



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ  
ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μιχάλης Ν. Αγιοβλασίτης

**Επιβλέπων:** Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα , Ιούλιος 2013





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ  
ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μιχάλης Ν. Αγιοβλασίτης

**Επιβλέπων:** Νικόλαος Δ. Χατζηαργυρίου

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15<sup>η</sup> Ιουλίου 2013

.....

Ν. Χατζηαργυρίου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Σ. Παπαθανασίου

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Π. Γεωργιάκης

Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2013

.....

Μιχάλης Ν. Αγιοβλασίτης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Μιχάλης Ν. Αγιοβλασίτης, 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2012-2013 στον τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών.

Υπεύθυνος κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας ήταν ο Καθηγητής κ. Ν. Χατζηαργυρίου, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεση της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ευάγγελο Καρφόπουλο, υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π, για την ουσιαστική καθοδήγηση και τη συνεχή παρότρυνσή του, που συνέβαλαν τα μέγιστα στην ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, δεν μπορώ να παραλείψω την οικογένεια μου, η οποία με στήριξε σε όλη την διάρκεια της φοιτητικής μου ζωής.

Αθήνα, Ιούλιος 2013



## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία Γενετικού Αλγορίθμου για την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Πιο αναλυτικά, περιγράφεται αρχικά η έννοια του ηλεκτρικού οχήματος καθώς και οι τρόποι και οι διαδικασίες φόρτισής του. Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο γενετικός αλγόριθμος και τα είδη του καθώς και τα στάδια από τα οποία απαρτίζεται. Γίνεται αναλυτική παρουσίαση ενός απλού παραδείγματος για την εύρεση ελαχίστου σε μία συνάρτηση η οποία αποτελείται από δύο μεταβλητές αυτό γίνεται με την χρήση του δυαδικού γενετικού αλγορίθμου δηλαδή μετατρέπουμε τις τιμές των μεταβλητών σε δυαδικό σύστημα προκειμένου να εφαρμόσουμε τον δυαδικό γενετικό αλγόριθμο. Στο τέλος του παραδείγματος αυτού παρουσιάζονται αποτελέσματα όσον αφορούν την ακρίβεια και το ποσοστό επιτυχίας του αλγορίθμου αυτού. Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο δυαδικός γενετικός αλγόριθμος για την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Τα οχήματα θα πρέπει να φορτίσουν ακολουθώντας μία καμπύλη ισχύος του δικτύου για συγκεκριμένες ώρες με όσο το δυνατόν μικρότερο σφάλμα. Σε αυτόν τον δυαδικό γενετικό αλγόριθμο αρχικά παρουσιάζεται αναλυτικά ένα παράδειγμα προκειμένου να γίνει κατανοητή η λειτουργία του αλγορίθμου αυτού στην φόρτιση οχημάτων καθώς και η διαφοροποίηση του από τον συνηθισμένο δυαδικό γενετικό αλγόριθμο. Εν συνεχεία, ακολουθούν πέντε σενάρια προκειμένου να ελέγξουμε τον αλγόριθμό μας καθώς και να δούμε κάποιες παραλλαγές του. Στο πρώτο σενάριο θα δούμε πως ανταποκρίνεται ο αλγόριθμός μας όταν έχει να ακολουθήσει δύο καμπύλες του δικτύου μία στην οποία η παρεχόμενη από το δίκτυο ισχύς επαρκεί για την φόρτιση των οχημάτων και μία στην οποία δεν επαρκεί. Στο δεύτερο σενάριο θα δούμε συγκριτικά αποτελέσματα του αλγορίθμου για την φόρτιση οχημάτων κατά την οποία απαγορεύεται η παράλληλη φόρτιση (δηλαδή σε κάθε χρονοθυρίδα (timeslot) φορτίζει μόνο ένα όχημα) και ένα που επιτρέπεται. Σε αυτά τα δύο σενάρια θεωρούμε δύο οχήματα ανά φορτιστή. Ακόμα θα δούμε πως ανταποκρίνεται ο αλγόριθμός μας για την φόρτιση τριών οχημάτων ανά φορτιστή καθώς και πως γενικεύεται για περισσότερα από τρία οχήματα ανά φορτιστή. Τέλος θα μελετήσουμε την φόρτιση οχημάτων από φωτοβολταϊκά. Δηλαδή δεδομένης μιας καμπύλης από φωτοβολταϊκά πως ανταποκρίνεται ο αλγόριθμος μας. Ο αλγόριθμός μας υλοποιήθηκε με την βοήθεια του προγράμματος MATLAB.

**Λέξεις-Κλειδιά:** Ηλεκτρικό Όχημα, Δυαδικός Γενετικός Αλγόριθμος, διασταύρωση ,μετάλλαξη, συνάρτηση ικανότητας.





# Abstract

The scope of the present dissertation is the development of a genetic algorithm for the charging of electrical vehicles. More specifically, initially what is an electrical vehicle is described, as well as the ways and procedures of its charging. Moreover the genetic algorithm with its subcategories is presented and the parts that it is composed. An analytical example for the minimization of a function of two variables is solved with the use of a binary genetic algorithm; we convert the values of the function into binary system in order to apply the desirable algorithm. At the end of this example we elaborate on the results related with the accuracy and the success rate of this algorithm. Furthermore, the binary genetic algorithm for the charging of electrical vehicles is being analysed. The vehicles should be charged following a net power curve for a predefined amount of time with the minimum error. In this binary genetic algorithm an example is being presented in order to make the understanding of this algorithm clearer. Moreover, we want to highlight the difference with an ordinary binary algorithm. Following the above, are five scenarios in order to test our algorithm. In the first scenario, we do see how our algorithm responds when it has to follow two net power curves, one that the power is sufficient for the charging of the vehicles and one where it is not. In the second scenario we observe in comparison results of the charging vehicle algorithm that the parallel charging is allowed versus another one that parallel is not permitted (i.e. in every timeslot only one vehicle is possible to be charged). In both scenarios we consider two vehicles per charger. In addition we evaluate how our algorithm responds to the charging of three vehicles per charger. Finally charging of vehicles from photovoltaic panels is studied; in other words given a curve of photovoltaic power how the vehicles are being charged. Our algorithm was developed using MATLAB.

**Keywords:** Electrical vehicle, binary genetic algorithm, crossover, mutation, evaluation function.



# Περιεχόμενα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Τεχνολογίες Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	13
1.2 Κλάσεις Ηλεκτρικών Οχημάτων .....	16
1.3 Τεχνολογίες Συσσωρευτών .....	17
1.4 Σταθμοί φόρτισης.....	22
1.4.1 Θέσεις των σταθμών φόρτισης .....	22
1.5 Τεχνολογίες σταθμών φόρτισης.....	24
1.5.1 Φόρτιση με αγώγιμη σύνδεση .....	24
1.5.2 Φόρτιση με επαγωγή .....	25
1.6 Αγώγιμες Συνδέσεις –Υποδοχές και Βύσματα .....	26
1.6.1 SAE (Society of Automotive Engineers).....	26
1.6.2 IEC(International Electrotechnical Commision) .....	27
1.6.3 Οι Ταχυφορτιστές με προδιαγραφές τύπου CHAdeMO .....	30
1.7 Διαδικασία V2G.....	32

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

2.1 Εισαγωγή .....	35
2.2 Συνιστώσες του δυαδικού Γενετικού Αλγορίθμου .....	36
2.2.1 Αρχικοποίηση πληθυσμού .....	36
2.2.2 Αποκωδικοποίηση των χρωμοσωμάτων.....	37
2.2.3 Εύρεση του κόστους για κάθε χρωμόσωμα (αξιολόγηση) .....	37
2.2.4 Επιλογή Γονέων .....	37
2.2.5 Διασταύρωση .....	38
2.2.6 Μετάλλαξη .....	38
2.2.7 Επαναλήψεις και Σύγκλιση .....	39
2.3 Εφαρμογή Γενετικού Αλγορίθμου για την εύρεση ελαχίστου σε μία συνάρτηση .....	39
2.3.1 Συμπεράσματα Γενετικού Αλγορίθμου .....	46
2.4 Πρόβλεψη στόλου .....	48
2.4.1 Γενικά.....	48
2.4.2 Αλγόριθμος 2 .....	49
2.5 Εφαρμογή Γενετικού Αλγορίθμου για την φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων .....	51

2.5.1 Γενικά.....	51
2.5.2 Στάδια Γενετικού Αλγορίθμου.....	52
2.5.3 Παράδειγμα Γενετικού Αλγορίθμου για την φόρτιση 20 ηλεκτρικών οχημάτων.....	52

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ**

3.1 Παράμετροι, μεταβλητές και αντικειμενική συνάρτηση .....	65
3.2 Δομή του προβλήματος.....	66
3.3 Τελική μορφή προβλήματος .....	68

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΟΧΗΜΑΤΑ**

4.1 Γενικά .....	69
4.2 Σενάριο 1: Δύο οχήματα ανά φορτιστή χωρίς περιορισμούς.....	70
4.2.1 Προσομοίωση μίας εφικτής καμπύλης.....	70
4.2.2 Προσομοίωση μίας καμπύλης η οποία επαρκή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των οχημάτων. ....	71
4.2.3 Προσομοίωση μίας καμπύλης η οποία δεν επαρκή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των οχημάτων. ....	74
4.3 Σενάριο 2: Δύο οχήματα ανά φορτιστή με περιορισμούς.....	75
4.3.1 Αποκλίσεις και σφάλματα του αλγορίθμου στο σενάριο με περιορισμούς .....	89
4.4 Σενάριο 3: Παράλληλη φόρτιση οχημάτων .....	92
4.5 Γενετικός Αλγόριθμος για φόρτιση τριών οχημάτων ανά φορτιστή .....	94
4.5.1 Εφαρμογή Γενετικού Αλγορίθμου με τρία οχήματα ανά φορτιστή.....	96
4.6 Εφαρμογή Γενετικού Αλγορίθμου για N οχήματα ανά φορτιστή.....	98
4.7 Εφαρμογή Γενετικού Αλγορίθμου για την φόρτιση οχημάτων από φωτοβολταϊκά .....	99

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

5.1 Συμπεράσματα .....	103
Βιβλιογραφία.....	105

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Τεχνολογίες Ηλεκτρικών Οχημάτων

Τα ηλεκτρικά οχήματα ανάλογα με την τεχνολογία τους διαχωρίζονται στις εξής κατηγορίες[1]:

1. **Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα(Hybrid Electric Vehicle)[1]:**Το υβριδικό ηλεκτρικό όχημα χρησιμοποιεί μια μικρή ηλεκτρική μπαταρία για να συμπληρώσει τον τυποποιημένο κινητήρα εσωτερικής καύσης προσφέροντας αυξημένη απόδοση καυσίμων συγκεκριμένα περίπου 25 τοις εκατό υψηλότερη από ότι τα συμβατικά οχήματα ελαφριών δουλειών(light-duty vehicles).Τα συστήματα αυτά ελαχιστοποιούν το ρελαντί και παρέχουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα υποβοήθησης εκκίνηση και έναρξης το οποίο ενισχύει την δυνατότητα του αυτοκινήτου να ξεκινάει και να επιταχύνει και είναι σημαντικό σε stop-and-go οδήγηση στην πόλη. Το υβριδικό ηλεκτρικό όχημα χρησιμοποιεί ένα διπλό σύστημα καυσίμου τόσο ο ηλεκτρικός κινητήρας όσο και ο κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι σε θέση να οδηγήσουν το όχημα. Συγκεκριμένα ο ηλεκτρικός κινητήρας αναλαμβάνει το αυτοκίνητο από το ρελαντί η από ακίνητο μέχρι κάποιες μικρές ταχύτητες συνήθως έως 40mph=65km/h και στην συνέχεια αναλαμβάνει ο κινητήρας εσωτερικής καύσης μπαταρία φορτίζεται από τον κινητήρα βενζίνης αλλά και από τα φρεναρίσματα του οδηγού.
2. **Plug-in Υβριδικά Οχήματα((PHEV: Plug-inHybridElectricVehicles):**  
Τα Plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα όπως και το υβριδικό ηλεκτρικό όχημα είναι διπλού καυσίμου όχημα δηλαδή τόσο ο ηλεκτρικός κινητήρας όσο και ο κινητήρας εσωτερικής καύσης μπορούν να κάνουν το όχημα να ξεκινήσει. Έχει μία μεγαλύτερη μπαταρία που είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο για φόρτιση, αυξάνοντας έτσι το μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται από το αυτοκίνητο. Αυτή η μεγαλύτερη μπαταρία συνήθως συμπληρώνεται από έναν μικρότερο κινητήρα εσωτερικής καύσης από ότι σε ένα υβριδικό η ένα συμβατικό βενζινοκίνητο όχημα. Το Plug-in ηλεκτρικό όχημα μπορεί να τρέξει χρησιμοποιώντας μόνο τον ηλεκτρικό κινητήρα μέχρι τα 65km/h ενώ από εκεί και πέρα αναλαμβάνει ο κινητήρας εσωτερικής καύσης. Τεχνικά μιλώντας ένα Plug-in υβριδικό δεν είναι ηλεκτρικό όχημα δεδομένου ότι χρησιμοποιεί έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης για την κίνηση του τουλάχιστον ένα μέρος του χρόνου. Η διαφορά που έχει ένα plug-in ηλεκτρικό όχημα είναι ότι αποθηκεύει

μεγαλύτερη ηλεκτρική ενέργεια και μπορεί να εκτελεί μικρές διαδρομές κατά την διάρκεια της ημέρας σαν μόνο ηλεκτρικό όχημα. Θα τα συνδέσετε και θα τα φορτίσετε κατά την διάρκεια της νύχτας όπως ακριβώς και ένα καθαρά ηλεκτρικό όχημα αλλά προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία για διαδρομές μεγάλου μήκους.

3. **Ηλεκτρικά Οχήματα Αυξημένης Αυτονομίας(EREV:Extended-Range Electrical Vehicles):**Ένα ηλεκτρικό όχημα εκτεταμένης αυτονομίας χρησιμοποιεί έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης για να τροφοδοτήσει μια ηλεκτρική γεννήτρια που φορτίζει την μπαταρία με μία γραμμική διαδικασία. Σε αντίθεση με διπλού καυσίμου υβριδικού συστήματος και του Plug-in υβριδικού ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι το μόνο σύστημα που απευθείας γυρνά τους τροχούς και κάνει το όχημα να ξεκινήσει. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης φορτίζει μόνο το σύστημα της μπαταρίας.
4. **Ηλεκτρικά Οχήματα Μπαταρίας(BEV:Battery Electric Vehicle):**Τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας είναι μόνο ηλεκτρικά δεν έχουν δηλαδή κινητήρα εσωτερικής καύσης και είναι εντελώς εξαρτημένα από το δίκτυο προκειμένου να φορτιστούν. Για να πραγματοποιήσουν μια σειρά από 128 συν χιλιόμετρα ανά φόρτιση τα μόνο ηλεκτρικά οχήματα απαιτούν μία μεγαλύτερη μπαταρία σε σχέση με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα-πετρελαίου συγκεκριμένα σήμερα κυμαίνονται από 18kWh μέχρι και περισσότερες από 35kWh. Προκειμένου να φορτίσουμε αυτές τις μεγαλύτερες μπαταρίες εντός της προθεσμίας συνήθως το βράδυ που η ζήτηση ενέργειας είναι χαμηλή χρειαζόμαστε υψηλότερη ενέργεια φόρτισης. Αντί για τα 120Volt εξόδου είναι απαραίτητο να έχουμε πρόσβαση στα 240Volt μπορεί και περισσότερο.
5. **Ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (Fuel Cell EVs):** Τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου αποθηκεύουν ενέργεια με τη μορφή υδρογόνου (H<sub>2</sub>), η οποία τροφοδοτεί μια κυψέλη καυσίμου μαζί με ατμοσφαιρικό οξυγόνο (O<sub>2</sub>), παράγοντας ηλεκτρισμό με τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης, με μόνα παραπροϊόντα θερμότητα και νερό. Ούτε κι αυτά επομένως εκπέμπουν ρύπους. Διάφοροι τρόποι για την αποθήκευση ή την παραγωγή υδρογόνου πάνω στο ίδιο το όχημα μελετώνται, στους οποίους περιλαμβάνεται η συμπίεση του αερίου H<sub>2</sub>, η δέσμευσή του σε μέταλλα, καθώς και η παραγωγή επί του οχήματος από φυσικό αέριο, μεθάνολη, βενζίνη ή άλλο καύσιμο. Σήμερα, ένας αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων κυψελών καυσίμου κυκλοφορεί στους δρόμους παγκοσμίως, συμπεριλαμβανομένων επιβατικών αυτοκινήτων, φορτηγών διανομής, λεωφορείων και στρατιωτικών οχημάτων. Ωστόσο, η απαιτούμενη υποδομή για τη διανομή του H<sub>2</sub>, η επί του οχήματος αποθήκευσή του H<sub>2</sub> και οι απώλειες μετατροπής αποτελούν σημαντικά προβλήματα που αφήνουν ανοιχτό το ερώτημα κατά πόσο τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου θα αποτελέσουν μια πρακτική και συμφέρουσα λύση στο μέλλον.



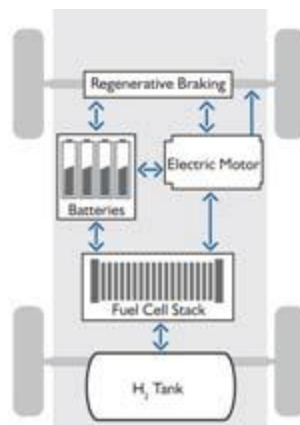
2 Plug-in υβριδικά οχήματα



3 Extended-Range Electric Vehicles (ER-EVs)



4 Battery Electric Vehicles (BEVs)



5 Fuel cell EV

Εικόνα 1.1 Τεχνολογίες Ηλεκτρικών Οχημάτων

## 1.2 Κλάσεις Ηλεκτρικών Οχημάτων

Για τους σκοπούς της νομοθεσίας της ΕΕ, τα μηχανοκίνητα αυτοκίνητα ομαδοποιούνται σε κατηγορίες. Έτσι και τα ηλεκτρικά οχήματα πρέπει να ανήκουν σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες[2]:

### 1. Κατηγορία L

- **L1e:** Δίκυκλα οχήματα με μέγιστη εκ κατασκευής ταχύτητα όχι πάνω από 45km/h και χαρακτηρίζεται από έναν κινητήρα του οποίου η κυλινδρική χωρητικότητα δεν υπερβαίνει τα 50cm<sup>3</sup> στην περίπτωση μηχανής εσωτερικής καύσης ή στην περίπτωση ηλεκτροκινητήρα η μέγιστη συνεχής ονομαστική ισχύς δεν ξεπερνά τα 4kW
- **L2e:** τρίκυκλα οχήματα με μέγιστη εκ κατασκευής ταχύτητα όχι πάνω από τα 45km/h και χαρακτηρίζεται από έναν κινητήρα του οποίου ή η κυλινδρική χωρητικότητα δεν ξεπερνάει τα 50cm<sup>3</sup> εάν είναι με σπινθήρα ανάφλεξης ή η μέγιστη καθαρή ισχύς δεν ξεπερνάει τα 4kW όταν πρόκειται για κινητήρες εσωτερικής καύσης ή η μέγιστη συνεχής ονομαστική ισχύς δεν υπερβαίνει τα 4kW στην περίπτωση ηλεκτροκινητήρα
- **L3e:** Δίκυκλα οχήματα με sidocar εξοπλισμένα με κινητήρα κυβισμού άνω των 50cm<sup>3</sup> εάν είναι εσωτερικής καύσης η του οποίου η μέγιστη ταχύτητα εκ κατασκευής είναι άνω των 45km/h
- **L4e:** Δίκυκλα οχήματα without sidocar εξοπλισμένα με κινητήρα κυβισμού άνω των 50cm<sup>3</sup> εάν είναι εσωτερικής καύσης η του οποίου η μέγιστη ταχύτητα εκ κατασκευής είναι άνω των 45km/h
- **L5e:** Οχήματα με τρεις συμμετρικούς τροχούς που είναι εξοπλισμένα με κινητήρα κυβισμού άνω των 50cm<sup>3</sup> εάν είναι εσωτερικής καύσης ή/και μέγιστη ταχύτητα εκ κατασκευής άνω των 45km/h
- **L6e:** Τετράκυκλα οχήματα των οποίων το καθαρό βάρος δεν είναι περισσότερο από 350kg, χωρίς να συμπεριλάβουμε την μάζα των συσσωρευτών στην περίπτωση ηλεκτρικού οχήματος, και των οποίων η μέγιστη ταχύτητα κατασκευής δεν είναι πάνω από 45km/h. Ακόμα η κυλινδρική χωρητικότητα δεν υπερβαίνει τα 50cm<sup>3</sup> σε περίπτωση κινητήρα ανάφλεξης ή σε περίπτωση κινητήρα εσωτερικής καύσης του οποίου η καθαρή ισχύς δεν υπερβαίνει τα 4kW ή σε περίπτωση ηλεκτρικού κινητήρα η μέγιστη ονομαστική ισχύς δεν υπερβαίνει τα 4kW. Τέλος τα οχήματα αυτά θα πρέπει να πληρούν τις τεχνικές απαιτήσεις για τα τρίκυκλα μοτοποδήλατα της κατηγορίας L2e εκτός αν ορίζεται διαφορετικά
- **L7e:** Τετράκυκλα εκτός από αυτά της κατηγορίας L6e των οποίων η μάζα δεν είναι περισσότερη από 400kg (550kg για οχήματα που προορίζονται για



μεταφορά εμπορευμάτων), μη συμπεριλαμβανομένης της μάζας των συσσωρευτών σε περίπτωση ηλεκτρικού οχήματος και των οποίων η μέγιστη καθαρή ισχύς του κινητήρα δεν υπερβαίνει τα 15kW. Αυτά τα οχήματα πρέπει να θεωρούνται να είναι τρίκυκλα και να πληρούν τις τεχνικές απαιτήσεις που ισχύουν για τα τρίκυκλα μοτοποδήλατα της κατηγορίας L5e εκτός αν ορίζεται διαφορετικά.

## **2. Κατηγορία M**

- **M1:** Οχήματα για την μεταφορά επιβατών και περιλαμβάνουν το πολύ οκτώ θέσεις καθήμενων πέραν του καθίσματος του οδηγού
- **M2:** Οχήματα για την μεταφορά επιβατών τα οποία περιλαμβάνουν περισσότερες από οκτώ πέραν της θέσης του οδηγού και έχοντας μέγιστη μάζα που δεν ξεπερνά τους πέντε(5) τόνους
- **M3:** Οχήματα για την μεταφορά επιβατών τα οποία περιλαμβάνουν περισσότερες από οκτώ θέσεις πέραν της θέσης του οδηγού και έχουν μέγιστη μάζα άνω των πέντε(5) τόνων

## **3. Κατηγορία N**

- **N1:** Οχήματα για την μεταφορά εμπορευμάτων των οποίων η μέγιστη μάζα δεν ξεπερνά τους 3,5 τόνους
- **N2:** Οχήματα για την μεταφορά εμπορευμάτων και έχουν μέγιστη μάζα άνω των 3,5 τόνων αλλά όχι πάνω από 12τόνων
- **N3:** Οχήματα για την μεταφορά εμπορευμάτων των οποίων η μέγιστη μάζα ξεπερνάει τους 12 τόνους

## **4. Κατηγορία O**

- **O1:** Ρυμουλκούμενα μέγιστης μάζας το πολύ μέχρι 0,75τόνους
- **O2:** Ρυμουλκούμενα μέγιστης μάζας άνω των 0,75 τόνων και κάτω των 3,5 τόνων
- **O3:** Ρυμουλκούμενα μέγιστης μάζας άνω των 0,75 τόνων και κάτω των 10 τόνων
- **O4:** Ρυμουλκούμενα μέγιστης μάζας άνω των 10 τόνων

## **1.3 Τεχνολογίες Συσσωρευτών**

Παρακάτω παρατίθενται οι διάφορες τεχνολογίες συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα σήμερα[3][12]:

- 1. Μολύβδου οξέως(Lead-acid batteries):** Είναι ο παλαιότερος τύπος επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Βασίζονται σε χημικές αντιδράσεις οι οποίες περιλαμβάνουν διοξείδιο του μολύβδου( $PbO_2$ ) για τον σχηματισμό του ηλεκτροδίου καθόδου, μολύβδο( $Pb$ ) για τον σχηματισμό του ηλεκτροδίου ανόδου και θειικό οξύ( $H_2SO_4$ ) που ενεργεί ως ηλεκτρολύτης. Πλεονεκτήματα αυτού του είδους μπαταρίας είναι το χαμηλό κόστος (περίπου 70-100euro/KWh), ανθεκτική σε υπερφορτίσεις, εκφορτίζεται αργά χάνει το 10%

κάθε τρίμηνο, είναι ανακυκλώσιμη. Απο την άλλη μεριά είναι αρκετά βαριές και ογκώδης, υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης κατά την διάρκεια της φόρτισης, δεν είναι κατάλληλες για γρήγορες φορτίσεις και η διάρκεια κύκλου ζωής της κυμαίνεται από 300-500 κύκλους. Τέλος προκειμένου να μην χαλάσει η μπαταρία θα πρέπει να αποθηκεύεται σε φορτισμένη κατάσταση και μερικές εκφορτίσεις αυξάνουν την διάρκεια ζωής της. Ο σχεδιασμός των συσσωρευτών μολύβδου συνεχώς βελτιώνεται. Έτσι έχει μειωθεί το βάρος των πλεγμάτων, έχει μειωθεί το βάρος του δοχείου και έχουν επέλθει μικρές τροποποιήσεις στο ενεργό υλικό των ηλεκτροδίων. Με αυτό αυξήθηκε η πυκνότητα ενέργειας από τα 24Wh/kg σε 32Wh/kg χωρίς κάποιες λειτουργικές επιπτώσεις. Τέλος πρόσφατα προωθείται η λύση του ερμητικά κλειστού συσσωρευτή που δεν επιδέχεται επισκευές και απαιτεί προστασία από υπερφόρτιση.

**2. Ιόντων Λιθίου(Lithium-ion):** Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούνται σήμερα σε ένα τεράστιο εύρος ηλεκτρικών συσκευών, από τα κινητά τηλέφωνα μέχρι τα υβριδικά οχήματα. Μπορούν να αποθηκεύουν μεγάλα ποσά ενέργειας ανά μονάδα βάρους (περιέχουν υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας). Έτσι παρατείνεται η διάρκεια ζωής της μπαταρίας, ενώ είναι πιο ελαφριά αφού το λίθιο είναι το πιο ελαφρύ μέταλλο. Μπορείτε επίσης να επαναφορτίσετε την μπαταρία ιόντων λιθίου όποτε σας βολεύει χωρίς να χρειάζεται πλήρη φόρτιση ή πλήρη αποφόρτιση πράγμα το οποίο απαιτούν οι άλλες μπαταρίες για καλύτερη απόδοση. Για αυτό τον λόγο εξασφαλίζουν καλύτερη απόδοση στα οχήματα, μεγάλη αυτονομία σε σύγκριση με τις μπαταρίες μολύβδου και έχουν διπλάσια αυτονομία και πενταπλάσια διάρκεια ζωής. Τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους μπαταρίας είναι τα εξής:

- Υψηλή τάση κυττάρων στα 3,6 volt(ένα κελί λιθίου μπορεί να αντικαταστήσει τρία νικελίου καδμίου
  - Δεν έχουν υγρό ηλεκτρολύτη το οποίο σημαίνει ότι δεν κινδυνεύουν από διαρροή
  - Πολύ υψηλή ενεργειακή πυκνότητα (περίπου 4 φορές υψηλότερη απ του μολύβδου
  - Πολύ υψηλή πυκνότητα ισχύος
  - Χαμηλό βάρος, μικρές σε μέγεθος
- Μεγάλη διάρκεια κύκλου ζωής(1000-3000 κύκλους)
- Από την άλλη μεριά για μεγάλης ισχύος εφαρμογές που απαιτούνται μεγάλες μπαταρίες το κόστος είναι αισθητά μεγαλύτερο από ότι στις μπαταρίες μολύβδου συγκεκριμένα σήμερα το κόστος είναι περίπου στα 550-700\$/kWh και μέχρι το 2020 αναμένεται να φτάσει στα 250\$/Kw προκειμένου να είναι μία ανταγωνιστική λύση στην αγορά. Ακόμα η ευστάθεια των χημικών υλικών που περιέχουν οι μπαταρίες λιθίου είναι μία ανησυχία για αυτό στα πολυμερή

κύτταρα της μπαταρία λιθίου βάζουμε στερεό ηλεκτρολύτη ο οποίος μας λύνει σε ένα βαθμό το πρόβλημα της ευστάθειας

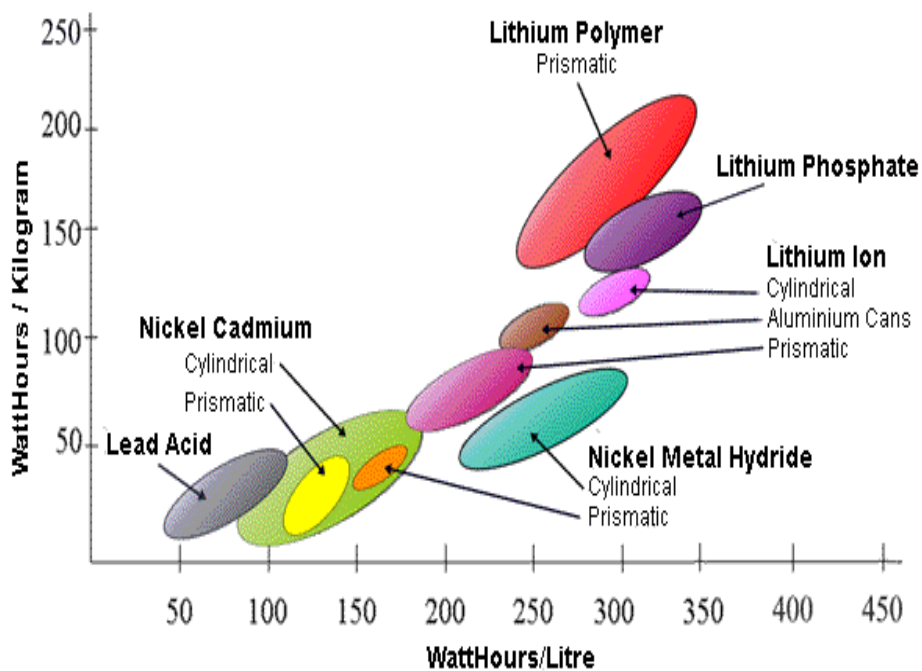
3. **Νικελίου –Καδμίου(Ni-Cd):**Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου έχουν χαμηλή εσωτερική αντίσταση (λιγότερο από το μισό στις μπαταρίες NiMH),επίπεδη χαρακτηριστική εκφόρτισης (αλλα πέφτει απότομα στο τέλος του κύκλου), αντέχει σε βαθιές εκφορτίσεις , κύκλος ζωής γύρω στους 500κύκλους,γρήγορη φόρτιση (συνήθως 2 ώρες), διατίθεται σε διάφορα μεγέθη και χωρητικότητες. Μειονεκτήματα του είδους αυτού είναι επιρρεπείς σε βλάβες από υπερφόρτιση, έχουν χαμηλή τάση κυττάρου στα 1,2Volt και το σημαντικότερο μειονέκτημα είναι ότι το κάδμιο είναι ένα παρά πολύ ακριβό μέταλλο και αρκετά βλαβερό για το περιβάλλον.
4. **Νικελίου-υβριδίου μέταλλο (NiMH):** Οι μπαταρίες αυτού του τύπου είναι ίδιες με αυτές του σφραγισμένου νικελίου-καδμίου στο μόνο που διαφέρουν είναι ότι αντί για κάδμιο ,το υδρογόνο είναι αυτό που χρησιμοποιείται ως ενεργό στοιχείο στην άνοδο. Σήμερα με την εξέλιξη της τεχνολογίας οι μπαταρίες NiMH έχουν αρχίσει να εφαρμόζονται και στα ηλεκτρικά οχήματα μιας και η πυκνότητα ενέργειας τους είναι πάνω από το διπλάσιο από αυτή στις μπαταρίες μολύβδου. Ακόμα έχουν χαμηλή εσωτερική αντίσταση (όχι τόσο χαμηλή όσο του NiCad),έχουν διάρκεια κύκλου ζωής 3000κύκλους, επίπεδη χαρακτηριστική αποφόρτισης, γρήγορη φόρτιση. Μειονεκτήματα: έχει λιγότερη αντοχή σε υπερφορτίσεις από ότι οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου, η μπαταρία χειροτερεύει κατά την μακροχρόνια αποθήκευση (αυτό μπορεί να λυθεί με την φόρτιση και εκφόρτιση αρκετές φορές πριν την επαναχρησιμοποίηση)
5. **Μπαταρίες ψευδαργύρου(zinc-air batteries):**Οι μπαταρίες αυτού του τύπου έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα αλλά είναι χαμηλής ισχύος, το σύστημα zinc-air όταν είναι σφραγισμένο έχει εξαιρετική διάρκεια ζωής με ρυθμό εκφόρτισης μόνο 2% ανά χρόνο, είναι ευαίσθητες σε ακραίες θερμοκρασίες και σε υγρασία, τέλος σε σχέση με το φυσικό τους μέγεθος αποθηκεύουν περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα βάρους από σχεδόν οποιοδήποτε άλλο είδος πρωτογενούς τύπου

