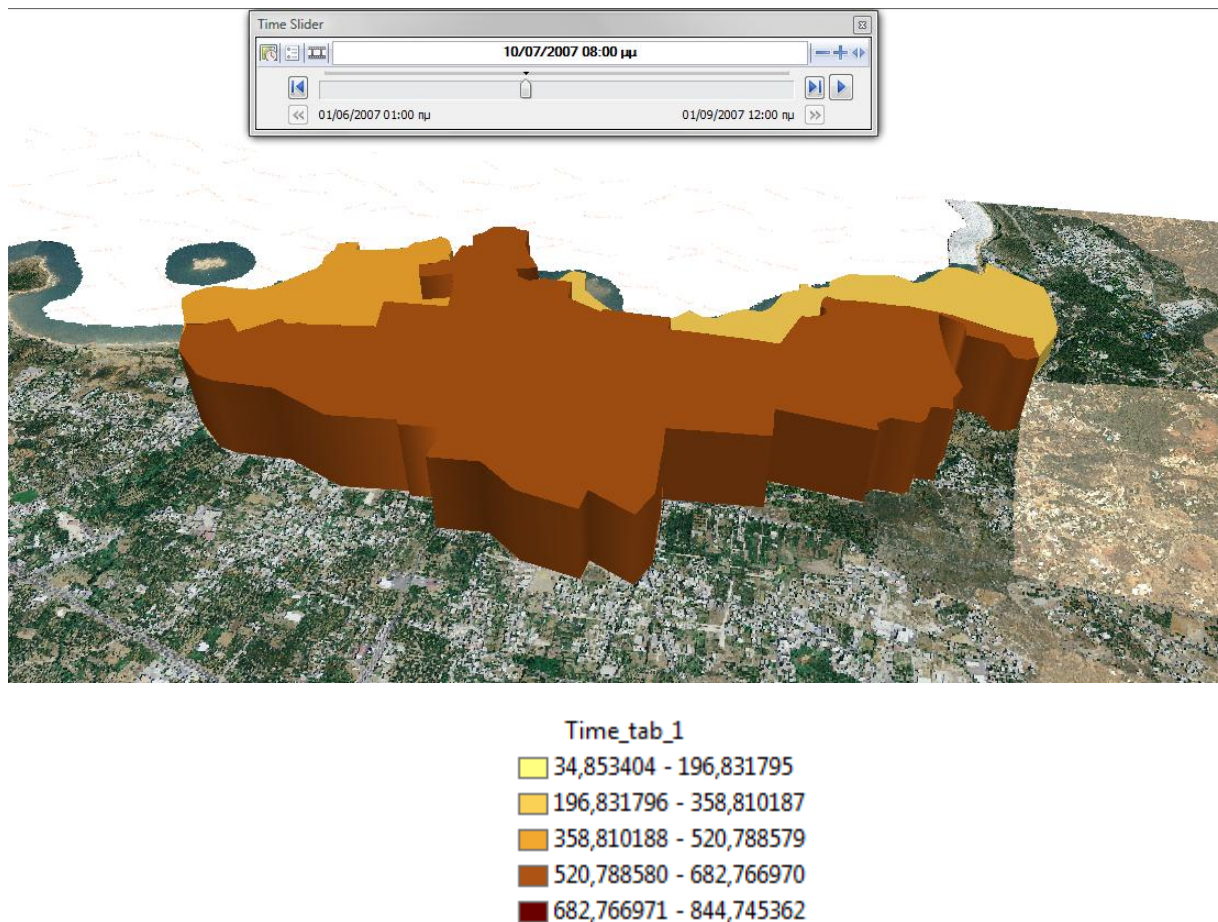
Το παράθυρο του Time Slider δεν είναι τώρα ορατό στο animation που θα εξαχθεί και χρησιμοποιείται μόνο για τον έλεγχο του (εκκίνηση-παύση). Με ένα πρόγραμμα καταγραφής της εικόνας (χρησιμοποιήθηκε το Camtasia Recorder) αποθηκεύουμε το τελικό animation σε αρχείο μορφής video. Τέλος με χρήση του ίδιου προγράμματος το βίντεο επεξεργάζεται και αυξάνεται η ταχύτητα που προβάλλονται τα καρέ του για να μειωθεί η διάρκειά του.

3.3.5 Τρισδιάστατη απεικόνιση.

Το ArcGis μέσα από το ArcScene 10 δίνει την δυνατότητα δημιουργίας τρισδιάστατων απεικονίσεων των δεδομένων. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα τα οποία βρίσκονται ήδη σε κατάλληλη μορφή γίνεται απεικόνιση του ηλεκτρικού φορτίου ανά περιοχή της πόλης των Χανίων για την περίοδο 01/06/2007 01:00:00 πμ - 01/09/2007 12:00:00 πμ.

Η διαδικασία είναι απλή δεδομένου ότι το προηγούμενο animation που παράχθηκε λειτουργεί σαν προεργασία. Στο ArcScene γίνεται εισαγωγή του Feature Class «Final Class» που χρησιμοποιήθηκε παραπάνω και περιέχει τα χωρικά, χρονικά και τα δεδομένα φορτίου. Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως περιγράφεται στην παράγραφο «3.3.3. Συμβολισμός και Ενεργοποίηση του πεδίου του χρόνου» ενεργοποιούμε το πεδίο του χρόνου και επιλέγουμε τις 5 κλάσεις που διαχωρίζουν τα δεδομένα.

Η απεικόνιση γίνεται τρισδιάστατη με το ύψος που αποκτάει το επίπεδο της κάθε περιοχής το οποίο είναι ανάλογο με την τιμή του ηλεκτρικού φορτίου που έχει η περιοχή εκείνη τη στιγμή. Για να ενεργοποιηθεί το ύψος στην απεικόνιση κάνουμε δεξί κλικ στο «Final Class» μέσα από τον πίνακα περιεχομένων του ArcMap, Properties και επιλέγουμε την καρτέλα Extrusion. Σε αυτή επιλέγουμε να προεξέχουν τα χαρακτηριστικά στο επίπεδο (Extrude features in layer) και στο Extrusion value or expression συμπληρώνουμε την έκφραση Load/100000. Η έκφραση αυτή καθορίζει το ύψος που θα έχει το κάθε επίπεδο. Καθώς το κάθε πολύγωνο υψώνεται σχηματίζοντας ένα τρισδιάστατο σχήμα το ύψος του αν καθοριστεί από τις απόλυτες τιμές του φορτίου γίνεται πολύ μεγάλο με συνέπεια να μην φαίνεται σωστά. Διαιρώντας με το 100000 στην έκφραση αυτή που εισάγουμε ουσιαστικά δημιουργείται μια κλίμακα για το ύψος η οποία επιτρέπει την σωστή αναπαράσταση των σχημάτων. Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 3.15.



Εικόνα 3.15. Τρισδιάστατη απεικόνιση των δεδομένων. Το ύψος της κάθε περιοχής είναι ανάλογο με το ηλεκτρικό φορτίο που φέρει εκείνη τη στιγμή.

Το ArcScene επιτρέπει την πλήρη περιστροφή του χάρτη προς όλες τις κατευθύνσεις αλλά όχι και την προσθήκη δυναμικού κειμένου και για το λόγο αυτό είναι ορατό στο animation. Η πλοήγηση γίνεται και πάλι με τον δείκτη του Time Slider και η τελική εξαγωγή του animation γίνεται και πάλι με χρήση ενός προγράμματος καταγραφής εικόνας.

4. Συλλογή, επεξεργασία και αποτύπωση δεδομένων θερμοκρασίας με χρήση γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών ArcGis.

4.1 Περίληψη του κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφεί η χρήση και η συμβολή του ArcGis στην πρόβλεψη θερμοκρασιών για μια περιοχή με τις μεθόδους παρεμβολής (interpolation), η διαχείριση και διαμόρφωση των δεδομένων και οι τεχνικές διαδικασίες που ακολουθούνται. Θα αποδειχθεί ποια μέθοδος παρεμβολής είναι η καταλληλότερη για τα δεδομένα αυτής της εργασίας και τελικά θα γίνει εκτίμηση των τιμών θερμοκρασίας με αυτή και γραφική αποτύπωση. Ακόμη σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας συλλογής, επιλογής, ομογενοποίησης και κάλυψης των δεδομένων θερμοκρασίας καθώς δεν προήλθαν όλα από μια πηγή και ήταν αναγκαία μια προεπεξεργασία και ανάλογη διαμόρφωση πριν χρησιμοποιηθούν στο ArcGis και ως είσοδος στους αλγορίθμους χωρικής παρεμβολής.

4.2 Συλλογή και διαχείριση δεδομένων θερμοκρασίας.

4.2.1 Πηγή των δεδομένων, σημεία μετρήσεων, περίοδος και όργανα μετρήσεων.

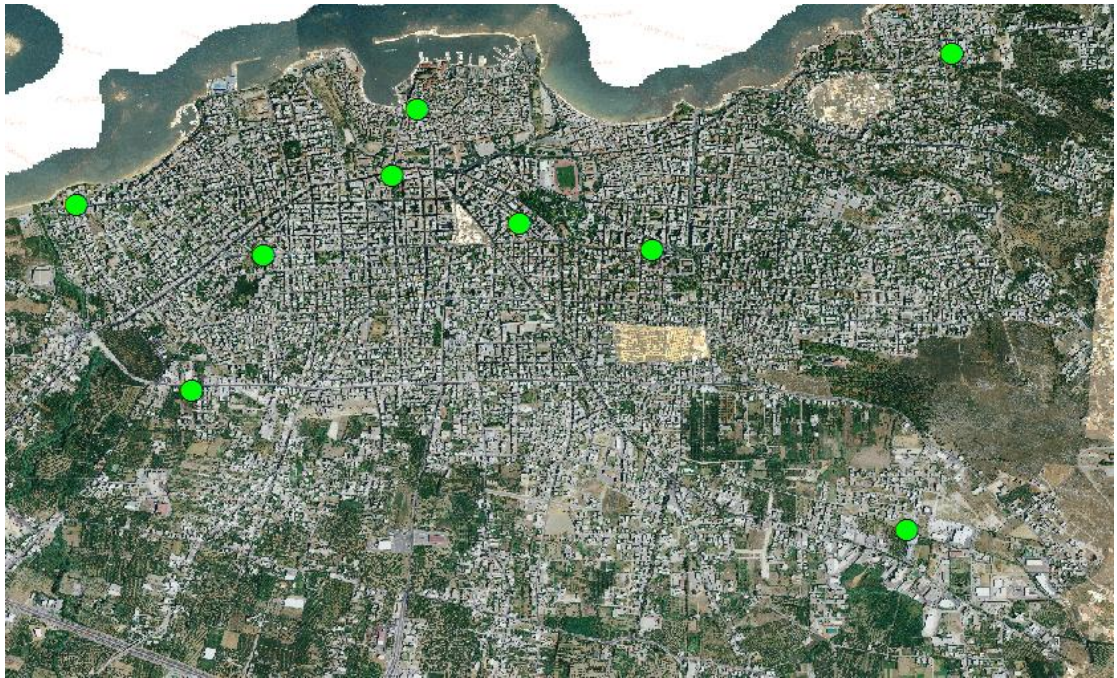
Ο κύριος όγκος των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν την εργασία προέρχονται από την μελέτη [11] και την πτυχιακή εργασία [12]. Από τα διαθέσιμα δεδομένα της μελέτης αυτή χρησιμοποιούνται οι τιμές θερμοκρασίας του περιβάλλοντος αέρα εκφρασμένες σε βαθμούς Κελσίου (°C). Τα δεδομένα έχουν μετρηθεί από οχτώ καταγραφείς δεδομένων (data loggers) και δύο μετεωρολογικούς σταθμούς, τοποθετημένους στρατηγικά

μέσα στην πόλη έτσι ώστε να καλύπτουν το κέντρο, τις πυκνοκτισμένες περιοχές, την ακτογραμμή της πόλης και τις ημιαστικές, αγροτικές περιοχές. Οι σταθμοί είχαν τοποθετηθεί με αυτόν τον τρόπο για να καταγράψουν όσο καλύτερα γίνεται το φαινόμενο ΑΘΝ. Για την καταγραφή των θερμοκρασιών του περιβάλλοντος αέρα χρησιμοποιήθηκαν οι αυτόματοι μετρητές (data loggers SUPCO, μοντέλο LOGiTrc) των οποίων οι μετρήσεις φέρουν ακρίβεια $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Οι μετρήσεις λαμβάνονταν ωριαία και αποτυπώθηκαν σε ένα αρχείο excel. Η χρονική περίοδος η οποία εξετάζεται στην παρούσα εργασία είναι οι καλοκαιρινοί μήνες – Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος του έτους 2007 (01/06/2007 – 31/08/2007). Επιλέχθηκαν οι καλοκαιρινοί μήνες γιατί κατά την διάρκειά των θερμότερων μηνών του χρόνου, το φαινόμενο ΑΘΝ είναι πιο έντονο και η ηλεκτρική κατανάλωση αυξημένη. [7]

4.2.2 Επιλογή δεδομένων

Στα διαθέσιμα δεδομένα των μελετών αυτών, υπήρχαν σταθμοί σε αγροτικές περιοχές μακριά από την πόλη των Χανίων (Μαλάξα, Πλατανιάς, Πολυτεχνείο Κρήτης), αλλά επιλέχθηκε να μην συμπεριληφθούν. Δεν επιλέχθηκαν διότι, αφενός τα δεδομένα ήταν ελλιπή για την συγκεκριμένη περίοδο αλλά κυρίως λόγω της μεγάλης απόστασης των σταθμών αυτών από το κέντρο της πόλης, γεγονός που θα μείωνε δραματικά την ακρίβεια των προβλέψεων των αλγορίθμων παρεμβολής. Οι σταθμοί και οι θέσεις τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1 Θέσεις και περιγραφή περιοχής σταθμών		
1	Νέα Χώρα	Πυκνή δόμηση, παραλιακή περιοχή
2	Πλατεία 1866	Πυκνή δόμηση, ψηλά κτήρια, οδικός κόμβος
3	Παλιά Πόλη	Πυκνή δόμηση, χαμηλά κτήρια, σοκάκια
4	Οδός Μπότσαρη	Μέσης πυκνότητας δόμηση, μεγάλοι δρόμοι
5	Πλατεία Δικαστηρίων	Πυκνή δόμηση, μεγάλοι δρόμοι
6	T.E.I.	Ημιαστική-προαστιακή περιοχή, χαμηλή δόμηση, έντονη βλάστηση
7	Αγ. Ιωάννης	Όριο αστικής περιοχής, χαμηλή δόμηση, λόφος
8	Οδός Γογονή	Όριο αστικής περιοχής, πυκνοκατοικημένη περιοχή
9	Σούδα	Ανατολικά της πόλης, αγροτικός σταθμός
10	Οδός Σφακίων	Πυκνή δόμηση, ψηλά κτήρια



Εικόνα 4.1. Χάρτης θέσεων σταθμών εκτός σταθμού Σούδας

4.2.3 Ελλιπείς μετρήσεις και μετρήσεις από άλλες πηγές.

Έχοντας επιλέξει το σύνολο από σημεία-σταθμούς και την χρονική περίοδο πρέπει να εξασφαλιστεί η συνοχή των μετρήσεων που λειτουργεί σαν είσοδος στους αλγορίθμους χωρικής παρεμβολής. Οι μέθοδοι αυτοί μπορούν να παραβλέψουν μία έλλειψη σε μια τιμή μέτρησης, για μια στιγμή, ενός σταθμού αλλά στην περίπτωση που λείπουν συνεχόμενες χρονικά μετρήσεις διαστήματος μεγαλύτερου μερικών ωρών τότε μειώνεται η ακρίβεια της πρόβλεψης και έτσι υπομονεύεται η αξιοπιστία του αποτελέσματος των αλγορίθμων. Στο σύνολο των μετρήσεων υπήρχαν μερικές ελλείψεις στις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος αέρα ανά ώρα αλλά ευτυχώς δεν ήταν πολλές και ήταν διάσπαρτες στο χρόνο.

4.2.4 Ανάκτηση δεδομένων από το wunderground

Στις μετρήσεις του σταθμού της Σούδας υπήρξε ένα χρονικό κενό από τις 16/7/2007 έως τις 25/8/2007. Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν οι μετρήσεις του σταθμού για ολόκληρη την περίοδο του καλοκαιριού έπρεπε να καλυφθεί αυτό το κενό. Για να καλυφθεί το κενό, έγινε αναζήτηση δεδομένων στο διαδίκτυο όπου και τελικά βρέθηκε Ιστότοπος [13] ο οποίος διατηρεί ιστορικό μετρήσεων θερμοκρασίας από τον μετεωρολογικό σταθμό του αεροδρομίου στο Ακρωτήρι Χανίων. Στη συνέχεια για να ανακτηθούν οι μετρήσεις από τον ιστότοπο υλοποιήθηκε ένα πρόγραμμα σε java. Το πρόγραμμα αυτό δέχεται ως είσοδο την

αρχική και την τελική ημερομηνία της περιόδου ενδιαφέροντος και τον κωδικό του σταθμού όπως εμφανίζεται στην διεύθυνση (url) της ιστοσελίδας. Έπειτα συνδέεται στον ιστότοπο διαβάζει και ανακτά τα δεδομένα που επιλέχθηκαν και τα αποθηκεύει σε ένα αρχείο κειμένου (txt file). Τα δεδομένα αυτά περιέχουν μεταβλητές εκτός της θερμοκρασίας όπως κατεύθυνση ανέμου, ατμοσφαιρική πίεση, ύψος της θάλασσας και άλλες οι οποίες δεν χρειάζονται. Αφού γίνει μια επιλογή τα τελικά δεδομένα αποθηκεύονται σε ένα αρχείο excel.

