



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

Ανάπτυξη Διαδικτυακής Εφαρμογής για τη
Βελτιστοποίηση του Εργατικού Δυναμικού
Καταστημάτων Λιανικής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ ΚΟΥΤΣΟΥΡΗ

Επιβλέπων: Βασίλειος Ασημακόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Υπεύθυνος: Ευάγγελος Σπηλιώτης

Διδάκτωρ Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2018



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρικών και Βιομηχανικών Διατάξεων

Ανάπτυξη Διαδικτυακής Εφαρμογής για τη Βελτιστοποίηση του Εργατικού Δυναμικού Καταστημάτων Λιανικής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ ΚΟΥΤΣΟΥΡΗ

Επιβλέπων: Βασίλειος Ασημακόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Υπεύθυνος: Ευάγγελος Σπηλιώτης
Διδάκτωρ Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 13η Ιουλίου 2018.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....
Βασίλειος Ασημακόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2018



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολο-
γιστών
Τομέας Ηλεκτρικών και Βιομηχανικών Διατάξεων

Copyright ©–All rights reserved Αικατερίνη Κουτσούρη, 2018.

Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

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.

Το περιεχόμενο αυτής της εργασίας δεν απηχεί απαραίτητα τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, του Επιβλέποντα, ή της επιτροπής που την ενέκρινε.

(Υπογραφή)

.....

Αικατερίνη Κουτσούρη

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Ηλεκτρονικών Υπολογιστών

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στο σχεδιασμό και την υλοποίηση μιας διαδικτυακής εφαρμογής για τη βελτιστοποίηση του εργατικού δυναμικού σε καταστήματα λιανικής. Η εν λόγω διαδικασία προγραμματισμού είναι ένα ζήτημα το οποίο αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη αξία καθώς οι σύγχρονες επιχειρήσεις επιζητούν την κατά το δυνατό βέλτιστη εξυπηρέτηση των πελατών τους, μειώνοντας παράλληλα τις λειτουργικές τους δαπάνες σε εργατικό δυναμικό.

Λαμβάνοντας υπόψη τη διαφοροποίηση των αναγκών που πιθανώς προκύπτει ανάλογα με τον τομέα δραστηριοποίησης της κάθε επιχείρησης, στην παρούσα εργασία αναλύεται ο κλάδος αλυσιδών καταστημάτων λιανικής πώλησης με την πιλοτική εφαρμογή να αναφέρεται σε μία μεγάλη ελληνική επιχείρηση εμπορίου ηλεκτρικών ειδών. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα που σχεδιάστηκε τροφοδοτείται διαρκώς με ιστορικά δεδομένα και υποδεικνύει το πλήθος των εργαζομένων και τα ωράρια εργασίας τους ανά κατάσταση σε καθημερινή βάση, προβαίνοντας σε αντίστοιχες προτάσεις για τον διαχωρισμό των εργαζομένων ανά ρόλο εργασίας. Παράλληλα, επιτρέπει να γίνονται αλλαγές στο εξαγόμενο αποτέλεσμα, όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο για το χρήστη. Επιπρόσθετα, το σύστημα χρησιμοποιείται και ως εργαλείο στοχοθεσίας από τους αρμόδιους χρήστες, υποστηρίζοντας έτσι τόσο τον βραχυπρόθεσμο όσο και μακροπρόθεσμο προγραμματισμό των ανθρωπίνων ή μη πόρων της επιχείρησης.

Η εργασία παρουσιάζει αναλυτικά το σχεδιασμό και την υλοποίηση της εφαρμογής η οποία ακολουθεί την αρχιτεκτονική του διαδικτύου για τον περιορισμό των δυσκολιών που θα προέκυπταν στην εγκατάσταση αλλά και για την ευκολότερη αξιοποίησή της από χρήστες που δε διαθέτουν τεχνικές γνώσεις. Μέσω των διεπαφών που αναπτύσσονται ο χρήστης μπορεί εύκολα να μελετήσει την πρόταση του συστήματος, να την επεξεργαστεί και να εξάγει συμπεράσματα ως προς την ποιότητά της. Στην εργασία γίνεται ακόμα μία λεπτομερής παρουσίαση των σεναρίων χρήσης από τις καθορισμένες ομάδες χρηστών καθώς και των επιμέρους στοιχείων που την απαρτίζουν.

Λέξεις Κλειδιά

Βελτιστοποίηση Εργατικού Δυναμικού, Προγραμματισμός Βαρδιών, Διαδικτυακή Εφαρμογή, Προβλέψεις

Abstract

The aim of this study is the development and implementation of an online application used for workforce optimization of retail stores. The importance of this procedure, known as rostering, has been increasing during the last years, since recent firms seek to offer the best possible service to their clients combined with reducing the total operating expenses of their workforce.

Considering that firms have different needs arising from the sector that they belong to, this study analyses the retail industry using the pilot application on a leading Greek electrical retailer. Specifically, the developed system uses historical data continuously as input to result in the optimal number of employees, their daily working hours per store as well as in the specific role per employee. Moreover, the application allows the adjustment of the results in case the user finds it necessary. Finally, it can be used as a tool for setting targets contributing in scheduling the short-term and long-term human and other resources.

This study provides a detailed analysis on the scheduling and implication of the application. The application is web-based in order to reduce the potential difficulties arising during its installation and facilitate its usage by employees with no technical knowledge. Through the interfaces, the user can easily elaborate and make conclusions regarding the quality of the application's suggested solution. Finally, this dissertation presents in detail the component parts of the application as well as different scenarios where it is used by the defined user groups.

Keywords

Workforce Optimization, Staff Scheduling, Web-based Application, Forecasting

Ευχαριστίες

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων της Μονάδας Προβλέψεων και Στρατηγικής κατά το ακαδημαϊκό έτος 2017-2018. Η μονάδα υπάγεται στον Τομέα Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Βασίλειο Ασημακόπουλο για την ευκαιρία να συμμετέχω στην ερευνητική δραστηριότητα της μονάδας της ως μέλος της, για τη συνεχή στήριξη και καθοδήγησή του και την ώθηση που μου έδωσε να συνδυάσω τον ευρύτατο τομέα των προβλέψεων με τον τομέα της τεχνολογίας λογισμικού.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω τα μέλη της επιτροπής εξέτασης, τον Καθηγητή κ. Ιωάννη Ψαρρά και τον Καθηγητή κ. Δημήτριο Ασκούνη. Ακόμη, ευχαριστώ θερμά τον Δρ. Βαγγέλη Σπηλιώτη, για την πολύτιμη βοήθειά του στην εκπόνηση αυτής της εργασίας αλλά και για την καθοδήγηση που μου έχει προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια στα πλαίσια της συνεργασίας μας στη Μονάδα Προβλέψεων και Στρατηγικής.

Για την στήριξη της, την καθοδήγηση και τις συμβουλές της θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τη συνεργάτιδά μου Ζαμπέτα Λεγάκη, αλλά και τα υπολοιπα μέλη της μονάδας Προβλέψεων και Στρατηγικής, Ηλέκτρα, Αρτέμη, Χρήστο, Ανδρέα, Νίκη, Φώτη, Αχιλλέα και Φωτεινή. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τους γονείς και τα αδέρφια μου για την αμέριστη συμπαράσταση και ηθική υποστήριξη όλα αυτά τα χρόνια.

Αικατερίνη Κουτσούρη

Περιεχόμενα

Περίληψη	i
Abstract	iii
Ευχαριστίες	v
Περιεχόμενα	ix
1 Εισαγωγή	1
1.1 Προγραμματισμός Εργατικού Δυναμικού	1
1.2 Κατηγορίες Προβλημάτων και Μοντέλων	2
1.3 Η Διαδικασία Προγραμματισμού Βαρδιών	2
1.4 Σχεδιασμός Αρχιτεκτονικής Συστήματος Προγραμματισμού Βαρδιών	4
2 Τεχνικές Προβλέψεων	7
2.1 Γενικά για τις Προβλέψεις	7
2.2 Χαρακτηριστικά Χρονοσειρών	8
2.2.1 Εισαγωγή	8
2.2.2 Αναπαράσταση Χρονοσειρών	9
2.2.3 Ανάλυση Χρονοσειρών	9
2.3 Κατηγορίες Μεθόδων Πρόβλεψης	11
2.3.1 Ποσοτικές Μέθοδοι	11
2.3.1.1 Μέθοδοι Χρονοσειρών	11
2.3.1.2 Μέθοδοι Εξομάλυνσης	12
2.3.1.3 Μέθοδοι Αποσύνθεσης	12
2.3.1.4 Αυτοπαλινδρομικές Μέθοδοι Κινητού Μέσου Όρου (ARIMA)	12
2.3.1.5 Επεξηγηματικές Μέθοδοι	12
2.3.2 Κριτικές Μέθοδοι	13
2.4 Κυριότερες Μέθοδοι Πρόβλεψης	13
2.4.1 Απλοϊκή Μέθοδος Naïve	14
2.4.2 Μέθοδοι Μέσου Όρου	14
2.4.2.1 Απλός Μέσος Όρος	14

2.4.2.2	Κινητός Μέσος Όρος	14
2.4.3	Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση	15
2.4.4	Μέθοδος Αποσύνθεσης	16
2.4.5	Μέθοδοι Εκθετικής Εξομάλυνσης	19
2.4.5.1	Μοντέλο Σταθερού Επιπέδου - Απλή Εκθετική Εξομάλυνση (Simple Exponential Smoothing)	20
2.4.5.2	Μοντέλο Γραμμικής Τάσης (Holt Exponential Smoothing)	21
2.4.5.3	Μοντέλο Μη Γραμμικής Τάσης (Damped)	22
2.4.6	Μοντέλο Theta	24
2.5	Επιλογή Μεθόδου Πρόβλεψης	25
2.6	Συνδιασμοί Μεθόδων Πρόβλεψης	26
2.7	Αξιολόγηση Μεθόδων	26
2.7.1	Βασική Στατιστική Ανάλυση	27
2.7.2	Στατιστική Ανάλυσης Ακρίβειας Προβλέψεων	28
2.7.3	Ρυθμός Ανάπτυξης	30
3	Διαδικασία Προγραμματισμού Εργαζομένων σε Καταστήματα Λιανικής	31
3.1	Περιγραφή Προβλήματος & Πρόταση Μεθοδολογίας	31
3.1.1	Σκοπός Μεθοδολογίας	31
3.1.2	Εμπόδια	32
3.1.3	Σκιαγράφηση Μεθοδολογίας	33
3.2	Υποσύστημα 1 - Καθορισμός Απαιτήσεων σε Full-Time Equivalent	34
3.2.1	Καθορισμός Χαρακτηριστικής Εξίσωσης	35
3.2.2	Βελτιστοποίηση του Λόγου Εργαζομένων - Πελατών	38
3.2.3	Εύρεση Baseline Εργατικού Δυναμικού	40
3.2.4	Scheduling	42
3.3	Υποσύστημα 2 - Προγραμματισμός Βαρδιών	48
3.3.1	Διαδικασία Πρόβλεψης Footfall	48
3.3.2	Rostering	57
4	Σχεδιασμός & Εργαλεία Ανάπτυξης της Εφαρμογής	63
4.1	MySQL & Σχεδιασμός Βάσης Δεδομένων	63
4.2	R Statistical Software	65
4.3	R Shiny Framework και Αντιδραστικός Προγραμματισμός	65
4.3.1	Reactive Sources και Endpoints	66
4.3.2	Reactive Conductors	66
4.3.3	Πλεονεκτήματα Αντιδραστικού Προγραμματισμού	67
4.4	Αρχιτεκτονική Εφαρμογής	68
4.5	Λοιπά Εργαλεία Ανάπτυξης	69
4.5.1	CSS - Javascript	69

4.5.2	PuTTY	70
4.5.3	WinSCP	70
5	Υλοποίηση του συστήματος	71
5.1	Σύνδεση Χρήστη ως Director	72
5.1.1	Ρυθμίσεις Παραμέτρων Μοντέλου	72
5.1.2	Overview Δραστηριότητας Καταστημάτων	75
5.1.3	Προγραμματισμών Πόρων σε Επίπεδο Έτους	77
5.1.4	Εβδομαδιαίος Προγραμματισμός	77
5.1.5	Ημερήσιος Προγραμματισμός	79
5.1.6	Ωριαίος Προγραμματισμός	80
5.1.7	Monitoring Αποτελεσμάτων	81
5.2	Σύνδεση Χρήστη ως Manager	84
5.2.1	Overview Δραστηριότητας Καταστήματος	85
5.2.2	Καρτέλες Προγραμματισμού Εργαζομένων	87
5.2.3	Κατασκευή Ονομαστικού Προγράμματος	88
6	Επίλογος και Δυνατότητες Επέκτασης	91

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Προγραμματισμός Εργατικού Δυναμικού

Ο προγραμματισμός βαρδιών (Rostering) είναι η διαδικασία προετοιμασίας του προγράμματος εργασίας των εργαζομένων μιας εταιρείας, προκειμένου να είναι δυνατή η ικανοποίηση της ζήτησης των αγαθών και υπηρεσιών της (Ερνστ ετ αλ., 2004). Η οργάνωση και κατανομή των εργαζομένων θα πρέπει να ικανοποιεί τον απαιτούμενο αριθμό για την εξυπηρέτηση της πελατείας για κάθε χρονική στιγμή. Γενικότερα, ο προγραμματισμός βαρδιών θεωρείται αρκετά επίπονος καθώς απαιτεί την εύρεση ικανοποιητικών ή ακόμα και των βέλτιστων λύσεων, οι οποίες θα συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση των εξόδων και την ταυτόχρονη ικανοποίηση των πελατών. Αρκετοί οργανισμοί, προκειμένου να ανταποκριθούν στις δυσκολίες αυτές, στηρίζονται στη χρήση εργαλείων υποστήριξης αποφάσεων. Τα συγκεκριμένα εργαλεία συνήθως αφορούν εργαλεία υπολογιστικών φύλλων και προγραμματισμού βαρδιών, τα οποία έχουν αναπτυχθεί μέσω ανάπτυξης ειδικών μαθηματικών μοντέλων και αλγορίθμων.

Τα προαναφερθέντα συνήθως αφορούν:

- τη μελέτη ενός μοντέλου ζήτησης το οποίο συλλέγει και χρησιμοποιεί ιστορικά δεδομένα προκειμένου να παράξει την πρόβλεψη ζήτησης των υπηρεσιών και να υπολογίσει με βάση αυτής τον προαπαιτούμενο αριθμό εργατικού δυναμικού για την κάλυψη των προτύπων υπηρεσιών
- τη μελέτη των απαιτούμενων τεχνικών για την ανάπτυξη εργαλείων προγραμματισμού βαρδιών κατάλληλων τόσο για την ελαχιστοποίηση των εξόδων και την βέλτιστη ικανοποίηση των υπαλλήλων, όσο και για την ανταπόκριση στα εμπόδια που προκύπτουν από τους κανονισμούς στο χώρο εργασίας
- τον ορισμό ενός εργαλείου αναφοράς που προτείνει λύσεις και παρέχει αναφορές σχετικές με την εκτέλεση

Όσον αφορά τα λογισμικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προγραμματισμό των βαρδιών, παρά τη μεγάλη ποικιλία που είναι διαθέσιμη, αδυνατούν να παρέχουν εξίσου βέλτιστες λύσεις σε όλες τις περιπτώσεις. Αντιθέτως, η παροχή βέλτιστων λύσεων είναι εύκολο να επιτευχθεί σε ένα συγκεκριμένο τομέα βιομηχανίας. Από την άλλη, τα λογισμικά που

έχουν σχεδιαστεί για ευρύτερη εφαρμογή εξειδικεύονται κυρίως στην προσφορά χειροκίνητων λειτουργιών με περιορισμένη ικανότητα αυτοματοποίησης του προγραμματισμού βαρδιών.

1.2 Κατηγορίες Προβλημάτων και Μοντέλων

Η κατηγοριοποίηση των προβλημάτων προγραμματισμού βαρδιών συσχετίζεται με το γεγονός ότι η συνολική διαδικασία περιλαμβάνει σε γενικά επίπεδα πληθώρα διαφορετικών ενότητων. Η κάθε μία από τις ενότητες αυτές είναι πιθανό να προϋποθέτει τη χρήση διαφορετικών μοντέλων σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Έτσι στη μελέτη αυτή θα θεωρηθεί ότι ένα εύρος βημάτων απαιτείται για τον προγραμματισμό των βαρδιών.

Στο σημείο αυτό θα ήταν χρήσιμο να αναφερθεί ότι οι ενότητες αυτές αλληλοεπιδρούν με διάφορα πεδία τα οποία δεν σχετίζονται άμεσα με τον προγραμματισμό των βαρδιών, όπως είναι για παράδειγμα οι κοινωνικές και ψυχολογικές επιπτώσεις των διαφορετικών εργατικών μοντέλων. Αρκετές μελέτες σχετικές με το βέλτιστο συνδυασμό και μέγεθος του εργατικού δυναμικού έχουν πραγματοποιηθεί έως σήμερα. Σύμφωνα με αυτές, ο προγραμματισμός των βαρδιών αφορά κυρίως την κατανομή των ρόλων σε ένα δοθέν εργατικό δυναμικό και λιγότερο τη χρήση προσωρινού προσωπικού μερικής εργασίας.

1.3 Η Διαδικασία Προγραμματισμού Βαρδιών

Ο προγραμματισμός βαρδιών μπορεί να θεωρηθεί ως μια σειρά βημάτων, ξεκινώντας με τον καθορισμό του απαιτούμενου προσωπικού και τελειώνοντας με τον προσδιορισμό των απαιτούμενων εργασιών σε ένα χρονικό διάστημα από τον κάθε εργαζόμενο. Για τον προγραμματισμό των βαρδιών, παρόλο που συχνά κρίνεται απαραίτητη η εκπλήρωση των των βημάτων σειριακά, πολλές φορές στην πραγματικότητα, πραγματοποιούνται συνδυαστικά την ίδια χρονική στιγμή, ενώ άλλες φορές δεν απαιτείται η πραγματοποίηση όλων.

Τα βήματα αυτά μπορούν να χωριστούν στις εξής κατηγορίες:

- Μελέτη Μοντέλων Ζήτησης: Η πρώτη ενότητα ανάπτυξης ενός προγράμματος βαρδιών είναι ο καθορισμός του απαιτούμενου αριθμού εργαζομένων σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Οι εργαζόμενοι είναι υπεύθυνοι για την εκτέλεση καθηκόντων τα οποία προκύπτουν από διάφορα περιστατικά κατά τη διάρκεια του προγραμματισμού των βαρδιών. Για παράδειγμα, τέτοια περιστατικά μπορεί να είναι η ζήτηση πληροφοριών από ένα τηλεφωνικό κέντρο.

Έτσι, η μοντελοποίηση της ζήτησης μπορεί να οριστεί ως η διαδικασία εκείνη η οποία αποσκοπεί στην αντιστοίχιση των περιστατικών αυτών με συγκεκριμένα καθήκοντα, τα οποία στη συνέχεια είναι χρήσιμα για τον υπολογισμό της ζήτησης προσωπικού. Στη ζήτηση προσωπικού μπορούν να ενταχθούν οι κάτωθι ευρείες κατηγορίες:

Ζήτηση ανάλογη των καθηκόντων: Στη συγκεκριμένη κατηγορία η ζήτηση προκύπτει από μια σειρά καθηκόντων που θα πρέπει να εκπληρωθούν σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο ή/και περιοχή. Τα αρχικά επίπεδα της ζήτησης προκύπτουν μέσω της

ομαδοποίησης των ανεξάρτητων καθηκόντων και συνεπώς της δημιουργίας μιας σειράς καθηκόντων που μπορούν να εκπληρωθούν από ένα άτομο.

Ευέλικτη ζήτηση: Στην περίπτωση αυτή η χρήση τεχνικών προβλέψεων κρίνεται αναγκαία λόγω των περιορισμένων γνώσεων σχετικών με τα μελλοντικά περιστατικά. Το αποτέλεσμα των προβλέψεων αυτών είναι ο καθορισμός συγκεκριμένου αριθμού εργαζομένων που απαιτείται σε κάθε ημέρα μιας περιόδου και σε κάθε χρονική στιγμή. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εφικτή η καθιέρωση των βαρδιών που χρειάζονται για την κάλυψη της ζήτησης, οι οποίες θα συμβάλλουν στη δημιουργία των αντίστοιχων πεδίων εργασίας.

Ζήτηση ανάλογη των βαρδιών: Στην κατηγορία αυτή, η ζήτηση καθορίζεται άμεσα από τον απαιτούμενο αριθμό υπαλλήλων ανά βάρδια. Η περίπτωση αυτή είναι συνήθης σε διάφορες περιπτώσεις, όπως αυτής της οργάνωσης των νοσοκόμων και περιπολικών.

- Οργάνωση των βαρδιών: Η ενότητα αυτή αφορά την επιλογή των βαρδιών και των εργαζομένων ανά βάρδια, λαμβάνοντας υπόψη έναν σχετικά μεγάλο αριθμό εργαζομένων. Στην περίπτωση της ευέλικτης ζήτησης κρίνεται αναγκαία και η ρύθμιση των διαλειμμάτων λαμβάνοντας υπόψη παράλληλα σχετικούς γενικούς κανονισμούς και κανόνες της ίδιας της επιχείρησης.
- Σχεδιασμός κλάδων εργασίας: Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει τον καθορισμό του πεδίου εργασίας ανά εργαζόμενο, η οποία διαδικασία μπορεί να εξαρτάται συνήθως από τις βάρδιες, τα καθήκοντα ή από τους περιορισμούς της κάθε περίπτωσης. Στην περίπτωση των βαρδιών, γίνεται η ανάθεσή τους ανά εργαζόμενο. Παράλληλα όμως, είναι πιθανή και η ύπαρξη κάποιου περιορισμού, όπως για παράδειγμα η αδυναμία καθιέρωσης συνεχόμενων νυχτερινών βαρδιών μετά από βάρδια της ημέρας.
- Σχεδιασμός καθηκόντων: Ορισμένες φορές κρίνεται απαραίτητη η ανάθεση ποικίλων καθηκόντων σε κάθε βάρδια. Το καθένα από αυτά τα καθήκοντα έχει τις δικές του προϋποθέσεις από δεξιότητες και εργασιακή εμπειρίες.
- Οργάνωση εργαζομένων: Η κατηγορία αυτή αναφέρεται στην ανάθεση ξεχωριστού προσωπικού στα πεδία εργασίας, συνήθως κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού των πεδίων εργασίας.

Οι προαναφερθέντες κατηγορίες αποτελούν ένα γενικό πλαίσιο, για την επίτευξη του οποίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ποικίλα μοντέλα προγραμματισμού βαρδιών. Παρόλα αυτά, η υλοποίηση όλων των παραπάνω μοντέλων είναι πρακτικά αδύνατη παρά το γεγονός ότι αυτό θα συνέβαλε στο βέλτιστο προγραμματισμό. Επομένως, στην πραγματικότητα, γίνεται αποσύνθεση των παραπάνω βημάτων με σκοπό τον ευκολότερο έλεγχό τους στον επιχειρησιακό χώρο. Για παράδειγμα, θεωρώντας ότι οι βάρδιες παραμένουν σταθερές, η ανάθεση των καθηκόντων μπορεί να καθιερωθεί οποιαδήποτε στιγμή πριν την πραγματοποίηση της βάρδιας χωρίς να προκαλούνται ιδιαίτερα σημαντικά προβλήματα. Με λίγα λόγια, θα μπορούσαν τα καθήκοντα να ανατεθούν εκ των προτέρων, και να κατανεμηθούν μία ή δύο μέρες πριν ληφθούν περισσότερες πληροφορίες σχετικές με τα πεδία εργασίας.

Παράλληλα, κρίνεται κρίσιμο να αναφερθεί ότι πολλές φορές η μοντελοποίηση της ζήτη-

σης μπορεί να μεταχειρισθεί ως μία ξεχωριστή ενότητα. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που ο προγραμματισμός των βαρδιών στηρίζεται στον υπολογισμό της ζήτησης βάσει καθηκόντων, η συνάντηση των καθηκόντων μπορεί να επιτευχθεί χωρίς σημαντική μείωση στην ευελιξία όσον αφορά την καθιέρωση των πεδίων εργασίας. Επιπρόσθετα, σε περίπτωση προγραμματισμού των βαρδιών με ευέλικτη ζήτηση είναι πιθανό να προκύψουν μη επιθυμητά σενάρια. Για παράδειγμα, η ζήτηση μπορεί να διαφέρει από ώρα σε ώρα σε ένα κατάστημα, στην περίπτωση που τα καθήκοντα αναθέτονται σε εργαζομένους διαφορετικών ωραρίων (δηλ. είτε εξάωρα είτε οχτάωρα). Έτσι, το μειωμένο διαθέσιμο προσωπικό ορισμένες χρονικές στιγμές προκαλεί την δημιουργία περισσότερων πελατών που δεν έχουν εξυπηρετηθεί και συνεπώς, την αυξημένη ζήτηση τις επόμενες χρονικές στιγμές. Επομένως, η ζήτηση επηρεάζεται άμεσα από τον τρόπο προγραμματισμού των βαρδιών.

1.4 Σχεδιασμός Αρχιτεκτονικής Συστήματος Προγραμματισμού Βαρδιών

Ο σχεδιασμός της αρχιτεκτονικής του συστήματος που σχεδιάζουμε είναι ένα άκρως αναγκαίο βήμα το οποίο πρέπει να γίνει προσεχτικά ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του. Αυτό γίνεται ακόμα πιο εμφανές αν αναλογιστεί κανείς τα εμπόδια του προβλήματος που καλείται να επιλύσει η εφαρμογή. Οι δυσκολίες αυτές αναφέρονται πιο αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο. Η εφαρμογή που σχεδιάστηκε αφορά την αυτοματοποίηση και βελτιστοποίηση της διαδικασίας προγραμματισμού του εργατικού δυναμικού σε καταστήματα λιανικής. Οι χρήστες της εφαρμογής χωρίζονται σε δύο ομάδες, τον Director και τους Managers για τους οποίους περιγράφονται αναλυτικά τα πιθανά σενάρια χρήσης. Παράλληλα παρουσιάζονται οι στοιχειώδεις ενέργειες που γίνονται σε κάθε σενάριο.

Τα σενάρια που αφορούν τον Director εποτελούν:

- Σύνδεση χρήστη ως Director
- Ρυθμίσεις παραμέτρων προγραμματισμού και υπολογισμός βέλτιστου Προγραμματισμού
- Μελέτη συνοπτικής δραστηριότητας καταστημάτων
- Μελέτη και επεξεργασία προγραμματισμού πόρων σε επίπεδο έτους
- Μελέτη και επεξεργασία εβδομαδιαίου προγραμματισμού
- Μελέτη και επεξεργασία ημερήσιου προγραμματισμού
- Μελέτη και επεξεργασία ωριαίου προγραμματισμού
- Έλεγχος αποτελεσμάτων

Τα σενάρια που αφορούν τους Managers εποτελούν:

- Σύνδεση χρήστη ως Manager
- Μελέτη συνοπτικής δραστηριότητας καταστημάτων
- Μελέτη και επεξεργασία εβδομαδιαίου προγραμματισμού
- Μελέτη και επεξεργασία ημερήσιου προγραμματισμού
- Μελέτη και επεξεργασία ωριαίου προγραμματισμού

- Κατασκευή ονομαστικού προγράμματος λειτουργίας

Κατά την περιγραφή του συστήματος και της διαδικασίας ανάπτυξής του, παρουσιάζονται στιγμιότυπα από την οθόνη διεπαφής της εφαρμογής ενώ παράλληλα περιγράφεται ο σχεδιασμός της βάσης δεδομένων που απαιτείται για τη λειτουργία της.

Στην παρούσα εργασία, λαμβάνοντας υπόψη τη φύση του προβλήματος καθώς και την αρχιτεκτονική που περιγράφηκε, χρησιμοποιήθηκαν σύγχρονες τεχνολογίες ανάπτυξης διαδικτυακών εφαρμογών για την υλοποίηση του συστήματος. Δεδομένης της πολυπλοκότητας των μοντέλων που απαιτούνται για την παραγωγή του προγράμματος εργασίας αλλά και της ανάγκης για user-friendly interfaces, οι βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- R για την ανάλυση των δεδομένων και την παραγωγή του αποτελέσματος
- Shiny Framework για την ανάπτυξη των διεπαφών της εφαρμογής αλλά και την υλοποίηση του
- HTML για κάποια στοιχεία του περιεχομένου της εφαρμογής
- CSS για τη μορφοποίηση του περιεχομένου της εφαρμογής
- JavaScript για τον καθορισμό της συμπεριφοράς της εφαρμογής σε κάποιες ενέργειες του χρήστη
- MySQL για την υλοποίηση της βάσης δεδομένων

Παράλληλα έγινε χρήση πολλών πακέτων κώδικα καθώς και κάποιων εξωτερικών πηγών όπως εικόνες. Σκοπός της εφαρμογής όπως αναφέρθηκε είναι η αυτοματοποίηση του προγραμματισμού των εργαζομένων σε δίκτυο καταστημάτων. Λειτουργίες της εφαρμογής όπως η σύνδεση του χρήστη στο σύστημα, η αποσύνδεση, η εισαγωγή δεδομένων από τη βάση και αντίστοιχα η εξαγωγή τους ακολουθούν τη συνηθισμένη λογική υλοποίησης, ωστόσο δημιουργήθηκαν και εξειδικευμένοι αλγόριθμοι για την παραγωγή της τελικής πρότασης, την προετοιμασία των δεδομένων για την εμφάνισή τους στους χρήστες. Τέλος, ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην κατάλληλη επεξεργασία των ήδη υπάρχοντων πακέτων για τη δημιουργία του user interface έτσι ώστε να εξυπηρετεί όσο το δυνατό καλύτερα τη χρήση της εφαρμογής για το σκοπό που σχεδιάστηκε.

Κεφάλαιο 2

Τεχνικές Προβλέψεων

2.1 Γενικά για τις Προβλέψεις

Οι προβλέψεις αποτελούσαν πάντα έναν τομέα αλληλένδετο με την ανθρώπινη φύση. Τόσο σε θέματα καθημερινότητας όσο και σε αποφάσεις που αφορούν τη συλλογική πορεία των ανθρώπων, κάθε άτομο καλείται συνεχώς να πάρει αποφάσεις οι οποίες εμπεριέχουν πολύ έντονα το στοιχείο της αβεβαιότητας. Τέτοιες αποφάσεις, ποικίλλουν ως προς το πόσο σημαντικές είναι. Άλλες είναι απλές και περιορίζονται στο αν κάποιος θα επιλέξει να κουβαλήσει μαζί του μια ομπρέλα, ενώ άλλες αφορούν αν θα πραγματοποιηθεί μια μεγάλη επιχειρηματική επένδυση. Και στις δύο αποφάσεις όμως ο άνθρωπος καλείται να προβλέψει το μέλλον, στην πρώτη περίπτωση θα προβλέψει αν θα βρέξει ενώ στη δεύτερη περίπτωση καλείται να προβλέψει την πορεία της οικονομίας. Η σημασία επομένως των προβλέψεων έχει είναι εμφανής τόσο σε προσωπικό και ακαδημαϊκό επίπεδο όσο και στο επίπεδο της λειτουργίας των σύγχρονων επιχειρήσεων.

Το ενδιαφέρον για τις προβλέψεις πηγάζει κυρίως από την αβεβαιότητα των ανθρώπων για το μέλλον. Είτε πρόκειται για αποφάσεις πολιτικών προσώπων, σημαντικών στελεχών επιχειρήσεων είτε για προσωπικές αποφάσεις της καθημερινότητας των ανθρώπων, όλοι μας βρισκόμαστε αντιμέτωποι με την αβεβαιότητα. Αυτή περιλαμβάνει όχι μόνο μικρές διαφοροποιήσεις από τη συνήθη πορεία των γεγονότων, αλλά απρόβλεπτα γεγονότα τα οποία αλλάζουν ριζικά την πορεία των πραγμάτων. Η αβεβαιότητα λοιπόν μπορεί να κατηγορηθεί ως ο πιο σημαντικός εχθρός της επιστήμης των προβλέψεων και έχει μελετηθεί αναλυτικά από τον καθηγητή Σπύρο Μακρυδάκη στο βιβλίο «Χορεύοντας με την Τύχη». Σε αυτό αναφέρονται μάλιστα δύο ξεχωριστά είδη αβεβαιότητας, τα οποία ονομάζει «αβεβαιότητα του μετρώ» και «αβεβαιότητα της καρύδας» αντίστοιχα. Όσον αφορά την «αβεβαιότητα του μετρώ», αυτή αναφέρεται σε μικρές τυχαίες διακυμάνσεις της καθημερινότητας. Η ονομασία της κατηγορίας αυτή προήλθε από το συχνό φαινόμενο της καθυστέρησης συρμών του μετρώ μεταξύ σταθμών λόγω αναπάντεχων παραγόντων όπως τεχνικών προβλημάτων, απεργίας ή πολυκοσμίας το οποίο όμως δεν έχει σημαντικές επιπτώσεις στις ζωές των ανθρώπων. Αντίθετα, ο χαρακτηρισμός της άλλης κατηγορίας αβεβαιότητας με τον όρο «αβεβαιότητα της καρύδας», προέρχεται από το εντελώς απρόσμενο και σπάνιο γεγονός να πέσει μια καρύδα στο κεφάλι

ενός περαστικού. Γεγονότα που εμπίπτουν στην κατηγορία της αβεβαιότητας της καρύδας, έχουν ως αποτέλεσμα σημαντικές επιπτώσεις οι οποίες είναι δύσκολο τόσο να προβλεφθούν, όσο και να αξιολογηθούν ως προς τις επιδράσεις τους.

Η επιστήμη των προβλέψεων δέχεται συχνά κριτικές για την αδυναμία των σύγχρονων μεθόδων πρόβλεψης, κυρίως λόγω γεγονότων που εντάσσονται στην κατηγορία της αβεβαιότητας της καρύδας και συχνά ο κλάδος αντιμετωπίζεται με καχυποψία. Φυσικά το γεγονός αυτό έρχεται σε αντιπαράθεση με την όλο και αυξανόμενη ανάγκη για παραγωγή προβλέψεων, ιδίως στο σύγχρονο επιχειρησιακό περιβάλλον το οποίο χαρακτηρίζεται από αστάθεια, ασυνέχεια και απρόβλεπτες και απότομες αλλαγές. Στο πλαίσιο της σύγχρονης αυτής ανάγκης στηρίζεται και η παρούσα εργασία, η οποία ασχολείται με την παραγωγή προβλέψεων εισόδου πελατών σε καταστήματα και εν συνεχεία την αξιοποίηση του παραγόμενου αποτελέσματος για τη βελτιστοποίηση του Rostering σε καταστήματα λιανικής.

2.2 Χαρακτηριστικά Χρονοσειρών

2.2.1 Εισαγωγή

Προκειμένου να είναι εφικτή η στατιστική ανάλυση μίας μεταβλητής αλλά και να διεξαχθεί μία όσο το δυνατόν πιο ακριβής πρόβλεψη, απαραίτητο βήμα είναι η συλλογή και οργάνωση στοιχείων της μεταβλητής αυτή. Τα στοιχεία αυτά θα πρέπει να είναι όσο πιο έγκυρα και επικαιροποιημένα είναι δυνατόν ώστε να επιτευχθούν όσο το δυνατόν πιο σωστή πρόβλεψη.

