



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΠΜΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΠΑΠΑΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Κεφάλαιο 1 : Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	8
1.1 : Εξέλιξη Των Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	8
1.1.1 : Μονοπωλιακές Σε Ανταγωνιστικές Αγορές Στην Ευρώπη.....	8
1.2 : Οργάνωση Των Ανταγωνιστικών Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας	9
1.2.1: Forward Markets	10
1.2.2 : Η Προ-Ημερήσια Αγορά (Day-Ahead Market)	11
1.2.3: Ενδο-ημερήσια Αγορά (Intra-day Market)	15
1.2.4 : Αγορά Εξισορρόπησης ή Balancing Market.....	19
1.2.5 : Συμμετέχοντες Στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας	23
Κεφάλαιο 2 : Μαθηματικός Και Γραμμικός Προγραμματισμός	25
2.1: Εισαγωγή Στον Μαθηματικό Προγραμματισμό	25
2.2: Εφικτά, Ανέφικτα Και Απεριόριστα Προβλήματα	25
2.2.1 : Μεταβλητές Χαλάρωσης ή Slack Variables	26
2.3 : Τι Είναι Ο Γραμμικός Προγραμματισμός.....	26
2.3.1 : Φορά Ανισοτήτων Και Πρόσημο Μεταβλητών.....	26
2.4 : Βασική Λύση Και Αλγόριθμος Simplex.....	27
2.5 : Δυσκότητα Γραμμικού Προγραμματισμού.....	27
2.5.1 : Ασθενής Και Ισχυρή Δυσκότητα	28
2.5.2 : Δυσικές Μεταβλητές.....	29
2.6 : Γραμμικός Και Τετραγωνικός Προγραμματισμός.....	30
2.7 : Γραμμικός Και Στοχαστικός Προγραμματισμός	31
Κεφάλαιο 3: Μέθοδος K-means.....	33
Κεφάλαιο 4 : Python,Pyomo Και Gurobi.....	34
Κεφάλαιο 5 : Μοντέλο Πρόβλεψης Τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας.....	37
Κεφάλαιο 6: Υπολογισμός Παραμέτρων Μοντέλου Πρόβλεψης Τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας	40
6.1: Υπολογισμός Πραγματικού Και Προβλεπόμενου Φορτίου.....	40
6.2: Εισαγωγές Και Εξαγωγές.....	45
6.2.1 : 1 ^η Περίπτωση-Σταθερό Διασυνورياκό Πρόγραμμα	45
6.2.2 : 2 ^η Περίπτωση - Μεταβλητό Διασυνورياκό Πρόγραμμα	47
6.3 : Συναρτήσεις Προσφοράς Μονάδων Παραγωγής.....	51
6.3.1 : Διαθεσιμότητα Των Μονάδων	52
6.3.2 : Δημιουργία Προγράμματος Μονάδων.....	53
6.3.3 : Δημιουργία Ζευγών Τιμών-Ποσοτήτων Και Γραμμικής Συνάρτησης Για Τις Πιθανές Οριακές Μονάδες.....	55
6.3.4 : Δημιουργία Γραμμικής Συνάρτησης Προσφοράς Για Τις Μη Πιθανές Οριακές Μονάδες	57
6.3.5: Τελικές Γραμμικές Σχέσεις Όλων Των Μονάδων Παραγωγής	58

6.4 : Τιμές Προκαθορισμένων (Fixed) Παραμέτρων Μοντέλου	59
Κεφάλαιο 7: Επίλυση Και Αποτελέσματα Μοντέλων	63
7.1 : Μοντέλο Validation Ενός Σεναρίου Φορτίου Και Φορτίου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας- Κατάστροφηση Και Επίλυση	63
7.2 : Επίλυση Και Αποτελέσματα Μοντέλου Πολλαπλών Σεναρίων.....	65
Κεφάλαιο 8 : Κατάστροφηση Και Επίλυση Τελικού Προβλήματος	78
8.1: Κατάστροφηση Προβλήματος Αιολικού Παραγωγού.....	78
8.2: Τιμές Παραμέτρων Του Μοντέλου	80
8.2.1: Πιθανότητα Επικράτησης/Εμφάνισης Σεναρίου.....	80
8.2.2: Χρονοσειρές Τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας	81
8.2.3: Πρόβλεψη Παραγωγής Αιολικού Παραγωγού	81
8.2.4: Τιμές Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης.....	82
8.2.5: Τιμές Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης.....	84
8.2.6: Μέγιστη Προσφορά Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης	85
8.2.7: Μέγιστη Προσφοράς Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης.....	86
8.2.8: Ελάχιστο Ποσοστό Δήλωσης Παραγωγής Στην Προ-ημερήσια Αγορά.....	87
8.3: Επίλυση Και Αποτελέσματα	88
8.3.1: Δηλωθείσα Παραγωγή Στην Προ-ημερήσια Αγορά $qtDA$	88
8.3.2: Διάθεση Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης $qstRT, +$	89
8.3.3: : Διάθεση Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης $qstRT, -$	92
8.4: Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	95
Κεφάλαιο 9: Συμπεράσματα - Προτάσεις Για Το Μέλλον	111
Βιβλιογραφία.....	112

Περίληψη

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει ένας συμμετέχοντας είναι η εύρεση της βέλτιστης στρατηγικής συμμετοχής του στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, δεδομένης της αβεβαιότητας που δημιουργεί η υψηλή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύστημα. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων, τα οποία θα δίνουν τη δυνατότητα στο συμμετέχοντα να λαμβάνει τη βέλτιστη απόφαση όσον αφορά τη στρατηγική του, λαμβάνοντας υπόψιν του τις συνεχείς αβεβαιότητες της αιολικής παραγωγής και της ζήτησης φορτίου στο σύστημα.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας τελικός σκοπός είναι να αναπτυχθεί ένα μοντέλο βέλτιστης συμμετοχής στην αγορά, στηριζόμενο στη μεθοδολογία του στοχαστικού προγραμματισμού. Τα στοχαστικά δεδομένα εισόδου θα είναι οι τιμές εκκαθάρισης της αγοράς, ενώ οι βέλτιστες μεταβολές απόφασης του προβλήματος θα προκύπτουν λαμβάνοντας υπόψιν διάφορες παραμέτρους, που θα αναγνωριστούν και θα μοντελοποιηθούν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αρχικά αναλύουμε τη δομή των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες είναι σύμφωνες και ακολουθούν το Target Model το οποίο δεν είναι άλλο απ' το Ευρωπαϊκό πρότυπο.

Τα αρχικά δεδομένα που έπρεπε να συλλέξουμε ήταν οι προβλέψεις φορτίου σε καθημερινή βάση που δημοσιεύει ο ΑΔΜΗΕ για την επόμενη ημέρα και τα αρχεία για την ίδια μέρα που δημοσιεύονται από το χρηματιστήριο ενέργειας HenEx και αφορούν την επίλυση της αγοράς επόμενης ημέρας όπου φαίνεται το πραγματικό φορτίο όπως αυτό προέκυψε απ' τις συναλλαγές, διμερείς και κεντρικές, στην Day-Ahead αγορά. Έτσι με ένα εκτενές data analysis μέσω Python συλλέξαμε και καταλήξαμε να συγκρίνουμε το εκκαθαρισμένο στην αγορά επόμενης ημέρας φορτίο με το προβλεπόμενο φορτίο σε ωριαία βάση προκειμένου να βρούμε τις ποσοστιαίες διαφορές της πρόβλεψης με το εκκαθαρισμένο φορτίο. Με την ίδια ακριβώς λογική έγιναν οι ίδιες συγκρίσεις και για τα δεδομένα του φορτίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα παραπάνω δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στο τελικό πρόβλημα ώστε να δημιουργηθούν διαφορετικά προφίλ ανανεώσιμων και φορτίου (και άρα και διαφορετικές χρονοσειρές τιμών εκκαθάρισής) προκειμένου να βρούμε τις συνθήκες της βέλτιστης συμμετοχής των εξεταζόμενων μονάδων σε μία τέτοια αγορά ενέργειας.

Επόμενο βήμα της ανάλυσης ήταν η συλλογή αρχείων για ένα εύλογο και αντιπροσωπευτικό χρονικό διάστημα , της επίλυσης της διαδικασίας ενοποιημένου προγραμματισμού (ISP Results). Μέσω αυτών των αρχείων και με κατάλληλη διαχείριση των δεδομένων μέσω κώδικα προγραμματισμού κατορθώσαμε να εξάγουμε για αυτές ένα ωριαίο πρόγραμμα προσφορών στην αγορά. Με αυτόν τον τρόπο και συγκεντρώνοντας για κάθε ημέρα ανάλυσης τα αποτελέσματα αυτά στόχος μας ήταν να προβλέψουμε όσο το δυνατόν πιο εύστοχα ποιες μονάδες είναι οι οριακές μονάδες του συστήματος. Καθορίζοντας λοιπόν τα ζευγάρια τιμών-ποσοτήτων για τις υποψήφιες οριακές μονάδες , δημιουργήσαμε μέσω κώδικα ένα αρχείο για κάθε υποψήφια μονάδα ώστε αναλύοντας αυτά τα ζεύγη να βρούμε μία γραμμική σχέση που θα μπορούσε να συνδέει τα δείγματα αυτά με ένα όσο το δυνατόν μικρότερο σφάλμα, ώστε να θεωρήσουμε ότι οι μονάδες τοποθετούν γραμμικές (linear) προσφορές ακολουθώντας αυτό το μοτίβο.

Εξάγοντας το παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη κάποιες παραδοχές (πχ τιμή φυσικού αερίου τη συγκεκριμένη περίοδο), δημιουργήσαμε σε επόμενο στάδιο σχέσεις τιμών ποσοτήτων για όλες τις θερμικές μονάδες. Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω σχέσεις και παίρνοντας διάφορα ισοπίθανα σενάρια φορτίου και φορτίου ανανεώσιμων κάθε φορά

εξάχθηκαν διαφορετικές χρονοσειρές ωριαίων τιμών της spot αγοράς μέσω της επαναληπτικής επίλυσης ενός απλοποιημένου προβλήματος της αγοράς επόμενης ημέρας, οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν στο τελικό πρόβλημα.

Τα παραπάνω σενάρια ομαδοποιήθηκαν με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών μείωσης σεναρίων (scenario reduction techniques), σε μικρότερα ουσιαστικά σενάρια ανάλογα με τη σύγκλιση τους τα οποία έχουν συγκεκριμένη, άνιση μεταξύ τους, πιθανότητα να συμβούν προκειμένου να μειώσουμε αισθητά τον χρόνο εκτέλεσης του αλγορίθμου με όσο το δυνατόν λιγότερο κόστος στη ακεραιότητα των αποτελεσμάτων .

Τέλος, έχοντας όλα τα παραπάνω δεδομένα καταστρώθηκε το τελικό στοχαστικό πρόβλημα όπου έγινε η εκτίμηση της βέλτιστης στρατηγικής συμμετοχής στην αγορά επόμενης ημέρας ενός αιολικού παραγωγού ή ΦΟ.Σ.Ε. .

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους έμειναν δίπλα μου και στάθηκαν αρωγοί σε όλη την προσπάθεια των τελευταίων δύο χρόνων.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Κο. Αντώνη Παπαβασιλείου για την συνεχή διαθεσιμότητα του για οποιασδήποτε φύσεως επεξηγήσεις και συμβουλές πάνω σε θέματα της διπλωματικής εργασίας αλλά και γενικότερα σε θέματα του τομέα των ενεργειακών αγορών. Ήταν πραγματικά τιμή μου να συνεργαστώ με έναν άνθρωπο με τόσο βαθύ επιστημονικό υπόβαθρο και ήταν αυτός που με έκανε να ενδιαφερθώ και να εντρυφήσω πάνω στον τομέα αυτόν, να ευθυγραμμίσω τις επαγγελματικές μου αναζητήσεις με τον χώρο των ενεργειακών αγορών και ήταν πάντα πρόθυμος και ανοιχτός να συζητήσει μαζί μου τις όποιες απορίες και επιστημονικές αναζητήσεις και προβληματισμούς μου, είτε στην αίθουσα σαν καθηγητής είτε ως συνεργάτης και επιβλέπων πάνω στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η συμπαράσταση, η διάθεση, η δεκτικότητα και η εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου ήταν ανεκτίμητα και η συνεργασία μας θα μου μείνει ανεξίτηλη και ελπίζω να επαναληφθεί στο μέλλον.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά όλους τους φίλους και φίλες μου που ήταν και είναι δίπλα μου σε κάθε εκπαιδευτική, επαγγελματική και ακαδημαϊκή μου αναζήτηση όλα αυτά τα χρόνια, από την πόλη της Σπάρτης και τα 6 μου χρόνια έως το Πολυτεχνείο Πατρών και το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Η στήριξη τους σε όλες τις δύσκολες στιγμές που παρουσιάστηκαν σε όλον αυτό το μακρύ δρόμο είναι κάτι που δεν θα ξεχάσω ποτέ.

Κλείνοντας, οι μεγαλύτερες και δικαιωματικά πιο σημαίνουσες ευχαριστίες είναι προς την οικογένειά μου. Τους γονείς μου Νίκο και Γεωργία και τον αδερφό μου Γιάννη. Οι σελίδες που ακολουθούν δεν είναι μόνο μια απόδειξη των δικών μου προσπαθειών αλλά μια αντανάκλαση της ακλόνητης υποστήριξης, υπομονής και αγάπης που παρείχε γενναιόδωρα η οικογένειά μου όλα αυτά τα χρόνια. Με βαθιά ευγνωμοσύνη και εγκάρδια εκτίμηση, αφιερώνω αυτή τη διπλωματική μεταπτυχιακή εργασία σε αυτούς των οποίων οι θυσίες και η πίστη σε εμένα στάθηκαν δίπλα μου σε κάθε μου βήμα. Τους ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου που ήταν το θεμέλιο για ολόκληρο το εκπαιδευτικό μου ταξίδι.

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

Μέρος 1^ο : Θεωρητικό
Υπόβαθρο

Κεφάλαιο 1 : Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.1 : Εξέλιξη Των Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η βιομηχανία της ηλεκτρικής ενέργειας με την πάροδο του χρόνου και απ' την εκκίνηση της δημιουργίας της έχει περάσει από πολλά στάδια και μοντέλα οργάνωσης και λειτουργίας, τα οποία φυσικά μεταβάλλονται και εξελίσσονται ανάλογα με της οργάνωση, τροποποίηση και εξέλιξη του νομοθετικού πλαισίου και τις ιδιαιτερότητες αυτού της εκάστοτε χώρας.

Ενδεικτικά θα αναφέρουμε, και θα αναλύσουμε αργότερα, πως το πρότυπο της κεντρικής λειτουργίας της αγοράς υιοθετήθηκε εκτενώς για το μεγαλύτερο μέρος του 20^{ου} αιώνα. Η λειτουργία αυτή που ουσιαστικά αποτελούνταν από τα κρατικά μονοπώλια ήταν αποτέλεσμα της τεράστιας επένδυσης των χωρών στα συστήματα μεταφοράς, διανομής και εν τέλει στην παραγωγή ενέργειας.

Με την πάροδο του χρόνου το πρότυπο της κεντρικής αγοράς σταδιακά αντικαταστάθηκε από ένα πιο ανταγωνιστικό μοντέλο, μετάβαση η οποία θα αναλυθεί εκτενώς παρακάτω.

1.1.1 : Μονοπωλιακές Σε Ανταγωνιστικές Αγορές Στην Ευρώπη

Ο ενεργειακός τομέας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει υποστεί μια εντυπωσιακή εξέλιξη, μεταβαίνοντας από μονοπώλια σε ανταγωνιστικές αγορές. Αυτή η μετάβαση έχει ωθηθεί από μια σειρά νομοθετικών μέτρων και οδηγιών που στοχεύουν στην προώθηση του ανταγωνισμού, την προώθηση της αποδοτικότητας και την ενίσχυση της επιλογής των καταναλωτών.

Η πρώτη ανταγωνιστική αγορά στην Ευρώπη εφαρμόστηκε το 1990, στην Αγγλία και την Ουαλία, και ένα χρόνο αργότερα στη Νορβηγία. Οι αλλαγές που παρατηρήθηκαν ήταν πολλές, ξεκινώντας από την ιδιωτικοποίηση μεγάλου μέρους των διαδικασιών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, μέχρι τη δημιουργία της κοινοπραξίας ισχύος (Power Pool), μιας κεντρικά οργανωμένης αγοράς, και στη συνέχεια του χρηματιστηρίου ενέργειας (Power Exchange), σε περίπτωση αποκεντρωμένης αγοράς.

Ένα επίσημο ορόσημο σε αυτήν την εξέλιξη ήταν η ίδρυση του Nord Pool, του πρώτου πολυεθνικού χρηματιστηρίου ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο, το 1996. Το Nord Pool επέτρεψε την εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας διασυνοριακά, καταρρίπτοντας τα εθνικά μονοπώλια και εισάγοντας μηχανισμούς τιμολόγησης βασισμένους στην αγορά. Στη συνέχεια, η ΕΕ ξεκίνησε μια συνεκτική διαδικασία μεταρρύθμισης με την έγκριση της πρώτης Οδηγίας για την Ενέργεια το 1996 και των επόμενων οδηγιών, που κορυφώθηκε με το Ενεργειακό Πακέτο του 2009. Στην Ελλάδα, εμφανίστηκε η απελευθέρωση της αγοράς με θεμελίωση Νόμου 2773/99 το 1999 και λειτούργησε το 2001.

Αυτές οι οδηγίες προώθησαν την απελευθέρωση του ενεργειακού τομέα, τον διαχωρισμό των κατακερματισμένων μονοπωλίων και τη διευκόλυνση της πρόσβασης τρίτων στα δίκτυα. Η εισαγωγή πρωτοβουλιών όπως η σύνδεση των αγορών επόμενης ημέρας σε διάφορες χώρες ενίσχυσε περαιτέρω τον διασυνοριακό ανταγωνισμό. Επιπλέον, η εφαρμογή του Τρίτου Ενεργειακού Πακέτου το 2011 είχε ως στόχο τη δημιουργία μιας ενιαίας ενεργειακής αγοράς στην ΕΕ, προάγοντας τη διαφάνεια της αγοράς, ενισχύοντας τον ρυθμιστικό έλεγχο και προωθώντας την περιφερειακή συνεργασία. Με την τελευταία οδηγία η Ευρωπαϊκή επιτροπή δημιούργησε δύο κύριους μηχανισμούς: τον Ευρωπαϊκό Σύνδεσμο των Ρυθμιστικών Αρχών ACER και την Ένωση των Ευρωπαϊκών Διαχειριστών Συστημάτων Ενέργειας ENTSO-E, αναθέτοντάς τους την πρακτική προετοιμασία του προγράμματός της για την ενιαία αγορά ενέργειας που έχει την ονομασία Μοντέλο Στόχος (Target Model).

Αυτά τα μέτρα πολιτικής, σε συνδυασμό με τις τεχνολογικές προόδους και την ένταξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οδήγησαν σε μια πιο ανταγωνιστική και βιώσιμη ενεργειακή αγορά στην ΕΕ. Σήμερα, οι καταναλωτές επωφελούνται από μια ευρύτερη γκάμα προμηθευτών, ανταγωνιστικές τιμές και αυξημένες επενδύσεις σε καθαρές τεχνολογίες ενέργειας.

Η εξέλιξη από μονοπώλια σε ανταγωνιστικές αγορές στον ενεργειακό τομέα της ΕΕ αποτελεί μια απόδειξη της δέσμευσης της ΕΕ να προωθήσει την αποδοτικότητα, την απελευθέρωση της αγοράς και την ενδυνάμωση των καταναλωτών (μεγιστοποίηση του κοινωνικού πλεονάσματος), με σκοπό ένα ανθεκτικό και απολιγνιτοποιημένο ενεργειακό σύστημα.

1.2 : Οργάνωση Των Ανταγωνιστικών Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η δομή της ανταγωνιστικής αγοράς ενέργειας στην Ευρώπη χαρακτηρίζεται από διάφορους μηχανισμούς που διευκολύνουν την εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα προβλεβόμενο πρότυπο είναι το Powerpool ή Κεντρική Οργανωμένη Αγορά ή Κοινοπραξία Ισχύος, το οποίο λειτουργεί ως κεντρική αγορά για την εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτό το πρότυπο, οι συμμετέχοντες στην αγορά υποβάλλουν τις προσφορές τους για ηλεκτρική ενέργεια (buy and sell orders) και μέσω μιας διαδικασίας εκκαθάρισης καθορίζεται η τελική αγοραία τιμή και κατανέμεται η διαθέσιμη ενέργεια. Το Powerpool προωθεί τη διαφάνεια, την αποδοτικότητα και τον δίκαιο ανταγωνισμό μεταξύ των συμμετεχόντων στην αγορά.

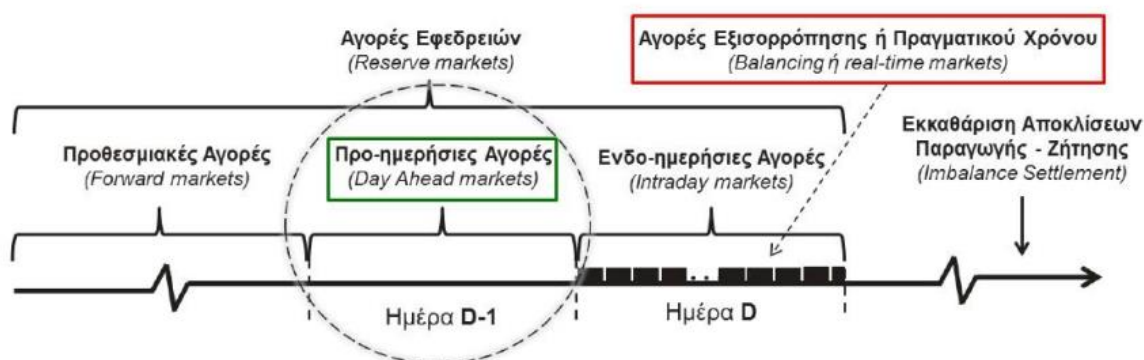
Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο της δομής της ανταγωνιστικής αγοράς ενέργειας είναι οι Αποκεντρωμένη Αγορά Διμερών Συμβολαίων με Εθελοντική Λειτουργία Χρηματιστηρίου Ενέργειας (Bilateral Contracts with Voluntary Power Exchange Model). Σε αυτό το μοντέλο, οι συμμετέχοντες συνάπτουν διμερείς συμφωνίες για την αγοραπωλησία ηλεκτρικής ενέργειας, και μια προαιρετική ανταλλαγή ενέργειας λειτουργεί ως πλατφόρμα για την αντιστοίχιση και εκκαθάριση αυτών των συμβάσεων. Αυτό το μοντέλο επιτρέπει στους συμμετέχοντες στην αγορά να διαπραγματεύονται άμεσα μεταξύ τους, επιτρέποντας μεγαλύτερη ευελιξία και προσαρμογή στο εμπόριο ενέργειας. Επιπλέον, έχουν εμφανιστεί περιφερειακές αγορές ενέργειας και πλατφόρμες, που διευκολύνουν το διασυνοριακό εμπόριο και το market integration. Αυτές οι αγορές παρέχουν ένα μηχανισμό για την εναρμόνιση των κανόνων εμπορίας ενέργειας και επιτρέπουν στους συμμετέχοντες στην αγορά να έχουν πρόσβαση σε ένα ευρύτερο φάσμα δυνητικών αγοραστών ή πωλητών. Η δομή της ανταγωνιστικής αγοράς ενέργειας στην Ευρώπη, με τα διάφορα μοντέλα εμπορίου και τις ανταλλαγές, προάγει την αποδοτικότητα της αγοράς και ενθαρρύνει τους συμμετέχοντες στην αγορά να βελτιστοποιήσουν τις στρατηγικές τους για την προμήθεια και τη χρήση ενέργειας.

Στις σύγχρονες απελευθερωμένες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, ανεξάρτητα από τη δομή και τα μοντέλα οργάνωσης, οι συναλλαγές ενέργειας μεταξύ των συμμετεχόντων πραγματοποιούνται σε διάφορα χρονικά επίπεδα, από το μακροπρόθεσμο ορίζοντα έως και τον πραγματικό χρόνο.

Ανάλογα με το ρυθμιστικό πλαίσιο λειτουργίας της κάθε χώρας έχουμε τις εξής βασικές κατηγορίες αγορών ηλεκτρικής ενέργειας:

1. Forward Markets & Bilateral Over The Counter (OTC) Markets
2. Day -Ahead Market (Προ-ημερήσια Αγορά)
3. Intra-Day Market (Ενδο-ημερήσιες Αγορές)
4. Reserve Market (Αγορές Εφεδρειών)
5. Balancing & Real-Time Markets (Αγορές Εξισορρόπησης ή Πραγματικού Χρόνου)
6. Imbalance Settlement Mechanisms (Μηχανισμοί Εκκαθάρισης Αποκλίσεων Παραγωγής -Ζήτησης)

Τα παραπάνω μπορούν να συμπυχθούν στην παρακάτω αντιπροσωπευτική εικόνα που αποτυπώνει την χρονική αλληλουχία των προαναφερθεισών αγορών.



Εικόνα 1: Χρονική Αλληλουχία Βασικών Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.2.1: Forward Markets

Οι μέσο-μακροπρόθεσμες συναλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιούνται μέσω των Προθεσμιακών Αγορών (Forward Markets). Διαδραματίζουν ένα κρίσιμο ρόλο στον ενεργειακό τομέα παρέχοντας μια πλατφόρμα για τους συμμετέχοντες να διαπραγματεύονται συμβόλαια ηλεκτρικής ενέργειας για μελλοντική παράδοση. Αυτές οι αγορές επιτρέπουν στους συμμετέχοντες, όπως παραγωγούς, προμηθευτές και μεγάλους καταναλωτές, να διαχειρίζονται τον κίνδυνο τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας και να εξασφαλίζουν συμβάσεις μακροπρόθεσμης προμήθειας ή πώλησης.

Στις αγορές μελλοντικής ηλεκτρικής ενέργειας, οι συμμετέχοντες μπορούν να συνάψουν συμφωνίες για την αγορά ή πώληση ηλεκτρικής ενέργειας σε προκαθορισμένες τιμές για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα παράδοσης, με την περίοδο παράδοσης να κυμαίνεται συνήθως από μήνες έως χρόνια εκ των προτέρων. Αυτές οι συμβάσεις επιτρέπουν στους συμμετέχοντες να προστατεύονται από τις διακυμάνσεις τιμών και τις αβεβαιότητες στην αγορά spot. Επιπλέον, οι αγορές μελλοντικής ηλεκτρικής ενέργειας διευκολύνουν την ανακάλυψη μελλοντικών τιμών και παρέχουν πολύτιμα σήματα τιμών για αποφάσεις επενδύσεων στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεισφέρουν στην ρευστότητα, τη διαφάνεια και την αποδοτικότητα της αγοράς, επιτρέποντας στους συμμετέχοντες να διαχειρίζονται ενεργά τον κίνδυνο τιμών και να βελτιστοποιούν το χαρτοφυλάκιο συμβάσεων τους.

1.2.2 : Η Προ-Ημερήσια Αγορά (Day-Ahead Market)

Η αγορά επόμενης ημέρας είναι ένα θεμελιώδες κομμάτι της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, λειτουργώντας ως ένας μηχανισμός για τους συμμετέχοντες να αγοράζουν και να πωλούν ηλεκτρική ενέργεια για παράδοση την επόμενη ημέρα και η οποία επιλύεται κεντρικά από τον Λειτουργό της Αγοράς.

Η συγκεκριμένη αγορά είναι στην ουσία μια δημοπρασία η οποία ολοκληρώνεται την προηγούμενη μέρα (d-1) από την μέρα στην οποία αναφέρονται οι προσφορές (ημέρα d). Στις περισσότερες χώρες το μεσημέρι της ημέρας d-1 έχει ολοκληρωθεί η δημοπρασία ώστε να προλάβουν οι διαχειριστές να υπολογίσουν την τιμή της αγοράς καθώς και να καταρτηθεί πρόγραμμα παραγωγής για τους παραγωγούς. Στην Ελλάδα η δημοπρασία αυτή κλείνει στις 13:00 το μεσημέρι δηλαδή μέχρι εκείνη την ώρα γίνονται αποδεκτές οι προσφορές και η συμμετοχή σε αυτή είναι προαιρετική για όλους εκτός απ' τους θερμικούς παραγωγούς οι οποίοι και είναι υποχρεωμένοι να υποβάλλουν προσφορές για την εναπομένουσα ενέργεια τους, αυτή δηλαδή που δεν έχει διατεθεί στην forward αγορά.

Όπως προαναφέρθηκε δεν υπάρχει ένα ενιαίο μοντέλο οργάνωσης της προ-ημερήσιας αγοράς στην λειτουργία των ανταγωνιστικών αγορών και διακρίνονται δυο γενικοί τύποι αυτοί του powerpool (περίπτωση Ελλάδας) και της αποκεντρωμένης αγοράς διμερών συμβολαίων με ταυτόχρονη προαιρετική λειτουργία ενός χρηματιστηρίου ενέργειας.

1.2.2.1 : Κοινοπραξία Ισχύος ή Powerpool

Η Κοινοπραξία Ισχύος αντιπροσωπεύει μια κεντρικά οργανωμένη αγορά όπου όλη η ενέργεια αποτελεί προϊόν διαπραγμάτευσης σε βραχυχρόνια βάση, συνεπώς πωλείται και αγοράζεται από τον Διαχειριστή της αγοράς.

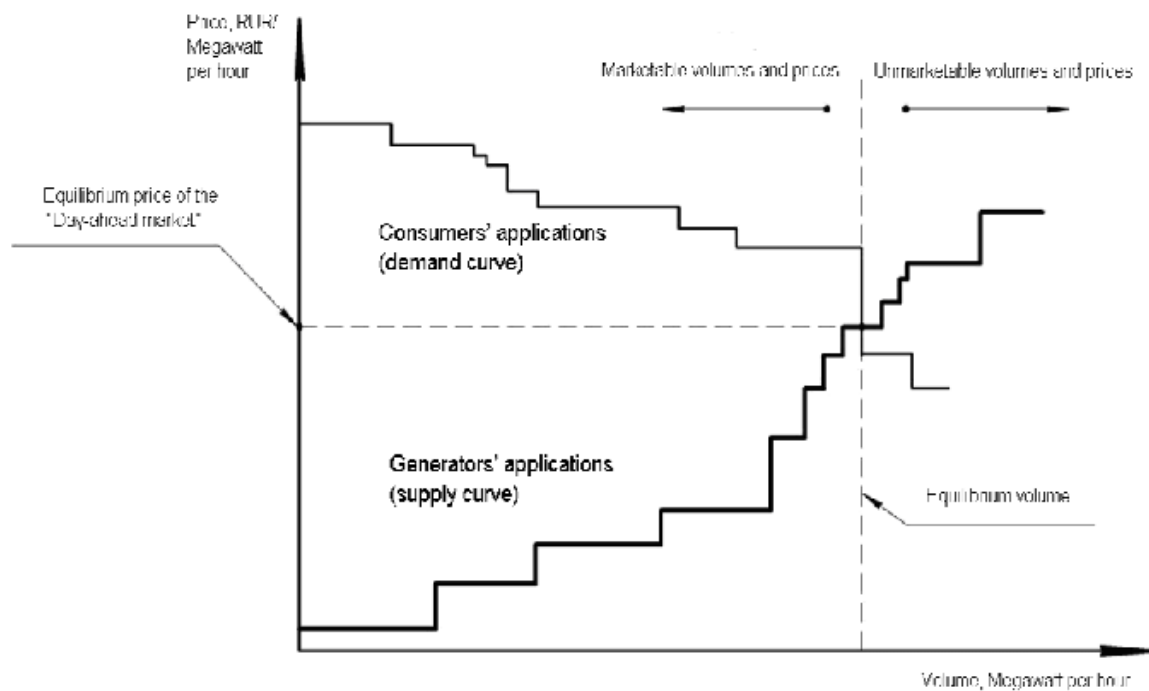
Στην αγορά αυτή πάντα αναφερόμαστε σε ωριαία διαστήματα ή trading periods. Έτσι μια αγοραία χρονική μονάδα είναι μία ώρα της ημέρας (24 συνολικά). Για κάθε αγοραία χρονική μονάδα υπολογίζεται και μία διαφορετική τιμή αγοράς.

Πιο συγκεκριμένα ο Λειτουργός της αγοράς κάνει έναν κεντρικό προγραμματισμό, συλλέγει όλες τις προσφορές πώλησης ενέργειας από τους παραγωγούς, δηλαδή ζεύγη ποσότητας - τιμής και έπειτα συλλέγει απ' όλους τους προμηθευτές, τις προσφορές τους για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η λογική είναι ότι οι προσφορές έγχυσης κατανέμονται κατά αύξουσα σειρά (merit order) και οι προσφορές κατανάλωσης (πρόβλεψη φορτίου) κατά φθίνουσα σειρά. Η τομή των δύο καμπυλών για κάθε αγοραία χρονική μονάδα μας δίνει την οριακή τιμή συστήματος ή ΟΤΣ ή Market Clearing Price. Στην περίπτωση που οι περιορισμοί του συστήματος μεταφοράς ληφθούν υπόψη τότε συμπεριλαμβάνονται στον αλγόριθμο επίλυσης της αγοράς και αντί για μία ενιαία τιμή αγοράς προκύπτουν διαφορετικές τιμές σε κάθε κόμβο του συστήματος και αυτές οι τιμές ονομάζονται Κομβικές οριακές τιμές συστήματος ή Locational Marginal Prices – LMP. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την ενιαία οριακή τιμή καθώς θα μελετήσουμε την ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Κεντρικά Οργανωμένη Αγορά (Κοινοπραξία Ισχύος)



Εικόνα 2: Power Pool



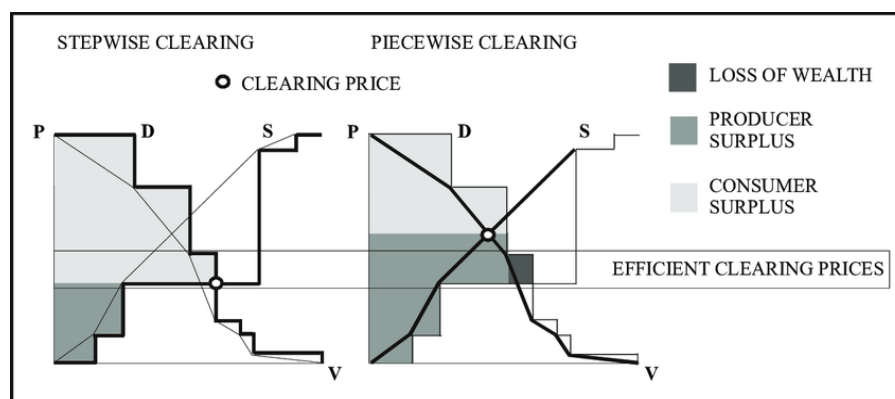
Εικόνα 3: Επίλυση Προ-Ημερήσιας Αγοράς

Οι συναλλαγές που διενεργούνται στην αγορά επόμενης ημέρας έχουν την υποχρέωση φυσικής παράδοσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι όλοι οι παραγωγοί των οποίων οι προσφορές έγιναν αποδεκτές (in the money) θα εισπράξουν την ποσότητα που θα εγχύσουν επί την τιμή εκκαθάρισης ανεξάρτητα από την τιμή στην οποία είχαν δηλώσει ότι θα διαθέσουν την ενέργεια τους.

Οι τύποι εντολών μέσω των οποίων ένας συμμετέχοντας και συγκεκριμένα παραγωγός δύναται να υποβάλλει προσφορά για την συμμετοχή σε μία δημοπρασία μιας αγοραίας χρονικής μονάδας είναι διαφορετικοί και αναφέρονται εκτενώς παρακάτω :

1. Hourly Hybrid Orders ή Ωριαίες Υβριδικές Εντολές

Ουσιαστικά πρόκειται για γραμμικά (linear piece_wise) ή βηματικά (Step-wise) τμήματα ποσοτήτων ενέργειας με τις αντίστοιχες τιμές τους όπως απεικονίζονται παρακάτω.



Εικόνα 4: Βηματικά Και Γραμμικά Τμήματα Ωριαίων Υβριδικών Εντολών

2. Block Orders ή Εντολές Πακέτου

Αυτές οι εντολές ουσιαστικά αναφέρονται σε περισσότερες από μία αγοραίες χρονικές μονάδες και έχουν τη μορφή ενός πακέτου με συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας και τιμή . Επίσης μαζί με αυτό το block δίνεται και ένα ελάχιστο ποσοστό αποδοχής π.χ. 60% κάτω από το οποίο η εντολή δεν είναι πλέον έγκυρη.

