



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης**

**Τομέας Συστημάτων Παραγωγής**

**Εργαστήριο Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων και Ηλεκτρονικής**

**ΕΝΤΑΞΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ  
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**του**

**ΔΗΜΗΤΡΟΥΛΑ ΔΙΟΝΥΣΙΟΥ**

**ΕΠΙΒΛΕΨΗ**

**ΓΕΩΡΓΙΑΛΑΚΗΣ ΠΑΥΛΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**ΝΙΚΟΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, Λέκτορας**

**ΔΟΥΛΑΜΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής**

**ΓΕΩΡΓΙΑΛΑΚΗΣ ΠΑΥΛΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής**

**ΧΑΝΙΑ**

**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2008**



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται και επιλύεται το πρόβλημα ένταξης μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το κέρδος κάνοντας χρήση γενετικού αλγόριθμου τα χαρακτηριστικά του οποίου είναι προσαρμοσμένα στο συγκεκριμένο πρόβλημα.

Το πρόβλημα ένταξης μονάδων με βάση το κέρδος αφορά μία εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η οποία διαθέτει  $N$  μονάδες παραγωγής, μία χρονοσειρά πρόβλεψης φορτίου συνολικής διάρκειας  $T$  και μία χρονοσειρά τιμών πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας. Ζητείται ο συνδυασμός ένταξης-κράτησης και η παραγόμενη ισχύς των μονάδων που μεγιστοποιεί το συνολικό κέρδος της εταιρείας λαμβάνοντας υπόψιν και τους περιορισμούς των μονάδων παραγωγής.

Το πρόβλημα προς επίλυση είναι μεγάλης κλίμακας, μικτού ακέραιου και τετραγωνικού προγραμματισμού. Για την επίλυση του προβλήματος αναπτύχθηκε γενετικός αλγόριθμος σε γλώσσα προγραμματισμού C ο οποίος λαμβάνει υπόψιν του όλες τις ιδιαιτερότητες του προβλήματος και ο οποίος συνεργάζεται αρμονικά με το MATLAB το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση των επιμέρους προβλημάτων τετραγωνικού προγραμματισμού.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ένταξη Μονάδων Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας, Μεγιστοποίηση του Κέρδους, Γενετικοί Αλγόριθμοι, Απελευθερωμένη Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

1.1	Συμβολισμοί	1
1.2	Αντικειμενική συνάρτηση	2
1.3	Περιορισμοί	3
1.3.1	Λειτουργικά όρια μονάδων	3
1.3.2	Ελάχιστος χρόνος ένταξης μονάδας	3
1.3.3	Ελάχιστος χρόνος κράτησης μονάδας	3
1.3.4	Περιορισμός αναρρίχησης κατά την εκκίνηση	3
1.3.5	Περιορισμός μείωσης εξόδου κατά την κράτηση	3
1.3.6	Περιορισμοί κατάστασης μονάδων	4
1.3.7	Αρχικές συνθήκες	4
1.3.8	Περιορισμός της ζήτησης	4
1.4	Μεθοδολογίες επίλυσης	5
1.5	Βιβλιογραφία κεφαλαίου	6

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΔΥΑΔΙΚΟΥΣ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ

2.1	Βασικές αρχές	7
2.2	Βιβλιογραφία κεφαλαίου	9

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

3.1	Μεταβλητές προγράμματος	10
3.2	Έναρξη προγράμματος	12
3.3	Συνάρτηση main	13
3.4	Συνάρτηση initialize	14
3.5	Συνάρτηση profit_calculation	15
3.6	Συνάρτηση select_mates	16
3.7	Συνάρτηση mating	17
3.8	Συνάρτηση mutation	19
3.9	Συνάρτηση elite_mutation	20

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

22

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΝΤΑΞΗΣ 2 ΜΟΝΑΔΩΝ ΓΙΑ 3 ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ

5.1	Δεδομένα εισόδου χωρίς περιορισμό της ζήτησης	26
5.1.1	Αρχείο εισόδου	26
5.1.2	Γραφική αναπαράσταση δεδομένων εισόδου	27
5.1.3	Αρχείο εξόδου	28
5.1.4	Γραφική αναπαράσταση αποτελεσμάτων	29
5.1.5	Εύρεση απόλυτου βέλτιστου με πλήρη απαρίθμηση	31
5.1.6	Σχολιασμός αποτελεσμάτων	36
5.2	Δεδομένα εισόδου με περιορισμό της ζήτησης	37
5.2.1	Αρχείο εισόδου	37
5.2.2	Γραφική αναπαράσταση δεδομένων εισόδου	38
5.2.3	Αρχείο εξόδου	39
5.2.4	Γραφική αναπαράσταση αποτελεσμάτων	40
5.2.5	Εύρεση απόλυτου βέλτιστου με πλήρη απαρίθμηση	42
5.2.6	Σχολιασμός αποτελεσμάτων	43

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΝΤΑΞΗΣ 20  
ΜΟΝΑΔΩΝ ΓΙΑ 24 ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ**

6.1	Δεδομένα εισόδου χωρίς περιορισμό της ζήτησης	44
6.1.1	Αρχείο εισόδου	44
6.1.2	Γραφική αναπαράσταση δεδομένων εισόδου	46
6.1.3	Αρχείο εξόδου	47
6.1.4	Γραφική αναπαράσταση αποτελεσμάτων	53
6.1.5	Σχολιασμός αποτελεσμάτων	55
6.2	Δεδομένα εισόδου με περιορισμό της ζήτησης	56
6.2.1	Αρχείο εισόδου	56
6.2.2	Γραφική αναπαράσταση δεδομένων εισόδου	58
6.2.3	Αρχείο εξόδου	59
6.2.4	Γραφική αναπαράσταση αποτελεσμάτων	65
6.2.5	Σχολιασμός αποτελεσμάτων	67

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΝΤΑΞΗΣ 100  
ΜΟΝΑΔΩΝ ΓΙΑ 48 ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ**

7.1	Γραφική αναπαράσταση δεδομένων εισόδου	68
7.2	Γραφική αναπαράσταση αποτελεσμάτων	69
7.3	Σχολιασμός αποτελεσμάτων	71

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ** 72

## ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

### 1.1 ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

**Πίνακας 1.1:** Συμβολισμοί προβλήματος

$i$	Δείκτης μονάδας παραγωγής
$t$	Δείκτης ώρας προγραμματισμού
$N$	Συνολικός αριθμός θερμικών μονάδων παραγωγής
$T$	Συνολικός αριθμός ωρών προγραμματισμού
$p_{gm}(t)$	Προβλεπόμενη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας τη χρονική στιγμή $t$ ( σε €/MWh )
$d(t)$	Προβλεπόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας τη χρονική στιγμή $t$ ( σε MW )
$I(i,t)$	Κατάσταση μονάδας $i$ τη χρονική στιγμή $t$ ( $1$ = εκκίνηση, $0$ = κράτηση )
$A(i)$	Συντελεστής κόστους καυσίμου μονάδας $i$ ( σε €/h )
$B(i)$	Συντελεστής κόστους καυσίμου μονάδας $i$ ( σε €/MWh )
$C(i)$	Συντελεστής κόστους καυσίμου μονάδας $i$ ( σε €/MW <sup>2</sup> h )
$Cost(i,t)$	Συνολικό κόστος παραγωγής της μονάδας $i$ τη χρονική στιγμή $t$ ( σε €/h )
$CT(i)$	Χρονική σταθερά ψύξης μονάδας $i$ ( σε ώρες )
$D(i)$	Κόστος προσωπικού για την εκκίνηση και κόστος συντήρησης εξοπλισμού μονάδας $i$ ( σε €/h )
$E(i)$	Κόστος ψυχρής εκκίνησης μονάδας $i$ ( σε €/h )
$FC(i,t)$	Κόστος καυσίμου μονάδας $i$ τη χρονική στιγμή $t$ ( σε €/h )
$SU(i,t)$	Κόστος εκκίνησης μονάδας $i$ τη χρονική στιγμή $t$ ( σε €/h )
$SD(i)$	Κόστος κράτησης μονάδας $i$ ( σε € )
$R_{vn}(i,t)$	Εισόδημα της μονάδας $i$ τη χρονική στιγμή $t$ ( σε €/h )
$F(i,t)$	Κέρδος της μονάδας $i$ τη χρονική στιγμή $t$ ( σε €/h )
$P(i,t)$	Παραγωγή μονάδας $i$ τη χρονική στιγμή $t$ ( σε MW )
$P_{min}(i)$	Ελάχιστη παραγωγή μονάδας $i$ ( σε MW )
$P_{max}(i)$	Μέγιστη παραγωγή μονάδας $i$ ( σε MW )
$T_{up}(i)$	Ελάχιστος χρόνος ένταξης μονάδας $i$ ( σε ώρες )
$T_{down}(i)$	Ελάχιστος χρόνος κράτησης μονάδας $i$ ( σε ώρες )
$R_{up}(i)$	Ρυθμός αύξησης της παραγωγής κατά την εκκίνηση της μονάδας $i$ ( σε MW/h )
$R_{down}(i)$	Ρυθμός μείωσης της παραγωγής κατά την κράτηση της μονάδας $i$ ( σε MW/h )
$X_0(i)$	Αν $X_0(i)>0$ , τότε η μονάδα $i$ λειτουργεί για $X_0(i)$ ώρες πριν από την έναρξη της περιόδου προγραμματισμού. Αν $X_0(i)<0$ , τότε η μονάδα $i$ είναι κρατημένη για $-X_0(i)$ ώρες πριν από την έναρξη της περιόδου προγραμματισμού.
$X(i,t)$	Αν $X(i,t)>0$ , τότε ο αθροιστικός χρόνος λειτουργίας της μονάδας $i$ τη χρονική στιγμή $t$ είναι $X(i,t)$ ώρες. Αν $X(i,t)<0$ , τότε ο αθροιστικός χρόνος κράτησης της μονάδας $i$ τη χρονική στιγμή $t$ είναι $-X(i,t)$ ώρες.
$X_{off}(i,t)$	Διάρκεια συνεχούς κράτησης της μονάδας $i$ τη χρονική στιγμή $t$ ( σε ώρες )

## 1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ

Για μία μονάδα  $i$  τη χρονική στιγμή  $t$  το κέρδος υπολογίζεται αφαιρώντας το συνολικό κόστος παραγωγής κατά τη διάρκεια του χρονικού αυτού διαστήματος από το συνολικό εισόδημα:

$$F(i, t) = Rvn(i, t) - Cost(i, t) \quad (1.1)$$

Να σημειωθεί ότι ένα αρνητικό κέρδος  $F(i, t)$  δείχνει ζημία για τη μονάδα  $i$  τη χρονική στιγμή  $t$ .

Το εισόδημα για τη μονάδα  $i$  τη χρονική στιγμή  $t$  υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την παραγωγή της με την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας:

$$Rvn(i, t) = p_{gm}(t) \cdot P(i, t) \cdot I(i, t) \quad (1.2)$$

Το συνολικό κόστος παραγωγής  $Cost(i, t)$  για κάθε μονάδα στη διάρκεια κάθε χρονικού διαστήματος είναι το άθροισμα του κόστους καυσίμου, του κόστους εκκίνησης και του κόστους κράτησης κατά το διάστημα αυτό:

$$Cost(i, t) = [FC(i, t) + SU(i, t) + SD(i)] \cdot I(i, t) \quad (1.3)$$

Το κόστος καυσίμου  $FC(i, t)$  της μονάδας  $i$  σε κάθε δοσμένο χρονικό διάστημα  $t$  είναι συνάρτηση της ισχύος εξόδου  $P(i, t)$  της μονάδας αυτής στο θεωρούμενο χρονικό διάστημα. Η συνάρτηση κόστους καυσίμου μοντελοποιείται με ένα πολυώνυμο δεύτερης τάξης:

$$FC(i, t) = A(i) + B(i) \cdot P(i, t) + C(i) \cdot [P(i, t)]^2 \quad (1.4)$$

Το κόστος εκκίνησης σε κάθε χρονική στιγμή  $t$  εξαρτάται από τον αριθμό των ωρών που η μονάδα  $i$  είναι σταματημένη πριν ξεκινήσει. Το κόστος αυτό μοντελοποιείται από μία εκθετική συνάρτηση της μορφής:

$$SU(i, t) = D(i) + E(i) \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{X_{off}(i, t)}{CT(i)}\right) \right] \quad (1.5)$$

Το κόστος κράτησης  $SD(i)$  έχει μία σταθερή τιμή για κάθε μονάδα ανά κράτημα.



Ο στόχος του προβλήματος ένταξης μονάδων με βάση το κέρδος για μία εταιρία παραγωγής που λειτουργεί σε ανταγωνιστικό περιβάλλον είναι να μεγιστοποιήσει κατά τη διάρκεια του χρονικού ορίζοντα προγραμματισμού το συνολικό κέρδος για όλες τις μονάδες παραγωγής της [1.1]:

$$\max_{I(i,t), P(i,t)} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N F(i, t) \quad (1.6)$$

υπό τους περιορισμούς που περιγράφονται στην επόμενη ενότητα.

### 1.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

#### 1.3.1 Λειτουργικά όρια μονάδων

Οι μονάδες μπορούν να παράγουν μέσα σε προκαθορισμένα όρια:

$$P_{\min}(i) \cdot I(i, t) \leq P(i, t) \leq P_{\max}(i) \cdot I(i, t), \forall i, \forall t \quad (1.7)$$

#### 1.3.2 Ελάχιστος χρόνος ένταξης μονάδας

Πρέπει να ικανοποιούνται οι περιορισμοί:

$$[X(i, t-1) - T_{up}(i)] \cdot [I(i, t-1) - I(i, t)] \geq 0, \forall i, \forall t \quad (1.8)$$

#### 1.3.3 Ελάχιστος χρόνος κράτησης μονάδας

Πρέπει να ικανοποιούνται οι περιορισμοί:

$$[-X(i, t-1) - T_{down}(i)] \cdot [I(i, t) - I(i, t-1)] \geq 0, \forall i, \forall t \quad (1.9)$$

#### 1.3.4 Περιορισμός αναρρίχησης κατά την εκκίνηση

Ο περιορισμός αναρρίχησης κατά την εκκίνηση εκφράζει την ποσότητα που μπορεί μία μονάδα να αυξήσει την παραγωγή της σε μία ώρα:

$$P(i, t) - P(i, t-1) \leq R_{up}(i), \forall i, \forall t \quad (1.10)$$

#### 1.3.5 Περιορισμός μείωσης εξόδου κατά την κράτηση

Ο περιορισμός μείωσης εξόδου κατά την κράτηση εκφράζει την ποσότητα που μπορεί μία μονάδα να μειώσει την παραγωγή της σε μία ώρα:

$$P(i, t-1) - P(i, t) \leq R_{down}(i), \forall i, \forall t \quad (1.11)$$

### 1.3.6 Περιορισμοί κατάστασης μονάδων

Κάποιες μονάδες ίσως θα πρέπει να είναι υποχρεωτικά ενταγμένες σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και κάποιες άλλες μπορεί να μην είναι διαθέσιμες λόγω συντήρησης ή βλάβης.

### 1.3.7 Αρχικές συνθήκες

Πρέπει να ληφθούν υπόψη οι αρχικές συνθήκες των μονάδων δηλαδή οι συνολικές ώρες ένταξης ή οι συνολικές ώρες κράτησης στην αρχή της περιόδου προγραμματισμού.

### 1.3.8 Περιορισμός της ζήτησης

Ο περιορισμός της ζήτησης για το πρόβλημα μεγιστοποίησης του κέρδους είναι [1.2]:

$$\sum_{i=1}^N P(i, t) \leq d(t), \forall i, \forall t \quad (1.12)$$

Πρέπει να σημειώσουμε ότι στο πρόβλημα ελαχιστοποίησης του κόστους ο αντίστοιχος περιορισμός είναι περιορισμός ισότητας. Στη μεγιστοποίηση του κέρδους η εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι υποχρεωμένη να ικανοποιήσει όλη τη ζήτηση και το υπόλοιπο της ζήτησης ικανοποιείται από άλλες εταιρείες παραγωγής. Αν ξεπεραστεί η ζήτηση της χρονικής περιόδου  $t$  τότε έχουμε στρεφόμενη εφεδρεία η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί άμεσα σε περίπτωση πτώσης τάσης του δικτύου ή να αποθηκευθεί σε συσσωρευτές και αντλησιοταμιευτήρες με σκοπό να αξιοποιηθεί στο μέλλον όταν η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλή.

## 1.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Για ρεαλιστικές διαστάσεις και με τη σημερινή διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ το πρόβλημα ένταξης μονάδων είναι αδύνατο να επιλυθεί μέχρι απόλυτου βέλτιστου αφού για  $N$  μονάδες παραγωγής και για  $T$  χρονικές περιόδους προγραμματισμού το σύνολο των πιθανών συνδυασμών ένταξης είναι  $2^{N \cdot T}$  [1.1]. Για παράδειγμα αν μία εταιρεία διαθέτει 100 μονάδες και επιθυμεί το βέλτιστο προγραμματισμό τους για μία περίοδο 48 μισάωρων ο συνολικός αριθμός συνδυασμών είναι  $2^{100 \cdot 48} = 2^{4800}$ .

Το συγκεκριμένο πρόβλημα έχει μελετηθεί σε μεγάλο βαθμό και οι μέχρι τώρα προτεινόμενες μεθοδολογίες επίλυσης είναι [1.3]:

- Πλήρης Απαρίθμηση
- Λίστα Προτεραιότητας
- Δυναμικός Προγραμματισμός
- Ακέραιος και Γραμμικός Προγραμματισμός
- Διακλάδωση και Φραγή
- Χαλάρωση Lagrange
- Προγραμματισμός Εσωτερικού Σημείου
- Αναζήτηση Tabu
- Προσομοιωμένη Ανόπτηση
- Έμπειρα Συστήματα
- Ασαφή Συστήματα
- Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα
- Γενετικοί Αλγόριθμοι
- Εξελικτικός Προγραμματισμός
- Μέθοδος Αποικίας Μυρμηγκιών
- Υβριδικές Μέθοδοι

## **1.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ**

### **Βιβλία**

- [ 1.1 ] Π. Γεωργιλάκης, “ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ – ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΣΕΙΣ”, Χανιά, Σεπτέμβριος 2006.

### **Άρθρα**

- [ 1.2 ] C. W. Richter, Jr. and G. B. Sheblé, “A Profit-Based Unit Commitment GA for the Competitive Environment”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 15, NO. 2, MAY 2000.
- [ 1.3 ] Narayana Prasad Padhy, “Unit Commitment – A Bibliographical Survey”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 19, NO. 2, MAY 2004.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΔΥΑΔΙΚΟΥΣ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ

### 2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Οι γενετικοί αλγόριθμοι αποτελούν μία απλουστευμένη προσομοίωση της βιολογικής διεργασίας της εξέλιξης με σκοπό την απόλυτη μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης [2.1], [2.2].

Οι μεταβλητές  $x_i$  του προβλήματος είναι δυαδικοί αριθμοί δεδομένου μήκους και τα ψηφία τους ( 0 ή 1 ) συνθέτουν τα γονίδια. Ομαδοποιημένα γονίδια συνθέτουν ένα χρωμόσωμα ( Σχήμα 2.1 ). Η χρήση δυαδικής κωδικοποίησης των γονιδίων σε προβλήματα με συνεχείς πραγματικές μεταβλητές δεν είναι περιοριστική αφού μπορούν να μετασχηματισθούν με πεπερασμένη αλλά όσο μεγάλη ακρίβεια επιθυμούμε σε αντίστοιχα δυαδικά προβλήματα. Να σημειωθεί ότι υπάρχουν και παραλλαγές γενετικών αλγόριθμων που εφαρμόζονται απ'ευθείας σε προβλήματα με συνεχείς πραγματικές μεταβλητές χωρίς να απαιτείται η μετατροπή τους σε δυαδικές.

Η επαναληπτική διαδικασία βελτιστοποίησης των γενετικών αλγόριθμων βασίζεται στην ιδέα ενός πληθυσμού  $y_j$ ,  $j=1,...,N$  σημείων τα οποία ονομάζονται και άτομα.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι εκκινούν με ένα πληθυσμό εκκίνησης  $j=1,...,N$  και επιχειρούν μέσω επαναληπτικής επιλογής και κατάλληλων μεταβολών του πληθυσμού μια σταδιακή βελτίωση μέχρι τον προσδιορισμό ενός καλού τοπικού ή του απόλυτου βέλτιστου.

Κατά τη διαδικασία επιλογής επιλέγονται  $M$  (  $M < N$  ) άτομα από τον παρόντα πληθυσμό  $N$  ατόμων με στοχαστικό ή ντετερμινιστικό τρόπο ο οποίος συνήθως λαμβάνει υπόψιν του την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης κάθε ατόμου και επιλέγει εκείνα τα άτομα που έχουν τις καλύτερες επιδόσεις.

Τα επιλεγμένα άτομα τροποποιούνται μέσω δύο φάσεων γενετικών μετατροπών. Η πρώτη φάση που καλείται διασταύρωση επιλέγει ζεύγη ατόμων που καλούνται γονείς και δημιουργεί μέσω μείξης της πληροφορίας των γονέων νέα άτομα που καλούνται τέκνα. Ο πιο συνήθης τρόπος μείξης ( Σχήμα 2.2 ) είναι μέσω τυχαίας επιλογής ενός σημείου διασταύρωσης έτσι ώστε το τέκνο να κληρονομεί τα ψηφία του πρώτου γονέα μέχρι το σημείο διασταύρωσης και του δεύτερου γονέα μετά το σημείο διασταύρωσης. Υπάρχουν παραλλαγές γενετικών αλγόριθμων όπου το τέκνο μπορεί να προκύψει από δύο ή περισσότερα σημεία διασταύρωσης, ή από κάθε ζεύγος γονέων και με διαφορετικά σημεία διασταύρωσης μπορούν να παράγονται περισσότερα του ενός τέκνα, ή μπορεί να ζευγαρώνει κάθε γονέας περισσότερες από

μια φορά. Στο τέλος της φάσης διασταύρωσης απαιτείται οπωσδήποτε η παρουσία  $N$  συνολικά ατόμων.

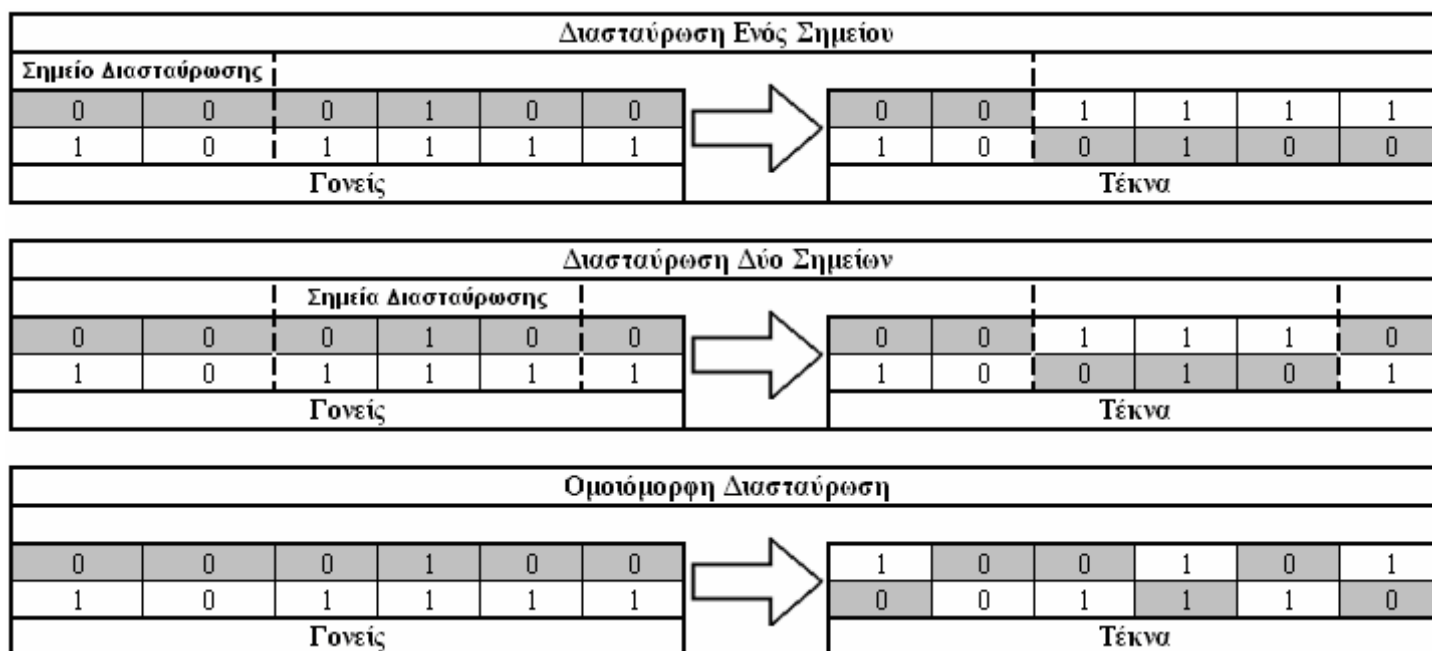
Η δεύτερη φάση καλείται μετάλλαξη και ενεργεί στη νέα γενιά ατόμων. Η μετάλλαξη προσφέρει τη δυνατότητα μετάβασης σε νέες περιοχές έλξης της αντικειμενικής συνάρτησης αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα προσδιορισμού του απόλυτου βέλτιστου. Συνήθως εισάγονται μικρής έκτασης αλλαγές στα ψηφία των τέκνων προς αποφυγή καταστροφής των καλών ιδιοτήτων των γονέων.