Γενικότερα, τα διάφορα είδη δεδομένων μπορούν να ενταχθούν σε δύο ευρύτερες κατηγορίες: στις χρονοσειρές (time series) και στα διαστρωματικά στοιχεία (cross-sectional data). Οι χρονοσειρές αφορούν διαχρονικές παρατηρήσεις μίας συγκεκριμένης μεταβλητής, ενώ τα διαστρωματικά στοιχεία αναφέρονται σε παρατηρήσεις της ίδιας χρονικής στιγμής για διάφορες μεταβλητές

Στην υποενότητα αυτή θα γίνει λεπτομερής ανάλυση της πρώτης κατηγορίας, ώστε να γίνει περισσότερη κατανοητή τόσο η έννοια της χρονοσειράς όσο και η αναπαράσταση και τα χαρακτηριστικά της.

Οι χρονοσειρές αποτελούν ένα σύνολο διαχρονικών παρατηρήσεων μίας συγκεκριμένης μεταβλητής. Στα πλαίσια της έννοιας αυτής, εντάσσονται δύο υποκατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι οι ντετερμινιστικές παρατηρήσεις, στις οποίες υπάρχει μια σχέση ανάμεσα στις παρατηρήσεις. Οι εξαρτημένες αυτές παρατηρήσεις θα χρησιμοποιηθούν ώστε να παραχθούν οι μελλοντικές τιμές της μεταβλητής. Στη δεύτερη κατηγορία εντάσσονται οι στοχαστικές χρονοσειρές. Σε αντίθεση με τις ντετερμινιστικές, οι στοχαστικές χρονοσειρές ακολουθούν μια στοχαστική διαδικασία και επομένως, οι μελλοντικές τιμές τους δεν μπορούν να ερμηνευτούν πλήρως από αυτές.

Στην πραγματικότητα, οι περισσότερες χρονοσειρές ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία, καθώς οι μελλοντικές τιμές των μεταβλητών της πλειοψηφίας των χρονοσειρών εξαρτώνται κυρίως από τυχαίους παράγοντες και λιγότερο από τις παρελθοντικές του τιμές. Ο πλήρης διαχωρισμός βέβαια ανάμεσα στις δύο κατηγορίες δεν είναι πάντα προφανής. Παρόλα αυτά,

η κατηγοριοποίηση των χρονοσειρών κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη για την αναγνώριση και την καλύτερη κατανόηση των παραγόντων εκείνων που επηρεάζουν τη χρονοσειρά.

2.2.2 Αναπαράσταση Χρονοσειρών

Έχοντας κατανοήσει την έννοια της χρονοσειράς, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η αύξηση του μεγέθους των ιστορικών χρονολογικών παρατηρήσεων της χρονοσειράς, ή αλλιώς των ιστορικών δεδομένων της, συντελεί και σε αυξημένη δυσκολία κατανόησης και ανάλυσης της. Το φαινόμενο αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό παίρνοντας σαν παράδειγμα τις ιστορικές ανά λεπτό τιμές μίας ή περισσότερων μετοχών στο Χρηματιστήριο.

Είναι, λοιπόν, προφανές ότι η δισδιάστατη γραφική αναπαράστασή τους θα συνέβαλλε σημαντικά στο να είναι ευκολότερη η μελέτη των δεδομένων. Οι κυριότεροι τύποι γραφημάτων για την αναπαράσταση χρονοσειρών είναι οι ακόλουθοι:

- Διαγράμματα Χρόνου (Time Plots): Τα διαγράμματα χρόνου είναι το πλέον χρησιμοποιούμενο διάγραμμα, εφόσον απεικονίζει τις τιμές μίας μεταβλητής στην πάροδο του χρόνου. Λόγω της ευκολίας στην κατανόησης και αναπαράστασης των δεδομένων, τα διαγράμματα χρόνου είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα στο χώρο των επιχειρήσεων (π.χ. για την αναπαράσταση των πωλήσεων ή των εξαγωγών/εισαγωγών) όπως επίσης και των Χρηματιστηρίων (π.χ. αναπαράσταση των ιστορικών τιμών μίας μετοχής) και της στατιστικής (π.χ. αναπαράσταση κοινωνικών, πολιτικών και δημογραφικών δεδομένων). Μέσω της χρήσης τους είναι παράλληλα εφικτή η παρατήρηση βασικών χαρακτηριστικών των χρονοσειρών, όπως είναι για παράδειγμα η τάση (time trend) και η εποχικότητα (seasonality).
- Εποχιακά Διαγράμματα (Seasonal Plots): Όπως προδίδει και το όνομα της κατηγορίας αυτής, τα εποχιακά διαγράμματα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για χρονοσειρές αυτές που εμφανίζουν ιδιαίτερη εποχικότητα. Για παράδειγμα, ένα χρονοδιάγραμμα θα μπορούσε να εμφανίζει τις πωλήσεις μια εταιρείας εποχιακών ειδών κατά τη διάρκεια ενός χρόνου.
- Διαγράμματα Διασποράς (Scatter Plots): Τα διαγράμματα διασποράς ενδείκνυνται στις περιπτώσεις που απαιτείται η σύγκριση μεταξύ δύο διαφορετικών μεγεθών ή χαρακτηριστικών που αφορούν τα δεδομένα αυτά. Για παράδειγμα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών προϊόντων ή υπηρεσιών μιας εταιρείας.

Μέσω της οπτικοποίησης των ιστορικών δεδομένα διευκολύνεται ιδιαίτερα η εύρεση ακραίων και ιδιαίτερων τιμών καθώς και η αναγνώριση και ανάλυση των βασικών ποιοτικών χαρακτηριστικών μιας χρονοσειράς, τα οποία περιγράφονται στην υποενότητα που ακολουθεί.

2.2.3 Ανάλυση Χρονοσειρών

Παρά την αναφορά σε μερικά από τα κυριότερα χαρακτηριστικά των χρονοσειρών παραπάνω, κρίνεται απαραίτητο στο σημείο αυτό να αναλυθούν λεπτομερώς τα όλα βασικά συστατικά τους: της τάσης, της εποχικότητας, της κυκλικότητας και των μη κανονικών διακυμάνσεων. Μέσω της προσέγγισης αυτής διευκολύνεται ιδιαίτερα η ανάλυση της κάθε χρονοσειράς στα

επιμέρους στοιχεία της και επομένως η καλύτερη διαχείρισή τους με την καταλληλότερη για κάθε περίπτωση μέθοδο.

Αρχικά, λοιπόν, η τάση αναφέρεται στην μεταβολή του μέσου επιπέδου των τιμών μιας χρονοσειράς μακροπρόθεσμα. Η τάση αυτή μπορεί να είναι ανοδική, πτωτική ή σταθερή και μπορεί να γίνει αντιληπτή με μία ευθεία γραμμή ή κάποιου είδους καμπύλης. Ο χαρακτηρισμός μιας μεταβολής ως μακροπρόθεσμης εξαρτάται από την εκάστοτε περίπτωση, δηλαδή τη φύση των ιστορικών δεδομένων. Παρόλα αυτά, κοινή προϋπόθεση σε όλες τις περιπτώσεις είναι η ύπαρξη όσων το δυνατό περισσότερων ιστορικών δεδομένων, ώστε να διεξαχθούν σωστά συμπεράσματα σχετικά με τη τάση.

Το δεύτερο βασικό στοιχείο των χρονοσειρών είναι η εποχικότητα, η οποία χαρακτηρίζεται ως μια περιοδική διακύμανση σταθερού και μικρότερου (ή ίσου) μήκους από ένα έτος. Παράδειγμα αποτελούν οι αυξημένες πωλήσεις παγωτών κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου καθώς και ο αυξημένος αριθμός επιβατών αεροπλάνων κατά τη διάρκεια περιόδων γιορτών. Οι επιπτώσεις της εποχικότητας στα δεδομένα επαναλαμβάνονται στην πάροδο του χρόνου στα ίδια χρονικά διαστήματα και με τις ίδιες ποσοστιαίες αλλαγές. Επομένως, τόσο η αναγνώριση όσο και η αντιμετώπιση της κρίνεται σχετικά εύκολη. Προκειμένου να επιτευχθεί η αντιμετώπισή της, μπορούν να υπολογιστούν δείκτες εποχικότητας για τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα και έπειτα να διαιρεθούν με τα πραγματικά δεδομένα. Αποτέλεσμα είναι η δημιουργία μιας νέας χρονοσειράς η οποία ονομάζεται αποεποχικοποιημένη.

Το τρίτο στοιχείο των χρονοσειρών είναι η κυκλικότητα, η οποία ορίζεται ως μια μεταβολή που προκαλείται κατά περιόδους, ως αποτέλεσμα εξωγενών κυρίως περιόδων. Σε αντίθεση με την εποχικότητα, το μήκος των περιόδων εμφάνισης κυκλικότητας είναι μεγαλύτερο από ένα έτος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα στο οποίο υπάρχει κυκλικότητα είναι στις οικονομικές χρονοσειρές (π.χ. στις τιμές των μετοχών και του πετρελαίου), καθώς στις περισσότερες αυτές κύριο χαρακτηριστικό είναι η ύπαρξη διαδοχικών ανόδων και υφέσεων σε διεθνές και παγκόσμιο επίπεδο. Επομένως, η βασική διαφορά μεταξύ της εποχικότητας και της κυκλικότητας είναι το γεγονός ότι, παρόλο που και τα δύο αναφέρονται στην επανάληψη ενός μοτίβου, η εποχικότητα έχει συχνότητα μέρας, εβδομάδας ή μήνα, ενώ η κυκλικότητα πενταετίας, δεκαετίας ή ακόμα και περισσότερο.

Τέλος, ως μη κανονικές διακυμάνσεις (ή αλλιώς ασυνέχειες) χαρακτηρίζονται οι παρατηρήσεις εκείνες που προκαλούν απότομες αλλαγές στη γραφική αναπαράσταση των χρονοσειρών και επομένως, η πρόβλεψη των αλλαγών τους είναι αδύνατη με τη χρήση μόνο των ιστορικών δεδομένων. Οι αλλαγές αυτές μπορεί να είναι είτε παροδικές είτε μόνιμες. Στην πρώτη περίπτωση, οι αλλαγές ονομάζονται *Outliers* ή *Special Events* και αποτελούν αποτέλεσμα κάποιου εξαιρετικού ή απρόβλεπτου γεγονότος. Για το λόγο αυτό, προκειμένου να αναγνωριστούν, κρίνεται αναγκαία τόσο η γνώση της μεταβλητής σε θεωρητικό επίπεδο όσο και η κριτική ικανότητα του αναλυτή. Στην δεύτερη περίπτωση, οι αλλαγές ονομάζονται *Level Shifts*. Χαρακτηριστικό παράδειγμα των *Special Events* είναι η αύξηση των πωλήσεων μιας εταιρείας λόγω μιας πετυχημένης διαφήμισης, ενώ όσον αφορά τις *Level Shifts* παράδειγμα αποτελεί η μείωση των πωλήσεων λόγω της εισόδου νέων ανταγωνιστών, γεγονός που θα προκαλέσει την σταθεροποίηση των πωλήσεων σε χαμηλότερο επίπεδο.

2.3 Κατηγορίες Μεθόδων Πρόβλεψης

Οι διάφορες τεχνικές προβλέψεων μπορούν να ενταχθούν σε τρεις ευρύτερες κατηγορίες:

- Ποσοτικές (Quantitative)
- Κριτικές (Judgemental)
- Τεχνολογικές (Technological)

Προκειμένου να γίνουν κατανοητά τα χαρακτηριστικά της καθεμίας, στην ενότητα αυτή οι παραπάνω μέθοδοι θα δοθεί αναλυτική περιγραφή της κάθε κατηγορίας.

2.3.1 Ποσοτικές Μέθοδοι

Κύριο χαρακτηριστικό των ποσοτικών μεθόδων είναι ότι απαιτείται η ποσοτικοποίηση των δεδομένων ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή των προβλέψεών τους, ενώ παράλληλα τα ιστορικά δεδομένα θα πρέπει να διατηρούν το πρότυπο συμπεριφοράς τους. Οι δύο μεγάλες κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται οι ποσοτικές μέθοδοι είναι οι μέθοδοι χρονοσειρών, αποσύνθεσης, εξομάλυνσης, οι αυτοπαλινδρομικές μέθοδοι κινητού μέσου όρου (ARIMA) και τέλος οι επεξηγηματικές (αιτιοκρατικές) μέθοδοι.

2.3.1.1 Μέθοδοι Χρονοσειρών

Ένα από τα πιο διαδεδομένα είδη ποσοτικών μεθόδων είναι αυτό των χρονοσειρών. Η βασική υπόθεση στην οποία στηρίζεται το μοντέλο είναι ότι η μεταβολή της τιμής ενός μεγέθους ακολουθεί ένα λανθάνον πρότυπο το οποίο αναγνωρίζεται μονοσήμαντα με βάση τα δεδομένα και ενώ παράλληλα επαναλαμβάνεται και παραμένει στο μέλλον όσο το δυνατό πιο σταθερό. Επομένως, οι προβλέψεις παράγονται μέσω της ανίχνευσης του προτύπου των παρελθοντικών τιμών και της επέκτασής του στο μέλλον. Το πόσο ακριβείς θα είναι οι προβλέψεις εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον πλήθος των ιστορικών δεδομένων που είναι διαθέσιμα, εφόσον η ύπαρξη περισσότερων δεδομένων συμβάλλει σε καλύτερο εντοπισμό του προτύπου συμπεριφοράς.

Ο τρόπος λειτουργίας του μοντέλου χρονοσειρών μπορεί να γίνει κατανοητός με το παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.1: Μοντέλο Χρονοσειρών

Σύμφωνα με το σχήμα (1), τα ιστορικά δεδομένα X αποτελούν την είσοδο στο μοντέλο πρόβλεψης, το οποίο αναπαρίσταται από τη συνάρτηση f ώστε να παραχθεί η πρόβλεψη Y .

2.3.1.2 Μέθοδοι Εξομάλυνσης

Σκοπός της μεθόδου εξομάλυνσης είναι η διάκριση του βασικού προτύπου εξομαλύνοντας τα ιστορικά δεδομένα. Η μέθοδος εξομάλυνσης συνίσταται για την παραγωγή βραχυπρόθεσμων προβλέψεων. Επιπλέον, η ευρεία κατηγορία της μεθόδου εξομάλυνσης περιλαμβάνει δύο υποκατηγορίες των οποίων η διαφορά βρίσκεται στην βαρύτητα των παρελθοντικών τιμών της μεταβλητής. Η πρώτη κατηγορία ονομάζεται μέθοδος κινητού μέσου, στην οποία οι παρελθοντικές τιμές έχουν ίση βαρύτητα στον υπολογισμό της πρόβλεψης. Η δεύτερη κατηγορία ονομάζεται μέθοδος εκθετικής εξομάλυνσης, στην οποία οι συντελεστές βαρύτητας αυξάνεται εκθετικά όσο πιο πρόσφατη είναι η τιμή των δεδομένων.

2.3.1.3 Μέθοδοι Αποσύνθεσης

Σκοπός της μεθόδου αποσύνθεσης είναι η απομόνωση των βασικών χαρακτηριστικών των χρονοσειρών, δηλαδή της εποχικότητας, της τάσης, της τυχαιότητας και του κύκλου. Στην ευρύτερη μέθοδο αποσύνθεσης εντάσσονται οι εξής υποκατηγορίες:

- Σταθερή Προσθετική Μέθοδος (Fixed Additive Method)
- Σταθερή Πολλαπλασιαστική Μέθοδος (Fixed Multiplicative Method)
- Κινητή Προσθετική Μέθοδος (Moving Additive Method)
- Κινητή Πολλαπλασιαστική Μέθοδος (Moving Multiplicative Method)

Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής γίνεται η χρήση της κινητής πολλαπλασιαστικής μεθόδου.

2.3.1.4 Αυτοπαλινδρομικές Μέθοδοι Κινητού Μέσου Όρου (ARIMA)

Μία ακόμα μέθοδος είναι η αυτοπαλινδρομική κινητού μέσου όρου, στην οποία οι τιμές της χρονοσειράς στις διάφορες χρονικές στιγμές παρουσιάζουν μία αλληλεξάρτηση. Πρόκειται για στοχαστικά μαθηματικά μοντέλα των οποίων ο σκοπός είναι να περιγράψουν τη διαχρονική εξέλιξη ενός φυσικού μεγέθους. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που περιλαμβάνονται στο συγκεκριμένο μοντέλο είναι ο τυχαίος παράγοντας, οι παρελθοντικές τιμές του μεγέθους καθώς και άλλοι στοχαστικοί παράγοντες.

2.3.1.5 Επεξηγηματικές Μέθοδοι

Σκοπός της μεθόδου εξομάλυνσης είναι η διάκριση του βασικού προτύπου εξομαλύνοντας τα ιστορικά δεδομένα. Η μέθοδος εξομάλυνσης συνίσταται για την παραγωγή βραχυπρόθεσμων προβλέψεων. Επιπλέον, η ευρεία κατηγορία της μεθόδου εξομάλυνσης περιλαμβάνει δύο υποκατηγορίες των οποίων η διαφορά βρίσκεται στην βαρύτητα των παρελθοντικών τιμών της μεταβλητής. Η πρώτη κατηγορία ονομάζεται μέθοδος κινητού μέσου, στην οποία οι παρελθοντικές τιμές έχουν ίση βαρύτητα στον υπολογισμό της πρόβλεψης. Η δεύτερη κατηγορία ονομάζεται μέθοδος εκθετικής εξομάλυνσης, στην οποία οι συντελεστές βαρύτητας αυξάνεται εκθετικά όσο πιο πρόσφατη είναι η τιμή των δεδομένων.

2.3.2 Κριτικές Μέθοδοι

Στις ποσοτικές μεθόδους πρόβλεψης εντάσσονται όπως αναφέρθηκε οι στατιστικές μέθοδοι. Χαρακτηριστικό τους είναι η ιδιότητά τους να αναγνωρίζουν πρότυπα που υπάρχουν στις χρονοσειρές τα οποία επιτρέπουν και την προέκτασή τους. Για να γίνει αυτό ωστόσο, γίνεται μια βασική παραδοχή. Συγκεκριμένα, υποθέτουμε ότι το πρότυπο αυτό που ανιχνεύεται από τις στατιστικές μεθόδους θα συνεχίσει να ισχύει και το μέλλον. Αυτό φυσικά δε συμβαίνει πάντα σε όλα τα προβλήματα για τα οποία καλούμαστε να παράγουμε προβλέψεις. Συχνά συμβαίνουν αλλαγές οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα να μην παρατηρείται πλέον το πρότυπο που έχει εντοπιστεί. Όσο γρηγορότερα και όσο πιο αποτελεσματικά εντοπίζονται αυτές οι αλλαγές, τόσο καλύτερο είναι και το τελικό αποτέλεσμα. Τέτοιες μεταβολές συχνά, προκειμένου να αναγνωριστούν, κρίνεται απαραίτητη η ανθρώπινη κριτική ικανότητα η οποία συχνά αποτελεί το μοναδικό τρόπο να εκτιμηθεί η επίδραση των αλλαγών αυτών στις προβλέψεις. Συνοψίζοντας, οι κριτικές μέθοδοι, οι οποίες χρησιμοποιούνται πολύ συχνά σε επιχειρήσεις και οργανισμούς, εμπεριέχουν δεδομένα που προκύπτουν από την ανθρώπινη διαίσθηση, κρίση και συσσωρευμένη γνώση. Η πρόβλεψη μέσω αυτών μπορεί να βασίζεται είτε στις γνώσεις και την κρίση ενός ατόμου (ατομικές μέθοδοι) είτε στο συνδυασμό απόψεων των μελών κάποιας επιτροπής (μέθοδοι επιτροπής).

2.4 Κυριότερες Μέθοδοι Πρόβλεψης

Για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, υπάρχει μια πληθώρα μεθόδων πρόβλεψης χρονοσειρών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν. Προκειμένου να υλοποιηθεί το σύστημα που ζητάμε, η επιλογή των μεθόδων πρόβλεψης θα πρέπει να βασίζεται σε ορισμένες προϋποθέσεις. Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής οι προϋποθέσεις αυτές είναι οι ακόλουθες:

1. Η μέθοδος θα πρέπει να βασίζεται σε καλά ορισμένη μαθηματική σχέση ώστε να είναι εφικτή η υλοποίηση της στον κώδικα
2. Η μέθοδος να χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρή πολυπλοκότητα ώστε να μπορεί να υλοποιηθεί από την συσκευή στη οποία θα εγκατασταθεί. Επομένως, οι πόροι της συσκευής θα πρέπει να είναι επαρκείς ώστε να στηρίζουν την εγκατάσταση της

Λαμβάνοντας, λοιπόν, υπόψη τις παραπάνω προϋποθέσεις εξετάζουμε τις παρακάτω μεθόδους:

- Απλοϊκή μέθοδος (Naïve Method)
- Απλή γραμμική παλινδρόμηση (Simple Linear Regression - SLR)
- Μέθοδος αποσύνθεσης (Decomposition Method)
- Απλή εκθετική εξομάλυνση (Simple Exponential Smoothing - SES)
- Εκθετική Εξομάλυνση Γραμμικής Τάσης (Holt Exponential Smoothing)
- Εκθετική Εξομάλυνση Μη Γραμμικής Τάσης (Damped Exponential Smoothing)
- Κλασική μέθοδος (Theta)

Στην ενότητα αυτή οι παραπάνω μέθοδοι θα περιγραφούν αναλυτικά.

2.4.1 Απλοϊκή Μέθοδος Naive

Η απλοϊκή μέθοδος, όπως προδίδει και το όνομά της, αποτελεί την πιο απλή μέθοδο πρόβλεψης και το σημείο αναφοράς για όλες τις άλλες μεθόδους πρόβλεψης. Συγκεκριμένα, η πρόβλεψη της επόμενης χρονικής περιόδου $t + 1$ είναι ίση με την τελευταία γνωστή παρατήρηση της χρονικής στιγμής t . Χαρακτηρίζεται από καλή απόδοση για προβλέψεις μιας περιόδου μπροστά εφόσον οι δύο προαναφερθείσες παρατηρήσεις δεν διαφέρουν σημαντικά. Παρόλα αυτά οι προβλέψεις της δεν είναι ακριβείς και αυτός είναι ένας από τους κύριους λόγους που χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς για τις υπόλοιπες μεθόδους. Η απλοϊκή μέθοδος περιγράφεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$F_{t+1} = Y_t \quad (2.4.1)$$

Όπου F_{t+1} η πρόβλεψη για την περίοδο $t + 1$ και Y_t η τελευταία γνωστή παρατήρηση της χρονικής στιγμής t .

2.4.2 Μέθοδοι Μέσου Όρου

Πέρα της χρησιμότητάς τους στην εξομάλυνση ιστορικών δεδομένων, οι μέθοδοι μέσου χρησιμοποιούνται επίσης και ως τεχνικές προβλέψεων χρονοσειρών. Δύο από αυτές είναι ο απλός και ο κινητός μέσος όρος. Παρακάτω θα αναπτυχθεί αναλυτικά ο τρόπος υπολογισμού τους.

2.4.2.1 Απλός Μέσος Όρος

Η πρόβλεψη χρονοσειρών με τη μέθοδο του απλού μέσου όρου βασίζεται σε ένα σύνολο των παρατηρήσεων του δείγματος, το μέγεθος του οποίου καθορίζεται στην αρχή της πρόβλεψης. Ο μέσος όρος των παρατηρήσεων θα χρησιμοποιηθεί ως πρόβλεψη για την επόμενη χρονική στιγμή $t + 1$. Η μέθοδος του απλού μέσου όρου περιγράφεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$F_{t+1} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t Y_i \quad (2.4.2)$$

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι βασίζεται σε μεγάλο όγκο δεδομένων με ίσα βάρη (equal weighted), η μέθοδος του απλού μέσου όρου ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου οι χρονοσειρές έχουν σταθεροποιηθεί στην πάροδο του χρόνου και δεν χαρακτηρίζονται από εποχικότητα.

2.4.2.2 Κινητός Μέσος Όρος

Ένας εναλλακτικός τρόπος χρήσης της μεθόδου του μέσου όρου είναι η επιλογή ορισμένου μήκους των παρατηρήσεων (λενγτη) που θα χρησιμοποιηθούν στο υπολογισμό του. Με τον τρόπο αυτό ο μέσος όρος θα ανανεώνεται συνεχώς εφόσον θα περιλαμβάνει τη παρατήρηση που

θα είναι διαθέσιμη κάθε χρονική στιγμή. Ο αριθμός των παρατηρήσεων που περιλαμβάνονται στον μέσο όρο παραμένει σταθερός. Αλγεβρικά, ο κινητός μέσος όρος μπορεί να εκφραστεί με την ακόλουθη σχέση:

$$F_{t+1} = \frac{1}{k} \sum_{i=t-k+1}^t Y_i \quad (2.4.3)$$

Όπου F_{t+1} η πρόβλεψη για την περίοδο $t + 1$, Y_i η γνωστή παρατήρηση της χρονικής στιγμής i και k ο αριθμός των παρατηρήσεων.

Συγκρίνοντας τις σχέσεις (2.4.2) και (2.4.3) γίνεται κατανοητό ότι το πλεονέκτημα της χρήσης του κινητού μέσου όρου ότι κάθε χρονική στιγμή δίνει έμφαση στις πιο πρόσφατες ίσου αριθμού παρατηρήσεις για τον υπολογισμό της πρόβλεψης. Παρόλα αυτά θα πρέπει να σημειωθεί ότι ένα μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι προϋποθέτει μεγαλύτερο χώρο αποθήκευσης εφόσον απαιτεί τη χρήση των προηγούμενων παρατηρήσεων κι όχι απλά των προηγούμενων μέσων όρων.

Εν κατακλείδι, τόσο η μέθοδος του απλού όσο και του κινητού μέσου όρου αδυνατούν να λάβουν υπόψη μερικά από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των χρονοσειρών, όπως είναι η τάση και η εποχικότητα. Για το λόγο αυτό, τα συγκεκριμένα μοντέλα χρησιμοποιούνται κυρίως για την εξάλειψη τέτοιων χαρακτηριστικών από τις χρονοσειρές και λιγότερο για την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών τους.

2.4.3 Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Η μέθοδος της απλής γραμμικής παλινδρόμησης βασίζεται στην υπόθεση ότι δυο μεταβλητές Y (εξαρτημένη μεταβλητή) και X (ανεξάρτητη μεταβλητή) συνδέονται με μία γραμμική σχέση. Επομένως, η μεταβλητή Y μπορεί να εκφραστεί μέσω της μεταβλητής X μέσω μιας ευθείας γραμμής:

$$Y = a + bX + \epsilon \quad (2.4.4)$$

Όπου a είναι ο σταθερός όρος και b η κλίση της ευθείας. Ο όρος ϵ ονομάζεται διαταραχτικός ή σφάλμα (error term) εκφράζει την απόκλιση της μεταβλητής Y από την ευθεία (2.4.4). Η ύπαρξη του σφάλματος οφείλεται στο γεγονός ότι η μεταβλητή Y δεν ερμηνεύεται απόλυτα από την μεταβλητή X , δηλαδή η μεταβλητή X δεν αντιπροσωπεύει πλήρως όλες τις ερμηνευτικές μεταβλητές.

Αν υποθέσουμε ότι οι παράμετροι a και b και το σφάλμα ϵ μπορούν να εκτιμηθούν με μια αυθαίρετη μέθοδο, η διαφορά μεταξύ της μεταβλητής Y_i και της εκτιμηθείσας μεταβλητής \tilde{Y}_i μπορεί να εκφραστεί με την παρακάτω σχέση:

$$\tilde{\epsilon}_i = Y_i - \tilde{Y}_i = Y_i - (\tilde{a} + \tilde{b}X_i) \quad (2.4.5)$$

Στόχος της απλής γραμμικής παλινδρόμησης είναι η μεταβλητή X να ερμηνεύει όσο γίνεται περισσότερη την μεταβλητή Y , δηλαδή το σφάλμα να ελαχιστοποιείται. Αυτό μπορεί να

επιτευχθεί με την Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων, όπου σκοπός είναι να ελαχιστοποιηθεί η παρακάτω σχέση:

$$S = S(\tilde{\alpha}, \tilde{b}) = \sum_{i=1}^n \tilde{e}_i^2 = \sum_{i=1}^n [Y_i - (\tilde{\alpha} + \tilde{b}X_i)]^2 \quad (2.4.6)$$

Οι εκτιμηθείσα σχέση που προκύπτει από την (2.5.6) είναι η εξής:

$$\hat{Y}_i = \hat{\alpha} + \hat{b}X \quad (2.4.7)$$

Η διαφορά των σχέσεων (2.4.4) και (2.4.7) συμβολίζεται με \hat{e} (Least Square Error) και εκφράζεται ως:

$$\hat{e} = Y_i - \hat{Y}_i = Y_i - (\hat{\alpha} + \hat{b}X) \quad (2.4.8)$$

Μια μεγάλη τιμή του όρου \hat{e} μπορεί να οφείλεται είτε σε ανεπαρκή εκτίμηση των παραμετρών του μοντέλου είτε στο γεγονός ότι ένα μεγάλο μέρος της μεταβλητής Y παραμένει ανεξηγήτο. Οι παράμετροι $\hat{\alpha}$ και \hat{b} υπολογίζονται ως εξής:

$$\hat{\alpha} = Y - \hat{b}X \quad (2.4.9)$$

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2.4.10)$$

Όπου \bar{X} και \bar{Y} οι μέσοι όροι των X_i και Y_i αντίστοιχα.

2.4.4 Μέθοδος Αποσύνθεσης

Σύμφωνα με την κλασική αποσύνθεση, οι χρονοσειρές μπορούν να διασπαστούν στα εξής συστατικά στοιχεία: την μέση τιμή (mean), την μακροχρόνια τάση (trend), την εποχιακότητα (seasonality), την κυκλικότητα (cycle) και την τυχαιότητα (randomness). Επομένως, μια χρονοσειρά μπορεί να εκφραστεί αλγεβρικά ως εξής:

$$Value = (Mean) \times (Trend) \times (Seasonality) \times (Cycle) \times (Randomness) \quad (2.4.11)$$

Σύμφωνα με προηγούμενες μελέτες, το γεγονός ότι η τιμή της χρονοσειράς δεν αποτελεί αποτέλεσμα πρόσθεσης αλλά πολλαπλασιασμού συμβάλλει στην εφαρμογή του παραπάνω τύπου σε περισσότερες περιπτώσεις προβλέψεων.

Γίνεται επομένως κατανοητό ότι η αποσύνθεση των χρονοσειρών συντελεί στο να γίνουν πιο κατανοητές. Παράλληλα όμως, ιδίως στην περίπτωση εποχιακών δεδομένων, παράγονται προβλέψεις σχεδόν εξίσου υψηλής ακρίβειας όσο και των μεθόδων ARIMA, των οποίων η περιγραφή θα ακολουθήσει στην επόμενη υποενότητα. Παρόλα αυτά είναι κρίσιμο να αναφερθεί ότι παρά των πλεονεκτημάτων που προσφέρει, η αποσύνθεση των χρονοσειρών προϋποθέτει τη χρήση της κυκλικότητας ως στοιχείο εισόδου χωρίς να χρειάζεται να εκτιμηθεί. Προκειμένου να αντιμετωπίσουν το μειονέκτημα αυτό και να το χρησιμοποιήσουν μάλιστα όφελός τους, οι

αναλυτές αγνοούν την κυκλικότητα ή τη θεωρούν ίση με μια σταθερή τιμή. Παρόλα αυτά, το γεγονός ότι η κυκλικότητα δεν χρειάζεται να εκτιμηθεί κρίνεται και ως πλεονέκτημα από μερικούς από αυτούς.

Επομένως, η βασική μέθοδος αποσύνθεσης αποσκοπεί στην εκτίμηση των παραμέτρων της παρακάτω εξίσωσης:

$$X_t = U \times T_t \times C_t \times S_t \times R_t \quad (2.4.12)$$

όπου:

- X_t η λογαριθμική τιμή της χρονοσειράς
- U η μέση τιμή
- T_t η γραμμική τάση
- C_t η κυκλικότητα
- S_t η εποχιακότητα
- R_t η τυχαιότητα και
- t η χρονική περίοδος

Επομένως, η βασική αποσύνθεση περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Βήμα 1: Αφαίρεση της μέσης τιμής
- Βήμα 2: Υπολογισμός του κινητού μέσου όρου
- Βήμα 3: Υπολογισμός της τάσης
- Βήμα 4: Υπολογισμός της κυκλικότητας
- Βήμα 5: Υπολογισμός της εποχικότητας και τέλος
- Βήμα 6: Υπολογισμός της τυχαιότητας

Για την υλοποίηση του πρώτου βήματος, η μέση τιμή διαιρείται με κάθε μία από τις τιμές της χρονοσειράς. Το αποτέλεσμα, επομένως, είναι μια νέα χρονοσειρά η οποία εκφράζεται ως εξής:

$$U_t = \frac{X_t}{U} \quad (2.4.13)$$

Στην περίπτωση που η απόλυτη τιμή της μέσης τιμής είναι μικρότερη από 0.0000001, η διαίρεση είναι αδύνατο να πραγματοποιηθεί.

Το επόμενο βήμα αφορά τον υπολογισμό του κινητού μέσου όρου L βημάτων την χρονική περίοδο τ , όπου ο αριθμός L συμβολίζει το μήκος της εποχιακότητας. Με λίγα λόγια, το L ισούται με 12 για μηνιαίες χρονοσειρές και 4 για τετράμηνες χρονοσειρές. Επομένως, στην περίπτωση ετήσιας χρονοσειράς η εποχιακότητα μπορεί να διαγραφεί. Παράλληλα, είναι σύνηθες να αφαιρείται και η τυχαιότητα στον υπολογισμό του μέσου όρου. Επομένως, ο κινητός μέσος όρος συμβολίζεται ως εξής:

$$M_t = \sum Y_t \quad (2.4.14)$$

Για περιττούς αριθμούς L , η παραπάνω πρόσθεση πραγματοποιείται για τη χρονική περίοδο $t - [\frac{L}{2}]$ έως $t + [\frac{L}{2}]$. Το σύμβολο $[x]$ συμβολίζει το ακέραιο μέρος του αριθμού x .

Το τρίτο βήμα του υπολογισμού και αφαίρεσης της τάσης πραγματοποιείται στους κινητούς μέσου όρους και όχι στις αρχικές χρονοσειρές. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το μοντέλο ελαχίστων τετραγώνων:

$$M_t = \alpha + \beta t + e_t, \quad (2.4.15)$$

όπου α η σταθερά, β η κλίση της ευθείας και e_t το σφάλμα. Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω εξίσωση, η τάση υπολογίζεται ως εξής:

$$T_t = \alpha + \beta t \quad (2.4.16)$$

Για τον παραπάνω υπολογισμό, οι πρώτες και τελευταίες $\frac{L}{2}$ τιμές αγνοούνται λόγω της ύπαρξης τελικών επιπτώσεων (end-effects).

