

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ

(ΠΜΣ-Ο.ΔΙ.Μ.)

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΑΓΟΡΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ  
ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΟΛΥΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΩΝ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

A STUDY OF AMERICAN POWER MARKETS USING ECONOMETRIC MULTIFACTOR  
MODELS

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΔΗΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΗΛΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΘΩΜΑΪΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΑΘΗΝΑ, 08-03-2019

**Είμαι συγγραφέας αυτής της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων ή ιδεών, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά για τη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία**

# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Νικόλαο Θωμαΐδη για την καθοδήγηση και συμπαράστασή του καθ' όλη την διάρκεια της εκπονήσεως της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη και την συμπαράσταση που μου παρείχαν σε όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου κυρίως στις δύσκολες στιγμές.

Τέλος ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ στο φίλο μου Χρήστο Τσίτσικα για τη βοήθεια και θετική ενέργεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της διεκπεραίωσης της διπλωματικής μου εργασίας.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος Σχημάτων.....	5
Κατάλογος Πινάκων .....	6
Περίληψη .....	8
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή και Ιστορικά Στοιχεία .....	9
1.1 Η Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Αμερική - Γεωγραφικά.....	9
1.2 Προημερήσιες αγορές (Day ahead markets) .....	11
1.3 Σύγκλιση αγορών ηλεκτρικής ενέργειας.....	12
Κεφάλαιο 2: Μεθοδολογία - Ανάλυση σε κύριες συνιστώσες .....	14
Κεφάλαιο 3: Δεδομένα.....	17
Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία των δεδομένων .....	18
4.1 Γενικά.....	18
4.2 Μελέτη χαρακτηριστικών για όλο το δίκτυο.....	18
4.3 Μελέτη χαρακτηριστικών μεταξύ των ανεξάρτητων διαχειριστών .....	22
4.3.1 Συσχετίσεις μεταξύ κόμβων διαπραγμάτευσης.....	23
4.3.2 Συσχετίσεις μεταξύ των ωρών διαπραγμάτευσης .....	35
Συμπεράσματα.....	48
Βιβλιογραφία.....	49

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Χάρτης ανεξάρτητων διαχειριστών ενέργειας (ISO) και τοπικών οργανισμών μεταφοράς (RTO)

Σχήμα 2: Ορισμός τελικής τιμής. Η τελική τιμή καθορίζεται στο σημείο που οι καμπύλες προσφοράς και ζήτησης τέμνονται

Σχήμα 3: Ετήσια ροή ενέργειας σε TWh ανάμεσα στις περιοχές της Βόρειας Αμερικής το 2010

Σχήμα 4: Κρημνογράφημα απεικόνισης του ποσοστού επεξήγησης της διακύμανσης από κάθε συνιστώσα

Σχήμα 5: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα σε πανεθνικό επίπεδο

Σχήμα 6: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 2<sup>η</sup> συνιστώσα σε πανεθνικό επίπεδο

Σχήμα 7: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 3<sup>η</sup> συνιστώσα σε πανεθνικό επίπεδο

Σχήμα 8: Χρονική εξέλιξη τιμής ενέργειας στον ανεξάρτητο διαχειριστή CAISO ανά κόμβο διαπραγμάτευσης

Σχήμα 9: Χρονική εξέλιξη τιμής ενέργειας στον ανεξάρτητο διαχειριστή ERCOT ανά κόμβο διαπραγμάτευσης

Σχήμα 10: Χρονική εξέλιξη τιμής ενέργειας στον ανεξάρτητο διαχειριστή ISO - NE ανά κόμβο διαπραγμάτευσης

Σχήμα 11: Χρονική εξέλιξη τιμής ενέργειας στον ανεξάρτητο διαχειριστή NYISO ανά κόμβο διαπραγμάτευσης

Σχήμα 12: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα σε για τον διαχειριστή CAISO

Σχήμα 13: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα σε για τον διαχειριστή ERCOT

Σχήμα 14: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα σε για τον διαχειριστή ISO-NE

Σχήμα 15: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα σε για τον διαχειριστή NYISO

Σχήμα 16: Χρονική εξέλιξη μέσης ημερήσιας τιμής ενέργειας όλων των ανεξάρτητων διαχειριστών συστήματος

Σχήμα 17: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα μεταξύ των ανεξάρτητων διαχειριστών

Σχήμα 18: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 2<sup>η</sup> συνιστώσα μεταξύ των ανεξάρτητων διαχειριστών

Σχήμα 19: Χρονική εξέλιξη τιμής ενέργειας ανά ώρα και ημέρα στον ανεξάρτητο διαχειριστή CAISO

Σχήμα 20: Χρονική εξέλιξη τιμής ενέργειας ανά ώρα και ημέρα στον ανεξάρτητο διαχειριστή ISO-NE

Σχήμα 21: Χρονική εξέλιξη τιμής ενέργειας ανά ώρα και ημέρα στον ανεξάρτητο διαχειριστή ERCOT

Σχήμα 22: Χρονική εξέλιξη τιμής ενέργειας ανά ώρα και ημέρα στον ανεξάρτητο διαχειριστή NYISO

Σχήμα 23: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα μεταξύ των 24 ωρών της ημέρας για τον ανεξάρτητο διαχειριστή CAISO

Σχήμα 24: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 2<sup>η</sup> συνιστώσα μεταξύ των 24 ωρών της ημέρας για τον ανεξάρτητο διαχειριστή CAISO

Σχήμα 25: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα μεταξύ των 24 ωρών της ημέρας για τον ανεξάρτητο διαχειριστή ERCOT

Σχήμα 26: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 2<sup>η</sup> συνιστώσα μεταξύ των 24 ωρών της ημέρας για τον ανεξάρτητο διαχειριστή ERCOT

Σχήμα 27: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα μεταξύ των 24 ωρών της ημέρας για τον ανεξάρτητο διαχειριστή ISO-NE

Σχήμα 28: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα μεταξύ των 24 ωρών της ημέρας για τον ανεξάρτητο διαχειριστή NYISO

## **Κατάλογος Πινάκων**

Πίνακας 1: Ποσοστό επεξήγησης της διακύμανσης από κάθε συνιστώσα

Πίνακας 2: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των κόμβων του ανεξάρτητου διαχειριστή CAISO

Πίνακας 3: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των κόμβων του ανεξάρτητου διαχειριστή  
ERCOT

Πίνακας 4: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των κόμβων του ανεξάρτητου διαχειριστή ISO-NE

Πίνακας 5: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των κόμβων του ανεξάρτητου διαχειριστή NYISO

Πίνακας 6: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των ανεξάρτητων διαχειριστών συστήματος

Πίνακας 7: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των ωρών του ανεξάρτητου διαχειριστή CAISO

Πίνακας 8: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των ωρών του ανεξάρτητου διαχειριστή ERCOT

Πίνακας 9: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των ωρών του ανεξάρτητου διαχειριστή ISO-NE

Πίνακας 10: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των ωρών του ανεξάρτητου διαχειριστή NYISO

Πίνακας 11: Ποσοστό επεξήγησης της διακύμανσης από κάθε συνιστώσα για κάθε διαχειριστή

## Περίληψη

Η διαμόρφωση της τιμής στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζεται από την προσφορά και ζήτηση καθώς και από τον ανταγωνισμό. Επίσης διάφοροι τοπικοί παράγοντες μπορούν έχουν καθοριστική επίδραση στις τιμές ηλεκτρισμού. Συγκεκριμένα στην αγορά των Η.Π.Α. έχουμε ένα μεγάλο αριθμό από ανεξάρτητους διαχειριστές ενέργειας οι οποίο μέσα από προημερήσιες αγορές (day-ahead markets) διαμορφώνουν καθημερινά την τιμή της ενέργειας για κάθε ώρα του επόμενου 24ώρου.

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να εξετάσουμε σε τοπικό επίπεδο, αλλά και σε επίπεδο εθνικό, κατά πόσο οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας χαρακτηρίζονται από μεγάλο βαθμό συστημικότητας, δηλαδή αν επηρεάζονται από κοινούς παράγοντες κινδύνου.

Η μελέτη μας θα επικεντρωθεί σε τέσσερις περιοχές και τους αντίστοιχους ανεξάρτητους διαχειριστές. Αυτοί είναι οι:

- California Independent System Operator (CAISO)
- Electric Reliability Council of Texas (ERCOT)
- ISO New England (ISO-NE)
- New York Independent System Operator (NYISO)

Λόγω του πολύ μεγάλου αριθμού μεταβλητών μας καθώς μελετάμε ωριαίες τιμές ενέργειας θα χρησιμοποιήσουμε την ανάλυση σε κύριες συνιστώσες ώστε να απλοποιήσουμε την ανάλυση μας και να δούμε πόσοι παράγοντες τελικά διαμορφώνουν την τιμή και σε ποιο βαθμό ο καθένας.



# **Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή και Ιστορικά Στοιχεία**

## **1.1 Η Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Αμερική - Γεωγραφικά**

Το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (ΗΠΑ) είναι το μεγαλύτερο παγκοσμίως. «Αριθμεί περισσότερα από 200.000 μίλια από καλώδια υψηλής τάσης. Παρά το συνεχώς αυξανόμενο δίκτυο, όμως, η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας παρέμενε μέχρι και τις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα κατακερματισμένη» (Butters&Spulber, 2013). Δεν υπήρχαν αγορές διαπραγμάτευσης της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας και η παραγωγή και μεταφορά της γινόταν από τοπικούς παρόχους, οπότε είχαμε μια μορφή ολιγοπωλίου καθώς δεν υπήρχε η επιλογή εναλλακτικής οδού.

Με την ανάπτυξη των αγορών χονδρικής τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας άλλαξε το πλαίσιο διαπραγμάτευσης της τιμής και μεταφοράς ενέργειας. Στις ΗΠΑ, οι αγορές υπεύθυνες για την χονδρική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και την μεταφορά της τελικά στους καταναλωτές χωρίζονται σε δύο φορείς, τους ανεξάρτητους διαχειριστές ενέργειας (ISO) και τους τοπικούς οργανισμούς μεταφοράς (RTO). (Wu, et al., 2005)

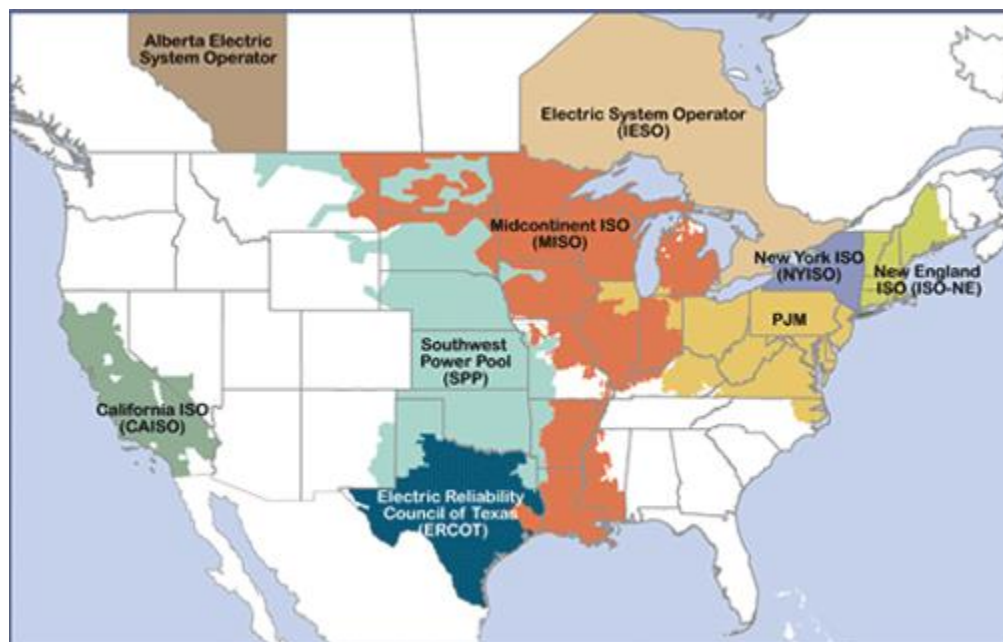
Το 1996 η Ομοσπονδιακή Ρυθμιστική Επιτροπή Ενέργειας των ΗΠΑ (FERC), με την διάταξη νο. 888-889 πρότεινε την δημιουργία ανεξάρτητων διαχειριστών συστήματος [Independent System Operators (ISO)]. Οι ανεξάρτητοι διαχειριστές ενέργειας διαχειρίζονται την μεταφορά της ενέργειας καθώς επίσης φροντίζουν για την προώθηση του ανταγωνισμού μεταξύ των συμμετεχόντων στην αγορά της χονδρικής ηλεκτρικής ενέργειας. (Rose, et al., 1997)

«Η FERC με την διάταξη νο. 2000 εισήγαγε και την δημιουργία τοπικών οργανισμών μεταφοράς [Regional Transmission Operators (RTO)] στους οποίους συμμετείχαν διάφορες δημόσιες υπηρεσίες. Ο ρόλος τους είναι αντίστοιχος με τους ISO, δηλαδή διαχείριση του δικτύου και να βρίσκουν τρόπους ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν ισόποση μεταφορά ενέργειας.

Οι RTOs και ISOs έχουν κοινές αρμοδιότητες με τη διαφορά ότι ο ρόλος των RTOs έχει προσδιοριστεί καλύτερα και προσφέρουν μεγαλύτερη αξιοπιστία καθώς έχουν δημιουργηθεί από την FERC. Σήμερα τα 2/3 του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας των ΗΠΑ ελέγχεται από RTOs» (FERC, 2017)

Από το 2012 μέχρι σήμερα λειτουργούν 9 ISO/RTO:

- Alberta Electric System Operator (AESO)
- California Independent System Operator (CAISO)
- Midcontinent Independent System Operator (MISO)
- ISO New England (ISO-NE)
- New York Independent System Operator (NYISO)
- Ontario Independent Electricity System Operator (IESO)
- Electric Reliability Council of Texas (ERCOT)
- PJM Interconnection (PJM)
- Southwest Power Pool (SPP)



Πηγή: <https://www.ferc.gov/industries/electric/indus-act/rto.asp>

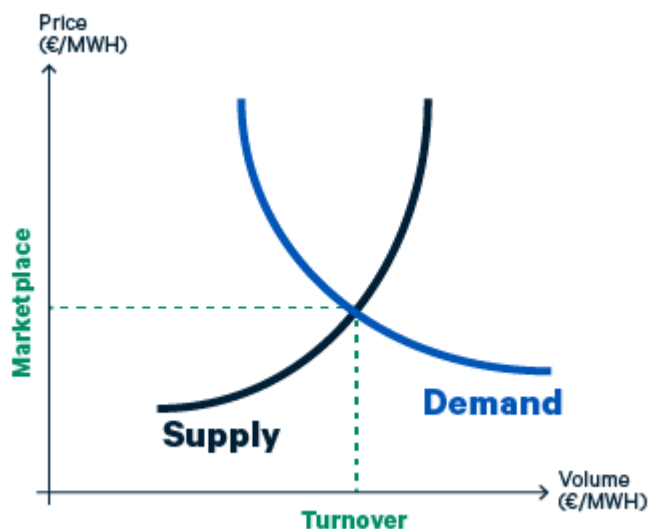
Σχήμα 1: Χάρτης ανεξάρτητων διαχειριστών ενέργειας (ISO) και τοπικών οργανισμών μεταφοράς (RTO)

## 1.2 Προημερήσιες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας (day-ahead electricity markets)

Οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας στις Η.Π.Α. είναι προημερήσιες (day-ahead markets), πραγματικού χρόνου (real-time markets) καθώς επίσης και αγορές εξισορρόπησης (balancing markets). Στην εργασία αυτή εξετάζουμε τις προημερήσιες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτό το μοντέλο, η τιμή που διαπραγματεύεται είναι για την επόμενη ημέρα και όχι για την τρέχουσα. Μάλιστα κάθε μέρα γίνεται μία διαπραγμάτευση τιμής για την κάθε ώρα του επόμενου 24ώρου (Carpers, 2009).

Οι ενδιαφερόμενοι, δηλαδή οι παραγωγοί και ενέργειας, συμμετέχουν σε μια διαδικασία δημοπρασίας στην οποία οι μεν προσφέρουν τιμές πώλησης και οι δε τιμές αγοράς. Η διαδικασία τελειώνει όταν έχουν καθοριστεί οι τιμές της ενέργειας για κάθε μία ώρα του επόμενου 24ώρου. Συνεπώς οι τιμές της ενέργειας μέσα στο 24ωρο έχουν διαφορές ανάλογα με την προσφορά και τη ζήτηση, αφού μέσα στην ημέρα υπάρχουν ώρες αιχμής και ώρες με χαμηλή κατανάλωση.

Σημαντικό στοιχείο είναι ότι η ενέργεια που θα αγοραστεί για κάποια ώρα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ακαριαία. Δεν επιτρέπεται δηλαδή να γίνει αγορά σε κάποια ώρα που η τιμή είναι χαμηλότερη και τελικά να χρησιμοποιηθεί σε ώρα αιχμής. (Senfal, 2017)



Πηγή: <https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Day-ahead-market/>

Σχήμα 2: Προσδιορισμός τιμής συστήματος. Ευρίσκεται από την το σημείο τομής των καμπυλών προσφοράς και ζήτησης.

### 1.3 Σύγκλιση αγορών ηλεκτρικής ενέργειας

Διάφοροι οικονομικοί παράγοντες οποίοι μπορούν να οδηγήσουν στην σύγκλιση των αγορών χονδρικής τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας.