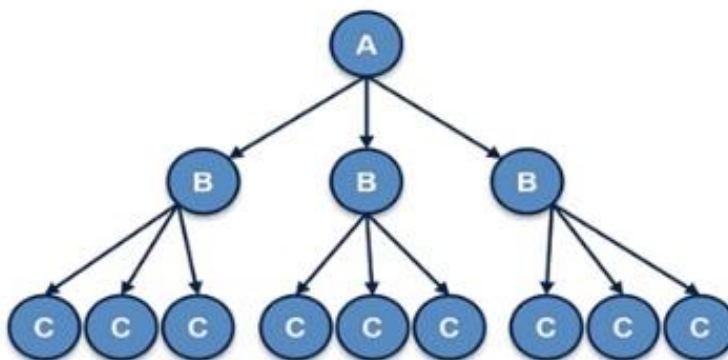
i. Regular Block Orders

Οι παραπάνω εντολές έχουν την ιδιομορφία του “all or nothing” , που σημαίνει ότι πρέπει να γίνουν πλήρως αποδεκτές ή να απορριφθούν πλήρως και εάν γίνουν αποδεκτές η σύμβαση καλύπτει όλες τις ώρες και τον όγκο που καθορίζεται. Αυτές οι εντολές είναι οι πιο διαδεδομένες εντολές πακέτου και ουσιαστικά γίνονται αποδεκτές όταν είναι in the money και είτε γίνονται πλήρως αποδεκτές είτε γίνονται πλήρως μη αποδεκτές όταν είναι at the money.

ii. Linked Block Orders

Πρόκειται για εντολές πακέτου οι οποίες συνδέονται με τέτοιο τρόπο που για να γίνει αποδεκτή μια εντολή B πρέπει να έχει γίνει πρώτα αποδεκτή μια εντολή A . Αυτή η σχέση λέγεται σχέση γονέα-παιδιού όπου το πακέτο A είναι ο γονέας και το πακέτο B είναι το παιδί.

A is the parent, B the child, and C the grandchild.



Εικόνα 5: Παράδειγμα Linked Block Order

iii. Curtailable block orders

Πρόκειται για εκείνες τις εντολές που μπορούν να γίνουν εν μέρει αποδεκτές σύμφωνα με έναν καθορισμένο από τον χρήστη Minimum Acceptance Ratio (MAR). Ένα μπλοκ με $MAR=1$ (100%) είναι μια regular block order.

Ένα μπλοκ με $MAR=0,5$ (50%) μπορεί να περιοριστεί έως και 50%. Ένα μπλοκ με $MAR=0$ (0%) είναι πλήρως περιορισμένο. Το MAR είναι πάντα το ίδιο για όλες τις ώρες. Μπλοκ με δυνατότητα περιορισμού μπορούν να συνδεθούν.

iv. Exclusive Group of Block Orders

Πρόκειται για ένα σύνολο εντολών πακέτου των οποίων το άθροισμα των ποσοστών αποδοχής τους δεν μπορεί να ξεπερνάει την μονάδα. Με άλλα λόγια αν γίνει αποδεκτό το πακέτο A κατά ποσοστό 80% τότε το πακέτο B δεν γίνεται να γίνει αποδεκτό περισσότερο από 20%.

1.2.2.2 : Αποκεντρωμένη Αγορά Διμερών Συμβολαίων

Στην αποκεντρωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας οι συναλλαγές βασίζονται στην απευθείας σύναψη διμερών συμβολαίων μεταξύ παραγωγών και προμηθευτών με μεγάλους καταναλωτές. Αυτά τα διμερή συμβόλαια ουσιαστικά αφορούν την παράδοση συγκεκριμένων ποσοτήτων ενέργειας σε προκαθορισμένες από το παρόν τιμές για μία προκαθορισμένη περίοδο στο μέλλον.

Το βασικό μειονέκτημα των διμερών συμβολαίων όπως είναι εύκολα αντιληπτό είναι η εξασφάλιση της ασφάλειας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Γι' αυτό το λόγο παράλληλα με τα διμερή συμβόλαια λειτουργεί και ένα χρηματιστήριο με εθελοντικό χαρακτήρα συμμετοχής το οποίο εκκαθαρίζει την αγορά με παρόμοιο τρόπο με το power pool.



Εικόνα 6: Λειτουργία Αποκεντρωμένης Αγοράς

1.2.3: Ενδο-ημερήσια Αγορά (Intra-day Market)

Η ενδο-ημερήσια αγορά αναφέρεται στην αγοραπωλησία ηλεκτρικής ενέργειας εντός της ημέρας στην οποία αναφέρεται. Ουσιαστικά παρέχει μία πλατφόρμα για τους συμμετέχοντες στην αγορά (παραγωγούς, καταναλωτές, προμηθευτές, εμπόρους) και τους δίνει τη δυνατότητα να προσαρμόσουν τη θέση τους ώστε να ισορροπήσουν την προσφορά και τη ζήτηση σε πραγματικό χρόνο. Η ενδο-ημερήσια αγορά επιτρέπει την βέλτιστη ανακατανομή της ενέργειας και βοηθά ώστε να γίνει διαχείριση κάποιων απρόβλεπτων γεγονότων στην κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας. Παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της σταθερότητας του δικτύου, βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας και την γενικότερη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η λειτουργία της ενδο-ημερήσιας αγοράς δίνει τη δυνατότητα στους συμμετέχοντες να προβαίνουν σε συναλλαγές προκειμένου να διορθώσουν τη θέση τους που προκύπτει από τις συναλλαγές σε όλες τις αγορές, δηλαδή να διορθώσουν πιθανές αποκλίσεις της καθαρής θέσης τους από την δηλωθείσα στην DAM λόγω διάφορων παραγόντων (αστοχία μιας μονάδας, μη προγραμματισμένη συντήρηση, λανθασμένη πρόβλεψη παραγωγής για ΑΠΕ κλπ). Η εκκαθάριση της αγοράς αυτής γίνεται πιο κοντά στην χρονική στιγμή παράδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας και επακόλουθα καλύπτει μικρότερο χρονικό ορίζοντα συναλλαγών.

Η ενδο-ημερήσια αγορά αποτελείται από τρεις επιμέρους αγορές:

- Τοπικές ενδο-ημερήσιες δημοπρασίες ή **Local Intraday Auctions – LIDAs**
- Συμπληρωματικές περιφερειακές ενδοημερήσιες δημοπρασίες ή **Complementary Regional Intra-Day Auctions – CRIDAs**
- Συνεχή Ενδο-ημερήσια Συναλλαγή ή **Continuous Trading -XBID**

1.2.3.1 : Local Intraday Auctions – LIDAs

Πρόκειται για τις αγορές που διενεργούν την εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας κοντά στον πραγματικό χρόνο. Αυτές οι δημοπρασίες ουσιαστικά διενεργούνται με τον ίδιο τρόπο όπως η προ-ημερήσια αγορά , δηλαδή συλλέγονται προσφορές έγχυσης και κατανάλωσης και έπειτα υπολογίζεται η τιμή ισορροπίας με τη μέθοδο της βελτιστοποίησης του κοινωνικού πλεονάσματος όπως ακριβώς δηλαδή και στην Day -Ahead αγορά.

Στην Ελλάδα υπάρχουν τρία τέτοια slots ή auctions και πιο συγκεκριμένα η LIDA1, LIDA2, LIDA3. Αυτά τα slots εκπροσωπούν ξεχωριστές αγοραίες χρονικές μονάδες (trading periods) μέσα στην γενικότερη ενδο-ημερήσια αγορά και επιτρέπουν πιο λεπτομερείς προσαρμογές και ευκαιρίες συναλλαγών. Τα συγκεκριμένα time slots τα οποία εκπροσωπεί η κάθε μία από τις προαναφερθείσες δημοπρασίες καθώς και η πληθώρα των intra-day auctions εξαρτώνται από τη γενικότερη δομή της αγοράς της εκάστοτε χώρας. Στην Ελλάδα οι δημοπρασίες αυτές εκκινούν και λήγουν τις ώρες που υποδεικνύει ο παρακάτω πίνακας.

Δημοπρασία	Ώρα Έναρξης Προσφορών	Ώρα Λήξης Προσφορών
LIDA 1	14:00 D-1	16:00 D-1
LIDA 2	16:30 D-1	23:00 D-1
LIDA 3	23:30 D-1	11:00 D

Πίνακας 1: Ώρες Έναρξης Και Λήξης Ενδοημερήσιων Δημοπρασιών Σε EET Πηγή : ΗEnEx

Η LIDA1 είναι η πρώτη ενδοημερήσια δημοπρασία η έναρξη της οποίας είναι λίγες ώρες μετά το κλείσιμο της προ-ημερήσιας αγοράς. Αναφέρεται και στις 24 αγοραίες χρονικές μονάδες της επόμενης ημέρας και επιτρέπει , όπως προαναφέρθηκε, στους συμμετέχοντες να τροποποιήσουν τις θέσεις τους με τις πλέον ανανεωμένες πληροφορίες που μπορεί να έχουν σχετικά με την αγορά. Με το κλείσιμο της πρώτης ενδο-ημερήσιας δημοπρασίας ακολουθεί η δεύτερη LIDA2 η οποία συνήθως έχει μεγαλύτερη διάρκεια από την πρώτη και όπως ακριβώς και η LIDA1 αναφέρεται και στις 24 αγοραίες χρονικές μονάδες της επόμενης ημέρας. Τέλος , για την Ελλάδα, ακολουθεί η Τρίτη και τελευταία ενδο-ημερήσια δημοπρασία (LIDA3) όπου η βασική διαφοροποίηση από τις προηγούμενες δύο αγορές είναι ότι οι συμμετέχοντες δύναται να υποβάλλουν προσφορές μόνο για τις τελευταίες 12 αγοραίες χρονικές μονάδες πράγμα που είναι εύκολα κατανοητό από την ώρα λήξης της δημοπρασίας αυτής. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε όλες τις ενδο-ημερήσιες δημοπρασίες οι μόνοι τύποι εντολών που επιτρέπονται είναι οι **ωριαίες υβριδικές εντολές** .

1.2.3.2 : Complementary Regional Intra-day Auctions ή Συμπληρωματικές Περιφερειακές Ενδο-ημερήσιες Δημοπρασίες

Οι συμπληρωματικές περιφερειακές ενδο-ημερήσιες δημοπρασίες λειτουργούν ακριβώς με τον ίδιο τρόπο με τις τοπικές ενδο-ημερήσιες δημοπρασίες, δηλαδή οι ώρες συναλλαγών της κάθε αγοράς , οι αγοραίες χρονικές μονάδες καθώς και ο τύπος των εντολών είναι ο ίδιος. Η μόνη διαφοροποίηση είναι ότι οι συγκεκριμένες δημοπρασίες αναφέρονται και διενεργούνται σε παραπάνω από μία ζώνη προσφορών που εκφράζει μία περιφέρεια. Ουσιαστικά αποσκοπεί στο να εξασφαλίσει το αποτελεσματικό διασυνοριακό εμπόριο καθώς και την αποτελεσματική σύζευξη των intra-day αγορών.

1.2.3.3 : XBID ή Συνεχής Συναλλαγή

Η επικύρωση συναλλαγών στην δημοπρασία της συνεχούς συναλλαγής ξεκινούν λίγο μετά τη λήξη της προ-ημερήσιας αγοράς και συγκεκριμένα στις 16:30 ΕΕΤ της D-1 (έναρξη προσφορών 16:00 D-1) και συνεχίζονται μέχρι και μία ώρα (60 λεπτά) πριν την ώρα φυσικής παράδοσης. Για παράδειγμα εάν ένας παραγωγός θέλει να υποβάλλει προσφορά έγχυσης για το διάστημα 15:00-16:00 της επόμενης ημέρας θα πρέπει να υποβάλλει την προσφορά του μέχρι τις 14:00 της επόμενης ημέρας. Εάν την υποβάλλει 14:01 η προσφορά θα αναφέρεται στο XBID slot των 16:00-17:00 κ.ο.κ.

Αντίθετα με τις προηγούμενες αγορές η συγκεκριμένη δημοπρασία αναφέρεται σε 48 αγοραίες χρονικές μονάδες οπότε οι συμμετέχοντες έχουν τη δυνατότητα και ελευθερία να υποβάλλουν προσφορές και για προϊόντα με λιγότερη από ωριαία διάρκεια αλλά μπορούν και για ωριαία και για πακέτα συνεχόμενων αγοραίων χρονικών μονάδων.

Η αγορά αυτή λειτουργεί με ένα βιβλίο εντολών στο οποίο υπάρχουν καταγεγραμμένες όλες οι προσφορές έγχυσης ή αγοράς ενέργειας. Για να γίνει πιο κατανοητό το παραπάνω σκεφτείτε το παρακάτω παράδειγμα. Έστω ότι ένας παραγωγός έχει καταθέσει στον διαχειριστή μια προσφορά έγχυσης ενέργειας στα 60 €/MWh τότε εάν έστω ένας καταναλωτής έχει καταθέσει μία προσφορά αγοράς με τιμή ίση ή μεγαλύτερη από 60 €/MWh τότε αυτόματα θα εκτελεστούν και οι δύο εντολές (αγοράς-πώλησης) με τιμή ίση με την τιμή που ήταν καταγεγραμμένη στο βιβλίο , δηλαδή τα 60 €/MWh. Είναι προφανές ότι με τον παραπάνω τρόπο είναι πιθανό η ενέργεια που επιθυμεί ο αγοραστής να μην υπάρχει σαν μέγεθος στο βιβλίο εντολών . Σε αυτή την περίπτωση η ενέργεια που δεν κατάφερε ο αγοραστής να βρει κατατίθεται στο βιβλίο εντολών σαν μια εντολή αγοράς που “περιμένει” εκεί μέχρι να αντιστοιχηθεί με μία εντολή πώλησης.

Η ενέργεια ή ισχύς που δύναται ένας συμμετέχοντας να διαπραγματευτεί στη συγκεκριμένη αγορά είναι ίση με την μέγιστη ισχύ της μονάδας μείον την ισχύ που μπορεί να έχει διαπραγματευτεί και γίνει δεκτή στην προ-ημερήσια αγορά ή άλλες αγορές. Φυσικά εάν μιλάμε για θερμικές μονάδες η ισχύς θα πρέπει να ξεπερνάει το τεχνικό ελάχιστο εάν δεν έχει διαπραγματευτεί ισχύ στις προηγούμενες αγορές.

Οι τύποι των εντολών που δύναται οι συμμετέχοντες να υποβάλλουν σε αυτή την αγορά είναι τρεις και πιο συγκεκριμένα είναι οι regular orders, οι linked orders και οι iceberg orders. Πιο συγκεκριμένα :

i. Regular orders

Σε παρόμοιες εντολές έχουμε προαναφερθεί. Πρόκειται για κανονικές εντολές πώλησης ή αγοράς ενέργειας με συγκεκριμένη ποσότητα και τιμή οι οποίες εκτελούνται σε μικρότερη ή ίση τιμή αν πρόκειται για εντολές αγοράς και σε μεγαλύτερη ή ίση τιμή με την τιμή προσφοράς εάν πρόκειται για εντολές πώλησης. Οι εντολές αυτές γενικά υποστηρίζουν προδιαγραφές εκτέλεσης και προδιαγραφές εγκυρότητας .

Οι προδιαγραφές εκτέλεσης μπορεί να είναι :

- None – NON

Είναι η απλούστερη μορφή εντολής και είναι η βασικότερη εντολή που προαναφέραμε. Εάν δεν αντιστοιχηθεί αμέσως καταγράφεται στο βιβλίο εντολών.

- **Fill or Kill – FOK**

Όπως είναι εύκολα αντιληπτό από το όνομα τους , πρόκειται για τις εντολές που εάν δεν αντιστοιχηθούν αμέσως τότε διαγράφονται και δεν καταγράφονται καν στο βιβλίο εντολών

- **All or None**

Οι εντολές αυτές δεν μπορούν να εκτελεστούν μερικώς (όπως οι NONE εντολές) δηλαδή πρέπει να αντιστοιχιστεί όλη η ποσότητα ενέργειας.

Οι προδιαγραφές εγκυρότητας μπορεί να είναι :

- **Good for Session – GFS**

Η εντολή αυτή είτε εκπληρώνεται αμέσως είτε καταγράφεται στο βιβλίο μέχρι τη λήξη της περιόδου συνεδρίασης (αγοραία χρονική μονάδα που αναφέρεται η εντολή) .

- **Good till Date – GTD**

Όπως υποδεικνύει και το όνομα τους οι εντολές αυτές συνοδεύονται από ημερομηνία και ώρα λήξης μετά το πέρας των οποίων διαγράφονται από το βιβλίο εντολών.

ii. **Linked Orders**

Πρόκειται για εντολές όπως οι linked block orders στην προ-ημερήσια αγορά , εντολές δηλαδή με σχέση γονέα παιδιού όπου για να εκτελεστεί η δεύτερη πρέπει πρώτα να εκτελεστεί η πρώτη.

iii. **Iceberg Orders**

Οι εντολές αυτές εμφανίζονται στην αγορά μόνο κατά ένα κομμάτι την φορά το οποίο πρέπει πρώτα να εκτελεστεί για να αποκαλυφθεί το επόμενο κομμάτι. Τα κρυφά κομμάτι αυτής της εντολής παραμένουν σε κάθε περίπτωση διαθέσιμα ώστε κάποια άλλη εντολή να αντιστοιχιστεί με αυτά.

1.2.4 : Αγορά Εξισορρόπησης ή Balancing Market

Η συγκεκριμένη αγορά έχει ως διαχειριστή τον ΑΔΜΗΕ (Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) σε αντίθεση με τις προηγούμενες αγορές που αναφέραμε τις οποίες διαχειρίζεται το Χρηματιστήριο Ενέργειας (HEEx) . Οι προσφορές που γίνονται αποδεκτές σε αυτή την αγορά έχουν την υποχρέωση φυσικής παράδοσης .

Η αγορά εξισορρόπησης αποτελείται από τρεις επιμέρους αγορές οι οποίες είναι οι :

- Αγορά Ισχύος Εξισορρόπησης
- Αγορά Ενέργειας Εξισορρόπησης
- Εκκαθάριση Αποκλίσεων

Στις δύο πρώτες αγορές συμμετέχουν υποχρεωτικά οι παραγωγοί των συμβατικών μονάδων (conventional units) και έχουν το δικαίωμα να συμμετέχουν και άλλες μονάδες παραγωγής οι οποίες μπορούν να μεταβάλλουν την παραγωγή τους κατά βούληση (dispatchable assets) . Οι οντότητες αυτές που παρέχουν τις υπηρεσίες ορίζονται ως πάροχοι υπηρεσιών εξισορρόπησης ή **Balance Service Providers – BSP**. Στην τελευταία αγορά συμμετέχουν υποχρεωτικά όλοι οι παραγωγοί που συμμετείχαν έστω σε μία αγορά προ-ημερήσια ή ενδο-ημερήσια , και χρεώνονται για τις τυχούσες αποκλίσεις που από το σύνολο των προσφορών που έγιναν αποδεκτές σε όλες τις αγορές. Αυτές οι οντότητες ορίζονται ως οντότητες με ευθύνη εξισορρόπησης ή **Balance Responsible Party – BRP**.

Οι προσφορές εξισορρόπησης υποβάλλονται από τους συμμετέχοντες μεταξύ 14:00-16:45 της D-1. Μετά τη λήξη υποβολής των προσφορών αυτών ο ΑΔΜΗΕ τρέχει την λεγόμενη διαδικασία ενοποιημένου προγραμματισμού ή **Integrated Scheduling Process – ISP** όπως είναι ευρέως γνωστή την οποία θα αναλύσουμε εκτενώς σε επόμενη ενότητα.

Ο ρόλος των τριών λοιπόν προαναφερθεισών αγορών είναι η διαφύλαξη της ευστάθειας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή η διατήρηση της συχνότητας σε όλο το σύστημα η οποία διασφαλίζεται μέσω της μέτρησης αυτής σε διάφορα σημεία του συστήματος μεταφοράς και η επέμβαση εάν παρατηρηθεί απόκλιση. Ανάλογα με το μέγεθος της απόκλισης ο διαχειριστής λαμβάνει και ανάλογα μέτρα τα οποία αποτελούνται από ένα σύνολο εντολών προς παραγωγούς ή καταναλωτές για τροποποίηση της παραγωγής ή κατανάλωσης ανάλογα αν το σύστημα είναι short ή long. Αυτές οι εντολές όπως προαναφέρουμε είναι προς μονάδες που μπορούν να μεταβάλλουν άμεσα την παραγωγή τους , τα λεγόμενα όπως είπαμε dispatchable assets.

Ας αναλύσουμε λοιπόν εκτενέστερα τα παραπάνω προκειμένου να γίνει κατανοητή η όλη λειτουργία αλλά και η σημασία της αγοράς εξισορρόπησης.

1.2.4.1 : Integrated Scheduling Process ή Διαδικασία Ενοποιημένου Προγραμματισμού

Η διαδικασία ενοποιημένου προγραμματισμού έχει ως κύριο στόχο την διόρθωση και κατάρτιση ενός προγράμματος παραγωγής το οποίο θα πληροί όλους τους τεχνικούς περιορισμούς των εκάστοτε μονάδων παραγωγής (τεχνικά ελάχιστα) ειδικότερα αλλά και του συστήματος γενικότερα (congestion κλπ). Μέσω της διαδικασίας αυτής λοιπόν επιτυγχάνεται η μορφοποίηση και βελτιστοποίηση του προγράμματος των μονάδων λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα της προ-ημερήσιας και των ενδοημερησίων αγορών καθώς και τις προσφορές των καταναμημένων μονάδων στις αγορές εξισορρόπησης.

Η διαδικασία ενοποιημένου προγραμματισμού αναφέρεται σε 48 περιόδους (ημίωρα) και εκτελείται τρεις φορές με τις πρώτες δύο φορές να αναφέρονται και στις 48 περιόδους και την τελευταία να αναφέρεται στις τελευταίες 24 περιόδους.

ISP No	Ώρα Εκτέλεσης	Χρονικές Περίοδοι
ISP1	16:45 D-1	48
ISP2	00:00 D	48
ISP3	12:00 D	24

Πίνακας 2: Πληροφορίες Διαδικασίας Ενοποιημένου Προγραμματισμού

Οι απαραίτητες πληροφορίες που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία του ενοποιημένου προγραμματισμού είναι η ανοδική και καθοδική ενέργεια ενεργοποίησης για τις οποίες έχουν δοθεί προσφορές από τους παραγωγούς (balancing energy up or down) για την αγορά ενέργειας εξισορρόπησης και τις διάφορες μορφές εφεδρειών που θα αναλυθούν εκτενώς αργότερα για την αγορά ισχύος εξισορρόπησης, για τις οποίες πάλι έχουν δοθεί προσφορές από τους παραγωγούς .

Οι εφεδρείες λοιπόν χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες με διαφορετικές λειτουργίες η κάθε μία :

1. Εφεδρεία Διατήρησης Συχνότητας (ΕΔΣ) ή Frequency Containment Reserve (FCR)

Πρόκειται για την ενεργό ισχύ που είναι διαθέσιμη με σκοπό να διατηρήσει τη συχνότητα του συστήματος στην ονομαστική της τιμή (50Hz) και αναφέρεται σε μονάδες και ισχύ η οποία μπορεί να ενεργοποιηθεί , προς τα κάτω ή προς τα πάνω, και να γίνει διαθέσιμη σε λιγότερο από 30 δευτερόλεπτα.

2. Αυτόματη εφεδρεία Αποκατάστασης Συχνότητας (ΕΑΣ) ή Automatic Frequency Restoration Reserve

Πρόκειται για τη δεύτερη γραμμή άμυνας και ενεργοποιείται όταν η αστάθεια συνεχίζει μετά το πέρας των 30 δευτερολέπτων απ' τον εντοπισμό της αστάθειας του συστήματος. Η απόκριση είναι ανάμεσα σε 30 δευτερόλεπτα με 12.5 λεπτά . Άλλη μία βασική διαφοροποίηση αυτού του μηχανισμού σε σχέση με την ΕΑΣ είναι ότι αναφέρεται σε μόνο μία περιοχή ελέγχου φορτίου συχνότητας ενώ η ΕΑΣ αναφέρεται σε ένα πλήθος περιοχών οι οποίες είναι συγχρονισμένες.

3. Χειροκίνητη εφεδρεία Αποκατάστασης Συχνότητας (χΕΑΣ) ή Manual Frequency Restoration Reserve

Όπως μπορούμε να καταλάβουμε η διαφορά μεταξύ αυτόματης και χειροκίνητης είναι πως η μια ενεργοποιείται αυτόματα όταν απαιτείται ενώ η άλλη χειροκίνητα. Εάν η ανισορροπία του συστήματος συνεχίσει μετά από 12.5 λεπτά τότε λειτουργεί η χειροκίνητη εφεδρεία αποκατάστασης συχνότητας που είναι και ο τρίτος μηχανισμός άμυνας απέναντι σε αστάθειες του συστήματος.

Ο διαχειριστής λοιπόν λαμβάνοντας το πρόγραμμα τη αγοράς από το χρηματιστήριο , δηλαδή τα αποτελέσματα της ενδοημερήσιας και προ-ημερήσιας αγοράς , καθώς και τις προσφορές

που κατέθεσαν οι μονάδες για την αγορά εξισορρόπησης διενεργεί την διαδικασία ενοποιημένου προγραμματισμού η οποία εν τέλει διαμορφώνει το πρόγραμμα των μονάδων και τις δεσμευμένες ποσότητες για εφεδρεία και ενέργεια εξισορρόπησης , πάντα με γνώμονα το οικονομικά βέλτιστο και συμφέρον για τον διαχειριστή.

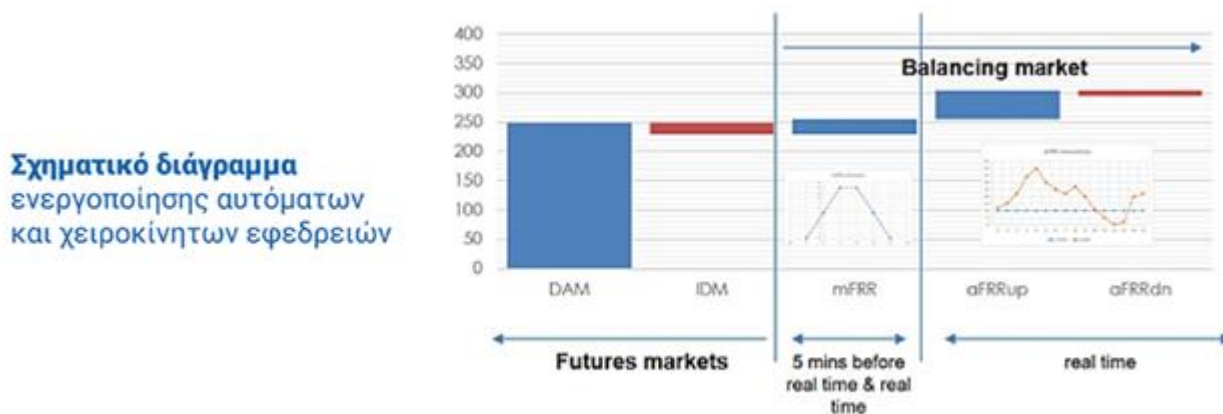
1.2.4.2 : Αγορά Ενέργειας Εξισορρόπησης Και Real Time Balancing Market

Η αγορά αυτή χρησιμοποιεί και περιλαμβάνει την ανοδική και καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης που έχει ανατεθεί στη μονάδα μετά τη διενέργεια του ΔΕΠ. Η Αγορά Ενέργειας Εξισορρόπησης περιλαμβάνει τη Διαδικασία χειροκίνητης ΕΑΣ και τη Διαδικασία αυτόματης ΕΑΣ.

Στο πλαίσιο της Αγοράς Ενέργειας Εξισορρόπησης οι οντότητες που έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν υπηρεσίες εξισορρόπησης υποβάλλουν προσφορές στις Διαδικασίες χΕΑΣ και αΕΑΣ για τα αντίστοιχα προϊόντα Ενέργειας Εξισορρόπησης χΕΑΣ και αΕΑΣ, διακριτά ανά κατεύθυνση.

Μέσω της διαδικασίας Χεας , λίγο πριν τον πραγματικό χρόνο, ο ΑΔΜΗΕ εκτιμά, βάσει της κατάστασης του Συστήματος, εάν απαιτείται ενεργοποίηση ανοδικής ή καθοδικής χΕΑΣ και στη συνέχεια εκδίδει τις αντίστοιχες Εντολές Κατανομής για κάθε 15-λεπτη περίοδο βάσει των οικονομικότερων προσφορών.

Μέσω της διαδικασίας αΕΑΣ, σε πραγματικό χρόνο, οι οντότητες που παρέχουν Ενέργεια Εξισορρόπησης αΕΑΣ λαμβάνουν αυτόματες Εντολές Κατανομής ανά 4 δευτερόλεπτα βάσει των οικονομικότερων προσφορών.



Εικόνα 7: Διάγραμμα Ενεργοποίησης αΕΑΣ και χΕΑΣ

Για τους παραγωγούς με συμβατικές μονάδες η υποβολή προσφορών τόσο για αυτόματα όσο και χειροκίνητη ΕΑΣ είναι υποχρεωτική για το σύνολο της ισχύος τους ανεξάρτητα από την ποσότητα της ισχύος εξισορρόπησης που έχει κατοχυρωθεί από τη ΔΕΠ. Σε αντίθεση οι υπόλοιποι παραγωγοί είναι υποχρεωμένοι να υποβάλλουν προσφορές μόνο για την ενέργεια που αντιστοιχεί στην ισχύ εξισορρόπησης που κατακυρώθηκε στη ΔΕΠ.

Όπως είναι εύκολα κατανοητό μετά την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης και για την χειροκίνητη ΕΑΣ , ο διαχειριστής εκδίδει και στέλνει στους συμμετέχοντες εντολές κατανομής με τις οποίες πρέπει να συμμορφωθούν. Για τη αυτόματη ΕΑΣ τα πράγματα είναι πιο απλά αφού λαμβάνονται υπόψιν οι τιμές καθώς και οι ρυθμοί μεταβολής της ισχύος της

κάθε μονάδας και όλη η ενέργεια αυτόματης ΕΑΣ που κατακυρώνεται, ενεργοποιείται αμέσως μέσω του μηχανισμού Αυτόματης Ρύθμισης Παραγωγής – ΑΡΠ (αυτόματη διαδικασία ελέγχου φορτίου – συχνότητας η οποία έχει ως στόχο να μειώσει το σφάλμα ελέγχου αποκατάστασης συχνότητας στο μηδέν) του διαχειριστή.

Η εκκαθάριση της αγοράς αυτής γίνεται ανά **15 λεπτά**.

1.2.4.3 : Αγορά Ισχύος Εξισορρόπησης

Τα προϊόντα ισχύος εξισορρόπησης για τα οποία μπορεί ένας συμμετέχων να υποβάλει προσφορά, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, είναι:

- Ανοδική και καθοδική ΕΔΣ
- Ανοδική και καθοδική αυτόματη ΕΑΣ
- Ανοδική και καθοδική χειροκίνητη ΕΑΣ.

Η εκκαθάριση της αγοράς αυτής δηλαδή η χρέωση ή πίστωση των επικυρωμένων προσφορών παρασχεθείσας ισχύος υπολογίζεται για κάθε περίοδο εκκαθάρισης αποκλίσεων (**15 λεπτά**).

1.2.4.4 : Imbalance Settlement ή Εκκαθάριση Αποκλίσεων

Πρόκειται ουσιαστικά για τον μηχανισμό ο οποίος βοηθά στην πίστωση ή στην χρέωση των συμμετεχόντων για τις αποκλίσεις τους σε σχέση με το καθορισμένο από την αγορά πρόγραμμα. Οι συμμετέχοντες δηλαδή δεν υποβάλλουν προσφορές. Σε αυτή την αγορά η τιμή εκκαθάρισης αποκλίσεων αντιστοιχεί στην πραγματικότητα με το κόστος του διαχειριστή να εξισορροπήσει το σύστημα λόγω της <<ασυνέπειας>> συγκεκριμένων μονάδων/παραγωγών και έχει καθορισμένο τρόπο υπολογισμού ο οποίος δεν κρίνεται χρήσιμο να αναφερθεί στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

1.2.4.5 : Λοιπές Χρεώσεις-Πιστώσεις

Όπως προαναφέραμε , ο διαχειριστής υπολογίζει τις απώλειες του συστήματος μεταφοράς και υποβάλλει προσφορές αγοράς προκειμένου να καλύψει το έλλειμμα ενέργειας που παρατηρείται κάθε στιγμή. Απ' το σύνολο αυτών των συναλλαγών τελικά προκύπτει ένα κόστος το οποίο επωμίζονται οι καταναλωτές αναλογικά φυσικά με την κατανάλωση του καθενός ξεχωριστά.

Παρόμοια με το παραπάνω , το κόστος του διαχειριστή που προκύπτει από την παροχή ισχύος εξισορρόπησης για την αδιάκοπη λειτουργία του συστήματος επιμερίζεται και πάλι στους καταναλωτές.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό από τα παραπάνω , οποιασδήποτε φύσης παρέμβαση του διαχειριστή πρέπει να τον καθιστά οικονομικά ουδέτερο , δηλαδή όποια κέρδη ή ζημιές προκύψουν επιμερίζονται στους συμμετέχοντες.

Μία άλλη άξια αναφοράς χρέωση είναι αυτή της μη υποβολής ορθών προσφορών από τις μονάδες και δη των αποκλίσεων της δηλωθείσας με την πραγματική παραγωγή για μονάδες non-dispatchable(μη κατανεμόμενες) ΑΠΕ . Εάν η πραγματική παραγωγή είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη (υπερδήλωση ή υποδήλωση) από ένα συγκεκριμένο ποσοστό από το άθροισμα των

επικυρωμένων προσφορών τότε επιβάλλονται χρεώσεις οι οποίες και υπολογίζονται με νομοθετημένο και καθορισμένο από τον διαχειριστή τρόπο.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει λοιπόν να δοθεί στους μηχανισμούς που λειτουργούν στο μεταβατικό στάδιο ώσπου η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα να συμμορφωθεί πλήρως με το Target Model . Δύο προσωρινοί και μείζονος σημασίας μηχανισμοί , όπου θα ισχύουν μέχρι η ΧΒΙD αγορά να αποκτήσει δεδομένα για ένα έτος , είναι ο Μεταβατικός Μηχανισμός Βέλτιστης Ακρίβειας Πρόβλεψης ή **ΜΜΒΑΠ** αλλά και η Προσαύξηση Ανάπτυξης Ετοιμότητας Συμμετοχής Στην Αγορά ή **ΠΑΕΣΑ**. Ο ΜΜΒΑΠ ουσιαστικά είναι ο μηχανισμός που επιβάλλει τις επιπλέον χρεώσεις σε παραγωγούς και Φ.Ο.Σ.Ε. ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ, όταν παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των προσφορών έγχυσης που αυτοί υπέβαλλαν και της πραγματικής εγχυθείσας ενέργειας ενώ η ΠΑΕΣΑ δίνεται στους παραγωγούς ανάλογα με την ακρίβεια προβλέψεων ολόκληρου του μήνα συγκεντρωτικά και όχι κάθε αγοραίας χρονική μονάδας. Οι παραπάνω μηχανισμοί τέλος είναι κάτω από την αρμοδιότητα του Διαχειριστής Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Εγγυήσεων Προέλευσης ή **ΔΑΠΕΕΠ**.

1.2.5 : Συμμετέχοντες Στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σε αυτό το σημείο και αφού έχουμε αναλύσει εκτενώς την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και τη λειτουργία της κρίνεται χρήσιμο να αποσαφηνίσουμε και να αναφέρουμε εκτενώς τους συμμετέχοντες σε αυτή. Έναυσμα για το <<άνοιγμα>> προς τους αυξημένους συμμετέχοντες στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας ήταν η εμφάνιση της ανταγωνιστικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας καθώς αυτός ήταν ο αποτελεσματικότερος τρόπος για τη διασφάλιση της αποτελεσματικότερης λειτουργίας της αγοράς.

Παρακάτω λοιπόν θα παρουσιάσουμε τους φορείς αλλά και τους βασικούς συμμετέχοντες της σύγχρονης απελευθερωμένης αγοράς , οι οποίοι έχουν αναφερθεί και νωρίτερα επιγραμματικά.

➤ Φορείς

- **Λειτουργός Της Αγοράς ή Market Operator** : Πρόκειται για τον μη κερδοσκοπικό οργανισμό που αναλαμβάνει τη διαχείριση και διασφάλιση των κανόνων λειτουργίας που διέπουν την αγορά και τον καθορισμό της παραγωγής των μονάδων και ακόλουθα της τιμής της αγοράς.
- **Διαχειριστής Του Συστήματος** : Είναι ο μη κερδοσκοπικός οργανισμός ο οποίος διασφαλίζει την διαχείριση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και είναι υποχρεωμένος να παρέχει ισότιμη πρόσβαση σε όλους τους συμμετέχοντες και επακόλουθα να διευκολύνει τις συναλλαγές μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών. Βασική επίσης αρμοδιότητα του διαχειριστή του συστήματος είναι όπως προαναφέραμε εκτενώς η εκκαθάριση της αγοράς εξισορρόπησης.
- **Ρυθμιστής Της Αγοράς ή Market Regulator**: Ο Ρυθμιστής της Αγοράς είναι ένας κρατικός ανεξάρτητος οργανισμός , στην Ελλάδα είναι ο ΡΑΕ , αρμοδιότητα του

οποίου είναι να επιβλέπει τη λειτουργία της αγοράς και να διασφαλίζει τη σωστή λειτουργία και την ανταγωνιστικότητά της σε όλους τους τομείς της, εισηγούμενη προς τους αρμόδιους φορείς της Πολιτείας και λαμβάνοντας η ίδια μέτρα για την επίτευξη του στόχου της απελευθέρωσης των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου.