Έχοντας τελειώσει το βήμα 4, είναι δυνατή η υλοποίηση του επόμενου βήματος, δηλαδή της εύρεσης της κυκλικότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διαίρεση του κινητού μέσου όρου με την υπολογισθείσα τάση:

$$C_t = \frac{M_t}{T_t} \quad (2.4.17)$$

Έπειτα, είναι δυνατή η εύρεση της εποχιακότητας μέσω της παρακάτω πράξης:

$$K_t = \frac{Y_t}{M_t} \quad (2.4.18)$$

Στο σημείο αυτό είναι κρίσιμο να τονιστεί ότι τα K_t λαμβάνουν υπόψη τόσο την εποχιακότητα όσο και την τυχαιότητα. Η εύρεση της εποχιακότητας ανά περίοδο πραγματοποιείται με τον υπολογισμό του απλού μέσου όρου όλων των περιόδων. Για παράδειγμα, ο μέσος όρος του Φλεβάρη όλων των χρόνων δίνει την τιμή του Φλεβάρη. Η παραπάνω σχέση ορίζεται αλγεβρικά ως εξής:

$$S_g = \sum K_t \quad (2.4.19)$$

όπου g η εποχή.

Το τελευταίο βήμα αφορά την τυχαιότητα, η οποία υπολογίζεται με τη διαίρεση των προαναφερθέντων σειρών K με το S_t . Η παραπάνω πράξη συμβολίζεται αλγεβρικά ως εξής:

$$R_t = \frac{K_t}{S_t} \quad (2.4.20)$$

Εφόσον τα προαναφερθέντα βήματα έχουν υλοποιηθεί, η παραγωγή προβλέψεων θεωρείται μια σχετικά εύκολη διαδικασία. Συγκεκριμένα, το στοιχείο της τάσης και της κυκλικότητας εκφράζονται αλγεβρικά μέσω των εξισώσεων αντίστοιχα, ενώ όπως ήδη προαναφέρθηκε γίνεται η εισαγωγή της κυκλικότητας χωρίς να απαιτείται η εκτίμησή της. Παράλληλα, το στοιχείο της τυχαιότητας θεωρείται ίση με την μονάδα. Τέλος, στη περίπτωση που έχει προηγηθεί η λογαριθμική μετατροπή των χρονοσειρών, απαιτείται ο μετασχηματισμός τους στις αρχικές τους τιμές.

2.4.5 Μέθοδοι Εκθετικής Εξομάλυνσης

Οι μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης αποτελούν μια επέκταση των μεθόδων μέσου όρου, στις οποίες η βαρύτητα των παρατηρήσεων δεν είναι ίση (Equal Weighted) αλλά αντιθέτως εξαρτάται από το πόσο πρόσφατες είναι. Έτσι, συχνά οι πιο πρόσφατες παρατηρήσεις έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα ώστε να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση σε αυτές, εφόσον συχνά είναι επηρεάζουν περισσότερο τις μελλοντικές τιμές από ότι οι παλαιότερες.

Οι μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης παρουσιάστηκαν τη δεκαετία του 1940 και αναπτύχθηκαν ιδιαίτερα το 1960. Γενικότερα, οι μέθοδοι αυτοί προεκτείνουν στοιχεία του προτύπου των ιστορικών δεδομένων στο μέλλον, όπως τάσεις και εποχικούς κύκλους. Προκειμένου να κρατηθούν μόνο τα πραγματικά πρότυπα από τις τυχαίες διακυμάνσεις, τα μοντέλα αυτά εφαρμόζονται στις χρονοσειρές μετά την εξομάλυνση των δεδομένων. Λόγω της απλότητάς τους, των χαμηλών απαιτήσεών τους όσον αφορά την αποθήκευση δεδομένων και τους υπολογιστικού φόρτου καθώς και των ικανοποιητικών ποσοστών ακρίβειάς τους, οι μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης είναι ιδιαίτερα διαδεδομένοι στο πεδίο των προβλέψεων.

Στην ενότητα αυτή, λοιπόν, θα αναπτυχθούν τα μοντέλα εκείνα στα οποία οι συντελεστές βαρύτητας μειώνονται εκθετικά: τα μοντέλα σταθερού επιπέδου, γραμμικής τάσης, εκθετικής τάσης και φθίνουσας τάσης.

Πριν αναλυθούν αναλυτικά τα αναφερθέντα μοντέλα, είναι κρίσιμο να αναφερθεί στο σημείο αυτό ότι το μοντέλο γραμμικής τάσης είναι πιο διαδομένο σε σύγκριση με το μοντέλο σταθερού επιπέδου καθώς η πρόβλεψη υλοποιείται με την προέκταση μιας οριζόντιας ευθείας γραμμής, όπως γίνεται και στο μοντέλο σταθερού επιπέδου, αλλά παράλληλα περιλαμβάνει και την ύπαρξη της τάσης με αυτό τον τρόπο. Επιπρόσθετα, όσον αφορά τα δύο τελευταία μοντέλα, το μοντέλο φθίνουσας τάσης αναπτύχθηκε λόγω της υπεραισιοδοξίας που χαρακτηρίζει τα μοντέλα γραμμικής και εκθετικής τάσης. Το μοντέλο φθίνουσας τάσης, λοιπόν, ενδείκνυται για μακροχρόνιες προβλέψεις εφόσον οι τιμές των χρονοσειρών αυξάνονται αλλά με μειωμένο ρυθμό.

2.4.5.1 Μοντέλο Σταθερού Επιπέδου - Απλή Εκθετική Εξομάλυνση (Simple Exponential Smoothing)

Το μοντέλο σταθερού επιπέδου μπορεί να γίνει κατανοητό λαμβάνοντας υπόψη τις παρακάτω σχέσεις:

$$S_t = S_{t-1} + \alpha e_t, \quad 0 < \alpha < 1 \quad (2.4.21)$$

Όπου S_t είναι το επίπεδο της χρονοσειράς στο τέλος της χρονικής περιόδου t , e_t το σφάλμα της πρόβλεψης και α το ποσοστό του σφάλματος. Το σφάλμα e_t υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$e_t = Y_t - F_t \quad (2.4.22)$$

Όπου Y_t η πραγματική τιμή της χρονοσειράς τη χρονική στιγμή t και F_t η πρόβλεψή της την ίδια χρονική στιγμή.

Τέλος, η πρόβλεψη τη χρονική στιγμή t που αναφέρεται σε m περιόδους μπροστά ισούται πάντα με το επίπεδο S_t δηλαδή:

$$F_{t+m} = S_t \quad (2.4.23)$$

Όπου F_{t+m} η πρόβλεψη της χρονοσειράς τη στιγμή t αναφερόμενη για m περιόδους μπροστά.

Προκειμένου να γίνουν κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας του μοντέλου σταθερού επιπέδου είναι χρήσιμο εδώ και εξηγηθούν αναλυτικά τα βήματα ανάπτυξής του. Συγκεκριμένα, πρώτο βήμα είναι ο υπολογισμός του σφάλματος e_t (εξίσωση 2.4.12) κάθε χρονική στιγμή t , έτσι ώστε να είναι η τιμή της πρόβλεψης όσο γίνεται πιο κοντά στην πραγματική τιμή της χρονοσειράς (Y_t). Προκειμένου να υπολογιστεί η τιμή της πρόβλεψης τη χρονική στιγμή t , είναι απαραίτητη η τιμή του επιπέδου από την πραγματική χρονοσειρά για την προηγούμενη χρονική στιγμή. Όσον αφορά τη χρονική στιγμή στην οποία δεν υπάρχουν ιστορικά δεδομένα, τότε το αρχικό επίπεδο χρησιμοποιείται ως πρώτη πρόβλεψη. Γίνεται, λοιπόν, κατανοητό στο σημείο αυτό η σημαντικότητα επιλογής σωστού αρχικού επιπέδου ώστε να επιτευχθούν ακριβείς προβλέψεις στο μέλλον.

Η πρώτη τιμή του επιπέδου της απλής εκθετικής εξομάλυνσης σταθερού επιπέδου μπορεί να υπολογιστεί με ποικίλους τρόπους. Η επιλογή του τρόπου υπολογισμού της πρώτης τιμής του επιπέδου της απλής εκθετικής εξομάλυνσης σταθερού επιπέδου εξαρτάται, εκτός από τις προτιμήσεις του κάθε ερευνητή, από τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των χρονοσειρών. Μερικοί από τους πιο διαδεδομένους είναι οι εξής:

- Με τον μέσο όρο όλων των παρατηρήσεων
- Με τον μέσο όρο μόνο ορισμένων από τις πρώτες παρατηρήσεις
- Λαμβάνοντας υπόψη μόνο την πρώτη παρατήρηση
- Χρησιμοποιώντας το σταθερό επίπεδο από το μοντέλο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης

Όσον αφορά τον συντελεστή εξομάλυνσης α όπως φαίνεται από τη σχέση 2.4.11 μπορεί να λάβει τιμές από 0 έως 1. Η τιμή που θα πάρει είναι αποτέλεσμα της ελαχιστοποίησης δι-άφορων σφαλμάτων, όπως του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (MSE) το οποίο είναι το πιο διαδεδομένο στην βιβλιογραφία. Η εύρεση του μπορεί να γίνει είτε με γραμμική αναζήτηση του μικρότερου σφάλματος είτε αλγοριθμικά. Σχετικά με την τιμή του, ο βέλτιστος συντελεστή εξομάλυνσης εξαρτάται από δύο αλληλοεξαρτώμενους παράγοντες: το ποσοστό θορύβου στη χρονοσειρά και τη σταθερότητα του μέσο όρου της χρονοσειράς. Συγκεκριμένα, ο βέλτιστος συντελεστής εξομάλυνσης είναι αρνητική σχέση με το ποσοστό θορύβου, δηλαδή όσο περισσότερος θόρυβος υπάρχει στη χρονοσειρά τόσο μικρότερη πρέπει να είναι η τιμή του συντελεστή εξομάλυνσης. Επιπλέον, αρνητική είναι και η σχέση του συντελεστή με τον δεύτερο παράγοντα. Έτσι, αν ο μέσος όρος μεταβάλλεται, τότε ο συντελεστής εξομάλυνσης θα πρέπει να είναι μεγάλος ώστε οι προβλέψεις να λαμβάνουν υπόψη τις μεταβολές των δεδομένων. Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί ότι θα πρέπει αν δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις ακραίες τιμές. Μηδενική τιμή του συντελεστή σημαίνει ότι η πρόβλεψη παραμένει ίδια για όλες τις χρονικές περιόδους και ίση με το αρχικό επίπεδο και γι' αυτό το λόγο ορίζεται συνήθως ένα κατώτατο όριο. Μέγιστη τιμή του συντελεστή σημαίνει ότι η τιμή της πρόβλεψης θα ισούται με την τιμή της προηγούμενης χρονικής περιόδου. Επομένως, στην περίπτωση αυτή θα είναι ίση με τη τελευταία τιμή της χρονοσειράς και το μοντέλο θα ισοδυναμεί με την απλοϊκή μέθοδο.

2.4.5.2 Μοντέλο Γραμμικής Τάσης (Holt Exponential Smoothing)

Το μοντέλο γραμμικής τάσης, το οποίο παρουσιάστηκε στο χώρο των προβλέψεων το 1957 από τον Holt, έχει αρκετά κοινά χαρακτηριστικά με απλής εκθετικής εξομάλυνσης, όμως μπορεί επιπρόσθετα να λάβει υπόψη του τη συνιστώσα της τάσης. Παράλληλα, παρόλο που έχει αρκετά κοινά χαρακτηριστικά με τα ποντέλα παλινδρόμησης, μια διαφοροποίησή του είναι ότι δίνει περισσότερη βαρύτητα στα πιο πρόσφατα δεδομένα, ενώ ο σταθερός όρος και η κλίση της ευθείας εκτιμώνται σε κάθε χρονική περίοδο.

Το μοντέλο της εξομάλυνσης γραμμικής τάσης μπορεί να εκφραστεί αλγεβρικά ως εξής:

$$S_{t-1} = S_t + T_{t-1} + \alpha e_t \quad (2.4.24)$$

Όπου S_t είναι το επίπεδο της χρονοσειράς στο τέλος της χρονικής περιόδου t , T_{t-1} η τάση τη χρονική περίοδο $t-1$, e_t το σφάλμα της πρόβλεψης και α το ποσοστό του σφάλματος.

Η τάση τη χρονική στιγμή t συμβολίζεται ως T_t και είναι ίση με:

$$T_t = T_{t-1} + b e_t \quad (2.4.25)$$

Όπου T_{t-1} η τάση την χρονική στιγμή $t-1$ και b το ποσοστό του σφάλματος της πρόβλεψης. Το ποσοστό αυτό παίρνει επίσης τιμές από 0 έως 1. Το σφάλμα e_t υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$e_t = Y_t - F_t \quad (2.4.26)$$

Όπου Y_t η πραγματική τιμή της χρονοσειράς τη χρονική στιγμή t και F_t η πρόβλεψή της την ίδια χρονική στιγμή.

Τέλος, η πρόβλεψη τη χρονική στιγμή t που αναφέρεται σε m περιόδους μπροστά ισούται πάντα με άθροισμα του επιπέδου S_t και της τάσης T_t πολλαπλασιασμένης με τον αριθμό των περιόδων m , δηλαδή:

$$F_{t+m} = S_t + T_t m \quad (2.4.27)$$

Επομένως, συγκρίνοντας τις σχέσεις του μοντέλου γραμμικής τάσης και του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης γίνονται φανερές οι διαφορές μεταξύ τους. Το επίπεδο στο μοντέλο γραμμικής τάσης είναι το αρχικό σημείο μιας γραμμής τάσης. Η γραμμή τάσης αυτή είναι διαφορετική σε κάθε χρονική περίοδο και μεταβάλλεται ανάλογα τα δεδομένα.

Η πρώτη τιμή του επιπέδου της απλής εκθετικής εξομάλυνσης σταθερού επιπέδου μπορεί να υπολογιστεί με ποικίλους τρόπους οι οποίοι είναι οι ίδιοι με αυτούς του προηγούμενου μοντέλου. Επιπλέον πολλές είναι και οι μέθοδοι υπολογισμού της τάσης. Συνήθεις τρόποι υπολογισμού της είναι οι εξής:

- Η διαφορά της πρώτης με τη δεύτερη παρατήρηση: $Y_2 - Y_1$
- Το ημίχρονο της διαφοράς της πρώτης από τη ν -οστή παρατήρηση με το πλήθος $\nu - 1$: $\frac{Y_\nu - Y_1}{\nu - 1}$
- Η σταθερά κλίσης της κλίσης του μοντέλου απλής γραμμικής παλινδρόμησης: b

Η επιλογή του τρόπου υπολογισμού της εξαρτάται, εκτός από τις προτιμήσεις του κάθε ερευνητή, από τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των χρονοσειρών.

Όσον αφορά τους συντελεστές εξομάλυνσης α και b μπορούν να λάβουν όπως προαναφέρθηκε τιμές από 0 έως 1. Η τιμή που θα πάρει είναι αποτέλεσμα της ελαχιστοποίησης διάφορων σφαλμάτων, όπως του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (MSE) ή του μέσου απόλυτου σφάλματος τα οποία είναι το πιο διαδεδομένα στην βιβλιογραφία. Η βέλτιστη λύση όσον αφορά την μέθοδο του μέσου τετραγωνικού σφάλματος είναι ο συνδυασμός των παραμέτρων που ελαχιστοποιεί το σφάλμα και μεγιστοποιεί την ακρίβεια. Τέλος, εφόσον πρέπει να υπολογιστούν δύο παράμετροι και η πολυπλοκότητα αυξάνεται κρίνεται απαραίτητη στη περίπτωση αυτή η εύρεση των παραμέτρων αλγοριθμικά.

2.4.5.3 Μοντέλο Μη Γραμμικής Τάσης (Damped)

Το μοντέλο μη γραμμικής τάσης υλοποιείται με τη χρήση της παραμέτρου διόρθωσης τάσης, ϕ , το οποίο αναπτύχθηκε από τους Γαρδνερ και ΜςΚενζιε το 1985. Η παράμετρος αυτή χρησιμεύει στον έλεγχο του ρυθμού αύξησης των τιμών των προβλέψεων. Αλγεβρικά το μοντέλο μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$S_{t-1} = S_t + T_{t-1} + \alpha e_t \quad (2.4.28)$$

Όπου S_t είναι το επίπεδο της χρονοσειράς στο τέλος της χρονικής περιόδου t , T_{t-1} η τάση τη χρονική περίοδο $t-1$, e_t το σφάλμα της πρόβλεψης και α το ποσοστό του σφάλματος.

Η τάση τη χρονική στιγμή t συμβολίζεται ως T_t και είναι ίση με:

$$T_t = T_{t-1} + b e_t \quad (2.4.29)$$

Όπου T_{t-1} η τάση την χρονική στιγμή $t-1$ και b το ποσοστό του σφάλματος της πρόβλεψης. Το ποσοστό αυτό παίρνει επίσης τιμές από 0 έως 1. Το σφάλμα e_t υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$e_t = Y_t - F_t \quad (2.4.30)$$

Τέλος, η πρόβλεψη τη χρονική στιγμή t που αναφέρεται σε m περιόδους μπροστά ισούται πάντα με άθροισμα του επιπέδου S_t και της τάσης T_t πολλαπλασιασμένης με τον αριθμό των περιόδων m , δηλαδή:

$$F_{t+m} = S_t + \sum_{i=1}^m \phi^i T_t \quad (2.4.31)$$

Όπου F_{t+m} η πρόβλεψη της χρονοσειράς τη στιγμή t αναφερόμενη για m περιόδους μπροστά και ϕ η παράμετρος εξομάλυνσης. Η παράμετρος αυτή δεν έχει όρια. Παρόλα αυτά, αν είναι μεγαλύτερη της μονάδας, τότε προκύπτει εκθετική τάση και η τιμή των προβλέψεων αυξάνεται με ρυθμό αυξανόμενο. Αν είναι μικρότερη της μονάδας, τότε προκύπτει φθίνουσα τάση και η τιμή των προβλέψεων αυξάνεται με ρυθμό μειούμενο.

Σχετικά με την αρχικοποίηση του μοντέλου, παρόλο που διάφοροι τρόποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως στη γραμμική εκθετική εξομάλυνση, οι αρχικές τιμές του επιπέδου και της τάσης παίρνουν συχνά τις τιμές του αρχικού σημείου και της κλίσης της ευθείας της γραμμικής παλινδρόμησης. Όσον αφορά τους συντελεστές εξομάλυνσης και της παραμέτρου διόρθωσης της τάσης, η επιλογή του γίνεται στις περισσότερες περιπτώσεις με την ελαχιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Παράλληλα, η αύξηση των παραμέτρων συντελεί στην αύξηση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας αλλά και του χρόνου που απαιτείται για εκτίμηση των παραμέτρων. Επομένως, η εύρεσή τους με ελαχιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος μέσω της χρήσης ενός αποδοτικού αλγορίθμου κρίνεται αναγκαία. Και στις τρεις μεθόδους εκθετικής εξομάλυνσης οι παράμετροι μπορούν να εκτιμηθούν με ποικίλους τρόπους, όπως αυτόν του αλγορίθμου διχοτόμησης για την εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού παραμέτρων είτε με τη σειριακή εύρεση βέλτιστης παραμέτρου.

Τέλος, κρίνεται αναγκαίο να γίνει αναφορά στη φυσική σημασία της τιμής της παραμέτρου διόρθωσης και του ρόλου της στο συγκεκριμένο μοντέλο. Συγκεκριμένα, σε περίπτωση μη ύπαρξης τάσης, η πρόβλεψη που θα προκύψει από το μοντέλο μη γραμμικής τάσης και σταθερού επιπέδου θα είναι ίδια, καθώς η τιμή της παραμέτρου διόρθωσης ϕ θα είναι κοντά στο μηδέν. Εξάλλου, αυτό γίνεται γίνεται αντιληπτό από τις παραπάνω εξισώσεις. Συμπερασματικά, το μοντέλο μη γραμμικής τάσης θα μπορούσε να γίνει αντιληπτό ως ένα αυτόματο σύστημα πρόβλεψης το οποίο θα μπορούσε να υλοποιηθεί σε κάθε χρονοσειρά που δεν χαρακτηρίζεται από εποχικότητα.

Ο ρόλος της τιμής της παραμέτρου διόρθωσης της τάσης ϕ στα μοντέλα εξομάλυνσης συνοψίζεται ως εξής:

- $\phi = 0$: απλή εκθετική εξομάλυνση σταθερού επιπέδου
- $\phi < 1$: μοντέλο φθίνουσας τάσης

- $\phi = 1$: μοντέλο γραμμικής τάσης
- $\phi > 1$: μοντέλο εκθετικής τάσης

Το μοντέλο μη γραμμικής τάσης προσφέρει μια γκάμα πλεονεκτημάτων. Συγκεκριμένα, το μοντέλο μη γραμμικής τάσης οδηγεί σε προβλέψεις σημαντικά μεγαλύτερης ακρίβειας στις περιπτώσεις όπου είναι αδύνατη η χρήση κάποιου μοντέλου για την πραγματοποίηση προβλέψεων κάποιας χρονοσειράς. Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη και προηγούμενες έρευνες, το μοντέλο μη γραμμικής τάσης κρίνεται κατάλληλο σε περιπτώσεις πραγματοποίησης προβλέψεων μεγάλου ορίζοντα.

2.4.6 Μοντέλο Theta

Μία ακόμα μέθοδος, η οποία αναπτύχθηκε από μέλη της Μονάδας Προβλέψεων και Στρατηγικής (Ασημακόπουλος & Νικολόπουλος, 2000· Νικολόπουλος, 2000) είναι η μέθοδος Theta. Η μέθοδος Theta αποτελεί μια μονοδιάστατη μέθοδο πρόβλεψης της οποίας κύριο χαρακτηριστικό είναι η μεταβολή των τοπικών καμπυλοτήτων της χρονοσειράς μέσω της παραμέτρου θ , η οποία εφαρμόζεται πολλαπλασιαστικά στις διαφορές δεύτερης τάξης των δεδομένων. Το αποτέλεσμα αυτού είναι οι νέες χρονοσειρές Theta οι οποίες έχουν τις ίδιες μέσες τιμές και κλίσεις με τις αρχικές χρονοσειρές αλλά όχι τη διακύμανση και τις τοπικές τους καμπυλότητες. Παράλληλα, ένα ακόμα κύριο χαρακτηριστικό των χρονοσειρών αυτών είναι ότι είτε προσεγγίζουν καλύτερα την μακροχρόνια συμπεριφορά των δεδομένων είτε δίνουν έμφαση στα βραχυχρόνια χαρακτηριστικά τους, γεγονός που εξαρτάται από την τιμή της παραμέτρου θ . Το αποτέλεσμα εξαρτάται από το αν η παράμετρος θ θα είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη της μονάδας.

Στο σημείο αυτό είναι χρήσιμο να δοθούν περισσότερες λεπτομέρειες για τον τρόπο λειτουργίας της μεθόδου. Συγκεκριμένα, λοιπόν, η αρχική χρονοσειρά διαχωρίζεται σε δύο ή περισσότερες γραμμές Theta. Στη συνέχεια, οι γραμμές Theta προεκτείνονται είτε με τον ίδιο είτε με διαφορετικό τρόπο πρόβλεψης και οι παραγόμενες προβλέψεις συνδυάζονται ώστε να καταλήξουμε στην τελική πρόβλεψη.

Τα βήματα της κλασικής μεθόδου Theta είναι τα εξής:

- Βήμα 0: Έλεγχος της κάθε σειράς για στατιστικά σημαντική εποχιακότητα
- Βήμα 1: Αποεποχικοποίηση μέσω της κλασικής μεθόδου πολλαπλασιαστικής αποσύνθεσης
- Βήμα 2: Αποσύνθεση της κάθε χρονοσειράς σε δύο γραμμές, την ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης ($\theta = 0$) και την ευθεία Theta ($\theta = 2$)
- Βήμα 3: Πρόβλεψη μέσω της προέκτασης της γραμμής με $\theta = 0$ με τον συνηθισμένο τρόπο και της δεύτερης γραμμής μέσω της απλής γραμμικής εξομάλυνσης
- Βήμα 4: Συνδυασμός των προβλέψεων των γραμμών Theta με ίσα βάρη
- Βήμα 5: Εποχικοποίηση των τελικών προβλέψεων με τους δείκτες εποχικότητας του βήματος 1

Ο υπολογισμός της γραμμής Theta 0 γίνεται με την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων. Όσον αφορά τη γραμμή Theta 2, υπολογίζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}(Y_t^{\theta=1-\alpha} + Y_t^{\theta=1+\alpha}) \xrightarrow{\alpha=1} \\ & \frac{1}{2}(Y_t^{\theta=0} + Y_t^{\theta=2}) \xrightarrow{Y_t^{\theta=0}=LRL_t} \\ & Y_t^{\theta=2} = 2Y_t - LRL_t \end{aligned} \quad (2.4.32)$$

Η εξίσωση (2.4.32) δείχνει ότι η γραμμή Theta 2 μπορεί να αναπτυχθεί με έναν εναλλακτικό τρόπο, αφού η LRL μπορεί να αναπτυχθεί λαμβάνοντας υπόψη τη θεωρία της παλινδρόμησης. Η γραμμή Theta μπορεί να παραχθεί σύμφωνα με τη μέθοδο του Νικολόπουλου και των συνεργατών του (2008):

$$ThetaLine(\theta)_t = Y_t^\theta = LRL_t + \theta e_t \quad (2.4.33)$$

Όπου $e_t = Y_t - LRL_t$.

Επιπλέον, οι Hyndman και Billah (2003) πρότειναν τον εξής υπολογισμό:

$$Y_t^\theta = \theta Y_t + \alpha_\theta + b_\theta(t - 1) \quad (2.4.34)$$

Η γραμμή Theta 0 συμβάλει στην εξασφάλιση της μακροπρόθεσμης τάσης, ενώ η γραμμή Theta 2 εξασφαλίζει τη βραχυπρόθεσμη πληροφορία. Με τον τρόπο αυτό το σημείο εκκίνησης των προβλέψεων εξασφαλίζει μια σταθερή συνέχιση της μακροπρόθεσμης τάσης και παράλληλα συμβάλλει σε μια καλύτερη προσέγγιση της πραγματικότητας.

2.5 Επιλογή Μεθόδου Πρόβλεψης

Η επιλογή της κατάλληλης επιλογής μεθόδου πρόβλεψης έχει απασχολήσει στο παρελθόν ιδιαίτερα την επιστημονική κοινότητα, με τα κύρια αποτελέσματα από μελέτες πάνω στο θέμα να εξάγονται από τον Wright et al. (1986), τον Tashman (1991, 2000) καθώς και τους Yokum & Armstrong (1995). Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω ανάλυση των μεθόδων πρόβλεψης, γίνεται κατανοητό ότι η δυσκολία όσον αφορά προβλέψεις δεν βρίσκεται στην εξαγωγή τους, αφού οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αλλά στην επιλογή της κατάλληλης μεθόδου. Προκειμένου να μειωθεί η δυσκολία αυτή, οι διάφοροι μέθοδοι μπορούν να καταταχθούν σε ορισμένες κατηγορίες, ανάλογα με τα κύρια χαρακτηριστικά τους και τις εφαρμογές τους. Μερικά από τα βασικά αυτά στοιχεία παραθέτονται παρακάτω:

- Χρονικός Ορίζοντας: Η επιλογή της μεθόδου πρόβλεψης εξαρτάται αρχικά από το χρονικό διάστημα στο οποίο αναφέρεται η πρόβλεψη. Παράλληλα, εξίσου κρίσιμο στοιχείο είναι και ο αριθμός των περιόδων για τις οποίες απαιτείται πρόβλεψη.
- Απλότητα και Ευκολία στην Εφαρμογή τους: Όπως ήδη προαναφέρθηκε, ο συνδυασμός απλών μεθόδων μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη ακρίβεια πρόβλεψης από ότι η χρήση πολύπλοκων τεχνικών. Παράλληλα, οι απλές μέθοδοι είναι και πιο εύκολες στην εφαρμογή τους.

- Αξιοπιστία: Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου πρόβλεψης εξαρτάται επίσης και από το ποσοστό ακρίβειας που απαιτείται ώστε να είναι η πρόβλεψη ικανοποιητική.
- Πρότυπο Συμπεριφοράς των Δεδομένων: Η αναγνώριση ενός βασικού προτύπου συμπεριφοράς των δεδομένων είναι απαραίτητη ώστε να είναι εφικτή η εφαρμογή οποιασδήποτε μεθόδου. Το σταθερό πρότυπο, το πρότυπο της τάσης, το εποχιακό, το κυκλικό πρότυπο αλλά και η συνύπαρξή τους αποτελούν τα βασικά πρότυπα στις χρονοσειρές.
- Κόστος: Τέλος, ένα ακόμα ακόμα βασικό χαρακτηριστικό το οποίο πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή της μεθόδου είναι το χρηματικό και υπολογιστικό της κόστος, το οποίο σχετίζεται άμεσα με το βαθμό πολυπλοκότητάς της στην εφαρμογή και τον αριθμό των δεδομένων.

2.6 Συνδυασμοί Μεθόδων Πρόβλεψης

Όπως ήδη προαναφέρθηκε, η επιλογή της μεθόδου πρόβλεψης εξαρτάται τόσο από τον ερευνητή όσο και από τα κύρια χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης χρονοσειράς. Παρόλα αυτά, σε πολλές περιπτώσεις τόσο η εύρεση των κύριων χαρακτηριστικών όσο και η μετέπειτα επιλογή της κατάλληλης μεθόδου είναι μια σχετικά δύσκολη διαδικασία. Η δυσκολία αυξάνεται από το γεγονός ότι δεν υπάρχει μία μέθοδος που να αναταποκριθεί σε όλες τις απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά της κάθε χρονοσειράς. Για το λόγο αυτό, αρκετές φορές η λύση βρίσκεται στον συνδυασμό διαφορετικών μεθόδων πρόβλεψης αφού έτσι παράγονται πιο ακριβείς προβλέψεις. Η αυξημένη ακρίβεια οφείλεται στο γεγονός ότι οι διαφορετικές μέθοδοι παράγουν διαφορετικές προβλέψεις (και συνεπώς πληροφορίες) από την ίδια χρονοσειρά. Ο συνδυασμός, λοιπόν, των πληροφοριών από την κάθε πρόβλεψη συμβάλλει σε αυξημένη ακρίβεια στα αποτελέσματα. Μάλιστα, προηγούμενες έρευνες και μελέτες το αποδεικνύουν αφού έχουν σημειώσει μείωση του μεγέθους σφάλματος έως και 6%.

Ο συνδυασμός των διαφορετικών μεθόδων μπορεί να υλοποιηθεί με διάφορους τρόπους, με αυτό του απλού μέσου όρου όλων των προβλέψεων και με την χρήση βαρύτητας (ανάλογα με την ακρίβεια και τη συνδιακύμανση των σφαλμάτων) να είναι οι επικρατέστεροι. Σχετικά με τον πρώτο τύπο συνδυασμού μεθόδων, προηγούμενες μελέτες αποδεικνύουν ότι επιτυγχάνει σε εξίσου ακριβή αποτελέσματα με πολύπλοκους τρόπους συνδυασμού.

2.7 Αξιολόγηση Μεθόδων

Η στατιστική ανάλυση των χρονοσειρών βασίζεται στον υπολογισμό δεικτών και την ανάλυση κάθε χρονοσειράς ώστε να είναι εφικτή η παροχή δομημένων και ακριβών αποτελεσμάτων σχετικών με τη συνολική εικόνα της χρονοσειράς στο τέλος. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή και σχετικά πιο εύκολη η μετέπειτα επιλογή μεθοδολογιών και διαδικασιών πρόβλεψης.

Οι τρεις βασικές κατηγορίες στατιστικής ανάλυσης είναι η βασική στατιστική ανάλυση, η Στατιστική ανάλυσης ακρίβειας προβλέψεων και ο ρυθμός ανάπτυξης. Στην ενότητα αυτή, λοιπόν, θα δοθεί λεπτομερής ανάλυση των παραπάνω κατηγοριών.

2.7.1 Βασική Στατιστική Ανάλυση

Οι βασικοί στατιστικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση χρονοσειρών εκφράζονται αλγεβρικά ως εξής:

Μέση τιμή (Average): Εκφράζει τον απλό γραμμικό μέσο όρο των παρατηρήσεων της χρονοσειράς και δίνει μια εικόνα για το επίπεδο γύρω από το οποίο κινούνται οι τιμές της:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (2.7.1)$$

Διακύμανση (Variance): Εκφράζει την απόκλιση μιας μεταβλητής από την μέση τιμή και υπολογίζεται ως εξής:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n} \quad (2.7.2)$$

Τυπική απόκλιση (Standard Deviation): Υπολογίζει τη διασπορά του συνόλου των τιμών και ισούται με την τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n}} \quad (2.7.3)$$

Συνδιακύμανση (Covariance): Η συνδιακύμανση για δύο τυχαίες μεταβλητές X και Y αποτελεί ένα μέτρο εκτίμησης της σχέσης των δύο περιοχών δεδομένων και καθορίζει την ανάλογη (θετικά ή αρνητικά) ή ασυσχέτιστη σχέση μεταξύ των δεδομένων. Ορίζεται ως εξής:

$$Cov(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})] \quad (2.7.4)$$

Ανάλογα με την τιμή της διακύμανσης ισχύουν τα εξής:

- $Cov(X, Y) > 0$: Υπάρχει θετική σχέση μεταξύ των μεγεθών (κινούνται ανάλογα)
- $Cov(X, Y) < 0$: Υπάρχει αρνητική σχέση μεταξύ των μεγεθών (κινούνται αντιστρόφως ανάλογα)
- $Cov(X, Y) = 0$: Δεν υπάρχει σχέση μεταξύ των μεγεθών (είναι ασυσχέτιστα)

Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης (Linear Correlation Coefficient): Εκφράζει τη συγκέντρωση των σημείων σε ένα διάγραμμα διασποράς γύρω από την ευθεία παλινδρόμησης. Δίνει επομένως μια εικόνα σχετικά με τη γραμμική συσχέτιση δύο μεγεθών. Εκφράζεται αλγεβρικά ως εξής:

$$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2.7.5)$$

Ανάλογα με την τιμή του συντελεστή ισχύουν τα εξής:

- Αν $r = \pm 1$: Υπάρχει τέλεια γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεγεθών

- Αν $-0.3 < r < 0.3$: Δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεγεθών
- Αν $-0.5 < r < -0.3$ ή $0.3 < r < 0.5$: Υπάρχει ασθενής γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεγεθών
- Αν $-0.7 < r < -0.5$ ή $0.5 < r < 0.7$: Υπάρχει μέση γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεγεθών
- Αν $-0.8 < r < -0.7$ ή $0.7 < r < 0.8$: Υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεγεθών
- Αν $-1 < r < -0.8$ ή $0.8 < r < 1$: Υπάρχει πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεγεθών

Συντελεστής αυτοσυσχέτισης (Autocorrelation Coefficient): Εκφράζει τη συσχέτιση των τιμών της ίδιας μεταβλητής με χρονική υστέρηση k περιόδων:

$$ACF_k = \frac{\sum_{i=1+k}^n [(Y_i - \bar{Y}) \cdot (Y_{i-k} - \bar{Y})]}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2.7.6)$$

Ανάλογα με την τιμή του συντελεστή συμπεραίνεται το εξής:

- Αν $ACF_k \simeq 0$: Υπάρχει μηδενική συσχέτιση μεταξύ των παρατήρησεων χρονικής υστέρησης k
- Αν $ACF_k \simeq 1$: Υπάρχει μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των παρατήρησεων χρονικής υστέρησης k

Συντελεστής Μεταβλητότητας (Coefficient of Variation): Υπολογίζει τη μεταβλητότητα μιας κατανομής, αποτελώντας ένα κανονικοποιημένο μέτρο διασποράς απαλλαγμένο από την επίδραση του επιπέδου των παρατηρήσεων:

$$c_V = \frac{\sigma}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (\%) \quad (2.7.7)$$

2.7.2 Στατιστική Ανάλυσης Ακρίβειας Προβλέψεων

Η δεύτερη κατηγορία στατιστικής ανάλυσης κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική, διότι συντελεί στην αξιολόγηση των μεθόδων λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο λειτουργίας και προσέγγισής τους και την πραγματική χρονοσειρά. Στην δεύτερη κατηγορία στατιστικής ανάλυσης χαρακτηριστικό στοιχείο είναι η ύπαρξη μιας δεύτερης σειράς πρόβλεψης, η οποία προκύπτει από την εφαρμογή κάποιου μεθόδου στην πραγματική σειρά των παρατηρήσεων. Μέσω, λοιπόν, της πραγματικής σειράς των παρατηρήσεων και με τη χρήση μιας μεθόδου πρόβλεψης υπολογίζονται οι δείκτες ακρίβειας των προβλέψεων.