Στον Πίνακα 1.1 φαίνεται τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά όσον αφορά την πυκνότητα ενέργειας και ισχύος την οποία διαθέτουν όσο και το τρέχον ενδεικτικό κόστος αρχικής αγοράς τους κυμαίνονται μέσα στα πιο κάτω αναφερόμενα όρια τα οποία όμως συνεχώς και αναθεωρούνται με την πάροδο που παρατηρείται:

Τύπος Συσσωρευτή	Ενέργεια κατά	Ενέργεια κατά βάρος(Wh/kg)	Ισχύς κατά βάρος(W/kg)	Διάρκεια ζωής(Cycles)	Κόστος ανά kWh(E/kWh)
---------------------	------------------	-------------------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------

	όγκο(Wh/l)				
<i>Lead-Acid</i>	60-75	30-40	75-180	200-400	70-110
<i>NiCd</i>	50-150	45-80	50-200	1000-2000	280-560
<i>NiMH</i>	140-300	60-120	250-1000	600-1500	180-250
<i>Li-ion Cobalt</i>	220-350	150-220	300-760	500-1000	150-220
<i>Li-ion Manganese</i>	270	100-160	100-315	500-1800	150-220
<i>Li-ion phosphate</i>	250	90-150	150-300	1000-2000	180-250
<i>Zinc- Bromide</i>	140	90	100	270-350	120
<i>Zinc-Air</i>	220	200	80-140	400	65

**Πινάκας 1.1:** Τεχνικά χαρακτηριστικά μπαταριών

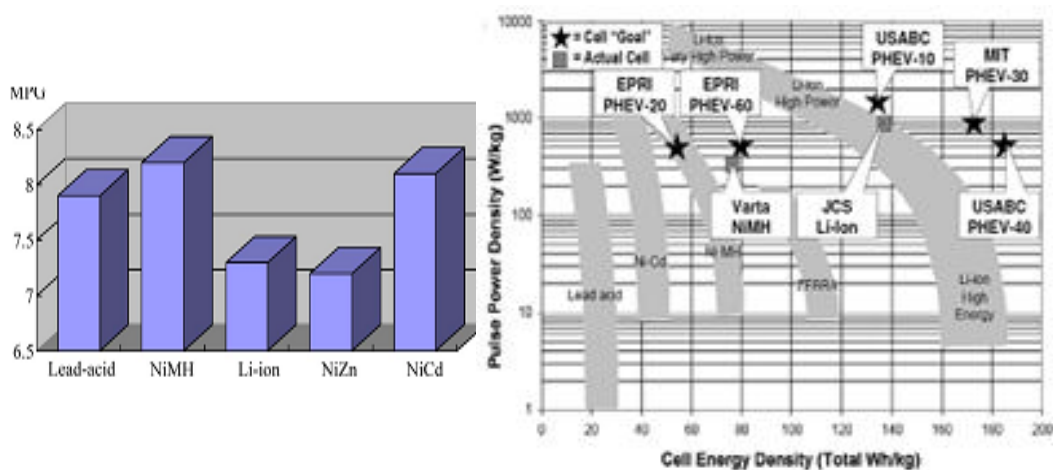


**Εικόνα 1.2:** Μια εποπτική παράσταση των στοιχείων ενεργειακής πυκνότητας των διαφόρων τύπων συσσωρευτών

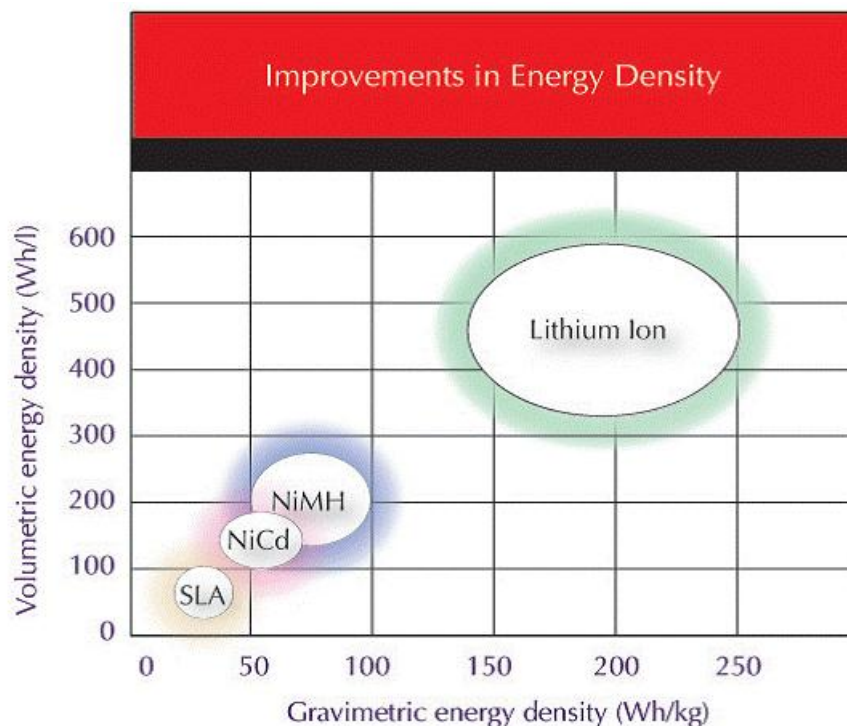
Στον πίνακα 1.2 συνοψίζονται οι κυριότερες παράμετροι για διαφορετικές τεχνολογίες μπαταριών ενώ στην Εικόνα 1.2 παρουσιάζεται η κατανάλωση ανά μίλι παρέχοντας έτσι μία συγκριτική εικόνα μεταξύ των τεχνολογιών

	Capacity(Ah)	Voltage(V)	Resistance (mΩ)	W/kg 95%eff	Usable SOC
<b><u>NiMH</u></b>					
Panasonic	6.5	7.2	11.4	207	40%
Ovonic	12	12	10	195	30%
Saft	14	1.2	1.1	172	30%
<b><u>Li-Ion</u></b>					
Saft	12	4	7.0	256	20%
Shin-Kobe	4	4	3.4	745	18%
<b><u>Lead-acid</u></b>					
Panasonic	25	12	7.8	77	28%

**Πίνακας 1.2:** Χαρακτηριστικά εμπορικών μπαταριών που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα



**Εικόνα 1.3:** Συγκριτικά αποτελέσματα κατανάλωση (miles per gallon) για διαφορετικούς τύπους μπαταριών



Εικόνα 1.4: Πλεονεκτήματα της μπαταρίας λιθίου-ιόντων σε σχέση με τις άλλες μπαταρίες

## 1.4 Σταθμοί φόρτισης

### 1.4.1 Θέσεις των σταθμών φόρτισης

Τα ηλεκτρικά οχήματα σε αντίθεση με τα βενζινοκίνητα οχήματα, τα οποία μπορούν να γεμίσουν με καύσιμα σε συγκεκριμένα μέρη, επιτρέπουν μία ευρύτερη γκάμα επιλογών. Οι τοποθεσίες εγκατάστασης των σταθμών φόρτισης μπορεί να είναι σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες[4]:

➤ Οικιακοί σταθμοί φόρτισης

Οι δυνατότητες του οικιακού δικτύου μπορούν να προσδιοριστούν αν ληφθεί υπόψη πως η τάση του δικτύου είναι 220V και οι γραμμές παροχών έχουν μέγιστη ένταση 16A-32A ανάλογα με τις χρησιμοποιούμενες ασφάλειες κάθε φορά. Αυτοί οι σταθμοί θα μπορούν να τοποθετηθούν χωρίς κάποιο επιπρόσθετο κόστος εγκατάστασης στο γκαράζ του σπιτιού μας. Ακόμα στο γκαράζ των πολυκατοικιών θα μπορούμε να έχουμε φορτιστές οι οποίοι θα μοιράζονται από τους ενοίκους και θα μπορούν να αναγνωρίζουν ποιος από τους ενοίκους φορτίζει το αμάξι του ώστε να επιβαρύνεται μόνον αυτός.

➤ Κοινόχρηστοι σταθμοί φόρτισης

Οι κοινόχρηστοι σταθμοί φόρτισης είναι μια πολύ βολική λύση μιας και στην ουσία υποκαθιστούν τα πρατήρια καυσίμου των συμβατικών αυτοκινήτων. Θα υπάρχουν σε μεγάλους χώρους στάθμευσης όπου τα οχήματα αναμένεται να είναι παρκαρισμένα για τουλάχιστον 2-3ώρες, όπως πχ σε παρκινγκ εμπορικών κέντρων, σε πάρκινγκ σουπερ-μάρκετ κτλ. Επιπλέον οι εταιρείες θα μπορούν να έχουν σταθμούς φόρτισης για τα αυτοκίνητα των υπαλλήλων τους μιας και τις ώρες εργασίας τα αυτοκίνητα παραμένουν σταθμευμένα. Κάτι τέτοιο μπορεί να διπλασιάσει την απόσταση που μπορεί να διανύσει ένα ηλεκτρικό όχημα. Τέλος θα υπάρχουν σταθμοί φόρτισης πάνω στον δρόμο οι οποίοι θα εξυπηρετούν οδηγούς ηλεκτρικών οχημάτων οι οποίοι θα κατοικούν σε πυκνοκατοικημένες περιοχές προκειμένου να φορτίζουν τα οχήματά τους κατά την διάρκεια της νύχτας. Τέτοιου είδους σταθμοί θα υπάρχουν και σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας ώστε να αυξήσουν την αυτονομία των οχημάτων (θα τοποθετούνται κάθε 80Km και κοντά σχετικά στις εξόδους).

➤ Σταθμοί αλλαγής μπαταρίας

Ένας σταθμός φόρτισης είναι διαφορετικός από ότι ένας σταθμός αλλαγής μπαταρίας, ο οποίος είναι ένας σταθμός αλλαγής μίας αποφορτισμένης μπαταρίας για μία μπαταρία πλήρως φορτισμένη σώζοντας μας έτσι από την αναμονή για την φόρτιση της μπαταρίας. Σε έναν τέτοιο σταθμό ο οδηγός δεν χρειάζεται να βγει από το αμάξι του καθώς του αλλάζουν την μπαταρία μιας και η αλλαγή μπορεί να ολοκληρωθεί σε λιγότερο από ένα λεπτό. Τέτοιοι σταθμοί έχουν το εξής όφελος ότι του οδηγού δεν του ανήκει η μπαταρία και έτσι το κόστος συντήρησης, η ποιότητα της μπαταρίας και η εγγύηση της μεταφέρονται στην εταιρεία αλλαγής μπαταρίας.

Ακόμα υπάρχουν τεχνικές βελτιστοποίησης προκειμένου να μπορούν να τοποθετήσουμε βέλτιστα του σταθμούς φόρτισης ώστε να εξυπηρετούνται όλα τα οχήματα[16].

## 1.5 Τεχνολογίες σταθμών φόρτισης

### 1.5.1 Φόρτιση με αγώγιμη σύνδεση

Η φόρτιση των οχημάτων γίνεται σε φορτιστές οι οποίοι χαρακτηρίζονται από τα παρακάτω επίπεδα[5]:

➤ Επίπεδο 1 (Mode 1)

Η φόρτιση σχετίζεται με την σύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος στο εναλλασσόμενο ρεύματος AC δίκτυο χρησιμοποιώντας τυποποιημένους ρευματοδότες οι οποίοι δεν ξεπερνάνε τα 16A και όχι πάνω από 250VAC για μονοφασικό ή 480VAC για τριφασικό στην πλευρά του δικτύου και χρησιμοποιούν αγωγούς προστασίας. Ο τρόπος φόρτισης 1 απαιτεί την παρουσία προστατευτικής διάταξης ισοζυγισμού έντασης RCD (Residual Current Device) προς την πλευρά της παροχής

➤ Επίπεδο 2 (Mode 2)

Η φόρτιση σχετίζεται με την σύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος στο AC δίκτυο τροφοδοσίας που δεν υπερβαίνει τα 32 A και τα 250VAC για μονοφασικό και τα 480VAC για τριφασικό χρησιμοποιώντας πρότυπες υποδοχές. Εκτός από τους αγωγούς ρεύματος και γείωσης αυτές οι υποδοχές έχουν και μια πρόσθετη λειτουργία πιλοτικού ελέγχου. Μία συσκευή μείωσης ρεύματος είναι απαραίτητη για την προστασία από ηλεκτροπληξία. Ένα κιβώτιο ελέγχου θα πρέπει να είναι μέσα στο βύσμα ή εντός 0,3μ εντός του βύσματος. Το κόστος ωστόσο για αυτή την κατηγορία φόρτισης ανεβαίνει αρκετά, αφού απαιτείται ένα καλώδιο φόρτισης που δεν είναι φορητό, αλλά μόνιμως συνδεδεμένο σε έναν σταθμό φόρτισης. Αυτά τα καλώδια που ανταποκρίνονται σε υψηλότερη ισχύ κοστίζουν περισσότερο, περίπου \$2000, με το μεγαλύτερο μέρος από αυτό το ποσό να προορίζεται για την εγκατάσταση.

➤ Επίπεδο 3 (Mode 3)

Το όχημα είναι άμεσα συνδεδεμένο στο δίκτυο μέσω ειδικών μπριζών και βυσματός και από ένα ειδικό κύκλωμα. Ένα σύστημα ελέγχου και προστασίας είναι μόνιμα εγκατεστημένο στην εγκατάσταση. Στους φορτιστές αυτού του τύπου χρησιμοποιείται συνήθως ρεύμα μεγαλύτερης έντασης (μέχρι και 63A), με αποτέλεσμα η μεταφερόμενη ισχύς να φτάνει και τα 42KW.

➤ Επίπεδο 4 (Mode 4)

Περιλαμβάνει γρήγορες διαδικασίες φόρτισης με χρήση DC ρεύματος. Με την DC φόρτιση επιτρέπει ρεύματα μέχρι και 125A. Για αυτό τον λόγο υπάρχουν ειδικά συστήματα ελέγχου τα οποία εξασφαλίζουν την ομαλή και γρήγορη φόρτιση του οχήματος χωρίς να 'ψηθεί' η μπαταρία του οχήματος από τις μεγάλες τάσεις. Τέτοιοι φορτιστές είναι ιδιαίτερα ακριβοί γύρω στα \$40000-\$100000 και με ένα μεγάλο κόστος εγκατάστασης.



Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι χρόνοι φόρτισης ανάλογα με το επίπεδο.

Charging time	Power supply	Voltage	Max current
6-8hours	Single-phase-3.3kW	230VAC	16A
2-3hours	Three-phase-10kW	400VAC	16A
3-4hours	Single-phase-7kW	230VAC	32A
1-2hours	Three-phase-24kW	400VAC	32A
20-30min	Three-phase-43kW	400VAC	63A
20-30min	Direct current-50kW	400-500VAC	100-125A

**Πίνακας 1.3:Χρόνοι φόρτισης ανάλογα με το επίπεδο**

### 1.5.2 Φόρτιση με επαγωγή

Τα συστήματα επαγωγικής φόρτισης μεταφέρουν εναλλασόμενη δημιουργώντας μία μαγνητική σύμπλεξη ενός πρωτεύοντος πηνίου στην πλευρά του δικτύου και ενός δευτερεύοντος από την πλευρά του οχήματος. Έτσι η ισχύς ρέει από το πρωτεύον στο δευτερεύον όπως ακριβώς σε έναν μετασχηματιστή. Όπως γνωρίζουμε ο συσσωρευτής έχει DC τάση και μπορεί να φορτιστεί μόνο με DC ρεύμα έτσι το εναλλασόμενο ρεύμα στην έξοδο του δευτερεύοντος πηνίου ανορθώνεται με κατάλληλη διάταξη πριν φτάσει στον συσσωρευτή. Οι φορτιστές αυτού του τύπου διατηρούν μεγάλο μέρος του κυκλώματος φόρτισης εκτός του οχήματος και επικοινωνούν με την μπαταρία μέσω υπερύθρων ή ραδιοσυχνοτήτων. Πλεονεκτήματα της επαγωγικής φόρτισης είναι ότι υπάρχει μικρότερος κίνδυνος ηλεκτροπληξίας η βραχυκυκλώματος και επίσης είναι πιο βολικό επειδή δεν χρειάζονται καλώδια μιάς και η συσκευή μπορεί να τοποθετηθεί πάνω σε μία πλάκα η κοντά σε ένα στύλο φόρτισης. Από την άλλη μεριά η επαγωγική φόρτιση έχει κάποια μειονεκτήματα όπως για παράδειγμα έχει χαμηλότερη απόδοση, ακόμα είναι πιο δαπανηρή μιάς και έχει πολυπλοκότερη κατασκευή τέλος ο χρόνος που απαιτείται για να φορτίσει η μπαταρία είναι μεγαλύτερος μιάς και έχει χαμηλότερη απόδοση ακόμα και αν η παρεχόμενη ισχύς είναι ίση. Ερευνητές στο Ινστιτούτο Προηγμένης Τεχνολογίας και Επιστήμης της Κορέας έχουν αναπτύξει ένα ηλεκτρικό σύστημα μεταφοράς το οποίο λέγεται (OLEV: OnLine Electric Vehicle) όπου τα οχήματα παίρνουν την ενέργεια που τους χρειάζεται από καλώδια τα οποία βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του δρόμου μέσω μαγνητικής φόρτισης χωρίς επαφή (όπου μία πηγή ενέργεια έχει τοποθετηθεί κάτω από την επιφάνεια του δρόμου και η ενέργεια μεταφέρεται ασύρματα και φορτίζει το όχημα). Τον Φεβρουάριο του 2009 οι ερευνητές του Ινστιτούτου τεχνολογίας της Κορέας απέδειξαν ότι είναι πιθανό για ένα όχημα να

λαμβάνει μέχρι και το 80% της μεταφερόμενη ενέργειας έστω και με ένα εκατοστό (1 cm) απόσταση του οχήματος από την 'ηλεκτρίζουσα λωρίδα.

## 1.6 Αγώγιμες Συνδέσεις –Υποδοχές και Βύσματα

Η εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων τα τελευταία χρόνια σημειώθηκε διάσπαρτα σε ολόκληρο σχεδόν τον τεχνολογικά προηγμένο κόσμο χωρίς ενιαίες κατευθυντήριες γραμμές με αποτέλεσμα να χρησιμοποιηθούν διατάξεις ,συστήματα αλλά και εξαρτήματα πολυποίκιλα ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες και την ισχύουσα διαθεσιμότητα. Σχετικά πρόσφατα προκλήθηκε προβληματισμός και σημειώθηκε έντονα η διαπίστωση της ανάγκης ύπαρξης ορισμένων προτύπων ώστε να καταστεί δυνατή σε διεθνές επίπεδο η ευρεία διάθεση ηλεκτρικών οχημάτων.Ένα από τα πρώτα προβλήματα που τα οποία έπρεπε να επιλυθούν είναι η τυποποίηση των συστημάτων φόρτισης και των εξαρτημάτων που θα έπρεπε να χρησιμοποιούνται(υποδοχές,καλώδια,φορτιστές κτλ) έτσι ώστε οι κατασκευαστές να κατηγοριοποιήσουν τα σχετικά εξαρτήματα και μέρη προκειμένου να μειώσουν το κόστος.Τα σημαντικότερα πρότυπα είναι τα ακόλουθα:

### 1.6.1 SAE (Society of Automotive Engineers)

Το συνιστώμενο πρότυπο 'SAE J1772-Σύνδεσμος για την φόρτιση ηλεκτρικών και επαναφορτιζόμενων υβριδικών οχημάτων' όπως αυτό αναθεωρήθηκε, δημοσιοποιήθηκε τον Ιανουάριου του 2010.Περιλαμβάνει προδιαγραφές για τις επί των οχημάτων υποδοχές αλλά και για τα αντίστοιχα βύσματα αγωγίμης επαφής για την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων και των επαναφορτιζόμενων υβριδικών οχημάτων με εναλλασσόμενο ρεύμα.Οι προδιαγραφές υποδοχής και βύσματος που περιλαμβάνει το πρότυπο SAE J 1772 είναι κατάλληλες για δύο επίπεδα φόρτισης με αγωγή επαφή τα οποία είναι τα εξής:

- Εναλλασσομένου ρεύματος Επίπεδο-1 Μονοφασική σύνδεση 120V-AC, 12A/16A
- Εναλλασσομένου ρεύματος Επίπεδο-2 Μονοφασική σύνδεση 208-240V-AC,μέχρι 80A

Η σχεδίαση της υποδοχής του βύσματος είναι πέντε(5) ακροδεκτών με σύστημα ασφάλισης προς αποφυγή αθέλητης απομάκρυνσης του βύσματος και διακοπής φόρτισης.Οι λειτουργίες των πέντε(5) ακροδεκτών ορίζονται παρακάτω:

- Επαφή 1: Η μία γραμμή τροφοδοσίας L1
- Επαφή 2 : Η άλλη γραμμή τροφοδοσίας L2 ή ο ουδέτερος N
- Επαφή 3: Γείωση

- Επαφή 4:Σηματοδοσία επικοινωνίας μεταξύ του οχήματος και του συστήματος παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας
- Επαφή 5:Διακόπτης διασύνδεσης.Επιβεβαίωση της σύνδεσης του οχήματος με την πηγή της ηλεκτρικής παροχής με σκοπό την ακινητοποίηση του για όσο υφίσταται αυτή η σύνδεση

Το πρότυπο αυτό περιλαμβάνει τις απαιτήσεις του συστήματος επικοινωνίας δεδομένων,της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, της αντοχής και αξιοπιστίας ,της εσωτερικής αντίστασης και των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών της υποδοχής του βύσματος.Σημειώνεται επίσης ότι το πρότυπο αυτό (SAE J1772) καλύπτει μόνο την επι του οχήματος υποδοχή και το αντίστοιχο βύσμα. Δεν ασχολείται με τις υποδοχές και τα βύσματα προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής για δύο(2) λόγους:

- Πρώτον γιατί στις φορτίσεις εναλλασσομένου ρεύματος επιπέδου 1 συνήθως χρησιμοποιούνται οι οικιακού τύπου ρευματοδότες και βύσματα τα οποία διαφέρουν από τόπο σε τόπο
- Δεύτερον γιατί στις ΗΠΑ συνήθως το καλώδιο που χρησιμοποιείται για την φόρτιση εναλλασσομένου ρεύματος επιπέδου 2 αποτελεί μόνιμη προέκταση της συσκευής φόρτισης και επομένως δεν συνδέεται με αυτήν μέσω της υποδοχής και βύσματος

## 1.6.2 IEC(International Electrotechnical Commision)

### ➤ Πρότυπο IEC 61851

Το πρότυπο IEC 61851 καλύπτει το σύνολο του συστήματος φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με αγωγή επαφή.Περιλαμβάνει προδιαγραφές εξαρτημάτων για τυποποιημένες τάσεις εναλλασσομένου ρεύματος μέχρι και 690Volt και για τάσεις συνεχούς ρεύματος μέχρι 1000Volt.Το πρότυπο αυτό κυκλοφορεί σε 'Μέρη' υπο τον γενικό τίτλο <<Συστήματα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων δια της αγωγίμης επαφής>>.Τα κύρια 'Μέρη' του είναι:

- Μέρος 1:Γενικές Απαιτήσεις
- Μέρος 21:Απαιτήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων προκειμένου να συνδεθούν με παροχή εναλλασσομένου ή συνεχούς ρεύματος
- Μέρος 22:Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικού αυτοκινήτου με εναλλασσομένο ρεύμα
- Μέρος 23 :Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικού αυτοκινήτου με συνεχές ρεύμα

### ➤ **Πρότυπο IEC 62196**

Οι ειδικότερες απαιτήσεις για τα φίς ,τους ρευματοδότες,τις υποδοχές των αυτοκινήτων και τα αντίστοιχα βύσματα τους προκειμένου για αγώγιμες συνδέσεις φόρτισης του προτύπου IEC 61851 περιλαμβάνονται σε ένα ιδιαίτερο πρότυπο το IEC 62196.Επίσης το πρότυπο αυτό δημοσιεύεται σε 'Μέρη' υπο τον γενικό τίτλο <<Βύσματα,Ρευματοδότες και Υποδοχές των ηλεκτρικών αυτοκινήτων για αγώγιμη σύνδεση>>.Τα κύρια 'Μέρη' του προτύπου αυτού είναι:

- Μέρος 1: Γενικές απαιτήσεις
- Μέρος 2: Απαιτήσεις διαστασιολογικής συμβατότητας για τους ακροδέκτες και τις υποδοχές τους ,των εξαρτημάτων για εναλλασσόμενο ρεύμα
- Μέρος 3: Απαιτήσεις διαστασιολογικής συμβατότητας για τους ακροδέκτες και τις υποδοχές τους ,των εξαρτημάτων για συνεχές ρεύμα.

Το IEC 62196 Μέρος 1 καλύπτει εξαρτήματα αγώγιμης σύνδεσης κατάλληλα για τάση μέχρι 690Volt εναλλασσομένου ρεύματος και εντάσεως μέχρι 250A ή 1500Volt συνεχούς ρεύματος και εντάσεως μέχρι 400A. Περιλαμβάνει προδιαγραφές για την κατασκευή,ηλεκτρική επίδοση,ασφάλεια,ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα,αξιοπιστία, εσωτερική αντίσταση και τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά αυτών των εξαρτημάτων

Το IEC 62196 Μέρος 2 περιλαμβάνει προδιαγραφές και διαστασιολόγιο για τρεις(3) τύπους βυσμάτων και υποδοχών επί των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Τον τυπο1 ,τυπο2 ,τυπο3.

Ο τύπος 1 αντιστοιχεί στο πρότυπο SAE J1772 διαθέτει 5 ακροδέκτες και χρησιμοποιείται προς την πλευρά του αυτοκινήτου για αγώγιμη φόρτιση εναλλασσομένου ρεύματος μονοφασική μέχρι 250Volt με ένταση μέχρι 32A.Οι λειτουργίες των πέντε(5) ακροδεκτών προσδιορίζονται ως εξής

- Επαφή 1:Η μία γραμμή τροφοδοσίας L1
- Επαφή 2:Η άλλη γραμμή τροφοδοσίας L2 ή ο ουδέτερος N
- Επαφή 3:Γείωση
- Επαφή 4:Σηματοδοσία επικοινωνίας μεταξύ του οχήματος και του συστήματος παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας
- Επαφή 5:Διακόπτης διασύνδεσης.Επιβεβαίωση της σύνδεσης του οχήματος με την πηγή της ηλεκτρικής παροχής με σκοπό την ακινητοποίηση του για όσο χρόνο υφίσταται αυτή η σύνδεση




Ο τύπος 2 διαθέτει επτά(7) ακροδέκτες και χρησιμοποιείται τόσο προς την πλευρά του αυτοκινήτου όσο και προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχήςγια αγώγιμη φόρτιση εναλλασσομένου ρεύματος μονοφασική μέχρι 250 Volt με

εντάσεις ρεύματος 20,32,63 ή 70 Αμπέρ όπως και για τριφασική 380-480Volt με εντάσεις ρεύματος 20 ή 32 ή 63 Αμπέρ. Οι λειτουργίες των επτά(7) ακροδεκτών προσδιορίζονται ως εξής:

- Επαφή 1:Η πρώτη γραμμή τροφοδοσίας L1
- Επαφή 2:Η δεύτερη γραμμή τροφοδοσίας L2
- Επαφή 3:Η τρίτη γραμμή τροφοδοσίας L3
- Επαφή 4: Ο ουδέτερος N
- Επαφή 5:Γείωση
- Επαφή 6:Σηματοδοσία επικοινωνίας μεταξύ του οχήματος και του συστήματος παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας
- Επαφή 7:Διακόπτης διασύνδεσης.Επιβεβαίωση της σύνδεσης του οχήματος με την πηγή της ηλεκτρικής παροχής με σκοπό την ακινητοποίηση του για όσο χρόνο υφίσταται αυτή η σύνδεση

Ο Τύπος 3,διαθέτει 4 ή 5 ή 7 ακροδέκτες εφοδιασμένους με σύστημα κλείστρου προστασίας για την αποφυγή επαφής με υπο τάση μέρη και χρησιμοποιείται τόσο προς την πλευρά του αυτοκινήτου όσο και προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής για αγωγή φόρτιση εναλλασσομένου ρεύματος μονοφασική μέχρι 250Volt με εντάσεις ρεύματος 16 ή 32Αμπέρ, όπως και για τριφασική 380-480Volt με εντάσεις ρεύματος μέχρι 32Αμπέρ. Οι λειτουργίες των ακροδεκτών προσδιορίζονται ως εξής:

- Επαφή 1:Η πρώτη γραμμή τροφοδοσίας L1
- Επαφή 2:Η δεύτερη γραμμή τροφοδοσίας L2(προαιρετική)
- Επαφή 3:Η τρίτη γραμμή τροφοδοσίας L3(προαιρετική)
- Επαφή 4: Ο ουδέτερος N
- Επαφή 5:Γείωση
- Επαφή 6:Σηματοδοσία επικοινωνίας μεταξύ του οχήματος και του συστήματος παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας
- Επαφή 7:Διακόπτης διασύνδεσης.Επιβεβαίωση της σύνδεσης του οχήματος με την πηγή της ηλεκτρικής παροχής με σκοπό την ακινητοποίηση του για όσο χρόνο υφίσταται αυτή η σύνδεση

<p>Βύσμα και υποδοχή τύπο SAE J1772-2009 κατασκευή Yazaki με 5 ακροδέκτες.Αντιστοιχεί με το πρότυπο IEC 62196-2 τύπος 1</p>	
<p>Υποδοχές IEC 62196-2 τύπου 3 με κλείστρα προστασίας κατασκευής SCAME</p>	
<p>Βύσματα IEC 62196-2 τύπος 2 με επτά(7) ακροδέκτες κατασκευής Mennekes</p>	

**Εικόνα 1.5:** Διαφορα είδη αγωγίμων συνδέσεων

### 1.6.3 Οι Ταχυφορτιστές με προδιαγραφές τύπου CHAdeMO

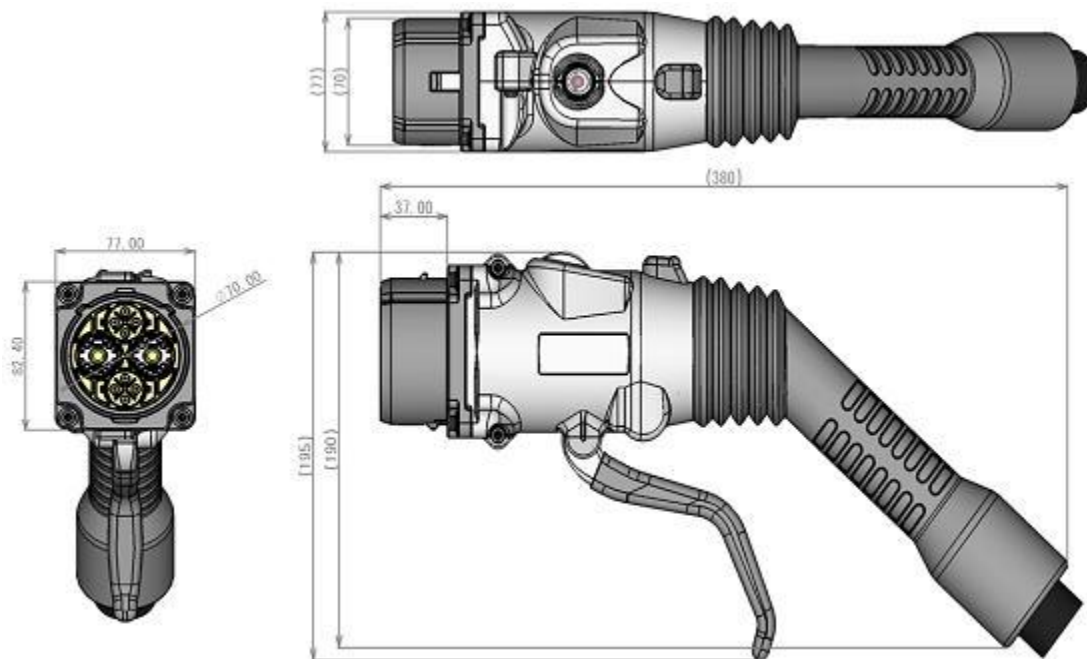
Παρατηρήθηκε ότι η πιο οικονομική λύση η οποία δεν δημιουργεί τεχνολογικά μονοπώλια είναι η ταχεία φόρτιση των συσσωρευτών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων από ειδικού εξωτερικούς φορτιστές μεγάλης ισχύος οι οποίοι παρέχουν συνεχές ρεύμα φόρτισης(DC) υψηλής εντάσεως αλλά με τρόπο συνεχώς ελεγχόμενο έτσι ώστε να προσαρμόζεται ο ρυθμός φόρτισης στα χαρακτηριστικά του συσσωρευτή προς αποφυγή ζημιών από καταπονήσεις με τη μορφή υπερθερμάνσεων ή εντόνων διαφοροποιήσεων μεταξύ των στοιχείων. Στη βάση αυτής της αρχής οι σημαντικότεροι κατασκευαστές ηλεκτρικών αυτοκινήτων αλλά και άλλοι επιχειρηματίες του χώρου συνεργάστηκαν με στόχο να κατασκευάσουν και να διαδώσουν ένα σύστημα ταχείας φόρτισης συνεχούς ρεύματος το οποίο και

ονόμασαν CHAdeMO που αποτελεί την συντομογραφία της φράσης 'Charge and Move' (Φόρτισε και Φύγε). Το πρότυπο το οποίο αναπτύχθηκε από κοινού από όλα τα μέλη του ανοικτού σε συμμετοχές οργανισμού 'CHAdeMO Association' εγκαινιάστηκε στις 15 Μαρτίου του 2010.