➤ Συμμετέχοντες Στην Σύγχρονη Απελευθερωμένη Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

- **Καταναλωτές ή Consumers:** Είναι οι τελικοί χρήστες της ηλεκτρικής ενέργειας και μπορούν να προμηθεύονται την ενέργεια τους μέσω της προθεσμιακής και της προ-ημερήσιας αγοράς κατευθείαν , οι μεγάλοι καταναλωτές, είτε μέσω των προμηθευτών , οι μικρότεροι καταναλωτές.
- **Προμηθευτές ή Retailers:** Είναι οι οντότητες που προμηθεύουν τα προϊόντα στους τελικούς καταναλωτές. Δεν συμμετέχουν άμεσα στη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας αλλά αγοράζουν την ηλεκτρική ενέργεια που πρέπει να παρέχουν στους πελάτες τους μέσω της συμμετοχής τους στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Παραγωγοί ή Producers :** Πρόκειται για τους κατόχους των μονάδων παραγωγής. Στόχος τους είναι η μεγιστοποίηση των κερδών τους είτε απ' την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των αγορών αυτής είτε με την απευθείας πώληση της ενέργειας σε μεγάλους καταναλωτές ή προμηθευτές μέσω της σύναψης διμερών συμβολαίων. Επίσης, ένας παραγωγός μπορεί να συμμετέχει τόσο στην αγορά εφεδρειών όσο και στην αγορά υπηρεσιών ρύθμισης. Τέλος όπως προαναφέραμε σε κάποιες περιπτώσεις οι παραγωγοί μπορούν να συμμετάσχουν και στην αγορά εξισορρόπησης για να καλύψουν τυχόν έλλειμμα/περίσσεια που μπορεί να εμφανιστούν στην παραγωγή ή στη ζήτηση.
- **Μη Κατανεμόμενοι Παραγωγοί ή Non-Dispatchable Producers:** Πρόκειται για τους κατόχους μη κατανεμόμενων μονάδων παραγωγής δηλαδή μονάδων μεταβαλλόμενης ή διακοπτόμενης ισχύος όπως ΑΠΕ . Αυτοί οι παραγωγοί προσπαθούν να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους με τους ίδιους τρόπους με τους συμβατικούς παραγωγούς και συχνά υποχρεώνονται να συμμετάσχουν στις αγορές εξισορρόπησης για να καλύψουν τις αποκλίσεις που προέκυψαν απ' το δηλωθέν πρόγραμμα στις προ-ημερήσιες και ενδοημερήσιες αγορές.

Κεφάλαιο 2 : Μαθηματικός Και Γραμμικός Προγραμματισμός

2.1: Εισαγωγή Στον Μαθηματικό Προγραμματισμό

Τα μοντέλα μαθηματικού προγραμματισμού αποτελούν εργαλεία για τη λήψη βέλτιστων αποφάσεων σε σύνθετα συστήματα. Αποτελούνται από τις μεταβλητές απόφασης ή decision variables , οι οποίες κατά κανόνα , τουλάχιστον στα πιο απλά συστήματα συμβολίζονται με x και αποτελούν μέλος του εφικτού συνόλου X το οποίο είναι ένα υποσύνολο του \mathbb{R}^n , $x \in X \subseteq \mathbb{R}^n$.

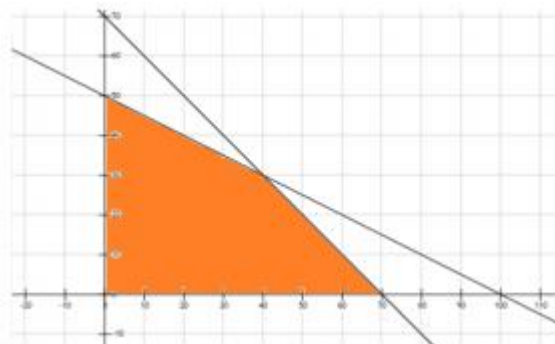
Ο στόχος τον οποίο επιθυμούμε να βελτιστοποιήσουμε μπορεί να εκφραστεί στη μορφή συνάρτησης την οποία και ονομάζουμε αντικειμενική συνάρτηση ή συνάρτηση στόχο , της οποίας ο στόχος είναι να ποσοτικοποιεί την επίδοση που θα έχει μία απόφαση x . Όπως είναι εύκολα κατανοητό τα μαθηματικά μοντέλα στοχεύουν είτε στην ελαχιστοποίηση είτε στη μεγιστοποίηση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης.

Η αντικειμενική συνάρτηση υπόκειται σε ένα σύνολο περιορισμών οι οποίοι περιέχουν τη μεταβλητή ή μεταβλητές απόφασης προκειμένου το μοντέλο να είναι καλώς και πλήρως ορισμένο. Οι περιορισμοί αυτοί δεν μπορεί να είναι περισσότεροι από τις μεταβλητές απόφασης ειδάλλως το πρόβλημα δεν έχει λύση εκτός εάν υπάρχουν γραμμικά εξαρτημένοι περιορισμοί.

2.2: Εφικτά, Ανέφικτα Και Απεριόριστα Προβλήματα

Σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο είναι χρήσιμο να αναφέρουμε κάποιες ιδιαιτερότητες που παρουσιάζουν τα προβλήματα ανάλογα με την τιμή x που λαμβάνουν οι μεταβλητές απόφασης. Ανάλογα λοιπόν με τον τύπο της λύσης το μαθηματικό πρόβλημα μπορεί να χαρακτηριστεί ως εφικτό , ανέφικτο και απεριοριστο.

Εφικτή λύση και κατά συνέπεια εφικτό πρόβλημα χαρακτηρίζεται το πρόβλημα για το οποίο υπάρχει έστω μία λύση $x \in X$. **Βέλτιστη λύση** ονομάζεται η τιμή x^* της μεταβλητής απόφασης x για την οποία για τα προβλήματα ελαχιστοποίησης ισχύει $f(x^*) \leq f(x) \forall x \in X$, και για τα προβλήματα μεγιστοποίησης $f(x^*) \geq f(x) \forall x \in X$. Η βέλτιστη λύση αποτελεί γωνιακό σημείο του χώρου των εφικτών λύσεων που οριοθετεί το σύνολο των περιορισμών. Για τα προβλήματα μεγιστοποίησης η βέλτιστη λύση είναι η πάνω και δεξιά γωνία του εφικτού συνόλου ενώ για τα προβλήματα ελαχιστοποίησης είναι η κάτω και αριστερά γωνία του εφικτού συνόλου.



Εικόνα 8: Παράδειγμα Εφικτού Συνόλου Λύσεων (Οι βέλτιστες λύσεις βρίσκονται στις γωνίες του χρωματισμένου χώρου λύσεων)

Όπως είναι λογικό ανέφικτο πρόβλημα ονομάζεται αυτό για το οποίο δεν υπάρχει λύση.

Τέλος ένα πρόβλημα χαρακτηρίζεται ως απεριόριστο όταν η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης μπορεί να πάρει αυθαίρετα χαμηλή ή υψηλή τιμή, ανάλογα αν έχουμε πρόβλημα ελαχιστοποίησης ή μεγιστοποίησης, στο χώρο των εφικτών λύσεων.

Εάν τα προβλήματα είναι ανέφικτα ή απεριόριστα τότε το πρόβλημα δεν είναι καλώς ορισμένο σε επίπεδο περιορισμών και γι' αυτά τα προβλήματα δεν υπάρχει βέλτιστη λύση.

2.2.1 : Μεταβλητές Χαλάρωσης ή Slack Variables

Η χρήση μεταβλητών χαλάρωσης μας βοηθά να αποτραπεί ένα πρόβλημα να χαρακτηριστεί ως ανέφικτο ή απεριόριστο. Ουσιαστικά με την εισχώρηση αυτών των μεταβλητών στους περιορισμούς μετατρέποντας τις ανισότητες σε ισότητες, μπορούμε να επιτύχουμε τη λύση ανέφικτων και απεριόριστων προβλημάτων. Η λογική πίσω απ' αυτό είναι ότι αν υπάρξει λύση στην οποία η μεταβλητή χαλάρωσης πάρει οποιαδήποτε τιμή διαφορετική του μηδενός, τότε το πρόβλημα δεν είναι ορθά ορισμένο και πρέπει να ελεγχθούν οι περιορισμοί ως προς την ορθότητα τους.

Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη στον γραμμικό προγραμματισμό και βοηθά στην εξοικονόμηση χρόνου και στον ταχύ εντοπισμό πιθανών σφαλμάτων στον ορισμό του προβλήματος.

2.3 : Τι Είναι Ο Γραμμικός Προγραμματισμός

Ο γραμμικός προγραμματισμός είναι μια μαθηματική τεχνική βελτιστοποίησης που περιστρέφεται γύρω από τον στόχο της μεγιστοποίησης ή ελαχιστοποίησης μιας γραμμικής αντικειμενικής συνάρτησης ή συνάρτησης στόχου, υπό μια σειρά γραμμικών περιορισμών. Στην ουσία, ο γραμμικός προγραμματισμός αποσκοπεί στην αποτελεσματική εκχώρηση περιορισμένων πόρων για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου, τηρώντας παράλληλα διάφορους περιορισμούς. Είναι ιδιαίτερα ικανός στην αντιμετώπιση προβλημάτων που χαρακτηρίζονται από πολλές μεταβλητές απόφασης, καθεμία με **γραμμική σχέση** με την αντικειμενική συνάρτηση και υπόκειται σε **γραμμικές ανισότητες ή ισότητες** (περιορισμοί). Η κομψότητα της μεθόδου βρίσκεται στην ικανότητά της να μοντελοποιεί πραγματικά σενάρια, όπως την κατανομή πόρων, τον σχεδιασμό παραγωγής και τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού, μέσω ενός δομημένου μαθηματικού πλαισίου. Μετατρέποντας πολύπλοκα προβλήματα σε επιλύσιμα μαθηματικά μοντέλα, ο γραμμικός προγραμματισμός προσφέρει μια συστηματική προσέγγιση για λήψη βέλτιστων αποφάσεων και βελτιστοποίηση αποτελεσμάτων σε μια ευρεία γκάμα πρακτικών εφαρμογών.

2.3.1 : Φορά Ανισοτήτων Και Πρόσημο Μεταβλητών

Οι ανισότητες ενός γραμμικού προβλήματος μπορούν να είναι σε οποιαδήποτε από τις δύο κατευθύνσεις ανεξάρτητα από τη φύση του προβλήματος (max ή min) και μπορούν εύκολα να εναλλαχθούν εάν το χρειαζόμαστε για λόγους ευκολίας πολλαπλασιάζοντας τις δύο πλευρές της ανισότητας με έναν αρνητικό αριθμό.

Οι μεταβλητές απόφασης μπορούν να ορίζονται ως μη αρνητικές, μη θετικές ή ελεύθερες.

Οι κύριες μεταβλητές στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία είναι και αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι οι παρακάτω :

- Μη αρνητικές μεταβλητές: παραγωγή, ζήτηση κ.α.
- Ελεύθερες μεταβλητές: ροή ισχύος σε γραμμή μεταφοράς (εισαγωγές/ εξαγωγές),

- ποσότητα ισχύος που παράγεται από μια μονάδα κ.α.

2.4 : Βασική Λύση Και Αλγόριθμος Simplex

Νωρίτερα αναφέρθηκε ότι οι περιορισμοί m πρέπει να είναι ίσοι σε αριθμό ή μικρότεροι από τις μεταβλητές απόφασης n . Όταν $m \leq n$ το σύνολο των εφικτών λύσεων είναι διαστάσεως $n - m$.

Μια απλή μεθοδολογία που μπορούμε να ακολουθήσουμε για την επίλυση και τον υπολογισμό των εφικτών λύσεων είναι να θέσουμε $n - m$ από τις μεταβλητές ίσες με το 0 (μη βασικές μεταβλητές) και να απομονώσουμε το υπόλοιπο γραμμικό σύστημα το οποίο αποτελείται από m μεταβλητές (βασικές μεταβλητές) σε m αγνώστους.

Ουσιαστικά με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε να χωρίσουμε τον αρχικό πίνακα A σε δύο μέρη $A = [B \ N]$ όπου ο πίνακας B είναι $m \times m$ και ο πίνακας N είναι $m \times (n - m)$. Εάν ο εναπομείνων υποπίνακας B , ο οποίος ονομάζεται βάση, είναι αντιστρέψιμος τότε το γραμμικό σύστημα έχει μοναδική λύση η οποία ονομάζεται βασική.

Με τον παραπάνω τρόπο εάν η μοναδική λύση του συστήματος $m \times m$ είναι μη αρνητική τότε έχουμε μια βασική εφικτή λύση στο αρχικό πρόβλημα. Η βασική εφικτή αυτή λύση αντιστοιχεί σε ακραίο σημείο του χώρου επίλυσης, όπως προαναφέραμε, το οποίο και δεν μπορεί να εκφραστεί ως κυρτός συνδυασμός δύο άλλων ξεχωριστών σημείων του εφικτού συνόλου.

Μία από τις κεντρικές λοιπόν ιδέες πίσω από τον αλγόριθμο simplex είναι πως αν το αρχικό πρόβλημα δεν είναι ούτε ανέφικτο ούτε απεριόριστο, τότε μία εκ των πιθανών λύσεων είναι στα ακραία σημεία του εφικτού συνόλου. Το σημείο το οποίο επιτυγχάνει την χαμηλότερη τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση (για προβλήματα ελαχιστοποίησης) και την υψηλότερη (για προβλήματα μεγιστοποίησης) είναι και το σημείο το οποίο μας δίνει τη βέλτιστη λύση στο πρόβλημα.

Ο αλγόριθμος Simplex λοιπόν αντί να απαριθμεί όλα τα ακραία σημεία, εναλλάσσει μία μη βασική μεταβλητή με μία βασική σε κάθε επανάληψη, ουσιαστικά δηλαδή μεταπηδά σε ένα γειτονικό ακραίο σημείο και ελέγχει εάν είναι βέλτιστο σε σχέση με τα ήδη 'ελεγμένα'. Ο αλγόριθμος αυτός είναι υπολογιστικά οικονομικός καθώς εγγυάται μέσω των υπολογιστικών μηχανισμών του ότι η επόμενη επανάληψη θα παράξει μία λύση η οποία θα επιτυγχάνει τουλάχιστον όμοιο αποτέλεσμα αν όχι καλύτερο από τη λύση της προηγούμενης επανάληψης.

2.5 : Δυϊκότητα Γραμμικού Προγραμματισμού

Η θεωρία δυϊκότητας είναι μέρος της θεωρίας του μαθηματικού και επακόλουθα του γραμμικού προγραμματισμού. Έχει θεμελιώδη σημασία στη θεωρία γραμμικού προγραμματισμού καθώς θεσπίζει μία μοναδική σχέση μεταξύ δύο διακριτών προβλημάτων, αυτό του πρωταρχικού και αυτό του δυϊκού.

Η δυϊκότητα χρησιμοποιείται σε αλγορίθμους βελτιστοποίησης για την επίλυση προβλημάτων μεγάλης κλίμακας και η λογική πίσω από αυτό είναι ότι συχνά είναι ευκολότερο κανείς να επιλύσει το δυϊκό έναντι του πρωταρχικού προβλήματος.

Εάν το αρχικό πρόβλημα είναι πρόβλημα ελαχιστοποίησης τότε το δυϊκό είναι πρόβλημα μεγιστοποίησης και οι μεταβλητές απόφασής του δυϊκού προβλήματος προσδιορίζονται αντιστοιχώντας μια δυϊκή μεταβλητή σε κάθε περιορισμό του πρωταρχικού προβλήματος.

Επίσης σε κάθε μεταβλητή του πρωταρχικού προβλήματος αντιστοιχεί ένας δυϊκός περιορισμός.

Αυτή η σχέση και αλληλεξάρτηση μεταξύ του πρωταρχικού προβλήματος και του δυϊκού του προσφέρει μία εκπληκτική προοπτική για την κατανόηση των trade-offs μεταξύ της βελτιστοποίησης της αντικειμενικής συνάρτησης και των τήρηση των περιορισμών.

Για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω ακολουθεί ένας μνημονικός αναλυτικός πίνακας για τη δημιουργία του δυϊκού προβλήματος μέσω του πρωταρχικού και αντίστροφα καθώς και ο γενικός τύπος δυϊκού και κανονικού προβλήματος σε κανονική μορφή.

	Ελαχιστοποίηση	Μεγιστοποίηση	
Περιορισμοί	$\geq b_i$	≥ 0	Μεταβλητές
	$\leq b_i$	≤ 0	
	$= b_i$	Ελεύθερες	
Μεταβλητές	≥ 0	$\leq c_j$	Περιορισμοί
	≤ 0	$\geq c_j$	
	Ελεύθερες	$= c_j$	

Εικόνα 9: Μνημονικός Πίνακας Δυϊκότητας

- Πρωταρχικό πρόβλημα :

$$\begin{aligned} \min_x C^T x \\ (\pi): Ax = b \\ x \geq 0 \end{aligned}$$

- Δυϊκό πρόβλημα :

$$\begin{aligned} \max_{\pi} b^T \pi \\ \pi^T A \leq C^T \end{aligned}$$

2.5.1 : Ασθενής Και Ισχυρή Δυϊκότητα

Τα δυϊκά προβλήματα προέρχονται από χαλαρώσεις των αρχικών πρωταρχικών προβλημάτων και έτσι θέτουν ένα φράγμα στα αντίστοιχα πρωταρχικά προβλήματα. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται ασθενής δυϊκότητα και ισχύει σε όλα τα μαθηματικά προγράμματα.

Για ορισμένες κλάσεις προγραμμάτων η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης των δύο προβλημάτων είναι ίση και αυτό αναφέρεται ως ισχυρή δυϊκότητα και ισχύει κατά κόρον στα

γραμμικά προγράμματα. Έτσι αν ένα πρωταρχικό πρόγραμμα έχει βέλτιστη λύση τότε το δυϊκό του έχει βέλτιστη λύση με τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης ίση με αυτή του πρωταρχικού.

Επίσης άμεση επίπτωση του παραπάνω αποτελούν και τα παρακάτω:

- Αν ένα πρωταρχικό πρόβλημα είναι απεριορίστο, τότε το δυϊκό του είναι ανέφικτο
- Αν ένα πρωταρχικό πρόβλημα είναι ανέφικτο, τότε το δυϊκό μπορεί να είναι ανέφικτο ή απεριορίστο

2.5.2 : Δυϊκές Μεταβλητές

Οι δυϊκές μεταβλητές παίζουν έναν άκρως σημαντικό ρόλο στον γραμμικό προγραμματισμό καθώς αποτελούν μία πολύ δυνατή και χρήσιμη τεχνική βελτιστοποίησης που χρησιμοποιείται για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων. Όπως προαναφέραμε, οι μεταβλητές αυτές συνδέονται με τους περιορισμούς του πρωταρχικού προβλήματος. Ουσιαστικά η άμεση χρησιμότητα τους είναι ότι ποσοτικοποιούν την μεταβολή της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης του πρωταρχικού προβλήματος που επιφέρει μία μοναδιαία μεταβολή του δεξιού μέλους του περιορισμού στον οποίο αναφέρονται.

Το παραπάνω ονομάζεται και **ευαισθησία** της αντικειμενικής συνάρτησης και οι δυϊκές μεταβλητές θα παίξουν έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας όπως θα παρατηρηθεί αργότερα.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται χρήσιμο να παραθέσουμε ένα απλό παράδειγμα το οποίο θα βοηθήσει να κατανοήσουμε συγκεντρωτικά όσα προαναφέραμε για τη δυϊκότητα.

Σκεφτείτε μία γραμμή παραγωγής η οποία παράγει δύο προϊόντα X και Y και ας θεωρήσουμε τις ποσότητες που παράγονται για κάθε ποσότητα ως x και y κατ' αντιστοιχία. Προφανώς ο στόχος της εταιρείας είναι να μεγιστοποιήσει το κέρδος της με σεβασμό φυσικά στους περιορισμούς που έχει λόγω π.χ. περιορισμένων πόρων ή ζήτησης.

Έστω ότι το πρωταρχικό πρόβλημα στοχεύει στο να μεγιστοποιήσει την αντικειμενική συνάρτηση :

$$\begin{aligned} P &= 5x + 8y \\ \text{s. t. } 2x + 3y &\leq 240 \text{ (}\lambda\text{)} \text{ (λόγω περιορισμού πόρων)} \\ 4x + 2y &\leq 320 \text{ (}\mu\text{)} \\ &\text{(λόγω περιορισμένης ζήτησης)} \end{aligned}$$

Οι δυϊκές μεταβλητές λ και μ όπως φαίνεται αντιστοιχούν σε κάθε περιορισμό και εκφράζουν το επιπρόσθετο κέρδος το οποίο θα επωμιστεί η εταιρεία εάν μεταβληθεί μοναδιαία το δεξιά μέρος του εκάστοτε περιορισμού.

Το δυϊκό πρόβλημα αντιστοιχεί στην ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης $D = 240\lambda + 320\mu$ με περιορισμούς $\lambda \geq 0$ και $\mu \geq 0$ και εκφράζει τα κόστη τα οποία συνοδεύουν την κατανομή των πόρων και την ικανοποίηση της ζήτησης.

Η σημασία των μεταβλητών έγκειται στην ερμηνεία και την εφαρμογή τους καθώς παρέχουν πληροφορίες για τις οριακές τιμές των πόρων και της ζήτησης βοηθώντας ουσιαστικά στις αποφάσεις της κατανομής των πόρων και στις στρατηγικές τιμολόγησης. Για να κατανοήσουμε το παραπάνω με απλά λόγια σκεφτείτε η μεταβλητή λ να έχει τιμή 2, αυτό μας δείχνει ότι μία επιπλέον μονάδα πόρων θα αυξήσει το κέρδος της εταιρείας κατά 2 ευρώ. Επιλύοντας ταυτόχρονα το αρχικό και το δυϊκό πρόβλημα, ο γραμμικός προγραμματισμός εξασφαλίζει μια βέλτιστη λύση που όχι μόνο μεγιστοποιεί το κέρδος αλλά σέβεται επίσης τους περιορισμούς

πόρων και τους περιορισμούς ζήτησης, αποδεικνύοντας την ευελιξία και την πρακτικότητα των δυϊκών μεταβλητών στη μοντελοποίηση βελτιστοποίησης.

2.6 : Γραμμικός Και Τετραγωνικός Προγραμματισμός

Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να αναφέρουμε εκτός από τον γραμμικό προγραμματισμό και τον τετραγωνικό προγραμματισμό καθώς ανάλογα προβλήματα/προγράμματα θα αντιμετωπιστούν κατά τη διάρκεια αυτής της διπλωματικής. Ο τετραγωνικός προγραμματισμός ουσιαστικά εμπεριέχει μίας τετραγωνικής μορφής αντικειμενική συνάρτηση αλλά με γραμμικούς περιορισμούς. Εάν οι περιορισμοί δεν ήταν αμιγώς γραμμικοί τότε θα είχαμε μη γραμμικό προγραμματισμό ανεξαρτήτως τι μορφής θα ήταν η αντικειμενική συνάρτηση.

Ο τετραγωνικός προγραμματισμός ή quadratic programming παρουσιάζει ομοιότητες στις μεθοδολογίες επίλυσης με τον γραμμικό προγραμματισμό. Πολλοί από τους αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται για να λύσουν τα προβλήματα τετραγωνικού προγραμματισμού έχουν χτιστεί πάνω στις βασικές αρχές και τεχνικές επίλυσης που έχουν αναπτυχθεί για την επίλυση γραμμικών μοντέλων φυσικά με τις απαραίτητες μορφοποιήσεις και προεκτάσεις για τη διαχείριση των τετραγωνικών όρων.

Όπως ο γραμμικός προγραμματισμός, ο τετραγωνικός προγραμματισμός έχει μια καλά ανεπτυγμένη θεωρία και μια ποικιλία αριθμητικών μεθόδων για την αποτελεσματική εύρεση βέλτιστων λύσεων. Αυτές οι μέθοδοι συχνά περιλαμβάνουν επαναληπτικούς αλγόριθμους βελτιστοποίησης, όπως μεθόδους εσωτερικού σημείου, μεθόδους ενεργού συνόλου (active set methods) και μεθόδους διαδοχικού τετραγωνικού προγραμματισμού ή sequential quadratic programming (SQP). Αυτοί οι αλγόριθμοι στοχεύουν να βρουν τη βέλτιστη λύση που ελαχιστοποιεί ή μεγιστοποιεί την τετραγωνική αντικειμενική συνάρτηση ενώ ικανοποιεί τους γραμμικούς περιορισμούς.

Όπως προαναφέραμε υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι και μεθοδολογίες για την επίλυση των τετραγωνικών προβλημάτων και θα αναφέρουμε κάποιους απ' αυτούς ενδεικτικά :

1. **Active set methods:** Αυτές οι μέθοδοι λύνουν το πρόβλημα του QP ενημερώνοντας επαναληπτικά ένα ενεργό σύνολο περιορισμών, οι οποίοι είναι οι περιορισμοί που είναι επί του παρόντος δεσμευτικοί (ενεργοί) στη λύση. Σε κάθε επανάληψη, ο αλγόριθμος ελέγχει για τον περιορισμό που παραβιάστηκε περισσότερο και ενημερώνει το ενεργό σύνολο ανάλογα.
2. **Interior Point Methods:** Παρόμοια με τη χρήση τους στον γραμμικό προγραμματισμό, οι μέθοδοι εσωτερικού σημείου χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων τετραγωνικού προγραμματισμού προσεγγίζοντας επαναληπτικά τη βέλτιστη λύση μέσα από την εφικτή περιοχή. Αυτές οι μέθοδοι μετατρέπουν το πρόβλημα QP σε μια ακολουθία προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού, τα οποία μπορούν να λυθούν χρησιμοποιώντας εξειδικευμένες τεχνικές.
3. **Sequential Quadratic Programming (SQP):** Οι μέθοδοι SQP χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων μη γραμμικής βελτιστοποίησης που περιλαμβάνουν τετραγωνικούς όρους. Προσεγγίζουν τους μη γραμμικούς περιορισμούς και την αντικειμενική συνάρτηση με τετραγωνικές προσεγγίσεις και λύνουν μια σειρά τετραγωνικών υποπροβλημάτων σε κάθε επανάληψη.
4. **Convex Optimization Methods:** Τα τετραγωνικά προβλήματα προγραμματισμού είναι ένα υποσύνολο κυρτών προβλημάτων βελτιστοποίησης. Ως εκ τούτου, ορισμένοι κυρτοί λύτες βελτιστοποίησης μπορούν επίσης να εφαρμοστούν για την επίλυση συγκεκριμένων τάξεων τετραγωνικών προβλημάτων προγραμματισμού. Όπως θα

δούμε και αργότερα ένας τέτοιος λύτης θα χρησιμοποιηθεί και στη δική μας περίπτωση. Συγκεκριμένα ο λύτης που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι ο Gurobi και η γλώσσα προγραμματισμού πάνω στην οποία θα μοντελοποιηθεί θα είναι η Python.

Όπως γίνεται λοιπόν εύκολα αντιληπτό , για την επιλογή της καταλληλότερης μεθοδολογίας για την επίλυση ενός προβλήματος τετραγωνικού προγραμματισμού, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως το μέγεθος του προβλήματος, η πολυπλοκότητα, η διαθεσιμότητα λογισμικού και η επιθυμητή ακρίβεια. Πολλά πακέτα λογισμικού βελτιστοποίησης, όπως το MATLAB, η βιβλιοθήκη SciPy της Python και οι εμπορικοί λύτες βελτιστοποίησης, προσφέρουν ενσωματωμένες λειτουργίες ή ενότητες για την επίλυση προβλημάτων τετραγωνικού προγραμματισμού χρησιμοποιώντας μία ή περισσότερες από τις αναφερόμενες μεθοδολογίες.

2.7 : Γραμμικός Και Στοχαστικός Προγραμματισμός

Ο στοχαστικός προγραμματισμός συνδέεται άμεσα με το γραμμικό ή τετραγωνικό προγραμματισμό με τη διαφορά ότι εισαγάγει στοιχεία αβεβαιότητας στη διαδικασία βελτιστοποίησης.

Πιο συγκεκριμένα ο γραμμικός προγραμματισμός αντιμετωπίζει ντετερμινιστικά προβλήματα βελτιστοποίησης όπου όλες οι παράμετροι είναι γνωστές ενώ ο στοχαστικός προγραμματισμός πάει αυτό το πεδίο ένα βήμα παραπέρα και μπορεί να αντιμετωπίσει καταστάσεις και προβλήματα όπου κάποιες παράμετροι είναι κατά ένα ποσοστό αβέβαιες ή υπόκεινται σε τυχαίες αποφάσεις.

Στο στοχαστικό προγραμματισμό ο στόχος μας είναι να βελτιστοποιήσουμε λοιπόν τις αποφάσεις μας κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας , λαμβάνοντας υπόψη πολλά διαφορετικά πιθανά σενάρια και αποτελέσματα. Αυτός ο τρόπος αντιμετώπισης κρίνεται αναγκαίος σε πραγματικά προβλήματα καθώς η πρόβλεψη μελλοντικών καταστάσεων είναι αβέβαια και μπορούν μόνο να προσεγγιστούν πιθανολογικά. Στην περίπτωση μας όπως θα παρατηρηθεί και εξηγηθεί αναλυτικότερα αργότερα, εφόσον το πρόβλημα μας αναφέρεται σε αρκετές προβλέψεις σε μελλοντικό ορίζοντα , θα εισαγάγουμε στο κύριο πρόβλημα μας αρκετές στοχαστικές χρονοσειρές δεδομένων γι' αυτό και η συγκεκριμένη αναφορά σε τέτοιους τύπους προβλημάτων κρίνεται απαραίτητη για την ενδελεχή κατανόηση από τον αναγνώστη.

Μερικοί απ' τους βασικούς τύπους γραμμικού προγραμματισμού αναφέρονται παρακάτω:

1. **Two-Stage Stochastic Programming:** Σε αυτή την προσέγγιση, το πρόβλημα χωρίζεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, οι αποφάσεις λαμβάνονται πριν γίνει γνωστή η πραγματική τιμή των αβέβαιων παραμέτρων. Στο δεύτερο στάδιο, μετά τον καθορισμό των αβέβαιων παραμέτρων, μπορούν να γίνουν διορθωτικές ενέργειες. Ο γραμμικός προγραμματισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στα δύο στάδια, αλλά το δεύτερο στάδιο συνήθως περιλαμβάνει την επίλυση γραμμικού προγραμματισμού ή άλλων προβλημάτων βελτιστοποίησης με τροποποιημένες αντικειμενικές συναρτήσεις ή περιορισμούς με βάση τα καθορισμένα στοχαστικά δεδομένα.
2. **Chance-Constrained Programming:** Αυτή η προσέγγιση διασφαλίζει ότι οι περιορισμοί ικανοποιούνται με μια ορισμένη πιθανότητα σε όλα τα πιθανά σενάρια. Συνδυάζει

γραμμικό προγραμματισμό με πιθανολογικές εκτιμήσεις, επιτρέποντάς σας να βελτιστοποιήσετε υπό τον περιορισμό ότι ορισμένα γεγονότα συμβαίνουν με μια καθορισμένη πιθανότητα.

3. **Robust Optimization:** Αυτός το τύπος επιδιώκει να βρει λύσεις που να είναι ανθεκτικές έναντι της αβεβαιότητας. Επικεντρώνεται στη βελτιστοποίηση του χειρότερου σεναρίου ή στην ελαχιστοποίηση του αντίκτυπου των αποκλίσεων από τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Ο γραμμικός προγραμματισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαμόρφωση και επίλυση ισχυρών προβλημάτων βελτιστοποίησης.
4. **Stochastic Dynamic Programming:** Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση των αποφάσεων σε βάθος χρόνου παρουσία αβεβαιότητας. Επεκτείνει τον δυναμικό προγραμματισμό για να ενσωματώσει αβέβαιες παραμέτρους, με αποτέλεσμα συχνά μη γραμμικά ή πιο πολύπλοκα προβλήματα βελτιστοποίησης.

Ο στοχαστικός προγραμματισμός παρέχει ένα ισχυρό πλαίσιο για τη λήψη αποφάσεων σε καταστάσεις όπου η αβεβαιότητα παίζει σημαντικό ρόλο. Ενώ η μαθηματική διατύπωση και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στον στοχαστικό προγραμματισμό είναι πιο περίπλοκες από τον παραδοσιακό γραμμικό προγραμματισμό, η βάση του γραμμικού προγραμματισμού παραμένει ουσιαστικό στοιχείο σε πολλά μοντέλα στοχαστικού προγραμματισμού, ιδιαίτερα στο πλαίσιο της επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης σε διαφορετικά σενάρια ή σε διαφορετικά επίπεδα αβεβαιότητας .

Κεφάλαιο 3: Μέθοδος K-means

Το K-means είναι ένας αλγόριθμος μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιείται για ανάλυση συμπλεγμάτων (clustering) , μια τεχνική που στοχεύει να χωρίσει ένα σύνολο δεδομένων σε διακριτές ομάδες ή συμπλέγματα με βάση την ομοιότητα των δεδομένων. Η μέθοδος διαιρεί επαναληπτικά τα δεδομένα σε clusters, συνήθως όσα του ορίζει ο χρήστης, ελαχιστοποιώντας το άθροισμα των τετραγωνικών αποστάσεων μεταξύ των δεδομένων και των αντίστοιχων κεντροειδών των clusters τους.

Πιο αναλυτικά τα βήματα που ακολουθεί ο αλγόριθμος αυτός είναι τα παρακάτω:

1. Το K-means ξεκινά με την επιλογή K αρχικών clusters, όπου το K είναι ένας προκαθορισμένος αριθμός συστάδων που επιθυμεί ο χρήστης. Αυτά τα κεντροειδή επιλέγονται συνήθως τυχαία από τα σημεία δεδομένων (data points).
2. Κάθε σημείο δεδομένων εκχωρείται στο πλησιέστερο κέντρο με βάση μια επιλεγμένη μέτρηση απόστασης, συνήθως Ευκλείδεια απόσταση. Αυτό σχηματίζει τα αρχικά clusters.
3. Τα κεντροειδή των νεοσυσταθέντων συμπλεγμάτων υπολογίζονται εκ νέου ως ο μέσος όρος όλων των σημείων δεδομένων που έχουν εκχωρηθεί σε αυτό το σύμπλεγμα. Αυτό το βήμα διασφαλίζει ότι τα κεντροειδή αντιπροσωπεύουν καλύτερα το κέντρο κάθε cluster.
4. Τα σημεία δεδομένων εκχωρούνται εκ νέου στο πλησιέστερο κέντρο με βάση τα ενημερωμένα κεντροειδή. Αυτό το βήμα μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετική διάταξη ομαδοποίησης.
5. Τα βήματα 3 και 4 επαναλαμβάνονται επαναλαμβανόμενα μέχρι να ικανοποιηθεί ένα κριτήριο διακοπής. Αυτό το κριτήριο θα μπορούσε να είναι ένας μέγιστος αριθμός επαναλήψεων ή όταν τα κεντροειδή δεν αλλάζουν πλέον σημαντικά.

Ο αλγόριθμος συγκλίνει όταν τα κεντροειδή σταθεροποιούνται, καταλήγοντας σε μια λύση ομαδοποίησης όπου τα σημεία δεδομένων μέσα στο ίδιο σύμπλεγμα είναι πιο παρόμοια μεταξύ τους παρά με εκείνα σε άλλα συμπλέγματα. Στην δική μας περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί σαν μία *scenario-reduction* τεχνική προκειμένου ο τελικός μας αλγόριθμος να έχει έναν αριθμό σεναρίων στοχαστικών δεδομένων ο οποίος θα είναι ταυτόχρονα άκρως αντιπροσωπευτικός για την εξαγωγή ορθών αποτελεσμάτων αλλά και αρκετά μικρότερος από τον αριθμό των αρχικών σεναρίων προκειμένου να αποφευχθούν οι μεγάλοι χρόνοι επίλυσης του αλγορίθμου.

Κεφάλαιο 4 : Python, Pyomo Και Gurobi

Η Python είναι μια ευέλικτη και ευρέως χρησιμοποιούμενη γλώσσα προγραμματισμού, γνωστή για την απλότητα και την αναγνωσιμότητά της, καθιστώντας την μια δημοφιλή επιλογή για διάφορες εφαρμογές. Διαθέτει ένα εκτεταμένο σύστημα βιβλιοθηκών και πλαισίων που επιτρέπουν στους προγραμματιστές να αντιμετωπίσουν διάφορες προκλήσεις.