Έχοντας διαθέσιμες τια πραγματικές τιμές της χρονοσειράς και τις τιμές πρόβλεψης για την ίδια χρονική περίοδο, μπορεί να υπολογιστεί το σφάλμα ως εξής:

$$e_i = Y_i - F_i \quad (2.7.8)$$

Ανάλογα με το αναφερόμαστε σε διαθέσιμες πραγματικές τιμές και τιμές του μοντέλου πρόβλεψης ή μελλοντικές πραγματικές τιμές και τιμές του μοντέλου πρόβλεψης για την μελλοντική περίοδο, τα σφάλματα χωρίζονται σε σφάλμα του μοντέλου πρόβλεψης (in-sample error) και πραγματικό σφάλμα (out-of-sample error) αντίστοιχα.

Θέτοντας ως F_i και Y_i την πρόβλεψη και τη γνωστή παρατήρηση της χρονικής στιγμής αντίστοιχα, παρακάτω παραθέτονται μερικοί δείκτες που εκφράζουν το σφάλμα της μεθόδου πρόβλεψης για n περιόδους:

- Μέσο σφάλμα (Mean Error):

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i) \quad (2.7.9)$$

- Μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error):
- Μέσο σφάλμα (Mean Error):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - F_i| \quad (2.7.10)$$

- Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Mean Absolute Percentage Error):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - F_i}{Y_i} \right| \cdot 100 \quad (\%) \quad (2.7.11)$$

- Συμμετρικό μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Symmetric Mean Absolute Percentage Error):

$$sMAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - F_i}{\frac{Y_i + F_i}{2}} \right| \cdot 100 \quad (\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{2 \cdot (Y_i - F_i)}{Y_i + F_i} \right| \cdot 100 \quad (\%) \quad (2.7.12)$$

- Μέσο απόλυτο κανονικοποιημένο σφάλμα (Mean Absolute Scaled Error):

$$MA_sE = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - F_i|}{\frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n |Y_i - Y_{i-1}|} \quad (2.7.13)$$

- Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Squared Error):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i)^2 \quad (2.7.14)$$

- Ρίζα Μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Squared Error):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i)^2} \quad (2.7.15)$$

2.7.3 Ρυθμός Ανάπτυξης

Η τελευταία κατηγορία στατιστικής ανάλυσης είναι η μελέτη του ρυθμού ανάπτυξης. Ο δείκτης του ρυθμού ανάπτυξης υπολογίζει την αύξουσα ή φθίνουσα πορεία μιας σειράς δεδομένων για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Αλγεβρικά εκφράζεται με τον εξής τρόπο:

$$GrowthRate = \frac{\frac{1}{ppy} \sum_{i=n-ppy+1}^n Y_i - \frac{1}{n-ppy} \sum_{i=1}^{n-ppy} Y_i}{\frac{1}{n-ppy} \sum_{i=1}^{n-ppy} Y_i} \cdot 100 \quad (\%) \quad (2.7.16)$$

Όπου n το πλήθος των παρατηρήσεων και ppy ο αριθμός των περιόδων σε ένα έτος.

Κεφάλαιο 3

Διαδικασία Προγραμματισμού Εργαζομένων σε Καταστήματα Λιανικής

3.1 Περιγραφή Προβλήματος & Πρόταση Μεθοδολογίας

3.1.1 Σκοπός Μεθοδολογίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο καθορισμός μίας μεθοδολογίας η οποία θα αυτοματοποιεί και θα βελτιστοποιεί τη διαδικασία προγραμματισμού του εργατικού δυναμικού σε καταστήματα λιανικής. Προκειμένου να αποδίδεται το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τόσο την προσέλευση των πελατών στα καταστήματα, όσο το αποδιδόμενο κέρδος ανά εργαζόμενο.

Η μεθοδολογία αυτή θα πρέπει να υποδεικνύει τόσο το πλήθος εργαζομένων όσο και τα ωράρια εργασίας τους ανά κατάστημα σε καθημερινή, ωριαία βάση. Η λειτουργία της θα πρέπει να στηρίζεται σε ιστορικά δεδομένα με τα οποία τροφοδοτείται συνεχώς και τα οποία αφορούν τη γενικότερη εικόνα των καταστημάτων και της λειτουργίας τους σε καθημερινή βάση. Τέτοια δεδομένα αφορούν την είσοδο των πελατών στο κατάστημα, λεπτομέρειες σχετικά με το προσωπικό που εργάστηκε ανά ρόλο εργασίας, συναλλαγές που εκτελέστηκαν ανά τύπο συναλλαγής και τέλος πωλήσεις που πραγματοποιήθηκαν, τόσο σε αριθμό όσο και σε χρηματική αξία. Με βάση αυτά, η μεθοδολογία και εν συνεχεία το σύστημα που θα αναπτυχθεί, θα προβαίνει στην κατάλληλη πρόταση.

Το σύστημα που περιγράφεται στην παρούσα εργασία για την αξιοποίηση της μεθοδολογίας αυτής, δεν περιορίζεται αποκλειστικά στην εξαγωγή βαρδιών για το σύνολο των εργαζομένων των καταστημάτων, αλλά να περιλαμβάνει και λεπτομερή πληροφορία για το διαχωρισμό τους ανά ρόλο εργασίας (διεύθυνση, πωλητές, ταμείες, ειδικοί ρόλοι κ.ο.κ.) ούτως ώστε να καταστεί άμεση και εύκολη η αξιοποίησή του. Σημαντική θα είναι επίσης η συμβολή του για τον καθορισμό των αδειών των εργαζομένων, σύμφωνα με όσα ορίζει η τρέχουσα νομοθεσία. Ακόμη, θα δίνει σημαντική πληροφορία για το idle και το overtime capacity των καταστημάτων.

Επιπλέον η μεθοδολογία αυτή, εφόσον εξάγει αναλυτικό αποτέλεσμα σχετικά με τις βάρδιες εργασίας ανά κατάστημα, και έχοντας εκτιμήσει τη βέλτιστη αναλογία πελατών και εργαζομένων για τη μεγιστοποίηση του κέρδους, μπορεί να αξιοποιηθεί κατάλληλα ως εργαλείο υποστήριξης στοχοθεσίας. Έτσι, το σύστημα που την υλοποιεί αναπτύσσεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να βοηθά στην αρχή κάθε έτους στον καθορισμό των ανθρωπίνων ή μη πόρων που θα πρέπει να δεσμευτούν ανά κατάστημα και αντίστοιχα των κερδών που αναμένονται από αυτά. Θα μπορεί επομένως να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των βέλτιστων Full-Time Equivalents κατά την εκτίμηση του Budget στην έναρξη του Οικονομικού Έτους καθώς και για την αναθεώρησή του σε φάσεις αναπροσαρμογής των στόχων της εταιρείας βάσει τρέχοντων αποτελεσμάτων.

Τέλος, προκειμένου οι εκτιμήσεις της μεθοδολογίας να γίνουν περισσότερο ακριβείς, θα πρέπει να ενσωματωθούν σε αυτή και άλλες εξωτερικές μεταβλητές, όπως είναι η τοποθεσία του καταστήματος, το μίγμα της πελατείας, οι προωθητικές ενέργειες, η τρέχουσα στοχοθεσία και οι ειδικές ημέρες, όπως τα Χριστούγεννα, το Πάσχα ή μέρες όπως το Black Friday.

3.1.2 Εμπόδια

Είναι γενικά αποδεκτό ότι κατά την επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος, υπάρχουν διάφορες συνιστώσες οι οποίες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ώστε να επιτευχθεί ένα σωστό αποτέλεσμα. Στον κλάδο των προβλέψεων ιδίως, ο συνυπολογισμός όσο το δυνατόν περισσότερων σχετικών παραγόντων κρίνεται ιδιαίτερα κρίσιμος προκειμένου να παραχθούν προβλέψεις υψηλής ακρίβειας. Στην ενότητα αυτή, θα γίνει αναφορά στις συνιστώσες εκείνες που σχετίζονται με το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Αρχικά, λοιπόν, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα δεδομένα μας αφορούν 70 καταστήματα, των οποίων τα στοιχεία διαφοροποιούνται. Μερικά από τα βασικότερα στοιχεία είναι η περιοχή του καταστήματος, το μέγεθός σε έκταση, καθώς και ο αριθμός και τα χαρακτηριστικά των εργαζομένων και των πελατών. Για παράδειγμα, οι αγοραστικές συνήθειες των πελατών διαφέρουν τόσο από περιοχή σε περιοχή όσο και από χρόνο σε χρόνο και επομένως, οι πωλήσεις των καταστημάτων επηρεάζονται από αυτές. Σε συνδυασμό παράλληλα με την εποχιακή ζήτηση σε ορισμένες περιοχές και την επίδραση τυχαίων παραγόντων η πολυπλοκότητα του προβλήματος αυξάνεται.

Ακόμη, μία σημαντική διαφορά σχετίζεται με τον τρόπο λειτουργίας του κάθε καταστήματος. Αυτό μπορεί να οφείλεται αρχικά στα ωράρια και τις ημέρες λειτουργίας, στοιχεία τα οποία διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή για αρκετούς λόγους, όπως είναι για παράδειγμα η καθιέρωση τοπικών αργιών. Τέλος, σε κάθε κατάστημα υπάρχει διαφορετικός αριθμός εργαζομένων με συμβάσεις είτε οχτάωρης είτε τετράωρης εργασίας. Το γεγονός αυτό απαιτεί στην μελέτη πολλών σεναρίων για τον προγραμματισμό των εργαζομένων αλλά και των αδειών τους, με διαφορετικό τρόπο ανά κατάστημα, ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο συνολικό αποτέλεσμα.

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που μπορεί να διαφοροποιεί τα καταστήματα σχετίζεται με τη μέση μισθοδοσία ανά εργαζόμενο. Η συνιστώσα αυτή είναι ιδιαίτερα κρίσιμη εφόσον σε κάθε κατάστημα ο αριθμός των εργαζομένων δεν είναι ίδιος. Επιπρόσθετα, η μισθοδοσία του

κάθε εργαζομένου εξαρτάται και από τη θέση εργασίας του, γεγονός που επηρεάζει σημαντικά το μέσο κόστος εργαζομένου ανά κατάσταση. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που δύο καταστήματα έχουν τον ίδιο αριθμό εργαζομένων, το μέσο κόστος μπορεί να διαφέρει εάν υπάρχουν περισσότερα ανώτερα στελέχη στο ένα από αυτά. Η πολυπλοκότητα του προβλήματος αυξάνεται ακόμα περισσότερο αν αναλογιστεί κανείς ότι οι αμοιβές των υπαλλήλων λόγω των υπερωριών διαφέρει σε κάθε κατάσταση.

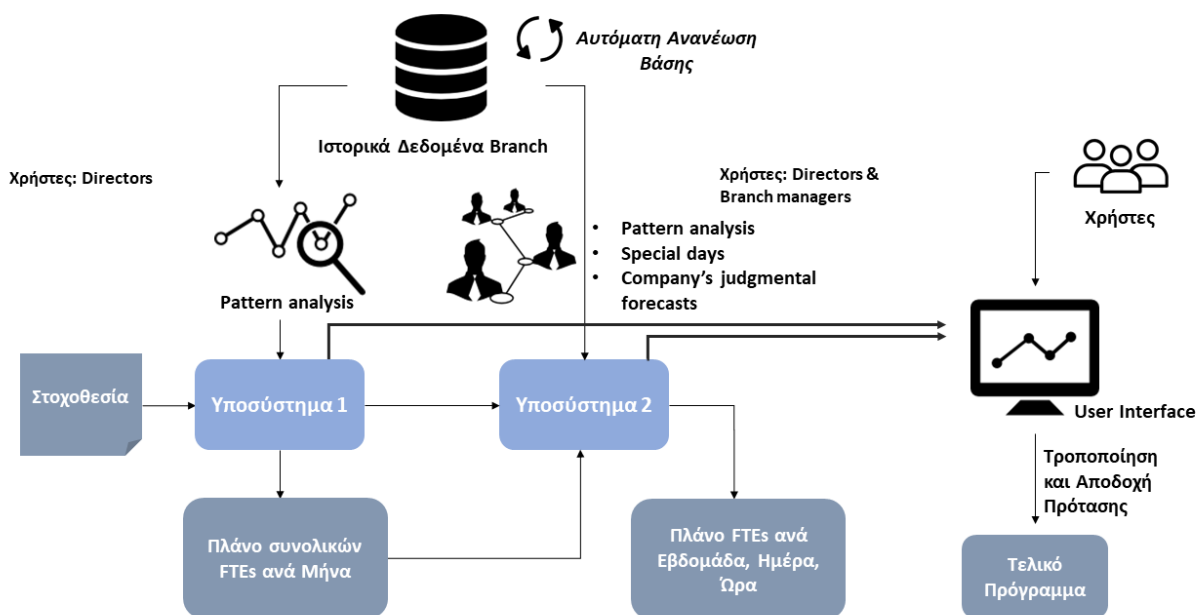
Ένα ακόμη στοιχείο των καταστημάτων που λειτουργεί ως εμπόδιο στην επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος είναι οι διαφορετικοί στόχοι οι οποίοι θέτονται από κάθε κατάσταση. Για παράδειγμα, στόχος για ένα κατάστημα μπορεί να είναι η αύξηση των πωλήσεων σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ενώ στόχος για ένα άλλο κατάστημα μπορεί να είναι η επίτευξη οικονομικών κλίμακας, δηλαδή η μείωση του μέσου συνολικού κόστους όσο η παραγωγή αυξάνεται. Το στοιχείο αυτό, επομένως, συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με τον ταμειακό προϋπολογισμό του κάθε καταστήματος όπως επίσης και με τους άλλους παράγοντες που επηρεάζουν τις πωλήσεις του καθενός από αυτά (π.χ. προωθητικές και άλλες οργανώσεις).

Πέραν όμως των εμποδίων που προκαλούνται από τη φύση του κάθε καταστήματος, η πολυπλοκότητα επίλυσης του συγκεκριμένου προβλήματος αυξάνεται χάρη στην επίδραση άλλων παραγόντων. Ένας τέτοιος παράγοντας αρχικά μπορεί να θεωρηθεί το γεγονός ότι η επίλυση του προβλήματος στηρίζεται τόσο στην αυτοματοποίηση των διαδικασιών χρονοδρομολόγησης και προγραμματισμού όσο και στην παραγωγή προβλέψεων υψηλής ακρίβειας, δύο παράμετροι των οποίων ο συνδυασμός κρίνεται ιδιαίτερα απαιτητικός. Επιπλέον, εφόσον η εφαρμογή θα χρησιμοποιηθεί από εργαζομένους της επιχείρησης, θα πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμη και διαθέσιμη, καθώς και να προσφέρει ένα φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον. Επιπρόσθετα, προκειμένου να παραχθούν προβλέψεις που να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα της επιχείρησης, έχουν ληφθεί υπόψη και απόψεις ειδικών στο χώρο λήψης αποφάσεων της επιχείρησης. Τέλος, η πολυπλοκότητα γίνεται ακόμα πιο έντονη εξαιτίας της ανάγκης παραγωγής τόσο βραχυπρόθεσμων όσο και μακροπρόθεσμων προβλέψεων.

Από την παραπάνω ανάλυση γίνεται κατανοητό ότι η επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος απαιτεί το να ληφθούν υπόψη αρκετές συνιστώσες, πολλές από τις οποίες μάλιστα αλληλοσχετίζονται. Παρά τα εμπόδια που προκαλούνται από αυτές, ο συνυπολογισμός όλων αυτών από τον αναλυτή θεωρείται αναγκαίος ώστε να παραχθούν ακριβείς προβλέψεις για την επιχείρηση.

3.1.3 Σκιαγράφηση Μεθοδολογίας

Το σύστημα χωρίζεται σε δύο βασικά υποσυστήματα. Το πρώτο αποτελεί το υποσύστημα συνολικής εκτίμησης FTEs, όπου και θα καθορίζεται στο σύνολό του το ανθρώπινο δυναμικό κάθε καταστήματος βάσει αρχικής εκτίμησης Budget. Επιπλέον, δίνει πληροφορίες σχετικά με τις άδειες που πρέπει να δοθούν για την ομαλή λειτουργία του δικτύου. Το δεύτερο υποσύστημα αποτελεί το εργαλείο διαχείρισης βαρδιών το οποίο λαμβάνοντας υπόψη τους διαθέσιμους πόρους για τα καταστήματα, θα εξάγει αναλυτικά τις βάρδιες σε επίπεδο μήνα, εβδομάδας, ημέρας και ώρας.



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα Μεθοδολογίας

Όσον αφορά τις ομάδες χρηστών, εφόσον η χρήση του συστήματος προορίζεται για αλυσίδα καταστημάτων, είναι χρήσιμο να γίνει διαχωρισμός των δύο υποσυστημάτων. Στο σχήμα 3.1 φαίνεται διαγραμματικά το σύνολο της μεθοδολογίας χωρισμένη στα δύο υποσυστήματα. Το Υποσύστημα 1 είναι σκόπιμο να χρησιμοποιείται από τον ανάλογο αρμόδιο της εταιρείας (Director) ο οποίος αναλαμβάνει την στοχοθεσία και τη συνολικότερη στελέχωση του συνόλου των επιμέρους καταστημάτων. Παράλληλα, ο ίδιος θα μπορεί να έχει πρόσβαση στο Υποσύστημα 2 ώστε να υπάρχει εποπτεία του προγραμματισμού και της ευρύτερης λειτουργίας των παραρτημάτων. Η δεύτερη ομάδα χρηστών περιλαμβάνει το σύνολο των υπευθύνων των καταστημάτων του δικτύου. Για την ομάδα αυτή προορίζεται αποκλειστικά το δεύτερο εργαλείο το οποίο λειτουργεί ως εργαλείο για την καθημερινή παρακολούθηση και προσαρμογή του προγραμματισμού τους.

3.2 Υποσύστημα 1 - Καθορισμός Απαιτήσεων σε Full-Time Equivalent

Το πρώτο υποσύστημα της εφαρμογής που αναπτύσσεται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αποτελεί το βασικό εργαλείο υποστήριξης στοχοθεσίας. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση του γίνεται στην αρχή κάθε οικονομικού έτους. Μέσω αυτού γίνεται ο καθορισμός του βέλτιστου ανθρωπίνου δυναμικού σε FTEs που θα πρέπει να δεσμευτούν από κάθε κατάσταση (branch) και των κερδών που αναμένονται από την εφαρμογή του συγκεκριμένου πλάνου. Από αυτό παράγεται επομένως το αναλυτικό budget κάθε καταστήματος του δικτύου αλλά και αναπροσαρμόζεται ανάλογα με τους στόχους της εταιρείας. Στις παρακάτω ενότητες παρουσιάζεται

ένα case study εφαρμογής της μεθοδολογίας σε παράρτημα αλυσίδας καταστημάτων λιανικής στην περιοχή της Αττικής. Και στα δύο στάδια της μεθοδολογίας χρησιμοποιούνται ιστορικά δεδομένα δύο χρόνων με πληροφoρία σχετική τόσο με την είσοδο πελατών στο εκάστοτε κατάστημα, το πλήθος συναλλαγών αλλά και με τον αριθμό εργαζομένων.

Οι παράμετροι που λαμβάνουμε υπόψη για τον υπολογισμό του budget είναι:

- Ιστορικά δεδομένα του καταστήματος τα οποία για κάθε ώρα κάθε εργάσιμης μέρα δίνουν πληροφορία για:
 - τον αριθμό των πελατών που εισήλθαν στο κατάστημα
 - τον αριθμό των πελατών που πραγματοποίησαν κάποια συναλλαγή
 - τον αριθμό των παραγγελιών που έγιναν
 - τον αριθμό των εργαζομένων τη δεδομένη χρονική στιγμή
 - τις πωλήσεις σε χιλιάδες ευρώ
 - το Margin
 - τον αριθμό των τεμαχίων που πωλήθηκαν
- Μέσο κόστος κάθε εργαζόμενου
- Κόστος υπερωρίας
- Κόστος υπερεργασίας
- Διαθέσιμος αριθμός εργαζομένων
- Μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό μεταβολής εργαζομένων
- Ελάχιστος αριθμός εργαζομένων που απαιτείται για την ομαλή λειτουργία του καταστήματος
- Στοχοθεσία πωλήσεων καταστημάτων για τους επόμενους 16 μήνες και αντίστοιχη πληροφορία από το περασμένο έτος

3.2.1 Καθορισμός Χαρακτηριστικής Εξίσωσης

Πρώτο βήμα για τον καθορισμό την παραγωγή του budget του εξεταζόμενου καταστήματος από το Υποσύστημα 1 είναι ο καθορισμός της χαρακτηριστικής εξίσωσης του καταστήματος.

Αρχικά, για κάθε μήνα μέσα στις δύο χρονιές που εξετάζουμε, υπολογίζονται οι μέσες τιμές των παραμέτρων που αναφέρθηκαν. Παράλληλα υπολογίζεται το μέσο κέρδος ανά πωληθείσα μονάδα ως $Profit\ per\ Unit = \frac{Margin}{Unit}$. Με βάση τα παραπάνω, στο case study του καταστήματος που εξετάζουμε λαμβάνουμε τον πίνακα 3.1.

Month	Eligible Customers	Units	Margin	Number of Employees	Profit per Unit
1	56.29575	24.79482	398.3155	11.80961	16.06446
2	49.14364	21.39273	330.4196	11.88000	15.44542
3	43.70101	18.71791	305.5011	10.40034	16.32133
4	40.37258	18.29701	263.7253	10.55888	14.41357
5	39.75382	19.37861	306.0991	10.65365	15.79572
6	44.97236	23.98211	444.4551	11.39675	18.53278
7	44.97381	21.96890	369.8232	11.31260	16.83394
8	41.93031	20.14100	322.0699	11.02431	15.99076
9	46.30081	21.11870	362.9266	11.68293	17.18508
10	50.49915	22.62564	409.9104	11.59829	18.11707
11	75.55224	28.92371	482.7203	12.48259	16.68943
12	1265.74539	32.95941	467.3460	13.93727	14.17944

Πίνακας 3.1: Στατιστικά Στοιχεία ανά Μήνα - Case Study Καταστήματος

Με βάση τον πίνακα 3.1 γίνεται υπολογισμός της χαρακτηριστικής εξίσωσης του καταστήματος. Ορίζουμε ότι:

$$Y = y_i = \frac{Units_i}{Eligible Customers_i}$$

$$X = x_i = \frac{Number of Employees_i}{Eligible Customers_i}$$

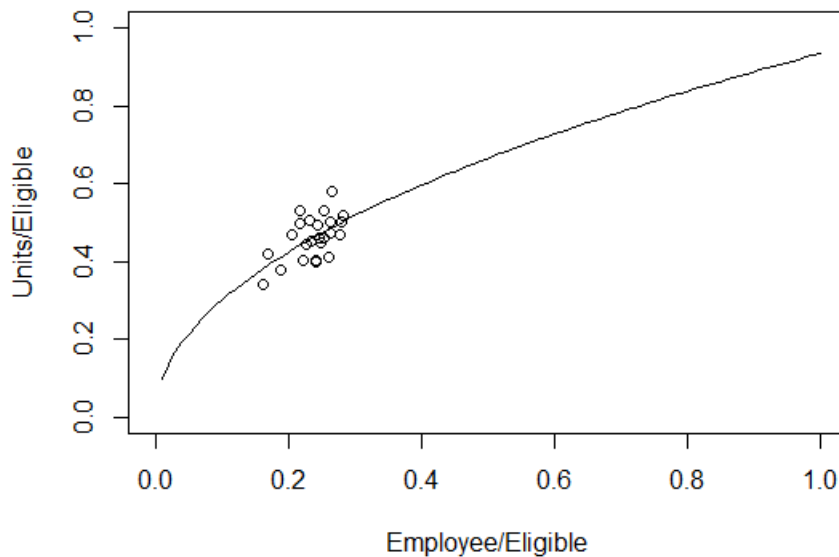
$$Profit\ per\ Unit_i = \frac{Margin_i}{Units}, \quad i = 1 \dots 12 \quad (3.2.1)$$

Από τις τιμές αυτές αφαιρούμε τις ακραίες τιμές απαιτώντας $0.16 \leq y_i \leq 0.9$ και $0.01 \leq x_i \leq 0.9$. Για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των μεταβλητών X και Y για να εφαρμόσουμε γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης, αφού πρώτα εφαρμόσουμε λογαριθμικό μετασχηματισμό. Τελικά καταλήγουμε στη χαρακτηριστική εξίσωση του καταστήματος η οποία περιγράφεται με την παρακάτω σχέση:

$$\frac{Units}{Eligible Customers} = \alpha \cdot \left(\frac{Number of Employees}{Eligible Customers} \right)^b \quad (3.2.2)$$

α = Branch Capacity (Maximum units sold per customer)

b = Staff efficiency (Conversion Rate)

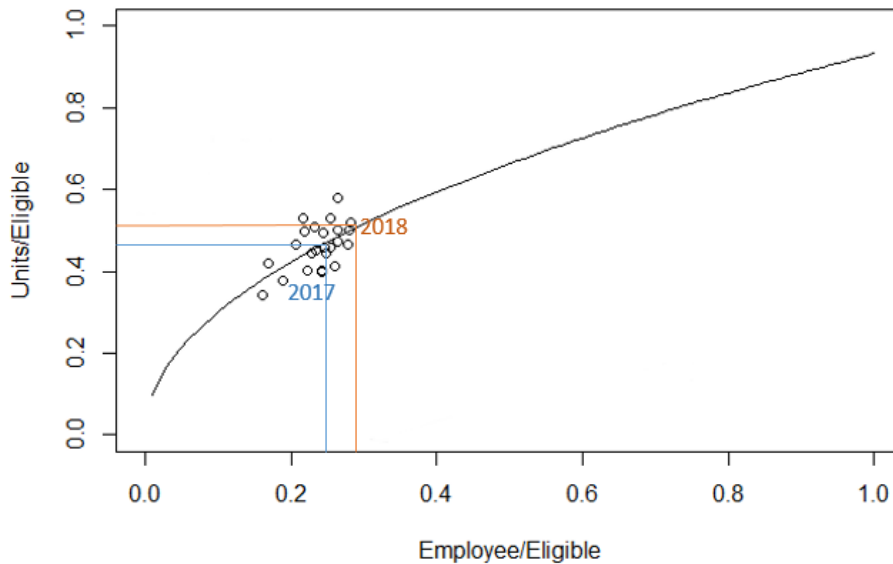


Σχήμα 3.2: Χαρακτηριστική Εξίσωση - Case Study Καταστήματος

Κάθε κατάστημα του δικτύου έχει προφανώς ξεχωριστά χαρακτηριστικά τα οποία μπορεί να προκύπτουν λόγω της τοποθεσίας του, του μεγέθους του καθώς και του προφίλ των

πελατών και των εργαζομένων του και επομένως η χαρακτηριστική εξίσωση θα διαφέρει από κατάστημα σε κατάστημα λόγω της διαφοράς στα ιστορικά στοιχεία τους. Εδώ γίνεται η παρατήρηση, δεδομένης της εικόνας των καταστημάτων από τα ιστορικά δεδομένα, ότι οι δυο παράμετροι της εξίσωσης δεν μεταβάλλονται σημαντικά με τη πάροδο του χρόνου. Επιπλέον τα επίπεδα προσέλευσης πελατών (Footfall) είναι σχετικά σταθερά. Συμπεραίνουμε επομένως πως προκειμένου να παρατηρηθεί αύξηση στις πωλήσεις, εξετάζουμε το ενδεχόμενο της αύξησης είτε του αριθμού των εργαζομένων είτε της αποτελεσματικότητάς τους.

Στο παράδειγμα που εξετάζεται, το κατάστημα μπορεί να θέσει ως στόχο για την επόμενη χρονιά μια αύξηση της τάξης του 10% σε πωλήσεις, το οποίο μεταφράζεται σε αριθμό μονάδων που πουλήθηκαν αν υποθέσουμε σταθερό επίπεδο στο μοναδιαίο περιθώριο συνεισφοράς. Μέσω της χαρακτηριστικής εξίσωσης μπορεί να καθοριστεί ο αριθμός των εργαζομένων που απαιτείται για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός. Οποιαδήποτε μεταβολή στον κάθετο άξονα η οποία ισοδυναμεί με αύξηση των πωλήσεων μεταφράζεται σε αύξηση του δυναμικού που πλαισιώνει τα καταστήματα.



Σχήμα 3.3: Χαρακτηριστική Εξίσωση - Case Study Καταστήματος

3.2.2 Βελτιστοποίηση του Λόγου Εργαζομένων - Πελατών

Για τη βελτιστοποίηση του λόγου του αριθμού εργαζομένων ανά πελάτη, θα εξετάσουμε και πάλι τα δεδομένα του πίνακα 3.1. Για κάθε μήνα έχουν οριστεί μέσω της 3.2.1 ο λόγος των πωληθέντων μονάδων ανά εισερχόμενο πελάτη, καθώς και ο λόγος εργαζομένων ανά εισερχόμενο πελάτη ενώ έχει επίσης οριστεί το κέρδος ανά πωληθείσα μονάδα προϊόντος:

$$Y = y_i = \frac{Units_i}{Eligible\ Customers_i} \quad X = x_i = \frac{Number\ of\ Employees_i}{Eligible\ Customers_i}$$

$$Profit\ per\ Unit_i = \frac{Margin_i}{Units}, \quad i = 1...12$$

Γνωστά είναι επίσης τα α, b της χαρακτηριστικής εξίσωσης. Σκοπός είναι η εύρεση του βέλτιστου $k = \frac{\text{Number of Employees}}{\text{Eligible Customers}}$.

Για το σκοπό αυτό ορίζουμε ότι:

$$dx_{i,j} = (k_j - \bar{X}) \cdot \text{Eligible Customers}_i \cdot \text{Cost per Employee} \quad (3.2.3)$$

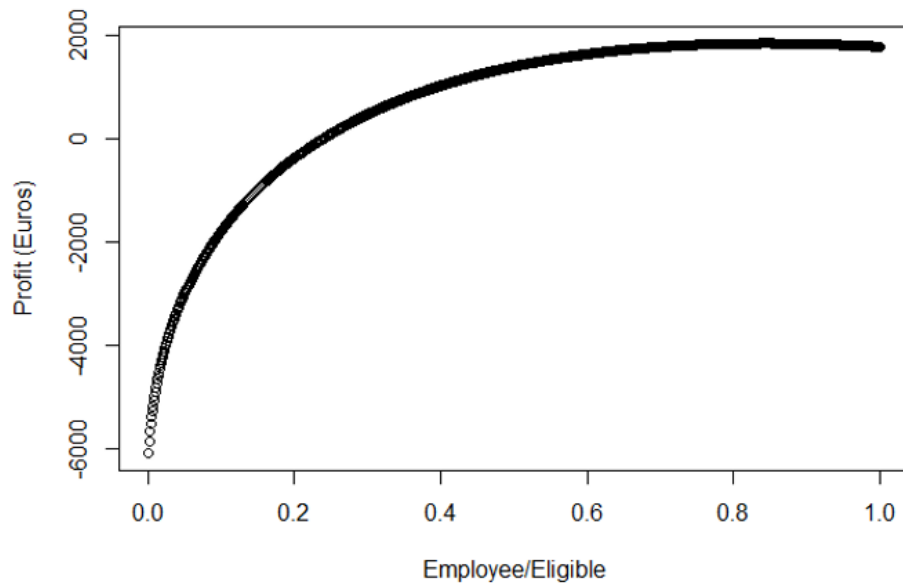
$$dy_{i,j} = (e^\alpha \cdot k_j^b - e^\alpha \cdot \bar{X}^b) \cdot \text{Eligible Customers}_i \cdot \text{Profit per Unit}_i \quad (3.2.4)$$

$$\text{profit}_j = \sum y_i - \sum x_i, \quad i = 1 \dots 12 \quad (3.2.5)$$

Τελικά,

$$k_{\text{optimal}} = k \quad \tau.ω. \quad \text{profit}(k) = \min_{j \in [0.001, 1]} (\text{profit}_j) \quad (3.2.6)$$

Στο σχήμα 3.4 παρατηρούμε πως το κατάστημα που εξετάζουμε μπορεί να αναμένει κέρδος τυπικά για τιμές του k από 25% έως 100%. Ωστόσο, όπως φαίνεται από το ίδιο διάγραμμα, για τιμές μεγαλύτερες του 40% δε παρατηρείται σημαντική αύξηση των κερδών.



Σχήμα 3.4: Βελτιστοποίηση του Λόγου Εργαζομένων - Πελατών - Case Study Καταστήματος

Παράλληλα, η βελτιστοποίηση του ζητούμενου λόγου μπορεί να μην είναι πάντα εφικτή λόγω εξωτερικών παραγόντων όπως είναι περιορισμοί στο budget της εταιρείας και επομένως η πρόταση κάθε φορά συνοδεύεται από κατάλληλο έλεγχο. Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι παραπάνω περιορισμοί έτσι ώστε να προτείνεται από το σύστημα η αύξηση του ανθρώπινου δυναμικού των καταστημάτων μόνο όταν αυτό είναι δυνατό και μόνο όταν αυτή δύναται να αυξήσει σημαντικά το κέρδος του καταστήματος, θα πρέπει να οριστούν κάποιοι επιπλέον περιορισμοί.