Στην Ευρώπη μερικά από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα τα οποία πρόκειται να κυκλοφορήσουν τα αμέσως επόμενα χρόνια σχεδιάζεται να προσφέρουν τη δυνατότητα ταχείας φόρτισης με συνεχές ρεύμα, δηλαδή την απευθείας σύνδεση των συσσωρευτών τους με εξωτερικό φορτιστή τύπου CHAdeMO μερικά άλλα όμως ακόμα και για την ταχεία φόρτιση θα χρησιμοποιηθούν τον επι του αυτοκινήτου φορτιστή ο οποίος στην περίπτωση αυτή θα είναι μεγαλύτερης ισχύος από την απαιτούμενη για την κανονική φόρτιση. Τα αυτοκίνητα αυτά θα συνδέονται με παροχή εναλλασσομένου ρεύματος (AC) τόσο για την κανονική όσο και για την ταχεία φόρτιση.

### **Πως λειτουργεί**

Το σύστημα ταχείας φόρτισης με συνεχές ρεύμα προδιαγραφών CHAdeMO, χρησιμοποιεί έναν εξωτερικό φορτιστή ο οποίος υπακούει (slave) στις εντολές που του δίνει το σύστημα των συσσωρευτών του αυτοκινήτου (master) προκειμένου να ρυθμίζει συνεχώς τα δεδομένα της φόρτισης ώστε να αποφεύγονται οι καταπονήσεις της συστοιχίας. Η λύση αυτή θεωρείται λειτουργική, ασφαλής και πολύ αποδοτική από πλευρά του χρόνου φόρτισης. Με μία τυπική ισχύ ίση με 50Kw ο φορτιστής 'CHAdeMO' μπορεί να φορτίσει κατά 80% τους συσσωρευτές ενός μεσαίου μεγέθους ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε 30λεπτα. Μπορεί επίσης με μία φόρτιση 5 λεπτών σχεδόν ίδια με την στάση ανεφοδιασμού ενός συμβατικού αυτοκινήτου να προσδώσει στους συσσωρευτές ηλεκτρική ενέργεια επαρκή για τα επόμενα 30-40 χιλιόμετρα προκειμένου να καταστεί εφικτή η μεταβίβαση στο μόνιμο σημείο ανεφοδιασμού με κανονική φόρτιση[7].



**Εικόνα 1.6:** Το τυποποιημένο βύσμα CHAdeMO

## 1.7 Διαδικασία V2G

Η διαδικασία της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από την πλευρά των οχημάτων προς την αντίστοιχη των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, γνωστή και ως V2G (Vehicle to Grid), περιγράφει ένα σύστημα το οποίο εκμεταλλεύεται τα οχήματα που έχουν τη δυνατότητα σύνδεσης στο ηλεκτρικό δίκτυο τη στιγμή που αυτά είναι σταθμευμένα. Τα οχήματα αυτά είναι καθαρά ηλεκτρικά ή υβριδικά και κατατάσσονται στην κατηγορία των Plug-In ηλεκτρικών οχημάτων. Εδώ επισημαίνουμε ότι τα υβριδικά οχήματα επιτρέπουν την μονόδρομη ροή ισχύος από τα τελευταία στο δίκτυο την ίδια στιγμή που τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία επιτρέπουν την αμφίδρομη εναλλαγή ισχύος μεταξύ της μπαταρίας και του δικτύου. Συγκεκριμένα κατά την διάρκεια της εκφόρτισης της μπαταρίας καταγράφεται ροή ισχύος από το όχημα προς το δίκτυο ενώ κατά την διάρκεια φόρτισης της μπαταρίας καταγράφεται ροή ισχύος από το δίκτυο προς το όχημα[17].

Σύμφωνα με τα παραπάνω τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μπαταρία θα μπορούν να φορτίζουν κατά την διάρκεια χαμηλής ζήτησης ισχύος και να εκφορτίζουν τις χρονικές περιόδους όπου η ζήτηση είναι υψηλή. Παράλληλα η διάρθρωση των ενεργειακών συστημάτων είναι τέτοια που θα πρέπει κάθε στιγμή να ισχύει το



ισοζύγιο ισχύος ανάμεσα στην παραγωγή και το φορτίο. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η σταθερότητα των τιμών τάσης και συχνότητας που καθορίζουν με την σειρά τους την ποιότητα της προσφερόμενη ισχύος. Έτσι δημιουργώντας ένα στόλο ηλεκτρικών οχημάτων κι εκμεταλλευόμενος τόσο την χωρητικότητα όσο και την ταχεία απόκριση των μπαταριών θα μπορούσε να συγκεντρώνει ένα σημαντικό ποσό ισχύος προς εφεδρεία για τις αιφνίδιες αιχμές που θα παρουσιάζονται στη ζήτηση ισχύος. Επίσης ο στόλος των ηλεκτρικών οχημάτων θα μπορούσε να αποτελέσει έναν ακόμη παράγοντα ο οποίος θα συμμετέχει στην ρύθμιση συχνότητας, ενώ μελλοντικές σκέψεις κάνουν λόγο και για εκμετάλλευση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων προς αποθήκευση ενέργειας , η οποία θα προέρχεται από τα εγκατεστημένα συστήματα ανανεώσιμων πηγών[8][9].



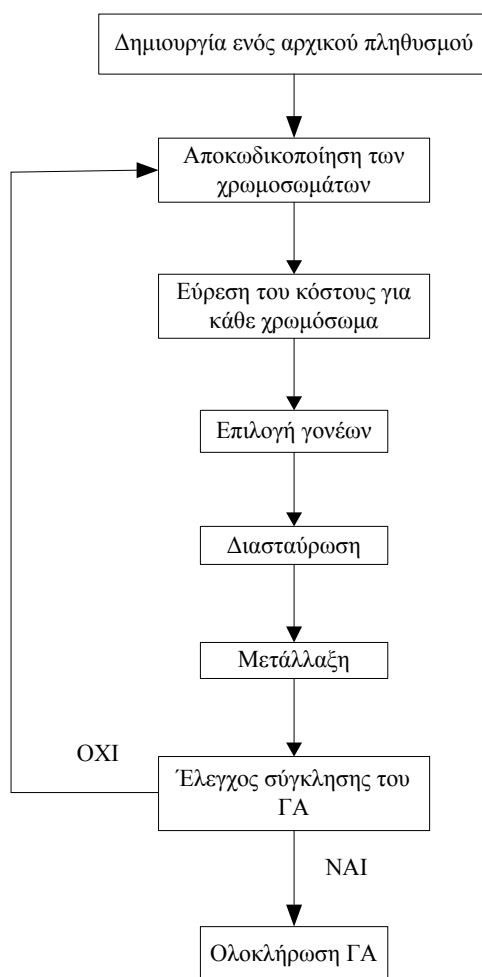
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

### 2.1 Εισαγωγή

Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι ανήκουν στον κλάδο της επιστήμης των υπολογιστών και αποτελούν μία μέθοδο αναζήτησης βέλτιστων λύσεων σε συστήματα που μπορούν να περιγραφούν ως μαθηματικό πρόβλημα. Είναι χρήσιμοι σε προβλήματα που περιέχουν πολλές παραμέτρους/διαστάσεις και δεν υπάρχει αναλυτική μέθοδος που μπορεί να βρει τον βέλτιστο συνδυασμό τιμών για τις μεταβλητές ώστε το υπό εξέταση σύστημα να αντιδρά με όσο το δυνατόν με τον επιθυμητό τρόπο. Ο τρόπο λειτουργίας των Γενετικών Αλγορίθμων είναι εμπνευσμένος από την βιολογία. Χρησιμοποιεί την ιδέα της εξέλιξης μέσω της γενετικής μετάλλαξης, φυσικής επιλογής και διασταύρωσης. Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι είναι αρκετά απλοί στην υλοποίησή τους. Οι τιμές για τις παραμέτρους του συστήματος πρέπει να κωδικοποιούνται με τρόπο ώστε να αναπαρασταθούν από μία μεταβλητή που περιέχει σειρά χαρακτήρων ή δυαδικών ψηφίων(0/1). Αυτή η μεταβλητή μιμείται τον γενετικό κώδικα που υπάρχει στους ζωντανούς οργανισμούς. Αρχικά ο Γενετικός Αλγόριθμος παράγει πολλαπλά αντίγραφα της μεταβλητής συνήθως με τυχαίες τιμές δημιουργώντας έναν πληθυσμό λύσεων. Κάθε λύση δοκιμάζεται για το πόσο κοντά φέρνει την αντίδραση του συστήματος στην επιθυμητή, μέσω μιας συνάρτησης που δίνει το μέτρο ικανότητας της λύσης και η οποία ονομάζεται συνάρτηση ικανότητας. Οι λύσεις που βρίσκονται πιο κοντά στην επιθυμητή σε σχέση με άλλες, σύμφωνα με το μέτρο που μας δίνει η συνάρτηση ικανότητας αναπαράγονται στην επόμενη γενιά λύσεων και λαμβάνουν μια τυχαία μετάλλαξη. Επαναλαμβάνοντας την διαδικασία για αρκετές γενιές, οι τυχαίες μεταλλάξεις σε συνδυασμό με την επιβίωση και αναπαραγωγή των γονιδίων/λύσεων που πλησιάζουν καλύτερα το επιθυμητό αποτέλεσμα θα παράγουν ένα γονίδιο/λύση που θα περιέχει τις τιμές για τις παραμέτρους που ικανοποιούν όσο καλύτερα γίνεται την συνάρτηση ικανότητας. Η πρώτη εμφάνιση των Γενετικών Αλγορίθμων χρονολογείται στις αρχές του 1950 όταν διάφοροι επιστήμονες από τον χώρο της βιολογίας αποφάσισαν να χρησιμοποιήσουν υπολογιστές στην προσπάθειά τους να προσομοιώσουν πολύπλοκα βιολογικά συστήματα. Η συστηματική τους ανάπτυξη όμως που οδήγησε στην μορφή με την οποία είναι γνωστοί σήμερα πραγματοποιήθηκε στις αρχές του 1970 από τον John Holland και τους συνεργάτες του στο Πανεπιστήμιο του Michigan[9].

## 2.2 Συνιστώσες του δυαδικού Γενετικού Αλγορίθμου

Σκοπός του Γενετικού Αλγορίθμου είναι η σύγκλιση. Προκειμένου όμως να πετύχουμε την σύγκλιση περνάμε από ορισμένα στάδια τα οποία αναλύονται παρακάτω. Στο σχήμα 2.1 φαίνεται ένα διάγραμμα ροής το οποίο μας δείχνει όλες τις επιμέρους συνιστώσες του Γενετικού Αλγορίθμου.



Σχήμα 1: Διάγραμμα ροής του δυαδικού ΓΑ

### 2.2.1 Αρχικοποίηση πληθυσμού

Πριν από οποιαδήποτε διαδικασία θα πρέπει να επιλεγεί ο τρόπος αναπαράστασης των πιθανών λύσεων και κωδικοποίησης τους στο χρωμόσωμα, σε μορφή κατανοητή από τον υπολογιστή. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι αναπαράστασης αλλά ο πιο συνηθισμένος είναι η δυαδική αναπαράσταση(0/1). Σε κάθε περίπτωση βέβαια η αναπαράσταση εξαρτάται

από το είδος, τον τομέα και τις απαιτήσεις του προβλήματος. Δεν είναι απαραίτητο για ένα χρωμόσωμα να είναι σταθερού μήκους αλλά αν δεν είναι αυξάνεται η πολυπλοκότητα του προβλήματος. Η αρχικοποίηση συνήθως γίνεται με τυχαία επιλογή κάποιων τιμών από το σύνολο των επιτρεπτών τιμών που μπορεί να πάρει μία μεταβλητή του προβλήματος. Κάθε δυαδική συμβολοσειρά αντιστοιχεί σε μια τιμή  $X$  η οποία μετατρέπεται στην αντίστοιχη τιμή  $X$  στο στάδιο της αποκωδικοποίησης.

### 2.2.2 Αποκωδικοποίηση των χρωμοσωμάτων

Επειδή τα προβλήματα που συνήθως αναθέτουμε στους γενετικούς αλγορίθμους αφορούν προβλήματα τα οποία συνήθως αναφέρονται στο δεκαδικό σύστημα θα πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος αναπαράστασης τους από το δεκαδικό στο δυαδικό και ανάποδα. Ο τρόπος ο οποίος χρησιμοποιείται είναι ο ακόλουθος :

Έστω ότι έχουμε μια συνάρτηση  $f(x)$  με τη μεταβλητή  $x$  φραγμένη στο διάστημα  $x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$ . Αν θεωρήσουμε ότι η δυαδική της μορφή αποτελείται από  $N_{\text{gene}}$  bits, τότε η δεκαδική μορφή της μεταβλητής  $x$  θα δίνεται από τη σχέση(2.1):

$$x = x_{\min} + (x_d - p_{\min}) \cdot \frac{(x_{\max} - x_{\min})}{(p_{\max} - p_{\min})} \quad (2.1)$$

- $x_{\min}$  : το κατώτερο όριο της μεταβλητής  $x$
- $x_{\max}$  : το ανώτερο όριο της μεταβλητής  $x$
- $p_{\min}$  : ο κατώτερος δεκαδικός αριθμός που προκύπτει από το δυαδικό με  $N_{\text{gene}}$  bits
- $p_{\max}$  : ο ανώτερος δεκαδικός αριθμός που προκύπτει από το δυαδικό με  $N_{\text{gene}}$  bits
- $x_d$  : η δεκαδική μορφή της δυαδικής κωδικοποιημένης μεταβλητής  $x$

### 2.2.3 Εύρεση του κόστους για κάθε χρωμόσωμα (αξιολόγηση)

Στο στάδιο έχουμε την συνάρτηση η οποία αξιολογεί τα άτομα λύσεις της τρέχουσας γενιάς. Ως αποτέλεσμα λαμβάνουμε είτε την απόκλιση από το επιθυμητό αποτέλεσμα ή κατά πόσο η λύση ταιριάζει στον σκοπό μου. Τα αποτελέσματα αυτά είναι απαραίτητα προκειμένου να εκτελέσουμε το στάδιο της επιλογής κατά το οποίο θα επιλεγούν οι καλύτερες λύσεις και θα διασταυρωθούν. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγουμε να διασταυρώνουμε όλα τα χρωμοσώματα μεταξύ τους αλλά μόνο όσα θεωρούμε εμείς κατάλληλα.

### 2.2.4 Επιλογή Γονέων

Έχοντας αξιολογήσει τα χρωμοσώματα στον προηγούμενο στάδιο κρατάμε μόνο τα καλύτερα προκειμένου να δημιουργηθούν οι γονείς. Αυτό επιτυγχάνεται με την παρακάτω διαδικασία η οποία αποτελείται από τα ακόλουθα στάδια:

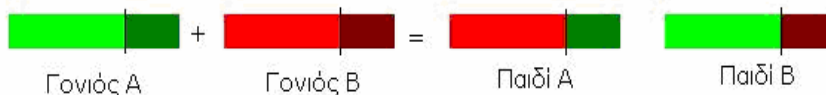
1. Ταξινομούμε τα χρωμοσώματα ανάλογα με το κόστος τους δηλαδή από το μικρότερο στο μεγαλύτερο ανάλογα βέβαια και τι θέλουμε να κάνουμε αν θέλουμε να βρούμε το μέγιστο τα ταξινομούμε από το μεγαλύτερο στο μικρότερο ενώ αν θέλουμε το ελάχιστο το αντίθετο.
2. Αφού τα ταξινομήσουμε κρατάμε αυθαίρετα έναν αριθμό χρωμοσωμάτων. Ο αριθμός αυτός δεν μπορεί να είναι ούτε πολύ μεγάλος ούτε πολύ μικρός γιατί αν είναι πολύ μεγάλος δεν μας δίνει μεγάλη ευελιξία στο να μεταφερθούν τα χαρακτηριστικά τους στα παιδιά τους. Ενώ αν είναι πολύ μικρός περιορίζει κάπως τα γονίδια που θα περάσουν στα παιδιά με αποτέλεσμα να μην φτάνουμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Συνήθως επιλέγεται σαν ποσοστό που κρατείται για διασταύρωση το 50%.
3. Αφού επιλέξουμε ποια θα επιβιώσουν η διαδικασία επιλογής των δύο γονέων γίνεται με έναν τρόπο που καλείται σταθμισμένη τυχαία διασταύρωση (weighted random pairing). Ένα χρωμόσωμα με το χαμηλότερο κόστος έχει τις μεγαλύτερες πιθανότητες να επιλεγεί για διασταύρωση, ενώ ένα χρωμόσωμα με το υψηλότερο κόστος έχει τις μικρότερες πιθανότητες να επιλεγεί. Έτσι για το χρωμόσωμα με αξιολόγηση  $n$  η πιθανότητα του να επιλεγεί δίνεται από τη σχέση (2.2):

$$P_n = \frac{N_{\text{keep}} - n + 1}{\sum_{n=1}^{N_{\text{keep}}} n} \quad (2.2)$$

### 2.2.5 Διασταύρωση

Κατά την διασταύρωση οι γονείς που δημιουργήθηκαν προηγουμένως δημιουργούν δύο νέα παιδιά. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται διασταύρωση μονού σημείου και γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο:

Σε αυτήν την διασταύρωση οι συμβολοσειρές των χρωμοσωμάτων των δύο γονιών τέμνονται σε ένα μόνο σημείο. Δημιουργούμε ένα τυχαίο αριθμό από το 1-N όπου N το μήκος του χρωμοσώματος μας το σημείο αυτό λέγεται σημείο διασταύρωσης και ο πατέρας και η μητέρα εναλλάσσουν τμήματα των χρωμοσωμάτων τους και δημιουργούν δύο νέα παιδιά. Σχηματικά είναι πιο κατανοητό[13]



Εικόνα 2.1: One-point crossover

### 2.2.6 Μετάλλαξη

Μετά την διαδικασία της διασταύρωσης ακολουθεί η διαδικασία της μετάλλαξης. Με την διαδικασία της αναπαραγωγής μπορούν να παραχθούν μεγάλες αλλά πεπερασμένες ποσότητες γενετικών συνδυασμών που μπορεί να μην είναι ικανοί να

επιβιώσουν. Αν όμως εισάγουμε νέο γενετικό υλικό με την μετάλλαξη τότε καταφέρνουμε να δημιουργήσουμε ισχυρότερες γενιές πληθυσμών. Και αυτή η διαδικασία γίνεται βάση ποσοστού αλλά πολύ μικρότερου από αυτής της διασταύρωσης μετάλλαξη επιδρά σε μία μεταβλητή κάποιου χρωμοσώματος και την αλλάζει τυχαία. Αν μιλάμε για δυαδική κωδικοποίηση τότε κατά την μετάλλαξη θα αλλάξει την τιμή κάποιας μεταβλητής από μηδέν σε ένα και το αντίστροφο. Τα σημεία τα οποία θα γίνει η μετάλλαξη επιλέγονται τυχαία από τον συνολικό αριθμό bits που υπάρχουν. Προκειμένου να βρούμε πόσες μεταλλάξεις θα γίνουν θεωρούμε έναν αριθμό που τον ονομάζουμε ποσοστό μεταλλάξεων ( $\mu$ ) ο οποίος κυμαίνεται από 0,1-0,3 και άρα ο συνολικός αριθμός μεταλλάξεων δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Αριθμός\_μεταλλάξεων} = \mu * \text{συνολικό\_αριθμό\_Bits}$$

Ακόμα υπάρχουν και άλλοι τρόποι με τους οποίους μπορεί να γίνει η μετάλλαξη και η διασταύρωση αποφασίζοντας τις βέλτιστες τιμές[14].

### 2.2.7 Επαναλήψεις και Σύγκλιση

Τα βήματα της αξιολόγησης του πληθυσμού, της δημιουργίας γονέων, της διασταύρωσης και της μετάλλαξης επαναλαμβάνονται για όσες φορές εμείς έχουμε ορίσει. Και στο τέλος της τελευταίας γενιάς αξιολογούμε με βάση την συνάρτηση τα αποτελέσματα του αλγορίθμου και όποιο είναι πιο κοντά αυτό θεωρούμε σαν λύση

## 2.3 Εφαρμογή Γενετικού Αλγορίθμου για την εύρεση ελαχίστου σε μία συνάρτηση

Προκειμένου να γίνουν κατανοητά τα παραπάνω βήματα θα λύσουμε ένα πρόβλημα βήμα βήμα για να δούμε και πως λειτουργεί ο Γενετικός Αλγόριθμος. Θεωρούμε το παρακάτω πρόβλημα:

Μας δίνεται η εξής συνάρτηση:

$$f(x_1, x_2) = x_1 \sin[\sqrt{|x_1 - (x_2 + 9)|}] - (x_2 + 9) \sin[\sqrt{|x_2 + 0.5x_1 + 9|}] \quad \text{με} \\ -20 \leq x_1 \leq 20 \text{ και } -20 \leq x_2 \leq 20$$

Και θέλουμε να βρούμε το ελάχιστο αυτής της συνάρτησης με τους παραπάνω περιορισμούς χρησιμοποιώντας γενετικούς αλγορίθμους. Προκειμένου να το κάνουμε αυτό θα ακολουθήσουμε τα παρακάτω στάδια:

#### 1. Αρχικοποίηση των παραμέτρων μας

- Μέγεθος πληθυσμού= 12
- Ποσοστό μετάλλαξης =0,15

- Νούμερο bits για κάθε χρωμόσωμα=8
- Αριθμός επαναλήψεων=100
- Ποσοστό επιλογής γονέων=50%

## 2. Μέθοδος αναπαράστασης πληθυσμού

Στο συγκεκριμένου πρόβλημα έχουμε δύο μεταβλητές την  $x_1$  και την  $x_2$  και κάθε μεταβλητή όπως έχουμε ορίσει προηγούμενος αποτελείται από 8 Bits άρα τα χρωμοσώματα μας θα αποτελούνται από  $2 \cdot 8 = 16$  bits. Επειδή οι μεταβλητές μας θα είναι δυαδικοί αριθμοί θα πρέπει να τους αναπαραστήσουμε στο δεκαδικό σύστημα αυτό θα γίνει με την βοήθεια του τύπου(2.1) δηλαδή:

Η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει το  $p_{max} = (11111111)_{(2)} = 255_{(10)}$  και η ελάχιστη  $p_{min} = (00000000)_{(2)} = 0_{(10)}$  και η ελάχιστες τιμές των μεταβλητών είναι ίδιες δηλαδή  $x_{min} = -20$  και  $x_{max} = 20$ .

Ο αρχικό πληθυσμός δημιουργείται τυχαία αυτό φαίνεται στον πίνακα(2.3) παρακάτω. Προκειμένου να καταλάβουμε την αναπαράσταση ας θεωρήσουμε το πρώτο χρωμόσωμα του πίνακα(2.3) το οποίο είναι το  $(1000010000111011)_{(2)}$  το οποίο ανταποκρίνεται στον εξής:

$$x_{1d} = (10000100)_{(2)} = 132_{(10)} \text{ και } x_{2d} = (00111011)_{(2)} = 59_{(10)}$$

Στην συνέχεια αυτά τα δύο χρωμοσώματα αποκωδικοποιούνται στις συνεχείς τιμές τους που τους αντιστοιχούν με την βοήθεια του τύπου(2.1). Για παράδειγμα τα δύο προηγούμενα χρωμοσώματα αποκωδικοποιούνται ως εξής:

$$x_1 = x_{min} + (x_{1d} - p_{min}) \cdot \frac{(x_{max} - x_{min})}{(p_{max} - p_{min})} = 0.70588$$

$$x_2 = x_{min} + (x_{2d} - p_{min}) \cdot \frac{(x_{max} - x_{min})}{(p_{max} - p_{min})} = -10.745$$

## 3. Δημιουργία αρχικού πληθυσμού

Με την βοήθεια του προγράμματος MATLAB και συγκεκριμένα την συνάρτηση rand η οποία δημιουργεί ψευδοτυχαίους αριθμούς μπορούμε να δημιουργήσουμε τον αρχικό μας πληθυσμό ο οποίος αποτελείται μόνο από 0/1 και έτσι έχουμε τον παρακάτω πίνακα στον οποίο φαίνονται τα χρωμοσώματα, η τιμή που τους αντιστοιχεί στο δεκαδικό και η τιμή που παίρνει η συνάρτηση για τις αντίστοιχες τιμές των μεταβλητών.



Κωδικός	Χρωμόσωμα	$X_1$	$X_2$	$f(x_1, x_2)$
1	1000010000111011	0.70588	-10.745	2.3193
2	1110011001010111	16.078	-6.3529	-7.6986
3	0001111000100101	-15.294	-14.196	-1.6705
4	0010010100100110	-14.196	-14.039	-3.3281
5	0110001000111000	-4.6275	-11.216	-2.7465
6	1101100111001010	14.039	11.686	25.12
7	0100100010010010	-8.7059	2.902	4.0067
8	1110001000111101	15.457	-10.431	-11.874
9	0010110001101000	-13.098	-3.6863	7.1888
10	1111011100011011	18.745	-15.765	-10.924
11	1111111010000110	19.843	1.0196	9.8616
12	1100000001101111	10.118	-2.5882	11.046

**Πίνακας 2.1: Αρχικός μας πληθυσμός χρωμοσωμάτων**

Αφού δημιουργήσαμε τον αρχικό μας πληθυσμό τον ταξινομούμε κατά αύξουσα σειρά μιας και ψάχνουμε το ελάχιστο της συνάρτησης  $f(x_1, x_2)$  και έτσι ο πίνακας 2.3 γίνεται ως εξής:

Κωδικός	Χρωμόσωμα	$X_1$	$X_2$	$f(x_1, x_2)$
8	1110001000111101	15.457	-10.431	-11.874
10	1111011100011011	18.745	-15.765	-10.924
2	1110011001010111	16.078	-6.3529	-7.6986
4	0010010100100110	-14.196	-14.039	-3.3281
5	0110001000111000	-4.6275	-11.216	-2.7465
3	0001111000100101	-15.294	-14.196	-1.6705
1	1000010000111011	0.70588	-10.745	2.3193
7	0100100010010010	-8.7059	2.902	4.0067
9	0010110001101000	-13.098	-3.6863	7.1888
11	1111111010000110	19.843	1.0196	9.8616
12	1100000001101111	10.118	-2.5882	11.046
6	1101100111001010	14.039	11.686	25.12

**Πίνακας 2.2: Ταξιμομημένος πληθυσμός χρωμοσωμάτων από τον πίνακα 2.1**

#### 4. Επιλογή χρωμοσωμάτων

Σε αυτό το στάδιο τα χρωμοσώματα τα οποία επιβιώνουν για να γίνουν γονείς είναι τα 8,10,2,4,5,3 μιας και έχουμε επιλέξει ποσοστό επιλογής 50% και αυτά είναι τα χρωμοσώματα τα οποία έχουν την χαμηλότερη τιμή. Ενώ τα χρωμοσώματα με κωδικό 1,7,9,11,12,6 διαγράφονται μιας και έχουν τις υψηλότερες τιμές. Προκειμένου τώρα να δούμε ποιοι θα είναι οι γονείς χρησιμοποιούμε τον τύπο(2.2) ο οποίος μας δίνει την πιθανότητα να επιλεγεί κάποιο χρωμόσωμα και έτσι έχουμε τον πίνακα 2.3:

Κωδικός	Αριθμός(r)	Χρωμόσωμα	$P_r$	$\sum_{i=1}^r P_r$
8	1	1110001000111101	0.28571	0.28571
10	2	1111011100011011	0.2381	0.52381
2	3	1110011001010111	0.19048	0.71429
4	4	0010010100100110	0.14286	0.85714
5	5	0110001000111000	0.095238	0.95238
3	6	0001111000100101	0.047619	1

Πίνακας 2.3:Επιλογή των έξι καλύτερων χρωμοσωμάτων

Στον πίνακα 2.3 υπολογίστηκαν οι πιθανότητες να επιλεγεί κάποιο χρωμόσωμα καθώς και η αθροιστική πιθανότητα για παράδειγμα για το πρώτο χρωμόσωμα:

$$\text{Έχουμε τον τύπο } P_1 = \frac{N_{\text{keep}}^{-r+1}}{\sum_{n=1}^{N_{\text{keep}}} r} = \frac{6^{-1+1}}{1+2+3+4+5+6} = 0,28571$$

Αφού έχουμε τις πιθανότητες επιλέγουμε τους γονείς με την παρακάτω διαδικασία εφόσον έχουμε έξι χρωμοσώματα συμπεραίνουμε ότι τρεις θα είναι οι 'μπαμπάδες' και τρεις οι 'μητέρες' η διαδικασία έχει ως εξής:

