Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Εφαρμογή και Συγκριτική Ανάλυση Μεθόδων Ταξινόμησης για Ενεργειακή και Περιβαλλοντική Κατάταξη Κτιρίων Γραφείων

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ευαγγελία Γ. Δουγαλή

Επιβλέπων Καθηγητής: *Καθ. Γεώργιος Σταυρακάκης*

Εξεταστική Επιτροπή: *Καθ. Γεώργιος Σταυρακάκης*
Καθ. Μιχαήλ Ζερβάκης
Επ. Καθ. Διονυσία Κολοκοτσά

Χανιά, Δεκέμβριος 2009

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν κατά την εκπόνηση αυτής της διατριβής.

Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου κ. Γιώργο Σταυρακάκη, κ. Μιχάλη Ζερβάκη και κα. Διονυσία Κολοκοτσά, για την ουσιαστική καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές τους.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Τριανταφυλλιά Νικολάου, τον Ιωάννη Σκιά και τη Γεωργία Παπαδημητρίου για τις συμβουλές, την άψογη συνεργασία αλλά και την υποστήριξη που μου προσέφεραν.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους φίλους μου και τον Anas που με στήριξαν και με στηρίζουν σε κάθε μου απόφαση.

Χανιά, Δεκέμβριος 2009

Στους γονείς μου

ABSTRACT

Throughout the recent years there has globally been observed an increase of buildings' energy consumption. The European Union has published Community Directive 2002/92/EC for the energy performance of buildings and with the assistance of CEN Standards, a methodology for energy rating and classification of buildings has been proposed.

The energy classification of buildings can provide a lot of information with regard to those parameters that are related with the increased energy consumption and thus, it can be used as the foundation for further research in the future which can lead to ways to reduce energy consumption.

The aim of this work is the application and comparative study of clustering algorithms on the energy and environmental classification of office buildings and their further comparison with CEN methodology. The dataset that has been used is a simulated buildings dataset (30000 buildings) that represents the office building stock in three major climatic zones of Greece (10000 buildings in each climatic zone).

The clustering algorithms that have been applied were Hierarchical, Neural SOM and Fuzzy C-means. The energy classification of buildings has included classification based on their total energy consumption, energy consumption for heating and energy consumption for cooling. The environmental classification of buildings is based on a thermal comfort indicator.

Furthermore, validation criteria were used in order to find the optimal classification according to analytical and political criteria. The following indices: Silhouette, Davies – Bouldin and Dunn were taken into consideration for each case of energy and environmental classification in relation to policy restrictions. These restrictions are dictated by CEN's platform and are related to the implementation of the Community's Directive.

Finally, a methodology for energy and environmental classification is proposed and it is compared with CEN's methodology.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί, σε παγκόσμιο επίπεδο, αύξηση της ενέργειας που καταναλώνεται στα κτίρια. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εκδώσει την κοινοτική Οδηγία 2002/92/ΕΚ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και με την βοήθεια του CEN έχει προτείνει μία μεθοδολογία για την ενεργειακή ταξινόμηση των κτιρίων.

Η ενεργειακή ταξινόμηση των κτιρίων μπορεί να δώσει πολλές πληροφορίες σχετικά με τους παράγοντες που ταυτίζονται με την αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση και έτσι να μπορέσει να δώσει τη βάση για περαιτέρω έρευνες στο μέλλον για τρόπους μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η εφαρμογή και συγκριτική μελέτη αλγορίθμων ομαδοποίησης για την ενεργειακή και περιβαλλοντική ταξινόμηση κτιρίων γραφείων και περαιτέρω σύγκρισή τους με την μεθοδολογία του CEN. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από μία εικονική βάση δεδομένων που προσομοιώνει τα κτίρια γραφείων της Ελλάδας χωρισμένα σε τρεις κλιματικές ζώνες.

Οι αλγόριθμοι ομαδοποίησης που εφαρμόστηκαν ήταν οι Hierarchical, Neural SOM και Fuzzy C-Means. Η ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων έγινε με βάση τη συνολική ενεργειακή τους κατανάλωση, την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και την κατανάλωση ενέργειας για ψύξη. Η περιβαλλοντική κατάταξη των κτιρίων έγινε με βάση τον δείκτη θερμικής άνεσης.

Στη συνέχεια για να βρεθεί η βέλτιστη κατάταξη της κάθε περίπτωσης χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες επικύρωσης Silhouette, Davies – Bouldin και Dunn. Για την περίπτωση της ενεργειακής κατάταξης λήφθηκαν περαιτέρω υπόψη και περιορισμοί που υπαγορεύονται από τα πρότυπα του CEN και σχετίζονται με την υλοποίηση της Κοινοτικής Οδηγίας.

Τέλος, αφού προτείνεται μία μεθοδολογία ενεργειακής και περιβαλλοντικής κατάταξης των κτιρίων στη συνέχεια αυτή συγκρίνεται με την μεθοδολογία που προτείνει το πρότυπο του CEN.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1

1.1 Εξελιξη της Ενεργειακης Καταναλωσης 1

1.2 Η Οδηγια 2002/91/ΕΚ για την «Ενεργειακη Αποδοση των Κτιριων» 2

1.3 Ο ρολος του Ευρωπαϊκου Κεντρου Τυποποιησης στην υλοποιηση του τεχνικου περιεχομενου της Οδηγιας 2002/91/ΕΚ 3

1.4 Ενεργειακη Ταξινομηση των κτιριων συμφωνα με τα προτυπα CEN-EPBD 3

1.5 Το νομοθετικο πλαισιο της ενεργειακης αποδοσης κτιριων στην Ελλαδα 5

1.6 Ενεργειακη Ταξινομηση των κτιριων συμφωνα με το σχεδιο ΚΕΝΑΚ 6

1.7 Περιγραφη της Βασης Δεδομενων των Κτιριων 7

1.8 Κεντρικη ιδεα της διατριβης και προηγουμενη ερευνα 10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ 11

2.1 Εισαγωγη 11

2.2 Διαδικασια Ομαδοποιησης 12

2.3 Ορισμος του Cluster 13

2.4 Μετρα Ομοιοτητας και Ανομοιοτητας 14

2.4.1 Μέτρα Ομοιότητας *14*

2.4.2 Μέτρα Ανομοιότητας *14*

2.4.2.1 Ευκλείδεια Απόσταση 15

2.4.2.2 Απόσταση Manhattan 15

2.5 Συνδετικες Μεθοδοι 16

2.6 Αλγοριθμοι Ομαδοποιησης 16

2.6.1 Hierarchical Clustering *17*

2.6.2 Self Organizing Map (SOM) Clustering *18*

2.6.3 Fuzzy C-Means Clustering *20*

2.7 Δεικτες Επικυρωσης 21

2.7.1 Εξωτερικά Κριτήρια *22*

2.7.1.1 Δείκτης Rand 23

2.7.1.2 Jaccard Coefficient 24

2.7.1.3 Δείκτης Fowlkes – Mallows 24

2.7.2 Σχετικά Κριτήρια *24*

2.7.2.1 Δείκτης Davies – Bouldin 25

2.7.2.2 Δείκτης Dunn 26

2.7.2.3 Δείκτης Silhouette 26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ 29

3.1 Εισαγωγη 29

3.2 Αποτελεσματα Hierarchical Clustering 31

3.3 Αποτελεσματα Neural SOM Clustering 35
3.4 Αποτελεσματα Fuzzy C-Means Clustering 39
3.5 Ενεργειακη Καταταξη των κτιριων της VBD συμφωνα με τα προτυπα CEN-EPBD 43
3.5.1 Κατάταξη κτιρίων με βάση την συνολική ενέργεια κατανάλωσης σύμφωνα με τον CEN *43*
3.5.2 Κατάταξη κτιρίων με βάση την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση σύμφωνα με τον CEN *44*
3.5.3 Κατάταξη κτιρίων με βάση την κατανάλωση ενέργειας για ψύξη σύμφωνα με τον CEN *45*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ **46**

4.1 Εισαγωγη 46
4.2 Συγκριση διαμερισεων της συνολικης ενεργειακης καταναλωσης 48
4.3 Συγκριση διαμερισεων της ενεργειακης καταναλωσης θερμανσης 49
4.4 Συγκριση διαμερισεων της ενεργειακης καταναλωσης ψυξης 50
4.5 Συγκριση διαμερισεων της ποιοτητας του εσωτερικου περιβαλλοντος 51
4.6 Βελτιστες διαμερισεις 52
4.6.1 Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση *53*
4.6.2 Ενεργειακή Κατανάλωση για την Θέρμανση και για την Ψύξη *56*
4.6.3 Ποιότητα Εσωτερικού Περιβάλλοντος *57*
4.7 Προτεινομενες Μεθοδολογιες Ταξινομησης 60
4.8 Συγκριση της προτεινομενης ενεργειακης ταξινομησης (με βαση την ομαδοποιηση) με την μεθοδολογια του CEN 61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ **64**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ **66**

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Καθορισμός της Ενεργειακής Κατηγορίας με βάση τα πρότυπα του CEN-EPBD 5
Πίνακας 2: Καθορισμός της Ενεργειακής Κατηγορίας με βάση τον ΚΕΝΑΚ 7
Πίνακας 3: Τα όρια των δεδομένων της Εικονικής Βάσης Δεδομένων (πηγή [8])..... 9
Πίνακας 4: Κατάταξη με βάση τη Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση εφαρμόζοντας Hierarchical Clustering.... 31
*Πίνακας 5: Κατάταξη με βάση την Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης εφαρμόζοντας Hierarchical Clustering.*32
Πίνακας 6: Κατάταξη με βάση την Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης εφαρμόζοντας Hierarchical Clustering...... 33
Πίνακας 7: Κατάταξη με βάση την ποιότητα του Εσωτερικού Περιβάλλοντος εφαρμόζοντας Hierarchical Clustering..... 34
Πίνακας 8: Κατάταξη με βάση τη Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση εφαρμόζοντας Neural SOM Clustering. ... 35
*Πίνακας 9: Κατάταξη με βάση την Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης εφαρμόζοντας Neural SOM Clustering.*36
Πίνακας 10: Κατάταξη με βάση την Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης εφαρμόζοντας Neural SOM Clustering. 37
Πίνακας 11: Κατάταξη με βάση την ποιότητα του Εσωτερικού Περιβάλλοντος εφαρμόζοντας Neural SOM Clustering..... 38
*Πίνακας 12: Κατάταξη με βάση τη Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση εφαρμόζοντας Fuzzy C-means Clustering.*39
Πίνακας 13: Κατάταξη με βάση την Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης εφαρμόζοντας Fuzzy C-means Clustering..... 40
Πίνακας 14: Κατάταξη με βάση την Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης εφαρμόζοντας Fuzzy C-means Clustering. 41
Πίνακας 15: Κατάταξη με βάση την ποιότητα του Εσωτερικού Περιβάλλοντος εφαρμόζοντας Fuzzy C-means Clustering..... 42
Πίνακας 16: Δείκτες συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού αποθέματος και αναφοράς του κανονισμού...... 44
Πίνακας 17: Κατάταξη κτιρίων με βάση την συνολική ενέργεια κατανάλωσης σύμφωνα με τον CEN...... 44
Πίνακας 18: Δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού αποθέματος και αναφοράς του κανονισμού για την θέρμανση. 44
Πίνακας 19: Κατάταξη κτιρίων με βάση την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση σύμφωνα με τον CEN. 45
Πίνακας 20: Δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού αποθέματος και αναφοράς του κανονισμού για την ψύξη. 45
Πίνακας 21: Κατάταξη κτιρίων με βάση την κατανάλωση ενέργειας για ψύξη σύμφωνα με τον CEN. 45
Πίνακας 22: Δείκτες επικύρωσης για την Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση για την κλιματική ζώνη C...... 48
Πίνακας 23: Δείκτες επικύρωσης για την Κατανάλωση Ενέργειας για Θέρμανση για την κλιματική ζώνη C...... 49
Πίνακας 24: Δείκτες επικύρωσης για την Κατανάλωση Ενέργειας για Ψύξη για την κλιματική ζώνη C...... 50
Πίνακας 25: Δείκτες επικύρωσης για τον δείκτη Θερμικής Ανεσης για την κλιματική ζώνη C...... 51
Πίνακας 26: Βέλτιστος αριθμός clusters για την Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση με βάση τους δείκτες επικύρωσης...... 52
Πίνακας 27: Βέλτιστος αριθμός clusters για την Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης με βάση τους δείκτες επικύρωσης...... 52

Πίνακας 28: Βέλτιστος αριθμός clusters για την Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης με βάση τους δείκτες επικύρωσης. *52*
Πίνακας 29: Βέλτιστος αριθμός clusters για τον δείκτη Θερμικής Άνεσης με βάση τους δείκτες επικύρωσης. *52*
Πίνακας 30: Καλύτερες διαμερίσεις σύμφωνα με τους δείκτες επικύρωσης για την Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση. *53*
Πίνακας 31: Καλύτερες διαμερίσεις σύμφωνα με τους δείκτες επικύρωσης για την Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης. *56*
Πίνακας 32: Καλύτερες διαμερίσεις σύμφωνα με τους δείκτες επικύρωσης για την Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης. *57*
Πίνακας 33: Καλύτερες διαμερίσεις σύμφωνα με τους δείκτες επικύρωσης για την κατάταξη της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. *58*
Πίνακας 34: Προτεινόμενη Ταξινόμηση Κτιρίων Γραφείων για την Ελλάδα με βάση την Συνολική Ενεργειακή τους κατανάλωση σύμφωνα με τους αλγορίθμους ομαδοποίησης. *60*
Πίνακας 35: Προτεινόμενη Ταξινόμηση Κτιρίων Γραφείων για την Ελλάδα με βάση την Ποιότητα του Εσωτερικού Περιβάλλοντος σύμφωνα με τους αλγορίθμους ομαδοποίησης. *61*
Πίνακας 36: Σύγκριση της προτεινόμενης μεθοδολογίας (Clustering) με την μεθοδολογία του CEN για την Α κλιματική ζώνη. *61*
Πίνακας 37: Σύγκριση της προτεινόμενης μεθοδολογίας (Clustering) με την μεθοδολογία του CEN για την Β κλιματική ζώνη. *62*
Πίνακας 38: Σύγκριση της προτεινόμενης μεθοδολογίας (Clustering) με την μεθοδολογία του CEN για την C κλιματική ζώνη. *62*

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Ενεργειακή κατανάλωση ανά τομέα για το 2007 (1) και για το 2008 (2). [πηγή: Energy Information Administration] *1*

Εικόνα 2:Παραδείγματα για τη μορφή των πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης (Πηγή: EN ISO 15257, 2007) . *5*

Εικόνα 3: Κλιματικές ζώνες της Ελλάδας (πηγή: ΚΕΝΑΚ) *9*

Εικόνα 4: Οι 5 ενεργειακές κατηγορίες της Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης με βάση το Hierarchical Clustering για την κλιματική ζώνη C. *54*

Εικόνα 5: Οι 7 ενεργειακές κατηγορίες της Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης με βάση το Fuzzy C-means Clustering για την κλιματική ζώνη C. *54*

Εικόνα 6: Οι 9 ενεργειακές κατηγορίες της Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης με βάση το Hierarchical Clustering για την κλιματική ζώνη C. *55*

Εικόνα 7: Οι 3 κατηγορίες της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος με βάση το Fuzzy C-Means Clustering για την κλιματική ζώνη C. *58*

Εικόνα 8: Οι 3 κατηγορίες της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος με βάση το Gaussian Clustering για την κλιματική ζώνη C. *59*

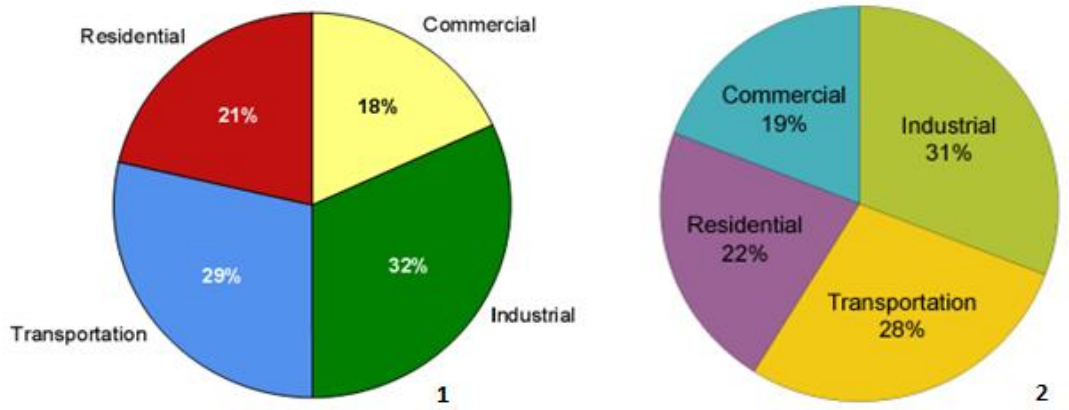
Εικόνα 9: Οι 3 κατηγορίες της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος με βάση το Neural SOM Clustering για την κλιματική ζώνη C. *59*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εξέλιξη της Ενεργειακής Κατανάλωσης

Τα τελευταία χρόνια, η αύξηση του πληθυσμού της γης, η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και γενικά η αλλαγή στον τρόπο ζωής των ανθρώπων, συνετέλεσαν στην αύξηση της κατανάλωσης της ενέργειας. Το γεγονός, που στις μέρες μας, έχει ανησυχήσει ιδιαίτερα τους επιστήμονες είναι ότι η συνεχής αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης οδηγεί στην εξάντληση των ενεργειακών πόρων και συντελεί στην αλλοίωση του περιβάλλοντος (τρύπα του όζοντος, κλιματική αλλαγή κλπ.). Έτσι, σε παγκόσμιο επίπεδο γίνονται προσπάθειες εξοικονόμησης των συμβατικών πηγών ενέργειας και αντικατάστασή τους με ανανεώσιμες πηγές, όπως η ηλιακή, η αιολική, η βιομάζα κ.ά..

Οι κύριοι τομείς στους οποίους καταναλώνεται η ενέργεια είναι οι βιομηχανίες, τα μέσα μεταφοράς και τα κτίρια (κατοικίες και εμπορικά). Στις βιομηχανίες, ενέργεια καταναλώνεται για τις εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για τις κατασκευές, τη γεωργία, τα ορυχεία και την οικοδόμηση. Στον τομέα των μέσων μεταφορών περιλαμβάνονται τα οχήματα που μεταφέρουν ανθρώπους ή εμπορεύματα, όπως αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία, μοτοσικλέτες, τρένα, μετρό, αεροπλάνα, πλοία ακόμη και αερόστατα. Ο τομέας των κατοικιών περιλαμβάνει σπίτια και διαμερίσματα ενώ στον τομέα εμπορικών κτιρίων ανήκουν κτίρια όπως γραφεία, εμπορικά καταστήματα, σχολεία, νοσοκομεία, ξενοδοχεία, εστιατόρια, ναοί κ.ά..



Εικόνα 1: Ενεργειακή κατανάλωση ανά τομέα για το 2007 (1) και για το 2008 (2). [πηγή: Energy Information Administration]

Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 1, στα κτίρια (κατοικίες και εμπορικά) για το 2008 αντιστοιχεί το 41% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, ενώ το ποσοστό αυτό το 2007 ήταν 39%. Αντίθετα, στις βιομηχανίες και στα μέσα μεταφοράς, το 2008 παρατηρήθηκε μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης σε σύγκριση με το 2007.

Η ενέργεια που καταναλώνεται στα κτίρια χρησιμοποιείται για διάφορους σκοπούς, όπως για την θέρμανση, ψύξη, εξαερισμό, φωτισμό και ηλεκτρικές συσκευές. Τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες μείωσης της κατανάλωσης της ενέργειας στα κτίρια με διάφορους τρόπους, όπως για παράδειγμα με τη χρήση συσκευών χαμηλής κατανάλωσης, λαμπτήρων εξοικονόμησης ενέργειας κ.ά..

Η κορυφαία όμως, προσπάθεια που έχει επιτευχθεί έως τώρα είναι τα λεγόμενα κτίρια μηδενικής ενέργειας (zero energy building), τα οποία παράγουν όση ενέργεια χρειάζονται από μόνα τους, κάνοντας χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ενώ στο Abu Dhabi αναμένεται το 2010 να τελειώσει η κατασκευή του πρώτου στον κόσμο κτιρίου θετικής ενέργειας (positive energy building), το οποίο δηλαδή, θα παράγει περισσότερη ενέργεια από αυτήν που χρειάζεται [1].

1.2 Η Οδηγία 2002/91/ΕΚ για την «Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων»

Μέσα στο πλαίσιο αυτό, η Ευρωπαϊκή Ένωση, λαμβάνοντας υπόψη την ολοένα αυξανόμενη ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων, εξέδωσε το 2002 την κοινοτική οδηγία 2002/91/ΕΚ για την «Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων» (“Energy Performance of Buildings”, EPBD) [2]. Με την Οδηγία αυτή, η Ευρωπαϊκή Ένωση αποσκοπεί στην προώθηση, από όλα τα κράτη-μέλη, της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Η Οδηγία 2002/91/ΕΚ προσανατολίζεται σε τέσσερις βασικούς τομείς [3]:

- ***Καθορισμός μιας υπολογιστικής μεθόδου:*** τα κράτη-μέλη πρέπει να θέσουν σε εφαρμογή μία μεθοδολογία για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν την χρήση της ενέργειας.
- ***Καθορισμός των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης:*** θα πρέπει να υπάρχουν κανόνες που να ορίζουν τις ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση των νέων κτιρίων και των υφιστάμενων άνω των 1000τ.μ., στα οποία γίνεται ανακαίνιση μεγάλης κλίμακας.

- ***Πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης:*** για τα νέα, προς ενοικίαση και προς πώληση κτίρια, θα πρέπει να υπάρχει διαθέσιμο ένα πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης.
- ***Έλεγχος των λεβήτων και των συστημάτων κλιματισμού:*** θα πρέπει να οριστούν κανόνες που να απαιτούν τους ελέγχους για τους λέβητες, τα συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού.

1.3 Ο ρόλος του Ευρωπαϊκού Κέντρου Τυποποίησης στην υλοποίηση του τεχνικού περιεχομένου της Οδηγίας 2002/91/ΕΚ

Για την υλοποίηση της «Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων» σύμφωνα με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ, το Ευρωπαϊκό Κέντρο Τυποποίησης (Comitè Europèen de Normalization, CEN) διατύπωσε το σύνολο προτύπων CEN-EPBD, τα οποία θα αποτελούσαν τη βάση των τεχνικών προδιαγραφών για τα κράτη-μέλη που δεν είχαν ορίσει, προηγουμένως, κανονισμούς ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και έτσι η εμπειρία τους στον συγκεκριμένο τομέα ήταν μηδαμινή ή ελάχιστη.

Οι ομάδες των προτύπων CEN-EPBD που αναπτύχθηκαν για την υλοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων είναι [4]:

- Ομάδα 1: πρότυπα σχετικά με τα φυσικά φαινόμενα που διέπουν το κτίριο.
- Ομάδα 2: πρότυπα για τα συστήματα αερισμού και ψύξης.
- Ομάδα 3: πρότυπα για τα συστήματα θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης.
- Ομάδα 4: πρότυπα για το φωτισμό, τα συστήματα ελέγχου και αυτοματισμού.
- Ομάδα 5: πρότυπα για τον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων των κτιρίων.
- Ομάδα 6: πρότυπα για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.

1.4 Ενεργειακή Ταξινόμηση των κτιρίων σύμφωνα με τα πρότυπα CEN-EPBD

Τα πρότυπα που είναι σχετικά με την ενεργειακή ταξινόμηση των κτιρίων βρίσκονται στο EN ISO 15217 «Ενεργειακή απόδοση των κτιρίων – Μέθοδοι για την έκφραση της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής πιστοποίησης των κτιρίων» [5]. Τα συγκεκριμένα πρότυπα αποσαφηνίζουν τις διάφορες πιθανές προσεγγίσεις για την πιστοποίηση.

Για την σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης ενός δοθέντος κτιρίου με την ενεργειακή απόδοση παρόμοιων κτιρίων χρησιμοποιούνται δείκτες αναφοράς. Διαφορετικές τιμές των δεικτών αναφοράς θα πρέπει να καθοριστούν για κατηγορίες κτιρίων με διαφορετικές λειτουργίες (για παράδειγμα πολυκατοικίες, γραφεία, νοσοκομεία). Οι δείκτες αναφορές που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- R_r: δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς του κανονισμού, που αντιστοιχεί στη μέγιστη επιτρεπόμενη, από τον κανονισμό, ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων.
- R_s: δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού αποθέματος, ο οποίος αντιστοιχεί στην ενεργειακή κατανάλωση του 50% του κτιριακού αποθέματος.