4.3 Κάλυψη και Ομογενοποίηση δεδομένων.

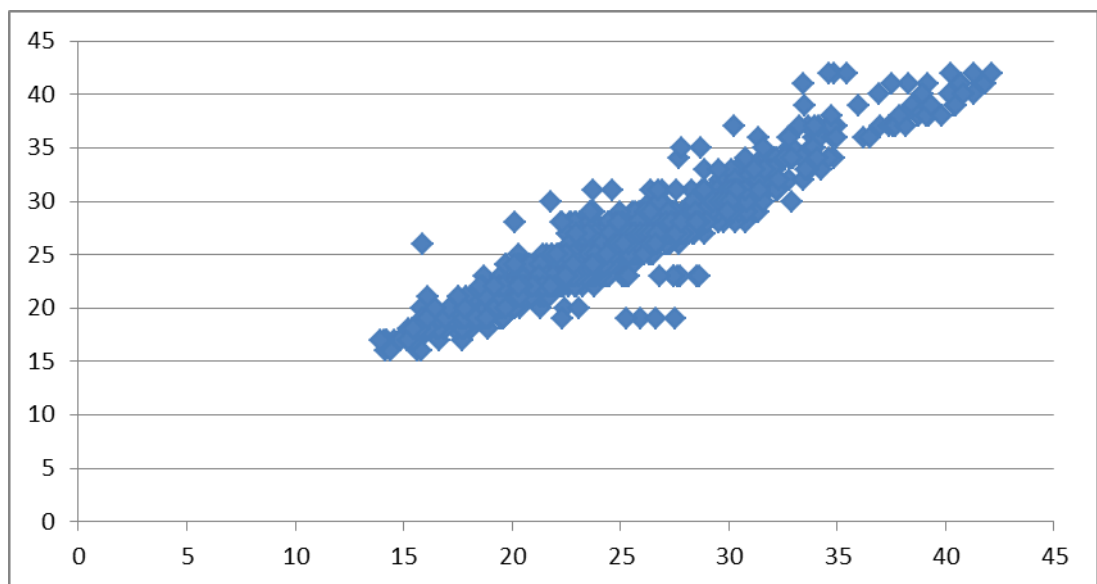
4.3.1 Συγχρονισμός

Πριν μελετηθεί το κατά πόσο τα δεδομένα αυτά είναι συμβατά με τα υπάρχοντα από τον σταθμό Σούδας πρέπει να συγχρονιστούν, έτσι ώστε οι θερμοκρασίες τους να αναφέρονται στις ίδιες ή σε κοντινές χρονικές στιγμές. Τα δεδομένα από την μελέτη ακολουθούν το πρότυπο μια μέτρηση ανά μια ώρα ακριβώς. Οι μετρήσεις από τον ιστότοπο είναι ελαφρώς ακανόνιστες με μέση διαφορά είκοσι λεπτών. Για τον συγχρονισμό υλοποιήθηκε ένα matlab script που δέχεται σαν είσοδο έναν πίνακα (array) με την ημερομηνίες και ώρες πρότυπο που επιθυμείται να ακολουθηθούν και έναν άλλον πίνακα που περιείχε τις μετρήσεις θερμοκρασίας από το wunderground και τις ημερομηνίες και ώρες (timestamps) που μετρήθηκαν. Το script υπολογίζει την μικρότερη χρονική διαφορά ανάμεσα στο πρότυπο και στις μετρήσεις και αντιστοιχίζει τις τιμές θερμοκρασίας στις κοντινότερες στιγμές του προτύπου. Τέλος οι μετρήσεις από το wunderground αποθηκεύονται σε έναν πίνακα και από εκεί σε ένα αρχείο excel.

4.3.2 Σύγκριση με τα αρχικά δεδομένα.

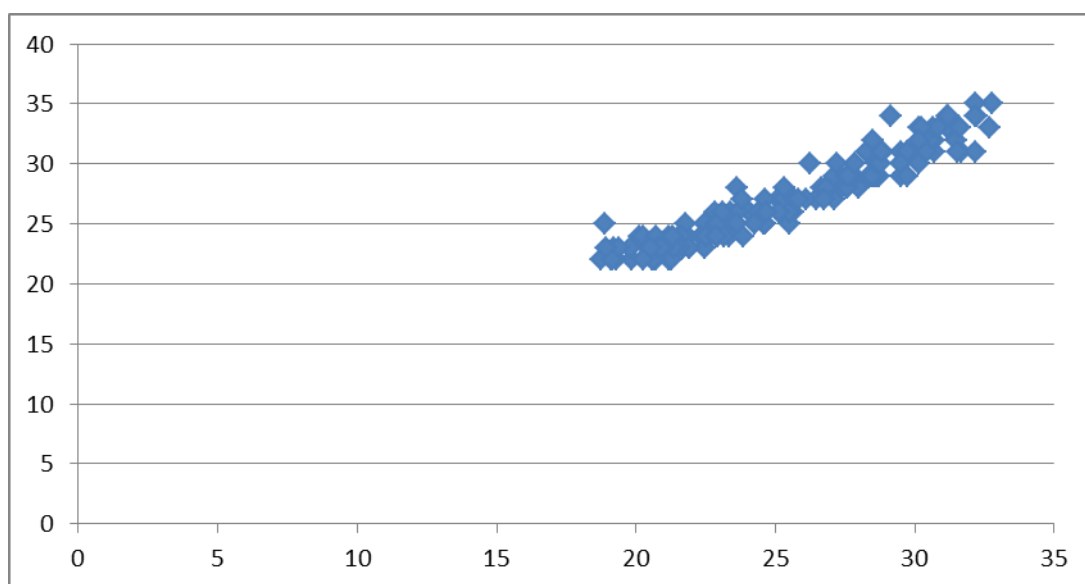
Ο σταθμός από τον οποίο προέρχονται οι αρχικές μετρήσεις βρίσκεται σε διαφορετική τοποθεσία από αυτόν που χρησιμοποιεί ο Ιστότοπος και συνεπώς είναι αναμενόμενη μια διαφορά ανάμεσα στις δυο πηγές μετρήσεων. Εκτός από την γεωγραφική διαφορά αξίζει να σημειωθεί ότι τα αρχικά δεδομένα έχουν ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων ενώ οι μετρήσεις από τον ιστότοπο wunderground.com είναι ακέραιοι αριθμοί. Για να εξακριβωθεί αν οι μετρήσεις από τον ιστότοπο μπορούν να χρησιμοποιηθούν έγινε σύγκριση των τιμών τους για τις περιόδους που συμπίπτουν, δηλαδή: 01/06/2007 – 16/07/2007 και 25/08/2007 – 31/08/2007.

Πίνακας 4.2 Συγκριτικά στατιστικά περιόδου 01/06/2007 – 16/07/2007					
	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Διακύμανση	Μέσος όρος διαφοράς	Συντελεστής συσχέτισης Pearson
Αρχικά δεδομένα	25,05	5,1681473	26,70974602	1,35835	0,946164
Δεδομένα από wunderground	25,96	5,0126044	25,12620275		



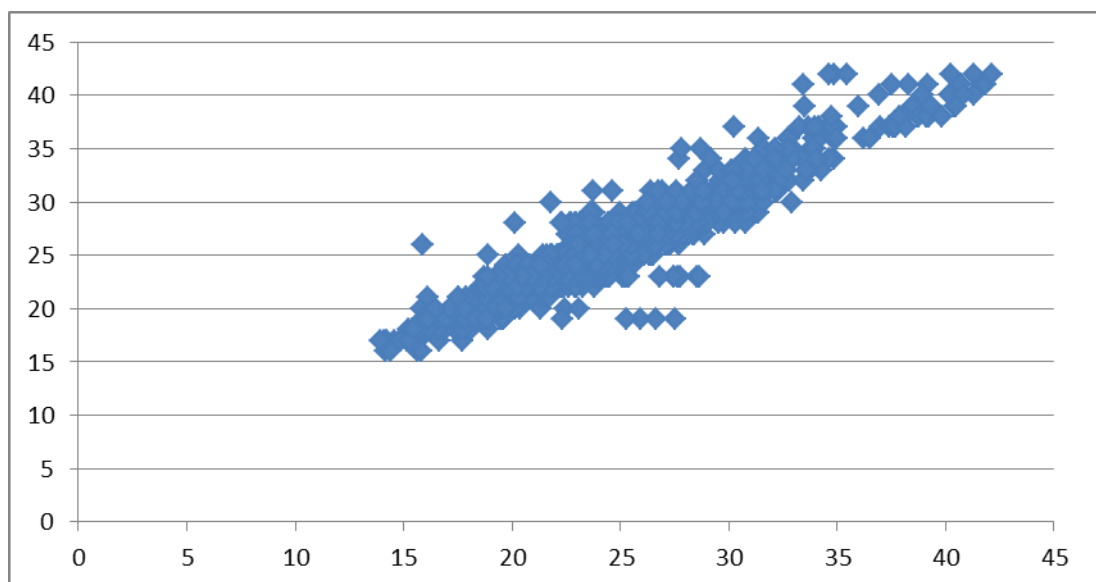
Εικόνα 4.2. Διάγραμμα σημείων (scatter diagram) για την περίοδο 01/06/2007 – 16/07/2007.

Πίνακας 4.3 Συγκριτικά στατιστικά της περιόδου 25/08/2007 – 31/08/2007					
	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Διακύμανση	Μέσος όρος διαφοράς	Συντελεστής συσχέτισης Pearson
Αρχικά δεδομένα	25,69	3,8778401	15,0376438	1,66301	0,955510622
Δεδομένα από wunderground	27,29	3,5648173	12,70792242		



Εικόνα 4.3. Διάγραμμα σημείων (scatter diagram) για την περίοδο 25/08/2007 – 31/08/2007.

Πίνακας 4.4 Συνολικά στατιστικά και για τις δυο περιόδους					
	Μέσος όρος(°C)	Τυπική απόκλιση	Διακύμανση	Μέσος όρος διαφοράς	Συντελεστής συσχέτισης Pearson
Αρχικά δεδομένα	25,133656	5,029605312	25,29692959	1,51068	0,945795682
Δεδομένα από wunderground	26,1248	4,875615342	23,77162496		



Εικόνα 4.4. Συνολικό διάγραμμα σημείων και για τις δυο περιόδους.

Συγκρίνοντας τα στατιστικά μεγέθη γίνεται κατανοητό ότι οι δυο μεταβλητές παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα και συνεπώς οι μετρήσεις του ιστότοπου wunderground μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναπληρώσουν το κενό των αρχικών μετρήσεων. Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται ότι ο μέσος όρος διαφοράς των μετρήσεων είναι 1,51 °C και ο συντελεστής συσχέτισης Pearson είναι 0,95 δηλαδή πολύ κοντά στο 1. Από τα διαγράμματα σημείων φαίνεται επίσης η ομοιότητα των δυο μεταβλητών καθώς τα σημεία τείνουν να

πάρουν μορφή γραμμής. Αφού αποδείχθηκε ότι η διαφορά είναι μικρής τάξης, οι μετρήσεις αυτές προστέθηκαν στον συνολικό όγκο δεδομένων.

4.4 Διερεύνηση αποτελεσματικότητας μεθόδων χωρικής παρεμβολής (Spatial Interpolation) στο ArcMap.

Για να αποφασιστεί ποια από τις παραπάνω μεθόδους προβλέπει ακριβέστερα τις τιμές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος αέρα στην περίπτωση της παρούσας εργασίας αυτή έγινε μια συγκριτική διερεύνηση των μεθόδων. Πριν περιγραφεί αναλυτικά η διερεύνηση θα γίνει μια σύντομη παρουσίαση της διαδικασίας που χρειάζεται για να εκτελεσθεί ένας από τους αλγορίθμους χωρικής παρεμβολής στο ArcGis.

4.4.1 Προετοιμασία εκτέλεσης μεθόδων χωρικής παρεμβολής.

Τα προγράμματα του πακέτου ArcGis που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία είναι το ArcMap και το ArcCatalog. Το ArcMap αποτελεί το κύριο πρόγραμμα του ArcGis και επιτρέπει την απεικόνιση, επεξεργασία, ανάλυση και δημιουργία γεωχωρικών (geospatial) δεδομένων. Το ArcCatalog είναι ένα βοηθητικό πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για την διαχείριση και την προβολή των γεωχωρικών δεδομένων και των σχέσεων που δημιουργούνται μεταξύ γεωγραφικών δεδομένων και βάσεων πληροφοριών.

4.4.2 Εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων στο ArcMap - Εισαγωγή των σταθμών.

Έχοντας εντοπίσει την τοποθεσία των σταθμών από τον χάρτη της μελέτης (Urban heat island in southern Europe: The case study of Hania, Crete (D. Kolokotsa et al., 2009) και έχοντας βρει τις συντεταγμένες της κάθε θέσης χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Google Earth, η εισαγωγή των θέσεων των σταθμών και των ονομάτων τους στο ArcMap αποτελεί μια εύκολη διαδικασία. Είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός αρχείου shapefile. Το shapefile είναι ένας τύπος αρχείου, μια μορφή δεδομένων γεωχωρικού (geospatial) διανύσματος που χρησιμοποιείται ευρέως στα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών. Μπορεί να περιγράψει πολλές γεωμετρίες όπως σημεία, πολύγωνα και polyline και κάθε αντικείμενο που περιλαμβάνει μπορεί να έχει κάποια χαρακτηριστικά (attributes) που το περιγράφουν. Στην παρούσα εργασία το shapefile περιλαμβάνει τα σημεία που βρίσκονται οι σταθμοί, τα οποία

περιγράφονται με χαρακτηριστικά το όνομα και την θέση του κάθε σταθμού. Το σύστημα παράγει κάποια χαρακτηριστικά που χρησιμεύουν στην λειτουργία του όπως το FID, Shape και ID, τα οποία λειτουργούν σαν κλειδιά σε βάση δεδομένων ή περιγράφουν τη γεωμετρία του κάθε αντικειμένου που περιέχει ο πίνακας χαρακτηριστικών. Σε αυτόν τον πίνακα χαρακτηριστικών θα προστεθούν αργότερα και οι μετρήσεις θερμοκρασίας.

Η διαδικασία εισαγωγής των σημείων είναι απλή:

- Αρχικά δημιουργήθηκε το shapefile αρχείο με γεωμετρία point στο σύστημα συντεταγμένων GCS_WGS_1984, με το πρόγραμμα ArcCatalog, από το μενού File, New Shapefile.
- Αφού εισαχθεί (import) το shapefile στο ArcMap προστίθεται το πεδίο (Station) του ονόματος στον πίνακα χαρακτηριστικών (attribute table) του shapefile (δεξί κλικ, open attribute table).
- Με το εργαλείο Editor προστίθενται τα σημεία των σταθμών με βάση τις συντεταγμένες που είναι γνωστές από το Google Earth.
- Τέλος επιστρέφοντας στον πίνακα χαρακτηριστικών γίνεται η προσθήκη του πεδίου του ονόματος των σταθμών από το μενού του πίνακα και την επιλογή Add Field.

Στην Εικόνα 4.1 φαίνεται ο πίνακας χαρακτηριστικών με τα ονόματα και τις συντεταγμένες των σταθμών.

WeatherStations						
	FID	Shape *	Id	POINT X	POINT Y	Station
▶	0	Point	0	24,003331	35,512266	NeaXwra
	1	Point	0	24,017524	35,51358	1866
	2	Point	0	24,018664	35,516538	Paliapoli
	3	Point	0	24,011739	35,509991	Mpotsari
	4	Point	0	24,023223	35,511418	Sfakiwn
	5	Point	0	24,029187	35,510222	Dikasthria
	6	Point	0	24,042622	35,519048	TEI
	7	Point	0	24,040567	35,497654	Aglwannis
	8	Point	0	24,00854	35,503921	TermaGogoni
	9	Point	0	24,056546	35,481398	Souda

Εικόνα 4.1. Ο πίνακας χαρακτηριστικών του shapefile με τα ονόματα και τις συντεταγμένες των σταθμών.

4.4.3 Εισαγωγή και σύνδεση των ωριαίων μετρήσεων θερμοκρασίας με τις θέσεις των σταθμών.