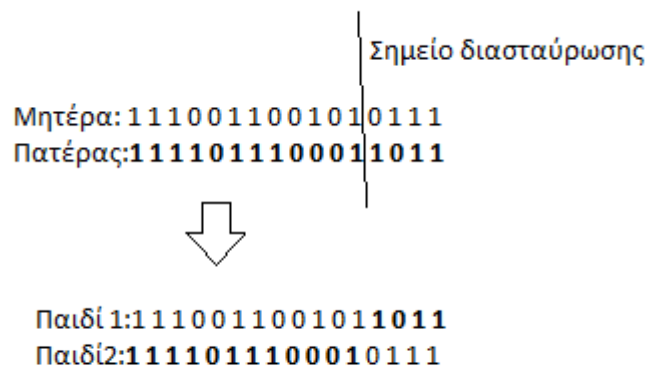
- Δημιουργούμε τρεις τυχαίους αριθμούς από το μηδέν μέχρι το ένα έστω τους [0,87131 0,60613 0,16366] και βλέπουμε σε ποια χρωμοσώματα η αθροιστική πιθανότητα είναι μεγαλύτερη από αυτούς του αριθμούς και ανάλογα με το ποιο χρωμόσωμα είναι πιο κοντά επιλέγουμε αυτό. Στην προκειμένη περίπτωση θα επιλέγαμε τα χρωμοσώματα με κωδικό [5 2 8] μιας και  $0,95238 > 0,87131$ ,  $0,71429 > 0,60613$ ,  $0,28571 > 0,16366$
- Την ίδια ακριβώς διαδικασία κάνουμε και για τις μητέρες. Σε αυτό το βήμα μπορεί τυχαία να επιλεγεί η 'μητέρα' και ο 'πατέρας' να είναι το ίδιο χρωμόσωμα αυτό δεν μας πειράζει καθόλου στην διαδικασία απλά για παιδιά θα πάρουμε τα ίδια τα χρωμοσώματα. Βέβαια αν θέλουμε μπορούμε να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα περιορίζοντας το αυτό θεωρώντας ότι πάντα η 'μητέρα' και ο 'πατέρας' θα είναι διαφορετικό χρωμοσώματα. Έστω ότι για μητέρες επιλέγονται οι [5 10 8]

## 5. Διασταύρωση

Σε αυτό το βήμα αντιστοιχίζουμε τις 'μητέρες' με τους 'πατεράδες' δηλαδή ένας 'πατέρας' με μία 'μητέρα' (για παράδειγμα το 5<sup>ο</sup> χρωμόσωμα με το 5<sup>ο</sup>, το 2<sup>ο</sup> με το 10<sup>ο</sup>, το 8<sup>ο</sup> με το 8<sup>ο</sup>) 'ζευγαρώνουν' και δημιουργούν δύο παιδιά με τον ακόλουθο τρόπο. Δημιουργούμε τόσους τυχαίους αριθμούς όσοι είναι οι γονείς συγκεκριμένα εδώ τρεις αριθμούς οι οποίοι είναι από το 1 μέχρι το 16(δηλαδή όσα είναι τα bits). Οι αριθμοί είναι οι εξής για παράδειγμα [13 12 4] και η διαδικασία η ακόλουθη:

- Η μητέρα χρωμόσωμα με κωδικό 5 συναντάει τον πατέρα χρωμόσωμα με κωδικό 5 και γίνεται διασταύρωση στο σημείο 13. Εφόσον είναι τα ίδια δημιουργούν δύο πανομοιότυπα παιδιά
- Η μητέρα χρωμόσωμα με κωδικό 10 συναντάει τον πατέρα χρωμόσωμα με κωδικό 2 και γίνεται διασταύρωση στο σημείο 12.
- Η μητέρα χρωμόσωμα με κωδικό 5 συναντάει τον πατέρα χρωμόσωμα με κωδικό 8 και γίνεται διασταύρωση στο σημείο 4. Εφόσον είναι τα ίδια δημιουργούν δύο πανομοιότυπα παιδιά

Ας δούμε λίγο σχηματικά την περίπτωση 2 (δηλαδή η μητέρα με κωδικό 10 συνάντα τον πατέρα με κωδικό 12



Σχήμα 2: Μητέρα με κωδικό 10 συνάντα τον πατέρα με κωδικό 12

Ο πληθυσμός μετά την διασταύρωση φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Νέος κωδικός	Χρωμοσώματα
1	1110001000111101
2	1111011100011011
3	1110011001010111
4	0010010100100110
5	0110001000111000
6	0001111000100101
7	0110001000111000
8	0110001000111000
9	1110011001011011
10	1111011100010111
11	1110001000111101
12	1110001000111101

Πίνακας 2.4: Πληθυσμός μετά την διασταύρωση

## 6. Μετάλλαξη

Αυτός ο πληθυσμός του πίνακα 2.6 επέρχεται στην διαδικασία της μετάλλαξης σύμφωνα μετά δεδομένα ο συνολικός αριθμός μεταλλάξεων θα δίνεται από τον τύπο:  $nm = (N - 1) * bits * \mu = (12 - 1) * 16 * 0,15 \cong 27$  όπου N είναι ο πληθυσμός είναι το ποσοστό μετάλλαξης. Η διαδικασία της μετάλλαξης γίνεται ως εξής:

- Δημιουργούμε 27 τυχαία ζεύγη αριθμών
- Ο ένας αριθμός θα είναι από το 1 μέχρι το 12 και ο άλλος από το 1 μέχρι το 16. Οι αριθμοί αυτοί αντιστοιχούν στο χρωμόσωμα και στο bit του χρωμοσώματος αντίστοιχα
- Το bit το οποίο θα επιλεγεί αν είναι 1 γίνεται 0 και αν είναι 0 γίνεται 1

Για την πρώτη επανάληψη του αλγορίθμου δημιουργήθηκαν τα εξής ζεύγη

Σειρά	Στήλη
11	3
12	10
4	8
8	10
2	10
5	11
6	15
11	10
3	15
4	9
7	6
11	4

6	9
2	12
4	4
2	16
12	12
8	3
12	3
10	1
2	15
5	10
7	2
10	5
12	9
4	10
11	4

Πίνακας 2.5: Ζεύγη για μετάλλαξη

Για παράδειγμα ας θεωρήσουμε το ζεύγος [11 3] του πίνακα 2.7 το οποίο αντιστοιχεί στο χρωμόσωμα 1110001000111101 η μετάλλαξη θα μας δώσει το χρωμόσωμα 1100001000111101

#### 7. Τέλος πρώτης επανάληψης

Μετά το τέλος της πρώτης επανάληψης ο αλγόριθμος θα μας δώσει τον παρακάτω πίνακα

Κωδικός	Χρωμόσωμα	$X_1$	$X_2$	$f(x_1, x_2)$
1	1110001000111101	15,451	-10,431	-11,874
2	1111011101001000	18,745	-8,7059	-17,149
3	1110011001010101	16,078	-6,66667	-8,4359
4	0011010011100110	-11,843	16,078	26,113
5	0110001001011000	-4,6275	-6,1961	-3,6747
6	0001111010100111	-15,294	6,1961	4,7177
7	0010011000111000	-14,039	-11,216	4,3349
8	0100001001111000	-9,6471	-1,176	0,58878
9	1110011001011011	16,078	-5,7255	-6,0789
10	0111111100010111	-0,0784	-16,392	2,9509
11	1100001001111101	10,431	-0,39216	14,87
12	1100001011101101	10,431	17,176	8,7936

Πίνακας 2.6: Χρωμοσώματα μετά το τέλος της πρώτης επανάληψης

Παρατηρούμε ότι η ελάχιστη τιμή αυτού του πληθυσμού είναι η -17,149 η οποία είναι σαφώς καλύτερη από την -11,874 του προηγούμενου.

## 8. Τέλος αλγορίθμου

Μετά από 100 επαναλήψεις παρατηρούμε ότι η βέλτιστη λύση του αλγορίθμου είναι για  $x_1=-14.5098$  και  $x_2=-20$  και μας δίνει  $f(x_1, x_2) = -23,8035$

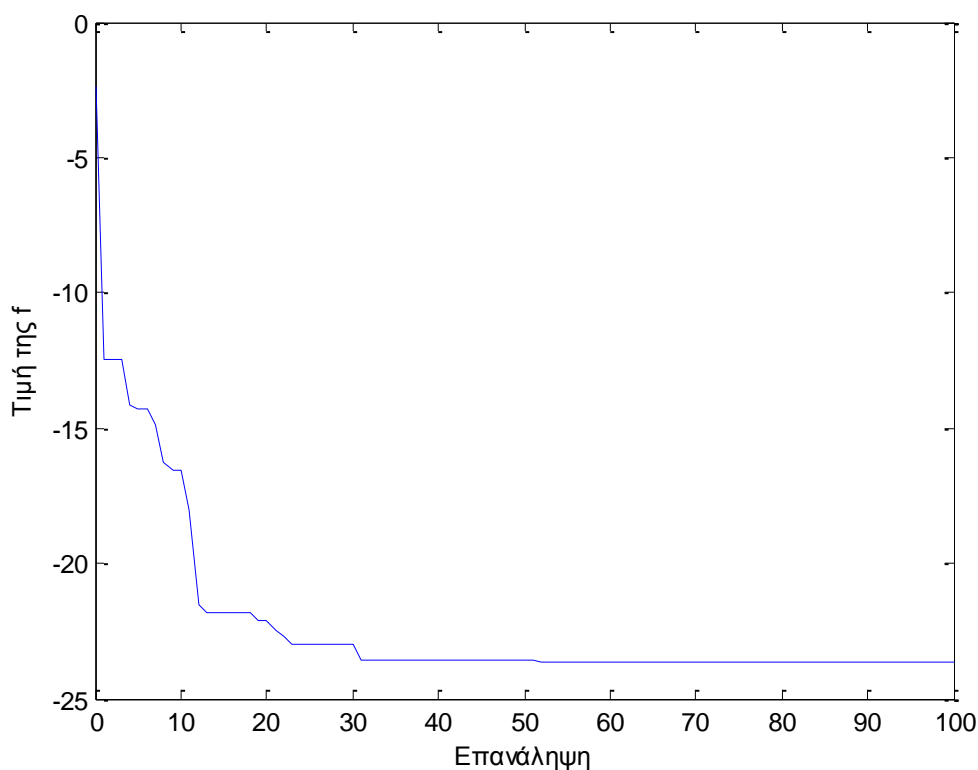
### 2.3.1 Συμπεράσματα Γενετικού Αλγορίθμου

Όπως αναφέραμε ο Γενετικός Αλγόριθμος βασίζεται στην τυχαιότητα και μέσω διαφόρων σταδίων καταλήγουμε στο αποτέλεσμα. Κατι τέτοιο όμως δεν είναι πάντα σωστό γιατί εφόσον βασιζόμαστε στην τυχαιότητα δεν είναι σίγουρο ότι κάθε φορά θα έχουμε το σωστό αποτέλεσμα. Το πλεονέκτημα όμως του Γενετικού Αλγορίθμου είναι η ταχύτητα του και για αυτόν τον λόγο δεν μας επηρεάζει τόσο το γεγονός ότι δεν βρίσκει πάντα το σωστό αποτέλεσμα ή το βέλτιστο γιατί εφόσον είναι πολύ γρήγορος μπορούμε να τον εφαρμόσουμε πάρα πολλές φορές προκειμένου να βρούμε μία λύση με ένα σφάλμα που μας ικανοποιεί. Έτσι παραθέτουμε παρακάτω το διάγραμμα που δηλώνει για τον παραπάνω αλγόριθμο το ποσοστό επιτυχίας του δηλαδή στις πόσες φορές που τρέχουμε τον γενετικό (όχι πόσες επαναλήψεις περιέχει ο γενετικός αλλά πόσες διαφορετικές φορές τον τρέχουμε) μας δίνει την ελάχιστη λύση:



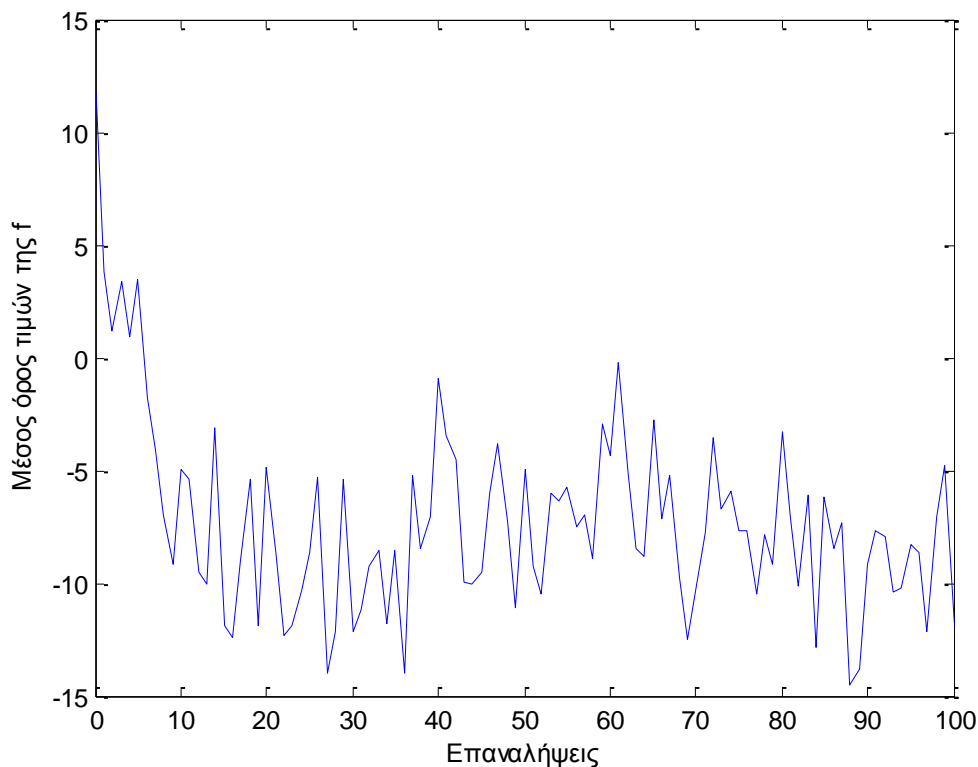
Σε αυτό το διάγραμμα τρέξαμε τον αλγόριθμο 100 φορές και παρατηρούμε ότι μόνο μια φορά μας έδωσε το ελάχιστο αποτέλεσμα, και χρόνος που έκανε συνολικά για τις 100 επαναλήψεις δεν ξεπέρασε τα 4s οπότε προκειμένου να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα καλό είναι να εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο παραπάνω από μία

φορές. Στην συνέχεια παραθέτουμε ένα άλλο διάγραμμα το οποίο μας δείχνει ότι σε μία επανάληψη του γενετικού μετά από κάποια στιγμή το αποτέλεσμα σταθεροποιείται και δεν επιδέχεται κάποια βελτίωση.



**Εικόνα 2.2: Τιμή της συνάρτησης για 100 επαναλήψεις**

Εδώ πέρα παρατηρούμε ότι σε αυτήν την περίπτωση μετά την 52<sup>η</sup> επανάληψη η τιμή της f σταθεροποιείται -23,66. Αυτό σημαίνει ότι μετά από αυτό το σημείο τα χρωμοσώματα δεν επιδέχονται καμία βελτίωση για αυτό τον λόγο είναι σημαντικό να τρέχουμε πολλές και διαφορετικές φορές τον αλγόριθμο. Επίσης κάτι άλλο σημαντικό είναι ο μέσος όρος των τιμών της συνάρτησης f ανά επανάληψη του αλγορίθμου. Δηλαδή τι τιμές μας δίνουν όλα τα χρωμοσώματα ανά επανάληψη του αλγορίθμου:



**Εικόνα 2.3: Η μέση τιμή της συνάρτησης (f) για 100 επαναλήψεις του αλγορίθμου**

Αυτό το διάγραμμα είναι σημαντικό για να συμπεράνουμε το εξής ότι αρχικά ο μέσος όρος των τιμών της  $f$  ανά επανάληψη του αλγορίθμου απέχει σημαντικά από την βέλτιστη τιμή της  $f$ . Ακόμα από αυτό το διάγραμμα κάποιος θα μπορούσε να συμπεράνει ότι η βέλτιστη τιμή της  $f$  είναι στην επανάληψη 37 μιας και εκεί παρατηρούμε μία ελάχιστη τιμή του μέσου όρου της όμως κάτι τέτοιο θα ήταν εσφαλμένο μιας και στο προηγούμενο διάγραμμα είδαμε ότι η τιμή της  $f$  συγκλίνει μετά την 52<sup>η</sup> τιμή. Γενικά από αυτό το διάγραμμα δεν συμπεραίνουμε αρκετά στοιχεία προκειμένου να καταλάβουμε κάτι για την ελάχιστη τιμή της  $f$ .

## 2.4 Πρόβλεψη στόλου

### 2.4.1 Γενικά

Προκειμένου να εφαρμόσουμε τον Γενετικό Αλγόριθμο για την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων θα πρέπει να εξηγήσουμε με βάση ποια λογική θα επιλέξουμε τις ώρες φόρτισης που χρειάζεται κάθε αυτοκίνητο. Γενικά υπάρχουν κάποιοι αλγόριθμοι που το υπολογίζουν αυτό. Συγκεκριμένα υπάρχει ένας αλγόριθμος (αλγόριθμος 1) ο οποίος δείχνει την ισχύ που πρέπει να αγοραστεί από την επόμενη μέρα για να καλυφθεί η προβλεπόμενη ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Και υπάρχει και ένας άλλος αλγόριθμος (αλγόριθμος 2) ο οποίος



εφαρμόζεται σε πραγματικό χρόνο και στόχος του είναι η ενεργειακή ισορροπία μεταξύ προβλεπόμενης και πραγματικής ζήτησης. Εμάς μας αφορά ο αλγόριθμος 1 μιας και θα ξέρουμε την πρόβλεψη από την προηγούμενη μέρα.

## 2.4.2 Αλγόριθμος 2

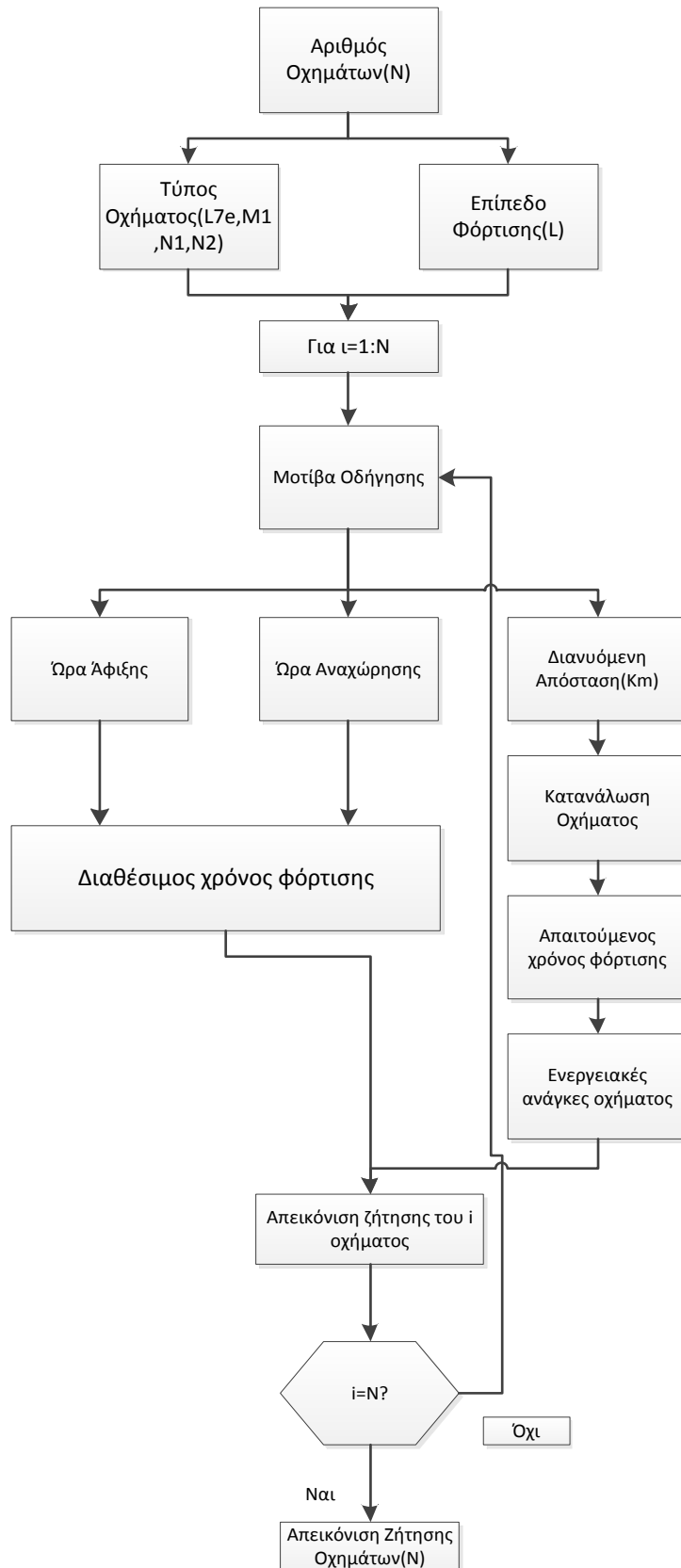
Προκειμένου να υλοποιήσουμε τον Αλγόριθμο 2 χρειαζόμαστε κάποιες παραμέτρους του. Οι οποίες καθορίζονται παρακάτω:

- Αριθμός Οχημάτων: Θα πρέπει να γνωρίζουμε τον συνολικό αριθμό οχημάτων τα οποία θα προσέλθουν την επόμενη μέρα.
- Περίοδος άφιξης: είναι το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο μπορεί να προσέλθει ένα όχημα για φόρτιση. Η περίοδος άφιξης των οχημάτων θεωρούμε γενικότερα ότι ακολουθεί την Γκαουσιανή Κατανομή.
- Περίοδος αναχώρησης: είναι το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο μπορεί να φύγει κάποιο όχημα. Η περίοδος αναχώρησης των οχημάτων θεωρούμε ότι και αυτή ακολουθεί την Γκαουσιανή Κατανομή.
- Η ισχύς φόρτισης: Εδώ θεωρούμε ότι υπάρχουν μόνο τρία από τα τέσσερα Π
- Τύπος του οχήματος: Εδώ θεωρούμε τις εξής κλάσεις οχημάτων την L7e, M1, N1, N2.
- Διανυόμενη απόσταση(σε km): Η παράμετρος αυτή δείχνει την μέση ημερήσια διανυόμενη απόσταση του κάθε οχήματος. Ακολουθεί μία κανονική κατανομή της οποίας τα χαρακτηριστικά (μέση τιμή, απόκλιση) διαφέρουν ανάλογα με την τάξη.
- Κατανάλωση οχήματος: Προκειμένου να υπολογίσουμε την κατανάλωση του οχήματος θα πρέπει να ξέρουμε την μέση κατανάλωση κάθε κλασης(σε kWh/km) και τα km οποία διανύει κάθε αυτοκίνητο. Έτσι η κατανάλωση του οχήματος προκύπτει από τον τύπο:

$$\text{Κατανάλωση} = \text{Μέση\_Κατανάλωση} * \text{Km}$$

- Χρόνος φόρτισης: Γνωρίζοντας λοιπόν τις ημερήσιες καταναλώσεις καθώς και τα διαφορετικά επίπεδα ισχύος φόρτισης εύκολα μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος φόρτισης του κάθε οχήματος διαιρώντας την κατανάλωσή του με την ισχύ φόρτισης που υπαγορεύετε από την τάξη του.
- Περίοδος φόρτισης: Το διάστημα φόρτισης μετριέται σε ώρες και αναφέρεται στην συνολική χρονική περίοδο μέσα στην οποία πρέπει όλα τα οχήματα να έχουν φορτίσει με βέλτιστο οικονομικά τρόπο.

Με βάση τα παραπάνω παραθέτουμε το block διάγραμμα του αλγορίθμου



Σχήμα 2.:Block-Διάγραμμα Αλγορίθμου 1

Έτσι ο αλγόριθμος αυτό που μας δίνει το εξής :Έναν πίνακα στον οποίο απεικονίζονται τα οχήματα ανάλογα με την κλάση τους και μας δίνει πόσα οχήματα θα χρειαστούν ισχύ το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Δηλαδή ο πίνακας θα έχει αυτήν την μορφή:

Χρονικά Διαστήματα	Οχήματα		
	Mode-1	Mode-2	Mode-3
.			
.			
.			
8			
9	4		
10			
.			
.			

**Πίνακας 2.7 :Φόρτιση οχημάτων ανάλογα με το είδος φόρτισης**

Για παράδειγμα ο παραπάνω πίνακας υποδηλώνει το εξής: ότι 4 οχήματα θα ζητήσουν να φορτίσουν σε Mode-1 για 9 χρονικά διαστήματα, κάποια στιγμή μέσα στο συνολικό διάστημα φόρτισης. Δεν σημαίνει απαραίτητα ότι αυτά τα οχήματα θα έρθουν ταυτόχρονα για να φορτίσουν[15].

## **2.5 Εφαρμογή Γενετικού Αλγορίθμου για την φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων**

### **2.5.1 Γενικά**

Ας θεωρήσουμε το εξής πρόβλημα έστω ότι έχουμε έναν σταθμό φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων ο οποίος μπορεί να είναι οτιδήποτε ,δηλαδή είτε τα αυτοκίνητα στο παρκινγκ της πολυκατοικίας μας είτε τα αυτοκίνητα σε γκαράζ αυτοκινήτων είτε οπουδήποτε, και θέλουμε να φορτίσουμε τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με τέτοιο τρόπο ώστε να ακολουθούν μια συγκεκριμένη καμπύλη ισχύος την οποία μας την δίνει το δίκτυο για κάποιες ώρες[18]. Εμείς θέλουμε μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα να φορτίσουμε τα οχήματα με τρόπο τέτοιο ώστε να μην αποκλίνουμε πολύ από την καμπύλη του δικτύου. Προκειμένου να τα φορτίσουμε κάνουμε τις εξής παραδοχές:

- 1) Θεωρούμε ότι σε κάθε χρονικό διάστημα που εμείς το έχουμε ορίσει αυτό μπορεί να είναι ανά ώρα η ανά τέταρτο ή ανά μισή ώρα η μπαταρίες επιδέχονται το ίδιο ποσό ισχύος ανά διάστημα.

- 2) Τα οχήματα φεύγουν φορτισμένα από τον σταθμό
- 3) Τα διαστήματα φόρτισης κάθε αυτοκινήτου είναι συνεχόμενα δηλαδή σε περίπτωση που κάποιο όχημα μπει για να φορτίσει μένει εκεί μέχρι να φορτίσει τελείως
- 4) Τέλος σαν δεδομένο έχουμε τα διαστήματα φόρτισης που χρειάζεται κάθε όχημα για να φορτίσει και ότι όλα τα οχήματα είναι όμοια όσον αφορά τον τρόπο φόρτισης δηλαδή λαμβάνουν το ίδιο ποσό ισχύος ανά διάστημα.
- 5) Ότι δεν υπάρχει αλληλοεπικάλυψη στις ώρες φόρτισης δηλαδή όταν φορτίζει το ένα όχημα δεν φορτίζει το άλλο όχημα που βρίσκεται μαζί του στον ίδιο φορτιστή
- 6) Καθ' όλη την διάρκεια του γενετικού αλγορίθμου δεν υπάρχει εναλλαγή μεταξύ οχημάτων στους φορτιστές, δηλαδή τα οχήματα που έχουμε βάλει τον φορτιστή νούμερο ένα για παράδειγμα παραμένουν σε αυτόν συνέχεια
- 7) Σε αυτό το παράδειγμα θεωρούμε τις ώρες που χρειάζονται για να φορτίσουν τα οχήματα τυχαίες και όχι ότι προέρχονται από τα αποτελέσματα του προηγούμενου αλγόριθμου. Αυτό το κάνουμε γιατί σε αυτό το στάδιο δεν μας ενδιαφέρει να έχουμε πραγματικά αποτελέσματα αλλά να αξιολογήσουμε τον αλγόριθμο ανάλογα με τα τεχνικά του χαρακτηριστικά[11].

### 2.5.2 Στάδια Γενετικού Αλγορίθμου

Τα στάδια του Γενετικού Αλγορίθμου είναι ίδια με αυτά που αναφέραμε προηγούμενος με μερικές διαφοροποιήσεις τις οποίες θα εξηγήσουμε σε παράδειγμα για να είναι πιο κατανοητές δηλαδή δημιουργούμε έναν αρχικό πληθυσμό, κάνουμε μια αξιολόγηση του, τον διασταυρώνουμε κάνουμε μετάλλαξη και τέλος επαναλαμβάνουμε τον αλγόριθμο όσες φορές έχουμε εμείς ορίσει.

### 2.5.3 Παράδειγμα Γενετικού Αλγορίθμου για την φόρτιση 20 ηλεκτρικών οχημάτων

#### 1. Δεδομένα

- Μέγεθος πληθυσμού= 10
- Ποσοστό μετάλλαξης =0,15
- Νούμερο bits για κάθε χρωμόσωμα (τα οποία αντιστοιχούν σε χρόνο)=13
- Αριθμός επαναλήψεων=100
- Ποσοστό επιλογής γονέων=50%
- Οι χρόνοι φόρτισης που χρειάζεται κάθε όχημα προκειμένου να φορτίσει

```
EV{1}=[1 1 1 1 1];
EV{2}=[1 1 1];
EV{3}=[1 1 1 1 1];
EV{4}=[1 1];
```

$EV\{5\}=[1\ 1\ 1\ 1\ 1];$   
 $EV\{6\}=[1\ 1\ 1];$   
 $EV\{7\}=[1\ 1\ 1\ 1];$   
 $EV\{8\}=[1\ 1\ 1];$   
 $EV\{9\}=[1\ 1\ 1\ 1];$   
 $EV\{10\}=[1\ 1];$   
 $EV\{11\}=[1\ 1\ 1\ 1];$   
 $EV\{12\}=[1\ 1\ 1];$   
 $EV\{13\}=[1\ 1\ 1\ 1];$   
 $EV\{14\}=[1\ 1\ 1\ 1];$   
 $EV\{15\}=[1\ 1\ 1\ 1];$   
 $EV\{16\}=[1\ 1\ 1\ 1];$   
 $EV\{17\}=[1\ 1\ 1\ 1];$   
 $EV\{18\}=[1\ 1\ 1\ 1];$   
 $EV\{19\}=[1\ 1\ 1\ 1];$   
 $EV\{20\}=[1\ 1\ 1];$

Αυτό σημαίνει ότι το EV{1} χρειάζεται 5 χρονικά διαστήματα το EV{2} χρειάζεται 3 χρονικά διαστήματα κ.ο.κ

- Η καμπύλη προς προσομοίωση = [15 15 15 15 20 20 20 20 20 15 15 15 15]
- Εμείς κάνουμε την παραδοχή ότι προκειμένου να φορτίσουν όλα τα οχήματα θα γίνει μέσα σε 13 ώρες δηλαδή 1 bit αντιστοιχεί σε μία ώρα.

## 2. Δημιουργία αρχικού πληθυσμού

Για την δημιουργία αρχικού πληθυσμού θεωρούμε ότι φορτίζουν δύο οχήματα ανά φορτιστή και ότι η φόρτιση κάθε οχήματος είναι συνεχόμενη δηλαδή αν συνδεθεί και φορτίζει δεν αποσυνδέεται το όχημα μέχρι να φορτίσει πλήρως. Η διαφοροποίηση με τον προηγούμενο απλό δυαδικό γενετικό αλγόριθμο είναι ότι σαν χρωμόσωμα δεν θεωρούμε μόνο το ζεύγος δύο(2) αυτοκινήτων αλλά όλα τα ζεύγη. Δηλαδή ένα χρωμόσωμά μας συγκεκριμένα το  $10^0$  θα έχει αυτήν την μορφή

EV1,2	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0
EV3,4	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
EV5,6	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0
EV7,8	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0
EV9,10	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
EV11,12	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
EV13,14	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
EV15,16	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
EV17,18	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

EV19,20	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0
sum	1	4	7	7	7	8	6	8	7	8	6	4	1
Καμπύλη= sum*2.9	2,9	11,6	20,3	20,3	20,3	23,2	17,4	23,2	20,3	23,2	17,4	11,6	2,9

Πίνακας 2.8:Αναπαράσταση ενός χρωμοσώματος μας

Στο τέλος που έχουμε υπολογίσει το άθροισμα το κάνουμε για το στάδιο της αξιολόγησης και το 2,9 αντιστοιχεί στην ισχύ που δίνει το δίκτυο για μία ώρα φόρτισης. Στο Matlab θα δουλέψουμε με cell-array οπότε η συνολική απεικόνιση για τα 10 χρωμοσώματα που εμείς έχουμε θεωρήσει θα είναι η ακόλουθη:

$$\begin{bmatrix} [1 \times 13 \text{ double}] & \cdots & [1 \times 13 \text{ double}] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ [1 \times 13 \text{ double}] & \cdots & [1 \times 13 \text{ double}] \end{bmatrix}_{10}$$

Δηλαδή ανά στήλη έχουμε και ένα χρωμόσωμα. Τα χρωμοσώματα θα τα δείξουμε αναλυτικά ποια είναι για την πρώτη επανάληψη.