Οι γενετικές μετατροπές οδηγούν σε ένα νέο πληθυσμό που απαρτίζεται από το δίδυμο γονείς-τέκνα και ο οποίος αποτελεί την αφετηρία της επόμενης γενιάς: επιλογή  $M$  ατόμων, διασταύρωση και μετάλλαξη, έως ότου επιτευχθεί η ικανοποίηση κάποιου κριτηρίου τερματισμού.

Τέλος να αναφέρουμε ότι υπάρχουν οι λεγόμενες ελιτιστικές παραλλαγές γενετικών αλγόριθμων στις οποίες διατηρείται ένας αριθμός ατόμων με τις καλύτερες επιδόσεις ( συνήθως διατηρείται μόνο ένα χρωμόσωμα ) έτσι ώστε να υπάρχει εγγύηση βελτίωσης της λύσης καθώς αυξάνεται ο αριθμός των γενεών.

Χρωμόσωμα								
Γονίδιο 1			Γονίδιο 2			Γονίδιο 3		
0	0	1	1	0	1	1	1	0

Σχήμα 2.1: Χρωμόσωμα



Σχήμα 2.2: Διασταύρωση ενός και δύο σημείων και ομοιόμορφη διασταύρωση

## 2.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

### Βιβλία

- [ 2.1 ] Μ. Παπαγεωργίου, “ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ”, Χανιά, 2008.
- [ 2.2 ] R. L. Haupt and S. E. Haupt, “Practical Genetic Algorithms”, 2nd ed., John Wiley & Sons Inc., 2004.





## ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

### 3.1 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Το πρόγραμμα εργάζεται με τις παρακάτω μεταβλητές:

**Πίνακας 3.1:** Μεταβλητές προγράμματος

Όνομα μεταβλητής	Σχόλια
i	Μεταβλητή τύπου int η οποία συμβολίζει τις μονάδες παραγωγής.
j	Μεταβλητή τύπου int η οποία συμβολίζει τις χρονικές περιόδους.
k	Μεταβλητή τύπου int η οποία συμβολίζει τα χρωμοσώματα του πληθυσμού.
units	Μεταβλητή τύπου int η οποία συμβολίζει το σύνολο των μονάδων παραγωγής και ορίζεται από το χρήστη στο αρχείο εισόδου.
periods	Μεταβλητή τύπου int η οποία συμβολίζει το σύνολο των χρονικών περιόδων και ορίζεται από το χρήστη στο αρχείο εισόδου.
population	Μεταβλητή τύπου int η οποία συμβολίζει το σύνολο των χρωμοσωμάτων του πληθυσμού και ορίζεται από το χρήστη στο αρχείο εισόδου.
penalty	Μεταβλητή τύπου int η οποία συμβολίζει την ποινή παραβίασης των περιορισμών Tur, Tdown και ζήτησης. Ορίζεται από το χρήστη στο αρχείο εισόδου και πρέπει να έχει μία μεγάλη θετική τιμή προκειμένου ο γενετικός αλγόριθμος να κατευθυνθεί γρήγορα προς την εφικτή περιοχή του προβλήματος.
left	Διάνυσμα τύπου int, μεγέθους units στο οποίο αποθηκεύεται για κάθε μονάδα παραγωγής μέχρι ποιά χρονική περίοδο υπάρχει επίδραση των αρχικών συνθηκών.
chrom_position	Διάνυσμα τύπου int, μεγέθους population στο οποίο αποθηκεύεται η πραγματική θέση των χρωμοσωμάτων του πληθυσμού. Αν βρεθεί κάποιο χρωμόσωμα με κέρδος μεγαλύτερο από το κέρδος του τρέχοντος elite τότε το νέο elite πρέπει να αντικαταστήσει το παλιό. Αυτό μπορεί να γίνει είτε μέσω bit swapping κάνοντας χρήση ενός ενδιάμεσου temp χρωμοσώματος, είτε αλλάζοντας την πραγματική θέση των δύο χρωμοσωμάτων στη μνήμη.

Όνομα μεταβλητής	Σχόλια
one_child	Μεταβλητή τύπου int. Το χρωμόσωμα one_child-1 είναι το τελευταίο μοναδικό τέκνο της τρέχουσας γενιάς ( λεπτομερής εξέταση στην ενότητα 3.6 ).
generations	Μεταβλητή τύπου int η οποία ορίζεται από τον χρήστη στο γραφικό περιβάλλον του προγράμματος και συμβολίζει το σύνολο των γενεών που θα εκτελεστεί ο γενετικός αλγόριθμος μόλις ο χρήστης πατήσει το κουμπί CONTINUE EXECUTION. Η διαδικασία ορισμού γενεών μπορεί να συνεχιστεί όσες φορές επιθυμεί ο χρήστης.
ecmp	Μεταβλητή τύπου int η οποία ορίζεται από τον χρήστη στο γραφικό περιβάλλον του προγράμματος και συμβολίζει την <u>e</u> lite <u>c</u> hromosome <u>m</u> utation <u>p</u> robability, δηλαδή την πιθανότητα κλήσης της συνάρτησης elite_mutation ( λεπτομερής εξέταση στις ενότητες 3.3 και 3.9 ).
mutations	Μεταβλητή τύπου int η οποία ορίζεται από τον χρήστη στο γραφικό περιβάλλον του προγράμματος και συμβολίζει το συνολικό αριθμό αλλαγών που θα λάβουν χώρα στα χρωμοσώματα του πληθυσμού όταν κληθεί η συνάρτηση mutation ή το συνολικό αριθμό αλλαγών που θα λάβουν χώρα στο elite χρωμόσωμα όταν κληθεί η συνάρτηση elite_mutation.
price	Διάνυσμα τύπου float, μεγέθους periods στο οποίο αποθηκεύεται η τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χρονικής περιόδου και ορίζεται από το χρήστη στο αρχείο εισόδου.
demand	Διάνυσμα τύπου float, μεγέθους periods στο οποίο αποθηκεύεται η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χρονικής περιόδου και ορίζεται από το χρήστη στο αρχείο εισόδου.
xarakteristika	Δισδιάστατος πίνακας τύπου float, μεγέθους units επί 15 στον οποίο αποθηκεύονται τα χαρακτηριστικά των μονάδων παραγωγής ( ορίζονται στο αρχείο εισόδου ).
paragogi	Τρισδιάστατος πίνακας τύπου float, μεγέθους units επί periods επί population στον οποίο αποθηκεύεται η παραγωγή κάθε μονάδας και ταυτόχρονα αποτελεί τη δεξαμενή των χρωμοσωμάτων.
chrom_profit	Διάνυσμα τύπου float, μεγέθους population στο οποίο αποθηκεύεται το κέρδος κάθε χρωμοσώματος του πληθυσμού.
max_profit	Μεταβλητή τύπου float η οποία συμβολίζει το τρέχον μέγιστο κέρδος και χρησιμοποιείται σαν μέτρο σύγκρισης για ανάδειξη νέου elite χρωμοσώματος.
average_profit	Μεταβλητή τύπου float η οποία συμβολίζει τη μέση τιμή του κέρδους του τρέχοντος πληθυσμού και χρησιμοποιείται από τη συνάρτηση select_mates.

Όνομα μεταβλητής	Σχόλια
calculate_chrom_profit	Διάνυσμα τύπου char ( για εξοικονόμηση μνήμης ), μεγέθους population στο οποίο αποθηκεύεται η τιμή 1 αν πρέπει να υπολογιστεί το κέρδος κάποιου χρωμοσώματος από τη συνάρτηση profit_calculation, αλλιώς αποθηκεύεται η τιμή 0.

### 3.2 ΕΝΑΡΞΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Όταν το πρόγραμμα εκκινεί, γίνεται έλεγχος των δεδομένων του αρχείου εισόδου, δεσμεύεται μνήμη για τις μεταβλητές και συμπληρώνονται: το διάνυσμα left, ο πίνακας paragogi, το διάνυσμα chrom\_position και το διάνυσμα calculate\_chrom\_profit.

Ένα παράδειγμα συμπλήρωσης του διανύσματος left και του χρωμοσώματος 0 του πίνακα paragogi ( σε αυτή τη θέση βρίσκεται πάντοτε το elite χρωμόσωμα ) απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα:

		Χρονικές Περίοδοι										
		Διάνυσμα left	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Μονάδες	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Σχήμα 3.1:** Συμπλήρωση διανύσματος left και elite χρωμοσώματος

Τα υπόλοιπα χρωμοσώματα του πίνακα paragogi συμπληρώνονται με τις αρχικές συνθήκες που έχουν σκιασθεί στο σχήμα 3.1 και η συμπλήρωση του υπόλοιπου πίνακα paragogi γίνεται καλώντας τη συνάρτηση initialize ( λεπτομερής εξέταση στην ενότητα 3.4 ). Τέλος να σημειωθεί ότι το χρωμόσωμα 0 συμπληρώνεται με μηδενικά από την left[i] χρονική περίοδο μέχρι τέλους γιατί η συνάρτηση initialize ενεργεί σε όλα τα χρωμοσώματα του πληθυσμού εκτός του elite.

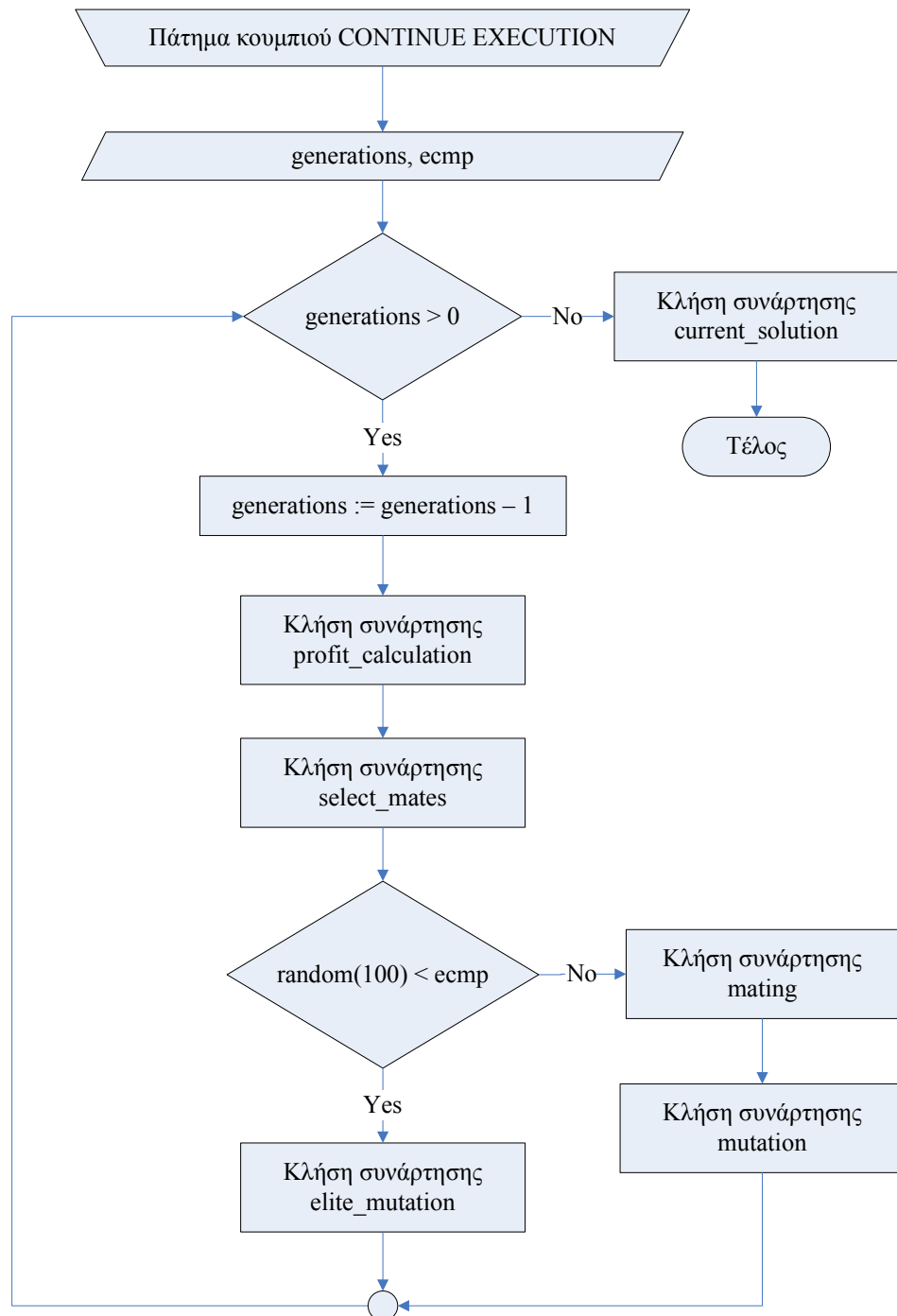
Το διάνυσμα chrom\_position συμπληρώνεται με τιμές από 0 μέχρι population-1 που σημαίνει ότι η πραγματική θέση των χρωμοσωμάτων στη μνήμη συμπίπτει με την εικονική τους θέση.

Το διάνυσμα calculate\_chrom\_profit συμπληρώνεται παντού με μονάδες έτσι ώστε να υπολογιστεί το κέρδος όλων των χρωμοσωμάτων του πληθυσμού από τη συνάρτηση profit\_calculation ( λεπτομερής εξέταση στην ενότητα 3.5 ).

### 3.3 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ main

Η συνάρτηση main ελέγχει τη ροή του προγράμματος και καλείται κάθε φορά που ο χρήστης πατάει το κουμπί CONTINUE EXECUTION.

Το διάγραμμα ροής της συνάρτησης main είναι:



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα ροής συνάρτησης main

### 3.4 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ initialize

Η συνάρτηση initialize συμπληρώνει όλα τα χρωμοσώματα του πληθυσμού, εκτός από το elite το οποίο πρέπει να μείνει άθικτο, με σενάρια τα οποία ικανοποιούν πάντα τους περιορισμούς  $T_{up}$  και  $T_{down}$ . Έχει δοθεί η ελευθερία στο χρήστη να συμπληρώνει τα χρωμοσώματα του πληθυσμού όποτε το θεωρεί απαραίτητο πατώντας το κουμπί REINITIALIZE POPULATION.

Ο πληθυσμός συμπληρώνεται με δύο τρόπους. Η επιλογή του πρώτου ή του δεύτερου τρόπου συμπλήρωσης κάποιου χρωμοσώματος είναι τυχαία μέχρι να συμπληρωθούν όλα τα χρωμοσώματα εκτός του elite.

Ο πρώτος τρόπος συμπλήρωσης είναι μέσω εισαγωγής παράθυρου μονάδων τυχαίου πλάτους λαμβάνοντας υπόψιν τις αρχικές συνθήκες και τον περιορισμό  $T_{up}[i]$ .

Ο δεύτερος τρόπος είναι δυϊκός του πρώτου αφού εισάγεται παράθυρο μηδενικών τυχαίου πλάτους λαμβάνοντας υπόψιν τις αρχικές συνθήκες και τον περιορισμό  $T_{down}[i]$ .

Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται ένα στιγμιότυπο εκτέλεσης του αλγόριθμου όπου έχει ολοκληρωθεί η συμπλήρωση ενός χρωμοσώματος  $k$ :

		Χρονικές Περίοδοι									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Μονάδες	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1
	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	4	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

**Σχήμα 3.3:** Συμπληρωμένο χρωμόσωμα

Στις μονάδες 0, 2, 3 και 4 έχει εισαχθεί παράθυρο μονάδων, ενώ στις μονάδες 1 και 5 έχει εισαχθεί παράθυρο μηδενικών.

### 3.5 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ profit\_calculation

Η συνάρτηση profit\_calculation υπολογίζει:

1. Το συνολικό κέρδος κάθε χρωμοσώματος που έχει τιμή calculate\_chrom\_profit ίση με 1.
2. Τη μέση τιμή του κέρδους όλου του πληθυσμού average\_profit η οποία θα χρησιμοποιηθεί από τη συνάρτηση select\_mates.
3. Καθώς υπολογίζεται το κέρδος των χρωμοσωμάτων του πληθυσμού ελέγχεται αν υπάρχει κάποιο χρωμόσωμα με μεγαλύτερο κέρδος από το κέρδος του τρέχοντος elite. Αν βρεθεί κάποιο τότε ενημερώνεται η μεταβλητή μέγιστου κέρδους του πληθυσμού max\_profit και στο τέλος της διαδικασίας υπολογισμού του κέρδους των χρωμοσωμάτων του πληθυσμού τοποθετείται το καινούργιο elite χρωμόσωμα στη θέση 0 του πληθυσμού.

Η εύρεση του συνολικού κέρδους κάθε χρωμοσώματος που έχει τιμή calculate\_chrom\_profit ίση με 1 γίνεται σε δύο στάδια:

1. Υπολογίζεται η βέλτιστη παραγωγή κάθε ενεργοποιημένης μονάδας, για κάθε χρονική περίοδο προγραμματισμού, επιλύοντας ένα πρόβλημα τετραγωνικού προγραμματισμού με τη βοήθεια του MATLAB. Το αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης δίνει εκτός από τη βέλτιστη παραγωγή όλων των ενεργοποιημένων μονάδων ( οι μεταβλητές απόφασης του προβλήματος τετραγωνικού προγραμματισμού ) και το συνολικό εισόδημα από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μειωμένο από το κόστος καυσίμου ( η μέγιστη τιμή αντικειμενικής συνάρτησης ). Επίσης αν σε κάποια χρονική περίοδο  $j$ , κάποιου χρωμοσώματος  $k$ , η μονάδα  $i$  είναι κρατημένη και την προηγούμενη χρονική περίοδο  $j-1$  έχει παραγωγή μεγαλύτερη του  $Rdown[i]$  τότε δεν μπορεί να μηδενίσει την παραγωγή της αφού έτσι θα παραβιαστεί ο περιορισμός  $Rdown[i]$ . Αν προκύψει αυτή η περίπτωση τότε το χρωμόσωμα επιδιορθώνεται ενεργοποιώντας τη μονάδα  $i$ . Με αυτό τον τρόπο ικανοποιείται πάντοτε ο περιορισμός  $Rdown[i]$  και το αποτέλεσμα είναι η επιτάχυνση της σύγκλισης του γενετικού αλγόριθμου. Τέλος αν για κάποια χρονική περίοδο  $j$  η συνολική παραγωγή των ενεργοποιημένων μονάδων παραβιάζει τον περιορισμό της ζήτησης τότε εισάγεται τιμωρία ανάλογη του βαθμού παραβίασης. Για παράδειγμα αν η ζήτηση τη χρονική περίοδο  $j$  είναι 150 MW και το σύνολο της παραγωγής των ενεργοποιημένων μονάδων είναι 250 MW τότε ο βαθμός παραβίασης του περιορισμού της ζήτησης για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο είναι 100 MW.
2. Αφαιρούνται τυχόν κόστη εκκίνησης και κράτησης των μονάδων και ελέγχεται η ικανοποίηση των περιορισμών  $Tup[i]$  και  $Tdown[i]$ . Αν παραβιάζεται κάποιος από τους αναφερθέντες περιορισμούς τότε εισάγεται τιμωρία ανάλογη του βαθμού παραβίασης των περιορισμών. Για παράδειγμα αν έχουμε για 3 χρονικές περιόδους συνεχώς ενεργοποιημένη τη μονάδα  $i$  και ο περιορισμός  $Tup[i]$  ισούται με 5 τότε ο βαθμός παραβίασης του περιορισμού είναι 2 χρονικές περίοδοι.

Να σημειώσουμε τέλος ότι η παραβίαση των περιορισμών  $Tup[i]$  και  $Tdown[i]$  τιμωρείται με συντελεστή βαρύτητας 10, ενώ η παραβίαση του περιορισμού της ζήτησης τιμωρείται με συντελεστή βαρύτητας 1. Με αυτό τον τρόπο αλλαγές στα χρωμοσώματα που παραβιάζουν τους περιορισμούς  $Tup[i]$  και  $Tdown[i]$  ( αυτοί οι περιορισμοί πρέπει οπωσδήποτε να ικανοποιηθούν αλλιώς θα έχουμε μείωση της αξιοπιστίας ή καταστροφή των μονάδων παραγωγής ) αποθαρρύνονται πολύ περισσότερο από αλλαγές που παραβιάζουν τον περιορισμό της ζήτησης.

### 3.6 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ `select_mates`

Η συνάρτηση `select_mates` επιλέγει τα `mother` χρωμοσώματα τα οποία θα ζευγαρώσουν με το `elite` χρωμόσωμα έτσι ώστε να δημιουργηθούν τα τέκνα του πληθυσμού.

Προκειμένου να αυξηθεί το επίπεδο ελιτισμού, η επιλογή των `mother` χρωμοσωμάτων βασίζεται στο αν το κέρδος ενός χρωμοσώματος είναι μεγαλύτερο από τη μέση τιμή του πληθυσμού `average_profit`.

Μετά το πέρας της επιλογής, τα `mother` χρωμοσώματα τοποθετούνται στις μονές θέσεις του πληθυσμού ενώ οι ζυγές θέσεις θα συμπληρωθούν με τέκνα αν κληθεί η συνάρτηση `mating` ή με μεταλλαγμένες εκδοχές του `elite` αν κληθεί η συνάρτηση `elite_mutation`.

Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται ένα στιγμιότυπο αρχικής κατάστασης του αλγόριθμου όπου η μεταβλητή `one_child` έχει τιμή 11 ( παρατηρήστε τη διπλή κάθετη γραμμή στο δεξί άκρο του επόμενου σχήματος ), η μεταβλητή `average_profit` έχει τιμή 80.91 ενώ το διάνυσμα `chrom_profit` είναι:

Χρωμοσώματα	Elite	Ζεύγος 1		Ζεύγος 2		Ζεύγος 3		Ζεύγος 4		Ζεύγος 5	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Κέρδος	150	2	121	137	38	78	46	64	16	91	147

**Σχήμα 3.4:** Αρχική κατάσταση διανύσματος `chrom_profit`

Μετά το πέρας της συνάρτησης `select_mates` η μεταβλητή `one_child` έχει τιμή 7 ενώ το διάνυσμα `chrom_profit` είναι:

Χρωμοσώματα	Elite	Ζεύγος 1		Ζεύγος 2		Ζεύγος 3		Ζεύγος 4		Ζεύγος 5	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Κέρδος	150	121	2	137	38	147	91	64	16	78	46

**Σχήμα 3.5:** Τελική κατάσταση διανύσματος `chrom_profit`

Χρησιμοποιήθηκε έντονη σκίαση στο elite χρωμόσωμα το οποίο βρίσκεται πάντα στη θέση μηδέν, μέτρια σκίαση στα mother χρωμοσώματα που επιλέχθηκαν από τη συνάρτηση `select_mates` και καθόλου σκίαση στα τέκνα της τρέχουσας γενιάς. Στα ζεύγη 1, 2 και 3 οι γονείς πρέπει να δώσουν ένα μοναδικό τέκνο το οποίο βρίσκεται πάντα σε ζυγή θέση. Επειδή η μεταβλητή `one_child` έχει τιμή 7 το τελευταίο μοναδικό τέκνο της τρέχουσας γενιάς είναι το χρωμόσωμα 6 οπότε στα ζεύγη 4 και 5 οι γονείς πρέπει να δώσουν δύο τέκνα για να μην μειωθεί ο συνολικός αριθμός των χρωμοσωμάτων του πληθυσμού.

### 3.7 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ `mating`

Η συνάρτηση `mating` είναι επιφορτισμένη με την ανάμειξη της πληροφορίας που περιέχεται στα γονίδια των δύο γονέων. Η ανάμειξη γίνεται λαμβάνοντας υπόψιν τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου προβλήματος και όχι τελείως τυχαία αφού αυτό καθυστερεί τη σύγκλιση του γενετικού αλγόριθμου.

Αν η μεταβλητή `one_child` ισούται με 1 τότε δεν υπάρχουν mother χρωμοσώματα για να ζευγαρώσουν με το elite οπότε καλείται η συνάρτηση `initialize`.

Στο σχήμα 3.6 απεικονίζεται ένα elite χρωμόσωμα το οποίο ζευγαρώνει με το mother χρωμόσωμα του σχήματος 3.7 και δημιουργούνται τα δύο τέκνα που απεικονίζονται στα σχήματα 3.8 και 3.9.

