



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

***Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών***

Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος

**ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΦΟΡΤΙΟΥ
ΜΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ
ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ
ΦΟΡΤΙΟΥ & ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ**

Διπλωματική Εργασία
της
Μαρίνας Δ. Ν. Καμηλάκη

Υπεύθυνοι Διπλωματικής Εργασίας :

Καθηγητής & Πρόεδρος της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών &
Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π. Γ. Κονταξής

Υπ. Διδάκτορας Γ. Τσεκούρας

Αθήνα, Ιούλιος 2003

*Στους φίλους που έκανα στο Πολυτεχνείο
και στην οικογένειά μου*

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ασχοληθούμε με τη μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου για το Ελληνικό δίκτυο, για το έτος 2000, στηριζόμενοι στα φορτία και τις θερμοκρασίες προηγούμενων ετών. Αρχικά θα κατηγοριοποιήσουμε τις ημερήσιες χρονολογικές καμπύλες σε ομάδες με τη βοήθεια των νευρωνικών δικτύων, μέσω των οποίων τελικά με παρεμβολή, θα προβλέψουμε το φορτίο του 2000.

Στην *Εισαγωγή* αρχικά αναφερόμαστε στα Συστήματα ηλεκτρικής Ενέργειας, στην ανάγκη πρόβλεψης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, στους παράγοντες που επηρεάζουν τα φορτία και στη δομή της διπλωματικής εργασίας.

Ειδικότερα στο *Κεφάλαιο 1* κάνουμε μια αναφορά στις κλασικές μεθόδους πρόβλεψης φορτίου. Αναφέρουμε, επίσης, τους τρόπους βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου με τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, με ασαφή λογική, με υβριδικά μοντέλα και συνδυασμό αυτών.

Στο *Κεφάλαιο 2* περιγράφουμε αποκλειστικά, τη μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου και πραγματοποιούμε μία συστηματική αντιμετώπιση και κατηγοριοποίηση των μεθόδων μακροπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου.

Στο *Κεφάλαιο 3* αναφερόμαστε στις μεθόδους κατηγοριοποίησης με τη χρήση νευρωνικών δικτύων που χρησιμοποιούν την ανταγωνιστική μάθηση χωρίς επίβλεψη. Αναλυτικότερα αναφερόμαστε στις μεθόδους : K-μέσων, στον αλγόριθμο του εκπαιδευόμενου διανυσματικού κβαντιστή (Learning Vector Quantization, LVQ) , στην ασαφή ομαδοποίηση και στο νευρωνικό δίκτυο SOM.

Στο *Κεφάλαιο 4* περνάμε στην περιγραφή του πρακτικού μέρους της διαδικασίας. Σ' αυτό θα εκτελέσουμε το κεφάλαιο περιγράφουμε τη διαδικασία της κατηγοριοποίησης, σύμφωνα με την οποία θα τρέξαμε τους αλγορίθμους των μεθόδων. Παραθέτουμε, τέλος διαγράμματα ροής για το κάθε πρόγραμμα.

Στο *Κεφάλαιο 5* συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των μεθόδων που τρέξαμε και καθορίζουμε τα κριτήρια, σύμφωνα με τα οποία τις συγκρίνουμε, δηλαδή τη διάρκεια τρεξίματος, την ύπαρξη νεκρών κέντρων και τη μέση τιμή σφάλματος. Επίσης καταλήγουμε στην «καλύτερη» μέθοδο και σχολιάζουμε εκτεταμένα τα αποτελέσματά της.

Στο *Κεφάλαιο 6* δικαιολογούμε το συνδυασμό φορτίων και θερμοκρασιών, για να επιτύχουμε την πρόβλεψη του φορτίου του 2000 και περιγράφουμε την υλοποίησή του μέσω προγράμματος. Τέλος σχολιάζουμε τα αποτελέσματά του, τα οποία μας ωθούν να προβλέψουμε το φορτίο σύμφωνα με τις εποχές και όχι τα έτη. Επίσης κάνουμε μια μικρή αναφορά στην ασαφή λογική.

Στο *Κεφάλαιο 7* τελικά υλοποιούμε την πρόβλεψη του φορτίου του Καλοκαιριού και του Χειμώνα του 2000, μέσω της γραμμικής και εκθετικής παρεμβολής και σχολιάζουμε τα αποτελέσματα, μέσω των αποκλίσεων από τις πραγματικές τιμές.

Στον *Επίλογο* καταλήγουμε στα σημαντικότερα συμπεράσματα και αναφερόμαστε στα επόμενα βήματα που θα μπορούσαν να υλοποιηθούν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Τέλος, στα *Παραρτήματα I & II* παραθέτουμε γραφήματα και τη βιβλιογραφία της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1 Τα προβλήματα ενός Σύγχρονου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας	3
2 Ανάγκη για πρόβλεψη φορτίου	3
3 Παράγοντες μεταβολής του φορτίου	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Κλασσικές μέθοδοι πρόβλεψης φορτίου – Βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη	7
1.1 Κλασσικές μέθοδοι πρόβλεψης φορτίου	9
1.1.1 Μέθοδοι εξομάλυνσης	9
1.1.2 Μέθοδοι αποσύνθεσης	10
1.1.3 Μέθοδος πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης	11
1.1.4 Οικονομετρική μέθοδος	11
1.1.5 Αυτοπαλινδρομικά μοντέλα κινούμενου μέσου όρου	11
1.1.6 Ολοκληρωμένα αυτοπαλινδρομικά μοντέλα κινούμενου μέσου όρου	12
1.1.7 Λοιπές παλινδρομικές και μη μέθοδοι	12
1.2 Βραχυπρόθεσμη Πρόβλεψη Φορτίου	13
1.2.1 Μέθοδοι βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου στηριζόμενες στα νευρωνικά δίκτυα	14
1.2.2 Γενικά περί πολυεπίπεδων τεχνητών νευρωνικών δικτύων για τη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου	15
1.2.3 Σύγκριση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων για το πρόβλημα της βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου και συμπεράσματα	16
1.2.4 Εφαρμογή της ασαφούς λογικής στη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου και ο συνδυασμός της με τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα	17
1.2.5 Μέθοδοι βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου με χρήση υβριδικών μοντέλων	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου	21
2.1 Μεσοπρόθεσμη & Μακροπρόθεσμη Πρόβλεψη Φορτίου	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Μέθοδοι κατηγοριοποίησης	33
3.1 Γενικά	35
3.2 Ανταγωνιστική μάθηση χωρίς επίβλεψη	35

3.3	Τεχνικές ομαδοποίησης	37
3.3.1	Μέθοδος των k-μέσων	38
3.3.2	Ο αλγόριθμος LVQ	40
3.3.3	Ασαφής ομαδοποίηση	42
3.3.4	Νευρωνικό δίκτυο SOM	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	Εκτέλεση της κατηγοριοποίησης	49
4.1	Εισαγωγικά	51
4.2	Μετατροπή δεδομένων από δυσανάγνωστη σε ευανάγνωστη μορφή	51
4.3	Κανονικοποίηση	55
4.3.1	Για τα φορτία	55
4.3.2	Για θερμοκρασίες	58
4.4	Κατηγοριοποίηση	61
4.4.1	Η μέθοδος K-μέσων	62
4.4.1.	Η μέθοδος K-μέσων με βελτιστοποίηση 01	62
1		
4.4.1.1.1	Για φορτία	62
4.4.1.1.1.1	Για έτη	62
4.4.1.1.1.2	Για εποχές	68
4.4.1.1.2	Για θερμοκρασίες	69
4.4.1.1.2.1	Για έτη	69
4.4.1.1.2.2	Για εποχές	71
4.4.1.	Η μέθοδος K-μέσων χωρίς βελτιστοποίηση 02	72
2		
4.4.1.2.1	Για φορτία	72
4.4.1.2.1.1	Για έτη	72
4.4.1.2.1.2	Για εποχές	75
4.4.1.2.2	Για θερμοκρασίες	76
4.4.1.2.2.1	Για έτη	76
4.4.1.2.2.2	Για εποχές	76
4.4.2	Η μέθοδος LVQ	77
4.4.2.	Για τα έτη	77
1		
4.4.2.	Για τις εποχές	82
2		
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	Σύγκριση μεθόδων – Σχόλια – Συμπεράσματα	85
5.1	Εισαγωγικά	87

5.2	Σύγκριση μεθόδων	87
5.2.1	Κριτήρια σύγκρισης	87
5.2.1.1	Το κριτήριο της διάρκειας	87
	1	
5.2.1.2	Το κριτήριο των νεκρών κέντρων	89
	2	
5.2.1.3	Το κριτήριο των σφαλμάτων	91
	3	
5.3	Η «καλύτερη» μέθοδος	94
5.4	Σχόλια για τα αποτελέσματα της Κ-μέσων 08	95
5.5	Τελικά	106
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Συνδυασμός φορτίων & θερμοκρασιών – Ασαφής λογική		107
6.1	Εισαγωγικά	109
6.2	Γενικά περί ασαφούς λογικής	109
6.3	Ο συνδυασμός	111
6.4	Σχόλια επί των αποτελεσμάτων του συνδυασμού	117
6.5	Τελικά	119
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Πρόβλεψη φορτίου μέσω παρεμβολής		121
7.1	Εισαγωγικά	123
7.2	Απο-κανονικοποίηση	123
7.3	Παρεμβολή	127
7.4	Σχόλια - Συμπεράσματα	137
Επίλογος		139
1.	Συμπερασματικά	141
2.	Περιοχή για περαιτέρω έρευνα	142
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι		145
Γραφήματα, συνδυασμοί		
Π I-1	Ομαδοποίηση	147
Π I-2	Ομαδοποίηση θερμοκρασιών	235
Π I-3	Σφάλματα APE - MAPE	241
Π I-4	Μέση τιμή σφάλματος	259
Π I-5	Διάρκειες εκτέλεσης	271
Π I-6	Συνδυασμοί	273

Π 1-7	Αποκανονικοποίηση	285
Π I-8	Παρεμβολές	305

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 317

Π ΙΙ-1	Ελληνική Βιβλιογραφία	319
Π ΙΙ-2	Ξένη Βιβλιογραφία	319
Π ΙΙ-3	Διδακτορικές Διατριβές	320
Π ΙΙ-4	Μεταπτυχιακές Εργασίες	320
Π ΙΙ-5	Άρθρα	320



Εισαγωγή



1. Τα προβλήματα ενός Σύγχρονου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι μία μορφή ενέργειας, η οποία συνδέεται με την παρουσία ή την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων. Το βασικό χαρακτηριστικό της είναι ότι μπορεί εύκολα και αποδοτικά να μεταφερθεί και να μετατραπεί σε άλλες μορφές, όντας «καθαρή» στη χρήση της και διαθέσιμη όποτε της ζητηθεί. Εξαιτίας τούτων η ηλεκτρική ενέργεια παρουσιάζει συνεχώς αυξανόμενη διείσδυση, στην κάλυψη των αναγκών της ανθρώπινης κοινωνίας. Παράλληλα άρχισαν να γεννιούνται, να αναπτύσσονται και να εξελίσσονται τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, που έχουν ως βασικό τους στόχο να εξυπηρετήσουν τις ηλεκτρικές ανάγκες των καταναλωτών, με όσο το δυνατό μικρότερο κόστος και μεγαλύτερο επίπεδο αξιοπιστίας και ποιότητας υπηρεσιών.

Αυτό έχει ως συνέπεια να δημιουργηθούν μία σειρά από προβλήματα, που σχετίζονται με το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία των συστημάτων. Ορισμένα από τα βασικότερα είναι τα ακόλουθα:

- ο βέλτιστος σχεδιασμός των συστημάτων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής,
- η μελέτη και κατασκευή των διαφόρων στοιχείων του συστήματος, όπως γεννητριών, αγωγών, μετασχηματιστών κτλ.,
- η πρόβλεψη φορτίου σε βραχυχρόνιο και μακροχρόνιο χρονικό επίπεδο,
- ο προσδιορισμός κατανομής ισχύος στις διάφορες μονάδες για οικονομική λειτουργία του συστήματος,
- η ανάλυση μόνιμης και μεταβατικής ευστάθειας του συστήματος για ομαλή παροχή ισχύος,
- ο προσδιορισμός της ροής φορτίου στα στοιχεία του δικτύου για φόρτιση σε επιτρεπτά όρια,
- η αξιοπιστία στην παροχή και στην ποιότητα ηλεκτρικής ισχύος στον καταναλωτή.

Τα θέματα προς επίλυση στα πραγματικά ηλεκτρικά δίκτυα, αποτελούν τμήματα των παραπάνω προβλημάτων που θίχτηκαν, αλλά και άλλων που σχετίζονται με τα συστήματα ενέργειας, όπως περιβαλλοντικά προβλήματα κτλ. Δηλαδή δεν περιορίζονται μόνο στην εύρεση τάσεων και ρευμάτων, χρησιμοποιώντας τους νόμους Kirchhoff, αλλά εκτείνονται σε μεγάλο εύρος. Το θέμα με το οποίο θα ασχοληθούμε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι η πρόβλεψη φορτίου σε μεσοπρόθεσμο επίπεδο.

2. Ανάγκη για πρόβλεψη φορτίου

Για να κατανοήσουμε καλύτερα τη χρησιμότητα της πρόβλεψης και γενικά της ηλεκτρικής ενέργειας, είναι σκόπιμο να γνωρίζουμε τα βασικά της χαρακτηριστικά, που είναι η παροχή της, τη στιγμή της ζήτησης και η μη δυνατότητα αποθήκευσής της. Η

διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, ανά πάσα στιγμή στο σημείο ζήτησης πρέπει επιπλέον να πληροί τις κατάλληλες προϋποθέσεις, ούτως ώστε να καλύπτονται οι απαιτήσεις του καταναλωτή, σε ποιότητα -επίπεδα τάσης, συχνότητας, συντελεστή παραμόρφωσης αρμονικών κτλ. - και σε ποσότητα -επάρκεια ισχύος και ενέργειας.

Δεδομένων των σημερινών κοινωνικών συνθηκών που επικρατούν στις ανεπτυγμένες τεχνολογικά χώρες και της τεράστιας ανάγκης για ηλεκτρική ενέργεια 24 ώρες το 24ωρο σε ολόκληρο τον πλανήτη, γίνεται αντιληπτό το γεγονός ότι με κάποιους τρόπους, πρέπει η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας να καλύπτεται στο παρόν και στο μέλλον. Αναπτύχθηκαν λοιπόν, κατάλληλες μεθοδολογίες πρόβλεψης του φορτίου (της ηλεκτρικής ενέργειας που θα ζητάνε στο μέλλον οι καταναλωτές), ώστε το εκάστοτε δίκτυο παροχής ενέργειας να μπορεί να καλύπτει τις ανάγκες του και να είναι αξιόπιστο. Αυτές οι μέθοδοι διακρίνονται στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες:

- την πολύ βραχυπρόθεσμη, όπου γίνεται η πρόβλεψη της ζήτησης του φορτίου για τα επόμενα 30 λεπτά ως μία ώρα, με βήματα μερικών δευτερολέπτων ως λεπτού,
- τη βραχυπρόθεσμη, όπου γίνεται η πρόβλεψη του φορτίου για το επόμενο εικοσιτετράωρο ως μία εβδομάδα με χρονικό βήμα της μισής ή της μίας ώρας,
- τη μεσοπρόθεσμη, όπου η αντίστοιχη πρόβλεψη γίνεται για ένα έτος με χρονικό βήμα εβδομάδας,
- και τη μακροπρόθεσμη, όπου η αντίστοιχη πρόβλεψη γίνεται με χρονικό ορίζοντα 10-20 ετών με χρονικό βήμα ενός έτους.

Η πολύ βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου έχει ως στόχο, την κάλυψη των αναγκών των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου των γεννητριών, τα οποία χρειάζονται όσο το δυνατό καλύτερη πληροφόρηση για τις μελλοντικές αλλαγές φόρτισής τους, ώστε να προχωρήσουν στις αναγκαίες μεταβολές της παροχής καυσίμου και ρύθμισης των επιπέδων τάσης εξόδου τους. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατός ο έλεγχος της σχέσης συχνότητας-φορτίου και της ασφάλειας του συστήματος.

Η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη έχει ως στόχο, τη ρύθμιση των βασικών επιπέδων λειτουργίας των μονάδων, όπως επίσης παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της σειράς ένταξης τους με βάση τα κριτήρια της οικονομικής κατανομής και λαμβάνοντας υπόψη τα αντίστοιχα προγράμματα συντήρησης. Βασικά είναι υπεύθυνη για την ενεργειακή διαχείριση του συστήματος.

Η μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη αφορά κυρίως τη ρύθμιση των προγραμμάτων συντήρησης των μονάδων παραγωγής και αξιοποίησης των διαθέσιμων υδάτινων και λοιπών πόρων στις καταλληλότερες χρονικές περιόδους του έτους. Παραδείγματος χάρη στο ηπειρωτικό ελληνικό σύστημα, οι θερμικές μονάδες υφίστανται κατά κύριο λόγο τη μία ή τις δύο ετήσιες συντηρήσεις τους συνήθως σε μη καλοκαιρινούς μήνες, ώστε να καλυφθεί η ανάγκη της ετήσιας αιχμής που εμφανίζεται κατά το καλοκαίρι και οφείλεται κατά κύριο λόγο στη χρήση κλιματιστικών, όπως μας δίνεται από τις αντίστοιχες προβλέψεις.

Η μακροπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου αφορά κυρίως την ετήσια αιχμή φορτίου -ή και τις εποχιακές- και τη συνολική ετήσια ενέργεια για τα επόμενα 10 με 20 χρόνια, ώστε να είναι δυνατός ο σχεδιασμός και η κατασκευή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, όπως η δημιουργία νέων μονάδων παραγωγής, η κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς ή η αναδιαμόρφωση του δικτύου διανομής μίας μεγάλης περιοχής, π.χ. η ανύψωση του δικτύου μέσης τάσης στα 20 kV από τα 15 kV για την περιοχή της Θεσσαλονίκης ή η κατασκευή του υδροηλεκτρικού σταθμού στο Θησαυρό, δηλαδή έργων αρκετά χρονοβόρων και δαπανηρών.

Είναι σκόπιμο να πούμε εδώ ότι στη βιβλιογραφία για τις μεθόδους πρόβλεψης φορτίου υπάρχει μια σύγχυση, όσον αφορά τους όρους «μεσοπρόθεσμη» και «μακροπρόθεσμη». Αυτό συμβαίνει επειδή και οι δύο όροι αναφέρονται σε πρόβλεψη για μεγάλο χρονικό διάστημα, οπότε για άλλους οι δύο όροι ταυτίζονται και για άλλους αποτελούν ξεχωριστές μεθόδους.

3. Παράγοντες μεταβολής του φορτίου

Θα κάνουμε τώρα μία σύντομη αναφορά στους παράγοντες που επηρεάζουν τα φορτία, δηλαδή τη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές.

Η κατανάλωση ενέργειας επηρεάζεται από ένα πλήθος διαφορετικών και σε αρκετές περιπτώσεις απροσδιόριστων παραγόντων, οι οποίοι μπορούν να ενταχθούν στις ακόλουθες βασικές κατηγορίες :

1. *Οικονομικοί παράγοντες*, δηλαδή η οικονομική κατάσταση, το οικονομικό περιβάλλον και οι ρυθμοί ανάπτυξης κάποιας περιοχής επηρεάζουν καθοριστικά τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό συμβαίνει, διότι αλλάζει το βιοτικό επίπεδο των καταναλωτών, εξελίσσεται δημογραφικά ο πληθυσμός της χώρας, γίνεται αυτοματοποίηση των δραστηριοτήτων, και βελτιστοποίηση της λειτουργίας των συσκευών και των μηχανών, επιδρώντας σε μεσοπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη βάση. Κάτω από αυτούς τους παράγοντες μεταβάλλονται :

α. η σύνθεση των καταναλωτών -αύξηση του αστικού πληθυσμού και μείωση του γεωργικού-,

β. η ποσότητα της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας -καθώς από τη μία μεριά βελτιώνεται το βιοτικό επίπεδο των καταναλωτών και από την άλλη υπάρχουν τα φαινόμενα κορεσμού και η χρησιμοποίηση λιγότερο ενεργοβόρων συσκευών,

γ. οι μέθοδοι καλλιέργειας, άρδευσης και αυτοματοποίησης της βιομηχανίας.

2. *Εποχιακοί παράγοντες*, καθώς τα φορτία παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια τόσο του εικοσιτετραώρου, όσο και του έτους. Οι αλλαγές αυτές οφείλονται κυρίως στις μεταβολές των καιρικών συνθηκών και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Ιδιαίτερα ο τελευταίος παράγοντας επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από τη γεωγραφική περιοχή, καθώς παραδείγματος χάρη οι αστικές περιοχές κατά τη διάρκεια των

καλοκαιρινών διακοπών παρουσιάζουν μείωση της ζήτησης, ενώ αντίστοιχα οι παραθαλάσσιες αύξηση.

3. *Μετεωρολογικοί παράγοντες* διότι η θερμοκρασία κατά κύριο λόγο - και σε αρκετά μικρότερο ποσοστό η υγρασία, η ανεμόπτωση και η ηλιοφάνεια- επιδρούν στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

4. *Τυχαίοι παράγοντες* όπως είναι ορισμένα τυχαία γεγονότα -παραδείγματος χάρη μεγάλες απεργίες, εκλογές, μετάδοση κάποιων τηλεοπτικών προγραμμάτων κτλ.

5. *Απροσδιόριστοι παράγοντες*, δηλαδή παράγοντες που είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθούν και επηρεάζουν μακροπρόθεσμα την κατανάλωση, όπως οι προοπτικές ανάπτυξης μίας περιοχής, ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού και η πορεία της οικονομίας.

Επίσης, η επίδραση των καιρικών φαινομένων φαίνεται ότι στη μακροπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου δεν διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. Ωστόσο η μετατόπιση της αιχμής του φορτίου το καλοκαίρι για το ελληνικό σύστημα λόγω της χρήσης των κλιματιστικών μπορεί να επιφέρει κάποια μεταβολή. Βέβαια σ' αυτήν την περίπτωση πρέπει να τονισθεί ότι έγινε η διεύθυνση μίας νέας συσκευής τελικής χρήσης, οπότε θα πρέπει ο μελετητής, πριν την εφαρμογή του οποιοδήποτε μοντέλου, να προδιαγράψει την αντίστοιχη επίδραση στο φορτίο, αλλιώς θα υπάρξει σε κάθε είδους πρόβλεψη σημαντική απόκλιση.

Κεφάλαιο 1

Κλασσικές μέθοδοι πρόβλεψης φορτίου –
Βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου

1.1 Κλασικές μέθοδοι πρόβλεψης φορτίου

Προτού επεκταθούμε στην ανάλυση νεώτερων μεθόδων πρόβλεψης φορτίου, θα ήταν σκόπιμο να αναφερθούμε εν συντομία σε παλαιότερες, κλασικές μεθόδους, παραθέτοντας παράλληλα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Η βασική κατηγοριοποίηση των διαφόρων μεθοδολογιών γίνεται σε : μεθόδους εξομάλυνσης, αποσύνθεσης.

Ακολουθώς θα αναφερθούμε σε κάθε μία κατηγορία ξεχωριστά.

1.1.1 Μέθοδοι εξομάλυνσης

Για τη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου, οι μέθοδοι εξομάλυνσης αποτελούν μια από τις απλούστερες κατηγορίες μεθόδων. Σε αυτές ανήκουν :

α) η μέθοδος των **κινητών μέσων όρων (MA)**.

Το φορτίο σε αυτή την περίπτωση $\hat{P}_m(t+k|t)$ για την ώρα $t+k$, ενώ βρίσκεται στην t προσδιορίζεται μέσω της ακόλουθης σχέσης :

$$\hat{P}_m(t+k|t) = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=0}^{m-1} P(t-i) \quad \text{με } k = 1, \dots, m \quad (1.1.1-1)$$

Σε ορισμένες περιπτώσεις μελετούνται τα ωριαία φορτία, είτε του προηγούμενου εικοσιτετραώρου, είτε του εικοσιτετραώρου προ μίας εβδομάδας οπότε διαμορφώνονται αντίστοιχα τα μοντέλα «Ημέρα 1» και «Ημέρα 7». Συγκρίνοντας τα δύο αυτά μοντέλα, προέκυψε ότι η μέση τιμή του απόλυτου σφάλματος είναι μικρότερη για το μοντέλο «Ημέρα 7» για τη Δευτέρα και την Κυριακή, ενώ για τις υπόλοιπες μέρες για το μοντέλο «Ημέρα 1». Επίσης με συνδυασμό τους παρατηρούμε ότι το σφάλμα είναι της τάξης του 5%, το οποίο είναι αρκετά υψηλό.

β) η μέθοδος των **γενικών γραμμικών κινητών μέσων όρων**.

Η μέθοδος αυτή περιγράφεται από τις ακόλουθες σχέσεις :

$$S'_t = \frac{X_t + X_{t-1} + \dots + X_{t-N+1}}{N} \quad (1.1.1-2)$$

$$S''_t = \frac{S'_t + S'_{t-1} + \dots + S'_{t-N+1}}{N} \quad (1.1.1-3)$$

$$\alpha_t = S'_t + (S'_t - S''_t) \quad (1.1.1-4)$$

$$b_t = \frac{2}{N-1} (S'_t - S''_t) \quad (1.1.1-5)$$

$$\hat{X}_t(m) = \alpha_t + b_t \cdot m \quad (1.1.1-6)$$

δηλαδή ουσιαστικά οι μέσοι όροι αποκτούν βάρη.

γ) η μέθοδος εκθετικής εξομάλυνσης.

Σε αυτή τη μέθοδο υπάρχουν διάφορες κατηγορίες, όπως τα μη εποχιακά μοντέλα, τα προσθετικά εποχιακά και τα πολλαπλασιαστικά με υπομέρους κλάσεις του σταθερού επιπέδου, της γραμμικής τάσης και της μη γραμμικής τάσης.

Σαν ενδεικτικό παράδειγμα της μεθόδου αναφέρουμε το άρθρο [A1], όπου ο εκάστοτε καταναλωτής με τη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου, ρυθμίζει τις ώρες ζήτησης ισχύος για θερμικούς ή ψυκτικούς σκοπούς χρησιμοποιώντας αντίστοιχα θερμοσυσσωρευτές ή κεντρικές κλιματιστικές μονάδες με παγοκολώνες. Συγκεκριμένα η κλιματιστική συσκευή μοντελοποιείται κατάλληλα, ώστε κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου να κλείνει ο κύκλος ψύξης. Η απαραίτητη, λοιπόν, για την επιτυχή λειτουργία της συσκευής, πρόβλεψη φορτίου πραγματοποιείται μέσω της ακόλουθης πολλαπλασιαστικής εποχιακής τεχνικής εξομάλυνσης, λαμβάνοντας υπόψη την καθημερινή κυκλικότητα της θερμοκρασίας και την άνοδο ή την κάθοδο της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας.

$$e(t) = X(t) - T_1(t-1) \quad (1.1.1-7) \quad S(t) = S(t-1) + \frac{h_1 \cdot e(t)}{I(t-24+m)} \quad (1.1.1-8)$$

$$I(t) = I(t-d) + \frac{h_3 \cdot e(t)}{S(t)} \quad (1.1.1-9) \quad T_m(t) = S(t) \cdot I(t-24+m) \quad (1.1.1-10)$$

όπου X_t είναι η πραγματική τιμή της χρονοσειράς για τη χρονική περίοδο t , e_t το σφάλμα πρόβλεψης για την αντίστοιχη περίοδο, S_t το επίπεδο της χρονοσειράς στο τέλος της περιόδου t , T_t η τάση της χρονοσειράς στο τέλος της αντίστοιχης περιόδου t , I_t ο εποχιακός παράγοντας για τη χρονική περίοδο t , h_1 ο συντελεστής εξομάλυνσης για το επίπεδο της χρονοσειράς και h_3 ο συντελεστής εξομάλυνσης για τον εποχιακό παράγοντα.

Συσχετίζοντας την καθημερινή συνιστώσα φορτίου με τη θερμοκρασία μέσω της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων, επαναπροσδιορίζεται η καθημερινή συνιστώσα και από το άθροισμα των τριών μερών προκύπτει το τελικό φορτίο της επόμενης μέρας και μπορεί να γίνει ο προγραμματισμός της αποθήκευσης ενέργειας για το επόμενο εικοσιτετράωρο.

1.1.2 Μέθοδοι αποσύνθεσης

Οι μέθοδοι αποσύνθεσης εφαρμόζουν απλές μαθηματικές σχέσεις, με σκοπό την απομόνωση των τεσσάρων βασικών συνιστωσών των χρονοσειρών : την εποχιακότητα S_t , την κυκλικότητα C_t , την τάση T_t και την τυχαιότητα R_t . Αυτές συνδέονται με μία συνάρτηση f και με την παρατήρηση X_t σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$X_t = f(S_t, C_t, T_t, R_t) \quad (1.1.2-1)$$

Με βάση αυτά τα στοιχεία σε αντίστοιχη εφαρμογή για την εύρεση της αιχμής του τριμηνιαίου φορτίου, προκύπτει ακρίβεια της τάξης του 5% για το επόμενο έτος.

1.1.3. Μέθοδος πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

Η μέθοδος γραμμικής πολλαπλής παλινδρόμησης στηρίζεται στην ακόλουθη μορφή σχέσης :

$$y(t) = a_0 + a_1 \cdot x_1(t) + \dots + a_n \cdot x_n(t) + b(t) \quad (1.1.3-1)$$

όπου $y(t)$ είναι το ηλεκτρικό φορτίο, $x_i(t)$ η i -οστή παράμετρος που συσχετίζεται με την έξοδο, $a_i(t)$ ο i -οστός συντελεστής συσχέτισης και $b(t)$ η τυχαία μεταβλητή του σφάλματος με μηδενική μέση τιμή. Λόγω της απλής μορφής του μοντέλου η μέθοδος αυτή δίνει σφάλματα από 2 ως 10 φορές μεγαλύτερα, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεθοδολογίες.

Δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή μεταβλητών καιρού και μέσω των συντελεστών συσχέτισης, προσδιορίζονται τα απαραίτητα στοιχεία -πιθανοτική ανάλυση. Επίσης τα ανώμαλα στοιχεία απομακρύνονται από το σύνολο δεδομένων και τελικά υπάρχει ικανοποιητική απόδοση της μεθόδου, με ποσοστό απόλυτου σφάλματος της τάξης του 2%.

1.1.4. Οικονομετρική μέθοδος

Τα κύρια βήματα που ακολουθούνται σε αυτή τη μέθοδο είναι η ανάπτυξη ενός εκ των προτέρων μοντέλου, η επιλογή των δεδομένων, η ανάλυσή τους και η εκ νέου προσαρμογή του μοντέλου. Τα στοιχεία που προβληματίζουν είναι η εκτίμηση της τρέχουσας κατάστασης και η πρόβλεψη των επικείμενων μεταβολών. Οι λύσεις σε αυτά τα δύο προβλήματα μπορεί να διαφέρουν σημαντικά, παρόλη την ομοιότητα στις διαδικασίες που εφαρμόζονται για να καταλήξουμε σε αυτές.

1.1.5 Αυτοπαλινδρομικά μοντέλα κινούμενου μέσου όρου

Σ' αυτή τη μέθοδο περιλαμβάνονται τα αυτοπαλινδρομικά μοντέλα κινούμενου μέσου όρου ARMA (p,q), όπου ορίζονται μέσω των ακόλουθων σχέσεων:

$$\phi(B) \cdot y(t) = \theta(B) \cdot a(t) \quad (1.1.5-1)$$

όπου

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 \cdot B - \dots - \theta_q \cdot B^q \quad (1.1.5-2)$$

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 \cdot B - \dots - \phi_p \cdot B^p \quad (1.1.5-3)$$

όπου $y(t)$ είναι το ηλεκτρικό φορτίο, $a(t)$ ο λευκός θόρυβος, θ_i ο i -οστός συντελεστής βάρους του θορύβου πριν i χρονικά βήματα, ϕ_i ο i -οστός συντελεστής βάρους του φορτίου πριν i χρονικά βήματα. Με αυτήν τη μέθοδο προσεγγίζουμε στάσιμες χρονοσειρές φορτίου, οπότε περιορίζεται αρκετά το πλήθος των εφαρμογών της.

Ως μία δεύτερη παραλλαγή θα αναφέραμε το μοντέλο ARMAX -που παρουσιάζεται στο [A2]- με βασική σχέση:

$$\phi(B) \cdot y(t) = \lambda(B) \cdot u(t) + \theta(B) \cdot a(t) \quad (1.1.5-4)$$

Οι τάξεις εισόδου m , εξόδου p και κινούμενου μέσου όρου q προσδιορίζονται μέσω της αυτοσυσχέτισης, της μερικής συσχέτισης και των ετεροσυσχετίσεων, ενώ οι παράμετροι

με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, όπου μπορεί κανείς να εγκλωβιστεί σε τοπικό ελάχιστο. Ο έλεγχος γίνεται με τις μεθόδους της δοκιμής του λόγου t , των μερικών υπολοίπων αυτοσυσχετίσεων και ετεροσυσχετίσεων, της δοκιμής της στατιστικής Q .

1.1.6 Ολοκληρωμένα αυτοπαλινδρομικά μοντέλα κινούμενου μέσου όρου

Σ' αυτή τη μέθοδο περιλαμβάνονται τα ολοκληρωμένα αυτοπαλινδρομικά μοντέλα κινούμενου μέσου όρου ARIMA (p,q), όπου ορίζονται μέσω των σχέσεων (1.1.5-2) και (1.1.5-3) και των ακόλουθων:

$$\phi(B) \cdot \nabla^d y(t) = \theta(B) \cdot a(t) \quad (1.1.6-1)$$

όπου

$$\nabla^d y(t) = (1 - B)^d \cdot y(t) \quad (1.1.6-2)$$

όπου $y(t)$, $a(t)$, θ_i , ϕ_i , όπως ορίστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Με αυτήν τη μέθοδο προσεγγίζουμε μη στάσιμες χρονοσειρές φορτίου, οπότε είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν πιο εύκολα το πρόβλημα της πρόβλεψης.

Η μέθοδος μπορεί να επεκταθεί και σε παραπάνω εποχικότητες [A3].

Γενικότερα η μέθοδος αναφέρεται σε πλήθος άρθρων και ιδιαίτερα από τη δεκαετία του '90 είναι το κύριο στοιχείο σύγκρισης με τα νεότερα μοντέλα των νευρωνικών δικτύων, λόγω της πολύ καλής συμπεριφοράς του σε σχέση με τις υπόλοιπες κλασικές μεθοδολογίες και λόγω της κατανοητής μορφής του [A4].

1.1.7 Λοιπές παλινδρομικές και μη μέθοδοι

Υπάρχει ένα πλήθος παραλλαγών των παραπάνω μεθόδων π.χ. αν εφαρμοστούν διάφορες τεχνικές μετασχηματισμού. Επίσης μπορούν να υπάρξουν και οι μη παραμετρικές μέθοδοι που χρησιμοποιούν μορφές και εκτιμητές από τον κλάδο των πιθανοτήτων, καθώς και ντετερμινιστικές προσεγγίσεις του προβλήματος ή υβριδικές μορφές κλασικών μεθόδων.

Από εφαρμογή της μεθοδολογίας προέκυψε ότι η μέση τιμή απόλυτου σφάλματος και η αντίστοιχη τυπική απόκλιση του σφάλματος, για το απλό μοντέλο παλινδρόμησης είναι 1,931% και 2,426% αντίστοιχα, για την απλή μέθοδο της συνάρτησης μετασχηματισμού είναι 1,704% και 2,272% αντίστοιχα και για τη μέθοδο της συνάρτησης μετασχηματισμού με τις τεχνικές μεταφοράς και ανάκλασης είναι 1,677% και 2,210% αντίστοιχα. Οπότε η τελική προτεινόμενη μέθοδος φανερά υπερτερεί έναντι των απλούστερων παλινδρομικών μοντέλων.

Πάντως σε κάθε περίπτωση οι κλασικές μέθοδοι κάλυψαν, συνεχίζουν να καλύπτουν και θα αποτελέσουν τη βάση για την ανάπτυξη οποιοδήποτε νέων μεθόδων, αφού άλλωστε μέσω αυτών προσδιορίστηκαν οι μεταβλητές που επηρεάζουν τα ωριαία φορτία.

1.2 Βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου

Τα βασικότερα στοιχεία εισόδου στη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου είναι φυσικά τα ωριαία φορτία των προηγούμενων ωρών ή ημερών, φθάνοντας σε χρονικό βάθος μίας μέρας ως μίας εβδομάδας. Συνηθέστερα λαμβάνονται υπόψη για την πρόβλεψη του ωριαίου φορτίου h τα ωριαία φορτία των προηγούμενων τριών ωρών, τα αντίστοιχα φορτία της προηγούμενης μέρας και της αντίστοιχης μέρας της περασμένης εβδομάδας.

Επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό, από την ετήσια αύξηση του φορτίου, από το φορτίο των προηγούμενων ημερών και από τα αντίστοιχα επίπεδα θερμοκρασίας και λοιπών καιρικών στοιχείων, όπως υγρασίας, ανέμου, ηλιοφάνειας κτλ.. Συνήθως όμως λαμβάνεται υπόψη μόνο η θερμοκρασία, της οποίας είναι απαραίτητη η αντίστοιχη πρόβλεψη για τις μέρες που επιθυμούμε να προσδιορίσουμε το φορτίο -αν όχι σε ωριαίο επίπεδο, τουλάχιστον σε μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία με τις αντίστοιχες διασπορές τους.

Η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ομαλή λειτουργία του συστήματος και στον προσδιορισμό του επιπέδου ασφαλείας του. Έχουν προσδιορισθεί μέσω κατάλληλων μοντέλων οι επιδράσεις της μη ακριβούς πρόβλεψης της θερμοκρασίας [A5] ή της απότομης βηματικής αλλαγής του φορτίου -χρήση μεθόδου διχοτόμου- [A6] που μπορεί να προσομοιώνει μία απότομη απόρριψη φορτίου από μία μεγάλη βιομηχανική μονάδα λόγω σφάλματος. Επίσης επηρεάζει σημαντικά τη διαμόρφωση της θέσης και του μεγέθους των γεννητριών εκτός των εταιρειών -NUG ή Non utility generation-, οι οποίες ανήκουν σε ιδιοπαραγωγούς, νοσοκομεία, κτλ., σε συνδυασμό πάντοτε με τη διαστασιολόγηση του εκάστοτε δικτύου διανομής και του ρυθμού μη προγραμματισμένων διακοπών αυτών των γεννητριών [A7]. Ακόμη είναι απαραίτητη για τη ρύθμιση και τον έλεγχο συσκευών αποθήκευσης ενέργειας -θερμοσυσσωρευτών, θερμαντήρων νερού, κλιματιστικών διατάξεων με δεξαμενές πάγου, όταν συνδυάζεται με τα αντίστοιχα ηλεκτρικά τιμολόγια προς μείωση του τελικού κόστους [A8], [A9]. Δηλαδή για να είναι δυνατή η διαχείριση ζήτησης φορτίου και ο έλεγχος της εφαρμογής των διαφόρων μέτρων εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας -ιδιαίτερα στα πλαίσια της μελλοντικής απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας-, είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός πλήθους δεδομένων που θα αφορούν τις διάφορες κατηγορίες καταναλωτών -βαθμός κορεσμού ηλεκτρικών συσκευών, εισόδημα, σύστημα θέρμανσης, κλιματισμός, απόδοση κινητήρων κτλ.-, ώστε να είναι δυνατός ο προσδιορισμός της χρονολογικής καμπύλης φορτίου και μέσω τεχνικοοικονομικής μελέτης να βρίσκονται τα εφαρμόσιμα μέτρα [E1].

Η ατυχής πρόβλεψη φορτίου έχει δυσμενείς επιπτώσεις τόσο ως προς την ορθή αξιοποίηση των δυνατοτήτων του δικτύου μεταφοράς ισχύος, όσο και ως προς την ευστάθεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας [A10]. Στην περίπτωση που η πρόβλεψη φορτίου υπολείπεται του πραγματικού, οδηγεί σε αγορά ακριβών MW αιχμής από άλλους παραγωγούς, από το εξωτερικό ή από το χρηματιστήριο ηλεκτρικής ενέργειας. Αν είναι πιο μεγάλη της πραγματικής, τότε η επιχείρηση έχει μεγαλύτερο κόστος εκκίνησης και σταθερό κόστος λειτουργίας λόγω της ένταξης μεγαλύτερων μονάδων. Αν το μέσο απόλυτο σφάλμα - που κυμαίνεται ανάμεσα σε 3% και 5%- μειωθεί κατά 1%, τότε υπάρχει μείωση του κόστους παραγωγής κατά 0,1% με 0,3% τουλάχιστον. Ιδιαίτερα δυσμενέστερα αποτελέσματα έχουμε στην περίπτωση της υποεκτίμησης του φορτίου. Γι' αυτό απαιτείται ακριβέστερη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου [A11]. Παράλληλα η αβεβαιότητα πρόβλεψης φορτίου επηρεάζει τα αποτελέσματα των μοντέλων βραχυπρόθεσμης κατανομής της παραγωγής των γεννητριών και της απαιτούμενης εφεδρείας μέσω πιθανοτικών μοντέλων [A12] ή μέσω του κριτηρίου της επιλογής εφεδρείας ισχύος ίσης ή μεγαλύτερης από τη μεγαλύτερη γεννήτρια ή από ένα όριο φορτίου [Δ1].

Εξαιτίας των παραπάνω, πέρα από τις διάφορες μεθοδολογίες πρόβλεψης, έχουν αναπτυχθεί κατάλληλοι αλγόριθμοι με μαθηματικά μοντέλα για τη βελτίωση της απόδοσής

τους, ώστε με τη λήψη περισσότερων μετρήσεων σε κατάλληλα προεπιλεγμένα σημεία του δικτύου, να γίνεται διόρθωση των μετρητικών σφαλμάτων των ωριαίων φορτίων [A13], [Δ2].

Συνεπώς λόγω της μεγάλης σπουδαιότητας της βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου έχουν αναπτυχθεί δύο βασικές κατηγορίες μεθοδολογιών. Από τη μία πλευρά είναι τα κλασικά μοντέλα, όπως οι μέθοδοι εξομάλυνσης, αποσύνθεσης, γραμμικών παλινδρομήσεων και αυτοπαλινδρομήσεων κινητού μέσου όρου. Από την άλλη μεριά είναι τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, η ασαφής λογική και οι υβριδικοί σχηματισμοί τους.

Σε κάθε περίπτωση όμως, τα αρχικά δεδομένα μας είναι τα ωριαία φορτία προηγούμενων ωρών, τα ημερολογιακά χαρακτηριστικά και τα διάφορα στοιχεία που εκπροσωπούν τις καιρικές συνθήκες, κυρίως μόνο η θερμοκρασία σε ποσοστό πάνω από το 90% της υπάρχουσας αρθρογραφίας.

Στις επόμενες παραγράφους θα αναφερθούμε αναλυτικότερα σ' αυτά τα δεδομένα, στην κατηγοριοποίηση των επιμέρους συνιστωσών του φορτίου, στις κλασικές και στις νεότερες μεθοδολογίες και στην τελική επίδραση της ακρίβειάς τους στο κόστος των ηλεκτρικών επιχειρήσεων.

1.2.1 Μέθοδοι βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου στηριζόμενες στα νευρωνικά δίκτυα

Λόγω της υφής του προβλήματος της βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου, δηλαδή λόγω έλλειψης καθορισμένων μαθηματικών σχέσεων που προσδιορίζουν το ωριαίο φορτίο των επόμενων ωρών, μέσω παραμέτρων που πολλές φορές δεν είναι πλήρως γνωστές, π.χ. οι καιρικές συνθήκες, οδηγούμαστε στην έρευνα νέων μεθοδολογιών, όπως είναι τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα διαφόρων μορφών.

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα δεν προγραμματίζονται, αλλά μαθαίνουν. Δε χρειάζεται να έχουμε πλήρως κατανοήσει ένα πρόβλημα έτσι, ώστε να αναπτύξουμε τα νευρωνικά δίκτυα. Στην επίλυση ενός προβλήματος, ένα σημαντικό πλεονέκτημα των νευρωνικών δικτύων, σε σχέση με τους ανθρώπους, είναι ότι μπορούν να δουν πολυδιάστατα πρότυπα εισόδου, τα οποία μπορεί να μην έχουμε τη δυνατότητα να αναγνωρίσουμε, λόγω του γεγονότος ότι έχουμε τρισδιάστατη άποψη του κόσμου. Η ικανότητα των δικτύων αυτών να μαθαίνουν σχέσεις μεταξύ των δεδομένων δίνει αυξημένες δυνατότητες για την επίλυση προβλημάτων. Ωστόσο δεν μπορούν να ερμηνεύσουν στο πως έφτασαν στο συμπέρασμά τους, δηλαδή να εξηγήσουν πως έχουν μάθει να αναγνωρίζουν ένα πρότυπο. Αυτό είναι ένα βασικό τους μειονέκτημα.

Επίσης ένα άλλο σημαντικό θέμα είναι η δημιουργία αποτελεσματικών συνόλων εκπαίδευσης. Πρέπει να έχουμε υπόψη ότι τα νευρωνικά δίκτυα είναι κατάλληλα για παρεμβολή -interpolation- και όχι για εξαγωγή συμπερασμάτων -extrapolation. Αυτό σημαίνει ότι τα σύνολα εκπαίδευσης πρέπει να αποτελούνται από τον πλήρη χώρο προτύπων, τα οποία χρειάζεται να ταξινομούνται -αναγνωρίζονται- σωστά κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης του δικτύου.

Ακόμη, πρέπει να τονίσουμε ότι ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην επιλογή του αριθμού των κρυφών στρωμάτων και των νευρώνων ανά στρώμα. Υπερβολικά πολλοί νευρώνες στα κρυφά στρώματα σ' ένα δίκτυο εμπρόσθιας τροφοδότησης πολλών στρωμάτων μπορεί να οδηγήσει σε απομνημόνευση των συνόλων εκπαίδευσης με κίνδυνο την απώλεια της ικανότητας γενίκευσης. Από την άλλη μεριά, για ένα περίπλοκο πρόβλημα, η έλλειψη νευρώνων μπορεί να παρεμποδίζει την κατάλληλη ταξινόμηση των προτύπων. Η επιλογή της τοπολογίας του δικτύου και των συνόλων εκπαίδευσης εξαρτάται αρκετά από το ίδιο το πρόβλημα.

Τέλος υπάρχει και το ζήτημα του χρόνου εκπαίδευσης, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις εφαρμογών πραγματικού χρόνου, όπως είναι η πρόβλεψη φορτίου. Μπορεί να είναι μεγάλος, λόγω της περίπλοκης τοπολογίας του δικτύου, είτε λόγω του μεγάλου αριθμού των προτύπων του συνόλου μάθησης, αλλά, όταν το δίκτυο εκπαιδευτεί, η ανταπόκρισή του είναι πολύ γρήγορη.

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε εκείνες τις μορφές των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, που βρίσκουν εφαρμογή στην πρόβλεψη φορτίου, όπου έχουν σχεδόν απόλυτη κυριαρχία τα πολυεπίπεδα νευρωνικά δίκτυα με τις διάφορες μορφές του αλγορίθμου της αναστροφής διάδοσης σφάλματος. Συγχρόνως θα γίνει λόγος για τα βασικά χαρακτηριστικά των νευρωνικών δικτύων που θίξαμε προηγουμένως.

1.2.2 Γενικά περί πολυεπίπεδων τεχνητών νευρωνικών δικτύων για τη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, τα πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενα νευρωνικά δίκτυα είναι τα πολυεπίπεδα νευρωνικά δίκτυα ή αλλιώς πολλών στρωμάτων -multi layer perceptrons -MLPs. Είναι νευρωνικά δίκτυα εμπρόσθιας τροφοδότησης που αποτελούνται από ένα στρώμα εισόδου -Input Layer-, ένα ή περισσότερα κρυφά στρώματα -Hidden Layers- και ένα στρώμα εξόδου -Output Layer. Κάθε στρώμα αποτελείται από νευρώνες και κάθε νευρώνας συνδέεται με τους νευρώνες του γειτονικού στρώματος με διαφορετικά βάρη.

Οι νευρώνες στο στρώμα εισόδου είναι παθητικοί, δηλαδή ο καθένας απλά μεταδίδει μία τιμή μέσω των διασυνδεδετικών βαρών στους κρυφούς νευρώνες. Οι κρυφοί νευρώνες και οι νευρώνες εξόδου επεξεργάζονται τις εισόδους τους σε δύο βήματα. Κάθε νευρώνας πολλαπλασιάζει κάθε είσοδο με το βάρος της, προσθέτει τα γινόμενα, και μετά περνάει το άθροισμα μέσω μιας συνάρτησης μεταφοράς (ενεργοποίησης), για να παράγει το αποτέλεσμα. Ευρέως χρησιμοποιούμενες συναρτήσεις ενεργοποίησης είναι η σιγμοειδής, η βηματική, η γραμμική, η αναρρίχησης και η γκαουσιανή. Συγκεντρωτικά παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

$f(x) = 1 / (1 + e^{-ax})$ σιγμοειδής με πεδίο τιμών [0,1]	$f(x) = \tanh(x)$ σιγμοειδής με πεδίο τιμών [-1,1]	$f(x) = a \cdot x$ γραμμική
$f(x) = \begin{cases} a & , x \geq \gamma \\ b & , x < \gamma \end{cases}$ βηματική	$f(x) = \exp\left(\frac{-x^2}{v}\right)$ γκαουσιανή	$f(x) = \begin{cases} \gamma & , x \geq \gamma \\ x & , x < \gamma \\ -\gamma & , x \leq -\gamma \end{cases}$ αναρρίχησης

Σε κάθε σύνδεση αντιστοιχεί και μία τιμή βάρους $w_{pj,ki}$ που ενώνει το νευρώνα p του στρώματος j με το νευρώνα k του στρώματος i .

Ένας από του βασικότερους τρόπους μάθησης είναι ο αλγόριθμος εκπαίδευσης με προς τα πίσω διάδοση του σφάλματος -back propagation-, ο οποίος δίνει καλά αποτελέσματα για ένα μεγάλο πλήθος διαφορετικών προβλημάτων. Είναι ουσιαστικά μία μέθοδος επαναληπτικής ρύθμισης των βαρών μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια. Στηρίζεται σε μία μέθοδο βελτιστοποίησης -όπως είναι η μέθοδος ελαχιστοποίησης με χρήση του γενικευμένου κανόνα δέλτα- που εφαρμόζεται σε μία συνάρτηση σφάλματος, όπως είναι το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων.

1.2.3 Σύγκριση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων για το πρόβλημα της βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου και συμπεράσματα

Με βάση τα όσα έχουμε προαναφέρει, θα μπορούσαμε γενικά να συμπεράνουμε, από τη σύγκριση των κλασικών μεθόδων με τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, ότι από τη μία μεριά η συμπεριφορά των τελευταίων ως προς την πρόβλεψη είναι αρκετά καλύτερη. Στο [Δ2] η σύγκριση των νευρωνικών δικτύων με μοντέλα ARIMA έδειξε βελτίωση άνω του 50% ως προς τη μέση τιμή του απόλυτου σφάλματος. Από την άλλη πλευρά όμως, το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο παρουσιάζει ευαισθησία με το σύστημα της ηλεκτρικής εταιρείας -άλλη συμπεριφορά για τα ελληνικά κλιματικά δεδομένα, άλλη για άλλες περιοχές του πλανήτη-, με συνέπεια ανά περίπτωση να χρειάζεται μερική τροποποίηση των εισόδων.

Ως προς τις εισόδους των τεχνητών νευρωνικών δικτύων για βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου, χρησιμοποιώντας κατάλληλες μεθόδους -όπως τη *phase space embedding*- και με σύγκριση των στοιχείων ορισμένων ηλεκτρικών εταιρειών, προσδιορίστηκαν στο [A14] οι ανεξάρτητες μεταβλητές που διαμορφώνουν τις χρονοσειρές των φορτίων. Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι επηρεάζονται κατά κύριο λόγο από το φορτίο της προηγούμενης μέρας, κυρίως προ 24 ωρών, και έπειτα από τις θερμοκρασιακές συνθήκες. Γι' αυτό καταλήγουν σε 15 μεταβλητές που είναι αρκετά λιγότερες από τις 50 με 100 που χρησιμοποιούν συνήθως και κυρίως από τις άνω των 500 που χρησιμοποιούνται στο [A15]. Συγκεκριμένα στο [A14] προτείνονται τα ωριαία φορτία της τρέχουσας ώρας, προ 2, 4, 6 και 8 ωρών και τέλος το είδος του κύκλου της μέρας για την προβλεπόμενη ώρα μέσω των συναρτήσεων $\cos(2\pi t/24)$, $\sin(2\pi t/24)$, $\cos(2\pi t/12)$, $\sin(2\pi t/12)$ αποσιωπώντας βέβαια ότι προβλέπεται μόνο την επόμενη ώρα, έστω με τα ίδια επίπεδα σφάλματος. Πάντως γίνεται χρήση πολύ λίγων μεταβλητών με μικρότερο σύνολο στοιχείων έχοντας πιο εύκολη εκτέλεση.

Τέλος υπάρχουν ορισμένοι [A16] που ισχυρίζονται, ότι με βάση την ήδη πλούσια αρθρογραφία που υπάρχει πάνω στο πρόβλημα της βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου, είναι δυνατό να διατυπωθούν μία σειρά κανόνων που προσδιορίζουν τον αριθμό των κρυμμένων επιπέδων -που είναι ένα, άλλωστε αυτό προκύπτει και από το θεώρημα του Kromologon-, το είδος της συνάρτησης στο επίπεδο της εισόδου, που είναι σιγμοειδής αντί της γραμμικής, το είδος της συνάρτησης στο κρυμμένο επίπεδο, που είναι ημιτονοειδής, το είδος της μάθησης, που είναι της ανάστροφης διάδοσης σφάλματος με μειούμενο ρυθμό μάθησης και με συντελεστή ορμής κατάλληλων τιμών. Επίσης η εφαρμογή υλοποιείται με προσθήκη λευκού θορύβου Gauss. Ακόμα, πρέπει να υπάρξει η κατάλληλη ανατροφοδότηση του κρυμμένου επιπέδου ως προς την είσοδο, να περιληφθούν και οι ανώμαλες μέρες, ενώ όλο το δίκτυο να επανεκπαιδεύεται τουλάχιστον σε μηνιαίο επίπεδο. Βέβαια οι περιπτώσεις, που μελετώνται, δίνουν μέση τιμή απόλυτου σφάλματος κοντά στο 2%, αρκετά μικρότερο από το αντίστοιχο των κλασικών μεθόδων, αλλά σίγουρα σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και το πλήθος και η ακρίβεια των δεδομένων, οπότε δεν μπορούν να ληφθούν αυτοί οι κανόνες ως επίλυση του προβλήματος, αλλά ως μία γενική οδηγία.

1.2.4 Εφαρμογή της ασαφούς λογικής στη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου και ο συνδυασμός της με τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα βρήκαν πλούσιο έδαφος εφαρμογών στο πρόβλημα της πρόβλεψης φορτίου σε συνδυασμό με την ασαφή λογική. Η τελευταία όμως είχε αρχίσει ανεξάρτητα από τα νευρωνικά να βρίσκει εφαρμογή στα προβλήματα των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, γι' αυτό θα αναφερθούμε στα υβριδικά μοντέλα με τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.

Το πρόβλημα της βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου γίνεται ιδιαίτερα δύσκολο στην περίπτωση μελέτης ενός συστήματος διανομής και στην εύρεση είτε της ωριαίας φόρτισης, είτε της μέγιστης ζήτησης, που αποτελεί και το στοιχείο διαστασιολόγησης του δικτύου. Οι μετρήσεις που διαθέτει κανείς γι' αυτά τα δίκτυα είναι πολύ περιορισμένες, περιλαμβάνοντας ορισμένες μετρήσεις σε τροφοδότες και την κατανάλωση ενέργειας των καταναλωτών μέσω τιμολογίων. Οι παράγοντες τυχαιότητας, που συμμετέχουν είναι πολλοί, όπως η τυχαία συμπεριφορά της ζήτησης των καταναλωτών σε ενέργεια και ισχύ, η επίδραση του παράγοντα τυχαιότητας στο σύστημα π.χ. βλάβες κτλ., με συνέπεια να οδηγούμαστε στην εφαρμογή της ασαφούς λογικής.

Χρησιμοποιώντας το κατάλληλο μοντέλο μάθησης, μπορεί να επιτευχθεί μέση τιμή απόλυτου σφάλματος ίση με 1,37%, με μέγιστη τιμή ίση με 12,14% και τυπική απόκλιση 34,17%, έχοντας ως «παράθυρο» διακύμανσης τα 2000 MW. Με τις ίδιες εισόδους το πολυεπίπεδο νευρωνικό δίκτυο -με 5 ως 15 νευρώνες στο κρυμμένο επίπεδο- έχει χειρότερη συμπεριφορά -τουλάχιστον κατά 0,02% η μέση τιμή του σφάλματος και κατά 0,5% η τυπική απόκλιση, τόσο σε επίπεδο εκπαίδευσης, όσο και σε επίπεδο δοκιμής.

Ακολουθώντας εφαρμόστηκαν κανόνες της ασαφούς λογικής που λαμβάνονται υπόψη μέσω κατάλληλων βαρών. Αν χρησιμοποιηθεί μοντέλο πολλών εισόδων - μίας εξόδου με διαδοχικές προβλέψεις, από τη μία πλευρά υπάρχει το παράθυρο των ωριαίων φορτίων που ολισθαίνει, ενώ από την άλλη υπάρχει η διαδοχική σύνδεση με αύξηση του σφάλματος της μορφής:

$$\hat{L}(t+1) = f(L(t), T(t)) \Rightarrow \hat{L}(t+2) = f(\hat{L}(t+1), T(t+1)) \quad (1.2.4-1)$$

Αν χρησιμοποιηθούν n ανεξάρτητα μοντέλα πολλών εισόδων - μίας εξόδου παράλληλα συνδεδεμένα με σταθερό πλήθος δεδομένων, λαμβάνονται ικανοποιητικά αποτελέσματα, αλλά υπάρχει έλλειψη ακρίβειας για τις ειδικές μέρες. Προς αντιμετώπιση αυτής της κατάστασης χρησιμοποιούμε μοντέλο πολλαπλών εισόδων, πολλαπλών εξόδων με μία μονάδα, με χρονικό παράθυρο, που πρακτικά ολισθαίνει και δύναται να περιλάβει διάφορα είδη ημερών και να προκύψουν διάφορες προβλέψεις και για άλλα μεγέθη, όπως πρόβλεψη αιχμής και ώρας αιχμής κτλ. Από την εφαρμογή του μοντέλου για την Κρήτη, η μέση τιμή του απόλυτου σφάλματος είναι 3,4%.

Από το σύνολο των προηγούμενων παραδειγμάτων παρατηρείται ότι η ασαφής λογική συνεργάζεται με τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα δημιουργώντας τα ασαφή νευρωνικά, που δίνουν αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα.

1.2.5 Μέθοδοι βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου με χρήση υβριδικών μοντέλων

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα δεν περιορίστηκαν μόνο στη δημιουργία των ασαφών δικτύων, αλλά προχώρησαν και στο σχηματισμό μίας σειράς υβριδικών μοντέλων τόσο με τα ασαφή δίκτυα, όσο και με τις κλασικές μεθόδους.

Συγκεκριμένα στο [A17] παρουσιάζεται ένα υβριδικό μοντέλο, το οποίο συνδυάζει τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα με τα ασαφή. Από τη μία πλευρά υπάρχει το τεχνητό πολυεπίπεδο νευρωνικό δίκτυο δύο κρυφών επιπέδων με 5 και 3 νευρώνες αντίστοιχα, που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της συνιστώσας του βασικού μέρους του φορτίου, στηριζόμενο στα ωριαία φορτία των δύο προηγούμενων ωρών, της αντίστοιχης ώρας και των δύο προηγούμενων ωρών για μία, δύο, επτά και δεκατέσσερις μέρες πιο πριν. Με τη βοήθεια των ασαφών και με κατάλληλη επιμέρους κατηγοριοποίηση, γίνεται ο προσδιορισμός της επίδρασης της μέσης θερμοκρασίας εκείνης της μέρας και της διαφοράς της με των αντίστοιχων ημερών για τις τρεις προηγούμενες εβδομάδες, όπως και των διακοπών, λαμβάνοντας υπόψη τη συμπεριφορά των καταναλωτών κατά τα προηγούμενα έτη.

Από όλη τη διαδικασία, προκύπτει η τελική πρόβλεψη φορτίου με μέσο όρο απόλυτου σφάλματος για τις κανονικές ημέρες γύρω στο 1,3% και για τις αργίες περίπου στο 2,5%, όντας πολύ καλύτερο από εκείνο της μεθόδου με την εκθετική εξομάλυνση, που δίνει μεγαλύτερα σφάλματα κατά 1% τουλάχιστον.

Μία άλλη μορφή υβριδικού συστήματος τεχνητών νευρωνικών δικτύων με νευροασαφή δίκτυα δίνεται στο [A18]. Συγκεκριμένα υπάρχει μία ασαφής κατηγοριοποίηση των κλιματικών συνθηκών με βάση τη θερμοκρασία (εξαιρετικά κρύο, πολύ κρύο, κρύο, λίγο κρύο, κανονικό, ζεστό, πολύ ζεστό, εξαιρετικά ζεστό) και την υγρασία (εξαιρετικά ξηρό, πολύ ξηρό, ξηρό, υγρό, πολύ υγρό, εξαιρετικά υγρό) δημιουργώντας 48 κατηγορίες, στις οποίες ταξινομούμε κάθε ωριαίο φορτίο, αρκεί η συνάρτηση συμμετοχής τραπεζοειδούς μορφής να είναι μη μηδενική.

Η μέση τιμή του απόλυτου σφάλματος είτε του ωριαίου φορτίου, είτε της αιχμής, είτε της συνολικής ενέργειας για τις επόμενες 120 ώρες είναι μικρότερο του 2%.

Επίσης πολύ ενδιαφέρουσα περίπτωση είναι το υβριδικό μοντέλο των ασαφών και των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, που βασίζεται στο διαχωρισμό του φορτίου σε δύο συνιστώσες : στην εξαρτώμενη και στην ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία συνιστώσα [A19].

Η προτεινόμενη μέθοδος έχει μέση τιμή απόλυτου σφάλματος από 1,12% ως 2,38%, έναντι του σχεδόν διπλάσιου, που προκύπτει με κλασικό πολυεπίπεδο νευρωνικό δίκτυο με τα ίδια δεδομένα.

Βέβαια τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα συνδυάζονται όχι μόνο με την ασαφή λογική, αλλά και με κλασικές μεθόδους. Παραδείγματος χάρη μία ενδιαφέρουσα περίπτωση έχουμε στην περίπτωση χρήσης μοντέλων επεξεργασίας μη μόνιμων χρονοσειρών, συνδυαζόμενα με τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις των καιρικών συνθηκών -θερμοκρασία (μέγιστη, ελάχιστη, μέση τιμή, ωριαία προηγούμενης μέρας, μέγιστη και ελάχιστη της υπό πρόβλεψη μέρας), ωριαία υγρασία, βροχόπτωση, λιακάδα (προηγούμενης μέρας).

Το μοντέλο του τεχνητού νευρωνικού δικτύου με εισόδους τα x_t φορτία και τα w_{ik} καιρικά στοιχεία υλοποιείται μέσω της ακόλουθης σχέσης, λαμβάνοντας υπόψη τη μόνιμη κατάσταση του φορτίου:

$$\hat{x}_{t+l} = x_{t+l-d} + f \left(\sum_{i=0}^H W_i^1 f \left(\sum_{j=0}^{24} W_{ij}^0 x_{t-j} + \sum_{k=1}^m W_{ik}^0 w_k^t \right) \right) \quad (1.2.5-1)$$

Από την προσομοίωση για το ηλεκτρικό σύστημα του Χονγκ-Κονγκ προέκυψε μέση τιμή απόλυτου σφάλματος ίση με 2,49% με μέση απόκλιση 39,05%, θεωρώντας στάσιμο το φορτίο, 1,755% και 27,15% αντίστοιχα για μη στάσιμο και 1,5% και 22,86% αντίστοιχα για μη στάσιμο και με μεγάλο «χρονικό παράθυρο». Συνεπώς δίνει ως μεθοδολογία αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα για τη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου, αν και αφήνει κενό ως προς την αντιμετώπιση των ειδικών ημερών.

Σε κάθε περίπτωση, η πληθώρα αυτών των υβριδικών δικτύων υποδηλώνει την προσπάθεια για μείωση του σφάλματος στη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου. Εξαιτίας τούτου αναπτύχθηκαν μέθοδοι αξιολόγησης και κοστολόγησης των διαφόρων τρόπων πρόβλεψης και δόθηκε ιδιαίτερο βάρος στη βελτίωση των εισερχόμενων παραγόντων, όπως είναι η θερμοκρασία και ο άνεμος, και στη βελτίωση της πρόβλεψης κατά τη διάρκεια των ωρών υψηλότερου κόστους, ώστε να υπάρξει μεγαλύτερη μείωση του κόστους.

Κεφάλαιο 2

Μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου

2.1 Μεσοπρόθεσμη & Μακροπρόθεσμη Πρόβλεψη Φορτίου

Η μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου γίνεται για ένα έτος με χρονικό βήμα εβδομάδας, ενώ η μακροπρόθεσμη με χρονικό ορίζοντα 10-20 ετών, με χρονικό βήμα ενός έτους. Παρόλα αυτά όμως, οι παραπάνω αυτοί όροι δεν είναι αποσαφηνισμένοι πλήρως, με αποτέλεσμα να υπάρχουν άρθρα που αναφέρονται π.χ. στην μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου και εννοούν μακροπρόθεσμη και το αντίθετο. Σε αυτή τη διπλωματική εργασία, στους δύο αυτούς όρους θα αναφερόμαστε σύμφωνα με τον ορισμό που δόθηκε παραπάνω.

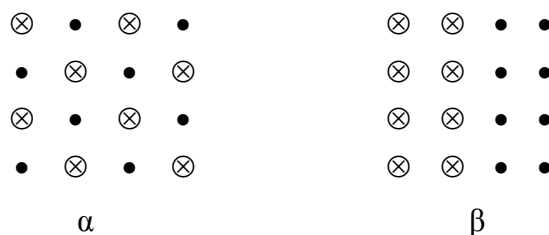
Η μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη, λοιπόν αφορά κυρίως τη ρύθμιση των προγραμμάτων συντήρησης των μονάδων παραγωγής και αξιοποίησης των διαθέσιμων υδάτινων και λοιπών πόρων, στις καταλληλότερες χρονικές περιόδους του έτους. Η μακροπρόθεσμη πρόβλεψη από την άλλη πλευρά, ασχολείται κυρίως με την ετήσια αιχμή φορτίου -ή και τις εποχιακές- και τη συνολική ετήσια ενέργεια για τα επόμενα 10 με 20 χρόνια, ώστε να είναι δυνατός ο σχεδιασμός και η κατασκευή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Συνήθως αντιμετωπίζονται μαζί, διότι ξεκινώντας κανείς από τη μακροπρόθεσμη πρόβλεψη, εύκολα μπορεί να μεταβεί στο επόμενο επίπεδο, αν λάβει υπόψη του την εποχιακή κυκλικότητα του κλίματος κτλ.. Γι' αυτό άλλωστε συνδυάζονται κατάλληλα με οικονομικοτεχνικές μελέτες μεσοπρόθεσμου και μακροπρόθεσμου σχεδιασμού [A20].

Αρχικά η μακροπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου στα συστήματα της διανομής, προσδιοριζόταν με τους παράγοντες που επιδρούν στο σχεδιασμό και τις επιπτώσεις τους, λόγω σφαλμάτων εκτίμησης. Η βασική ιδέα στο [A21] ήταν να χωριστεί η περιοχή σε κελιά που προσδιορίζονταν από τις οριζόντιες συντεταγμένες (n,m) .

Στόχος ήταν η πρόβλεψη του φορτίου του αντίστοιχου κελιού στο μέλλον, γνωρίζοντας το σημερινό φορτίο και ίσως των προηγούμενων ετών. Αν χρησιμοποιούσαν συγκεκριμένο χρονικό παράθυρο -π.χ. 10 ετών- και η πρόβλεψη γινόταν για τον τρέχον «άγνωστο» έτος, τότε θα ξεφεύγαμε από τον παράγοντα του χρόνου. Παράλληλα θα μπορούσαμε να εκτιμήσουμε διάφορες τιμές όπως τη μέση τιμή, την τυπική απόκλιση, τη ρίζα των τετραγωνικών τιμών και το άθροισμα των απόλυτων τιμών των σφαλμάτων, ώστε να είναι δυνατή η αξιολόγηση της μεθόδου. Σε κάθε περίπτωση όμως βρίσκοντας το σφάλμα που διαπράττεται σήμερα, δεν συνεπάγεται απαραίτητα ότι θα υπάρξει παρόμοια εξέλιξη και τα επόμενα χρόνια.

Σημαντικό ρόλο διαδραμάτισε και ο τρόπος κατανομής των σφαλμάτων στο κελί. Παρακάτω

φαίνονται δύο διαφορετικές κατανομές σφαλμάτων :



Σχήμα 2.1-1: Κατανομή σφάλματος στο χωρικό κελί

όπου \otimes είναι θετικό σφάλμα σε ένα κελί και \bullet αρνητικό σφάλμα, έστω του ίδιου μέτρου προς απλοποίηση της μελέτης. Είναι εύκολο να φανταστεί κανείς το πόσο διαφορετική επίδραση θα υπήρχε στην εξέλιξη του φορτίου στις παραπάνω κατανομές σφάλματος. Προκύπτει άμεσα, λοιπόν, ότι ακόμη και τα τέσσερα είδη σφάλματος να ήταν ίσα, δεν θα ήταν απαραίτητο να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή του στην οριζοντιογραφική αποτύπωση, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1-1β, με συνέπεια να υπάρχει κίνδυνος μη σωστής τοποθέτησης ή διαστασιολόγησης του υποσταθμού εντός του κελιού.

Γι' αυτό, για τον υπολογισμό του σφάλματος χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες σχέσεις, ώστε να είναι δυνατή η αντιμετώπιση της ανομοιόμορφης κατανομής σφαλμάτων ορίζοντας ότι $S((i,j),(m,n))$ είναι 1, όταν τα κελιά (i,j) και (m,n) ανήκουν στον ίδιο τον υποσταθμό, αλλιώς είναι 0, και ότι $t(i,j)$ είναι ο αριθμός των κελιών που εξυπηρετούνται από τον υποσταθμό που εξυπηρετεί ενώ το κελί (i,j) , $u(i,j)$ είναι η καθαρή επίδραση του κελιού (i,j) στο συνολικό σφάλμα πρόβλεψης του υποσταθμού και τέλος U_s είναι η συνολική επίδραση στο σχεδιασμό του συστήματος των υποσταθμών:

$$u(i,j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S((i,j),(m,n)) \cdot e(m,n)}{t(i,j)} \quad (2.1-2)$$

$$U_s = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |u(i,j)|}{M \cdot N} \quad (2.1-3)$$

$$t(i,j) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S((i,j),(m,n)) \quad (2.1-4)$$

όπου $e(m,n)$ το σφάλμα του κελιού (m,n) .

Αυτή η τεχνική αποτέλεσε μία πρακτική, χρήσιμη μέθοδο για την αξιολόγηση των υποψήφιων μεθόδων πρόβλεψης φορτίου, έναντι των μελλοντικών αναγκών των υποσταθμών. Θεωρητικά μπορούμε να μεταβούμε από το επίπεδο των διαστάσεων, που είναι ένα είδος χρόνου στο αντίστοιχο επίπεδο της συχνότητας, ώστε να αποδειχθεί τελικά ότι αυτή η μεθοδολογία είναι ουσιαστικά η εφαρμογή ενός «βαθυπερατού» φίλτρου, για τα σφάλματα που εκτείνονται γύρω από τον υποσταθμό. Χάρη στο φίλτρο, δεν επιτρέπονται υψηλές συχνότητες σφάλματος, ενώ ανταποκρίνεται πλήρως στο χωρικό σφάλμα της μηδενικής συχνότητας, που είναι η μέση τιμή όλων των σφαλμάτων κελιών, επηρεάζοντας αντίστοιχα το σχεδιασμό του συστήματος, αν υπάρχει υπέρ- ή υπό- διαστασιολόγηση του συστήματος. Με την πειραματική εφαρμογή αυτής της μεθόδου, ορίστηκε το απαραίτητο μέγεθος των κελιών ως το μισό του αντιστρόφου της χωρικής συχνότητας αποκοπής του

φίλτρου και κυρίως είναι δυνατό να εκτιμήσουμε την αποτελεσματικότητα ορισμένων μεθόδων πρόβλεψης φορτίου, λαμβάνοντας υπόψη και τη χωρική κατανομή του σφάλματος.

Γενικότερα οι μέθοδοι μακροπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου μπορούν να διακριθούν στις αναλυτικές, οι οποίες στηρίζονται σε δεδομένα παρελθόντων ετών και σε εκείνες που γίνεται συσσώρευση και αξιοποίηση πληροφοριών με βάση την κρίση του χειριστή [A22]. Στη συνέχεια, οι αναλυτικές χωρίζονται σε εκείνες, που με βάση τα υπάρχοντα ιστορικά δεδομένα ενός υποσταθμού, προσδιορίζουν την αύξηση του φορτίου στον υποσταθμό και σε εκείνες που πραγματοποιούν πρόβλεψη φορτίου με βάση τη χρήση γης ή τους τύπους καταναλωτών, βρίσκοντας διαφορετικούς ρυθμούς αύξησης φορτίου για κάθε παράγοντα και συνολικά για κάθε σημείο αναφοράς του δικτύου.

Με τον όρο «είδος γης» αναφερόμαστε στον τρόπο έκφρασης των κατηγοριών των καταναλωτών με αρκετές υποκατηγορίες, όπως ο οικιακός καταναλωτής, που μπορεί να διακριθεί σε αγροτικά σπίτια, μίας οικογένειας, διαμερίσματα κτλ.. Τα δεδομένα για τη χρήση γης μπορούν να προέλθουν από αεροφωτογραφίες, από χρήση δορυφορικών συστημάτων παρακολούθησης της επιφάνειας της γης, από υπηρεσίες ή συστήματα πληροφοριών πελατών κτλ.. Παρόλη όμως την ποικιλία τρόπων αποκόμισης δεδομένων, για την ανάπτυξη μεθόδων που στηρίζονται στη χρήση γης, είναι απαραίτητο να υπάρξει σημαντική ποσότητα πληροφορίας για κάθε τάξη φορτίου και για κάθε χρήση γης, σε μέγεθος μικρής περιοχής.

Στη μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη γίνεται ο προσδιορισμός της ανάπτυξης του φορτίου, στηριζόμενοι στις μελλοντικές πυκνότητες και στα είδη χρήσεων γης στις διάφορες περιοχές, που μετατρέπονται σε ηλεκτρικό φορτίο. Δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στις κενές χρήσεις γης, που μπορεί να μας δημιουργήσουν προβλήματα στον προσδιορισμό ή την πρόβλεψη φορτίου.

Οι ίδιες μικρές περιοχές μελετήθηκαν με τους εξής τρόπους:

α) Με χρήση δεδομένων από αεροφωτογραφίες και αντιστοίχιση χρήσης γης-φορτίου υποσταθμού ή τροφοδότη.

β) Όμοια με προηγούμενο, μόνο που η πληροφορία έχει υποστεί ποιοτικούς περιορισμούς και δεν υπάρχει ο χαρακτήρας της κενής γης.

γ) Με χρήση πληροφοριών χρήσης γης από το σύστημα πληροφοριών πελατών και από τα δεδομένα διαχείρισης φορτίου μετασχηματιστή.

δ) Όπως και προηγουμένως, μόνο που η πληροφορία έχει υποστεί ποιοτικούς περιορισμούς και δεν υπάρχει ο χαρακτήρας της κενής γης.

ε) Με συνδυασμένη χρήση των πληροφοριών για χρήση γης του (α) και (γ).

στ) Με χρήση πληροφοριών από δορυφορικό σύστημα, για χρήση γης με την εφαρμογή της πολυφασματικής τεχνικής κατηγοριοποίησης. Η αντιστοίχιση γης-φορτίου γίνεται, όπως και στο (α), με παλινδρόμηση.

ζ) Όπως και προηγουμένως, αλλά περιλαμβάνοντας ιδιαίτερη μέριμνα για τον τρόπο αύξησης του φορτίου στις κενές και ανοικτές περιοχές.

Όλες οι μέθοδοι παρουσιάζουν μέση τιμή απόλυτου σφάλματος της τάξης του 6%, με μικρή υπεροχή της πέμπτης μεθόδου, που έχει τη μικρότερη τιμή -ίση με 5,4%. Επίσης προέκυψε στην πράξη ότι, ενώ διαφέρουν σημαντικά ορισμένες μέθοδοι στις χρήσεις γης, στα προβλεπόμενα φορτία αμβλύνεται η διαφορά. Ακόμη παρατηρήθηκε ότι η χρήση περισσότερων χρόνων ως δεδομένα -και όχι ενός- δεν έφερε βελτίωση των αποτελεσμάτων. Επίσης, όσο πιο μικρό γίνεται το μέγεθος επεξεργασίας, τόσο περισσότερο θα ανέμενε κανείς να αυξηθεί το κόστος, ωστόσο δε συμβαίνει αυτό, καθώς υπάρχει μία περιοχή κάποιου μεγέθους -η οποία ποικίλει από χώρα σε χώρα π.χ. για τις Η.Π.Α. είναι γύρω στα 5 εκτάρια- για την οποία υπάρχουν λίγες χρήσεις γης -δύο ή τρεις- που περιορίζουν πολύ το χρόνο επεξεργασίας για έναν πεπειραμένο μελετητή και είναι πιο συμφέρουσα η κατάσταση από την περίπτωση μελέτης 150 ως 640 εκταρίων, όπου αντιμετωπίζει πάνω από 10 με 15 είδη χρήσεις γης.

Σε κάθε περίπτωση η ποιότητα των δεδομένων και οι διάφοροι περιορισμοί που προκύπτουν από την ελεύθερη γη, όπως και η συλλογή δεδομένων είναι πολύ σημαντικά στοιχεία. Ταυτόχρονα τονίζεται ότι η εκτίμηση του φορτίου σήμερα, δε σημαίνει απαραίτητα και καλή μελλοντική πρόβλεψη.

Οι ίδιοι μελετητές ανέπτυξαν για τη μακροπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου στο [A23] μία παλινδρομική μέθοδο εκτίμησης καμπυλών, που λαμβάνει υπόψη τη μεταφορά φορτίου ανάμεσα σε υποσταθμούς, για να είναι δυνατή η ακριβέστερη πρόβλεψη. Με βάση τα στοιχεία είναι δυνατός ο προσδιορισμός μέσω του χρόνου t και της κατάλληλης συνάρτησης ταιριάσματος η πρόβλεψη για τα ενδιάμεσα χρόνια. Σε κάθε περίπτωση και αυτή η μέθοδος προϋποθέτει την επανάληψη για κάθε z χρόνια της μεταφοράς φορτίου από τον έναν υποσταθμό στον άλλο. Ωστόσο δίνει πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα από την απλή μέθοδο, αν και χρειαζόμαστε πολλαπλάσιο υπολογιστικό χρόνο και πενταπλάσιο χρόνο προετοιμασίας.

Βέβαια έχει υπάρξει και πιο συστηματική αντιμετώπιση και κατηγοριοποίηση των μεθόδων μακροπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου, όπως αναφέρεται στο [A24]. Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες:

☞ Της γενικής τάσης η οποία στηρίζεται στα ιστορικά δεδομένα για την αιχμή φορτίου μίας μικρής περιοχής, χρησιμοποιώντας συναρτήσεις προσέγγισης της χρονολογικής καμπύλης κτλ..

☞ Των πολλών μεταβλητών, οι οποίες χρησιμοποιούν και άλλες εισόδους, πέραν της αιχμής του φορτίου.

☞ Τέλος της προσομοίωσης, οι οποίες στηρίζονται στα είδη χρήσης γης προσδιορίζοντας κατηγορίες πελατών και την αντίστοιχη πυκνότητα φορτίου στη μικρή περιοχή.

Αναλυτικότερα οι βασικότερες μέθοδοι είναι οι ακόλουθες :

α) Πολλαπλασιαστική παλινδρομική καμπύλη ταιριάσματος για μικρή περιοχή

$$l_k(t) = a_0 + a_1 \cdot t + \dots + a_w \cdot t^w \quad (2.1-5)$$

ή την ακόλουθη:

$$g_k(t) = b_0 + b_1 \cdot (\log t) + \dots + b_w \cdot (\log t)^w \quad (2.1-6)$$

όπου w συνήθως είναι ίσο με 3. Από τις δύο μορφές, επιλέγουμε εκείνη με τα μικρότερα υπόλοιπα κατά τη διαδικασία ταιριάσματος της καμπύλης και την ορίζουμε ως συνάρτηση πρόβλεψης $l_k(t)$. Συνήθως εφαρμόζεται με τη χρήση 6 χρόνων ιστορικών δεδομένων.

β) μέθοδος γενικής τάσης λόγων μεριδίων -ratio shares trending ή disaggregation trending- εφαρμόζοντας την ακόλουθη σχέση:

$$h_k(L(t)) = a_0 + a_1 \cdot L(t) + a_2 \cdot (L(t))^2 \quad (2.1-7)$$

όπου $L(t)$ είναι το μέγιστο φορτίο του έτους t και συνήθως χρησιμοποιούνται δεδομένα 7 ετών με γενικότερη περιοχή εφαρμογής ίσης με 4 ως 8 έτη.

γ) Μέθοδος εκτίμησης κατηγοριών κατά την οποία γίνεται η ομαδοποίηση των μικρών περιοχών σε ομάδες των οποίων ο ρυθμός αύξησης του φορτίου είναι στα ίδια επίπεδα. Στη συνέχεια για κάθε ομάδα εφαρμόζεται η μέθοδος του παλινδρομικού μέσου.

δ) Πολλαπλασιαστική παλινδρομική μέθοδος με δομή αντιμετώπισης των ελεύθερων χώρων, όπου προσπαθεί να προσδιορίσει τον ρυθμό αύξησης του φορτίου σε μικρές περιοχές, που τα φορτία τους στο παρελθόν είναι μηδενικά. Αφού βρεθεί χωριστά η συμπεριφορά των μικρών περιοχών γίνεται στη συνέχεια ο προσδιορισμός του φορτίου.

ε) Διαδικασία εκτίμησης τμημάτων σε ελεύθερες περιοχές, όπου υπάρχει διαδικασία ανάπτυξης τμημάτων ανεξάρτητων περιοχών και τεμαχίων τους.

στ) Μέθοδοι πρόβλεψης φορτίου με χρήση συναρτήσεων κεντροειδούς μορφής σε συνάρτηση με το χρόνο και τις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες. Οι τελευταίες διαμορφώνουν κατάλληλα το ύψος του κέντρου, τη θέση του και την ακτίνα του, για να ικανοποιήσουν τα ιστορικά δεδομένα.

ζ) Πολλαπλασιαστική μέθοδος λόγων μεριδίων -multivariate ratio shares-, όπου μοιάζει με τη δεύτερη προαναφερθείσα μέθοδο, μόνο που η μελέτη γίνεται χωριστά για κάθε κατηγορία πελατών -οικιακών, εμπορικών κτλ..

η) Πολλαπλασιαστική περιστροφή, όπου χρησιμοποιεί εκτός από τα συνολικό φορτίο και το φορτίο ανά κατηγορία πελάτη, τις ετήσιες αιχμές και τις χρήσεις γης και την αντίστοιχη πυκνότητα.

Ωστόσο, οι προηγούμενες μέθοδοι *στηρίζονται πρωταρχικά στα φορτία των παρελθόντων ετών*. Υπάρχουν και οι μέθοδοι που *στηρίζονται στη χρήση γης*, όπου λαμβάνει κανείς υπόψη του τις κατηγορίες των πελατών ανά περιοχή και την αντίστοιχη πρόβλεψη

του φορτίου, που αποτελεί μέρος του συνόλου. Όλες οι μέθοδοι χρήσης γης ακολουθούν τα εξής τρία βασικά βήματα:

α) Αναγνώριση και ανάλυση των περιοχών της πόλης, ώστε να γίνει ο προσδιορισμός του ρυθμού αύξησης των διαφόρων τμημάτων της, συσχέτιση των διαφόρων περιοχών με τα κέντρα υψηλής δραστηριότητας που συνήθως παρουσιάζουν και τη μεγαλύτερη ανάπτυξη, όπως επίσης και η χρησιμοποίηση, αν είναι δυνατό, μοντέλων γύρω από τις μεταφορές, την οικονομία και την κοινωνική ανάπτυξη.

β) Λεπτομερής ανάλυση του πελάτη σε κάθε μικρή περιοχή σε τρία επίπεδα: καθόλου ανάλυση, ανάλυση γύρω από τις προτιμήσεις του πελάτη για τη χρήση γης και τις διάφορες ζώνες και *εκτεταμένη*, όπου γίνεται αναγνώριση των σχέσεων χρήσεων γης με τη δημιουργία εμπορικών κέντρων, την κατασκευή νέων δρόμων κτλ..

γ) Με βάση τα προηγούμενα βήματα γίνεται ο προσδιορισμός της πυκνότητας των πελατών στο μέλλον για τη μικρή περιοχή, που με την κατάλληλη μετατροπή δίνει το ηλεκτρικό φορτίο των κατηγοριών των καταναλωτών, μέσω ενός παράγοντα φορτίου-πυκνότητας, διαμορφώνοντας τις κατάλληλες χρονολογικές εικοσιτετράωρες καμπύλες φορτίου. Επίσης είναι δυνατό να αποτελέσει και τη βάση για τον προσδιορισμό των αντίστοιχων χρονολογικών καμπυλών τελικής χρήσης, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες, όπως ο κορεσμός, η αύξηση της αποδοτικότητας των συσκευών κτλ.. Οι διάφορες μέθοδοι χρήσης γης μπορούν να προκύψουν από τους συνδυασμούς των ανωτέρω.

Από τη σύγκριση των διαφόρων μεθόδων πρόβλεψης με δύο εφαρμογές -ενός μεσαίου μεγέθους συστήματος διανομής μίας μεγάλης πόλης και ενός μικρού συστήματος μίας ημιαγροτικής περιοχής- στο [A24] προκύπτει ότι η καλύτερη προτεινόμενη μέθοδος, αν και σημαντικού οικονομικού και χρονικού κόστους, είναι η ανάλυση με βάση την άμεση απόσταση μίας μικρής περιοχής από τα κέντρα δραστηριότητας, η εύρεση με αναγνώριση προτύπων των τοπικών παραγόντων που συσχετίζουν τα είδη χρήσης γης και την εξέλιξή τους, με τη δημιουργία ή την ύπαρξη τοπικών κέντρων, δρόμων μεγάλης κυκλοφορίας κτλ., προσδιορίζοντας συγχρόνως τις τυπικές εικοσιτετράωρες χρονολογικές καμπύλες. Γενικότερα από την αξιολόγηση των μεθόδων προκύπτει τελικά ότι οι μεθοδολογίες χρήσης γης είναι οι περισσότερο ακριβείς, αν και απαιτούν σημαντικά μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων.

Ύστερα από ένα διάλειμμα δώδεκα ετών, ξαναεμφανίζονται νέες μεθοδολογίες από τους ίδιους κιάλας μελετητές γύρω από το πρόβλημα της μακροπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου. Αρχικά προτείνουν δύο διαφορετικές κλασικές μεθοδολογίες πρόβλεψης για τα επόμενα 15 χρόνια : εκείνη που βασίζεται στο εμφανιζόμενο ηλεκτρικό φορτίο σε συγκεκριμένες εκτάσεις ανάλογα με το είδος της γης και εκείνες που βασίζεται στις συνδέσεις των καταναλωτών κατά μήκος των οδών [A25].

Και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται αναγνώριση φορτίου της κάθε κατηγορίας του καταναλωτή στις διάφορες τυπικές μέρες του χρόνου. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στη συνέχεια είναι ο προσδιορισμός της εξέλιξης των φορτίων, με βάση την πλήρη σύσταση των

καταναλωτών ανά περιοχή ή ανά σύνδεση και έχοντας συγχρόνως την ετήσια αύξηση του φορτίου λόγω καταναλωτών, αλλά και λόγω των χρησιμοποιούμενων συσκευών. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το είδος της γης, οι αποστάσεις από το εμπορικό κέντρο της πόλης, το μέγεθος της τελευταίας κτλ.. Η μέθοδος πρόβλεψης ανά περιοχή υπερέχει έναντι της μεθόδου ανά σύνδεση, για τις αστικές περιοχές, ενώ μειονεκτεί στις αγροτικές.

Παράλληλα προσπάθησαν οι μελετητές να αντιμετωπίσουν το σύγχρονο πρόβλημα των αναπλάσεων των αστικών περιοχών και την επίδρασή τους στη χωρική μακροπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου, καθώς σήμερα οι περισσότερες πόλεις δεν αναπτύσσονται μόνο, αλλά και ανανεώνουν την εσωτερική τους δομή [A26].

Συγκεκριμένα για την ουσιαστική αναδιαμόρφωση μίας περιοχής πρέπει να ληφθούν υπόψη πλήθος παραγόντων, όπως οι κυβερνητικές πολιτικές οποιουδήποτε επιπέδου, το δίκτυο μεταφορών -δρόμοι, τραίνο, μετρό κτλ.-, έργα υποδομής π.χ. ύδρευσης, παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, αποχέτευσης, χώροι γης, εκπαιδευτικοί χώροι π.χ. σχολεία, πανεπιστήμια κτλ., περιβάλλουσες ελεύθερες περιοχές -άλσοι, λίμνες, ποτάμια, λιμάνια-, αθλητικές εγκαταστάσεις, βιομηχανικές ζώνες, αυτοκίνητα ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο, αξία γης, φόροι περιουσίας κτλ.. Η βασική μαθηματική μορφή για τη χωρική πρόβλεψη φορτίου είναι η ακόλουθη:

$$(x,y) \xrightarrow{f_1} L(x,y) \xrightarrow{f_2} S_{(x,y)}^L \xrightarrow{f_3} S \quad (2.1-8)$$

όπου f_1 εκφράζει για τις διαφορετικές θέσεις πάνω στο δισδιάστατο χάρτη μέσω των (x,y) στοιχείων τη χρήση γης $L(x,y)$, f_2 εκφράζει το φορτίο $S_{(x,y)}^L$ σε σχέση με τη χρήση γης $L(x,y)$ και τέλος η f_3 οδηγεί μέσω των επιμέρους φορτίων στον προσδιορισμό του συνολικού S .

Το πρόβλημα είναι η έκφραση και η εφαρμογή της πιο πάνω ιδέας μέσα στη ροή του χρόνου, λαμβάνοντας υπόψη πλήθος αντικειμενικών και υποκειμενικών περιορισμών. Το πρώτο βασικό στοιχείο είναι να κατηγοριοποιηθούν οι πελάτες σε οικιακούς, εμπορικούς, βιομηχανικούς κτλ. και να προσδιοριστεί η χαρακτηριστική τυπική τους καμπύλη.

Σε δεύτερη φάση μπορεί κανείς να μετατρέψει τα άμεσα δεδομένα σε κάποιο άλλο στοιχείο μέσω μιας συνάρτησης μετασχηματισμού που θα δίνει πιο χρήσιμη πληροφορία, όπως π.χ. να προσδιορίσει την απόσταση της θέσης (x,y) από τον αυτοκινητόδρομο, πραγματοποιώντας το μέσω της συνάρτησης:

$$F_1 : r(x,y) \longrightarrow F_1(x,y) \quad (2.1-9)$$

Ακολουθώντας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και περαιτέρω πληροφόρηση, όπως η αξία προτίμησης, από τη μεριά των χρηστών, κάποιου είδους γης, σε σχέση με την απόσταση από τον αυτοκινητόδρομο και ούτω καθεξής. Αφού εκφραστούν οι διάφοροι παράγοντες της οικιστικής ανάπτυξης, θα γίνει ο προσδιορισμός του μοντέλου της ανάπλασης της αστικής

γης, προσπαθώντας να επιτύχουμε ισορροπία της χρήσης γης $U_{(x,y)}(t)$ και της αξίας της $V_{(x,y)}(t)$ σε σχέση με το χρόνο. Η αξία της γης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως από την απόσταση από το κέντρο της πόλης, από το μέγεθος της πόλης, από την πρόσβαση στον ελεύθερο χώρο ή στους χώρους αναψυχής, από τη ρύπανση και τη μόλυνση του περιβάλλοντος, από την ύπαρξη της εγκληματικότητας κτλ..

Στη συνέχεια η κύρια επιδίωξη είναι να επιτευχθεί η ισότητα ανάμεσα στα στοιχεία $U_{(x,y)}(t)$ και $V_{(x,y)}(t)$. Αν δε συμβεί αυτό, τότε οδηγούμαστε στην αναδιαμόρφωση της περιοχής ή των αξιών της, ώστε να επιτευχθεί η ισορροπία. Συγκεκριμένα ορίζεται η διαφορά των δύο δεδομένων -πλέον ποσοτικοποιημένων- $E_{(x,y)}(t)$:

$$E_{(x,y)}(t) = V_{(x,y)}(t) - U_{(x,y)}(t) \quad (2.1-10)$$

Οπότε, αν $E_{(x,y)}(t)$ είναι μεγαλύτερο από ένα κατώφλι $T_{(x,y)}(t)$ τη χρονική στιγμή t^* , τότε το υποσύνολο $\Sigma_{(x,y)}(t)$ θα περιλαμβάνει όλες εκείνες τις θέσεις που θα πρέπει να πραγματοποιηθεί η αλλαγή.

Τώρα το πρόβλημα μεταφέρεται στον προσδιορισμό των $U_{(x,y)}(t)$, $V_{(x,y)}(t)$ και $E_{(x,y)}(t)$ και στον τρόπο συμπεριφοράς των χρηστών γης ανάλογα με τις τιμές $E_{(x,y)}(t)$ που διαμορφώνονται. Αν η τιμή είναι αρνητική ή σταθερή, τότε η αξία της γης θα τροποποιηθεί μέσω της οικονομίας και θα αυξηθεί, ώστε να μηδενισθεί η διαφορά ανάμεσα στα μεγέθη $U_{(x,y)}(t)$ και $V_{(x,y)}(t)$. Αν η τιμή $E_{(x,y)}(t)$ είναι θετική, τότε υπάρχουν 9 διαφορετικές περιπτώσεις ανάλογα με το αν $U_{(x,y)}(t)$ και $V_{(x,y)}(t)$ αυξάνονται, μειώνονται ή μένουν σταθερά. Αν και τα δύο μεγέθη αυξάνονται και ο ρυθμός αύξησης του $U_{(x,y)}(t)$ είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο του $V_{(x,y)}(t)$, τότε είναι ασταθής η περίπτωση, καθώς υπάρχει στην τοποθεσία υπέρμετρη ανάπτυξη ή υπέρμετρη πυκνή δόμηση. Αν το $U_{(x,y)}(t)$ έχει μικρότερο ή ίσο ρυθμό αύξησης με τον αντίστοιχο του $V_{(x,y)}(t)$, θα οδηγηθεί σε σταθερή κατάσταση χωρίς αστική αναδιαμόρφωση. Στην περίπτωση που ο παράγοντας $U_{(x,y)}(t)$ έχει διαρκώς αρνητικό ρυθμό ανάπτυξης, τότε υπάρχουν ασταθείς συνθήκες στη χρήση και στην αξία της γης και θα χρειαστεί κάποια στιγμή στο μέλλον αναδιαμόρφωση του αστικού περιβάλλοντος. Σε κάθε άλλη περίπτωση βρισκόμαστε σε ομαλή κατάσταση η ανάπτυξη.

Μετά τον προσδιορισμό του αν και πότε θα γίνει ανάπλαση κτλ., είναι σε θέση οι μελετητές, μέσω απλών μοντέλων και χαρακτηριστικών καμπυλών φορτίου του καταναλωτή, να προσδιορίσουν τη μακροπρόθεσμη ανάπτυξη του φορτίου του συστήματος.

Μία τελευταία παραλλαγή της μεθόδου πρόβλεψης που ακολουθούν οι ηλεκτρικές εταιρείες είναι η εξής [A27] : από τη μορφή του δικτύου που είναι αποθηκευμένη συνήθως σε κατάλληλη βάση δεδομένων, μέσω της μορφής των κόμβων και των γραμμών μπορεί να διαμορφωθεί η χωρική μορφή του φορτίου σε μικρό μέγεθος περιοχής. Στο χάρτη που σχηματίζεται, μέσω του GIS, προσδιορίζεται η χρήση γης σε κατάλληλα πολύγωνα και γίνεται η αντιστοίχιση του φορτίου. Η εξέλιξη του τελευταίου εξαρτάται σε σημαντικό

βαθμό από τον αριθμό των νέων πελατών και από την αλλαγή χρήσεων γης. Ιδιαίτερο ρόλο παίζει η αστική ανάπτυξη και πολεοδομική αναδιαμόρφωση περιοχών, όπως η χάραξη νέων οδών, εμπορικών κέντρων κτλ..

Αν δημιουργηθεί ένα κατάλληλο υπολογιστικό σύστημα που να συμπεριλάβει την ανάπτυξη και τον επαναπροσδιορισμό της γης, τότε θα χρησιμοποιηθεί πληθώρα στοιχείων, μέσω του κατάλληλου πιθανοτικού μοντέλου, καταλήγοντας το τελευταίο να είναι αρκετά πολύπλοκο. Αυτό έχει ως συνέπεια να προσδιοριστεί η ανάπτυξη ενός μικρού χωρικού κελιού. Ωστόσο μέσω αυτής της ολοκληρωμένης διαδικασίας, στοχεύεται από κάθε κόμβο του ηλεκτρικού δικτύου να υπολογιστεί ιεραρχικά το συνολικό φορτίο, που διαμοιράζεται σε σημειακό και διεσπαρμένο, και το δεύτερο με τη σειρά του σε σταθερής ισχύος και σταθερής αντίστασης.

Μέσω της τοπολογίας του κυκλώματος και του κάθε χωρικού κελιού γίνεται η βασική προσπάθεια κατάλληλης άθροισης των φορτίων των μικρών κελιών και λαμβάνοντας τους επιμέρους ρυθμούς αύξησης του φορτίου, προσδιορίζονται τα φορτία των ζυγών και των διαφόρων ροών, ώστε να είναι δυνατή η μερική επανασχεδίαση του δικτύου ή και επαναδιαστασιολόγηση των ηλεκτρικών στοιχείων του, για να βελτιστοποιηθεί η αξιοποίησή τους -όχι υπέρ ή υποδιαστασιολογήσεις. Το βασικό χαρακτηριστικό όμως αυτής της μεθόδου είναι ότι χρειάζεται πληθώρα στοιχείων, όπου αρκετά άπτονται πολιτικών αποφάσεων, με συνέπεια να είναι αρκετά επίφοβη η εφαρμογή τους.

Στη συνέχεια έγινε πριν τέσσερα περίπου χρόνια η μετάβαση από τις κλασικές μεθοδολογίες στις νεότερες [A28]. Συγκεκριμένα, ενώ η μακροπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου γίνεται με ένα απλοϊκό μοντέλο της μορφής $y = a * x + \beta$, όπου οι παράμετροι είναι κατάλληλα προσδιορισμένοι ανάλογα με τις κατηγορίες των πελατών, γίνεται η χρήση των ασαφών νευρωνικών δικτύων για τον προσδιορισμό της θέσης ανάπτυξης των διαφόρων χρήσεων γης -κατοικιών, βιομηχανιών και εμπορικών καταστημάτων-, χρησιμοποιώντας την απαραίτητη πληροφορία από το δορυφορικό σύστημα GIS και τους συσχετισμούς ανάμεσα στα είδη χρήσης γης και στους αυτοκινητόδρομους, ως προς την απόσταση, στα είδη χρήσης γης και στις επιλογές των ανθρώπων, ως προς τη θέση της κατοικίας τους ή του τόπου εργασίας τους κτλ..

Με την υλοποίηση του αντίστοιχου ασαφούς νευρωνικού δικτύου με χρήση τραπεζοειδών και τριγωνικών συναρτήσεων συμμετοχής και την ανάπτυξη ενός συνόλου ασαφών κανόνων, προκύπτει η χρονική εξέλιξη της χρήσης γης για την επόμενη δεκαετία και κατ' επέκταση της ανάπτυξης του φορτίου, χρησιμοποιώντας απλοποιημένα μακροπρόθεσμα μοντέλα, αποτελούμενα από τμήματα γραμμικών συναρτήσεων.

Υπήρξε και συνέχεια επί του ιδίου θέματος, χρησιμοποιώντας την ασαφή λογική πολυαντικειμενικής απόφασης του Yager -Yager's Fuzzy Logic Multi-Objective decision making Scheme- σε συνδυασμό με το GIS, με κατάλληλες συναρτήσεις συμμετοχής και μετατροπής μεγεθών ασαφούς λογικής, με αντίστοιχες εντολές και υλοποίησή τους [A29]. Ουσιαστικά απαιτείται από τους χρήστες να δημιουργήσουν τις ομάδες των στόχων και των

περιορισμών με μία ανταγωνιστική κλίμακα αναγκαιότητας, ανάμεσα στο 0 και 1. Η βασική δομή του νέου μοντέλου είναι η ακόλουθη:



Σχήμα 2.1-11: Δομή ασαφούς δικτύου Yager

Με την εφαρμογή στη χρήση γης και λαμβάνοντας υπόψη το σχετικό κόστος ανάπτυξης και μετάβασης από το ένα είδος γης στο άλλο, γίνεται υλοποίηση του μοντέλου Yager στη λήψη αποφάσεων, διαδραματίζοντας καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των τελικών επιλογών.

Ωστόσο για τα ελληνικά δεδομένα -σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται σε [B8]- λόγω της μη εφαρμογής των ρυμοτομικών σχεδίων πόλης, της έλλειψης ρυθμιστικών σχεδίων χρήσης γης και ουσιαστικά εξαιτίας της άναρχης δόμησης, είναι πολύ δύσκολο να εφαρμοστούν τα μοντέλα χρήσης γης με τις παρούσες συνθήκες. Επίσης τα είδη χρήσης γης δεν είναι τρία, αλλά στις επίσημες μελέτες μίας σύγχρονης πόλης -σύμφωνα με την αντίστοιχη νομοθεσία- αγγίζουν τον αριθμό είκοσι με μεγάλο πλήθος υποκατηγοριών.

Γενικά καταλήγουμε ότι η πρόβλεψη φορτίου μπορεί να γίνει χωρικά, δημιουργώντας ένα μικρό ή μεγάλο «κελί» γης και προσδιορίζοντας μόνο το πλάτος του φορτίου και τη μελλοντική χωρική εξέλιξη, όπου όμως λόγω έλλειψης ιστορικών δεδομένων, κορεσμού της χρήσης γης και μεταφοράς φορτίου από τον έναν υποσταθμό ή τροφοδότη στον άλλο, δεν επιτρέπει την ακριβή πρόβλεψη, αλλά και την ορθή διαστασιολόγηση των νέων στοιχείων του συστήματος. Υπάρχει ο μακροχρόνιος σχεδιασμός, κατά τον οποίο λαμβάνεται απόφαση κυρίως για τη θέση του εξοπλισμού και λιγότερο για το μέγεθός του που είναι αντικείμενο του μεσοπρόθεσμου προγραμματισμού. Άλλωστε αλλαγή της θέσης του εξοπλισμού επιφέρει σημαντικές αλλαγές στην όλη δομή του δικτύου. Σε κάθε περίπτωση για την ορθότερη κατασκευή του συστήματος, είναι απαραίτητος ο συνδυασμός της μεσοπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης πρόβλεψης ανάπτυξης του δικτύου.

Κεφάλαιο 3

Μέθοδοι κατηγοριοποίησης

3.1 Γενικά

Ένα βασικό πρόβλημα κατά την πρόβλεψη φορτίου και της συνολικά ζητούμενης ηλεκτρικής ενέργειας σ' ένα σύστημα, είτε πρόκειται για βραχυπρόθεσμη, είτε για μακροπρόθεσμη, είναι η διαφορετική συμπεριφορά που παρουσιάζουν οι καταναλωτές κάθε μέρα, ανάλογα με τις δραστηριότητές τους. Η τελευταία επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από το είδος της μέρας, τη θερμοκρασία και τον τουρισμό, στην περίπτωση καλοκαιρινών μηνών για τις τουριστικές περιοχές. Για να είναι δυνατή η πρόβλεψη, λοιπόν, είναι αναγκαίο σε πρώτη φάση να καθοριστούν οι παράγοντες που θα ληφθούν υπόψη. Αυτό θα είναι εφικτό, αν *κατηγοριοποιηθούν* οι χρονολογικές ημερήσιες καμπύλες του φορτίου, ώστε να βρεθεί ο διαφορετικός αριθμός τύπων «ημερών» και έπειτα να συσχετιστεί η κάθε «ημέρα» με τις αντίστοιχες καμπύλες θερμοκρασίας και λοιπών παραγόντων.

Συγκεκριμένα μέχρι σήμερα γίνεται μία βασική κατηγοριοποίηση των ημερών του έτους σε αργίες, ημιαργίες και εργάσιμες, χωρίς όμως να είναι σίγουρο για το αν οι καταναλωτές συμπεριφέρονται το ίδιο από τη Δευτέρα ως την Παρασκευή. Άλλωστε στην Ελλάδα τη Δευτέρα και την Τετάρτη τα καταστήματα είναι κλειστά το απόγευμα, ενώ Τρίτη, Πέμπτη και Παρασκευή είναι ανοικτά. Επίσης αντίστοιχο πρόβλημα υπάρχει και για τις μέρες του Σαββάτου και της Κυριακής και για τις διάφορες αργίες -παραδείγματος χάρη την Καθαρή Δευτέρα συμπεριφέρονται όμοια οι καταναλωτές με την Πρωτοχρονιά ή όχι.

Σ' αυτόν το προβληματισμό θα προσπαθήσουμε να δώσουμε απάντηση με τη βοήθεια των νευρωνικών δικτύων, χρησιμοποιώντας την ανταγωνιστική μάθηση χωρίς επίβλεψη, ώστε να είναι δυνατή η αυτοοργάνωση και η ανακάλυψη διαφόρων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των ημερήσιων χρονολογικών καμπυλών φορτίου. Ειδικότερα θα παρουσιαστούν οι ακόλουθες τεχνικές ομαδοποίησης : του αλγορίθμου των K-μέσων, του εκπαιδευόμενου διανυσματικού κβαντιστή -LVQ-, της ασαφούς ομαδοποίησης και του αυτοοργανούμενου χάρτη μίας διάστασης -SOM.

Στη συνέχεια θα παρατεθούν λίγα εισαγωγικά για τα νευρωνικά δίκτυα με ανταγωνιστική μάθηση, χωρίς επίβλεψη και θα μελετηθεί η κάθε μία από τις παραπάνω μεθόδους ξεχωριστά.

3.2 Ανταγωνιστική μάθηση χωρίς επίβλεψη

Όταν δεν είναι διαθέσιμος εξωτερικός «δάσκαλος» ή οδηγίες κριτικής (ενισχυτικό σήμα) από το περιβάλλον, τότε για τη μάθηση των νευρωνικών δικτύων μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο διανύσματα (πρότυπα) εισόδου. Η μάθηση του είδους αυτού είναι γνωστή ως «μη επιβλεπόμενη μάθηση».

Ένα σύστημα μη επιβλεπόμενης μάθησης λειτουργεί εξάγοντας ιδιότητες ή χαρακτηριστικά των προτύπων τα οποία του παρουσιάζονται, χωρίς να του λεχθεί ποιες έξοδοι ή κατηγορίες εισόδων είναι επιθυμητές. Δηλαδή σκοπός της μάθησης δεν είναι η

υλοποίηση κάποιας απεικόνισης από τα δεδομένα εισόδου στα δεδομένα εξόδου, αλλά η αυτοοργάνωση και η ανακάλυψη διαφόρων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των δεδομένων εισόδου. Χαρακτηριστικά προβλήματα που εμπίπτουν στην κατηγορία της μάθησης χωρίς επίβλεψη είναι :

- Ομαδοποίηση (clustering).
- Ανάλυση βασικών συνιστωσών (Principal component analysis).
- Μείωση της διάστασης των δεδομένων (προβολή τους σε χώρο μικρότερης διάστασης από τον αρχικό).

Για όλες τις παραπάνω κατηγορίες προβλημάτων έχουν αναπτυχθεί μοντέλα νευρωνικών δικτύων και αντίστοιχες τεχνικές εκπαίδευσης.

Σε αυτό το σημείο θα επικεντρωθούμε σε μια άλλη πολύ σημαντική κατηγορία μάθησης, η οποία χρησιμοποιείται σε προβλήματα μάθησης χωρίς επίβλεψη (π.χ. ομαδοποίηση) και η οποία ονομάζεται «ανταγωνιστική μάθηση» (competitive learning).

Στηρίζεται στο ότι, όταν δεν παρέχεται διαθέσιμη πληροφορία σχετικά με τις επιθυμητές εξόδους, χρησιμοποιείται μη επιβλεπόμενη μάθηση στην οποία τα συνοπτικά βάρη ανανεώνονται με βάση μόνο τα πρότυπα εισόδου. Η ανταγωνιστική μάθηση υλοποιείται με τη χρήση ενός επιπέδου από «ανταγωνιστικούς» νευρώνες το οποίο ονομάζεται ανταγωνιστικό επίπεδο (competitive layer). Κάθε φορά που εμφανίζεται κάποιο διάνυσμα εισόδου στο ανταγωνιστικό επίπεδο, έχουμε ανταγωνισμό (με βάση κάποιο κριτήριο επίδοσης) μεταξύ των νευρώνων του ανταγωνιστικού επιπέδου για το ποιος θα βγει νικητής για το συγκεκριμένο πρότυπο. Ο νικητής νευρώνας είναι αυτός που συνήθως μεταβάλλει τις τιμές των βαρών του περισσότερο σε σχέση με τους υπόλοιπους νευρώνες. Με τον τρόπο αυτό έχει βρεθεί ότι επιτυγχάνεται αυτοοργάνωση (self-organization) και συγκεκριμένοι νευρώνες μαθαίνουν να ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένα ερεθίσματα (διανύσματα εισόδου). Τις περισσότερες φορές, το κριτήριο που χρησιμοποιείται για την εύρεση του νικητή νευρώνα είναι η απόσταση (συνήθως ευκλείδεια) του διανύσματος εισόδου $\tilde{x} = (x_1, \dots, x_d)^T$ από το διάνυσμα των βαρών $w_i = (w_{i1}, \dots, w_{id})^T$ κάθε ανταγωνιστικού νευρώνα i . Ο νευρώνας j είναι αυτός με τη μικρότερη απόσταση $|\tilde{x} - \tilde{w}_j|$. Η αυτοοργάνωση επιτυγχάνεται στη συνέχεια μετακινώντας το διάνυσμα βαρών του νικητή νευρώνα j προς το διάνυσμα εισόδου \tilde{x} . Τα βάρη του νευρώνα εξόδου k με τη μικρότερη απόσταση ανανεώνονται με τον ακόλουθο κανόνα :

$$\tilde{w}_k(t+1) = \tilde{w}_k(t) + \gamma(\tilde{x}(t) - \tilde{w}_k(t)) \quad (3.1-1)$$

όπου γ ο ρυθμός μάθησης.

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται κάθε φορά για κάθε νέο διάνυσμα εισόδου που εμφανίζεται στο ανταγωνιστικό επίπεδο.

Ένα μειονέκτημα της ανταγωνιστικής μάθησης είναι ότι μερικά από τα διανύσματα βάρους, τα οποία επιλέγονται αρχικά σε τυχαίες τιμές, μπορεί να βρίσκονται πολύ μακριά από οποιοδήποτε διάνυσμα εισόδου και κατά συνέπεια να μην τους δίνεται η ευκαιρία ανανέωσης ποτέ. Η δυσκολία αυτή μπορεί να παρακαμφθεί εάν αρχικοποιήσουμε τα βάρη σε δειγματικές τιμές που παίρνουμε από τα ίδια τα δεδομένα εισόδου, οπότε εξασφαλίζουμε ότι με το πέρας της παρουσίασης όλων των προτύπων, όλα τα βάρη ανανεώνονται. Μια άλλη εναλλακτική λύση θα ήταν να ανανεώνονται τα βάρη τόσο των νευρώνων που κερδίζουν όσο και αυτών που χάνουν, αλλά χρησιμοποιώντας ένα πολύ μικρότερο συντελεστή (ρυθμό) μάθησης γ του κανόνα (3.1-1). Η παραλλαγή αυτή ανταγωνιστικής μάθησης ονομάζεται «διαρρέουσα μάθηση».

3.3 Τεχνικές ομαδοποίησης

Οι τεχνικές ομαδοποίησης (clustering techniques) ανήκουν στην κατηγορία των τεχνικών μάθησης χωρίς επίβλεψη, δεδομένου ότι δε λαμβάνουν υπόψη πληροφορία σχετική με την επιθυμητή έξοδο των διαθέσιμων προτύπων εκπαίδευσης. Σκοπός των τεχνικών ομαδοποίησης είναι η εύρεση ξεχωριστών ομάδων (clusters) στα δεδομένα εισόδου, έτσι ώστε η ομοιότητα μεταξύ των μελών της ίδιας ομάδας να είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των μελών που ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες. Τα πιο συνηθισμένα μέτρα ομοιότητας – ανομοιότητας είναι :

- το μέτρο ομοιότητας εσωτερικού γινομένου, που δίνεται από την εξίσωση

$$\varepsilon_j = \sum_{i=1}^N x_i w_{ij} = \tilde{x}^T \cdot \tilde{w}_j = \tilde{w}_j^T \cdot \tilde{x} \quad (3.3-1)$$

όπου ε_j ονομάζεται ενεργοποίηση της εξόδου j .

- και το μέτρο ανομοιότητας Ευκλείδειας απόστασης που δίνεται από τον τύπο :

$$\varepsilon_j = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - w_{ij})^2} = \|\tilde{x} - \tilde{w}_j\| \quad (3.3-2)$$

Οι τεχνικές ομαδοποίησης έχουν μεγάλη αξία στην αναγνώριση προτύπων, διότι χρησιμοποιούνται για την προεπεξεργασία των δεδομένων, προτού αυτά χρησιμοποιηθούν από τους αλγόριθμους ταξινόμησης. Κατά την εφαρμογή των αλγορίθμων ταξινόμησης, εκτός από το κέντρο του νευρώνα που έχει μια συγκεκριμένη ιδιότητα, μετακινούνται τα βάρη και των υπολοίπων νευρώνων και μάλιστα προς την αντίθετη κατεύθυνση, ενώ στις τεχνικές ομαδοποίησης τα βάρη των υπολοίπων νευρώνων δεν μετακινούνται καθόλου.

Επιπλέον χρησιμοποιούνται για τον αυτόματο ορισμό των κατηγοριών ενός προβλήματος (στην περίπτωση που οι κατηγορίες δεν είναι γνωστές), δεδομένου ότι σε πολλές περιπτώσεις προβλημάτων τα δεδομένα που αντιστοιχούν στην ίδια ομάδα ανήκουν και στην ίδια κατηγορία.

Ένα χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί μεταξύ τους τις τεχνικές ομαδοποίησης είναι το αν επιτρέπεται σε κάθε δεδομένο να συμμετέχει σε περισσότερες από μία ομάδες, με κάποιο βαθμό συμμετοχής. Στην περίπτωση που αυτό επιτρέπεται έχουμε την *ασαφή ομαδοποίηση (fuzzy clustering)*. Στην περίπτωση που κάθε δεδομένο αντιστοιχίζεται σε μια μόνο ομάδα έχουμε το πρόβλημα της *σκληρής ομαδοποίησης (hard clustering)*. Τέλος, οι τεχνικές ομαδοποίησης διακρίνονται σε παραμετρικές και μη παραμετρικές. Στις μη παραμετρικές τεχνικές το αποτέλεσμα της ομαδοποίησης είναι απλά ο καθορισμός των ομάδων και των δεδομένων που ανήκουν σε κάθε ομάδα, δηλαδή έχουμε ως αποτέλεσμα σύνολα με τα πρότυπα κάθε ομάδας. Αντίθετα στις παραμετρικές τεχνικές κάθε ομάδα περιγράφεται από κάποιο μοντέλο (ή αντιπρόσωπο) με παραμέτρους, οι οποίες καθορίζονται κατά τη διαδικασία εύρεσης των ομάδων.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η έννοια της ομάδας είναι αρκετά γενική και δεν αφορά μόνο την εύρεση ομάδων με (περίπου) σφαιρικό σχήμα, αλλά μπορεί να γενικευτεί και στην εύρεση ομάδων με διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η *γραμμική ομαδοποίηση*, όπου τα δεδομένα κάθε ομάδας ανήκουν (κατά προσέγγιση) στην ίδια ευθεία ή στο ίδιο υπερεπίπεδο γενικότερα. Άλλο παράδειγμα είναι η εύρεση ομάδων σε μορφή δακτυλίων (*ring-shaped*). Στην παρούσα διπλωματική θα ασχοληθούμε μόνο με τεχνικές εύρεσης συμπαγών ομάδων στα δεδομένα, που αποτελεί το πρόβλημα της *σημειακής ομαδοποίησης (point clustering)*.

3.3.1 Μέθοδος των k-μέσων

Ο αλγόριθμος K-μέσων αποτελεί την πιο απλή μέθοδο παραμετρικής σημειακής ομαδοποίησης και είναι κατάλληλη για την εύρεση συμπαγών ομάδων. Θεωρούμε N τον αριθμό των διανυσμάτων εισόδου -που αποτελούν και τα πρότυπα της εκπαίδευσης- και M τον σταθερό και προκαθορισμένο εξαρχής, αριθμό των ομάδων κάθε μία εκ των οποίων έχει ένα κέντρο \bar{w}_j . Διευκρινιστικά αναφέρουμε ότι κάθε ομάδα j , που αντιπροσωπεύεται από ένα σημείο $\bar{w}_j = (w_{j1} \ w_{j2} \ \dots \ w_{jd})^T$, είναι ουσιαστικά ένας ανταγωνιστικός νευρώνας από το ανταγωνιστικό επίπεδο. Ως d συμβολίζεται η διάσταση του διανύσματος –στην περίπτωση της ημερήσιας ωριαίας χρονολογικής καμπύλης φορτίου είναι 24.

Ο αλγόριθμος λοιπόν, είναι ο ακόλουθος:

α. Κανονικοποίηση των τιμών εισόδου των στοιχείων των διανυσμάτων, αντιστοιχώντας την ελάχιστη τιμή από τα στοιχεία στο 0,1 και το μέγιστο στο 0,9, ώστε οι τιμές να κυμαίνονται σε περιορισμένο εύρος.

β. Αρχικοποίηση των M κέντρων $\bar{w}_j^{(0)}$ ($j=1, \dots, M$). Σ' αυτό το σημείο δοκιμάστηκαν τρεις τρόποι:

i. Να δοθούν τυχαίες τιμές σε κάθε βάρος $\bar{w}_j^{(0)}$ μέσω της συνάρτησης *ran* της *Digital Fortran*

ii. Να δοθούν οι ίδιες τιμές σε όλα τα στοιχεία του κάθε βάρους, δηλαδή

$$w_{ji}^{(0)} = a + b * \frac{(j-1)}{(M-1)} \quad (3.3.1-1)$$

όπου τα a και b είναι σταθερές που λαμβάνουν τιμές τέτοιες ώστε : $0,1 < w_{ji} < 0,9$.

iii. Να βρεθεί για κάθε θέση i του βάρους η μέγιστη b_i και η ελάχιστη τιμή a_i της αντίστοιχης θέσης των διανυσμάτων εισόδου, ώστε να αρχικοποιηθούν μέσω της σχέσης :

$$w_{ji}^{(0)} = a_i + (b_i - a_i) * \frac{(j-1)}{(M-1)} \quad (3.3.1-2)$$

τα στοιχεία των διανυσμάτων, όσο γίνεται πιο ομοιόμορφα.

γ. Για κάθε πρότυπο εκπαίδευσης \bar{x}_i υπολογίζονται οι αποστάσεις $d(\bar{x}_i, \bar{w}_j)$ και ταξινομείται το διάνυσμα \bar{x}_i στην ομάδα $\Omega_k^{(t)}$ με τη μικρότερη απόσταση, δηλαδή:

$$d(\bar{x}_i, \bar{w}_k) = \min_j d(\bar{x}_i, \bar{w}_j) \quad (3.3.1-3)$$

Οι αποστάσεις μπορούν να είναι οι οποιοσδήποτε, αλλά στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιείται η ευκλείδεια.

δ. Στη συνέχεια για κάθε ομάδα υπολογίζονται τα νέα κέντρα μέσω της σχέσης:

$$\bar{w}_j^{(t+1)} = \frac{1}{N_j^{(t)}} \sum_{\bar{x}_i \in \Omega_j^{(t)}} \bar{x}_i \quad (3.3.1-4)$$

όπου N_j είναι ο αριθμός των προτύπων που έχουν αποδοθεί στην ομάδα j .

ε. Στη συνέχεια αυξάνεται κατά ένα ο αριθμός των εποχών και γίνεται έλεγχος αν έχει ξεπεραστεί ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων ή αν ισχύει η σχέση $|\bar{w}_j^{(t)} - \bar{w}_j^{(t+1)}| < \varepsilon$ για κάθε j , δηλαδή δεν υπάρχει ουσιαστική αλλαγή των βαρών. Διαφορετικά επαναλαμβάνεται το βήμα γ.

Παράλληλα προσδιορίζεται η συνάρτηση κόστους που θα αποτελέσει και το κριτήριο σύγκρισης με τις άλλες μεθόδους νευρωνικών δικτύων, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$J(\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_M) = \sum_{l=1}^N d(\bar{x}_l, \bar{w}_{k,l \in \Omega_k}) \quad (3.3.1-5)$$

Επειδή δεν είναι γνωστός εκ των προτέρων ο αριθμός των ομάδων, ανάλογα με τη χρονική περίοδο που εξετάζεται και το αντίστοιχο σύνολο ημερών θα πραγματοποιηθούν διάφορες πειραματικές δοκιμές του πλήθους των ομάδων ημερών.

3.3.2 Αλγόριθμος LVQ

Ο αλγόριθμος του εκπαιδευόμενου διανυσματικού κβαντιστή (Learning Vector Quantization) αποτελεί μία προσαρμοζόμενη παραλλαγή του αλγορίθμου K-μέσων, κατά την οποία σε κάθε βήμα επιλέγεται ένα διάνυσμα εισόδου (πρότυπο) και προσαρμόζεται, ανάλογα με το κέντρο της ομάδας j στην οποία ανατίθεται το πρότυπο. Ανήκει στους αλγορίθμους ανταγωνιστικής μάθησης, αποτελώντας τον πιο απλό αλγόριθμο. Ουσιαστικά σε κάθε βήμα οι διάφορες ομάδες «ανταγωνίζονται» για την απόκτηση του προτύπου εκπαίδευσης που χρησιμοποιούμε στο συγκεκριμένο βήμα. Η ομάδα που κερδίζει στον ανταγωνισμό μετακινεί το κέντρο της προς την κατεύθυνση του προτύπου, ενώ οι υπόλοιπες μετακινούν τα κέντρα τους είτε προς την κατεύθυνση του προτύπου, αλλά με μικρότερη ορμή, είτε προς την αντίθετη κατεύθυνση, είτε καθόλου. Η τελευταία περίπτωση πρόκειται για τον αλγόριθμο του εκπαιδευόμενου διανυσματικού κβαντιστή για *ομαδοποίηση*, ενώ η προτελευταία για *ταξινόμηση*. Πρακτικά ο αλγόριθμος αυτός υλοποιείται με ένα νευρωνικό δίκτυο που αποτελείται από ένα ανταγωνιστικό επίπεδο, με τόσους ανταγωνιστικούς νευρώνες, όσες είναι και οι ομάδες, όπου κάθε νευρώνας j παριστάνεται από το διάνυσμα $\bar{w}_j = (w_{j1} \ w_{j2} \ \dots \ w_{jd})^T$.

Ο αλγόριθμος του εκπαιδευόμενου διανυσματικού κβαντιστή για ομαδοποίηση μπορεί να υλοποιηθεί με οποιοδήποτε είδος απόστασης, αν και στην παρούσα περίπτωση γίνεται χρήση της ευκλείδειας απόστασης. Συγκεκριμένα μετακινεί το κέντρο της ομάδας η οποία βγαίνει νικήτρια στον «ανταγωνισμό» για κάποιο πρότυπο, εφόσον η απόσταση του κέντρου της είναι ελάχιστη σε σχέση με των υπόλοιπων ομάδων. Ειδικότερα τα βήματα του αλγορίθμου είναι τα εξής:

α. Κανονικοποίηση των τιμών εισόδου των στοιχείων των διανυσμάτων, αντιστοιχώντας την ελάχιστη τιμή από τα στοιχεία στο 0,1 και το μέγιστο στο 0,9, ώστε οι τιμές να κυμαίνονται σε περιορισμένο εύρος.

β. Καθορισμός του αριθμού των M κέντρων – ανταγωνιστικών νευρώνων και αρχικοποίησή τους. Σ' αυτό το σημείο δοκιμάστηκαν δύο τρόποι:

i. Να δοθούν οι ίδιες τιμές σε όλα τα στοιχεία του κάθε βάρους με γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στις τιμές a και $a+b$

ii. Να βρεθεί για κάθε θέση i του βάρους η μέγιστη b_i και η ελάχιστη τιμή a_i της αντίστοιχης θέσης των διανυσμάτων εισόδου, ώστε να αρχικοποιηθούν το καθένα χωριστά με γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στην ελάχιστη και στη μέγιστη τιμή όσο γίνεται πιο ομοιόμορφα.

γ. Αρχικοποίηση του ρυθμού μάθησης η . Και σ' αυτήν την περίπτωση δοκιμάστηκαν δύο τρόποι :

i. Στην πρώτη περίπτωση εφαρμόστηκε η σχέση $\eta = c + d * e^{-\frac{t}{T}}$, όπου t οι εποχές, δηλαδή η ακολουθία εμφανίσεων όλων των διανυσμάτων εισόδου στο νευρωνικό δίκτυο από μία φορά, c ο όρος που δεν θα επιτρέψει στο ρυθμό μάθησης να μειωθεί κάτω από μία συγκεκριμένη τιμή, d ο όρος του μεταβλητού μέρους του ρυθμού, ώστε κατά την έναρξη της μεθόδου να έχει ο ρυθμός υψηλή τιμή για να επιταχύνει τη σύγκλιση.

ii. Στη δεύτερη περίπτωση ο ρυθμός μάθησης δίνεται από τη σχέση $\eta = \eta_0 * e^{-\frac{t}{T}}$, όπου t το πλήθος των εποχών, η_0 ο σταθερός όρος έναρξης του ρυθμού μάθησης και T η αντίστοιχη χρονική σταθερά του, μέσω της οποίας πετυχαίνει τη σταδιακή μείωσή του.

Σε κάθε περίπτωση όταν δοκιμάζεται ένας νέος συνδυασμός d , n_o , T μηδενίζεται το πλήθος των εποχών.

δ. Για κάθε εποχή πραγματοποιούνται τα ακόλουθα:

i. Τυχαία επιλογή ενός προτύπου εκπαίδευσης \bar{x}_l - για την περίπτωσή μας, όμως παρουσιάζονται τα πρότυπα διαδοχικά με την ίδια σειρά σε κάθε εποχή.

ii. Εύρεση του νικητή νευρώνα k υπολογίζοντας τις αποστάσεις $d(\bar{x}_l, \bar{w}_j)$ και επιλέγοντας την ομάδα εκείνη το κέντρο της οποίας έχει τη μικρότερη ευκλείδεια απόσταση από το διάνυσμα \bar{x}_l .

iii. Υπολογισμός του νέου διανύσματος βαρών του νευρώνα k , δηλαδή της νέας θέσης $\bar{w}_k^{(t)}$ για το κέντρο μόνο της νικήτριας ομάδας k μέσω της σχέσης:

$$w_{kj}^{(t)} = w_{kj}^{(t-1)} + \eta * (x_{l,j} - w_{kj}^{(t-1)})$$

που εφαρμόζεται για κάθε $j=1, \dots, d$. Τα βάρη των υπόλοιπων νευρώνων παραμένουν σταθερά.

ε. Αφού ολοκληρωθεί η εποχή, αυξάνεται το πλήθος των εποχών κατά 1 και μεταβάλλεται σύμφωνα με τις σχέσεις του βήματος γ. ο ρυθμός μάθησης. Στη συνέχεια γίνεται έλεγχος αν έχει ξεπεραστεί ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων ή αν ισχύει η σχέση $|\bar{w}_j^{(t)} - \bar{w}_j^{(t+1)}| < \varepsilon$ για κάθε j , δηλαδή δεν υπάρχει ουσιαστική αλλαγή των βαρών. Διαφορετικά επαναλαμβάνουμε το βήμα δ.

Και στις τέσσερις παραλλαγές που διαμορφώθηκαν χρησιμοποιήθηκε αλγόριθμος βελτιστοποίησης για την εύρεση των καλύτερων παραμέτρων, για κάθε πλήθος M κέντρων. Το κριτήριο σύγκρισης είναι η συνάρτηση κόστους που προαναφέρθηκε στη μέθοδο των K-μέσων. Επειδή δεν είναι γνωστός, εκ των προτέρων ο αριθμός των ομάδων προχωρήσαμε

για τη χρονική περίοδο που εξετάζουμε και το αντίστοιχο σύνολο ημερών, σε διάφορες πειραματικές δοκιμές του πλήθους των ομάδων κατηγοριοποίησης των ημερών.

3.3.3 Ασαφής ομαδοποίηση

Οι αλγόριθμοι των K-μέσων και του εκπαιδευόμενου διανυσματικού κβαντιστή θεωρούν ότι σε κάθε πρότυπο αντιστοιχίζεται αποκλειστικά μία ομάδα, δηλαδή είναι τεχνικές σκληρής ομαδοποίησης. Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει επικάλυψη μεταξύ των νεφών που αντιστοιχούν σε δύο ομάδες, με συνέπεια να μην οδηγούν σε ποιοτικά έγκυρα αποτελέσματα.

Για να υπάρξει μεγαλύτερη ευελιξία σχετικά με τη συμμετοχή των προτύπων στις ομάδες, αναπτύχθηκαν τεχνικές ασαφούς ομαδοποίησης, οι οποίες επιτρέπουν σε ένα πρότυπο εκπαίδευσης να ανήκει σε περισσότερες από μία ομάδες, χρησιμοποιώντας την έννοια του βαθμού συμμετοχής. Ως βαθμός συμμετοχής u_{ij} ενός προτύπου \bar{x}_i σε μία ομάδα j ορίζεται ο αριθμός που δηλώνει κατά πόσο το πρότυπο αυτό ανήκει στην ομάδα j . Οι τιμές που λαμβάνει είναι: $0 \leq u_{ij} \leq 1$ και αν M είναι ο αριθμός των ομάδων για κάθε πρότυπο \bar{x}_i , τότε ισχύει ότι:

$$\sum_{j=1}^M u_{ij} = 1 \quad (3.3.3-1)$$

Από τη μία πλευρά ο βαθμός συμμετοχής παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στην περιγραφή της κατανομής των προτύπων στις ομάδες, καθώς κάθε πρότυπο συμμετέχει δυναμικά σε οποιαδήποτε ομάδα. Από την άλλη πλευρά δεν επιτρέπεται ο βαθμός συμμετοχής να είναι υψηλός ταυτόχρονα σε πολλές ομάδες, καθώς το άθροισμα των βαθμών συμμετοχής ενός προτύπου, ως προς όλες τις ομάδες είναι σταθερό και ίσο με 1. Συγχρόνως εύκολα μεταβαίνει κανείς και στη σκληρή ομαδοποίηση αντιστοιχίζοντας το κάθε πρότυπο στην ομάδα με το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής. Σε κάθε περίπτωση όμως γίνεται πιο δύσκολη η τελική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, αφού θα πρέπει να μελετηθεί η επίδραση κάθε προτύπου σε M ομάδες.

Ειδικότερα τα βήματα του αλγορίθμου είναι τα εξής:

α. Κανονικοποίηση των τιμών εισόδου των στοιχείων των διανυσμάτων αντιστοιχώντας την ελάχιστη τιμή από τα στοιχεία στο 0,1 και το μέγιστο στο 0,9, ώστε οι τιμές να κυμαίνονται σε περιορισμένο εύρος.

β. Καθορισμός του αριθμού των M κέντρων – ανταγωνιστικών νευρώνων και αρχικοποίησή τους. Σ' αυτό το σημείο δοκιμάστηκαν οι ίδιοι τρόποι αρχικοποίησης με τη μέθοδο του εκπαιδευόμενου διανυσματικού κβαντιστή, οι οποίοι είναι οι εξής :

ί. Να δοθούν οι ίδιες τιμές σε όλα τα στοιχεία του κάθε βάρους με γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στις τιμές a και $a+b$ και

ii. Να βρεθεί για κάθε θέση i του βάρους η μέγιστη b_i και η ελάχιστη τιμή a_i της αντίστοιχης θέσης των διανυσμάτων εισόδου, ώστε να αρχικοποιηθούν το καθένα χωριστά με γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στην ελάχιστη και στη μέγιστη τιμή όσο γίνεται πιο ομοιόμορφα.

γ. Για κάθε εποχή πραγματοποιούνται τα ακόλουθα:

i. Για τα N διανύσματα \vec{x}_l -δηλαδή για $l=1, \dots, N$ - προσδιορίζονται οι βαθμοί συμμετοχής σε καθένα από τα M κέντρα -δηλαδή για $j=1, \dots, M$ - μέσω της σχέσης:

$$u_{l,j}^{(t+1)} = \frac{1}{\sum_{k=1}^M \frac{d(\vec{x}_l, \vec{w}_k^{(t)})}{d(\vec{x}_l, \vec{w}_j^{(t)})}} \quad (3.3.3-2)$$

όπου $d(\vec{x}_l, \vec{w}_k^{(t)})$ είναι η ευκλείδεια απόσταση του διανύσματος εισόδου \vec{x}_l από το διάνυσμα βαρών $\vec{w}_k^{(t)}$ του νευρώνα k του ανταγωνιστικού επιπέδου, για την t επανάληψη.

ii. Για κάθε ένα κέντρο -δηλαδή για $j=1, \dots, M$ - προσδιορίζουμε ένα νέο κέντρο βάρους, που δίνεται από τη σχέση:

$$\vec{w}_j^{(t+1)} = \frac{\sum_{l=1}^N (u_{l,j}^{(t+1)})^q \vec{x}_l}{\sum_{l=1}^N (u_{l,j}^{(t+1)})^q} \quad (3.3.3-3)$$

Η παράμετρος q μπορεί να λάβει οποιαδήποτε τιμή μεγαλύτερη της μονάδος. Η τυπική τιμή είναι 2, αλλά χρησιμοποιούνται και τιμές 4 – 6.

δ. Αφού ολοκληρωθεί η εποχή, αυξάνεται το πλήθος των εποχών κατά 1 και γίνεται έλεγχος αν έχει ξεπεραστεί ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων ή αν ισχύει η σχέση $|\vec{w}_j^{(t)} - \vec{w}_j^{(t+1)}| < \varepsilon$ για κάθε j , δηλαδή δεν υπάρχει ουσιαστική αλλαγή των βαρών.

Διαφορετικά επαναλαμβάνουμε το βήμα γ.

3.3.4 Νευρωνικό δίκτυο SOM

Ο αλγόριθμος του αυτοοργανούμενου χάρτη βασίζεται στην έννοια της ανταγωνιστικής μάθησης. Οι νευρώνες του ανταγωνιστικού επιπέδου του τεχνητού νευρωνικού δικτύου αγωνίζονται ανάμεσά τους για το ποιος θα επικρατήσει για κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο εισόδου \vec{x}_l . Ειδικότερα οι νευρώνες τοποθετούνται στη θέση των κόμβων ενός πλέγματος μίας ή δύο διαστάσεων. Μπορεί να δημιουργηθούν και με περισσότερες διαστάσεις, αλλά δεν συνηθίζεται. Στα πλαίσια της ανταγωνιστικής μάθησης οι νευρώνες επιλέγουν ορισμένα

πρότυπα εισόδου και ρυθμίζουν τα αντίστοιχα βάρη τους, με κύριο στόχο να διαταχθούν με τέτοιο τρόπο, ώστε η θέση τους στο πλέγμα να συσχετίζεται με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των προτύπων εισόδου, δημιουργώντας ένα είδος τοπογραφικού χάρτη των τελευταίων. Εξαιτίας τούτου προέκυψε και ο όρος του αυτοοργανούμενου χάρτη -Self Organizing Map ή SOM.

Ο αυτοοργανούμενος χάρτης προήλθε από το νευροβιολογικό τρόπο λειτουργίας του φλοιού του εγκεφάλου. Συγκεκριμένα στηρίζεται στην αρχή ότι η χωρική θέση ενός νευρώνα εξόδου σε ένα τοπογραφικό χάρτη αντιστοιχεί σε έναν τομέα ή σε ένα χαρακτηριστικό των δεδομένων εισόδου. Οπότε μπορούν να σχηματιστούν δύο διαφορετικά μοντέλα απεικόνισης χαρακτηριστικών. Στο πρώτο μοντέλο -κατά το *Willshaw*- διατάσσονται οι νευρώνες εξόδου σ' ένα πλέγμα δύο διαστάσεων εξασφαλίζοντας ένα σύνολο γειτόνων. Ειδικότερα υπάρχουν δύο ξεχωριστά δισδιάστατα πλέγματα νευρώνων που συνδέονται μεταξύ τους και το ένα προβάλλεται πάνω στο άλλο. Το ένα αποτελεί το πλέγμα εισόδου που έχει ένα διεγερτικό μηχανισμό μικρής εμβέλειας και ένα μηχανισμό αναστολής μεγάλης εμβέλειας και το άλλο το πλέγμα εξόδου. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι τοπικής εμβέλειας και επιτυγχάνουν οι νευρώνες του πλέγματος εξόδου να μη λειτουργούν ως «νικητής που τα παίρνει όλα», αλλά να ενεργοποιούνται λίγοι σε κάθε χρονική στιγμή. Παράλληλα για να μην υπάρξει ασύμμετρη αύξηση κάποιων βαρών που θα οδηγήσει σε αστάθεια το δίκτυο, υπάρχουν αντίστοιχοι περιορισμοί των βαρών μέσω ανώτατων ορίων. Επομένως κάποια βάρη του ίδιου νευρώνα αυξάνονται και κάποια άλλα μειώνονται. Με αυτόν τον τρόπο παράγεται μία τοπολογικά διατεταγμένη απεικόνιση ανάμεσα στην είσοδο και στην έξοδο των ίδιων διαστάσεων, εξηγώντας αρκετά ικανοποιητικά τη σύνδεση του αμφιβληστροειδή με το οπτικό τμήμα του φλοιού του εγκεφάλου.

Το δεύτερο μοντέλο -που προτάθηκε από το *Kochonen*- δεν εξηγεί νευροβιολογικές λειτουργίες, αλλά ενσωματώνει τα βασικά χαρακτηριστικά των υπολογιστικών χαρτών του εγκεφάλου, έχοντας τη δυνατότητα να διενεργεί συμπίεση των δεδομένων. Ουσιαστικά ανήκει στους αλγόριθμους του διανυσματικού κβαντιστή και παρέχει μία τοπολογική απεικόνιση που τοποθετεί με τον καλύτερο τρόπο ένα σταθερό αριθμό από διανύσματα, σ' ένα χώρο μικρότερης διάστασης, πραγματοποιώντας συμπίεση.

Στην παρούσα περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί το μοντέλο του *Kochonen*, οπότε ο βασικός σκοπός του αυτοοργανούμενου δικτύου είναι η απεικόνιση ενός προτύπου εισόδου διάστασης d σ' ένα διακριτό χάρτη μίας ή δύο διαστάσεων. Κάθε νευρώνας του πλέγματος συνδέεται πλήρως με όλους τους κόμβους του επιπέδου εισόδου.

Ο αλγόριθμος ξεκινά αρχικοποιώντας κατάλληλα τα βάρη του δικτύου που συνδέουν τους νευρώνες εισόδου με τους νευρώνες του χάρτη, είτε με τυχαίους αριθμούς, είτε με συγκεκριμένη διάταξη. Έπειτα ακολουθεί η φάση του *ανταγωνισμού*, όπου για κάθε πρότυπο εισόδου οι νευρώνες του πλέγματος υπολογίζουν την αντίστοιχη τιμή της συνάρτησης ανταγωνισμού των νευρώνων, κερδίζοντας εκείνος ο νευρώνας με τη μεγαλύτερη τιμή. Στη συνέχεια υλοποιείται η φάση της *συνεργασίας*, όπου ο νευρώνας νικητής καθορίζει τη

χωρική θέση μίας τοπολογικής γειτονιάς, παρέχοντας τη βάση για τη συνεργασία μεταξύ των γειτονικών νευρώνων. Μετά ακολουθεί η φάση της *προσαρμογής των βαρών*, όπου ο μηχανισμός αυτός επιτρέπει στους νευρώνες που ανήκουν στη νικητήρια γειτονιά να προσαρμόσουν τις τιμές των βαρών του νευρώνα-νικητή ώστε να ενισχυθεί η απόκριση σε μία επόμενη εφαρμογή ενός παρόμοιου προτύπου εκπαίδευσης.

Ειδικότερα τα βήματα του αλγορίθμου είναι τα εξής:

α. Κανονικοποίηση των τιμών εισόδου των στοιχείων των διανυσμάτων, αντιστοιχώντας την ελάχιστη τιμή από τα στοιχεία στο 0,1 και το μέγιστο στο 0,9, ώστε οι τιμές να κυμαίνονται σε περιορισμένο εύρος. Αν d είναι η διάσταση του διανύσματος εισόδου, τότε το πρότυπο l θα αναπαρασταθεί ως $\bar{x}_l = (x_{l1} \ x_{l2} \ \dots \ x_{ld})^T$, όπου $l=1, \dots, n$ με n το πλήθος των διανυσμάτων εισόδου.

β. Καθορισμός της μορφής του πλέγματος και του αριθμού των M κέντρων – ανταγωνιστικών νευρώνων και αρχικοποίησή τους. Συγκεκριμένα το διάνυσμα βαρών οποιουδήποτε νευρώνα j του δικτύου είναι $\bar{w}_j = (w_{j1} \ w_{j2} \ \dots \ w_{jd})^T$, όπου $j=1, \dots, N$ με N το συνολικό αριθμό νευρώνων του δικτύου. Κάθε νευρώνας τοποθετείται σε ένα πλέγμα k -διαστάσεων -συνήθως μίας ή δύο- προσδιορίζοντας ουσιαστικά το πλήθος M των νευρώνων.

Στην περίπτωση δύο διαστάσεων θεωρήθηκε ότι έχουμε ένα τετράγωνο κατάλληλων διαστάσεων, ώστε να έχουμε τουλάχιστον M ομάδες και να μπορούμε να απαριθμήσουμε 4, 9, 16, 25, 36 κτλ. ομάδες εκ των $2^2, 3^2, 4^2, 5^2, 6^2$ κτλ. Σ' αυτό το σημείο δοκιμάστηκαν οι τρεις ίδιοι τρόποι αρχικοποίησης με τη μέθοδο των k -μέσων:

i. Να δοθούν τυχαίες τιμές στα στοιχεία των ωρών με τη συνάρτηση *Ran* της *Digital Fortan*,

ii. Να δοθούν οι ίδιες τιμές σε όλα τα στοιχεία του κάθε βάρους με γραμμική παρεμβολή, ανάμεσα στις τιμές a και $a+b$ και

iii. Να βρεθεί για κάθε θέση i του βάρους η μέγιστη b_i και η ελάχιστη τιμή a_i της αντίστοιχης θέσης των διανυσμάτων εισόδου, ώστε να αρχικοποιηθούν το καθένα χωριστά με γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στην ελάχιστη και στη μέγιστη τιμή όσο γίνεται πιο ομοιόμορφα. Ο μόνος περιορισμός είναι να δοθούν σε κάθε νευρώνα διαφορετικές τιμές.

γ. Επιλέγεται τυχαία ένα πρότυπο εισόδου και παρουσιάζεται ως είσοδος στο δίκτυο. Πρακτικά τα πρότυπα εισόδου εισέρχονται σειριακά στο δίκτυο.

δ. Για κάθε πρότυπο εισόδου πραγματοποιούνται τα ακόλουθα:

i. Εύρεση του νευρώνα με τη μικρότερη ευκλείδεια απόσταση από το πρότυπο εισόδου. Ο νευρώνας που ικανοποιεί αυτό το κριτήριο καλείται νευρώνας νικητής για το τρέχον πρότυπο. Η απόκριση του δικτύου είναι η θέση του νευρώνα και το διάνυσμα των βαρών.

ii. Διαδικασία συνεργασίας των νευρώνων. Συγκεκριμένα ο νικητής-νευρώνας προσδιορίζει το κέντρο της γειτονιάς των νευρώνων του πλέγματος που θα συνεργαστούν, τείνοντας να επηρεάσει περισσότερο τους άμεσα μ' αυτόν συνδεδεμένους και λιγότερο τους

πιο απομακρυσμένους από αυτόν νευρώνες. Παράλληλα, λαμβάνοντας υπόψη ως τοπολογική γειτονιά μία περιοχή γύρω από τον νικητή-νευρώνα i , η οποία φθίνει σταδιακά, και την απόσταση d_{ij} στο πλέγμα μεταξύ δύο νευρώνων i και j , προσδιορίζεται η γειτονιά h_{ij} , ως συνάρτηση της απόστασης d_{ij} , έτσι ώστε να είναι από τη μία μεριά συμμετρική γύρω από το νικητή-νευρώνα για τον οποίο η απόσταση d_{ii} είναι μηδέν και από την άλλη το πλάτος της γειτονιάς να μειώνεται μονότονα, καθώς αυξάνεται η απόσταση d_{ij} . Στην παρούσα περίπτωση το h_{ij} δίνεται από τη σχέση:

$$h_{ij}(\vec{x}_i) = \exp\left(-\frac{d_{ij}^2}{2\sigma(n)^2}\right) \quad (3.3.4-1)$$

ικανοποιώντας τις προαναφερθείσες απαιτήσεις. Η ανωτέρω σχέση είναι ανεξάρτητη από τη θέση του νευρώνα νικητή και $\sigma(n)$ είναι μία παράμετρος που εκφράζει το πλάτος της γειτονιάς, επηρεάζοντας το βαθμό συμμετοχής στη διαδικασία εκπαίδευσης των γειτονικών νευρώνων. Μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και η ορθογώνια περιοχή, αλλά ποιοτικά η γειτονιά τύπου Gauss είναι «βιολογικά» καταλληλότερη και συντελεί σε ταχύτερη σύγκλιση. Η απόσταση d_{ij} σε μονοδιάστατο πλέγμα είναι $|j-i|$, ενώ σε δισδιάστατο $d_{ij} = \|r_i - r_j\|$, όπου $r_i = (x_i, y_i)$ είναι η θέση του νευρώνα i στο πλέγμα του δικτύου.

Συγχρόνως το μέγεθος της γειτονιάς συρρικνώνεται με την πάροδο του χρόνου, παριστάνοντας την παράμετρο $\sigma(n)$ ως μία φθίνουσα εκθετική συνάρτηση των διακριτών τιμών χρόνου n μέσω της σχέσης:

$$\sigma(n) = \sigma_0 \cdot \exp\left(-\frac{n}{T_1}\right) \quad (3.3.4-2)$$

όπου σ_0 είναι η αρχική τιμή του σ , T_1 είναι μία χρονική σταθερά και $n=0,1,2,\dots$

iii. Διαδικασία αναπροσαρμογής των τιμών των βαρών όλων των νευρώνων. Η τελευταία έχει ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση του διανύσματος των βαρών του νικητή και των γειτονικών του νευρώνων προς την κατεύθυνση του διανύσματος εισόδου \vec{x}_i . Συγκεκριμένα η τιμή του διανύσματος του βάρους διαμορφώνεται από τις σχέσεις:

$$\vec{w}_j(n+1) = \vec{w}_j(n) + \eta(n) \cdot h_{ij}(n) \cdot (\vec{x}_i - \vec{w}_j(n)) \quad (3.3.4-3)$$

$$\eta(n) = \eta_s + \eta_0 \cdot \exp\left(-\frac{n}{T_2}\right) \quad (3.3.4-4)$$

όπου $\eta(n)$ είναι ο ρυθμός μάθησης, n_0 το αρχικό μεταβλητό του μέρους, n_s το σταθερό μέρος του, T_2 μία χρονική σταθερά. Με την πρώτη σχέση τα βάρη των συνδέσεων τείνουν να ακολουθήσουν την κατανομή των προτύπων εισόδου, λόγω της διαδικασίας προσαρμογής γειτονικών νευρώνων, με συνέπεια να δημιουργείται μία τοπολογική διάταξη του χάρτη χαρακτηριστικών. Παράλληλα όμως μεταβάλλονται και ο ρυθμός μάθησης, ώστε με την πάροδο του χρόνου να μειώνεται εκθετικά, για να επιτευχθεί η τελική σύγκλιση.

δ. Αφού ολοκληρωθεί η επανάληψη, αυξάνεται το πλήθος των επαναλήψεων κατά 1 και γίνεται έλεγχος αν έχει ξεπεραστεί ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων ή αν ισχύει η σχέση $|\bar{w}_j^{(t)} - \bar{w}_j^{(t+1)}| < \varepsilon$ για κάθε j , δηλαδή δεν υπάρχει ουσιαστική αλλαγή των βαρών. Διαφορετικά επαναλαμβάνεται το βήμα γ . Ο έλεγχος ενεργοποιείται εφόσον έχει ολοκληρωθεί ένας ελάχιστος αριθμός επαναλήψεων, όπως θα διευκρινιστεί στη συνέχεια.

ε. Στο τέλος της διαδικασίας υπολογίζεται η συνάρτηση κόστους που προαναφέρθηκε στη μέθοδο των K-μέσων, ώστε να είναι άμεση η σύγκριση μεταξύ των διαφόρων παραλλαγών και μεθόδων.

Σ' αυτό το σημείο σημειώνεται ότι, για να μεταβεί το νευρωνικό δίκτυο από μία κατάσταση ολικής αταξίας σε μία οργανωμένη αναπαράσταση των προτύπων εισόδου, πρέπει οι αρχικοί παράμετροι του αλγορίθμου να επιλεγούν ορθά. Άλλωστε η διαδικασία προσαρμογής των βαρών χωρίζεται σε δύο φάσεις: τη φάση *αυτοργάνωσης* και τη φάση *σύγκλισης*. Κατά την πρώτη διατάσσονται τοπολογικά τα διανύσματα βαρών. Η φάση αυτή συνήθως διαρκεί ως 1000 επαναλήψεις έχοντας προσδιορίσει τις αρχικές τιμές των παραμέτρων του ρυθμού μάθησης και του πλάτους γειτνίασης. Συγκεκριμένα προς εύρεση του καλύτερου συνδυασμού παραμέτρων για ένα συγκεκριμένο πλήθος νευρώνων και για κάθε δυνατή μορφή πλέγματος, εκτελείται ο αλγόριθμος για ένα πλήθος συνδυασμών της αρχικής τιμής του ρυθμού μάθησης η_0 , της χρονικής παραμέτρου T_2 και της αρχικής τιμής του πλάτους γειτονιάς σ_0 , σύμφωνα με τη σχέση :

$$\sigma_0 = 0,01 \cdot \rho \cdot M \quad (3.3.4-5)$$

όπου ρ νέα μεταβλητή βελτιστοποίησης.

Με αυτόν τον τρόπο συσχετίζεται άμεσα η γειτονιά που επηρεάζεται από το νευρώνα-νικητή σε σχέση με το πλήθος των ομάδων M και σε σχέση με την πλευρά του πλέγματος. Συγχρόνως προσδιορίζεται η χρονική παράμετρος T_1 σύμφωνα με τη σχέση:

$$T_1 = \frac{T_2}{\ln \sigma_0} \quad (3.3.4-6)$$

με συνέπεια το πλάτος της γειτονιάς να καταλήγει στην έκφραση:

$$\sigma = \sigma_0 \left(1 - \frac{n}{T_1} \right) \quad (3.3.4-7)$$

Στη φάση της σύγκλισης τελειοποιείται ο χάρτης χαρακτηριστικών, παρέχοντας μία ακριβή στατιστική ανάλυση των προτύπων, όπου ο αριθμός των επαναλήψεων πρέπει να είναι τουλάχιστον 500 φορές επί τον αριθμό των νευρώνων του δικτύου. Ο ρυθμός μάθησης πρέπει να διατηρηθεί κοντά στο 0,001 με 0,01 που επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του σταθερού μέρους του ρυθμού μάθησης. Άλλωστε από τη μέθοδο του εκπαιδευόμενου διανυσματικού κβαντιστή προέκυψε το συμπέρασμα ότι ο προτεινόμενος -για τις συνηθισμένες περιπτώσεις από τη βιβλιογραφία- ρυθμός μάθησης που είναι χωρίς σταθερό όρο δίνει λιγότερο καλά αποτελέσματα από την πλήρη μορφή [E1].

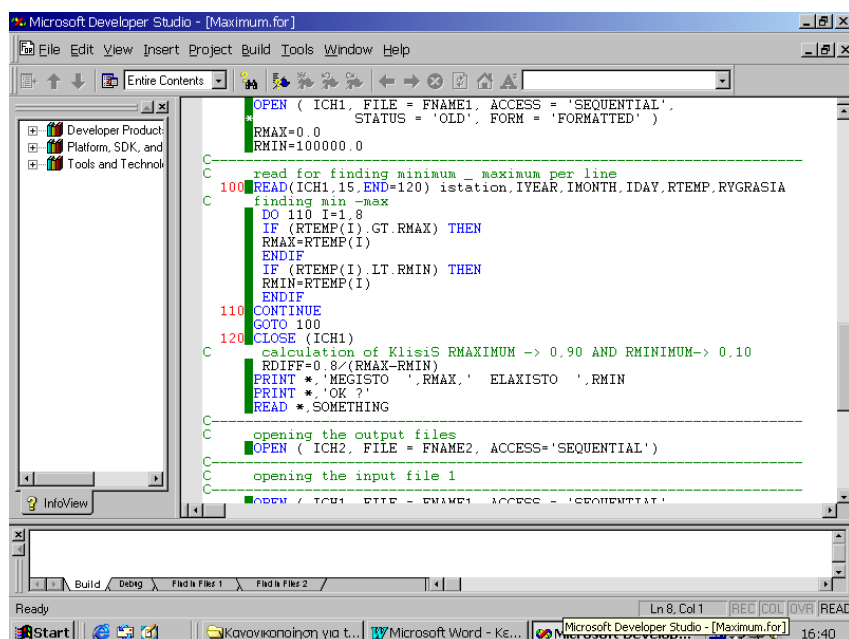
Συγχρόνως διαπιστώνεται ότι, πριν την εφαρμογή του ελέγχου, θα πρέπει να έχουν εκτελεστεί τουλάχιστον $T_1 + 500 * M$ επαναλήψεις, καθώς T_1 προέρχονται από τη φάση διάταξης και οι υπόλοιπες από τη φάση σύγκλισης.

Κεφάλαιο 4

Εκτέλεση της κατηγοριοποίησης

4.1 Εισαγωγικά

Στο πρακτικό μέρος της διπλωματικής εργασίας, ακολουθήσαμε τη διαδικασία που θα περιγραφεί σε αυτό το κεφάλαιο. Είναι απαραίτητο να πούμε ότι όλα τα προγράμματα που χρησιμοποιήσαμε και κατασκευάσαμε, βρίσκονται σε Digital Visual Fortran (έκδοσης 1997), το περιβάλλον της οποίας φαίνεται παρακάτω :



```
Microsoft Developer Studio - [Maximum.for]
File Edit View Insert Project Build Tools Window Help
Entire Contents
Developer Product:
Platform, SDK, and
Tools and Technol
OPEN ( ICH1, FILE = FNAME1, ACCESS = 'SEQUENTIAL',
STATUS = 'OLD', FORM = 'FORMATTED' )
RMAX=0.0
RMIN=100000.0
C
C read for finding minimum _ maximum per line
100 READ(ICH1,15,END=120) istation,IYEAR,IMONTH,IDAY,RTEMP,RYGRASIA
C finding min -max
DO 110 I=1,8
IF (RTEMP(I).GT.RMAX) THEN
RMAX=RTEMP(I)
ENDIF
IF (RTEMP(I).LT.RMIN) THEN
RMIN=RTEMP(I)
ENDIF
110 CONTINUE
GOTO 100
120 CLOSE (ICH1)
C calculation of KlisiS RMAXIMUM -> 0.90 AND RMINIMUM-> 0.10
RDIFF=0.8/(RMAX-RMIN)
PRINT *, 'MEGISTO ',RMAX,' ELAXISTO ',RMIN
PRINT *, 'OK ?'
READ *,SOMETHING
C
C opening the output files
OPEN ( ICH2, FILE = FNAME2, ACCESS='SEQUENTIAL')
C
C opening the input file 1
OPEN ( ICH1, FILE = FNAME1, ACCESS = 'SEQUENTIAL'
```

Όπως παρατηρούμε, το περιβάλλον αυτό χωρίζεται σε τρεις περιοχές. Αριστερά βρίσκεται η περιοχή που ονομάζεται «χώρος εργασίας», δεξιά η περιοχή στην οποία γράφεται ο αλγόριθμος του προγράμματος, μέσω των εντολών και τέλος στο κάτω μέρος η περιοχή όπου μετά το Compile (έλεγχος συντακτικών λαθών) περιγράφονται τα τυχόν λάθη του αλγορίθμου.

Είναι επίσης απαραίτητο να πούμε ότι ο υπολογιστής στον οποίο έγιναν τα τρεξίματα έχει τα χαρακτηριστικά : 1,8 GHz επεξεργαστή και μνήμη RAM 256 MB.

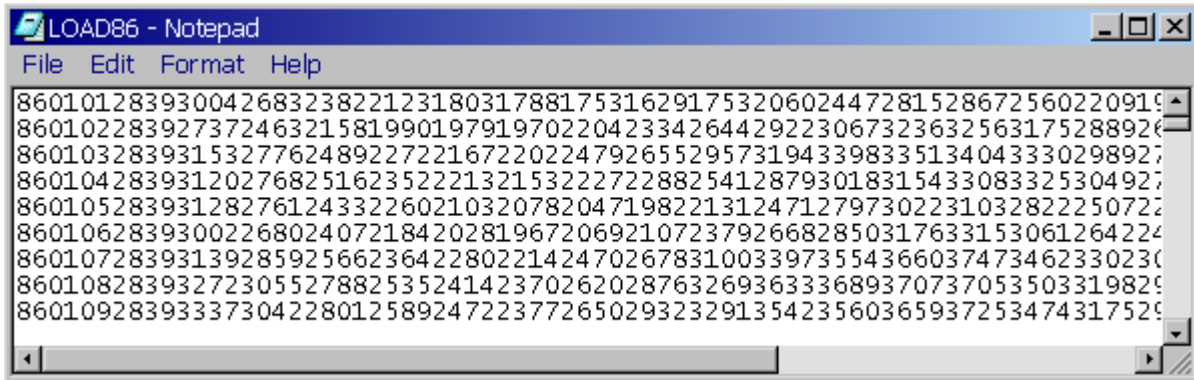
4.2 Μετατροπή δεδομένων από δυσανάγνωστη σε ευανάγνωστη μορφή

Στην αρχή της εκτέλεσης της διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήσαμε στοιχεία με τα ακαθάριστα ωριαία φορτία του Ελληνικού Δικτύου, εκ των οποίων άλλα τα διαθέταμε ήδη και άλλα (των τελευταίων κυρίως ετών) τα προμηθευτήκαμε από τη Δ/νση Διαχείρισης Ενέργειας. Χρησιμοποιήσαμε ακαθάριστα ωριαία φορτία, επειδή αυτά ήταν τα μόνα διαθέσιμα σε ηλεκτρονική μορφή, πριν από το 1996. Είναι σκόπιμο, επίσης, να αναφέρουμε ότι τα στοιχεία που λάβαμε ήταν σε μορφή ASCII και επομένως μη αναγνώσιμα, δηλαδή τα

στοιχεία ήταν σε μορφή συνεχόμενων αριθμών σε ένα αρχείο, δίχως κανένα κενό ανάμεσα, με αποτέλεσμα να μην είναι κατανοητό, ποιος αριθμός αντιστοιχεί σε ποιο δεδομένο.

Πρέπει να πούμε επίσης πως τα στοιχεία που λάβαμε από τη ΔΕΗ ήταν ξεχωριστά αρχεία .txt με τις τιμές των φορτίων, για το κάθε έτος.