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας βρίσκονται σε αρχείο excel και είναι δυνατόν να εισαχθούν και να συνδεθούν με τα σημεία των σταθμών με μια απλή προεπεξεργασία. Αρχικά, επειδή τα πεδία του πίνακα χαρακτηριστικών του ArcMap δεν δέχονται ειδικούς χαρακτήρες που περιέχει η ημερομηνία και ώρα (π.χ. /, :), για να μην παρουσιαστεί πρόβλημα στην ανάγνωση τους, οι χαρακτήρες αυτοί αφαιρέθηκαν (π.χ. 15/06/2007 12:00 έγινε 150620071200). Επίσης επειδή η ημερομηνία και ώρα θα πρέπει να αναγνωριστεί αργότερα από το σύστημα σαν πεδίο χρόνου (Time field) προσαρμόζουμε τη μορφοποίηση τους σε μορφή η οποία είναι αποδεκτή από το ArcGis. Έτσι η ημερομηνία γράφεται σύμφωνα με το πρότυπο «εεεεμμηηωωλλ» δηλαδή έτος γραμμένο με 4 ψηφία μήνας με 2, ημέρα με 2 ψηφία, ώρα με δύο ψηφία σε 24ωρη μορφή και λεπτά με 2 ψηφία. Στην συνέχεια γίνεται μια αντιμετάθεση των στοιχείων του πίνακα έτσι ώστε οι στήλες να αντιπροσωπεύουν τις χρονικές στιγμές και οι γραμμές τους σταθμούς. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στα ονόματα των σταθμών καθώς πρέπει να συμφωνούν ακριβώς με αυτά που δόθηκαν στον πίνακα χαρακτηριστικών του shapefile, διότι με βάση αυτά θα γίνει η ένωση πινάκων. Το αρχείο excel μετά την απαραίτητη τροποποίηση φαίνεται στην Εικόνα 4.2.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		200708241600	200708241700	200708241800	200708241900	200708242000	200708242100	200708242200	200708242300	200708250000
2	TermaGogoni	29,9500	30,2200	30,4400	30,1700	29,0800	28,7000	28,4300	27,9400	27,5600
3	Sfakiwn	34,1300	32,9900	31,7900	31,8500	30,4900	29,5100	29,0800	29,0300	28,7500
4	1866	37,1700	35,4800	33,5300	32,2300	30,8700	29,7900	29,1900	28,9700	28,7000
5	Dikasthria	36,4100	35,4800	34,2900	33,6400	32,1200	30,7600	29,7900	29,1900	29,0800
6	Paliapoli	32,3900	32,2300	31,9600	31,4700	31,0900	30,6500	30,3300	30,0000	29,7300
7	Mpotsari	29,6200	29,5700	29,6800	29,9500	28,2700	27,8900	27,4500	27,3400	26,5800
8	Aglwannis	31,7900	31,5800	31,2500	30,6000	29,3500	28,8600	28,7500	28,7500	28,4800
9	NeaXwra	31,2000	31,7400	30,9300	31,2000	30,5500	29,1900	29,1900	28,4300	28,0500
10	TEI	28,9700	29,0200	28,8700	28,5300	27,5100	27,6200	27,9100	27,5300	27,0500
11	Souda	32,0000	32,0000	31,0000	31,0000	29,0000	28,0000	27,0000	26,0000	26,0000

Εικόνα 4.2. Ωριαίες μετρήσεις θερμοκρασίας ανά σταθμό έτοιμες για ένωση-σύνδεση με το shapefile στο ArcMap.

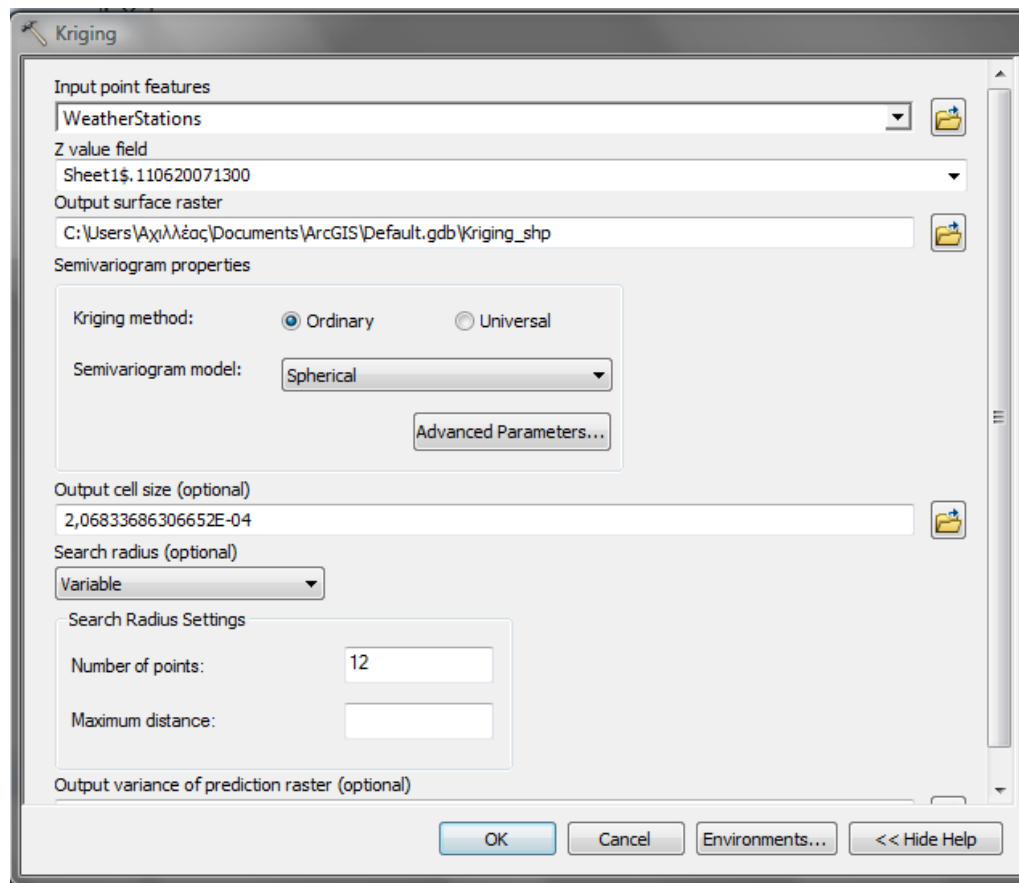
Με τον πίνακα χαρακτηριστικών του shapefile και τον πίνακα θερμοκρασιών στο excel έτοιμους, θα γίνει η ένωση πινάκων (Join). Η ένωση είναι μια πράξη σχεσιακής άλγεβρας που εφαρμόζεται σε βάσεις δεδομένων και στην περίπτωση αυτή σε πίνακες. Αυτό που κάνει είναι να αντιστοιχίζει τα πεδία δυο διαφορετικών πινάκων με γνώμονα ένα κοινό πεδίο. Το κοινό πεδίο που έχει ο πίνακας με τις θέσεις των σταθμών, με τον πίνακα που περιέχει τις ωριαίες θερμοκρασίες, είναι το όνομα των σταθμών. Η ένωση αυτή γίνεται με δεξί κλικ στο shapefile, join όπου και επιλέγουμε τους πίνακες και τα πεδία με βάση τα οποία

γίνεται η ένωση. Η ένωση αυτή ουσιαστικά προσθέτει τις μετρήσεις θερμοκρασίας στον πίνακα χαρακτηριστικών του shapefile, όπως φαίνεται στην εικόνα. Προσοχή χρειάζεται στην μετακίνηση αρχείων καθώς τα δεδομένα παραμένουν αποθηκευμένα στο αρχείο excel και όχι σε κάποια βάση του ArcMap.

Ένα τεχνικό πρόβλημα που παρουσιάστηκε ήταν ότι ο πίνακας χαρακτηριστικών ενός shapefile στο ArcMap έχει όριο μέχρι και 254 χαρακτηριστικά δηλαδή στήλες. Όμως οι ωριαίες μετρήσεις θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού κάθε σταθμού είναι 2.208 και έτσι δεν χωράνε σε ένα shapefile. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με την μέθοδο του κατακερματισμού. Οι μετρήσεις θερμοκρασίας χωρίστηκαν σε 8 πίνακες με 254 στήλες ο καθένας και έναν με 177 στήλες. Έπειτα ακολούθησε ένωση του κάθε πίνακα με το shapefile και αποθήκευση του κάθε καινούργιου shapefile με αποτέλεσμα στο τέλος να έχουμε 9 shapefile που περιέχουν συνολικά τις μετρήσεις ολόκληρης της καλοκαιρινής περιόδου. να γίνει μια ένωση για να υπάρχει ένα μόνο αρχείο. Η πράξη της ένωσης πινάκων επιτρέπει πολλαπλές ενώσεις και των 9 shapefile και έτσι δημιουργείται ο τελικός πίνακας.

4.4.4 Εκτέλεση αλγορίθμων χωρικής παρεμβολής - Χειροκίνητα.

Με όλα τα δεδομένα έτοιμα η εκτέλεση οποιασδήποτε μεθόδου (Kriging, Spline, IDW) για μια συγκεκριμένη στιγμή μπορεί να γίνει χειροκίνητα από το ArcToolbox/ Spatial Analyst Tools/ Interpolation και επιλογή της μεθόδου. Σε όλες τις μεθόδους καθορίζεται το shapefile που χρησιμοποιείται και το πεδίο με βάση το οποίο θα λειτουργήσει ο αλγόριθμος, το οποίο στην περίπτωση αυτή αποτελεί μια χρονική στιγμή (πχ 110620071300). Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει απλές και σύνθετες παραμέτρους του κάθε αλγορίθμου, όπως ακτίνα, αριθμό σημείων αλλά και εξειδικευμένες ρυθμίσεις ανάλογα με τον εκάστοτε αλγόριθμο.



Εικόνα 4.3. Το εργαλείο εκτέλεσης αλγορίθμων χωρικής παρεμβολής.

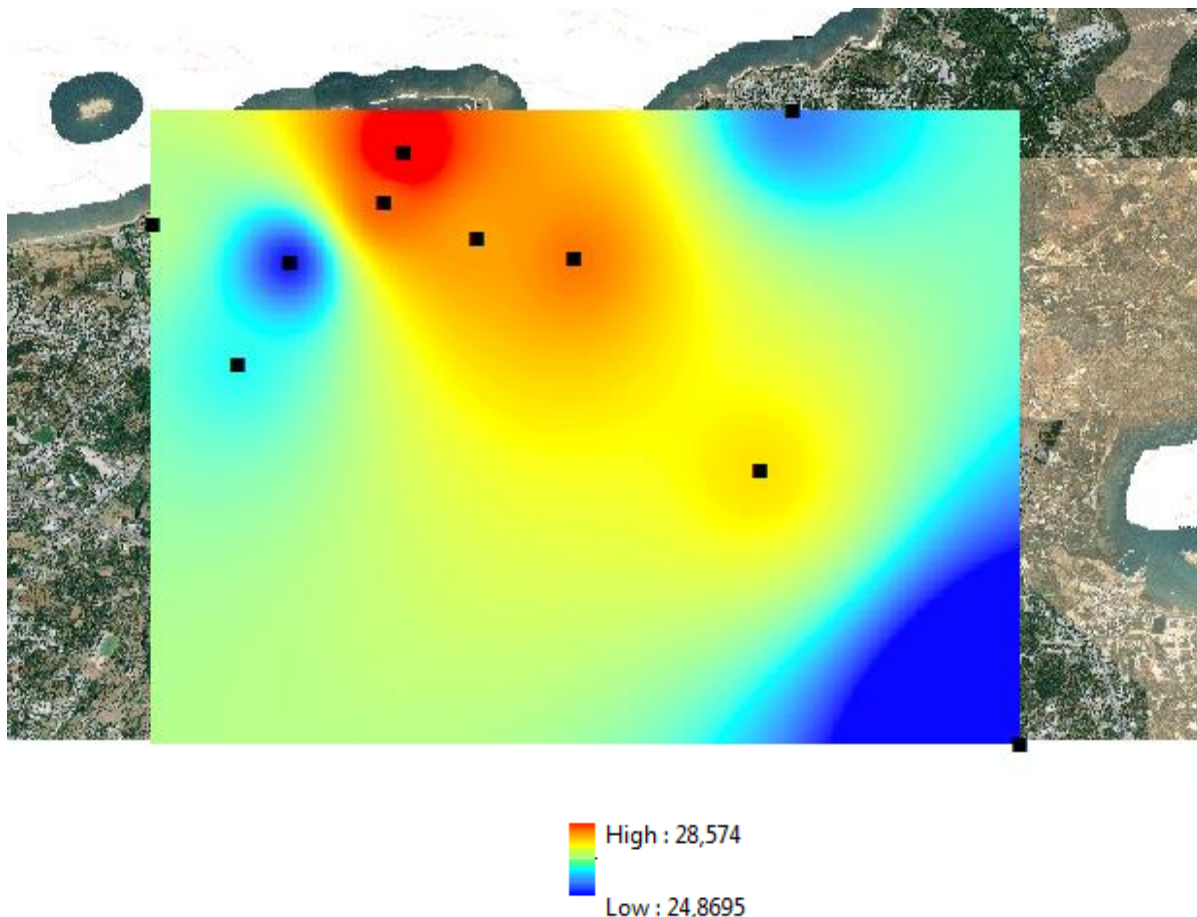
4.4.5 Εκτέλεση αλγορίθμων χωρικής παρεμβολής - Με χρήση Python Script.

Για να ληφθούν τα αποτελέσματα για όλες τις διαθέσιμες μετρήσεις η παραπάνω διαδικασία θα έπρεπε να επαναληφθεί τουλάχιστον 2.208 φορές για κάθε διαφορετικό αλγόριθμο, γεγονός που καθιστά την ανάγκη για αυτοματοποίηση της διαδικασίας επιτακτική. Η αυτοματοποίηση αυτή επιτυγχάνεται με την δυνατότητα που παρέχεται από το ArcGis της χρήσης python scripts. Η python είναι μια δυναμική γλώσσα προγραμματισμού που μπορεί να ενσωματωθεί και σαν εργαλείο scripting. Τα περισσότερα εργαλεία γεωεπεξεργασίας (geoprocessing) είναι διαθέσιμα σαν συναρτήσεις python και μπορούν να κληθούν από τα διάφορα scripts. Το ArcMap διαθέτει γραμμή εντολών (console) και με τον τρόπο αυτό γίνεται η εισαγωγή των εντολών ή των scripts.

Αναπτύχθηκε ένα βασικό script με μερικές παραλλαγές για να εξυπηρετήσει τις διαφορετικές ανάγκες. Η κύρια εργασία που καλείται να εφαρμόσει το script είναι να επαναλαμβάνει τον επιλεγμένο αλγόριθμο γεωχωρικής παρεμβολής για όλες τις μετρήσεις θερμοκρασίας και να αποθηκεύει τα αποτελέσματα σε μια βάση ώστε να είναι προσβάσιμα.

4.4.6 Αποτέλεσμα-έξοδος των αλγορίθμων.

Κάθε φορά που εκτελείται ένας αλγόριθμος γεωχωρικής παρεμβολής χειροκίνητα ή μέσω ενός script παράγει ένα αρχείο τύπου raster που αποθηκεύεται σε μια βάση δεδομένων τύπου file geodatabase. Το αρχείο raster ουσιαστικά είναι ένας πίνακας, που αποτελείται από κελιά ή pixel και είναι δομημένο σε γραμμές και στήλες, δηλαδή σε ένα πλέγμα (grid), όπου το κάθε κελί περιέχει μια τιμή που αναπαριστά χρήσιμη πληροφορία όπως θερμοκρασία. Στην περίπτωση της εργασίας αυτής, το αρχείο αυτό περιέχει τις τιμές θερμοκρασίας που έχει προβλέψει ο επιλεγμένος αλγόριθμος για όλα τα σημεία της περιοχής που καλύπτει, με βάση τις γνωστές θερμοκρασίες των γειτονικών σημείων των σταθμών. Η περιοχή η οποία καλύπτει είναι ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο το οποίο ορίζεται αυτόματα από τους πιο απομακρυσμένους σταθμούς, δηλαδή από τους σταθμούς της Σούδας, του Τ.Ε.Ι. και της Νέας Χώρας. Το αρχείο raster λειτουργεί σαν ένα επίπεδο που απεικονίζει την θερμοκρασία για κάθε σημείο της πόλης και ο χρήστης μπορεί να δει την ακριβή τιμή της θερμοκρασίας για κάθε σημείο που επιθυμεί είτε επιλέγοντας το είτε αποκτώντας πρόσβαση στην βάση στην οποία αποθηκεύεται, χειροκίνητα ή με κάποιο python script. Ένα παράδειγμα φαίνεται στην Εικόνα 3.4.



Εικόνα 4.4. Αποτέλεσμα αλγορίθμου χωρικής παρεμβολής για μια χρονική στιγμή. Οι σταθμοί που ορίζουν το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο είναι της Σούδας, του T.E.I. και της Νέας Χώρας.

4.5 Διαδικασία σύγκρισης

Ο σκοπός της σύγκρισης των μεθόδων είναι να βρει και να αποδείξει ποιος αλγόριθμος έχει τα καλύτερα αποτελέσματα για τα συγκεκριμένα δεδομένα. Η σύγκριση γίνεται με τη μέθοδο cross -validation και συγκεκριμένα leave-one-out cross -validation (LOOCV), δηλαδή αφαιρώντας έναν σταθμό με τις μετρήσεις του από το χάρτη και εφαρμόζοντας τους αλγορίθμους χωρικής παρεμβολής με είσοδο όλους τους υπόλοιπους σταθμούς. Οι αλγόριθμοι υπολογίζουν τις τιμές θερμοκρασίας για όλη την περιοχή και οι τιμές αυτές αποθηκεύονται. Στη συνέχεια ανακτώνται οι τιμές που αντιστοιχούν στο γεωγραφικό σημείο του σταθμού που αφαιρέθηκε, μετράται η διαφορά τους από τις πραγματικές μετρήσεις θερμοκρασίες και υπολογίζονται τα στατιστικά μεγέθη Μέσο Απόλυτο Σφάλμα και το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα που χρησιμοποιούνται ως δείκτες απόδοσης των μεθόδων.

4.5.1 Επιλογή σταθμού για την σύγκριση.