		Χρονικές Περίοδοι									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Μονάδες	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
	4	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	6	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0
	7	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1
	8	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
	9	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1

**Σχήμα 3.6:** Elite χρωμόσωμα



		Χρονικές Περίοδοι									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Μονάδες	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0
	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
	2	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	3	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
	4	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	5	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1
	6	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0
	7	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	8	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
	9	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0

Σχήμα 3.7: Mother χρωμόσωμα

		Χρονικές Περίοδοι									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Μονάδες	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
	4	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	5	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	6	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0
	7	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1
	8	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
	9	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1

Σχήμα 3.8: Πρώτο τέκνο

		Χρονικές Περίοδοι									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Μονάδες	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0
	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1
	2	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	3	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
	4	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	5	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1
	6	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
	7	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1
	8	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
	9	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0

Σχήμα 3.9: Δεύτερο τέκνο

Το τέκνο του σχήματος 3.8 έχει λάβει πληροφορία από το elite χρωμόσωμα στις σκιασμένες περιοχές, ενώ στις μη σκιασμένες περιοχές έχει λάβει πληροφορία από το mother χρωμόσωμα. Το δυϊκό του τέκνου που απεικονίζεται στο σχήμα 3.8 είναι το τέκνο του σχήματος 3.9 όπου και σε αυτή την περίπτωση οι σκιασμένες περιοχές αντιστοιχούν σε πληροφορία που έχει ληφθεί από το elite χρωμόσωμα.

### 3.8 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ mutation

Η συνάρτηση mutation εισάγει απρόβλεπτες διαταραχές στον πληθυσμό που καλούνται μεταλλάξεις ( δεν επηρεάζεται το elite χρωμόσωμα ) με αποτέλεσμα να εξερευνώνται νέες περιοχές έλξης της αντικειμενικής συνάρτησης.

Προκειμένου να μην καταστρέφονται τα χρωμοσώματα του πληθυσμού, ο τελεστής μετάλλαξης πρέπει να έχει τοπικό και όχι εκτεταμένο χαρακτήρα αλλαγών.

Έχει δοθεί η ελευθερία στο χρήστη να εισάγει μικρό ή μεγάλο αριθμό μεταλλάξεων. Από υπολογιστικά πειράματα προκύπτει ότι όταν ο γενετικός αλγόριθμος συγκλίνει σε μία λύση καλό είναι να ορίζεται σχετικά μικρή τιμή στο πεδίο number of mutations σε συνδυασμό με τις προτάσεις της ενότητας 3.9 αλλιώς εκτινάσσεται πολύ κάτω από το μηδέν η μέση τιμή του πληθυσμού λόγω εισαγωγής πολλών ποινών παραβίασης περιορισμών. Αν ο χρήστης θέλει οπωσδήποτε να εισαχθεί νέα πληροφορία στον πληθυσμό τότε ο καλύτερος χειρισμός είναι να πατήσει το κουμπί REINITIALIZE POPULATION αφού έτσι θα γεμίσουν τυχαία τα χρωμοσώματα του πληθυσμού διατηρώντας όμως την εφικτότητα όσον αφορά τους περιορισμούς T<sub>up</sub> και T<sub>down</sub>.

Η συνάρτηση mutation επιλέγει τυχαία μία μονάδα παραγωγής  $i$ , μία επιτρεπόμενη για αλλαγή χρονική περίοδο  $j$  και ένα χρωμόσωμα  $k$ . Αν το επιλεγθέν bit είναι 1 τότε εισάγεται ένα παράθυρο μηδενικών πλάτους T<sub>down</sub>[ $i$ ], αλλιώς το επιλεγθέν bit είναι 0 οπότε εισάγεται ένα παράθυρο μονάδων πλάτους T<sub>up</sub>[ $i$ ].

Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται ένα χρωμόσωμα  $k$  πριν αυτό δεχθεί αλλαγές πληροφορίας στα γονίδιά του:

		Χρονικές Περίοδοι									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Μονάδες	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1
	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	4	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0

Σχήμα 3.10: Χρωμόσωμα πριν τις αλλαγές

Παρακάτω απεικονίζεται το χρωμόσωμα του σχήματος 3.10 μετά τις αλλαγές:

		Χρονικές Περίοδοι									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Μονάδες	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0
	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
	2	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	4	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0

**Σχήμα 3.11:** Χρωμόσωμα μετά τις αλλαγές

### 3.9 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ elite\_mutation

Η συνάρτηση elite\_mutation κάνει εμβάθυνση στη γειτονιά του τρέχοντος elite χρωμοσώματος. Αυτό πρέπει να γίνει πρώτον γιατί η συνάρτηση mutation δεν ενεργεί ποτέ επί του elite, δεύτερον από τη στιγμή που παρατηρηθεί σύγκλιση και δεν υπάρχει βελτίωση του κέρδους επί σειρά γενεών τότε μία καλύτερη λύση, αν υπάρχει, θα βρίσκεται στη γειτονιά του elite ( ο τελεστής mutation εξερευνά τη γειτονιά του χρωμοσώματος του πληθυσμού στο οποίο προκαλεί αλλαγές και από υπολογιστικά πειράματα φάνηκε ότι όταν συγκλίνει ο γενετικός αλγόριθμος και βασιζόμαστε μόνο στον τελεστή mutation χρειάζεται περισσότερη προσπάθεια για να βρεθεί κάτι καλύτερο από το elite ) και τρίτον αν ο γενετικός αλγόριθμος έχει εγκλωβιστεί σε περιοχή έλξης τοπικού βέλτιστου του δίνεται μεγαλύτερη ευκαιρία να αποδράσει προς την περιοχή του ολικού βέλτιστου από ότι αν βασίζεται μόνο στον τελεστή mutation.

Αν ο χρήστης ορίσει μικρή τιμή στο πεδίο number of elite mutations τότε υπάρχει τάση εμβάθυνσης ( intensification ή local search ) στη γειτονιά του elite ενώ αν ορίσει μεγάλη τιμή στο εν λόγω πεδίο υπάρχει τάση επέκτασης ( diversification ή random search ) και αύξηση της πιθανότητας απεγκλωβισμού από περιοχή έλξης τοπικού βέλτιστου.

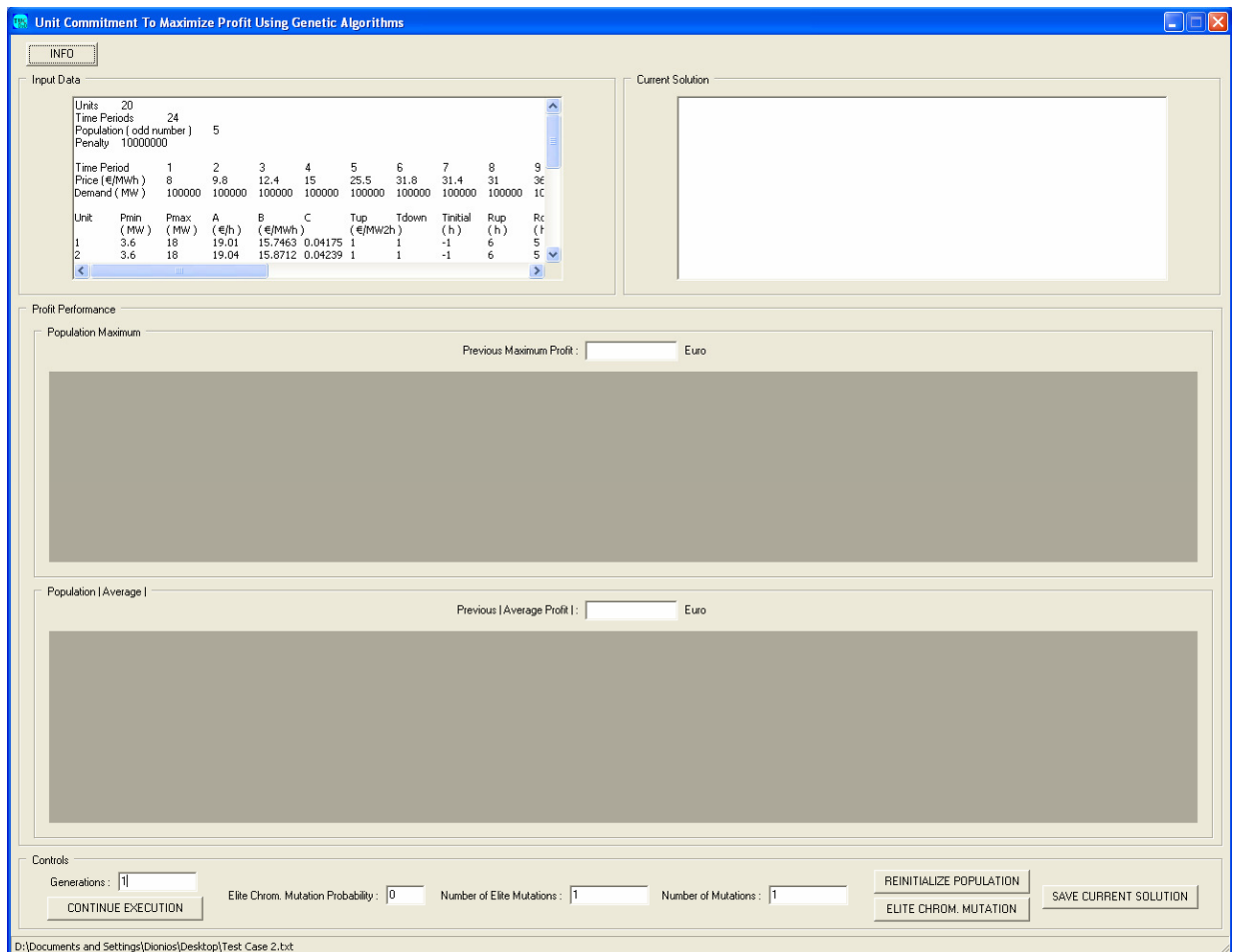
Μετά το πέρας ενός αριθμού γενεών ο γενετικός αλγόριθμος θα συγκλίνει σε μία στρατηγική ένταξης μονάδων και ένας καλός χειρισμός από πλευράς χρήστη για περαιτέρω βελτίωση του κέρδους είναι η εισαγωγή μεγάλης τιμής στο πεδίο elite chromosome mutation probability και μικρής τιμής στο πεδίο number of elite mutations κινήσεις που θα προκαλέσουν ισχυρή εμβάθυνση στη γειτονιά του elite. Μπορεί επίσης να πατηθεί το κουμπί REINITIALIZE POPULATION ή-και το κουμπί ELITE CHROM. MUTATION.

Επειδή η συνάρτηση `elite_mutation` καλείται μετά τη συνάρτηση `select_mates` και δεν πρέπει να καταστραφούν τα `mother` χρωμοσώματα που κρίθηκαν ικανά από την τελευταία, οι μεταλλαγμένες εκδοχές του `elite` θα πρέπει να βρίσκονται στις ζυγές θέσεις του πληθυσμού ( σε αυτές τις θέσεις θα εντοπίζονταν τα τέκνα αν γινόταν κλήση της συνάρτησης `mating` ) μέχρι να συμπληρωθεί και το τελευταίο μοναδικό τέκνο. Αν το τελευταίο μοναδικό τέκνο της τρέχουσας γενιάς δεν είναι το τελευταίο χρωμόσωμα του πληθυσμού τότε τα υπόλοιπα χρωμοσώματα του πληθυσμού συμπληρώνονται με μεταλλαγμένες εκδοχές του `elite`.

Η αλγοριθμική διαδικασία μετάλλαξης του `elite` είναι ακριβώς η ίδια με της συνάρτησης `mutation`, δηλαδή εισάγεται ένα παράθυρο μονάδων πλάτους `Tup[i]` ή μηδενικών πλάτους `Tdown[i]` αν το τυχαία επιλεγθέν `bit` του `elite` είναι 0 ή 1 αντίστοιχα.

### ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

1. Το πρόγραμμα μπορεί να εκτελεστεί μόνο αν είναι εγκατεστημένο το λογισμικό MATLAB R2007b.
2. Επιλέγουμε το αρχείο εισόδου με το αριστερό κουμπί του ποντικιού και κατευθυνόμαστε προς το εκτελέσιμο αρχείο με το αριστερό κουμπί πατημένο. Μόλις πλησιάσουμε το εκτελέσιμο αρχείο απελευθερώνουμε το αριστερό κουμπί του ποντικιού.
3. Το πρόγραμμα θα έχει την εξής κατάσταση:



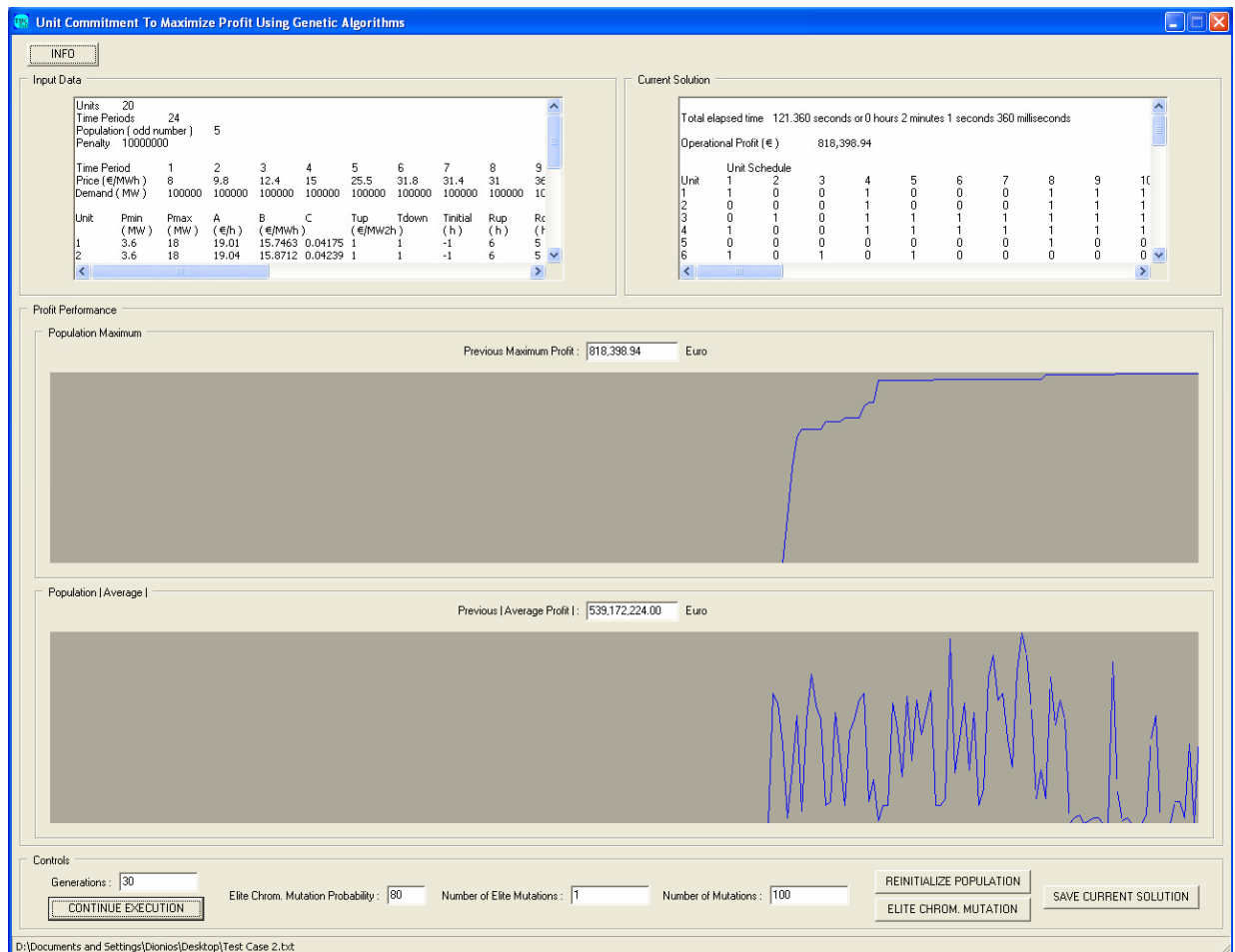
Σχήμα 4.1: Αρχική κατάσταση προγράμματος

4. Στην περιοχή Controls ορίζουμε τις παραμέτρους εκτέλεσης του προγράμματος. Οι επιτρεπόμενες τιμές των παραμέτρων φαίνονται αν τοποθετήσουμε το δείκτη του ποντικιού πάνω σε κάθε παράμετρο και περιμένουμε λίγο:

Number of Mutations : <input type="text" value="1"/>	REINITIALIZE POPULATION
Max: 1920 Min: 1	ELITE CHROM. MUTATION

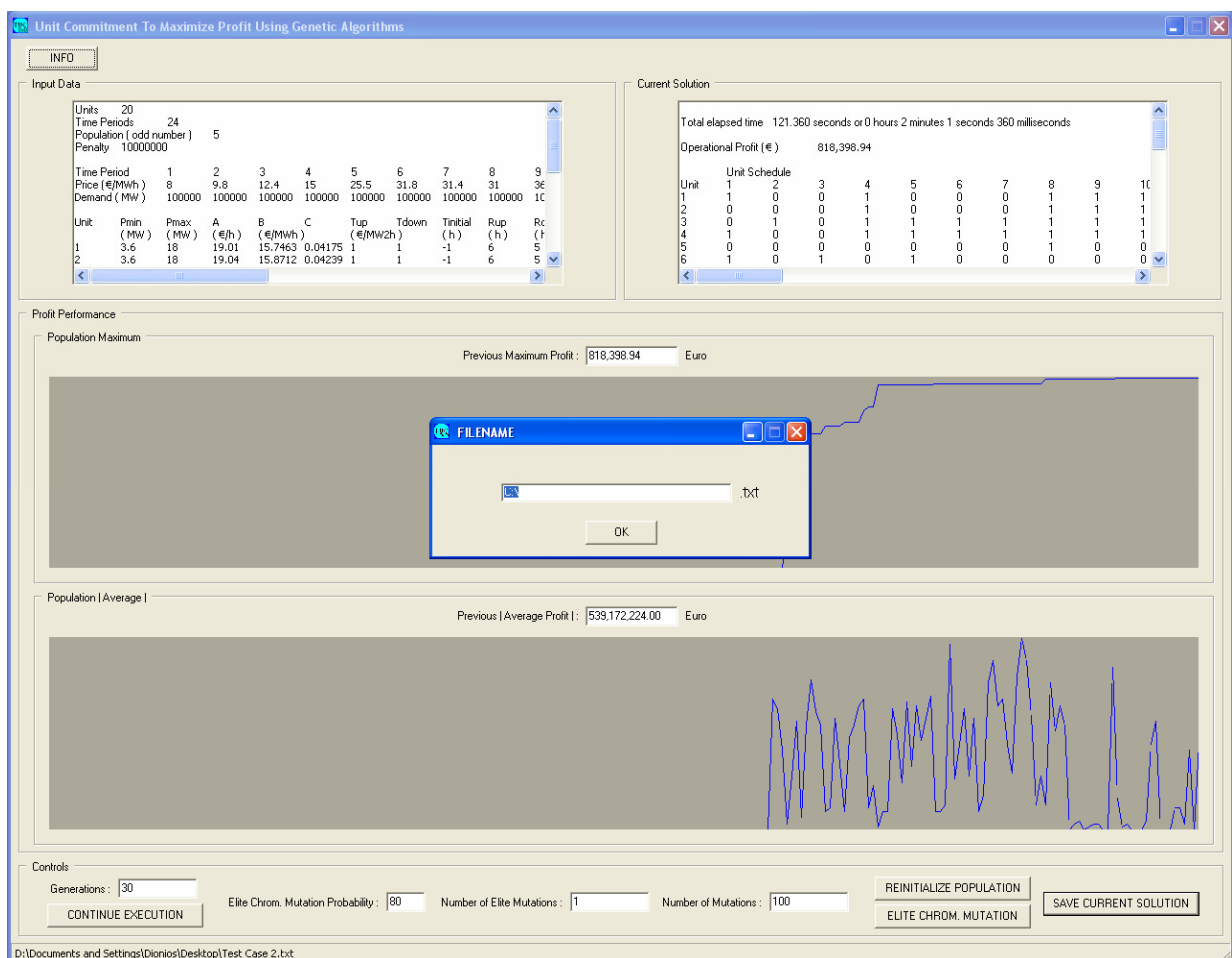
Σχήμα 4.2: Εμφάνιση παραμέτρων εκτέλεσης

5. Αφού ορίσουμε τις παραμέτρους εκτέλεσης πατάμε το κουμπί CONTINUE EXECUTION. Το πρόγραμμα θα έχει την εξής κατάσταση:



Σχήμα 4.3: Στιγμιότυπο εκτέλεσης προγράμματος

6. Αν δεν μας ικανοποιεί η τρέχουσα λύση ή αν έχουμε επιπλέον διαθέσιμο χρόνο εκτέλεσης ρυθμίζουμε τις παραμέτρους εκτέλεσης και ξαναπατάμε το κουμπί CONTINUE EXECUTION. Καθώς αυξάνει ο αριθμός των γενεών θα παρατηρηθεί σύγκλιση σε μία λύση. Τρόποι για περαιτέρω βελτίωση της τρέχουσας λύσης είναι:
- Πάτημα του κουμπιού REINITIALIZE POPULATION.
  - Πάτημα του κουμπιού ELITE CHROM. MUTATION.
  - Συνδυασμός των α και β.
  - Αύξηση της παραμέτρου Elite Chrom. Mutation Probability πχ 80%  
Μείωση της παραμέτρου Number of Elite Mutations πχ 1  
Μείωση της παραμέτρου Number of Mutations πχ 10  
Οι παραπάνω κινήσεις θα εξερευνήσουν για κάτι καλύτερο την εγγύτερη περιοχή γύρω από την τρέχουσα λύση.
  - Το αντίθετο του d, κίνηση η οποία θα ενθαρρύνει το πρόγραμμα να εξερευνήσει νέες περιοχές της αντικειμενικής συνάρτησης.
  - Επανεκκίνηση προγράμματος.
7. Αποθηκεύουμε την τρέχουσα λύση πατώντας το κουμπί SAVE CURRENT SOLUTION:



Σχήμα 4.4: Αποθήκευση τρέχουσας λύσης

8. Εισάγουμε ένα όνομα αρχείου εξόδου και πατάμε το κουμπί OK.
9. Προκειμένου να έχουμε πλήρη έλεγχο των αποτελεσμάτων επιλέγουμε το αρχείο εξόδου με το δεξί κουμπί του ποντικιού και επιλέγουμε: Open With → Microsoft Office Excel.
10. Για μεγαλύτερη ευκολία αποθηκεύουμε το φύλλο Excel σαν Microsoft Office Excel Workbook.
11. Κάνουμε ότι αλλαγές επιθυμούμε στο φύλλο Excel και δημιουργούμε τα απαραίτητα διαγράμματα. Ένα παράδειγμα μορφοποίησης είναι το παρακάτω:

**Πίνακας 4.1:** Παράδειγμα μορφοποίησης αρχείου εξόδου

Operational Profit ( € )	6,315.69		
--------------------------	----------	--	--

Unit	Unit Schedule		
	1	2	3
1	0	0	0
2	1	1	1

Unit	Generation Schedule ( MW )			T initial	Profit ( € )	T Violation	P SUM ( MW )
	1	2	3				
1	0	0	0	-6	0	0	0
2	250	348.18182373	400	3	6,315.69	0	998.1818237
P SUM ( MW )	250	348.1818237	400				

Time Period	1	2	3
Profit ( € )	-193.45	1,269.34	5,239.80
Spinning Reserve ( MW )	-99,750.00	-99,651.82	-99,600.00



## ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΝΤΑΞΗΣ 2 ΜΟΝΑΔΩΝ ΓΙΑ 3 ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ

