



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

---

## Πρόβλεψη Φορτίου σε Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



**Τσιντζέλη Μαρίνα**

**Επιβλέπων: Κανέλλος Φώτιος**

Χανιά, Οκτώβριος 2014



## Πρόλογος

---

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε από τον Μάρτιο του 2014 έως τον Οκτώβριο του 2014 στη Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Αντικείμενο της εργασίας είναι η πρόβλεψη κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων.

Προσωπικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα Καθηγητή μου Φώτιο Κανέλλο, ο οποίος ήταν παρών καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας και με καθοδήγησε με συνέπεια και υπευθυνότητα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριζε όλα αυτά τα χρόνια, τις φίλες μου , Βάγια , Γιάννα , Δώρα, Δήμητρα, Εύη για τις αξέχαστες στιγμές που περάσαμε στα Χανιά και τον Δημήτρη για το πόσο μου συμπαράσταθηκε καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής.

Χανιά, Οκτώβριος 2014

**Τσιντζέλη Μαρίνα**

## Περίληψη

---

Στη σύγχρονη κοινωνία, η ενεργειακή παραγωγή αποτελεί πρωταρχικό μέλημα για κάθε κράτος καθώς πλέον η ηλεκτρική ενέργεια είναι ένας κρίσιμος κρίκος στην εύρυθμη λειτουργία της οικονομίας. Τις τελευταίες δεκαετίες η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας έχει αυξηθεί κατά τρόπο ραγδαίο, μία αύξηση που συμβαδίζει με την γενικότερη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί αλλά πρέπει άμεσα να καταναλώνεται, κάθε χρονική στιγμή πρέπει να λειτουργούν τόσες μονάδες παραγωγής, όσες είναι απαραίτητες για να καλυφθεί η συνολική ζήτηση των καταναλωτών. Επίσης, οι συμβατικές μεγάλες μονάδες παραγωγής παρουσιάζουν πολλούς λειτουργικούς και τεχνικούς περιορισμούς με αποτέλεσμα να επιβάλλεται ο εκ των προτέρων προγραμματισμός της λειτουργίας τους. Η πρόβλεψη της ζήτησης του φορτίου των καταναλωτών αίρει πολλούς από τους προηγούμενους περιορισμούς και καθιστά δυνατή την οικονομική λειτουργία του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την εξέταση του προβλήματος της βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης ζήτησης φορτίου σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο της διπλωματικής γίνεται μια εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, από την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι την διανομή της, με σκοπό να γίνει αντιληπτή η λειτουργία και η πολυπλοκότητα τους. Στη συνέχεια, στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται διάφοροι μέθοδοι πρόβλεψης του φορτίου όπως η εξομάλυνση, η παλινδρόμηση και η αποσύνθεση. Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναλύονται εκτενώς τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα ενώ τέλος στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναπτύσσεται μέθοδος πρόβλεψης του φορτίου σε πραγματικό χρόνο με νευρωνικά δίκτυα μέσω του προγράμματος της Matlab και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που έδωσε το αναπτυχθέν νευρωνικό δίκτυο για το έτος 2012.

## **Λέξεις-Κλειδιά**

---

Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας, Πρόβλεψη φορτίου, Βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου ,  
Τεχνητά νευρωνικά Δίκτυα

## **Index Terms**

---

Electric Power System, Load forecasting, Short-term load forecasting, Artificial neural networks

## Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	3
Περίληψη .....	4
Λέξεις-Κλειδιά.....	5
Index Terms.....	5
Περιεχόμενα.....	6
Κατάλογος Σχημάτων.....	9
Κατάλογος Πινάκων .....	11
Ονοματολογία.....	11
<b>1 Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ).....</b>	<b>12</b>
1.1 Εισαγωγή στα ΣΗΕ .....	13
1.2 Σύστημα Παραγωγής .....	14
1.2.1 Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί.....	14
1.2.2 Αεριοστροβιλικόι σταθμοί .....	17
1.2.3 Σταθμοί συνδυασμένου κύκλου .....	17
1.2.4 Ντιζελοηλεκτρικοί σταθμοί .....	18
1.2.5 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί.....	18
1.2.6 Πυρηνικοί σταθμοί.....	19
1.2.7 Επιλογή τοποθεσίας σταθμού παραγωγής .....	20
1.2.7 Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	20
1.3 Σύστημα μεταφοράς.....	23
1.3.1 Δομικά στοιχεία γραμμών μεταφοράς .....	24
1.4 Σύστημα Διανομής.....	27
1.4.1 Γραμμές μέσης τάσης.....	27
1.4.2 Υποσταθμοί διανομής .....	28
1.4.3 Γραμμές χαμηλής τάσης.....	29
<b>2 Πρόβλεψη Φορτίου.....</b>	<b>30</b>
2.1 Εισαγωγή και εφαρμογές της πρόβλεψης φορτίου.....	30
2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ζήτηση φορτίου .....	32
2.3 Χρονοσειρές .....	33

2.4 Μέθοδοι Βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης .....	34
2.4.1 Μέθοδοι εξομάλυνσης.....	36
2.4.1.1 Μέθοδος κινητών μέσων όρων .....	37
2.4.1.2 Μέθοδος σταθμισμένων κινητών μέσων όρων .....	38
2.4.1.3 Εκθετικής Εξομάλυνσης .....	38
2.4.2 Αποσύνθεση.....	40
2.4.3 Γραμμική Παλινδρόμηση .....	42
2.4.3.1 Απλή γραμμική παλινδρόμηση.....	44
2.4.3.2 Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση .....	45
2.4.4 Αυτοπαλινδρομικά μοντέλα κινητού μέσου όρου (ARIMA) .....	46
2.4.5 Οικονομετρική Μέθοδος .....	47
3 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα .....	48
3.1 Εισαγωγή στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ΤΝΔ) .....	48
3.2 Βιολογικά Νευρωνικά Δίκτυα Παράγοντες που επηρεάζουν την ζήτηση φορτίου ....	49
3.3 Βασικό μοντέλο τεχνητού νευρώνα .....	51
3.3.1 Συνάρτηση ενεργοποίησης .....	52
3.4 Αρχιτεκτονική νευρωνικών δικτύων .....	54
3.5 Λειτουργία νευρωνικών δικτύων .....	57
3.6 Εκπαίδευση νευρωνικών δικτύων .....	57
3.6.1 Μάθηση με επίβλεψη .....	58
3.6.2 Ενισχυτική μάθηση.....	59
3.6.3 Μάθηση χωρίς επίβλεψη.....	60
3.7 Ικανότητα Γενίκευσης .....	61
3.8 Πλεονεκτήματα ΤΝΔ.....	62
3.9 Τεχνητά πολυεπίπεδα νευρωνικά δίκτυα.....	63
3.9.1 Εκπαίδευση με προς τα πίσω διάδοση του σφάλματος .....	65
3.10 MLP δίκτυα και πρόβλεψη φορτίου .....	67
4 Εφαρμογή Μεθόδων Πρόβλεψης Φορτίου στο Ελληνικό Σύστημα .....	69
4.1 Κατασκευή χαρακτηριστικών διαγραμμάτων .....	69
4.1.1 Ετήσια διαγράμματα .....	72
4.1.2 Διαγράμματα καθημερινών ημερών ανά εποχή .....	75
4.1.3 Διαγράμματα ημέρας Σαββάτου ανά εποχή .....	77
4.1.4 Διαγράμματα ημέρας Κυριακής ανά εποχή .....	79
4.1.5 Συμπεράσματα Διαγραμμάτων.....	81

4.2 Διαδικασία εκπαίδευσης του δικτύου .....	85
4.2.1 Εκπαίδευση με 60 κρυφούς νευρώνες .....	88
4.2.2 Εκπαίδευση με 80 κρυφούς νευρώνες .....	91
4.2.3 Εκπαίδευση με 100 κρυφούς νευρώνες .....	94
4.2.4 Εκπαίδευση με 120 κρυφούς νευρώνες .....	97
4.3 Συγκρίσεις και συμπεράσματα.....	100
4.4 Προεκτάσεις.....	100
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	106
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β .....	155
Βιβλιογραφία .....	157



## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Δομή Ατμοηλεκτρικού σταθμού .....	14
Σχήμα 1.2: Δομή Αεριοστροβιλικού σταθμού .....	15
Σχήμα 1.3: Δομή Σταθμού συνδυασμένου κύκλου .....	16
Σχήμα 1.4: Υδροηλεκτρική εγκατάσταση .....	18
Σχήμα 1.5: Δομή Συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας .....	22
Σχήμα 1.6: Είδη πυλώνων υψηλής τάσης .....	25
Σχήμα 1.7: Εναέριος υποσταθμός διανομής .....	27
Σχήμα 1.8: Επίγειος υποσταθμός διανομής .....	28
Σχήμα 1.9: Υπόγειος υποσταθμός διανομής .....	28
Σχήμα 2.1: Διάρθρωση συστημάτων πρόβλεψης .....	34
Σχήμα 2.2: Στάδια γραμμικής παλινδρόμησης .....	42
Σχήμα 3.1: Βιολογικός νευρώνας .....	48
Σχήμα 3.2: Τεχνητός Νευρώνας .....	50
Σχήμα 3.3: Βηματική συνάρτηση ενεργοποίησης .....	51
Σχήμα 3.4: Γραμμική συνάρτηση ενεργοποίησής .....	52
Σχήμα 3.5: Σιγμοειδής συνάρτηση ενεργοποίησης .....	52
Σχήμα 3.6: Δίκτυο πρόσθιας τροφοδότησης ενός επιπέδου .....	54
Σχήμα 3.7: Πολυεπίπεδα δίκτυα πρόσθιας τροφοδότησης .....	54
Σχήμα 3.8: Αναδρομικό δίκτυο .....	55
Σχήμα 3.9: Αναδρομικό δίκτυο με κρυφούς νευρώνες .....	55
Σχήμα 3.10: Διαδικασία εκμάθησης νευρωνικού δικτύου .....	57
Σχήμα 3.11: Μάθηση με επίβλεψη .....	58
Σχήμα 3.12: Μάθηση με ενίσχυση .....	59
Σχήμα 3.13: Πολυεπίπεδο Perceptron .....	63
Διάγραμμα 4.1: Προφίλ ηλεκτρικού φορτίου .....	71
Διάγραμμα 4.2: Προφίλ μέγιστων τιμών ηλεκτρικού φορτίου .....	72
Διάγραμμα 4.3: Καμπύλη μέγιστων θερμοκρασιών - μέγιστου φορτίου 2012 .....	72
Διάγραμμα 4.4: Κατανάλωση για κάθε ημέρα 2012 .....	73
Διάγραμμα 4.5: Ωριαία κατανάλωση καθημερινών ημερών όλου του έτους .....	73

Διάγραμμα 4.6: Ωριαία κατανάλωση ημερών αργίας όλου του έτους .....	74
Διάγραμμα 4.7: Κατανάλωση κατά τη διάρκεια καθημερινών ημερών του Χειμώνα .....	74
Διάγραμμα 4.8: Κατανάλωση κατά τη διάρκεια καθημερινών ημερών της Άνοιξης .....	75
Διάγραμμα 4.9: Κατανάλωση κατά τη διάρκεια καθημερινών ημερών του Καλοκαιριού .....	75
Διάγραμμα 4.10: Κατανάλωση κατά τη διάρκεια καθημερινών ημερών του Φθινοπώρου ....	76
Διάγραμμα 4.11: Κατανάλωση κατά τη διάρκεια ημερών του Σαββάτου για το Χειμώνα.....	76
Διάγραμμα 4.12: Κατανάλωση κατά τη διάρκεια ημερών του Σαββάτου για την Άνοιξη .....	77
Διάγραμμα 4.13: Κατανάλωση κατά τη διάρκεια ημερών του Σαββάτου για το Καλοκαίρι..	77
Διάγραμμα 4.14: Κατανάλωση κατά τη διάρκεια ημερών του Σαββάτου για το Φθινόπωρο.	78
Διάγραμμα 4.15: Κατανάλωση όλης της ημέρας της Κυριακής για το Χειμώνα.....	78
Διάγραμμα 4.16: Κατανάλωση όλης της ημέρας της Κυριακής για την Άνοιξη .....	79
Διάγραμμα 4.17: Κατανάλωση όλης της ημέρας της Κυριακής για το Καλοκαίρι.....	79
Διάγραμμα 4.18: Κατανάλωση όλης της ημέρας της Κυριακής για το Φθινόπωρο.....	80
Σχήμα 4.1 : Σχηματική αναπαράσταση ΤΝΔ με N νευρώνες στο κρυφό επίπεδο .....	85
Διάγραμμα 4.19: ΤΝΔ με 60 κρυφούς νευρώνες.....	87
Διάγραμμα 4.20: Σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης για 60 κρυφούς νευρώνες .....	87
Διάγραμμα 4.21: Καμπύλη εκπαίδευσης δικτύου για 60 κρυφούς νευρώνες .....	88
Διάγραμμα 4.22: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 60 κρυφούς νευρώνες (14/01).....	88
Διάγραμμα 4.23: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 60 κρυφούς νευρώνες (25/05).....	89
Διάγραμμα 4.24: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 60 κρυφούς νευρώνες (28/07).....	89
Διάγραμμα 4.25: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 60 κρυφούς νευρώνες (14/11).....	90
Διάγραμμα 4.26: ΤΝΔ με 80 κρυφούς νευρώνες .....	90
Διάγραμμα 4.27: Σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης για 80 κρυφούς νευρώνες .....	91
Διάγραμμα 4.28: Καμπύλη εκπαίδευσης δικτύου για 80 κρυφούς νευρώνες .....	91
Διάγραμμα 4.29: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 80 κρυφούς νευρώνες (14/01).....	92
Διάγραμμα 4.30: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 80 κρυφούς νευρώνες (25/05).....	92
Διάγραμμα 4.31: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 80 κρυφούς νευρώνες (28/07).....	93
Διάγραμμα 4.32: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 80 κρυφούς νευρώνες (14/11).....	93
Διάγραμμα 4.33: ΤΝΔ με 100 κρυφούς νευρώνες .....	94
Διάγραμμα 4.34: Σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης για 100 κρυφούς νευρώνες .....	94
Διάγραμμα 4.35: Καμπύλη εκπαίδευσης δικτύου με 100 κρυφούς νευρώνες.....	95
Διάγραμμα 4.36: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 100 κρυφούς νευρώνες (14/01).....	94
Διάγραμμα 4.37: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 100 κρυφούς νευρώνες (25/05).....	94
Διάγραμμα 4.38: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 100 κρυφούς νευρώνες (28/07).....	95

Διάγραμμα 4.39: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 100 κρυφούς νευρώνες (14/11).....	95
Διάγραμμα 4.40: ΤΝΔ με 120 κρυφούς νευρώνες .....	96
Διάγραμμα 4.41: Σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης για 120 κρυφούς νευρώνες .....	96
Διάγραμμα 4.21: Καμπύλη εκπαίδευσης δικτύου με 120 κρυφούς νευρώνες.....	88
Διάγραμμα 4.36: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 120 κρυφούς νευρώνες (14/01).....	97
Διάγραμμα 4.37: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 120 κρυφούς νευρώνες (25/05).....	97
Διάγραμμα 4.38: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 120 κρυφούς νευρώνες (28/07).....	98
Διάγραμμα 4.39: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 120 κρυφούς νευρώνες (14/11).....	98

## Κατάλογος Πινάκων

---

Πίνακας 1.1: Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί διασυνδεδεμένου δικτύου Ελλάδας .....	20
Πίνακας 1.2: Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί Κρήτης και Ρόδου .....	20
Πίνακας 1.3: Υδροηλεκτρικοί σταθμοί διασυνδεδεμένου δικτύου Ελλάδας .....	21
Πίνακας 4.1: Κωδικοποίηση ημερών βδομάδας.....	74
Πίνακας 4.2: Κωδικοποίηση ανά είδος ημέρας .....	75
Πίνακας 4.3: Κωδικοποίηση μετεωρολογικών δεδομένων .....	75
Πίνακας 4.3: Μέσα απόλυτα ποσοστιαία σφάλματα κάθε ώρας κάθε μεθόδου πρόβλεψης.	100

## Ονοματολογία

---

<i>ΣΗΕ</i>	<i>Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας</i>
<i>ΤΝΔ</i>	<i>Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα</i>
<i>MLP</i>	<i>Πολυεπίπεδα νευρωνικά δίκτυα (Multi-Layer Perceptron)</i>
<i>MAPE</i>	<i>Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Mean Average Percentage Error)</i>
<i>MW</i>	<i>Mega(<math>10^6</math>) Watt</i>
<i>MWh</i>	<i>Mega Watt-hour</i>



# 1 Συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ)

---

## 1.1 Εισαγωγή στα ΣΗΕ

*Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ)*, ορίζεται το σύνολο των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτηθεί με ηλεκτρική ενέργεια οι καταναλωτές. Κύριος σκοπός ενός ΣΗΕ είναι η κάλυψη της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται τόσο η αξιοπιστία του συστήματος όσο και η ασφάλεια και η ποιότητα των υπηρεσιών στη χαμηλότερη κατά το δυνατόν τιμή. Τα βασικά στοιχεία που αποτελούν ένα τέτοιο σύστημα είναι:

- οι σταθμοί παραγωγής
- οι γραμμές μεταφοράς
- το δίκτυο διανομής

Οι **σταθμοί παραγωγής** είναι η “ζωτική” μονάδα ενός ΣΗΕ, καθώς εκεί παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια σε επαρκείς ποσότητες, χρησιμοποιώντας ως επί το πλείστον συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως είναι τα ορυκτά καύσιμα. Σημαντική είναι και η παραγωγή από υδροηλεκτρική ενέργεια, ενώ είναι δυνατόν να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια και από άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως είναι η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμία.

Για τη μεταφορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στα κέντρα διανομής και κατανάλωσης χρησιμοποιούνται οι **γραμμές μεταφοράς** οι οποίες είναι είτε εναέριες είτε υπόγειες. Ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα γραμμών μεταφοράς καθιστά δυνατή τη μεταφορά μεγάλων ποσών ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις με τις μικρότερες δυνατές απώλειες.

Τέλος, η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στους επιμέρους καταναλωτές στηρίζεται σε ένα πυκνό **δίκτυο διανομής** μέσης και χαμηλής τάσης.

## 1.2 Σύστημα Παραγωγής

Η διαδικασία της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής που είναι συγκροτήματα ηλεκτρομηχανικών διατάξεων. Περισσότερες από μία μονάδες ηλεκτροπαραγωγής αποτελούν τον σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στους σταθμούς παραγωγής γίνεται είτε η μετατροπή της χημικής ενέργειας των καυσίμων μετατρέπόμενη σε θερμική είτε της δυναμικής ενέργειας των υδάτων (υδροηλεκτρικοί σταθμοί) σε ηλεκτρική. Για αυτό το λόγο διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τους *θερμοηλεκτρικούς* και τους *υδροηλεκτρικούς*.

Ανάλογα με το μέσο και τις μηχανές που χρησιμοποιούν για τον θερμοδυναμικό τους κύκλο, οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί διακρίνονται σε :

- *ατμοηλεκτρικούς* που χρησιμοποιούν ατμό και ατμοστρόβιλους
- *αεριοστροβιλικούς* που χρησιμοποιούν καυσάερια και αεριοστρόβιλους
- σταθμούς *συνδυασμένου κύκλου* που αποτελούν συνδυασμό των ατμοηλεκτρικών και των αεριοστροβιλικών σταθμών
- *ντιζελοηλεκτρικούς* σταθμούς που χρησιμοποιούν εμβολοφόρους κινητήρες ντίζελ

Συμβατικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται διεθνώς στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς είναι οι γαιάνθρακες (λιθάνθρακες, λιγνίτης, τύρφη), το πετρέλαιο (ντίζελ, μαζούτ), το φυσικό αέριο και η ενέργεια στον πυρήνα των ατόμων. Στην Ελλάδα, οι εγχώριοι λιγνίτες χαμηλής θερμογόνου δύναμης αποτελούν τον συνηθέστερο τύπο καυσίμου[7].

### 1.2.1 Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί

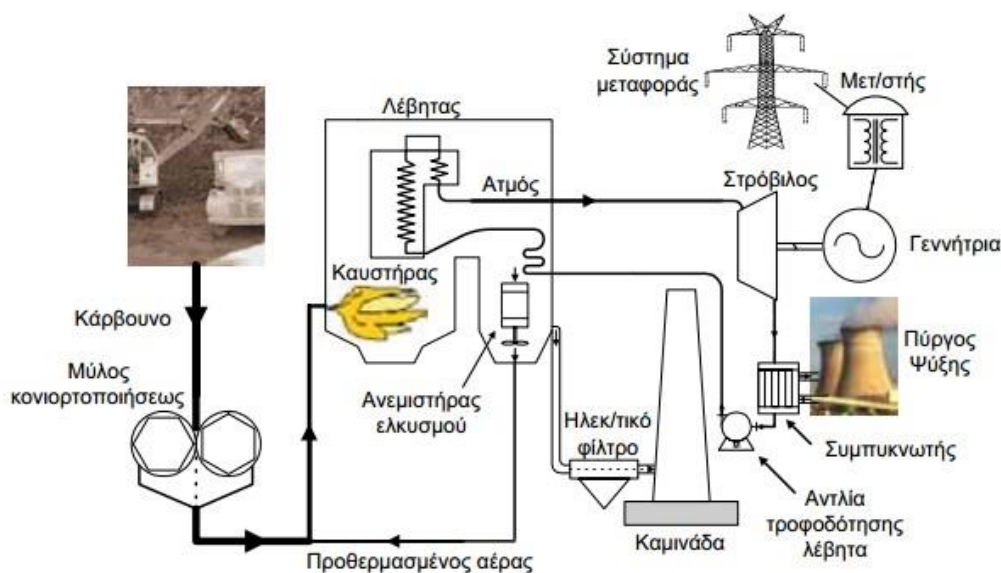
---

Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί εξυπηρετούν το μεγαλύτερο ποσοστό της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και είναι οι πιο οικονομικές μονάδες για μεγάλες εγκαταστάσεις. Έχουν βαθμό απόδοσης κοντά στο 40% ενώ τα αρνητικά τους χαρακτηριστικά είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος, η αργή τους εκκίνηση που μπορεί να διαρκέσει μέχρι και 8 ώρες και οι μεγάλοι χρόνοι απόκρισης τους [3].

Στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς που χρησιμοποιείται λιγνίτης, αυτός σε πρώτο στάδιο κονιορτοποιείται, με ειδικούς μύλους, σε κόκκους συγκεκριμένων διαστάσεων. Ο

κονιορτοποιημένος λιγνίτης οδηγείται για καύση σε ειδικούς καυστήρες και αφού αναμειχθεί με προθερμασμένο αέρα θερμαίνει τους λέβητες οι οποίοι περιέχουν νερό.

Ο λέβητας παράγει ατμό υψηλής θερμοκρασίας (540-570 °C) και πίεσης 170 ατμοσφαιρών (υπέρθερμος ατμός). Ο ατμός αυτός οδηγείται με ατμαγωγούς σε στρόβιλο τον οποίο και στρέφει μετατρέποντας την ενέργεια του ατμού σε μηχανική. Στον άξονα του στροβίλου συνδέεται ο άξονας της γεννήτριας, που περιστρέφεται με την περιστροφή του στροβίλου και παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μέσω του μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης καταλήγει σε γραμμές υψηλής και υπερυψηλής τάσης στο δίκτυο μεταφοράς.



Σχήμα 1.1: Σχηματική παράσταση λειτουργίας ατμοηλεκτρικού σταθμού [3]

Ο ατμός που έχει χρησιμοποιηθεί για την περιστροφή του στροβίλου, στην συνέχεια περνάει από τον συμπυκνωτή μέσω σωλήνων γύρω από τους οποίους ρέει ψυκτικό υγρό (νερό από κοντινές θάλασσες, ποτάμια ή λίμνες) και με αυτό τον τρόπο ο ατμός συμπυκνώνεται και μετατρέπεται σε νερό το οποίο τροφοδοτείται ξανά στον λέβητα με την βοήθεια αντλιών.

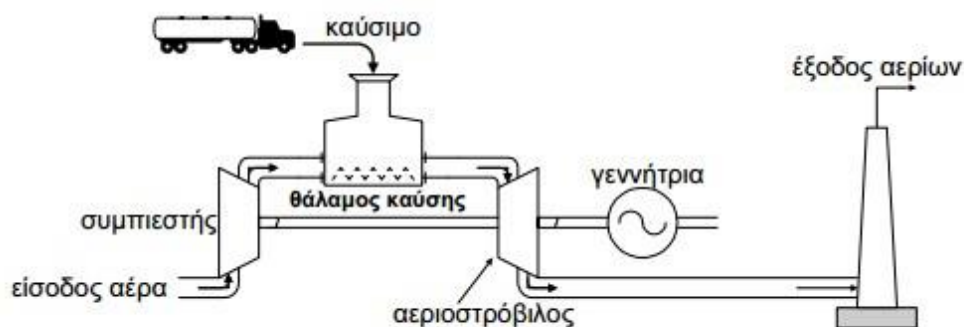
Για την αποβολή της θερμότητας που δεν χρησιμοποιήθηκε, χρησιμοποιούνται μεγάλοι πύργοι ψύξης που αποβάλουν την θερμότητα στο περιβάλλον. Για τις τεράστιες αυτές ποσότητες θερμικής ενέργειας που απελευθερώνονται στο περιβάλλον από τους σταθμούς, υπάρχει δυνατότητα να γίνει εκμετάλλευσή τους με την παραγωγή θερμού νερού για βιομηχανίες ή για οικιακή χρήση (τηλεθέρμανση).

Τα παραγόμενα αέρια που δημιουργούνται από την καύση του λιγνίτη, οδηγούνται σε καμινάδες και αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα. Τα αέρια αυτά περιέχουν μεταξύ άλλων και οξείδια του θείου που είναι ιδιαίτερα βλαβερά για την ατμόσφαιρα για αυτό συχνά στους σταθμούς παραγωγής τοποθετούνται ηλεκτροστατικά φίλτρα κατακράτησης του θείου.

### 1.2.2 Αεριοστροβιλικοί σταθμοί

Οι αεριοστροβιλικοί σταθμοί σε κανονική λειτουργία είναι αντισυμβατικοί αν συγκριθούν με τους ατμοηλεκτρικούς. Έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης της τάξης του 25-30% και τα καύσιμα που χρησιμοποιούν (πετρέλαιο, φυσικό αέριο) είναι πιο ακριβά [3]. Η χρησιμότητα τους όμως οφείλεται στην ικανότητα που έχουν για γρήγορη εκκίνηση και ανάληψη φορτίου σε λίγα μόλις λεπτά. Για αυτό το λόγο θεωρούνται ιδανική επιλογή για την κάλυψη των αιχμών ζήτησης καθώς και για την τροφοδότηση μικρών ή απομονωμένων νησιών.

Οι αεριοστροβιλικοί σταθμοί αποτελούνται, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.2, από τέσσερις βασικές μονάδες, τον αεριοστρόβιλο, τον συμπιεστή, την γεννήτρια και τον θάλαμο καύσης, με τον συμπιεστή, το στρόβιλο και τη γεννήτρια να βρίσκονται σε κοινό άξονα. Οι αεριοστρόβιλοι είναι περιστρεφόμενες μηχανές και ανήκουν στις μηχανές εσωτερικής καύσης χρησιμοποιώντας ως καύσιμο πετρέλαιο ή φυσικό αέριο.



Σχήμα 1.2: Σχηματική παράσταση αεριοστροβιλικού σταθμού [3]

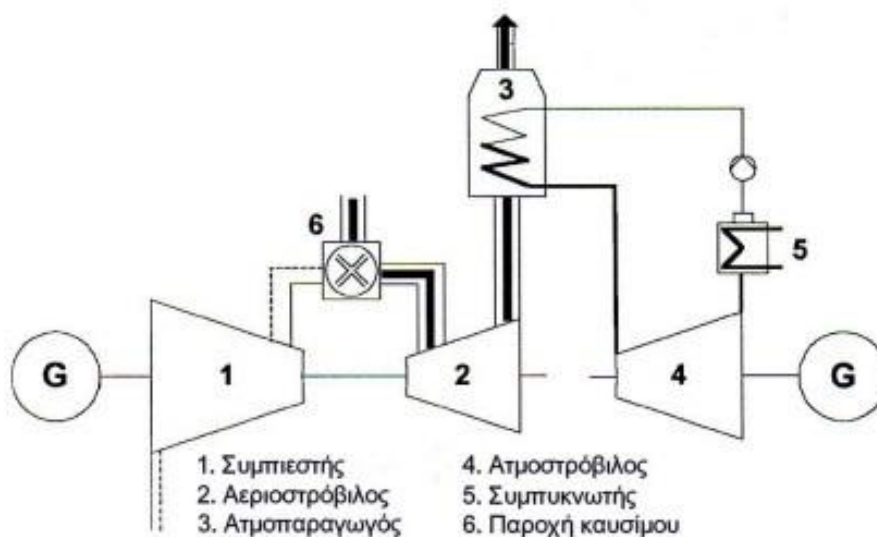
Στην εκκίνηση το σύστημα χρειάζεται εξωτερική επέμβαση που πραγματοποιείται με τη βοήθεια ηλεκτροκινητήρα μέχρι ο αεριοστρόβιλος να αποκτήσει συγκεκριμένες στροφές και να παρασύρει σε περιστροφή και τον συμπιεστή. Ο συμπιεστής αναρροφά εξωτερικό



ατμοσφαιρικό αέρα ο οποίος συμπιέζεται και θερμαίνεται. Στη συνέχεια ο συμπιεσμένος αέρας οδηγείται στον θάλαμο καύσης όπου αναμειγνύεται με το καύσιμο και εξασφαλίζεται συνεχής καύση. Τα αέρια που παράγονται από την καύση εκτονώνονται στις διαδοχικές βαθμίδες του αεριοστρόβιλου προκαλώντας την περιστροφή του. Με την περιστροφή του αεριοστρόβιλου, στρέφεται η γεννήτρια και παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.

### 1.2.3 Σταθμοί συνδυασμένου κύκλου

Με τον όρο σταθμοί συνδυασμένου κύκλου περιγράφονται οι σταθμοί που συνδυάζουν αεριοστροβλικές και ατμοστροβλικές εγκαταστάσεις. Οι μονάδες αυτές διακρίνονται για το μεγάλο συνολικό βαθμό απόδοσης τους που φτάνει το 60% αλλά μειονέκτημα τους αποτελεί το ότι χρησιμοποιούν ως καύσιμο πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Κύριο λόγο για την δημιουργία των σταθμών συνδυασμένου κύκλου αποτέλεσε η εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας που διαφεύγει στο περιβάλλον στους αεριοστροβλικούς σταθμούς.



Σχήμα 1.3: Δομή σταθμού συνδυασμένου κύκλου [9]

Το αρχικό στάδιο λειτουργίας ταυτίζεται με την λειτουργία ενός αεριοστροβλικού σταθμού καθώς τροφοδοτείται καύσιμο στο θάλαμο καύσης και αφού εκτονωθούν τα αέρια στρέφουν τον αεριοστρόβιλο παράγοντας μηχανική ισχύ. Η διαφορά έγκειται στο ότι τα θερμά αέρια

από την έξοδο του αεριοστρόβιλου μεταβαίνουν σε ειδικούς λέβητες ανάκτησης θερμότητας και αξιοποιούνται για την παραγωγή ατμού χωρίς να παρεμβάλλεται κάποια πρόσθετη πηγή θερμότητας. Ο ατμός αυτός διοχετεύεται με ατμαγωγούς στον ατμοστρόβιλο για επιπρόσθετη παραγωγή ενέργειας. Ο εκτονωμένος ατμός οδηγείται στον συμπυκνωτή και τέλος συμπιέζεται από τις αντλίες για ανατροφοδότηση του κύκλου [9].

#### **1.2.4 Ντιζελοηλεκτρικοί σταθμοί**

---

Οι ντιζελοηλεκτρικοί σταθμοί χρησιμοποιούν για την περιστροφή των γεννητριών τους, εμβολοφόρους ντιζελοκινητήρες, με καύσιμο κυρίως πετρέλαιο. Η απόδοση τους φτάνει έως 50% αλλά δεν χρησιμοποιούνται στο διασυνδεδεμένο δίκτυο παρά μόνο για την τροφοδότηση μικρών απομονωμένων, αυτόνομων δικτύων που βρίσκονται κυρίως σε νησιά. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης προτιμούνται για μικρές ισχύες σε σχέση με τους αεριοστρόβιλους. Άλλα βασικά πλεονεκτήματά των μηχανών ντίζελ είναι οι απλές εγκαταστάσεις τους καθώς και ότι τίθενται γρήγορα σε λειτουργία. Στα αρνητικά χαρακτηριστικά τους συμπεριλαμβάνονται η επιβάρυνση του περιβάλλοντος, το αυξημένο κόστος λειτουργίας, η συχνή συντήρηση, και οι συχνές βλάβες.

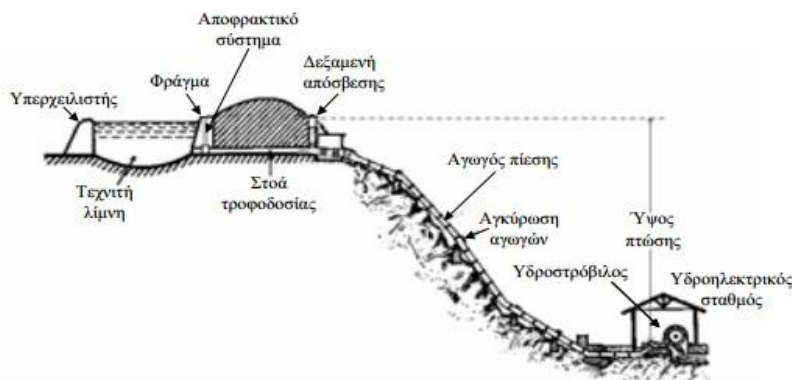
#### **1.2.5 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί**

---

Υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι οι σταθμοί που στηρίζονται στην μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού τεχνητών λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια. Συνήθως οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί σχεδιάζονται ώστε να ικανοποιούν ταυτόχρονα διάφορους σκοπούς, όπως τον έλεγχο της ροής του ποταμού, την αποθήκευση νερού για ύδρευση και πόση και την διευκόλυνση της ναυσιπλοΐας. Ένα από τα πλεονεκτήματα των υδροηλεκτρικών σταθμών αποτελεί το γεγονός ότι η ηλεκτρική ενέργεια αποκτάται χωρίς ιδιαίτερο λειτουργικό κόστος ενώ μετά το πέρας των εργασιών κατασκευής τους, δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον. Παρόλα αυτά το αρχικό κόστος είναι μεγάλο, η κατασκευή τους μακροχρόνια και οι τεχνικές δυσκολίες που πρέπει να ξεπεραστούν αρκετές.

Τα βασικά μέρη μιας υδροηλεκτρικής εγκατάστασης είναι ο ταμιευτήρας-δεξαμενή (συνηθέστερα λίμνη ή ποταμός), το υδατόφραγμα, ο υδαταγωγός, ο υδροηλεκτρικός σταθμός, ο στρόβιλος και η γεννήτρια. Το νερό ρέει από τον ταμιευτήρα, μέσω των

υδαταγωγών, στον στρόβιλο ο οποίος λειτουργεί σαν μετατροπέας της δυναμικής ενέργειας του νερού σε μηχανική. Η γεννήτρια είναι συνδεδεμένη σε κοινό άξονα με τον υδροστρόβιλο και μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική.



Σχήμα 1.4: Υδροηλεκτρική Εγκατάσταση [3]

Σε ορισμένες περιόδους, όταν το νερό στον ταμιευτήρα είναι λίγο, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί η γεννήτρια του υδροηλεκτρικού σταθμού σαν κινητήρας και να αντληθεί νερό από την έξοδο του υδροστρόβιλου με σκοπό να μεταφερθεί στον κινητήρα. Οι σταθμοί αυτοί ονομάζονται υδροαντλητικοί και θα πρέπει να έχει προηγηθεί ανάλογη μελέτη ώστε ο υδροστρόβιλος να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αντλιοστρόβιλος.

### 1.2.6 Πυρηνικοί σταθμοί

Παρόλο που στον Ελληνικό χώρο δεν υπάρχουν εγκαταστάσεις πυρηνικών σταθμών, αποτελεί ένα σημαντικό τρόπο για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρισμού σε άλλες χώρες π.χ. Γαλλία. Οι πυρηνικοί σταθμοί, παράγουν ραδιενεργά απόβλητα τα οποία εγκυμονούν περιβαλλοντικούς κινδύνους.

### 1.2.7 Επιλογή τοποθεσίας σταθμού παραγωγής

---

Ένας βασικός παράγοντας είναι η επιλογή της θέσης εγκατάστασης των σταθμών παραγωγής. Οι επιλογές που υπάρχουν για τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς είναι να κατασκευάζονται είτε κοντά στα κέντρα κατανάλωσης, στις περιοχές δηλαδή που υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, είτε κοντά στις περιοχές που είναι διαθέσιμη η πρωτογενής μορφής ενέργειας. Το κόστος μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας και το κόστος μεταφοράς των καυσίμων που χρησιμοποιούνται είναι οι κύριες παράμετροι που συνυπολογίζονται για την επιλογή της κατάλληλης τοποθεσία. Ωστόσο οι μεγάλοι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί κατασκευάζονται συνήθως κοντά στα κέντρα παραγωγής της πρώτης ύλης, ώστε να υπάρχει εύκολη πρόσβαση για την μεταφορά του καυσίμου, και σε περιοχές με επαρκή ποσότητα νερού για χρήση στα συστήματα ψύξης. Επιπλέον πρέπει να υπάρχει δυνατότητα αποθήκευσης του καυσίμου στους χώρους του σταθμού παραγωγής [3] .

Η επιλογή της τοποθεσίας των υδροηλεκτρικών εργοστασίων είναι λιγότερο ευέλικτη. Κατασκευάζονται σε περιοχές με ικανοποιητική ροή νερού (λίμνη, μεγάλος ποταμός) και κατάλληλη διαμόρφωση εδάφους.

### 1.2.8 Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

---

Στην Ελλάδα ο κύριος πάροχος ηλεκτρισμού για παραγωγή, μεταφορά και διανομή είναι η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα αποτελείται από το διασυνδεδεμένο σύστημα της ηπειρωτικής χώρας και τα ανεξάρτητα συστήματα της Κρήτης, της Ρόδου και των μικρότερων νησιών.

Οι μονάδες παραγωγής στην ηπειρωτική Ελλάδα συνεπώς είναι κυρίως λιγνιτικές αλλά και πετρελαϊκές, υδροηλεκτρικές, φυσικού αερίου. Στην Κρήτη και την Ρόδο χρησιμοποιούνται σχεδόν εξ ολοκλήρου πετρελαϊκές μονάδες.

Παρακάτω παρουσιάζονται τρεις πίνακες. Ο πρώτος περιέχει βασικές πληροφορίες για τους θερμικούς σταθμούς του ελληνικού διασυνδεδεμένου συστήματος δίκτυο, ο δεύτερος την αντίστοιχη πληροφορία για τους θερμικούς σταθμούς στην Κρήτη και την Ρόδο ενώ ο τρίτος παρουσιάζει τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς σε όλο τον Ελλαδικό χώρο.

<i>Σταθμοί Παραγωγής</i>	<i>Εγκατεστημένη ισχύς (MW)</i>	<i>Τύπος καυσίμου</i>
Αγ. Γεώργιος	360	Φυσικό Αέριο
Αλιβέρι	380	Μαζούτ
Πτολεμαΐδα	620	Λιγνίτης
Καρδιά	1250	Λιγνίτης
Αγ. Δημήτριος	1595	Λιγνίτης
Μεγαλόπολη	850	Λιγνίτης
Λαύριο	1572	Μαζούτ/Φυσικό Αέριο
ΛΙΠΤΟΛ	43	Λιγνίτης
Αμύνταιο	600	Λιγνίτης
Μελίτης-Αχλάδας	330	Λιγνίτης
Κομοτηνή	485	Φυσικό Αέριο
Ζάκυνθος	27	Diesel

Πίνακας 1.1 : Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί διασυνδεδεμένου δικτύου Ελλάδας [11]

<i>Σταθμοί Παραγωγής</i>	<i>Εγκατεστημένη ισχύς (MW)</i>	<i>Τύπος καυσίμου</i>
Λινοπεράματα/Ηράκλειο	193	Μαζούτ/Diesel
Χανιά	322	Μαζούτ/Diesel
Ρόδος	234	Μαζούτ/Diesel

Πίνακας 1.2: Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί Κρήτης και Ρόδου [11]

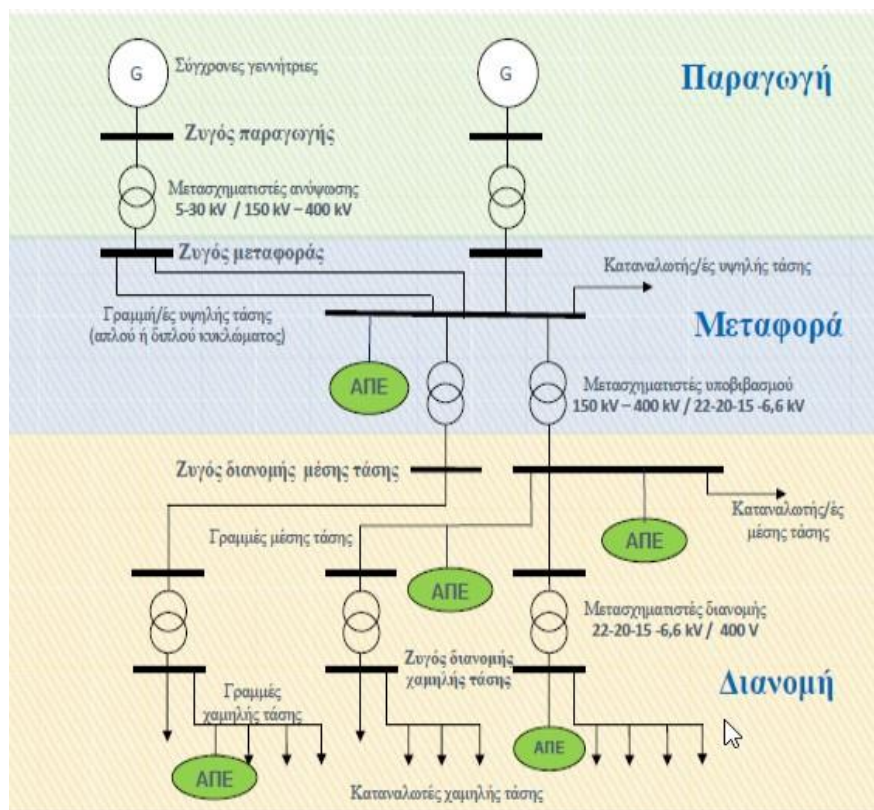
<i>Σταθμοί Παραγωγής</i>	<i>Μονάδες</i>	<i>Εγκατεστημένη ισχύς (MW)</i>
Πολύφυτο	3	375
Κρεμαστά	4	437
Καστράκι	4	320
Πλαστήρα	3	130
Λάδωνας	2	70
Άγρας	2	50
Εδεσσαίος	1	19
Λούρος	3	10,3
Πουρνάρι	6	333,6
Ασώματα	2	108
Σφηκιά	3	315
Στράτος	4	156,2
Γκιώνα	1	8,5
Πηγές Αώου	2	210
Μακροχώρι	3	10,8
Θησαυρός	3	384
Πλατανόβρυση	2	116
Μικροί ΥΗΣ	8	6,8

Πίνακας 1.3: Υδροηλεκτρικοί σταθμοί διασυνδεδεμένου δικτύου Ελλάδος [11]

Σημειώνεται ότι στην Δυτική Μακεδονία παράγεται σχεδόν το 70% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής και στη συνέχεια μεταφέρεται στην Κεντρική και Νότια Ελλάδα.

### 1.3 Σύστημα μεταφοράς

Το επόμενο στάδιο μετά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η μεταφορά της από τους σταθμούς παραγωγής μέχρι τους υποσταθμούς που τροφοδοτούν τα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης και από όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής [2]. Οι εγκαταστάσεις αυτές μπορεί να βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους και η ενέργεια μπορεί να διακινηθεί μέσω των γραμμών του συστήματος μεταφοράς.



Σχήμα 1.5: Δομή Συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας [2]

Το σύστημα μεταφοράς διαχειρίζεται μεγάλα ποσά ισχύος καθώς δέχεται άμεσα την ηλεκτρική ενέργεια από τους σταθμούς παραγωγής. Αποτελείται ουσιαστικά από τις γραμμές μεταφοράς και τους υποσταθμούς. Στους σταθμούς παραγωγής οι γεννήτριες συνδέονται με μετασχηματιστές ώστε να ανυψωθεί η τάση και να γίνει κατάλληλη για τις γραμμές μεταφοράς. Στις γραμμές μεταφοράς οι τάσεις είναι στα επίπεδα των 400 kV

(υπερύψηλη τάση) και των 150 kV (υψηλή τάση). Για αυτό το λόγο, οι γραμμές φθάνουν μέχρι τους υποσταθμούς όπου υποβιβάζεται η τάση και από εκεί ξεκινάει το σύστημα διανομής όπου η ηλεκτρική ενέργεια φτάνει τελικά στον καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης μέσω των γραμμών μέσης και χαμηλής τάσης αντίστοιχα [8] .

Οι γραμμές διακρίνονται, εκτός από την τάση λειτουργίας τους, σε *εναέριες*, εκείνες δηλαδή που υποβαστάζονται από κατάλληλα υποστηρίγματα πάνω από το έδαφος (πυλώνες) και σε *υπόγειες* που αποτελούνται από ηλεκτρικά καλώδια με ισχυρή μόνωση. Οι εναέριες έχουν υπερισχύσει των υπόγειων καλωδίων λόγω του χαμηλότερου κόστους.

### **1.3.1 Δομικά στοιχεία γραμμών μεταφοράς**

Ένα σύνολο εγκαταστάσεων και συσκευών απαρτίζει τις εναέριες γραμμές μεταφοράς που συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Αγωγοί που μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια
- Πυλώνες που στηρίζουν του αγωγούς
- Μονωτήρες που συγκρατούν τους αγωγούς στους στύλους και τους μονώνουν
- Μετασχηματιστές που μετασχηματίζουν την τάση στους υποσταθμούς μεταφοράς και διανομής
- Προστατευτικές διατάξεις

#### **Αγωγοί**

Οι εναέριες γραμμές χρησιμοποιούν αγωγούς αλουμινίου, κράματος αλουμινίου και αλουμίνιο ενισχυμένο με χάλυβα λόγω της πολύ καλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της ικανότητας τους να είναι ελαφριοί. Αυτοί οι αγωγοί αλουμινίου είναι κατά κανόνα πολύκλωνοι, αποτελούνται δηλαδή από πολλούς κλώνους οι οποίοι σχηματίζουν έναν αγωγό. Οι πολύκλωνοι αγωγοί μπορεί να είναι πιο ακριβοί από τους μονόκλωνους αλλά χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη ευκαμψία, είναι περισσότερο εύχρηστοι και έχουν μεγαλύτερη μηχανική αντοχή [3].



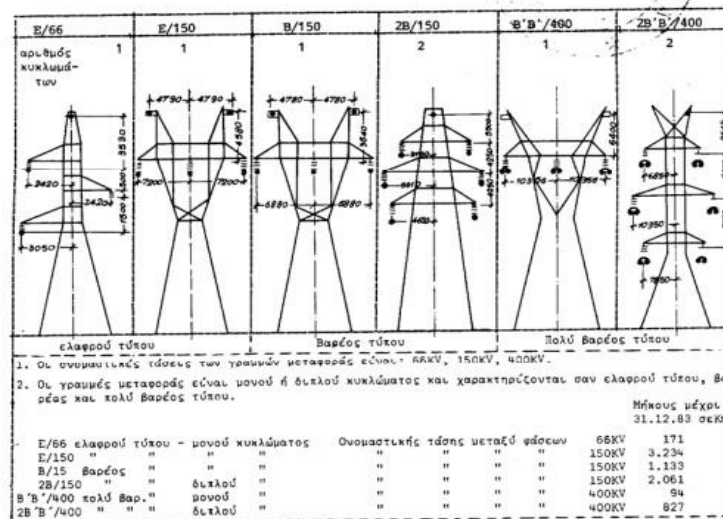
Συχνά στις γραμμές μεταφοράς εμφανίζεται ένα φαινόμενο, το *φαινόμενο Corona*, το οποίο είναι αιτία για απώλειες και ραδιοφωνικές παρεμβολές. Στις γραμμές υπερύψηλης και υψηλής τάσης στην επιφάνεια των αγωγών δημιουργείται ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο ionίζει τον αέρα κοντά στον αγωγό. Εάν η τάση στις γραμμές μεταφοράς υπερβεί μία συγκεκριμένη τιμή, ο ionισμός είναι αυξανόμενος και δημιουργούνται εκκενώσεις (φαινόμενο Corona). Οι εκκενώσεις αυτές αυξάνονται όταν ο αγωγός δεν είναι λείος και οδηγούν στην διάβρωση του. Για τον περιορισμό του φαινομένου, αυξάνεται η διάμετρος των αγωγών ώστε να μειωθεί το ηλεκτρικό πεδίο που εμφανίζεται στην επιφάνεια τους. Στις υπερύψηλες τάσεις η αύξηση της διαμέτρου δεν είναι οικονομικά εφικτή και για αυτό επιλέγεται η χρήση πολλαπλών αγωγών για να μειωθεί το ηλεκτρικό πεδίο [10]. Επιπλέον, οι αγωγοί των γραμμών μεταφοράς επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες (υγρασία και βροχή).

### **Πυλώνες**

Οι πυλώνες που χρησιμοποιούνται για την στήριξη των αγωγών στις εναέριες γραμμές μεταφοράς είναι κατά βάση μεταλλικοί, με μορφή δικτυωμάτων όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.6.