Αρχικά επιλέχθηκε να αφαιρεθεί ο σταθμός της οδού Σφακίων. Η επιλογή δεν ήταν τυχαία, έπρεπε να είναι αντιπροσωπευτική των περισσότερων σταθμών. Οι περισσότεροι σταθμοί βρίσκονται σε σχετικά μικρή μεταξύ τους απόσταση, στο κέντρο κυρίως της πόλης. Επίσης παράκτιοι σταθμοί ή σταθμοί σε περιοχές πρασίνου δεν προτιμήθηκαν αρχικά καθώς θεωρήθηκε ότι αυτά τα χαρακτηριστικά θα μπορούσαν να είναι υπεύθυνα για απόκλιση στις τιμές που υπολογίζουν οι αλγόριθμοι. Ακόμη επιλέγοντας έναν σταθμό ο οποίος βρίσκεται σε μικρή απόσταση από τους περισσότερους σταθμούς, αναμένονται ακριβέστερα αποτελέσματα από την επιλογή ενός απομακρυσμένου σταθμού π.χ. της Σούδας. Δηλαδή η επιλογή έγινε σε μια προσπάθεια να συγκριθούν οι αλγόριθμοι στην καλύτερη περίπτωση τους (best case scenario). Στην συνέχεια έγινε σύγκριση των αλγορίθμων και για άλλους σταθμούς επειδή τα αποτελέσματα για τον σταθμό των Σφακίων δεν ήταν τα αναμενόμενα. Τελικά χρησιμοποιήθηκαν οι σταθμοί Σφακίων, Δικαστηρίων και Αγ. Ιωάννη. Η αιτιολόγηση για την επιλογή των άλλων δύο σταθμών βρίσκεται στην παράγραφο με τα αποτελέσματα σύγκρισης.

4.5.2 Ανάλυση – τεχνική επεξήγηση του script.

Αναλυτικότερα η διαδικασία αυτή υλοποιήθηκε με ένα python script στο οποίο κάθε φορά αλλάζει η μέθοδος χωρικής παρεμβολής που καλείται. Συγκεκριμένα το script στην αρχή εισάγει τα εργαλεία που θα χρειαστεί όπως το arcpy και τα xlrd και xlwt τα οποία είναι απαραίτητα για ανάγνωση και εγγραφή excel αρχείων στην python. Έπειτα δίνονται τα στοιχεία του σταθμού ο οποίος αφαιρέθηκε δηλαδή οι συντεταγμένες, το όνομα του σταθμού και ένα excel αρχείο που περιέχει όλες τις μετρήσεις θερμοκρασίας για αυτόν τον σταθμό και το όνομα του excel αρχείου που θα αποθηκευτούν τα τελικά δεδομένα. Δίνονται επίσης το όνομα του shapefile που είναι αποθηκευμένα όλα τα δεδομένα (θέσεις σταθμών και μετρήσεις) και το όνομα της βάσης δεδομένων (file geodatabase) στην οποία είναι αποθηκευμένο το shapefile. Το script διαβάζει τις θερμοκρασίες που είναι αποθηκευμένες στο shapefile ανά ώρα και εκτελεί την μέθοδο χωρικής παρεμβολής για όλες διαδοχικά με ένα for loop. Τα αρχεία raster που προκύπτουν φέρουν το όνομα της χρονικής στιγμής στην οποίας αναφέρονται (π.χ. 130620071500) και αποθηκεύονται και αυτά σε ένα file geodatabase σχηματίζοντας ένα raster dataset (σύνολο από raster). Το raster dataset διαβάζεται (με την εντολή arcpy.ListDatasets) και για κάθε raster κάθε ανακτάται η τιμή θερμοκρασίας που υπολογίστηκε για το σημείο του επιπέδου (κελί στο raster) που αντιστοιχεί στον σταθμό που αφαιρέθηκε. Αυτό γίνεται με τη χρήση ενός for loop και εντολές append,

GetCellValue_management(). Έπειτα ανακτώνται οι πραγματικές τιμές θερμοκρασίας, όπως μετρήθηκαν, από το excel αρχείο με χρήση του xlrd και τροποποιούνται έτσι ώστε να είναι στην ίδια μορφή. Επειδή όμως τα raster δεν ανακτήθηκαν ακολουθώντας την χρονική συνέχεια θα ήταν λάθος να γίνει η σύγκριση των δύο διανυσμάτων ως έχουν καθώς κάθε γραμμή αναφέρεται σε διαφορετική χρονική στιγμή. Έτσι οι πραγματικές μετρήσεις θέτονται στην ίδια σειρά με αυτές που ανακτήθηκαν από τα raster. Στην συνέχεια υπολογίζεται η διαφορά και μαζί με τα προηγούμενα δεδομένα καταγράφονται στο αρχείο excel. Ένα παράδειγμα ενός αρχείου εξόδου φαίνεται στην Εικόνα 4.5.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Dates	Kriging estimated values	Real Values	Difference	Sfakiwn	x= 24.023223	y= 35.511418
2	0106200700	20,079119	20,18	0,100881			
3	0106200701	19,931602	20,13	0,198398			
4	0106200702	19,838448	20,13	0,291552			
5	0106200703	19,761446	20,13	0,368554			
6	0106200704	19,650412	20,13	0,479588			
7	0106200705	19,166964	19,47	0,303036			
8	0106200706	18,81362	19,04	0,22638			
9	0106200707	19,671356	19,85	0,178644			
10	0106200708	20,838202	22,13	1,291798			
11	0106200709	22,577778	24,58	2,002222			
12	0106200710	23,545555	26,8	3,254445			
13	0106200711	24,246668	27,99	3,743332			
14	0106200712	24,69928	27,67	2,97072			
15	0106200713	25,191542	27,02	1,828458			
16	0106200714	25,243866	27,02	1,776134			
17	0106200715	25,121111	27,13	2,008889			
18	0106200716	24,935556	26,8	1,864444			

Εικόνα 4.5. Excel αρχείο εξόδου του script.

4.6 Αποτελέσματα σύγκρισης – επιλογή αλγορίθμου-συμπεράσματα αποτελεσμάτων

Στα πλαίσια της εργασίας χρησιμοποιούνται οι αλγόριθμοι IDW, Kriging και Spline και συγκρίνονται οι αποδόσεις τους. Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι εξαιρετικά πολύπλοκες διαδικασίες και διαθέτουν πάρα πολλές παραμέτρους οι οποίες μπορούν να βελτιώσουν ή να μειώσουν σημαντικά την απόδοση τους. Στις περισσότερες συγκρίσεις που έχουν γίνει χρησιμοποιούνται οι προεπιλεγμένες επιλογές οι οποίες προσπαθούν να έχουν το βέλτιστο

αποτέλεσμα για όλους τους τύπους δεδομένων. Σε μερικές γίνονται κάποιες εξειδικευμένες ρυθμίσεις ανάλογα με το συγκεκριμένο είδος δεδομένων χωρίς ωστόσο να υπάρχει κάποιος οδηγός πέραν της βοήθειας και της επεξήγησης των εργαλείων του ArcGis. Παρακάτω εξηγούνται περιληπτικά μερικές από τις παραμέτρους που καθοριστήκαν και ο ρόλος τους.

Αρχικά όσον αφορά τη μέθοδο Kriging γίνεται επιλογή ποιος τύπος Kriging θα εφαρμοστεί ανάμεσα στον Ordinary Kriging (OK) και Universal Kriging (UK). Η ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος που χρησιμοποιείται και σε εφαρμογές όπου η μεταβλητή είναι η θερμοκρασία, είναι ο OK και δίνεται ως προεπιλογή στο ArcGis. Σύμφωνα με κάποιες μελέτες ο OK παρουσιάζει μικρότερο μέσο σφάλμα από τον UK.[9]

Η κυριότερη παράμετρος που επηρεάζει σημαντικά την απόδοση του αλγορίθμου OK είναι η επιλογή του μοντέλου του ημιμεταβλητογράμματος (semivariogram). Το semivariogram είναι η συνάρτηση που περιγράφει τη χωρική εξάρτηση της ημιδιακύμανσης (semivariance). Το ArcGis δίνει τις δυνατότητες επιλογής μοντέλου semivariogram: Γραμμικό (linear), Κυκλικό (circular), Σφαιρικό(spherical), Εκθετικό (exponential), Γκαουσιανό (Gaussian). Το μοντέλο ημιμεταβλητογράμματος επηρεάζει την πρόβλεψη των αγνώστων τιμών και την ομαλότητα της επιφάνειας που παράγει. Κάθε μοντέλο είναι σχεδιασμένο για να περιγράφει διαφορετικούς τύπους φαινομένων ακριβέστερα. Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν και τα πέντε μοντέλα.

Άλλες παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν είναι το μέγεθος κελιού (cell size) και η ακτίνα (radius) μέσα στην οποία αναζητά σημεία, που επηρεάζει την απόδοση του Kriging. Το μέγεθος του κελιού καθορίζει την ανάλυση του χάρτη. Όσο μικρότερο είναι το μέγεθος τόσο μεγαλύτερη λεπτομέρεια παρουσιάζεται στον χάρτη. Το προεπιλεγμένο μέγεθος υπολογίζεται παίρνοντας την μικρότερη διάσταση (μήκος ή πλάτος) του μεγαλύτερου ορθογωνίου που ορίζουν τα σημεία που εισήχθησαν και διαιρώντας την με το 250. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε το προεπιλεγμένο μέγεθος κελιού χωρίς κανένα πρόβλημα. Η παράμετρος ακτίνα ορίζει ποια γνωστά σημεία θα χρησιμοποιηθούν για δημιουργήσουν με την χωρική παρεμβολή την τιμή για κάθε κελί του raster επιπέδου-εξόδου. Υπάρχουν δύο τρόποι που μπορεί να λειτουργήσει η ακτίνα: σταθερά ή μεταβλητά. Η μεταβλητή ακτίνα αναζήτησης μεταβάλλεται έτσι ώστε να βρει τον αριθμό των σημείων που αναζητείται για την χωρική παρεμβολή. Η σταθερή ακτίνα αναζήτησης, παραμένει σταθερή και περιλαμβάνει στην παρεμβολή όσα σημεία βρει στον χώρο που καλύπτει. Ο χρήστης μπορεί να ορίσει τον αριθμό των κοντινότερων σημείων που θέλει να περιέχει η μεταβλητή ακτίνα και την μέγιστη απόσταση που ψάχνει. Στην σταθερή ακτίνα ο χρήστης ορίζει την απόσταση αναζήτησης και

τον ελάχιστο αριθμό σημείων που χρειάζεται για να πραγματοποιήσει την παρεμβολή. Συγκρίνονται και οι δύο αυτοί τρόποι. Στην μεταβλητή ακτίνα που είναι η προεπιλογή για όλες τις μεθόδους Kriging χρησιμοποιούνται και τα 10 γνωστά σημεία και η απόσταση αφήνεται όπως η προεπιλεγμένη δηλαδή η διαγώνιος του χάρτη. Στην σταθερή ακτίνα επιλέγονται και πάλι και τα 10 σημεία και η απόσταση ορίζεται στις 1000 μονάδες χάρτη. Αυτό γίνεται σε μια προσπάθεια να συγκριθούν οι δυο τρόποι με κοινές παραμέτρους.

Αρχικά έγινε σύγκριση των μεθόδων για το σημείο του σταθμού των Σφακίων. Εφαρμόστηκαν οι αλγόριθμοι Kriging με όλα τα μοντέλα semivariogram (Linear, Circular, Spherical, Exponential, Gaussian), IDW και Spline για τις μετρήσεις της 1^{ης} Ιουνίου 2007 (24 μετρήσεις). Τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτής, που έδειχναν μια σαφή υπεροχή του IDW, δεν ήταν τα αναμενόμενα καθώς υπάρχουν μελέτες και δημοσιεύσεις που καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι για μεταβλητές όπως η θερμοκρασία αέρα ο αλγόριθμος Kriging έχει συνήθως καλύτερη απόδοση από τον IDW. Έτσι άρχισε η διερεύνηση και σε άλλους σταθμούς για να επαληθευτεί αν το μη-αναμενόμενο αυτό αποτέλεσμα οφείλονταν στην θέση του σταθμού των Σφακίων ή σε άλλους παράγοντες που επηρεάζουν τους αλγορίθμους. Με την ίδια μέθοδο LOOCV εξετάστηκε η ακρίβεια των προβλέψεων των αλγορίθμων για τα σημεία των σταθμών Δικαστηρίων και Αγ. Ιωάννη για το ίδιο χρονικό διάστημα 24 ωρών της 1^{ης} Ιουνίου 2007. Επιλέχθηκαν αυτοί οι σταθμοί, διότι αντιπροσωπεύουν και ανήκουν σε διαφορετικές περιοχές. Ενώ ο σταθμός των Σφακίων βρίσκεται στο κέντρο της πόλης και σε πολύ μικρή απόσταση από πολλούς σταθμούς, ο σταθμός των δικαστηρίων είναι κάπως πιο απομακρυσμένος και απομονωμένος, τοποθετημένος μακριά από το κέντρο. Ο σταθμός του Αγ. Ιωάννη βρίσκεται στα όρια της πόλης και αντιπροσωπεύει μια ημιαστική περιοχή αρκετά μακριά από τους άλλους σταθμούς και από το κέντρο. Η διαφορά αυτή στην απόσταση των σημείων, επιτρέπει την επαλήθευση των αποτελεσμάτων, δείχνοντας την απόδοση του κάθε αλγορίθμου σε διαφορετικές συνθήκες. Πρέπει να τονιστεί ότι όλοι οι αλγόριθμοι χωρικής παρεμβολής υπολογίζουν την εκτίμηση τους με βάση την απόσταση του σημείου από τα σημεία με τα γνωστά δεδομένα, συνήθως συνυπολογίζοντας και άλλες παραμέτρους. Συνεπώς στην παρούσα εργασία που άλλοι παράγοντες όπως υψομετρική διαφορά, ποσότητα πρασίνου, ύψος δόμησης δεν λαμβάνονται υπόψη η απόσταση του σημείου από τους σταθμούς έχει πρωτεύων ρόλο.

Πίνακας 4.5. Το μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error) πρόγνωσης για την 1^η Ιουνίου 2007

	Kriging					IDW	Spline
	Linear	Circular	Spherical	Exponential	Gaussian		
Σφακίων	1,158256	1,127943	1,124877	1,155938	1,208079	0,5706 93	3,1655 94
Δικαστήρια	0,831510	1,074852	1,060014	1,072632	1,026272	0,8230 03	1,0718 90
Αγ. Ιωάννης	0,793989	0,829918	0,835672	0,831619	1,473723	0,5671 98	6,2324 40

Πίνακας 4.6. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Square Root Error) πρόγνωσης για την 1^η Ιουνίου 2007

	Kriging					IDW	Spline
	Linear	Circular	Spherical	Exponential	Gaussian		
Σφακίων	1,560829	1,552514	1,551887	1,561908	1,656626	0,899134	4,789058
Δικαστήρια	1,544666	1,513028	1,487202	1,462867	1,417232	1,136885	4,678329
Αγ.Ιωάννης	1,120997	1,164155	1,167152	1,18084	2,775743	0,796739	9,126799

Στους παραπάνω πίνακες φαίνεται το μέσο απόλυτο και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα πρόγνωσης και για τους τρεις σταθμούς για την περίοδο μιας μέρας. Αυτό που παρατηρείται είναι η μεγάλη διαφορά στην απόδοση του IDW που ξεχωρίζει από όλες τις άλλες μεθόδους και η πολύ κακή απόδοση του Spline. Σχετικά με τη μέθοδο Kriging και τα διάφορα μοντέλα ημιμεταβλητογράμματος που δοκιμάστηκαν δεν μπορεί να εξαχθεί ασφαλώς κάποιο συμπέρασμα καθώς η απόδοση τους είναι διαφορετική, μη προβλέψιμη και δεν ακολουθεί κανένα πρότυπο. Αυτό που αποδεικνύεται είναι ότι για κάθε είδος σταθμού (δηλαδή για διαφορετικές αποστάσεις), διαφορετικά μοντέλα ημιμεταβλητογράμματος έχουν καλύτερη

απόδοση και έτσι δεν μπορεί να προταθεί ένα για όλα. Το τελικό συμπέρασμα από αυτή τη σύγκριση είναι ότι ο IDW έχει αρκετά καλύτερη απόδοση από όλες τις μεθόδους Kriging που δοκιμάστηκαν σε διάφορους σταθμούς.

Σε μια προσπάθεια για εις βάθος διερεύνηση για έναν συγκεκριμένο σταθμό εξετάστηκαν οι μέθοδοι IDW, Spline και Kriging με semivariogram (Circular, Spherical, Exponential) με επιπλέον την παράμετρο σταθερής ακτίνας (Fixed Radius) για τον σταθμό Σφακίων για το διάστημα Ιουνίου 2007 (720 μετρήσεις). Τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 4.7. Το μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error) πρόγνωσης για τον Ιούνιο 2007								
	Kriging						IDW	Spline
	Circular	Spherical	Exp.	Circular Fixed Radius	Spherical Fixed Radius	Exp. Fixed Radius		
Σφακίων	0,978299	0,968924	0,947 169	0,97853 2	0,971287	0,9456 19	0,67575 4	3,05905 0

Πίνακας 4.8. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Square Root Error) πρόγνωσης για τον Ιούνιο 2007								
	Kriging						IDW	Spline
	Circular	Spherical	Exp.	Circular Fixed Radius	Spherical Fixed Radius	Exp. Fixed Radius		
Σφακίων	1,341258	1,334729	1,329 246	1,342588	1,337107	1,3270 08	0,948865	4,53674 7

Από αυτά τα αποτελέσματα είναι και εμφανής η υπεροχή του IDW. Σχετικά με τις μεθόδους Kriging παρατηρείται ότι η διαφορά στην απόδοση που προκαλείται από την σταθερή ακτίνα είναι πολύ μικρή. Τελικά αποδεικνύεται ότι, ο αλγόριθμος IDW, για τις συγκεκριμένες συνθήκες και με τους περιορισμούς που εφαρμόστηκαν σε αυτή την εργασία παρουσιάζει καλύτερη απόδοση από τις υπόλοιπες μεθόδους και έτσι επιλέγεται για να εκτιμήσει και να παράγει τις τιμές θερμοκρασίας για όλη την καλοκαιρινή περίοδο που εξετάζεται.