### 5.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΧΩΡΙΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

#### 5.1.1 Αρχείο εισόδου

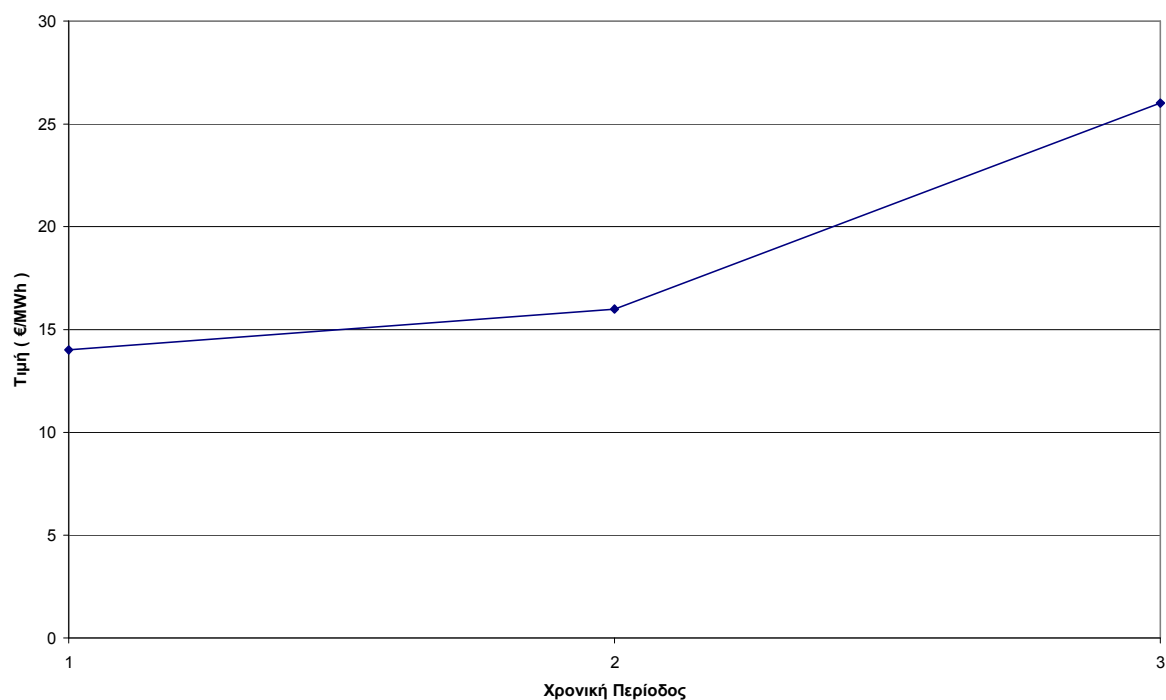
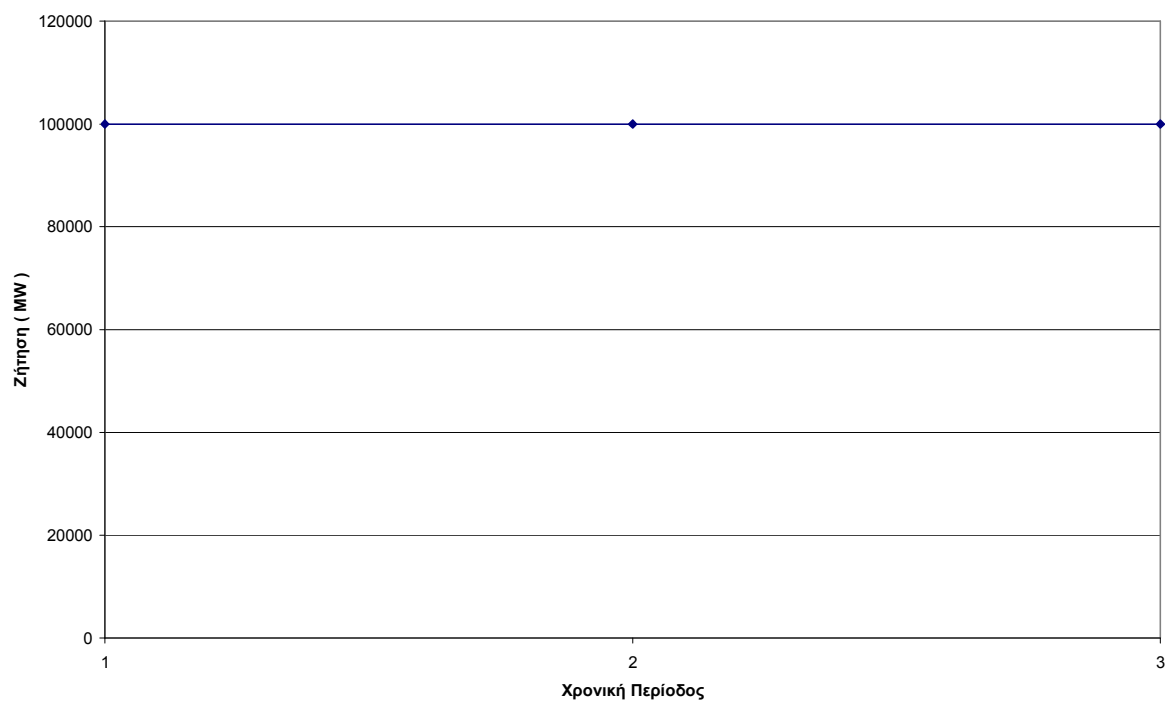
Πίνακας 5.1: Αρχείο εισόδου

Units	2
Time Periods	3
Population ( odd number )	101
Penalty	10000000

Time Period	1	2	3
Price ( €/MWh )	14	16	26
Demand ( MW )	100000	100000	100000

Unit	Pmin ( MW )	Pmax ( MW )	A ( €/h )	B ( €/MWh )	C ( €/MW <sup>2</sup> h )	Tup ( h )	Tdown ( h )	Tinitial ( h )
1	22.8	114	11.6	20.3	0.015	3	2	-3
2	100	400	64.2	8.34	0.011	8	5	-10

Unit	Rup ( MW/h )	Rdown ( MW/h )	Pinitial ( MW )	D ( €/h )	E ( €/h )	CT ( h )	SD ( € )
1	23	23	0	75	75	3	0
2	250	250	0	500	500	8	0

**5.1.2 Γραφική αναπαράσταση δεδομένων εισόδου****Σχήμα 5.1:** Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε χρονική περίοδο**Σχήμα 5.2:** Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε χρονική περίοδο

## 5.1.3 Αρχείο εξόδου

Πίνακας 5.2: Αρχείο εξόδου

Operational Profit ( € )	6,315.69
--------------------------	----------

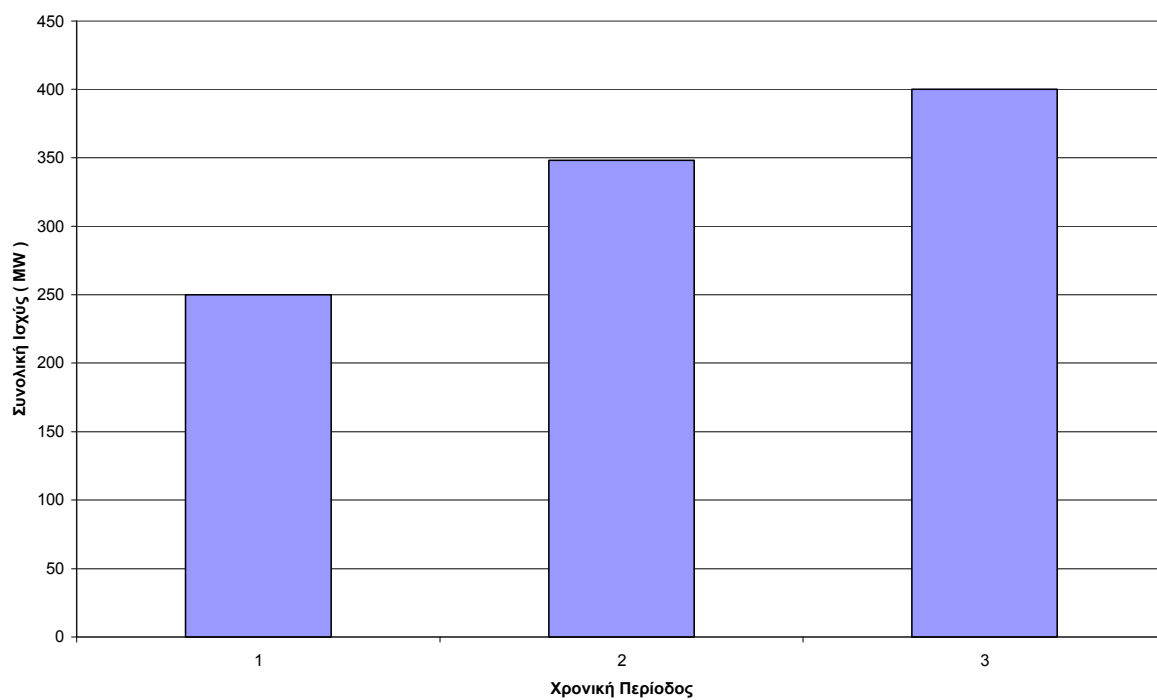
Unit	Unit Schedule		
	1	2	3
1	0	0	0
2	1	1	1

Unit	Generation Schedule ( MW )		
	1	2	3
1	0	0	0
2	250	348.18182373	400
P SUM ( MW )	250	348.1818237	400

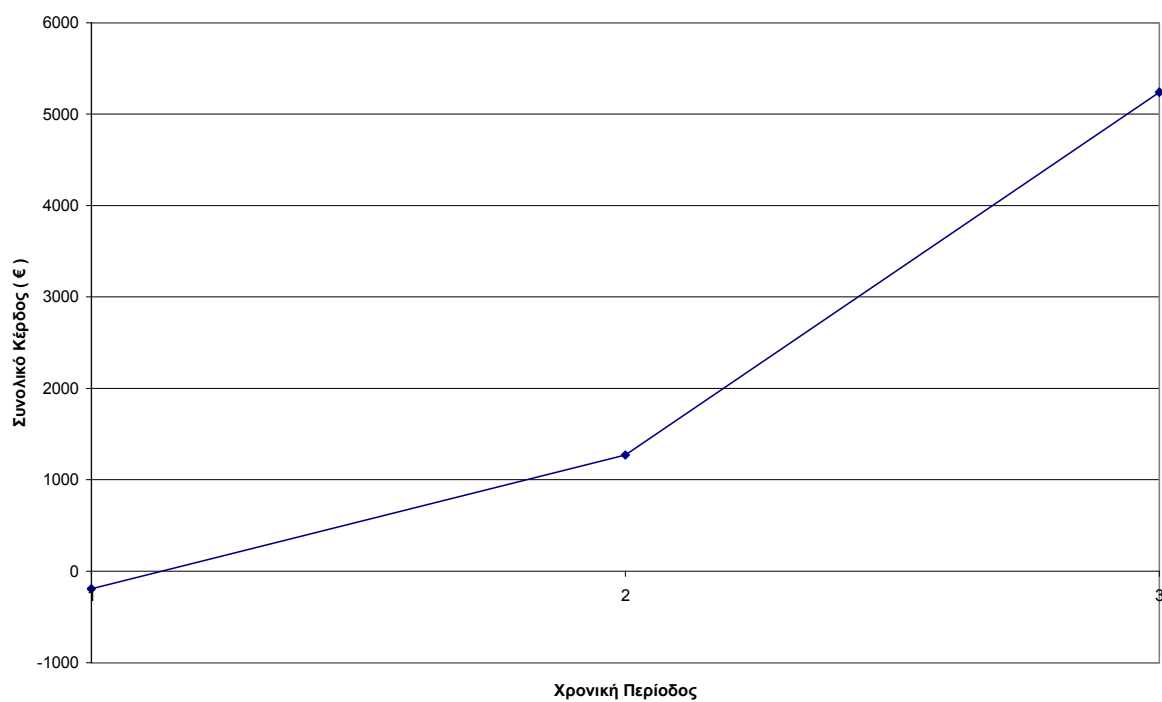
Unit	T initial	Profit ( € )	T Violation	P SUM ( MW )
1	-6	0	0	0
2	3	6,315.69	0	998.1818237

Time Period	1	2	3
Profit ( € )	-193.45	1,269.34	5,239.80
Spinning Reserve ( MW )	-99,750.00	-99,651.82	-99,600.00

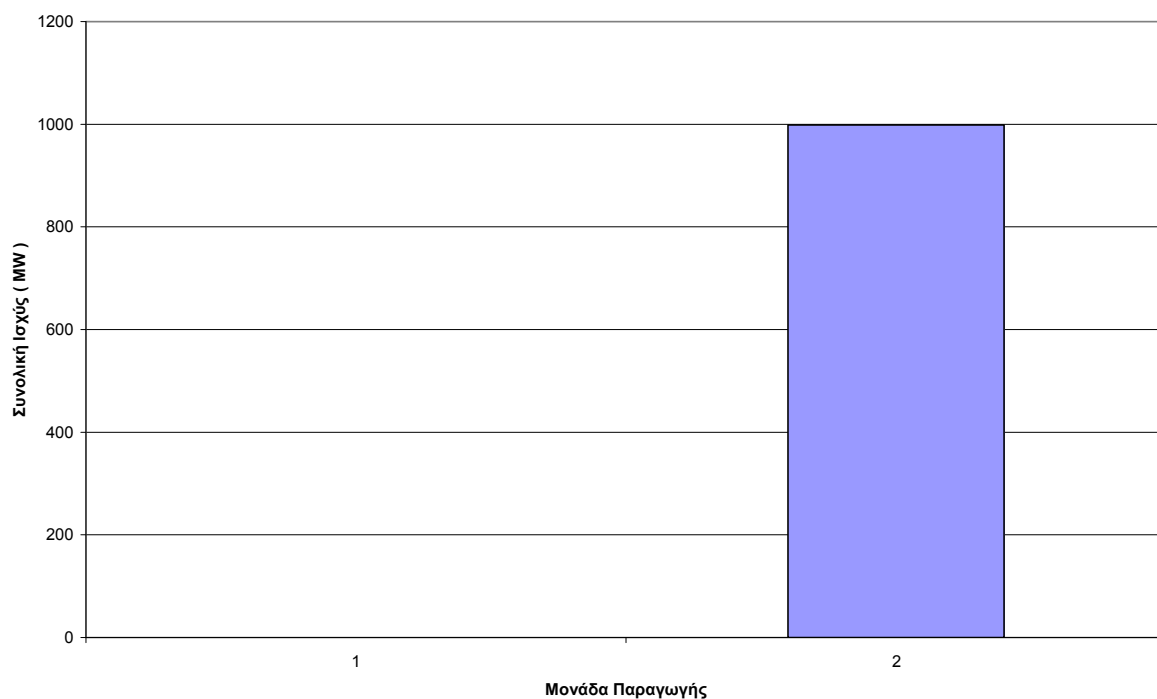
### 5.1.4 Γραφική αναπαράσταση αποτελεσμάτων



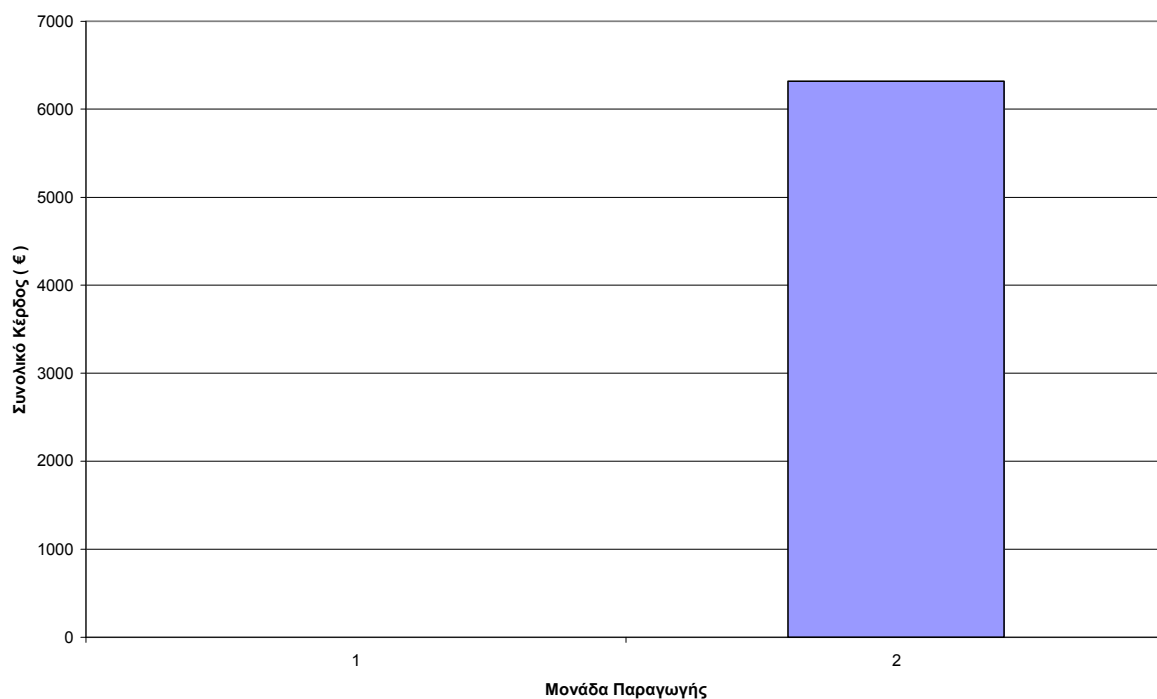
**Σχήμα 5.3:** Συνολική παραγόμενη ισχύς για κάθε χρονική περίοδο



**Σχήμα 5.4:** Συνολικό κέρδος για κάθε χρονική περίοδο



**Σχήμα 5.5:** Συνολική παραγόμενη ισχύς για κάθε μονάδα παραγωγής



**Σχήμα 5.6:** Συνολικό κέρδος για κάθε μονάδα παραγωγής

**5.1.5 Εύρεση απόλυτου βέλτιστου με πλήρη απαρίθμηση**

Επειδή έχουμε  $N=2$  μονάδες και  $T=3$  χρονικές περιόδους προγραμματισμού, ο συνολικός αριθμός συνδυασμών είναι  $2^{N \cdot T} = 2^{2 \cdot 3} = 64$ . Οι συνδυασμοί αυτοί φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

**Πίνακας 5.3:** Τα 64 πιθανά σενάρια ένταξης

Σενάριο	Ωρα 1		Ωρα 2		Ωρα 3	
	Μονάδα 1	Μονάδα 2	Μονάδα 1	Μονάδα 2	Μονάδα 1	Μονάδα 2
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	1	0
4	0	0	0	0	1	1
5	0	0	0	1	0	0
6	0	0	0	1	0	1
7	0	0	0	1	1	0
8	0	0	0	1	1	1
9	0	0	1	0	0	0
10	0	0	1	0	0	1
11	0	0	1	0	1	0
12	0	0	1	0	1	1
13	0	0	1	1	0	0
14	0	0	1	1	0	1
15	0	0	1	1	1	0
16	0	0	1	1	1	1
17	0	1	0	0	0	0
18	0	1	0	0	0	1
19	0	1	0	0	1	0
20	0	1	0	0	1	1
21	0	1	0	1	0	0
22	0	1	0	1	0	1
23	0	1	0	1	1	0
24	0	1	0	1	1	1
25	0	1	1	0	0	0
26	0	1	1	0	0	1
27	0	1	1	0	1	0
28	0	1	1	0	1	1
29	0	1	1	1	0	0
30	0	1	1	1	0	1
31	0	1	1	1	1	0
32	0	1	1	1	1	1
33	1	0	0	0	0	0
34	1	0	0	0	0	1
35	1	0	0	0	1	0
36	1	0	0	0	1	1
37	1	0	0	1	0	0
38	1	0	0	1	0	1

Σενάριο	Ωρα 1		Ωρα 2		Ωρα 3	
	Μονάδα 1	Μονάδα 2	Μονάδα 1	Μονάδα 2	Μονάδα 1	Μονάδα 2
39	1	0	0	1	1	0
40	1	0	0	1	1	1
41	1	0	1	0	0	0
42	1	0	1	0	0	1
43	1	0	1	0	1	0
44	1	0	1	0	1	1
45	1	0	1	1	0	0
46	1	0	1	1	0	1
47	1	0	1	1	1	0
48	1	0	1	1	1	1
49	1	1	0	0	0	0
50	1	1	0	0	0	1
51	1	1	0	0	1	0
52	1	1	0	0	1	1
53	1	1	0	1	0	0
54	1	1	0	1	0	1
55	1	1	0	1	1	0
56	1	1	0	1	1	1
57	1	1	1	0	0	0
58	1	1	1	0	0	1
59	1	1	1	0	1	0
60	1	1	1	0	1	1
61	1	1	1	1	0	0
62	1	1	1	1	0	1
63	1	1	1	1	1	0
64	1	1	1	1	1	1

Από τα 64 πιθανά σενάρια ένταξης του Πίνακα 5.3, τα 48 είναι μη εφικτά. Για παράδειγμα:

1. Το πέμπτο σενάριο, με καταστάσεις μονάδων **000100**, είναι μη εφικτό γιατί ο ελάχιστος χρόνος ένταξης της μονάδας 2 είναι 8 ώρες ( $T_{up}=8$ ) και βλέπουμε ότι η μονάδα 2 εντάσσεται την ώρα 2 και κρατείται την ώρα 3. Για τον ίδιο λόγο είναι μη εφικτό και το σενάριο 7.
2. Το ένατο σενάριο, με καταστάσεις μονάδων **001000**, είναι μη εφικτό γιατί παραβιάζεται ο περιορισμός του ελάχιστου χρόνου ένταξης της μονάδας 1.
3. Με παρόμοιο τρόπο απορρίπτονται άλλα 45 σενάρια.

Στον επόμενο πίνακα φαίνονται τα 16 εφικτά σενάρια ένταξης.

**Πίνακας 5.4:** Τα 16 εφικτά σενάρια ένταξης

Σενάριο	Ωρα 1		Ωρα 2		Ωρα 3	
	Μονάδα 1	Μονάδα 2	Μονάδα 1	Μονάδα 2	Μονάδα 1	Μονάδα 2
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	1	0
4	0	0	0	0	1	1
6	0	0	0	1	0	1
8	0	0	0	1	1	1
11	0	0	1	0	1	0
12	0	0	1	0	1	1
16	0	1	0	1	1	1
22	0	1	0	1	0	1
24	0	1	0	1	1	1
32	0	1	1	1	1	1
43	1	0	1	0	1	0
44	1	0	1	0	1	1
48	1	0	1	1	1	1
64	1	1	1	1	1	1

**1. Υπολογισμός συνολικού κέρδους σεναρίου 2 με καταστάσεις μονάδων 000001**

**a. Υπολογισμός κέρδους σεναρίου 2 για την ώρα 1**

Την ώρα 1 και οι δύο μονάδες είναι κρατημένες οπότε η παραγωγή τους είναι μηδέν και το κέρδος είναι μηδέν.

**b. Υπολογισμός κέρδους σεναρίου 2 για την ώρα 2**

Την ώρα 2 και οι δύο μονάδες είναι κρατημένες οπότε η παραγωγή τους είναι μηδέν και το κέρδος είναι μηδέν.

**c. Υπολογισμός κέρδους σεναρίου 2 για την ώρα 3**

Την ώρα 3 η μονάδα 1 είναι κρατημένη οπότε η παραγωγή της είναι μηδέν και το κέρδος της είναι μηδέν.

Την ώρα 3 η μονάδα 2 εντάσσεται. Έχουμε αρχική συνθήκη  $X_0(2)=-10$  που σημαίνει ότι η μονάδα 2 είναι ήδη κρατημένη για 10 ώρες. Επίσης η μονάδα 2 είναι κρατημένη και τις δύο πρώτες ώρες του χρονικού ορίζοντα προγραμματισμού. Άρα, η μονάδα 2 είναι συνολικά 12 ώρες κρατημένη και την τρίτη ώρα εντάσσεται στο σύστημα. Αυτές οι 12 ώρες προηγούμενης κράτησης εμπλέκονται στον υπολογισμό του κόστους εκκίνησης της μονάδας 2. Σύμφωνα με τη σχέση (1.5):

$$SU(2,3) = 888.43 \text{ €}$$



Το κόστος καυσίμου της μονάδας 2 την ώρα 3 είναι:

$$FC(2,3) = 0.011 \cdot P_2^2 + 8.34 \cdot P_2 + 64.2$$

Το συνολικό κόστος παραγωγής της μονάδας 2 την ώρα 3 υπολογίζεται από τη σχέση (1.3):

$$Cost(2,3) = 0.011 \cdot P_2^2 + 8.34 \cdot P_2 + 952.63$$

Το εισόδημα για τη μονάδα 2 την ώρα 3 υπολογίζεται από τη σχέση (1.2):

$$R_{vn}(2,3) = 26 \cdot P_2$$

Το κέρδος για τη μονάδα 2 την ώρα 3 υπολογίζεται από τη σχέση (1.1):

$$F(2,3) = 17.66 \cdot P_2 - 0.011 \cdot P_2^2 - 952.63$$

Θα πρέπει να επιλεγεί εκείνη η παραγωγή  $P_2$  που να μεγιστοποιεί το κέρδος:

$$\max F(2,3) = \max[ 17.66 \cdot P_2 - 0.011 \cdot P_2^2 - 952.63 ] \quad (5.1)$$

Θα πρέπει να ικανοποιείται ο περιορισμός (1.7) για τα λειτουργικά όρια της μονάδας 2:

$$100 \leq P_2 \leq 400 \quad (5.2)$$

Θα πρέπει να ικανοποιείται ο περιορισμός αναρρίχησης κατά την εκκίνηση της μονάδας 2:

$$P_2 \leq 250 \quad (5.3)$$

Συνδυάζοντας τις (5.2) και (5.3) προκύπτει ότι θα πρέπει να ισχύει ο περιορισμός:

$$100 \leq P_2 \leq 250 \quad (5.4)$$

Η παραγωγή  $P_2$  θα πρέπει να μεγιστοποιεί το κέρδος, σχέση (5.1), με τον περιορισμό (5.4). Χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση `quadprog` του MATLAB προκύπτει πολύ εύκολα ότι η βέλτιστη λύση αυτού του προβλήματος τετραγωνικού προγραμματισμού είναι:

$$P_2 = 250 \text{ MW}$$

Το κέρδος είναι:

$$F(2,3) = 17.66 \cdot 250 - 0.011 \cdot 250^2 - 952.63 \Leftrightarrow F(2,3) = 2774,87 \text{ €}$$

**d. Υπολογισμός συνολικού κέρδους σεναρίου 2**

$$F_{\text{Total}} = F(2,3) \Leftrightarrow F_{\text{Total}} = 2774,87 \text{ €}$$

**2. Υπολογισμός συνολικού κέρδους υπόλοιπων σεναρίων**

Όμοια υπολογίζεται το συνολικό κέρδος των υπόλοιπων 15 σεναρίων του Πίνακα 5.4. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 5.5. Από τον Πίνακα 5.5 προκύπτει ότι το βέλτιστο σενάριο ένταξης είναι το σενάριο 22 με μέγιστο συνολικό κέρδος 6316 €.