Αρχικά, για κάθε κατάστημα του δικτύου, υπολογίζεται η παράγωγος της χαρακτηριστικής εξίσωσής του για τη μέση τιμή του λόγου k της προηγούμενης χρονιάς. Η τιμή αυτή αποτελεί το κόστος που απαιτείται για την αύξηση του κέρδους (Coefficient of Return, abbr. CoR).

$$CoR = \alpha \cdot b \cdot \frac{\text{Number of Employees}^{b-1}}{\text{Eligible Customers}} \cdot \frac{\text{Margin/Unit}}{\text{Salary}} \quad (3.2.7)$$

Όπως ορίζεται και για κάθε κατάστημα ξεχωριστά, έτσι μπορούμε να ορίσουμε και το CoR για το σύνολο των καταστημάτων (CoR_{total}), και διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

- Αν $CoR_{total} \geq CoR$ τότε το πρόβλημα εντοπίζεται στην μικρή απόδοση των εργαζομένων και όχι στον ελλειπή αριθμό τους. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να εξεταστούν εναλλακτικές ενέργειες για να γίνουν οι υπάλληλοι πιο αποδοτικοί και το αποτέλεσμα της χαρακτηριστικής εξίσωσης δε λαμβάνεται υπόψη
- Αν $CoR_{total} \leq CoR$ τότε δεν υπάρχει πρόβλημα με την απόδοση του καταστήματος και η λύση περιορίζεται στην πρόσληψη νέων εργαζομένων. Εδώ λοιπόν η λύση της χαρακτηριστικής εξίσωσης γίνεται αποδεκτή.

3.2.3 Εύρεση Baseline Εργατικού Δυναμικού

Αφού γίνει ο προσδιορισμός του $k_{optimal}$ για το ερχόμενο έτος μέσω της μεθοδολογίας που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα, μπορούμε να υπολογίσουμε τον συνολικό αριθμό των FTEs. Αυτά υπολογίζονται τόσο συνολικά σε επίπεδο χρόνου όσο και σε επίπεδο μήνα προσαρμοσμένο ανάλογα με την εποχιακότητα μέσα στο χρόνο, με απλές αναλογίες.

Ωστόσο, λαμβάνεται υπόψη και η στοχοθεσία του καταστήματος σε πωλήσεις (σε χιλιάδες ευρώ) για το επόμενο έτος (Target Net Sales). Με βάση τη στοχοθεσία αυτή καθώς και τις πραγματικές πωλήσεις που πραγματοποιήθηκαν στους αντίστοιχους μήνες το περασμένο έτος (Actual Net Sales) και τις ποσότητες x_i , y_i , α και b όπως ορίστηκαν στις 3.2.1 και 3.2.2, ορίζουμε τον λόγο k_{target} στον οποίο στοχεύει το κατάστημα βάσει πλάνου:

$$adjustment = median \left[\max \left(\frac{\text{Target Net Sales}_i}{\text{Actual Net Sales}_i}, 0 \right) \right] \quad (3.2.8)$$

$$y'_i = y_i \cdot adjustment \quad (3.2.9)$$

$$dx_i = \exp \left(\log \left(\frac{y'_i}{e^\alpha} \right) / b \right) - \exp \left(\log \left(\frac{y_i}{e^\alpha} \right) / b \right) \quad (3.2.10)$$

$$x'_i = x_i + dx_i \quad (3.2.11)$$

$$k_{target} = \overline{X'}, \quad i = 1 \dots 12 \quad (3.2.12)$$

Τελικά,

$$k = \begin{cases} \overline{X}, & k_{target} \geq k_{optimal} \\ \min (\max (k_{target}, \overline{X}, k_{min}), k_{optimal}), & k_{target} < k_{optimal} \end{cases} \quad (3.2.13)$$

Εν τέλει, η ποσότητα $k = \frac{\text{Number of Employees}}{\text{Eligible Customers}}$ για το ερχόμενο έτος για εξεταζόμενο κατάστημα έχει καθοριστεί και μέσω αυτού μπορεί να καθοριστεί ο επιθυμητός αριθμός εργαζομένων ανά μήνα:

$$\text{Optimal Employees}_i = \text{Eligible Customers}_i \cdot k \cdot 1.5, \quad i = 1 \dots 12 \quad (3.2.14)$$

Προκειμένου να μην εμφανίζονται μεγάλες αποκλίσεις από τις ισχύουσες πολιτικές, τροποποιούμε το αποτέλεσμα συγκρίνοντάς το με τη μέση εικόνα του καταστήματος ως εξής:

$$d = \overline{\text{Optimal Employees}} - \overline{\text{Number of Employees}} \cdot 1.5 \quad (3.2.15)$$

$$\text{Optimal Employees}_i = \begin{cases} \text{Optimal Employees}_i, & d \leq 5 \\ \text{Optimal Employees}_i - d, & d > 5, \end{cases} \quad i = 1 \dots 12 \quad (3.2.16)$$

Στο παράδειγμα του καταστήματος που εξετάζουμε είναι:

Month	Optimal Employees
1	43.6675
2	41.1275
3	39.1975
4	38.0075
5	37.7875
6	39.6475
7	39.6475
8	38.5675
9	40.1175
10	41.6075
11	50.5175
12	47.0275

Πίνακας 3.2: Βέλτιστος αριθμός Εργαζομένων - Case Study Καταστήματος

Φυσικά εφόσον πρόκειται για αριθμό εργαζομένων, η λύση πρέπει να τροποποιηθεί. Παράλληλα, πρέπει να ληφθεί υπόψη πως η εποχιακότητα μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες μεταβολές ανα μήνα το οποίο δεν είναι πάντα ρεαλιστικό πλάνο για την διαχείριση των εργαζομένων ενός καταστήματος. Ακόμη, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι άδειες που δικαιούνται οι εργαζόμενοι στο σύνολό της καθώς και η δυνατότητα που δίνεται για υπερωρίες και υπερεργασία. Τροποποιούμε λοιπόν τη βέλτιστη λύση περαιτέρω. Αρχικά, με βάση αυτή, ανάγουμε τον βέλτιστο αριθμό εργαζομένων ανά μήνα σε μία μέση τιμή (Βάση Αριθμού Εργαζομένων), η οποία στο σύνολο του έτους ελαχιστοποιεί τη ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος από τη βέλτιστη

λύση. Ακόμη, το αποτέλεσμα πρέπει πάντα να ξεπερνά τον ελάχιστο αριθμό εργαζομένων που χρειάζεται το κατάστημα για να λειτουργήσει:

$$RMSE_j = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (j - Optimal\ Employees_i)^2} \quad (3.2.17)$$

$$m = \max(Optimal\ Employees) \quad (3.2.18)$$

$$p = p_k \quad \tau.\omega. \quad RMSE(p_k) = \min_{j \in [1, 1.25, \dots, m]} (RMSE_j) \quad (3.2.19)$$

$$Base\ Employees_i = \max(p, Minimum\ Capacity), \quad i = 1 \dots 12 \quad (3.2.20)$$

Στο παράδειγμα που εξετάζουμε προκύπτει ότι:

Month	Base Employees
1	41.25
2	41.25
3	41.25
4	41.25
5	41.25
6	41.25
7	41.25
8	41.25
9	41.25
10	41.25
11	41.25
12	41.25

Πίνακας 3.3: Βάση Αριθμού Εργαζομένων - Case Study Καταστήματος

Το αποτέλεσμα για τον αριθμό εργαζομένων μπορεί να αναχθεί σε FTEs:

$$Optimal\ FTEs_i = Optimal\ Employees_i \cdot 166.5 \quad (3.2.21)$$

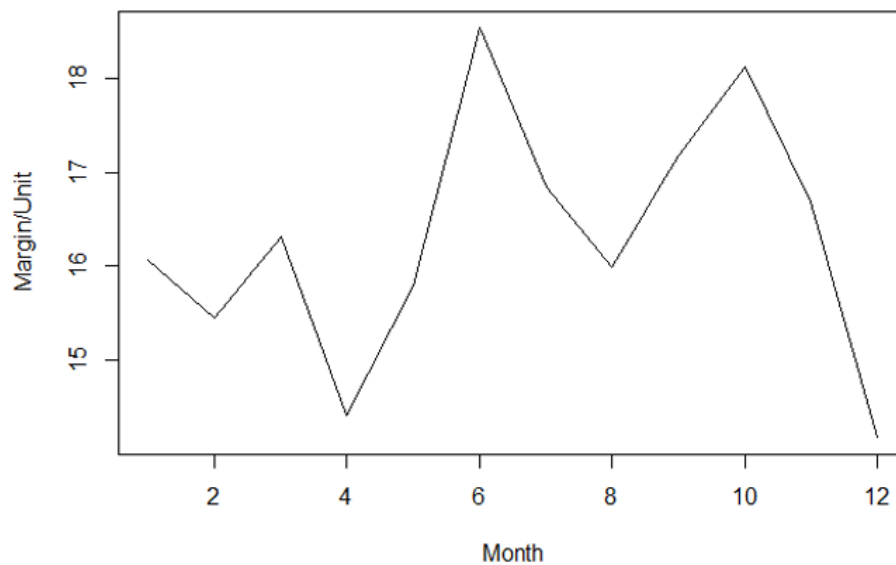
$$Base\ FTEs_i = Base\ Employees_i \cdot 166.5, \quad i = 1 \dots 12 \quad (3.2.22)$$

3.2.4 Scheduling

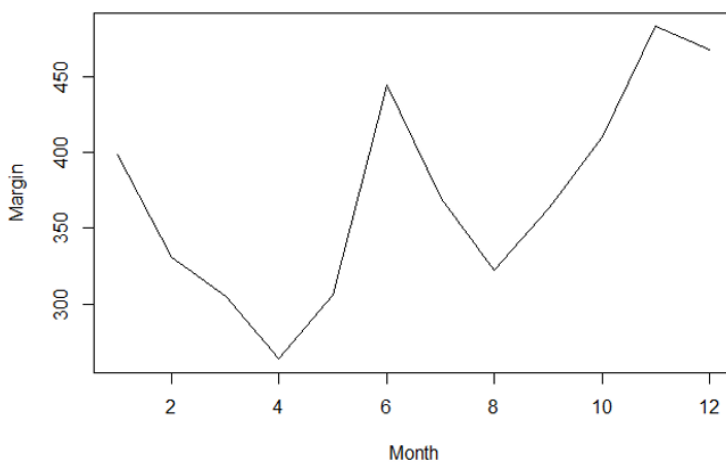
Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα περιπτώσεις που η εποχιακότητα μπορεί να οδηγήσει σε μη ρεαλιστική λύση όσον αφορά τις μηνιαίες διακυμάνσεις του προσωπικού και επομένως η πραγματική λύση εν τέλει επιχειρεί να προσεγγίσει τη βέλτιστη. Για να γίνει αυτό, προσαρμόζεται η βάση του αριθμού εργαζομένων με υπερωρίες, υπερεργασία και άδειες κάθε μήνα λαμβάνοντας φυσικά υπόψη το εκάστοτε νομικό πλαίσιο για την εργασία των

υπαλλήλων των καταστημάτων. Προκειμένου να καθοριστούν οι χρονικές περίοδοι που πρέπει να πραγματοποιηθούν αυτές οι προσαρμογές, εφαρμόζουμε απλές αναλογίες στηριζόμενοι:

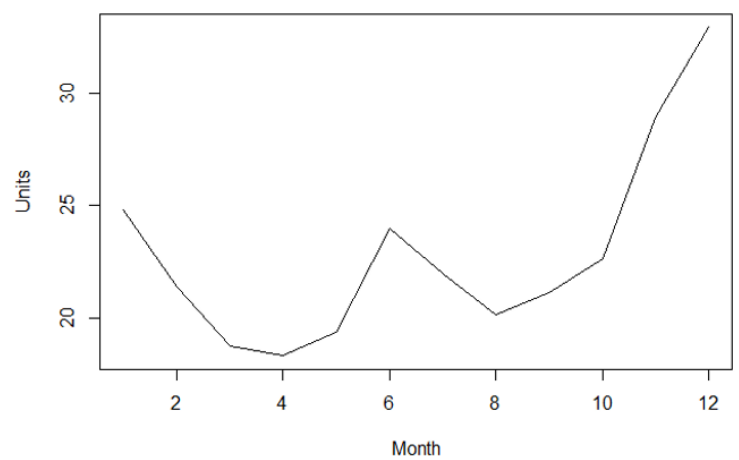
- στο μέσο κόστος ανά μήνα
- στο σύνολο των μονάδων που πωλούνται ανά μήνα
- στο margin ανά μήνα



Σχήμα 3.5: Μέσο Κόστος ανά Μήνα



Σχήμα 3.6: Margin ανά Μήνα



Σχήμα 3.7: Μονάδες ανά Μήνα

Αρχικά λοιπόν μελετάται ο αριθμός των ημερών (Vacation Days) που πρέπει να δοθούν ως άδειες ανά εργαζόμενο. Για να γίνει αυτό, εξετάζεται αρχικά η δραστηριότητα του καταστήματος ανά μήνα. Με βάση αυτή, ορίζονται κατάλληλα βάρη w_i για κάθε μήνα και με αναλογίες οι άδειες μοιράζονται μέσα στο έτος:

$$Available\ Vacation = \overline{Base\ Employees} \cdot Vacation\ Days \cdot 6.67 \quad (3.2.23)$$

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^{12} Eligible\ Customers_i \cdot Profit\ per\ Unit}{Eligible\ Customers_i \cdot Profit\ per\ Unit} \quad (3.2.24)$$

$$Vacation_i = Available\ Vacation_i \cdot \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{12} w_i}, \quad i = 1 \dots 12 \quad (3.2.25)$$

Στη συνέχεια, γίνεται προσπάθεια προσέγγισης της βέλτιστης λύσης μέσω του καταμερισμού υπερεργασίας και υπερωριών. Αρχικά σημειώνεται πως ορίζουμε ως υπερεργασία την εργασία η οποία παρέχεται πέραν του συμβατικού ωραρίου και μέχρι του ανώτατου ορίου του νόμιμου ωραρίου του μισθωτού. Αντίθετα, υπερωρία είναι η απασχόληση του μισθωτού πέρα από το ανώτατο όριο του νόμιμου ωραρίου του. Λαμβάνεται υπόψη ότι οι ώρες υπερωριακής εργασίας που χορηγούνται από τις οικείες Κοινωνικές Επιθεωρήσεις Εργασίας είναι 120 ώρες ετησίως και πως σε κάθε εργαζόμενο αντιστοιχούν 25 ώρες υπερεργασίας μηνιαίως.

Για να γίνει γίνει ένταξη των δύο αυτών παραμέτρων στην πρόταση, εξετάζουμε αρχικά τη διαφορά βέλτιστου και προτεινόμενου αριθμού FTEs. Αν η διαφορά αυτή μπορεί να καλυφθεί μέσω υπερεργασίας σύμφωνα με τις ισχύουσες νομικές διατάξεις, τότε η διαφορά προστίθεται ως υπερεργασία στην πρόταση. Όσον αφορά τις υπερωρίες, επειδή αυτές όπως αναφέρθηκε αιροίζονται ετησίως, υπολογίζονται μέσω της εποχιακότητας μελετώντας τη μηνιαία δραστηριότητα του καταστήματος και υπολογίζοντας τα κατάλληλα βάρη. Όσον αφορά την υπερεργασία, το επιτρεπτό όριο είναι σταθερό κάθε μήνα και επομένως αρκεί να εξετάσουμε τις ανάγκες του κααστήματς για κάθε μήνα ξεχωριστά. Συνοπτικά:

$$need_i = Optimal\ FTEs_i - Working\ FTEs_i \quad (3.2.26)$$

$$w_i = \frac{Eligible\ Customers_i \cdot Profit\ per\ Unit}{\sum_{i=1}^{12} (Eligible\ Customers_i \cdot Profit\ per\ Unit)} \quad (3.2.27)$$

$$Overtime\ FTEs_i = \begin{cases} Base\ Employees_i \cdot 120 \cdot w_i, & Base\ Employees_i \cdot 120 \cdot w_i \leq need_i \\ need_i, & Base\ Employees_i \cdot 120 \cdot w_i > need_i \end{cases} \quad (3.2.28)$$

$$Extratime\ FTEs_i = \begin{cases} Base\ Employees_i \cdot 25, & Base\ Employees_i \cdot 25 \leq need_i \\ need_i, & Base\ Employees_i \cdot 25 > need_i \end{cases}, \quad i = 1 \dots 12 \quad (3.2.29)$$

Επομένως, θα ισχύει ότι:

$$Total\ FTEs_i = Base\ FTEs_i + Extratime\ FTEs_i + Overtime\ FTEs_i \quad (3.2.30)$$

$$Working\ FTEs_i = Total\ FTEs_i - Vacation_i, \quad i = 1 \dots 12 \quad (3.2.31)$$

Όσον αφορά το μηνιαίο κόστος, προκύπτει ότι:

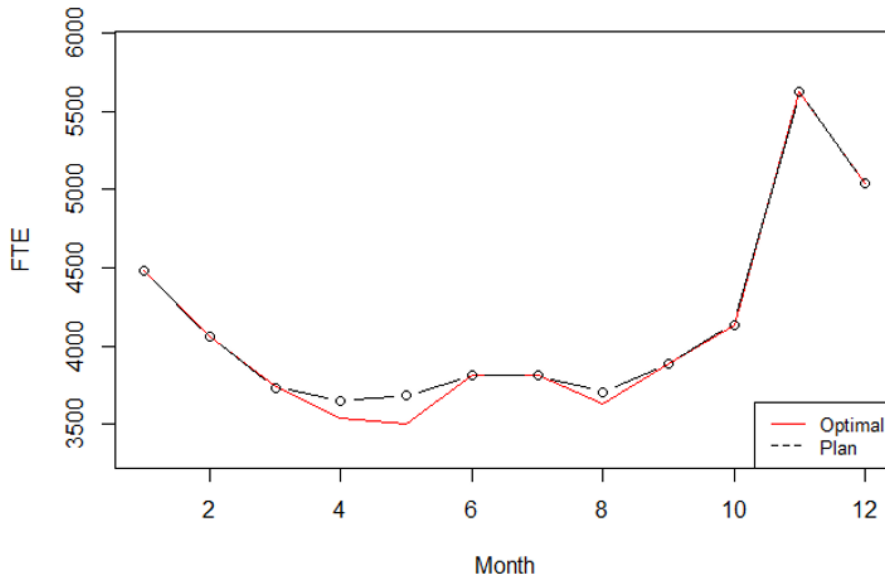
$$Employee\ Cost_i = Base\ FTEs_i \cdot Employee\ Cost \quad (3.2.32)$$

$$Extratime\ Cost_i = Extratime\ FTEs_i \cdot Employee\ Cost \cdot Extratime\ Cost \quad (3.2.33)$$

$$Overtime\ Cost_i = Overtime\ FTEs_i \cdot Employee\ Cost \cdot Overtime\ Cost \quad (3.2.34)$$

$$Cost_i = Employee\ Cost_i + Extratime\ Cost_i + Overtime\ Cost_i, \quad i = 1 \dots 12 \quad (3.2.35)$$

Εν τέλει έχει γίνει προσέγγιση της βέλτιστης λύσης λαμβάνοντας υπόψη άδειες, υπερεργασία και υπερωρίες η οποία φαίνεται στο σχήμα 3.8.



Σχήμα 3.8: Προτεινόμενα FTE's ανά Μήνα - Case Study Καταστήματος

Ωστόσο παρατηρούνται ακόμα έντονες μεταβολές στον αριθμό εργαζομένων στη διάρκεια του έτους οι οποίες οφείλονται στην εποχιακότητα. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα, εξετάζουμε για κάθε μήνα τη διαφορά βέλτιστου και προτεινόμενου αριθμού εργαζομένων. Σε περίπτωση που αυτή ξεπερνάει ένα συγκεκριμένο όριο (0.5), προστίθεται ένας εργαζόμενος στη βάση εργαζομένων για το συγκεκριμένο μήνα. Λαμβάνοντας υπόψη την ελάχιστη διάρκεια εργασίας τριών μηνών, εργαζόμαστε ως εξής:

– Αν βρισκόμαστε στον πρώτο μήνα του έτους:

$$Base\ Employees_i = Base\ Employees_i + 0.5, \quad i = 1, 2, 3$$

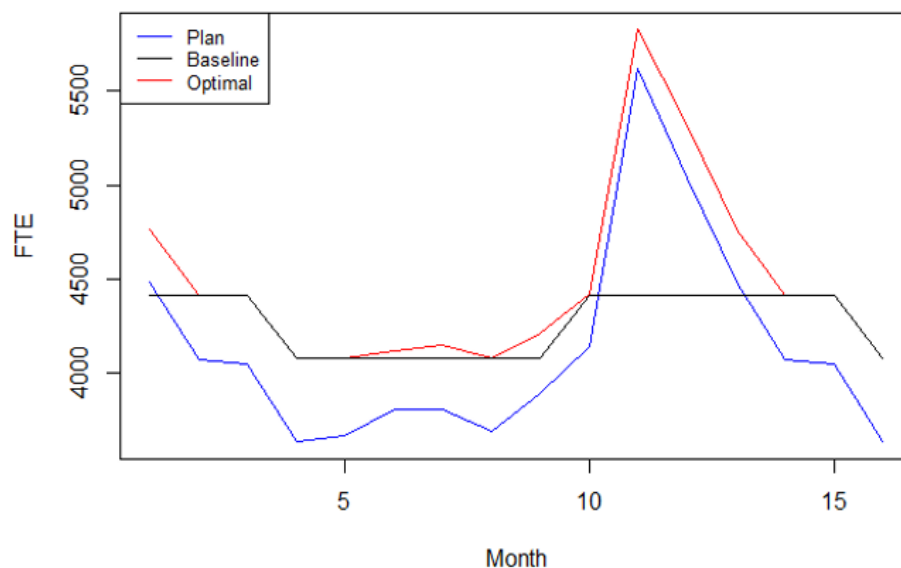
- Αν βρισκόμαστε στον τελευταίο μήνα του έτους:

$$Base\ Employees_i = Base\ Employees_i + 0.5, \quad i = 10, 11, 12$$

- Αν βρισκόμαστε σε άλλο μήνα k:

$$Base\ Employees_i = Base\ Employees_i + 0.5, \quad i = k - 1, k, k + 1$$

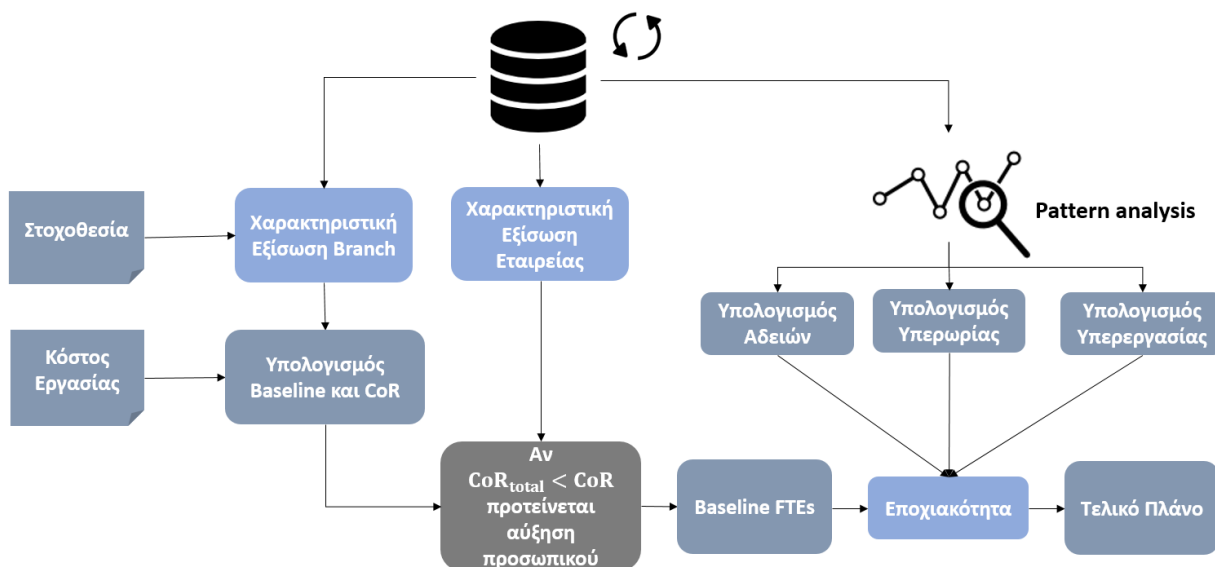
Με το καινούριο πλήθος βασικών εργαζομένων ανά μήνα επανυπολογίζονται τα FTEs μέσω της διαδικασίας που περιγράφηκε. Στο σχήμα 3.9 καθώς και στον πίνακα 3.4, φαίνεται τελικά το μηνιαίο πλάνο σε FTEs, με προσαρμοσμένες τις υπερωρίες, τις υπερεργασίες και τις άδειες αν εφαρμοστεί για την περίοδο Ιανουάριος 2018 - Απρίλιο 2019. Τέλος, στην εικόνα 3.10 φαίνεται αναλυτικά το σχήμα του υποσυστήματος 1 όπως περιγράφηκε.



Σχήμα 3.9: Μηνιαίος Προγραμματισμός - Case Study Καταστήματος

Month	Year	Employees	Actual FTE	Total FTE	Base FTE	Extratime FTE	Overtime FTE	Vacation	Cost
1	2018	26.75	4601	4900	4454	446	0	299	36982
2	2018	26.75	4103	4454	4454	0	0	351	36256
3	2018	26.75	4069	4454	4454	0	0	385	36256
4	2018	24.75	3704	4129	4121	8	0	425	33558
5	2018	24.75	3746	4121	4121	0	0	375	33545
6	2018	24.75	3825	4143	4121	22	0	318	33581
7	2018	24.75	3818	4180	4121	59	0	362	33641
8	2018	24.75	3713	4121	4121	0	0	408	33545
9	2018	24.75	3900	4244	4121	123	0	344	33745
10	2018	26.75	4155	4454	4454	0	0	299	36256
11	2018	26.75	5682	5899	4454	669	776	217	39871
12	2018	26.75	5084	5378	4454	669	255	294	38175
1	2019	26.75	4601	4900	4454	446	0	299	36982
2	2019	26.75	4103	4454	4454	0	0	351	36256
3	2019	26.75	4069	4454	4454	0	0	385	36256
4	2019	24.75	3704	4129	4121	8	0	425	33558

Πίνακας 3.4: Μηνιαίος Προγραμματισμός - Case Study Καταστήματος



Σχήμα 3.10: Υποσύστημα 1

3.3 Υποσύστημα 2 - Προγραμματισμός Βαρδιών

Όπως αναφέρθηκε, επόμενο βήμα μετά τον υπολογισμό των συνολικών FTEs σε επίπεδο χρόνου ανά μήνα, είναι ο σχεδιασμός ενός δεύτερου υποσυστήματος. Μέσω αυτού και δεδομένων των πόρων του κάθε καταστήματος, θα εξάγεται ο προγραμματισμός σε επίπεδο εβδομάδας, ημέρας και ώρας ενώ παράλληλα θα αποτελεί το εργαλείο διαχείρισης βαρδιών σε ονομαστικό επίπεδο.

Τα δύο βασικά βήματα που αποτελούν το δεύτερο υποσύστημα είναι η πρόβλεψη της εισόδου πελατών στα καταστήματα (Footfall) και ο προγραμματισμός των εργαζομένων βάσει αυτής (Rostering).

3.3.1 Διαδικασία Πρόβλεψης Footfall

Για την πρόβλεψη του Footfall σε καθένα από τα καταστήματα που εξετάζονται, ακολουθούνται πέντε βασικά βήματα τα οποία περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

- Μελέτη επίδρασης του μήνα μέσα στο έτος
- Μελέτη επίδρασης της ώρας μέσα στην ημέρα
- Μελέτη επίδρασης της μέρας μέσα στο μήνα
- Πρόβλεψη μέσω της μεθόδου αποσύνθεσης

Όσον αφορά τα δεδομένα που εξετάζονται, γίνεται χρήση ιστορικών δεδομένων δύο χρόνων για κάθε κατάστημα τα οποία έχουν την μορφή του πίνακα , όπως ακριβώς χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό του budget στο Υποσύστημα 1. Μέσω αυτών να εξεταστεί η εποχιακότητα και να προσδιοριστούν οι δείκτες της στα επίπεδα που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Για τον καθορισμό των δεικτών εποχιακότητας, λαμβάνουμε τις μέσες τιμές των εισερχόμενων πελατών ανά μήνα, τύπο ημέρας (Καθημερινή - Σαββατοκύριακο) και ώρα (Eligible Customers Statistics). Ενδεικτικά, στον πίνακα 3.5 φαίνονται οι μέσες τιμές των εισερχομένων πελατών ανά ώρα για τον Γενάρη και τον Φλεβάρη για τις καθημερινές και τα Σαββατοκύριακα. Στις τιμές αυτές θα βασιστεί η εξαγωγή όλων των δεικτών που μας ενδιαφέρουν.

Month	Hour	Eligible Customers - Weekdays	Eligible Customers - Weekends
1	9	33.1	24.7
1	10	50.2	45.7
1	11	65.1	74.2
1	12	75.4	99.9
1	13	66.0	86.0
1	14	53.1	77.0
1	15	40.4	58.2
1	16	41.8	44.8
1	17	54.7	33.5
1	18	76.4	33.4
1	19	75.8	37.4
1	20	52.6	-
2	9	33.1	22.7
2	10	50.4	38.1
2	11	57.3	65.0
2	12	66.9	82.5
2	13	49.7	82.8
2	14	41.0	59.5
2	15	30.6	44.1
2	16	35.6	38.0
2	17	43.3	35.4
2	18	66.5	34.0
2	19	68.2	33.5
2	20	44.5	-

Πίνακας 3.5: Στατιστικά Εισερχομένων Πελατών - Case Study Καταστήματος

Όσον αφορά την επίδραση του μήνα, αυτή είναι εμφανής αν εξετάσουμε μια μέση εικόνα του τυπικού δωδεκάωρου του κάθε μήνα βασιζόμενοι στα ιστορικά δεδομένα των καταστημάτων. Στον πίνακα 3.6 φαίνεται η μέση τιμή της εισόδου πελατών ανά μήνα στο κατάστημα που εξετάζουμε και οι αντίστοιχοι δείκτες εποχιακότητας, τόσο για καθημερινές όσο και για Σαββατοκύριακα, όπως έχουν προκύψει μέσω των σχέσεων 3.3.1 και 3.3.2, όπου *Month Average_i* η μέση τιμή εισερχόμενων πελατών για τον μήνα *i*. Παράλληλα ορίζουμε μία μέση τιμή εισόδου πελατών (Mean Entrance) για τις καθημερινές και μία για τα Σαββατοκύριακα ώστε να γίνει στη συνέχεια διαχωρισμός των ημερών:

$$SI_{i,month} = \frac{Month\ Average_i \cdot 12}{\sum_{i=1}^{12} Month\ Average_i}, \quad i = 1, \dots, 12 \quad (3.3.1)$$

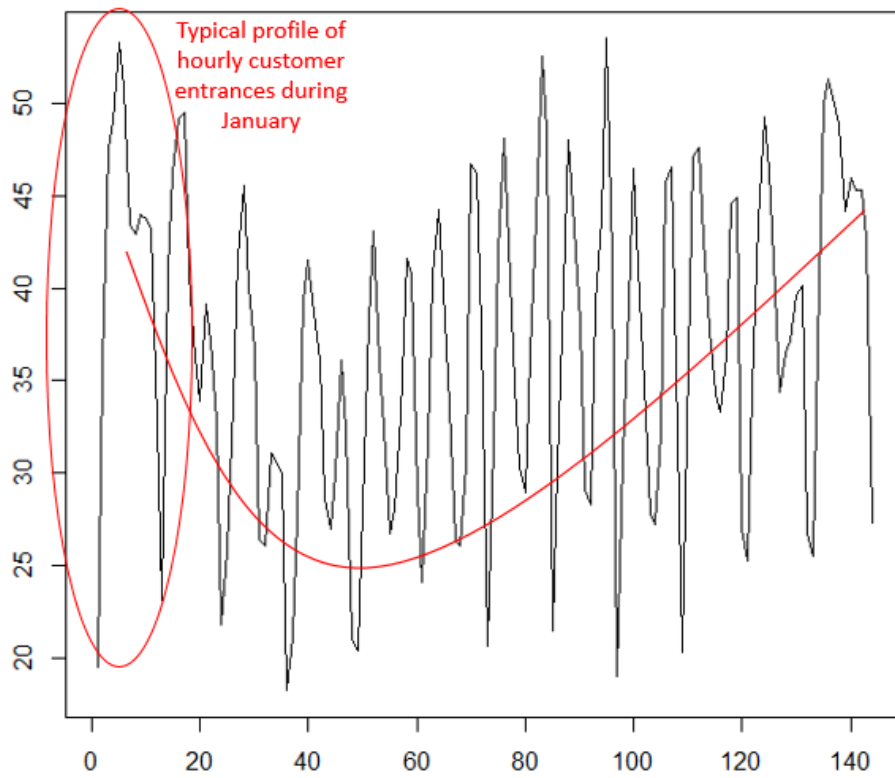
Month	Mean Entrance - Weekdays	Seasonal Indices - Weekdays	Mean Entrance - Weekends	Seasonal Indices - Weekends
1	57.1	1.156	55.9	1.176
2	48.9	0.991	48.7	1.025
3	44.2	0.895	46.9	0.988
4	44.1	0.893	39.4	0.829
5	41.9	0.848	41.2	0.868
6	46.7	0.946	43.3	0.912
7	46.5	0.942	38.9	0.818
8	43.6	0.883	31.8	0.670
9	47.1	0.995	43.1	0.907
10	49.8	1.009	46.7	0.983
11	59.5	1.205	65.5	1.379
12	63	1.277	68.65	1.445

Πίνακας 3.6: Δείκτες Εποχιακότητας Μήνα - Case Study Καταστήματος

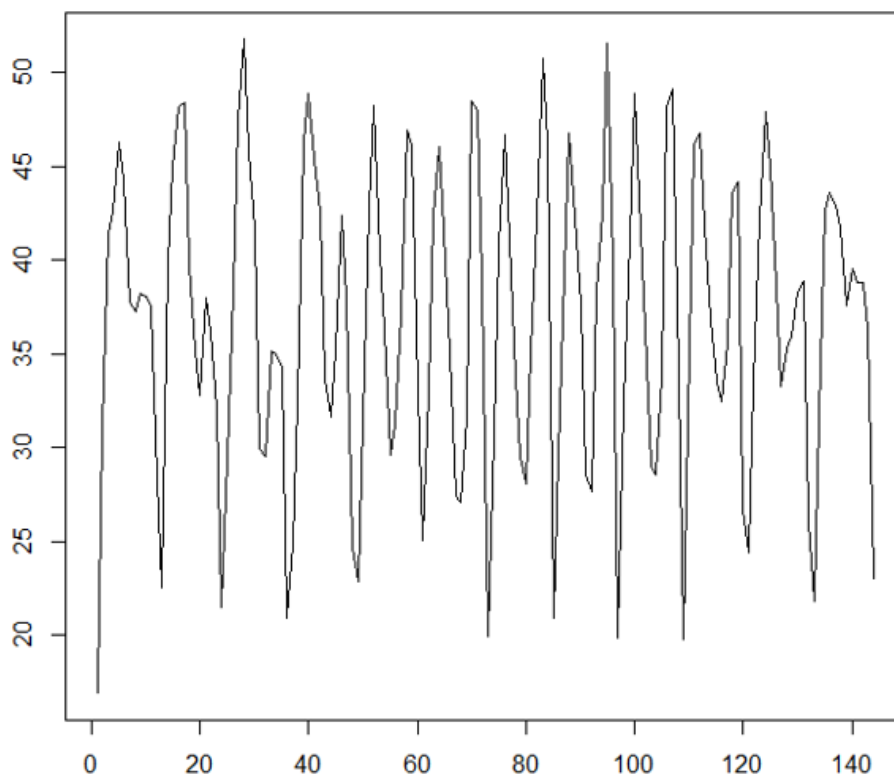
Ο λόγος των πραγματικών τιμών εισόδου πελατών προς τους αντίστοιχους δείκτες πολλαπλασιαζόμενους με το τυπικό προφίλ της ημέρας δίνουν την εικόνα του καταστήματος απαλλαγμένη από την επίδραση του μήνα.

$$Deseasonalized\ Data_i = \left(\frac{Eligible\ Customers\ Statistics_i}{SI_{i,month} \cdot Mean\ Entrance} \right), \quad i = 1, \dots, 12 \quad (3.3.2)$$

Στο σχήμα 3.11 φαίνονται τα τυπικά δωδεκάωρα κάθε μήνα στη διάρκεια ενός έτους. Παρατηρείται ότι για ορισμένους μήνες, όπως είναι ο Ιανουάριος στις αρχικές τιμές του διαγράμματος παρατηρείται εμφανής διαφοροποίηση του τυπικού προφίλ της ημερίσιας δραστηριότητας σε footfall. Στο διάγραμμα του σχήματος 3.12 φαίνεται πλέον η αντίστοιχη εικόνα της δραστηριότητας των καταστημάτων απαλλαγμένη από την επίδραση του μήνα στο case study του καταστήματος που εξετάζουμε.