4.7 Παραγωγή εκτιμήσεων θερμοκρασίας με βάση τον αλγόριθμο IDW για την περιοχή της πόλης των Χανίων την περίοδο 01/06/2007 – 31/08/2007

Με τα παραπάνω αποτελέσματα σύγκρισης αλγορίθμων να υποδεικνύουν την ανώτερη απόδοση του IDW ξεκινάει η διαδικασία παραγωγής εκτιμήσεων θερμοκρασίας για όλη την περιοχή της πόλης των Χανίων. Χρησιμοποιώντας ως είσοδο όλα τα δεδομένα και για τους 10 σταθμούς στον αλγόριθμο IDW θα παραχθούν επίπεδα αρχεία τύπου raster που θα φέρουν την θερμοκρασία του κάθε σημείου για κάθε ώρα της ημέρας. Στην συνέχεια τα raster αρχεία θα εισαχθούν σε έναν κατάλογο από αρχεία raster (raster catalog) θα ταξινομηθούν με βάση το χρόνο και εν τέλει θα δημιουργήσουν ένα animation που θα δείχνει την εκτίμηση της θερμοκρασίας για τους θερινούς μήνες του 2007. Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή αυτής της διαδικασίας.

4.7.1 Εισαγωγή δεδομένων – εκτέλεση αλγορίθμου

Για να εκτελεστεί ο αλγόριθμος IDW πρέπει πρώτα να εισαχθεί το shapefile με τις θέσεις των σταθμών και σε αυτό να προστεθούν με τη πράξη της ένωσης οι μετρήσεις θερμοκρασίας, όπως ακριβώς περιγράφηκε παραπάνω. Έπειτα ακολουθεί η εκτέλεση του αλγορίθμου IDW και η παραγωγή των αρχείων raster. Επειδή η εκτέλεση πρέπει να γίνει 2.208 φορές (όσες και οι ώρες του Ιουνίου-Ιουλίου-Αυγούστου 2007) κρίνεται αναγκαίο να δημιουργηθεί ένα script για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας. Το script επιτελεί ανάγνωση των πεδίων του πίνακα χαρακτηριστικών του shapefile (δηλαδή διαβάζει τις θερμοκρασίες ανά ώρα) και εκτελεί έναν επαναληπτικό βρόγχο (for loop) μέσα στον οποίο καλείται το εργαλείο του αλγορίθμου IDW. Κάθε φορά που καλείται ο IDW παράγει ένα αρχείο raster σαν αποτέλεσμα με όνομα έναν χαρακτήρα και την ημερομηνία και ώρα που

αναπαριστά (π.χ. a2007600113). Αυτό συμβαίνει διότι το ArcGis δεν επιτρέπει την αποθήκευση κάποιου αρχείου με όνομα που αποτελείται μόνο από αριθμούς και δεύτερον επειδή χρησιμοποιώντας την ημερομηνία και την ώρα τα αρχεία αργότερα θα ταξινομηθούν χρονικά. Όλα τα raster αποθηκεύονται σε μια βάση τύπου File Geodatabase διότι αυτός ο τύπος βάσης επιτρέπει την αποθήκευση και αναγνώριση πεδίων χρόνου, που θα χρειαστεί για την ταξινόμηση τους. Η επανάληψη συνεχίζεται για όλα τα πεδία και το script ολοκληρώνεται με την βάση να περιέχει 2.208 raster αρχεία, τα οποία όμως δεν είναι ταξινομημένα σε χρονική σειρά.

4.7.2 Ταξινόμηση – προσθήκη σε Raster Catalog – εισαγωγή πεδίου χρόνου

Για την δημιουργία μιας βάσης που επιτρέπει την εύκολη πλοήγηση ανάμεσα σε χρονικές στιγμές και την προβολή των raster με τις τιμές θερμοκρασίας ή και την δημιουργία animation χρειάζεται να οργανωθούν τα raster σε κάποιου είδους δομή. Υπάρχουν τρεις τρόποι για αποθήκευση raster dataset δεδομένων στο ArcGis. Στην περίπτωση αυτή επειδή τα επίπεδα raster καλύπτουν την ίδια περιοχή και σκοπός είναι να αποθηκευτούν σε μια χρονική σειρά επιλέγεται ο τύπος Κατάλογος από raster (Raster Catalog). Το Raster Catalog είναι μια συλλογή από raster dataset ορισμένα σε μια μορφή πίνακα στην οποία κάθε εγγραφή αντιπροσωπεύει ένα μεμονωμένο raster που περιέχεται μέσα στον κατάλογο. Ένα raster catalog μπορεί να περιέχει μεγάλο όγκο από rasters που συνήθως είναι πλήρως επικαλυπτόμενα χωρικά και για το λόγο αυτό και επιλέχθηκε. Η δημιουργία ενός Raster Catalog γίνεται με δεξί κλικ στη βάση που θα τον περιέχει και New, Raster Catalog και επιλέγουμε το όνομα και το πρότυπο των συντεταγμένων που ακολουθεί (GCS_WGS_1984).

Στην συνέχεια, μέσα από το ArcCatalog, με δεξί κλικ στο Raster Catalog, επιλέγουμε Load, Load Raster Datasets και εμφανίζεται το εργαλείο Raster To Geodatabase και επιλέγουμε όλα τα αρχεία raster. Με τον τρόπο αυτό γίνεται η φόρτωση των raster αρχείων μέσα στο Raster Catalog.

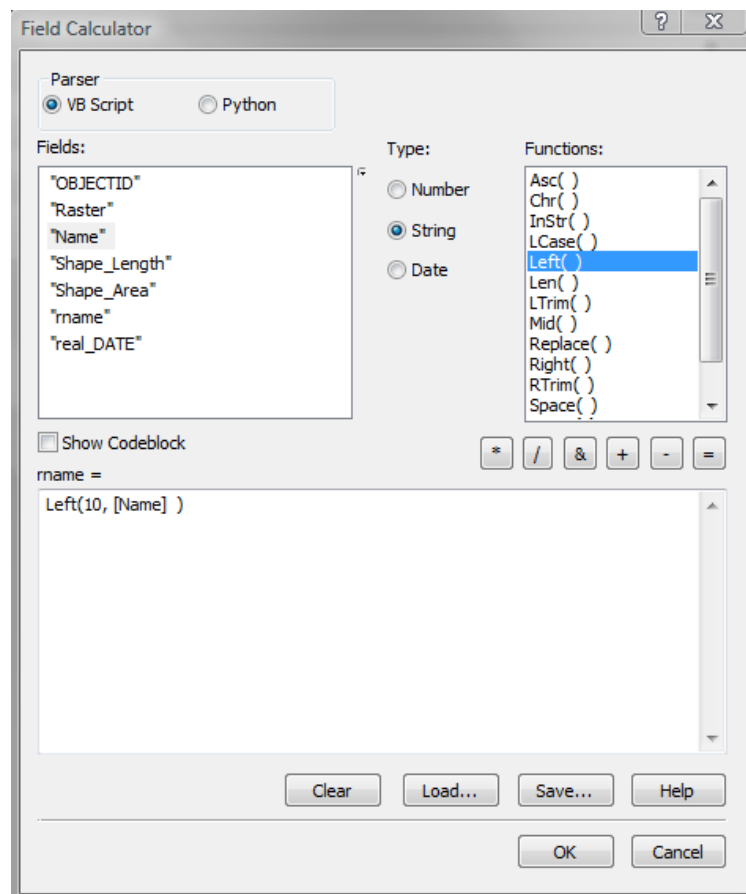
Σε αυτό το σημείο τα αρχεία raster βρίσκονται μέσα στο Raster Catalog χωρίς να είναι ταξινομημένα και με ονόματα τύπου «a2007060113» που δεν επιτρέπει την άμεση ταξινόμηση ή επεξεργασία τους. Για να ταξινομηθούν τα αρχεία raster και να προβάλλονται σε χρονική σειρά δημιουργώντας ένα animation πρέπει να δημιουργηθεί ένα πεδίο χρόνου που περιέχει την ημερομηνία και ώρα σε μορφή και τύπο date που αναγνωρίζει το ArcGis. Το

περιεχόμενο του πεδίου χρόνου θα προέλθει από το όνομα του κάθε raster αφαιρώντας τον αρχικό χαρακτήρα και μετατρέποντας το από πεδίο κειμένου (text, string) σε πεδίο μορφής ημερομηνίας (date).

RCat						
	OBJECTID *	Shape *	Raster	Name	Shape Length	Shape Area
▶	1	Polygon	<Raster>	a2007060100	0,182373	0,002018
	2	Polygon	<Raster>	a2007060101	0,182373	0,002018
	3	Polygon	<Raster>	a2007060102	0,182373	0,002018
	4	Polygon	<Raster>	a2007060103	0,182373	0,002018
	5	Polygon	<Raster>	a2007060104	0,182373	0,002018
	6	Polygon	<Raster>	a2007060105	0,182373	0,002018
	7	Polygon	<Raster>	a2007060106	0,182373	0,002018
	8	Polygon	<Raster>	a2007060107	0,182373	0,002018
	9	Polygon	<Raster>	a2007060108	0,182373	0,002018
	10	Polygon	<Raster>	a2007060109	0,182373	0,002018
	11	Polygon	<Raster>	a2007060110	0,182373	0,002018
	12	Polygon	<Raster>	a2007060111	0,182373	0,002018

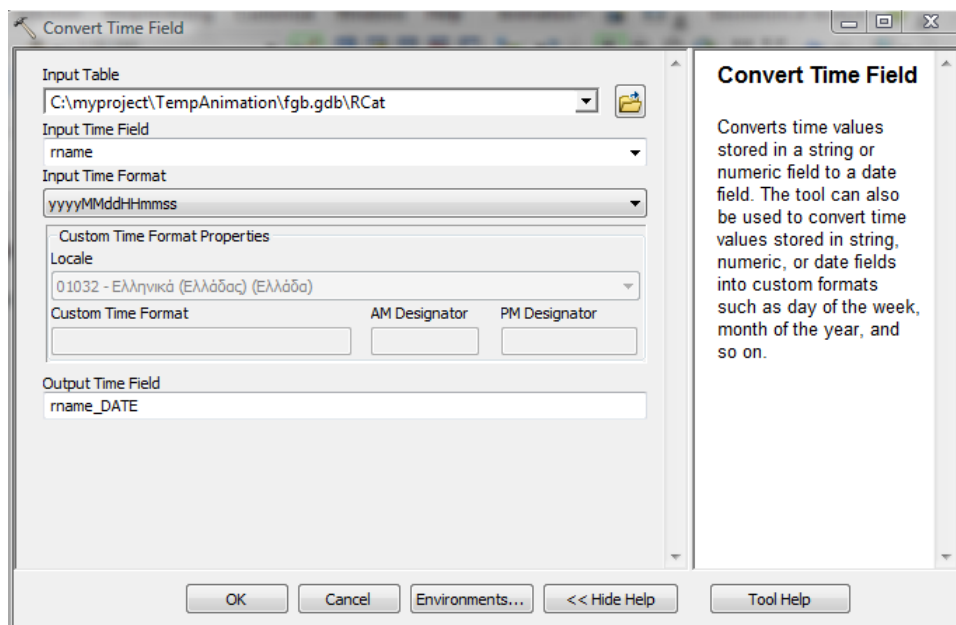
Εικόνα 4.6. Αρχικός πίνακας χαρακτηριστικών του Raster Catalog.

Αρχικά για να αφαιρέσουμε τον χαρακτήρα που υπάρχει στο όνομα του κάθε raster και να πάρουμε την ημερομηνία δημιουργούμε ένα νέο άδειο πεδίο τύπου string στο Raster Catalog. Από το μενού του table options στον πίνακα χαρακτηριστικών του Raster Catalog, επιλέγουμε Add field και στην συνέχεια συμπληρώνουμε το όνομα και τον τύπο του πεδίου (string). Για την αφαίρεση του αρχικού χαρακτήρα της ημερομηνίας χρησιμοποιούμε το εργαλείο Calculate Field που βρίσκεται στο μενού του Data Management Tools, Fields. Το εργαλείο αυτό υπολογίζει και τοποθετεί μια τιμή στο επιλεγμένο πεδίο του πίνακα που δέχεται σαν είσοδο. Για τον υπολογισμό της τιμής χρησιμοποιούνται εκφράσεις εκφρασμένες σε Visual Basic ή Python. Περιέχει πολλές έτοιμες συναρτήσεις για διαφορετικούς τύπους δεδομένων όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.7. Στο παράθυρο του εργαλείου, αφού επιλέξουμε το Raster Catalog ως είσοδο και το πεδίο τύπου string που δημιουργήσαμε ως πεδίο που θα αναθέσει την τιμή, γράφουμε την έκφραση σε VB Script. Με «real_name» να είναι το πεδίο τύπου string και «name» το πεδίο του ονόματος αρχείου του κάθε raster η έκφραση είναι η «real_name = Left(10, [Name]) ». Η συνάρτηση Left() επιστρέφει έναν καθορισμένο αριθμό χαρακτήρων από την αριστερή μεριά του string που ορίζεται ως είσοδος. Δηλαδή από το πεδίο «Name» θα επιστραφούν οι 10 χαρακτήρες από αριστερά και θα τοποθετηθούν στο πεδίο «real_name».



Εικόνα 4.7. Εισαγωγή της έκφρασης VB Script στο εργαλείο Calculate Field.

Στη συνέχεια το νέο πεδίο που είναι τύπου string πρέπει να μετατραπεί σε μορφή ημερομηνίας. Αυτό γίνεται με χρήση ενός άλλου εργαλείου του Convert Time Field. Το εργαλείο αυτό βρίσκεται επίσης στο μενού Data Management Tools, Fields και σκοπός του είναι η μετατροπή αποθηκευμένων τιμών από string ή αριθμό σε τύπο ημερομηνίας. Ακόμη μπορεί να μετατρέψει μια ημερομηνία σε προσαρμοσμένη μορφή ημερομηνίας (π.χ. ήμερα της εβδομάδας, μήνας του χρόνου). Στο παράθυρο του εργαλείου αυτού αρχικά επιλέγουμε τον πίνακα εισαγωγής δηλαδή το Raster Catalog. Έπειτα το πεδίο το οποίο θα μετατραπεί σε ημερομηνία δηλαδή το «real_name» και στην συνέχεια το πρότυπο σύμφωνα με το οποίο είναι γραμμένη η ημερομηνία στο πεδίο «real_name». Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω το πρότυπο αυτό είναι το «εεεεμμηωωλλ» το οποίο επιλέγεται από μια λίστα με προτεινόμενα πρότυπα. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει καινούργια προσαρμοσμένα πρότυπα που τον εξυπηρετούν χρησιμοποιώντας το Custom Time Format. Τέλος συμπληρώνουμε ένα όνομα για το νέο πεδίο που θα δημιουργηθεί.



Εικόνα 4.8. – Παράθυρο του εργαλείου *Convert Time Field*.

Αφού ολοκληρωθεί η εκτέλεση του εργαλείου ο τελικός πίνακας χαρακτηριστικών του Raster Catalog περιέχει ένα πεδίο χρόνου το οποίο αναγνωρίζεται από το ArcMap και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να την ταξινόμηση των raster αρχείων. Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.9. κάθε εγγραφή στον πίνακα έχει αποκτήσει μια χρονική στιγμή που δεν αποθηκεύεται στο ίδιο το raster αλλά στα περιεχόμενα του Raster Catalog.

RCat							
	OBJECTID *	Shape *	Raster	Name	Shape Length	Shape Area	real DATE
▶	2	Polygon	<Raster>	a2007060101	0,182373	0,002018	2007060101 1/6/2007 1:00:00 πμ
	3	Polygon	<Raster>	a2007060102	0,182373	0,002018	2007060102 1/6/2007 2:00:00 πμ
	4	Polygon	<Raster>	a2007060103	0,182373	0,002018	2007060103 1/6/2007 3:00:00 πμ
	5	Polygon	<Raster>	a2007060104	0,182373	0,002018	2007060104 1/6/2007 4:00:00 πμ
	6	Polygon	<Raster>	a2007060105	0,182373	0,002018	2007060105 1/6/2007 5:00:00 πμ
	7	Polygon	<Raster>	a2007060106	0,182373	0,002018	2007060106 1/6/2007 6:00:00 πμ
	8	Polygon	<Raster>	a2007060107	0,182373	0,002018	2007060107 1/6/2007 7:00:00 πμ
	9	Polygon	<Raster>	a2007060108	0,182373	0,002018	2007060108 1/6/2007 8:00:00 πμ
	10	Polygon	<Raster>	a2007060109	0,182373	0,002018	2007060109 1/6/2007 9:00:00 πμ
	11	Polygon	<Raster>	a2007060110	0,182373	0,002018	2007060110 1/6/2007 10:00:00 πμ
	12	Polygon	<Raster>	a2007060111	0,182373	0,002018	2007060111 1/6/2007 11:00:00 πμ
	13	Polygon	<Raster>	a2007060112	0,182373	0,002018	2007060112 1/6/2007 12:00:00 μμ
	14	Polygon	<Raster>	a2007060113	0,182373	0,002018	2007060113 1/6/2007 1:00:00 μμ
	15	Polygon	<Raster>	a2007060114	0,182373	0,002018	2007060114 1/6/2007 2:00:00 μμ

Εικόνα 4.8. –Ο πίνακας περιεχομένων του Raster Catalog με το πεδίο του χρόνου για κάθε εγγραφή.