**Πίνακας 5.5:** Πλάνο παραγωγής ( MW ) και συνολικό κέρδος των 16 εφικτών σεναρίων ένταξης

Σενάριο	Ωρα 1		Ωρα 2		Ωρα 3		Συνολικό Κέρδος ( € )
	Μονάδα 1	Μονάδα 2	Μονάδα 1	Μονάδα 2	Μονάδα 1	Μονάδα 2	
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	250	2775
3	0	0	0	0	23	0	-24
4	0	0	0	0	23	250	2751
6	0	0	0	250	0	400	5530
8	0	0	0	250	23	400	5505
11	0	0	22.8	0	45.8	0	-30
12	0	0	22.8	0	45.8	250	2745
16	0	0	22.8	250	45.8	400	5500
22	0	250	0	348.2	0	400	6316
24	0	250	0	348.2	23	400	6291
32	0	250	22.8	348.2	45.8	400	6286
43	22.8	0	22.8	0	45.8	0	-185
44	22.8	0	22.8	0	45.8	250	2590
48	22.8	0	22.8	250	45.8	400	5345
64	22.8	250	22.8	348.2	45.8	400	6131

### 5.1.6 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Απενεργοποιήσαμε τεχνητά τον περιορισμό της ζήτησης εισάγοντας μεγάλες τιμές ζήτησης στο αρχείο εισόδου.

Παρατηρούμε ότι η λύση του προγράμματος ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς αφού όλες οι τιμές της στήλης T Violation στο αρχείο εξόδου είναι ίσες με μηδέν.

Η μονάδα 1 δεν λειτουργεί καθόλου ενώ η μονάδα 2 λειτουργεί και τις τρεις χρονικές περιόδους.

Την τρίτη χρονική περίοδο έχουμε τη μέγιστη παραγωγή η οποία ισούται με 400 MW. Παρατηρούμε ότι την τρίτη χρονική περίοδο η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μέγιστη πράγμα που σημαίνει ότι τότε συμφέρει να παραγούμε περισσότερο έτσι ώστε να προκύψει το μέγιστο κέρδος.

Από το σχήμα 5.4 παρατηρούμε ότι την πρώτη χρονική περίοδο έχουμε ζημία ( τα συνολικά έξοδα παραγωγής είναι μεγαλύτερα από τα συνολικά έσοδα ) η οποία όμως αντισταθμίζεται τις δύο επόμενες ώρες.

Συγκρίνοντας τον πίνακα 5.2 με το σενάριο 22 του πίνακα 5.5 προκύπτει ότι το πρόγραμμα εντόπισε την απόλυτα βέλτιστη λύση. Πρέπει να τονιστεί ότι παρόλο που είναι πολύ εύκολο να λυθεί το συγκεκριμένο πρόβλημα με πλήρη απαρίθμηση, επιλέχθηκε η επίλυσή του μέσω του προγράμματος ώστε να διερευνηθεί η δυνατότητά του ως προς την εύρεση του απόλυτου βέλτιστου.

**5.2   ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΕ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ****5.2.1   Αρχείο εισόδου****Πίνακας 5.6:** Αρχείο εισόδου

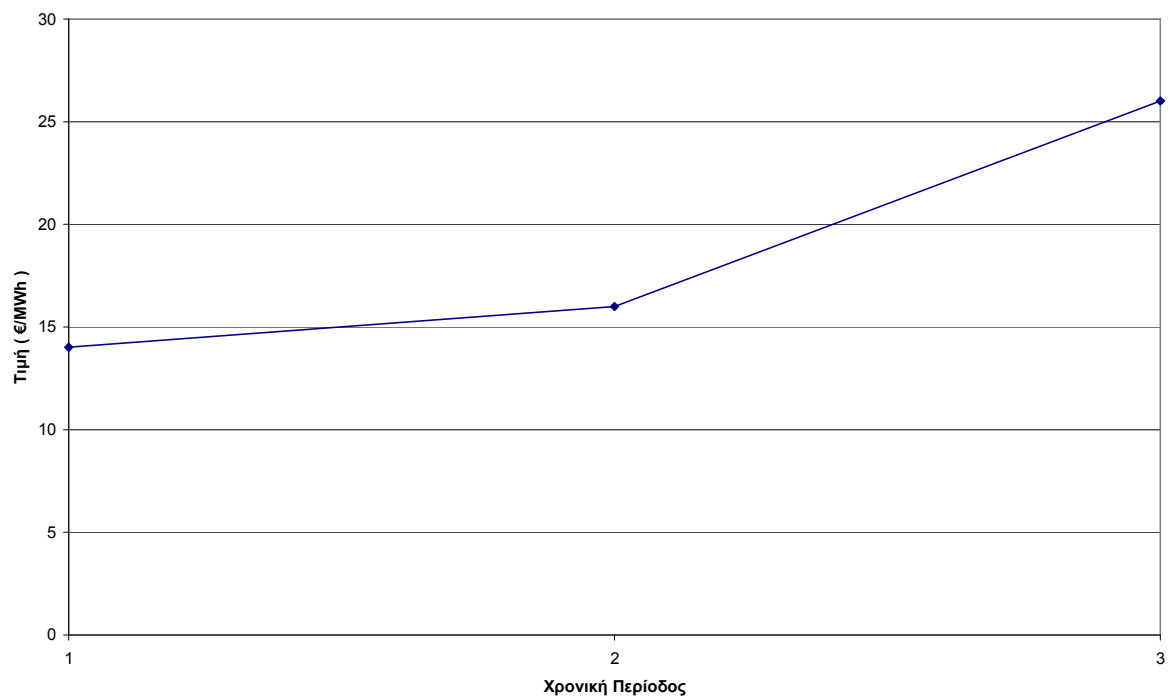
Units	2
Time Periods	3
Population ( odd number )	101
Penalty	10000000

Time Period	1	2	3
Price ( €/MWh )	14	16	26
Demand ( MW )	324	146	517

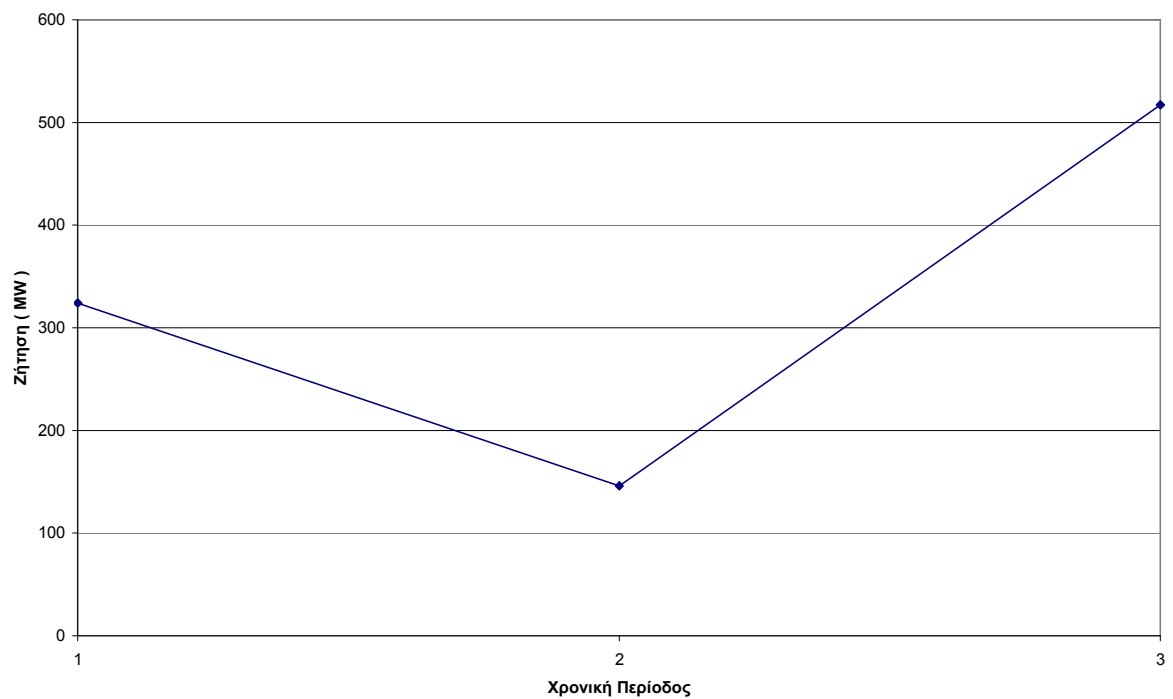
Unit	Pmin ( MW )	Pmax ( MW )	A ( €/h )	B ( €/MWh )	C ( €/MW <sup>2</sup> h )	Tup ( h )	Tdown ( h )	Tinitial ( h )
1	22.8	114	11.6	20.3	0.015	3	2	-3
2	100	400	64.2	8.34	0.011	8	5	-10

Unit	Rup ( MW/h )	Rdown ( MW/h )	Pinitial ( MW )	D ( €/h )	E ( €/h )	CT ( h )	SD ( € )
1	23	23	0	75	75	3	0
2	250	250	0	500	500	8	0

### 5.2.2 Γραφική αναπαράσταση δεδομένων εισόδου



Σχήμα 5.7: Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε χρονική περίοδο



Σχήμα 5.8: Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε χρονική περίοδο

**5.2.3**   Αρχείο εξόδου**Πίνακας 5.7:**   Αρχείο εξόδου

Operational Profit ( € )	5,830.42
--------------------------	----------

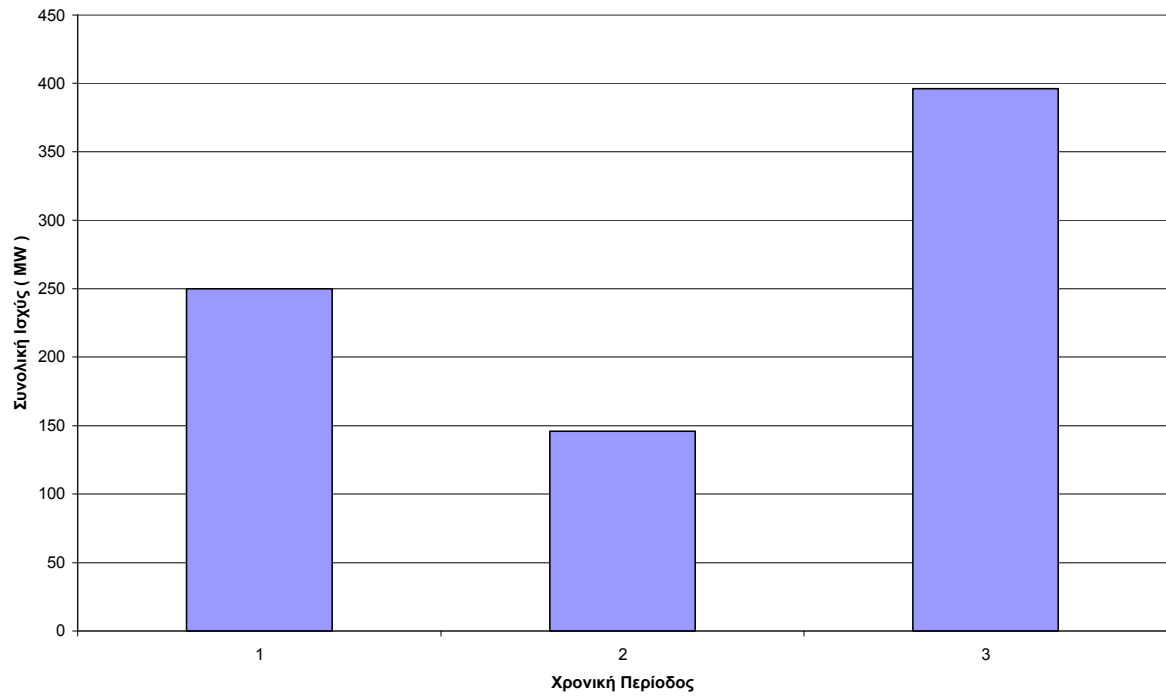
Unit	Unit Schedule		
	1	2	3
1	0	0	0
2	1	1	1

Unit	Generation Schedule ( MW )		
	1	2	3
1	0	0	0
2	250	146	396
P SUM ( MW )	250	146	396

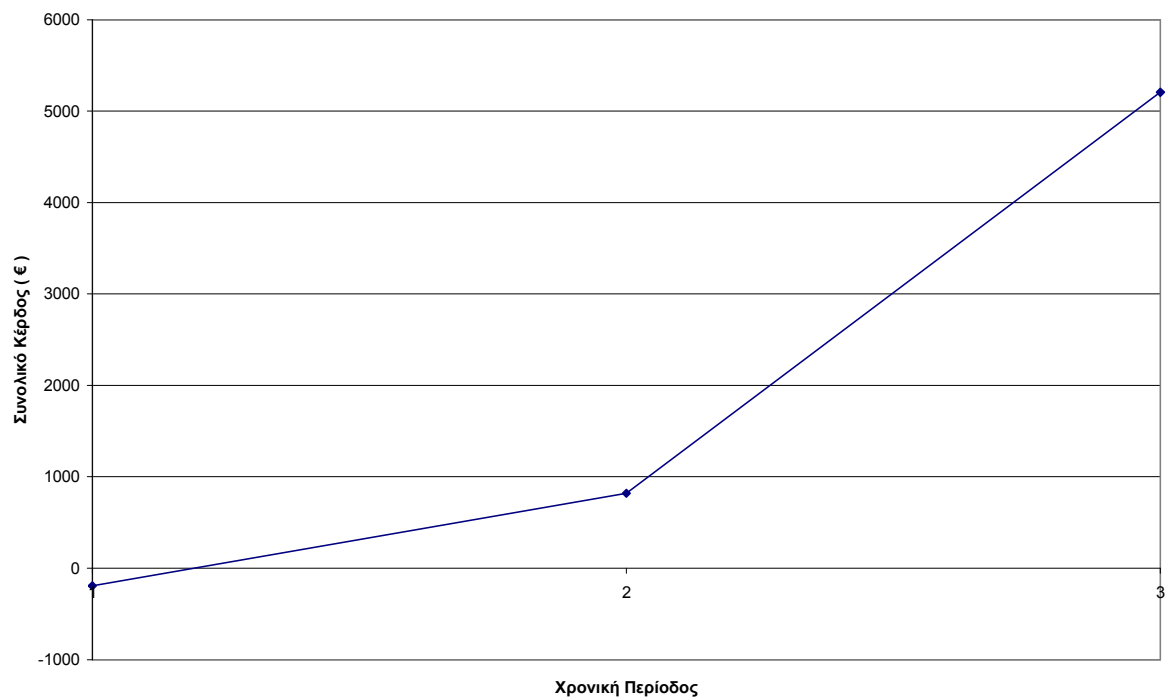
Unit	T initial	Profit ( € )	T Violation	P SUM ( MW )
1	-6	0	0	0
2	3	5,830.42	0	792

Time Period	1	2	3
Profit ( € )	-193.45	819.68	5,204.18
Spinning Reserve ( MW )	-74	0	-121

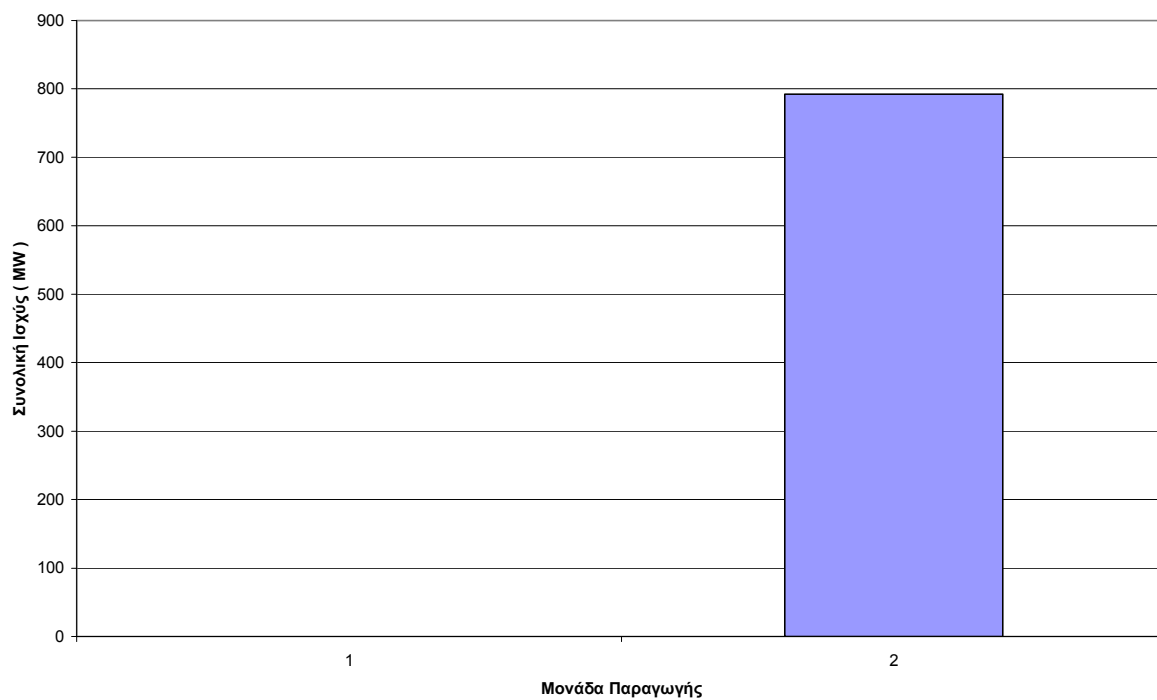
### 5.2.4 Γραφική αναπαράσταση αποτελεσμάτων



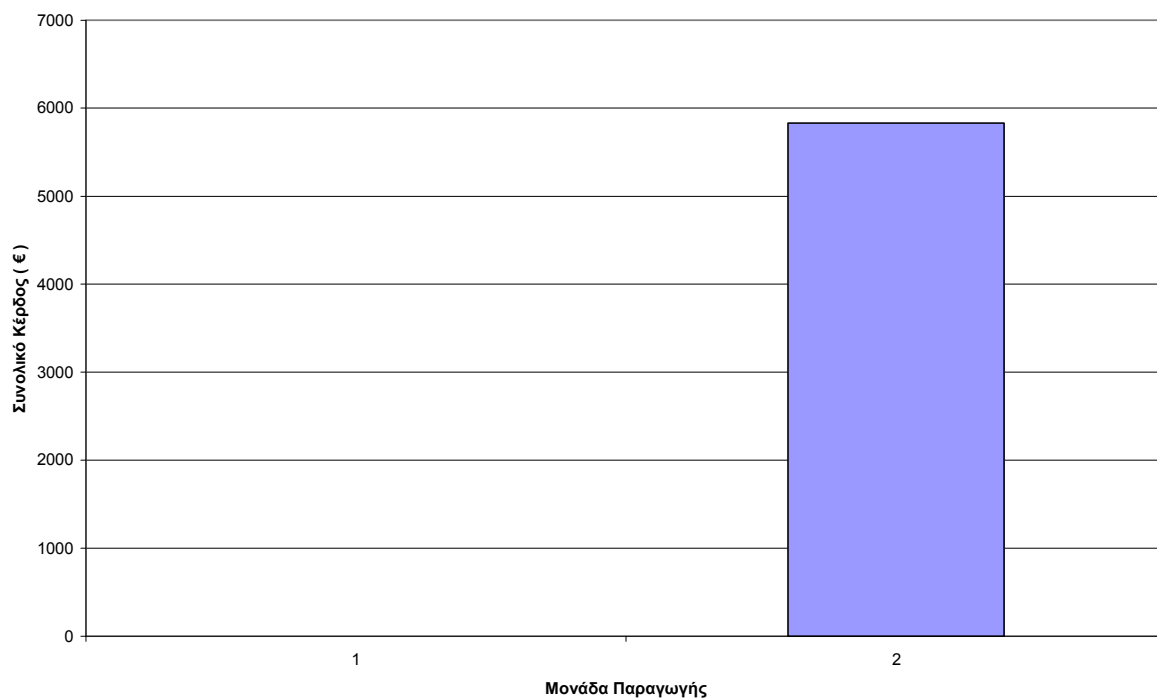
Σχήμα 5.9: Συνολική παραγόμενη ισχύς για κάθε χρονική περίοδο



Σχήμα 5.10: Συνολικό κέρδος για κάθε χρονική περίοδο



**Σχήμα 5.11:** Συνολική παραγόμενη ισχύς για κάθε μονάδα παραγωγής



**Σχήμα 5.12:** Συνολικό κέρδος για κάθε μονάδα παραγωγής



### 5.2.5 Εύρεση απόλυτου βέλτιστου με πλήρη απαρίθμηση

Το πρόβλημα της ενότητας 5.2 αποτελεί μία εμπλουτισμένη εκδοχή του προβλήματος της ενότητας 5.1 και οι πίνακες 5.3 και 5.4 εξακολουθούν να ισχύουν.

Η μόνη διαφορά με το πρόβλημα της ενότητας 5.1 είναι η προσθήκη του περιορισμού της ζήτησης. Αν για παράδειγμα θέλουμε να υπολογίσουμε το κέρδος του σεναρίου 2 για την ώρα 3, θα πρέπει να επιλυθεί το επόμενο πρόβλημα τετραγωνικού προγραμματισμού:

$$\max F(2,3) = \max[ 17.66 \cdot P_2 - 0.011 \cdot P_2^2 - 952.63 ]$$

υπό περιορισμούς:

$$P_2 \leq 517 \rightarrow \text{Περιορισμός της ζήτησης}$$

$$100 \leq P_2 \leq 250$$

Το συνολικό κέρδος των 16 σεναρίων του Πίνακα 5.4 φαίνεται στον Πίνακα 5.8. Από τον Πίνακα 5.8 προκύπτει ότι το βέλτιστο σενάριο ένταξης είναι το σενάριο 22 με μέγιστο συνολικό κέρδος 5830 €.

**Πίνακας 5.8:** Πλάνο παραγωγής ( MW ) και συνολικό κέρδος των 16 εφικτών σεναρίων ένταξης

Σενάριο	Ωρα 1		Ωρα 2		Ωρα 3		Συνολικό Κέρδος ( € )
	Μονάδα 1	Μονάδα 2	Μονάδα 1	Μονάδα 2	Μονάδα 1	Μονάδα 2	
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	250	2775
3	0	0	0	0	23	0	-24
4	0	0	0	0	23	250	2751
6	0	0	0	146	0	396	5150
8	0	0	0	146	23	396	5126
11	0	0	22.8	0	45.8	0	-30
12	0	0	22.8	0	45.8	250	2745
16	0	0	22.8	123.2	45.8	373.2	4804
22	0	250	0	146	0	396	5830
24	0	250	0	146	23	396	5806
32	0	250	22.8	123.2	45.8	373.2	5484
43	22.8	0	22.8	0	45.8	0	-185
44	22.8	0	22.8	0	45.8	250	2590
48	22.8	0	22.8	123.2	45.8	373.2	4649
64	22.8	250	22.8	123.2	45.8	373.2	5329

### **5.2.6 Σχολιασμός αποτελεσμάτων**

Η λύση του προγράμματος ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς αφού όλες οι τιμές της στήλης T Violation και όλες οι τιμές της γραμμής Spinning Reserve στο αρχείο εξόδου είναι ίσες με μηδέν και  $\leq 0$  αντίστοιχα.

Η μονάδα 1 δεν λειτουργεί καθόλου ενώ η μονάδα 2 λειτουργεί και τις τρεις χρονικές περιόδους.

Την τρίτη χρονική περίοδο έχουμε τη μέγιστη παραγωγή η οποία ισούται με 396 MW. Παρατηρούμε ότι την τρίτη χρονική περίοδο η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας και η ζήτηση είναι μέγιστη πράγμα που σημαίνει ότι τότε συμφέρει να παραγούμε περισσότερο έτσι ώστε να προκύψει το μέγιστο κέρδος.

Από το σχήμα 5.10 παρατηρούμε ότι την πρώτη χρονική περίοδο έχουμε ζημία ( τα συνολικά έξοδα παραγωγής είναι μεγαλύτερα από τα συνολικά έσοδα ) η οποία όμως αντισταθμίζεται τις δύο επόμενες ώρες.

Συγκρίνοντας τον πίνακα 5.7 με το σενάριο 22 του πίνακα 5.8 προκύπτει ότι το πρόγραμμα εντόπισε την απόλυτα βέλτιστη λύση.