Για την επιλογή του κατάλληλου τύπου πυλώνα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν η ιδιαίτερη τοπογραφία της εκάστοτε περιοχής. Βασική σχεδιαστική παράμετρος θεωρείται και η απόσταση μεταξύ των πυλώνων. Η απόσταση μεταξύ τους κυμαίνεται από 150 έως 500 μέτρα ενώ σε περιπτώσεις ποταμών ή κοιλάδων μπορεί να ανέλθει στα 1200 μέτρα.

Ανάλογα με την θέση τους οι πυλώνες διακρίνονται σε ευθύγραμμης πορείας, που τοποθετούνται ανάμεσα σε ευθύγραμμα τμήματα αλλά σχεδιάζονται να αντέχουν και σε γωνία  $2^{\circ}$  αν ληφθούν υπόψη πιθανοί άνεμοι καθώς και το φορτίο που μπορεί να προκαλέσουν σπασμένοι αγωγοί, σε γωνιακούς που τοποθετούνται σε σημεία όπου αλλάζει κατεύθυνση η γραμμή και σε τερματικούς που τοποθετούνται στα άκρα των γραμμών μεταφοράς.



Σχήμα 1.6: Είδη πυλώνων υψηλής τάσης [6]

## Μονωτήρες

Στις εναέριες γραμμές μεταφοράς η στερέωση των αγωγών στου πυλώνες επιτυγχάνεται με του μονωτήρες. Κύρια χαρακτηριστικά αυτών των διατάξεων αυτών είναι η ηλεκτρική και η μηχανική τους αντοχή για να ανταπεξέρχονται σε όλες τις καταπονήσεις. Οι περισσότεροι είναι κατασκευασμένοι από πορσελάνη, σε μεγέθη που σχετίζονται με την τάση της γραμμής και σχήμα που εμποδίζει την επικάλυψη υγρασίας και σκόνης.

## Προστατευτικές διατάξεις

Ένα σύστημα μεταφοράς εκτίθεται σε διάφορου κινδύνους, με τον πιο σημαντικό να είναι η δημιουργία υπερτάσεων. Υπέρταση ονομάζεται μία μη φυσιολογική τάση που εμφανίζεται μεταξύ δύο σημείων του συστήματος π.χ. λόγω πτώσης κεραυνών. Η αντιμετώπιση των κινδύνων από υπερτάσεις γίνεται με αυτόματους διακόπτες που ελέγχουν τις γραμμές και τις απομονώνουν σε περίπτωση βλάβης, ρυθμιστές τάσης οι οποίοι διατηρούν την τάση του δικτύου στην περιοχή τιμών και αλεξικέραυνα, συσκευές δηλαδή που συνδέονται με την γραμμή και με το έδαφος και επιτρέπουν την διόδο του ρεύματος προς την γη σε περίπτωση υπέρτασης, ενώ κατά την κανονική λειτουργία δεν άγουν.

## 1.4 Σύστημα Διανομής

Ως διανομή ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας με τις οποίες πραγματοποιείται η τροφοδοσία των καταναλωτών. Ουσιαστικά το σύστημα διανομής περιλαμβάνει γραμμές διανομής (*γραμμές μέσης τάσης*) που ξεκινούν από τους υποσταθμούς μεταφοράς και καταλήγουν στους υποσταθμούς διανομής, *υποσταθμούς διανομής* όπου μετασχηματίζεται η μέση τάση σε χαμηλή και τέλος *γραμμές διανομής χαμηλής τάσης* που ξεκινούν από τους υποσταθμούς διανομής και καταλήγουν στους μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας των καταναλωτών [2].

Ένας πρώτος διαχωρισμός των δικτύων διανομής γίνεται σε *κλειστά* και *ανοιχτά*. Τα κλειστά δίκτυα συναντώνται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές και κάθε καταναλωτής μπορεί να εξυπηρετείται από τουλάχιστον δύο σημεία, έχοντας την δυνατότητα εναλλακτικής τροφοδοσίας σε περίπτωση βλάβης. Αντίθετα τα ανοιχτά συστήματα τροφοδοτούν τα φορτία τους από ένα σημείο και σε οποιοδήποτε πρόβλημα απομονώνονται όλοι οι καταναλωτές. Τα ανοιχτά δίκτυα χρησιμοποιούνται σε αραιοκατοικημένες περιοχές και η κατασκευή τους είναι οικονομικότερη από τα κλειστά δίκτυα.

### 1.4.1 Γραμμές μέσης τάσης

---

Οι γραμμές μέσης τάσης, όπως αναφέρθηκε, μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής και είναι είτε συνηθέστερα εναέριες είτε υπόγειες, με τις εναέριες γραμμές να έχουν σχεδόν τρεις φορές μικρότερο κόστος από τις υπόγειες.

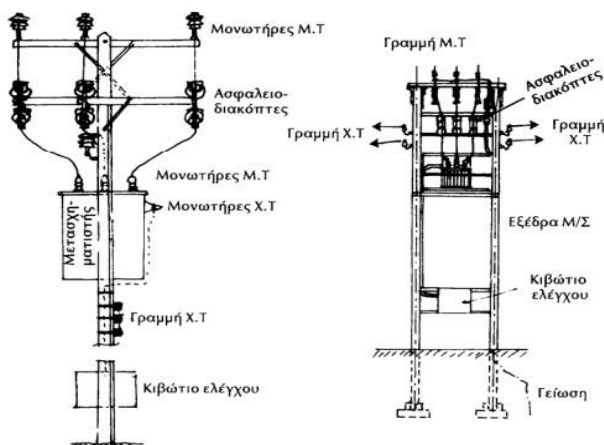
Οι *εναέριες* γραμμές έχουν χαρακτηριστικά ανάλογα με τις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης. Αποτελούνται δηλαδή από αγωγούς, πυλώνες μικρότερων διαστάσεων, μονωτήρες και προστατευτικές διατάξεις.

Οι *υπόγειες* γραμμές μέσης τάσης τοποθετούνται σε μικρό βάθος μέσα στην γη, και αποτελούνται από καλώδια προστατευμένα με ειδικό περίβλημα. Τα καλώδια αυτά είναι αγωγοί αλουμινίου πολύκλωνοι και περιβάλλονται από διάφορα μονωτικά και προστατευτικά στρώματα. Κάθε αγωγός είναι μονωμένος από τους άλλους χωριστά και όλοι μαζί προστατεύονται από κοινά μονωτικά στρώματα.

### 1.4.2 Υποσταθμοί διανομής

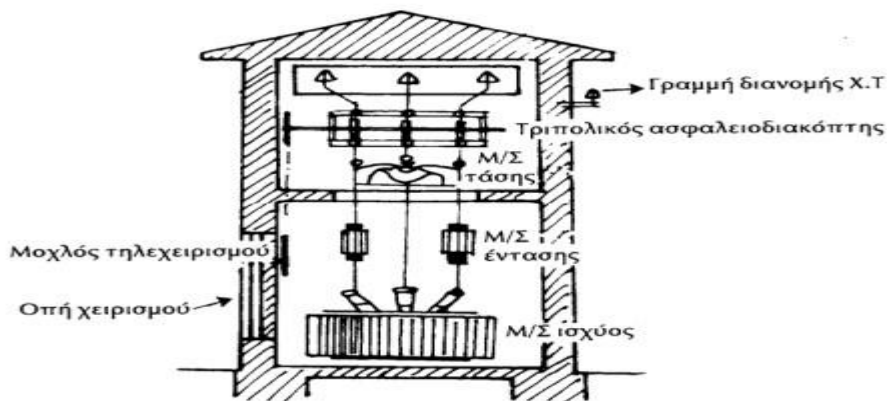
Στους υποσταθμούς διανομής γίνεται ο υποβιβασμός της τάσης από μέση σε χαμηλή και διακρίνονται σε *εναέριους*, *επίγειους* και *υπόγειους* υποσταθμούς. Το είδος του υποσταθμού εξαρτάται από την περιοχή που πρέπει να εξυπηρετηθεί καθώς και από το μέγεθος του φορτίου.

- Στους *εναέριους υποσταθμούς* όλες οι εγκαταστάσεις βρίσκονται εξολοκλήρου πάνω σε πυλώνες, επομένως όλα τα εξαρτήματα θα πρέπει να έχουν μικρό βάρος για μπορούν να τοποθετηθούν πάνω σε αυτούς. Η γραμμή στηρίζεται σε μονωτήρες, μια διακλάδωση της φθάνει σε μετασχηματιστή μέσω αλεξικέραυνων και διακοπών ασφαλείας ώστε να υποβιβαστεί σε 220/380V. Τέλος από τον μετασχηματιστή ξεκινούν οι γραμμές χαμηλής τάσης [6].



Σχήμα 1.7: Εναέριος υποσταθμός διανομής [6]

- Οι *επίγειοι υποσταθμοί* διανομής κατασκευάζονται σε δύο τύπους, τους *κλειστούς* και τους *υπαίθριους*, και εγκαθίστανται στην επιφάνεια του εδάφους εξυπηρετώντας τόσο εναέριες όσο και υπόγειες γραμμές μέσης τάσης. Στους *κλειστούς υποσταθμούς* όλα τα τμήματα της εγκατάστασης είναι τοποθετημένα σε κατάλληλα διαμορφωμένα κτήρια, τα οποία εσωτερικά χωρίζονται συνήθως με μεταλλικά πλέγματα σε δύο τμήματα, το τμήμα μέσης τάσης και το τμήμα χαμηλής τάσης. Η ψύξη είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας σε αυτούς τους υποσταθμούς, καθώς οι μετασχηματιστές και τα υπόλοιπα μηχανήματα θερμαίνονται κατά την λειτουργία τους. Οι *υπαίθριοι υποσταθμοί* πρέπει να αντέχουν σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες.



Σχήμα 1.8 Επίγειος υποσταθμός διανομής[6]

- Στις πυκνοκατοικημένες περιοχές εξυπηρετεί η κατασκευή **υπόγειων υποσταθμών διανομής** διότι δεν υπάρχει ο απαιτούμενος χώρος ώστε να τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας από τα κτήρια ενώ παράλληλα μπορεί να γίνει εύκολα η σύνδεση με τις υπόγειες γραμμές μέσης τάσης. Τα βασικά προβλήματα σε αυτούς τους σταθμούς αφορούν τον εξαερισμό των μηχανημάτων, για αυτό και δημιουργούνται ανοίγματα στην επιφάνεια του εδάφους, και την στεγανότητα των σταθμών.



Σχήμα 1.9: Υπόγειος υποσταθμός διανομής [6]

### 1.4.3 Γραμμές χαμηλής τάσης

Στον καταναλωτή διανέμεται η ηλεκτρική ενέργεια μέσω των γραμμών χαμηλής τάσης οι οποίες είναι είτε εναέριες είτε υπόγειες.

Ο συνηθισμένος τύπος των εναέριων γραμμών περιλαμβάνει ξύλινους ή τσιμεντένιους πυλώνες. Οι υπόγειες γραμμές κατασκευάζονται στις πόλεις για λόγους τόσο ασφαλείας όσο και αισθητικούς και αποτελούνται από καλώδια παρόμοια με των υπόγειων γραμμών μέσης τάσης αλλά μικρότερης διαμέτρου [6] .

## 2 Πρόβλεψη Φορτίου

### 2.1 Εισαγωγή και εφαρμογές της πρόβλεψης φορτίου

Ένα Σύστημα Ηλεκτρική Ενέργειας, όπως κατέστη σαφές από το 1ο κεφάλαιο, είναι ένα αρκετά πολύπλοκο και με πολλές απαιτήσεις. Η βασική ανάγκη για την δημιουργία συστημάτων πρόβλεψης του φορτίου έγκειται στο μεγάλο μειονέκτημα ότι η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί αλλά πρέπει άμεσα να καταναλώνεται. Έτσι, κάθε χρονική στιγμή πρέπει να λειτουργούν τόσες μονάδες παραγωγής, όσες είναι απαραίτητες για να καλυφθεί η συνολική ζήτηση των καταναλωτών. Παρουσιάζεται, λοιπόν, η ανάγκη εξασφάλισης της συνεχούς παρακολούθησης του φορτίου, ώστε η παραγωγή να ακολουθεί κάθε χρονική στιγμή την ζήτηση. Οι προβλέψεις της φορτίου εκτιμούν το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Η πρόβλεψη του φορτίου αποτελεί ζωτικής σημασίας διαδικασία για ένα ΣΗΕ αφού εξασφαλίζει την ομαλή διαχείριση του συστήματος και αυξάνει την αξιοπιστία του. Μία από τις βασικότερες εφαρμογές της πρόβλεψης φορτίου είναι ο οικονομικός προγραμματισμός λειτουργίας των μονάδων κατά τον οποίο σχεδιάζεται ο βέλτιστος τρόπος που οι μονάδες παραγωγής θα ενταχθούν στο δίκτυο και πόση ισχύ θα παράγουν [4]. Πρόβλεψη χαμηλότερων τιμών του φορτίου από τις πραγματικές έχει ως αποτέλεσμα την πιθανότητα υποεκτίμησης της απαραίτητης εφεδρείας στο σύστημα. Επίσης, οδηγεί σε υψηλότερο κόστος λειτουργίας καθώς είναι αναγκαία η χρήση πιο δαπανηρών μονάδων για να καλυφθεί η αιχμή της ζήτησης. Γίνεται φανερό συνεπώς ότι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το κόστος παραγωγής του συστήματος.

Η πρόβλεψη του φορτίου συμβάλλει επιπλέον στην ασφάλεια του συστήματος, προειδοποιώντας του χειριστές για ενδεχόμενες έντονες διακυμάνσεις της ζήτησης και διαταραχές, ώστε να προβούν σε ανάλογες ενέργειες για την αποφυγή ανεπιθύμητων καταστάσεων. Σε περιπτώσεις έντονης αύξησης της ζήτησης του φορτίου πραγματοποιείται η ένταξη μονάδων αιχμής ή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από γειτονικά δίκτυα.

Ανάλογα με το χρονικό διάστημα που πρέπει να πραγματοποιηθεί η πρόβλεψη αυτή διακρίνεται σε τέσσερις κατηγορίες:

- πολύ βραχυπρόθεσμη
- βραχυπρόθεσμη
- μεσοπρόθεσμη
- μακροπρόθεσμη

Η **πολύ βραχυπρόθεσμη** πρόβλεψη, αφορά προβλέψεις που σχετίζονται με τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου των γεννητριών των σταθμών παραγωγής. Ανάλογα με την πρόβλεψη στις τιμές του φορτίου, πραγματοποιούνται αλλαγές στην φόρτιση των γεννητριών και αντίστοιχες μεταβολές στην παροχή του καυσίμου. Επιπλέον καθίσταται δυνατός ο έλεγχος της σχέσης συχνότητας-φορτίου για την ασφάλεια του συστήματος. Για αυτού του είδους την πρόβλεψη έχουν εφαρμοστεί μοντέλα ασαφούς λογικής, τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και αυτοπαλινδρομικά μοντέλα. Ο συνολικός χρόνος πρόβλεψης τους φτάνει τα 30 λεπτά με βήματα μερικών δευτερολέπτων έως λεπτών και έχουν ως εισόδους κατά κύριο λόγο τα φορτία κάθε λεπτού της προηγούμενης μισής ώρας [5].

Η **βραχυπρόθεσμη** πρόβλεψη αποτελεί τη βάση της ενεργειακής διαχείρισης των ΣΗΕ και χρησιμοποιείται από όλες τις εταιρείες διαχείρισης συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρόβλεψη γίνεται συνήθως για το επόμενο εικοσιτετράωρο ενώ μπορεί να έχει και βάθος χρόνου της μίας εβδομάδας. Παρέχει αποτελέσματα που επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την ζήτηση των προηγούμενων ημερών, τις αντίστοιχες θερμοκρασίες και γενικότερα από τις καιρικές συνθήκες όπως ηλιοφάνεια, υγρασία, βροχή. Στην συνέχεια, θα γίνει εκτεταμένη ανάλυση των μεθοδολογιών βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης.

Η **μεσοπρόθεσμη** πρόβλεψη πραγματοποιείται για μερικούς μήνες έως λίγα έτη. Με βάση αυτές τις προβλέψεις, ρυθμίζεται η συντήρηση των μονάδων παραγωγής και του συστήματος μεταφοράς, η αγορά καυσίμων και η αξιοποίηση των υδάτινων πόρων. Στην Ελλάδα οι συντηρήσεις των μονάδων παραγωγής συντελούνται κυρίως τους χειμερινούς και φθινοπωρινούς μήνες ώστε να είναι σε θέση να αντεπεξέλθουν στις υψηλές αιχμές φορτίου τους καλοκαιρινούς μήνες [5]. Η πρόβλεψη όμως των μελλοντικών φορτίων των αμέσως επόμενων ετών είναι μια διαδικασία όπου υπεισέρχονται αρκετοί άγνωστοι παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση και για αυτό το λόγο προσεγγίζονται κυρίως με πιθανοτικές μεθόδους .

Τέλος, η **μακροπρόθεσμη** πρόβλεψη είναι εφαρμόζεται σε βάθος χρόνου 10 με 20 ετών ώστε να είναι γνωστές στην εταιρεία διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας οι ετήσιες αιχμές φορτίου. Με αυτό τον τρόπο καθίσταται εφικτός ο προγραμματισμός που αφορά τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός ΣΗΕ. Η κατασκευή νέων μονάδων παραγωγής και γραμμών μεταφοράς είναι έργα αρκετά χρονοβόρα και πραγματοποιούνται βάσει μακροπρόθεσμων προβλέψεων του φορτίου. Οι μακροπρόθεσμες τεχνικές προβλέψεις του φορτίου είναι παρόμοιες με αυτές της μεσοπρόθεσμης πρόβλεψης.

## 2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ζήτηση φορτίου

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στις μονάδες παραγωγής, εξυπηρετεί τόσο μεγάλους και μεσαίους καταναλωτές σε βιομηχανικό επίπεδο, όσο και μικρούς καταναλωτές. Επιπλέον, πολλές κοινωφελείς υπηρεσίες απαιτούν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας όπως π.χ. ο φωτισμός των δρόμων. Στις βιομηχανικές μονάδες το φορτίο είναι συχνά σταθερό και είναι δυνατό να εκτιμηθεί η εξάρτηση του από τα διαφορετικά επίπεδα παραγωγής. Παρόλα αυτά, προστίθεται μια αβεβαιότητα στις προβλέψεις, που συνδέεται με την πιθανότητα εμφάνισης τυχαίων γεγονότων, όπως βλάβες μηχανών ή απεργίες, που μπορεί να προκαλέσουν απρόβλεπτες διαταραχές στο επίπεδο φορτίου. Όσον αφορά τους χαμηλούς καταναλωτές, οι παράμετροι που καθορίζουν το φορτίο είναι πιο δύσκολο να καθοριστούν. Γίνεται σαφές ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν την πρόβλεψη του φορτίου είναι αρκετοί και σε πολλές περιπτώσεις απροσδιόριστοι. Παρόλα αυτά είναι δυνατόν να διαχωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- τους οικονομικούς
- τους εποχιακούς
- τους μετεωρολογικούς
- τους τυχαίους

Οι **μετεωρολογικοί** παράγοντες θεωρούνται ως οι σημαντικότεροι στην βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη του φορτίου. Αυτό συμβαίνει γιατί η χρήση του πλήθους των ηλεκτρικών συσκευών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Η θερμοκρασία είναι η βασική παράμετρος που επηρεάζει την ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Για συστήματα που καλύπτουν μεγάλη γεωγραφική έκταση λαμβάνονται υπόψη οι θερμοκρασίες σε διάφορες περιοχές ώστε να μειωθεί το σφάλμα πρόβλεψης [2].



Οι **οικονομικοί** παράγοντες σχετίζονται με την κατάσταση της οικονομίας σε μία περιοχή και τους ρυθμούς ανάπτυξης της και μπορούν να αποτυπωθούν στο βιοτικό επίπεδο των καταναλωτών, στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών καθώς και στην αυξομείωση των βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας επιδρούν επίσης στην διαμόρφωση της ζήτησης καθώς και οι αλλαγές στην τιμολογιακή πολιτική των εταιρειών διαχείρισης ενέργειας [2]. Οι οικονομικοί παράγοντες όμως δεν επηρεάζουν βραχυπρόθεσμα την πρόβλεψη του φορτίου, καθώς τα αποτελέσματα τους είναι εμφανή σε μεγαλύτερα από της μίας ημέρας χρονικά διαστήματα, επιδρώντας με αυτό τον τρόπο σε μεσοπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη βάση .

Ως **εποχιακοί, ημερολογιακοί** παράγοντες θεωρούνται αυτοί στους οποίους οφείλονται μεταβολές φορτίου που εμφανίζονται ανάλογα με την εποχή, την ημέρα της εβδομάδας και τις ημέρες των αργιών (θρησκευτικές ή εθνικές). Επιδρούν στην μορφή της καμπύλης του φορτίου και συνήθως οδηγούν σε απότομη μεταβολή της ζήτησης του φορτίου.

Στους **τυχαίους** παράγοντες συμπεριλαμβάνονται όλοι οι παράγοντες που μεταβάλλουν τη ζήτηση και δεν ανήκουν σε καμία από τις προηγούμενες κατηγορίες. Είναι δηλαδή γεγονότα που συμβαίνουν με τρόπο τυχαίο όπως οι απεργίες, εκλογές, τηλεοπτικά προγράμματα, τα οποία αν και είναι εκ των προτέρων γνωστά δεν μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια η επίδραση τους στην ζήτηση του φορτίου.

## 2.3 Χρονοσειρές

Ως χρονοσειρές ορίζονται τα σύνολα διαδοχικών παρατηρήσεων της τιμής κάποιου φυσικού ή άλλου μεγέθους, στην προκειμένη του ηλεκτρικού φορτίου, παρουσιάζοντας την εξέλιξη τους ως προς τον χρόνο. Στην ανάλυση χρονοσειρών, σημαντικό ρόλο κατέχει η πρόβλεψη, πώς θα συνεχιστεί δηλαδή η ακολουθία των παρατηρήσεων στο μέλλον. Με την χρήση μοντέλων πρόβλεψης προσπερνιέται αυτή η ανάγκη και παράγονται οι επιθυμητές μελλοντικές εκτιμήσεις του παρατηρούμενου μεγέθους. Το κάθε μοντέλο πρόβλεψης αποτελεί μια διαφορετική μεθοδολογία και οδηγώντας στην εξαγωγή ποικίλων αποτελεσμάτων πρόβλεψης. Το ζητούμενο από το εκάστοτε μοντέλο πρόβλεψης, είναι να ακολουθεί μια διαδικασία που θα εξασφαλίζει ότι θα παραχθούν όσο τον δυνατόν πιο ακριβείς προβλέψεις, αξιοποιώντας στο έπακρο όλη την διαθέσιμη ιστορική πληροφορία.

Η εφαρμογή του μοντέλου των χρονοσειρών είναι δυνατή όταν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για την τιμή του υπό πρόβλεψη μεγέθους σε προηγούμενες και σταθερές χρονικές περιόδους. Εξετάζεται δηλαδή η προηγούμενη συμπεριφορά μιας χρονοσειράς με σκοπό να προκύψουν συμπεράσματα για τη μελλοντική της συμπεριφορά. Παρατηρείται ότι η μεταβολή της τιμής του μεγέθους ακολουθεί ένα συγκεκριμένο πρότυπο που επαναλαμβάνεται στο χρόνο και παραμένει σταθερό. Οι προβλέψεις πραγματοποιούνται με την αναγνώριση του ακολουθούμενου προτύπου και την προέκτασή του στο μέλλον [18].

Στην βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου, την οποία διαπραγματεύεται αυτή η διπλωματική, τα βασικότερα στοιχεία εισόδου, που αποτελούν τα ιστορικά δεδομένα, είναι οι μέσες ωριαίες τιμές του φορτίου των προηγούμενων ωρών ή ημερών. Η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου περιλαμβάνει διάφορες μεθόδους των χρονοσειρών όπως είναι η αποσύνθεση, η εξομάλυνση και οι αυτοπαλινδρομικές μέθοδοι κινητού μέσου όρου οι οποίες θα αναλυθούν στην συνέχεια. Η πρόβλεψη του φορτίου συνεπώς, αξιοποιεί τις εκάστοτε χρονοσειρές για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την μελλοντική εξέλιξη των τιμών του. Πρέπει να τονιστεί τέλος ότι η γραφική παράσταση μιας χρονοσειράς παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την εξέλιξη του φορτίου και με την παρατήρηση της μπορεί να εντοπιστούν κάποιες εκλιπούσες τιμές, οπότε ο χειριστής με περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων προβαίνει στις απαραίτητες διορθώσεις.

## 2.4 Μέθοδοι Βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης

Η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη όπως έχει τονιστεί είναι ιδιαίτερα σημαντική σε ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ο συνολικός χρόνος πρόβλεψης φτάνει έως την μία βδομάδα με συνηθέστερες όμως εφαρμογές αυτές της πρόβλεψης της ζήτησης για την επόμενη μέρα. Οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί ταξινομούνται με βάση διάφορα κριτήρια σε κατηγορίες που παρουσιάζονται παρακάτω [5].

- Στις **Κλασικές μεθόδους** και στις **Τεχνητής νοημοσύνης**. Οι κλασικές περιλαμβάνουν μεθόδους όπως της εξομάλυνσης, των γραμμικών παλινδρομήσεων, της αποσύνθεσης και των αυτό-παλινδρομήσεων κινητού μέσου όρου. Οι τεχνητής νοημοσύνης μέθοδοι διακρίνονται σε αυτές των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, της ασαφούς λογικής και τους υβριδικούς σχηματισμούς τους.

- Στα **Στοχαστικά** και τα **Ντετερμινιστικά μοντέλα**. Τα στοχαστικά θεωρούν ότι οι παράγοντες και τα μεγέθη που επηρεάζουν την πρόβλεψη ζήτησης φορτίου αποτελούν τυχαίες μεταβλητές και άρα η όποια επεξεργασία τους απαιτεί τη χρήση στατιστικών κατανομών ενώ ως λύση τους παρέχουν μια προσέγγιση με ένα υπολογισμένο σφάλμα. Στα ντετερμινιστικά μοντέλα εκλαμβάνεται ως γνωστή και σταθερή η σχέση μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν την πρόβλεψη, και του φορτίου, δηλαδή υπάρχει συναρτησιακή σχέση η χρήση της οποίας οδηγεί σε ένα και μόνο αποτέλεσμα.
- Στα **Στατικά μοντέλα** και στα **Δυναμικά**. Στα στατικά μοντέλα θεωρείται ότι οι τιμές φορτίου σε προγενέστερη στιγμή από εκείνη που στοχεύετε, δεν επηρεάζουν την πρόβλεψη. Αντίθετα στα δυναμικά μοντέλα, στη πρόβλεψη του φορτίου σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η πιο πρόσφατη συμπεριφορά του δηλαδή οι προγενέστερες τιμές. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούν κυρίως αναδρομικούς τύπους.

Ένα σύστημα προβλέψεως της ζήτησης έχει ως σκοπό την κάλυψη των πληροφοριακών αναγκών των διαφόρων λειτουργικών τμημάτων της επιχείρησης για τον ορθολογικό σχεδιασμό των μελλοντικών της δραστηριοτήτων. Στο σχήμα 2.1 που ακολουθεί φαίνεται ο τρόπος διάρθρωσης και λειτουργίας ενός συστήματος πρόβλεψης της ζήτησης.



Σχήμα 2.1 Διάρθρωση συστημάτων πρόβλεψης [20]

Στη συνέχεια αυτού το κεφάλαιο θα περιγραφούν συνοπτικά οι κλασικές μέθοδοι βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης, δηλαδή οι μέθοδοι της:

1. Εξομάλυνσης
2. Αποσύνθεσης
3. Απλής και γραμμικής παλινδρόμησης
4. Αυτοπαλινδρόμησης μοντέλων κινητών μέσων όρων
5. Οικονομετρίας

#### **2.4.1 Μέθοδοι εξομάλυνσης**

---

Οι μέθοδοι εξομάλυνσης αποτελούν τις απλούστερες κατηγορίες μεθόδων βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης. Σε κάποιες περιπτώσεις η εφαρμογή πολύπλοκης μεθόδου πρόβλεψης δεν είναι πρακτική και αυτό που χρειάζεται είναι μια τεχνική η οποία να μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα και να παρέχει ικανοποιητικές προβλέψεις βραχυπρόθεσμα. Με τις μεθόδους εξομάλυνσης προσδιορίζονται οι μελλοντικές τιμές μιας μεταβλητής βάσει των διαθέσιμων παρατηρήσεων της. Η ευκολία τους έγκειται στην ελάχιστη απαίτηση σε υπολογιστικό χρόνο και στην ύπαρξη σχετικά λίγων παρατηρήσεων προκειμένου να παράγουν προβλέψεις. Στη μέθοδο εξομάλυνσης ανήκουν:

- η μέθοδος των κινητών μέσων όρων η οποία βασίζεται στον ορισμό του μέσου όρου. Χρησιμοποιεί ένα σταθερό αριθμό δεδομένων τα οποία συμμετέχουν στον υπολογισμό του μέσου όρου με ίσα βάρη.
- η μέθοδος των γενικών γραμμικών κινητών μέσων όρων είναι μια παραλλαγή της μεθόδου των κινητών μέσων όρων που μετριάζει το συστηματικό σφάλμα.
- η μέθοδος εκθετικής εξομάλυνσης η οποία αποδίδει άνισα βάρη στα ιστορικά δεδομένα. Τα βάρη αυτά φθίνουν με εκθετικό τρόπο από την πιο πρόσφατη τιμή των δεδομένων ως την πιο μακρινή .

Σε αυτές τις μεθόδους γίνεται χρήση των ιστορικών δεδομένων για το προσδιορισμό μιας εξομαλυμένης τιμής για τις χρονοσειρές [18]. Στη συνέχεια αυτή η τιμή προεκτείνεται ώστε να αποτελέσει πρόβλεψη για τη μελλοντική τιμή της χρονοσειράς. Συνοπτικά, οι παρελθούσες τιμές του φορτίου ακολουθούν κάποιο μοτίβο το οποίο χρησιμοποιείται για να προσεγγίσει καλύτερα διακυμάνσεις και μελλοντικές τιμές του.

Σκοπός δηλαδή των μεθόδων εξομάλυνσης στην πρόβλεψη της ζήτησης του φορτίου είναι εξομαλύνουν τα ιστορικά δεδομένα, κάνοντας διάκριση ανάμεσα στις τυχαίες αποκλίσεις και στο μοτίβο που έχει δημιουργηθεί. Με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιείται η τυχαιότητα που υπάρχει στην ιστορική ακολουθία και έχει σαν αποτέλεσμα η πρόβλεψη να βασίζεται στο εξομαλυνμένο πρότυπο συμπεριφοράς των δεδομένων.

#### 2.4.1.1 Μέθοδος κινητών μέσων όρων

Οι κινητοί μέσοι όροι είναι μία αρκετά αξιόπιστη μέθοδος για την προεπεξεργασία των χρονοσειρών. Η ονομασία κινητός μέσος όρος οφείλεται στο γεγονός ότι η τιμή του δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται κάθε φορά που μια νέα παρατήρηση της χρονοσειράς γίνεται διαθέσιμη, υπολογίζεται δηλαδή εκ νέου ένας μέσος όρος. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ως πρόβλεψη την τιμή του αριθμητικού μέσου όρου των πιο πρόσφατων παρατηρήσεων της χρονοσειράς. Αυτό συμβαίνει διότι οι πλέον πρόσφατες παρατηρήσεις της χρονοσειράς θεωρούνται περισσότερο αντιπροσωπευτικές για τη δημιουργία προβλέψεων από ότι οι πιο απομακρυσμένες στο παρελθόν.

Η εξίσωση που περιγράφει την πρόβλεψη της χρονοσειράς  $F_t$  για  $t=0,1,...,n$  :

$$F_t = \frac{D_{t-1} + D_{t-2} + D_{t-3} + \dots + D_{t-n}}{n} \quad (2.1)$$

όπου:

- $D_{t-1}$  είναι η πραγματική ζήτηση της προηγούμενης περιόδου
- $D_{t-2}, D_{t-3} \dots, D_{t-n}$  είναι η πραγματική ζήτηση πριν 2, 3, ...,n περιόδους
- $F_t$  είναι η πρόβλεψη για την χρονική περίοδο  $t$
- $n$  το σύνολο των περιόδων που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη

Ο απλός κινητός μέσος θεωρείται ιδιαίτερα χρήσιμος διότι απομακρύνει την τυχαία μεταβλητότητα στην πρόβλεψη, όταν η ζήτηση δεν παρουσιάζει εποχικότητα. Είναι πολύ σημαντικό να επιλεγεί το κατάλληλο διάστημα για τον κινητό μέσο. Όσο μεγαλύτερο είναι το επιλεγμένο διάστημα τόσο περισσότερο εξομαλύνεται η πρόβλεψη.

Το βασικότερο μειονέκτημα του κινητού μέσου όρου είναι η ίση στάθμιση των δεδομένων κάθε μιας από τις προηγούμενες περιόδους. Η στάθμιση αυτή μπορεί να μην εκφράζει ικανοποιητικά την παρούσα κατάσταση. Επιπλέον με τη μέθοδο αυτή είναι δυνατή η πρόβλεψη μόνο για την επόμενη χρονική περίοδο.

#### 2.4.1.2 Μέθοδος σταθμισμένων κινητών μέσων όρων

Σε αντίθεση με το απλό κινητό μέσο που δίνει το ίδιο βάρος σε κάθε παρατήρηση, ο σταθμισμένος κινητός μέσος παρέχει την δυνατότητα στάθμισης κάθε ιστορικού στοιχείου με διαφορετικό βάρος. Το άθροισμα όλων αυτών των βαρών πρέπει να ισούται με την μονάδα. Ο κινητός μέσος με βάρη υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$F_t = \sum_{i=1}^n w_i \cdot D_{t-i} \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2.3)$$

όπου:

- $F_t$ , η πρόβλεψη για την χρονική περίοδο  $t$
- $D_{t-i}$ , πραγματική ζήτηση της περιόδου  $t-i$
- $w_i$ , το βάρος για την περίοδο  $t-i$
- $n$ , ο αριθμός των περιόδων στην πρόβλεψη

#### 2.4.1.3 Εκθετικής Εξομάλυνσης

Ανάμεσα στις κυριότερες στατιστικές μεθόδους πρόβλεψης βρίσκονται οι μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης. Οι μέθοδοι εξομάλυνσης είναι κατάλληλες για βραχυπρόθεσμες προβλέψεις ενός μεγάλου όγκου χρονοσειρών ενώ τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να διακρίνονται από μικρό ρυθμό ανάπτυξης ή μείωσης ως προς το χρόνο [18]. Οι προβλέψεις υπολογίζονται μετά από εξομάλυνση των δεδομένων προκειμένου να απομονωθούν τα πραγματικά πρότυπα από τις καθαρά τυχαίες διακυμάνσεις.

Σε αυτή την μέθοδο, θεωρείται, ότι όσο πιο πρόσφατα τα δεδομένα τόσο περισσότερη η πληροφορία τους. Οι παλαιότερες συνεπώς παρατηρήσεις, έχουν μειωμένη βαρύτητα σε σχέση με πιο πρόσφατες. Η μέθοδος της εκθετικής εξομάλυνσης διακρίνεται με την σειρά της σε απλή εκθετική εξομάλυνση, σε διπλή και τριπλή εκθετική εξομάλυνση και σε εκθετική εξομάλυνση της γραμμικής τάσης και της μη γραμμικής τάσης.

Οι μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης συνήθως χρησιμοποιούνται στο βραχυπρόθεσμο προγραμματισμό και έλεγχο της παραγωγής και, γενικά, σε περιπτώσεις όπου ο χρονικός ορίζοντας της πρόβλεψης είναι σχετικά μικρός, όπως στην πρόβλεψη της ζήτησης μιας μέρας. Χαρακτηρίζονται από ευκολία εφαρμογής, ενώ οι απαιτήσεις σε υπολογιστικό χρόνο είναι μικρές, αφού τελικά αποθηκεύονται πολύ λιγότερα στοιχεία σε σχέση με τη μέθοδο του κινούμενου μέσου.

Παρακάτω αναλύεται η απλή εκθετική εξομάλυνση ώστε να γίνει περισσότερο κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας αυτών των μοντέλων.

### Απλή εκθετική εξομάλυνση

Ένα μειονέκτημα της μεθόδου του απλού κινητού μέσου είναι ότι για τον υπολογισμό των προβλέψεων δίνει ίση βαρύτητα σε κάθε παρατήρηση. Το μειονέκτημα αυτό μπορεί να εξαλειφθεί με τη μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης. Σύμφωνα με την μέθοδο της εκθετικής εξομάλυνσης δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στα πιο πρόσφατα ιστορικά δεδομένα και όσο τα δεδομένα γίνονται παλαιότερων χρονικών περιόδων, η βαρύτητα αυτή φθίνει εκθετικά.

Το πρότυπο χρησιμοποιεί την πρόβλεψη καθώς και την αντίστοιχη πραγματική τιμή της μεταβλητής για την τρέχουσα περίοδο για να προβλέψει την τιμή της μεταβλητής κατά τις επόμενες περιόδους.

Πιο συγκεκριμένα, η εξίσωση που περιγράφει την πρόβλεψη της χρονοσειράς  $F_{t+1}$  για  $t=0,1,...,n$  είναι:

$$F_{t+1} = a \cdot Y_t + (1-a) \cdot F_t \quad (2.4)$$

όπου :

- $a$ , παράμετρος η οποία ονομάζεται σταθερά εξομάλυνσης και λαμβάνει τιμές μεταξύ  $[0,1]$

- $F_{t+1}$ , είναι η πρόβλεψη για την χρονική περίοδο  $t+1$ , ενώ  $F_t$  είναι η πρόβλεψη για την προηγούμενη ακριβώς χρονική περίοδο  $t$
- $Y_t$ , είναι η πραγματική ζήτηση για την χρονική περίοδο  $t$

Η σταθερά  $\alpha$  είναι ένα μέτρο της βαρύτητας της πιο πρόσφατης πραγματικής τιμής σε σχέση με την πιο πρόσφατη πρόβλεψη. Όσο μεγαλύτερη η τιμή που λαμβάνει το  $\alpha$ , τόσο μεγαλύτερη βαρύτητα θα έχει η πραγματική τιμή  $Y_t$  και τόσο μικρότερη η προηγούμενη πρόβλεψη  $F_t$ . Η τιμή του  $\alpha$  καθορίζεται τόσο από την εμπειρία αυτού που κάνει την πρόβλεψη όσο και από τα χαρακτηριστικά του υπό πρόβλεψη μεγέθους (αν παρουσιάζει σταθερότητα ή έντονες μεταβολές). Η δυσκολία της μεθόδου, λοιπόν, έγκειται στην επιλογή της καταλληλότερης τιμής του  $\alpha$ .

#### 2.4.2 Αποσύνθεση

Η μέθοδος αποσύνθεσης εφαρμόζει απλές μαθηματικές σχέσεις ώστε να γίνει απομόνωση των τεσσάρων βασικών συνιστωσών των χρονοσειρών, της εποχικότητας, της τάσης, της κυκλικότητας και της τυχαιότητας. Οι συνιστώσες αυτές εμφανίζονται συχνά στις προβλέψεις των χρονοσειρών και η ανάλυση τους θεωρείται ιδιαίτερη σημαντική.

- Ως *τάση* ορίζεται μια μεταβολή που παρατηρείται στο μέσο επιπέδο των τιμών της χρονοσειράς σε μακροπρόθεσμη βάση. Ουσιαστικά η τάση αντιπροσωπεύει τη γενικότερη εικόνα της χρονοσειράς η οποία μπορεί να είναι ανοδική, πτωτική ή μηδενική. Για να γίνει προσέγγιση του κατά πόσο μια χρονοσειρά παρουσιάζει τάση θα πρέπει υπάρχει ένας ικανός αριθμός παρατηρήσεων ώστε να γίνει η αναζήτηση την ύπαρξη τάσης.
- Η *κυκλικότητα* μια χρονοσειράς δηλώνει τις ανόδους ή τις πτώσεις στις τιμές της εξαιτίας διαφόρων εξωγενών παραγόντων. Οι κυριότεροι εξωγενείς παράμετροι που προκαλούν την εμφάνιση κυκλικότητας είναι οι οικονομικές συνθήκες των διαφόρων περιόδων, στις οποίες εμφανίζονται διαδοχικές άνοδοι και υφέσεις.
- Η *εποχικότητα* είναι μια περιοδική διακύμανση με μήκος μικρότερο του έτους. Οι διακυμάνσεις που οφείλονται στην εποχικότητα είναι επαναλαμβανόμενες κατά τον



ίδιο τρόπο στο χρόνο και μπορούν να γίνουν εύκολα αντιληπτές και προβλέψιμες από τον παρατηρητή.

- Η *τυχαιότητα* αναφέρεται σε τυχαίες και μη προβλέψιμες διακυμάνσεις των δεδομένων μιας χρονοσειράς. Είναι η διακύμανση που παραμένει στη χρονοσειρά έπειτα από την απομόνωση της τάσης, της κυκλικότητας και της τυχαιότητας

Η μαθηματική διατύπωση των μοντέλων αποσύνθεσης φαίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Y_t = f(S_t, T_t, C_t, R_t) \quad (2.5)$$

Όπου:

- $Y_t$  , η παρατήρηση κατά τη χρονική περίοδο  $t$
- $S_t$  , η συνιστώσα εποχικότητας
- $T_t$  , η συνιστώσα τάσης
- $C_t$  , η συνιστώσα κύκλου
- $R_t$  , η συνιστώσα τυχαιότητας

Οι δύο απλούστερες διατυπώσεις της αποσύνθεσης είναι η προσθετική και η πολλαπλασιαστική, όπως παρουσιάζονται στις επόμενες δύο σχέσεις:

$$Y_t = S_t + T_t + C_t + R_t \quad (\text{προσθετικό μοντέλο}) \quad (2.6)$$

$$Y_t = S_t \cdot T_t \cdot C_t \cdot R_t \quad (\text{πολλαπλασιαστικό μοντέλο}) \quad (2.7)$$

Η δυνατότητα παραγωγής προβλέψεων μέσω της αποσύνθεσης, γίνεται έπειτα από ανάλυση της αρχικής χρονοσειράς στις συνιστώσες της (τάση, εποχικότητα, κυκλικότητα, τυχαιότητα). Στο επόμενο βήματα πραγματοποιείται η σύνθεσή τους ξανά για τη λήψη της τελικής τιμής πρόβλεψης. Η βασική συνιστώσα που αφαιρείται από τα δεδομένα είναι η εποχικότητα, η οποία στο τέλος όταν έχει πραγματοποιηθεί η παραγωγή της πρόβλεψης, ενσωματώνεται και πάλι στην τελική χρονοσειρά. Ένα από τα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι ότι κάποια αλλαγή στην κυκλικότητα ή την εποχικότητα δεν μπορεί εύκολα να προβλεφθεί.

### 2.4.3 Γραμμική Παλινδρόμηση

Μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την δημιουργία προβλέψεων είναι η γραμμική παλινδρόμηση, η οποία αποσκοπεί στον προσδιορισμό των ποσοτικών σχέσεων μεταξύ των εμπλεκόμενων μεταβλητών. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο σωστός προσδιορισμός των σχέσεων αυτών των μεταβλητών.

Αναλυτικότερα, στο μοντέλο αυτό υπάρχει μία εξαρτημένη μεταβλητή και μια ή περισσότερες ανεξάρτητες. Σκοπός της μεθοδολογίας είναι η πρόβλεψη των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής με βάση συγκεκριμένες τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών. Οποιαδήποτε αλλαγή σε μια από τις ανεξάρτητες μεταβλητές προκαλεί μεταβολή και στην εξαρτημένη. Η γραμμική παλινδρόμηση διακρίνεται σε:

- απλή παλινδρόμηση στην περίπτωση μίας ανεξάρτητης μεταβλητής
- πολλαπλή παλινδρόμηση για περισσότερες μεταβλητές

Στις μεθόδους παλινδρόμησης θεωρούνται όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές ότι καθορίζονται από εξωγενείς παράγοντες. Η ανάλυση παλινδρόμησης πραγματοποιείται σε πέντε στάδια. Τα στάδια αυτά τα οποία είναι ιεραρχημένα ως προς τη σειρά εφαρμογής τους και φαίνονται στο σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2 Στάδια γραμμικής παλινδρόμησης [20]

1. Στο πρώτο στάδιο κατασκευάζεται το θεωρητικό υπόδειγμα. Περιλαμβάνονται όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για να ερμηνεύσουν τη συμπεριφορά της εξαρτημένης μεταβλητής.
2. Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται η συλλογή των δεδομένων. Στο στάδιο αυτό προκύπτουν συχνά δυσκολίες που έχουν να κάνουν με τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα των δεδομένων. Αρκετές φορές χρειάζεται να γίνει αναθεώρηση των μεταβλητών στο αρχικό θεωρητικό υπόδειγμα, με μεταβλητές για τις οποίες υπάρχουν τα κατάλληλα δεδομένα.
3. Στο τρίτο στάδιο γίνεται η εκτίμηση του θεωρητικού υποδείγματος. Προσδιορίζεται δηλαδή η ποσοτική σχέση μεταξύ της εξαρτημένης και της ανεξάρτητης ή των ανεξάρτητων μεταβλητών.
4. Στο τέταρτο στάδιο εφαρμόζονται διάφοροι στατιστικοί έλεγχοι, προκειμένου να διαπιστωθεί η αξιοπιστία της μορφής του θεωρητικού υποδείγματος που έχει εκτιμηθεί. Στην περίπτωση κάποιου προβλήματος γίνεται η αναθεώρηση του θεωρητικού υποδείγματος.
5. Τέλος χρησιμοποιείται το εκτιμημένο υπόδειγμα για τη διαμόρφωση προβλέψεων των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής με βάση δεδομένες τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών.

#### **2.4.3.1 Απλή γραμμική παλινδρόμηση**

---

Η απλή γραμμική παλινδρόμηση στηρίζεται στην υπόθεση ύπαρξης ορισμένης σχέσης ανάμεσα σε μια εξαρτημένη μεταβλητή και σε μια ανεξάρτητη μεταβλητή και ότι η σχέση αυτή των δύο μεταβλητών είναι γραμμική. Η εξαρτημένη μεταβλητή στην πρόβλεψη του φορτίου είναι η ζήτηση του μελλοντικού φορτίου (μεταβλητή πρόβλεψης). Σε περίπτωση που η σχέση ανάμεσα σε δύο μεταβλητές, την εξαρτημένη και την ανεξάρτητη, δεν είναι γραμμική, μπορεί και πάλι να εφαρμοστεί η μέθοδος της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, αφού πρώτα γίνει μετασχηματισμός της σχέσης των δύο μεταβλητών σε γραμμική.

Η εξίσωση από την οποία προκύπτει η πρόβλεψη είναι :

$$Y_i = a + bX_i + \varepsilon_i \quad (2.8)$$

όπου:

- $i$  , μια αντιπροσωπευτική παρατήρηση από το σύνολο των παρατηρήσεων
- $Y_i$  , η εξαρτημένη μεταβλητή και στην περίπτωση της πρόβλεψης φορτίου είναι η ζήτηση του φορτίου
- $X_i$  , η ανεξάρτητη μεταβλητή και στην περίπτωση της πρόβλεψης φορτίου είναι ο χρόνος (χρονικοί περίοδοι : ώρες, λεπτά)
- $a$  , η σταθερά , η τεταγμένη του σημείου τομής της ευθείας με τον άξονα των εξαρτημένων μεταβλητών
- $b$  , η κλίση της ευθείας
- $\varepsilon_i$  , το τυχαίο σφάλμα της παρατήρησης  $i$

Οι τιμές των συντελεστών  $a$  και  $b$  υπολογίζονται με βάση την αρχή των ελαχίστων τετραγώνων, επιλέγονται δηλαδή οι συντελεστές που ελαχιστοποιούν το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών των πραγματικών τιμών από τις προβλεπόμενες σε κάθε χρονική περίοδο.

Ένα επιπλέον στοιχείο που στην μέθοδο της απλής παλινδρόμησης χρησιμοποιείται είναι ο έλεγχος του βαθμού συσχέτισης ανάμεσα στις δύο μεταβλητές του προβλήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης των δύο μεταβλητών, ο οποίος λαμβάνει τιμές στο διάστημα  $[-1, 1]$ . Για μηδενική τιμή δεν υπάρχει καμία σχέση ανάμεσα στις δύο μεταβλητές. Για τιμή  $\pm 1$  υπάρχει απόλυτη συσχέτιση ανάμεσα στις δύο μεταβλητές και γενικά για θετικές τιμές του δείκτη οι μεταβλητές αυξάνονται ή μειώνονται συγχρόνως, ενώ για αρνητικές τιμές του δείκτη συσχέτισης, οι αυξομειώσεις τους είναι αντίθετης κατεύθυνσης [20].

### 2.4.3.2 Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση

Στην απλή γραμμική παλινδρόμηση, εξετάστηκε η πρόβλεψη εξαρτημένης μεταβλητής  $Y$ , της οποίας η συμπεριφορά εξαρτάται από μία και μονό ανεξάρτητη μεταβλητή  $X$ . Αντίθετα η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση εφαρμόζεται προκειμένου να συμπεριληφθούν περισσότερες από μία ανεξάρτητες μεταβλητές. Εξετάζεται δηλαδή η επίδραση που ασκούν στην εξαρτημένη μεταβλητή  $Y$  οι ανεξάρτητες μεταβλητές  $X_1, X_2, \dots, X_K$ .

Οι  $k$  ανεξάρτητες αυτές μεταβλητές ( $X_1, X_2, \dots, X_K$ ) θα πρέπει να είναι γραμμικά ανεξάρτητες. Αυτό σημαίνει ότι καμία από αυτές δεν πρέπει να είναι γραμμικός συνδυασμός οποιασδήποτε άλλης ή άλλων από τις υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές.

Στην βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η ζήτηση του φορτίου που πρέπει να προβλεφθεί, ενώ ανεξάρτητες μεταβλητές μπορεί να είναι ο χρόνος, η θερμοκρασία, η υγρασία και γενικότερα μεταβλητές από τις οποίες μπορεί να εξαρτηθεί η ζήτηση του φορτίου.