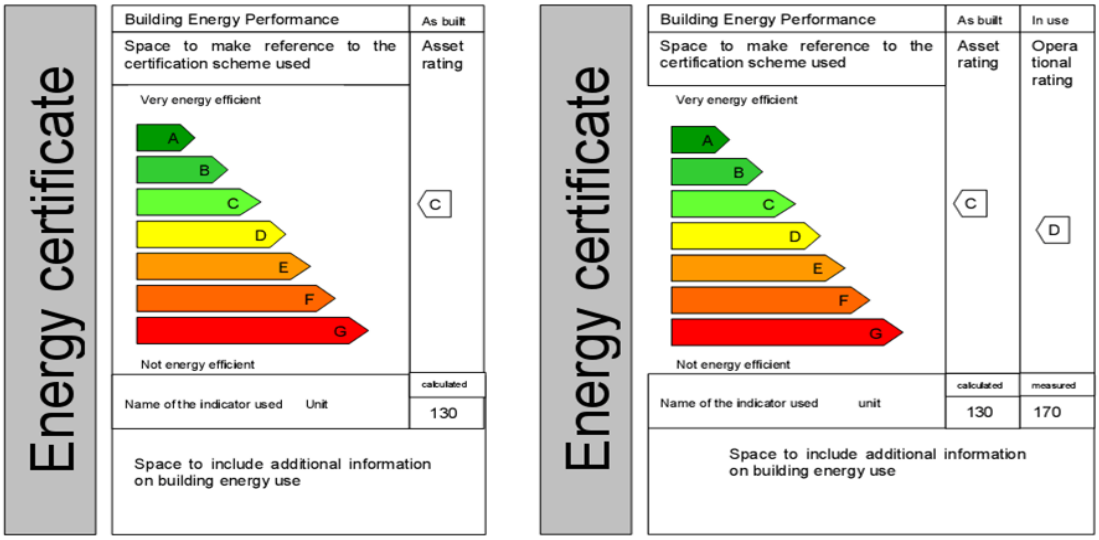
Το πιστοποιητικό της ενεργειακής απόδοσης ταξινομεί τα κτίρια σε μία κλίμακα από το A (καλύτερη περίπτωση) ως το G (χειρότερη περίπτωση). Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον καθορισμό του εύρους της κάθε κατηγορίας της ενεργειακής απόδοσης περιλαμβάνει τα εξής βήματα [5]:

- Καθορισμός του τύπου του κτιρίου (για παράδειγμα κτίριο γραφείων).
- Επιλογή των δεικτών αναφοράς R_r και R_s που αντιστοιχούν στον συγκεκριμένο τύπο κτιρίου.
- Υπολογισμός της ενεργειακής απόδοσης (Energy Performance, EP) του κτιρίου EP και υπολογισμός των $\frac{EP}{R_r}$ και $\frac{EP}{R_s}$.
- Καθορισμός του δείκτη ταξινόμησης C χρησιμοποιώντας τους εξής κανόνες:
  - Εάν $\frac{EP}{R_r} \leq 1$ τότε $C = \frac{EP}{R_r}$ (το EP είναι καλύτερο από το EP_r)
  - Εάν $1 \leq \frac{EP}{R_s}$ τότε $C = 1 + \frac{EP}{R_s}$ (το EP είναι χειρότερο από το EP_s)
  - Σε άλλη περίπτωση $C = 1 + \frac{EP - R_r}{R_s - R_r}$ (το EP είναι ανάμεσα στα EP_r και EP_s)
- Η κατηγορία ενεργειακής απόδοσης καθορίζεται σύμφωνα με τα παρακάτω (Πίνακας 1):

Πίνακας 1: Καθορισμός της Ενεργειακής Κατηγορίας με βάση τα πρότυπα του CEN-EPBD

Ενεργειακή Κατηγορία	Όρια κατηγορίας
A	$C < 0.5$
B	$0.5 \le C < 1$
C	$1 \le C < 1.5$
D	$1.5 \le C < 2$
E	$2 \le C < 2.5$
F	$2.5 \le C < 3$
G	$3 \le C$

Στο παράρτημα Β του EN ISO 15217 βρίσκονται δύο παραδείγματα της μορφής του πιστοποιητικού ενέργειας (Εικόνα 2) τα οποία αντιστοιχούν στην περίπτωση αξιολόγησης της ενεργειακής απόδοσης με βάση τα χαρακτηριστικά του κτιρίου και στην περίπτωση αξιολόγησης με βάση τα χαρακτηριστικά του κτιρίου και με βάση τον τρόπο λειτουργίας του.



Εικόνα 2:Παραδείγματα για τη μορφή των πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης (Πηγή: EN ISO 15257, 2007)

1.5 Το νομοθετικό πλαίσιο της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, το 1998 εκδόθηκε η Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 21475/4707/1998 με τίτλο «Περιορισμός των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με τον καθορισμό μέτρων και όρων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων». Η συγκεκριμένη ΚΥΑ αποτέλεσε την πρώτη ελληνική νομοθετική προσπάθεια για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων αλλά δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι εναρμονίζεται με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ διότι

είναι προγενέστερη και δεν συμβαδίζει με τη φιλοσοφία, το περιεχόμενο και τις ειδικότερες ρυθμίσεις της Οδηγίας [6].

Η εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου επιτυγχάνεται με τον Νόμο 3661/2008 «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων» (ΦΕΚ 89/19 Μαΐου 2008).

Ο Νόμος 3661 ενσωματώνει όλες τις διατάξεις της Οδηγίας, προβλέπει την έκδοση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης των κτιρίων (σχέδιο ΚΕΝΑΚ) και διακρίνει πέντε βασικές θεματικές ενότητες, οι οποίες αφορούν στον καθορισμό των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης και στη μέθοδο υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης (άρθρο 3) νέων και υφιστάμενων κτιρίων (άρθρα 4 και 5), στην έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (άρθρο 6), στις επιθεωρήσεις των λεβήτων και των εγκαταστάσεων κλιματισμού (άρθρα 7 και 8) και στην πρόβλεψη ειδικευμένων και διαπιστευμένων ενεργειακών επιθεωρητών (άρθρο 9) [7].

1.6 Ενεργειακή Ταξινόμηση των κτιρίων σύμφωνα με το σχέδιο ΚΕΝΑΚ

Για τον καθορισμό των απαιτήσεων ενεργειακής κατανάλωσης για τα κτίρια σύμφωνα με το σχέδιο ΚΕΝΑΚ χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία που δίνεται στο πρότυπο EN 15217:2007.

Σύμφωνα με το πρότυπο, βάσει της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου (“ΕΚ”), για θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης και φωτισμό, εκφρασμένης σε $kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma$ ορίζονται κατηγορίες ενεργειακών ορίων, από το Α έως το G, συναρτήσει των δεικτών ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού αποθέματος (R_s) και ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς του κανονισμού (R_r). Οι δείκτες αναφοράς R_s και R_r αφορούν το σύνολο των ενεργειακών απαιτήσεων (θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης) και είναι και αυτοί εκφρασμένοι σε $kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma$.

Βάσει του προτύπου, το μέγιστο όριο της Β κατηγορίας είναι ο δείκτης R_r, ενώ το μέγιστο όριο της D κατηγορίας είναι ο δείκτης R_s. Για την περαιτέρω βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων των κατηγοριών Α και Β, θεσπίστηκαν οι κατηγορίες Α+ και Β+. Έτσι, τα όρια των ενεργειακών κατηγοριών καθορίζονται ως εξής (Πίνακας 2):

Πίνακας 2: Καθορισμός της Ενεργειακής Κατηγορίας με βάση τον ΚΕΝΑΚ

Ενεργειακή Κατηγορία	Όρια κατηγορίας
A+	$\text{ΕΚ} < 0.33R_r$
A	$0.33R_r \leq \text{ΕΚ} < 0.5R_r$
B+	$0.5R_r \leq \text{ΕΚ} < 0.75R_r$
B	$0.75R_r \leq \text{ΕΚ} < R_r$
C	$R_r \leq \text{ΕΚ} < 0.5(R_r + R_s)$
D	$0.5(R_r + R_s) \leq \text{ΕΚ} < R_s$
E	$R_s \leq EK < 1.25R_s$
F	$1.25R_s \leq EK < 1.5R_s$
G	$1.5R_s \leq EK$

Προκειμένου να ορισθούν τα όρια των ενεργειακών κατηγοριών (σε απόλυτες τιμές) ανά χρήση κτιρίου και ανά κλιματική ζώνη, συλλέχθηκαν στοιχεία από υπάρχουσες ενεργειακές μελέτες, επιθεωρήσεις και καταγραφές, από τις οποίες προέκυψε ο δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού αποθέματος (R_s) της χώρας, ανά χρήση κτιρίων και κλιματική ζώνη. Ο δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς του κανονισμού (R_r) λήφθηκε ως το 75% του R_s.

Τέλος, θα πρέπει να επισημανθεί, ότι ο ΚΕΝΑΚ δεν έχει τεθεί έως και σήμερα σε ισχύ αλλά είναι υπό δημόσια διαβούλευση.

1.7 Περιγραφή της Βάσης Δεδομένων των Κτιρίων

Η ύπαρξη μιας συλλογής πληροφοριών για τα ενεργειακά δεδομένα και τα χαρακτηριστικά του κτιριακού αποθέματος μιας χώρας είναι πολύ σημαντική για τον υπολογισμό ενεργειακών δεικτών αναφοράς, ώστε να είναι εφικτή η βαθμονόμηση και κατάταξη των κτιρίων όπως ορίζεται και από την Οδηγία 2002/91/ΕΚ. Στην Ελλάδα αλλά και σε πολλές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης υπάρχει απουσία τέτοιων δεδομένων, κυρίως επειδή η συλλογή κτιριακών δεδομένων είναι εξαιρετικά δύσκολη και χρονοβόρα. Για τον λόγο αυτό, οι βάσεις δεδομένων επί του κτιριακού τομέα αποτελούνται συνήθως από μερικές δεκάδες ή στην καλύτερη περίπτωση εκατοντάδες κτίρια. Μία λύση στο πρόβλημα αυτό για την Ελλάδα δίνει η μεθοδολογία της Εικονικής Βάσης Δεδομένων για τα Κτίρια (Virtual Building Dataset, VBD) που αναπτύχθηκε από την Τριανταφυλλιά Νικολάου [8] στα πλαίσια της διδακτορικής της διατριβής. Η VBD περιλαμβάνει αναλυτικά δεδομένα κατασκευής, λειτουργίας,

ενεργειακής κατανάλωσης και θερμικής άνεσης για 30000 κτίρια γραφείων στην Ελλάδα χωρισμένα σε 3 κλιματικές ζώνες (10000 κτίρια ανά κλιματική ζώνη). Η φιλοσοφία της Εικονικής Βάσης Δεδομένων στηρίζεται στην δημιουργία και προσομοίωση «τυχαίων» κτιρίων γραφείων, τα οποία όμως υπακούουν στα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των κτιρίων γραφείων στην Ελλάδα, καθώς και την αντίστοιχη Ελληνική νομοθεσία. Ο όρος «τυχαίο» αναφέρεται στην τυχαία επιλογή του μεγέθους και του προσανατολισμού των κτιρίων, των στοιχείων κελύφους (είδος τοίχων, υαλοπινάκων, ποσοστό ανοιγμάτων), του συστήματος αερισμού, του αριθμού των εργαζομένων και όλων των στοιχείων που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου. Με βάση αυτή την φιλοσοφία μοντελοποιήθηκε μια πιθανή καταγραφή ενός δείγματος κτιρίων γραφείων στην Ελλάδα, της οποίας οι κατανομές επαληθεύτηκαν συγκριτικά με κατανομές μετρούμενων κτιρίων. Η προσομοίωση των κτιρίων αυτών πραγματοποιήθηκε με το μοντέλο προσομοίωσης κτιρίων στο πρόγραμμα TRNSYS 16.

Οι κύριες είσοδοι στο TRNSYS ήταν:

- Κλιματικά δεδομένα για κάθε κλιματική ζώνη στην Ελλάδα
- Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των ελληνικών κτιρίων γραφείων (υλικά και δομικά στοιχεία)
- Φυσική περιγραφή των κτιρίων (σχήμα, ποσοστό ανοιγμάτων και προσανατολισμός)
- Εσωτερικά κέρδη (χρήστες, εξοπλισμός γραφείου, τεχνητός φωτισμός)
- Κατανάλωση ενέργειας (τεχνητός φωτισμός, εξοπλισμός γραφείου, ζεστό νερό χρήσης)
- Ωράριο λειτουργίας των κτιρίων
- Διείσδυση αέρα και αερισμός
- Εγκατεστημένη ισχύς συστήματος θέρμανσης και ψύξης

Αντίστοιχα, οι έξοδοι του TRNSYS ήταν οι ακόλουθες:

- Κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση ($kWh / m^2 / \acute{\varepsilon}\tau o\varsigma$)
- Κατανάλωση ενέργειας για ψύξη ($kWh / m^2 / \acute{\varepsilon}\tau o\varsigma$)
- Δείκτης εσωτερικής θερμικής άνεσης (αναφέρεται στο ετήσιο ποσοστό του χρόνου από τις ώρες λειτουργίας του κτιρίου για το οποίο ο δείκτης Predicted Mean Vote

(PMV) είναι μεταξύ των αποδεκτών τιμών -0.7<PMV<0.7, σύμφωνα με τις συνιστώμενες τιμές από τα πρότυπα CEN [9]).

Οι τρεις κλιματικές ζώνες όπως ορίζονται από τον ΤΟΤΕΕ [10] και χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία φαίνονται στην Εικόνα 3. Θα πρέπει βέβαια να διευκρινιστεί ότι ο ΚΕΝΑΚ χωρίζει τον χάρτη της Ελλάδας σε τέσσερις κλιματικές ζώνες αλλά στην παρούσα εργασία η κλιματική ζώνη Δ της Εικόνας 3, σύμφωνα με τον ΤΟΤΕΕ, συμπεριλαμβάνεται στην κλιματική ζώνη Γ. Επιπλέον, ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τα όρια των δεδομένων της VBD.

Εικόνα 3: Κλιματικές ζώνες της Ελλάδας (πηγή: ΚΕΝΑΚ)

Πίνακας 3: Τα όρια των δεδομένων της Εικονικής Βάσης Δεδομένων (πηγή [8])

Παράμετρος	Τιμές
Κλιματικές Ζώνες	A, B, C
Αριθμός ορόφων	1-8
Εμβαδό ανά όροφο	256-6400 m^2
Είδος τοίχων	U=0.452-1.743 W/m^2 K
Είδος οροφής	U=0.335-3.18 W/m^2 K
Είδος υαλοπινάκων	U=5.68 W/m^2 K
	U=2.83 W/m^2 K
	U=1.4 W/m^2 K
Ποσοστό ανοιγμάτων	40-80%
Προσανατολισμός ανοιγμάτων	ΒΝΑΔ, ΒΝΑ, ΒΝΔ, ΝΑΔ, ΒΑΔ, ΒΝ, ΒΑ, ΒΔ, ΝΑ, ΝΔ, ΑΔ
Διείσδυση αέρα	0.2-2 ach
Αερισμός	0.5-10 ach
Συντελεστής εσωτερικής σκίασης	0-0.8
Συντελεστής εξωτερικής σκίασης	0-0.8
Set Point του συστήματος θέρμανσης	20-26 ^oC
Set Point του συστήματος ψύξης	22-26 ^oC
Εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος θέρμανσης/ ψύξης	Μοντελοποιημένη
Αριθμός ατόμων ανά 100m^2	6-14
Ωράριο λειτουργίας κτιρίων	Δευτέρα-Παρασκευή 08:00-22:00 Σάββατο 08:00-14:00

1.8 Κεντρική ιδέα της διατριβής και προηγούμενη έρευνα

Με την ενεργειακή κατάταξη κτιρίων και στη συνέχεια με την εύρεση των παραγόντων εκείνων που σχετίζονται με την υψηλή ή αντίστοιχα με την χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση, μπορούν να προταθούν μέτρα και τρόποι βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Οι Σανταμούρης et al. στην έρευνα [11] πρότειναν μία τεχνική ενεργειακής ταξινόμησης κτιρίων σχολείων. Τα δεδομένα που χρησιμοποίησαν αφορούσαν 320 σχολεία από όλες σχεδόν τις γεωγραφικές περιοχές της Ελλάδας και προέκυψαν από μετρήσεις ενεργειακής κατανάλωσης για διάστημα 3 ετών. Αρχικά, καθόρισαν τους δείκτες αναφοράς για την ενεργειακή κατανάλωση θέρμανσης, ηλεκτρισμού και συνολικής και ταξινόμησαν τα κτίρια σε 4 ενεργειακές κλάσεις με βάση την κατανομή ίσων συχνοτήτων και συνεπώς ίσο αριθμό κτιρίων ανά ενεργειακή κλάση (Α ενεργειακή κατηγορία το καλύτερο 25% των κτιρίων χρησιμοποιώντας την συνάρτηση αθροιστικής κατανομής, Β ενεργειακή κατηγορία το 50% των κτιρίων κ.ο.κ.). Στη συνέχεια, εφαρμόζοντας fuzzy αλγόριθμους ομαδοποίησης ταξινόμησαν τα κτίρια σε 5 ενεργειακές κλάσεις και κατέληξαν στην υπεροχή της δεύτερης μεθοδολογίας για την ενεργειακή κατάταξη λόγω του ότι προσφέρει πιο ισορροπημένες ενεργειακές κατηγορίες.

Στόχος της συγκεκριμένης διατριβής είναι η κατάταξη των κτιρίων της VBD με βάση την ενεργειακή τους κατανάλωση (συνολική ενεργειακή κατανάλωση, ενεργειακή κατανάλωση για τη θέρμανση και ενεργειακή κατανάλωση για την ψύξη) αλλά και με βάση τον δείκτη θερμικής άνεσης. Η κατάταξη των κτιρίων της VBD γίνεται με τη χρήση αλγορίθμων ομαδοποίησης (clustering algorithms). Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα των αλγορίθμων ελέγχονται με κανόνες επικύρωσης ώστε να βρεθούν αυτά που αντικατοπτρίζουν καλύτερα τα συγκεκριμένα δεδομένα. Τέλος, αφού επιλεχθούν οι βέλτιστες ομαδοποιήσεις, αυτές συγκρίνονται στην συνέχεια με τα ενεργειακά όρια που προκύπτουν με βάση τα πρότυπα του CEN-EPBD.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Αναγνώριση Προτύπων

2.1 Εισαγωγή

Η αναγνώριση προτύπων (pattern recognition) έχει σαν αντικείμενο την αντιστοίχιση ενός συνόλου αντικειμένων (προτύπων) σε κάποιες κατηγορίες (κλάσεις) από ένα σύστημα. Η διαδικασία αυτή, είναι εύκολη για τον άνθρωπο, μιας και έχει την ικανότητα να διακρίνει τα αντικείμενα, να παρατηρεί τις όποιες ομοιότητες ή διαφορές στα χαρακτηριστικά τους και επομένως, μπορεί να τα ομαδοποιεί. Δεν συμβαίνει το ίδιο όμως και σε ένα σύστημα, το οποίο, παρόλο που έχει την δυνατότητα ανάλυσης περισσότερων δεδομένων στο ίδιο χρονικό διάστημα, πρέπει να εκπαιδευτεί για αυτήν την διαδικασία.

Πρωταρχικό βήμα για την εκπαίδευση ενός συστήματος σε προβλήματα ταξινόμησης, είναι η περιγραφή των αντικειμένων από ένα σύνολο χαρακτηριστικών, που προέρχονται συνήθως από μετρήσεις και οργανώνονται σε κάποιον πίνακα. Ανάλογα με το είδος της εκπαίδευσης του συστήματος, τα προβλήματα αναγνώρισης προτύπων χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: την μάθηση με επίβλεψη (supervised learning) και την μάθηση χωρίς επίβλεψη (unsupervised learning) [12].

Στα supervised learning προβλήματα, για κάθε αντικείμενο του συνόλου δεδομένων είναι εκ των προτέρων γνωστή η κατηγορία στην οποία αυτό ανήκει. Σκοπός της αναγνώρισης προτύπων σε αυτήν την περίπτωση είναι η εκπαίδευση του ταξινομητή για την αντιστοίχιση νέων αντικειμένων στις κλάσεις.

Τις περισσότερες φορές, όμως, τα δεδομένα δεν συνοδεύονται με γνώση της κατηγορίας στην οποία ανήκουν και αυτή είναι η περίπτωση του unsupervised learning. Εδώ, το πρόβλημα έγκειται στην ανακάλυψη της δομής του συνόλου δεδομένων, εφόσον υπάρχει κάποια. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης θέλει να γνωρίζει κατά πόσο υπάρχουν ομάδες (ή αλλιώς clusters) στα δεδομένα και ποια είναι τα χαρακτηριστικά που κάνουν τα δεδομένα στην ομάδα να είναι όμοια μεταξύ τους και διαφορετικά μεταξύ άλλων ομάδων. Στην βιβλιογραφία η διαδικασία των unsupervised learning προβλημάτων αναφέρεται και ως clustering ή cluster analysis. Για την επίλυση αυτών των προβλημάτων προτείνονται από την βιβλιογραφία πολλοί αλγόριθμοι ομαδοποίησης (clustering algorithms) αλλά θα πρέπει να τονιστεί ότι διαφορετικοί αλγόριθμοι μπορεί να δημιουργήσουν διαφορετικές ομάδες για τα ίδια δεδομένα [13]. Στην

επόμενη ενότητα, περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθείται γενικά σε ένα unsupervised learning πρόβλημα ταξινόμησης.

2.2 Διαδικασία Ομαδοποίησης

Η διαδικασία για την εύρεση ομάδων που μπορεί να υπάρχουν στο σύνολο των δεδομένων περιλαμβάνει τέσσερα διακριτά βήματα, τα οποία περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω [14]:

1. ***Επιλογή και Εξαγωγή Χαρακτηριστικών***: Σε αυτό το βήμα γίνεται επιλογή ενός υποσυνόλου διακριτών χαρακτηριστικών, από το σύνολο των χαρακτηριστικών που περιγράφουν τα αντικείμενα, ή δημιουργούνται νέα χαρακτηριστικά από τα αρχικά. Γενικά, τα χαρακτηριστικά που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να συντελούν στην διάκριση των αντικειμένων που ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες, να έχουν ανοχή στον θόρυβο, να κωδικοποιούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την πληροφορία και να είναι εύκολο να εξαχθούν και να αναπαρασταθούν.

2. ***Επιλογή του αλγορίθμου ομαδοποίησης:*** Σε αυτό το βήμα, επιλέγεται ποιο θα είναι το μέτρο που θα δηλώνει το πόσο όμοια είναι δύο αντικείμενα μεταξύ τους ώστε να μπορούν να ομαδοποιηθούν στο ίδιο cluster. Στη συνέχεια, επιλέγεται ένας αλγόριθμος ομαδοποίησης. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι ομαδοποίησης αλλά δεν υπάρχει κάποιος που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει λύση σε όλα τα προβλήματα. Γι' αυτό είναι σημαντικό να μελετηθεί σε βάθος το είδος των χαρακτηριστικών που περιγράφουν τα αντικείμενα καθώς και η φύση του προβλήματος ώστε να επιλεχθεί ο κατάλληλος αλγόριθμος ομαδοποίησης.

3. ***Επικύρωση των αποτελεσμάτων:*** Κάθε αλγόριθμος ομαδοποίησης μπορεί να παράγει μία διαμέριση σε ένα σύνολο δεδομένων είτε αυτή υφίσταται είτε όχι. Επιπλέον, διαφορετικοί αλγόριθμοι δίνουν διαφορετικές διαμερίσεις για το ίδιο σύνολο δεδομένων. Για τον λόγο αυτό, θα πρέπει τα αποτελέσματα των αλγορίθμων να αξιολογηθούν με βάση κάποια κριτήρια που θα είναι αντικειμενικά για όλους τους αλγορίθμους.

4. ***Απεικόνιση των αποτελεσμάτων:*** Τέλος, αφού οι αλγόριθμοι ομαδοποίησης εφαρμόστηκαν και αξιολογήθηκαν μπορούν τα αποτελέσματα να απεικονιστούν με μία μορφή που να είναι κατάλληλη και να έχει νόημα για το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι η διαδικασία που περιγράφηκε μπορεί να είναι αναδρομική με την έννοια ότι αν σε οποιοδήποτε βήμα δεν προκύπτουν ικανοποιητικά αποτελέσματα μπορεί να γίνει μετάβαση σε κάποιο προηγούμενο και είτε για παράδειγμα να επιλεχθούν άλλα χαρακτηριστικά είτε να εφαρμοστεί κάποιος άλλος αλγόριθμος ομαδοποίησης είτε διαφορετικές τεχνικές επικύρωσης των αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια, αναλύονται οι σημαντικότερες έννοιες που αφορούν την διαδικασία της ομαδοποίησης, αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν τρεις σημαντικοί αλγόριθμοι ομαδοποίησης καθώς και οι τεχνικές με τις οποίες μπορούν να αξιολογηθούν τα αποτελέσματά τους.

2.3 Ορισμός του Cluster

Αρχικά και πριν γίνει ανάλυση άλλων εννοιών που συνδέονται με την ομαδοποίηση, θα πρέπει να δοθεί ο ορισμός της ομάδας ή αλλιώς του cluster (όρος που θα χρησιμοποιηθεί στο υπόλοιπο της εργασίας). Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί ο ορισμός που δίνεται από τους Θεοδωρίδη και Κουτρουμπά στο [13]. Ας θεωρηθεί ότι N είναι το πλήθος των αντικειμένων x του συνόλου δεδομένων X, δηλαδή,

$$\mathrm{X} = \{x_i, i = 1, \ldots, N\}$$

Επιπλέον, αν συμβολιστεί με R η διαμέριση του X σε m ομάδες, C_j, $j = 1, \ldots, m$, τότε αυτές οι ομάδες ονομάζονται clusters και πρέπει να ικανοποιούν τρεις συνθήκες:

- $C_i \neq \varnothing$, $i = 1, \ldots, m$
- $\bigcup_{i=1}^{m} C_i = \mathrm{X}$
- $C_i \cap C_j = \varnothing$, $i \neq j$, $i, j = 1, \ldots, m$

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα αντικείμενα που ανήκουν σε ένα cluster C_i είναι πιο όμοια μεταξύ τους και λιγότερο όμοια με τα αντικείμενα που ανήκουν σε άλλα clusters. Για την συνένωση ή τον διαχωρισμό των αντικειμένων σε clusters είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της ομοιότητας ή της ανομοιότητάς τους. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση μέτρων απόστασης (distance measures). Στη συνέχεια, η συνένωση ή ο διαχωρισμός των clusters μπορεί να γίνει με τη χρήση συνδετικών (linkage) μεθόδων. Τα διάφορα μέτρα απόστασης και οι linkage μέθοδοι θα αναλυθούν στις επόμενες υποενότητες.