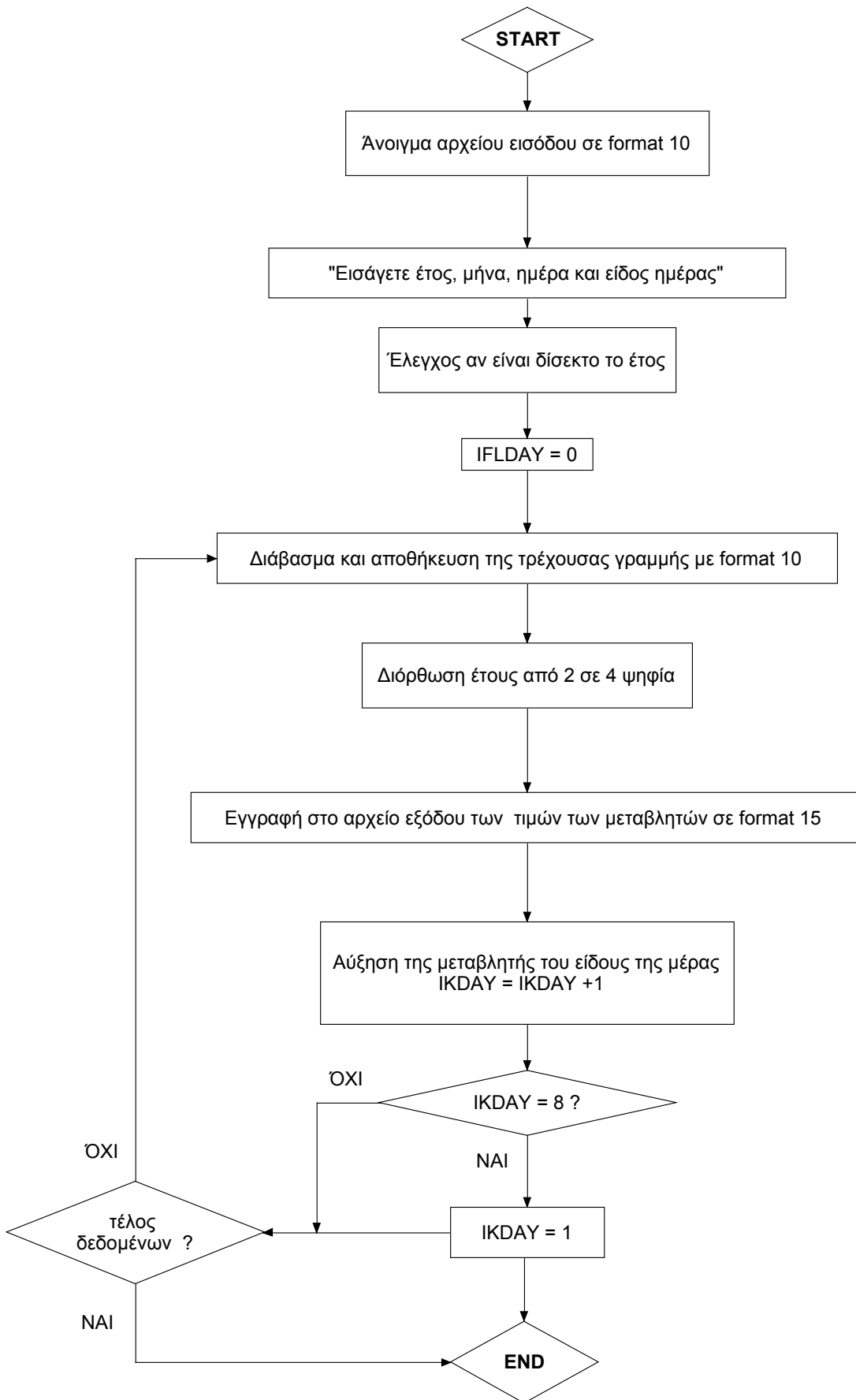
Παρακάτω φαίνεται ένα δείγμα της μορφής των αρχείων των φορτίων που λάβαμε :



```
LOAD86 - Notepad
File Edit Format Help
860101283930042683238221231803178817531629175320602447281528672560220919
860102283927372463215819901979197022042334264429223067323632563175288926
860103283931532776248922722167220224792655295731943398335134043330298927
860104283931202768251623522213215322272288254128793018315433083325304927
860105283931282761243322602103207820471982213124712797302231032822250722
860106283930022680240721842028196720692107237926682850317633153061264224
860107283931392859256623642280221424702678310033973554366037473462330230
860108283932723055278825352414237026202876326936333689370737053503319829
860109283933373042280125892472237726502932329135423560365937253474317529
```

Χρησιμοποιήσαμε λοιπόν, ένα πρόγραμμα σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran, το οποίο μετατρέπει το δυσανάγνωστο αρχείο σε ευανάγνωστο και άρα σε κατάλληλο για περαιτέρω επεξεργασία αρχείο.

Ακολουθεί ένα διάγραμμα ροής του εν λόγω προγράμματος σύμφωνα με το οποίο διακρίνονται τα βασικά βήματα του αλγορίθμου :

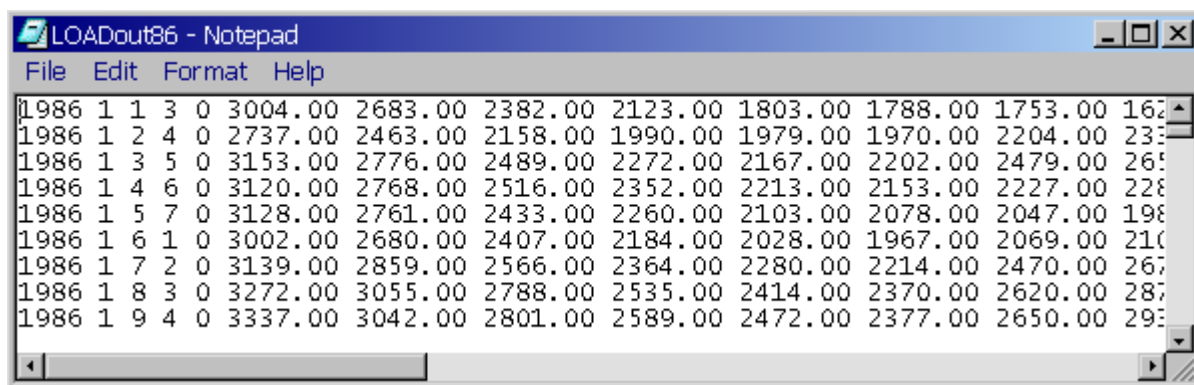


Διάγραμμα ροής 1
Μετατροπή αρχείων από μη αναγνώσιμη μορφή σε αναγνώσιμη

Σύμφωνα, λοιπόν με το πρόγραμμα αρχικά ανοίγεται το αρχείο, διαβάζεται διαδοχικά η κάθε γραμμή και αποθηκεύονται, προσωρινά, τα στοιχεία της σε κατάλληλες μεταβλητές και κατόπιν σε ένα δισδιάστατο πίνακα. Πιο συγκεκριμένα φτιάχνεται το **format 10**, σύμφωνα με το οποίο, όταν διαβάζονται τα δεδομένα κάθε γραμμής από το αρχείο, τα πρώτα 2 ψηφία αποθηκεύονται στη μεταβλητή IYEAR για το έτος, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IMONTH για το μήνα, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IDAY για την ημέρα, τα επόμενα 4 στη μεταβλητή Isthmos για τον κωδικό 2839 της ΔΕΗ, που αντιστοιχεί στα ακαθάριστα φορτία και τέλος τα υπόλοιπα στοιχεία αποθηκεύονται σε ένα μονοδιάστατο πίνακα ILOAD 24 στοιχείων για τα ωριαία φορτία, με το κάθε φορτίο να είναι πραγματικός αριθμός, συνολικά 8 ψηφίων.

Στη συνέχεια το πρόγραμμα διορθώνει το έτος, ώστε να εκτυπώνεται σε τετραψήφιο αριθμό και όχι σε διψήφιο και επίσης υπολογίζει το είδος της ημέρας π.χ. 1 για τη Δευτέρα, 2 για την Τρίτη και 7 για την Κυριακή, για κάθε ημερομηνία. Τελικά μετά από όλη τη διαδικασία, εκτυπώνει τα στοιχεία σε ένα νέο αρχείο εξόδου (.txt) με **format 15**. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε γραμμή αυτού του αρχείου τα 4 πρώτα ψηφία αντιστοιχούν στο έτος, τα επόμενα 2 ψηφία στο μήνα, τα επόμενα 2 στην ημέρα, τα επόμενα 2 στο είδος της ημέρας, τα επόμενα 2 στην κατηγορία-flag της ημέρας και τέλος ακολουθούν 24 πραγματικοί αριθμοί -ωριαία φορτία- συνολικά 8 ψηφίων, εκ των οποίων τα 2 είναι δεκαδικά, το 1 είναι για την τελεία (.) και άλλο ένα για το κενό.

Ακολουθεί ένα δείγμα αυτής της αναγνώσιμης μορφής στην οποία μετατρέψαμε τα αρχεία των φορτίων :



Όσον αφορά το πρακτικό μέρος της εκτέλεσης του προγράμματος αυτού, ανοίξαμε το αρχείο .exe και μας ζητήθηκε από το πρόγραμμα να δώσουμε το έτος, το μήνα, την ημέρα και το είδος ημέρας, της πρώτης γραμμής του αρχείου.

Ακολουθεί ενδεικτικά, το παράθυρο εντολών του υπολογιστή για μια εκτέλεση του παραπάνω προγράμματος :

```
C:\Documents and Settings\Marina\My Documents\My Main Documents\Τα έγγραφά μου στο...
ENTER INPUT FILE NAME (only 8 characters):
LAOD93
ENTER OUTPUT FILE NAME (only 8 characters):
LoadOut93
GIVE YEAR, MONTH, DAY OF FIRST DAY AS NUMBERS
1993, 1, 1
GIVE DAY OF THE WEEK WITH 1 FOR MONDAY, ..7 FOR SUNDAY
5
```

Η διάρκεια του τρεξίματος αυτού του προγράμματος ήταν μηδαμινή της τάξης του 1 ή 2 δευτερολέπτων για κάθε έτος.

4.3. Κανονικοποίηση

4.3.1. Για τα φορτία

Είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι τα αρχεία που λάβαμε από τη ΔΕΗ είχαν αρκετά προβλήματα. Παρατηρήσαμε ότι υπήρχαν κενά σε ορισμένες ημερομηνίες, με συνέπεια να μη γνωρίζουμε τα φορτία εκείνων των ημερών που έλειπαν. Συγκεκριμένα έλειπαν στοιχεία για τα χρονικά διαστήματα : από 12/9 μέχρι 30/9 του 1990, από 7/11 μέχρι 31/12 του 1990, από 1/1 μέχρι 21/1 του 1991 και για τις μεμονωμένες ημέρες 27/1, 31/1 και 26/6 του 1991, 23/8 και 25/8 του 1992 και τέλος η 29/2 του 1996.

Τα παραπάνω «κενά» στην αλληλουχία ημερομηνιών, έπρεπε με κάποιο τρόπο να αντιμετωπιστούν, επειδή το πρόγραμμα σε Fortran της κανονικοποίησης για να «τρέξει» επιτυχώς χρειάζεται συνέχεια στις ημερομηνίες και όχι κενά, διότι σε αυτή την περίπτωση θα «κολλάει», όπως λέμε στη γλώσσα των αλγορίθμων και δε θα μπορούσαμε να έχουμε τα κανονικοποιημένα αποτελέσματα που θέλουμε. Επομένως για τις μεμονωμένες μέρες, όπου υπάρχουν κενά καταλήξαμε να συμπληρώσουμε για ωριαία φορτία τους, τη μέση τιμή των 4000 MW, γεγονός που προφανώς δε επηρεάζει τα αποτελέσματα της κανονικοποίησης και τα συμπεράσματά μας αφού στη συνέχεια, αυτές τις ημέρες τις αφαιρέσαμε από τα κανονικοποιημένα αρχεία και δεν τις χρησιμοποιήσαμε περαιτέρω.

Όσο για τα μεγάλα κενά των 10 ημερών και πάνω, προτιμήσαμε να τα αγνοήσουμε, να «σπάσουμε» τα αρχεία με τα φορτία σε δύο ξεχωριστά αρχεία στο σημείο όπου υπάρχει το μεγάλο κενό και να κανονικοποιήσουμε ξεχωριστά τα δύο αρχεία. Δεν ακολουθήσαμε για τα μεγάλα αυτά κενά τη λύση που δώσαμε για τις μεμονωμένες ημέρες μιας και το αφύσικο γεγονός των ίδιων φορτίων (4000 MW) επί 24 ώρες και επί πολλές ημέρες, θα επηρέαζε σημαντικά τα αποτελέσματά μας. Αγνοώντας λοιπόν, τα μεγάλα ημερήσια κενά, αφενός ξεπεράστηκε το πρόβλημα της αδυναμίας του αλγορίθμου να δώσει αποτελέσματα και

αφετέρου αυτά τα αποτελέσματα δε θα απέχουν πολύ από τα κανονικά που θα είχαμε, δίχως τα κενά αυτά.

Χρησιμοποιήσαμε, λοιπόν ένα πρόγραμμα, το οποίο δέχεται ως αρχεία εισόδου τα παραπάνω αρχεία που μετατρέψαμε σε ευανάγνωστη μορφή και τα κανονικοποιεί. Αυτό που συμβαίνει στην ουσία είναι, ότι αντιστοιχεί τη μεγαλύτερη τιμή φορτίου που υπάρχει σε κάθε αρχείο με το 0,9 και τη μικρότερη με το 0,1, ούτως ώστε όλα τα φορτία να κατανεμηθούν μέσα σε αυτό το εύρος. Θα αποτελούσε ίσως απορία κάποιου γιατί επιλέγουμε το νούμερο 0,9 αντί του 1. Αυτό το κάνουμε επειδή στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, αν χρησιμοποιηθούν υπερβολικές συναρτήσεις π.χ. $\tanh(x)$, για $x \rightarrow 1$ οι μεταβολές τους θα είναι ελάχιστες και επομένως ανεπαίσθητες ως προς το εκάστοτε νευρωνικό δίκτυο.

Σύμφωνα, λοιπόν με το πρόγραμμα αρχικά ανοίγεται το αρχείο, διαβάζεται διαδοχικά η κάθε γραμμή και αποθηκεύονται, προσωρινά, τα στοιχεία της σε κατάλληλες μεταβλητές και κατόπιν σε ένα δισδιάστατο πίνακα. Πιο συγκεκριμένα φτιάχνεται το **format 15**, σύμφωνα με το οποίο όταν διαβάζονται τα δεδομένα κάθε γραμμής από το αρχείο, τα πρώτα 4 ψηφία αποθηκεύονται στη μεταβλητή IYEAR για το έτος, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IMONTH για το μήνα, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IDAY για την ημέρα, τα επόμενα 2 στη μεταβλητή IKDAY, τα επόμενα 2 στη μεταβλητή IFLDAY (όπου σε αυτή τη φάση είναι 0) και τέλος τα υπόλοιπα στοιχεία (24 ωριαία φορτία) αποθηκεύονται σε ένα μονοδιάστατο πίνακα RLOAD 24 στοιχείων, όπου κάθε φορτίο έχει 8 ψηφία, εκ των οποίων το δεκαδικό μέρος καταλαμβάνουν τα 2 ψηφία.

Στη συνέχεια το πρόγραμμα αναθέτει σε δύο παραμέτρους Rmax και Rmin τις τιμές 0 και 100000 αντίστοιχα. Έπειτα σαρώνει όλο το αρχείο και βρίσκει τη μεγαλύτερη τιμή φορτίου, καθώς και τη μικρότερη και εν συνεχεία, τις αναθέτει στις δύο παραπάνω παραμέτρους αντίστοιχα. Έχοντας λοιπόν βρει τις ακραίες αυτές τιμές, προχωράει στη διαδικασία της κανονικοποίησης την οποία ουσιαστικά υλοποιεί με γραμμική παρεμβολή.

Σε πρώτη φάση υπολογίζει την κλίση μέσω του τύπου :

$$Rdiff = \frac{0,9 - 0,1}{R_{max} - R_{min}} \quad (4.3-1)$$

και σε δεύτερη φάση υλοποιεί τη γραμμική παρεμβολή μέσω του τύπου :

$$RLOAD_{(κανονικοποιημένα)} = 0,1 + (RLOAD_{(πραγματικά)} - R_{min}) \cdot Rdiff \quad (4.3-2)$$

Τελικά μετά από όλη τη διαδικασία, εκτυπώνει τα στοιχεία σε ένα νέο αρχείο εξόδου (.txt) με **format 20**. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε γραμμή αυτού του αρχείου τα 4 πρώτα ψηφία αντιστοιχούν στο έτος, τα επόμενα 2 ψηφία στο μήνα, τα επόμενα 2 στην ημέρα, τα επόμενα 2 στο είδος της ημέρας, τα επόμενα 2 στο flag της ημέρας και τέλος τα 24 ωριαία κανονικοποιημένα φορτία, που καταλαμβάνουν 8 θέσεις το καθένα, εκ των οποίων τα 6 είναι δεκαδικά, το 1 είναι για την τελεία (.) και το 1 για το 0 του δεκαδικού αριθμού.

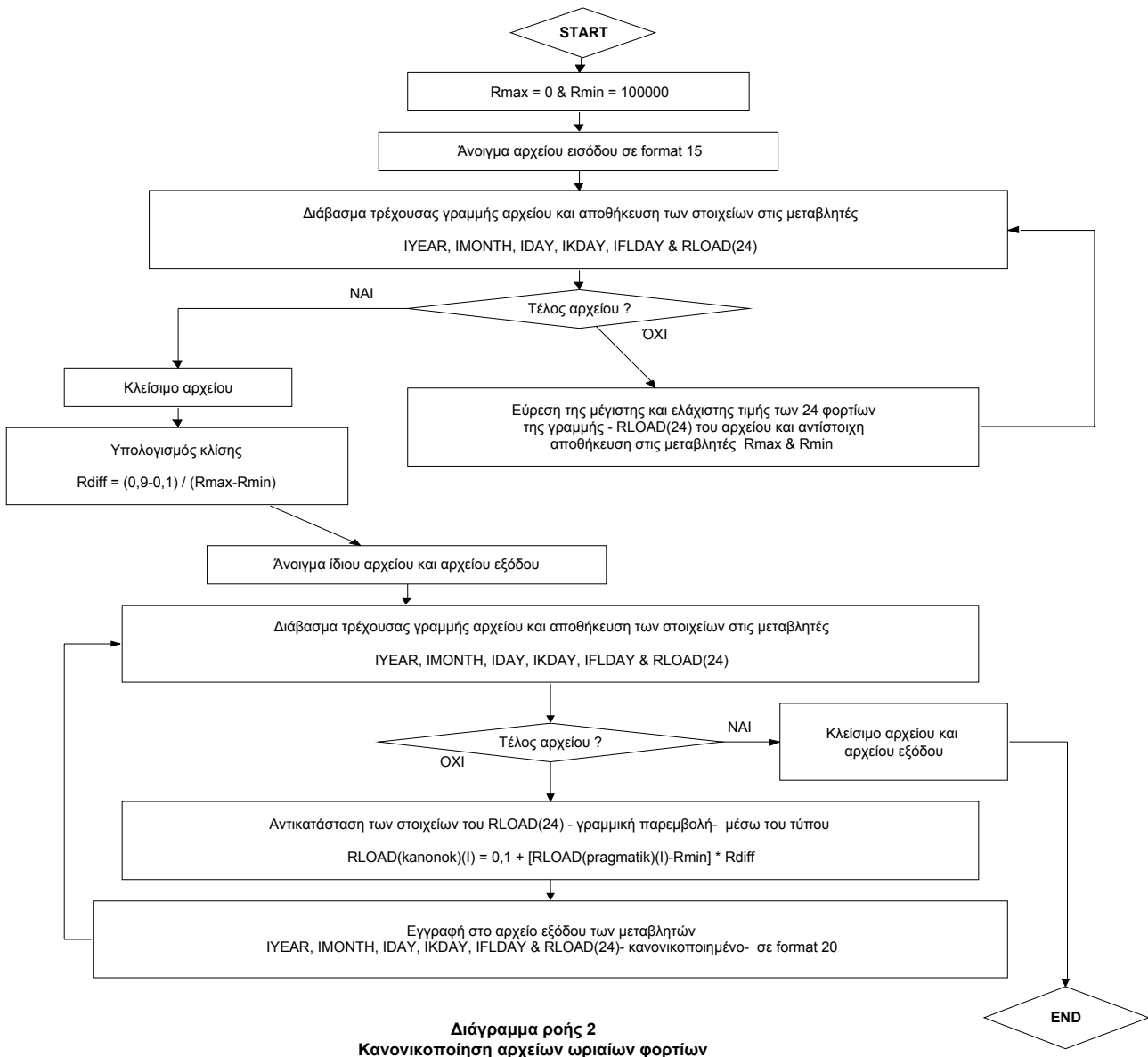
Ακολουθεί ένα δείγμα αυτής της κανονικοποιημένης μορφής στην οποία μετατρέψαμε τα αρχεία των φορτίων :

```

LoadKa96 - Notepad
File Edit Format Help
1996 1 1 1 00.5786960.5343950.5223350.5059680.4884940.4692970.4519460.44
1996 1 2 2 00.5302110.4892320.4882480.4801260.4604370.4568680.4796340.49
1996 1 3 3 00.5753730.5478080.5443620.5228270.5131060.5080600.5203660.55
1996 1 4 4 00.5906320.5528530.5534690.5438700.5213510.5174130.5324260.59
1996 1 5 5 00.6104450.5646670.5662670.5485460.5289800.5318110.5539610.57
1996 1 6 6 00.6292720.5821410.5779570.5576530.5462080.5332870.5113830.49
1996 1 7 7 00.5945700.5521150.5491620.5286110.5144590.5027690.4976000.48
1996 1 8 1 00.5890320.5575300.5582680.5469470.5214740.5133520.5431320.59
1996 1 9 2 00.6004770.5583910.5576530.5403020.5391940.5313180.5469470.60

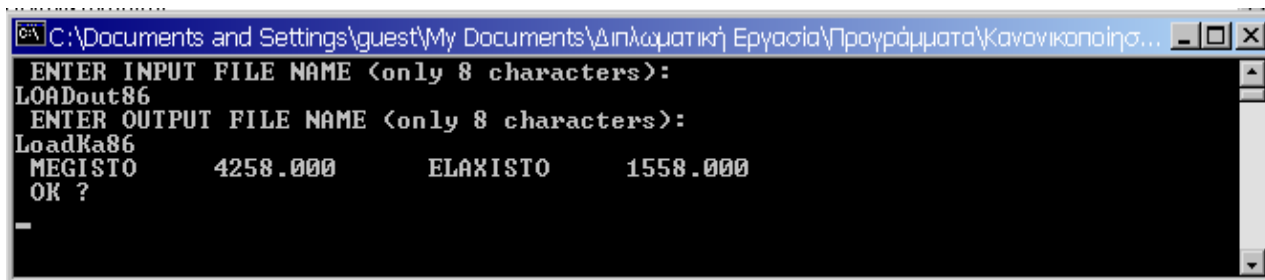
```

Όλα τα παραπάνω βήματα που περιγράψαμε φαίνονται συγκεντρωτικά στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί :



Στο πρακτικό μέρος της φάσης αυτής, τρέξαμε το πρόγραμμα , δώσαμε τα ονόματα των αρχείων εισόδου και εξόδου και πριν αρχίσει το τρέξιμο, εκτυπώθηκαν οι δύο τιμές των παραμέτρων Rmax και Rmin.

Ακολουθεί ένα δείγμα της εκτέλεσης :



```
C:\Documents and Settings\guest\My Documents\Διπλωματική Εργασία\Προγράμματα\Κανονικοποίησ...
ENTER INPUT FILE NAME (only 8 characters):
LOADout86
ENTER OUTPUT FILE NAME (only 8 characters):
LoadKa86
MEGISTO      4258.000      ELAXISTO      1558.000
OK ?
```

Στο συγκεκριμένο δείγμα, εκτός των ονομάτων βλέπουμε ότι η μεγαλύτερη τιμή φορτίου για το αρχείο του έτους 1986 είναι 4258 MW, ενώ η μικρότερη 1558 MW. Επίσης η διάρκεια του εκάστοτε τρεξίματος του συγκεκριμένου προγράμματος ήταν πολύ μικρή.

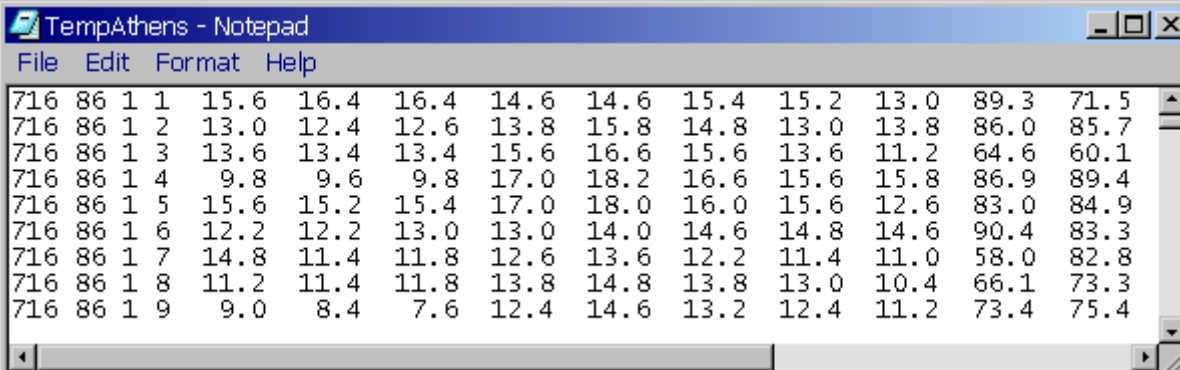
4.3.2. Για θερμοκρασίες

Στην πορεία της εργασίας μας χρειαστήκαμε και στοιχεία με θερμοκρασίες για να τις συνδυάσουμε με τα φορτία και μέσω αυτού του συνδυασμού, να μπορέσουμε να προβλέψουμε το φορτίο του 2000. Προμηθευτήκαμε, λοιπόν τις θερμοκρασίες δύο αντιπροσωπευτικών πόλεων της Ελλάδας, της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, μέσω της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας. Η επιλογή των πόλεων είναι μάλλον προφανής, αφού αφενός και οι δύο μαζί φιλοξενούν τους μισούς κατοίκους της χώρας και αφετέρου ανήκουν σε περιοχές με διαφορετικό κλίμα, Νότια και Βόρεια Ελλάδα αντίστοιχα. Με αυτόν τον τρόπο καταφέραμε να έχουμε θερμοκρασίες, που να αντιπροσωπεύουν τις θερμοκρασίες όλης της χώρας.

Τα στοιχεία που λάβαμε ήταν μεν σε μορφή ευανάγνωστη, αλλά σε μορφή ακατάλληλη για κανονικοποίηση δε. Επομένως χρειάστηκε και αυτές να τις επεξεργαστούμε, πριν τις κανονικοποιήσουμε, πράγμα που έγινε ταυτόχρονα σε ένα πρόγραμμα που φτιάξαμε.

Είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι τα αρχεία που λάβαμε από την ΕΜΥ δεν περιείχαν ωριαίες θερμοκρασίες, όπως τα αρχεία με τα φορτία, αλλά τρίωρες, δηλαδή περιείχαν 8 στήλες από μέσες θερμοκρασίες 3 ωρών για ένα 24ωρο. Τα αρχεία επίσης περιείχαν στην ίδια μορφή με τις θερμοκρασίες και τις υγρασίες της κάθε πόλης, τις οποίες δεν χρησιμοποιήσαμε. Μια ακόμα διαφορά με τα αρχεία των φορτίων, είναι ότι για όλα τα έτη (από 1986 μέχρι 2002) τα αρχεία των θερμοκρασιών ήταν όλα μαζί σε ένα αρχείο .txt για κάθε πόλη. Φάνηκε λοιπόν ότι τα τρεξίματα των θερμοκρασιών θα αποτελούσαν απλή και γρήγορη διαδικασία.

Ακολουθεί ένα δείγμα των αρχείων των θερμοκρασιών που λάβαμε :



716	86	1	1	15.6	16.4	16.4	14.6	14.6	15.4	15.2	13.0	89.3	71.5
716	86	1	2	13.0	12.4	12.6	13.8	15.8	14.8	13.0	13.8	86.0	85.7
716	86	1	3	13.6	13.4	13.4	15.6	16.6	15.6	13.6	11.2	64.6	60.1
716	86	1	4	9.8	9.6	9.8	17.0	18.2	16.6	15.6	15.8	86.9	89.4
716	86	1	5	15.6	15.2	15.4	17.0	18.0	16.0	15.6	12.6	83.0	84.9
716	86	1	6	12.2	12.2	13.0	13.0	14.0	14.6	14.8	14.6	90.4	83.3
716	86	1	7	14.8	11.4	11.8	12.6	13.6	12.2	11.4	11.0	58.0	82.8
716	86	1	8	11.2	11.4	11.8	13.8	14.8	13.8	13.0	10.4	66.1	73.3
716	86	1	9	9.0	8.4	7.6	12.4	14.6	13.2	12.4	11.2	73.4	75.4

Παρατηρούμε ότι σε κάθε γραμμή μετά τις 8 τιμές των θερμοκρασιών ακολουθούν τιμές για τις υγρασίες (%).

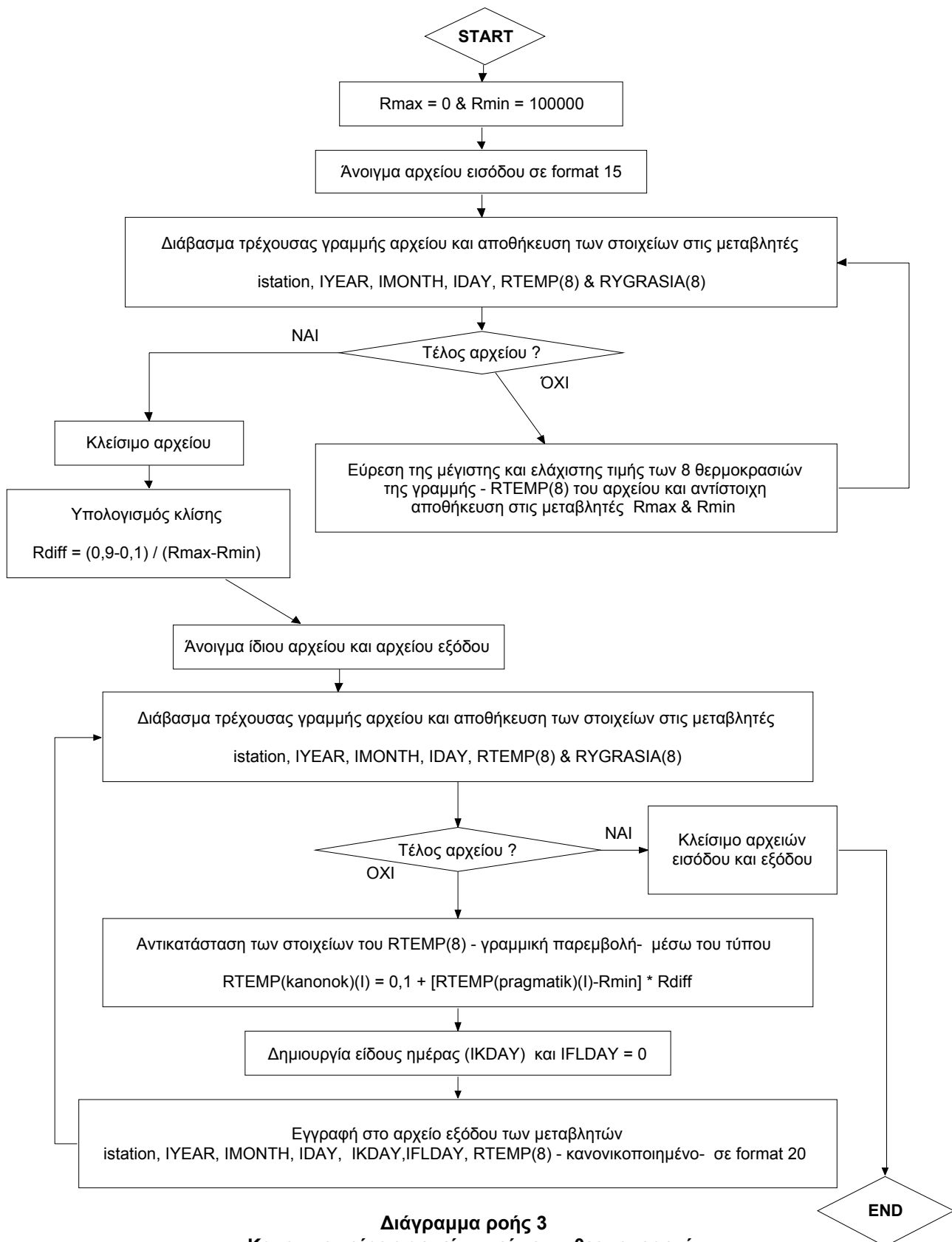
Σύμφωνα, με το πρόγραμμα αρχικά ανοίγεται το αρχείο, διαβάζονται διαδοχικά όλες οι γραμμές και αποθηκεύονται τα στοιχεία τους σε κατάλληλες μεταβλητές. Πιο συγκεκριμένα φτιάχνεται το **format 15** σύμφωνα με το οποίο, όταν διαβάζονται τα δεδομένα κάθε γραμμής από το αρχείο, τα πρώτα 3 ψηφία αποθηκεύονται στη μεταβλητή *istation* κι αντιπροσωπεύουν τον κωδικό της κάθε πόλης για την EMY (716 για Αθήνα ,622 για Θεσσαλονίκη), τα επόμενα 3 ψηφία αποθηκεύονται στη μεταβλητή *IYEAR* για το έτος, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή *IMONTH* για το μήνα, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή *IDAY* για την ημέρα και τέλος τα υπόλοιπα στοιχεία αποθηκεύονται σε δύο μονοδιάστατους πίνακες *RTEMP* και *RYGRASIA* με 8 στήλες ο καθένας. Στον πρώτο αποθηκεύονται οι 8 τρίωρες θερμοκρασίες, 6 ψηφίων η κάθε μία, εκ των οποίων το δεκαδικό μέρος καταλαμβάνουν τα 2 ψηφία, ενώ στον δεύτερο αποθηκεύονται οι 8 τρίωρες υγρασίες 6 ψηφίων η κάθε μία, εκ των οποίων το δεκαδικό μέρος καταλαμβάνουν τα 2 ψηφία.

Στη συνέχεια το πρόγραμμα αναθέτει σε δύο παραμέτρους *Rmax* και *Rmin* τις τιμές 0 και 100000 αντίστοιχα. Έπειτα σαρώνει όλο το αρχείο και βρίσκει τη μεγαλύτερη τιμή θερμοκρασίας καθώς και τη μικρότερη και εν συνεχεία τις αναθέτει στις δύο παραπάνω παραμέτρους. Έχοντας λοιπόν βρει τις ακραίες αυτές τιμές προχωράει στη διαδικασία της κανονικοποίησης την οποία ουσιαστικά υλοποιεί με γραμμική παρεμβολή μέσω των τύπων (4.3-1) και (4.3-2).

Πριν την τελική εκτύπωση του αρχείου γίνονται οι απαραίτητες διορθώσεις, όπως η μορφή του έτους γίνεται τετραψήφια και υπολογίζεται το είδος της ημέρας.

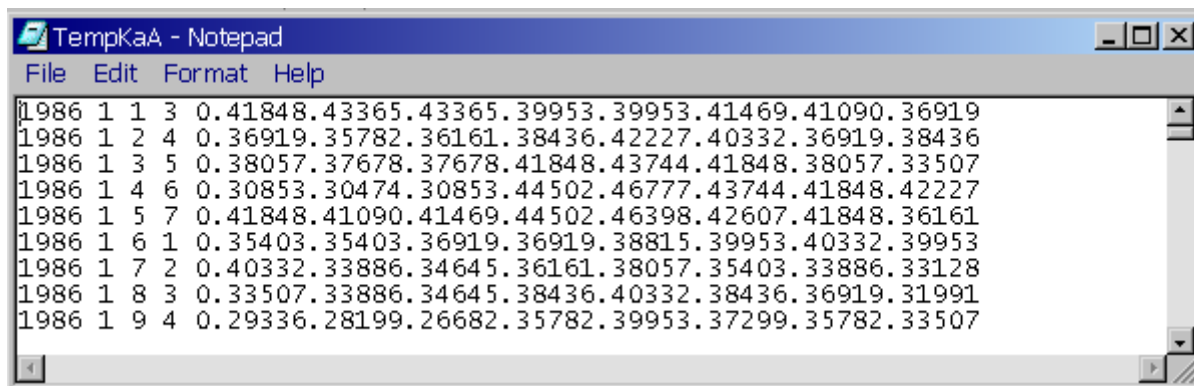
Τελικά μετά από όλη τη διαδικασία, εκτυπώνονται τα στοιχεία σε ένα νέο αρχείο *.txt* με **format 20**. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε γραμμή αυτού του αρχείου τα 4 πρώτα ψηφία αντιστοιχούν στο έτος, τα επόμενα 2 ψηφία στο μήνα, τα επόμενα 2 στην ημέρα, τα επόμενα 2 στο είδος της ημέρας, τα επόμενα 2 στο flag της ημέρας και τέλος σε 8 στήλες, οι 6 ψηφίων, τρίωρες θερμοκρασίες, εκ των οποίων 5 ψηφία είναι δεκαδικά και το 1 είναι για την τελεία (.) .

Ακολουθεί ένα διάγραμμα ροής του προγράμματος που κατασκευάσαμε σύμφωνα με το οποίο διακρίνονται στα βασικά βήματα του αλγορίθμου του.



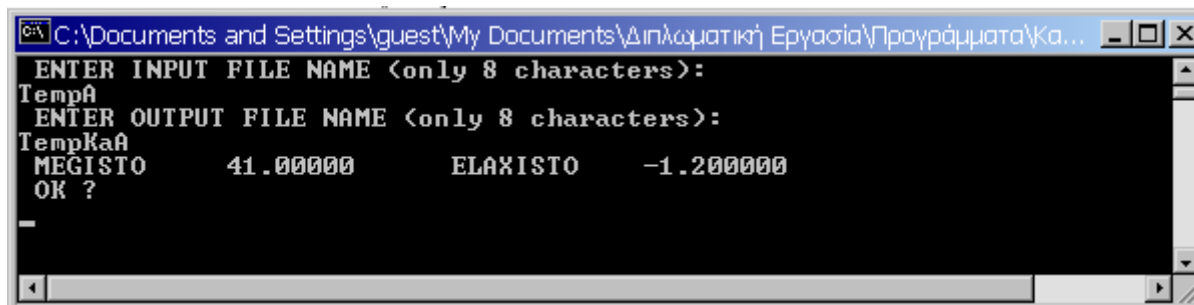
Διάγραμμα ροής 3
Κανονικοποίηση αρχείων τριώρων θερμοκρασιών

Ακολουθεί τώρα δείγμα της κανονικοποιημένης μορφής στην οποία μετατρέψαμε τα αρχεία των θερμοκρασιών :



```
TempKaA - Notepad
File Edit Format Help
1986 1 1 3 0.41848.43365.43365.39953.39953.41469.41090.36919
1986 1 2 4 0.36919.35782.36161.38436.42227.40332.36919.38436
1986 1 3 5 0.38057.37678.37678.41848.43744.41848.38057.33507
1986 1 4 6 0.30853.30474.30853.44502.46777.43744.41848.42227
1986 1 5 7 0.41848.41090.41469.44502.46398.42607.41848.36161
1986 1 6 1 0.35403.35403.36919.36919.38815.39953.40332.39953
1986 1 7 2 0.40332.33886.34645.36161.38057.35403.33886.33128
1986 1 8 3 0.33507.33886.34645.38436.40332.38436.36919.31991
1986 1 9 4 0.29336.28199.26682.35782.39953.37299.35782.33507
```

Στο πρακτικό μέρος της φάσης αυτής ανοίξαμε το αρχείο εκτέλεσης του προγράμματος και δώσαμε τα ονόματα των αρχείων εισόδου και εξόδου και πριν το τρέξουμε μας εκτυπώθηκε η μικρότερη και η μεγαλύτερη τιμή θερμοκρασίας του αρχείου.



```
C:\Documents and Settings\guest\My Documents\Διπλωματική Εργασία\Προγράμματα\Ka...
ENTER INPUT FILE NAME (only 8 characters):
TempKa
ENTER OUTPUT FILE NAME (only 8 characters):
TempKa
MEGISTO 41.000000 ELAXISTO -1.200000
OK ?
```

Στο συγκεκριμένο δείγμα βλέπουμε ότι η μεγαλύτερη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε το 1986 στην Αθήνα ήταν 41 °C ενώ η μικρότερη -1,2 °C.

4.4 Κατηγοριοποίηση

Η ως τώρα διαδικασία αποτέλεσε ουσιαστικά προεργασία και μορφοποίηση των αρχείων των δεδομένων των φορτίων και των θερμοκρασιών, ούτως ώστε να μπορούν να επεξεργαστούν από τα προγράμματα των μεθόδων κατηγοριοποίησης. Το βασικότερο βήμα της διπλωματικής, είναι η κατηγοριοποίηση ή ομαδοποίηση των φορτίων και των θερμοκρασιών σε ομάδες με κοινές, περίπου, τιμές και χαρακτηριστικά, έτσι ώστε ακολούθως, μέσω των ομάδων της μεθόδου με τα καλύτερα αποτελέσματα, να μπορέσουν τελικά να συνδυαστούν τα στοιχεία, για να προβλέψουμε τελικά το φορτίο του έτους 2000, όπως θα δείξουμε στο κεφάλαιο 7.

Οι μέθοδοι που δοκιμάσαμε έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο της θεωρίας και είναι η μέθοδος K-μέσων με και χωρίς βελτιστοποίηση και η μέθοδος LVQ. Όλες τις μεθόδους τις τρέξαμε για κάθε έτος ξεχωριστά από το 1985 μέχρι και το 2002, αλλά και εποχιακά δηλαδή για τα καλοκαίρια και τους χειμώνες. Δεδομένων των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα, όπου οι κλασικές τέσσερις

εποχές Χειμώνας, Άνοιξη, Καλοκαίρι και Φθινόπωρο τείνουν να γίνουν δύο «ακραίες» εποχές, Χειμώνας, Καλοκαίρι, χωρίς ομαλές μεταβάσεις από εποχή σε εποχή, προτιμήσαμε να τρέξουμε τα προγράμματα στις δύο «εποχές» των παραπάνω ετών : το «Χειμώνα» τον οποίο επιλέξαμε να περιλαμβάνει τους μήνες από τον Οκτώβριο μέχρι και το Μάρτιο, και το «Καλοκαίρι» που επιλέξαμε να περιλαμβάνει τους υπόλοιπους μήνες, δηλαδή από τον Απρίλιο μέχρι και το Σεπτέμβριο.

Η καλύτερη, λοιπόν μέθοδος που τελικά θα επιλεγεί για την παραπέρα διαδικασία θα είναι αυτή με τα καλύτερα αποτελέσματα σε φορτία και θερμοκρασίες, όσον αφορά τα έτη και τις «εποχές».

4.4.1 Η μέθοδος K-μέσων

Η μέθοδος K-μέσων όπως έχουμε ξανά αναφέρει στη θεωρία, είναι μια μέθοδος ομαδοποίησης με ανταγωνιστική μάθηση, χωρίς επίβλεψη, που χρησιμοποιούν τα νευρωνικά δίκτυα. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο καταφέρνουμε να βρούμε συμπαγείς ομάδες, οι οποίες παριστάνονται με ένα διάνυσμα $\vec{w}_j = (w_{j1} \ w_{j2} \ \dots \ w_{jd})^T$, το οποίο συνήθως λέγεται διάνυσμα βαρών.

Οι δύο μέθοδοι K-μέσων διαφοροποιούνται όσον αφορά την αρχικοποίηση των βαρών. Ο ένας τρόπος στηρίζεται στο γεγονός ότι δίνει τις ίδιες τιμές σε όλα τα στοιχεία του κάθε βάρους, δηλαδή χρησιμοποιεί τον τύπο : $w_{ji}^{(0)} = a + b * (j-1)/(M-1)$, ενώ ο άλλος στο γεγονός ότι βρίσκει για κάθε θέση i του βάρους τη μέγιστη b_i και την ελάχιστη τιμή a_i της αντίστοιχης θέσης των διανυσμάτων εισόδου, ώστε να αρχικοποιηθούν μέσω της σχέσης : $w_{ji}^{(0)} = a_i + (b_i - a_i) * (j-1)/(M-1)$, τα στοιχεία των διανυσμάτων όσο γίνεται πιο ομοιόμορφα.

Την πρώτη μέθοδο την ονομάσαμε K-μέσων με βελτιστοποίηση και μάλιστα όταν θέλουμε να αναφερθούμε σε αυτήν προκειμένου να αποφύγουμε την επανάληψη του μακροσκελούς ονόματός της, την κωδικοποιήσαμε με το νούμερο 01, ενώ τη δεύτερη τη χωρίς βελτιστοποίηση την κωδικοποιήσαμε με το νούμερο 02.

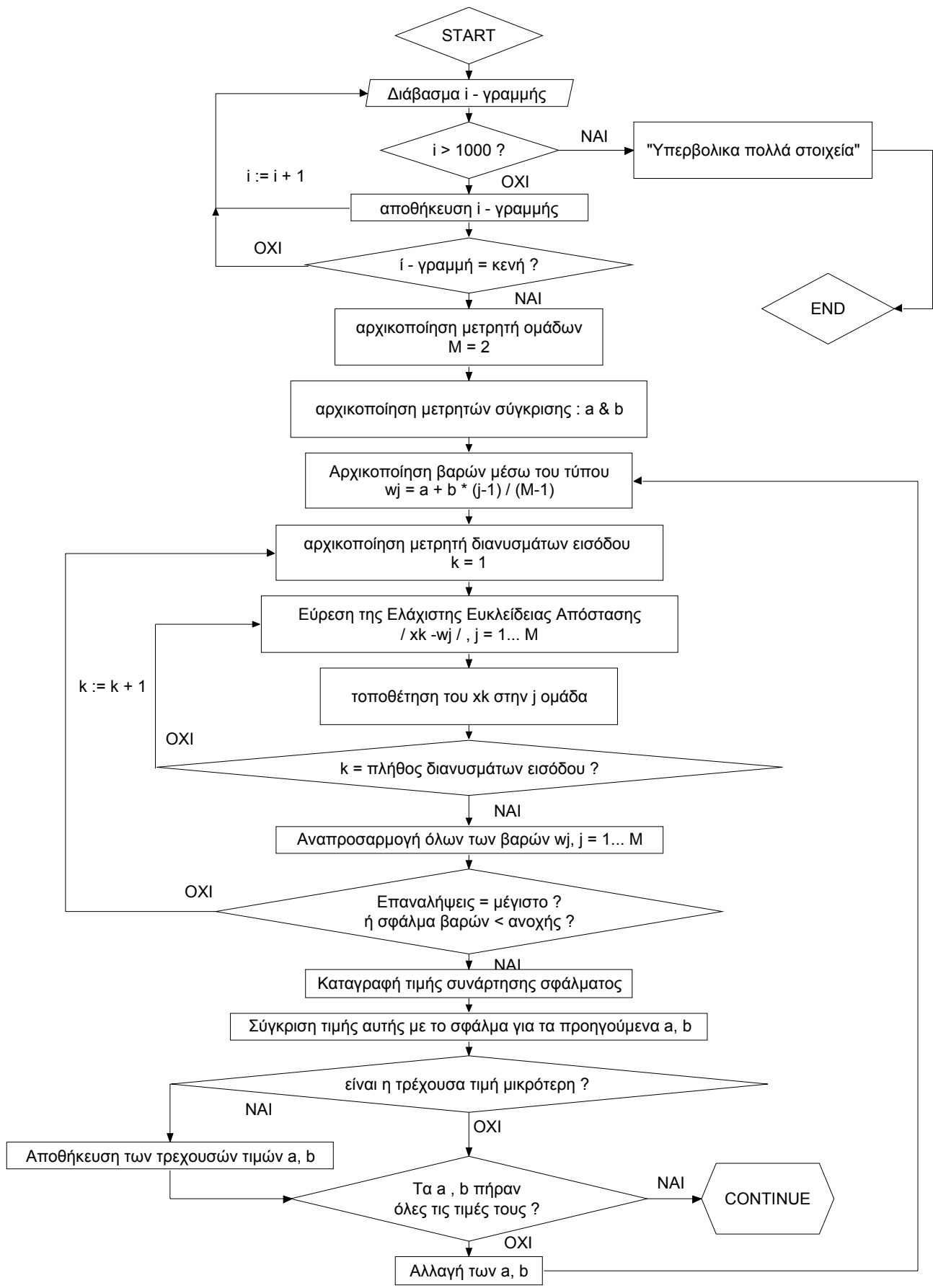
4.4.1.1 Η μέθοδος K-μέσων με βελτιστοποίηση 01

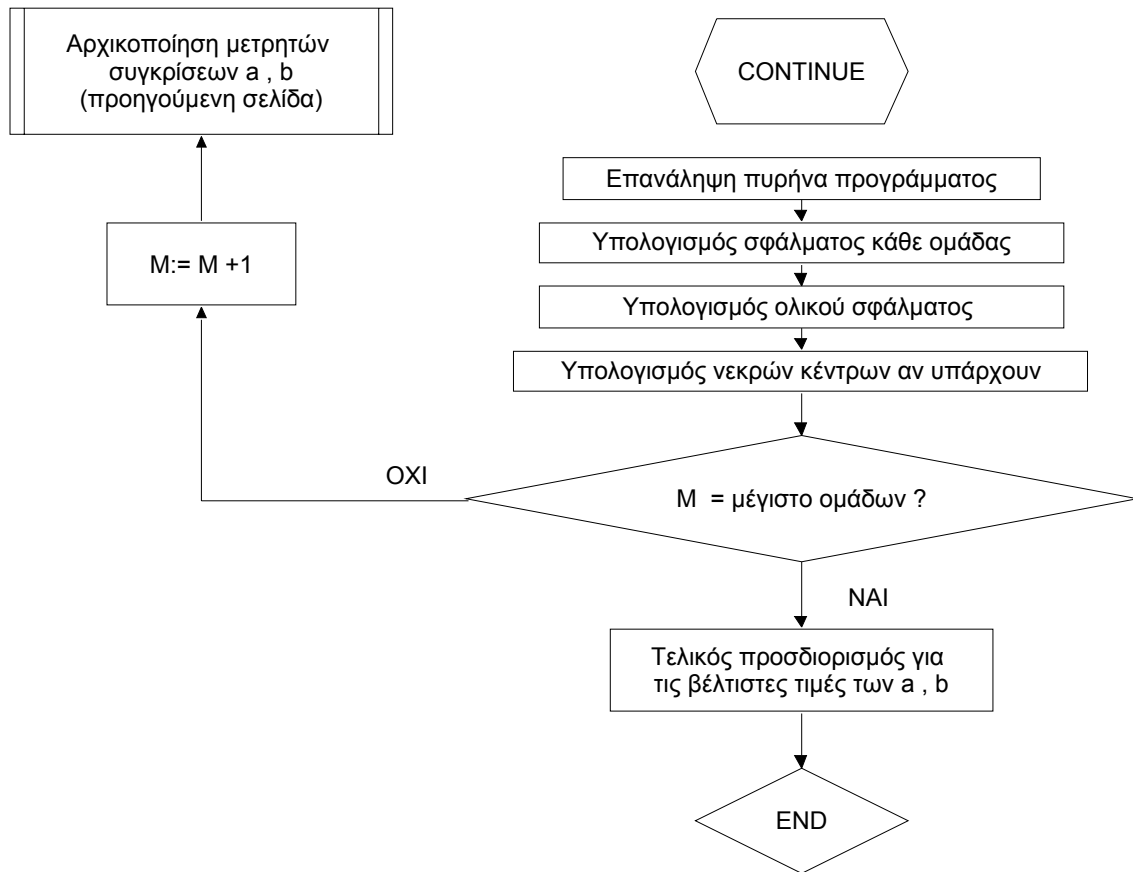
4.4.1.1.1. Για φορτία

4.4.1.1.1.1. Για έτη

Αρχίζοντας, λοιπόν την κατηγοριοποίηση χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα της Fortran, για τα αρχεία των φορτίων για τα έτη 1985 μέχρι 2000.

Ακολουθεί ο αλγόριθμος του προγράμματος με τα βασικά βήματα :





Διάγραμμα 4
Κατηγοριοποίηση με μέθοδο K-μέσων 01

Στην αρχή του προγράμματος, καθορίζουμε τον αριθμό των ομάδων στις οποίες θέλουμε να κατανεμηθούν τα φορτία των ημερών. Εδώ ειδικά, επιλέγουμε οι ημέρες να κατανεμηθούν σε 2 μέχρι 20 ομάδες. Το διάνυσμα εκπαίδευσης αποτελείται από 24 στοιχεία, όσα και τα ωριαία φορτία.

Σύμφωνα, με το πρόγραμμα αρχικά ανοίγεται το αρχείο, διαβάζονται διαδοχικά όλες οι γραμμές και αποθηκεύονται τα στοιχεία τους σε δισδιάστατους πίνακες. Πιο συγκεκριμένα φτιάχνεται το **format 20** (σελ. 56), το οποίο έχουμε περιγράψει παραπάνω.

Στη συνέχεια το πρόγραμμα αρχικοποιεί τα βάρη των νευρώνων του ανταγωνιστικού επιπέδου (τις ομάδες δηλαδή), δίνοντας τις ίδιες τιμές σε όλα τα στοιχεία του κάθε βάρους, μέσω του τύπου : $w_{ji}^{(0)} = a + b * (j - 1) / (M - 1)$. Μάλιστα για κάθε ομάδα τα a και b , τα οποία στο πρόγραμμα συμβολίζονται με FA και FB, εκτυπώνονται σε ειδικό αρχείο. Έπειτα αρχικοποιείται και η Ελάχιστη Ευκλείδεια Απόσταση $d(\bar{x}_i, \bar{w}_j)$.

Ακολούθως για κάθε πρότυπο εκπαίδευσης \bar{x}_i (είσοδος) υπολογίζονται οι Ευκλείδειες Αποστάσεις $d(\bar{x}_i, \bar{w}_j)$, δηλαδή οι νευρώνες του ανταγωνιστικού επιπέδου (οι ομάδες) ανταγωνίζονται για το ποιος θα «κερδίσει» το πρότυπο εκπαίδευσης. Ο «νικητής» νευρώνας (η νικήτρια ομάδα) είναι αυτός με τη μικρότερη απόσταση, δηλαδή:

$d(\bar{x}_i, \bar{w}_k) = \min_j d(\bar{x}_i, \bar{w}_j)$ και έτσι ταξινομείται το διάνυσμα \bar{x}_i στην ομάδα $\Omega_k^{(t)}$ με τη μικρότερη απόσταση από το πρότυπο εκπαίδευσης.

Στη συνέχεια για κάθε ομάδα αναπροσαρμόζονται τα βάρη των νευρώνων, μέσω της σχέσης:

$$\bar{w}_j^{(t+1)} = \frac{1}{N_j^{(t)}} \sum_{\bar{x}_i \in \Omega_j^{(t)}} \bar{x}_i \quad (4.4.1.1.1.1-1)$$

όπου N_j είναι ο αριθμός των προτύπων που έχουν αποδοθεί στην ομάδα j .

Στη συνέχεια αυξάνεται κατά ένα ο αριθμός των εποχών (των επαναλήψεων) και γίνεται έλεγχος, αν έχει ξεπεραστεί ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων ή αν ισχύει η σχέση $|\bar{w}_j^{(t)} - \bar{w}_j^{(t+1)}| < \varepsilon$ για κάθε j , δηλαδή αν δεν υπάρχει ουσιαστική αλλαγή των βαρών.

Κατά τη διάρκεια του προγράμματος υπολογίζονται διάφορα σφάλματα, όπως το σφάλμα συνάρτησης που συμβολίζεται με το WJ, τη μέγιστη τιμή απόλυτου σφάλματος που συμβολίζεται με το APE και υπολογίζεται μέσω του τύπου :

$$APE = |W - X| \quad (4.4.1.1.1.1-2)$$

τη μέση τιμή σφάλματος που συμβολίζεται με το R_MESH και υπολογίζεται μέσω του τύπου :

$$R_MESH = \frac{WJ}{(M - I_Nekra_kentra) * 24} \quad (4.4.1.1.1.1-3)$$

και το μέγιστο απόλυτο σφάλμα της ταξινόμησης που συμβολίζεται με το MAPE και υπολογίζεται μέσω του τύπου :

$$SUM_MAPE = \sum \left| \frac{W - X}{W} \right| \quad (4.4.1.1.1.1-4)$$

Τελικά όταν το πρόγραμμα τελειώσει το τρέξιμο, εμφανίζονται μια σειρά από αρχεία εξόδου τα οποία θα ομαδοποιήσουμε σε 3 κατηγορίες : τα 19 αρχεία ELE00X.txt, όπου X από 2 μέχρι 20 ομάδες, στις οποίες κατανέμονται οι ημέρες και στα οποία εκτυπώνονται τα a και b , καθώς επίσης το σφάλμα συνάρτησης WJ.

Ακολουθεί ένα δείγμα του τύπου αυτών των αρχείων :

```

LoadKa86ELE020.txt - Notepad
File Edit Format View Help
FACTOR A => 0.10 FACTOR B => 0.44 SFALMA => 62.57785416
FACTOR A => 0.10 FACTOR B => 0.45 SFALMA => 62.04307938
FACTOR A => 0.10 FACTOR B => 0.46 SFALMA => 61.37183380
FACTOR A => 0.10 FACTOR B => 0.47 SFALMA => 61.37744141
FACTOR A => 0.10 FACTOR B => 0.48 SFALMA => 60.87428665
FACTOR A => 0.10 FACTOR B => 0.49 SFALMA => 60.61750412
FACTOR A => 0.10 FACTOR B => 0.50 SFALMA => 59.69100952
FACTOR A => 0.10 FACTOR B => 0.51 SFALMA => 58.78169632
FACTOR A => 0.10 FACTOR B => 0.52 SFALMA => 57.89327621
FACTOR A => 0.10 FACTOR B => 0.53 SFALMA => 58.34277725

```

Η άλλη κατηγορία αρχείων εξόδου είναι το 1 αρχείο ELEGXOS.txt, στο οποίο εκτυπώνονται όλα τα σφάλματα, οι επαναλήψεις και τα νεκρά κέντρα, δηλαδή κάποια ομάδα η οποία να μην έχει κανένα στοιχείο.

Ακολουθεί δείγμα αυτού του αρχείου :

```

LoadKa86ELEGXOS.txt - Notepad
File Edit Format View Help
1 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.351738
2 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.280631
2 EPANLHFEIS => 6 SFALMA SYN=>128.37336731 APE =>0.35173804 MESH TIMH SF =>2.67444515 MAPE =>0.14071715 NEKRA K=> 0
1 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.316333
2 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.190928
3 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.282190
3 EPANLHFEIS => 9 SFALMA SYN=> 97.18529510 APE =>0.31633341 MESH TIMH SF =>1.34979582 MAPE =>0.10796864 NEKRA K=> 0
1 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.278733
2 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.207666
3 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.227163
4 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.187997
4 EPANLHFEIS => 9 SFALMA SYNA=>89.03379822 APE =>0.27873284 MESH TIMH SF =>0.92743540 MAPE =>0.09691354 NEKRA K=> 0

```

Η τελευταία κατηγορία αρχείων εξόδου είναι τα 19 αρχεία OUT00X.txt, όπου X από 2 μέχρι 20 όπως και στα ELE.txt., τα οποία περιέχουν και τη βασική μας πληροφορία, δηλαδή ποιες ημέρες κατανέμονται σε ποιες ομάδες όταν αυτές είναι 2, 3,4 ... 20. Το αρχείο μας παρέχει την πληροφορία με πολλές μορφές σε πίνακες, αλλά και σε **format 28** από 1/1 μέχρι 31/12 κάθε έτος, σύμφωνα με το οποίο τα 4 πρώτα ψηφία ανήκουν στη μεταβλητή IYEAR που αντιστοιχεί στο έτος, τα επόμενα 2 ψηφία ανήκουν στη μεταβλητή IMONTH που αντιστοιχεί στο μήνα, τα επόμενα 2 ψηφία ανήκουν στη μεταβλητή IDAY που αντιστοιχεί στην ημέρα, τα επόμενα 2 ψηφία ανήκουν στη μεταβλητή IKDAY που αντιστοιχεί στο είδος της ημέρας και τελικά τα άλλα 2 ψηφία ανήκουν στο IFLDAY που αντιστοιχεί στον αριθμό της ομάδας, στην οποία ανήκει η εκάστοτε ημέρα. Χρησιμοποιώντας το ίδιο format στο ίδιο αρχείο, αντί για εκτύπωση σύμφωνα με χρονολογική σειρά, τα στοιχεία εκτυπώνονται και με αύξουσα σειρά της μεταβλητής IFLDAY, δηλαδή παρέχεται η δυνατότητα στον αναγνώστη, να διακρίνει κατευθείαν ποιες συγκεκριμένες ημέρες περιέχει η εκάστοτε ομάδα.

Ακολουθούν δείγματα από αυτά τα αρχεία :

```

File Edit Format View Help
1986 2 6 420
1986 2 7 520
1986 2 8 619
1986 2 9 7 2
1986 210 117
1986 211 220
1986 212 320
1986 213 420
1986 214 520
1986 215 619
1986 216 7 2
1986 217 117

```

```

File Edit Format View Help
19861026 7 4
19861028 2 4
198611 2 7 4
198610 4 6 5
19861011 6 5
19861018 6 5
19861025 6 5
19861027 1 5
198611 1 6 5
1986 4 5 6 6
1986 412 6 6
1986 419 6 6

```

Στο πρακτικό μέρος της μεθόδου, ανοίξαμε το αρχείο .exe δώσαμε το όνομα του αρχείου εισόδου, τον αριθμό των επαναλήψεων και το μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα.

Ακολουθεί δείγμα του τρεξίματος του προγράμματος :

```

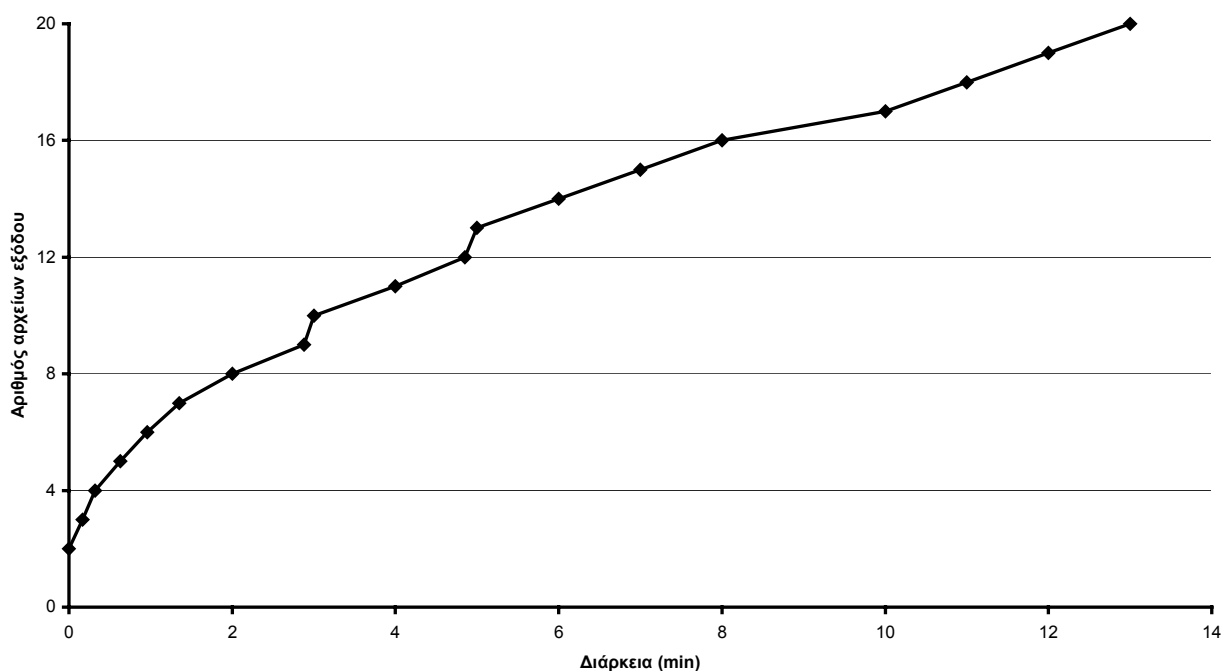
C:\Documents and Settings\Marina\My Documents\My Main Documents\Τα έγγραφ...
ENTER INPUT FILE NAME (only 8 characters):
LoadKa86
PLHTHOS STOIXEIWN :          365
ENTER MEGISTO ARITHMO EPANALHFEWN :
1000
ENTER MEGISTO EPITREPTO SFALMA :
0.000001

```

Στη μέθοδο αυτή σα μέγιστο αριθμό επαναλήψεων θέσαμε τις 1000 και σαν μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα το 0,000001.

Σχολιάζοντας τη διάρκεια τρεξίματος της μεθόδου K-μέσων 01 για τα φορτία ενός έτους, η εκτέλεση έχει ένα αρκετά μεγάλο μέγεθος της τάξης των 15 λεπτών περίπου. Θέλοντας να δούμε πόση ώρα διαρκεί το τρέξιμο για κάθε τέλος εποχής, δηλαδή το πέρασμα από τις 2 στις 3 ομάδες και ούτω καθεξής μέχρι τις 20, κάναμε ένα διάγραμμα το οποίο φαίνεται παρακάτω. Στο παρακάτω διάγραμμα κάνουμε τη θεώρηση ότι στο $t = 0$ έχει εμφανιστεί το πρώτο OUT002.txt αρχείο. Τη διάρκεια μπορέσαμε να τη δούμε από την επιλογή Details στο View, των παραθύρων σε περιβάλλον Windows.

Διάρκεια τρεξίματος K-μέσων 01 για φορτία για έτη



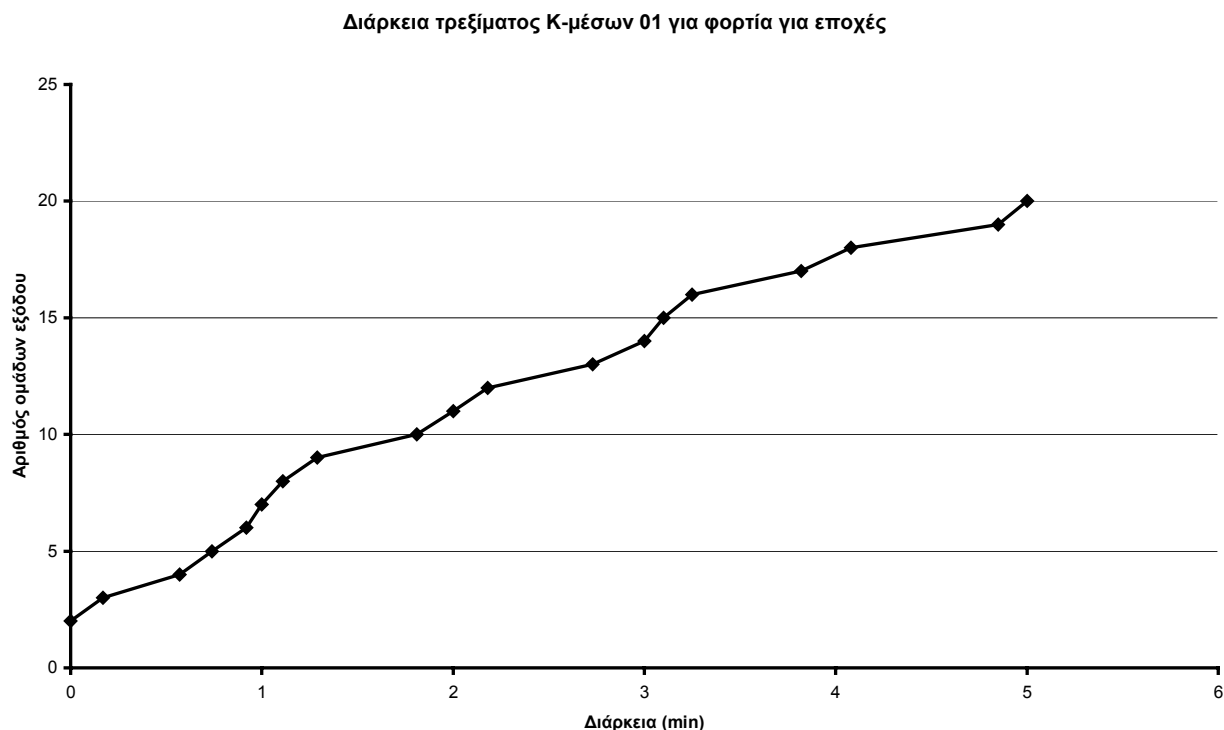
Στο παραπάνω διάγραμμα αυτό που παρατηρούμε, είναι ότι από το 5^ο περίπου λεπτό και μετά υπάρχει μια σταδιακή χρονική αύξηση, στη διάρκεια της τάξης του ενός λεπτού της κατανομής στις 12, 13 ... 20 ομάδες, εκτός της κατανομής στις 16 ομάδες, όπου φαίνεται να διαρκεί παραπάνω χρόνο, δηλαδή 2 λεπτά.

4.4.1.1.1.2. Για εποχές

Για την κατηγοριοποίηση των αρχείων των φορτίων που είναι χωρισμένα σε «Χειμώνα» και «Καλοκαίρι», χρησιμοποιήσαμε ακριβώς το ίδιο πρόγραμμα σε Fortran και το εκτελέσαμε για τα «Καλοκαίρια» από 1985 μέχρι το 2000 και για τους «Χειμώνες» του 1985-1986, μέχρι του 1999-2000. Έτσι ακολουθήθηκε η ίδια ακριβώς διαδικασία, το πρόγραμμα εκτέλεσε ακριβώς τις ίδιες εντολές και λάβαμε της ίδιας ακριβώς μορφής αρχεία εξόδου με μικρότερο μέγεθος σαφώς.

Μπορεί, βέβαια τα αρχεία εισόδου να ήταν τα μισά σε μέγεθος από αυτά των ετών, ήταν όμως διπλάσια σε πλήθος άρα και το ανθρώπινο έργο που απαιτήθηκε. Για τη διάρκεια του τρεξίματος της εκάστοτε εποχής, όπως ήταν αναμενόμενο, μπορούμε να πούμε ότι ήταν σαφώς μικρότερη από την αντίστοιχη των ετών, λόγω μικρότερου όγκο πληροφορίας που επεξεργάζεται.

Ακολουθεί ένα διάγραμμα που κάναμε για να δούμε πόση ώρα διαρκεί το τρέξιμο για κάθε τέλος εποχής, δηλαδή το πέρασμα από τις 2 στις 3 ομάδες και ούτω καθεξής μέχρι τις 20 :



Από το παραπάνω γράφημα διακρίνουμε μια κλιμακωτή αύξηση της διάρκειας των εποχών. Είναι απαραίτητο να ξεκαθαριστεί ότι άλλο η διάρκεια μιας εποχής, δηλαδή το πέρασμα από το τέλος μιας κατανομής στον X αριθμό ομάδων, στο τέλος της επόμενης κατανομής σε X+1 αριθμό ομάδων και άλλο η διάρκεια από το χρονικό σημείο 0, την ώρα δηλαδή που εμφανίστηκε το 1^ο αρχείο OUT. Οπότε μπορεί η κατανομή στις 10 ομάδες να διαρκεί λίγα δευτερόλεπτα μετρώντας από το πέρασμα των 9 εποχών, όμως ολοκληρώθηκε στα 2 λεπτά από την έναρξη του προγράμματος. Τέλος συγκριτικά με το τρέξιμο της K-μέσων 01 για τα έτη, η K-μέσων 01 για τις εποχές, ολοκληρώθηκε στο 1/3 σχεδόν του χρόνου της πρώτης, γεγονός που οφείλεται αποκλειστικά στο γεγονός, ότι τα αρχεία εισόδου περιείχαν τη μισή πληροφορία, δηλαδή φορτία για 6 μήνες αντί για 1 έτος.

4.4.1.1.2. Για θερμοκρασίες

4.4.1.1.2.1. Για έτη

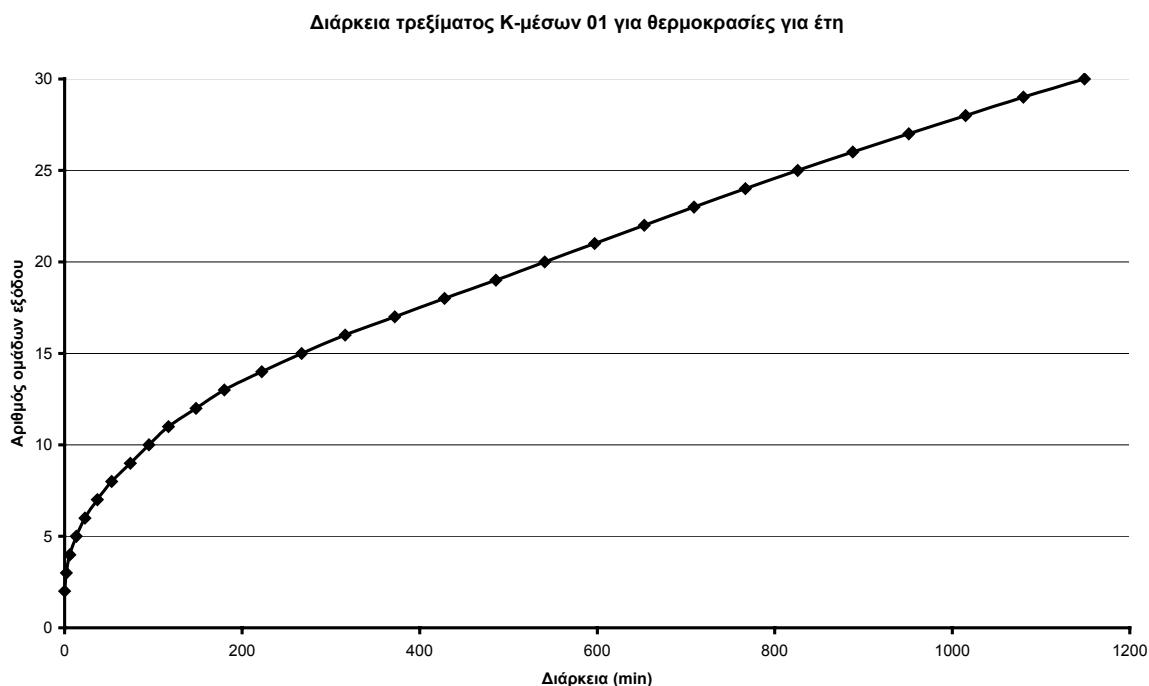
Συνεχίζοντας, λοιπόν την κατηγοριοποίηση χρησιμοποιήσαμε το ίδιο πρόγραμμα της Fortran για τα 2 αρχεία των θερμοκρασιών Αθήνας και Θεσσαλονίκης, για τα έτη 1986 μέχρι 2002, με κάποιες αλλαγές σαφώς, λόγω της μεγάλης διαφοράς σε όγκο στα αρχεία εισόδου. Έτσι, αλλάξαμε τη διάσταση των πινάκων πλήθους των διανυσμάτων ανάγνωσης

σε 6000, αφού υπολογίσαμε πριν ότι $16 \text{ \acute{e}\tau\eta} * 365 \text{ \eta\mu\acute{\epsilon}\rho\epsilon\varsigma \text{ \textit{per}} \acute{\iota}\tau\eta} = 5840 \text{ \eta\mu\acute{\epsilon}\rho\epsilon\varsigma \text{ \textit{synolika}}}$. Αλλάξαμε επίσης και τη διάσταση πινάκων μεγέθους διανυσμάτων ανάγνωσης, από 24 σε 8, λόγω των 8 τριώρων θερμοκρασιών ανά ημέρα από το σταθμό. Αυτό που αλλάξαμε επίσης, είναι ο μέγιστος αριθμός ομάδων, τον οποίο τον κάναμε 30 αντί για 20, μιας και τα 16 χρόνια είναι μεγάλο χρονικό διάστημα και οι κλιματολογικές συνθήκες δεν έχουν αλλάξει ουσιαστικά, επηρεάζοντας και τη ζήτηση του φορτίου, κυρίως στη χρήση των κλιματιστικών.

Το format του αρχείου εισόδου, επίσης είναι διαφορετικό από προηγουμένως, αφού δεν διαβάζονται πλέον φορτία, αλλά θερμοκρασίες. Πιο συγκεκριμένα φτιάχτηκε το **format 15**, σύμφωνα με το οποίο όταν διαβάζονται τα δεδομένα κάθε γραμμής από το αρχείο, τα πρώτα 4 ψηφία αποθηκεύονται στη μεταβλητή IYEAR για το έτος, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IMONTH για το μήνα, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IDAY για την ημέρα, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IKDAY για το είδος της μέρας, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IFLDAY (που είναι ακόμα 0) και τέλος τα υπόλοιπα στοιχεία αποθηκεύονται σε ένα μονοδιάστατο πίνακα RTEMP με 8 στήλες για τις 8 τριώρες κανονικοποιημένες θερμοκρασίες, που καταλαμβάνει 8 ψηφία η κάθε μία, εκ των οποίων 6 ψηφία είναι δεκαδικά.

Όσον αφορά το υπόλοιπο μέρος της διαδικασίας και οι εντολές του προγράμματος παρέμειναν οι ίδιες και της ίδιας μορφής αρχεία εξόδου λάβαμε. Ο τρόπος τρεξίματος άλλαξε μόνο, ως προς το γεγονός ότι, αντί για 16 ξεχωριστά αρχεία τρέξαμε μόνο τα 2 της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, τα οποία βέβαια έχουν πληροφορία για 16 έτη.

Το στοιχείο που άλλαξε στα τρεξίματα των θερμοκρασιών σε σχέση με εκείνα των φορτίων, είναι η διάρκειά τους. Μάλιστα θέλοντας να δούμε πόση ώρα διαρκεί το τρέξιμο για κάθε τέλος εποχής, δηλαδή το πέρασμα από τις 2 στις 3 ομάδες και ούτω καθεξής μέχρι τις 20, σχεδιάσαμε το ακόλουθο διάγραμμα :



Από το παραπάνω διάγραμμα αυτό που παρατηρούμε είναι ότι η επανάληψη των εποχών σε σχέση με τη χρονική διάρκεια είναι ότι η ολοκλήρωση της διαδικασίας διαρκεί συνολικά περίπου 1200 λεπτά ή αλλιώς περίπου 20 ώρες (!!). Κάτι που παρουσιάζει αξιόλογο ενδιαφέρον είναι ότι η διάρκεια τείνει να αυξάνει με σταθερό βήμα όσο προχωρά η αλληλουχία των εποχών. Τέλος το φορτίο δεν έχει ομοιογένεια, κατά το πέρας των ετών, σε αντίθεση με τη θερμοκρασία η οποία όπως βλέπουμε και από το διάγραμμα παρουσιάζει ομοιογένεια. Αυτός είναι ο λόγος, άλλωστε, που τρέξαμε τα φορτία ανά έτη, ενώ τις θερμοκρασίες όλες μαζί.

4.4.1.1.2.2. Για εποχές

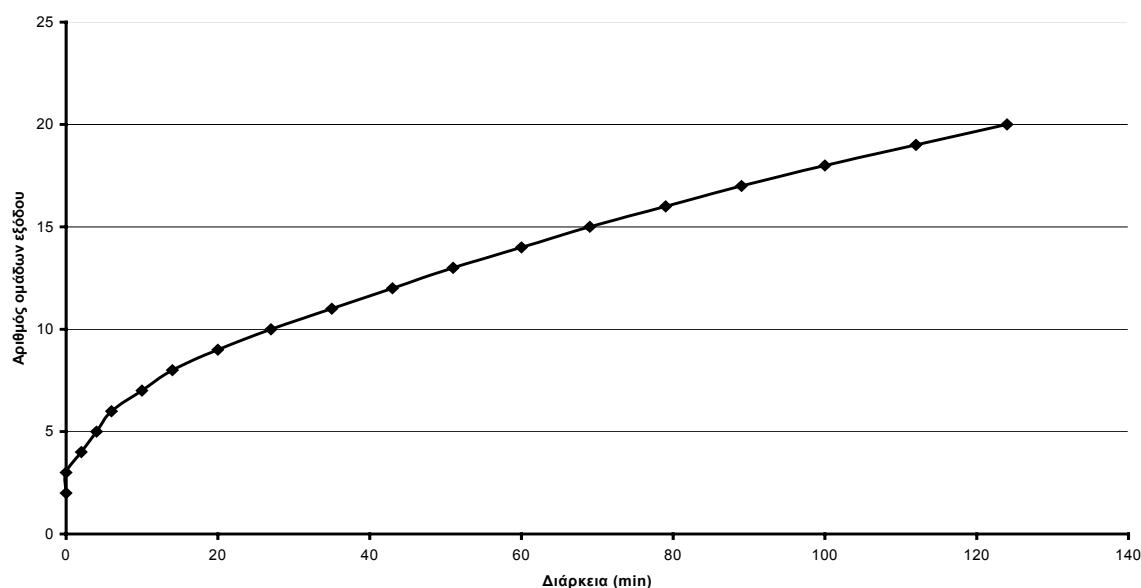
Συνεχίζοντας, λοιπόν την κατηγοριοποίηση χρησιμοποιήσαμε το ίδιο πρόγραμμα της Fortran για τα 4 αρχεία (2, για Καλοκαίρι και Χειμώνα, για Αθήνα και Θεσσαλονίκη) των θερμοκρασιών για τις εποχές των ετών 1986 μέχρι 2002, με κάποιες αλλαγές σαφώς, λόγω της μεγάλης διαφοράς σε όγκο στα αρχεία εισόδου. Έτσι, αλλάξαμε τη διάσταση των πινάκων πλήθους των διανυσμάτων ανάγνωσης σε 3000, αφού υπολογίσαμε πριν ότι 16 έτη * 180 ημέρες, περίπου (για μισό χρόνο) = 2880 ημέρες συνολικά. Αλλάξαμε επίσης και τη διάσταση πινάκων μεγέθους διανυσμάτων ανάγνωσης από 24 σε 8, για λόγους κατανοητούς.

Αλλάξαμε για ακόμα μια φορά το format του αρχείου εισόδου αφού δεν διαβάζονται πλέον φορτία αλλά θερμοκρασίες. Πιο συγκεκριμένα φτιάχτηκε το **format 15** (σελ. 69) το οποίο έχει περιγραφεί παραπάνω.

Όσον αφορά το υπόλοιπο μέρος της διαδικασίας και οι εντολές του προγράμματος παρέμειναν οι ίδιες και της ίδιας μορφής αρχεία εξόδου λάβαμε. Ο τρόπος τρεξίματος άλλαξε μόνο ως προς το γεγονός ότι, αντί για 16*2=32 ξεχωριστά αρχεία, για τις «εποχές» των 16 ετών, τρέξαμε μόνο τα 4 της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, τα οποία βέβαια έχουν πληροφορία για 16 έτη.

Ακολουθεί ένα διάγραμμα με τη διάρκεια τρεξίματος της K-μέσων 01, για τις θερμοκρασίες των εποχών :

Διάρκεια τρεξίματος K-μέσων 01 για θερμοκρασίες για εποχές



Από το παραπάνω διάγραμμα αυτό που παρατηρούμε είναι ότι η ολοκλήρωση της διαδικασίας διαρκεί συνολικά περίπου 130 λεπτά ή αλλιώς περίπου 2 ώρες, γεγονός που και για τα 4 αρχεία μας κάνουν συνολικά 8 ώρες, για τα τρεξίματα των θερμοκρασιών των «εποχών». Κάτι που παρουσιάζει αξιόλογο ενδιαφέρον είναι ότι και εδώ η διάρκεια τείνει να αυξάνει με σταθερό βήμα, όσο προχωρά η αλληλουχία των εποχών. Παρατηρούμε επίσης ότι για 20 ομάδες για τις εποχές η διάρκεια είναι 125 min, ενώ για τα έτη είναι 550 min περίπου (γράφημα σελ 70). Επομένως η διάρκεια των ετών είναι 4,5 φορές μεγαλύτερη από αυτή των εποχών, δηλαδή η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου ακολουθεί προσεγγιστικά μια σχέση της μορφής : $O(n^2 \log n)$ [B11].

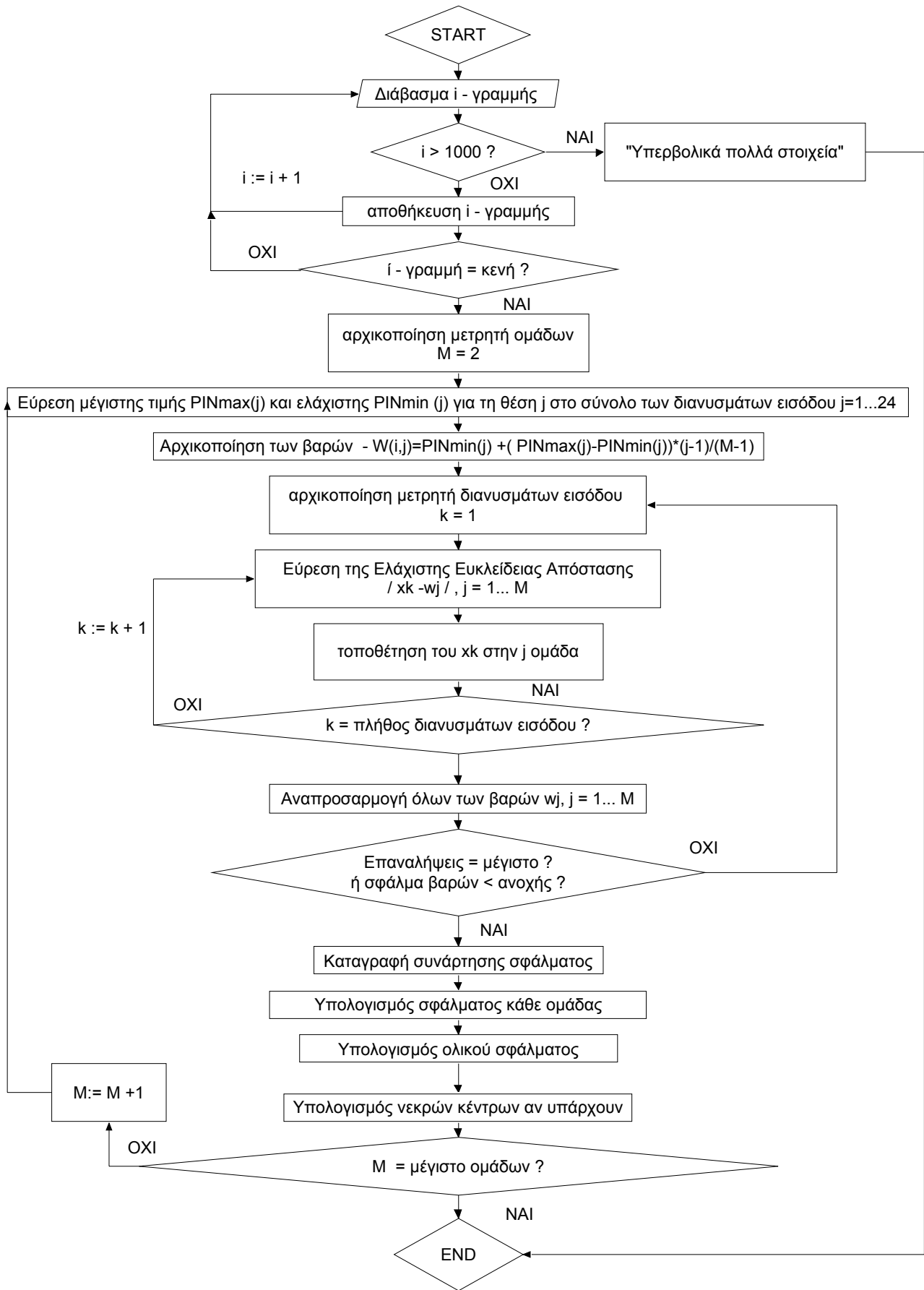
4.4.1.2 Η μέθοδος K-μέσων χωρίς βελτιστοποίηση 02

4.4.1.2.1. Για φορτία

4.4.1.2.1.1. Για έτη

Αρχίζοντας, λοιπόν την κατηγοριοποίηση με τη δεύτερη μέθοδο, K-μέσων 02, χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα της Fortran για τα αρχεία των φορτίων, για τα έτη 1985 μέχρι 2000.

Ακολουθεί ο αλγόριθμος του προγράμματος με τα βασικά βήματα :



Διάγραμμα 5
Κατηγοριοποίηση με μέθοδο K-μέσων 02

Στην αρχή του προγράμματος καθορίζουμε τον αριθμό των ομάδων, στις οποίες θέλουμε να κατανεμηθούν τα φορτία των ημερών. Εδώ ειδικά επιλέγουμε, οι ημέρες να κατανεμηθούν από 2 μέχρι 20 ομάδες. Το διάνυσμα εκπαίδευσης αποτελείται από 24 στοιχεία, όσα και τα ωριαία φορτία.

Σύμφωνα, με το πρόγραμμα το οποίο παρουσιάζει αλλαγή, μόνο ως προς την αρχικοποίηση των βαρών των ομάδων και τα αρχεία εξόδου σε σχέση με την Κ-μέσων 01, αρχικά ανοίγεται το αρχείο, διαβάζονται διαδοχικά όλες οι γραμμές και αποθηκεύονται τα στοιχεία τους σε δισδιάστατους πίνακες. Πιο συγκεκριμένα φτιάχνεται το **format 20** (σελ. 56) το οποίο έχουμε περιγράψει παραπάνω.

Στη συνέχεια το πρόγραμμα αρχικοποιεί τα βάρη των νευρώνων του ανταγωνιστικού επιπέδου (τις ομάδες δηλαδή), βρίσκοντας για κάθε θέση i του βάρους τη μέγιστη b_i και την ελάχιστη τιμή a_i της αντίστοιχης θέσης των διανυσμάτων εισόδου, ώστε να αρχικοποιηθούν μέσω της σχέσης : $w_{ji}^{(0)} = a_i + (b_i - a_i) * (j - 1) / (M - 1)$ τα στοιχεία των διανυσμάτων όσο γίνεται πιο ομοιόμορφα. Έπειτα αρχικοποιείται και η Ελάχιστη Ευκλείδεια Απόσταση $d(\bar{x}_i, \bar{w}_j)$.

Στη συνέχεια ακολουθείται η ίδια διαδικασία, όπως και με την Κ-Μέσων 01.

Κατά τη διάρκεια του προγράμματος υπολογίζονται τα ίδια με πριν σφάλματα, δηλαδή το σφάλμα συνάρτησης που συμβολίζεται με το WJ, το απόλυτο σφάλμα που συμβολίζεται με το APE και υπολογίζεται από τον τύπο (4.4.1.1.1-2), τη μέση τιμή σφάλματος που συμβολίζεται με το R_MESH και υπολογίζεται μέσω του τύπου (4.4.1.1.1-3) και το μέγιστο απόλυτο σφάλμα της ταξινόμησης που συμβολίζεται με το MAPE και υπολογίζεται μέσω του τύπου (4.4.1.1.1-4).

Τελικά όταν το πρόγραμμα τελειώσει το τρέξιμο, εμφανίζονται μια σειρά από αρχεία εξόδου τα οποία θα ομαδοποιήσουμε σε 2 κατηγορίες : το ένα αρχείο λέγεται ELEGXOS.txt στο οποίο εκτυπώνονται, όλα τα σφάλματα για όλες τις εποχές, οι επαναλήψεις και τα νεκρά κέντρα.

Ακολουθεί δείγμα αυτού του αρχείου :

```

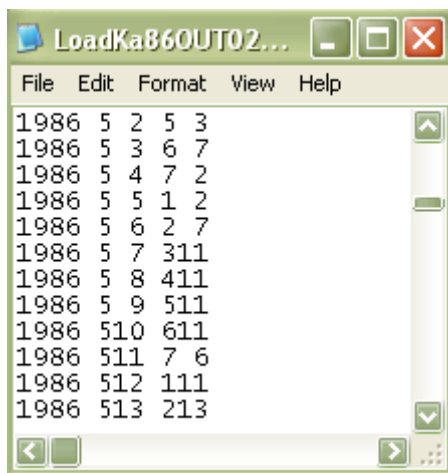
LoadKaB6ELEGXOS.txt - Notepad
File Edit Format View Help
1 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.349222
2 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.279287
2 EPANALHFEIS => 9 SFALMA SYN=>128.40188599 APE=>0.34922206 MESH TIMH SF=>2.67503929 MAPE=>0.14072697 NEKRA K=> 0
1 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.313809
2 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.190216
3 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.279998
3 EPANALHFEIS => 8 SFALMA SYN=> 97.24769592 APE=>0.31380916 MESH TIMH SF=>1.35066247 MAPE=>0.10779384 NEKRA K=> 0
1 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.116682
2 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.253521
3 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.187291
4 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.286810
4 EPANALHFEIS => 8 SFALMA SYN=> 94.51567841 APE=>0.28680980 MESH TIMH SF=>0.98453832 MAPE=>0.10214413 NEKRA K=>0

```

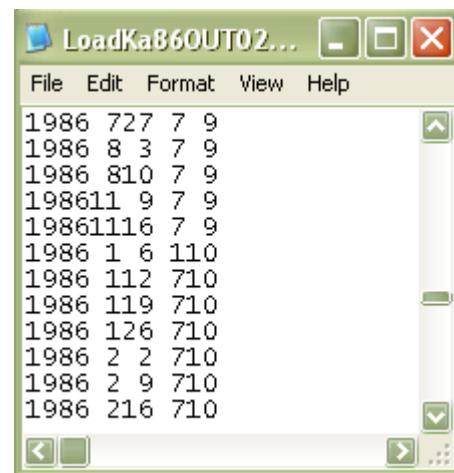
Η άλλη κατηγορία αρχείων εξόδου είναι τα 19 αρχεία OUT00X.txt όπου X από 2 μέχρι 20 όπως και στα ELE.txt. τα οποία περιέχουν και τη βασική μας πληροφορία, δηλαδή ποιες ημέρες κατανέμονται σε ποιες ομάδες όταν έχουμε 2, 3, 4 ... 20 ομάδες. Το αρχείο μας

παρέχει την πληροφορία με πολλές μορφές, σε πίνακες, αλλά και σε **format 28** (σελ.66) για το οποίο έχουμε μιλήσει στην προηγούμενη μέθοδο.

Ακολουθούν δείγματα από αυτά τα αρχεία :



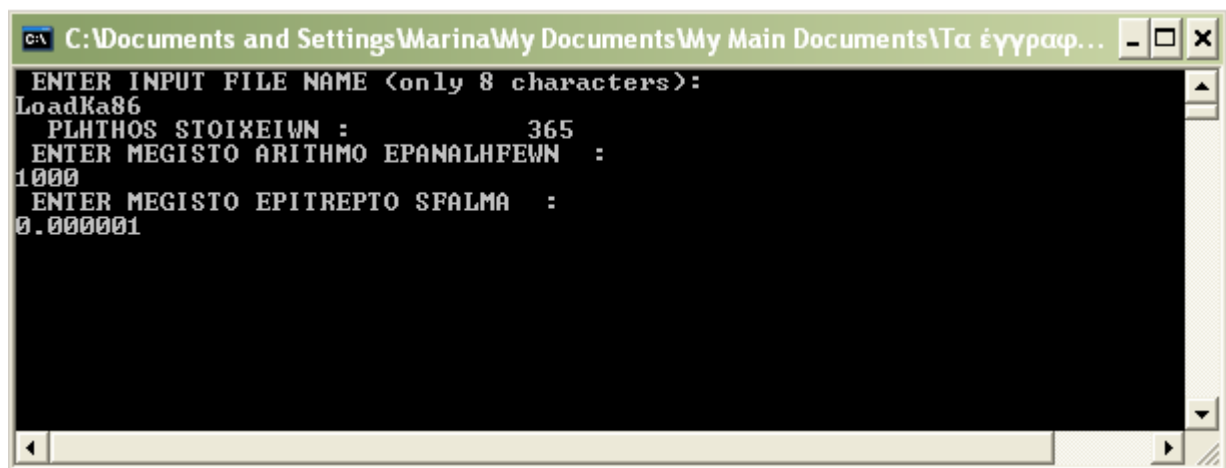
```
File Edit Format View Help
1986 5 2 5 3
1986 5 3 6 7
1986 5 4 7 2
1986 5 5 1 2
1986 5 6 2 7
1986 5 7 311
1986 5 8 411
1986 5 9 511
1986 510 611
1986 511 7 6
1986 512 111
1986 513 213
```



```
File Edit Format View Help
1986 727 7 9
1986 8 3 7 9
1986 810 7 9
198611 9 7 9
19861116 7 9
1986 1 6 110
1986 112 710
1986 119 710
1986 126 710
1986 2 2 710
1986 2 9 710
1986 216 710
```

Στο πρακτικό μέρος της μεθόδου, ανοίξαμε το αρχείο .exe, δώσαμε το όνομα του αρχείου εισόδου, τον αριθμό των επαναλήψεων και το μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα.

Ακολουθεί παράδειγμα τρεξίματος το οποίο εμφανισιακά δε διαφέρει από την Κ-μέσων 01, αλλά το πρόγραμμα που τρέχουμε είναι διαφορετικό :



```
C:\Documents and Settings\Marina\My Documents\My Main Documents\Τα έγγραφα...
ENTER INPUT FILE NAME (only 8 characters):
LoadKa86
  PLHTHOS STOIXEIWN :           365
ENTER MEGISTO ARITHMO EPANALHFEWN :
1000
ENTER MEGISTO EPITREPTO SFALMA :
0.000001
```

Και στη μέθοδο αυτή σαν μέγιστο αριθμό επαναλήψεων θέσαμε τις 1000 και σαν μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα το 0,000001.

4.4.1.2.1.2. Για εποχές

Για την κατηγοριοποίηση των αρχείων των φορτίων που είναι χωρισμένα σε «Χειμώνα» και «Καλοκαίρι», χρησιμοποιήσαμε ακριβώς το ίδιο πρόγραμμα σε Fortran και το τρέξαμε για τα «Καλοκαίρια» από 1985 μέχρι το 2000 και για τους «Χειμώνες» από το

1985-1986 μέχρι το 1999-2000. Έτσι ακολουθήθηκε η ίδια ακριβώς διαδικασία, το πρόγραμμα εκτέλεσε ακριβώς τις ίδιες εντολές και λάβαμε της ίδιας ακριβώς μορφής αρχεία εξόδου στο μισό μέγεθος σαφώς.

Και εδώ, λόγω του ότι η διάρκεια του εκτέλεσης της εκάστοτε εποχής ήταν μικρότερη του ενός δευτερολέπτου, δεν κρίνεται σκόπιμο να παρατεθεί διάγραμμα για τη διάρκεια εκτέλεσης.

4.4.1.2.2. Για θερμοκρασίες

4.4.1.2.2.1. Για έτη

Συνεχίζοντας ακολούθως την κατηγοριοποίηση, χρησιμοποιήσαμε για ακόμα μια φορά πρόγραμμα της Fortran για τα 2 αρχεία των θερμοκρασιών Αθήνας και Θεσσαλονίκης, για τα έτη 1986 μέχρι 2002, με κάποιες αλλαγές σαφώς λόγω της μεγάλης διαφοράς σε όγκο στα αρχεία εισόδου. Έτσι, λοιπόν αλλάξαμε πάλι, όπως και στην K-μέσων 01, τη διάσταση των πινάκων πλήθους των διανυσμάτων ανάγνωσης, σε 6000, αφού υπολογίσαμε πριν ότι $16 \text{ έτη} * 365 \text{ ημέρες περίπου} = 5840 \text{ ημέρες συνολικά}$. Αλλάξαμε επίσης και τη διάσταση πινάκων μεγέθους διανυσμάτων ανάγνωσης από 24 σε 8 για λόγους κατανοητούς. Αυτό που αλλάξαμε επίσης, είναι ο μέγιστος αριθμός ομάδων, τον οποίο τον κάναμε 30 αντί για 20, μιας και όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω τα 16 χρόνια είναι μεγάλο χρονικό διάστημα που οι κλιματολογικές συνθήκες ποικίλουν.

Αλλάξαμε επιπλέον, το format του αρχείου εισόδου αφού δεν διαβάζονται πλέον φορτία αλλά θερμοκρασίες. Πιο συγκεκριμένα φτιάχτηκε το **format 15** (σελ.69), το οποίο έχει περιγραφεί παραπάνω.

Όσον αφορά το υπόλοιπο μέρος της διαδικασίας και οι εντολές του προγράμματος παρέμειναν οι ίδιες και της ίδιας μορφής αρχεία εξόδου λάβαμε. Ο τρόπος τρεξίματος άλλαξε μόνο, ως προς το γεγονός ότι, αντί για 16 ξεχωριστά αρχεία τρέξαμε μόνο τα 2 της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, τα οποία βέβαια έχουν πληροφορία για 16 έτη.

4.4.1.2.2.2. Για εποχές

Ολοκληρώνοντας, τη διαδικασία της κατηγοριοποίησης, με τις δύο μεθόδους K-μέσων χρησιμοποιήσαμε για τελευταία φορά πρόγραμμα της Fortran για τα 4 αρχεία (2 για Καλοκαίρι και Χειμώνα για Αθήνα και ομοίως για Θεσσαλονίκη) των θερμοκρασιών, για τις εποχές των ετών 1986 μέχρι 2002, με κάποιες αλλαγές σαφώς λόγω της μεγάλης διαφοράς σε όγκο στα αρχεία εισόδου. Έτσι, λοιπόν αλλάξαμε ξανά τη διάσταση των πινάκων πλήθους των διανυσμάτων ανάγνωσης σε 3000, αφού υπολογίσαμε πριν ότι $16 \text{ έτη} * 180 \text{ ημέρες περίπου για μισό χρόνο} = 2880 \text{ ημέρες συνολικά}$. Αλλάξαμε επίσης και τη διάσταση πινάκων μεγέθους διανυσμάτων ανάγνωσης από 24 σε 8 για λόγους κατανοητούς.

Το format του αρχείου εισόδου άλλαξε, αφού δεν διαβάζονται πλέον φορτία αλλά θερμοκρασίες. Πιο συγκεκριμένα φτιάχτηκε το κλασσικό πλέον **format 15** (σελ.69).

Όσον αφορά το υπόλοιπο μέρος της διαδικασίας και οι εντολές του προγράμματος παρέμειναν οι ίδιες και της ίδιας μορφής αρχεία εξόδου λάβαμε. Ο τρόπος τρεξίματος άλλαξε μόνο ως προς το γεγονός ότι, αντί για $16 \times 2 = 32$ ξεχωριστά αρχεία για τις «εποχές» των 16 ετών τρέξαμε μόνο τα 4 της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης τα οποία βέβαια έχουν πληροφορία για 16 έτη.

Όπως και παραπάνω για τα έτη η διάρκεια των τρεξιμάτων για τις θερμοκρασίες με τη μέθοδο K-μέσων 09 ήταν πολλή μικρή.

4.4.2 Η μέθοδος LVQ

Ο αλγόριθμος του *εκπαιδευόμενου διανυσματικού κβαντιστή* (Learning Vector Quantization) αποτελεί μια προσαρμοζόμενη παραλλαγή του αλγορίθμου K-μέσων. Θεωρείται ότι ανήκει στην κατηγορία των αλγορίθμων ανταγωνιστικής μάθησης, δηλαδή, όπως έχουμε αναφέρει προηγουμένως, σε κάθε βήμα οι διάφορες ομάδες «ανταγωνίζονται», με βάση κάποιο κριτήριο για την απόκτηση του προτύπου εκπαίδευσης. Η ομάδα που βγαίνει νικήτρια από τον ανταγωνισμό, μετακινεί το κέντρο της προς την κατεύθυνση του προτύπου που «απέκτησε», ενώ οι υπόλοιπες ομάδες δεν τα μετακινούν καθόλου. Ο αλγόριθμος LVQ μπορεί εύκολα να υλοποιηθεί με ένα νευρωνικό δίκτυο, που περιλαμβάνει ένα ανταγωνιστικό επίπεδο με τόσους ανταγωνιστικούς νευρώνες, όσους και οι ομάδες. Κάθε ανταγωνιστικός νευρώνας αντιστοιχεί σε μια ομάδα και τα βάρη του αντιστοιχούν στο κέντρο της ομάδας.

4.4.2.1 Για τα έτη

Για να τρέξουμε τον αλγόριθμο LVQ χρησιμοποιήσαμε ένα πρόγραμμα της Fortran σύμφωνα με το οποίο κατηγοριοποιήσαμε τα φορτία για τα έτη 1985 μέχρι 2000 σε ομάδες. Σύμφωνα με αυτό το πρόγραμμα στην αρχή, καθορίζουμε τον αριθμό των ομάδων, στις οποίες θέλουμε να κατανεμηθούν τα φορτία των ημερών. Εδώ ειδικά επιλέγουμε οι ημέρες να κατανεμηθούν από 2 μέχρι 20 ομάδες. Το διάνυσμα εκπαίδευσης αποτελείται από 24 στοιχεία, όσα και τα ωριαία φορτία.

Σύμφωνα, λοιπόν με το πρόγραμμα αρχικά ανοίγεται το αρχείο, διαβάζονται διαδοχικά όλες οι γραμμές και αποθηκεύονται τα στοιχεία τους. Πιο συγκεκριμένα φτιάχνεται το κλασσικό **format 15**, σύμφωνα με το οποίο όταν διαβάζονται τα δεδομένα κάθε γραμμής από το αρχείο. Τα πρώτα 4 ψηφία αποθηκεύονται στη μεταβλητή IYEAR για το έτος, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IMONTH για το μήνα, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IDAY για την ημέρα, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IKDAY για το είδος της μέρας, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IFLDAY (που είναι ακόμα 0) και τέλος τα

υπόλοιπα στοιχεία αποθηκεύονται σε ένα μονοδιάστατο πίνακα RLOAD με 24 στήλες για τα 24 ωριαία κανονικοποιημένα φορτία, με 8 ψηφία για κάθε φορτίο, εκ των οποίων το δεκαδικό μέρος καταλαμβάνουν τα 6 ψηφία .

Στη συνέχεια το πρόγραμμα αρχικοποιεί τα βάρη των νευρώνων του ανταγωνιστικού επιπέδου (τις ομάδες δηλαδή) βρίσκοντας για κάθε θέση i του βάρους η μέγιστη b_i και η ελάχιστη τιμή a_i της αντίστοιχης θέσης των διανυσμάτων εισόδου, ώστε να αρχικοποιηθούν μέσω της σχέσης : $w_{ji}^{(0)} = a_i + (b_i - a_i) * (j - 1) / (M - 1)$ τα στοιχεία των διανυσμάτων όσο γίνεται πιο ομοιόμορφα. Έπειτα αρχικοποιείται και ο ρυθμός μάθησης και η Ελάχιστη Ευκλείδεια Απόσταση $d(\bar{x}_i, \bar{w}_j)$.

Ακολούθως για κάθε τυχαίο πρότυπο εκπαίδευσης \bar{x}_i (για κάθε είσοδο) υπολογίζονται οι Ευκλείδειες Αποστάσεις $d(\bar{x}_i, \bar{w}_j)$, δηλαδή οι νευρώνες του ανταγωνιστικού επιπέδου (οι ομάδες) ανταγωνίζονται για το ποιος θα «κερδίσει» το πρότυπο εκπαίδευσης. Ο «νικητής» νευρώνας (η νικήτρια ομάδα) είναι αυτός με τη μικρότερη απόσταση, δηλαδή: $d(\bar{x}_i, \bar{w}_k) = \min_j d(\bar{x}_i, \bar{w}_j)$ και έτσι ταξινομείται το διάνυσμα \bar{x}_i στην ομάδα $\Omega_k^{(t)}$ με τη μικρότερη απόσταση από το πρότυπο εκπαίδευσης.

Στη συνέχεια υπολογίζεται το νέο διάνυσμα βαρών του νευρώνα νικητή k δηλαδή της νέας θέσης $\bar{w}_k^{(t+1)}$ για το κέντρο μόνο της νικήτριας ομάδας k μέσω της σχέσης:

$$\bar{w}_{kj}^{(t+1)} = w_{kj}^{(t)} + n(x_j^i - w_{kj}^{(t)})$$

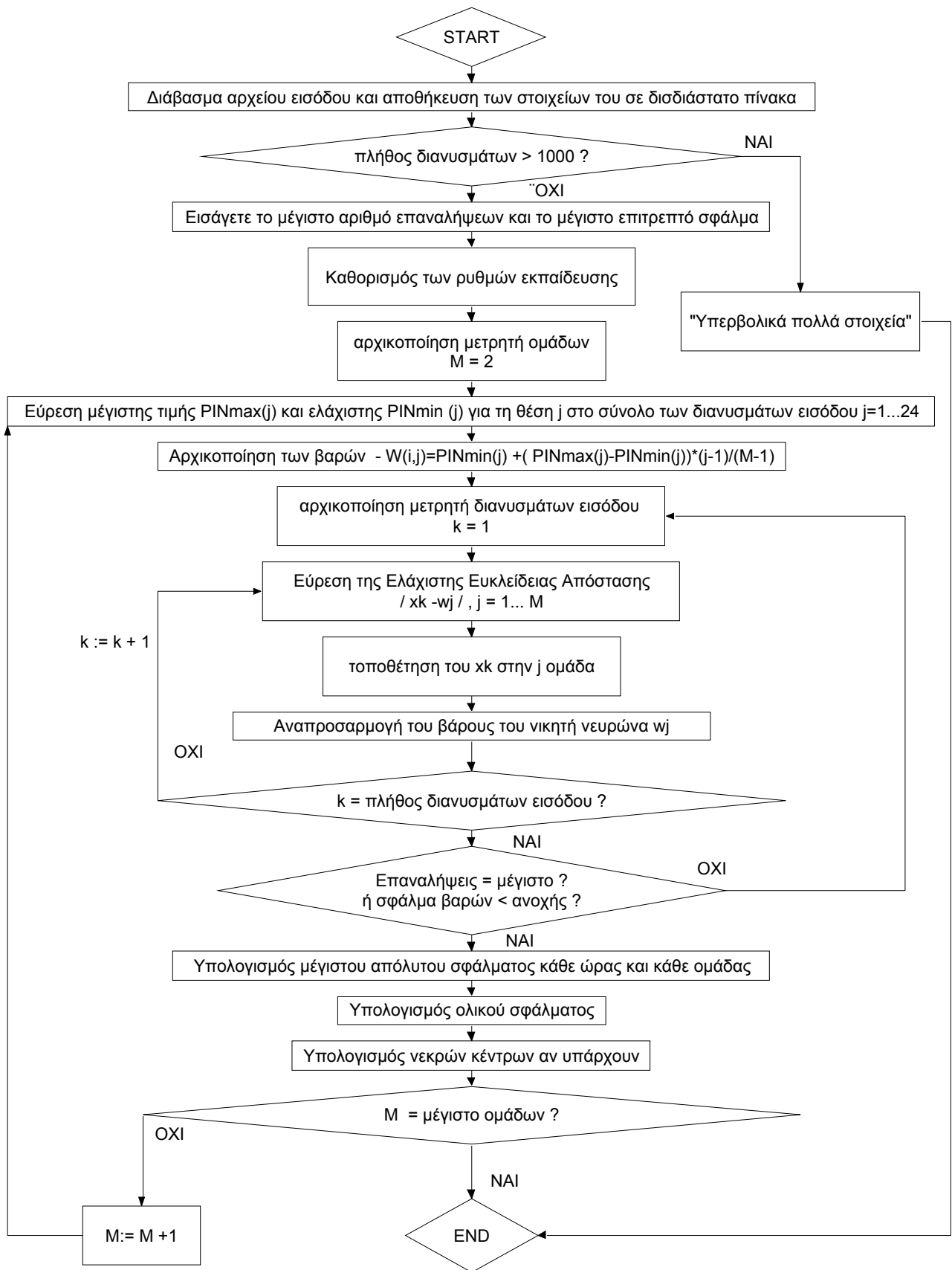
για $j=1, \dots, d$ και όπου n είναι ο ρυθμός εκπαίδευσης.

Τα βάρη των υπολοίπων νευρώνων (δηλαδή τα κέντρα των υπολοίπων ομάδων) δε μεταβάλλονται.

Στη συνέχεια γίνεται βαθμιαία, αργή μείωση του ρυθμού εκπαίδευσης n , περνάμε στο επόμενο πρότυπο εισόδου και η διαδικασία επαναλαμβάνεται, μέχρι τα βάρη να συγκλίνουν στις τελικές τους τιμές.

Κατά τη διάρκεια του προγράμματος υπολογίζονται τα γνωστά σφάλματα : το σφάλμα συνάρτησης που συμβολίζεται με το WJ, το απόλυτο σφάλμα που συμβολίζεται με το APE και υπολογίζεται από τον τύπο (4.4.1.1.1.-2), τη μέση τιμή σφάλματος που συμβολίζεται με το R_MESH και υπολογίζεται μέσω του τύπου (4.4.1.1.1.-3) και το μέγιστο απόλυτο σφάλμα της ταξινόμησης που συμβολίζεται με το MAPE και υπολογίζεται μέσω του τύπου (4.4.1.1.1.-4)

Ακολουθεί το διάγραμμα ροής της μεθόδου με τα βασικότερα βήματα:



Διάγραμμα 6
Κατηγοριοποίηση με μέθοδο LVQ

Τελικά, όταν το πρόγραμμα τελειώσει το τρέξιμο, εμφανίζονται μια σειρά από αρχεία εξόδου τα οποία ομαδοποιούμε στις γνωστές, 3 κατηγορίες : τα 19 αρχεία ELE00X.txt όπου X από 2 μέχρι 20 ομάδες, στα οποία εκτυπώνονται οι βέλτιστοι παράγοντες για κάθε ομάδα που αποθηκεύονται στις μεταβλητές: FRATE_N_ST για το σταθερό όρο του ρυθμού μάθησης, FRATE_N_MT για το μεταβλητό όρο και FR_PERIOD για την περίοδο T. Επίσης εκτυπώνονται το σφάλμα J που αποθηκεύεται στη μεταβλητή WJ, ο αριθμός των επαναλήψεων που αποθηκεύεται στη μεταβλητή IEPAN και η μεταβλητή σύγκλισης για βέλτιστο J που αποθηκεύεται στη μεταβλητή FLATHOS_SYGKLISIS.

Ακολουθούν δύο δείγματα του τύπου αυτών των αρχείων :

The image shows two screenshots of a WordPad window displaying data from a file named 'dejet97ELE020.txt'. The top screenshot shows a table with three columns: STATHERO, METABLHTO, and PERIODOS. The bottom screenshot shows a table with four columns: SFALMA J, EPANAL, LATHOS, and SYGLISHS.

STATHERO	METABLHTO	PERIODOS
0.00000000	0.50000000	1.
0.00000000	0.50000000	10.
0.00000000	0.50000000	20.
0.00000000	0.50000000	30.
0.00000000	0.50000000	40.
0.00000000	0.50000000	50.
0.00000000	0.50000000	60.

SFALMA J =>	EPANAL	LATHOS	SYGLISHS
54.82664108	:5001	1.02620685	
50.38156891	:5001	1.09749043	
49.12321091	:5001	1.09793234	
48.48868942	:5001	1.09793377	
47.04794312	:5001	1.09793389	
46.25455856	:5001	1.09793389	
46.87998199	:5001	1.15267754	

Η άλλη κατηγορία αρχείων εξόδου περιλαμβάνει ένα αρχείο ELEGXOS.txt, στο οποίο εκτυπώνονται όλα τα σφάλματα, οι επαναλήψεις και τα νεκρά κέντρα.

Ακολουθεί δείγμα αυτού του αρχείου :


```

LoadKa86EL_EGXOS.txt - Notepad
File Edit Format View Help
1 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.351738
2 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.280631
  2 EPANLHFEIS => 6 SFALMA SYN=>128.37336731 APE =>0.35173804 MESH TIMH SF =>2.67444515 MAPE =>0.14071715 NEKRA K=> 0
1 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.316333
2 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.190928
3 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.282190
  3 EPANLHFEIS => 9 SFALMA SYN=> 97.18529510 APE =>0.31633341 MESH TIMH SF =>1.34979582 MAPE =>0.10796864 NEKRA K=> 0
1 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.278733
2 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.207666
3 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.227163
4 MEGISTH DIAFORA WRWN OMADAS = 0.187997
  4 EPANLHFEIS => 9 SFALMA SYNA=>89.03379822 APE =>0.27873284 MESH TIMH SF =>0.92743540 MAPE =>0.09691354 NEKRA K=> 0

```

Η τελευταία κατηγορία αρχείων εξόδου είναι τα 19 αρχεία OUT00X.txt όπου X από 2 μέχρι 20 όπως και στα ELE.txt. τα οποία περιέχουν και την πληροφορία, ποιες ημέρες κατανέμονται σε ποιες ομάδες.

Ακολουθούν δείγματα από αυτά τα αρχεία :

```

dejet970UT020.t...
File Edit Search Help
1997 1 3 5 4
1997 1 4 614
1997 1 5 715
1997 1 6 115
1997 1 7 2 9
1997 1 8 3 5
1997 1 9 4 5
1997 110 5 9

```

```

dejet970UT020.t...
File Edit Search Help
19971216 216
19971219 516
19971220 616
19971222 116
19971223 216
1997 7 5 617
1997 619 418
1997 620 518

```

Στο πρακτικό μέρος της μεθόδου, ανοίξαμε το αρχείο .exe δώσαμε το όνομα του αρχείου εισόδου, τον αριθμό των επαναλήψεων και το μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα.

Ακολουθεί δείγμα του αρχείου .exe:

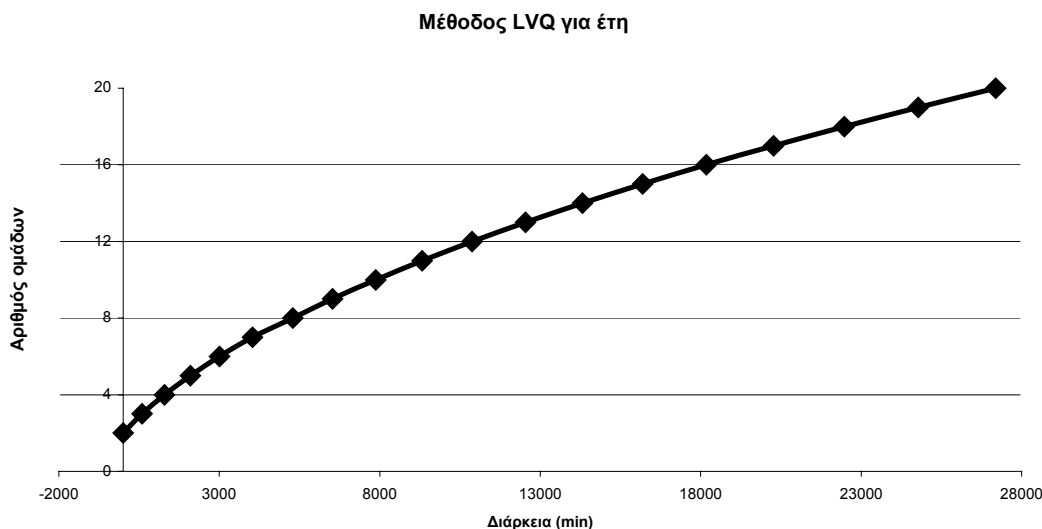
```

LVQ_belt_01
Auto
ENTER INPUT FILE NAME (only 8 characters):
dejet97
PLATHOS STOIXEION : 377
ENTER MEGISTO ARITHMO EPANALHFEWN :
5000
ENTER MEGISTO EPITREPTO SFALMA :
0.000001_

```

Στη μέθοδο αυτή σαν μέγιστο αριθμό επαναλήψεων θέσαμε τις 5000 και σαν μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα το 0,000001.

Σχολιάζοντας τη διάρκεια τρεξίματος της μεθόδου LVQ για τα έτη μπορούμε να πούμε ότι είχε πολύ μεγάλο μέγεθος της τάξης των 20 ημερών. Μάλιστα θέλοντας να δούμε πόση ώρα διαρκεί το τρέξιμο για κάθε τέλος εποχής, δηλαδή το πέρασμα από τις 2 στις 3 ομάδες και ούτω καθεξής μέχρι τις 20, κάναμε ένα διάγραμμα το οποίο φαίνεται παρακάτω.



Από το παραπάνω διάγραμμα αυτό που παρατηρούμε είναι ότι η ολοκλήρωση της διαδικασίας διαρκεί συνολικά περίπου 28000 λεπτά ή αλλιώς περίπου 1200 ώρες (!) ή αλλιώς περίπου 20 ημέρες (!!)

 για ένα έτος. Όπως είναι κατανοητό ένα τέτοιο εγχείρημα μόνο για να κρίνουμε αν η LVQ είναι καλή μέθοδος ομαδοποίησης θα ήταν μάταιο, αφού χωρίς να δούμε τα αποτελέσματα που δίνει η μέθοδος, η υπερβολικά μεγάλη διάρκεια των τρεξιμάτων της, αφού όπως είπαμε και πριν η πολυπλοκότητα μοιάζει να είναι $O(n^2 \log n)$, [B11] μας αποτρέπει να την επιλέξουμε. Επίσης, από τη σύγκριση της συνάρτησης σφάλματος, προκύπτει, όπως θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο, ότι έχει χειρότερα αποτελέσματα από την K-μέσων 01. Έτσι ενδεικτικά τρέξαμε 1 έτος τυχαίο, το 1997, για να δούμε τα αποτελέσματα που δίνει.

Κάτι που παρουσιάζει αξιόλογο ενδιαφέρον είναι ότι όπως και στη μέθοδο K-μέσων 01 για τις θερμοκρασίες, η διάρκεια τείνει να αυξάνει με σταθερό βήμα όσο προχωρά η αλληλουχία των εποχών. Τέλος όσον αφορά το γεγονός της ομαλής γενικά παραπάνω γραφικής παράστασης, σε σχέση με αυτή των τρεξιμάτων των φορτίων με τη K-μέσων, για ένα έτος θα μπορούσαμε να πούμε ότι οφείλεται στους ίδιους λόγους με την γραφική παράσταση των θερμοκρασιών των ετών με την ίδια μέθοδο.

4.4.2.2 Για τις εποχές

Παρόλο που η μέθοδος LVQ για τα έτη είναι πάρα πολύ χρονοβόρα και επομένως δεν ήταν στις επιλογές μας για το συνδυασμό, δοκιμάσαμε να την τρέξουμε και για κάποια εποχή για να έχουμε και ένα μέτρο σύγκρισης με τις άλλες μεθόδους, για τις εποχές. Το

πρόγραμμα που χρησιμοποιήσαμε είναι το ίδιο με πριν με τη μόνη αλλαγή ότι επιλέξαμε να κατανεμηθούν οι ημέρες σε 18, σε 19 και σε 20 ομάδες, μόνο για επιταχύνουμε τη διαδικασία.

Κατά τα άλλα ο αλγόριθμος που ακολουθήθηκε, τα αρχεία εξόδου και ο τρόπος τρεξίματος ήταν πανομοιότυπα με τα αντίστοιχα της διαδικασίας που ακολουθήθηκε πριν για τα έτη.

Όσον αφορά τη διάρκεια των τρεξιμάτων παρατηρήσαμε ότι ήταν σαφώς μικρότερη, της τάξης των 3 ημερών. Καταλήγουμε, λοιπόν, στο ότι η μέθοδος LVQ είναι πολύ χρονοβόρα και για τα έτη και για τις εποχές, σε σύγκριση, πάντα, με τις μεθόδους K-μέσων 01 και 02.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα συγκρίνουμε τις παραπάνω μεθόδους πιο επισταμένα και θα επιλέξουμε τελικά αυτή με τα καλύτερα αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 5

Σύγκριση μεθόδων – Σχόλια –
Συμπεράσματα

5.1 Εισαγωγικά

Έχοντας τρέξει τα προγράμματα των μεθόδων κατηγοριοποίησης για φορτία, για θερμοκρασίες, για έτη και για εποχές έπρεπε στη συνέχεια να αποφασίσουμε για την καλύτερη μέθοδο κατηγοριοποίησης της οποίας τα αποτελέσματα θα επεξεργαζόμασταν περαιτέρω. Επίσης σε αυτό το κεφάλαιο θα αποφασίσουμε από τα αποτελέσματα της καλύτερης μεθόδου, ποια ενδεικτικά και γενικά αποτελέσματα θα απομονώσουμε, για το συνδυασμό με τις θερμοκρασίες που θα ακολουθήσει. Ειδικότερα στην αρχή μέσω κριτηρίων τα οποία θα προσδιορίσουμε, θα αποφανθούμε για την καλύτερη μέθοδο, στη συνέχεια θα σχολιάσουμε τα αποτελέσματα των μεθόδων και τέλος συμπερασματικά θα καταλήξουμε στα ενδεικτικά αποτελέσματα της καλύτερης μεθόδου.

5.2 Σύγκριση μεθόδων

5.2.1 Κριτήρια σύγκρισης

Για να συγκρίνουμε τις 3 μεθόδους που ακολουθήσαμε την K-μέσων 01, την K-μέσων 02, και την LVQ πρέπει αρχικά να προσδιορίσουμε τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία θα επιλέξουμε την καλύτερη. Έτσι τα κριτήρια μας είναι :

- ✓ Αρχικά θα δούμε ποιοτικά τη χρονική διάρκεια των τρεξιμάτων των προγραμμάτων, των μεθόδων, αφού η γρήγορη εκτέλεση σε συνδυασμό βέβαια με την αποτελεσματικότητα ενός προγράμματος, αποτελεί μια θετική ένδειξη για τον εφαρμοζόμενο αλγόριθμο.
- ✓ Έπειτα θα εξετάσουμε την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων στο επίπεδο των νεκρών κέντρων. Αφού είναι σαφές ότι, αν κάποια μέθοδος δεν έχει κανένα νεκρό κέντρο, υπερτερεί έναντι των άλλων.
- ✓ Τέλος θα συγκρίνουμε τα σφάλματα των μεθόδων και κυρίως τη μέση τιμή σφάλματος των μεθόδων από την τιμή της οποίας, θα μπορέσουμε να αποφανθούμε για την καλύτερη μέθοδο, η οποία θα έχει προφανώς τις μικρότερες τιμές σφαλμάτων.

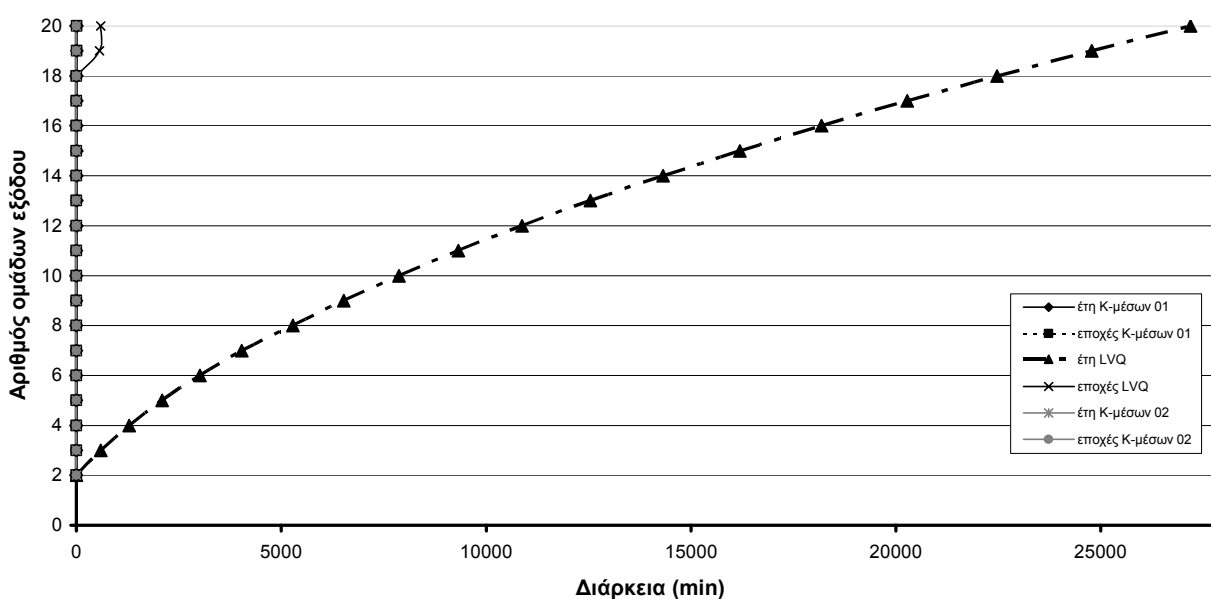
5.2.1.1 Το κριτήριο της διάρκειας

Αναλογιζόμενοι τη χρονική διάρκεια των τρεξιμάτων των προγραμμάτων, των μεθόδων κατηγοριοποίησης, αμέσως στο μυαλό μας έρχονται δύο ακραίες καταστάσεις. Από τη μία πλευρά το πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα το οποίο διήρκησε η μέθοδος LVQ, διάστημα της τάξης μέχρι και των 20 ημερών (!) και από την άλλη πλευρά το μηδαμινό διάστημα που έκανε η μέθοδος K-μέσων 02 να τρέξει, διάστημα της τάξης του ενός

δευτερολέπτου. Σε μια ενδιάμεση κατάσταση από άποψη διάρκειας τρεξίματος βρίσκονται τα προγράμματα της μεθόδου K-μέσων 01, τα οποία έτρεξαν για τα φορτία : αφενός για τα έτη σε 15 λεπτά περίπου και αφετέρου για τις «εποχές» σε 5 περίπου λεπτά.

Είναι προφανές ότι δεν τίθεται θέμα για το ποια μέθοδος είναι η γρηγορότερη, αφού η διαφορά στο χρονικό διάστημα είναι τεράστια και ουσιαστικά δεν υφίσταται σύγκριση. Αυτό φαίνεται και στο γράφημα που ακολουθεί και παρουσιάζει τις διάρκειες τρεξίματος όλων των μεθόδων για τα φορτία, για τα έτη και τις εποχές, όπου συγκριτικά με το LVQ η διάρκεια και των δύο μεθόδων K-μέσων είναι ουσιαστικά μηδενική. Στο Παράρτημα I-5 παρατίθενται αναλυτικά τα γραφήματα της διάρκειας τρεξίματος όλων των μεθόδων.

Διάρκεια τρεξίματος όλων των μεθόδων για φορτία, για έτη και για εποχές



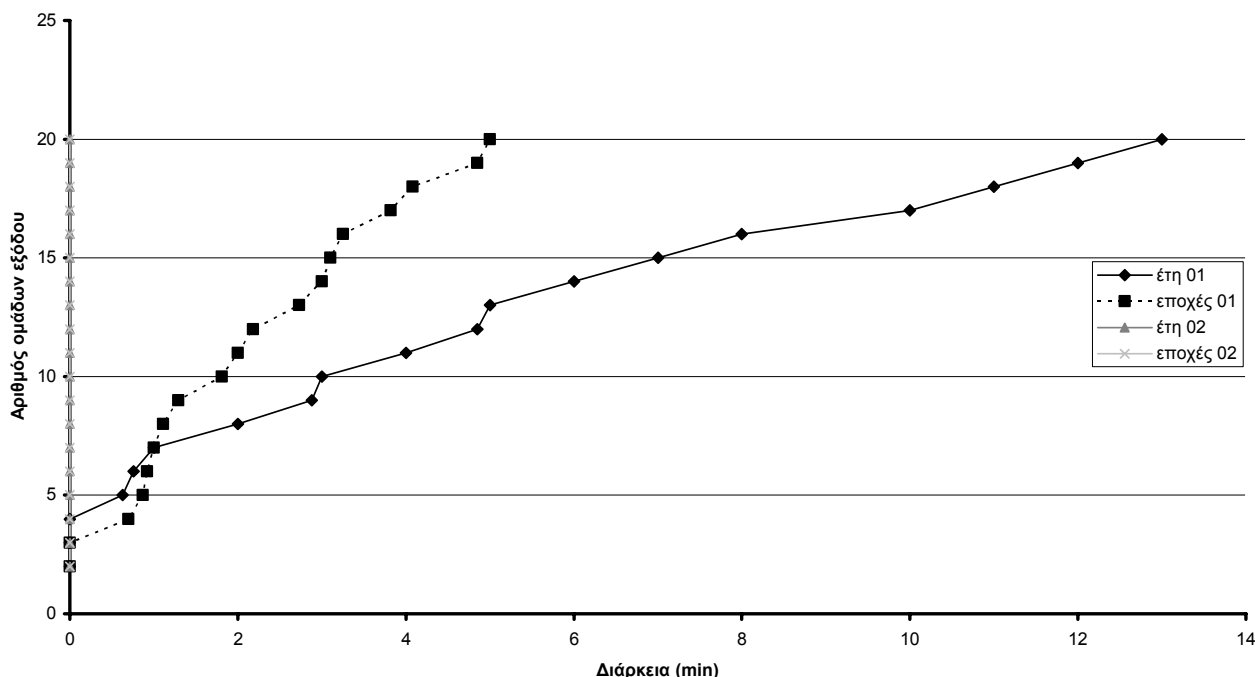
Γράφημα 5.2.1.1-1 : Διάρκειες τρεξίματος όλων των μεθόδων για έτη και ΕΠΟΧΕΣ

Επομένως από άποψη διάρκειας τρεξίματος η μέθοδος LVQ δεν μπορεί να διεκδικήσει τη «θέση» της καλύτερης μεθόδου, μιας και ένας καλός αλγόριθμος μιας μεθόδου, πρέπει εκτός των άλλων να είναι και σχετικά ταχύς.

Όσον αφορά τη διάρκεια των δύο μεθόδων K-μέσων σαφώς δεν είναι η ίδια και μάλιστα μηδενική, αφού όπως είδαμε παραπάνω η διάρκεια του τρεξίματος της K-μέσων 01 είναι 15 λεπτά περίπου για τα έτη και 5 για τις «εποχές», ενώ η K-μέσων 02 είναι ταχύτατη, τόσο για τα έτη όσο και για τις «εποχές».

Αυτό φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, το οποίο παραθέτει τις διάρκειες τρεξιμάτων και των δύο μεθόδων K-μέσων, η οποία θα μπορούσε να θεωρηθεί μεγέθυνση του άξονα yy' της παραπάνω :

Διάρκεια τρεξίματος K-μέσων 01 & K-μέσων 02 για φορτία (συγκεντρωτικά)



Γράφημα 5.2.1.1-2 : Διάρκειες τρεξίματος των μεθόδων K-μέσων για έτη και εποχές

Τελικά καταλήγουμε στο γεγονός ότι από όλες τις μεθόδους η γρηγορότερη είναι η K-μέσων 02 σχεδόν ακαριαία, ενώ ακολουθεί η K-μέσων 01 η οποία είναι σχετικά γρήγορη, σε σχέση με την LVQ.

5.2.1.2 Το κριτήριο των νεκρών κέντρων

Θα εξετάσουμε τώρα το κριτήριο των νεκρών κέντρων. Νεκρά κέντρα αρχικά, όπως έχουμε ξανά αναφέρει, δημιουργούνται όταν κατά την εξέλιξη κάποιου αλγορίθμου κάποια κέντρα ομάδων (δηλαδή βάρη) δεν καταφέρνουν να αποκτήσουν κανένα πρότυπο εκπαίδευσης, δηλαδή μετά την ολοκλήρωση του τρεξίματος της μεθόδου υπάρχουν κάποιες ομάδες οι οποίες δεν έχουν κανένα στοιχείο (καμία ημέρα).

Από τα αρχεία εξόδου ELEGXOS.txt και για τις τρεις μεθόδους είναι εύκολο να δούμε αν κατά τη διάρκεια του εκάστοτε αλγορίθμου δημιουργούνται νεκρά κέντρα, αφού εκεί το πρόγραμμα εκτυπώνει την πληροφορία αυτή. Έτσι λοιπόν διαπιστώσαμε ότι η μέθοδος K-μέσων 01 δε δημιουργεί κανένα νεκρό κέντρο, ούτε για τα έτη, ούτε για τις εποχές. Αντιθέτως η K-μέσων 02 δημιουργεί νεκρά κέντρα και για τα έτη και για τις «εποχές».

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας με τα νεκρά κέντρα που δημιουργεί η Κ-μέσων 02 για φορτία, για (M=) 20 ομάδες κατηγοριοποίησης και για έτη και εποχές :

Έτη	Νεκρά Κέντρα	Καλοκαίρι	Νεκρά Κέντρα	Χειμώνας	Νεκρά Κέντρα
1985	3	1985	3	1985-1986	3
1986	3	1986	5	1986-1987	3
1987	4	1987	5	1987-1988	3
1988	4	1988	5	1988-1989	4
1989	3	1989	3	1989-1990	4
1990	3	1990	2	1990-1991	4
1991	4	1991	3	1991-1992	3
1992	5	1992	4	1992-1993	3
1993	2	1993	1	1993-1994	3
1994	3	1994	2	1994-1995	2
1995	2	1995	2	1995-1996	1
1996	3	1996	2	1996-1997	3
1997	3	1997	2	1997-1998	1
1998	1	1998	1	1998-1999	3
1999	0	1999	0	1999-2000	1
2000	1	2000	1	2000-2001	2
2001	0	2001	0	2001-2002	1
2002	0	2002	0		

Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι νεκρά κέντρα δημιουργούνται σχεδόν σε κάθε τρέξιμο για τα έτη και τις εποχές, με ελάχιστες εξαιρέσεις. Όσον αφορά λοιπόν το θέμα των νεκρών κέντρων η μέθοδος Κ-μέσων 02 παρουσιάζει προβλήματα και δεν θα μπορούσε να αποτελέσει την επιλογή μας για την καλύτερη μέθοδο, εξαιτίας αυτής της παραμέτρου. Το LVQ από την άλλη πλευρά όπως και η μέθοδος Κ-μέσων 01 δεν δημιουργεί κανένα νεκρό κέντρο, ούτε για τα έτη, ούτε για τις εποχές.

Επομένως παρατηρούμε ότι παρόλη την πολύ μικρή διάρκεια του τρεξίματος του αλγορίθμου της μεθόδου Κ-μέσων 02, το γεγονός ότι δημιουργεί πολλά νεκρά κέντρα κατά την εξέλιξη του αλγορίθμου της, μάλλον μας αποτρέπει να την επιλέξουμε ως καλύτερη μέθοδο. Αντίθετα η μέθοδος Κ-μέσων 01 που συνδυάζει μέτριο χρονικό διάστημα εκτέλεσης των τρεξιμάτων της και το γεγονός ότι δε δημιουργεί κανένα νεκρό κέντρο ούτε για τα έτη ούτε για τις εποχές την κατατάσσει στην 1^η μας επιλογή ως τώρα.

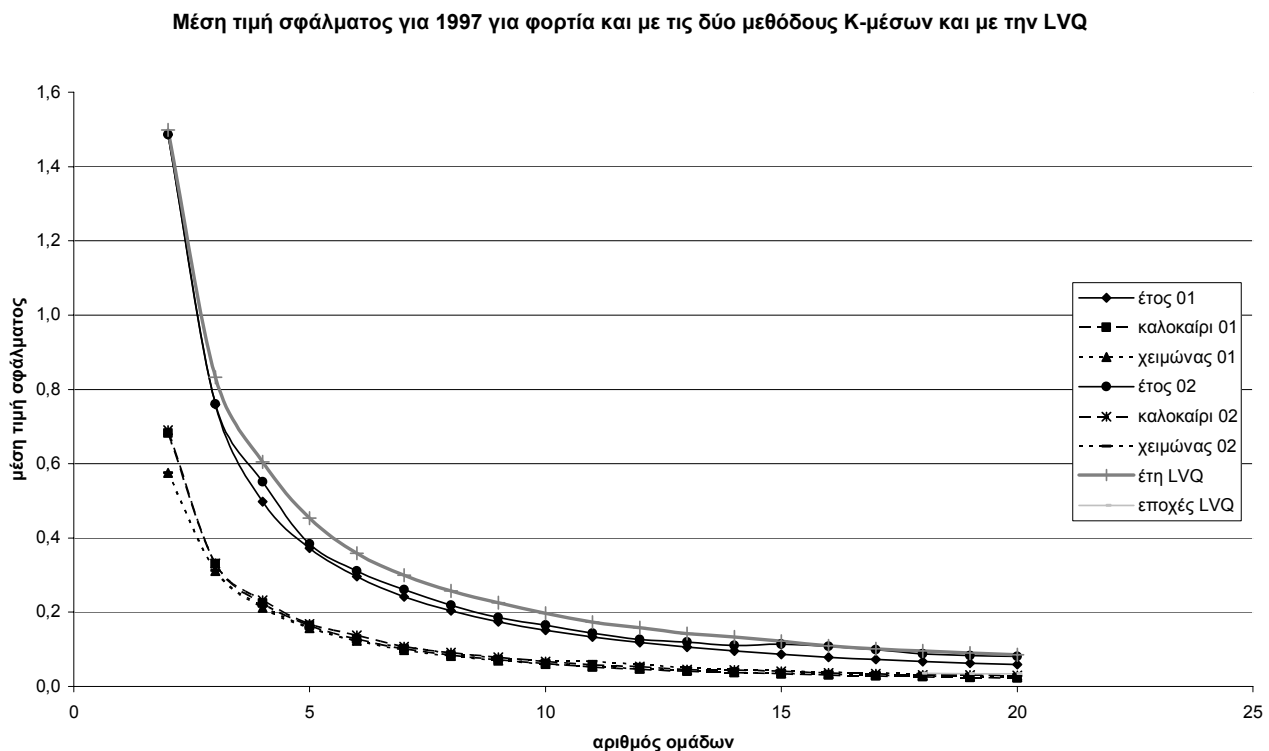
5.2.1.3 Το κριτήριο των σφαλμάτων

Είναι κατανοητό ότι ένας αποδοτικός αλγόριθμος, εκτός των άλλων χαρακτηριστικών που αναφέραμε, ένα κύριο στοιχείο που πρέπει να τον χαρακτηρίζει, είναι το μικρό σφάλμα μεταξύ των αποτελεσμάτων που δίνει και των αποτελεσμάτων που περιμένουμε. Το ιδανικό βέβαια είναι το σφάλμα να είναι μηδενικό, κάτι τέτοιο όμως, δεν μπορεί να συμβεί.

Εδώ θα εξετάσουμε τις 3 μεθόδους κατηγοριοποίησης όσον αφορά τη μέση τιμή σφάλματος συνάρτησης κόστους η οποία δίνεται από τον τύπο :

$$R_MESH = \frac{WJ}{(M - I_Nekra_kentra) * 24} \quad (5.2.1.3-1)$$

Όποια, λοιπόν μέθοδος έχει μικρότερη τιμή σφάλματος συνάρτησης κόστους είναι καλύτερη, αφού εκείνη μας δίνει πιο αξιόπιστα και κοντά στα αναμενόμενα αποτελέσματα. Ακολουθώντας παραθέτουμε ένα γράφημα με τις μέσες τιμές σφάλματος όλων των μεθόδων, πάνω στο οποίο θα στηριχτούμε για να ερμηνεύσουμε την καλύτερη ως προς το σφάλμα :



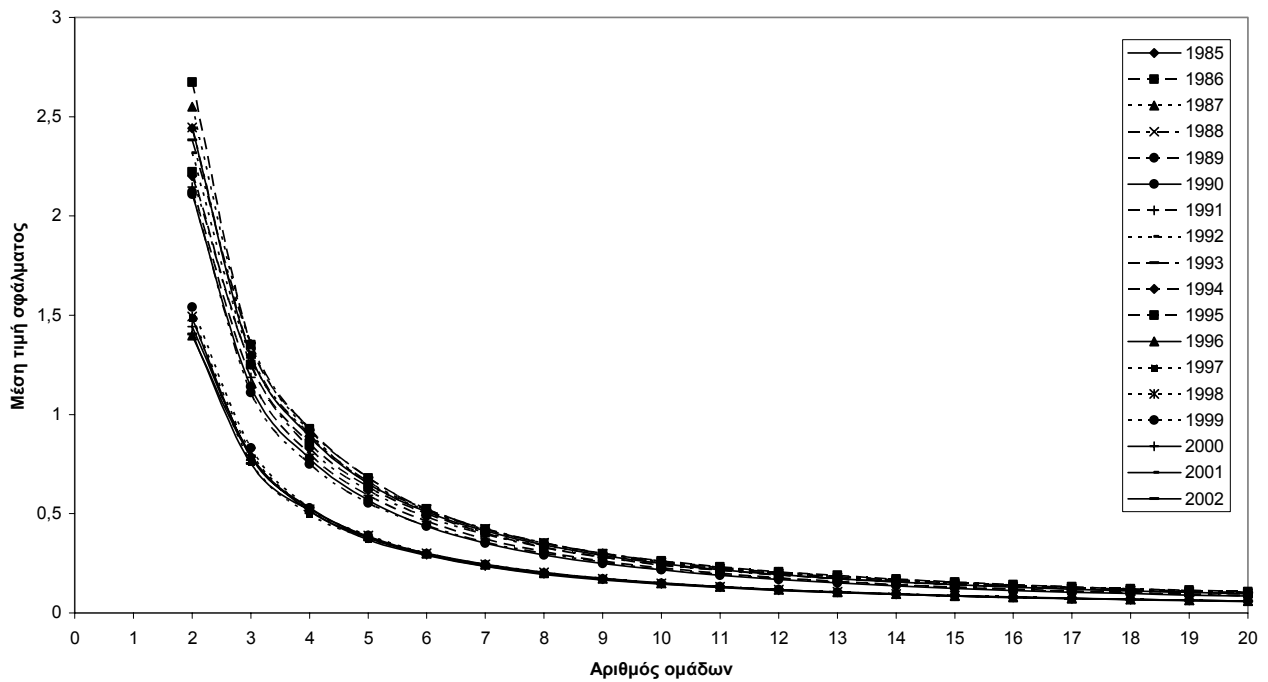
Γράφημα 5.2.1.3-2 : Μέση τιμή σφάλματος για όλες τις μεθόδους το 1997

Αυτό που παρατηρούμε από το παραπάνω γράφημα για ένα τυχαίο έτος το 1997, εν προκειμένω και τις αντίστοιχες «εποχές» του, είναι ότι για το έτος η μέθοδος K-μέσων 01

καταλήγει στο τέλος του προγράμματος σε μικρότερη μέση τιμή από τις άλλες δύο. Επίσης καθόλη τη διάρκεια του τρεξίματος των μεθόδων για το έτος, η Κ-μέσων 01 έχει σταθερά την μικρότερη τιμή. Τα ίδια ακριβώς συμβαίνουν και για τις «εποχές», δηλαδή και για το «Καλοκαίρι» και για το «Χειμώνα» η μέθοδος με τη μικρότερη μέση τιμή σφάλματος είναι η Κ-μέσων 01.

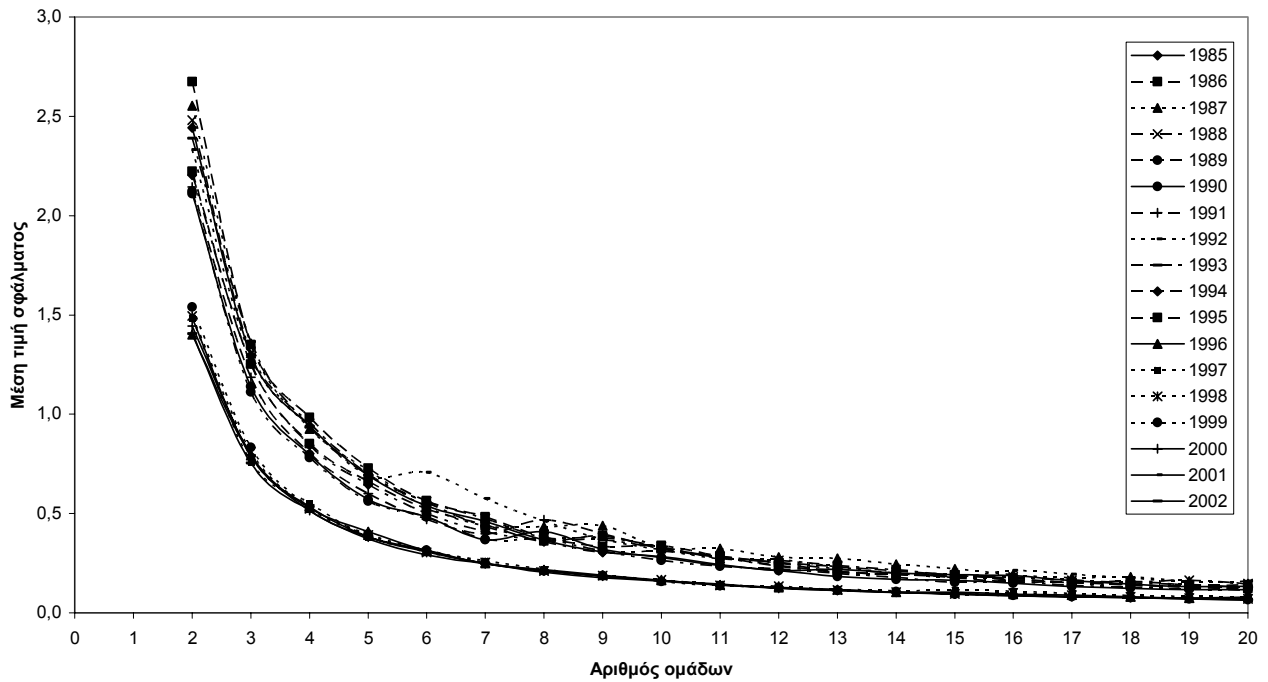
Στα επόμενα δύο γραφήματα παριστάνονται οι μέσες τιμές σφάλματος, για όλα τα έτη από 1985 μέχρι 2002, για τις δύο μεθόδους Κ-μέσων 01 και 02, οι οποίες λόγω της μικρής διάρκειας τρεξίματος των αλγορίθμων τους φαίνονται να είναι οι καλύτερες μέθοδοι.

Μέση τιμή σφάλματος για φορτία και για έτη, με μέθοδο Κ-μέσων 01



Γράφημα 5.2.1.3-3 : Μέση τιμή σφάλματος με μέθοδο Κ-μέσων 01 για όλα τα έτη

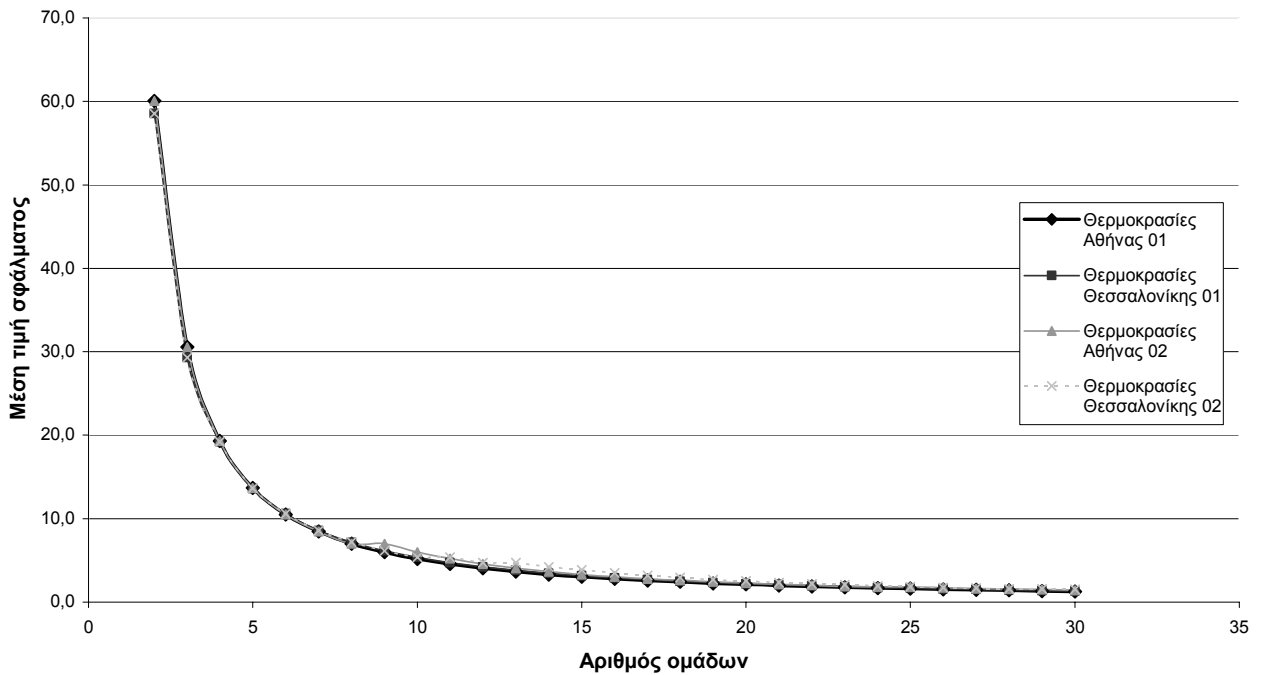
Μέση τιμή σφάλματος για φορτία και για έτη, με μέθοδο K-μέσων 02



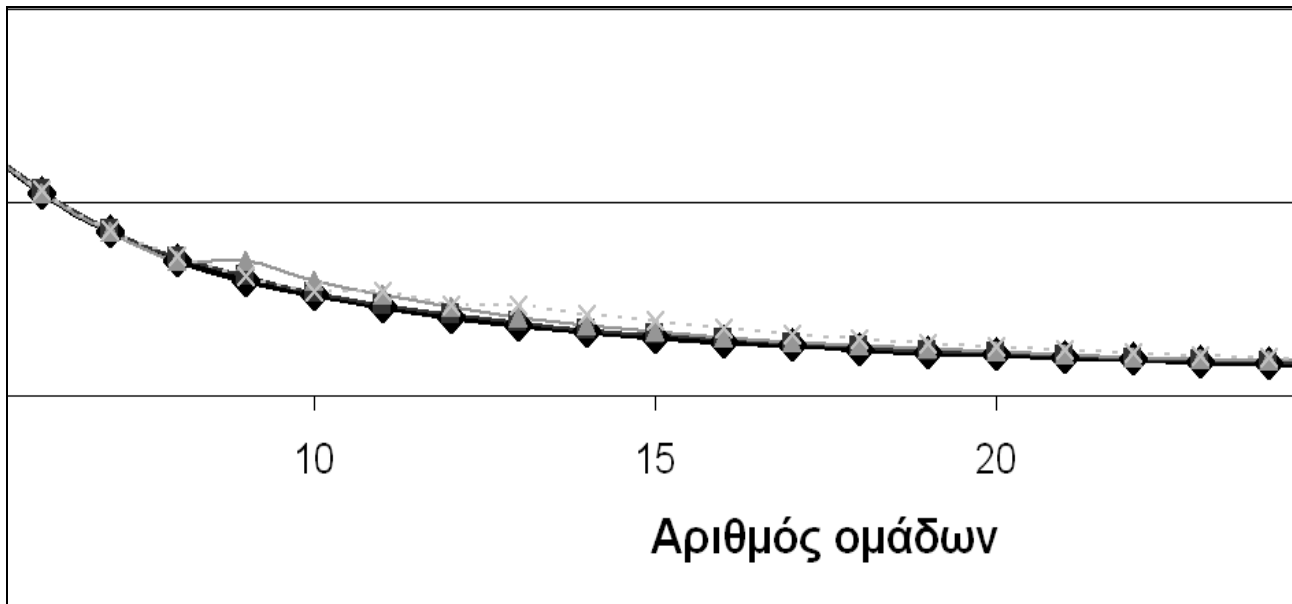
Γράφημα 5.2.1.3-4 : Μέση τιμή σφάλματος με μέθοδο K-μέσων 02 για όλα τα έτη

Παραθέτουμε επίσης τα γραφήματα επίσης της μέσης τιμής σφάλματος για τις θερμοκρασίες Αθήνας και Θεσσαλονίκης :

Μέση τιμή σφάλματος για θερμοκρασίες με μεθόδους K-μέσων 01 και 02



Γράφημα 5.2.1.3-5α : Μέση τιμή σφάλματος με τις μεθόδους K-μέσων για θερμοκρασίες



Γράφημα 5.2.1.3-5β: Μέση τιμή σφάλματος με τις μεθόδους K-μέσων για θερμοκρασίες (μεγέθυνση)

Για μεγαλύτερη ευκρίνεια, παρατίθεται και μεγέθυνση του παραπάνω γραφήματος από όπου διακρίνονται με μαύρο οι θερμοκρασίες Αθήνας και Θεσσαλονίκης με τη μέθοδο 01 και με γκρι οι θερμοκρασίες με τη μέθοδο 02.

Από τα παραπάνω γραφήματα και τη μεγέθυνση, καταλήγουμε στο γεγονός ότι η μέθοδος K-μέσων 02 για την πλειοψηφία των ετών, παρουσιάζει σχετικά μεγαλύτερα σφάλματα από την πλειοψηφία των ετών της K-μέσων 01. Άρα η μέθοδος K-μέσων 01 παρουσιάζει τη μικρότερη μέση τιμή σφάλματος από όλες τις μεθόδους.

Παραθέτονται και τα αντίστοιχα γραφήματα των «εποχών», αλλά και κάθε έτους με τις δύο μεθόδους K-μέσων. (Παράρτημα I-4)

5.3 Η «καλύτερη» μέθοδος

Αναλογιζόμενοι τα συμπεράσματά μας, μέσω των παραπάνω κριτηρίων καταλήξαμε στην «καλύτερη» μέθοδο, τη μέθοδο δηλαδή, με σχετικά μικρή διάρκεια τρεξίματος, με κανένα νεκρό κέντρο και με τη μικρότερη μέση τιμή σφάλματος. Αυτή η μέθοδος λοιπόν είναι η *K-μέσων με βελτιστοποίηση ή 01!*

Οι υπόλοιπες μέθοδοι είχαν ένα θετικό χαρακτηριστικό, όπως η K-μέσων 02 που είναι ταχύτατη ή η LVQ που δεν έχει νεκρά κέντρα, αλλά συγχρόνως είχαν και κάποιο άλλο αρνητικό χαρακτηριστικό, όπως η K-μέσων 02 που είχε πολλά νεκρά κέντρα και η LVQ που είναι πάρα πολύ αργή (20 ημέρες!). Αντίθετα η K-μέσων 01 συνδύασε και σχετικά γρήγορη διάρκεια τρεξίματος και κανένα νεκρό κέντρο και τη μικρότερη μέση τιμή σφάλματος.

5.4 Σχόλια για τα αποτελέσματα της K-μέσων 01

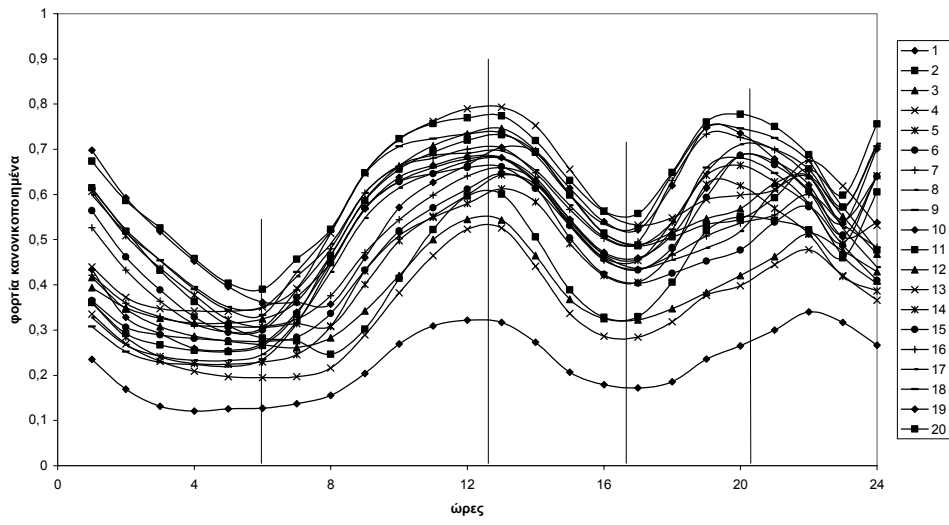
Παρατηρώντας τα αποτελέσματα για τα φορτία και τις θερμοκρασίες της μεθόδου K-μέσων 01 για όλα τα έτη, για όλες τις εποχές και για όλες τις ομάδες κατάταξης από 2- 20, καθώς και από το παραπάνω γράφημα για τη μέση τιμή σφάλματος, για την 01, αλλά και από τα αντίστοιχα γραφήματα για τις «εποχές» που βρίσκονται στο Παράρτημα I-4, κρίνουμε ότι δεν είναι σκόπιμο να ασχοληθούμε με όλες τις ομάδες. Δηλαδή προτιμήσαμε

να επικεντρωθούμε σε αυτές τις ομάδες για τις οποίες η μέση τιμή σφάλματος έχει «οριζοντιοποιηθεί» (από παραπάνω γραφήματα), έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε ομάδες με λίγο ή πολύ παρόμοιο σφάλμα και σφάλμα κοντά στην τελική τιμή του.

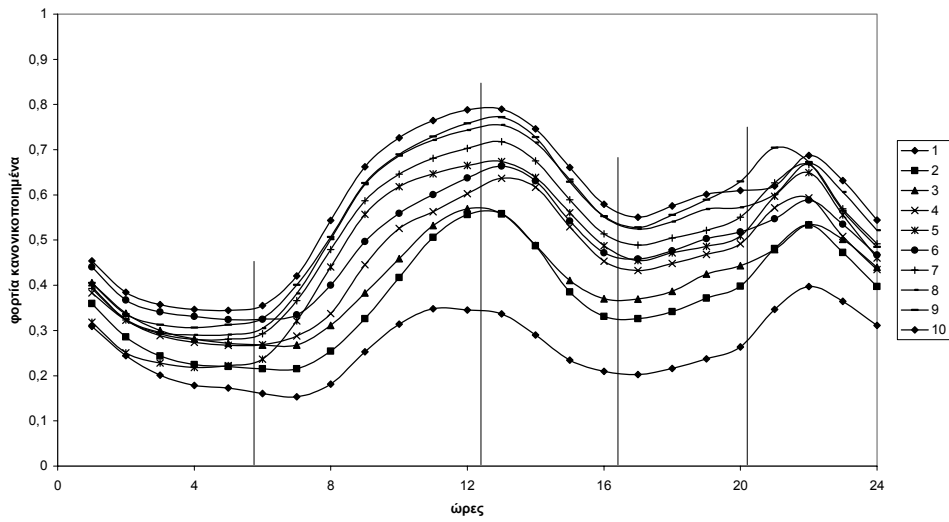
Έτσι καταλήξαμε για τα φορτία στις 20 ομάδες, για τα έτη και ειδικότερα για τα «Καλοκαίρια» στις 8, 9 και 10, για τους «Χειμώνες» στις 10, 11 και 12 ομάδες και για τις θερμοκρασίες, αφενός για τα έτη στις 20-25 ομάδες και αφετέρου για τις «εποχές» στις 10-14. Στη συνέχεια γνωρίζοντας τον παραπάνω σημαντικό αριθμό των ομάδων, κάναμε τα συγκεντρωτικά διαγράμματα πρώτα των φορτίων συναρτήσει των ωρών της εκάστοτε περίπτωσης για τον παραπάνω αριθμό των ομάδων, όχι μόνο της καλύτερης μεθόδου της K-μέσων 01 αλλά και της K-μέσων 02 (για συγκριτική μελέτη) και έπειτα των θερμοκρασιών συναρτήσει των τριών της εκάστοτε περίπτωσης για τον παραπάνω αριθμό των ομάδων για την μέθοδο K-μέσων 01.

Ακολουθούν ενδεικτικά συγκεντρωτικά γραφήματα για τις αντίστοιχες ομάδες για το έτος 1986, ενώ όλα και των δύο ομάδων παραθέτονται στο Παράρτημα I-1 & I-2.