➤ Χρωμόσωμα 1

EV1,2	0011100011111
EV3,4	0111111100000
EV5,6	0011111000111
EV7,8	0011100111100
EV9,10	0111100011000
EV11,12	0111100011100
EV13,14	0011111110000
EV15,16	0000111101111
EV17,18	0011110011110
EV19,20	0011110111000

➤ Χρωμόσωμα 2

EV1,2	0111000111110
EV3,4	0011111110000
EV5,6	0000111110111
EV7,8	0001111011100
EV9,10	0011000111100
EV11,12	0000011101111
EV13,14	0000011111111
EV15,16	0001111011110
EV17,18	0111111110000
EV19,20	0001111000111

➤ Χρωμόσωμα 3

EV1,2	000111111100
EV3,4	0011111001100
EV5,6	1111100001110
EV7,8	0000111011110
EV9,10	0001111110000
EV11,12	1111111000000
EV13,14	0011110001111
EV15,16	0111100111100
EV17,18	1111111100000
EV19,20	0111000111100

➤ Χρωμόσωμα 4

EV1,2	0000011111111
EV3,4	0110011111000
EV5,6	0000111111110
EV7,8	0111111100000
EV9,10	0000001111110
EV11,12	0011110011100
EV13,14	0000011111111
EV15,16	1111000111100
EV17,18	0111101111000
EV19,20	0000011111110

➤ Χρωμόσωμα 5

EV1,2	0011111111000
EV3,4	1111100011000
EV5,6	0001111111100
EV7,8	1111000001110
EV9,10	1100011110000
EV11,12	0001111111000
EV13,14	0111100001111
EV15,16	1111011110000
EV17,18	0011110011110
EV19,20	0111100111000

➤ Χρωμόσωμα 6

EV1,2	0111111110000
EV3,4	0011111110000
EV5,6	0000111111110
EV7,8	0000111111110
EV9,10	1111000001100
EV11,12	1111000001110
EV13,14	0111100111100
EV15,16	1111011110000
EV17,18	0000011111111
EV19,20	0011110111000

➤ Χρωμόσωμα 7

EV1,2	0111110011100
EV3,4	0000111111100
EV5,6	0000111110111
EV7,8	0011100011110
EV9,10	0001111011000
EV11,12	0111100111000
EV13,14	0111100111100
EV15,16	1111011110000
EV17,18	0111100011110
EV19,20	0011100111100

➤ Χρωμόσωμα 8

EV1,2	0001111111100
EV3,4	0001111101100
EV5,6	0111000111110
EV7,8	0000111011110
EV9,10	0111111000000
EV11,12	1111000111000
EV13,14	1111000011110
EV15,16	0011110111100
EV17,18	0111101111000
EV19,20	0001110011110

➤ Χρωμόσωμα 9

EV1,2	0011111111000
EV3,4	0000111111100
EV5,6	0111111110000
EV7,8	0000111111100
EV9,10	1100000011110
EV11,12	0000011111110
EV13,14	0111100011110
EV15,16	0011110011110
EV17,18	0011110011110
EV19,20	0011110001110

➤ Χρωμόσωμα 10

EV1,2	0111000111110
EV3,4	0000111111100
EV5,6	0111011111000
EV7,8	0001110111100
EV9,10	0011110000110
EV11,12	1110000001111
EV13,14	0011111111000
EV15,16	0111111110000
EV17,18	0011111111000
EV19,20	0000111101110

**Πίνακες 2.9-2.18: Αναπαράσταση 10 χρωμοσωμάτων του αλγορίθμου μας**

Ο πληθυσμός αυτός δημιουργήθηκε τυχαία αλλά τηρώντας την προϋπόθεση για τις συνεχόμενες ώρες φόρτισης



### 3. Αξιολόγηση πληθυσμού

Προκειμένου να γίνει η αξιολόγηση του πληθυσμού χρειαζόμαστε μία συνάρτηση που να το καθορίζει αυτό. Συγκεκριμένα εδώ η συνάρτηση αυτή είναι η

$$SI = \sum_{i=1}^{13} (ideal(i) - curve(i))^2$$

Όπου *ideal* είναι η καμπύλη προς προσομοίωση δηλαδή εδώ συγκεκριμένα η [15 15 15 20 20 20 20 15 15 15 15] σε kW και η *curve* είναι η καμπύλη που σχηματίζει κάθε χρωμόσωμα για παράδειγμα στο *σχήμα 2.9* η *curve* είναι η [2,9 11,6 20,3 20,3 20,3 23,2 17,4 23,2 20,3 23,2 17,4 11,6 2,9] και για τα συγκεκριμένα χρωμοσώματα θα έχουμε το εξής αποτέλεσμα το οποίο φαίνεται στον πίνακα 2.19

Χρωμοσώματα	SI
1	484,0
2	429,2
3	456,1
4	438,3
5	451,6
6	417,6
7	469,0
8	468,8
9	464,2
10	433,1

Πίνακας 2.19:Αξιολόγηση χρωμοσωμάτων

Και στην συνέχεια τα ταξινομούμε κατά αύξουσα σειρά και έτσι παίρνουμε τον εξής πίνακα

Χρωμοσώματα	SI
6	417,6
2	429,2
10	433,1
4	438,3
5	451,6
3	456,1
9	464,2
8	468,8
7	469,0
1	484,0

Πίνακας 2.20: Ταξινόμηση πίνακα 2.19

Επειδή έχουμε θεωρήσει ποσοστό επιλογής 50% αυτό σημαίνει ότι από αυτά θα επιβιώσουν μόνο τα μισά δηλαδή τα [ 6 2 10 4 5] και από αυτά θα επιλεγούν για γονείς τα τέσσερα μιας και για να γίνει οι διασταύρωση που χρειάζεται ζυγός αριθμός χρωμοσωμάτων.

#### 4. Διασταύρωση

Η διαδικασία επιλογής των γονιών γίνεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που έγινε και στο προηγούμενο παράδειγμα δηλαδή βρίσκουμε από τον τύπο 2.2

$$P_n = \frac{N_{\text{keep}}^{-n+1}}{\sum_{n=1}^{N_{\text{keep}}} n}$$

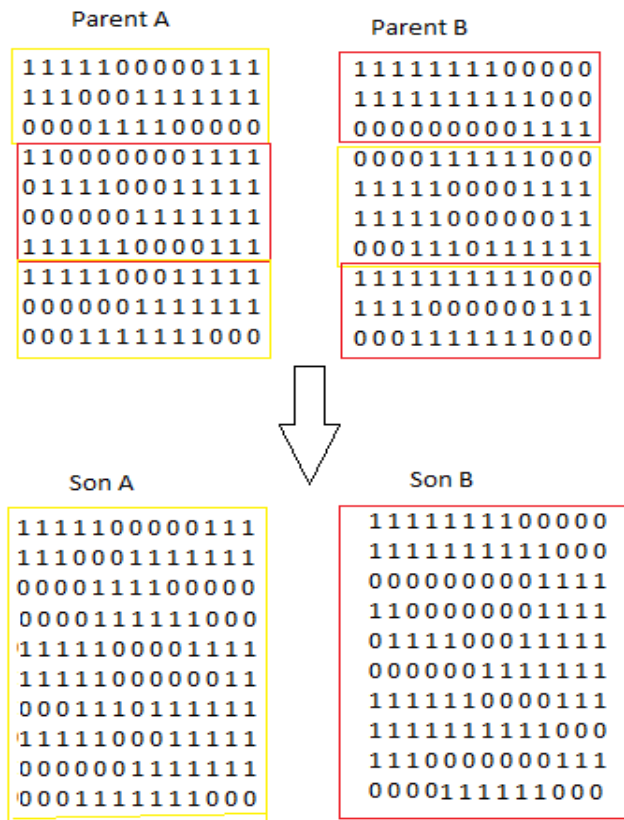
την πιθανότητα για κάθε ένα χρωμόσωμα και στην συνέχεια

υπολογίζουμε την αθροιστική πιθανότητα και δημιουργούμε 4 τυχαίους αριθμούς δύο για την μητέρα και δύο για τον πατέρα ώστε να τους επιλέξουμε. Συγκεκριμένα εδώ θα έχουμε τον εξής πίνακα

Χρωμοσώματα	$P_r$	$\sum_{i=1}^r P_r$
6	0.3333	0.3333
2	0.26667	0.6
10	0.2	0.8
4	0.1333	0,933
5	0.0667	1

**Πίνακας 2.20: Διατήρηση των 5 καλύτερων χρωμοσωμάτων και υπολογισμός πιθανότητας επιλογής**

Και δημιουργούμε τους εξής τυχαίου αριθμού για τον πατέρα το [0,8704 0,5909] και για την μητέρα το [0,0603 0,8379] άρα για πατέρα επιλέγονται τα [4 2] και για μητέρα τα [6 4] άρα θα ζευγαρώσει το 4 με το 6 και το 2 με το 6. Η διαδικασία της διασταύρωσης δίνεται στο σχήμα 3 για να γίνει πιο κατανοητή.



Σχήμα 3:Two point crossover

Δηλαδή σε αυτό το στάδιο δεν ανταλλάσσουμε αυτοκίνητα μεταξύ τους αλλάζουμε το πώς έχουν τοποθετηθεί τα ίδια τα αυτοκίνητα στον φορτιστή μεταξύ τους. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται είναι ο ακόλουθος: δημιουργούμε 2 τυχαίους αριθμούς για κάθε έναν γονιό (δηλαδή η μητέρα και ο πατέρας έχουν τους ίδιους τυχαίους αριθμούς). Αυτοί οι τυχαίοι αριθμοί είναι από το ένα(1) μέχρι τον αριθμό των φορτιστών (10 εδώ) και η διαδικασία φαίνεται στο παραπάνω σχήμα δηλαδή τα κόκκινα πάνε μαζί και τα κίτρινα μαζί. Συγκεκριμένα σε αυτό το παράδειγμα επιλέγηκαν τα εξής σημεία διασταύρωσης τα [2 5] και τα [1 5]. Τα χρωμοσώματα τώρα θα είναι τα εξής:

Χρωμόσωμα 1 νέο	Ίδιο με το χρωμόσωμα 6
Χρωμόσωμα 2 νέο	Ίδιο με το χρωμόσωμα 2

Χρωμόσωμα 3 νέο	Ίδιο με το χρωμόσωμα 10
Χρωμόσωμα 4 νέο	Ίδιο με το χρωμόσωμα 4
Χρωμόσωμα 5 νέο	Ζευγάρι χρωμοσώματος 4 και 6
Χρωμόσωμα 6 νέο	Ζευγάρι χρωμοσώματος 4 και 6
Χρωμόσωμα 7 νέο	Ζευγάρι χρωμοσώματος 2 και 6
Χρωμόσωμα 8 νέο	Ζευγάρι χρωμοσώματος 2 και 6

**Πίνακας 2.21: Δημιουργία νέων χρωμοσωμάτων**

Τα χρωμοσώματα εδώ μειώθηκαν σε 8. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι για να δημιουργήσουμε τους γονείς χρειαζόμαστε ζυγό αριθμό χρωμοσωμάτων και έτσι εδώ επειδή έχουμε 5 αποκλείουμε αυτό με την μεγαλύτερη πιθανότητα.

## 5. Μετάλλαξη

Σε αυτό το στάδιο επειδή η μετάλλαξη δεν θα γίνει όπως έγινε στο προηγούμενο παράδειγμα διότι εδώ έχουμε τον περιορισμό να έχουμε συνεχόμενες ώρες φόρτισης για τα οχήματα και δεν μπορούμε να επιλέξουμε έτσι ένα Bit και να το μεταλλάξουμε από 0 σε 1 ή και το ανάποδο γιατί θα χαλάσει η σειρά. Εδώ η μετάλλαξη γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο δημιουργούμε τυχαία κάποια ζεύγη αριθμό ο ακριβής αριθμός των οποίων δίνεται από τον τύπο:  $nm = \mu * \text{number\_charger} * \text{χρωμοσώματα} = 0,15 * 8 * 10 = 12$

Τα 12 τυχαία ζεύγη που δημιουργούμε αντιστοιχούν στον αριθμό του φορτιστή και στο χρωμόσωμα. Αφού επιλέξουμε τον φορτιστή του αντίστοιχου χρωμοσώματος που θέλουμε εφαρμόζουμε την διαδικασία της μετάλλαξης η οποία γίνεται ως εξής:

Έχουμε τα οχήματα ένα και δυο όπως έχουν τοποθετηθεί από τη διασταύρωση



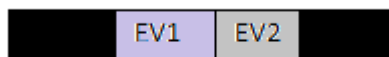
Αλλάζουμε την σειρά τους (προαιρετικό)



Κρατώντας το EV1 σταθερό τοποθετούμε το EV2 ώστε να μειώσουμε την συνάρτηση ικανότητας



Στην συνέχεια κρατώντας το EV2 σταθερό τοποθετούμε το EV1 ώστε να μειώσουμε την συνάρτηση ικανότητας



**Σχήμα 4 :Διαδικασία μετάλλαξης**

Συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των δύο τελευταίων σχημάτων και κρατάμε και κρατάμε αυτό που μειώνει την συνάρτηση ικανότητας περισσότερο(με μαύρο απεικονίζονται τα μηδενικά).

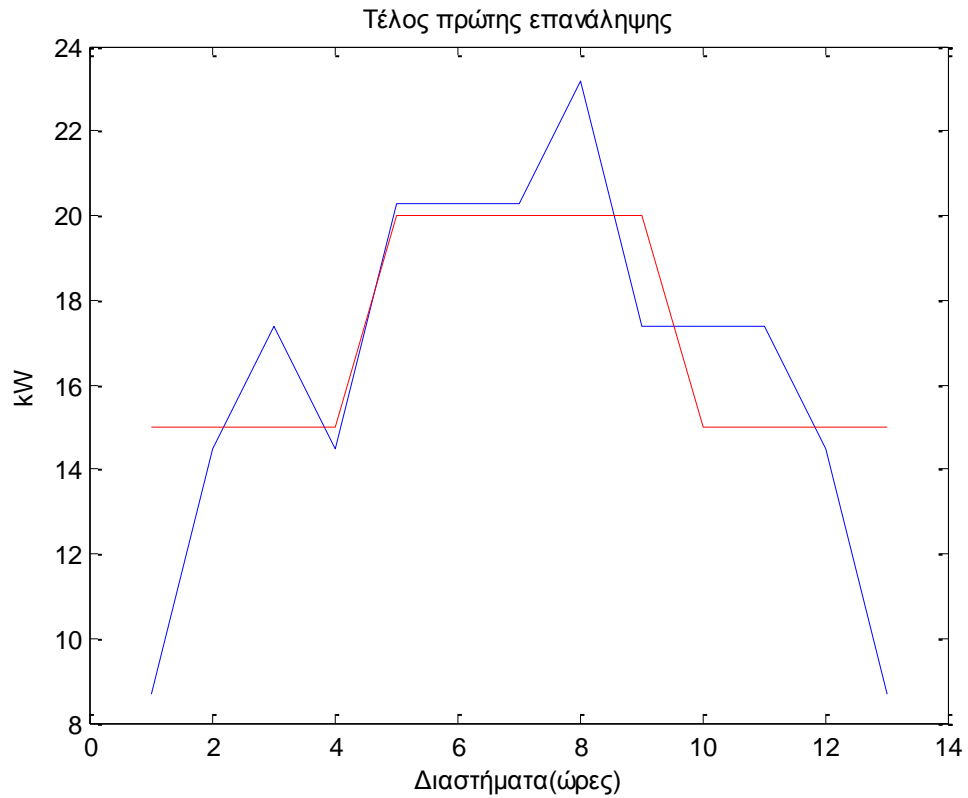
Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τα ζεύγη τα οποία επιλέγονται για μετάλλαξη είναι τα ακόλουθα:

<b>Φορτιστής</b>	<b>Χρωμόσωμα</b>
4	7
6	2
6	4
10	5
7	4
5	7
3	6
2	6
6	3
8	5
8	3
9	6

**Πίνακας 2.22: Πίνακας ζευγών για μετάλλαξη**

### **6. Τέλος αλγορίθμου**

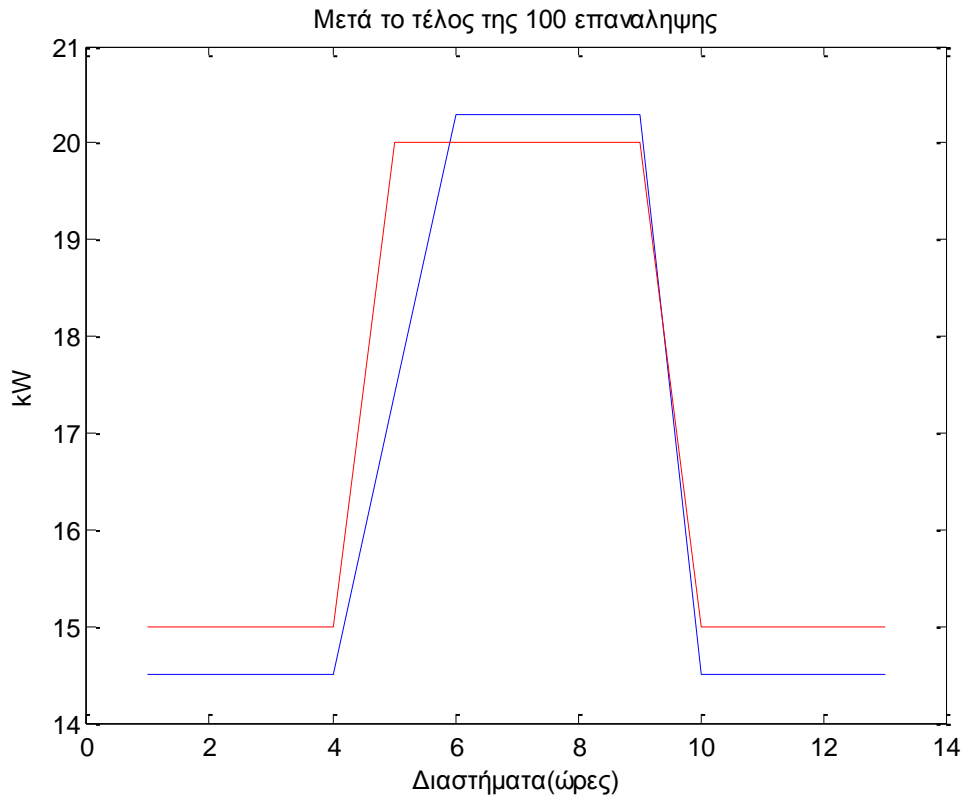
Σε αυτόν τον αλγόριθμο τα αποτελέσματα δεν αντιστοιχούν σε πραγματικούς αριθμούς αντιστοιχούν σε σειρά φόρτισης και κατά πόσο μπορούμε να προσεγγίσουμε την δοθείσα καμπύλη. Έτσι δεν θα είχε νόημα να παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα αναλυτικά αλλά καλύτερο θα ήταν να τα δούμε σχηματικά. Για το τέλος της πρώτης επανάληψης ο αλγόριθμος μας δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα:



**Εικόνα 2.4 : Αποτέλεσμα αλγορίθμου μετά την πρώτη επανάληψη**

Σε αυτό το σχήμα με κόκκινο απεικονίζεται η καμπύλη προς προσομοίωση και με μπλε το πώς έχουν τοποθετηθεί τα αυτοκίνητα μας τώρα. Παρατηρούμε εύκολα ότι η καμπύλη δεν είναι καθόλου ικανοποιητική

Μετά το τέλος της 100<sup>ης</sup> επαναλήψεις ο αλγόριθμος μας δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα



**Εικόνα 2.5: Αποτέλεσμα αλγορίθμου μετά το τέλος της 100<sup>ης</sup> επανάληψης**

Το αποτέλεσμα αυτό είναι σαφώς πιο ικανοποιητικό από το προηγούμενο και εδώ όμως παρατηρούμε αποκλίσεις αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ώρες φόρτισης που χρειάζονται τα οχήματα δεν μπορούν με κάποιο συνδυασμό διατηρώντας τον περιορισμό της συνεχόμενης φόρτισης έτσι ο αλγόριθμος μας δίνει αυτό το αποτέλεσμα και αναλυτικά το τελικό χρωμόσωμα το οποίο μας δίνει αυτήν την λύση είναι το :

Χρωμόσωμα τελικό =

1111101110000
0000111110011
0000111011111
0000111111100
1111000000011
1110011110000
0000011111111
1111111100000
1111111100000
1111000111100
0001110001111





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

### 3.1 Παράμετροι, μεταβλητές και αντικειμενική συνάρτηση

Για την ανάπτυξη αυτού του αλγόριθμου θα πρέπει πρώτα να ορίσουμε μαθηματικά το πρόβλημα. Σκοπός μας είναι η ανάπτυξη αλγόριθμου για την εξυπηρέτηση ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων βάσει μιας προκαθορισμένης καμπύλης φορτίου ( $P_{ideal}$ ). Η προκαθορισμένη αυτή καμπύλη φορτίου μπορεί να αντιπροσωπεύει την διαθέσιμη προβλεπόμενη ισχύ από διεσπαρμένες ανανεώσιμες μονάδες παραγωγής ή τον προγραμματισμό σε επίπεδο αγοράς ενέργειας. Πιο αναλυτικά:

#### 1. Παράμετροι

Προκειμένου να επιλύσουμε αυτό το πρόβλημα θα πρέπει να γνωρίσουμε τα ακόλουθα:

- Ο χρόνος που έχουμε στην διάθεση μας για την φόρτιση οχημάτων ( $T$ ). Η παράμετρος αυτή είναι πολύ σημαντική διότι τα οχήματα πρέπει να φορτίσουν μέσα στην χρονική περίοδο αυτή χωρίς να την υπερβούν.
- Ο αριθμός των οχημάτων που θέλουμε να φορτίσουμε ( $N$ ).
- Προκαθορισμένη καμπύλη φορτίου ( $P_{ideal}$ ). Η καμπύλη αυτή είναι στην ουσία η καμπύλη την οποία θα πρέπει να προσομοιάσουν τα οχήματα κατά την διάρκεια της φόρτισης τους. Η καμπύλη αυτή στην ουσία είναι ένας πίνακας  $1 \times T$ .
- Η ώρες φόρτισης ή καλύτερα τα διαστήματα φόρτισης που χρειάζεται κάθε όχημα προκειμένου να φορτίσει πλήρως. Οι ώρες φόρτισης των οχημάτων συμβολίζονται με  $D$  και στην ουσία είναι ένας πίνακας  $1 \times N$  όπου  $N$  ο συνολικός αριθμός οχημάτων.
- Ακόμα χρειαζόμαστε μία μεταβλητή η οποία χρειάζεται μόνο στο σενάριο με περιορισμούς στην φόρτιση οχημάτων συμβολίζεται με  $v$ . Στην ουσία αυτή η μεταβλητή είναι μια δυαδική μεταβλητή που με 1 συμβολίζει τα διαστήματα στα οποία το όχημα μπορεί να φορτίσει και με 0 τα διαστήματα στα οποία δεν μπορεί. Οι διαστάσεις του πίνακα αυτού είναι  $N \times T$ .

$$v = \begin{cases} 1 & \text{δεν φορτίζει} \\ 0 & \text{φορτίζει} \end{cases}$$

- Μία ακόμα σημαντική παράμετρος που θα πρέπει να γνωρίζουμε είναι η ισχύς που δίνει ο φορτιστής στο όχημα κάθε χρονική στιγμή. Την οποία εμείς την θεωρούμε σταθερή και ίση με 2,9kW ( $P_{plug}$ )

## 2. Μεταβλητές

Σαν μεταβλητή θεωρούμε μια συνάρτηση Dirac ( $\delta$ ) η οποία ορίζεται ως εξής:

$$\delta_i(t) = \begin{cases} 1 & \text{αδράνεια} \\ 0 & \text{φορτίζει} \end{cases} \text{ όπου } i: \text{αριθμός οχήματος}, t: \text{χρόνος}$$

Αυτή την μεταβλητή την υπολογίζουμε κάθε φορά αφού έχουμε σχηματίσει το τελικό μας χρωμόσωμα και είναι ιδιαίτερη σημαντική προκειμένου να ορίσουμε μαθηματικά το πρόβλημα.

## 3. Αντικειμενική Συνάρτηση

Προκειμένου να γίνει η σωστή αξιολόγηση του εκάστοτε πληθυσμού χρειαζόμαστε μία συνάρτηση η οποία στην ουσία θα υπολογίζει το σφάλμα. Δηλαδή την απόκλιση της καμπύλης από την ιδανική. Η συνάρτηση αυτή ορίζεται ως εξής:

$$\sum_{t=1}^T (P_{ideal}(t) - \sum_{i=1}^N \delta_i(t) * P_{plug})^2 \quad \text{Σχέση 1}$$

## 3.2 Δομή του προβλήματος

Προκειμένου να επιλύσουμε το συγκεκριμένο πρόβλημα για την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων θα πρέπει να επισημάνουμε ορισμένες παραδοχές τις οποίες κάνουμε προκειμένου να το επιλύσουμε.

- Σκοπός του προβλήματος

Σκοπός του προβλήματος είναι να βρούμε το ελάχιστο της αντικειμενικής συνάρτησης. Δηλαδή για ποια  $\delta_i$  έχουμε το

$$\min \sum_{t=1}^T (P_{ideal}(t) - \sum_{i=1}^N \delta_i(t) * P_{plug})^2 \quad \text{Σχέση 2}$$

- Περιορισμοί προβλήματος

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα θεωρούμε ότι έχουμε δύο η τρία οχήματα ανά φορτιστή τα οποία δεν πρέπει να φορτίζουν ταυτόχρονα. Δηλαδή στο ίδιο διάστημα θα τοποθετείται μόνο ένα όχημα. Αυτό ορίζεται ως εξής:

$$\sum_{i=0}^{\frac{N}{2}-1} \sum_{t=1}^T \delta_{2i+1}(t) \delta_{2i+2}(t) = 0 \quad \text{Σχέση 3}$$

Το δι'ορίστηκε προηγουμένως. Στην ουσία μέσω αυτών των δύο συναρτήσεων Dirac αποτρέπουμε την παράλληλη φόρτιση των οχημάτων δηλαδή δεν μπορούν και τα δύο να είναι ταυτόχρονα 1. Σε άλλο σενάριο που θα θέλουμε την παράλληλη φόρτιση αυτό ο περιορισμός δεν θα υπάρχει. Ακόμα αυτό ο περιορισμός γενικεύεται και για περισσότερα από δύο οχήματα:

$$\sum_{l=0}^{k-1} \sum_{t=1}^T \delta_{ki+1}(t) \delta_{ki+2}(t) \delta_{ki+3}(t) \dots \delta_{ki+k}(t) = 0 \quad \text{Σχέση 4}$$

Όπου k ο αριθμός των οχημάτων που θέλουμε ανά φορτιστή.

Ακόμα ένας σημαντικός περιορισμός είναι ότι τα οχήματα μας θέλουμε να είναι τελείως φορτισμένα μέχρι το τέλος του χρόνου που έχουμε στην διάθεσή μας. Όπως προαναφέραμε έχουμε στην διάθεσή μας έναν πίνακα ο οποίος μας δίνει τις συνολικές ώρες φόρτισης των οχημάτων τον πίνακα **D**. Προκειμένου να καλύπτεται αυτή η προϋπόθεση θα πρέπει να ισχύει:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \delta_i(t) = D_i \quad \text{Σχέση 5}$$

Στην συνέχεια προκειμένου να εξασφαλίσουμε το σενάριο στο οποίο ο οδηγός βάζει περιορισμό στο χρονικό περιθώριο που θέλει να αφήσει το όχημα του για να φορτίσει. Ο οδηγός στην ουσία μας δίνει το χρονικό περιθώριο που θέλει για παράδειγμα ότι θέλει να φορτίσει το όχημα του από την δεύτερη μέχρι την τέταρτη ώρα και ο αλγόριθμός μας δίνει το αποτέλεσμα βάσει αυτού του περιορισμού. Συγκεκριμένα έχουμε σαν είσοδο την συνάρτηση **v** που ορίσαμε προηγουμένως και άρα ο περιορισμός είναι ο εξής:

$$\sum_{t=1}^T (1 - v_i(t)) * \delta_i(t) = 0 \quad \forall \text{ όχημα}(i) \text{ που έχει περιορισμό} \quad \text{Σχέση 6}$$

Προφανώς η παραπάνω εξίσωση για να μην έρχεται σε αντιπαράθεση με την Σχέση 5 θα πρέπει να ισχύει και ο παρακάτω περιορισμός.

$$\sum_{t=1}^T v_i(t) \geq D_i \quad \forall \text{ όχημα}(i) \text{ που έχει περιορισμό} \quad \text{Σχέση 7}$$

### 3.3 Τελική μορφή προβλήματος

Το πρόβλημά μας θα έχει την μορφή:

$$\min \sum_{t=1}^T (P_{ideal}(t) - \sum_{i=1}^N \delta_i(t) * P_{plug})^2$$

- 1)  $\sum_{i=0}^{\frac{N}{2}-1} \sum_{t=1}^T \delta_{2i+1}(t) \delta_{2i+2}(t) = 0$
- 2)  $\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \delta_i(t) = D_i$
- 3)  $\sum_{t=1}^T (1 - v_i(t)) * \delta_i(t) = 0$
- 4)  $\sum_{t=1}^T v_i(t) \geq D_i$

Οι σχέσεις 3,4 ισχύει μόνο στην περίπτωση που έχουμε περιορισμούς στα οχήματα. Καθώς και οι παραδοχές μας εδώ είναι για δύο οχήματα ανά φορτιστή. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά ένα παράδειγμα λυμένο προκειμένου να γίνει κατανοητό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

### 4.1 Γενικά

Σε αυτήν την ενότητα θα ασχοληθούμε με διάφορες προσομοιώσεις του γενετικού μας αλγορίθμου προκειμένου να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα όσον αφορά τον αλγόριθμο και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί. Προκειμένου να το πετύχουμε αυτό θα εφαρμόσουμε τα παρακάτω σενάρια:

- Σενάριο 1: Δύο οχήματα ανά φορτιστή χωρίς περιορισμούς  
Σε αυτό το σενάριο θα ασχοληθούμε με την προσομοίωση μιας τυχαίας καμπύλης. Στην συνέχεια θα ασχοληθούμε με διάφορες προσομοιώσεις του αλγορίθμου προκειμένου να συμπεράνουμε πώς ο αλγόριθμός μας αντιμετωπίζει την παρεχόμενη ισχύ του δικτύου δηλαδή αν αυτή επαρκή για την φόρτιση η αν αυτή δεν επαρκεί για την φόρτιση.
- Σενάριο 2: Δύο οχήματα ανά φορτιστή με περιορισμούς  
Σε αυτό το σενάριο θα ασχοληθούμε με την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων αλλά τα οποία θα έχουν συγκεκριμένες ώρες στην διάθεσή του για να φορτίσουν θα ασχοληθούμε συγκριτικά με το πώς ο αλγόριθμος με περιορισμούς διαφοροποιείται σε σχέση με τον αλγόριθμο χωρίς περιορισμούς για διάφορες περιπτώσεις. Ακόμα θα συγκρίνουμε και τα αποτελέσματα για διάφορους περιορισμούς.
- Σενάριο 3: Δύο οχήματα ανά φορτιστή με παράλληλη φόρτιση  
Σε αυτό το σενάριο θα ασχοληθούμε πάλι συγκριτικά με το σενάριο 1, δηλαδή θα δούμε πώς ανταποκρίνεται ο αλγόριθμός μας για ίδια καμπύλη φόρτισης αν μπορούν τα οχήματα να φορτίζουν και παράλληλα.
- Σενάριο 4: Τρία οχήματα ανά φορτιστή  
Σε αυτό το σενάριο θα ασχοληθούμε με την φόρτιση τριών οχημάτων ανά φορτιστή προκειμένου να δείξουμε ότι ο αλγόριθμός μας λειτουργεί και για περισσότερα από δύο οχήματα ανά φορτιστή. Στην συνέχεια θα δείξουμε θεωρητικά τι διαφοροποιείται στην περίπτωση που θέλουμε να έχουμε παραπάνω από τρία οχήματα ανά φορτιστή.
- Σενάριο 5: Προσομοίωση μιας πραγματικής καμπύλης από φωτοβολταϊκά  
Σε αυτό το σενάριο θα έχουμε σαν δεδομένο μία καμπύλη ισχύος από φωτοβολταϊκά η οποία θα χρησιμοποιηθεί προκειμένου να φορτίσει ένα συγκεκριμένο στόλο οχημάτων. Και θα δούμε για διάφορες ώρες μέσα στην μέρα πως ανταποκρίνεται η φόρτιση του στόλου μας.