2.4 Μέτρα Ομοιότητας και Ανομοιότητας

Οι αλγόριθμοι ομαδοποίησης λειτουργούν ενώνοντας (ή διαχωρίζοντας) τα πιο όμοια (ή ανόμοια) αντικείμενα του συνόλου δεδομένων X. Για τον λόγο αυτό, είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί μία συνάρτηση που να μπορεί να κάνει ποσοτικές μετρήσεις μεταξύ των διανυσμάτων των αντικειμένων. Οι ποσοτικές αυτές μετρήσεις μπορούν να οργανωθούν σε έναν πίνακα που ονομάζεται Πίνακας Γειτνίασης (Proximity Matrix). Υπάρχουν δύο κατηγορίες τέτοιων συναρτήσεων: τα μέτρα ομοιότητας (similarity measures) και τα μέτρα ανομοιότητας (dissimilarity measures).

Για ένα σύνολο δεδομένων X με N αντικείμενα, ο Πίνακας Γειτνίασης θα είναι ένας συμμετρικός $N \times N$ πίνακας που το (i, j) στοιχείο του αντιπροσωπεύει το μέτρο ομοιότητας ή ανομοιότητας μεταξύ των αντικειμένων i και j, $(i, j = 1, \ldots, N)$ [14].

2.4.1 Μέτρα Ομοιότητας

Τα μέτρα ομοιότητας [15] χρησιμοποιούνται για την εύρεση όμοιων ζευγαριών αντικειμένων του συνόλου δεδομένων X. Έστω $s(i, j)$ ένας συντελεστής ομοιότητας. Εάν τα αντικείμενα i και j είναι όμοια, τότε ο συντελεστής ομοιότητας $s(i, j)$ γίνεται μεγάλος ενώ στην αντίθετη περίπτωση γίνεται μικρός. Για όλα τα αντικείμενα i και j το μέτρο ομοιότητας χρειάζεται να ικανοποιεί τις παρακάτω συνθήκες:

- $0 \le s(i, j) \le 1$
- $s(i, i) = 1$
- $s(i, j) = s(j, i)$

2.4.2 Μέτρα Ανομοιότητας

Τα μέτρα ανομοιότητας [15] χρησιμοποιούνται για να βρεθεί η ανομοιότητα μεταξύ ζευγαριών αντικειμένων του συνόλου δεδομένων X. Ο συντελεστής ανομοιότητας $d(i, j)$ γίνεται μικρός μεταξύ αντικειμένων που είναι όμοια, ενώ για ανόμοια αντικείμενα γίνεται

μεγάλος. Αντίστοιχα με τα μέτρα ομοιότητας, τα μέτρα ανομοιότητας χρειάζεται να ικανοποιούν τις παρακάτω συνθήκες:

- $0 \le d(i, j)$
- $d(i, i) = 0$
- $d(i, j) = d(j, i)$
- $d(i, j) \le d(i, k) + d(k, j)$

Οι περισσότεροι αλγόριθμοι ομαδοποίησης χρησιμοποιούν μέτρα ανομοιότητας για να ενώσουν ή να διαχωρίσουν τα αντικείμενα. Στις παρακάτω υποενότητες δίνονται οι ορισμοί για τα πιο συνηθισμένα μέτρα ανομοιότητας.

2.4.2.1 Ευκλείδεια Απόσταση

Η ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των σημείων $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ και $y = (y_1, y_2, \ldots, y_n)$ δίνεται από την εξίσωση [15]:

$$d_{Euclidean}(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

όπου x_i και y_i είναι οι i συντεταγμένες του x και του y αντίστοιχα και $x, y \in \mathrm{X}$.

2.4.2.2 Απόσταση Manhattan

Η Manhattan απόσταση μεταξύ των σημείων $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ και $y = (y_1, y_2, \ldots, y_n)$ δίνεται από την εξίσωση [15]:

$$d_{Manhattan}(x, y) = \sum_{i=1}^{n} |x_i - y_i| \quad (2)$$

όπου x_i και y_i είναι οι i συντεταγμένες του x και του y αντίστοιχα και $x, y \in \mathrm{X}$.

2.5 Συνδετικές Μέθοδοι

Οι συνδετικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για να ενώσουν τα δύο πιο όμοια clusters σε συσσωρευτικούς (agglomerative) αλγορίθμους ομαδοποίησης [15], [16].

Έστω C_i και C_j δύο clusters και $|C_i|$ και $|C_j|$ το πλήθος των αντικειμένων τους αντίστοιχα. Έστω $d(C_i, C_j)$ το μέτρο ανομοιότητας μεταξύ των cluster C_i και C_j και $d(i, j)$ το μέτρο ανομοιότητας μεταξύ δύο αντικειμένων i και j, με $i \in C_i$ και $j \in C_j$. Οι πιο συνηθισμένες συνδετικές μέθοδοι είναι οι παρακάτω:

- Single Linkage clustering (Μέθοδος ελαχίστου ή κοντινότερου γείτονα): Η απόσταση μεταξύ δύο clusters καθορίζεται από την απόσταση μεταξύ των δύο κοντινότερων αντικειμένων στα δύο clusters :

$$\delta_{Single}(C_i, C_j) = \min_{\substack{i \in C_i \\ j \in C_j}} d(i, j) \quad (3)$$

- Complete Linkage clustering (Μέθοδος μεγίστου ή μακρινότερου γείτονα): Η απόσταση ανάμεσα σε δύο clusters ισούται με την μεγαλύτερη απόσταση ανάμεσα σε ένα αντικείμενο του πρώτου και σε ένα αντικείμενο του δεύτερου cluster:

$$\delta_{Complete}(C_i, C_j) = \max_{\substack{i \in C_i \\ j \in C_j}} d(i, j) \quad (4)$$

- Average Linkage clustering: Η απόσταση ανάμεσα σε δύο clusters υπολογίζεται με τη χρήση των μέσων όρων. Η μέση απόσταση υπολογίζεται από την απόσταση μεταξύ κάθε αντικειμένου στο ένα cluster με όλα τα αντικείμενα του δεύτερου cluster. Τα δύο clusters με την μικρότερη μέση απόσταση ενώνονται και δημιουργούν ένα νέο cluster:

$$\delta_{Average}(C_i, C_j) = \frac{1}{|C_i||C_j|} \sum_{\substack{i \in C_i \\ j \in C_j}} d(i, j) \quad (5)$$

2.6 Αλγόριθμοι Ομαδοποίησης

Στην βιβλιογραφία υπάρχει πληθώρα αλγορίθμων ομαδοποίησης. Η ταξινόμησή τους μπορεί να γίνει με πάρα πολλά κριτήρια και ενδεικτικά αναφέρονται τα εξής:

- Κριτήριο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ομοιότητας ή ανομοιότητας των αντικειμένων.
- Αν δέχονται παράμετρο ή όχι.
- Εάν τα αντικείμενα αντιστοιχίζονται σε μόνο μία ομάδα ή σε όλες τις ομάδες με κάποιο ποσοστό συμμετοχής.

Γενικά, δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος κανόνας με βάση τον οποίο και μόνο να γίνει μία κατάταξη των αλγορίθμων ομαδοποίησης. Στις επόμενες υποενότητες, αναλύονται τρεις αλγόριθμοι που είναι και αυτοί που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, οι:

- Hierarchical
- Neural SOM
- Fuzzy C-means

2.6.1 Hierarchical Clustering

Το Hierarchical Clustering (HC), ([13], [14], [15], [16]) είναι μία από τις πιο διαδεδομένες clustering μεθόδους εξ αιτίας της απλότητάς της. Οι HC αλγόριθμοι οργανώνουν τα δεδομένα σε μία ιεραρχική δομή σύμφωνα με τον Πίνακα Γειτνίασης (proximity matrix). Τα αποτελέσματα του HC συνήθως παρουσιάζονται με μία δεντρική δομή που ονομάζεται δενδρόγραμμα (dendrogram). Η ρίζα του δενδρογράμματος αναπαριστά το σύνολο των δεδομένων (ενιαίο cluster που περιέχει όλα τα δεδομένα) και κάθε φύλλο αντιστοιχεί σε ένα μεμονωμένο αντικείμενο του συνόλου. Οι ενδιάμεσοι κόμβοι περιγράφουν την εγγύτητα μεταξύ των αντικειμένων. Το ύψος του δενδρογράμματος εκφράζει την απόσταση μεταξύ ζευγαριών αντικειμένων ή clusters ή αντικειμένων με clusters. Τα clusters μπορούν να προκύψουν «κόβοντας» το δενδρόγραμμα σε διαφορετικά επίπεδα. Η αναπαράσταση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη καθώς παρέχει οπτική αναπαράσταση και έτσι υπάρχει καλύτερη αντίληψη για ιεραρχικές σχέσεις που υπάρχουν σε δεδομένα.

Οι HC αλγόριθμοι χωρίζονται κυρίως σε δύο βασικές κατηγορίες: στους συσσωρευτικούς (agglomerative) και στους διασπαστικούς (divisive). Οι agglomerative ξεκινούν με N clusters που ο καθένας περιέχει ένα μόνο αντικείμενο. Έπειτα από μία σειρά από συνενώσεις τελικά όλα τα αντικείμενα ομαδοποιούνται στο ίδιο cluster. Οι divisive αλγόριθμοι λειτουργούν με τον αντίθετο ακριβώς τρόπο. Στην αρχή όλα τα αντικείμενα ανήκουν στο ίδιο cluster και με

μία διαδικασία συνεχώς χωρίζονται μέχρι όλα τα αντικείμενα να αποτελούν ένα cluster από μόνα τους. Οι divisive αλγόριθμοι έχουν μεγάλο υπολογιστικό κόστος και γι' αυτό δεν χρησιμοποιούνται στην πράξη.

Η διαδικασία που ακολουθείται στην γενική περίπτωση ενός agglomerative αλγόριθμου παρουσιάζεται στα ακόλουθα βήματα:

1. Εκκίνηση με N clusters. Υπολογισμός του πίνακα γειτνίασης για τα N clusters.
2. Εύρεση της ελάχιστης απόστασης

$$D\left(C_i, C_j\right) = \min_{\substack{1 \le m, l \le N \\ m \ne l}} D\left(C_m, C_l\right) \quad (6)$$

   όπου $D(*,*)$ είναι η συνάρτηση απόστασης στον πίνακα γειτνίασης.

3. Συνένωση των C_i και C_j clusters σε έναν νέο.
4. Ενημέρωση του πίνακα γειτνίασης με τον υπολογισμό των αποστάσεων μεταξύ των νέων clusters με τους υπόλοιπους.
5. Επανάληψη των βημάτων 2 – 4 μέχρι όλα τα αντικείμενα να ανήκουν στον ίδιο cluster.

Υπάρχουν πολλές παραλλαγές για τους HC αλγόριθμους που βασίζονται σε διαφορετικούς ορισμούς για την απόσταση μεταξύ δύο clusters.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα για τους κλασσικούς HC αλγορίθμους είναι ότι δεν έχουν ανοχή σε θόρυβο. Από τη στιγμή που ένα αντικείμενο αντιστοιχίζεται σε έναν cluster δεν θα εκτιμηθεί ξανά, το οποίο σημαίνει ότι οι HC αλγόριθμοι δεν έχουν την ικανότητα να διορθώσουν προηγούμενα σφάλματα ταξινόμησης. Το υπολογιστικό κόστος για τους περισσότερους HC αλγόριθμους είναι τουλάχιστον $O\left(N^2\right)$ και αυτό περιορίζει την ικανότητά τους να διαχειριστούν μεγάλα dataset σε ένα λογικό χρονικό διάστημα και με λογικούς πόρους μνήμης.

2.6.2 Self Organizing Map (SOM) Clustering

Το Self-Organizing Map (SOM) ή αλλιώς Self-Organizing Feature Map (SOFM) ([18], [19]), είναι ένα είδος Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου (Τ.Ν.Δ.), το οποίο εκπαιδεύεται χρησιμοποιώντας μάθηση χωρίς επίβλεψη (unsupervised learning) για να αναπαραστήσει σε

δισδιάστατη, συνήθως, απεικόνιση, πολυδιάστατα δεδομένα εισόδου. Η απεικόνιση αυτή γίνεται με μία δομή πλέγματος, που ονομάζεται χάρτης του δικτύου. Η τοπολογία του πλέγματος έχει συνήθως εξαγωνική ή ορθογώνια μορφή. Τα SOM αρχικά μελετήθηκαν από τον Kohonen και για τον λόγο αυτό πολλές φορές ονομάζονται και «χάρτες Kohonen» ή «τεχνητά νευρωνικά δίκτυα Kohonen».

Το Τ.Ν.Δ. SOM αποτελείται από στοιχεία που ονομάζονται κόμβοι ή νευρώνες. Κάθε κόμβος, που βρίσκεται σε μία θέση στο πλέγμα, σχετίζεται με ένα διάνυσμα βαρών, το οποίο έχει τις ίδιες διαστάσεις με τα διανύσματα των δεδομένων εισόδου. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκπαίδευσης γειτονικά δεδομένα εισόδου αντιστοιχίζονται σε γειτονικούς νευρώνες στο πλέγμα.

Η εκπαίδευση του δικτύου χρησιμοποιεί την ανταγωνιστική μάθηση. Όταν ένα δεδομένο εκπαίδευσης τροφοδοτείται στο δίκτυο, υπολογίζεται η ευκλείδεια απόστασή του από όλα τα διανύσματα βαρών. Ο νευρώνας, του οποίου το διάνυσμα βαρών είναι πιο όμοιο με το διάνυσμα εισόδου, ονομάζεται μονάδα καλύτερης ταύτισης (Best Matching Unit, BMU). Τα βάρη του BMU και των κοντινών του στο πλέγμα νευρώνων προσαρμόζονται στο διάνυσμα εισόδου. Το μέγεθος της αλλαγής των διανυσμάτων βαρών των νευρώνων μειώνεται με τον χρόνο και με την απόσταση από τον BMU. Η συνάρτηση ενημέρωσης του νευρώνα με διάνυσμα βαρών $Wv(t)$ είναι:

$$Wv(t+1) = Wv(t) + \Theta(v,t)\alpha(t)\left[D(t) - Wv(t)\right] \quad (7)$$

όπου $a(t)$ είναι ένας συντελεστής μάθησης που φθίνει μονότονα και $D(t)$ είναι το διάνυσμα εισόδου. Η συνάρτηση γειτνίασης $\Theta(v,t)$ εξαρτάται από την απόσταση στο πλέγμα μεταξύ του BMU και του νευρώνα v. Στην απλούστερη μορφή, θα είναι 1 για τους γειτονικούς στο BMU νευρώνες και 0 για τους υπόλοιπους. Ανεξάρτητα όμως από τη μορφή της $\Theta(v,t)$, η συνάρτηση γειτνίασης συγκλίνει με το χρόνο. Στην αρχή, όταν η γειτονιά είναι μεγάλη, όλοι οι νευρώνες ενημερώνονται. Όταν η γειτονιά αρχίζει και στενεύει και περιλαμβάνει μόνο λίγους νευρώνες τα βάρη συγκλίνουν σε τοπικό επίπεδο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε διάνυσμα εισόδου και έναν συνήθως μεγάλο αριθμό κύκλων λ.

Η διαδικασία εκπαίδευσης ενός δικτύου SOM συνοψίζεται στα εξής βήματα (θεωρώντας ότι t είναι η τρέχουσα επανάληψη, λ ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων):

1. Καθορισμός της τοπολογίας του δικτύου SOM (αριθμός νευρώνων και διάταξή τους).

2. Αρχικοποίηση των διανυσμάτων βαρών $Wv_i(0)$, $i = 1,\ldots,K$ τυχαία.

3. Τροφοδοσία του δικτύου με το διάνυσμα εισόδου $D(t)$. Επιλογή του κόμβου BMU (πλησιέστερος του $D(t)$) με χρήση για παράδειγμα της ευκλείδειας απόστασης.

4. Ανανέωση των διανυσμάτων των κόμβων που βρίσκονται κοντά στον BMU σύμφωνα με τη σχέση:

$$Wv(t+1) = Wv(t) + \Theta(v,t)\alpha(t)\left[D(t) - Wv(t)\right] \quad (8)$$

5. Αύξηση του t και επανάληψη των βημάτων 3 και 4 μέχρι $t < \lambda$.

Το βασικό πλεονέκτημα των SOM είναι ότι η εκπαίδευση τους είναι ανεξάρτητη από τη σειρά με την οποία θα τροφοδοτηθούν τα δεδομένα εισόδου αλλά όπως και σε άλλους αλγορίθμους ομαδοποίησης θα πρέπει να οριστεί η τοπολογία του πλέγματος, η οποία καθορίζει και τον αριθμό των clusters (κάθε νευρώνας αντιστοιχεί σε ένα cluster) [14].

2.6.3 Fuzzy C-Means Clustering

Το Fuzzy clustering ([14], [20]), σε αντίθεση με τους αλγόριθμους που αναλύθηκαν ως τώρα, είναι μία μέθοδος που δεν αντιστοιχίζει το κάθε αντικείμενο σε ένα και μόνο cluster αλλά αντιστοιχίζει όλα τα αντικείμενα σε όλους τους clusters με ένα βαθμό συμμετοχής (degree of membership). Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις που τα όρια μεταξύ των clusters δεν είναι ξεκάθαρα και καλά διαχωρισμένα.

Ο Fuzzy C-Means (FCM) είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς fuzzy αλγόριθμους και η κύρια ιδέα του είναι να βρει ένα partition (c fuzzy clusters) για το σύνολο των δεδομένων $x_j \in \Re^d$, $j = 1,\ldots,N$ ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τη συνάρτηση:

$$J(U,M) = \sum_{i=1}^{c}\sum_{j=1}^{N}\left(u_{i,j}\right)^m D_{ij} \quad (9)$$

Όπου:

- $U = \left[u_{i,j}\right]_{c\times N}$, είναι ο πίνακας με τους βαθμούς συμμετοχής κάθε αντικειμένου σε κάθε cluster και $u_{i,j} \in [0,1]$ ο βαθμός συμμετοχής του αντικειμένου j στο i cluster.

- $M = [m_1,\ldots,m_c]$, ο πίνακας με τα πρότυπα του cluster (μέση τιμή ή κέντρο)

- $m \in [1, \infty)$, παράμετρος ασάφειας που συνήθως ορίζεται στο 2
- $D_{i,j} = D(x_j, m_i)$, το μέτρο της απόστασης μεταξύ του x_j και του m_i.

Η διαδικασία που ακολουθεί ο Fuzzy C-means για την ομαδοποίηση των δεδομένων περιγράφεται στα παρακάτω βήματα:

1. Επιλογή κατάλληλων τιμών για m, c και μιας μικρής θετικής τιμής για το ε. Τυχαία αρχικοποίηση του πίνακα M. για t=0
2. Για t=0 υπολογισμός ή για t>0 ανανέωση του πίνακα συμμετοχής U ως

$$u_{ij}^{(t+1)} = \frac{1}{\sum_{l=1}^{c} \left(\frac{D_{lj}}{D_{ij}} \right)^{\frac{1}{1-m}}} \quad (10)$$

   όπου $i = 1, \ldots, c$ και $j = 1, \ldots, N$

3. Ενημέρωση του πίνακα M ως

$$m_i^{(t+1)} = \frac{\left(\sum_{j=1}^{N} \left(u_{ij}^{(t+1)} \right)^m x_j \right)}{\left(\sum_{j=1}^{N} \left(u_{ij}^{(t+1)} \right)^m \right)} \quad (11)$$

4. Επανάληψη των βημάτων 2 και 3 μέχρι $\left\| M^{(t+1)} - M^{(t)} \right\| < \varepsilon$.

2.7 Δείκτες Επικύρωσης

Η πλειοψηφία των αλγορίθμων ομαδοποίησης επιβάλλει μία δομή ομαδοποίησης στο σύνολο δεδομένων X, παρόλο που το X μπορεί να μην διέπεται από μία τέτοια δομή. Για τον λόγο αυτό, θα πρέπει να υπάρχει ένα μέτρο που να δείχνει εάν τα αντικείμενα του X συγκροτούν clusters πριν εφαρμοστεί στο X ένας αλγόριθμος ομαδοποίησης. Η διαδικασία της επιβεβαίωσης του αν το X διέπεται από μία δομή ομαδοποίησης είναι γνωστή ως Προδιάθεση Ομαδοποίησης (Clustering Tendency) [13].

Αφού επιβεβαιωθεί η ύπαρξη μιας τέτοιας δομής, στη συνέχεια θα πρέπει αυτή να αποκαλυφθεί. Με δεδομένο ότι τα αποτελέσματα των αλγορίθμων ομαδοποίησης δεν είναι εντελώς αξιόπιστα, είναι απαραίτητο, να αξιολογηθούν περαιτέρω. Η Επικύρωση της

Ομαδοποίησης (Cluster Validity) είναι η διαδικασία της ποσοτικής αξιολόγησης των αποτελεσμάτων ενός αλγορίθμου ομαδοποίησης. Στην πράξη, σπάνια ελέγχεται ξεχωριστά αν το X διέπεται από μία δομή, αφού με την επικύρωση της ομαδοποίησης μπορεί να ελεγχθεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων των αλγορίθμων ομαδοποίησης και έτσι να καταλήξει κάποιος στα αντίστοιχα συμπεράσματα. Επιπλέον, τις περισσότερες φορές οι αλγόριθμοι ομαδοποίησης εφαρμόζονται γνωρίζοντας εκ των προτέρων ότι υπάρχει μία δομή που διέπει το σύνολο των δεδομένων [14].

Έστω ότι με C συμβολίζεται η δομή της ομαδοποίησης που προέκυψε μετά από την εφαρμογή του αλγορίθμου ομαδοποίησης στο X. Για να μελετηθεί η εγκυρότητα της ομαδοποίησης υπάρχουν γενικά δύο προσεγγίσεις. Η πρώτη βασίζεται σε σύγκριση της διαμέρισης του αλγορίθμου ομαδοποίησης με μία εξωτερική ανεξάρτητη δομή (εξωτερικά κριτήρια) και η δεύτερη βασίζεται στην σύγκριση μιας διαμέρισης που έχει προκύψει από έναν αλγόριθμο ομαδοποίησης με άλλες διαμερίσεις του ίδιου αλγορίθμου αλλά με διαφορετικές παραμέτρους (σχετικά κριτήρια). Στις επόμενες υποενότητες αναλύονται και οι δύο προσεγγίσεις.

2.7.1 Εξωτερικά Κριτήρια

Τα εξωτερικά κριτήρια χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση της δομής C, που έχει παραχθεί από έναν αλγόριθμο ομαδοποίησης, με μία προκαθορισμένη διαμέριση P του X, που δημιουργήθηκε ανεξάρτητα από τη C. Η σύγκριση αυτή γίνεται υπολογίζοντας τον μεταξύ τους βαθμό συμφωνίας [21].

Σύγκριση της διαμέρισης P με τη δομή C

Πριν την εφαρμογή των εξωτερικών τεχνικών επικύρωσης, χρειάζεται εκτός από την δομή C να είναι προκαθορισμένη η διαμέριση P. Η δομή C είναι αποτέλεσμα της εφαρμογής ενός αλγορίθμου ομαδοποίησης και συγκρίνεται με την διαμέριση P που προέκυψε ανεξάρτητα και τις περισσότερες φορές, προέρχεται από την a priori γνώση της δομής που υπάρχει στο σύνολο των δεδομένων. Ας θεωρηθεί ότι $C = \{C_1, \ldots, C_m\}$ και $P = \{P_1, \ldots, P_s\}$, όπου $C_i, i = 1, \ldots m$ και $P_j, j = 1, \ldots, s$ τα clusters της δομής C και της διαμέρισης P αντίστοιχα. Ο αριθμός των clusters στο C και στο P δεν είναι απαραίτητο να είναι ο ίδιος [21].

Έστω το ζεύγος αντικειμένων (x_u, x_v) του συνόλου δεδομένων. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι τέσσερις πιθανοί συνδυασμοί σχετικά με τα clusters στα οποία ανήκουν τα δύο αντικείμενα:

- **SS** → και τα δύο αντικείμενα ανήκουν στο ίδιο cluster στην C και στην ίδια ομάδα στην P.
- **SD** → και τα δύο αντικείμενα ανήκουν στο ίδιο cluster στην C αλλά σε διαφορετική ομάδα στην P.
- **DS** → και τα δύο αντικείμενα ανήκουν σε διαφορετικά clusters στην C αλλά στην ίδια ομάδα στην P.
- **DD** → και τα δύο αντικείμενα ανήκουν σε διαφορετικά clusters στην C και σε διαφορετικές ομάδες στην P.

Έστω $a = SS$ ο αριθμός των ζευγαριών του συνδυασμού SS, $b = SD$ ο αριθμός των ζευγαριών του συνδυασμού SD, $c = DS$ ο αριθμός των ζευγαριών του συνδυασμού DS και $d = DD$ ο αριθμός των ζευγαριών του συνδυασμού DD. Τότε $a + b + c + d = M$, όπου M είναι ο αριθμός των ζευγαριών αντικειμένων στο X ($M = N(N-1)/2$). Ας θεωρηθεί επιπλέον ότι:

- $m_1 = a + b$, το σύνολο των ζευγαριών που ανήκουν στο ίδιο cluster στην C και
- $m_2 = a + c$, το σύνολο των ζευγαριών που ανήκουν στην ίδια ομάδα στην P.