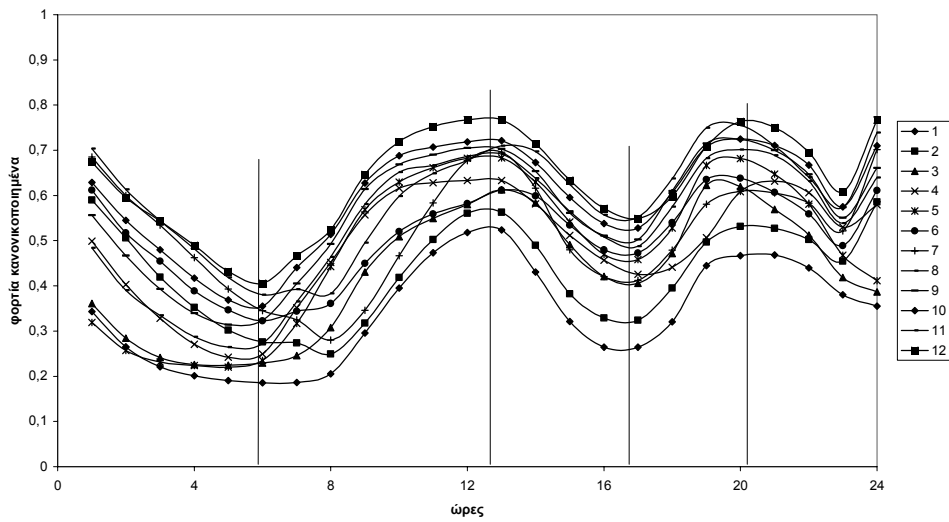
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για τα φορτία για το έτος 1986



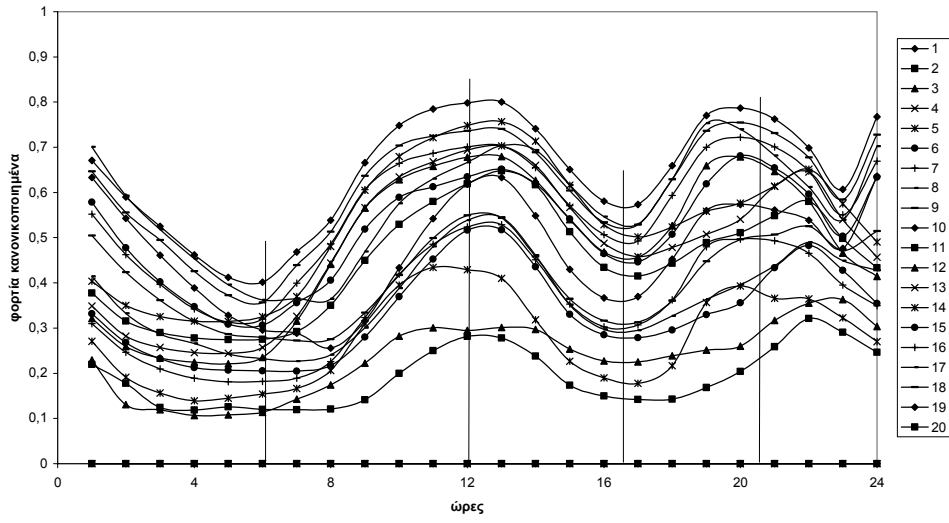
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1985



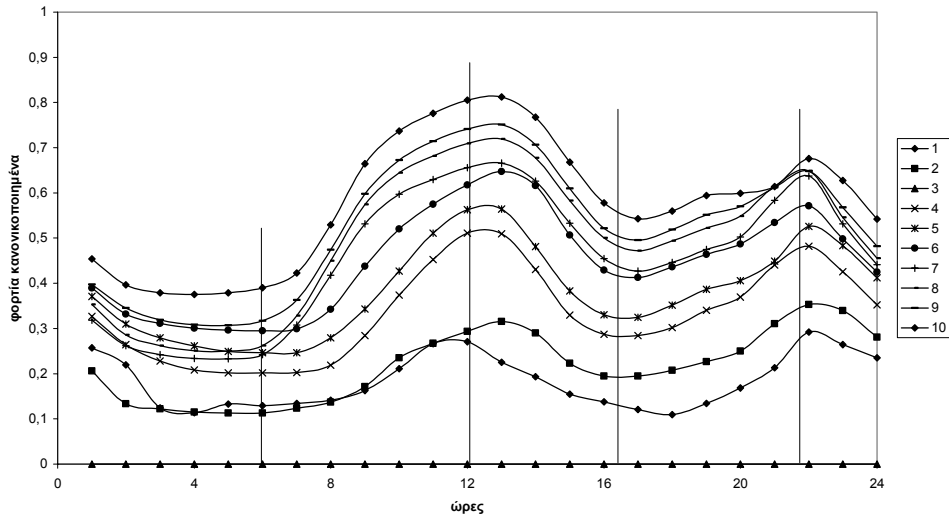
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1986-1987



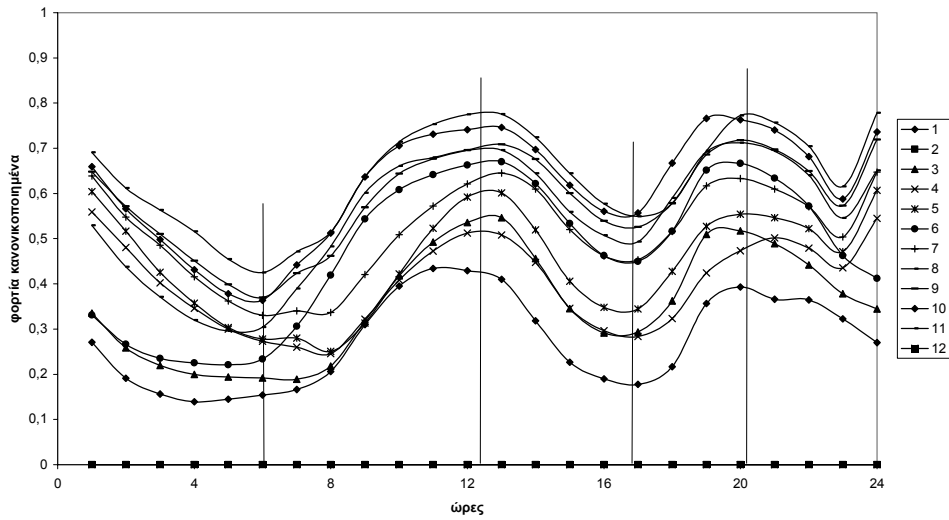
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 1986

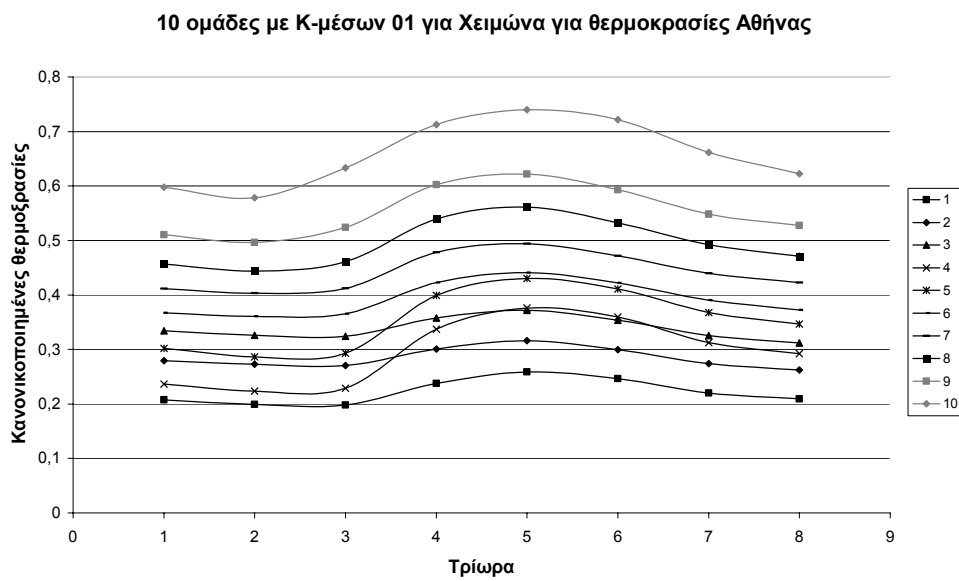
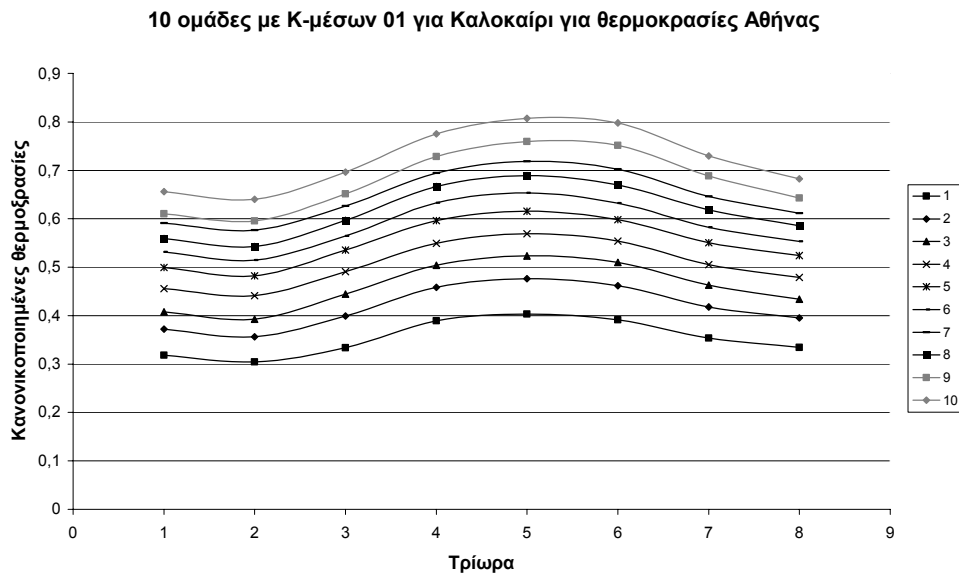
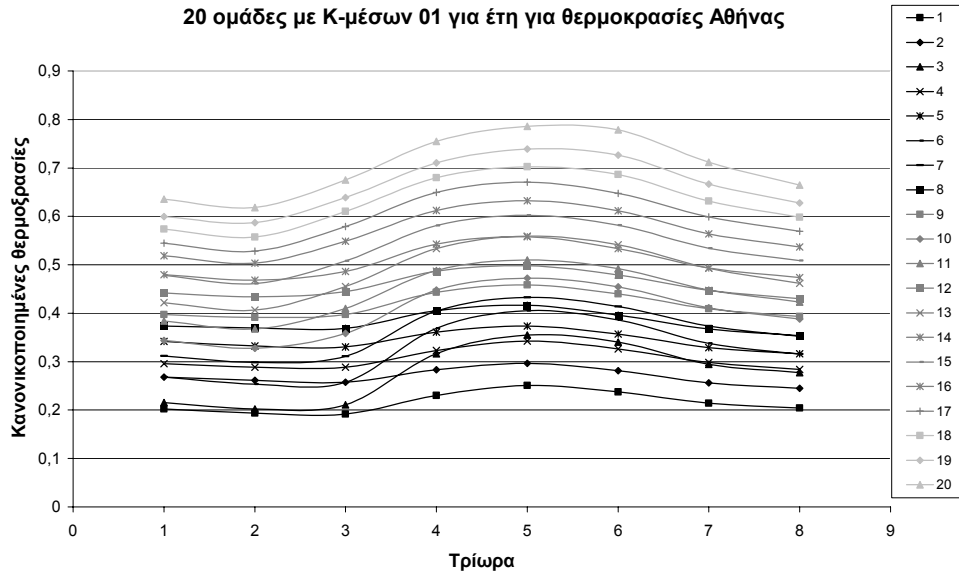


10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1986



12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1986-1987





Στηριζόμενοι στα παραπάνω γραφήματα μπορούμε να εξάγουμε πολύ σημαντικές πληροφορίες για την κατανομή των φορτίων.

Αρχικά μπορούμε αμέσως να δούμε το αρνητικό της μεθόδου Κ-μέσων 02, τη δημιουργία νεκρών κέντρων δηλαδή, και στα 3 γραφήματά της, όπου οι ομάδες με μηδενικά στοιχεία απεικονίζονται να ταυτίζονται με τον άξονα xx' . Σε αντίθεση με την 02 η μέθοδος Κ-μέσων 01 δεν έχει καμία ομάδα της να ταυτίζεται με τον άξονα των ωρών, τόσο για το έτος, όσο για το Καλοκαίρι, όσο και για το Χειμώνα.

Αυτό που επίσης παρατηρούμε είναι, ότι όπου υπάρχουν οι βοηθητικές κατακόρυφες γραμμές, παρουσιάζονται τα μέγιστα και τα ελάχιστα της ζήτησης για την πλειοψηφία των ομάδων κάθε γραφήματος. Διαπιστώνουμε ότι στις 6:00 π.μ. υπάρχει η μικρότερη ζήτηση της ημέρας, την ώρα όπου συνήθως οι περισσότεροι εργαζόμενοι ξυπνάνε. Μικρή ζήτηση παρουσιάζεται επίσης και στις 16:30 μ.μ. – 17:00 μ.μ. το απόγευμα την ώρα της μεσημεριανής ξεκούρασης. Η αιχμή του 24ώρου σύμφωνα πάντα με τα γραφήματα, γίνεται στις 13:00 μ.μ. το μεσημέρι όπου η πλειοψηφία των ανθρώπων εργάζεται και ακόμα δεν έχει αρχίσει το σχολάσμα για κανέναν εργαζόμενο και μαθητή-φοιτητή, όμως στα σπίτια οι νοικοκυρές εκείνη την ώρα μαγειρεύουν. Η άλλη αιχμή του 24ώρου, η οποία σε μέγεθος συναγωνίζεται την αιχμή του μεσημεριού εμφανίζεται γύρω στις 20:00 μ.μ. την ώρα δηλαδή που σε καθημερινή βάση, όλοι είναι στα σπίτια τους και η πλειοψηφία των ηλεκτρικών συσκευών δουλεύει.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι γραμμές των ομάδων της Κ-μέσων 01 έχουν πιο ομαλή μορφή και τείνουν να παρουσιάζουν μια ομοιογένεια και ως προς τη μορφή και ως προς την τιμή (την κανονικοποιημένη) του φορτίου, δηλαδή αν κοιτάξει κανείς μόνο μια ώρα θα παρατηρήσει ότι το εύρος των τιμών του φορτίου είναι μικρό. Αντίθετα η Κ-μέσων 02 παρουσιάζει πολλές υπερκαλύψεις των γραμμών των ομάδων της και οι γραμμές αυτές έχουν μεγαλύτερο εύρος στις τιμές του φορτίου για κάθε ώρα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η Κ-μέσων 02 αφενός παρουσιάζει τα νεκρά κέντρα, αφετέρου έχει μεγαλύτερη μέση τιμή σφάλματος με συνέπεια τα αποτελέσματά της να μην είναι τόσο αξιόπιστα, όσο της Κ-μέσων 01. Άλλωστε επιβεβαιώνεται με το καλύτερο τρόπο (εκ των αποτελεσμάτων), η επιλογή μας, για καλύτερο τρόπο κατηγοριοποίησης, της Κ-μέσων 01.

Επειδή όμως μηδενικό σφάλμα δε μπορούμε εκ φύσεως να εξασφαλίσουμε ποτέ, μικρές επικαλύψεις ή ανεξήγητες συμπεριφορές εκ των γραφημάτων υπάρχουν. Ωστόσο, παρακάτω που θα αναλύσουμε ένα γράφημα αναλυτικά και θα εξηγήσουμε ομάδα-ομάδα ποιες μέρες συμπεριφέρονται πως, ίσως δούμε μερικές ανεξήγητες συμπεριφορές να ερμηνεύονται τελικά.

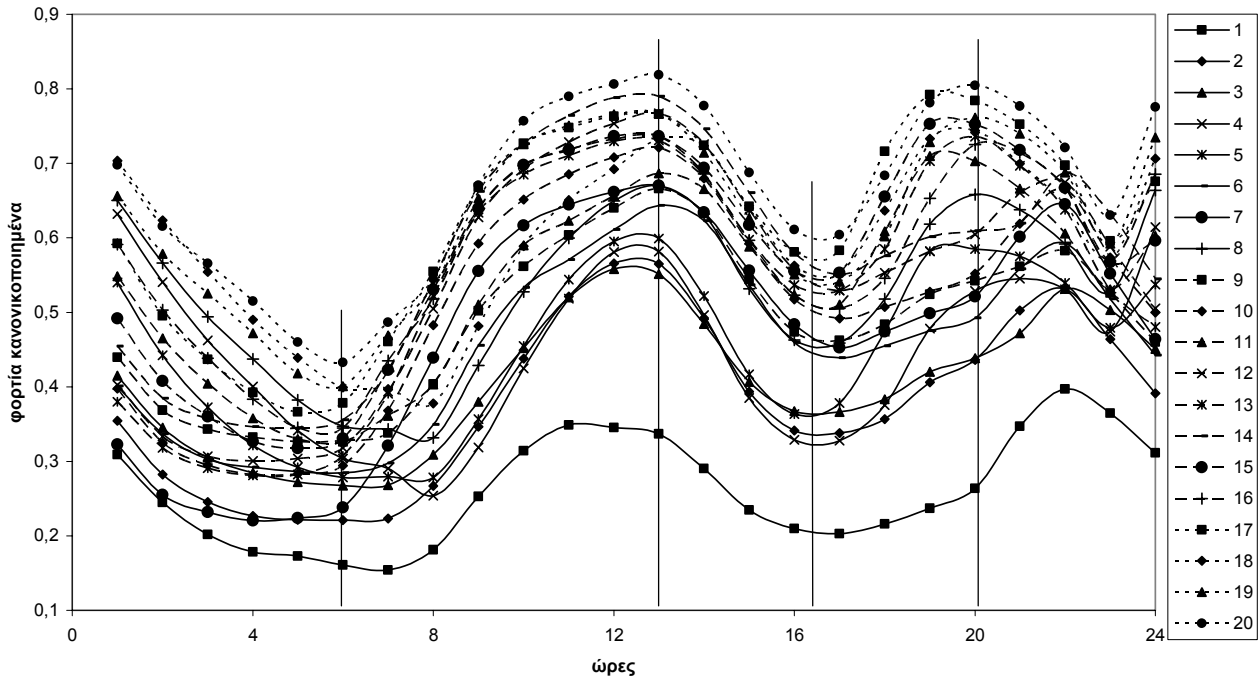
Τέλος κάτι που θα πρέπει να σχολιάζουμε είναι ότι για την Κ-μέσων 01 πλέον, για την οποία θα ασχοληθούμε αποκλειστικά από εδώ και πέρα, τα γραφήματα των «εποχών» έχουν παρόμοια μορφή με αυτά του έτους, με διαφοροποιήσεις στις τιμές των φορτίων και στις αιχμές.

Όλα τα παραπάνω μπορεί κανείς να τα δει για κάθε έτος στο Παράρτημα I-1, όπου παρατίθενται όλα τα γραφήματα των ομάδων όλων των ετών και εποχών.

Ας δούμε τώρα πιο αναλυτικά ένα γράφημα, έστω του 1985, ώστε να διαπιστώσουμε η κάθε ομάδα τι αντιπροσωπεύει και πώς αυτό φαίνεται στις γραμμές των ομάδων.

Ακολουθεί το γράφημα για τις 20 ομάδες του έτους 1985 :

20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 1985



Από τα αποτελέσματα που λάβαμε είδαμε την κατανομή των ημερών της εβδομάδας στις 20 ομάδες του 1985 αλλά και τις αργίες του 1985 τα οποία φαίνονται παρακάτω:

DAYS	=>	1	2	3	4	5	6	7	1985	1	1
TEAMS	1 =>	1	0	1	0	1	0	2	1985	1	6
TEAMS	2 =>	1	1	0	0	0	1	13	1985	1	30
TEAMS	3 =>	1	0	0	1	0	1	13	1985	2	25
TEAMS	4 =>	1	1	1	1	0	0	10	1985	3	25
TEAMS	5 =>	1	0	0	0	0	0	9	1985	4	12
TEAMS	6 =>	0	0	0	0	1	11	0	1985	4	13
TEAMS	7 =>	7	2	2	2	0	0	0	1985	4	14
TEAMS	8 =>	0	0	0	0	1	7	4	1985	4	15
TEAMS	9 =>	0	0	0	0	1	15	0	1985	5	1
TEAMS	10 =>	8	7	8	8	8	0	0	1985	6	15
TEAMS	11 =>	3	1	1	1	0	8	0	1985	8	15
TEAMS	12 =>	11	7	6	7	7	0	0	1985	10	28
TEAMS	13 =>	4	6	3	2	2	0	0	1985	12	24
TEAMS	14 =>	0	9	9	8	8	0	0	1985	12	25
TEAMS	15 =>	5	3	5	4	4	0	0	1985	12	26
TEAMS	16 =>	5	4	4	4	5	0	0	1985	12	31
TEAMS	17 =>	1	4	4	5	5	0	0			
TEAMS	18 =>	0	0	0	0	0	8	1			
TEAMS	19 =>	2	6	5	6	4	0	0			
TEAMS	20 =>	1	2	3	3	5	1	0			

Έχοντας επίσης και την κατανομή των 365 ημερών του έτους στις ομάδες στο αρχείο OUT0020.txt και τα παραπάνω στοιχεία, μπορούμε να προβούμε στα παρακάτω συμπεράσματα :

Αρχικά βλέπουμε ότι η *ομάδα 1* περιέχει τις αργίες του Πάσχα, δηλαδή μέρες χωρίς εργασία και με μέσες θερμοκρασίες, που αποτρέπουν τη χρήση θερμαντικών σωμάτων. Από την απεικόνιση της ομάδας 1 στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι καταλαμβάνει τη μικρότερη, από άποψη ζήτησης φορτίου θέση, με μετατόπιση μάλιστα των μεγίστων και των ελαχίστων της. Η μικρή αυτή ζήτηση φορτίου δικαιολογείται από την έλλειψη εργασιακής δραστηριότητας και επιπλέον από τη μεγάλη έξοδο των κατοίκων των πόλεων από τα αστικά κέντρα, με συνέπεια αυτά να ερημώνουν. Παρατηρούμε ότι αυτές της ημέρες η μικρότερη ζήτηση από τις 6:00 π.μ. έχει μετατοπιστεί στις 7:00 π.μ, γεγονός που όπως καταλαβαίνουμε δικαιολογείται από το ότι οι άνθρωποι κοιμούνται λίγο παραπάνω το πρωί λόγω αργιών. Επίσης η αιχμή του μεσημεριού, απουσία εργασίας, έχει μετατοπιστεί νωρίτερα από τις 13:00 μ.μ. στις 11:00 - 12:00 π.μ. Τέλος η αιχμή η βραδινή από τις 20:00 μ.μ. έχει μετατοπιστεί στις 22:00 μ.μ. γεγονός που δικαιολογείται από την τάση των ανθρώπων τις αργίες και τις διακοπές να ξενυχτούν για διάφορους λόγους (εκκλησία ή διασκέδαση).

Η *ομάδα 2* περιέχει Κυριακές κυρίως, δηλαδή μέρες χωρίς εργασία και με μέσες θερμοκρασίες (Άνοιξης – Φθινοπώρου) που αποτρέπουν τη χρήση θερμαντικών. Από την απεικόνιση της ομάδας 2 στο παραπάνω γράφημα, βλέπουμε ότι καταλαμβάνει μικρή από άποψη ζήτησης φορτίου θέση, με μικρή μετατόπιση μάλιστα των μεγίστων και των ελαχίστων της. Παρατηρούμε ότι αυτές της ημέρες η μικρότερη ζήτηση από τις 6:00 π.μ. έχει μετατοπιστεί στις 7:00 π.μ., γεγονός που όπως καταλαβαίνουμε δικαιολογείται από το ότι οι άνθρωποι κοιμούνται λίγο παραπάνω το πρωί της Κυριακής. Επίσης η αιχμή του μεσημεριού, απουσία εργασίας έχει μετατοπιστεί νωρίτερα από τις 13:00 μ.μ. στις 11:00 - 12:00 π.μ. Τέλος η αιχμή η βραδινή από τις 20:00 μ.μ. έχει μετατοπιστεί στις 22:00 μ.μ. γεγονός που δικαιολογείται από την τάση των ανθρώπων τις Κυριακές να ξενυχτούν λίγο παραπάνω.

Η *ομάδα 3* περιέχει τις καλοκαιρινές Κυριακές κυρίως δηλαδή ημέρες πάλι χωρίς εργασία και με αυξημένες θερμοκρασίες. Εκείνες τις ημέρες άλλοι άνθρωποι βρίσκονται σε διακοπές και άλλοι (οι μη αδειούχοι) βρίσκονται σε κοντινά παραθαλάσσια μέρη, δηλαδή γενικά αυτές τις ημέρες τις ζεστές δεν υπάρχουν πολλοί στο σπίτι τους ώστε να λειτουργήσουν οικιακές συσκευές. Από την απεικόνιση της ομάδας 3 στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι καταλαμβάνει μικρή, για τους παραπάνω λόγους, θέση από άποψη ζήτησης φορτίου με μικρή μετατόπιση μάλιστα των μεγίστων και των ελαχίστων της. Παρατηρούμε ότι αυτές της ημέρες η μικρότερη ζήτηση από τις 6:00 π.μ. έχει μετατοπιστεί στις 7:00 π.μ. γεγονός, που όπως καταλαβαίνουμε δικαιολογείται από το ότι οι άνθρωποι κοιμούνται λίγο παραπάνω το πρωί λόγω Κυριακής. Επίσης η αιχμή του μεσημεριού, απουσίας εργασίας έχει μετατοπιστεί νωρίτερα από τις 13:00 μ.μ. στις 11:00 - 12:00 π.μ. Τέλος η αιχμή η βραδινή από τις 20:00 μ.μ. έχει μετατοπιστεί στις 22:00 μ.μ. γεγονός που δικαιολογείται από την τάση των ανθρώπων τις Κυριακές να ξενυχτούν λίγο παραπάνω δεδομένων και των διακοπών.

Η *ομάδα 4* περιέχει τις χειμωνιάτικες Κυριακές κυρίως, τις αργίες των Χριστουγέννων και των Θεοφανίων, την 30 Ιανουαρίου την αργία των Τριών Ιεραρχών και την 25 Φεβρουαρίου που το 1985 ήταν Καθαρά Δευτέρα δηλαδή ημέρες αργίες πάλι χωρίς εργασία και με χαμηλές θερμοκρασίες που επιτρέπουν τη χρήση θερμαντικών σωμάτων. Από την απεικόνιση της ομάδας 4 στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι καταλαμβάνει άλλες ώρες μικρή και άλλες ώρες μεγάλη θέση από άποψη ζήτησης φορτίου με μετατόπιση

μάλιστα των μεγίστων και των ελαχίστων της. Παρατηρούμε ότι αυτές της ημέρες η μικρότερη ζήτηση από τις 6:00 π.μ. έχει μετατοπιστεί στις 8:00 π.μ., γεγονός που όπως καταλαβαίνουμε δικαιολογείται από το ότι οι άνθρωποι κοιμούνται αρκετά παραπάνω το πρωί λόγω Κυριακής και αργιών Χριστουγέννων. Επιπλέον γύρω στις 23:00 παρατηρείται ένα ελάχιστο, αλλά μικρό από άποψη ζήτησης. Επίσης έχουμε δύο βραδινές αιχμές μία μικρή γύρω στις 21:00 μ.μ. και μια μεγάλη στις 24:00 μ.μ. γεγονός που δικαιολογείται από την τάση των ανθρώπων τις Κυριακές και κυρίως τις αργίες να ξενυχτούν πολύ παραπάνω δεδομένων και των διακοπών και των εορτών. Ένα ενδιαφέρον που παρουσιάζει αυτή η ομάδα είναι ότι η μεγάλη βραδινή αιχμή είναι μεγαλύτερη από την αιχμή του μεσημεριού κάτι που δικαιολογείται από τα παραπάνω. Αυτό σε κοινές ημέρες δε συμβαίνει λόγω των δραστηριοτήτων της ημέρας που είναι περισσότερες από αυτές της νύχτας, αλλά εδώ όπου επικρατούν ειδικές συνθήκες συμβαίνει.

Η ομάδα 5 περιέχει τις φθινοπωρινές Κυριακές και την αργία της 28ης Οκτωβρίου, δηλαδή ημέρες αργίες πάλι χωρίς εργασία και με μέσες προς το χαμηλές θερμοκρασίες που επιτρέπουν τη μικρή χρήση θερμαντικών σωμάτων. Από την απεικόνιση της ομάδας 5 στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι καταλαμβάνει μέτρια, για τους παραπάνω λόγους, θέση από άποψη ζήτησης φορτίου, με μικρή μετατόπιση μάλιστα των μεγίστων και των ελαχίστων της. Παρατηρούμε ότι αυτές της ημέρες η μικρότερη ζήτηση από τις 6:00 π.μ. έχει μετατοπιστεί στις 7:00 π.μ. γεγονός που όπως καταλαβαίνουμε δικαιολογείται από το γεγονός ότι οι άνθρωποι κοιμούνται λίγο παραπάνω το πρωί λόγω Κυριακής. Η αιχμή του μεσημεριού, απουσία εργασίας δεν έχει μετατοπιστεί νωρίτερα από τις 13:00 μ.μ. γεγονός που ίσως οφείλεται στη μικρή χρήση θερμαντικών σωμάτων. Τέλος η αιχμή η βραδινή από τις 20:00 μ.μ. έχει μετατοπιστεί νωρίτερα στις 19:00 – 20:00 μ.μ. γεγονός που δικαιολογείται από το γεγονός ότι το Φθινόπωρο έχει αρχίσει να βραδιάζει νωρίτερα οπότε οι δραστηριότητες γίνονται νωρίτερα. Επιπλέον γύρω στις 23:00 παρατηρείται ένα ελάχιστο αλλά μικρό από άποψη ζήτησης.

Η ομάδα 6 περιέχει τα ανοιξιάτικα και τα καλοκαιρινά Σάββατα ημέρες ημιαργίες με μέτριου επιπέδου δραστηριότητες και με μέσες προς αυξημένες θερμοκρασίες. Από την απεικόνιση της ομάδας 6 στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι καταλαμβάνει σχετικά μεγάλη θέση από άποψη ζήτησης φορτίου με μικρή μετατόπιση μάλιστα μόνο του μεγίστου της νύχτας. Η αιχμή, λοιπόν η βραδινή από τις 20:00 μ.μ. έχει μετατοπιστεί στις 22:00 μ.μ. γεγονός που δικαιολογείται από το γεγονός ότι την Άνοιξη έχει αρχίσει να βραδιάζει αργότερα οπότε δεδομένου και του Σαββάτου οι δραστηριότητες όλες γίνονται αργότερα. Επιπλέον γύρω στις 23:00 παρατηρείται ένα ελάχιστο, αλλά μικρό από άποψη ζήτησης.

Η ομάδα 7 περιέχει τις ανοιξιάτικες εργάσιμες ημέρες με αυξημένου επιπέδου δραστηριότητες και με μέσες προς αυξημένες θερμοκρασίες. Από την απεικόνιση της ομάδας 7 στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι καταλαμβάνει μεγάλη θέση από άποψη ζήτησης φορτίου, λόγω της αυξημένης εργασιακής δραστηριότητας δημοσίου και ιδιωτικού τομέα, με μικρή μετατόπιση των μεγίστων και των ελαχίστων όλων μια ώρα γεγονός που δικαιολογείται από την αλλαγή ώρας και εφαρμογή της θερινής ώρας.

Η ομάδα 8 περιέχει τα χειμωνιάτικα Σαββατοκύριακα ημέρες με χαμηλού επιπέδου δραστηριότητες την ημέρα και αυξημένου επιπέδου τη νύχτα. Επικρατούν επίσης εκείνες τις ημέρες πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, που επιτρέπουν τη μεγάλη χρήση θερμαντικών σωμάτων. Από την απεικόνιση της ομάδας 8 στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι καταλαμβάνει μεγάλη, για τους παραπάνω λόγους, θέση από άποψη ζήτησης φορτίου με μετατόπιση του ελαχίστου της ημέρας από τις 6:00 π.μ. στις 8:00 π.μ. μιας και τα χειμωνιάτικα σαββατοκύριακα απουσίας εργασίας, οι άνθρωποι κοιμούνται παραπάνω.

Η ομάδα 9 περιέχει τα καλοκαιρινά Σάββατα, ημέρες ημιαργίες και την 6 Ιουνίου την αργία του Αγίου Πνεύματος για το δημόσιο τομέα, με μέτριου επιπέδου δραστηριότητες και με πολύ αυξημένες θερμοκρασίες. Από την απεικόνιση της ομάδας 9 στο παραπάνω

γράφημα βλέπουμε ότι καταλαμβάνει σχετικά μεγάλη θέση από άποψη ζήτησης φορτίου, με το χαρακτηριστικό της έλλειψης μεγάλων τιμών φορτίου των μεγίστων και των ελαχίστων. Κατά τη διάρκεια δηλαδή όλης της ημέρας υπάρχει ζήτηση φορτίου, γεγονός που δικαιολογείται από το ότι και τα Σάββατα και του Αγίου Πνεύματος υπάρχουν εργαζόμενοι, στην πρώτη περίπτωση μέχρι τις μεσημεριανές ώρες και στη δεύτερη κανονικό ωράριο για τον ιδιωτικό τομέα. Μετατοπίσεις επίσης από τις κύριες θέσεις των μεγίστων και των ελαχίστων.

Η ομάδα 10 μια από τις πιο πολυπληθείς ομάδες περιέχει τις ζεστές ανοιξιάτικες και λίγες καλοκαιρινές εργάσιμες ημέρες με αυξημένου επιπέδου εργασιακές δραστηριότητες και με μέσες προς αυξημένες θερμοκρασίες. Από την απεικόνιση της ομάδας 10 στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι καταλαμβάνει μεγάλη, για τον παραπάνω λόγο, θέση από άποψη ζήτησης φορτίου δίχως μετατόπιση των μεγίστων και των ελαχίστων. Το γεγονός ότι η ομάδα 10 περιέχει πολλές ημέρες δίνει μια μέση χαρακτηριστική εικόνα των ζεστών εργάσιμων ημερών μέσω της γραμμής της στο γράφημα.

Η ομάδα 11 περιέχει τα χειμωνιάτικα Σάββατα κυρίως και τις αργίες της Πρωτοχρονιάς δηλαδή ημέρες αργίες πάλι χωρίς εργασία και με χαμηλές θερμοκρασίες που επιτρέπουν τη χρήση θερμαντικών σωμάτων. Από την απεικόνιση της ομάδας 11 στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι καταλαμβάνει άλλες ώρες μικρή και άλλες ώρες μεγάλη θέση από άποψη ζήτησης φορτίου με μετατόπιση μάλιστα των μεγίστων και των ελαχίστων της. Παρατηρούμε ότι αυτές της ημέρες η μικρότερη ζήτηση από τις 6:00 π.μ. έχει μετατοπιστεί στις 8:00 π.μ. γεγονός που όπως καταλαβαίνουμε δικαιολογείται από το γεγονός ότι οι άνθρωποι κοιμούνται αρκετά παραπάνω το πρωί λόγω Κυριακής και αργιών Πρωτοχρονιάς. Ένα ενδιαφέρον που παρουσιάζει αυτή η ομάδα είναι ότι η μεγάλη βραδινή αιχμή είναι μεγαλύτερη από την αιχμή του μεσημεριού. Αυτό σε κοινές ημέρες δε συμβαίνει λόγω των δραστηριοτήτων της ημέρας που είναι περισσότερες από αυτές της νύχτας, αλλά εδώ όπου επικρατούν ειδικές συνθήκες συμβαίνει.

Η ομάδα 12 μια από τις πιο πολυπληθείς ομάδες περιέχει τις ζεστές ανοιξιάτικες και φθινοπωρινές εργάσιμες ημέρες με αυξημένου επιπέδου δραστηριότητες και με αυξημένες θερμοκρασίες. Από την απεικόνιση της ομάδας 12 στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι καταλαμβάνει μέτρια θέση από άποψη ζήτησης φορτίου δίχως μετατόπιση των μεγίστων και των ελαχίστων.

Οι ομάδες 13 και 15 περιέχουν τις φθινοπωρινές εργάσιμες ημέρες με αυξημένου επιπέδου δραστηριότητες και με μέσες προς χαμηλές θερμοκρασίες που επιτρέπουν τη μικρή χρήση θερμαντικών σωμάτων. Από την απεικόνιση των ομάδων 13 και 15 στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι καταλαμβάνουν μέτριες προς μεγάλες, για τους παραπάνω λόγους, θέσεις από άποψη ζήτησης φορτίου χωρίς μετατοπίσεις των μεγίστων και των ελαχίστων.

Η ομάδα 14 μια από τις πιο πολυπληθείς ομάδες περιέχει τις ζεστές καλοκαιρινές εργάσιμες ημέρες με αυξημένου επιπέδου δραστηριότητες και με πολύ αυξημένες θερμοκρασίες. Από την απεικόνιση της ομάδας 14 στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι καταλαμβάνει τη δεύτερη μεγαλύτερη θέση από άποψη ζήτησης φορτίου με μετατόπιση των μεγίστων και των ελαχίστων αργότερα και νωρίτερα, λόγω του ότι οι ημέρες το καλοκαίρι διαρκούν περισσότερο οπότε και οι δραστηριότητες ξεκινούν νωρίτερα και τελειώνουν αργότερα.

Οι ομάδες 16 και 17 δύο από τις πιο πολυπληθείς ομάδες περιέχουν τις κρύες χειμωνιάτικες εργάσιμες ημέρες με αυξημένου επιπέδου δραστηριότητες και με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες που επιτρέπουν τη μεγάλη χρήση θερμαντικών σωμάτων. Από την απεικόνιση των ομάδων 16 και 17 στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι καταλαμβάνουν δύο από τις μεγαλύτερες θέσεις από άποψη ζήτησης φορτίου χωρίς μετατόπιση των μεγίστων και των ελαχίστων.

Η ομάδα 18 περιέχει τα χειμωνιάτικα Σάββατα ημέρες ημιαργίες με μέτριου επιπέδου δραστηριότητες και με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες που επιτρέπουν τη μεγάλη χρήση θερμαντικών σωμάτων. Από την απεικόνιση της ομάδας 18 στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι καταλαμβάνει σχετικά μεγάλη, για τους παραπάνω λόγους, θέση από άποψη ζήτησης φορτίου με το χαρακτηριστικό της έλλειψης μεγάλων τιμών φορτίου των μεγίστων και των ελαχίστων. Κατά τη διάρκεια δηλαδή όλης της ημέρας υπάρχει ζήτηση φορτίου γεγονός που δικαιολογείται από τις συγκρουόμενες τάσεις της μικρής εργασιακής δραστηριότητας από τη μία πλευρά και της μεγάλης χρήσης θερμαντικών από την άλλη.

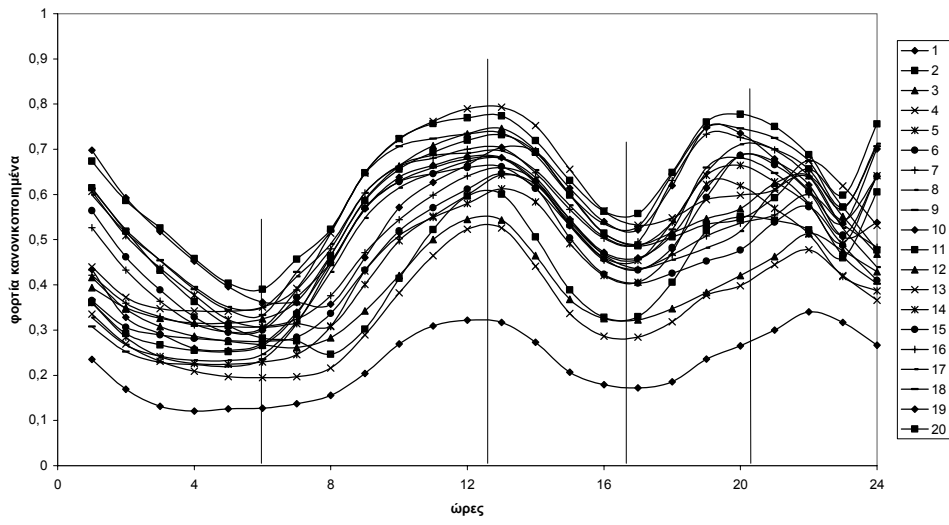
Οι ομάδες 19 και 20 περιέχουν τις υπόλοιπες κρύες χειμωνιάτικες εργάσιμες ημέρες των ομάδων 16 και 17 με αυξημένου επιπέδου δραστηριότητες και με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες που επιτρέπουν τη μεγάλη χρήση θερμαντικών σωμάτων. Από την απεικόνιση των ομάδων 19 και 20 στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι καταλαμβάνουν ειδικά η 20 τη μεγαλύτερη θέση από άποψη ζήτησης φορτίου χωρίς μετατόπιση των μεγίστων και των ελαχίστων.

Συμπερασματικά και μετά την παραπάνω λεπτομερή ανάλυση μπορούμε να πούμε πως το 1985 οι ομάδες και κατ' επέκταση οι ημέρες με τη μικρότερη ζήτηση είναι οι αργίες του Πάσχα και οι Κυριακές μέσης θερμοκρασία λόγω μικρής εργασιακής δραστηριότητας και μηδενικής χρήσης θερμαντικών σωμάτων. Ακολουθούν οι αργίες των Χριστουγέννων και οι Κυριακές μεγάλης θερμοκρασίας λόγω μικρής εργασιακής δραστηριότητας. Ακολουθούν οι Κυριακές μέσης θερμοκρασίας που παρόλη τη μικρή εργασιακή δραστηριότητα η μικρή χρήση θερμαντικών σωμάτων αυξάνουν τη ζήτηση. Στη μέση ζήτηση βρίσκονται οι εργάσιμες των μέσων θερμοκρασιών Άνοιξης και Φθινοπώρου που έχουν μεγάλη εργασιακή. Όσο αυξάνεται η ζήτηση αυξάνουν οι θερμοκρασίες των ζεστών ημερών ή μειώνονται οι θερμοκρασίες των κρύων. Τέλος η μεγαλύτερη σε ζήτηση ομάδα του 1985 περιλαμβάνει κάποιες εργάσιμες ημέρες τέλη Δεκέμβρη μέχρι αρχές Φεβρουαρίου με πολύ κρύο.

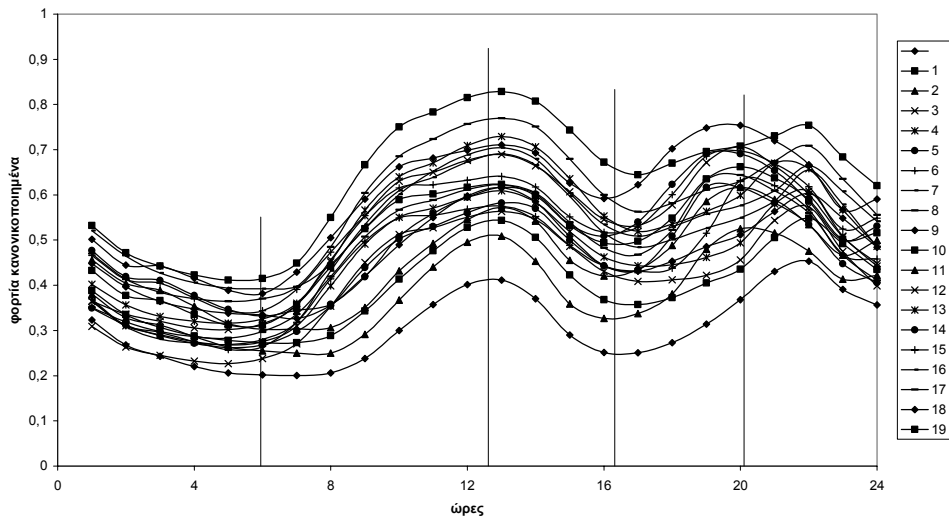
Ενδιαφέρον θα ήταν τώρα να δούμε πώς αλλάζουν τα παραπάνω αποτελέσματα και γραφήματα στην πορεία των χρόνων, πώς μετατοπίζονται οι γραμμές των ομάδων όσο περνάνε τα χρόνια και αν συμβαίνουν σημαντικές αλλαγές αυτό που οφείλεται.

Ακολουθούν λοιπόν, 3 ενδεικτικά γραφήματα της Κ-μέσων 01 και μόνο, για 3 έτη : στην αρχή, τη μέση και το τέλος του διαστήματος που εξετάζουμε στην παρούσα διπλωματική, δηλαδή για το έτος 1986, το 1994 και το 2000.

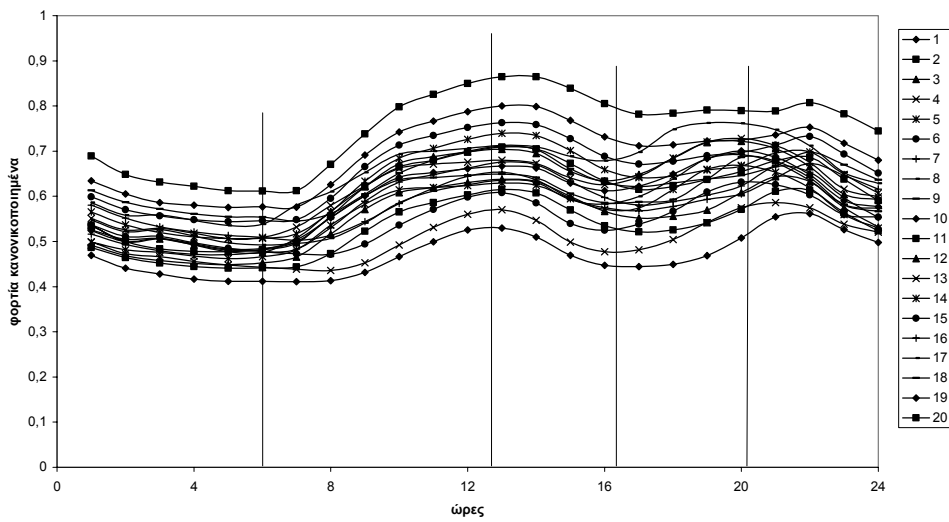
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για τα φορτία για το έτος 1986



20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 1994



20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 2000



Αυτό που παρατηρούμε με μια πρώτη εκτίμηση είναι ότι όσο περνάνε τα χρόνια τόσο αυξάνεται η ζήτηση σε φορτίο σε όλες της ομάδες. Δηλαδή αν το μέγιστο το 1986 ήταν 0,8 περίπου κανονικοποιημένο φορτίο, το 2000 η ζήτηση έχει ανέβει στο 0,85 και αν το ελάχιστο του 1986 ήταν 0,2 το 2000 ανέβηκε στο 0,45 περίπου. Το εύρος δηλαδή μέσα στο οποίο κινείται η ζήτηση φορτίου από 0,6 μειώθηκε στα 0,4. Αυτό φαίνεται και από το γεγονός ότι το 1986 οι γραμμές των ομάδων είναι αραιές μεταξύ τους, ενώ το 2000 είναι όλες μαζεμένες σε υψηλές τιμές φορτίου και με ίδια περίπου μορφή.

Όπως παρατηρούμε αν κοιτάξουμε λίγο πιο αναλυτικά οι ομάδες με την υψηλότερη ζήτηση το 1994 και το 2000 είναι αυτές που περιέχουν ημέρες εργάσιμες καλοκαιριού όπου έχουμε αυξημένες εργασιακές δραστηριότητες και μεγάλη χρήση κλιματιστικών σωμάτων και μάλιστα το 2000 οι ημέρες αυτές είναι περισσότερες. Η ομάδα πάντα με τη χαμηλότερη ζήτηση είναι αυτή των αργιών του Πάσχα και των Κυριακών των ημερών με μέση θερμοκρασία. Όσον αφορά τις υπόλοιπες ομάδες κυρίως αυτές του 2000 παρατηρούμε ότι τα στοιχεία που διαχωρίζουν αυτές τις ομάδες δεν είναι ξεκάθαρα. Υπάρχουν δηλαδή ομάδες, που για παράδειγμα περιέχουν εργάσιμες ημέρες καλοκαιριού, άνοιξης, φθινοπώρου και χειμώνα μαζί. Αυτό πιθανόν συμβαίνει για διάφορους λόγους : αρχικά αφενός η τεχνολογία εξελίχτηκε πάρα πολύ αφετέρου οι άνθρωποι βελτίωσαν το βιοτικό τους επίπεδο, με συνέπεια να αποκτούν συνεχώς τα επιτεύγματα της τεχνολογίας δηλαδή καινούριες συσκευές, όπως Η/Υ, ταχυθερμαντήρες κλιματιστικά. Αυτό συνεπάγεται μεγάλη αύξηση στη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας μέσα σε 15 χρόνια.

Επίσης τα γενικά μέγιστα και ελάχιστα δεν έχουν μετατοπιστεί όπως δείχνουν οι κατακόρυφες βοηθητικές γραμμές, αφού μέσα σε 15 χρόνια δεν έχουν αλλάξει σημαντικά οι συνήθειες των ανθρώπων σε καθημερινή βάση. Ωστόσο η αύξηση των ιδιωτικών υπαλλήλων σε σχέση με τους δημοσίους υπαλλήλους που έχει επέλθει τα τελευταία χρόνια έχει φέρει μια αλλαγή στο ελάχιστο στις 6:00 π.μ. Παρατηρούμε ότι πριν 15 χρόνια η «ζωή» ξεκινούσε στις 6:00 π.μ. επειδή μεγάλο μέρος των ανθρώπων εργάζονταν στις δημόσιες υπηρεσίες οι οποίες ανοίγουν στις 7:00 π.μ. Το 2000 όπως παρατηρούμε από το γράφημα η μεγάλη κίνηση και «ζωή» ξεκινάει στις 8:00 π.μ. μιας και η πλειοψηφία των ανθρώπων σήμερα που εργάζονται στον ιδιωτικό τομέα πρέπει να ξεκινάνε την εργασία στις 9:00 π.μ. Για τον ίδιο λόγο έχει εξαληφθεί και το μεσημεριανό ελάχιστο της μεσημεριανής ξεκούρασης, αφού όταν σήμερα πολλοί άνθρωποι σχολάνε από την εργασία τους στις 17:00 μ.μ. το απόγευμα, δεν είναι δυνατό να ξεκουραστούν το απόγευμα. Παρατηρούμε επίσης ότι το βραδινό μικρό ελάχιστο στις 23:00 μ.μ. που επικρατούσε το 1986 έχει εξαληφθεί πλήρως.

5.5 Τελικά

Τελικά η μεγάλη αλλαγή που επήλθε τα τελευταία 15 έτη, ήταν καταλυτική για τη ζήτηση φορτίου, αφού πλέον το δίκτυο θα πρέπει ουσιαστικά επί 24 ώρες το 24ωρο και επί 365 ημέρες το χρόνο να παρέχει μια μέση 0,6 ή περίπου 5500 MW. Μέσα σε 15 χρόνια οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν έχουν αυξηθεί τόσο, όσο έχει αυξηθεί η ζήτηση με συνέπεια να έχουν γίνει συχνότερες οι διακοπές ρεύματος κυρίως τις ημέρες που ανήκουν στις πρώτες ομάδες ζήτησης, λόγω υπερφόρτωσης του δικτύου διανομής και κυρίως των Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ. Επίσης λόγω της διαρκούς ζήτησης και της μεγάλης χρήσης των ηλεκτρικών συσκευών, η Δ.Ε.Η. προτιμά να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια αδιάκοπα εις βάρος της συντήρησης του δικτύου. Δηλαδή, αφού απαιτείται η συνεχής λειτουργία του δικτύου, δεν είναι δυνατό να αποκόπτονται μονάδες ούτως ώστε να συντηρηθούν.

Κεφάλαιο 6

Συνδυασμός φορτίων & θερμοκρασιών
– Ασαφής λογική

6.1 Εισαγωγικά

Αφού λοιπόν αποφασίσαμε ότι η μέθοδος Κ-μέσων με βελτιστοποιημένη αρχικοποίηση (01) είναι η καλύτερη, αποφασίσαμε να επεξεργαστούμε για τα φορτία, για τα έτη τις 20 ομάδες, για τα «Καλοκαίρια» τις ομάδες 8, 9 και 10 και για τους «Χειμώνες» τις ομάδες 10, 11 και 12. Όλη αυτή η διαδικασία δε, καταλήξαμε να γίνει για τα ενδεικτικά έτη 1986, 1994 και 2000. Επίσης τρέξαμε τα προγράμματα Κ-μέσων 01 και 02 για τις θερμοκρασίες και από το γράφημα της μέσης τιμής καταλήξαμε ότι θα επεξεργαστούμε περαιτέρω, τις ομάδες 20 – 25 για τα έτη και 10 – 14 για τις «εποχές». Έχοντας λοιπόν καταλήξει στη μέθοδο, στα 3 ενδεικτικά έτη και στις ομάδες για φορτία και θερμοκρασίες, στη συνέχεια περάσαμε στο συνδυασμό τους για την εύρεση κανόνων σχετικά με το είδος της κάθε ομάδας. Ο συνδυασμός αυτός, στηρίζεται ουσιαστικά στην ασαφή λογική για την οποία θα μιλήσουμε συνοπτικά παρακάτω και πριν την υλοποίηση του συνδυασμού.

6.2 Γενικά περί ασαφούς λογικής

Οι προσπάθειες για αυτοματοποίηση διαφόρων εκφράσεων της ανθρώπινης δραστηριότητας, από τη διάγνωση ενός ασθενούς μέχρι και τις διαδικασίες χειρισμού μίας μονάδας παραγωγής ενέργειας, χαρακτηρίζονται έντονα από το διαφορετικό τρόπο με τον οποίο σκέφτονται και κρίνουν οι άνθρωποι από τον τρόπο με τον οποίο είναι προγραμματισμένοι οι υπολογιστές. Αντίθετα ο άνθρωπος, χωρίς να κρατά μία συγκεκριμένη θερμοκρασία χαρακτηρίζει τη θερμοκρασία ως υψηλή για την τρέχουσα ημέρα, αν είναι πάνω από τους 30 °C το καλοκαίρι και 20°C το χειμώνα, δεδομένο που δε θα μπορούσε ο υπολογιστής να χρησιμοποιήσει.

Σ' αυτό το σημείο εισέρχεται η έννοια της *ασάφειας*, δηλαδή της ιδιότητας της γλώσσας, η οποία δηλώνει την αοριστία, που δεν καθορίζεται με ένα απλό «ναι» ή «όχι» που θα προσομοιωνόταν εύκολα με μία δυαδική μεταβλητή. Ουσιαστικά είναι ένα χαρακτηριστικό της αναπαράστασης των διαφόρων «αντικειμένων» σ' ένα περιβάλλον συμβόλων και γενικά μία ιδιότητα των μοντέλων και της γλώσσας.

Στη συνέχεια πρέπει να ορίσουμε ένα σύνολο βασικών εννοιών, όπως είναι:

- *ασαφή σύνολα*, δηλαδή εκείνα τα σύνολα που δεν έχουν ένα ορισμένο τρόπο συμμετοχής σε μία ομάδα, αλλά επιτρέπουν στοιχεία /αντικείμενα να έχουν βαθμούς συμμετοχής π.χ. μεταξύ του 0 και του 1. Ένα ασαφές σύνολο με πεδίο ορισμού το σύνολο U ορίζεται από τη συνάρτηση συμμετοχής $\mu_F: U \rightarrow [0,1]$ και χαρακτηρίζεται από μία λεκτική μεταβλητή F .

- *λεκτικές μεταβλητές*, δηλαδή οι συνηθισμένες λεκτικές εκφράσεις που χρησιμοποιούνται, για να συμβολίσουν ένα συγκεκριμένο ασαφές σύνολο σ' ένα δοσμένο πρόβλημα και παίρνουν τιμές, όπως «μεγάλη», «μεσαία» και «μικρή».

- *λογικό συμπέρασμα*, δηλαδή η διαδικασία εξαγωγής συμπεράσματος με την ακόλουθη δομή: Έστω ότι η *υπόθεση 1* είναι «Το x είναι A» και η *υπόθεση 2* είναι «Αν x είναι A, τότε το y είναι B», τότε προκύπτει το *συμπέρασμα* ότι «Το y είναι B»

- *δομή ασαφούς δικτύου*, δηλαδή εκείνο το σύστημα, το οποίο χρησιμοποιεί την ασαφή λογική για την επίλυση ενός προβλήματος, ενώ δηλαδή του δίνεται μία μη-ασαφής είσοδος και λαμβάνεται πάλι μη-ασαφής έξοδος. Ουσιαστικά αποτελείται από τέσσερα στοιχεία:

α) τη θύρα ασάφειας, που είναι μία απεικόνιση του πραγματικού μη ασαφούς χώρου κατάστασης των εισόδων $U \subseteq \mathbb{R}^n$ στα ασαφή σύνολα που ορίζονται στο U . Ουσιαστικά είναι ο σύνδεσμος ανάμεσα στον εξωτερικό κόσμο και στο ασαφές σύστημα.

β) τη βάση ασαφών κανόνων, το οποίο είναι ένα σύνολο λεκτικών κανόνων της μορφής *αν-τότε*. Το *αν-τμήμα* είναι το τμήμα της υπόθεσης, ενώ το *τότε-τμήμα* είναι το τμήμα συμπεράσματος. Δηλαδή έχει τη μορφή:

$$R^i: \text{Αν } (x_1 \text{ είναι } A_1^i), (x_2 \text{ είναι } A_2^i) \dots \text{ και } (x_n \text{ είναι } A_n^i), \text{ τότε } y^i \text{ είναι ίσο με } W^i$$

όπου R^i είναι οι ασαφείς κανόνες, x_i οι μεταβλητές εισόδου του ασαφούς συστήματος, y_i οι έξοδοι του i -οστού κανόνα και A_n^i οι λεκτικοί όροι που χαρακτηρίζονται από τις συναρτήσεις συμμετοχής.

γ) το μηχανισμό εξαγωγής ασαφών συμπερασμάτων, ο οποίος είναι ο μηχανισμός μέσω του οποίου εξάγονται συμπεράσματα βασιζόμενοι στους ασαφείς κανόνες της μορφής *αν-τότε* και στους συνθετικούς κανόνες εξαγωγής συμπερασμάτων. Με αυτόν τον τρόπο διαμορφώνονται τα σύνολα της εξόδου του συστήματος.

δ) τη θύρα αποσαφήνισης, όπου λαμβάνει τις εξόδους του μηχανισμού εξαγωγής ασαφών συμπερασμάτων και παράγει μία σαφή έξοδο, η οποία αντιπροσωπεύει την πραγματική έξοδο του συστήματος. Η αποσαφήνιση γίνεται συνήθως με τη μέθοδο του σταθμισμένου μέσου όρου σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$y = \frac{\sum_{j=1}^m W^j \cdot \mu^j}{\sum_{j=1}^m \mu^j} \quad (6.2-1)$$

όπου

$$\mu^j = \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^j(x_i)} \quad (6.2-2)$$

δίνει το βαθμό πλήρωσης του κανόνα R^j από το διάνυσμα εισόδου (x_1, x_2, \dots, x_n) . Επίσης υπάρχουν και τα κριτήρια του μεγίστου -όπου παράγεται το σημείο, στο οποίο η πιθανή κατανομή ενεργειών φτάνει τη μέγιστη τιμή της- και το μέσο του μεγίστου, όπου παράγει μία τιμή που αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή όλων των τοπικών ενεργειών, των οποίων οι συναρτήσεις συμμετοχής φτάνουν στο μέγιστο.

- συνάρτηση συμμετοχής, δηλαδή είναι η συνάρτηση απεικόνισης κάθε στοιχείου του χώρου αναφοράς X στο διάστημα $[0,1]$ και παριστάνουμε αυτήν την απεικόνιση με την ακόλουθη σχέση:

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (6.2-2)$$

Επίσης υπάρχει και η μορφή, σύμφωνα με την οποία λεκτικά προσδιορίζεται η μεταβλητή, όπως η τιμή P κυμαίνεται συνήθως ανάμεσα στις τιμές p_2 και p_3 , αλλά ποτέ δεν είναι μικρότερο από την p_1 και μεγαλύτερο από την p_4 .

Μέσω της κατάλληλης διαδικασίας εκπαίδευσης -π.χ. μέθοδος κλίσης (gradient descent learning)-προσαρμόζονται κατάλληλα οι κανόνες R^i , βρίσκονται οι παράγοντες των συναρτήσεων συμμετοχής και τα αντίστοιχα βάρη λ_j^i για τη j -οστή μεταβλητή του i -οστού κανόνα. Με τη διαδικασία της ενθύμησης δίνονται μόνο οι είσοδοι στο ασαφές νευρωνικό δίκτυο και αυτό υπολογίζει την έξοδο σύμφωνα με την εκπαίδευσή του.

Επίσης τίθενται και τα προβλήματα της αρχικοποίησης των παραμέτρων και της προσαρμογής της βάσης των κανόνων με τη βοήθεια του συνόλου προτύπων που διαθέτουμε $[\Delta]$.

6.3 Ο συνδυασμός

Αρχικά σκεφτήκαμε να συνδυάσουμε τις ημερήσιες χρονολογικές καμπύλες φορτίου ανά ώρα, με τις χρονολογικές καμπύλες θερμοκρασίας, αντιστοιχώντας το φορτίο της κάθε μέρας με την αντίστοιχη ημερήσια θερμοκρασιακή καμπύλη. Έτσι συνδυάσαμε για το τυχαίο έτος, την τυχαία περίοδο 1/1/1997 με 29/3/1997 τα φορτία με τις θερμοκρασίες για 10 ομάδες φορτίων και 10 ομάδες θερμοκρασιών. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω :

Φορτίο	Δευτέρα						Τρίτη						Τετάρτη						Πέμπτη					
	Ομάδες Θερμοκρασιών						Ομάδες Θερμοκρασιών						Ομάδες Θερμοκρασιών						Ομάδες Θερμοκρασιών					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	2	0
7	0	1	2	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
8	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	2	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0
10	2	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0

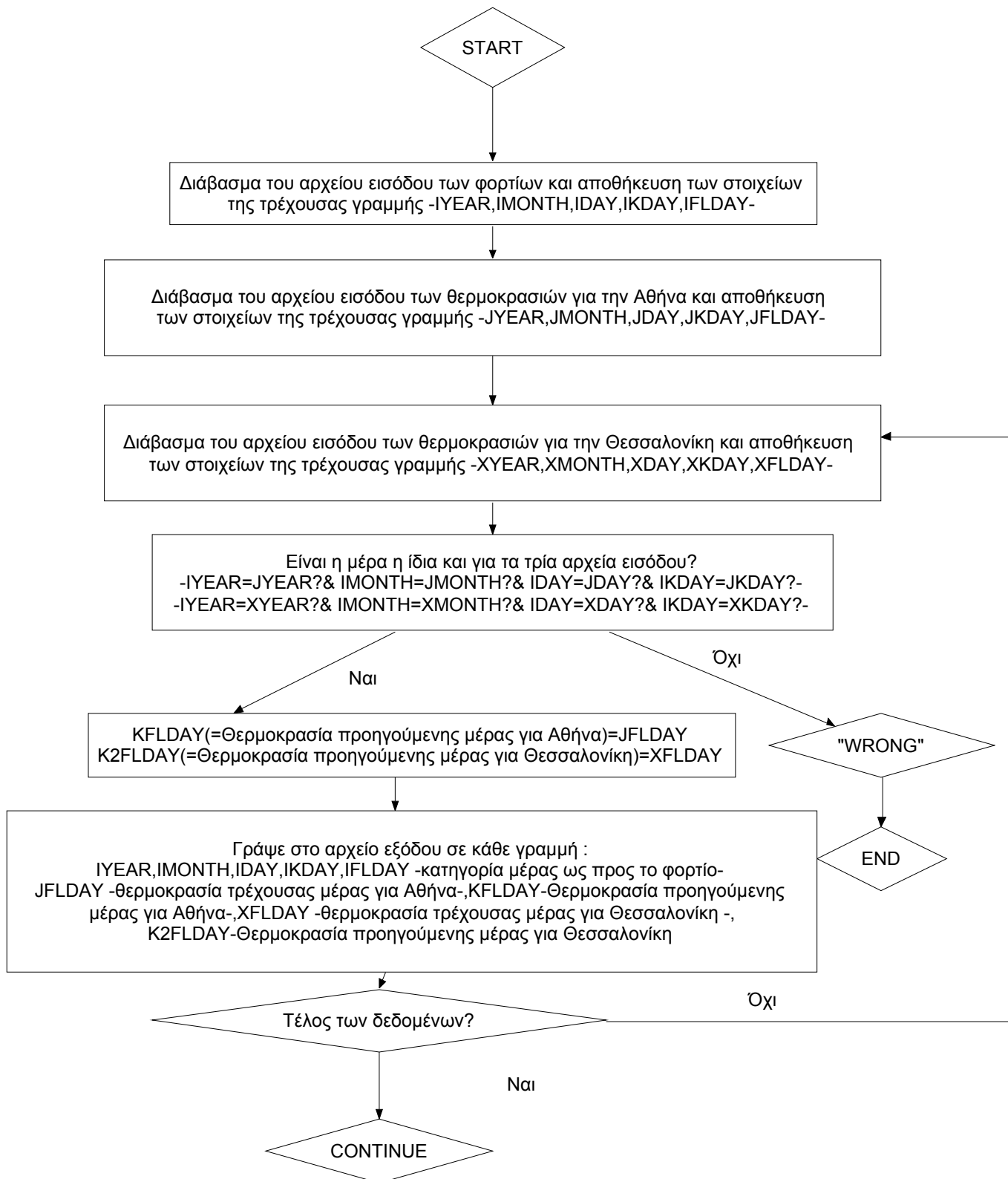
Φορτίο	Παρασκευή						Σάββατο						Κυριακή					
	Ομάδες Θερμοκρασιών						Ομάδες Θερμοκρασιών						Ομάδες Θερμοκρασιών					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	3	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	0	2	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

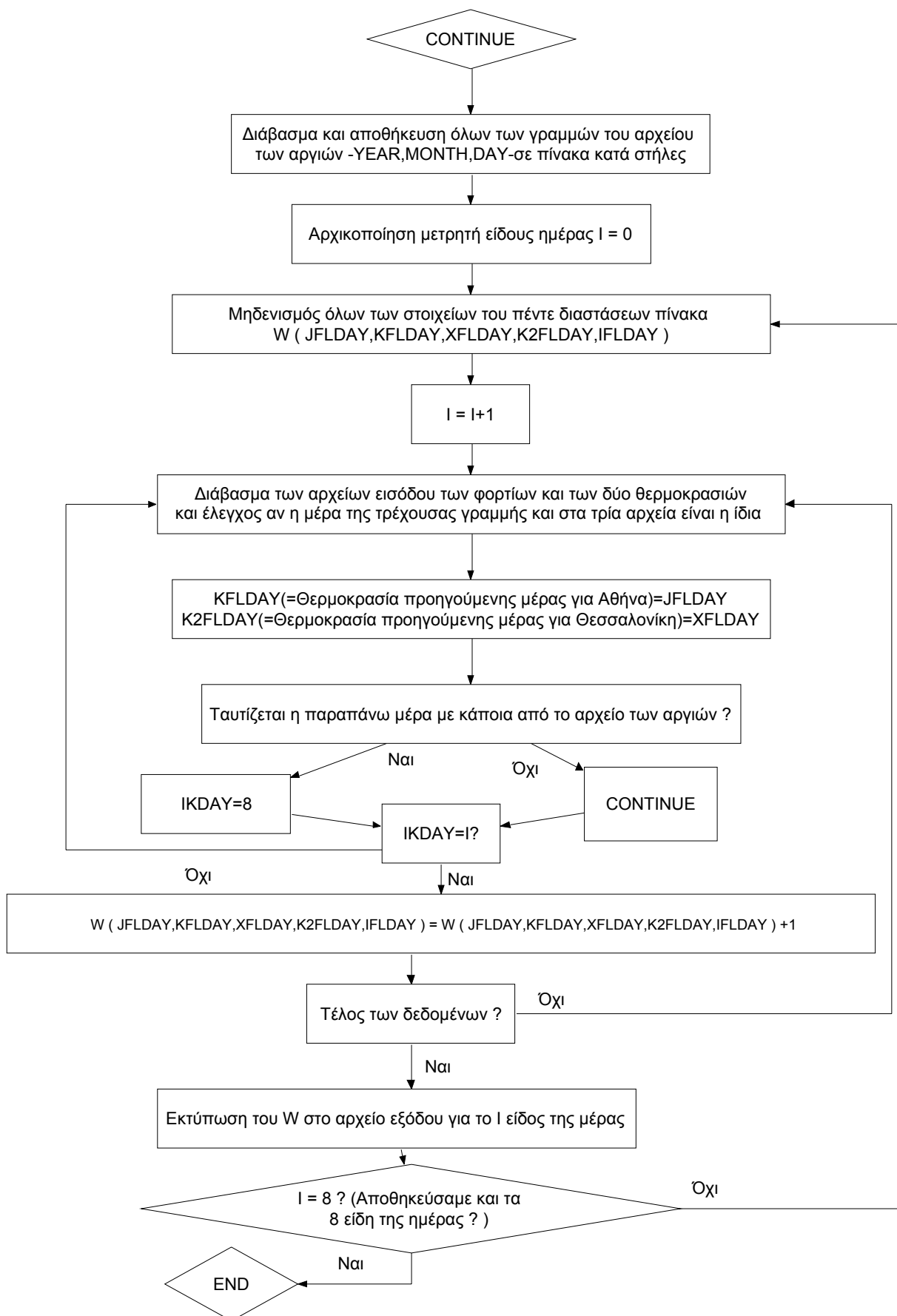
Πίνακας 6.3-1 : Αποτελέσματα συνδυασμού ημερήσιων χρονολογικών καμπυλών φορτίου με $M=10$ και αντίστοιχων θερμοκρασιακών καμπυλών με $M'=6$

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα προκύπτει το συμπέρασμα ότι, παρόλο που ο αριθμός των ομάδων των φορτίων είναι αρκετά μεγάλος, ώστε να μπορούν να διαχωρίζονται τα φορτία, υπάρχουν έντονες επικαλύψεις, αφού υπάρχουν ομάδες θερμοκρασιών που εμπλέκουν ακόμη και τέσσερις ομάδες φορτίων. Παραδείγματος χάρη στην ημέρα Πέμπτη η ομάδα θερμοκρασίας 4 συμμετέχει σε τέσσερις ομάδες φορτίων που αντιστοιχούν σε καθημερινές μέρες -δε λαμβάνεται υπόψη η μέρα με ημερομηνία 3-1, όπου συμπεριφέρεται ως Σάββατο και αποτελεί μέρος των διακοπών των Χριστουγέννων.

Γι' αυτό αποφασίσαμε στη συνέχεια να συνδυαστούν οι χρονολογικές ημερήσιες καμπύλες φορτίου για όλα τα έτη και τις «εποχές», με τις καμπύλες θερμοκρασίας αντιστοιχώντας το φορτίο της κάθε μέρας με την αντίστοιχη ημερήσια θερμοκρασιακή καμπύλη όχι μόνο της ίδιας μέρας, αλλά και της χθεσινής, ώστε να διαπιστωθεί η επίδραση της θερμοκρασίας στο φορτίο για μεγαλύτερο χρονικό παράθυρο.

Για να κάνουμε τους συνδυασμούς φτιάξαμε ένα πρόγραμμα σε Fortran ο αλγόριθμος του οποίου φαίνεται παρακάτω (Παράτημα 1, Πρόγραμμα 8):



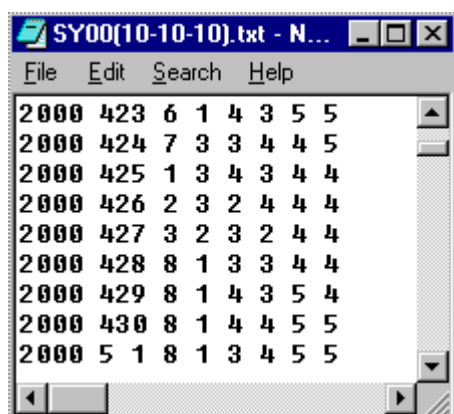


Διάγραμμα 9
Συνδυασμός φορτίων - θερμοκρασιών

Το πρόγραμμα αυτό ουσιαστικά δέχεται σαν είσοδο ένα αρχείο με φορτία για κάποιο έτος ή εποχή, ένα αρχείο με τις θερμοκρασίες της Αθήνας και ένα αρχείο με τις θερμοκρασίες της Αθήνας του αντίστοιχου χρονικού διαστήματος. Το **format** των αρχείων είναι το **15** σύμφωνα με το οποίο, όταν διαβάζονται τα δεδομένα κάθε γραμμής από το αρχείο, τα πρώτα 4 ψηφία αποθηκεύονται στη μεταβλητή IYEAR για το έτος, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IMONTH για το μήνα, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IDAY για την ημέρα, τα επόμενα 2 στη μεταβλητή IKDAY για το είδος της ημέρας και τα τελευταία 2 ψηφία στη μεταβλητή IFLDAY για την ομάδα στην οποία ανήκει το εκάστοτε φορτίο ή θερμοκρασία.

Αφού συγκριθούν οι 4 πρώτες μεταβλητές και για τα 3 αρχεία για να εξασφαλιστεί ότι περιέχουν τις ίδιες ημέρες τότε υπολογίζεται η θερμοκρασία της προηγούμενης ημέρας για Αθήνα και Θεσσαλονίκη. Έτσι τα στοιχεία τώρα εκτυπώνονται σε **format 20** σύμφωνα με το οποίο τα πρώτα 4 ψηφία αντιστοιχούν στη μεταβλητή IYEAR για το έτος, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IMONTH για το μήνα, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IDAY για την ημέρα, τα επόμενα 2 στη μεταβλητή IKDAY για το είδος της ημέρας, τα τελευταία 2 ψηφία στη μεταβλητή IFLDAY για την ομάδα στην οποία ανήκει το εκάστοτε φορτίο, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή JFLDAY για τη θερμοκρασία της τρέχουσας ημέρας στην Αθήνα, τα επόμενα 2 στη μεταβλητή KFLDAY για τη θερμοκρασία της προηγούμενης ημέρας στην Αθήνα, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή XFLDAY για τη θερμοκρασία της τρέχουσας ημέρας στη Θεσσαλονίκη και τέλος τα 2 επόμενα ψηφία στη μεταβλητή K2FLDAY για τη θερμοκρασία της προηγούμενης ημέρας στη Θεσσαλονίκη.

Ακολουθεί ένα δείγμα του τύπου του αρχείου που εκτυπώνεται :



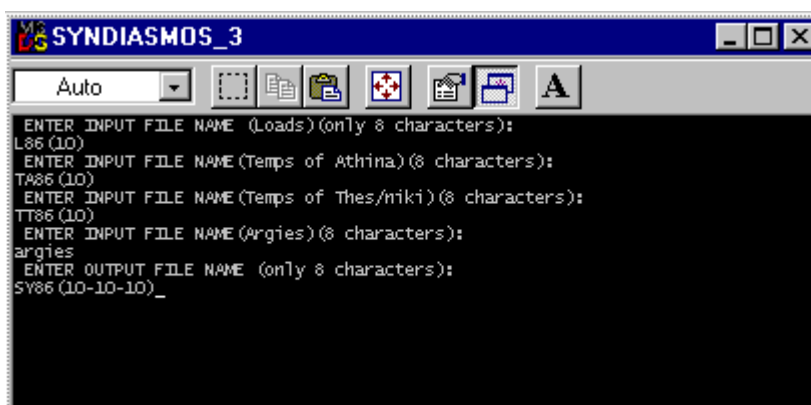
IYEAR	IMONTH	IDAY	IKDAY	IFLDAY	JFLDAY	KFLDAY	XFLDAY	K2FLDAY
2000	423	6	1	4	3	5	5	
2000	424	7	3	3	4	4	5	
2000	425	1	3	4	3	4	4	
2000	426	2	3	2	4	4	4	
2000	427	3	2	3	2	4	4	
2000	428	8	1	3	3	4	4	
2000	429	8	1	4	3	5	4	
2000	430	8	1	4	4	5	5	
2000	5	1	8	1	3	4	5	5

Στη συνέχεια σαν είσοδο το πρόγραμμα δέχεται ένα αρχείο με το όνομα argies.txt όπου έχουμε γράψει όλες τις αργίες κινητές και σταθερές για όλα τα έτη από το 1985 μέχρι το 2000, με **format 35** σύμφωνα με το οποίο τα πρώτα 4 ψηφία αντιστοιχούν στη μεταβλητή IYEAR για το έτος, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IMONTH για το μήνα και τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IDAY για την ημέρα. Οι αργίες λοιπόν, που συμπεριλάβαμε για ένα έτος π.χ. το 1985 είναι :

1985	1	1	:	Πρωτοχρονιά	1985	5	1	:	Πρωτομαγιά	
1985	1	6	:	Θεοφάνια	1985	6	15	:	Αγίου Πνεύματος	
1985	1	30	:	Τριών Ιεραρχών	1985	8	15	:	Δεκαπενταύγουστος	
1985	2	25	:	Καθαρά Δευτέρα	1985	10	28	:	28 ^η Οκτωβρίου	
1985	3	25	:	25 ^η Μαρτίου	1985	12	24	:	Παραμονή	
1985	4	12	:	Μ. Παρασκευή	Χριστουγέννων	1985	12	25	:	Χριστούγεννα
1985	4	13	:	Μ. Σάββατο	1985	12	26	:	Επόμενη Χριστουγέννων	
1985	4	14	:	Πάσχα	1985	12	31	:	Παραμονή Πρωτοχρονιά	
1985	4	15	:	Δευτέρα του Πάσχα						

Το πρόγραμμα λοιπόν αποθηκεύει για κάθε είδος της ημέρας (IKDAY : 1 για τη Δευτέρα , 2 για την Τρίτη...) όλα τα στοιχεία σε ένα πενταδιάστατο πίνακα W(JFLDAY, KFLDAY, XFLDAY, K2FLDAY, IFLDAY). Αν όμως, καθώς σαρώνονται οι ημέρες το πρόγραμμα συναντήσει κάποια μέρα από το αρχείο των αργιών, τότε τα στοιχεία της αποθηκεύονται πάλι στον πίνακα W, αλλά για ένα νέο «είδος ημέρας» το 8 για τις αργίες αποκλειστικά.

Στο πρακτικό μέρος της διαδικασίας ανοίξαμε το αρχείο .exe και δώσαμε τα ονόματα των αρχείων εισόδου και εξόδου και αργιών, πατήσαμε enter και το πρόγραμμα άρχισε να τρέχει. Παρακάτω φαίνεται ένα δείγμα του αρχείου αυτού :



Η διάρκεια τρεξίματος του προγράμματος είναι πολύ μικρή της τάξης των λίγων δευτερολέπτων.

Στα πλαίσια της διπλωματικής τρέξαμε τους συνδυασμούς για τα έτη 1986, 1994 και 2000 τα τρία ενδεικτικά έτη μέσα στη δεκαπενταετία, για τα φορτία τις ομάδες 19 και 20 για τα έτη, τις ομάδες 8, 9 και 10 για τα καλοκαίρια και τις ομάδες 10, 11 και 12 για τους χειμώνες, ενώ για τις θερμοκρασίες για τα έτη τις ομάδες 20-25 και για τις εποχές τις ομάδες 10-14.

Κάποια αποτελέσματα των συνδυασμών φαίνονται στο Παράρτημα I-6. Από το συνολικό αριθμό αποτελεσμάτων των συνδυασμών καταλήξαμε να κρατήσουμε μόνο ένα αριθμό ομάδων για τα έτη και έναν για τις εποχές, όπου οι ημέρες ομαδοποιούνται με πιο ξεκάθαρο τρόπο. Επομένως διαλέξαμε για τα έτη τις 20 ομάδες και για τις εποχές τις 10 ομάδες σαν πιο αντιπροσωπευτικές και με πιο καλούς κανόνες.

6.4 Σχόλια επί των αποτελεσμάτων του συνδυασμού

Θα παρουσιάσουμε τώρα 2 τυχαίες ημέρες των παραπάνω τελικών αριθμών ομάδων του συνδυασμού μία Δευτέρα για ένα έτος, έστω το 1994 και μία εποχή, έστω το Καλοκαίρι του 1994 για να δούμε ποιος συνδυασμός είναι πιο αποτελεσματικός από άποψη κανόνων, δηλαδή πότε κατασκευάζονται πιο καλοί κανόνες στο έτος ή στις εποχές.

Ακολουθούν οι συνδυασμοί για τη Δευτέρα του έτους 1994 όπως εκτυπώνονται στο αρχείο εξόδου του συνδυασμού :

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
IF	6	AND	3	AND	3	AND	3	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
IF	2	AND	1	AND	1	AND	4	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	1	AND	1	AND	3	AND	4	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	2	AND	2	AND	3	AND	4	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	3	AND	2	AND	3	AND	4	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	7	AND	6	AND	8	AND	5	THEN	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	5	AND	4	AND	6	THEN	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	4	AND	5	AND	6	THEN	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	4	AND	5	AND	5	AND	6	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	5	AND	6	AND	6	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	7	AND	6	AND	6	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	7	AND	6	AND	5	AND	7	THEN	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	7	AND	8	AND	7	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	10	AND	7	AND	10	AND	7	THEN	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	9	AND	6	AND	8	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	7	AND	5	AND	7	AND	8	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	7	AND	5	AND	8	AND	8	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	8	AND	8	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	10	AND	6	AND	9	THEN	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	11	AND	9	AND	11	AND	9	THEN	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	14	AND	14	AND	12	AND	9	THEN	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	9	AND	10	AND	9	AND	10	THEN	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	10	AND	11	AND	9	AND	10	THEN	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	14	AND	13	AND	11	AND	11	THEN	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	11	AND	13	AND	15	AND	11	THEN	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	12	AND	11	AND	9	AND	12	THEN	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	13	AND	14	AND	11	AND	12	THEN	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	13	AND	13	AND	15	AND	13	THEN	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	16	AND	17	AND	16	AND	14	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Σεπτεμβρίου, μια ομαδοποίηση στην ομάδα 7 κάποιες Δευτέρες Ιουλίου, Αυγούστου και Σεπτέμβρη, μια ομαδοποίηση στην ομάδα 9 κάποιες Δευτέρες Ιουλίου, Αυγούστου. Παρατηρούμε επίσης μια προβληματική Δευτέρα η οποία καταχωρείται και στην ομάδα 7 και στην 9 γεγονός που μπορεί να δικαιολογηθεί με τη δυνατότητα αυτός ο συνδυασμός θερμοκρασιών να βρίσκεται στο ενδιάμεσο των δύο φορτίων.

6.5 Τελικά

Από τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι ο συνδυασμός είναι πιο αποδοτικός όταν γίνεται ανά εποχή παρά ανά έτος, επειδή λόγω όμοιων θερμοκρασιών δεν αλλάζουν κατά πολύ οι συνδυασμοί. Αφενός υπάρχει πιο ξεκάθαρος διαχωρισμός των ημερών σε ομάδες, που σημαίνει ότι η ερμηνεία των συνδυασμών είναι ευκολότερη και αφετέρου δεν παρουσιάζονται τόσες προβληματικές ημέρες όσες στα έτη. Είναι λογικό λοιπόν προκειμένου να εξασφαλίσουμε την καλύτερη δυνατή πρόβλεψη να επιλέξουμε τις εποχές έναντι των ετών, δηλαδή να κάνουμε την πρόβλεψη του 2000 σε 2 στάδια όσες και οι εποχές.

Κεφάλαιο 7

Πρόβλεψη φορτίου μέσω
Παρεμβολής

7.1 Εισαγωγικά

Στο τελευταίο πρακτικό μέρος της διπλωματικής, θα πραγματοποιήσουμε την πρόβλεψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2000. Όπως είπαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο η πρόβλεψη θα στηριχτεί, όχι με βάση το συνδυασμό φορτίων και θερμοκρασιών των ετών, αλλά των εποχών και θα υλοποιηθεί με την παρεμβολή των καμπυλών των 10 ομάδων των εποχών, ενδεικτικών χρονολογιών πριν το 2000.

Πριν από όλα, λοιπόν, εκτελέσαμε το πρόγραμμα των συνδυασμών, για τις εποχές από το 1993 μέχρι το 1999. Αυτό που παρατηρήσαμε είναι, ότι τα στοιχεία της ομάδας 10 (βλ. σελ. 116) με την πάροδο του χρόνου δεν άλλαξαν, δηλαδή η ομάδα 10 του 1993 περιέχει την πλειοψηφία των ημερών της ομάδας 10 του 1999. Αναλογιζόμενοι, επιπλέον, το γεγονός ότι στις εποχές οι θερμοκρασίες δεν αλλάζουν σημαντικά σε σχέση με τα έτη, άρα και η κατανομή των ομάδων, δικαιολογούμε αυτό που παρατηρήσαμε και επιβεβαιώνουμε ακόμα μια φορά, την επιλογή μας να εργαστούμε με τις εποχές.

7.2 Από-κανονικοποίηση

Πριν προβούμε στην πρόβλεψη του φορτίου για το έτος 2000, θα πρέπει να αποκανονικοποιήσουμε τις τιμές των φορτίων και μάλιστα των εποχών πριν του 2000, φορτία που σε αυτή τη φάση μας ενδιαφέρουν.

Για την από-κανονικοποίηση, φτιάξαμε ένα πρόγραμμα σε Fortran.

Το πρόγραμμα αυτό δέχεται ως είσοδο τα κανονικοποιημένα αρχεία των εποχών, τα οποία είναι σε **format 20**, σύμφωνα με το οποίο τα 4 πρώτα ψηφία αντιστοιχούν στο έτος, τα επόμενα 2 ψηφία στο μήνα, τα επόμενα 2 στην ημέρα, τα επόμενα 2 στο είδος της ημέρας, τα επόμενα 2 στο flag της ημέρας και τέλος τα 24 ωριαία κανονικοποιημένα φορτία, σε πίνακα 24 στοιχείων. Το κάθε φορτίο έχει 8 ψηφία, εκ των οποίων τα 6 είναι δεκαδικά, το 1 είναι για την τελεία (.) και άλλο είναι για το κενό.

Στην ουσία το πρόγραμμα ζητάει από τον χρήστη το μέγιστο και το ελάχιστο πραγματικό φορτίο, για να τα αντιστοιχήσει με το 0,9 και το 0,1. Αρχικά, λοιπόν βρίσκει την κλίση :

$$R_{diff} = \frac{0,8}{R_{max} - R_{min}} \quad (7.2-1)$$

η οποία είναι η αντίστροφη της αντίστοιχης κλίσης, που χρησιμοποιήσαμε στην κανονικοποίηση, γεγονός λογικό, αφού ακολουθούμε ακριβώς της αντίστροφη διαδικασία τώρα.

Στην συνέχεια μέσω του τύπου :

$$RLOAD_{πραγματικό}(I) = \frac{(RLOAD_{κανονικοποιημένο}(I) - 0,1)}{Rdiff + Rmin} \quad (7.2-2)$$

απο-κανονικοποιείται γραμμή-γραμμή όλο το αρχείο.

Τέλος εκτυπώνεται το αρχείο, σύμφωνα με το **format 15**, όπου τα πρώτα 4 ψηφία αντιστοιχούν στη μεταβλητή IYEAR, όπου αποθηκεύεται το έτος, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IMONTH, όπου αποθηκεύονται οι μήνες, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IDAY, όπου αποθηκεύονται οι ημέρες, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IKDAY, όπου αποθηκεύεται το είδος της ημέρας, τα επόμενα 2 ψηφία στη μεταβλητή IFLDAY, όπου αποθηκεύεται ο αριθμός της ομάδας στην οποία ανήκει η κάθε ημέρα (εδώ IFLDAY = 1...10 επειδή απο-κανονικοποιούμε αρχεία 10 ομάδων) και τέλος ένας πίνακας με 24 στοιχεία για τα φορτία, εκ των οποίων το κάθε ένα αντιστοιχεί σε 8 ψηφία, 2 δεκαδικά : ένα για την τελεία (.) και ένα για το μηδέν.

Ακολουθεί δείγμα του αρχείου εισόδου :

```

LoadKa97.txt - Notepad
File Edit Format View Help
1997 1 1 3 00.5889750.5467250.5324030.4986270.4670000.4563780.4469490.4300010.4351340.4680740.50
1997 1 2 4 00.5347900.4886020.4808440.4557810.4310760.4271370.4536330.4872890.5320450.5820530.59
1997 1 3 5 00.5634340.5176040.5134270.4914670.4785770.4771450.4874090.5256000.5787110.6309860.64
1997 1 4 6 00.5838430.5308520.5257200.4987470.4788150.4776220.4831120.4881250.5164110.5740560.60
1997 1 5 7 00.5654630.5166490.5142620.4851410.4573330.4467100.4445620.4381170.4522010.4971950.54
1997 1 6 1 00.5583020.5116370.4955240.4752350.4624650.4482620.4585260.4674770.4845440.5117560.52
1997 1 7 2 00.5618830.5088920.4997020.4812020.4740410.4771450.5154560.5469640.6044910.6445920.65
1997 1 8 3 00.5857530.5376550.5350290.5116370.4963600.5026850.5242880.5883780.6433990.6900640.70
1997 1 9 4 00.5864690.5381320.5378930.5273910.5155750.5177230.5345520.5930330.6487690.6977030.70
1997 110 5 00.5785920.5316870.5307330.5035210.4900340.4982690.5304940.5879010.6419660.6917350.69
1997 111 6 00.5948230.5461290.5390870.5124720.5002980.4917050.5000600.5072210.5377740.6040130.64

```

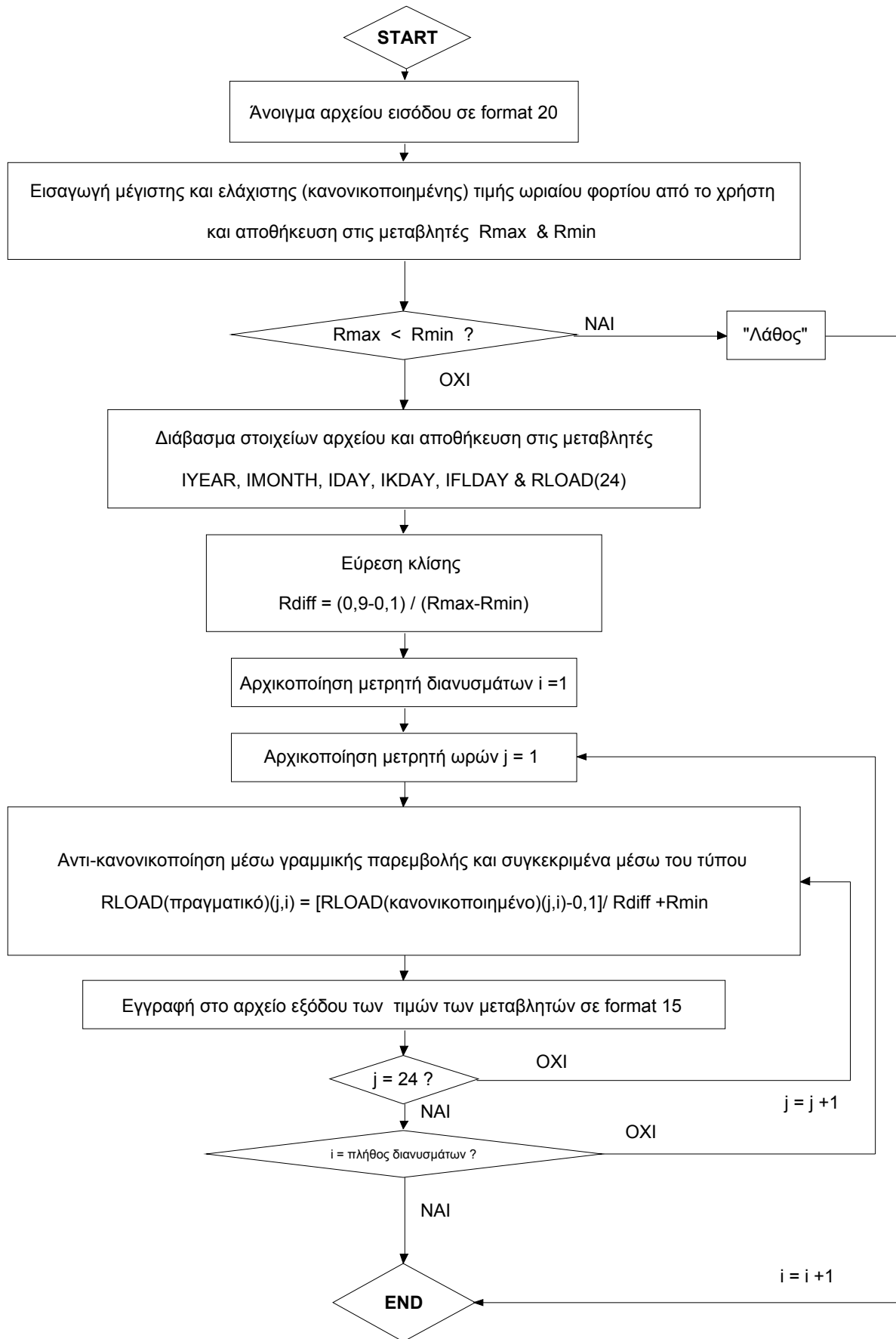
Επίσης παρακάτω φαίνεται και ένα αρχείο εξόδου :

```

LOADout97.txt - Notepad
File Edit Format View Help
1997 1 1 3 0 4097.00 3743.00 3623.00 3340.00 3075.00 2986.00 2907.00 2765.00 2808.00 3084.00 342
1997 1 2 4 0 3643.00 3256.00 3191.00 2981.00 2774.00 2741.00 2963.00 3245.00 3620.00 4039.00 418
1997 1 3 5 0 3883.00 3499.00 3464.00 3280.00 3172.00 3160.00 3246.00 3566.00 4011.00 4449.00 458
1997 1 4 6 0 4054.00 3610.00 3567.00 3341.00 3174.00 3164.00 3210.00 3252.00 3489.00 3972.00 425
1997 1 5 7 0 3900.00 3491.00 3471.00 3227.00 2994.00 2905.00 2887.00 2833.00 2951.00 3328.00 374
1997 1 6 1 0 3840.00 3449.00 3314.00 3144.00 3037.00 2918.00 3004.00 3079.00 3222.00 3450.00 356
1997 1 7 2 0 3870.00 3426.00 3349.00 3194.00 3134.00 3160.00 3481.00 3745.00 4227.00 4563.00 468
1997 1 8 3 0 4070.00 3667.00 3645.00 3449.00 3321.00 3374.00 3555.00 4092.00 4553.00 4944.00 506
1997 1 9 4 0 4076.00 3671.00 3669.00 3581.00 3482.00 3500.00 3641.00 4131.00 4598.00 5008.00 509
1997 110 5 0 4010.00 3617.00 3609.00 3381.00 3268.00 3337.00 3607.00 4088.00 4541.00 4958.00 501
1997 111 6 0 4146.00 3738.00 3679.00 3456.00 3354.00 3282.00 3352.00 3412.00 3668.00 4223.00 455

```

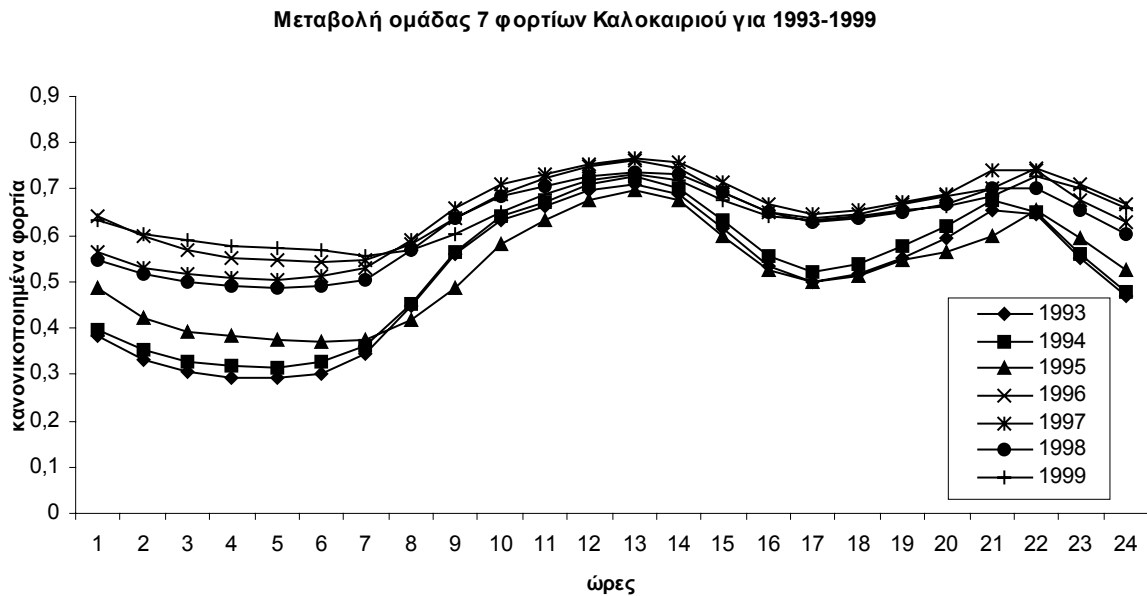
Ακολουθεί ο αλγόριθμος σε μορφή διαγράμματος ροής :



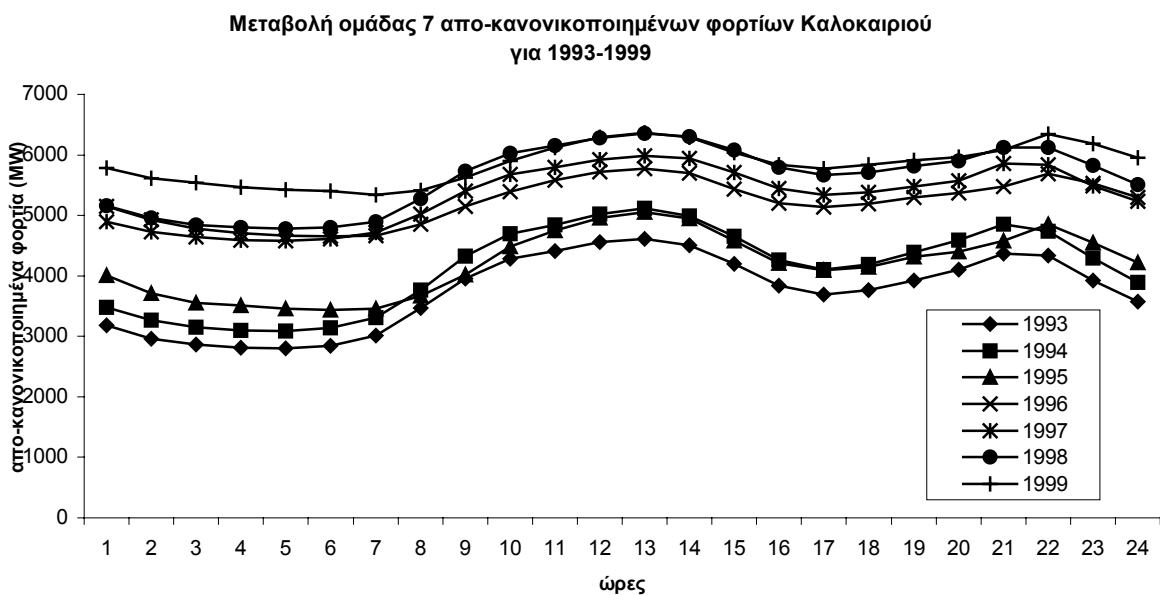
Διάγραμμα ροής 8
Απο-κανονικοποίηση αρχείων ωριαίων φορτίων

Στην πορεία της διαδικασίας, έχοντας τις κανονικοποιημένες τιμές ωριαίων φορτίων και τις αντίστοιχες απο-κανονικοποιημένες, κάναμε 10 ομαδικά διαγράμματα για κάθε ομάδα, δείχνοντας πως αυτή μεταβάλλεται από το 1993 μέχρι το 1999 και για το Καλοκαίρι και για το Χειμώνα.

Παρακάτω παραθέτουμε δύο ενδεικτικά διαγράμματα της ομάδας 7 των παραπάνω , ενώ όλα και για τις δύο εποχές, παρατίθενται στο Παράρτημα Ι-7 :



Γράφημα 7.2-3 : Μεταβολή ομάδας 7 Καλοκαιριού από 1993 μέχρι 1999 με κανονικοποιημένες τιμές φορτίων



Γράφημα 7.2-4 : Μεταβολή ομάδας 7 Καλοκαιριού από 1993 μέχρι 1999 με απο-κανονικοποιημένες τιμές φορτίων

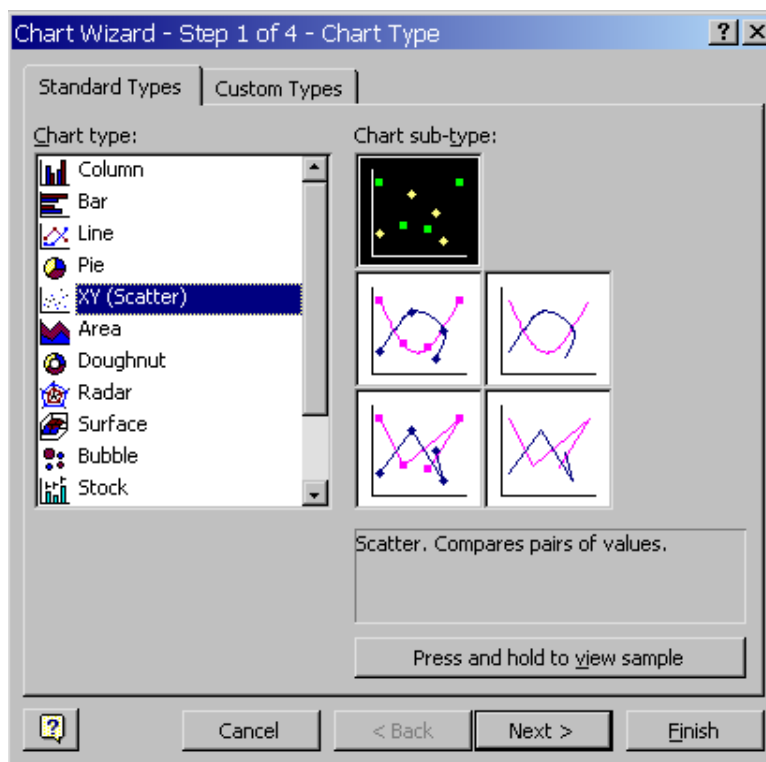
Παρατηρούμε ότι η γενική μορφή των διαγραμμάτων, όσον αφορά τη μεταβολή της ομάδας στην πάροδο των χρόνων, αλλά και όσον αφορά τις κανονικοποιημένες και τις απο-κανονικοποιημένες τιμές φορτίου, παραμένει η ίδια περίπου. Η μεταβολή της ομάδας 7 από το 1993 μέχρι το 1999 συμβαίνει ως προς τον άξονα των φορτίων και μάλιστα, όσο περνάνε τα χρόνια αυξάνεται η ζήτηση. Τη χρονιά 1995-1996 θα πρέπει να προστέθηκε στο δίκτυο, κάποια μονάδα η οποία καταναλώνει μεγάλη ποσότητα ενέργειας, μιας και η απότομη αύξηση στη ζήτηση που παρατηρείται, εμφανίζεται σε πολλά διαγράμματα. Τα μέγιστα και τα ελάχιστα, όμως μέσα στο 24ωρο παραμένουν τα ίδια.

Πέρα των άλλων, παρατηρούμε ότι στα κανονικοποιημένα φορτία, οι γραμμές των ομάδων είναι συγκεντρωμένες λίγο ως πολύ, ενώ στα απο-κανονικοποιημένα φορτία οι γραμμές είναι πιο αραιές, γεγονός που αιτιολογείται με το εύρος τιμών. Έτσι, ενώ τα κανονικοποιημένα φορτία έχουν μικρό εύρος από 0,1 μέχρι 0,9, τα απο-κανονικοποιημένα φορτία έχουν πολύ μεγαλύτερο εύρος και μάλιστα διαφορετικό για κάθε έτος.

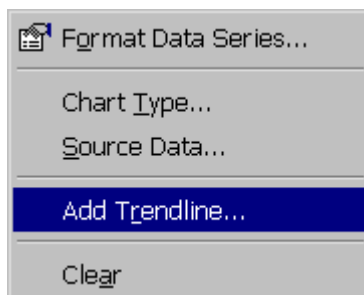
7.3 Παρεμβολή

Στη συνέχεια αφού, απο-κανονικοποιήσαμε τα φορτία των 10 ομάδων του Καλοκαιριού και του Χειμώνα, των τελευταίων 7 ετών πριν το 2000, προχωρήσαμε στην παρεμβολή, μέσω του προγράμματος του Office, Excel. Πρώτα διαμορφώσαμε τα απο-κανονικοποιημένα στοιχεία σε πίνακες, με τη μία στήλη για τα έτη και την άλλη για τη μεταβολή της κάθε ώρας του 24ώρου. Έτσι φτιάξαμε $24 \times 2 = 48$ πίνακες, για κάθε μία ώρα του 24ώρου αλλά και για κάθε εποχή.

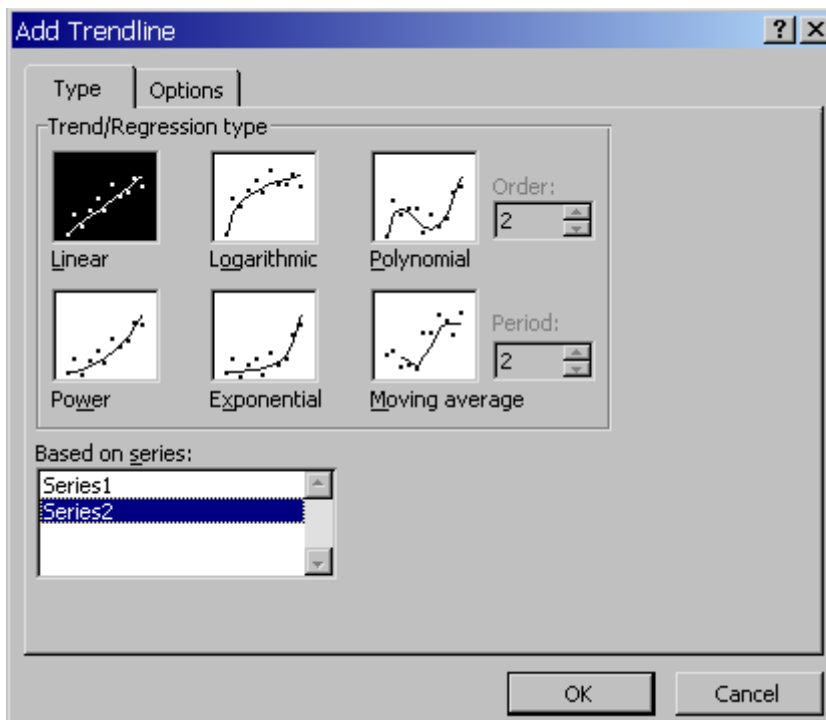
Μέσω του προγράμματος του Excel θέλοντας να κάνουμε την παρεμβολή, κατασκευάσαμε για κάθε ένα εκ των 48 πινάκων, γράφημα με τον ακόλουθο τρόπο :



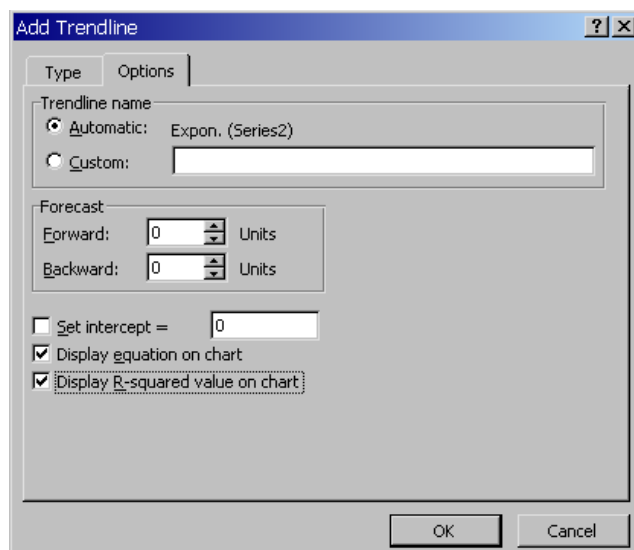
Από το παράθυρο επιλογής για τα γραφήματα, επιλέξαμε τα μεμονωμένα σημεία (XY Scatter), όπως φαίνεται παραπάνω, και αφού θέσαμε ως δεδομένα, τα έτη στον άξονα xχ' και τα φορτία στον άξονα yy', κατασκευάσαμε ένα γράφημα με μεμονωμένα σημεία. Ακολούθως επιλέξαμε με το «ποντίκι» αυτά τα σημεία και με δεξί «κλικ» εμφανίστηκε το ακόλουθο παράθυρο επιλογών :



Όπως φαίνεται επιλέξαμε το “Add trendline” που σημαίνει «προσθήκη γραμμής τάσης», δηλαδή, επιλογή είδους παρεμβολής. Ακολουθεί το παράθυρο με τους τύπους αυτούς :



Αρχικά δοκιμάσαμε και για τις δύο εποχές, την επιλογή “Linear”, δηλαδή την ευρέως διαδεδομένη γραμμική παρεμβολή, ακολούθως την επιλογή “Polynomial”, δηλαδή την πολυωνυμική παρεμβολή 2^{ου} και 3^{ου} βαθμού και έπειτα την επιλογή “Exponential”, δηλαδή την εκθετική παρεμβολή. Μέσω του ακόλουθου παραθύρου επιλέξαμε, να εμφανιστεί στο γράφημα η εξίσωση της παρεμβολής, που ουσιαστικά θα αποτελεί την καλύτερη προσέγγιση για τα σημεία και επιπλέον, επιλέξαμε να εμφανίζεται στο γράφημα και το συντελεστής συσχέτισης R².



Ακολουθεί το παράθυρο των εντολών :

Ακολουθούν δύο πίνακες, ένας για κάθε εποχή, με τα αποτελέσματα των παρεμβολών των φορτίων (MW), της κάθε ώρας του 24ώρου :

Χειμώνες από 1993 μέχρι 1999

Ωρες	Πραγματικά	Γραμμική	Πολυωνυμική 2 ^{ου} Βαθμού	Πολυωνυμική 3 ^{ου} Βαθμού
1	5369,74	5482,12	5615,67	5120,78
2	5169,93	5311,00	5390,21	4817,99
3	5170,99	5338,62	5379,01	4845,79
4	5092,22	5279,46	5279,20	4729,07
5	5027,94	5215,42	5190,35	4557,38
6	5040,35	5222,26	5182,67	4523,27
7	5195,75	5357,62	5332,20	4811,00
8	5515,86	5618,16	5631,39	5228,63
9	5774,85	5842,56	5941,70	5658,95
10	5985,88	6030,36	6206,86	5989,85
11	6020,51	6060,98	6259,36	6081,58
12	6049,35	6094,04	6314,49	6168,37
13	6078,70	6116,88	6340,58	6230,09
14	6037,52	6095,28	6327,90	6193,66
15	5876,53	5997,46	6223,02	5961,63
16	5807,89	5941,64	6173,64	5916,22
17	5915,51	6015,56	6271,34	6182,35
18	6225,93	6156,54	6555,72	6752,80
19	6340,07	6232,86	6597,44	6668,06
20	6322,86	6259,34	6555,79	6469,84
21	6241,62	6199,94	6473,66	6313,75
22	6033,82	6053,50	6289,30	6041,11
23	5750,21	5802,58	6009,93	5565,40
24	5657,27	5734,24	5942,49	5550,72

Καλοκαίρια από 1993 μέχρι 1999

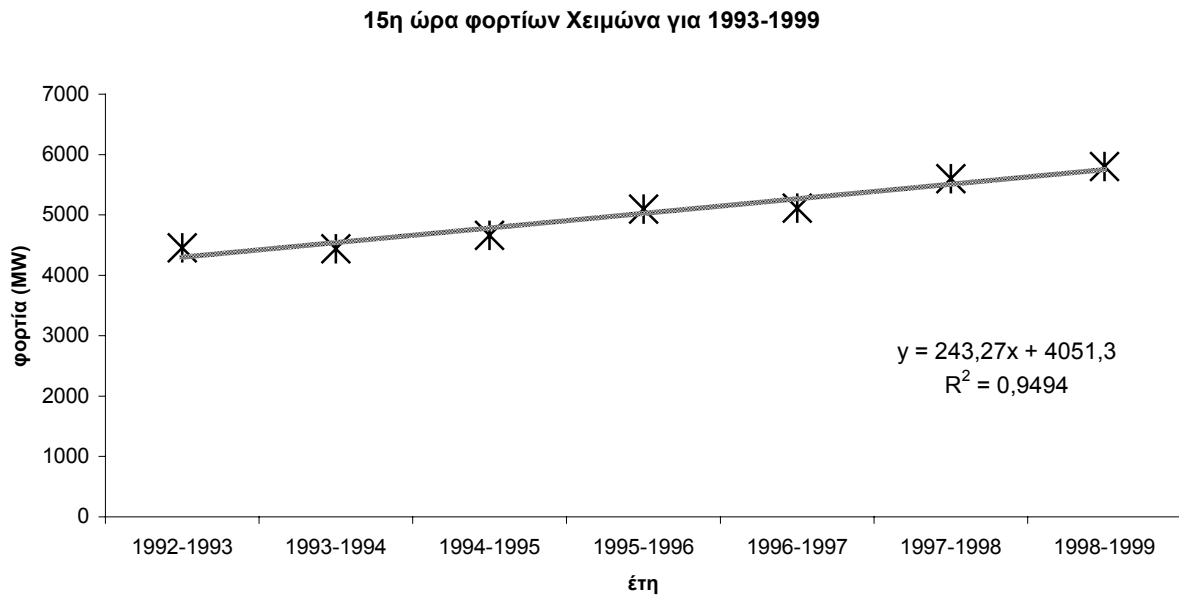
Ώρες	Πραγματικά	Γραμμική	Εκθετική	Πολυωνυμική 2 ^{ου} Βαθμού
1	7010,04	6685,58	6973,25	6558,86
2	6718,05	6511,00	6838,37	6452,68
3	6593,15	6385,14	6729,34	6352,91
4	6524,16	6308,96	6657,91	6283,85
5	6453,88	6261,88	6610,31	6215,82
6	6449,38	6255,90	6588,58	6212,50
7	6455,67	6275,62	6578,53	6155,24
8	6874,08	6617,72	6870,96	6391,39
9	7360,26	6993,56	7182,50	6822,51
10	7793,83	7324,06	7491,91	7193,46
11	7993,89	7487,30	7648,12	7355,43
12	8169,23	7608,88	7761,15	7479,68
13	8274,23	7565,40	7682,65	7541,03
14	8275,88	7656,80	7823,84	7553,18
15	8093,25	7476,82	7670,34	7389,10
16	7843,06	7261,86	7499,90	7171,32
17	7677,64	7148,78	7402,78	7059,67
18	7692,22	7170,16	7413,25	7089,39
19	7741,70	7227,90	7452,63	7145,47
20	7731,07	7227,72	7439,20	7152,78
21	7727,17	7253,08	7440,67	7223,80
22	7860,79	7383,24	7549,98	7335,02
23	7679,37	7199,10	7401,24	7076,90
24	7410,43	6961,36	7199,33	6826,88

Είναι περιττό, να πούμε ότι τα άλλα είδη παρεμβολών (Λογαριθμική, Κινητού Μέσου Όρου κτλ), που δοκιμάσαμε και για τις δύο εποχές, δεν παρείχαν καλύτερα αποτελέσματα, γι' αυτό το λόγο, άλλωστε δεν παρατίθενται στους παραπάνω πίνακες. Επίσης, με έντονους αριθμούς φαίνονται οι τιμές των φορτίων, με τη μικρότερη απόκλιση από τις πραγματικές.

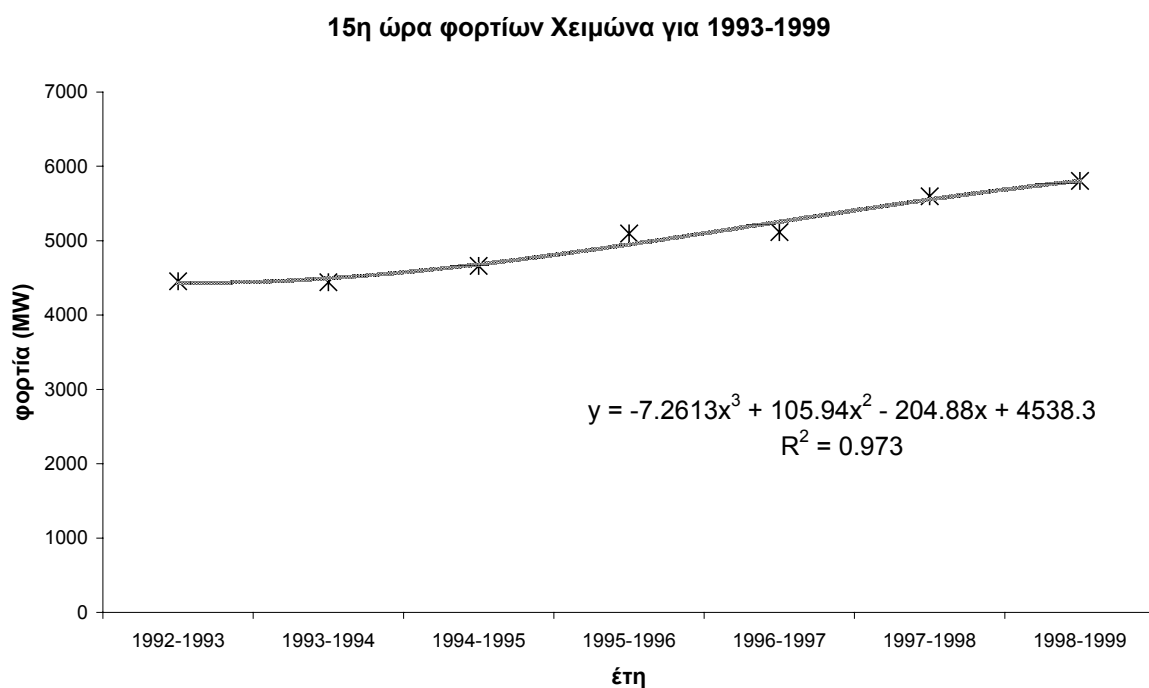
Παρατηρώντας τα αποτελέσματα των πινάκων, λοιπόν, βλέπουμε ότι για τους Χειμώνες ανταποκρίνεται γενικά καλύτερά η γραμμική παρεμβολή, ενώ οι άλλες κερδίζουν οριακά σε μερικές ώρες. Αντιθέτως για τα Καλοκαίρια, αυτό συμβαίνει, δηλαδή η εκθετική παρεμβολή και για τις 24 ώρες δίνει τιμές φορτίων, με την μικρότερη απόκλιση από τις πραγματικές.

Όσον αφορά τους χειμώνες, βλέπουμε ότι η πλειοψηφία των αποτελεσμάτων (15 ώρες από τις 24) της γραμμικής παρεμβολής, δίνει προβλεπόμενα φορτία πιο κοντά στα πραγματικά. Υπάρχουν επίσης 5 ώρες από τις 24, για τις οποίες η πολυωνυμική παρεμβολή 3^{ου} βαθμού, δίνει καλύτερα αποτελέσματα και 4 ώρες από τις 24, για τις οποίες δίνει καλύτερα αποτελέσματα η πολυωνυμική 2^{ου} βαθμού.

Ακολουθούν ενδεικτικά διαγράμματα της 15^{ης} ώρας, για το Καλοκαίρι και το Χειμώνα με διάφορα είδη παρεμβολών, ενώ τα υπόλοιπα, όλα βρίσκονται στο Παράρτημα I-8 :

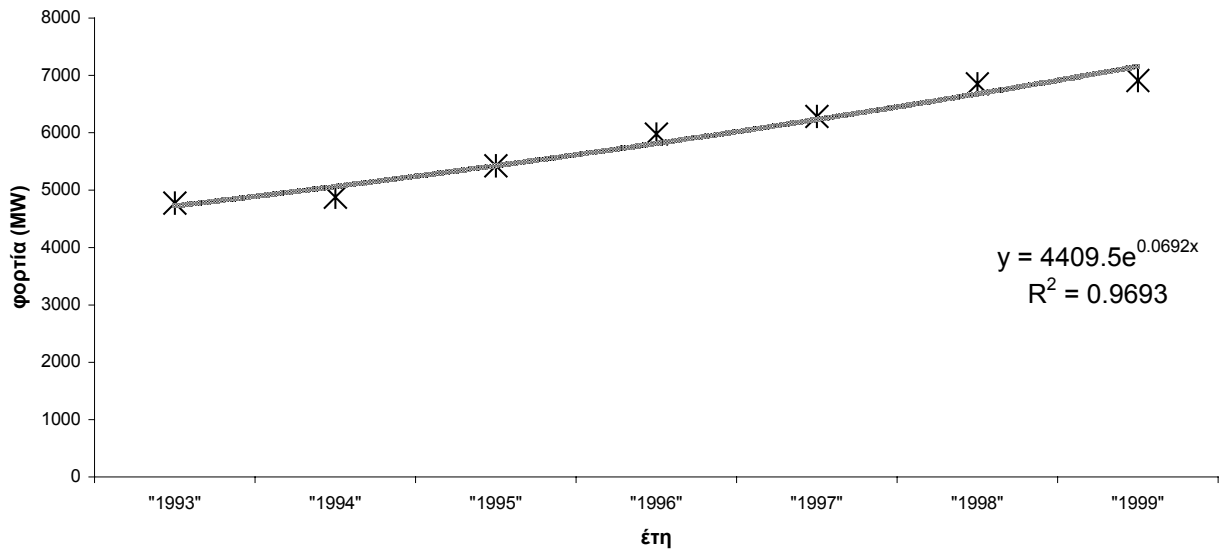


Γράφημα 7.3-1 : Γραμμική παρεμβολή 15^{ης} ώρας Χειμώνα από 1993 μέχρι 1999



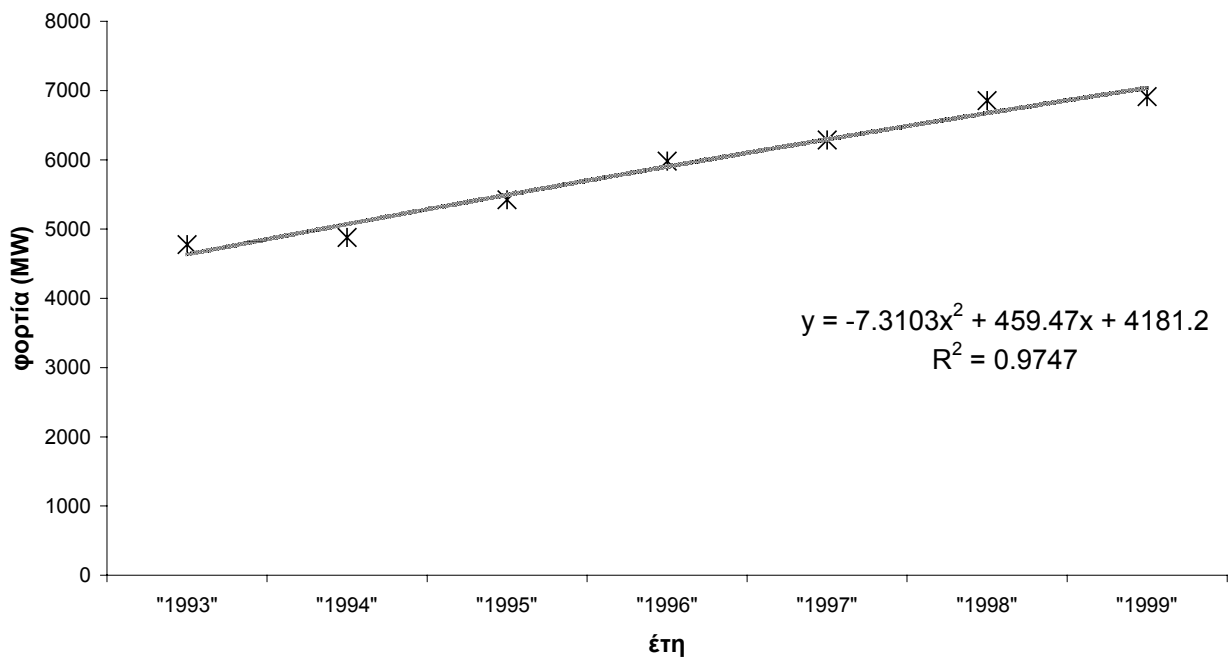
Γράφημα 7.3-2 : Πολυωνυμική παρεμβολή 3^{ου} βαθμού, 15^{ης} ώρας Χειμώνα από 1993 - 1999

15η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



Γράφημα 7.3-3 : Εκθετική παρεμβολή, 15^η ώρας Καλοκαιριού από 1993 - 1999

15η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



Γράφημα 7.3-4 : Πολυωνυμική παρεμβολή 2^{ου} βαθμού 15^η ώρας Καλοκαιριού από 1993- 1999

Η διαδικασία που ακολουθήσαμε για να βρούμε τα ωριαία φορτία του 2000, για όλα τα είδη των παρεμβολών, πραγματοποιήθηκε, χρησιμοποιώντας την εκάστοτε εξίσωση του γραφήματος και για τις δύο εποχές. Παραθέτουμε ένα παράδειγμα για τις 15:00 μ.μ. των χειμώνων από το 1993 μέχρι το 1999. Έχουμε την εξίσωση της γραμμικής παρεμβολής :

$y = 243,27x + 4051,3$, όπου το y αντιστοιχεί στο φορτίο και το x αντιστοιχεί στα έτη. Η διαφορά είναι, ότι κάθε έτος για τα Καλοκαίρια και τους Χειμώνες, συμβολίζεται με τα νούμερα 1, 2, 3, 4, 5, 6 και 7, οπότε και το x παίρνει αυτές τις τιμές, μέχρι το 1999. Για το χειμώνα 1999-2000, λοιπόν, το x παίρνει την τιμή 8, οπότε η πρόβλεψη για τις 15:00 του χειμώνα 1999-2000 είναι :

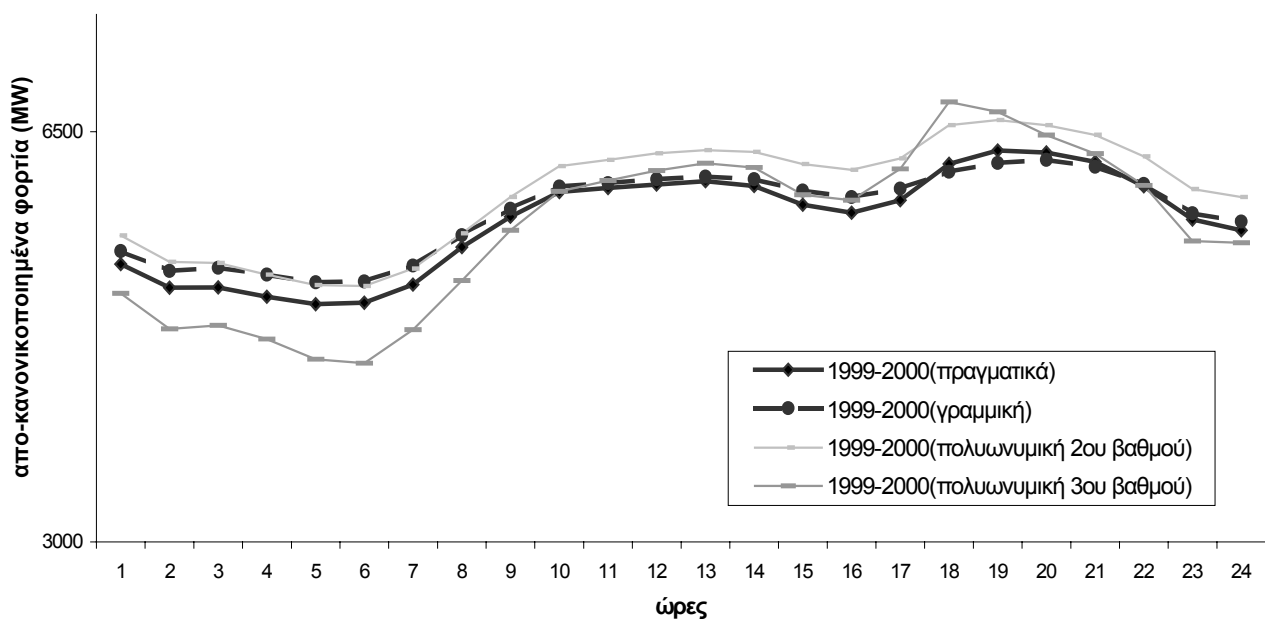
$$y = 243,27 \cdot 8 + 4051,3 \Rightarrow y = 5997,46 \text{ MW.}$$

Επαναλαμβάνοντας την παραπάνω διαδικασία για 24 ώρες του Χειμώνα και του Καλοκαιριού, βρήκαμε για το Καλοκαίρι του 2000 και το Χειμώνα του 1999-2000, τα ωριαία φορτία της ομάδας 10.

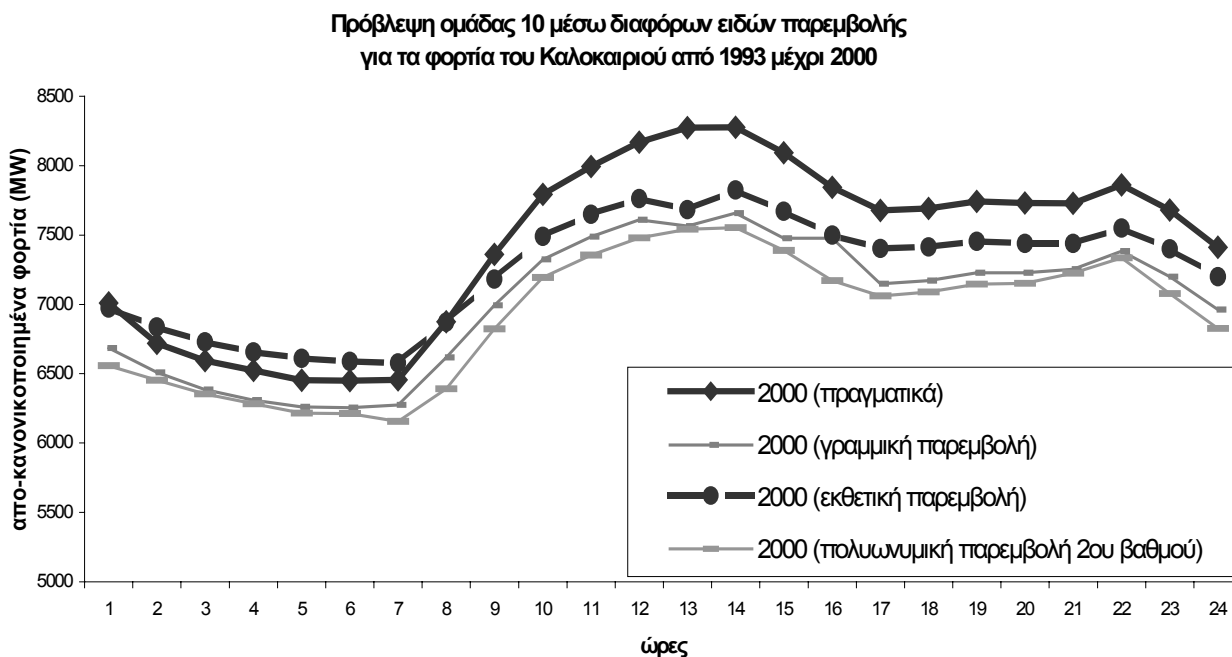
Κάναμε λοιπόν, για την ομάδα 10, το γράφημα του Καλοκαιριού και του Χειμώνα με τις πραγματικές τιμές φορτίου και αυτές που προβλέψαμε μέσω των παρεμβολών.

Παρακάτω φαίνεται η ομάδα 10 και των δύο εποχών, με τις πραγματικές τιμές φορτίου και τις προβλεπόμενες μέσω των παρεμβολών :

**Πρόβλεψη ομάδας 10 φορτίων μέσω παρεμβολών
για τα φορτία του Χειμώνα από 1993-2000**



Γράφημα 7.3-5 : Πρόβλεψη φορτίου της ομάδας 10 των Χειμώνων 1993 με 1999 μέσω διαφόρων ειδών παρεμβολής.



Γράφημα 7.3-6 : Πρόβλεψη φορτίου της ομάδας 10 των Καλοκαιριών 1993 με 1999 μέσω διαφόρων ειδών παρεμβολής.

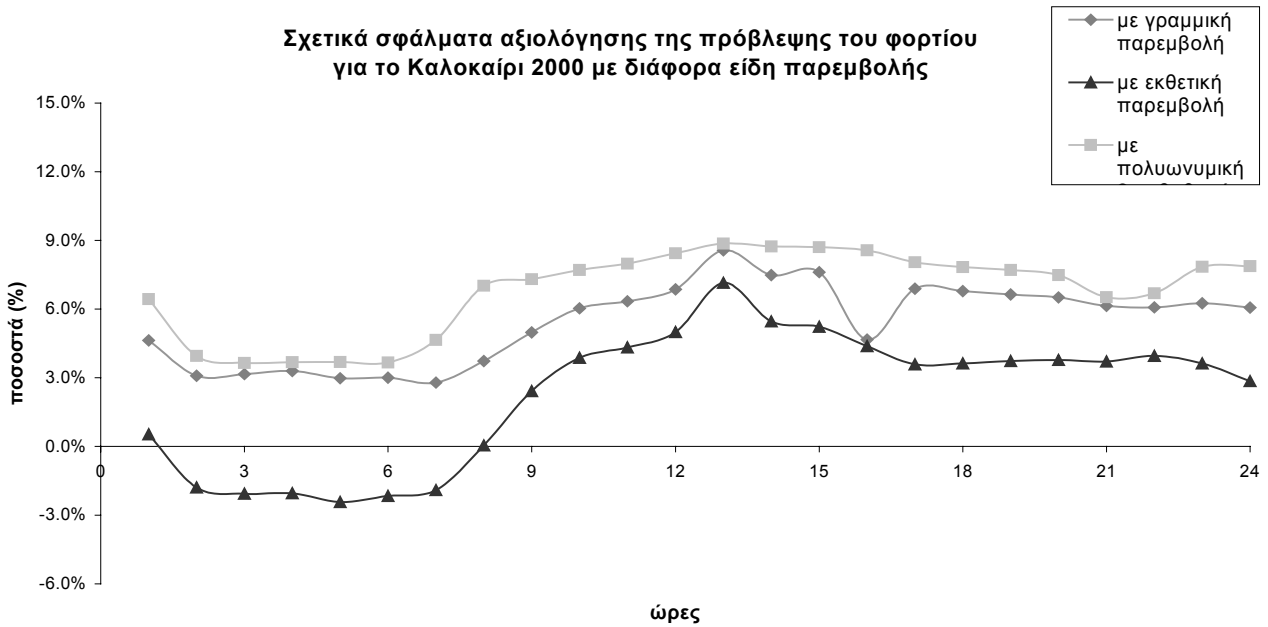
Από τα παραπάνω καταλήγουμε στα εξής : Για τα Καλοκαίρια, αρχικά, βλέπουμε ότι η καλύτερη παρεμβολή, είναι η εκθετική μιας και οι τιμές των φορτίων, που προβλέπουμε μέσω αυτής, είναι πιο κοντά στις πραγματικές, από τα προβλεπόμενα φορτία των άλλων παρεμβολών. Για τους Χειμώνες, παρόλο που κάποιες ώρες (9 στις 24) προβλέπονται καλύτερα, μέσω των πολυωνυμικών παρεμβολών 2^{ου} και 3^{ου} βαθμού, η πλειοψηφία των ωρών προβλέπεται με μικρότερο σφάλμα, μέσω της γραμμικής παρεμβολής. Άλλωστε, η διαφορά στις τιμές των φορτίων μεταξύ της γραμμικής και της πολυωνυμικής παρεμβολής, για μερικές από τις 9 αυτές ώρες, δεν είναι τόσο μεγάλη (π.χ. για την 4η ώρα η γραμμική παρεμβολή προβλέπει: 5279,46 MW, ενώ η πολυωνυμική 2^{ου} βαθμού : 5279,20 MW). Αυτό ενισχύει ακόμα περισσότερο το γεγονός, ότι η γραμμική παρεμβολή προβλέπει τα ωριαία φορτία του Χειώνα 1999-2000 με μικρότερο σφάλμα.

Όσον αφορά τα σφάλματα των προβλέψεων, συγκριτικά με τα πραγματικά φορτία του 2000, παρατηρούμε για ακόμα μια φορά, ότι η εκθετική παρεμβολή για τα Καλοκαίρια, έχει μακράν το μικρότερο σφάλμα, για όλες τις ώρες του 24ώρου, ενώ η γραμμική παρεμβολή για τους χειμώνες, παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα για την πλειοψηφία των ωρών.

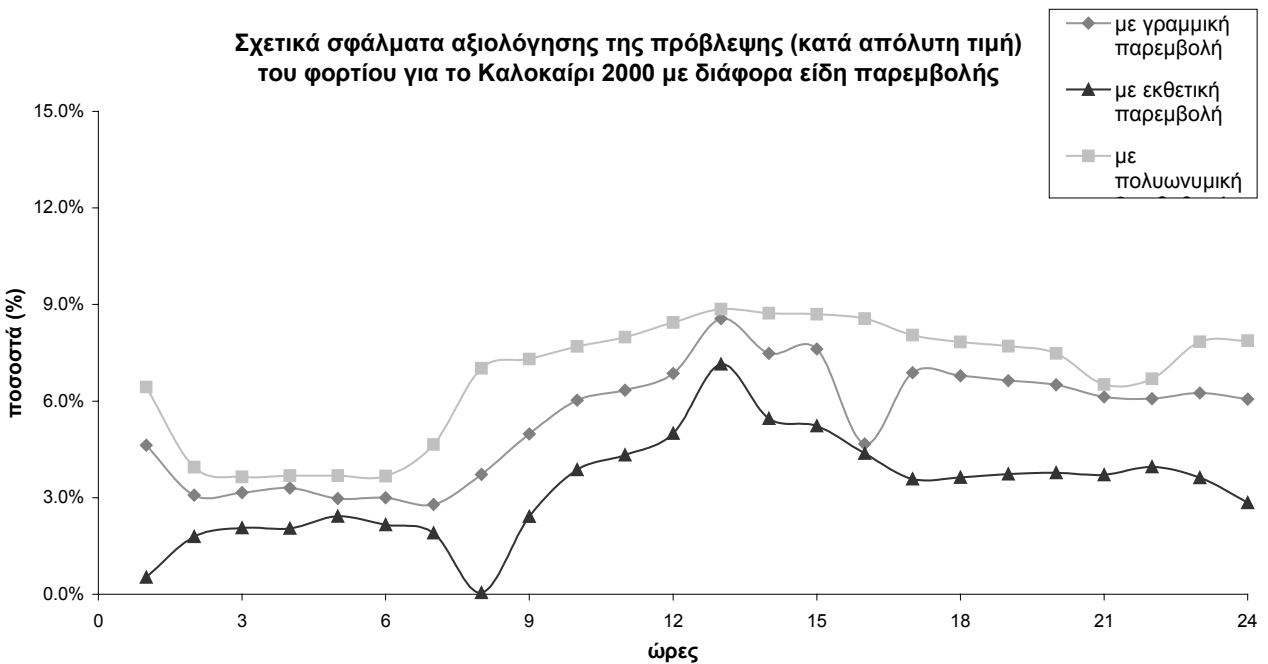
Πρέπει εδώ να τονιστεί, ότι υπολογίσαμε τα σφάλματα για κάθε ώρα μέσω του τύπου $\text{Σχετικό σφάλμα} = \frac{(\text{πραγματική τιμή} - \text{προβλεπόμενη τιμή})}{\text{πραγματική τιμή}}$, για τις τιμές των φορτίων.

Υπολογίσαμε επίσης τα σφάλματα και κατά απόλυτη τιμή.

Όλα τα παραπάνω φαίνονται παρακάτω, στα γραφήματα των σφαλμάτων και για τις δύο εποχές :

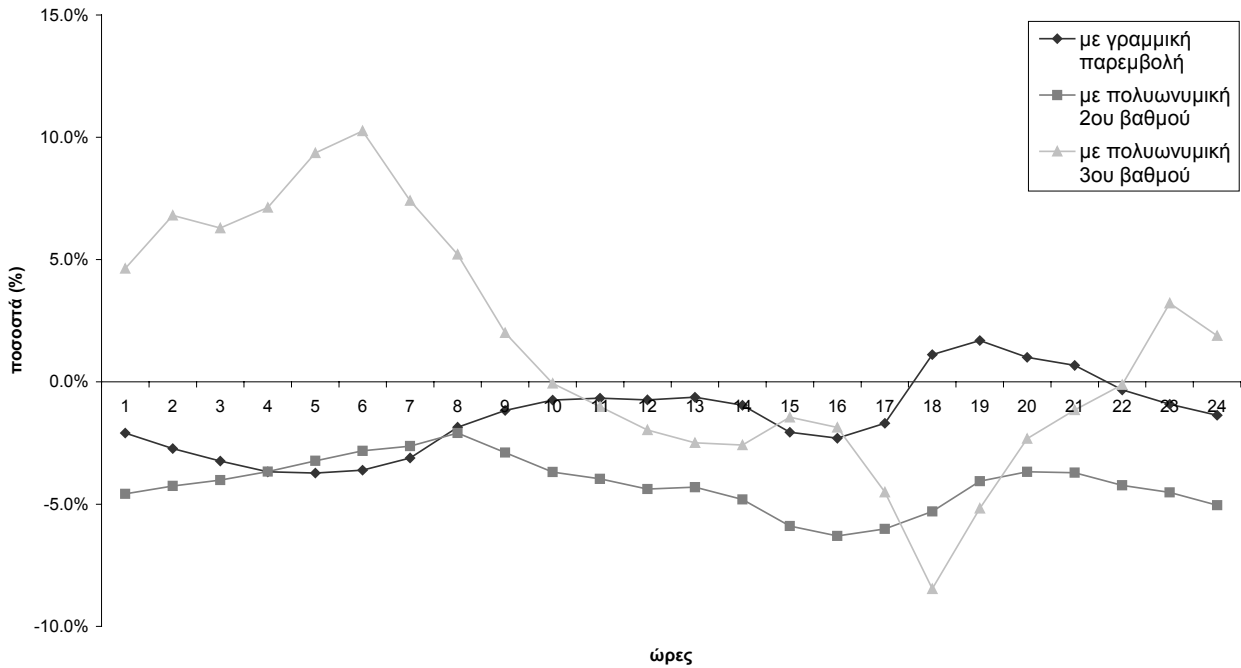


Γράφημα 7.3-7 : Σχετικά σφάλματα πρόβλεψης φορτίου των διαφόρων ειδών παρεμβολής για το Καλοκαίρι 2000.



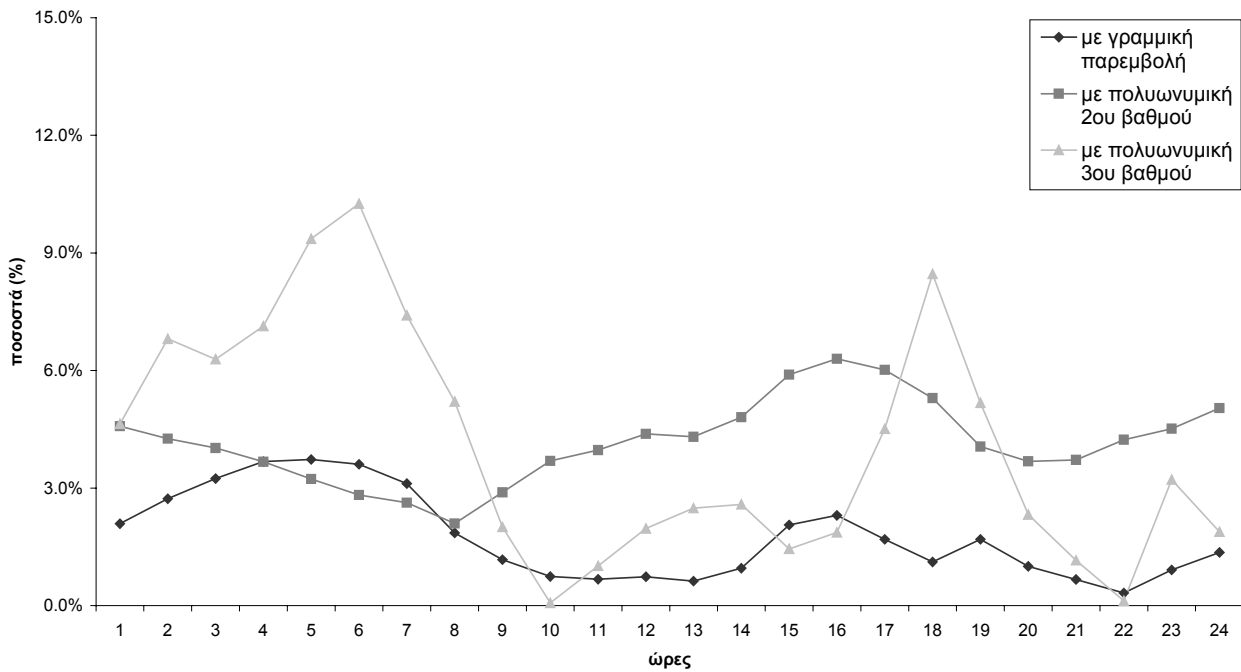
Γράφημα 7.3-8 : Σχετικά σφάλματα πρόβλεψης φορτίου (κατά απόλυτη τιμή) των διαφόρων ειδών παρεμβολής για το Καλοκαίρι 2000.

Σχετικά σφάλματα αξιολόγησης της πρόβλεψης φορτίου για το Χειμώνα 2000 με διάφορα είδη παρεμβολής



Γράφημα 7.3-9 : Σχετικά σφάλματα πρόβλεψης φορτίου των διαφόρων ειδών παρεμβολής για το Χειμώνα 2000.

Σχετικά σφάλματα αξιολόγησης (κατά απόλυτη τιμή) της πρόβλεψης φορτίου για το Χειμώνα 2000 με διάφορα είδη παρεμβολής



Γράφημα 7.3-10 : Σχετικά σφάλματα πρόβλεψης φορτίου (κατά απόλυτη τιμή) των διαφόρων ειδών παρεμβολής για το Χειμώνα 2000.

Πριν προχωρήσουμε στο σχολιασμό των γραφημάτων, κρίνεται σκόπιμο να αναφέρουμε ότι το *σχετικό σφάλμα* μιας επιτυχούς πρόβλεψης, μας παρέχει επιπλέον πληροφορίες για το αν η πρόβλεψη που έγινε, δίνει αποτελέσματα μεγαλύτερα ή μικρότερα από τα πραγματικά. Από την άλλη πλευρά, το *σφάλμα κατά απόλυτη τιμή*, μας δείχνει μόνο το μέγεθος της απόκλισης της πρόβλεψης, από την πραγματικότητα.

Παρατηρώντας, λοιπόν τα σχετικά σφάλμα της γραμμικής παρεμβολής, κάθε ώρα για το Χειμώνα 1999-2000, βλέπουμε ότι αυτά κυμαίνονται μεταξύ 0,5 % το μικρότερο και 3,5 % το μεγαλύτερο. Τα σφάλματα αυτά είναι μικρά και επομένως η πρόβλεψη αυτή είναι ικανοποιητική και συγκριτικά με τις άλλες δύο μεθόδους, η καλύτερη. Τα σφάλματα της εκθετικής παρεμβολής, για το Καλοκαίρι του 2000 από την άλλη πλευρά, κυμαίνονται μεταξύ 0 % το μικρότερο και 7 % το μεγαλύτερο, (σε μια μεμονωμένη ώρα). Τα υπόλοιπα, ενδιάμεσα σφάλματα, βρίσκονται γύρω στο 3,5 % και είναι καλά σχετικά σφάλματα, συγκρινόμενα δε, με των υπολοίπων παρεμβολών, είναι τα μικρότερα.

Επίσης, αν εξετάσουμε το πρόσημο του σχετικού σφάλματος του Καλοκαιριού, παρατηρούμε ότι τις πρωινές ώρες μέχρι τις 8:00 π.μ., το σφάλμα είναι αρνητικό, δηλαδή προβλέψαμε μεγαλύτερο φορτίο από το πραγματικό. Από τις 9:00 π.μ. και μετά το πρόσημο αντιστρέφεται και γίνεται θετικό. Αυτό σημαίνει ότι τα φορτία που προβλέψαμε ήταν μικρότερα από τα πραγματικά που οφείλεται στο γεγονός ότι είναι κυρίως ημέρες αιχμής.


Αν δούμε, τέλος και το πρόσημο του Χειμώνα βλέπουμε ότι το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας έχει αρνητικό σφάλμα, δηλαδή οι τιμές του φορτίου που προβλέψαμε είναι μεγαλύτερες από τις πραγματικές.

7.4 Σχόλια - Συμπεράσματα


Είδαμε, λοιπόν ότι μπορέσαμε να προβλέψουμε το φορτίο του 2000 σε δύο στάδια, ένα για το καλοκαίρι και ένα για το χειμώνα του 2000, με μεσαίου μεγέθους σφάλματα. Το καλοκαίρι σε σχέση με το χειμώνα, το προβλέψαμε με μεγαλύτερο σφάλμα. Αυτό συμβαίνει, επειδή το Καλοκαίρι του 2000 παρατηρήθηκε μεγάλη αύξηση, στη ζήτηση φορτίου (από 7364MW σε 8529MW), σε σχέση με τις προηγούμενες αυξήσεις των προηγούμενων ετών (π.χ. από 6703MW το 1997 σε 7370MW το 1998). Κοιτώντας και τις θερμοκρασίες, συμπεραίνουμε ότι αυτό οφείλεται, στο ότι το καλοκαίρι του 2000 ήταν από τα πιο θερμά των τελευταίων ετών, γεγονός που ίσως οδήγησε πολλούς καταναλωτές να αγοράσουν κλιματιστικά σώματα. Η ζήτηση επομένως το Καλοκαίρι του 2000 εκτοξεύτηκε σε σχέση με τα προηγούμενα έτη, επομένως αυτό το ακραίο φαινόμενο δεν ήταν δυνατό να το προσεγγίσουμε με μικρό σφάλμα, στηριζόμενοι στις αυξήσεις των προηγούμενων ετών. Αυτό που καταφέραμε ήταν να πλησιάσουμε αρκετά, την πραγματική ζήτηση του Καλοκαιριού του 2000, με την εκθετική παρεμβολή, η οποία περιγράφει καλύτερα την παραπάνω ακραία κατάσταση από τις άλλες παρεμβολές. Προβλέψαμε, όμως ότι η ζήτηση του φορτίου το Καλοκαίρι του 2000, θα ήταν μικρότερη από ότι ήταν στην πραγματικότητα.

Αυτό δεν είναι καλό, γιατί ενώ αναμένεται η ζήτηση που προβλέψαμε και τελικά η ζήτηση είναι μεγαλύτερη, το δίκτυο βρίσκεται εκτεθειμένο. Όμως, διαπιστώσαμε ότι με καμία άλλη παρεμβολή, ανεξαρτήτως σφαλμάτων, δε μπορέσαμε να προβλέψουμε την ακραία κατάσταση του Καλοκαιριού του 2000, αλλά απλά να την προσεγγίσουμε. Η μέθοδος, λοιπόν, πρόβλεψης φορτίου, την οποία αναπτύσσουμε σε αυτήν τη διπλωματική εργασία, διαπιστώνουμε ότι ακραίες μεταβολές στη ζήτηση φορτίου, δε δύναται να προβλέψει με μικρό σφάλμα, όπως άλλωστε και όλες οι μέθοδοι πρόβλεψης που στηρίζονται σε δεδομένα προηγούμενων ετών. Και αυτό, γιατί τα δεδομένα περασμένων ετών δε δίνουν πληροφορία, για ακραία φαινόμενα του μέλλοντος.

Όσον αφορά το Χειμώνα 1999-2000, επειδή και η μέγιστη ζήτηση και η ελάχιστη φορτίου, κυμαινόταν στα πλαίσια της σταδιακής αύξησης των τελευταίων ετών, αποφασίσαμε η πρόβλεψη του φορτίου να περιγραφεί με τη γραμμική παρεμβολή. Το σφάλμα που πετύχαμε ήταν ικανοποιητικό, γεγονός που επιβεβαιώνει την επιλογή μας γι' αυτού του είδους την παρεμβολή.



Επίλογος



1. Σύνοψη διπλωματικής – Τελικά συμπεράσματα

Τελειώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία και πριν προβούμε σε προτάσεις, για περαιτέρω έρευνα, θα ανακεφαλαιώσουμε τα κύρια μέρη της, τονίζοντας παράλληλα και τα σημαντικότερα αποτελέσματά της.

Στα πλαίσια της εργασίας, ασχοληθήκαμε με τη μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου του 2000, χρησιμοποιώντας την κατηγοριοποίηση ημερήσιων, χρονολογικών καμπυλών. Από την αρθρογραφία είδαμε, ότι οι μέθοδοι μεσοπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου, μπορούν να διακριθούν σε αναλυτικές, οι οποίες στηρίζονται σε στοιχεία παρελθόντων ετών και σε εκείνες που γίνεται συσσώρευση και αξιοποίηση πληροφοριών με βάση την κρίση του χειριστή. Οι αναλυτικές μέθοδοι, στη συνέχεια χωρίζονται σε εκείνες που με βάση τα υπάρχοντα ιστορικά δεδομένα μιας περιοχής, προσδιορίζουν την αντίστοιχη αύξηση του φορτίου και σε εκείνες που πραγματοποιούν πρόβλεψη φορτίου με βάση τη χρήση γης ή τους τύπους καταναλωτών. Τα σφάλματα αυτών των μεθόδων κυμαίνονται μεταξύ 5,4 % και 6 %, όπως είδαμε στο 2^ο κεφάλαιο [A22-A23].

Στην εργασία, κάναμε πρόβλεψη φορτίου με κατηγοριοποίηση των ημερήσιων, χρονολογικών καμπυλών περασμένων ετών. Χρησιμοποιήσαμε γι' αυτόν τον σκοπό, προγράμματα μεθόδων κατηγοριοποίησης, που έχουν να κάνουν με νευρωνικά δίκτυα. Αυτές ήταν η K-μέσων, με βελτιστοποίηση (01) και χωρίς (02) και τον αλγόριθμο του εκπαιδευόμενου διανυσματικού κβαντιστή (LVQ). Κατηγοριοποιήσαμε μέσω των προγραμμάτων αυτών τα ωριαία φορτία από το 1985 μέχρι και το 2000, ανά έτη και ανά εποχές, δηλαδή Καλοκαίρι και Χειμώνα, σε 2, 3, ... και 20 ομάδες.

Στη συνέχεια, μέσω των κριτηρίων της διάρκειας τρεξίματος των αλγορίθμων, της ύπαρξης νεκρών κέντρων και της μέσης τιμής σφάλματος, θεωρήσαμε ότι η K-μέσων με βελτιστοποίηση (01), έδινε καλύτερα αποτελέσματα κατηγοριοποίησης. Αποφασίσαμε επίσης, να απομονώσουμε για τα έτη τις 20 ομάδες, για τα «Καλοκαίρια» τις ομάδες 8, 9 και 10 και για τους «Χειμώνες» τις ομάδες 10, 11 και 12, ούτως ώστε να επεξεργαστούμε αυτές και όχι όλο τον όγκο, των δεδομένων όλων των ομάδων. Κατηγοριοποιήσαμε, ακολούθως και τις θερμοκρασίες Αθήνας και Θεσσαλονίκης, των τελευταίων 16 ετών με την K-μέσων 01 (και 02 για συγκριτικούς λόγους) και αποφασίσαμε, όπως και πριν να κρατήσουμε, για τα έτη τις ομάδες 20-25 και για τις εποχές τις ομάδες 10-14. Τέλος όλη αυτή η διαδικασία αποφασίσαμε να γίνει για τα ενδεικτικά έτη 1986, 1994 και 2000.

Κατασκευάσαμε ένα πρόγραμμα σε Fortran το οποίο σαν είσοδο παίρνει της τρέχουσας ημέρας αρχεία, με κατηγορίες φορτίων και θερμοκρασιών (Αθήνας και Θεσσαλονίκης) ανά ημέρα και παρουσιάζει στην έξοδο τους συνδυασμούς των ομάδων, φορτίων με το είδος της ημέρας και τις θερμοκρασίες τρέχουσας και προηγούμενης ημέρας σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη, σε πίνακες. Δηλαδή προσδιορίζει τους κανόνες ασαφούς λογικής με εισόδους τις πέντε προαναφερθείσες παραμέτρους και έξοδο την ομάδα φορτίου. Από το συνολικό αριθμό αποτελεσμάτων των συνδυασμών, καταλήξαμε να κρατήσουμε

μόνο έναν αριθμό ομάδων, για τα έτη και έναν για τις εποχές. Επομένως διαλέξαμε για τα έτη τις 20 ομάδες και για τις εποχές τις 10 ομάδες σαν πιο αντιπροσωπευτικές και με πιο καλούς κανόνες που προέκυψαν από τους συνδυασμούς. Εξετάζοντας πιο αναλυτικά τους συνδυασμούς μιας ημέρας (π.χ. της Δευτέρας), τόσο για τα έτη, όσο και για τις εποχές, διαπιστώσαμε ότι η ερμηνεία των συνδυασμών είναι ευκολότερη για τις εποχές, παρά για τα έτη.

Για να επιλύσουμε το πρόβλημα της ζήτησης του έτους 2000, αποφασίσαμε να εργαστούμε σε επίπεδο εποχών, δηλαδή να προβλέψουμε ξεχωριστά το φορτίο του Καλοκαιριού του 2000 και ξεχωριστά του Χειμώνα του 2000. Για να ελέγξουμε αν η ομάδα 10 των εποχών δεν αλλάζει στοιχεία, στο πέρασ των ετών, τρέξαμε τους συνδυασμούς των εποχών για την ομάδα 10, των ετών 1993 μέχρι 1999. Αφού, λοιπόν εξασφαλίστηκε ότι η ομάδα 10 δεν αλλάζει για το παραπάνω χρονικό διάστημα, αποκανονικοποιήσαμε τα φορτία της και για τα Καλοκαίρια και για τους Χειμώνες.

Ακολουθώντας, μέσω διαφόρων ειδών παρεμβολών των μέσων, αντιπροσωπευτικών, ωριαίων φορτίων των ετών 1993 μέχρι 1999, υπολογίσαμε τα ωριαία φορτία των εποχών του 2000. Καταλήξαμε να προβλέψουμε τη ζήτηση του Χειμώνα του 2000 μέσω γραμμικής παρεμβολής, με σφάλμα από 0,3 % για τις 22:00 μ.μ. μέχρι 3,7 % για τις 5:00 π.μ.. Για το καλοκαίρι, λόγω εκτόξευσης της ζήτησης από το 1999 στο 2000, η πρόβλεψη έγινε μέσω εκθετικής παρεμβολής, αλλά με λίγο μεγαλύτερα σφάλματα με μέση τιμή 4 %.

Κρίνοντας τη μέθοδο, πρόβλεψης φορτίου, μέσω κατηγοριοποίησης των ημερήσιων, χρονολογικών καμπυλών, εκ του αποτελέσματος μπορούμε να συμπεράνουμε ότι είναι μια ελπιδοφόρα μέθοδος που θα μπορούσε στο μέλλον, με κατάλληλες τροποποιήσεις να προβλέψει μεσοπρόθεσμα τη ζήτηση ενέργειας με ακόμα μικρότερα σφάλματα. Το γεγονός, άλλωστε, του Καλοκαιριού είναι ακραίο και δύσκολα θα μπορούσε οποιαδήποτε μέθοδος να το προβλέψει καθώς αναφερόμαστε στις ημέρες υψηλής ζήτησης φορτίου και υψηλών θερμοκρασιών.

2. Περιοχές για περαιτέρω έρευνα

Προς βελτίωση των σφαλμάτων της μεθόδου που ακολουθήσαμε, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αλγόριθμους εύρεσης κατάλληλων συναρτήσεων για τις μεθόδους παρεμβολής και να λαμβάνουμε τα χρόνια των ιστορικών δεδομένων με διαφορετικά βάρη. Επίσης, θα μπορούσαμε γνωρίζοντας τη χρονοσειρά των θερμοκρασιών του μέλλοντος (από την Ε.Μ.Υ.) ή προσεγγίζοντάς την με πιθανοτικό μοντέλο όπως αλυσίδες Markov, να χρησιμοποιήσουμε τους κανόνες ασαφούς λογικής και το είδος της ημέρας, ώστε να προβλέψουμε την κατηγορία της ημέρας για το επόμενο έτος, ως προς το φορτίο και τελικά να βρούμε το αναμενόμενο φορτίο σε τιμές ισχύος.

Επίσης, θα μπορούσαμε, ακολουθώντας την ίδια μέθοδο για όλες τις ομάδες που προκύπτουν από την κατηγοριοποίηση, να θεσπίσουμε κάποιους γενικούς «κανόνες» που να

καθορίζουν ανάλογα την εποχή και την ώρα πρόβλεψης του φορτίου, το είδος της παρεμβολής, ώστε το μέσο σφάλμα πρόβλεψης για όλες τις ώρες να είναι το μικρότερο δυνατό.

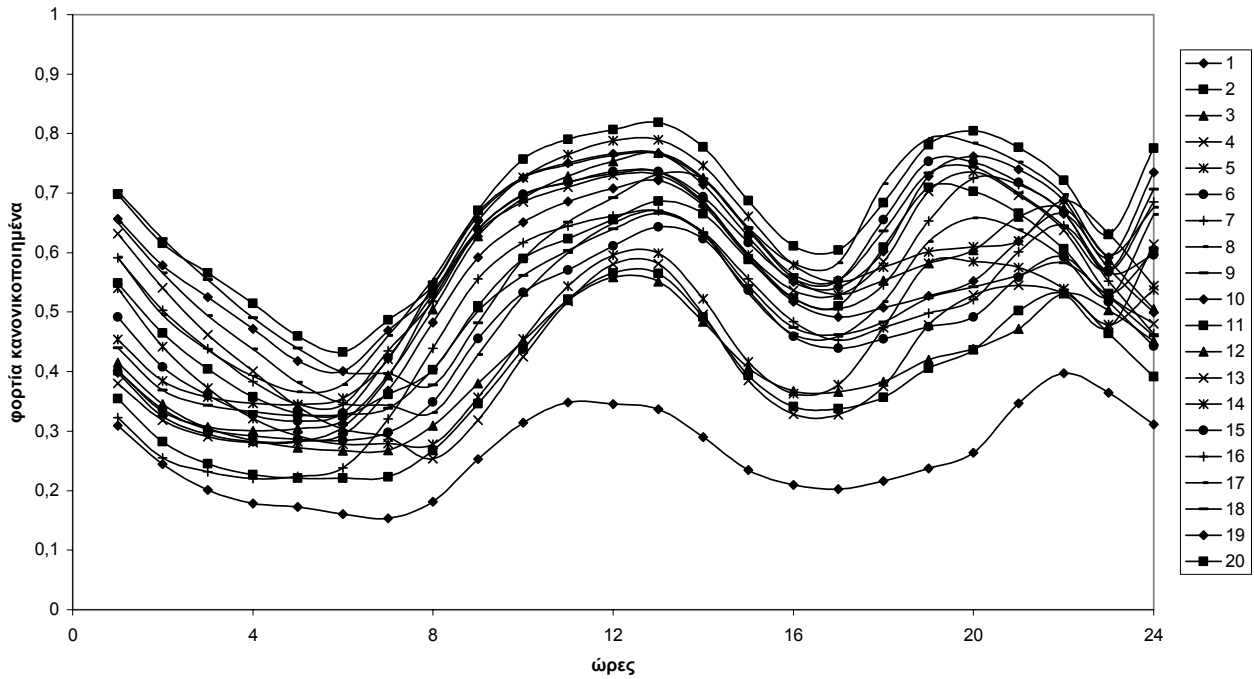
Τέλος θα μπορούσαμε να συνδυάσουμε αλγορίθμους μελλοντικής επέκτασης ή και συντήρησης των δικτύων διανομής και μεταφοράς, αφού θα γνωρίζουμε σε μεσοπρόθεσμη κλίμακα, για ένα έτος, τις απαιτήσεις του δικτύου ως προς τη ζήτηση.