Μια τέτοια βιβλιοθήκη είναι η Pyomo, ένα ισχυρό εργαλείο μοντελοποίησης βελτιστοποίησης που ενσωματώνεται άψογα με την Python. Η Pyomo δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να κατασκευάζουν, να λύνουν και να αναλύουν πολύπλοκα προβλήματα βελτιστοποίησης, ειδικά εκείνα που περιλαμβάνουν αβεβαιότητα και τυχαιότητα, που είναι ένα κρίσιμο συστατικό της στοχαστικής μοντελοποίησης. Συνδυάζοντας την ευελιξία της Python με τις δυνατότητες βελτιστοποίησης της Pyomo, είμαστε σε θέση να δημιουργήσουμε εξελιγμένα μοντέλα που αντιμετωπίζουν πραγματικά σενάρια που επηρεάζονται από αβέβαιους παράγοντες, διευκολύνοντας έτσι την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων και παρέχοντας πολύτιμες γνώσεις για πολύπλοκα συστήματα.

Παρέχει μια βολική και εκφραστική σύνταξη για τον καθορισμό ενός ευρέος φάσματος μοντέλων βελτιστοποίησης, από γραμμικό και μη γραμμικό προγραμματισμό έως βελτιστοποίηση mixed-integer και στοχαστική.

Η pyomo όμως δεν είναι δυνατόν να επιλύσει τέτοια προβλήματα από μόνη της και απαιτείται η επιλογή του κατάλληλου solver από τον χρήστη. Οι solvers είναι εξειδικευμένα πακέτα λογισμικού που έχουν σχεδιαστεί για να βρίσκουν την βέλτιστη λύση σε πολύπλοκα μαθηματικά προβλήματα, όπως ο γραμμικός προγραμματισμός, ο τετραγωνικός προγραμματισμός και άλλα. Η Pyomo έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί απρόσκοπτα με διάφορους λύτες βελτιστοποίησης, οι οποίοι είναι εργαλεία λογισμικού τρίτων κατασκευαστών που έχουν αναπτυχθεί για να χειρίζονται αποτελεσματικά συγκεκριμένους τύπους προβλημάτων βελτιστοποίησης. Αυτοί οι λύτες χρησιμοποιούν προηγμένους αλγόριθμους και μαθηματικές τεχνικές για την αναζήτηση βέλτιστων λύσεων εντός του καθορισμένου χώρου προβλημάτων. Η Pyomo λειτουργεί ως διεπαφή μεταξύ του μοντέλου βελτιστοποίησης και αυτών των λύτων, επιτρέποντάς μας να κάνουμε εναλλαγή μεταξύ διαφορετικών επιλυτών ή αλγορίθμων χωρίς να αλλάξουμε τον υποκείμενο κώδικα του μοντέλου μας.

Στη δική μας περίπτωση ο λύτης που χρησιμοποιήθηκε είναι ο **Gurobi**.

Η χρήση του Gurobi για γραμμικό και τετραγωνικό στοχαστικό προγραμματισμό προσφέρει ένα συναρπαστικό πλεονέκτημα στην αντιμετώπιση σύνθετων προβλημάτων λήψης αποφάσεων σε συνθήκες αβεβαιότητας. Οι ισχυρές τεχνικές βελτιστοποίησης του Gurobi είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για τετραγωνικά μοντέλα, όπου η αντικειμενική συνάρτηση ή/και οι περιορισμοί περιλαμβάνουν τετραγωνικούς όρους. Με τη δυνατότητα χειρισμού αβέβαιων συντελεστών και δεδομένων, ο Gurobi επιτρέπει την αποτελεσματική διαχείριση των στοχαστικών μεταβλητών, εξασφαλίζοντας βέλτιστες αποφάσεις ακόμη και σε απρόβλεπτα σενάρια. Οι προηγμένες δυνατότητες δημιουργίας και διαχείρισης σεναρίων του λύτη διευκολύνουν τον απρόσκοπτο χειρισμό πολλαπλών σεναρίων, επιτρέποντας μια ολοκληρωμένη εξερεύνηση πιθανών αποτελεσμάτων. Η αποτελεσματικότητα και η επεκτασιμότητα του Gurobi λειτουργούν άψογα στον τετραγωνικό στοχαστικό προγραμματισμό, επιλύοντας αποτελεσματικά προβλήματα μεγάλης κλίμακας μέσα σε λογικά χρονικά πλαίσια. Η ενσωμάτωση του Gurobi με εργαλεία που βασίζονται στην Python, όπως η Pyomo, μας δίνει τη δυνατότητα να διαμορφώνουμε και να επιλύουμε απρόσκοπτα τετραγωνικά και γραμμικά μοντέλα στοχαστικού προγραμματισμού, συνδυάζοντας την ευελιξία μοντελοποίησης του Pyomo με την ικανότητα βελτιστοποίησης του Gurobi. Η ικανότητα του Gurobi για αποτελεσματική επίλυση σύνθετων τετραγωνικών προβλημάτων

στοχαστικού προγραμματισμού τον καθιστά ως ένα ικανότατο εργαλείο για λήψη αποφάσεων σε αβέβαια περιβάλλοντα.

Μέρος 2^ο : Μοντελοποίηση και
Υπολογισμός Στοχαστικών
Δεδομένων-Τιμών Εκκαθάρισης
Αγοράς

Κεφάλαιο 5 : Μοντέλο Πρόβλεψης Τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας

Στο δεύτερο μέρος αυτής της διπλωματικής εργασίας , θα παράξουμε μέσω ενός μοντέλου και κυρίως μέσω της εισαγωγής σε αυτό μιας σειράς δεδομένων παραγμένων μέσω κατάλληλης διαχείρισης και ανάλυσης πραγματικών δεδομένων από διάφορες πηγές , χρονοσειρές τιμών εκκαθάρισης ενέργειας για κάθε μια αγοραία χρονική περίοδο οι οποίες εν τέλει θα είναι και τα στοχαστικά δεδομένα εισόδου στο τελικό μας μοντέλο. Όπως είναι εύκολα κατανοητό το συγκεκριμένο σκέλος είναι μείζονος σημασίας για την εξέλιξη και την ορθότητα και ευστοχία των τελικών αποτελεσμάτων και γι' αυτό το λόγο η ανάλυση είναι ενδεδειγμένη και πολυπαραμετρική.

Το πρώτο βήμα όπως είναι προφανές είναι η κατάστρωση του κατάλληλου μοντέλου για την πρόβλεψη των τιμών επόμενης ημέρας για μία ή περισσότερες χρονοσειρές τιμών. Το συγκεκριμένο λοιπόν μοντέλο παρουσιάζεται παρακάτω:

$$\begin{aligned} \text{Min } \sum_{sgt} (c_{sgt} * p_{sgt}) + \sum_{st} (\text{priceIT}_t^{\text{imp}} * qIT_{st}^{\text{imp}} + \text{priceBG}_t^{\text{imp}} * qBG_{st}^{\text{imp}}) \\ - \sum_{st} (\text{priceIT}_t^{\text{exp}} * qIT_{st}^{\text{exp}} + \text{priceBG}_t^{\text{exp}} * qBG_{st}^{\text{exp}}) \quad (1) \end{aligned}$$

Subject to:

$$P_g^{\text{min}} * u_{sgt} \leq p_{sgt} \leq P_g^{\text{max}} * u_{sgt} \quad \forall s \in S, g \in G, t \in T \quad (2)$$

$$u_{sgt} = U_{sgt}^{\text{fix}} \quad (3)$$

$$p_{sgt} = P_{sgt}^{\text{fix}} \quad (4)$$

$$\sum_g p_{sgt} + Res_{st} - Schedule_{st}^{\text{expl}} + qIT_{st}^{\text{imp}} + qBG_{st}^{\text{imp}} = D_{st} + qIT_{st}^{\text{exp}} + qBG_{st}^{\text{exp}} \quad (5)$$

$$c_{sgt} = A_g * p_{sgt} + B_g \quad (6)$$

$$0 \leq qIT_{st}^{\text{imp}} \leq 500 \quad (7)$$

$$0 \leq qIT_{st}^{\text{exp}} \leq 500 \quad (8)$$

$$0 \leq qBG_{st}^{\text{imp}} \leq 750 \quad (9)$$

$$0 \leq qBG_{st}^{\text{exp}} \leq 750 \quad (10)$$

Όπου :

$s \in S$: Το set των διαφορετικών σεναρίων που εξετάζουμε. Εάν έχουμε ένα σενάριο όπως στην διαδικασία του validation του κώδικα όπως θα δούμε παρακάτω τότε αυτό το set μπορεί να παραληφθεί στο πρόγραμμα.

$g \in G$: μονάδες παραγωγής

$t \in T$: Αγοραίες χρονικές μονάδες

P_g^{min} : Τεχνικό ελάχιστο της μονάδας g σε MW

P_g^{max} : Τεχνικό Μέγιστο της μονάδας g σε MW

P_{sgt}^{fix} : Προκαθορισμένη Παραγωγή της μονάδας g την αγοραία χρονική περίοδο t ,στο σενάριο s , σε MW

U_{sgt}^{fix} : Προκαθορισμένο commitment status της μονάδας g την αγοραία χρονική περίοδο t στο σενάριο s . Πρόκειται για δυαδική μεταβλητή με τιμή 0 ή 1 και μας βοηθά να βάλουμε στο μίγμα μονάδες που είναι αναγκαίο να μπουν ανεξάρτητα απ' την τιμή προσφοράς τους για να καλύψουν συγκεκριμένες ανάγκες π.χ. τα υποχρεωτικά νερά της ΔΕΗ

Res_{st} : Διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή τη χρονική περίοδο t στο σενάριο s , σε MW

qIT_{st}^{imp} : Συνολικές εισαγωγές από την Ιταλία την αγοραία χρονική περίοδο t στο σενάριο s , σε MW.

Οι εισαγωγές χωρίζονται σε implicit και explicit εισαγωγές. Οι implicit είναι οι εισαγωγές από Ιταλία και Βουλγαρία οι οποίες εκκαθαρίζονται κεντρικά από τον αλγόριθμο της Eurhemia ανάλογα με τις τιμές που αναμένεται να επικρατήσουν στην κάθε χώρα της σύμπραξης. Οι explicit εισαγωγές είναι από τις υπόλοιπες γείτονες χώρες και είναι εισαγωγές οι οποίες είτε είναι προκαθορισμένων ποσοτήτων από future contracts που είχαν υπογραφεί παλαιότερα είτε αφορούν ποσότητες που αγόρασαν οι παραγωγοί προκειμένου να καλύψουν τις απαιτήσεις των καταναλωτών τους κ.α.. Όλα αυτά θα αναλυθούν εκτενέστερα σε επόμενα στάδια που θα γίνει ανάλυση της διαχείρισης και εισαγωγής δεδομένων στο μοντέλο.

qBG_{st}^{imp} : Συνολικές εισαγωγές από τη Βουλγαρία την αγοραία χρονική περίοδο t στο σενάριο s , σε MW.

qIT_{st}^{exp} : Συνολικές εξαγωγές προς την Ιταλία την αγοραία χρονική περίοδο t στο σενάριο s , σε MW.

qBG_{st}^{exp} : Συνολικές εξαγωγές προς τη Βουλγαρία την αγοραία χρονική περίοδο t στο σενάριο s , σε MW.

$priceIT_t^{imp}$: Παράμετρος χρονοσειράς τιμών για εισαγωγή από την Ιταλία. Θεωρείται σταθερή για όλα τα σενάρια s , γι' αυτό και το index της είναι μόνο η χρονική περίοδος t .

$priceIT_t^{exp}$: Παράμετρος χρονοσειράς τιμών για εξαγωγές προς την Ιταλία.

$priceBG_t^{imp}$: Παράμετρος χρονοσειράς τιμών για εισαγωγή από τη Βουλγαρία.

$priceBG_t^{exp}$: Παράμετρος χρονοσειράς τιμών για εξαγωγές προς τη Βουλγαρία.

$Schedule_{st}^{expl}$: Συνολικό explicit πρόγραμμα (εισαγωγές μείον εξαγωγές) την αγοραία χρονική περίοδο t στο σενάριο s , σε MW. Το **αρνητικό πρόσημο** είναι λόγω του ότι οι εισαγωγές στα αρχεία και τις πηγές που θα χρησιμοποιήσουμε για δεδομένα ορίζονται με αρνητικό πρόσημο ενώ οι εξαγωγές με θετικό.

D_{st} : Συνολικό φορτίο συστήματος την αγοραία χρονική περίοδο t στο σενάριο s , σε MW.

A_g : Κλίση της γραμμικής συνάρτησης παραγωγής της μονάδας παραγωγής g , σε €/MWh²

B_g : Σταθερός όρος γραμμικής συνάρτησης παραγωγής της μονάδας παραγωγής g , σε €/MWh

MCP_{st} : Τιμή εκκαθάρισης της αγοράς την αγοραία χρονική περίοδο t στο σενάριο s , σε €/MWh

p_{sgt} : Ποσότητα παραγωγής της μονάδας παραγωγής g την αγοραία χρονική περίοδο t , σε MW

c_{sgt} : Προσφορά της μονάδας παραγωγής g την αγοραία χρονική περίοδο t , σε €/MWh

u_{sgt} : Δυαδική μεταβλητή που δηλώνει το commitment status της μονάδας παραγωγής g την αγοραία χρονική περίοδο t στο σενάριο s

Ας αναλύσουμε τώρα το μοντέλο:

Η εξίσωση 1 ορίζει την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος βελτιστοποίησης που έχουμε να επιλύσουμε και στοχεύει στην ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους του συστήματος. Όπως είναι εμφανές η συγκεκριμένη αντικειμενική συνάρτηση είναι τετραγωνική (quadratic) αφού η μεταβλητή c_{sgt} εξαρτάται από την παραγωγή p_{sgt} της μονάδας παραγωγής g , την χρονική περίοδο t , στο σενάριο s .

Η εξίσωση 2 ορίζει τα όρια παραγωγής της μονάδας παραγωγής g και ουσιαστικά επιτυγχάνει να αναγκάζει τη μονάδα να παράγει μεταξύ του τεχνικού της μέγιστου και του τεχνικού της ελαχίστου **εάν** είναι μέσα στο μείγμα.

Οι εξισώσεις 3 και 4 προκαθορίζουν το commitment status και την παραγωγή της μονάδας παραγωγής g αντίστοιχα, σε προκαθορισμένα επίπεδα.

Η εξίσωση 5 εκφράζει την ισορροπία του συστήματος.

Οι εξισώσεις 7,8,9 & 10 εκφράζουν το μέγιστο και ελάχιστον όριο μεταφοράς ισχύος (Net Transfer Capacity) για τις γραμμές μεταφοράς Ελλάδας-Ιταλίας και Ελλάδας-Βουλγαρίας. Η εξίσωση 6 εκφράζει τη γραμμική συνάρτηση παραγωγής της μονάδας g . Οι γραμμικές αυτές συναρτήσεις παράχθηκαν με συγκεκριμένο τρόπο για κάθε μονάδα και πηγάζουν από πραγματικά δεδομένα, ο οποίος θα αναλυθεί εκτενέστερα παρακάτω.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι αν η κλίση A_g είναι ίση με το 0 τότε συνάρτηση προσφοράς της μονάδας παραγωγής g μετατρέπεται σε μία απλή *stepwise* προσφορά με τιμή ίση με το B_g και ποσότητα ίση με τη μέγιστη χωρητικότητα της μονάδας.

Τέλος, η τιμή εκκαθάρισης της αγοράς, που είναι και ο τελικός στόχος του συγκεκριμένου προβλήματος βελτιστοποίησης είναι η **δουική μεταβλητή** της εξίσωσης 5. Όπως θα δούμε και αργότερα επειδή έχουμε να κάνουμε με ένα τετραγωνικό *mixed-integer* (που δεν περιέχει μόνο ακέραιες μεταβλητές απόφασης και έχει τετραγωνική αντικειμενική συνάρτηση αλλά γραμμικούς περιορισμούς) πρόβλημα βελτιστοποίησης, οι δουικές μεταβλητές όλων των περιορισμών λαμβάνονται αφού πρώτα λύσουμε μια φορά το πρόβλημα και πάρουμε τις τιμές των δυαδικών μεταβλητών και μετά επιλύσουμε ξανά το πρόβλημα προκαθορίζοντας τις τιμές των δυαδικών μεταβλητών πριν την επίλυση.

Κεφάλαιο 6: Υπολογισμός Παραμέτρων Μοντέλου Πρόβλεψης Τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει εκτενής αναφορά των πηγών και της διαχείρισης και ανάλυσης των απαραίτητων δεδομένων για τον ορισμό των παραμέτρων του μοντέλου πρόβλεψης των τιμών αγοράς επόμενης ημέρας. Κάθε μία ανάλυση δεδομένων και υπολογισμός των παραμέτρων θα αναλύεται σε ένα υποκεφάλαιο προκειμένου να γίνουν απολύτως κατανοητά τα βήματα που ακολουθήθηκαν. Για την κατάστρωση του μοντέλου, την εισαγωγή των δεδομένων στις παραμέτρους αλλά και την τελική επίλυση του προβλήματος αναπτύχθηκε κατάλληλος κώδικας προγραμματισμού.

6.1: Υπολογισμός Πραγματικού Και Προβλεπόμενου Φορτίου

Το πρώτο βήμα της ανάλυσης μας είναι ο υπολογισμός του πραγματικού και προβλεπόμενου (forecasted) φορτίου του συστήματος.

Για αρχή έπρεπε να ορίσουμε το διάστημα για το οποίο θα συλλέξουμε δεδομένα . Επιλέξαμε έτσι να συλλέξουμε δεδομένα για έναν αρκετά μεγάλο αριθμό ημερών και πιο συγκεκριμένα για το διάστημα από **01/01/2023 μέχρι και 21/02/2023**.

Για το συγκεκριμένο λοιπόν διάστημα , μέσω της ιστοσελίδας του ΑΔΜΗΕ καταφέραμε να ανακτήσουμε για κάθε ημέρα το πρώτο εκδοθέν αρχείο των απαιτήσεων της διαδικασίας ενοποιημένου προγραμματισμού, το οποίο δίνει μία αρχική πρόβλεψη για τα παρακάτω στοιχεία :

- Παραγωγή Μη Κατανεμημένων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Φορτίο του συστήματος
- Απώλειες
- Παραγωγή Υποχρεωτικών Υδροηλεκτρικών
- Παραγωγή Μονάδων Σε Δοκιμαστική Λειτουργία
- Απαιτήσεις σε Ανοδική Και Καθοδική Εφεδρεία

Όλα τα παραπάνω στα αρχεία του ΑΔΜΗΕ παρουσιάζονται σε επίπεδο ημώρου. Εμείς ωστόσο οι αγοραίες χρονικές περιόδοι που θα μελετήσουμε θα είναι 24, μία για την κάθε ώρα της εκάστοτε ημέρας. Ενδεικτικά στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε τη μορφή των συγκεκριμένων αρχείων:

RES Forecast		00:00	00:30	01:00	01:30	02:00	02:30
RESFit Portfolio	Greece						
Non-Dispatchable RES	Greece	510	500	500	500	500	510
Total System		510	500	500	500	500	510
Non-Dispatchable Load Forecast		00:00	00:30	01:00	01:30	02:00	02:30
Non-Dispatchable Load	Greece	4 240	4 150	4 140	4 110	4 060	4 030

Εικόνα 10: Μορφή Αρχείου ISP Requirements (Πρόβλεψη Παραγωγής Ανανεώσιμων Και Φορτίου) Πηγή:ΑΔΜΗΕ

Από τα παραπάνω αρχεία με χρήση κατάλληλου μπλοκ κώδικα στην προγραμματιστική γλώσσα της Python καταφέραμε να απομονώσουμε το προβλεπόμενο φορτίο του συστήματος

σε **ωριαία** επίπεδα για την κάθε ημέρα , δεδομένα τα οποία εν τέλει συγκεντρώσαμε σε ένα αρχείο csv για ευκολία.

Η επόμενη πληροφορία που συγκεντρώθηκε ξανά σε ωριαία επίπεδα και συγκεντρωτικά σε ένα csv αρχείο για όλες τις ημέρες εξέτασης, ήταν η προβλεπόμενη παραγωγή από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Για την πρωταρχική ανάλυση μας και τον απλοϊκό αρχικό κώδικα ενός σεναρίου που θα επιλύσουμε για το validation του αλγορίθμου χρησιμοποιήσαμε το φορτίο και την πρόβλεψη της παραγωγής των ανανεώσιμων για την ημέρα της **21/02/2023**. Ο δύο αυτές παράμετροι για τη συγκεκριμένη ημέρα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα και οι μονάδες μέτρησης είναι τα **MW**.

Trading Periods	Forecasted Load	Forecasted RES Load
T0	4195	505
T1	4125	500
T2	4045	505
T3	4000	530
T4	4140	575
T5	4560	635
T6	5215	790
T7	5620	1490
T8	5845	2560
T9	5885	3385
T10	5765	3935
T11	5760	4220
T12	5690	4215
T13	5480	3960
T14	5440	3445
T15	5360	2555
T16	5465	1635
T17	6165	1305
T18	6395	1275
T19	6330	1235
T20	5925	1190
T21	5475	1125
T22	5090	1075
T23	4745	1000

Πίνακας 3: Προβλεπόμενο Φορτίο Και Παραγωγή Ανανεώσιμων Από Τις Απαιτήσεις ΔΕΠ

Αφού λοιπόν υπολογίσαμε και συγκεντρώσαμε μέσω της προγραμματιστικής ανάλυσης μας την πρόβλεψη φορτίου και ανανεώσιμων , επόμενο βήμα είναι ο προγραμματιστικός υπολογισμός και ανάλυση των δεδομένων που έχουν να κάνουν με το **πραγματικό φορτίο** του συστήματος και των ανανεώσιμων όπως αυτό προκύπτει από τα δημοσιευμένα από το Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας (Hex) αποτελέσματα της προ-ημερήσιας αγοράς για κάθε ημέρα.

Για τους παραπάνω σκοπούς συλλέξαμε τα αρχεία των αποτελεσμάτων της προ-ημερήσιας αγοράς για το διάστημα που συγκεντρώθηκαν και τα αρχεία του ΑΔΜΗΕ . Τα συγκεκριμένα αρχεία περιέχουν τις παρακάτω ιδιαίτερης σημασίας πληροφορίες:

- Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τα sell orders (πώληση ενέργειας) στη spot αγορά. Αυτά τα αποτελέσματα περιέχουν την τιμή εκκαθάρισης για κάθε αγοραία χρονική μονάδα (24 ώρες) , την παραγωγή ανά τεχνολογία και ανά ώρα και μεταξύ άλλων τις συνολικές εισαγωγές από κάθε ώρα για κάθε αγοραία χρονική μονάδα.
- Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τα buy orders (αγορά ενέργειας) στη spot αγορά. Αυτά τα αποτελέσματα περιέχουν το φορτίο σε όλα τα επίπεδα τάσης (HV,MV,LV) και μεταξύ άλλων τις εξαγωγές προς όλες τις γείτονες χώρες αναλυτικά.
- Τέλος , περιέχει τις πληροφορίες του market coupling του αλγορίθμου της EUPHEMIA , δηλαδή τις implicit εισαγωγές και εξαγωγές κάθε μία ώρα της επόμενης ημέρας.

Από τα συγκεκριμένα λοιπόν αρχεία συλλέξαμε από τις εντολές πώλησης με τον κατάλληλο μπλοκ κώδικα στην Rγθησ , συγκεντρωτικά για κάθε ημέρα του διαστήματος που εξετάζουμε , το άθροισμα των φορτίων σε όλα τα επίπεδα τάσης προκειμένου να υπολογίσουμε το πραγματικό φορτίο όπως επιλύθηκε από την αγορά αλλά και το πραγματικό φορτίο των ανανεώσιμων τα οποία και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Trading Periods	Actual Load	Actual RES Load
T0	4198,567	469,792
T1	4128,484	448,794
T2	4064,839	457,873
T3	4010,979	475,94
T4	4171,115	509,835
T5	4570,492	543,306
T6	5206,395	666,86
T7	5492,418	1285,484
T8	5597,421	2049,663
T9	5331,332	2722,89
T10	5209,808	3172,201
T11	5182,474	3386,074
T12	5078,988	3376,588
T13	4888,64	3158,266
T14	4812,664	2700,623
T15	4922,605	1972,984
T16	5155,932	1277,175
T17	5855,042	980,202
T18	6152,756	954,141
T19	6079,258	912,392
T20	5712,807	877,633
T21	5241,464	835,074
T22	4874,664	784,62
T23	4467,273	742,529

Πίνακας 4: Πραγματικό Φορτίο Συστήματος Και Ανανεώσιμων 21/02/2023 (DAM Results)

Σε αυτό το σημείο και για κάθε μία ημέρα , με κατάλληλες γραμμές κώδικα , υπολογίσαμε την ποσοστιαία διαφορά που έχει η πρόβλεψη του ΑΔΜΗΕ με τα πραγματικά αποτελέσματα για την παραγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και του φορτίου του συστήματος. Η ιδέα και η χρησιμότητα γύρω απ' αυτό είναι ότι χρησιμοποιώντας αυτές τις ποσοστιαίες διαφορές και πατώντας πάνω στην πρόβλεψη φορτίου και ανανεώσιμων για την επιλεχθείσα μέρα που απεικονίσαμε παραπάνω θα δημιουργήσουμε 10 σενάρια φορτίου ανανεώσιμων και 10 σενάρια φορτίου συστήματος τα οποία συνδυάζοντας τα θα επιτύχουμε τη δημιουργία 100 διαφορετικών σεναρίων τα οποία και θα εισαγάγουμε στο πρόγραμμα μας για να παράξουμε τις διαφορετικές χρονοσειρές τιμών εκκαθάρισης που επιθυμούμε. Αυτά ακριβώς τα σενάρια παρουσιάζονται παρακάτω, με το πρώτο σενάριο να είναι τα προαναφερθέντα αποτελέσματα πρόβλεψης φορτίου και ανανεώσιμων :

Σενάριο	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Scenario1	4195	4125	4045	4000	4140	4560	5215	5620
Scenario2	4179	4096	3991	3930	4059	4476	5078	5442
Scenario3	4249	4179	4073	4016	4169	4599	5288	5691
Scenario4	3860	3869	3787	3770	3868	4181	4780	5183
Scenario5	4075	3985	3933	3904	4045	4421	5074	5443
Scenario6	4021	3957	3879	3841	3989	4368	4956	5327
Scenario7	4025	3962	3879	3821	3978	4275	4844	5228
Scenario8	3918	3789	3822	3769	3901	4289	4858	5140
Scenario9	4129	4066	3976	3920	4062	4478	5139	5411
Scenario10	4095	4035	3963	3912	4030	4450	5066	5397

T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17
5845	5885	5765	5760	5690	5480	5440	5360	5465	6165
5523	5508	5420	5362	5249	4946	4885	4935	5103	5832
5856	5939	5805	5705	5587	5383	5367	5386	5500	6126
5447	5518	5397	5391	5320	5096	5083	5009	5043	5691
5578	5545	5445	5430	5293	5059	5013	4971	5053	5679
5577	5595	5453	5417	5332	5099	5139	5078	5118	5767
5429	5514	5419	5427	5397	5150	5152	5130	5173	5771
5256	5226	5064	5034	4991	4835	4939	4980	5125	5764
5465	5510	5368	5358	5283	5087	5129	5126	5361	6038
5514	5350	5199	5148	5039	4832	4829	4889	5019	5680

6395	6330	5925	5475	5090	4745
6096	6061	5667	5254	4898	4513
6383	6310	5837	5406	4985	4559
5881	5886	5584	5174	4814	4438
5957	6000	5596	5194	4837	4449
6005	5972	5556	5147	4772	4381
6082	5988	5568	5227	4767	4556
5998	5968	5667	5264	4867	4467
6269	6203	5704	5346	4950	4562
5899	5814	5372	4964	4662	4296

Πίνακας 5: Διαφορετικά Σενάρια Πρόβλεψης Φορτίου

Στήλη1	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Scenario1	505	500	505	530	575	635	790	1490
Scenario2	425	420	423	444	481	523	653	1229
Scenario3	453	451	462	478	517	559	705	1316
Scenario4	506	504	506	519	549	615	760	1388
Scenario5	453	445	461	477	524	579	731	1332
Scenario6	478	468	470	495	535	588	750	1393
Scenario7	437	434	435	461	512	534	675	1278
Scenario8	440	441	445	463	501	548	695	1323
Scenario9	463	463	459	480	520	555	707	1325
Scenario10	461	458	465	486	533	585	712	1257

T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
2560	3385	3935	4220	4215	3960	3445	2555	1635
2060	2689	3126	3353	3295	3088	2771	2147	1398
2112	2722	3164	3397	3382	3177	2791	2240	1547
2299	2961	3451	3698	3707	3468	3039	2327	1534
2125	2730	3183	3406	3398	3170	2787	2246	1510
2247	2870	3338	3584	3596	3355	2933	2330	1476
2173	2801	3255	3497	3512	3312	2906	2213	1426
2169	2804	3241	3475	3473	3245	2848	2220	1512
2037	2725	3184	3435	3443	3221	2796	2195	1521
1999	2457	2847	3141	3151	2967	2587	2052	1313

T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23
1305	1275	1235	1190	1125	1075	1000
1122	1095	1066	1024	969	917	864
1267	1220	1190	1125	1088	998	950
1197	1176	1111	1079	987	961	908
1193	1134	1085	1029	986	938	882
1171	1148	1122	1104	1029	987	897
1130	1140	1115	1056	999	960	911
1181	1130	1104	1085	1043	983	935
1220	1196	1152	1075	1017	944	893
1045	1015	983	961	908	890	871

Πίνακας 6: Διαφορετικά Σενάρια Πρόβλεψης Φορτίου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

6.2: Εισαγωγές Και Εξαγωγές

Ο εισαγωγές και οι εξαγωγές προς τις χώρες με τις οποίες υπάρχει διασύνδεση είναι μία απαραίτητη διαδικασία για την όσο το δυνατόν βελτιστοποιημένη επίλυση της αγοράς ειδικά κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας. Όπως αναλύσαμε στο μοντέλο μας οι διασυνδέσεις , implicit & explicit, παίζουν έναν άκρως σημαντικό ρόλο στην επίλυση της αγοράς καθώς εμπεριέχονται στην αντικειμενική συνάρτηση και στους περιορισμούς του προβλήματος.

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα αναλύσουμε δύο υποπεριπτώσεις εκ των οποίων η πρώτη έχει να κάνει με ένα πιο απλοϊκό, προκαθορισμένο από τα αποτελέσματα της επίλυσης της ΔΕΠ όπως αυτά προέκυψαν απ' τον ΑΔΜΗΕ, πρόγραμμα διασυνδέσεων το οποίο θα εισαχθεί στον κώδικα του ενός σεναρίου που θα χρησιμοποιήσουμε για το validation. Η δεύτερη περίπτωση και η πλέον σημαίνουσα, είναι αυτή του μοντέλου που αποτυπώσαμε σε προηγούμενη παράγραφο όπου το πρόγραμμα είναι προκαθορισμένο σαν παράμετρος μόνο για τις explicit διασυννοριακές συναλλαγές και για την Ιταλία και Βουλγαρία εισαγάγουμε τις διασυννοριακές συναλλαγές σαν μεταβλητές απόφασης και οι εκκαθαριζόμενες ποσότητες είναι πλέον στην ευχέρεια του προβλήματος βελτιστοποίησης για να τις ορίσει. Ας δούμε λοιπόν αναλυτικότερα τις δύο αυτές υποπεριπτώσεις.

6.2.1 : 1^η Περίπτωση-Σταθερό Διασυννοριακό Πρόγραμμα

Για την πρώτη περίπτωση της ανάλυσης μας, όπως προαναφέραμε, από τις εντολές πώλησης και αγοράς δημιουργήσαμε ένα πρόγραμμα για τις διασυνδέσεις για κάθε αγοραία χρονική μονάδα. Αρχικά , επιλέξαμε λοιπόν την 21/02/2023 και φτιάξαμε ένα fixed πρόγραμμα όπως αυτό προέκυψε από την επίλυση της ΔΕΠ προκειμένου να το εισαγάγουμε στο αρχικό απλοϊκό μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε για το validation.

Αυτό το πρόγραμμα δημιουργήθηκε με κατάλληλη απομόνωση των δεδομένων που χρειαζόμασταν που δεν είναι άλλα από τις εκκαθαριζόμενες ποσότητες των imports και των exports και φυσικά τη χρήση ενός ικανού block κώδικα ο οποίος μας έδωσε τη δυνατότητα να διαχειριστούμε τα δεδομένα κατάλληλα ώστε να τα φέρουμε στην επιθυμητή μορφή.

Στόχος της Διαδικασίας Ενοποιημένου Προγραμματισμού , όπως αναφέραμε σε πρώιμο σε αυτή τη διπλωματική στάδιο , είναι η μορφοποίηση και βελτιστοποίηση του προγράμματος των μονάδων λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα της προ-ημερήσιας και των ενδοημερησίων αγορών καθώς και τις προσφορές των κατανεμημένων μονάδων στις αγορές εξισορρόπησης. Η διαδικασία ενοποιημένου προγραμματισμού αναφέρεται σε 48 περιόδους (ημίωρα) και εκτελείται τρεις φορές με τις πρώτες δύο φορές να αναφέρονται και στις 48 περιόδους και την τελευταία να αναφέρεται στις τελευταίες 24 περιόδους.

Το αρχείο των αποτελεσμάτων τις διαδικασίας αυτής περιέχει μεταξύ άλλων ,τις παρακάτω εξαιρετικής για την ανάλυση μας σημασίας πληροφορίες:

- Το βελτιστοποιημένο πρόγραμμα των θερμικών μονάδων που συμμετέχουν στην αγορά ενέργειας σε επίπεδο ημώρου
- Το βελτιστοποιημένο πρόγραμμα των υδροηλεκτρικών μονάδων που συμμετέχουν στην αγορά ενέργειας σε επίπεδο ημώρου
- Μία γενική ανασκόπηση του συστήματος και τη συνολική παραγωγή από κάθε τύπου τεχνολογία
- Τις καθαρές ποσότητες διασυννοριακού εμπορίου. Οι ποσότητες είναι κυρίως αρνητικές που σημαίνει ότι η Ελλάδα είναι κυρίως εισαγωγική χώρα.
- Τις απαιτήσεις των εφεδρειών παντός τύπου

Σε αυτό το κομμάτι όπως είναι εμφανές μας ενδιαφέρουν άμεσα οι καθαρές ποσότητες διασυνοριακού εμπορίου. Τα δεδομένα , με μονάδα μέτρησης φυσικά τα MW, παρατίθενται παρακάτω σε πίνακες και ουσιαστικά η προσθαφαίρεση τους μας έδωσε τις συνολικές ποσότητες διασυνοριακού εμπορίου που επιθυμούσαμε.

Net Border Schedules	00:00	00:30	01:00	01:30	02:00	02:30	03:00
ALBANIA	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400
BULGARIA	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721
ITALY	18	18	- 216	- 216	- 199	- 199	- 73
NORTH MACEDONIA	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400
TURKEY	- 49	- 49	- 50	- 50	- 50	- 50	- 43
VIRTUAL_CRETE	31	31	26	26	25	25	29

03:30	04:00	04:30	05:00	05:30	06:00	06:30	07:00	07:30	08:00	08:30
- 400	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400	- 275	- 275
- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721
- 73	- 241	- 241	- 500	- 500	- 500	- 500	- 336	- 336	- 121	- 121
- 400	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400	- 367	- 367	- 193	- 193
- 43	- 50	- 50	- 50	- 50	- 43	- 43	- 43	- 43	- 3	- 3
29	43	43	77	77	122	122	139	139	146	146

09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00
- 202	- 202	- 178	- 178	- 82	- 82	- 81	- 81	- 71	- 71	- 156
- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721
322	322	500	500	500	500	500	500	500	500	500
- 171	- 171	5	5	48	48	35	35	- 9	- 9	6
- 43	- 43	72	72	100	100	100	100	100	100	99
150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00
- 156	- 209	- 209	- 213	- 213	- 400	- 400	- 274	- 274	- 271
- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721
500	389	389	268	268	500	500	485	485	408
6	- 100	- 100	- 253	- 253	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400
99	100	100	100	100	- 43	- 43	- 50	- 50	- 50
150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

19:30	20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30	23:00	23:30
- 271	- 399	- 399	- 340	- 340	- 330	- 330	- 365	- 365
- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721	- 721
408	283	283	187	187	151	151	- 15	- 15
- 400	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400	- 400
- 50	- 50	- 50	- 50	- 50	- 50	- 50	- 50	- 50
150	150	150	150	150	150	150	131	131

Πίνακας 7: Διασυνοριακό Πρόγραμμα Ανά Ημέρω Πηγή: Αποτελέσματα ΔΕΠ ΑΔΜΗΕ

Με χρήση των παραπάνω δεδομένων και τη διαχείριση των με ένα κατάλληλο block κώδικα , έχουμε το τελικό προκαθορισμένο **ωριαίο** διασυνοριακό πρόγραμμα το οποίο και θα εισαγάγουμε ατόφιο στο αρχικό απλοποιημένο μας μοντέλο και παρουσιάζεται παρακάτω:

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Συνολικό Διασυνοριακό Εμπόριο
T0	-1521,4
T1	-1760,9
T2	-1745,2
T3	-1608,4
T4	-1769
T5	-1994
T6	-1937,8
T7	-1680,1
T8	-1047,583
T9	-583,9
T10	-172,207
T11	-5
T12	-17
T13	-50,974
T14	-121,641
T15	-390,8
T16	-669,4
T17	-914
T18	-809,7
T19	-883,6
T20	-1136,7
T21	-1173,7
T22	-1200,4
T23	-1420

Πίνακας 8: Συνολικό Ωριαίο Διασυνοριακό Εμπόριο όπως Προέκυψε Από Τα Αποτελέσματα ΔΕΠ

Ο παραπάνω λοιπόν πίνακας θα ενσωματωθεί στο μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε για το validation το οποίο θα αναλυθεί και καταστρωθεί εκτενώς παρακάτω προκειμένου να γίνουν κατανοητές όλες οι διαφορές , μικρές και μεγάλες , από το πραγματικό μας μοντέλο , μαθηματικά και πρακτικά.