1. Στο σχήμα 3 φαίνεται πως γίνεται το εμπόριο ενέργειας μεταξύ των περιοχών με την τάση η ενέργεια να μεταφέρεται προς τα νότια. Αυτό συμβαίνει καθώς στο βορρά έχουμε μεγάλους παραγωγούς ενέργειας και κατά συνέπεια εξαγωγές σε αντίθεση με το νότο που κατά κύριο λόγο εισάγουν την ενέργεια που χρειάζονται. Έτσι βλέπουμε για παράδειγμα τις εξαγωγές από την Βορειοδυτική περιοχή και τις εισαγωγές στην περιοχή της Καλιφόρνια. Οι αριθμοί δίπλα από κάθε βελάκι δείχνουν το ποσό που ενέργειας που εμπορεύεται μετρούμενο σε εκατομμύρια μεγαβατώρες. Βλέποντας λοιπόν την ροή ηλεκτρικής ενέργειας στην επικράτεια των Η.Π.Α. μπορούμε να θεωρήσουμε ότι υπάρχει εφαρμογή της Θεωρίας Διεθνούς Εμπορίου σύμφωνα με την οποία μία χώρα εξαγεί σε μία άλλη αυτά τα αγαθά στα οποία έχει πλεονέκτημα, δηλαδή σ' αυτήν έχουν χαμηλότερες τιμές απ' ότι στη χώρα με την οποία συναλλάσσεται. Στην προκειμένη περίπτωση το πλεονέκτημα είναι ο όγκος παραγωγής της μίας περιοχής σε σχέση με την άλλη που δεν μπορεί να παράξει την ενέργεια που χρειάζεται (Butters&Spulber, 2013).

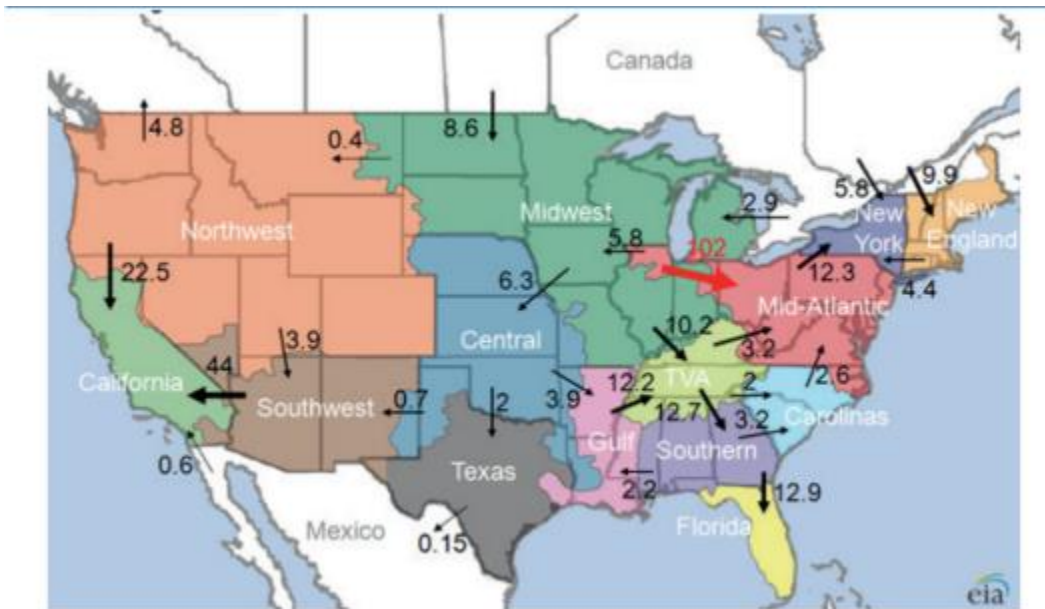
2. Μεγάλες εταιρίες προσπαθούν να εκμεταλλευτούν ευκαιρίες κερδοσκοπικής αντιστάθμισης (arbitrage). Οι εταιρίες αυτές δρουν σε πολλές περιφέρειες. Συνεπώς μπορούν να εκμεταλλευθούν διαφορά τιμής μεταξύ δύο γειτονικών περιφερειών για παράδειγμα να αγοράσουν ενέργεια στο Connecticut και να πουλήσουν στη Νέα Υόρκη. Αυτές τις ενέργειες βοηθάει και το γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια είχαμε συγχωνεύσεις εταιριών. Οι σημαντικότερες ήταν οι ακόλουθες:

- Η Duke energy συγχωνεύτηκε με την Progress energy με την πρώτη να διατηρεί το όνομά της, μία συγχώνευση αξίας 37δισ δολαρίων.
- Η Exelon Corporation, η μεγαλύτερη πια εταιρία ενέργειας στις ΗΠΑ, συγχωνεύτηκε με την Constellation Energy Group με την αξία να υπολογίζεται στα 34δισ δολάρια.
- Η AES Corporation αγόρασε την DP&L Inc. έναντι 4.8δισ δολαρίων.(Courtney, 2012)

3. Ένας τρίτος λόγος που μας οδηγεί σε αυτό το συμπέρασμα είναι ότι βλέπουμε εφαρμογή του θεωρήματος της εξίσωσης τιμών των συντελεστών (factor price equalization theorem). Σύμφωνα με το θεώρημα όταν οι τιμές των παραγόμενων αγαθών εξισορροπούνται μεταξύ χωρών καθώς βρισκόμαστε σε ελεύθερο εμπόριο, τότε και οι τιμές των παραγόντων που χρειάζονται για την παραγωγή (πρώτες ύλες και εργασία) εξισορροπούνται. (Suranovic,

2015) Στην προκειμένη περίπτωση ο ανταγωνισμός που υπάρχει στην τελική τιμή του προϊόντος, μπορεί να οδηγήσει στην εξισορρόπηση των τιμών των πρώτων υλών που χρειάζονται για την παραγωγή ενέργειας (λιθάνθρακας, λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο). Εδώ βοηθάει και το γεγονός ότι οι πρώτες ύλες μπορούν να συναλλαχθούν και να μεταφερθούν εύκολα από περιοχή σε περιοχή.

Σχήμα 3: Ετήσια ροή ενέργειας σε TWh ανάμεσα στις περιοχές της Βόρειας Αμερικής το 2010



Πηγή: <https://twitter.com/iea/status/580836611786575872>

## Κεφάλαιο 2. Μεθοδολογία - Ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (Principal Component Analysis)

Η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες [principal components analysis [PCA]] είναι μία μέθοδος πολυμεταβλητής στατιστικής επεξεργασίας δεδομένων. Η πρακτική της αξία εντοπίζεται σε panel με μεγάλο αριθμό αλληλεξαρτημένων μεταβλητών  $X$ , (έστω  $N$  τον αριθμό) οι οποίες είναι σε πλήθος ίσες ή μεγαλύτερες από τον αριθμό των παρατηρήσεων μας (έστω  $T$ ), δηλαδή  $N \geq T$ . Το πλεονέκτημα που παρέχει η PCA σε αυτή την περίπτωση είναι να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε νέες μεταβλητές ή παράγοντες που είναι γραμμικοί συνδυασμοί των αρχικών, αλλά είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Το πλεονέκτημα που παρέχουν οι νέες μεταβλητές, οι οποίες καλούνται κύριες συνιστώσες) είναι ότι μπορούν να εξηγήσουν το μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να πάρουμε το μεγαλύτερο μέρος της πληροφορίας που δίνουν οι αρχικές μεταβλητές έχοντας τελικά πολύ λιγότερες. (Πετρίδης, 2015)

Στην συγκεκριμένη εργασία, η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες εφαρμόζεται για την διαπίστωση του βαθμού ολοκλήρωσης των τιμών της προημερήσιας αγοράς ηλεκτρισμού. Ανάλογα με το αποτέλεσμα και το ποσοστό της συνολικής πληροφορίας που μας παρέχει η κάθε νέα μεταβλητή μπορούμε να οδηγηθούμε στο παραπάνω συμπέρασμα. Αν η 1<sup>η</sup> μεταβλητή περιγράφει σχεδόν όλο το ποσοστό της συνολικής διακύμανσης, μπορούμε να οδηγηθούμε στο συμπέρασμα ότι οι αγορές είναι ολοκληρωμένες. Αντίστοιχα αν έχουμε 2 ή περισσότερους παράγοντες (νέες μεταβλητές) που αθροιστικά θα μας περιγράψουν σχεδόν όλο το ποσοστό της συνολικής διακύμανσης τότε μπορούμε να πούμε ότι οι αγορές είναι κατακερματισμένες σε 2 (ή περισσότερα τμήματα) με τον κάθε παράγοντα να περιγράφει το αντίστοιχο τμήμα. (Evans, et al., 2008)

Το πρώτο στάδιο για να πραγματοποιήσουμε την PCA είναι να υπολογίσουμε τον πίνακα δειγματικών διακυμάνσεων – συνδιακυμάνσεων (sample variance – covariance matrix) των αρχικών μας μεταβλητών  $N$ . Ο πίνακας αυτός είναι εξ ορισμού τετραγωνικός, διαστάσεων  $N \times N$  και συμμετρικός. Έστω ότι έχουμε όλα μας τα δεδομένα σε έναν πίνακα  $X$  διαστάσεων  $T \times N$ , όπου  $T$  είναι το πλήθος των παρατηρήσεων για κάθε μεταβλητή  $N$ . Για κάθε μεταβλητή θα υπολογίσουμε τον δειγματικό μέσο όρο τον οποίον θα αφαιρέσουμε από κάθε παρατήρηση. Ο δειγματικός πίνακας διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων υπολογίζεται από τον τύπο

$$\hat{\Sigma} = \left(\frac{1}{T}\right) \mathbf{X}'\mathbf{X}$$

Άρα προκύπτει ο παρακάτω πίνακας

$$\hat{\Sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \cdots & \sigma_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{N1} & \cdots & \sigma_{NN} \end{pmatrix}$$

Στη διαγώνιο βρίσκονται οι δειγματικές διακυμάνσεις των μεταβλητών και τα υπόλοιπα στοιχεία είναι τα ζεύγη των δειγματικών συνδιακυμάνσεων.

Το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε τις ιδιοτιμές (eigenvalues) και τα ιδιοδιανύσματα (eigenvectors) του πίνακα  $\hat{\Sigma}$ , σύμφωνα με τη σχέση  $\hat{\Sigma}\mathbf{W} = \mathbf{L}\mathbf{W}$ . Άρα θέλουμε να υπολογίσουμε τους πίνακες  $\mathbf{W}$  και  $\mathbf{L}$ , οι οποίοι είναι τετραγωνικοί τάξης  $N$ . Συγκεκριμένα ο πίνακας  $\mathbf{L}$  των ιδιοτιμών είναι διαγώνιος. Στη διαγώνιο βρίσκονται οι ιδιοτιμές  $\lambda_i$  τοποθετημένες από το μεγαλύτερο στο μικρότερο δηλ.  $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_N$

$$\hat{\mathbf{L}} = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \lambda_N \end{pmatrix}$$

Ο πίνακας  $\mathbf{W}$  είναι ορθογώνιος, δηλαδή ισχύει  $\mathbf{W}'\mathbf{W} = \mathbf{W}\mathbf{W}' = \mathbf{I}$ . Οι στήλες του αποτελούνται από τα ιδιοδιανύσματα που αντιστοιχούν στις ιδιοτιμές του  $\mathbf{L}$ . (Θωμαΐδης, 2017)

Η συνολική διακύμανση είναι το άθροισμα όλων των ιδιοτιμών  $\lambda_N$ , δηλαδή

$$\sum_N \lambda_N = P$$

όπου  $P$  η συνολική διακύμανση.

Άρα το ποσοστό της συνολικής διακύμανσης που ερμηνεύει η κάθε συνιστώσα προκύπτει από:

$$\frac{\lambda_N}{\sum_{N=1}^P \lambda_N}$$

Η συσχέτιση των κύριων συνιστωσών και των αρχικών μας μεταβλητών ονομάζεται συντελεστής επιβάρυνσης (loading) και δείχνει το βαθμό που επηρεάζουν οι αρχικές μεταβλητές στην δημιουργία των κύριων συνιστωσών.

Θα πρέπει να γίνει σωστή επιλογή του αριθμού κοινών παραγόντων. Μπορούμε να κατατάξουμε τις συνιστώσες με βάση τις ιδιοτιμές τους. Στη συνέχεια θα αθροίσουμε το ποσοστό της συνολικής διακύμανσης που ερμηνεύουν. Θα κρατήσουμε τόσες ώστε το άθροισμα αυτό να είναι μεγαλύτερο από ένα ποσοστό π.χ. 80%.

Εναλλακτικά μπορούμε να σχεδιάσουμε ένα κρημνογράφημα (scree plot). Στον x άξονα τοποθετούμε τον αριθμό των κοινών συνιστωσών  $k=1, \dots, N$ . Στον y άξονα τοποθετούμε το ποσοστό της συνολικής διακύμανσης που ερμηνεύει η κάθε συνιστώσα. Αφού είναι το τοποθετημένες με φθίνουσα σειρά αναμένουμε να δούμε μια γραφική παράσταση που θα στρέφει τα κοίλα προς τα επάνω και είναι σαν να δημιουργεί ένα «σημείο καμπής» (elbow).

Αναμένουμε οι περισσότερες συνιστώσες να βρίσκονται στο κάτω μέρος του «σημείου καμπής» καθώς ερμηνεύουν μικρό έως ελάχιστο ποσοστό της συνολικής διακύμανσης. Θα πρέπει να επιλέξουμε λοιπόν αυτές που βρίσκονται στο πάνω μέρος του «σημείου καμπής» μέχρι το σημείο που η έχουμε την απότομη αλλαγή στην κλίση της καμπύλης.



## **Κεφάλαιο 3. Δεδομένα**

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την μελέτη προέρχονται από 34 κόμβους (nodal & zonal markets) διαπραγμάτευσης της χονδρικής τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας που ανήκουν σε τέσσερις ευρύτερες ζώνες.

Οι ζώνες που εξετάζονται είναι οι

- California Independent System Operator (CAISO)
- ISO New England (ISO-NE)
- New York Independent System Operator (NYISO)
- Electric Reliability Council of Texas (ERCOT)

Οι τιμές είναι που χρησιμοποιούμε ανήκουν στο χρονικό διάστημα 17/2/2011 – 12/9/2017. Οι αγορές που εξετάζονται διαπραγματεύονται την χονδρική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε ώρα της επόμενης ημέρας (hourly day – ahead prices) κατά συνέπεια και τα δεδομένα μας είναι ωριαία.

Η πηγή των δεδομένων μας είναι η ιστοσελίδα <http://www.energyonline.com>

## **Κεφάλαιο 4. Επεξεργασία των δεδομένων**

#### **4.1 Γενικά**

Η συγκεκριμένη ιστοσελίδα είναι η μοναδική που βρήκαμε ότι προσφέρει ωριαίες τιμές διαπραγμάτευσης της ενέργειας. Τα δεδομένα είχαν μία σειρά προβλημάτων. Η ιστοσελίδα δεν διαθέτει για κάθε αγορά το ίδιο χρονικό εύρος τιμών, κάτι στο οποίο βέβαια παίζει ρόλο για η ημερομηνία που ιδρύθηκε η κάθε αγορά, συνεπώς θα έπρεπε να βρούμε ένα κοινό χρονικό διάστημα για όλες τις αγορές ώστε να προχωρήσουμε στην ανάλυση. Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε είναι η έλλειψη κάποιων ωρών και ημερών από τα δεδομένα. Για να εκτελέσουμε την ανάλυση κυρίων συνιστωσών έχουμε σαν χρονολογική σειρά τις ημερομηνίες ανά ημέρα στο χρονικό διάστημα 17/2/2011 – 12/9/2017 και σαν μεταβλητές τις τιμές κλεισίματος ανά ώρα για κάθε κόμβο διαπραγμάτευσης. Αποτέλεσμα της έλλειψης δεδομένων είναι να μην είναι δυνατή η αυτόματη τοποθέτηση τους σε πίνακα σωστά ταξινομημένο.

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τη γλώσσα MATLAB. Αφού ξεπεράσαμε τα αρχικά προβλήματα λόγω της φύσεως των δεδομένων προχωρήσαμε βήμα-βήμα στη διαδικασία όπως αναφέρεται και στη θεωρία.

#### **4.2 Μελέτη χαρακτηριστικών για όλο το δίκτυο**

Πρώτα υπολογίσαμε των πίνακα των συσχετίσεων μεταξύ των μεταβλητών μας. Με αυτό τον τρόπο θέλουμε να ελέγξουμε αν επιβεβαιώνονται και οι εκτιμήσεις μας για τις σχέσεις των μεταβλητών.

Όπως διαπιστώσαμε υπάρχει μεγάλη θετική συσχέτιση ( $>.90$ ) στις τιμές ηλεκτρισμού που διαμορφώνονται σε κοντινές ώρες της ημέρας και γειτονικούς κόμβους διαπραγμάτευσης. Αντίθετα όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση των κόμβων αλλά και οι ώρες της ημέρας τόσο μικραίνει η συσχέτιση. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν τις αρχικές μας εκτιμήσεις καθώς είναι λογικό να υπάρχει μεγαλύτερη συσχέτιση μεταξύ των τιμών σε κοντινούς κόμβους διαπραγμάτευσης, καθώς επηρεάζονται από τους ίδιους παράγοντες. Επίσης λογικές συσχετίσεις βλέπουμε και μεταξύ των ωρών της ημέρας καθώς κατά την διάρκεια της ημέρας αλλάζουν οι απαιτήσεις σε παροχή ενέργειας και κατά συνέπεια η τιμή της. Το αποτέλεσμα είναι

οι βραδυνές ώρες (10μ.μ. – 6π.μ.) να έχουν υψηλές συσχετίσεις μεταξύ τους, όπως και οι πρωινές (8π.μ.-11π.μ), αλλά και οι πρώτες απογευματινές.

Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε τον πίνακα των τιμών των κυρίων συνιστωσών (principal components scores).

Από τον πίνακα των τιμών των κυρίων συνιστωσών δημιουργούμε τη μήτρα των συντελεστών επιβάρυνσης (loading matrix) κάθε μεταβλητής από όλες τις κύριες συνιστώσες.

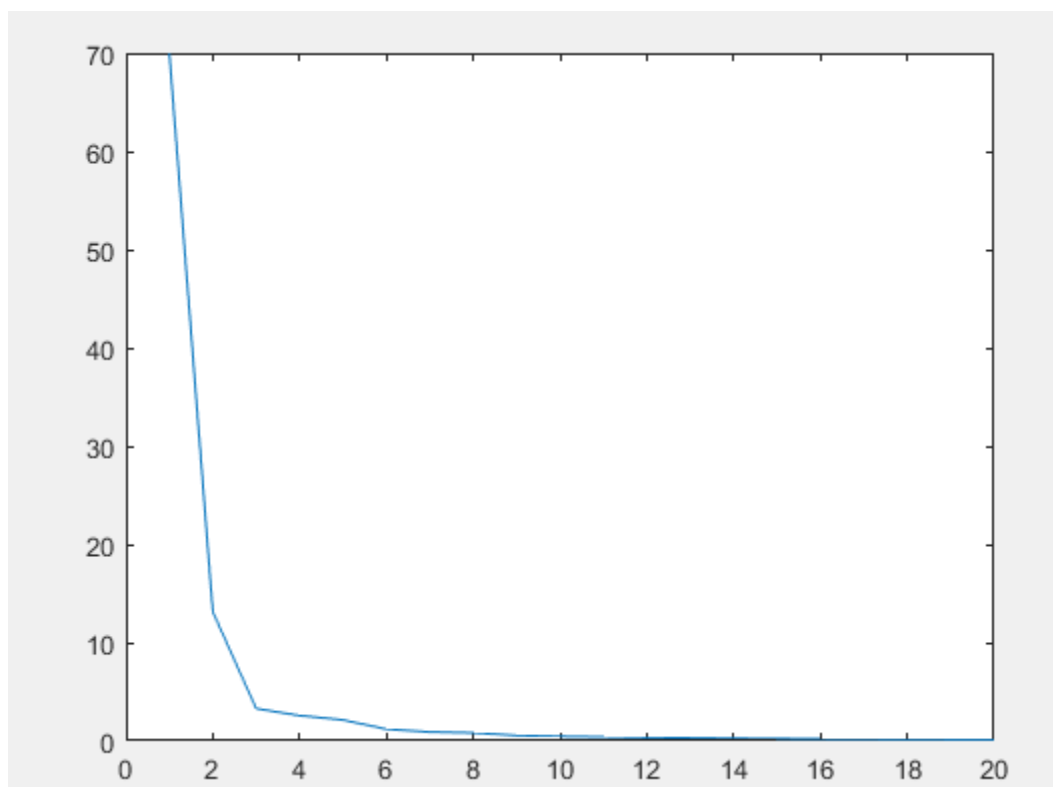
Τέλος σχεδιάζουμε και τον πίνακα που μας δείχνει πιο ποσοστό της συνολικής διακύμανσης που ερμηνεύει η κάθε μεταβλητή.

<b>Συνιστώσα</b>	<b>% Διακύμανσης</b>	<b>Αθροιστικά</b>
1	69.96	69.96
2	13.14	83.10
3	3.29	86.39
4	2.57	88.96
5	2.13	91.08
6	1.19	92.27
7	0.90	93.17
8	0.81	93.99
9	0.54	94.53
10	0.45	94.98
11	0.40	95.39
12	0.34	95.72
13	0.29	96.02
14	0.25	96.27
15	0.23	96.49
16	0.19	96.69
17	0.17	96.86
18	0.16	97.01
19	0.14	97.15
20	0.12	97.28

Πίνακας 1: Ποσοστό επεξήγησης της διακύμανσης από κάθε συνιστώσα.

Βλέπουμε ότι η πρώτη συνιστώσα ερμηνεύει ένα πολύ μεγάλο ποσοστό της συνολικής διακύμανσης (69%). Μάλιστα οι τρεις συνιστώσες ερμηνεύουν το 86%. Οι επόμενες συνιστώσες ερμηνεύουν ένα αμελητέο ποσοστό.

Τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούν να αποδοθούν σχηματικά δημιουργώντας γραφική παράσταση που καλείται κρημογράφημα (screeplot). Στον οριζόντιο άξονα βρίσκονται οι συνιστώσες ταξινομημένες με βάση το ποσοστό διακύμανσης που εξηγούν και το ποσοστό βρίσκεται στον κατακόρυφο άξονα.

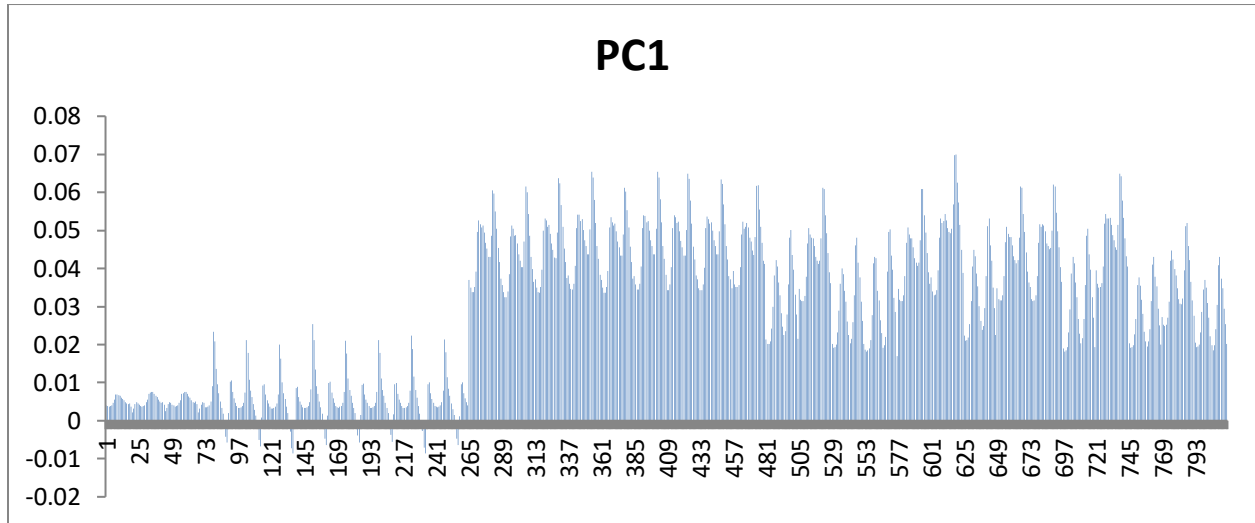


Σχήμα 4: Κρημογράφημα απεικόνισης του ποσοστού επεξήγησης της διακύμανσης από κάθε συνιστώσα

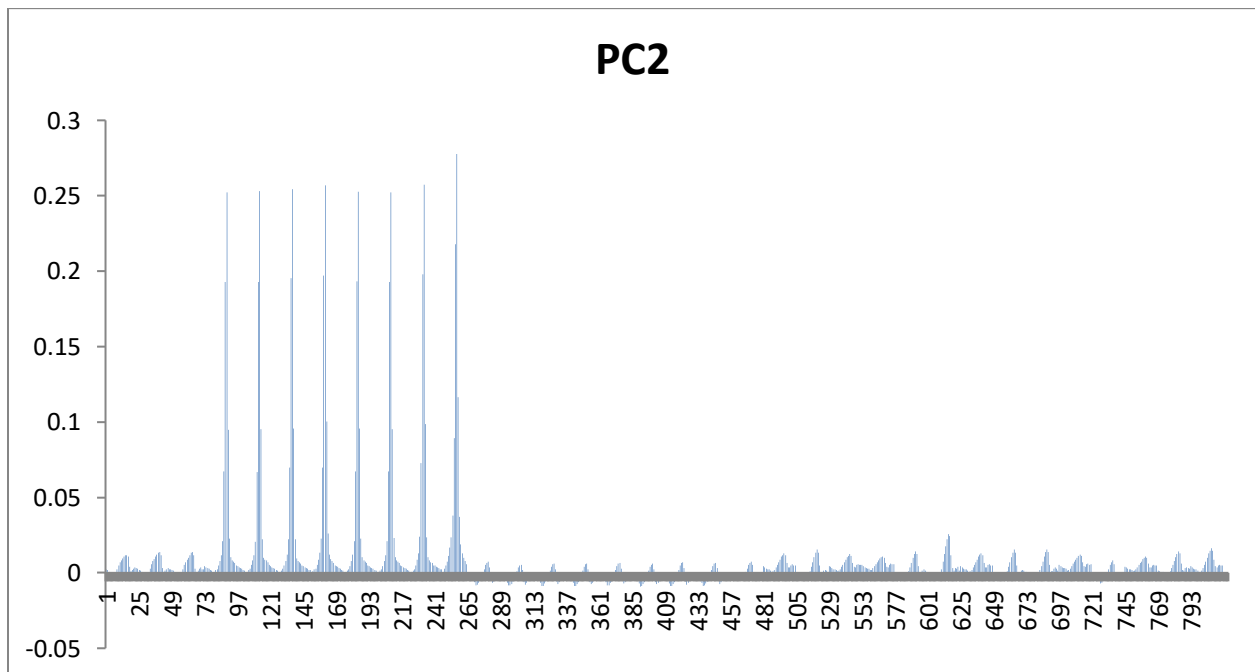
Πάνω από τον σημείο καμπής που σχηματίζεται είναι οι τρεις συνιστώσες που ερμηνεύουν το 86% της διακύμανσης. Μάλιστα οι πρώτες δύο ερμηνεύουν το 83% της διακύμανσης το οποίο είναι αρκετό για περαιτέρω αναλύσεις.

Από εδώ μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας των ΗΠΑ χαρακτηρίζονται από μεγάλο βαθμό ολοκλήρωσης καθώς η πρώτη συνιστώσα ερμηνεύει

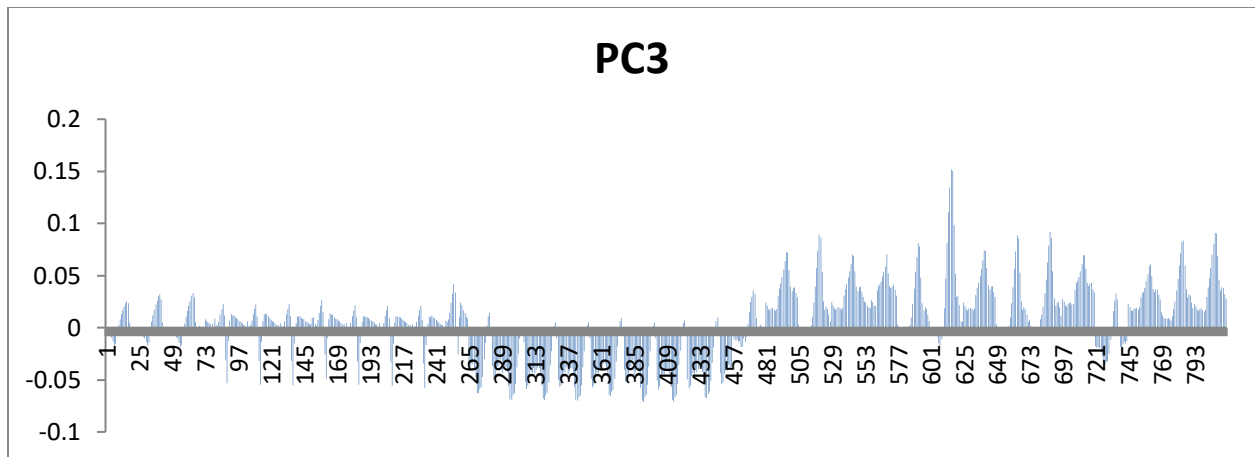
σημαντικό ποσοστό της συνολικής διακύμανσης (>69%). Η συνιστώσα αυτή αναφέρεται σε συνήθως σε κάποιο υπερεθνικό συστημικό παράγοντα. Για κάθε μία από τις πρώτες τρεις συνιστώσες θα πρέπει να μελετήσουμε τους συντελεστές επιβάρυνσης (loadings) ώστε να δούμε την συσχέτιση της κάθε συνιστώσας με τις αρχικές μεταβλητές μας.



Σχήμα 5: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα σε πανεθνικό επίπεδο



Σχήμα 6: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 2<sup>η</sup> συνιστώσα σε πανεθνικό επίπεδο



Σχήμα 7: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 3<sup>η</sup> συνιστώσα σε πανεθνικό επίπεδο

Στα τρία παραπάνω διαγράμματα οι μεταβλητές 1-24 αναφέρονται στις 24 ώρες της ημέρας για τον πρώτο κόμβο διαπραγμάτευσης (PGAE) της Καλιφόρνια (CAISO). Οι μεταβλητές 1-72 αναφέρονται στους κόμβους της Καλιφόρνια, οι 73-264 στο Τέξας (ERCOT), οι 265-456 στην Νέα Αγγλία (ISO-NE) και οι 457-816 στην Νέα Υόρκη (NYISO).

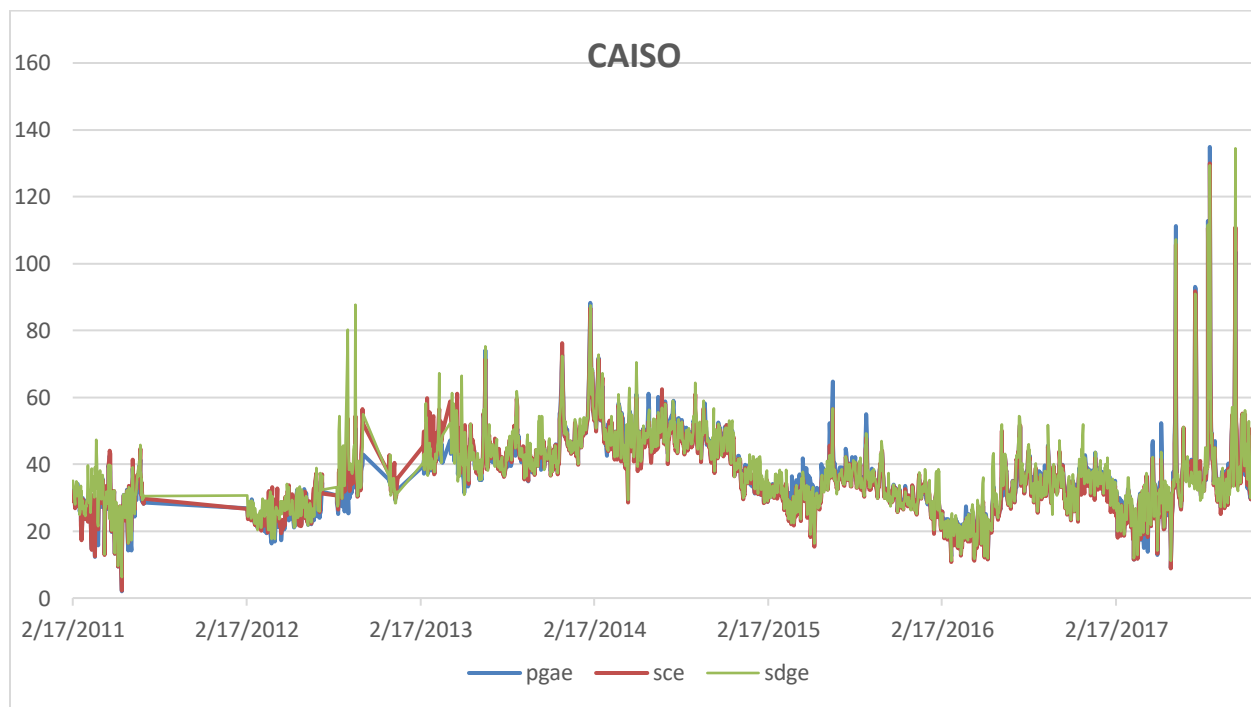
Από τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να δούμε ότι η πρώτη συνιστώσα όντως αναφέρεται σε πανεθνικό συστημικό παράγοντα καθώς υπάρχει θετική συσχέτιση με το σύνολο των μεταβλητών. Η δεύτερη συνιστώσα πιθανότατα αναφέρεται κάποιο παράγοντα της περιφέρειας του Τέξας καθώς έχει μεγαλύτερη συσχέτιση με τις μεταβλητές που αναφέρονται σε αυτήν την περιοχή. Τέλος η τρίτη συνιστώσα βλέπουμε ότι αναφέρεται σε τοπικό επίπεδο καθώς σε κάθε περιοχή έχουμε είτε αρνητική είτε θετική συσχέτιση.