Συγκρίνοντας με τα αποτελέσματα της ενότητας 5.1 γίνεται αντιληπτό ότι η εισαγωγή του περιορισμού της ζήτησης μειώνει το συνολικό κέρδος αφού σε κάθε χρονική περίοδο η συνδυασμένη παραγωγή των ενεργοποιημένων μονάδων δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει το όριο της ζήτησης, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η μέγιστη εκμετάλλευση της δυναμικότητας των ενεργοποιημένων μηχανών.

## ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΝΤΑΞΗΣ 20 ΜΟΝΑΔΩΝ ΓΙΑ 24 ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ

### 6.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΧΩΡΙΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

#### 6.1.1 Αρχείο εισόδου

Πίνακας 6.1: Αρχείο εισόδου

Units	20
Time Periods	24
Population ( odd number )	21
Penalty	10000000

Time Period	1	2	3	4	5	6
Price ( €/MWh )	8	9.8	12.4	15	25.5	31.8
Demand ( MW )	100000	100000	100000	100000	100000	100000

Time Period	7	8	9	10	11	12	13
Price ( €/MWh )	31.4	31	36.02	42.51	47.36	52.2	52
Demand ( MW )	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000

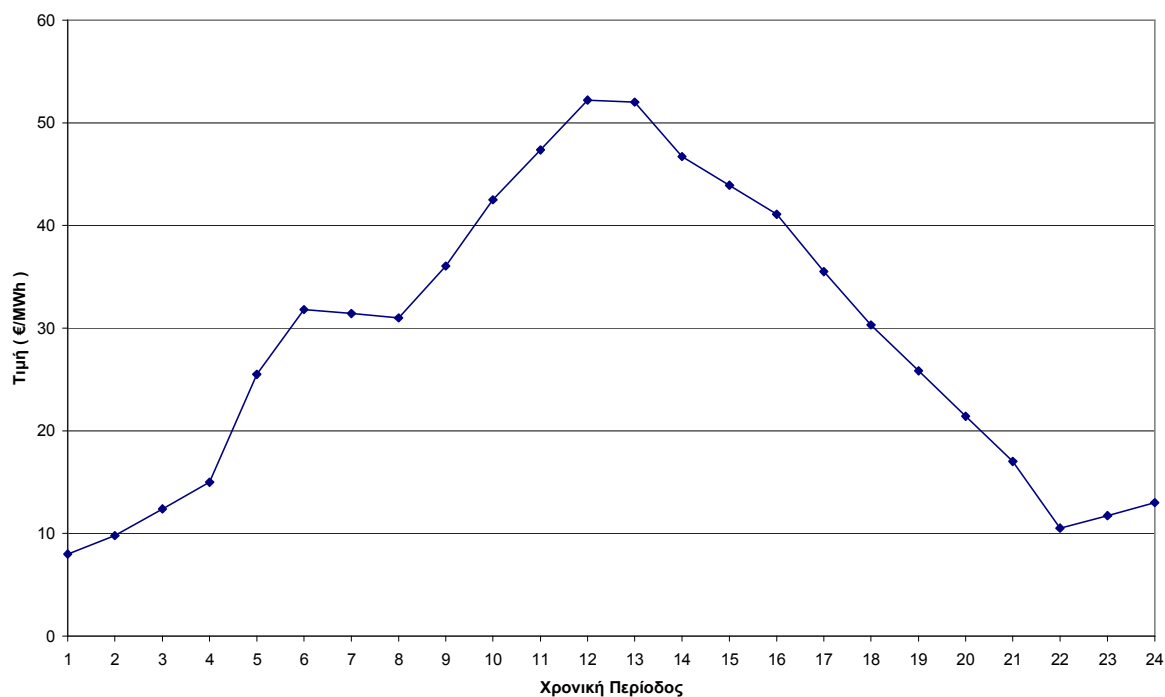
Time Period	14	15	16	17	18	19	20
Price ( €/MWh )	46.7	43.9	41.1	35.5	30.3	25.85	21.4
Demand ( MW )	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000

Time Period	21	22	23	24
Price ( €/MWh )	17	10.5	11.75	13
Demand ( MW )	100000	100000	100000	100000

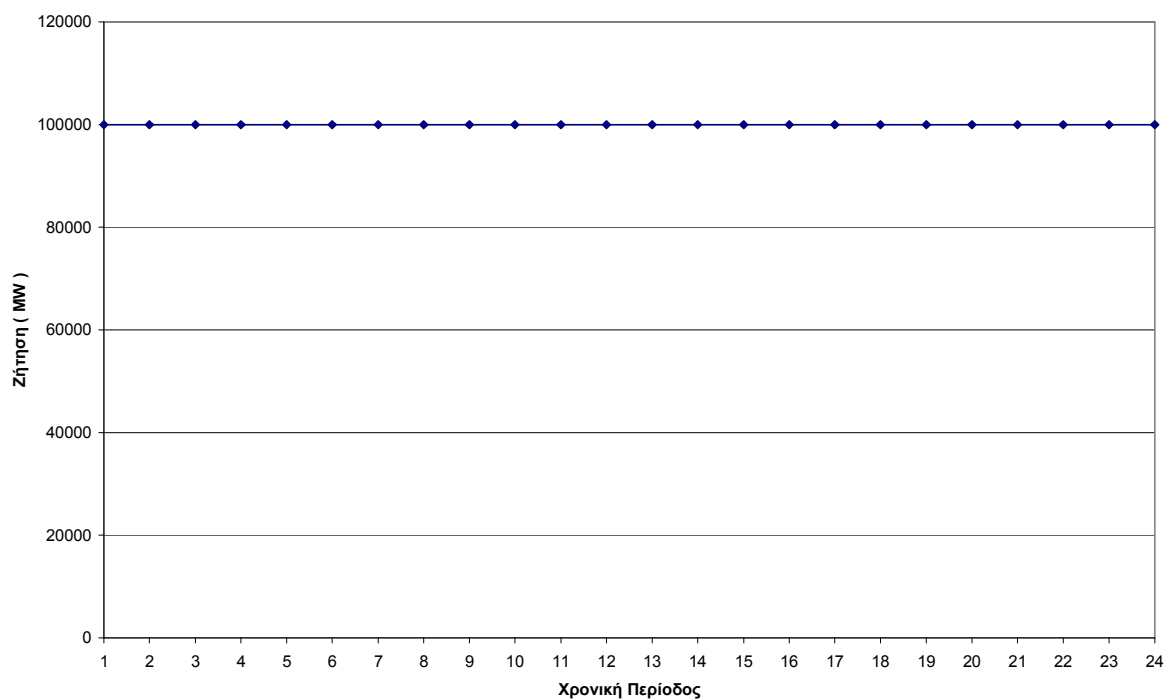
Unit	Pmin ( MW )	Pmax ( MW )	A ( €/h )	B ( €/MWh )	C ( €/MW <sup>2</sup> h )	Tup ( h )	Tdown ( h )	Tinitial ( h )
1	3.6	18	19.01	15.7463	0.04175	1	1	-1
2	3.6	18	19.04	15.8712	0.04239	1	1	-1
3	3.6	18	19.27	16.0311	0.04411	1	1	-1
4	3.6	18	19.44	16.1724	0.04513	1	1	-1
5	6	30	31.72	26.2541	0.06975	1	1	-1
6	6	30	31.74	26.3911	0.07012	1	1	-1
7	6	30	31.94	26.5259	0.07237	1	1	-1
8	22.8	114	11.57	20.3148	0.01459	3	2	-3
9	22.8	114	11.59	20.4512	0.01567	3	2	-3
10	22.8	114	11.77	20.6219	0.01704	3	2	-3
11	37.5	150	15.22	26.7302	0.01921	4	2	-3
12	37.5	150	15.25	26.9095	0.02062	4	2	-3
13	37.5	150	15.49	27.1341	0.02242	4	2	-3
14	80	230	44.85	15.2835	0.00563	5	3	-5
15	80	230	44.93	15.2911	0.00575	5	3	-5
16	103	295	6.78	12.8875	0.01088	5	4	-4
17	103	295	6.89	12.8913	0.01133	5	4	-4
18	140	350	32.96	10.7601	0.00301	8	5	-10
19	100	400	64.16	8.3391	0.01059	8	5	-10
20	100	400	64.36	8.4511	0.01123	8	5	-10

Unit	Rup ( MW/h )	Rdown ( MW/h )	Pinitial ( MW )	D ( €/h )	E ( €/h )	CT ( h )	SD ( € )
1	6	5	0	0	0	1	0
2	6	5	0	0	0	1	0
3	6	5	0	0	0	1	0
4	6	5	0	0	0	1	0
5	12	15	0	30	30	2	0
6	12	15	0	30	30	2	0
7	12	15	0	30	30	2	0
8	23	23	0	75	75	3	0
9	23	23	0	75	75	3	0
10	23	30	0	75	75	3	0
11	38	38	0	105	105	4	0
12	45	45	0	105	105	4	0
13	45	45	0	105	105	4	0
14	150	150	0	225	225	6	0
15	225	150	0	225	225	6	0
16	290	375	0	300	300	8	0
17	290	375	0	300	300	8	0
18	200	300	0	300	200	8	0
19	250	250	0	500	500	8	0
20	250	250	0	500	500	10	0

### 6.1.2 Γραφική αναπαράσταση δεδομένων εισόδου



Σχήμα 6.1: Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε χρονική περίοδο



Σχήμα 6.2: Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε χρονική περίοδο

## 6.1.3 Αρχείο εξόδου

Πίνακας 6.2: Αρχείο εξόδου

Operational Profit ( € )	969,390.88
--------------------------	------------

Unit	Unit Schedule				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	1	1
2	0	0	0	1	1
3	0	0	0	1	1
4	0	0	1	1	1
5	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	1	1	1
9	0	0	0	1	1
10	0	0	1	1	1
11	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	1
14	0	0	1	1	1
15	0	0	1	1	1
16	0	0	0	1	1
17	0	0	0	1	1
18	0	0	0	1	1
19	0	1	1	1	1
20	0	0	1	1	1

Unit	Generation Schedule ( MW )				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	3.5999999	9.60000038
2	0	0	0	3.5999999	9.60000038
3	0	0	0	3.5999999	9.60000038
4	0	0	3.5999999	3.5999999	9.60000038
5	0	0	0	6	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	22.79999924	22.79999924	45.79999924
9	0	0	0	22.79999924	45.79999924
10	0	0	22.79999924	22.79999924	45.79999924
11	0	0	0	0	37.5
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	37.5
14	0	0	80	80	230
15	0	0	80	80	230
16	0	0	0	103	295
17	0	0	0	103	295
18	0	0	0	200	350
19	0	100	191.7327576	314.4900818	400
20	0	0	175.8191986	291.5805664	400
P SUM ( MW )	0	100	576.7519546	1260.870646	2450.799999

Unit	Unit Schedule				
	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1
5	0	0	0	1	1
6	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1

Unit	Generation Schedule ( MW )				
	6	7	8	9	10
1	15.6000004	18	18	18	18
2	15.6000004	18	18	18	18
3	15.6000004	18	18	18	18
4	15.6000004	18	18	18	18
5	0	0	0	12	24
6	12	24	30	30	30
7	12	24	30	30	30
8	68.8000031	91.8000031	114	114	114
9	68.8000031	91.8000031	114	114	114
10	68.8000031	91.8000031	114	114	114
11	75.5	113.5	111.1348343	149.1348267	150
12	45	90	99.18768311	144.1876831	150
13	82.5	95.1360321	86.21543121	131.2154236	150
14	230	230	230	230	230
15	230	230	230	230	230
16	295	295	295	295	295
17	295	295	295	295	295
18	350	350	350	350	350
19	400	400	400	400	400
20	400	400	400	400	400
P SUM ( MW )	2695.80001	2894.03604	2970.537949	3110.537933	3148

Unit	Unit Schedule					
	11	12	13	14	15	16
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1

Unit	Generation Schedule ( MW )					
	11	12	13	14	15	16
1	18	18	18	18	18	18
2	18	18	18	18	18	18
3	18	18	18	18	18	18
4	18	18	18	18	18	18
5	30	30	30	30	30	30
6	30	30	30	30	30	30
7	30	30	30	30	30	30
8	114	114	114	114	114	114
9	114	114	114	114	114	114
10	114	114	114	114	114	114
11	150	150	150	150	150	150
12	150	150	150	150	150	150
13	150	150	150	150	150	150
14	230	230	230	230	230	230
15	230	230	230	230	230	230
16	295	295	295	295	295	295
17	295	295	295	295	295	295
18	350	350	350	350	350	350
19	400	400	400	400	400	400
20	400	400	400	400	400	400
P SUM ( MW )	3154	3154	3154	3154	3154	3154



Unit	Unit Schedule				
	17	18	19	20	21
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1
5	1	1	1	0	0
6	1	1	1	0	0
7	1	1	1	0	0
8	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	0
12	1	1	1	1	0
13	1	1	1	1	0
14	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1

Unit	Generation Schedule ( MW )				
	17	18	19	20	21
1	18	18	18	18	15.01437473
2	18	18	18	18	13.31446552
3	18	18	18	18	13
4	18	18	18	18	13
5	30	29.0028553	14.0028553	0	0
6	30	27.87292671	12.87292671	0	0
7	30	26.07502747	11.07502747	0	0
8	114	114	114	91	68
9	114	114	114	91	68
10	114	114	114	84	54
11	150	112	74	37.5	0
12	150	105	60	37.5	0
13	150	105	60	37.5	0
14	230	230	230	230	152.4422913
15	230	230	230	230	148.6000366
16	295	295	295	295	188.9935761
17	295	295	295	295	181.3194885
18	350	350	350	350	350
19	400	400	400	400	400
20	400	400	400	400	380.6277466
P SUM ( MW )	3154	3018.950809	2845.950809	2650.5	2046.311979

Unit	Unit Schedule		
	22	23	24
1	1	1	1
2	1	1	0
3	1	1	0
4	1	1	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	1	1	0
9	1	1	0
10	1	0	0
11	0	0	0
12	0	0	0
13	0	0	0
14	1	0	0
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	1	1	1
19	1	1	0
20	1	1	1

Unit	Generation Schedule ( MW )		
	22	23	24
1	10.01437473	5.01437473	3.5999999
2	8.31446552	3.5999999	0
3	8	3.5999999	0
4	8	3.5999999	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	45	22.79999924	0
9	45	22.79999924	0
10	24	0	0
11	0	0	0
12	0	0	0
13	0	0	0
14	80	0	0
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	140	164.4351502	350
19	150	161.0434418	0
20	130.6277466	146.8788757	202.533371
P SUM ( MW )	648.9565868	533.7718406	556.133371

Unit	T initial	Profit ( € )	T Violation	P SUM ( MW )
1	21	5,361.67	0	314.4431248
2	-1	5,365.25	0	306.0289316
3	-1	5,304.90	0	305.4000006
4	-1	5,219.51	0	309.0000005
5	-5	3,543.91	0	295.0057106
6	-5	3,967.95	0	376.7458534
7	-5	3,894.94	0	373.1500549
8	-1	25,298.22	0	1846.800003
9	-1	25,042.47	0	1824.000004
10	-2	24,822.40	0	1782.000004
11	-4	19,660.93	0	1910.269661
12	-4	19,021.45	0	1780.875366
13	-4	18,124.37	0	1835.066887
14	-2	73,845.45	0	4072.442291
15	-3	74,171.35	0	3988.600037
16	-3	99,304.80	0	5011.993576
17	-3	98,636.98	0	5004.319489
18	21	143,724.09	0	6804.43515
19	-1	158,657.59	0	7717.266281
20	22	156,422.67	0	7728.067505

Time Period	1	2	3	4	5
Profit ( € )	0	-897.55	-2,338.90	311.2	24,572.89
Spinning Reserve ( MW )	-100,000.00	-99,900.00	-99,423.25	-98,739.13	-97,549.20

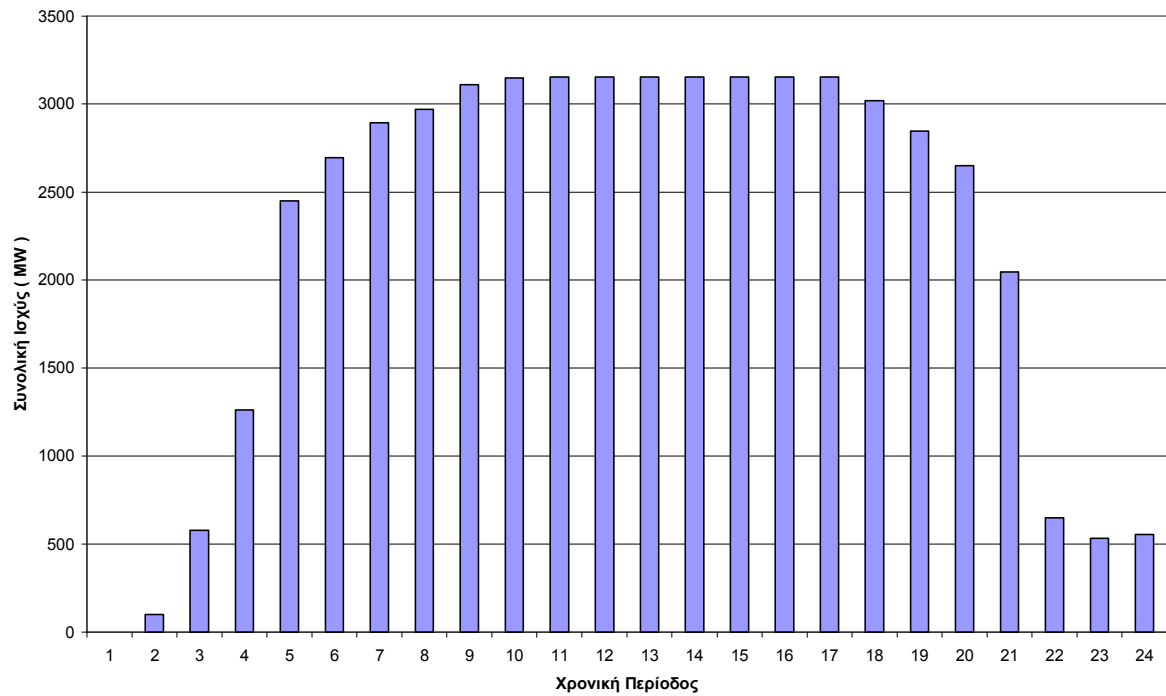
Time Period	6	7	8	9	10
Profit ( € )	41,501.43	41,627.07	40,967.11	56,426.37	77,069.13
Spinning Reserve ( MW )	-97,304.20	-97,105.98	-97,029.46	-96,889.46	-96,852.00

Time Period	11	12	13	14	15
Profit ( € )	92,440.96	107,706.32	107,075.52	90,359.32	81,528.13
Spinning Reserve ( MW )	-96,846.00	-96,846.00	-96,846.00	-96,846.00	-96,846.00

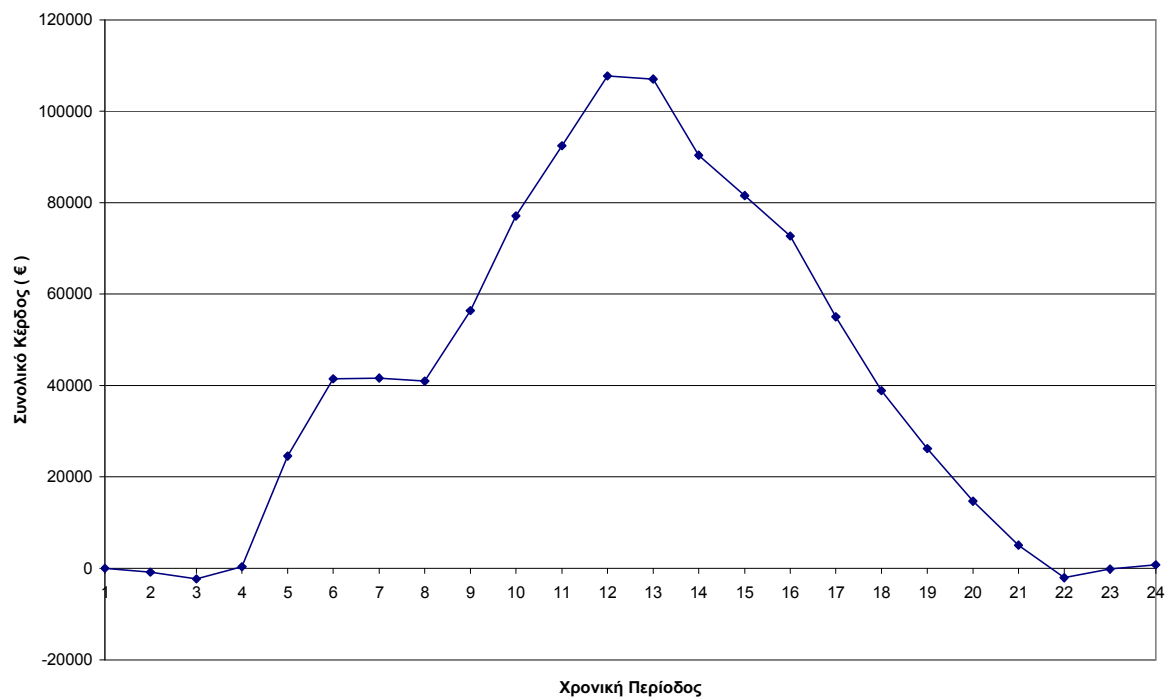
Time Period	16	17	18	19	20
Profit ( € )	72,696.92	55,034.52	38,889.67	26,202.09	14,650.08
Spinning Reserve ( MW )	-96,846.00	-96,846.00	-96,981.05	-97,154.05	-97,349.50

Time Period	21	22	23	24
Profit ( € )	5,034.39	-2,073.40	-141.45	749.13
Spinning Reserve ( MW )	-97,953.69	-99,351.05	-99,466.23	-99,443.87

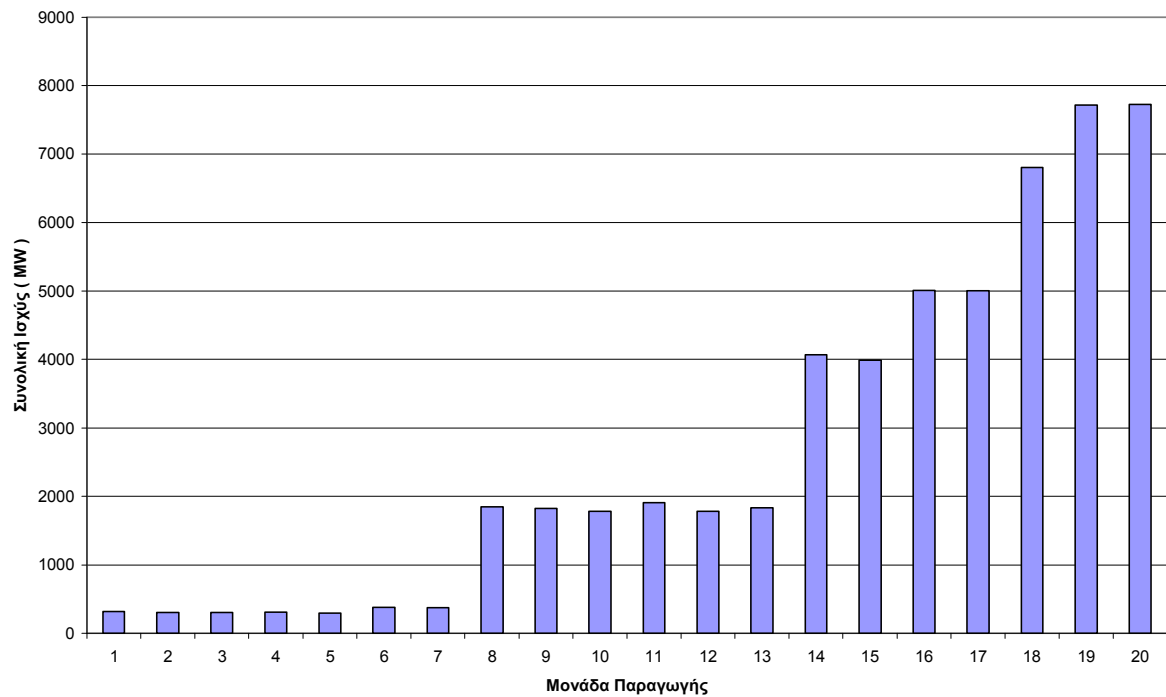
### 6.1.4 Γραφική αναπαράσταση αποτελεσμάτων



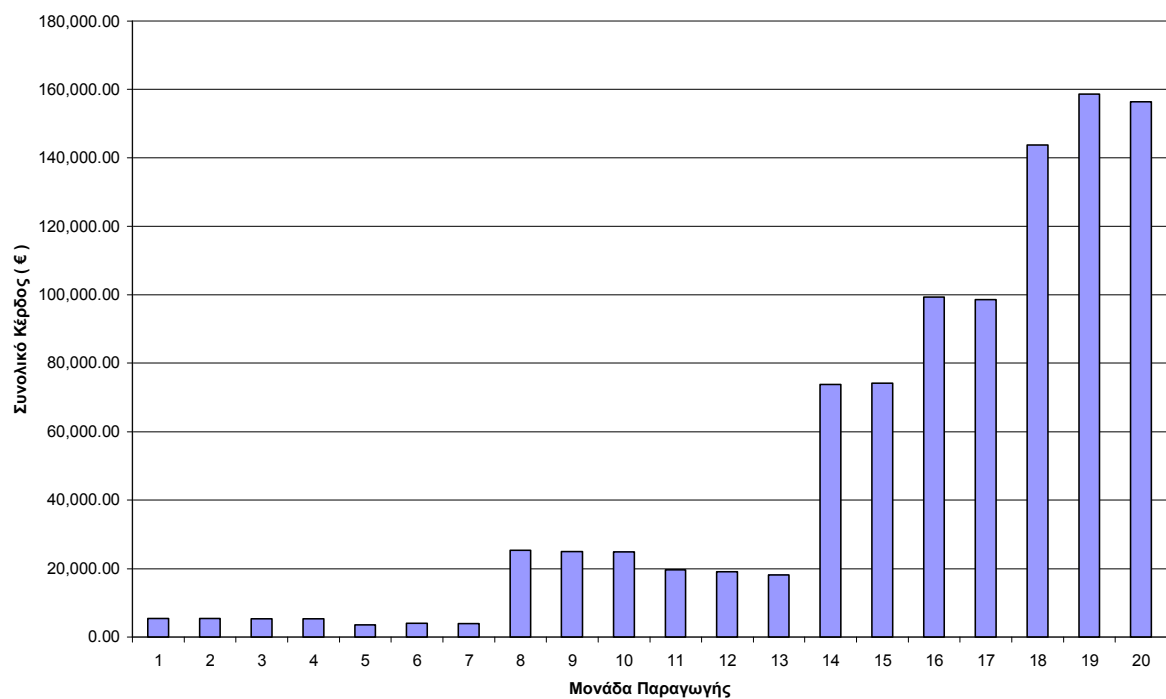
Σχήμα 6.3: Συνολική παραγόμενη ισχύς για κάθε χρονική περίοδο



Σχήμα 6.4: Συνολικό κέρδος για κάθε χρονική περίοδο



Σχήμα 6.5: Συνολική παραγόμενη ισχύς για κάθε μονάδα παραγωγής



Σχήμα 6.6: Συνολικό κέρδος για κάθε μονάδα παραγωγής

### 6.1.5 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Απενεργοποιήσαμε τεχνητά τον περιορισμό της ζήτησης εισάγοντας μεγάλες τιμές ζήτησης στο αρχείο εισόδου.