## 4.2 Σενάριο 1: Δύο οχήματα ανά φορτιστή χωρίς περιορισμούς

### 4.2.1 Προσομοίωση μίας εφικτής καμπύλης

Σε αυτό το σενάριο θα θεωρήσουμε μία καμπύλη η οποία επαρκή για να καλύψει τις ανάγκες του στόλου μας ακριβώς. Προκειμένου να βρούμε μία καμπύλη η οποία να μπορέσει να ικανοποιήσει αυτό το κριτήριο μας θεωρήσαμε ότι όλα τα οχήματα μας ανά φορτιστή φορτίζουν συνεχόμενα και ξεκινάνε από το πρώτο διάστημα φόρτισης. Για αυτό το παράδειγμα και για διευκόλυνσή μας θεωρούμε ότι όλα τα οχήματα θέλουν ίδιες ώρες φόρτισης και συγκεκριμένα ίσες με τέσσερις(4) και τα οι ώρες οι οποίες έχουμε στην διάθεσή μας για να φορτίσουν είναι ίσες με δεκατρείς(13). Άρα ο στόλος μας έχει την μορφή:

$EV\{1\}=[1\ 1\ 1\ 1];$	$EV\{11\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{2\}=[1\ 1\ 1\ 1];$	$EV\{12\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{3\}=[1\ 1\ 1\ 1];$	$EV\{13\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{4\}=[1\ 1\ 1\ 1];$	$EV\{14\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{5\}=[1\ 1\ 1\ 1];$	$EV\{15\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{6\}=[1\ 1\ 1\ 1];$	$EV\{16\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{7\}=[1\ 1\ 1\ 1];$	$EV\{17\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{8\}=[1\ 1\ 1\ 1];$	$EV\{18\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{9\}=[1\ 1\ 1\ 1];$	$EV\{19\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{10\}=[1\ 1\ 1\ 1];$	$EV\{20\}=[1\ 1\ 1\ 1];$

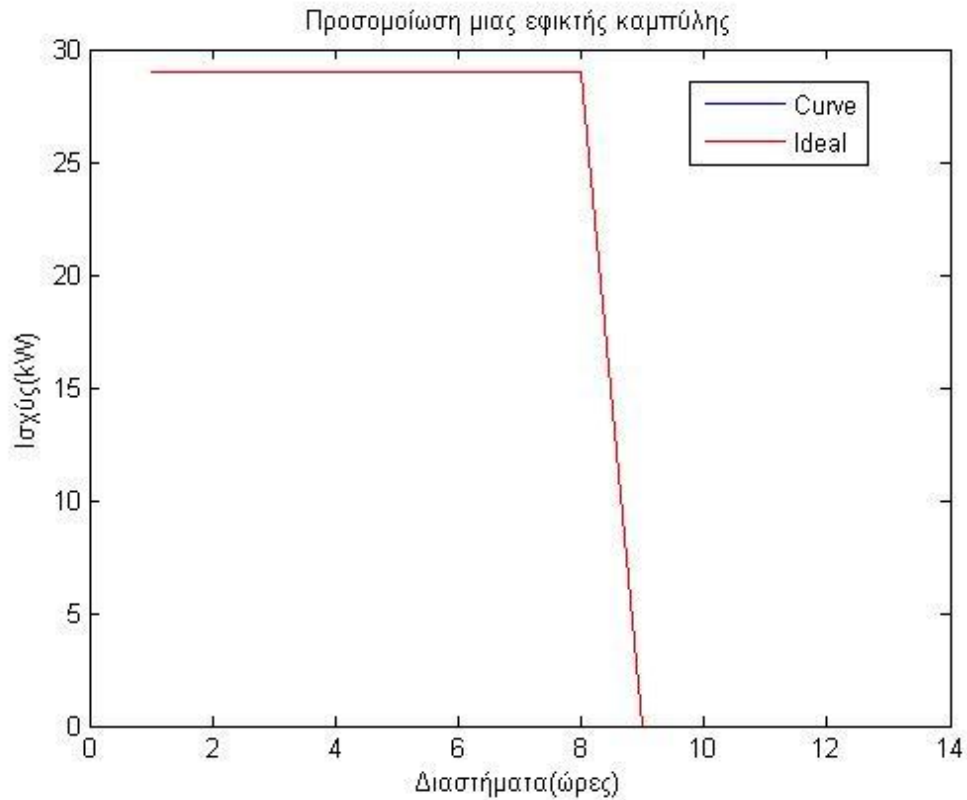
Και η καμπύλη προς προσομοίωση είναι η  $ideal=[29\ 29\ 29\ 29\ 29\ 29\ 29\ 29\ 0\ 0\ 0\ 0]$

Οι παράμετροι του αλγορίθμου μας είναι οι εξής:

- Ποσοστό μετάλλαξης(mutation rate)=0.15
- Ισχύς ανά διάστημα=2,9kW
- Επιλογή(selection)=0.5
- Αριθμός επαναλήψεων (iga)=100

Αυτές οι παράμετροι θα διατηρηθούν σταθερές σε όλα τα παραδείγματα προκειμένου να γίνεται σύγκρισή με προηγούμενα παραδείγματα.

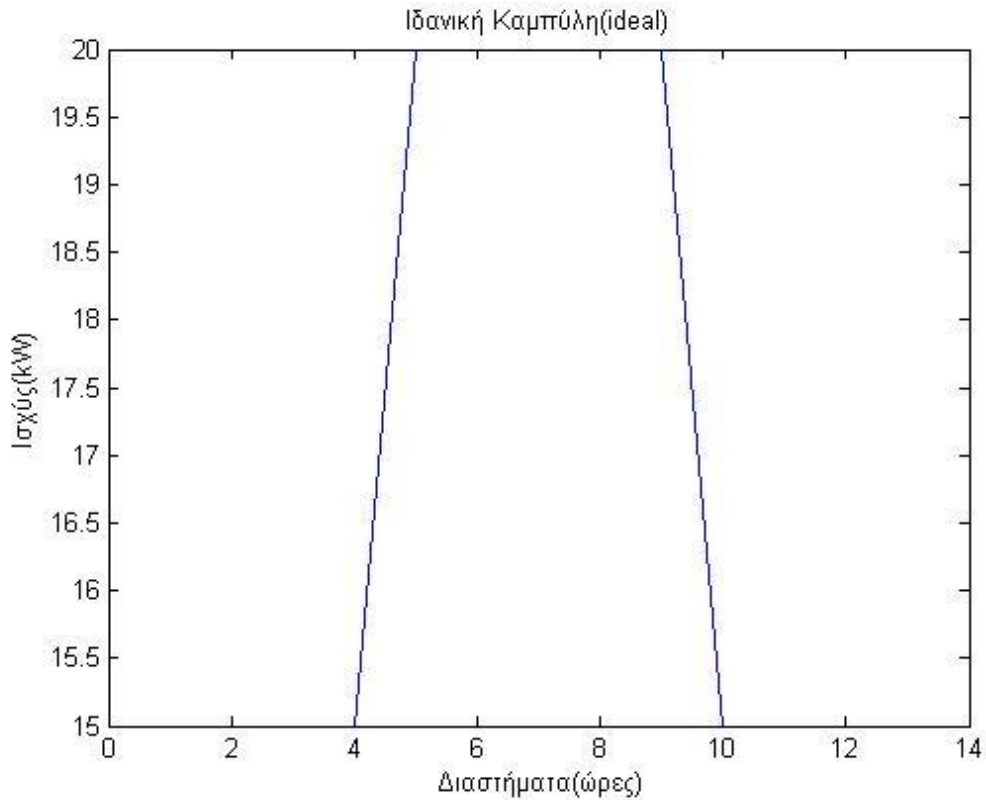
Έτσι ο αλγόριθμος για αυτές τις παραμέτρους και για αυτά τα οχήματα βγάζει το παρακάτω αποτέλεσμα



Όπως παρατηρούμε η μπλε καμπύλη δεν φαίνεται στο διάγραμμα και αυτό διότι οι δύο καμπύλες ταυτίζονται εφόσον είπαμε ότι θα προσομοιάσουμε μία εφικτή καμπύλη. Αυτό είναι ένα στοιχείο που υποδηλώνει την λειτουργικότητα του αλγορίθμου μας.

#### **4.2.2 Προσομοίωση μίας καμπύλης η οποία επαρκή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των οχημάτων.**

Σε αυτό το σενάριο θα προσπαθήσουμε να δούμε τι γίνεται σε περίπτωση που η παρεχόμενη ισχύς από το δίκτυο επαρκή για την φόρτιση των ηλεκτρικών μας οχημάτων ιδανική καμπύλη, η οποία θα προσομοιάζει την παρεχόμενη ισχύς από το δίκτυο θα έχει την παρακάτω μορφή[20]:



Αυτή η μορφή υποδηλώνει, όπως γίνεται και στην πραγματικότητα, ότι τις πολύ βραδινές ώρες το δίκτυο μπορεί να δώσει και παραπάνω ισχύ. Για την υλοποίηση του συγκεκριμένου παραδείγματος θα θεωρήσουμε τον στόλο αυτοκινήτων τα οποία απαιτούν τις παρακάτω ώρες φόρτισης:

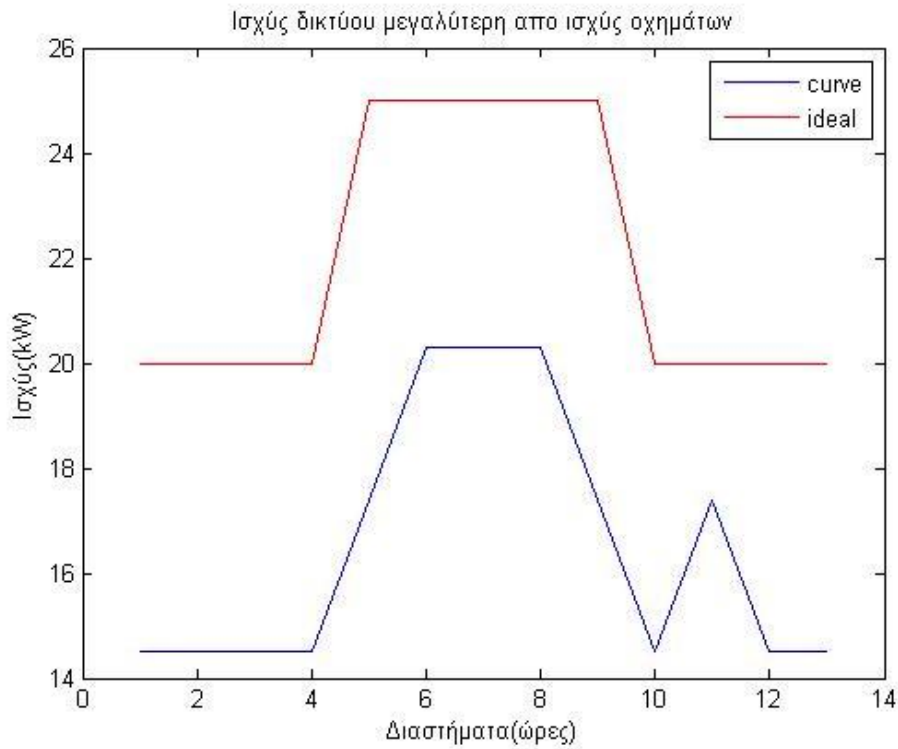
```

EV{1}=[1 1 1];
EV{2}=[1 1 1 1];
EV{3}=[1 1 1 1];
EV{4}=[1 1 1 1];
EV{5}=[1 1 ];
EV{6}=[1 1 1 1];
EV{7}=[1 1 1];
EV{8}=[1 1 1 1];
EV{9}=[1 1 1 1];
EV{10}=[1 1 1 1];
EV{11}=[1 1];
EV{12}=[1 1 1 ];
EV{13}=[1 1 1 1];
EV{14}=[1 1 1 1 1];
EV{15}=[1 1 1 1 ];
EV{16}=[1 1 1 1 1];
EV{17}=[1 1 1 1];
EV{18}=[1 1 1 1 ];
EV{19}=[1 1 1 1];
EV{20}=[1 1 1];

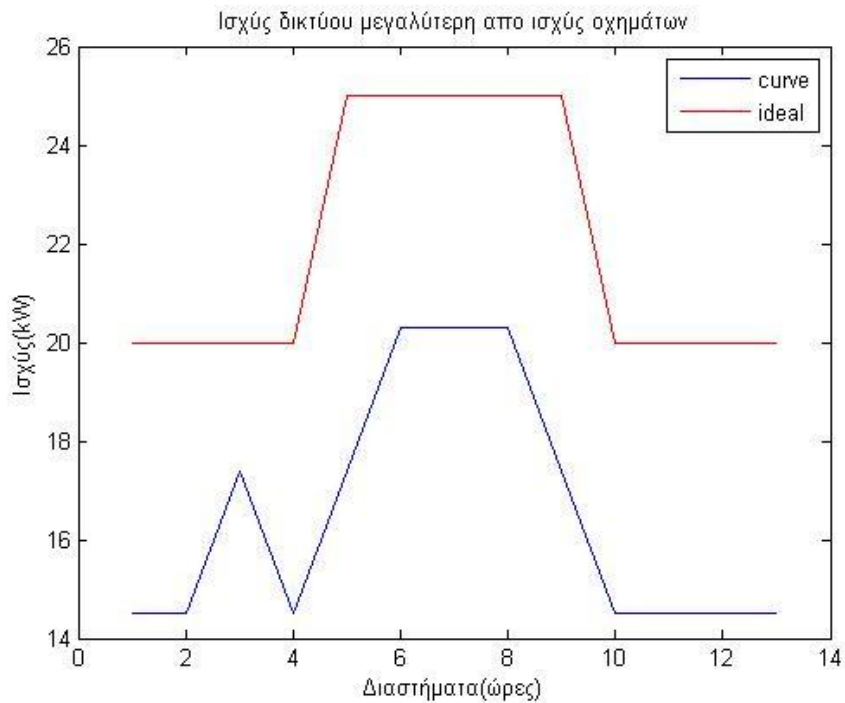
```

Η καμπύλη προς προσομοίωση θα είναι η:ideal=[20 20 20 20 25 25 25 25 25 20 20 20 20].Ο αλγόριθμός μας βγάζει το παρακάτω αποτέλεσμα





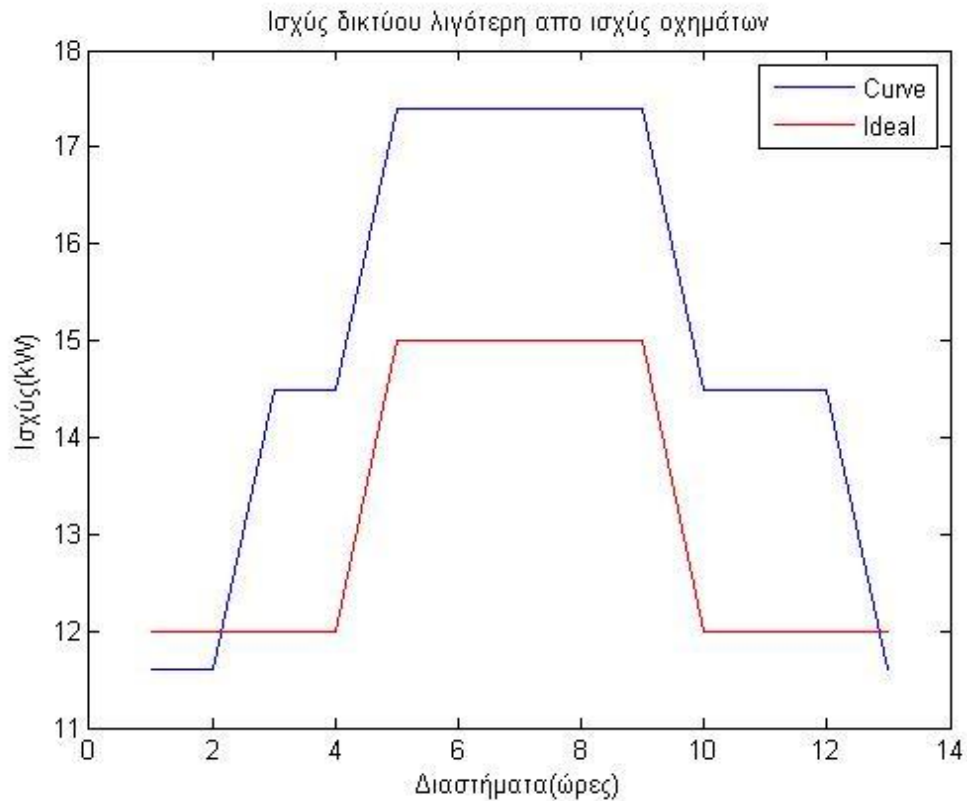
Ακόμα ο αλγόριθμός βγάζει και το παρακάτω αποτέλεσμα ως σωστό το οποίο είναι συμμετρικό του παραπάνω.



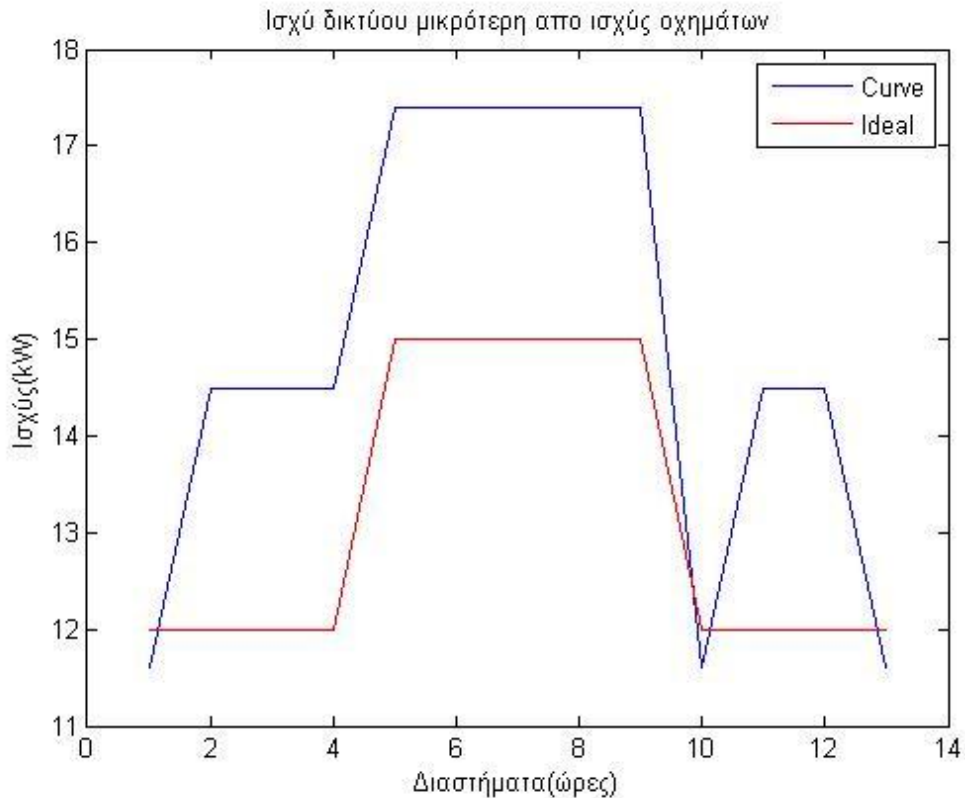
Παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος μας βγάζει στην ουσία δύο λύσεις συμμετρικές αυτό υποδηλώνει την σωστή λειτουργία του.

### 4.2.3 Προσομοίωση μίας καμπύλης η οποία δεν επαρκή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των οχημάτων.

Σε αυτή την περίπτωση θα δούμε την γίνεται στην περίπτωση που η παρεχόμενη ισχύς από το δίκτυο δεν επαρκεί για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των αυτοκινήτων. Θα θεωρήσουμε τον ίδιο στόλο με την προηγούμενη περίπτωση και σαν καμπύλη δικτύου την  $ideal=[12\ 12\ 12\ 12\ 15\ 15\ 15\ 15\ 15\ 12\ 12\ 12\ 12]$ . Ο αλγόριθμός μας δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα:



Ακόμα ένα άλλο αποτέλεσμα του γενετικού αλγορίθμου με ίδιο σφάλμα είναι το ακόλουθο.



Λόγω της φύσης του γενετικού αλγορίθμου το αποτέλεσμα μπορεί να διαφέρει από το προηγούμενο αλλά όλα θα κινούνται στο ίδιο σφάλμα.

#### 4.3 Σενάριο 2: Δύο οχήματα ανά φορτιστή με περιορισμούς

Για αυτό το σενάριο θα θεωρήσουμε σαν καμπύλη για προσομοίωση την [11.6 11.6 11.6 11.6 17.4 20.3 20.3 20.3 17.4 11.6 14.5 11.6 11.6] και σαν στόλο οχημάτων τον ακόλουθο:

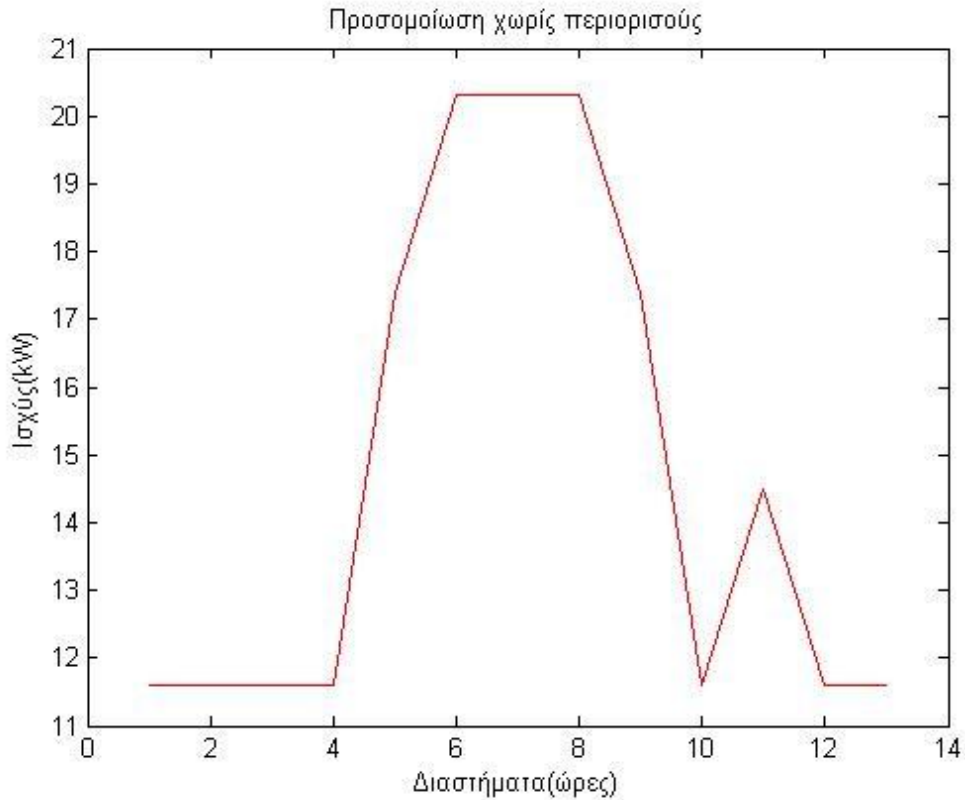
EV{1}=[1 1 1];	EV{11}=[1 1 1 1];
EV{2}=[1 1 1];	EV{12}=[1 1 1];
EV{3}=[1 1 1 1];	EV{13}=[1 1 1];
EV{4}=[1 1];	EV{14}=[1 1 1 1];
EV{5}=[1 1 1 1];	EV{15}=[1 1 1 1];
EV{6}=[1 1 1];	EV{16}=[1 1 ];
EV{7}=[1 1 1 1];	EV{17}=[1 1 1 1];
EV{8}=[1 1 1];	EV{18}=[1 1 1 1];
EV{9}=[1 1 1 1];	EV{19}=[1 1 1];
EV{10}=[1 1];	EV{20}=[1 1 1];

Αρχικά θα δούμε το αποτέλεσμα που μας παρουσιάζει ο αλγόριθμός μας χωρίς περιορισμούς δηλαδή χωρίς κάποιο όχημα να έχει περιορισμό στον χρόνο φόρτισης. Στην συνέχεια θα δούμε τα αποτελέσματα με χρονικό περιορισμό σε 2,4,6,8,10,12,14,16,18 οχήματα. Σε αυτές τις περιπτώσεις θα συγκρίνουμε τα

σφάλματα για κάθε περίπτωση του αλγορίθμου. Τα σφάλματα θα προκύψουν από

$$\text{τον τύπο } \text{Σφάλμα} = \frac{\sum_{i=1}^{13} (\text{ideal}(i) - \text{curve}(i))^2}{\sum_{i=1}^{13} (\text{ideal}(i))^2} * 100$$

1. Χωρίς περιορισμούς



Μας δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα με μηδενικό σφάλμα. Στο παραπάνω σχήμα όπως είναι προφανές η ιδανική καμπύλη δεν διακρίνεται μιας και οι δύο αυτές καμπύλες ταυτίζονται. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται και το πώς τοποθετούνται τα οχήματα.

					EV1	EV1	EV2						
					EV1	EV3	EV3	EV3	EV2				
					EV5	EV5	EV5	EV9	EV3		EV6		
EV4	EV4	EV8	EV5	EV8	EV11	EV9	EV11	EV9	EV2	EV7	EV6	EV6	Οχήματα
EV10	EV10	EV15	EV8	EV13	EV13	EV11	EV14	EV11	EV7	EV12	EV7	EV7	
EV17	EV17	EV17	EV15	EV15	EV15	EV13	EV16	EV14	EV9	EV14	EV12	EV12	
EV19	EV19	EV19	EV17	EV18	EV18	EV18	EV18	EV16	EV14	EV20	EV20	EV20	
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	
<b>Διαστήματα</b>													

## 2. Με περιορισμούς

Σε αυτήν την περίπτωση θεωρούμε ότι έχουμε κάποια οχήματα σε περιορισμό, συγκεκριμένα ξεκινάμε με 2,4,6,8,10,12,14,16,18 οχήματα αντίστοιχα. Αυτοί οι περιορισμοί σημαίνουν ότι τα διάφορα οχήματα θα πρέπει να φεύγουν συγκεκριμένες ώρες, δηλαδή δεν θα έχουν στην διάθεση τους όλο το χρονικό περιθώριο που τους δίνεται (συγκεκριμένα για εδώ 13 ώρες). Για κάθε περίπτωση θεωρούμε δύο υποπερίπτώσεις. Μία με μέτριο και μία με αυστηρό περιορισμό. Για την πρώτη υποπερίπτωση σημαίνει ότι τα οχήματα μπορούν να τοποθετηθούν για να φορτίσουν από το 46,15% του συνολικού χρόνου, και για την δεύτερη υποπερίπτωση από το 30,17% του συνολικού χρόνου φόρτισης.

- Για τις περιπτώσεις των δύο(2) και τεσσάρων(4) οχημάτων υπό περιορισμό

Σε αυτήν την περίπτωση ο αλγόριθμος μας για τις τέσσερις προσομοιώσεις που τρέχουμε δηλαδή για δύο οχήματα με μέτριο περιορισμό, για δύο οχήματα με αυστηρό περιορισμό, για τέσσερα οχήματα με μέτριο, και για τέσσερα οχήματα με αυστηρό περιορισμό μας δίνει το ίδιο αποτέλεσμα το οποίο είναι ότι προσομοιάζει την ιδανική καμπύλη όπως αυτή δίνεται χωρίς περιορισμούς. Δηλαδή με μηδενικό σφάλμα. Αυτό είναι κάτι το λογικό μιας και τα οχήματα είναι λίγα προκειμένου να παρατηρήσουμε κάποια απόκλιση από την ιδανική καμπύλη.

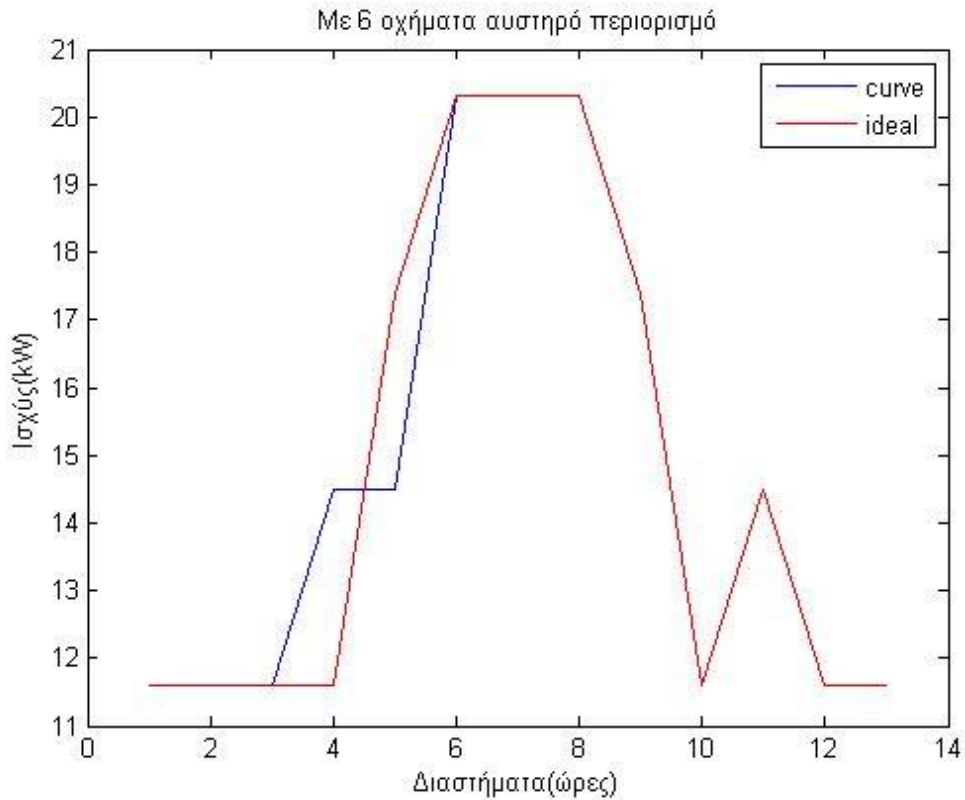
- Για την περίπτωση των έξι οχημάτων υπό περιορισμό

- Με μέτριο περιορισμό

Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμός μας δεν παρουσιάζει κάποιο σφάλμα μπορεί και προσομοιάζει την καμπύλη ιδανικά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο μέτριος περιορισμός επιτρέπει στα οχήματα να τοποθετηθούν όπως προβλέπεται και μας δίνει έτσι μηδενικό σφάλμα.

- Με αυστηρό περιορισμό

Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμός μας αδυνατεί να προσομοιάσει βέλτιστα την καμπύλη λόγω των περιορισμών που υφίσταται. Έτσι μας δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα.



Στο σχήμα φαίνεται ότι έχουμε κάποιο σφάλμα το σφάλμα αυτό είναι 0,65%. Το οποίο προκύπτει όπως περιγράψαμε αναλυτικά σε προηγούμενο παράδειγμα. Έτσι σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμός μας τοποθετεί τα οχήματα μας ως εξής:

						EV2	EV2	EV2					
						EV3	EV3	EV6	EV6				
			EV3	EV3	EV7	EV9	EV10	EV8					
EV1	EV1	EV1	EV5	EV7	EV9	EV13	EV13	EV10	EV6	EV12	EV12	EV12	οχήματα
EV4	EV4	EV5	EV7	EV9	EV11	EV15	EV15	EV13	EV8	EV14	EV14	EV14	
EV5	EV5	EV7	EV9	EV11	EV15	EV17	EV17	EV15	EV14	EV18	EV18	EV18	
EV16	EV16	EV11	EV11	EV17	EV17	EV20	EV20	EV20	EV18	EV19	EV19	EV19	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
<b>Διαστήματα</b>													

- Για την περίπτωση των οχτώ(8) οχημάτων υπό περιορισμό

- Με μέτριο περιορισμό

Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμός μας δεν παρουσιάζει κάποιο σφάλμα μπορεί και προσομοιάζει την καμπύλη ιδανικά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο μέτριος περιορισμός επιτρέπει στα οχήματα να τοποθετηθούν όπως προβλέπεται και μας δίνει έτσι μηδενικό σφάλμα.