Με βάση τους παραπάνω ορισμούς μπορούν να καθοριστούν οι στατιστικοί δείκτες που υπολογίζουν την ομοιότητα μεταξύ της C και της P. Κάποιοι από τους δείκτες αυτούς περιγράφονται στην συνέχεια.

2.7.1.1 Δείκτης Rand

Ο δείκτης Rand [21] υπολογίζει τον λόγο του συνολικού αριθμού των ζευγαριών που είναι είτε στο ίδιο cluster και στην ίδια ομάδα είτε σε διαφορετικά clusters και σε διαφορετικές ομάδες προς τον συνολικό αριθμό ζευγαριών. Ο δείκτης Rand δίνεται από τη σχέση:

$$R = \frac{(a+d)}{M} \quad (12)$$

και παίρνει τιμές στο διάστημα [0,1], με τις τιμές κοντά στο 1 να υποδηλώνουν μεγάλη συμφωνία μεταξύ της C και της P.

2.7.1.2 Jaccard Coefficient

Ο συντελεστής Jaccard [21] υπολογίζει την αναλογία των ζευγαριών που ανήκουν στο ίδιο cluster και στην ίδια ομάδα προς αυτών που ανήκουν στο ίδιο cluster ή στην ίδια ομάδα. Ο συντελεστής Jaccard δίνεται από τη σχέση:

$$J = \frac{a}{a+b+c} \quad (13)$$

Όπως και ο δείκτης Rand, παίρνει τιμές στο διάστημα [0,1] με τις τιμές κοντά το 1 να εκφράζουν μεγάλη συμφωνία μεταξύ της C και της P.

2.7.1.3 Δείκτης Fowlkes – Mallows

Ο δείκτης των Fowlkes - Mallows [21] είναι ο γεωμετρικός μέσος δύο πιθανοτήτων: της πιθανότητας δύο τυχαία αντικείμενα να βρίσκονται στο ίδιο cluster δοθέντος ότι ανήκουν στην ίδια ομάδα και της πιθανότητας δύο τυχαία αντικείμενα να βρίσκονται στην ίδια ομάδα δοθέντος ότι ανήκουν στο ίδιο cluster. Δίνεται από τη σχέση:

$$FM = \sqrt{\frac{a}{a+b}\frac{a}{a+c}} = \frac{a}{\sqrt{m_1 m_2}} \quad (14)$$

Τιμές κοντά στο 1 δηλώνουν μεγάλη συμφωνία μεταξύ της C και της P.

2.7.2 Σχετικά Κριτήρια

Τα σχετικά κριτήρια χρησιμοποιούνται για την σύγκριση μιας διαμέρισης που προέκυψε από έναν αλγόριθμο ομαδοποίησης με διαμερίσεις του ίδιου αλγορίθμου αλλά αρχικοποιώντας τον με διαφορετικές παραμέτρους (π.χ. διαφορετικός αριθμός clusters) [13].

2.7.2.1 Δείκτης Davies – Bouldin

Έστω ότι s_i είναι το μέτρο της διασποράς ενός cluster C_i και $d\left(C_i, C_j\right) \equiv d_{ij}$ η ανομοιότητα μεταξύ των δύο clusters. Ένας δείκτης ομοιότητας R_{ij} μεταξύ των C_i και C_j ικανοποιεί τα παρακάτω:

- $R_{ij} \geq 0$
- $R_{ij} = R_{ji}$
- Εάν $s_i = 0$ και $s_j = 0$ τότε $R_{ij} = 0$
- Εάν $s_j > s_k$ και $d_{ij} = d_{ik}$ τότε $R_{ij} > R_{ik}$
- Εάν $s_j = s_k$ και $d_{ij} < d_{ik}$ τότε $R_{ij} > R_{ik}$

Αυτές οι συνθήκες δηλώνουν ότι το R_{ij} είναι θετικό και συμμετρικό. Μία επιλογή για το R_{ij} που να ικανοποιεί αυτές τις συνθήκες είναι:

$$R_{ij} = \frac{s_i + s_j}{d_{ij}} \quad (15)$$

Σε αυτήν την περίπτωση ο δείκτης των Davies-Bouldin ορίζεται ως ([21], [22]):

$$DB_m = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} R_i \quad (16)$$

όπου $R_i = \max\limits_{\substack{j=1,\ldots,m \\ j \neq i}} R_{ij}$, $i = 1, \ldots, m$.

Η ανομοιότητα μεταξύ των clusters C_i και C_j σε ένα l-διάστατο χώρο ορίζεται ως:

$$d_{ij} = \left\| \bar{x}_i - \bar{x}_j \right\| = \sqrt{\sum_{k=1}^{l} \left| \bar{x}_{ik} - \bar{x}_{jk} \right|^2} \quad (17)$$

Η διασπορά ενός cluster C_i δηλώνεται ως:

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{n_i} \sum_{x \in C_i} \left\| x - \bar{x}_i \right\|^2} \quad (18)$$

Ο DB_m είναι ο μέσος όρος της ομοιότητας μεταξύ κάθε cluster και ενός άλλου cluster που είναι ο πιο όμοιός του. Μικρές τιμές για τον δείκτη DB εκφράζουν την ύπαρξη συμπαγών και καλά διαχωριζόμενων clusters.

2.7.2.2 Δείκτης Dunn

Ο δείκτης Dunn [21] ορίζεται από τη σχέση:

$$D_m = \min_{i=1,\ldots,m} \left\{ \min_{j=i+1,\ldots,m} \left(\frac{d\left(C_i, C_j\right)}{\max\limits_{k=1,\ldots,m} diam\left(C_k\right)} \right) \right\} \quad (19)$$

όπου η ανομοιότητα μεταξύ δύο clusters C_i και C_j δίνεται από τη σχέση:

$$d\left(C_i, C_j\right) = \min_{x \in C_i, y \in C_j} d\left(x, y\right) \quad (20)$$

και η διάμετρος ενός cluster C:

$$diam\left(C\right) = \max_{x, y \in C} d\left(x, y\right) \quad (21)$$

Εάν το X περιέχει συμπαγείς και καλά διαχωρισμένους clusters, ο δείκτης Dunn θα έχει μεγάλη τιμή, από τη στιγμή που η απόσταση μεταξύ των clusters αναμένεται να είναι μεγάλη και η διάμετρος του cluster αναμένεται να είναι μικρή.

2.7.2.3 Δείκτης Silhouette

Ο δείκτης Silhouette ([13], [21], [23]) είναι ιδιαίτερα χρήσιμος όταν το ζητούμενο είναι η εύρεση συμπαγών και καλά διαχωρισμένων clusters. Για την κατασκευή των silhouettes χρειάζεται μία διαμέριση του συνόλου δεδομένων που έχει προκύψει από την εφαρμογή ενός αλγορίθμου ομαδοποίησης και ο πίνακας εγγύτητας που περιέχει τις αποστάσεις μεταξύ των αντικειμένων. Δοθέντος ενός cluster, αυτή η μέθοδος αντιστοιχίζει σε κάθε αντικείμενο του cluster μία τιμή $s\left(i\right)$ που ονομάζεται εύρος του silhouette. και δείχνει τον βαθμό συμμετοχής του αντικειμένου i στο cluster στο οποίο αντιστοιχήθηκε. Ας συμβολιστεί με i ένα αντικείμενο του συνόλου δεδομένων, με C_j το cluster στο οποίο έχει αντιστοιχηθεί το i και με $a\left(i\right)$ ο μέσος όρος της ανομοιότητας μεταξύ του αντικειμένου i με όλα τα άλλα

αντικείμενα στο cluster C_j. Επιπλέον για οποιοδήποτε cluster C_k διαφορετικό από το cluster C_j:

$$b(i) = \min_{C_k \neq C_j} d(i, C_k) \quad (22)$$

όπου $k = 1, 2, \ldots, c$ και $k \neq j$.

Τότε το εύρος του silhouette καθορίζεται από τη σχέση:

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}} \quad (23)$$

Ένας γείτονας του αντικειμένου i είναι το cluster C_k όταν η τιμή $d(i, C_k) = b(i)$ είναι η ελάχιστη. Το cluster C_k αντιπροσωπεύει την δεύτερη καλύτερη επιλογή για το αντικείμενο i.

Από τον ορισμό είναι προφανές ότι $-1 \leq s(i) \leq 1$. Το $s(i)$ πλησιάζει το 1 όταν η μέση (εντός του cluster) ανομοιότητα $a(i)$ είναι πολύ μικρότερη από την ελάχιστη (εκτός του cluster) ανομοιότητα $b(i)$ και έτσι το αντικείμενο i έχει ταξινομηθεί επιτυχώς. Από την άλλη μεριά, εάν το $s(i)$ παίρνει τιμές κοντά στο -1 αυτό σημαίνει ότι το $a(i)$ είναι πολύ μεγαλύτερο από το $b(i)$. Σε αυτήν την περίπτωση το αντικείμενο i δεν έχει ταξινομηθεί επιτυχώς και έτσι θα πρέπει να αντιστοιχηθεί ξανά. Εάν τα $a(i)$ και $b(i)$ έχουν παρόμοιες τιμές τότε το $s(i)$ είναι περίπου 0 και σε αυτήν την περίπτωση το αντικείμενο i βρίσκεται εξίσου μακριά από τα cluster C_j και C_k.

Εάν για τα δεδομένα χρησιμοποιούνται μέτρα ομοιότητας και τα $a'(i)$ και $d'(i, C)$ αναπαριστούν τις αντίστοιχες μέσες τιμές ομοιοτήτων, τότε $b'(i) = \max_{C \neq A} d'(i, C)$. Η αναπαράσταση, σε αυτήν την περίπτωση, για το εύρος του silhouette θα δίνεται από τη σχέση:

$$s(i) = \frac{a'(i) - b'(i)}{\max\{a'(i), b'(i)\}} \quad (24)$$

Είναι δυνατό να υπολογιστεί το silhouette του cluster, το οποίο ονομάζεται μέσο εύρος silhouette και αναπαριστά την ετερογένεια του cluster C_j. Το silhouette του cluster δίνεται από τη σχέση:

$$S_j = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} s(i) \quad (25)$$

Επιπλέον, το καθολικό εύρος του silhouette δίνεται από τη σχέση:

$$GS_u = \frac{1}{c}\sum_{j=1}^{c} S_j \quad (26)$$

όπου το U είναι οποιαδήποτε διαμέριση, $U \leftrightarrow C \ : \ C_i \cup C_2 \cup \ldots \cup C_c$. Το καθολικό εύρος του silhouette χρησιμοποιείται σαν ένα μέτρο επικύρωσης για το U. Για να επιλεχθεί ο βέλτιστος αριθμός των clusters για ένα σύνολο δεδομένων με τη χρήση αυτού του δείκτη, θα πρέπει να επιλεχθεί η διαμέριση U με τη μέγιστη τιμή για το GS_u.

Όταν χρησιμοποιούνται hierarchical μέθοδοι για την ομαδοποίηση του συνόλου δεδομένων υπάρχει μία γραφική αναπαράσταση που ονομάζεται δενδρόγραμμα και το οποίο δίνει μία οπτική αναπαράσταση για τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον αλγόριθμο, όπως προαναφέρθηκε. Από την άλλη, όταν χρησιμοποιούνται διαχωριστικές (partitioning) μέθοδοι, το αποτέλεσμα της ομαδοποίησης είναι μία λίστα με clusters και τα αντικείμενά τους και δεν είναι δυνατό να κατασκευαστεί ένα δενδρόγραμμα για την οπτική αναπαράσταση του αποτελέσματος. Το 1987, ο Rousseeuw πρότεινε μία γραφική αναπαράσταση για τις διαχωριστικές μεθόδους, που ονομάζεται Silhouette plot και χρησιμοποιείται για την οπτική απεικόνιση των αποτελεσμάτων αυτών των μεθόδων [23].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Για την ενεργειακή και περιβαλλοντική κατάταξη των κτιρίων γραφείων χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές ομαδοποίησης. Η ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων έγινε ξεχωριστά με βάση την συνολική ενεργειακή τους κατανάλωση, την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και την κατανάλωση ενέργειας για ψύξη. Η περιβαλλοντική κατάταξη των κτιρίων έγινε με βάση τον δείκτη θερμικής άνεσης.

Οι τεχνικές ομαδοποίησης εφαρμόστηκαν στην εικονική βάση δεδομένων κτιρίων γραφείων για τις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως, ξεχωριστά για τις τρεις κλιματικές ζώνες. Οι τρεις αλγόριθμοι ομαδοποίησης που εφαρμόστηκαν στην VBD είναι οι: Hierarchical, Neural SOM και Fuzzy C-means.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι σε κάθε εξεταζόμενη παράμετρο, η ομαδοποίηση βασίστηκε αποκλειστικά στις ίδιες τις παραμέτρους για τις οποίες ήταν επιθυμητή η ομαδοποίηση, λόγω της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για την κατασκευή του συνόλου δεδομένων και πιο συγκεκριμένα τον τρόπο επιλογής των τιμών των χαρακτηριστικών που περιγράφουν τα κτίρια. Πιο αναλυτικά, προτού γίνει η προσομοίωση των κτιρίων, για κάθε χαρακτηριστικό ορίστηκαν τα εύρη των τιμών του (βασισμένα πάντα στη βιβλιογραφία και στα ισχύοντα νομικά πλαίσια). Στη συνέχεια, για κάθε κτίριο η τιμή κάθε χαρακτηριστικού επιλέχθηκε με τυχαίο τρόπο ακολουθώντας την ομοιόμορφη κατανομή και χωρίς συσχέτιση με κάποιο άλλο χαρακτηριστικό. Αυτό εξηγείται και λογικά, καθώς και στην πραγματικότητα τα χαρακτηριστικά των κτιρίων (π.χ. μόνωση, υλικά κ.ά.) είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο και η επιλογή τους είναι καθαρά θέμα του κατασκευαστή και της κρίσεώς του. Έτσι, η όποια προσπάθεια να συνδυαστούν αυτά τα χαρακτηριστικά για την ενεργειακή και περιβαλλοντική κατάταξη των κτιρίων αφενός δεν βασίζεται σε κάποια λογική και αφετέρου ακόμη κι αν επιχειρηθεί δεν θα έχει λογικά αποτελέσματα. Αυτό ενισχύεται και με τα εξής παραδείγματα κτιρίων για την ίδια κλιματική ζώνη:

- κτίρια με τα ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά κελύφους αλλά με διαφορετικές ώρες λειτουργίας μπορεί να έχουν διαφορετική ενεργειακή κατανάλωση,

- κτίρια με διαφορετικά χαρακτηριστικά κελύφους μπορεί να έχουν την ίδια ενεργειακή κατανάλωση που να εξαρτάται από τις ώρες ή και τον τρόπο λειτουργίας τους,
- κτίρια με την ίδια ενεργειακή κατανάλωση δεν σημαίνει πως θα έχουν και την ίδια θερμική άνεση ενώ μπορεί να υπάρχουν κτίρια με διαφορετική ενεργειακή κατανάλωση αλλά με την ίδια θερμική άνεση.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες τα αποτελέσματα των αλγορίθμων ομαδοποίησης που εφαρμόστηκαν στην VBD. Επιπλέον, στο τέλος του κεφαλαίου, παρατίθενται οι πίνακες με τις ενεργειακές κατατάξεις που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας του CEN στην VBD, ώστε να είναι δυνατή η περαιτέρω σύγκριση των δύο προσεγγίσεων (CEN και αλγορίθμων ομαδοποίησης).

3.2 Αποτελέσματα Hierarchical Clustering

Πίνακας 4: Κατάταξη με βάση τη Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση εφαρμόζοντας Hierarchical Clustering.

Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση για την κλιματική ζώνη A (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	125.42 - 412.43	125.42 - 301.02	125.42 - 237.56	125.42 - 237.56	125.42 - 237.56	125.42 - 190.99	125.42 - 144.74	125.42 - 144.74
B	413.43 - 503.68	301.08 - 412.43	237.63 - 301.02	237.63 - 301.02	237.63 - 301.02	191.10 - 237.56	145.33 -190.99	145.33 - 190.99
C		413.43 - 503.68	301.08 - 412.43	301.08 - 341.98	301.08 - 341.98	237.63 - 301.02	191.10 - 237.56	191.10 - 237.56
D			413.43 - 503.68	342.11 - 412.43	342.11 - 412.43	301.08 - 341.98	237.63 - 301.02	237.63 - 301.02
E				413.43 - 503.68	413.43 - 457.42	342.11 - 412.43	301.08 - 341.98	301.08 - 341.98
F					458.95 - 503.68	413.43 - 457.42	342.11 - 412.43	342.11 - 369.24
G						458.95 - 503.68	413.43 - 457.42	369.53 - 412.43
H							458.95 - 503.68	413.43 - 457.42
I								458.95 - 503.68

Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση για την κλιματική ζώνη B (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	125.79 - 432.51	125.79 - 282.32	125.79 - 142.60	125.79 - 142.60	125.79 - 142.60	125.79 - 142.60	125.79 - 142.60	125.79 - 142.60
B	433.06 - 547.02	282.40 - 432.51	143.18 - 282.32	143.18 - 282.32	143.18 - 224.44	143.18 - 224.44	143.18 - 224.44	143.18 - 224.44
C		433.06 - 547.02	282.40 - 432.51	282.40 - 356.28	224.50 - 282.32	224.50 - 282.32	224.50 - 282.32	224.50 - 282.32
D			433.06 - 547.02	356.48 - 432.51	282.40 - 356.28	282.40 - 356.28	282.40 - 356.28	282.40 - 317.75
E				433.06 - 547.02	356.48 - 432.51	356.48 - 432.51	356.48 - 395.23	317.83 - 356.28
F					433.06 -547.02	433.06 - 484.22	395.70 - 432.51	356.48 - 395.23
G						487.01 - 547.02	433.06 - 484.22	395.70 - 432.51
H							487.01 - 547.02	433.06 - 484.22
I								487.01 - 547.02

Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση για την κλιματική ζώνη C (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	136.05 - 411.53	136.05 - 303.16	136.05 - 303.16	136.05 - 197.55	136.05 - 197.55	136.05 - 197.55	136.05 - 197.55	136.05 - 141.10
B	411.85 - 593.35	303.23 - 411.53	303.23 - 411.53	197.63 - 303.16	197.63 - 303.16	197.63 - 303.16	197.63 - 255.40	144.83 - 197.55
C		411.85 - 593.35	411.85 - 484.22	303.23 - 411.53	303.23 - 411.53	303.23 - 361.61	255.45 - 303.16	197.63 - 255.40
D			484.75 - 593.35	411.85 - 484.22	411.85 - 484.22	361.88 - 411.53	303.23 - 361.61	255.45 - 303.16
E				484.75 - 593.35	484.75 - 556.71	411.85 - 484.22	361.88 - 411.53	303.23 - 361.61
F					563.28 - 593.35	484.75 - 556.71	411.85 - 484.22	361.88 - 411.53
G						563.28 - 593.35	484.75 - 556.71	411.85 - 484.22
H							563.28 - 593.35	484.75 - 556.71
I								563.28 - 593.35

Πίνακας 5: Κατάταξη με βάση την Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης εφαρμόζοντας Hierarchical Clustering.

Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης για την κλιματική ζώνη A (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	0.00 - 68.40	0.00 - 68.40	0.00 - 68.40	0.00 - 36.10	0.00 - 36.10	0.00 - 36.10	0.00 - 10.50	0.00 - 10.50
B	68.50 - 199.00	68.50 - 116.80	68.50 - 116.80	36.20 - 68.40	36.20 - 68.40	36.20 - 68.40	10.60 - 36.10	10.60 - 36.10
C		117.00 - 199.00	117.00 - 153.20	68.50 - 116.80	68.50 - 91.80	68.50 - 91.80	36.20 - 68.40	36.20 - 53.90
D			153.70 - 199.00	117.00 - 153.20	92.00 - 116.80	92.00 - 116.80	68.50 - 91.80	54.00 - 68.40
E				153.70 - 199.00	117.00 - 153.20	117.00 - 153.20	92.00 - 116.80	68.50 - 91.80
F					153.70 - 199.00	153.70 - 176.60	117.00 - 153.20	92.00 - 116.80
G						178.80 - 199.00	153.70 - 176.60	117.00 - 153.20
H							178.80 - 199.00	153.70 - 176.60
I								178.80 - 199.00

Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης για την κλιματική ζώνη B (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	0.00 - 69.80	0.00 - 69.80	0.00 - 69.80	0.00 - 69.80	0.00 - 69.80	0.00 - 41.80	0.00 - 41.80	0.00 - 21.40
B	69.90 - 234.90	69.90 - 133.50	69.90 - 133.50	69.90 - 100.50	69.90 - 100.50	41.90 - 69.80	41.90 - 69.80	21.50 - 41.80
C		133.70 - 234.90	133.70 - 204.80	101.00 - 133.50	101.00 - 133.50	69.90 - 100.50	69.90 - 100.50	41.90 - 69.80
D			207.50 - 234.90	133.70 - 204.80	133.70 - 157.90	101.00 - 133.50	101.00 - 133.50	69.90 - 100.50
E				207.50 - 234.90	158.40 - 204.80	133.70 - 157.90	133.70 - 157.90	101.00 - 133.50
F					207.50 - 234.90	158.40 - 204.80	158.40 - 204.80	133.70 - 157.90
G						207.50 - 234.90	207.50 - 218.60	158.40 - 204.80
H							234.90 - 234.90	207.50 - 218.60
I								234.90 - 234.90

Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης για την κλιματική ζώνη C (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	0.00 - 111.80	0.00 - 111.80	0.00 - 111.80	0.00 - 68.40	0.00 - 68.40	0.00 - 68.40	0.00 - 10.70	0.00 - 10.70
B	111.90 - 315.50	111.90 - 192.20	111.90 - 192.20	68.50 - 111.80	68.50 - 111.80	68.50 - 111.80	10.80 - 68.40	10.8 - 68.40
C		192.40 - 315.50	192.40 - 262.10	111.90 - 192.20	111.90 - 150.90	111.90 - 150.90	68.50 - 111.80	68.50 - 111.80
D			263.90 - 315.50	192.40 - 262.10	151.00 - 192.20	151.00 - 192.20	111.90 - 150.90	111.90 - 150.90
E				263.90 - 315.50	192.40 - 262.10	192.40 - 262.10	151.00 - 192.20	151.00 - 192.20
F					263.90 - 315.50	263.90 - 292.00	192.40 - 262.10	192.40 - 222.30
G						315.50 - 315.50	263.90 - 292.00	222.90 - 262.10
H							315.50 - 315.50	263.90 - 292.00
I								315.50 - 315.50

Πίνακας 6: Κατάταξη με βάση την Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης εφαρμόζοντας Hierarchical Clustering.

Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης για την κλιματική ζώνη A (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	32.50 - 228.40	32.50 - 228.40	32.50 - 138.80	32.50 - 138.80	32.50 - 82.90	32.50 - 82.90	32.50 - 82.90	32.50 - 82.90
B	229.90 - 359.40	229.90 - 302.50	138.90 - 228.40	138.90 - 184.10	83.00 - 138.80	83.00 - 138.80	83.00 - 138.80	83.00 - 113.60
C		319.40 - 359.40	229.90 - 302.50	184.40 - 228.40	138.90 - 184.10	138.90 - 184.10	138.90 - 184.10	113.70 - 138.80
D			319.40 - 359.40	229.90 - 302.50	184.40 - 228.40	184.40 - 228.40	184.40 - 228.40	138.90 - 184.10
E				319.40 - 359.40	229.90 - 302.50	229.90 - 302.50	229.90 - 260.80	184.40 - 228.40
F					319.40 - 359.40	319.40 - 319.40	264.10 - 302.50	229.90 - 260.80
G						359.40 - 359.40	319.40 - 319.40	264.10 - 302.50
H							359.40 - 359.40	319.40 - 319.40
I								359.40 - 359.40

Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης για την κλιματική ζώνη B (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	33.80 - 236.70	33.80 - 236.70	33.80 - 149.40	33.80 - 149.40	33.80 - 93.10	33.80 - 93.10	33.80 - 93.10	33.80 - 93.10
B	238.80 - 352.80	238.80 - 301.70	149.50 - 236.70	149.50 - 195.50	93.20 - 149.40	93.20 - 149.40	93.20 - 116.60	93.20 - 116.60
C		325.90 - 352.80	238.80 - 301.70	195.90 - 236.70	149.50 - 195.50	149.50 - 195.50	116.70 - 149.40	116.70 - 149.40
D			325.90 - 352.80	238.80 - 301.70	195.90 - 236.70	195.90 - 236.70	149.50 - 195.50	149.50 - 195.50
E				325.90 - 352.80	238.80 - 301.70	238.80 - 262.00	195.90 - 236.70	195.90 - 236.70
F					325.90 - 352.80	266.40 - 301.70	238.80 - 262.00	238.80 - 262.00
G						325.90 - 352.80	266.40 - 301.70	266.40 - 301.70
H							325.90 - 352.80	325.90 - 325.90
I								352.80 - 352.80

Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης για την κλιματική ζώνη C (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	28.90 - 180.40	28.90 - 180.40	28.90 - 95.50	28.90 - 95.50	28.90 - 95.50	28.90 - 58.30	28.90 - 58.30	28.90 - 58.30
B	180.90 - 306.10	180.90 - 256.50	95.60 - 180.40	95.60 - 142.40	95.60 - 142.40	58.40 - 95.50	58.40 - 95.50	58.40 - 95.50
C		287.50 - 306.10	180.90 - 256.50	142.60 - 180.40	142.60 - 180.40	95.60 - 142.40	95.60 - 142.40	95.60 - 119.90
D			287.50 - 306.10	180.90 - 256.50	180.90 - 214.60	142.60 - 180.40	142.60 - 180.40	120.00 - 142.40
E				287.50 - 306.10	216.30 - 256.50	180.90 - 214.60	180.90 - 214.60	142.60 - 180.40
F					287.50 - 306.10	216.30 - 256.50	216.30 - 238.70	180.90 - 214.60
G						287.50 - 306.10	242.70 - 256.50	216.30 - 238.70
H							287.50 - 306.10	242.70 - 256.50
I								287.50 - 306.10

Πίνακας 7: Κατάταξη με βάση την ποιότητα του Εσωτερικού Περιβάλλοντος εφαρμόζοντας Hierarchical Clustering.