4.7.3 Ενεργοποίηση του πεδίου του χρόνου

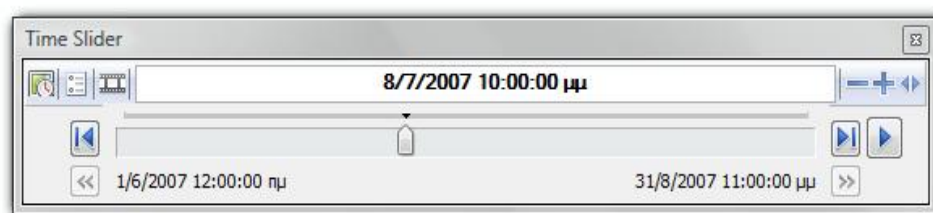
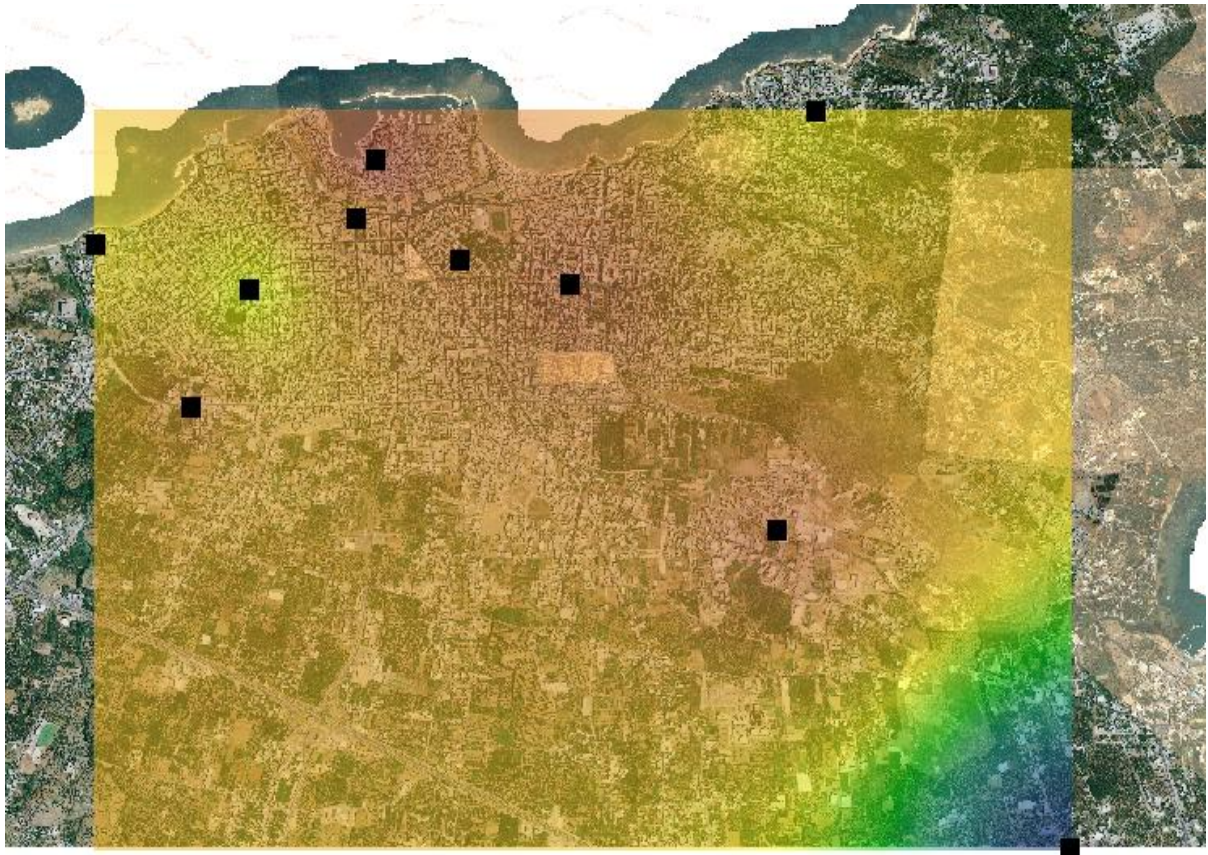
Στο σημείο αυτό όλα τα raster είναι αρχειοθετημένα στο Raster Catalog και μπορούν να ταξινομηθούν και να προβληθούν με βάση τον χρόνο για να δημιουργηθεί το τελικό animation. Σε όλες τις περιπτώσεις που χρειάζεται να γίνει αυτό πρέπει να ενεργοποιηθεί το πεδίο του χρόνου. Αυτό γίνεται μέσα από τον πίνακα περιεχομένων, με δεξί κλικ στο Raster Catalog, Properties, Time. Στην καρτέλα του χρόνου ενεργοποιούμε το χρόνο με κλικ στο Enable time on this layer και στο πεδίο “Layer Time” επιλέγουμε ότι το κάθε χαρακτηριστικό έχει ένα πεδίο χρόνου (Each feature has a single time field). Στη συνέχεια ορίζουμε ως μεταβλητή χρόνου (Time Field) το πεδίο “Real Date”. Ορίζουμε το πρότυπο της ημερομηνίας σε <Date/Time> (Ημερομηνία/Ωρα) και το χρονικό διάστημα (Time Step Interval) μεταξύ των μετρήσεων στη 1 ώρα.

4.7.4 Συμβολισμός

Για την σωστή απεικόνιση των επιπέδων raster πρέπει να γίνει επιλογή του συμβολισμού τους. Αυτό γίνεται με δεξί κλικ στο Raster Catalog στον πίνακα περιεχομένων και επιλογή Properties. Εκεί βρίσκεται η καρτέλα Symbology υπεύθυνη για τον συμβολισμό. Δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει χρωματική κλίμακα απεικόνισης ή και να συνθέσει την δική του. Επιλέγουμε το είδος stretched της χρωματικής κλίμακας και διαλέγουμε μια κλίμακα που ξεκινάει από το με μπλε και κορυφώνει στο κόκκινο όπως συνηθίζεται για απεικόνιση θερμοκρασίας. Ακόμη ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό βρίσκεται στην καρτέλα Display (Προβολή) όπου ο χρήστης μπορεί να καθορίσει την διαφάνεια των επιπέδων σε ποσοστό έτσι ώστε να γίνει ορατή πληροφορία και από άλλα επίπεδα.

4.7.5 Animation.

Όλα τα δεδομένα που απαιτούνται για την δημιουργία του animation είναι έτοιμα και το μόνο που χρειάζεται είναι η ενεργοποίηση του Time Slider. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι ίδια με αυτή στην παράγραφο 3.3.4 Animation, όπου και περιγράφεται αναλυτικά, με μόνη διαφορά ότι στην επιλογή επιπέδου στην καρτέλα Time Extend διαλέγουμε το Raster Catalog. Ένα στιγμιότυπο από το animation φαίνεται στην Εικόνα 4.9.



Εικόνα 4.9. Στιγμιότυπο από το ArcMap. Με τον Time Slider γίνεται επιλογή χρονικής στιγμής για προβολή ενώ με το Play προβάλλεται σαν animation.

Το animation αυτό διαρκεί αρκετά λεπτά καθώς προβάλλει όλα τα raster επίπεδα για κάθε ώρα της ημέρας για την περίοδο 01/06/2007 01:00:00 πμ - 01/09/2007 12:00:00 πμ. Για την μετατροπή του animation σε μορφή video γίνεται καταγραφή του με ένα πρόγραμμα εγγραφής εικόνας (Camtasia Recording Studio) και αποθήκευση. Τέλος με χρήση του ίδιου προγράμματος το βίντεο επεξεργάζεται και αυξάνεται η ταχύτητα που προβάλλονται τα καρέ του για να μειωθεί η διάρκειά του.

5. Αποτελέσματα.

5.1 Εισαγωγή.

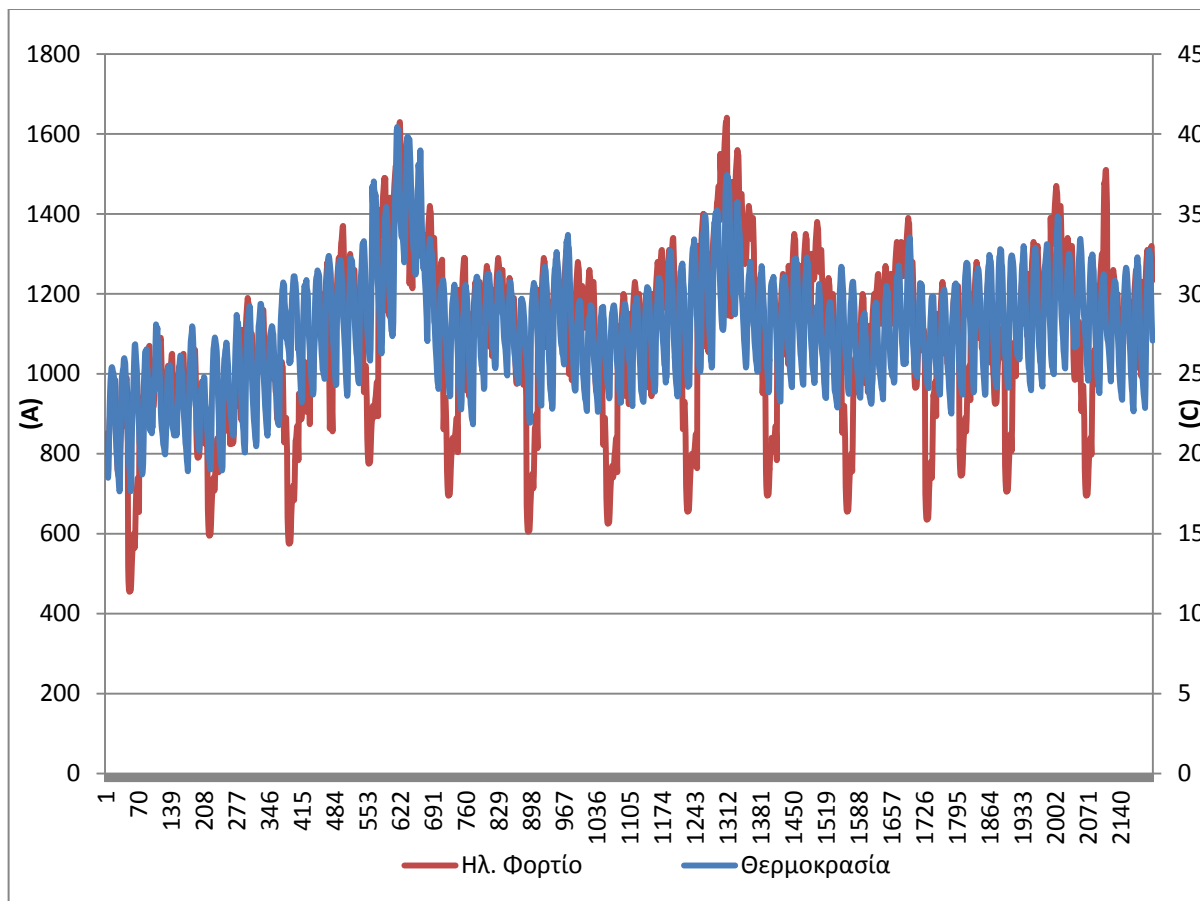
Στο κεφάλαιο αυτό χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των διαδικασιών που έγιναν στα προηγούμενα κεφάλαια θα γίνει μια διερεύνηση σχετικά με την ύπαρξη κάποιου είδους συσχέτισης μεταξύ των δεδομένων θερμοκρασίας και ηλεκτρικής κατανάλωσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ύπαρξη συσχέτισης και η εξαγωγή ενός μαθηματικού τύπου που την περιγράφει είναι πολύ σημαντική καθώς, αν μπορεί να περιγραφεί με ακρίβεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν εργαλείο πρόγνωσης.

5.2 Διερεύνηση συσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών (θερμοκρασίας – ηλεκτρικού φορτίου).

Η διαδικασία της εξέτασης για την ύπαρξη συσχέτισης, μεταξύ των δυο μεταβλητών, αρχικά ποιοτικά και έπειτα ποσοτικά, ξεκινάει με την δημιουργία διαγραμμάτων και τον υπολογισμό του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης Pearson. Αφού διαπιστωθεί ότι οι τιμές συγκλίνουν προς κάποια ευθεία ή καμπύλη τότε ακολουθεί Curve Fitting για να καθοριστεί ο τύπος της συνάρτησης που περιγράφει την συσχέτιση. Ανάλογα με το πόσο ακριβής είναι η περιγραφή της συσχέτισης από τον τύπο, τόσο καλά μπορεί να προβλέψει μελλοντικές τιμές. Στην εργασία αυτή δεν βρέθηκε κάποιος τύπος που να είναι τόσο ακριβής στην περιγραφή της συσχέτισης, ώστε να γίνει πρόβλεψη μελλοντικών τιμών.

Το παρακάτω διάγραμμα αναπαριστά το ηλεκτρικό φορτίο για ολόκληρη την πόλη των Χανίων και τον μέσο όρο θερμοκρασίας όλων των σταθμών, εκτός από αυτόν της Σούδας, σε χρονικό διάστημα από 01/06/2007 – 31/08/2007 για κάθε ώρα. Ο σταθμός της Σούδας δεν επιλέχθηκε καθώς δεν ανήκει στην περιοχή της πόλης των Χανίων. Τα δεδομένα αποτελούνται από 2.208 ζεύγη τιμών, τα οποία συνιστούν ένα αρκετά μεγάλο δείγμα, γεγονός που μειώνει την επιρροή της τυχειότητας και του σφάλματος στα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα τα δεδομένα θερμοκρασίας προέρχονται από τον μέσο όρο μετρήσεων όλων των σταθμών και τα δεδομένα ηλεκτρικού φορτίου είναι το άθροισμα φορτίου και των τριών περιοχών για κάθε ώρα όπως είχαν παραχθεί στην παράγραφο 3.2.6. Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι η συσχέτιση των δύο μεταβλητών είναι εμφανής. Οι δύο μεταβλητές παρουσιάζουν όμοιες αυξητικές και μειωτικές τάσεις και σημειώνουν τα μέγιστα τους τις ίδιες χρονικές στιγμές. Χαρακτηριστικά αυτό φαίνεται στο πρώτο μέγιστο το οποίο

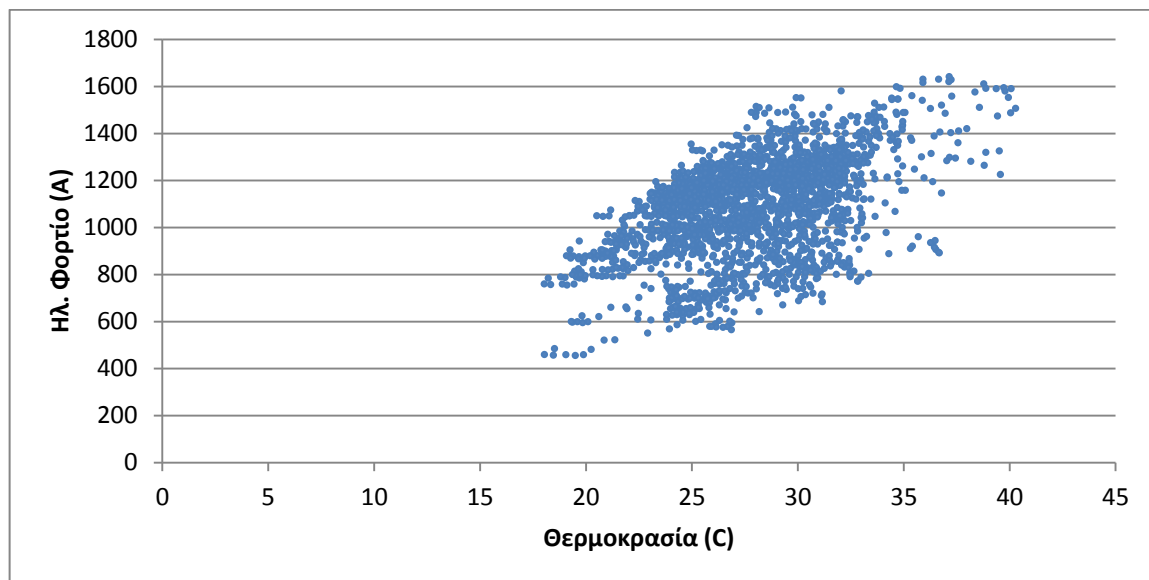
σημειώνεται στις 26/6. Στο δεύτερο μέγιστο παρατηρείται και πάλι μια συσχέτιση, όμως η άνοδος του ηλεκτρικού φορτίου ξεπερνάει την άνοδο της θερμοκρασίας. Συνοψίζοντας το διάγραμμα αυτό λειτουργεί ενδεικτικά και αποτελεί ένδειξη για την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών χωρίς όμως να μπορεί να καθοριστεί από αυτό.



Εικόνα 5.1. Η ωριαία εξέλιξη του ηλεκτρικού φορτίου και της θερμοκρασίας για την περίοδο 01/06/2007 – 31/08/2007.