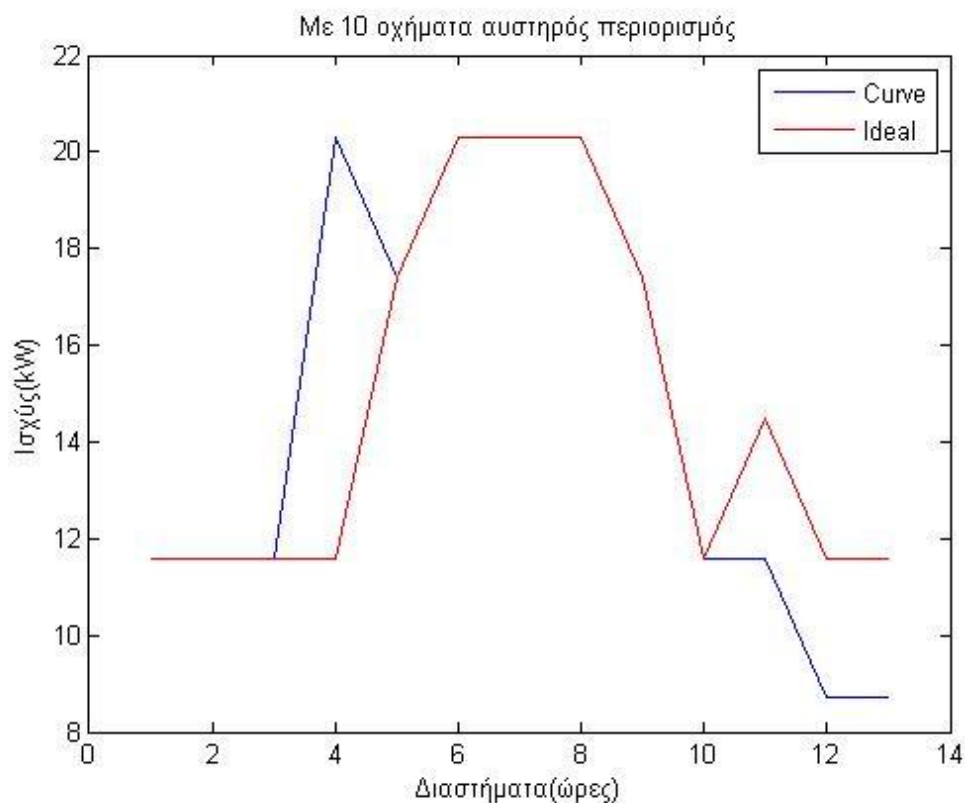
- Για την περίπτωση των δέκα(10) οχημάτων υπό περιορισμό

➤ Με μέτριο περιορισμό

Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμός μας δεν παρουσιάζει κάποιο σφάλμα μπορεί και προσομοιάζει την καμπύλη ιδανικά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο μέτριος περιορισμός επιτρέπει στα οχήματα να τοποθετηθούν όπως προβλέπεται και μας δίνει έτσι μηδενικό σφάλμα.

➤ Με αυστηρό περιορισμό

Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμός μας αδυνατεί να προσομοιάσει βέλτιστα την καμπύλη λόγω των περιορισμών που υφίσταται. Έτσι μας δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα:



Στο σχήμα φαίνεται ότι έχουμε κάποιο σφάλμα το σφάλμα αυτό είναι 3,9%.Το οποίο είναι μεγαλύτερο από τα προηγούμενα πράγμα αναμενόμενο. Έτσι τα οχήματα τοποθετούνται όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



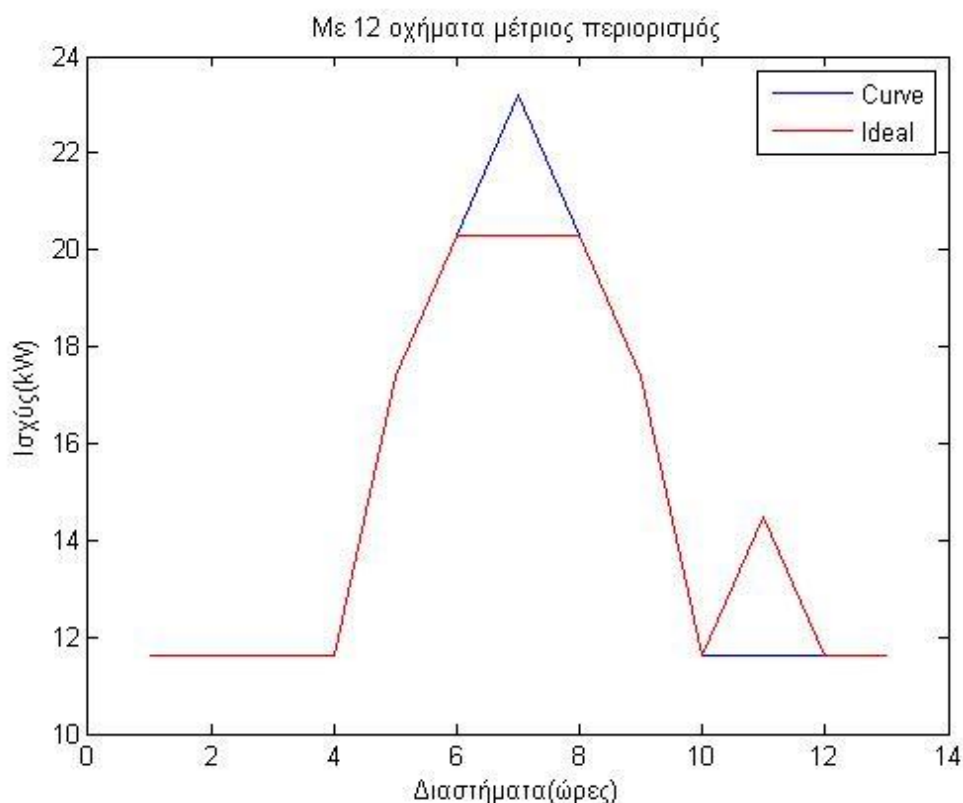
			EV3		EV2	EV2	EV2						
			EV5	EV3	EV3	EV3	EV4	EV4					
			EV7	EV5	EV5	EV5	EV6	EV6					
EV1	EV1	EV1	EV9	EV7	EV7	EV7	EV8	EV8	EV6	EV12			
EV11	EV11	EV11	EV11	EV9	EV9	EV9	EV10	EV10	EV8	EV14	EV12	EV12	
EV13	EV13	EV13	EV15	EV15	EV15	EV15	EV14	EV14	EV14	EV18	EV16	EV16	
EV19	EV19	EV19	EV17	EV17	EV17	EV17	EV18	EV18	EV18	EV20	EV20	EV16	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	<b>Διαστήματα</b>												

Οχήματα

- Για την περίπτωση των δώδεκα(12) οχημάτων υπό περιορισμό

➤ Με μέτριο περιορισμό

Σε αυτή την περίπτωση αρχίζουμε να διακρίνουμε μία μικρή απόκλιση από την ιδανική καμπύλη. Αυτό σημαίνει ότι ο συγκεκριμένος περιορισμός (ο μέτριος) αρχίζει να παρουσιάζει αποκλίσεις αφού οι περιορισμοί περάσουν το 50% του συγκεκριμένου στόλου αλγόριθμος έτσι μας δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα:



Το σφάλμα της συγκεκριμένης προσομοίωσης είναι 0,65%. Παρακάτω φαίνεται πώς ο αλγόριθμός μας τοποθετεί τα συγκεκριμένα οχήματα.



				EV2									
				EV3	EV2	EV2	EV4						
				EV5	EV3	EV4	EV5						
	EV1	EV1	EV7	EV5	EV5	EV8	EV8	EV8					
EV1	EV3	EV3	EV9	EV9	EV9	EV9	EV10	EV10		EV6			
EV7	EV7	EV7	EV11	EV11	EV11	EV11	EV14	EV14	EV14	EV12	EV6	EV6	
EV13	EV13	EV13	EV15	EV15	EV15	EV15	EV18	EV18	EV18	EV14	EV12	EV12	
EV19	EV19	EV19	EV17	EV17	EV17	EV17	EV20	EV20	EV20	EV18	EV16	EV16	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

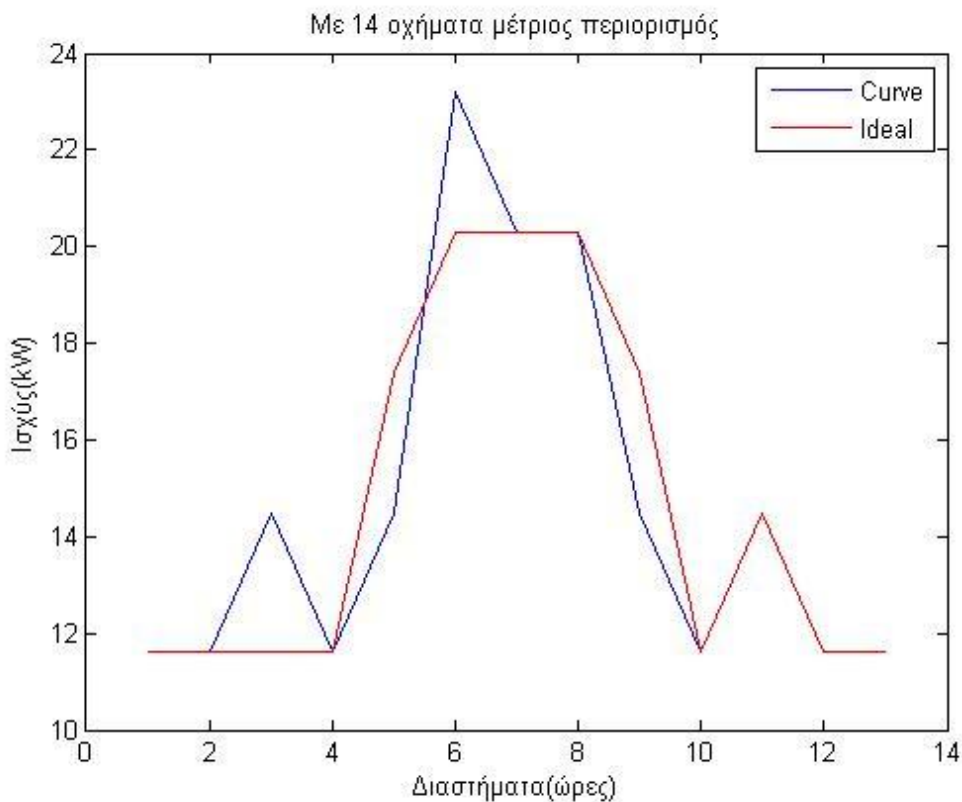
**Διαστήματα**

**Οχήματα**

- Για την περίπτωση των δεκατεσσάρων(14) οχημάτων υπό περιορισμό

- Με μέτριο περιορισμό

Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμός μας αδυνατεί να προσομοιάσει βέλτιστα την καμπύλη λόγω των περιορισμών που υφίσταται. Έτσι μας δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα:

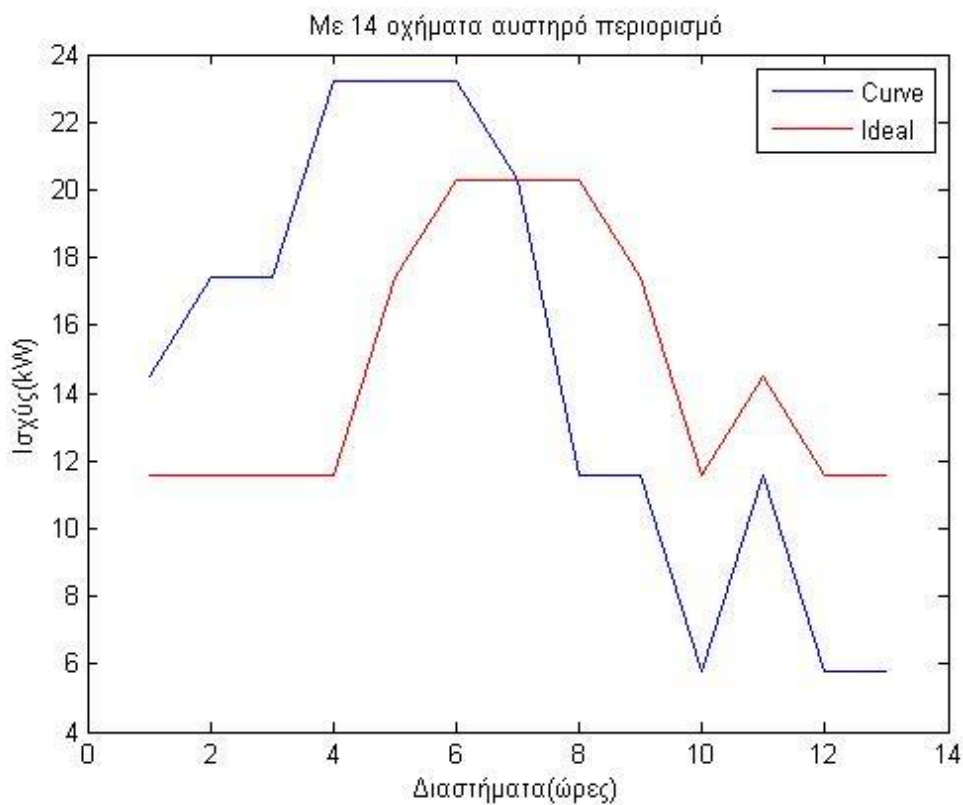


Το σφάλμα σε αυτή την περίπτωση είναι 1,3%.Μεγαλύτερο από την προηγούμενη προσομοίωση πράγμα το οποίο είναι λογικό. Παρακάτω φαίνεται πώς ο αλγόριθμός μας τοποθετεί τα οχήματα:

					EV2								
					EV3	EV3	EV3						
					EV5	EV5	EV5						
		EV1		EV2	EV8	EV8	EV8	EV3		EV10			
EV1	EV1	EV6	EV2	EV9	EV9	EV9	EV9	EV5	EV10	EV12	EV12	EV12	Οχήματα
EV4	EV4	EV7	EV7	EV13	EV11	EV11	EV11	EV11	EV14	EV14	EV14	EV14	
EV6	EV6	EV13	EV13	EV17	EV15	EV15	EV15	EV15	EV18	EV18	EV16	EV16	
EV7	EV7	EV19	EV19	EV19	EV17	EV17	EV17	EV20	EV20	EV20	EV18	EV18	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
<b>Διαστήματα</b>													

➤ Με αυστηρό περιορισμό

Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμός μας αδυνατεί να προσομοιάσει βέλτιστα την καμπύλη λόγω των περιορισμών που υφίσταται. Έτσι μας δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα:



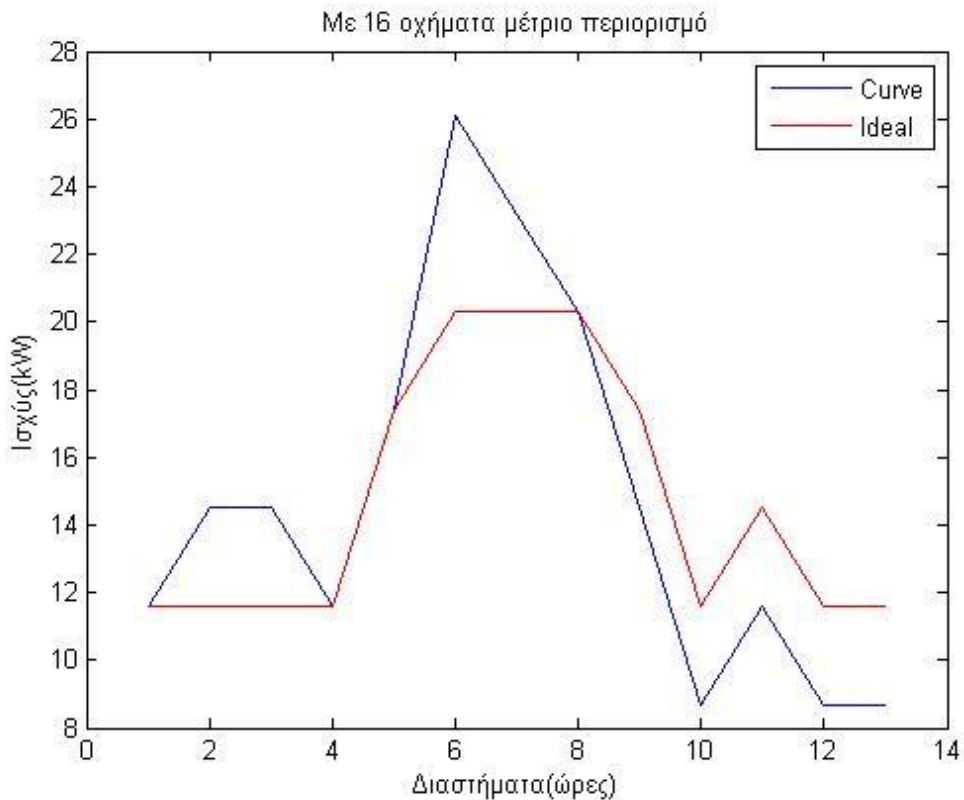
Η συγκεκριμένη προσομοίωση παρουσιάζει σφάλμα ίσο με 18,24%. Παρακάτω φαίνεται πώς ο αλγόριθμος μας τοποθετεί τα οχήματα.

			EV2	EV2	EV2								
			EV3	EV3	EV4	EV4							
	EV1		EV5	EV6	EV6	EV6							
EV1	EV3	EV1	EV7	EV8	EV8	EV8							
EV5	EV5	EV3	EV9	EV9	EV9	EV9	EV10	EV10		EV12			
EV7	EV7	EV5	EV11	EV11	EV11	EV11	EV14	EV14		EV14			
EV13	EV13	EV7	EV15	EV15	EV15	EV15	EV16	EV16	EV14	EV18	EV12	EV12	
EV19	EV19	EV19	EV17	EV17	EV17	EV17	EV18	EV18	EV18	EV20	EV20	EV20	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
<b>Διαστήματα</b>													<b>Οχήματα</b>

- Για την περίπτωση των δεκαέξι(16) οχημάτων υπό περιορισμό

- Με μέτριο περιορισμό

Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμός μας αδυνατεί να προσομοιάσει βέλτιστα την καμπύλη λόγω των περιορισμών που υφίσταται. Έτσι μας δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα:

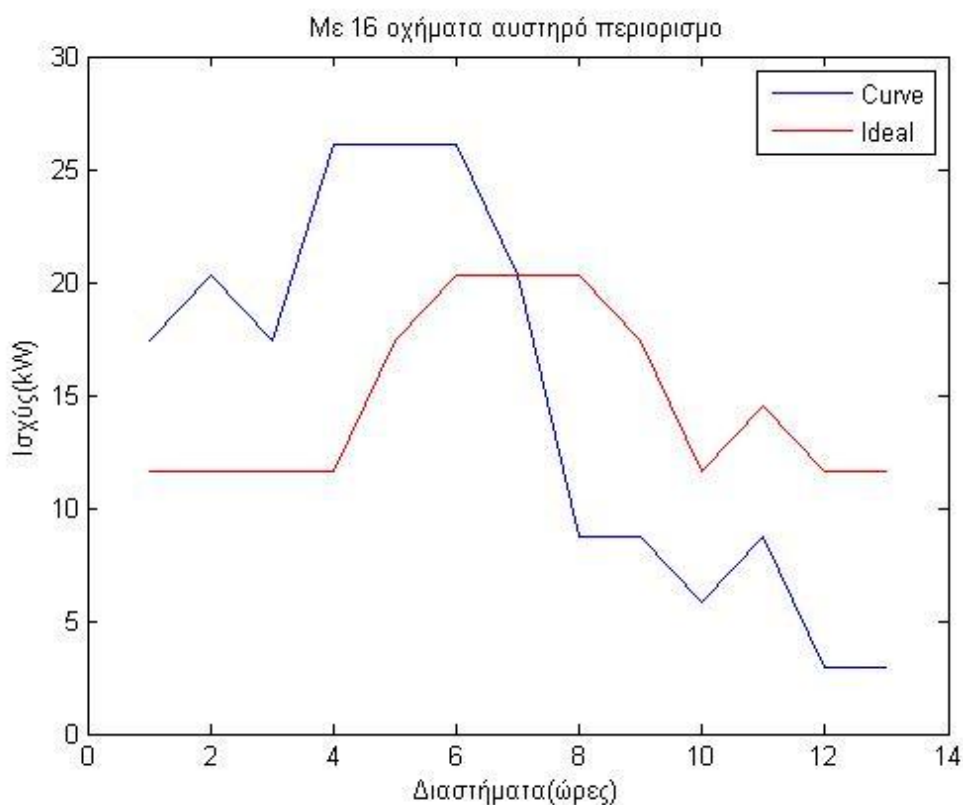


Το σφάλμα σε αυτή την περίπτωση είναι 3,9%.Μεγαλύτερο από την προηγούμενη προσομοίωση πράγμα το οποίο είναι λογικό. Παρακάτω φαίνεται πώς ο αλγόριθμός μας τοποθετεί τα οχήματα:

						EV2							
						EV3	EV2						
						EV5	EV3	EV3					
					EV2	EV7	EV5	EV5					
	EV1	EV1		EV5	EV9	EV7	EV7	EV3					
EV1	EV4	EV6	EV9	EV9	EV11	EV9	EV10	EV7		EV14			
EV4	EV6	EV8	EV11	EV11	EV13	EV12	EV12	EV10	EV14	EV16	EV14	EV14	
EV6	EV8	EV11	EV15	EV15	EV17	EV13	EV13	EV12	EV16	EV18	EV18	EV18	
EV8	EV15	EV15	EV19	EV19	EV19	EV17	EV17	EV17	EV18	EV20	EV20	EV20	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	<b>Διαστήματα</b>												
	<b>Οχήματα</b>												

➤ Με αυστηρό περιορισμό

Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμός μας αδυνατεί να προσομοιάσει βέλτιστα την καμπύλη λόγω των περιορισμών που υφίσταται. Έτσι μας δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα:



Η συγκεκριμένη προσομοίωση παρουσιάζει σφάλμα ίσο με 34,52%. Παρακάτω φαίνεται πώς ο αλγόριθμος μας τοποθετεί τα οχήματα.







	EV1		EV2	EV2	EV2								
	EV3	EV1	EV3	EV3	EV4	EV4							
EV1	EV5	EV3	EV5	EV6	EV6	EV6							
EV5	EV7	EV5	EV7	EV8	EV8	EV8							
EV7	EV10	EV7	EV9	EV9	EV9	EV9							
EV10	EV11	EV11	EV11	EV12	EV12	EV12							
EV11	EV13	EV13	EV14	EV14	EV14	EV14							
EV13	EV15	EV15	EV15	EV15	EV16	EV16	EV18	EV18	EV18				
EV19	EV19	EV19	EV17	EV17	EV17	EV17	EV20	EV20	EV20	EV18	0	0	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	

**Διαστήματα**

**Οχήματα**

### 4.3.1 Αποκλίσεις και σφάλματα του αλγορίθμου στο σενάριο με περιορισμούς

Παρακάτω θα παραθέσουμε δύο πίνακες ένας για μέτριους περιορισμούς στα οχήματα και ένα για αυστηρούς περιορισμούς. Συγκεκριμένα θα παρατηρήσουμε την ποσοστιαία μεταβολή της καμπύλη που μας δίνει ο αλγόριθμος από την ιδανική. Για παράδειγμα το νούμερο 75% σημαίνει ότι η καμπύλη που μας δίνει ο αλγόριθμος μας στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα είναι 75% μεγαλύτερη από την ιδανική, ομοίως και εάν έδειχνε -25% σημαίνει ότι σε εκείνο το χρονικό διάστημα η καμπύλη που μας δίνει ο αλγόριθμός μας είναι 25% μικρότερη από την ιδανική. Παρακάτω φαίνονται οι δυο πίνακες:

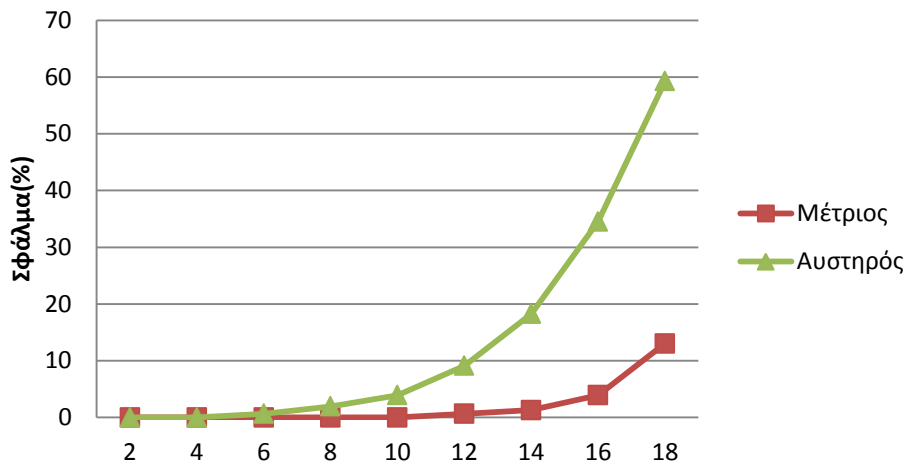
Πίνακας με αποκλίσεις ανά διάστημα από την ιδανική για μέτριο περιορισμό												
Δύο οχήματα με μέτριο περιορισμό												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Τέσσερα οχήματα με μέτριο περιορισμό												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Έξι οχήματα με μέτριο περιορισμό												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Οχτώ οχήματα με μέτριο περιορισμό												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Δέκα οχήματα με μέτριο περιορισμό												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Δώδεκα οχήματα με μέτριο περιορισμό												
0	0	0	0	0	0	14,28%	0	0	0	-20%	0	0
Δεκατέσσερα οχήματα με μέτριο περιορισμό												

0	0	25%	0	-16,67%	14,28%	0	0	-16,67%	0	0	0	0
<b>Δεκαέξι οχήματα με μέτριο περιορισμό</b>												
0	25%	25%	0	0	28,57%	14,28%	0	-16,67%	-25%	-20%	-25%	-25%
<b>Δεκαοχτώ οχήματα με μέτριο περιορισμό</b>												
25%	25%	50%	25%	0	28,57%	14,28%	14,28%	16,67%	-75%	-60%	-50%	-50%

<b>Πίνακας με αποκλίσεις ανά διάστημα από την ιδανική για αυστηρό περιορισμό</b>												
<b>Δύο οχήματα με αυστηρό περιορισμό</b>												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Τέσσερα οχήματα με αυστηρό περιορισμό</b>												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Έξι οχήματα με αυστηρό περιορισμό</b>												
0	0	0	25%	-16,67%	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Οχτώ οχήματα με αυστηρό περιορισμό</b>												
0	0	0	50%	-16,67%	0	0	0	0	0	-20%	0	0
<b>Δέκα οχήματα με αυστηρό περιορισμό</b>												
0	0	0	75%	0	0	0	0	0	0	-20%	-25%	-25%
<b>Δώδεκα οχήματα με αυστηρό περιορισμό</b>												
0	25%	25%	100%	16,67%	0	0	-28,57%	-16,67%	-25%	-20%	-25%	-25%
<b>Δεκατέσσερα οχήματα με αυστηρό περιορισμό</b>												
25%	50%	50%	100%	33,30%	14,28%	0	-42,85%	-33,33%	-50%	-20%	-50%	-50%
<b>Δεκαέξι οχήματα με αυστηρό περιορισμό</b>												
50%	75%	50%	125%	50%	28,57%	0	-57,14%	-50%	-50%	-40%	-75%	-75%
<b>Δεκαοχτώ οχήματα με αυστηρό περιορισμό</b>												
50%	75%	50%	125%	50%	28,57%	14,28%	-71,43%	-66,67%	-50%	-80%	-100%	-100%

Όπως παρατηρούμε όσο περισσότερους περιορισμούς στα οχήματα έχουμε τόσο πιο πολύ αυξάνεται η διαφορά στις τιμές μεταξύ ιδανικής και προσομοιωμένης καμπύλης κάτι το οποίο είναι προφανές. Όπως παρατηρούμε από τους παραπάνω πίνακες στην αρχή της φόρτισης όσο περισσότερους περιορισμούς έχουμε τόσο μεγαλύτερη ισχύς έχει η προσομοιωμένη καμπύλη και τόσο λιγότερη προς το τέλος. Στην συνέχεια παραθέτουμε αναλυτικά τα σφάλματα για τις δύο περιπτώσεις που επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι όσο περισσότερους περιορισμούς έχουμε τόσο μεγαλύτερο σφάλμα έχουμε.

## Διαγραμμα Σφάλματος



#### 4.4 Σενάριο 3: Παράλληλη φόρτιση οχημάτων

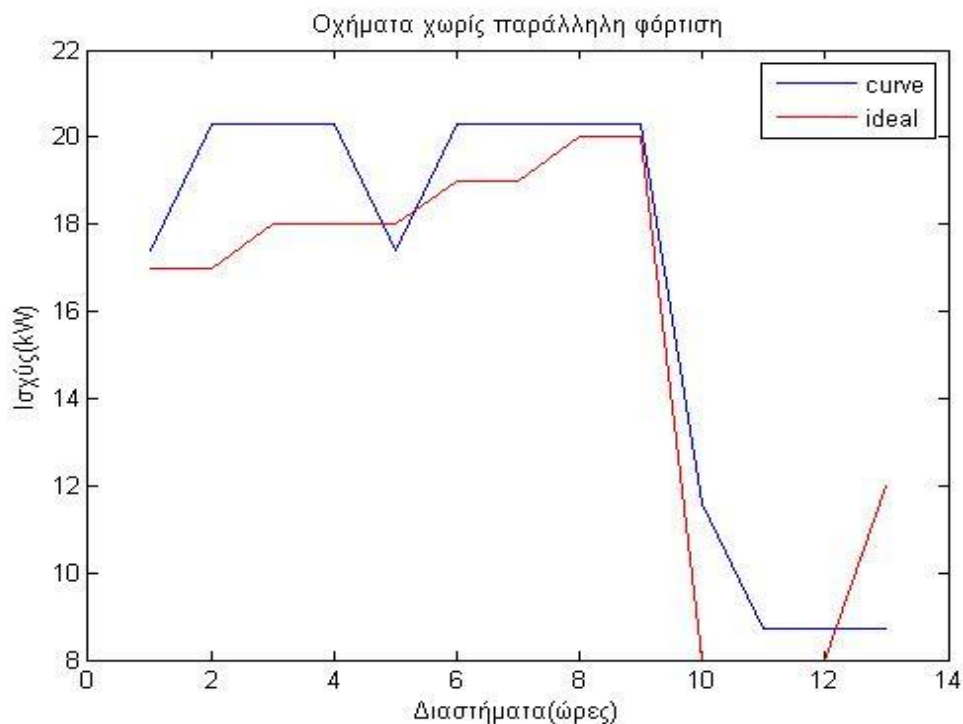
Σε αυτό το σενάριο θα θεωρήσουμε ότι τα οχήματα τα οποία έχουμε ανά φορτιστή μπορούν και φορτίζουν στο ίδιο χρονικό διάστημα παράλληλα δηλαδή ότι ο φορτιστής μας παρέχει διπλάσια ισχύ σε αυτό το χρονικό διάστημα. Αυτό στον αλγόριθμό μας συμβολίζεται με το δύο(2) δηλαδή όπου υπάρχει ο αριθμός 2 σημαίνει ότι εκείνη την χρονική στιγμή φορτίζουν και τα δύο οχήματα. Σε αυτό το σενάριο θα δούμε συγκριτικά τον αλγόριθμό μας με παράλληλη φόρτιση σε σχέση με τον αλγόριθμό μας χωρίς παράλληλη φόρτιση. Για δεδομένο στόλο θα δούμε πως προσομοιάζει για μία καμπύλη τυχαία.