Μέσος Χρόνος για τον οποίο -0.7<PMV<+0.7 για την κλιματική ζώνη A (%)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	92.11 - 29.53	92.11 - 69.34	92.11 - 69.34	92.11 - 69.34	92.11 - 82.93	92.11 - 82.93	92.11 - 82.93	92.11 - 82.93
B	29.10 - 0.66	69.31 - 29.53	69.31 - 50.56	69.31 - 50.56	82.91 - 69.34	82.91 - 69.34	82.91 - 69.34	82.91 - 69.34
C		29.10 - 0.66	50.53 - 29.53	50.53 - 29.53	69.31 - 50.56	69.31 - 61.62	69.31 - 61.62	69.31 - 61.62
D			29.10 - 0.66	29.10 - 19.47	50.53 - 29.53	61.60 - 50.56	61.60 - 50.56	61.60 - 50.56
E				18.63 - 0.66	29.10 - 19.47	50.53 - 29.53	50.53 - 29.53	50.53 - 41.91
F					18.63 - 0.66	29.10 - 19.47	29.10 - 19.47	41.88 - 29.53
G						18.63 - 0.66	18.63 - 7.64	29.10 - 19.47
H							6.51 - 0.66	18.63 - 7.64
I								6.51 - 0.66

Μέσος Χρόνος για τον οποίο -0.7<PMV<+0.7 για την κλιματική ζώνη B (%)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	92.11 - 28.85	92.11 - 67.88	92.11 - 67.88	92.11 - 67.88	92.11 - 83.31	92.11 - 83.31	92.11 - 83.31	92.11 - 83.31
B	28.27 - 1.03	67.85 - 28.85	67.85 - 46.07	67.85 - 46.07	83.26 - 67.88	83.26 - 67.88	83.26 - 75.85	83.26 - 75.85
C		28.27 - 1.03	46.04 - 28.85	46.04 - 28.85	67.85 - 46.07	67.85 - 58.95	75.82 - 67.88	75.82 - 67.88
D			28.27 - 1.03	28.27 - 13.36	46.04 - 28.85	58.93 - 46.07	67.85 - 58.95	67.85 - 58.95
E				12.08 - 1.03	28.27 - 13.36	46.04 - 28.85	58.93 - 46.07	58.93 - 46.07
F					12.08 - 1.03	28.27 - 13.36	46.04 - 28.85	46.04 - 28.85
G						12.08 - 1.03	28.27 - 13.36	28.27 - 23.53
H							12.08 - 1.03	22.64 - 13.36
I								12.08 - 1.03

Μέσος Χρόνος για τον οποίο -0.7<PMV<+0.7 για την κλιματική ζώνη C (%)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	92.11 - 82.30	92.11 - 82.30	92.11 - 82.30	92.11 - 82.30	92.11 - 82.30	92.11 - 82.30	92.11 - 82.30	92.11 - 82.30
B	82.25 - 3.45	82.25 - 46.95	82.25 - 46.95	82.25 - 63.87	82.25 - 63.87	82.25 - 63.87	82.25 - 74.31	82.25 - 74.31
C		46.90 - 3.45	46.90 - 22.79	63.84 - 46.95	63.84 - 46.95	63.84 - 46.95	74.26 - 63.87	74.26 - 63.87
D			21.08 - 3.45	46.90 - 22.79	46.90 - 22.79	46.90 - 40.34	63.84 - 46.95	63.84 - 56.86
E				21.08 - 3.45	21.08 - 12.38	40.32 - 22.79	46.90 - 40.34	56.83 - 46.95
F					3.45 - 3.45	21.08 - 12.38	40.32 - 22.79	46.90 - 40.34
G						3.45 - 3.45	21.08 - 12.38	40.32 - 22.79
H							3.45 - 3.45	21.08 - 12.38
I								3.45 - 3.45

3.3 Αποτελέσματα Neural SOM Clustering

Πίνακας 8: Κατάταξη με βάση τη Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση εφαρμόζοντας Neural SOM Clustering.

Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση για την κλιματική ζώνη A (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	125.42 - 273.39	125.42 - 236.84	125.42 - 221.76	125.42 - 207.21	125.42 - 196.50	125.42 - 188.42	125.42 - 183.34	125.42 - 179.89
B	273.43 - 503.68	236.89 - 312.80	221.78 - 279.85	207.26 - 254.58	196.59 - 237.49	188.56 - 225.43	183.38 - 216.31	179.93 - 210.08
C		312.83 - 503.68	279.88 - 344.55	254.60 - 301.83	237.54 - 276.53	225.48 - 258.51	216.32 - 246.21	210.18 - 236.63
D			344.59 - 503.68	301.91 - 360.66	276.58 - 318.49	258.54 - 291.75	246.25 - 276.29	236.68 - 262.46
E				360.79 - 503.68	318.53 - 372.93	291.79 - 329.96	276.32 - 308.45	262.48 - 289.59
F					373.23 - 503.68	329.98 - 381.91	308.45 - 345.19	289.61 - 319.42
G						382.29 - 503.68	345.24 - 393.62	319.46 - 354.58
H							393.72 - 503.68	354.71 - 401.99
I								402.31 - 503.68

Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση για την κλιματική ζώνη B (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	125.79 - 289.48	125.79 - 249.48	125.79 - 231.06	125.79 - 218.92	125.79 - 207.30	125.79 - 202.30	125.79 - 192.26	125.79 - 189.93
B	289.51 - 547.02	249.52 - 330.13	231.09 - 291.78	218.94 - 268.73	207.33 - 249.56	202.39 - 242.04	192.30 - 226.99	190.03 - 222.31
C		330.26 - 547.02	291.83 - 361.29	268.78 - 318.34	249.56 - 289.95	242.05 - 278.15	227.08 - 258.34	222.33 - 251.36
D			361.49 - 547.02	318.48 - 380.68	289.95 - 334.50	278.22 - 314.86	258.36 - 289.82	251.39 - 280.14
E				380.74 - 547.02	334.57 - 392.74	314.95 - 355.94	289.86 - 324.36	280.17 - 309.84
F					392.89 - 547.02	355.99 - 409.43	324.38 - 364.55	309.85 - 341.96
G						409.62 - 547.02	364.58 - 417.24	342.03 - 380.89
H							417.48 - 547.02	380.96 - 433.51
I								433.83 - 547.02

Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση για την κλιματική ζώνη C (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	136.05 - 309.13	136.05 - 267.28	136.05 - 242.14	136.05 - 230.68	136.05 - 218.12	136.05 - 209.20	136.05 - 205.30	136.05 - 200.73
B	309.19 - 593.35	267.33 - 360.63	242.21 - 307.39	230.72 - 284.53	218.15 - 263.75	209.25 - 249.56	205.48 - 243.50	200.78 - 234.58
C		360.78 - 593.35	307.45 - 387.49	284.58 - 340.14	263.84 - 308.73	249.62 - 287.63	243.53 - 278.13	234.62 - 264.09
D			387.73 - 593.35	340.18 - 411.53	308.76 - 361.61	287.65 - 328.53	278.16 - 313.74	264.13 - 293.46
E				411.85 - 593.35	361.88 - 429.94	328.61 - 377.53	313.75 - 352.86	293.48 - 325.36
F					430.01 - 593.35	377.58 - 442.12	352.91 - 398.23	325.58 - 362.33
G						442.38 - 593.35	398.29 - 456.38	362.39 - 407.23
H							456.56 - 593.35	407.41 - 465.06
I								466.23 - 593.35

Πίνακας 9: Κατάταξη με βάση την Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης εφαρμόζοντας Neural SOM Clustering.

Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης για την κλιματική ζώνη A (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	0.00 - 63.40	0.00 - 34.20	0.00 - 24.80	0.00 - 19.90	0.00 - 16.10	0.00 - 13.30	0.00 - 12.00	0.00 - 10.10
B	63.50 - 199.00	34.30 - 82.10	24.90 - 54.10	20.00 - 41.40	16.20 - 32.50	13.40 - 27.20	12.10 - 24.70	10.20 - 20.90
C		82.20 - 199.00	54.20 - 99.00	41.50 - 72.10	32.60 - 52.50	27.30 - 42.10	24.80 - 37.20	21.00 - 30.90
D			99.30 - 199.00	72.20 - 113.50	52.60 - 81.20	42.20 - 63.00	37.30 - 53.30	31.00 - 42.30
E				113.60 - 199.00	81.30 - 118.80	63.20 - 91.80	53.40 - 74.90	42.40 - 57.20
F					118.90 - 199.00	92.00 - 126.30	75.10 - 100.90	57.30 - 77.90
G						126.40 - 199.00	101.10 - 131.30	78.00 - 103.20
H							131.80 - 199.00	103.40 - 132.70
I								132.90 - 199.00

Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης για την κλιματική ζώνη B (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	0.00 - 77.10	0.00 - 45.10	0.00 - 32.90	0.00 - 25.60	0.00 - 21.80	0.00 - 17.70	0.00 - 16.80	0.00 - 15.10
B	77.20 - 234.90	45.20 - 100.50	33.00 - 67.60	25.70 - 49.20	21.90 - 41.80	17.80 - 34.10	16.90 - 32.10	15.20 - 28.90
C		101.00 - 234.90	67.70 - 119.50	49.30 - 82.80	41.90 - 66.50	34.20 - 51.10	32.20 - 47.10	29.00 - 41.20
D			119.70 - 234.90	82.90 - 130.10	66.70 - 100.40	51.20 - 74.80	47.20 - 66.90	41.30 - 55.10
E				130.20 - 234.90	100.50 - 141.80	74.90 - 107.10	67.00 - 92.60	55.20 - 73.40
F					141.90 - 234.90	107.20 - 146.00	92.70 - 121.60	73.50 - 97.60
G						146.20 - 234.90	121.70 - 155.00	97.70 - 125.80
H							155.20 - 234.90	125.90 - 157.70
I								157.80 - 234.90

Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης για την κλιματική ζώνη C (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	0.00 - 111.30	0.00 - 71.40	0.00 - 54.20	0.00 - 45.60	0.00 - 38.60	0.00 - 32.00	0.00 - 27.10	0.00 - 25.80
B	111.40 - 315.50	71.50 - 144.70	54.30 - 102.30	45.70 - 78.90	38.70 - 64.50	32.10 - 54.30	27.20 - 46.70	25.90 - 44.50
C		144.80 - 315.50	102.50 - 169.60	79.00 - 126.70	64.60 - 99.60	54.40 - 79.60	46.80 - 65.60	44.60 - 61.60
D			169.90 - 315.50	126.80 - 186.60	99.70 - 145.90	79.70 - 114.20	65.70 - 90.80	61.70 - 82.20
E				186.70 - 315.50	146.10 - 198.30	114.30 - 156.50	90.90 - 124.10	82.30 - 108.30
F					198.40 - 315.50	156.60 - 204.30	124.20 - 163.00	108.40 - 139.40
G						204.50 - 315.50	163.20 - 207.30	139.50 - 174.10
H							207.60 - 315.50	174.50 - 214.70
I								215.10 - 315.50

Πίνακας 10: Κατάταξη με βάση την Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης εφαρμόζοντας Neural SOM Clustering.

Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης για την κλιματική ζώνη A (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	32.50 - 117.10	32.50 - 97.20	32.50 - 85.30	32.50 - 76.80	32.50 - 72.10	32.50 - 66.90	32.50 - 63.40	32.50 - 59.70
B	117.20 - 359.40	97.30 - 149.40	85.40 - 123.60	76.90 - 107.90	72.20 - 98.20	67.00 - 89.00	63.50 - 83.40	59.80 - 77.60
C		149.50 - 359.40	123.70 - 171.80	108.00 - 141.40	98.30 - 124.90	89.10 - 110.50	83.50 - 102.80	77.70 - 94.90
D			171.90 - 359.40	141.50 - 187.90	125.00 - 155.40	110.60 - 134.00	102.90 - 123.40	95.00 - 112.90
E				188.00 - 359.40	155.50 - 201.00	134.10 - 161.90	123.50 - 146.50	113.00 - 132.30
F					201.20 - 359.40	162.00 - 203.90	146.60 - 174.50	132.40 - 154.50
G						205.50 - 359.40	174.60 - 217.80	154.60 - 183.40
H							218.20 - 359.40	183.70 - 226.00
I								226.50 - 359.40

Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης για την κλιματική ζώνη B (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	33.80 - 118.30	33.80 - 97.90	33.80 - 88.40	33.80 - 78.90	33.80 - 73.90	33.80 - 69.40	33.80 - 66.90	33.80 - 64.50
B	118.40 - 352.80	98.00 - 147.10	88.50 - 125.80	79.00 - 108.20	74.00 - 98.80	69.50 - 90.80	67.00 - 86.80	64.60 - 82.40
C		147.20 - 352.80	125.90 - 173.30	108.30 - 140.40	98.90 - 124.20	90.90 - 112.00	86.90 - 105.90	82.50 - 99.00
D			173.40 - 352.80	140.50 - 186.10	124.30 - 153.00	112.10 - 134.90	106.00 - 125.60	99.10 - 116.00
E				186.20 - 352.80	153.10 - 197.00	135.00 - 162.00	125.70 - 147.40	116.10 - 134.60
F					197.10 - 352.80	162.10 - 203.70	147.50 - 174.90	134.70 - 155.70
G						204.70 - 352.80	175.00 - 217.70	155.90 - 183.50
H							218.20 - 352.80	183.60 - 225.50
I								225.80 - 352.80

Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης για την κλιματική ζώνη C (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	28.90 - 104.40	28.90 - 86.30	28.90 - 77.00	28.90 - 70.40	28.90 - 64.80	28.90 - 61.10	28.90 - 59.00	28.90 - 56.50
B	104.50 - 306.10	86.40 - 129.10	77.10 - 108.70	70.50 - 96.60	64.90 - 86.60	61.20 - 80.30	59.10 - 76.60	56.60 - 72.20
C		129.20 - 306.10	108.80 - 147.70	96.70 - 125.00	86.70 - 108.90	80.40 - 99.30	76.70 - 93.40	72.30 - 86.80
D			147.80 - 306.10	125.10 - 163.40	109.00 - 134.00	99.40 - 119.90	93.50 - 111.00	86.90 - 101.90
E				163.60 - 306.10	134.10 - 170.10	120.00 - 143.80	111.10 - 130.70	102.00 - 118.20
F					170.50 - 306.10	143.90 - 179.60	130.80 - 154.60	118.30 - 136.10
G						180.10 - 306.10	154.80 - 189.90	136.20 - 158.40
H							190.20 - 306.10	158.50 - 191.40
I								192.90 - 306.10

Πίνακας 11: Κατάταξη με βάση την ποιότητα του Εσωτερικού Περιβάλλοντος εφαρμόζοντας Neural SOM Clustering.

Μέσος Χρόνος για τον οποίο -0.7<PMV<+0.7 για την κλιματική ζώνη A (%)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	92.11 - 66.09	92.11 - 77.00	92.11 - 81.04	92.11 - 82.55	92.11 - 82.96	92.11 - 85.02	92.11 - 85.83	92.11 - 87.39
B	66.06 - 0.66	76.98 - 55.55	81.01 - 66.87	82.53 - 70.27	82.93 - 71.31	85.00 - 75.87	85.80 - 77.43	87.37 - 80.58
C		55.52 - 0.66	66.84 - 50.86	70.25 - 57.51	71.28 - 60.01	75.84 - 67.30	77.41 - 69.54	80.56 - 73.63
D			50.83 - 0.66	57.49 - 43.72	59.98 - 48.01	67.27 - 57.51	69.52 - 61.62	73.60 - 66.89
E				43.70 - 0.66	47.98 - 31.90	57.49 - 46.44	61.60 - 52.85	66.87 - 59.20
F					31.87 - 0.66	46.42 - 30.74	52.82 - 43.72	59.18 - 50.50
G						30.51 - 0.66	43.70 - 29.70	50.48 - 41.91
H							29.53 - 0.66	41.88 - 27.76
I								27.69 - 0.66

Μέσος Χρόνος για τον οποίο -0.7<PMV<+0.7 για την κλιματική ζώνη B (%)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	92.11 - 64.62	92.11 - 74.76	92.11 - 79.48	92.11 - 81.04	92.11 - 82.22	92.11 - 84.90	92.11 - 85.17	92.11 - 85.58
B	64.60 - 1.03	74.74 - 53.18	79.43 - 64.65	81.01 - 68.31	82.20 - 71.31	84.87 - 76.22	85.15 - 76.65	85.55 - 77.38
C		53.13 - 1.03	64.62 - 48.79	68.28 - 56.83	71.28 - 62.15	76.20 - 67.95	76.63 - 68.63	77.36 - 69.79
D			48.76 - 1.03	56.81 - 44.05	62.13 - 51.97	67.93 - 59.78	68.61 - 61.07	69.77 - 63.09
E				44.02 - 1.03	51.92 - 40.54	59.76 - 50.00	61.04 - 52.57	63.06 - 56.51
F					40.49 - 1.03	49.97 - 39.01	52.55 - 42.74	56.48 - 48.94
G						38.98 - 1.03	42.71 - 28.27	48.89 - 40.54
H							28.04 - 1.03	40.49 - 27.36
I								27.23 - 1.03

Μέσος Χρόνος για τον οποίο -0.7<PMV<+0.7 για την κλιματική ζώνη C (%)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	92.11 - 62.81	92.11 - 69.94	92.11 - 76.48	92.11 - 79.48	92.11 - 80.94	92.11 - 82.43	92.11 - 83.61	92.11 - 85.55
B	62.78 - 3.45	69.92 - 48.21	76.45 - 60.97	79.45 - 66.19	80.91 - 69.19	82.40 - 72.21	83.59 - 74.48	85.50 - 77.81
C		48.18 - 3.45	60.94 - 45.26	66.16 - 55.24	69.16 - 59.51	72.19 - 63.49	74.46 - 66.49	77.76 - 70.30
D			45.21 - 3.45	55.22 - 42.61	59.48 - 50.40	63.46 - 55.70	66.46 - 59.58	70.27 - 63.64
E				42.59 - 3.45	50.38 - 39.54	55.67 - 47.05	59.56 - 53.25	63.62 - 57.59
F					39.51 - 3.45	47.02 - 37.17	53.23 - 45.51	57.56 - 51.49
G						37.12 - 3.45	45.49 - 36.43	51.46 - 43.82
H							36.38 - 3.45	43.80 - 35.17
I								35.15 - 3.45

3.4 Αποτελέσματα Fuzzy C-Means Clustering

Πίνακας 12: Κατάταξη με βάση τη Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση εφαρμόζοντας Fuzzy C-means Clustering.

Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση για την κλιματική ζώνη A (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	125.42 - 271.83	125.42 - 235.44	125.42 - 218.53	125.42 - 204.94	125.42 - 195.13	125.42 - 188.20	125.42 - 184.10	125.42 - 179.25
B	271.85 - 503.68	235.48 - 311.83	218.56 - 276.36	204.98 - 252.25	195.16 - 236.54	188.23 - 225.31	184.12 - 218.35	179.28 - 209.71
C		311.84 - 503.68	276.39 - 340.42	252.26 - 299.41	236.59 - 275.66	225.33 - 258.74	218.43 - 249.11	209.72 - 236.59
D			340.43 - 503.68	299.45 - 357.89	275.68 - 317.31	258.76 - 292.31	249.12 - 279.08	236.63 - 262.65
E				357.96 - 503.68	317.34 - 371.02	292.33 - 330.13	279.15 - 310.39	262.71 - 289.55
F					371.11 - 503.68	330.18 - 380.37	310.43 - 345.59	289.58 - 318.76
G						380.48 - 503.68	345.76 - 392.71	318.81 - 352.86
H							392.86 - 503.68	352.99 - 399.04
I								399.08 - 503.68

Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση για την κλιματική ζώνη B (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	125.79 - 287.52	125.79 - 247.88	125.79 - 229.19	125.79 - 216.92	125.79 - 205.71	125.79 - 200.86	125.79 - 191.68	125.79 - 189.54
B	287.58 - 547.02	247.95 - 329.09	229.21 - 289.76	216.93 - 266.50	205.73 - 247.88	200.88 - 240.44	191.78 - 226.00	189.63 - 222.21
C		329.21 - 547.02	289.82 - 358.76	266.55 - 316.33	247.95 - 287.98	240.45 - 276.41	226.02 - 256.99	222.23 - 251.41
D			358.80 - 547.02	316.35 - 378.13	288.05 - 332.28	276.50 - 312.78	257.01 - 288.40	251.49 - 280.24
E				378.19 - 547.02	332.28 - 389.29	312.87 - 353.23	288.44 - 322.85	280.28 - 309.75
F					389.33 - 547.02	353.26 - 405.31	322.93 - 362.54	309.84 - 341.11
G						405.50 - 547.02	362.69 - 413.62	341.27 - 378.51
H							413.79 - 547.02	378.58 - 428.83
I								428.95 - 547.02

Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση για την κλιματική ζώνη C (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	136.05 - 307.45	136.05 - 263.47	136.05 - 239.69	136.05 - 227.96	136.05 - 216.10	136.05 - 208.41	136.05 - 205.30	136.05 - 201.03
B	307.48 - 593.35	263.50 - 357.35	239.69 - 304.98	227.99 - 281.89	216.13 - 261.69	208.49 - 248.69	205.48 - 243.48	201.08 - 235.46
C		357.39 - 593.35	305.05 - 385.63	281.91 - 338.23	261.73 - 306.83	248.71 - 286.55	243.49 - 277.82	235.48 - 265.19
D			385.69 - 593.35	338.26 - 410.08	306.86 - 359.56	286.61 - 326.76	277.93 - 313.23	265.23 - 294.93
E				410.14 - 593.35	359.64 - 426.39	326.81 - 374.74	313.28 - 352.73	294.96 - 327.15
F					426.48 - 593.35	374.79 - 437.23	352.76 - 398.48	327.29 - 363.99
G						437.58 - 593.35	398.58 - 455.41	364.02 - 407.79
H							455.69 - 593.35	407.85 - 463.05
I								463.54 - 593.35

Πίνακας 13: Κατάταξη με βάση την Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης εφαρμόζοντας Fuzzy C-means Clustering.

Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης για την κλιματική ζώνη A (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	0.00 - 63.00	0.00 - 32.10	0.00 - 23.50	0.00 - 18.40	0.00 - 15.40	0.00 - 13.70	0.00 - 11.50	0.00 - 9.80
B	63.20 - 199.00	32.20 - 81.70	23.60 - 52.70	18.50 - 38.80	15.50 - 32.10	13.80 - 28.60	11.60 - 24.30	9.90 - 21.00
C		81.80 - 199.00	52.80 - 99.00	38.90 - 68.90	32.20 - 52.50	28.70 - 44.80	24.40 - 36.80	21.10 - 31.20
D			99.30 - 199.00	69.00 - 111.70	52.60 - 82.50	44.90 - 67.20	36.90 - 53.10	31.30 - 42.50
E				111.90 - 199.00	82.70 - 120.60	67.30 - 95.80	53.20 - 75.20	42.60 - 57.70
F					120.80 - 199.00	96.00 - 128.80	75.30 - 102.00	57.80 - 78.70
G						128.90 - 199.00	102.10 - 132.60	78.80 - 104.50
H							132.70 - 199.00	104.80 - 134.30
I								134.40 - 199.00

Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης για την κλιματική ζώνη B (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	0.00 - 77.10	0.00 - 42.00	0.00 - 31.60	0.00 - 24.50	0.00 - 20.90	0.00 - 17.10	0.00 - 16.00	0.00 - 14.20
B	77.20 - 234.90	42.10 - 98.90	31.70 - 66.50	24.60 - 48.00	21.00 - 40.90	17.20 - 33.60	16.10 - 31.60	14.30 - 28.20
C		99.00 - 234.90	66.70 - 119.80	48.10 - 82.90	41.00 - 65.90	33.70 - 50.20	31.70 - 46.60	28.30 - 40.50
D			120.00 - 234.90	83.00 - 132.00	66.00 - 101.00	50.30 - 74.00	46.70 - 66.70	40.60 - 54.40
E				132.10 - 234.90	101.10 - 143.40	74.10 - 107.40	66.80 - 92.90	54.50 - 73.20
F					143.50 - 234.90	107.50 - 147.30	93.10 - 122.80	73.30 - 97.80
G						147.40 - 234.90	122.90 - 155.90	98.00 - 126.40
H							156.20 - 234.90	126.50 - 158.40
I								158.60 - 234.90

Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης για την κλιματική ζώνη C (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	0.00 - 111.30	0.00 - 66.00	0.00 - 52.40	0.00 - 44.30	0.00 - 37.30	0.00 - 31.70	0.00 - 26.90	0.00 - 25.70
B	111.40 - 315.50	66.10 - 140.50	52.50 - 100.70	44.40 - 76.40	37.40 - 62.30	31.80 - 54.00	27.00 - 46.80	25.80 - 44.90
C		140.60 - 315.50	100.80 - 169.90	76.50 - 124.90	62.40 - 97.20	54.10 - 79.40	46.90 - 65.90	45.00 - 62.30
D			170.00 - 315.50	125.00 - 186.40	97.30 - 144.90	79.50 - 114.60	66.00 - 91.60	62.40 - 84.10
E				186.50 - 315.50	145.00 - 198.40	114.70 - 157.90	91.70 - 126.00	84.20 - 112.90
F					198.50 - 315.50	158.10 - 205.20	126.10 - 165.40	113.00 - 146.60
G						205.30 - 315.50	165.50 - 209.20	146.70 - 181.50
H							209.40 - 315.50	181.60 - 219.30
I								219.50 - 315.50

Πίνακας 14: Κατάταξη με βάση την Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης εφαρμόζοντας Fuzzy C-means Clustering.

Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης για την κλιματική ζώνη A (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	32.50 - 115.50	32.50 - 93.70	32.50 - 82.50	32.50 - 75.20	32.50 - 70.20	32.50 - 65.90	32.50 - 63.30	32.50 - 59.40
B	115.60 - 359.40	93.80 - 144.10	82.60 - 119.90	75.30 - 105.70	70.30 - 96.00	66.00 - 88.00	63.40 - 83.50	59.50 - 77.30
C		144.20 - 359.40	120.00 - 165.50	105.80 - 138.60	96.10 - 122.40	88.10 - 109.60	83.60 - 102.90	77.40 - 94.50
D			165.60 - 359.40	138.70 - 183.80	122.50 - 152.00	109.70 - 132.80	103.00 - 123.40	94.60 - 112.00
E				183.90 - 359.40	152.10 - 195.60	132.90 - 160.20	123.50 - 145.60	112.10 - 130.60
F					195.90 - 359.40	160.30 - 202.30	145.70 - 172.00	130.70 - 151.80
G						202.60 - 359.40	172.10 - 213.30	151.90 - 178.50
H							213.40 - 359.40	178.60 - 219.40
I								220.10 - 359.40

Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης για την κλιματική ζώνη B (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	33.80 - 117.00	33.80 - 95.80	33.80 - 85.30	33.80 - 78.00	33.80 - 72.60	33.80 - 68.80	33.80 - 66.30	33.80 - 64.00
B	117.10 - 352.80	95.90 - 143.80	85.40 - 121.30	78.10 - 107.20	72.70 - 97.20	68.90 - 90.40	66.40 - 85.90	64.10 - 81.90
C		143.90 - 352.80	121.40 - 165.00	107.30 - 138.70	97.30 - 122.50	90.50 - 111.70	86.00 - 104.60	82.00 - 98.70
D			165.10 - 352.80	138.80 - 181.60	122.60 - 150.90	111.80 - 134.60	104.70 - 123.90	98.80 - 115.90
E				181.70 - 352.80	151.00 - 192.30	134.70 - 160.90	124.00 - 145.10	116.00 - 134.40
F					192.50 - 352.80	161.00 - 201.10	145.20 - 170.80	134.50 - 154.90
G						201.40 - 352.80	170.90 - 211.00	155.00 - 181.00
H							211.10 - 352.80	181.10 - 221.40
I								222.00 - 352.80

Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης για την κλιματική ζώνη C (kWh/m^2/έτος)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	28.90 - 103.30	28.90 - 84.50	28.90 - 74.60	28.90 - 68.80	28.90 - 63.70	28.90 - 60.50	28.90 - 58.50	28.90 - 56.40
B	103.40 - 306.10	84.60 - 126.50	74.70 - 105.80	68.90 - 94.50	63.80 - 85.20	60.60 - 79.40	58.60 - 75.80	56.50 - 72.10
C		126.60 - 306.10	105.90 - 142.40	94.60 - 122.20	85.30 - 107.30	79.50 - 98.00	75.90 - 92.20	72.20 - 86.70
D			142.60 - 306.10	122.30 - 158.10	107.40 - 132.00	98.10 - 117.80	92.30 - 109.10	86.80 - 101.80
E				158.20 - 306.10	132.10 - 166.40	117.90 - 140.10	109.20 - 127.60	101.90 - 117.90
F					166.60 - 306.10	140.20 - 173.30	127.70 - 149.10	118.00 - 135.70
G						173.60 - 306.10	149.20 - 181.90	135.80 - 157.70
H							182.20 - 306.10	157.80 - 190.60
I								191.00 - 306.10

Πίνακας 15: Κατάταξη με βάση την ποιότητα του Εσωτερικού Περιβάλλοντος εφαρμόζοντας Fuzzy C-means Clustering.

Μέσος Χρόνος για τον οποίο -0.7<PMV<+0.7 για την κλιματική ζώνη A (%)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	92.11 - 66.29	92.11 - 77.31	92.11 - 81.11	92.11 - 82.83	92.11 - 83.43	92.11 - 85.40	92.11 - 86.16	92.11 - 87.34
B	66.26 - 0.66	77.28 - 55.35	81.09 - 66.52	82.80 - 70.42	83.41 - 71.76	85.38 - 76.05	86.13 - 77.64	87.32 - 80.11
C		55.32 - 0.66	66.49 - 50.68	70.40 - 57.77	71.74 - 60.62	76.02 - 67.35	76.61 - 69.47	80.08 - 72.90
D			50.66 - 0.66	57.74 - 44.66	60.59 - 48.74	67.32 - 57.36	69.44 - 61.37	72.87 - 66.24
E				44.63 - 0.66	48.71 - 34.57	57.34 - 46.29	61.35 - 52.40	66.21 - 58.70
F					34.54 - 0.66	46.27 - 31.19	52.37 - 43.34	58.67 - 49.95
G						31.14 - 0.66	43.32 - 28.52	49.92 - 41.68
H							28.47 - 0.66	41.65 - 27.31
I								26.85 - 0.66

Μέσος Χρόνος για τον οποίο -0.7<PMV<+0.7 για την κλιματική ζώνη B (%)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	92.11 - 64.73	92.11 - 75.11	92.11 - 79.80	92.11 - 81.29	92.11 - 82.58	92.11 - 85.17	92.11 - 85.53	92.11 - 86.13
B	64.70 - 1.03	75.09 - 52.98	79.78 - 64.73	81.27 - 68.28	82.55 - 71.33	85.15 - 76.30	85.50 - 76.95	86.11 - 78.19
C		52.95 - 1.03	64.70 - 48.69	68.26 - 56.81	71.31 - 62.10	76.27 - 67.95	76.93 - 68.94	78.16 - 70.88
D			48.66 - 1.03	56.78 - 44.23	62.08 - 51.97	67.93 - 59.91	68.91 - 61.55	70.85 - 64.62
E				44.18 - 1.03	51.92 - 41.10	59.88 - 50.40	61.52 - 53.68	64.60 - 58.62
F					41.07 - 1.03	50.38 - 40.14	53.63 - 44.98	58.60 - 51.49
G						40.12 - 1.03	44.96 - 36.64	51.46 - 43.47
H							36.61 - 1.03	43.44 - 35.80
I								35.78 - 1.03

Μέσος Χρόνος για τον οποίο -0.7<PMV<+0.7 για την κλιματική ζώνη C (%)								
Κατηγορία	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
A	92.11 - 62.53	92.11 - 70.60	92.11 - 76.70	92.11 - 79.98	92.11 - 81.24	92.11 - 82.75	92.11 - 84.32	92.11 - 85.00
B	62.51 - 3.45	70.58 - 48.13	76.65 - 60.77	79.93 - 66.36	81.22 - 68.96	82.73 - 72.14	84.27 - 75.14	84.97 - 76.35
C		48.11 - 3.45	60.74 - 44.86	66.34 - 55.35	68.94 - 59.05	72.11 - 63.19	75.11 - 66.77	76.32 - 68.10
D			44.83 - 3.45	55.32 - 42.46	59.03 - 49.80	63.16 - 55.47	66.74 - 59.58	68.08 - 61.04
E				42.41 - 3.45	49.77 - 38.93	55.45 - 46.82	59.56 - 53.13	61.02 - 54.97
F					38.91 - 3.45	46.80 - 36.94	53.10 - 45.03	54.94 - 48.39
G						36.91 - 3.45	45.01 - 35.83	48.36 - 40.70
H							35.80 - 3.45	40.67 - 33.31
I								33.26 - 3.45

Γενικά, οι αλγόριθμοι Fuzzy C-means και Neural SOM σε όλες τις παραμέτρους που ομαδοποιήθηκαν έδωσαν παρόμοιες διαμερίσεις με πολύ μικρές αποκλίσεις στα όρια των κατηγοριών. Ο Hierarchical διαφοροποιείται αρκετά από αυτούς και αυτό που θα πρέπει να επισημανθεί είναι ότι κάθε φορά που ο Hierarchical αυξάνει κατά ένα τα clusters της διαμέρισης (δηλαδή για παράδειγμα από τα 2 clusters στα 3, από τα 3 στα 4 κ.ο.κ.) αυτό που ουσιαστικά κάνει είναι να διασπάει περαιτέρω κάποιο cluster και τα υπόλοιπα να παραμένουν τα ίδια. Επιπλέον, σε κάποιες περιπτώσεις και για μεγάλο αριθμό clusters ο Hierarchical απομόνωνε μία τιμή σε ένα μόνο cluster. Βέβαια, όλα αυτά, είναι αναμενόμενα από τον τρόπο λειτουργίας του συγκεκριμένου αλγορίθμου και την διαδικασία κατασκευής των clusters, όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 2.

3.5 Ενεργειακή Κατάταξη των κτιρίων της VBD σύμφωνα με τα πρότυπα CEN-EPBD

Στις παρακάτω υποενότητες, παρουσιάζονται οι πίνακες με τα όρια των ενεργειακών κλάσεων που προκύπτουν εφαρμόζοντας την μεθοδολογία που προτείνει ο CEN για την ενεργειακή κατάταξη κτιρίων στην εικονική βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία (VBD). Αξίζει να σημειωθεί ότι ο CEN προτείνει μία μέθοδο ταξινόμησης με βάση την συνολική ενεργειακή κατανάλωση και δεν γίνεται ξεχωριστή αναφορά στις ενέργειες θέρμανσης και ψύξης. Στην παρούσα εργασία, η μεθοδολογία του CEN εφαρμόστηκε και για τις ενέργειες θέρμανσης και ψύξης για να υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισης και με τις άλλες μεθόδους και να διαπιστωθεί εάν μπορεί να προταθεί μία μεθοδολογία για την ενεργειακή κατάταξη και αυτών των περιπτώσεων.

3.5.1 Κατάταξη κτιρίων με βάση την συνολική ενέργεια κατανάλωσης σύμφωνα με τον CEN

Σύμφωνα με την VBD, οι δείκτες συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού αποθέματος $R_{s-Total}$ καθώς και οι δείκτες συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς του κανονισμού $R_{r-Total}$ παρουσιάζονται στον Πίνακα 16. Οι δείκτες $R_{r-Total}$ υπολογίστηκαν ως το 75% των αντίστοιχων, ως προς την κλιματική ζώνη, δεικτών $R_{s-Total}$, σύμφωνα με τον ελληνικό κανονισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Πίνακας 16: Δείκτες συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού αποθέματος και αναφοράς του κανονισμού.

Δείκτες Αναφοράς	Κλιματική Ζώνη Α	Κλιματική Ζώνη Β	Κλιματική Ζώνη C
$R_{s-Total}(kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma)$	262	273	283
$R_{r-Total}(kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma)$	196	205	212

Πίνακας 17: Κατάταξη κτιρίων με βάση την συνολική ενέργεια κατανάλωσης σύμφωνα με τον CEN.

Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας (ΕΚ) $(kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma)$			
Ενεργειακές Κατηγορίες	**Κλιματική Ζώνη Α**	**Κλιματική Ζώνη Β**	**Κλιματική Ζώνη C**
A	ΕΚ<98	ΕΚ<102	ΕΚ<106
B	98 ≤ ΕΚ<196	102 ≤ ΕΚ<205	106 ≤ ΕΚ<212
C	196 ≤ ΕΚ<229	205 ≤ ΕΚ<239	212 ≤ ΕΚ<247
D	229 ≤ ΕΚ<262	239 ≤ ΕΚ<273	247 ≤ ΕΚ<283
E	262 ≤ ΕΚ<393	273 ≤ ΕΚ<410	283 ≤ ΕΚ<424
F	393 ≤ ΕΚ<524	410 ≤ ΕΚ<546	424 ≤ ΕΚ<565
G	524 ≤ ΕΚ	546 ≤ ΕΚ	565 ≤ ΕΚ

3.5.2 Κατάταξη κτιρίων με βάση την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση σύμφωνα με τον CEN

Σύμφωνα με την VBD, οι δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού αποθέματος για τη θέρμανση $R_{s-Heating}$ καθώς και οι δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς του κανονισμού για τη θέρμανση $R_{r-Heating}$ παρουσιάζονται στον Πίνακα 18. Οι δείκτες $R_{r-Heating}$ υπολογίστηκαν ως το 75% των αντίστοιχων, ως προς την κλιματική ζώνη, δεικτών $R_{s-Heating}$, σύμφωνα με τον ελληνικό κανονισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Πίνακας 18: Δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού αποθέματος και αναφοράς του κανονισμού για την θέρμανση.

Δείκτες Αναφοράς	Κλιματική Ζώνη Α	Κλιματική Ζώνη Β	Κλιματική Ζώνη C
$R_{s-Heating}(kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma)$	30	39	58
$R_{r-Heating}(kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma)$	22	29	44

Πίνακας 19: Κατάταξη κτιρίων με βάση την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση σύμφωνα με τον CEN.

Κατανάλωση Ενέργειας για Θέρμανση (ΕΚ) $(kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma)$			
Ενεργειακές Κατηγορίες	**Κλιματική Ζώνη Α**	**Κλιματική Ζώνη Β**	**Κλιματική Ζώνη C**
A	ΕΚ<11	ΕΚ<15	ΕΚ<22
B	11 ≤ ΕΚ<22	15 ≤ ΕΚ<29	22 ≤ ΕΚ<44
C	22 ≤ ΕΚ<26	29 ≤ ΕΚ<34	44 ≤ ΕΚ<51
D	26 ≤ ΕΚ<30	34 ≤ ΕΚ<39	51 ≤ ΕΚ<58
E	30 ≤ ΕΚ<45	39 ≤ ΕΚ<58	58 ≤ ΕΚ<87
F	45 ≤ ΕΚ<59	58 ≤ ΕΚ<78	87 ≤ ΕΚ<116
G	59 ≤ ΕΚ	78 ≤ ΕΚ	116 ≤ ΕΚ

3.5.3 Κατάταξη κτιρίων με βάση την κατανάλωση ενέργειας για ψύξη σύμφωνα με τον CEN

Σύμφωνα με την VBD, οι δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού αποθέματος για την ψύξη $R_{s-Cooling}$ καθώς και οι δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς του κανονισμού για την ψύξη $R_{r-Cooling}$ παρουσιάζονται στον Πίνακα 20. Οι δείκτες $R_{r-Cooling}$ υπολογίστηκαν ως το 75% των αντίστοιχων, ως προς την κλιματική ζώνη, δεικτών $R_{s-Cooling}$, σύμφωνα με τον ελληνικό κανονισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Πίνακας 20: Δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού αποθέματος και αναφοράς του κανονισμού για την ψύξη.

Δείκτες Αναφοράς	**Κλιματική Ζώνη Α**	**Κλιματική Ζώνη Β**	**Κλιματική Ζώνη C**
$R_{s-Cooling}(kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma)$	104	105	94
$R_{r-Cooling}(kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma)$	78	79	70

Πίνακας 21: Κατάταξη κτιρίων με βάση την κατανάλωση ενέργειας για ψύξη σύμφωνα με τον CEN.

Κατανάλωση Ενέργειας για Ψύξη (ΕΚ) $(kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma)$			
Ενεργειακές Κατηγορίες	**Κλιματική Ζώνη Α**	**Κλιματική Ζώνη Β**	**Κλιματική Ζώνη C**
A	ΕΚ<39	ΕΚ<39	ΕΚ<35
B	39 ≤ ΕΚ<78	39 ≤ ΕΚ<79	35 ≤ ΕΚ<70
C	78 ≤ ΕΚ<91	79 ≤ ΕΚ<92	70 ≤ ΕΚ<82
D	91 ≤ ΕΚ<104	92 ≤ ΕΚ<105	82 ≤ ΕΚ<94
E	104 ≤ ΕΚ<156	105 ≤ ΕΚ<158	94 ≤ ΕΚ<140
F	156 ≤ ΕΚ<207	158 ≤ ΕΚ<211	140 ≤ ΕΚ<187
G	207 ≤ ΕΚ	211 ≤ ΕΚ	187 ≤ ΕΚ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Όλες οι περιπτώσεις στις οποίες εφαρμόστηκαν οι αλγόριθμοι ομαδοποίησης και παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3, ελέγχθηκαν με κανόνες επικύρωσης με σκοπό να βρεθεί αρχικά ποιος είναι ο αριθμός των clusters ο οποίος ταιριάζει καλύτερα στα δεδομένα και στη συνέχεια να επιλεχθεί, στις περιπτώσεις που αυτό είναι δυνατό, ο αλγόριθμος με την πιο αποδοτική ομαδοποίηση στα δεδομένα. Η αξιολόγηση των διαμερίσεων που προέκυψαν από την εφαρμογή των αλγορίθμων ομαδοποίησης έγινε με τη χρήση των σχετικών κριτηρίων:

- Silhouette
- Davies – Bouldin και
- Dunn.

Εξωτερικά κριτήρια δεν μπορούσαν να εφαρμοστούν από τη στιγμή που δεν ήταν γνωστή εκ των προτέρων η δομή που διέπει τα δεδομένα.

Εκτός από τους τρεις αλγορίθμους ομαδοποίησης που υλοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία (Hierarchical, Neural SOM και Fuzzy C-means) χρησιμοποιούνται και τα αποτελέσματα άλλων δύο αλγορίθμων ομαδοποίησης που εφαρμόστηκαν ακριβώς με τον ίδιο τρόπο στην εικονική βάση δεδομένων VBD. Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι οι K-means και το Gaussian Mixture Model και υλοποιήθηκαν από την Γεωργία Παπαδημητρίου στα πλαίσια της μεταπτυχιακής της διατριβής.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι σε κάποιες περιπτώσεις οι κανόνες επικύρωσης θα πρέπει να συνδυάζονται και με την φύση του εκάστοτε προβλήματος ώστε το τελικό αποτέλεσμα να ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν καλύτερα στις ανάγκες του προβλήματος. Στην περίπτωση που εξετάζεται, η προτεινόμενη ταξινόμηση θα πρέπει να συμβαδίζει και με την Ευρωπαϊκή και Ελληνική ενεργειακή πολιτική, να μπορεί να είναι εφαρμόσιμη και στην περίπτωση της κατάταξης πραγματικών κτιρίων και να μπορεί να συγκριθεί με τις ενεργειακές ταξινομήσεις που ήδη υπάρχουν. Για τον λόγο αυτό, αν και όλοι οι αλγόριθμοι ομαδοποίησης, για όλες τις περιπτώσεις, εφαρμόστηκαν για αριθμό clusters από 2 έως και 9, στις περιπτώσεις της ενεργειακής ταξινόμησης (συνολική ενεργειακή κατανάλωση,

ενεργειακή κατανάλωση θέρμανσης και ενεργειακή κατανάλωση ψύξης) θα θεωρηθεί ότι ο ελάχιστος αριθμός των δυνατών clusters θα είναι 5.

Στη συνέχεια ακολουθούν οι πίνακες με τις τιμές των δεικτών επικύρωσης για κάθε αλγόριθμο ομαδοποίησης για την συνολική ενεργειακή κατανάλωση (Πίνακας 22), την ενέργεια θέρμανσης (Πίνακας 23), την ενέργεια ψύξης (Πίνακας 24) και τον δείκτη θερμικής άνεσης (Πίνακας 25). Κάθε πίνακας περιλαμβάνει την τιμή των δεικτών επικύρωσης για τους πέντε αλγορίθμους ομαδοποίησης και για όλες τις περιπτώσεις αριθμών των clusters που δοκιμάστηκαν (από 2 έως και 9). Για κάθε δείκτη σε κάθε αλγόριθμο, η βέλτιστη τιμή του, που δηλώνει και τον βέλτιστο αριθμό των clusters, εμφανίζεται σε κίτρινο φόντο. Για τις περιπτώσεις της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, της ενέργειας ψύξης και θέρμανσης, και σύμφωνα με τον περιορισμό των 5 clusters, οι δείκτες επικύρωσης αξιολογήθηκαν περαιτέρω λαμβάνοντας υπόψη τον περιορισμό και αντίστοιχα σε αυτήν την περίπτωση για κάθε δείκτη σε κάθε αλγόριθμο η βέλτιστη τιμή εμφανίζεται με γαλάζιο χρώμα. Επιπλέον, οι καλύτερες τιμές για κάθε δείκτη στο σύνολο των αλγορίθμων ομαδοποίησης για την κάθε εξεταζόμενη παράμετρο εμφανίζονται μέσα σε πιο έντονο περίγραμμα και με έντονα γράμματα και συνοψίζονται στους Πίνακες 26 – 29. Υπενθυμίζεται ότι για τους δείκτες Silhouette και Dunn μεγάλες τιμές δηλώνουν καλύτερες διαμερίσεις ενώ για τον δείκτη Davies-Bouldin οι τιμές αυτές θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερες.

4.2 Σύγκριση διαμερίσεων της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης

Πίνακας 22: Δείκτες επικύρωσης για την Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση για την κλιματική ζώνη C.

Fuzzy C-Means Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.57642	0.53972	0.53413	0.52565	0.52354	**0.52848**	0.52384	0.52377
Davies - Bouldin Index	0.59491	0.55395	0.53365	0.53148	0.52293	0.51549	0.51557	0.51227
Dunn Index	2.9482	2.3214	2.0208	1.8462	1.6232	1.4879	1.4247	1.2352

Gaussian Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	**0.58135**	0.54356	0.53062	0.52725	0.52257	0.52698	0.52706	0.52348
Davies - Bouldin Index	0.56967	0.54764	0.53298	0.52667	0.52082	0.51444	0.50943	0.509
Dunn Index	3.322	2.5018	2.0479	2.0852	1.7143	1.5402	1.6071	1.2899

Hierarchical Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.55926	0.53841	0.5215	0.44132	0.43892	0.42337	0.50622	0.49389
Davies - Bouldin Index	**0.43847**	0.52261	0.49984	0.48874	0.45755	0.46825	0.47949	**0.45549**
Dunn Index	**3.6078**	3.2975	2.4876	**2.9915**	2.6257	2.2539	2.8443	2.4471

Kmeans Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.5774	0.54208	0.53441	0.52742	0.52344	0.52814	0.52708	0.52471
Davies - Bouldin Index	0.59292	0.55173	0.5341	0.53063	0.52337	0.51645	0.51276	0.51153
Dunn Index	2.9791	2.3823	2.0521	1.8464	1.6496	1.5008	1.5052	1.2623

Neural Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.57735	0.54201	0.5344	0.52749	0.52344	0.52813	0.52387	0.52388
Davies - Bouldin Index	0.59302	0.55174	0.53416	0.53061	0.52337	0.51649	0.51559	0.51233
Dunn Index	2.9777	2.3816	2.0549	1.8457	1.6496	1.5	1.4309	1.2153

4.3 Σύγκριση διαμερίσεων της ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης

Πίνακας 23: Δείκτες επικύρωσης για την Κατανάλωση Ενέργειας για Θέρμανση για την κλιματική ζώνη C.

Fuzzy C-Means Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.72037	0.57718	0.53701	0.51988	0.51854	0.52374	0.5268	0.52782
Davies - Bouldin Index	0.44512	0.53209	0.52885	0.5349	0.52626	0.51819	0.51017	0.51152
Dunn Index	3.4776	1.8182	1.5669	1.4719	1.4486	1.4136	1.1803	1.2157

Gaussian Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.69146	0.58844	0.51156	0.52288	0.49263	0.49519	0.50782	0.51253
Davies - Bouldin Index	0.51134	0.49928	0.51536	0.52808	0.48794	0.48796	0.49484	0.49961
Dunn Index	2.7775	2.1471	1.644	1.609	1.6111	1.589	1.1284	1.2044

Hierarchical Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	**0.72061**	0.66557	0.65577	0.52751	**0.5339**	0.53319	0.46083	0.46258
Davies - Bouldin Index	0.44411	0.46208	0.44611	0.48901	0.4871	**0.40834**	0.42312	0.44037
Dunn Index	3.4915	**3.5762**	2.8843	2.0597	**2.6473**	**2.6473**	0.34695	0.4828

Kmeans Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.72046	0.59428	0.54056	0.5243	0.51883	0.52401	0.52845	0.52747
Davies - Bouldin Index	0.44474	0.52484	0.527	0.53045	0.52602	0.51783	0.50863	0.51074
Dunn Index	3.4828	2.1002	1.5947	1.6008	1.4697	1.4011	1.1465	1.1368

Neural Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.72055	0.59341	0.54057	0.52213	0.51882	0.52387	0.52802	0.52777
Davies - Bouldin Index	0.44436	0.52528	0.52697	0.53327	0.52605	0.51804	0.50903	0.5113
Dunn Index	3.488	2.0839	1.5955	1.5099	1.4677	1.3989	1.1509	1.156

4.4 Σύγκριση διαμερίσεων της ενεργειακής κατανάλωσης ψύξης

Πίνακας 24: Δείκτες επικύρωσης για την Κατανάλωση Ενέργειας για Ψύξη για την κλιματική ζώνη C.