6.2.2 : 2^η Περίπτωση - Μεταβλητό Διασυνοριακό Πρόγραμμα

Η αρχική ιδέα ήταν , όπως αναφέρθηκε εκτενώς στην προηγούμενη παράγραφο, να έχουμε fixed πρόγραμμα για τις διασυνδέσεις αλλά έπειτα προτιμήθηκε για τα πιο εύστοχα αποτελέσματα του τελικού μας μοντέλου να έχουμε ένα fixed πρόγραμμα όπως αυτό προέκυψε από τα αποτελέσματα της επίλυσης της ΔΕΠ για μία ημέρα επιλογής μας

(συγκεκριμένα τις 21/02), **μόνο για τις explicit αγορές** και για τις implicit αγορές να υπάρχει όπως αναλύσαμε πριν στην κατάσταση του μοντέλου , μία παράμετρος με τις τιμές εισαγωγής και εξαγωγής για Ιταλία και Βουλγαρία και τέσσερις μεταβλητές απόφασης , δύο για τις εισαγωγές και δύο για τις εξαγωγές προς την κάθε ώρα.

Έτσι το τελικό πρόγραμμα για τις Explicit συναλλαγές λοιπόν παρουσιάζεται παρακάτω όπως αυτό προέκυψε από την ανάλυση και τις κατάλληλες μαθηματικές πράξεις μέσω κώδικα :

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Συνολικό Explicit Διασυνοριακό Εμπόριο
T0	-818
T1	-824
T2	-825
T3	-814
T4	-807
T5	-773
T6	-721
T7	-671
T8	-325.383
T9	-266
T10	48.793
T11	216
T12	204
T13	170.026
T14	99.359
T15	-59
T16	-216
T17	-693
T18	-574
T19	-571
T20	-699
T21	-640
T22	-630
T23	-684

Οι παραπάνω τιμές λοιπόν θα ανατεθούν στην παράμετρο $Schedule_{st}^{expl}$ του **τελικού** μας μοντέλου και θα είναι σταθερές για κάθε σενάριο s που εξετάζουμε.

Για τις implicit εισαγωγές και εξαγωγές τώρα θα ακολουθήσουμε μία διαφορετική διαδικασία. Όπως προαναφέραμε , το διασυνοριακό εμπόριο της Ελλάδος με την Ιταλία και τη Βουλγαρία θα αφεθεί , σαν ποσότητα , στον αλγόριθμο να το ‘αποφασίσει’ και δεν είναι ντετερμινιστικός όρος. Αυτό που όμως είναι ντετερμινιστικό είναι οι τιμές επόμενης ημέρας για τις ζώνες αυτών των χωρών οι οποίες και λήφθηκαν από την ιστοσελίδα του ENTSO-E και παρουσιάζονται παρακάτω για κάθε μία απ’ αυτές τις δύο χώρες σε μονάδες φυσικά τα €/MWh.

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς Επόμενης Ημέρας (21/02)- Βουλγαρία	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς Επόμενης Ημέρας (21/02)- Ιταλία
T0	78,76	148,22
T1	64,21	149,35
T2	61,61	145,51
T3	61,09	141,89
T4	62,66	137,98
T5	75,47	140
T6	100,58	146,95
T7	132,94	157,54
T8	156,19	175
T9	161,41	167,53
T10	127,03	149,91
T11	51,13	131,49
T12	72,39	129,5
T13	73,62	129,99
T14	77,6	129,5
T15	71,69	134,5
T16	130,56	147,74
T17	152,98	158,31
T18	164,85	175,5
T19	178,13	199,82
T20	177,1	214,22
T21	170	181,43
T22	158,8	168,3
T23	153,2	157,4

Πίνακας 9: Τιμές Αγοράς Επόμενης Ημέρας Βουλγαρίας Και Ιταλίας (21/02)

Με δεδομένα τα παραπάνω και με χρήση κατάλληλου κώδικα θέσαμε τιμές για τις παραμέτρους του μοντέλου που έχουν να κάνουν με τις τιμές εισαγωγής και εξαγωγής από και προς τις δύο αυτές χώρες αντίστοιχα. Έτσι ακολουθήσαμε την παρακάτω τακτική κάθετα και για όλα τα σενάρια, αφού όπως παρατηρήσατε στο μοντέλο η παράμετρος των τιμών εσκεμμένα εξαρτάται μόνο από την αγοραία χρονική περίοδο t και όχι από το σενάριο s .

Για τις τιμές εισαγωγής λοιπόν θεωρήσαμε ότι η τιμή για κάθε αγοραία χρονική μονάδα είναι αυξημένη κατά 2 €/MWh σε σχέση με τις τιμές της αγοράς επόμενης ημέρας και για τις εξαγωγές ότι οι τιμές είναι μειωμένες κατά 2 €/MWh σε σχέση με τις τιμές της αγοράς επόμενης ημέρας. Αυτές οι διαφορές θεωρήθηκαν καθώς οι τιμές στο διασυνοριακό εμπόριο διαφέρουν από τις τιμές της αγοράς επόμενης ημέρας της χώρας εξαγωγής αφού υπάρχουν κάποια επιπλέον κόστη που ενσωματώνονται στην τελική τιμή εισαγωγής και εξαγωγής που έχουν να κάνουν π.χ. με επιπλέον κόστη που είναι υποχρεωμένος να πληρώσει ο εισαγωγέας για τη συντήρηση του δικτύου διασύνδεσης, τα ρυθμιστικά κόστη και φόρους που μπορεί να περιέχει το ρυθμιστικό πλαίσιο της εκάστοτε χώρας κ.α.

Με γνώμονα τα παραπάνω, οι τιμές εισαγωγής και εξαγωγής για τις δύο χώρες διαμορφώνονται ως :

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Τιμή Εισαγωγών- Βουλγαρία	Τιμή Εισαγωγής- Ιταλία
T0	80,76	150,22
T1	66,21	151,35
T2	63,61	147,51
T3	63,09	143,89
T4	64,66	139,98
T5	77,47	142
T6	102,58	148,95
T7	134,94	159,54
T8	158,19	177
T9	163,41	169,53
T10	129,03	151,91
T11	53,13	133,49
T12	74,39	131,5
T13	75,62	131,99
T14	79,6	131,5
T15	73,69	136,5
T16	132,56	149,74
T17	154,98	160,31
T18	166,85	177,5
T19	180,13	201,82
T20	179,1	216,22
T21	172	183,43
T22	160,8	170,3
T23	155,2	159,4

Πίνακας 10: Τιμές Εισαγωγής Από Ιταλία Και Βουλγαρία

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Τιμή Εξαγωγών-Βουλγαρία	Τιμή Εξαγωγής- Ιταλία
T0	76,76	146,22
T1	62,21	147,35
T2	59,61	143,51
T3	59,09	139,89
T4	60,66	135,98
T5	73,47	138
T6	98,58	144,95
T7	130,94	155,54
T8	154,19	173
T9	159,41	165,53
T10	125,03	147,91
T11	49,13	129,49
T12	70,39	127,5
T13	71,62	127,99
T14	75,6	127,5
T15	69,69	132,5
T16	128,56	145,74
T17	150,98	156,31
T18	162,85	173,5
T19	176,13	197,82
T20	175,1	212,22
T21	168	179,43
T22	156,8	166,3
T23	151,2	155,4

Πίνακας 11: Τιμές Εισαγωγών Από Ιταλία Και Βουλγαρία

Τα παραπάνω μορφοποιημένα δεδομένα δημιουργήθηκαν με τη χρήση κατάλληλου κώδικα που εμπεριέχεται στο τελικό μας μοντέλο και αντιστοιχήθηκαν στις κατάλληλες παραμέτρους. Για τις τιμές εισαγωγής λοιπόν οι τιμές όπως προέκυψαν απ' την διαχείριση των δεδομένων μας για Ιταλία και Βουλγαρία , τοποθετήθηκαν στις παραμέτρους $priceIT_t^{imp}$ και $priceBG_t^{imp}$ αντίστοιχα και για τις τιμές εξαγωγής στις παραμέτρους $priceIT_t^{exp}$ και $priceBG_t^{exp}$.

6.3 : Συναρτήσεις Προσφοράς Μονάδων Παραγωγής

Το πλέον απαιτητικό σκέλος ,τόσο προγραμματιστικά όσο και διαχειριστικά , αυτής της διπλωματικής, έχει να κάνει με τη δημιουργία των συναρτήσεων προσφοράς των μονάδων παραγωγής. Όπως αναφέραμε στην κατάστρωση του μοντέλου η ιδέα είναι , μέσω των πραγματικών δεδομένων που έχουμε από την επίλυση της αγοράς , να δημιουργηθεί για την κάθε μία μονάδα μία μοναδική γραμμική συνάρτηση προσφοράς . Για να επιτευχθεί λοιπόν αυτό και οι προσφορές να είναι όσο το δυνατό πιο αντιπροσωπευτικές για τις συμμετέχουσες στην αγορά μονάδες ακολουθήθηκαν συγκεκριμένα βήματα και παραδοχές οι οποίες θα αναλυθούν βήμα-βήμα παρακάτω.

6.3.1 : Διαθεσιμότητα Των Μονάδων

Πρώτο βήμα της ανάλυσης μας είναι να ορίσουμε τη διαθεσιμότητα των μονάδων παραγωγής για την ημέρα που θέλουμε να αναλύσουμε. Η πηγή των συγκεκριμένων δεδομένων είναι ο ΑΔΜΗΕ και τα δεδομένα που παρέχει είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδώσει η κάθε μονάδα παραγωγής την επιλεγείσα ημέρα και τους λόγους που οδήγησαν στην μειωμένη, εάν υπάρχει, απόδοση της μονάδας π.χ. χαμηλή ποιότητα λιγνίτη.

Το συγκεκριμένο αρχείο δίνει τα τεχνικά ουσιαστικά μέγιστα των μονάδων την συγκεκριμένη ημέρα που επιλέξαμε (21/02/2023) . Εκτός όμως από τα τεχνικά μέγιστα για την ορθή παραμετροποίηση του μοντέλου μας χρειαζόμαστε και τα τεχνικά ελάχιστα των μονάδων για τα οποία έγιναν κάποιες παραδοχές όπως πχ 0 MW για τις υδροηλεκτρικές μονάδες , 0.4* Pmax για κάποιες άλλες μονάδες όπως Λαύριο4 & Λαύριο5 κ.ο.κ. Επίσης όπως προέκυψε από τα δεδομένα του ΑΔΜΗΕ για την ημέρα επιλογής οι μονάδες Μεγαλόπολη3 , Protergia_CC και το υδροηλεκτρικό Thesavros2 ήταν μη λειτουργικές .

Τα τελικά λοιπόν τεχνικά μέγιστα και ελάχιστα των μονάδων παρουσιάζονται παρακάτω:

Unit Name	Pmin	Pmax
AG_DIMITRIOS1	185	205
AG_DIMITRIOS2	185	205
AG_DIMITRIOS3	185	202
AG_DIMITRIOS4	185	202
AG_DIMITRIOS5	230	291
MEGALOPOLI3	0	0
MEGALOPOLI4	212	221
MELITI	279	279
ALIVERI5	168	420
LAVRIO4	214,4	536
LAVRIO5	154,8	387
KOMOTINI	90,4	452
MEGALOPOLI_V	324,4	811
HERON1	0	49
HERON2	0	49
HERON3	0	49
HERON_CC	173,2	433
ELPEDISON_THESS	165,6	414
ELPEDISON_THISVI	160,8	402
ALOUMINIO	99	330
PROTERGIA_CC	0	0
KORINTHOS_POWER	168,4	421
PTOLEMAIDA5	246,4	616
AG_NIKOLAOS2	165,2	413
KREMASTA	0	400
KASTRAKI	0	320
STRATOS1	0	150
ILARIONAS	0	124
POLYFYTO	0	230
SFIKIA	0	315

ASOMATA	0	108
THESAVROS1	0	126
THESAVROS2	0	0
THESAVROS3	0	126
PLATANOVRYSI	0	110
POURNARI1	0	285
POURNARI2	0	33,6
P_AOOU	0	210
LADONAS	0	60
PLASTIRAS	0	76
EDESSAIOS	0	14
AGRAS	0	16

Πίνακας 12: Τεχνικά Ελάχιστα Και Μέγιστα Των Μονάδων Παραγωγής

Οι τιμές λοιπόν της πρώτης στήλης τοποθετούνται στην παράμετρο P_g^{min} του προβλήματος μας και οι τιμές της δεύτερης στήλης σε αυτή του P_g^{max} .

6.3.2 : Δημιουργία Προγράμματος Μονάδων

Έχοντας συλλέξει τα αρχεία αποτελεσμάτων της ΔΕΠ για ένα συγκεκριμένο διάστημα , κατορθώσαμε συνδυάζοντας τα δεδομένα για το πρόγραμμα των μονάδων όπως αυτό καθορίστηκε από τη διαδικασία (πρόγραμμα παραγωγής και δεσμευμένες ποσότητες activated energy up & down) να δημιουργήσουμε ένα δυνητικό πρόγραμμα των μονάδων σε όλες τις ημέρες ανάλυσης μας. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας ενοποιημένου προγραμματισμού ωστόσο αναφέρονται και στην προ-ημερήσια αγορά αλλά και στο πρώτο slot της ενδο-ημερήσιας αγοράς , CRIDA1, συνεπώς εφόσον εμείς θέλουμε να δημιουργήσουμε ένα δυνητικό πρόγραμμα των μονάδων όσον αφορά το bidding τους στα πλαίσια της προ-ημερήσιας αγοράς σε αυτό το σημείο έγινε μία παραδοχή και θεωρήθηκε ότι οι ποσότητες όπως προκύπτουν από τα αρχεία των αποτελεσμάτων της ΔΕΠ θα θεωρηθούν ως ποσότητες για την DAM.

Προκειμένου να γίνει βεβαίως αυτή η παραδοχή, συλλέξαμε τα αρχεία των αποτελεσμάτων της CRIDA1 αγοράς για να δούμε σε ποιες μονάδες και πόσο αμελητέες είναι οι ποσότητες που διαπραγματεύτηκαν σε αυτή την δημοπρασία αλλά και για να λάβουμε υπόψη στη μετέπειτα ανάλυση μας για την τελική δημιουργία των γραμμικών συναρτήσεων προσφοράς των μονάδων , τις τιμές εκκαθάρισης της συγκεκριμένης δημοπρασίας.

Συνδυάζοντας λοιπόν τα δεδομένα των αρχείων της επίλυσης της ΔΕΠ ενδεικτικά θα δείξουμε ευθύς αμέσως , το πρόγραμμα κάποιων μονάδων για τις 24 αγοραίες χρονικές περιόδους μιας ημέρας ανάλυσης και συγκεκριμένα της 21/02/2023 που έχουμε αναλύσει και πιο πάνω, όπως αυτό προέκυψε από τη σύνταξη και χρήση κατάλληλου προγραμματιστικού κώδικα.

Στήλη1	0	1	2	3	4	5	6	7
AG_DIMITRIOS1	0	0	0	0	0	0	0	0
AG_DIMITRIOS2	0	0	0	0	0	0	0	0
AG_DIMITRIOS3	0	0	0	0	0	0	0	0
AG_DIMITRIOS4	185	185	185	185	185	185	185	185
AG_DIMITRIOS5	230	230	230	230	230	230,786	240	240
MEGALOPOLI3	0	0	0	0	0	0	0	0
MEGALOPOLI4	212	212	212	212	212	212	212	212
MELITI	0	0	0	0	0	0	0	0
ALIVERI5	180	180	180	180	180	180	408	240
LAVRIO4	0	0	0	0	0	0	0	0
LAVRIO5	0	0	0	0	0	0	0	0
KOMOTINI	0	0	0	0	0	0	0	0
MEGALOPOLI_V	220	220	220	220	220	220	258,928	240

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
185	185	185	185	185	185	185	185	185	185
240	230	230	230	230	230	230	230	240	240
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
212	212	212	212	212	212	212	212	212	212
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	180	205	205	205	205	205	205	165	330
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
268,934	175	175	175	175	175	175	175	195	395

18	19	20	21	22	23
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
185	185	185	185	185	185
240	240	240	240	240	230
0	0	0	0	0	0
212	212	212	212	212	212
0	0	0	0	0	0
392	392	319,458	200	180	180
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
390	390	295,733	220	220	220

Πίνακας 13: Ενδεικτικό Πρόγραμμα Μονάδων Από ISP Results (21/02)

Πρέπει να σημειωθεί ότι η παραπάνω ανάλυση έγινε για αρκετές ημέρες και δημιουργήθηκε ένα αντίστοιχο αρχείο για κάθε ημέρα το οποίο και θα μας χρησιμεύσει στην μετέπειτα ανάλυση μας.

6.3.3 : Δημιουργία Ζευγών Τιμών-Ποσοτήτων Και Γραμμικής Συνάρτησης Για Τις Πιθανές Οριακές Μονάδες

Έχοντας πλέον ως δεδομένα τα προγράμματα των μονάδων για αρκετές ημέρες επόμενο βήμα είναι να ορίσουμε τις μονάδες παραγωγής που φαίνεται να είναι πιο πιθανό να είναι οι οριακές μονάδες του συστήματος, δηλαδή οι μονάδες που είναι at the money και ορίζουν την τιμή εκκαθάρισης της αγοράς.

Η συνθήκη που χρησιμοποιήσαμε για να διασφαλίσουμε ότι θα επιτύχουμε όσο το δυνατό πιο εύστοχες επιλογές ήταν για κάθε ημέρα εξέτασης , για κάθε μονάδα και για κάθε αγοραία χρονική μονάδα εάν η εκκαθαριζόμενη ποσότητα έχει από δύο δεκαδικά ψηφία και πάνω τότε η μονάδα είναι πιθανόν εκείνη την ώρα να ορίζει τιμή.

Με χρήση λοιπόν κατάλληλου κώδικα προγραμματισμού απομονώσαμε τις ποσότητες αυτές και τις μονάδες οι οποίες τις περιέχουν. Επίσης για τις ημέρες και ώρες που παρουσιάζονται οι ποσότητες αυτές συγκεντρώσαμε τις τιμές της προ-ημερήσιας και πρώτης ενδο-ημερήσιας αγοράς (CRIDA1) και θεωρήσαμε μία ενδεικτική τιμή η οποία ισούται με $(DAMprice + CRIDA1price)/2$. Με αυτόν τον τρόπο και με ένα κατάλληλο νέο κομμάτι κώδικα για κάθε μονάδα που περιέχει έστω δύο τέτοιες δεκαδικές ποσότητες στο διάστημα των ημερών που μελετούμε συγκεντρωτικά , δημιουργήσαμε μοναδικά αρχεία τα οποία περιέχουν ζεύγη τιμών και ποσοτήτων. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα ακολουθεί παρακάτω για τη μονάδα της Elpedison στην Θεσσαλονίκη.

Unnamed: 0	0	1	2	3	4	5	6	7
DAM_Price	190,2	224,68	210,63	192,3	186,46	178,99	167,08	166,69
CRIDA1_Price	186	229,68	214,4	197,56	183	170,99	160	163,69
Order_Quantity_Accepted	308,753	394,077	394,003	372,507	365,42	308,061	267,346	266,024

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
196,21	187,07	181,06	182,92	176,93	194,99	204,99	180	175,84	182,42
196,21	180	176,06	174,32	162,99	193,99	207,89	180	192	173,85
372,63	345,204	303,049	310,187	339,505	361,62	373,865	343,265	324,231	311,207

18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
175	175,5	199,82	214,22	181,43	168,3	171,04	214,99	230	175,5
175	174,04	198,82	213,22	166,43	167,3	171,04	214,99	230	173
278,571	305,51	365,08	390,027	320,033	287,878	283,745	390,032	390,127	295,909

28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
169,99	184,38	190,62	170	180,55	171,03	157,18	152,96	164	174,84
168,99	181,14	182	177,32	181,05	168	174,39	164,17	164	171,84
280,882	310,143	400,03	350,82	392,332	349,256	298,847	254,407	339,344	374,875

38	39	40	41
212,12	175,74	170	161
233,12	182,25	167	161,55
400,109	377,846	359,007	273,115

Πίνακας 14: Ζεύγη Ποσοτήτων-Τιμών Πιθανής Οριακής Μονάδας

Τα παραπάνω δεδομένα γι' αυτή την μονάδα παραγωγής αλλά και τις υπόλοιπες υποψήφιες οριακές μονάδες, τα χρησιμοποιούμε ως δεδομένα εισόδου σε ειδικά διαμορφωμένο κώδικα ο οποίος ουσιαστικά εκτελεί τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, της οποίας στόχος είναι έχοντας διάφορα σημεία να δημιουργήσει τη βέλτιστη γραμμική σχέση μεταξύ αυτών η οποία ουσιαστικά ελαχιστοποιεί το άθροισμα του τετραγώνου των σφαλμάτων. Οι σχέσεις για τον προσδιορισμό των σταθερών A και B της σχέσης $y=Ax+B$ με την παρακάτω μέθοδο αποτυπώνονται παρακάτω :

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{D}, \quad \delta a = \sigma_y \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{D}}$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{D}, \quad \delta b = \sigma_y \sqrt{\frac{n}{D}}$$

$$D = n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad \text{και} \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - a - b x_i)^2}{n-2}}$$

Εικόνα 11: Εξισώσεις Υπολογισμού Γραμμικών Σταθερών Με Τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων

Τελικά για τις πιθανές οριακές μονάδες με τη χρήση αυτής της μεθόδου έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα :

Units	Slope	y-intercept
AG_DIMITRIOS5	1,05E-11	156,35
ALIVERIS5	0,084481	159,7855767
ELPEDISON_THESS	0,313173	93,50686409
ELPEDISON_THISVI	0,33243	78,47830434
HERON_CC	0,156492	116,00447
KORINTHOS_POWER	0,208094	101,726237
LAVRIOS5	0,046681	177,9675163
MEGALOPOLI_V	0,123564	156,4086815

Πίνακας 15: Κλίση Και Σταθερά Γραμμικής Συνάρτησης Πιθανών Οριακών Μονάδων

6.3.4 : Δημιουργία Γραμμικής Συνάρτησης Προσφοράς Για Τις Μη Πιθανές Οριακές Μονάδες

Προκειμένου να δημιουργήσουμε τις γραμμικές συναρτήσεις των μη πιθανών οριακών μονάδων ακολουθήσαμε το εξής σκεπτικό : οι κλίσεις των γραμμικών συναρτήσεων αυτών των μονάδων θα είναι ίσες με το 0 και οι προσφορές θα είναι απλές *stepwise* με τιμή ίση με το B_g και η ποσότητα προσφοράς θα είναι ίση με τη μέγιστη δυνατή ποσότητα για την εκάστοτε μονάδα παραγωγής όπως αναφέρθηκε και ορίστηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Αναλόγως λοιπόν με το είδος καυσίμου της μονάδας παραγωγής (λιγνίτης, φυσικό αέριο ή νερό για τις υδροηλεκτρικές μονάδες) , δημιουργήσαμε μία αντιπροσωπευτική τιμή προσφοράς η οποία προέκυψε από τις τιμές προ-ημερήσιας και πρώτης ενδο-ημερήσιας αγοράς που είχαμε συγκεντρώσει σε προηγούμενο βήμα και πολλαπλασιάζοντας το μέσο όρο των δύο αυτών τύπου τιμών σε όλο το διάστημα εξέτασης κάθε φορά με τυχαίο συντελεστή , ανάμεσα σε ένα φάσμα πραγματικών αριθμών για κάθε τεχνολογία , ο οποίος θα μας έδινε μία αποδεκτή τιμή με δεδομένη την περίοδο που εξετάζουμε για την κάθε μονάδα. Η διαδικασία αυτή έγινε μέσω αυτοματοποιημένου κώδικα προγραμματισμού ο οποίος διαχειρίστηκε ένα μεγάλο όγκο δεδομένων σε .csv αρχεία και τελικά παρήγαγε τα παρακάτω αποτελέσματα για τις μονάδες που δεν είναι στις πιθανές οριακές:

Units	Slope	y-intercept
AGRAS	0	173,9031838
AG_DIMITRIOS1	0	210,3131038
AG_DIMITRIOS2	0	190,6567413
AG_DIMITRIOS3	0	203,494702
AG_DIMITRIOS4	0	210,2942179
AG_NIKOLAOS2	0	142,3654954
ALOUMINIO	0	144,5489615
ASOMATA	0	183,4286822
EDESSAIOS	0	180,4235755
HERON1	0	160,0139474
HERON2	0	168,6848239
HERON3	0	164,3611379
ILARIONAS	0	177,5636592
KASTRAKI	0	173,8696951
KOMOTINI	0	170,576136
KREMASTA	0	176,1115557
LADONAS	0	179,5979271
LAVRIO4	0	163,2392475
MEGALOPOLI3	0	0
MEGALOPOLI4	0	197,1280486
MELITI	0	209,1945427
PLASTIRAS	0	172,0472221
PLATANOVRYSI	0	170,9990416
POLYFYTO	0	177,3244288
POURNARI1	0	180,5243827
POURNARI2	0	176,9415782

PROTERGIA_CC	0	0
PTOLEMAIDA5	0	139,3616354
P_AOOU	0	182,0049271
SFIKIA	0	178,3545557
STRATOS1	0	184,2026087
THESAVROS1	0	174,7114592
THESAVROS2	0	0
THESAVROS3	0	174,1150618

Πίνακας 16: Συναρτήσεις Προσφοράς Μη-Οριακών Μονάδων

Οι μόνες μονάδες οι οποίες δεν έχουν συναρτήσεις προσφοράς είναι αυτές οι οποίες είναι μη λειτουργικές και τις αναφέραμε πριν και οι συναρτήσεις προσφοράς τους είναι μηδενικές.

6.3.5: Τελικές Γραμμικές Σχέσεις Όλων Των Μονάδων Παραγωγής

Τελικά λοιπόν οι συντελεστές της γραμμικής σχέσης προσφοράς για όλες τις μονάδες συγκεντρωτικά (πιθανές οριακές και μη) ορίζονται ως παρακάτω :

Units	Slope	y-intercept
AG_DIMITRIOS5	1,05E-11	156,35
ALIVERI5	0,084481	159,7855767
ELPEDISON_THESS	0,313173	93,50686409
ELPEDISON_THISVI	0,33243	78,47830434
HERON_CC	0,156492	116,00447
KORINTHOS_POWER	0,208094	101,726237
LAVRIO5	0,046681	177,9675163
MEGALOPOLI_V	0,123564	156,4086815
AGRAS	0	173,9031838
AG_DIMITRIOS1	0	210,3131038
AG_DIMITRIOS2	0	190,6567413
AG_DIMITRIOS3	0	203,494702
AG_DIMITRIOS4	0	210,2942179
AG_NIKOLAOS2	0	142,3654954
ALOUMINIO	0	144,5489615
ASOMATA	0	183,4286822
EDESSAIOS	0	180,4235755
HERON1	0	160,0139474
HERON2	0	168,6848239
HERON3	0	164,3611379
ILARIONAS	0	177,5636592
KASTRAKI	0	173,8696951
KOMOTINI	0	170,576136
KREMASTA	0	176,1115557
LADONAS	0	179,5979271
LAVRIO4	0	163,2392475
MEGALOPOLI3	0	0
MEGALOPOLI4	0	197,1280486

MELITI	0	209,1945427
PLASTIRAS	0	172,0472221
PLATANOVRYSI	0	170,9990416
POLYFYTO	0	177,3244288
POURNARI1	0	180,5243827
POURNARI2	0	176,9415782
PROTERGIA_CC	0	0
PTOLEMAIDA5	0	139,3616354
P_AOOU	0	182,0049271
SFIKIA	0	178,3545557
STRATOS1	0	184,2026087
THESAVROS1	0	174,7114592
THESAVROS2	0	0
THESAVROS3	0	174,1150618

Πίνακας 17: Τελικοί Συντελεστές Γραμμικών Συναρτήσεων Προσφοράς Μονάδων Παραγωγής

Οι παραπάνω συντελεστές λοιπόν για κάθε μονάδα παραγωγής g , ανατέθηκαν στις παραμέτρους A_g (Slope) & B_g (γ -intercept).

6.4 : Τιμές Προκαθορισμένων (Fixed) Παραμέτρων Μοντέλου

Στην κατάστρωση του μοντέλου μας ορίσαμε κάποιες παραμέτρους που έχουν να κάνουν με τον προκαθορισμό της παραγωγής, σε MW, μιας μονάδας παραγωγής , εφόσον αυτό επιθυμείτε να μην αποφασιστεί απ' τον κώδικα αυτόν καθ' αυτόν, είτε σε επίπεδο ποσότητας παραγωγής είτε σε επίπεδο απλά commitment status , δηλαδή μια μονάδα να συμπεριληφθεί οπωσδήποτε στο σύστημα. Αυτές οι παράμετροι είναι οι P_{sgt}^{fix} και U_{sgt}^{fix} αντίστοιχα.

Οι μονάδες για τις οποίες θα ορίσουμε προκαθορισμένες ποσότητες παραγωγής θα είναι οι υδροηλεκτρικές , ή τα λεγόμενα υποχρεωτικά νερά της ΔΕΗ, και οι ποσότητες αυτές θα ισούνται με τις ποσότητες που έχουν καθοριστεί από τα αποτελέσματα της ΔΕΠ για την ημέρα που εξετάζουμε και για κάθε αγοραία χρονική μονάδα.

Οι τιμές οι οποίες μπορεί να πάρει η παράμετρος U_{sgt}^{fix} είναι 0 και 1 εφόσον πρόκειται για μία βοηθητική δυαδική παράμετρο που δίνει κάποιες προκαθορισμένες τιμές σε ένα φάσμα εξέτασης της μεταβλητής απόφασης u_{sgt} . Οι τιμές που θα καθορίσουμε εμείς είναι 0 για τις τρεις μονάδες που είναι εκτός λειτουργίας και τις ορίσαμε παραπάνω και 1 για όποιες λιγνιτικές μονάδες είναι μέσα στο μείγμα σύμφωνα με το πρόγραμμα των μονάδων από τα αποτελέσματα της ΔΕΠ αφού στο μείγμα πρέπει υποχρεωτικά να συμμετέχουν κάποιες λιγνιτικές μονάδες (Generic Constraint).

Οι τιμές λοιπόν αυτές όπως τις ορίσαμε μέσω ειδικά διαμορφωμένης διαχείρισης των ήδη υπάρχοντων δεδομένων μέσω προγραμματιστικού κώδικα , ανατίθενται στις fixed παραμέτρους οι οποίες με τη σειρά τους και για τις μονάδες παραγωγής g , τις περιόδους t και τα σενάρια s στις οποίες έχουν οριστεί , προκαθορίζουν μέσω τον ανάλογων περιορισμών που έχουν τεθεί στο πρόβλημα μας , τις τιμές των μεταβλητών απόφασης της παραγωγής και του commitment status.

Οι τιμές όπως ορίστηκαν για το ένα σενάριο για την εκτέλεση του απλού μονοσεναριακού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για το validation του αλγορίθμου και του λύτη ορίστηκαν ακριβώς ίδιες και για όλα τα σενάρια εξέτασης.

Έτσι για τις προκαθορισμένες τιμές παραγωγής έχουμε ,σε MW:

G	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17
AGRAS	14	12	12	12	12			
ASOMATA								
EDESSAIOS	14	12	12	12	12		12	
ILARIONAS								45
KASTRAKI	15	15	15	15	15	15	15	80
KREMASTA	20	20	20	20	20	20	90	100
LADONAS						30	30	30
PLASTIRAS	76							
PLATANOVRYSI			26	26				
POLYFYTO								25
POURNARI1								70
POURNARI2								
P_AOOU	25	25	25	25	25	25	25	
SFIKIA								
STRATOS1								
THESAVROS1							30	30
THESAVROS3								

T18	T19	T20	T21	T22	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
									16	14	14
	35	35									
										14	14
50	50										
80	80						15	15	20	15	15
100	100						20	40	40	40	40
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
									68	76	76
26	26	26	26				26	26			
25	25	35					25	25	25	25	
50											
	8										
											25
170	80	80									
50								50	50		
40	40	30	30				30	30	30	30	30
45	45	45									

Πίνακας 18: Fixed Τιμές Παραγωγής σε MW

Για τις τιμές της διαδικής παραμέτρου U_{sgt}^{fix} έχουμε :

G	T0	T1	T10	T11	T12	T13	T14	T15
AGRAS			1	1	1	1	1	
AG_DIMITRIOS4	1	1	1	1	1	1	1	1
AG_DIMITRIOS5	1	1	1	1	1	1	1	1
ASOMATA								
EDESSAIOS			1	1	1	1	1	
ILARIONAS								
KASTRAKI			1	1	1	1	1	1
KREMASTA			1	1	1	1	1	1
LADONAS								1
MEGALOPOLI3	0	0	0	0	0	0	0	0
MEGALOPOLI4	1	1	1	1	1	1	1	1
PLASTIRAS			1					
PLATANOVRYSI					1	1		
POLYFYTO								
POURNARI1								
POURNARI2								
PROTERGIA_CC	0	0	0	0	0	0	0	0
P_AOOU			1	1	1	1	1	1
SFIKIA								
STRATOS1								
THESAVROS1								
THESAVROS2	0	0	0	0	0	0	0	0
THESAVROS3								

T16	T17	T18	T19	T2	T20	T21	T22	T23	T3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			1		1				
1									
	1	1	1						
1	1	1	1						
1	1	1	1						
1	1	1	1		1	1	1		1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1	1		1	1			
	1	1	1		1				
	1	1							
			1						
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1									

		1	1		1				
		1							
1	1	1	1		1	1			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1	1		1				

T4	T5	T6	T7	T8	T9
			1	1	1
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
				1	1
	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1
			1	1	1
	1	1			
	1	1	1	1	
0	0	0	0	0	0
					1
		1	1		
	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0

Πίνακας 19: Fixed Τιμές Δυναμικής Παραμέτρου (Commitment Status)

Τα κενά που υπάρχουν και στους δύο πίνακες είναι διότι για τις συγκεκριμένες αγοραίες χρονικές περιόδους ο αλγόριθμος είναι ελεύθερος να αποφασίσει για τις τιμές είτε τις δυναμικής μεταβλητής για το commitment status (2^{ος} πίνακας) είτε για την παραγωγή της εκάστοτε μονάδας (1^{ος} πίνακας).

Κεφάλαιο 7: Επίλυση Και Αποτελέσματα Μοντέλων

7.1 : Μοντέλο Validation Ενός Σεναρίου Φορτίου Και Φορτίου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας- Κατάστρωση Και Επίλυση

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα προχωρήσουμε στην επίλυση του απλοϊκού μοντέλου του ενός σεναρίου φορτίου συστήματος και φορτίου ανανεώσιμων. Το μοντέλο παρουσιάζεται παρακάτω και στην ουσία είναι μια πιο απλή εκδοχή του κύριου μοντέλου μας με σταθερό όπως έχουμε ήδη αναφέρει διασυννοριακό πρόγραμμα και ένα σενάριο εξέτασης:

$$\text{Min} \sum_{gt} (c_{gt} * p_{gt}) \quad (1)$$

Subject to:

$$P_g^{min} * u_{gt} \leq p_{gt} \leq P_g^{max} * u_{gt} \quad \forall g \in G, t \in T \quad (2)$$

$$u_{gt} = U_{gt}^{fix} \quad (3)$$

$$p_{gt} = P_{gt}^{fix} \quad (4)$$

$$\sum_g p_{gt} + Res_t - BorderSchedule_t = D_t \quad (5)$$

$$c_{gt} = A_g * p_{gt} + B_g \quad (6)$$

Όπως μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί το παραπάνω μοντέλο είναι μια μικρογραφία του κύριου μοντέλου μας και η εξήγηση της εξίσωσης και των περιορισμών είναι περιττή καθώς εκφράζουν ακριβώς το ίδιο με το κύριο πρόγραμμα. Αξίζει να παρατηρηθεί και εδώ ότι η παράμετρος $BorderSchedule_t$ έχει αρνητικό πρόσημο αφού όπως αναφέραμε και προηγουμένως οι εισαγωγές δίνονται στα αποτελέσματα της ΔΕΠ με αρνητικό πρόσημο. Φυσικά όπως είναι εύκολα κατανοητό η μεταβλητή απόφασης του μοντέλου μας είναι η παραγωγή p_{gt} για κάθε μονάδα παραγωγής g και για κάθε αγοραία χρονική περίοδο t και φυσικά υπάρχει και η δυαδική μεταβλητή u_{gt} που ορίζει το αν μία μονάδα θα εισχωρήσει στο μείγμα (in or at the money) ή όχι .

Αυτό που θέλουμε να επιτύχουμε με την επίλυση του συγκεκριμένου μοντέλου είναι αρχικά να επιβεβαιώσουμε εάν το μοντέλο μας είναι εφικτό και εφόσον αυτό διαπιστωθεί, εάν τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης της αντικειμενικής συνάρτησης οδηγούν σε αποδεκτές και λογικές λύσεις.