#### **4.3 Μελέτη χαρακτηριστικών μεταξύ των ανεξάρτητων διαχειριστών**

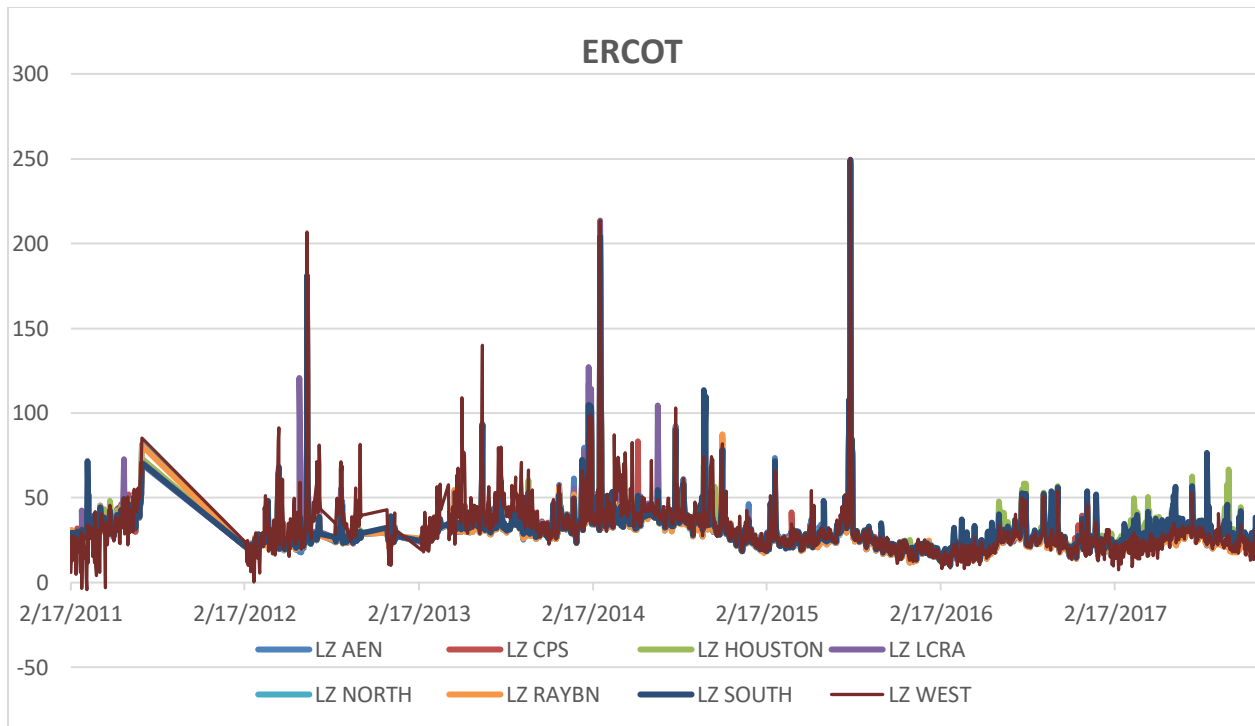
Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγράψουμε την μελέτη που κάναμε πάνω στην εξέλιξη της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε ανεξάρτητο διαχειριστή (ISO). Στην ενότητα 4.3.1 θα εξετάσουμε σε επίπεδο διαχειριστή, την εξέλιξη της τιμής της ενέργειας σε ημερήσια βάση για κάθε κόμβο διαπραγμάτευσης. Στην ενότητα 4.3.2 θα εξετάσουμε την εξέλιξη της τιμής ανά ώρα και ανά διαχειριστή.

### 4.3.1 Συσχετίσεις μεταξύ τοπικών αγορών

Θέλαμε να μελετήσουμε κατά πόσο η ημερήσια εξέλιξη της τιμής της ενέργειας στις κατά τόπους αγορές ακολουθεί κοινή πορεία. Για το λόγο αυτό βρήκαμε την μέση ημερήσια τιμή από τις ωριαίες παρατηρήσεις για κάθε κόμβο και δημιουργήσαμε γραφική παράσταση με την εξέλιξη της στο χρόνο.

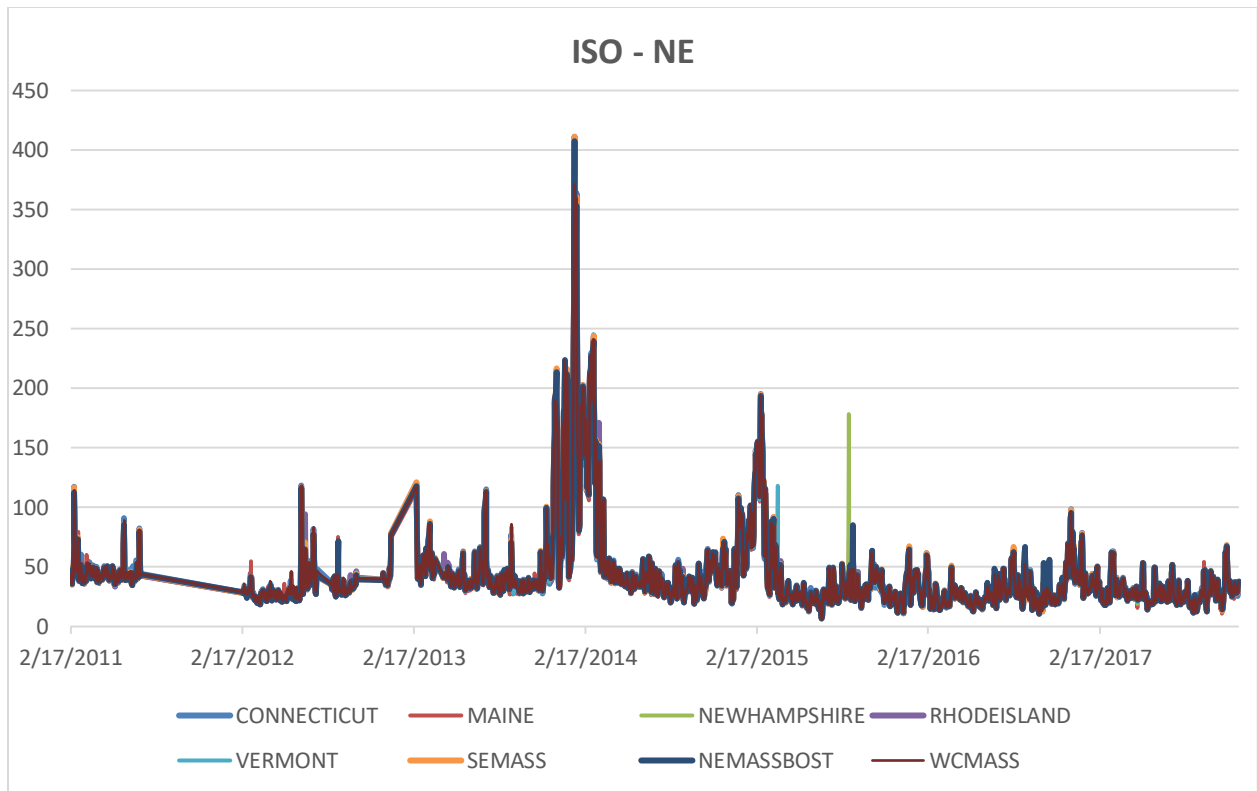


Σχήμα 8: Χρονική εξέλιξη τιμής ενέργειας στον ανεξάρτητο διαχειριστή CAISO ανά κόμβο διαπραγμάτευσης

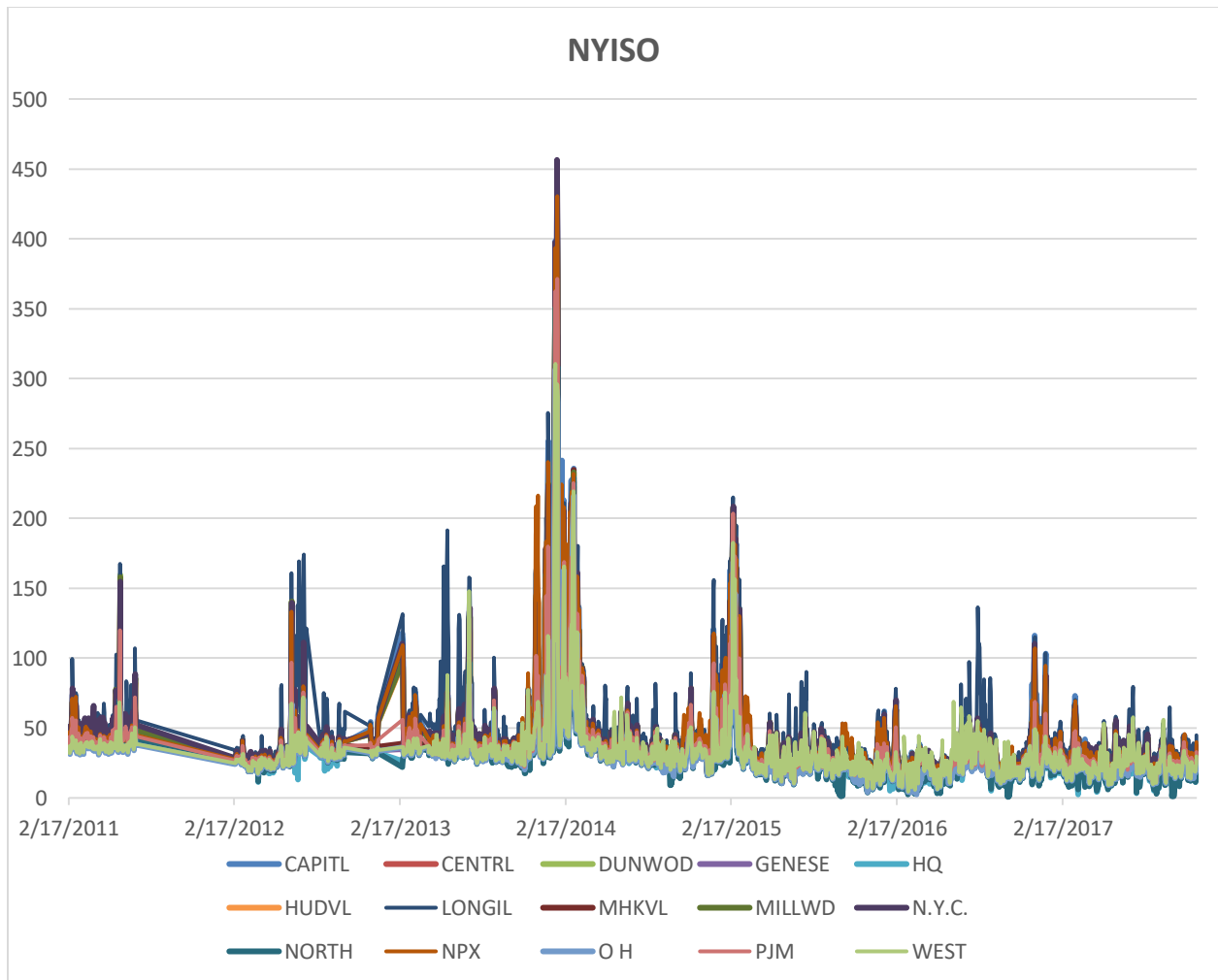


Σχήμα 9: Χρονική εξέλιξη τιμής ενέργειας στον ανεξάρτητο διαχειριστή ERCOT ανά κόμβο διαπραγμάτευσης





Σχήμα 10: Χρονική εξέλιξη τιμής ενέργειας στον ανεξάρτητο διαχειριστή ISO - NE ανά κόμβο διαπραγμάτευσης



Σχήμα 11: Χρονική εξέλιξη τιμής ενέργειας στον ανεξάρτητο διαχειριστή NYISO ανά κόμβο διαπραγμάτευσης

Μελετώντας τις γραφικές παραστάσεις παρατηρούμε ότι σε κάθε ανεξάρτητο διαχειριστή συστήματος η εξέλιξη της τιμής συμπίπτει για κάθε κόμβο. Συνεπώς μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι τιμές σε επίπεδο πολιτείας δεν επηρεάζονται από τοπικούς (σε επίπεδο κόμβου) παράγοντες.

Για να εξετάσουμε πιο σωστά αυτή την υπόθεση θα μελετήσουμε και τον πίνακα συσχετίσεων μεταξύ των κόμβων κάθε διαχειριστή καθώς και τις ιδιοτιμές.

Παραθέτουμε τους πίνακες συσχετίσεων.

<i>CAISO</i>	<i>PGAE</i>	<i>SCE</i>	<i>SDGE</i>
PGAE	1		
SCE	0.960123	1	
SDGE	0.930805	0.960999	1
<b>eigenvalues</b>	<b>2.901353</b>	<b>0.069201</b>	<b>0.029446</b>

Πίνακας 2: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των κόμβων του ανεξάρτητου διαχειριστή CAISO

<i>ERCOT</i>	<i>LZ AEN</i>	<i>LZ CPS</i>	<i>LZ HOUSTON</i>	<i>LZ LCRA</i>	<i>LZ NORTH</i>	<i>LZ RAYBN</i>	<i>LZ SOUTH</i>	<i>LZ WEST</i>
LZ AEN	1							
LZ CPS	0.981957	1						
LZ HOUSTON	0.958529	0.965727	1					
LZ LCRA	0.958247	0.956368	0.930984529	1				
LZ NORTH	0.987304	0.981064	0.95525035	0.958236	1			
LZ RAYBN	0.984814	0.978569	0.951100367	0.955701	0.9986721	1		
LZ SOUTH	0.946764	0.948433	0.942170958	0.923297	0.9422151	0.9378525	1	
LZ WEST	0.866384	0.86484	0.829462983	0.850307	0.8746084	0.8709918	0.825662	1
<b>eigenvalues</b>	<b>7.5382</b>	<b>0.2231</b>	<b>0.0862</b>	<b>0.0011</b>	<b>0.0157</b>	<b>0.0518</b>	<b>0.0627</b>	<b>0.0212</b>

Πίνακας 3: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των κόμβων του ανεξάρτητου διαχειριστή ERCOT

ISO - NE	CONNEC TICUT	MAINE	NEWHAMP SHIRE	RHODEIS LAND	VERMONT	SEMASS	NEMASS BOST	WCMAS S
CONNECTICUT	1							
MAINE	0.992592	1						
NEWHAMPSHIRE	0.992167	0.995740	1					
RHODEISLAND	0.994235	0.996298	0.9942771	1				
VERMONT	0.998097	0.992879	0.9921871	0.994079	1			
SEMASS	0.995139	0.997444	0.9954267	0.999102	0.9950706	1		
NEMASSBOST	0.993171	0.995956	0.9935103	0.996538	0.9931112	0.99766	1	
WCMASS	0.997974	0.996172	0.9947431	0.997260	0.997298	0.99828	0.997137	1
<b>eigenvalues</b>	<b>7.9684</b>	<b>0.0136</b>	<b>0.0075</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0009</b>	<b>0.0020</b>	<b>0.0033</b>	<b>0.0037</b>

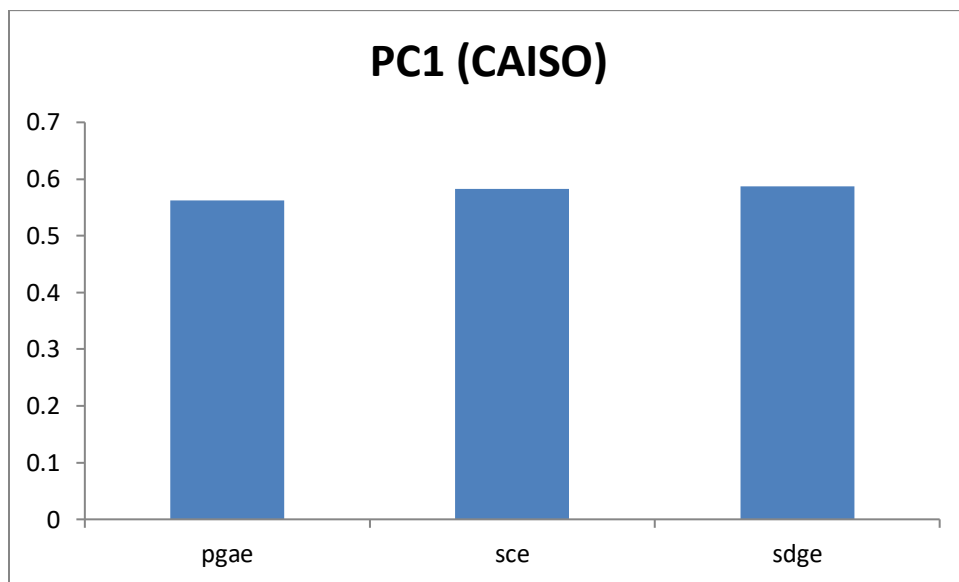
Πίνακας 4: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των κόμβων του ανεξάρτητου διαχειριστή ISO-NE