Fuzzy C-Means Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.58203	0.54133	0.52841	0.52777	0.52586	0.52488	0.52068	0.52381
Davies - Bouldin Index	0.57782	0.5618	0.55334	0.5361	0.52663	0.52011	0.52202	0.51573
Dunn Index	3.0476	2.2809	1.7675	1.4963	1.2667	1.1062	1.0326	0.95541

Gaussian Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.57796	0.51819	0.53073	0.52867	0.52415	0.52327	0.52368	0.52341
Davies - Bouldin Index	0.58075	0.52434	0.52887	0.52542	0.52352	0.51944	0.51459	0.51382
Dunn Index	2.9476	2.8371	1.8738	1.5835	1.365	1.1968	1.1049	0.94643

Hierarchical Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	**0.61778**	0.6124	0.55074	**0.53038**	0.527	0.46528	0.46457	0.47065
Davies - Bouldin Index	0.38625	**0.31819**	0.40592	0.44804	0.44981	0.45722	**0.44637**	0.45738
Dunn Index	**4.1911**	3.677	3.1146	2.7072	**2.9214**	2.5232	2.1339	2.4835

Kmeans Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.58287	0.54339	0.53168	0.52949	0.52541	0.52662	0.52414	0.52406
Davies - Bouldin Index	0.57645	0.56113	0.55167	0.53087	0.52475	0.51852	0.51747	0.51493
Dunn Index	3.0919	2.3563	1.8198	1.5472	1.3078	1.1626	1.0823	0.95473

Neural Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.58302	0.54331	0.53163	0.52946	0.5253	0.52664	0.52438	0.52404
Davies - Bouldin Index	0.57618	0.56114	0.55173	0.53096	0.52484	0.51853	0.51713	0.51474
Dunn Index	3.0995	2.354	1.8204	1.5465	1.2856	1.1605	1.0955	0.95865

4.5 Σύγκριση διαμερίσεων της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος

Πίνακας 25: Δείκτες επικύρωσης για τον δείκτη Θερμικής Ανεσης για την κλιματική ζώνη C.

Fuzzy C-Means Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.55491	0.58984	0.57142	0.55851	0.54945	0.54044	0.53737	0.53051
Davies - Bouldin Index	0.61227	0.48403	0.4821	0.48584	0.4981	0.5017	0.50409	0.50925
Dunn Index	3.2256	**3.4444**	3.0919	2.6406	2.7935	2.6161	2.4378	2.5174

Gaussian Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.46779	0.39816	0.52133	0.51716	0.35191	0.44382	0.46593	0.47408
Davies - Bouldin Index	0.40878	**0.26381**	0.46045	0.47241	0.48192	0.49236	0.4968	0.48536
Dunn Index	2.8995	3.0164	2.2413	0.8993	0.9687	1.1002	1.1169	1.1524

Hierarchical Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.48929	0.4934	0.45988	0.5449	0.3879	0.37788	0.35319	0.39549
Davies - Bouldin Index	0.41731	0.44438	0.44351	0.46542	0.38222	0.39438	0.40939	0.42668
Dunn Index	2.9627	3.2926	2.442	3.2764	3.2764	2.1718	2.4613	2.3254

Kmeans Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.55696	0.58991	0.57201	0.5589	0.55022	0.54138	0.54161	0.53891
Davies - Bouldin Index	0.60801	0.48706	0.48303	0.48595	0.49817	0.50059	0.50103	0.5021
Dunn Index	3.2244	3.3211	2.9925	2.5608	2.6832	2.6151	2.281	2.4934

Neural Clustering

	Αριθμός των clusters							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Silhouette Index	0.55708	**0.59**	0.57187	0.55873	0.55022	0.54128	0.54158	0.52867
Davies - Bouldin Index	0.60775	0.48673	0.48322	0.48613	0.49817	0.50064	0.50109	0.50906
Dunn Index	3.2243	3.3271	2.9883	2.5972	2.6832	2.6094	2.2856	2.2674

4.6 Βέλτιστες διαμερίσεις

Συνοπτικά, σύμφωνα με τους δείκτες επικύρωσης, οι καλύτερες διαμερίσεις για κάθε περίπτωση παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας 26: Βέλτιστος αριθμός clusters για την Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση με βάση τους δείκτες επικύρωσης.

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ		
Δείκτης	**Αλγόριθμος Ομαδοποίησης**	**Αριθμός των Clusters**
Silhouette	Fuzzy C-Means	7
Davies - Bouldin	Hierarchical	9
Dunn	Hierarchical	5

Πίνακας 27: Βέλτιστος αριθμός clusters για την Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης με βάση τους δείκτες επικύρωσης.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ		
Δείκτης	**Αλγόριθμος Ομαδοποίησης**	**Αριθμός των Clusters**
Silhouette	Hierarchical	6
Davies - Bouldin	Hierarchical	7
Dunn	Hierarchical	6, 7

Πίνακας 28: Βέλτιστος αριθμός clusters για την Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης με βάση τους δείκτες επικύρωσης.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΨΥΞΗΣ		
Δείκτης	**Αλγόριθμος Ομαδοποίησης**	**Αριθμός των Clusters**
Silhouette	Hierarchical	5
Davies - Bouldin	Hierarchical	8
Dunn	Hierarchical	6

Πίνακας 29: Βέλτιστος αριθμός clusters για τον δείκτη Θερμικής Άνεσης με βάση τους δείκτες επικύρωσης.

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ		
Δείκτης	**Αλγόριθμος Ομαδοποίησης**	**Αριθμός των Clusters**
Silhouette	Neural SOM	3
Davies - Bouldin	Gaussian	3
Dunn	Fuzzy C-Means	3

Τα όρια των κατηγοριών των clusters για τις βέλτιστες διαμερίσεις που προέκυψαν από την εφαρμογή των δεικτών επικύρωσης και συνοψίστηκαν παραπάνω, παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η τελική επιλογή του αριθμού των

clusters και του αλγορίθμου ομαδοποίησης θα γίνει λαμβάνοντας υπόψη και την ενεργειακή πολιτική που ορίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω των προτύπων.

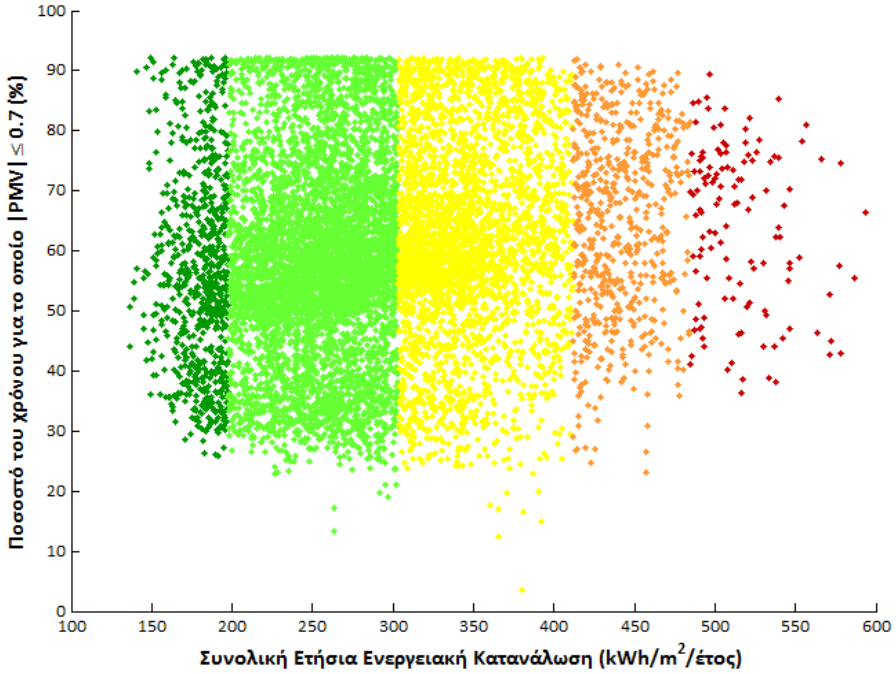
4.6.1 Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση

Για την συνολική ενεργειακή κατανάλωση οι καλύτερες διαμερίσεις σύμφωνα με τους δείκτες επικύρωσης καθώς και τα αντίστοιχα όρια των ενεργειακών κατηγοριών φαίνονται στον Πίνακα 30.

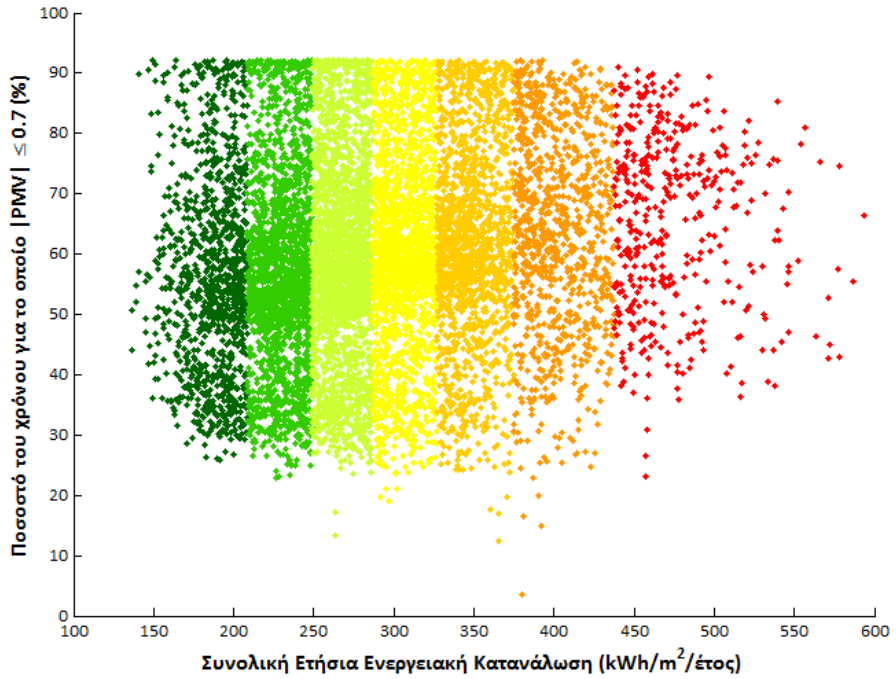
Πίνακας 30: Καλύτερες διαμερίσεις σύμφωνα με τους δείκτες επικύρωσης για την Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση.

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ			
5 clusters (Hierarchical Clustering)			
Ενεργειακές Κατηγορίες	Κλιματική Ζώνη A	Κλιματική Ζώνη B	Κλιματική Ζώνη C
A	125.42 - 237.56	125.79 - 142.60	136.05 - 197.55
B	237.63 - 301.02	143.18 - 282.32	197.63 - 303.16
C	301.08 - 341.98	282.40 - 356.28	303.23 - 411.53
D	342.11 - 412.43	356.48 - 432.51	411.85 - 484.22
E	413.43 - 503.68	433.06 - 547.02	484.75 - 593.35
7 clusters (Fuzzy C-means Clustering)			
Ενεργειακές Κατηγορίες	Κλιματική Ζώνη A	Κλιματική Ζώνη B	Κλιματική Ζώνη C
A	125.42 - 188.20	125.79 - 200.86	136.05 - 208.41
B	188.23 - 225.31	200.88 - 240.44	208.49 - 248.69
C	225.33 - 258.74	240.45 - 276.41	248.71 - 286.55
D	258.76 - 292.31	276.50 - 312.78	286.61 - 326.76
E	292.33 - 330.13	312.87 - 353.23	326.81 - 374.74
F	330.18 - 380.37	353.26 - 405.31	374.79 - 437.23
G	380.48 - 503.68	405.50 - 547.02	437.58 - 593.35
9 clusters (Hierarchical Clustering)			
Ενεργειακές Κατηγορίες	Κλιματική Ζώνη A	Κλιματική Ζώνη B	Κλιματική Ζώνη C
A	125.42 - 144.74	125.79 - 142.60	136.05 - 141.10
B	145.33 - 190.99	143.18 - 224.44	144.83 - 197.55
C	191.10 - 237.56	224.50 - 282.32	197.63 - 255.40
D	237.63 - 301.02	282.40 - 317.75	255.45 - 303.16
E	301.08 - 341.98	317.83 - 356.28	303.23 - 361.61
F	342.11 - 369.24	356.48 - 395.23	361.88 - 411.53
G	369.53 - 412.43	395.70 - 432.51	411.85 - 484.22
H	413.43 - 457.42	433.06 - 484.22	484.75 - 556.71
I	458.95 - 503.68	487.01 - 547.02	563.28 - 593.35

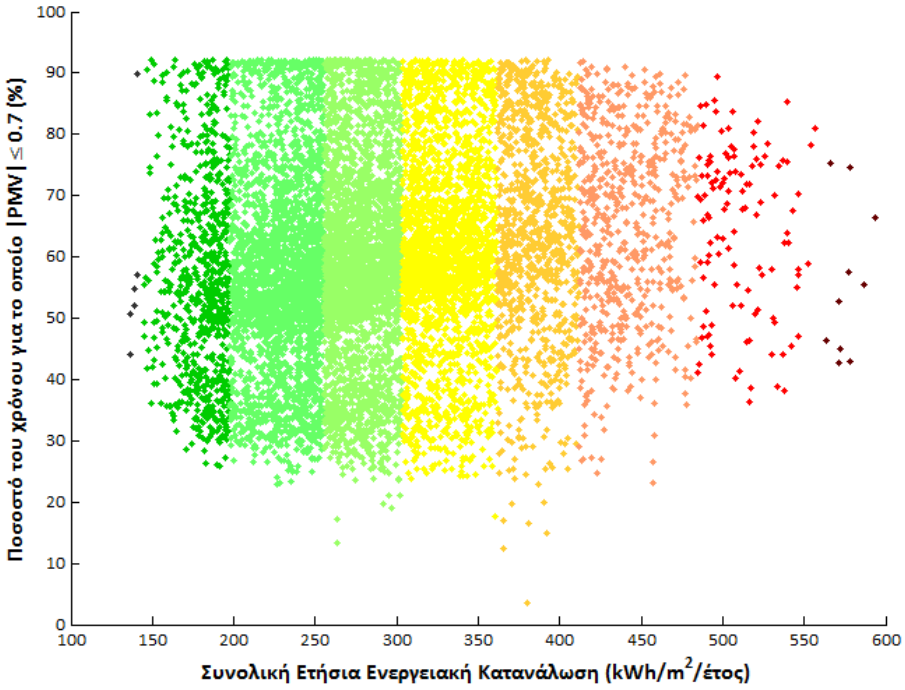
Τα όρια των ενεργειακών κατηγοριών για την κλιματική ζώνη C για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 4: Οι 5 ενεργειακές κατηγορίες της Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης με βάση το Hierarchical Clustering για την κλιματική ζώνη C.



Εικόνα 5: Οι 7 ενεργειακές κατηγορίες της Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης με βάση το Fuzzy C-means Clustering για την κλιματική ζώνη C.



Εικόνα 6: Οι 9 ενεργειακές κατηγορίες της Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης με βάση το Hierarchical Clustering για την κλιματική ζώνη C.

Για την τελική επιλογή της καλύτερης από τις τρεις παραπάνω διαμερίσεις θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο περιορισμός που επιβάλλει ο CEN και αφορά το γεγονός ότι θα πρέπει ο δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς του κανονισμού να ανήκει στην Ενεργειακή Κατηγορία Β.

Οι δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς του κανονισμού για τις κλιματικές ζώνες Α, Β και C είναι αντίστοιχα $196\,kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma$, $205\,kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma$ και $212\,kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma$ (Πίνακας 16). Σύμφωνα με τον CEN οι τιμές αυτές θα πρέπει να βρίσκονται στην Β ενεργειακή κατηγορία και αυτό επιτυγχάνεται μόνο με την διαμέριση των 7 clusters του αλγορίθμου Fuzzy C-means. Στην περίπτωση των 5 clusters του Hierarchical αλγορίθμου οι τιμές αυτές βρίσκονται στις ενεργειακές κατηγορίες Α, Β, Β για τις κλιματικές ζώνες Α, Β και C αντίστοιχα ενώ στην περίπτωση των 9 clusters του Hierarchical οι τιμές βρίσκονται στις ενεργειακές κατηγορίες C, B, C αντίστοιχα. Ειδικά για την περίπτωση των 9 clusters αυτό συμβαίνει γιατί όπως φαίνεται και από την Εικόνα 6 οι ενεργειακές κατηγορίες Α και Ι έχουν πολύ μικρό εύρος ορίων και επιπλέον περιέχουν πολύ μικρό αριθμό κτιρίων συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Έτσι, για την περίπτωση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης η διαμέριση

των 7 clusters του Fuzzy C-means αλγορίθμου φαίνεται πιο αποτελεσματική για να εφαρμοστεί ως μέθοδος ταξινόμησης.

4.6.2 Ενεργειακή Κατανάλωση για την Θέρμανση και για την Ψύξη

Για την ενεργειακή κατανάλωση θέρμανσης οι καλύτερες διαμερίσεις σύμφωνα με τους δείκτες επικύρωσης καθώς και τα αντίστοιχα όρια των ενεργειακών κατηγοριών φαίνονται στον Πίνακα 31.

Πίνακας 31: Καλύτερες διαμερίσεις σύμφωνα με τους δείκτες επικύρωσης για την Ενεργειακή Κατανάλωση Θέρμανσης.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ			
6 clusters (Hierarchical Clustering)			
Ενεργειακές Κατηγορίες	Κλιματική Ζώνη Α	Κλιματική Ζώνη Β	Κλιματική Ζώνη C
A	0.00 - 36.10	0.00 - 69.80	0.00 - 68.40
B	36.20 - 68.40	69.90 - 100.50	68.50 - 111.80
C	68.50 - 91.80	101.00 - 133.50	111.90 - 150.90
D	92.00 - 116.80	133.70 - 157.90	151.00 - 192.20
E	117.00 - 153.20	158.40 - 204.80	192.40 - 262.10
F	153.70 - 199.00	207.50 - 234.90	263.90 - 315.50
7 clusters (Hierarchical Clustering)			
Ενεργειακές Κατηγορίες	Κλιματική Ζώνη Α	Κλιματική Ζώνη Β	Κλιματική Ζώνη C
A	0.00 - 36.10	0.00 - 41.80	0.00 - 68.40
B	36.20 - 68.40	41.90 - 69.80	68.50 - 111.80
C	68.50 - 91.80	69.90 - 100.50	111.90 - 150.90
D	92.00 - 116.80	101.00 - 133.50	151.00 - 192.20
E	117.00 - 153.20	133.70 - 157.90	192.40 - 262.10
F	153.70 - 176.60	158.40 - 204.80	263.90 - 292.00
G	178.80 - 199.00	207.50 - 234.90	315.50 - 315.50

Οι δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς του κανονισμού για την θέρμανση για τις κλιματικές ζώνες Α, Β και C είναι αντίστοιχα $22\,kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma$, $29\,kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma$ και $44\,kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma$ (Πίνακας 18). Οι δείκτες αυτοί και για τις δύο παραπάνω διαμερίσεις βρίσκονται στην ενεργειακή κατηγορία Α οπότε καμία από αυτές δεν μπορεί να προταθεί. Ο CEN όπως αναφέρθηκε, δεν προτείνει ξεχωριστή μεθοδολογία για την ενεργειακή κατάταξη ως προς την ενέργεια θέρμανσης αλλά και της ψύξης.

Για την ενεργειακή κατανάλωση ψύξης οι καλύτερες διαμερίσεις σύμφωνα με τους δείκτες επικύρωσης καθώς και τα αντίστοιχα όρια των ενεργειακών κατηγοριών φαίνονται στον Πίνακα 32.

Πίνακας 32: Καλύτερες διαμερίσεις σύμφωνα με τους δείκτες επικύρωσης για την Ενεργειακή Κατανάλωση Ψύξης.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΨΥΞΗΣ			
5 clusters (Hierarchical Clustering)			
Ενεργειακές Κατηγορίες	Κλιματική Ζώνη A	Κλιματική Ζώνη B	Κλιματική Ζώνη C
A	32.50 - 138.80	33.80 - 149.40	28.90 - 95.50
B	138.90 - 184.10	149.50 - 195.50	95.60 - 142.40
C	184.40 - 228.40	195.90 - 236.70	142.60 - 180.40
D	229.90 - 302.50	238.80 - 301.70	180.90 - 256.50
E	319.40 - 359.40	325.90 - 352.80	287.50 - 306.10
6 clusters Hierarchical Clustering			
Ενεργειακές Κατηγορίες	Κλιματική Ζώνη A	Κλιματική Ζώνη B	Κλιματική Ζώνη C
A	32.50 - 82.90	33.80 - 93.10	28.90 - 95.50
B	83.00 - 138.80	93.20 - 149.40	95.60 - 142.40
C	138.90 - 184.10	149.50 - 195.50	142.60 - 180.40
D	184.40 - 228.40	195.90 - 236.70	180.90 - 214.60
E	229.90 - 302.50	238.80 - 301.70	216.30 - 256.50
F	319.40 - 359.40	325.90 - 352.80	287.50 - 306.10
8 clusters Hierarchical Clustering			
Ενεργειακές Κατηγορίες	Κλιματική Ζώνη A	Κλιματική Ζώνη B	Κλιματική Ζώνη C
A	32.50 - 82.90	33.80 - 93.10	28.90 - 58.30
B	83.00 - 138.80	93.20 - 116.60	58.40 - 95.50
C	138.90 - 184.10	116.70 - 149.40	95.60 - 142.40
D	184.40 - 228.40	149.50 - 195.50	142.60 - 180.40
E	229.90 - 260.80	195.90 - 236.70	180.90 - 214.60
F	264.10 - 302.50	238.80 - 262.00	216.30 - 238.70
G	319.40 - 319.40	266.40 - 301.70	242.70 - 256.50
H	359.40 - 359.40	325.90 - 352.80	287.50 - 306.10

Οι δείκτες ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς του κανονισμού για την ψύξη για τις κλιματικές ζώνες A, B και C είναι αντίστοιχα $78\,kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma$, $79\,kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma$ και $70\,kWh/m^2/\acute{\varepsilon}\tau o\varsigma$ (Πίνακας 20). Οι δείκτες αυτοί και για τις τρεις παραπάνω διαμερίσεις βρίσκονται στην ενεργειακή κατηγορία A, με εξαίρεση την κλιματική ζώνη C στην τελευταία διαμέριση που ο δείκτης βρίσκεται στην ενεργειακή κατηγορία B. Έτσι, όπως και για την ενέργεια θέρμανσης, καμία από τις παραπάνω διαμερίσεις δεν μπορεί να προταθεί για την ενέργεια ψύξης.

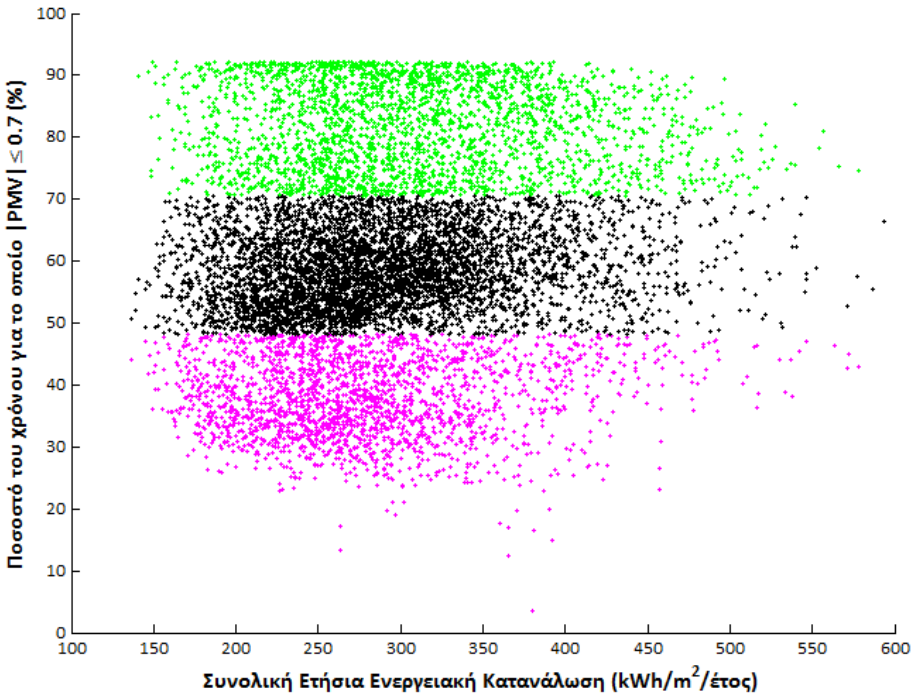
4.6.3 Ποιότητα Εσωτερικού Περιβάλλοντος

Για την ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος οι καλύτερες διαμερίσεις σύμφωνα με τους δείκτες επικύρωσης καθώς και τα αντίστοιχα όρια των κατηγοριών φαίνονται στον Πίνακα 33.