Παράρτημα Ι

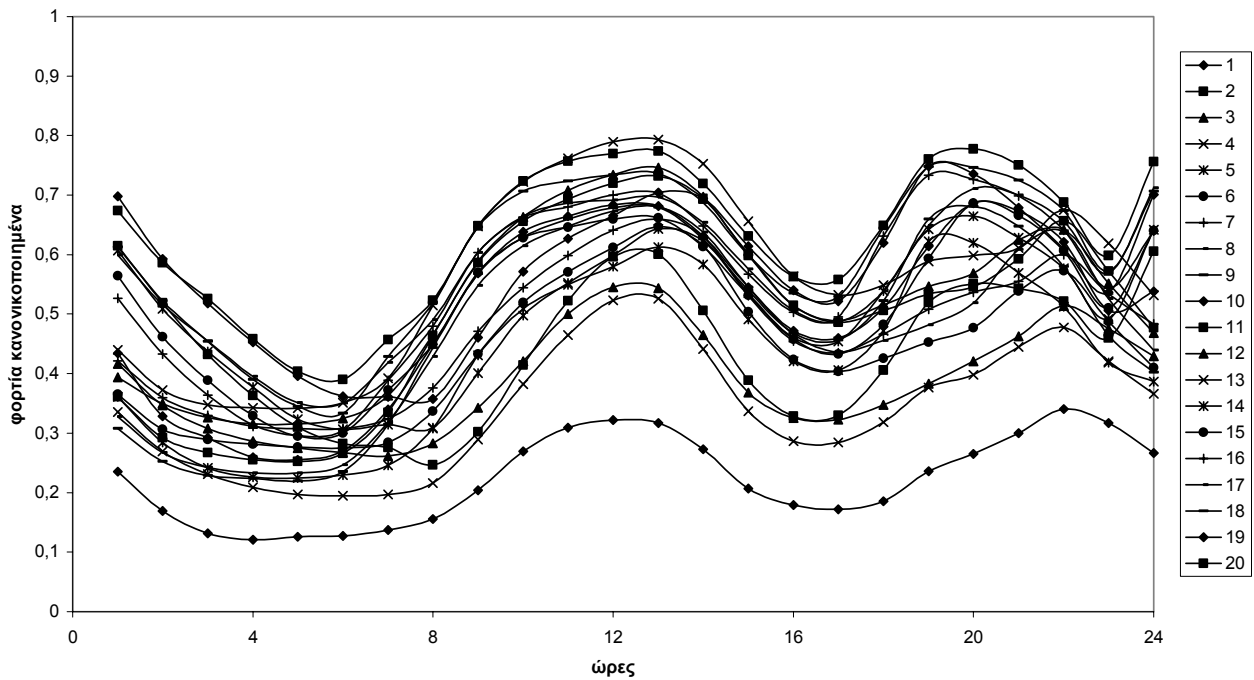
Γραφήματα, συνδυασμοί

Παράρτημα I-1 : Ομαδοποιήσεις με τις μεθόδους Κ-μέσων 01 & 02
ΕΤΗ με 01

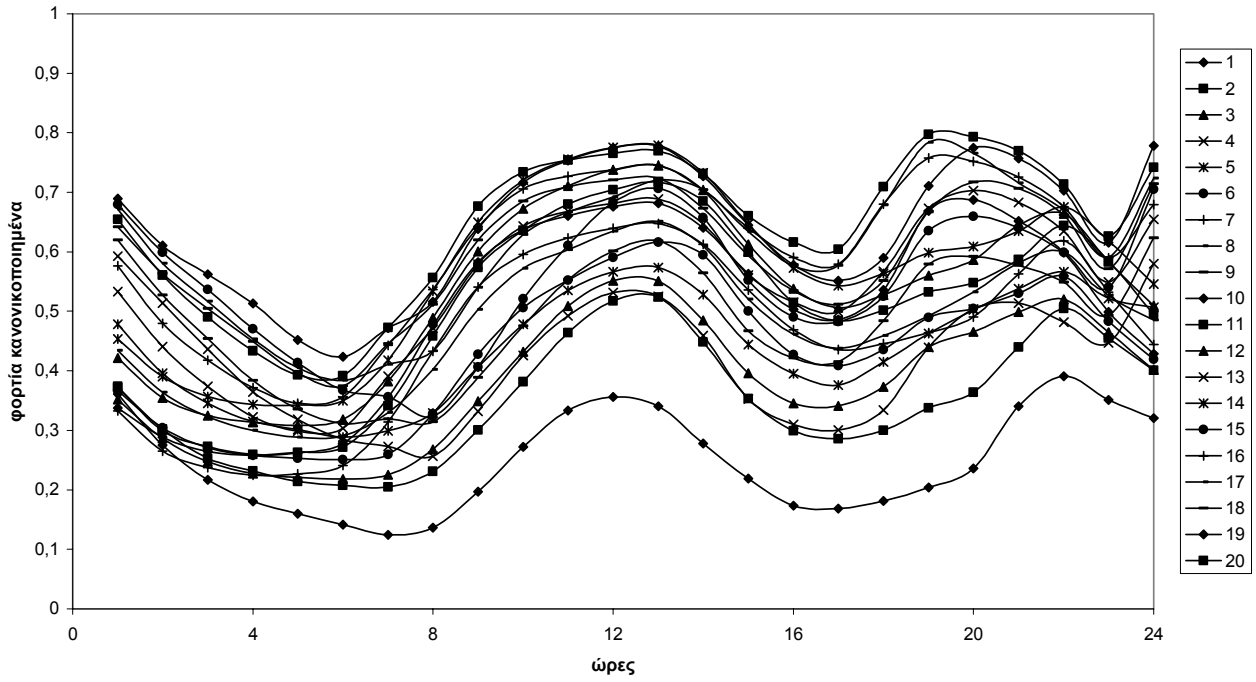
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 1985



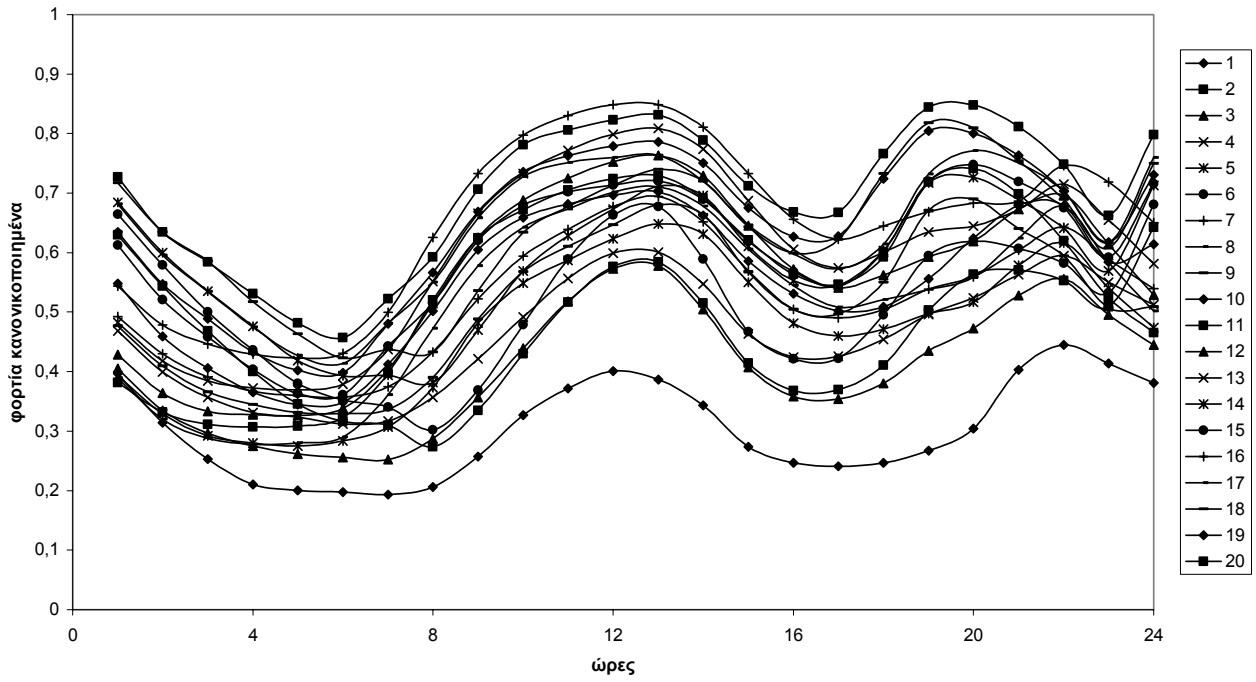
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για τα φορτία για το έτος 1986



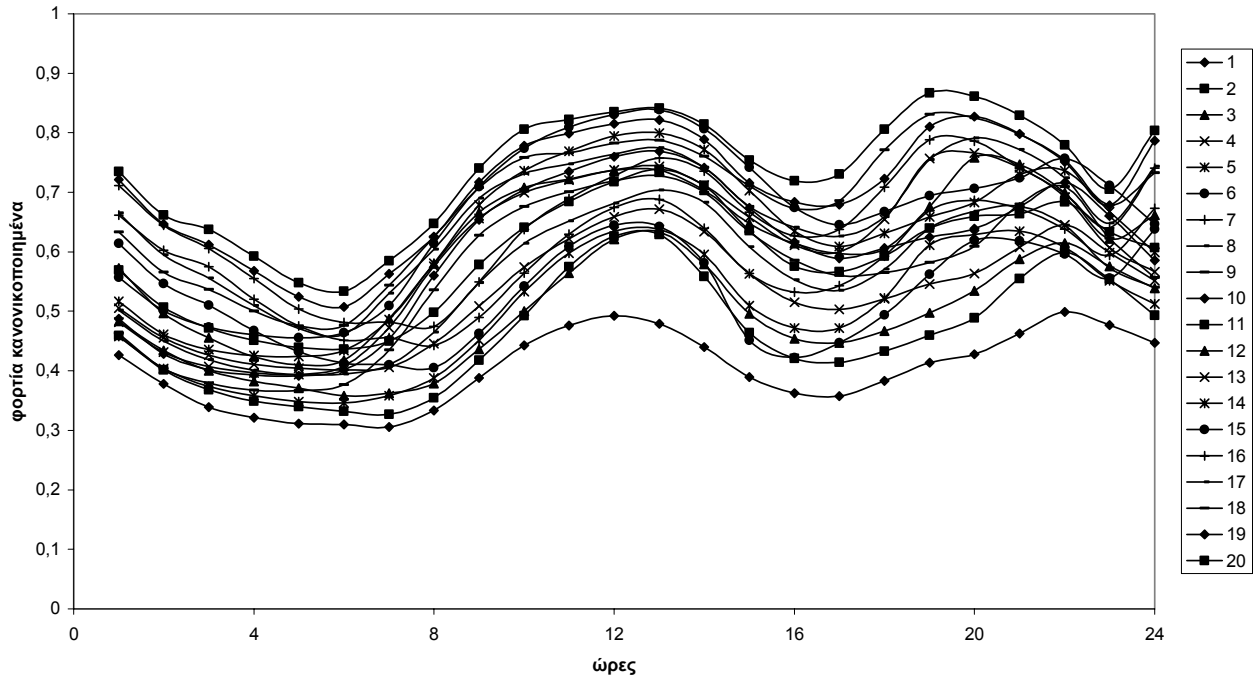
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 1987



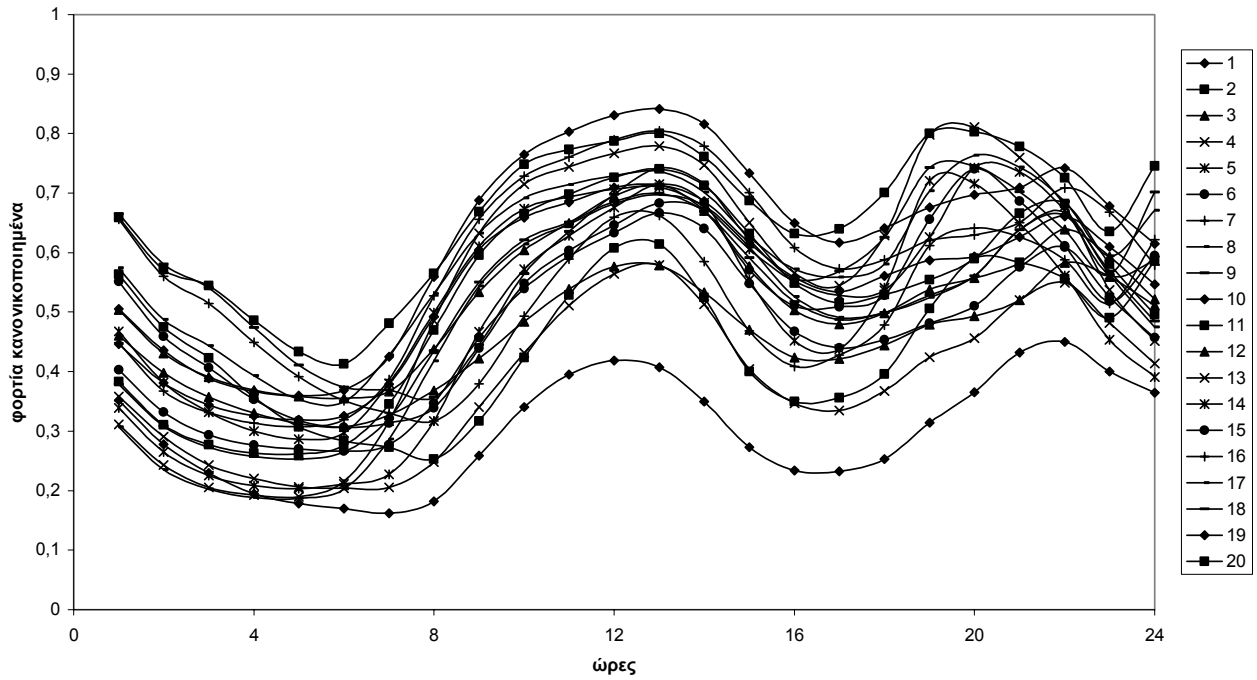
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 1988



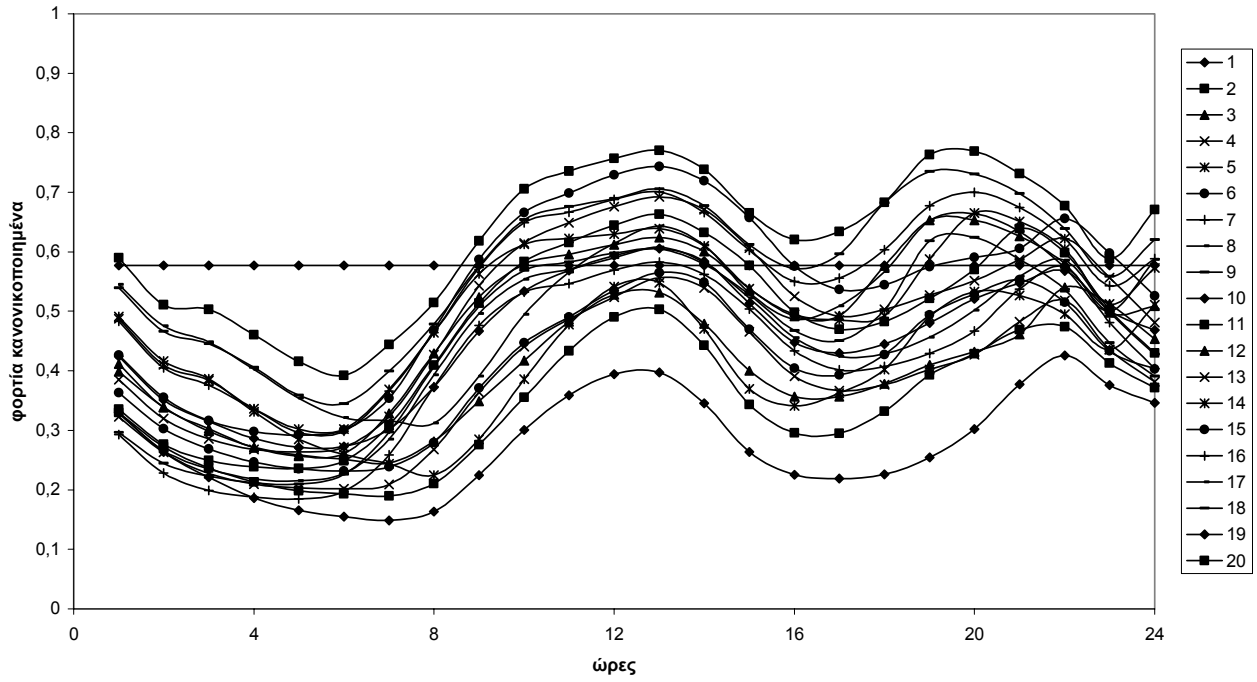
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για τα φορτία για το έτος 1989



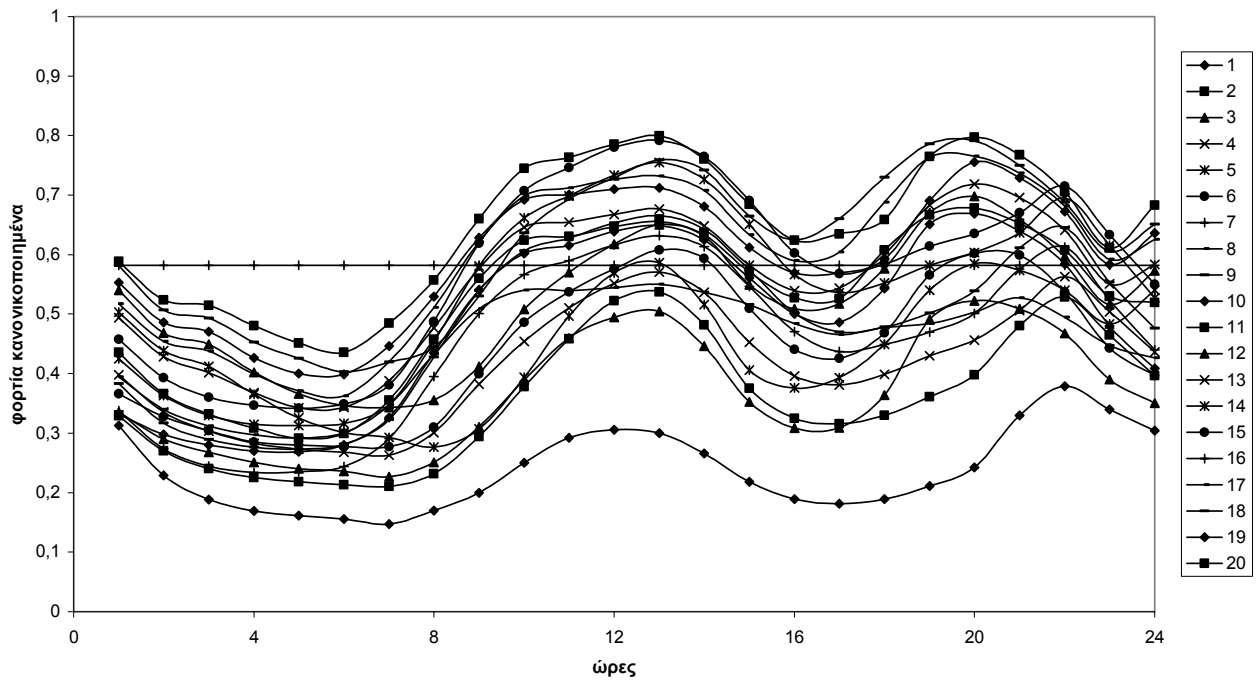
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 1990



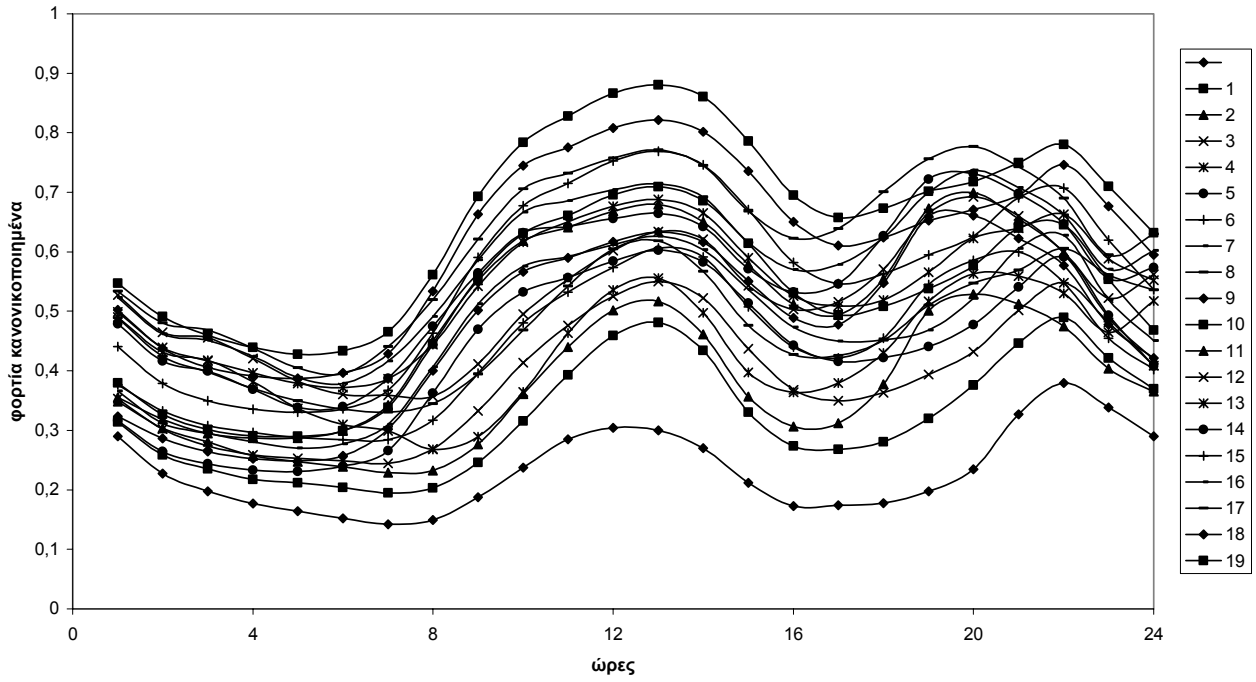
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 1991



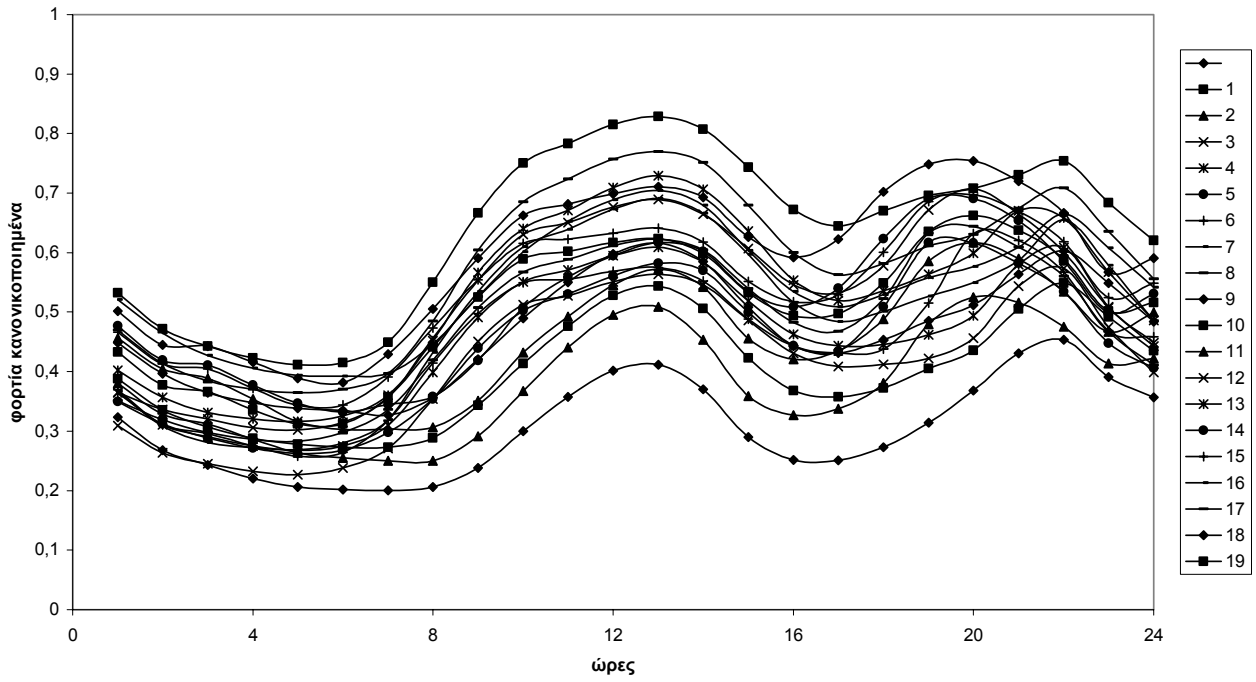
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 1992



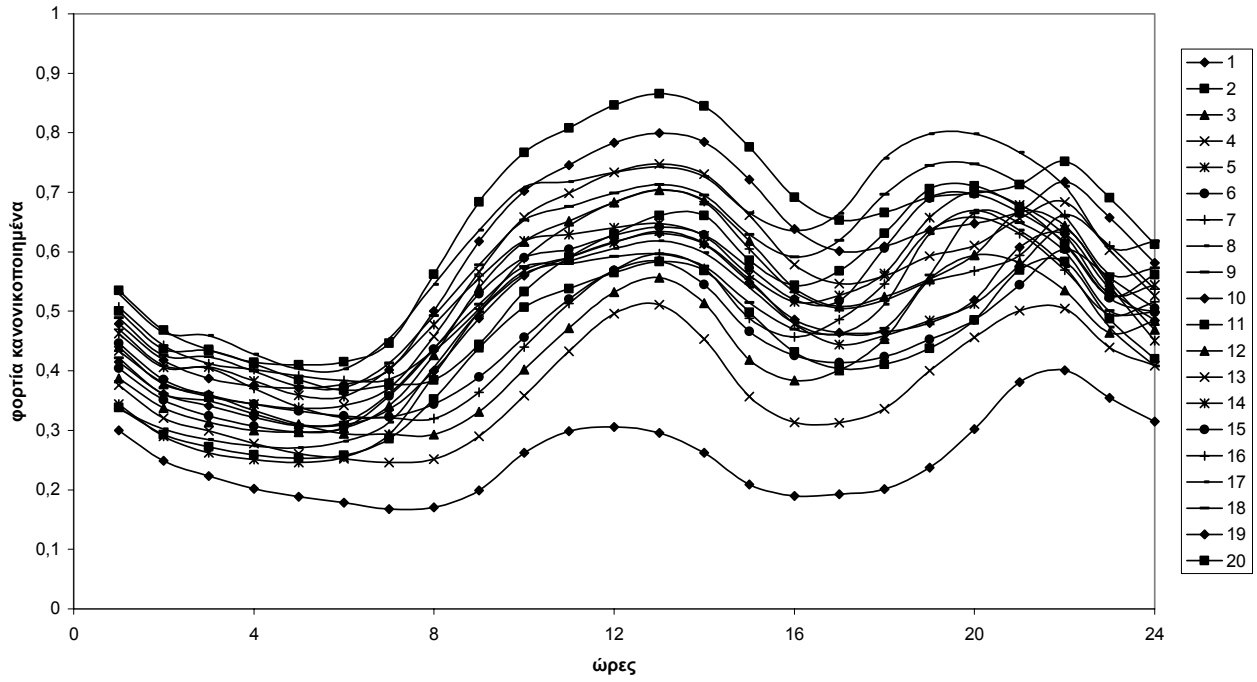
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 1993



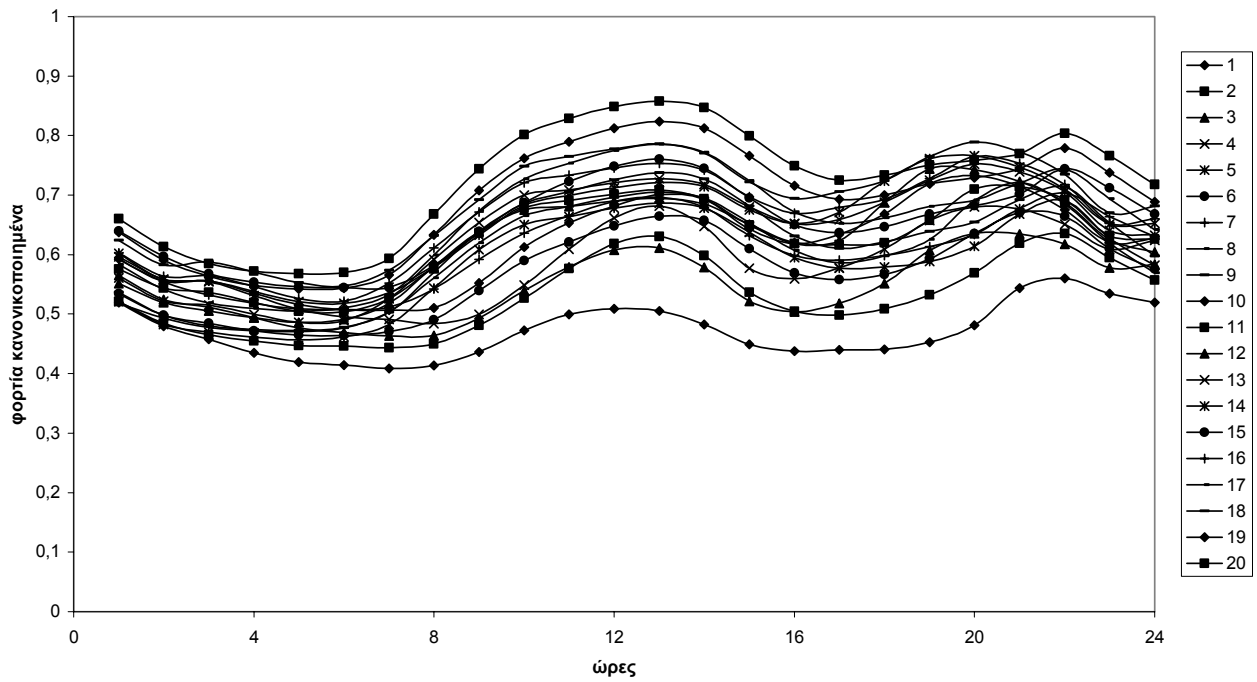
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 1994



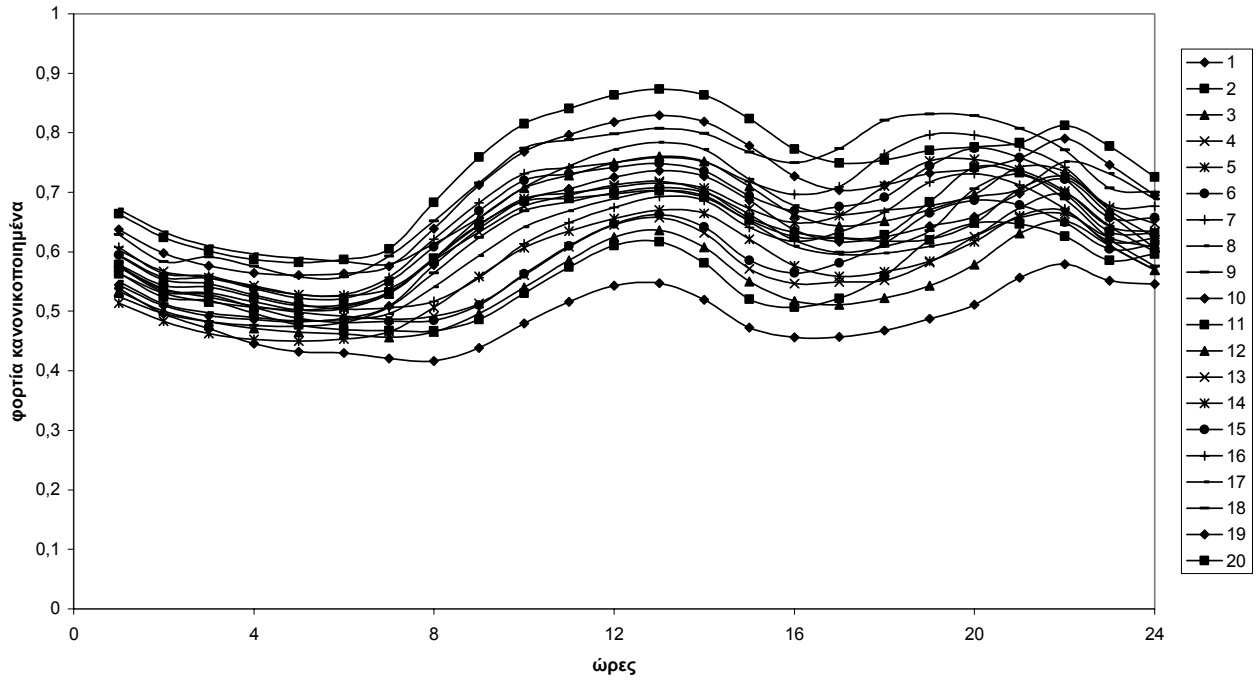
20 Ομάδες για τη μέθοδο 01 Κ-μέσων για φορτία για το έτος 1995



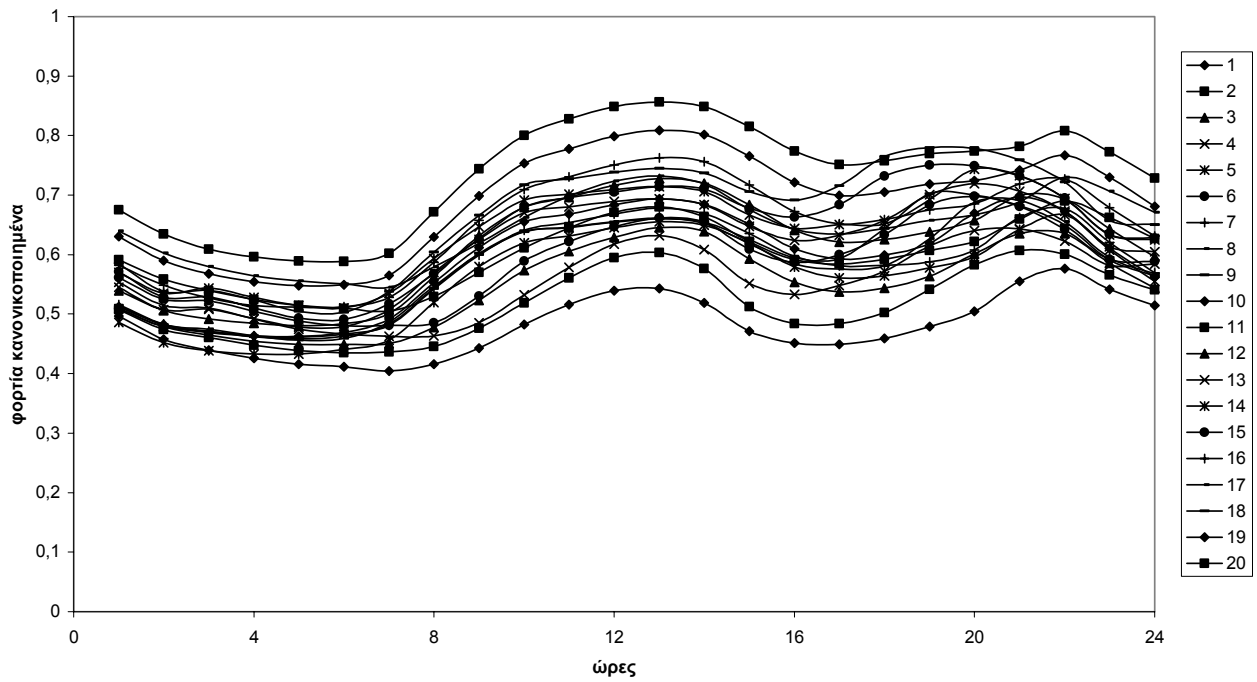
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 1996



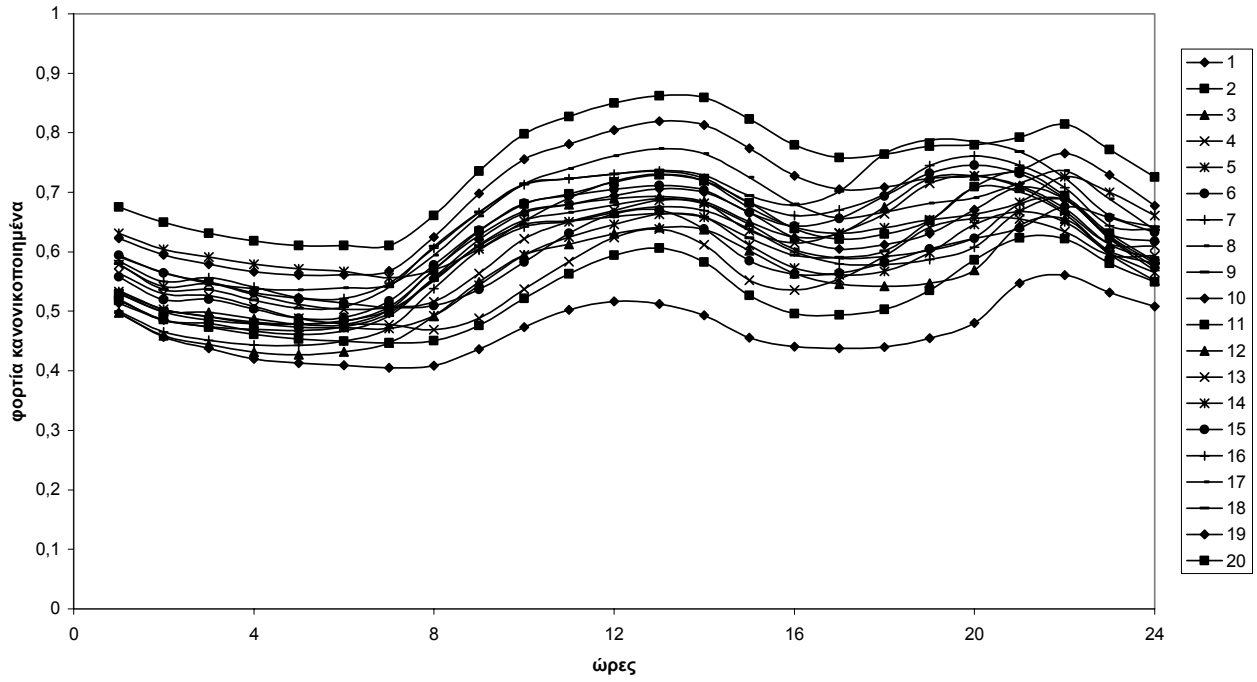
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 1997



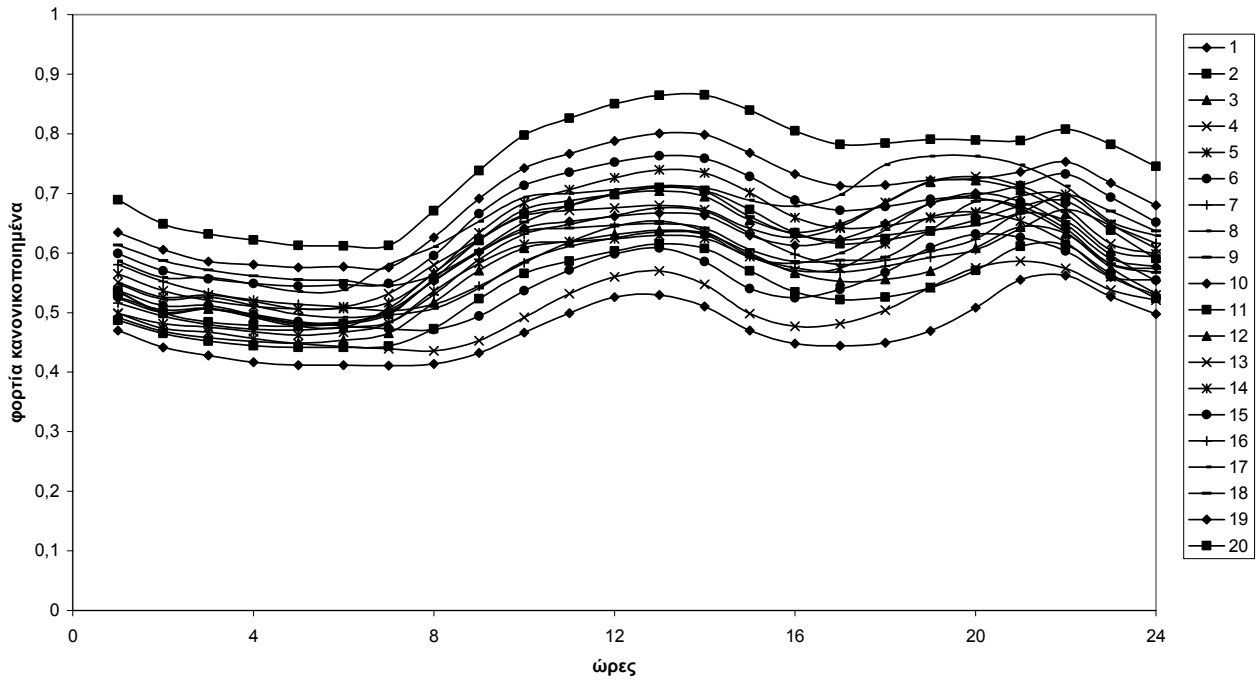
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 1998



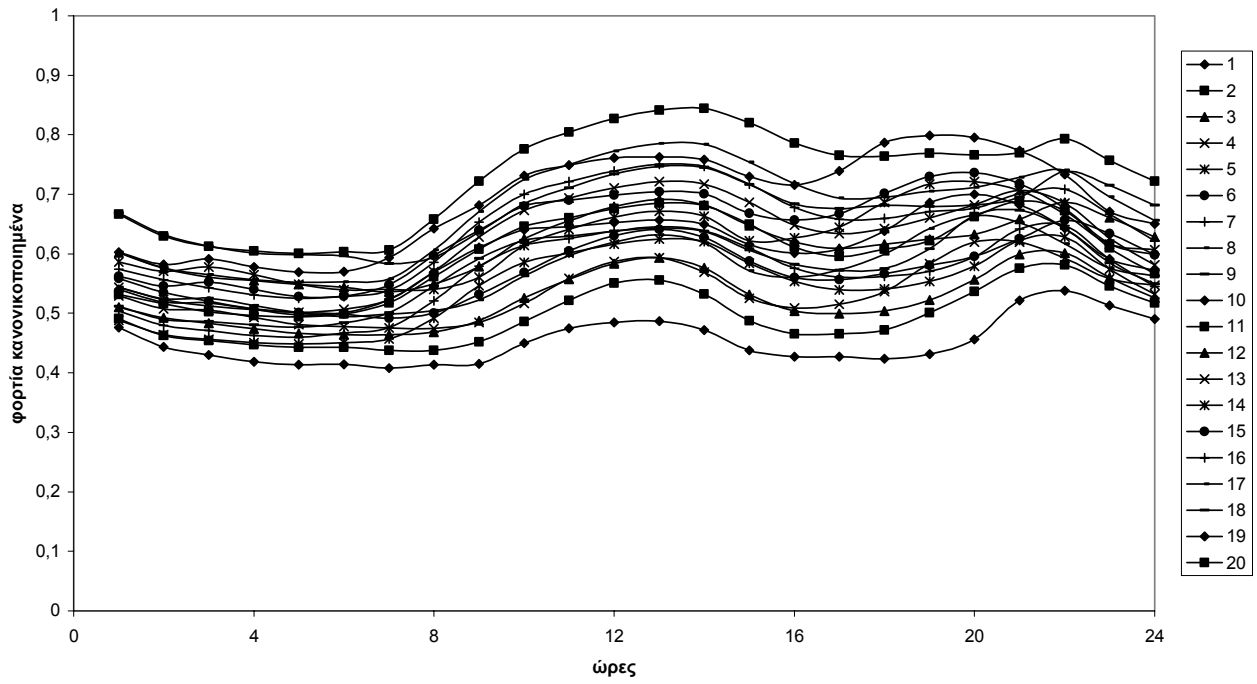
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 1999



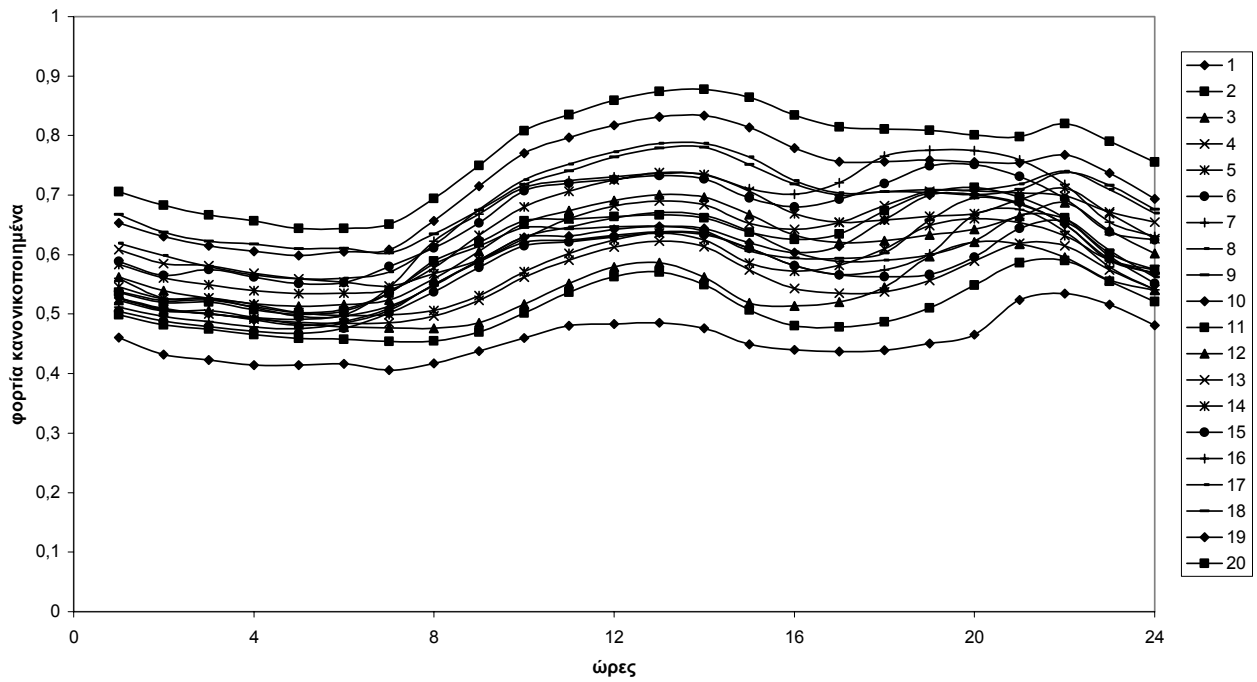
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 2000



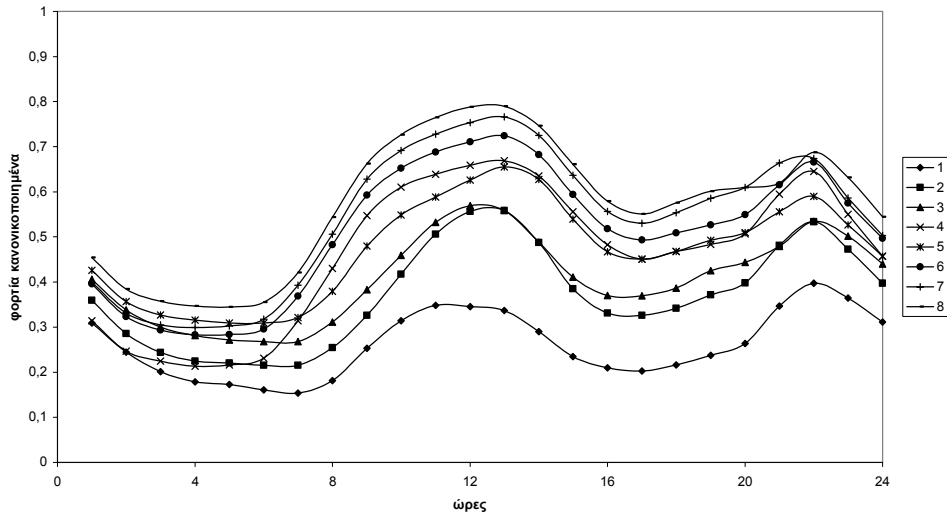
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για τα φορτία για το έτος 2001



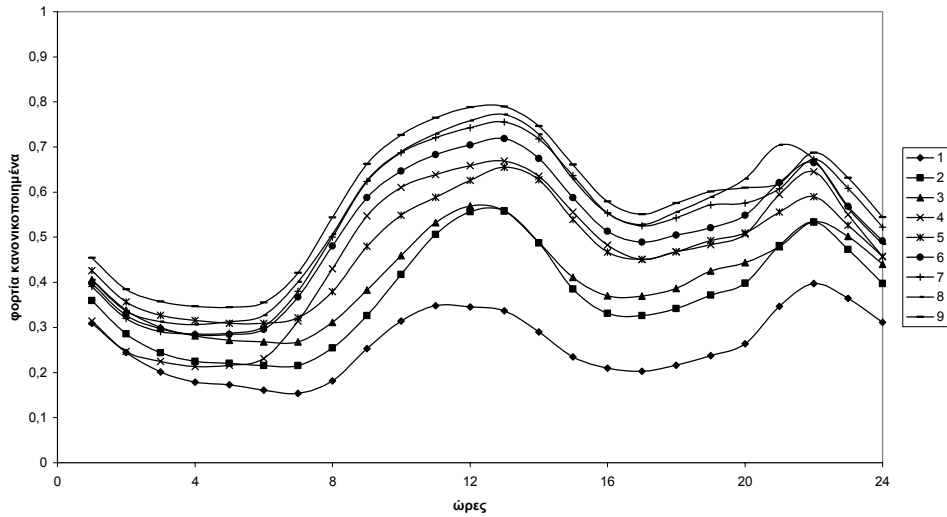
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το έτος 2002



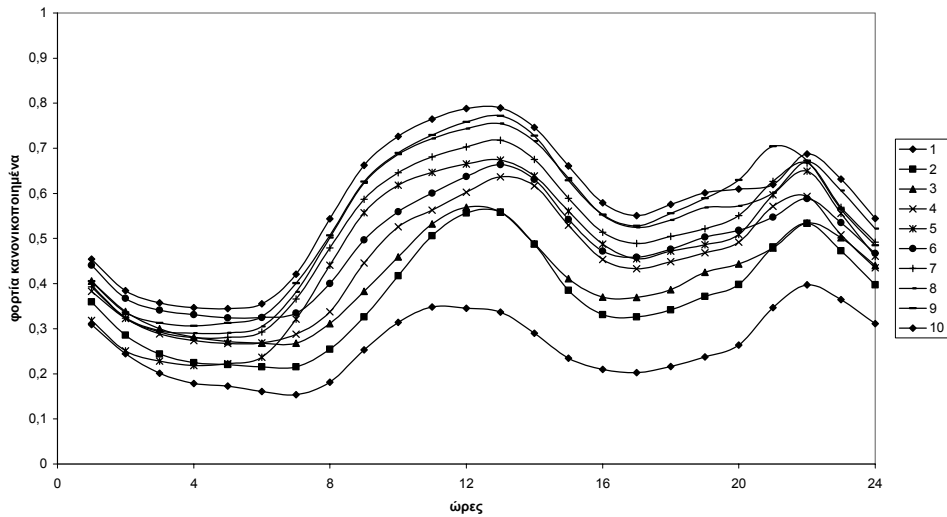
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1985



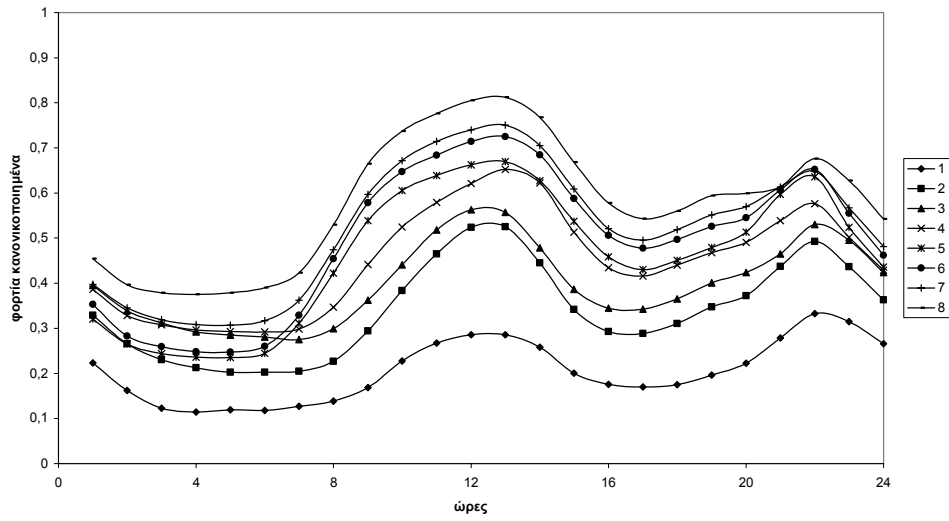
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1985



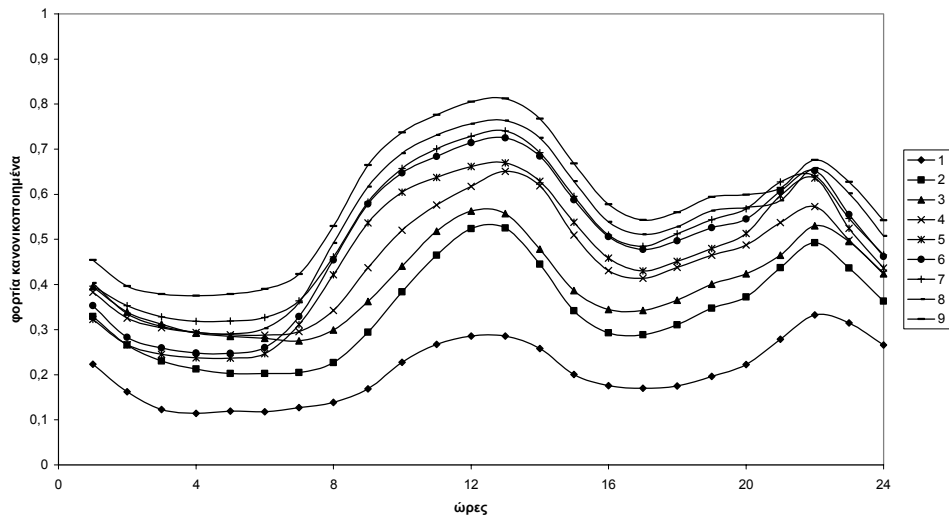
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1985



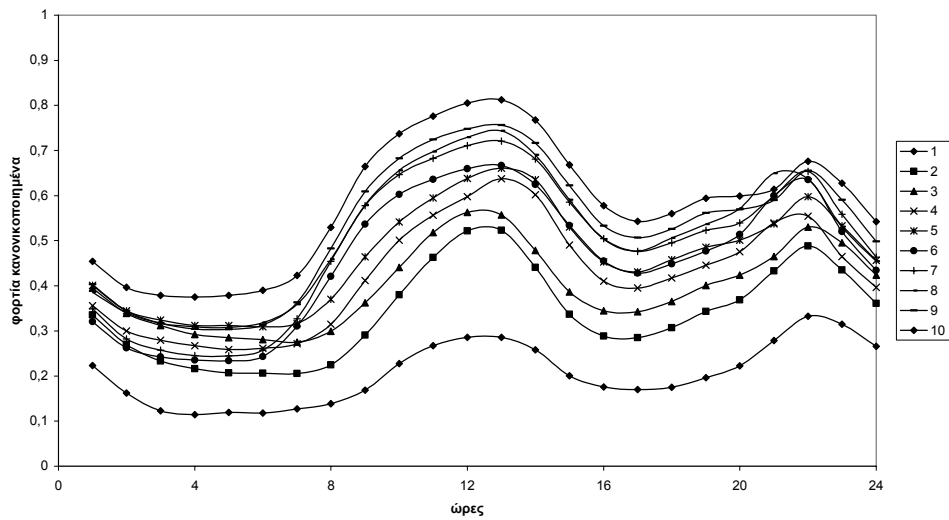
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1986



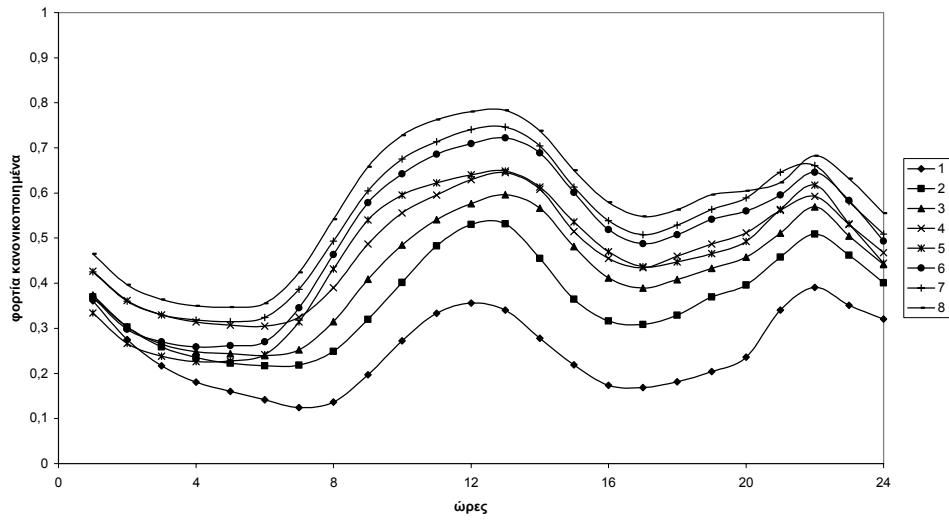
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1986



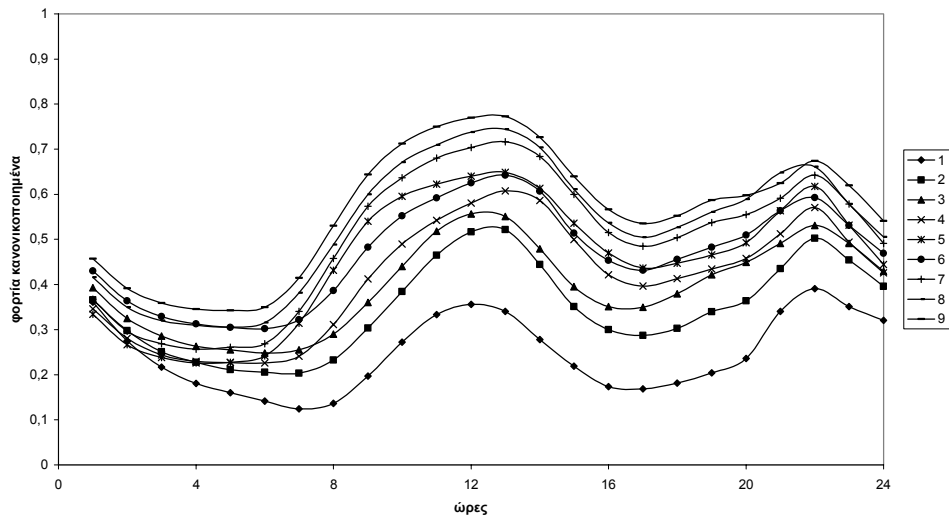
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1986



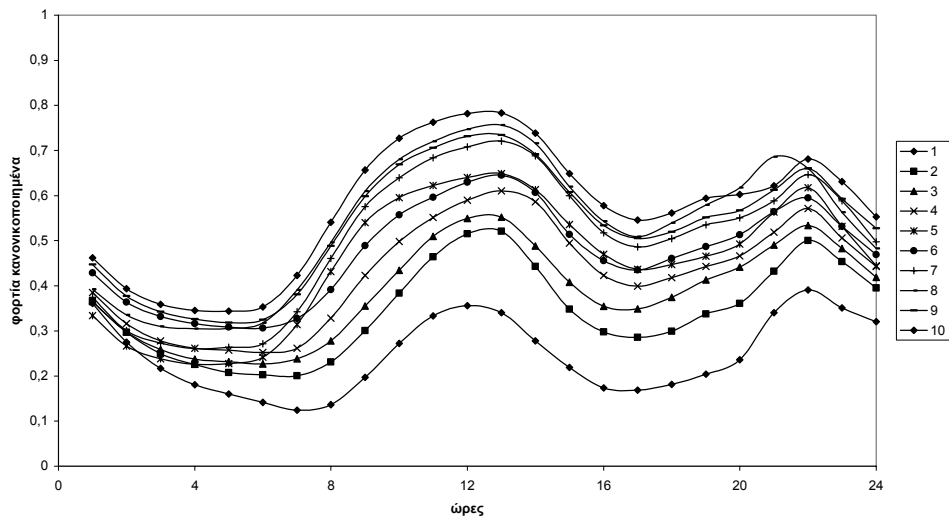
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1987



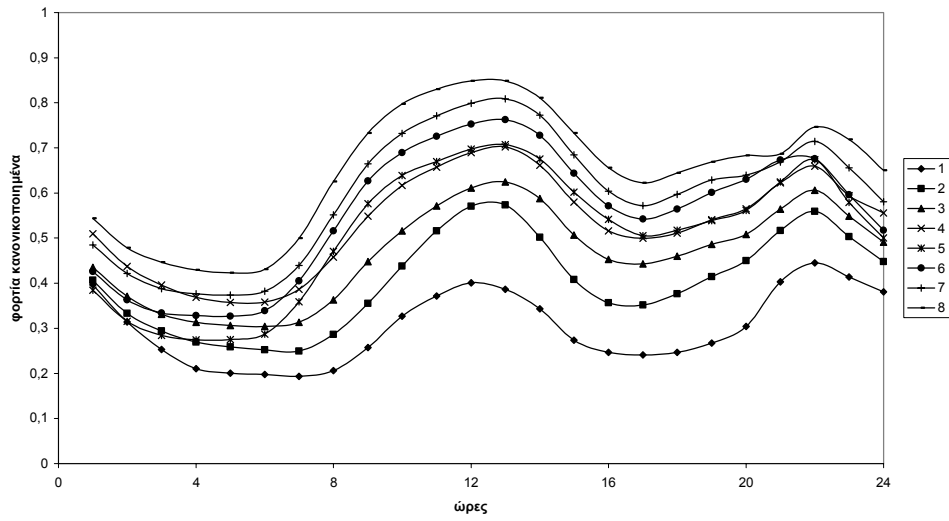
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1987



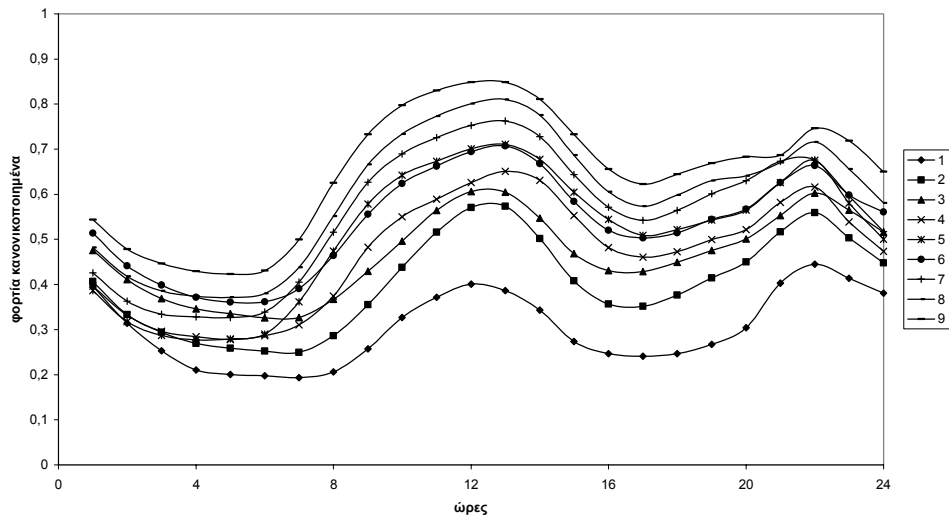
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1987



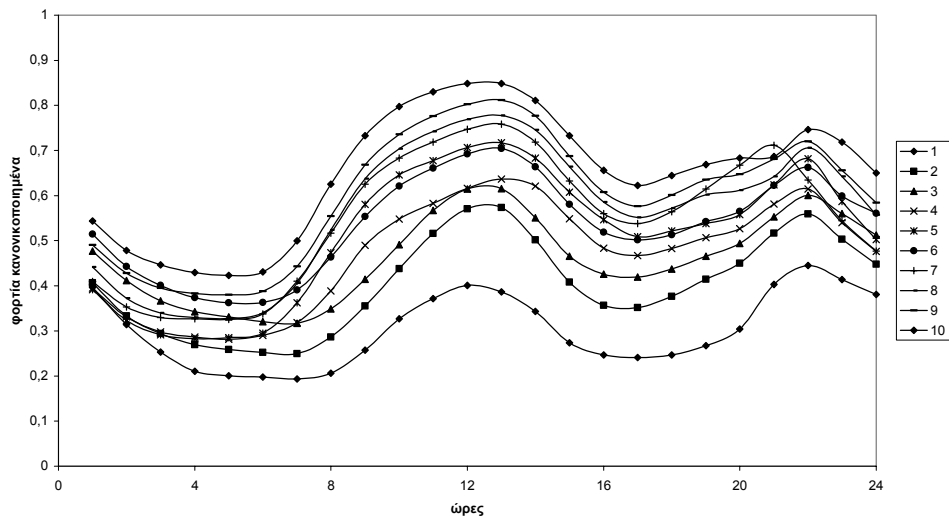
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1988



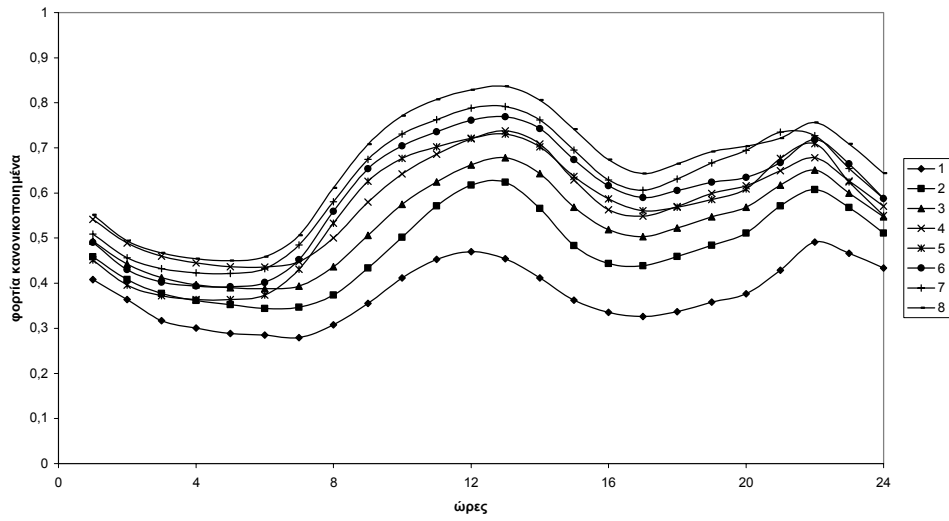
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1988



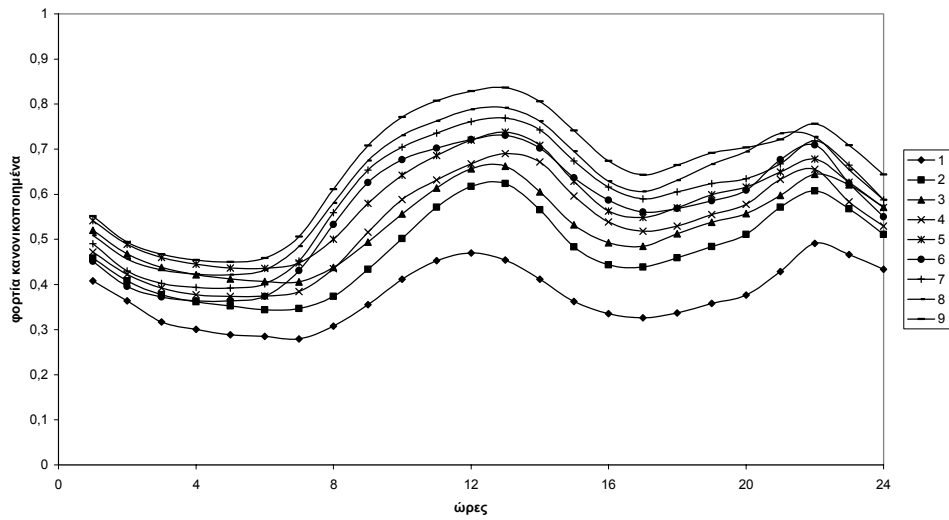
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1988



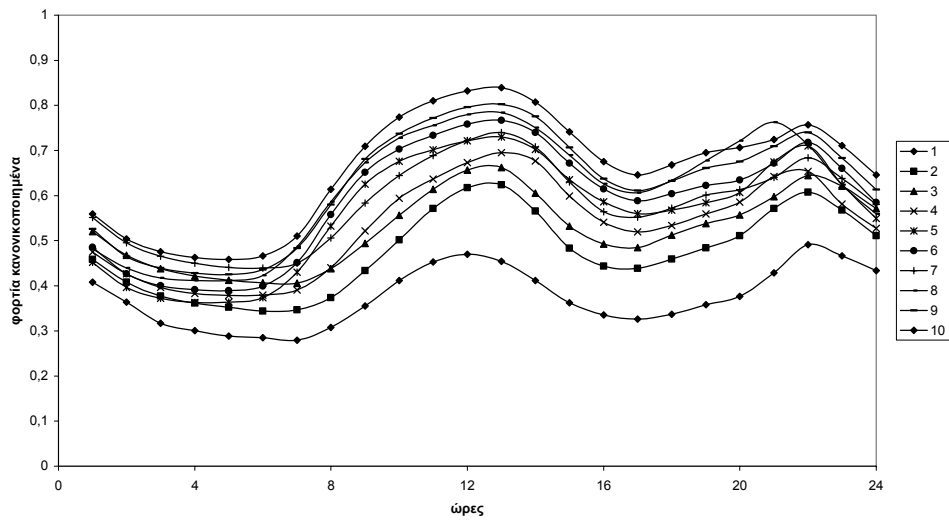
8 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1989



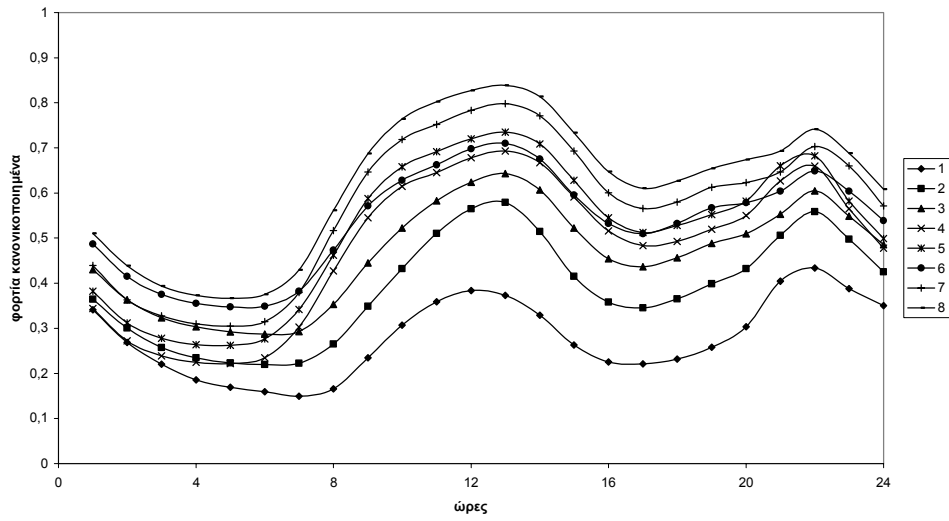
9 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1989



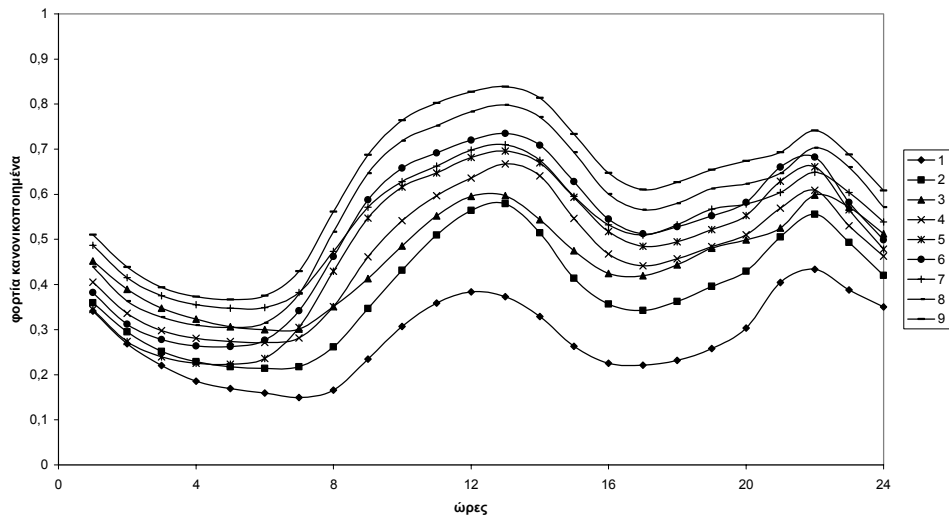
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1989



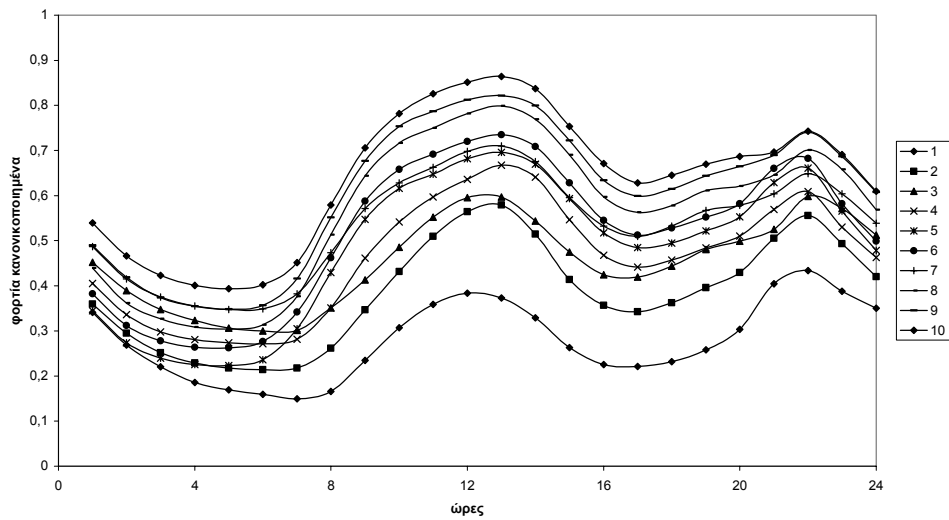
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1990



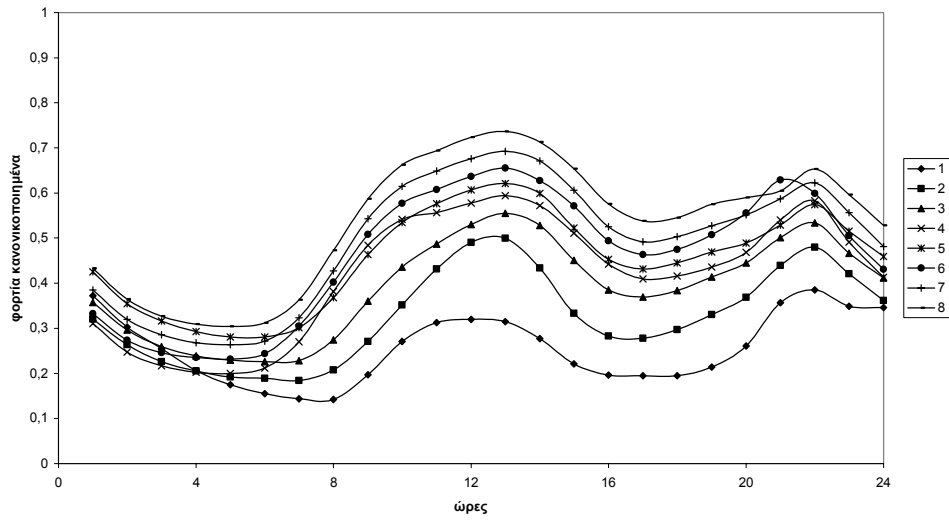
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1990



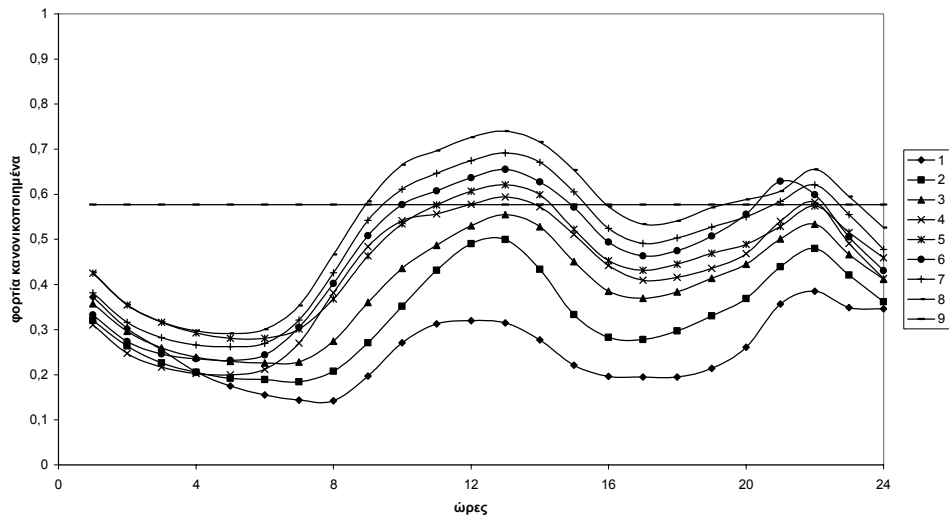
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1990



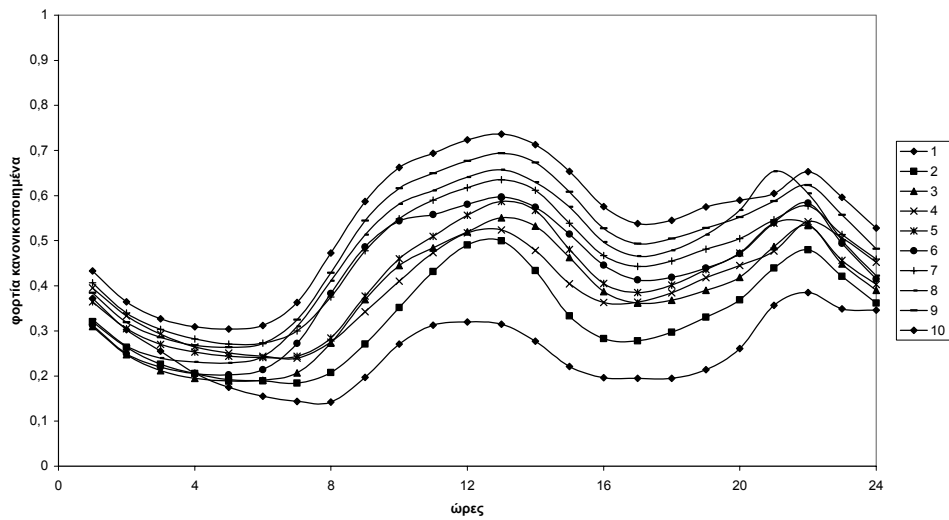
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1991



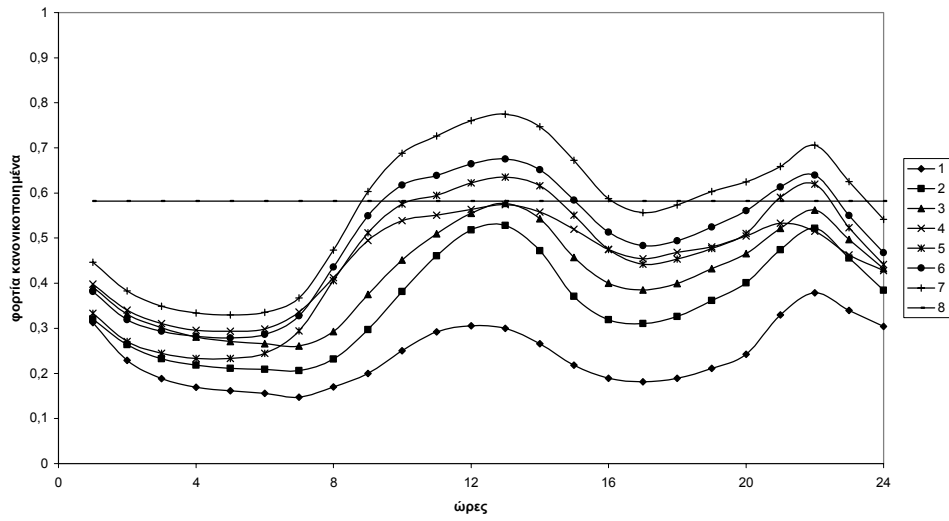
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1991



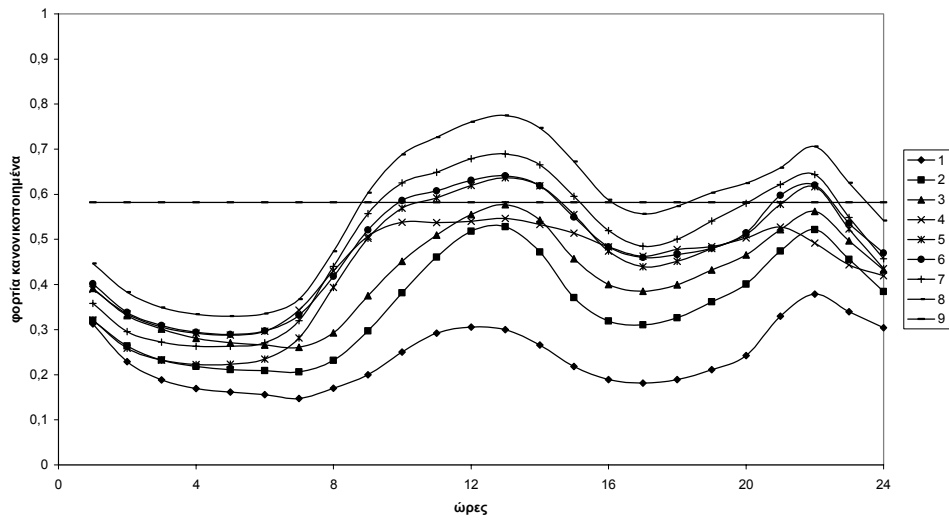
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1991



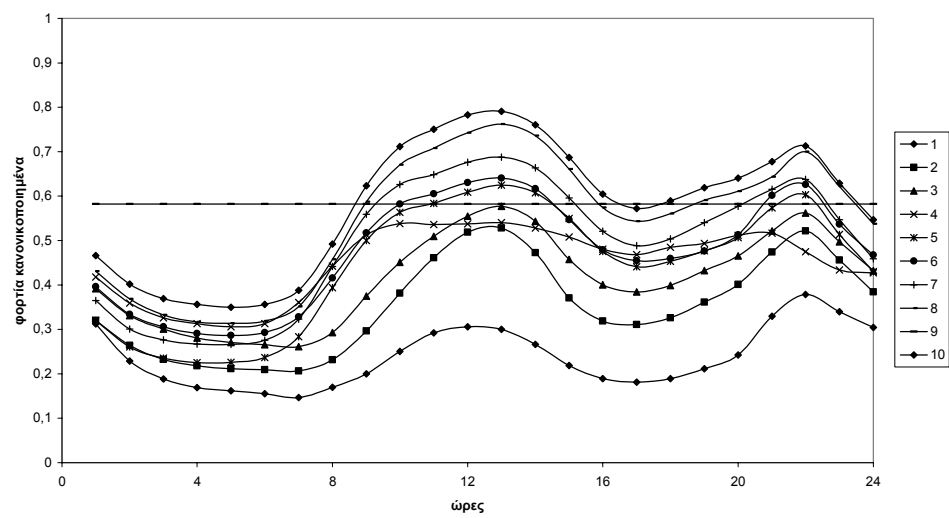
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1992



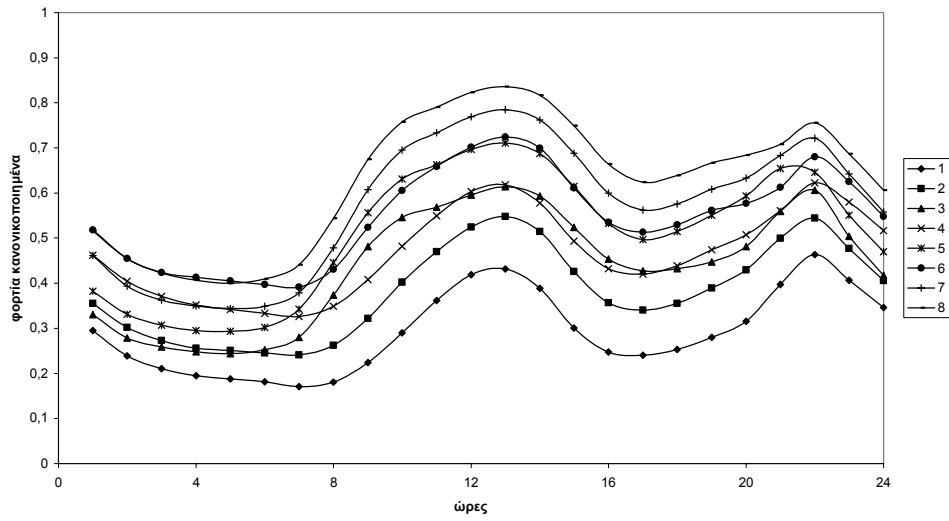
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1992



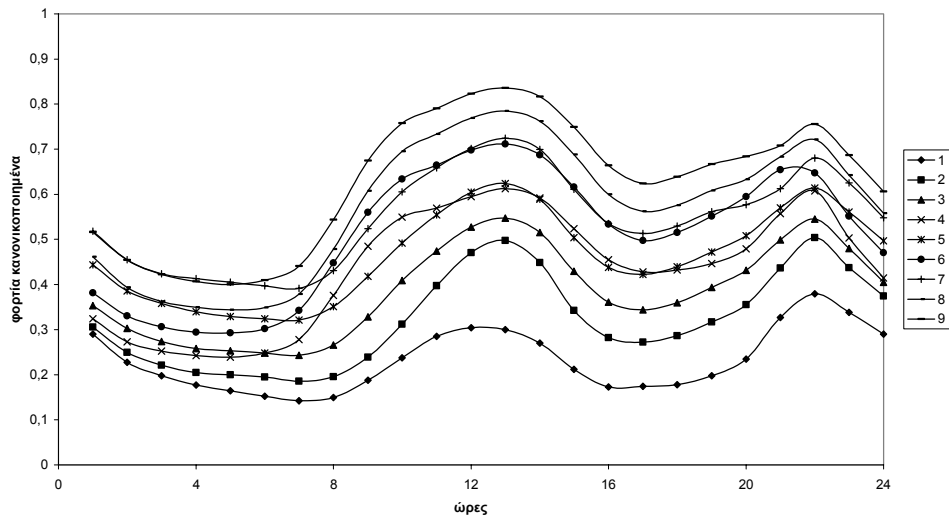
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1992



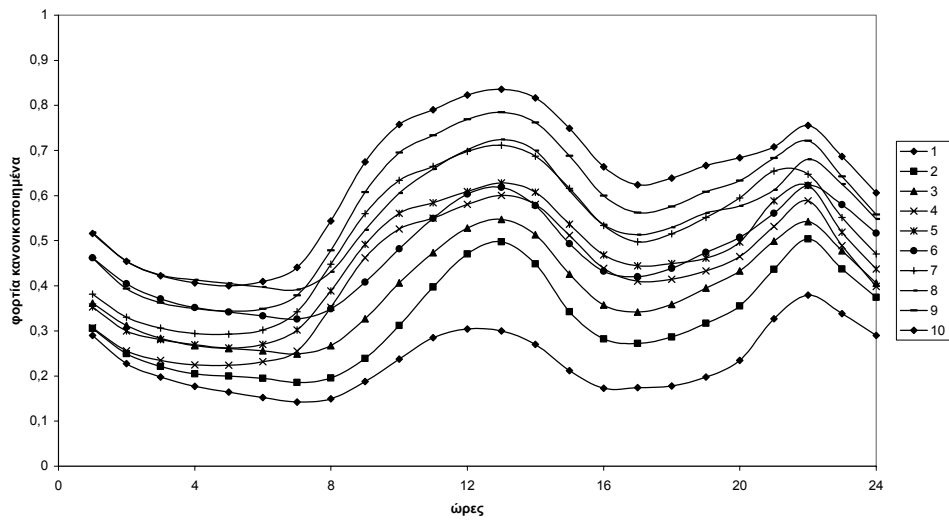
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1993



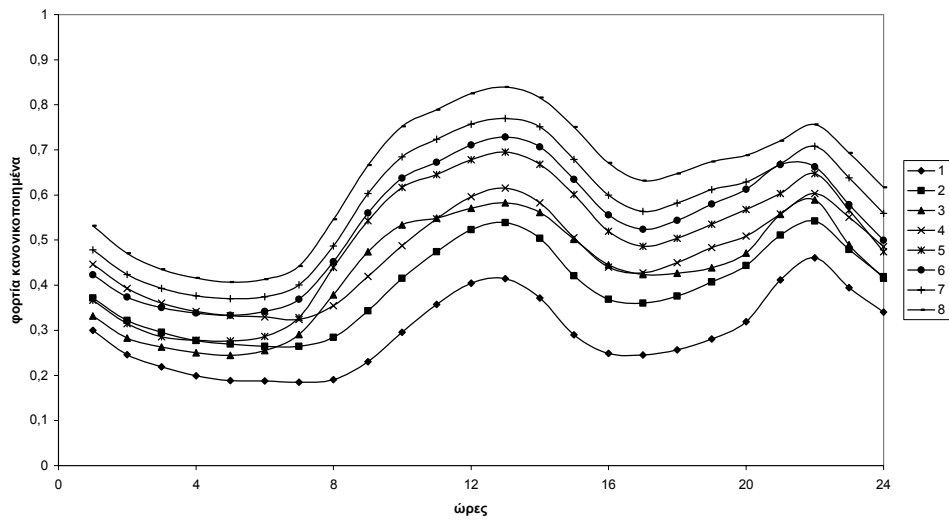
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1993



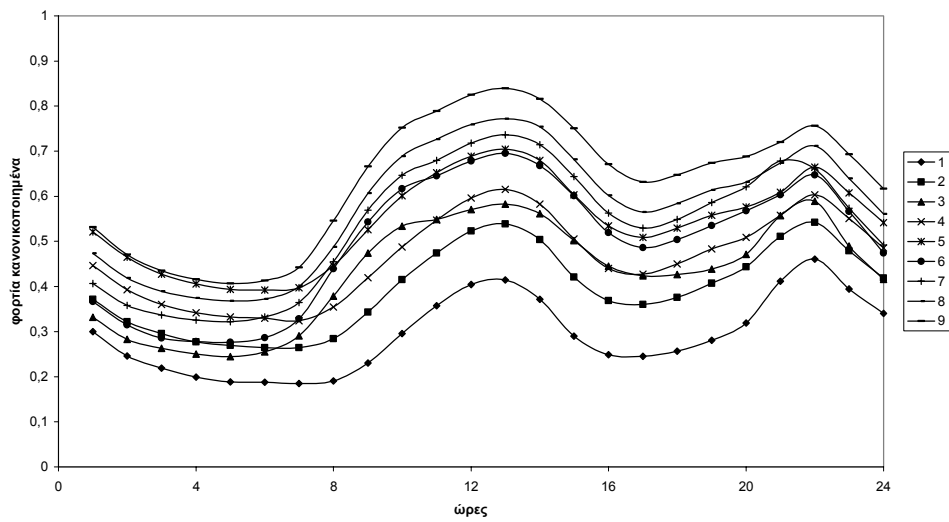
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1993



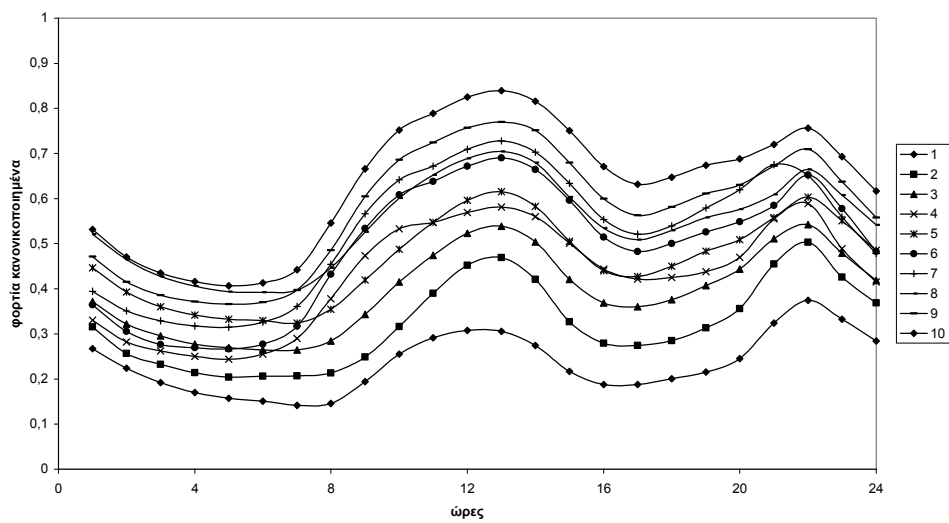
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1994



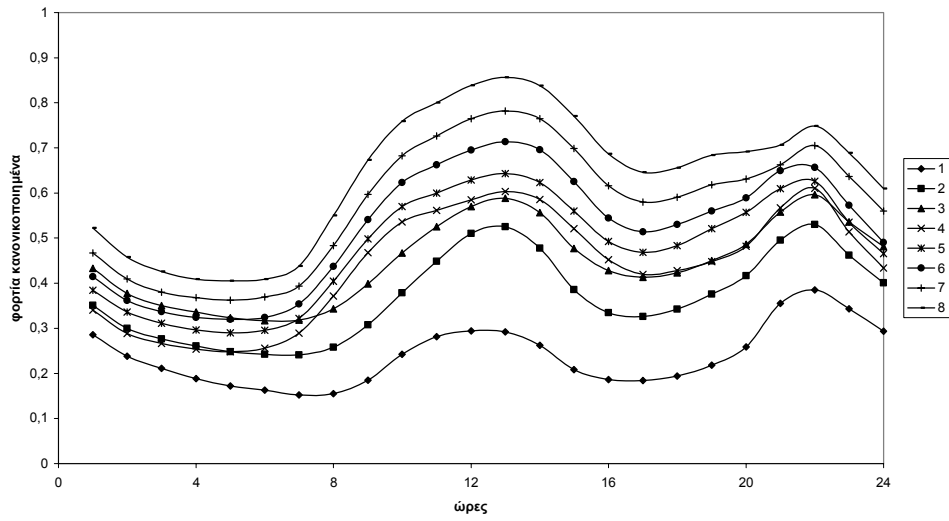
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1994



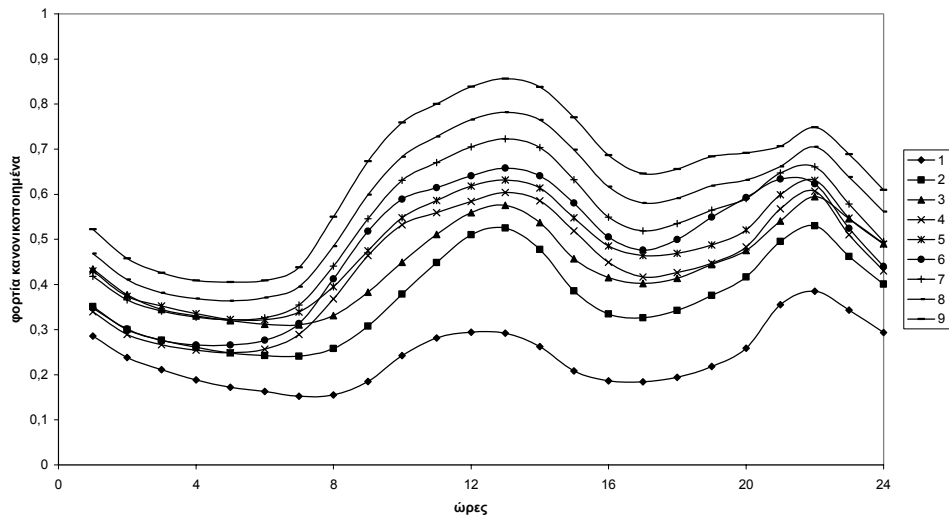
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1994



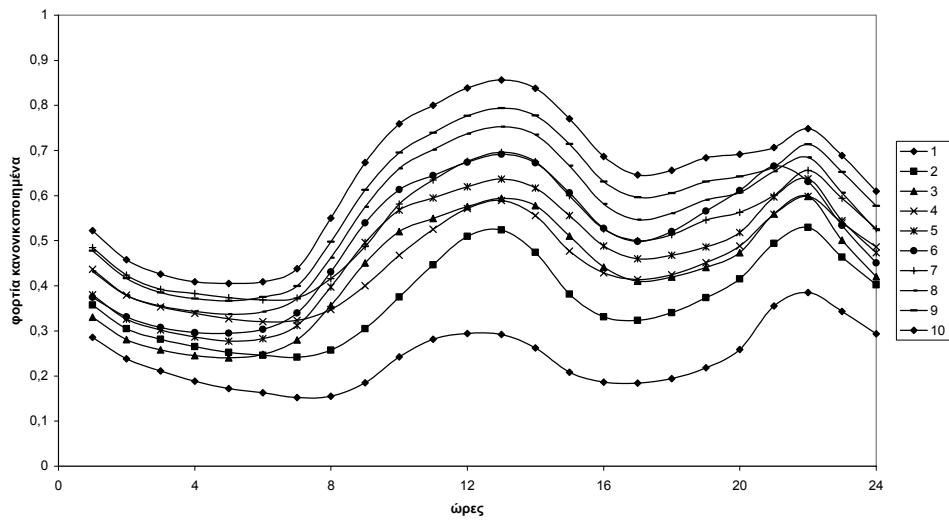
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1995



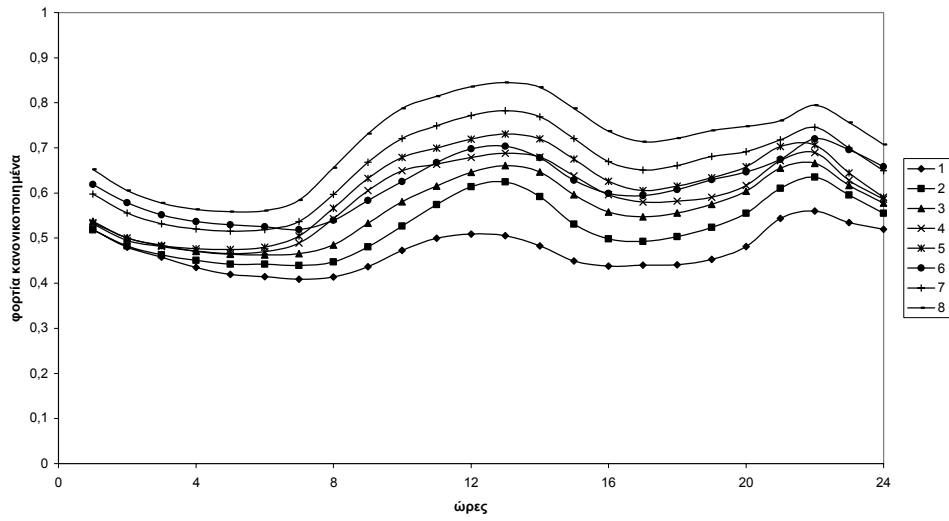
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1995



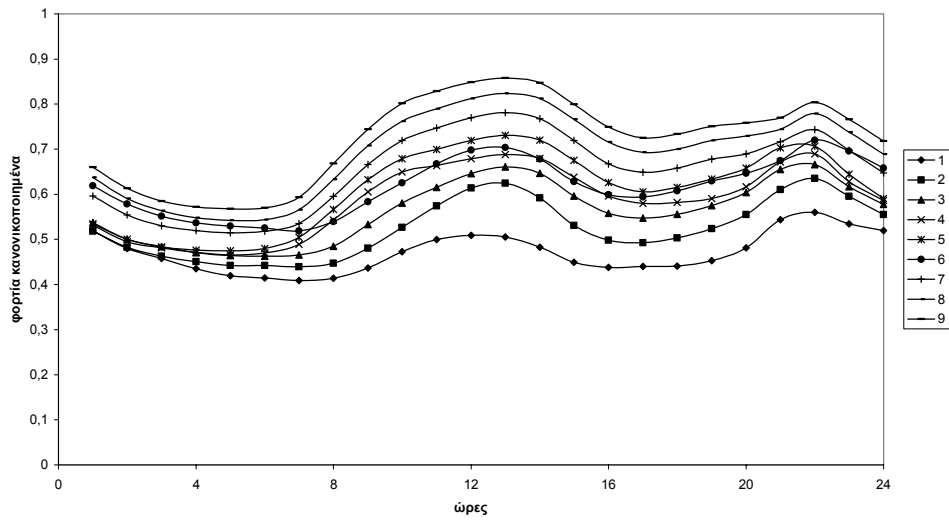
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1995



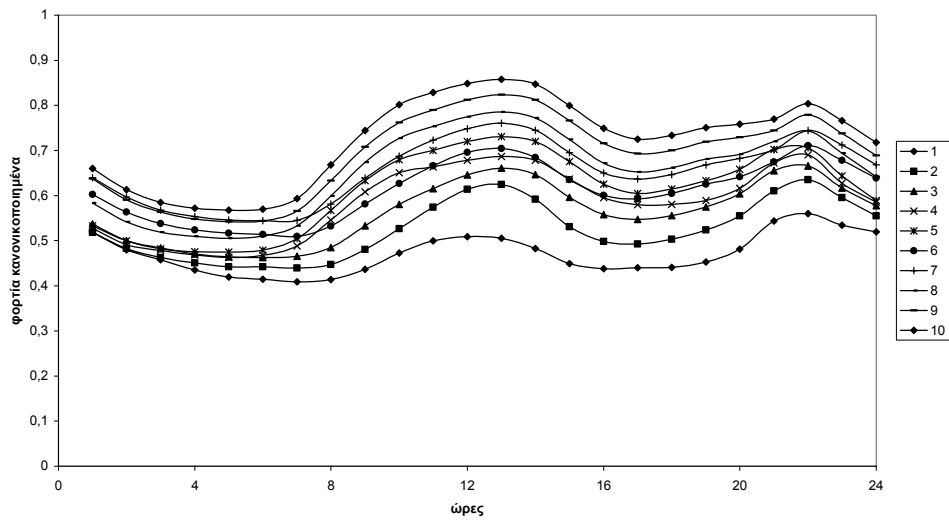
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1996



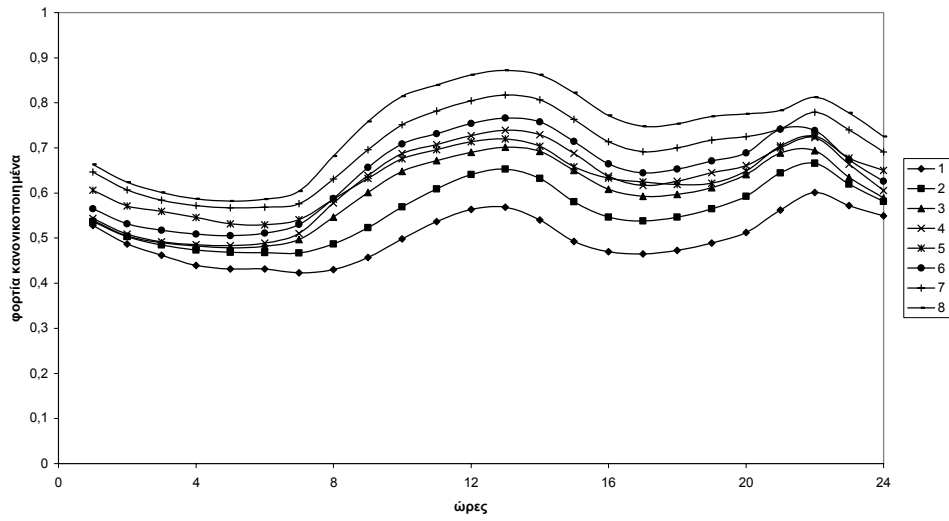
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1996



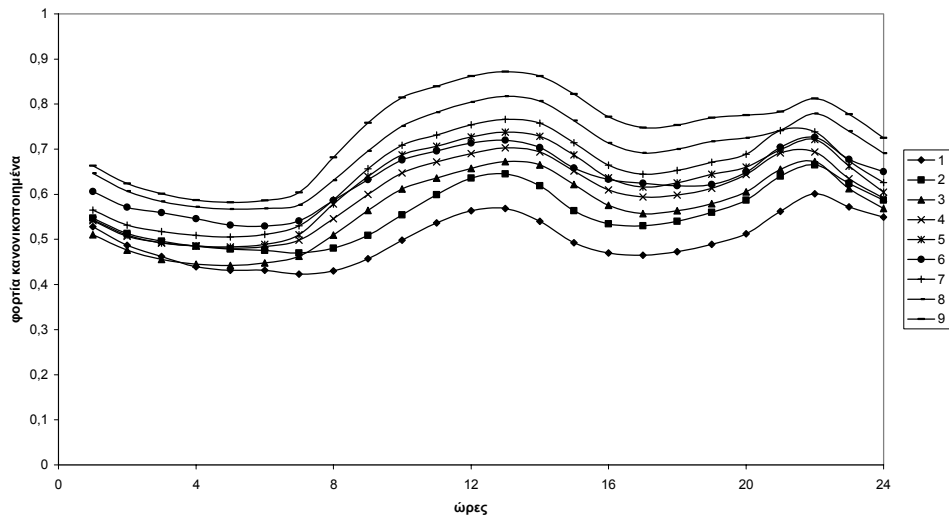
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1996



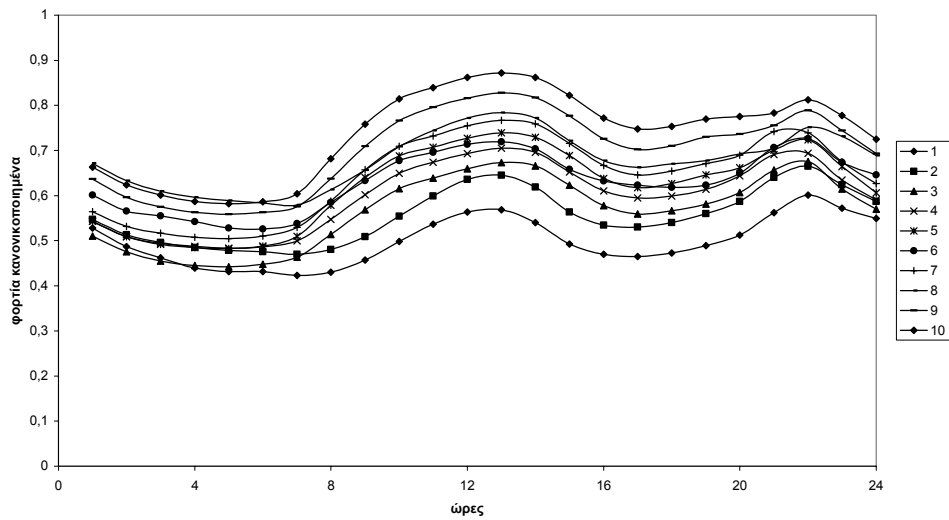
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1997



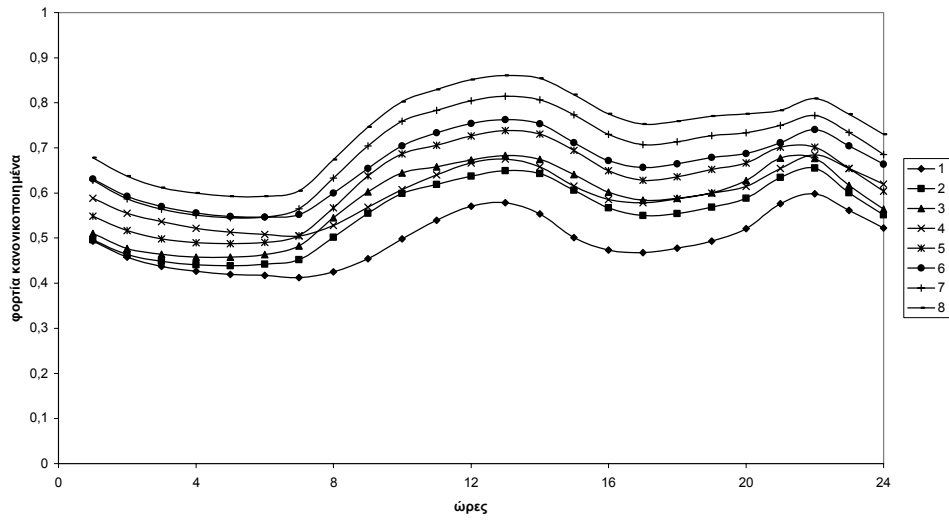
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1997



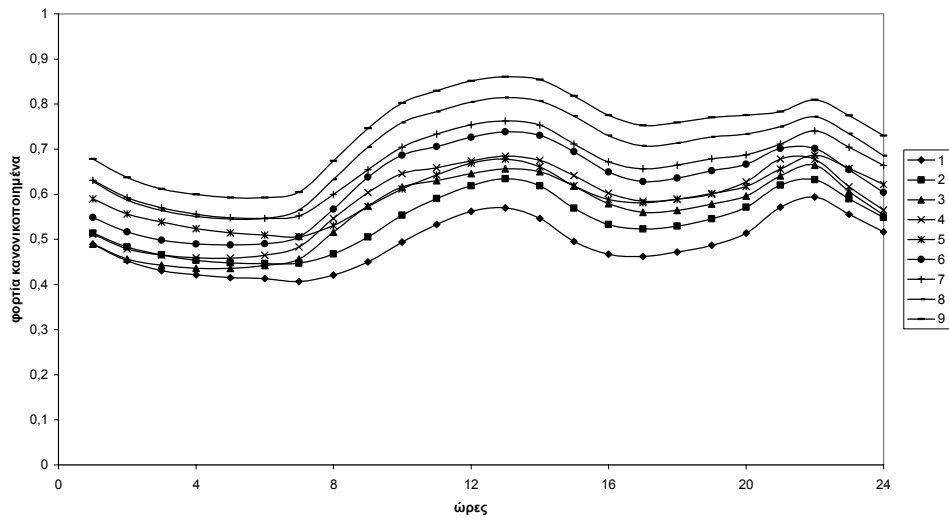
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1997



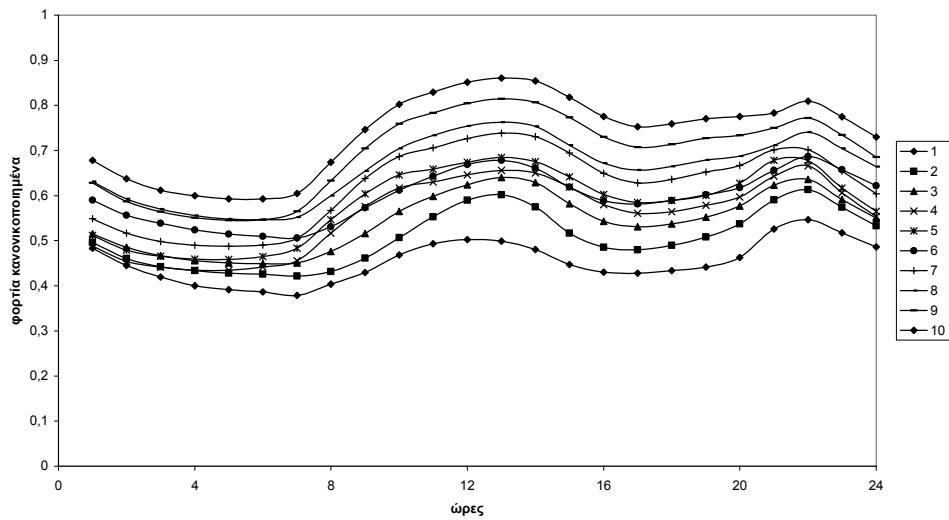
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1998



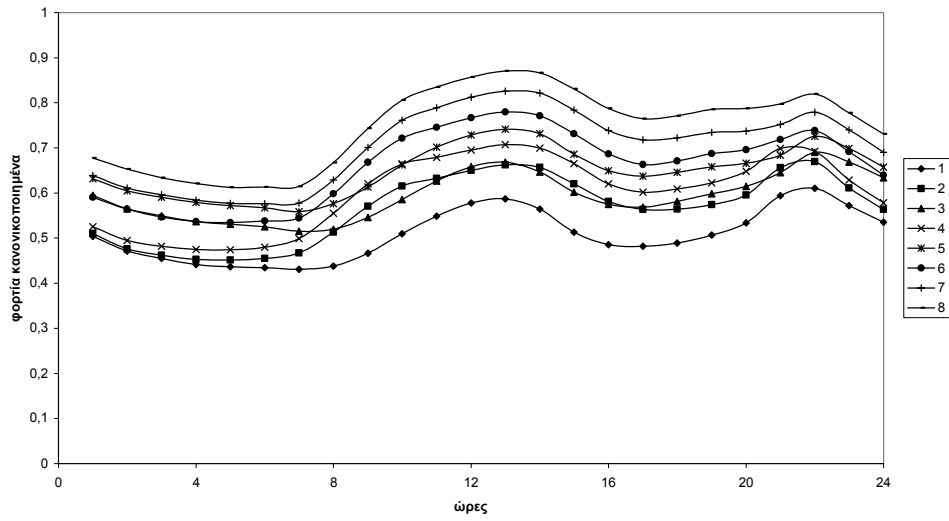
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1998



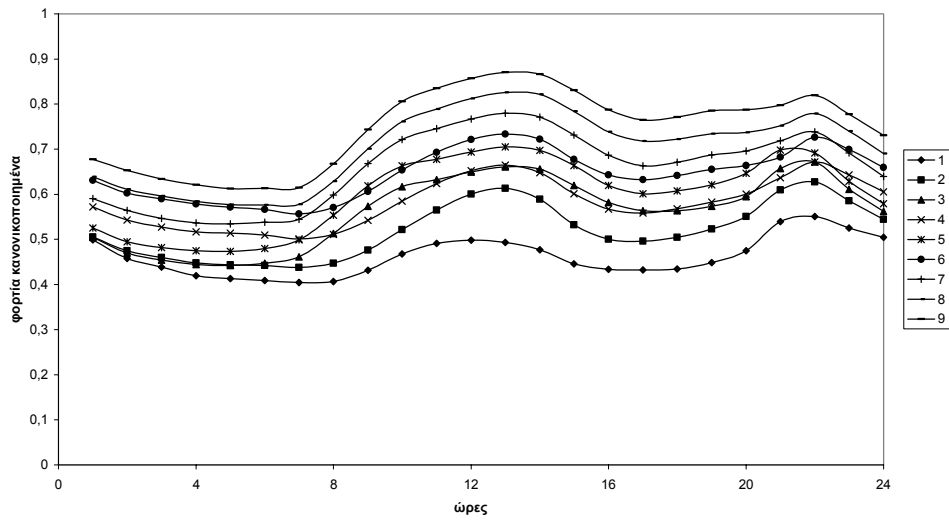
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1998



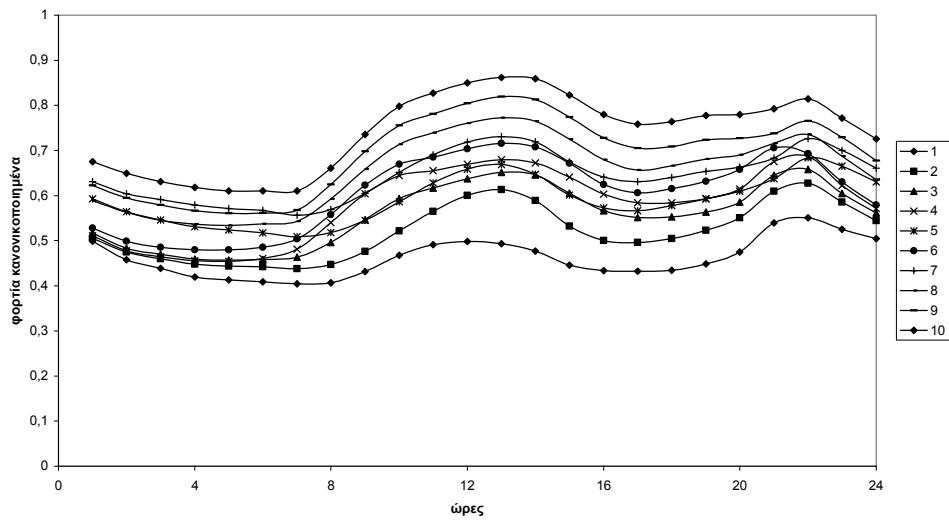
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1999



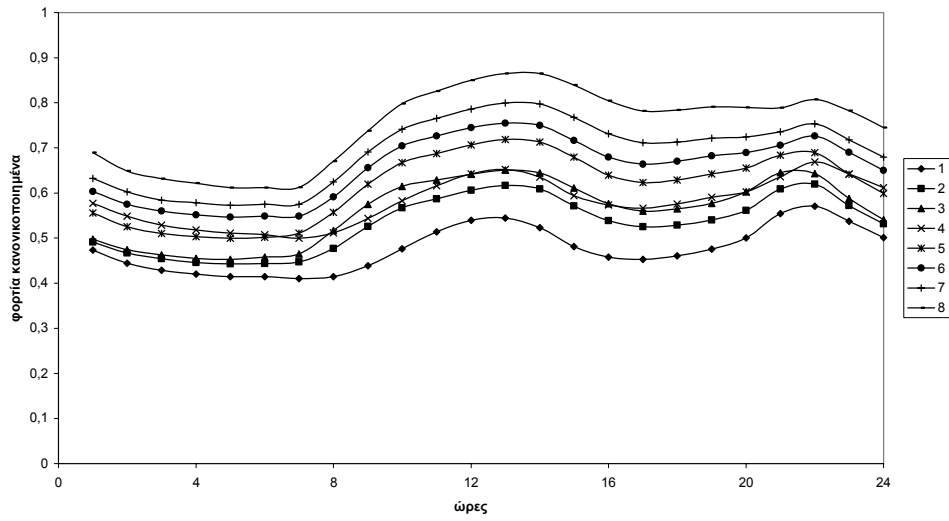
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1999



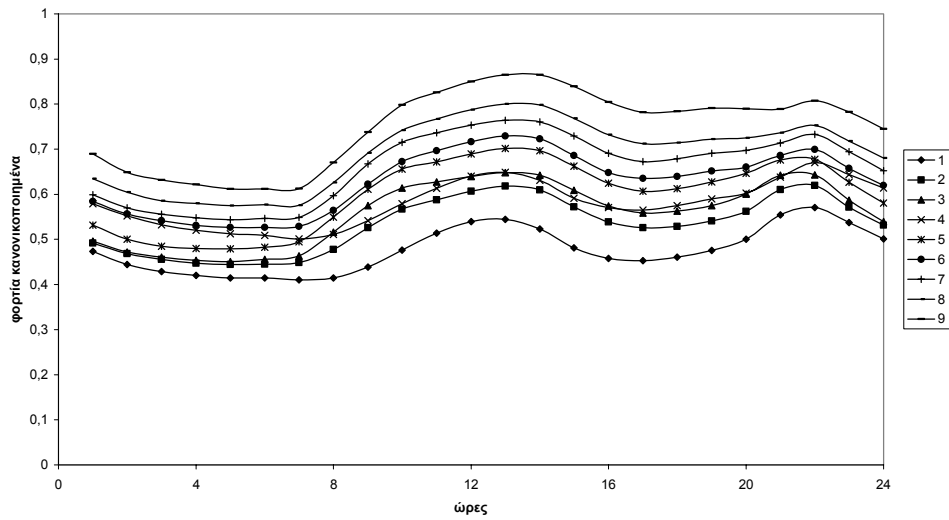
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 1999



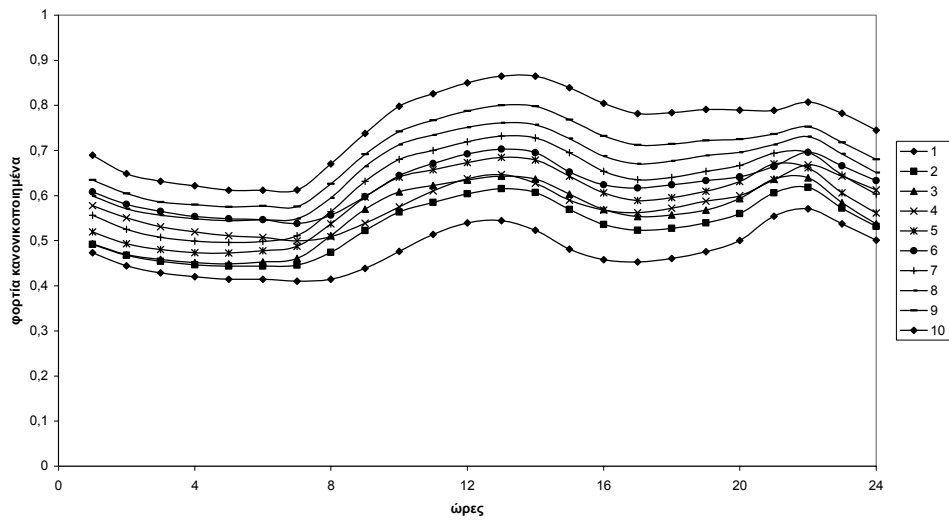
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 2000



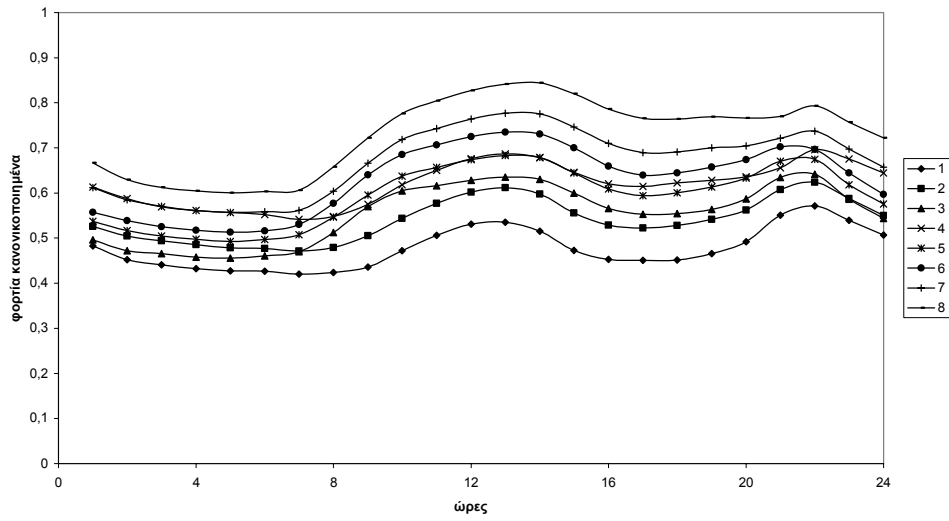
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 2000



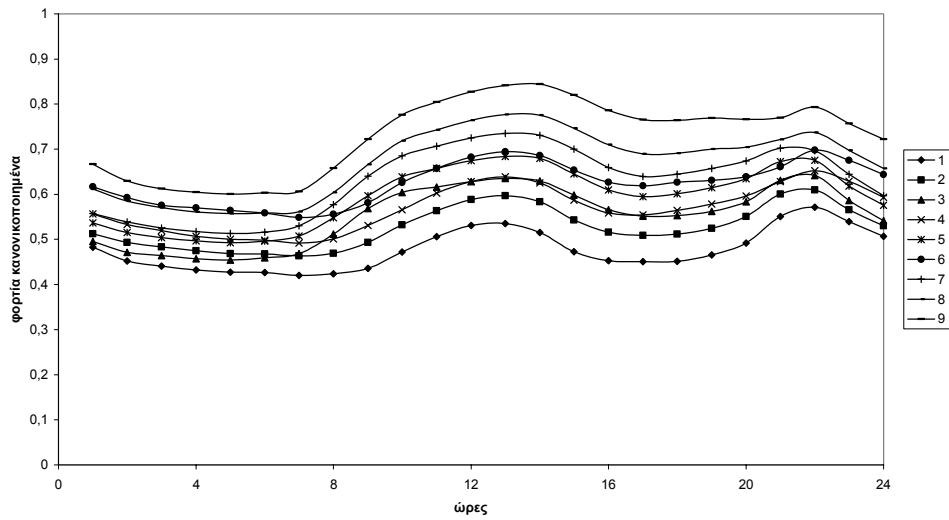
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 2000



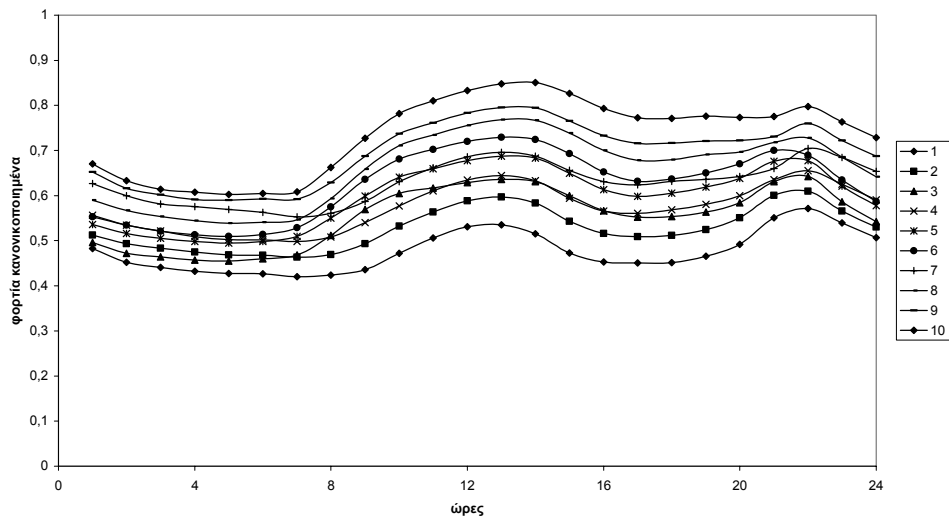
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 2001



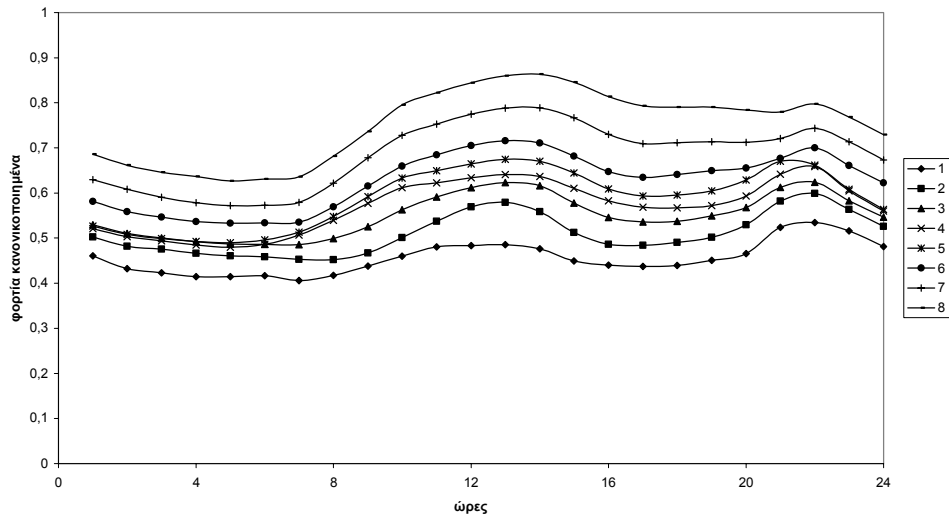
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 2001



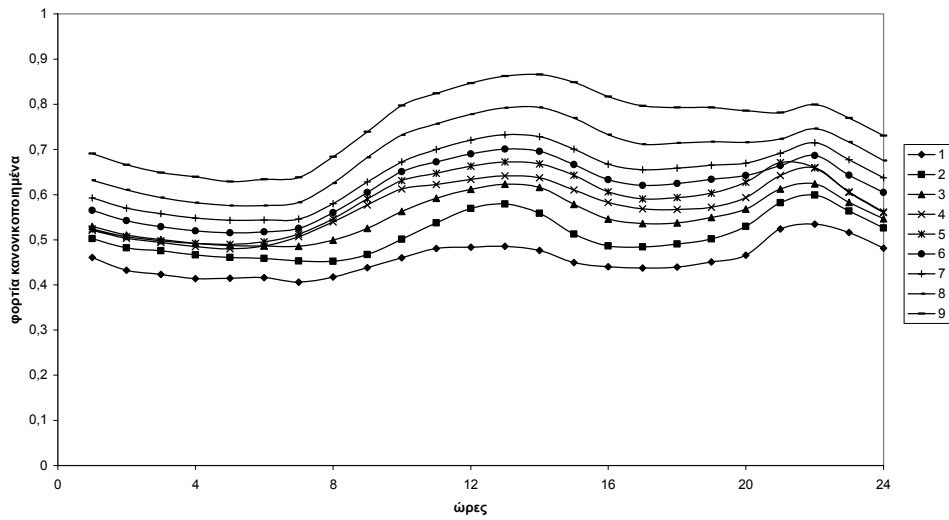
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 2001



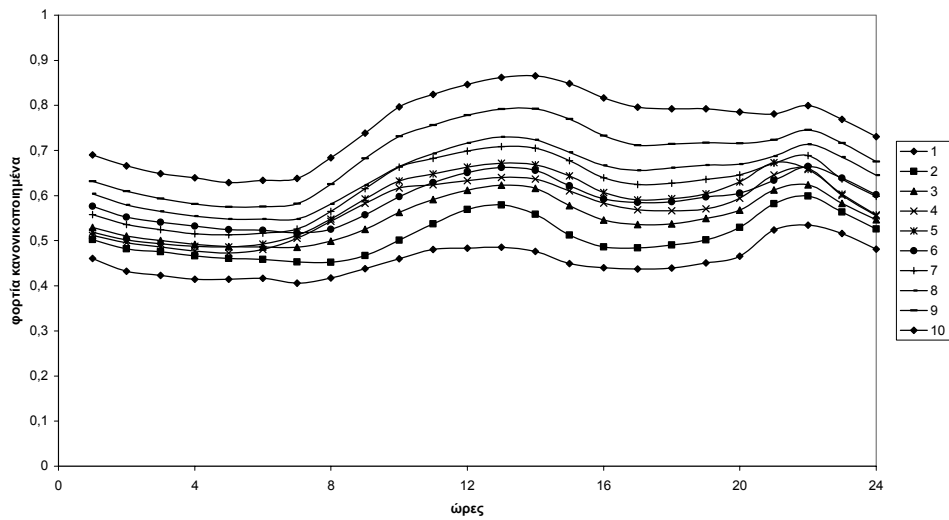
8 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 2002



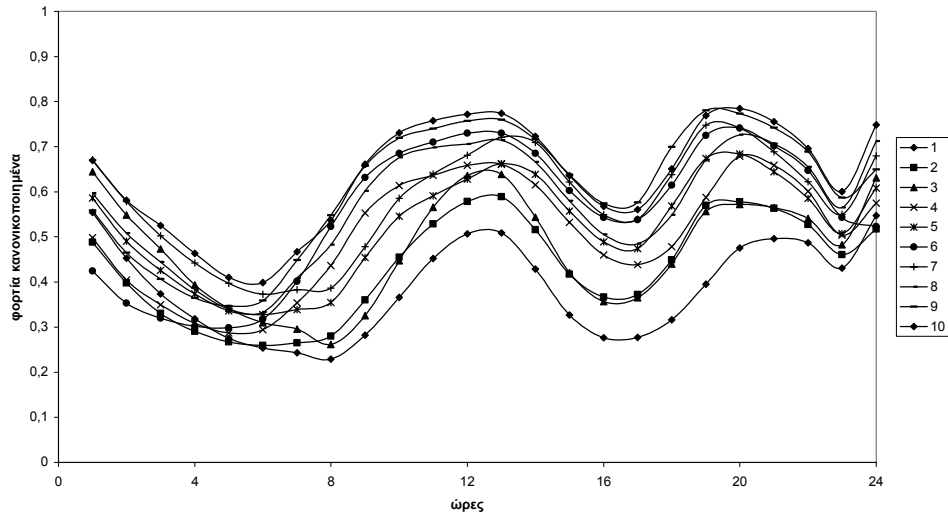
9 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 2002



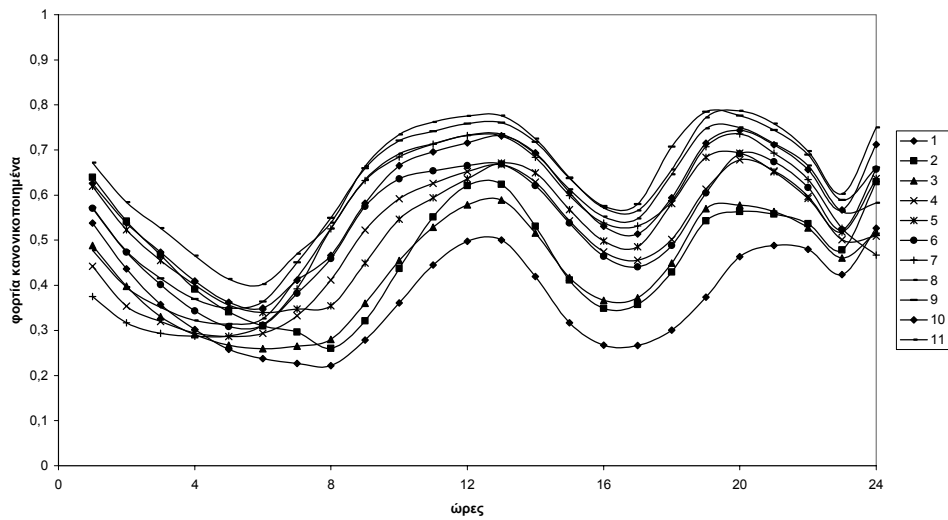
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το καλοκαίρι 2002



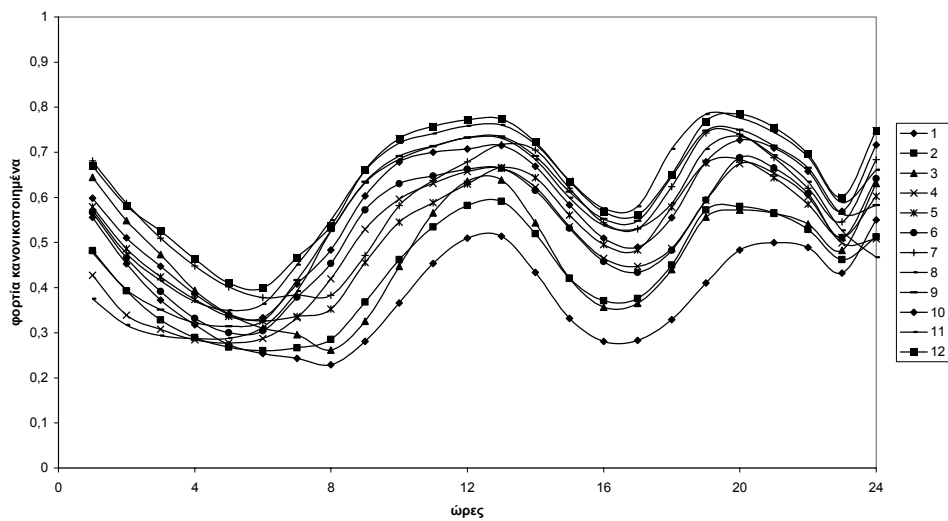
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1985-1986



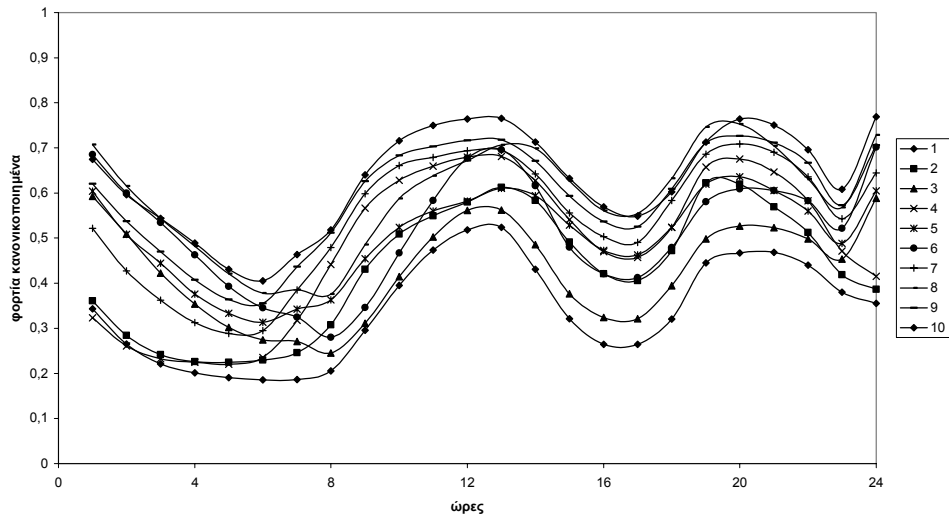
11 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1985-1986



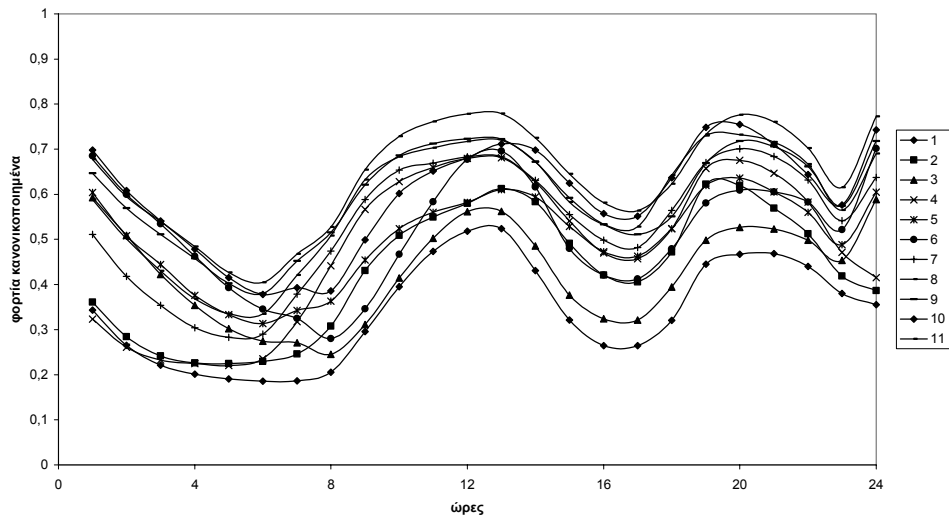
12 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1985-1986



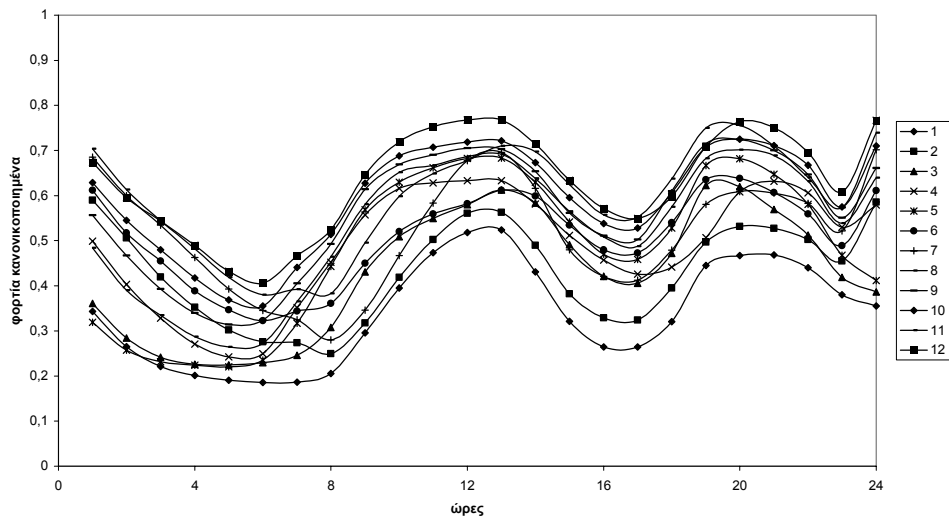
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1986-1987



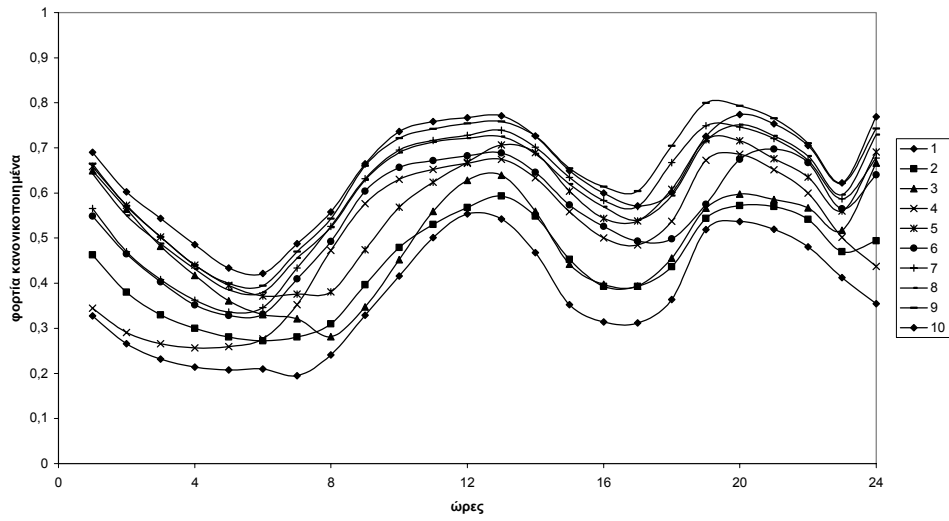
11 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1986-1987



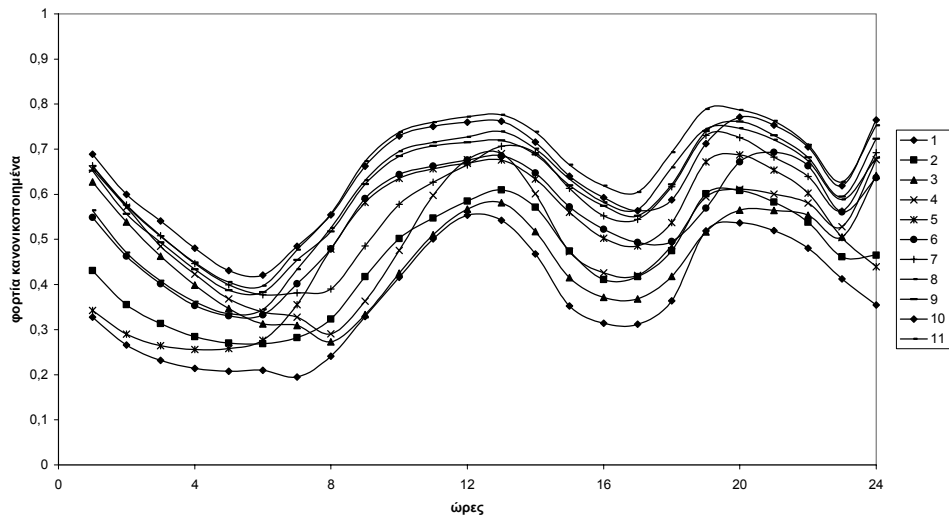
12 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1986-1987



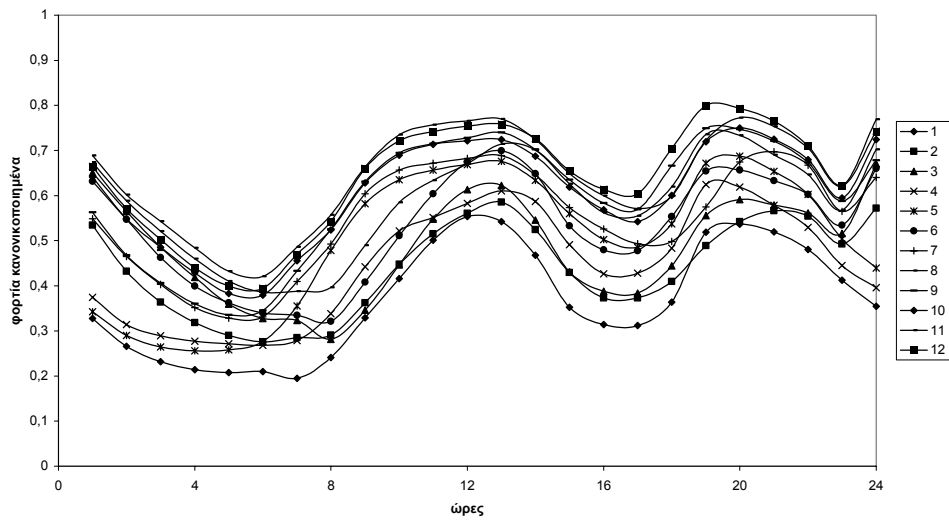
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για τα φορτία για το χειμώνα 1987-1988



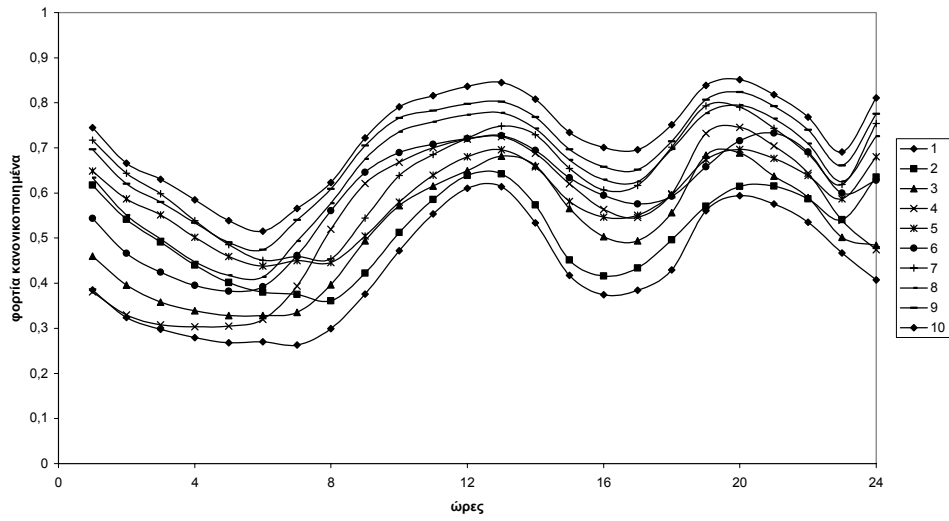
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για τα φορτία για το χειμώνα 1987-1988



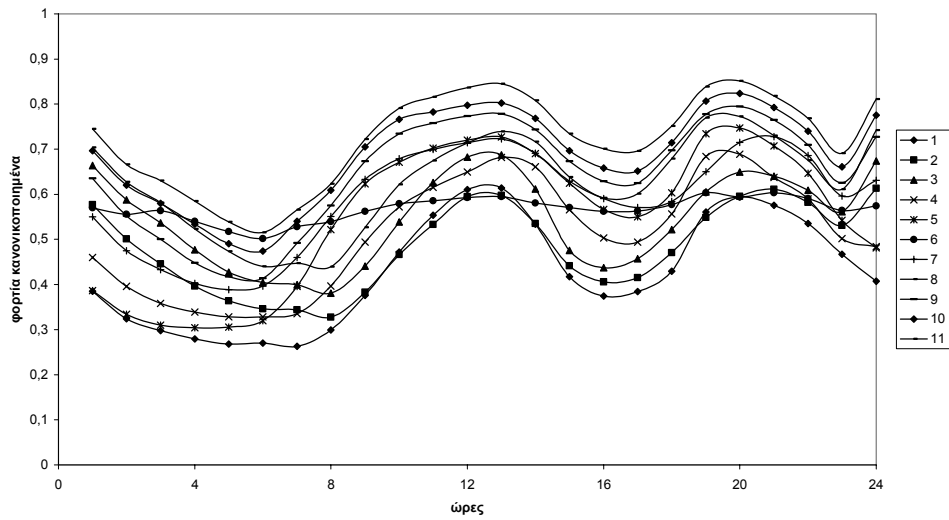
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1987-1988



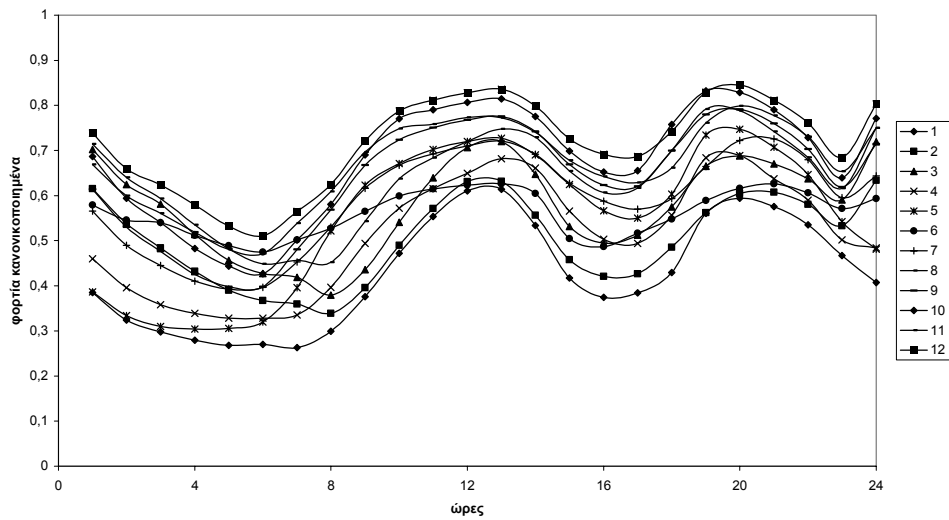
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1988-1989



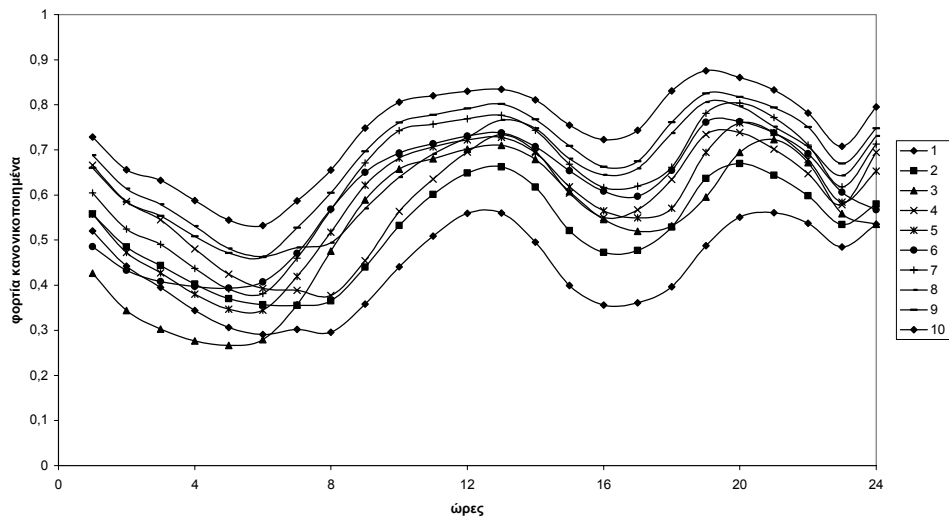
11 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1988-1989



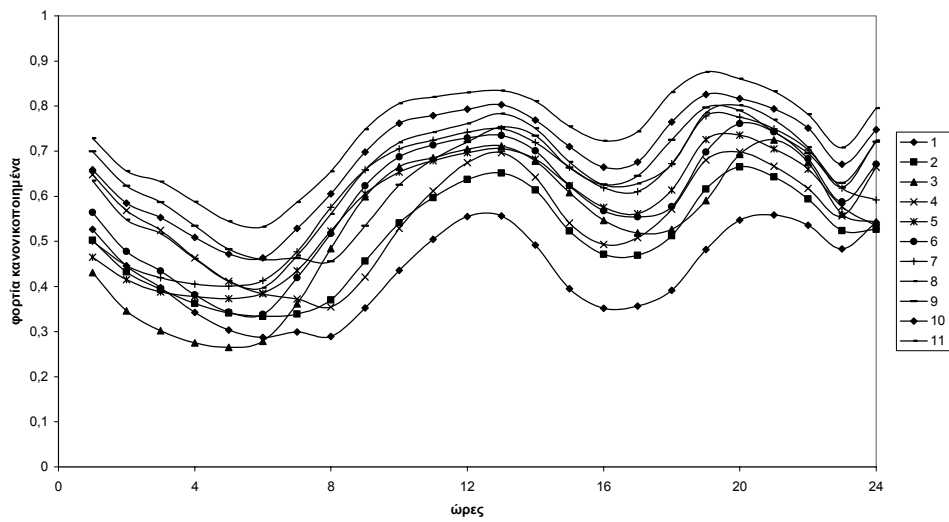
12 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1988-1989



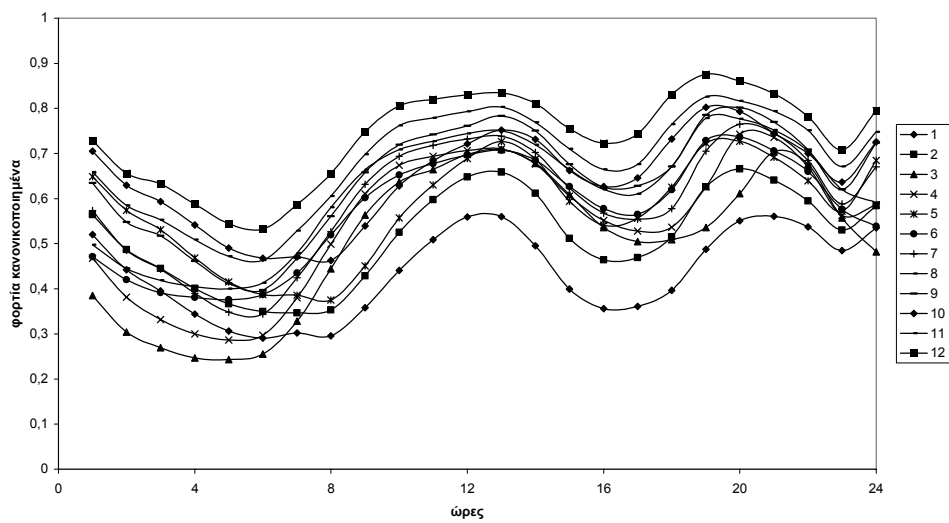
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1989-1990



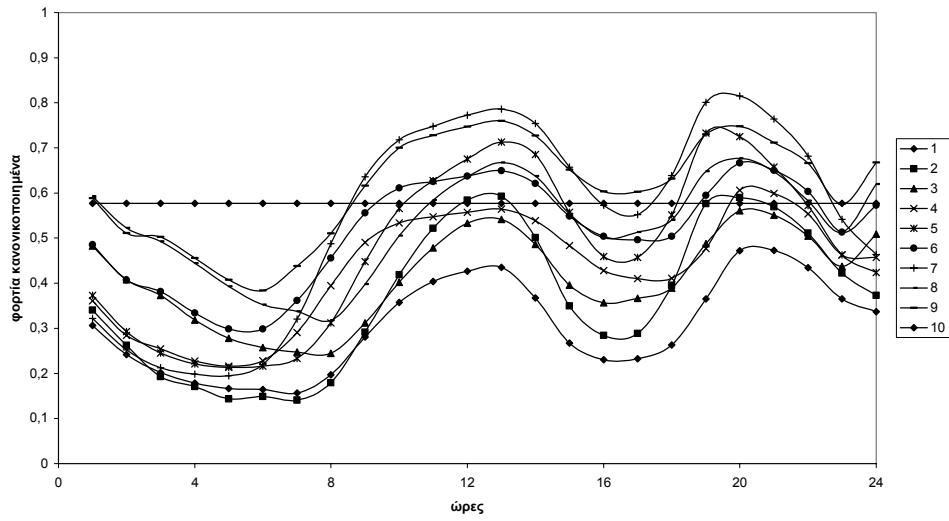
11 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1989-1990



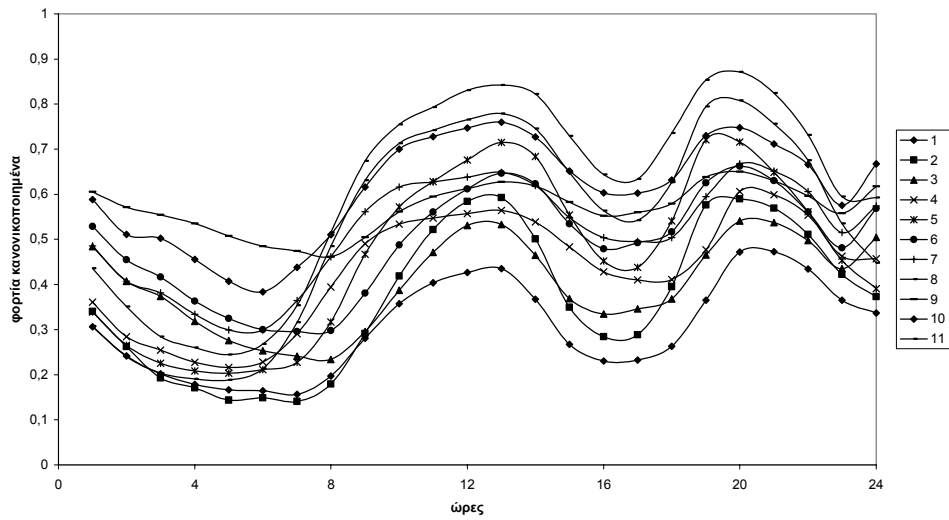
12 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1989-1990



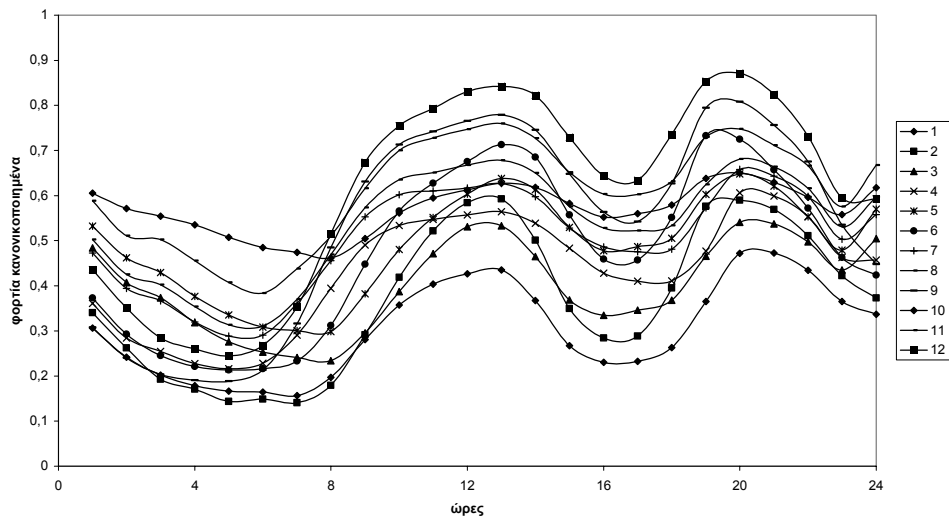
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 08 για φορτία για το χειμώνα 1990-1991



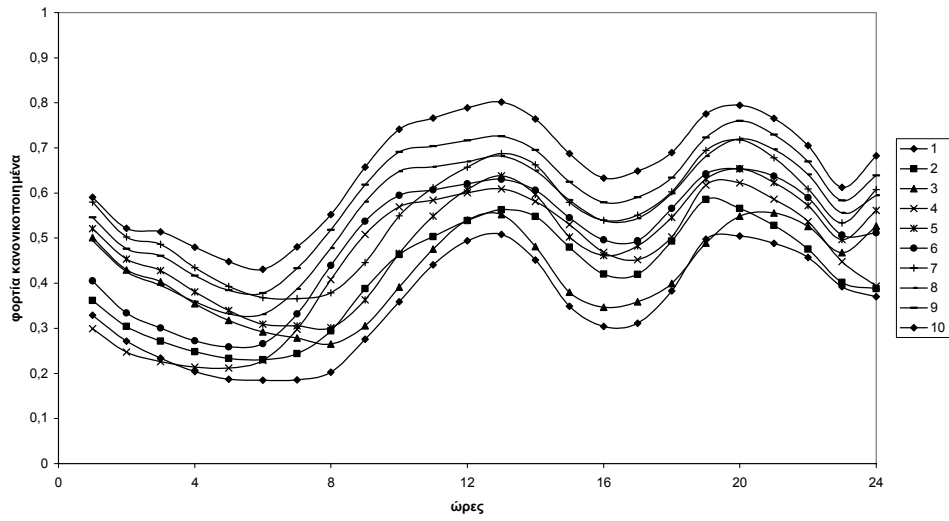
11 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1990-1991



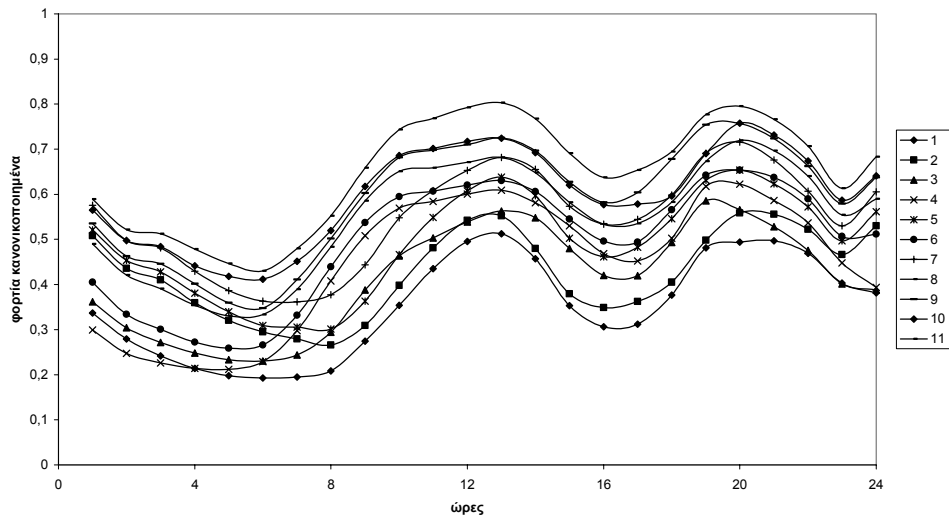
12 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1990-1991