Σχήμα 3.11: Είσοδος Πελατών σε 12 Εργάσιμες ώρες για 12 Μήνες



Σχήμα 3.12: Αφαίρεση Επίδρασης Μήνα

Πέρα από την επίδραση του μήνα κατά τη διάρκεια του έτους, αντίστοιχα επηρεάζει και η ώρα την προσέλευση πελατών. Για τον καθορισμό αυτών των δεικτών γίνεται χρήση των απαλλαγμένων από την επίδραση του μήνα δεδομένων. Από αυτά προκύπτει όπως προηγουμένως η ποσότητα *Hour Average_i* η οποία ισούται με τη μέση αποεποχικοποιημένη τιμή εισερχόμενων πελατών για την ώρα *i*. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το ωράριο του καταστήματος (12 ώρες τις καθημερινές και 11 ώρες τα Σαββατοκύριακα), λαμβάνουμε τις σχέσεις 3.3.4 και 3.3.5 για την αποεποχικοποίηση και τον πίνακα 3.6 με τους παραγώμενους δείκτες εποχιακότητας ανά ώρα.

$$n = \begin{cases} 12, & \text{weekdays} \\ 11, & \text{weekends} \end{cases} \quad (3.3.3)$$

$$SI_{i, \text{hour}} = \frac{\text{Hour Average}_i \cdot n}{\sum_{i=1}^n \text{Hour Average}_i}, \quad i = 1, \dots, n \quad (3.3.4)$$

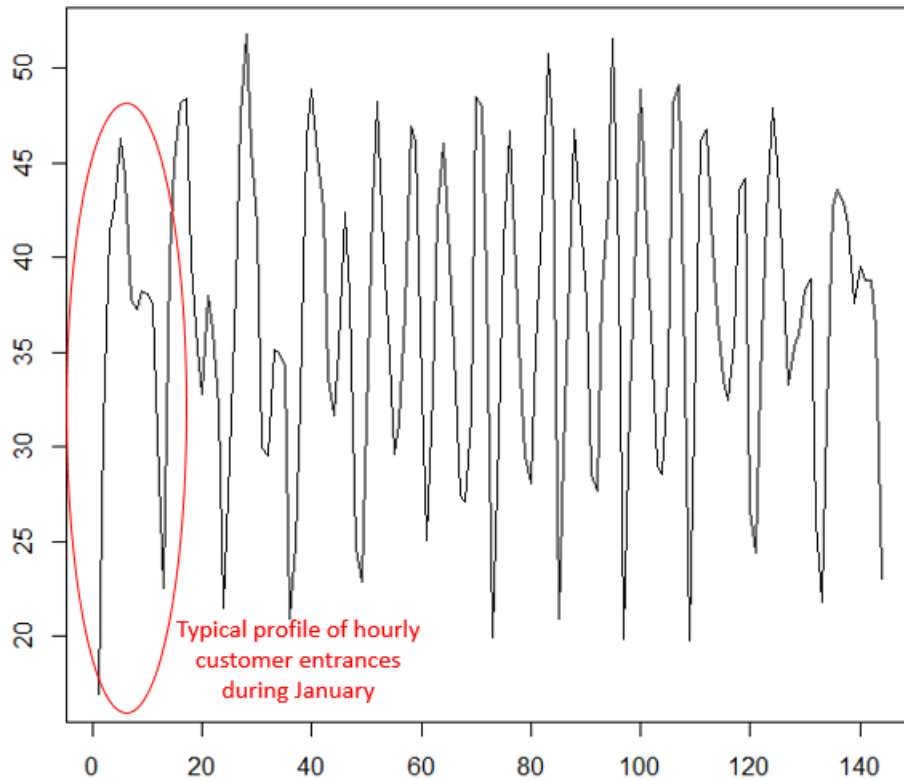
Hour	Seasonal Indices - Weekdays	Seasonal Indices - Weekends
9:00	0.695	0.606
10:00	0.959	0.955
11:00	1.151	1.436
12:00	1.261	1.663
13:00	1.047	1.547
14:00	0.796	1.163
15:00	0.608	0.876
16:00	0.692	0.666
17:00	0.867	0.626
18:00	1.283	0.675
19:00	1.529	0.636
20:00	1.113	-

Πίνακας 3.7: Δείκτες Εποχιακότητας Ώρας - Case Study Καταστήματος

Ο λόγος των αποεποχικοποιημένων τιμών εισόδου πελατών από την επίδραση του μήνα προς τους αντίστοιχους ωριαίους δείκτες εποχιακότητας δίνουν την εικόνα του καταστήματος απαλλαγμένη και την επίδραση της ώρας.

$$\text{Deseasonalized Data}_i = \left(\frac{\text{Eligible Customers Statistics}_i}{SI_{i, \text{hour}} \cdot SI_{\text{month}}} \right), \quad i = 1, \dots, n \quad (3.3.5)$$

Στο σχήμα 3.13 φαίνονται τα τυπικά δωδεκάωρα κάθε μήνα στη διάρκεια ενός έτους, ενώ στο διάγραμμα του σχήματος 3.14 φαίνεται εικόνα της δραστηριότητας των καταστημάτων απαλλαγμένη από την επίδραση της ώρας.



Σχήμα 3.13: Είσοδος Πελατών σε 12 Εργάσιμες ώρες για 12 Μήνες

Τέλος, παρατηρούνται μεταβολές στην προσέλευση πελατών στο κατάστημα, βάσει της ημέρας μέσα στο μήνα. Για παράδειγμα, παρατηρείται αυξημένη επισκεψιμότητα στην αρχή και το τέλος κάθε μήνα. Για τον υπολογισμό των δεικτών εποχιακότητας ανά ημέρα, λαμβάνουμε αρχικά τα αποεποχικοποιημένα δεδομένα μέσω των δεικτών SI_{month} και SI_{hour} που υπολογίστηκαν προηγουμένως.

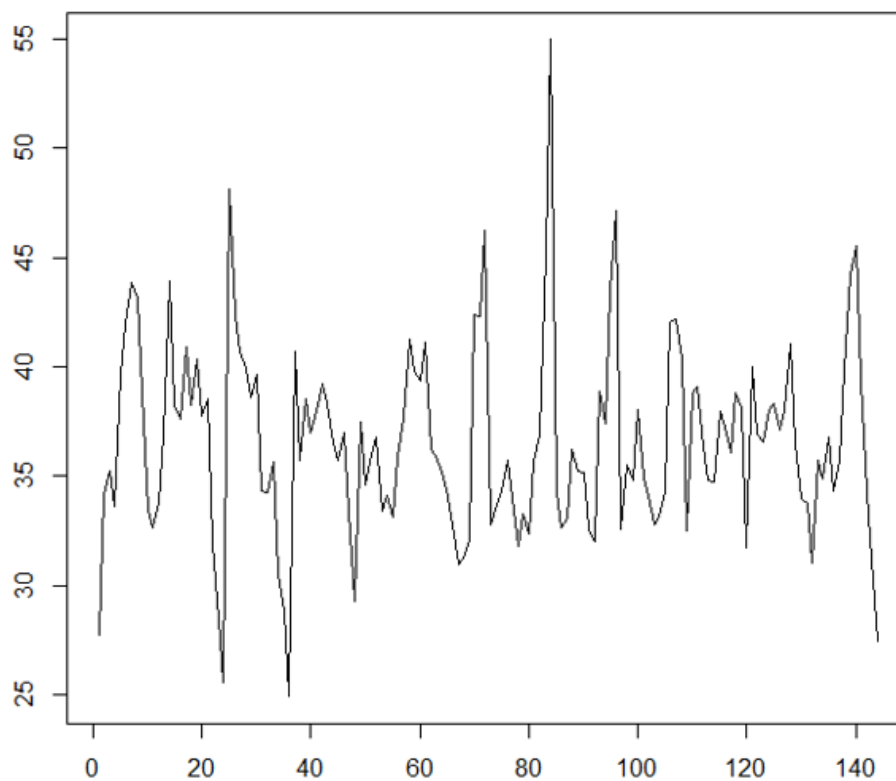
$$Deseasonalized\ Data = \left(\frac{Eligible\ Customers}{SI_{hour} \cdot SI_{month}} \right) \quad (3.3.6)$$

Επιπλέον, γίνεται χρήση στατιστικών στοιχείων επισκεψιμότητας πελατών ανά εργάσιμη ημέρα καθώς και το αντίστοιχο αποεποχικοποιημένο αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, στον πίνακα 3.8 φαίνονται τα αντίστοιχα δεδομένα για το πρώτο δεκαήμερο του Ιανουαρίου.

Με βάση τα στοιχεία αυτά, γίνεται εφαρμογή ενός μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης με ανεξάρτητες μεταβλητές τις $x_i = i$, $i = 1, \dots, n$ και x_i^2 αντίστοιχα και εξαρτημένη μεταβλητή την

$$y_i = \frac{Deseasonalized\ Eligible\ Customers_i}{Deseasonalized\ Eligible\ Customers}, \quad i = 1, \dots, n,$$

όπου n το πλήθος των ημερών μέσα στο μήνα. Η συνάρτηση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης θα είναι η 3.3.7, ενώ στο διάγραμμα του σχήματος 3.15 φαίνεται η εφαρμογή του μοντέλου για τον Ιανουάριο.



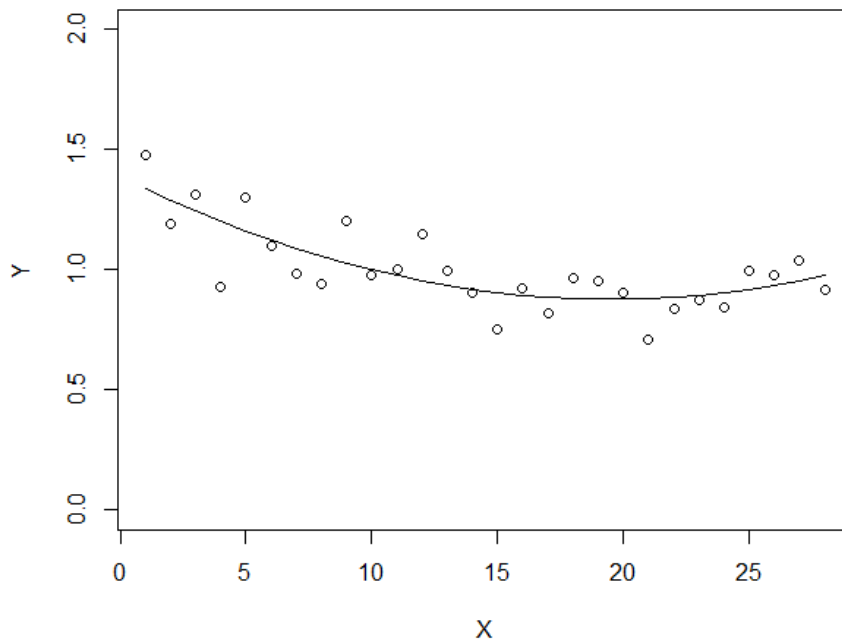
Σχήμα 3.14: Αφαίρεση Επίδρασης Ώρας

Day	Eligible Customers	Eligible Customers - Deseasonalized
3	134.5	73.6
4	109.3	59.3
5	117.5	65.4
7	79.0	46.2
8	108.6	64.7
9	90.2	54.6
10	80.1	48.8
11	77.9	46.6
12	101.1	59.8
13	83.4	48.6

Πίνακας 3.8: Στατιστικά Εισερχομένων Πελατών Ιανουαρίου - Case Study Καταστήματος

$$y = \alpha + \beta_1 x + \beta_2 x^2 \quad (3.3.7)$$

Για κάθε μήνα υπολογίζονται επομένως για κάθε μήνα οι παράμετροι β_{1j} , β_{2j} και α_j , $j = 1, \dots, 12$, και μέσω αυτών υπολογίζονται οι συντελεστές εποχιακότητας που δείχνουν την επίδραση της ημέρας μέσα στο μήνα, σύμφωνα με την 3.3.8.



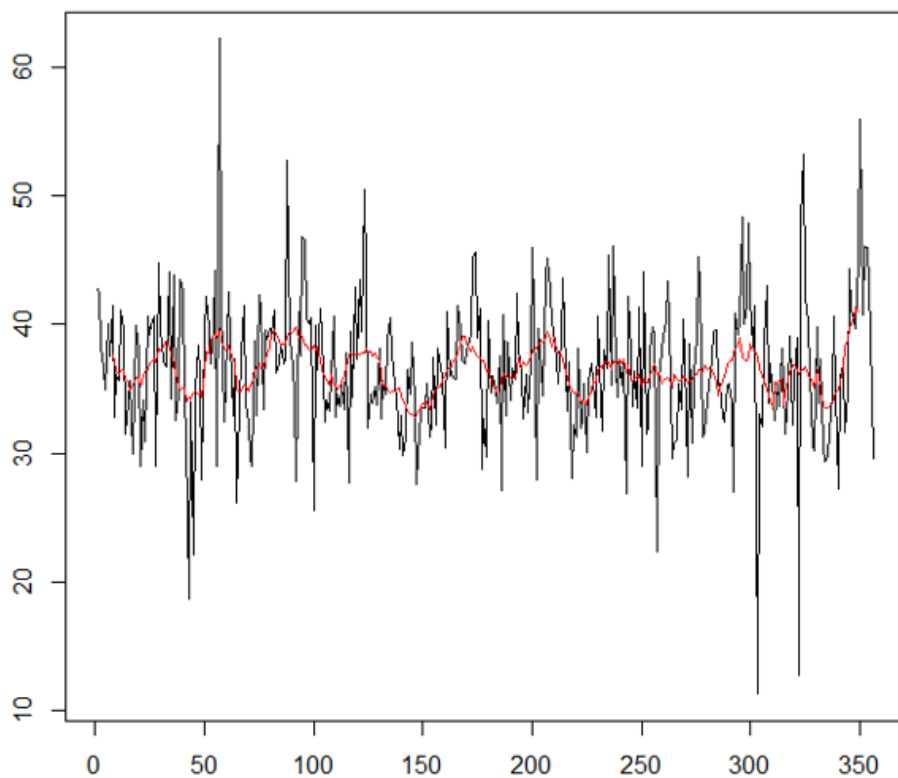
Σχήμα 3.15: Συνάρτηση Πολλαπλής Παλινδρόμησης

$$SI_{ij,day} = \alpha_j + \beta_{1j} \cdot i + \beta_{2j} \cdot i^2, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, 12 \quad (3.3.8)$$

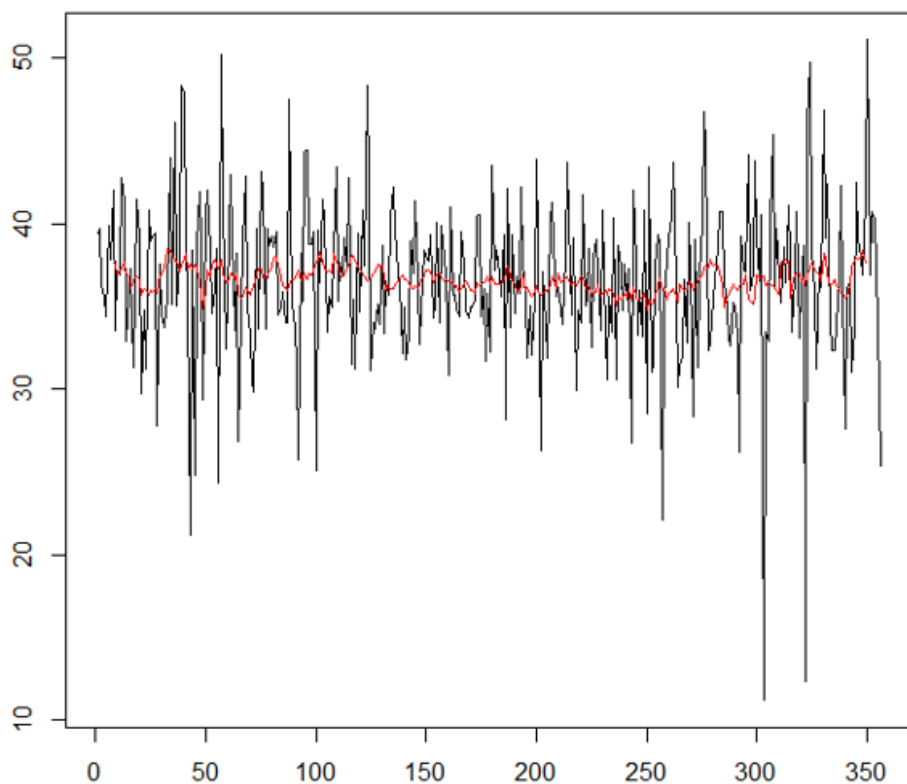
Στο σχήμα 3.16 φαίνεται η επίδραση της ημέρας στη διάρκεια του μήνα, ενώ στο διάγραμμα του σχήματος 3.17 φαίνονται τα τελικά αποεποχικοποιημένα δεδομένα. Επιπλέον, στον πίνακα 3.9 φαίνονται αναλυτικά όλοι οι δείκτες εποχιακότητας και οι παράμετροι πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για το κατάστημα που εξετάζουμε.

Αφού προσδιοριστούν οι δείκτες εποχιακότητας που μελετήσαμε, μπορεί πλέον να γίνει πρόβλεψη του footfall για την εβδομάδα, ημέρα και ώρα που μας ενδιαφέρει να εξετάσουμε ως το γινόμενο των αντίστοιχων δεικτών εποχιακότητας με την τυπική ημερήσια προσέλευση στο κατάστημα, όπως φαίνεται στην εξίσωση 3.3.9, με f την συνάρτηση πολλαπλής παλινδρόμησης. Επειδή οι προβλέψεις παράγονται με ντετερμινιστικό τρόπο, μπορούμε να έχουμε ακριβείς προβλέψεις τόσο για μικρό όσο και για μεγαλύτερο ορίζοντα πρόβλεψης ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Στο σχήμα 3.18 φαίνονται οι παραγόμενες προβλέψεις αλλά και η πραγματική εικόνα του footfall για το εξεταζόμενο κατάστημα για μια περίοδο πέντε ημερών.

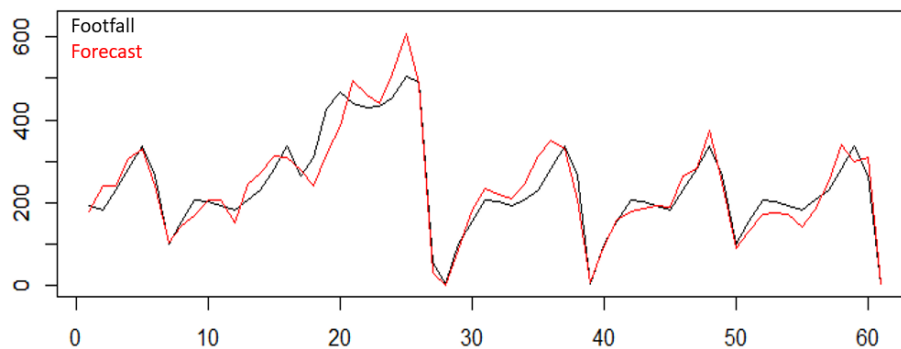
$$F_i = f(SI_{month} \times SI_{hour} \times \overline{Month\ Average}_i) \quad (3.3.9)$$



Σχήμα 3.16: Είσοδος Πελατών σε 365 Ημέρες



Σχήμα 3.17: Αφαίρεση Επίδρασης Ημέρας



Σχήμα 3.18: Πρόβλεψη Footfall για 5 Ημέρες

	Months											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
$SI_{month}(Weekdays)$	1.156	0.991	0.895	0.893	0.848	0.946	0.942	0.883	0.955	1.009	1.205	1.277
$SI_{month}(Weekends)$	1.176	1.025	0.988	0.829	0.868	0.912	0.818	0.670	0.907	0.983	1.379	1.445
α	1.388	1.145	1.082	1.078	1.163	1.036	1.091	1.068	0.989	1.092	0.981	0.877
β_1	-0.052	-0.036	-0.017	-0.006	-0.020	-0.009	-0.008	-0.028	-0.001	-0.023	-0.012	-0.004
β_2	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001
	Operating Hours											
	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
$SI_{hour}(Weekdays)$	0.695	0.959	1.151	1.261	1.047	0.796	0.608	0.692	0.867	1.283	1.529	1.113
$SI_{hour}(Weekends)$	0.615	0.968	1.456	1.687	1.569	1.179	0.888	0.675	0.635	0.684	0.645	-

Πίνακας 3.9: Δείκτες Εποχιακότητας - Case Study Καταστήματος

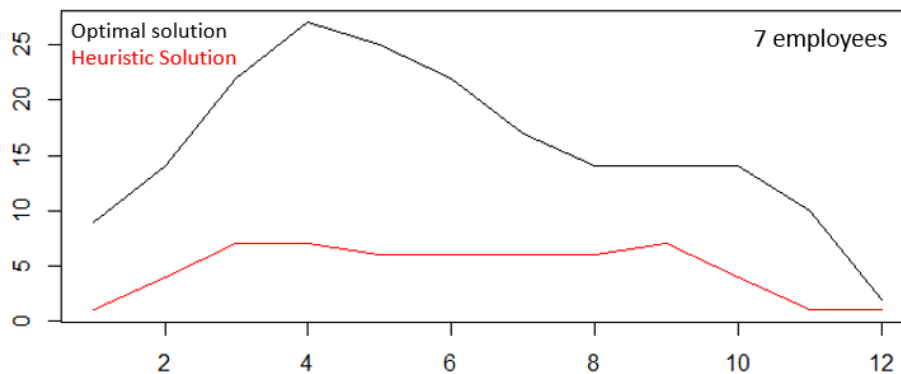
3.3.2 Rostering

Μέσω της διαδικασίας που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα, έχει προβλεφθεί η εισοδος πελατών σε κάθε κατάσταση μέσω της σχέσης . Μέσω της πρόβλεψης και αξιοποιώντας τον αριθμό των πελατών που αντιστοιχούν σε κάθε εργαζόμενο μέσω του αποτελέσματος του υποσυστήματος 1, μπορούμε πλέον να προσδιορίσουμε τον βέλτιστο αριθμό εργαζομένων για κάθε βάρδια. Ο αριθμός αυτός θα είναι και ο βέλτιστος για την εξυπηρέτηση των πελατών που θα εισέλθουν στο κατάστημα.

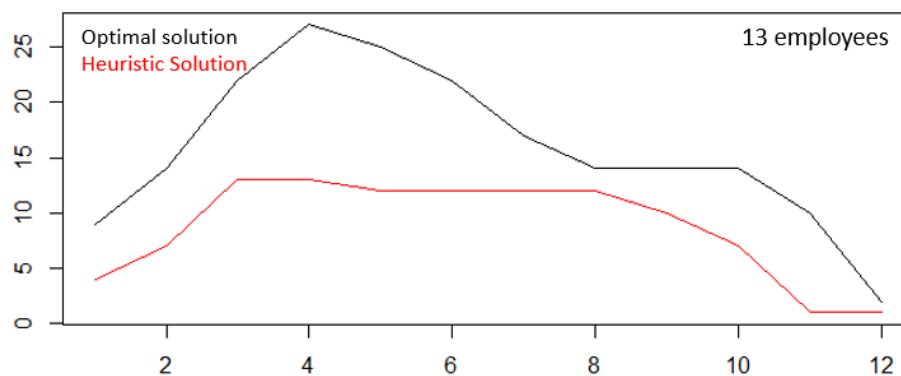
Ωστόσο, όπως έχει αναφερθεί, υπάρχουν ορισμένα εμπόδια που δυσκολεύουν τον προγραμματισμό των βαρδιών στα καταστήματα. Αρχικά, στα καταστήματα του δικτύου υπάρχει εργατικό δυναμικό στο οποίο συμπεριλαμβάνονται εργαζόμενοι με συμβάσεις τόσο οχτάωρης όσο και τετράωρης εργασίας. Είναι αναγκαία επομένως η μελέτη πολλών σεναρίων για τον προγραμματισμό τους στις ώρες λειτουργίας του καταστήματος. Παράλληλα πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφοροι τρόποι για την κατανομή των αδειών τους, με κατάλληλο τρόπο ανά κατάσταση, ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο συνολικό αποτέλεσμα. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο στόχος θεμελιώνουμε κάποιους ευρετικούς κανόνες.

Αρχικά, για κάθε ημέρα υπολογίζεται ποιος από τους πιθανούς συνδιασμούς βαρδιών ται-

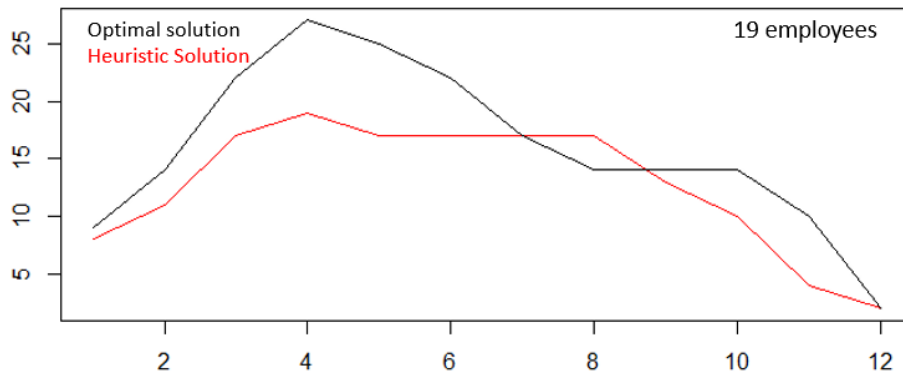
ριάξει καλύτερα στη βέλτιστη λύση που έχει προταθεί. Συγκεκριμένα, προστίθενται τετράδες από μοναδιαία FTEs στη διάρκεια της ημέρας σε θέσεις που προσεγγίζουν καλύτερα τη βέλτιστη πρόταση. Αυτό εγγυάται την παραγωγή πρότασης που μπορεί να πραγματοποιηθεί με συνδιασμό τετραώρων και οχταώρων βαρδιών. Από τους πιθανούς συνδιασμούς, επιλέγεται εκείνος με το ελάχιστον μέσο απόλυτο σφάλμα. Στα σχήματα 3.19-3.22 φαίνονται κάποιες ευρητικές λύσεις για τον προγραμματισμό των βαρδιών στη διάρκεια μιας ημέρας. Η λύση αυτή προσαρμόζεται προσθέτοντας ή αφαιρώντας FTEs ανά ώρα έτσι ώστε το σύνολο των FTEs που προτείνονται, να ισούται ανά μήνα με την πρόταση που έχει παράξει το υποσύστημα 1. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται εβδομαδιαία με ορίζοντα πρόβλεψης 13 εβδομάδων.



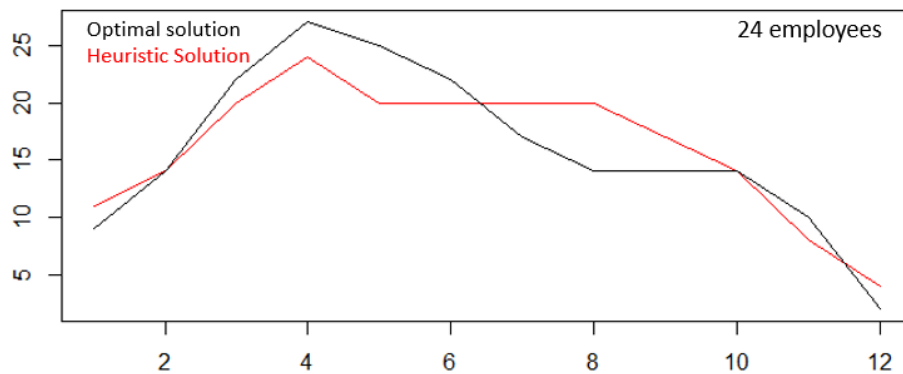
Σχήμα 3.19: Προγραμματισμός Βαρδιών με 7 Εργαζόμενους



Σχήμα 3.20: Προγραμματισμός Βαρδιών με 13 Εργαζόμενους



Σχήμα 3.21: Προγραμματισμός Βαρδιών με 19 Εργαζόμενους



Σχήμα 3.22: Προγραμματισμός Βαρδιών με 24 Εργαζόμενους

Όπως έχει αναφερθεί, το σύστημα περιλαμβάνει δύο ομάδες χρηστών, τους managers των καταστημάτων και τον director που έχει την ευθύνη της συνολικής εικόνας του δικτύου. Ο director έχει λοιπόν τη δυνατότητα να ελέγχει ανά πάσα στιγμή τις αλλαγές που έχουν προταθεί από τους managers και ανάλογα να κρίνει το πόσο συμβάλει η κριτική πρόβλεψη στην αντίστοιχη στατιστική που αρχικά είχε προταθεί από το σύστημα.

Φυσικά για τον προγραμματισμό ενός καταστήματος δεν αρκεί να καθοριστεί ο αριθμός των εργαζομένων. Θα πρέπει σε αυτό να καθοριστούν και οι ρόλοι του καθενός οι οποίοι επίσης μπορεί να επηρεάζονται από εποχιακούς παράγοντες. Οι ρόλοι των εργαζομένων σε κάθε κατάσταση εντάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Management
- Sales (Tech, Home ή Generic)
- Cashiers
- Warehouse
- Misc (Support ή Offer Expert)

Εδώ γίνεται επίσης χρήση ιστορικών δεδομένων τα οποία για κάθε ημέρα και ώρα έχουν πληροφορία για τον αριθμό των εργαζομένων και το ρόλο τους στο κατάστημα. Για κάθε κατηγορία ρόλου, προκύπτει μία μέση τιμή εργαζομένων που απασχολούν. Με βάση αυτές, εφαρμόζονται απλές αναλογίες για το διαχωρισμό των προτεινόμενων εργαζομένων στις 5

κατηγορίες. Είναι σημαντικό να αναφερθεί βέβαια ότι, εφόσον η εκπαίδευση των εργαζομένων δεν περιορίζεται στην προετοιμασία τους για έναν μοναδικό ρόλο, μικρές αποκλίσεις από τις συνήθεις αρμοδιότητες τους δεν επηρεάζουν σημαντικά την αρμονική λειτουργία του καταστήματος. Στο σχήμα 3.23 αλλά και στον πίνακα 3.10 φαίνονται αναλυτικά οι προτάσεις τους συστήματος ανά ρόλο σε κατάστημα που εξετάζεται.