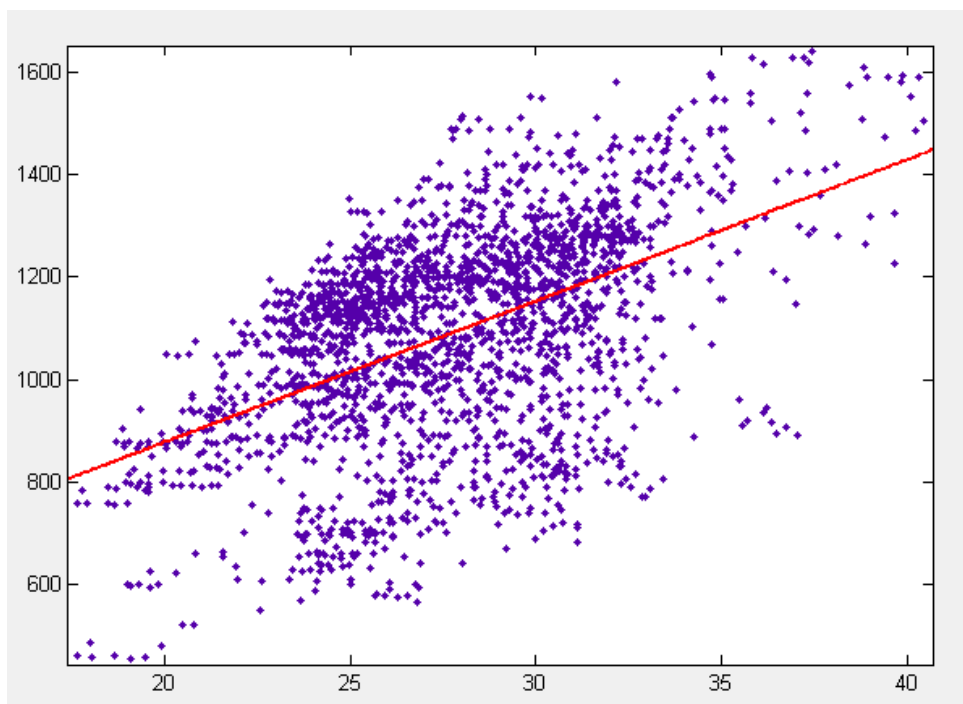
Προχωρώντας την διερεύνηση για την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών, δημιουργήθηκε το παρακάτω διάγραμμα σημείων και υπολογίστηκε ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης Pearson. Το διάγραμμα σημείων μαζί με τον συντελεστή γραμμικής συσχέτισης Pearson ο οποίος έχει τιμή 0,501875 αποδεικνύουν την ύπαρξη γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των δυο μεταβλητών. Με την μηδενική συσχέτιση να έχει τιμές πολύ κοντά στο μηδέν και την απόλυτη ταύτιση να ορίζεται στο 1, η τιμή του συντελεστή συσχέτισης αποδεικνύει την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών χωρίς όμως να ορίζει αυστηρά το είδος της συσχέτισης. Ερμηνεύοντας το συγκεκριμένο αποτέλεσμα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλές παράμετροι οι οποίες το επηρεάζουν και δεν έχουν καταγραφεί. Τέλος ο αριθμός των τιμών που χρησιμοποιούνται σε αυτό το διάγραμμα,

είναι αρκετά μεγάλος για να αποκλείει την ύπαρξη συσχέτισης λόγω τύχης ή σφάλματος όπως συμβαίνει σε μικρά πλήθη παρατηρήσεων.



Εικόνα 5.2 Το διάγραμμα σημείων απεικονίζει τα δεδομένα της ίδιας περιόδου και αποδεικνύει την ύπαρξη γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της θερμοκρασίας και του ηλεκτρικού φορτίου.

Έχοντας αποδείξει την συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας και της κατανάλωσης θα επιχειρηθεί ο προσδιορισμός της γραμμικής τους συσχέτισης με χρήση των εργαλείων της Matlab. Γίνεται φόρτωση των δεδομένων στη Matlab και με το εργαλείο Curve Fitting Tool προσδιορίζεται ένα πολυώνυμο πρώτου βαθμού που περιγράφει την κατανομή των τιμών. Τα αποτελέσματα ωστόσο δεν είναι ενθαρρυντικά καθώς όπως φαίνεται από την Εικόνα 5.3 αλλά και από τα στατιστικά που υπολογίζει η Matlab.



Εικόνα 5.3 Curve Fitting στην Matlab. Παρατηρείται ότι η συσχέτιση δεν μπορεί να περιγραφεί γραμμικά με ακρίβεια.

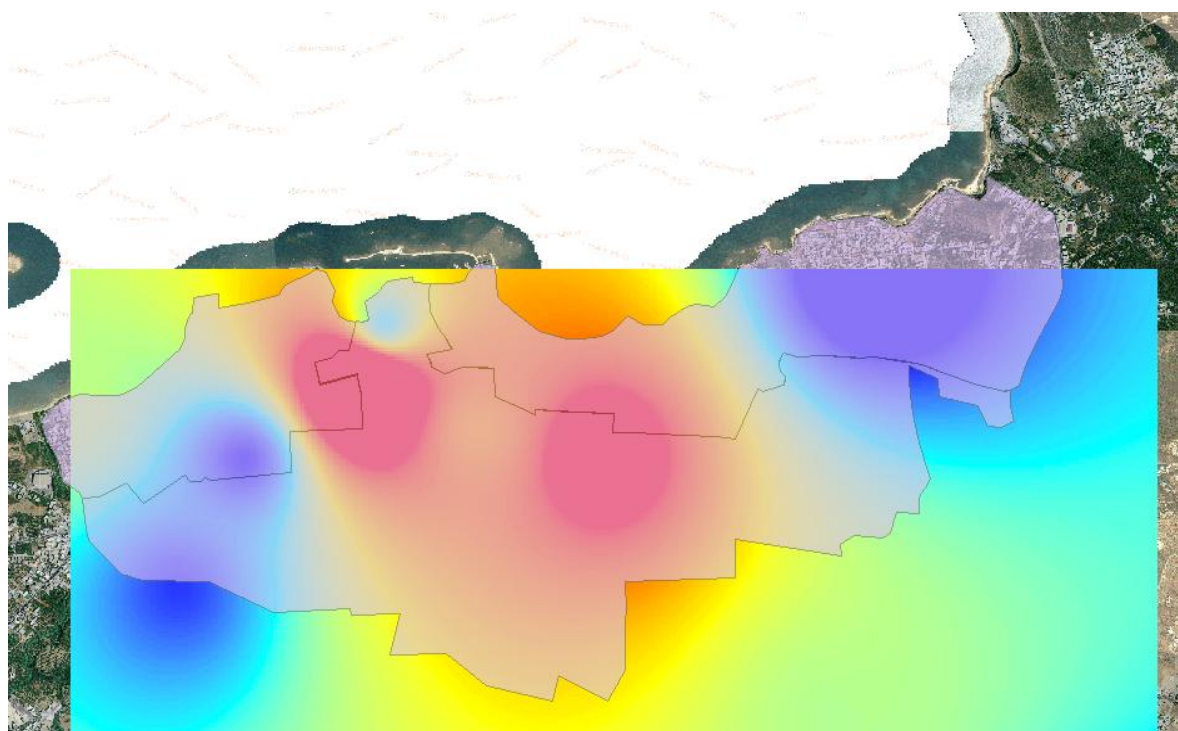
Πίνακας 5.1 - Στατιστικά συμφωνίας της συνάρτησης με τα δεδομένα.	
Άθροισμα τετραγωνικού σφάλματος (SSE)	$7.0003 \cdot 10^7$
Συντελεστής Προσδιορισμού (R-square)	0.2519
Προσαρμοσμένος Συντελεστής Προσδιορισμού (Adjusted R-square)	0.2515
Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (RMSE)	178.2

Παρατηρώντας τα στατιστικά μεγέθη συμπεραίνουμε ότι η συγκεκριμένη λύση δεν είναι συμβατή με τα δεδομένα μας γιατί δεν μπορεί να τα περιγράψει σωστά. Γνωρίζουμε ότι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα επηρεάζεται από τα μεγέθη τα οποία εξάγεται και για το λόγο αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί η μεγάλη τιμή του. Αντιθέτως όμως ο προσαρμοσμένος συντελεστής προσδιορισμού είναι κανονικοποιημένος και δεν επηρεάζεται από τα μεγέθη από τα οποία προέρχεται γεγονός που δεν μπορεί να δικαιολογήσει την μικρή του τιμή.

Συνοψίζοντας αυτή η λύση δεν μπορεί να περιγράψει με ακρίβεια την συσχέτιση των δεδομένων.

5.2.1 Διερεύνηση συσχέτισης ανά περιοχή στην πόλη των Χανίων με χρήση ArcGis.

Προχωρώντας περαιτέρω στην διερεύνηση για την συσχέτιση των δύο μεταβλητών θα εξεταστούν τοπικά οι τρεις περιοχές που τροφοδοτούν οι υποσταθμοί ζεύξης. Συγκεκριμένα χρησιμοποιώντας το ArcGis και τα δεδομένα που έχουν παραχθεί στα προηγούμενα κεφάλαια θα δείξουμε αν συσχετίζονται οι δύο μεταβλητές τοπικά.



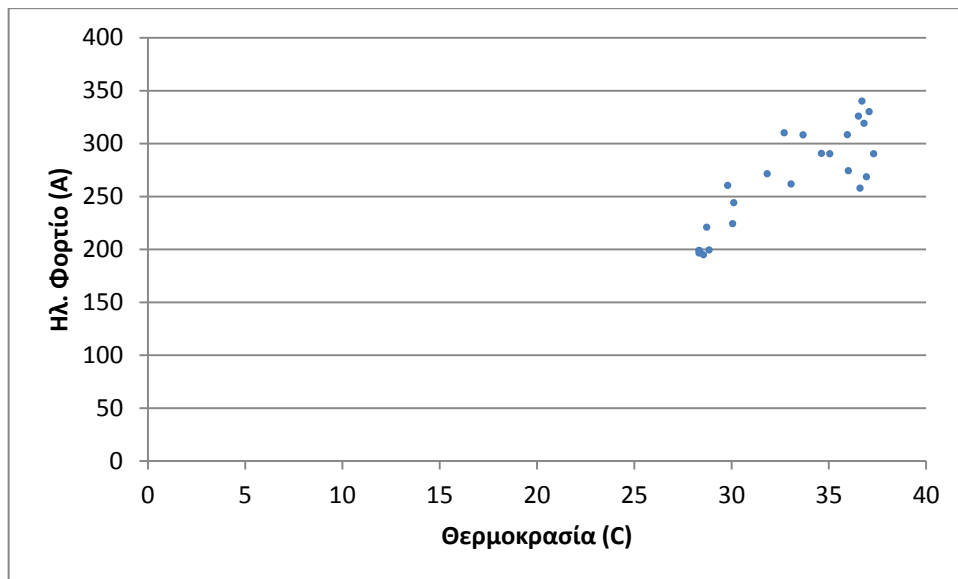
Εικόνα 5.4 Στο στιγμιότυπο από το ArcMap φαίνονται οι τρεις περιοχές που ορίζει ο κάθε υποσταθμός πάνω στην πόλη των Χανίων και ένα επίπεδο raster που δείχνει τις τιμές της θερμοκρασίας για μια συγκεκριμένη στιγμή.

Το ArcGis δίνει την δυνατότητα να υπολογίσουμε διάφορα στατιστικά μεγέθη ανάμεσα σε διαφορετικά επίπεδα δεδομένων τοπικά. Συγκεκριμένα, έχοντας τα επίπεδα raster, που περιέχουν πληροφορία θερμοκρασίας για κάθε σημείο της πόλης και το shapefile των περιοχών, που περιέχει τα όρια της περιοχής που ορίζει ο κάθε υποσταθμός ζεύξης, είναι δυνατόν να υπολογιστεί ο μέσος όρος θερμοκρασίας ανά περιοχή για κάθε χρονική στιγμή. Αυτό γίνεται με την εντολή «ZonalStatisticsAsTable» η οποία με βάση την χωρική συσχέτιση δύο επιπέδων, υπολογίζει το στατιστικό μέγεθος που καθορίζει ο χρήστης και το επιστρέφει σε μορφή πίνακα. Χρησιμοποιώντας αυτή τη δυνατότητα μπορούμε και υπολογίζουμε τον

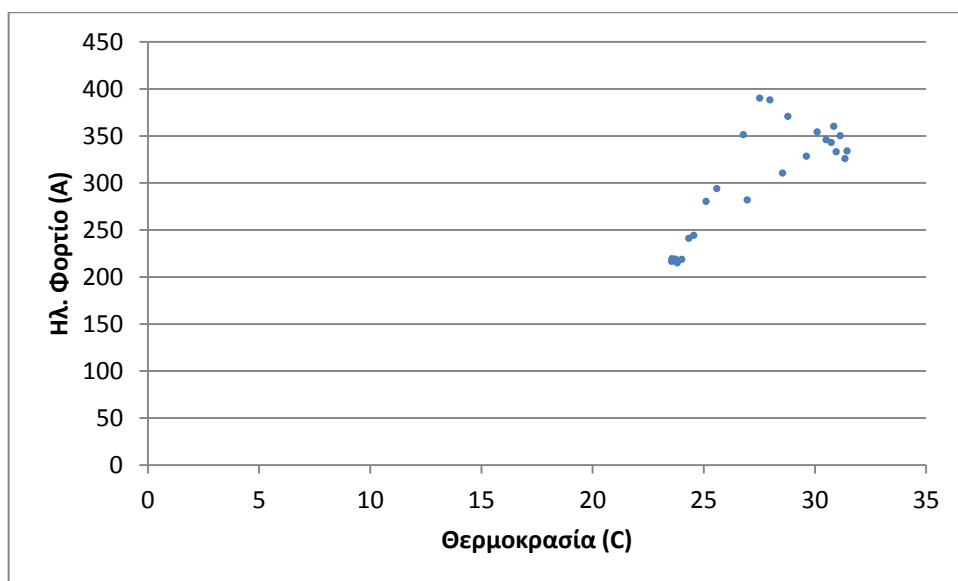
μέσο όρο θερμοκρασίας κάθε περιοχής όπως αυτός εκτιμήθηκε από τον αλγόριθμο χωρικής παρεμβολής. Όσον αφορά τα δεδομένα ηλεκτρικού φορτίου είναι πολύ εύκολο να εντοπίσουμε τις γραμμές που τροφοδοτούν τον κάθε υποσταθμό ζεύξης και αθροίζοντας να εξάγουμε το ηλεκτρικό φορτίο ανά ώρα σε κάθε περιοχή.

5.2.2 Διερεύνηση συσχέτισης σε επίπεδο μέρας.

Προσπαθώντας να βρούμε την συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών τοπικά παίρνουμε την τυπική ημέρα με βάση το ηλεκτρικό φορτίο (25/7 όπως υπολογίστηκε στην παράγραφο 3.2.2) και την τυπική ημέρα με βάση την θερμοκρασία (29/8), υπολογίζουμε τον συντελεστή συσχέτισης και δημιουργούμε διαγράμματα σημείων. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τις πιο ζεστές μέρες του καλοκαιριού (27-28/6). Παρατηρούνται διαφορές ανάμεσα στις περιοχές των Χανίων. Στο σύνολο των περιπτώσεων η περιοχή που είναι η μεγαλύτερη και καλύπτεται από τον υποσταθμό ζεύξης 1 παρουσιάζει το μικρότερο βαθμό συσχέτισης, ενώ αντίθετα οι άλλες δυο πιο μικρές περιοχές πετυχαίνουν υψηλότερες τιμές. Ο συντελεστής συσχέτισης όταν υπολογίζεται για τα 24 ζεύγη τιμών μιας μέρας καταλήγει να είναι ιδιαίτερα υψηλός και να κυμαίνεται μεταξύ 0,7 - 0,9. Ωστόσο αυτό δεν είναι απόδειξη της υψηλής συσχέτισης των δύο μεταβλητών αλλά οφείλεται στον μικρό αριθμό δειγμάτων. Ακόμη τα διαγράμματα περιέχουν πολύ λίγες τιμές και έχουν ακαθόριστες μορφές για να μπορεί να διαφανεί μια πολυωνυμική συσχέτιση των δύο μεταβλητών. Κλείνοντας μπορούμε να πούμε ότι σε επίπεδο μέρας, παρόλο που ο συντελεστής συσχέτισης έχει ιδιαίτερα υψηλές τιμές, δεν μπορεί να οριστεί μια γραμμική συνάρτηση που να περιγράφει όλες τις μέρες ή έστω τις πιο ζεστές ή τις μέρες που έχουν θερμοκρασία πολύ κοντά στην τυπική, καθώς τα δείγματα είναι πολύ λίγα και οι κατανομές δεν φαίνονται να ακολουθούν κάποιο κοινό πρότυπο.



Εικόνα 5.5 Διάγραμμα σημείων ηλεκτρικού φορτίου – θερμοκρασίας της περιοχής που καλύπτει ο υποσταθμός 2 στο χρονικό διάστημα της 25/7/2007.



Εικόνα 5.6 Διάγραμμα σημείων ηλεκτρικού φορτίου – θερμοκρασίας της περιοχής που καλύπτει ο υποσταθμός 2 στο χρονικό διάστημα της 29/8/2007.