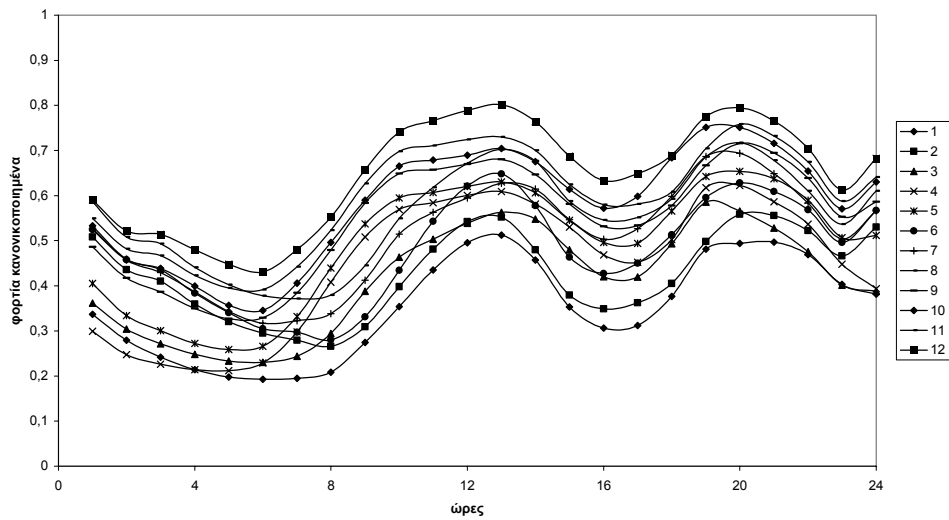
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1991-1992



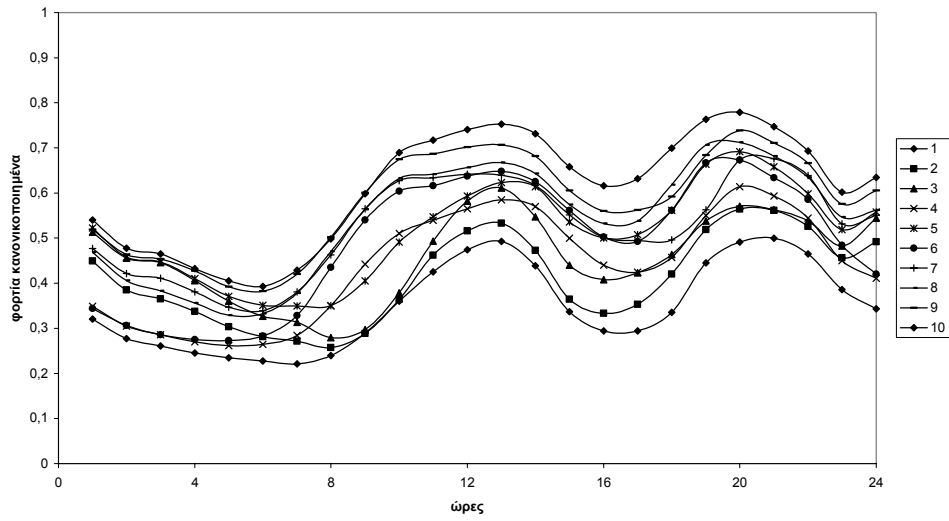
11 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1991-1992



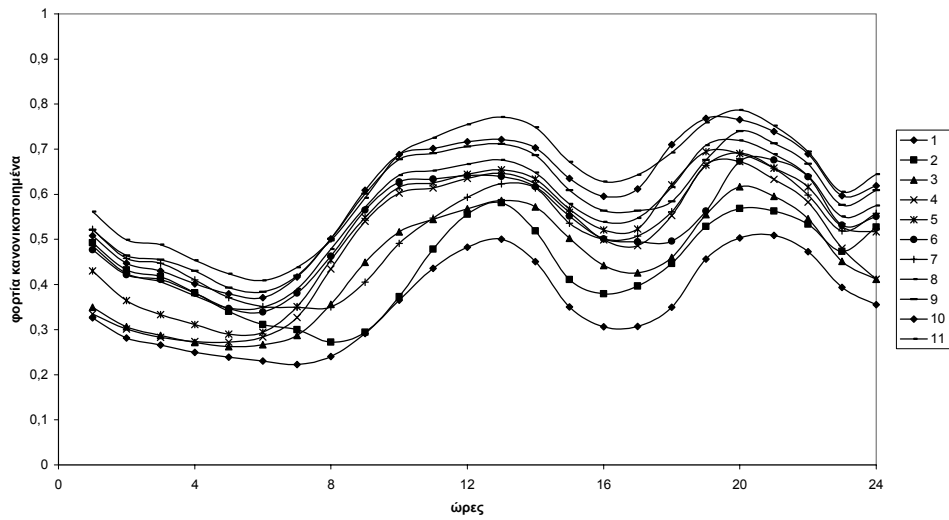
12 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1991-1992



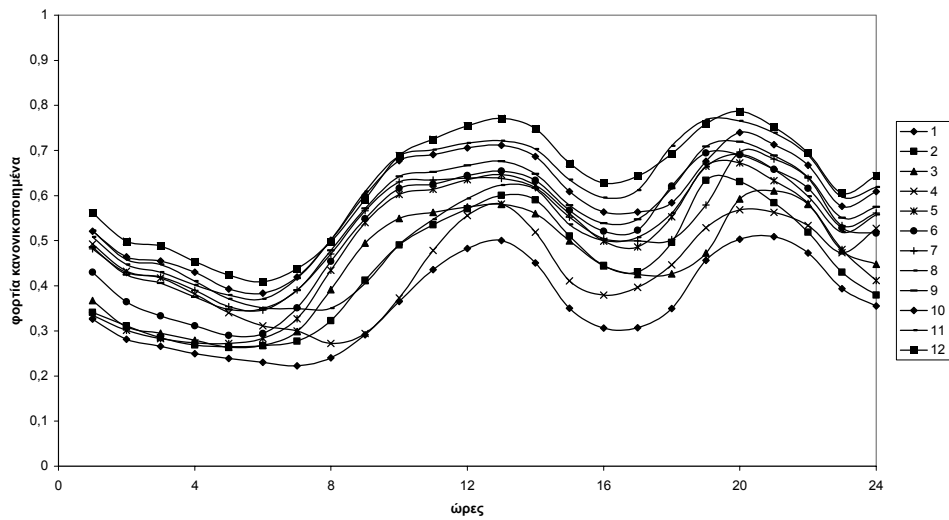
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για τα φορτία για το χειμώνα 1992-1993



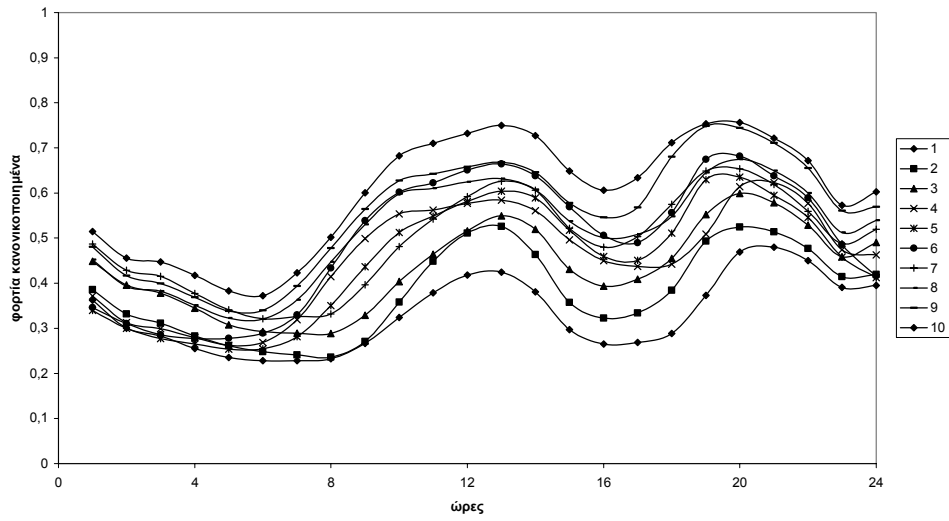
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1992-1993



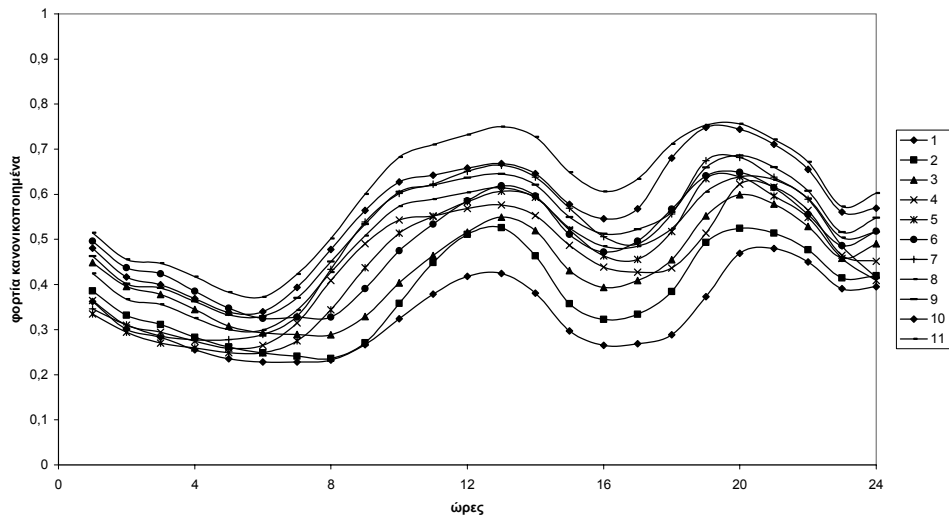
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1992-1993



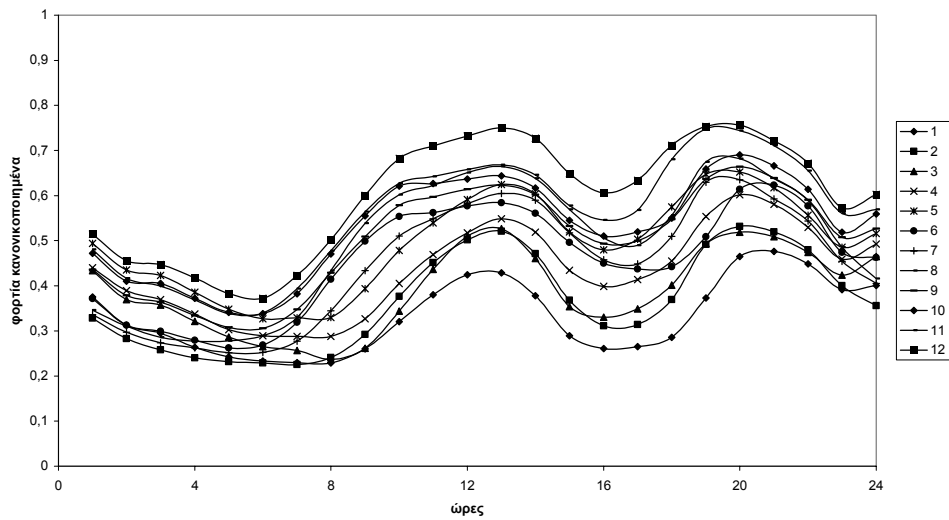
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1993-1994



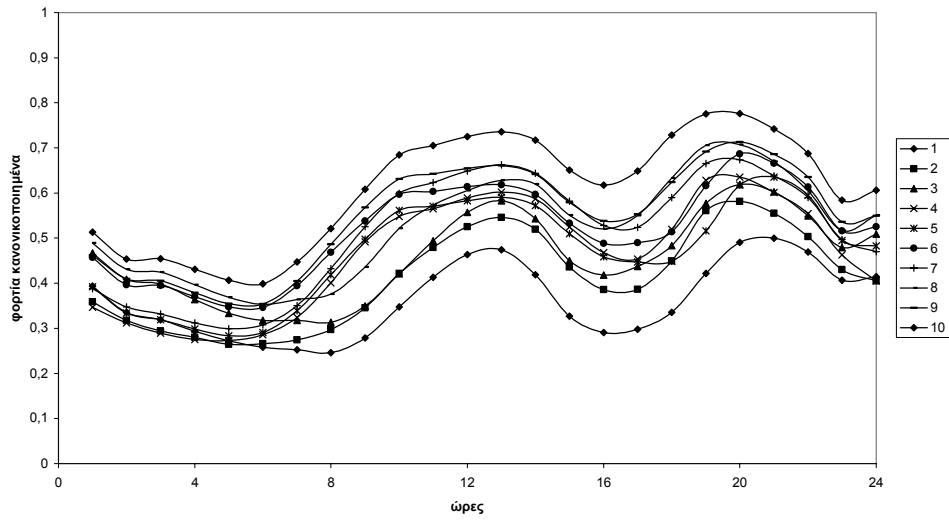
11 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1993-1994



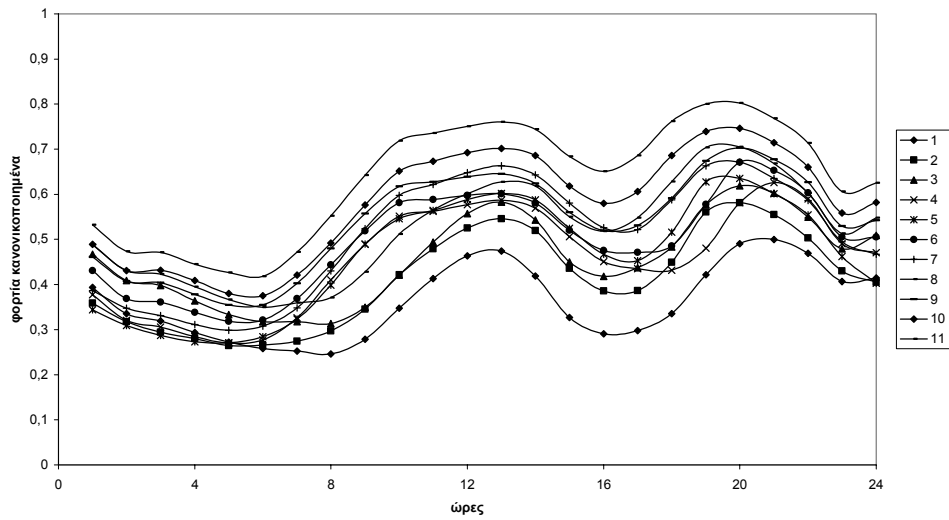
12 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1993-1994



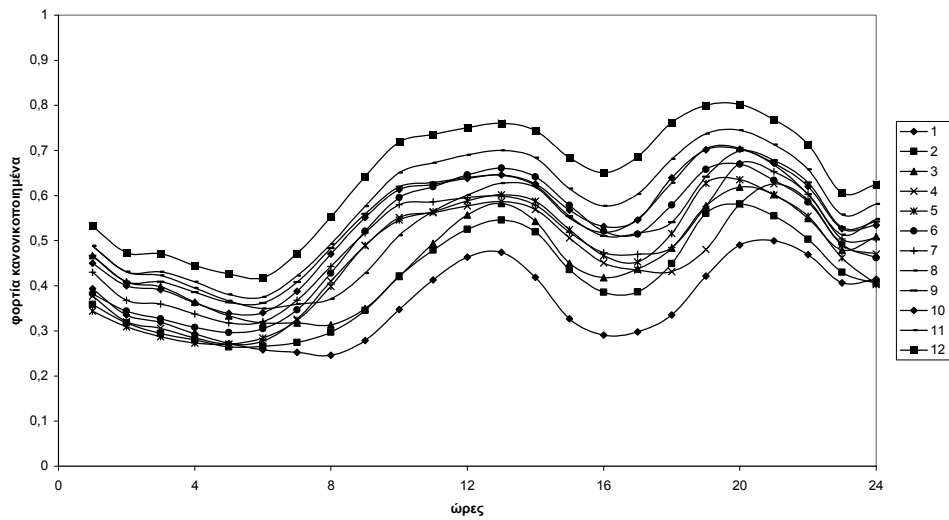
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1994-1995



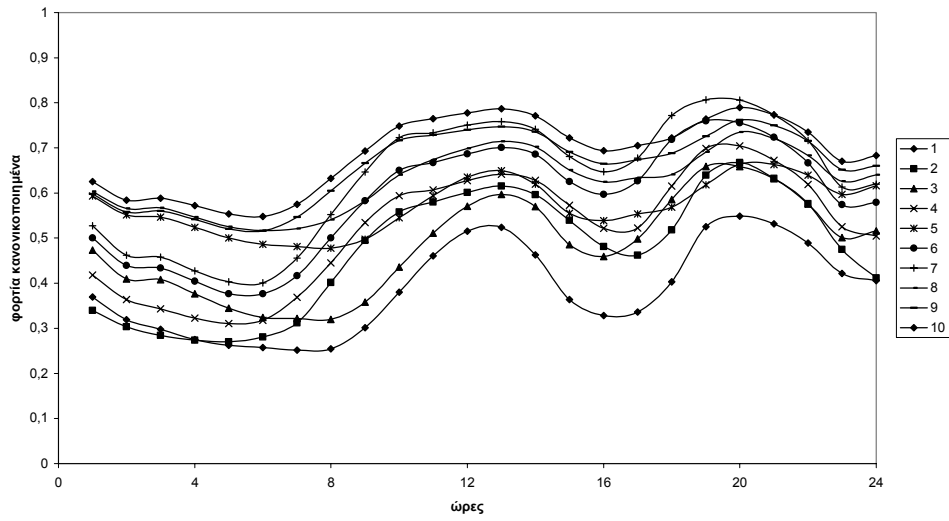
11 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1994-1995



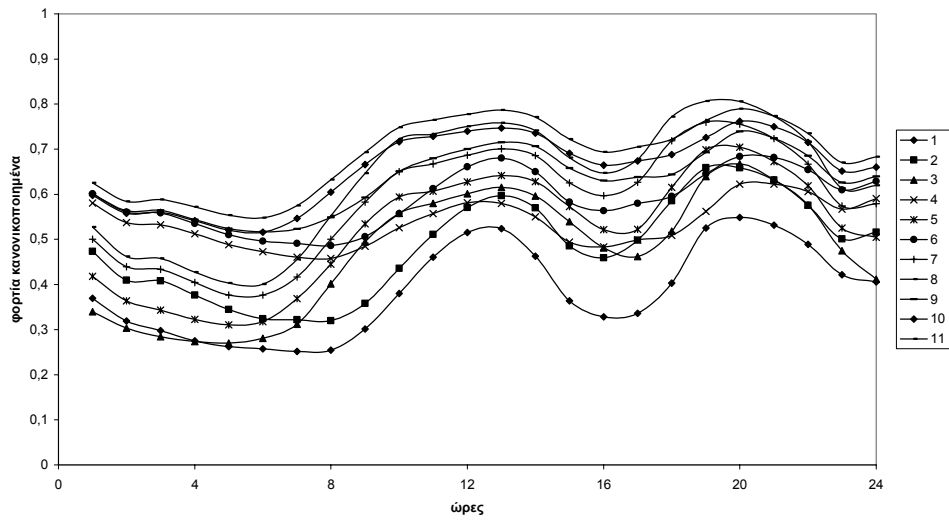
12 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1994-1995



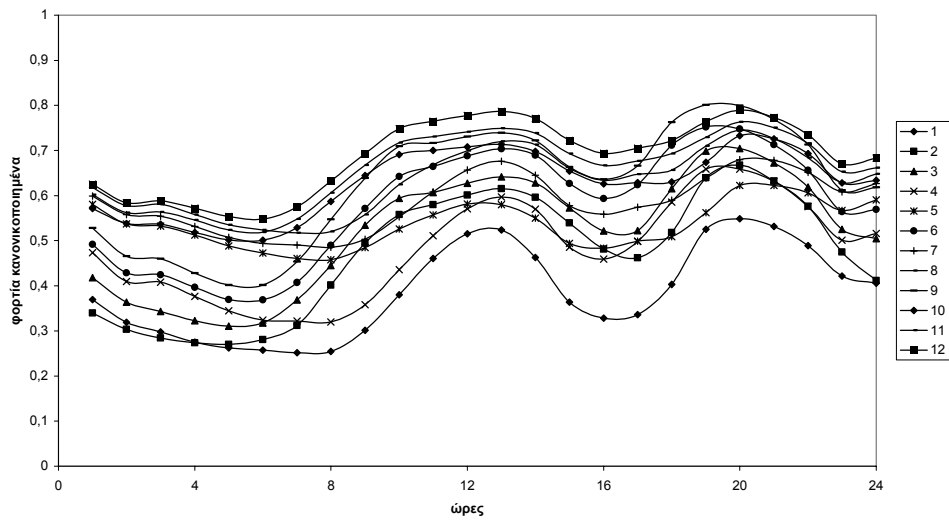
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1995-1996



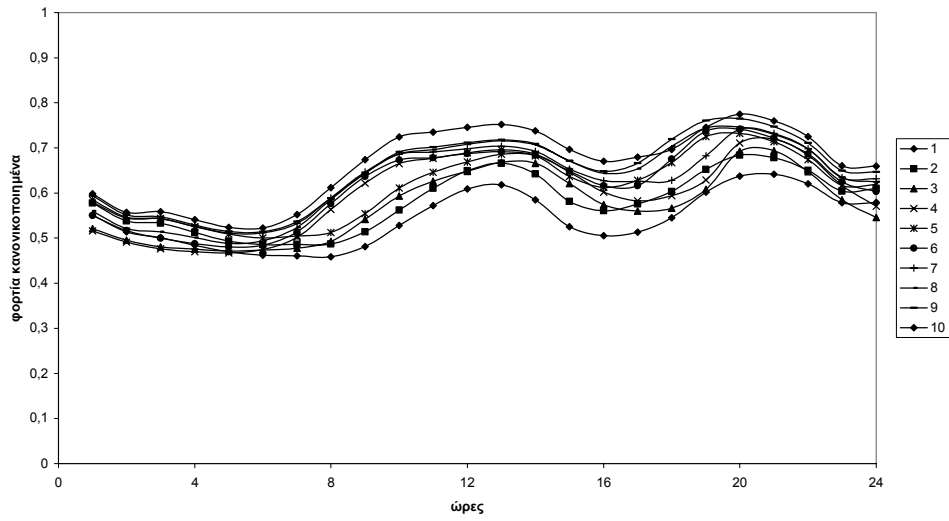
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1995-1996



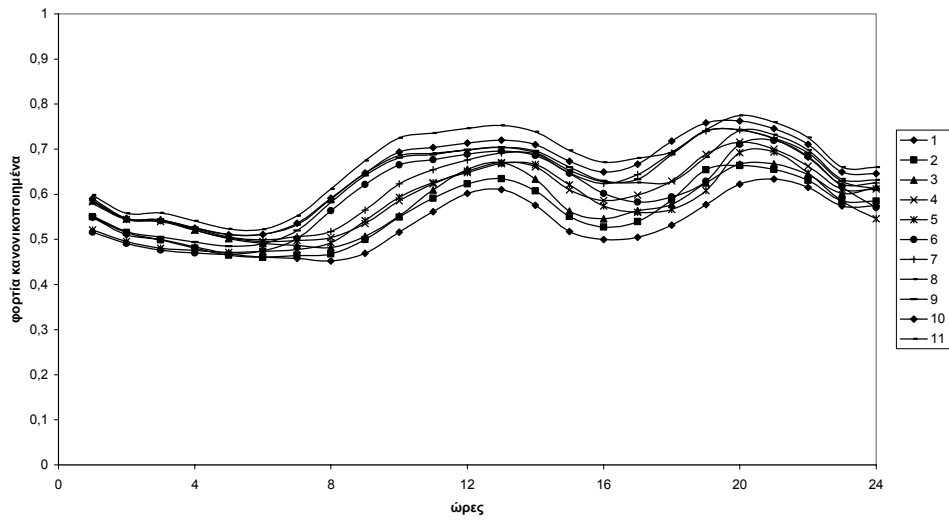
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1995-1996



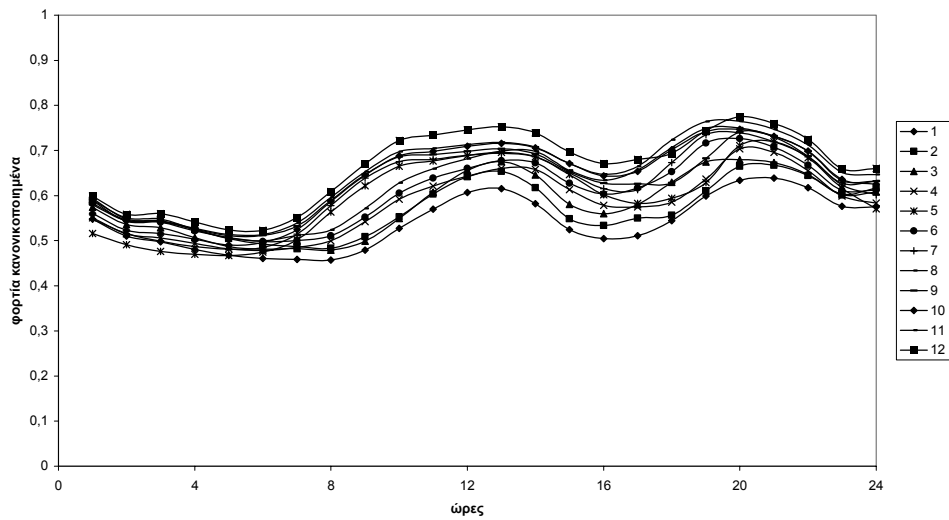
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1996-1997



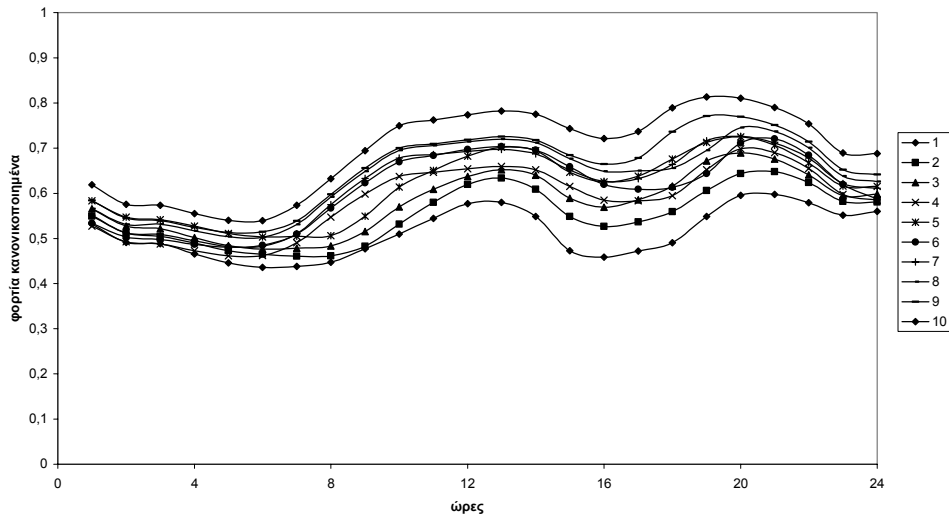
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1996-1997



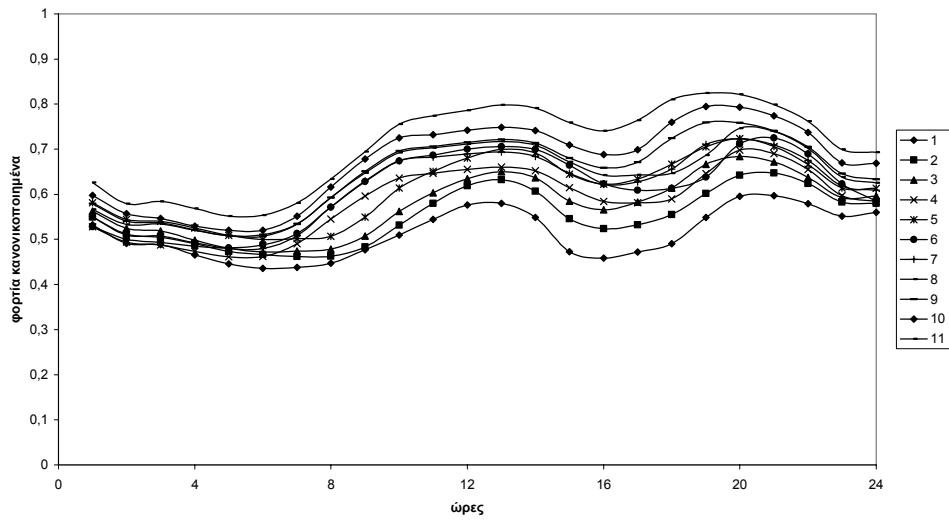
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1996-1997



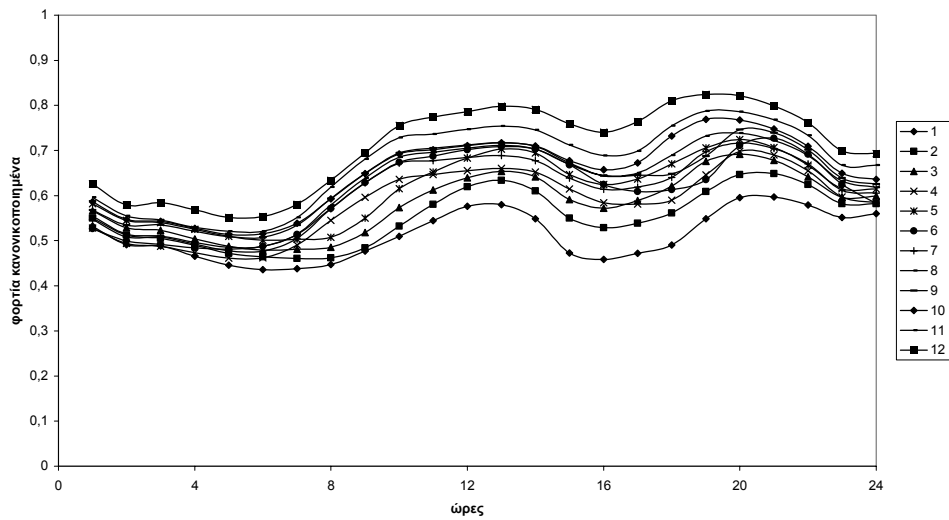
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1997-1998



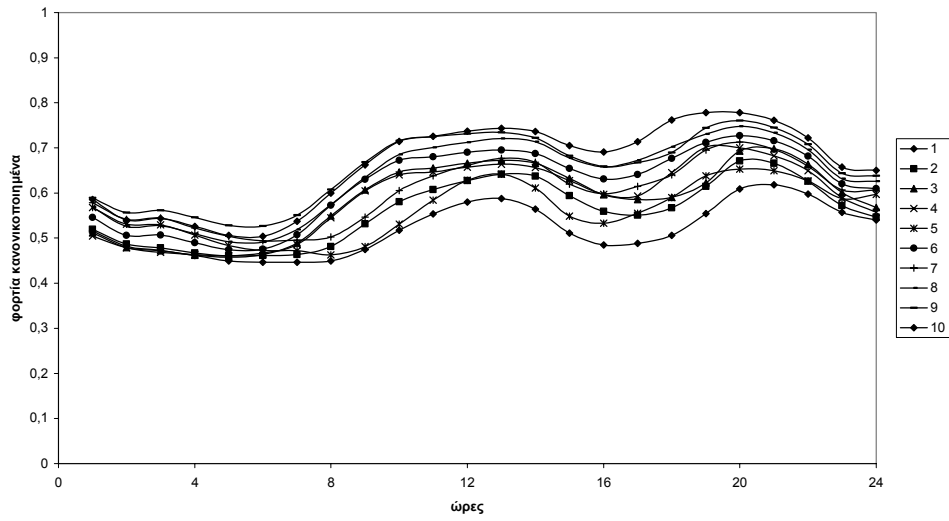
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1997-1998



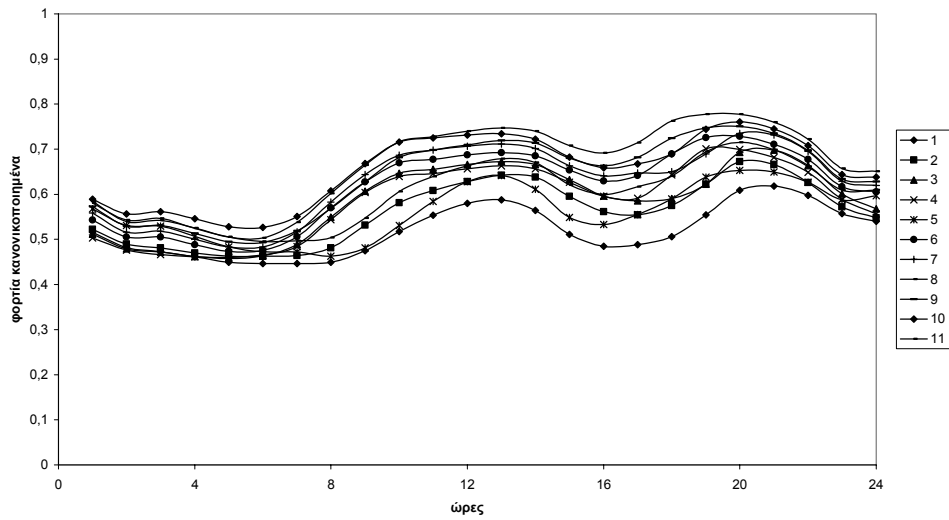
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1997-1998



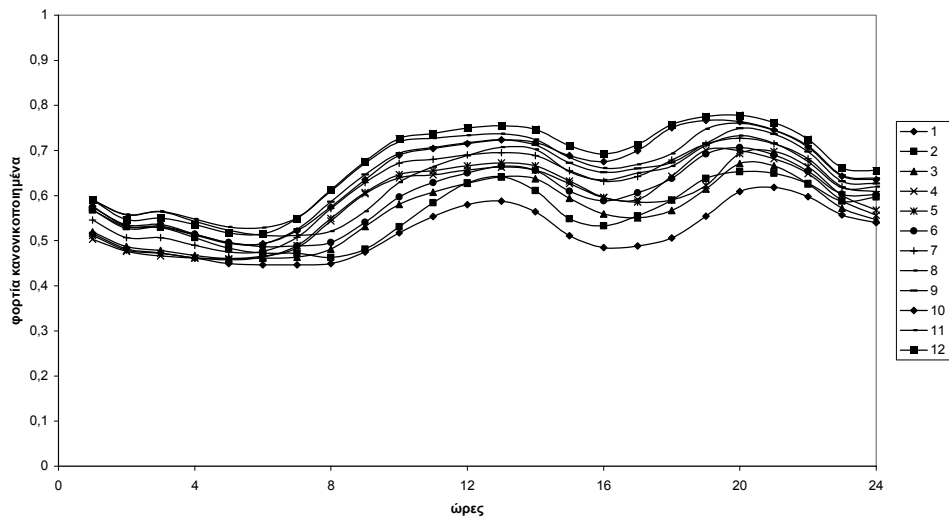
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1998-1999



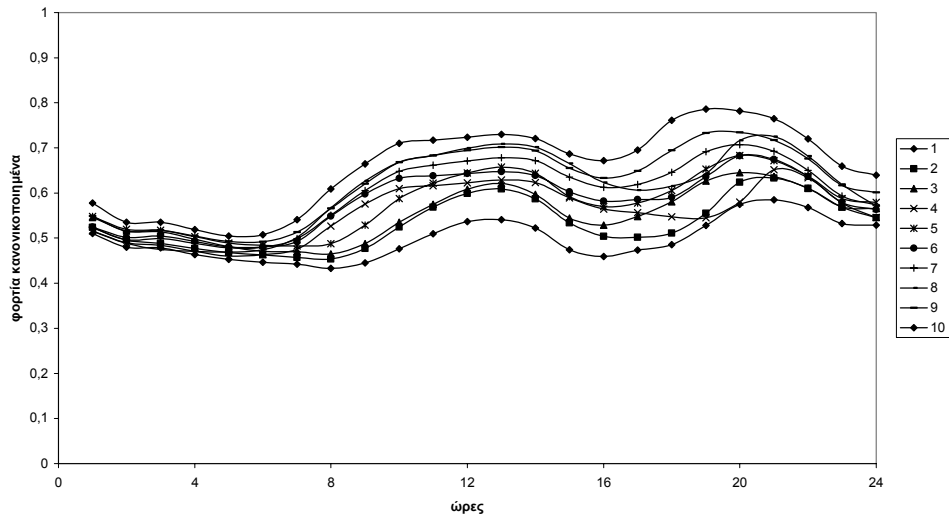
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1998-1999



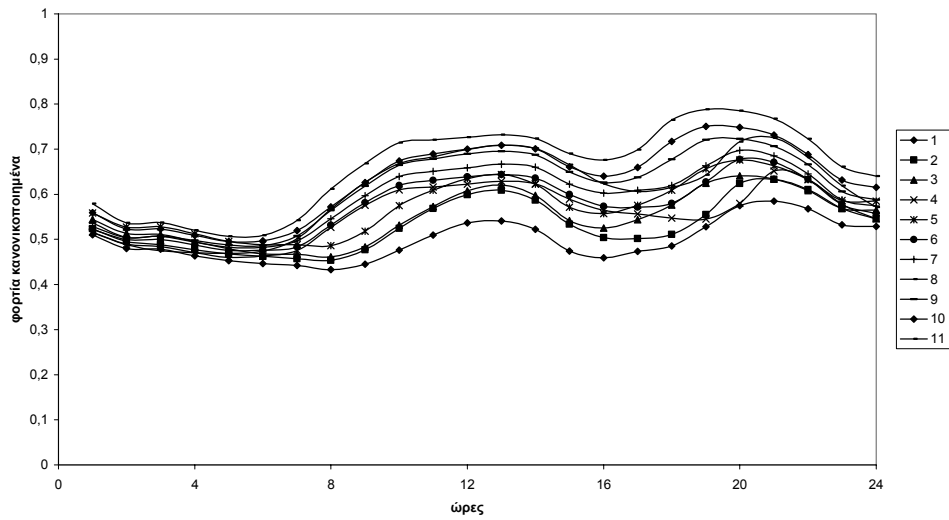
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1998-1999



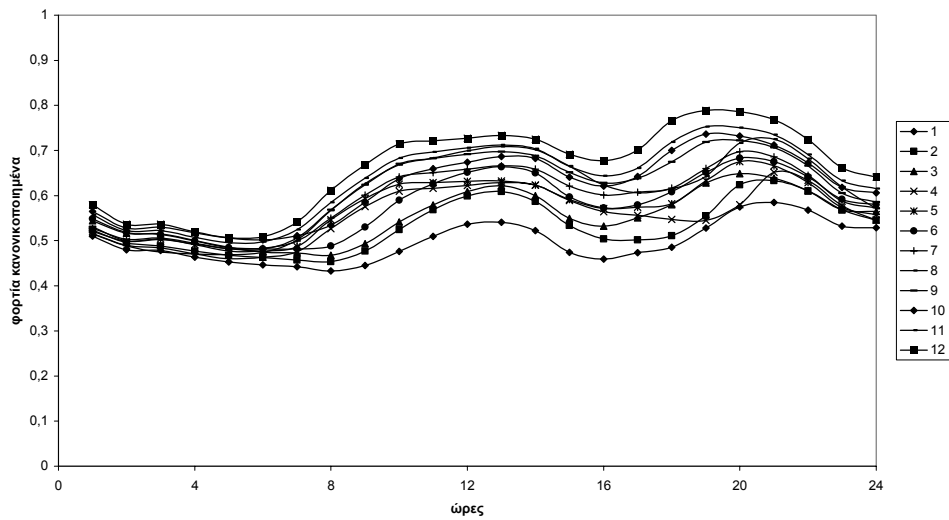
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1999-2000



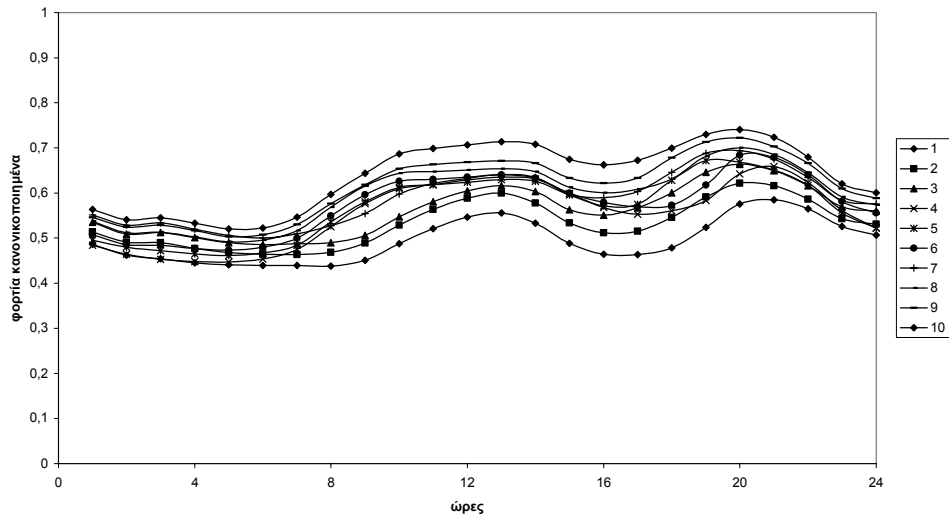
11 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1999-2000



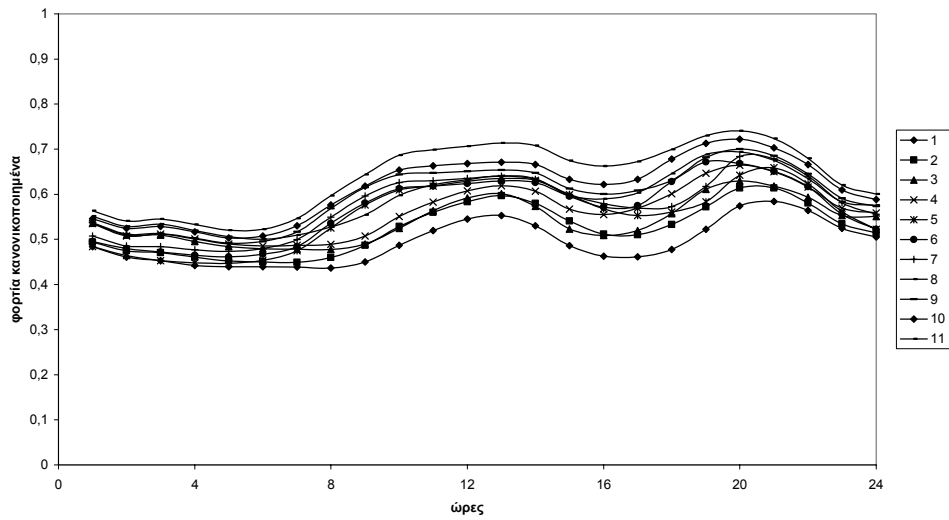
12 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 1999-2000



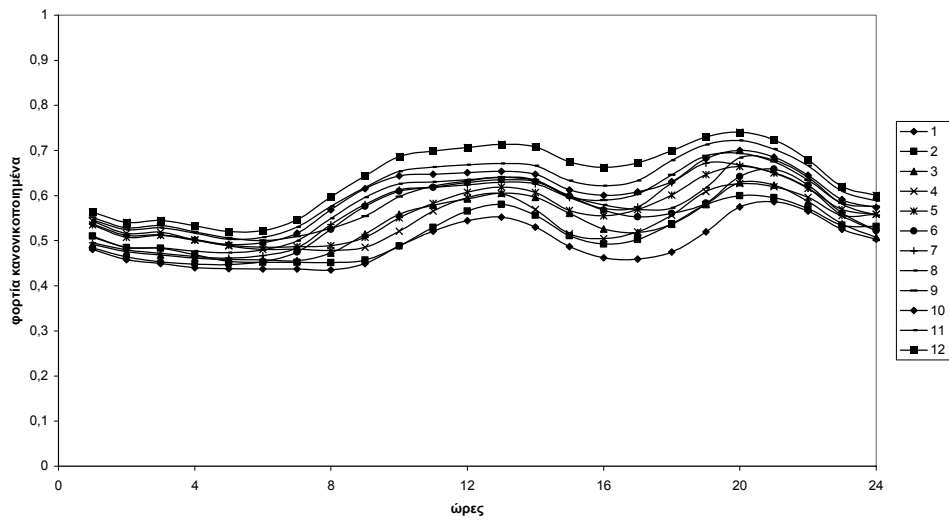
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 2000-2001



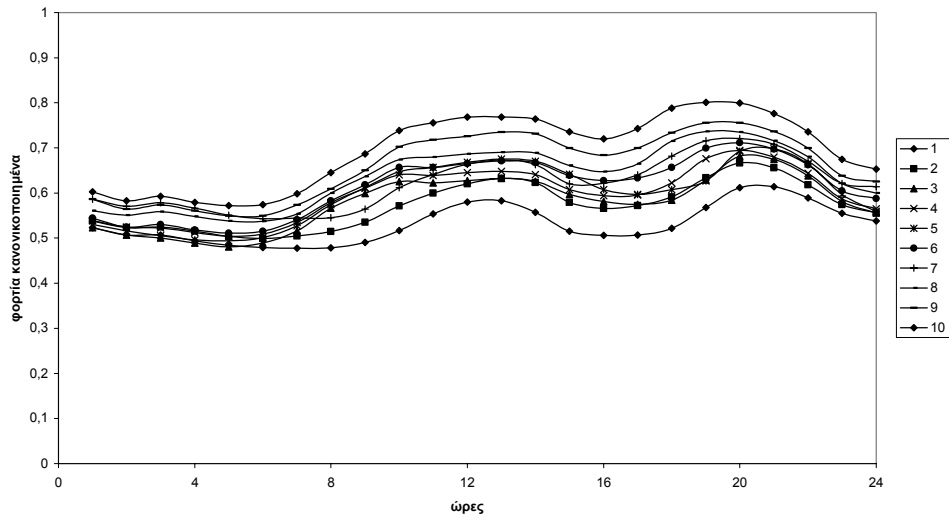
11 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 2000-2001



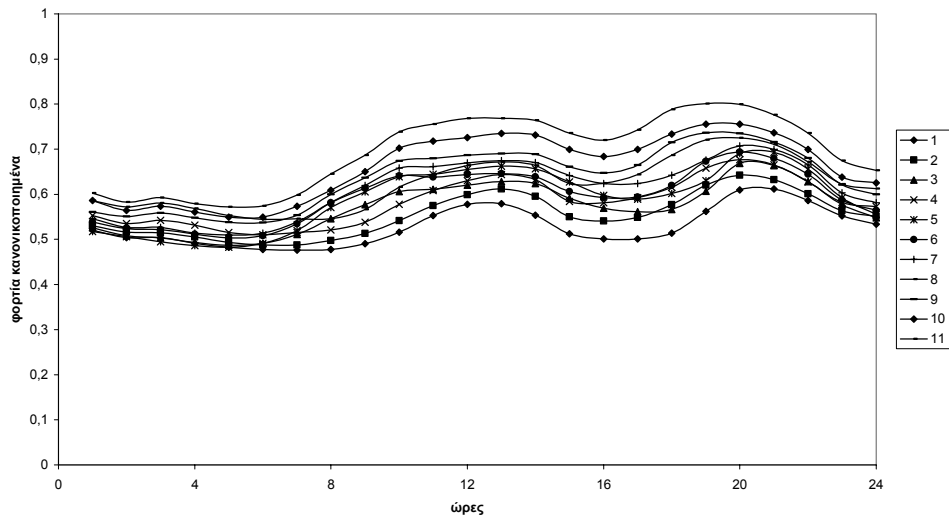
12 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 2000-2001



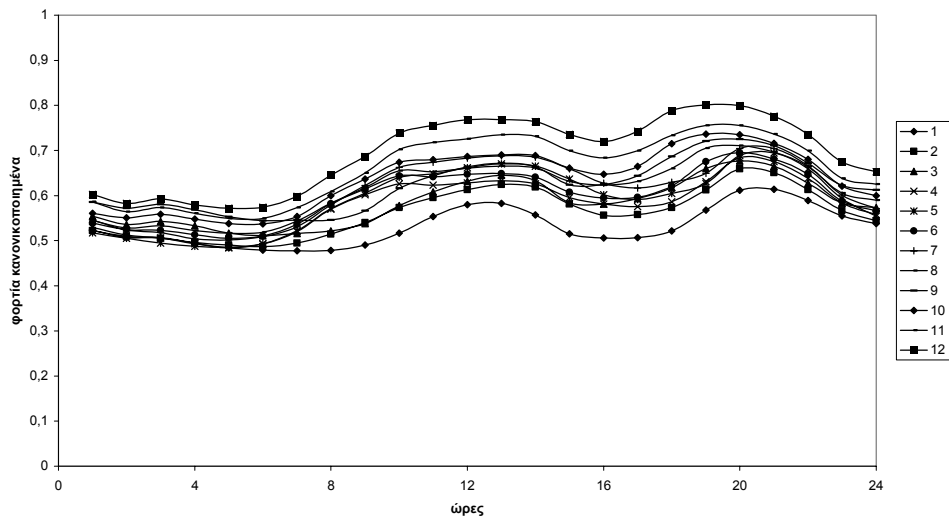
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 2001-2002



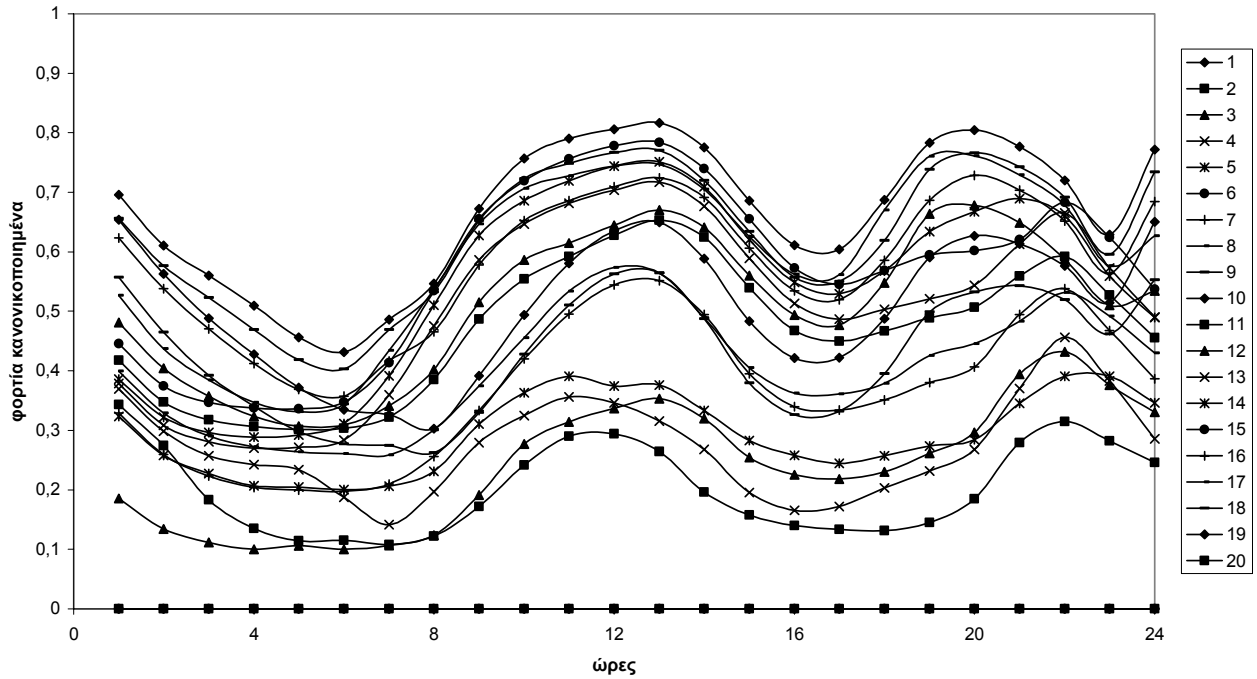
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 2001-2002



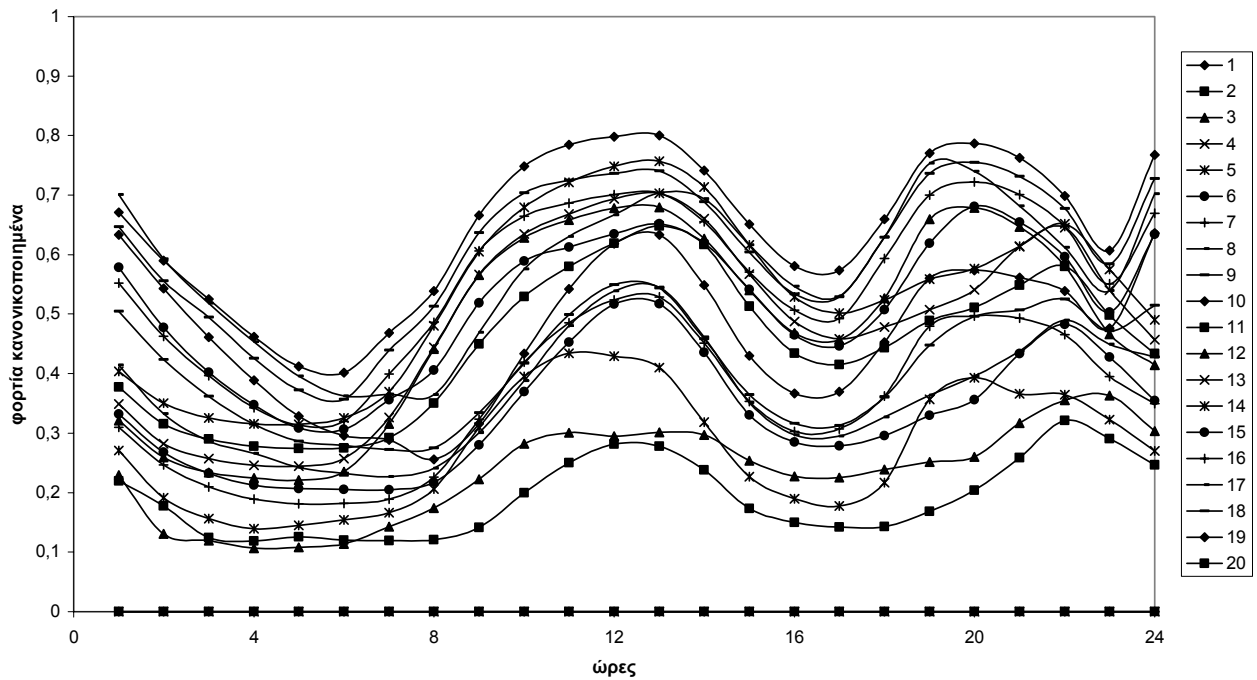
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 01 για φορτία για το χειμώνα 2001-2002



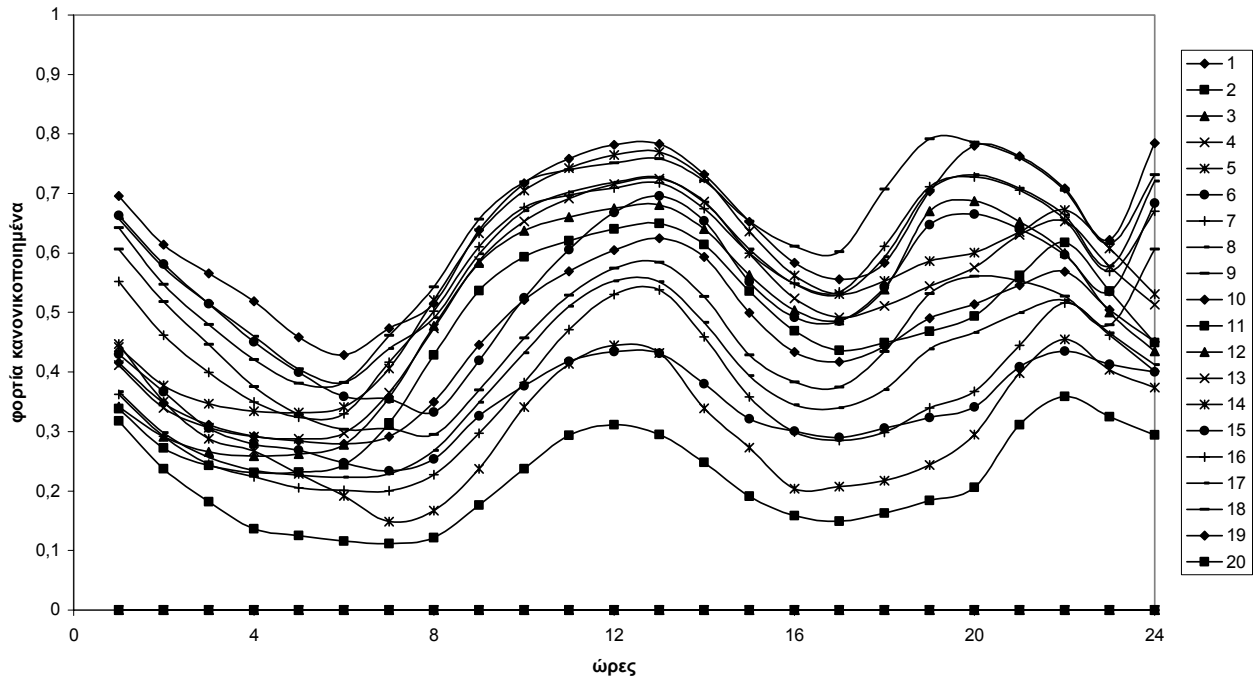
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 1985



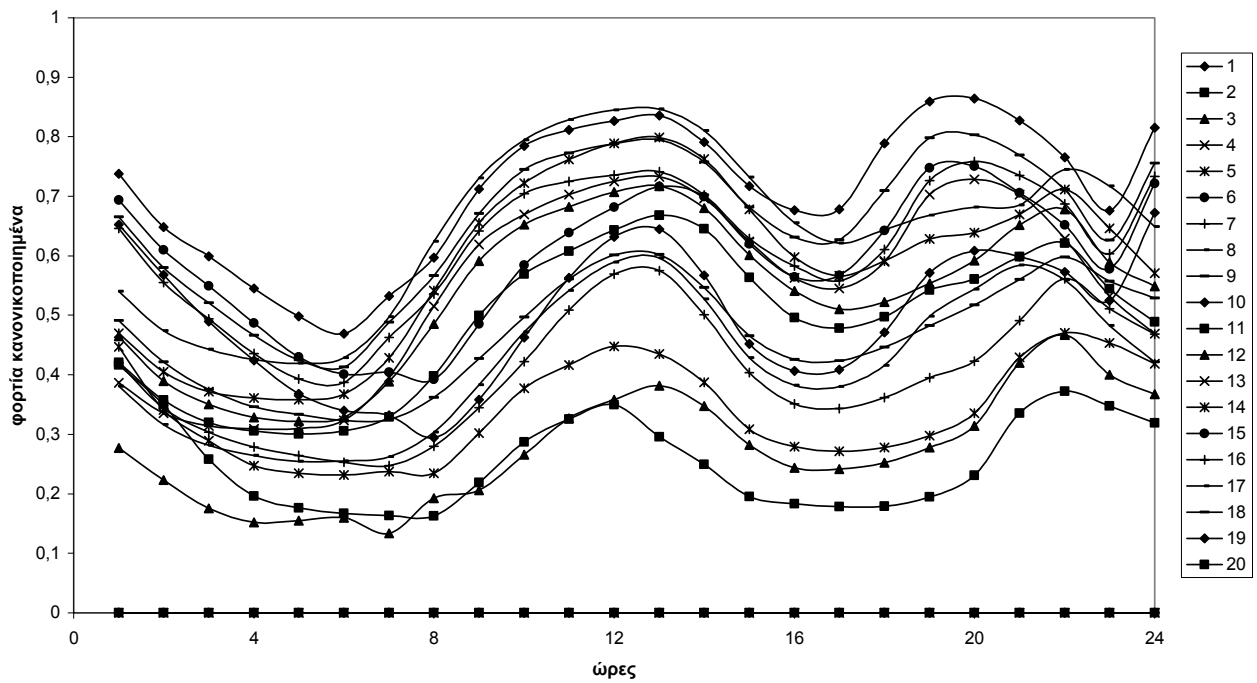
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 1986



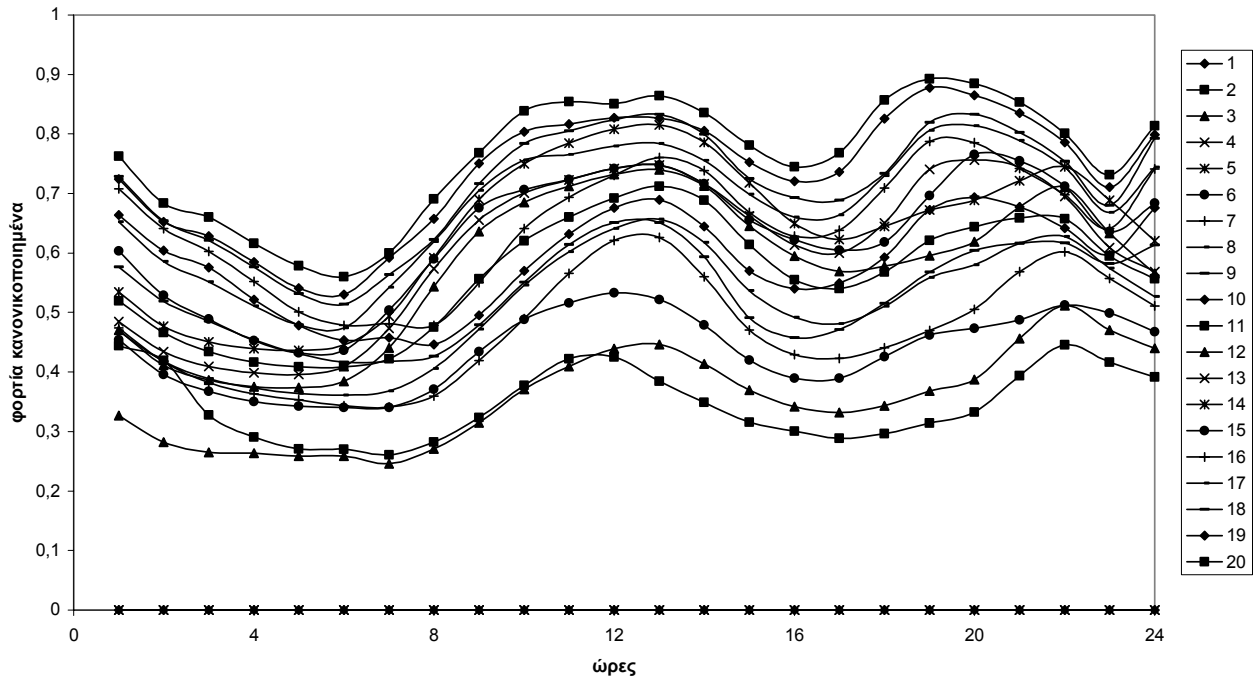
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 1987



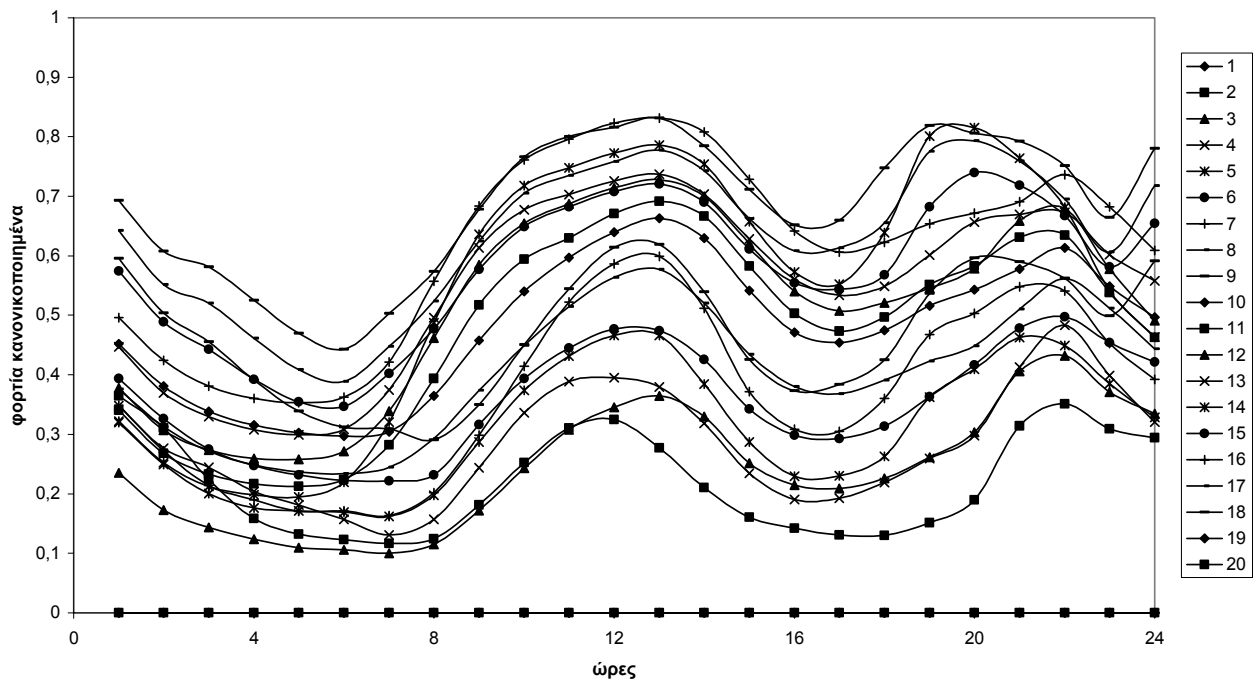
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 1988



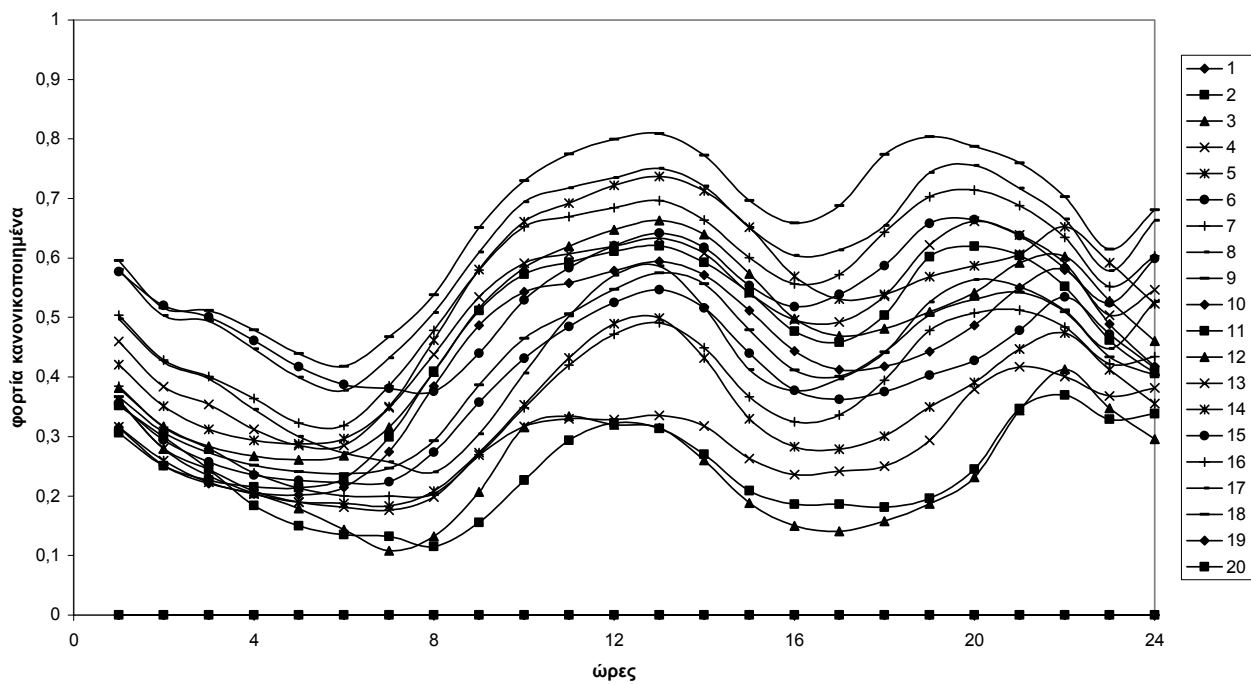
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 1989



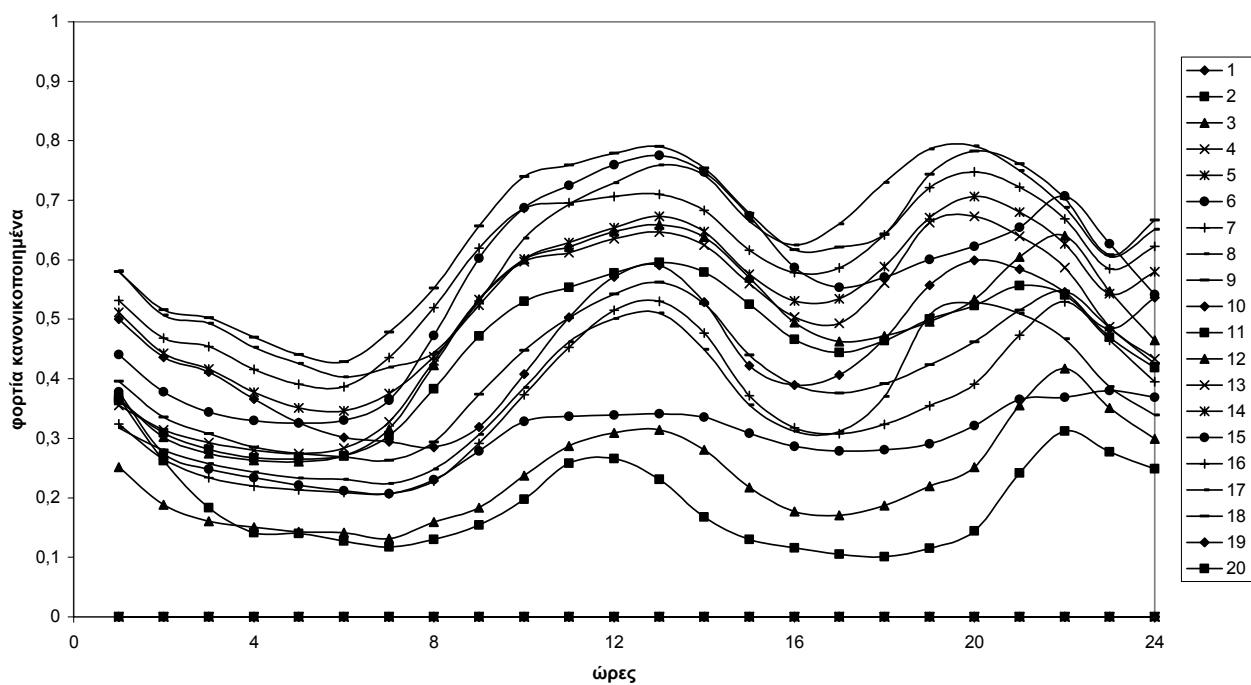
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 1990



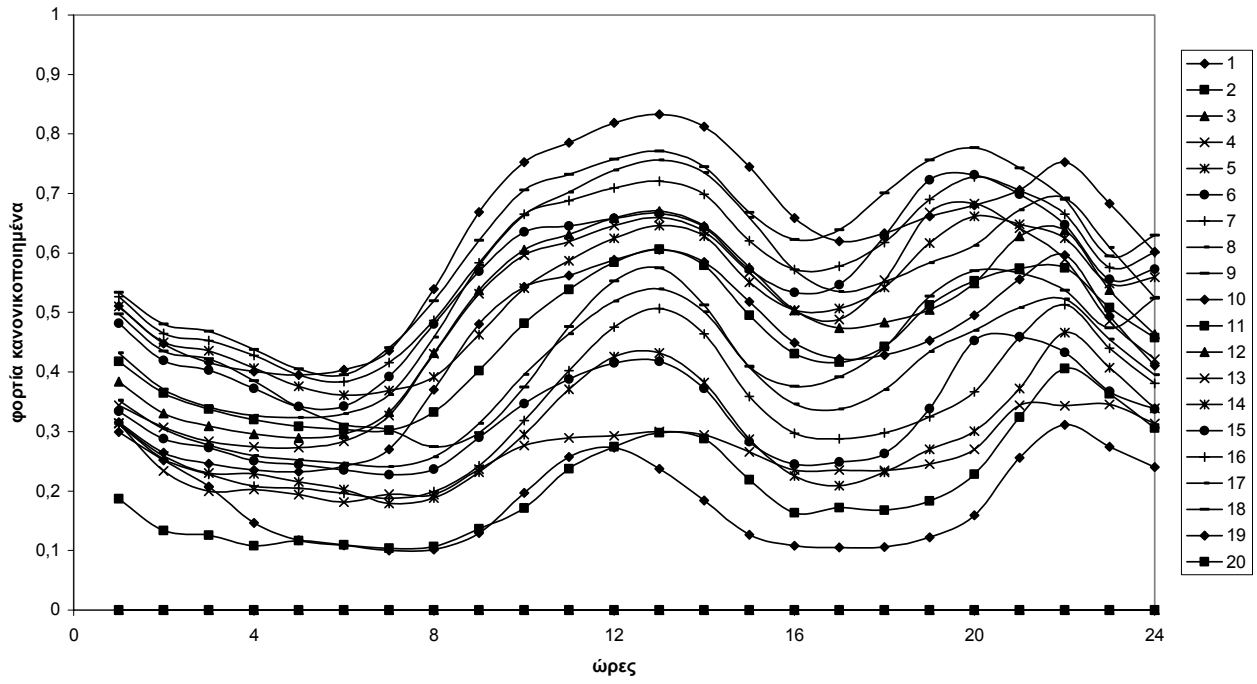
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 1991



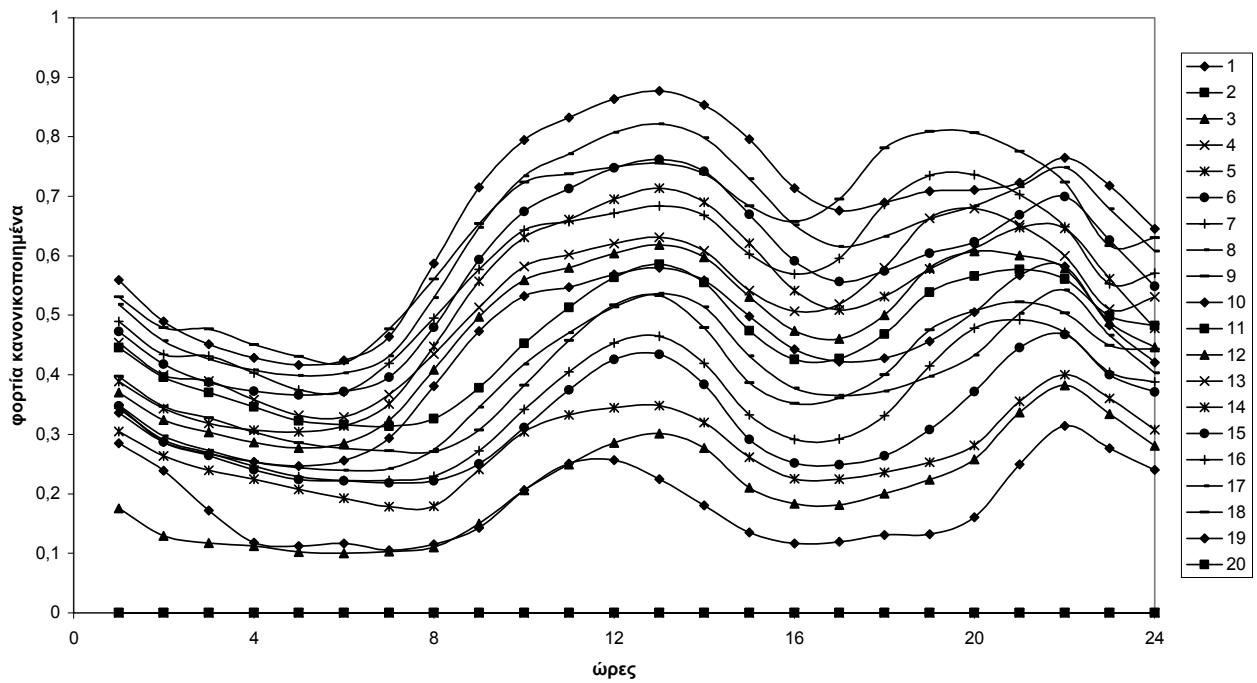
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 1992



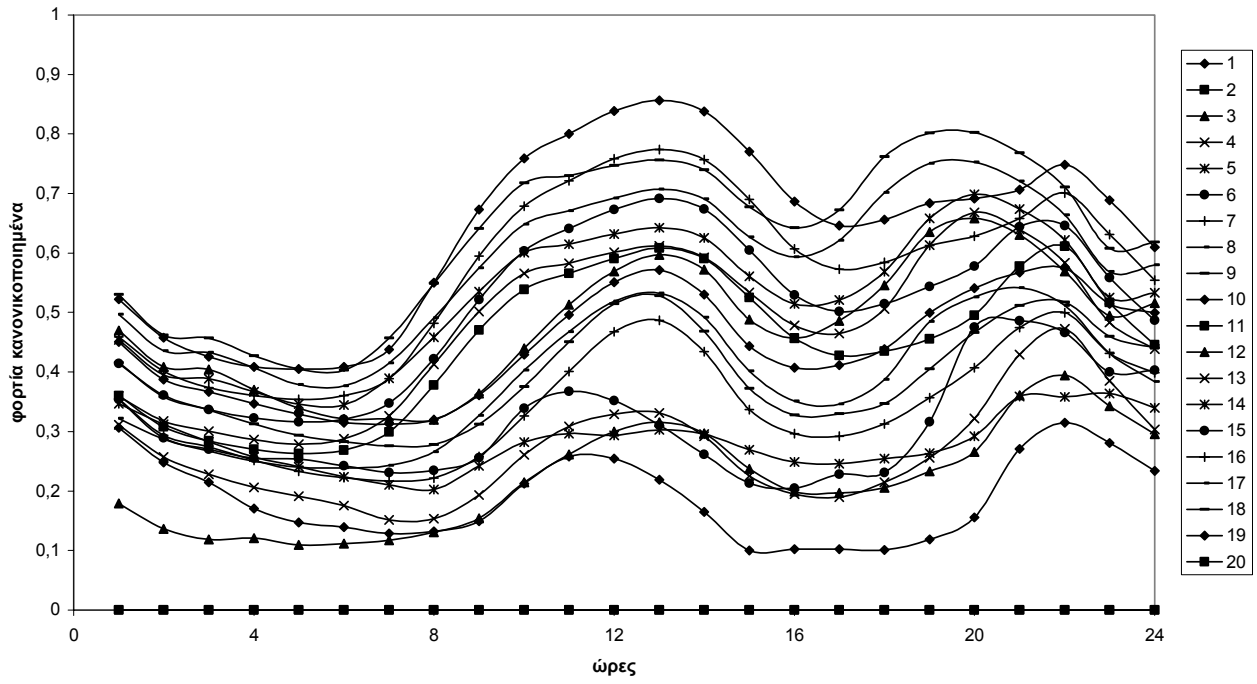
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 1993



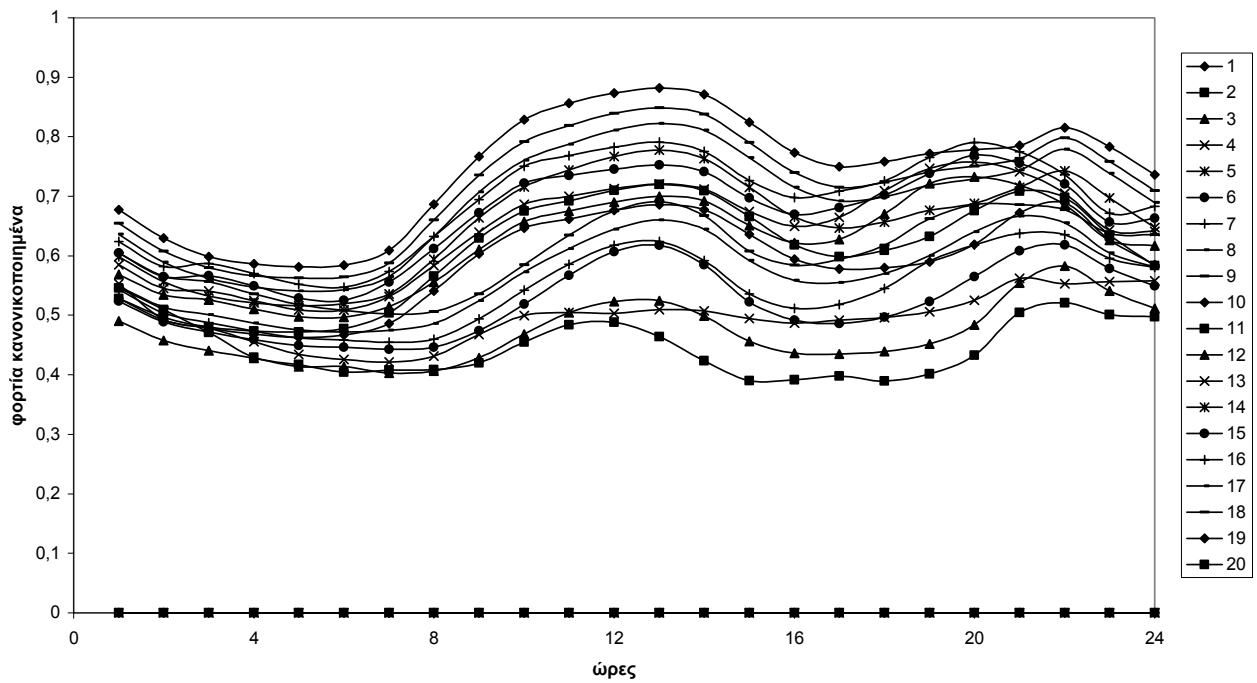
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 1994



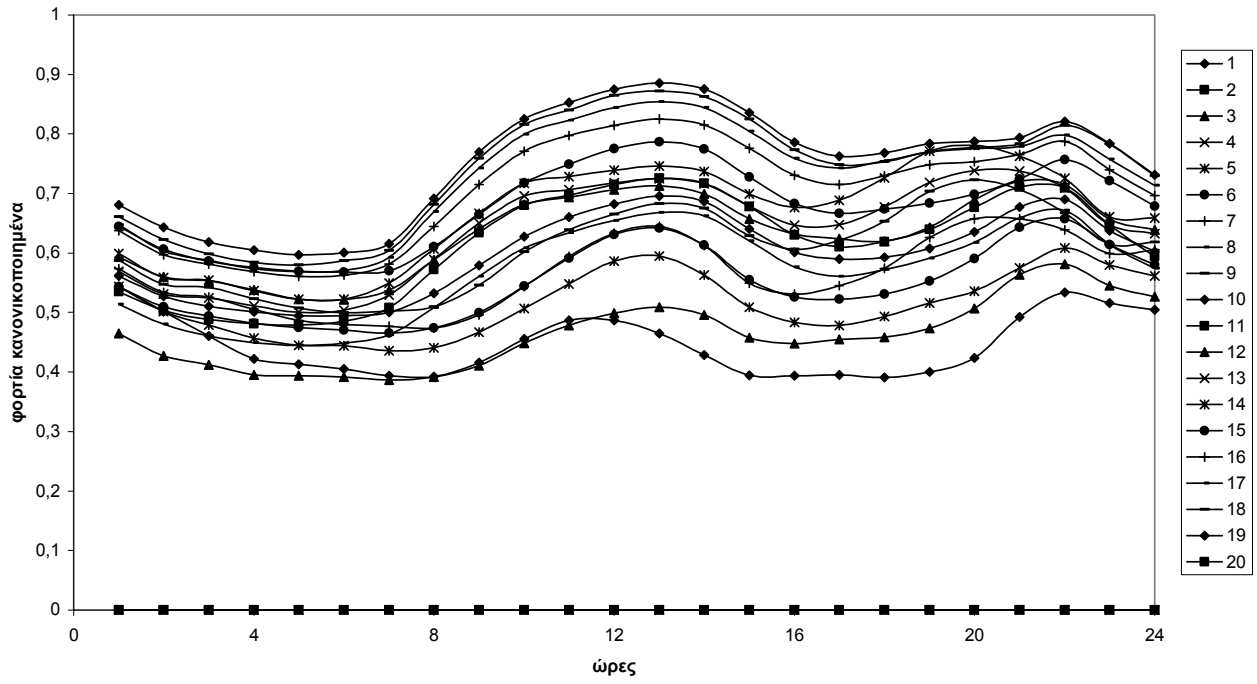
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 1995



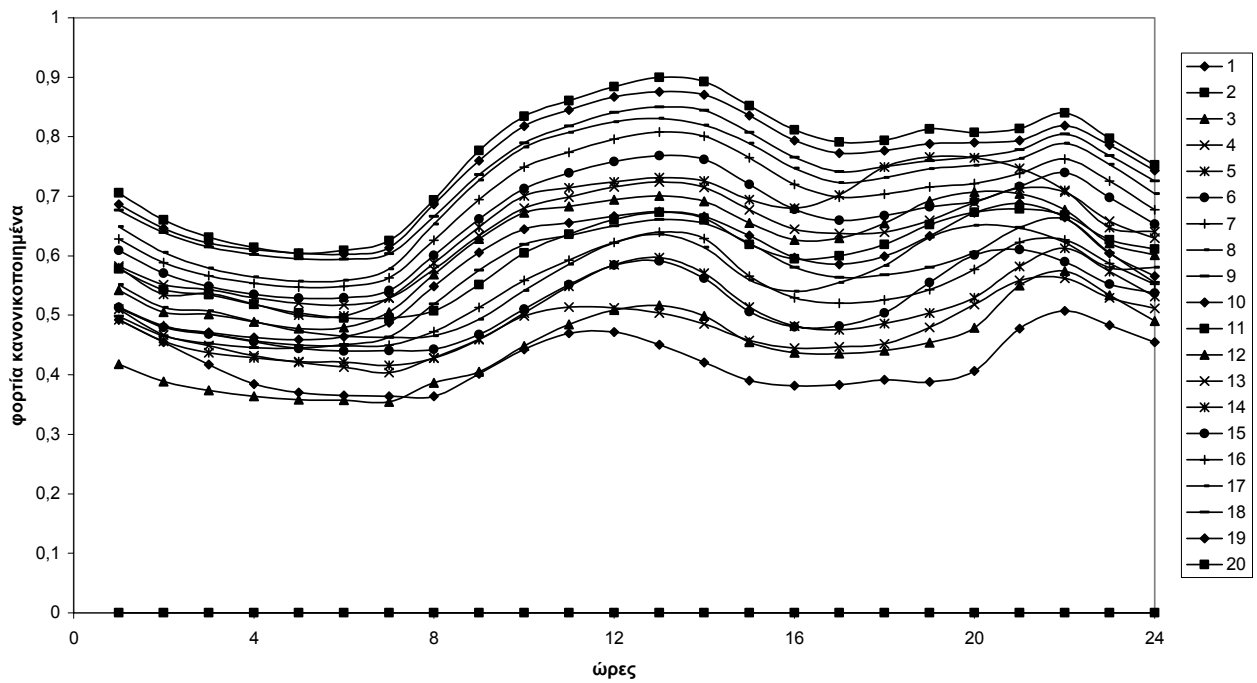
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 1996



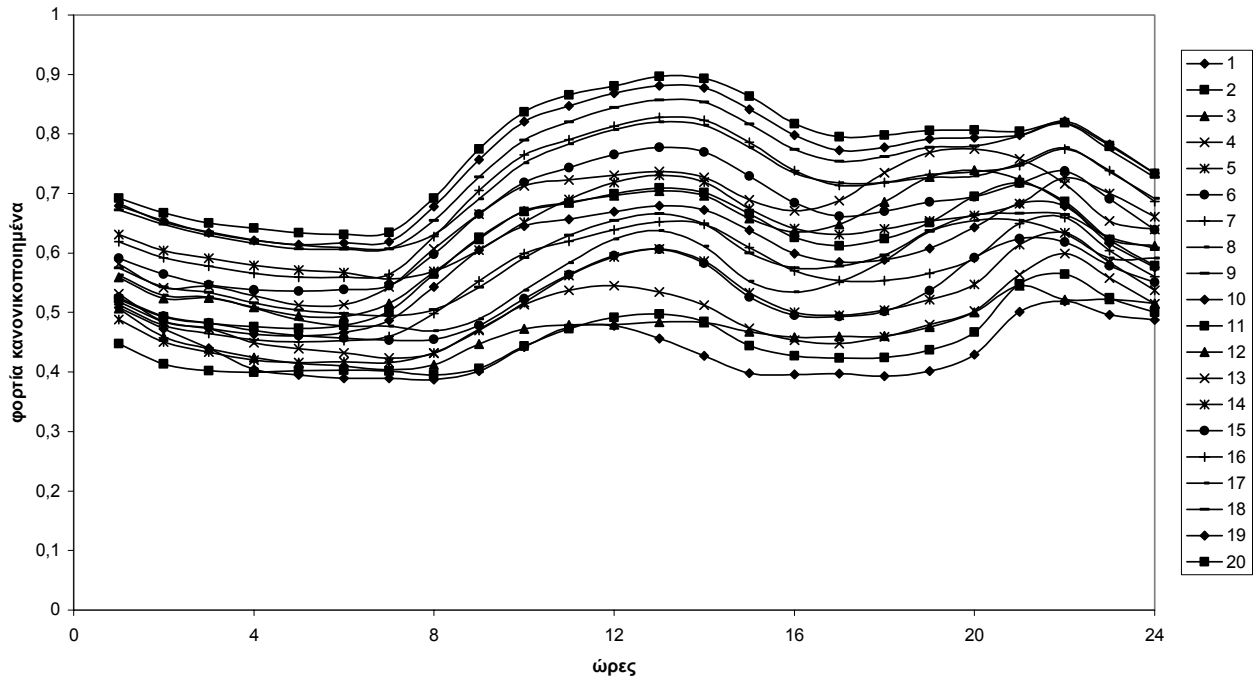
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 1997



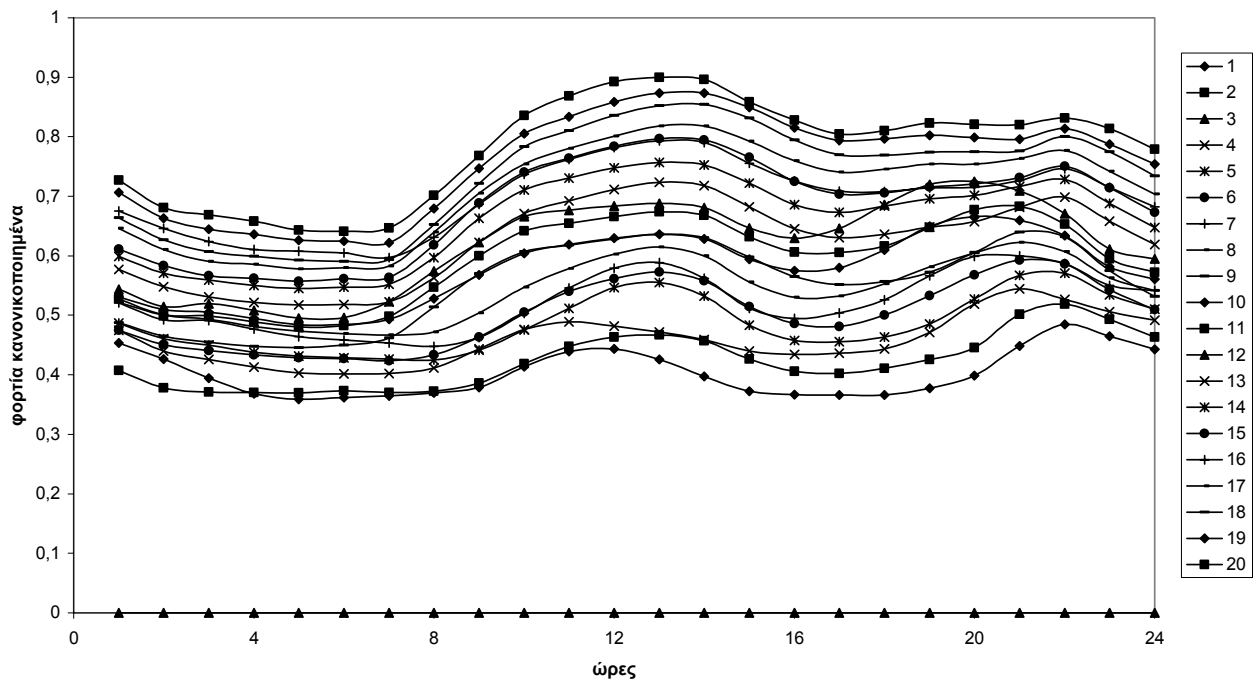
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 1998



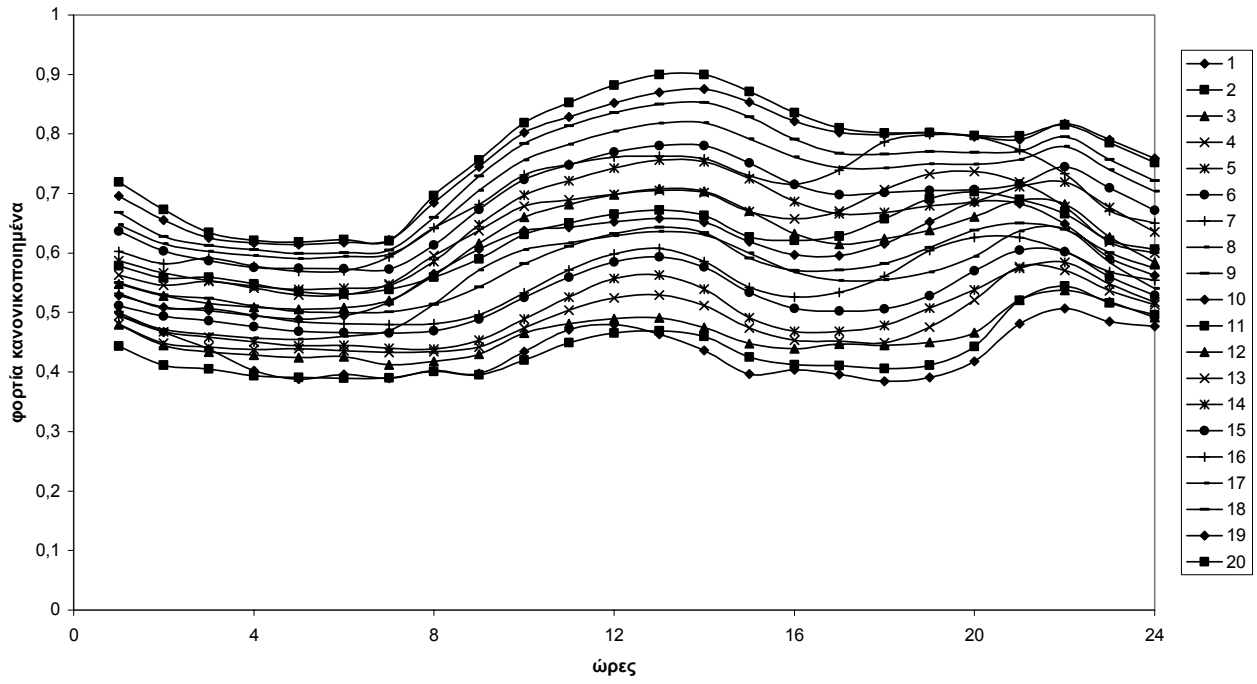
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 1999



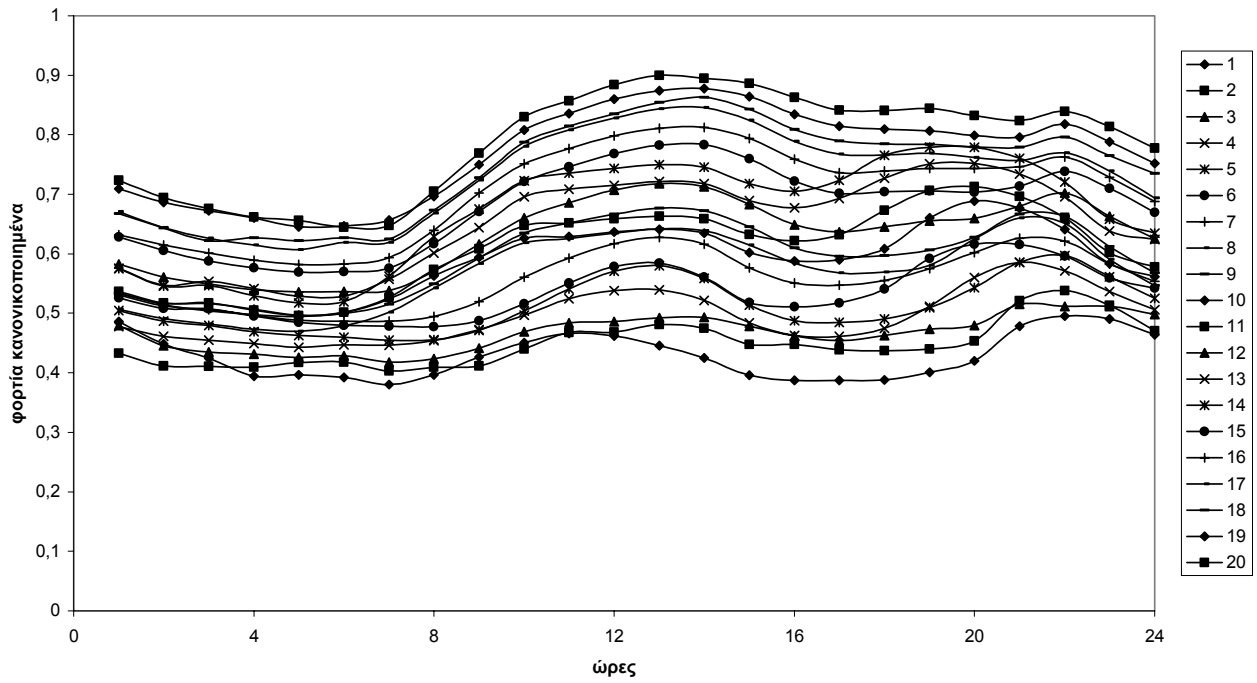
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 2000



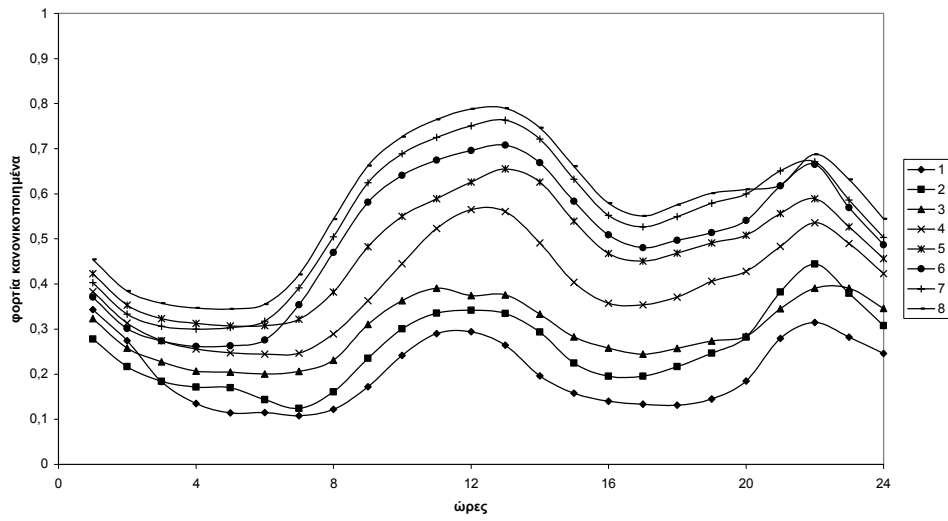
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 2001



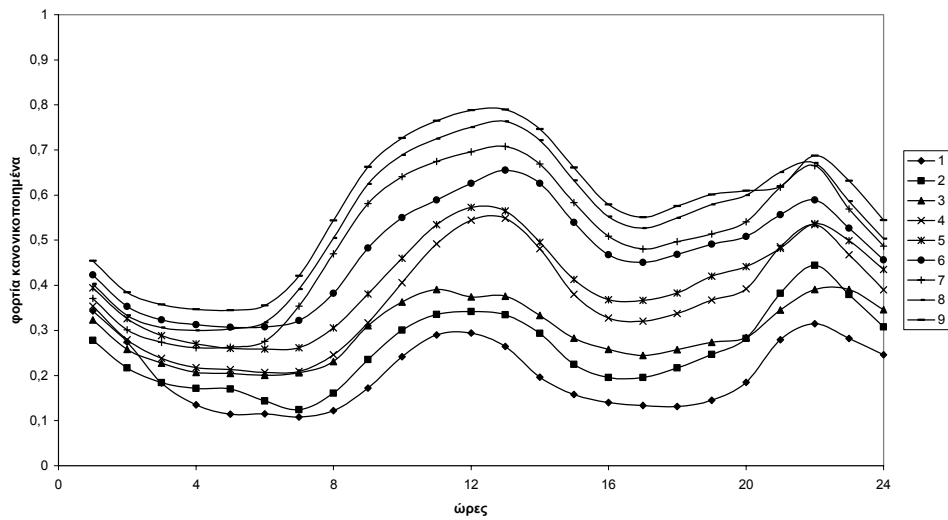
20 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το έτος 2002



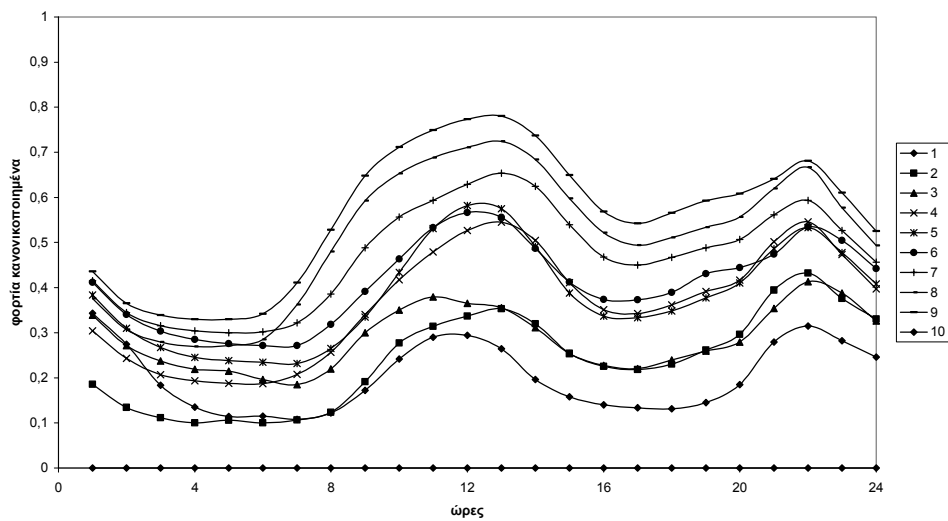
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1985



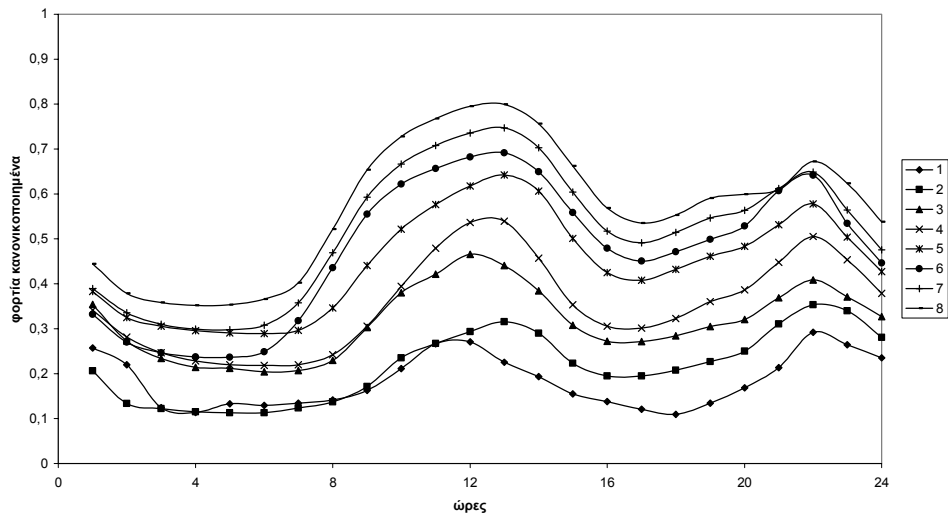
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1985



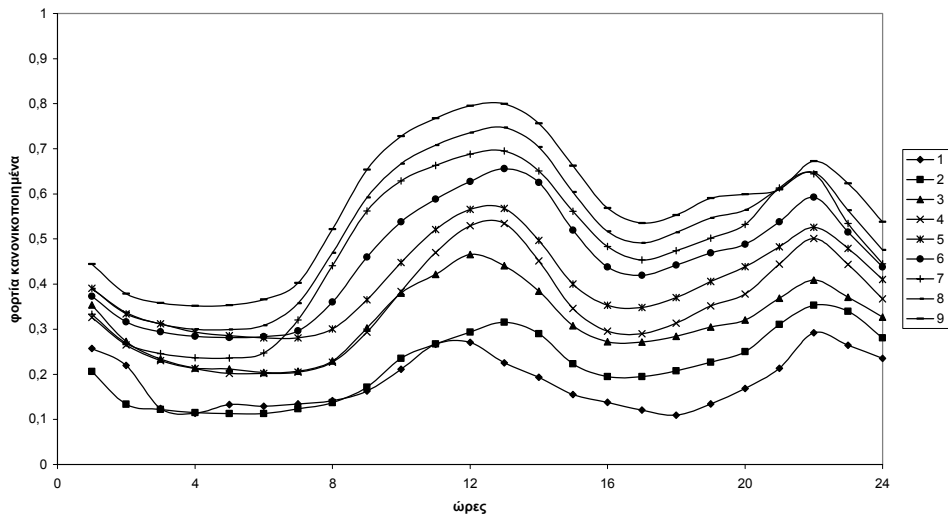
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1985



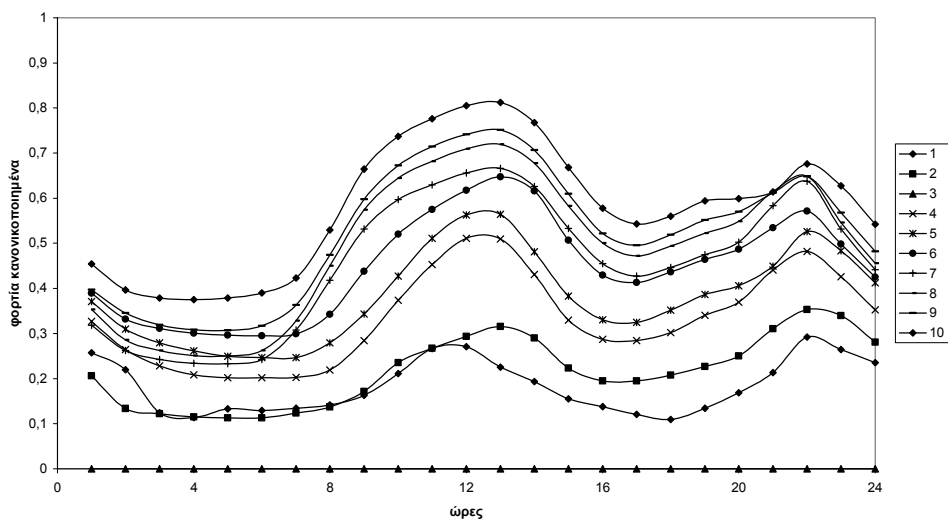
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1986



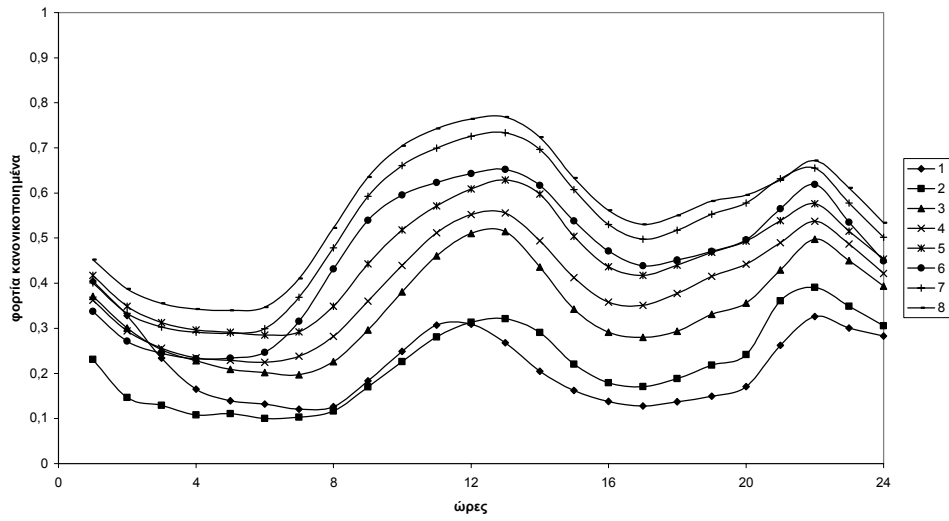
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1986



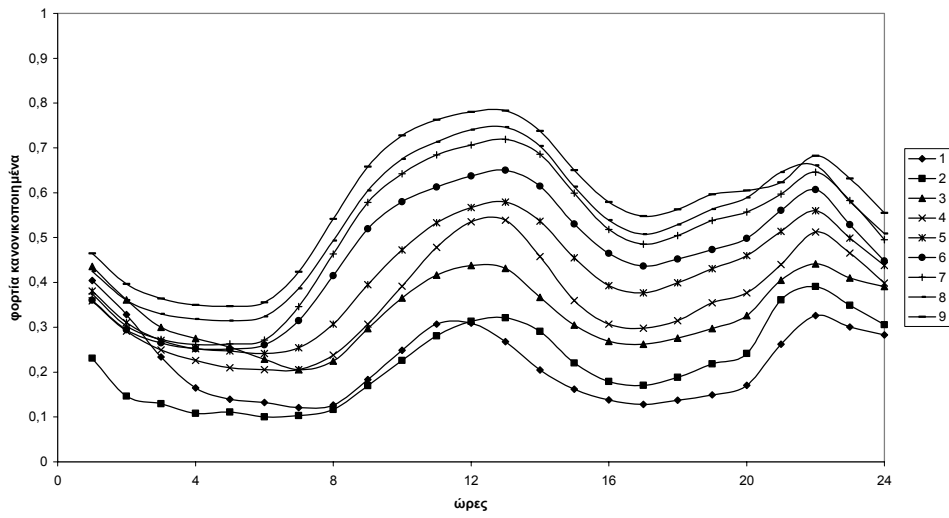
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1986



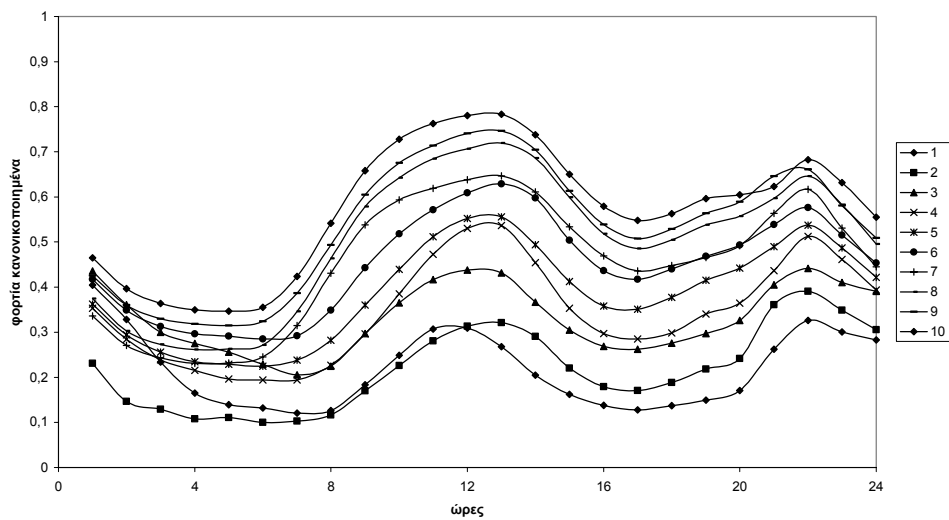
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1987



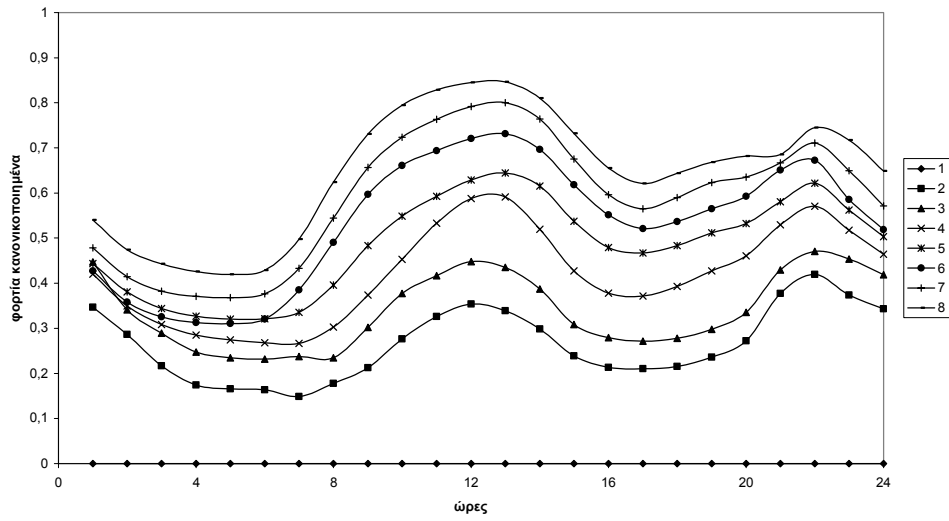
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1987



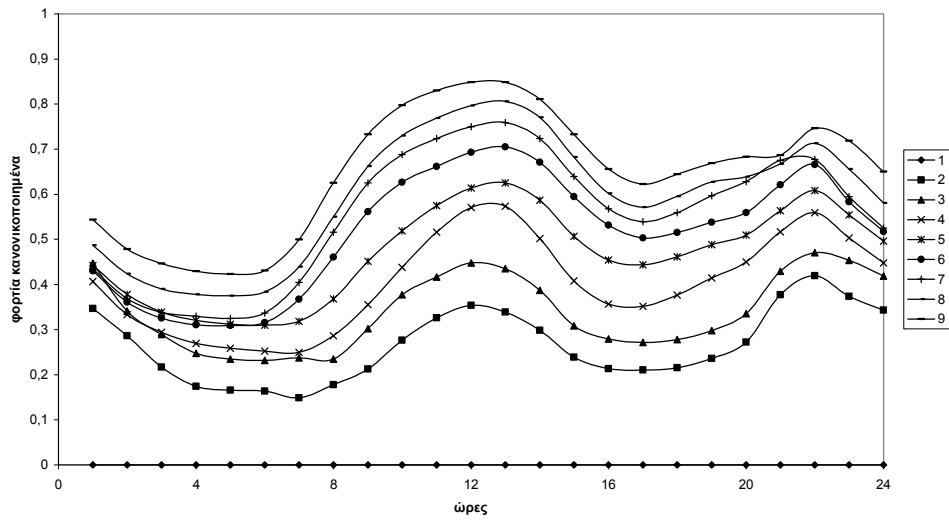
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1987



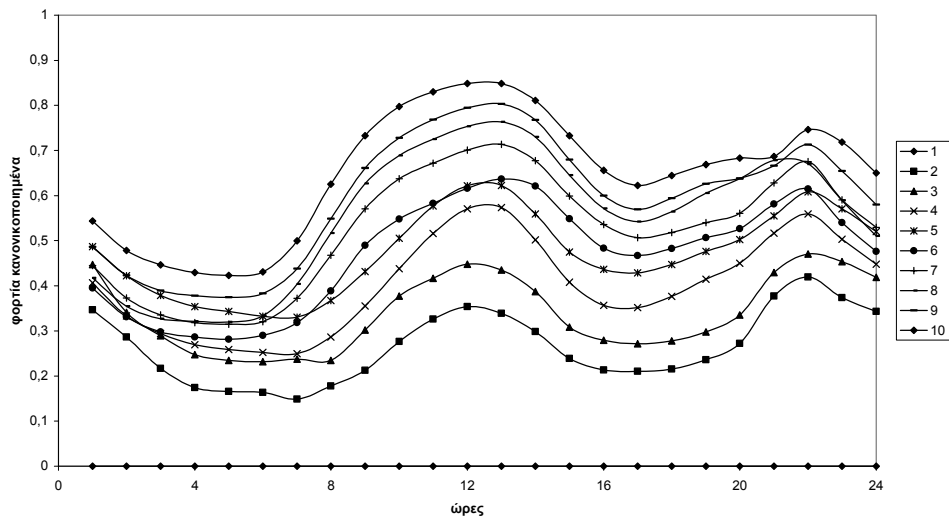
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1988



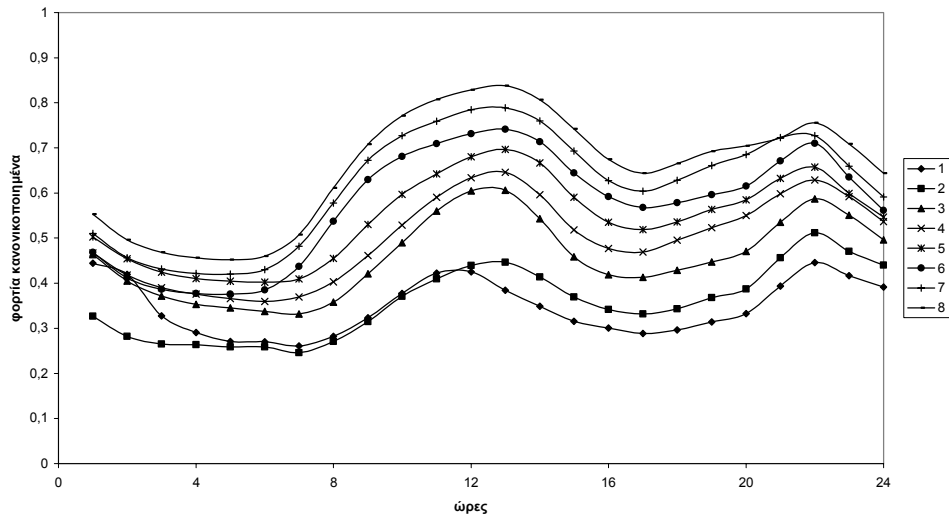
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για το καλοκαίρι 1988



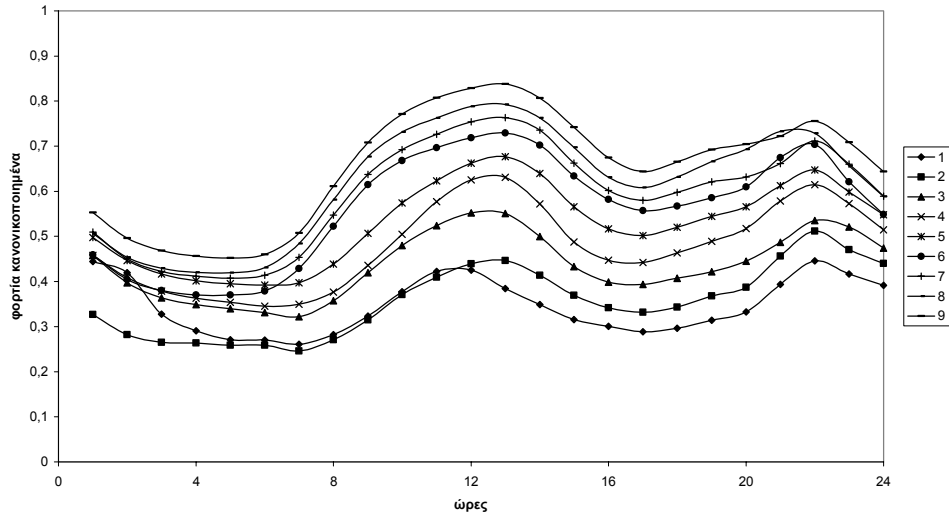
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1988



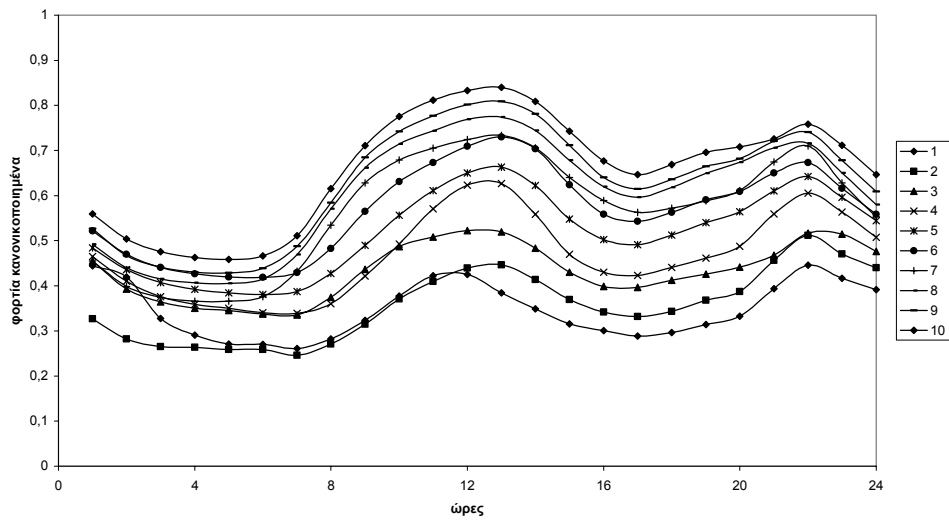
8 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1989



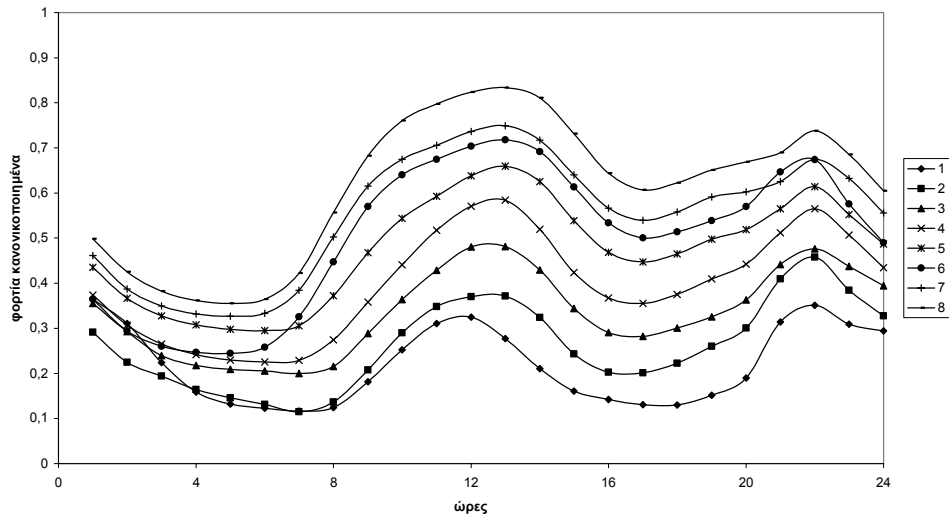
9 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1989



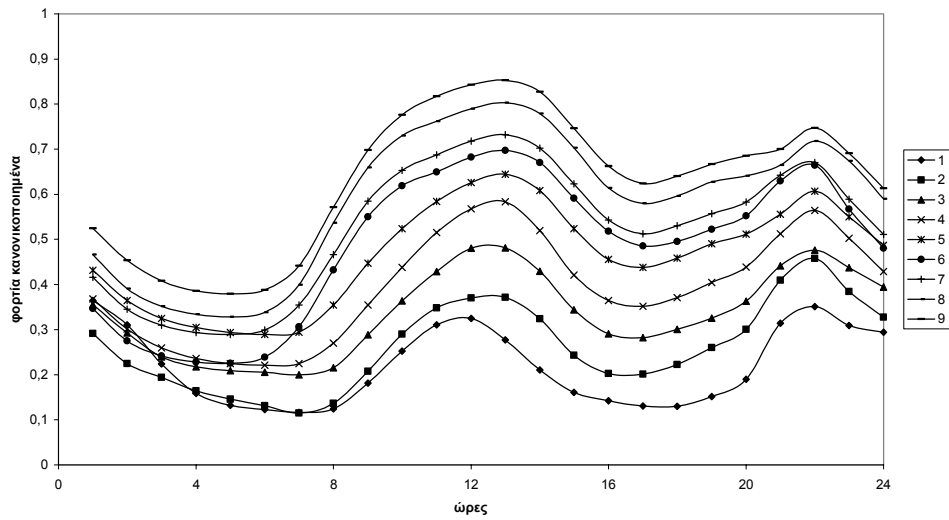
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1989



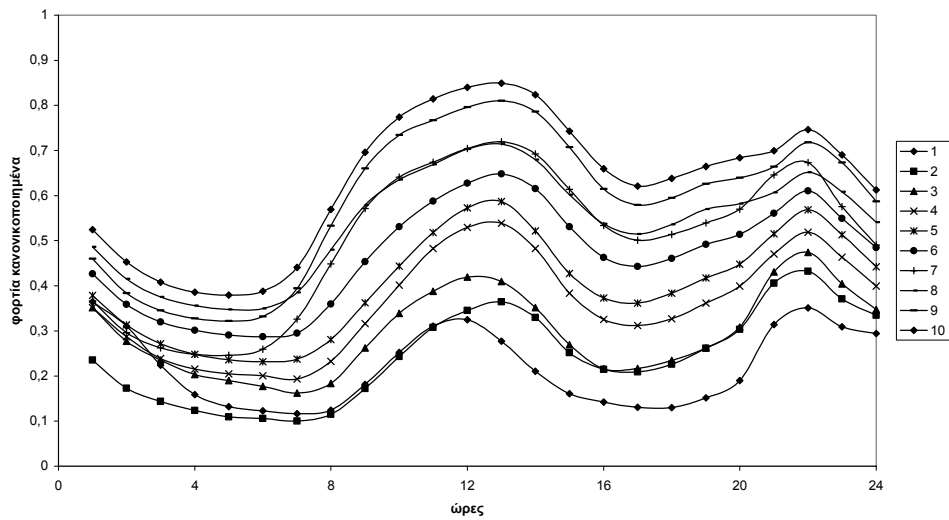
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1990



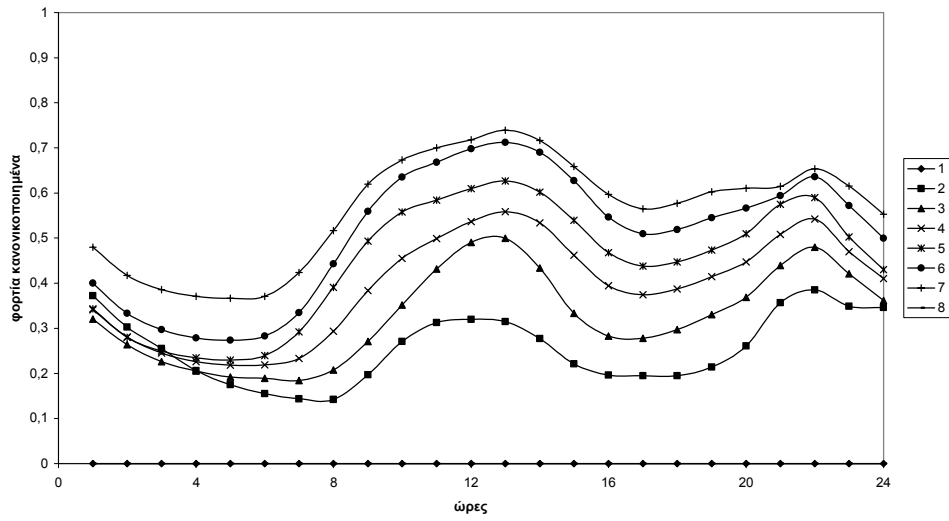
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1990



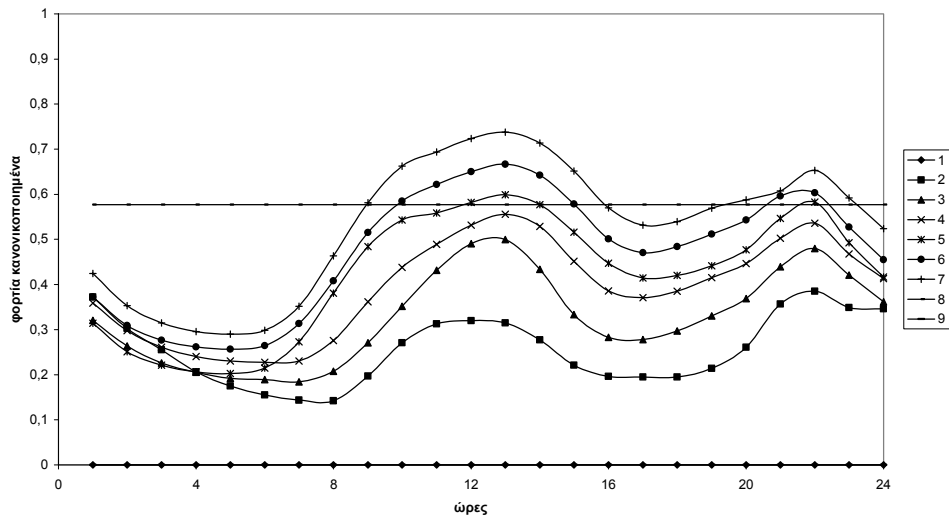
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1990



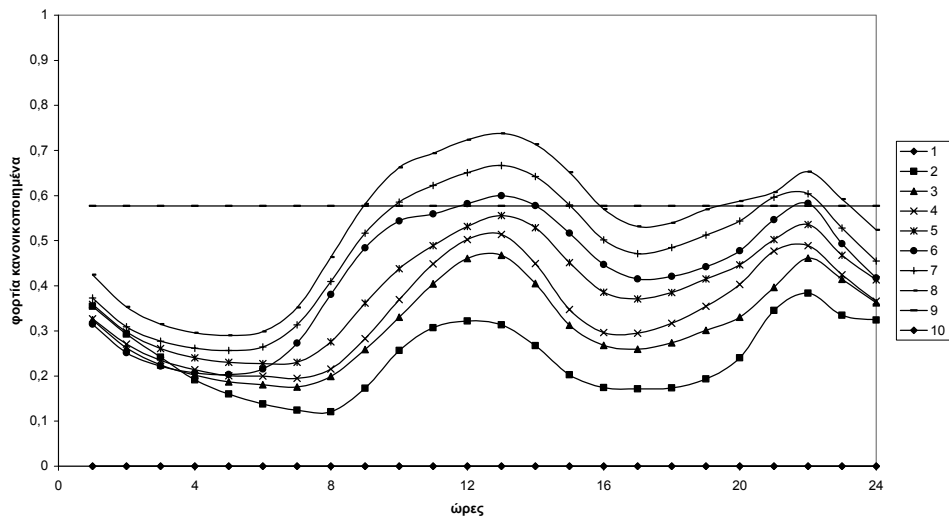
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1991



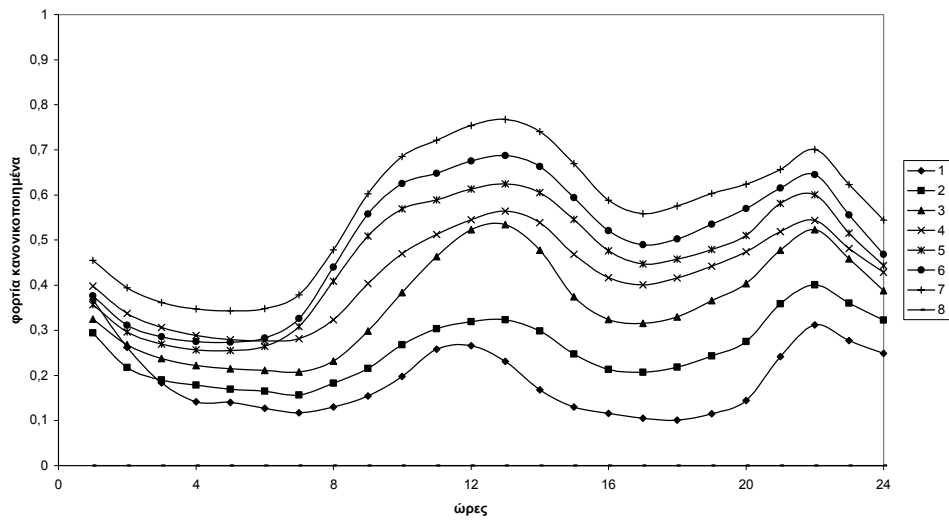
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1991



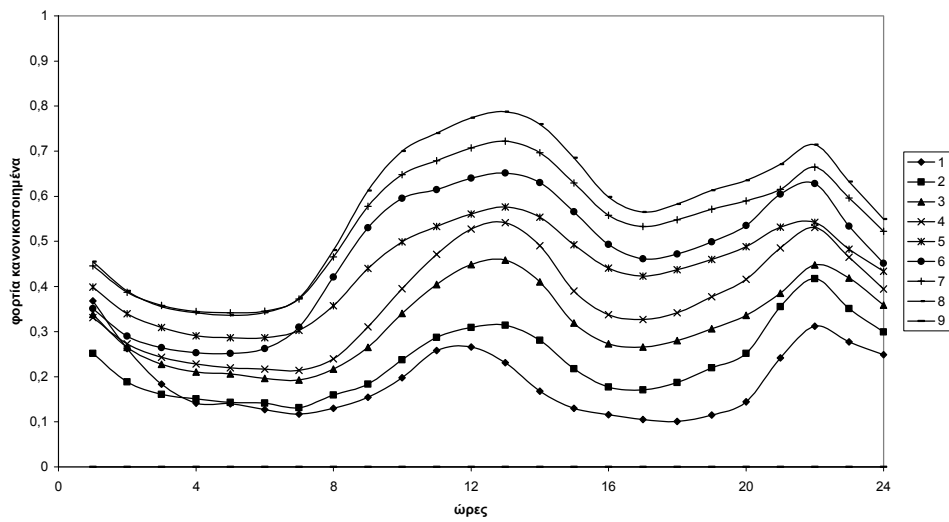
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1991



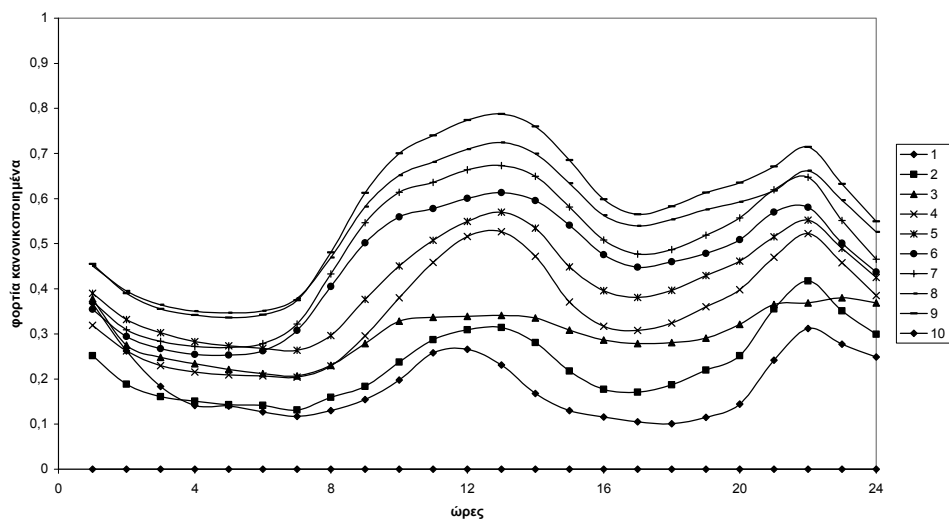
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1992



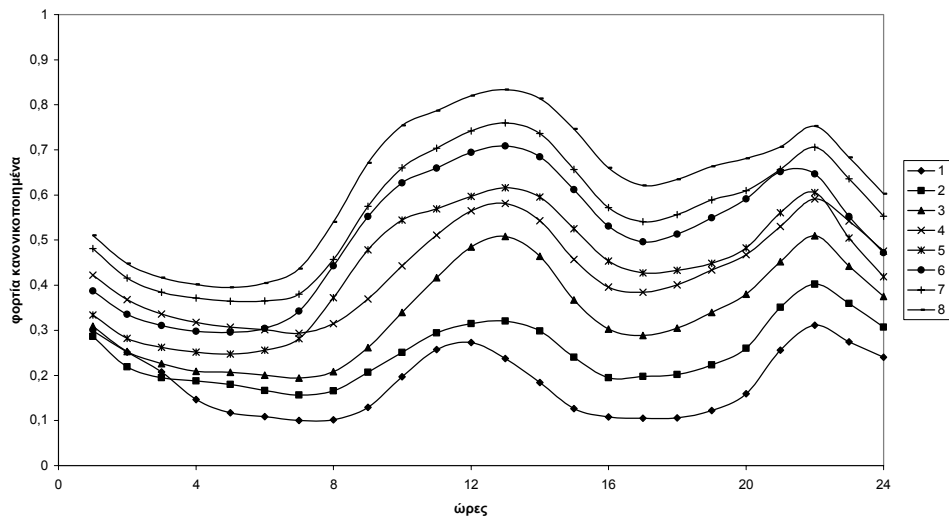
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1992



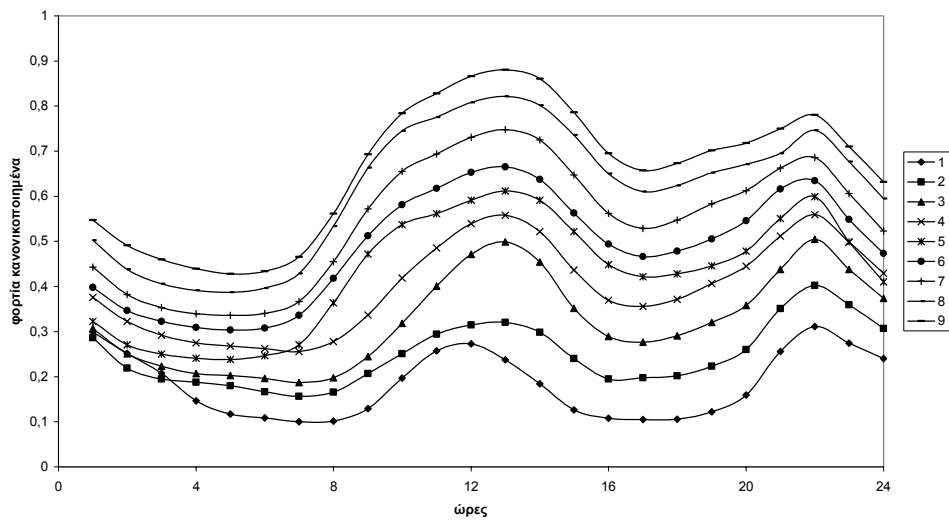
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1992



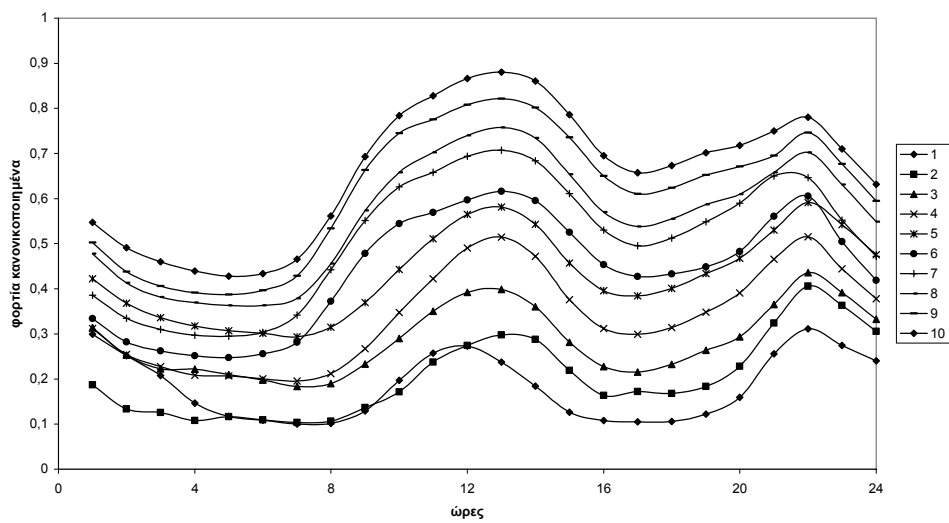
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1993



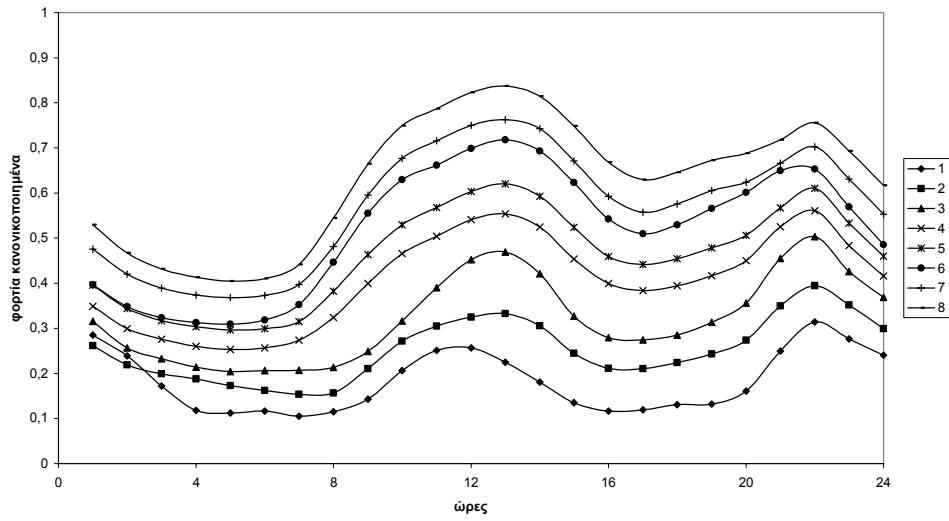
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1993



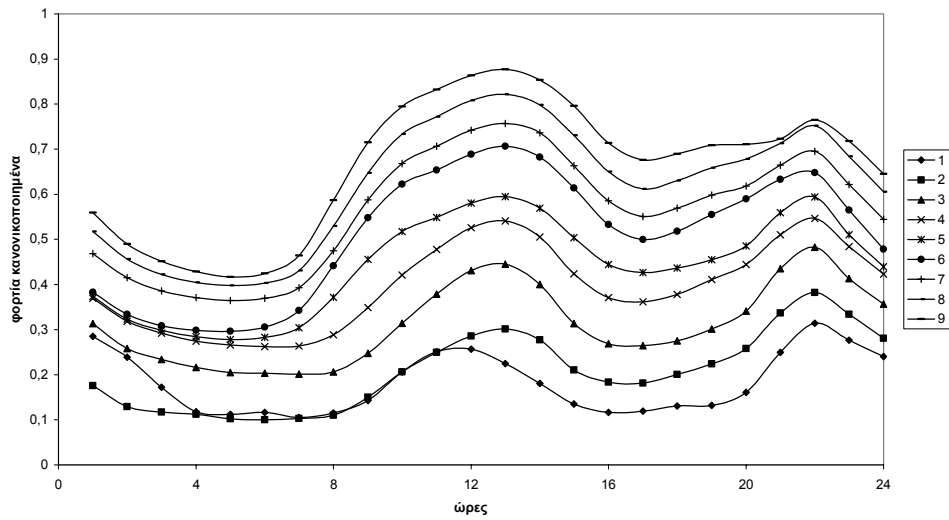
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1993



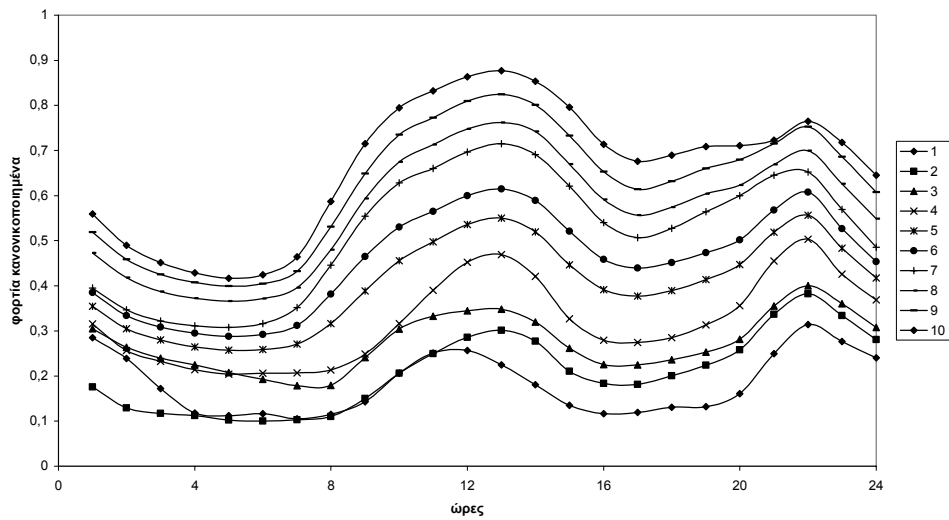
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1994



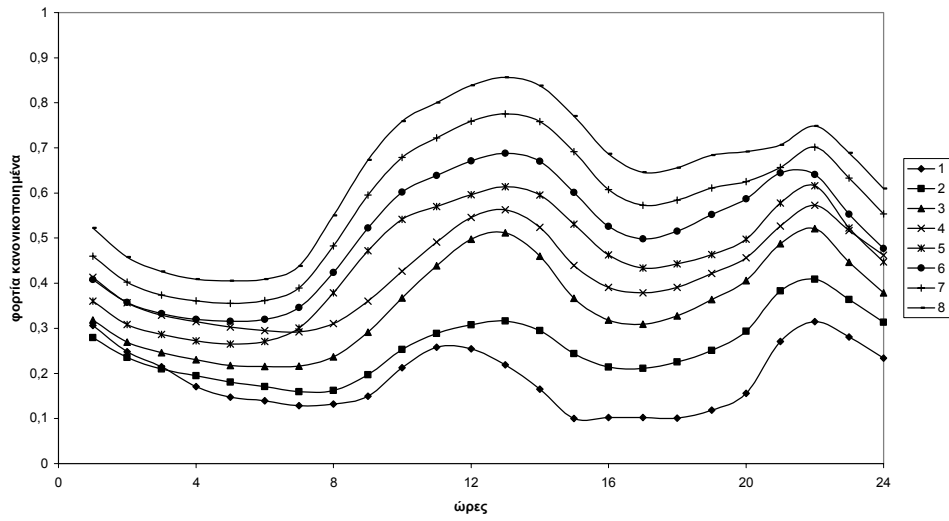
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1994



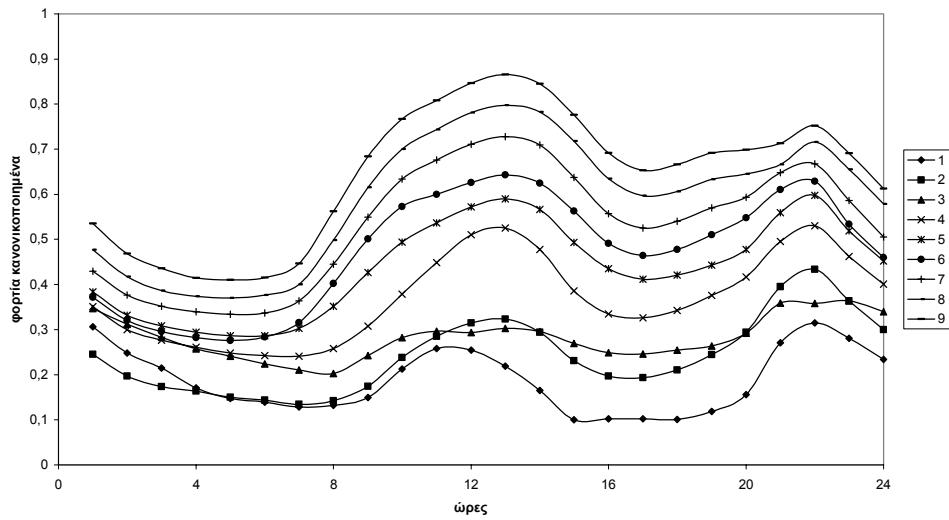
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1994



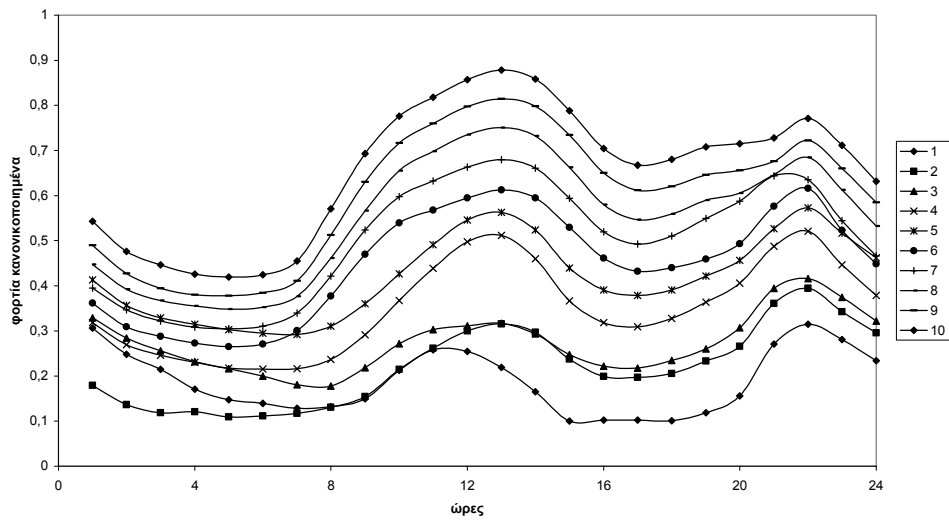
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1995



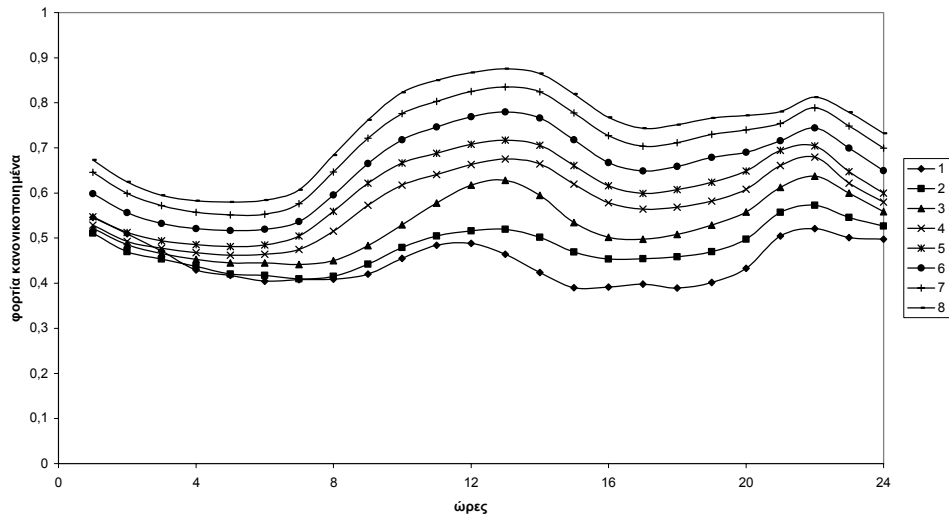
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για το φορτία για το καλοκαίρι 1995



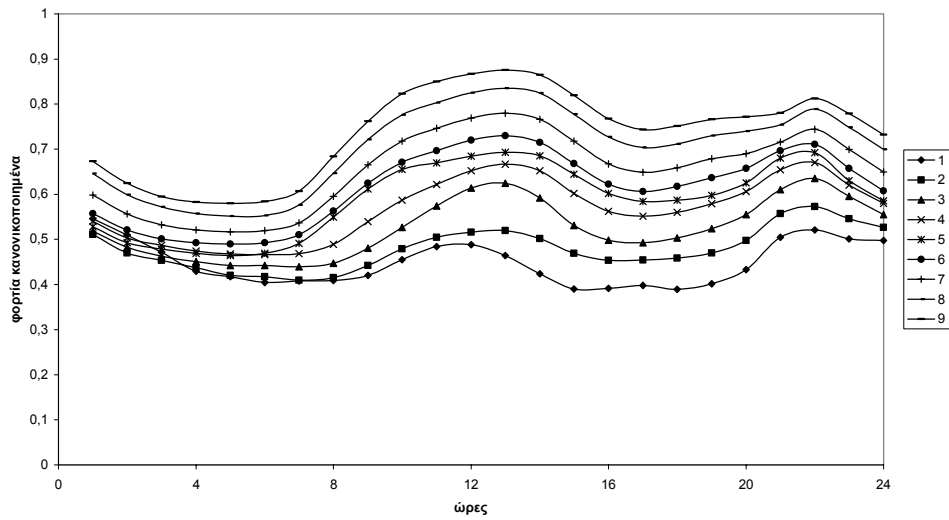
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1995



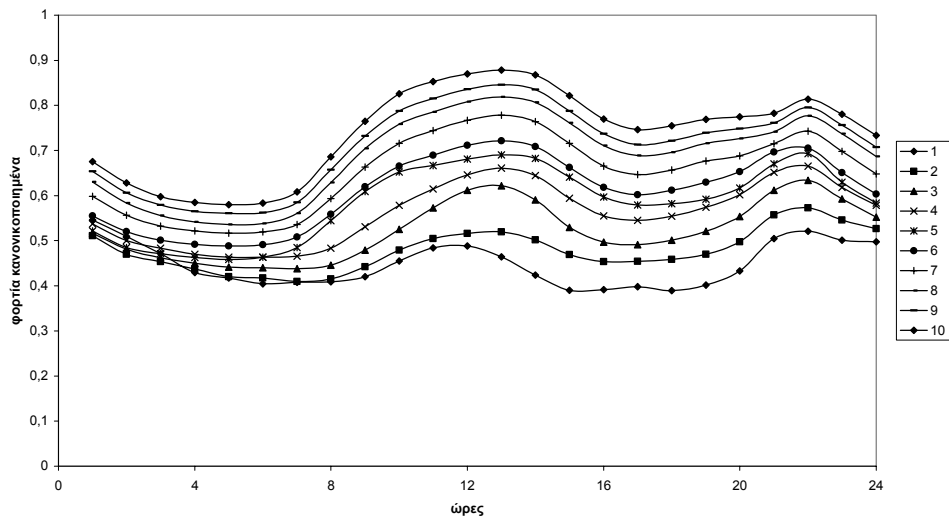
8 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1996



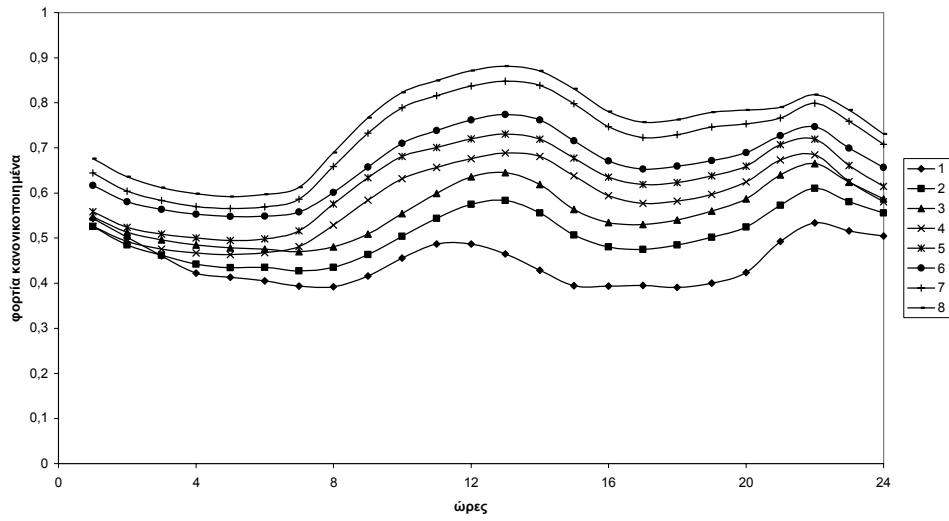
9 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1996



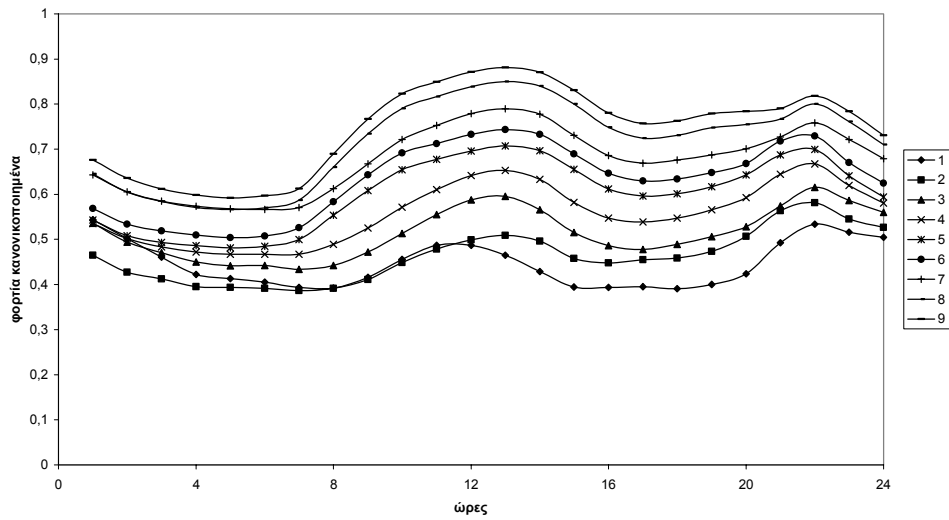
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1996



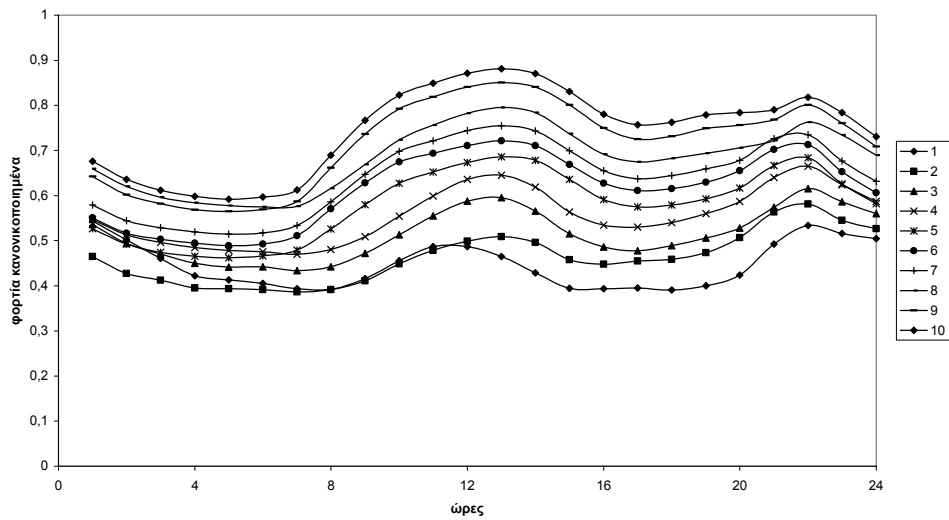
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1997



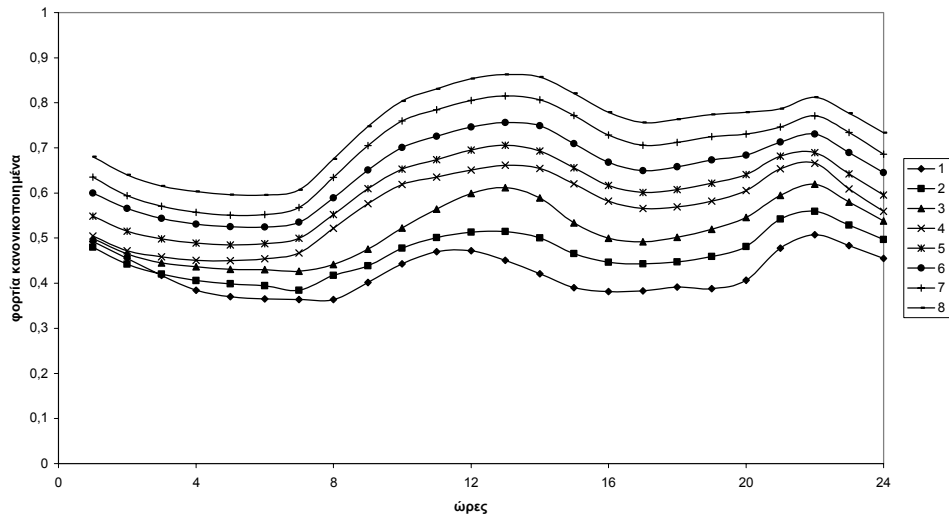
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1997



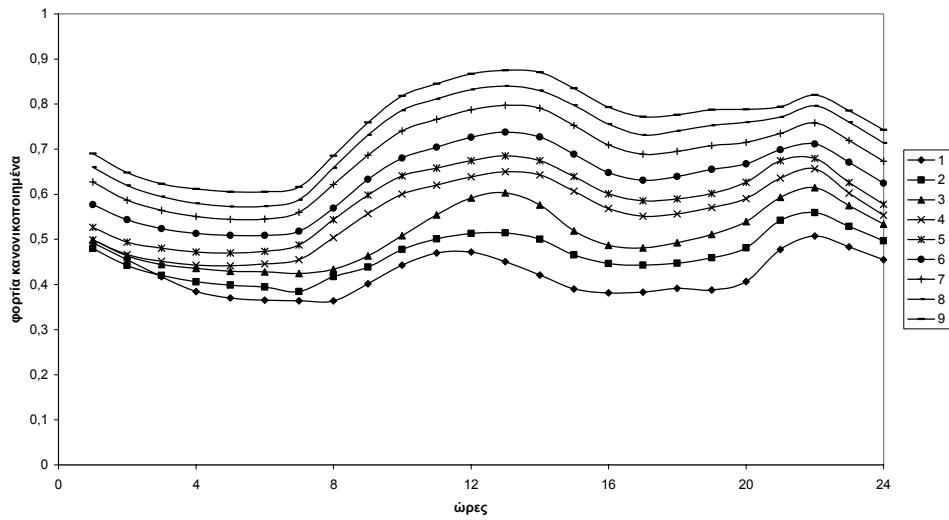
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1997



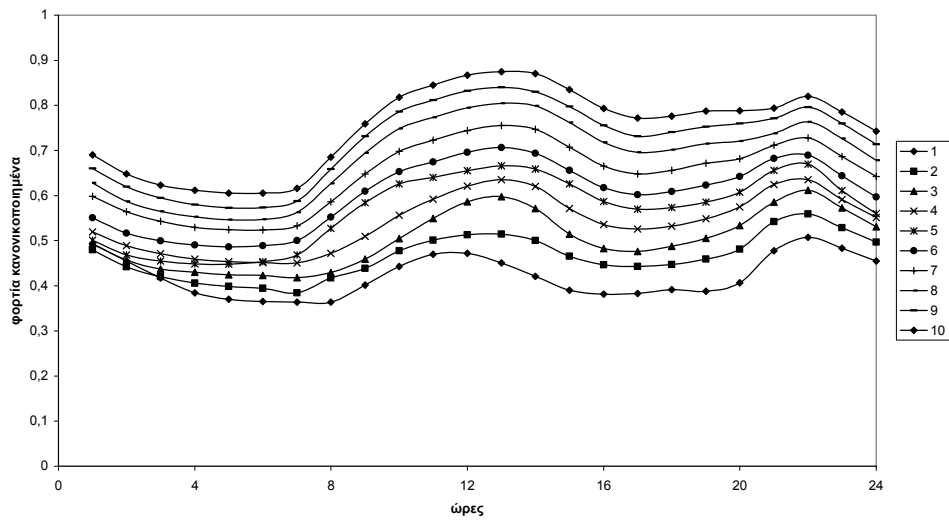
8 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1998