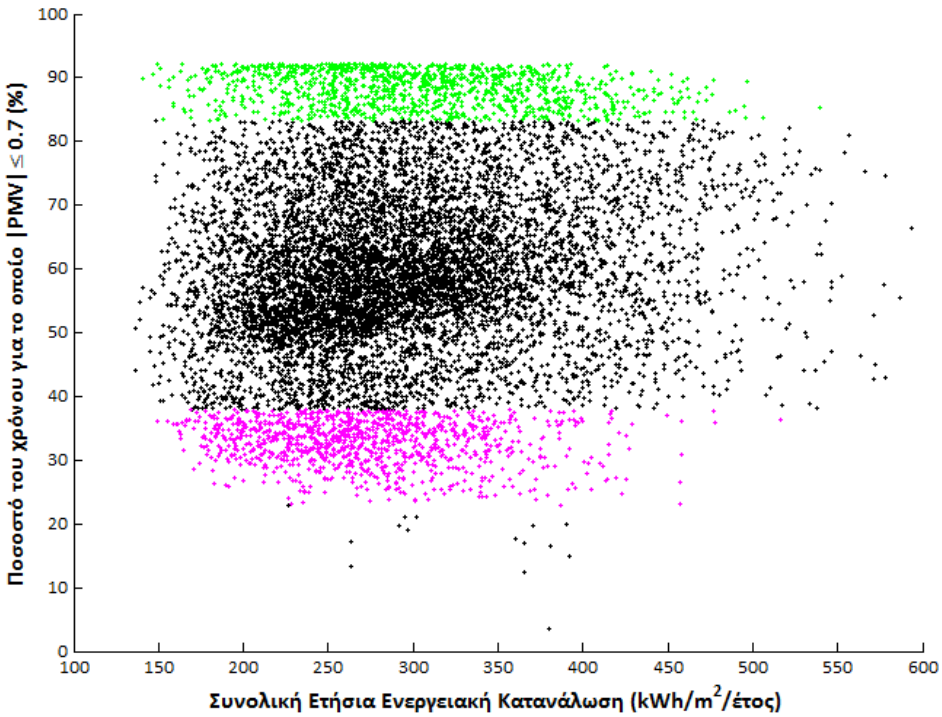
Πίνακας 33: Καλύτερες διαμερίσεις σύμφωνα με τους δείκτες επικύρωσης για την κατάταξη της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος.

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ			
3 clusters (Gaussian Clustering)			
Κατηγορίες	Κλιματική Ζώνη A	Κλιματική Ζώνη B	Κλιματική Ζώνη C
A	92.10 - 88.50	92.10 - 86.50	92.10 - 83.30
B	88.40 - 63.70	86.40 - 53.75	83,20 – 37,80
C	63.60 - 0.65	53.70 - 1.00	37,75 - 3.45
3 clusters (Fuzzy C-Means Clustering)			
Κατηγορίες	Κλιματική Ζώνη A	Κλιματική Ζώνη B	Κλιματική Ζώνη C
A	92,11 - 77,31	92,11 - 75,11	92,11 - 70,60
B	77,28 - 55,35	75,09 - 52,98	70,58 - 48,13
C	55,32 - 0,66	52,95 – 1,03	48,11 - 3,45
3 clusters (Neural SOM Clustering)			
Κατηγορίες	Κλιματική Ζώνη A	Κλιματική Ζώνη B	Κλιματική Ζώνη C
A	92,11 - 77,00	92,11 - 74,76	92,11 - 69,94
B	76,98 - 55,55	74,74 - 53,18	69,92 - 48,21
C	55,52 - 0,66	53,13 - 1,03	48,18 - 3,45

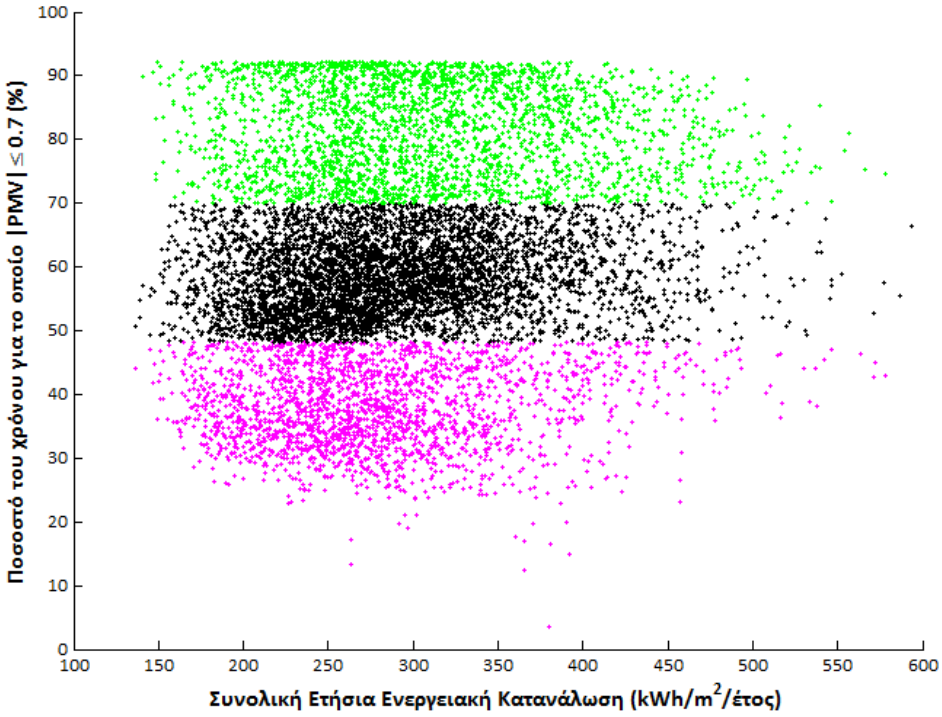
Τα όρια των κλάσεων για την κλιματική ζώνη C για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 7: Οι 3 κατηγορίες της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος με βάση το Fuzzy C-Means Clustering για την κλιματική ζώνη C.



Εικόνα 8: Οι 3 κατηγορίες της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος με βάση το Gaussian Clustering για την κλιματική ζώνη C.



Εικόνα 9: Οι 3 κατηγορίες της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος με βάση το Neural SOM Clustering για την κλιματική ζώνη C.

Αρχικά παρατηρείται ότι και οι τρεις βέλτιστες διαμερίσεις περιλαμβάνουν 3 clusters. Για την επιλογή του αλγορίθμου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι τρεις εικόνες. Με μία πιο προσεκτική παρατήρηση, φαίνεται ότι τα σημεία σχηματίζουν τρεις περιοχές που χωρίζονται από το κεντρικό σύννεφο και αντιστοιχούν στα τρία clusters. Ο Gaussian, μιας και βασίζεται στην Gaussian κατανομή δεν προσαρμόζεται καλά στις τρεις περιοχές αλλά αντιθέτως μεγαλώνει το μεσαίο cluster και μικραίνει πολύ τα άλλα δύο. Οι δύο άλλοι αλγόριθμοι λειτουργούν το ίδιο καλά και αν θα έπρεπε να επιλεχθεί ένας από αυτούς θα μπορούσε να είναι ο Fuzzy C-means λόγω της απλότητας του.

4.7 Προτεινόμενες Μεθοδολογίες Ταξινόμησης

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση, για την συνολική ενεργειακή κατανάλωση προτείνεται το σύστημα ταξινόμησης 7 κλάσεων του Fuzzy C-means, για την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος το σύστημα ταξινόμησης 3 κλάσεων του Fuzzy C-means ενώ για τις ενέργειες θέρμανσης και ψύξης δεν μπορεί να προταθεί κάτι, γεγονός που συμφωνεί και με την φιλοσοφία του CEN ότι, δηλαδή, η κατάταξη των κτιρίων θα πρέπει να γίνεται με βάση τη συνολική ενεργειακή τους κατανάλωση και όχι λαμβάνοντας υπόψη μεμονωμένα τις ενέργειες θέρμανσης, ψύξης κλπ..

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται τα όρια των κλάσεων που προτείνονται για τις περιπτώσεις της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης (Πίνακας 34) και της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος (Πίνακας 35). Τα όρια αυτά προκύπτουν από τους Πίνακες 30, 33 με τη διαφορά ότι η πρώτη και η τελευταία κλάση έχουν επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνουν και μικρότερες ή μεγαλύτερες αντίστοιχα τιμές που μπορεί να προκύψουν και επιπλέον όλες οι τιμές έχουν στρογγυλοποιηθεί σε ακέραιους αριθμούς.

Πίνακας 34: Προτεινόμενη Ταξινόμηση Κτιρίων Γραφείων για την Ελλάδα με βάση την Συνολική Ενεργειακή τους κατανάλωση σύμφωνα με τους αλγορίθμους ομαδοποίησης.

	Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση (ΕΚ) $(kWh / m^2 / \acute{\varepsilon}\tau o\varsigma)$		
Ενεργειακές Κατηγορίες	**Κλιματική Ζώνη Α**	**Κλιματική Ζώνη Β**	**Κλιματική Ζώνη C**
A	ΕΚ<125	ΕΚ<126	ΕΚ<136
B	125 ≤ ΕΚ<188	126 ≤ ΕΚ<201	136 ≤ ΕΚ<208
C	188 ≤ ΕΚ<225	201 ≤ ΕΚ<240	208 ≤ ΕΚ<249
D	225 ≤ ΕΚ<259	240 ≤ ΕΚ<276	249 ≤ ΕΚ<287
E	259 ≤ ΕΚ<292	276 ≤ ΕΚ<313	287 ≤ ΕΚ<327
F	292 ≤ ΕΚ<330	313 ≤ ΕΚ<353	327 ≤ ΕΚ<375
G	330 ≤ ΕΚ<380	353 ≤ ΕΚ<405	375 ≤ ΕΚ<437
H	380 ≤ ΕΚ<504	405 ≤ ΕΚ<547	437 ≤ ΕΚ<593
I	504 ≤ ΕΚ	547 ≤ ΕΚ	593 ≤ ΕΚ

Πίνακας 35: Προτεινόμενη Ταξινόμηση Κτιρίων Γραφείων για την Ελλάδα με βάση την Ποιότητα του Εσωτερικού Περιβάλλοντος σύμφωνα με τους αλγορίθμους ομαδοποίησης.

	Ποσοστό του χρόνου (ΠΧ) για το οποίο |PMV|<0.7 (%)		
Κατηγορίες	**Κλιματική Ζώνη Α**	**Κλιματική Ζώνη Β**	**Κλιματική Ζώνη C**
1η	77 < ΠΧ	75 < ΠΧ	71 < ΠΧ
2η	55 < ΠΧ ≤ 77	53 < ΠΧ ≤ 75	48 < ΠΧ ≤ 71
3η	ΠΧ ≤ 55	ΠΧ ≤ 53	48 ≤ ΠΧ

Έτσι, η ταξινόμηση της αποδοτικότητας των κτιρίων γραφείων γίνεται με δύο παραμέτρους: την συνολική ενεργειακή κατανάλωση και την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Και οι δύο παράμετροι είναι εξίσου σημαντικές διότι ένα κτίριο το οποίο καταναλώνει πολύ λίγη ενέργεια αλλά ταυτόχρονα οι συνθήκες του εσωτερικού περιβάλλοντός του δεν είναι στα αποδεκτά όρια δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως αποδοτικό. Συνεπώς, για να χαρακτηριστεί ένα κτίριο ως αποδοτικό με την προτεινόμενη μεθοδολογία θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι δύο παράμετροι ταυτόχρονα.

4.8 Σύγκριση της προτεινόμενης ενεργειακής ταξινόμησης (με βάση την ομαδοποίηση) με την μεθοδολογία του CEN

Στη συνέχεια συγκρίνονται τα όρια της προτεινόμενης μεθοδολογίας για την συνολική ενεργειακή κατανάλωση με τη μεθοδολογία που εφαρμόζει ο CEN. Σύγκριση της μεθοδολογίας ταξινόμησης σύμφωνα με τον δείκτη θερμικής άνεσης δεν μπορεί να γίνει για τους λόγους που έχουν αναφερθεί προηγουμένως. Η σύγκριση των ορίων των δύο μεθοδολογιών γίνεται ξεχωριστά για την κάθε κλιματική ζώνη.

Πίνακας 36: Σύγκριση της προτεινόμενης μεθοδολογίας (Clustering) με την μεθοδολογία του CEN για την Α κλιματική ζώνη.

Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση (ΕΚ) $(kWh / m^2 / \acute{\varepsilon}\tau o\varsigma)$			
Κατηγορίες	**Clustering**	**Κατηγορίες**	**CEN**
A	ΕΚ<125	**A**	ΕΚ<98
B	125 ≤ ΕΚ<188	**B**	98 ≤ ΕΚ<196
C	188 ≤ ΕΚ<225	**C**	196 ≤ ΕΚ<229
D	225 ≤ ΕΚ<259	**D**	229 ≤ ΕΚ<262
E	259 ≤ ΕΚ<292	**E**	262 ≤ ΕΚ<393
F	292 ≤ ΕΚ<330		
G	330 ≤ ΕΚ<380		
H	380 ≤ ΕΚ<504	**F**	393 ≤ ΕΚ<524
I	504 ≤ ΕΚ	**G**	524 ≤ ΕΚ

Πίνακας 37: Σύγκριση της προτεινόμενης μεθοδολογίας (Clustering) με την μεθοδολογία του CEN για την Β κλιματική ζώνη.

Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση (ΕΚ) $(kWh/m^2/\text{έτος})$			
Κατηγορίες	**Clustering**	**Κατηγορίες**	**CEN**
A	ΕΚ<126	**A**	ΕΚ<102
B	126 ≤ ΕΚ<201	**B**	102 ≤ ΕΚ<205
C	201 ≤ ΕΚ<240	**C**	205 ≤ ΕΚ<239
D	240 ≤ ΕΚ<276	**D**	239 ≤ ΕΚ<273
E	276 ≤ ΕΚ<313	**E**	273 ≤ ΕΚ<410
F	313 ≤ ΕΚ<353		
G	353 ≤ ΕΚ<405		
H	405 ≤ ΕΚ<547	**F**	410 ≤ ΕΚ<546
I	547 ≤ ΕΚ	**G**	546 ≤ ΕΚ

Πίνακας 38: Σύγκριση της προτεινόμενης μεθοδολογίας (Clustering) με την μεθοδολογία του CEN για την C κλιματική ζώνη.

Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση (ΕΚ) $(kWh/m^2/\text{έτος})$			
Κατηγορίες	**Clustering**	**Κατηγορίες**	**CEN**
A	ΕΚ<136	**A**	ΕΚ<106
B	136 ≤ ΕΚ<208	**B**	106 ≤ ΕΚ<212
C	208 ≤ ΕΚ<249	**C**	212 ≤ ΕΚ<247
D	249 ≤ ΕΚ<287	**D**	247 ≤ ΕΚ<283
E	287 ≤ ΕΚ<327	**E**	283 ≤ ΕΚ<424
F	327 ≤ ΕΚ<375		
G	375 ≤ ΕΚ<437		
H	437 ≤ ΕΚ<593	**F**	424 ≤ ΕΚ<565
I	593 ≤ ΕΚ	**G**	565 ≤ ΕΚ

Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρείται ότι και για τις τρεις κλιματικές ζώνες η ενεργειακή κλάση Α έχει πιο αυστηρά όρια στην περίπτωση του CEN. Τα όρια των δεικτών ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς του κανονισμού (άνω όριο της ενεργειακής κλάσης Β) είναι και στις δύο περιπτώσεις πολύ κοντά με λίγο πιο αυστηρά να είναι στην περίπτωση της μεθοδολογίας βάσει Clustering. Οι ενεργειακές κατηγορίες C και D και στις δύο περιπτώσεις είναι σχεδόν ίδιες με πολύ μικρές αποκλίσεις. Από το σημείο αυτό και μετά, οι δύο μεθοδολογίες αρχίζουν να διαφοροποιούνται σημαντικά. Πιο συγκεκριμένα η ενεργειακή κατηγορία Ε του CEN έχει πολύ μεγάλο εύρος και αντιπροσωπεύει τις κατηγορίες Ε, F και G της προτεινόμενης μεθοδολογίας ενεργειακής κατάταξης. Οι δύο τελευταίες ενεργειακές κατηγορίες και στις δύο περιπτώσεις είναι επίσης όμοιες με μικρές αποκλίσεις. Έτσι, η προτεινόμενη μεθοδολογία ταξινομώντας τα κτίρια σε 9 ενεργειακές κατηγορίες έναντι των 7 που προτείνει ο CEN είναι γενικά πιο ενθαρρυντική σε κτίρια με μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση για προσπάθειες

βελτίωσης και μεταπήδησης σε καλύτερες ενεργειακές κατηγορίες και ταυτόχρονα πιο ελαστική στην κατάταξη ενός κτιρίου στην Α ενεργειακή κατηγορία.

Επιπλέον, το σχήμα αυτό είναι πιο ευέλικτο καθώς μπορεί πολύ εύκολα να προσαρμοστεί σε λιγότερες ενεργειακές κλάσεις χωρίς αυτό να επηρεάζει τις καλύτερες και μέτριες ενεργειακές κλάσεις. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να προταθεί μία μεθοδολογία 8 ενεργειακών κατηγοριών που αν θα ήταν επιθυμητό να είναι αυστηρή με τα κτίρια με υψηλή ενεργειακή κατανάλωση θα μπορούσε να συγχωνεύσει τις δύο τελευταίες κατηγορίες (Η, Ι) σε μία χωρίς να παύει να είναι ενθαρρυντική και πάλι με τα κτίρια χαμηλότερης ενεργειακής κατανάλωσης.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι μιας και ο ΚΕΝΑΚ είναι υπό δημόσια διαβούλευση δεν έγιναν συγκρίσεις της προτεινόμενης μεθοδολογίας με αυτόν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε μία εικονική βάση δεδομένων για κτίρια γραφείων στην Ελλάδα. Τα κτίρια ήταν χωρισμένα σε 3 κλιματικές ζώνες και σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να προταθεί μία μεθοδολογία βασισμένη σε αλγορίθμους ομαδοποίησης για την ενεργειακή και περιβαλλοντική κατάταξη των κτιρίων. Για την ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων αρχικά λήφθηκαν υπόψη η συνολική ενεργειακή κατανάλωση, η ενεργειακή κατανάλωση για την θέρμανση και η ενεργειακή κατανάλωση για την ψύξη. Για την περιβαλλοντική κατάταξη των κτιρίων χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης θερμικής άνεσης.

Οι αλγόριθμοι ομαδοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο Hierarchical, ο Neural SOM και ο Fuzzy C-Means. Αυτό που διαπιστώθηκε αρχικά ήταν ότι οι αλγόριθμοι Neural SOM και Fuzzy C-Means κατέληγαν σε ίδιες σχεδόν διαμερίσεις για τις αντίστοιχες παραμέτρους ενώ σημαντική διαφοροποίηση από αυτές εμφάνιζε ο Hierarchical αλγόριθμος.

Για την εύρεση των καλύτερων διαμερίσεων χρησιμοποιήθηκαν τρεις τεχνικές επικύρωσης: ο δείκτης Silhouette, ο δείκτης Davies – Bouldin και ο δείκτης Dunn. Τα αποτελέσματα των δεικτών επικύρωσης δεν συμφωνούσαν σε όλες τις περιπτώσεις ως προς τον βέλτιστο αριθμό των clusters αν και θα πρέπει να τονιστεί ότι στην πλειοψηφία τους οι καλύτερες διαμερίσεις προέρχονταν από τον Hierarchical αλγόριθμο.

Για την τελική όμως επιλογή της καλύτερης, για την κάθε παράμετρο, διαμέρισης, έπρεπε να ληφθεί υπόψη και η ενεργειακή πολιτική που ορίζεται από τον CEN. Για τις περιπτώσεις της ενεργειακής ταξινόμησης αυτό που ενδιέφερε ήταν ο δείκτης αναφοράς του κανονισμού να οριοθετεί την Β ενεργειακή κατηγορία. Έτσι, για την συνολική ενεργειακή κατανάλωση προτάθηκε το σχήμα που βασιζόταν στην διαμέριση των 7 clusters του Fuzzy C-means που με τις απαραίτητες προεκτάσεις των άνω και κάτω ενεργειακών ορίων αποτελούνταν τελικά από 9 ενεργειακές κατηγορίες. Για τις ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης και ψύξης καμία διαμέριση δεν ικανοποιούσε την ενεργειακή πολιτική του CEN. Βέβαια, και ο CEN δεν προτείνει μία ξεχωριστή ενεργειακή ταξινόμηση ως προς τις ενέργειες θέρμανσης και ψύξης.

Για την περίπτωση της περιβαλλοντικής ταξινόμησης των κτιρίων, που είναι και η μεγάλη διαφορά της προτεινόμενης μεθοδολογίας με αυτήν του CEN, προτάθηκε το σχήμα των 3 clusters του Fuzzy C-means. Η επιλογή αυτή έγινε με μοναδικό κριτήριο τους δείκτες

επικύρωσης που σε αυτήν την περίπτωση στην πλειοψηφία τους σε όλους τους αλγορίθμους έβρισκαν ως βέλτιστη τη λύση των 3 clusters.

Έτσι, η μεθοδολογία που προτείνεται, βασίζεται στην πεποίθηση ότι η ταξινόμηση των κτιρίων θα πρέπει να μην γίνεται μονόπλευρα ως προς την ενεργειακή κατανάλωση αλλά να λαμβάνεται υπόψη και η θερμική τους άνεση.

Επιπλέον, συγκρίνοντας με την μεθοδολογία του CEN, παρατηρείται ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι πιο ενθαρρυντική στην μεταπήδηση κτιρίων σε καλύτερες ενεργειακές κλάσεις και επιπλέον πιο ευέλικτη σε αλλαγές που αφορούν το πόσο αυστηρή ή όχι θα επιθυμούσε μία χώρα να διαμορφώσει την ενεργειακή πολιτική της, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι απορρίπτει τις γενικές αρχές των προτύπων του CEN.

Μελλοντικά, η έρευνα αυτή θα μπορούσε να συνεχιστεί εφαρμόζοντας αρχικά την μεθοδολογία ενεργειακής και περιβαλλοντικής κατάταξης σε πραγματικά δεδομένα τόσο από την Ελλάδα όσο και από χώρες του εξωτερικού, με τις απαραίτητες βέβαια αλλαγές που αφορούν τις εκάστοτε ενεργειακές πολιτικές της κάθε χώρας.

Επιπλέον, θα μπορούσαν να διερευνηθούν τα χαρακτηριστικά εκείνα των κτιρίων που σχετίζονται με την υψηλή ή χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση ή με την καλή ή κακή θερμική άνεση. Αυτό θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο ώστε να διατυπωθούν και μέτρα βελτίωσης της απόδοσης των κτιρίων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] www.cbe.berkeley.edu/centerline/summer2008.pdf

[2] **Directive 2002/91/EC** of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings

[3] **B. Anderson,** "Energy performance of Buildings Directive", 2006, διαθέσιμο www.bre.co.uk/filelibrary/Scotland/Energy_Performance_of_Buildings_Directive_(EPBD).pdf

[4] **Buildings Platform,** "The set of CEN standards developed to support the implementation of the EPBD in the EU Member States", 2006, διαθέσιμο www.buildup.eu/publications/1113

[5] **EN 15217:2007,** "Energy performance of buildings-methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings"

[6] **Ε. Α. Μαριά, Δ. Κολοκοτσά,** "Το νομοθετικό πλαίσιο της εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια και η εφαρμογή του στην ελληνική νομική πραγματικότητα: κριτικές σκέψεις και παρατηρήσεις", Ενέργεια και Δίκαιο, τεύχος 11, 2009, σελ. 7-20

[7] **Νόμος 3661/2008**: «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α΄ 89)

[8] **T. Nikolaou, I. Skias, D. Kolokotsa, G. Stavrakakis,** "Virtual Building Dataset for energy and indoor thermal comfort benchmarking of office buildings in Greece", Energy and Buildings, volume 41, 2009, pp. 1409-1416

[9] **EN 15251:2006,** "Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings-addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics"

[10] **Τεχνική Οδηγία 2425/86,** 1986, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος

[11] **M. Santamouris, G. Mihalakakou, P. Patargias, N. Gaitani, K. Sfakianaki, M. Papaglastra, C. Pavlou, P. Doukas, E. Primikiri, V. Geros, M. N. Assimakopoulos, R. Mitoula, S. Zerefos,** "Using intelligent clustering techniques to

classify the energy performance of school buildings", Energy and Buildings, volume 39, 2007, pp. 45-51

[12] **Ludmila I. Kuncheva,** "Combining Pattern Classifiers, Methods and Algorithms", John Wiley & Sons, 2004

[13] **S. Theodoridis, K. Koutroubas,** "Pattern Recognition", Academic Press, 1999

[14] **R. Xu, D. Wunsch,** "Survey on Clustering Algorithms", IEEE Transactions on Neural Networks, volume 16, 2005, pp. 645-678

[15] **L. Kaufman, P. Rousseeuw,** "Finding groups in data: An introduction to cluster analysis", John Wiley & Sons, 1990

[16] **H. Romesburg,** "Cluster Analysis for researchers", Lulu Press, 2004

[17] **T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman,** "The Elements of Statistical Learning. Data Mining, Inference, and Prediction", 2nd edition, Springer, 2008

[18] **T. Kohonen, "Self-Organizing Maps",** 3rd edition, Springer, 2001

[19] **J. Vesanto, E. Alhoniemi**, "Clustering of the Self-Organizing Map", IEEE Transactions on Neural Networks, volume 11, 2000, pp. 586-600

[20] **F. Hoppner, F. Klawonn, R. Kruse, T. Runkler,** "Fuzzy Cluster Analysis: Methods for Classification, Data Analysis and Image Recognition", John Wiley & Sons, 2000

[21] **M. Halkidi, Y. Batistakis, M. Vazirgiannis,** "On Clustering Validation Techniques", Journal of Intelligent Information Systems, 17(2-3), 2001, pp. 107-145

[22] **D. Davies, D. Bouldin,** "A cluster separation measure", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, volume 1, 2009, pp. 224-227

[23] **P. Rousseeuw, "**Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis", Journal of Computational and Applied Mathematics, volume 20, 1987, pp. 53-65