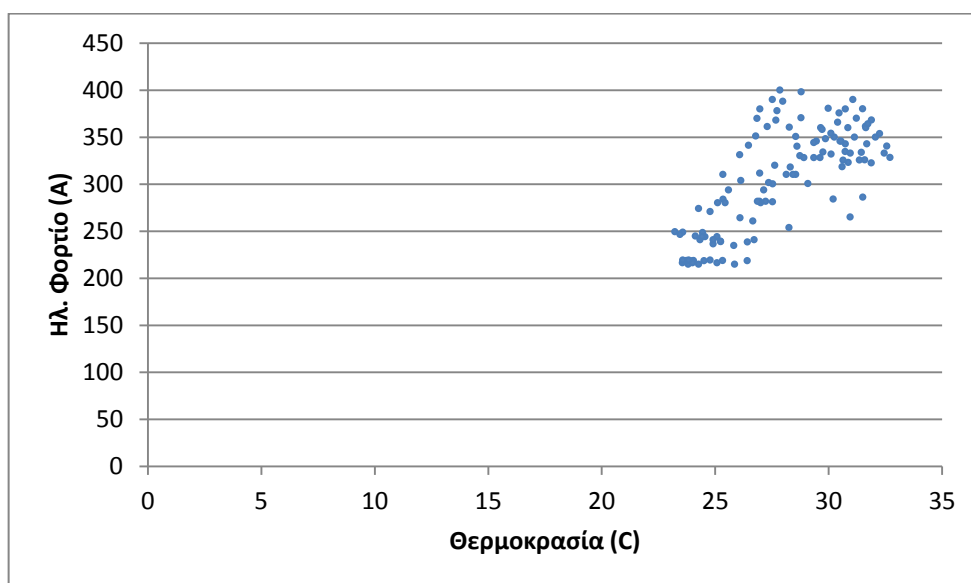
5.2.3 Διερεύνηση συσχέτισης σε επίπεδο εβδομάδας.

Για να εξετάσουμε αν εμφανίζεται συσχέτιση σε επίπεδο εβδομάδας ακολουθείται η ίδια διαδικασία όπως παραπάνω. Εξετάζονται οι εβδομάδες 23-27/7 και 27-31/8 διότι η μια περιέχει την τυπική μέρα με βάση την θερμοκρασία και η άλλη την τυπική μέρα με βάση το ηλεκτρικό φορτίο. Οι εβδομάδες επιλέχθηκαν να αποτελούνται μόνο από εργάσιμες ημέρες

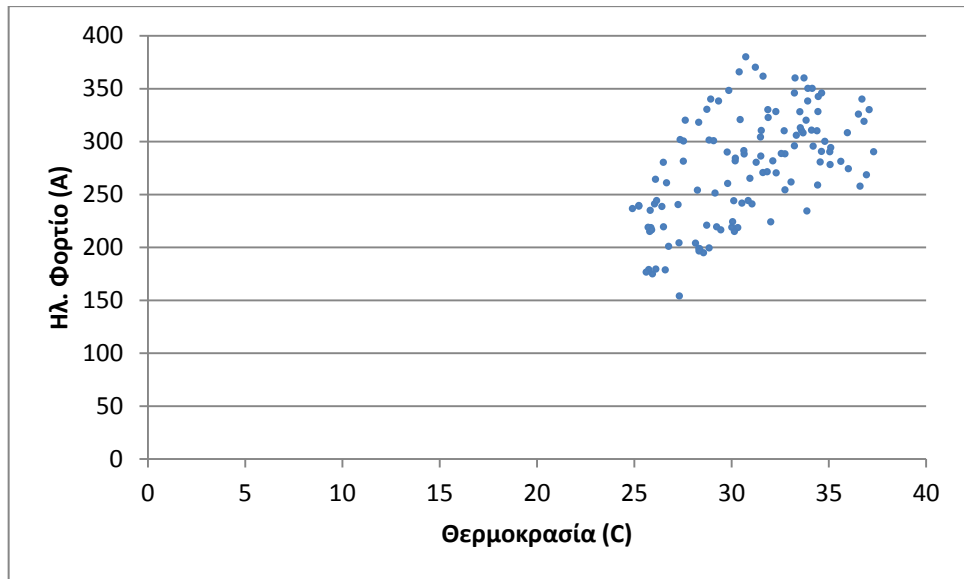
καθώς θεωρείται ότι οι εργάσιμες ημέρες ακολουθούν ένα πιο σταθερό πρότυπο κατανάλωσης.

Πίνακας 5.1 Συντελεστής συσχέτισης θερμοκρασίας – φορτίου ανά περιοχή				
Εβδομάδα	Περιοχή Υποσταθμού 1	Περιοχή Υποσταθμού 2	Περιοχή Υποσταθμού 3	Συνολικά
23-27/7	0,387898	0,575771	0,710567	0,337668
27-31/8	0,515835	0,748181	0,562431	0,4425688

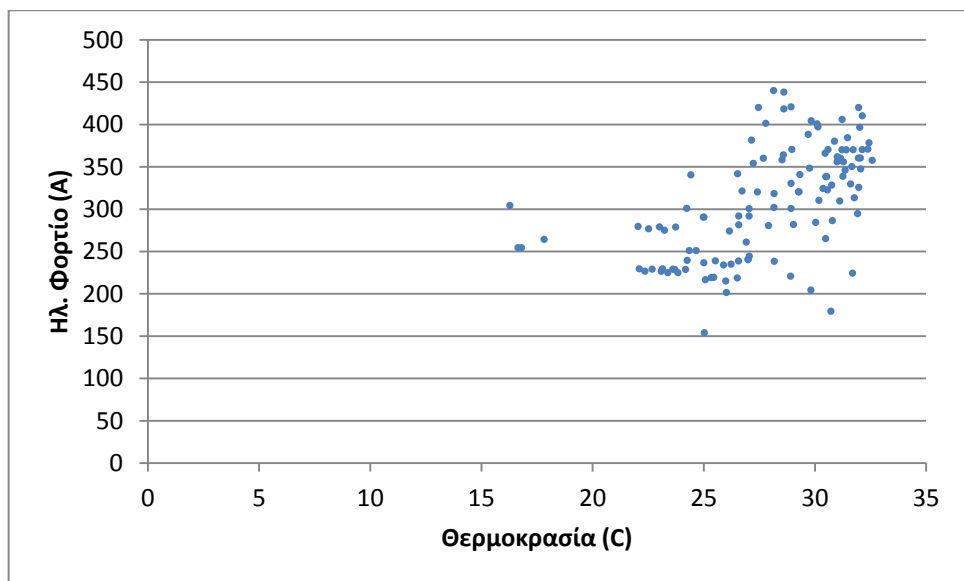
Από τους συντελεστές συσχέτισης αυτούς παρατηρούμε ότι οι δύο μικρότερες περιοχές που παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιογένεια εμφανίζουν και μεγαλύτερους συντελεστές συσχέτισης. Το πλήθος των τιμών που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή αυτών των τιμών είναι 120 (5*24) και θεωρείται αρκετό για την ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων. Παρακάτω παρουσιάζονται διαγράμματα σημείων για τις περιοχές με τους υψηλότερους βαθμούς συσχέτισης.



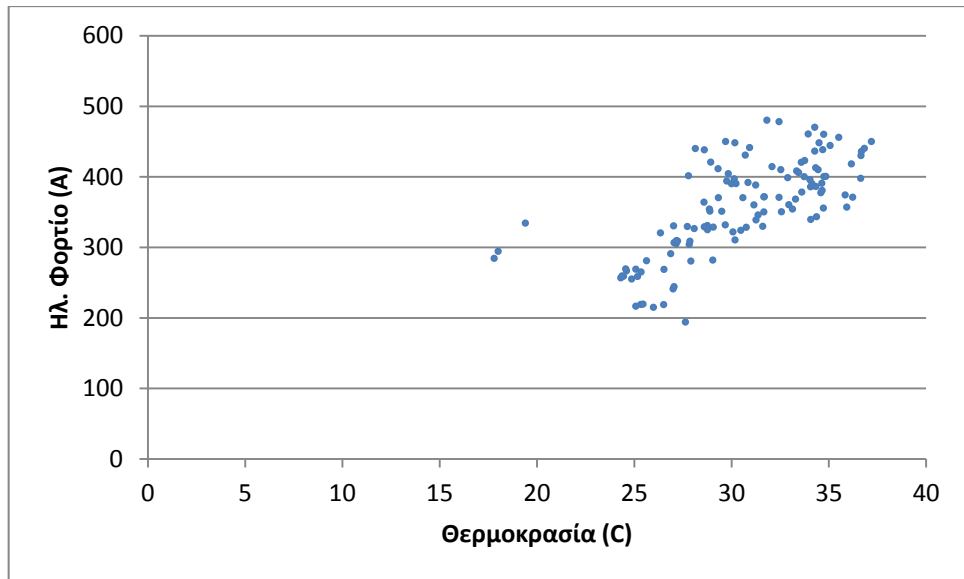
Εικόνα 5.7 Διάγραμμα σημείων ηλεκτρικού φορτίου – θερμοκρασίας της περιοχής που καλύπτει ο υποσταθμός 2 την εβδομάδα 27-31/8.



Εικόνα 5.8 Διάγραμμα σημείων ηλεκτρικού φορτίου – θερμοκρασίας της περιοχής που καλύπτει ο υποσταθμός 2 την εβδομάδα 23-27/7.



Εικόνα 5.9 Διάγραμμα σημείων ηλεκτρικού φορτίου – θερμοκρασίας της περιοχής που καλύπτει ο υποσταθμός 3 την εβδομάδα 27-31/8.



Εικόνα 5.10 Διάγραμμα σημείων ηλεκτρικού φορτίου – θερμοκρασίας της περιοχής που καλύπτει ο υποσταθμός 3 την εβδομάδα 23-27/7.

Από τα διαγράμματα αυτά παρατηρούμε ότι φαίνεται η ύπαρξη μιας μικρής συσχέτισης η οποία δεν μπορεί όμως να οριστεί. Τα σημεία γενικότερα τείνουν να συγκεντρώνονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή αλλά δεν φαίνεται να συγκλίνουν σε κάποια μορφή που θα μπορούσε να περιγραφεί πολυωνυμικά. Συμπεραίνουμε, ότι η συσχέτιση μεταξύ του ηλεκτρικού φορτίου και της θερμοκρασίας στις περιοχές της πόλης των Χανίων είναι υπαρκτή αλλά τα στοιχεία που έχουμε δεν καθιστούν δυνατό τον ακριβή καθορισμό της.

5.3 Πρόβλεψη ενεργειακής ζήτησης

Έχοντας καθορίσει τη μορφή της συσχέτισης των δύο μεταβλητών όπως περιγράφεται παραπάνω (5.2) είναι εύκολο να προβλεφθούν μελλοντικές τιμές. Χρησιμοποιώντας τη Matlab μπορούμε να δώσουμε ως είσοδο στην συνάρτηση προβλεπόμενες τιμές θερμοκρασίας και να λάβουμε ως αποτέλεσμα προβλεπόμενες τιμές ενεργειακής ζήτησης στηριζόμενες πάνω στο μοντέλο το οποίο έχει χτιστεί στα πλαίσια αυτής της εργασίας. Στην παρούσα εργασία, επειδή δεν καθορίστηκε κάποια συσχέτιση με ακρίβεια δεν έγινε πρόβλεψη μελλοντικών τιμών.

6. Συμπεράσματα – Μελλοντικές επεκτάσεις.

6.1 Γενικά συμπεράσματα – Ανασκόπηση.

Η εργασία αυτή σαν στόχο είχε να αναπτύξει ένα σύστημα εποπτείας της θερμοκρασίας αέρα και της ηλεκτρικής κατανάλωσης στην πόλη των Χανίων χρησιμοποιώντας το γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών ArcGis. Μέσα στο περιβάλλον του ArcGis αναπτύχθηκαν μεθοδολογίες που επιτρέπουν την παρατήρηση και επεξεργασία των μεταβλητών αυτών.

Συγκεκριμένα, στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις θερμοκρασίας από σημεία της πόλης των Χανίων αλλά και από ημιαστικές και αγροτικές περιοχές της ευρύτερης περιοχής. Τα δεδομένα αυτά δεν ήταν πάντα συνεπή και προήλθαν από διαφορετικές πηγές. Δημιουργήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν προγράμματα ανάκτησης και επεξεργασίας δεδομένων από ιστοσελίδα μετεωρολογικού περιεχομένου. Στην συνέχεια έγινε μια διερεύνηση αποτελεσματικότητας των αλγορίθμων χωρικής παρεμβολής που περιλαμβάνονται στο ArcGis για την εκτίμηση θερμοκρασίας, χρησιμοποιώντας την μέθοδο LOOCV. Από την σύγκριση της απόδοσης των αλγορίθμων, τα καλύτερα αποτελέσματα παρουσίασε ο αλγόριθμος IDW ο οποίος και χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή τιμών θερμοκρασίας για ολόκληρη την περιοχή των Χανίων.

Παράλληλα με την επεξεργασία των μετρήσεων θερμοκρασίας, στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις ηλεκτρικού φορτίου οι οποίες παραχωρήθηκαν από τη Δ.Ε.Η. Χανίων. Οι μετρήσεις είναι σε επίπεδο υποσταθμών ζεύξης. Οι υποσταθμοί ζεύξης είναι τρεις και χωρίζουν την πόλη σε τρεις μεγάλες περιοχές. Οι μετρήσεις αυτές αποτελούνταν μόνο από τα δύο μέγιστα της κάθε μέρας χωρίς να περιέχουν καμία άλλη πληροφορία για την κατανάλωση φορτίου τις υπόλοιπες ώρες της μέρας. Χρησιμοποιώντας μια καμπύλη κατανάλωσης φορτίου του συνολικού φορτίου της Κρήτης ως οδηγό, τεχνικές curve fitting και διάφορα scripts στην Matlab, έγινε παραγωγή ημερήσιων καμπυλών φορτίου για τις τρεις περιοχές των Χανίων.

Με κεντρική ιδέα την συμβολή του ArcGis στην μελέτη του ΑΘΝ και της κατανάλωσης ενέργειας το ArcGis με όλα τα προγράμματα που περιλαμβάνει αποτέλεσαν το κύριο εργαλείο αυτής της εργασίας. Αναπτύχθηκαν μεθοδολογίες εισαγωγής, διαμόρφωσης, σύνδεσης χωρικών-χρονικών δεδομένων, απεικόνισης δεδομένων και η δημιουργία animation, στο περιβάλλον του ArcGis, για μεγάλο όγκο δεδομένων.

Στο τελευταίο στάδιο της εργασίας επιχειρήθηκε μια διερεύνηση για την ύπαρξη συσχέτισης της θερμοκρασίας και του ηλεκτρικού φορτίου. Εξετάστηκε αν οι δύο μεταβλητές σχετίζονται τόσο συνολικά όσο και τοπικά σε επίπεδο μέρας, εβδομάδας και ολόκληρης της θερινής περιόδου. Αποδείχθηκε η ύπαρξη συσχέτισης αλλά δεν κατέστη δυνατή η εξαγωγή κάποιου τύπου ικανού να την περιγράψει ακριβώς.

6.2 Μελλοντικές επεκτάσεις.

Η εργασία αυτή περιορίστηκε στην επεξεργασία των μετρήσεων θερμοκρασίας και ηλεκτρικού φορτίου. Όμως η κατανάλωση του ηλεκτρικού ρεύματος δεν είναι μια μεταβλητή που εξαρτάται μόνο από τον καιρό και υπάρχουν πολλοί κοινωνικό-οικονομικοί παράγοντες που την επηρεάζουν. Μελλοντικές επεκτάσεις αυτής της εργασίας θα ήταν να βρεθούν να μετρηθούν και να ληφθούν υπόψη αυτοί οι παράγοντες στην εξαγωγή αποτελεσμάτων:

- Μετρήσεις ηλεκτρικού φορτίου σε επίπεδο οικίας ή οικισμού έτσι ώστε να είναι γνωστή η ακριβής κατανάλωση σε κάθε μικρή περιοχή.
- Η κανονικοποίηση των τιμών του ηλεκτρικού φορτίου με βάση την χωρική κατανομή του πληθυσμού των Χανίων, θα βοηθούσε στην συσχέτιση της θερμοκρασίας με την κατανάλωση και θα μπορούσε να οδηγήσει στον ακριβή καθορισμό της όπως έγινε σε άλλη μελέτη. [15]
- Το ύψος μεγάλων κεντρικών κτηρίων που πιστεύεται ότι συμβάλουν στην δημιουργία και στην ένταση του φαινομένου ΑΘΝ.

Βιβλιογραφία – Πηγές.

- [1] Akbari, et al. (1992). Cooling Our Communities
- [2] Arizona Board of Regents (2006). "Urban Climate – Climate Study and UHI via the Internet Wayback Machine". Arizona State University.
- [3] James, W. (2002). Green roads: research into permeable pavers. Stormwater 3(2):48-40.
- [4] Theano Karlesi - Εισήγηση: Ψυχρά Υλικά
- [5] <http://www.marmaronet.com/el/marmaro-blog/stone-business-blog-esoterikon-mas/imerida-osme-gia-exodo-apo-krisi/eisigisi-psixra-ilika-astikos-istos-karlesi.html>
- [6] Akbari, H. (2005). Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation (PDF) (19 pp, 251K). Lawrence Berkeley National Laboratory.
- [7] Santamouris M. et al. (2001). On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings.
- [8] Wenjing Cao, et al. (2009). A Study on Temperature Interpolation Methods Based on GIS.
- [9] Mussie G. Tewolde , et al. (2010). Comparison of Different Interpolation Techniques to Map Temperature in the Southern Region of Eritrea.
- [10] Szymanowski M., Maciej Kryza (2009).GIS-based techniques for urban heat island Spatialization.
- [11] Kolokotsa et al., (2009). Urban heat island in southern Europe: The case study of Hania, Crete (D.)
- [12] Ψωμάς Ανέστης, (2008). Μελέτη του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (UHI) στην ημιαστική περιοχή της πόλης των Χανίων.
- [13] <http://www.wunderground.com>
- [14] S. Kardinal Jusuf et al. (2007). The influence of land use on the urban heat island in Singapore.
- [15] Valor et al. (2001). Daily Air Temperature and Electricity Load in Spain