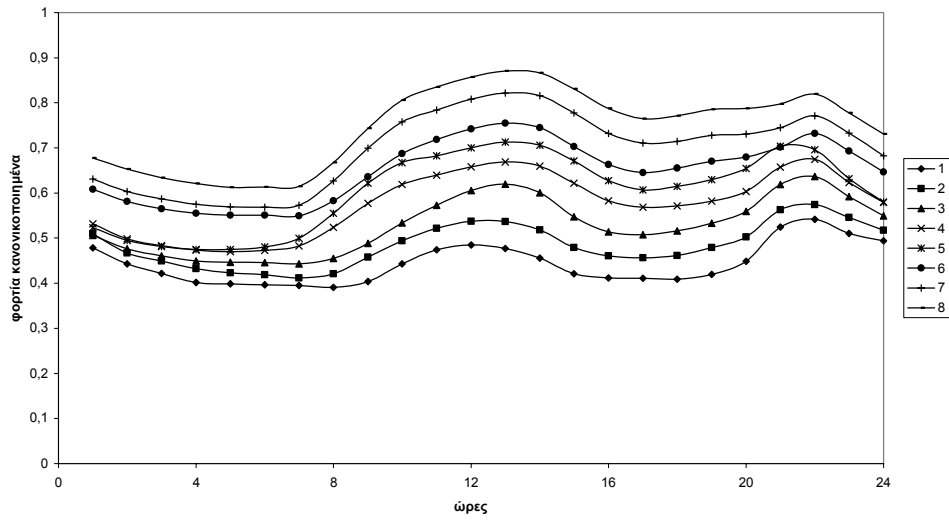
9 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1998



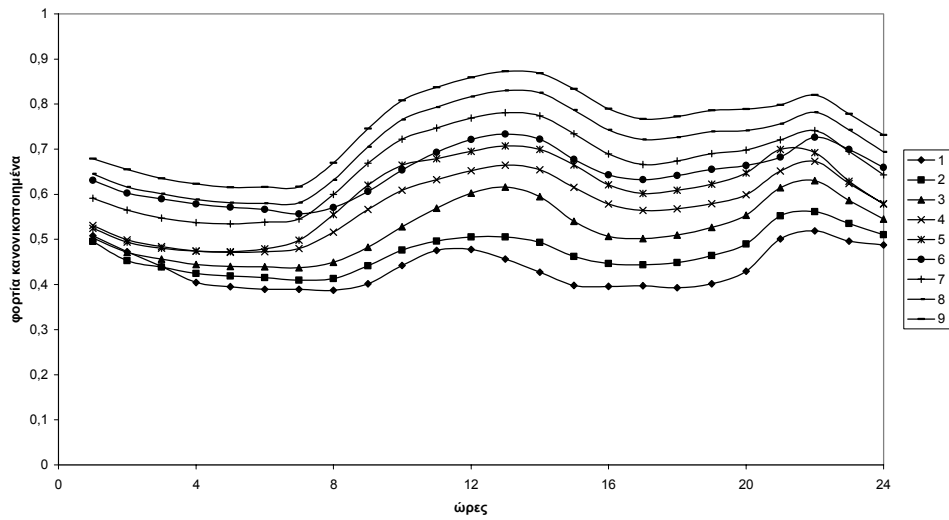
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1998



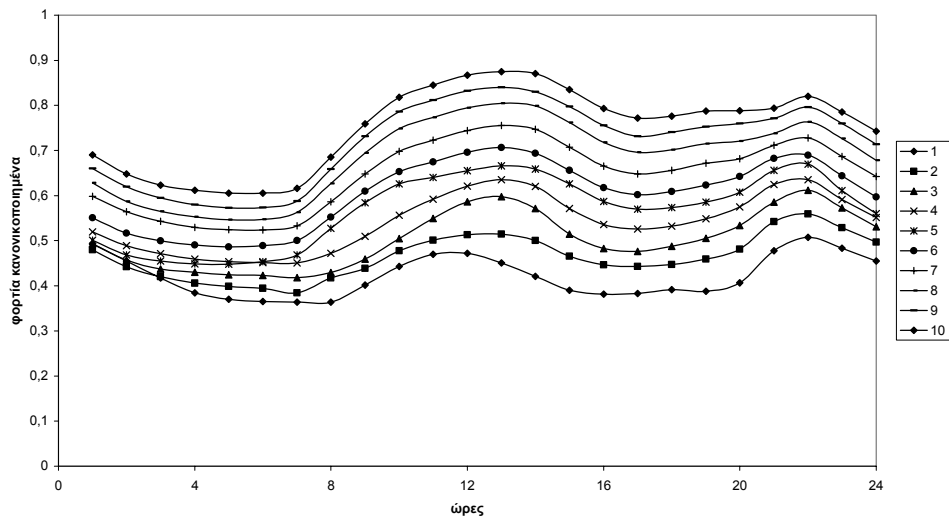
8 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1999



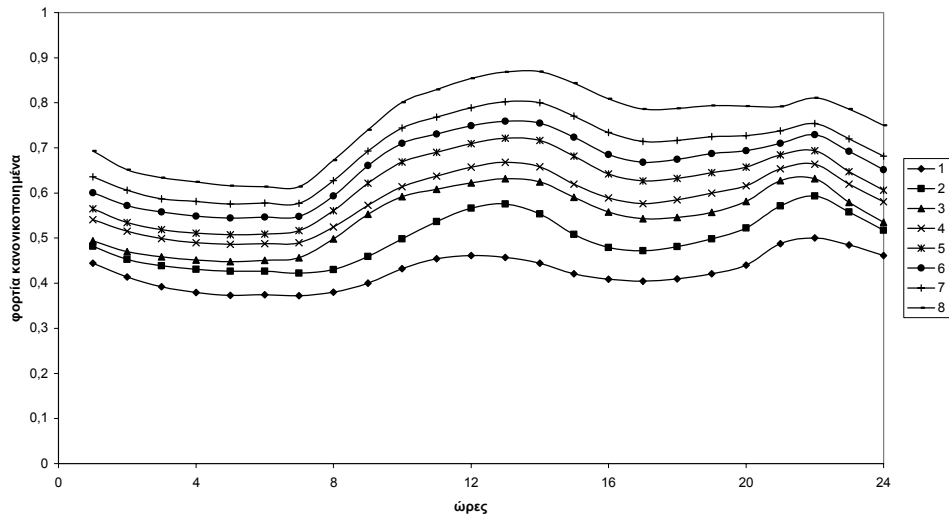
9 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1999



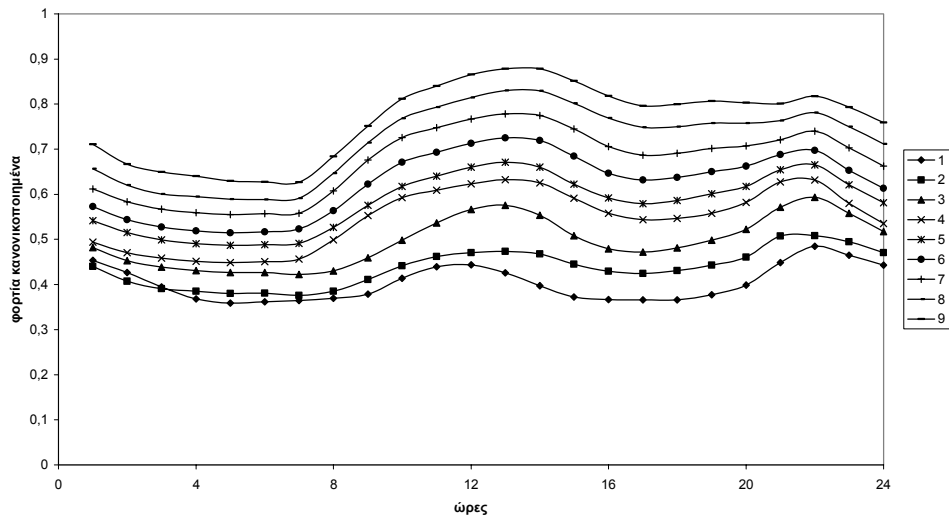
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 1999



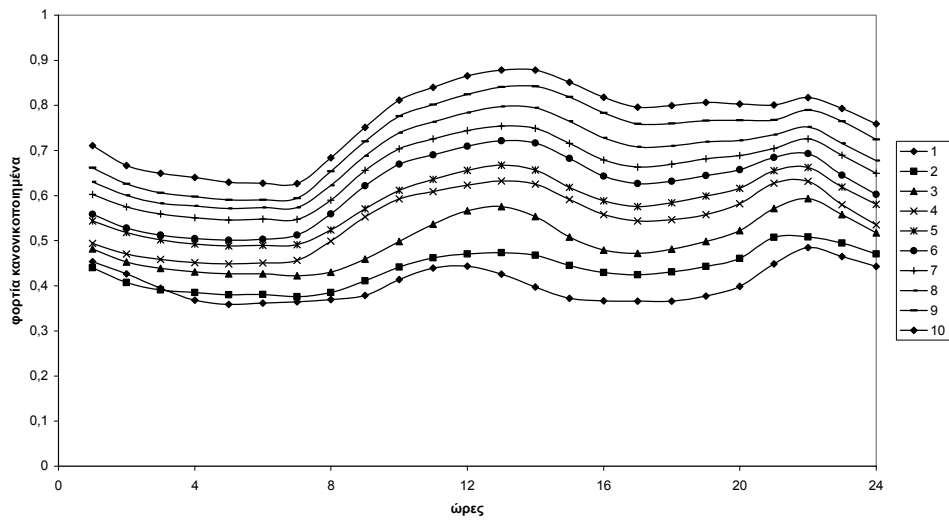
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 2000



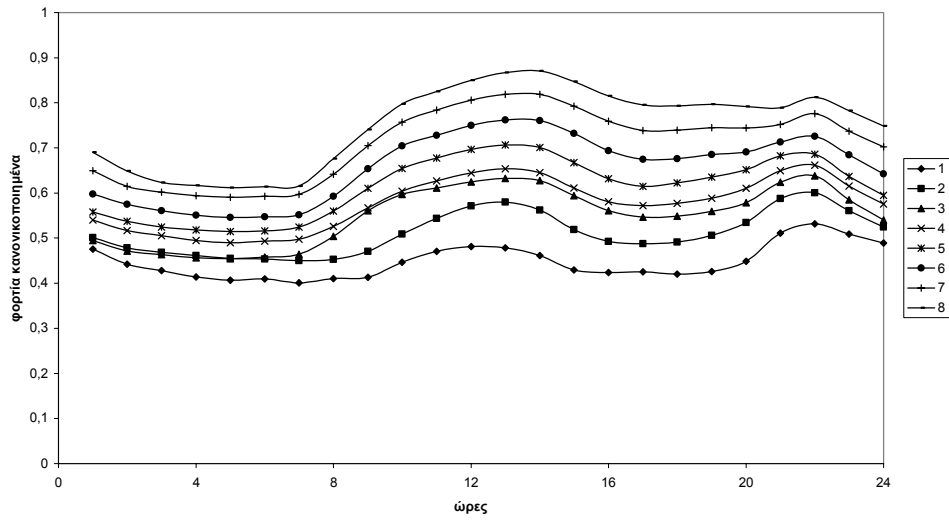
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 2000



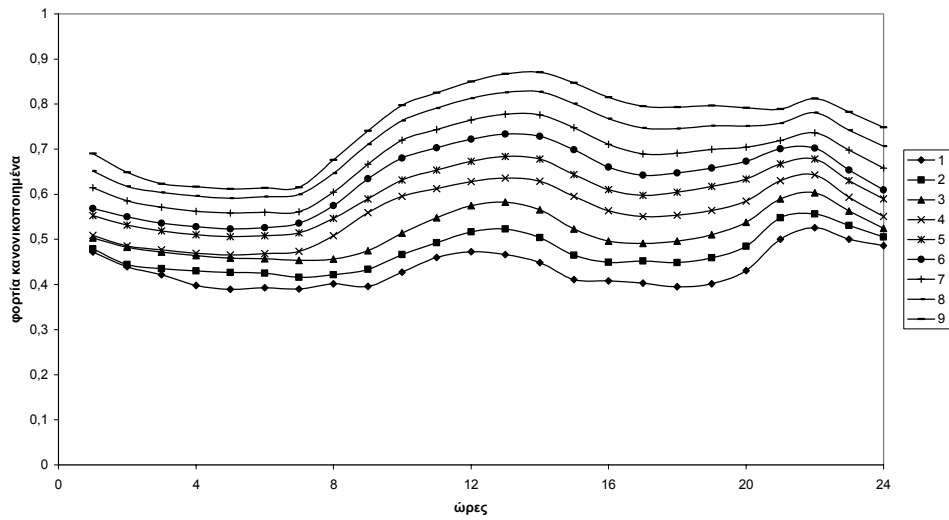
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 2000



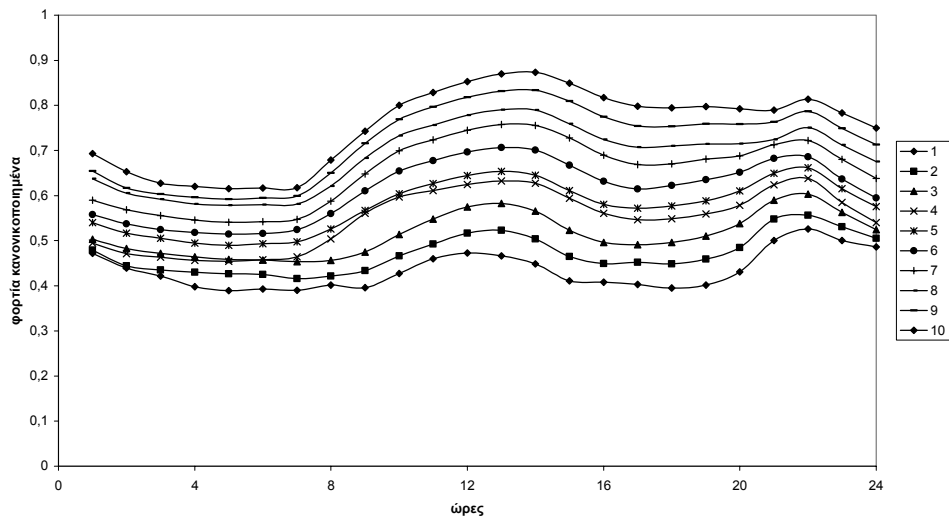
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 2001



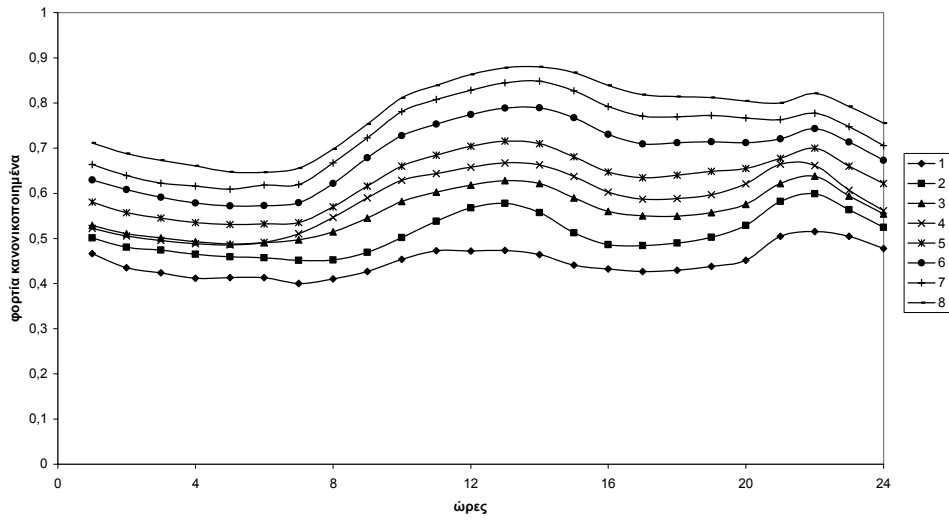
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 2001



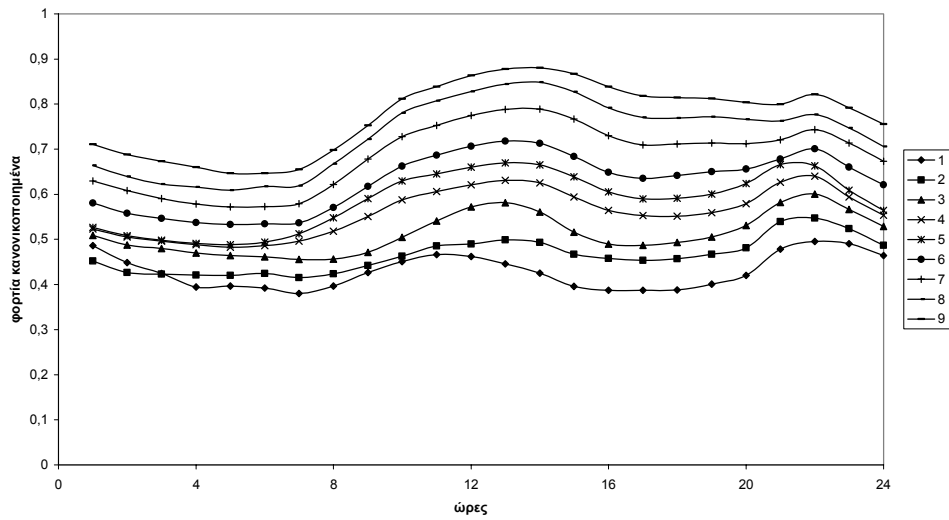
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 2001



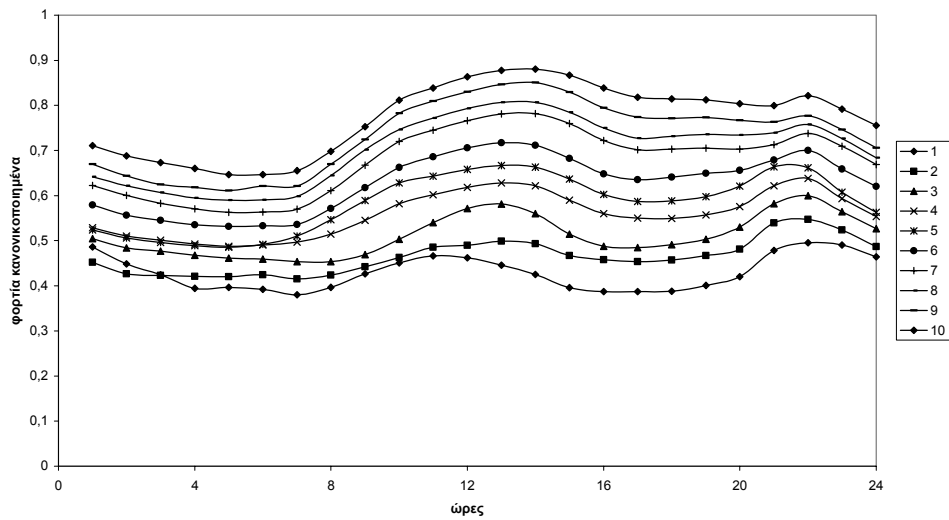
8 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 2002



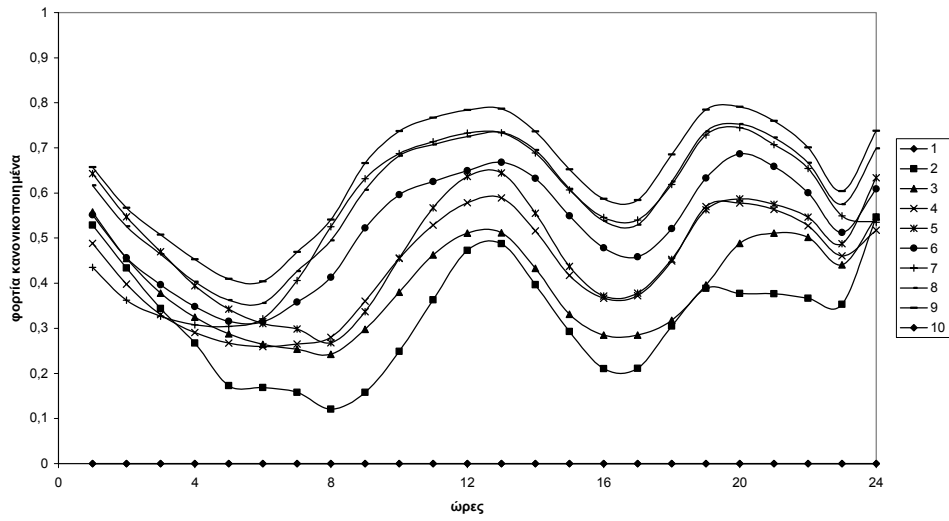
9 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 2002



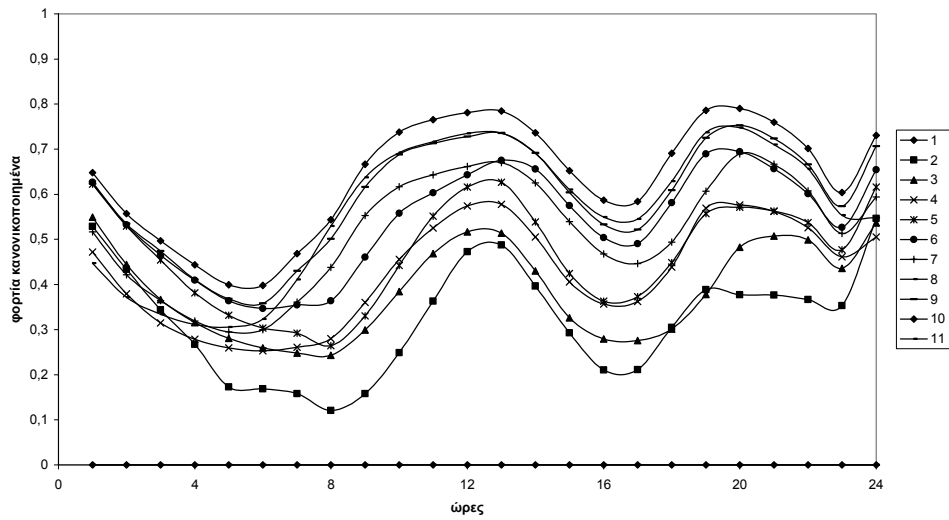
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το καλοκαίρι 2002



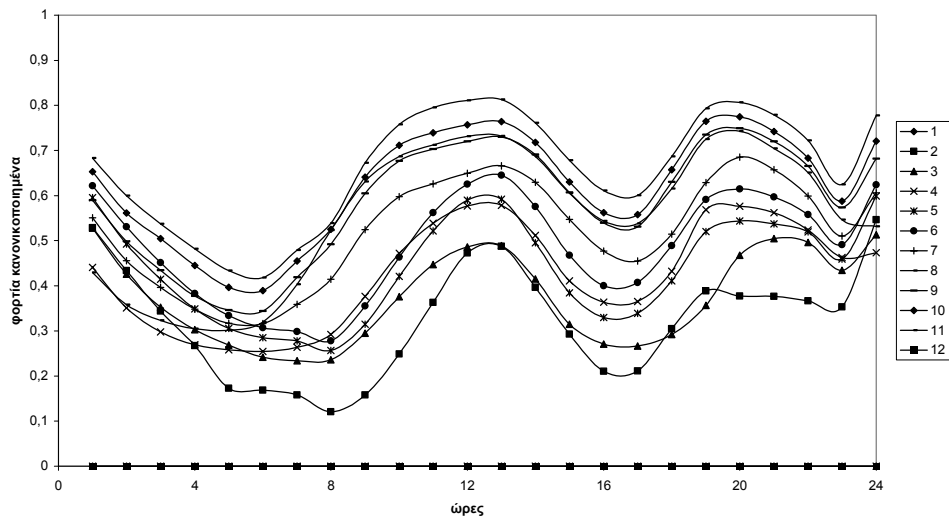
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1985-1986



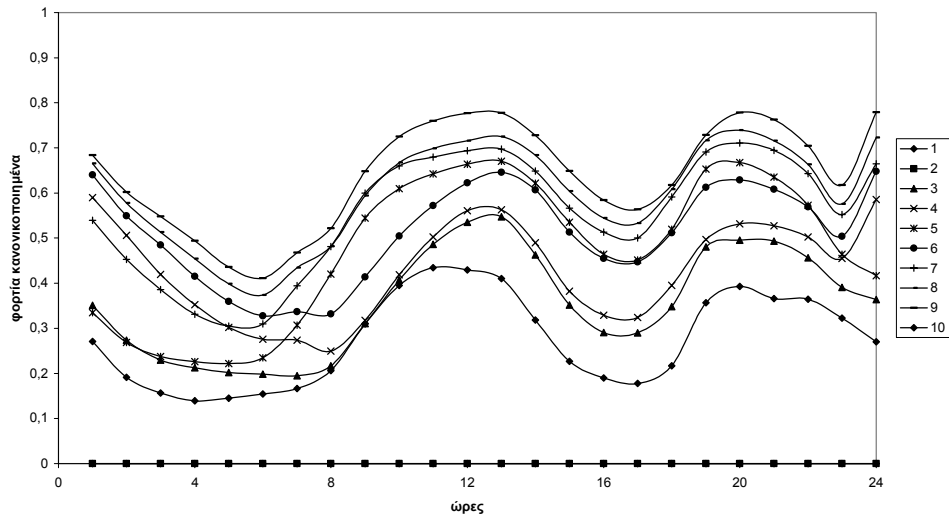
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1985-1986



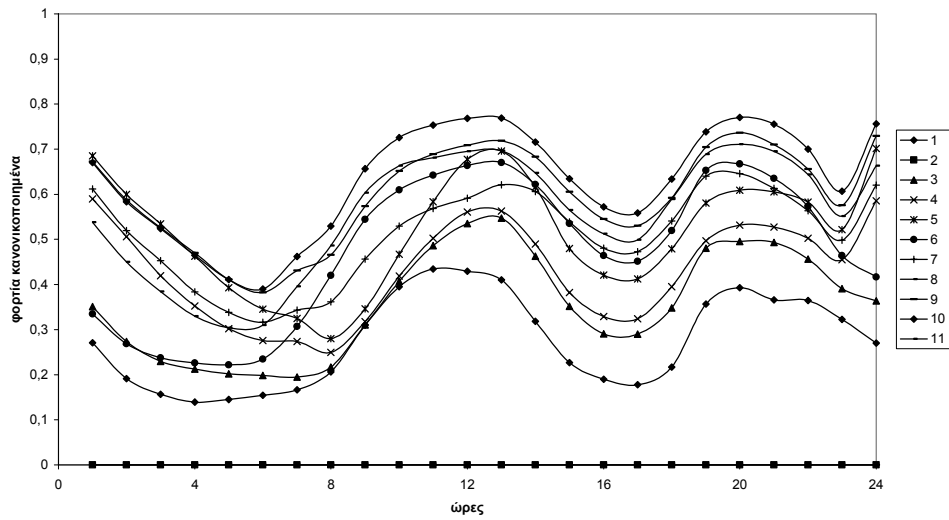
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1985-1986



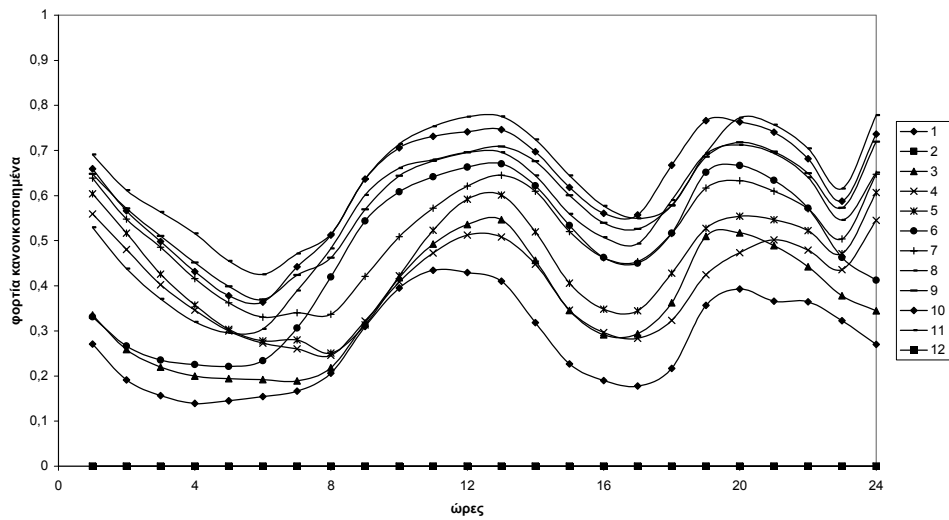
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων O2 για φορτία για το χειμώνα 1986-1987



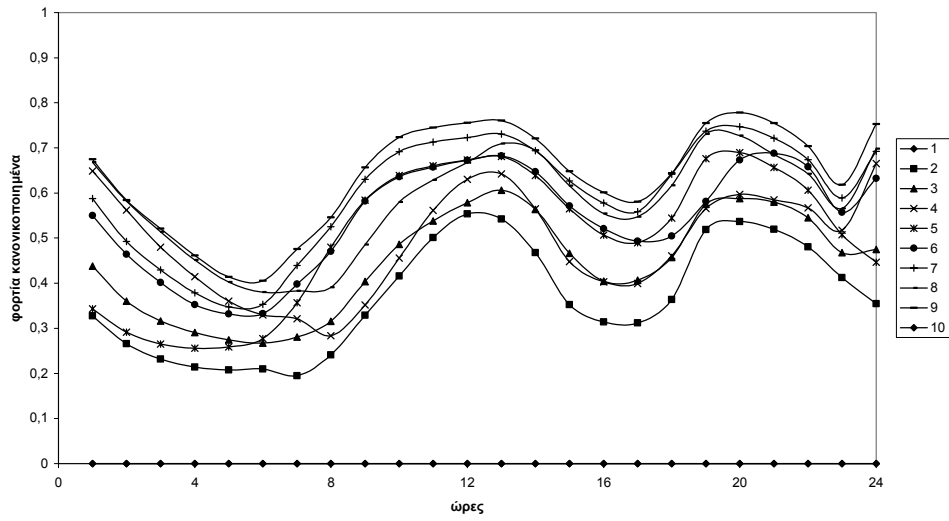
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων O2 για φορτία για το χειμώνα 1986-1987



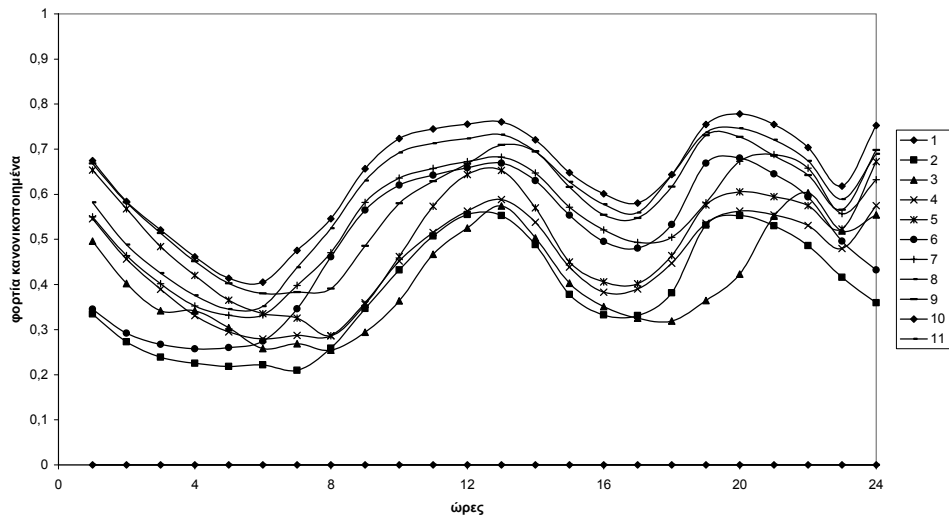
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων O2 για φορτία για το χειμώνα 1986-1987



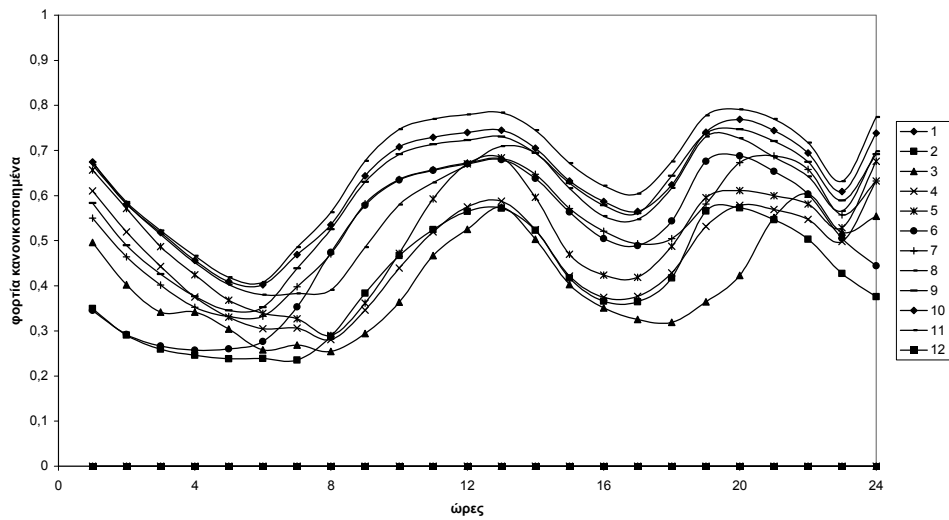
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1987-1988



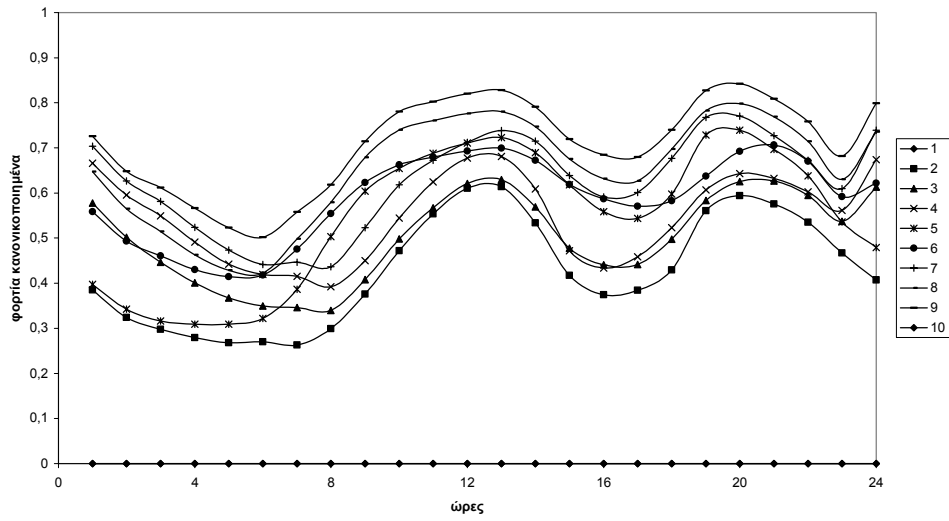
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1987-1988



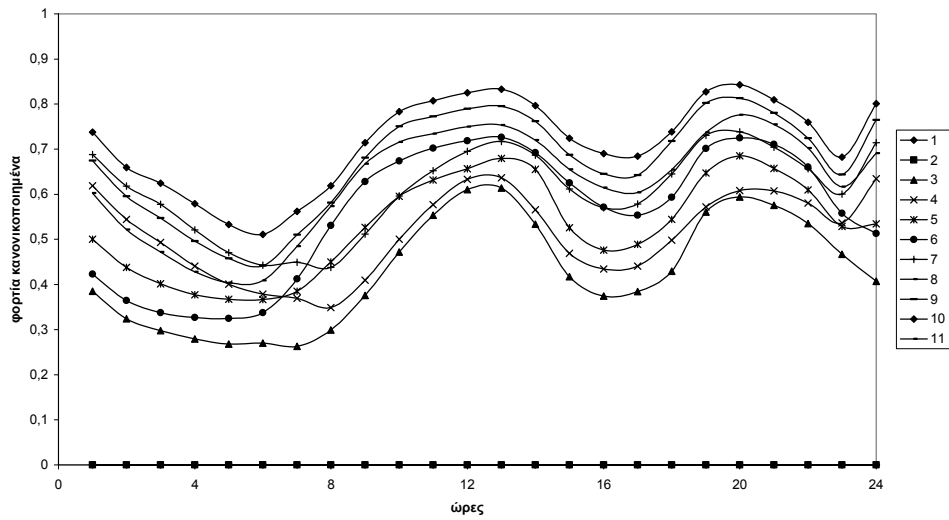
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1987-1988



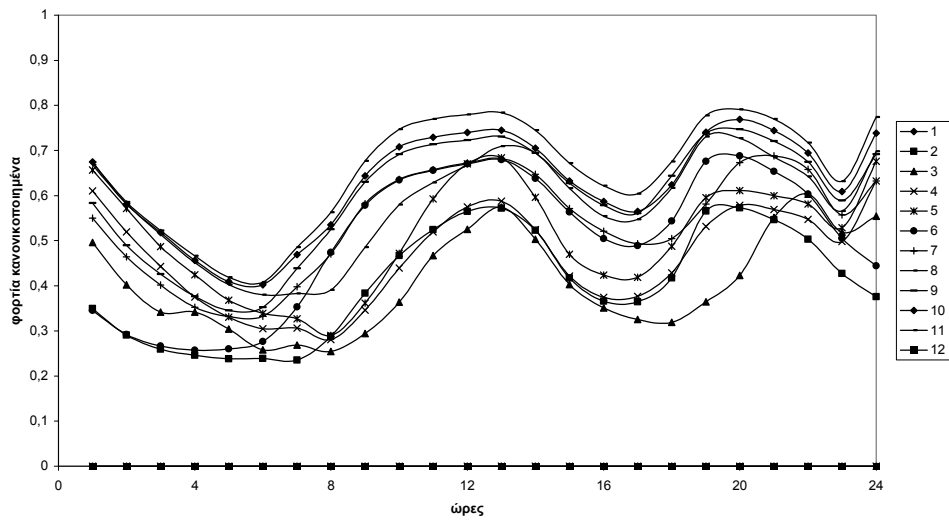
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1988-1989



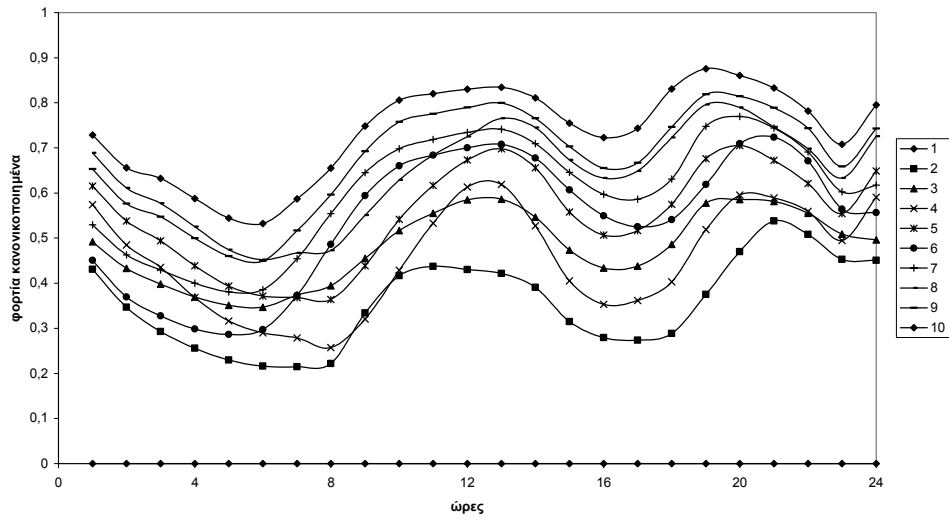
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1988-1989



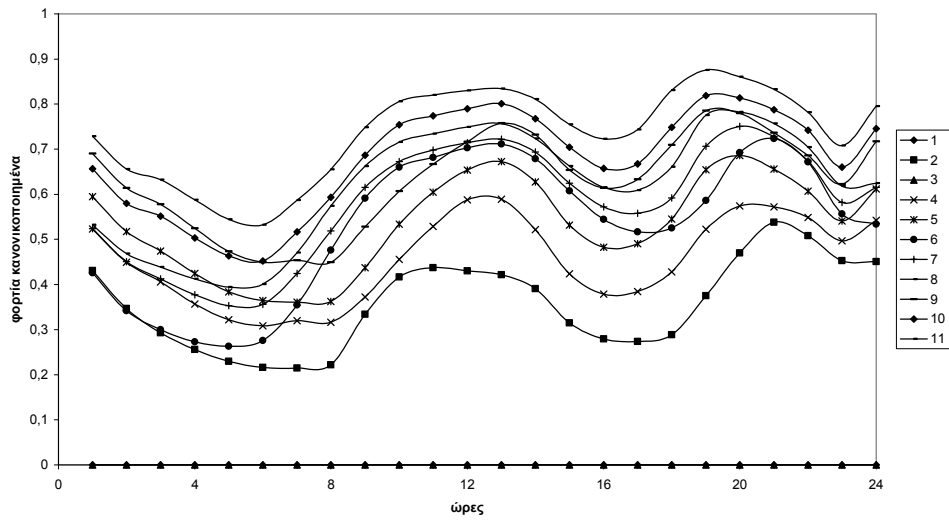
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1988-1989



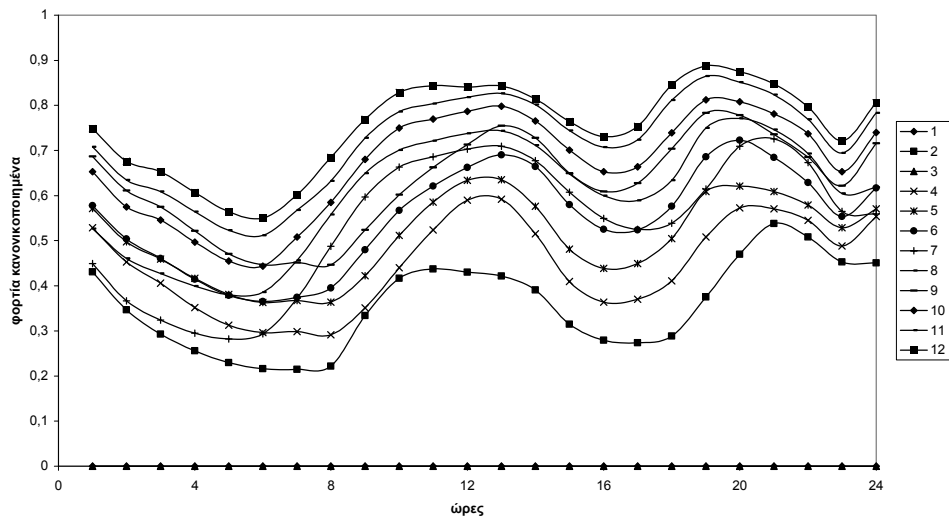
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1989-1990



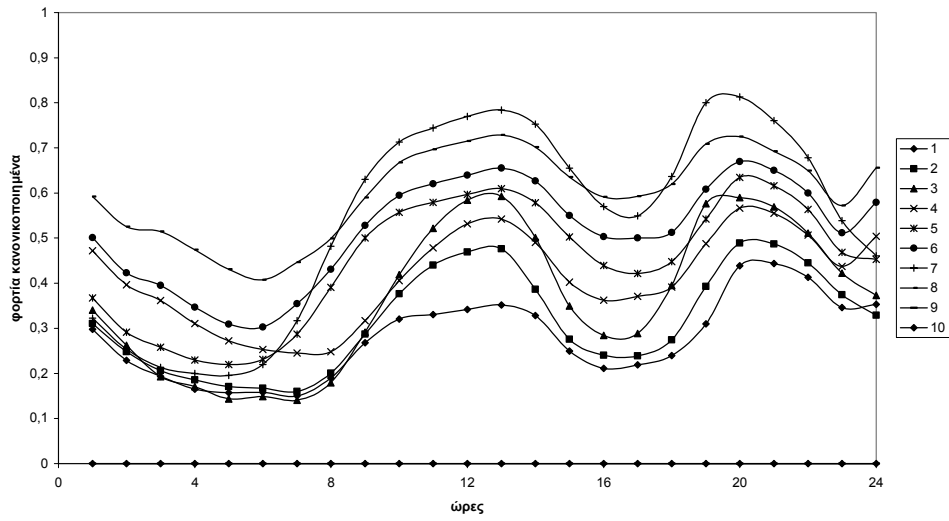
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1989-1990



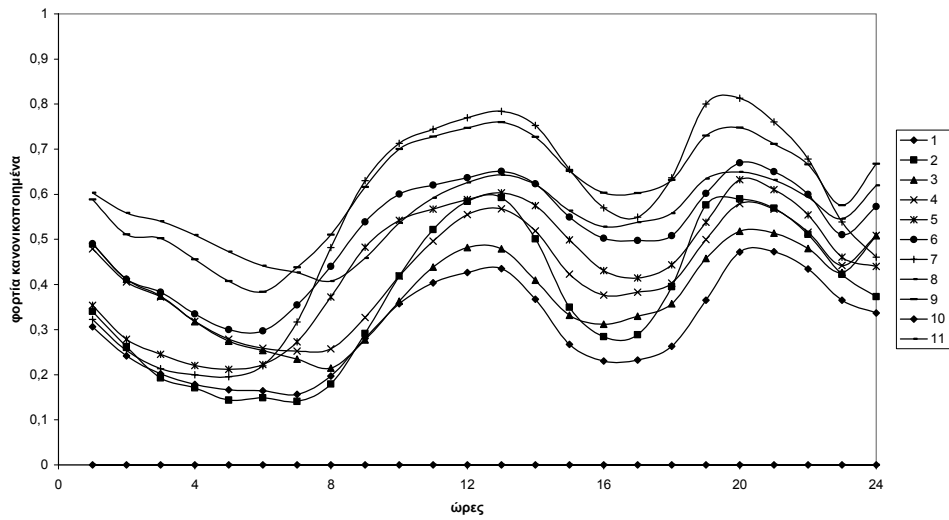
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1989-1990



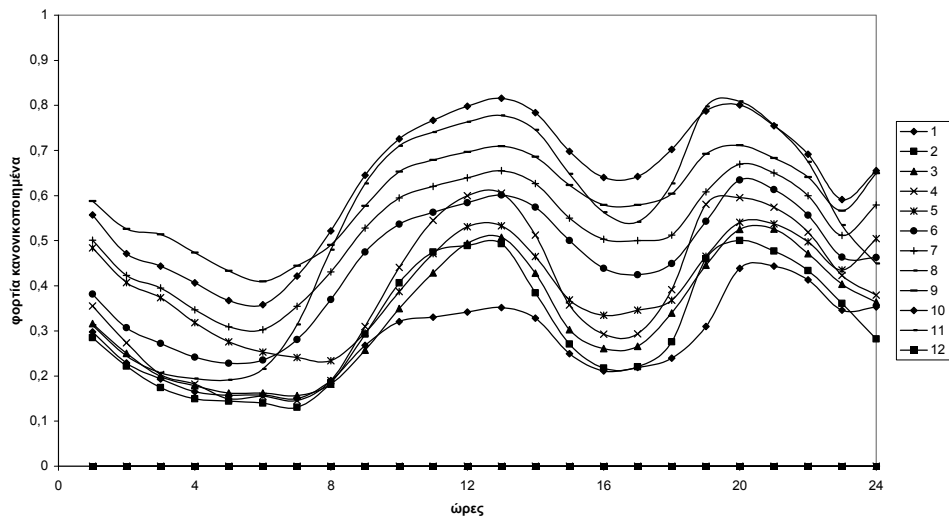
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων O2 για φορτία για το χειμώνα 1990-1991



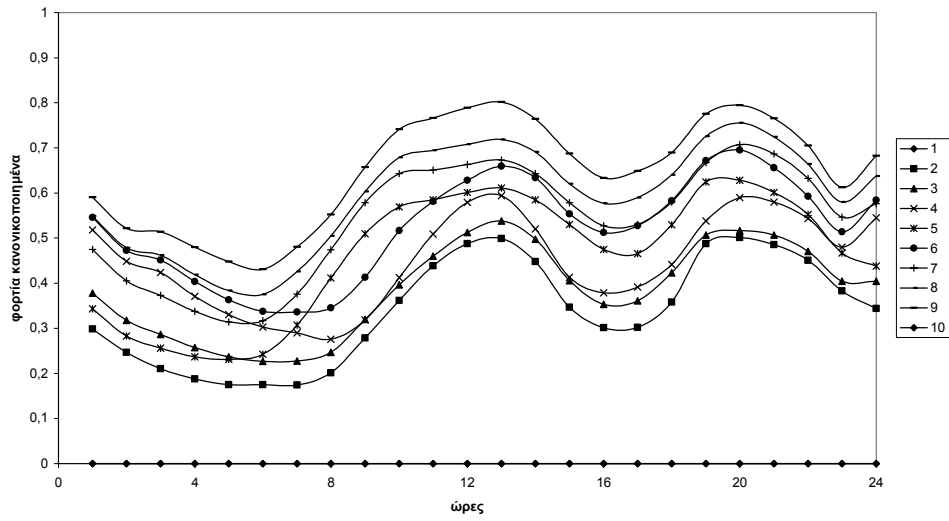
11 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων O2 για φορτία για το χειμώνα 1990-1991



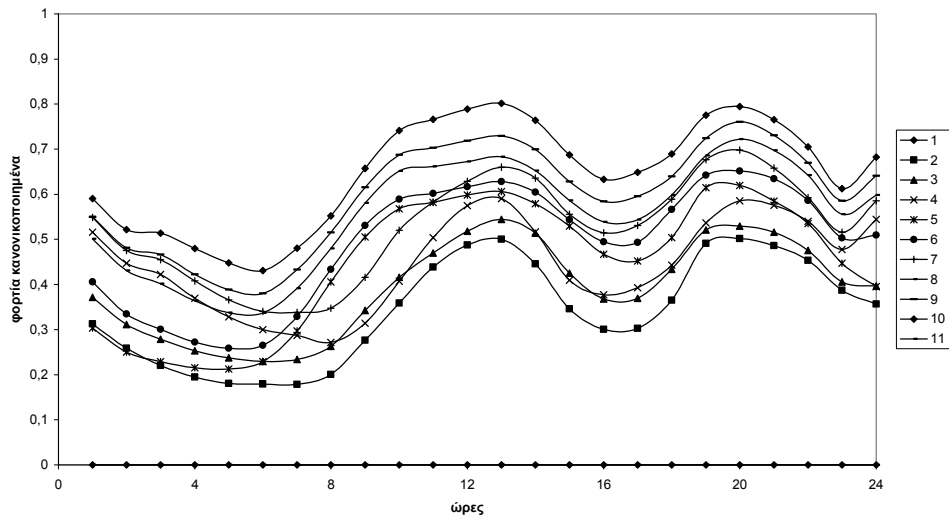
12 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων O2 για φορτία για το χειμώνα 1990-1991



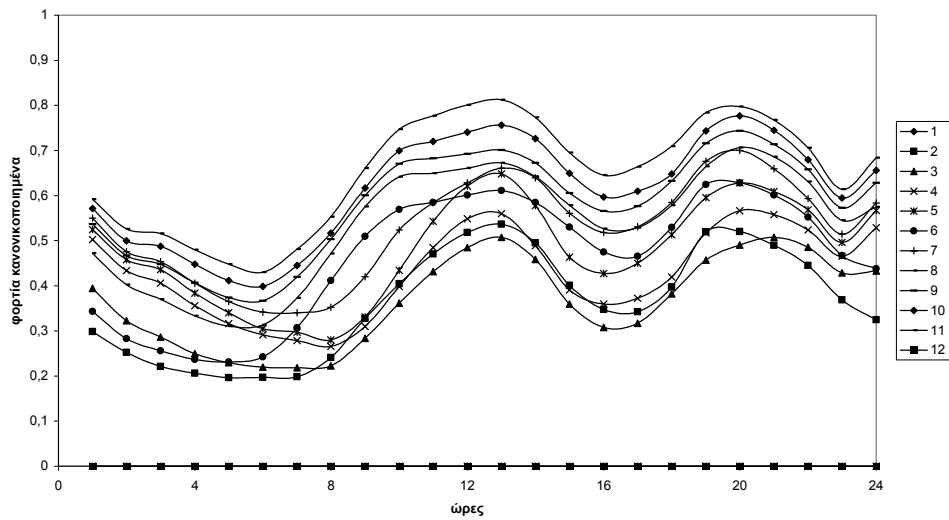
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1991-1992



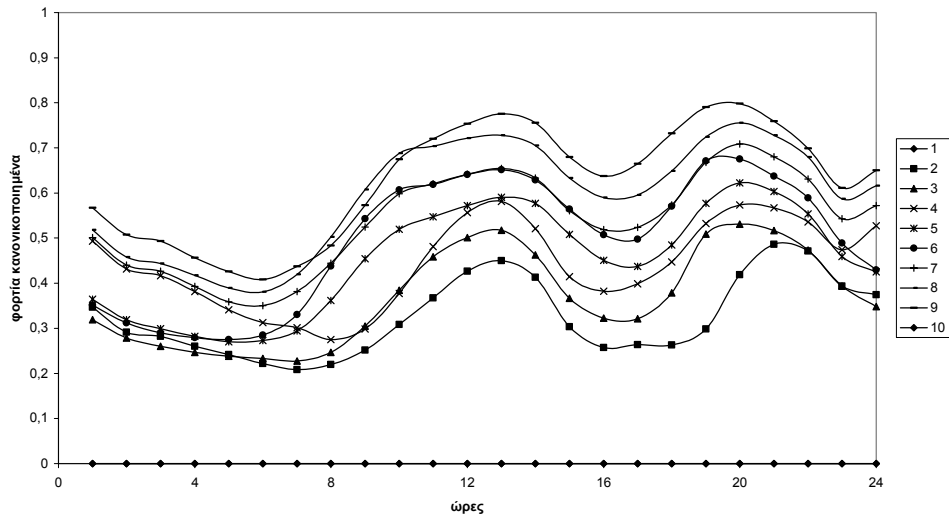
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1991-1992



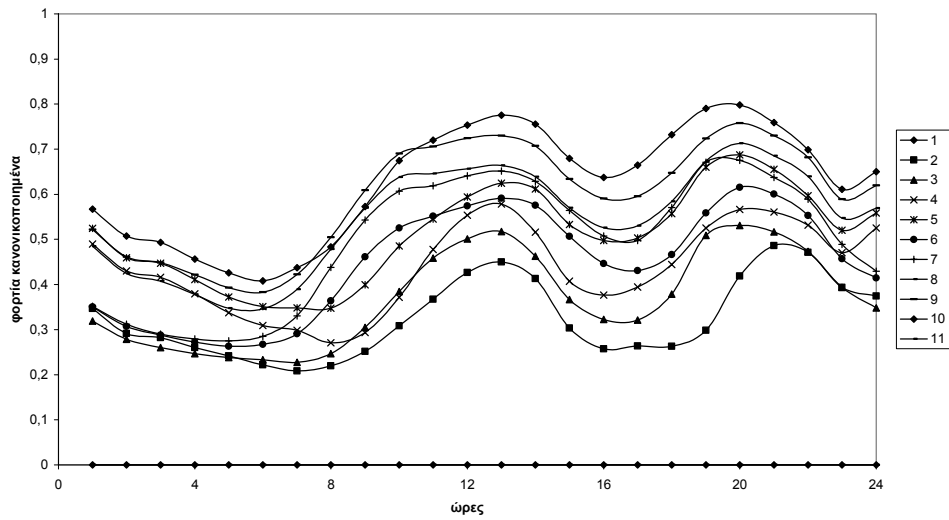
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1991-1992



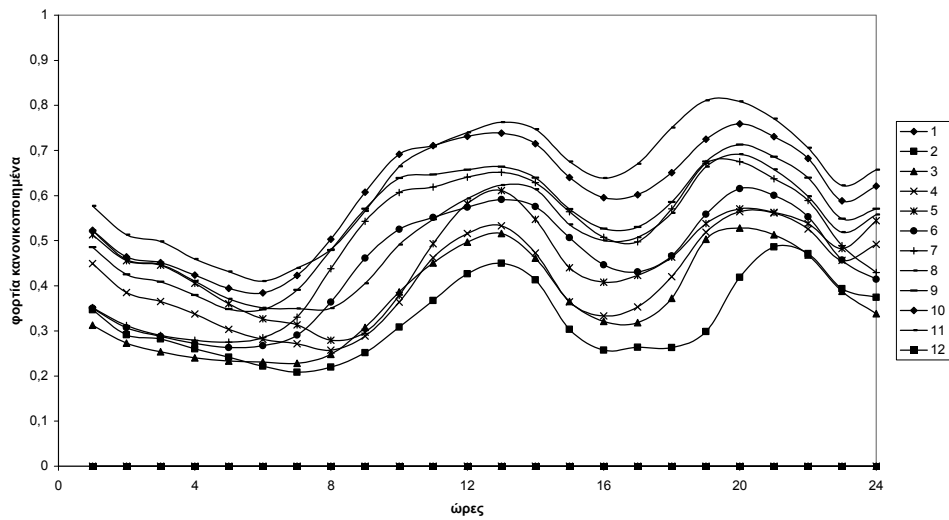
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1992-1993



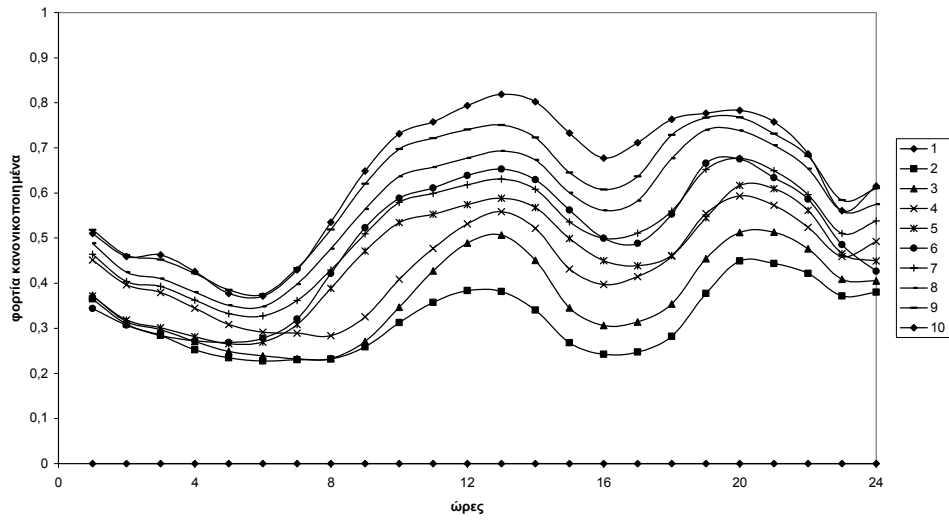
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1992-1993



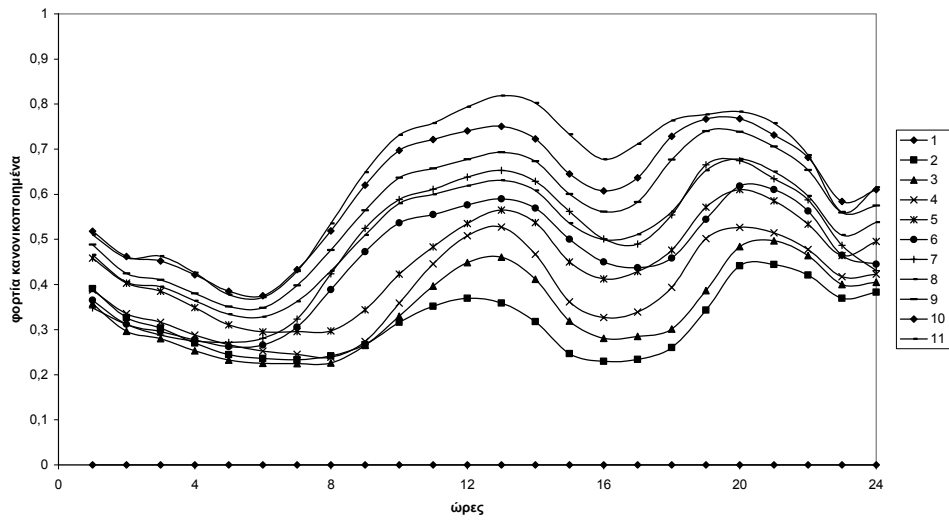
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1992-1993



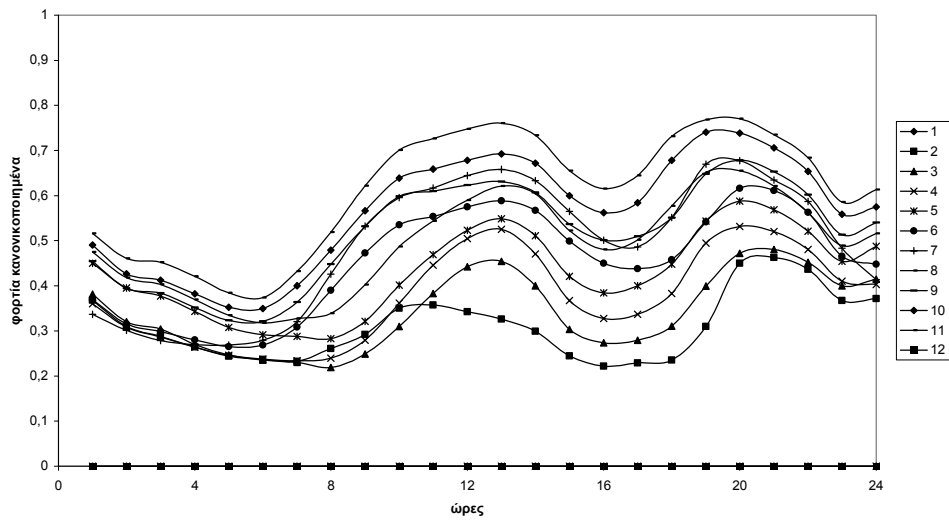
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1993-1994



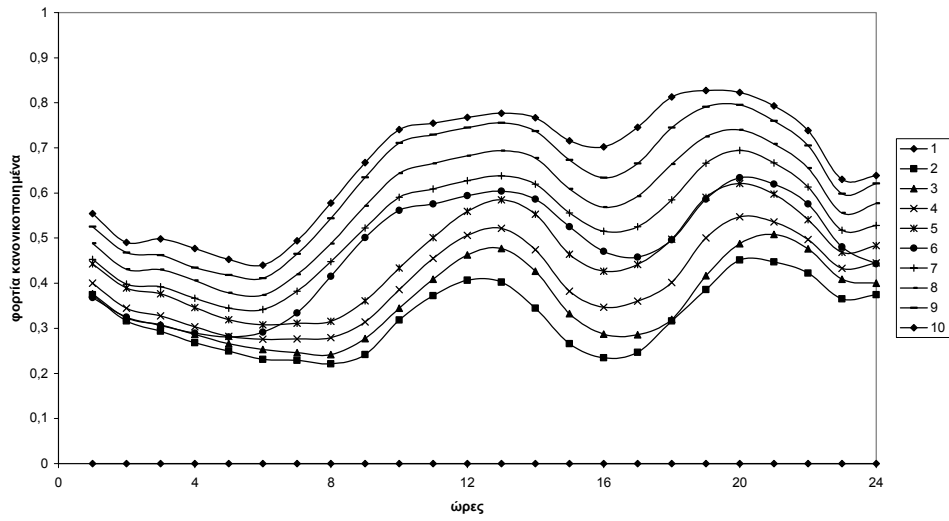
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1993-1994



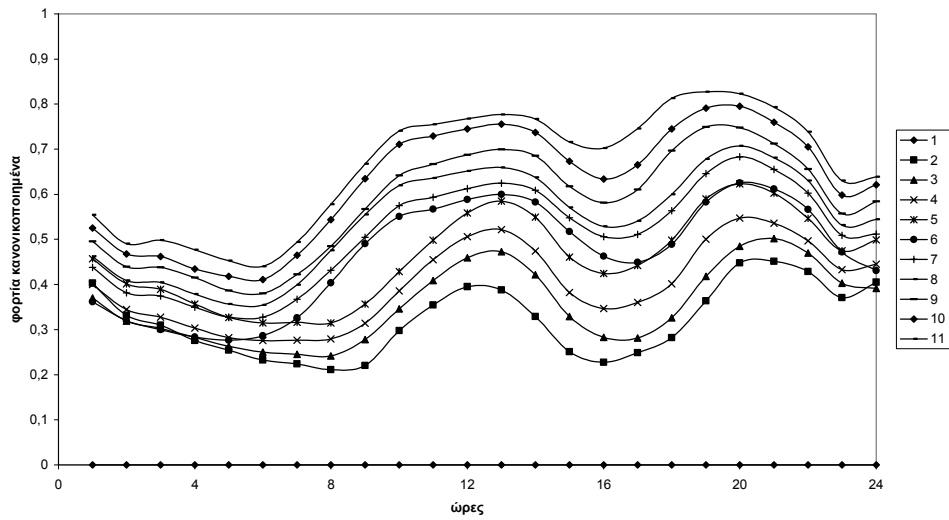
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1993-1994



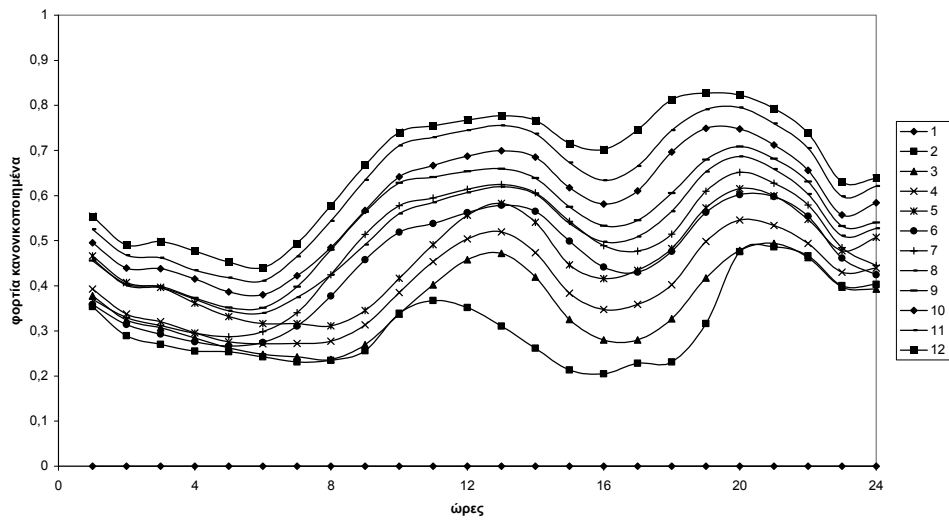
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1994-1995



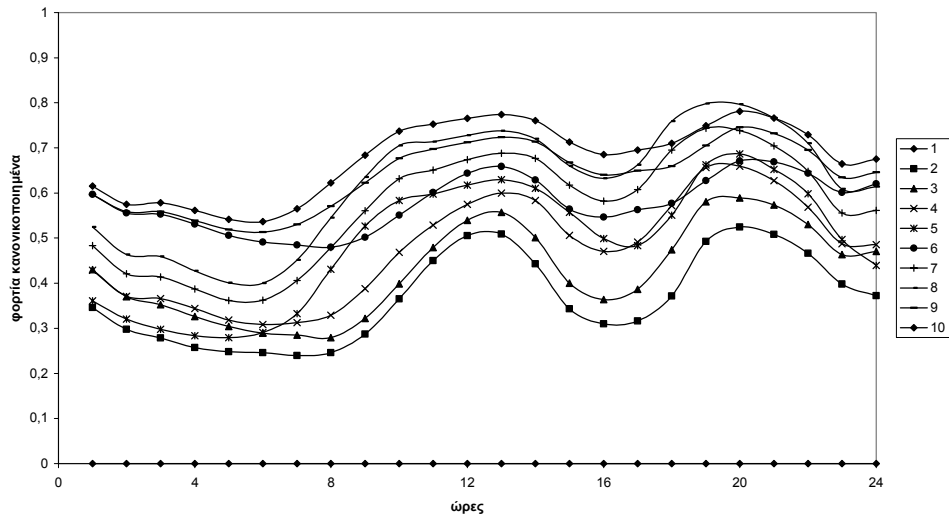
11 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1994-1995



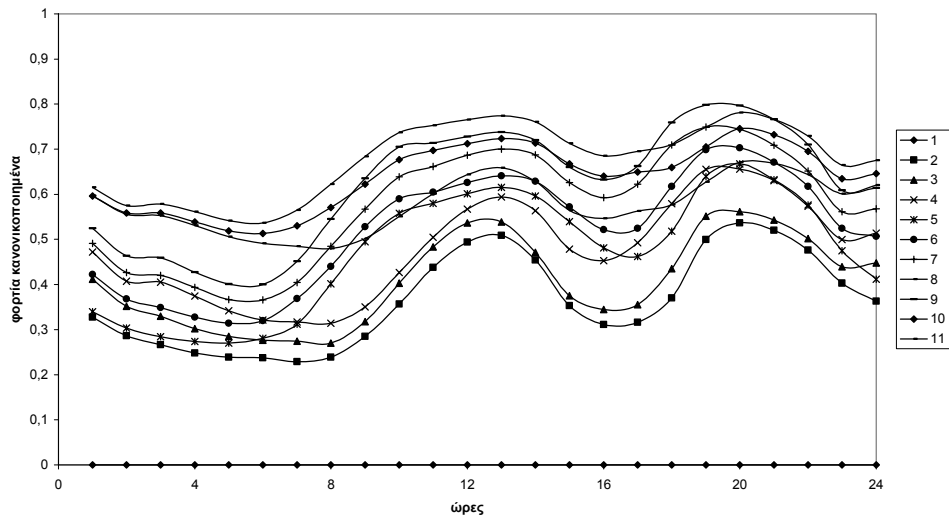
12 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1994-1995



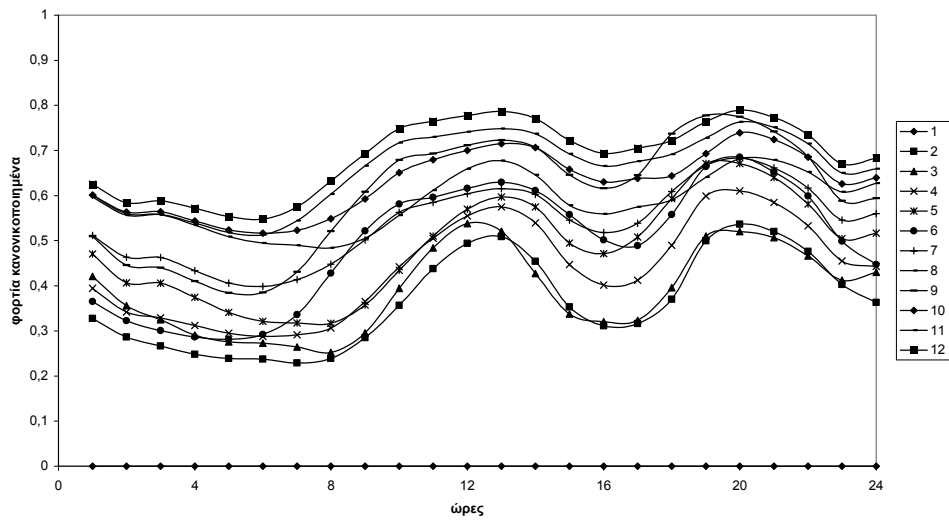
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1995-1996



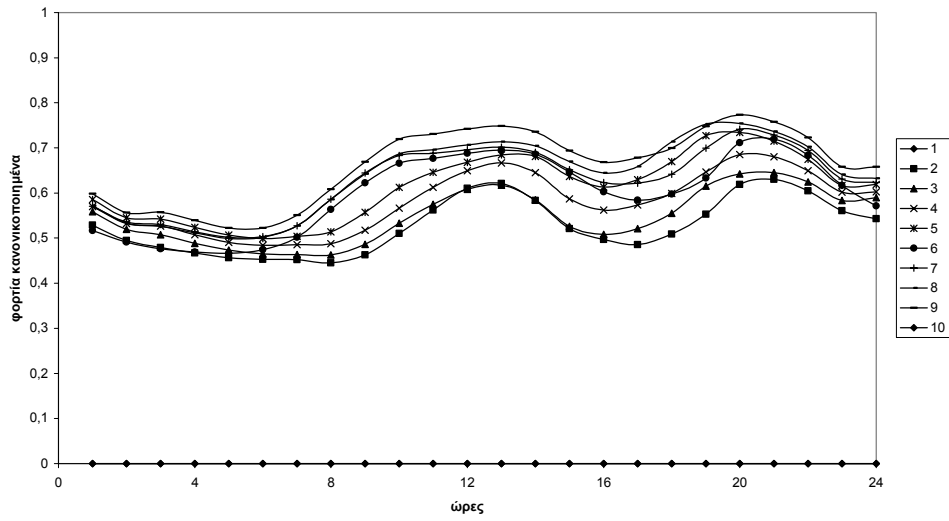
11 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1995-1996



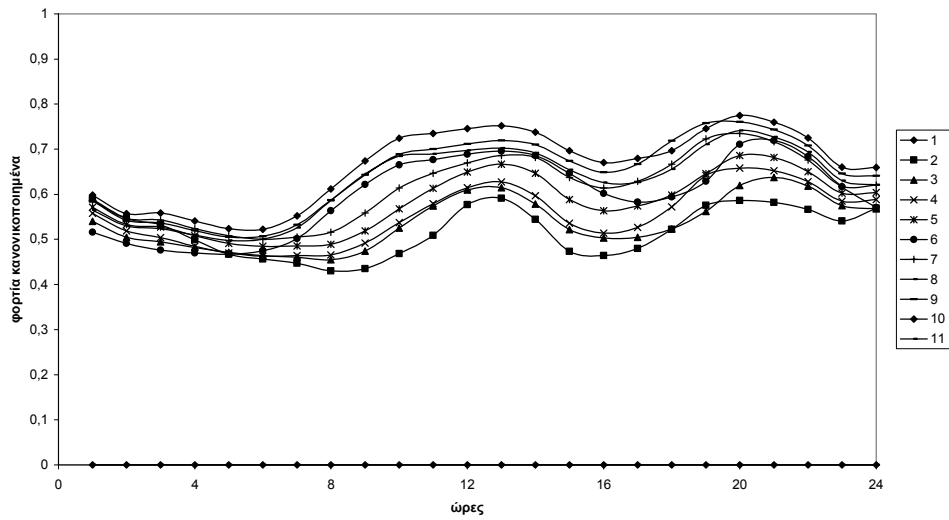
12 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1995-1996



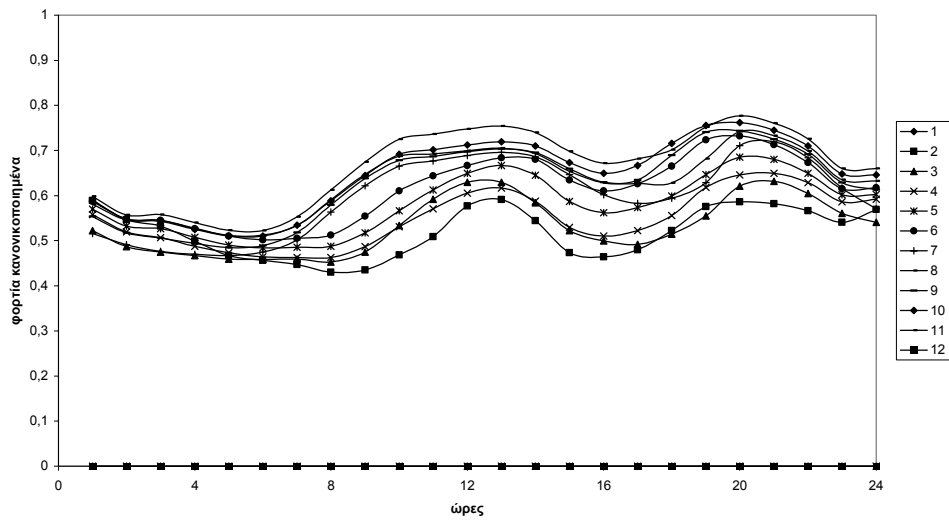
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1996-1997



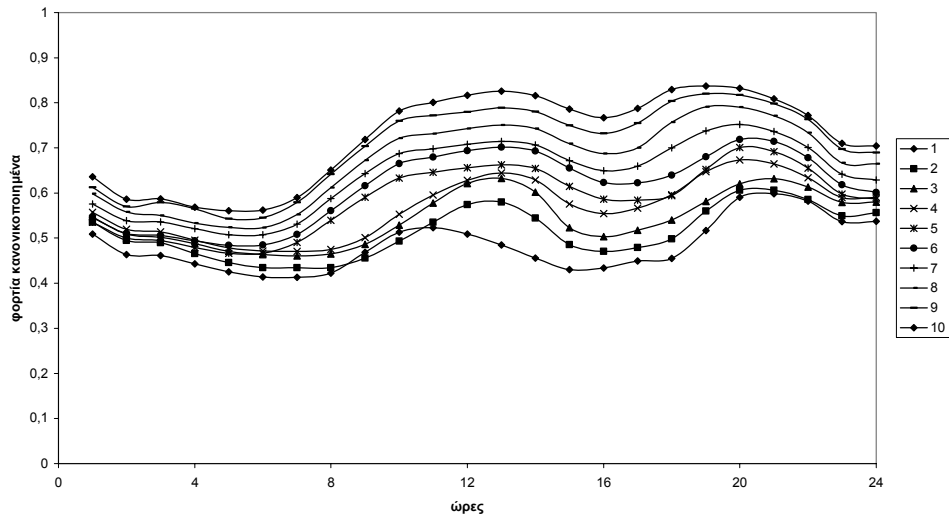
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1996-1997



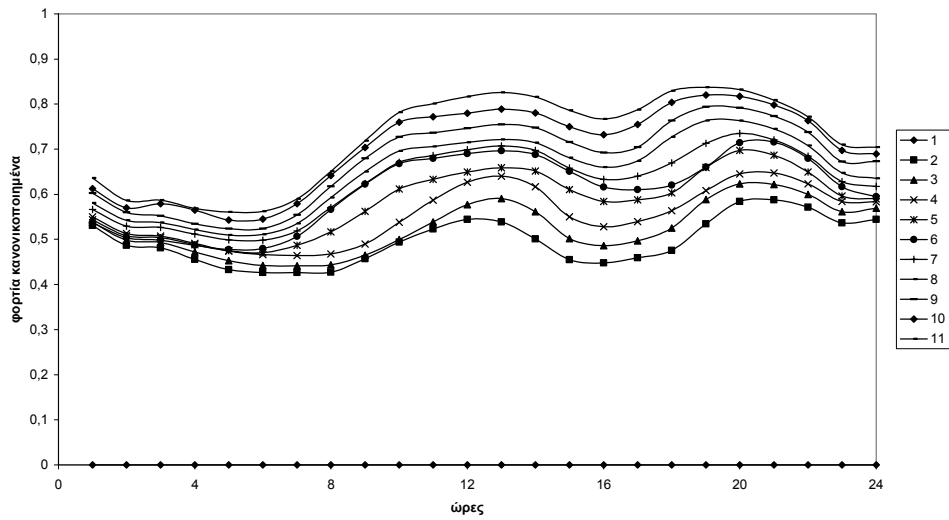
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1996-1997



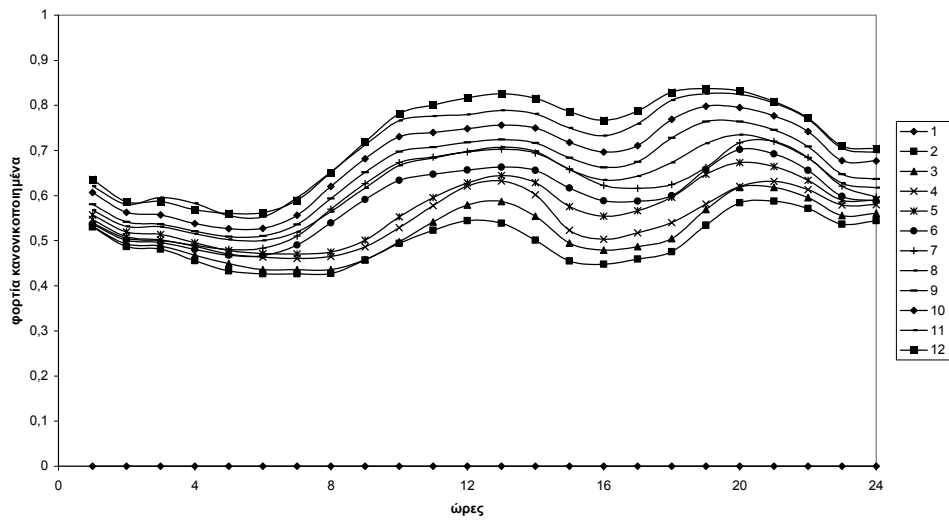
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων O2 για φορτία για το χειμώνα 1997-1998



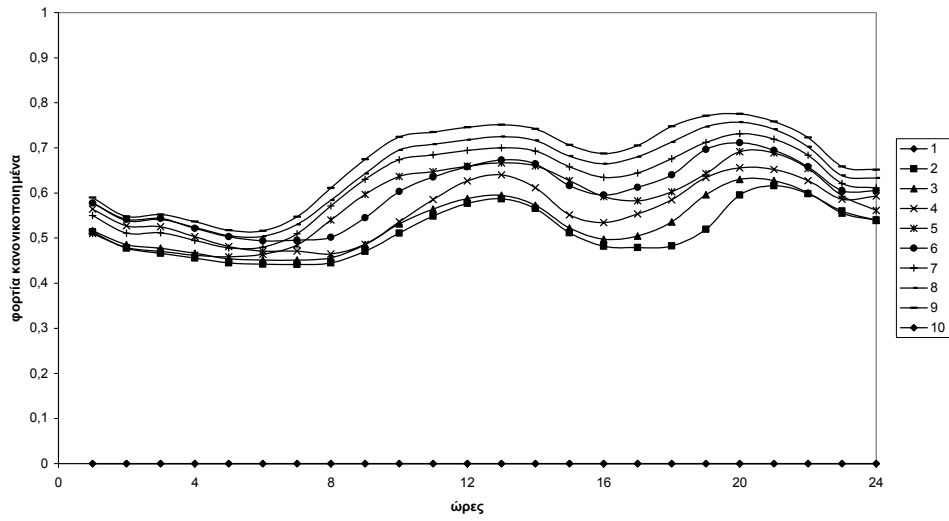
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων O2 για φορτία για το χειμώνα 1997-1998



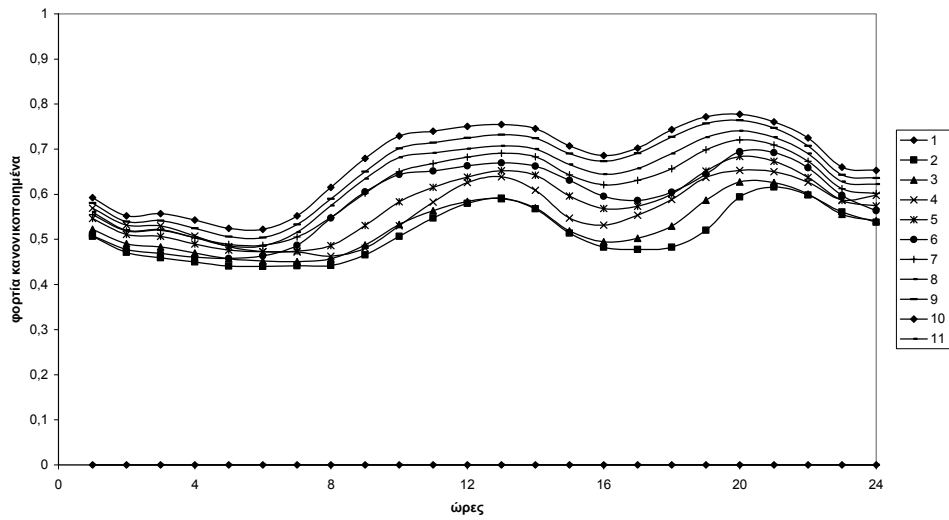
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων O2 για φορτία για το χειμώνα 1997-1998



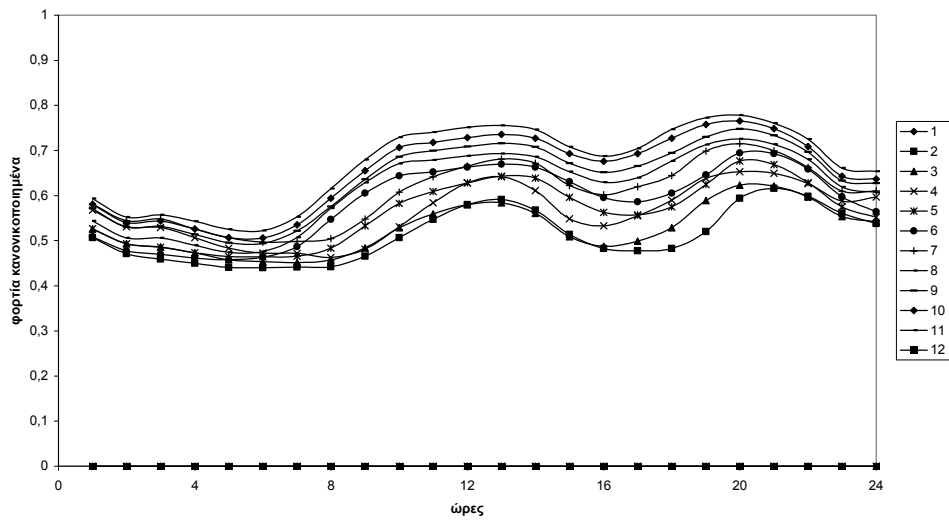
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1998-1999



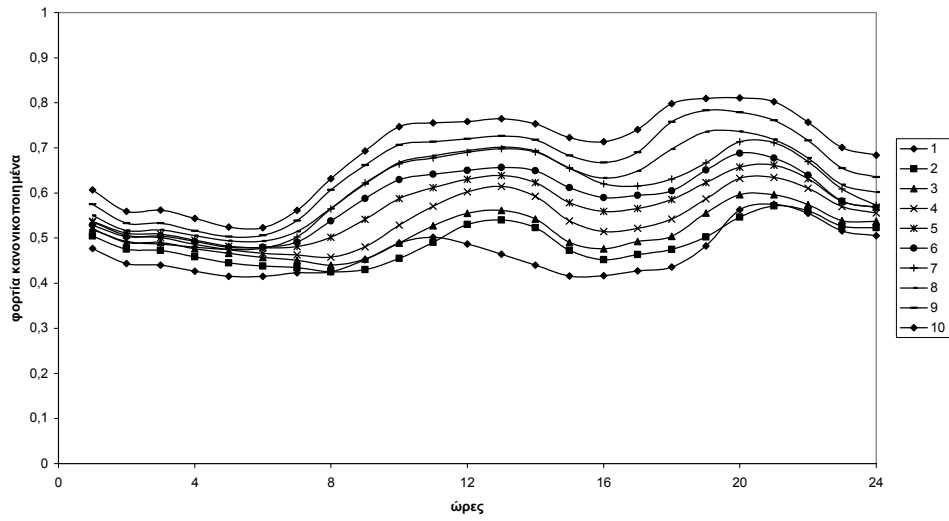
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1998-1999



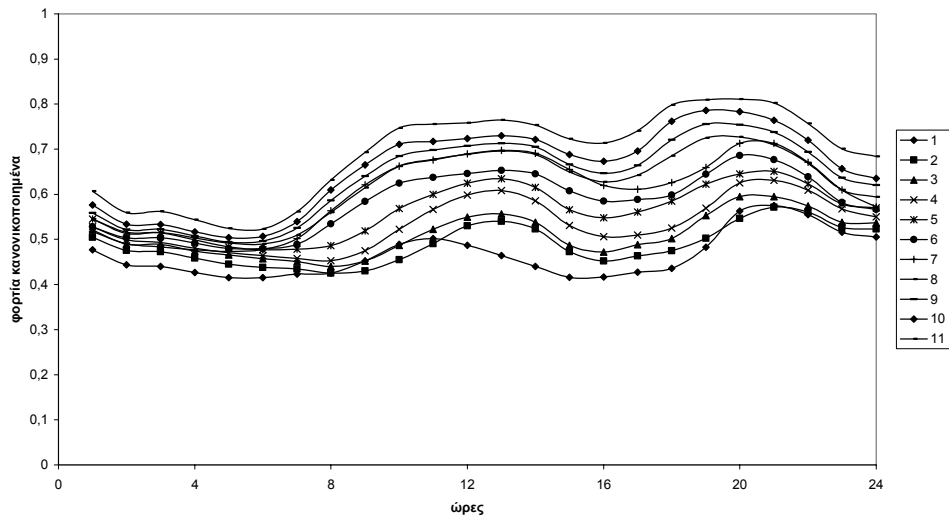
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1998-1999



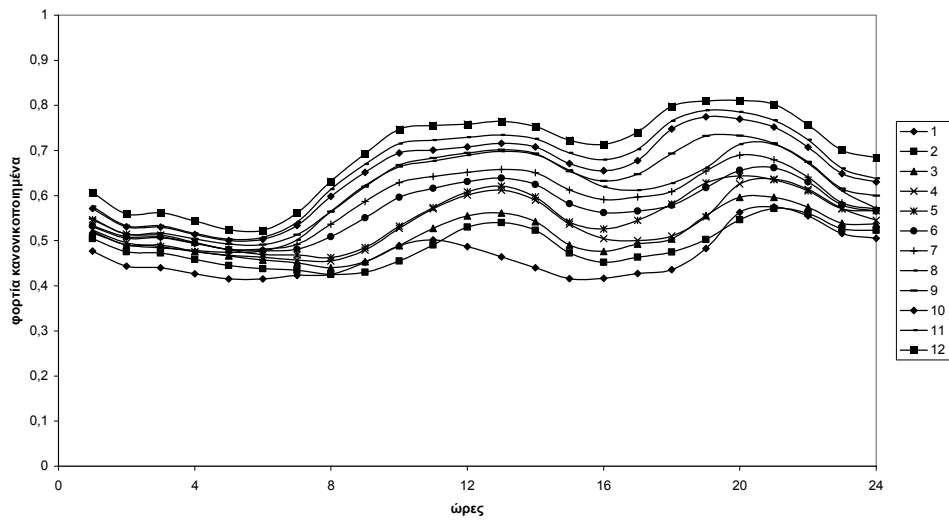
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1999-2000



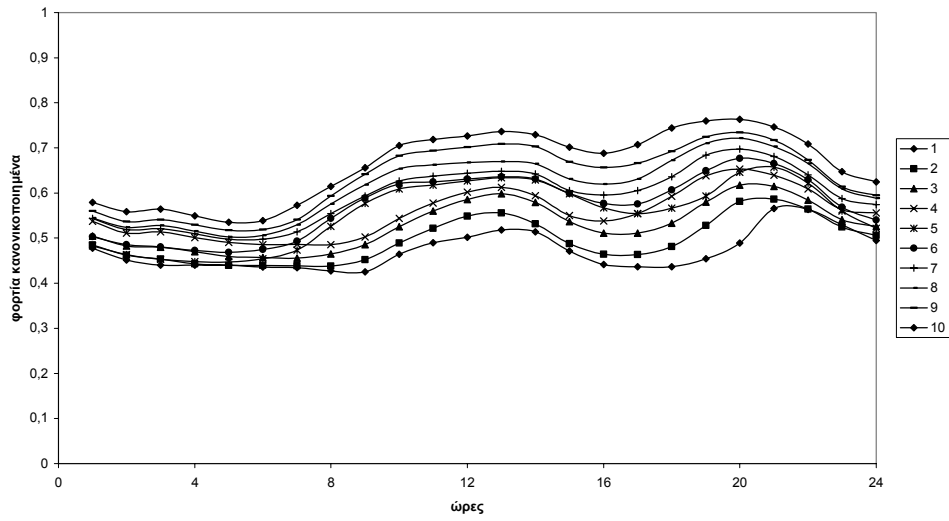
11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1999-2000



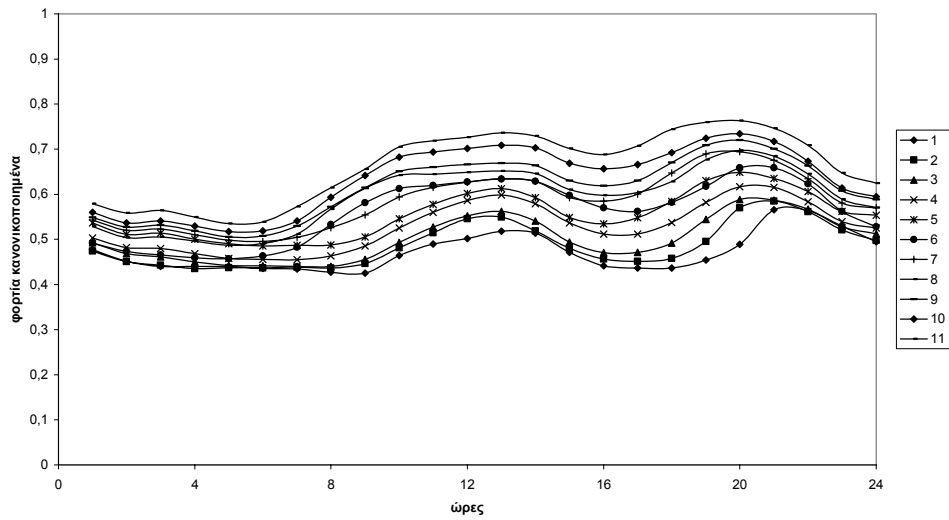
12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 1999-2000



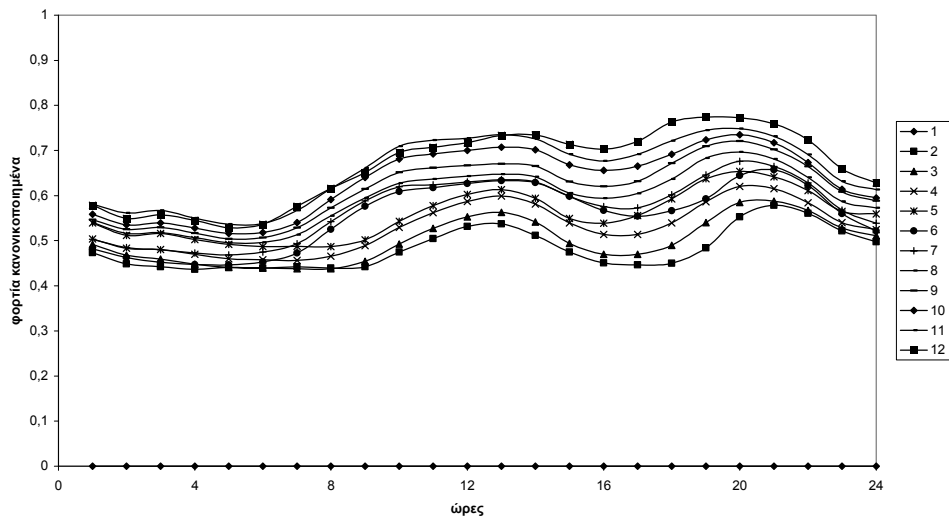
10 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 2000-2001



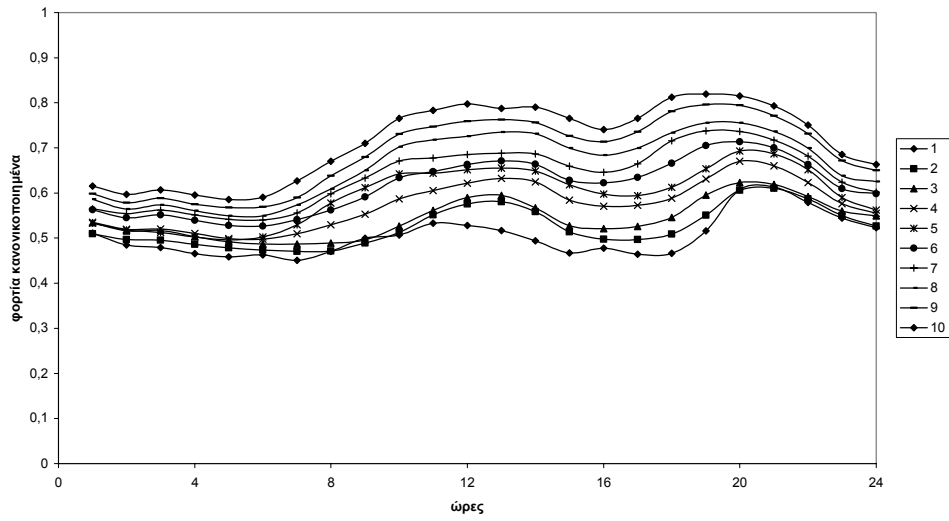
11 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 2000-2001



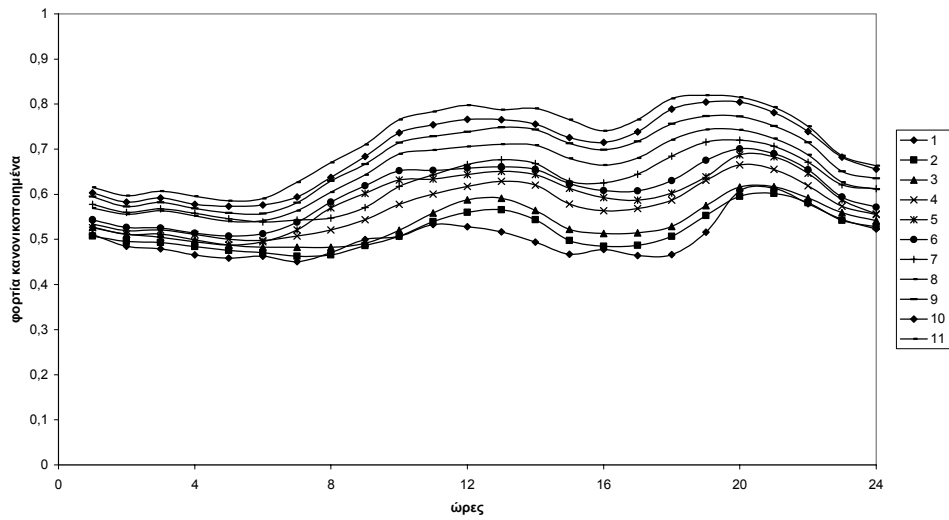
12 Ομάδες για τη μέθοδο K-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 2000-2001



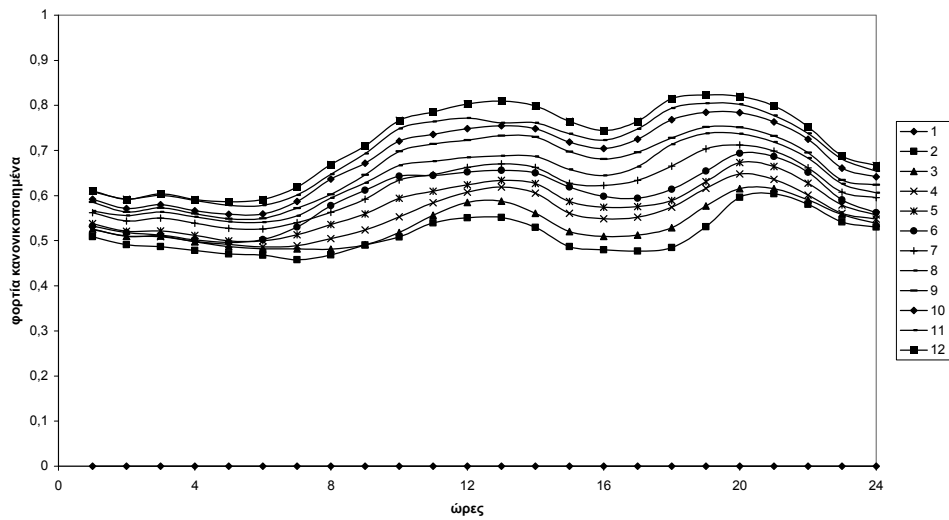
10 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 2001-2002



11 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 2001-2002

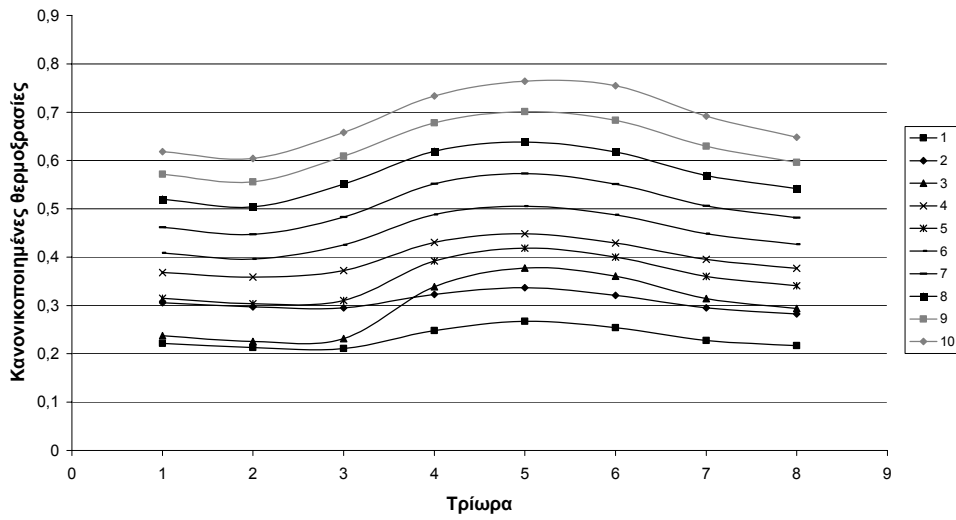


12 Ομάδες για τη μέθοδο Κ-μέσων 02 για φορτία για το χειμώνα 2001-2002

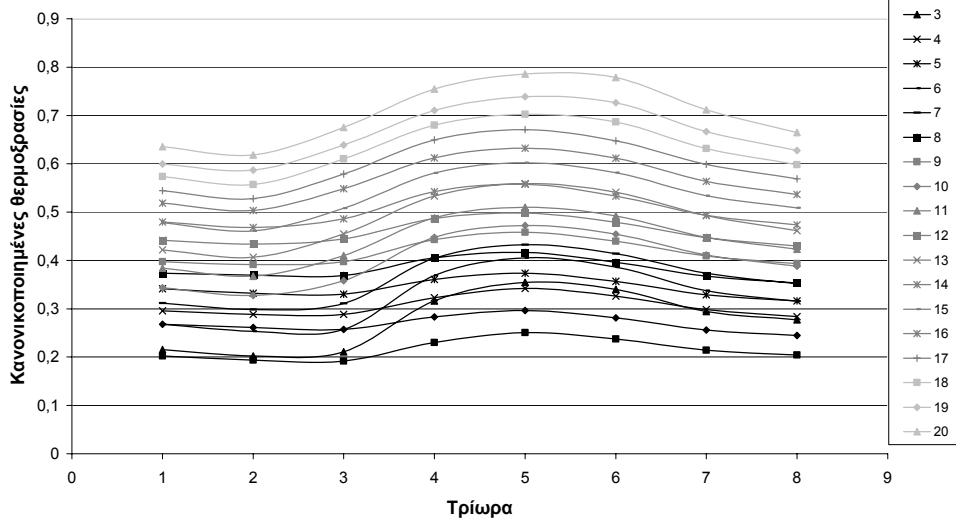


Παράρτημα Ι-2 : Ομαδοποίηση θερμοκρασιών με τη μέθοδο Κ-μέσων 01

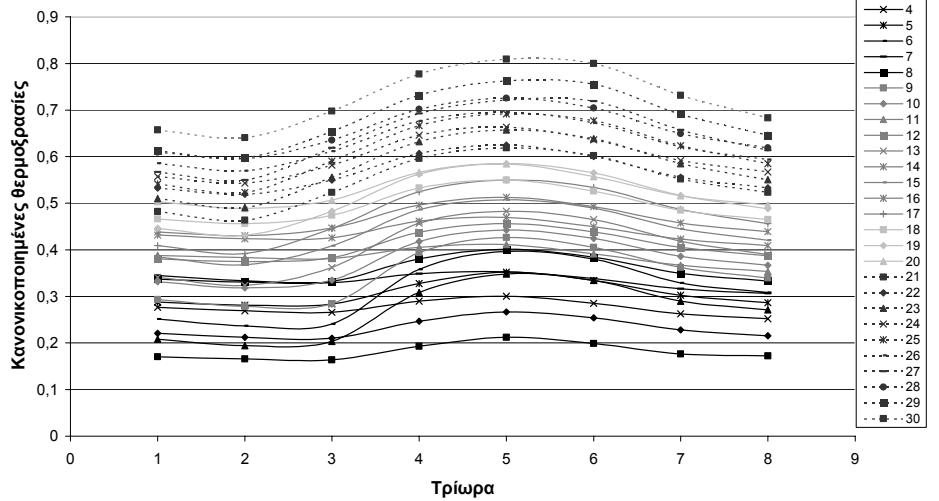
10 ομάδες με Κ-μέσων 01 για έτη για θερμοκρασίες Αθήνας



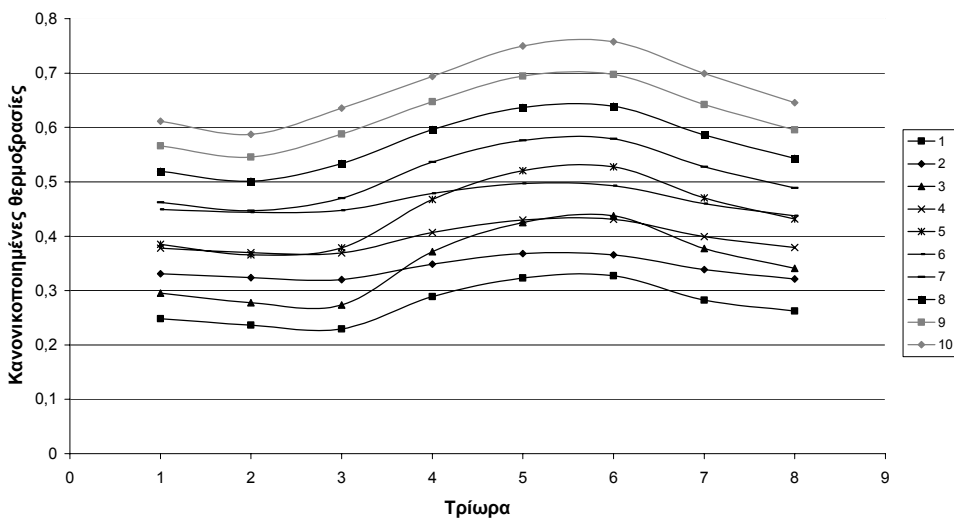
20 ομάδες με Κ-μέσων 01 για έτη για θερμοκρασίες Αθήνας



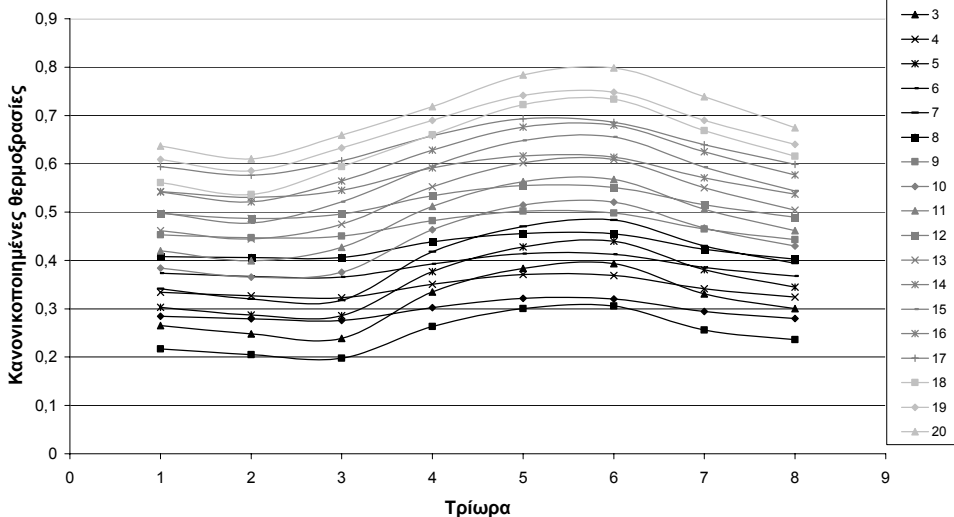
30 ομάδες με Κ-μέσων 01 για έτη για θερμοκρασίες Αθήνας



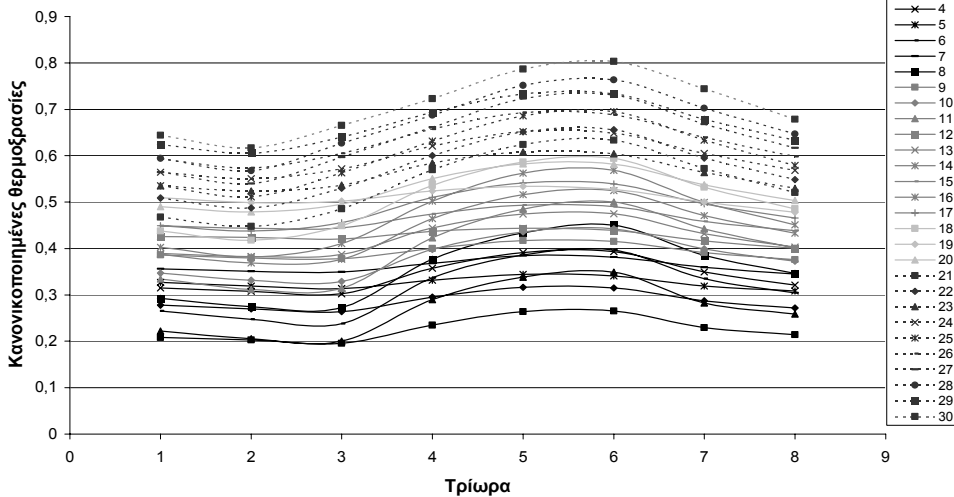
10 ομάδες με Κ-μέσων 01 για έτη για θερμοκρασίες Θεσσαλονίκης



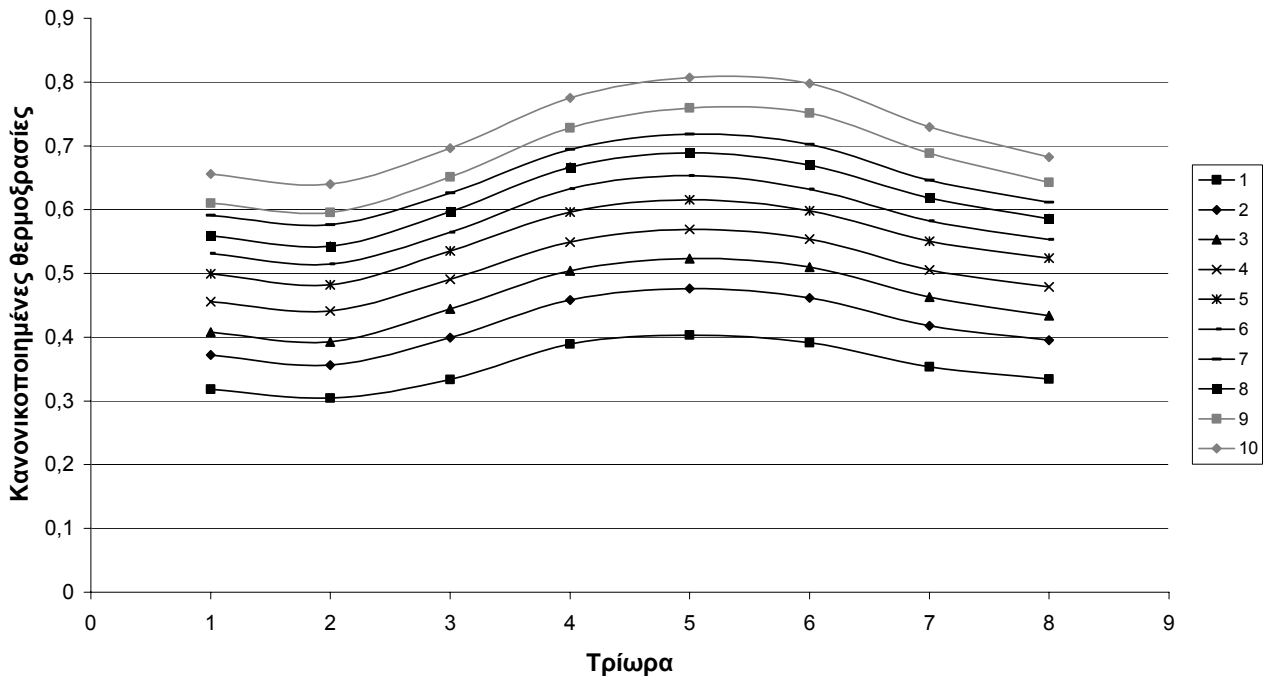
20 ομάδες με Κ-μέσων 01 για έτη για θερμοκρασίες Θεσσαλονίκης



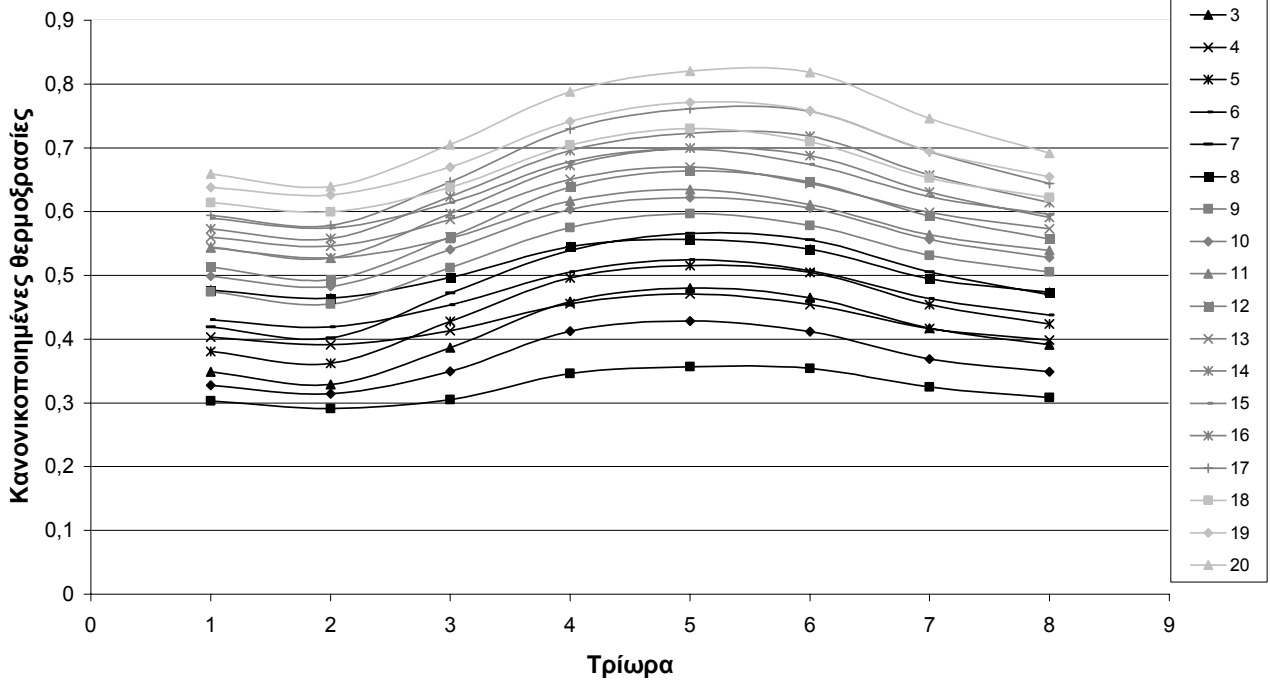
30 ομάδες με Κ-μέσων 01 για έτη για θερμοκρασίες Θεσσαλονίκης



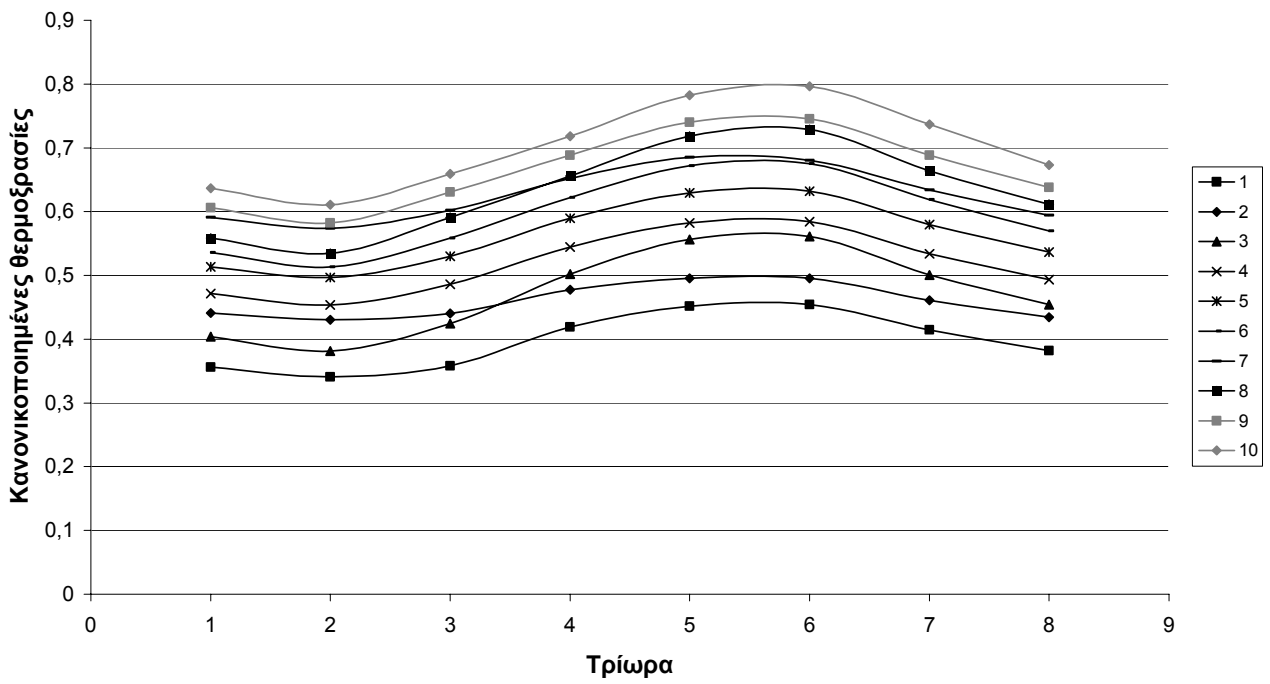
10 ομάδες με Κ-μέσων 01 για Καλοκαίρι για θερμοκρασίες Αθήνας



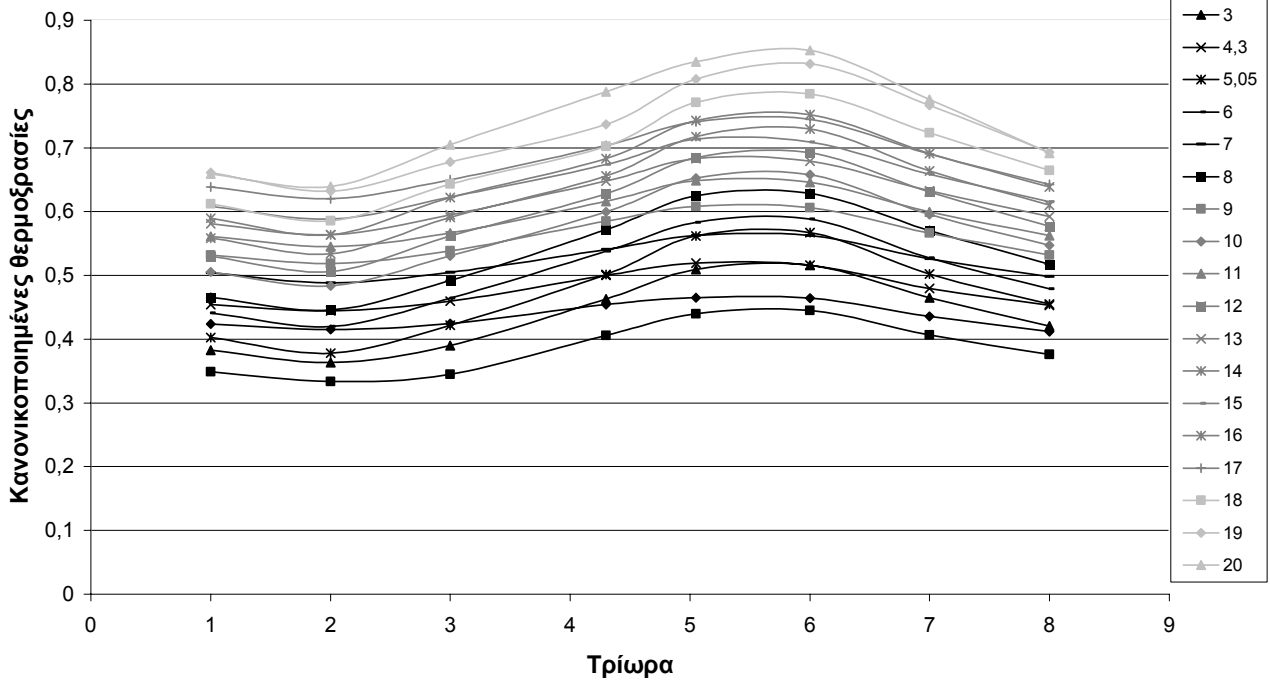
20 ομάδες με Κ-μέσων 01 για Καλοκαίρι για θερμοκρασίες Αθήνας



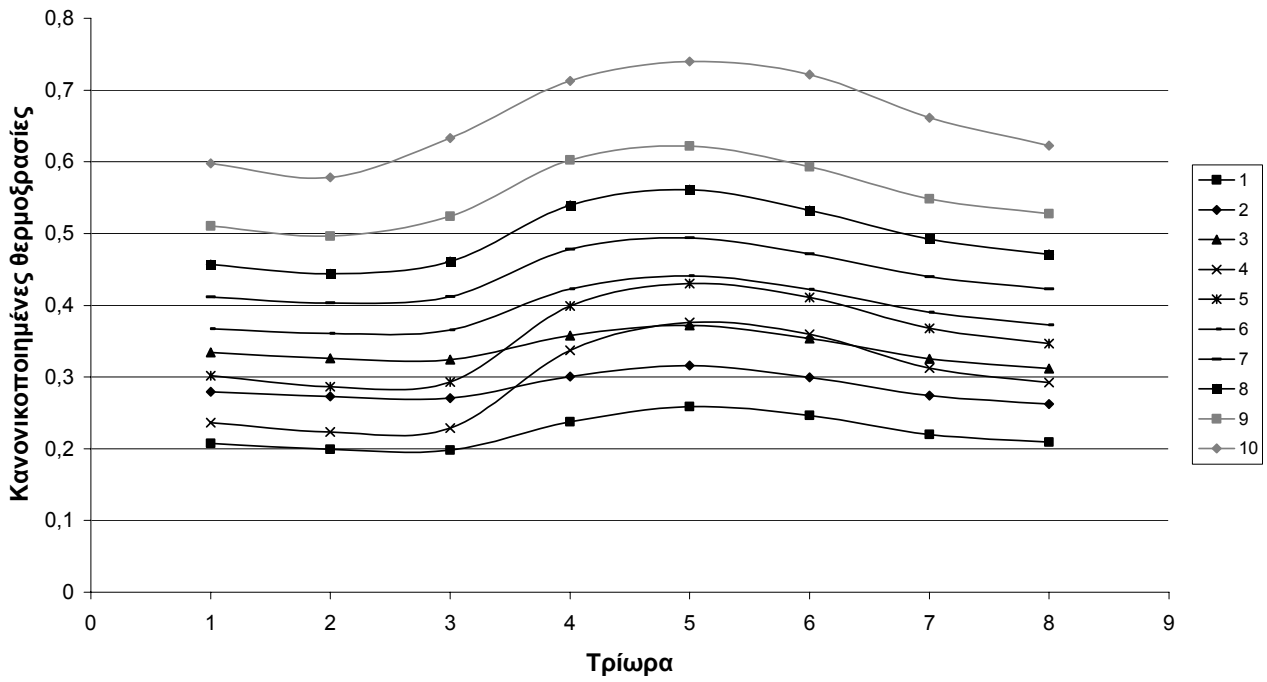
10 ομάδες με Κ-μέσων 01 για Καλοκαίρι για θερμοκρασίες Θεσσαλονίκης



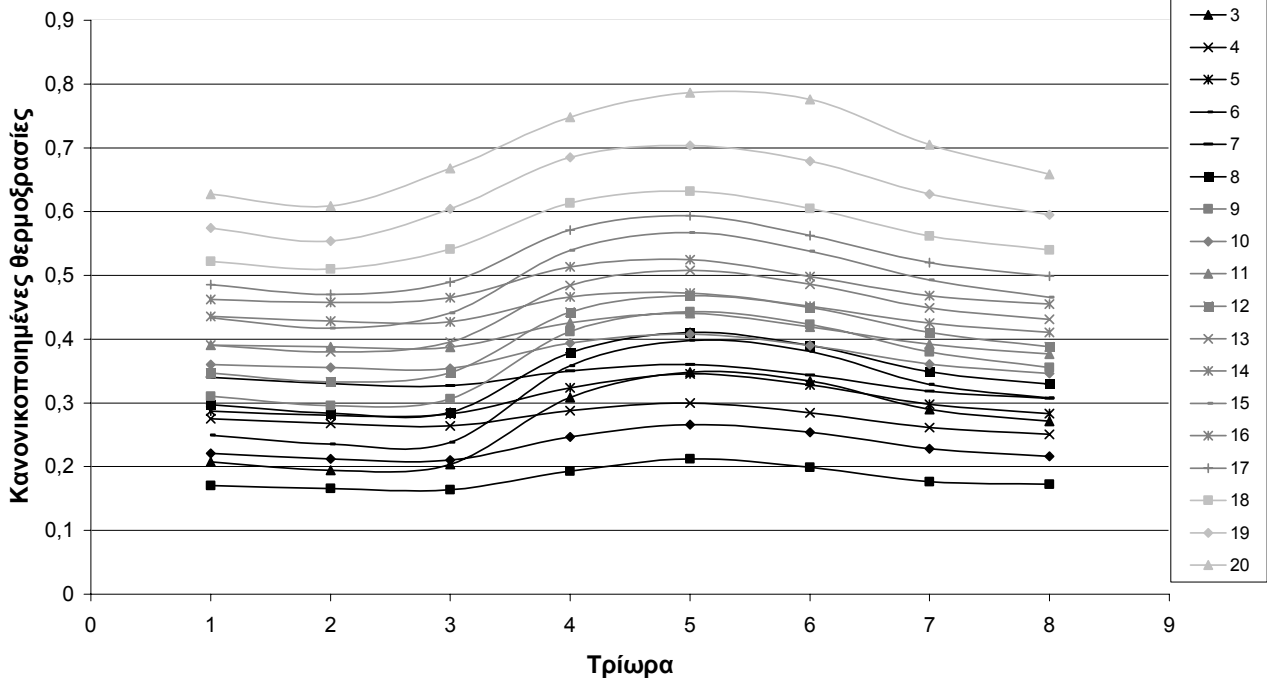
20 ομάδες με Κ-μέσων 01 για Καλοκαίρι για θερμοκρασίες Θεσσαλονίκης



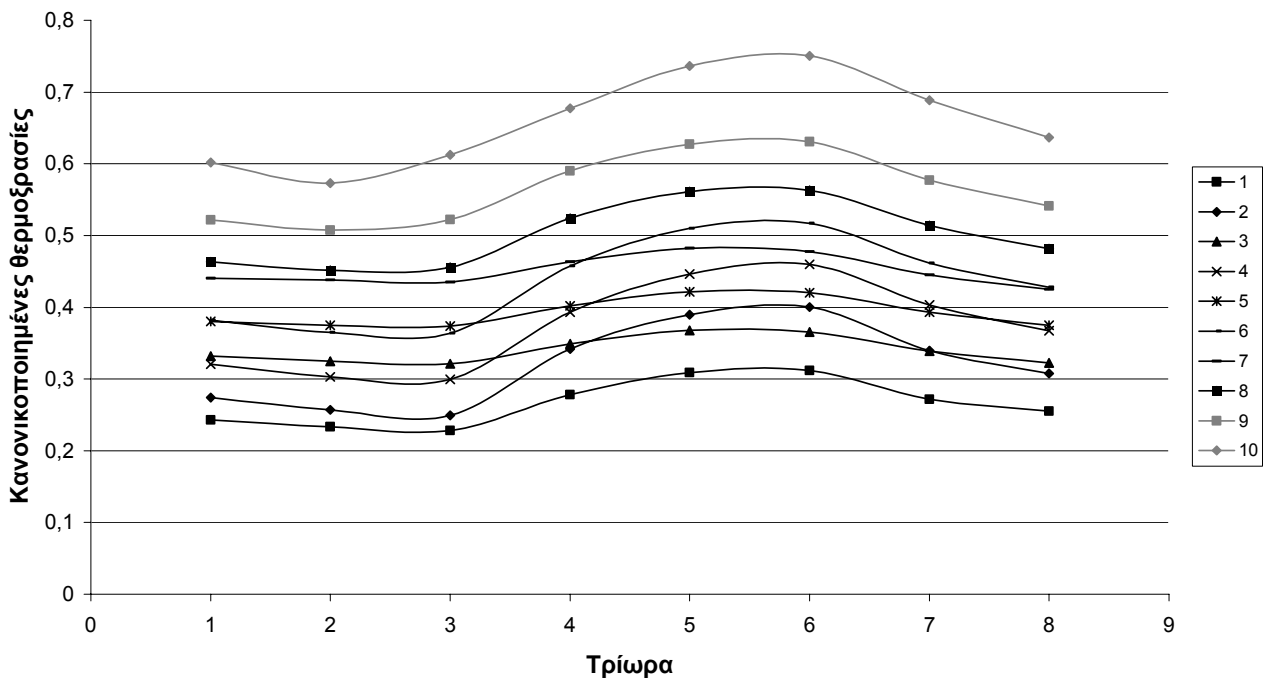
10 ομάδες με Κ-μέσων 01 για Χειμώνα για θερμοκρασίες Αθήνας



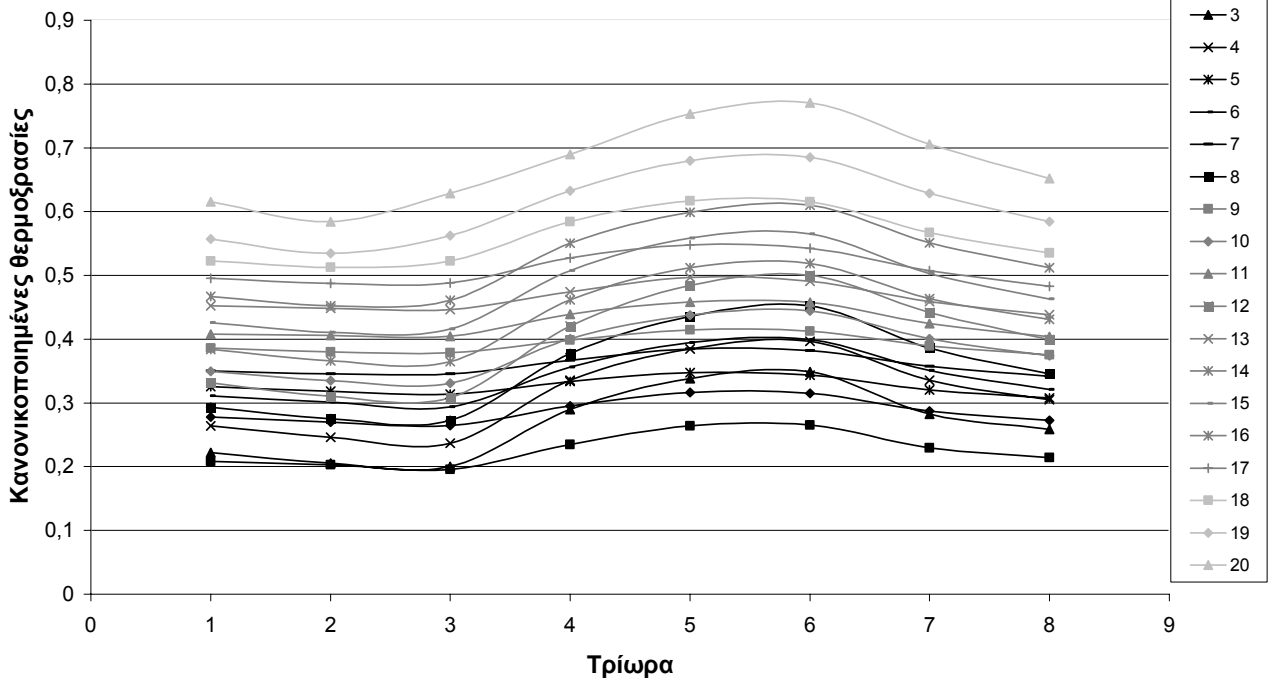
20 ομάδες με Κ-μέσων 01 για Χειμώνας για θερμοκρασίες Αθήνας



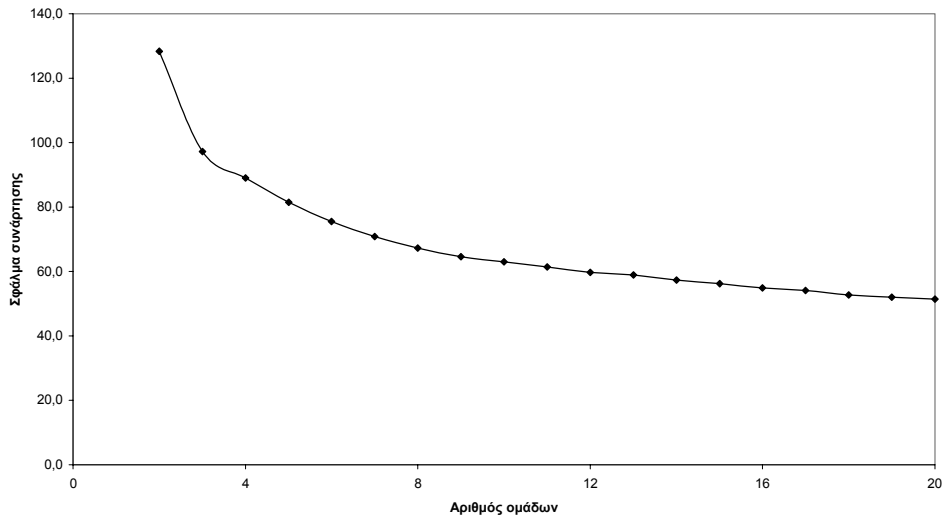
10 ομάδες με Κ-μέσων 01 για Χειμώνα για θερμοκρασίες Θεσσαλονίκης



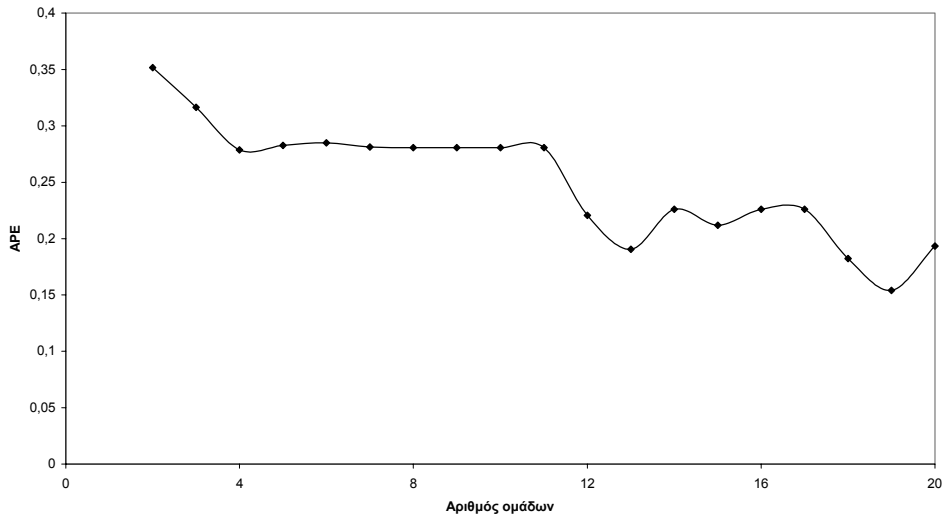
20 ομάδες με Κ-μέσων 01 για Χειμώνας για θερμοκρασίες Θεσσαλονίκης



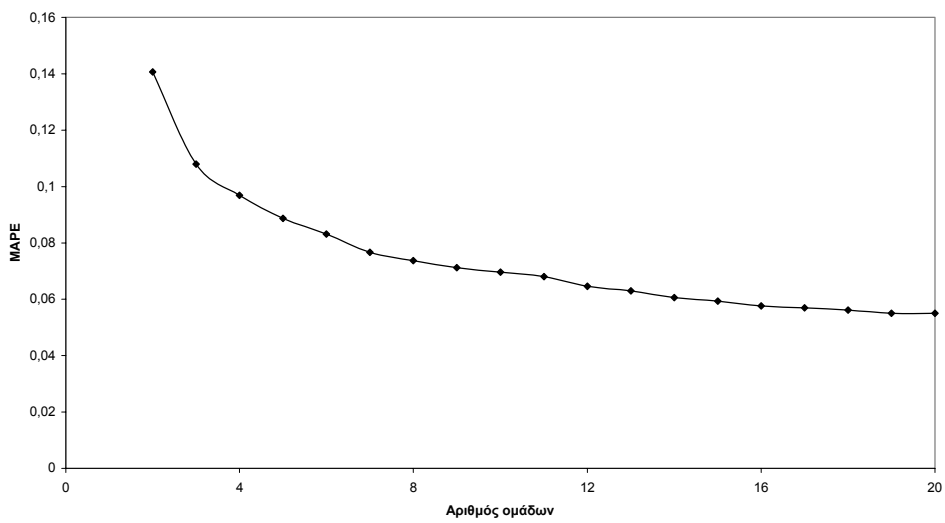
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για έτος 1986 με μέθοδο Κ-μέσων 01



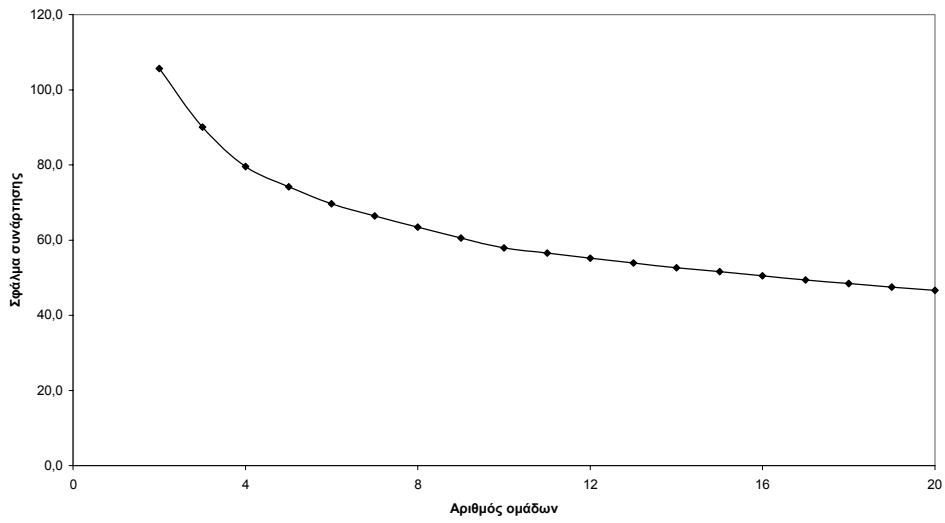
ΑΡΕ για φορτία για έτος 1986 με μέθοδο Κ-μέσων 01



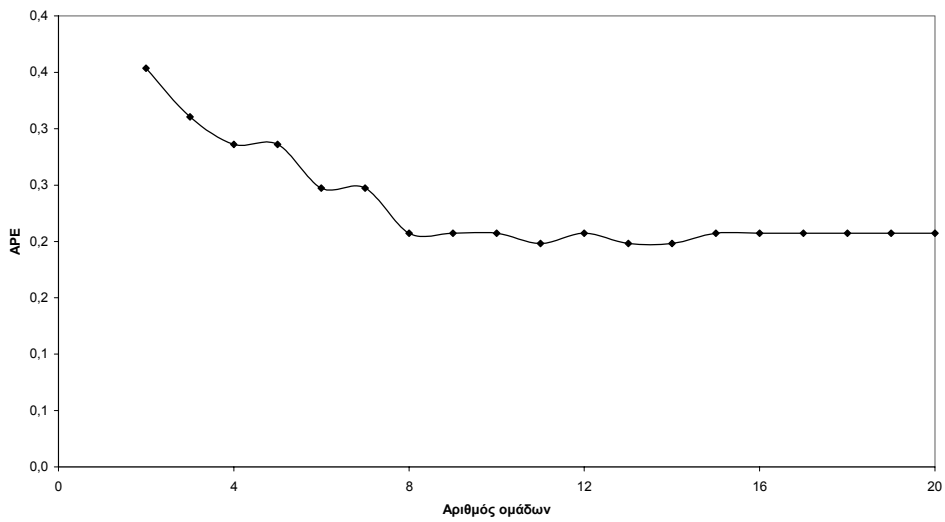
ΜΑΡΕ για φορτία για έτος 1986 με μέθοδο Κ-μέσων 01



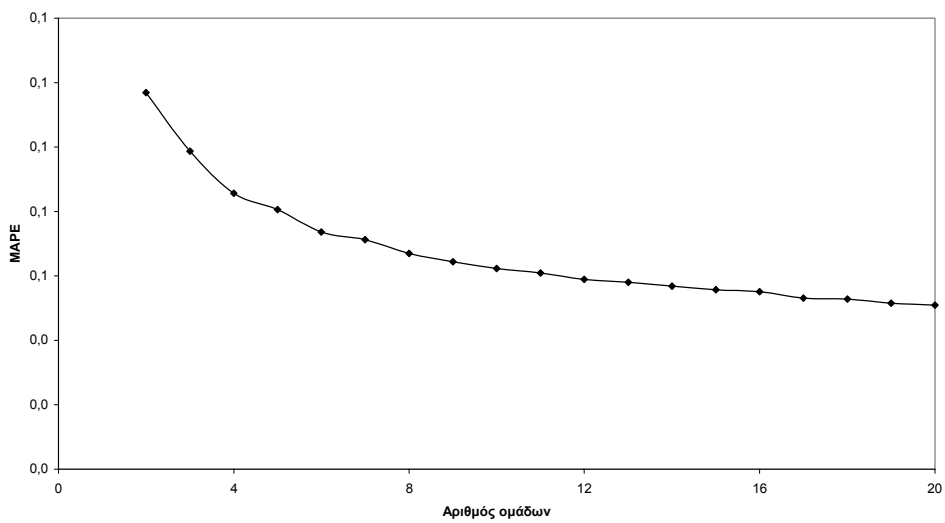
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για έτος 1994 με μέθοδο Κ-μέσων 01



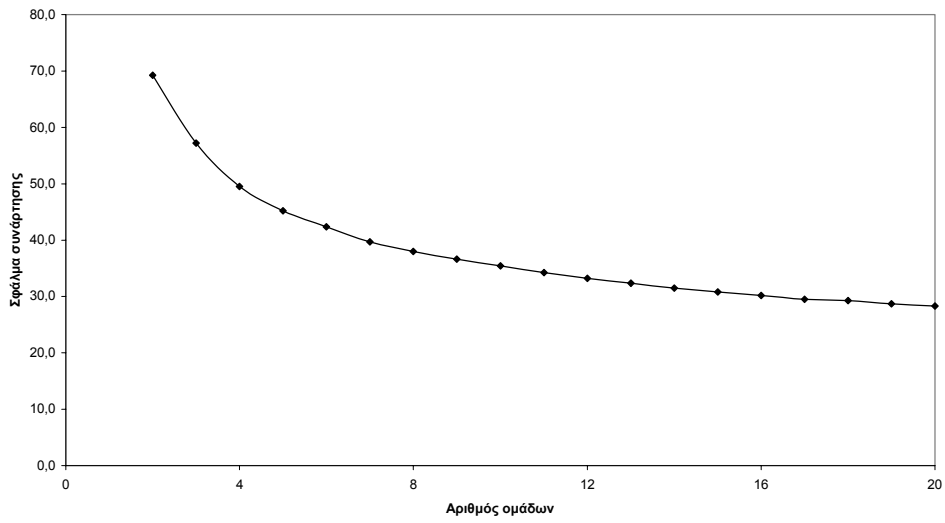
ΑΡΕ για φορτία για έτος 1994 με μέθοδο Κ-μέσων 01



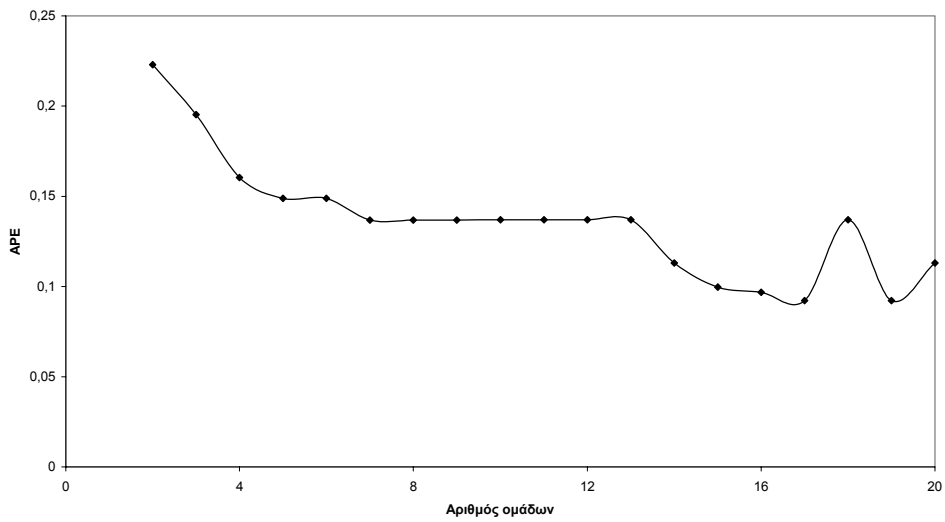
ΜΑΡΕ για φορτία για έτος 1994 με μέθοδο Κ-μέσων 01



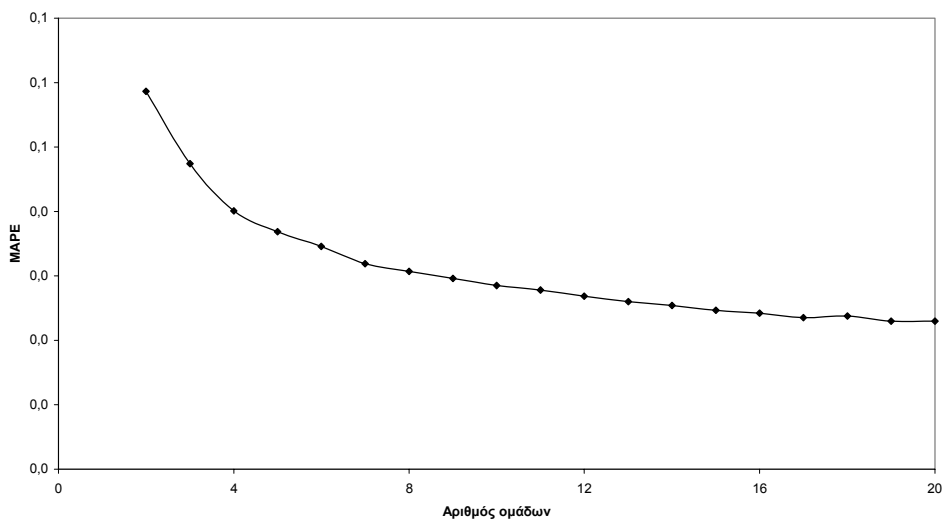
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για έτος 2000 με μέθοδο Κ-μέσων 01



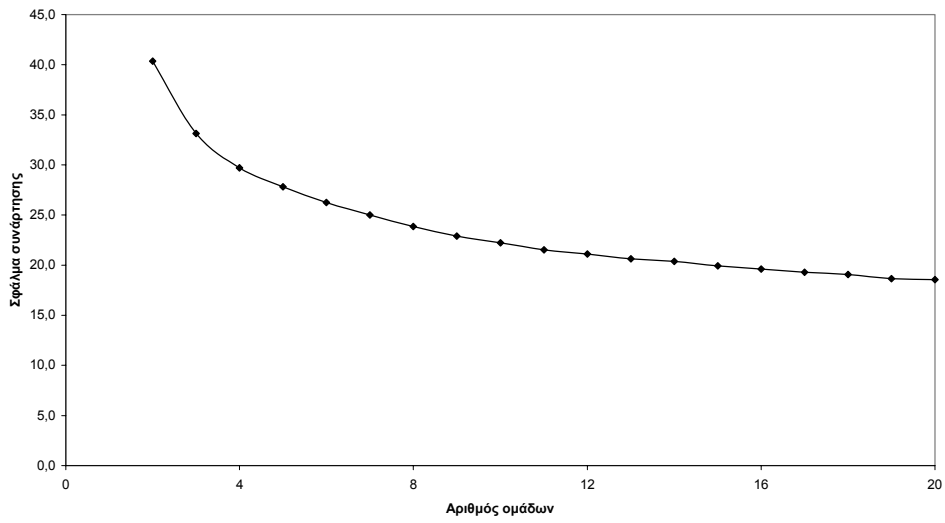
ΑΡΕ για φορτία για έτος 2000 με μέθοδο Κ-μέσων 01



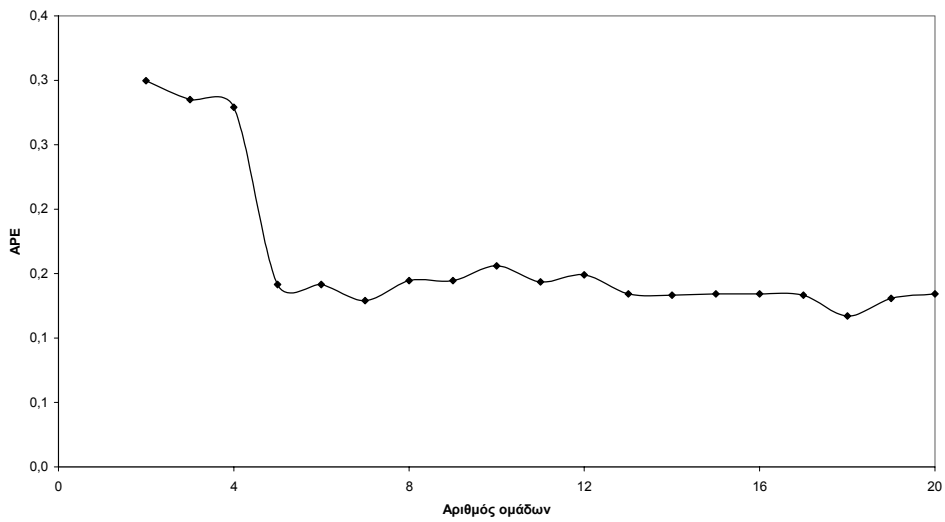
ΜΑΡΕ για φορτία για έτος 2000 με μέθοδο Κ-μέσων 01



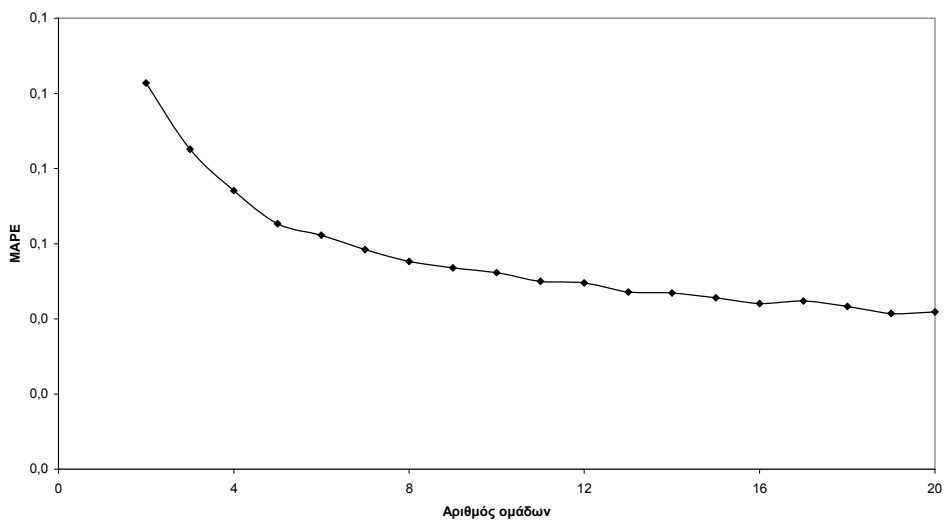
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για καλοκαίρι 1986 με μέθοδο Κ-μέσων 01



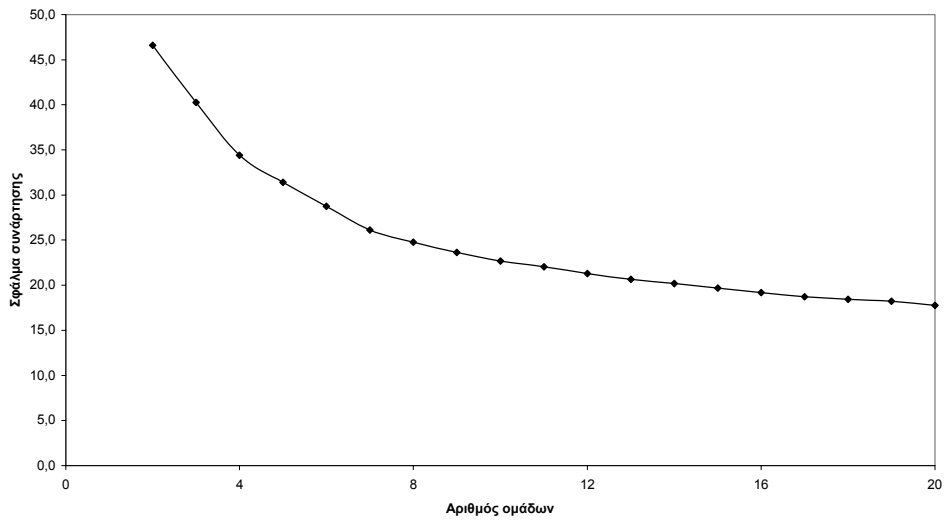
ΑΡΕ για φορτία για καλοκαίρι 1986 με μέθοδο Κ-μέσων 01



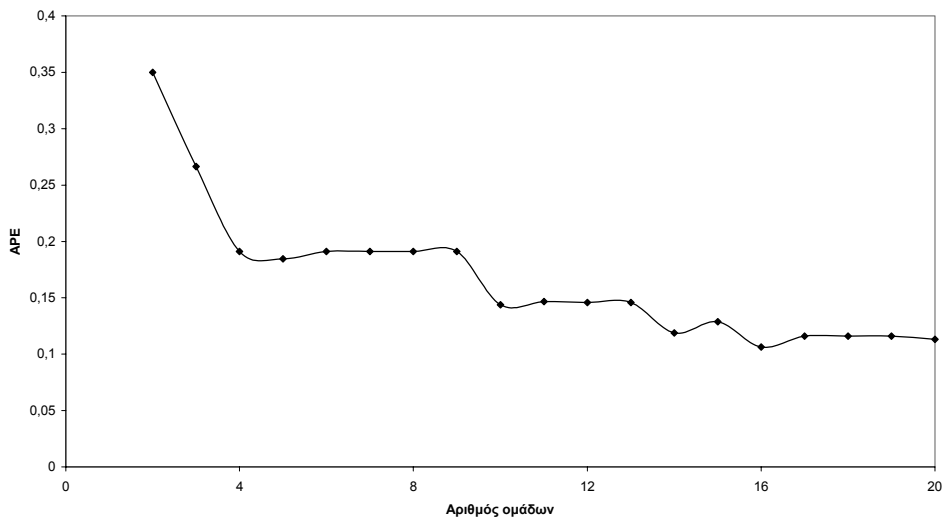
ΜΑΡΕ για φορτία για καλοκαίρι 1986 με μέθοδο κ-μέσων 01



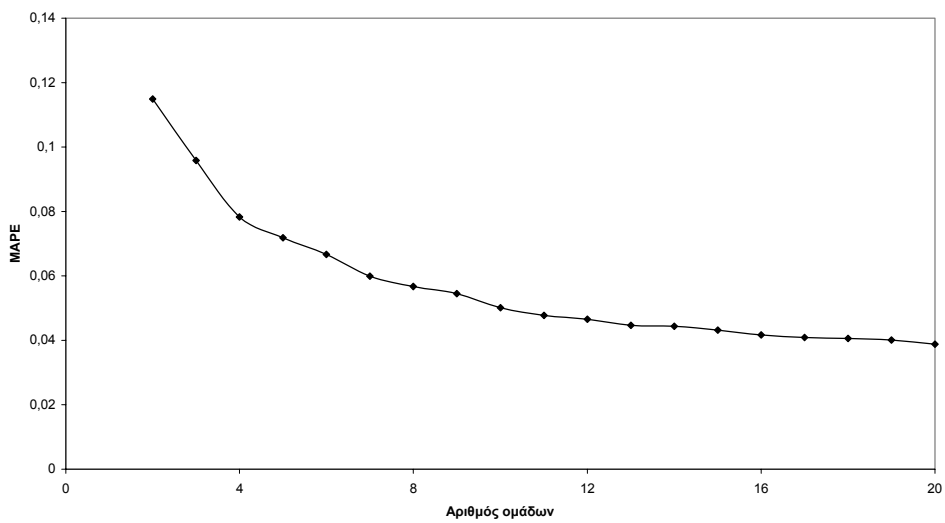
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για καλοκαίρι 1994 με μέθοδο Κ-μέσων 01



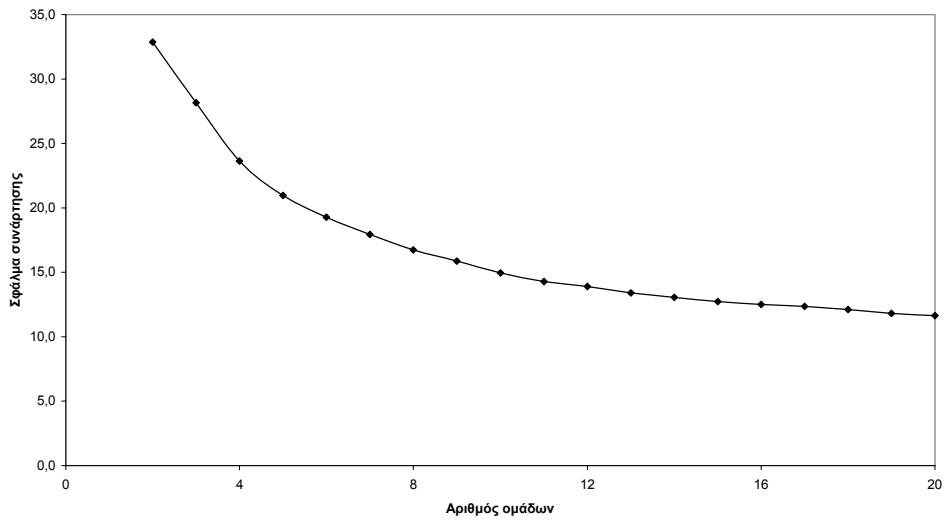
ΑΡΕ για φορτία για καλοκαίρι 1994 με μέθοδο Κ-μέσων 01



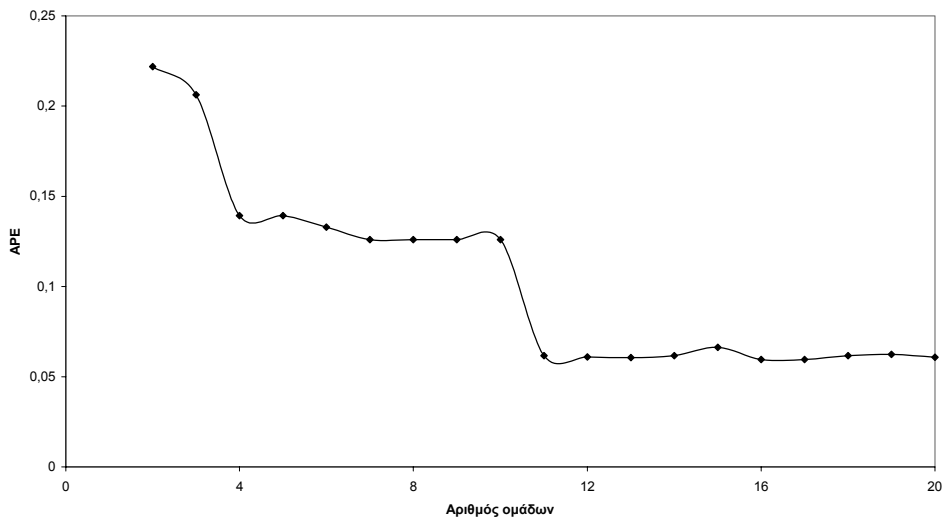
ΜΑΡΕ για φορτία για καλοκαίρι 1994 με μέθοδο Κ-μέσων 01



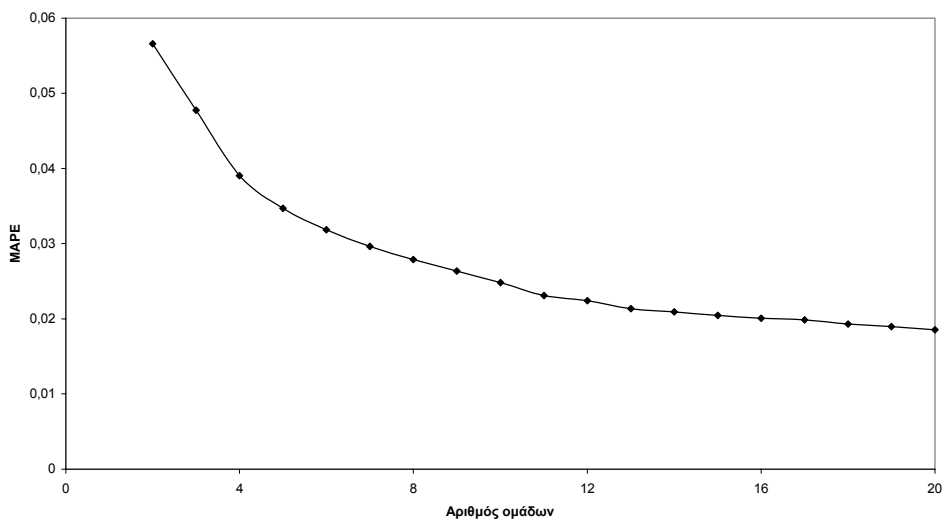
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για καλοκαίρι 2000 με μέθοδο 01