Η λύση του προγράμματος ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς αφού όλες οι τιμές της στήλης T Violation στο αρχείο εξόδου είναι ίσες με μηδέν.

Από τα σχήματα 6.1 και 6.3 παρατηρούμε ότι τις χρονικές περιόδους όπου η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μέγιστη, παράγουν όλες οι μονάδες στο μέγιστο της δυναμικότητάς τους.

Από το σχήμα 6.4 παρατηρούμε ότι τις χρονικές περιόδους 2, 3, 22 και 23 έχουμε ζημιά. Από την ομοιότητα των σχημάτων 6.1 και 6.4 προκύπτει ότι το συνολικό κέρδος για κάθε χρονική περίοδο ακολουθεί την ανοδική ή καθοδική πορεία της τιμής ηλεκτρικής ενέργειας.

Από τα σχήματα 6.5 και 6.6 προκύπτει ότι οι μονάδες 19 και 20 έχουν τη μέγιστη συνολική παραγόμενη ισχύ και το μέγιστο συνολικό κέρδος.

## 6.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΕ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

### 6.2.1 Αρχείο εισόδου

**Πίνακας 6.3:** Αρχείο εισόδου

Units	20
Time Periods	24
Population ( odd number )	21
Penalty	10000000

Time Period	1	2	3	4	5
Price ( €/MWh )	8	9.8	12.4	15	25.5
Demand ( MW )	160	210	300	100	254

Time Period	6	7	8	9	10	11	12
Price ( €/MWh )	31.8	31.4	31	36.02	42.51	47.36	52.2
Demand ( MW )	694	546	475	246	367	478	639

Time Period	13	14	15	16	17	18	19
Price ( €/MWh )	52	46.7	43.9	41.1	35.5	30.3	25.85
Demand ( MW )	459	489	123	879	142	647	301

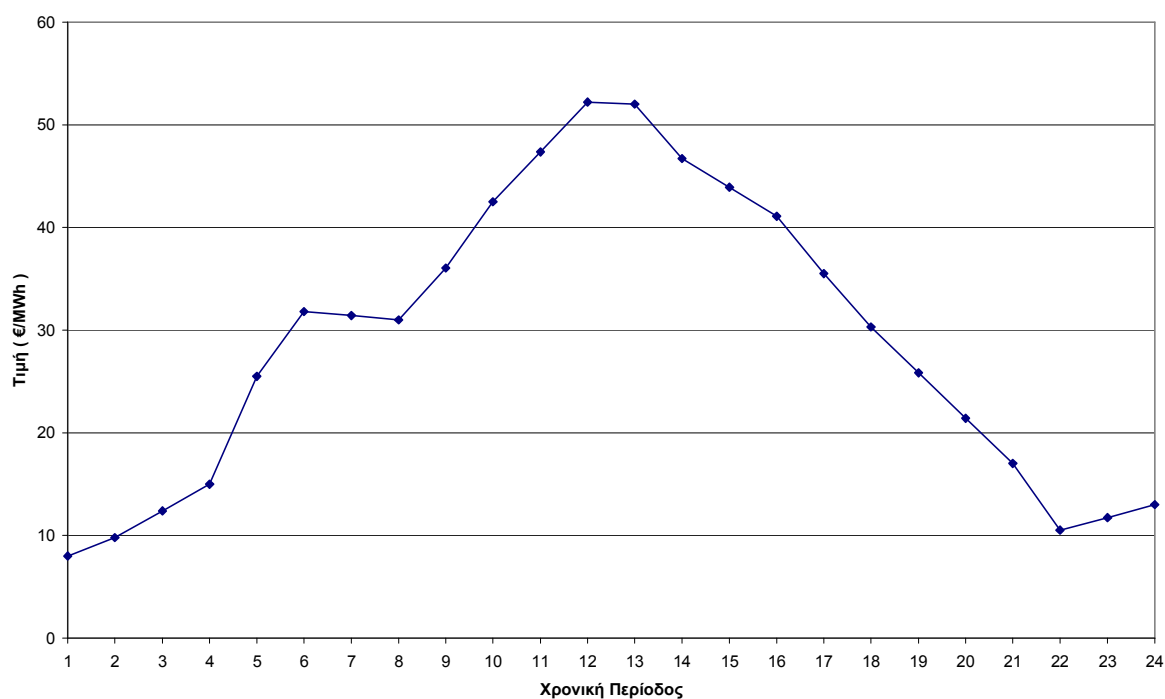
Time Period	20	21	22	23	24
Price ( €/MWh )	21.4	17	10.5	11.75	13
Demand ( MW )	736	572	197	637	489

Unit	Pmin ( MW )	Pmax ( MW )	A ( €/h )	B ( €/MWh )	C ( €/MW <sup>2</sup> h )	Tup ( h )	Tdown ( h )	Tinitial ( h )
1	3.6	18	19.01	15.7463	0.04175	1	1	-1
2	3.6	18	19.04	15.8712	0.04239	1	1	-1
3	3.6	18	19.27	16.0311	0.04411	1	1	-1
4	3.6	18	19.44	16.1724	0.04513	1	1	-1
5	6	30	31.72	26.2541	0.06975	1	1	-1
6	6	30	31.74	26.3911	0.07012	1	1	-1
7	6	30	31.94	26.5259	0.07237	1	1	-1
8	22.8	114	11.57	20.3148	0.01459	3	2	-3
9	22.8	114	11.59	20.4512	0.01567	3	2	-3
10	22.8	114	11.77	20.6219	0.01704	3	2	-3
11	37.5	150	15.22	26.7302	0.01921	4	2	-3
12	37.5	150	15.25	26.9095	0.02062	4	2	-3
13	37.5	150	15.49	27.1341	0.02242	4	2	-3
14	80	230	44.85	15.2835	0.00563	5	3	-5
15	80	230	44.93	15.2911	0.00575	5	3	-5
16	103	295	6.78	12.8875	0.01088	5	4	-4
17	103	295	6.89	12.8913	0.01133	5	4	-4
18	140	350	32.96	10.7601	0.00301	8	5	-10
19	100	400	64.16	8.3391	0.01059	8	5	-10
20	100	400	64.36	8.4511	0.01123	8	5	-10

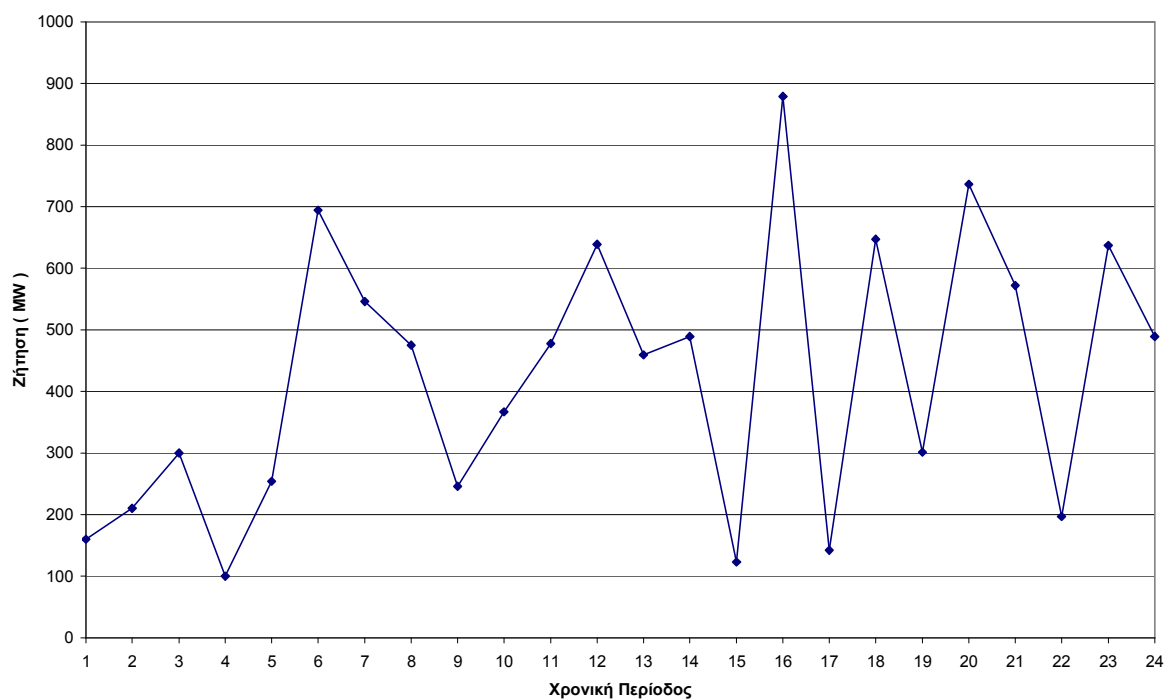
Unit	Rup ( MW/h )	Rdown ( MW/h )	Pinitial ( MW )	D ( €/h )	E ( €/h )	CT ( h )	SD ( € )
1	6	5	0	0	0	1	0
2	6	5	0	0	0	1	0
3	6	5	0	0	0	1	0
4	6	5	0	0	0	1	0
5	12	15	0	30	30	2	0
6	12	15	0	30	30	2	0
7	12	15	0	30	30	2	0
8	23	23	0	75	75	3	0
9	23	23	0	75	75	3	0
10	23	30	0	75	75	3	0
11	38	38	0	105	105	4	0
12	45	45	0	105	105	4	0
13	45	45	0	105	105	4	0
14	150	150	0	225	225	6	0
15	225	150	0	225	225	6	0
16	290	375	0	300	300	8	0
17	290	375	0	300	300	8	0
18	200	300	0	300	200	8	0
19	250	250	0	500	500	8	0
20	250	250	0	500	500	10	0



### 6.2.2 Γραφική αναπαράσταση δεδομένων εισόδου



Σχήμα 6.7: Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε χρονική περίοδο



Σχήμα 6.8: Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε χρονική περίοδο

## 6.2.3 Αρχείο εξόδου

Πίνακας 6.4: Αρχείο εξόδου

Operational Profit ( € )	146,264.73
--------------------------	------------

Unit	Unit Schedule				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	1	1	1	0	0
10	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	1
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	1	1	1	1	1
20	0	0	0	0	0

Unit	Generation Schedule ( MW )				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	3.5999999
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	22.79999924	22.79999924	22.79999924	0	0
10	0	0	0	0	22.79999924
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	80
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	100	100	191.7327576	100	147.6000061
20	0	0	0	0	0
P SUM ( MW )	122.7999992	122.7999992	214.5327568	100	254.0000052

Unit	Unit Schedule				
	6	7	8	9	10
1	1	1	1	0	1
2	1	1	1	0	1
3	0	0	0	0	0
4	1	1	0	0	0
5	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	1	1	1	1	0
10	1	1	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	1	1	1	1	1
16	0	0	0	0	1
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	1	1	1	1	0
20	0	0	0	0	0

Unit	Generation Schedule ( MW )				
	6	7	8	9	10
1	9.60000038	8.26228714	3.81876397	0	6
2	6	6.66432095	3.5999999	0	6
3	0	0	0	0	0
4	6	3.5999999	0	0	0
5	0	0	0	0	6
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	22.79999924	22.79999924	22.79999924	22.79999924	0
10	22.79999924	22.79999924	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	229.199997	99.57401276	80	80	156.0625458
16	0	0	0	0	192.9374542
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	397.6000061	382.2993774	364.78125	143.199997	0
20	0	0	0	0	0
P SUM ( MW )	694.0000019	545.9999967	475.0000131	245.9999962	367

Unit	Unit Schedule				
	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1
3	0	0	1	1	1
4	0	0	0	1	1
5	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	1	1	1	0	0
9	0	1	1	1	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0

Unit	Generation Schedule ( MW )				
	11	12	13	14	15
1	12	18	18	18	13
2	12	18	16.45197296	18	13
3	0	0	6	12	7
4	0	0	0	6	3.5999999
5	0	9.20000076	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	22.79999924	45.79999924	22.79999924	0	0
9	0	23	22.79999924	22.79999924	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	209.8410187	230	171.7302856	197.4104767	86.40000153
16	221.3589783	295	201.2177429	214.7895355	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
P SUM ( MW )	477.9999962	639	459	489.0000114	123.0000014

Unit	Unit Schedule				
	16	17	18	19	20
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1
5	1	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
17	1	1	1	1	1
18	0	0	1	1	1
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0

Unit	Generation Schedule ( MW )				
	16	17	18	19	20
1	18	13	18	13	18
2	18	13	18	13	18
3	13	8	14	9	15
4	9.60000038	4.60000038	10.60000038	5.60000038	11.60000038
5	12	0	0	0	0
6	12	0	0	0	0
7	12	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
17	290	103.4000015	295	103	295
18	0	0	200	157.3999939	350
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
P SUM ( MW )	384.6000004	142.0000019	555.6000004	300.9999943	707.6000004

Unit	Unit Schedule			
	21	22	23	24
1	1	1	1	1
2	1	1	1	0
3	1	1	1	0
4	1	1	1	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	1
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	1	1	1	1
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0

Unit	Generation Schedule ( MW )			
	21	22	23	24
1	15.01437473	10.01437473	5.01437473	3.5999999
2	13.31446552	8.31446552	3.5999999	0
3	10.9827776	5.9827776	3.5999999	0
4	9.16907215	4.16907215	3.5999999	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	6
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	350	140	164.4351502	350
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
P SUM ( MW )	398.48069	168.48069	180.2495246	359.5999999

Unit	T initial	Profit ( € )	T Violation	P SUM ( MW )
1	15	3,799.19	0	223.9241755
2	-1	3,664.71	0	204.9452248
3	-1	1,329.41	0	104.5655551
4	-1	731.85	0	78.1381459
5	-8	245.86	0	27.20000076
6	1	-99.03	0	18
7	-8	72.54	0	12
8	-11	2,569.90	0	91.39999772
9	-10	1,898.67	0	228.1999932
10	-17	407.21	0	68.39999772
11	-27	0	0	0
12	-27	0	0	0
13	-27	0	0	0
14	-29	0	0	0
15	-9	41,064.67	0	1620.218338
16	-10	36,673.73	0	1125.303711
17	-4	15,725.92	0	1086.400002
18	7	10,935.98	0	1711.835144
19	-15	27,244.11	0	1927.213394
20	-34	0	0	0

Time Period	1	2	3	4
Profit ( € )	-1,486.75	-286.55	121.84	496.03
Spinning Reserve ( MW )	-37.19999695	-87.19999695	-85.46725464	0

Time Period	5	6	7	8
Profit ( € )	2,536.69	11,667.33	9,386.18	8,262.21
Spinning Reserve ( MW )	0.00001526	-0.00003052	-0.00009155	0

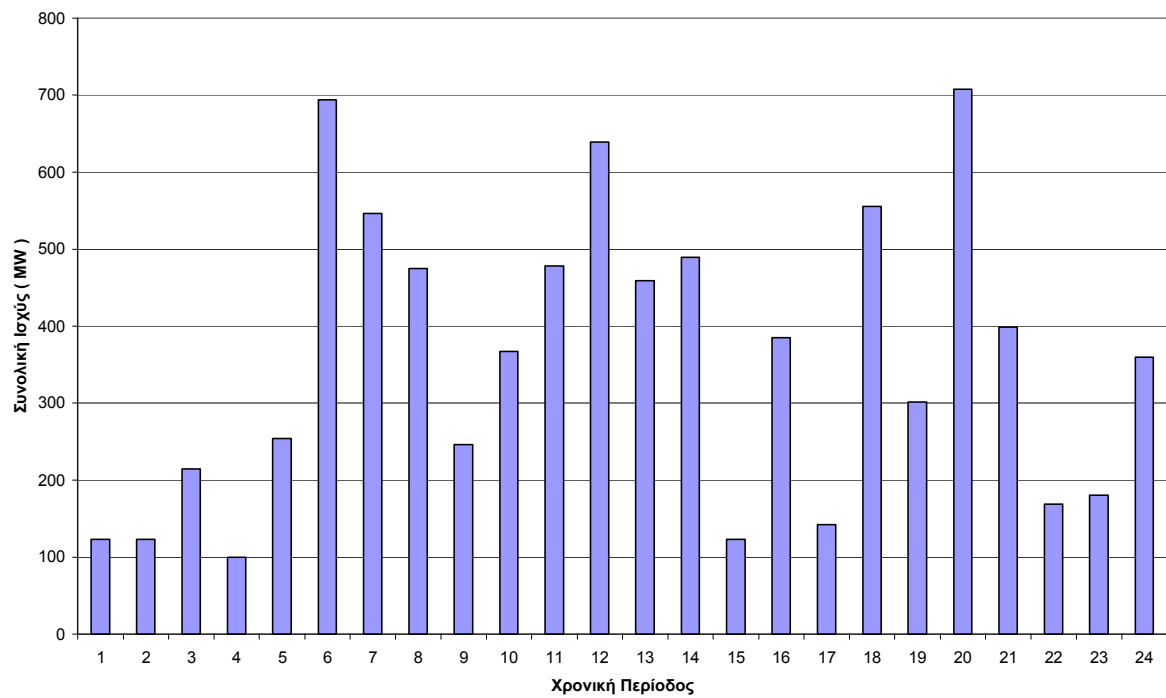
Time Period	9	10	11	12
Profit ( € )	5,594.40	9,108.29	14,677.67	22,204.58
Spinning Reserve ( MW )	0	0	-0.00001526	0

Time Period	13	14	15	16
Profit ( € )	16,294.06	14,815.30	3,315.50	8,239.03
Spinning Reserve ( MW )	-0.00003052	0	0	-494.4000244

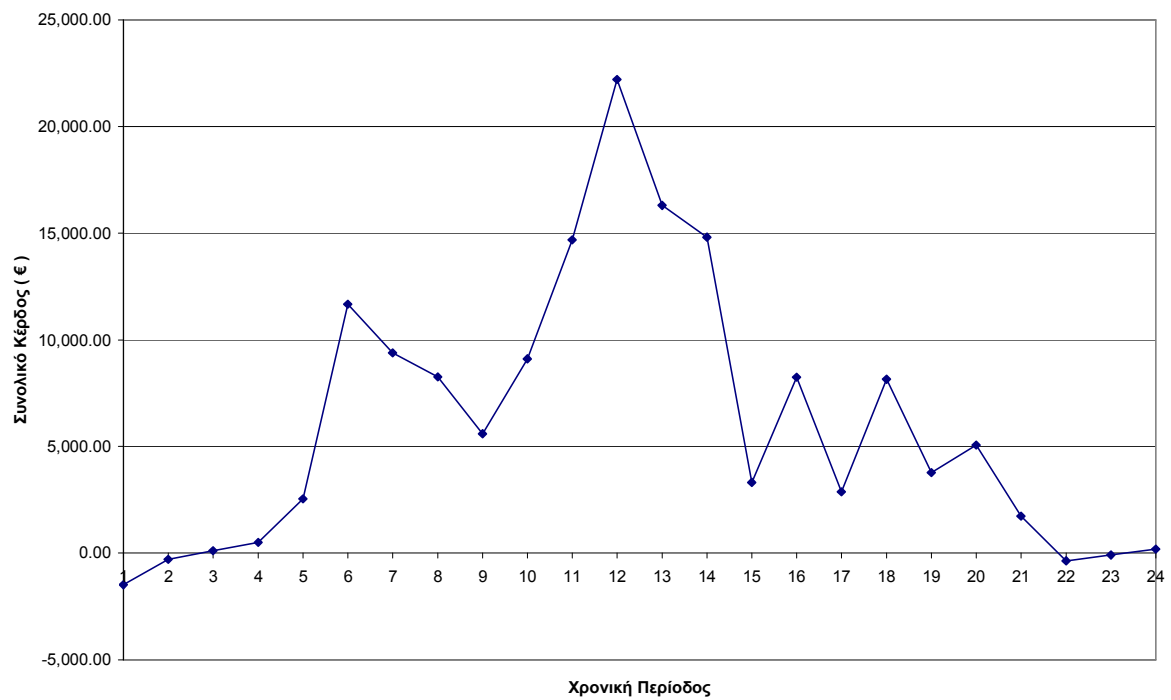
Time Period	17	18	19	20
Profit ( € )	2,871.59	8,157.61	3,782.94	5,061.90
Spinning Reserve ( MW )	0	-91.40002441	0	-28.40002441

Time Period	21	22	23	24
Profit ( € )	1,731.56	-368.55	-97.3	179.14
Spinning Reserve ( MW )	-173.5192871	-28.51931763	-456.7505188	-129.3999939

### 6.2.4 Γραφική αναπαράσταση αποτελεσμάτων

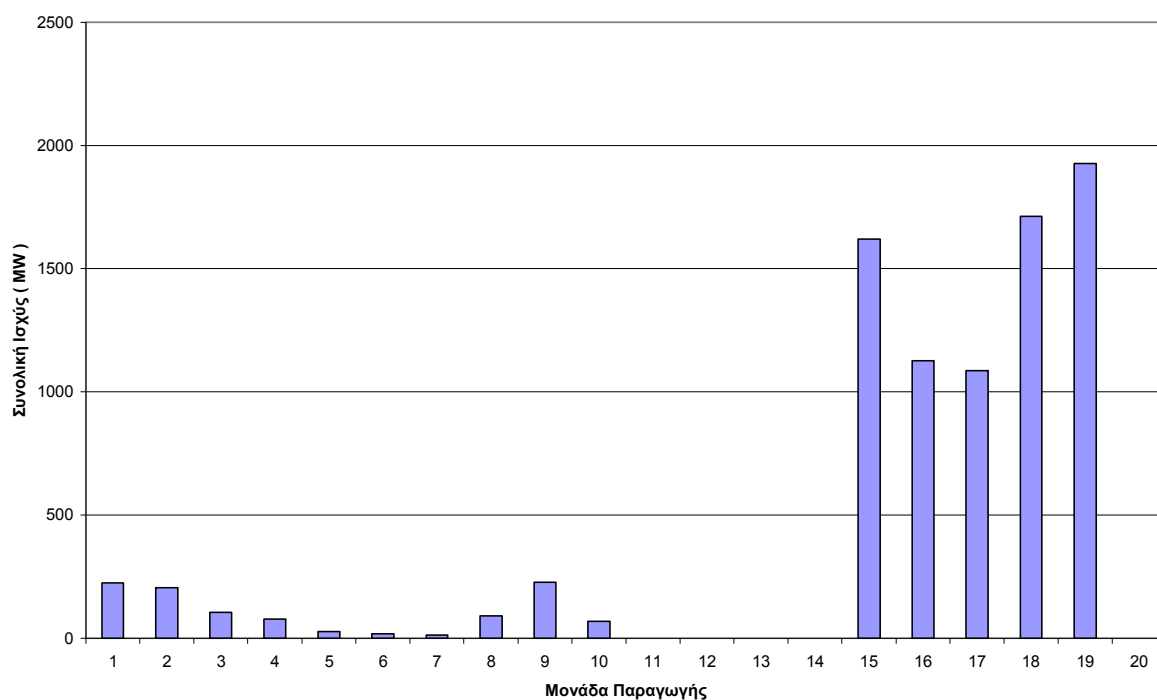


Σχήμα 6.9: Συνολική παραγόμενη ισχύς για κάθε χρονική περίοδο

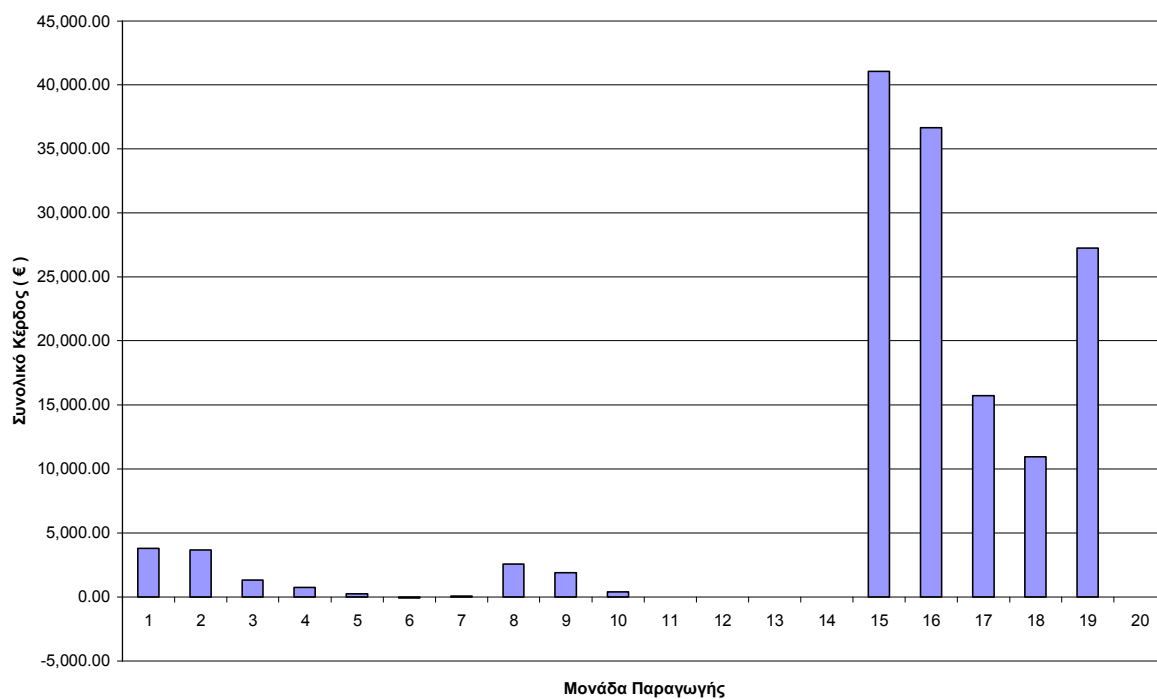


Σχήμα 6.10: Συνολικό κέρδος για κάθε χρονική περίοδο





Σχήμα 6.11: Συνολική παραγόμενη ισχύς για κάθε μονάδα παραγωγής



Σχήμα 6.12: Συνολικό κέρδος για κάθε μονάδα παραγωγής

### 6.2.5 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Εισάγαμε τυχαίες τιμές ζήτησης στο αρχείο εισόδου για να κάνουμε το πρόβλημα πιο δύσκολο προς επίλυση.