Η μαθηματική μορφή του μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για ένα δείγμα  $n$  παρατηρήσεων δίδεται παρακάτω :

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + \dots + b_k \cdot X_k + e_i \quad (2.9)$$

Όπου :

- $i$ , μια αντιπροσωπευτική από τις  $n$  παρατηρήσεις του δείγματος
- $Y$ , η εξαρτημένη μεταβλητή
- $X_k$ , οι ανεξάρτητες μεταβλητές
- $b_0$ , ο σταθερός όρος
- $b_k$ , οι συντελεστές παλινδρόμησης
- $e_i$ , το τυχαίο σφάλμα

Στην περίπτωση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης είναι δύσκολος ο προσδιορισμός της μορφής της συνάρτησης που περιγράφει τη σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Υπολογίζονται κυρίως οι συντελεστές  $b_i$  και η διακύμανση του τυχαίου παράγοντα  $e$ , με

εφαρμογή της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων έχοντας γνωστό ορισμένο σύνολο δεδομένων.

#### 2.4.4 Αυτοπαλινδρομικά μοντέλα κινητού μέσου όρου (ARIMA)

Τα αυτοπαλινδρομικά μοντέλα κινητού μέσου όρου υπάγονται στην κατηγορία των στοχαστικών μοντέλων και κύριος στόχος τους είναι η περιγραφή της εξέλιξης με βάση το χρόνο κάποιου φυσικού μεγέθους (ηλεκτρικού φορτίου). Παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις υπόλοιπες κλασικές μεθόδους, για αυτό το λόγο και συγκρίνονται συχνά με τα μοντέλα των νευρωνικών δικτύων [4].

Δεδομένου ότι για την πρόβλεψη του φορτίου είναι αδύνατη η καταγραφή όλων των παραγόντων που επηρεάζουν την εξέλιξη του στο χρόνο, είναι πολύ δύσκολη η περιγραφή του μεγέθους από ένα ντετερμινιστικό μοντέλο. Παρόλα αυτά η επιλογή ενός στοχαστικού μοντέλου, όπως του ARIMA, είναι ικανοποιητική καθώς η ζήτηση του φορτίου εξαρτάται από μη ντετερμινιστικούς παράγοντες, όπως είναι ο καιρός ή κάποια τυχαία γεγονότα, και μπορεί να γίνει η περιγραφή της διαχρονικής τους εξέλιξης με το στοχαστικό αυτό μοντέλο. Αυτό επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό της πιθανότητας με την οποία η τιμή του μεγέθους βρίσκεται σε κάποιο διάστημα.

Τα στοχαστικά αυτά μοντέλα περιέχουν τον τυχαίο παράγοντα (τυχαίο σφάλμα ή σφάλμα πρόβλεψης), τις τιμές του μεγέθους οι οποίες εμφανίστηκαν σε προηγούμενες χρονικές στιγμές και σε ορισμένες περιπτώσεις και κάποιους άλλους στοχαστικούς παράγοντες. Το μοντέλο που προκύπτει είναι ένας γραμμικός συνδυασμός των παραπάνω ποσοτήτων.

Η εφαρμογή των μοντέλων ARIMA προϋποθέτει να πληρούνται ορισμένες απαιτήσεις.

- Η χρονοσειρά πρέπει να είναι διακριτή. Πρέπει δηλαδή οι παρατηρήσεις της  $Y_t$  να αναφέρονται σε ισαπέχουσες χρονικές στιγμές  $Y_t, Y_{t+\tau}, Y_{t+2\tau}, \dots$ .
- Η χρονοσειρά πρέπει να είναι στάσιμη. Αυτό σημαίνει πως η μέση τιμή, η διακύμανση και η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης της χρονοσειράς πρέπει να είναι σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Με αυτό τον τρόπο η χρονοσειρά αποδεδειγμένα από την έννοια του χρόνου και μπορεί να μελετηθεί στοχαστικά.
- Τέλος, η εφαρμογή μοντέλων ARIMA προϋποθέτει την εξαγωγή βραχυπρόθεσμων

προβλέψεων. Όπως αναφέρθηκε, τα συγκεκριμένα μοντέλα είναι γραμμικός συνδυασμός των παρελθοντικών τιμών της χρονοσειράς. Αυτό σημαίνει ότι αν για την πρόβλεψη την τιμή  $Y_t$ , απαιτείται η γνώση των τιμών  $Y_{t-1}$ ,  $Y_{t-2}$ ....

Τα μοντέλα ARIMA μπορούν να αποτελέσουν εξαιρετικό εργαλείο στην κατανόηση της εξέλιξης των φυσικών μεγεθών αναλύοντάς και προεκτείνοντας τα στο μέλλον. Αντιμετωπίζουν τις χρονοσειρές από μια στοχαστική πλευρά και βασίζονται αποκλειστικά στην κατανομή των παρελθοντικών τους τιμών και κυρίως στων πιο πρόσφατων.

#### 2.4.5 Οικονομετρική Μέθοδος

---

Η οικονομετρική μέθοδος περιλαμβάνει ποσοτικές διαδικασίες βασιζόμενες σε αιτιοκρατικές σχέσεις. Βασικό μειονέκτημα της μεθοδολογίας αποτελεί το γεγονός ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε περίπτωση έλλειψης δεδομένων. Ένα επιπλέον αρνητικό είναι το υψηλό κόστος εύρεσής των δεδομένων μέσω διαδικασιών δειγματοληψίας και διαρκών αναλυτικών μετρήσεων.

Τα βασικά βήματα που ακολουθούνται κατά την διάρκεια εφαρμογής αυτής της μεθόδου είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου, η επιλογή των δεδομένων, η ανάλυση των δεδομένων και η εκ νέου προσαρμογή του μοντέλου. Οι δύο κύριοι τύποι προβλημάτων είναι η εκτίμηση της τρέχουσας κατάστασης και η πρόβλεψη επικείμενων μεταβολών. Παρά το ότι ακολουθούνται παρόμοιες διαδικασίες για την αντιμετώπιση των δύο αυτών προβλημάτων, τα ίδια τα μοντέλα μπορεί να διαφέρουν σημαντικά.

## 3 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

---

### 3.1 Εισαγωγή στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ΤΝΔ)

Οι σύγχρονες μεθοδολογίες πρόβλεψης φορτίου στηρίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη και ειδικότερα στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και στην ασαφή λογική. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα είναι δίκτυα με συγκεκριμένη δομή, εμπνεύστηκαν από τον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου νευρικού συστήματος και εκτελούν συγκεκριμένη επεξεργασία της πληροφορίας. Οι ομοιότητες που εμφανίζουν με την λειτουργία του εγκεφάλου έχουν να κάνουν με το γεγονός ότι η γνώση αποκτάται μέσα από το δίκτυο με μια διαδικασία εκπαίδευσης-μάθησης και η γνώση αυτή αποθηκεύεται. Ουσιαστικά τα ΤΝΔ εκπαιδεύονται ούτως ώστε όταν τους ζητηθεί να αναγνωρίσουν ή να κατηγοριοποιήσουν καινούρια άγνωστα δεδομένα. Αναπτύσσεται δηλαδή η κατάλληλη εσωτερική δομή, ώστε να αναγνωρίζει πρότυπα που να μοιάζουν με αυτά με τα οποία εκπαιδεύτηκε.

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούνται από ένα πλήθος διασυνδεδεμένων μονάδων, τους νευρώνες, οι οποίοι έχουν εισόδους και εξόδους και σε κάθε μονάδα πραγματοποιείται τοπικά έναν υπολογισμό. Δημιουργούνται με αυτόν τον τρόπο τεχνητές οντότητες οι οποίες μπορούν να μάθουν από διαθέσιμα σύνολα δεδομένων και να προσεγγίσουν μαθηματικές συναρτήσεις.

Οι παραδοσιακοί μέθοδοι που αναπτύχθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο βασίζονται στο γεγονός ότι μπορεί να εξαχθεί κάποια σχέση για την επίλυση του προβλήματος, η οποία να στηρίζεται σε φυσικούς νόμους, εμπειρικές ή στατιστικές σχέσεις. Η προσέγγιση αυτή συναντά κάποια βασικά εμπόδια. Το πρόβλημα μπορεί να είναι τόσο μεγάλο και σύνθετο που η εξαγωγή μαθηματικών μοντέλων να καθίσταται αδύνατη ενώ λόγω της πολυπλοκότητας του να εισάγεται αβεβαιότητα η οποία πρέπει να προσεγγιστεί με κατάλληλες μεθόδους. Επίσης, συχνά στα πραγματικά προβλήματα είναι γνωστές οι παράμετροι που επηρεάζουν το υπό μελέτη μέγεθος αλλά δε μπορεί να δημιουργηθεί γενικευμένη σχέση.

Η αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων γίνεται με τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα καθώς βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι δεν προγραμματίζονται αλλά μαθαίνουν δημιουργώντας προσεγγιστικές σχέσεις μεταξύ των εισόδων και των εξόδων. Δεν χρειάζεται συνεπώς να έχει πλήρως κατανοηθεί το πρόβλημα για την ανάπτυξη τους. Οι σχέσεις αυτές



είναι αρκετά πιο ακριβείς από εκείνες που παράγονται από μαθηματικές σχέσεις αφού προκύπτουν από πραγματικές εισόδους και εξόδους. Ωστόσο τα νευρωνικά δίκτυα δεν μπορούν να ερμηνεύσουν στο πως έφτασαν στο συμπέρασμά τους διότι δεν υπάρχουν σαφείς κανόνες και γενικός τρόπος για την ερμηνεία της εσωτερικής διαδικασίας διαμόρφωσης του δικτύου.

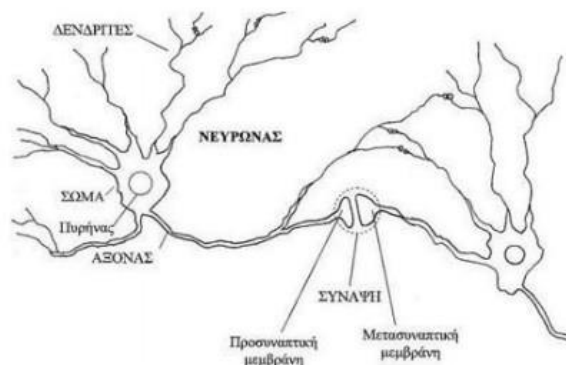
Ο βασικός λόγος που οδήγησε στην εφαρμογή των νευρωνικών δικτύων στην βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι η έλλειψη συγκεκριμένων αξιόπιστων μαθηματικών μοντέλων. Δεν υπάρχουν δηλαδή μαθηματικές σχέσεις που να μπορούν να προσδιορίσουν το ωριαίο φορτίο των επόμενων ωρών μέσω παραμέτρων που πολλές φορές δεν είναι πλήρως γνωστές, όπως π.χ. οι καιρικές συνθήκες.

### 3.2 Βιολογικά Νευρωνικά Δίκτυα

Η ανάπτυξη των τεχνητών νευρωνικών δικτύων στηρίχτηκε στην νευροφυσιολογία του ανθρώπινου εγκεφάλου. Ο νευρώνας είναι το θεμελιακό δομικό στοιχείο του ανθρώπινου νευρικού συστήματος. Είναι ένας εξειδικευμένος τύπος κυττάρου που αποτελεί τη βασική μονάδα επεξεργασίας των πληροφοριών που δέχεται το ανθρώπινο νευρικό σύστημα. Εκτιμάται ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελείται από  $10^9$  νευρώνες διαφόρων μορφών οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους [10].

Όλοι οι νευρώνες αποτελούνται από τα ίδια βασικά μέρη τα οποία είναι:

- το κυτταρικό σώμα που αποτελεί τον πυρήνα του
- οι δενδρίτες μέσω των οποίων γίνεται η ανταλλαγή σημάτων με γειτονικούς νευρώνες
- ο άξονά τους ο οποίος είναι η έξοδος του νευρώνα και το μέσο σύνδεσης με άλλους νευρώνες



Σχήμα 3.1 Βιολογικός νευρώνας

Ο βασικός κορμός του νευρώνα είναι το σώμα. Μέσα στο σώμα βρίσκεται ο πυρήνας του κυττάρου και όλο το γενετικό υλικό του οργανισμού. Εκεί συντελείται έντονη χημική δράση προκειμένου να συνθέσει το κύτταρο διάφορες ουσίες που είναι απαραίτητες για την επιβίωση του. Ο άξονας είναι μια επέκταση του σώματος και εφάπτεται με άλλους νευρώνες. Κάθε νευρώνας έχει έναν μόνο άξονα, ο οποίος μεταδίδει σήματα σε άλλους νευρώνες. Τέλος, υπάρχουν οι λεπτές επεκτάσεις, οι δενδρίτες, οι οποίοι κάνουν και αυτοί επαφή με άλλους νευρώνες και δέχονται τα εισερχόμενα σήματα.

Ως συνάψεις ορίζονται οι συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων, με τους άξονες και τους δενδρίτες. Η σύναψη έχει περίπλοκη δομή και επιτελεί διεργασίες που σχετίζονται με την μετάδοση του σήματος. Η επαφή που δημιουργείται περιέχει ένα κενό, το συναπτικό χάσμα. Η μεμβράνη του πρώτου νευρώνα που στέλνει το σήμα είναι η προσυναπτική μεμβράνη, ενώ αυτή του δεύτερου η μετάσυναπτική μεμβράνη. Οι συνάψεις περιέχουν ηλεκτροχημικό υλικό το οποίο μεταδίδει την ηλεκτρική δραστηριότητα του άξονα στους δενδρίτες. Το ποσοστό της ηλεκτρικής δραστηριότητας που τελικά μεταδίδεται στον δενδρίτη είναι το συναπτικό βάρος. Οι συνάψεις μπορούν να διακριθούν σε ενισχυτικές και ανασταλτικές. Στις ενισχυτικές το φορτίο που εκλύεται από την σύναψη ερεθίζει τον νευρώνα να παράγει με μεγαλύτερη συχνότητα ενώ στις ανασταλτικές τον καταστέλλει εμποδίζοντας τον να παράγει παλμούς [16].

Συνοπτικά η λειτουργία του νευρώνων βασίζεται στην ικανότητά τους να αντιδρούν σε εξωτερικά ερεθίσματα. Η αντίδραση αυτή οδηγεί στην παραγωγή παλμών, οι οποίοι είναι φορείς πληροφορίας. Οι παλμοί αυτοί μεταφέρονται στον άξονα κάθε νευρώνα και μέσω των συνάψεων διαδίδονται στους δενδρίτες των επόμενων νευρώνων. Κάθε νευρώνας επίσης συγκεντρώνει το ηλεκτρικό φορτίο που δέχεται από κάθε σύναψη στους δενδρίτες του.

Συγκρίνοντας τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα με τα βιολογικά, ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο μπορεί να φτάσει να έχει μερικές χιλιάδες νευρώνες, αλλά όχι το μέγεθος που έχει ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Επίσης, τα ΤΝΔ μπορούν να λύσουν δύσκολα μαθηματικά προβλήματα στα οποία ο ανθρώπινος εγκέφαλος δεν μπορεί να αντεπεξέλθει καλά. Η βασική όμως διαφορά μεταξύ ΤΝΔ και βιολογικών νευρωνικών δικτύων βρίσκεται στις συνάψεις και στο γεγονός ότι η συνδεσμολογία είναι πολύ περίπλοκη στα βιολογικά, ενώ πολύ απλές στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.

### 3.3 Βασικό μοντέλο τεχνητού νευρώνα

Όπως και ο βιολογικός νευρώνας έτσι και ο τεχνητός νευρώνας είναι η βασική μονάδα επεξεργασίας πληροφοριών ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου φαίνεται στο σχήμα 3.2.

Αρχικά οι νευρώνες παραλαμβάνουν δεδομένα εξωτερικά του δικτύου με την μορφή σημάτων  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Τα διανύσματα εισόδου μπορούν να παίρνουν πραγματικές ή δυαδικές τιμές. Τα σήματα αυτά λαμβάνουν κάποια βάρη ενώ στη συνέχεια μπορεί να μεταβληθεί αντίστοιχα η τιμή τους. Κάθε σύνδεση συνεπώς καθορίζεται από ένα βάρος  $w_{ji}$  το οποίο δηλώνει την επίδραση που έχει το σήμα της μονάδας  $j$  σε μια μονάδα  $i$ . Η τιμή του βάρους μπορεί να είναι θετική ή αρνητική έχοντας επιταχυντική ή επιβραδυντική δράση στην λειτουργία του νευρώνα. Στο μοντέλο περιλαμβάνεται και μια εξωτερικά εφαρμοζόμενη πόλωση, η οποία είναι μια εξωτερική παράμετρος του νευρώνα με συγκεκριμένο βάρος και σταθερή είσοδο, και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση ή μείωση της δικτυακής διέγερσης της συνάρτησης ενεργοποίησης. [14]

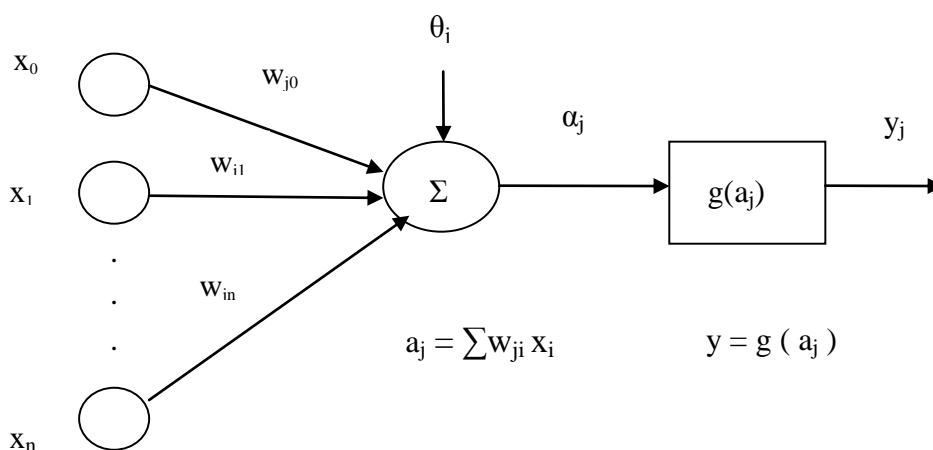
Στη συνέχεια στον αθροιστή γίνεται η άθροιση των επηρεασμένων από τα βάρη σημάτων εισόδου και προκύπτει η γραμμική άθροιση,

$$a_j = \sum w_{ji} x_i \quad \text{για} \quad i = 0, 1, \dots, n \quad (3.1)$$

Η άθροιση αυτή περνάει μέσα από μια συνάρτηση ενεργοποίησης  $g$ :

$$y = g(a) \quad (3.2)$$

υπολογίζοντας την τελική τιμή της εξόδου  $y$ .



Σχήμα 3.2 Τεχνητός νευρώνας

Μια μονάδα επεξεργασίας (νευρώνας) παραλαμβάνει γειτονικές εισόδους από άλλους νευρώνες και τις χρησιμοποιεί προκειμένου να υπολογίσει ένα σήμα εξόδου το οποίο στην συνέχεια θα οδηγηθεί σε άλλες μονάδες.

Μέσα στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα υπάρχουν τρία είδη μονάδων (νευρώνων) :

- Μονάδες εισόδου οι οποίες παραλαμβάνουν δεδομένα εξωτερικά του δικτύου
- Μονάδες εξόδου οι οποίες στέλνουν δεδομένα εκτός του δικτύου
- Κρυφές μονάδες ή κρυφό στρώμα , τα δεδομένα των οποίων παραμένουν μέσα στο παραμένουν μέσα στο δίκτυο

### 3.3.1 Συνάρτηση ενεργοποίησης

Οι περισσότερες μονάδες στα νευρωνικά δίκτυα μετασχηματίζουν τις εισόδους χρησιμοποιώντας μια συνάρτηση, η οποία ονομάζεται συνάρτηση ενεργοποίησης, παράγοντας μια τιμή που καλείται ενεργοποίηση της μονάδας .

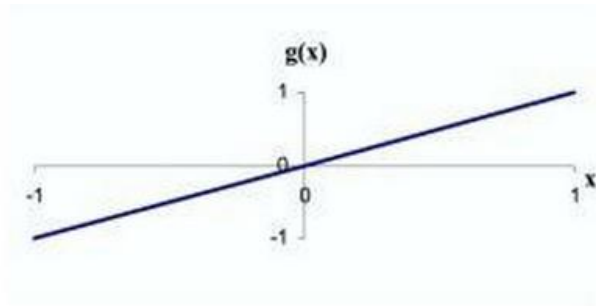
Για τις συναρτήσεις ενεργοποίησης υπάρχουν διάφορες περιπτώσεις. Διακρίνονται σε :

- Βηματική συνάρτηση 0/1 με 
$$\begin{cases} g(x) = 1 & \text{αν } x \geq 0 \\ g(x) = 0 & \text{αν } x < 0 \end{cases}$$



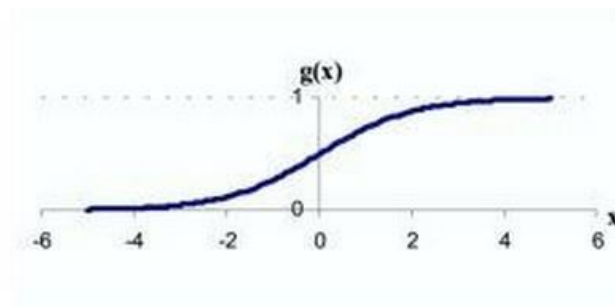
Σχήμα 3.3: Βηματική συνάρτηση ενεργοποίησης [12]

- Βηματική συνάρτηση -1/1 με 
$$g(x) = \begin{cases} 1 & \text{αν } x \geq 0 \\ -1 & \text{αν } x < 0 \end{cases}$$
- Γραμμική συνάρτηση  $g(x) = \lambda x$  όπου  $\lambda$  η κλίση της ευθείας



Σχήμα 3.4: Γραμμική συνάρτηση ενεργοποίησής [12]

- Σιγμοειδής συνάρτηση,  $g(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}}$ , η οποία αποτελεί την συνηθέστερη συνάρτηση ενεργοποίησης που χρησιμοποιείται στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα



Σχήμα 3.5: Σιγμοειδής συνάρτηση ενεργοποίησης [12]

### 3.4 Αρχιτεκτονική νευρωνικών δικτύων

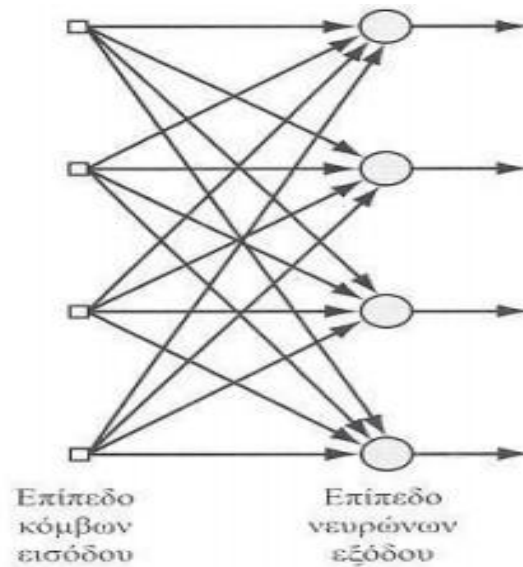
Για να πραγματοποιηθεί η ανάπτυξη κατάλληλων αλγορίθμων εκπαίδευσης και ανάκτησης της πληροφορίας στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα πρέπει να οριστεί η κατάλληλη *αρχιτεκτονική δομή* και η σωστή *μέθοδος εκπαίδευσης*.

Η αρχιτεκτονική δομή είναι κύριο χαρακτηριστικό των νευρωνικών δικτύων και αναφέρεται στην αρχιτεκτονική με την οποία διευθετούνται και διασυνδέονται πολλαπλοί νευρώνες. Οι δύο βασικές ιδιότητες που καθορίζουν την αρχιτεκτονική δομή είναι το πλήθος των επιπέδων - στρώματων και οι συνδέσεις ανάμεσα στους νευρώνες.

Τα στρώματα στα οποία είναι οργανωμένοι οι νευρώνες, όπως αναφέρθηκε, είναι το επίπεδο εισόδου, εξόδου και το κρυφό επίπεδο. Στο επίπεδο εισόδου πραγματοποιείται η εισαγωγή των δεδομένων ενώ στο επίπεδο εξόδου η εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Ως κρυφά επίπεδα ορίζονται οι μονάδες εκείνες που δεν έχουν συνδέσεις με τα εξωτερικά σήματα και υλοποιούν τοπικά μια συνάρτηση. Τα αποτελέσματα της συνάρτησης αυτής δεν γίνονται φανερά στον χρήστη αλλά μεταβιβάζονται στα επόμενα στρώματα του δικτύου.

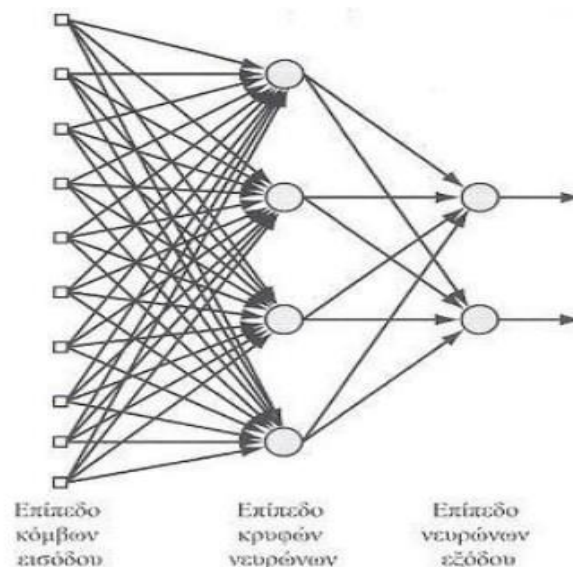
Ανάλογα με την αρχιτεκτονική δομή γίνεται η διάκριση σε *δίκτυα πρόσθιας τροφοδότησης*, *πολυεπίπεδα δίκτυα πρόσθια τροφοδότησης*, *αναδρομικά δίκτυα* και *υβριδικά δίκτυα* [19].

- ***Δίκτυα πρόσθιας τροφοδότησης*** ενός επιπέδου τα οποία αποτελούν μια από τις απλούστερες δομές νευρωνικών δικτύων καθώς περιλαμβάνουν μόνο επίπεδα εισόδου και εξόδου. Η πληροφορία μεταβιβάζεται από τις εισόδους στις εξόδους χωρίς να πραγματοποιείται κάποια επεξεργασία. Η ροή πληροφορίας σε αυτά τα δίκτυα είναι μόνο προς μια κατεύθυνση. Στο σχήμα 3.6 παρουσιάζεται ένα τέτοιο δίκτυο που αποτελείται από 4 κόμβους στο επίπεδο εισόδου και 4 στο επίπεδο εξόδου.



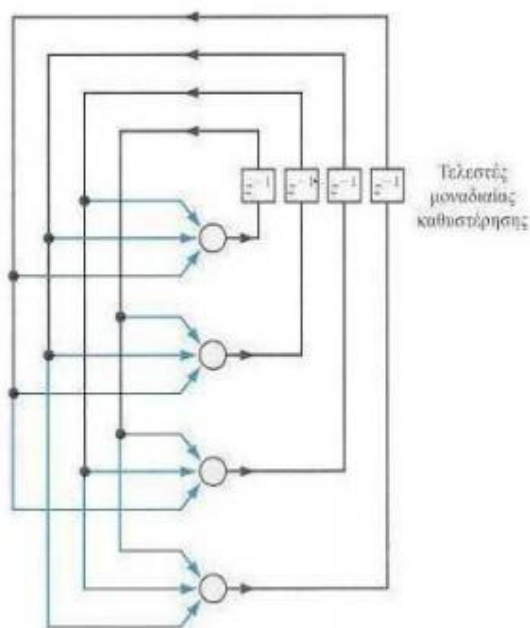
Σχήμα 3.6: Δίκτυο πρόσθιας τροφοδότησης ενός επιπέδου [17]

- **Πολυεπίπεδα δίκτυα πρόσθιας** τροφοδότησης στα οποία τα δεδομένα εισόδου διαδίδονται προς τα κρυμμένα επίπεδα. Οι νευρώνες σε κάθε επίπεδο έχουν σαν εισόδους τα σήματα εξόδου του προηγούμενου επιπέδου. Οι νευρώνες των κρυμμένων επιπέδων και των επιπέδων εξόδου επεξεργάζονται την πληροφορία μέσω των συναρτήσεων ενεργοποίησής τους. Ένα τέτοιο μοντέλο με ένα κρυφό επίπεδο φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα 3.7. Αποτελείται από ένα επίπεδο εισόδου με 10 κόμβους, ένα κρυφό επίπεδο με 4 κόμβους και ένα επίπεδο εξόδου με 2 κόμβους.

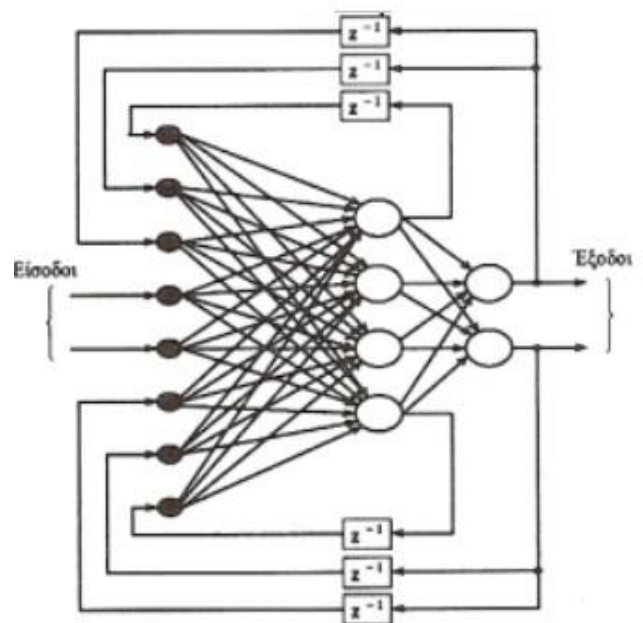


Σχήμα 3.7: Πολυεπίπεδα δίκτυα πρόσθιας τροφοδότησης [17]

- **Αναδρομικά νευρωνικά δίκτυα** τα οποία περιέχουν ένα τουλάχιστο βρόγχο ανατροφοδότησης. Ο βρόγχος αυτός ανακυκλώνει την πληροφορία και επηρεάζει την ικανότητα μάθησης του δικτύου. Στα αναδρομικά δίκτυα σημαντική είναι η έννοια της ευστάθειας. Εάν το δίκτυο είναι ευσταθές οι επαναλήψεις θα είναι λίγες και η έξοδος θα σταθεροποιηθεί γρήγορα σε τιμές πολύ κοντά σε μια συγκεκριμένη. Διαφορετικά οι επαναλήψεις θα συνεχιστούν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επομένως είναι σημαντικό να βρεθούν τα βάρη που του επιτρέπουν να σταθεροποιηθεί στις επιθυμητές τιμές εξόδου. Στο σχήμα 3.8 φαίνεται ένα αναδρομικό δίκτυο που αποτελείται από ένα μόνο επίπεδο από νευρώνες, με κάθε νευρώνα να τροφοδοτεί το σήμα εξόδου του πίσω στις εισόδους όλων των άλλων νευρώνων. Το δίκτυο αυτό δεν έχει επίσης κρυφά επίπεδα. Στο σχήμα 3.9 παρουσιάζεται ένα αναδρομικό δίκτυο με κρυφούς όμως νευρώνες.



Σχήμα 3.8: Αναδρομικό δίκτυο [19]



Σχήμα 3.9: Αναδρομικό δίκτυο με κρυφούς νευρώνες[19]



### 3.5 Λειτουργία νευρωνικών δικτύων

Δύο είναι οι βασικές λειτουργίες ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου [15]:

1. **Η Εκπαίδευση.** Στο πρώτο αυτό στάδιο δημιουργίας του νευρωνικού δικτύου δημιουργείται ένα σύνολο μάθησης , δηλαδή ένα σύνολο από διανύσματα εισόδων και επιθυμητών εξόδων – αποτελεσμάτων. Τα διανύσματα αυτά ονομάζονται σύνολα εκπαίδευσης. Χρησιμοποιώντας το σύνολο μάθησης και κατάλληλο αλγόριθμο, το νευρωνικό δίκτυο εκπαιδεύεται, δηλαδή υπολογίζει τα βάρη του. Τελικός σκοπός της εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου είναι η ελαχιστοποίηση του σφάλματος πρόβλεψης.
2. **Η Πρόβλεψη .** Μετά την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου ακολουθεί το στάδιο της πρόβλεψης. Δίνονται μόνο τα διανύσματα εισόδου στο νευρωνικό δίκτυο και αυτό υπολογίζει τα προβλεπόμενα διανύσματα εξόδου. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται, χρησιμοποιώντας τις τιμές των βαρών που υπολογίστηκαν κατά το στάδιο της εκπαίδευσης. Το σφάλμα πρόβλεψης στο σύνολο ελέγχου προκύπτει από το σφάλμα των προβλεπόμενων εξόδων του νευρωνικού δικτύου ως προς τις επιθυμητές εξόδους για κάθε ένα από τα πρότυπα ελέγχου.

### 3.6 Εκπαίδευση νευρωνικών δικτύων

Η εκπαίδευση είναι μια σημαντική ικανότητα των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, η οποία επιτρέπει στα δίκτυα να μαθαίνουν από το περιβάλλον τους. Συγκεκριμένα, κατά τη διαδικασία της εκπαίδευσης πραγματοποιείται μια επαναληπτική διαδικασία προσαρμογής των βαρών, μέχρις ότου επιτευχθεί η επιθυμητή συμπεριφορά. Με βάση το κριτήριο του περιβάλλοντος στο οποίο γίνεται η μάθηση υφίσταται η εξής διάκριση:

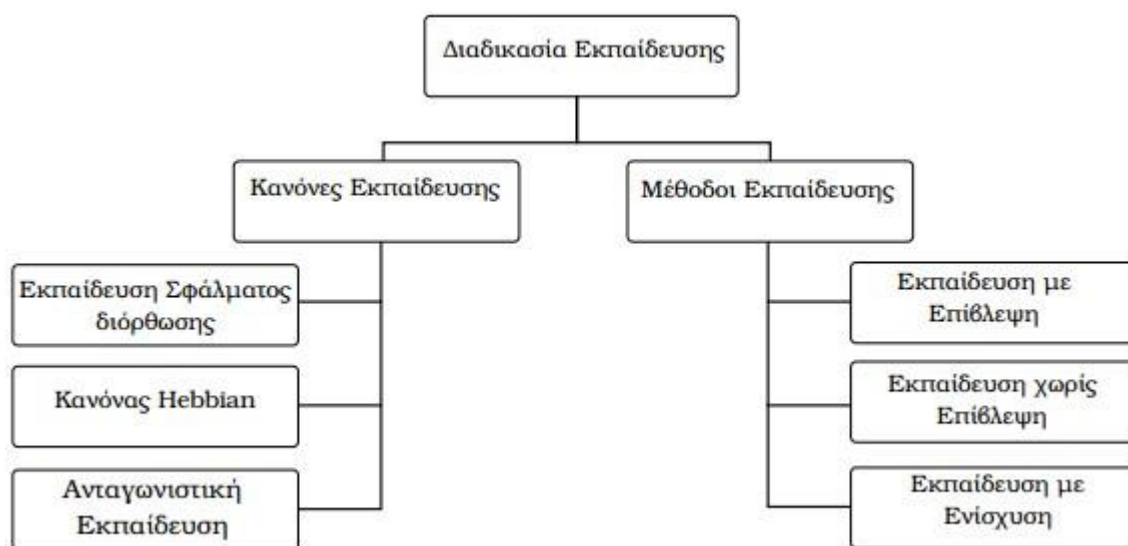
- Μάθηση με επίβλεψη
- Βαθμολογημένη μάθηση
- Μάθηση χωρίς επίβλεψη

Η διαδικασία της μάθησης γενικά ακολουθεί ένα συγκεκριμένο μοτίβο πορείας. Αρχικά διεγείρεται το νευρωνικό δίκτυο από το περιβάλλον. Στην συνέχεια υφίσταται αλλαγές των

παραμέτρων του ως αποτέλεσμα της διέγερσης, ενώ τέλος εξαιτίας των αλλαγών που επήλθαν αντιδρά με ένα νέο τρόπο στο περιβάλλον.

Με βάση τους κανόνες που χρησιμοποιούνται για την νευρωνική μάθηση υφίσταται η εξής διάκριση :

- Εκπαίδευση Σφάλματος διόρθωσης
- Κανόνας Hebbian
- Ανταγωνιστική εκπαίδευση



Σχήμα 3.10 Διαδικασία εκπαίδευσης νευρωνικού δικτύου [24]

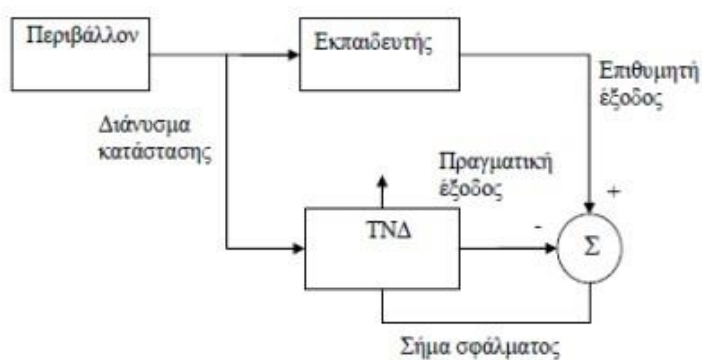
### 3.6.1 Μάθηση με επίβλεψη

Η μάθηση με επίβλεψη είναι η πιο συχνή μέθοδος που χρησιμοποιείται στην εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων. Βρίσκει εφαρμογές σε νευρωνικά δίκτυα όπως το Perceptron , τις συναρτήσεις ακτινωτής βάσης και τα δίκτυα πολλών στρωμάτων με προς τα πίσω διάδοση του σφάλματος.

Στην μέθοδο αυτή δίνονται στο δίκτυο ζευγάρια διανυσμάτων εισόδου – επιθυμητής εξόδου. Η εκπαίδευση γίνεται με την είσοδο μιας ομάδας από τέτοια πρότυπα εισόδου-εξόδου, παρόμοια με αυτά που πρέπει να μάθει το δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι δίνονται στο δίκτυο ως

εισόδου κάποια πρότυπα για τα οποία είναι γνωστή ποια πρέπει να είναι η έξοδος στο δίκτυο, γνωρίζει συνεπώς ο εκπαιδευτής ποιος είναι ο στόχος και τι πρέπει να δίνει το δίκτυο ως απάντηση στα πρότυπα που του παρουσιάζονται. Το δίκτυο χρησιμοποιεί την κατάλληλη συνάρτηση μεταφοράς  $g(x)$  για να μεταδίδει το σήμα σε όλη τη δομή του, από την είσοδο ως την έξοδο. Στην αρχή το σύστημα παράγει, με την τρέχουσα κατάσταση βαρών, μια έξοδο που αποκλίνει από την επιθυμητή τιμή και σταδιακά αναπροσαρμόζει τα βάρη του δικτύου μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας [12].

Η μάθηση με επίβλεψη αποτελεί, όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.11, ένα σύστημα ανάδρασης κλειστού βρόγχου. Συνοπτικά η γνώση του περιβάλλοντος μεταφέρεται στο δίκτυο και μέσω μάθησης με επίβλεψη αποθηκεύεται με την μορφή σταθερών βαρών, τα οποία αποτελούν την μακροπρόθεσμη μνήμη του δικτύου.



Σχήμα 3.11: Μάθηση με επίβλεψη [23]

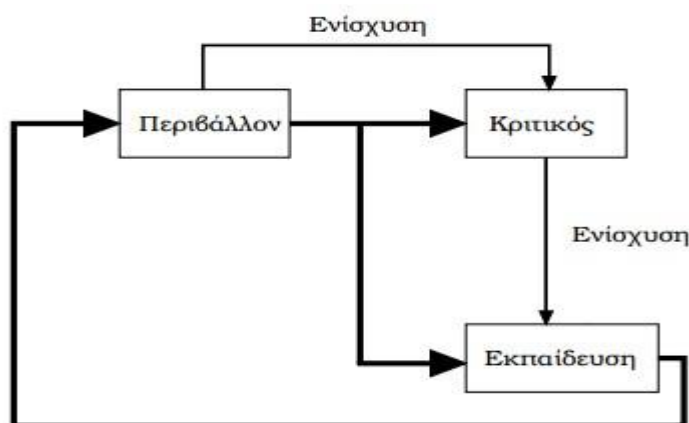
### 3.6.2 Ενισχυτική μάθηση

Στην ενισχυτική μάθηση το νευρωνικό δίκτυο τροφοδοτείται με κατάλληλα πρότυπα εισόδου χωρίς τις επιθυμητές αποκρίσεις σε αυτές τις εισόδους. Χρησιμοποιείται ένα συνολικό μέτρο της επάρκειας της προκύπτουσας απόκρισης το οποίο μπορεί να οδηγήσει το δίκτυο στην επιθυμητή συμπεριφορά. Το μέτρο αυτό είναι γνωστό ως ενισχυτικό σήμα και ανατροφοδοτείται στο δίκτυο. Το μέτρο της επάρκειας της απόκρισης επιβραβεύει τις ορθές

συμπεριφορές και τιμωρεί τις λανθασμένες συμπεριφορές. Αναλυτικότερα η ενισχυτική μάθηση ακολουθεί τα εξής στάδια :

1. Υπολογίζονται οι έξοδοι που παράγονται από την τρέχουσα είσοδο με τις παρούσες τιμές των βαρών.
2. Το σύστημα αξιολογεί την έξοδο και το ενισχυτικό σήμα τροφοδοτείται στο δίκτυο.
3. Τα βάρη ανανεώνονται με βάση το ενισχυτικό σήμα. Αυξάνονται οι τιμές των βαρών που συνέβαλαν σε καλή συμπεριφορά και μειώνονται οι τιμές των βαρών που προκάλεσαν κακή συμπεριφορά.
4. Το δίκτυο ψάχνει να βρει ένα σύνολο βαρών τα οποία τείνουν να αποφύγουν αρνητικά ενισχυτικά σήματα.

Στο σχήμα 3.12 φαίνεται μια μορφή ενός συστήματος εκπαίδευσης με ενίσχυση, χτισμένο γύρω από ένα κριτικό που μετατρέπει ένα πρωτεύον σήμα ενίσχυσης λαμβανόμενο από το περιβάλλον σε μιας υψηλότερης ποιότητας σήμα ενίσχυσης



Σχήμα 3.12 : Μάθηση με ενίσχυση [23]

### 3.6.3 Μάθηση χωρίς επίβλεψη

Στη μάθηση χωρίς επίβλεψη η απόκριση του δικτύου στηρίζεται στην ικανότητα του να οργανώνεται με βάση τα διανύσματα εισόδου. Δίνεται συνεπώς η πληροφορία στο δίκτυο, αλλά δεν παρέχονται οι αντίστοιχοι επιθυμητές έξοδοι όπως στη μάθηση με επίβλεψη. Το δίκτυο δεν χρησιμοποιεί κάποια παράμετρο για να αλλάξει τα βάρη αλλά υπάρχει συγκεκριμένη διαδικασία που ακολουθείται και καταλήγει στην εκπαίδευση του δικτύου.

Το δίκτυο χρησιμοποιεί έναν εσωτερικό έλεγχο, ψάχνοντας για εμφάνιση κάποιας τάσης ή κανονικότητα στα σήματα εισόδου και προσπαθεί ώστε οι εξόδοι να έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά όπως και οι εισόδοι. Ελέγχει τον εαυτό του και διορθώνει τα σφάλματα στα δεδομένα με ένα μηχανισμό ανάδρασης. Ο τρόπος αυτός δεν συναντάται τόσο συχνά όπως η μάθηση με επίβλεψη αλλά είναι χρήσιμος σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν δεδομένα για τις εξόδους. Σε όλες τις περιπτώσεις όταν το δίκτυο σταματάει να αλλάζει τις τιμές των βαρών, τότε θεωρείται ότι η εκπαίδευση έχει επιτευχθεί. Αυτό συμβαίνει επειδή το λάθος στην έξοδο γίνεται μηδενικό ή είναι πολύ κοντά στο μηδέν.

### 3.7 Ικανότητα Γενίκευσης

Ως γενίκευση ορίζεται η ικανότητα ενός νευρωνικού δικτύου να εκτιμά με επιτυχία τις αποκρίσεις για πρότυπα εισόδου που δεν έχει επεξεργαστεί ξανά και όχι μόνο για τα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διαδικασία της εκπαίδευσης του δικτύου.

Ένα τυπικό πρόβλημα αποτελεί το γεγονός ότι το δίκτυο μαθαίνει τα πρότυπα εισόδου-εξόδου από το στάδιο της εκπαίδευσης αποθηκεύοντας συγκεκριμένες σχέσεις στα βάρη (υπερεκπαίδευση). Επομένως, ακόμη κι αν το δίκτυο παρέχει σωστές εξόδους για τα πρότυπα εισόδων, μπορεί να αντιδράσει διαφορετικά για διαφορετικά δεδομένα εισόδων.

Η γενίκευση επηρεάζεται από τρεις παράγοντες :

1. *Το μέγεθος και την αποτελεσματικότητα των προτύπων εισόδου -εξόδου* στη διαδικασία της εκπαίδευσης. Όσο μεγαλύτερο είναι το σύνολο των προτύπων εκπαίδευσης, η εμφάνιση του προβλήματος της υπερεκπαίδευσης είναι λιγότερο πιθανή και η λύση που θα προκύπτει καλύτερη. Για αυτό το λόγο πρέπει να περιλαμβάνονται μόνο πρότυπα εισόδων-εξόδων που να αντανakλούν σωστά την πραγματική διαδικασία μοντελοποίησης.
2. *Την αρχιτεκτονική - δομή του Νευρωνικού δικτύου.* Όσον αφορά την αρχιτεκτονικής του δικτύου στη γενίκευση, η επιλογή των κατάλληλων μεταβλητών εισόδου θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική. Καμία μη απαραίτητη μεταβλητή εισόδου δεν πρέπει να περιλαμβάνεται, επειδή το δίκτυο μπορεί να μάθει να εξαρτάται από αυτή. Επίσης όλοι οι παράγοντες που ασκούν κάποιου είδους επιρροή στην έξοδο πρέπει να περιλαμβάνονται. Κάθε κρυμμένο στρώμα νευρώνων έχει ένα

συγκεκριμένο αριθμό ελεύθερων παραμέτρων και για αυτό, προκειμένου να αποφευχθεί η υπερπαραμετροποίηση, ο αριθμός των κρυωμένων στρωμάτων δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλος .

3. *τη φυσική πολυπλοκότητα του προβλήματος.*

### **3.8 Πλεονεκτήματα ΤΝΔ**

Όπως έχει προαναφερθεί, η επιτυχία των Νευρωνικών Δικτύων οφείλεται στην ικανότητα τους να μαθαίνουν και στη συνέχεια να γενικεύουν. Οι δύο αυτές δυνατότητες επιτρέπουν στα νευρωνικά δίκτυα να βρίσκουν καλές προσεγγιστικές λύσεις σε πολύπλοκα προβλήματα. Κάποιες ακόμη χρήσιμες ιδιότητες των τεχνητών νευρωνικών δικτύων παρουσιάζονται παρακάτω [10].

- *Μη γραμμικότητα.* Ένας τεχνητός νευρώνας είναι είτε γραμμικός είτε μη γραμμικός. Το πλεονέκτημα της μη γραμμικότητας διευκολύνει την προσαρμογή σε περιπτώσεις όπου ο φυσικός μηχανισμός που παράγει τα δεδομένα εισόδου είναι εκ φύσεως μη γραμμικός.
- *Παράλληλος τρόπος λειτουργίας.* Τα νευρωνικά δίκτυα λειτουργούν με παράλληλο τρόπο καθώς μια εργασία μοιράζεται στα διάφορα τμήματα που δικτύου, σε όλους δηλαδή τους νευρώνες , παρέχοντας κατανεμημένες διεργασίες.
- *Προσαρμοστικότητα.* Η ικανότητα των νευρωνικών δικτύων να προσαρμόζουν τα βάρη τους ανάλογα με τις μεταβολές που γίνονται στο περιβάλλον, θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική.
- *Ανοχή σε βλάβες.* Ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο έχει την δυνατότητα να είναι ανεκτικό σε βλάβες υπό την έννοια ότι η απόδοση του μειώνεται βαθμιαία κάτω από μη συνήθεις συνθήκες.
- *Η ικανότητα τους να αναγνωρίζουν πρότυπα.* Από την στιγμή που ένα νευρωνικό δίκτυο εκπαιδευτεί στο να αναγνωρίζει συνθήκες και καταστάσεις, απαιτείται μόνο

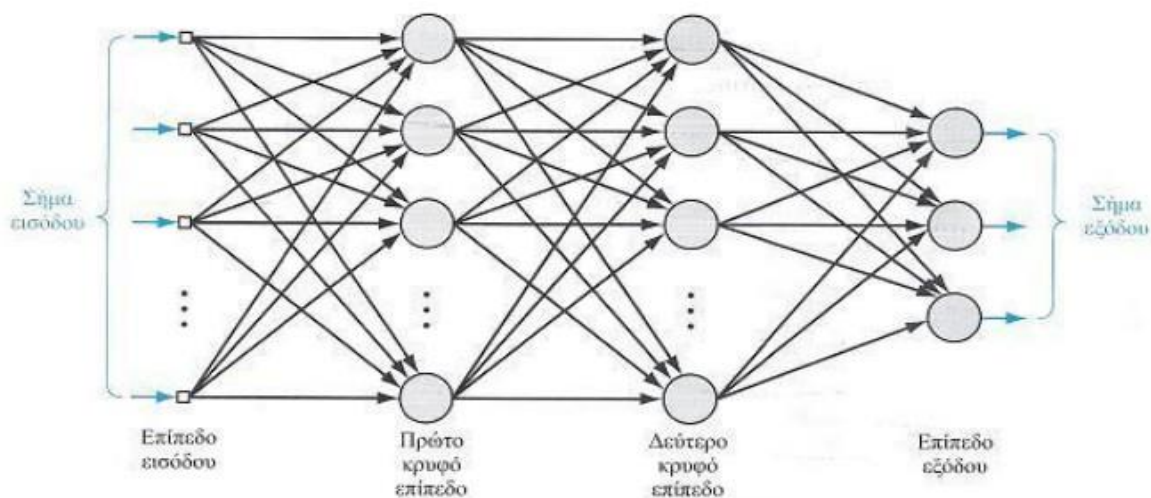
ένας κύκλος λειτουργίας για να προσδιοριστεί ένα συγκεκριμένο πρόβλημα.