Ο στόλος μας θα είναι ο ακόλουθος:

EV{1}=[1 1 1 1 1];	EV{11}=[1 1 1 1];
EV{2}=[1 1 1];	EV{12}=[1 1 1];
EV{3}=[1 1 1 1 1];	EV{13}=[1 1 1 1];
EV{4}=[1 1];	EV{14}=[1 1 1 1];
EV{5}=[1 1 1 1 1];	EV{15}=[1 1 1 1];
EV{6}=[1 1 1];	EV{16}=[1 1 1 1];
EV{7}=[1 1 1 1];	EV{17}=[1 1 1 1];
EV{8}=[1 1 1];	EV{18}=[1 1 1 1];
EV{9}=[1 1 1 1];	EV{19}=[1 1 1 1];
EV{10}=[1 1];	EV{20}=[1 1 1];

Και η καμπύλη προς προσομοίωση θα είναι η  $ideal=[17 17 18 18 18 19 19 20 20 8 8 8 12]$

- Για την πρώτη περίπτωση δηλαδή για την περίπτωση που δεν έχουμε παράλληλη φόρτιση ο αλγόριθμος μας δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα:



Και ο αλγόριθμος μας τοποθετεί τα οχήματα μας ως εξής:

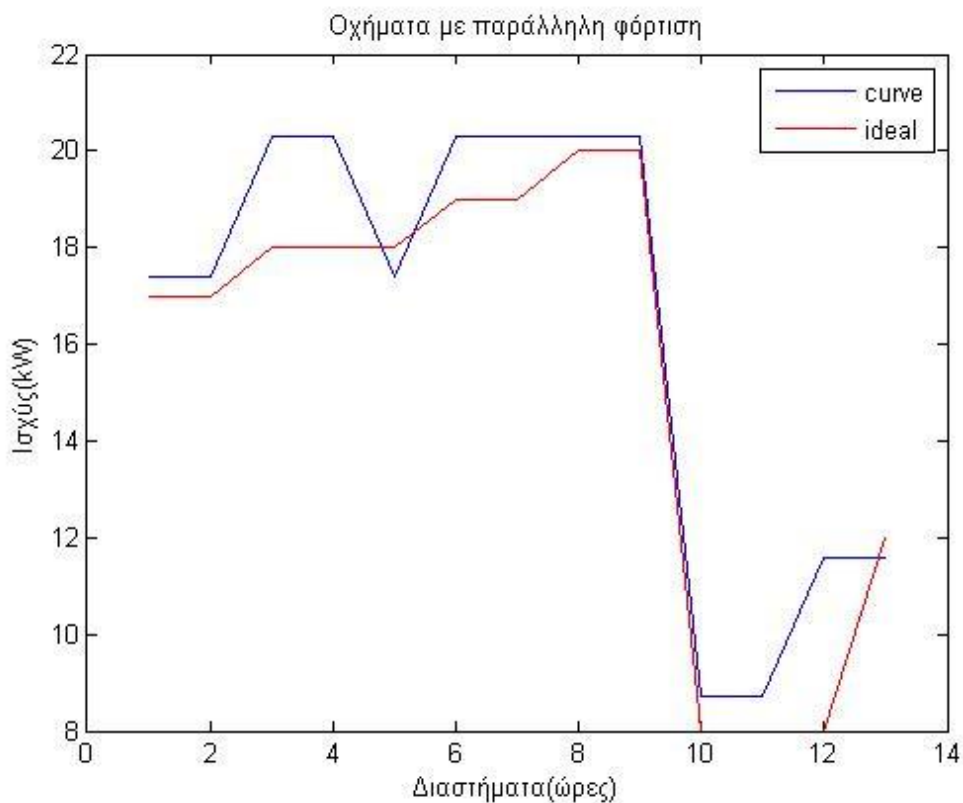
	EV6	EV6	EV2		EV2	EV5	EV5	EV1					
EV6	EV8	EV8	EV4	EV2	EV5	EV7	EV7	EV3					
EV8	EV10	EV11	EV11	EV4	EV7	EV12	EV12	EV5					
EV10	EV13	EV13	EV13	EV5	EV11	EV14	EV14	EV12	EV1				
EV13	EV15	EV15	EV15	EV7	EV14	EV16	EV16	EV14	EV3	EV1	EV1	EV1	
EV15	EV17	EV17	EV17	EV11	EV16	EV18	EV18	EV16	EV9	EV3	EV3	EV3	
EV17	EV19	EV19	EV19	EV19	EV20	EV20	EV20	EV18	EV18	EV9	EV9	EV9	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	

**Διαστήματα**

**Οχήματα**

Και το σφάλμα το οποίο δίνει είναι ίσο με 1.63% ως προς την συνολική ισχύ της καμπύλης

- Για την δεύτερη περίπτωση στην οποία τα οχήματα μπορούν να φορτίζουν και στο ίδιο χρονικό διάστημα ο αλγόριθμός μας δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα για την ίδια καμπύλη ισχύος:



Και ο αλγόριθμος μας τοποθετεί τα οχήματα μας ως εξής:

		EV9	EV9		EV2	EV2	EV3	EV1					
EV9	EV9	EV11	EV11	EV2	EV3	EV3	EV5	EV3					
EV11	EV11	EV13	EV13	EV3	EV5	EV5	EV6	EV5					
EV13	EV13	EV13	EV13	EV5	EV7	EV7	EV7	EV6			EV1	EV1	
EV13	EV13	EV15	EV15	EV7	EV8	EV8	EV10	EV10	EV1	EV1	EV4	EV4	
EV15	EV15	EV17	EV17	EV8	EV16	EV16	EV16	EV16	EV6	EV12	EV12	EV12	
EV19	EV19	EV19	EV19	EV17	EV17	EV20	EV20	EV20	EV18	EV18	EV18	EV18	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	

**Διαστήματα**

**Οχήματα**

Το σφάλμα για την παραπάνω προσομοίωση είναι 0.91% ως προς την συνολική ισχύ της καμπύλης. Πράγμα αναμενόμενο μιας και τα οχήματα πλέον έχουν περισσότερη ελευθερία να τοποθετηθούν στις καταλληλότερες θέσεις.

#### 4.5 Γενετικός Αλγόριθμος για φόρτιση τριών οχημάτων ανά φορτιστή

Σε αυτή την περίπτωση θεωρούμε ότι έχουμε τρία(3) οχήματα ανά φορτιστή. Θεωρούμε επίσης ότι τα οχήματα τα οποία τοποθετούνται στον ίδιο φορτιστή δεν μπορούν να φορτίζουν παράλληλα δηλαδή στο ίδιο χρονικό διάστημα. Η διαδικασία για αυτόν τον αλγόριθμο είναι ίδια με αυτήν τον αλγόριθμο για την φόρτιση δύο οχημάτων μόνο που διαφοροποιείται στα εξής δύο σημεία:

##### 1. Στην δημιουργία αρχικού πληθυσμού

Θεωρούμε σε αυτό το στάδιο ότι τα αρχικά μας χρωμοσώματα αποτελούνται από τρία (3) οχήματα ανά φορτιστή δηλαδή σε περίπτωση που ο αρχικός μας στόλος είναι ο ακόλουθος:

$$\begin{array}{lll}
 EV\{1\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]; & EV\{11\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1]; & EV\{21\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]; \\
 EV\{2\}=[1 \ 1 \ 1]; & EV\{12\}=[1 \ 1 \ 1]; & EV\{22\}=[1 \ 1 \ 1]; \\
 EV\{3\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]; & EV\{13\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1]; & EV\{23\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]; \\
 EV\{4\}=[1 \ 1]; & EV\{14\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1]; & EV\{24\}=[1 \ 1]; \\
 EV\{5\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]; & EV\{15\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1]; & EV\{25\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]; \\
 EV\{6\}=[1 \ 1 \ 1]; & EV\{16\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1]; & EV\{26\}=[1 \ 1 \ 1]; \\
 EV\{7\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1]; & EV\{17\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1]; & EV\{27\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1]; \\
 EV\{8\}=[1 \ 1 \ 1]; & EV\{18\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1]; & EV\{28\}=[1 \ 1 \ 1]; \\
 EV\{9\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1]; & EV\{19\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1]; & EV\{29\}=[1 \ 1 \ 1 \ 1]; \\
 EV\{10\}=[1 \ 1]; & EV\{20\}=[1 \ 1 \ 1]; & EV\{30\}=[1 \ 1];
 \end{array}$$

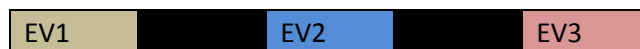
Και το πιθανό μας χρωμόσωμα είναι το ακόλουθο:

EV1,2,3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
EV4,5,6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
EV7,8,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
EV10,11,12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EV13,14,15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
EV16,17,18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
EV19,20,21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
EV22,23,24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
EV25,26,27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
EV28,29,30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

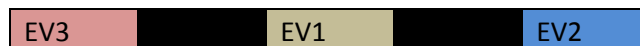
## 2. Στο στάδιο της μετάλλαξης

Σε αυτό το στάδιο διαφοροποιείται σε σχέση με τον Γενετικό Αλγόριθμο για δύο οχήματα μιας και τώρα έχουμε τρία(3) οχήματα ανά φορτιστή. Η διαδικασία φαίνεται παρακάτω σχηματικά. Έχουμε επιλέξει με βάση τον τύπο για το πόσα χρωμοσώματα θα επιλεγούν για μετάλλαξη μια σειρά του χρωμοσώματος που αφορά τα EV1,2,3. Ο τύπος και η διαδικασία επιλογής φαίνεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2. Έτσι έχουμε:

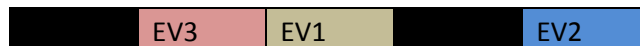
Το χρωμόσωμα όπως έχει έρθει από την διασταύρωση



Στην συνέχεια επιλέγουμε αν θα αλλάξουν θέση τα οχήματα με τρεις τυχαίες συναρτήσεις



Τοποθετούμε το EV3 στην θέση στην οποία μικραίνει το συνολικό σφάλμα του χρωμοσώματος



Το ίδιο για το EV1



Το ίδιο για το EV2



Σχήμα 1: Διαδικασία μετάλλαξης για τρία οχήματα ανά φορτιστή

Έτσι προκύπτει το τελικό χρωμόσωμα από την διαδικασία της μετάλλαξης. Με μαύρο χρώμα παρουσιάζονται τα μηδενικά. Η διαδικασία αυτή είναι ίδια με την διαδικασία μετάλλαξης για τα δύο οχήματα αλλά έχει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα όσον αφορά τις εναλλαγές θέσεων. Στην προκειμένη περίπτωση χρειάζονται τρεις τυχαίες συναρτήσεις που να καθορίζουν αν τα οχήματα αλλάζουν θέση ή όχι. Μία για την εναλλαγή θέσης μεταξύ EV1 και EV2 μία μεταξύ EV2 και EV3 και μία μεταξύ EV3 και EV1.

#### 4.5.1 Εφαρμογή Γενετικού Αλγορίθμου με τρία οχήματα ανά φορτιστή

Σε αυτή την ενότητα θα ασχοληθούμε με μία εφαρμογή του αλγορίθμου με τρία οχήματα ανά φορτιστή. Σε αυτό το παράδειγμα θα θεωρήσουμε ότι έχουμε περισσότερα διαστήματα φόρτισης συγκεκριμένα θα έχουμε 18 προκειμένου να δώσουμε και μεγαλύτερη ελευθερία στα οχήματα να τοποθετηθούν σωστά.

Σε αυτό το παράδειγμα ο στόλος μας είναι ο ακόλουθος:

EV{1}=[1 1 1 1 1];	EV{11}=[1 1 1 1];	EV{21}=[1 1 1 1 1];
EV{2}=[1 1 1];	EV{12}=[1 1 1];	EV{22}=[1 1 1];
EV{3}=[1 1 1 1 1];	EV{13}=[1 1 1 1];	EV{23}=[1 1 1 1 1];
EV{4}=[1 1];	EV{14}=[1 1 1 1];	EV{24}=[1 1];
EV{5}=[1 1 1 1 1];	EV{15}=[1 1 1 1];	EV{25}=[1 1 1 1 1];
EV{6}=[1 1 1];	EV{16}=[1 1 1 1];	EV{26}=[1 1 1];
EV{7}=[1 1 1 1];	EV{17}=[1 1 1 1];	EV{27}=[1 1 1 1];
EV{8}=[1 1 1];	EV{18}=[1 1 1 1];	EV{28}=[1 1 1];
EV{9}=[1 1 1 1];	EV{19}=[1 1 1 1];	EV{29}=[1 1 1 1];
EV{10}=[1 1];	EV{20}=[1 1 1];	EV{30}=[1 1];

Και η καμπύλη που μας δίνεται από το δίκτυο είναι η ακόλουθη

Ideal=[16 16 16 16 16 16 21.5 21.5 21.5 21.5 21.5 21.5 16 16 16 16 16 16]

Έτσι ο αλγόριθμός μας δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα:





## 4.6 Εφαρμογή Γενετικού Αλγορίθμου για N οχήματα ανά φορτιστή

Ο αλγόριθμος μας μπορεί να γενικευτεί και για N οχήματα ανά φορτιστή αυτή την περίπτωση θα πρέπει να προσέξουμε τα ακόλουθα:

- Οι ώρες φόρτισης των οχημάτων που αφορούν τον ένα φορτιστή να μην υπερβαίνουν τον συνολικό χρόνο φόρτισης που μας δίνεται. Δηλαδή για παράδειγμα αν έχουμε πέντε οχήματα και θέλουν συνολικά 20 διαστήματα φόρτισης να φροντίσουμε ώστε ο συνολικός χρόνος ο οποίος μας δίνεται να έχει τουλάχιστον 20 διαστήματα για να φορτίσουν.
- Ο αριθμός των φορτιστών θα πρέπει να είναι ίσος με τον αριθμό οχημάτων προς των αριθμό των οχημάτων που θέλουμε για να φορτίζουν σε κάθε φορτιστή.
- Στο στάδιο της μετάλλαξης θα πρέπει να προσέξουμε ότι αν έχουμε N οχήματα θα πρέπει να έχουμε και  $\frac{N!}{2^{*(N-2)!}}$  συναρτήσεις οι οποίες θα μας επιτρέπουν να εναλλάσσουμε τα οχήματα θέσεις προκειμένου να βρούμε το βέλτιστο χρωμόσωμα. Δηλαδή για παράδειγμα αν έχουμε 4 οχήματα θέλουμε 6 συναρτήσεις οι οποίες θα μας δείχνουν με 0 ή 1 αν θα εναλλάσσουμε τα οχήματα 1 με 2 , 1 με 3, 1 με 4, 2 με 3 , 2 με 4 και 3 με 4. Τέλος ο αλγόριθμος μας σε αυτό το στάδιο θα τρέχει N-1 επαναλήψεις προκειμένου να τοποθετήσει τα οχήματα βέλτιστα. Δηλαδή μετά τις μεταθέσεις θέσεων θα κρατάει τα N-1 οχήματα σταθερά και θα μετακινεί το πρώτο όχημα μέσα στο χρωμόσωμα όπως κάνει και στον αλγόριθμο με τα δύο η με τρία οχήματα προκειμένου να βρει την βέλτιστη θέση. Αφού το κάνει αυτό για το πρώτο όχημα στην συνέχεια κρατώντας σταθερά τα υπόλοιπα οχήματα θα το κάνει για το δεύτερο κ.ο.κ.
- Τα στάδια της διασταύρωσης και της αξιολόγησης πληθυσμού παραμένουν ίδια. Το μόνο που θα πρέπει να σημειώσουμε εδώ είναι ότι όσο αυξάνουν τα οχήματα αυξάνει και η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου άρα και ο χρόνος που κάνει για ανά βγάλει το αποτέλεσμα.

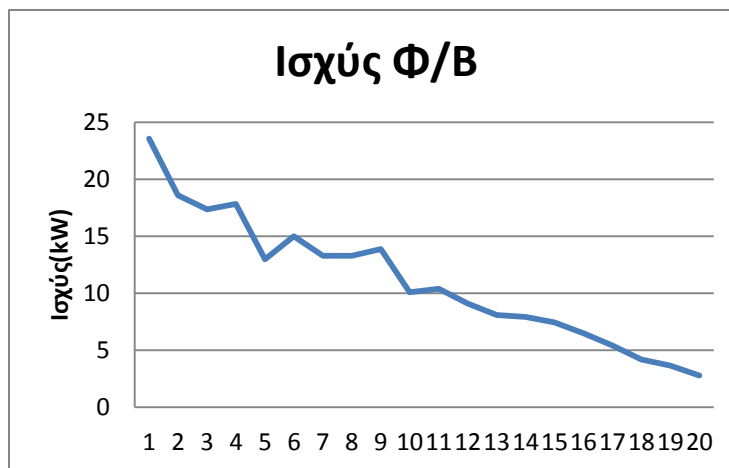
## 4.7 Εφαρμογή Γενετικού Αλγορίθμου για την φόρτιση οχημάτων από φωτοβολταϊκά

Σε αυτήν την ενότητα θα ασχοληθούμε με το πώς μπορούμε να φορτίσουμε τα οχήματα μας από μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση η από ανεμογεννήτριες σε κάποιο νησί[19]. Συγκεκριμένα έχοντας τον παρακάτω στόλο οχημάτων:

$EV\{1\}=[1\ 1\ 1\ 1\ 1];$	$EV\{11\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{2\}=[1\ 1\ 1];$	$EV\{12\}=[1\ 1\ 1];$
$EV\{3\}=[1\ 1\ 1\ 1\ 1];$	$EV\{13\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{4\}=[1\ 1];$	$EV\{14\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{5\}=[1\ 1\ 1\ 1\ 1];$	$EV\{15\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{6\}=[1\ 1\ 1];$	$EV\{16\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{7\}=[1\ 1\ 1\ 1];$	$EV\{17\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{8\}=[1\ 1\ 1];$	$EV\{18\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{9\}=[1\ 1\ 1\ 1];$	$EV\{19\}=[1\ 1\ 1\ 1];$
$EV\{10\}=[1\ 1];$	$EV\{20\}=[1\ 1\ 1];$

Ακόμα μας δίνεται η ισχύς που παράγουν τα φωτοβολταϊκά μας κατά το χρονικό διάστημα 12:45-15:55 ανά δεκάλεπτα. Η οποία ισχύς φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

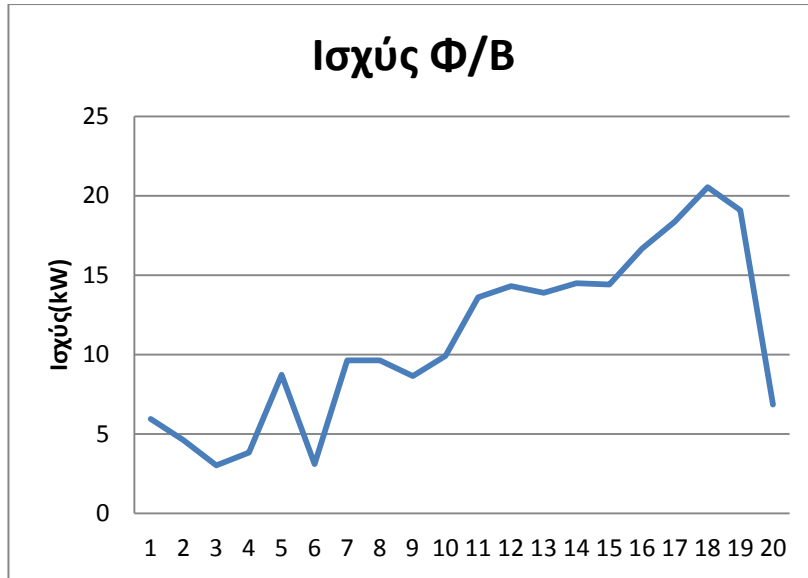
Ισχύς Φ/Β(kW)
23.55635
18.597125
17.357325
17.829625
12.988475
14.995775
13.28365
13.28365
13.87405
10.095575
10.390775
9.091925
8.088275
7.91115
7.43885
6.494225
5.43155
4.191725
3.660375
2.7748



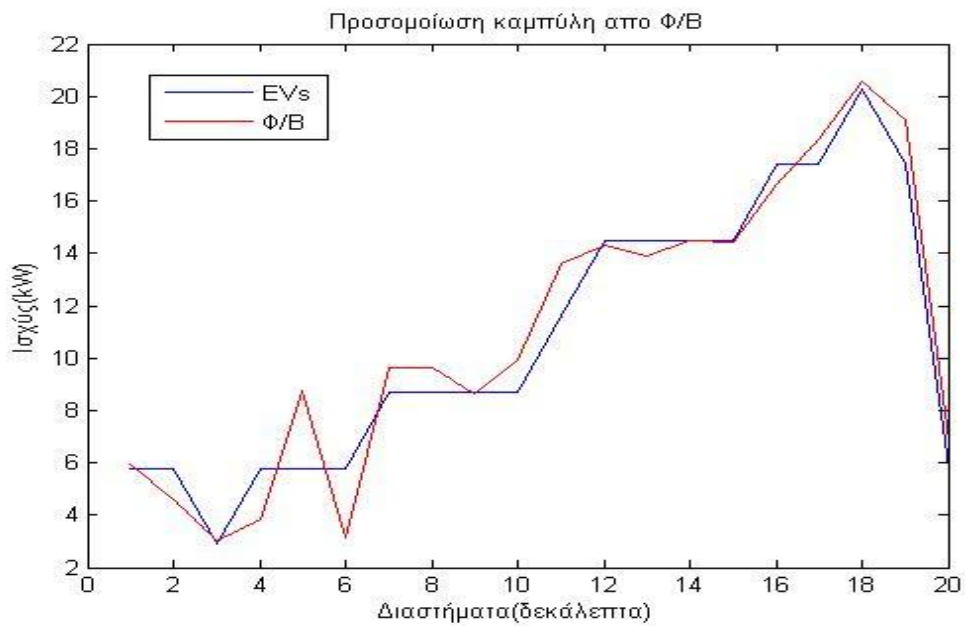
Ο αλγόριθμός μας δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα για την φόρτιση των παραπάνω οχημάτων. Σε αυτή την περίπτωση θα χρησιμοποιήσουμε τον αλγόριθμο με παράλληλη φόρτιση δηλαδή θα μπορούν τα οχήματα να φορτίζουν και τα δύο μαζί στο ίδιο χρονικό διάστημα.



Ισχύς Φ/Β
5.95108
4.62862
3.02278
3.8257
8.7377
3.11724
9.63508
9.63508
8.64324
9.91846
13.60248
14.31094
13.88586
14.49986
14.4054
16.67248
18.37278
20.5454
19.08124
6.84846



Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμος μας δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα:



Και στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πώς τοποθετεί τα οχήματα:



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5.1 Συμπεράσματα

Οι τεχνολογικές εξελίξεις στο τομέα της ηλεκτροκίνησης τα τελευταία χρόνια και ιδιαίτερα στις υποδομές σταθμών φόρτισης έχουν συμβάλει στην ολοένα αυξανόμενη αγορά ηλεκτρικών οχημάτων. Η ενσωμάτωση τους στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την τροποποίηση του προφίλ ζήτησης των δικτύων διανομής λόγω των ενεργειακών αναγκών για την μετακίνησή τους. Το γεγονός αυτό αποτελεί νέα πρόκληση για τους διαχειριστές του συστήματος, μιας και το επιπρόσθετο φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων επηρεάζει την λειτουργία και τον προγραμματισμό των δικτύων. Η ανάπτυξη αλγορίθμων διαχείρισης ηλεκτρικών οχημάτων έχει σκοπό την πλήρη ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών τους χωρίς να διαταράσσεται η ομαλή λειτουργία των δικτύων διανομής και να απαιτείται η αναβάθμισή τους.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε ένας μηχανισμός διαχείρισης της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με χρήση Γενετικού Αλγόριθμου. Σκοπός του αλγορίθμου που αναπτύχθηκε είναι η εξυπηρέτηση της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων βάσει μιας προκαθορισμένης καμπύλης φορτίου. Η προκαθορισμένη αυτή καμπύλη φορτίου μπορεί να αντιπροσωπεύει την διαθέσιμη προβλεπόμενη ισχύ από διεσπαρμένες ανανεώσιμες μονάδες παραγωγής ή τον προγραμματισμό σε επίπεδο αγοράς ενέργειας. Οι μεταβλητές εισόδου του αλγορίθμου είναι οι απαιτούμενες ώρες φόρτισης που χρειάζεται κάθε όχημα προκειμένου να φορτίσει πλήρως καθώς, η ισχύ που προσφέρει το δίκτυο εκείνη την χρονική περίοδο, το ποσοστό επιλογής των χρωμοσωμάτων, το ποσοστό μετάλλαξης, η ισχύς που αντιπροσωπεύει κάθε χρονικό διάστημα στα οχήματα και το χρονικό περιθώριο το οποίο έχουν για να φορτίσουν. Με βάση αυτόν τον αλγόριθμο αναπτύχθηκαν πέντε σενάρια.

Το σενάριο φόρτισης το οποίο απαρτίζεται από δύο οχήματα ανά φορτιστή χωρίς παράλληλη φόρτιση είναι αυτό βάση στο οποίο βασίστηκε ο αλγόριθμός μας. Η φόρτιση των οχημάτων σύμφωνα με αυτό το σενάριο γίνεται χωρίς να μπορούν τα οχήματα να φορτίζουν στο ίδιο χρονικό διάστημα και επομένως προσπαθεί να τα τοποθετήσει βέλτιστα ο αλγόριθμος μας με βάση αυτόν τον περιορισμό. Αυτό το σενάριο έχει εφαρμογή σε οικιακά παρκιν στα οποία μπορεί να μην σηκώνει την φόρτιση δυο οχημάτων παράλληλα.

Το σενάριο φόρτισης στο οποίο τα οχήματα έχουν περιορισμούς είναι το πιο ενδιαφέρον μιας και έχει άμεση σχέση με το τι συμβαίνει στην πραγματικότητα. Σε αυτό το σενάριο υποθέτουμε ότι κάποιοι οδηγοί έχουν αφήσει τα οχήματα τους για φόρτιση και θέλουν να έχουν φορτίσει μέχρι κάποια ορισμένοι ώρα. Σε αυτό το σενάριο, όπως είναι και λογικό, όσα περισσότερα οχήματα θέλουν οι οδηγοί τους

να έχουν φορτίσει πιο νωρίς τόσο μεγαλύτερο σφάλμα θα έχουμε. Δηλαδή στην ουσία αυξάνουμε την ζήτηση στην αρχή και την μειώνουμε στο τέλος. Αυτό δημιουργεί τεράστιο σφάλμα όσο αυξάνονται τα οχήματα με περιορισμό.

Ακόμα, επειδή σε μεγάλους σταθμού φόρτισης θα επιτρέπεται η φόρτιση των οχημάτων παράλληλα δηλαδή στο ίδιο χρονικό διάστημα θα μπορούν να φορτίζουν οχήματα που βρίσκονται στον ίδιο φορτιστή προσομοιάσαμε αυτή την περίπτωση. Στην ουσία στον δυαδικό γενετικό αλγόριθμο εισάγαμε και ένα τρίτο ψηφίο το δύο(2) το οποίο δηλώνει ότι φορτίζουν και τα δύο οχήματα. Αυτό το σενάριο παρουσιάζει μικρότερο σφάλμα σε σχέση με τον αλγόριθμο με δύο οχήματα ανά φορτιστή χωρίς παράλληλη φόρτιση. Όμως όσον αφορά τον χρόνο εκτέλεσης είναι πιο αργός μιας και οι συνδυασμοί πλέον είναι περισσότεροι

Στην συνέχεια επιχειρήσαμε την φόρτιση τριών οχημάτων ανά φορτιστή χωρίς παράλληλη φόρτιση. Σε αυτή την περίπτωση αλλάζει η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου μιας και οι δυνατοί συνδυασμοί είναι περισσότερη. Με αποτέλεσμα ο χρόνος εκτέλεση να είναι πιο αργός.

Τέλος προσομοιάσαμε πώς θα μπορούσε να γίνει η φόρτιση οχημάτων από φωτοβολταϊκά. Συγκεκριμένα θεωρήσαμε ένα στόλο οχημάτων και παρατηρήσαμε πώς αυτό μπορεί να φορτίσει. Αυτό το σενάριο είναι πολύ χρήσιμο διότι γνωρίζοντας την μέση ισχύ που χρειάζονται τα οχήματα, και δεδομένης την ισχύ που παράγουν τα φωτοβολταϊκά βάση στατιστική θα μπορούμε να βρούμε μια στιγμή μέσα στην μέρα φορτίζουν βέλτιστα και πως μπορούμε να τα τοποθετήσουμε ώστε να έχουμε το μικρότερο δυνατό σφάλμα.



## Βιβλιογραφία

- [1] M. Ehsani, Y. Gao, S. Gay, A. Emadi, "Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design (Power Electronics and Applications Series).
- [2] Projeto-MERGE-Electric-Penetration-Scenarios-in-Germany-UK-Spain-Portugal-and-Greece available online at: <http://paginas.fe.up.pt/~ee07155/wp-content/uploads/2012/03/Projeto-MERGE-Electric-Penetration-Scenarios-in-Germany-UK-Spain-Portugal-and-Greece.pdf>
- [3] Electric Vehicle Technology by James Larminie and John Lowry p.30-77
- [4] Merge (Mobile Energy Resources in Grids of Electricity), "Specifications for EV-GRID Interfacing, Communication and smart Metering Technologies including traffic patterns and human behavior descriptions" 24 August 2010.
- [5] Νέγκας Δ., «Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και ο ανεφοδιασμός τους με ηλεκτρική ενέργεια», Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων, Σεπτέμβριος 2011
- [6] Μπελόκας Α.Β., Διπλωματική Εργασία με τίτλο «Ανάλυση της ενσωμάτωσης των διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών οχημάτων ως διασπαρμένων μονάδων αποθήκευσης στα συστήματα διαχείρισης ενέργειας των κτιρίων με χρήση του λογισμικού Gams», Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 2011
- [7] Takafumi Anegawa 'Safety Design of CHAdeMO Quick Charging System' Nov 5-9 2010
- [8] Kempton W., Tomic J. , «Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue», University of Delaware, Newark,, USA, 8 December 2004
- [9] Sebastian Kabisch, Anton Schmitt, Martin Winter, Jorg Heuer 'Interconnections and Communications of Electric Vehicles and Smart Grids'
- [10] Randy L. Haupt, Sue Ellen Haupt 'Practical Genetic Algorithms'
- [11] Yasuyuki Sugii, Katsuhiko Tsujino & Takafumi Nagano, 'A Genetic-Algorithm based scheduling method of charging of electric vehicles'

[12] Claudia P. Arenas Guerrero, Jingshan Li, Stephan Biller and Guoxian Xiao, 'Hybrid/Electric Vehicle Battery Manufacturing: The State-of-the-Art' 6th annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering Marriott Eaton Centre Hotel Toronto, Ontario, Canada, August 21-24, 2010

[13] <http://www.obitko.com/tutorials/genetic-algorithms/crossover-mutation.php>

[14] M. Srinivas and L.M. Patnaik, Fellow IEEE 'Adaptive Probabilities of Crossover Genetic in Mutation and Algorithms

[15] Colorado State University (PI – S.Suryanarayanan; S. Rajopadhye, S. Natarajan) University of Colorado Boulder (PI– S. Sankaranarayanan; E. Chang, D. Grunwald, J. Walz, A. Jain) Colorado School of Mines (J. Giráldez\*; Advisor – S.Suryanarayanan), 'Verifiable Decision-Making Algorithms for Reconfiguration of Electric Microgrids'

[16] Maojing Jin, Ruifeng Shi, Ning Zhang, Yang Li , ' Study on Multi-Level Layout Planning of Electric Vehicle Charging Stations Based on an Improved Genetic Algorithm'

[17] Zhenpo Wang Member IEEE and Shuo Wang,' Grid Power Peak Shaving and Valley Filling Using Vehicle-to-Grid Systems'

[18] N. Leemput, Graduate Student Member, IEEE, F. Geth, Graduate Student Member, IEEE, B. Claessens, J. Van Roy, Graduate Student Member, IEEE, R. Ponnelle and J. Driesen, Senior Member, IEEE, 'A Case Study of Coordinated Electric Vehicle Charging for Peak Shaving on a Low Voltage Grid'

[19] Carlos Ara Bellés 'ELECTRIC VEHICLES CHARGING FROM SURPLUS WIND POWER IN NON-CONNECTED ISLANDS 'p.33

[20] Aoife Foley, Barry Tyther, Patrick Calnan,, Brian Ó Gallachóir 'Impacts of Electric Vehicle charging under electricity market operations'