Η λύση του προγράμματος ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς αφού όλες οι τιμές της στήλης T Violation και όλες οι τιμές της γραμμής Spinning Reserve στο αρχείο εξόδου είναι ίσες με μηδέν και  $\leq 0$  αντίστοιχα.

Από την ομοιότητα των σχημάτων 6.8 και 6.10 προκύπτει ότι το συνολικό κέρδος για κάθε χρονική περίοδο τείνει να ακολουθήσει την πορεία της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Από το σχήμα 6.10 παρατηρούμε ότι τις χρονικές περιόδους 1, 2, 22 και 23 έχουμε ζημία, ενώ την χρονική περίοδο 12 έχουμε το μέγιστο συνολικό κέρδος.

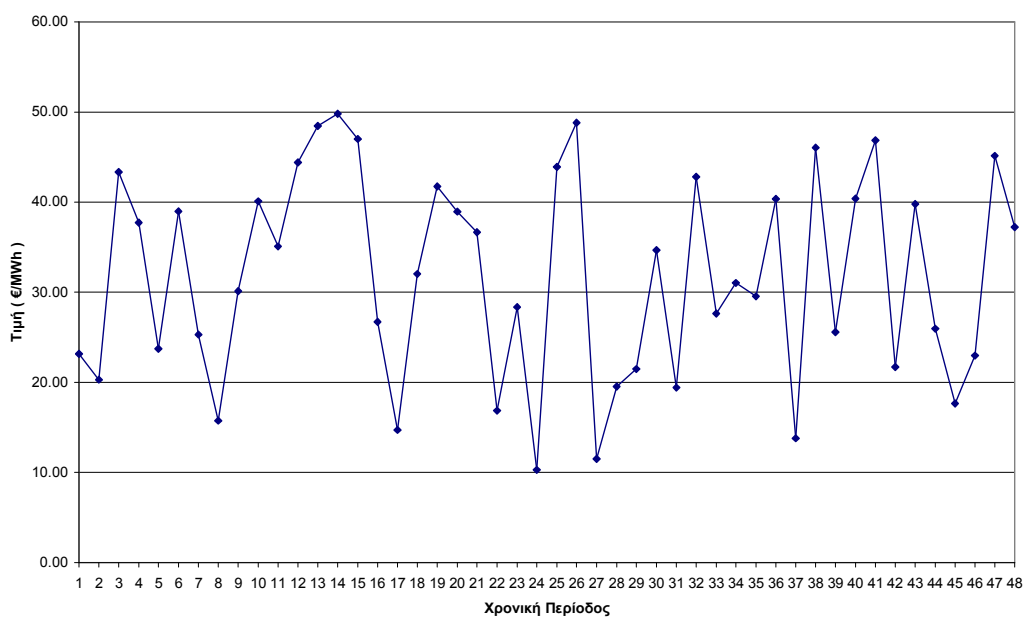
Από το σχήμα 6.11 προκύπτει ότι η μονάδα 19 έχει τη μέγιστη συνολική παραγόμενη ισχύ ενώ οι μονάδες 11, 12, 13, 14 και 20 δεν παράγουν καθόλου.

Από το σχήμα 6.12 προκύπτει ότι η μονάδα 15 έχει το μέγιστο συνολικό κέρδος ενώ η μονάδα 6 έχει ζημία.

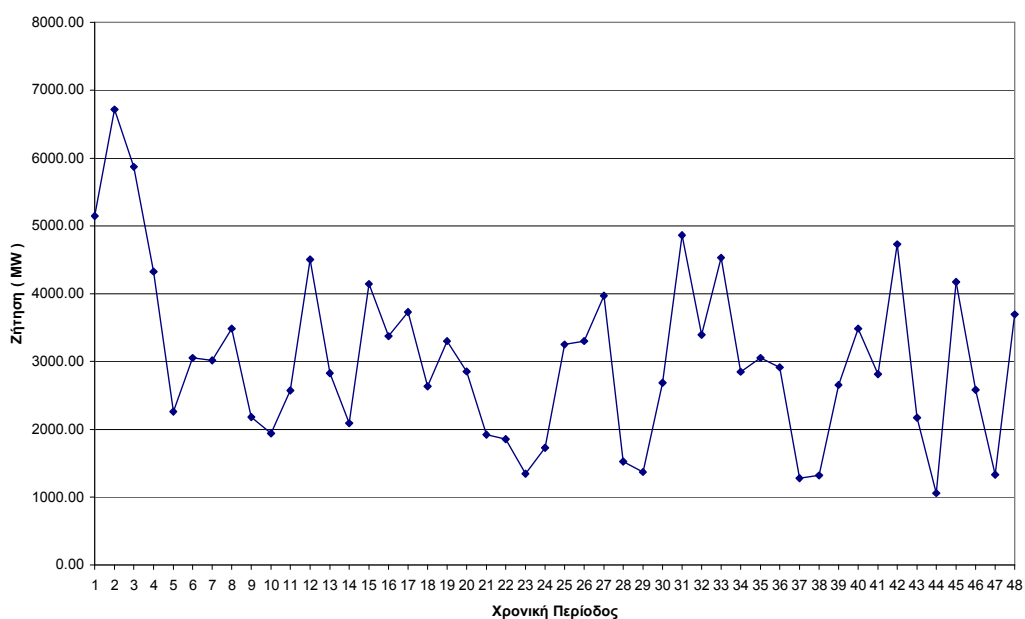
Συγκρίνοντας με τα αποτελέσματα της ενότητας 6.1 επαληθεύεται άλλη μία φορά ότι η εισαγωγή του περιορισμού της ζήτησης μειώνει το συνολικό κέρδος αφού σε κάθε χρονική περίοδο η συνδυασμένη παραγωγή των ενεργοποιημένων μονάδων δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει το όριο της ζήτησης, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η μέγιστη εκμετάλλευση της δυναμικότητας των ενεργοποιημένων μηχανών.

### ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΝΤΑΞΗΣ 100 ΜΟΝΑΔΩΝ ΓΙΑ 48 ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ

#### 7.1 Γραφική αναπαράσταση δεδομένων εισόδου

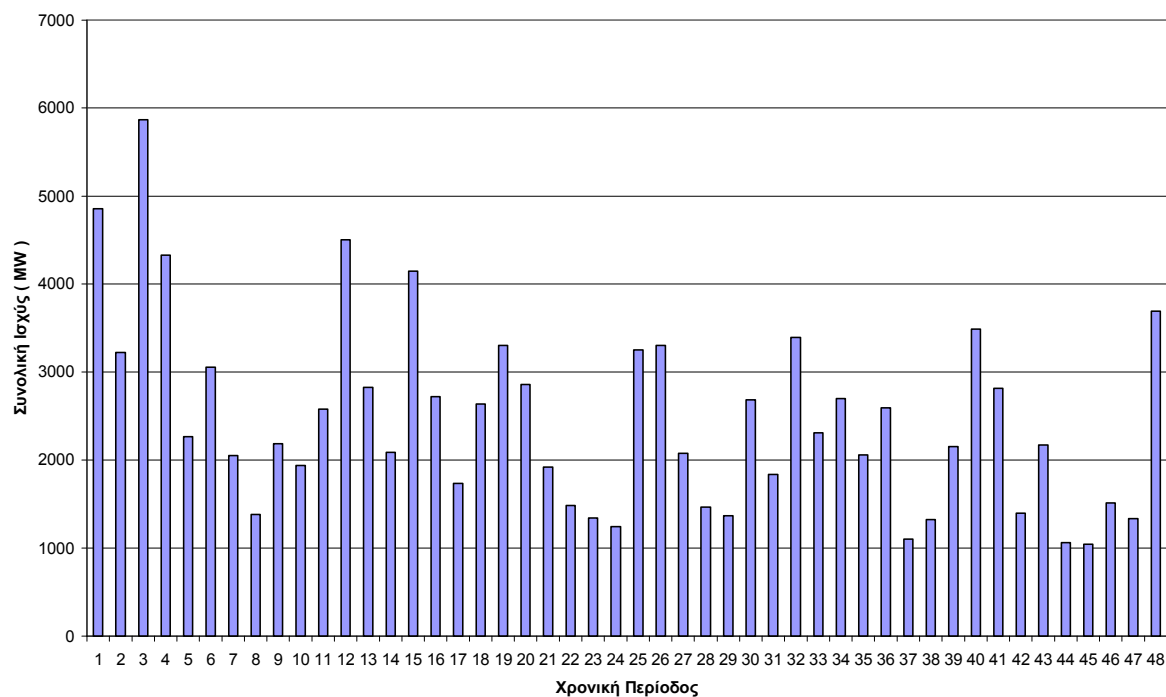


Σχήμα 7.1: Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε χρονική περίοδο

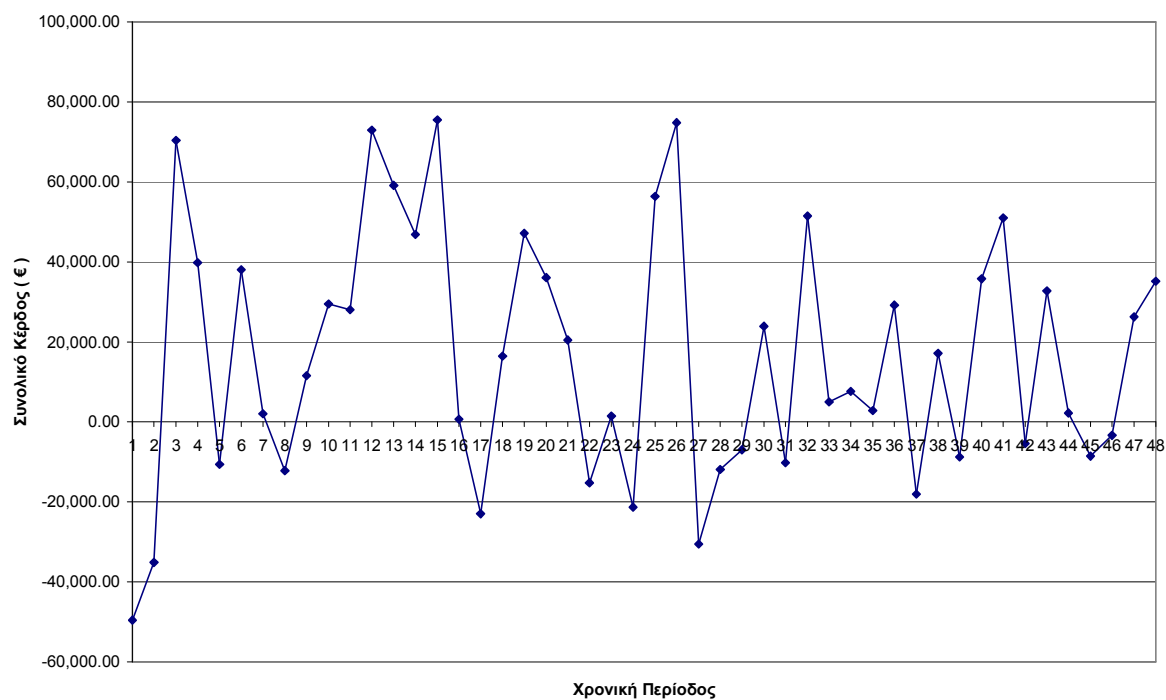


Σχήμα 7.2: Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε χρονική περίοδο

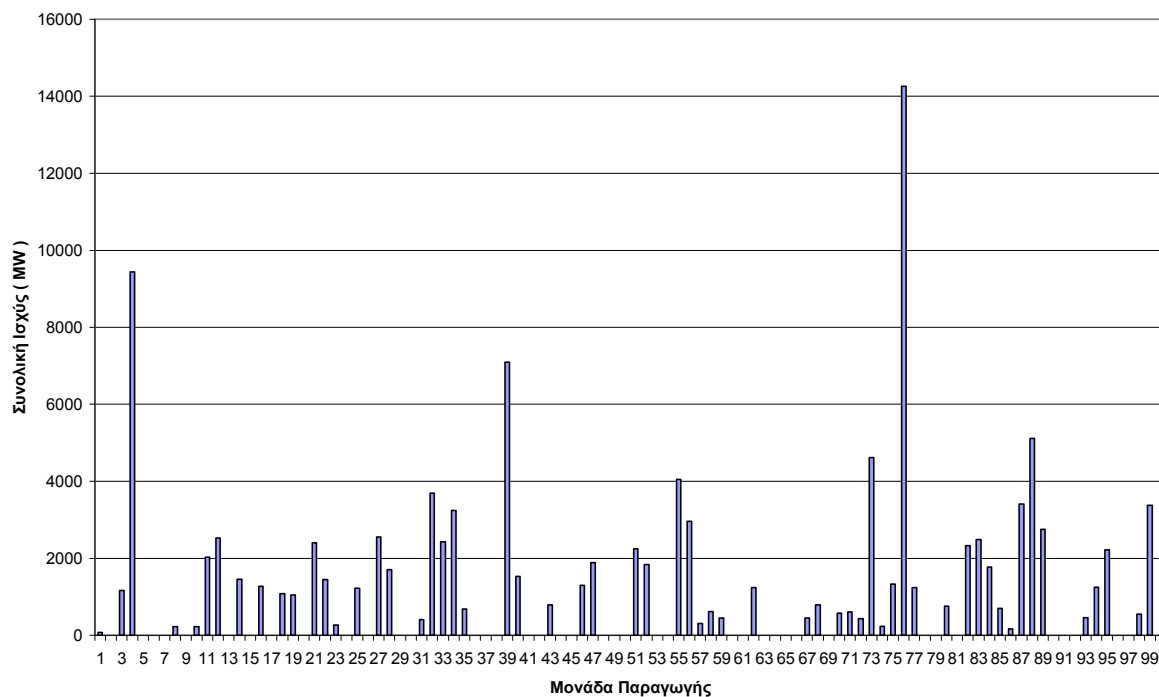
## 7.2 Γραφική αναπαράσταση αποτελεσμάτων



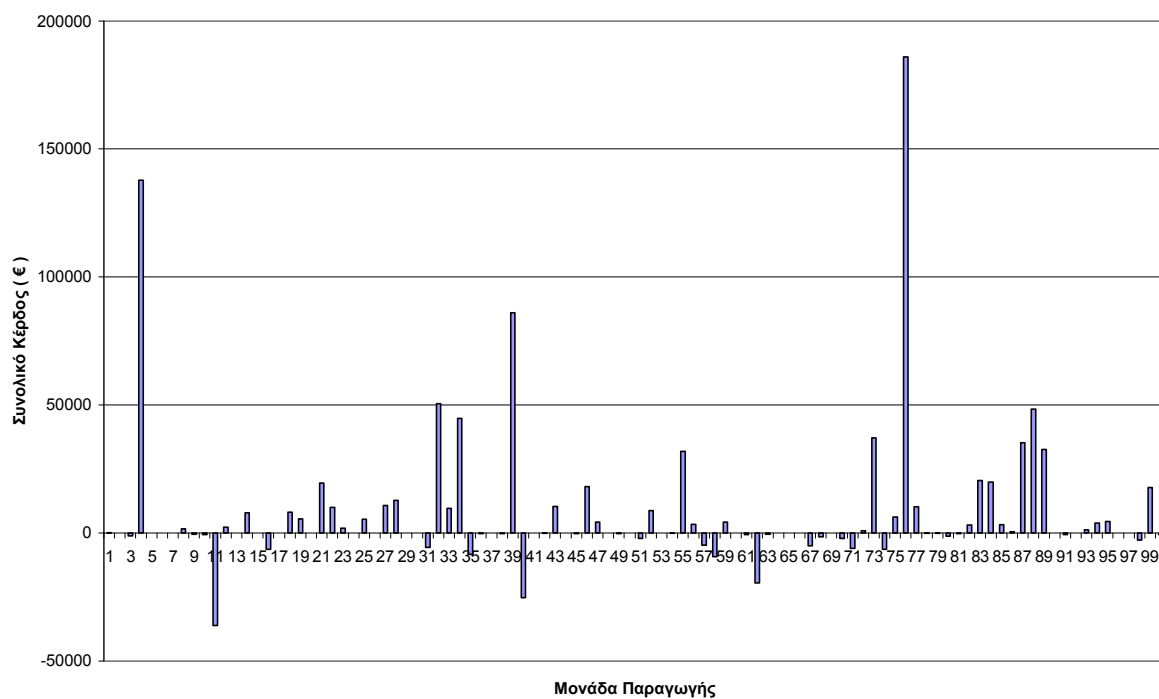
Σχήμα 7.3: Συνολική παραγόμενη ισχύς για κάθε χρονική περίοδο



Σχήμα 7.4: Συνολικό κέρδος για κάθε χρονική περίοδο



Σχήμα 7.5: Συνολική παραγόμενη ισχύς για κάθε μονάδα παραγωγής



Σχήμα 7.6: Συνολικό κέρδος για κάθε μονάδα παραγωγής

### 7.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στο μεγαλύτερο μέρος του αρχείου εισόδου εισήχθησαν τυχαίες τιμές για να προκύψει ένα δύσκολο προς επίλυση πρόβλημα.

Η λύση του προγράμματος ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς και το συνολικό κέρδος ένταξης των 100 μονάδων παραγωγής στη διάρκεια των 48 χρονικών περιόδων προγραμματισμού είναι 775,324.69 €.

Από την ομοιότητα των σχημάτων 7.1, 7.2 και 7.4 προκύπτει ότι το συνολικό κέρδος για κάθε χρονική περίοδο τείνει να ακολουθήσει την πορεία της τιμής και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας ταυτόχρονα.

Από το σχήμα 7.4 παρατηρούμε ότι τις χρονικές περιόδους 1, 2, 5, 8, 17, 22, 24, 27, 28, 29, 31, 37, 39, 42, 45 και 46 έχουμε ζημία, ενώ την χρονική περίοδο 15 έχουμε το μέγιστο συνολικό κέρδος.

Από το σχήμα 7.5 προκύπτει ότι η μονάδα 76 έχει τη μέγιστη συνολική παραγόμενη ισχύ ενώ οι μονάδες 2, 5, 6, 7, 9, 13, 15, 17, 20, 24, 26, 29, 30, 36, 37, 38, 41, 42, 44, 45, 48, 49, 50, 53, 54, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 69, 78, 79, 81, 90, 91, 92, 96, 97 και 100 δεν παράγουν καθόλου.

Από το σχήμα 7.6 προκύπτει ότι η μονάδα 76 έχει το μέγιστο συνολικό κέρδος ενώ οι μονάδες 3, 9, 10, 11, 16, 31, 35, 36, 38, 40, 42, 45, 49, 51, 54, 57, 58, 61, 62, 63, 67, 68, 70, 71, 74, 78, 79, 80, 81, 91, 98 και 100 έχουν ζημία.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε και επιλύθηκε το πρόβλημα ένταξης μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για μεγιστοποίηση του κέρδους με γενετικό αλγόριθμο ειδικά τροποποιημένο ώστε να λαμβάνονται υπόψιν όλα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του προβλήματος.

Το πρόβλημα ένταξης μονάδων με βάση το κέρδος αφορά μία εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η οποία διαθέτει  $N$  μονάδες παραγωγής, μία χρονοσειρά πρόβλεψης φορτίου συνολικής διάρκειας  $T$  και μία χρονοσειρά τιμών πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας. Ζητείται ο συνδυασμός ένταξης-κράτησης και η παραγόμενη ισχύς των μονάδων που μεγιστοποιεί το συνολικό κέρδος της εταιρείας λαμβάνοντας υπόψιν και τους περιορισμούς των μονάδων παραγωγής.

Το πρόβλημα προς επίλυση είναι μεγάλης κλίμακας, μικτού ακέραιου και τετραγωνικού προγραμματισμού. Για την επίλυση του προβλήματος αναπτύχθηκε γενετικός αλγόριθμος σε γλώσσα προγραμματισμού C ο οποίος λαμβάνει υπόψιν του όλες τις ιδιαιτερότητες του προβλήματος και ο οποίος συνεργάζεται αρμονικά με το MATLAB το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση των επιμέρους προβλημάτων τετραγωνικού προγραμματισμού.

Το πρόγραμμα δοκιμάστηκε σε τρία συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας:

1. Το πρώτο σύστημα αφορούσε 2 μονάδες και 3 χρονικές περιόδους, χωρίς περιορισμό της ζήτησης καθώς και με περιορισμό της ζήτησης. Το συγκεκριμένο πρόβλημα ήταν εύκολο να επιλυθεί με πλήρη απαρίθμηση αφού οι εφικτοί συνδυασμοί ήταν μόλις 16. Το πρόγραμμα κατάφερε να βρει το απόλυτο βέλτιστο και στις δύο περιπτώσεις.
2. Το δεύτερο σύστημα αφορούσε 20 μονάδες και 24 χρονικές περιόδους, χωρίς περιορισμό της ζήτησης καθώς και με περιορισμό της ζήτησης. Το πρόγραμμα κατάφερε να βρει και στις δύο περιπτώσεις πολύ καλές εφικτές λύσεις.
3. Το τρίτο σύστημα αφορούσε 100 μονάδες και 48 χρονικές περιόδους με όλους τους περιορισμούς σε ισχύ. Το πρόγραμμα κατάφερε να βρει μία πολύ καλή εφικτή λύση.

Τα κύρια συμπεράσματα ήταν:

1. Η ένταξη μίας μονάδας μπορεί να έχει ζημία κατά την ώρα ένταξης που όμως μπορεί να αντισταθμιστεί γρήγορα τις επόμενες ώρες.
2. Όσο περισσότεροι είναι οι περιορισμοί του προβλήματος τόσο μειώνεται το συνολικό κέρδος της εταιρείας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.