### 3.9 Τεχνητά πολυεπίπεδα νευρωνικά δίκτυα

Η κατηγορία των νευρωνικών δικτύων που ονομάζονται πολυεπίπεδα Perceptron (multilayer Perceptron ή σε συντομογραφία MLP) χρησιμοποιείται ευρέως και αποτελεί εξέλιξη του απλού μοντέλου Perceptron. Ανήκουν στην κατηγορία των νευρωνικών δικτύων μάθησης με επίβλεψη, ανανεώνουν δηλαδή τις παραμέτρους τους με τον τρόπο που παρουσιάστηκε νωρίτερα. Τα δίκτυα αυτά διακρίνονται για την ικανότητα τους να μαθαίνουν πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ πρότυπων εισόδου και εξόδου, οι οποίες είναι δύσκολο να μοντελοποιηθούν με άλλες μεθόδους.

Τα τεχνητά πολυεπίπεδα νευρωνικά δίκτυα περιλαμβάνουν τα επίπεδα εισόδου και εξόδου, καθώς και ένα ή περισσότερα εσωτερικά κρυμμένα επίπεδα. Χαρακτηρίζονται ως πρόσθιας τροφοδότησης, αφού δεν υπάρχει ανατροφοδότηση της εξόδου ενός νευρώνα προς άλλους νευρώνες προηγούμενων επιπέδων.

Οι νευρώνες στο στρώμα εισόδου είναι παθητικοί, δηλαδή ο καθένας απλά μεταδίδει μια τιμή μέσω των διασυνδετικών βαρών στους κρυφούς νευρώνες [2]. Οι κρυφοί νευρώνες και οι νευρώνες εξόδου επεξεργάζονται τις εισόδους τους σε δύο στάδια. Αρχικά, στο πρώτο στάδιο ο νευρώνας πολλαπλασιάζει κάθε είσοδο με το βάρος της, προσθέτει τα δεδομένα και στο δεύτερο στάδιο περνάει το άθροισμα από μια συνάρτηση ενεργοποίησης για να παράγει το αποτέλεσμα.



Σχήμα 3.13: Πολυεπίπεδο Perceptron

Ένα MLP νευρωνικό δίκτυο έχει τα εξής βασικά χαρακτηριστικά :

- Οι συναρτήσεις των νευρώνων είναι μη γραμμικές, συνεχείς και παραγωγίσιμες. Κάθε νευρώνας περιλαμβάνει μια μη γραμμική συνάρτηση ενεργοποίησης. Η συνάρτηση αυτή είναι συνήθως η σιγμοειδής και δίνεται από τον τύπο  $g(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}}$ .
- Το δίκτυο περιέχει ένα ή περισσότερα κρυφά επίπεδα που δίνουν την δυνατότητα στο δίκτυο να αποσπά σταδιακά σημαντικές πληροφορίες για τις ιδιότητες της εισόδου.
- Το νευρωνικό δίκτυο παρουσιάζει υψηλό βαθμό διασύνδεσης που καθορίζεται από τα συναπτικά βάρη.
- Διαθέτει δύο είδη σημάτων, τα λειτουργικά σήματα και τα σήματα σφάλματος. Τα λειτουργικά σήματα, είναι σήματα εισόδου που φτάνουν στην είσοδο του δικτύου, στη συνέχεια διαδίδονται προς τα εμπρός και τέλος εμφανίζονται στην έξοδο του δικτύου ως σήματα εξόδου. Η ονομασία τους οφείλεται στο γεγονός ότι κατά το πέρασμά τους από κάθε νευρώνα υλοποιείται ένας υπολογισμός συναρτήσεων των αντίστοιχων βαρών. Τα σήματα σφάλματος δημιουργούνται μόνο κατά την διάρκεια εκπαίδευσης και προωθούνται κατά την αντίστροφη φορά, από την έξοδο προς την είσοδο, διαμέσου του νευρωνικού δικτύου.

### **3.9.1 Εκπαίδευση με προς τα πίσω διάδοση του σφάλματος**

---

Όπως αναφέρθηκε, η εκμάθηση του δικτύου απαιτεί τον υπολογισμό των παραμέτρων - βαρών του μοντέλου. Στην περίπτωση ενός μοντέλου MLP η εξάρτηση των παραμέτρων του μοντέλου από την έξοδο είναι αρκετά πολύπλοκη.

Για την εκπαίδευση λοιπόν ενός πολυεπίπεδου νευρωνικού δικτύου υπάρχουν πολλές μέθοδοι που μπορούν να εφαρμοστούν. Ένας από τους βασικότερους τρόπους είναι ο αλγόριθμος εκπαίδευσης με *προς τα πίσω διάδοση του σφάλματος* (back propagation), ο οποίος παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα για ένα μεγάλο πλήθος διαφορετικών



προβλημάτων. Βασικό χαρακτηριστικό του αλγόριθμου με προς τα πίσω διάδοση του σφάλματος είναι η ύπαρξη επιθυμητών εξόδων, δηλαδή το δίκτυο εκπαιδεύεται με επίβλεψη. Είναι ένας επαναληπτικός αλγόριθμος, ο οποίος ρυθμίζει κάθε βάρος ενός δικτύου με σκοπό να μειωθεί το σφάλμα στην έξοδο του.

Η διαδικασία εκπαίδευσης επιτυγχάνεται με δύο περάσματα, ένα πέρασμα προς τα εμπρός και ένα πέρασμα προς τα πίσω. Στο εμπρός πέρασμα ένα διάνυσμα εισόδου εφαρμόζεται στους νευρώνες εισόδου του δικτύου και η επίδραση του διαδίδεται μέσα στο δίκτυο από επίπεδο σε επίπεδο. Σε αυτό το πέρασμα τα βάρη δεν μεταβάλλονται αλλά παραμένουν σταθερά. Στο πίσω πέρασμα τα βάρη μεταβάλλονται σύμφωνα με τον κανόνα διόρθωσης του λάθους. Συγκεκριμένα, αφαιρείται η πραγματική απόκριση του δικτύου από την επιθυμητή έξοδο για να δημιουργηθεί ένα σήμα σφάλματος το οποίο διαδίδεται προς τα πίσω στο δίκτυο. Τα βάρη προσαρμόζονται με τέτοιο τρόπο ώστε η πραγματική απόκριση να προσεγγίσει την επιθυμητή [1]. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται έως ότου το δίκτυο προσεγγίσει την επιθυμητή απόκριση για όλα τα δεδομένα εισόδου, όταν δηλαδή ο δείκτης σφάλματος είναι πολύ μικρός ή ιδανικά ίσος με μηδέν. Είναι πιθανόν η διαδικασία να σταματήσει και νωρίτερα με βάση άλλα κριτήρια όπως το να φτάσει τον μέγιστο αριθμό των επαναλήψεων εκπαίδευσης.

Το συνολικό σφάλμα της εξόδου του νευρωνικού δικτύου δίνεται από την σχέση [1]:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^p (D_i - Y_i)^T \cdot (D_i - Y_i) \quad (3.3)$$

Όπου :

- $D_i$ , διάνυσμα των επιθυμητών εξόδων για το  $i$  πρότυπο
- $Y_i$ , διάνυσμα των εξόδων για το  $i$  πρότυπο
- $p$ , ο αριθμός των προτύπων του συνόλου εκπαίδευσης

Όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως η έξοδος του νευρώνα  $j$  δίνεται από την:

$$y_j = f_j(S_j) \quad (3.4)$$

Όπου, το  $S_j$  υπολογίζεται από την εξίσωση (3.1) και  $f$  είναι η συνάρτηση ενεργοποίησης.

Για να υπολογιστεί η επίδραση του βάρους  $w_{ji}$  μέσω του σταθμισμένου αθροίσματος  $S_j$  στο σφάλμα χρησιμοποιείται ο κανόνας της αλυσίδας.

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}} = \frac{\partial E}{\partial S_j} \frac{\partial S_j}{\partial w_{ji}} \quad (3.5)$$

Επειδή,  $y_i = \frac{\partial S_j}{\partial w_{ji}}$ , η ενημέρωση των βαρών δίνεται από την εξίσωση:

$$\Delta w_{ji} \approx -\frac{\partial E}{\partial S_j} y_i \quad (3.6)$$

Για το σφάλμα της εξόδου ισχύει:  $E=E[y_j(S_i)]$ . Εφαρμόζοντας ξανά τον κανόνα της αλυσίδας προκύπτει:

$$\frac{\partial E}{\partial S_j} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \frac{\partial y_j}{\partial S_j} = f_j'(S_j) \frac{\partial E}{\partial y_i} \quad (3.7)$$

Χρησιμοποιώντας την σχέση (3.4) και για  $d_j$  να είναι η επιθυμητή τιμή εξόδου για κόμβο του επιπέδου εξόδου ,

$$\frac{\partial E}{\partial y_j} = -(d_j - y_j) \quad (3.8)$$

Γνωρίζοντας ότι το διάνυσμα των αλλαγών των βαρών πρέπει να είναι ανάλογο του διανύσματος της κλίσης της συνάρτησης  $E$ , ισχύει η σχέση  $\Delta w_{ji} \approx \eta \nabla E$ , όπου  $\eta$  είναι ένας παράγοντας επιτάχυνσης. Υιοθετώντας ένα παράγοντα επιτάχυνσης της διαδικασίας εκπαίδευσης  $\eta$  και  $y_j'$  να είναι η παράγωγος της εξόδου του κόμβου  $j$ , η ενημέρωση των βαρών των νευρώνων εξόδου δίνεται από την:

$$\Delta w_{ji} \approx \eta \cdot y_j'(S_j) \cdot y_i \cdot (d_j - y_j) \quad (3.9)$$

Για τα διασυνδεδετικά βάρη νευρώνων κρυμμένων επιπέδων ακολουθείται παρόμοια διαδικασία θεωρώντας δύο κόμβους  $i,h$  του προηγούμενου και του προ-προηγούμενου επιπέδου από την έξοδο του δικτύου αντίστοιχα.

Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η απλότητα της, η ανεκτικότητα σε σφάλματα και η εφαρμογή της στην επίλυση προβλημάτων ευρείας κλίμακας και υψηλών απαιτήσεων. Παρόλα αυτά έχει δύο βασικά μειονεκτήματα, την σχετικά αργή σύγκλιση και την πιθανότητα παγίδευσης του συστήματος σε τοπικό ελάχιστο, καθώς τα MLP χρησιμοποιούνται για επίλυση μη γραμμικών προβλημάτων.

### 3.10 MLP δίκτυα και πρόβλεψη φορτίου

Τα τεχνητά πολυεπίπεδα νευρωνικά δίκτυα εφαρμόζονται στις περισσότερες περιπτώσεις πρόβλεψης φορτίου και ιδιαίτερα στην βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη. Αρχικά γίνεται η υπόθεση ότι το μελλοντικό φορτίο εξαρτάται από τις τιμές των προγενέστερων φορτίων καθώς και από διάφορους εξωγενείς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία. Με βάση αυτή την υπόθεση το πολυεπίπεδο νευρωνικό δίκτυο MLP χρησιμοποιείται για την προσέγγιση του προβλήματος.

Οι είσοδοι του δικτύου αποτελούνται από τιμές θερμοκρασιών και παλαιότερες τιμές φορτίου και η έξοδος είναι μελλοντικές τιμές φορτίου μιας συγκεκριμένης ώρας, πολλών μελλοντικών ωρών, αιχμή φορτίου μιας ημέρας κτλ . Γίνεται φανερό ότι οι δυνατότητες που παρέχονται από το δίκτυο είναι πολλές και προσαρμόζονται ανάλογα με τις απαιτήσεις του προβλήματος.

Η κατασκευή ενός μοντέλου MLP για πρόβλεψη φορτίου μπορεί να αντιμετωπιστεί σαν ένα πρόβλημα μη γραμμικού συστήματος αναγνώρισης. Ο καθορισμός της δομής του μοντέλου γίνεται με την επιλογή των μεταβλητών εισόδου και την εκλογή της δομής του δικτύου. Η εκτίμηση των παραμέτρων εξάγεται από την εκπαίδευση του δικτύου σε ήδη υπάρχοντα δεδομένα φορτίου..

Ένα από τα θετικά των μοντέλων νευρωνικών δικτύων είναι η σχετικά γρήγορη προσαρμογή των χαρακτηριστικών στη συμπεριφορά του φορτίου, μπορούν δηλαδή να ακολουθήσουν τις ξαφνικές αλλαγές του φορτίου. Για παράδειγμα, στις αρχές της περιόδου των διακοπών, η συμπεριφορά του φορτίου μπορεί να αλλάξει γρήγορα. Καθώς τα μοντέλα νευρωνικών δικτύων είναι, στην ουσία, βασισμένα στις συναρτήσεις αναγνώρισης προτύπων, αναγνωρίζουν τις αλλαγμένες συνθήκες χωρίς να χρειάζεται η επανεκτίμηση των παραμέτρων. Αυτό απαιτεί, φυσικά, ότι οι συνθήκες σχετικά με τη νέα κατάσταση έχουν χρησιμοποιηθεί στην εκπαίδευση, και οι είσοδοι του δικτύου να περιέχουν πληροφορίες απαραίτητες για την αναγνώριση των συνθηκών.

Από την άλλη, ένα από τα μειονεκτήματα των μοντέλων MLP είναι το ότι δεν είναι μπορεί να γίνει γνωστός ο τρόπος εξάρτησης των μελλοντικών τιμών από την προγενέστερη συμπεριφορά. Η κατανόηση του μοντέλου είναι πολύ δύσκολη και η κοινή λογική είναι δύσκολο να εφαρμοστεί με σκοπό να γίνει σαφές το πώς οι έξοδοι εξαρτώνται από τις εισόδους. Επιπλέον το μοντέλο μπορεί να μην ανταποκριθεί ικανοποιητικά σε ένα πρότυπο

εισόδου το οποίο είναι πολύ διαφορετικό από τα δεδομένα που επεξεργάστηκε του κατά τη διάρκεια της εκμάθησης.

## 4 Εφαρμογή Μεθόδων Πρόβλεψης Φορτίου στο Ελληνικό Σύστημα

---

Η βασική αρχική διαδικασία που απαιτείται για την ανάπτυξη των νευρωνικών δικτύων είναι ο προσδιορισμός των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν. Η διαδικασία της επιλογής των δεδομένων περιλαμβάνει τρία στάδια [1]:

- του καθορισμού
- του φιλτραρίσματος
- της κανονικοποίησης

Στο πρώτο στάδιο προδιαγράφεται πλήρως το πρόβλημα και καθορίζονται οι μεταβλητές εισόδου. Κατά το στάδιο του φιλτραρίσματος των δεδομένων γίνεται έλεγχος εάν παρατηρούνται κάποια ασυνήθιστα δεδομένα. Για το λόγο αυτό είναι χρήσιμο να γίνεται η γραφική παράσταση των δεδομένων και όπου παρατηρείται κάτι το ασυνήθιστο να αφαιρείται. Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο της επιλογής των δεδομένων πραγματοποιείται η κανονικοποίηση τους πριν την εισαγωγή τους στο ΤΝΔ. Η διαδικασία αυτή είναι χρήσιμη όταν οι είσοδοι του ΤΝΔ διαφέρουν αρκετά ως προς την τιμή τους.

### 4.1 Κατασκευή χαρακτηριστικών διαγραμμάτων

Πριν την πραγματοποίηση της εκπαίδευσης του ΤΝΔ και της πρόβλεψης του φορτίου, γίνεται μια αρχική επεξεργασία των δεδομένων μέσω διαγραμμάτων της Matlab ώστε να παρουσιαστούν οι επιδράσεις διάφορων παραγόντων, όπως η εποχικότητα, στην πρόβλεψη του φορτίου.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, ανακτήθηκαν από την ιστοσελίδα του ΑΔΜΗΕ και είναι δεδομένα ωριαίων τιμών του φορτίου σε MW για το έτος 2012 [21]. Για κάθε μέρα συνεπώς είναι διαθέσιμες οι καταναλώσεις της κάθε ώρας. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν θερμοκρασιακά δεδομένα της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας στις περιοχές της Αττικής και της Θεσσαλονίκης καθώς και δεδομένα για τον καιρό της εκάστοτε ημέρας (αίθριος, νεφελώδης κ.α.) [22].

Όπως αναφέρθηκε και στο δεύτερο κεφάλαιο, τέσσερις είναι οι βασικοί παράγοντες που επιδρούν σημαντικά στην ζήτηση φορτίου: οι οικονομικοί, οι μετεωρολογικοί, οι εποχιακοί και οι τυχαίοι. Στην επεξεργασία των δεδομένων που θα παρουσιαστεί περιλαμβάνονται μετεωρολογικά και εποχιακά δεδομένα. Ως εποχιακοί-ημερολογιακοί παράγοντες θεωρούνται αυτοί που συνεπάγονται μεταβολές στην ζήτηση του φορτίου ανάλογα με :

1. την εποχή
2. την ημέρα της εβδομάδας
3. τις εθνικές και θρησκευτικές εορτές/αργίες

Προκειμένου να είναι πληρέστερη η ανάλυση, έγιναν κάποιες κατηγοριοποιήσεις των διάφορων αυτών παραγόντων. Αυτό συνέβη διότι υπάρχουν διαφορές ακόμη και μεταξύ των ημερών της ίδια εποχής. Για αυτό το λόγο στην πρόβλεψη φορτίου οι ημέρες χωρίζονται σε διαφορετικούς τύπους ημερών, με τον καθένα να έχει τις δικές του χαρακτηριστικές μορφές φορτίου.

Η πρώτη κατηγοριοποίηση σχετίζεται με τις ημέρες της εβδομάδας. Διακρίνονται λοιπόν οι 7 ημέρες της εβδομάδας ως εξής:

Ημέρα εβδομάδας	Κωδικοποίηση
Δευτέρα	1
Τρίτη	2
Τετάρτη	3
Πέμπτη	4
Παρασκευή	5
Σάββατο	6
Κυριακή	7

Πίνακας 4.1: Κωδικοποίηση ημερών εβδομάδας

Ένας επιπλέον διαχωρισμός των ημερών της εβδομάδας προκειμένου να μελετηθεί η αντίστοιχη επίδραση του φορτίου παρουσιάζεται στον πίνακα 4.2. Ως αργίες θεωρήθηκαν οι επίσημες αργίες στην Ελλάδα.

Είδος Ημέρας	Κωδικοποίηση
Καθημερινή	1
Σαββατοκύριακο	2
Αργία	3

Πίνακας 4.2: Κωδικοποίηση ανά είδος ημέρας

Τέλος έγινε κατηγοριοποίηση των μετεωρολογικών δεδομένων με βάση τις καιρικές συνθήκες όπως φαίνεται στον πίνακα 4.3:

Καιρικές συνθήκες	Κωδικοποίηση
Αίθριος	1
Αίθριος/Βροχερός	2
Αίθριος/Νεφελώδης	3
Βροχερός	4
Νεφελώδης/Βροχερός	5
Νεφελώδης	6
Παγωνιά	7
Χιόνι	8

Πίνακας 4.3: Κωδικοποίηση μετεωρολογικών δεδομένων

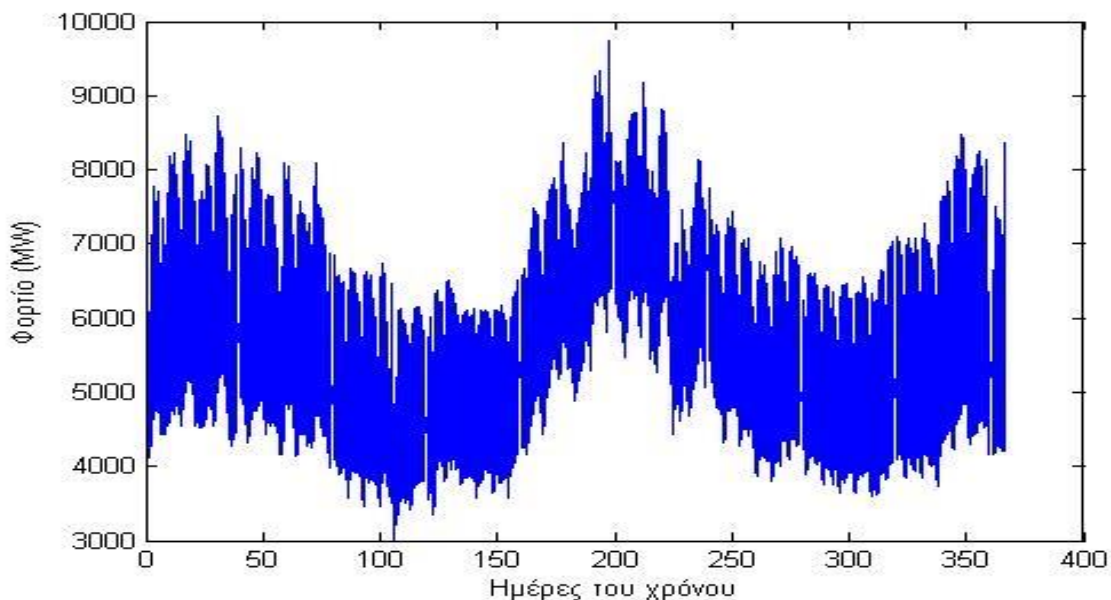
Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων φορτίου και θερμοκρασίας στο MATLAB.

Αρχικά γίνεται μια ανάλυση της κατανάλωσης σε **ετήσια** βάση που περιλαμβάνει διαγράμματα του προφίλ της κατανάλωσης, μια γενική μορφή της ετήσιας ωριαίας κατανάλωσης ,ενώ πιο συγκεκριμένα μετά διαγράμματα της ετήσιας ωριαίας κατανάλωσης για τις καθημερινές, τα Σάββατα, τις Κυριακές και τις αργίες καθώς και διαγράμματα της κατανάλωσης ανά ημέρα της εβδομάδας.

Στη συνέχεια, πιο αναλυτικά εξετάζονται τα προφίλ κατανάλωσης και οι ωριαίες καταναλώσεις για τις καθημερινές, τα Σάββατα και τις Κυριακές για κάθε μια από τις τέσσερις **εποχές** του χρόνου (Χειμώνα, Άνοιξη, Καλοκαίρι, Φθινόπωρο).

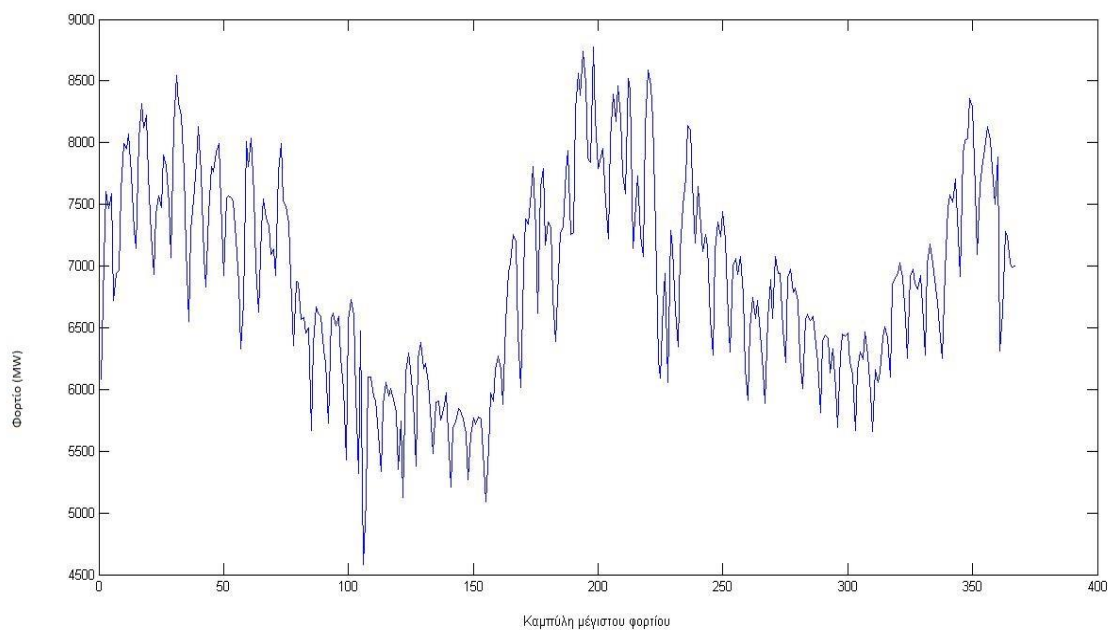
Τέλος, μετά την παρουσίαση των διαγραμμάτων πραγματοποιείται μια εξήγηση τους καταλήγοντας σε κάποια συμπεράσματα για το πως κυμαίνεται το φορτίο κατά την διάρκεια του έτους.

#### 4.1.1 Ετήσια διαγράμματα

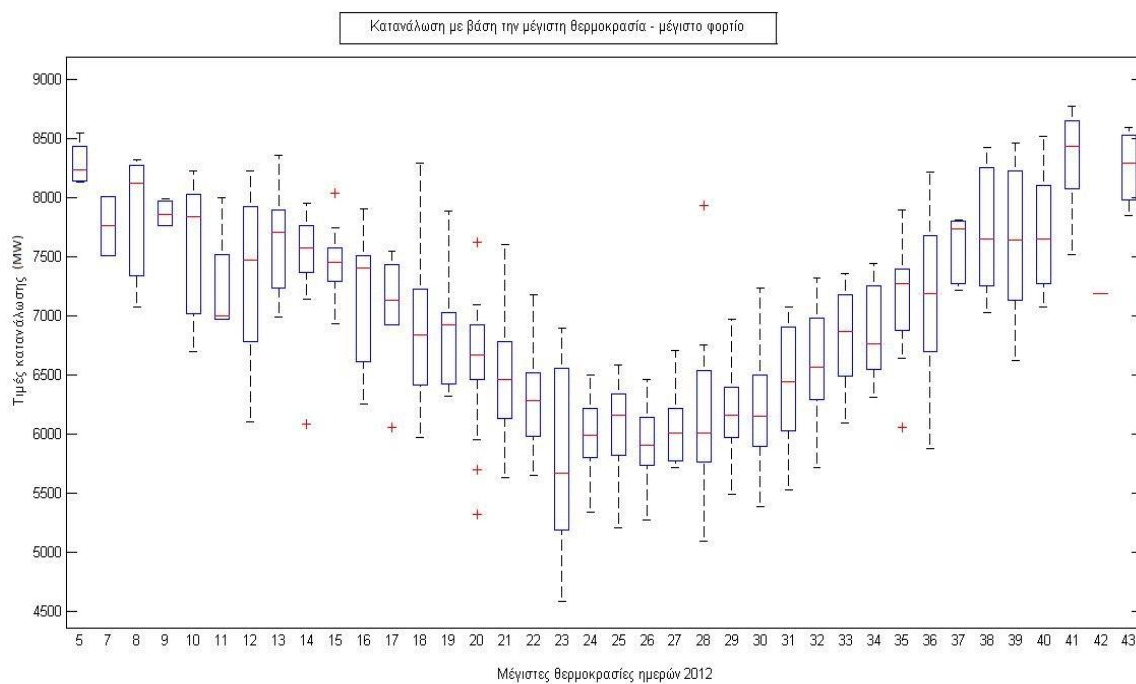


Διάγραμμα 4.1: Προφίλ ηλεκτρικού φορτίου

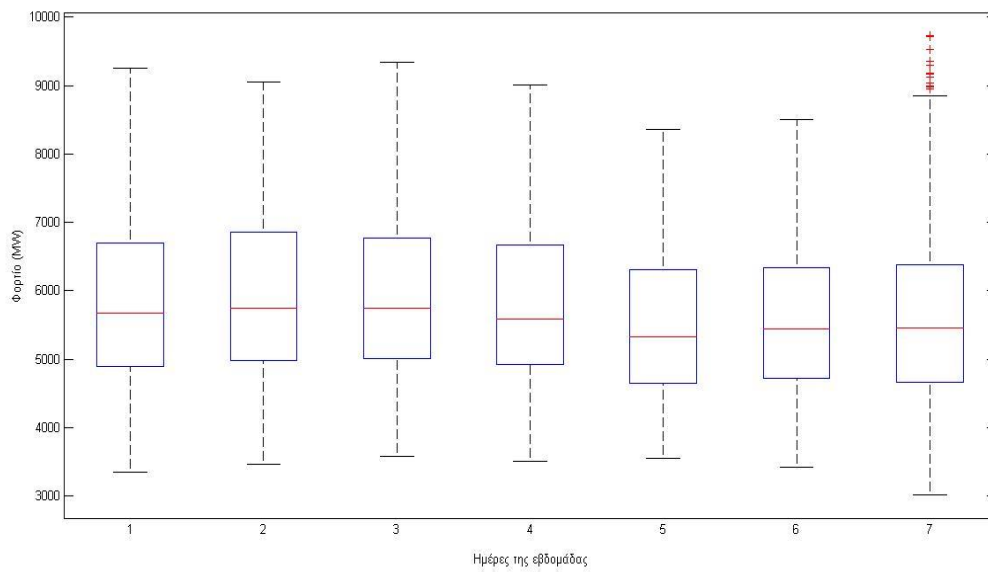




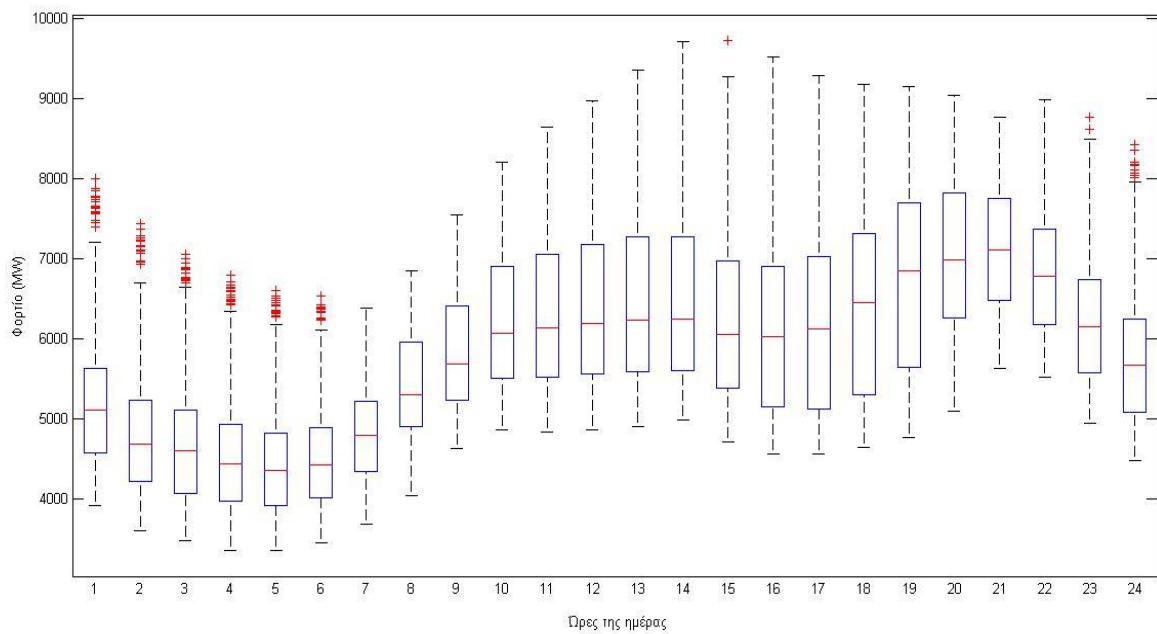
Διάγραμμα 4.2: Προφίλ μέγιστων τιμών ηλεκτρικού φορτίου



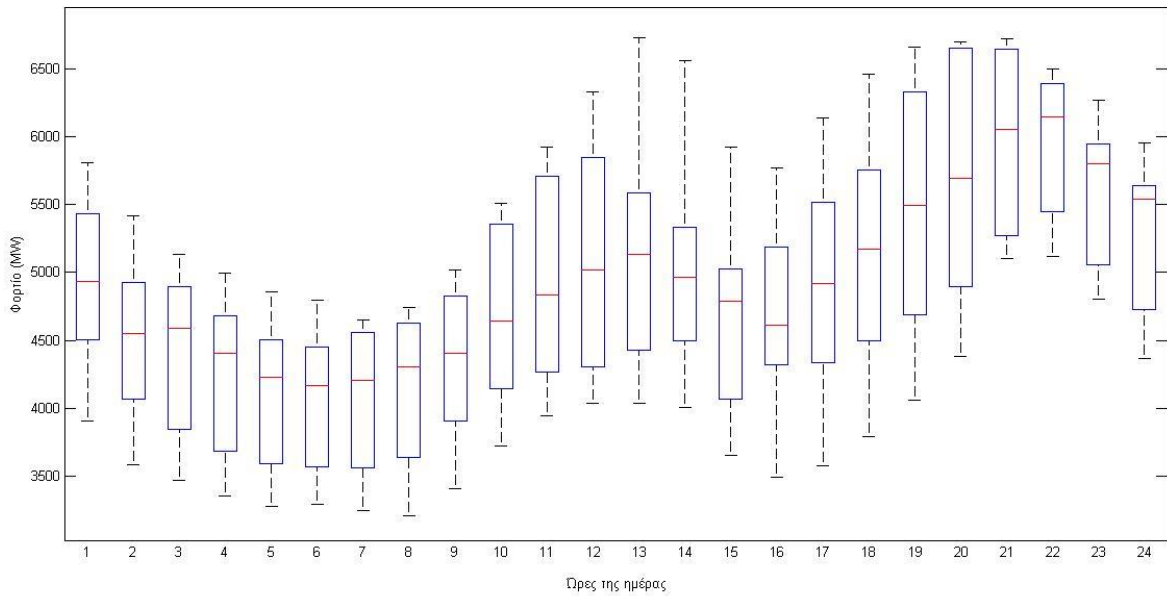
Διάγραμμα 4.3: Καμπύλη μέγιστων θερμοκρασιών - μέγιστου φορτίου, 2012



Διάγραμμα 4.4 : Κατανάλωση για κάθε μέρα της εβδομάδας για το έτος 2012

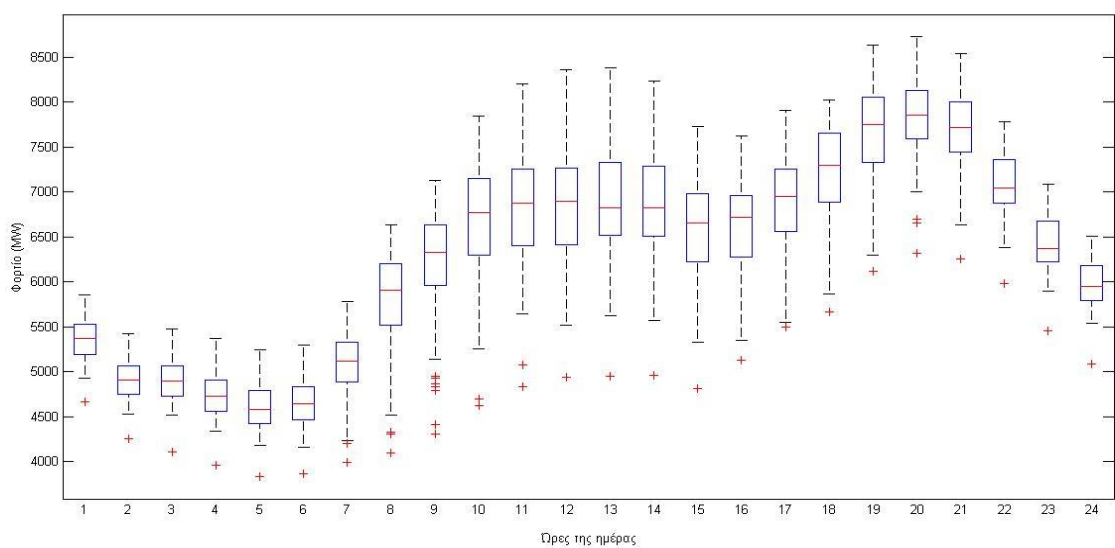


Διάγραμμα 4.5: Τυπική ωριαία κατανάλωση και διακύμανση κατά την διάρκεια των εργάσιμων ημερών όλου του έτους 2012

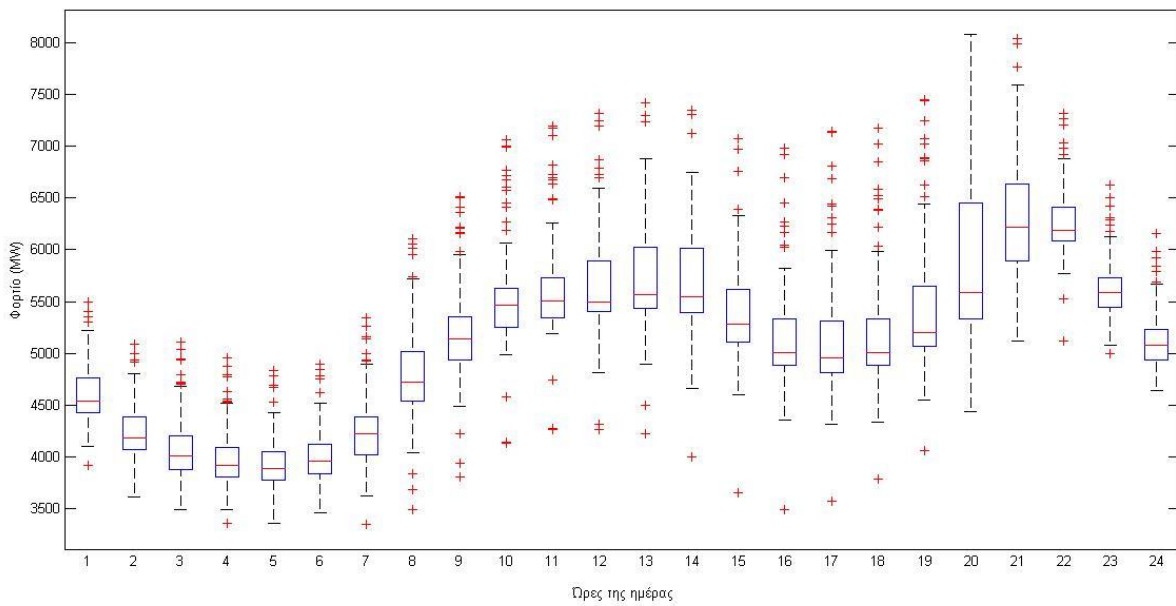


Διάγραμμα 4.6: Τυπική ωριαία κατανάλωση και διακύμανση των ημερών αργίας όλου του έτους 2012

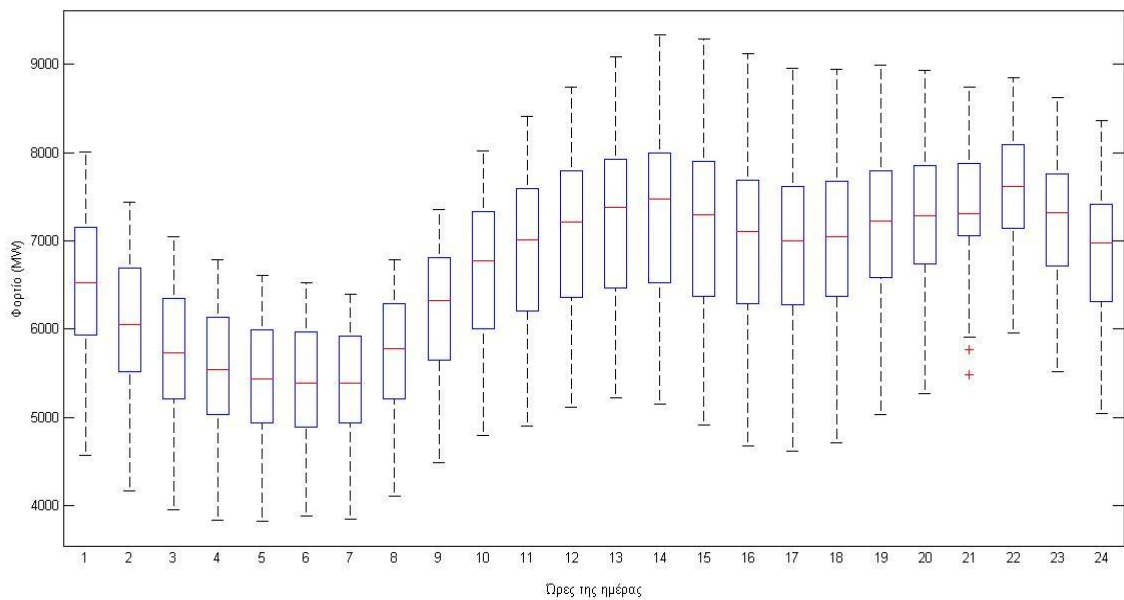
#### 4.1.2 Διαγράμματα καθημερινών ημερών ανά εποχή



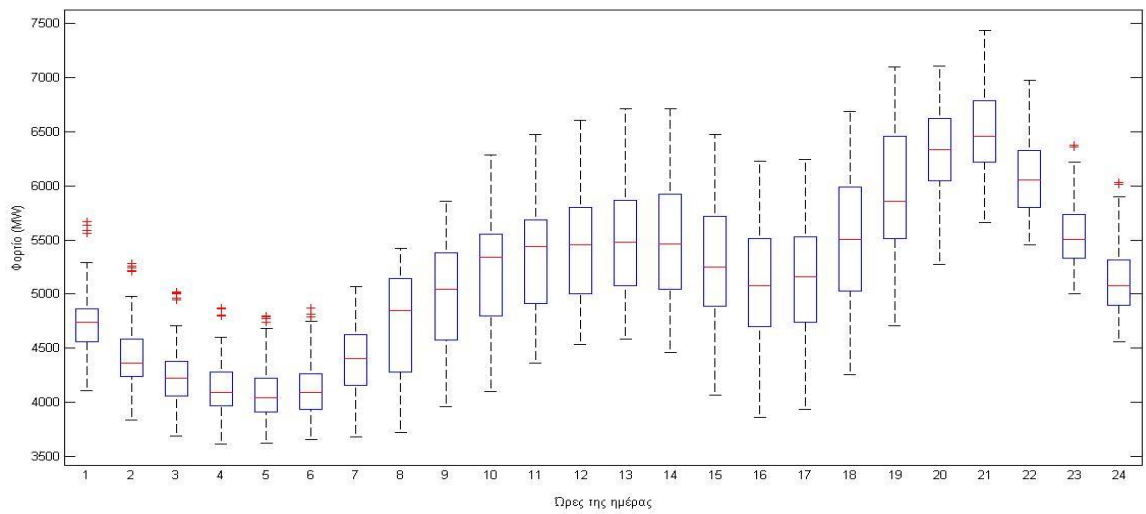
Διάγραμμα 4.7: Τυπική ωριαία κατανάλωση και διακύμανση κατά την διάρκεια των εργάσιμων ημερών του Χειμώνα



Διάγραμμα 4.8: Τυπική ωριαία κατανάλωση και διακύμανση κατά την διάρκεια των εργάσιμων ημερών της Άνοιξης

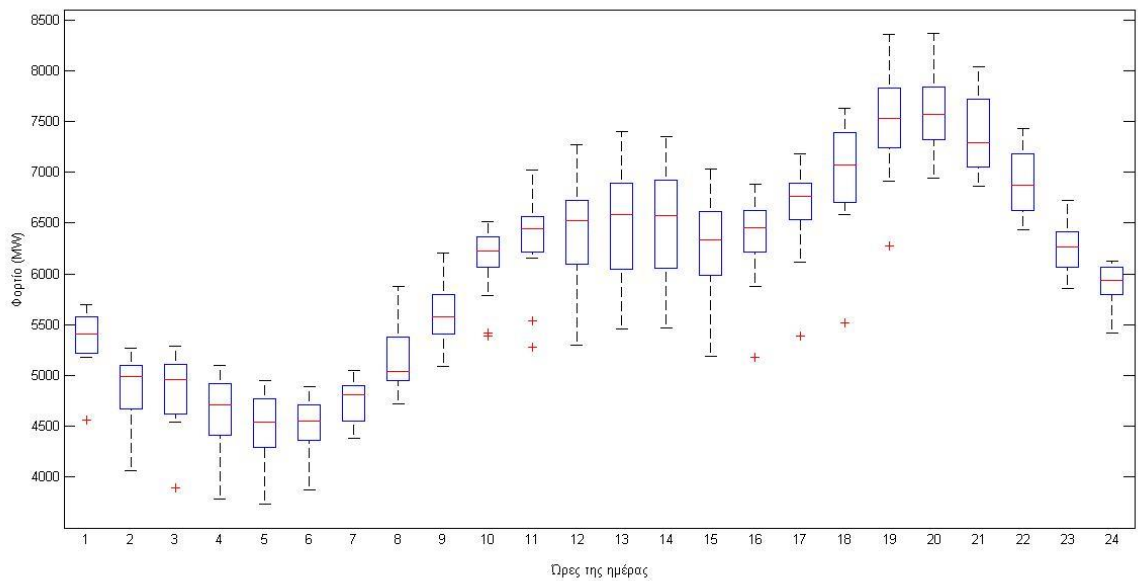


Διάγραμμα 4.9: Τυπική ωριαία κατανάλωση και διακύμανση κατά την διάρκεια εργάσιμων ημερών του Καλοκαιριού

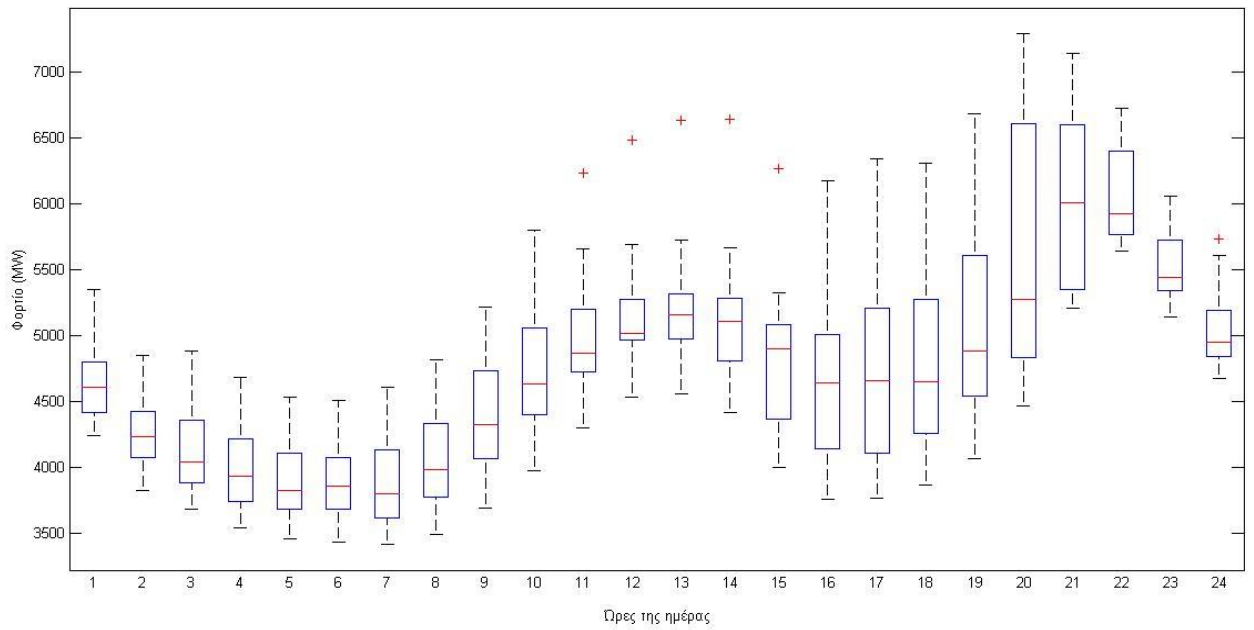


Διάγραμμα 4.10: Τυπική ωριαία κατανάλωση και διακύμανση κατά την διάρκεια εργάσιμων ημερών του Φθινοπώρου

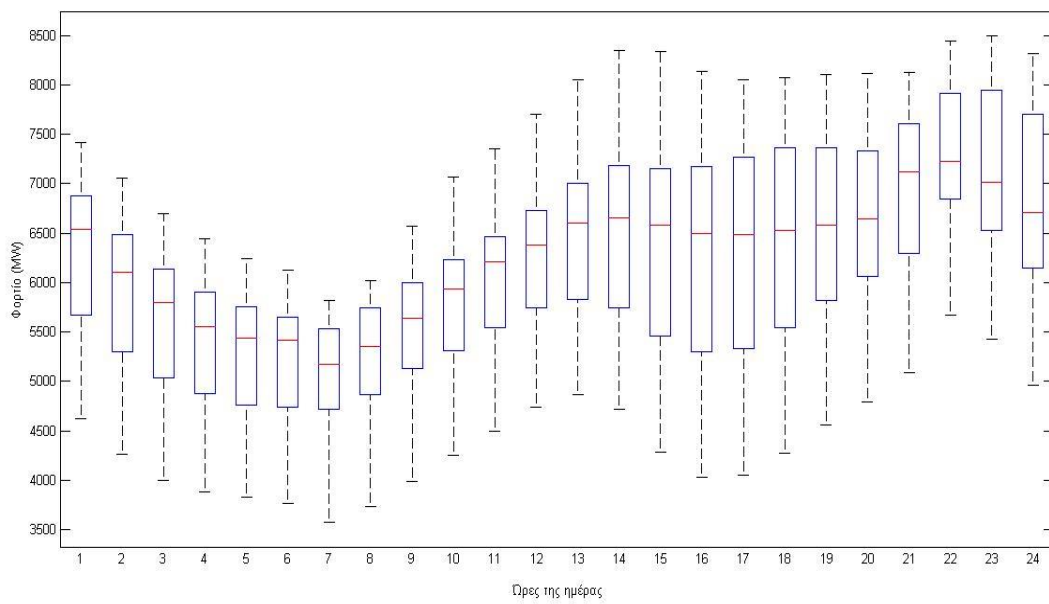
### 4.1.3 Διαγράμματα ημέρας Σαββάτου ανά εποχή