Αρχικά λοιπόν επιλύσαμε το πρόβλημα και εφόσον μας έδωσε μία μοναδική βέλτιστη λύση, πήραμε τις τιμές της μεταβλητής u_{gt} για κάθε μονάδα g σε κάθε αγοραία χρονική περίοδο t . Οι τιμές αυτές που προέκυψαν μετά την επίλυση ανατέθηκαν στην μεταβλητή ξανά ώστε να επιλύσουμε ξανά το πρόβλημα με προαποφασισμένες το commitment status αφού αυτός είναι ο μόνος τρόπος να προσδιοριστούν οι δυικές μεταβλητές του περιορισμού (3) , οι οποίες και είναι όπως έχουμε προαναφέρει οι τιμές εκκαθάρισης της αγοράς.

Οι τιμές που προκύπτουν για κάθε αγοραία χρονική περίοδο με αυτόν τον τρόπο δίνονται παρακάτω, σε €/MWh:

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς
T0	156,35
T1	142,37
T2	142,37
T3	142,37
T4	142,37
T5	142,37
T6	144,55
T7	156,35
T8	156,35
T9	139,36
T10	139,36
T11	139,36
T12	139,36
T13	139,36
T14	142,37
T15	144,55
T16	160,01
T17	170,58
T18	170,58
T19	170,58
T20	164,36
T21	163,24
T22	164,36
T23	144,55

Όπως παρατηρούμε για πολλές χρονικές περιόδους οι τιμές είναι ίδιες κάτι το οποίο είναι λογικό αφού κάναμε τη θεώρηση του σταθερού διασυννοριακού προγράμματος για λόγους απλότητας αφού το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι μόνο για σκοπούς επικύρωσης του κώδικα και όχι για την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Επίσης για την ασφαλέστερη επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας του κώδικα και των προγραμματιστικών στοιχείων , δημιουργήσαμε ένα αρχείο όπου καταγράφονται για κάθε χρονική μονάδα και κάθε αγοραία χρονική περίοδο τα παρακάτω στοιχεία :

- Όνομα Μονάδας Παραγωγής
- Αγοραία Χρονική Περίοδος
- Παραγωγή Μονάδας σε MW
- Τιμή Γραμμικής Συνάρτησης Προσφοράς
- Τιμή Δυικής Μεταβλητής Για Τη Συγκεκριμένη Αγοραία Χρονική Περίοδο
- Validation , που είναι η αφαίρεση της τιμής εκκαθάρισης με την τιμή της γραμμικής συνάρτησης προσφοράς. Εάν η διαφορά είναι 0 τότε η μονάδα είναι η οριακή .

Από την ανάλυση του excel αυτού αρχείο βλέπουμε τα αποτελέσματα για κάθε χρονική μονάδα τα οποία παρουσιάζονται ενδεικτικά παρακάτω για λόγους κατανόησης για την πρώτη χρονική περίοδο:

Unit	Time Period	Production	Linear Expression	Dual Variable
AG_DIMITRIOS5	T0	240,2	156,35	156,35

Όπως παρατηρούμε η μοναδική μονάδα που φαίνεται να ορίζει την τιμή για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο είναι η μονάδα του Αγίου Δημητρίου 5 , και αυτό επιβεβαιώνεται από το ότι η τιμή της συνάρτησης προσφοράς είναι ίδια με την τιμή εκκαθάρισης και η παραγωγή της μονάδας είναι ανάμεσα στο τεχνικό μέγιστο και ελάχιστο κάτι που την κάνει at the money μονάδα. Με αυτόν τον τρόπο ελέγξαμε όλες τις αγοραίες χρονικές περιόδους και αφού τα αποτελέσματα μας ήταν παρόμοια η επικύρωση της ορθής λειτουργίας του κώδικα και τον περιφερειακών σε αυτόν στοιχείων (solver, βιβλιοθήκες κλπ) κρίνεται επιτυχής. Αξιοσημείωτο σε αυτό το σημείο είναι ότι οι οριακές μονάδες για μία τυχαία αγοραία χρονική μονάδα μπορεί να είναι παραπάνω από μία αφού οι καμπύλες προσφοράς των μπορεί να τέμνονται ακριβώς στο ίδιο σημείο, ένα φαινόμενο αρκετά σπάνιο αλλά πιθανό το οποίο όμως δεν επιφέρει κανένα λόγο ανησυχίας εφόσον δεν παραβιάζεται κάποιος περιορισμός του μοντέλου μας.

7.2 : Επίλυση Και Αποτελέσματα Μοντέλου Πολλαπλών Σεναρίων

Αφού επιβεβαιώσαμε ότι ο βασικός μας κώδικας καθώς και ο επιλεγμένος λύτης μας δίνουν τα επιθυμητά αποτελέσματα , επόμενο και τελικό βήμα για την πρόβλεψη των τιμών εκκαθάρισης της αγοράς είναι η εφαρμογή και επίλυση του μοντέλου των 100 διαφορετικών σεναρίων όπως αυτό καταστρώθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Εφόσον τα δεδομένα εισόδου έχουν παρουσιαστεί αναλυτικά σε προηγούμενες ενότητες , το μόνο που απομένει να αποφασιστεί είναι πόσα σενάρια χρονοσειρών τιμών εκκαθάρισης επιθυμούμε να παράξει ο κώδικας μας με τη χρήση της μεθόδου k-means. Επιλέξαμε λοιπόν από τα 100 συνολικά σενάρια ο κώδικας μας να παράξει τα 10 επικρατέστερα σενάρια όπως αυτά θα προκύψουν απ' την μέθοδο clustering της K-means αλλά και τις πιθανότητες που συνοδεύουν αυτά τα σενάρια να συμβούν.

Η λογική που ακολουθήσαμε για την προεργασία και την τελική παραγωγή αυτών των δέκα σεναρίων περιγράφεται στα παρακάτω βήματα και φυσικά αποτυπώνεται με την ίδια σειρά και στον προγραμματιστικό κώδικα.

Αρχικά ορίσαμε τον αριθμό των επιθυμητών clusters σεναρίων που θέλουμε να δημιουργήσει ο κώδικας μας από τα 100 σενάρια σε δέκα . Όταν τελειώσει η διαδικασία αυτή ο αλγόριθμος υπολογίζει τις αποστάσεις που έχει το κάθε ένα σενάριο από τα 100 σε κάθε ένα cluster από τα κέντρα του κάθε cluster. Αυτή είναι μια διαδικασία που γίνεται προκειμένου να επιλεγθεί από κάθε cluster το σενάριο με τη μικρότερη συνολική απόσταση ως το πλέον επικρατέστερο. Η απόσταση υπολογίζεται με την μέθοδο της ευκλείδειας απόστασης.

Τελικά λοιπόν έχουμε αυτά τα 10 πιο αντιπροσωπευτικά σενάρια , ένα από κάθε cluster , και για την πιθανότητα αυτά να συμβούν θεωρήσαμε ότι θα ισούται με το πηλίκο του αριθμού των σεναρίων που ανήκουν στο cluster που άνηκε το σενάριο με τα συνολικά 100 σενάρια.

Εκτελώντας λοιπόν τον αλγόριθμο επίλυσης τελικά έχουμε:

➤ **Scenario 1:**

- Clearing Prices (€/MWh)

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς
T0	144,55
T1	144,55
T2	143,51
T3	139,89
T4	139,98
T5	142
T6	144,95
T7	144,55
T8	158,19
T9	163,41
T10	142,37
T11	133,49
T12	131,5
T13	131,99
T14	139,36
T15	139,36
T16	145,74
T17	156,35
T18	166,85
T19	180,13
T20	175,1
T21	172
T22	160,8
T23	155,2

- Πιθανότητα επικράτησης σεναρίου : **0.11 ή 11%**

➤ **Scenario 2:**

- Clearing Prices (€/MWh)

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς
T0	146,22
T1	144,55
T2	143,51
T3	142,37
T4	139,98
T5	142
T6	144,95
T7	155,54
T8	158,19
T9	163,41
T10	142,37
T11	133,49
T12	131,5
T13	131,99
T14	139,36
T15	139,36
T16	145,74
T17	160,01
T18	168,68
T19	180,13
T20	175,1
T21	172
T22	160,8
T23	155,2

- Πιθανότητα επικράτησης σεναρίου : **0.17 ή 17%**

➤ **Scenario 3:**

- Clearing Prices (€/MWh)

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς
T0	146,22
T1	144,55
T2	143,51
T3	142,37
T4	139,98
T5	142,37
T6	148,95
T7	155,54
T8	158,19
T9	159,41
T10	142,37
T11	133,49
T12	131,5
T13	131,99
T14	156,35
T15	139,36
T16	145,74
T17	160,31
T18	168,68
T19	180,13
T20	175,1
T21	172
T22	163,24
T23	155,2

- Πιθανότητα επικράτησης σεναρίου : **0.15 ή 15%**

➤ **Scenario 4:**

- Clearing Prices (€/MWh)

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς
T0	146,22
T1	144,55
T2	143,51
T3	142,37
T4	139,98
T5	142
T6	144,95
T7	155,54
T8	158,19
T9	163,41
T10	142,37
T11	133,49
T12	156,35
T13	131,99
T14	139,36
T15	139,36
T16	145,74
T17	160,01
T18	168,68
T19	180,13
T20	175,1
T21	172
T22	160,8
T23	155,4

- Πιθανότητα επικράτησης σεναρίου : **0.06 ή 6%**

➤ **Scenario 5:**

- Clearing Prices (€/MWh)

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς
T0	146,22
T1	144,55
T2	143,51
T3	142,37
T4	139,98
T5	142,37
T6	148,95
T7	155,54
T8	158,19
T9	163,24
T10	142,37
T11	139,36
T12	131,5
T13	139,36
T14	139,36
T15	139,36
T16	149,74
T17	160,31
T18	170,58
T19	180,13
T20	175,1
T21	172
T22	163,24
T23	155,4

- Πιθανότητα επικράτησης σεναρίου : **0.1 ή 10%**

➤ **Scenario 6:**

- Clearing Prices (€/MWh)

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς
T0	144,55
T1	142,37
T2	143,51
T3	143,89
T4	139,98
T5	142
T6	144,95
T7	144,55
T8	154,19
T9	144,55
T10	129,03
T11	129,49
T12	74,39
T13	127,99
T14	131,5
T15	136,5
T16	145,74
T17	156,31
T18	166,85
T19	176,79
T20	175,1
T21	172
T22	160,8
T23	155,2

- Πιθανότητα επικράτησης σεναρίου : **0.01 ή 1%**

➤ **Scenario 7:**

- Clearing Prices (€/MWh)

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς
T0	146,22
T1	144,55
T2	143,51
T3	142,37
T4	139,98
T5	142
T6	144,95
T7	155,54
T8	158,19
T9	163,41
T10	142,37
T11	133,49
T12	131,5
T13	156,35
T14	139,36
T15	139,36
T16	145,74
T17	160,01
T18	168,68
T19	180,13
T20	175,1
T21	172
T22	160,8
T23	155,4

- Πιθανότητα επικράτησης σεναρίου : **0.07 ή 7%**

➤ **Scenario 8:**

- Clearing Prices (€/MWh)

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς
T0	144,55
T1	147,35
T2	143,51
T3	142,37
T4	139,98
T5	142,37
T6	148,95
T7	155,54
T8	158,19
T9	163,41
T10	142,37
T11	156,35
T12	131,5
T13	131,99
T14	139,36
T15	139,36
T16	149,74
T17	160,31
T18	170,58
T19	180,13
T20	175,1
T21	172
T22	163,24
T23	155,4

- Πιθανότητα επικράτησης σεναρίου : **0.04 ή 4%**

➤ **Scenario 9:**

- Clearing Prices (€/MWh)

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς
T0	146,22
T1	144,55
T2	143,51
T3	142,37
T4	139,98
T5	142,37
T6	148,95
T7	155,54
T8	158,19
T9	159,41
T10	142,37
T11	133,49
T12	131,5
T13	131,99
T14	131,5
T15	139,36
T16	145,74
T17	160,31
T18	168,68
T19	180,13
T20	175,1
T21	172
T22	163,24
T23	155,4

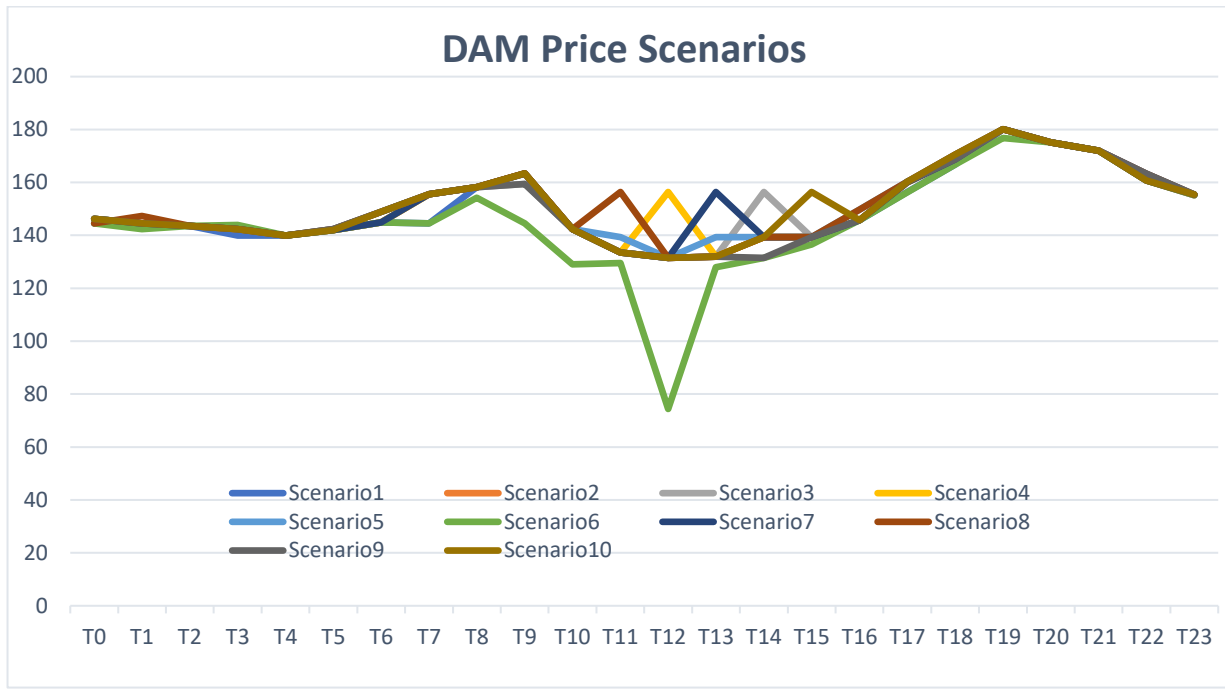
- Πιθανότητα επικράτησης σεναρίου : **0.27 ή 27%**

➤ **Scenario 10:**

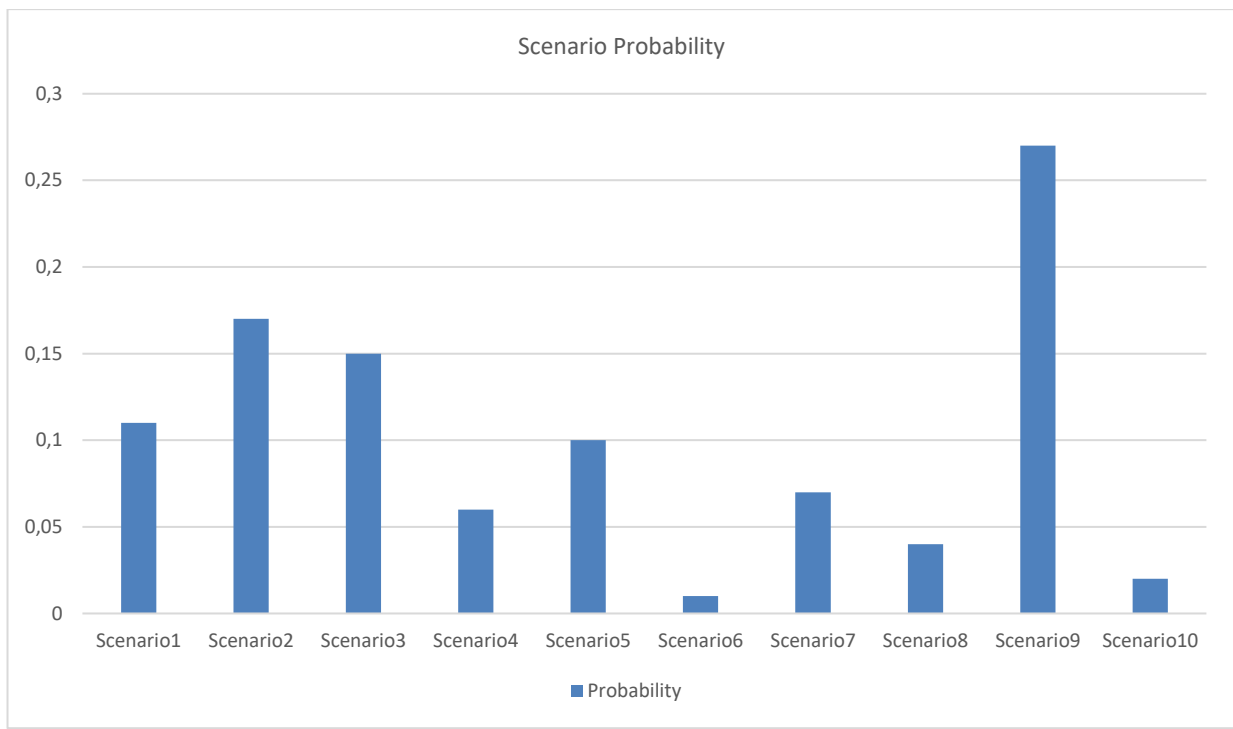
- Clearing Prices (€/MWh)

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς
T0	146,22
T1	144,55
T2	143,51
T3	142,37
T4	139,98
T5	142
T6	148,95
T7	155,54
T8	158,19
T9	163,41
T10	142,37
T11	133,49
T12	131,5
T13	131,99
T14	139,36
T15	156,35
T16	145,74
T17	160,31
T18	170,58
T19	180,13
T20	175,1
T21	172
T22	160,8
T23	155,4

- Πιθανότητα επικράτησης σεναρίου : **0.02 ή 2%**



Διάγραμμα 1: Σενάρια Τιμών Προ-Ημερήσιας Αγοράς



Διάγραμμα 2: Πιθανότητες Επικράτησης Του Κάθε Σεναρίου

Τα δέκα παραπάνω σενάρια λοιπόν θα είναι τα στοχαστικά δεδομένα του τελικού προβλήματος μας. Όπως παρατηρούμε τα σενάρια δεν είναι ισοπίθανα κάτι που είναι απολύτως φυσιολογικό αφού τα clusters που δημιουργήθηκαν μέσω της μεθόδου K-means έχουν διαφορετικό πληθυσμό το καθένα, η αθροιστική πιθανότητα ωστόσο ισούται με 1.

Μέρος 3^ο : Μοντελοποίηση και Επίλυση Τελικού Προβλήματος

Κεφάλαιο 8 : Κατάστρωση Και Επίλυση Τελικού Προβλήματος

Στο τελευταίο μέρος της παρούσας εργασίας θα καταστρώσουμε και θα επιλύσουμε το τελικό πρόβλημα μας. Το πρόβλημα είναι ένα πρόβλημα εύρεσης της βέλτιστης ποσότητας/θέσης που θα ήθελε ένας αιολικός παραγωγός να έχει στην προ-ημερήσια αγορά με γνώμονα εκτός των άλλων τα σενάρια των τιμών αγοράς που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα οποία αποτελούν , όπως έχουμε προαναφέρει , τα στοχαστικά δεδομένα εισαγωγής στο μοντέλο μας.

Για την παραμετροποίηση του μοντέλου μας κάναμε την παραδοχή ότι ο αιολικός παραγωγός θα έχει τέλεια πρόβλεψη της παραγωγής του (perfect forecast) καθώς επίσης και ότι ο παραγωγός θα μπορεί να δίνει εντολές κατανομής στο χαρτοφυλάκιο του , το οποίο θα αποτελείται δηλαδή από dispatchable assets .

Με γνώμονα λοιπόν τις παραπάνω παραδοχές , στην επόμενη παράγραφο θα αναπτύξουμε το τελικό μας μοντέλο.

8.1: Κατάστρωση Προβλήματος Αιολικού Παραγωγού

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα καταστρώσουμε το τελικό μας πρόβλημα για την εύρεση της βέλτιστης στρατηγικής συμμετοχής του αιολικού παραγωγού στην προ-ημερήσια αγορά. Το μοντέλο παρουσιάζεται ολοκληρωμένο παρακάτω :

$$Max \sum_s \sum_t \pi_s [\lambda_{st}^{DA} * q_t^{DA} + \lambda_{st}^{RT,+} * q_{st}^{RT,+} - \lambda_{st}^{RT,-} * q_{st}^{RT,-}]$$

Subject to:

$$q_t^{DA} + q_{st}^{RT,+} - q_{st}^{RT,-} = q_{st}^{Pos} \quad \forall s \in S, t \in T \quad (1)$$

$$q_{st}^{Pos} \leq P_t^F \quad (2)$$

$$q_t^{DA} \leq P_t^F \quad (3)$$

$$q_t^{DA} + q_{st}^{RT,+} = P_t^F \quad (4)$$

$$u_{st}^{up} + u_{st}^{down} \leq 1 \quad (5)$$

$$R_t^{min} * P_t^F \leq q_t^{DA} \quad (6)$$

$$q_{st}^{RT,+} \leq R_t^{max,+} * u_{st}^{up} \quad (7)$$

$$q_{st}^{RT,-} \leq R_t^{max,-} * u_{st}^{down} \quad (8)$$

Όπου:

$s \in S$: Το σενάριο s που ανήκει στο σύνολο των σεναρίων S

$t \in T$: Η αγοραία χρονική περίοδος t που ανήκει στο σύνολο των 24 αγοραίων χρονικών περιόδων T

π_s : Η πιθανότητα επικράτησης του σεναρίου τιμών προ-ημερήσιας αγοράς s

λ_{st}^{DA} : Τιμή εκκαθάρισης αγοράς επόμενης ημέρας στο σενάριο s την αγοραία χρονική περίοδο t σε €/MWh

$\lambda_{st}^{RT,+}$: Τιμή ανοδικής ενέργειας εξισορρόπησης στο σενάριο s την αγοραία χρονική περίοδο t σε €/MWh

$\lambda_{st}^{RT,-}$: Τιμή καθοδικής ενέργειας εξισορρόπησης στο σενάριο s την αγοραία χρονική περίοδο t σε €/MWh

q_t^{DA} : Μεταβλητή απόφασης που σχετίζεται με την παραγωγή που δηλώνεται στην προ-ημερήσια αγορά από τον αιολικό παραγωγό για την αγοραία χρονική περίοδο t σε MW

$q_{st}^{RT,+}$: Μεταβλητή απόφασης που σχετίζεται με την παραγωγή που θα επιλέξει ο παραγωγός να διαθέσει σε ανοδική ενέργεια εξισορρόπησης σε MW

$q_{st}^{RT,-}$: Μεταβλητή απόφασης που σχετίζεται με την παραγωγή που θα επιλέξει ο παραγωγός να διαθέσει σε καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης σε MW

q_{st}^{Pos} : Τελική θέση παραγωγού στο σενάριο s την αγοραία χρονική περίοδο t σε MW

P_t^F : Forecast παραγωγού για την αγοραία χρονική περίοδο t σε MW

u_{st}^{up} : Δυαδική μεταβλητή για την ύπαρξη ανοδικής ή μη ενέργειας εξισορρόπησης στο σενάριο s την αγοραία χρονική περίοδο t

u_{st}^{down} : Δυαδική μεταβλητή για την ύπαρξη καθοδικής ή μη ενέργειας εξισορρόπησης στο σενάριο s την αγοραία χρονική περίοδο t

R_t^{min} : Ελάχιστο ποσοστό δήλωσης παραγωγής στην προ-ημερήσια αγορά συγκριτικά με την πρόβλεψη την αγοραία χρονική περίοδο t

$R_t^{max,+}$: Μέγιστη δυνατή προσφορά ανοδικής ενέργειας εξισορρόπησης για την αγοραία χρονική περίοδο t σε MWh

$R_t^{max,-}$: Μέγιστη δυνατή προσφορά καθοδικής ενέργειας εξισορρόπησης για την αγοραία χρονική περίοδο t σε MWh

Ας αναλύσουμε τώρα το μοντέλο μας :

Η βασική εξίσωση εκφράζει την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος μας η οποία στοχεύει στη μεγιστοποίηση του κέρδους του αιολικού παραγωγού από τη συμμετοχή του στην προ-ημερήσια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και στην αγορά ενέργειας εξισορρόπησης.

Η εξίσωση (2) εκφράζει ότι η τελική θέση του παραγωγού δεν μπορεί να ξεπερνά την αρχική πρόβλεψη του για κάθε αγοραία χρονική περίοδο t .

Η εξίσωση (3) εκφράζει ότι η ποσότητα που θα διαθέσει ο παραγωγός στην προ-ημερήσια αγορά δεν μπορεί να ξεπερνά την πρόβλεψη του για κάθε αγοραία χρονική περίοδο t .

Η εξίσωση (4) δηλώνει ότι η θέση του παραγωγού στην προ-ημερήσια αγορά μαζί με την ποσότητα ενέργειας που θα διαθέσει στην ανοδική αγορά εξισορρόπησης δεν μπορεί να ξεπερνά την πρόβλεψη του για κάθε αγοραία χρονική περίοδο t .

Η εξίσωση (5) δηλώνει ότι δεν μπορεί να έχουμε για την ίδια αγοραία χρονική περίοδο διάθεση και ανοδικής και καθοδικής ενέργειας εξισορρόπησης.

Η εξίσωση (6) δηλώνει ότι η ποσότητα που θα διαθέσει ο παραγωγός στην προ-ημερήσια αγορά δεν μπορεί να είναι μικρότερη από ένα ποσοστό της αρχικής πρόβλεψης του για την αγοραία χρονική περίοδο t .

Η εξίσωση (7) δηλώνει ότι η προσφορά ανοδικής ενέργειας εξισορρόπησης στο σενάριο s την χρονική περίοδο t δεν μπορεί να ξεπερνά ένα όριο.

Η εξίσωση (8) δηλώνει ότι η προσφορά καθοδικής ενέργειας εξισορρόπησης στο σενάριο s την χρονική περίοδο t δεν μπορεί να ξεπερνά ένα όριο.

8.2: Τιμές Παραμέτρων Του Μοντέλου

Πριν την επίλυση του μοντέλου λοιπόν είναι αναγκαίο να ορίσουμε τις τιμές των παραμέτρων του και φυσικά να αναλύσουμε πως προέκυψαν αυτές όπου είναι αναγκαίο.

8.2.1: Πιθανότητα Επικράτησης/Εμφάνισης Σεναρίου

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάσαμε εκτενώς την εφαρμογή και επίλυση του μοντέλου μας για την παραγωγή των δέκα σεναρίων χρονοσειρών τιμών της αγοράς επόμενης ημέρας. Αυτά τα σενάρια έχουν μια πιθανότητα εμφάνισης που τα συνοδεύει η οποία, για κάθε ένα σενάριο διακεκριμένα, εισχωρείτε στην παράμετρο π_s . Έτσι λοιπόν τελικά για την παράμετρο π_s έχουμε :

Σενάριο	Πιθανότητα
Σενάριο 1	0,11
Σενάριο 2	0,17
Σενάριο 3	0,15
Σενάριο 4	0,06
Σενάριο 5	0,1
Σενάριο 6	0,01
Σενάριο 7	0,07
Σενάριο 8	0,04
Σενάριο 9	0,27
Σενάριο 10	0,02

Πίνακας 20: Πιθανότητα Εμφάνισης Σεναρίου Τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας

8.2.2: Χρονοσειρές Τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας

Όπως προαναφέραμε για την παράμετρο των χρονοσειρών τιμών της αγοράς επόμενης ημέρας λ_{st}^{DA} οι τιμές προέρχονται από τα δέκα σενάρια τιμών που υπολογίστηκαν στο δεύτερο μέρος της παρούσας εργασίας.

8.2.3: Πρόβλεψη Παραγωγής Αιολικού Παραγωγού

Για το συγκεκριμένο μοντέλο θεωρήσαμε ότι ο παραγωγός έχει την τέλεια πρόβλεψη παραγωγής (perfect forecast). Προκειμένου να βρούμε μία αντιπροσωπευτική παραγωγή , αντλήσαμε δεδομένα από τον ENTSO-e και πιο συγκεκριμένα αντλήσαμε το προφίλ αιολικών που είχε η Ελλάδα μία μέρα του Φεβρουαρίου του 2023.

Έχοντας ως δεδομένο αυτό κάναμε μία διαμόρφωση (scale down) αυτού του προφίλ , σε ένα εύλογο για έναν ΦΟ.Σ.Ε. /αιολικό παραγωγό προφίλ .

Τελικά λοιπόν για την παράμετρο P_t^F έχουμε :

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Πρόβλεψη Παραγωγού (MWh)
T0	22,78571429
T1	22,57142857
T2	23,21428571
T3	25,28571429
T4	28,5
T5	32
T6	34,78571429
T7	35,85714286
T8	36,5
T9	39,07142857
T10	44,71428571
T11	52,71428571
T12	59,71428571
T13	66,57142857
T14	71,57142857
T15	75
T16	77,78571429
T17	76,85714286
T18	74,78571429
T19	71,85714286
T20	67,14285714
T21	62,64285714
T22	58,28571429
T23	47,71428571

Πίνακας 21: Πρόβλεψη Παραγωγής Αιολικού Παραγωγού

8.2.4: Τιμές Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης

Για τον υπολογισμό των τιμών της ανοδικής ενέργειας εξισορρόπησης και την εκχώρηση τους στην παράμετρο $\lambda_{st}^{RT,+}$ ακολουθήσαμε την παρακάτω διαδικασία :

Από την εμπειρία μας αλλά και από τις τιμές που επικρατούσαν την εξεταζόμενη περίοδο στην αγορά εξισορρόπησης της οποίας λαμβάναμε μέσω του ENTSO-e, δημιουργήσαμε ένα κατάλληλο block κώδικα το οποίο για κάθε ένα σενάριο τιμών αγοράς επόμενης ημέρας που έχουμε , δημιουργεί το αντίστοιχο σενάριο με τιμές ανοδικής αγοράς εξισορρόπησης , οι οποίες θα κυμαίνονται μεταξύ (0.8-1.5) * Τιμή Αγοράς Επόμενης Ημέρας. Εφαρμόζοντας λοιπόν τον τυχαίο αυτόν πολλαπλασιαστή σε κάθε τιμή κάθε σεναρίου ξεχωριστά τελικά για τα σενάρια τιμών ανοδικής ενέργειας εξισορρόπησης έχουμε :

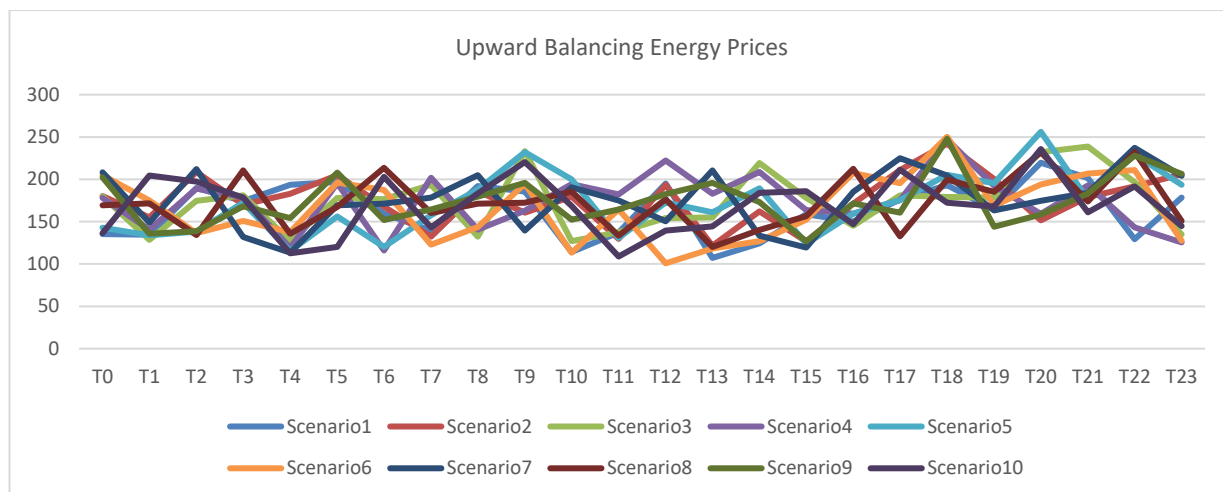
Σενάριο	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Scenario 1	135,45	134,58	189,77	174,35	193,38	196,94	159,65
Scenario 2	180,33	155,01	208,55	170,06	182,81	205,01	167,85
Scenario 3	179,95	128,51	174,82	180,92	126,93	178,18	176,48
Scenario 4	178,23	140,44	189,11	178,96	119,11	195,32	115,00
Scenario 5	142,94	133,67	138,49	172,38	115,44	156,17	120,16
Scenario 6	204,98	174,99	136,64	150,70	137,66	196,32	187,57
Scenario 7	208,47	148,93	212,05	131,85	113,39	169,25	171,42
Scenario 8	169,28	171,76	134,13	210,76	135,74	167,50	213,58
Scenario 9	202,08	135,68	138,69	168,08	154,32	208,05	151,84
Scenario 10	136,34	204,68	197,19	178,41	112,81	120,19	203,19

T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
139,50	192,20	185,65	114,24	137,13	195,14	107,17	124,37
132,48	186,05	160,83	179,42	129,61	193,71	121,58	162,07
193,52	132,38	233,44	127,17	137,52	154,18	155,14	219,32
201,99	140,47	162,98	194,41	182,22	222,43	182,96	208,69
157,46	187,97	232,19	200,09	130,81	172,94	161,05	189,48
122,97	143,52	194,65	113,55	164,60	100,78	118,35	127,01
178,32	205,09	139,35	190,37	175,11	150,46	210,55	133,59
160,27	171,14	172,35	185,71	133,54	176,49	120,10	140,20
164,31	179,76	195,81	152,22	164,37	182,43	195,71	173,20
143,20	183,20	220,33	168,55	108,85	139,31	144,45	184,22

T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21
158,67	150,09	176,28	193,20	164,07	219,62	201,37
126,56	171,38	211,12	242,08	200,31	151,72	179,31
177,88	145,11	181,04	179,10	178,5	232,03	238,71
163,85	159,67	175,48	247,26	192,34	159,33	192,88
124,07	159,51	175,25	205,37	195,6	256,13	176,00
152,49	207,67	195,61	250,20	168,84	193,79	206,61
119,52	185,30	224,88	204,56	163,25	174,76	183,96
156,55	212,56	132,55	199,75	185,06	232,12	173,77
126,62	171,73	160,63	247,87	143,96	158,56	183,52
186,14	147,18	211,52	172,32	167,88	235,82	160,89

T22	T23
129,29	178,36
191,63	205,99
196,53	134,87
143,41	125,33
229,51	193,71
210,94	127,37
237,21	204,05
232,27	150,92
228,06	206,50
191,80	144,89

Πίνακας 22: Τιμές Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης Για Κάθε Σενάριο Τιμών Αγοράς Επόμενης Ημέρας



Διάγραμμα 3: Σενάρια Τιμών Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης

8.2.5: Τιμές Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης

Για τον υπολογισμό των τιμών καθοδικής ενέργειας εξισορρόπησης ακολουθήσαμε ακριβώς την ίδια διαδικασία με τον υπολογισμό της ανοδικής με τη μόνη διαφορά ότι πλέον ο τυχαίος πολλαπλασιαστής ήταν μεταξύ -0.18 με 0.99 .