Σχήμα 3.23: Αριθμός Εργαζομένων ανά Ρόλο - Case Study Καταστήματος

Hour	Date	Expected Footfall	Rostering	Management	Warehouse	Sales	Cashier	Misc
9:00	18-12-2017	27	10	1	0	7	2	0
10:00	18-12-2017	39	11	1	1	7	2	0
11:00	18-12-2017	50	12	2	1	5	3	1
12:00	18-12-2017	56	16	2	1	9	3	1
13:00	18-12-2017	51	11	2	1	5	2	1
14:00	18-12-2017	45	11	2	1	5	2	1
15:00	18-12-2017	37	11	2	1	6	2	0
16:00	18-12-2017	37	11	2	1	6	2	0
17:00	18-12-2017	43	15	2	1	9	3	0
18:00	18-12-2017	52	14	2	1	8	3	0
19:00	18-12-2017	55	13	1	1	8	3	0
20:00	18-12-2017	37	9	1	1	5	2	0

Πίνακας 3.10: Ημερήσιος Προγραμματισμός Βαρδιών - Case Study Καταστήματος

Κεφάλαιο 4

Σχεδιασμός & Εργαλεία Ανάπτυξης της Εφαρμογής

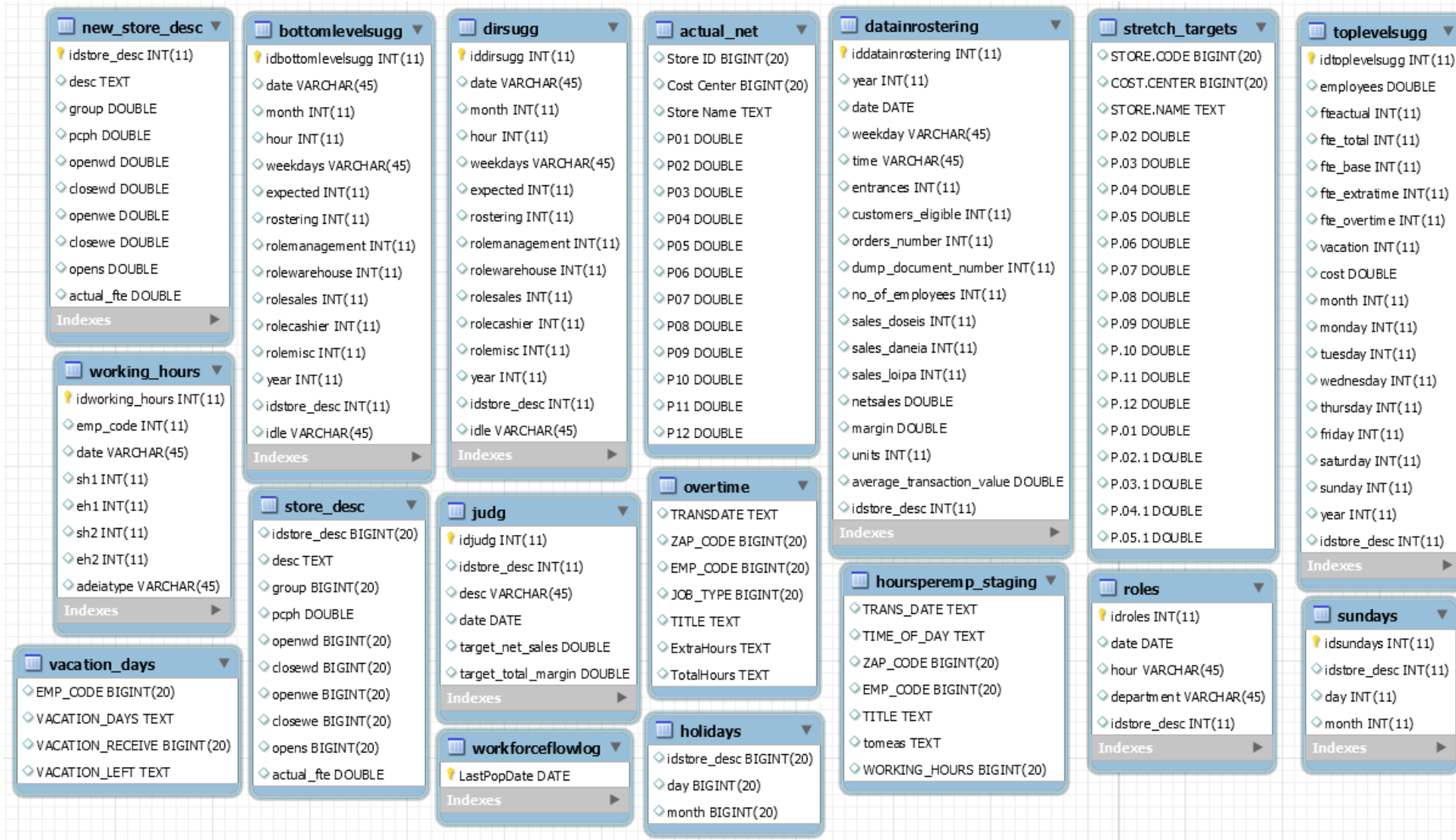
4.1 MySQL & Σχεδιασμός Βάσης Δεδομένων

Η MySQL είναι ένα σύστημα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων που τρέχει έναν εξυπηρετητή παρέχοντας πρόσβαση πολλών χρηστών σε ένα σύνολο βάσεων δεδομένων. Είναι ιδιαίτερα δημοφιλής για διαδικτυακά προγράμματα και ιστοσελίδες και βασίζεται στην SQL (Structured Query Language) γλώσσα προγραμματισμού. Η MySQL μπορεί να χρησιμοποιηθεί από όλες τις πλατφόρμες, συμπεριλαμβανομένων των Linux, Unix και Windows. Παρότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια ευρεία γκάμα εφαρμογών, είναι κυρίως συνυφασμένη με εφαρμογές διαδικτύου και ονλινε δημοσιεύσεων και είναι ένα σημαντικό στέλεχος του LAMP Open Source Enterprise Stack.

Η MySQL είναι γραμμένη σε C και C++ και ο parser της είναι γραμμένος σε yacc αλλά χρησιμοποιεί ένα δικό της οικειοποιημένο λεκτικό αναλυτή. Το λογισμικό διακομιστή της MySQL καθώς και οι client βιβλιοθήκες χρησιμοποιούν διανομή διπλής αδειοδότησης. Προσφέρονται υπό την GPL Version 2 ή χρησιμοποιούν ιδιοκτησιακή άδεια. Πρόσβαση στις λειτουργίες καθώς και στην επίσημη υποστήριξη της MySQL μπορεί κανείς να έχει είτε από την επίσημη ιστοσελίδα της είτε από διάφορους εξωτερικούς διανομείς όπως η Oracle, η MariaDB και η Percona.

Γενικότερα η MySQL έχει λάβει ιδιαίτερα θετικές κριτικές σε ότι αφορά την εξαιρετική ανταπόκριση της στο μέσο σενάριο, το προγραμματιστικό της περιβάλλον καθώς και για την απόδοση της σε πραγματικά προβλήματα. Τέλος ιδιαίτερα χρήσιμο και αποτελεσματικό είναι το γεγονός ότι είναι μια γρήγορη, σταθερή, με υποστήριξη πολλαπλών χρηστών και πολλαπλών threads SQL βάση δεδομένων.

Στην εφαρμογή που έχει αναπτυχθεί, τα ιστορικά δεδομένα όλων των καταστημάτων που αξιοποιούνται για τον προγραμματισμό τους μέσω των δύο υποσυστημάτων που περιγράφηκαν στο ποροηγούμενο κεφάλαιο, αποθηκεύονται και συντηρούνται σε μια MySQL βάση. Στο σχήμα 4.1 φαίνονται οι πίνακες που υπάρχουν στη βάση αυτή.



Σχήμα 4.1: Πίνακες Βάσης Δεδομένων

4.2 R Statistical Software

Για την ανάπτυξη όλων των συναρτήσεων οι οποίες υπολογίζουν τα αποτελέσματα του συστήματος, έγινε χρήση της γλώσσας R. Η R είναι μια γλώσσα προγραμματισμού καθώς και ένα περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού το οποίο δίνει έμφαση στην παρουσίαση στατιστικών υπολογισμών και γραφημάτων. Αποτελεί από τις πιο διαδεδομένες γλώσσες για χρήση σε προβλήματα ανάλυσης δεδομένων. Δημιουργήθηκε το 1991 στο Πανεπιστήμιο Auckland στη Νέα Ζηλανδία ενώ πλέον αναπτύσσεται από το R Development Core Team. Βάση για τη δημιουργία της R αποτέλεσε μια προγενέστερη γλώσσα η S. Αποτελεί γλώσσα ανοιχτού λογισμικού και ο πηγαίος της κώδικας είναι δωρεάν διαθέσιμος (GNU General Public License).

Μέσω της R εφαρμόζει ένα μεγάλο εύρος στατιστικών και γραφικών μεθόδων και ιδιαίτερα συνηθισμένη είναι η χρήση της για ανάλυση χρονοσειρών, ομαδοποιήσεις και άλλους στατιστικούς ελέγχους. Ένα μεγάλο πλεονέκτημά της είναι το γεγονός ότι είναι μια γλώσσα εύκολα επεκτάσιμη δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στο χρήστη να βασιστεί σε υλοποιημένες συναρτήσεις του λογισμικού και μέσω αυτών να αναπτυθούν βιβλιοθήκες που εξειδικεύονται στις ανάγκες του προβλήματος που εξετάζει. Τέλος προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας αρχείων που συνδιάζουν περιγραφή λειτουργίας, κώδικα και γραφικές παραστάσεις, μέσω της R Markdown Language. Τα αρχεία αυτά σε μορφές HTML συμβάλλουν στην διάδοση αποτελεσμάτων.

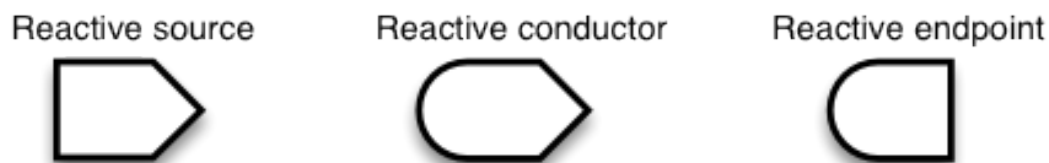
4.3 R Shiny Framework και Αντιδραστικός Προγραμματισμός

Για την ανάπτυξη του front-end της εφαρμογής έγινε χρήση του πακέτου Shiny της R μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να αναπτύξει μια εφαρμογή Shiny. Τέτοιες εφαρμογές αποτελούνται από δύο βασικά συστατικά, ένα User Interface αντικείμενο και μία συνάρτηση Server. οι δύο αυτές μεταβλητές χρησιμοποιούνται ως παράμετροι στη συνάρτηση shinyApp η οποία παράγει μια εφαρμογή Shiny ως αποτέλεσμα του ζεύγους UI - Server.

Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των Shiny εφαρμογών είναι ο αντιδραστικός (reactive) χαρακτήρας τους, καθώς είναι βασισμένες σε μια αρχιτεκτονική λογισμικού που ονομάζεται ροή δεδομένων. Η αρχιτεκτονική αυτή έχει ως βάση την ιδέα ότι η τροποποίηση της τιμής μιας μεταβλητής προκαλεί αυτόματα και άμεσα τον υπολογισμό όλων των υπολοίπων μεταβλητών που εξαρτώνται από αυτή. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής που βασίζεται στις αρχές του προγραμματισμού ροής δεδομένων αποτελούν τα υπολογιστικά φύλλα. Σε αυτά μπορεί ο χρήστης να δημιουργήσει για παράδειγμα ένα κελί στο οποίο να χρησιμοποιείται ένας τύπος που στηρίζεται σε τιμές άλλων κελιών. Όταν οποιοδήποτε από αυτά αλλάξει τιμή, τότε αυτόματα επανυπολογίζεται η τιμή του πρώτου κελιού. Πολύ συχνά μάλιστα, μια μεμονωμένη αλλαγή σε ένα κελί δύναται να προκαλέσει μια ακολουθία από αλλαγές σε όλα τα υπόλοιπα κελιά που εξαρτώνται από αυτό. Η ροή δεδομένων συχνά επίσης αναφέρεται και ως Αντιδραστικός Προγραμματισμός (Reactive Programming).

Σε Shiny εφαρμογές μπορούμε να διακρίνουμε τριών ειδών αντικείμενα, το Reactive

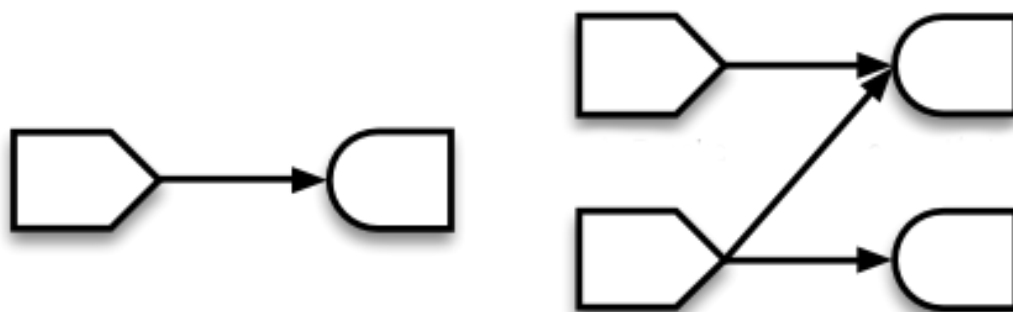
Source, το Reactive Conductor και τέλος το Reactive Endpoint.



Σχήμα 4.2: Αντικείμενα Shiny

4.3.1 Reactive Sources και Endpoints

Σε μια εφαρμογή Shiny, η πηγή είναι συνήθως ένα input από το χρήστη της μέσω κατάλληλου αντικειμένου στην οθόνη σε περιβάλλον browser. Τέτοια αντικείμενα περιλαμβάνουν εισαγόμενο κείμενο από το πληκτρολόγιο του χρήστη, επιλογή τιμών από αντικείμενα όπως checkboxes, λίστες και dropdowns καθώς και αλληλεπίδραση με κουμπιά (Action Buttons). Οι τιμές αυτών των αντικειμένων αποθηκεύονται ως περιεχόμενο των reactive sources. Τα reactive endpoints συνήθως εμφανίζονται στο χρήστη ως διαγράμματα ή πίνακες. Ένα reactive source μπορεί να συνδέεται με πολλά reactive endpoints ή το αντίθετο.



(α') Single Source & Single Endpoint Δομή (β') Multiple Sources & Multiple Endpoints Δομή

Σχήμα 4.3: Παραδείγματα Δομών Αντιδραστικού Προγράμματος

4.3.2 Reactive Conductors

Εκτός από το απλοϊκό σενάριο της άμεσης σύνδεσης source-endpoint, είναι δυνατόν να παρεβληθεί ένα επιπλέον αντικείμενο μεταξύ τους το οποίο ονομάζουμε Reactive Conductor.

Ένα conductor αντικείμενο μπορεί να εξαρτάται από άλλα reactive αντικείμενα, είτε να εξαρτώνται άλλα από αυτό. Με άλλα λόγια, μπορεί να αποτελεί είτε γονικό κόμβο είτε παιδί σε ένα γράφο με reactive δομή, με τα sources να είναι πάντα γονικοί κόμβοι και τα endpoints να είναι πάντα παιδιά. Τα conductor αντικείμενα χρησιμοποιούνται συνήθως ως ενδιάμεσο στάδιο για την υλοποίηση χρονοβόρων υπολογισμών.



(α) Απλή Δομή

(β) Δομή με χρήση Conductor

Σχήμα 4.4: Παραδείγματα Δομών Αντιδραστικού Προγράμματος

4.3.3 Πλεονεκτήματα Αντιδραστικού Προγραμματισμού

Εν τέλει, μπορούμε να αναφέρουμε τα παρακάτω ως τα βασικά πλεονεκτήματα που απορρέουν από τη χρήση του Shiny Framework και του αντιδραστικού προγραμματισμού στον οποίο στηρίζεται η λειτουργία του:

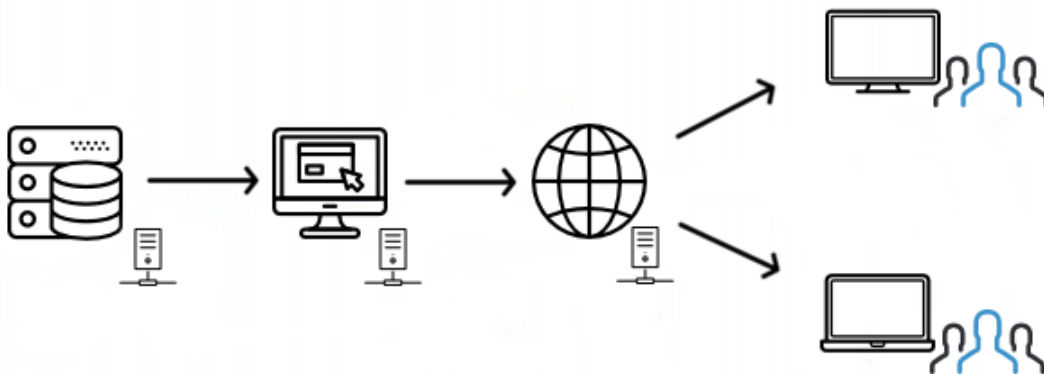
- Μικρός χρόνος απόκρισης: Ο χρόνος απόκρισης στις shiny εφαρμογές είναι αρκετά μικρός με αποτέλεσμα να δίνεται η δυνατότητα για σχεδιασμό εφαρμογών που μπορούν να κάνουν πολύπλοκους υπολογισμούς χωρίς να επηρεάζεται η ευχρηστία τους
- Δεν απαιτείται εξειδικευμένη γνώση HTML, CSS και JavaScript για την υλοποίησή Shiny εφαρμογών: Ο σχεδιασμός του πακέτου shiny έχει γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να μην είναι απαραίτητη η γνώση ειδικών εργαλείων ανάπτυξης front-end. Αυτό καθιστά τις shiny εφαρμογές εύκολα επεξεργάσιμες και επεκτάσιμες από τους χρήστες τους. Ωστόσο είναι δυνατή και η επιπρόσθετη χρήση HTML, CSS και JavaScript σε περίπτωση που απαιτείται πιο εξειδικευμένος σχεδιασμός.
- Ανοιχτό λογισμικό: Τόσο η R όσο και το πακέτο shiny αποτελούν προϊόντα ανοιχτού λογισμικού προσφέροντας τη δυνατότητα ανάπτυξης εφαρμογών με μηδενικό κόστος.

Μέσω κατάλληλου σχεδιασμού, μπορούν να υλοποιηθούν εφαρμογές που προσαρμόζονται

πλήρως στις απαιτήσεις και τις ενέργειες του χρήστη. Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα πλεονεκτήματα του αντιδραστικού προγραμματισμού όσο και την ήδη υπάρχουσα εμπειρία των χρηστών της εφαρμογής που αναπτύσσεται, με λογισμικά με παρόμοια λειτουργικότητα (π.χ. Excel Sheets για την διαχείριση βαρδιών), η αξιοποίηση του Shiny Framework για την υλοποίησή της κρίνεται ιδανική.

4.4 Αρχιτεκτονική Εφαρμογής

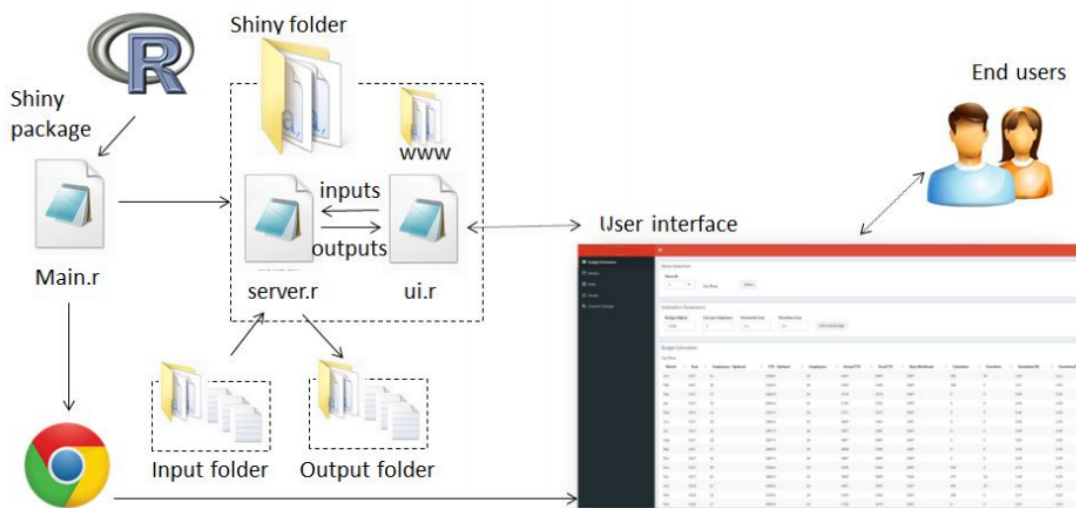
Αρχιτεκτονικά η εφαρμογή απαρτίζεται από τον Shiny Server που φιλοξενεί την εφαρμογή που εκτελεί τους υπολογισμούς και οπτικοποιεί τα αποτελέσματα και μία βάση MySQL που διατηρεί τα αντίστοιχα δεδομένα. Το σύστημα βρίσκεται εγκατεστημένο σε server μιας ελληνικής επιχείρησης εμπορίου ηλεκτρικών ειδών για την οποία εξετάζεται η απόδοση της μεθοδολογίας της παρούσας εργασίας, σε Virtual Machine και Linux λειτουργικό σύστημα. Στο σχήμα 3.26 φαίνεται συνοπτικά η αρχιτεκτονική Shiny



Σχήμα 4.5: Αρχιτεκτονική Shiny και Data Flow

Όσον αφορά τα αρχεία της εφαρμογής, διακρίνουμε τα δύο βασικότερα, το `ui.R` και το `server.R`. Το αρχείο `ui.R` είναι υπεύθυνο για το σχεδιασμό του user interface της εφαρμογής και κάνει χρήση του πακέτου `shinydashboard` για τη δημιουργία της βασικής οθόνης. Αντίθετα, το αρχείο `server.R` είναι υπεύθυνο για την προετοιμασία των στοιχείων που προβάλλονται στα γραφικά που σχεδιάζονται στο `ui.R` αρχείο. Η αλληλεπίδραση των δύο αρχείων φαίνεται αναλυτικότερα στο σχήμα 3.27:

Όσον αφορά βοηθητικά αρχεία κώδικα που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας, αυτά περιλαμβάνουν τα `Subsystem1.R` και `Subsystem2.R`, τα οποία αποτελούν τα δύο κύρια υποσυστήματα που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το αρχείο `Subsystem1.R` υλοποιεί την συνάρτηση `'sub1'` η οποία με είσοδο τα ιστορικά στοιχεία του καταστήματος προς εξέταση, και τις μεταβλητές κόστους ανά εργαζόμενο, κόστος



Σχήμα 4.6: Αλληλεπίδραση Αρχείων Shiny

υπερεργασίας και κόστος υπερωρίας όπως περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα, παράγει τομηνιαίο πλάνο σε FTEs του συγκεκριμένου καταστήματος για τους επόμενους 16 μήνες. Το αρχείο Subsystem2.R περιέχει την συνάρτηση 'sub2' η οποία με είσοδο τα ιστορικά στοιχεία του καταστήματος προς εξέταση, το πλάνο που προτάθηκε μέσω του πρώτου υποσυστήματος και πληροφορίες που αφορούν τη λειτουργία του καταστήματος (ωράριο, κόστος ανά εργαζόμενο, πληροφορία σχετική με το αν παραμένει ανοιχτό τις Κυριακές), παράγει τον αναλυτικό προγραμματισμό των εργαζομένων σε επίπεδο ώρας καθώς και τους ρόλους στους οποίους είναι μοιρασμένοι.

4.5 Λοιπά Εργαλεία Ανάπτυξης

4.5.1 CSS - Javascript

CSS είναι η γλώσσα περιγραφής της παρουσίασης των σελίδων διαδικτύου, συμπεριλαμβανομένων των χρωμάτων, της διάταξης και των γραμματοσειρών. Επιτρέπει στο σχεδιαστή να προσαρμόζει την παρουσίαση σε διαφορετικού είδους συσκευές όπως μεγάλες και μικρές οθόνες ή εκτυπωτές. Είναι μια γλώσσα ανεξάρτητη της HTML και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε XML-based γλώσσα επισήμανσης. Η διαφοροποίηση της CSS από την HTML κάνει τη διατήρηση των ιστοσελίδων ευκολότερη καθώς μπορείς να μοιράσεις style sheets μεταξύ διαφορετικών σελίδων και να ενσωματώσεις σελίδες σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

Η Javascript είναι μια ερμηνευτική γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου. Είναι μια γλώσσα σεναρίων που βασίζεται στα πρωτότυπα, είναι δυναμική, με ασθeneίς τύπους και έχει συναρτήσεις ως αντικείμενα πρώτης τάξης. Παράλληλα με την HTML και την CSS, είναι μία από τις τρεις βασικότερες τεχνολογίες διαδικτύου καθώς επιτρέπει τη σχεδίαση διαδραστικών ιστοσελίδων. Η μεγάλη πλειοψηφία των ιστοσελίδων τη χρησιμοποιούν και όλοι οι φυλλομετρητές έχουν μία μηχανή εκτέλεσης αποκλειστικά γι' αυτή. Είναι γλώσσα βασισμένη

σε διαφορετικά προγραμματιστικά παραδείγματα (multi-paradigm), υποστηρίζοντας αντικειμενοστραφές, προστακτικό και συναρτησιακό στυλ προγραμματισμού. Τέλος χρησιμοποιεί ένα API για τη διαχείριση κειμένων, πινάκων, ημερομηνιών και regular expressions αλλά βασίζεται στο περιβάλλον μέσα στο οποίο έχει ενσωματωθεί για τους χώρους αποθήκευσης, τα γραφικά και τις δικτυακές εισόδους και εξόδους. Στη εφαρμογή που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτή γίνεται χρήση και των δύο γλωσσών για τη μορφοποίηση του front-end του συστήματος.

4.5.2 PuTTY

Η εφαρμογή en χρησιμοποιείται για τη σύνδεση και τη διαχείριση ενός απομακρυσμένου λειτουργικού υποστηρίζοντας το πρωτόκολλο SSH (Secure Shell), όπως για παράδειγμα ένα Unix λειτουργικό σύστημα. Το SSH πρωτόκολλο, δημιουργεί κατά τη σύνδεση ένα ασφαλές κανάλι επικοινωνίας μεταξύ με το απομακρυσμένο λειτουργικό σύστημα έτσι ώστε να μην υπάρχει ο κίνδυνος διαρροής δεδομένων σε τρίτους κατά τη διάρκεια της σύνδεσης αυτής. Στην εφαρμογή που αναπτύσσεται χρησιμοποιείται PuTTY για την διαμόρφωση του Shiny Server αλλά και για όλες τις εργασίες συντήρησης που απαιτούν τη σύνδεση με το απομακρυσμένο λειτουργικό σύστημα που φιλοξενεί την εφαρμογή.

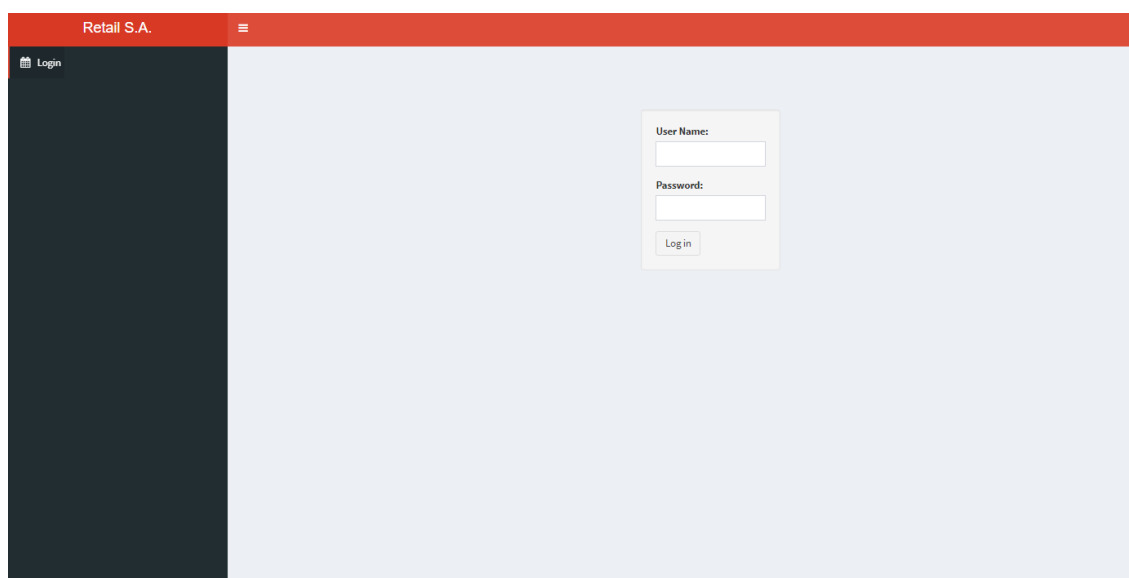
4.5.3 WinSCP

Ο WinSCP (Windows Secure Copy) είναι ένας open-source SFTP, FTP, WebDAV, Amazon S3 και SCP client του οποίου η κύρια λειτουργία είναι η ασφαλής μεταφορά αρχείων σε απομακρυσμένο υπολογιστή. Παράλληλα προσφέρει βασικές λειτουργίες για διαχείριση και συγχρονισμό αρχείων. Στην εφαρμογή που αναπτύσσεται στα πλαίσια αυτής της εργασίας, χρησιμοποιείται WinSCP για τη μεταφορά όλων των αρχείων κώδικα της.

Κεφάλαιο 5

Υλοποίηση του συστήματος

Για την υλοποίηση της εφαρμογής έγινε χρήση των εργαλείων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Έχει τη μορφή dashboard με σκοπό την όσο το δυνατό πιο απλουστευμένη και βέλτιστη εμπειρία του χρήστη, χωρίς περιττές επιλογές και κουμπιά, ενώ για τη χρήση της δεν απαιτείται καμία επιπλέον εγκατάσταση. Οι ομάδες χρηστών όπως έχει αναφερθεί είναι δύο και περιλαμβάνουν την ομάδα των Managers και την ομάδα των Directors. Και οι δύο ομάδες κατά την είσοδό τους στην εφαρμογή βλέπουν κοινή αρχική σελίδα η οποία φαίνεται στην εικόνα 5.1 και η οποία ζητά από τους χρήστες την εισαγωγή των κωδικών τους. Οι επιλογές που είναι διαθέσιμες μέσω του πλάγιου μενού αλλάζουν δυναμικά με την είσοδο του χρήστη στο σύστημα, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει. Στις παρακάτω ενότητες γίνεται περιγραφή όλων των καρτελών που είναι διαθέσιμες στο σύστημα και επίδειξη του τρόπου λειτουργίας τους.



Σχήμα 5.1: Αρχική Σελίδα Εφαρμογής

5.1 Σύνδεση Χρήστη ως Director

Αρχικά, θα εξετάσουμε το σενάριο εισαγωγής στο σύστημα ενός χρήστη που ανήκει στην κατηγορία των Directors. Στο κάτω μέρος του πλάγιου μενού υπάρχει η δυνατότητα για αποσύνδεση από το σύστημα μέσω του κουμπιού Logout. Αυτή η ομάδα χρηστών έχει σε γενικές γραμμές πρόσβαση στις πιο εξειδικευμένες λειτουργίες της εφαρμογής. Οι δυνατότητες που προσφέρονται μπορούν να ενταχθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Ρύθμιση υπερπαραμέτρων για την εξαγωγή του budget, όπως προκύπτει από το υποσύστημα 1
- Ρύθμιση υπερπαραμέτρων για την εξαγωγή του ωριαίου προγραμματισμού βαρδιών, όπως προκύπτει από το υποσύστημα 2
- Μελέτη δραστηριότητας δικτύου καταστημάτων ως προς τα ιστορικά τους στοιχεία
- Τροποποίηση τρέχουσας πρότασης
- Έλεγχος απόδοσης της χρήσης της εφαρμογής από την ομάδα χρηστών των managers

Οι παραπάνω κατηγορίες μαζί με όλες τις επιπρόσθετες λειτουργίες που περιλαμβάνουν έχουν χωριστεί σε πέντε καρτέλες:

- Settings
- Branch Overview
- FTE Requirements(Budget & STF)
- Shift Planning (Weekly)
- Shift Planning (Daily)
- Shift Planning (Hourly)
- Monitoring

5.1.1 Ρυθμίσεις Παραμέτρων Μοντέλου

Στην πρώτη καρτέλα (Settings) ο χρήστης μπορεί να αλλάξει όλες τις παραμέτρους που επηρεάζουν την πρόταση που παράγει το σύστημα. Αυτές έχουν χωριστεί σε 6 κατηγορίες-κουτιά με τα οποία αλληλεπιδρά ο χρήστης. Σκοπός τους είναι να κατευθύνουν το χρήστη ώστε να μπορεί να εισάγει εύκολα στο σύστημα την απαραίτητη πληροφορία. Η γενική της μορφή φαίνεται στην εικόνα 5.2

Το πρώτο από τα στοιχεία της οθόνης περιλαμβάνει 4 τιμές οι οποίες αντιστοιχούν στο κόστος υπερωρίας, κόστος υπερεργασίας, το περιθώριο αύξησης του επιπέδου των εργαζομένων και τέλος τον ελάχιστο αριθμό εργαζομένων που χρειάζονται τα καταστήματα για να λειτουργήσουν. Η αλλαγή της τιμής αυτών των παραμέτρων μπορεί να γίνει με το πληκτρολόγιο από το χρήστη και είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να μην αποδέχονται αρνητικές τιμές.

Στη συνέχεια παρατίθεται στο χρήστη η επιλογή να υποβάλλει ένα αρχείο το οποίο περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την λειτουργία των καταστημάτων (Store Information). Το αρχείο αυτό απαιτείται από το σύστημα να είναι σε μορφή CSV (Comma-Separated Values) και οποιοδήποτε άλλου είδους αρχείο δεν γίνεται αποδεκτό από την εφαρμογή. Στο αρχείο

The screenshot shows the 'Retail S.A.' settings interface. On the left is a dark sidebar with navigation options: Global Functionalities, Settings, Functionalities Per Store, Branch Overview, FTE Requirements (Budget & STF), Shift Planning (Weekly), Shift Planning (Daily), Shift Planning (Hourly), Monitoring, and Logout. The main content area is titled 'Global Parameters' and contains four input fields: 'Overwork Cost' (0.2), 'Overtime Cost' (0.4), 'Maximum FTE Adjustment (%)' (10), and 'Minimum FTE' (9). Below this is the 'Store Information' section, which includes a description '(Store ID, Store Name, Group, Payroll Cost, Opening-Weekdays, Closing-Weekdays, Opening-Weekends, Closing-Weekends, Open on Sundays, Actual FTE)'. It features a 'Choose file to upload' section with a 'Browse...' button and 'No file selected' text, and a 'Toggle' button. The 'Store Information' section is followed by two budget-related sections: 'Actual Net Sales (Budget)' and 'Stretch Target (Budget)'. Each of these sections includes a description, a 'Choose file to upload' section with a 'Browse...' button and 'No file selected' text, and a 'Toggle' button.

Σχήμα 5.2: Καρτέλα Settings

This close-up screenshot focuses on the 'Global Parameters' section. It displays four input fields with their respective values: 'Overwork Cost' (0.2), 'Overtime Cost' (0.4), 'Maximum FTE Adjustment (%)' (10), and 'Minimum FTE' (9).

Σχήμα 5.3: Καρτέλα Settings - Ρύθμιση Παραμέτρων

αυτό περιλαμβάνεται για όλο το δίκτυο καταστημάτων ο κωδικός και η ονομασία του κάθε καταστήματος, η ομάδα καταστημάτων στην οποία βρίσκεται (αν αυτή υπάρχει), το κόστος ανά εργαζόμενο του, οι ώρες λειτουργίας του για καθημερινές και Σαββατοκύριακα, μια τιμή η οποία δείχνει αν το κατάστημα παραμένει κλειστό ή αν ανοίγει τις Κυριακές (0 ή 1 αντίστοιχα) και τέλος τον αριθμό των εργαζομένων του. Με το κουμπί Toggle ο χρήστης μπορεί να δει τη μορφή του αρχείου που ανέβασε.

Αφού ο χρήστης επιλέξει το αρχείο που θέλει, μπορεί να χρησιμοποιήσει το κουμπί Update Store Information και αυτό καταχωρείται στον κατάλληλο πίνακα στη βάση δεδομένων. Σημειώνεται πως ο χρήστης μπορεί να συνεχίσει να χρησιμοποιεί το σύστημα χωρίς να απαιτείται κάθε φορά εκ νέου καταχώρηση του αρχείου, καθώς αυτό συντηρείται. Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο λειτουργούν και τα υπόλοιπα αρχεία της καρτέλας. Ακριβώς κάτω λοιπόν από το πεδίο για την εισαγωγή του αρχείου Store Information υπάρχουν δύο πεδία για εισαγωγή όμοιων αρχείων που αφορούν τη στοχοθεσία του καταστήματος για τους επόμενους 16 μήνες (Stretch Target) καθώς την πραγματική αντίστοιχη εικόνα του προηγούμενου χρόνου (Actual Net Sales). Κάτω από αυτά υπάρχουν δύο επιπλέον πεδία για εισαγωγή πληροφορίας σχετικά με τις αργίες (Holidays) των καταστημάτων και την εκτίμηση του χρήστη για τις επερχόμενες πωλήσεις (Judgemental Forecast). Οι περιγραφές των στηλών των αρχείων είναι διαθέσιμες στο χρήστη.