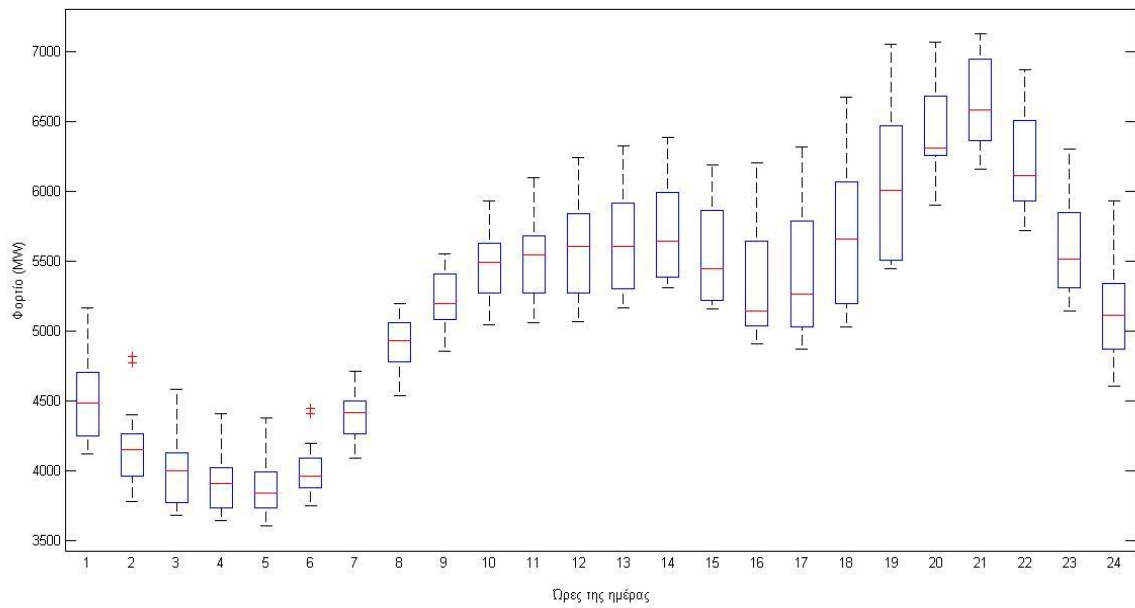
Διάγραμμα 4.11: Τυπική ωριαία κατανάλωση και διακύμανση κατά την διάρκεια των ημερών του Σαββάτου για το Χειμώνα



Διάγραμμα 4.12: Τυπική ωριαία κατανάλωση και διακύμανση κατά την διάρκεια των ημερών του Σαββάτου για την Άνοιξη

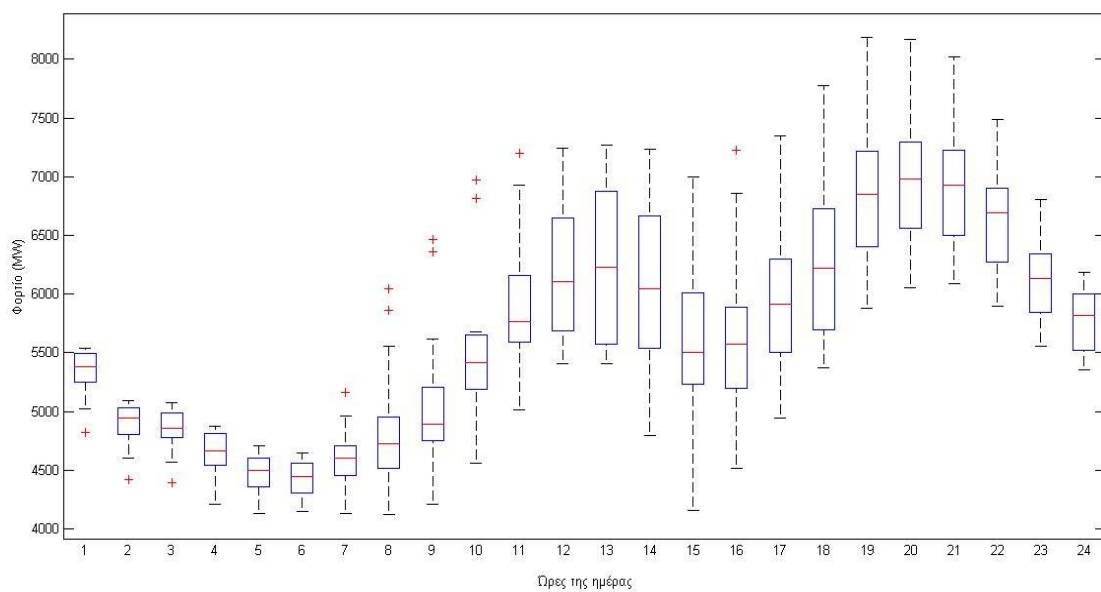


Διάγραμμα 4.13: Τυπική ωριαία κατανάλωση και διακύμανση κατά την διάρκεια των ημερών του Σαββάτου για το Καλοκαίρι

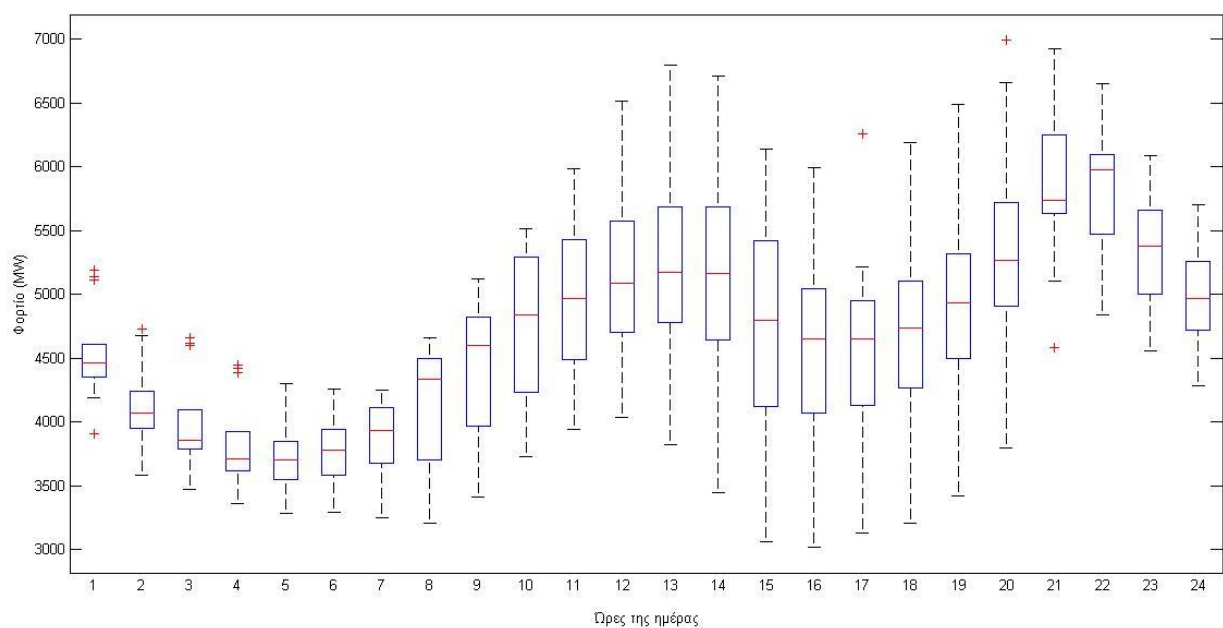


Διάγραμμα 4.14: Τυπική ωριαία κατανάλωση και διακύμανση κατά την διάρκεια των ημερών του Σαββάτου για το Φθινόπωρο

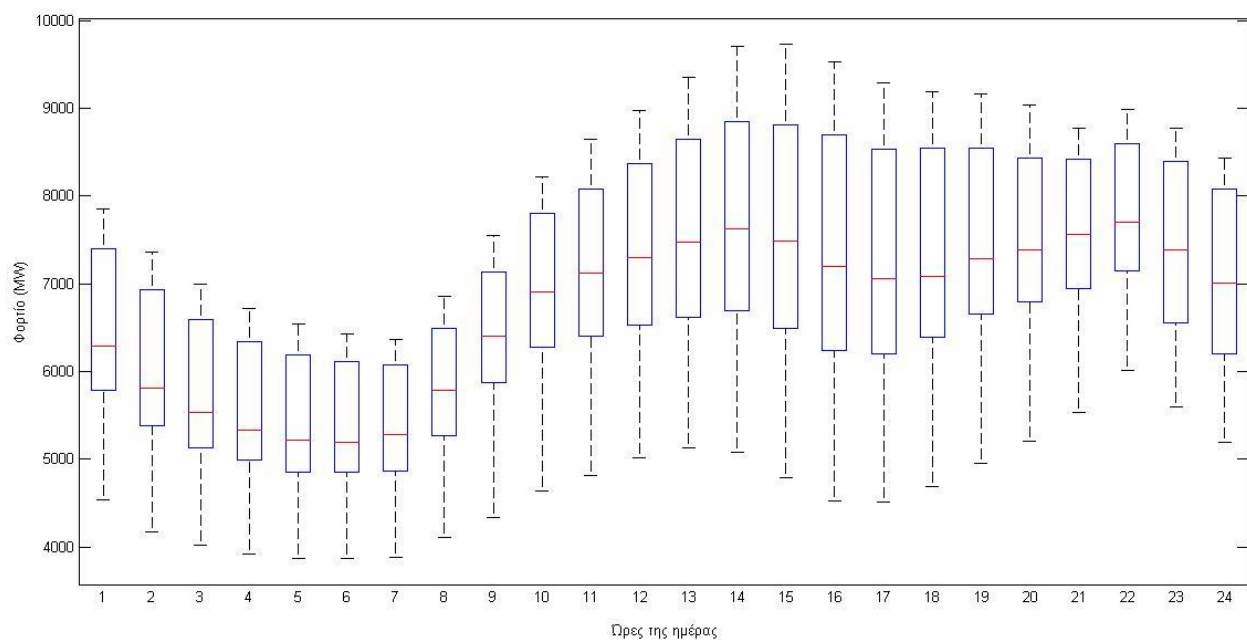
#### 4.1.4 Διαγράμματα ημέρας Κυριακής ανά εποχή



Διάγραμμα 4.15 Τυπική ωριαία κατανάλωση και διακύμανση της Κυριακής για το Χειμώνα

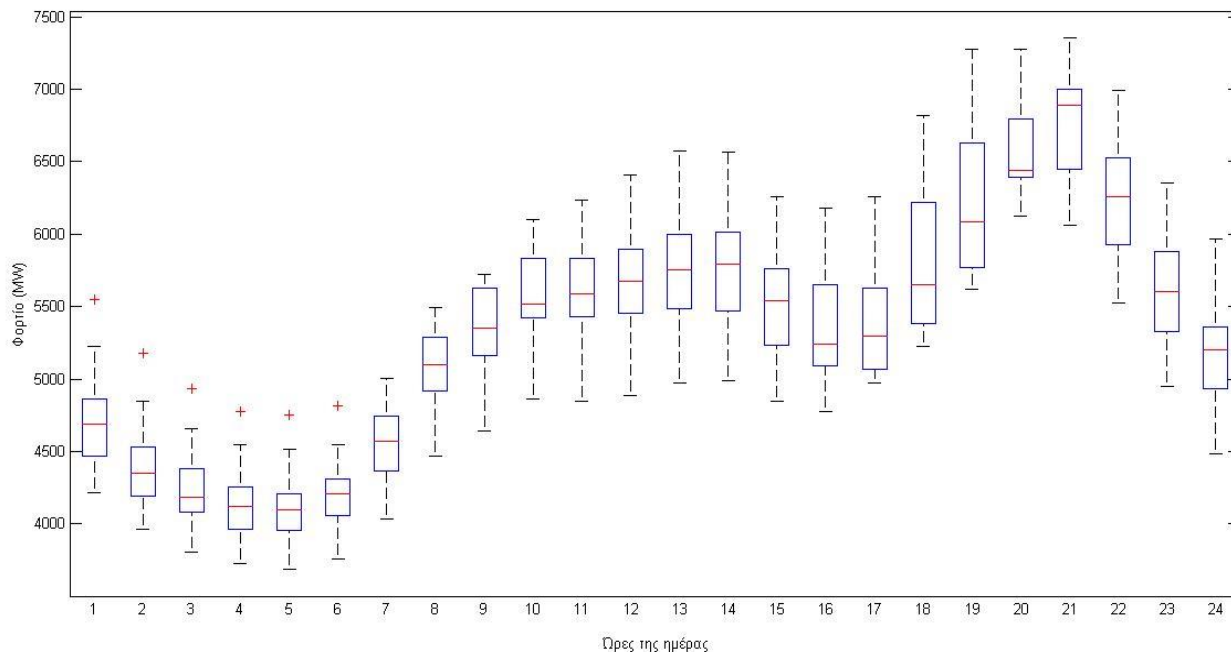


Διάγραμμα 4.16: Τυπική ωριαία κατανάλωση και διακύμανση της Κυριακής για την Άνοιξη



Διάγραμμα 4.17: Τυπική ωριαία κατανάλωση και διακύμανση της Κυριακής για το Καλοκαίρι





Διάγραμμα 4.18: Τυπική ωριαία κατανάλωση και διακύμανση της Κυριακής για το Φθινόπωρο

#### 4.1.5 Συμπεράσματα Διαγραμμάτων

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλεται σημαντικά τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και κατά τη διάρκεια του έτους. Οι εποχιακές αυτές μεταβολές επιδρούν όπως φαίνεται και στα διαγράμματα στην μορφή της καμπύλης του φορτίου και συνήθως γίνονται σταδιακά με την αλλαγή διαφόρων εποχιακών μεταβλητών, όπως η θερμοκρασία και οι ώρες ηλιοφάνειας.

Από τα διαγράμματα καταναλώσεων και μέγιστου φορτίου (διαγράμματα 4.1 , 4.2 ) γίνεται σαφές ότι αν και η ζήτηση κατά την χειμερινή περίοδο του 2012 είναι ιδιαίτερα αυξημένη , η μέγιστη ζήτηση φορτίου παρουσιάζεται κατά τους θερινούς μήνες. Αυτό το μέγιστο της ζήτησης, που οφείλεται στην αυξημένη θερμοκρασία λόγω του κλίματος της Ελλάδας και την χρήση συσκευών κλιματισμού, εξηγείται και σε μεγάλο βαθμό στην έντονη δραστηριότητα στον τομέα του τουρισμού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Την άνοιξη και

το φθινόπωρο οι τιμές της κατανάλωσης είναι εμφανώς πιο χαμηλές λόγω του γεγονότος ότι δεν επικρατούν ακραίες καιρικές συνθήκες σε αυτές τις εποχές.

Από το διάγραμμα 4.3, των μέγιστων θερμοκρασιών - μέγιστων φορτίων , φαίνεται ότι η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές της είτε για χαμηλές θερμοκρασίες από 0 έως 10 °C είτε για θερμοκρασίες άνω των 39 °C. Για ενδιάμεσες θερμοκρασίες από 22 έως 30 °C (ανοιξιάτικες και φθινοπωρινές θερμοκρασίες) εμφανίζει τις χαμηλότερες απαιτήσεις.

Με μια απλή αρχική εποπτεία στο διάγραμμα 4.5 και στην ετήσια ωριαία κατανάλωση καθημερινών ημερών, γίνεται φανερή η τάση που ακολουθεί η ζήτηση του φορτίου κατά την διάρκεια της ημέρας. Η ημερήσια τάση είναι αποτέλεσμα της συμπεριφοράς των ανθρώπων κατά τη διάρκεια της ημέρας και των κοινών ωραρίων και δραστηριοτήτων τους όπως είναι η εργασία. Τις εργάσιμες ημέρες οι κοινωνικές δραστηριότητες είναι περισσότερες και οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας μεγαλύτερες.

Η ελάχιστη κατανάλωση παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας από τις 12:00 έως τις 6 το πρωί. Εν συνεχεία η κατανάλωση αυξάνεται συνεχώς μέχρι τις 12:00 το μεσημέρι όπου και παρουσιάζεται μία πρώτη αιχμή στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Τις επόμενες ώρες η κατανάλωση σταδιακά μειώνεται μέχρι το βράδυ όπου εμφανίζει δεύτερη αιχμή του φορτίου που σχετίζεται με την επιστροφή των ανθρώπων από τις εργασίες τους και τη χρησιμοποίηση οικιακών συσκευών. Αυξημένη συνεπώς είναι γενικά η ζήτηση φορτίου τις μεσημβρινές (12:00- 15:00) και τις πρώτες βραδινές ώρες (19:00-22:00) ενώ μειωμένη τις ώρες που το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού αναπαύεται (12:00-07:00). Το φορτίο που εμφανίζεται κατά την διάρκεια της νύχτας οφείλεται στις καταναλώσεις για φωτισμό κατά τη διάρκεια της νύχτας, σε βιομηχανίες με νυχτερινή λειτουργία, σε συσκευές που λειτουργούν όλο το 24ώρο καθώς και σε συσκευές που βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής.

Η ημερήσια τάση μεταβάλλεται επίσης και κατά τη διάρκεια του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα εντοπίζοντας τα διαγράμματα των καθημερινών ημερών για τις τέσσερις εποχές ( διάγραμμα 4.7, διάγραμμα 4.8, διάγραμμα 4.9, διάγραμμα 4.10) , μπορούν να γίνουν κάποιες παρατηρήσεις. Το καλοκαίρι λόγω των έντονων καιρικών συνθηκών που επικρατούν στον Ελλαδικό χώρο με υψηλές θερμοκρασίες , οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική

ενέργεια είναι υψηλές καθ'όλη την διάρκεια της ημέρας. Ο χειμώνας είναι μια εποχή με χαμηλές θερμοκρασίες και παρατηρούνται επίσης υψηλές καταναλώσεις κυρίως όμως τις μεσημβρινές και τις πρώτες βραδινές ώρες. Αντίθετα η άνοιξη λόγω των ήπιων συνθηκών που επικρατούν, έχει τις χαμηλότερες απαιτήσεις όπως και το φθινόπωρο με εξαίρεση τις πρώτες βραδινές ώρες.

Επίσης μελετώντας την καμπύλη φορτίου του χειμώνα και την καμπύλη φορτίου το καλοκαίρι, παρατηρείται διαφορά στην ώρα εμφάνισης της βραδινής αιχμής. Το χειμώνα η ώρα αιχμής είναι μεταξύ 20:00 με 21:00 ενώ το καλοκαίρι 22:00 με 23:00 με αυξημένες όμως τις απαιτήσεις μέχρι τις πρώτες πρωινές ώρες σε αντίθεση με το χειμώνα που είναι αρκετά χαμηλές.

Όσον αναφορά τις ημέρες του Σαββάτου και της Κυριακής, αυτές παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά στην καμπύλη του φορτίου σε σχέση με τις καθημερινές.

Το Σάββατο οι δημόσιες υπηρεσίες δεν λειτουργούν ενώ στον ιδιωτικό τομέα οι περισσότερες επιχειρήσεις λειτουργούν μέχρι τις απογευματινές ώρες. Παρατηρούνται συνεπώς πιο μειωμένες τιμές στην κατανάλωση με μέγιστο αιχμής τις βραδινές ώρες.

Σε επίπεδο εποχιακό έντονη διαφορά εντοπίζεται στις ωριαίες καταναλώσεις του Σαββάτου του καλοκαιριού συγκριτικά με τις υπόλοιπες εποχές. Συγκεκριμένα από τα διαγράμματα 4.11, 4.12, 4.13 και 4.14 γίνεται φανερό ότι η κατανάλωση την άνοιξη και το φθινόπωρο παρουσιάζει την ίδια περίπου μορφή, με χαμηλές τιμές από τις 12:00 το βράδυ έως τις 7:00 το πρωί, αυξημένες τιμές τις μεσημεριανές ώρες και μέγιστες τις πρώτες βραδινές 19:00 με 22:00.

Το χειμώνα η μορφή που ακολουθεί το φορτίο είναι παρόμοια με της άνοιξης και του φθινοπώρου με τη διαφορά ότι οι τιμές της κατανάλωσης είναι πιο υψηλές. Η ημέρα του Σαββάτου και στο καλοκαίρι παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές φορτίου από τις καθημερινές. Παρόλα αυτά συγκριτικά με τις άλλες εποχές, εμφανίζει ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας τις βραδινές ώρες από τις 22:00 έως τις 3:00. Αυτό οφείλεται τόσο στη χρήση συσκευών κλιματισμού και κατά τη διάρκεια της νύχτας όπως αναφέρθηκε, όσο και στη νυχτερινή διασκέδαση την καλοκαιρινή περίοδο.

Τις ημέρες της Κυριακής οι καταναλώσεις για όλες τις εποχές είναι χαμηλότερες σε σχέση με τις καθημερινές και τα Σάββατα. Για το χειμώνα, την άνοιξη και το φθινόπωρο η καμπύλη παρουσιάζει χαμηλές τιμές κατά τη διάρκεια της νύχτας, μία αύξηση μέχρι τις μεσημεριανές ώρες, στη συνέχεια μείωση των τιμών μέχρι το απόγευμα και εμφάνιση αιχμής τις πρώτες βραδινές ώρες. Αντίθετα, από την καμπύλη των ημερών της Κυριακής για το καλοκαίρι, παρατηρείται αυξητική πορεία της ζήτησης από τις 8:00 έως τη 13:00 ενώ από τη 13:00 και μετά υπάρχει μια σταθερή ζήτηση γύρω στα 6500 MW ανά ώρα μέχρι τις 12:00 το βράδυ.

Μια ακόμη σημαντική διαφορά στα επίπεδα της κατανάλωσης εμφανίζεται κατά τη διάρκεια των εθνικών ή των θρησκευτικών εορτών (διάγραμμα 8). Η ζήτηση των φορτίων είναι αρκετά χαμηλότερη από τα φυσιολογικά επίπεδα των καθημερινών ημερών ενώ εμφανίζει ομοιότητες με την μορφή της ωριαίας καμπύλης των ημερών της Κυριακής, σε χαμηλά δηλαδή επίπεδα κατά την διάρκεια της ημέρας και με μέγιστη ζήτηση τις απογευματινές – βραδινές ώρες (19:00 με 22:00).

Η εβδομαδιαία περιοδικότητα του φορτίου (Διάγραμμα 4.4) είναι αποτέλεσμα της περιοδικότητας του κύκλου εργασίας - ανάπαυσης του πληθυσμού. Όπως αναλύθηκε από τα προηγούμενα διαγράμματα τα Σαββατοκύριακα η ζήτηση είναι μειωμένη ενώ όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, οι καθημερινές ημέρες ( Δευτέρα- Παρασκευή ) εμφανίζουν παρόμοια επίπεδα καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεγονός αυτό δικαιολογεί την κατηγοριοποίηση που πραγματοποιήθηκε σε καθημερινές, Σάββατα και Κυριακές.

## 4.2 Διαδικασία εκπαίδευσης του δικτύου

Βάσει των ανωτέρω παρατηρήσεων τα δεδομένα που επιλέχθηκαν ως οι είσοδοι του ΤΝΔ είναι:

- $L_{1i}$  : οι ωριαίες τιμές φορτίου της προηγούμενης ημέρας  $i=1 \dots 24$
- $L_{2i}$  : οι ωριαίες τιμές φορτίου της προπροηγούμενης ημέρας
- $L_{3i}$  : οι ωριαίες τιμές φορτίου της ίδιας ημέρας της προηγούμενης εβδομάδας  $i=1 \dots 24$
- $L_4$  : η μέγιστη θερμοκρασία της ημέρας στην περιοχή της Αθήνα

- $L_5$  : η ελάχιστη θερμοκρασία της ημέρας στην περιοχή της Αθήνας
- $L_6$  : η μέγιστη θερμοκρασία της ημέρας στην περιοχή της Θεσσαλονίκης
- $L_7$  : η ελάχιστη θερμοκρασία της ημέρας στην περιοχή της Θεσσαλονίκης
- $L_8$  : η κωδικοποίηση της ημέρας με βάση τον πίνακα 4.1
- $L_9$  : το είδος της ημέρας με την κωδικοποίηση του πίνακα 4.2
- $L_{10}$  : οι καιρικές συνθήκες την συγκεκριμένη ημέρα με βάση τον πίνακα 4.3 για Αθήνα
- $L_{11}$  : οι καιρικές συνθήκες την συγκεκριμένη ημέρα με βάση τον πίνακα 4.3 για Θεσσαλονίκη

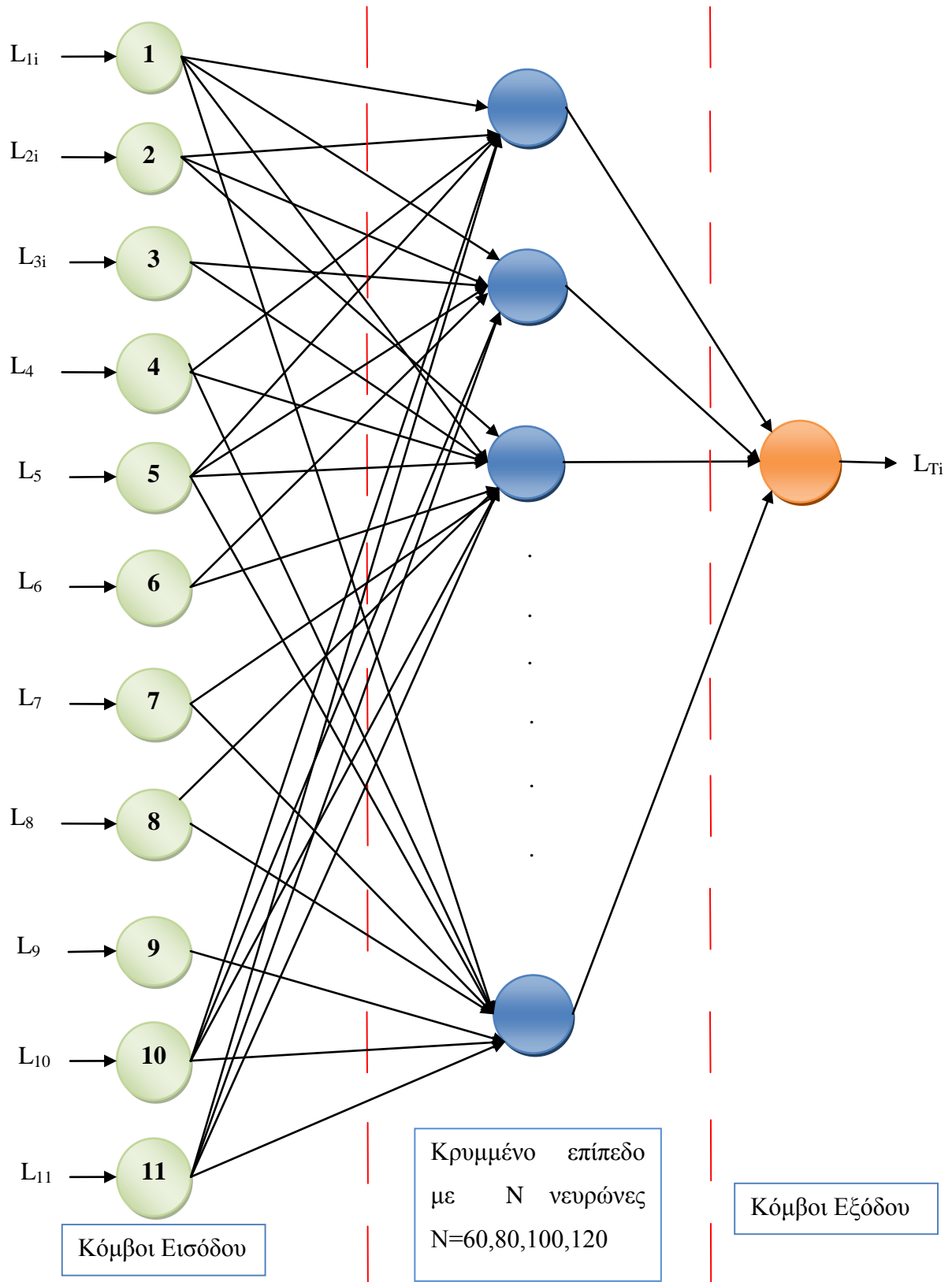
Η σχηματική αναπαράσταση του αναπτυχθέντος ΤΝΔ, με  $N= 60, 80, 100$  και  $120$  νευρώνες στο **κρυφό επίπεδο**, φαίνεται στο σχήμα 4.1. Γενικότερα για την επιλογή των κατάλληλων νευρώνων του κρυφού στρώματος θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι αν οι νευρώνες είναι λίγοι, το νευρωνικό δίκτυο δεν μπορεί να μάθει τις πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ εισόδων και εξόδων ενώ αν οι νευρώνες είναι πολλοί υπάρχει πιθανότητα υπερπροσαρμογής [2]. Στο **επίπεδο εξόδου**, υπάρχουν οι μεταβλητές  $L_{Ti}$  με  $i=1...24$ , 24 δηλαδή τιμές του αντιστοιχούν στο προβλεπόμενο φορτίο κάθε μιας από της 24 ώρες της επόμενης ημέρας.

Αφού πραγματοποιήθηκε το στάδιο του καθορισμού των δεδομένων, του φιλτραρίσματος και της κανονικοποίησης όπως υποδείχθηκε στην ενότητα 4.1, γίνεται η εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου. Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε είναι το Neural Network Fitting Tool της Matlab.

Κατά την διαδικασία της εκπαίδευσης του ΤΝΔ χρησιμοποιούνται τρία είδη δεδομένων:

- τα δεδομένα εκπαίδευσης (training data)
- τα δεδομένα επαλήθευσης (validation data)
- τα δεδομένα δοκιμής (testing data)

Τα δεδομένα εκπαίδευσης χρησιμοποιούνται στη διαμόρφωση των βαρών του ΤΝΔ. Όταν οριστικοποιηθεί η διαμόρφωση των βαρών, ο έλεγχος πιθανής «απομνημόνευσης» των δεδομένων εκπαίδευσης πραγματοποιείται με βάση ένα σύνολο δεδομένων επαλήθευσης. Τέλος, το ΤΝΔ δοκιμάζεται με τη βοήθεια ενός συνόλου δεδομένων δοκιμής.



Σχήμα 4.1 Σχηματική αναπαράσταση ΤΝΔ με  $N$  νευρώνες στο κρυφό επίπεδο

Η αναλογία που επιλέχθηκε στην προκειμένη είναι το 70% των δεδομένων να χρησιμοποιηθεί για εκπαίδευση, το 15% για επαλήθευση και το υπόλοιπο 15% ως δεδομένα δοκιμής.

Τέλος, ένα μέτρο που θα χρησιμοποιηθεί στην συνέχεια για την σύγκριση των αποτελεσμάτων είναι το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Mean Absolute Percentage Error).

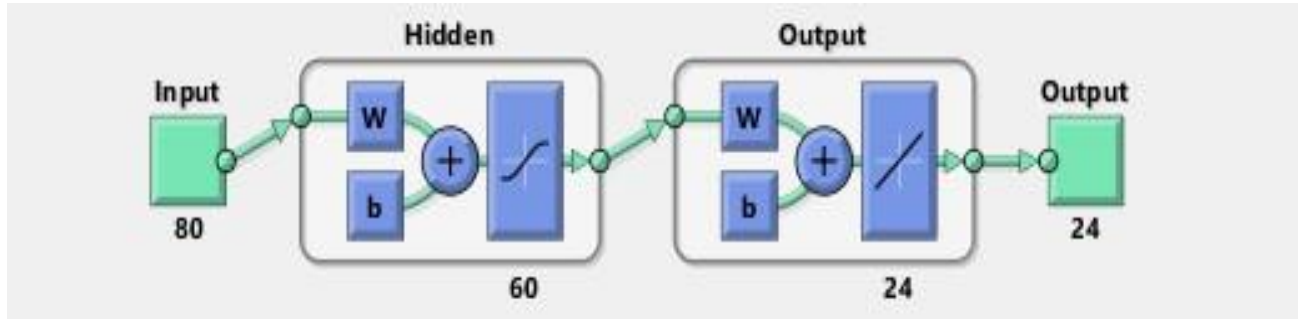
$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\|Y_i - F_i\|}{Y_i} * 100\% \quad (4.1)$$

Όπου  $Y_i$  είναι η πραγματική κατανάλωση την χρονική περίοδο  $i$  και  $F_i$  η πρόβλεψη που πραγματοποιήθηκε την περίοδο  $i$ .

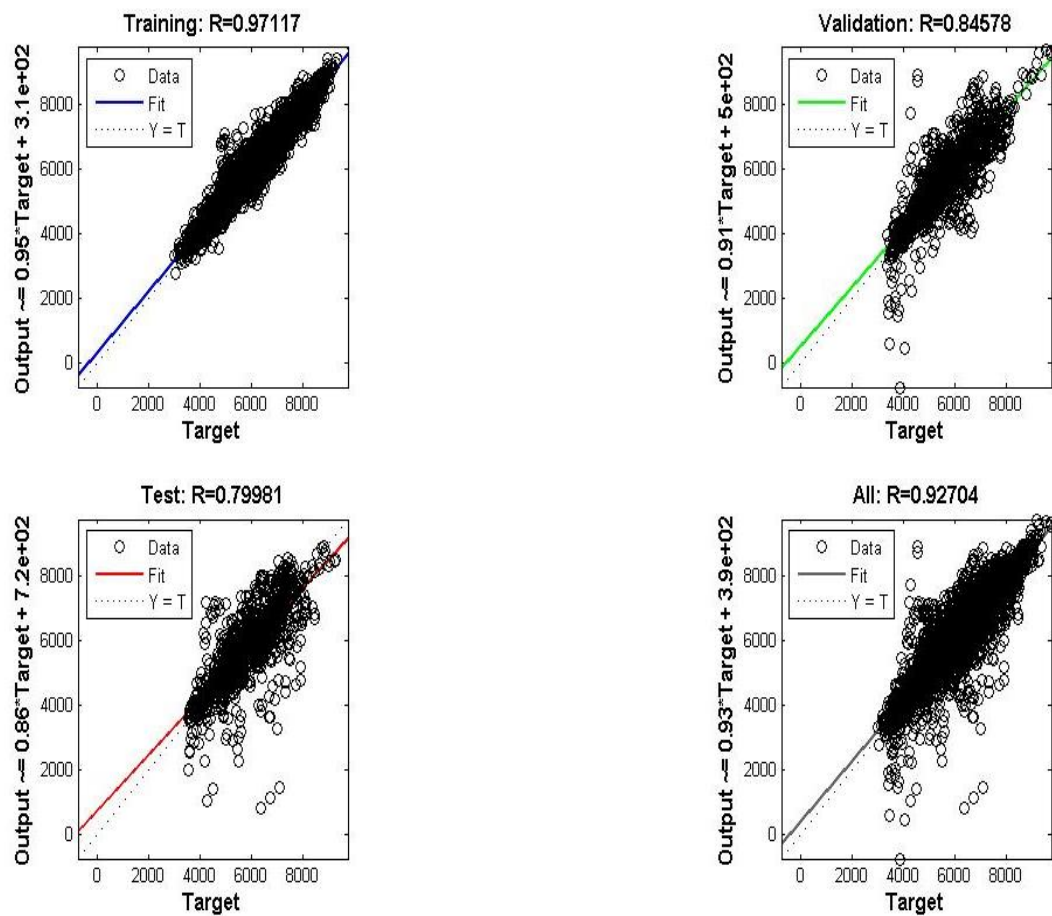
Λαμβάνει μη αρνητικές τιμές και είναι από τα κυρίως χρησιμοποιούμενα κριτήρια για την εκτίμηση της ακρίβειας των μοντέλων πρόβλεψης. Σε περιπτώσεις μεγάλων θετικών τιμών των δεδομένων της χρονοσειράς προτιμάται, λόγω της απλότητας του. Ακόμη, χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση της ακρίβειας μιας μεθόδου πρόβλεψης εφαρμοζόμενης σε περισσότερες από μία χρονοσειρές και μάλιστα διαφορετικού επιπέδου τιμών.

Τα αποτελέσματα που πάρθηκαν από τα διαφορετικά ΤΝΔ που δοκιμάστηκαν δίνονται στις επόμενες παραγράφους.

#### 4.2.1 Εκπαίδευση με 60 κρυφούς νευρώνες

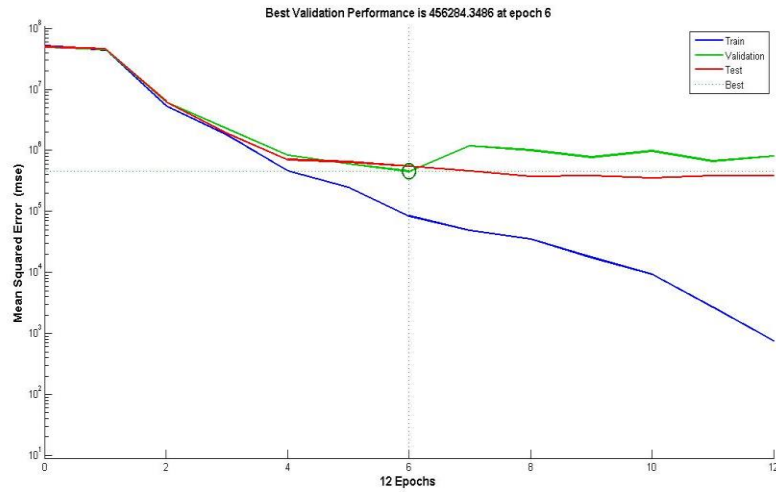


Διάγραμμα 4.19: ΤΝΔ με 60 κρυφούς νευρώνες

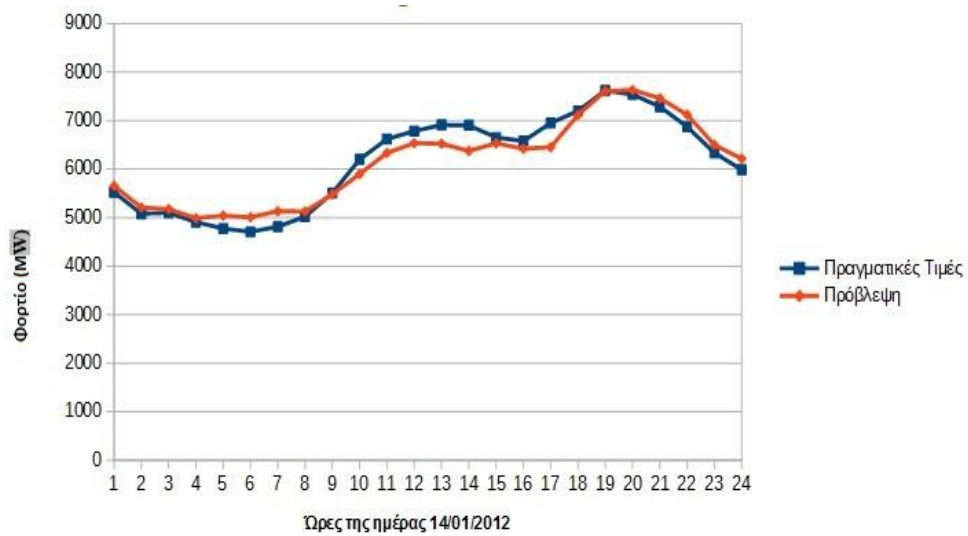


Διάγραμμα 4.20: Σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης για 60 κρυφούς νευρώνες

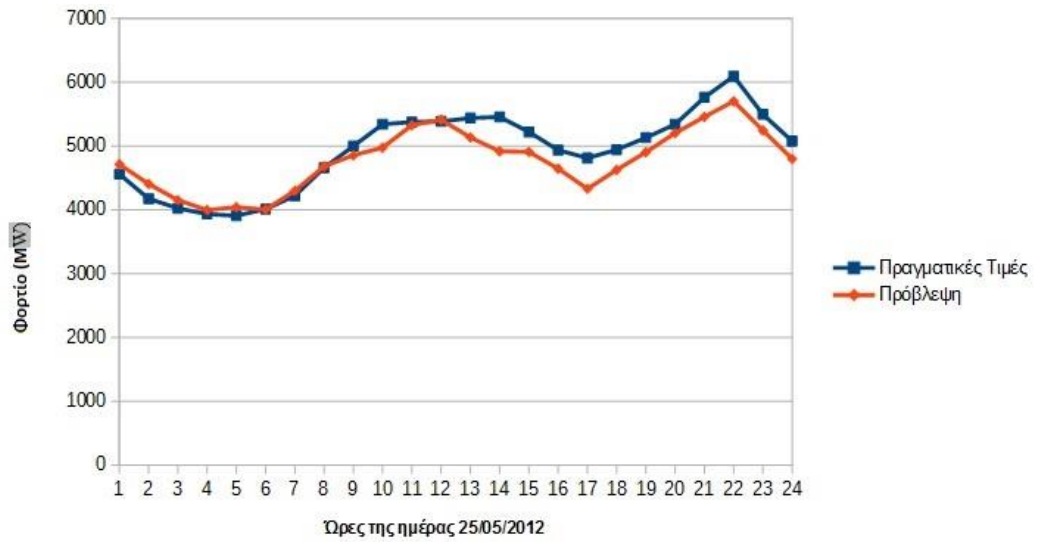




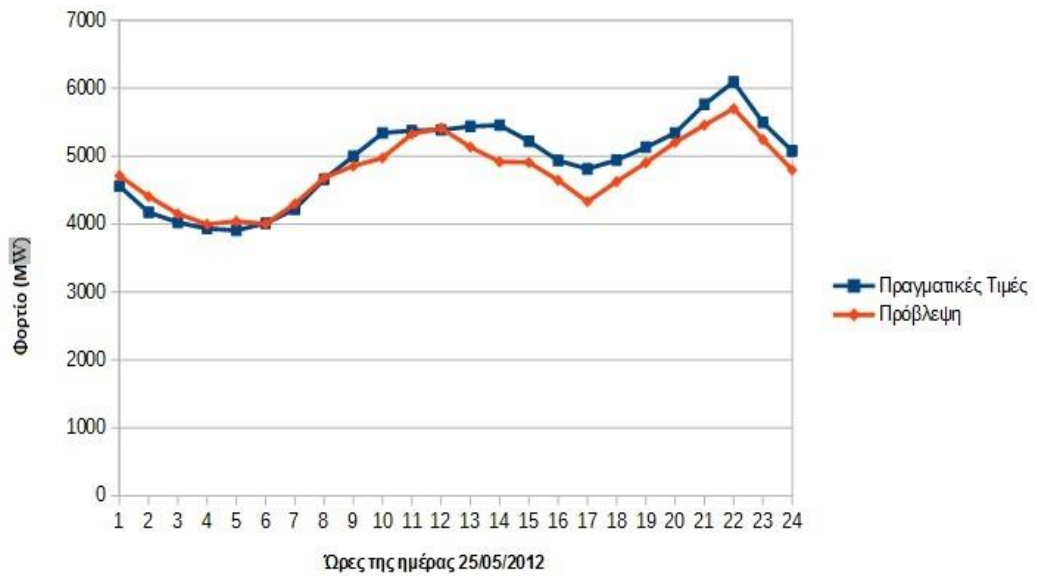
Διάγραμμα 4.21 Καμπύλη εκπαίδευσης δικτύου για 60 κρυφούς νευρώνες



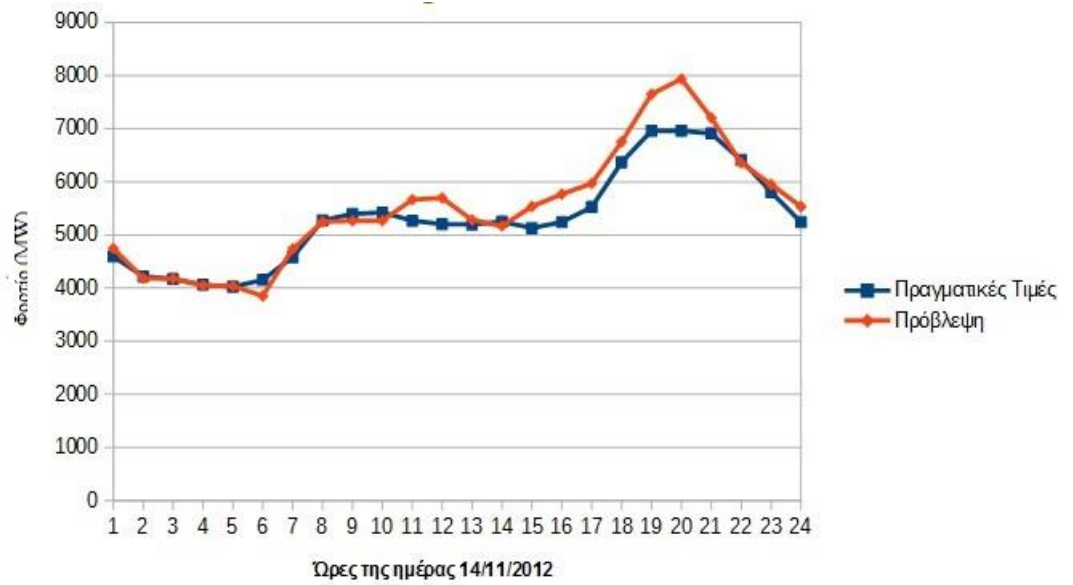
Διάγραμμα 4.22: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 60 κρυφούς νευρώνες για μια ημέρα του χειμώνα (14/01/2012)



Διάγραμμα 4.23: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 60 κρυφούς νευρώνες για μια ημέρα της άνοιξης ( 25/05/2012)

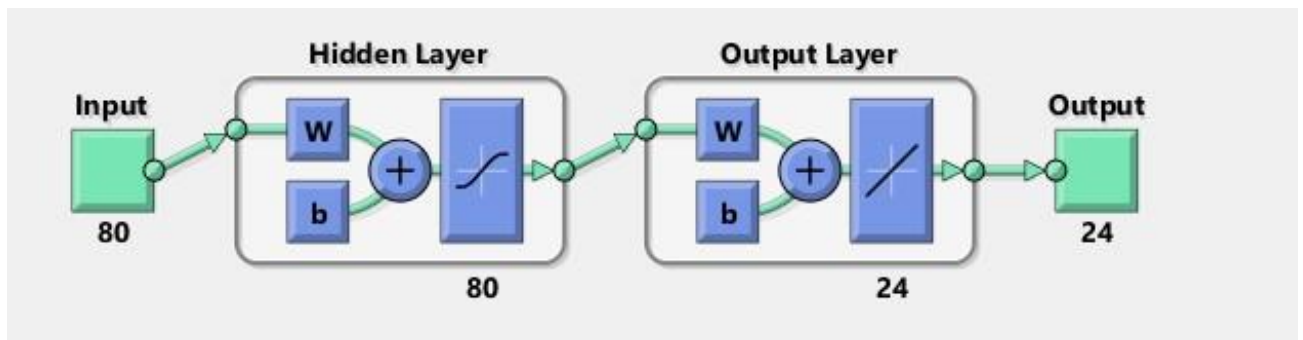


Διάγραμμα 4.24: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 60 κρυφούς νευρώνες για μια ημέρα του καλοκαιριού ( 28/07/2012)

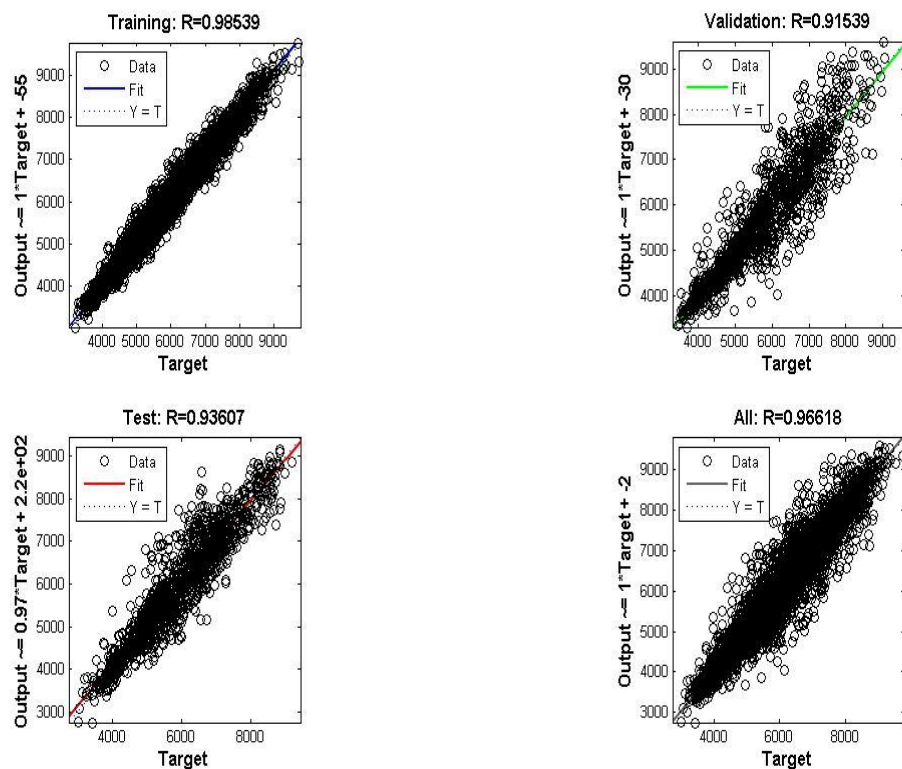


Διάγραμμα 4.25: Πρόβλεψη και πραγματικό φορτίο με 60 κρυφούς νευρώνες για μια ημέρα του φθινοπώρου ( 14/11/2012)