Έτσι για τις τιμές καθοδικής ενέργειας εξισορρόπησης έχουμε:

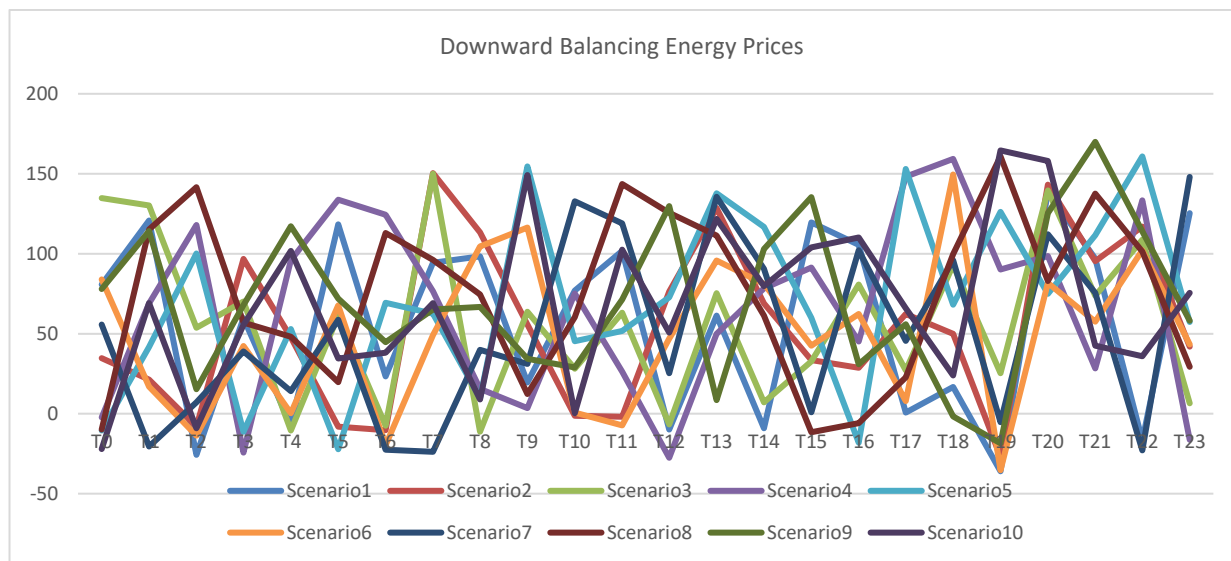
Σενάρια	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Scenario 1	80,68	120,78	-25,8	59,66	-7,41	118,3	23,22
Scenario 2	34,76	21,28	-8,15	96,7	47,76	-8,2	-10,35
Scenario 3	134,69	130,23	53,82	70,09	-10,61	61,25	-7,47
Scenario 4	-2,3	68,88	118,03	-24,41	95,89	133,78	124,38
Scenario 5	-10,6	41,77	100,14	-11,28	52,88	-22,23	69,37
Scenario 6	83,89	16,96	-13,73	42,35	0,37	67,65	-19,73
Scenario 7	55,79	-20,55	7,13	38,85	14,05	58,72	-22,45
Scenario 8	-9,89	115,24	141,68	56,99	48,12	19,79	112,95
Scenario 9	78,03	114,19	15,34	67,84	117,25	71,97	44,64
Scenario 10	-22,11	69,12	-9,1	55,47	101,7	34,43	38,2

T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
94,3	98,42	19,56	76,87	101,76	-9,87	61,25	-9,21
150,41	113,39	55,71	-1,39	-1,92	76,28	128,49	69,04
150,01	-11,23	63,65	28,12	63,19	-6,65	75,44	7,13
76,6	15,6	3,45	75,18	26,29	-27,57	50,02	78,36
62,56	9,67	154,63	45,23	51,65	72,75	137,74	116,79
49,17	104,64	116,38	0,66	-7,25	46,83	95,66	81,08
-23,82	39,84	31,06	132,8	119,08	25,37	135,57	90,63
96,21	74,64	12,3	60,29	143,6	125,51	111,37	61,4
65,13	66,66	34,24	28,93	71,31	129,76	8,4	103,06
69,15	8,93	149,1	0,27	102,54	50,65	121,71	79,72

T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21
119,64	105,48	0,6	16,76	-36,03	138,64	96,88
33,45	28,76	62,36	49,83	-27,02	143,14	95,37
32,78	80,85	27,09	92,96	25,22	139,6	73,84
91,4	45,12	148,18	159,29	90,07	98,61	28,29
59,85	-18,1	153,04	68,19	126,09	74,87	111,5
42,46	62,27	7,81	149,54	-35,36	81,7	57,48
0,94	102,16	45,55	95,86	-5,4	112,18	75,46
-11,59	-5,82	22,67	99,71	160,89	82,87	137,65
135,49	30,9	55,88	-1,63	-18,5	125,3	169,94
103,94	110,23	65,97	23,88	164,6	158,08	42,5

T22	T23
-16,77	125,3
116,9	41,98
108,71	6,46
133,41	-16,37
160,85	57,27
102,13	43,36
-22,87	148,03
101,45	29,39
113,91	58,22
35,86	75,46

Πίνακας 23: Τιμές Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης



Διάγραμμα 4: Σενάρια Τιμών Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης

8.2.6: Μέγιστη Προσφορά Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης

Για τον υπολογισμό της μέγιστης προσφοράς ποσότητας που θα είναι δυνατό να κάνει ο παραγωγός στην αγορά την αγοραία χρονική μονάδα t για ανοδική ενέργεια εξισορρόπησης $R_t^{max,+}$, έγινε ο παρακάτω υπολογισμός μέσω κατάλληλου block κώδικα :

- Αν η πρόβλεψη του παραγωγού είναι κάτω από 30MW για μία ώρα τότε η ανοδική ενέργεια εξισορρόπησης που θα μπορεί να διαθέσει ορίζεται στα 6MW
- Αν η πρόβλεψη του παραγωγού είναι κάτω από 50MW για μία ώρα και πάνω από 30MW τότε η ανοδική ενέργεια εξισορρόπησης που θα μπορεί να διαθέσει ορίζεται στα 8MW
- Αν η πρόβλεψη του παραγωγού είναι πάνω από 50MW για μία ώρα τότε η ανοδική ενέργεια εξισορρόπησης που θα μπορεί να διαθέσει ορίζεται στα 10MW

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Μέγιστη Προσφορά Αν.Ενέργειας Εξισορρόπησης (MWh)
T0	6
T1	6
T2	6
T3	6
T4	6
T5	8
T6	8
T7	8
T8	8
T9	8
T10	8
T11	10
T12	10
T13	10
T14	10
T15	10
T16	10
T17	10
T18	10
T19	10
T20	10
T21	10
T22	10
T23	8

Πίνακας 24: Τιμές Προσφοράς Ποσότητας Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης

8.2.7: Μέγιστη Προσφοράς Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης

Για τον υπολογισμό της καθοδικής ενέργειας εξισορρόπησης την αγοραία χρονική περίοδο t $R_t^{max,-}$ που θα επιλέξει ο παραγωγός να διαθέσει ακολουθήσαμε την ίδια διαδικασία με την ανοδική με τη μόνη διαφορά την ποσότητα ενέργειας που επιλέξαμε. Πιο συγκεκριμένα:

- Αν η πρόβλεψη του παραγωγού είναι κάτω από 30MW για μία ώρα τότε η καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης που θα μπορεί να διαθέσει ορίζεται στα 4MW
- Αν η πρόβλεψη του παραγωγού είναι κάτω από 50MW για μία ώρα και πάνω από 30MW τότε η καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης που θα μπορεί να διαθέσει ορίζεται στα 8MW
- Αν η πρόβλεψη του παραγωγού είναι πάνω από 50MW για μία ώρα τότε η καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης που θα μπορεί να διαθέσει ορίζεται στα 10MW

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Μέγιστη Προσφορά Καθ.Ενέργειας Εξισορρόπησης (MWh)
T0	4
T1	4
T2	4
T3	4
T4	4
T5	8
T6	8
T7	8
T8	8
T9	8
T10	8
T11	10
T12	10
T13	10
T14	10
T15	10
T16	10
T17	10
T18	10
T19	10
T20	10
T21	10
T22	10
T23	8

Πίνακας 25: Τιμές Προσφοράς Ποσότητας Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης

8.2.8: Ελάχιστο Ποσοστό Δήλωσης Παραγωγής Στην Προ-ημερήσια Αγορά

Το ελάχιστο ποσοστό δήλωσης παραγωγής στην προ-ημερήσια αγορά, είναι το ποσοστό της τιμής της πρόβλεψης παραγωγής (forecast) του παραγωγού το οποίο κατ' ελάχιστο είναι απαραίτητο να δηλωθεί, σύμφωνα με τη στρατηγική του, στην προ-ημερήσια αγορά. Για τις ανάγκες λοιπόν της συγκεκριμένης μελέτης το ποσοστό αυτό ορίστηκε στο **50% ή 0,5** για την παράμετρο R_t^{min} .

8.3: Επίλυση Και Αποτελέσματα

Εφόσον πλέον έχουμε ολοκληρώσει την παραμετροποίηση του προβλήματος μας και έχουμε αναθέσει τιμές προχωρήσαμε στην επίλυση του μοντέλου και στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων που αυτό παρήγαγε.

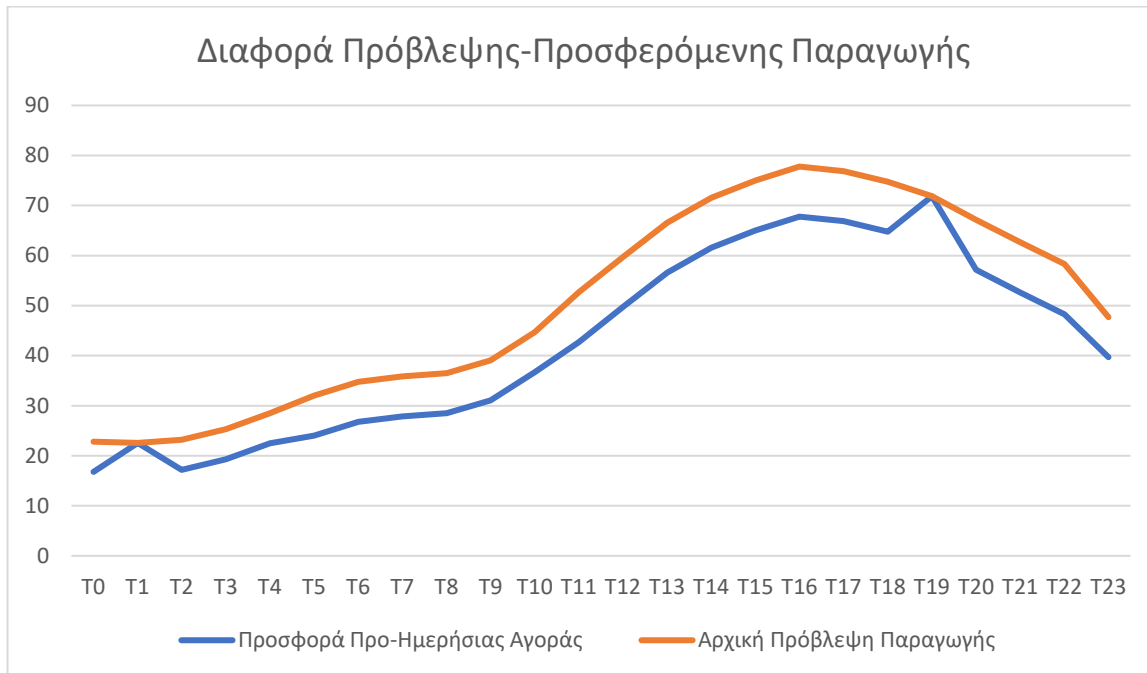
Για το σκοπό της καλύτερης κατανόησης και σχολιασμού των αποτελεσμάτων, θα αναλυθούν για κάθε μεταβλητή απόφασης ξεχωριστά.

8.3.1: Δηλωθείσα Παραγωγή Στην Προ-ημερήσια Αγορά q_t^{DA}

Από την επίλυση του μοντέλου μας που σχεδιάστηκε και εκτελέστηκε στο περιβάλλον της Pyhton/Pyomo για την δηλωθείσα παραγωγή στην προ-ημερήσια αγορά q_t^{DA} προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα, τα οποία εμφανίζονται δίπλα στην πρόβλεψη του παραγωγού για να γίνει σαφής η διαφορά μεταξύ των :

Αγοραία Χρονική Περίοδος	Προσφορά Προ-Ημερήσιας Αγοράς (MW)	Αρχική Πρόβλεψη Παραγωγής (MW)
T0	16,78571429	22,78571429
T1	22,57142857	22,57142857
T2	17,21428571	23,21428571
T3	19,28571429	25,28571429
T4	22,5	28,5
T5	24	32
T6	26,78571429	34,78571429
T7	27,85714286	35,85714286
T8	28,5	36,5
T9	31,07142857	39,07142857
T10	36,71428571	44,71428571
T11	42,71428571	52,71428571
T12	49,71428571	59,71428571
T13	56,57142857	66,57142857
T14	61,57142857	71,57142857
T15	65	75
T16	67,78571429	77,78571429
T17	66,85714286	76,85714286
T18	64,78571429	74,78571429
T19	71,85714286	71,85714286
T20	57,14285714	67,14285714
T21	52,64285714	62,64285714
T22	48,28571429	58,28571429
T23	39,71428571	47,71428571

Πίνακας 26: Αποτελέσματα Δήλωσης Θέσης Παραγωγού Στην Προ-ημερήσια Αγορά



Διάγραμμα 5: Διαφορά Μεταξύ Πρόβλεψης Παραγωγής Και Προσφερόμενης Ποσότητας Στην Προημερήσια Αγορά

Παρατηρούμε ότι στην πλειονότητα των αγοραίων χρονικών μονάδων ο παραγωγός επιλέγει να υποδηλωθεί απ' το να διαθέσει όλη του την παραγόμενη ποσότητα στην προ-ημερήσια αγορά. Η απόφαση του αλγόριθμου εξετάζει όλα τα σενάρια τιμών της προ-ημερήσιας αγοράς και αναλόγως αποφασίζει μία στρατηγική η οποία θα είναι κάθετη και ενιαία , γι' αυτό και η μεταβλητή απόφασης q_t^{DA} εξαρτάται μόνο από την αγοραία χρονική περίοδο t και όχι και από το σενάριο s .

Προκειμένου να κατανοήσουμε για ποιο λόγο επιλέγει ο αλγόριθμος να μας κάνει να υποδηλωθούμε στην προ-ημερήσια αγορά ως παραγωγοί θα πρέπει να εξετάσουμε και τις τιμές που επικρατούν για την ανοδική και καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης τις συγκεκριμένες χρονικές περιόδους και για όλα τα σενάρια συνολικά καθώς το πρόβλημα μας αποτελεί ένα πρόβλημα συμβελτιστοποίησης.

8.3.2: Διάθεση Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης $q_{st}^{RT,+}$

Όπως παρατηρήσαμε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο , κάποιες χρονικές περιόδους ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης επιλέγει να δηλωθεί μικρότερη παραγωγή στην προ-ημερήσια αγορά από την πρόβλεψη του παραγωγού. Αυτό σημαίνει ότι ο αποφασίζων / παραγωγός έχει περιθώριο κέρδους στο να διαθέσει την υπολειπόμενη ενέργεια του στην αγορά εξισορρόπησης και συγκεκριμένα σε ανοδική ενέργεια εξισορρόπησης.

Ας δούμε λοιπόν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επίλυση του προβλήματος για κάποιες ενδεικτικές αγοραίες χρονικές μονάδες για να το κατανοήσουμε καλύτερα :

Scenario	TradingPeriod	Ανοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης (MWh)
Scenario 1	T0	6
Scenario 2	T0	6
Scenario 3	T0	6
Scenario 4	T0	6
Scenario 5	T0	6
Scenario 6	T0	6
Scenario 7	T0	6
Scenario 8	T0	6
Scenario 9	T0	6
Scenario 10	T0	6

Πίνακας 27: Ανοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης Την Αγοραία Χρονική Περίοδο T0 Για Κάθε Σενάριο

Scenario	TradingPeriod	Ανοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης (MWh)
Scenario 1	T1	0
Scenario 2	T1	0
Scenario 3	T1	0
Scenario 4	T1	0
Scenario 5	T1	0
Scenario 6	T1	0
Scenario 7	T1	0
Scenario 8	T1	0
Scenario 9	T1	0
Scenario 10	T1	0

Πίνακας 28: Ανοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης Την Αγοραία Χρονική Περίοδο T1 Για Κάθε Σενάριο

Scenario	TradingPeriod	Ανοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης (MWh)
Scenario 1	T2	6
Scenario 2	T2	6
Scenario 3	T2	6
Scenario 4	T2	6
Scenario 5	T2	6
Scenario 6	T2	6
Scenario 7	T2	6
Scenario 8	T2	6
Scenario 9	T2	6
Scenario 10	T2	6

Πίνακας 29: Ανοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης Την Αγοραία Χρονική Περίοδο T2 Για Κάθε Σενάριο

Scenario	TradingPeriod	Ανοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης (MWh)
Scenario 1	T5	8
Scenario 2	T5	8
Scenario 3	T5	8
Scenario 4	T5	8
Scenario 5	T5	8
Scenario 6	T5	8
Scenario 7	T5	8
Scenario 8	T5	8
Scenario 9	T5	8
Scenario 10	T5	8

Πίνακας 30:Ανοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης Την Αγοραία Χρονική Περίοδο T5 Για Κάθε Σενάριο

Scenario	TradingPeriod	Ανοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης (MWh)
Scenario 1	T11	10
Scenario 2	T11	10
Scenario 3	T11	10
Scenario 4	T11	10
Scenario 5	T11	10
Scenario 6	T11	10
Scenario 7	T11	10
Scenario 8	T11	10
Scenario 9	T11	10
Scenario 10	T11	10

Πίνακας 31:Ανοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης Την Αγοραία Χρονική Περίοδο T11 Για Κάθε Σενάριο

Scenario	TradingPeriod	Ανοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης (MWh)
Scenario 1	T19	0
Scenario 2	T19	0
Scenario 3	T19	0
Scenario 4	T19	0
Scenario 5	T19	0
Scenario 6	T19	0
Scenario 7	T19	0
Scenario 8	T19	0
Scenario 9	T19	0
Scenario 10	T19	0

Πίνακας 32:Ανοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης Την Αγοραία Χρονική Περίοδο T19 Για Κάθε Σενάριο

Για την πρώτη αγοραία χρονική περίοδο (T0) , για παράδειγμα, παρατηρούμε ότι η βέλτιστη στρατηγική συμμετοχής είναι να διαθέσει ο παραγωγός λιγότερη ενέργεια από την πραγματικά παραγόμενη , συγκεκριμένα κατά 6MWh , στην προ-ημερήσια αγορά καθώς το κέρδος του θα είναι πολύ μεγαλύτερο από την συμμετοχή του στην αγορά εξισορρόπησης με 6MWh.

Οι επιλεγμένες αγοραίες χρονικές περιόδους τα αποτελέσματα των οποίων επιλέξαμε να αποτυπώσουμε παραπάνω θα εξηγηθούν εκτενώς σε επόμενη παράγραφο προκειμένου ο αναγνώστης να κατανοήσει πλήρως την λειτουργία του αλγορίθμου συμβελτιστοποίησης.

8.3.3: : Διάθεση Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης $q_{st}^{RT,-}$

Τα αποτελέσματα που παράγαγε το μοντέλο για τις προαναφερθείσες αγοραίες χρονικές μονάδες για την διάθεση καθοδικής ενέργειας εξισορρόπησης είναι τα παρακάτω:

Scenario	TradingPeriod	Καθοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης (MWh)
Scenario 1	T0	0
Scenario 2	T0	0
Scenario 3	T0	0
Scenario 4	T0	0
Scenario 5	T0	0
Scenario 6	T0	0
Scenario 7	T0	0
Scenario 8	T0	0
Scenario 9	T0	0
Scenario 10	T0	0

Πίνακας 33:Καθοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης Την Αγοραία Χρονική Περίοδο T0 Για Κάθε Σενάριο

Scenario	TradingPeriod	Καθοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης (MWh)
Scenario 1	T1	0
Scenario 2	T1	0
Scenario 3	T1	0
Scenario 4	T1	0
Scenario 5	T1	0
Scenario 6	T1	0
Scenario 7	T1	4
Scenario 8	T1	0
Scenario 9	T1	0
Scenario 10	T1	0

Πίνακας 34:Καθοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης Την Αγοραία Χρονική Περίοδο T1 Για Κάθε Σενάριο

Scenario	TradingPeriod	Καθοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης (MWh)
Scenario 1	T5	0
Scenario 2	T5	0
Scenario 3	T5	0
Scenario 4	T5	0
Scenario 5	T5	0
Scenario 6	T5	0
Scenario 7	T5	0
Scenario 8	T5	0
Scenario 9	T5	0
Scenario 10	T5	0

Πίνακας 35:Καθοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης Την Αγοραία Χρονική Περίοδο T5 Για Κάθε Σενάριο

Scenario	TradingPeriod	Καθοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης (MWh)
Scenario 1	T11	0
Scenario 2	T11	0
Scenario 3	T11	0
Scenario 4	T11	0
Scenario 5	T11	0
Scenario 6	T11	0
Scenario 7	T11	0
Scenario 8	T11	0
Scenario 9	T11	0
Scenario 10	T11	0

Πίνακας 36:Καθοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης Την Αγοραία Χρονική Περίοδο T11 Για Κάθε Σενάριο

Scenario	TradingPeriod	Καθοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης (MWh)
Scenario 1	T19	10
Scenario 2	T19	10
Scenario 3	T19	0
Scenario 4	T19	0
Scenario 5	T19	0
Scenario 6	T19	10
Scenario 7	T19	10
Scenario 8	T19	0
Scenario 9	T19	10
Scenario 10	T19	0

Πίνακας 37:Καθοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης Την Αγοραία Χρονική Περίοδο T19 Για Κάθε Σενάριο

8.4: Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Ας αναλύσουμε τώρα τα αποτελέσματα για τις προαναφερθείσες αγοραίες χρονικές περιόδους προκειμένου να κατανοήσουμε τη λειτουργία του μοντέλου και φυσικά να την αξιολογήσουμε ως προς την ορθότητα της.

➤ T0

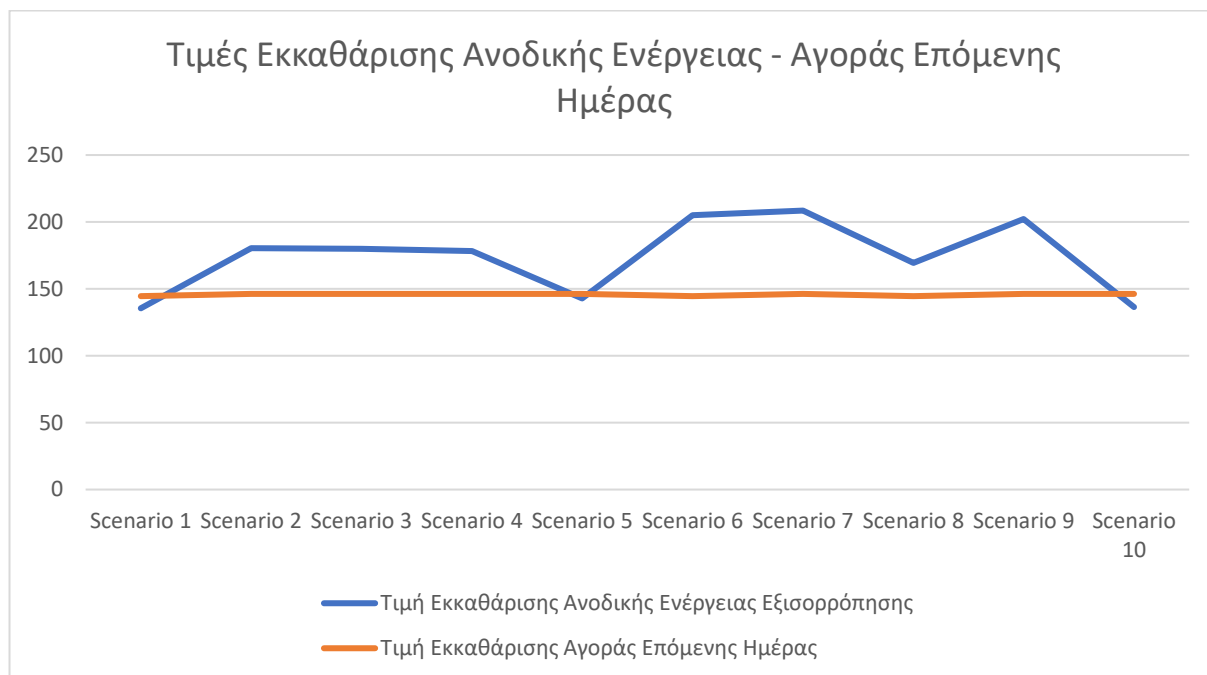
Για την πρώτη αγοραία χρονική περίοδο, όπως είδαμε η βέλτιστη στρατηγική συμμετοχής στην προ-ημερήσια αγορά είναι να διαθέσει ο παραγωγός 16,78571429 MW από τα συνολικά 22,78571429 που έχει διαθέσιμα. Επειδή το forecast είναι κάτω από 30MW ο παραγωγός θα διαθέσει 6MW μέγιστα για ανοδική ενέργεια εξισορρόπησης από το οποίο προκύπτει και η διαφορά . Συνεπώς αφού από την αποτύπωση των αποτελεσμάτων αυτό φαίνεται να είναι το βέλτιστο σε όλα τα σενάρια , ο αλγόριθμος αποφασίζει ότι η βέλτιστη στρατηγική συμμετοχής στην προ-ημερήσια αγορά είναι να διαθέσει την πρόβλεψη του μείον τα 6MW που υπολογίζει να του ζητηθεί να διαθέσει σε ανοδική ενέργεια εξισορρόπησης.

Ας δούμε όμως για ποιο λόγο συμβαίνει αυτό :

Για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο οι τιμές ανοδικής ενέργειας ενεργοποίησης που επικρατούν για κάθε σενάριο τιμών της προ-ημερήσιας αγοράς είναι οι παρακάτω :

Σενάριο	Τιμή Εκκαθάρισης Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης €/MWh	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς Επόμενης Ημέρας €/MWh	Πιθανότητα Εμφάνισης Σεναρίου
Scenario 1	135,45	144,55	0,11
Scenario 2	180,33	146,22	0,17
Scenario 3	179,95	146,22	0,15
Scenario 4	178,23	146,22	0,06
Scenario 5	142,95	146,22	0,1
Scenario 6	204,98	144,55	0,01
Scenario 7	208,48	146,22	0,07
Scenario 8	169,28	144,55	0,04
Scenario 9	202,09	146,22	0,27
Scenario 10	136,35	146,22	0,02

Πίνακας 37: Τιμές Για Την Ανοδική Ποσότητα Ενέργειας Τη Χρονική Περίοδο T0



Διάγραμμα 6: Σύγκριση Τιμής Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης - Τιμή Προ-ημερήσιας Αγοράς Για ΤΟ

Παρατηρούμε ότι σε μερικά σενάρια η τιμή εκκαθάρισης της ανοδικής ενέργειας εξισορρόπησης είναι μεγαλύτερη από την τιμή εκκαθάρισης της αγοράς επόμενης ημέρας (σενάρια 2,3,4,6,7,8,9) και σε κάποια σενάρια μικρότερη (σενάρια 1,5,10) . Όπως προαναφέραμε το κάθε σενάριο συνοδεύει μία πιθανότητα εμφάνισης η οποία δεν είναι ίση αφού τα σενάρια μας δεν είναι ισοπίθανα. Οπότε ότι τα σενάρια στα οποία η τιμή της αγοράς εξισορρόπησης είναι μεγαλύτερη από την τιμή της αγοράς επόμενης ημέρας από μόνο του δεν μας δίνει την ένδειξη ότι θα επικρατήσει η διάθεση κάποιας ποσότητας ενέργειας σε ανοδική εξισορρόπηση αφού η αθροιστική πιθανότητα των σεναρίων αυτών μπορεί να είναι μικρότερη από την αντίστοιχη των υπόλοιπων σεναρίων.

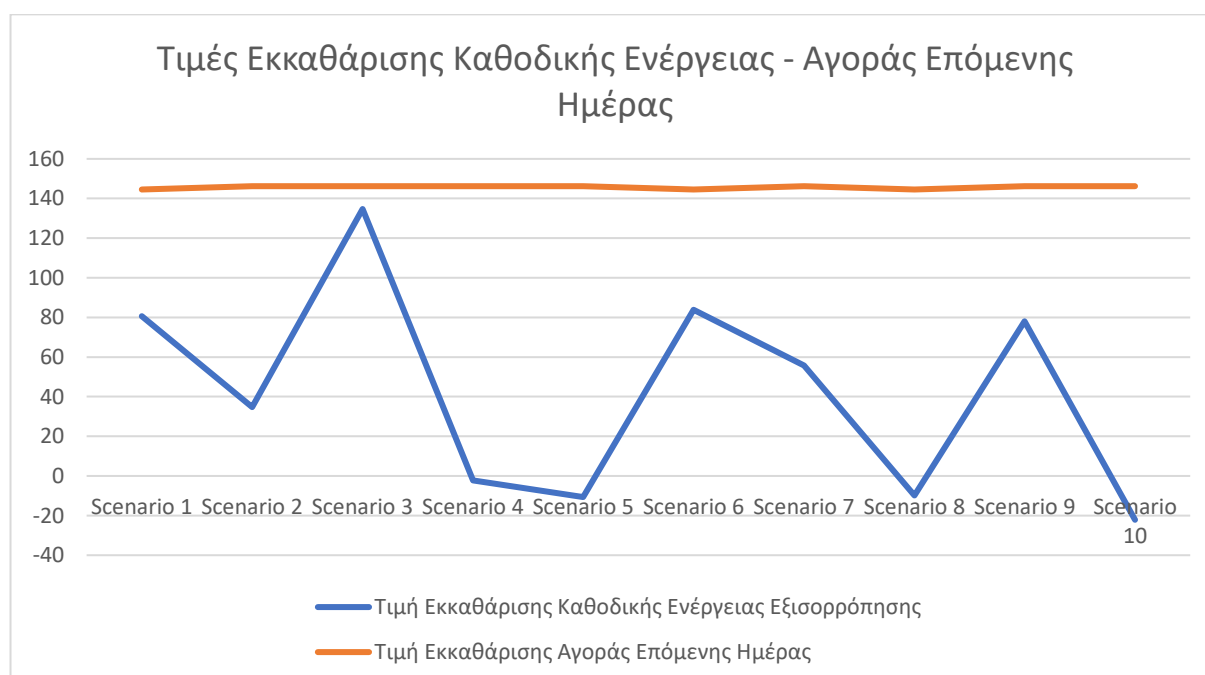
Δεύτερο σημείο στο οποίο πρέπει να σταθούμε είναι οι διαφορές μεταξύ των τιμών. Για παράδειγμα , στο πρώτο σενάριο η διαφορά είναι θετική προς την πλευρά της αγοράς επόμενης ημέρας κατά 9 €/MWh ενώ στο σενάριο 6 η διαφορά είναι θετική προς την αντίθετη πλευρά κατά περίπου 60€/MWh , τιμή πολύ μεγαλύτερη απ' αυτή του πρώτου σεναρίου. Οι διαφορές λοιπόν των τιμών είναι σημαντικές γιατί ακόμα και ένα σενάριο να μας δείχνει ότι η τιμή της αγοράς εξισορρόπησης είναι ανώτερη από την αντίστοιχη τιμή της προημερήσιας αγοράς , εάν η τιμή της διαφοράς σε αυτό το σενάριο είναι πολύ μεγάλη και ταυτόχρονα είναι ένα σενάριο με μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης , τότε θα μπορούσε η βέλτιστη στρατηγική συμμετοχής να είναι και πάλι ο παραγωγός να διαθέσει κάποια ενέργεια στην αγορά εξισορρόπησης, και ένα παράδειγμα θα μπορούσε να είναι το σενάριο 9 που έχει και μεγάλη διαφορά περίπου στα 55 €/MWh αλλά και μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης στο 27%.

Τρίτο σημείο αναφοράς για την βέλτιστη στρατηγική συμμετοχής είναι οι τιμές της καθοδικής ενέργειας εξισορρόπησης και πιο συγκεκριμένα οι διαφορές των τιμών αυτών από τις τιμές της αγοράς επόμενης ημέρας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η τιμή της καθοδικής ενέργειας εξισορρόπησης σημαίνει πρακτικά ότι επιστρέφονται χρήματα στον διαχειριστή του συστήματος μεταφοράς απ' αυτά που έχουν εισπραχθεί από το

πρόγραμμα που έχει διατεθεί στην προ-ημερήσια αγορά. Συνεπώς για να είναι θελκτική για έναν αποφασίζοντα να καταθέσει μία ανταγωνιστική προσφορά προκειμένου να διαθέσει κάποια ενέργεια για καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης θα πρέπει σε γενικές γραμμές οι τιμές να είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές της προ-ημερήσιας αγοράς. Επίσης θα πρέπει, εφόσον οι περιορισμοί του προβλήματος μας δεν επιτρέπουν τη διάθεση ανοδικής και καθοδικής ενέργειας εξισορρόπησης για την ίδια αγοραία χρονική περίοδο, το κέρδος από τη διάθεση ποσότητας σε καθοδική αγορά ενέργειας εξισορρόπησης να είναι μεγαλύτερο από το κέρδος που θα είχε εάν παρείχε κατώτερη της πρόβλεψης του ποσότητας στην προ-ημερήσια αγορά και διέθετε την υπόλοιπη διαθέσιμη παραγωγή του στην αγορά εξισορρόπησης. Στην περίπτωση που εξετάζουμε οι τιμές της καθοδικής ενέργειας εξισορρόπησης είναι οι παρακάτω:

Σενάριο	Τιμή Εκκαθάρισης Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης €/MWh	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς Επόμενης Ημέρας €/MWh	Πιθανότητα Εμφάνισης Σεναρίου
Scenario 1	80,69	144,55	0,11
Scenario 2	34,76	146,22	0,17
Scenario 3	134,7	146,22	0,15
Scenario 4	-2,3	146,22	0,06
Scenario 5	-10,6	146,22	0,1
Scenario 6	83,9	144,55	0,01
Scenario 7	55,79	146,22	0,07
Scenario 8	-9,9	144,55	0,04
Scenario 9	78,03	146,22	0,27
Scenario 10	-22,12	146,22	0,02

Πίνακας 38: Τιμές Για Την Καθοδική Ποσότητα Ενέργειας Τη Χρονική Περίοδο T0



Σημαντική σημείωση είναι ότι για να διαθέσει κάποια ποσότητα ο παραγωγός σε καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης , θα πρέπει να έχει διαθέσει όλη τη διαθέσιμη ποσότητα του , για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, στην αγορά επόμενης ημέρας.

Τελικά λοιπόν έχουμε:

- ✓ η συγκεντρωτική πιθανότητα για τα σενάρια 2,3,4,6,7,8,9 είναι 0,77 και η πιθανότητα των υπόλοιπων σεναρίων είναι 0,23.
- ✓ Οι διαφορές των τιμών σε σημαντικής πιθανότητας σενάρια είναι θετική προς την πλευρά της ανοδικής αγοράς εξισορρόπησης και στο επικρατέστερο σενάριο (σενάριο 9) κατά πολύ μεγαλύτερη
- ✓ Τα κέρδη που θα αποκομίσει ο παραγωγός εάν διαθέσει χαμηλότερες ποσότητες στην αγορά επόμενης ημέρας και την υπόλοιπη διαθέσιμη ποσότητα ενέργειας τη διαθέσει σε ανοδική αγορά εξισορρόπησης είναι μεγαλύτερα από ότι εάν διαθέσει όλη του την ποσότητα προκειμένου να του απονεμηθεί καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης από τον διαχειριστή.
- ✓ Η βέλτιστη στρατηγική συμμετοχής είναι η διάθεση χαμηλότερης κατά 6 MW ποσότητας στην προ-ημερήσια αγορά αφού τα διαθέσιμα δεδομένα μας δείχνουν ότι οι πιθανότητες ο παραγωγός να κερδίσει περισσότερα χρήματα είναι με αυτόν τον τρόπο ώστε να έχει διαθέσιμη ποσότητα για να διαθέσει στην αγορά εξισορρόπησης

Όπως λοιπόν γίνεται εύκολα κατανοητό ο αλγόριθμος μας είναι ένας αλγόριθμος συμβελτιστοποίησης και οι παράμετροι από τους οποίους εξαρτάται το τελικό αποτέλεσμα του , δηλαδή η ποσότητα που θα διαθέσει στην αγορά επόμενης ημέρας , είναι πολλές και συνδυαστικές αλλά ο χρήστης του αλγορίθμου μπορεί να έχει μια εικόνα της ορθότητας του αποτελέσματος από συγκεκριμένες παραμέτρους και συνδυασμούς , όταν φυσικά το πρόβλημα είναι ενός σχετικά μικρού μεγέθους.