NYISO	CAPI TL	CENTR L	DUN WOD	GENE SE	HQ	HUDV L	LONGI L	MHKV L	MILL WD	N.Y.C.	NORT H	NPX	O H	PJM	WEST
CAPITL	1														
CENTRL	0.91 4768	1													
DUNW OD	0.98 6514	0.946 88	1												
GENESE	0.90 6943	0.997 912	0.940 614	1											
HQ	0.88 082	0.985 347	0.915 869	0.983 711	1										
HUDVL	0.98 8756	0.949 867	0.999 606	0.943 478	0.919 435	1									
LONGIL	0.93 1436	0.890 994	0.949 619	0.885 257	0.854 951	0.948 434	1								
MHKVL	0.91 7819	0.999 505	0.949 611	0.997 229	0.986 514	0.952 531	0.893 693	1							
MILLW D	0.98 7092	0.946 937	0.999 956	0.940 644	0.915 97	0.999 711	0.949 585	0.949 66	1						
N.Y.C.	0.98 2443	0.941 581	0.995 359	0.935 538	0.910 346	0.994 751	0.945 772	0.944 138	0.995 089	1					
NORTH	0.87 8582	0.985 915	0.915 214	0.984 855	0.993 881	0.918 594	0.860 325	0.987 648	0.915 243	0.909 801	1				
NPX	0.97 6763	0.905 576	0.970 097	0.898 122	0.874 782	0.972 218	0.928 784	0.909 159	0.970 666	0.962 878	0.872 731	1			
O H	0.90 8906	0.989 164	0.939 192	0.993 48	0.976 265	0.942 148	0.882 838	0.989 139	0.939 285	0.934 172	0.977 471	0.896 926	1		
PJM	0.95 8135	0.971 299	0.980 955	0.969 765	0.944 917	0.981 521	0.925 564	0.972 017	0.980 846	0.978 278	0.944 467	0.941 524	0.970 073	1	
WEST	0.87 8709	0.970 611	0.913 474	0.971 442	0.947 661	0.915 684	0.864 149	0.965 943	0.913 485	0.908 072	0.947 48	0.867 996	0.962 289	0.954 265	1
<b>eigenva lues</b>	<b>14.2 319</b>	<b>0.488 2</b>	<b>0.091 4</b>	<b>0.071 6</b>	<b>0.044 7</b>	<b>0.023 7</b>	<b>0.014 6</b>	<b>0.012 6</b>	<b>0.007 6</b>	<b>0.006 163</b>	<b>0.005 761</b>	<b>0.001 399</b>	<b>0.000 207</b>	<b>0.000 127</b>	<b>3.04E- 05</b>

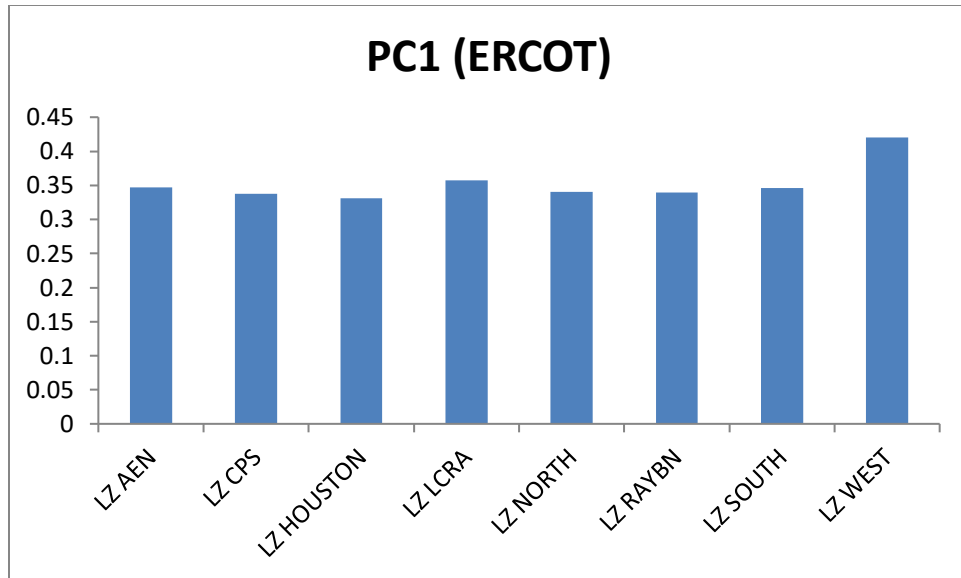
Πίνακας 5: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των κόμβων του ανεξάρτητου διαχειριστή NYISO

Μελετώντας τις συσχετίσεις παρατηρούμε το αποτέλεσμα που είχαμε δει και από τις γραφικές παραστάσεις. Οι κόμβοι διαπραγμάτευσης κάθε διαχειριστή έχουν πολύ μεγάλη θετική συσχέτιση ( $>0.85$ ) που σημαίνει ότι επηρεάζονται από τους ίδιους παράγοντες για την τελική διαμόρφωση της τιμής. Επίσης για τους τέσσερις ανεξάρτητους διαχειριστές (CAISO, ERCOT, ISO-NE, NYISO), έχουμε μία συνιστώσα που εξηγεί σχεδόν ολόκληρη τη διακύμανση για τις μέσες ημερήσιες τιμές. Πιο συγκεκριμένα το ποσοστό που εξηγεί η συνιστώσα σε κάθε περίπτωση είναι διαδοχικά 96.7%, 94.2%, 99.6% και 94.9%.

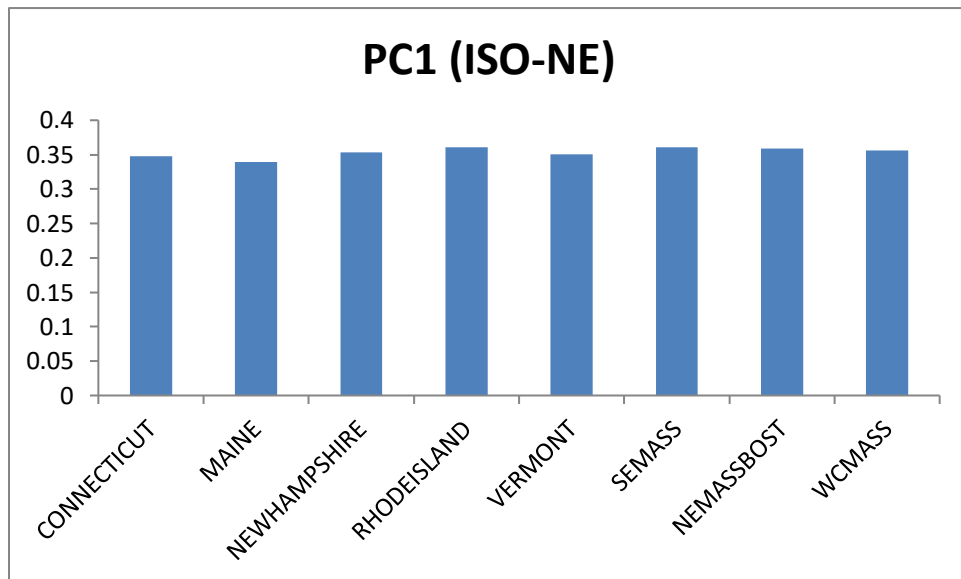
Εξετάζοντας τους συντελεστές επιβάρυνσης για τις παραπάνω κύριες συνιστώσες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι αναφέρονται σε πανεθνικούς-συστημικούς κοινούς παράγοντες. Όπως βλέπουμε παρακάτω, σε όλα τα διαγράμματα για κάθε περιοχή βλέπουμε θετική συσχέτιση για τις μεταβλητές μας (Σχήματα 12-15).



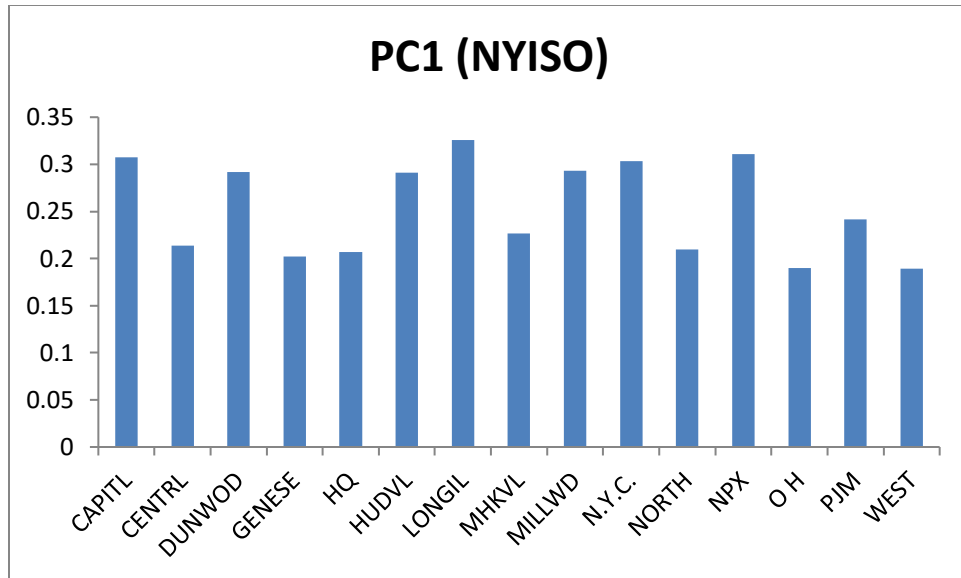
Σχήμα 12: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα σε για τον διαχειριστή CAISO



Σχήμα 13: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα σε για τον διαχειριστή ERCOT

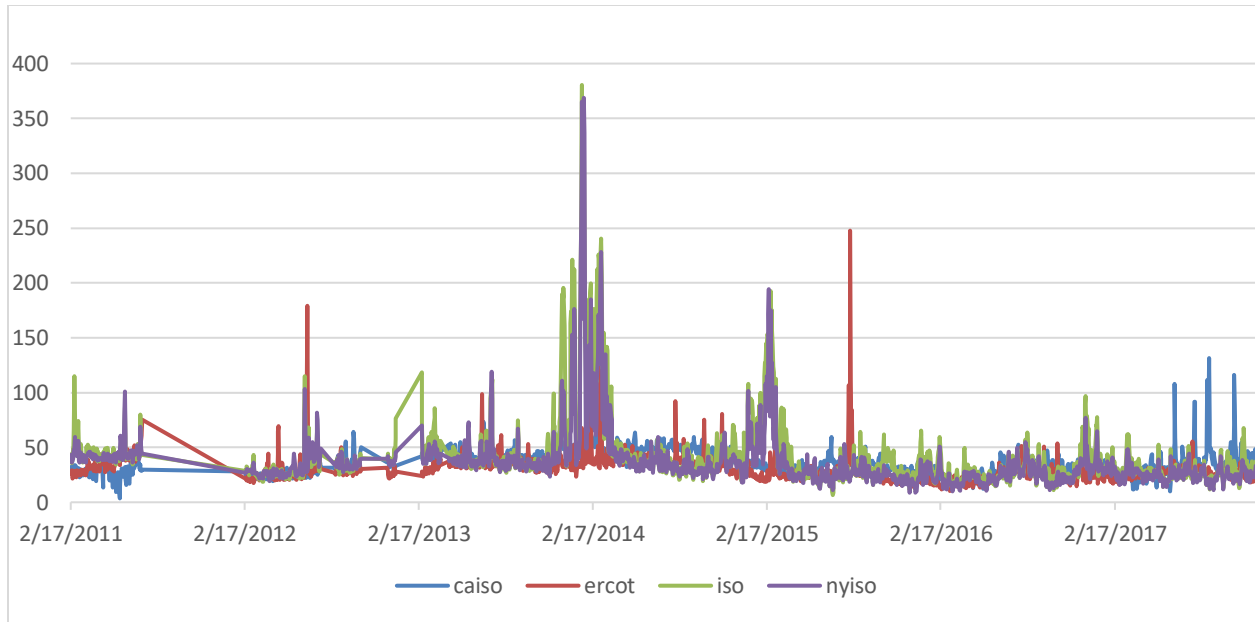


Σχήμα 14: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα σε για τον διαχειριστή ISO-NE



Σχήμα 15: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα σε για τον διαχειριστή NYISO

Τέλος θέλαμε να μελετήσουμε και τις συσχετίσεις μεταξύ των ανεξάρτητων διαχειριστών συστήματος. Για το λόγο αυτό υπολογίσαμε τις μέσες ημερήσιες τιμές από όλους τους κόμβους κάθε διαχειριστή και σχεδιάσαμε γραφική παράσταση της εξέλιξης της μέσης ημερήσιας τιμής καθώς και τον πίνακα συσχετίσεων μεταξύ των διαχειριστών.



Σχήμα 16: Χρονική εξέλιξη μέσης ημερήσιας τιμής ενέργειας όλων των ανεξάρτητων διαχειριστών συστήματος

	<i>caiso</i>	<i>ercot</i>	<i>iso</i>	<i>nyiso</i>
<i>caiso</i>	1			
<i>ercot</i>	0.386249	1		
<i>iso</i>	0.32077	0.278612	1	
<i>nyiso</i>	0.295825	0.341556	0.921998	1
<b>eigenvalues</b>	<b>2.3281</b>	<b>0.9805</b>	<b>0.6173</b>	<b>0.0741</b>

Πίνακας 6: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των ανεξάρτητων διαχειριστών συστήματος

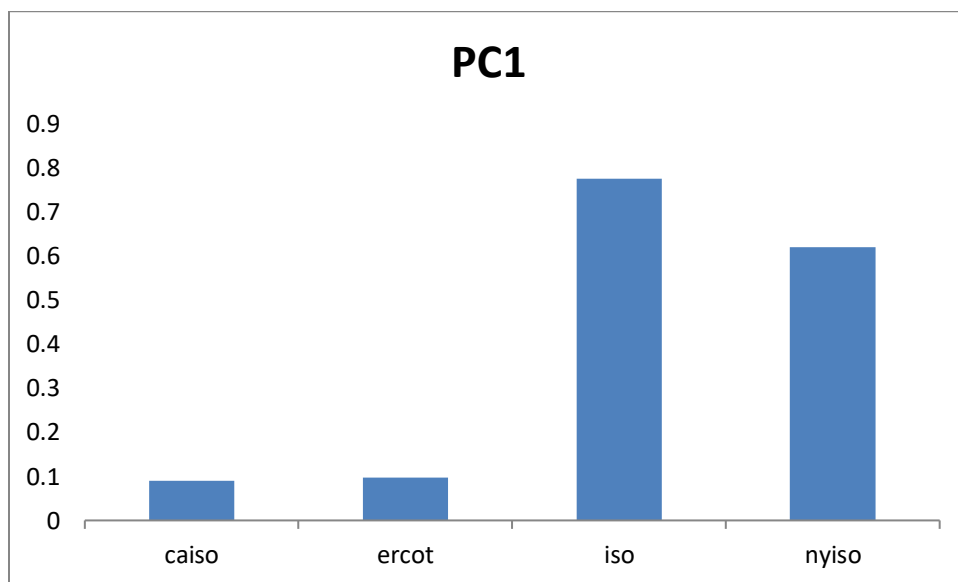
Εδώ παρατηρούμε ότι μεταξύ τους οι διαχειριστές έχουν μικρή έως ελάχιστη θετική συσχέτιση. Οι μόνοι που είναι σε μεγάλο βαθμό θετικά συσχετισμένοι (0.92) είναι οι ISO-NE και NYISO.

Οι λόγοι και πάλι είναι γεωγραφικοί. Αν δούμε το χάρτη των Η.Π.Α. οι ISO-NE και NYISO συνορεύουν. Αντίθετα CAISO και NYISO για παράδειγμα βρίσκονται στην δυτική και ανατολική ακτή αντίστοιχα εξού και η μικρή συσχέτιση (0.29). Επίσης βλέπουμε εδώ ότι δύο ιδιοτιμές

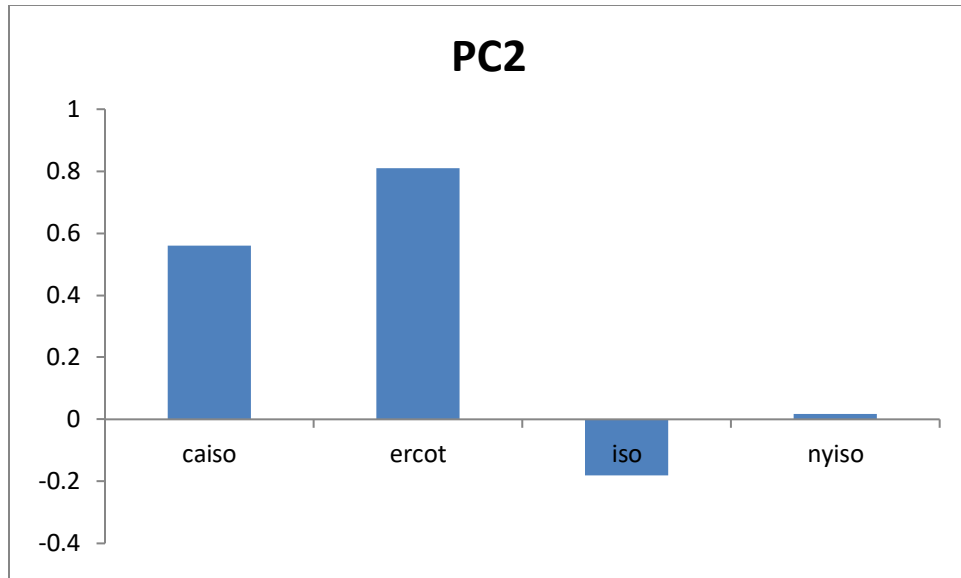


ερμηνεύουν το 82.5% της συνολικής διακύμανσης (58% η πρώτη και 24.5% η δεύτερη) καθώς οι γεωγραφικοί παράγοντες που επηρεάζουν τον κάθε διαχειριστή διαφέρουν μεταξύ τους.

Από την μελέτη των συντελεστών επιβάρυνσης για τις δύο συνιστώσες επαληθεύονται τα παραπάνω. Η πρώτη συνιστώσα αναφέρεται σε πανεθνικούς κοινούς παράγοντες που όμως επηρεάζουν περισσότερο τους διαχειριστές ISO-NE και NYISO (συνορεύουν) και λιγότερο τους CAISO και ERCOT. Αντίθετα η δεύτερη συνιστώσα βλέπουμε ότι έχει ισχυρή σχετική συσχέτιση με τους διαχειριστές CAISO και ERCOT και μικρή αρνητική συσχέτιση με τον ISO-NE. Άρα αναφέρεται σε κοινούς παράγοντες που επηρεάζουν τις τιμές ενέργειας στο νότιο και δυτικό τμήμα των Η.Π.Α.