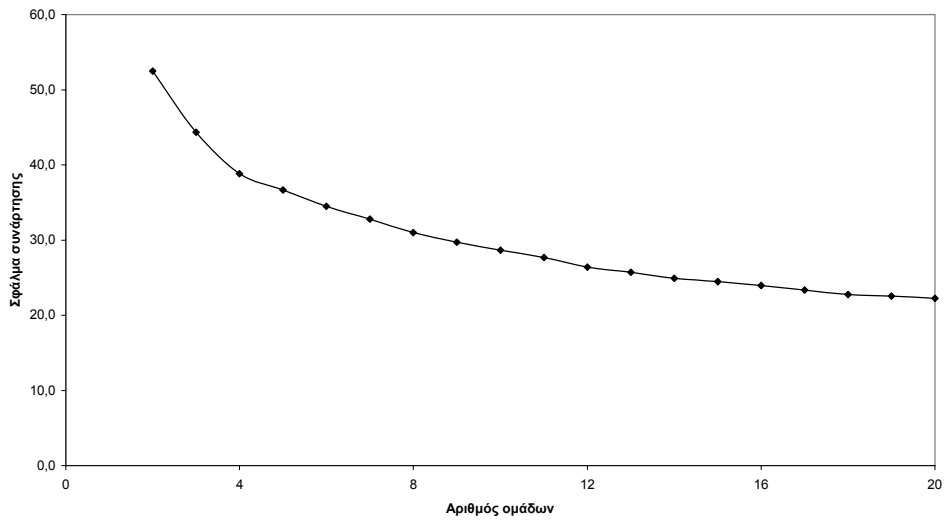
ΑΡΕ για φορτία για καλοκαίρι 2000 με μέθοδο Κ-μέσων 01



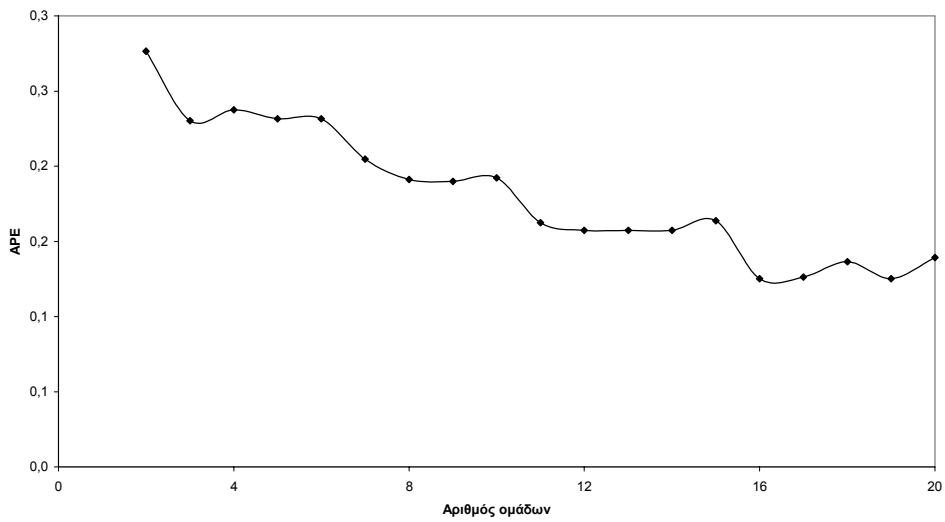
ΜΑΡΕ για φορτία για καλοκαίρι 2000 με μέθοδο Κ-μέσων 01



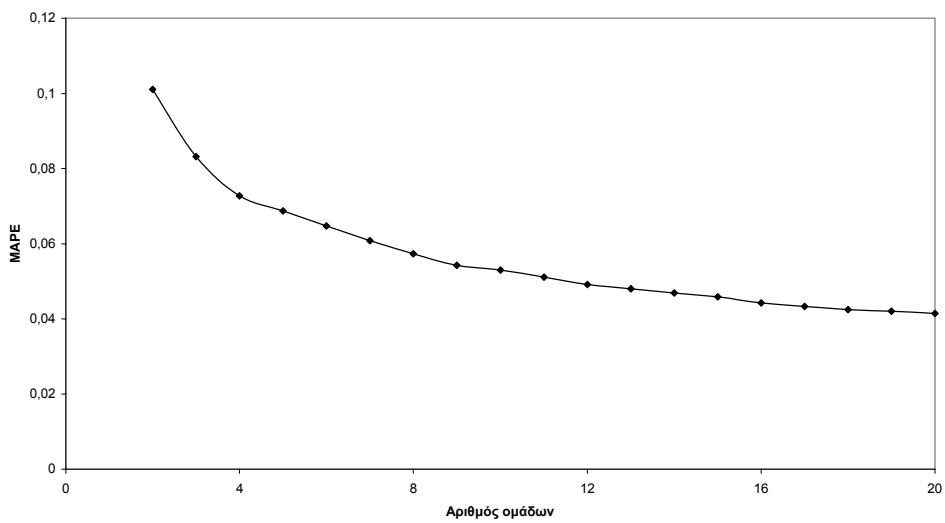
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για χειμώνα 1985-1986 με μέθοδο Κ-μέσων 01



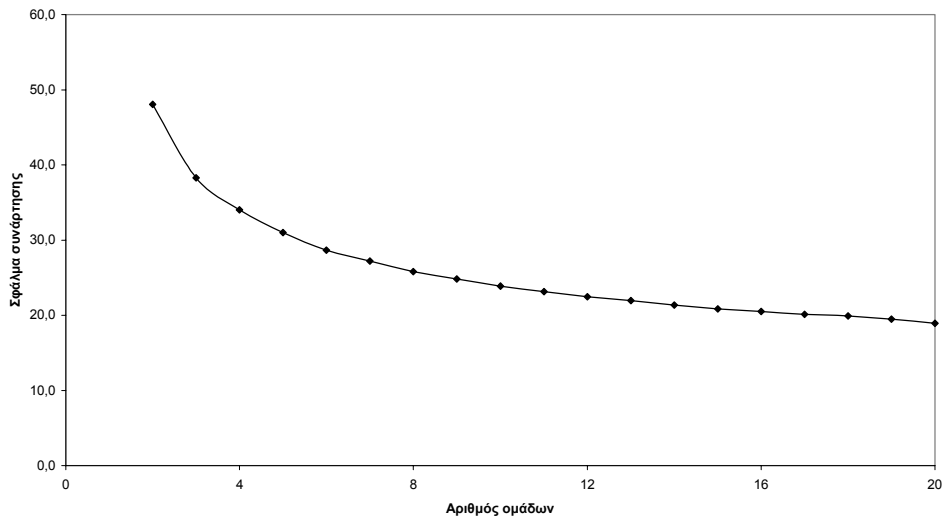
ΑΡΕ για φορτία για χειμώνα 1985-1986 με μέθοδο Κ-μέσων 01



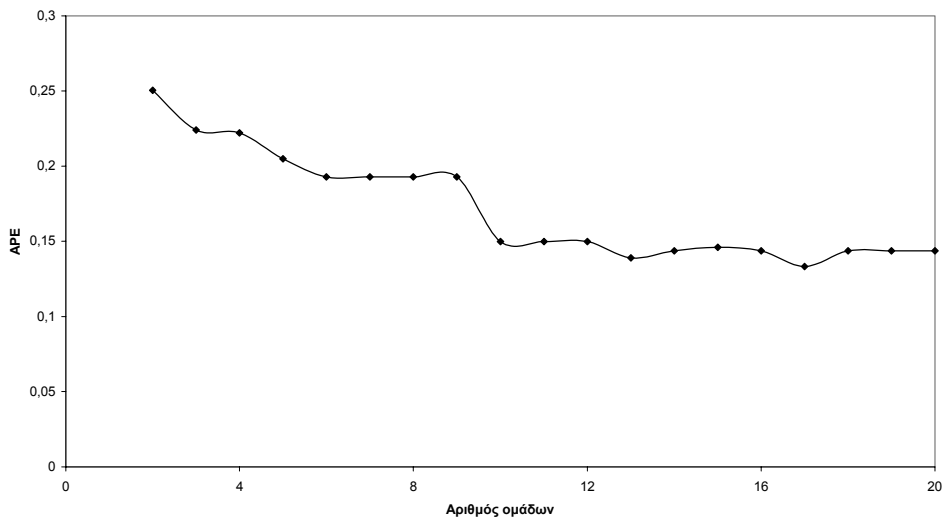
ΜΑΡΕ για φορτία για χειμώνα 1985-1986 με μέθοδο Κ-μέσων 01



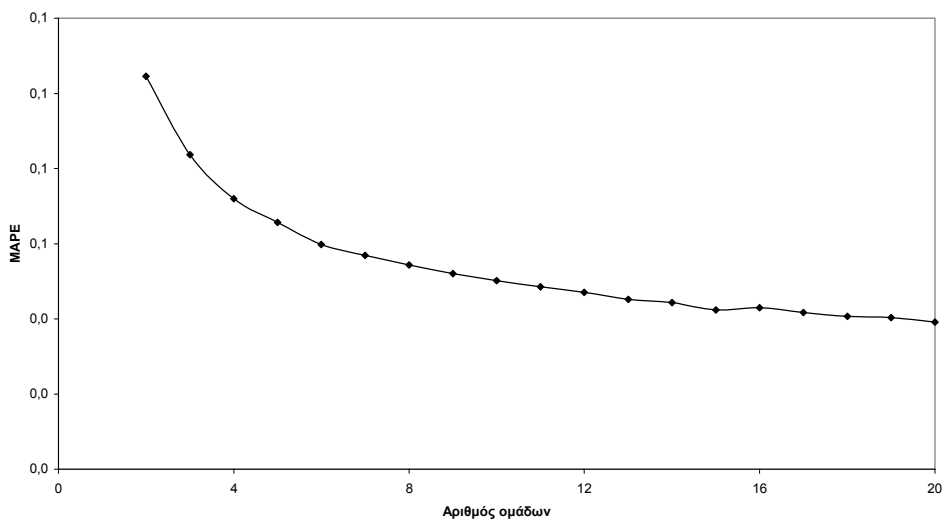
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για χειμώνα 1993-1994 με μέθοδο Κ-μέσων 01



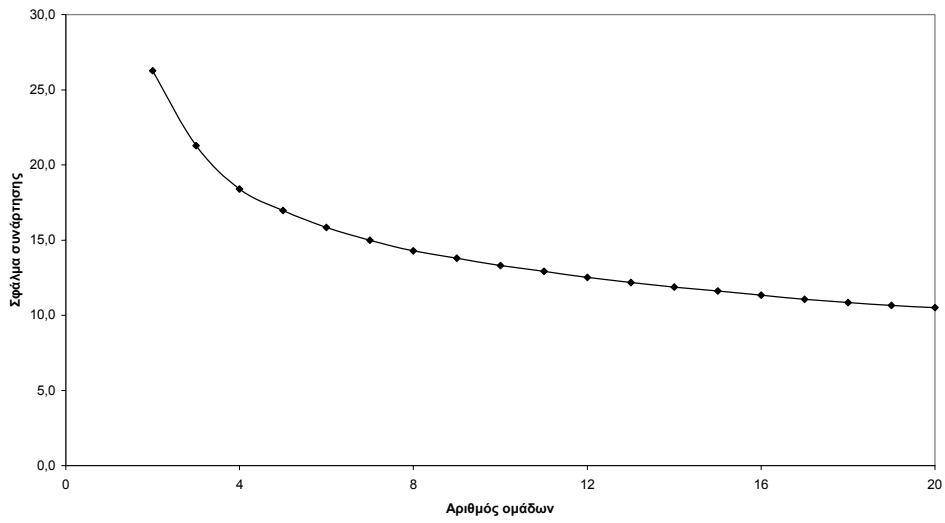
ΑΡΕ για φορτία για χειμώνα 1993-1994 με μέθοδο Κ-μέσων 01



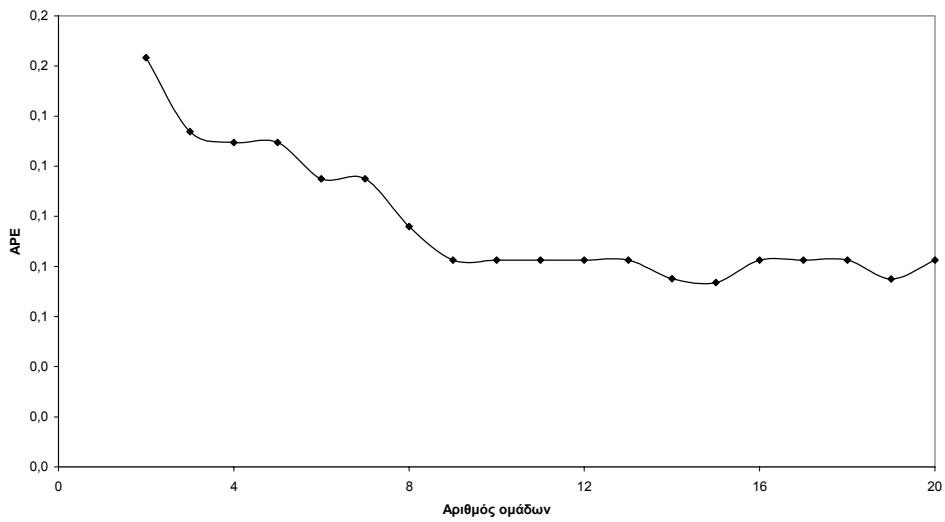
ΜΑΡΕ για φορτία για χειμώνα 1993-1994 με μέθοδο Κ-μέσων 01



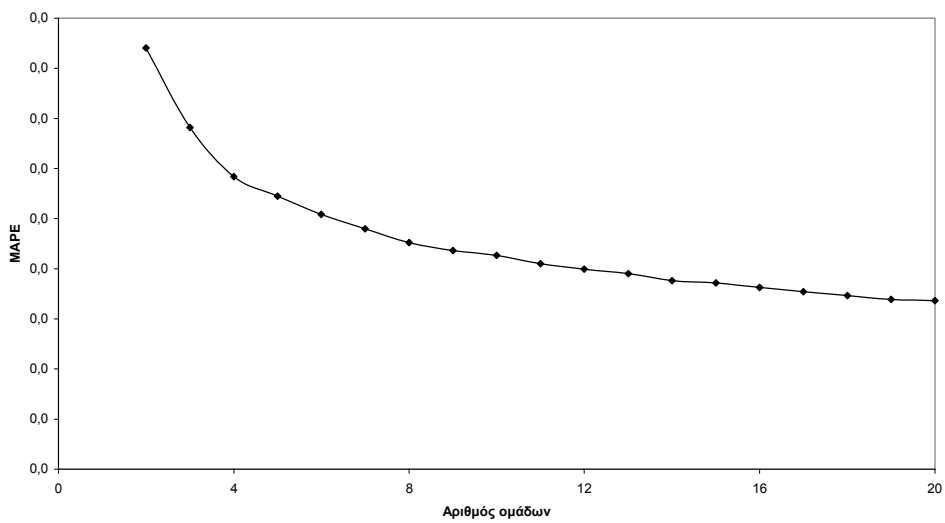
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για χειμώνα 1999-2000 με μέθοδο Κ-μέσων 01



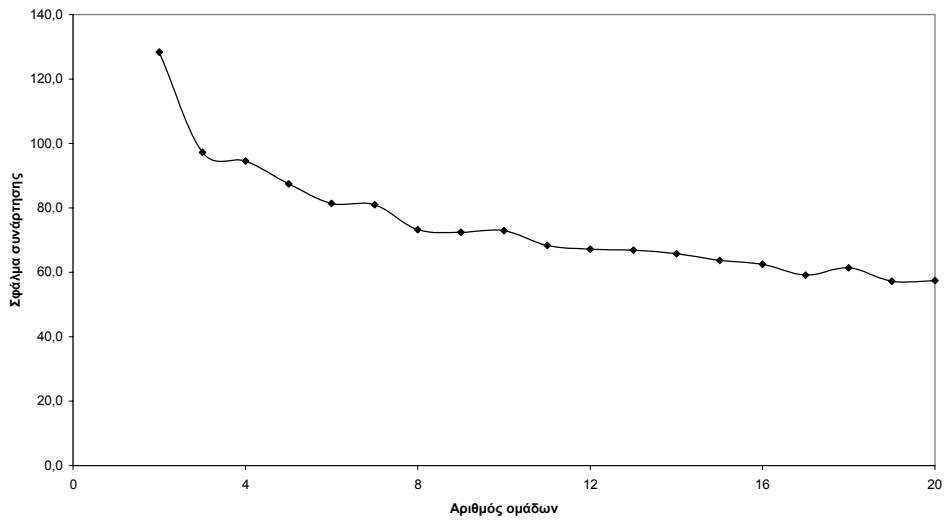
ΑΡΕ για φορτία για χειμώνα 1999-2000 με μέθοδο Κ-μέσων 08



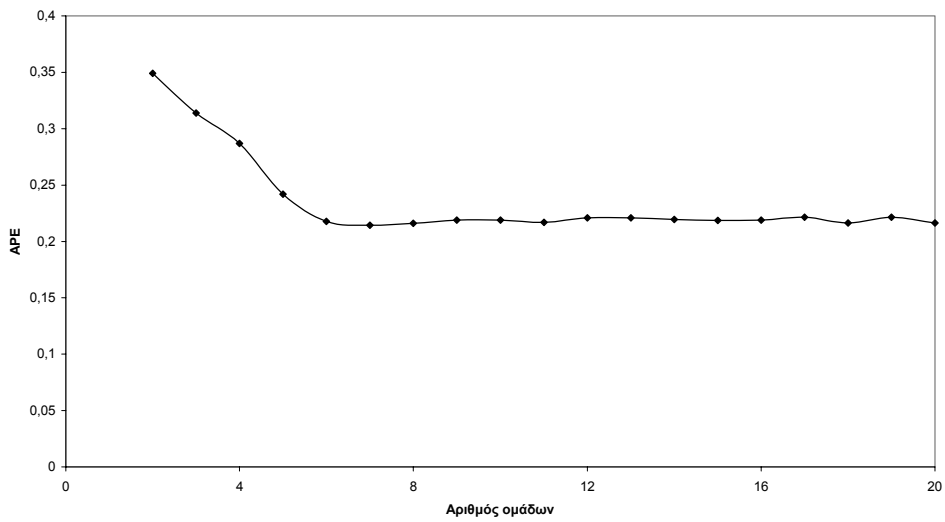
ΜΑΡΕ για φορτία για χειμώνα 1999-2000 με μέθοδο Κ-μέσων



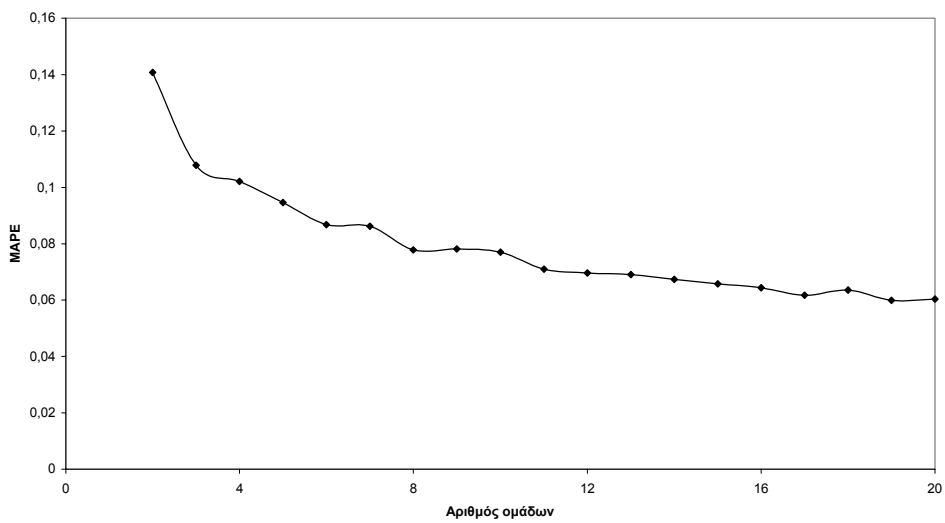
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για έτος 1986 με μέθοδο Κ-μέσων 02



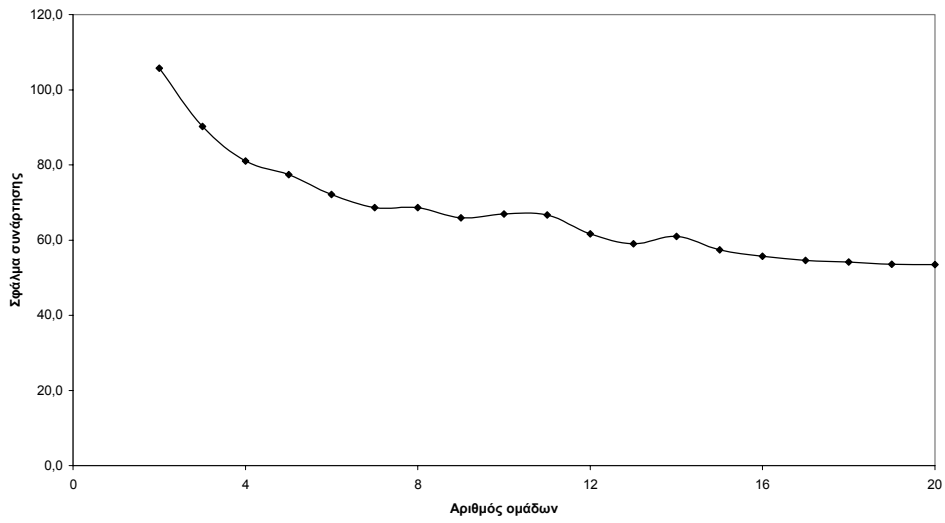
ΑΡΕ για φορτία για έτος 1986 με μέθοδο Κ-μέσων 02



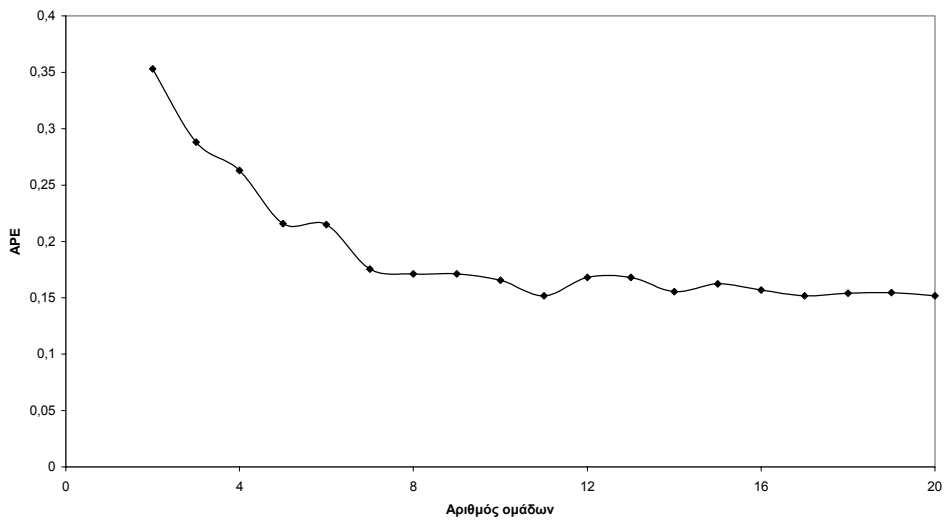
ΜΑΡΕ για φορτία για έτος 1986 με μέθοδο Κ-μέσων 02



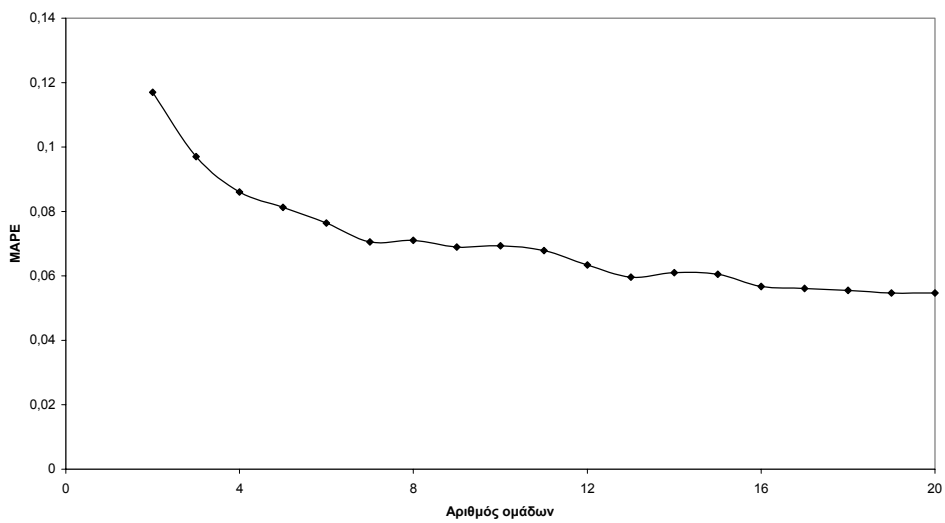
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για έτος 1994 με μέθοδο Κ-μέσων 02



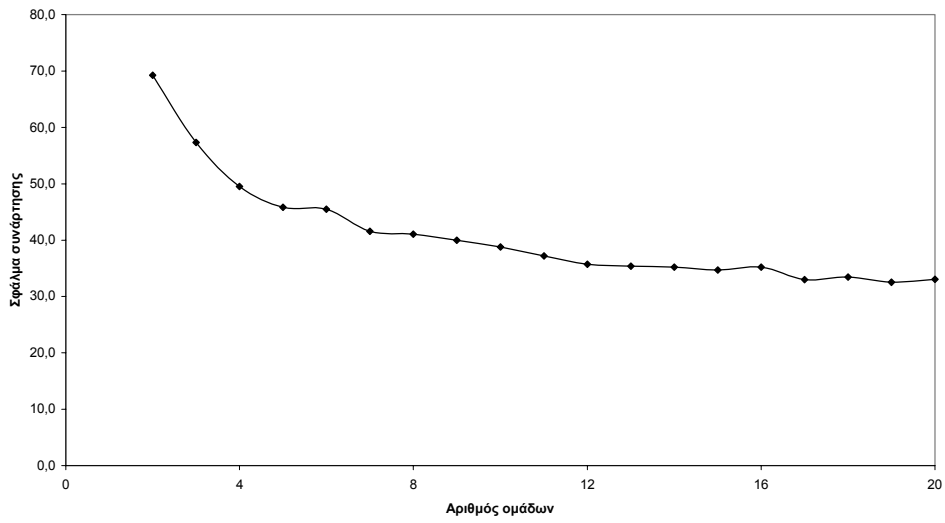
ΑΡΕ για φορτία για έτος 1994 με μέθοδο Κ-μέσων 02



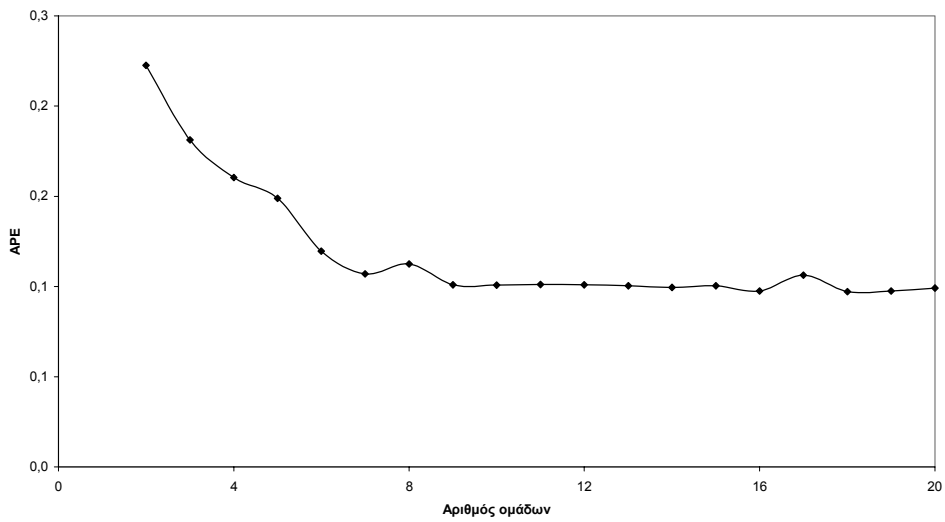
ΜΑΡΕ για φορτία για έτος 1994 με μέθοδο Κ-μέσων 02



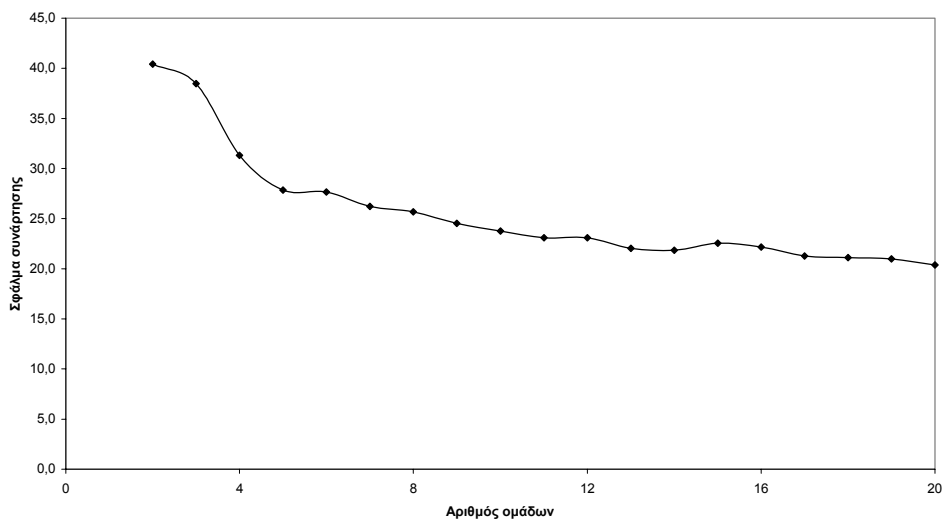
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για έτος 2000 με μέθοδο Κ-μέσων 02



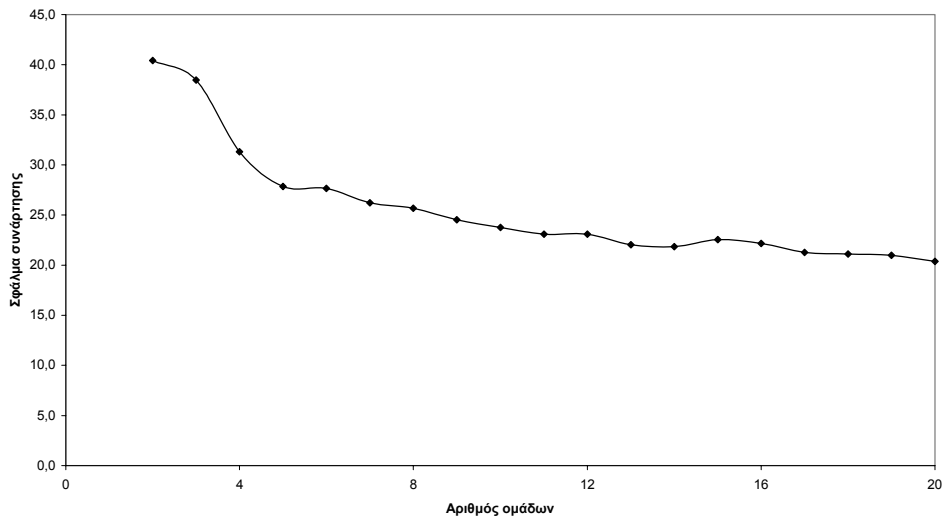
ΑΡΕ για φορτία για έτος 2000 με μέθοδο Κ-μέσων 02



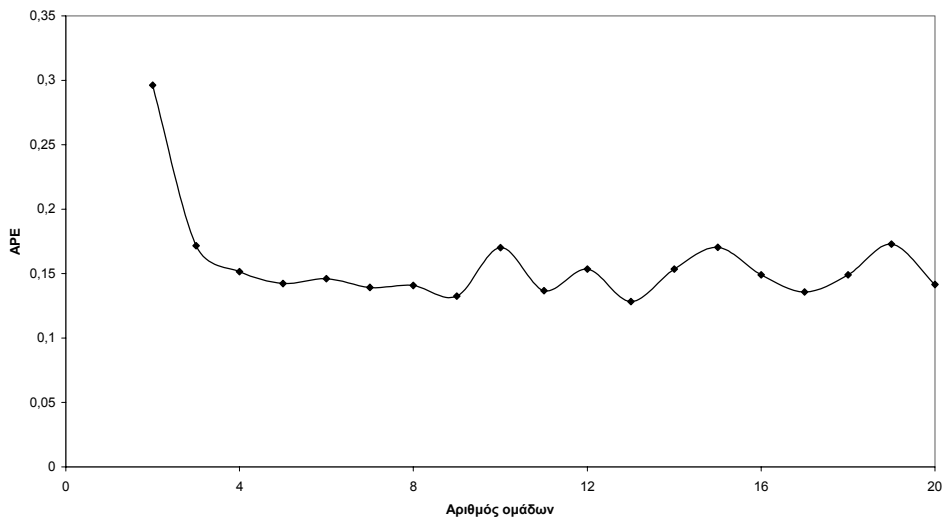
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για καλοκαίρι 1986 με μέθοδο Κ-μέσων 02



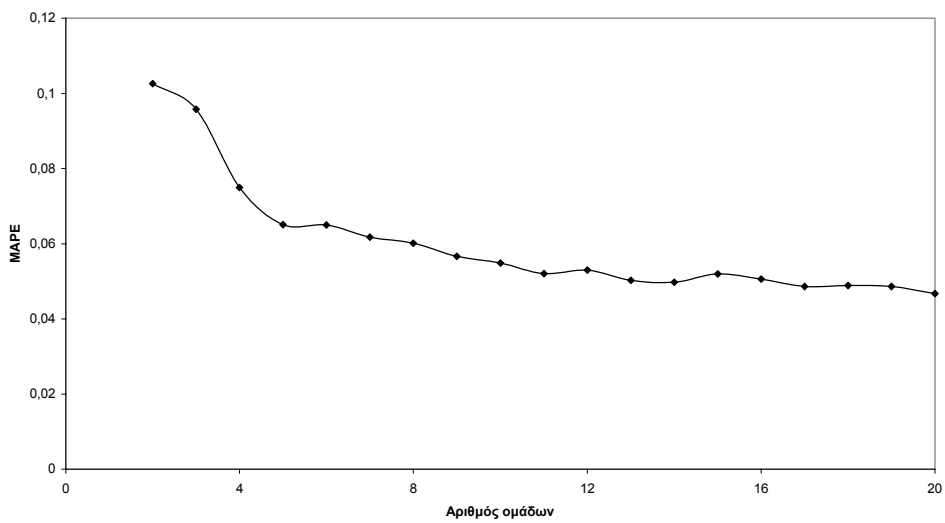
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για καλοκαίρι 1986 με μέθοδο Κ-μέσων 09



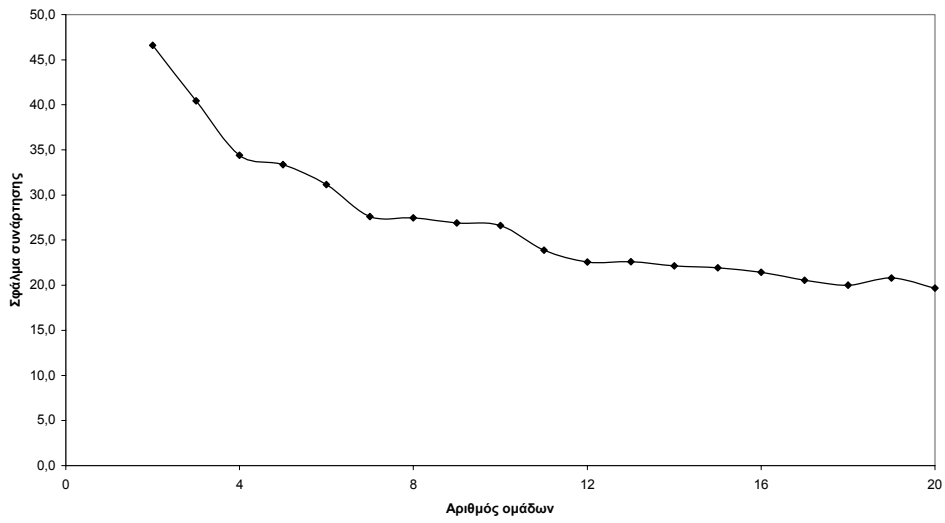
ΑΡΕ για φορτία για καλοκαίρι 1986 με μέθοδο Κ-μέσων 02



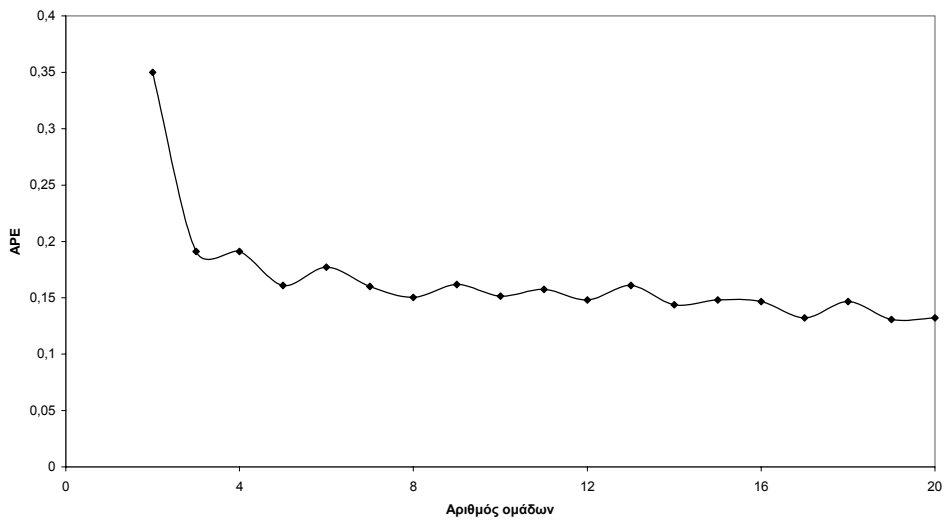
ΜΑΡΕ για φορτία για καλοκαίρι 1986 με μέθοδο Κ-μέσων 02



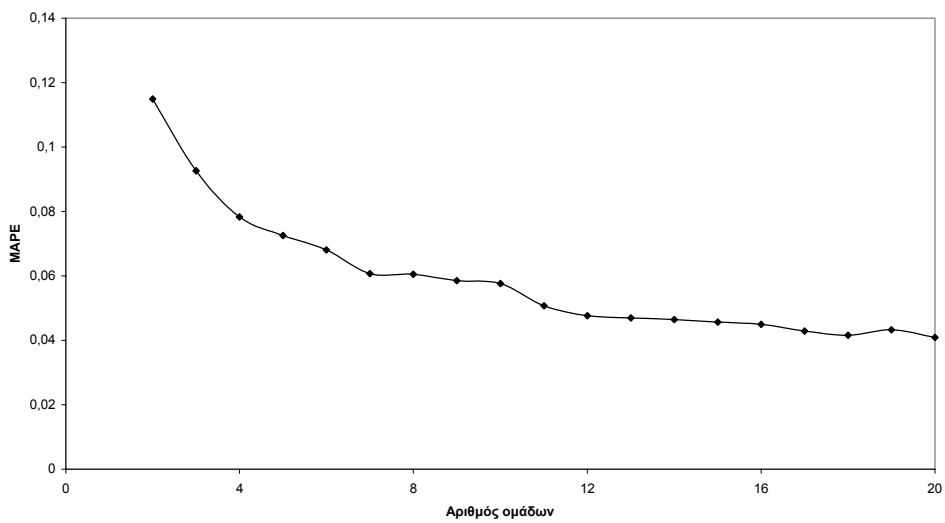
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για καλοκαίρι 1994 με μέθοδο K-μέσων 02



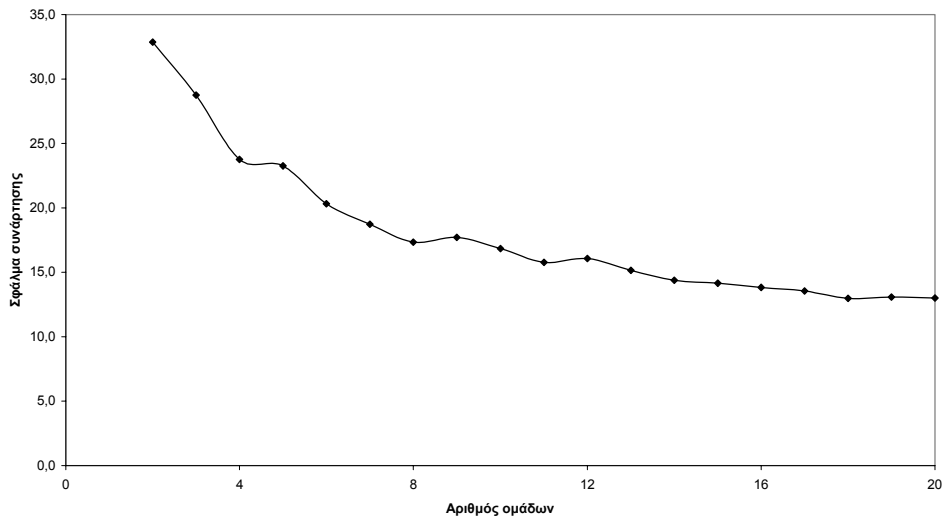
ΑΡΕ για φορτία για καλοκαίρι 1994 με μέθοδο K-μέσων 02



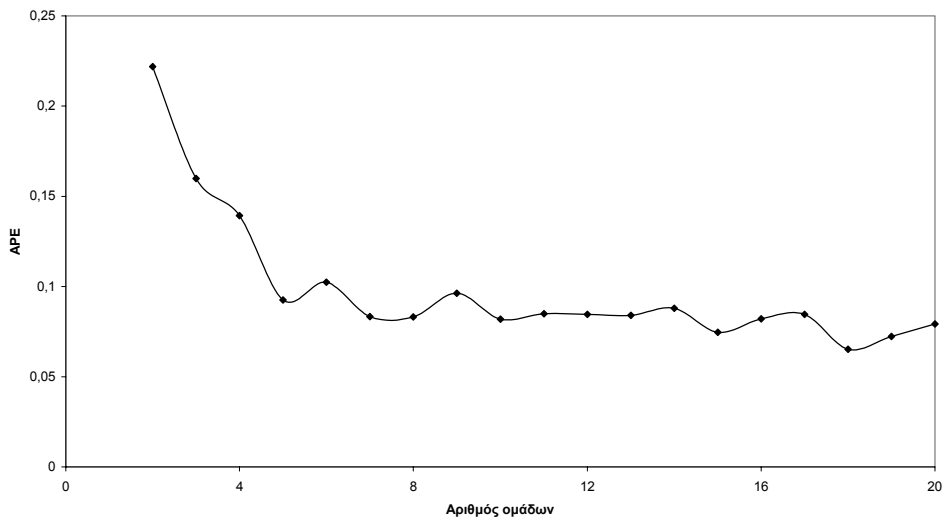
ΜΑΡΕ για φορτία για καλοκαίρι 1994 με μέθοδο K-μέσων 02



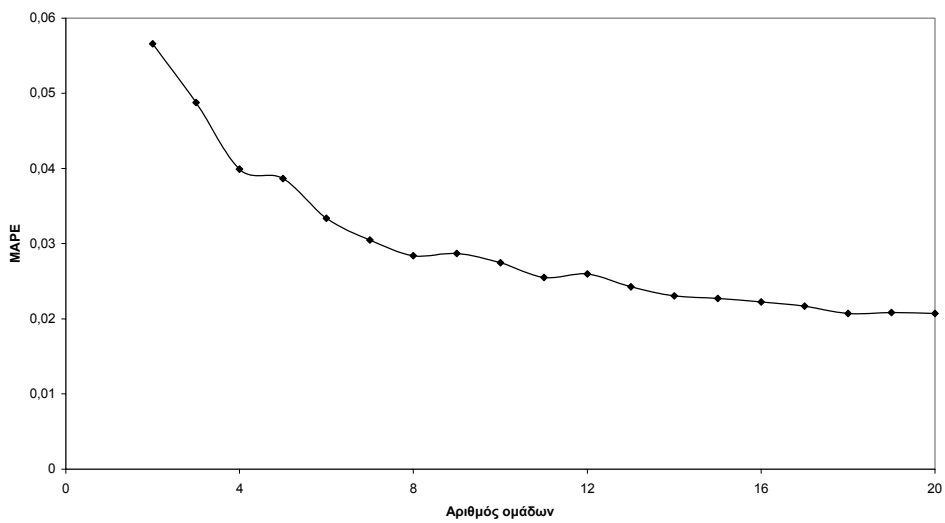
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για καλοκαίρι 2000 με μέθοδο K-μέσων 02



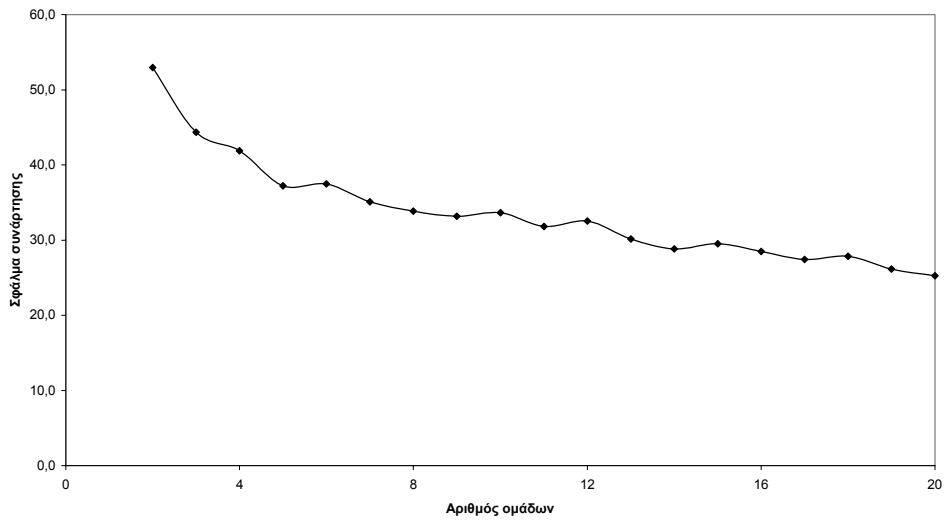
ΑΡΕ για φορτία για καλοκαίρι 2000 με μέθοδο K-μέσων 02



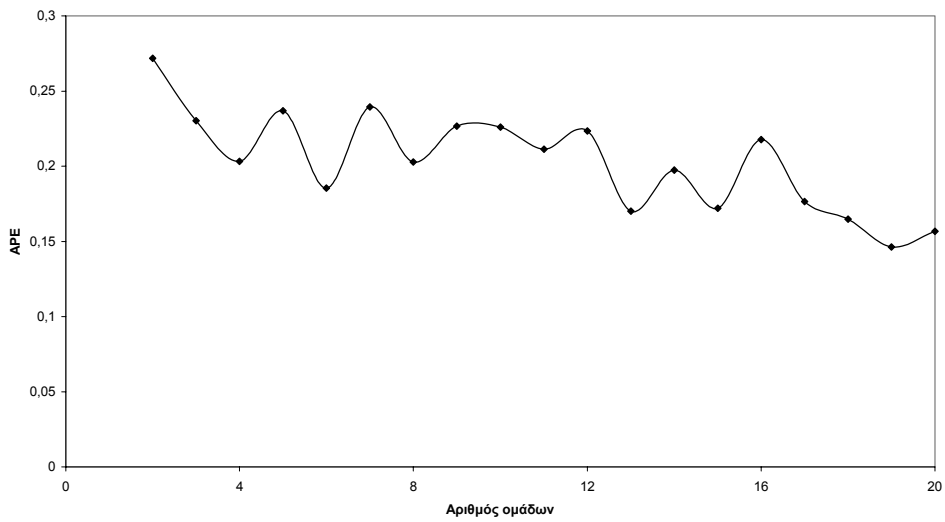
ΜΑΡΕ για φορτία για καλοκαίρι 2000 με μέθοδο K-μέσων 02



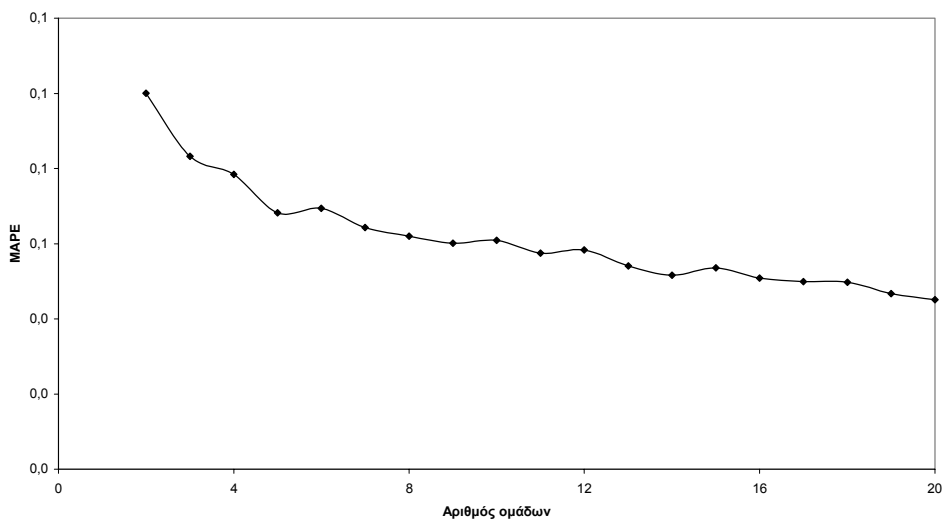
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για Χειμώνα 1985-1986 με μέθοδο Κ-μέσων 02



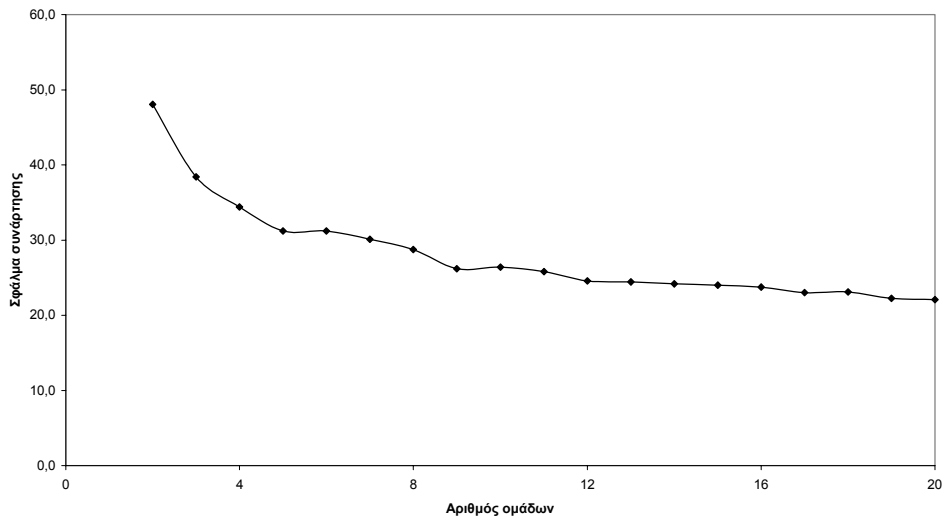
ΑΡΕ για φορτία για Χειμώνα 1985-1986 με μέθοδο Κ-μέσων 02



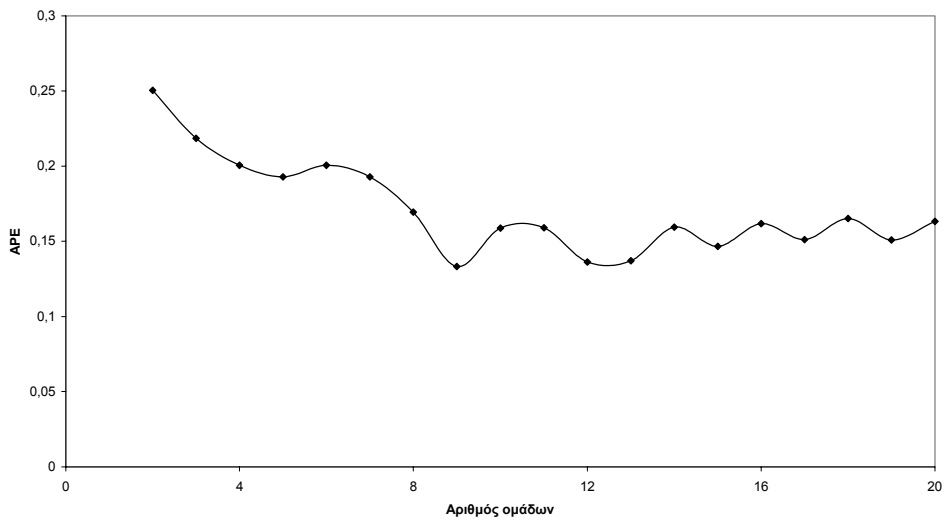
ΜΑΡΕ για φορτία για Χειμώνα 1985-1986 με μέθοδο Κ-μέσων 02



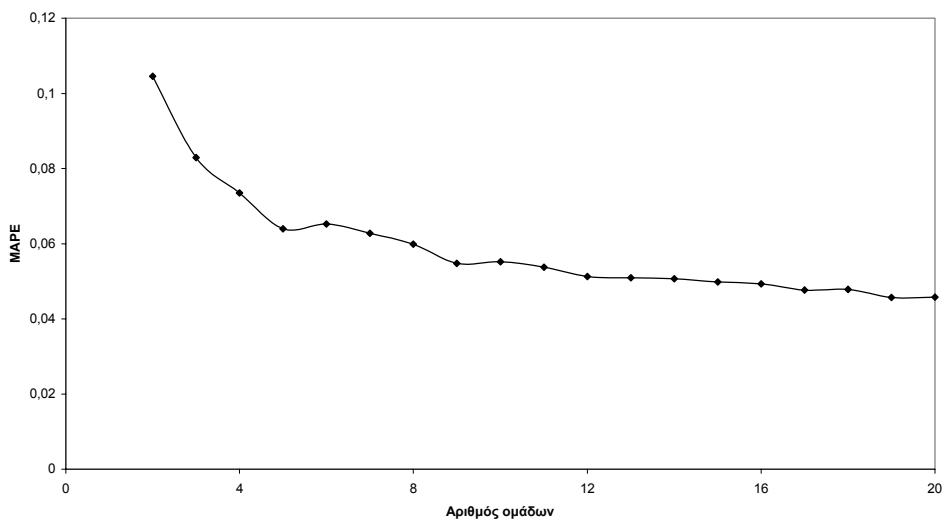
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για Χειμώνα 1993-1994 με μέθοδο Κ-μέσων 02



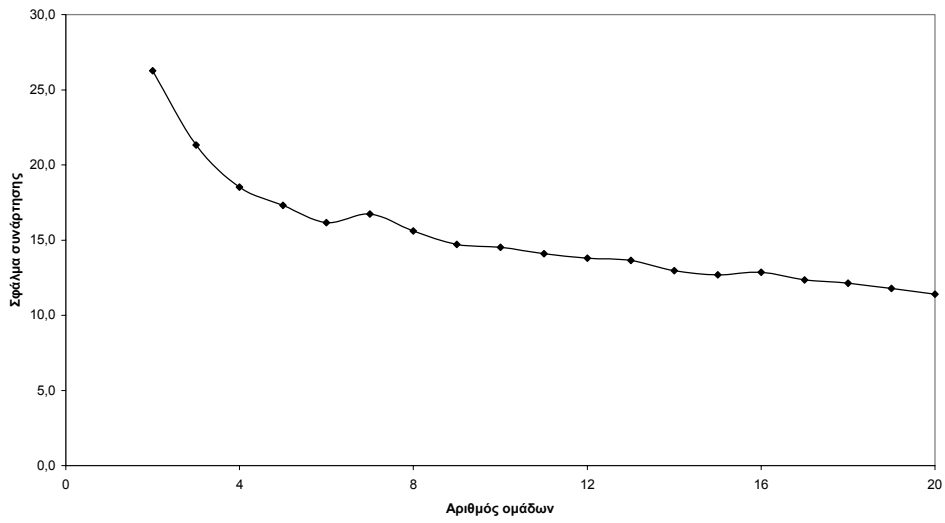
ΑΡΕ για φορτία για Χειμώνα 1993-1994 με μέθοδο Κ-μέσων 02



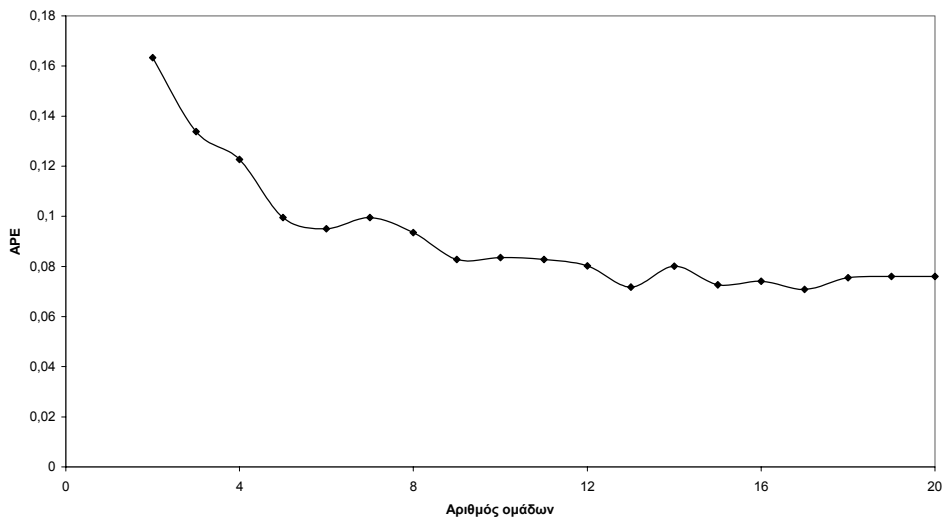
ΜΑΡΕ για φορτία για Χειμώνα 1993-1994 με μέθοδο Κ-μέσων 02



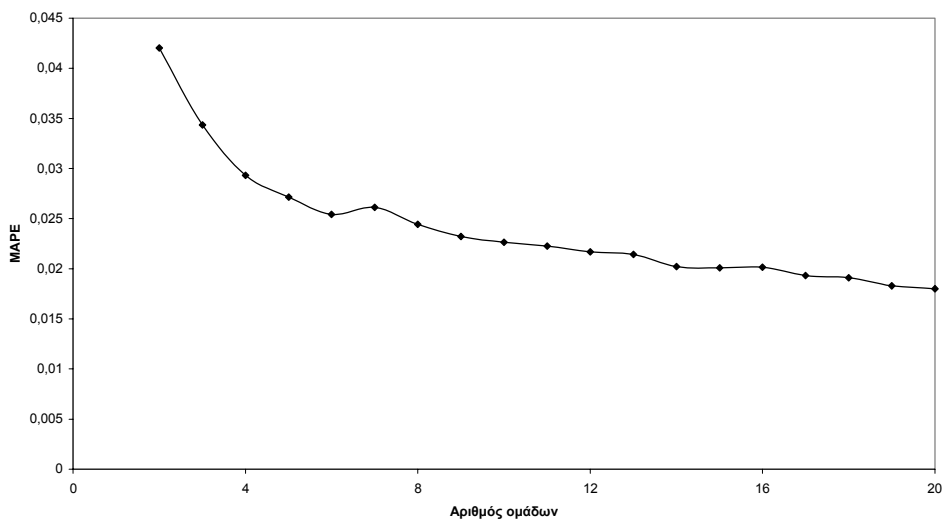
Σφάλμα συνάρτησης για φορτία για Χειμώνα 1999-2000 με μέθοδο Κ-μέσων 02



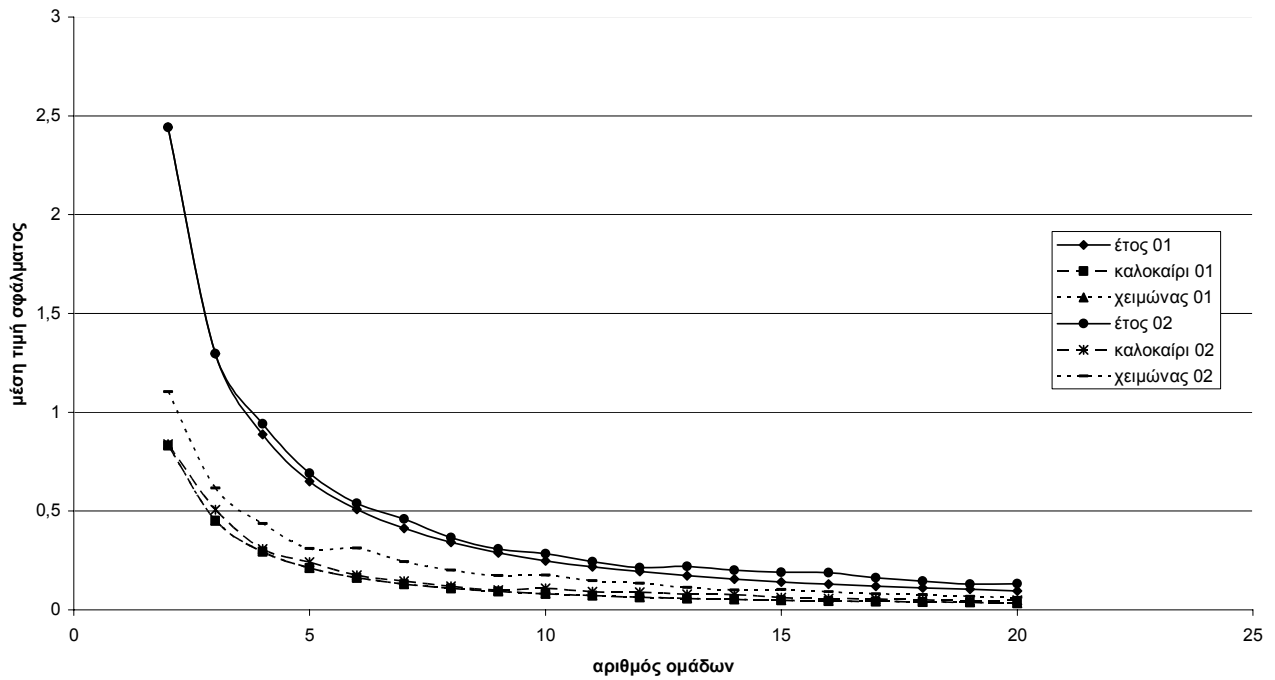
ΑΡΕ για φορτία για Χειμώνα 1999-2000 με μέθοδο Κ-μέσων 02



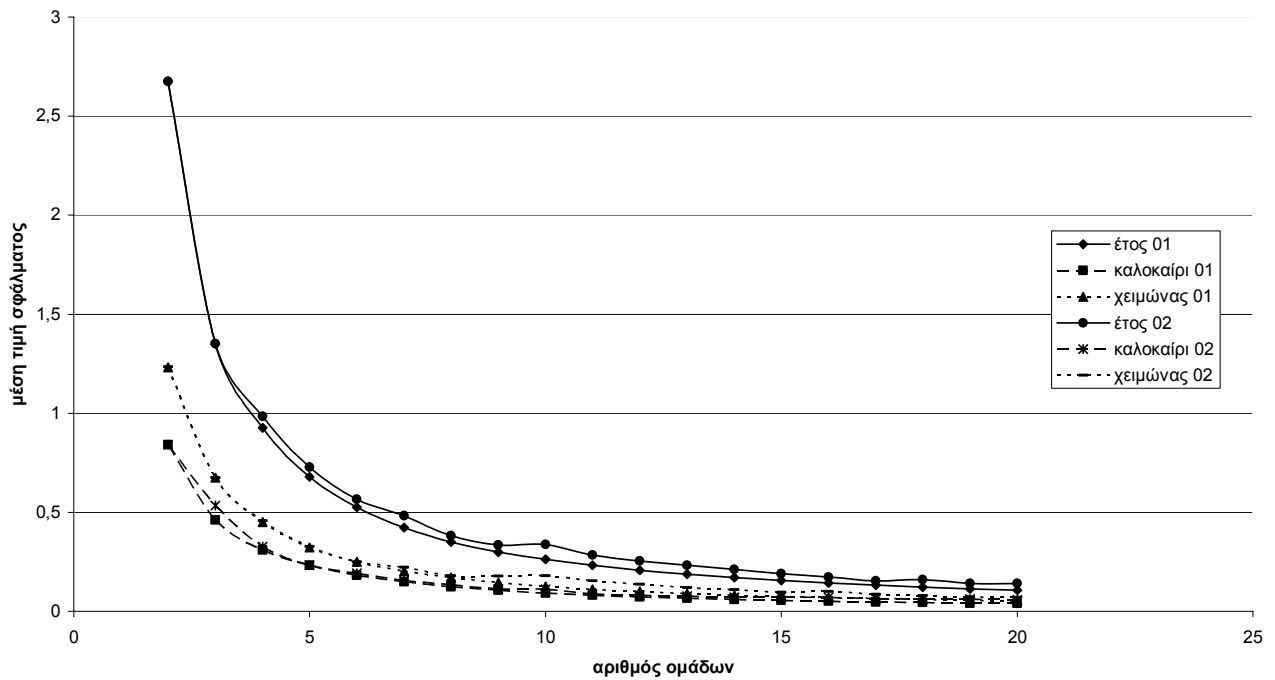
ΜΑΡΕ για φορτία για Χειμώνα 1999-2000 με μέθοδο Κ-μέσων 02



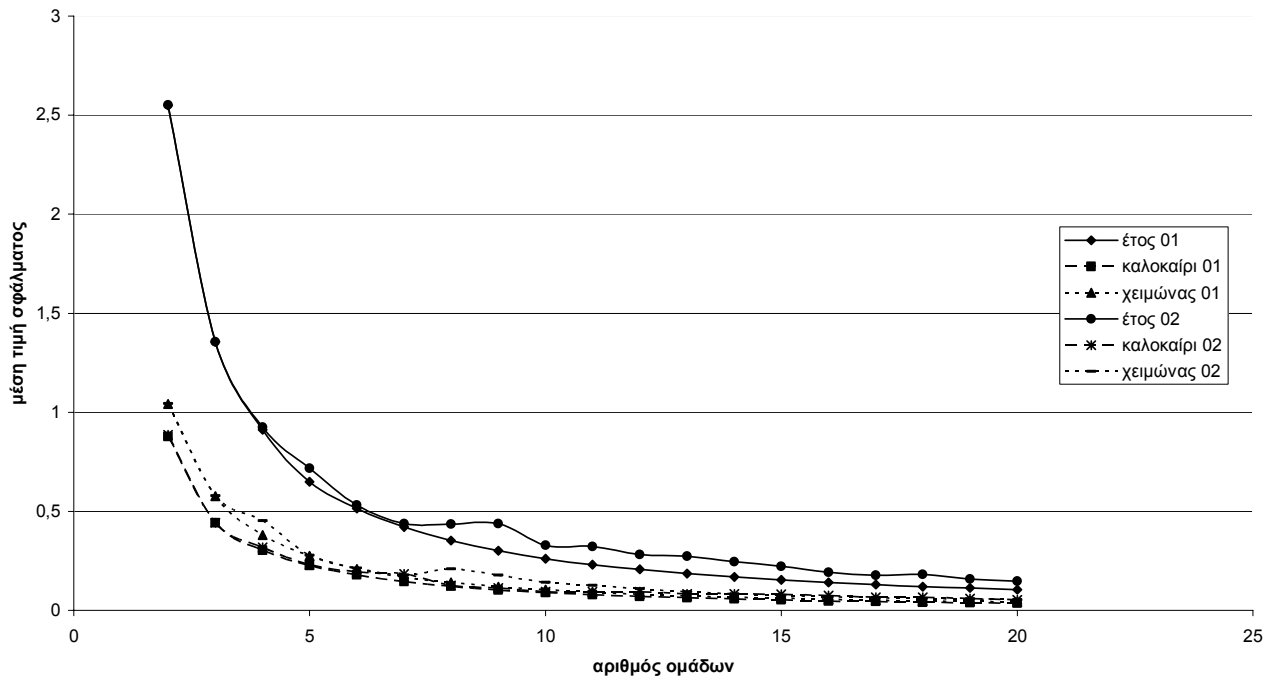
Μέση τιμή σφάλματος για 1985 για φορτία και με τις δύο μεθόδους K-μέσων



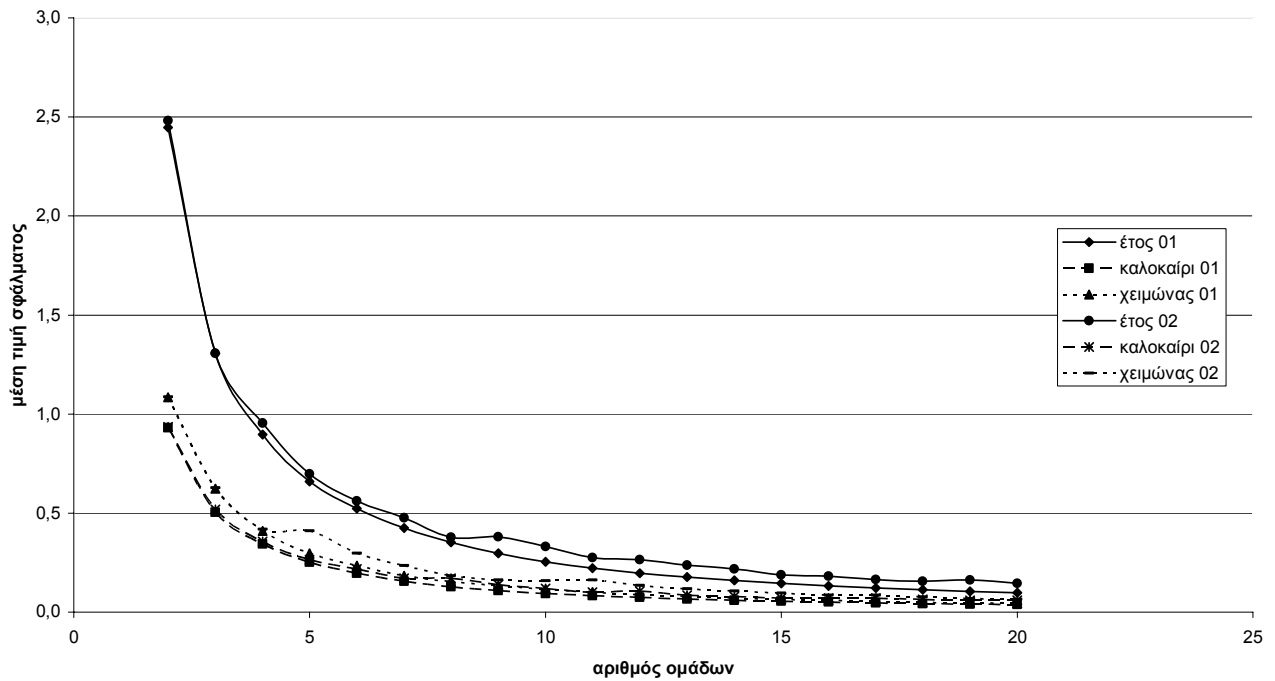
Μέση τιμή σφάλματος για 1986 για φορτία και με τις δύο μεθόδους K-μέσων



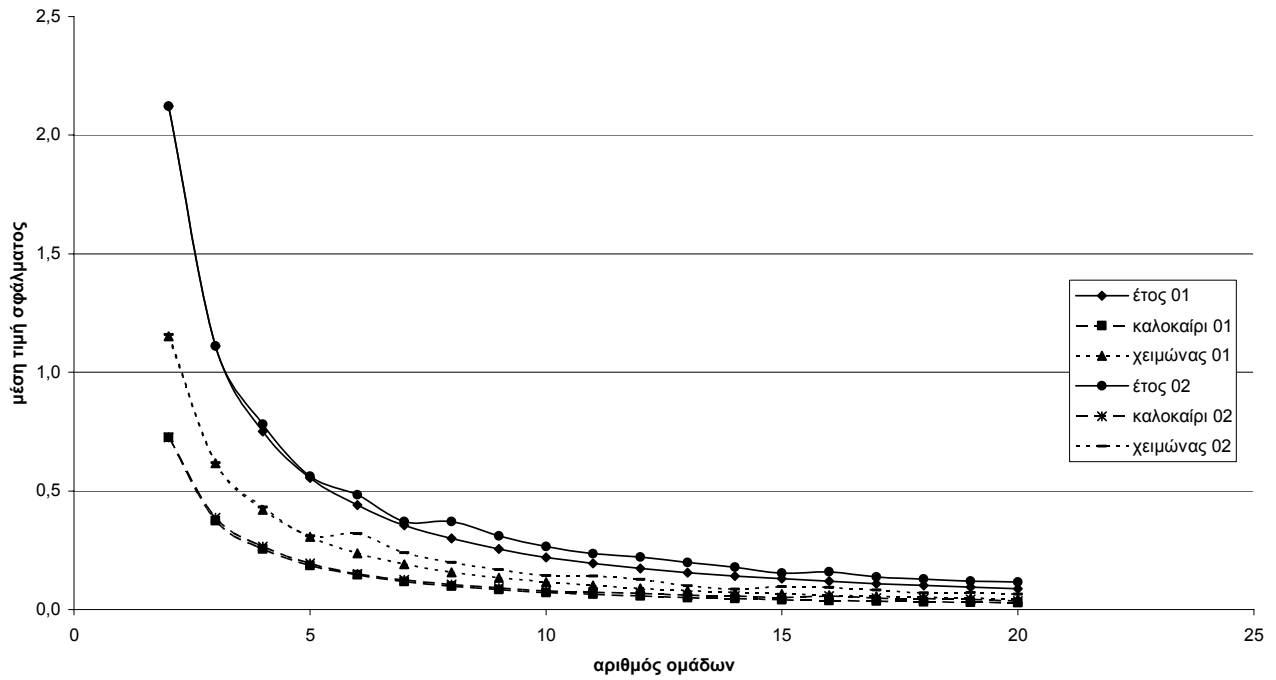
Μέση τιμή σφάλματος για 1987 για φορτία και με τις δύο μεθόδους K-μέσων



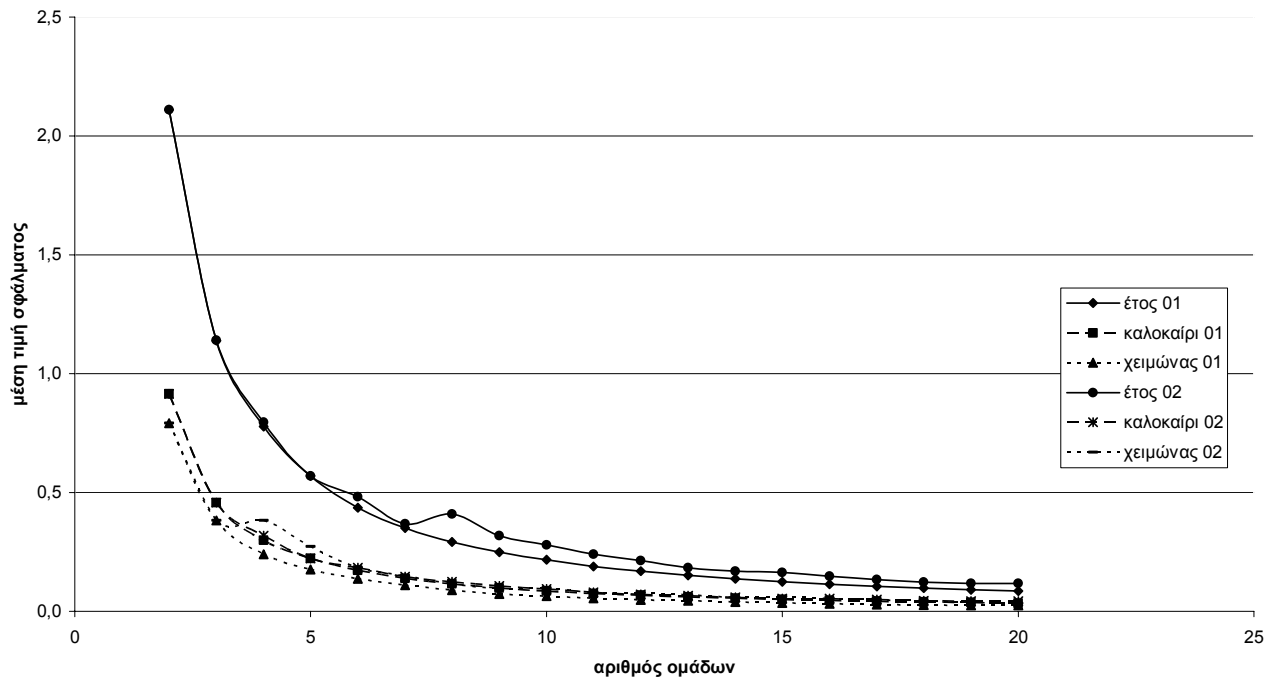
Μέση τιμή σφάλματος για 1988 για φορτία και με τις δύο μεθόδους K-μέσων



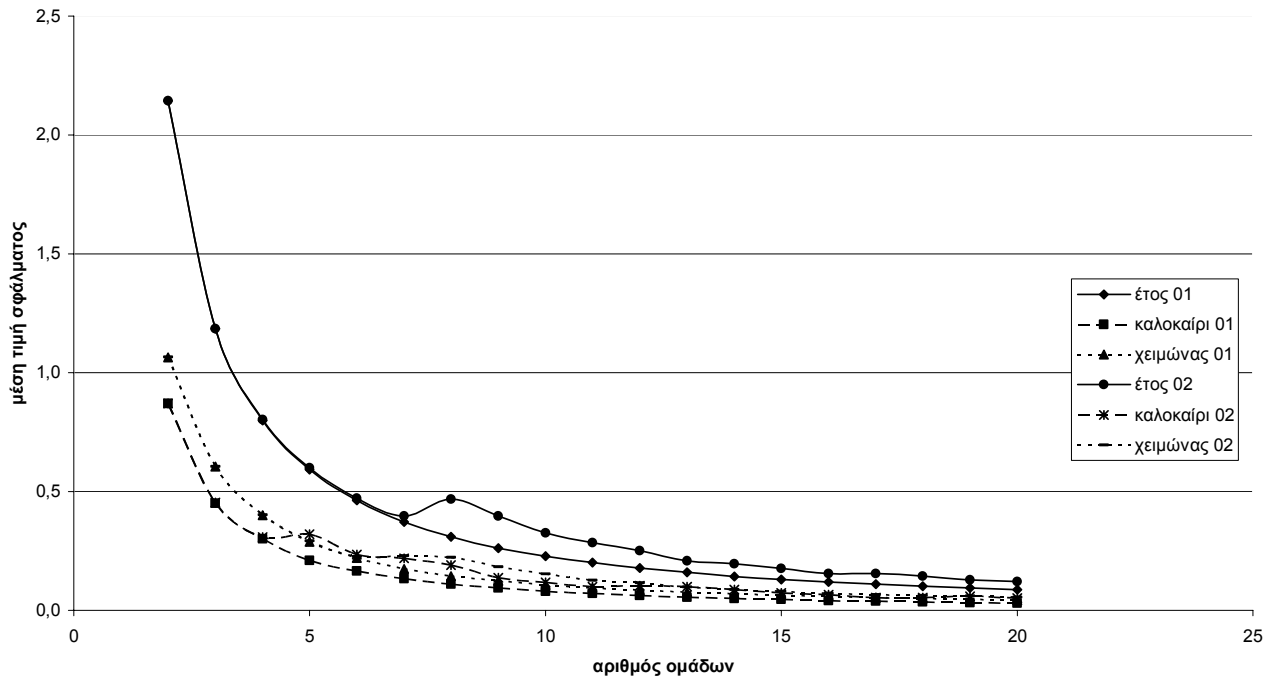
Μέση τιμή σφάλματος για 1989 για φορτία και με τις δύο μεθόδους K-μέσων



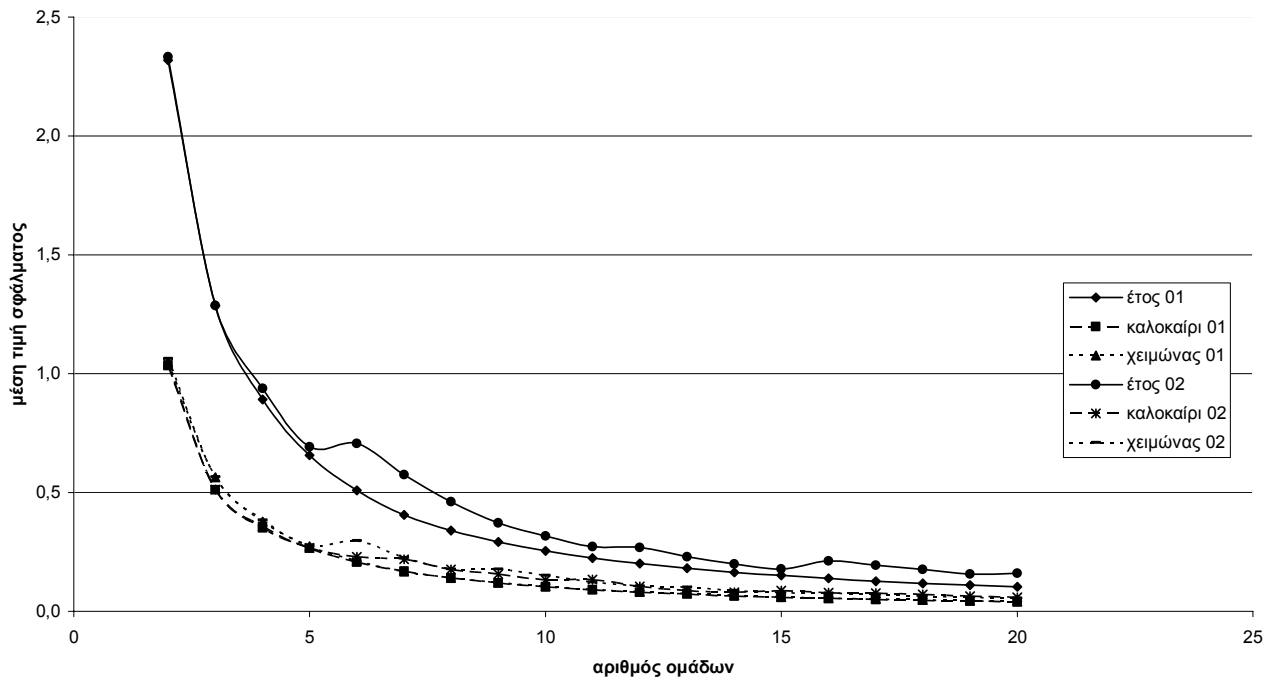
Μέση τιμή σφάλματος για 1990 για φορτία και με τις δύο μεθόδους K-μέσων



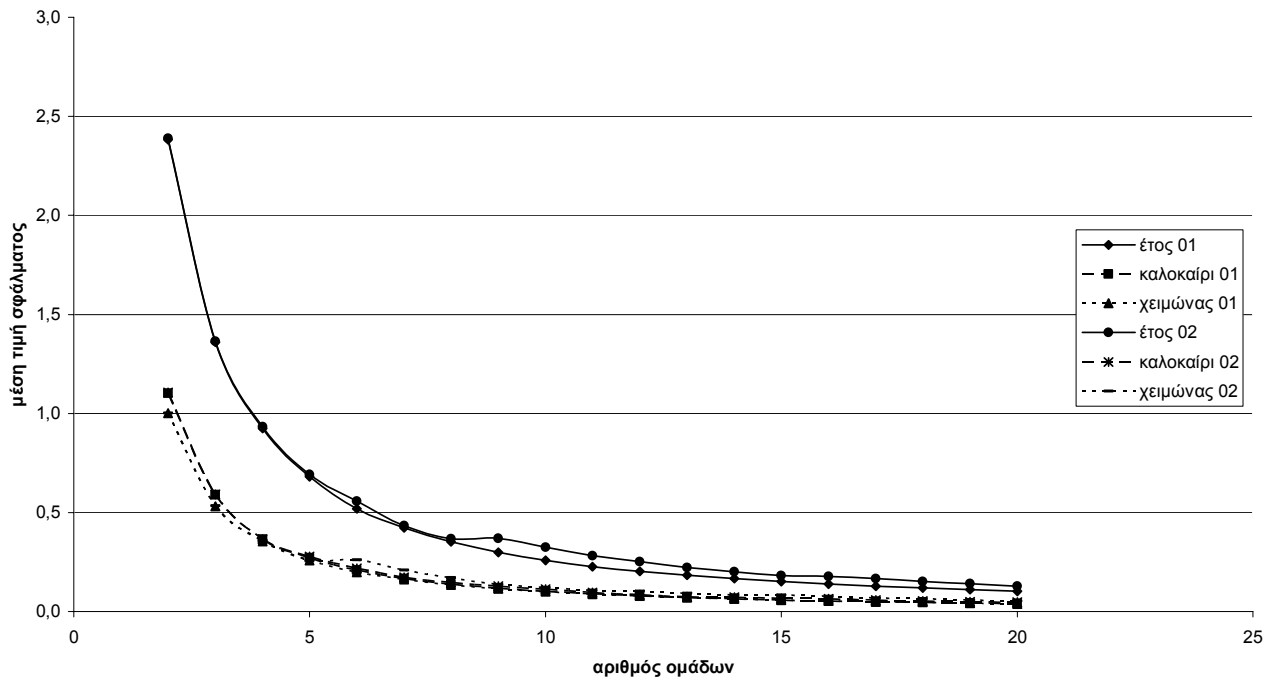
Μέση τιμή σφάλματος για 1991 για φορτία και με τις δύο μεθόδους K-μέσων



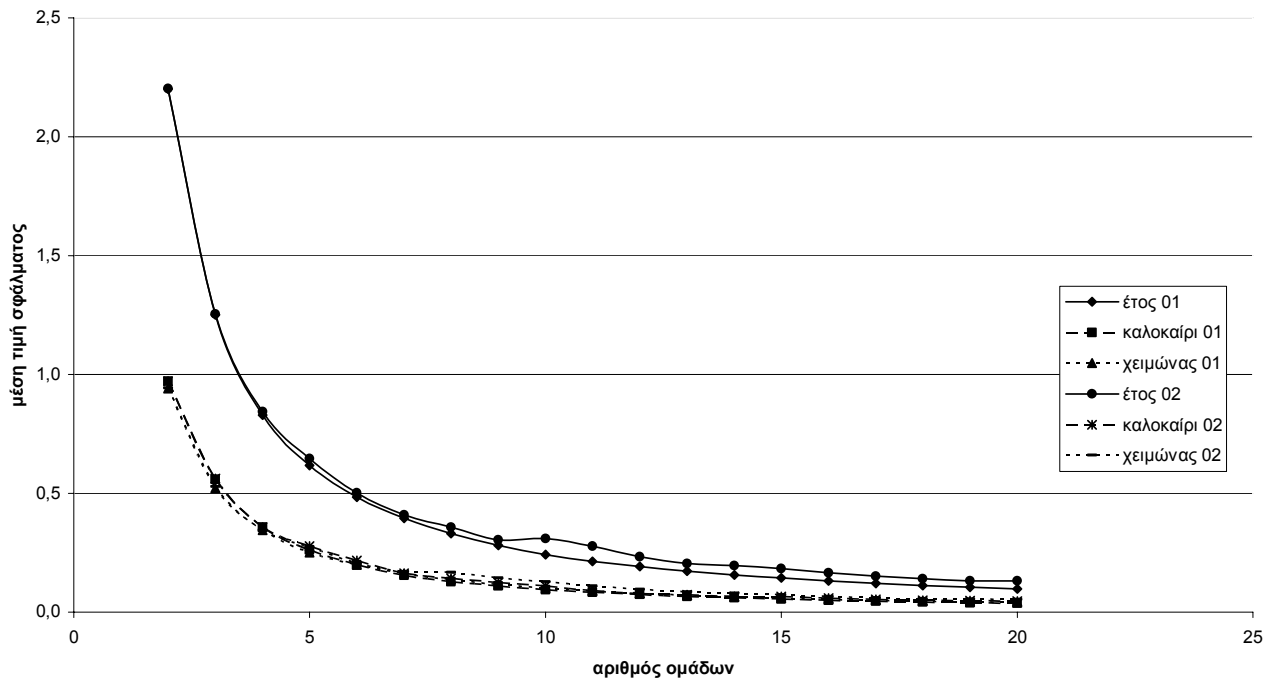
Μέση τιμή σφάλματος για 1992 για φορτία και με τις δύο μεθόδους K-μέσων



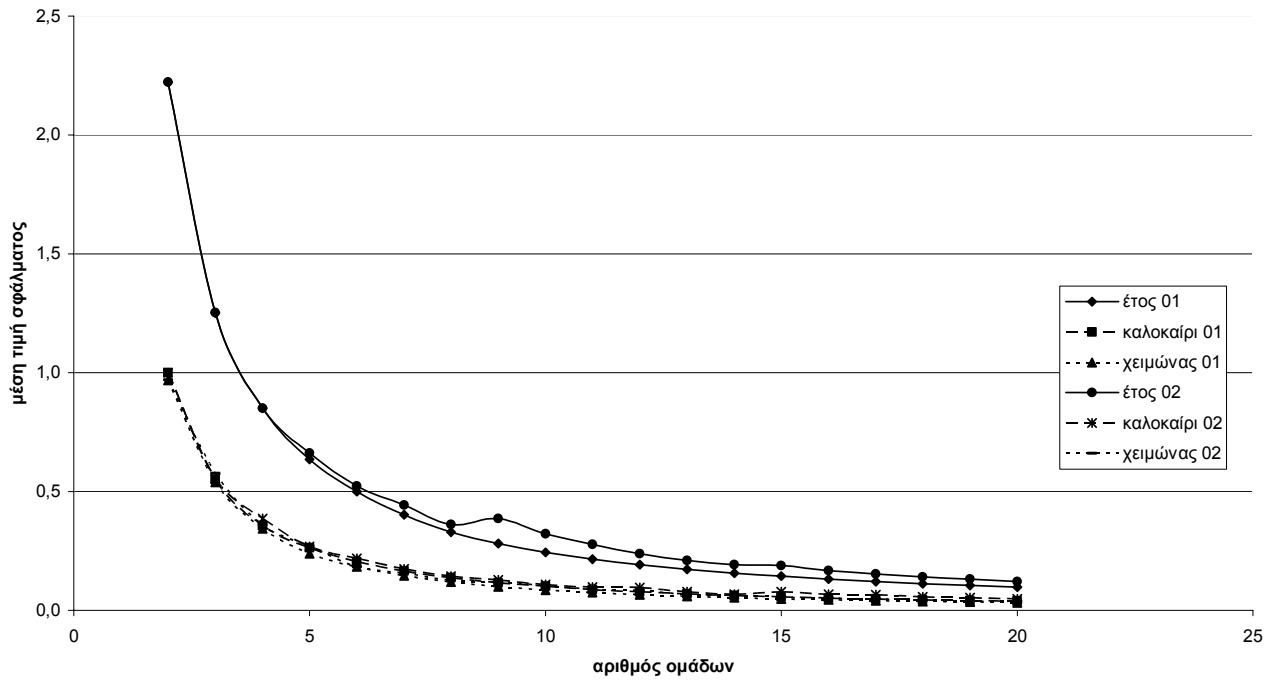
Μέση τιμή σφάλματος για 1993 για φορτία και με τις δύο μεθόδους K-μέσων



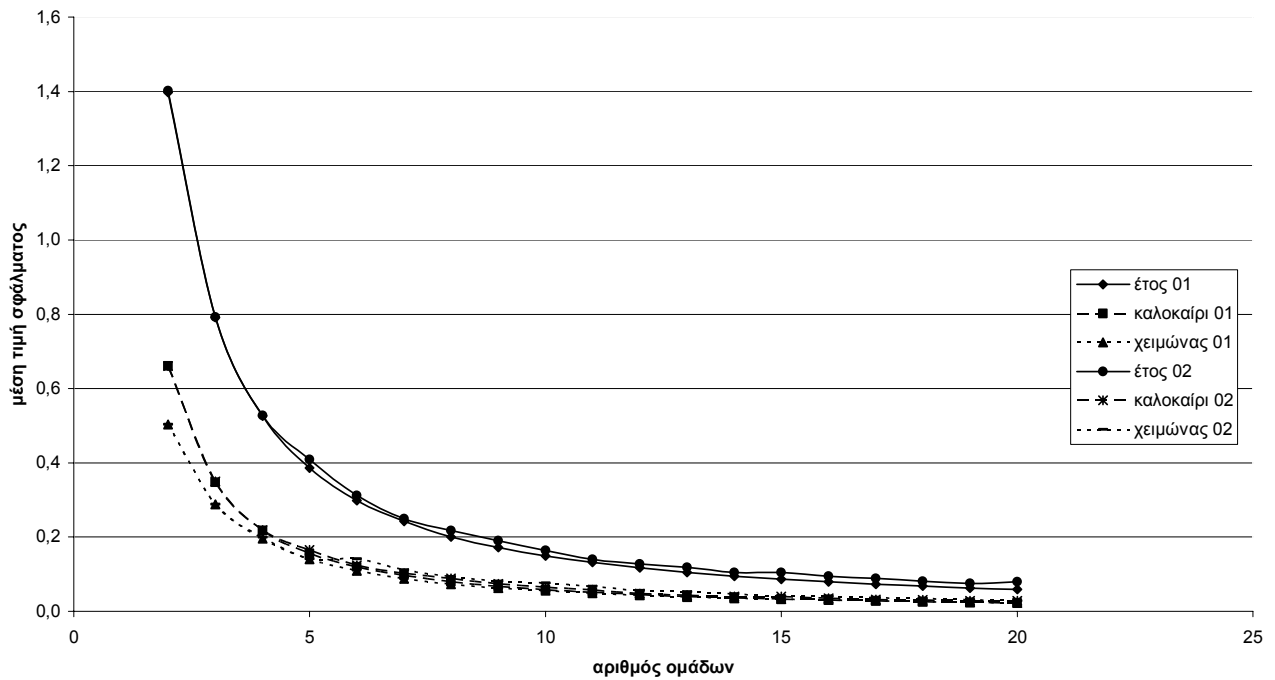
Μέση τιμή σφάλματος για 1994 για φορτία και με τις δύο μεθόδους K-μέσων



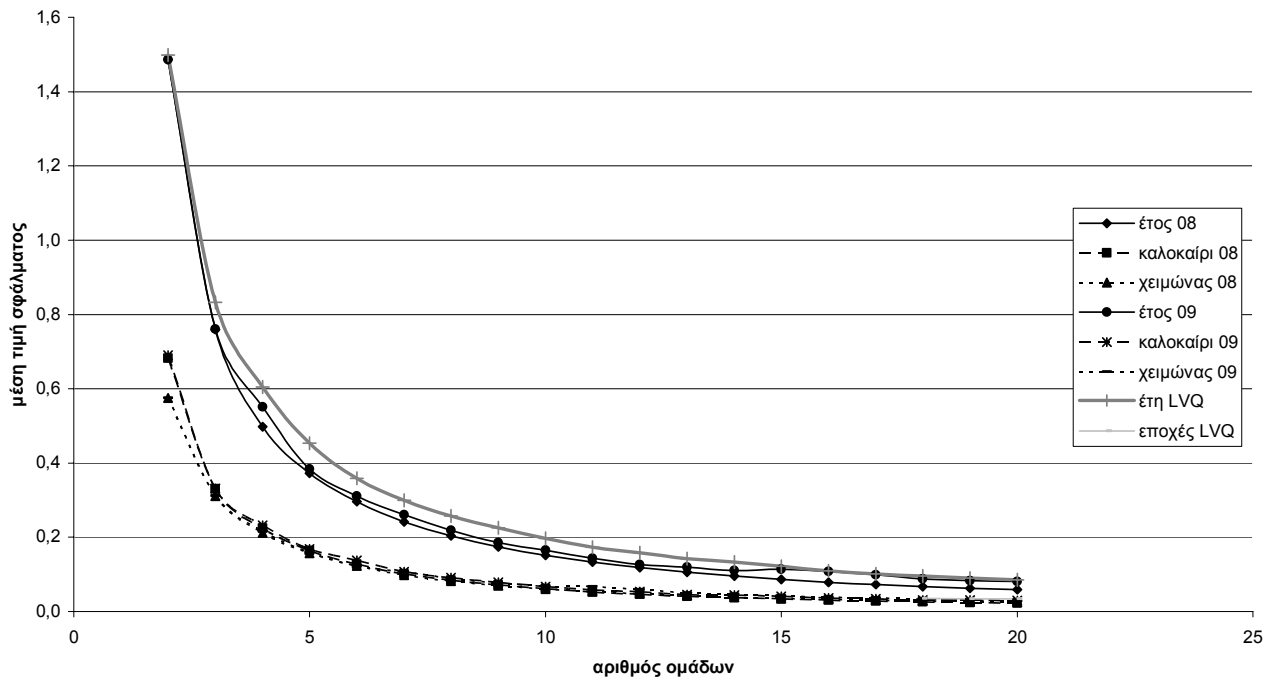
Μέση τιμή σφάλματος για 1995 για φορτία και με τις δύο μεθόδους K-μέσων



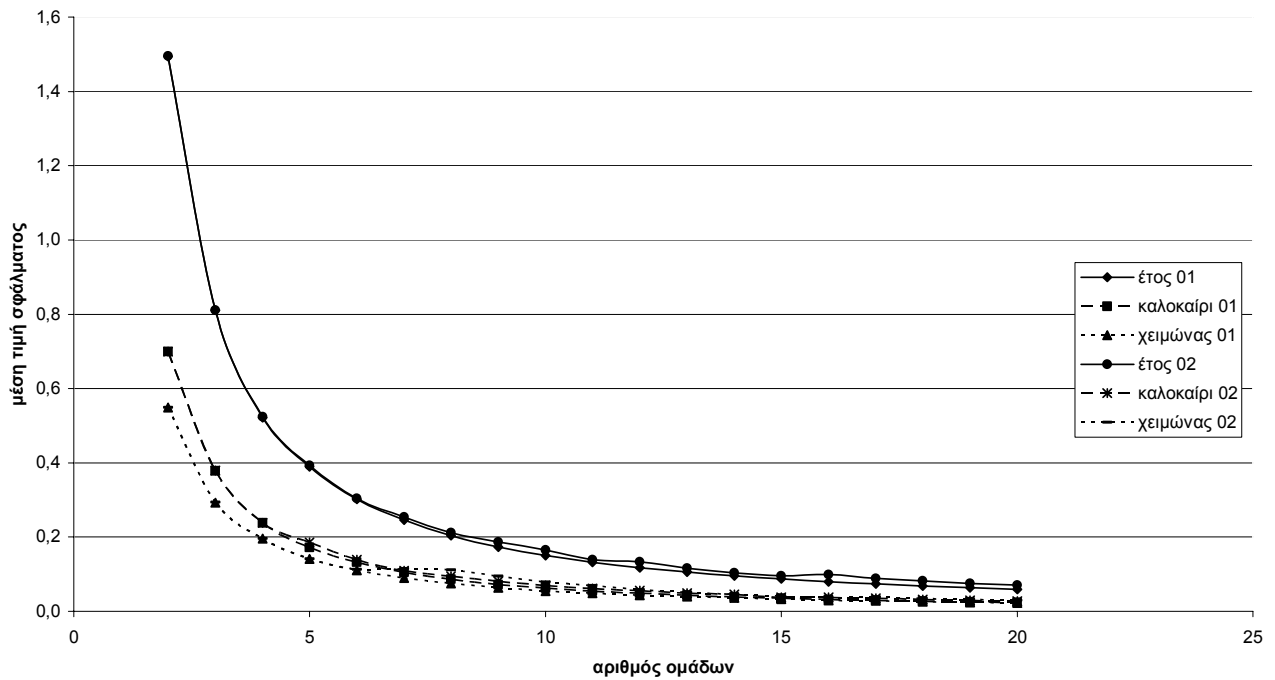
Μέση τιμή σφάλματος για 1996 για φορτία και με τις δύο μεθόδους K-μέσων



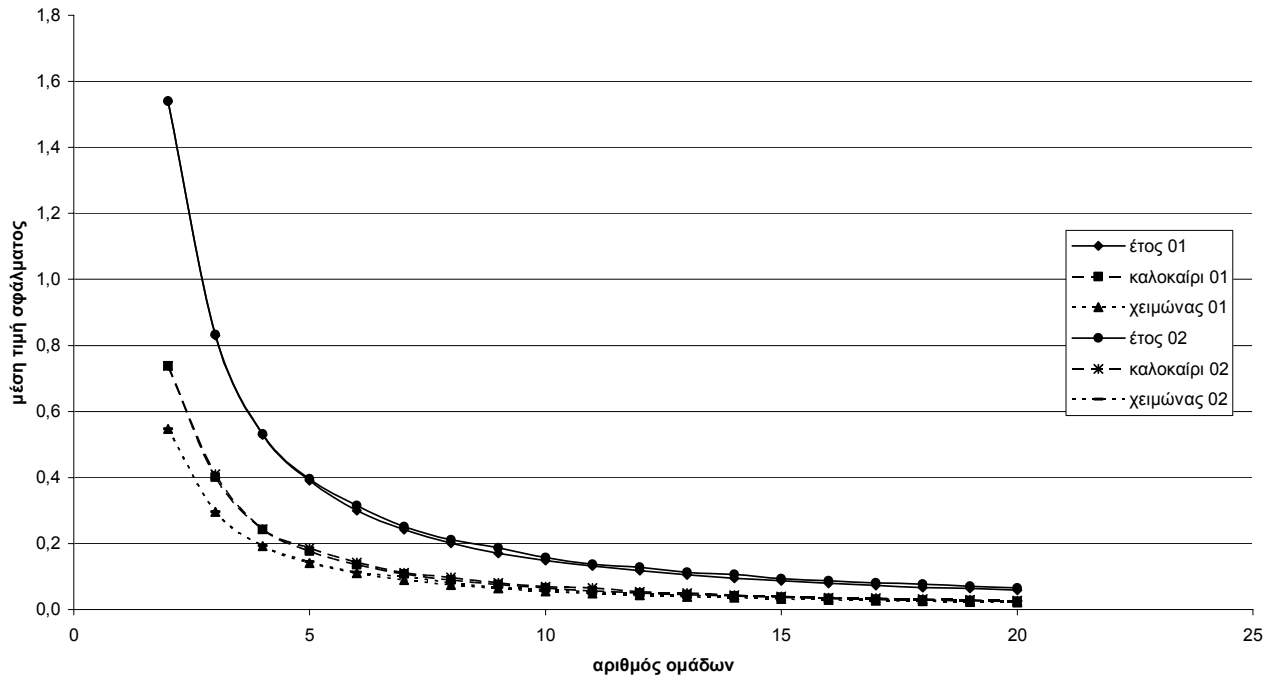
Μέση τιμή σφάλματος για 1997 για φορτία και με τις δύο μεθόδους K-μέσων και με την LVQ



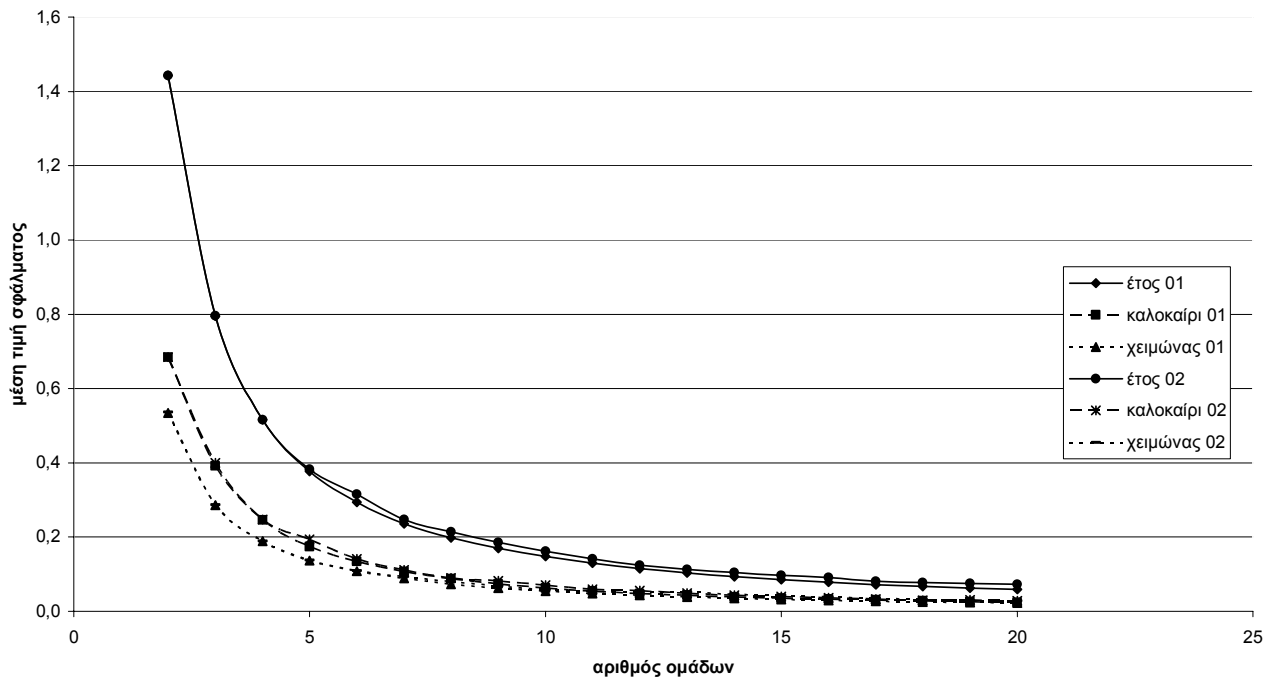
Μέση τιμή σφάλματος για 1998 για φορτία και με τις δύο μεθόδους K-μέσων



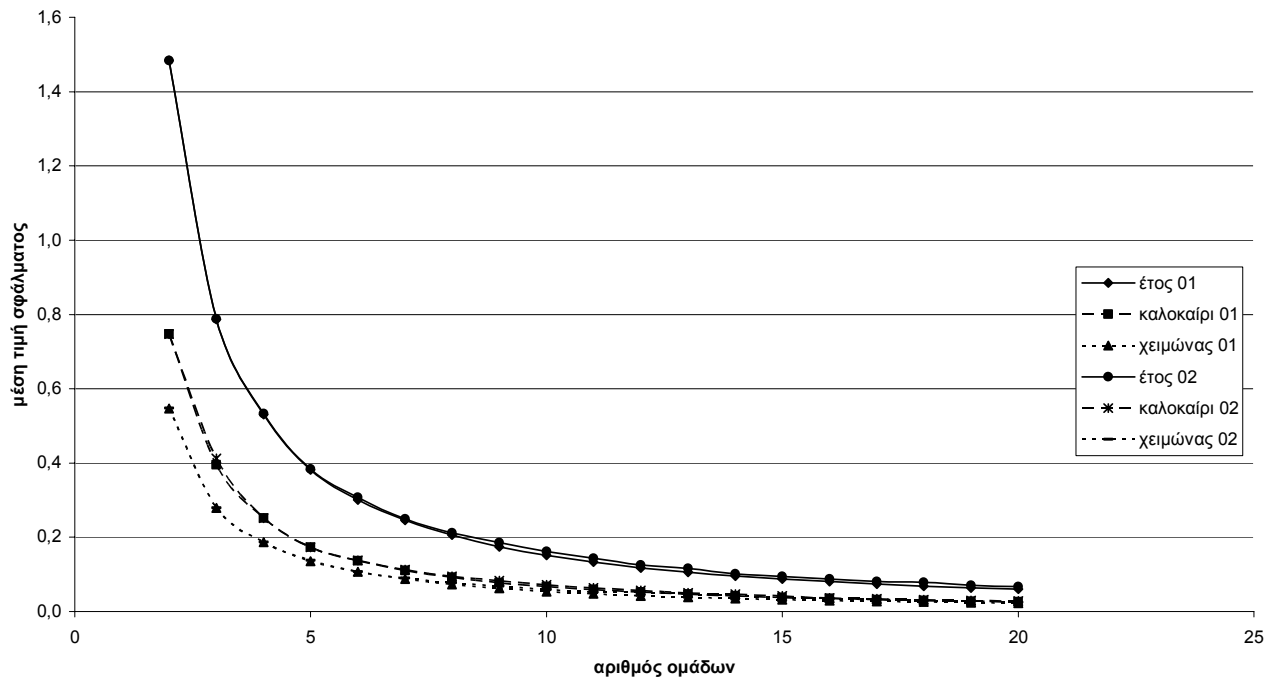
Μέση τιμή σφάλματος για 1999 για φορτία και με τις δύο μεθόδους K-μέσων



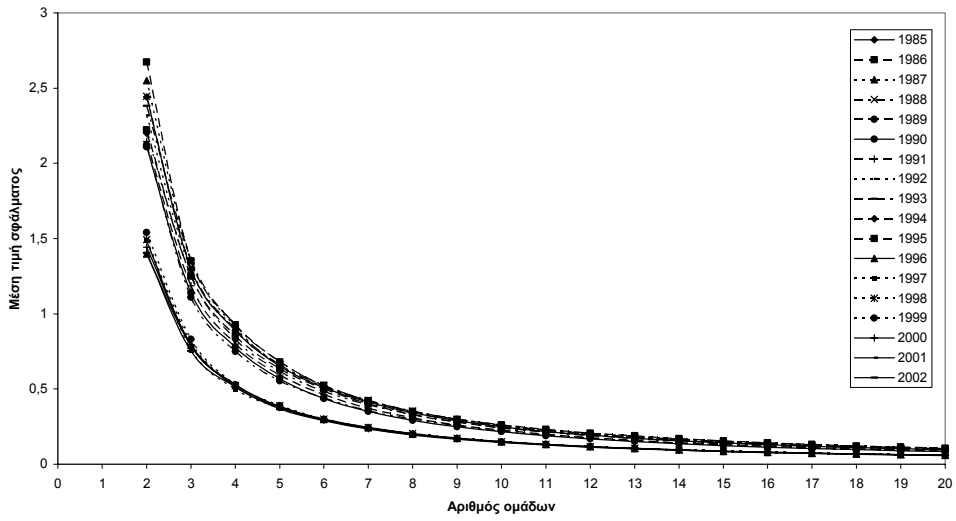
Μέση τιμή σφάλματος για 2000 για φορτία και με τις δύο μεθόδους K-μέσων



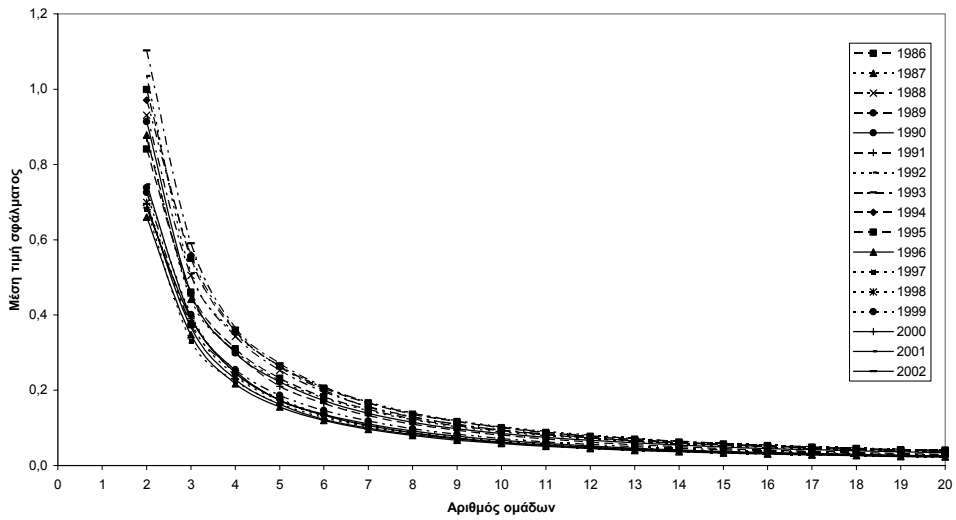
Μέση τιμή σφάλματος για 2001 και με τις δύο μεθόδους K-μέσων



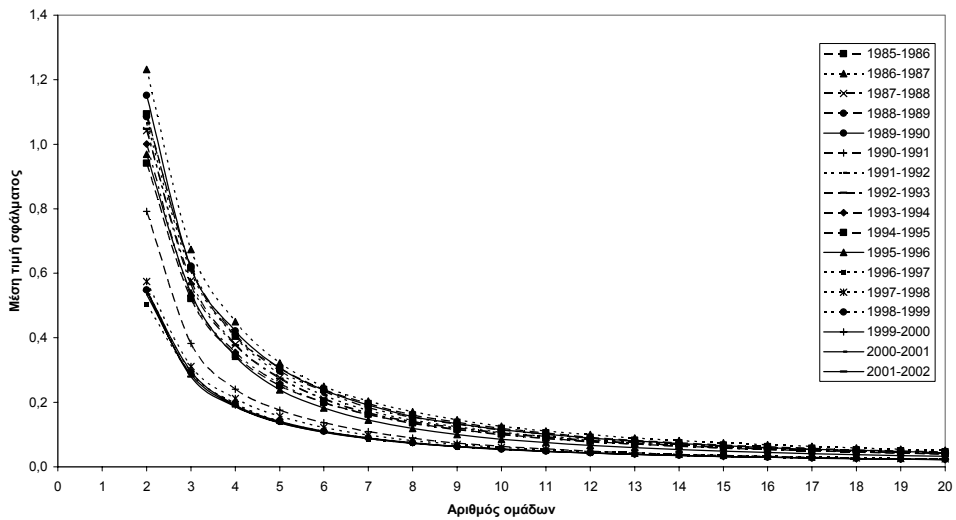
Μέση τιμή σφάλματος για φορτία για έτη με μέθοδο Κ-μέσων 01



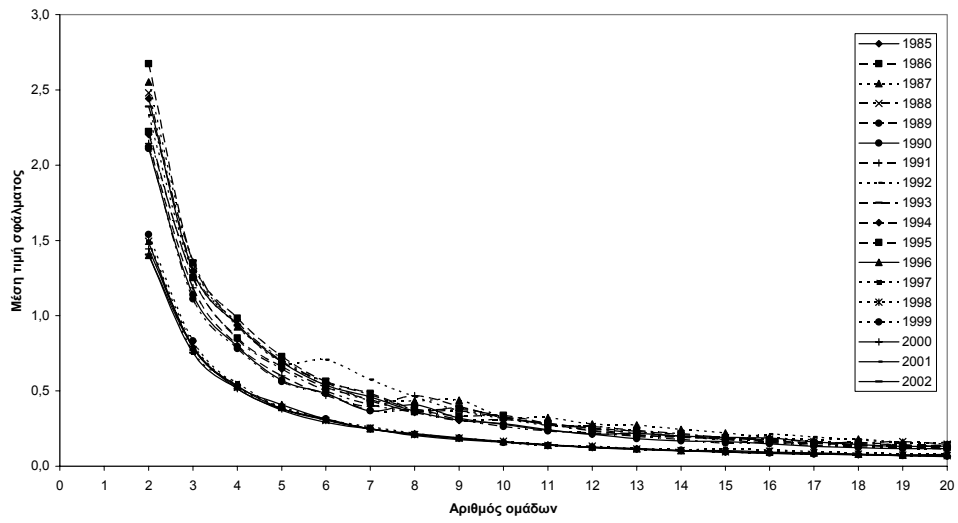
Μέση τιμή σφάλματος για φορτία για έτη με μέθοδο Κ-μέσων 01



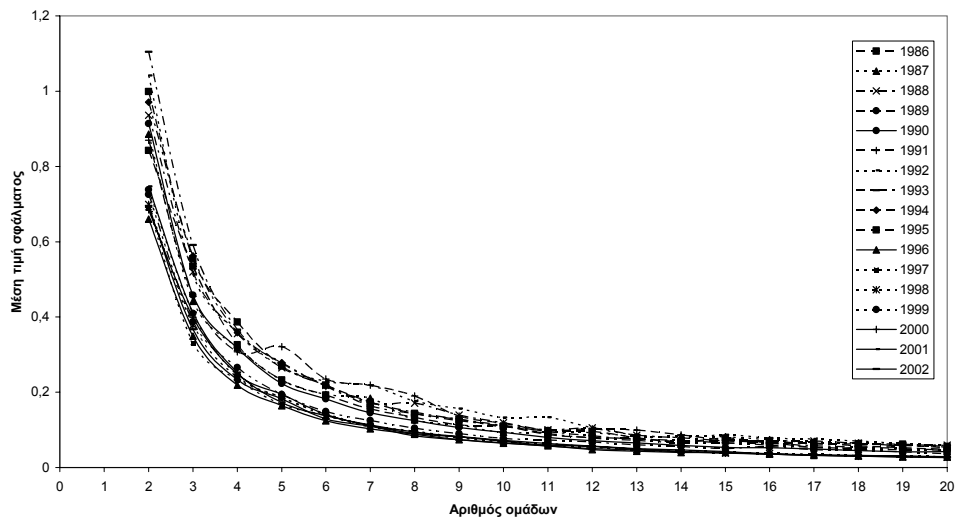
Μέση τιμή σφάλματος για φορτία για έτη με μέθοδο Κ-μέσων 01



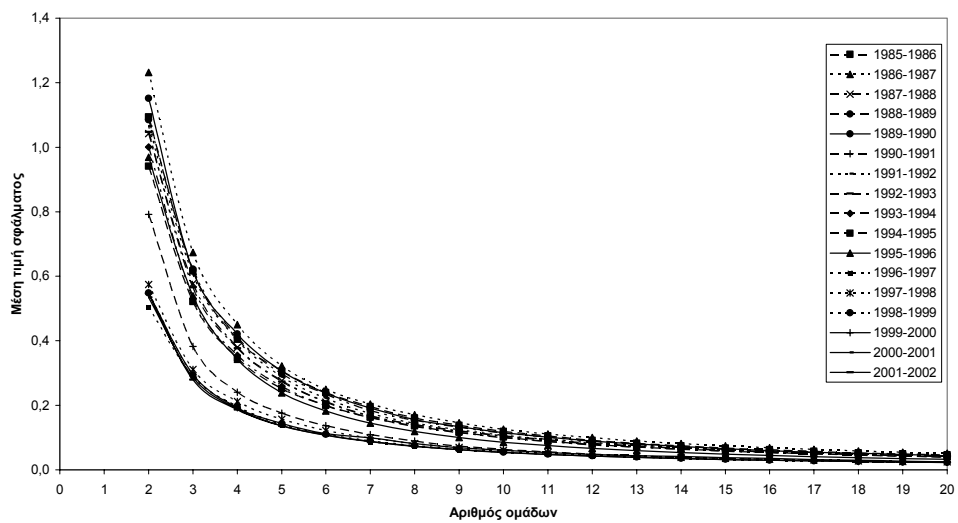
Μέση τιμή σφάλματος για φορτία για έτη με μέθοδο K-μέσων 02



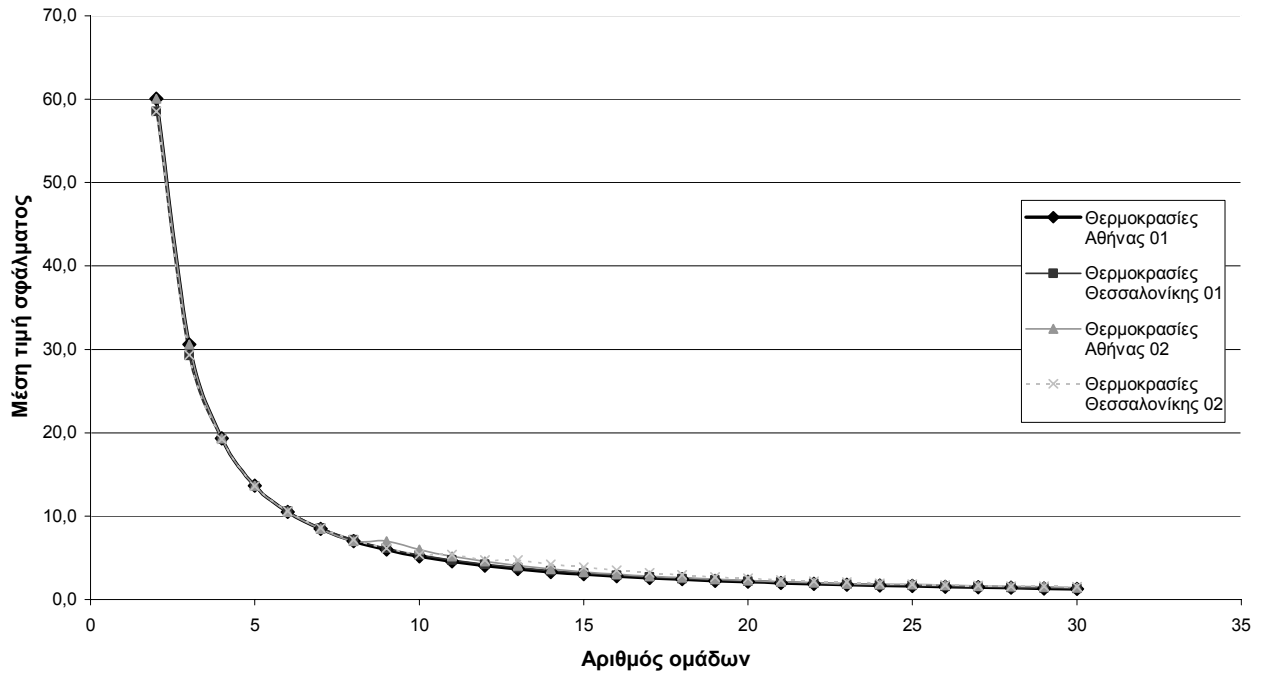
Μέση τιμή σφάλματος για φορτία για έτη με μέθοδο K-μέσων 01



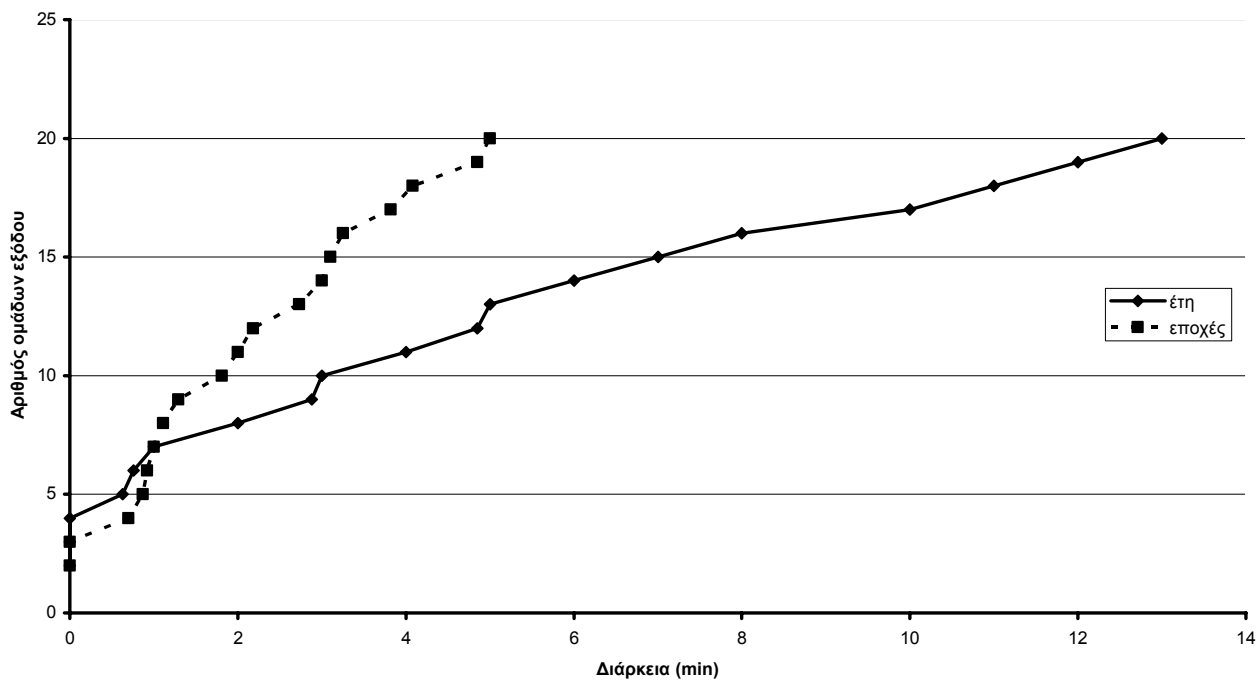
Μέση τιμή σφάλματος για φορτία για έτη με μέθοδο K-μέσων 01



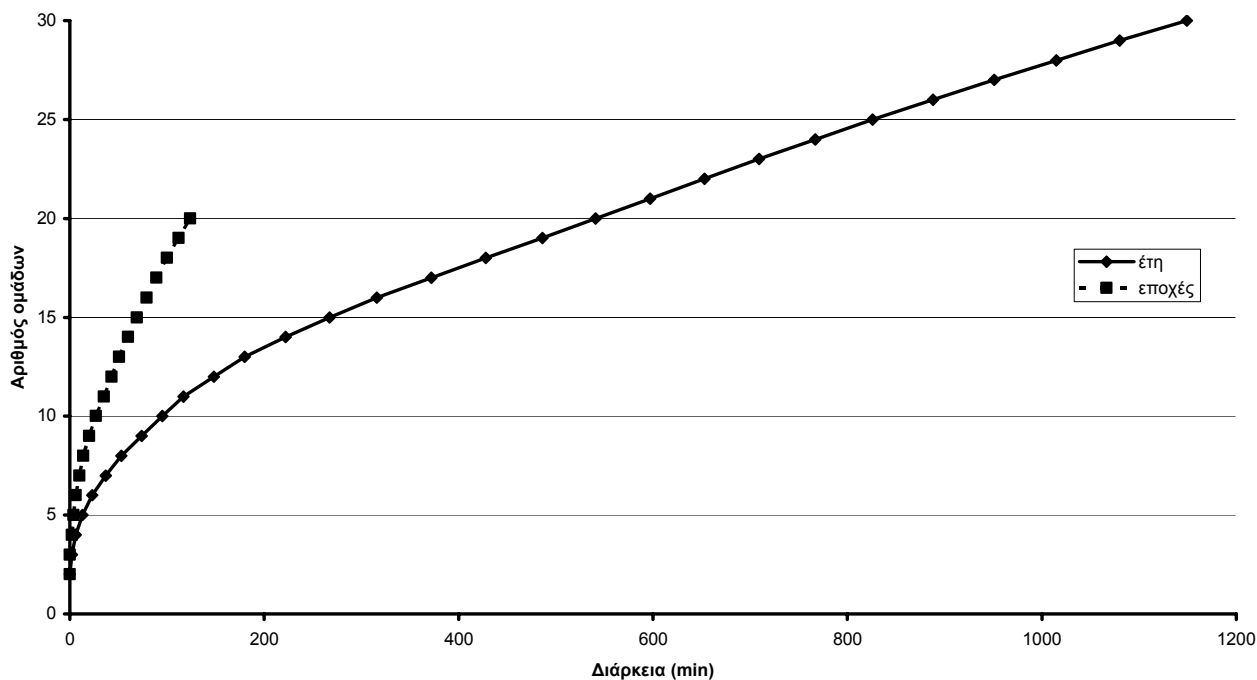
Μέση τιμή σφάλματος για θερμοκρασίες με μεθόδους K-μέσων 01 και 02



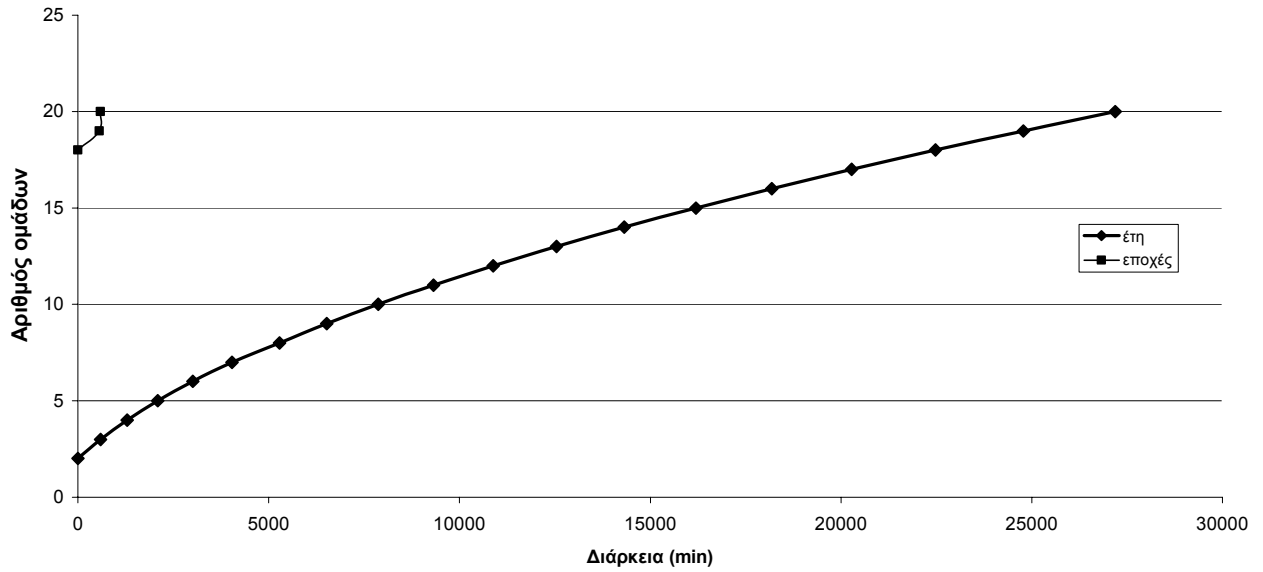
Διάρκεια τρεξίματος Κ-μέσων 01 για φορτία (συγκεντρωτικά)



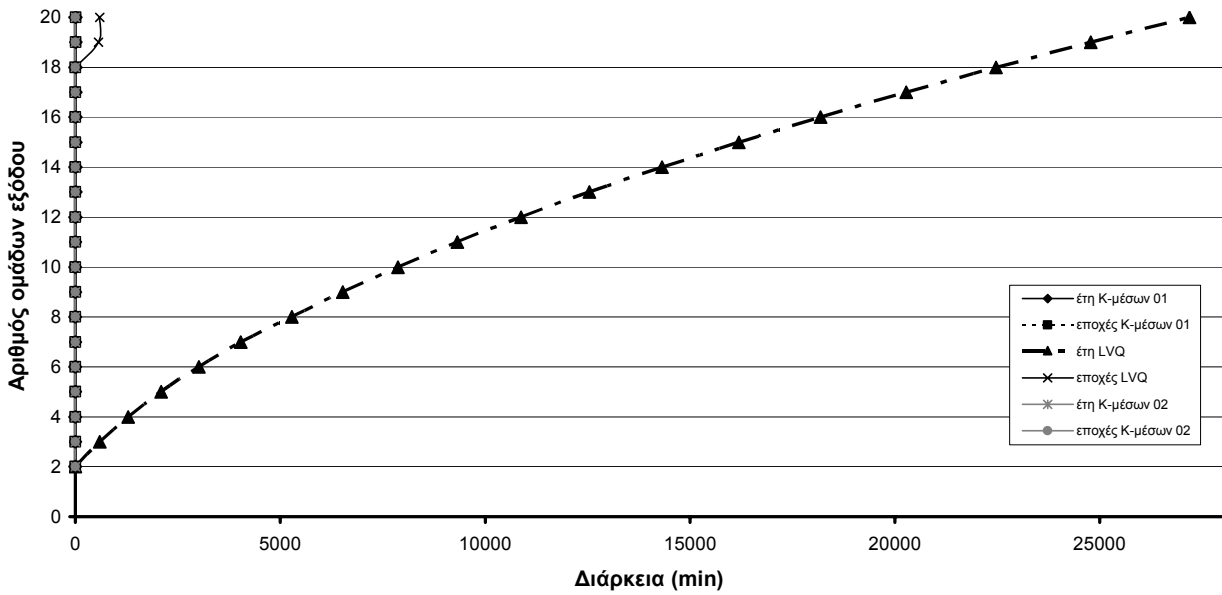
Διάρκεια τρεξίματος Κ-μέσων 01 για θερμοκρασίες (συγκεντρωτικά)



Μέθοδος LVQ για φορτία για έτη και εποχές



Διάρκεια τρεξίματος όλων των μεθόδων για φορτία, για έτη και για εποχές



Ακολουθεί ένα παράδειγμα συνδυασμού της ομάδας 19 των φορτίων, της ομάδας 20 των θερμοκρασιών Αθήνας και της ομάδας 20 για τις θερμοκρασίες της Θεσσαλονίκης, για το έτος 2000.

GIA KIND OF DAY 1

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
IF	4	AND	3	AND	1	AND	1	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
IF	2	AND	3	AND	2	AND	1	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	5	AND	6	AND	2	AND	1	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	1	AND	2	AND	1	AND	2	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	4	AND	3	AND	4	AND	3	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	7	AND	6	AND	5	AND	3	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	3	AND	2	AND	3	AND	4	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	2	AND	5	AND	4	AND	5	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	5	AND	8	AND	4	AND	6	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	6	AND	5	AND	6	AND	6	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	5	AND	7	AND	6	AND	6	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	7	AND	10	AND	7	AND	7	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	6	AND	6	AND	5	AND	8	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	8	AND	9	AND	6	AND	8	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	5	AND	9	AND	8	AND	8	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	10	AND	9	AND	10	AND	8	THEN	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	10	AND	12	AND	9	AND	9	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	10	AND	9	AND	10	AND	9	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	13	AND	11	AND	12	AND	9	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	11	AND	8	AND	8	AND	10	THEN	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	10	AND	7	AND	10	AND	10	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	13	AND	11	AND	11	AND	10	THEN	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	8	AND	10	AND	9	AND	11	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	13	AND	11	AND	13	AND	11	THEN	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	15	AND	14	AND	13	AND	11	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	13	AND	13	AND	12	AND	12	THEN	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	14	AND	14	AND	12	AND	12	THEN	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	14	AND	15	AND	12	AND	12	THEN	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	13	AND	13	AND	12	AND	13	THEN	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	15	AND	13	AND	14	AND	13	THEN	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	14	AND	13	AND	12	AND	14	THEN	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	16	AND	16	AND	14	AND	14	THEN	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	15	AND	15	AND	15	AND	14	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	16	AND	15	AND	15	AND	14	THEN	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	16	AND	16	AND	16	AND	15	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	16	AND	15	AND	14	AND	16	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	16	AND	16	AND	18	AND	16	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	17	AND	17	AND	18	AND	16	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	19	AND	18	AND	18	AND	17	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	19	AND	19	AND	19	AND	17	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	18	AND	17	AND	17	AND	18	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	18	AND	18	AND	17	AND	18	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	18	AND	18	AND	18	AND	18	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	18	AND	18	AND	17	AND	19	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	18	AND	19	AND	18	AND	19	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	20	AND	18	AND	20	AND	19	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	18	AND	19	AND	17	AND	20	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	20	AND	20	AND	20	AND	20	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0

GIA KIND OF DAY 2

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	IF
IF	1	AND	1	AND	2	AND	1	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IF	2	AND	4	AND	3	AND	1	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	2	AND	5	AND	1	AND	2	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	2	AND	3	AND	2	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	3	AND	5	AND	3	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	12	AND	9	AND	7	AND	3	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	2	AND	5	AND	2	AND	4	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	2	AND	3	AND	4	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	2	AND	4	AND	3	AND	4	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	5	AND																										

Ακολουθεί ένα παράδειγμα συνδυασμού της ομάδας 10 των φορτίων, της ομάδας 10 των θερμοκρασιών Αθήνας και της ομάδας 10 για τις θερμοκρασίες της Θεσσαλονίκης, για το Καλοκαίρι 1999.

GIA KIND OF DAY 1

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IF	2	AND	1	AND	3	AND	2	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	2	AND	3	AND	2	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	4	AND	3	AND	4	AND	3	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	2	AND	3	AND	2	AND	4	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	4	AND	5	AND	4	AND	5	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	5	AND	4	AND	6	AND	5	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	5	AND	6	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	5	AND	6	AND	6	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	6	AND	6	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	8	AND	6	AND	6	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	6	AND	8	AND	8	AND	6	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	8	AND	7	AND	8	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	8	AND	8	AND	8	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	6	AND	6	AND	5	AND	8	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	8	AND	8	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	7	AND	7	AND	7	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	8	AND	8	AND	7	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	7	AND	7	AND	9	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	9	AND	7	AND	9	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	9	AND	9	AND	9	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
IF	7	AND	7	AND	9	AND	10	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	7	AND	10	AND	9	AND	10	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	9	AND	9	AND	10	AND	10	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	10	AND	9	AND	10	AND	10	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

GIA KIND OF DAY 2

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IF	2	AND	2	AND	3	AND	2	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	2	AND	2	AND	3	AND	3	THEN		0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	3	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	4	AND	4	AND	4	AND	4	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	4	AND	4	AND	5	AND	4	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	5	AND	6	AND	4	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	6	AND	5	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	4	AND	5	AND	5	AND	6	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	6	AND	6	THEN		0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	8	AND	6	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	6	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	7	AND	7	AND	9	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	8	AND	8	AND	7	AND	8	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
IF	6	AND	6	AND	8	AND	8	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	9	AND	8	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	7	AND	7	AND	7	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	7	AND	7	AND	9	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	9	AND	9	AND	9	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
IF	7	AND	7	AND	10	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	10	AND	10	AND	9	AND	10	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	10	AND	9	AND	10	AND	10	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

GIA KIND OF DAY 3

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IF	2	AND	2	AND	3	AND	3	THEN		0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	2	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	3	AND	5	AND	3	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	4	AND	5	AND	4	AND	4	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	4	AND	4	AND	5	AND	4	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	4	AND	4	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	5	AND	4	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	6	AND	8	AND	5	AND	6	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	6	AND	6	AND	6	AND	6	THEN		0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
IF	8	AND	6	AND	7	AND	6	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	7	AND	7	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	6	AND	8	AND	7	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	7	AND	8	AND	8	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	6	AND	6	AND	6	AND	8	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	8	AND	6	AND	9	AND	8	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	7	AND	7	AND	9	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
IF	8	AND	8	AND	9	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	7	AND	9	AND	9	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	9	AND	10	AND	9	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	9	AND	9	AND	10	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
IF	9	AND	7	AND	10	AND	10	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	10	AND	10	AND	10	AND	10	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

GIA KIND OF DAY 4

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IF	2	AND	2	AND	3	AND	3	THEN		0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	3	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	4	AND	4	AND	4	AND	4	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	4	AND	5	AND	2	AND	5	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	4	AND	3	AND	4	AND	5	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	5	AND	4	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	1	AND	6	AND	2	AND	6	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	6	AND	6	THEN		0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
IF	6	AND	8	AND	6	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	7	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	7	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	9	AND	7	AND	9	AND	8	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	8	AND	8	AND	6	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	8	AND	7	AND	7	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	6	AND	8	AND	7	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	9	AND	7	AND	9	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
IF	7	AND	9	AND	9	AND	9	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	7	AND	9	AND	9	AND	10	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	9	AND	9	AND	10	AND	10	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
IF	10	AND	10	AND	10	AND	10	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

GIA KIND OF DAY 5

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IF	2	AND	1	AND	2	AND	2	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	2	AND	4	AND	2	AND	2	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	2	AND	3	AND	2	AND	3	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	2	AND	4	AND	3	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	4	AND	4	AND	5	AND	4	THEN		0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
IF	5	AND	5	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	8	AND	6	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	6	AND	5	AND	6	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	6	AND	6	THEN		0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
IF	8	AND	6	AND	6	AND	6	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	8	AND	6	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	6	AND	6	AND	6	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	6	AND	8	AND	7	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	7	AND	8	AND	7	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

IF	8	AND	6	AND	9	AND	7	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	7	AND	7	AND	9	AND	9	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
IF	7	AND	9	AND	9	AND	9	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	9	AND	9	AND	9	AND	9	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
IF	9	AND	9	AND	10	AND	10	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	10	AND	9	AND	10	AND	10	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	10	AND	10	AND	10	AND	10	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

GIA KIND OF DAY 6

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IF	2	AND	2	AND	2	AND	2	THEN	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	2	AND	3	AND	2	THEN	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	4	AND	3	AND	4	AND	4	THEN	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	5	AND	4	AND	5	AND	5	THEN	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	5	AND	5	AND	6	AND	5	THEN	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	6	AND	5	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	6	AND	6	THEN	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	6	AND	6	AND	6	THEN	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	6	AND	6	THEN	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	7	AND	6	THEN	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	7	AND	7	THEN	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	7	AND	7	AND	7	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	7	AND	8	AND	7	AND	8	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	7	AND	7	AND	7	AND	9	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	7	AND	7	AND	9	AND	9	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	8	AND	7	AND	9	AND	9	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	9	AND	9	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	9	AND	9	AND	9	AND	9	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
IF	7	AND	9	AND	9	AND	10	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	9	AND	10	AND	10	AND	10	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	10	AND	10	AND	10	AND	10	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

GIA KIND OF DAY 7

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IF	1	AND	2	AND	2	AND	2	THEN	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	2	AND	3	AND	2	THEN	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	2	AND	3	AND	2	AND	3	THEN	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	4	AND	4	AND	4	THEN	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	5	AND	5	AND	5	AND	5	THEN	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	4	AND	4	AND	5	AND	6	THEN	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	6	AND	6	THEN	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	6	AND	6	THEN	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	5	AND	8	AND	6	THEN	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	8	AND	6	THEN	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	5	AND	6	AND	6	AND	7	THEN	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	6	AND	7	AND	7	THEN	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	7	AND	7	AND	7	AND	7	THEN	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	7	AND	7	AND	9	AND	7	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	9	AND	7	THEN	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	7	AND	7	AND	9	AND	9	THEN	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	7	AND	8	AND	9	AND	9	THEN	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	9	AND	8	AND	9	AND	9	THEN	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	9	AND	7	AND	10	AND	9	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	7	AND	9	AND	10	AND	9	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	9	AND	9	AND	10	AND	9	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	10	AND	10	AND	10	AND	10	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

GIA KIND OF DAY 8

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IF	2	AND	2	AND	3	AND	3	THEN	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	2	AND	4	AND	3	THEN	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	2	AND	3	AND	3	AND	4	THEN	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	4	AND	4	AND	6	AND	5	THEN	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	9	AND	9	AND	9	AND	9	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	9	AND	9	AND	9	AND	10	THEN	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Ακολουθεί ένα παράδειγμα συνδυασμού της ομάδας 10 των φορτίων, της ομάδας 10 των θερμοκρασιών Αθήνας και της ομάδας 10 για τις θερμοκρασίες της Θεσσαλονίκης, για το Χειμώνα 1998 - 1999.