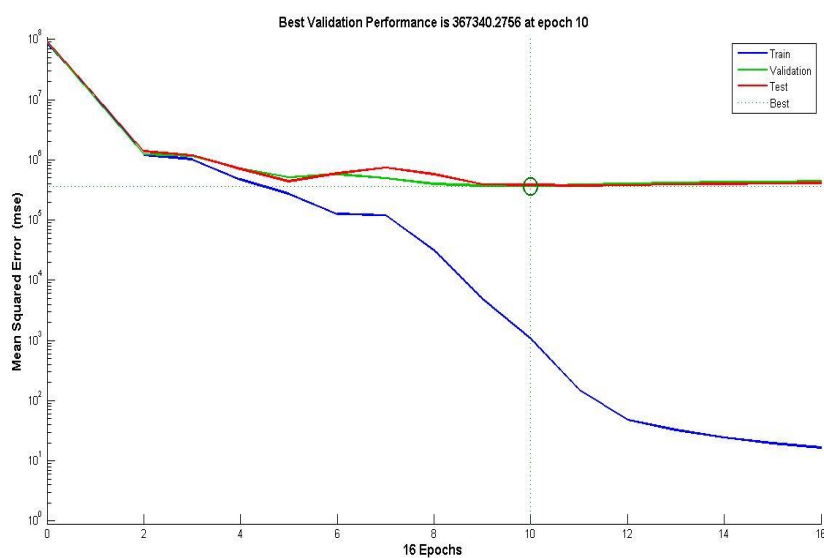
#### 4.2.2 Εκπαίδευση με 80 κρυφούς νευρώνες



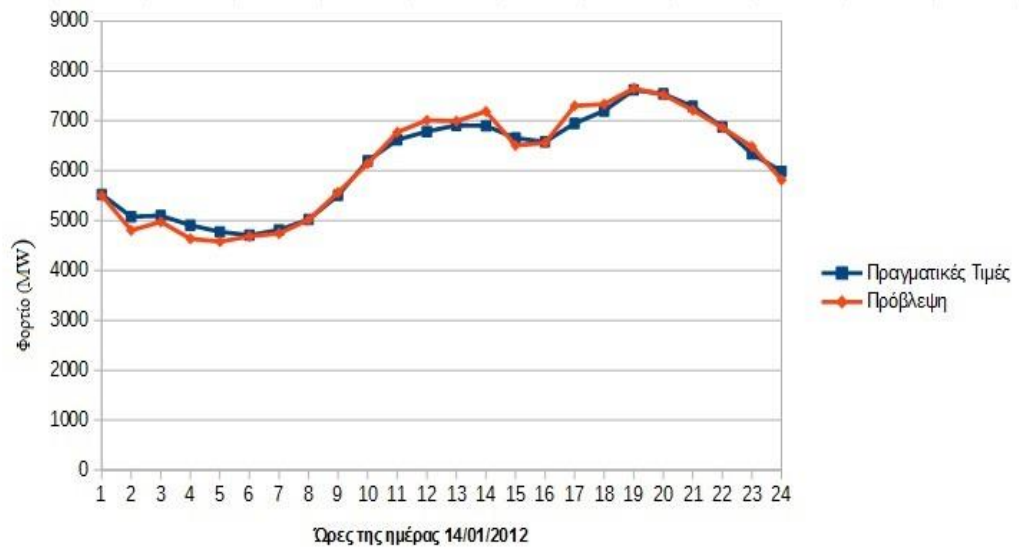
Διάγραμμα 4.26: ΤΝΔ με 80 κρυφούς νευρώνες



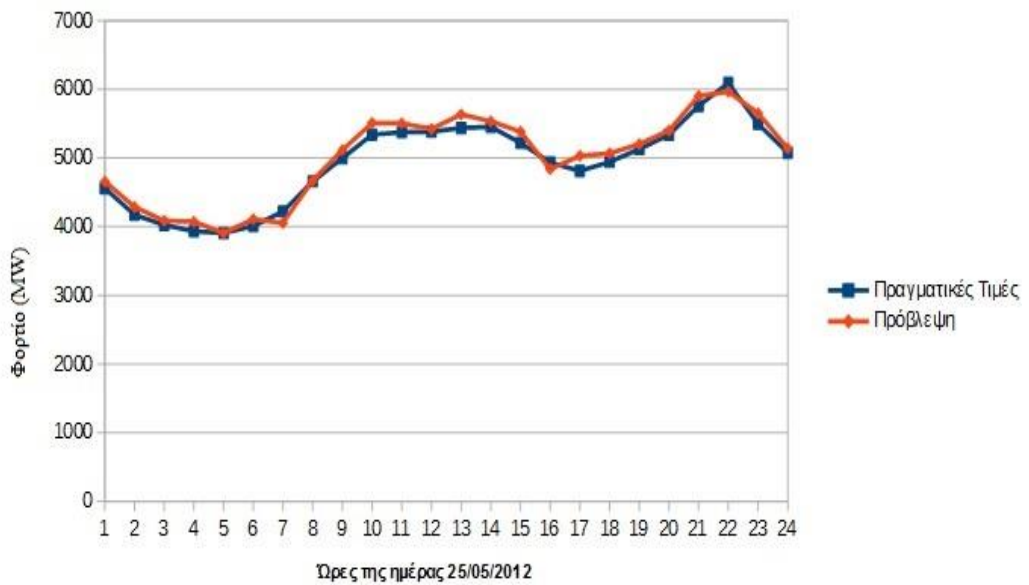
Διάγραμμα 4.27: Σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης για 80 κρυφούς νευρώνες



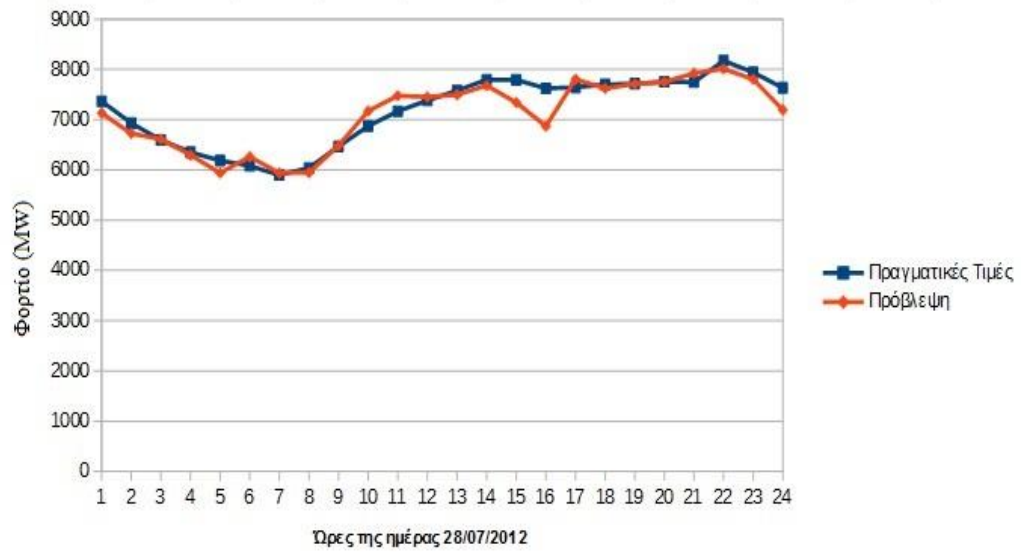
Διάγραμμα 4.28: Καμπύλη εκπαίδευσης δικτύου για 80 κρυφούς νευρώνες



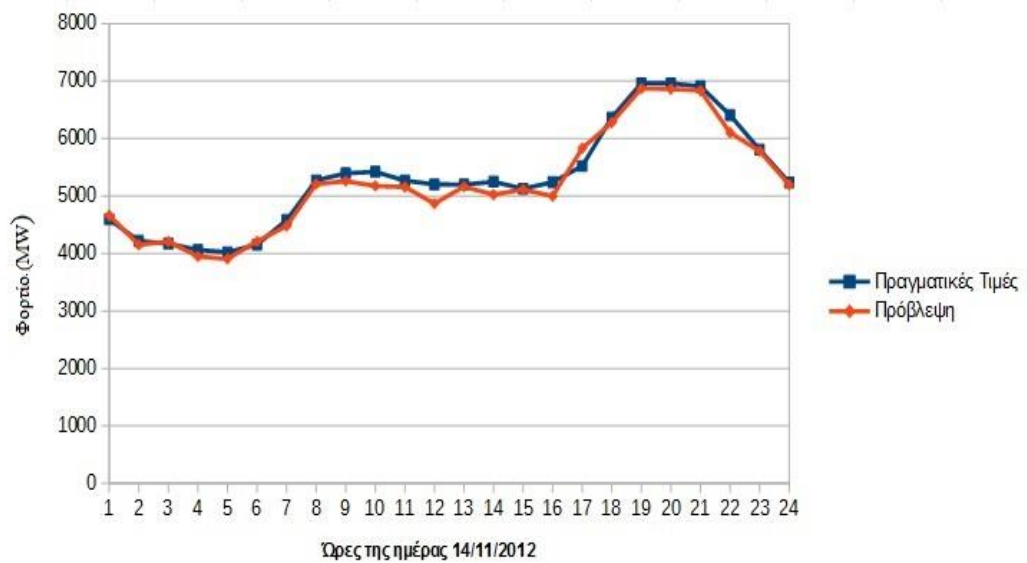
Διάγραμμα 4.29: Πρόβλεψη και πραγματική ζήτηση με 80 κρυφούς νευρώνες για μια ημέρα του χειμώνα (14/01/2012)



Διάγραμμα 4.30: Πρόβλεψη και πραγματική ζήτηση με 80 κρυφούς νευρώνες για μια ημέρα της άνοιξης (25/05/2012)

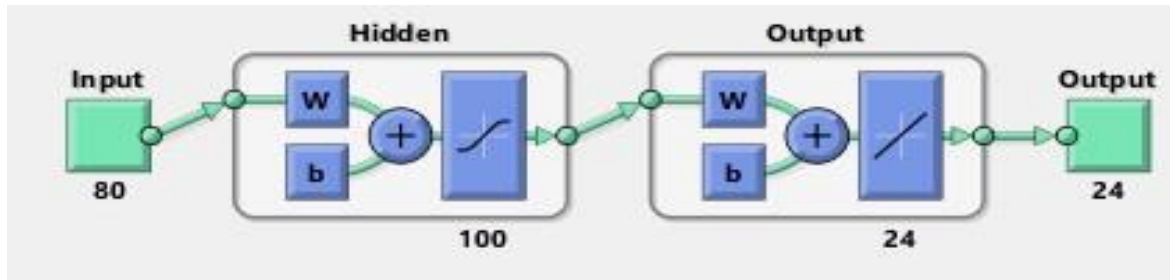


Διάγραμμα 4.31: Πρόβλεψη και πραγματική ζήτηση με 80 κρυφούς νευρώνες για μια ημέρα του καλοκαιριού (28/07/2012)

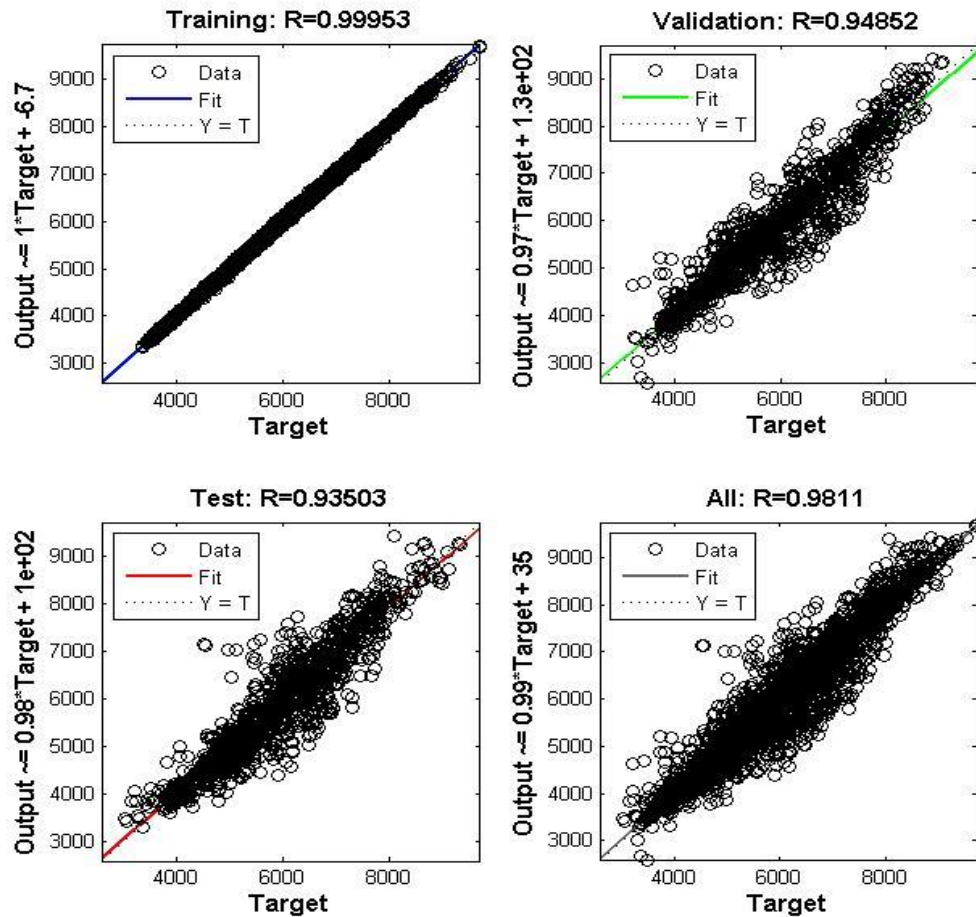


Διάγραμμα 4.32: Πρόβλεψη και πραγματική ζήτηση με 80 κρυφούς νευρώνες για μια ημέρα του φθινοπώρου (14/11/2012)

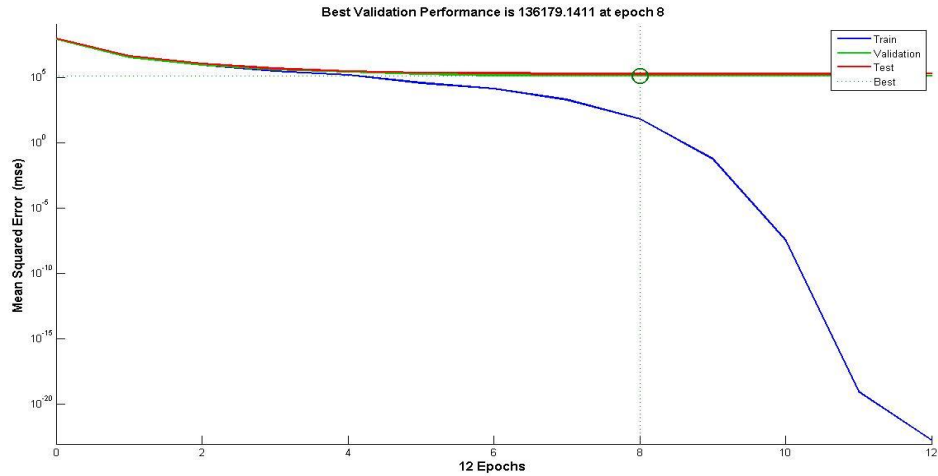
### 4.2.3 Εκπαίδευση με 100 κρυφούς νευρώνες



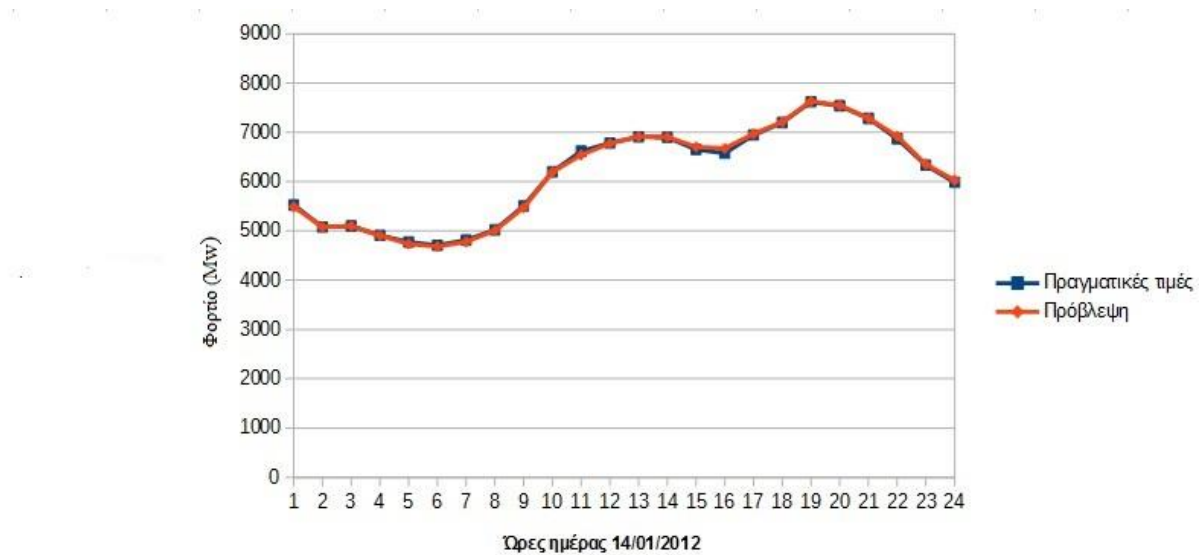
Διάγραμμα 4.33: ΤΝΔ με 100 κρυφούς νευρώνες



Διάγραμμα 4.34: Σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης για 100 κρυφούς νευρώνες

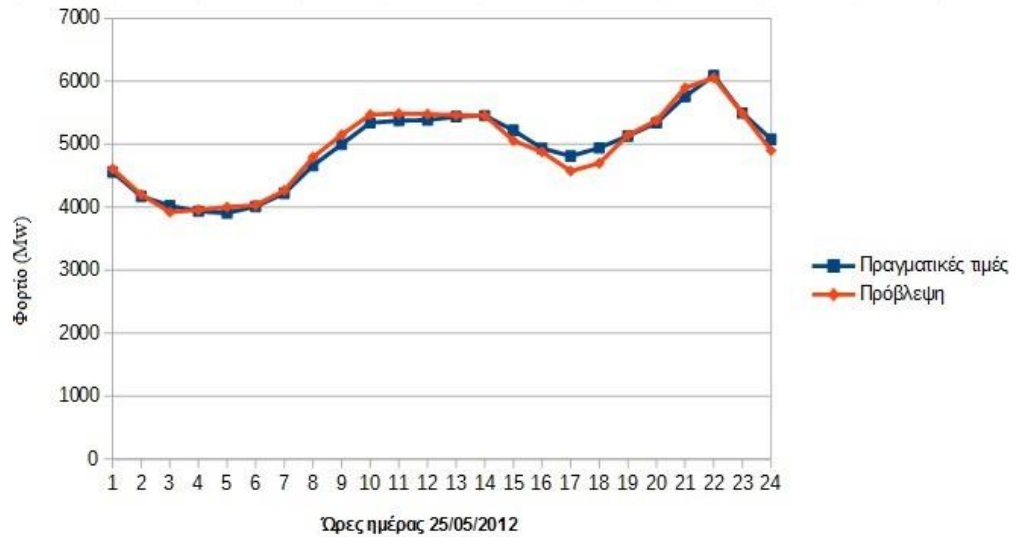


Διάγραμμα 4.35: Καμπύλη εκπαίδευσης δικτύου για 100 κρυφούς νευρώνες

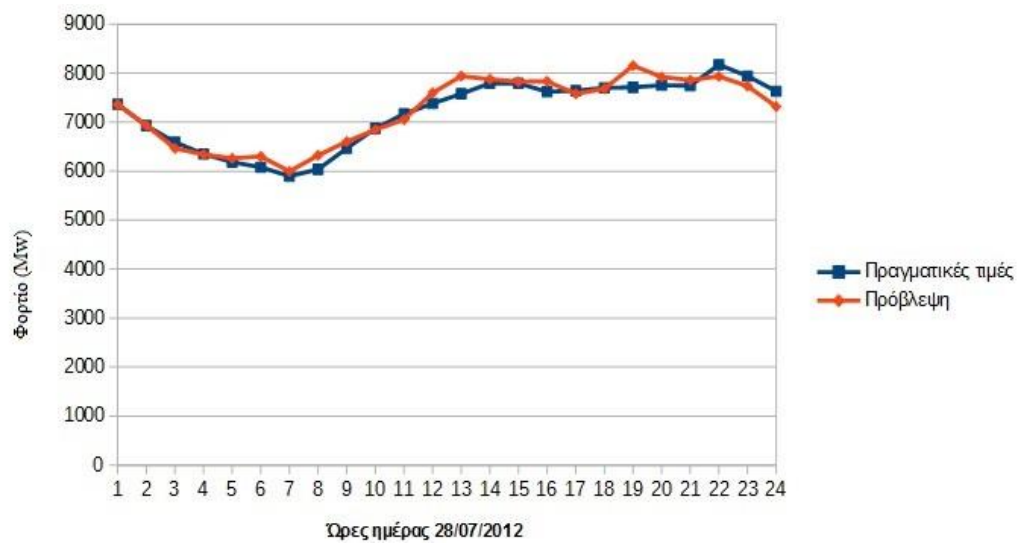


Διάγραμμα 4.34: Πρόβλεψη και πραγματική ζήτηση με 100 κρυφούς νευρώνες για μια ημέρα του χειμώνα (14/01/2012)

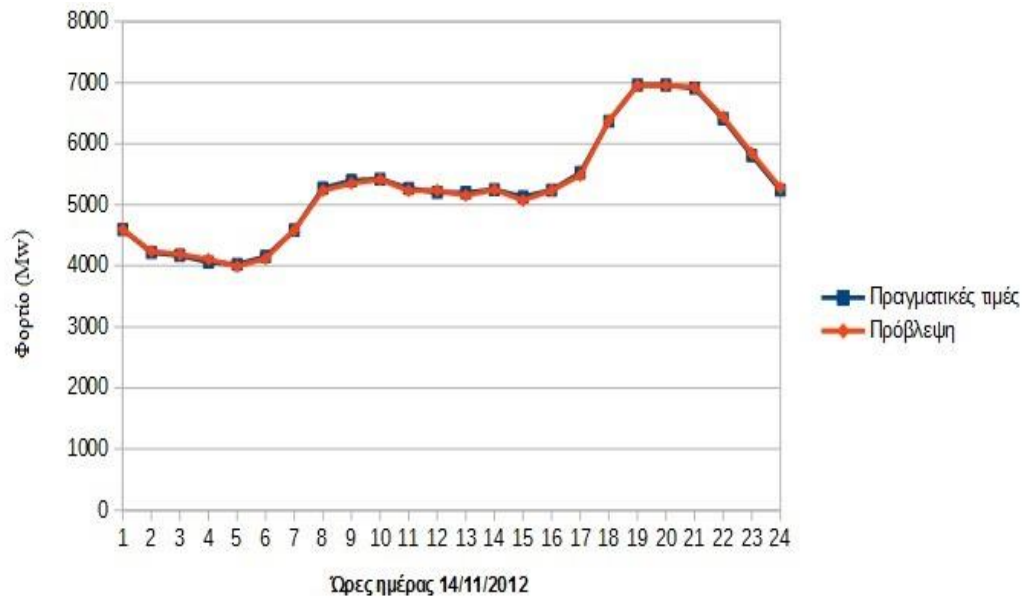




Διάγραμμα 4.35: Πρόβλεψη και πραγματική ζήτηση με 100 κρυφούς νευρώνες για μια ημέρα της άνοιξης (25/05/2012)

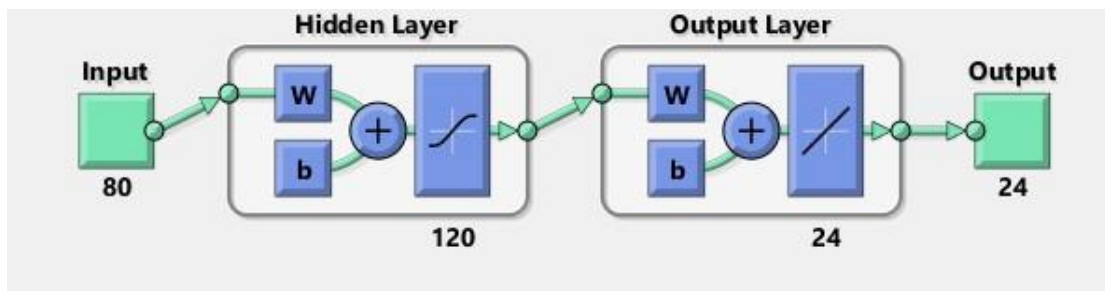


Διάγραμμα 4.36: Πρόβλεψη και πραγματική ζήτηση με 100 κρυφούς νευρώνες για ημέρα του καλοκαιριού (28/07/2012)

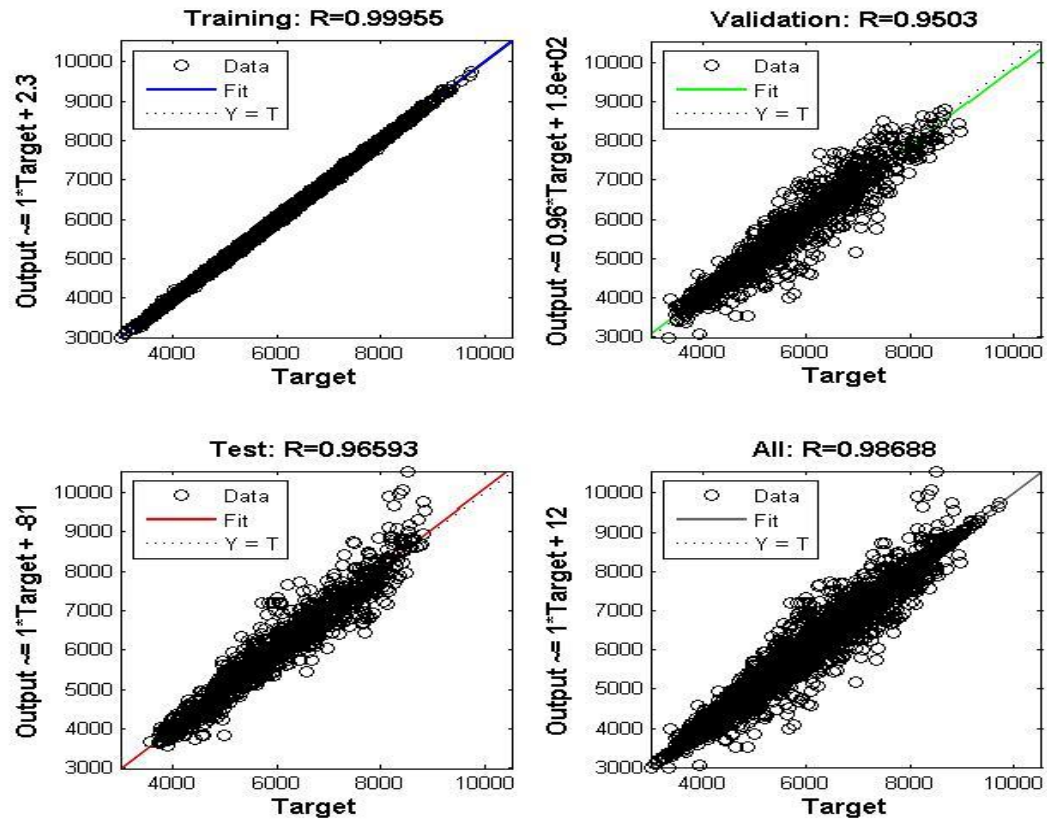


Διάγραμμα 4.37: Πρόβλεψη και πραγματική ζήτηση με 100 κρυφούς νευρώνες για μια ημέρα του φθινοπώρου (14/11/2012)

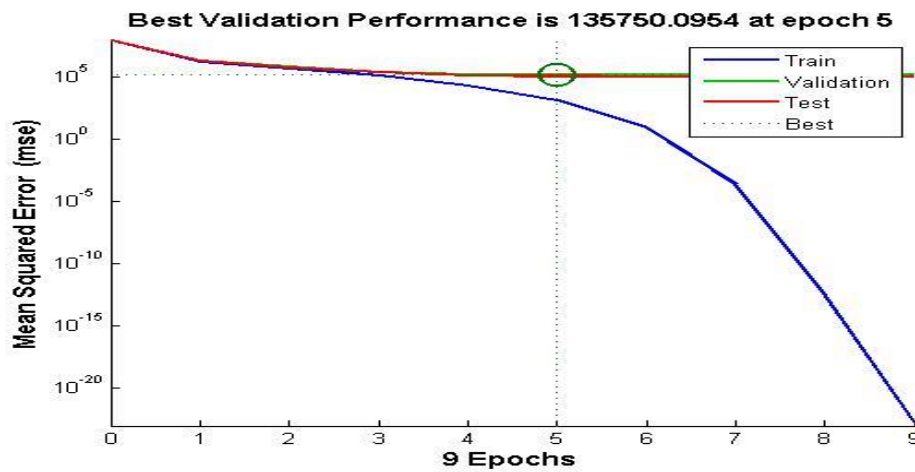
#### 4.2.4 Εκπαίδευση με 120 κρυφούς νευρώνες



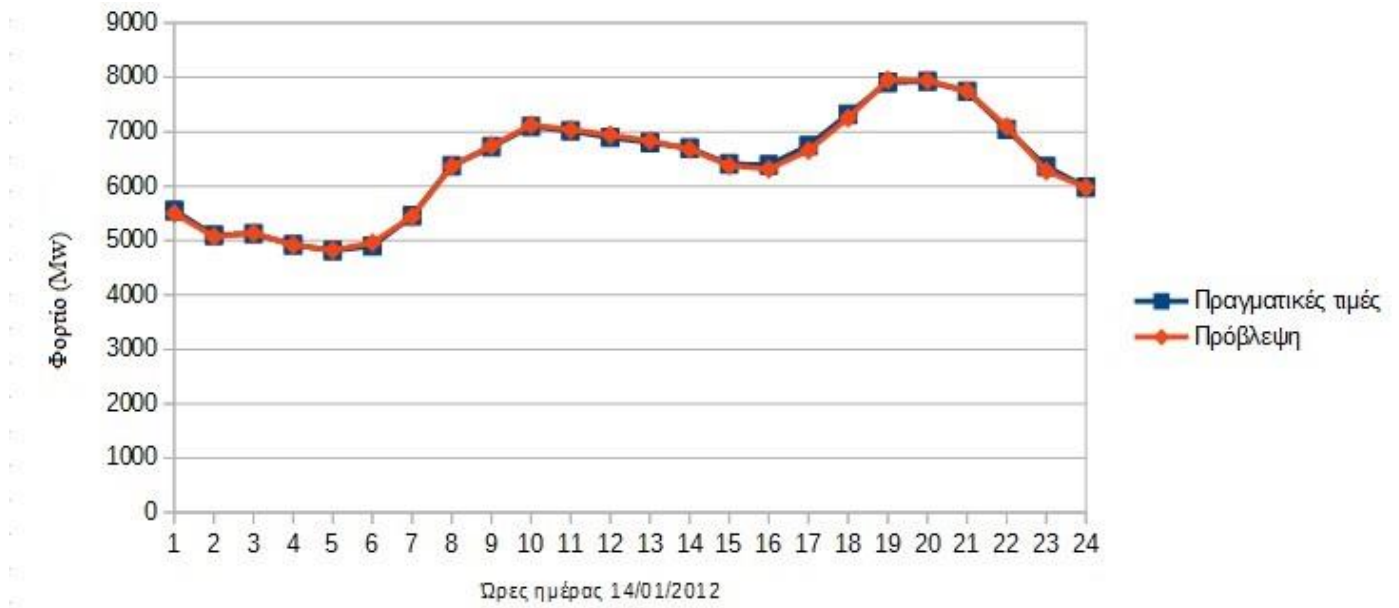
Διάγραμμα 4.37: ΤΝΔ με 120 κρυφούς νευρώνες



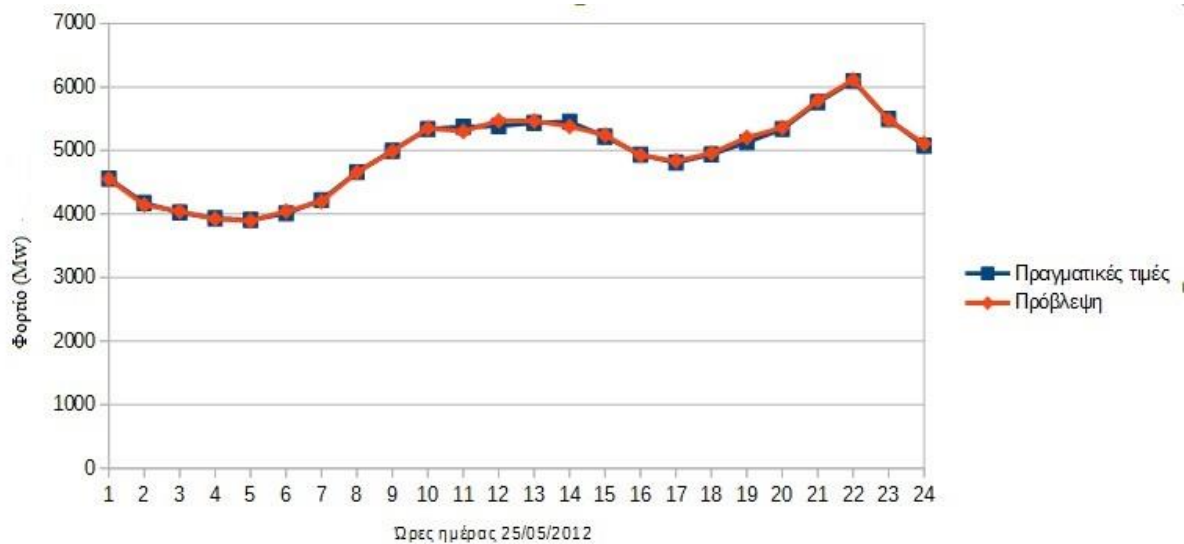
Διάγραμμα 4.38: Σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης για 120 κρυφούς νευρώνες



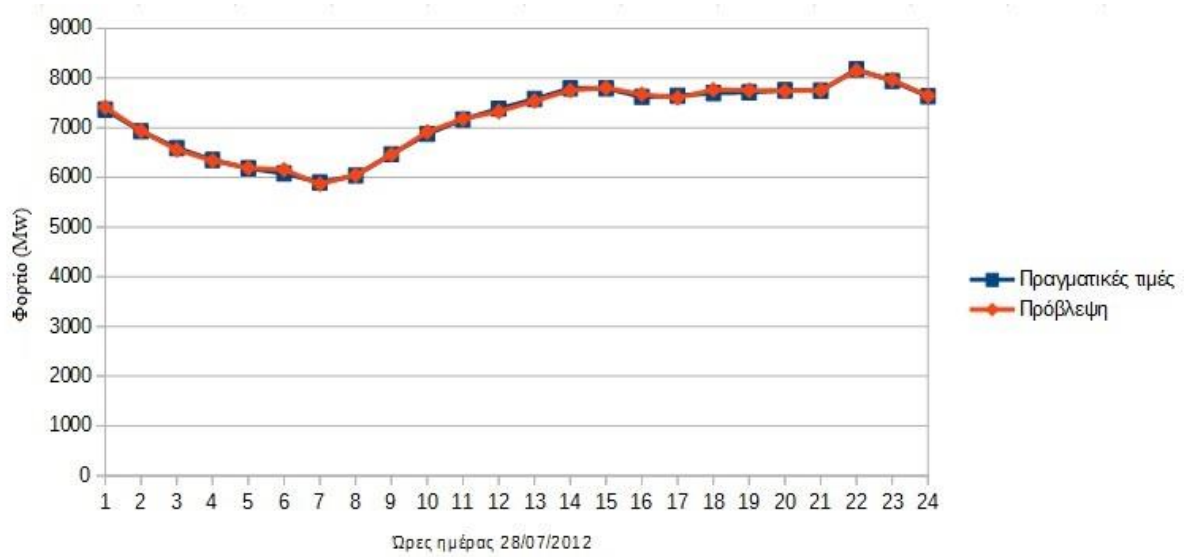
Διάγραμμα 4.39: Καμπύλη εκπαίδευσης δικτύου για 120 κρυφούς νευρώνες



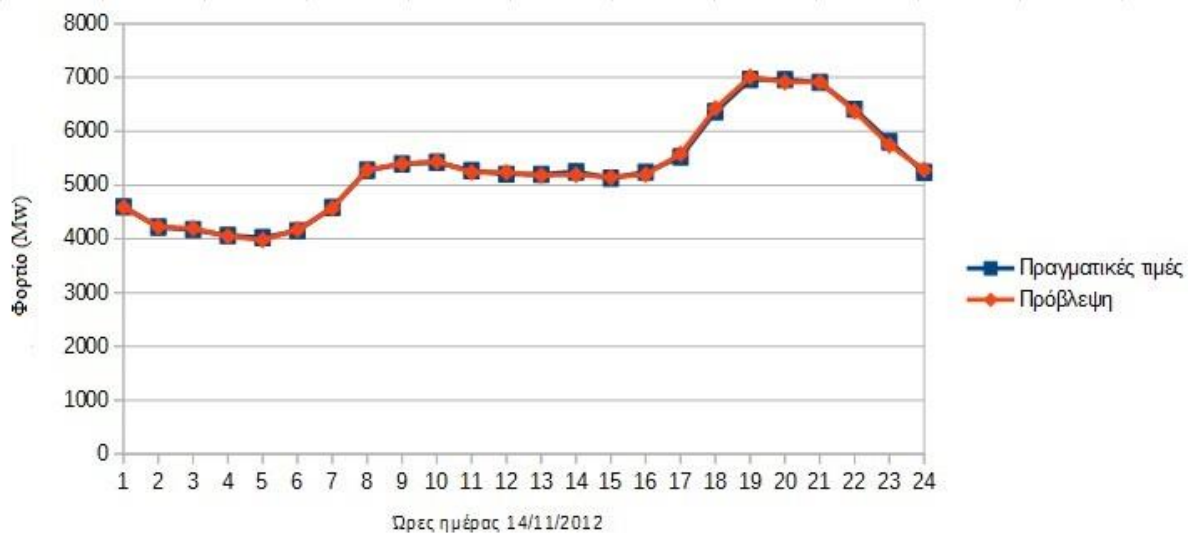
Διάγραμμα 4.39: Πρόβλεψη και πραγματική ζήτηση με 120 κρυφούς νευρώνες για μια ημέρα του χειμώνα (14/01/2012)



Διάγραμμα 4.40: Πρόβλεψη και πραγματική ζήτηση με 120 κρυφούς νευρώνες για μια ημέρα της άνοιξης (25/05/2012)



Διάγραμμα 4.41: Πρόβλεψη και πραγματική ζήτηση με 120 κρυφούς νευρώνες για μια ημέρα του καλοκαιριού (28/07/2012)



Διάγραμμα 4.42: Πρόβλεψη και πραγματική ζήτηση με 120 κρυφούς νευρώνες για μια ημέρα του φθινοπώρου (14/11/2012)

### 4.3 Συγκρίσεις και συμπεράσματα

Όπως περιγράφηκε και σε προηγούμενη ενότητα, η διαδικασία της εκπαίδευσης ενός τεχνητού νευρωνικού είναι μια επαναληπτική διαδικασία η οποία τερματίζει όταν η απόδοση του δικτύου φτάσει σε ένα επιθυμητό όριο είτε όταν περάσει ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων. Όταν επιτευχθεί ένας συγκεκριμένος προκαθορισμένος αριθμός επιτυχών επαληθεύσεων (Validation checks=6), η εκπαίδευση τερματίζεται.

Κάθε ένα από τα διαγράμματα 4.20, 4.26, 4.32 και 4.38 (regression plots) περιλαμβάνει τέσσερα επιμέρους διαγράμματα που αντιπροσωπεύουν με μαύρες κουκίδες τα δεδομένα εκπαίδευσης (training) , επαλήθευσης (validation) , δοκιμής(test) και τα συνολικά δεδομένα. Η διακεκομμένη γραμμή σε κάθε διάγραμμα αντιστοιχεί τους στόχους. Η συνεχής γραμμή αντιπροσωπεύει την βέλτιστη γραμμική σχέση μεταξύ των αποτελεσμάτων και των στόχων. Η τιμή R αποτελεί ένδειξη της σχέσης μεταξύ των αποτελεσμάτων και των στόχων . Εάν το R παίρνει την τιμή 1 , αυτό δείχνει ότι υπάρχει μία ακριβής σχέση μεταξύ των εξόδων και των στόχων. Εάν το R είναι κοντά στο μηδέν, τότε δεν υπάρχει καμία σχέση μεταξύ των εξόδων και των στόχων. Τιμή του R μεγαλύτερη από 0.9 θεωρείται ικανοποιητική σε μία πρόβλεψη. Όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα η καλύτερη προσέγγιση σε όλα τα σύνολα δεδομένων επιτυγχάνεται για 120 νευρώνες με το R να παίρνει τιμές 0,99955 για το σύνολο εκπαίδευσης, 0,9503 για το σύνολο επαλήθευσης και 0,96593 για το σύνολο ελέγχου.

Από τα διαγράμματα 4.21-4.24, 4.27-4.30, 4.33-4.36 και 4.39-4.42 φαίνονται οι αντίστοιχες προβλέψεις και οι πραγματικές ζητήσεις ανάλογα με το ΤΝΔ που χρησιμοποιήθηκε για τυχαίες ημέρες που επιλέχθηκαν από κάθε μια εποχή. Πραγματοποιώντας μια σύγκριση των ΤΝΔ ανάλογα με τους νευρώνες που χρησιμοποιούν και ξεκινώντας από τους 60 κρυφούς νευρώνες παρατηρείται ότι στα συγκεκριμένα διαγράμματα προσεγγίζονται σε ορισμένα σημεία αρκετά ικανοποιητικά οι πραγματικές καταναλώσεις φορτίου αλλά παρουσιάζονται και έντονες αποκλίσεις όπως στο διάγραμμα 4.24. Για 80 κρυφούς νευρώνες τα αποτελέσματα των προβλέψεων αρχίζουν και πλησιάζουν τις πραγματικές τιμές (διαγράμματα 4.27, 4.28, 4.30). Παρόλα αυτά εμφανίζονται κάποιες σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών προβλέψεις και των πραγματικών τιμών του φορτίου (διάγραμμα 4.29). Τα διαγράμματα με 100 και 120 κρυφούς νευρώνες παρουσιάζουν παρόμοιες προσεγγίσεις των τιμών του φορτίου. Τέλος στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα για κάθε ώρα κάθε μιας μεθόδου. Με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα, οι χαμηλότερες τιμές του μέσου ποσοστιαίου σφάλματος για τις 24 ώρες της ημέρας παρατηρούνται για 120 κρυφούς νευρώνες ενώ δεύτερη καλύτερη προσέγγιση είναι αυτή με

τους 80 κρυφούς νευρώνες. Υπενθυμίζεται όμως ότι πάνω από ένα αριθμό κρυφών νευρώνων εμφανίζεται το φαινόμενο της υπερεκπαίδευσης. Για το λόγο αυτό ίσως η καλύτερη επιλογή είναι το ΤΝΔ με 100 κρυφούς νευρώνες.

<i>Ωρα</i>	<i>MAPE 60 κρυφών νευρώνων</i>	<i>MAPE 80 κρυφών νευρώνων</i>	<i>MAPE 100 κρυφών νευρώνων</i>	<i>MAPE 120 κρυφών νευρώνων</i>
<b>1</b>	3.0837	0.9455	1.5901	1.0393
<b>2</b>	2.7439	1.0803	1.6946	1.0070
<b>3</b>	2.5809	1.3732	2.1484	0.9870
<b>4</b>	3.4431	1.4005	2.0934	1.0688
<b>5</b>	2.6967	1.3478	1.8129	1.1746
<b>6</b>	3.1571	1.3772	1.7628	1.3544
<b>7</b>	3.6022	1.7088	2.3970	1.2834
<b>8</b>	5.0178	2.1757	2.2280	1.5163
<b>9</b>	4.6173	1.9164	2.6225	1.3724
<b>10</b>	6.1245	2.3768	2.3759	1.6248
<b>11</b>	6.9409	2.8214	3.2189	1.9415
<b>12</b>	7.4884	2.9375	3.1841	2.1534
<b>13</b>	7.0152	2.9580	2.7792	1.9818
<b>14</b>	6.7340	3.0332	3.2976	2.3721
<b>15</b>	7.1045	3.2363	4.5876	2.2895
<b>16</b>	6.6414	3.1936	4.6020	2.2807
<b>17</b>	6.7026	2.9539	3.9538	1.9664
<b>18</b>	5.7028	2.7291	2.6115	2.0010
<b>19</b>	6.0088	2.4571	2.5026	1.9311
<b>20</b>	6.0953	2.0702	2.8162	1.5463
<b>21</b>	4.1909	1.7275	2.4007	1.3405
<b>22</b>	4.2590	1.5881	2.2033	1.3000
<b>23</b>	4.7504	1.6173	2.4345	1.6398
<b>24</b>	4.1904	1.6907	2.5032	1.4962
<b>Μέση Τιμή</b>	<b>5,037</b>	<b>2,1132</b>	<b>2,6592</b>	<b>1,6112</b>

Πίνακας 4.4 Μέσα απόλυτα ποσοστιαία σφάλματα για κάθε ώρα κάθε μεθόδου πρόβλεψη

## 4.4 Προεκτάσεις

Όπως κατέστη σαφές σε αυτή την διπλωματική εργασία η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη ζήτησης φορτίου είναι ιδιαίτερη σημαντική για τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Είναι επιθυμητή η μείωση του σφάλματος πρόβλεψης όσο το δυνατόν περισσότερο ώστε να υπάρχει μια πιο ακριβής πρόβλεψη της ζήτησης. Με αυτό τον τρόπο οι εταιρείες διαχείρισης ΣΗΕ μπορούν να προγραμματίσουν τη λειτουργία του συστήματος και δεν έχουν μεγάλες απώλειες λόγω εσφαλμένων προβλέψεων.

Στο 2ο κεφάλαιο αναλύθηκε το πλήθος των παραγόντων που επηρεάζουν τη ζήτηση φορτίου και πρέπει να εισάγονται στα μοντέλα προβλέψεων. Σε αυτήν την εργασία ως παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση θεωρήθηκαν η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία δύο διαφορετικών περιοχών της Ελλάδας (Αθήνα, Θεσσαλονίκη), οι καιρικές συνθήκες των περιοχών αυτών καθώς και το είδος της ημέρας (αργία, καθημερινή, Σαββατοκύριακο).

Για την εξέλιξη και βελτίωση του μοντέλου θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ζήτηση φορτίου όπως είναι οι άνεμοι, η υγρασία καθώς και τιμές της θερμοκρασίας για κάθε ώρα της ημέρας. Επιπλέον θα μπορούσε να γίνει χρήση θερμοκρασιών από περισσότερες περιοχές της Ελλάδος (Κεντρική Ελλάδα, Πελοπόννησος).

Η ενσωμάτωση ορισμένων από τους οικονομικούς παράγοντες αποτελεί μια εν δυνάμει προέκταση, καθώς το οικονομικό περιβάλλον επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά των καταναλωτών. Ένα καλό οικονομικό επίπεδο και περίοδοι εφορίας μιας περιοχής οδηγούν σε αυξημένη ζήτηση φορτίου. Είναι όμως ιδιαίτερα πολύπλοκη η μοντελοποίηση και ενσωμάτωσή τους στα μοντέλα πρόβλεψης και αφορά κυρίως μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες προβλέψεις.

Τα νευροασαφή συστήματα αποτελούν μια υβριδική κατηγορία που έχει αναπτυχθεί και συνδυάζει τα νευρωνικά δίκτυα και τα δίκτυα ασαφούς λογικής. Οι αρχές της ασαφούς λογικής και των ΤΝΔ είναι διαφορετικές. Τα ασαφή συστήματα γίνονται εύκολα κατανοητά, καθώς ακολουθούν διαδοχικά βήματα με πλήρη επεξήγηση των κανόνων που έχουν χρησιμοποιηθεί. Το βασικό μειονέκτημα τους είναι ότι δεν ρυθμίζονται μέσω αλγορίθμων μάθησης. Δημιουργούνται μέσω σαφούς γνώσης που εκφράζεται με τη μορφή λεκτικών (ασαφών) κανόνων ενώ κάποιες φορές η διαθέσιμη γνώση δεν είναι αρκετή για να καθοριστούν με ακρίβεια όλες οι παράμετροι τους.

Ο κύριος λόγος που συνδυάζονται τα νευρωνικά με τα ασαφή συστήματα, είναι η ικανότητα εκπαίδευσης των νευρωνικών συστημάτων. Αυτός ο συνδυασμός μπορεί να δημιουργήσει



κανόνες για το ασαφές σύστημα ή να βελτιστοποιήσει τους ήδη υπάρχοντες, αυτοματοποιώντας τη ρύθμιση των παραμέτρων του ασαφούς συστήματος. Όσον αφορά στα νευρωνικά συστήματα, ο συνδυασμός τους με τα ασαφή αναιρεί το βασικό μειονέκτημα των νευρωνικών δικτύων που είναι το γεγονός ότι δεν μπορούν να ερμηνεύσουν το πως έφτασαν στο συμπέρασμά τους διότι δεν υπάρχουν σαφείς κανόνες και γενικός τρόπος για την ερμηνεία της εσωτερικής διαδικασίας διαμόρφωσης του δικτύου. Συνεπώς, συνδυάζοντας τα νευρωνικά με τα ασαφή συστήματα διατηρούνται τα πλεονεκτήματα και των δύο μεθόδων, ενώ εξαλείφονται κάποια από τα μειονεκτήματά τους.

## Παράρτημα Α

Παρακάτω παρατίθεται τα δεδομένα (01-01-2012 έως 31-12-2012) που χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη του φορτίου και που ανακτήθηκαν από την ιστοσελίδα του ΑΔΜΗΕ [22]. Ο πίνακας 1 περιλαμβάνει τις τιμές της κατανάλωσης για κάθε ώρα της ημέρας σε MW για όλο το 2012. Ο πίνακας 2 περιλαμβάνει τα δεδομένα όπως περιγράφηκαν στην ενότητα 4.1 δηλαδή της ημερομηνίας, της ημέρας της εβδομάδας, του είδους της ημέρας (καθημερινή, Σαββατοκύριακο, αργία), των καιρικών συνθηκών Αθήνας και Θεσσαλονίκης και τις μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη.