Σχήμα 17: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα μεταξύ των ανεξάρτητων διαχειριστών



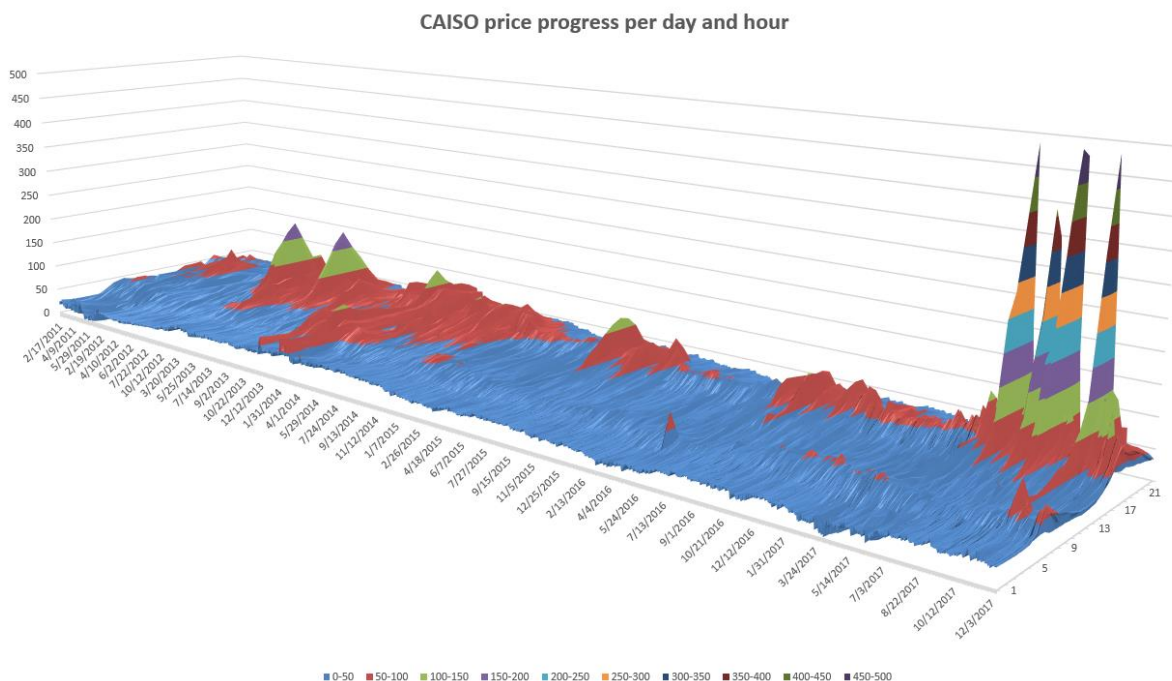
Σχήμα 18: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 2<sup>η</sup> συνιστώσα μεταξύ των ανεξάρτητων διαχειριστών

### 4.3.2 Συσχετίσεις μεταξύ των ωρών διαπραγμάτευσης

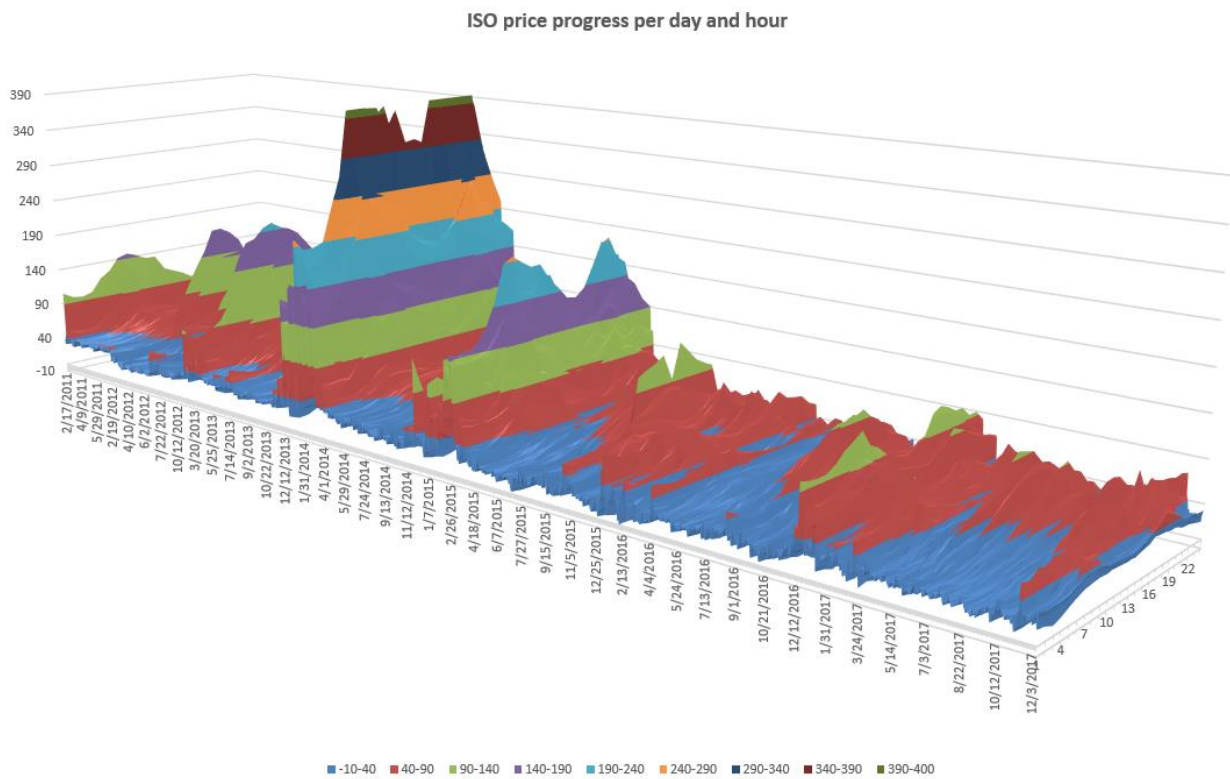
Σε αυτή την παράγραφο θέλουμε να μελετήσουμε την εξέλιξη της μέσης ωριαία τιμής κατά μήκος όλων των κόμβων κάθε διαχειριστή. Με αυτό τον τρόπο θέλουμε να ελέγξουμε την αν οι απαιτήσεις σε ενέργεια ανά ώρα επηρεάζουν περισσότερο την τιμή σε σχέση με άλλους παράγοντες (για παράδειγμα τοπικούς ή παγκόσμιους).

Για το λόγο αυτό σχεδιάζουμε για κάθε ανεξάρτητο χειριστή ένα τρισδιάστατο διάγραμμα εξέλιξης της τιμής σε συνάρτηση με την κάθε ώρα της ημέρας για όλη τη χρονική διάρκεια των δεδομένων μας.

Μελετώντας και τα τέσσερα διαγράμματα βλέπουμε την περιοδικότητα που ακολουθεί η τιμή της ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επαληθεύονται τα αναμενόμενα αποτελέσματα όπου περιμέναμε τους μήνες Απρίλιο – Οκτώβριο τα peaks να βρίσκονται μεταξύ των ωρών 2-9 μ.μ. και τους υπόλοιπους μήνες να μειώνεται αυτό το εύρος μεταξύ 4-8μ.μ και να έχουμε και ένα peak μετά τις 6-7π.μ. έως τις 10π.μ.

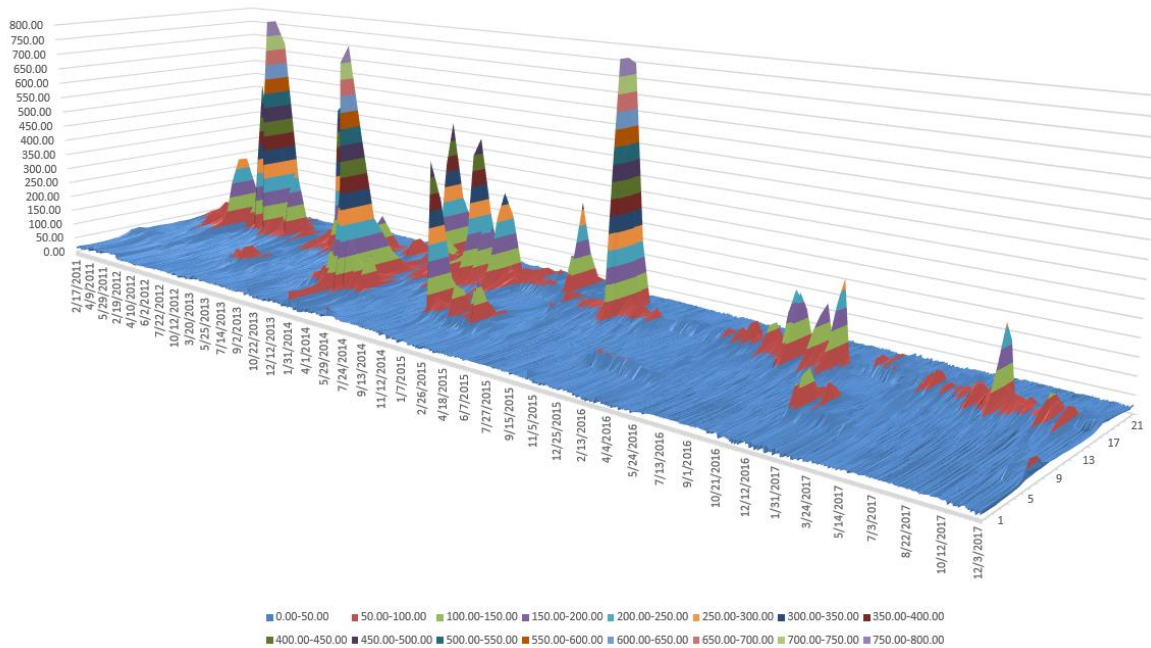


Σχήμα 19: Χρονική εξέλιξη τιμής ενέργειας ανά ώρα και ημέρα στον ανεξάρτητο διαχειριστή CAISO

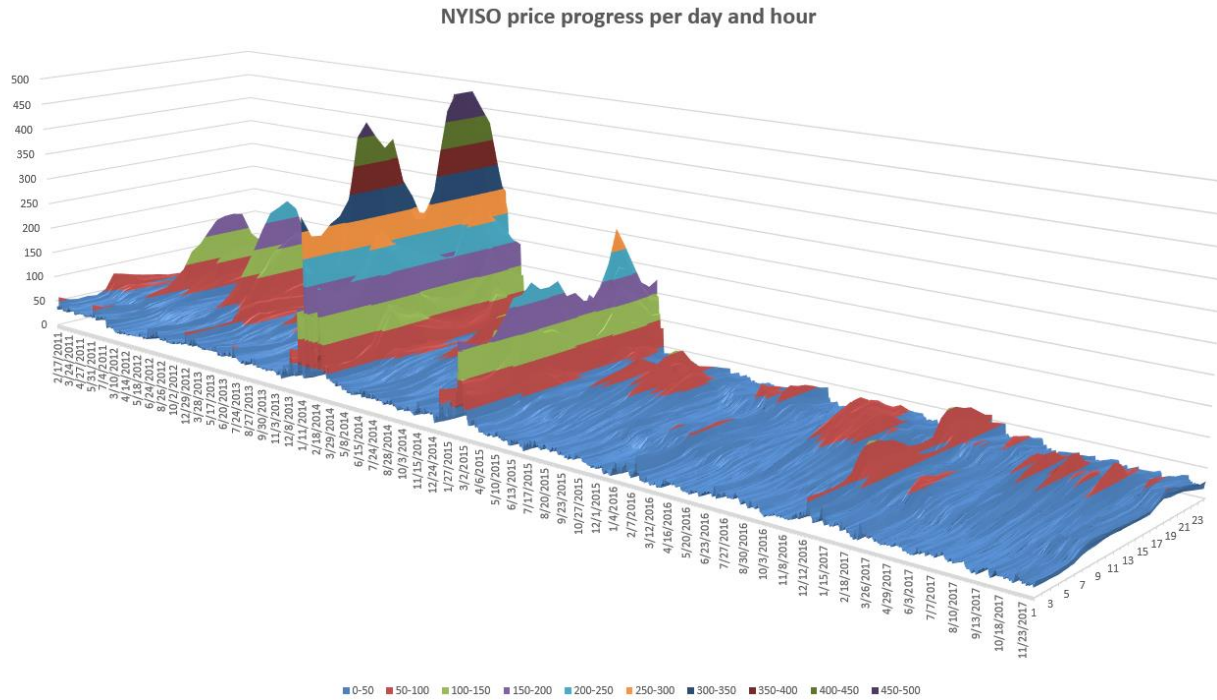


Σχήμα 20: Χρονική εξέλιξη τιμής ενέργειας ανά ώρα και ημέρα στον ανεξάρτητο διαχειριστή ISO-NE

ERCOT price progress per day and hour



Σχήμα 21: Χρονική εξέλιξη τιμής ενέργειας ανά ώρα και ημέρα στον ανεξάρτητο διαχειριστή ERCOT



Σχήμα 22: Χρονική εξέλιξη τιμής ενέργειας ανά ώρα και ημέρα στον ανεξάρτητο διαχειριστή NYISO

Στη συνέχεια θα ακολουθήσουμε τα βήματα της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες για να υπολογίσουμε πρώτα τους πίνακες συσχετίσεων μεταξύ των ωρών καθώς και τις ιδιοτιμές, ώστε να δούμε πόσες συνιστώσες ερμηνεύουν το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής διακύμανσης.

Παρακάτω παραθέτουμε τους πίνακες συσχετίσεων και τις ιδιοτιμές.

CAISO	Hour 1	Hour 2	Hour 3	Hour 4	Hour 5	Hour 6	Hour 7	Hour 8	Hour 9	Hour 10	Hour 11	Hour 12	Hour 13	Hour 14	Hour 15	Hour 16	Hour 17	Hour 18	Hour 19	Hour 20	Hour 21	Hour 22	Hour 23	Hour 24
Hour 1	1																							
Hour 2	0.97955	1																						
Hour 3	0.938773	0.969528	1																					
Hour 4	0.911123	0.946663	0.98811	1																				
Hour 5	0.905182	0.936237	0.968248	0.980244	1																			
Hour 6	0.823967	0.837281	0.854325	0.875235	0.926339	1																		
Hour 7	0.636159	0.637195	0.643906	0.670407	0.750636	0.885833	1																	
Hour 8	0.569313	0.553868	0.531804	0.544816	0.620857	0.759668	0.916406	1																
Hour 9	0.685339	0.658986	0.600354	0.588701	0.631001	0.687325	0.752203	0.884713	1															
Hour 10	0.687984	0.656586	0.581198	0.556228	0.570748	0.56876	0.575863	0.718092	0.9381	1														
Hour 11	0.651988	0.613221	0.529633	0.495752	0.497191	0.47109	0.459418	0.605624	0.866566	0.970504	1													
Hour 12	0.640685	0.592777	0.514088	0.47481	0.467305	0.422586	0.393091	0.531349	0.81016	0.935789	0.980096	1												
Hour 13	0.629886	0.577127	0.492445	0.448873	0.448412	0.386241	0.33837	0.463553	0.749723	0.88982	0.947994	0.982043	1											
Hour 14	0.613529	0.571127	0.492445	0.448873	0.430658	0.363745	0.311133	0.421445	0.698562	0.841194	0.908525	0.95465	0.983392	1										
Hour 15	0.579222	0.548581	0.470221	0.426015	0.404938	0.328798	0.267012	0.35925	0.619803	0.763865	0.835779	0.893407	0.938381	0.974255	1									
Hour 16	0.545205	0.520819	0.452014	0.409268	0.385976	0.307714	0.245436	0.314261	0.545699	0.678281	0.747069	0.80884	0.8614	0.912851	0.969238	1								
Hour 17	0.534765	0.520533	0.471076	0.433376	0.416608	0.346683	0.294013	0.324356	0.502452	0.603355	0.653321	0.707416	0.757106	0.8111854	0.885334	0.951315	0.877515	1						
Hour 18	0.500145	0.498034	0.479927	0.461153	0.456988	0.422531	0.421972	0.413814	0.469713	0.491603	0.497915	0.522848	0.550254	0.587709	0.653844	0.751185	0.702327	0.902156	1					
Hour 19	0.369399	0.366377	0.36459	0.355814	0.362784	0.350536	0.366665	0.341202	0.317258	0.300833	0.300495	0.318057	0.343854	0.378549	0.441256	0.551457	0.655572	0.799342	0.905302	1				
Hour 20	0.355907	0.343832	0.339885	0.331493	0.343434	0.347139	0.355343	0.308574	0.273576	0.25717	0.260116	0.279212	0.307651	0.345742	0.408921	0.51398	0.665572	0.799342	0.905302	1				
Hour 21	0.581454	0.543596	0.5041	0.485664	0.512974	0.543279	0.534376	0.483513	0.488353	0.471926	0.46729	0.476508	0.487792	0.508293	0.531023	0.577548	0.657003	0.705448	0.727022	0.833448	1			
Hour 22	0.79179	0.752132	0.696561	0.672805	0.697961	0.711866	0.667909	0.641558	0.689577	0.673532	0.654025	0.647732	0.642051	0.639121	0.619316	0.600879	0.61021	0.60812	0.529314	0.561855	0.85597	1		
Hour 23	0.885462	0.854962	0.806293	0.781853	0.801562	0.792182	0.712466	0.699509	0.776	0.755372	0.719733	0.704027	0.686648	0.6726	0.634105	0.600926	0.598502	0.587425	0.47455	0.474276	0.749856	0.942271	1	
Hour 24	0.938953	0.924982	0.887147	0.861753	0.876795	0.843029	0.714032	0.674466	0.754722	0.735605	0.695485	0.681605	0.669563	0.659352	0.628337	0.597661	0.595429	0.578697	0.457714	0.446599	0.675569	0.8778	0.955537	1
eigenvalues	15.3781	3.3333	2.4246	1.2995	0.5874	0.2899	0.1782	0.0928	0.0847	0.0633	0.0560	0.0397	0.0273	0.0240	0.0221	0.0186	0.0091	0.0110	0.0127	0.0069	0.0149	0.0062	0.0140	0.0056