GIA KIND OF DAY 1

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IF	4	AND	1	AND	1	AND	1	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	1	AND	2	AND	1	AND	1	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	2	AND	4	AND	2	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	4	AND	4	AND	2	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
IF	5	AND	4	AND	2	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	6	AND	5	AND	3	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	4	AND	2	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	3	AND	6	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	6	AND	3	AND	5	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	7	AND	6	AND	5	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	4	AND	2	AND	4	AND	4	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	5	AND	4	AND	4	AND	4	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	5	AND	3	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	6	AND	7	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	6	AND	5	AND	6	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	5	AND	7	AND	6	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	8	AND	6	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	7	AND	5	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	7	AND	7	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	7	AND	7	AND	7	AND	7	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	8	AND	8	THEN		0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
IF	9	AND	9	AND	9	AND	9	THEN		0	0	2	0	0	0	0	0	0	0

GIA KIND OF DAY 2

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IF	4	AND	1	AND	1	AND	1	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	2	AND	4	AND	1	AND	1	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	3	AND	4	AND	2	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	4	AND	4	AND	2	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	4	AND	2	AND	3	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	6	AND	5	AND	3	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	3	AND	4	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	6	AND	6	AND	4	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	2	AND	3	AND	5	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	5	AND	4	AND	4	AND	4	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	5	AND	5	AND	6	AND	4	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	2	AND	3	AND	1	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	5	AND	3	AND	5	AND	5	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	5	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	3	AND	6	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	6	AND	7	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	6	AND	5	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	7	AND	6	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	6	AND	7	AND	3	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	5	AND	6	AND	5	AND	7	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	6	AND	7	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	7	AND	8	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	8	AND	8	THEN		0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
IF	9	AND	9	AND	9	AND	9	THEN		0	0	2	0	0	0	0	0	0	0

GIA KIND OF DAY 3

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IF	1	AND	2	AND	1	AND	1	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	3	AND	2	AND	1	AND	1	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	2	AND	4	AND	1	AND	1	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	3	AND	3	AND	2	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	4	AND	4	AND	2	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	2	AND	6	AND	1	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

IF	2	AND	4	AND	2	AND	3	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	3	AND	6	AND	3	AND	3	THEN	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	5	AND	3	AND	4	AND	3	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	6	AND	6	AND	4	AND	4	THEN	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	3	AND	5	AND	6	AND	4	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	2	AND	2	AND	3	AND	5	THEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	3	AND	5	AND	3	AND	5	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	5	AND	5	AND	4	AND	5	THEN	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	6	AND	5	AND	5	THEN	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	5	AND	5	THEN	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	5	AND	5	AND	6	AND	6	THEN	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	5	AND	6	AND	7	AND	6	THEN	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	6	AND	2	AND	7	THEN	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	8	AND	8	THEN	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	7	AND	9	AND	7	AND	9	THEN	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	9	AND	9	AND	9	AND	9	THEN	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

GIA KIND OF DAY 4

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IF	1	AND	1	AND	1	AND	1	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	4	AND	2	AND	2	AND	1	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	4	AND	3	AND	2	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	2	AND	2	AND	3	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	3	AND	3	AND	3	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	6	AND	4	AND	3	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	5	AND	3	AND	2	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
IF	2	AND	2	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	2	AND	3	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	5	AND	5	AND	4	AND	4	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	6	AND	5	AND	4	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	6	AND	5	AND	7	AND	4	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	3	AND	3	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	6	AND	6	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	5	AND	5	AND	5	AND	6	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	7	AND	6	AND	6	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	7	AND	5	AND	7	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	7	AND	7	AND	7	AND	7	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	9	AND	3	AND	9	AND	7	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	8	AND	8	THEN		0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
IF	9	AND	9	AND	9	AND	9	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

GIA KIND OF DAY 5

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IF	5	AND	1	AND	3	AND	1	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	4	AND	4	AND	2	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	5	AND	5	AND	2	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	4	AND	4	AND	3	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	6	AND	5	AND	3	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	2	AND	2	AND	2	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	2	AND	2	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	4	AND	2	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	1	AND	3	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	3	AND	6	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IF	5	AND	5	AND	6	AND	4	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	5	AND	3	AND	2	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	6	AND	3	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	6	AND	6	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
IF	6	AND	5	AND	8	AND	5	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	5	AND	5	AND	4	AND	6	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	6	AND	6	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	6	AND	3	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	7	AND	7	AND	7	AND	7	THEN		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IF	7	AND	7	AND	8	AND	7	THEN		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	8	AND	8	THEN		0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
IF	9	AND	9	AND	9	AND	9	THEN		0	0	2	0	0	0	0	0	0	0

GIA KIND OF DAY 6

GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IF	2	AND	2	AND	1	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	3	AND	5	AND	2	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	5	AND	4	AND	3	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	6	AND	5	AND	3	AND	2	THEN		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	4	AND	1	AND	2	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	2	AND	2	AND	2	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	5	AND	4	AND	2	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	4	AND	2	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	3	AND	3	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	2	AND	4	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	6	AND	5	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
IF	6	AND	6	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	6	AND	5	AND	7	AND	4	THEN		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	8	AND	6	AND	6	AND	5	THEN		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	5	AND	5	AND	6	AND	6	THEN		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	7	AND	6	THEN		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	7	AND	7	AND	7	THEN		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	7	AND	8	AND	7	AND	8	THEN		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	8	AND	8	THEN		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	7	AND	8	AND	8	THEN		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	7	AND	8	AND	8	AND	8	THEN		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	9	AND	9	AND	9	AND	9	THEN		0	2	0	0	0	0	0	0	0	0

GIA KIND OF DAY 7

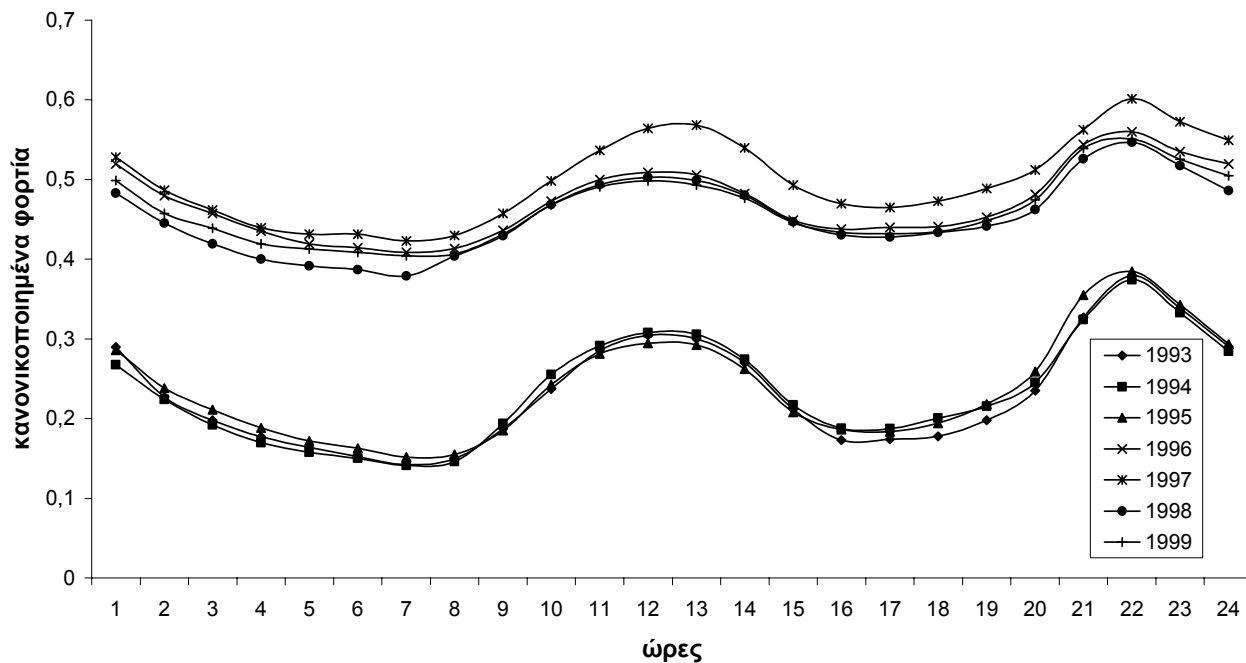
GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IF	1	AND	1	AND	1	AND	1	THEN		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	2	AND	3	AND	1	AND	1	THEN		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	4	AND	2	AND	2	AND	1	THEN		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	4	AND	2	AND	2	AND	2	THEN		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	4	AND	3	AND	2	AND	2	THEN		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	5	AND	4	AND	2	AND	2	THEN		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	4	AND	5	AND	4	AND	2	THEN		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	4	AND	3	AND	2	AND	3	THEN		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	5	AND	6	AND	2	AND	3	THEN		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	3	AND	4	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	2	AND	5	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	3	AND	3	THEN		0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
IF	2	AND	2	AND	4	AND	3	THEN		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	3	AND	6	AND	5	AND	5	THEN		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	6	AND	5	AND	6	AND	6	THEN		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	7	AND	8	AND	7	AND	6	THEN		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	7	AND	7	AND	5	AND	7	THEN		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	6	AND	7	THEN		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	6	AND	6	AND	7	AND	7	THEN		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	7	AND	6	AND	7	AND	7	THEN		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	5	AND	6	AND	6	AND	8	THEN		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	7	AND	8	AND	8	THEN		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	8	AND	8	AND	8	AND	8	THEN		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	9	AND	9	AND	9	AND	9	THEN		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

GIA KIND OF DAY 8

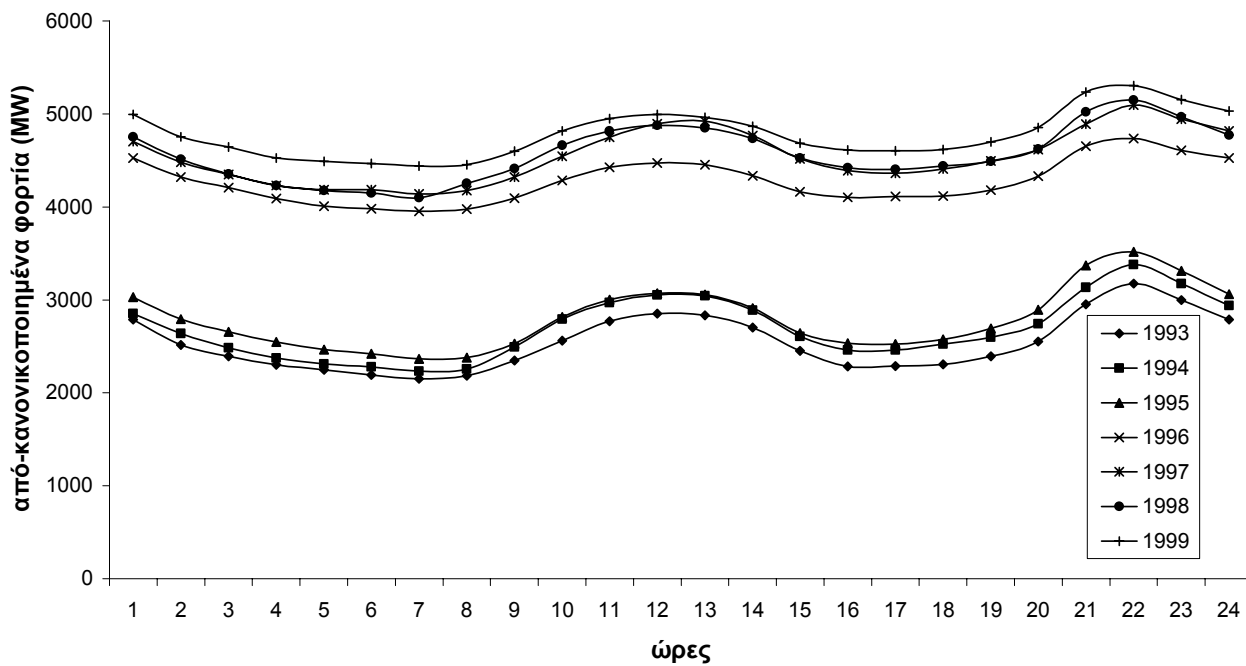
GIA	FLTAT	GIA	FLTAP	GIA	FLTTT	GIA	FLTTP	GIA	FLLT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IF	1	AND	1	AND	1	AND	1	THEN		0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
IF	1	AND	2	AND	1	AND	1	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	2	AND	3	AND	1	AND	1	THEN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
IF	2	AND	2	AND	3	AND	1	THEN		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	6	AND	5	AND	6	AND	2	THEN		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IF	3	AND	3	AND	1	AND	3	THEN		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IF	3	AND	3	AND	3	AND	5	THEN		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IF	5	AND	3	AND	6	AND	6	THEN		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

IF 7 AND 8 AND 6 AND 7 THEN 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0

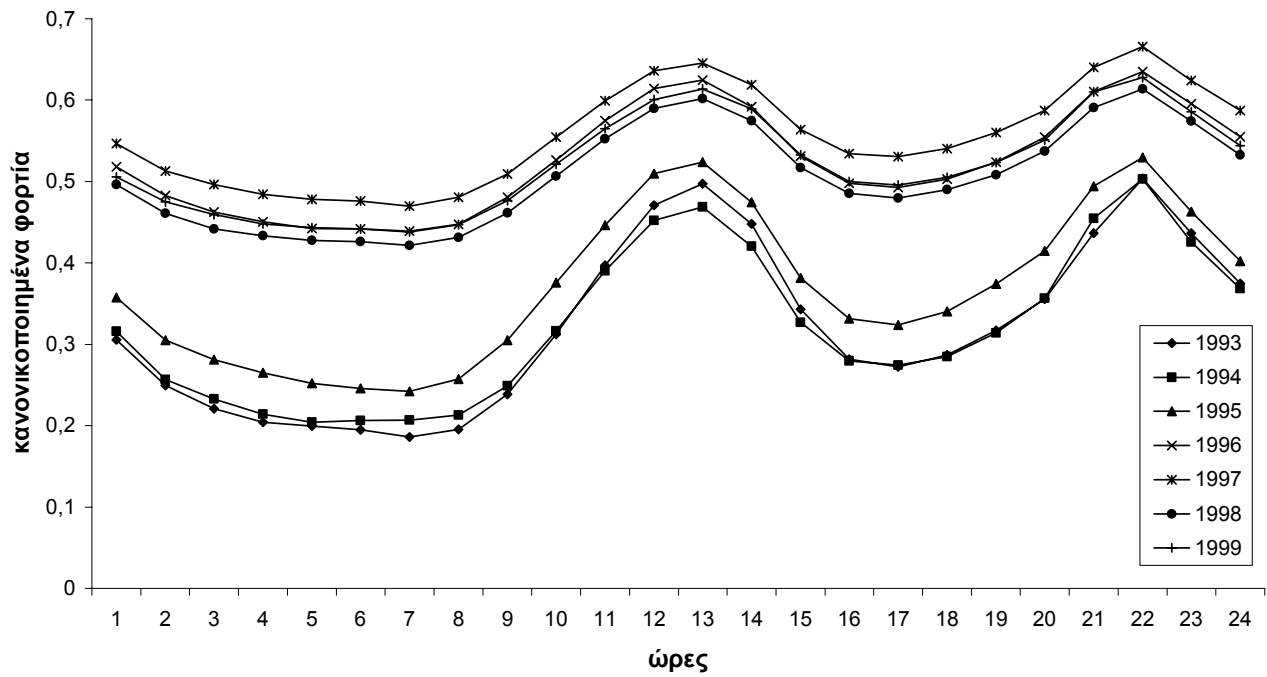
Μεταβολή ομάδας 1 φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



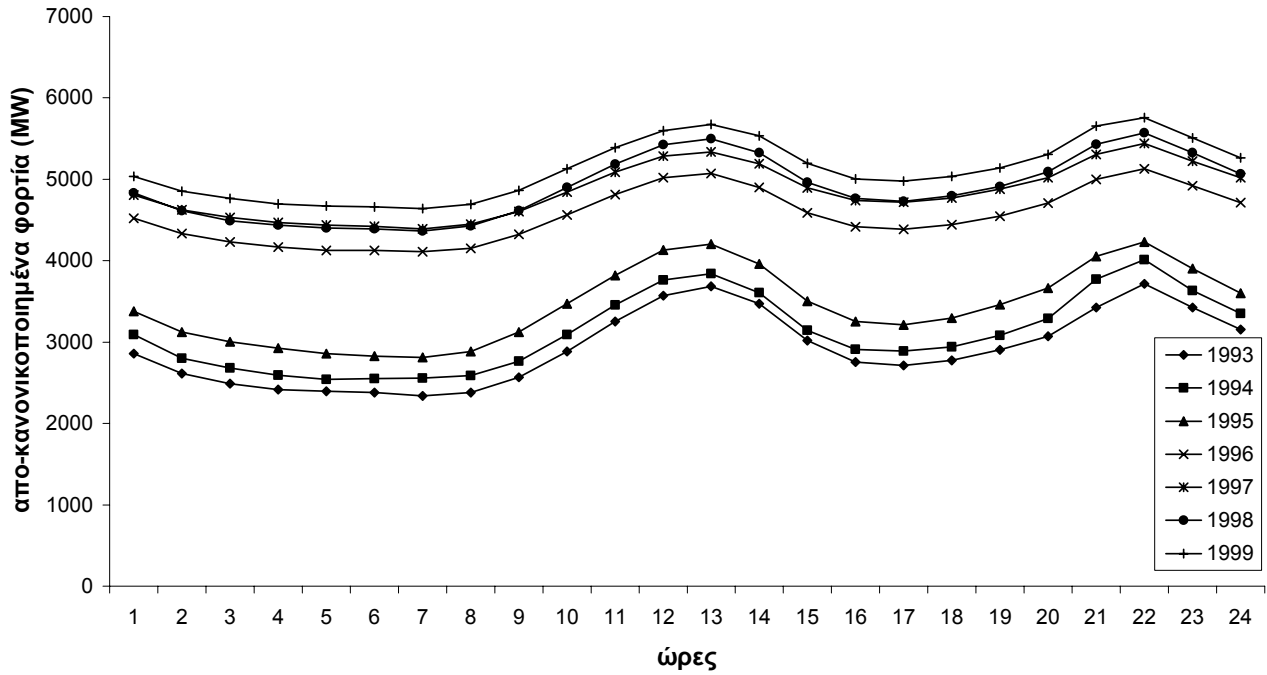
Μεταβολή ομάδας 1 απο-κανονικοποιημένων φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



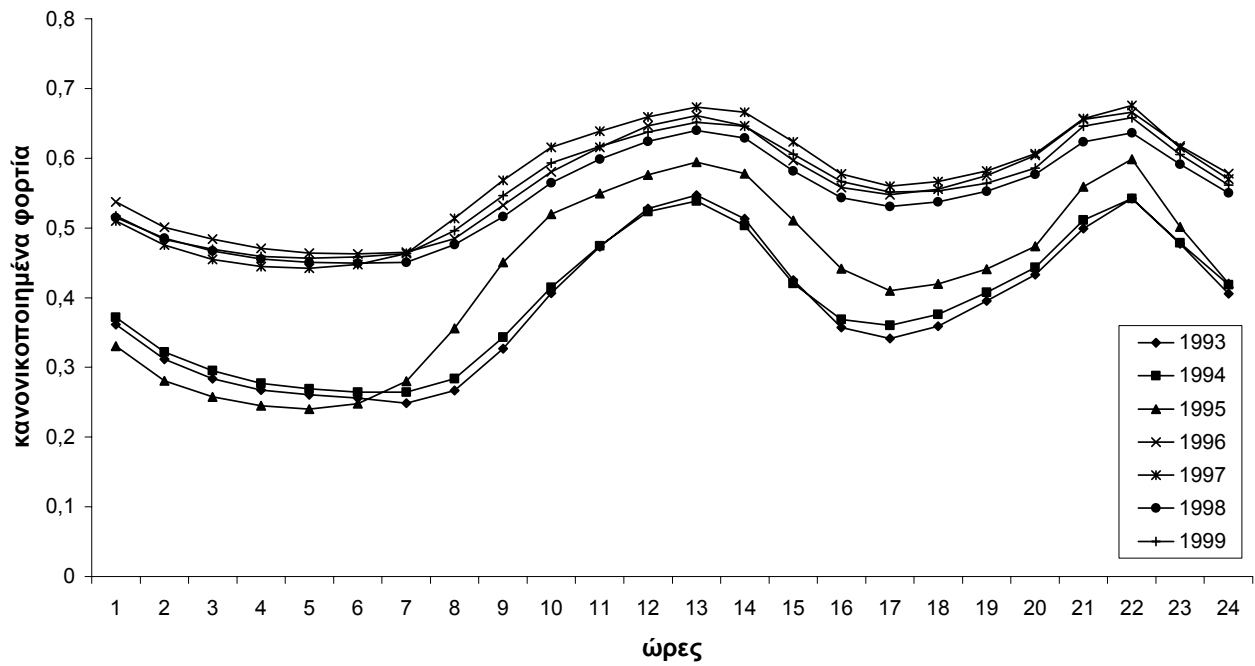
Μεταβολή της ομάδας 2 φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



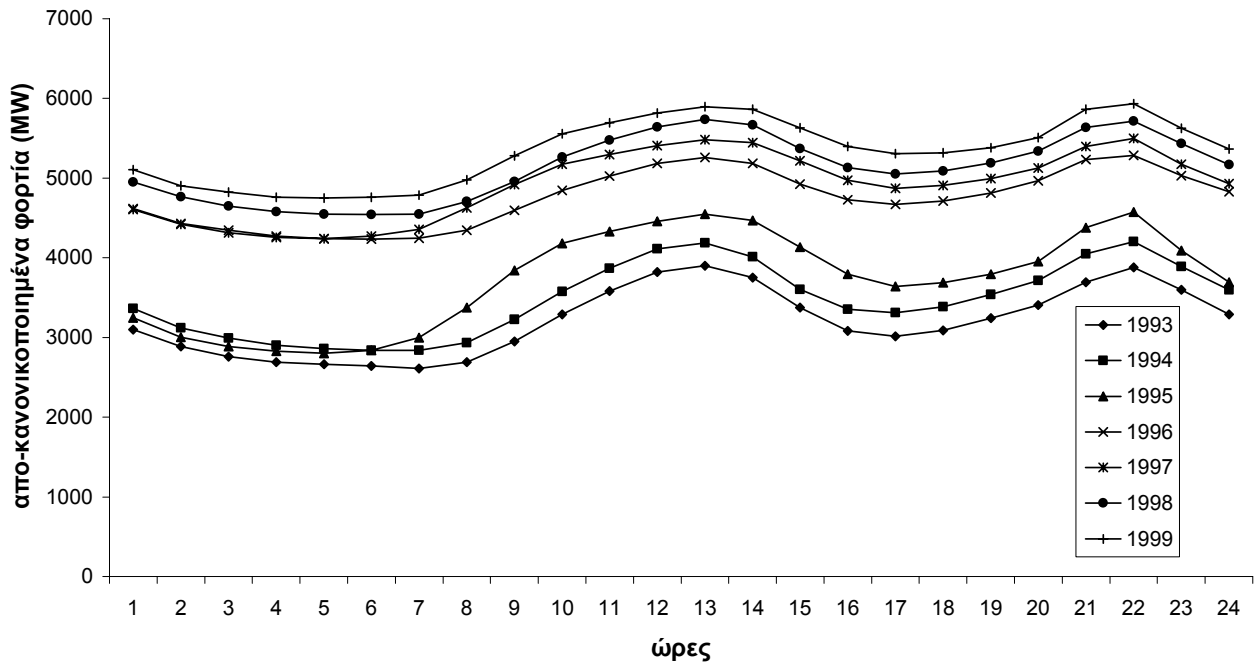
Μεταβολή της ομάδας 2 από-κανονικοποιημένων φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



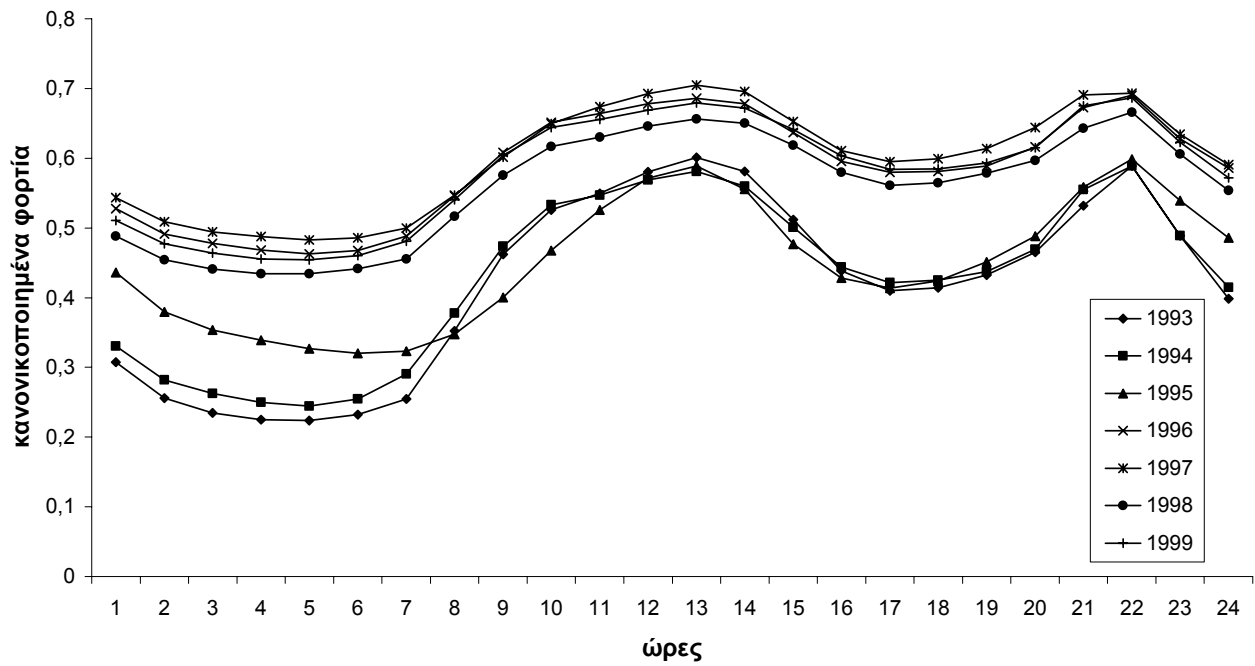
Μεταβολή ομάδας 3 φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



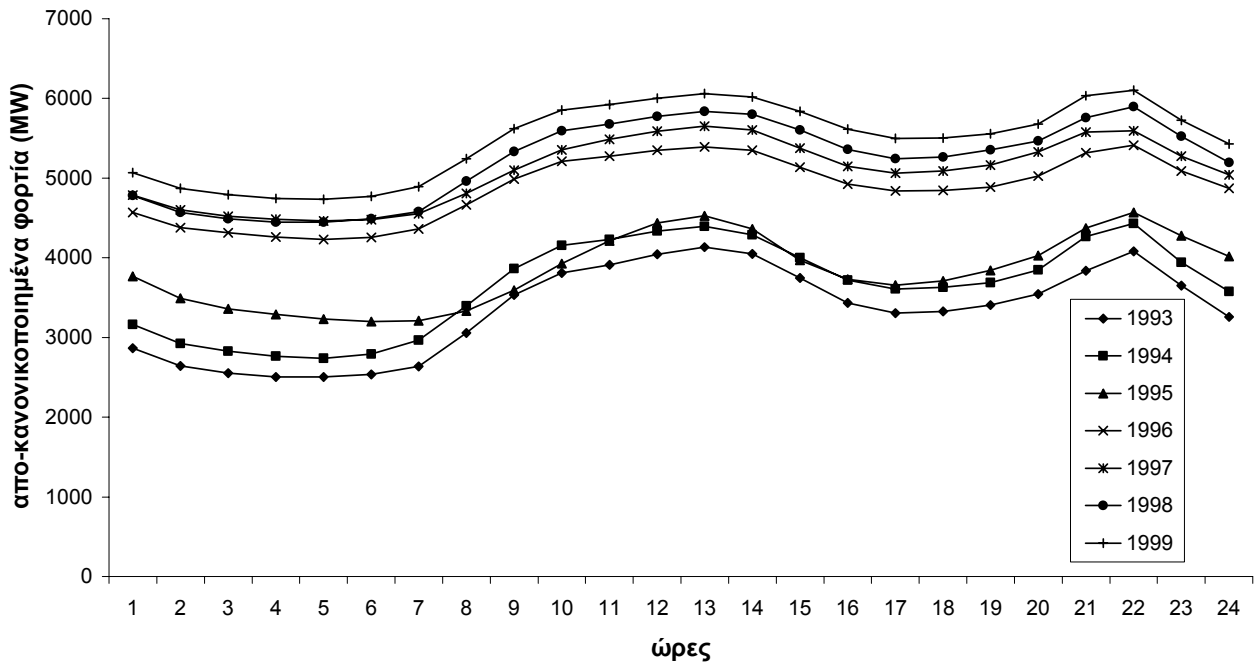
Μεταβολή ομάδας 3 από-κανονικοποιημένων φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



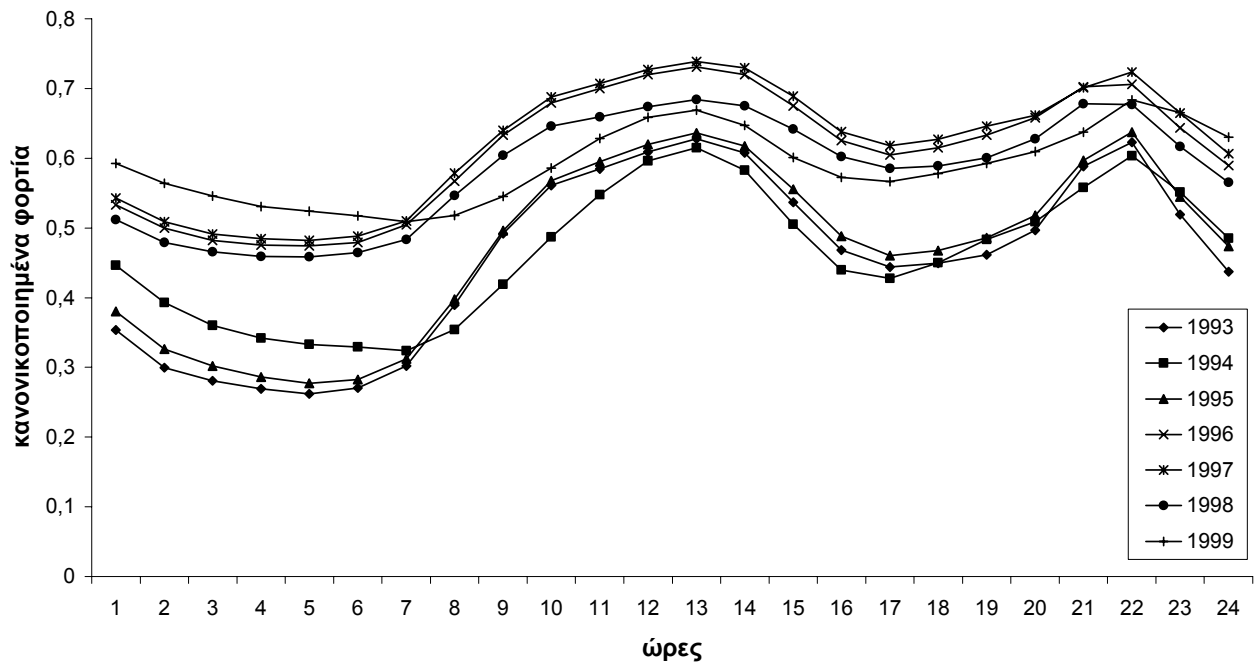
Μεταβολή ομάδας 4 φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



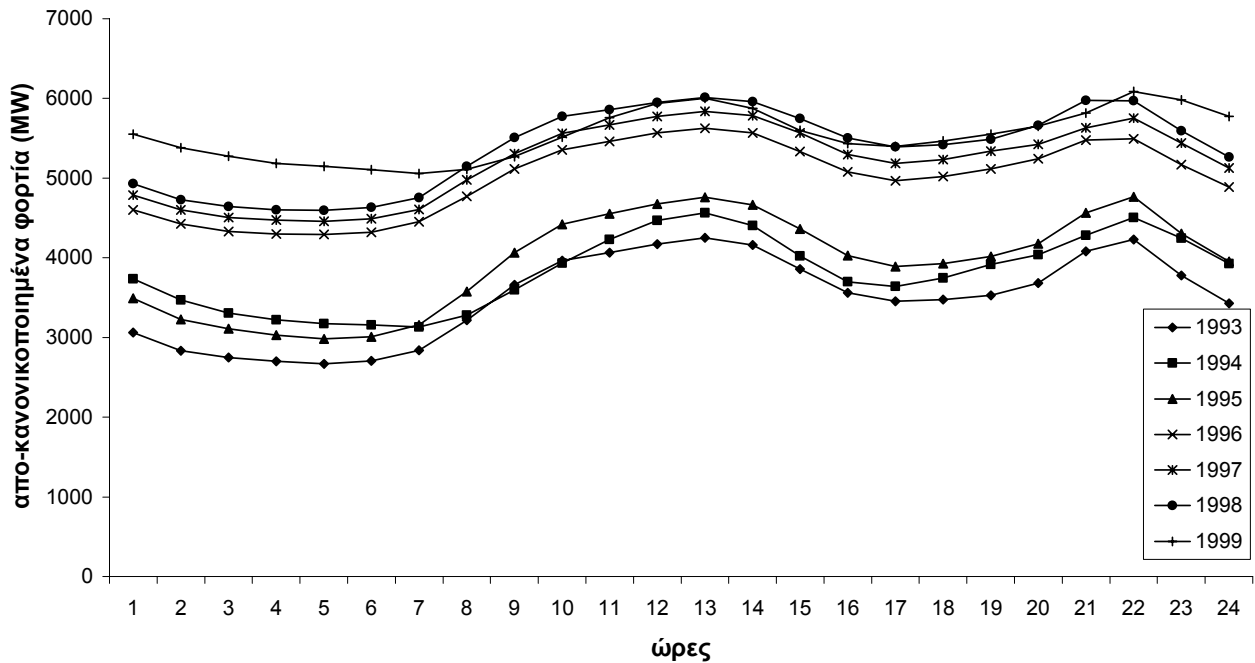
Μεταβολή ομάδας 4 απο-κανονικοποιημένων φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



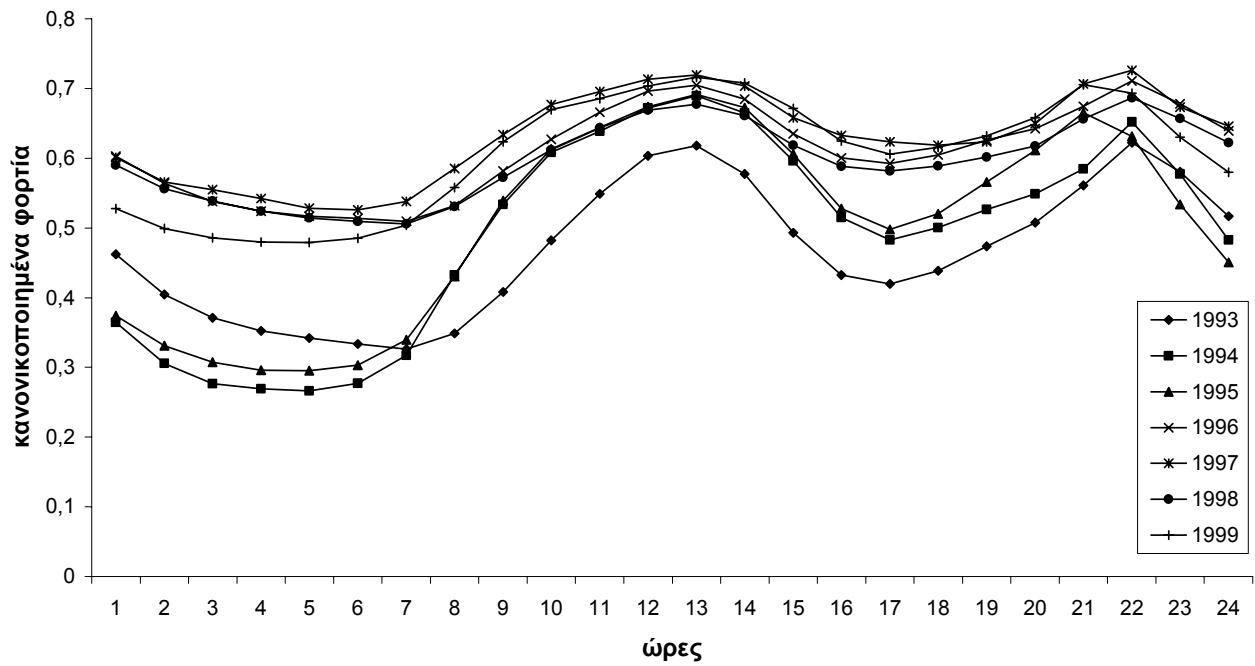
Μεταβολή ομάδας 5 φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



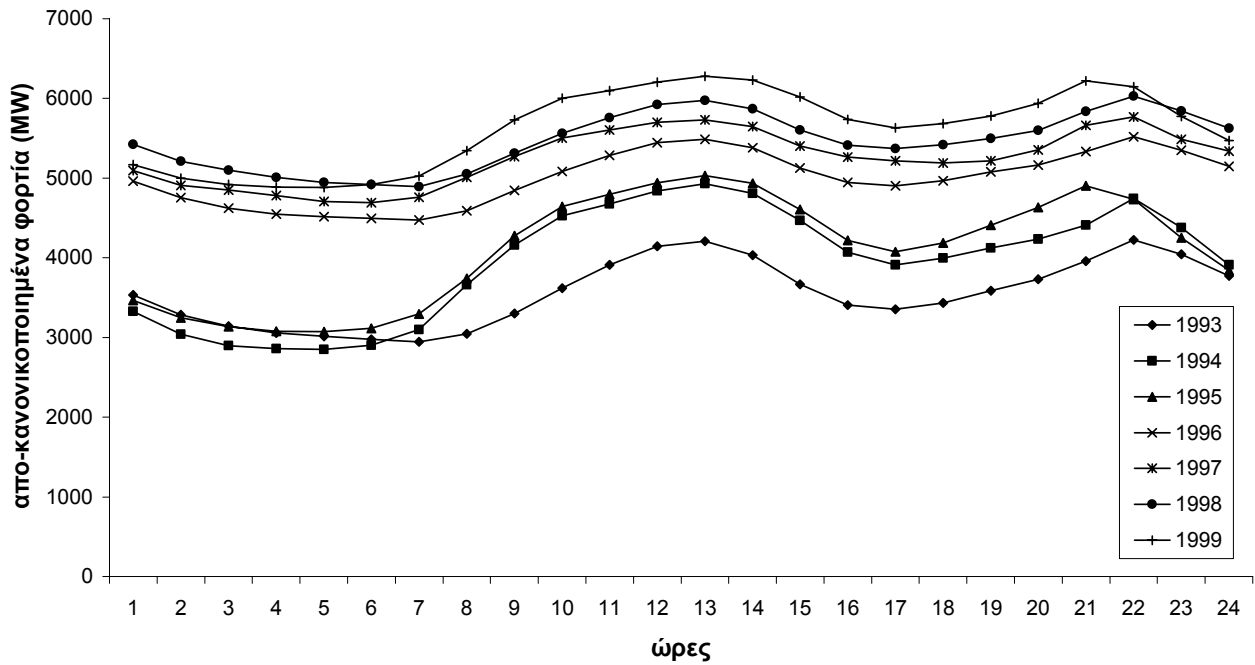
Μεταβολή ομάδας 5 απο-κανονικοποιημένων φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



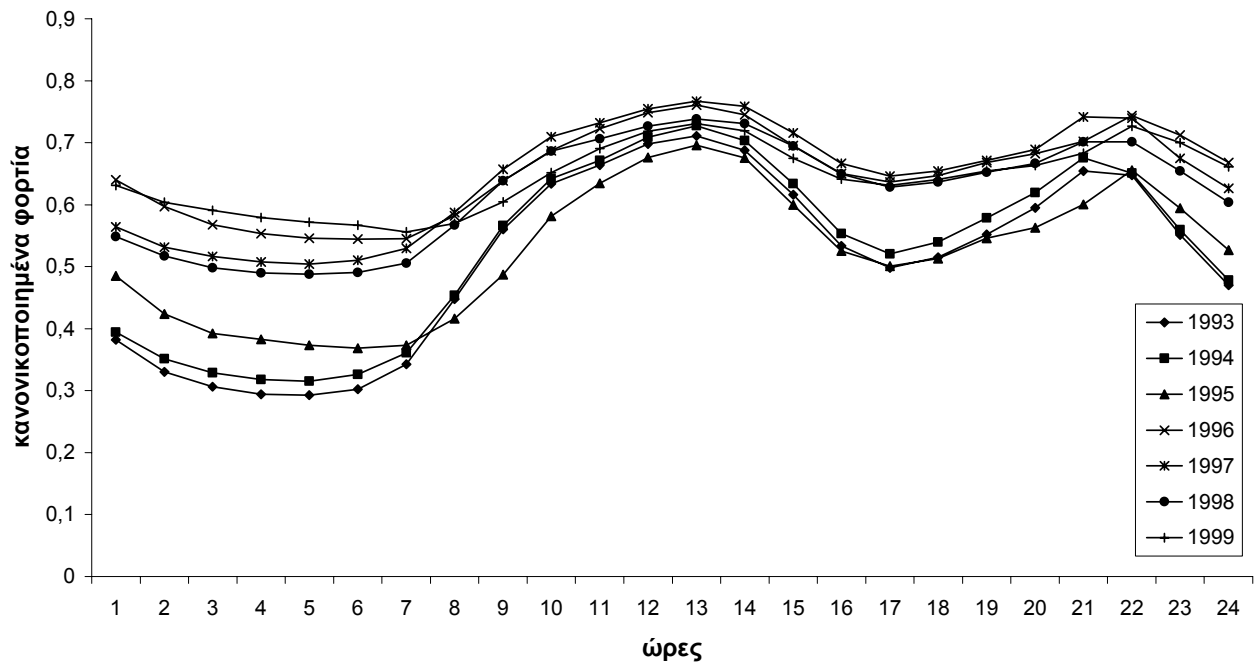
Μεταβολή ομάδας 6 φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



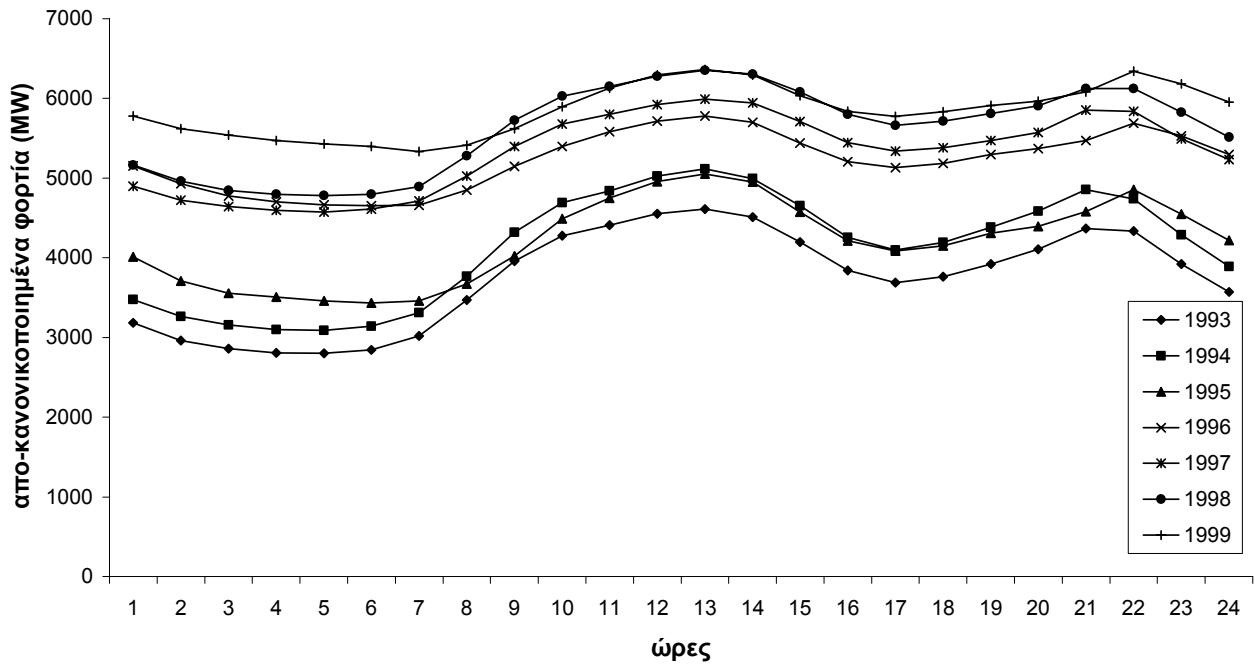
Μεταβολή ομάδας 6 απο-κανονικοποιημένων φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



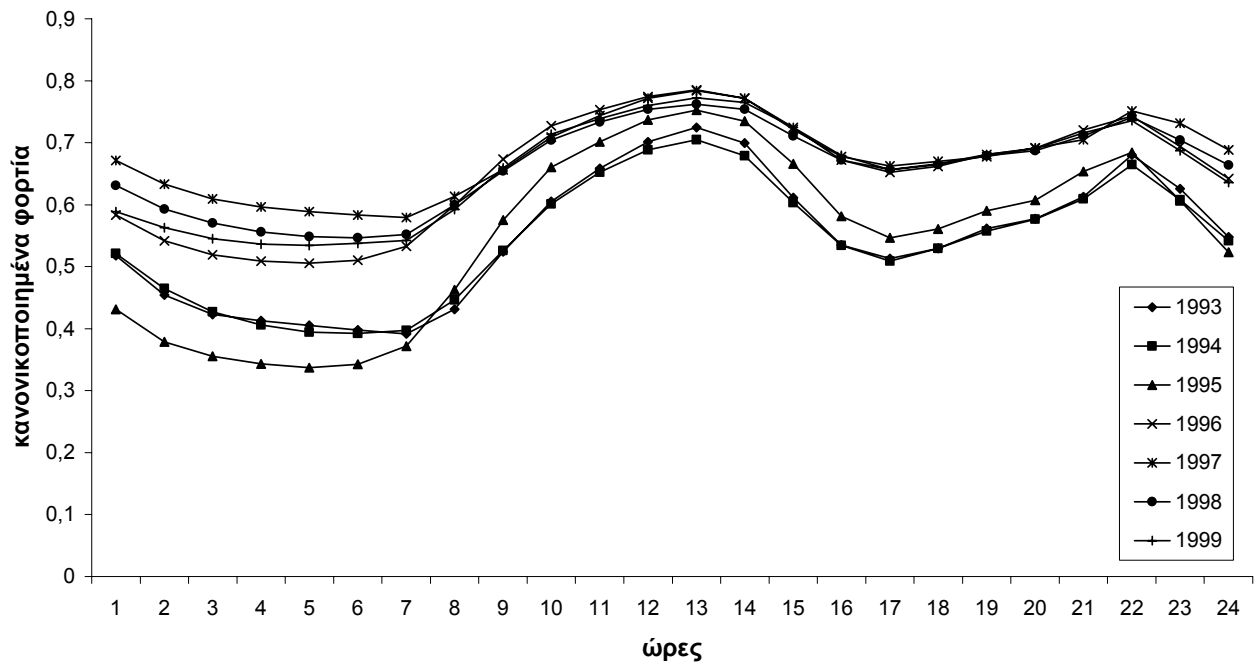
Μεταβολή ομάδας 7 φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



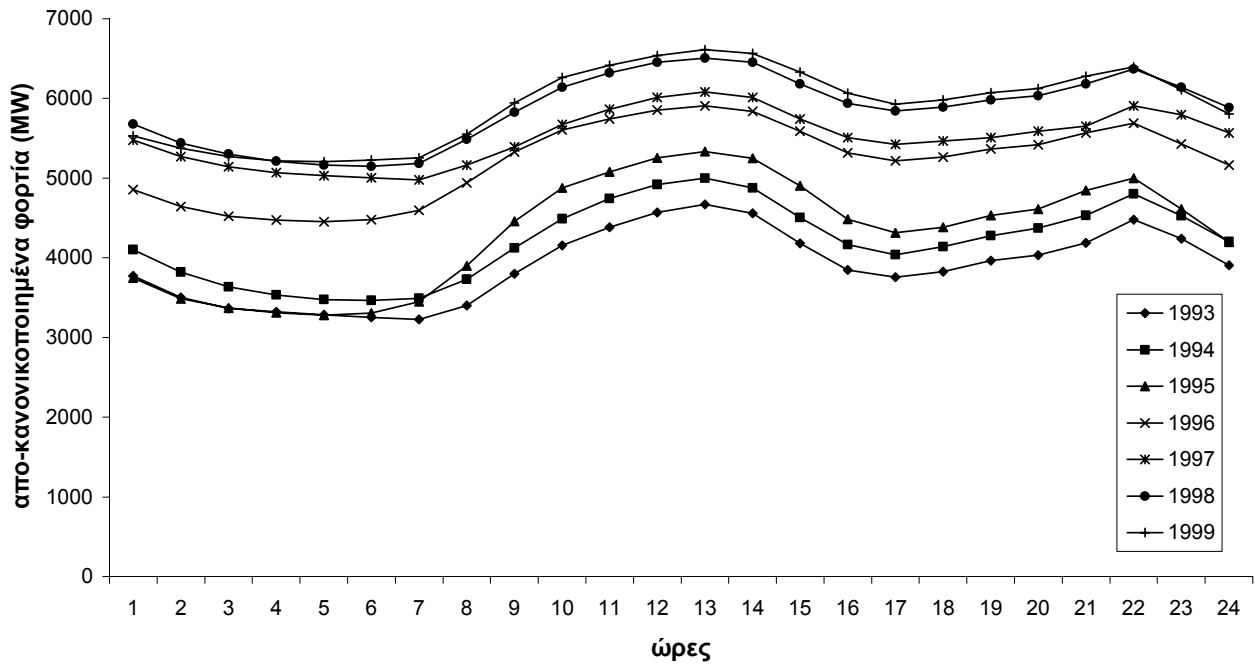
Μεταβολή ομάδας 7 απο-κανονικοποιημένων φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



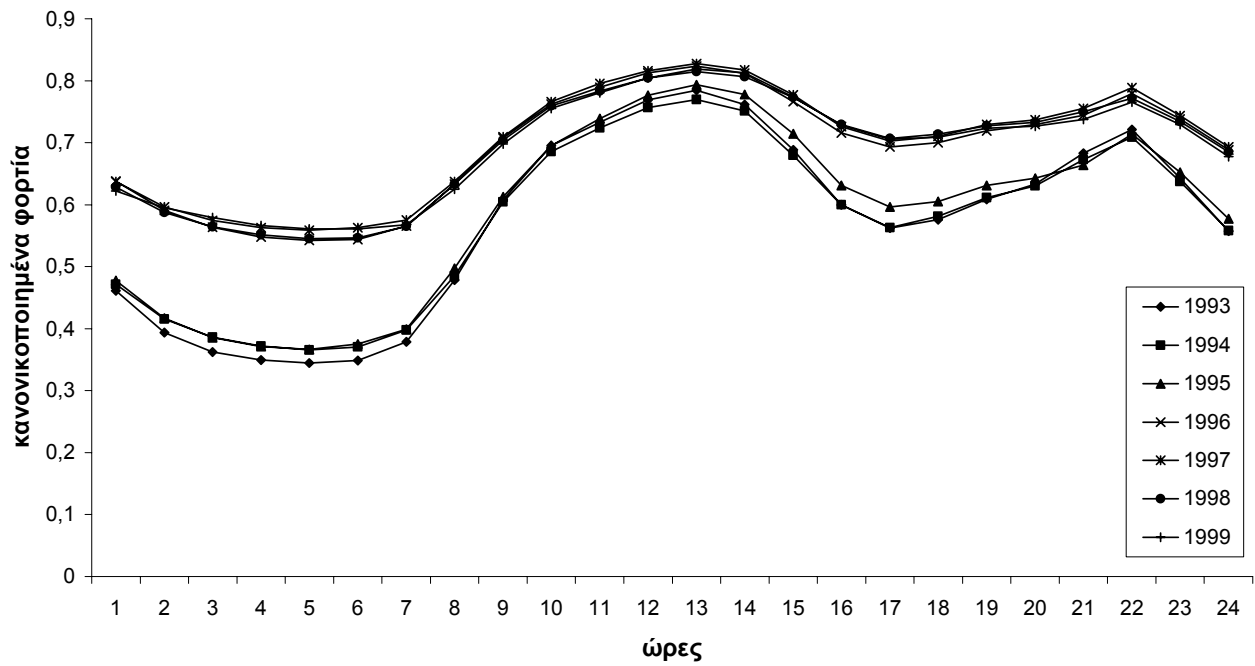
Μεταβολή ομάδας 8 φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



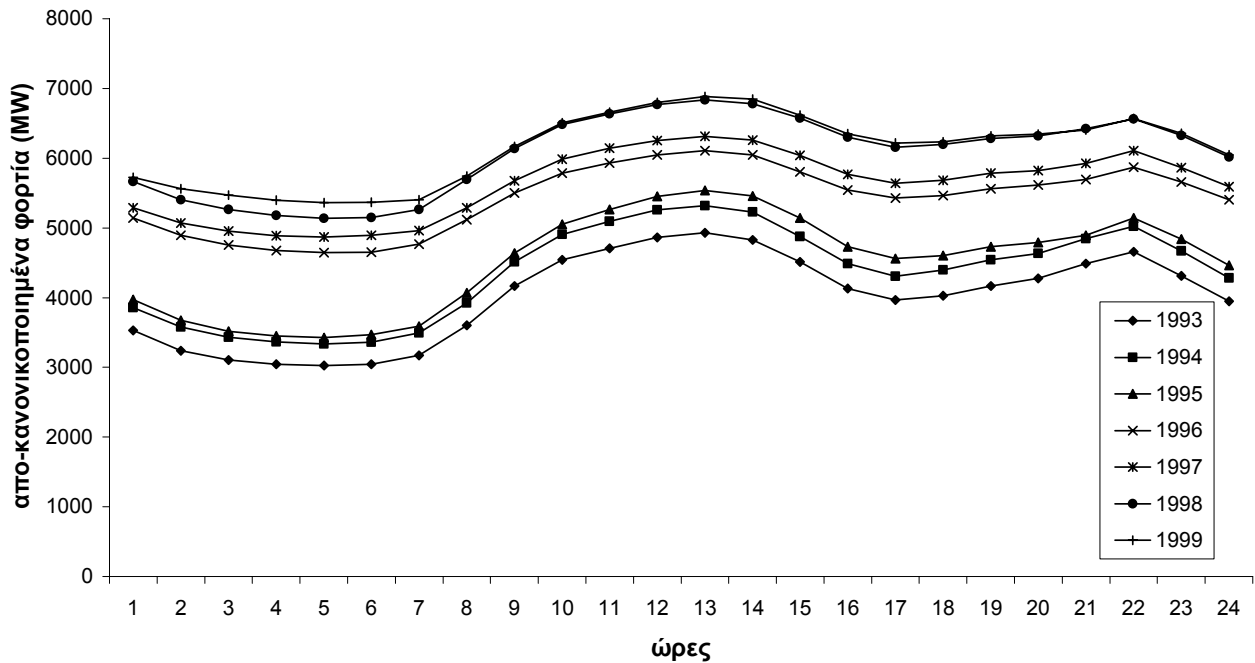
Μεταβολή ομάδας 8 απο-κανονικοποιημένων φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



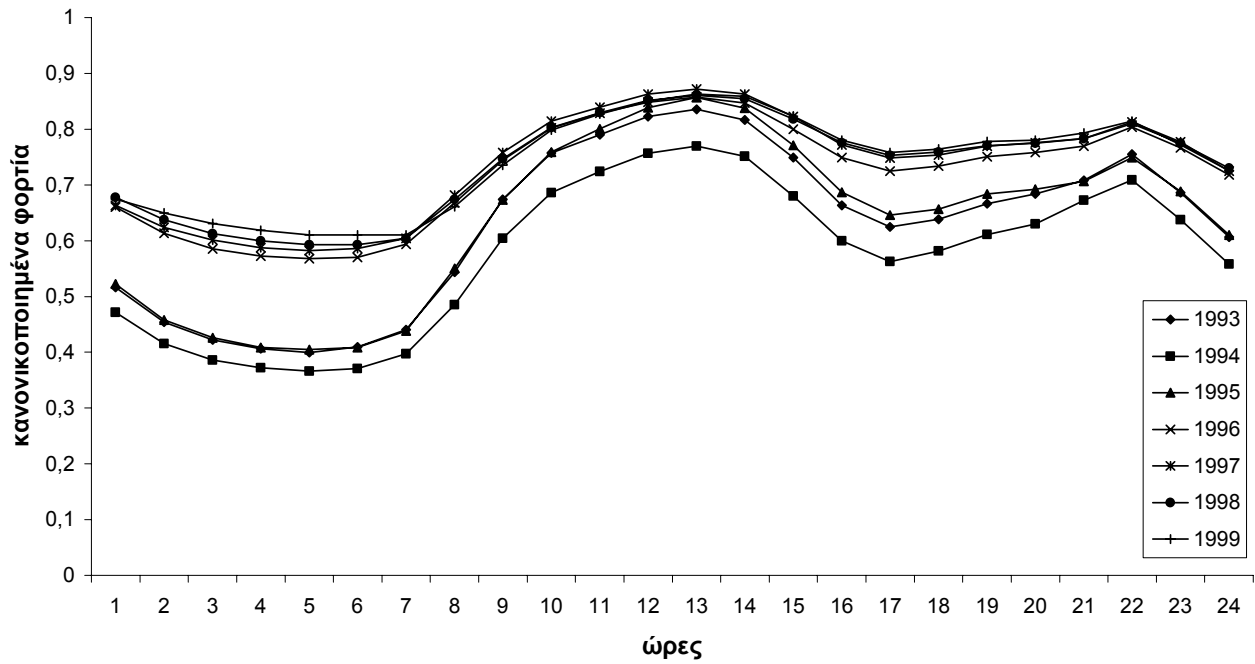
Μεταβολή της ομάδας 9 φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



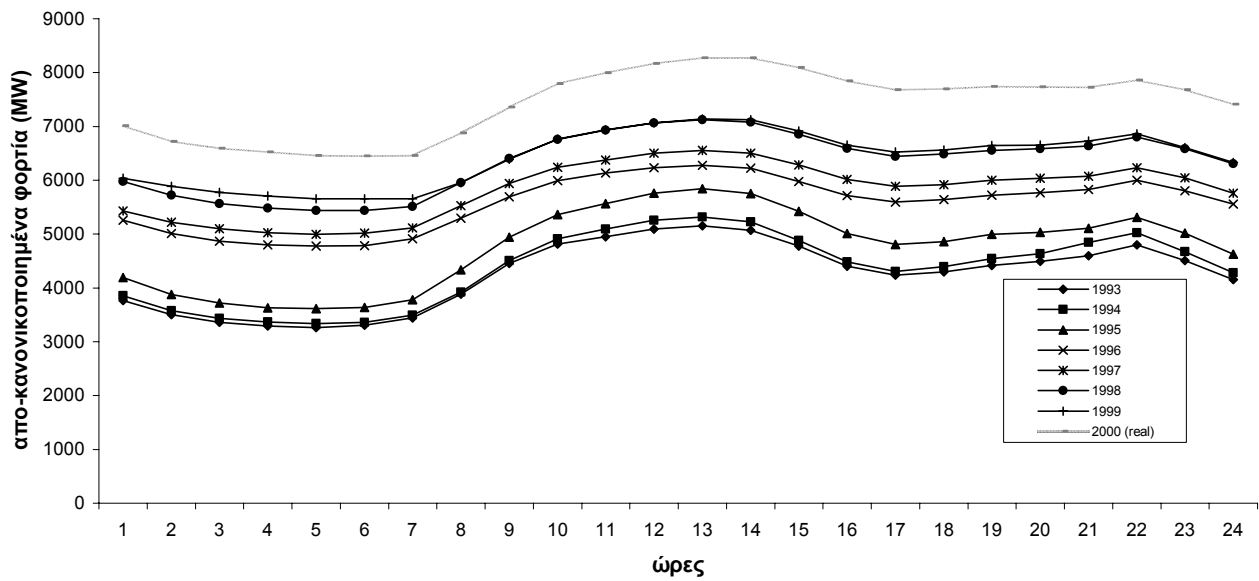
Μεταβολή της ομάδας 9 απο-κανονικοποιημένων φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



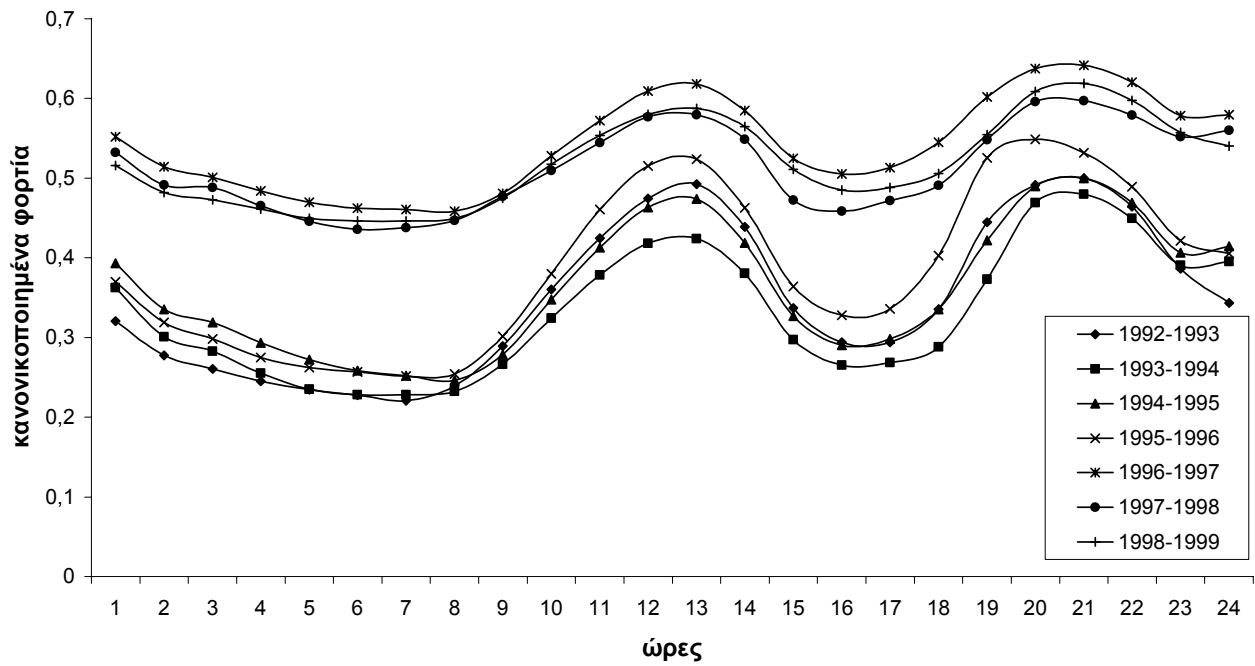
Μεταβολή ομάδας 10 φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



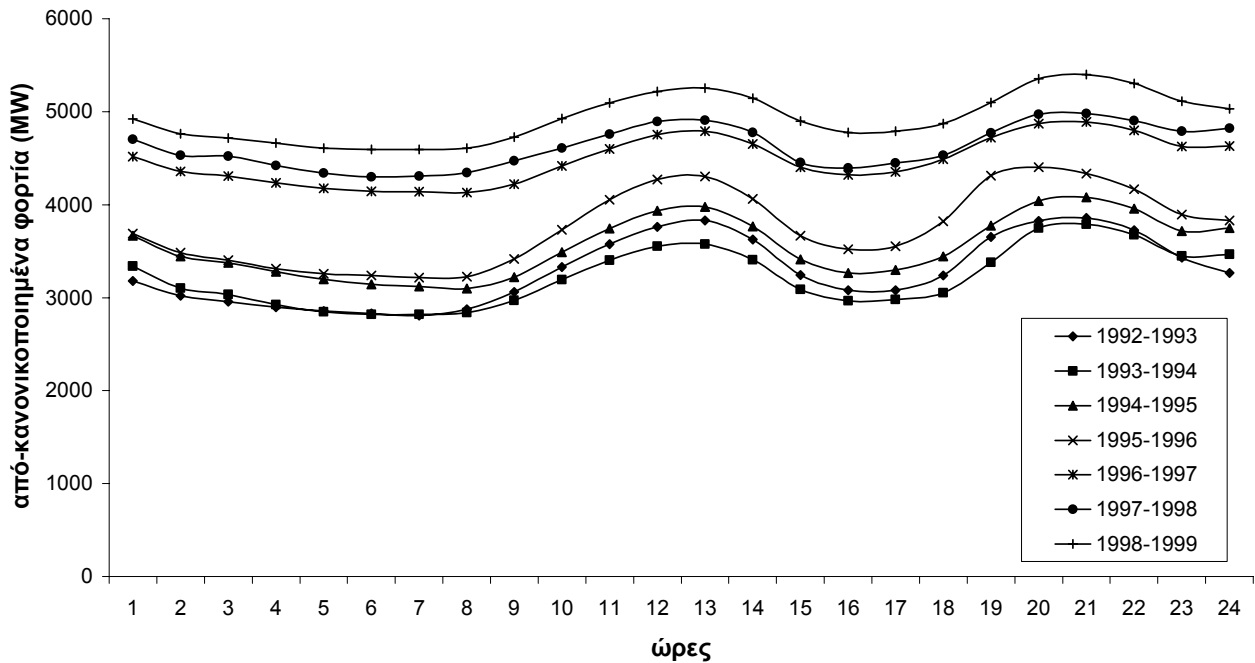
Μεταβολή ομάδας 10 απο-κανονικοποιημένων φορτίων Καλοκαιριού για 1993-2000



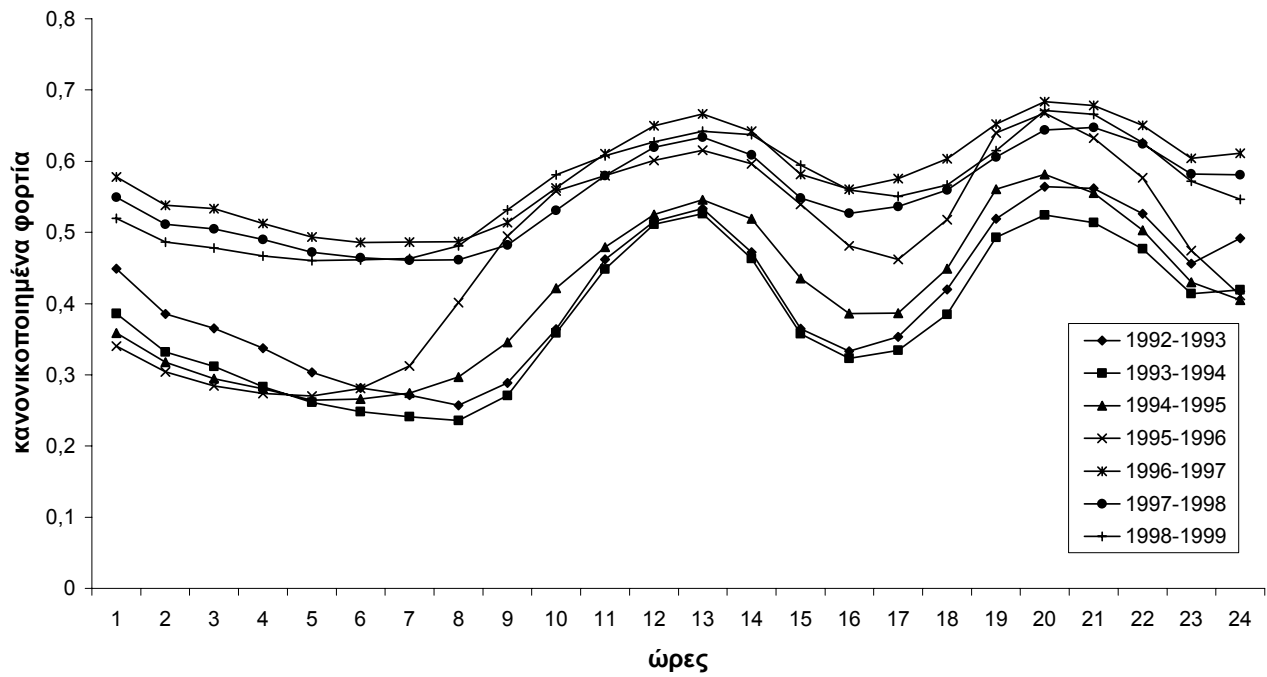
Μεταβολή ομάδας 1 φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



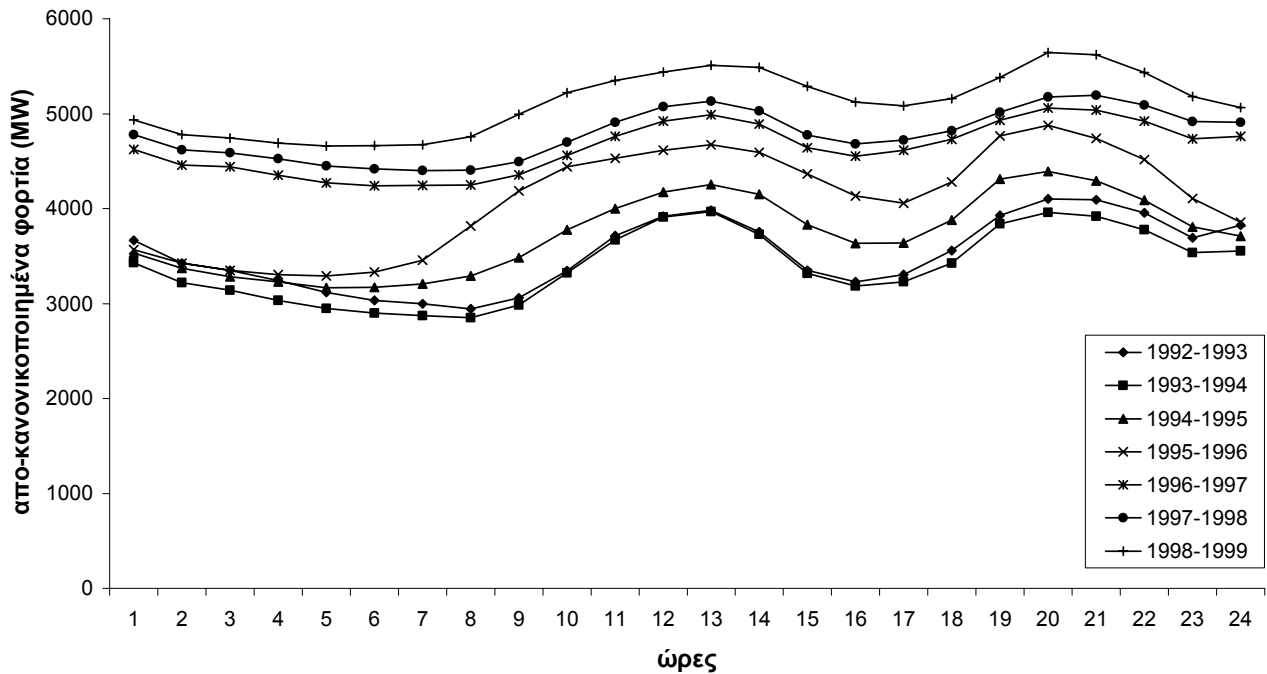
Μεταβολή ομάδας 1 από-κανονικοποιημένων φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



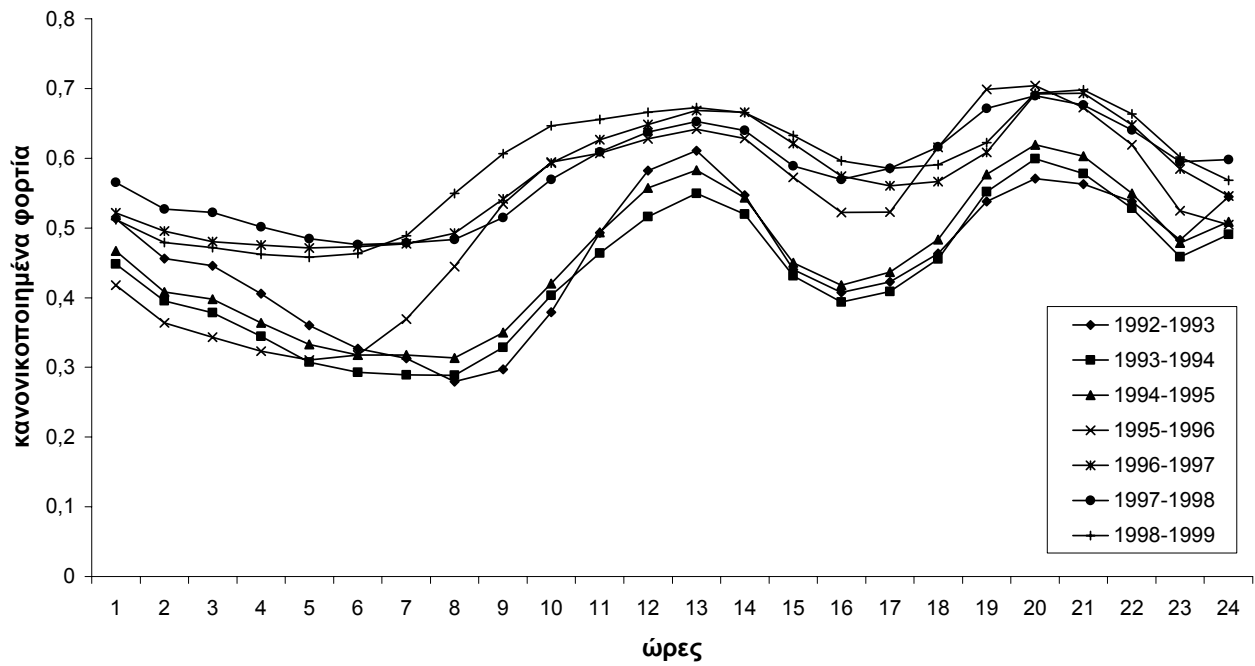
Μεταβολή της ομάδας 2 φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



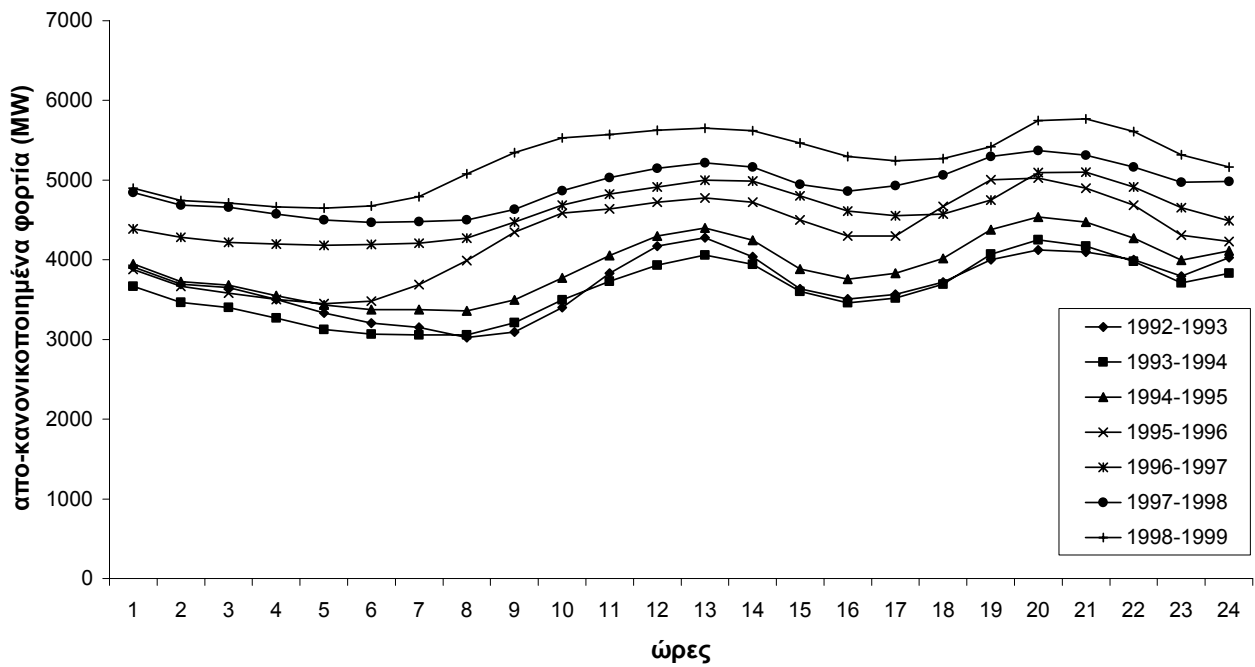
Μεταβολή της ομάδας 2 από-κανονικοποιημένων φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



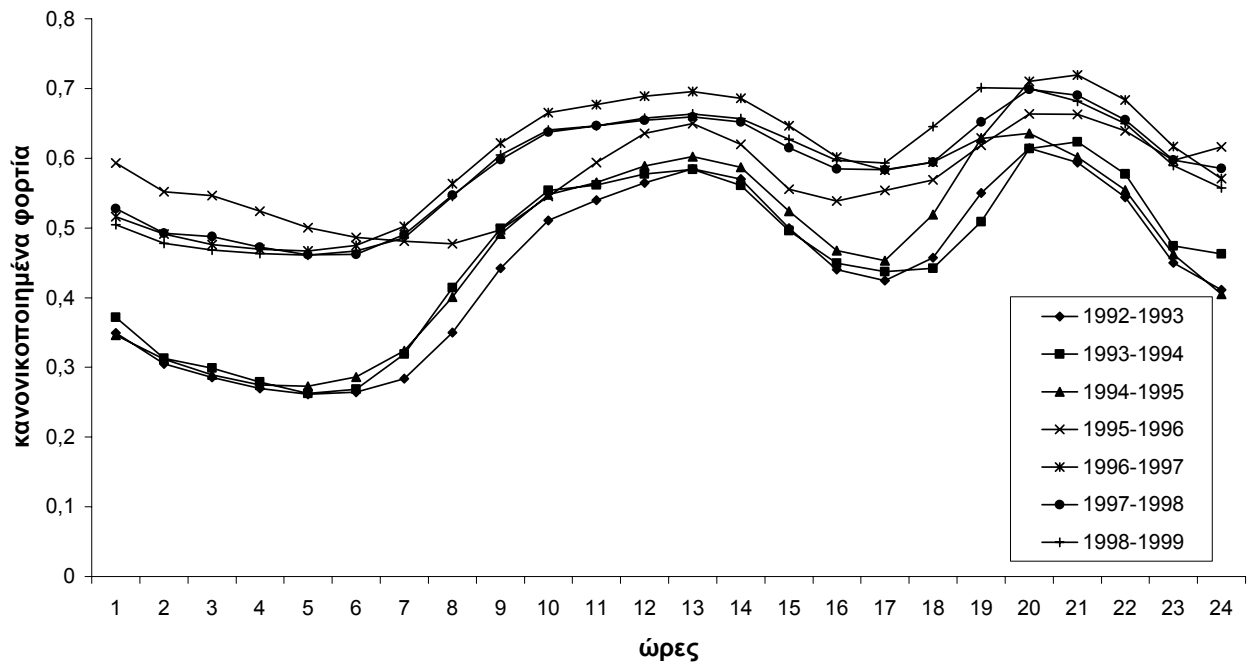
Μεταβολή ομάδας 3 φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



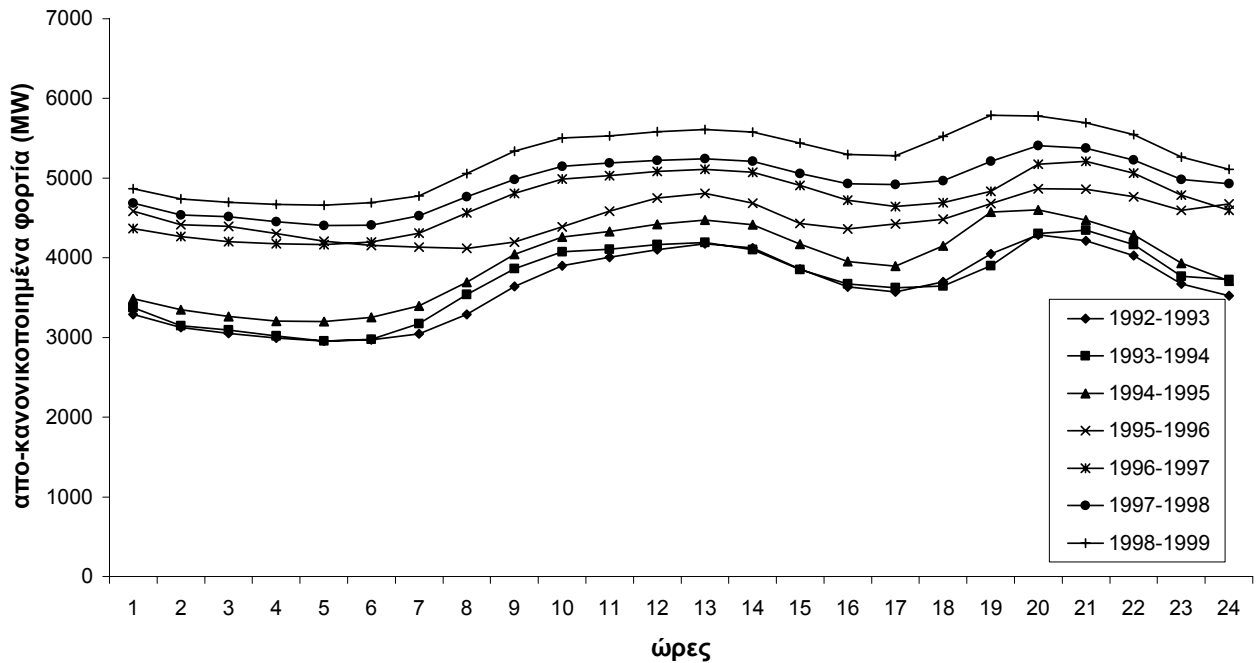
Μεταβολή ομάδας 3 από-κανονικοποιημένων φορτίων για 1993-1999



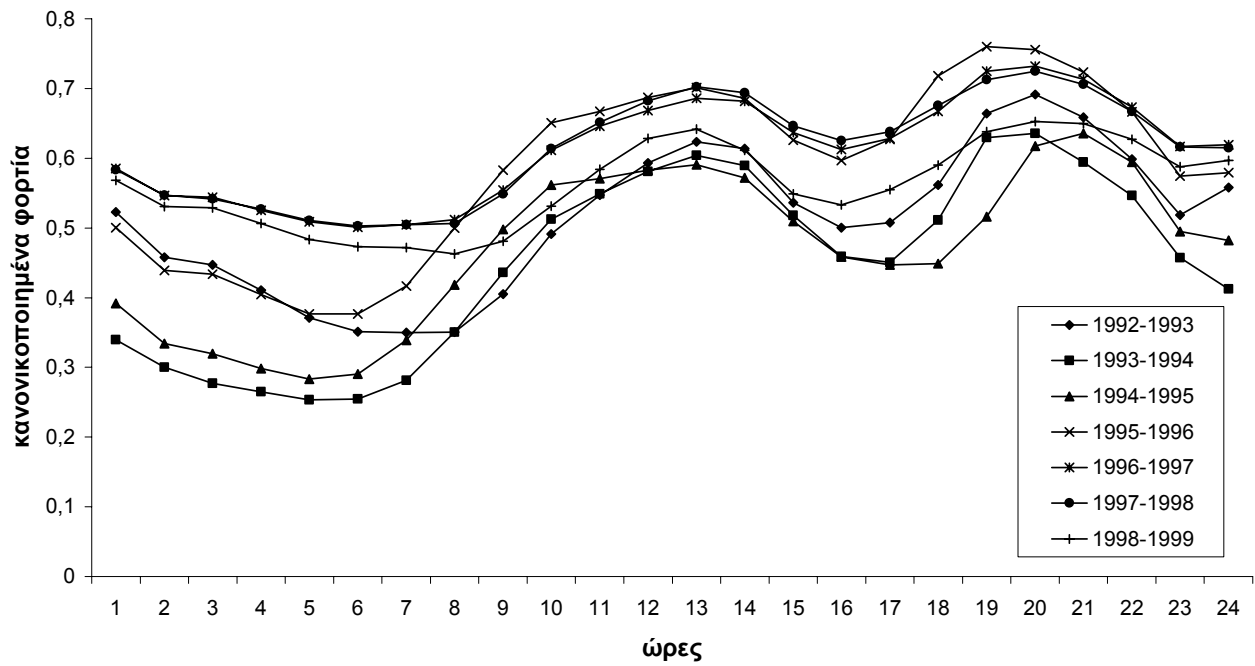
Μεταβολή ομάδας 4 φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



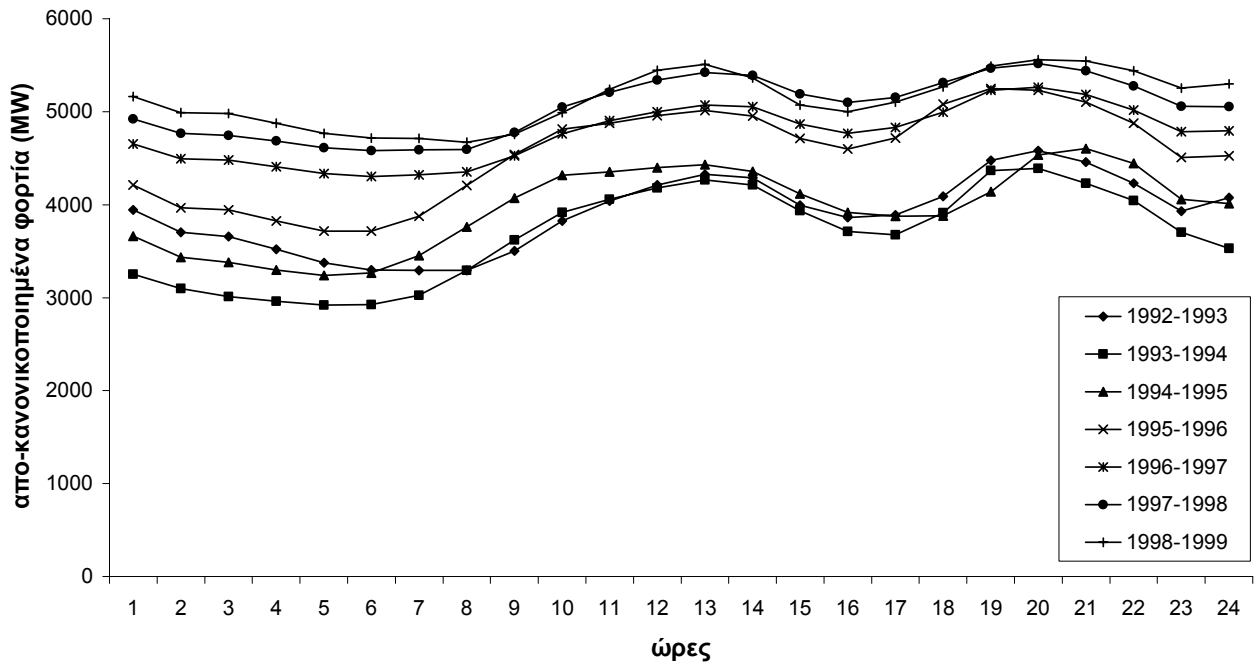
Μεταβολή ομάδας 4 απο-κανονικοποιημένων φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



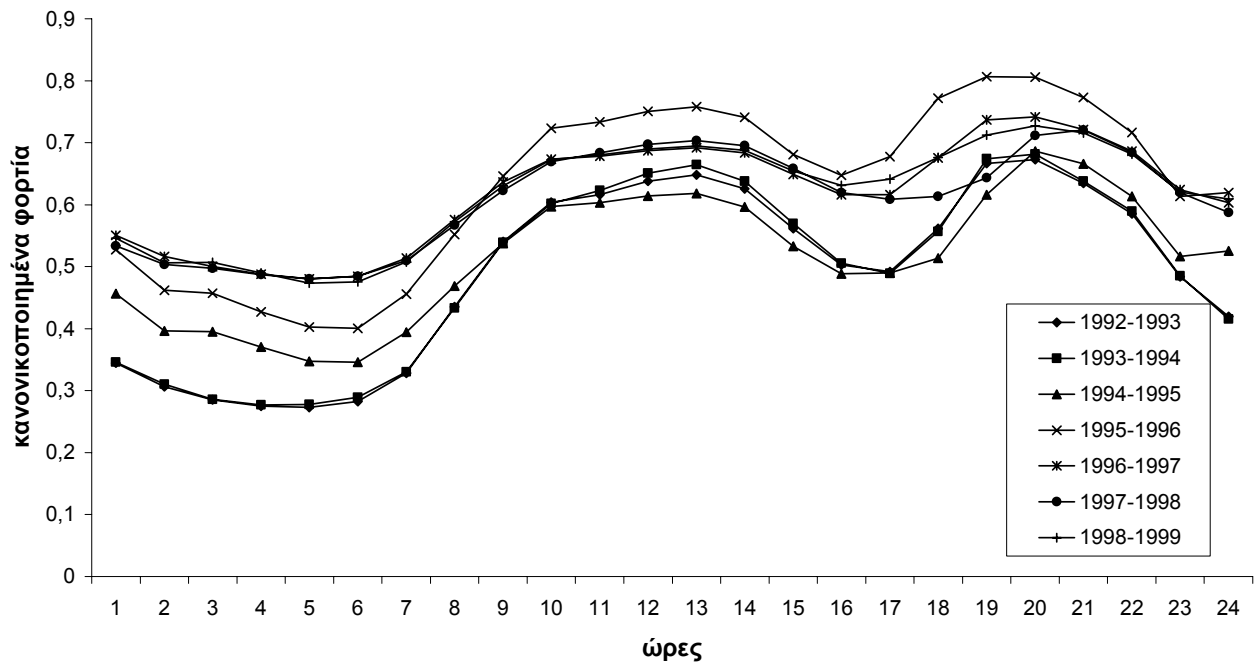
Μεταβολή ομάδας 5 φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



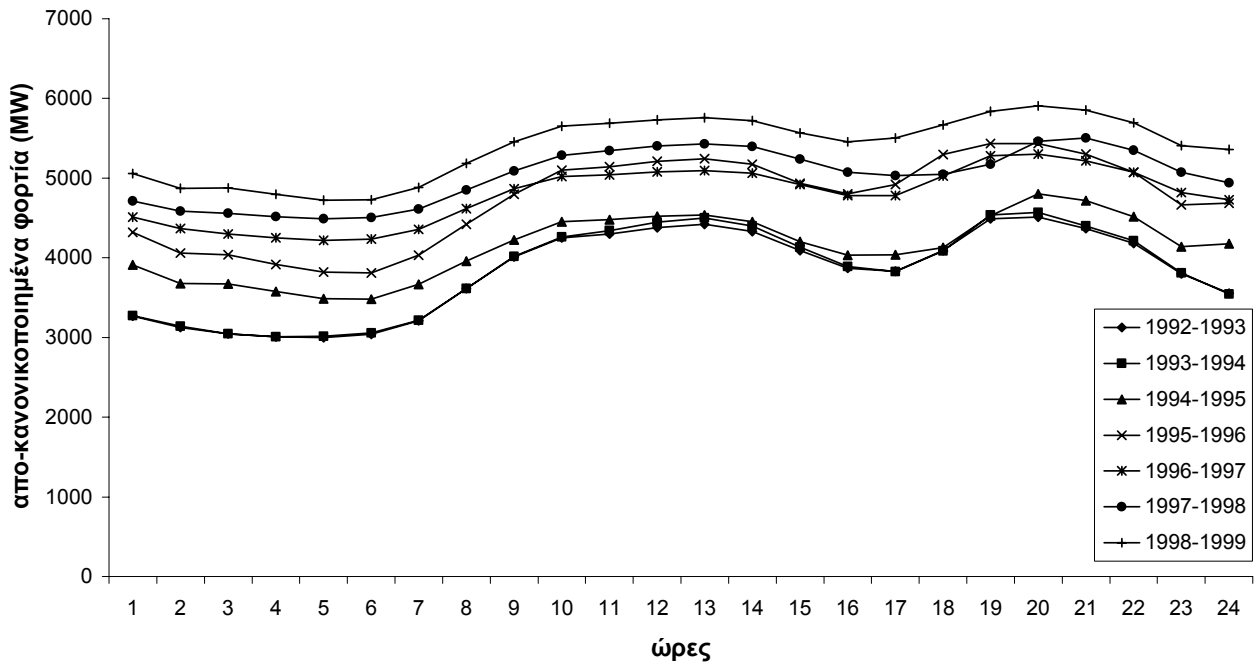
Μεταβολή ομάδας 5 απο-κανονικοποιημένων φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



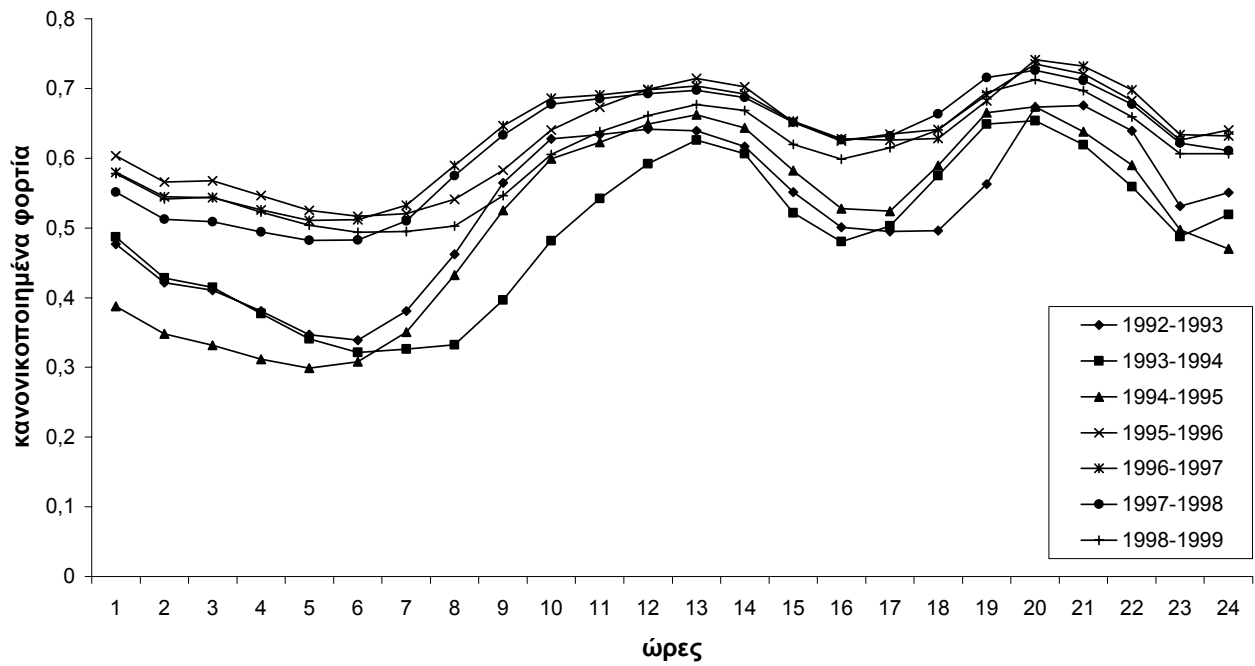
Μεταβολή ομάδας 6 φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



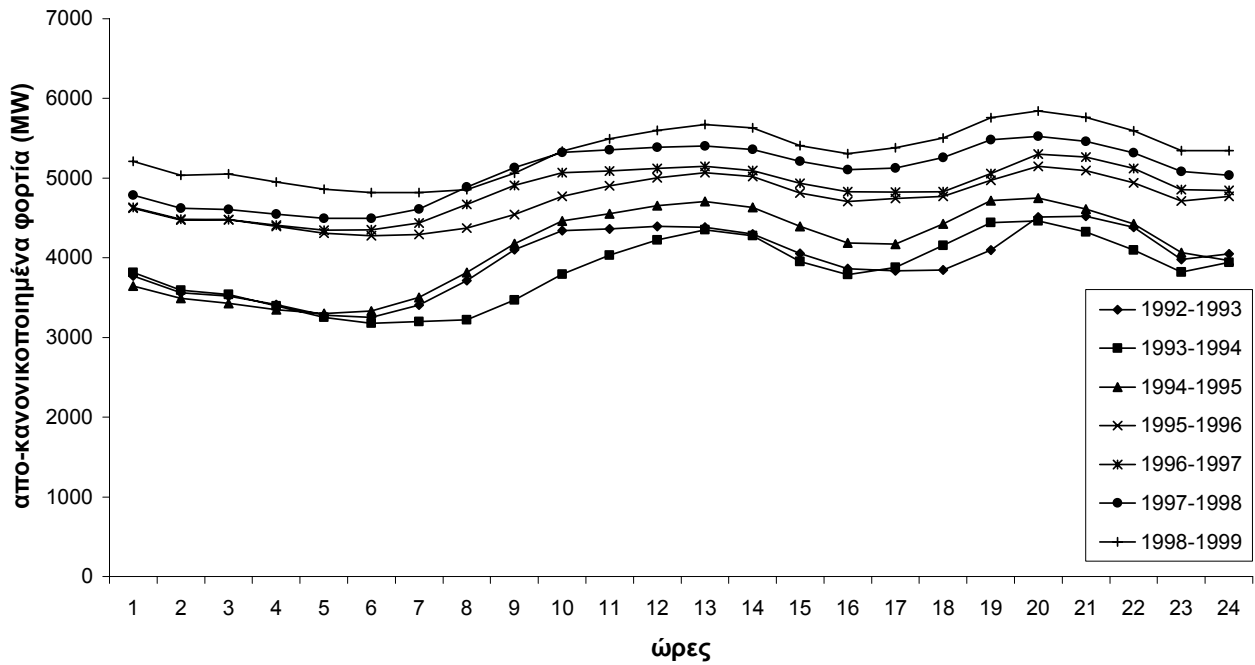
Μεταβολή ομάδας 6 απο-κανονικοποιημένων φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



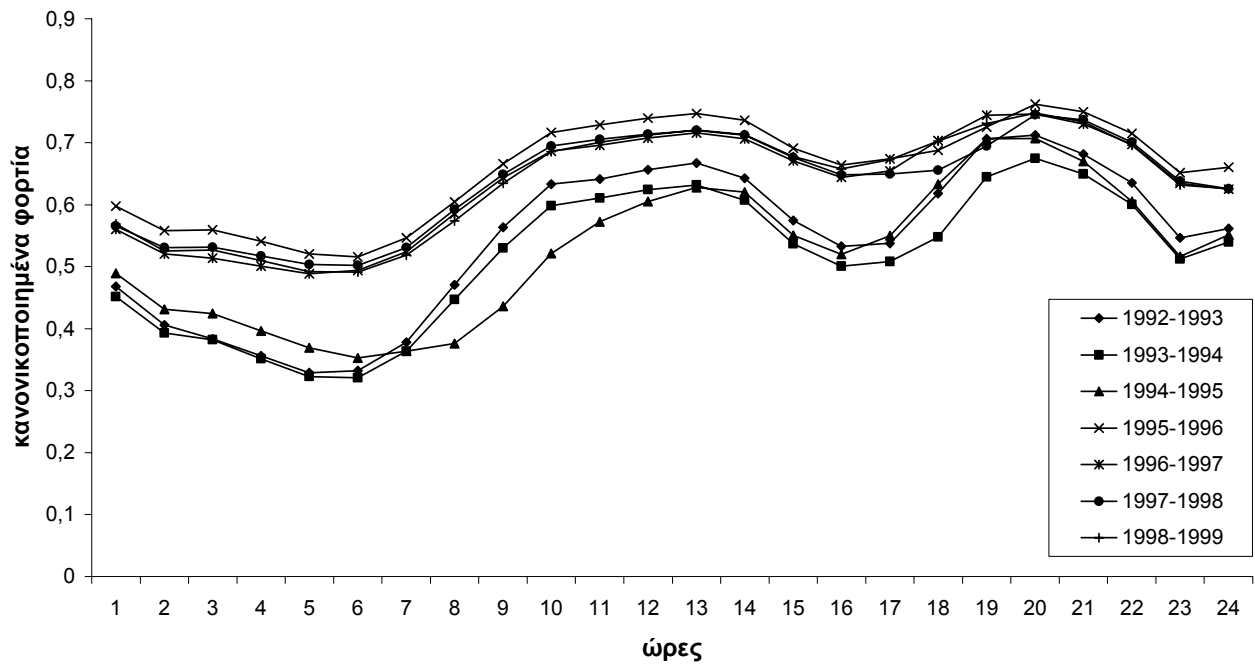
Μεταβολή ομάδας 7 φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



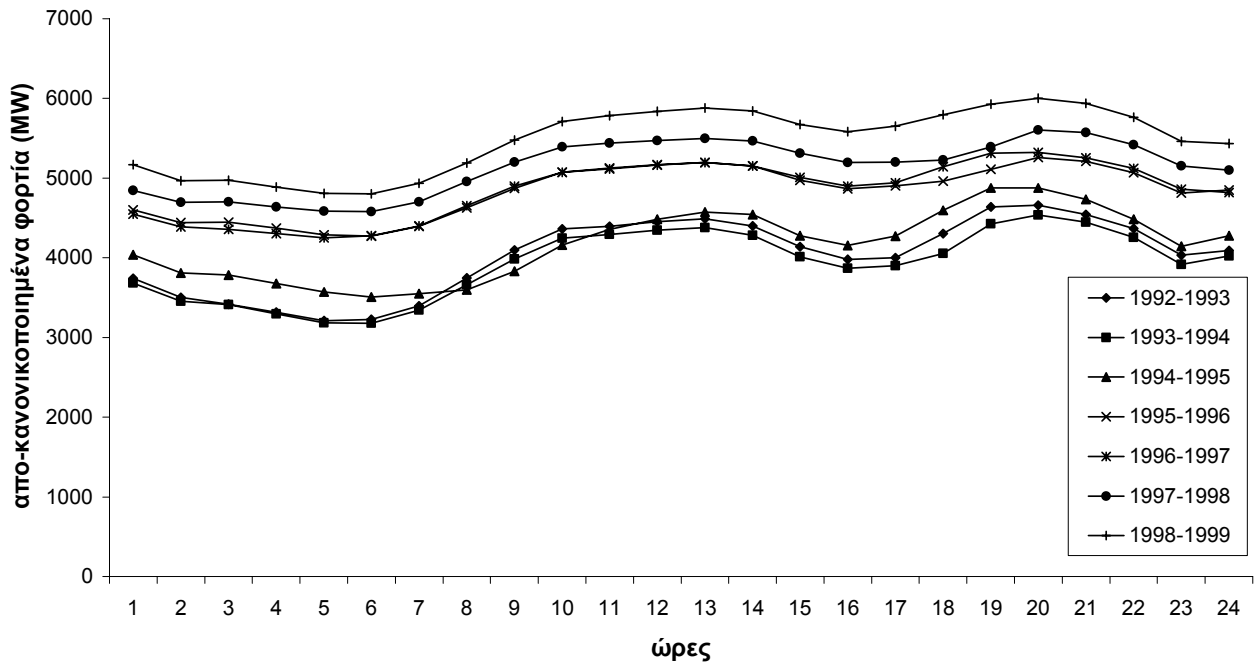
Μεταβολή ομάδας 7 απο-κανονικοποιημένων φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



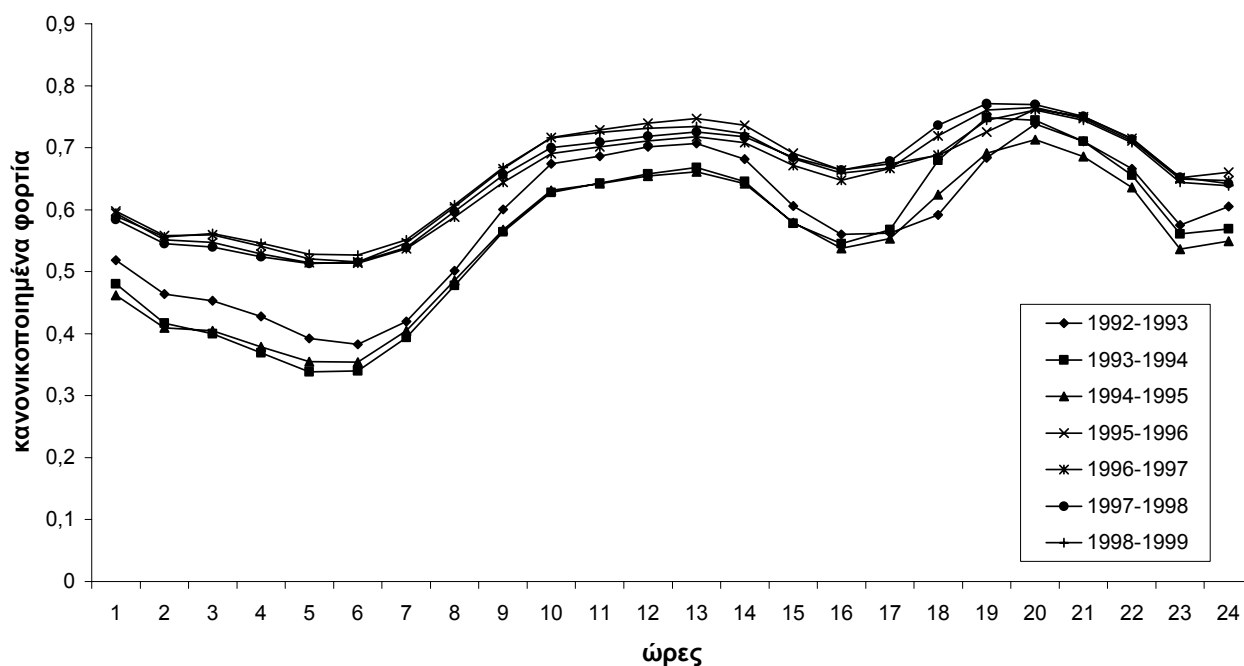
Μεταβολή ομάδας 8 φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



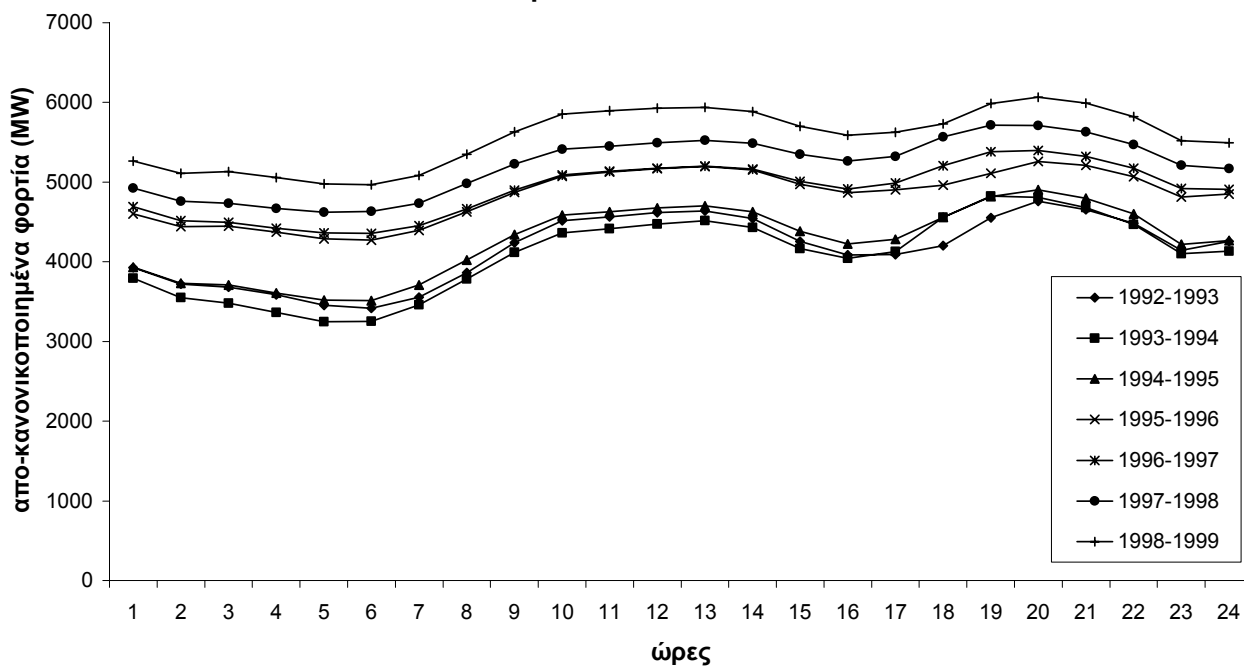
Μεταβολή ομάδας 8 απο-κανονικοποιημένων φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



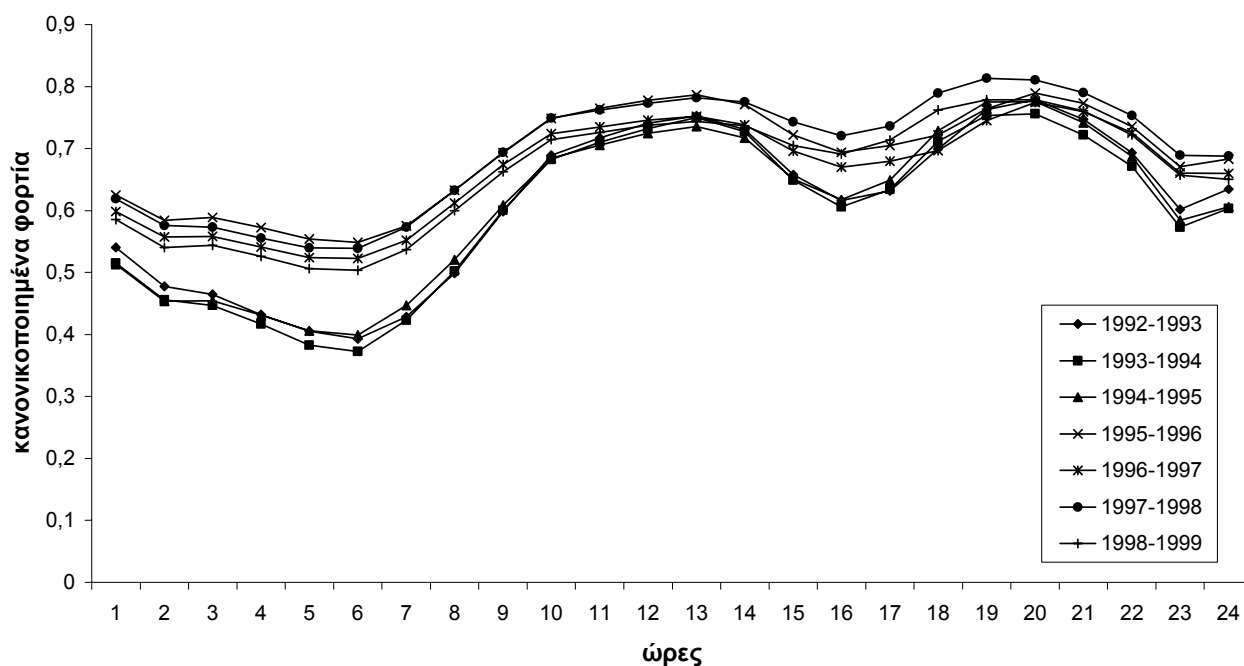
Μεταβολή της ομάδας 9 φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



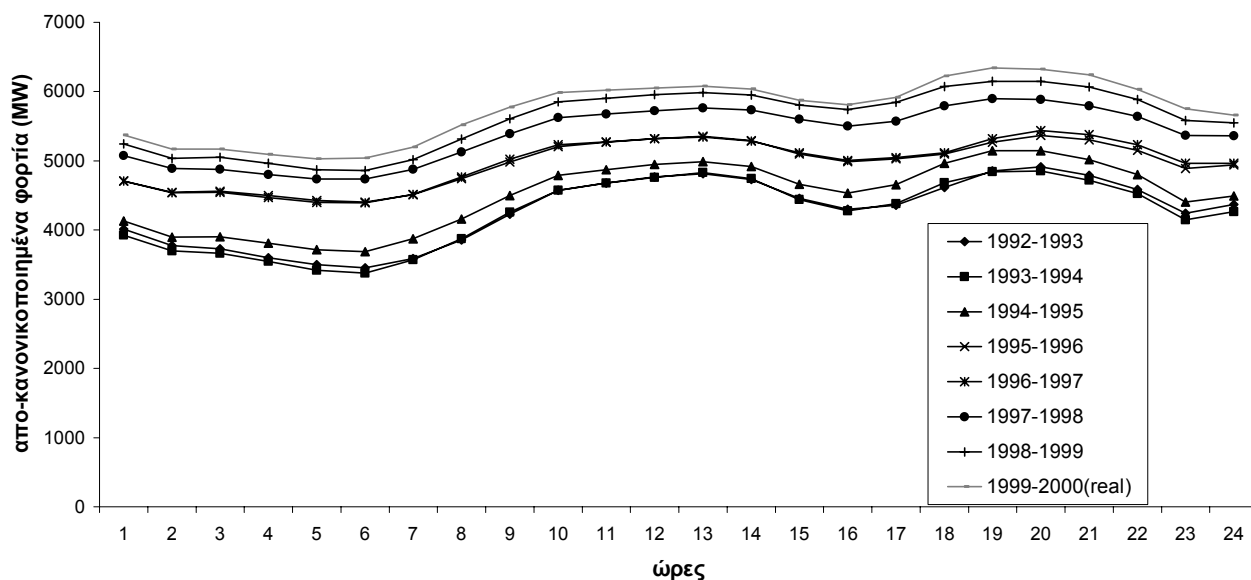
Μεταβολή της ομάδας 9 απο-κανονικοποιημένων φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



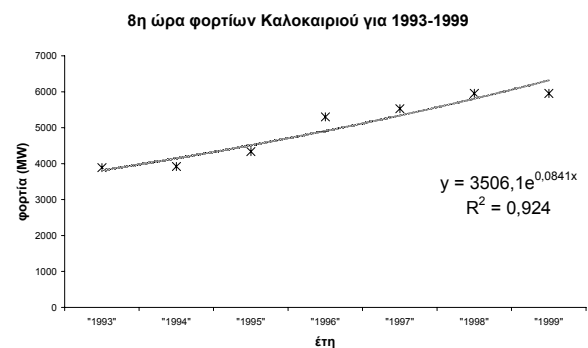
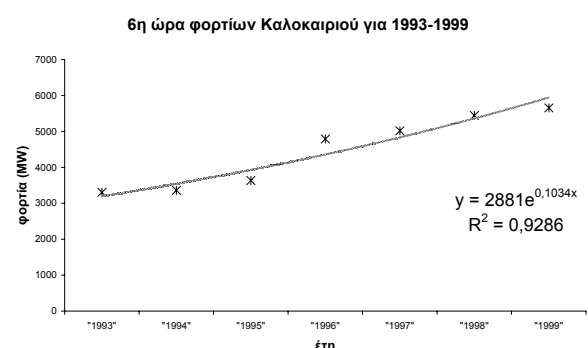
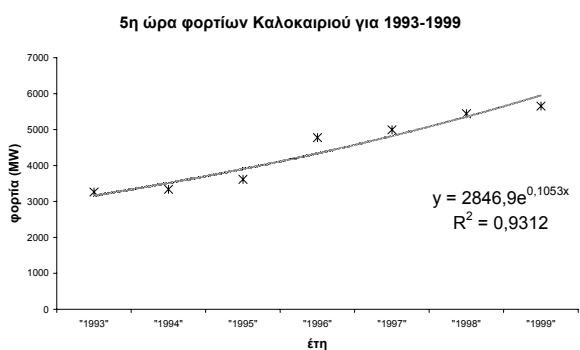
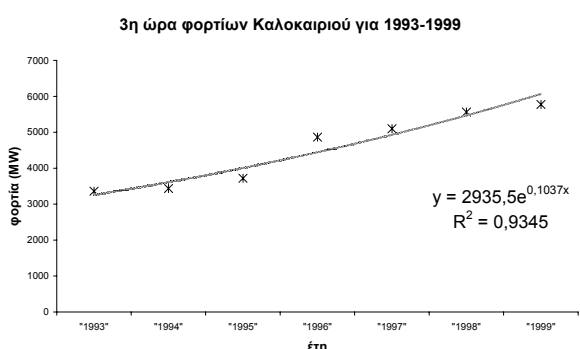
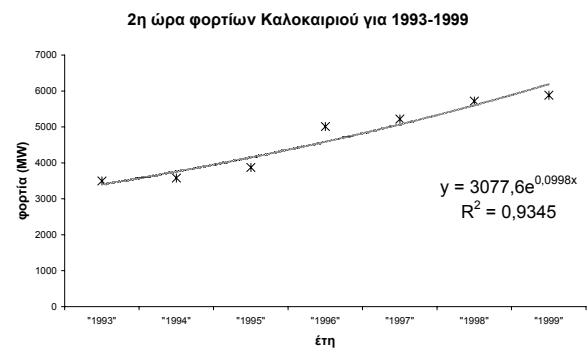
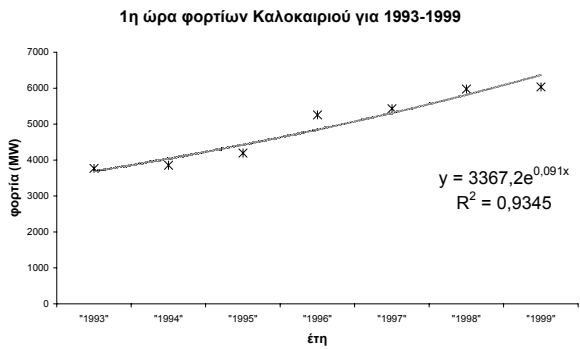
Μεταβολή ομάδας 10 φορτίων Χειμώνα για 1993-1999

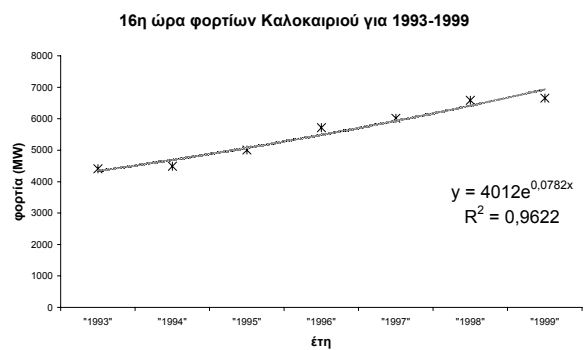
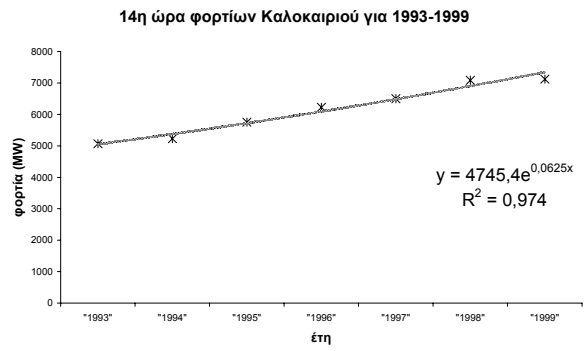
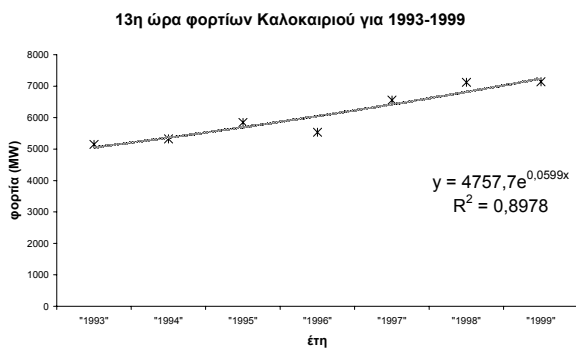
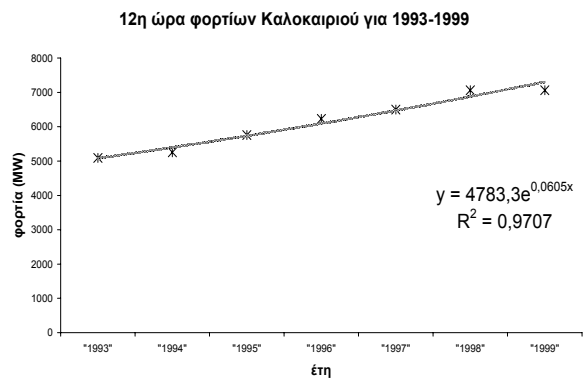
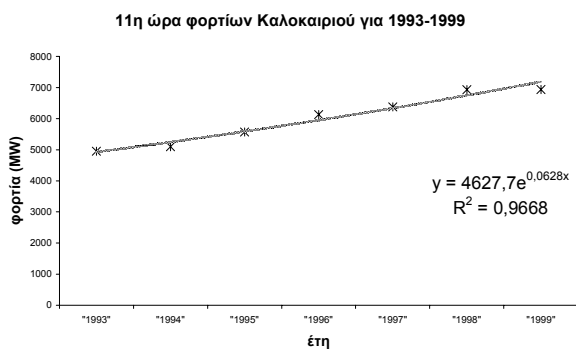
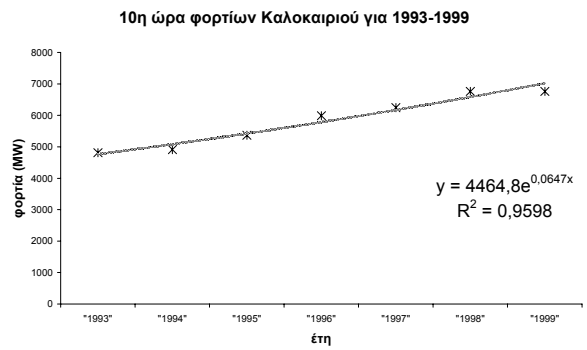
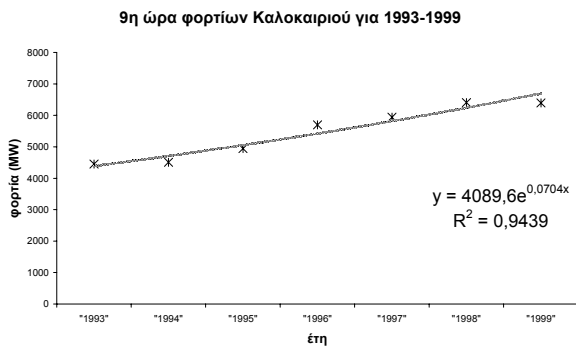


Μεταβολή ομάδας 10 απο-κανονικοποιημένων φορτίων Χειμώνα για 1993-2000

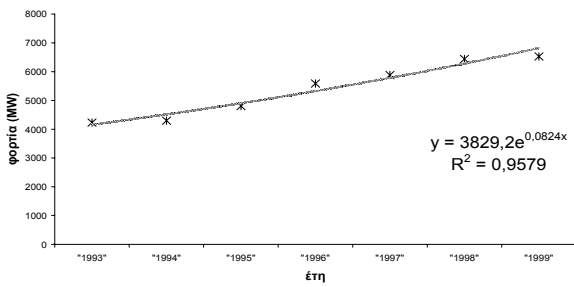


Ακολουθεί η εκθετική παρεμβολή για τις ώρες των Καλοκαιριών από 1993 μέχρι 1999

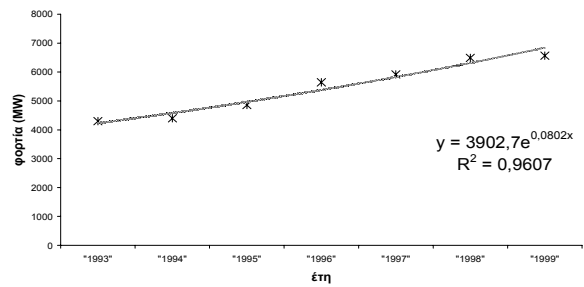




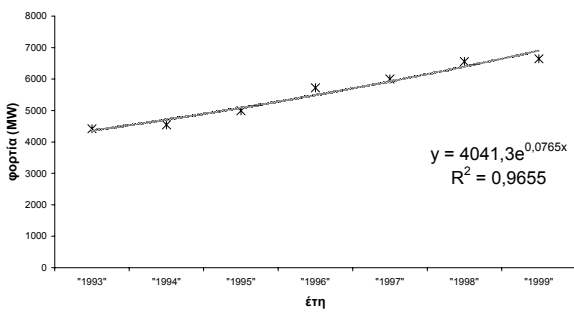
17η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



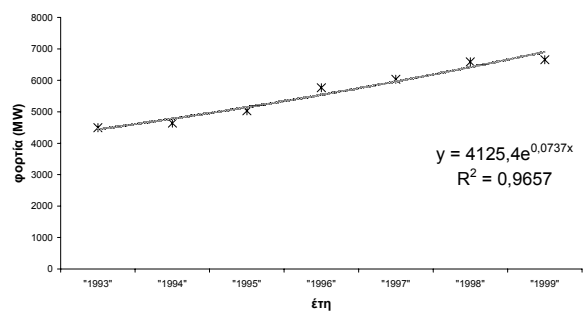
18η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



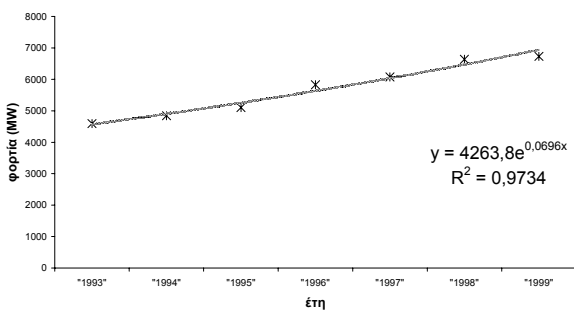
19η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



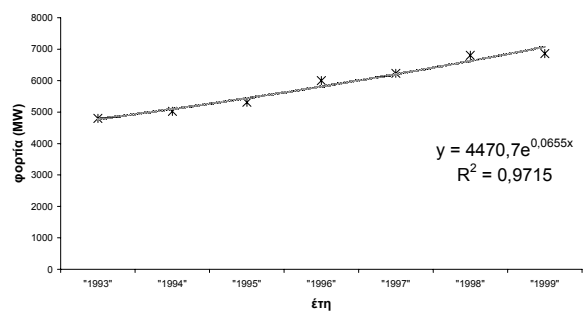
20η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



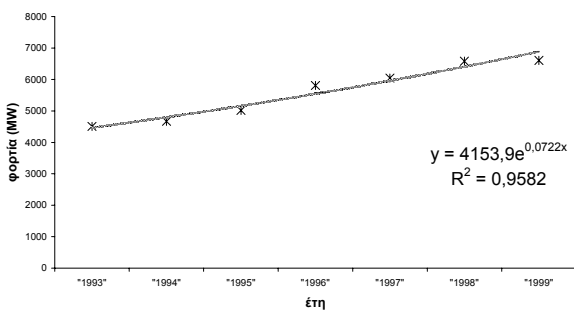
21η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



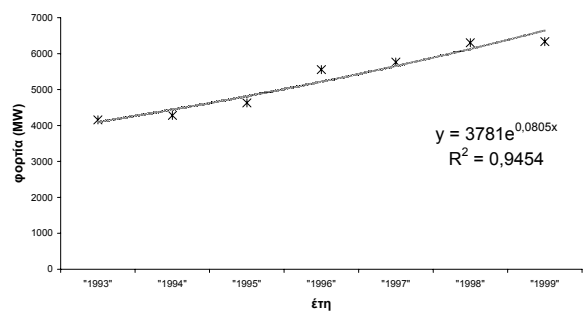
22η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



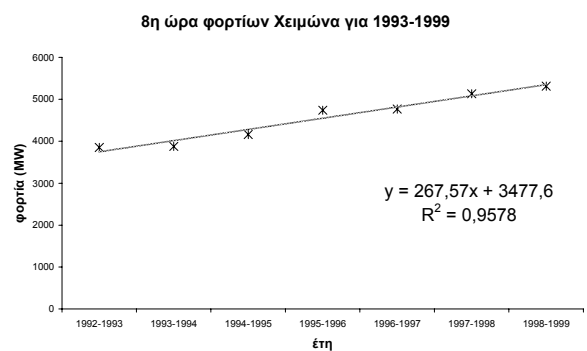
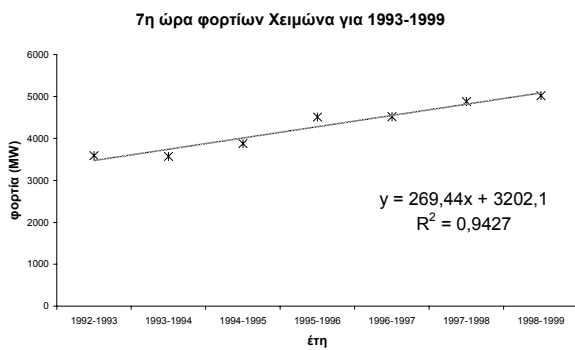
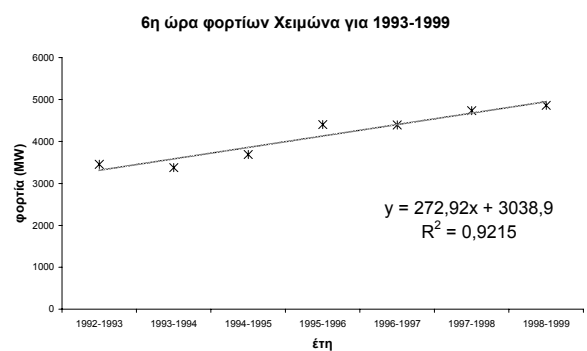
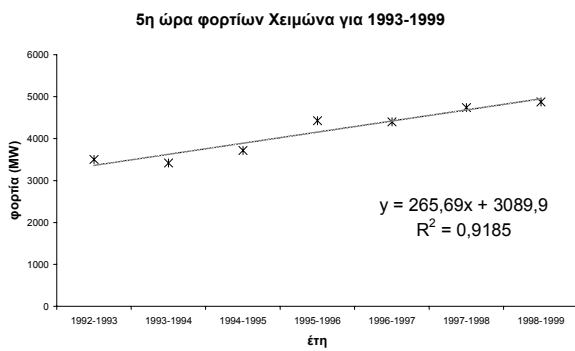
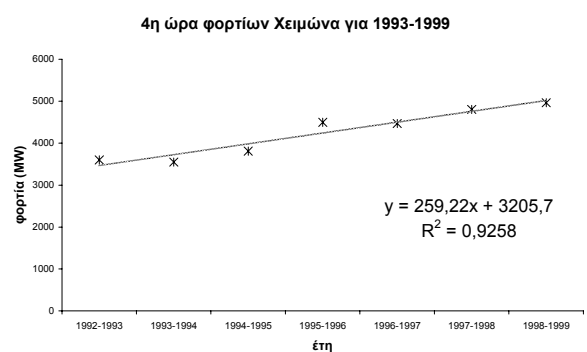
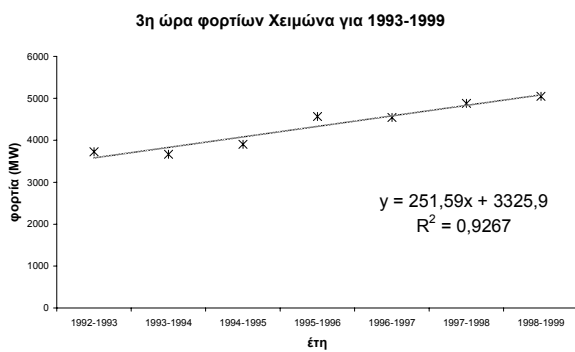
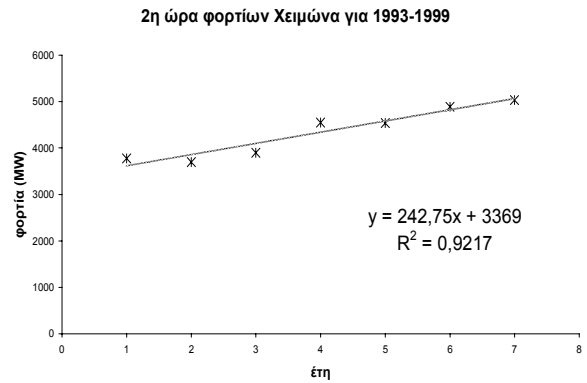
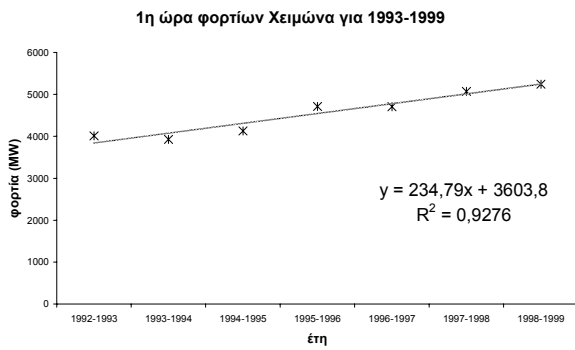
23η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999

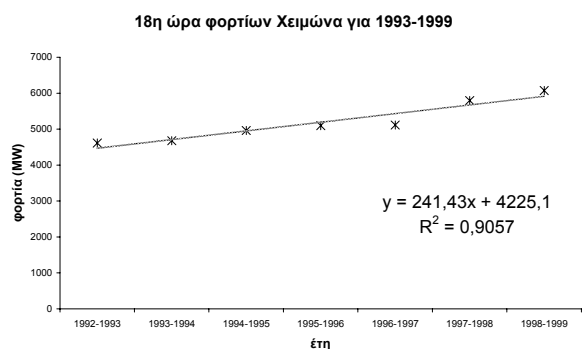
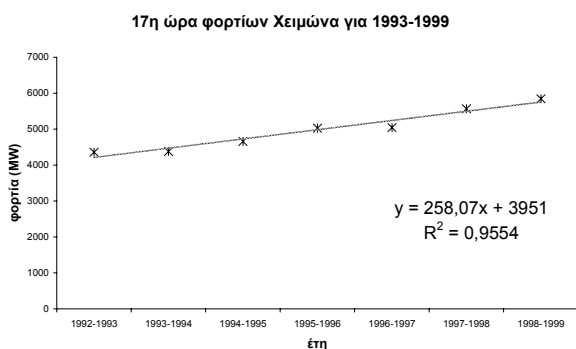
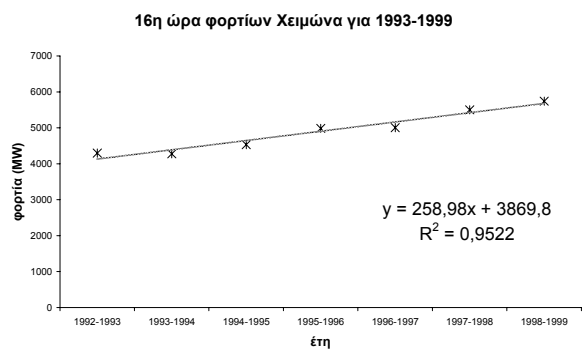
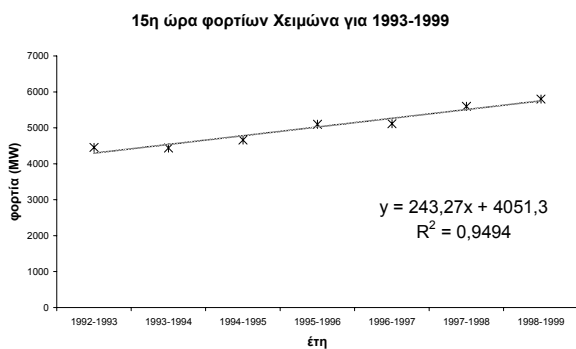
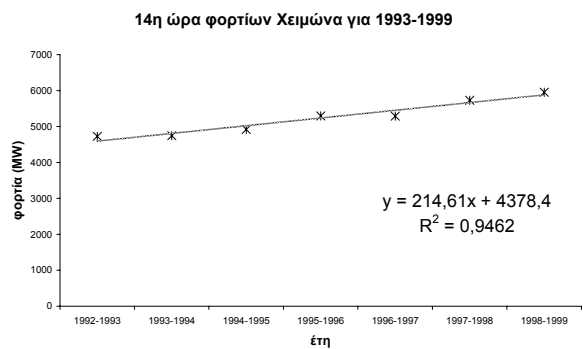
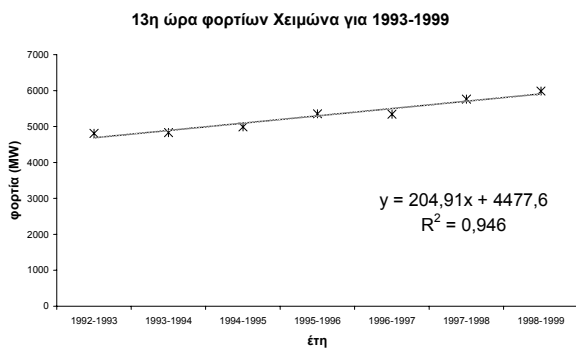
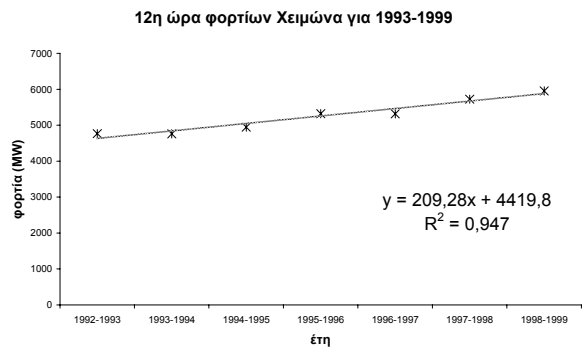
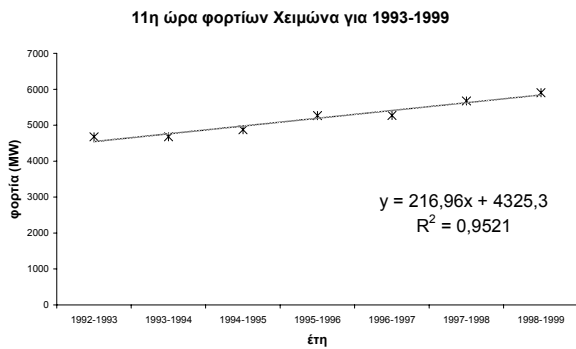
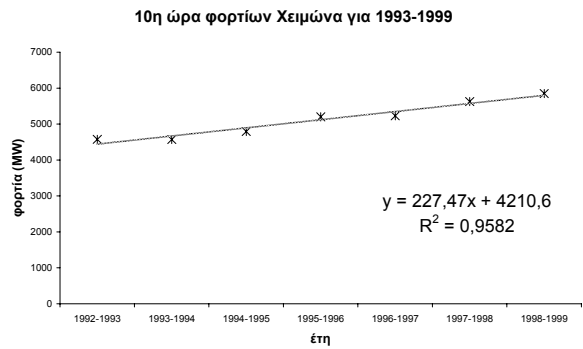
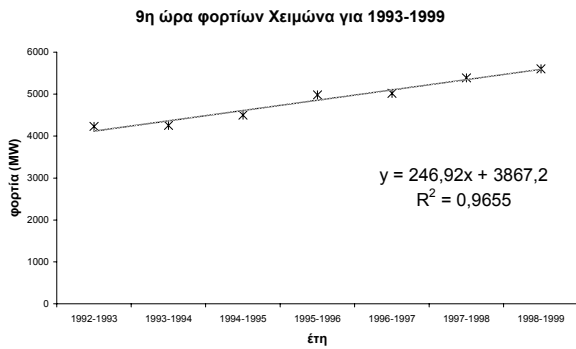


24η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999

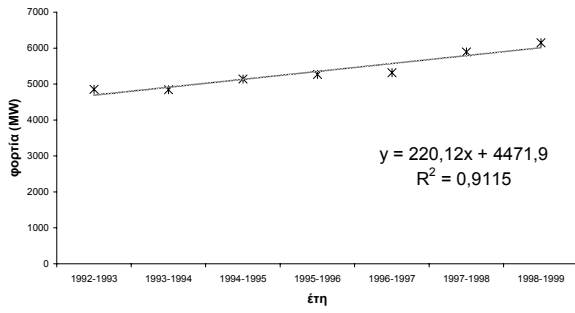


1999 Ακολουθεί η γραμμική παρεμβολή των ωρών των Χειμώνων από το 1993 μέχρι το

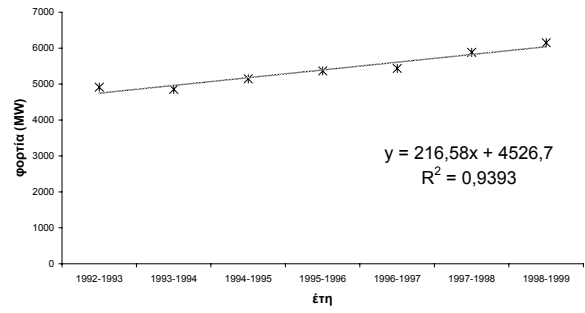




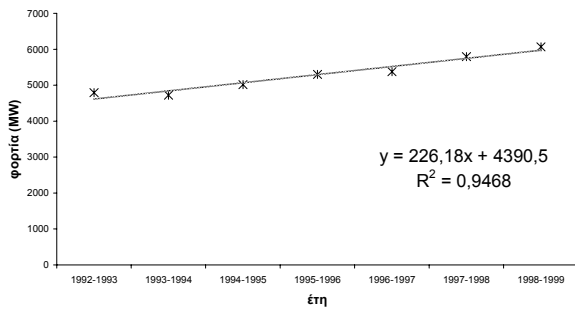
19η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



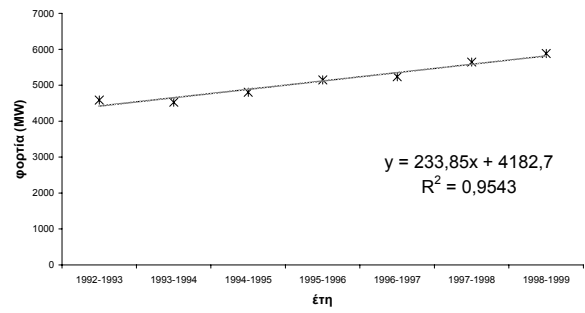
20η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



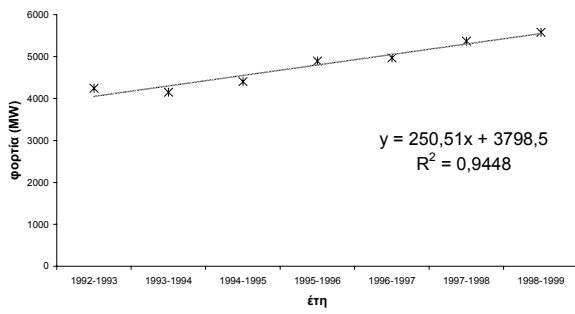
21η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



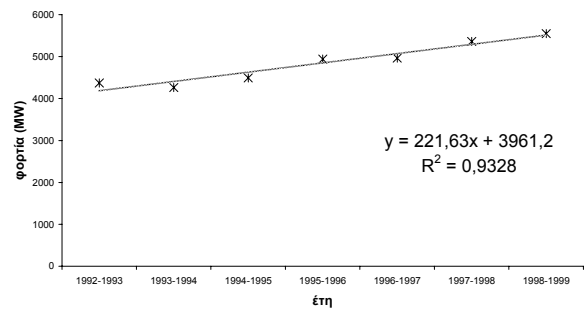
22η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



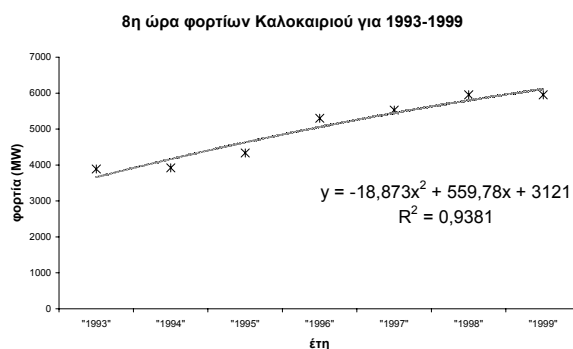
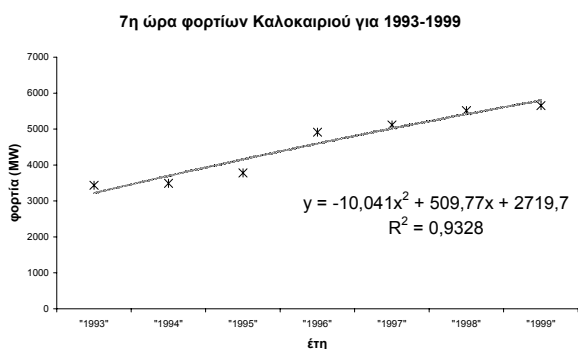
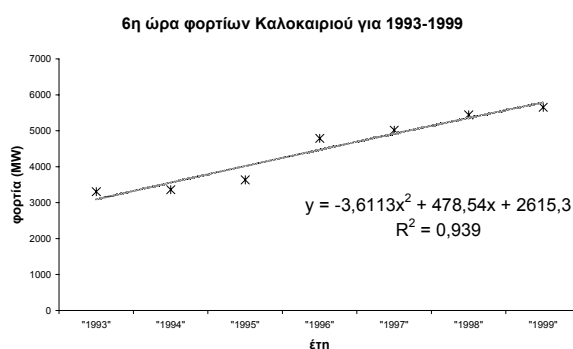
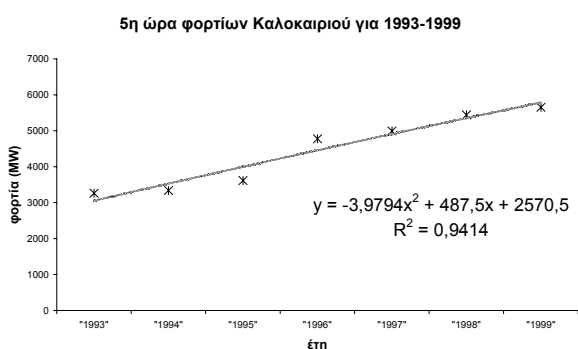
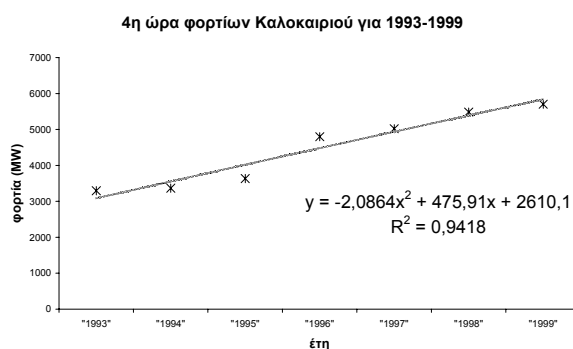
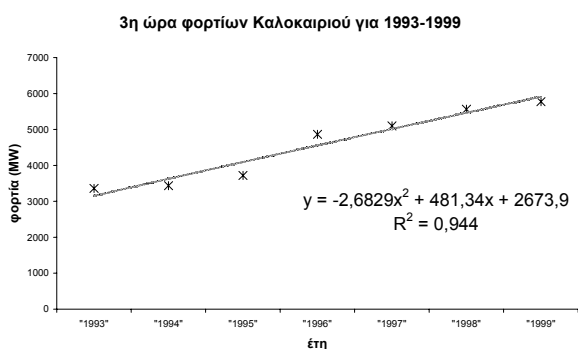
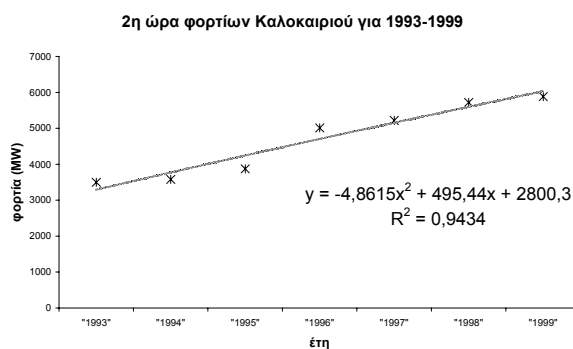
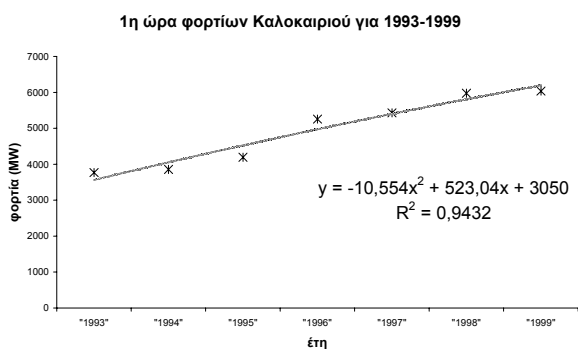
23η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999

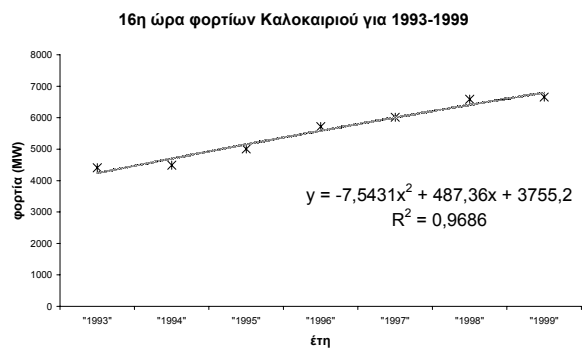
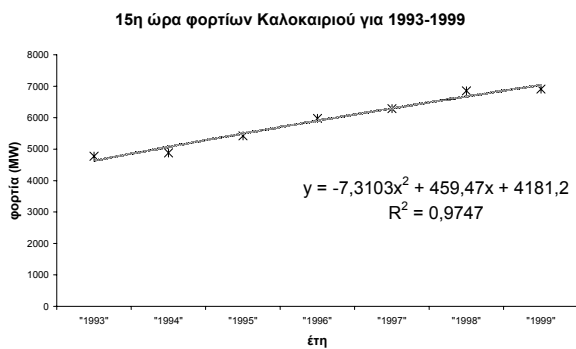
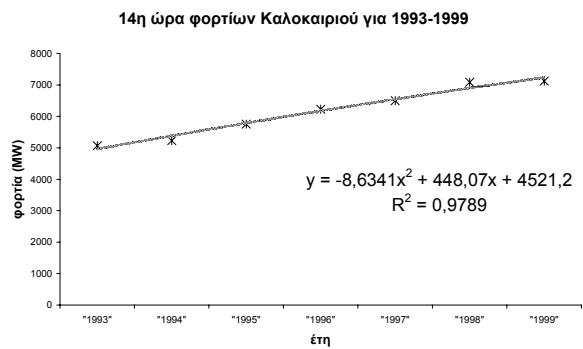
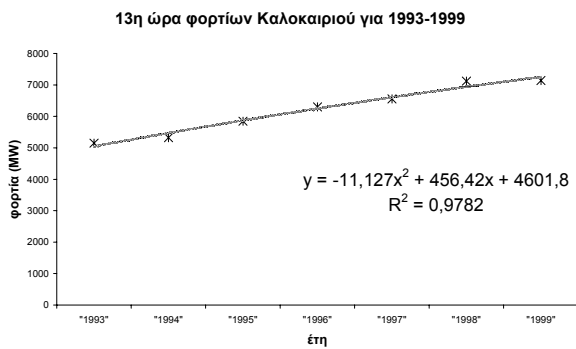
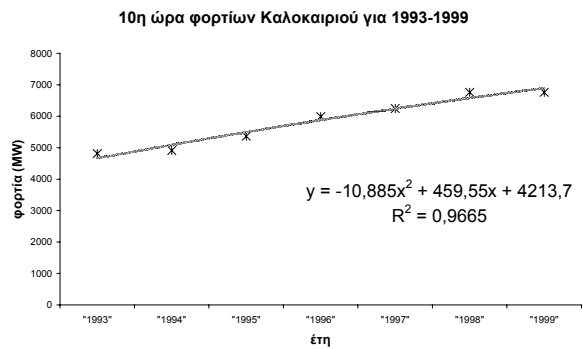
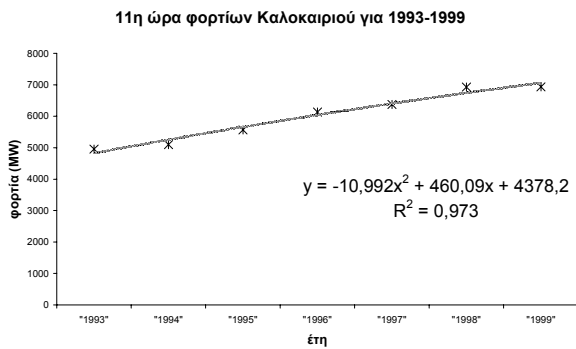
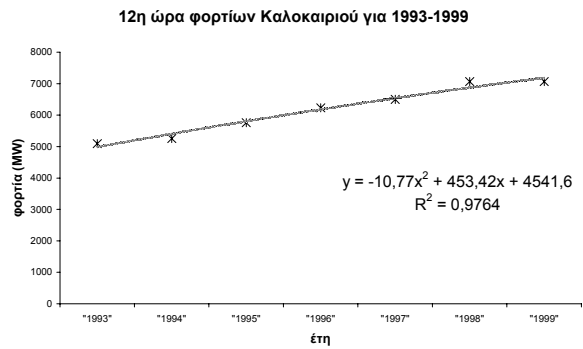
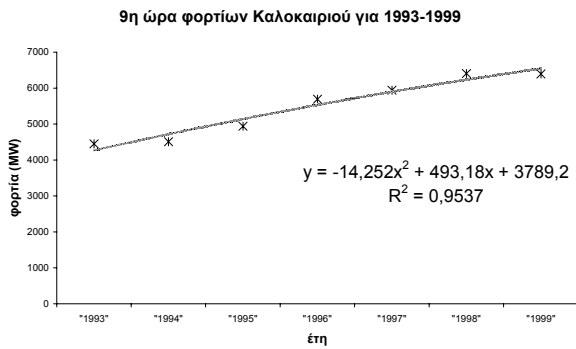


24η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999

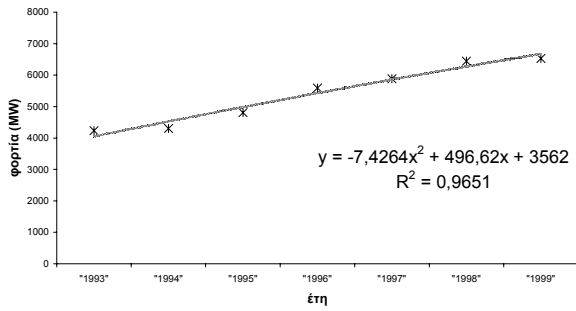


Ακολουθούν οι πολυωνμικές παρεμβολές 2^{ου} βαθμού των ωρών των Καλοκαιριών από 1993 μέχρι 1999.

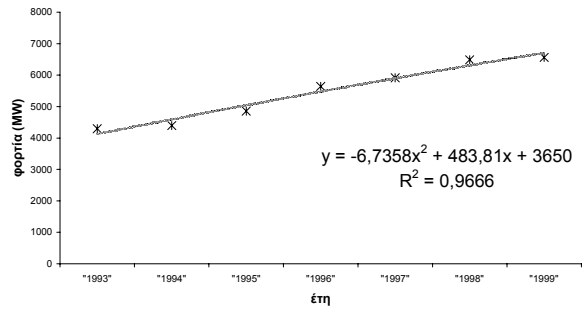




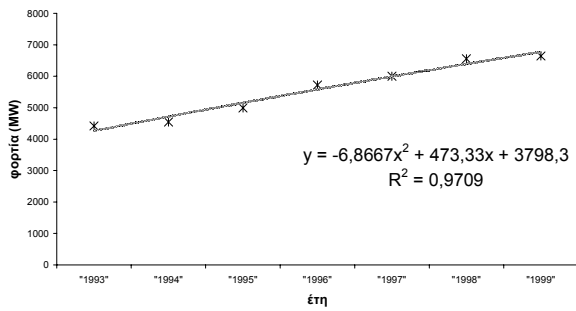
17η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



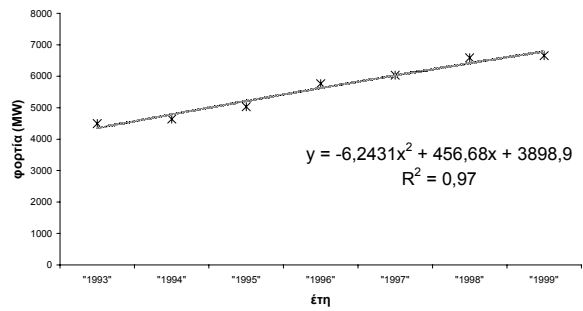
18η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



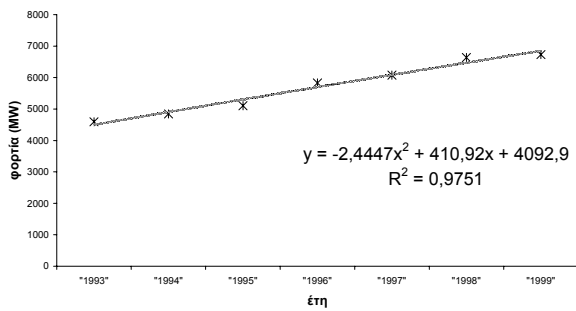
19η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



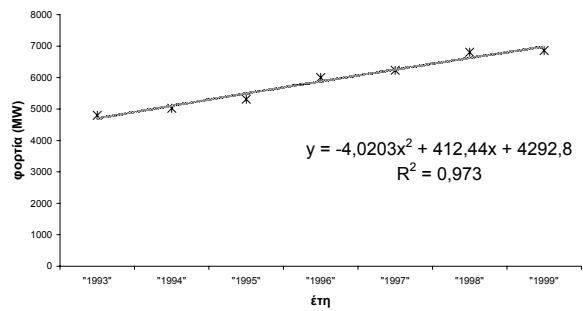
20η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



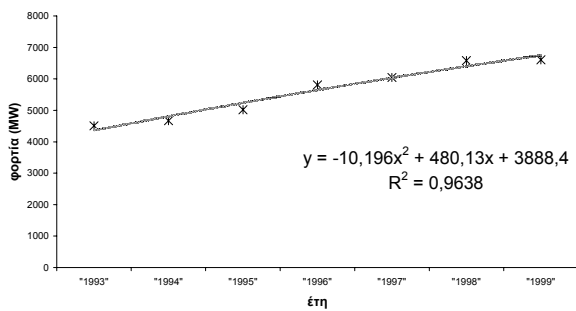
21η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



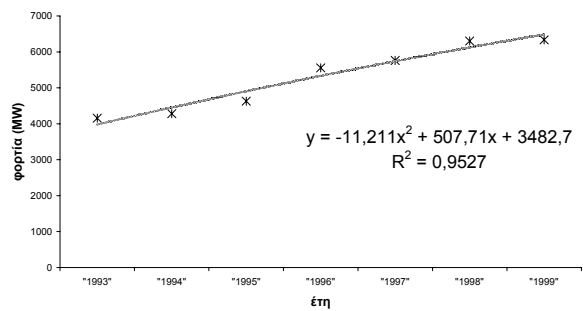
22η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



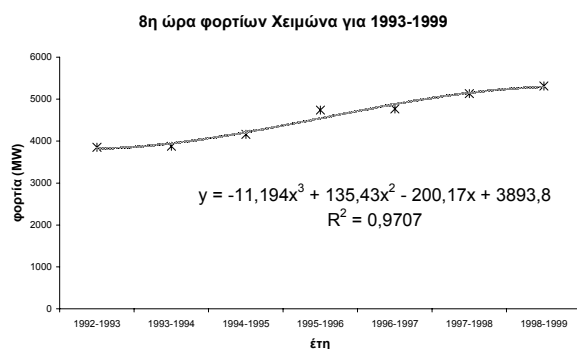
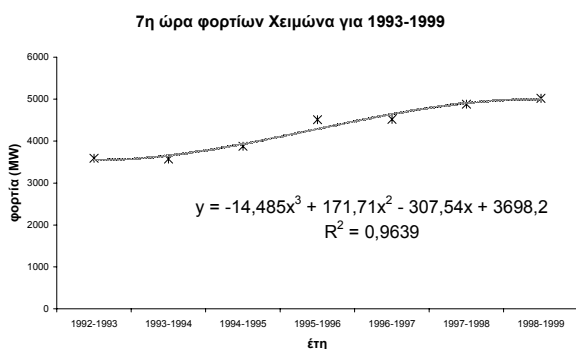
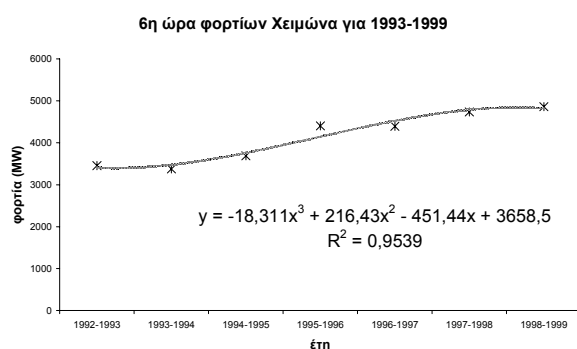
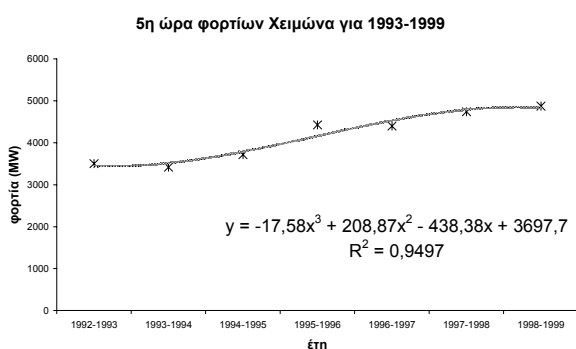
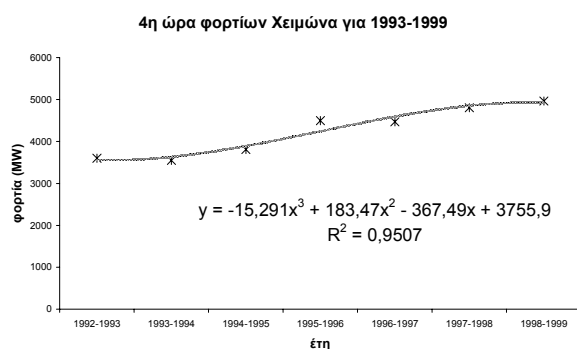
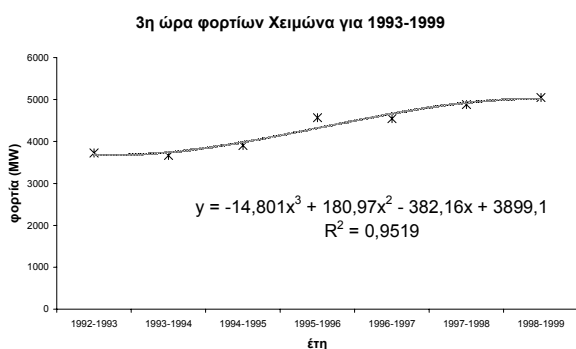
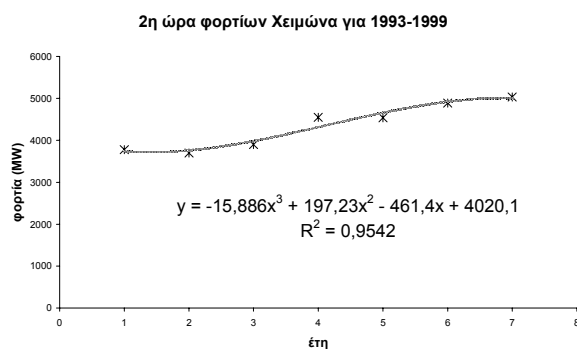
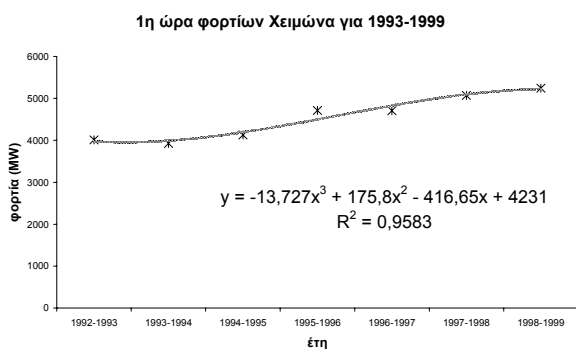
23η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



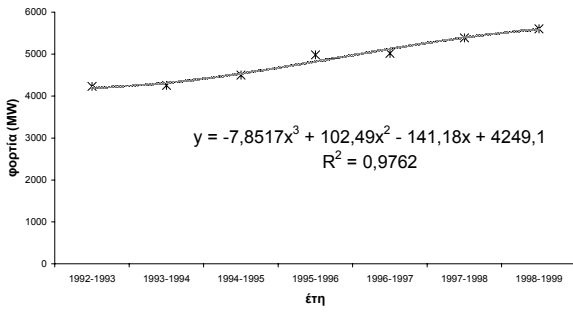
24η ώρα φορτίων Καλοκαιριού για 1993-1999



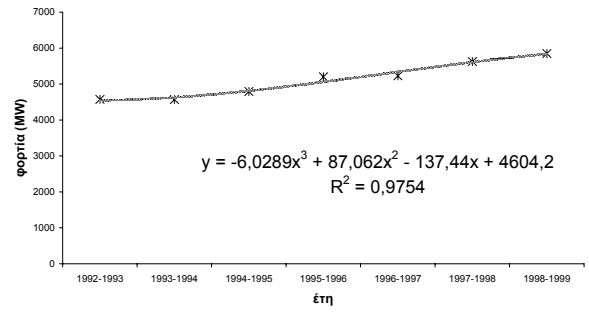
Ακολουθούν οι πολυωνυμικές παρεμβολές 3^{ου} βαθμού των ωρών των Χειμώνων από 1993 μέχρι 1999.



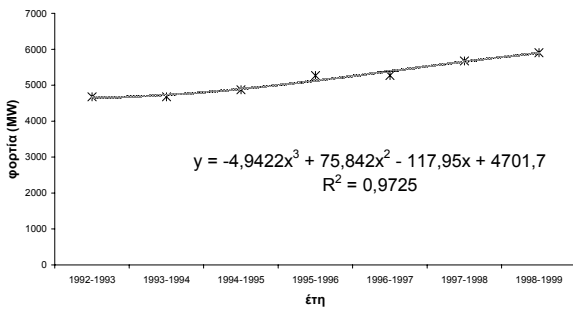
9η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



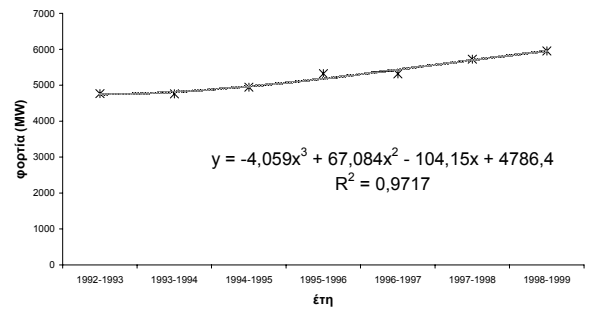
10η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



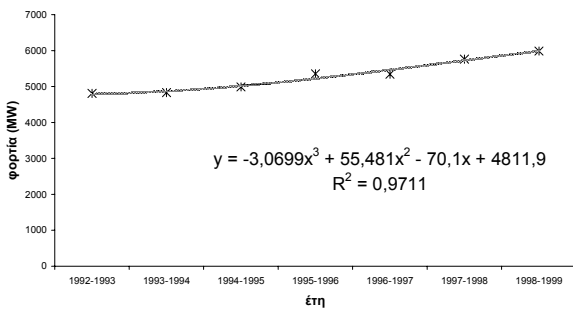
11η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



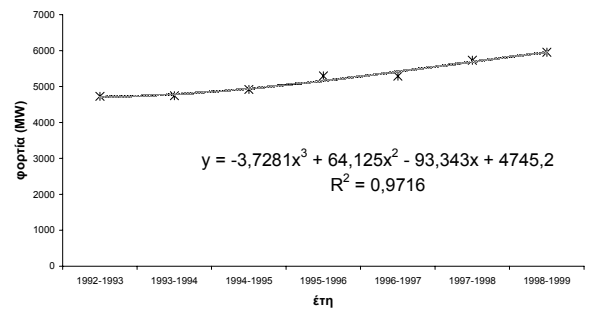
12η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



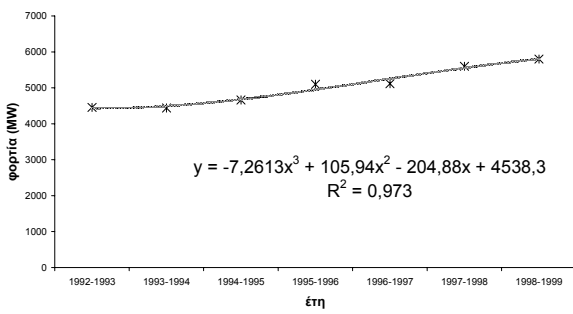
13η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



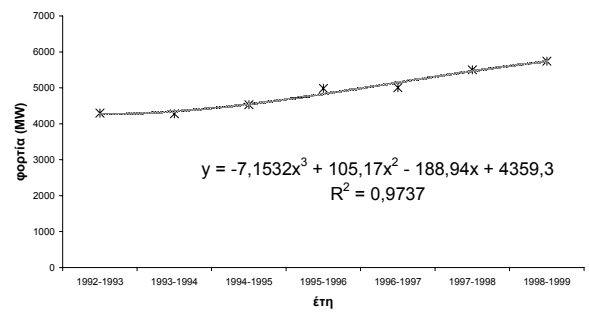
14η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



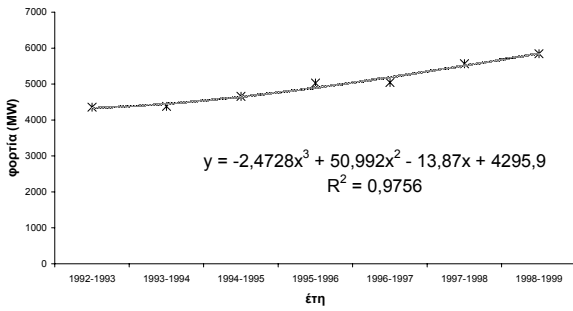
15η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



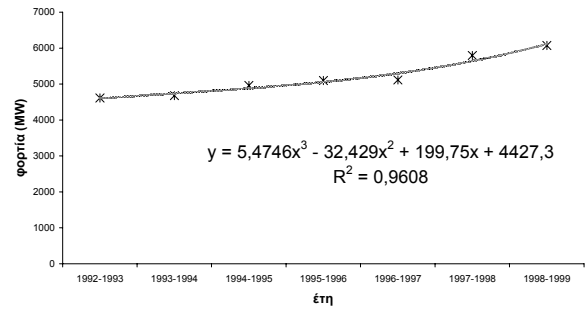
16η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



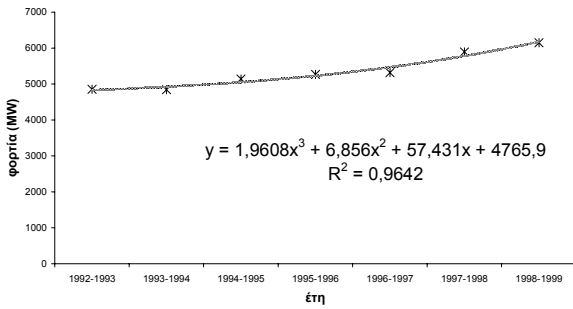
17η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



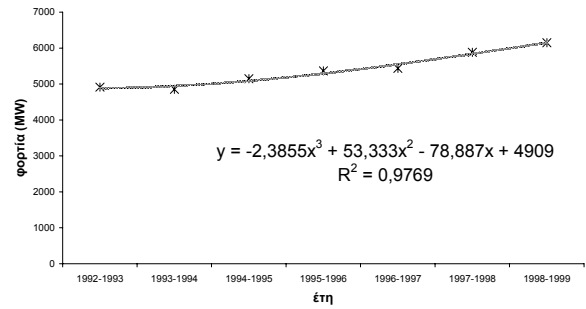
18η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



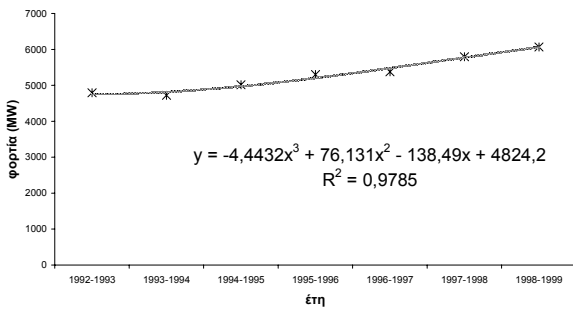
19η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



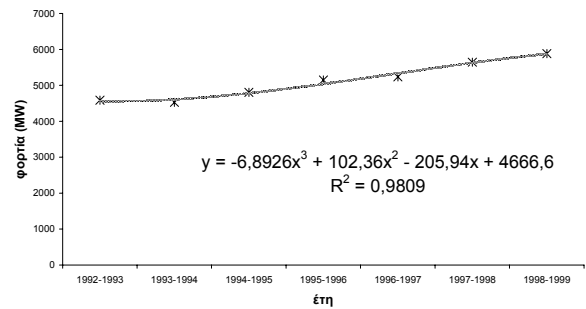
20η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



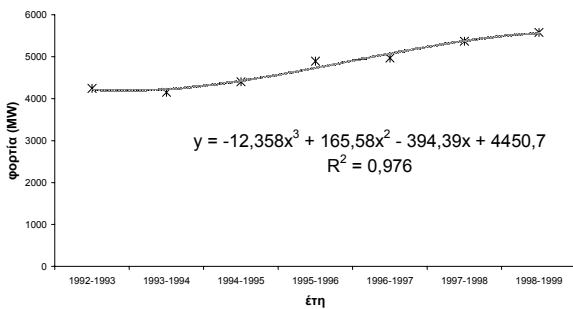
21η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



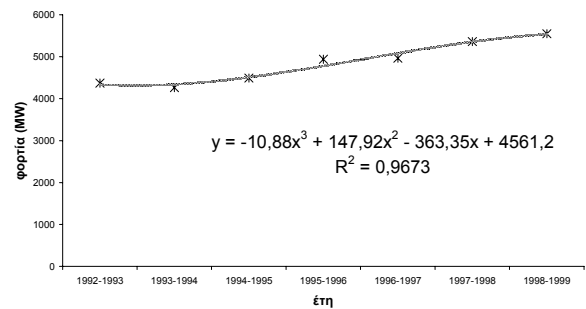
22η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999




23η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999



24η ώρα φορτίων Χειμώνα για 1993-1999





Παράρτημα II

Βιβλιογραφία



Παράρτημα II : Βιβλιογραφία

Σε αυτό το παράρτημα κρίνουμε σκόπιμο να παρουσιάσουμε τα ελληνικά και ξένα συγγράμματα, τα άρθρα, τις διδακτορικές και μεταπτυχιακές εργασίες από τα οποία αντλήθηκαν πληροφορίες για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Μέσα στο κείμενο, όταν γίνεται αναφορά σε ορισμένα από αυτά, χρησιμοποιούμε την αντίστοιχη αρίθμηση.

II.1 Ελληνική Βιβλιογραφία

- [B1] Κ.Βουρνάς, Γ.Κονταξής: «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Πρώτη Έκδοση, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1997
- [B2] Κ.Βουρνάς, Β.Κ.Παπαδιάς: «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Έλεγχος Συχνότητας», Δεύτερη Έκδοση, Εκδόσεις Συμμετρία, 1991
- [B3] Γ.Κονταξής, Β.Κ.Παπαδιάς: «Ηλεκτρική Οικονομία», Πρώτη Έκδοση, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1996
- [B4] Γ.Κονταξής - Ν. Χατζυαργυρίου : «Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2001
- [B5] Σ. Τζαφέστας : «Υπολογιστική Νοημοσύνη : Μεθοδολογίες», Τόμος Α, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2002
- [B6] Σ. Τζαφέστας : « Ευφυής Αυτόματος Έλεγχος», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1995
- [B7] Α.Σταφυλοπάτης, Σ.Κόλλιας: «Εισαγωγή στη Θεωρία των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων », Πρώτη Έκδοση, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Σεπτέμβριος 2000
- [B8] Αθ. Αραβαντινός: «Πολεοδομικός Σχεδιασμός για μία Βιώσιμη Ανάπτυξη του Αστικού Χώρου», Πρώτη Έκδοση, Εκδόσεις Συμμετρία, 1991
- [B9] Β.Ασημακόπουλος: «Μέθοδοι Προβλέψεων», Πρώτη Έκδοση, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1994
- [B10] Αρ. Λύκας: «Υπολογιστική Νοημοσύνη», Πρώτη Έκδοση, Ιωάννινα, Σεπτέμβριος 1999
- [B11] Ε. Ζάχος : «Προγραμματιστικές Τεχνικές - Σημειώσεις», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1999
- [B12] Α. Μπακόπουλος - Ι. Χρυσοβέργης : «Εισαγωγή στην αριθμητική ανάλυση - με βιβλιοθήκη προγραμμάτων της Fortran», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1995
- [B13] Ν.Γ. Μαράτος : «Τεχνικές Βελτιστοποιήσεως», Ε.Μ.Π., Αθήνα 1990
- [B14] Adrian Biran, Moshe Breiner: «MATLAB για μηχανικούς», Δεύτερη Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 1999

II.2 Ξένη Βιβλιογραφία

- [Ξ1] Robert Callan: “The essence of Neural Networks”, first edition, Prentice Hall, 1999
- [Ξ2] Simon Hykin: “Neural Networks a comprehensive Foundation”, second edition, Prentice Hall, 1999
- [Ξ3] Howard Demuth, Mark Beale: “Neural Network Toolbox for Use with MATLAB”, First edition, The Math Works Inc., 1995
- [Ξ4] Eva Part-Enander, Anders Sjoberg: “The MATLAB handbook”, First edition, Henry Ling Ltd, 1999

Π Π.3 Διδακτορικές Διατριβές

[Δ1] Δ. Παπαχρήστου: «Συμβολή στην Προσομοίωση Συστημάτων Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας», Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα, Ε.Μ.Π., 2000

[Δ2] Σπ. Κιαρτζής: «Εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης στη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου», Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη, Α.Π.Θ., 1998

Π Π.4 Μεταπτυχιακές Εργασίες

[E1] Γ.Τσεκούρας: «Καταγραφή & Αναγνώριση Φορτίου, Μελέτη Μέτρων Εξοικονόμησης Ενέργειας & Τιμολογιακών Μέτρων σε μία Χημική Βιομηχανία», Μεταπτυχιακή Εργασία στο μάθημα «Ενεργειακός Προγραμματισμός Ελαχίστου Κόστους», Ε.Μ.Π., Ιούλιος 2000

[E2] Χ.Ν. Ηλίας : «Ανάπτυξη μοντέλου βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης φορτίου με χρήση ασαφούς λογικής και κατηγοριοποίηση τυπικών ημερών», Αθήνα, Οκτώβριος 2002

Π Π.5 Άρθρα

[A1] Parech Rupanagunta , Matin L. Baughman , Jerold W. Jones: “Scheduling of Cool Storage Using Non-Linear Programming Techniques”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No.3, August 1995, pp. 1279 – 1285

[A2] Hong-Tzer Yang, Chao-Ming, Ching-Lien Huang: “Identification of ARMAX Model for Short Term Load Forecasting: An Evolutionary Programming Approach”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No.1, February 1996, pp. 403 – 408

[A3] Ibrahim Moghram, Saifur Rahman: “Analysis and evaluation of five short-term load forecasting techniques”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 4, No.4, November 1989, pp. 1484 – 1491

[A4] Alex D.Papalexopoulos, Shangyou Hao, Tie-Mao Peng: “An implementation of a neural network based load forecasting model for the EMS”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No.4, November 1994, pp. 1956 – 1962

[A5] Roy Billinton, Mahmud Fotuhi-Firuzabad: “A basic framework for generating system operating health analysis”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No.3, August 1994, pp. 1610 – 1617

[A6] Saleh Aboreshaid, Roy Billinton, Mahmud Fotuhi-Firuzabad: “Probabilistic transient stability studies using the method of bisection”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No.4, November 1996, pp. 1990 – 1995

[A7] G.A.Hamoud, E.G.Neudof, A.L.Hubert: “Reliance on non-utility generation in planning customer delivery systems”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No.4, November 1994, pp. 1795 – 1802

[A8] M.H. Nehrir , P.S. Dolan , V.Gerez , W.J. Jameson : “Development and Validation of a Physically-based Computer Model for Predicting Winter Electric Heating Loads”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10 , No.1, February 1995, pp. 266 – 272

[A9] B.Rautenbach, I.E.Lane: “The multi-objective controller: a novel approach to domestic hot water load control”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No.4, November 1996, pp. 1832 – 1837

[A10] Mark H. Gravener, Chika Nwanpka: “Available transfer capability and first order sensitivity”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.14, No.2, May 1999, pp. 512 – 518

- [A11] Benjamin F.Hobbs, Suradet Jitprapaikulsarn, Dominic J. Maratukulam: “Analysis of the value for unit commitment of improved load forecasts”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No.4, November 1999, pp. 1342 – 1348
- [12] H.B.Gooi, D.P.Mendes, K.R.W.Bell, D.S.Kirschen: “Optimal scheduling of spinning reserve”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No.4, November 1999, pp. 1485-1492
- [A13] Mesut E. Baran, Arthur W.Kelley: “State estimation for real-time monitoring of distribution systems”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No.3, August 1994, pp. 1601 – 1609
- [A14] I.Drezga, S.Rahman: “Input variable selection for ANN-based short-term load forecasting”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, No.4, November 1998, pp. 1238 – 1244
- [A15] O. Mohammed, D. Park, R. Merchant, T. Dinh, C. Tong, A. Azeem: “Practical experiences with an adaptive neural network short-term load forecasting system”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No.1, February 1995, pp. 254 – 265
- [A16] M.Hisham, Choueiki, Clark A.Mount-Campbell, Stanley C.Ahalt: “Building a ‘Quasi optimal’ neural network to solve the short-term load forecasting problem”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No.4, November 1997, pp. 1432 – 1439
- [A17] Kwang-Ho Kim, Jong-Keun Park, Kab-Ju Hwang, Sung-Hak Kim: “Implementation of hybrid short-term load forecasting system using artificial neural networks and fuzzy expert systems”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No.3, August 1995, pp.1534-1539
- [A18] M.Daneshdoost, M.Lotfalian, G.Bumroogit, J.P.Ngoy: “Neural network with fuzzy set-based classification for short-term load forecasting”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, No.4, November 1998, pp. 1386 – 1391
- [A19] H.R.Kassaei, A.Keyhani, T.Woung, M.Rahman: “A hybrid fuzzy neural network bus load modeling and prediction”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No.2, May 1999, pp. 718 – 724
- [A20] Marie Blanchard, Louis Delorme,Christiane Simard, Yvon Nadeau: “Experience with optimization software for distribution system planning”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No.4, November 1996, pp. 1891 - 1898
- [A21] H.L.Willis: “Load forecasting for distribution planning-error and impact on design”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No.3, March 1983, pp. 675 – 686
- [A22] H.N.Tram, H.L.Willis, J.E.D.Northcote-Green, C.L.Brooks: “Load forecasting data and data base development for distribution planning”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No.11, November 1983, pp. 3660 – 3666
- [A23] H.L.Willis, R.W.Powell, D.L.Wall: “Load transfer coupling regression curve fitting for distribution load forecasting”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No.5, May 1984, pp. 1070 – 1076
- [A24] H.L.Willis, J.E.D.Northcote-Green: “Comparison tests of fourteen distribution load forecasting methods”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No.6, June 1983, pp. 1190 – 1197
- [A25] H. Les Willis, Linda A. Finley, Michael J. Buri : “Forecasting Electric Demand of Distribution System Planning in Rural and Sparsely Populated Regions”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No.4, November 1995, pp. 2008 – 2013
- [A26] Mo-yuen Chow, Hahn Tram: “Methodology of Urban Re-Development Considerations in Spatial Load Forecasting”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No.2, May 1997, pp. 996 - 1001
- [A27] E.-C. Yeh, Hahn Tram: “Information Integration in Computerized Distribution System Planning”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No.2, May 1997, pp. 1008 - 1013

- [A28] Mo-yuen Chow, Hahn Tram: “Application of fuzzy logic technology for spatial load forecasting”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No.3, August 1997, pp.1360-1366
- [A29] Mo-yuen Chow, Jinxiang Zhu, Hahn Tram: “Application of fuzzy multi-objective decision making in spatial load forecasting”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, No.3, August 1998, pp. 1185 - 1190