*Πίνακας 1 Δεδομένα ωριαίων τιμών φορτίου Ελληνικού Συστήματος*

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
01/01/2012	5242	4946	4860	4554	4287	4153	4136	4121	4207	4558	5011	5404	5456	5120	4542	4520	4947	5483	5977	6051	6085	5901	5560	5439
02/01/2012	4981	4580	4612	4419	4276	4307	4592	4979	5293	5634	5828	5922	5977	5959	5703	5670	6003	6567	7107	7120	7054	6655	6175	5833
03/01/2012	5348	4947	4958	4793	4638	4680	5041	5591	5976	6467	6590	6554	6562	6505	6159	6127	6483	7204	7781	7759	7603	6953	6340	5925
04/01/2012	5413	5011	5041	4896	4761	4801	5140	5665	6086	6595	6636	6607	6612	6545	6233	6155	6503	7099	7553	7576	7466	6938	6344	5926
05/01/2012	5424	5041	5030	4864	4724	4778	5118	5660	6080	6581	6669	6647	6596	6525	6236	6242	6584	7207	7699	7681	7583	6917	6297	5917
06/01/2012	5422	4909	4892	4685	4507	4445	4530	4687	4928	5308	5695	6332	6731	6559	5925	5771	6142	6462	6662	6701	6718	6395	5959	5657
07/01/2012	5224	4818	4794	4640	4473	4428	4557	4773	5188	5784	6235	6525	6652	6733	6353	6235	6612	6947	7353	7287	6938	6521	6017	5819
08/01/2012	5377	4942	4908	4702	4524	4442	4512	4520	4673	5169	5680	6089	6232	6061	5629	5574	5914	6319	6851	6985	6965	6706	6202	5888
09/01/2012	5241	4779	4781	4643	4553	4635	5123	6007	6384	6893	6937	6843	6820	6868	6639	6601	6901	7294	7651	7690	7610	7021	6286	5862
10/01/2012	5282	4900	4925	4723	4587	4692	5150	6133	6527	7067	7148	7182	7350	7395	7043	6991	7291	7750	8172	8163	7998	7206	6439	6027
11/01/2012	5408	4965	5010	4864	4743	4789	5331	6267	6706	7315	7490	7525	7569	7463	7152	7119	7395	7710	8045	8071	7950	7265	6529	6080
12/01/2012	5480	5037	5025	4852	4703	4762	5229	6198	6693	7247	7355	7397	7400	7359	6906	6861	7173	7720	8197	8228	8067	7325	6625	6182
13/01/2012	5554	5098	5128	4922	4816	4899	5453	6374	6724	7097	7017	6893	6803	6695	6406	6389	6746	7322	7908	7927	7745	7043	6361	5982
14/01/2012	5525	5080	5100	4909	4776	4709	4813	5022	5508	6200	6620	6786	6911	6902	6655	6580	6950	7202	7622	7540	7288	6874	6335	5989
15/01/2012	5523	5063	5028	4805	4597	4557	4561	4644	4888	5415	6089	6519	6683	6479	5881	5756	6215	6560	7114	7196	7143	6891	6414	6080

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
16/01/2012	5445	4968	4992	4857	4763	4841	5405	6331	6750	7257	7301	7259	7212	7205	6945	6879	7185	7563	8070	8104	8036	7404	6670	6191
17/01/2012	5638	5222	5275	5131	5003	5048	5483	6389	6808	7268	7351	7339	7353	7325	6951	6910	7291	7832	8453	8471	8319	7554	6819	6337
18/01/2012	5754	5342	5434	5299	5150	5182	5674	6603	6948	7381	7434	7387	7327	7272	7021	6967	7284	7661	8214	8243	8122	7491	6818	6370
19/01/2012	5782	5392	5420	5266	5136	5234	5724	6596	6933	7369	7358	7313	7286	7208	6843	6784	7166	7646	8334	8381	8227	7509	6821	6346
20/01/2012	5696	5267	5307	5133	4965	5000	5523	6392	6706	7183	7220	7121	7017	6952	6714	6676	6963	7402	7940	7864	7738	7022	6264	5828
21/01/2012	5411	4988	5002	4795	4620	4556	4694	4963	5446	6156	6506	6708	6881	6995	6699	6630	6867	7076	7530	7574	7252	6844	6264	5934
22/01/2012	5476	5022	4970	4832	4667	4582	4643	4725	4928	5339	5780	6107	6178	5990	5471	5397	5738	6110	6880	6979	6930	6661	6136	5818
23/01/2012	5221	4725	4751	4633	4519	4540	5116	5966	6382	6818	6803	6725	6699	6693	6536	6486	6721	6955	7525	7592	7423	6896	6163	5680
24/01/2012	5160	4815	4848	4686	4530	4649	5116	5974	6427	7067	7211	7271	7332	7291	6890	6752	6937	7207	7682	7707	7570	6868	6170	5739
25/01/2012	5197	4798	4819	4655	4543	4634	5089	5973	6319	6809	6903	6895	6829	6797	6505	6460	6807	7029	7501	7606	7474	6919	6219	5786
26/01/2012	5267	4895	4925	4756	4640	4663	5212	6071	6419	6931	7025	7073	7163	7213	7007	6954	7177	7351	7978	8061	7899	7172	6466	6023
27/01/2012	5438	5066	5119	4944	4817	4913	5431	6285	6657	7115	7108	7027	6961	6912	6667	6655	6944	7294	7966	8047	7818	7092	6411	6028
28/01/2012	5638	5196	5193	4976	4814	4762	4902	5192	5709	6514	7026	7267	7397	7353	7035	6885	7149	7335	7775	7785	7506	7005	6378	6079
29/01/2012	5540	5072	5079	4854	4624	4556	4604	4749	5075	5680	6376	6900	7044	6837	6218	6166	6534	6648	7068	7176	7071	6808	6322	5990
30/01/2012	5382	4836	4899	4730	4620	4650	5183	5972	6641	7327	7551	7677	7762	7756	7428	7303	7501	7601	8160	8223	8143	7486	6741	6291
31/01/2012	5682	5222	5279	5104	4994	5067	5597	6465	7102	7773	8008	8097	8106	7974	7551	7453	7712	8020	8631	8733	8545	7753	6992	6513

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
01/02/2012	5853	5331	5440	5308	5199	5267	5780	6635	7127	7835	8110	8175	8160	8107	7731	7626	7907	7994	8477	8530	8315	7650	6949	6474
02/02/2012	5836	5423	5478	5367	5240	5295	5785	6516	7047	7847	8200	8357	8385	8232	7665	7469	7703	7884	8304	8436	8222	7491	6783	6350
03/02/2012	5764	5311	5351	5201	5094	5109	5536	6230	6726	7386	7573	7609	7631	7498	7030	6904	7213	7313	7864	7965	7762	7049	6378	5995
04/02/2012	5557	5143	5128	4941	4768	4732	4807	5035	5576	6241	6544	6649	6705	6699	6332	6288	6536	6657	7258	7351	7134	6692	6135	5824
05/02/2012	5309	4834	4828	4586	4426	4370	4465	4528	4783	5260	5764	6113	6239	6041	5504	5542	5862	5908	6461	6624	6554	6319	5864	5484
06/02/2012	4930	4525	4519	4386	4275	4350	4811	5609	6145	6730	6880	7000	7119	7140	6927	6806	6955	6987	7331	7399	7296	6710	6008	5600
07/02/2012	5069	4702	4743	4553	4365	4384	4758	5453	6003	6705	6965	7120	7281	7261	6893	6772	6975	7068	7505	7661	7532	6802	6099	5672
08/02/2012	5082	4692	4741	4605	4467	4541	5012	5879	6500	7229	7511	7565	7565	7515	7217	7084	7283	7305	7780	7942	7839	7252	6524	6060
09/02/2012	5533	5141	5204	5006	4920	4992	5438	6212	6755	7455	7654	7753	7820	7765	7394	7327	7561	7648	8099	8297	8129	7408	6681	6207
10/02/2012	5637	5195	5221	5042	4862	4842	5225	5954	6500	7180	7436	7547	7637	7635	7267	7199	7408	7518	7919	8000	7759	7001	6324	5998
11/02/2012	5474	4997	4999	4791	4633	4564	4705	4908	5479	6284	6782	7101	7231	7111	6603	6455	6759	6805	7202	7335	7078	6624	6083	5829
12/02/2012	5304	4825	4802	4602	4384	4312	4422	4508	4808	5446	6007	6570	6820	6606	5945	5800	6075	6219	6663	6949	6827	6654	6132	5832
13/02/2012	5266	4785	4702	4514	4420	4466	4928	5713	6283	6914	7041	6981	6926	6780	6429	6270	6450	6528	7116	7473	7429	6946	6229	5774
14/02/2012	5192	4810	4878	4762	4628	4682	5177	5926	6347	6875	7018	7148	7271	7375	7088	7046	7234	7322	7816	8019	7805	7090	6361	5927
15/02/2012	5359	4991	5035	4891	4743	4822	5302	6090	6467	7018	7068	7089	7126	6994	6655	6530	6745	6842	7508	7858	7768	7184	6444	5952
16/02/2012	5399	5001	5023	4871	4739	4802	5264	6027	6455	7070	7346	7491	7539	7517	7045	6924	7170	7320	7901	8229	7928	6991	6276	5945

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
17/02/2012	5464	5074	5089	4920	4825	4884	5324	6072	6502	6984	7000	6972	6959	6913	6654	6641	6914	7099	7790	8155	7998	7281	6578	6176
18/02/2012	5697	5270	5284	5096	4946	4892	5047	5322	5697	6224	6458	6503	6585	6570	6233	6173	6512	6719	7312	7735	7518	7022	6382	6064
19/02/2012	5533	5089	5071	4876	4710	4645	4685	4727	4896	5191	5611	5852	5971	5776	5310	5277	5583	5725	6461	6957	6926	6695	6101	5733
20/02/2012	5152	4710	4723	4582	4428	4482	4956	5702	6222	6738	6857	6963	7091	7090	6799	6721	6884	6815	7263	7602	7553	6962	6206	5756
21/02/2012	5229	4833	4890	4739	4600	4662	5115	5870	6230	6611	6611	6583	6602	6553	6286	6282	6548	6754	7288	7664	7569	6909	6143	5723
22/02/2012	5155	4802	4820	4666	4549	4602	5055	5827	6325	6915	7154	7255	7343	7279	6982	6863	7014	6993	7321	7630	7555	6963	6214	5767
23/02/2012	5237	4842	4847	4710	4583	4628	5060	5845	6214	6687	6794	6792	6803	6746	6383	6301	6515	6615	7206	7638	7531	6864	6229	5818
24/02/2012	5244	4847	4831	4693	4550	4649	5110	5774	5956	6247	6184	6040	5944	5854	5544	5474	5687	5866	6656	7260	7222	6634	5983	5578
25/02/2012	5181	4781	4767	4589	4458	4464	4536	4717	5086	5384	5533	5490	5542	5472	5188	5180	5393	5516	6273	6941	6866	6433	5857	5522
26/02/2012	5026	4605	4570	4372	4225	4152	4163	4161	4452	4861	5239	5467	5591	5393	4995	4968	5277	5376	5882	6349	6329	6086	5594	5352
27/02/2012	4933	4549	4592	4403	4230	4168	4204	4328	4797	5512	5927	6133	6114	5883	5377	5361	5591	5670	6122	6654	6700	6389	5896	5543
28/02/2012	4968	4564	4617	4474	4350	4464	4948	5755	6304	6893	7048	7011	7018	6966	6686	6647	6834	6931	7548	8083	8011	7261	6533	6059
29/02/2012	5442	5055	5092	4928	4851	4964	5381	6228	6733	7301	7430	7466	7458	7376	6976	6798	6867	6828	7309	7872	7803	7224	6493	5985
01/03/2012	5402	5002	5034	4875	4783	4843	5257	6059	6498	6993	7107	7189	7230	7127	6759	6696	6804	6848	7438	8058	8033	7321	6628	6153
02/03/2012	5497	5093	5113	4959	4833	4899	5343	6103	6416	6768	6696	6589	6482	6425	6100	6042	6249	6385	7072	7661	7588	6982	6286	5839
03/03/2012	5346	4850	4884	4686	4532	4513	4611	4818	5101	5508	5661	5691	5725	5662	5328	5253	5495	5643	6366	7113	7000	6529	5973	5573

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
04/03/2012	5135	4680	4597	4389	4175	4150	4192	4228	4415	4685	4932	5195	5316	5187	4753	4654	4949	5186	5891	6663	6626	6366	5805	5426
05/03/2012	4838	4379	4404	4258	4159	4259	4695	5481	5986	6455	6634	6784	6847	6745	6395	6451	6688	6586	6883	7382	7318	6770	6075	5566
06/03/2012	5020	4660	4684	4528	4423	4500	4927	5718	6167	6603	6675	6727	6709	6606	6273	6266	6444	6526	7023	7579	7543	6880	6174	5684
07/03/2012	5073	4692	4709	4538	4427	4523	4936	5741	6221	6718	6728	6696	6695	6608	6328	6228	6422	6495	6890	7415	7388	6845	6129	5662
08/03/2012	5141	4700	4703	4521	4431	4508	4891	5688	6152	6672	6820	6871	6876	6737	6301	6168	6311	6391	6858	7395	7319	6663	6013	5526
09/03/2012	4962	4595	4600	4421	4284	4401	4804	5597	5950	6410	6481	6460	6473	6386	6088	6024	6166	6214	6627	7156	7095	6540	5902	5508
10/03/2012	5092	4661	4675	4504	4361	4311	4403	4670	5217	5802	6229	6482	6629	6635	6268	6176	6336	6306	6679	7289	7135	6723	6060	5729
11/03/2012	5186	4731	4661	4448	4297	4258	4250	4423	4820	5402	5984	6514	6797	6713	6136	5990	6258	6192	6486	6996	6928	6649	6089	5706
12/03/2012	5025	4558	4600	4439	4334	4379	4783	5724	6357	7003	7198	7314	7415	7349	7069	6980	7143	7024	7245	7779	7763	7204	6423	5924
13/03/2012	5307	4914	4937	4775	4676	4753	5143	6014	6512	7057	7176	7249	7294	7304	6971	6919	7135	7178	7453	8081	7991	7269	6502	5989
14/03/2012	5354	4935	4951	4791	4692	4785	5162	5950	6209	6578	6490	6413	6363	6259	5937	5819	5991	6038	6512	7472	7525	7032	6310	5840
15/03/2012	5222	4800	4799	4636	4533	4626	4998	5705	5905	6192	6117	6070	6115	6079	5773	5656	5828	5987	6515	7461	7482	6919	6234	5788
16/03/2012	5192	4768	4718	4559	4417	4457	4832	5566	5915	6266	6254	6213	6145	6091	5792	5727	5869	5963	6446	7332	7346	6818	6117	5670
17/03/2012	5221	4817	4780	4559	4436	4422	4453	4718	5117	5486	5580	5608	5614	5544	5239	5147	5337	5443	6013	6979	6907	6508	5935	5608
18/03/2012	5116	4673	4616	4417	4238	4207	4178	4280	4379	4574	4722	4921	5030	4875	4477	4375	4597	4741	5318	6270	6351	6086	5657	5254
19/03/2012	4653	4221	4194	4072	3983	4069	4479	5163	5491	5723	5677	5595	5570	5501	5245	5156	5250	5317	5807	6785	6872	6409	5727	5215

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
20/03/2012	4710	4347	4317	4170	4096	4178	4501	5156	5399	5602	5541	5498	5476	5442	5194	5081	5166	5277	5775	6756	6861	6337	5654	5140
21/03/2012	4610	4257	4205	4092	4014	4100	4411	5034	5232	5417	5378	5342	5305	5248	5068	4989	5076	5134	5564	6486	6566	6143	5446	4953
22/03/2012	4479	4186	4107	3944	3889	4007	4312	4911	5083	5255	5233	5260	5294	5269	5056	4918	4974	5108	5567	6515	6587	6091	5430	4975
23/03/2012	4445	4166	4084	3968	3905	4022	4295	4845	5113	5265	5253	5300	5341	5297	5071	4996	5094	5193	5650	6447	6458	6038	5433	4973
24/03/2012	4655	4318	4258	4118	4029	4004	3974	4220	4610	4909	5052	5124	5176	5193	4942	4825	4868	4983	5476	6476	6498	6073	5512	5062
25/03/2012	4571	4189	4098	3922	3821	3841	3862	4110	4396	4501	4563	4699	4684	4284	4008	4066	4129	4358	4868	5685	5670	5260	4874	null
26/03/2012	4305	3889	3768	3664	3587	3699	4109	4674	5084	5368	5305	5274	5291	5290	5071	4853	4863	4846	4958	5431	6368	6144	5474	4915
27/03/2012	4417	4095	4010	3875	3830	3937	4375	4969	5240	5487	5466	5455	5451	5393	5095	4895	4914	4933	5149	5703	6670	6384	5680	5081
28/03/2012	4538	4232	4114	4011	3948	4041	4437	5037	5335	5568	5522	5442	5437	5400	5193	5016	4968	4959	5118	5610	6622	6434	5701	5101
29/03/2012	4523	4197	4085	3975	3912	3948	4368	5010	5311	5542	5504	5482	5490	5430	5119	4893	4874	4911	5113	5612	6594	6351	5685	5086
30/03/2012	4518	4195	4085	3972	3912	3974	4371	4941	5253	5468	5430	5409	5375	5358	5165	5007	5012	5044	5161	5544	6323	6156	5587	5031
31/03/2012	4561	4149	4043	3946	3862	3884	4043	4184	4614	4916	5068	5166	5209	5200	4911	4642	4659	4654	4880	5396	6219	6084	5418	4909
01/04/2012	4426	4014	3801	3615	3549	3569	3678	3702	3965	4230	4486	4708	4782	4641	4124	3895	3979	4064	4318	4852	5727	5740	5206	4725
02/04/2012	4193	3748	3652	3518	3466	3579	4028	4703	5254	5549	5588	5568	5551	5506	5205	4964	4876	4868	5072	5565	6579	6389	5668	5058
03/04/2012	4469	4145	4004	3898	3849	3880	4270	4907	5317	5567	5582	5539	5534	5446	5146	4958	4947	4964	5158	5691	6620	6371	5666	5021
04/04/2012	4490	4132	3988	3844	3773	3867	4221	4862	5312	5586	5596	5628	5664	5700	5470	5263	5276	5259	5379	5738	6516	6304	5616	5015



Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
05/04/2012	4426	4066	3963	3827	3818	3921	4238	4809	5301	5671	5756	5879	6012	6001	5582	5413	5434	5325	5457	5834	6589	6374	5690	5122
06/04/2012	4506	4104	3979	3866	3803	3920	4264	4859	5322	5574	5504	5426	5315	5298	5061	4865	4869	4895	5043	5384	6259	6123	5456	4881
07/04/2012	4442	4088	3953	3852	3761	3796	3882	4088	4505	4810	4934	4993	5094	5110	4899	4697	4759	4791	4950	5275	6010	5895	5294	4794
08/04/2012	4361	3946	3788	3685	3576	3581	3590	3652	3876	4043	4252	4566	4780	4679	4253	4094	4172	4264	4499	4911	5428	5469	5000	4600
09/04/2012	4105	3706	3591	3511	3462	3579	3948	4442	5120	5548	5720	5930	6075	6098	5845	5628	5668	5665	5753	6008	6556	6389	5700	5083
10/04/2012	4463	4042	3937	3837	3775	3865	4207	4815	5526	6062	6219	6266	6290	6163	5800	5603	5620	5568	5644	5958	6726	6697	6017	5379
11/04/2012	4731	4255	4151	4003	3921	4015	4368	4902	5397	5608	5566	5545	5585	5560	5344	5293	5315	5213	5318	5786	6603	6551	5944	5343
12/04/2012	4666	4121	3945	3820	3738	3812	4166	4675	5135	5402	5421	5376	5255	5166	4882	4718	4750	4788	4949	5245	5955	5872	5491	5082
13/04/2012	4535	4062	3831	3688	3602	3595	3630	3688	3939	4135	4267	4315	4497	4657	4631	4615	4729	4793	4895	5055	5322	5121	4993	4759
14/04/2012	4297	3915	3778	3604	3512	3536	3663	3926	4328	4633	4864	5018	5156	5170	5030	4959	5163	5217	5413	5815	6470	6359	5658	4890
15/04/2012	4502	4170	3914	3551	3343	3298	3247	3262	3499	3814	4054	4056	3824	3441	3063	3015	3132	3201	3423	3791	4581	4838	4556	4285
16/04/2012	3910	3583	3468	3358	3279	3290	3248	3207	3409	3726	3944	4038	4034	4028	3805	3729	3813	3890	4072	4385	5105	5206	4802	4366
17/04/2012	3919	3611	3489	3362	3356	3460	3686	4044	4629	5141	5370	5472	5563	5524	5182	4988	4952	5006	5152	5501	6101	5884	5229	4737
18/04/2012	4255	3870	3717	3597	3529	3631	3889	4341	4983	5616	5871	6068	6137	6037	5609	5275	5160	5062	5098	5339	6098	6128	5460	4920
19/04/2012	4345	3899	3757	3622	3584	3674	3914	4369	4855	5167	5218	5237	5287	5255	4961	4772	4732	4725	4852	5126	5938	5967	5343	4809
20/04/2012	4254	3820	3690	3558	3508	3586	3795	4229	4728	5130	5285	5400	5467	5417	5005	4695	4617	4649	4774	5098	5915	5922	5243	4795

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
21/04/2012	4330	3957	3783	3634	3552	3594	3625	3835	4226	4577	4748	4816	4894	4864	4598	4352	4319	4335	4551	4900	5631	5772	5189	4717
22/04/2012	4243	3827	3683	3547	3462	3434	3418	3492	3693	3973	4301	4537	4558	4417	3998	3758	3768	3872	4067	4471	5336	5643	5140	4675
23/04/2012	4189	3722	3630	3543	3480	3620	3937	4512	4790	5000	5004	5072	5145	5147	4896	4646	4618	4648	4830	5149	5878	5929	5291	4722
24/04/2012	4277	3984	3820	3745	3704	3820	4099	4712	5095	5417	5408	5438	5459	5421	5112	4842	4757	4794	4966	5268	6058	6125	5427	4822
25/04/2012	4319	3974	3786	3759	3746	3822	4066	4595	4899	5224	5227	5218	5233	5182	4928	4684	4648	4669	4825	5158	5944	6151	5418	4831
26/04/2012	4366	4028	3862	3774	3772	3860	4078	4631	4936	5206	5205	5279	5316	5306	5008	4755	4674	4791	4988	5285	6008	6144	5480	4908
27/04/2012	4359	4058	3895	3834	3804	3889	4116	4630	4919	5216	5195	5228	5301	5266	5019	4779	4700	4742	4977	5269	5920	6030	5340	4785
28/04/2012	4427	4117	3939	3860	3822	3817	3804	4075	4488	4983	5253	5416	5579	5532	5157	4881	4817	4804	5021	5264	5809	5833	5299	4802
29/04/2012	4346	4042	3815	3699	3629	3655	3542	3666	3878	4205	4489	4746	4811	4643	4190	3949	3992	4086	4344	4653	5351	5733	5278	4723
30/04/2012	4272	3921	3757	3673	3642	3730	3921	4434	4777	5045	5028	5107	5201	5209	4834	4672	4678	4739	4887	5163	5745	6024	5388	4832
01/05/2012	4408	4070	3849	3668	3548	3507	3348	3489	3805	4144	4272	4263	4222	4006	3654	3494	3578	3789	4062	4435	5122	5531	5078	4643
02/05/2012	4132	3760	3563	3496	3466	3581	3817	4369	4849	5200	5348	5445	5560	5580	5345	5034	4932	5066	5290	5540	6131	6341	5691	5158
03/05/2012	4654	4285	4062	3967	3972	4071	4281	4816	5184	5525	5639	5752	5871	5844	5562	5284	5141	5343	5541	5773	6298	6374	5719	5241
04/05/2012	4783	4402	4147	4087	4075	4132	4278	4718	5153	5547	5666	5751	5813	5843	5551	5250	5153	5315	5520	5709	6165	6227	5590	5150
05/05/2012	4745	4409	4222	4109	4052	4045	4011	4283	4712	5130	5369	5488	5601	5549	5230	4915	4823	4982	5203	5445	5909	6218	5665	5187
06/05/2012	4705	4343	4079	3969	3899	3919	3803	3988	4264	4573	4851	4991	4974	4793	4385	4172	4145	4279	4580	4860	5382	5776	5373	4998

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
07/05/2012	4611	4240	4006	3902	3850	3944	4109	4555	5064	5491	5672	5819	5922	5962	5699	5345	5218	5304	5488	5720	6251	6489	5805	5277
08/05/2012	4758	4415	4237	4127	4072	4166	4330	4897	5285	5666	5862	6008	6128	6100	5785	5444	5322	5426	5609	5860	6383	6517	5826	5276
09/05/2012	4766	4375	4186	4038	3967	4114	4327	4919	5298	5618	5710	5828	5890	5878	5643	5303	5197	5289	5465	5692	6171	6403	5727	5231
10/05/2012	4779	4420	4241	4139	4088	4141	4314	4865	5267	5571	5666	5789	5887	5849	5549	5210	5121	5217	5447	5700	6214	6338	5685	5207
11/05/2012	4762	4350	4133	4020	3969	4078	4262	4797	5182	5538	5607	5690	5713	5653	5408	5132	5035	5165	5379	5591	6049	6188	5536	5164
12/05/2012	4724	4316	4153	4018	4031	4057	3985	4276	4759	5164	5432	5500	5633	5649	5291	4923	4837	4931	5144	5334	5717	6043	5566	5095
13/05/2012	4690	4341	4088	3936	3824	3857	3762	3924	4201	4512	4799	5047	5216	4993	4556	4284	4279	4493	4762	4976	5478	5920	5500	5030
14/05/2012	4527	4122	3914	3830	3788	3914	4078	4656	5117	5518	5557	5645	5711	5749	5511	5199	5040	5108	5236	5444	5895	6039	5382	4980
15/05/2012	4556	4136	3932	3843	3865	3950	4097	4579	4941	5309	5356	5427	5540	5524	5215	4933	4827	4969	5166	5430	5904	6089	5403	4952
16/05/2012	4520	4138	3884	3856	3855	3956	4110	4663	4986	5277	5308	5337	5391	5395	5128	4806	4690	4820	5001	5247	5754	6109	5494	5021
17/05/2012	4583	4219	3995	3915	3862	3927	4092	4622	5009	5408	5505	5646	5765	5742	5390	5063	4925	4982	5220	5429	5836	6017	5346	4941
18/05/2012	4522	4116	3916	3849	3837	3912	4057	4538	4955	5388	5598	5756	5834	5717	5375	5109	5002	5148	5373	5617	5969	6043	5348	4923
19/05/2012	4529	4184	3973	3846	3819	3840	3810	4079	4558	5039	5299	5349	5438	5416	5055	4691	4597	4719	4934	5191	5651	6126	5552	4998
20/05/2012	4595	4172	3908	3756	3705	3696	3579	3730	4022	4310	4613	4878	4981	4812	4325	4042	4015	4192	4438	4764	5210	5796	5441	4952
21/05/2012	4430	3990	3786	3741	3742	3827	3999	4500	4923	5288	5433	5576	5682	5682	5420	5041	4892	4952	5081	5301	5690	5899	5368	4956
22/05/2012	4573	4181	3974	3846	3779	3936	4110	4626	4984	5345	5373	5443	5481	5467	5159	4836	4701	4843	5063	5303	5745	6116	5469	4976

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
23/05/2012	4530	4136	3927	3878	3834	3913	4109	4583	4897	5256	5322	5425	5518	5529	5283	4921	4827	4923	5126	5391	5844	6078	5433	4937
24/05/2012	4596	4214	4038	3976	3961	4018	4206	4679	5092	5437	5525	5599	5666	5658	5327	5011	4841	4935	5128	5394	5827	6101	5464	5018
25/05/2012	4559	4173	4025	3933	3907	4011	4221	4660	4998	5340	5375	5384	5438	5455	5220	4935	4811	4942	5130	5340	5760	6093	5496	5077
26/05/2012	4694	4400	4190	4064	3990	3998	3916	4205	4661	5044	5349	5482	5663	5647	5320	4928	4835	4947	5123	5271	5640	5990	5471	5015
27/05/2012	4606	4234	3997	3871	3799	3762	3636	3792	4088	4427	4759	5009	5119	5018	4557	4223	4169	4324	4583	4899	5270	5747	5361	4855
28/05/2012	4351	3964	3784	3682	3667	3699	3909	4392	4802	5101	5166	5202	5310	5318	5090	4807	4709	4797	4976	5228	5636	6095	5546	5019
29/05/2012	4582	4185	4015	3896	3904	3961	4137	4667	5041	5438	5530	5601	5700	5670	5297	4912	4792	4916	5132	5369	5768	6098	5511	5003
30/05/2012	4471	4085	3879	3787	3770	3842	4017	4546	4974	5302	5408	5462	5539	5576	5360	5028	4837	4925	5180	5442	5719	6092	5551	4995
31/05/2012	4470	4097	3871	3775	3773	3837	4012	4535	4927	5256	5328	5433	5532	5519	5230	4912	4812	4947	5198	5438	5777	6183	5618	5084
01/06/2012	4573	4172	3960	3840	3823	3889	4047	4547	4981	5295	5376	5441	5533	5529	5290	5014	4951	5060	5233	5452	5765	6063	5519	5045
02/06/2012	4658	4289	4078	4000	3942	3918	3846	4109	4490	4838	5051	5118	5298	5317	5018	4681	4615	4715	5029	5274	5490	5962	5618	5121
03/06/2012	4620	4262	3999	3887	3831	3764	3575	3736	3990	4255	4496	4736	4867	4720	4291	4032	4058	4273	4562	4799	5094	5673	5430	4960
04/06/2012	4540	4173	4021	3924	3867	3873	3886	4105	4333	4643	4815	5018	5133	5081	4790	4526	4514	4695	4957	5209	5529	6017	5593	5193
05/06/2012	4764	4359	4109	4000	3980	4052	4131	4713	5132	5538	5655	5801	5955	5931	5632	5290	5148	5285	5545	5689	5976	6284	5729	5262
06/06/2012	4777	4411	4203	4057	4066	4098	4176	4777	5204	5547	5639	5706	5796	5773	5474	5193	5112	5221	5445	5592	5909	6347	5820	5356
07/06/2012	4875	4488	4289	4168	4176	4210	4289	4860	5259	5676	5801	5911	6046	6038	5619	5324	5267	5425	5727	5903	6156	6510	6038	5537

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
08/06/2012	5058	4628	4376	4277	4255	4288	4402	4933	5415	5776	5896	6019	6077	6033	5821	5528	5450	5634	5945	6099	6268	6585	6093	5667
09/06/2012	5236	4835	4620	4399	4366	4335	4250	4520	4999	5449	5681	5820	6005	6049	5750	5428	5420	5579	5872	6073	6164	6672	6326	5868
10/06/2012	5376	4887	4643	4470	4328	4294	4153	4272	4541	4883	5188	5437	5529	5436	5120	4896	4924	5180	5440	5642	5876	6528	6331	5813
11/06/2012	5268	4822	4529	4409	4332	4378	4554	5159	5697	6134	6331	6449	6612	6699	6498	6139	5956	6061	6248	6403	6545	6924	6543	6025
12/06/2012	5440	4974	4722	4600	4554	4584	4718	5364	5900	6373	6628	6812	6980	7024	6772	6505	6397	6449	6692	6889	6955	7209	6843	6349
13/06/2012	5751	5244	4980	4806	4711	4709	4865	5499	6128	6668	6902	7137	7386	7477	7297	6999	6814	6856	6972	7016	7030	7420	7121	6670
14/06/2012	6105	5580	5225	5056	4940	4895	4962	5560	6114	6561	6772	7009	7279	7361	7148	6917	6876	6979	7180	7252	7252	7430	7097	6667
15/06/2012	6100	5576	5271	5070	4972	4961	5045	5593	6242	6767	7015	7181	7331	7387	7179	6954	6829	6937	7147	7211	7199	7380	7038	6609
16/06/2012	6096	5595	5263	5077	4973	4875	4729	4990	5437	5894	6142	6357	6472	6448	6187	5903	5853	6003	6171	6385	6459	6906	6719	6237
17/06/2012	5804	5338	5014	4812	4688	4595	4431	4605	4842	5116	5313	5470	5551	5453	5173	5017	5097	5302	5547	5775	6014	6579	6486	6098
18/06/2012	5529	5078	4773	4636	4557	4560	4675	5274	5900	6350	6614	6802	6966	7036	6796	6464	6378	6452	6685	6838	6969	7325	6996	6536
19/06/2012	5973	5484	5190	5029	4969	4935	5056	5639	6214	6722	6983	7177	7340	7379	7063	6815	6750	6881	7135	7302	7383	7568	7266	6768
20/06/2012	6163	5675	5372	5182	5094	5072	5184	5741	6393	6935	7212	7360	7525	7608	7466	7165	7006	7043	7215	7292	7341	7739	7439	7038
21/06/2012	6538	6049	5735	5484	5351	5324	5417	5936	6473	6978	7209	7404	7641	7740	7565	7325	7231	7359	7513	7612	7601	7794	7509	7133
22/06/2012	6596	6110	5785	5565	5469	5452	5505	6030	6580	7089	7332	7569	7793	7899	7786	7549	7450	7576	7795	7840	7811	7881	7530	7201
23/06/2012	6798	6299	5992	5741	5609	5516	5312	5597	6051	6512	6842	7118	7412	7561	7384	7173	7096	7172	7229	7283	7286	7726	7605	7244

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
24/06/2012	6746	6345	6024	5763	5582	5433	5179	5359	5607	5810	6113	6382	6603	6658	6585	6498	6484	6533	6579	6567	6621	7056	7019	6742
25/06/2012	6291	5832	5557	5362	5275	5258	5346	5951	6601	7162	7410	7652	7871	8111	8053	7801	7672	7684	7710	7691	7644	7931	7754	7376
26/06/2012	6884	6349	5994	5797	5704	5671	5730	6271	6838	7445	7749	7970	8184	8361	8196	7990	7858	7874	7932	7877	7794	7941	7661	7355
27/06/2012	6874	6348	6016	5791	5678	5613	5619	6235	6802	7305	7555	7690	7761	7792	7582	7248	7044	7025	7109	7093	7168	7504	7182	6810
28/06/2012	6428	5950	5654	5440	5350	5324	5373	5939	6485	7009	7183	7345	7506	7534	7274	7038	6907	7029	7262	7366	7359	7525	7195	6828
29/06/2012	6381	5928	5596	5430	5351	5336	5403	5960	6431	6913	7093	7253	7365	7362	7160	6926	6849	6986	7201	7285	7315	7453	7135	6786
30/06/2012	6391	5958	5671	5485	5358	5280	5134	5389	5856	6269	6489	6709	6848	6860	6621	6346	6296	6426	6613	6727	6743	7189	7032	6621
01/07/2012	6197	5811	5544	5307	5194	5070	4880	4957	5227	5373	5621	5838	5917	5842	5558	5400	5418	5627	5908	6155	6392	6938	6813	6472
02/07/2012	6015	5531	5245	5062	4990	4993	5085	5613	6201	6649	6847	6952	7083	7134	6928	6607	6435	6492	6650	6799	6938	7283	7023	6632
03/07/2012	6155	5713	5409	5226	5155	5173	5262	5776	6282	6774	6976	7127	7310	7364	7093	6845	6707	6840	7070	7217	7275	7480	7162	6740
04/07/2012	6291	5807	5493	5326	5284	5285	5331	5819	6330	6887	7063	7216	7351	7412	7215	6955	6844	6891	7082	7223	7324	7684	7390	6972
05/07/2012	6456	6002	5730	5530	5410	5410	5496	5995	6483	6998	7303	7543	7761	7853	7702	7483	7365	7484	7699	7767	7775	7954	7676	7294
06/07/2012	6852	6350	5996	5796	5705	5697	5691	6185	6763	7326	7630	7862	8074	8227	8062	7829	7724	7773	7929	7995	7935	8098	7831	7529
07/07/2012	7100	6648	6294	6054	5908	5825	5630	5866	6353	6800	7048	7285	7537	7702	7581	7378	7300	7327	7347	7286	7254	7655	7528	7182
08/07/2012	6807	6371	6065	5840	5680	5513	5286	5409	5638	5933	6211	6445	6699	6816	6755	6716	6795	6927	7068	7154	7269	7820	7892	7669
09/07/2012	7209	6673	6263	5990	5944	5918	5942	6493	7132	7800	8084	8368	8661	8950	8957	8702	8534	8501	8488	8428	8273	8567	8399	8080

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
10/07/2012	7636	7076	6706	6478	6339	6255	6225	6717	7352	8018	8349	8658	8978	9262	9208	9066	8872	8812	8827	8708	8559	8643	8450	8188
11/07/2012	7740	7119	6743	6523	6349	6260	6182	6655	7253	7898	8240	8468	8742	9023	9050	8868	8676	8632	8594	8508	8382	8643	8466	8213
12/07/2012	7775	7224	6875	6609	6433	6352	6278	6725	7332	8020	8406	8746	9085	9338	9285	9125	8962	8942	8992	8931	8739	8855	8624	8361
13/07/2012	7875	7299	6950	6673	6516	6374	6298	6748	7330	7919	8250	8552	8784	9006	8966	8822	8669	8671	8750	8625	8481	8652	8449	8178
14/07/2012	7797	7313	6944	6666	6476	6371	6134	6338	6755	7162	7554	7799	8107	8355	8313	8150	8114	8121	8109	8032	7872	8246	8122	7808
15/07/2012	7418	7054	6695	6439	6245	6126	5819	5888	6129	6425	6619	6868	7166	7349	7340	7355	7460	7574	7710	7784	7842	8401	8498	8315
16/07/2012	7848	7267	6890	6642	6489	6399	6346	6855	7557	8214	8652	8974	9360	9712	9735	9532	9292	9185	9163	9042	8771	8990	8770	8433
17/07/2012	8006	7438	7053	6793	6607	6533	6394	6758	7275	7759	7967	8158	8352	8507	8416	8252	8155	8193	8295	8302	8210	8384	8108	7794
18/07/2012	7455	6967	6646	6436	6282	6240	6185	6635	7199	7670	7833	7945	8025	8097	7980	7725	7590	7640	7717	7768	7793	8120	7863	7515
19/07/2012	7160	6686	6380	6183	6035	6009	6007	6467	7016	7505	7683	7813	7956	7997	7817	7595	7558	7648	7789	7874	7896	8094	7780	7423
20/07/2012	7058	6615	6283	6097	5978	5961	6000	6471	6902	7374	7578	7761	7913	8006	7894	7715	7638	7694	7875	7955	7954	8125	7752	7416
21/07/2012	7061	6653	6339	6126	5951	5860	5683	5883	6321	6696	6961	7090	7312	7459	7426	7282	7256	7386	7493	7554	7518	7939	7743	7330
22/07/2012	6976	6590	6227	6014	5817	5716	5470	5532	5772	6011	6252	6478	6676	6761	6682	6655	6796	6920	7026	7094	7218	7779	7754	7438
23/07/2012	6999	6543	6240	5998	5866	5822	5834	6296	6908	7472	7749	7901	8122	8320	8262	8096	7958	7911	7959	7965	8029	8399	8123	7841
24/07/2012	7488	6980	6651	6429	6287	6248	6234	6688	7236	7817	8107	8312	8503	8664	8571	8402	8314	8335	8410	8407	8391	8637	8343	8043
25/07/2012	7645	7150	6820	6588	6432	6386	6370	6786	7350	7924	8206	8381	8567	8743	8651	8420	8274	8216	8234	8197	8173	8526	8280	7966

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
26/07/2012	7583	7103	6736	6494	6343	6266	6258	6638	7133	7647	7968	8239	8562	8777	8722	8582	8432	8489	8569	8543	8458	8611	8286	8022
27/07/2012	7663	7172	6776	6558	6356	6336	6307	6662	7257	7794	8074	8330	8568	8778	8731	8545	8437	8444	8415	8303	8208	8311	7955	7669
28/07/2012	7367	6931	6594	6352	6186	6081	5899	6038	6468	6873	7168	7383	7579	7795	7793	7623	7645	7700	7715	7754	7746	8174	7942	7633
29/07/2012	7273	6912	6597	6346	6150	6029	5760	5746	5957	6162	6409	6688	6957	7124	7096	7120	7228	7366	7468	7524	7589	8186	8158	7991
30/07/2012	7562	7097	6741	6475	6314	6263	6223	6614	7328	7972	8293	8549	8833	9123	9187	8975	8825	8792	8675	8546	8519	8825	8502	8183
31/07/2012	7792	7368	6998	6716	6545	6432	6362	6695	7273	7858	8173	8370	8642	8848	8816	8714	8604	8553	8550	8435	8426	8592	8165	7945
01/08/2012	7599	7107	6755	6520	6361	6243	6167	6457	6996	7478	7681	7800	7915	7996	7922	7686	7494	7411	7305	7146	7149	7379	6963	6644
02/08/2012	6311	5969	5710	5549	5478	5448	5445	5826	6387	6836	7103	7257	7397	7483	7350	7143	7006	7114	7338	7363	7504	7730	7365	7035
03/08/2012	6631	6177	5873	5706	5590	5572	5567	5953	6495	6974	7198	7354	7485	7570	7425	7266	7187	7293	7509	7623	7732	7979	7523	7179
04/08/2012	6733	6284	5998	5774	5616	5549	5387	5474	5830	6238	6524	6713	6921	7075	6958	6793	6821	6961	7013	7146	7247	7690	7372	7009
05/08/2012	6636	6272	5939	5702	5535	5482	5262	5264	5431	5639	5850	6118	6350	6488	6465	6468	6525	6686	6847	6920	7077	7619	7452	7274
06/08/2012	6851	6445	6111	5873	5729	5632	5645	6021	6569	7068	7358	7698	8054	8346	8334	8141	8054	8069	8107	8113	8123	8447	8089	7796
07/08/2012	7398	6937	6598	6345	6184	6116	6076	6362	6907	7486	7805	8076	8405	8676	8712	8621	8534	8585	8658	8585	8592	8809	8490	8167
08/08/2012	7741	7225	6894	6633	6413	6259	6209	6475	7097	7719	8010	8278	8568	8800	8776	8691	8595	8546	8509	8447	8457	8739	8404	8121
09/08/2012	7723	7244	6874	6632	6459	6371	6278	6504	7065	7579	7810	8025	8315	8494	8425	8318	8210	8239	8257	8136	8191	8325	7908	7564
10/08/2012	7146	6700	6280	6056	5896	5815	5776	6030	6520	7020	7287	7401	7577	7710	7649	7555	7487	7396	7312	7195	7301	7393	6948	6632



Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
11/08/2012	6288	5941	5689	5509	5354	5265	5112	5176	5549	5881	6074	6204	6365	6453	6337	6254	6236	6208	6146	5970	6238	6478	6151	5786
12/08/2012	5436	5151	4934	4798	4699	4632	4476	4434	4612	4797	4934	5136	5247	5193	4981	4909	4953	5143	5384	5632	6088	6555	6299	5984
13/08/2012	5629	5290	5042	4909	4783	4788	4818	5046	5538	5917	6069	6161	6276	6326	6163	5892	5812	5911	6131	6346	6692	6999	6542	6160
14/08/2012	5782	5382	5130	4987	4850	4852	4872	5054	5519	5910	6075	6212	6320	6346	6119	5978	5979	6197	6454	6632	6945	7010	6557	6164
15/08/2012	5812	5418	5137	4997	4861	4798	4635	4604	4752	4798	4903	5126	5226	5154	4910	4837	4922	5172	5491	5695	6057	6496	6269	5953
16/08/2012	5585	5277	5022	4876	4771	4758	4756	4938	5452	5884	6067	6263	6423	6535	6423	6296	6293	6496	6772	6946	7287	7450	6963	6577
17/08/2012	6148	5758	5461	5282	5154	5107	5095	5273	5753	6158	6386	6541	6651	6710	6526	6384	6374	6539	6719	6817	7143	7199	6707	6347
18/08/2012	5973	5628	5375	5172	5072	4994	4893	4949	5302	5591	5755	5892	6041	6063	5912	5783	5804	5947	6170	6313	6637	6903	6489	6162
19/08/2012	5840	5529	5257	5038	4914	4857	4754	4679	4786	4967	5174	5342	5402	5291	5113	4998	5126	5329	5609	5866	6350	6723	6411	6073
20/08/2012	5681	5306	5084	4906	4801	4794	4900	5222	5732	6088	6270	6369	6541	6573	6376	6077	5942	6099	6398	6647	7117	7231	6729	6302
21/08/2012	5861	5541	5292	5119	5049	5049	5094	5400	5876	6306	6450	6540	6604	6707	6498	6281	6287	6494	6866	7090	7491	7469	6939	6558
22/08/2012	6151	5682	5403	5267	5180	5165	5249	5564	6108	6546	6741	6964	7166	7306	7238	7038	7001	7107	7262	7353	7714	7819	7320	6981
23/08/2012	6523	6078	5761	5564	5443	5393	5416	5667	6188	6688	6979	7245	7504	7687	7615	7470	7428	7560	7744	7823	8141	8067	7549	7195
24/08/2012	6752	6312	6012	5789	5650	5598	5631	5831	6367	6848	7146	7388	7622	7799	7775	7684	7610	7678	7817	7821	8105	7945	7445	7114
25/08/2012	6779	6342	6048	5835	5620	5533	5423	5444	5815	6210	6494	6737	6931	7136	7152	7102	7137	7273	7307	7298	7496	7615	7238	6892
26/08/2012	6546	6190	5874	5639	5483	5364	5176	5059	5233	5436	5688	5964	6207	6320	6337	6366	6516	6692	6767	6763	7187	7469	7262	6968

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
27/08/2012	6535	6109	5795	5558	5442	5419	5495	5763	6338	6785	7034	7265	7511	7742	7726	7526	7375	7369	7335	7264	7643	7591	7056	6703
28/08/2012	6281	5789	5507	5308	5172	5126	5216	5456	5910	6272	6409	6532	6666	6699	6470	6241	6196	6394	6689	6865	7321	7146	6557	6206
29/08/2012	5825	5396	5133	4999	4928	4940	5067	5352	5831	6217	6374	6533	6613	6604	6392	6137	6023	6140	6375	6569	7116	7012	6423	6053
30/08/2012	5682	5265	4984	4851	4789	4806	4938	5219	5697	6092	6305	6483	6611	6632	6340	6057	5966	6180	6517	6750	7251	6961	6345	5990
31/08/2012	5626	5230	4995	4818	4778	4777	4934	5214	5686	6048	6224	6362	6433	6447	6224	5988	5933	6135	6448	6673	7163	6813	6221	5915
01/09/2012	5560	5257	5014	4861	4773	4748	4700	4716	5051	5384	5526	5697	5859	5868	5595	5335	5346	5563	5809	6047	6566	6464	6020	5678
02/09/2012	5290	4978	4707	4596	4510	4465	4417	4329	4490	4662	4828	5116	5141	5041	4761	4611	4711	4940	5325	5619	6281	6327	5953	5596
03/09/2012	5165	4815	4584	4408	4357	4413	4627	4974	5523	5914	6098	6239	6322	6385	6188	5892	5778	5965	6269	6540	7130	6868	6300	5928
04/09/2012	5547	5179	4936	4778	4751	4815	5005	5320	5719	6100	6235	6407	6571	6568	6260	6005	5933	6172	6516	6743	7357	6991	6357	5968
05/09/2012	5633	5242	4960	4805	4739	4785	4983	5333	5775	6175	6321	6494	6603	6642	6431	6132	6014	6173	6407	6609	7237	6969	6380	6032
06/09/2012	5671	5284	5020	4869	4795	4867	5072	5419	5831	6250	6478	6606	6711	6718	6479	6231	6129	6365	6692	6918	7440	6980	6357	6011
07/09/2012	5588	5215	4999	4874	4786	4815	5019	5385	5856	6286	6462	6546	6633	6614	6353	6096	5966	6206	6461	6665	7216	6768	6219	5898
08/09/2012	5563	5206	4948	4797	4685	4683	4680	4722	5096	5463	5642	5769	5881	5886	5576	5319	5312	5514	5755	6050	6586	6357	5902	5528
09/09/2012	5162	4871	4655	4478	4388	4363	4321	4275	4422	4645	4823	5001	5107	5029	4698	4510	4617	4900	5252	5593	6307	6203	5797	5494
10/09/2012	5113	4773	4530	4406	4377	4445	4714	5078	5553	5928	6013	6139	6213	6212	5982	5670	5521	5660	6005	6308	7005	6644	6047	5646
11/09/2012	5229	4851	4656	4549	4512	4547	4834	5227	5611	5818	5908	6035	6174	6188	5857	5560	5464	5680	6088	6426	7057	6582	5926	5568

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
12/09/2012	5169	4820	4625	4516	4501	4551	4851	5236	5525	5906	5967	6014	6058	6002	5766	5507	5422	5603	5890	6259	6934	6548	5893	5516
13/09/2012	5116	4789	4598	4504	4417	4532	4837	5227	5554	5862	5958	6070	6108	6112	5813	5534	5516	5734	6049	6440	7073	6528	5882	5504
14/09/2012	5098	4818	4627	4552	4509	4546	4818	5266	5656	6007	6046	6157	6307	6365	6098	5765	5597	5730	5923	6260	6768	6253	5696	5370
15/09/2012	5024	4704	4438	4300	4247	4284	4289	4356	4862	5319	5614	5912	6100	6077	5722	5328	5169	5270	5472	5842	6160	5855	5414	5026
16/09/2012	4664	4348	4122	3998	3904	3922	3970	3925	4218	4570	4914	5103	5191	5020	4544	4275	4299	4525	4806	5270	5913	5762	5333	4933
17/09/2012	4482	4153	3999	3918	3869	3959	4357	4806	5166	5489	5537	5604	5641	5659	5452	5145	5059	5207	5446	5898	6502	6056	5500	5092
18/09/2012	4693	4373	4181	4134	4095	4171	4512	4923	5229	5519	5586	5677	5708	5686	5445	5199	5095	5305	5618	6122	6750	6206	5570	5205
19/09/2012	4836	4442	4259	4154	4145	4263	4611	5009	5297	5555	5593	5631	5643	5634	5436	5164	5054	5232	5513	5966	6578	6187	5577	5201
20/09/2012	4799	4457	4230	4128	4142	4239	4576	4993	5241	5503	5585	5691	5744	5758	5503	5261	5233	5447	5709	6176	6717	6133	5518	5155
21/09/2012	4793	4436	4230	4126	4075	4171	4474	4877	5121	5318	5263	5196	5184	5183	4952	4745	4754	5005	5355	5888	6457	5924	5323	5001
22/09/2012	4639	4310	4164	4086	4064	4073	4151	4236	4578	4800	4933	4960	5028	5020	4651	4410	4402	4690	5078	5655	6139	5803	5317	4961
23/09/2012	4558	4251	4003	3901	3840	3836	3891	3807	3979	4094	4362	4531	4581	4458	4065	3859	3935	4255	4706	5312	5890	5677	5259	4866
24/09/2012	4411	4105	3961	3910	3876	3960	4340	4727	5021	5223	5276	5332	5385	5420	5226	4951	4920	5163	5513	6114	6580	6110	5515	5114
25/09/2012	4688	4321	4125	4064	4059	4205	4562	4976	5240	5458	5514	5587	5752	5795	5565	5306	5296	5558	5940	6466	6892	6261	5606	5194
26/09/2012	4794	4457	4262	4113	4070	4073	4298	4594	4948	5278	5421	5499	5560	5550	5309	5064	5037	5265	5584	6150	6575	6062	5457	5066
27/09/2012	4671	4342	4154	4050	4000	4086	4438	4892	5231	5548	5708	5875	5962	5984	5715	5447	5418	5737	6131	6693	7077	6456	5807	5386