Πίνακας 7: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των ωρών του ανεξάρτητου διαχειριστή CAISO

ERCOT	Hour 1	Hour 2	Hour 3	Hour 4	Hour 5	Hour 6	Hour 7	Hour 8	Hour 9	Hour 10	Hour 11	Hour 12	Hour 13	Hour 14	Hour 15	Hour 16	Hour 17	Hour 18	Hour 19	Hour 20	Hour 21	Hour 22	Hour 23	Hour 24
Hour 1	1																							
Hour 2	0.967474	1																						
Hour 3	0.937491	0.985257	1																					
Hour 4	0.909463	0.964675	0.988545	1																				
Hour 5	0.857004	0.916663	0.947166	0.974728	1																			
Hour 6	0.683004	0.732036	0.76645	0.811396	0.888807	1																		
Hour 7	0.390934	0.434957	0.472573	0.525853	0.628944	0.860994	1																	
Hour 8	0.392245	0.427959	0.460412	0.50893	0.604022	0.85363	0.965359	1																
Hour 9	0.513666	0.542068	0.567214	0.610918	0.690631	0.893059	0.891813	0.942976	1															
Hour 10	0.675495	0.701076	0.718208	0.752453	0.811032	0.906407	0.788087	0.826278	0.934853	1														
Hour 11	0.7511	0.762882	0.765468	0.781951	0.812277	0.848894	0.680327	0.728087	0.846155	0.950873	1													
Hour 12	0.791043	0.785201	0.767256	0.754171	0.736223	0.67942	0.455765	0.503478	0.628154	0.774885	0.904164	1												
Hour 13	0.723253	0.704528	0.674043	0.639535	0.588171	0.480461	0.251607	0.297484	0.410608	0.565652	0.743318	0.935033	1											
Hour 14	0.578222	0.556736	0.521279	0.475267	0.407091	0.278423	0.071422	0.10899	0.202362	0.341153	0.539615	0.791182	0.927288	1										
Hour 15	0.320993	0.305009	0.276674	0.236082	0.179829	0.094485	-0.02678	0.00037	0.052853	0.137427	0.286106	0.492143	0.635694	0.799589	1									
Hour 16	0.144584	0.134352	0.113607	0.083207	0.04451	-2.8E-05	-0.0544	-0.03806	-0.01298	0.03184	0.130632	0.274332	0.394228	0.571198	0.905903	1								
Hour 17	0.117551	0.104606	0.085531	0.057177	0.022007	-0.01274	-0.05459	-0.04002	-0.01901	0.020283	0.107355	0.234242	0.345985	0.508491	0.852727	0.982929	1							
Hour 18	0.242599	0.22504	0.202945	0.176534	0.145319	0.119843	0.05037	0.076561	0.122952	0.183785	0.275879	0.386181	0.464737	0.567308	0.849186	0.901372	0.905966	1						
Hour 19	0.522128	0.51642	0.511717	0.514443	0.527384	0.602647	0.500811	0.566522	0.657919	0.705575	0.760787	0.741655	0.661693	0.561642	0.471095	0.408105	0.400906	0.566044	1					
Hour 20	0.497045	0.494467	0.493708	0.503763	0.53004	0.662261	0.598149	0.686084	0.759372	0.754552	0.777757	0.71145	0.593959	0.43909	0.261209	0.144531	0.131197	0.296099	0.87097	1				
Hour 21	0.638319	0.628715	0.613982	0.611484	0.622012	0.660012	0.510191	0.580789	0.67159	0.743742	0.813417	0.807392	0.708195	0.544924	0.315399	0.162708	0.14628	0.320945	0.816967	0.894429	1			
Hour 22	0.735553	0.724314	0.706361	0.696977	0.693296	0.685867	0.501336	0.588637	0.668411	0.770003	0.861767	0.877734	0.790473	0.62725	0.368487	0.190916	0.167918	0.351355	0.818532	0.831677	0.938554	1		
Hour 23	0.827171	0.817022	0.796719	0.782924	0.764608	0.663126	0.394656	0.419967	0.54192	0.71273	0.824661	0.875081	0.803437	0.653404	0.384646	0.201093	0.172493	0.340761	0.726146	0.684112	0.842608	0.921481	1	
Hour 24	0.846306	0.838868	0.822082	0.807781	0.784328	0.668738	0.392982	0.413289	0.533532	0.698647	0.801283	0.852049	0.781131	0.629854	0.353961	0.165008	0.135047	0.301889	0.674861	0.636341	0.795908	0.889173	0.970426	1
eigenvalues	14.5179	4.3191	2.1393	1.2862	0.5472	0.2264	0.2313	0.1388	0.1264	0.0895	0.0777	0.0517	0.0482	0.0424	0.0312	0.0039	0.0267	0.0077	0.0207	0.0092	0.0100	0.0175	0.070426	0.0140

Πίνακας 8: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των ωρών του ανεξάρτητου διαχειριστή ERCOT



ISO-NE	Hour 1	Hour 2	Hour 3	Hour 4	Hour 5	Hour 6	Hour 7	Hour 8	Hour 9	Hour 10	Hour 11	Hour 12	Hour 13	Hour 14	Hour 15	Hour 16	Hour 17	Hour 18	Hour 19	Hour 20	Hour 21	Hour 22	Hour 23	Hour 24
Hour 1	1																							
Hour 2	0.99468	1																						
Hour 3	0.990619	0.996901	1																					
Hour 4	0.988786	0.994846	0.997596	1																				
Hour 5	0.979264	0.984161	0.987842	0.992698	1																			
Hour 6	0.964659	0.966997	0.969966	0.980284	0.991175	1																		
Hour 7	0.935109	0.936219	0.939504	0.951105	0.977464	0.986306	1																	
Hour 8	0.928752	0.929713	0.932626	0.943494	0.968792	0.98331	0.992365	1																
Hour 9	0.939402	0.939731	0.941652	0.950213	0.969938	0.981272	0.986616	0.992503	1															
Hour 10	0.943199	0.942305	0.942802	0.949916	0.964542	0.973261	0.972017	0.978974	0.992605	1														
Hour 11	0.930926	0.930053	0.930685	0.936945	0.950271	0.958206	0.955074	0.963303	0.981955	0.992792	1													
Hour 12	0.91134	0.910482	0.911168	0.916085	0.925611	0.932627	0.925427	0.934255	0.957758	0.977093	0.99013	1												
Hour 13	0.89255	0.891822	0.892149	0.895766	0.903561	0.909021	0.900228	0.908628	0.934678	0.957548	0.976644	0.99389	1											
Hour 14	0.869717	0.869024	0.868827	0.871629	0.878982	0.883587	0.87545	0.883829	0.910617	0.935117	0.957694	0.98267	0.994623	1										
Hour 15	0.861473	0.860483	0.859653	0.862124	0.868895	0.873394	0.86507	0.873342	0.90033	0.924084	0.94735	0.974098	0.988425	0.996351	1									
Hour 16	0.872902	0.871809	0.870557	0.87374	0.881901	0.886993	0.880058	0.888352	0.913715	0.934445	0.954872	0.974538	0.98443	0.989587	0.993901	1								
Hour 17	0.884504	0.88352	0.882134	0.886244	0.895281	0.902192	0.89671	0.904778	0.932796	0.943067	0.958899	0.971929	0.974687	0.973773	0.9804	0.991517	1							
Hour 18	0.894424	0.893482	0.892649	0.898834	0.910868	0.91974	0.916708	0.924624	0.943696	0.952181	0.961346	0.960609	0.952823	0.941896	0.946013	0.969535	0.986342	1						
Hour 19	0.905679	0.906209	0.906273	0.913376	0.925833	0.935444	0.931944	0.939292	0.956917	0.96283	0.966601	0.962986	0.952075	0.936379	0.934817	0.955663	0.975276	0.989077	1					
Hour 20	0.909843	0.910448	0.911316	0.918832	0.932105	0.941934	0.938958	0.946867	0.963365	0.966516	0.979999	0.967348	0.954502	0.935935	0.930891	0.9467	0.963457	0.978229	0.990658	1				
Hour 21	0.924474	0.925062	0.9261	0.932435	0.94286	0.949932	0.942034	0.94892	0.967122	0.974932	0.98067	0.975748	0.963525	0.945453	0.93909	0.950709	0.962344	0.970832	0.982197	0.990645	1			
Hour 22	0.940876	0.94097	0.941143	0.947022	0.954825	0.958201	0.945492	0.947847	0.974183	0.978518	0.972109	0.960155	0.941645	0.934416	0.945251	0.953802	0.9596	0.9596	0.978701	0.989353	1			
Hour 23	0.943659	0.945165	0.946163	0.95205	0.959166	0.961488	0.946495	0.947601	0.962982	0.966882	0.971187	0.960965	0.947243	0.926443	0.917712	0.929583	0.939359	0.948188	0.960875	0.968084	0.980444	0.991053	1	
Hour 24	0.947017	0.948903	0.950418	0.955734	0.959936	0.959653	0.940086	0.938585	0.953144	0.959339	0.961031	0.951107	0.937585	0.917309	0.908517	0.918017	0.926747	0.934395	0.946991	0.955864	0.970105	0.986096	0.991801	1
eigenvalues	22.6941	0.7048	0.2239	0.1334	0.0963	0.0446	0.0228	0.0144	0.0096	0.0086	0.0076	0.0069	0.0054	0.0051	0.0043	0.0040	0.0032	0.0008	0.0018	0.0023	0.0013	0.0011	0.0026	0.0011

Πίνακας 9: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των ωρών του ανεξάρτητου διαχειριστή ISO-NE

Hour	Hour 1	Hour 2	Hour 3	Hour 4	Hour 5	Hour 6	Hour 7	Hour 8	Hour 9	Hour 10	Hour 11	Hour 12	Hour 13	Hour 14	Hour 15	Hour 16	Hour 17	Hour 18	Hour 19	Hour 20	Hour 21	Hour 22	Hour 23	Hour 24
Hour 1	1																							
Hour 2	0.996574	1																						
Hour 3	0.99329	0.997772	1																					
Hour 4	0.989675	0.994708	0.998257	1																				
Hour 5	0.987005	0.990782	0.994136	0.996087	1																			
Hour 6	0.968736	0.971951	0.975832	0.979443	0.9893	1																		
Hour 7	0.934767	0.937821	0.942872	0.949327	0.964066	0.985763	1																	
Hour 8	0.923458	0.927408	0.933797	0.940079	0.955383	0.978285	0.993406	1																
Hour 9	0.943985	0.947241	0.951223	0.954651	0.967861	0.983632	0.989112	0.993418	1															
Hour 10	0.959843	0.961252	0.963245	0.964679	0.975178	0.984514	0.982	0.983743	0.992921	1														
Hour 11	0.961663	0.962071	0.963593	0.963999	0.971293	0.974847	0.968004	0.96924	0.980706	0.992504	1													
Hour 12	0.9488	0.948925	0.94903	0.946555	0.950834	0.949966	0.936924	0.940587	0.955697	0.972475	0.989616	1												
Hour 13	0.92666	0.924622	0.922212	0.917089	0.917686	0.912199	0.893255	0.898022	0.916448	0.939063	0.965573	0.989756	1											
Hour 14	0.88064	0.877588	0.873011	0.865388	0.864424	0.857608	0.834682	0.840944	0.86228	0.888163	0.923246	0.962595	0.988517	1										
Hour 15	0.84593	0.841282	0.835717	0.827301	0.826139	0.820408	0.796102	0.804101	0.825921	0.854986	0.893156	0.938381	0.972797	0.993996	1									
Hour 16	0.832363	0.823873	0.817201	0.8083	0.810198	0.806916	0.782543	0.789417	0.810769	0.842228	0.879982	0.924156	0.959988	0.983298	0.99359	1								
Hour 17	0.860644	0.851921	0.846581	0.838657	0.843645	0.844444	0.825708	0.830865	0.849804	0.879188	0.9096	0.940891	0.963484	0.973953	0.978859	0.986644	1							
Hour 18	0.89619	0.889547	0.887971	0.882721	0.890823	0.900089	0.891951	0.89506	0.907851	0.928959	0.942026	0.94925	0.946987	0.929457	0.918745	0.922665	0.965621	1						
Hour 19	0.929357	0.926552	0.926749	0.924834	0.934338	0.946164	0.941715	0.940845	0.95196	0.963907	0.968582	0.963332	0.946055	0.91229	0.888635	0.883888	0.928082	0.977662	1					
Hour 20	0.934748	0.933368	0.934655	0.935138	0.94575	0.958769	0.957968	0.956439	0.963469	0.973036	0.976598	0.96694	0.94417	0.904363	0.876648	0.868329	0.908294	0.953968	0.987498	1				
Hour 21	0.941407	0.93857	0.939002	0.938877	0.948044	0.957841	0.950389	0.950898	0.961041	0.973268	0.978837	0.970712	0.950172	0.911079	0.884762	0.877637	0.913734	0.95254	0.979165	0.991189	1			
Hour 22	0.94597	0.94281	0.941784	0.939826	0.948699	0.956788	0.943948	0.944005	0.956322	0.970905	0.976985	0.97233	0.954294	0.918121	0.89967	0.888528	0.922059	0.955556	0.978731	0.986644	0.994113	1		
Hour 23	0.957562	0.956722	0.955878	0.954182	0.960319	0.963417	0.947421	0.94686	0.960735	0.973296	0.978525	0.972335	0.952583	0.913155	0.886712	0.876644	0.908837	0.942534	0.971718	0.9806	0.986528	0.993269	1	
Hour 24	0.967981	0.968508	0.967484	0.966093	0.96801	0.963939	0.941197	0.938056	0.952611	0.965463	0.972932	0.96844	0.948138	0.908828	0.87877	0.865289	0.892362	0.922311	0.956312	0.965696	0.972786	0.978254	0.988036	1
eigenvalues	22.4765	0.9033	0.2727	0.1281	0.0750	0.0325	0.0228	0.0197	0.0119	0.0098	0.0086	0.0082	0.0063	0.0039	0.0037	0.0033	0.0007	0.0028	0.0011	0.0019	0.0014	0.0020	0.0015	0.0023

Πίνακας 10: Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ των ωρών του ανεξάρτητου διαχειριστή NYISO

Τέλος παραθέτουμε συγκεντρωτικά σε έναν πίνακα το ποσοστό διακύμανσης που εξηγούν οι πρώτες 5 συνιστώσες για κάθε διαχειριστή.