➤ T1

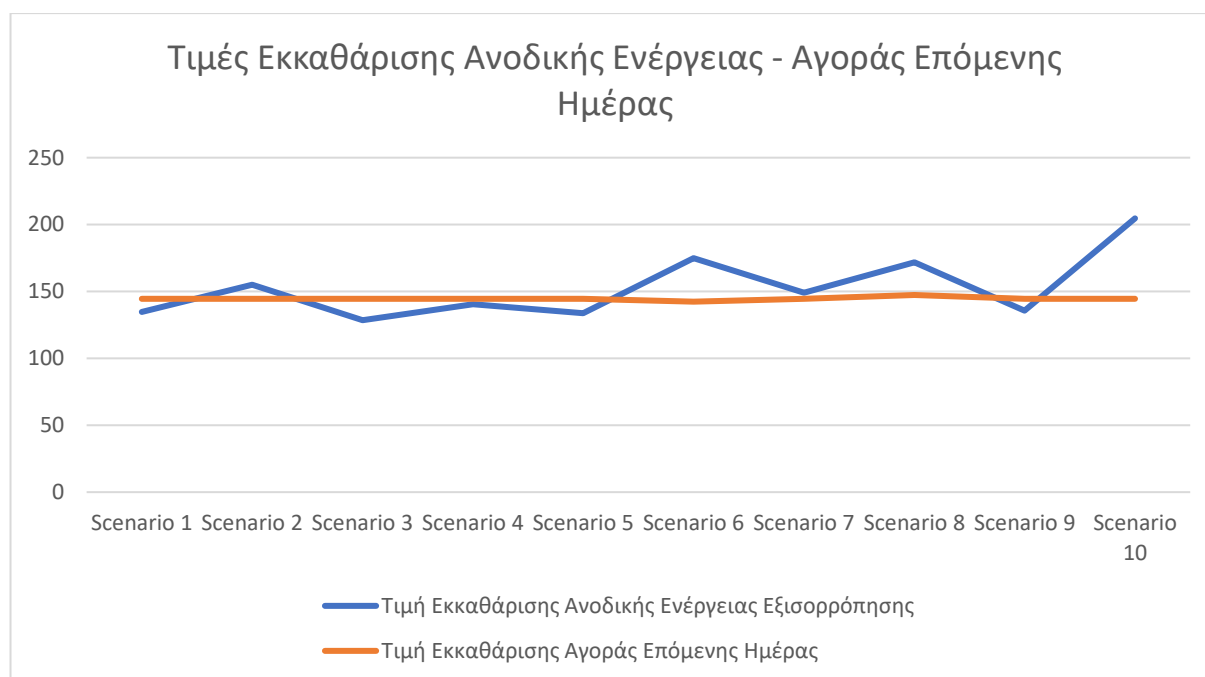
Για την συγκεκριμένη αγοραία χρονική περίοδο, από τα αποτελέσματα του αλγορίθμου ο παραγωγός θα πρέπει να επιλέξει να διαθέσει όλη του την διαθέσιμη παραγωγή (22,57142857 MW) στην προ-ημερήσια αγορά .

Στην προηγούμενη χρονική περίοδο που εξετάσαμε αναλύσαμε τις παραμέτρους σύμφωνα με τις οποίες το μοντέλο αποφασίζει τι ποσότητες και που θα καταλείψει. Εδώ λοιπόν θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα ξανά για να εντοπίσουμε τις διαφορές που έκαναν τον αλγόριθμο να παράξει τη συγκεκριμένη σαν βέλτιστη λύση.

Τα αποτελέσματα λοιπόν είναι :

Σενάριο	Τιμή Εκκαθάρισης Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης €/MWh	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς Επόμενης Ημέρας €/MWh	Πιθανότητα Εμφάνισης Σεναρίου
Scenario 1	134,58	144,55	0,11
Scenario 2	155,02	144,55	0,17
Scenario 3	128,51	144,55	0,15
Scenario 4	140,45	144,55	0,06
Scenario 5	133,68	144,55	0,1
Scenario 6	175	142,37	0,01
Scenario 7	148,93	144,55	0,07
Scenario 8	171,77	147,35	0,04
Scenario 9	135,68	144,55	0,27
Scenario 10	204,62	144,55	0,02

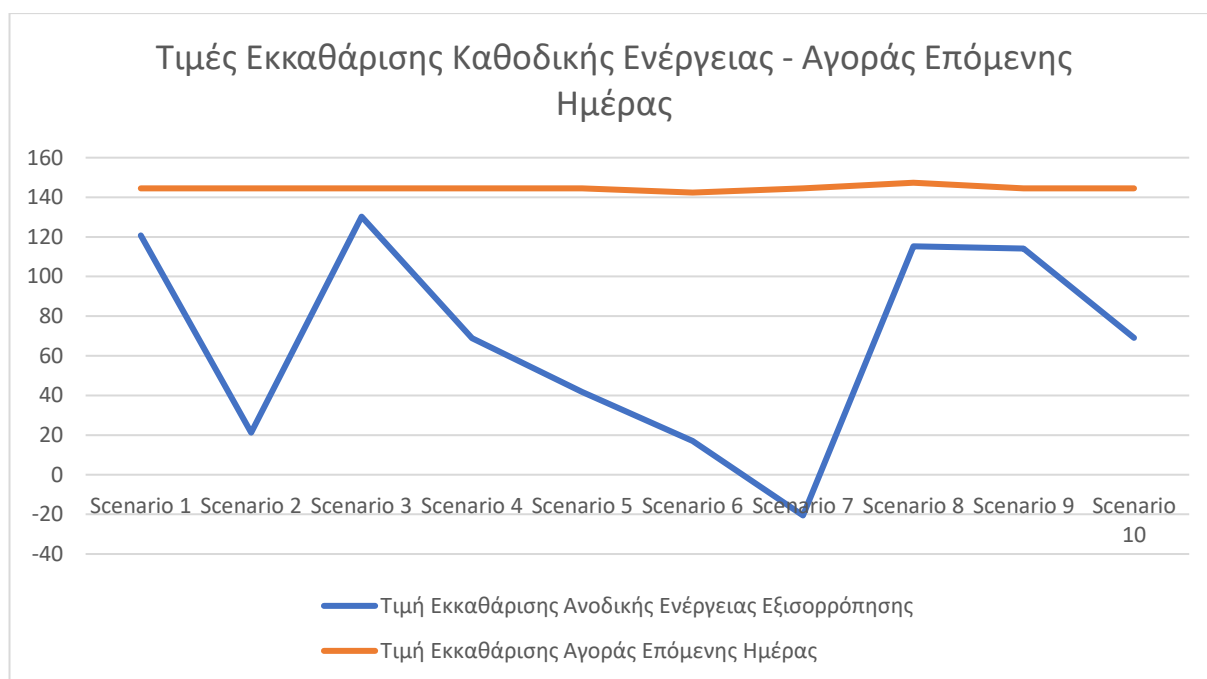
Πίνακας 39: Τιμές Για Την Ανοδική Ποσότητα Ενέργειας Τη Χρονική Περίοδο T1



Διάγραμμα 7: Σύγκριση Τιμής Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης - Τιμή Προ-ημερήσιας Αγοράς Για T1

Σενάριο	Τιμή Εκκαθάρισης Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης €/MWh	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς Επόμενης Ημέρας €/MWh	Πιθανότητα Εμφάνισης Σεναρίου
Scenario 1	120,78	144,55	0,11
Scenario 2	21,28	144,55	0,17
Scenario 3	130,23	144,55	0,15
Scenario 4	68,89	144,55	0,06
Scenario 5	41,77	144,55	0,1
Scenario 6	16,97	142,37	0,01
Scenario 7	-20,56	144,55	0,07
Scenario 8	115,24	147,35	0,04
Scenario 9	114,2	144,55	0,27
Scenario 10	69,12	144,55	0,02

Πίνακας 40: Τιμές Για Την Καθοδική Ποσότητα Ενέργειας Τη Χρονική Περίοδο T1



Διάγραμμα 8: Σύγκριση Τιμής Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης - Τιμή Προ-ημερήσιας Αγοράς Για T1

Σενάριο	Ποσότητα Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης MWh
Scenario 1	0
Scenario 2	0
Scenario 3	0
Scenario 4	0
Scenario 5	0
Scenario 6	0
Scenario 7	4
Scenario 8	0
Scenario 9	0
Scenario 10	0

Πίνακας 41: Αποτελέσματα Ποσότητας Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης Τη Χρονική Περίοδο T1

Ας ξεκινήσουμε λοιπόν την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Όπως παρατηρούμε παρότι οι τιμές της ανοδικής ενέργειας εξισορρόπησης είναι σε πολλά σενάρια ανώτερες από αυτές της προ-ημερήσιας αγοράς, η βέλτιστη στρατηγική είναι η διάθεση όλης της διαθέσιμης παραγωγής στην αγορά επόμενης ημέρας και η διεκδίκηση τυχόν επιπλέον κερδών σε ορισμένες περιπτώσεις σε **καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης**. Αυτές οι περιπτώσεις είναι όταν η τιμή της καθοδικής ενέργειας εξισορρόπησης είναι αρνητική πράγμα που σημαίνει ότι δεν επιστρέφει χρήματα ο παραγωγός στον διαχειριστή για να μην παράξει αλλά ο διαχειριστής τον πληρώνει επιπλέον για να το κάνει. Αυτό ακριβώς συμβαίνει στην περίπτωση του σεναρίου 7 με τον αλγόριθμο να δείχνει ότι αν επικρατήσουν όντως αυτές οι τιμές ενέργειας εξισορρόπησης τότε θα επιλέξει να διαθέσει 4 MWh (αφού η πρόβλεψη παραγωγής είναι κάτω από 30MW) σε καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα σενάρια όπου δεν συμφέρει τον παραγωγό να κάνει προσφορά στην αγορά εξισορρόπησης αφού τα κέρδη του θα είναι μεγαλύτερα από την μέγιστη δυνατή συμμετοχή του στην αγορά επόμενης ημέρας. Όπως αναφέρθηκε και πριν, η επιλογή του αλγορίθμου είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων. Ας δούμε λοιπόν τον κύριο λόγο που φαίνεται να οδηγεί τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης στη συγκεκριμένη χρονική μονάδα να μην επιλέγει να διαθέσει ποσότητα παραγωγής για ανοδική ενέργεια εξισορρόπησης.

- ✓ Τα σενάρια στα οποία η τιμή της ανοδικής ενέργειας εξισορρόπησης είναι κάτω από την αντίστοιχη τιμή εκκαθάρισης της αγοράς επόμενης ημέρας έχουν αθροιστική πιθανότητα **69%**.

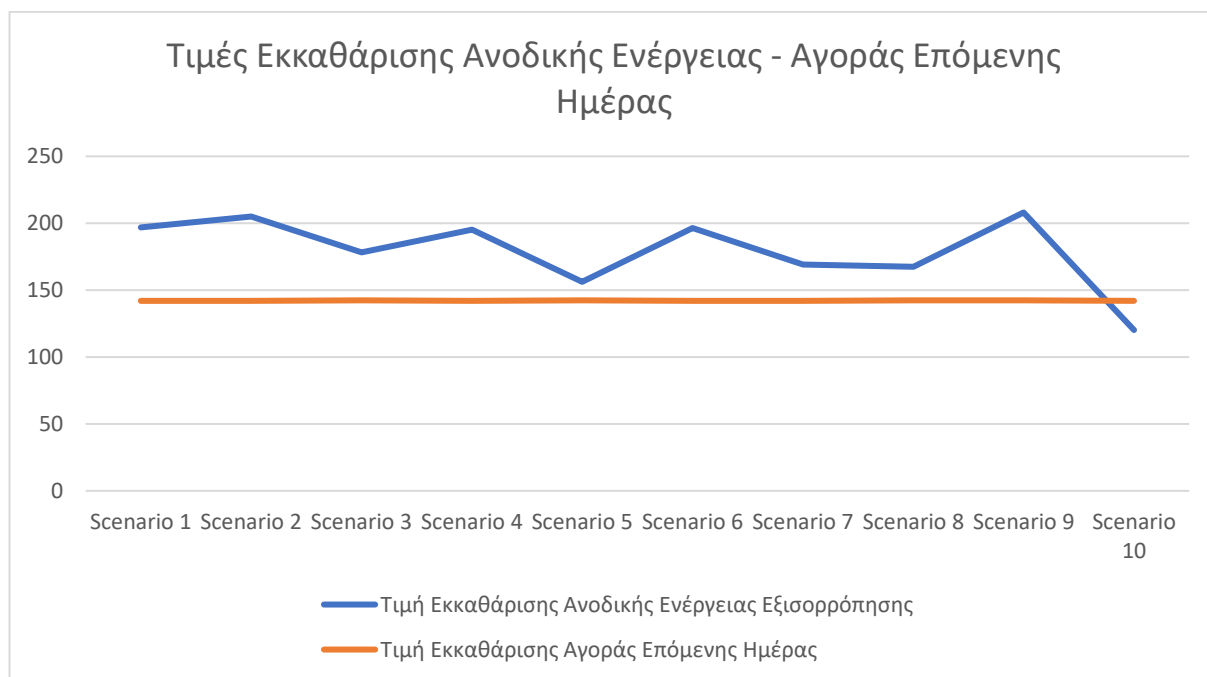
➤ T5

Τη συγκεκριμένη αγοραία χρονική περίοδο η βέλτιστη απόφαση για τον παραγωγό δείχνει να είναι να διαθέσει τα 24 από τα συνολικά 32 διαθέσιμα μέσω της πρόβλεψης του MW στην αγορά επόμενης ημέρας. Τα υπολειπόμενα 8MW (αφού η πρόβλεψη

είναι πάνω από 30MW) δείχνει να περιμένει να τα διαθέσει για ανοδική ενέργεια εξισορρόπησης . Ας δούμε όμως αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τη συγκεκριμένη αγοραία χρονική περίοδο.

Σενάριο	Τιμή Εκκαθάρισης Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης €/MWh	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς Επόμενης Ημέρας €/MWh	Πιθανότητα Εμφάνισης Σεναρίου
Scenario 1	196,94	142	0,11
Scenario 2	205,01	142	0,17
Scenario 3	178,19	142,37	0,15
Scenario 4	195,32	142	0,06
Scenario 5	156,18	142,37	0,1
Scenario 6	196,33	142	0,01
Scenario 7	169,25	142	0,07
Scenario 8	167,5	142,37	0,04
Scenario 9	208,05	142,37	0,27
Scenario 10	120,19	142	0,02

Πίνακας 423: Τιμές Για Την Ανοδική Ποσότητα Ενέργειας Τη Χρονική Περίοδο T5



Διάγραμμα 9: Σύγκριση Τιμής Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης - Τιμή Προ-ημερήσιας Αγοράς Για T5

Σενάριο	Τιμή Εκκαθάρισης Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης €/MWh	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς Επόμενης Ημέρας €/MWh	Πιθανότητα Εμφάνισης Σεναρίου
Scenario 1	118,3	142	0,11
Scenario 2	-8,2	142	0,17
Scenario 3	61,25	142,37	0,15
Scenario 4	133,79	142	0,06
Scenario 5	-22,23	142,37	0,1
Scenario 6	67,65	142	0,01
Scenario 7	58,73	142	0,07
Scenario 8	19,79	142,37	0,04
Scenario 9	71,97	142,37	0,27
Scenario 10	34,43	142	0,02

Πίνακας 434: Τιμές Για Την Καθοδική Ποσότητα Ενέργειας Τη Χρονική Περίοδο T5



Διάγραμμα 10: Σύγκριση Τιμής Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης - Τιμή Προ-ημερήσιας Αγοράς Για T5

Σενάριο	Ποσότητα Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης MWh
Scenario 1	8
Scenario 2	8
Scenario 3	8
Scenario 4	8
Scenario 5	8
Scenario 6	8
Scenario 7	8
Scenario 8	8
Scenario 9	8
Scenario 10	8

Πίνακας 445: Αποτελέσματα Ποσότητας Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης Τη Χρονική Περίοδο T5

Σε αυτή την περίπτωση η ανάλυση των αποτελεσμάτων μας είναι πολύ πιο εύκολη καθώς όπως φαίνεται οι τιμές της ανοδικής ενέργειας εξισορρόπησης στα 9 από τα δέκα σενάρια είναι μεγαλύτερες από τις τιμές της αγοράς επόμενης ημέρας για κάθε ένα απ' τα σενάρια και ταυτόχρονα έχουμε ελάχιστες αρνητικές τιμές, συγκεκριμένα μόνο σε δύο σενάρια, για καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης. Η βέλτιστη λοιπόν απόφαση όπως πηγάζει από την επίλυση του μοντέλου μας δείχνει σωστή και ο παραγωγός επιλέγει να υποδηλωθεί στην αγορά επόμενης ημέρας.

Αυτό το παράδειγμα αναφέρθηκε προκειμένου να δούμε ότι οι ποσότητες για την αγορά εξισορρόπησης προσαρμόζονται σωστά σύμφωνα με το μέγεθος του forecast και αυτά που έχουμε ορίσει στο μοντέλο μας, δηλαδή ότι εάν η πρόβλεψη παραγωγής είναι ανάμεσα σε 30 και 50 MW τότε η ανοδική ενέργεια εξισορρόπησης που θα διαθέσει ο παραγωγός είναι 8MW.

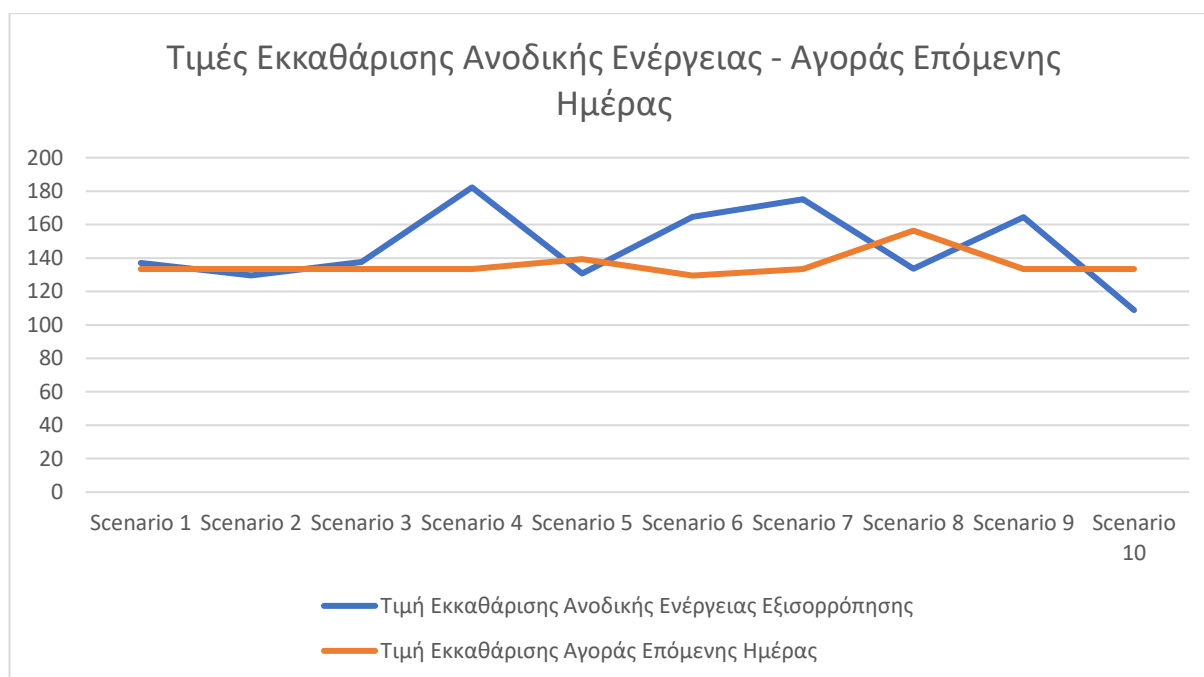
➤ T11

Στην 12^η αγοραία χρονική περίοδο φαίνεται από τα αποτελέσματα του μοντέλου ο παραγωγός όπως ακριβώς και στο προηγούμενο παράδειγμα της 6^{ης} αγοραίας χρονικής περιόδου να επιλέγει να μην διαθέσει όλη την παραγωγή του στην αγορά επόμενης ημέρας και αντ' αυτού από τα συνολικά 52,71 MW που διαθέτει σύμφωνα με την πρόβλεψη του, επιλέγει να διαθέσει τα 42,71MW.

Ας δούμε τα αποτελέσματα όμως αναλυτικά για να κατανοήσουμε το λόγο ή τους λόγους για τους οποίους συμβαίνει αυτό:

Σενάριο	Τιμή Εκκαθάρισης Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης €/MWh	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς Επόμενης Ημέρας €/MWh	Πιθανότητα Εμφάνισης Σεναρίου
Scenario 1	137,13	133,49	0,11
Scenario 2	129,62	133,49	0,17
Scenario 3	137,52	133,49	0,15
Scenario 4	182,23	133,49	0,06
Scenario 5	130,81	139,37	0,1
Scenario 6	164,61	129,49	0,01
Scenario 7	175,11	133,49	0,07
Scenario 8	133,55	156,35	0,04
Scenario 9	164,37	133,49	0,27
Scenario 10	108,85	133,49	0,02

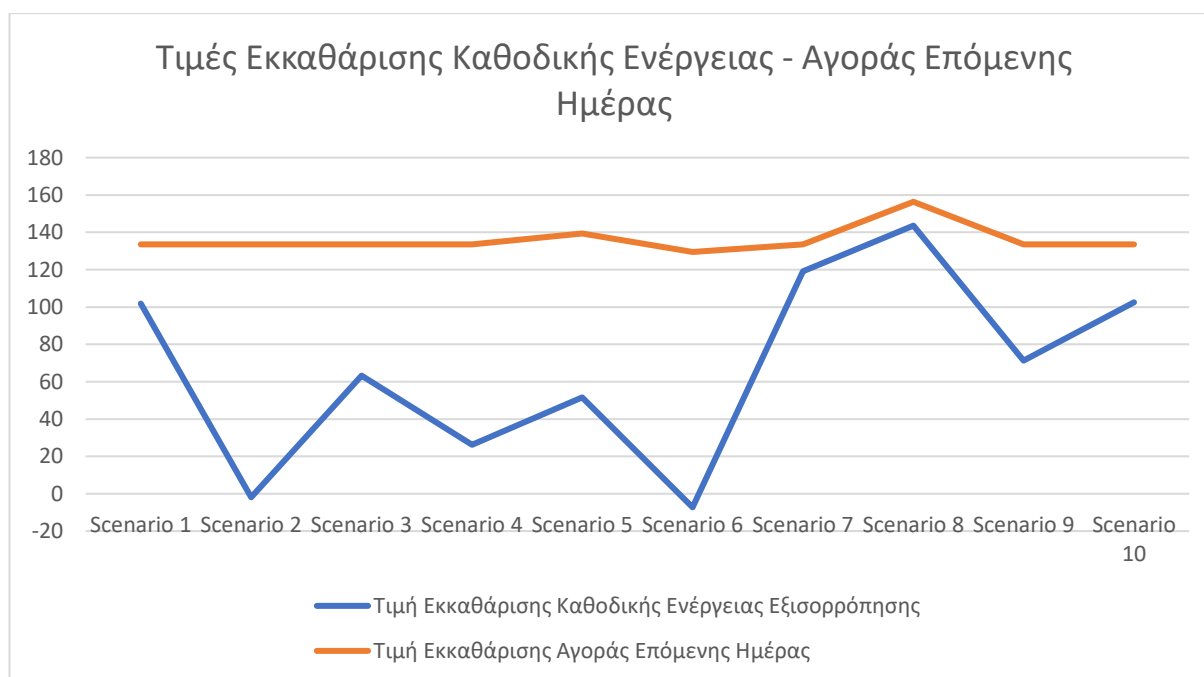
Πίνακας 456: Τιμές Για Την Ανοδική Ποσότητα Ενέργειας Τη Χρονική Περίοδο T11



Διάγραμμα 11: Σύγκριση Τιμής Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης - Τιμή Προ-ημερήσιας Αγοράς Για T11

Σενάριο	Τιμή Εκκαθάρισης Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης €/MWh	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς Επόμενης Ημέρας €/MWh	Πιθανότητα Εμφάνισης Σεναρίου
Scenario 1	101,77	133,49	0,11
Scenario 2	-1,93	133,49	0,17
Scenario 3	63,2	133,49	0,15
Scenario 4	26,3	133,49	0,06
Scenario 5	51,66	139,37	0,1
Scenario 6	-7,26	129,49	0,01
Scenario 7	119,08	133,49	0,07
Scenario 8	143,6	156,35	0,04
Scenario 9	71,31	133,49	0,27
Scenario 10	102,55	133,49	0,02

Πίνακας 467: Τιμές Για Την Καθοδική Ποσότητα Ενέργειας Τη Χρονική Περίοδο T11



Διάγραμμα 12: Σύγκριση Τιμής Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης - Τιμή Προ-ημερήσιας Αγοράς Για T11

Σενάριο	Ποσότητα Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης MWh
Scenario 1	10
Scenario 2	10
Scenario 3	10
Scenario 4	10
Scenario 5	10
Scenario 6	10
Scenario 7	10
Scenario 8	10
Scenario 9	10
Scenario 10	10

Πίνακας 478: Αποτελέσματα Ποσότητας Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης Τη Χρονική Περίοδο T11

Σε αυτή την αγοραία χρονική περίοδο όπως φαίνεται τα πράγματα λειτουργούν ακριβώς όπως και στην περίοδο T5. Οι τιμές της ανοδικής ενέργειας εξισορρόπησης φαίνεται για την σημαντική πλειοψηφία των σεναρίων να είναι ανώτερες από τις τιμές της αγοράς επόμενης ημέρας και αντίστοιχα οι αρνητικές τιμές της καθοδικής ενέργειας εξισορρόπησης εμφανίζονται μόλις σε δύο σενάρια και με χαμηλές πιθανότητες αλλά και χαμηλές τιμές. Το μόνο που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι η ποσότητα ενέργειας είναι στα 10MW για την ανοδική ενέργεια εξισορρόπησης καθώς η πρόβλεψη της παραγωγής ξεπερνά τα 50 MW.

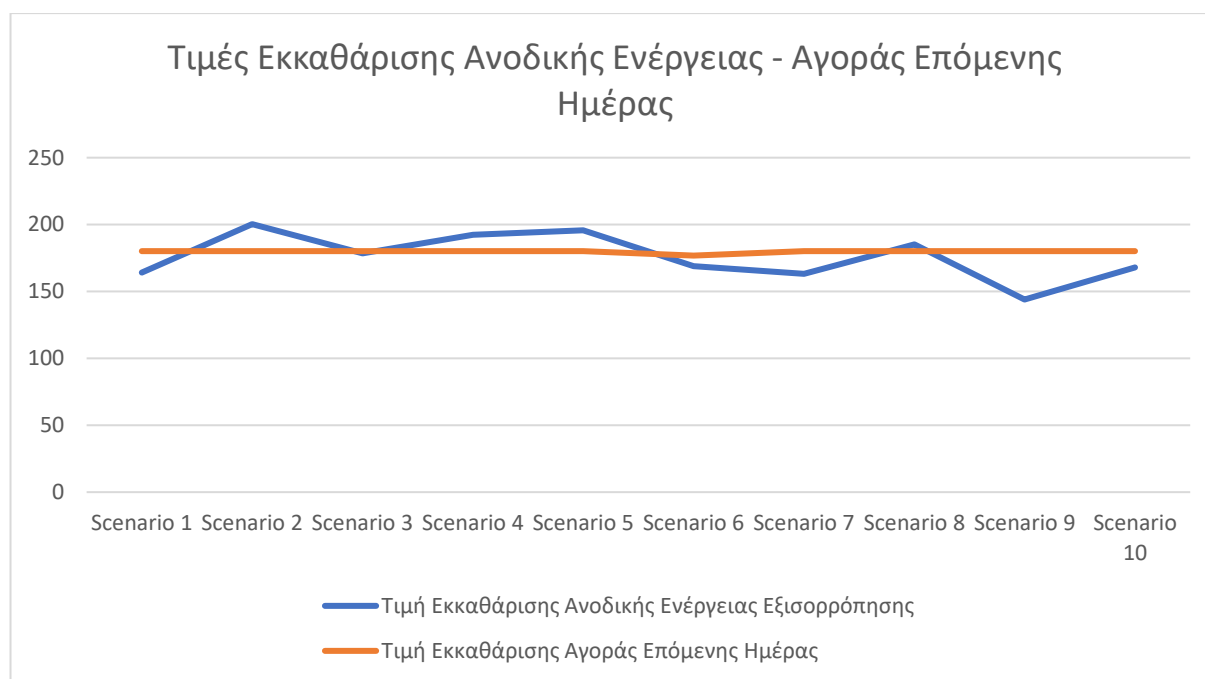
➤ T19

Στην τελευταία επιλεγείσα προς ανάλυση αγοραία χρονική περίοδο, το αποτέλεσμα του μοντέλου μας δείχνει ότι ο παραγωγός σαν βέλτιστη στρατηγική θα πρέπει να διαθέσει όλη του τη διαθέσιμη παραγωγή, 71,86MW στην αγορά επόμενης ημέρας.

Τα αναλυτικά αποτελέσματα για την 20^η χρονική περίοδο της ημέρας εμφανίζονται παρακάτω:

Σενάριο	Τιμή Εκκαθάρισης Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης €/MWh	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς Επόμενης Ημέρας €/MWh	Πιθανότητα Εμφάνισης Σεναρίου
Scenario 1	164,07	180,13	0,11
Scenario 2	200,31	180,13	0,17
Scenario 3	178,5	180,13	0,15
Scenario 4	192,34	180,13	0,06
Scenario 5	195,6	180,13	0,1
Scenario 6	168,84	176,8	0,01
Scenario 7	163,25	180,13	0,07
Scenario 8	185,06	180,13	0,04
Scenario 9	143,97	180,13	0,27
Scenario 10	167,89	180,13	0,02

Πίνακας 489: Τιμές Για Την Ανοδική Ποσότητα Ενέργειας Τη Χρονική Περίοδο T19



Διάγραμμα 13: Σύγκριση Τιμής Ανοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης - Τιμή Προ-ημερήσιας Αγοράς Για T19

Σενάριο	Τιμή Εκκαθάρισης Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης €/MWh	Τιμή Εκκαθάρισης Αγοράς Επόμενης Ημέρας €/MWh	Πιθανότητα Εμφάνισης Σεναρίου
Scenario 1	-36,03	180,13	0,11
Scenario 2	-27,02	180,13	0,17
Scenario 3	25,22	180,13	0,15
Scenario 4	90,07	180,13	0,06
Scenario 5	126,1	180,13	0,1
Scenario 6	-35,36	176,8	0,01
Scenario 7	-5,41	180,13	0,07
Scenario 8	160,9	180,13	0,04
Scenario 9	-18,5	180,13	0,27
Scenario 10	164,61	180,13	0,02

Πίνακας 50: Τιμές Για Την Καθοδική Ποσότητα Ενέργειας Τη Χρονική Περίοδο T19



Διάγραμμα 14 : Σύγκριση Τιμής Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης - Τιμή Προ-ημερήσιας Αγοράς Για T19

Σενάριο	Ποσότητα Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης MWh
Scenario 1	10
Scenario 2	10
Scenario 3	0
Scenario 4	0
Scenario 5	0
Scenario 6	10
Scenario 7	10
Scenario 8	0
Scenario 9	10
Scenario 10	0

Πίνακας 51: Αποτελέσματα Ποσότητας Καθοδικής Ενέργειας Εξισορρόπησης Τη Χρονική Περίοδο T19

Με την ίδια λογική όπως και στις προηγούμενες αναλυθείσες περιπτώσεις γι' αυτή τη χρονική περίοδο έχουμε:

- ✓ Οι τιμές της ανοδικής ενέργειας εξισορρόπησης δείχνουν χαμηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές της αγοράς επόμενης ημέρας για τα σενάρια με την μεγαλύτερη αθροιστική πιθανότητα. Ενδεικτικά το σενάριο 9 που είναι και το επικρατέστερο με πιθανότητα εμφάνισης 27% έχει τιμή μικρότερη κατά 36 περίπου €/MWh .
- ✓ Η πλειοψηφία των τιμών καθοδικής ενέργειας εξισορρόπησης είναι αρνητικές και με μεγαλύτερη αθροιστική πιθανότητα εμφάνισης αυτών των σεναρίων (63%) έναντι των θετικών τιμών, πράγμα που σημαίνει ότι η διάθεση ενέργειας στη συγκεκριμένη αγορά, δηλαδή η μείωση της παραγωγής , θα είναι προσοδοφόρα για τον παραγωγό.

Τα αποτελέσματα λοιπόν φαίνονται λογικά και σε αυτή τη χρονική περίοδο και ο παραγωγός αναλόγως το σενάριο των τιμών της προημερήσιας αγοράς θα μπορέσει να αποφασίσει εάν θα διαθέσει ή όχι καθοδική ενέργεια εξισορρόπησης 10MW αφού το forecast του και σε αυτή την περίπτωση είναι πάνω από 50 MW.

Κεφάλαιο 9: Συμπεράσματα - Προτάσεις Για Το Μέλλον

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία πραγματοποιήσαμε πολλές αναλύσεις πραγματικών δεδομένων του χρηματιστηρίου ενέργειας και του διαχειριστή του συστήματος μεταφοράς (ΑΔΜΗΕ) προκειμένου αρχικά να εξαγάγουμε διάφορα σενάρια τιμών της αγοράς επόμενης ημέρας για την ημέρα και περίοδο ενδιαφέροντος μας και μετέπειτα να χρησιμοποιήσουμε αυτά τα αποτελέσματα σαν στοχαστικά δεδομένα στο τελικό μας μοντέλο το οποίο δεν είναι άλλο από τη βέλτιστη στρατηγική συμμετοχής ενός αιολικού παραγωγού ή ΦΟ.Σ.Ε. στην αγορά επόμενης ημέρας αλλά και την αγορά εξισορρόπησης.

Τα διάφορα σενάρια τιμών προέκυψαν από διαφορετικά προφίλ ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και φορτίου στο σύστημα και έπειτα με τη χρησιμοποίηση τεχνικών *scenarion reduction* και συγκεκριμένα μέσω της μεθόδου K-Means καταφέραμε να εξαγάγουμε τα 10 πιο αντιπροσωπευτικά σενάρια με τις αντίστοιχες πιθανότητες εμφάνισης τους. Τα σενάρια αυτά με τη σειρά τους ήταν τα στοχαστικά δεδομένα που εισήχθησαν στο τελικό μας μοντέλο μαζί με διάφορα άλλα παραμετροποιημένα δεδομένα τα οποία προέκυψαν από κατάλληλη ανάλυση δεδομένων με την χρήση του περιβάλλοντος της γλώσσας προγραμματισμού της Python . Η επίλυση του τελικού μας μοντέλου λοιπόν μας έδωσε την βέλτιστη στρατηγική συμμετοχής του αποφασίζοντα στην αγορά επομένης ημέρας λαμβάνοντας υπόψη όλα τα διαθέσιμα σενάρια καθώς και τις άμεσα συνδεδεμένες παραμέτρους με αυτά .

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων ο κώδικας πιστοποιήθηκε ότι ενεργεί και παράγει ορθά και αξιόπιστα αποτελέσματα καθώς και ότι είναι ικανός να διαχειριστεί μία μεγάλη ποσότητα δεδομένων. Οι ποσότητες που επιλέγει να διαθέσει ο αλγόριθμος στην αγορά επόμενης ημέρας είναι μέσα στα επιτρεπτά από τους περιορισμούς όρια καθώς και οι ποσότητες που επιλέγει , εάν επιλέγει, να διαθέσει στην αγορά εξισορρόπησης , είτε για ανοδική ενέργεια είτε για καθοδική , είναι επίσης στις τιμές που έχουμε εμείς καθορίσει. Εν τέλει λοιπόν ο παραγωγός θα πρέπει να αποκλίνει σε κάποιες περιπτώσεις (χρονικές περιόδους της ημέρας) από την πρόβλεψη του αν θέλει να μεγιστοποιήσει τα κέρδη του στις αγορές .

Σαν μελλοντική έρευνα προτείνουμε την ανάλυση του προβλήματος σε περισσότερα προφίλ φορτίου και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προκειμένου τελικά να παράξουμε περισσότερα σενάρια τα οποία θα εισαχθούν σαν στοχαστικά δεδομένα στο τελικό μας πρόβλημα προκειμένου αυτό να παράγει όσο το δυνατό πιο αξιόπιστα δεδομένα. Επίσης η πρόβλεψη της παραγωγής θα μπορούσε , και στις περισσότερες των περιπτώσεων συμβαίνει, να μην είναι τέλεια και να προσαρμοστεί η ανάλυση πάνω σε μία τέτοια πρόβλεψη. Τέλος , η χρησιμοποίηση και ανάλυση μιας διαφορετικής τεχνολογίας από την αιολική όπως μπαταρίες πάνω στις οποίες δεν υπάρχει εκτενής βιβλιογραφία θα έμοιαζε μια ιδανική συνέχεια της συγκεκριμένης εργασίας καθώς επίσης και η ενσωμάτωση μέτρων αντιστάθμισης ρίσκου στο τελικό μας μοντέλο προκειμένου να μην είναι ο αποφασίζων εκτεθειμένος σε πολύ μεγάλα αρνητικά κέρδη.

Βιβλιογραφία

- [1] Optimization Models In Electricity Markets – Anthony Papavasiliou
- [2] <https://www.admie.gr/agora/statistika-agoras/dedomena>
- [3] <https://www.enexgroup.gr/el/web/guest/markets-publications>
- [4] <https://www.rae.gr/>
- [5] <https://www.dapeep.gr/armodiotites-dapeep/>
- [6] <https://www.gurobi.com/>
- [7] <https://transparency.entsoe.eu/>
- [8] ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ Εκκαθάριση Αγοράς Εξισορρόπησης_v6_092021
- [9] ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΓΟΡΩΝ-Διδακτορική Διατριβή του Δημητρίου Ι. Χατζηγιάννη
- [10] ΑΠΟΦΑΣΗ 1-«Χρονοδιάγραμμα διαδικασιών Αγοράς Επόμενης Ημέρας και Ενδοημερήσιας Αγοράς»
- [11] <https://transparency.entsoe.eu/balancing/r3/pricesOfActivatedBalancingEnergy/show>
- [12] ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ
- [13] ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΧΡΗΜΑΤΙΣΤΗΡΙΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - Κανονισμός Λειτουργίας της Αγοράς Επόμενης Ημέρας & Ενδοημερήσιας Αγοράς