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
28/09/2012	4970	4656	4470	4387	4353	4426	4708	5122	5388	5651	5751	5847	5930	5937	5756	5563	5531	5784	6116	6654	6940	6331	5738	5401
29/09/2012	4970	4656	4470	4387	4353	4426	4708	5122	5388	5651	5751	5847	5930	5937	5756	5563	5531	5784	6116	6654	6940	6331	5738	5401
30/09/2012	5030	4744	4562	4438	4358	4339	4416	4494	4859	5191	5329	5484	5539	5555	5289	5063	5101	5358	5714	6277	6488	6092	5578	5194
01/10/2012	4864	4610	4371	4234	4172	4141	4204	4158	4329	4505	4704	4910	5028	4910	4580	4463	4596	4899	5220	5776	6221	5994	5591	5235
02/10/2012	4774	4402	4217	4132	4096	4197	4543	4988	5280	5577	5640	5775	5885	5949	5821	5565	5493	5690	5991	6596	6905	6426	5817	5321
03/10/2012	4934	4672	4441	4378	4358	4414	4726	5190	5420	5677	5740	5854	5940	5960	5729	5507	5507	5764	6089	6724	6973	6378	5747	5315
04/10/2012	4931	4658	4476	4369	4356	4413	4744	5213	5488	5772	5802	5874	5915	5943	5780	5529	5466	5679	5910	6514	6792	6312	5723	5250
05/10/2012	4840	4581	4377	4284	4293	4354	4666	5146	5451	5754	5788	5814	5856	5764	5491	5249	5240	5496	5873	6586	6824	6272	5639	5191
06/10/2012	4815	4581	4396	4310	4292	4394	4697	5130	5310	5528	5556	5599	5616	5642	5457	5247	5201	5496	5851	6498	6708	6143	5519	5094
07/10/2012	4815	4568	4369	4282	4221	4246	4327	4451	4737	4984	5119	5206	5337	5293	5007	4767	4784	5018	5426	6148	6250	5860	5364	5012
08/10/2012	4647	4366	4149	4015	3930	3887	3949	3928	4111	4295	4524	4750	4816	4677	4265	4088	4183	4519	4986	5792	6011	5756	5343	4974
09/10/2012	4505	4216	4053	3982	3961	4052	4442	4934	5315	5574	5563	5603	5607	5645	5453	5145	5103	5337	5643	6368	6578	6104	5490	5001
10/10/2012	4598	4348	4214	4125	4107	4229	4573	5099	5354	5656	5751	5782	5816	5810	5543	5236	5173	5391	5773	6443	6610	6092	5457	4989
11/10/2012	4600	4388	4225	4133	4144	4231	4629	5137	5407	5703	5763	5800	5771	5730	5517	5217	5190	5363	5681	6412	6559	6136	5477	4994
12/10/2012	4622	4352	4186	4086	4051	4088	4520	5049	5318	5529	5476	5484	5502	5475	5177	4932	4930	5192	5646	6454	6595	6073	5411	4964
13/10/2012	4558	4241	4069	4018	4063	4168	4546	5026	5289	5491	5463	5478	5504	5492	5290	5059	4992	5249	5661	6378	6444	5930	5374	5025

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
14/10/2012	4742	4389	4189	4094	4068	4091	4234	4354	4756	5079	5201	5228	5311	5269	4945	4675	4743	4998	5445	6236	6217	5800	5338	4950
15/10/2012	4576	4279	4050	3920	3833	3842	3892	3921	4163	4389	4676	4928	5072	4949	4595	4318	4366	4669	5117	5753	5809	5547	5102	4687
16/10/2012	4272	3990	3786	3760	3766	3906	4287	4848	5100	5411	5636	5812	5834	5741	5427	5044	4930	5097	5450	6265	6394	5961	5341	4910
17/10/2012	4508	4266	4121	4000	3993	4083	4376	4904	5147	5426	5511	5613	5708	5610	5347	5121	5112	5352	5753	6408	6438	5919	5340	4967
18/10/2012	4574	4241	4050	3979	3958	4059	4426	5047	5291	5504	5495	5558	5617	5607	5407	5106	5031	5224	5601	6338	6417	5952	5355	4892
19/10/2012	4529	4290	4126	3979	3872	3917	4197	4653	4817	4978	5013	5037	5068	5056	4822	4605	4559	4877	5320	6087	6134	5611	5032	4637
20/10/2012	4280	4004	3846	3760	3758	3869	4237	4792	5003	5124	5138	5131	5138	5123	4931	4697	4698	5030	5545	6345	6331	5758	5218	4810
21/10/2012	4565	4269	4101	4015	3961	3969	4091	4254	4525	4713	4801	4838	4887	4911	4593	4356	4379	4743	5235	6006	6004	5605	5150	4779
22/10/2012	4450	4133	3939	3811	3737	3742	3828	3874	4031	4264	4471	4623	4657	4548	4163	3906	4013	4317	4809	5644	5697	5452	5006	4667
23/10/2012	4186	3870	3713	3651	3654	3750	4157	4782	5038	5230	5222	5226	5264	5355	5158	4908	4868	5034	5495	6241	6281	5838	5228	4768
24/10/2012	4363	4128	3954	3864	3823	3919	4308	4956	5172	5448	5487	5539	5579	5544	5266	4992	4989	5224	5697	6406	6451	5933	5307	4820
25/10/2012	4340	4053	3914	3795	3780	3875	4284	4943	5217	5478	5459	5452	5451	5389	5153	4910	4864	5125	5642	6406	6434	6018	5390	4907
26/10/2012	4424	4113	3942	3851	3887	4004	4438	5058	5240	5332	5223	5176	5180	5170	4933	4705	4734	5062	5652	6417	6458	6023	5431	4974
27/10/2012	4498	4185	4026	3931	3922	3990	4347	4888	5031	5028	4956	4984	5010	4990	4715	4559	4640	4956	5564	6269	6217	5715	5184	4848
28/10/2012	4566	4240	4072	3966	3918	3923	4046	4252	4592	4977	5206	5431	5589	5589	5209	4886	4886	5125	5662	6273	6127	5758	5239	4854
29/10/2012	4485	4164	3905	3792	3700	3656	3678	3715	3954	4427	4758	4919	4938	5022	4911	4535	4350	4480	4980	5639	5664	5542	5301	4868

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
30/10/2012	4120	3779	3679	3650	3652	3788	4189	4779	5184	5412	5544	5561	5488	5372	5214	5025	5082	5604	6337	6293	6162	5757	5191	4704
31/10/2012	4302	4040	3909	3825	3840	3990	4337	4766	4863	4936	4846	4910	4971	4993	4846	4773	4974	5655	6362	6364	6306	5783	5208	4753
01/11/2012	4325	4096	3966	3900	3901	4010	4333	4814	4968	5052	4970	4958	5001	5054	4972	4937	5128	5692	6296	6324	6241	5821	5198	4719
02/11/2012	4319	4075	3945	3864	3862	3973	4309	4873	5226	5604	5779	5969	6063	6067	5843	5704	5686	5971	6555	6527	6462	5953	5335	4797
03/11/2012	4388	4146	4004	3948	3923	4030	4389	4920	5087	5174	5129	5159	5107	5099	4967	4946	5142	5781	6456	6411	6283	5788	5221	4713
04/11/2012	4480	4209	4053	3984	3939	3965	4085	4215	4432	4614	4723	4764	4839	4916	4733	4724	4976	5587	6273	6231	5975	5634	5175	4739
05/11/2012	4366	4012	3899	3746	3676	3737	3781	3865	4077	4209	4402	4604	4735	4619	4230	4222	4481	5064	5769	5776	5658	5452	5012	4558
06/11/2012	4144	3859	3733	3647	3605	3763	4095	4537	4853	5048	5057	5068	5166	5308	5202	5102	5264	5801	6322	6291	6159	5718	5142	4608
07/11/2012	4216	3960	3803	3726	3686	3761	4034	4472	4642	4865	4868	4884	4972	5102	4935	4851	4984	5575	6207	6182	6058	5526	4950	4482
08/11/2012	4103	3831	3682	3610	3617	3694	4019	4487	4824	5157	5220	5283	5404	5474	5294	5243	5321	5760	6237	6234	6139	5728	5119	4580
09/11/2012	4174	3890	3750	3688	3639	3715	4105	4664	4795	4941	5000	5054	5089	5121	4888	4863	5123	5809	6451	6516	6425	5996	5425	4894
10/11/2012	4476	4176	4026	3914	3899	4022	4430	4939	4933	4951	4887	4861	4908	5003	4949	5021	5289	6026	6652	6625	6510	6056	5488	4944
11/11/2012	4584	4259	4094	4017	3920	3936	4028	4253	4546	4738	4823	4922	4997	5056	4924	4965	5288	5993	6618	6616	6427	5981	5428	4990
12/11/2012	4595	4239	4084	3932	3832	3843	3925	4003	4110	4269	4483	4648	4781	4674	4386	4440	4782	5484	6143	6166	6099	5883	5442	4974
13/11/2012	4460	4068	3956	3854	3836	3968	4416	5053	5194	5284	5273	5240	5291	5469	5447	5588	5831	6386	6864	6927	6852	6417	5757	5146
14/11/2012	4595	4219	4172	4062	4023	4154	4584	5274	5396	5422	5268	5204	5199	5248	5129	5241	5523	6367	6962	6961	6909	6409	5808	5239

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
15/11/2012	4685	4335	4232	4111	4044	4205	4649	5331	5415	5551	5538	5600	5689	5759	5682	5796	6036	6572	7027	7029	6937	6518	5887	5332
16/11/2012	4771	4398	4244	4147	4101	4199	4596	5286	5507	5696	5688	5745	5822	5931	5823	5968	6167	6681	7102	7107	7026	6542	5937	5408
17/11/2012	4838	4451	4320	4196	4152	4228	4628	5242	5573	5818	5898	5950	6059	6073	5875	6032	6155	6635	7024	7010	6911	6437	5824	5314
18/11/2012	4919	4502	4370	4180	4086	4093	4260	4503	4926	5363	5582	5705	5867	5928	5724	5771	5966	6447	6860	6834	6575	6192	5659	5253
19/11/2012	4741	4312	4192	4003	3888	3879	3967	4050	4292	4598	4913	5207	5364	5262	4990	5083	5315	5826	6278	6308	6253	6034	5587	5138
20/11/2012	4611	4169	4041	3890	3842	3973	4479	5134	5479	5777	5806	5917	6011	6109	6061	6205	6318	6674	6962	6987	6928	6488	5818	5256
21/11/2012	4727	4407	4302	4166	4116	4225	4669	5359	5683	6066	6194	6297	6330	6316	6107	6181	6262	6710	7013	7065	6979	6505	5863	5321
22/11/2012	4780	4448	4352	4205	4035	4166	4620	5324	5650	5936	6079	6169	6207	6214	5947	6001	6094	6556	6950	6946	6858	6426	5773	5263
23/11/2012	4743	4350	4220	3985	3952	4055	4523	5199	5364	5512	5462	5450	5434	5438	5318	5512	5754	6411	6853	6869	6815	6360	5712	5179
24/11/2012	4621	4256	4155	4009	3947	4053	4537	5203	5385	5532	5485	5505	5587	5631	5608	5870	6119	6674	7071	7054	6923	6422	5801	5363
25/11/2012	4947	4521	4400	4232	4113	4125	4322	4552	4965	5353	5452	5469	5501	5460	5298	5489	5822	6468	6918	6918	6685	6259	5720	5317
26/11/2012	4803	4373	4234	4059	3925	3934	4035	4042	4280	4479	4724	4994	5078	5001	4653	4777	5143	5849	6358	6341	6279	6049	5628	5233
27/11/2012	4681	4223	4095	3908	3844	3965	4485	5198	5390	5503	5374	5282	5304	5396	5384	5640	5915	6554	7052	7071	7027	6570	5953	5399
28/11/2012	4838	4480	4365	4218	4158	4280	4798	5496	5697	5864	5809	5793	5803	5828	5680	5914	6187	6820	7279	7278	7181	6719	6049	5466
29/11/2012	4863	4468	4356	4196	4151	4256	4759	5425	5687	5973	6010	6070	6150	6146	5995	6111	6247	6689	7058	7051	7014	6568	5890	5361
30/11/2012	4761	4324	4238	4080	4030	4130	4622	5274	5525	5861	5972	6103	6208	6249	5998	6050	6214	6617	6959	7005	6893	6380	5728	5210

Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
01/12/2012	4683	4314	4211	4061	3997	4096	4582	5257	5371	5450	5325	5260	5270	5280	5145	5382	5701	6420	6796	6783	6701	6208	5655	5168
02/12/2012	4777	4400	4292	4094	4020	4051	4264	4554	5016	5385	5458	5406	5331	5277	5079	5192	5475	6166	6645	6627	6416	6011	5535	5183
03/12/2012	4668	4253	4109	3964	3831	3861	3994	4096	4305	4694	5073	5519	5860	5741	5332	5349	5547	5968	6298	6318	6252	5978	5452	5090
04/12/2012	4560	4066	3893	3788	3733	3871	4382	5128	5310	5414	5276	5299	5457	5608	5606	5874	6118	6582	6910	6980	6967	6604	5968	5421
05/12/2012	4820	4420	4397	4206	4132	4291	4789	5559	5613	5637	5517	5485	5529	5584	5459	5764	6184	6975	7506	7575	7465	6947	6293	5769
06/12/2012	5160	4656	4590	4417	4331	4448	4944	5740	6002	6459	6499	6663	6822	6858	6702	6831	6973	7311	7624	7631	7581	7133	6464	5841
07/12/2012	5154	4756	4679	4520	4371	4450	4990	5857	6080	6181	6092	6064	6071	6046	5904	6205	6587	7262	7638	7619	7515	7023	6382	5888
08/12/2012	5245	4760	4674	4526	4425	4530	5036	5830	6041	6104	5937	5861	5859	5923	5901	6284	6624	7334	7819	7845	7709	7208	6585	6058
09/12/2012	5469	4945	4858	4667	4535	4482	4727	5053	5584	6177	6456	6606	6692	6783	6713	7027	7215	7464	7712	7689	7399	6956	6343	5906
10/12/2012	5310	4750	4646	4469	4263	4276	4388	4518	4836	5317	5800	6290	6598	6502	6006	6150	6282	6612	6993	7005	6919	6703	6256	5806
11/12/2012	5210	4627	4538	4335	4236	4351	4913	5872	6205	6400	6260	6162	6123	6147	6060	6468	6848	7489	7971	7998	7906	7426	6724	6127
12/12/2012	5424	4905	4849	4663	4564	4640	5162	6049	6468	6972	7195	7240	7272	7235	7001	7221	7345	7773	8188	8165	8018	7485	6804	6188
13/12/2012	5435	4976	4926	4751	4642	4740	5296	6166	6332	6525	6416	6241	6146	6247	6283	6700	7125	7706	8129	8106	8039	7497	6782	6178
14/12/2012	5515	5041	4995	4818	4712	4832	5391	6227	6412	6551	6394	6300	6260	6275	6206	6714	7196	7958	8468	8470	8356	7778	7085	6483
15/12/2012	5728	5174	5124	4955	4845	4938	5460	6340	6629	6891	6841	6696	6542	6556	6483	6973	7363	7983	8441	8410	8287	7661	6993	6436
16/12/2012	5820	5259	5203	4977	4853	4834	5060	5418	5835	6339	6427	6444	6502	6648	6553	6960	7284	7665	8006	7926	7621	7168	6601	6175



Ημερομηνία	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23
17/12/2012	5514	4984	4860	4590	4427	4381	4516	4662	4867	5256	5644	5897	6130	6147	5899	6177	6358	6746	7124	7151	7093	6863	6298	5888
18/12/2012	5236	4677	4631	4433	4306	4372	4897	5803	6188	6458	6296	6218	6287	6312	6272	6615	6853	7371	7745	7727	7658	7177	6529	5974
19/12/2012	5256	4756	4698	4517	4410	4443	4964	5862	6356	6815	6924	7009	7037	6943	6604	6862	7121	7556	7919	7930	7853	7294	6612	6027
20/12/2012	5310	4782	4732	4558	4430	4497	5008	5887	6270	6559	6626	6649	6678	6752	6655	6985	7230	7668	8033	8012	7949	7441	6758	6157
21/12/2012	5409	4862	4815	4586	4459	4525	5055	5988	6380	6626	6567	6441	6426	6494	6445	6928	7310	7774	8200	8199	8129	7594	6947	6370
22/12/2012	5551	4967	4929	4713	4581	4659	5213	6106	6440	6601	6499	6437	6502	6699	6687	7187	7456	7910	8239	8195	8026	7476	6843	6309
23/12/2012	5632	5096	5014	4777	4614	4608	4840	5232	5832	6545	6875	7025	7188	7176	7008	7343	7537	7764	8038	8023	7791	7396	6755	6269
24/12/2012	5668	5068	4974	4753	4561	4532	4720	5001	5451	5887	6180	6201	6193	6083	5852	6281	6678	7151	7645	7647	7501	7250	6688	6289
25/12/2012	5626	5040	4961	4713	4537	4571	4935	5528	6049	6353	6152	5911	5832	5793	5774	6269	6759	7443	8114	8128	7883	7258	6538	6061
26/12/2012	5480	4980	4913	4679	4500	4481	4648	4740	5016	5507	5740	5755	5411	4799	4160	4515	5007	5597	6233	6357	6316	6149	5801	5538
27/12/2012	5074	4663	4623	4421	4259	4164	4237	4306	4409	4624	4834	4937	4950	4964	4818	5131	5496	6002	6623	6655	6631	6378	5939	5634
28/12/2012	5059	4608	4558	4344	4183	4229	4610	5137	5602	5929	5898	5822	5817	5829	5698	6050	6358	6950	7504	7452	7279	6778	6250	5809
29/12/2012	5157	4673	4597	4392	4276	4313	4619	5103	5567	5937	5861	5706	5624	5569	5483	5867	6173	6766	7349	7339	7245	6704	6168	5782
30/12/2012	5231	4746	4648	4390	4252	4257	4429	4698	5144	5747	6136	6389	6680	6758	6488	6683	6788	6995	7322	7272	7030	6633	6115	5733
31/12/2012	5198	4697	4653	4426	4236	4208	4364	4587	4950	5486	6092	6496	6667	6493	6107	6299	6470	6696	7126	7128	6990	6718	6223	5849

Πίνακας 2 Κωδικοποίηση ημερών και δεδομένα καιρού

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
01/01/2012	7	2	1	1	9	14	8	-1
02/01/2012	1	1	1	1	9	13	5	1
03/01/2012	2	1	1	1	11	21	8	4
04/01/2012	3	1	1	1	11	15	7	1
05/01/2012	4	1	5	1	12	15	8	7
06/01/2012	5	3	6	5	9	10	7	4
07/01/2012	6	2	5	6	9	15	7	-1
08/01/2012	7	2	1	3	7	11	6	2
09/01/2012	1	1	2	1	13	14	4	2
10/01/2012	2	1	4	1	8	11	6	0
11/01/2012	3	1	3	5	8	9	6	-1
12/01/2012	4	1	1	3	8	10	5	2
13/01/2012	5	1	3	1	9	14	5	1
14/01/2012	6	2	1	1	12	15	6	3

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
15/01/2012	7	2	1	3	0	12	6	5
16/01/2012	1	1	1	1	4	13	4	-4
17/01/2012	2	1	7	1	4	8	-1	-2
18/01/2012	3	1	1	7	5	8	0	-3
19/01/2012	4	1	1	1	6	12	1	-2
20/01/2012	5	1	3	1	9	15	8	4
21/01/2012	6	2	1	3	0	14	9	-6
22/01/2012	7	2	3	1	10	15	4	1
23/01/2012	1	1	5	1	12	16	8	3
24/01/2012	2	1	5	5	10	14	9	6
25/01/2012	3	1	5	4	8	16	8	0
26/01/2012	4	1	1	5	5	10	4	-2
27/01/2012	5	1	5	3	6	12	4	-2
28/01/2012	6	2	7	6	5	7	4	2
29/01/2012	7	2	6	6	6	8	4	0

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
30/01/2012	1	1	8	3	4	5	1	-3
31/01/2012	2	1	6	1	2	5	0	-3
01/02/2012	3	1	6	3	4	5	0	0
02/02/2012	4	1	3	4	4	10	3	1
03/02/2012	5	1	3	3	6	13	5	2
04/02/2012	6	2	3	5	12	17	9	6
05/02/2012	7	2	5	6	9	16	8	4
06/02/2012	1	1	5	3	8	15	10	4
07/02/2012	2	1	8	8	9	14	9	1
08/02/2012	3	1	5	8	2	10	5	-4
09/02/2012	4	1	5	5	1	5	0	-3
10/02/2012	5	1	5	3	2	9	4	0
11/02/2012	6	2	5	4	4	10	5	2
12/02/2012	7	2	1	3	8	12	4	2
13/02/2012	1	1	6	6	9	15	4	2

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
14/02/2012	2	1	5	5	6	14	6	-1
15/02/2012	3	1	5	1	9	13	6	3
16/02/2012	4	1	3	6	9	10	4	2
17/02/2012	5	1	1	1	6	10	4	0
18/02/2012	6	2	1	1	10	13	2	-1
19/02/2012	7	2	4	1	13	17	4	4
20/02/2012	1	1	3	6	10	13	6	4
21/02/2012	2	1	5	5	12	15	9	5
22/02/2012	3	1	1	4	9	10	7	6
23/02/2012	4	1	1	1	13	16	6	3
24/02/2012	5	1	1	1	16	18	8	6
25/02/2012	6	2	3	1	20	18	6	9
26/02/2012	7	2	4	5	14	18	9	5
27/02/2012	1	3	6	5	8	10	4	0
28/02/2012	2	1	5	3	7	7	2	-3

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
29/02/2012	3	1	3	5	12	12	-1	1
01/03/2012	4	1	1	1	9	10	4	2
02/03/2012	5	1	1	3	14	16	2	6
03/03/2012	6	2	1	1	19	20	6	3
04/03/2012	7	2	5	1	13	16	8	4
05/03/2012	1	1	1	6	11	17	10	5
06/03/2012	2	1	6	3	15	17	9	7
07/03/2012	3	1	3	5	10	16	8	5
08/03/2012	4	1	1	4	9	18	10	7
09/03/2012	5	1	6	3	16	20	10	6
10/03/2012	6	2	5	6	10	14	7	4
11/03/2012	7	2	5	5	9	10	5	5
12/03/2012	1	1	5	6	8	9	5	4
13/03/2012	2	1	1	3	8	9	2	1
14/03/2012	3	1	1	1	15	14	5	6

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
15/03/2012	4	1	3	1	16	16	8	3
16/03/2012	5	1	1	1	14	15	9	7
17/03/2012	6	2	1	3	16	20	10	7
18/03/2012	7	2	1	1	18	19	9	7
19/03/2012	1	1	1	1	19	20	8	6
20/03/2012	2	1	1	1	23	22	9	9
21/03/2012	3	1	1	1	24	25	10	8
22/03/2012	4	1	1	1	24	25	10	9
23/03/2012	5	1	1	1	20	22	12	7
24/03/2012	6	2	1	1	24	24	11	9
25/03/2012	7	2	1	1	22	23	12	11
26/03/2012	1	1	1	1	22	24	12	7
27/03/2012	2	1	3	1	17	20	13	8
28/03/2012	3	1	1	1	19	20	10	8
29/03/2012	4	1	1	1	19	22	9	9

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
30/03/2012	5	1	1	6	21	22	11	9
31/03/2012	6	2	1	1	20	21	13	11
01/04/2012	7	2	1	1	21	22	12	5
02/04/2012	1	1	3	1	19	21	12	10
03/04/2012	2	1	3	5	18	20	12	9
04/04/2012	3	1	5	4	16	22	12	10
05/04/2012	4	1	3	5	18	20	12	12
06/04/2012	5	1	1	3	21	22	14	11
07/04/2012	6	2	1	3	23	24	13	10
08/04/2012	7	2	4	3	22	23	10	8
09/04/2012	1	1	5	4	13	18	14	7
10/04/2012	2	1	1	6	10	12	6	5
11/04/2012	3	1	1	3	16	16	10	8
12/04/2012	4	1	5	3	19	20	16	10
13/04/2012	5	3	2	3	18	20	14	12



Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
14/04/2012	6	2	3	2	21	23	14	11
15/04/2012	7	2	1	3	23	23	12	9
16/04/2012	1	3	1	3	22	23	13	11
17/04/2012	2	1	5	5	20	21	14	13
18/04/2012	3	1	1	4	14	12	10	9
19/04/2012	4	1	1	1	21	22	13	12
20/04/2012	5	1	3	3	20	22	13	11
21/04/2012	6	2	1	3	22	21	12	9
22/04/2012	7	2	1	1	23	24	12	10
23/04/2012	1	1	1	1	23	25	12	10
24/04/2012	2	1	1	3	25	24	16	13
25/04/2012	3	1	1	1	23	24	14	11
26/04/2012	4	1	1	1	23	25	14	12
27/04/2012	5	1	1	1	25	28	16	12
28/04/2012	6	2	1	1	24	26	16	14

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
29/04/2012	7	2	1	1	25	25	16	12
30/04/2012	1	1	1	1	28	31	18	14
01/05/2012	2	3	1	1	27	28	17	14
02/05/2012	3	1	1	1	29	30	19	18
03/05/2012	4	1	1	1	29	32	18	14
04/05/2012	5	1	1	1	28	29	17	16
05/05/2012	6	2	1	1	27	28	18	16
06/05/2012	7	2	1	1	29	30	17	14
07/05/2012	1	1	3	1	30	31	18	16
08/05/2012	2	1	1	5	29	32	20	15
09/05/2012	3	1	3	2	26	27	20	15
10/05/2012	4	1	3	3	26	27	18	15
11/05/2012	5	1	3	5	29	26	16	17
12/05/2012	6	2	3	2	30	32	18	16
13/05/2012	7	2	3	1	29	30	17	15

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
14/05/2012	1	1	1	4	23	30	19	17
15/05/2012	2	1	1	5	24	26	17	14
16/05/2012	3	1	5	1	23	24	14	13
17/05/2012	4	1	4	4	21	24	17	12
18/05/2012	5	1	3	5	15	18	12	10
19/05/2012	6	2	1	3	21	22	12	11
20/05/2012	7	2	6	3	25	25	15	13
21/05/2012	1	1	1	6	24	26	18	16
22/05/2012	2	1	3	1	25	26	16	14
23/05/2012	3	1	5	2	24	27	16	14
24/05/2012	4	1	3	5	23	25	17	15
25/05/2012	5	1	3	4	20	28	18	15
26/05/2012	6	2	3	4	20	28	18	15
27/05/2012	7	2	1	3	24	26	18	16
28/05/2012	1	1	3	1	26	28	18	16

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
29/05/2012	2	1	5	3	24	27	18	14
30/05/2012	3	1	1	3	25	27	18	16
31/05/2012	4	1	1	1	24	25	14	12
01/06/2012	5	1	1	1	28	28	16	15
02/06/2012	6	2	1	1	27	29	18	15
03/06/2012	7	2	1	1	26	28	18	17
04/06/2012	1	3	1	1	29	31	18	17
05/06/2012	2	1	1	3	28	31	20	18
06/06/2012	3	1	1	1	28	30	20	18
07/06/2012	4	1	1	1	28	30	18	16
08/06/2012	5	1	1	1	30	32	20	18
09/06/2012	6	2	1	1	32	31	20	19
10/06/2012	7	2	1	1	34	36	22	20
11/06/2012	1	1	1	1	33	34	22	20
12/06/2012	2	1	1	1	33	35	22	20

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
13/06/2012	3	1	1	1	39	38	22	20
14/06/2012	4	1	1	1	36	38	24	22
15/06/2012	5	1	1	3	32	36	24	19
16/06/2012	6	2	1	1	32	36	24	19
17/06/2012	7	2	1	1	34	36	26	23
18/06/2012	1	1	1	1	32	36	26	19
19/06/2012	2	1	1	1	32	36	26	19
20/06/2012	3	1	1	1	32	34	28	26
21/06/2012	4	1	1	1	35	36	26	20
22/06/2012	5	1	1	1	35	37	25	23
23/06/2012	6	2	1	1	36	37	26	25
24/06/2012	7	2	1	2	35	39	27	22
25/06/2012	1	1	1	1	36	38	27	25
26/06/2012	2	1	1	1	36	37	26	22
27/06/2012	3	1	1	3	32	36	27	16

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
28/06/2012	4	1	1	1	34	35	26	24
29/06/2012	5	1	1	1	33	35	26	20
30/06/2012	6	2	1	1	32	32	20	20
01/07/2012	7	2	1	1	30	32	24	21
02/07/2012	1	1	1	1	30	32	26	22
03/07/2012	2	1	1	1	31	35	25	18
04/07/2012	3	1	1	1	34	36	24	22
05/07/2012	4	1	1	1	35	36	26	24
06/07/2012	5	1	1	1	35	28	26	21
07/07/2012	6	2	1	1	37	38	27	25
08/07/2012	7	2	1	1	38	40	26	24
09/07/2012	1	1	1	1	36	41	29	22
10/07/2012	2	1	1	1	37	41	28	23
11/07/2012	3	1	1	1	40	41	26	25
12/07/2012	4	1	1	1	38	41	29	23

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
13/07/2012	5	1	1	1	37	41	28	24
14/07/2012	6	2	1	1	40	41	31	29
15/07/2012	7	2	1	1	38	43	30	23
16/07/2012	1	1	1	1	39	41	30	27
17/07/2012	2	1	1	3	32	36	28	22
18/07/2012	3	1	1	1	33	36	28	20
19/07/2012	4	1	1	1	34	35	27	25
20/07/2012	5	1	1	1	36	38	27	26
21/07/2012	6	2	1	1	36	41	29	21
22/07/2012	7	2	1	1	36	37	27	25
23/07/2012	1	1	1	1	37	40	28	23
24/07/2012	2	1	1	1	36	38	27	25
25/07/2012	3	1	1	1	34	36	26	24
26/07/2012	4	1	1	1	38	39	26	24
27/07/2012	5	1	1	1	36	38	26	23

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
28/07/2012	6	2	1	1	36	36	27	25
29/07/2012	7	2	1	1	38	40	28	24
30/07/2012	1	1	1	1	38	40	28	24
31/07/2012	2	1	1	1	37	38	30	28
01/08/2012	3	1	1	3	35	36	28	22
02/08/2012	4	1	1	1	33	35	27	25
03/08/2012	5	1	1	1	36	37	26	24
04/08/2012	6	2	1	1	34	40	26	23
05/08/2012	7	2	1	1	38	40	26	24
06/08/2012	1	1	1	1	40	43	28	28
07/08/2012	2	1	1	1	38	43	28	27
08/08/2012	3	1	1	1	39	43	28	27
09/08/2012	4	1	1	1	40	40	32	36
10/08/2012	5	1	1	2	32	39	34	22
11/08/2012	6	2	1	6	34	36	27	23



Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
12/08/2012	7	2	1	1	30	33	26	20
13/08/2012	1	1	1	1	29	33	26	18
14/08/2012	2	1	1	1	30	33	24	19
15/08/2012	3	3	1	1	32	35	24	20
16/08/2012	4	1	1	1	34	38	24	21
17/08/2012	5	1	1	3	31	35	28	23
18/08/2012	6	2	1	1	33	35	28	22
19/08/2012	7	2	1	1	31	36	28	20
20/08/2012	1	1	1	1	31	32	22	20
21/08/2012	2	1	1	1	33	36	26	24
22/08/2012	3	1	1	1	37	40	26	23
23/08/2012	4	1	1	1	38	39	26	23
24/08/2012	5	1	1	1	37	40	27	25
25/08/2012	6	2	1	1	37	40	30	22
26/08/2012	7	2	1	1	39	42	30	26

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
27/08/2012	1	1	1	1	37	39	26	24
28/08/2012	2	1	1	1	30	32	26	23
29/08/2012	3	1	1	1	31	32	22	19
30/08/2012	4	1	1	1	29	34	23	18
31/08/2012	5	1	1	1	32	34	21	19
01/09/2012	6	2	1	1	32	32	22	22
02/09/2012	7	2	1	1	32	33	24	22
03/09/2012	1	1	1	1	31	33	24	21
04/09/2012	2	1	1	1	30	33	21	19
05/09/2012	3	1	1	1	30	30	23	21
06/09/2012	4	1	1	1	32	34	24	22
07/09/2012	5	1	1	1	31	33	22	20
08/09/2012	6	2	1	1	32	34	24	19
09/09/2012	7	2	1	1	32	34	24	22
10/09/2012	1	1	1	1	30	31	24	22

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
11/09/2012	2	1	1	3	26	31	23	19
12/09/2012	3	1	1	1	28	30	22	20
13/09/2012	4	1	3	1	29	31	21	19
14/09/2012	5	1	3	5	28	31	24	22
15/09/2012	6	2	3	5	25	29	20	19
16/09/2012	7	2	3	6	26	28	20	18
17/09/2012	1	1	1	5	24	30	20	19
18/09/2012	2	1	3	1	27	28	20	17
19/09/2012	3	1	1	1	27	29	21	17
20/09/2012	4	1	1	3	26	30	21	20
21/09/2012	5	1	1	1	23	26	18	15
22/09/2012	6	2	1	1	28	29	19	17
23/09/2012	7	2	1	1	27	31	21	16
24/09/2012	1	1	1	1	29	31	19	17
25/09/2012	2	1	1	1	32	31	21	18

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
26/09/2012	3	1	1	6	31	34	22	22
27/09/2012	4	1	1	1	33	36	22	21
28/09/2012	5	1	1	1	31	34	24	20
29/09/2012	6	2	1	1	32	36	24	22
30/09/2012	7	2	1	1	31	34	26	17
01/10/2012	1	1	1	1	31	32	24	22
02/10/2012	2	1	3	1	28	31	22	18
03/10/2012	3	1	1	3	27	29	23	17
04/10/2012	4	1	1	1	31	33	20	17
05/10/2012	5	1	1	1	30	32	21	19
06/10/2012	6	2	1	1	26	27	20	18
07/10/2012	7	2	1	1	29	31	21	19
08/10/2012	1	1	6	1	26	28	20	18
09/10/2012	2	1	3	3	22	23	19	12
10/10/2012	3	1	1	1	26	28	18	16

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
11/10/2012	4	1	1	1	26	28	19	17
12/10/2012	5	1	1	3	24	28	19	17
13/10/2012	6	2	3	1	26	28	18	16
14/10/2012	7	2	1	1	28	29	18	16
15/10/2012	1	1	1	6	27	29	22	19
16/10/2012	2	1	1	1	28	30	22	20
17/10/2012	3	1	1	1	30	31	22	20
18/10/2012	4	1	1	1	25	30	22	18
19/10/2012	5	1	3	1	28	30	18	16
20/10/2012	6	2	5	3	26	28	18	15
21/10/2012	7	2	5	5	22	24	16	15
22/10/2012	1	1	5	3	22	20	15	14
23/10/2012	2	1	1	3	20	22	16	11
24/10/2012	3	1	1	1	22	24	15	14
25/10/2012	4	1	1	1	23	25	14	12

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
26/10/2012	5	1	6	4	19	21	15	12
27/10/2012	6	2	2	4	24	25	14	20
28/10/2012	7	2	1	3	24	26	16	14
29/10/2012	1	1	1	6	19	24	16	14
30/10/2012	2	1	6	6	18	25	17	13
31/10/2012	3	1	1	6	21	25	16	14
01/11/2012	4	1	3	3	21	28	18	16
02/11/2012	5	1	1	6	22	28	18	16
03/11/2012	6	2	3	1	23	25	17	14
04/11/2012	7	2	1	3	21	24	15	14
05/11/2012	1	1	5	1	28	30	15	14
06/11/2012	2	1	6	5	23	26	18	16
07/11/2012	3	1	1	3	15	17	15	5
08/11/2012	4	1	3	1	20	22	11	9
09/11/2012	5	1	3	1	17	19	10	8

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
10/11/2012	6	2	1	3	17	22	10	9
11/11/2012	7	2	1	1	18	20	12	10
12/11/2012	1	1	1	1	20	22	11	10
13/11/2012	2	1	1	2	20	21	10	10
14/11/2012	3	1	3	3	17	19	10	8
15/11/2012	4	1	3	3	16	19	14	9
16/11/2012	5	1	1	3	15	19	13	7
17/11/2012	6	2	3	1	18	20	10	9
18/11/2012	7	2	2	3	18	20	13	13
19/11/2012	1	1	4	2	15	20	13	11
20/11/2012	2	1	1	5	19	20	11	10
21/11/2012	3	1	3	1	16	18	8	7
22/11/2012	4	1	3	3	14	16	8	10
23/11/2012	5	1	1	1	17	18	8	7
24/11/2012	6	2	1	1	17	18	10	9

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
25/11/2012	7	2	1	3	15	18	8	9
26/11/2012	1	1	5	1	16	18	8	6
27/11/2012	2	1	5	3	18	20	8	6
28/11/2012	3	1	3	5	19	22	12	15
29/11/2012	4	1	5	3	17	19	12	10
30/11/2012	5	1	5	6	22	23	11	9
01/12/2012	6	2	1	4	16	20	10	11
02/12/2012	7	2	3	3	13	18	7	8
03/12/2012	1	1	5	3	10	16	7	3
04/12/2012	2	1	3	4	9	11	6	2
05/12/2012	3	1	1	1	15	17	7	5
06/12/2012	4	1	6	1	14	18	7	4
07/12/2012	5	1	5	3	8	15	6	1
08/12/2012	6	2	1	5	11	13	5	3
09/12/2012	7	2	3	5	8	14	6	0



Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
10/12/2012	1	1	1	3	14	17	5	3
11/12/2012	2	1	1	1	13	16	6	4
12/12/2012	3	1	3	1	6	13	3	-2
13/12/2012	4	1	3	1	13	15	4	2
14/12/2012	5	1	3	1	11	13	4	2
15/12/2012	6	2	1	3	14	18	5	6
16/12/2012	7	2	5	1	16	20	10	8
17/12/2012	1	1	3	5	11	13	7	5
18/12/2012	2	1	3	3	8	14	9	2
19/12/2012	3	1	3	1	10	13	5	3
20/12/2012	4	1	6	3	12	14	5	3
21/12/2012	5	1	1	3	7	10	4	0
22/12/2012	6	2	1	1	10	12	2	0
23/12/2012	7	2	1	1	10	14	3	-1
24/12/2012	1	1	1	1	15	19	5	4

Ημερομηνία	Ημέρα της εβδομάδας	Είδος Ημέρας	Καιρός Αθήνας	Καιρός Θεσσαλονίκης	Tmax Θεσσαλονίκη	Tmax Αθήνα	Tmin Αθήνα	Tmin Θεσσαλονίκη
25/12/2012	2	3	1	1	16	19	9	6
26/12/2012	3	3	1	1	15	19	6	5
27/12/2012	4	1	4	3	14	19	7	7
28/12/2012	5	1	4	4	11	13	9	6
29/12/2012	6	2	6	3	8	10	4	5
30/12/2012	7	2	6	3	10	11	6	2
31/12/2012	1	1	3	3	10	13	9	2

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα σύνθετο script αρχείο που παράχθηκε από την Matlab και παρουσιάζει συνοπτικά το ΤΝΔ με 80 κρυφούς νευρώνες στο κρυφό επίπεδο.

```
% Solve an Input-Output Fitting problem with a Neural Network
% Script generated by NFTOOL
% Created Tue Oct 07 16:06:01 EEST 2014
%
% This script assumes these variables are defined:
%
% Dedomenaekpaideusis - input data.
% Pragmatikestimes - target data.

x = Dedomenaekpaideusis';
t = Pragmatikestimes';

% Create a Fitting Network
hiddenLayerSize = 80;
net = fitnet(hiddenLayerSize);

% Choose Input and Output Pre/Post-Processing Functions
% For a list of all processing functions type: help nnprocess
net.input.processFcns = {'removeconstantrows','mapminmax'};
net.output.processFcns = {'removeconstantrows','mapminmax'};

% Setup Division of Data for Training, Validation, Testing
% For a list of all data division functions type: help nndivide
net.divideFcn = 'dividerand'; % Divide data randomly
net.divideMode = 'sample'; % Divide up every sample
net.divideParam.trainRatio = 70/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
net.divideParam.testRatio = 15/100;

% For help on training function 'trainlm' type: help trainlm
% For a list of all training functions type: help nntrain
net.trainFcn = 'trainlm'; % Levenberg-Marquardt

% Choose a Performance Function
% For a list of all performance functions type: help nnperformance
net.performFcn = 'mse'; % Mean squared error

% Choose Plot Functions
% For a list of all plot functions type: help nnplot
net.plotFcns = {'plotperform','plottrainstate','ploterrhist', ...
    'plotregression','plotfit'};

% Train the Network
```

```
[net,tr] = train(net,x,t);

% Test the Network
y = net(x);
e = gsubtract(t,y);
performance = perform(net,t,y)

% Recalculate Training, Validation and Test Performance
trainTargets = t .* tr.trainMask{ 1 };
valTargets = t .* tr.valMask{ 1 };
testTargets = t .* tr.testMask{ 1 };
trainPerformance = perform(net,trainTargets,y)
valPerformance = perform(net,valTargets,y)
testPerformance = perform(net,testTargets,y)

% View the Network
view(net)

% Plots
% Uncomment these lines to enable various plots.
%figure, plotperform(tr)
%figure, plottrainstate(tr)
%figure, plotfit(net,x,t)
%figure, plotregression(t,y)
%figure, ploterrhist(e)

% Deployment
% Change the (false) values to (true) to enable the following code blocks.
if (false)
    % Generate MATLAB function for neural network for application deployment
    % in MATLAB scripts or with MATLAB Compiler and Builder tools, or simply
    % to examine the calculations your trained neural network performs.
    genFunction(net,'myNeuralNetworkFunction');
    y = myNeuralNetworkFunction(x);
end
if (false)
    % Generate a matrix-only MATLAB function for neural network code
    % generation with MATLAB Coder tools.
    genFunction(net,'myNeuralNetworkFunction','MatrixOnly','yes');
    y = myNeuralNetworkFunction(x);
end
if (false)
    % Generate a Simulink diagram for simulation or deployment with.
    % Simulink Coder tools.
    gensim(net);
end
```

# Βιβλιογραφία

---

- [1] Κανέλλος, Φ. (2014, Ιανουάριος). Διδακτορική Διατριβή : Συμβολή στην Προσομοίωση και Αναγνώριση Ανεμογεννητριών με Ασύγχρονη γεννήτρια για τη δημιουργία μειωμένης τάξης Ισοδύναμων μοντέλων σελ 180-194.
- [2] Κανέλλος, Φ. (2012). *Παρουσιάσεις Μαθήματος Ηλεκτρική Οικονομία*. Χανιά: Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.
- [3] Γαβριήλ Γιαννακόπουλος, Νικόλαος Α. Βόβος (2008). *Βιβλίο: Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας* . Πάτρα: Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών
- [4] Χαραλάμπου Ν. Ηλία, (2012). Διδακτορική διατριβή: Συμβολή στην Βραχυπρόθεσμη και μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου και ενέργειας με χρήση ασαφούς λογικής. Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [5] Γεώργιος Ι. Τσεκούρας (2006) . Διδακτορική διατριβή: Συμβολή στην βραχυπρόθεσμη και μεσοπρόθεσμη πρόβλεψης ζήτησης φορτίου και ενέργειας συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση μεθόδων αναγνώρισης προτύπων
- [6] Γεώργιος Κυραναστάσης, (2005) *Σημειώσεις Βιομηχανικών συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας*. Καβάλα : Τεχνολογικό και εκπαιδευτικό ίδρυμα Καβάλας
- [7] Ισμαηλίδης Αναστάσιος (2005). *Σταθμοί Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και περιβάλλον* Χανιά: Τεχνολογικό και εκπαιδευτικό ίδρυμα Κρήτης
- [8] ΑΔΜΗΕ. (2012). *Περιγραφή Συστήματος Μεταφοράς*. Ανάκτηση από [www.admie.gr: http://www.admie.gr/to-systima-metaforas/dedomena-stoicheia-systimatos/perigrafi-systimatos-metaforas/](http://www.admie.gr/to-systima-metaforas/dedomena-stoicheia-systimatos/perigrafi-systimatos-metaforas/)
- [9] Ιωάννης Κ. Μάντζαρης (2005). *Ανάλυση δυναμικής συμπεριφοράς σταθμού συνδυασμένου κύκλου*. Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [10] Ανδρέας Βιδιαδάκης, Αθανάσιος Μπινιάρης, Χαράλαμπος Κανελλόπουλος, Γεώργιος Χαντζαράκης (1999). Βιβλίο: *Ηλεκτρολογία Τεχνολογικής Κατεύθυνσης*

- [11] ΡΑΕ (2001). Εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής Εθνικού διασυνδεδεμένου συστήματος. Αθήνα : <http://www.rae.gr/>, ανάκτηση από ΡΑΕ: <http://www.rae.gr/old/SUB3/3B/3b3.htm>
- [12] Τσακούμη Αθανάσιος (2003). Διδακτορική Διατριβή: *Εφαρμογή νευρωνικών δικτύων στην βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου. Θεσσαλονίκη* : Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- [13] Βαϊδάνης Μιχάλης (2005). *Σημειώσεις Πρόβλεψης μαθήματος Αρχές Διοίκησης και Οργάνωση Παραγωγής*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πανεπιστήμιο
- [14] Ιωάννης Κ. Χατζηλάου, Δημήτριος Κουπατσιάρης, Γεώργιος Ι. Τσεκούρας (2008). *Σημειώσεις εργαστηρίου Ηλεκτροτεχνίας, «Εισαγωγή στα νευρωνικά δίκτυα»* . Αθήνα: Σχολή Ναυτικών δοκίμων
- [15] Σταματάκης Παναγιώτης (2008). *Πρόβλεψη κατανάλωσης ηλεκτρικού φορτίου με νευρωνικά δίκτυα και γενετικούς αλγορίθμους*. Χανιά: Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
- [16] Αργυράκης Πάνος (2001). Βιβλίο: *Νευρωνικά δίκτυα και εφαρμογές*. Πάτρα: Σχολή θετικών επιστημών και τεχνολογίας
- [17] Δασκαλάκης-Παπατζανάκης Ι. Γεώργιος (2013). *Χρήση Νευρωνικών Δικτύων Πρόσθιας Τροφοδότησης με Χρονικές Καθυστερήσεις για την Ανίχνευση Επιληπτικών Κρίσεων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [18] Δημόπουλος Α. Σπυρίδων (2008). *Πρόβλεψη χρονοσειρών με τη χρήση Νευρωνικών Δικτύων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [19] Αναγνωστόπουλος Μ. Παναγιώτης (2008). *Βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη ζήτησης φορτίου με χρήση νευρωνικών δικτύων συναρτήσεων ακτινωτής βάσης* . Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [20] Αγιακλόγλου Χ.Ν. και Οικονόμου Γ.Σ. Αθήνα (2002). Βιβλίο: *Μέθοδοι προβλέψεων και Ανάλυσης αποφάσεων*

- [21] ΑΔΜΗΕ. (2012). *Λειτουργία και δεδομένα ηλεκτρικής ενέργειας*. Ανάκτηση από [www.admie.gr](http://www.admie.gr/leitoyrgia-dedomena/leitoyrgia-agoras-ilektrikis-energeias/anafores-dimosieyseys-agoras/): <http://www.admie.gr/leitoyrgia-dedomena/leitoyrgia-agoras-ilektrikis-energeias/anafores-dimosieyseys-agoras/>
- [22] ΑΔΜΗΕ. (2012). *Δεδομένα εισόδου- Μετεωρολογικά SCADA*. Ανάκτηση από [www.admie.gr](http://www.admie.gr/leitoyrgia-dedomena/leitoyrgia-agoras-ilektrikis-energeias/agora-diacheirisis-isozygiou-ischyos/dedomena-eisodoy/doccat/list/Document/650/?tx_dfiles2_pi1%5byear%5d=2012&cHash=40142256a12fd4cf578c70ee0e74a1cb): [http://www.admie.gr/leitoyrgia-dedomena/leitoyrgia-agoras-ilektrikis-energeias/agora-diacheirisis-isozygiou-ischyos/dedomena-eisodoy/doccat/list/Document/650/?tx\\_dfiles2\\_pi1%5byear%5d=2012&cHash=40142256a12fd4cf578c70ee0e74a1cb](http://www.admie.gr/leitoyrgia-dedomena/leitoyrgia-agoras-ilektrikis-energeias/agora-diacheirisis-isozygiou-ischyos/dedomena-eisodoy/doccat/list/Document/650/?tx_dfiles2_pi1%5byear%5d=2012&cHash=40142256a12fd4cf578c70ee0e74a1cb)
- [23] Θεοδόση Κοκκίνου Λάουρα (2013). *Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα και εφαρμογές στα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου*. Πάτρα: Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας υπολογιστών
- [24] Ιωάννης Ε. Λιβιέρης (2008). *Αποτίμηση Μεθόδων Εκπαίδευσης Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων και Εφαρμογές*. Πάτρα : Τμήμα Μαθηματικών Σχολή Θετικών Επιστημών