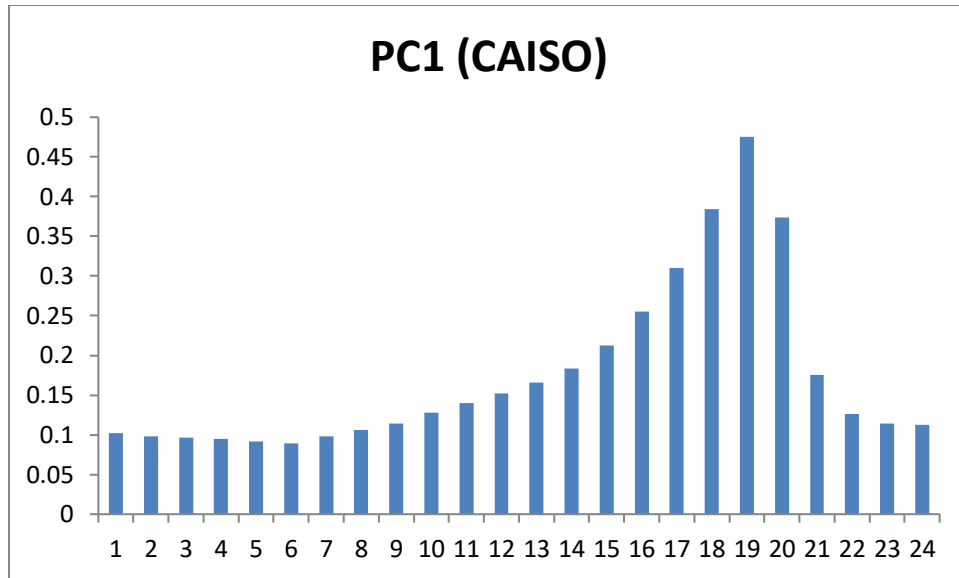
Συνιστώσα	CAISO		ERCOT		ISO-NE		NYISO	
	% Διακύμανσης	Αθροιστικά	% Διακύμανσης	Αθροιστικά	% Διακύμανσης	Αθροιστικά	% Διακύμανσης	Αθροιστικά
<b>1</b>	64.08%	64.08%	60.49%	60.49%	94.56%	94.56%	93.65%	93.65%
<b>2</b>	13.89%	77.96%	18.00%	78.49%	2.94%	97.50%	3.76%	97.42%
<b>3</b>	10.10%	88.07%	8.91%	87.40%	0.93%	98.43%	1.14%	98.55%
<b>4</b>	5.41%	93.48%	5.36%	92.76%	0.56%	98.98%	0.53%	99.09%
<b>5</b>	2.45%	95.93%	2.28%	95.04%	0.40%	99.38%	0.31%	99.40%

Πίνακας 11: Ποσοστό επεξήγησης της διακύμανσης από κάθε συνιστώσα για κάθε διαχειριστή

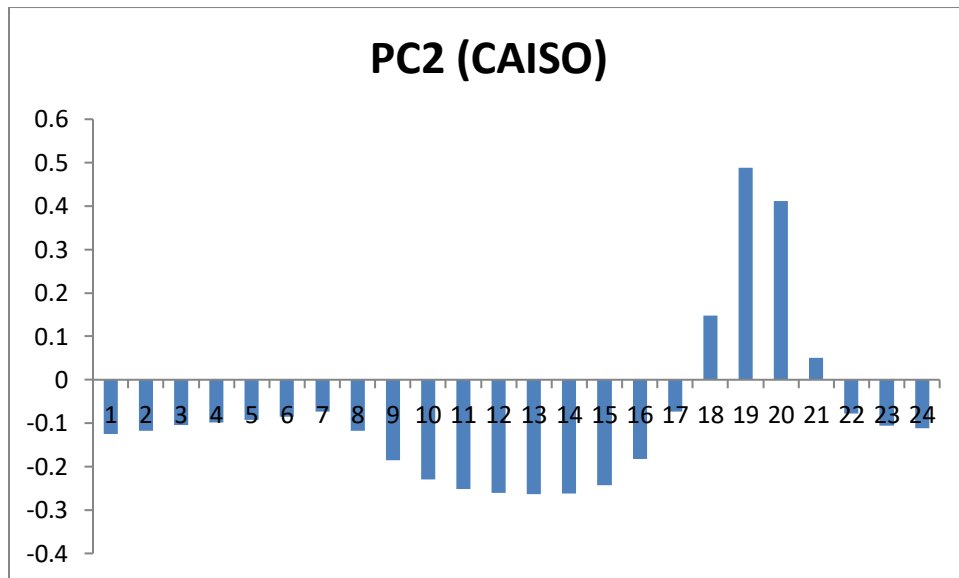
Παρατηρούμε ότι στις ζώνες που βρίσκονται στα ανατολικά (ISO-NE και NYISO) μια μόνο συνιστώσα είναι αρκετή για να ερμηνεύσει σχεδόν όλο το ποσοστό διακύμανσης κάτι που μας δείχνει ότι η μεταβολή της τιμής της ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρας δεν επηρεάζεται από γεωγραφικούς ή άλλους παγκόσμιους παράγοντες και διάφορα shocks, αλλά μεταβάλλεται μόνο από peak και non-peak περιόδους της ημέρας.

Αντίθετα στις άλλες δύο ζώνες που εξετάζουμε, η ERCOT στα νότια (Texas) όπως και η CAISO (California) στα δυτικά, βλέπουμε μεν η πρώτη συνιστώσα να ερμηνεύει ένα μεγάλο ποσοστό της διακύμανσης (>60%), όμως η δεύτερη ερμηνεύει ένα σημαντικό ποσοστό (14% και 18%) αντίστοιχα. Συνεπώς οι δύο αυτές ζώνες επηρεάζονται περισσότερο στη διαμόρφωση της τιμής και από άλλους παράγοντες πέρα από την ζήτηση και ειδικά η ERCOT.

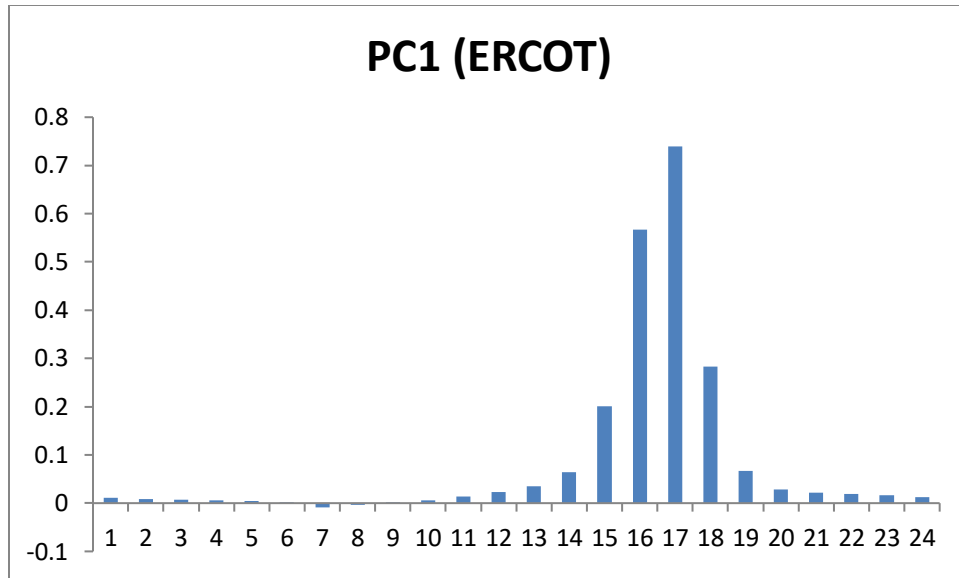
Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται οι συντελεστές επιβάρυνσης για τις κύριες συνιστώσες κάθε περιοχής.



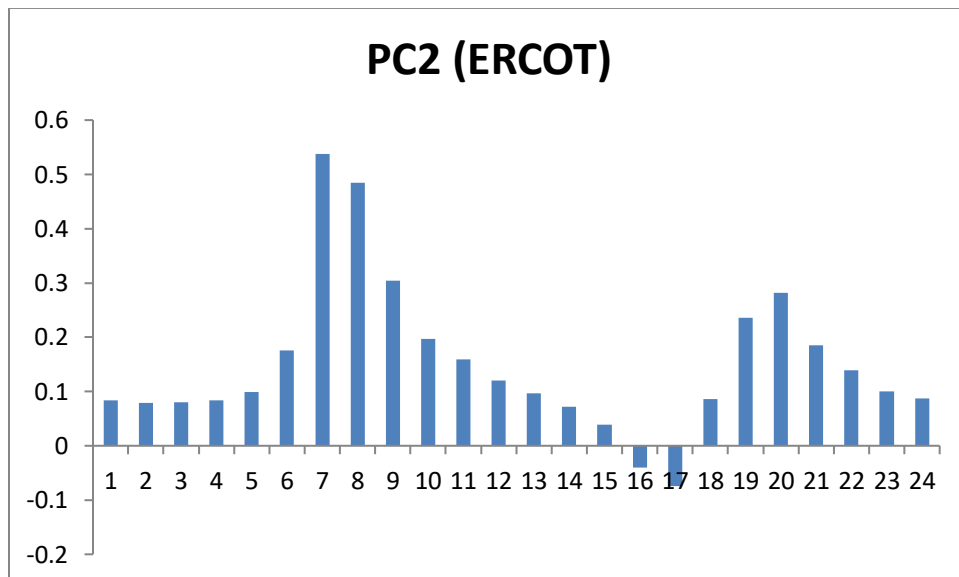
Σχήμα 23: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα μεταξύ των 24 ωρών της ημέρας για τον ανεξάρτητο διαχειριστή CAISO



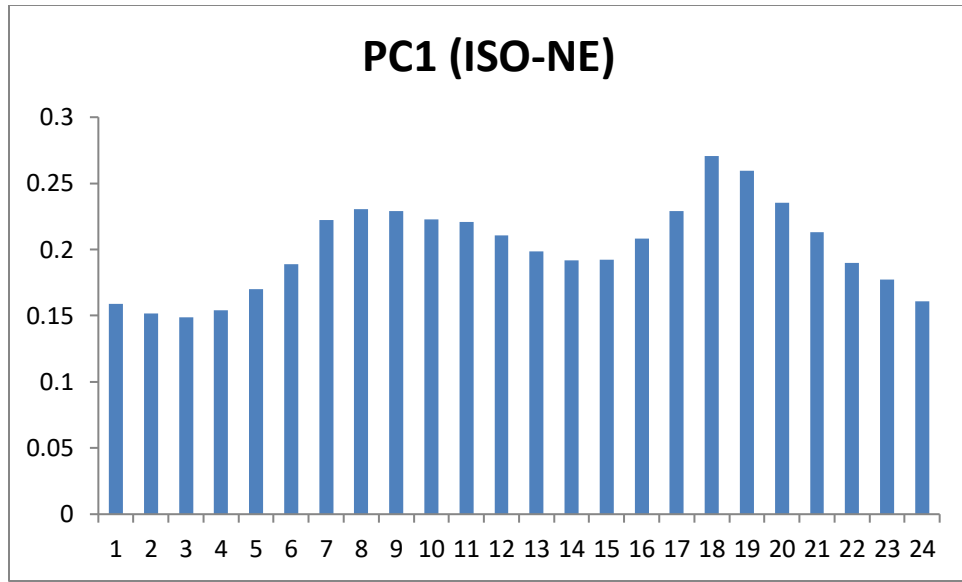
Σχήμα 24: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 2<sup>η</sup> συνιστώσα μεταξύ των 24 ωρών της ημέρας για τον ανεξάρτητο διαχειριστή CAISO



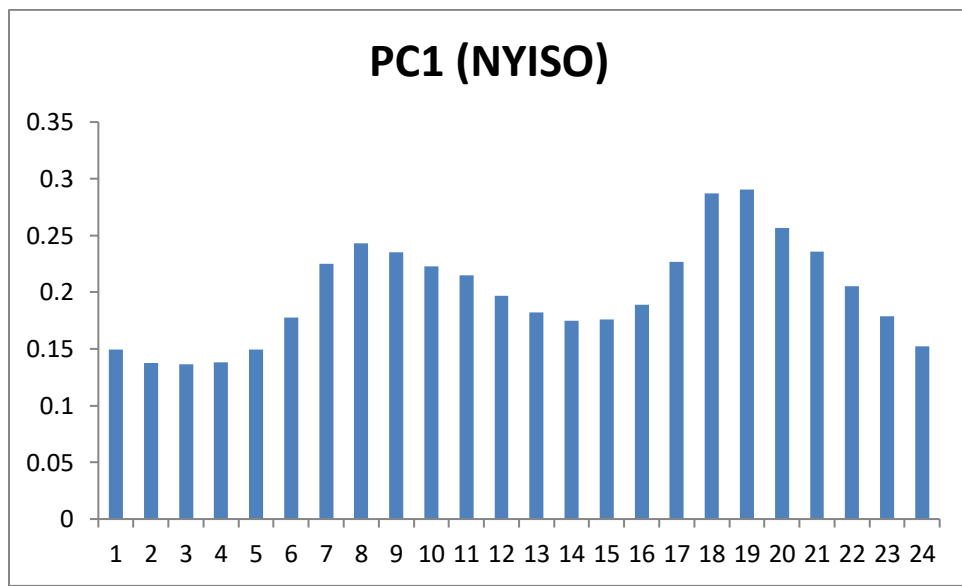
Σχήμα 25: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα μεταξύ των 24 ωρών της ημέρας για τον ανεξάρτητο διαχειριστή ERCOT



Σχήμα 26: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 2<sup>η</sup> συνιστώσα μεταξύ των 24 ωρών της ημέρας για τον ανεξάρτητο διαχειριστή ERCOT



Σχήμα 27: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα μεταξύ των 24 ωρών της ημέρας για τον ανεξάρτητο διαχειριστή ISO-NE



Σχήμα 28: Οι συντελεστές επιβάρυνσης για την 1<sup>η</sup> συνιστώσα μεταξύ των 24 ωρών της ημέρας για τον ανεξάρτητο διαχειριστή NYISO

Βλέπουμε ότι για τους διαχειριστές ISO-NE και NYISO υπάρχει κοινός παράγοντας για όλες τις ώρες που διαμορφώνει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας με τον ίδιο τρόπο και αυτός είναι η προσφορά και ζήτηση. Το ίδιο συμβαίνει και στον διαχειριστή CAISO με τη διαφορά εδώ, όπως είδαμε και στην ανάλυση του ποσοστού επεξήγησης, υπάρχει και ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει τις τιμές με διαφορετικό τρόπο τις απογευματινές ώρες σε σχέση με την υπόλοιπη ημέρα. Τέλος για τον διαχειριστή ERCOT βλέπουμε μία άλλη συμπεριφορά καθώς η πρώτη κύρια συνιστώσα αντιστοιχεί σε κοινό παράγοντα που επηρεάζει μόνο τις peak μεσημβρινές-απογευματινές ώρες, ενώ η δεύτερη συνιστώσα σε ένα παράγοντα που επηρεάζει με ίδιο τρόπο όλες τις ώρες της ημέρας (εκτός από 4μ.μ. και 5μ.μ).

## Συμπεράσματα

Ο στόχος αυτής της εργασίας ήταν να μελετήσουμε κοινούς παράγοντες που επηρεάζουν την διαμόρφωση της χονδρικής τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορους ανεξάρτητους διαχειριστές συστήματος σε όλο το μήκος των Η.Π.Α. χρησιμοποιώντας την ανάλυση σε κύριες συνιστώσες, ώστε να εξετάσουμε σε τι βαθμό είναι ολοκληρωμένη η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας των Η.Π.Α.

Μελετώντας την περιοχή που αναφέρεται ο κάθε ανεξάρτητος διαχειριστής παρατηρήσαμε πάρα πολύ μεγάλες συσχετίσεις μεταξύ των κόμβων διαπραγμάτευσης της τιμής ( $>0.85$ ) σε επίπεδο μέσης ημερήσιας τιμής. Επίσης μία μόνο συνιστώσα σε κάθε περίπτωση ερμηνεύει πάνω από το 90% της συνολικής διακύμανσης. Μελετώντας στη συνέχεια και τους συντελεστές επιβάρυνσης για την κάθε συνιστώσα εξάγουμε το συμπέρασμα λοιπόν ότι οι τιμές δεν επηρεάζονται σε τοπικό επίπεδο κόμβου από κάποια ξαφνική ανάγκη-shock. Στην αντίστοιχη μελέτη μεταξύ των διαχειριστών όμως διαπιστώσαμε στους γειτονικούς (ISO-NE και NYISO) μεν μεγάλη συσχέτιση, αλλά όσο απομακρυνόμασταν οι συσχετίσεις ήταν σχετικά μικρές ( $<0.4$ ). Συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι τα γεωγραφικά κριτήρια παίζουν μεγάλο ρόλο όταν οι συγκρίνουμε περιοχές που βρίσκονται από το ένα άκρο των Η.Π.Α. στο άλλο δηλαδή αποστάσεις μεγαλύτερες από 1500km.

Επίσης μελετήσαμε την εξέλιξη της τιμής σε ωριαίο επίπεδο ανά ανεξάρτητο διαχειριστή. Στη περιοχή των CAISO και ERCOT είδαμε ότι 60-65% της διακύμανσης ερμηνεύεται από μία συνιστώσα και  $>80\%$  από δύο. Αντίθετα στις ISO-NE και NYISO η μία συνιστώσα ξεπερνάει το 90%. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι ο βασικός λόγος διαμόρφωσης της τιμής είναι η προσφορά και ζήτηση μεταξύ των peak και off-peak ωρών.



## Bibliography

Butters, R. A. & Spulber, D. F., 2013. The Evolution of the Market for Wholesale Power.

Cappers, P., 2009. *Demand Response in U.S. Electricity Markets: Empirical Evidence*, Oakland: Lawrence Berkeley National Laboratory.

Courtney, J. L., 2012. Expansion and Consolidation in Retail Power. *Electric Energy T&D Magazine*, March-April, pp. 28-32.

Evans, L., Guthrie, G. & Videbeck, S., 2008. Assessing the Integration of Electricity Markets using Principal Component Analysis: Network and Market Structure Effects. *Contemporary Economic Policy*, 26(1), pp. 145-161.

FERC, 2017. *ferc.gov*. [Online]

Available at: <https://www.ferc.gov/market-oversight/mkt-electric/overview.asp>

[Accessed 25 November 2018].

Hakim, D. B., Danley, D. R. & Caplan, M., 2009. *Energy Arbitrage By Loading Shifting*. United States of America, Patent No. US 7,590,472 B2.

Rose, K., Burns, R. E., Granieri, R. J. & Harunuzzaman, M., 1997. *Summary of key state issues of FERC orders 888 and 889*, Columbus, Ohio: The national regulatory research institute.

Senfal, 2017. *Senfal*. [Online]

Available at: <https://senfal.com/en/2017/05/24/a-clear-explanation-of-the-energy-markets-first-the-day-ahead/#top>

[Accessed 20 December 2018].

Suranovic, S. M., 2015. *International Trade Theory and Policy*. 2nd ed. Boston: FlatWorld.

Wu, F. F., Moshlehi, K. & Bose, A., 2005. Power System Control Centers: Past, Present, and Future. *Proceedings of the IEEE*, 93(11), p. 18.

Θωμαΐδης, Ν. Σ., 2017. *Τεχνικές Μείωσης Διαστάσεων Δεδομένων*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Πετρίδης, Δ., 2015. *Ανάλυση πολυμεταβλητών τεχνικών*. 1η ed. Αθήνα: Εκδόσεις Κάλλιπος.