Μετά την εισαγωγή των αρχείων ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το κουμπί Recalculate Rostering for All Stores ώστε να παράξει το σύστημα τη νέα πρόταση βάσει των παραμέτρων που ρυθμίστηκαν.

Store Information

(Store ID, Store Name, Group, Payroll Cost, Opening-Weekdays, Closing-Weekdays, Opening-Weekends, Closing-Weekends, Open on Sundays, Actual FTE)

Choose file to upload

Browse... stores.csv

Upload complete

Toggle

Show 10 entries

Search:

	Store ID	Description	Store Group	Payroll Cost per Hour	Opening Hour (Weekdays)	Closing Hour (Weekdays)	Opening Hour (Weekends)	Closing Hour (Weekends)	Opens	Actual FTE
1	7	MEGA PERISTERI	2	-8.32	9	20	9	19	0	41
2	8	KALLITHEA	1	-8.81	9	20	9	19	0	14
3	11	KORIDALLOS	11	-8.14	9	20	9	19	0	24.25
4	12	PAGRATI	10	-8.2	9	20	9	19	0	16.25
5	16	AGIA PARASKEVI	9	-7.95	9	20	9	19	0	21.25
6	17	NEA ERITHREA	7	-8.69	9	20	9	19	0	11.75
7	18	GLIFADA	3	-7.86	9	20	9	19	0	13.75
8	19	AGIOI ANARGIRI	2	-8.58	9	20	9	19	0	14.25
9	20	PIRAEUS	11	-8.12	9	20	9	19	0	21.5
10	22	ILION	2	-9.04	9	20	9	19	0	10.625

Showing 1 to 10 of 70 entries

Previous Next

Update Store Information

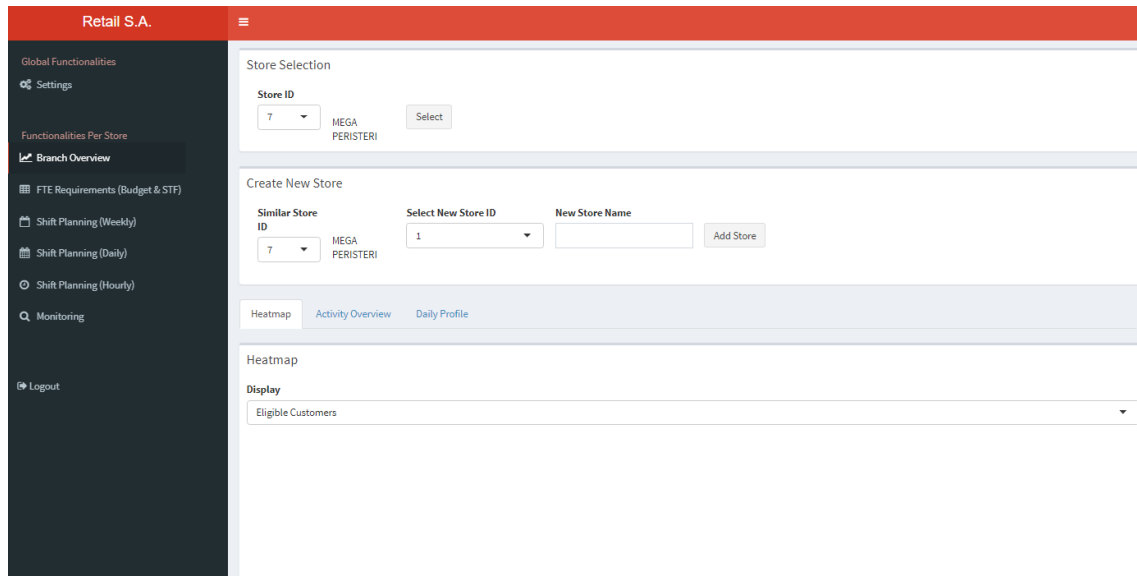
Σχήμα 5.4: Καρτέλα Settings - Αρχείο Store Information

<p>Actual Net Sales (Budget) (Store ID, Cost Center, Store Name, Past 12 Months)</p> <p>Choose file to upload</p> <p>Browse... No file selected</p> <p><input type="button" value="Toggle"/></p> <p>No input</p>	<p>Stretch Target (Budget) (Store ID, Cost Center, Store Name, Next 16 Months)</p> <p>Choose file to upload</p> <p>Browse... No file selected</p> <p><input type="button" value="Toggle"/></p> <p>No input</p>
<p>Holidays (Rostering) (Store ID, Day, Month)</p> <p>Choose file to upload</p> <p>Browse... No file selected</p> <p><input type="button" value="Toggle"/></p> <p>No input</p>	<p>Judgemental Forecast (Rostering) (Store ID, Store Name, Date, Target Net Sales, Target Total Margin)</p> <p>Choose file to upload</p> <p>Browse... No file selected</p> <p><input type="button" value="Toggle"/></p> <p>No input</p>
<p><input type="button" value="Recalculate Rostering for All Stores"/></p>	

Σχήμα 5.5: Καρτέλα Settings - Πεδία Εισαγωγής Πληροφοριών

5.1.2 Overview Δραστηριότητας Καταστημάτων

Στην καρτέλα Branch Overview ο χρήστης μπορεί να δει την εικόνα του δικτύου καταστημάτων επιλέγοντας κάθε φορά το κατάστημα το οποίο θέλει να μελετήσει μέσω του dropdown μενού και του κουμπιού select (Εικόνα 5.6).

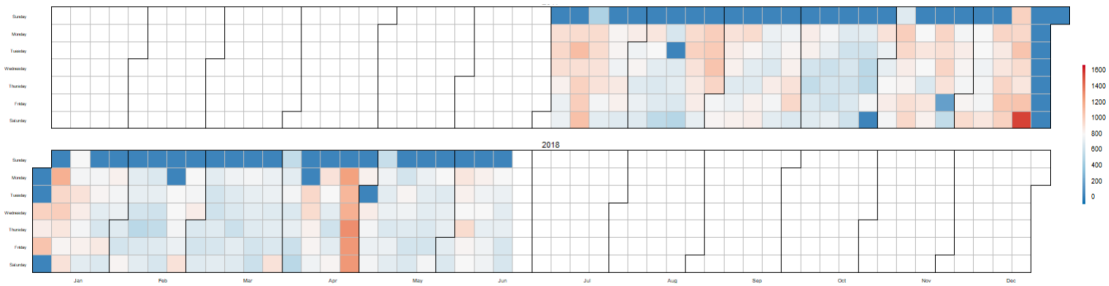


Σχήμα 5.6: Καρτέλα Branch Overview

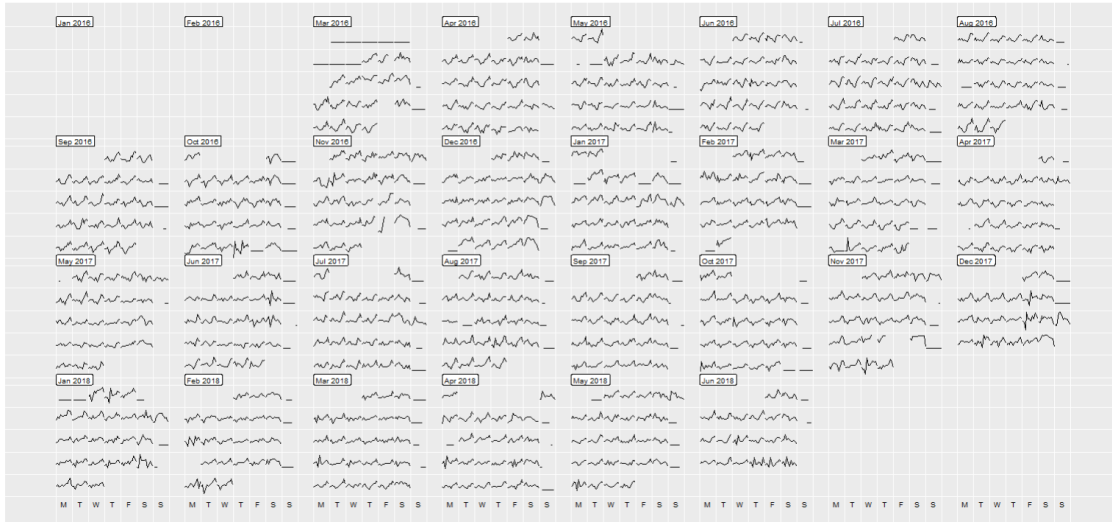
Ανάλογα με το επιλεγμένο κατάστημα, στο κάτω μέρος της οθόνης υπάρχει ένα σύνολο από καρτέλες από τις οποίες ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μία από τις παρακάτω επιλογές:

- Heatmap, όπου με κατάλληλο χρωματισμό φαίνεται στο διάγραμμα η δραστηριότητα του καταστήματος. Η μεταβλητή που παρουσιάζεται είναι μία από τις επιλογές που περιλαμβάνει το dropdown πεδίο πάνω από το διάγραμμα. Αυτές περιλαμβάνουν το σύνολο των πελατών που πραγματοποίησαν αγορές, και το σύνολο των πελατών που πραγματοποίησαν πληρωμή δόσεων.
- Activity Overview, όπου φαίνεται ημερολογιακά ο τρόπος που κατανέμεται η δραστηριότητα του καταστήματος μέσα σε κάθε ημέρα. Η μεταβλητή που παρουσιάζεται είναι μία από τις επιλογές που αναφέρθηκαν και προηγουμένως.
- Daily Profile, όπου φαίνεται το μέσο προφίλ κάθε ημέρας της εβδομάδας σε διάγραμμα. Η μεταβλητή που παρουσιάζεται είναι και πάλι μία από τις επιλογές που αναφέρθηκαν και προηγουμένως.

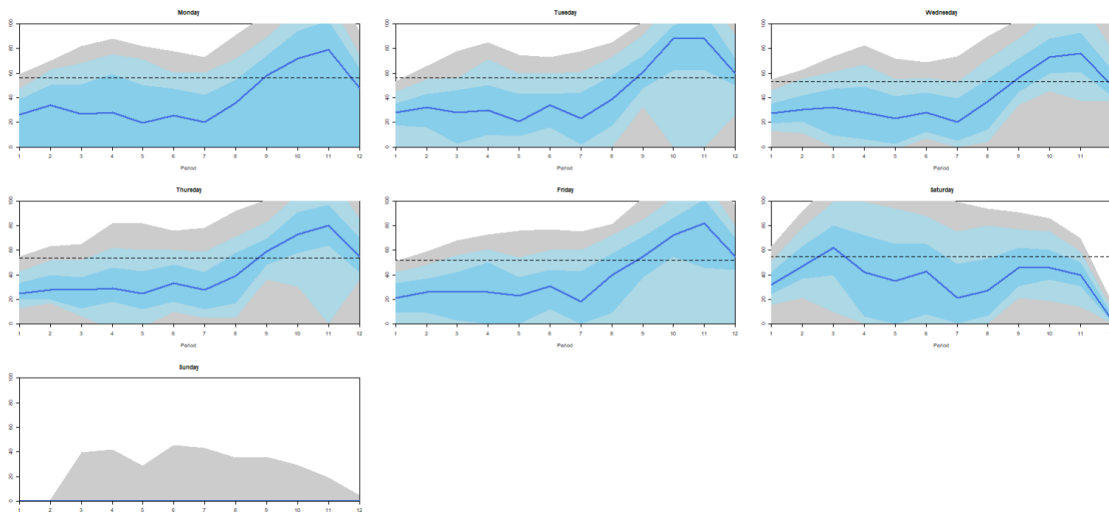
Αυτά είναι και τα ιστορικά δεδομένα που χρησιμοποιεί το σύστημα για την παραγωγή της πρότασης μέσω των δύο υποσυστημάτων. Ο χρήστης δεν είναι υπεύθυνος για την επικαιροποίησή τους διότι γίνεται αυτόματη ανανέωση τους εβδομαδιαίως από ήδη υπάρχον αρμόδιο σύστημα. Τέλος, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει καινούριο κατάστημα στο σύστημα και να επιλέξει με ποιο από τα ήδη υπάρχοντα είναι όμοιο. Τα καταστήματα αυτά χρησιμοποιούν ιστορικά στοιχεία των ομοίων τους μέχρι να λειτουργήσουν για κάποιο εύλογο χρονικό διάστημα που θα επιτρέψει τη μελέτη της συμπεριφοράς τους.



(α') Heatmap



(β') Activity Overview



(γ') Daily Profile

Σχήμα 5.7: Καρτέλα Branch Overview - Διαγράμματα

Similar Store ID	Select New Store ID	New Store Name	
7	1		Add Store
MEGA PERISTERI			

Σχήμα 5.8: Καρτέλα Branch Overview - Εισαγωγή Νέου Καταστήματος

5.1.3 Προγραμματισμών Πόρων σε Επίπεδο Έτους

Στην επόμενη καρτέλα (FTE Requirements (Budget & STF)) ο χρήστης μπορεί να μελετήσει το αποτέλεσμα του πρώτου υποσυστήματος που περιγράφηκε στην τρίτη ενότητα. Σε αυτό, μπορεί να αλλάξει τις τιμές του προτεινόμενου αριθμού εργαζομένων ανά μήνα, κάνοντας κλικ στο αντίστοιχο πεδίο. Οποιαδήποτε άλλη αλλαγή δε γίνεται αποδεκτή. Με βάση την αλλαγή αυτή, μπορεί να υπολογίζει εκ νέου το budget με το κουμπί Calculate New Budget. Σε περίπτωση που είναι ευχαριστημένος με το νέο αποτέλεσμα, μέσω του κουμπιού Save αυτό αποθηκεύεται στη βάση δεδομένων. Διαφορετικά, με το κουμπί Reset μπορεί να επιστρέψει στην αρχική πρόταση του συστήματος. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα για εξαγωγή του αποτελέσματος είτε του καταστήματος που μελετάται είτε όλων των καταστημάτων σε CSV αρχείο.

Month	Year	Employees	FTE Actual	FTE Total	FTE Base	FTE Extratime	FTE Overtime	Vacation	Cost	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday
6	2018	42.25	6738	7246	7035	211	0	508	58882	735	762	842	952	2101	1854
7	2018	42.25	7059	7603	7035	568	0	544	59476	1287	1168	1168	1168	1291	1314
8	2018	42.25	6347	7035	7035	0	0	688	58531	1107	1238	1352	1235	1086	1017
9	2018	42.25	6572	7177	7035	142	0	605	58767	1134	1125	1125	1272	1375	1146
10	2018	46.25	7122	7701	7701	0	0	579	64072	1528	1448	1235	1220	1083	1187
11	2018	46.25	9107	9522	7701	1156	665	415	68209	1375	1641	1807	1652	1408	1363
12	2018	46.25	8226	8758	7701	1057	0	532	65831	1129	1293	1293	1455	1617	1549
1	2019	46.25	7973	8458	7701	757	0	485	65332	1404	1583	1555	1378	1188	1100
2	2019	46.25	7274	7832	7701	131	0	558	64290	1003	1354	1383	1398	1398	1296
3	2019	46.25	7029	7701	7701	0	0	672	64072	1016	1234	1395	1606	1281	1169
4	2019	42.25	6235	7035	7035	0	0	800	58531	1025	1146	1139	1129	1163	1226
5	2019	42.25	6416	7035	7035	0	0	619	58531	1093	1170	1259	1199	1095	1018
6	2019	42.25	6738	7246	7035	211	0	508	58882	735	762	842	952	2101	1854
7	2019	42.25	7059	7603	7035	568	0	544	59476	1287	1168	1168	1168	1291	1314
8	2019	42.25	6347	7035	7035	0	0	688	58531	1107	1238	1352	1235	1086	1017
9	2019	42.25	6572	7177	7035	142	0	605	58767	1134	1125	1125	1272	1375	1146

Σχήμα 5.9: Καρτέλα FTE Requirements (Budget & STF)

5.1.4 Εβδομαδιαίος Προγραμματισμός

Στην καρτέλα Shift Planning (Weekly) ο χρήστης μπορεί να δει το αποτέλεσμα του υποσυστήματος 2 σε εβδομαδιαίο επίπεδο για το κατάστημα που έχει επιλέξει στην καρτέλα Branch Overview. Συγκεκριμένα, γίνεται παρουσίαση μέσω διαγράμματος της πρότασης όπου

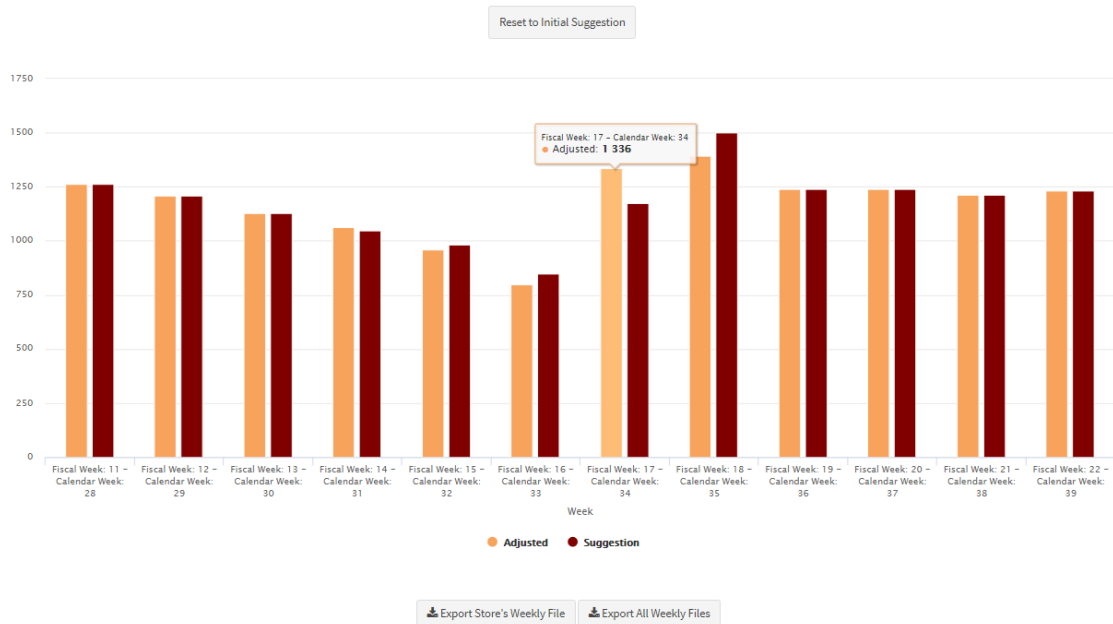
φαίνεται ο προτινόμενος αριθμός εργαζομένων σε FTEs με κόκκινο χρώμα. Στο διάγραμμα φαίνεται η κάθε εβδομάδα με βάση τόσο το ημερολογιακό όσο και με το οικονομικό έτος. Η πρόταση μπορεί να εξαχθεί από το χρήστη για το κατάστημα που εξετάζει σε μορφή πίνακα με το κουμπί Export Store's Weekly File. Αντίστοιχα μπορεί να γίνει μαζική εξαγωγή της πρότασης για το σύνολο του δικτύου με το κουμπί Export All Weekly Files. Ακριβώς κάτω από το διάγραμμα υπάρχει η δυνατότητα για επεξεργασία της πρότασης. Αυτή μπορεί να γίνει για την εβδομάδα που επιλέγει ο χρήστης από το αντίστοιχο dropdown. Δίνεται η επιλογή να αυξηθεί ή να μειωθεί ο αριθμός των FTEs μέσω του κουμπιού Apply αλλά και μέσω του πίνακα ακριβώς από κάτω ο οποίος λειτουργεί όπως ένα υπολογιστικό φύλλο. Σε αυτό επιτρέπεται η αλλαγή μόνο για την τιμή Adjusted για προστασία της λειτουργίας του συστήματος. Για κάθε αλλαγή που γίνεται, μέσω του κουμπιού Commit επανυπολογίζεται ο προγραμματισμός των εργαζομένων λαμβάνοντας υπόψη την αλλαγή του χρήστη. Όλες οι αλλαγές που πραγματοποιούνται φαίνονται πάνω στο διάγραμμα με πορτοκαλί χρώμα δίπλα στην αρχική πρόταση. Τέλος, με το κουμπί Reset to Initial Suggestion ο χρήστης μπορεί να επιστρέψει στην αρχική πρόταση που είχε παράξει το υποσύστημα 2.



Σχήμα 5.10: Καρτέλα Shift Planning (Weekly)

Calendar Week	Fiscal Week	Store ID	Store	Suggestion	Adjusted
34	17	7	MEGA PERISTERI	1176	1336

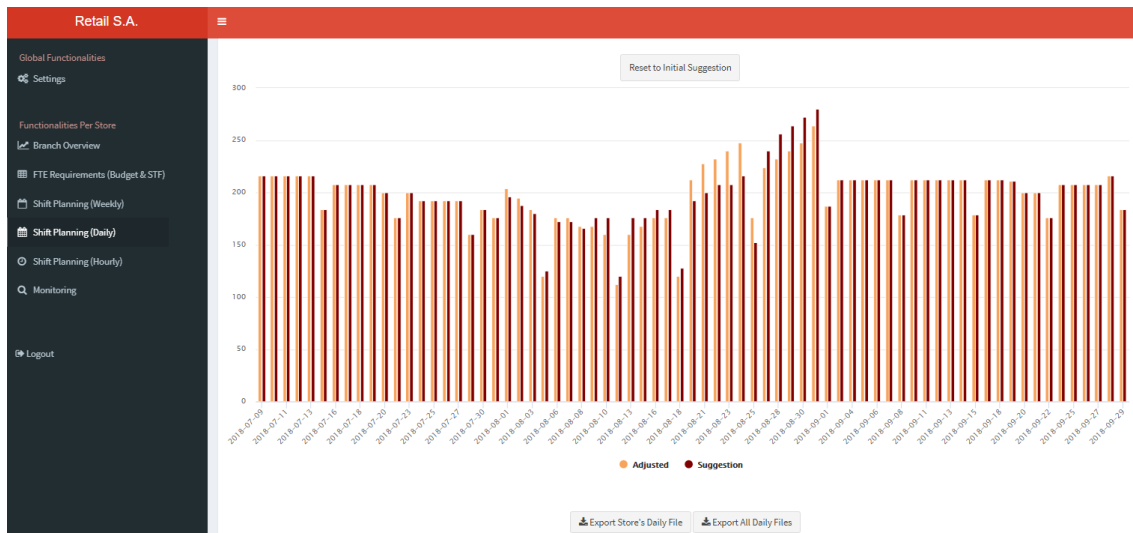
Σχήμα 5.11: Καρτέλα Shift Planning (Weekly) - Περιβάλλον Επεξεργασίας Πρότασης



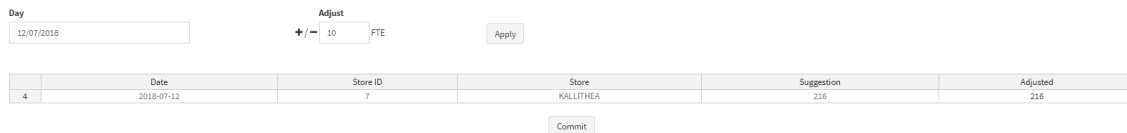
Σχήμα 5.12: Καρτέλα Shift Planning (Weekly) - Διάγραμμα Πρότασης

5.1.5 Ημερήσιος Προγραμματισμός

Στην καρτέλα Shift Planning (Daily) ο χρήστης μπορεί να δει το αποτέλεσμα του υποσυστήματος 2 σε ημερήσιο επίπεδο για το κατάστημα που έχει επιλέξει στην καρτέλα Branch Overview. Μέσω διαγράμματος παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της πρότασης και ο προτινόμενος αριθμός εργαζομένων σε FTEs φαίνεται με κόκκινο χρώμα. Η πρόταση μπορεί και πάλι να εξαχθεί από το χρήστη για το κατάστημα που εξετάζει σε μορφή πίνακα με το κουμπί Export Store's Daily File. Αντίστοιχα μπορεί να γίνει μαζική εξαγωγή της πρότασης για το σύνολο του δικτύου με το κουμπί Export All Daily Files. Ακριβώς κάτω από το διάγραμμα υπάρχει, όπως και στην προηγούμενη καρτέλα η δυνατότητα για επεξεργασία της πρότασης. Αυτή μπορεί να γίνει για την ημέρα που επιλέγει ο χρήστης από το αντίστοιχο ημερολόγιο. Δίνεται η επιλογή να αυξηθεί ή να μειωθεί ο αριθμός των FTEs μέσω του κουμπιού Apply και μέσω του αντίστοιχου πίνακα. Και πάλι επιτρέπεται η αλλαγή μόνο για την τιμή Adjusted. Τέλος, με το κουμπί Reset to Initial Suggestion ο χρήστης μπορεί να επιστρέψει στην αρχική πρόταση που είχε παράξει το υποσύστημα 2. Σημειώνεται πως όλες οι αλλαγές που γίνονται σε επίπεδο ημέρας ή εβδομάδας μέσω των αντίστοιχων καρτελών, περνούν και στις υπόλοιπες καρτέλες.



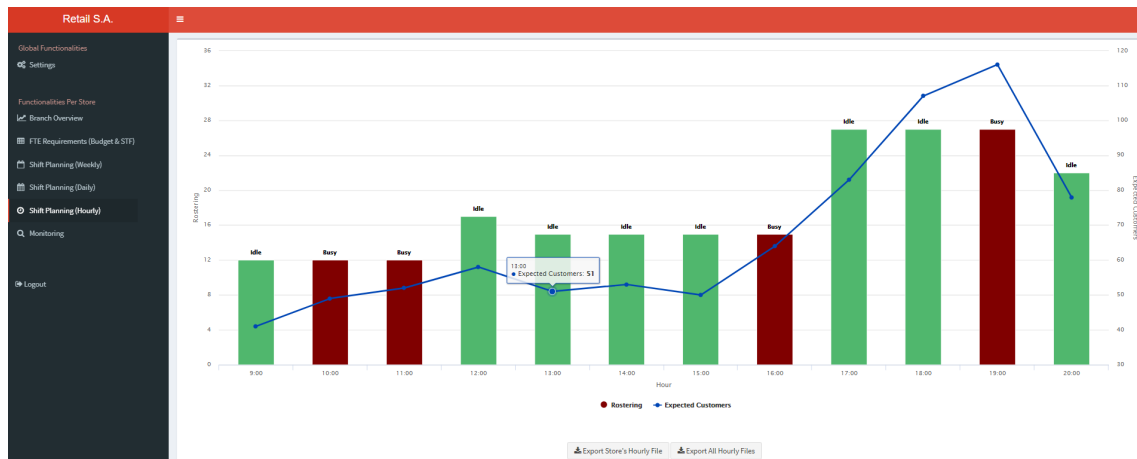
Σχήμα 5.13: Καρτέλα Shift Planning (Daily)



Σχήμα 5.14: Καρτέλα Shift Planning (Daily) - Περιβάλλον Επεξεργασίας Πρότασης

5.1.6 Ωριαίος Προγραμματισμός

Στην καρτέλα Shift Planning (Hourly) ο χρήστης μπορεί να δει το αποτέλεσμα του υποσυστήματος 2 σε ωριαίο επίπεδο για το κατάστημα που έχει επιλέξει στην καρτέλα Branch Overview. Μέσω διαγράμματος παρουσιάζεται ο προτινόμενος αριθμός εργαζομένων σε FTEs ανά ώρα με τη μορφή ραβδόγραμματος. Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται η αναμενόμενη προσέλευση πελατών στο κατάστημα. Ακριβώς από κάτω υπάρχει και η παρουσίαση του προτινόμενου προγραμματισμού των εργαζομένων ανά κατηγορία ρόλου σε μορφή πίνακα. Τόσο στο διάγραμμα όσο και στον πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα για την ημέρα που επιλέγει ο χρήστης μέσω του ημερολογίου. Παράλληλα, στο ραβδόγραμμα υπάρχει κόκκινος χρωματισμός στο αποτέλεσμα αν η ροή πελατών αναμέται να απασχολεί σε μεγάλο βαθμό τους εργαζομένους (Busy) και πράσινος χρωματισμός για τις ώρες που το κατάστημα λειτουργεί σε φυσιολογικούς ρυθμούς (Idle). Όπως και στις προηγούμενες καρτέλες, ο χρήστης μπορεί να εξάγει το αποτέλεσμα για το κατάστημα που εξετάζει σε μορφή πίνακα με το κουμπί Export Store's Hourly File. Αντίστοιχα μπορεί να γίνει μαζική εξαγωγή της πρότασης για το σύνολο του δικτύου με το κουμπί Export All Hourly Files. Εδώ δεν υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας της πρότασης.



Σχήμα 5.15: Καρτέλα Shift Planning (Hourly)

Day: 12/07/2018

Hour	Management	Warehouse	Sales	Cashier	Misc
9	1	1	7	2	1
10	1	1	7	2	1
11	1	1	7	2	1
12	2	1	10	3	1
13	1	1	9	3	1
14	1	1	9	3	1
15	1	1	9	3	1
16	1	1	9	3	1
17	3	2	16	5	1
18	3	2	16	5	1
19	3	2	16	5	1
20	2	1	14	4	1

Showing 1 to 12 of 12 entries

Σχήμα 5.16: Καρτέλα Shift Planning (Hourly) - Πίνακας Αποτελεσμάτων

5.1.7 Monitoring Αποτελεσμάτων

Στην καρτέλα Monitoring ο χρήστης μπορεί να μελετήσει τα αποτελέσματα του συστήματος σε σύγκριση με την πραγματική εικόνα του καταστήματος. Στο κέντρο της οθόνης φαίνεται ένα σύνολο καρτελών που χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες:

- Overview, όπου παρουσιάζεται στο αριστερό μέρος η πρόταση του συστήματος σε ότι αφορά το budget, όπως παράχθηκε από το υποσύστημα 1. Στο δεξί μέρος φαίνεται η πραγματική εικόνα της λειτουργίας του καταστήματος.
- Vacation, όπου παρουσιάζεται η πρόταση του συστήματος για τον προγραμματισμό αδειών και οι πραγματικές άδειες που έχουν δοθεί καθώς και η αντίστοιχη διαφορά των δύο.
- Extratime FTE, όπου παρουσιάζεται η πρόταση του συστήματος για την υπερεργασία και οι πραγματικές ώρες υπερεργασίας που έχουν γίνει μαζί με τη διαφορά των δύο.
- Overtime FTE, όπου παρουσιάζεται η πρόταση του συστήματος για τις υπερωρίες στο και οι πραγματικές υπερωρίες που έχουν γίνει μαζί με τη διαφορά των δύο.

- Forecast, όπου παρουσιάζεται η πρόβλεψη εισόδου πελατών στο κατάστημα ανά μήνα από την αρχή του έτους και η αντίστοιχη πραγματική τιμή. Επιπλέον φαίνεται η διαφορά πρόβλεψης και πραγματικής τιμής και το αντίστοιχο ποσοστιαίο σφάλμα. Με κόκκινο χρώμα εμφανίζεται ο τρέχον μήνας.

Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν σε CSV αρχεία μέσω των αντίστοιχων κουμπιών Export. Κάτω από τις προαναφερθείσες καρτέλες δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα να εξάγει τα ιστορικά δεδομένα του καταστήματος και τα οποία όπως αναφέρθηκε εισάγονται αυτόματα εβδομαδιαίως στην εφαρμογή μέσω βοηθητικού συστήματος, καθώς και το αντίστοιχο αποτέλεσμα της πρόβλεψης πελατών. Σε αυτά ο χρήστης επιλέγει τα καταστήματα για τα οποία εξάγει την πληροφορία αλλά και το εύρος των ημερών που τον ενδιαφέρουν, όπως φαίνεται στην εικόνα .

Year	Month	Suggested Vacation	Real Vacation	Difference
2018	6	508	0	508
2018	7	544	0	544
2018	8	688	0	688
2018	9	605	0	605
2018	10	579	0	579
2018	11	415	0	415
2018	12	532	0	532
2019	1	485	0	485
2019	2	558	0	558
2019	3	672	0	672
2019	4	800	0	800
2019	5	619	0	619

Σχήμα 5.17: Καρτέλα Monitoring

Suggestion										Reporting									
Month	Year	Employees	FTE Actual	FTE Total	FTE Base	FTE Extratime	FTE Overtime	Vacation	Cost	Month	Year	Employees	FTE Actual	FTE Total	FTE Base	FTE Extratime	FTE Overtime	Vacation	Cost
6	2018	42.25	6738	7246	7035	211	0	508	58882	6	2018	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2018	42.25	7059	7603	7035	568	0	544	59476	7	2018	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2018	42.25	6347	7035	7035	0	0	688	58531	8	2018	0	0	0	0	0	0	0	0
9	2018	42.25	6572	7177	7035	142	0	605	58787	9	2018	0	0	0	0	0	0	0	0
10	2018	46.25	7122	7701	7701	0	0	579	64072	10	2018	0	0	0	0	0	0	0	0
11	2018	46.25	9107	9522	7701	1156	665	415	65209	11	2018	0	0	0	0	0	0	0	0
12	2018	46.25	8226	8758	7701	1057	0	532	65831	12	2018	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2019	46.25	7973	8458	7701	757	0	485	65332	1	2019	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2019	46.25	7274	7832	7701	131	0	558	64290	2	2019	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2019	46.25	7029	7701	7701	0	0	672	64072	3	2019	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2019	42.25	6235	7035	7035	0	0	800	58531	4	2019	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2019	42.25	6416	7035	7035	0	0	619	58531	5	2019	0	0	0	0	0	0	0	0
6	2019	42.25	6738	7246	7035	211	0	508	58882	6	2019	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2019	42.25	7059	7603	7035	568	0	544	59476	7	2019	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2019	42.25	6347	7035	7035	0	0	688	58531	8	2019	0	0	0	0	0	0	0	0
9	2019	42.25	6572	7177	7035	142	0	605	58787	9	2019	0	0	0	0	0	0	0	0

Σχήμα 5.18: Καρτέλα Monitoring - Overview

Overview Vacation Extratime FTE Actual FTE Forecast Reporting

Vacation Report

Year	Month	Suggested Vacation	Real Vacation	Difference
2018	6	508	0	508
2018	7	544	0	544
2018	8	688	0	688
2018	9	605	0	605
2018	10	579	0	579
2018	11	415	0	415
2018	12	532	0	532
2019	1	485	0	485
2019	2	558	0	558
2019	3	672	0	672
2019	4	800	0	800
2019	5	619	0	619

Showing 1 to 12 of 12 entries

[Export Vacation Report File](#)

Σχήμα 5.19: Καρτέλα Monitoring - Vacation

Overview Vacation Extratime FTE Actual FTE Forecast Reporting

Extratime FTE Report

Year	Month	Suggested FTE Extratime	Real FTE Extratime	Difference
2018	10	0	0	0
2018	11	1156	0	1156
2018	12	1057	0	1057
2019	1	757	0	757
2019	2	131	0	131
2019	3	0	0	0
2019	4	0	0	0
2019	5	0	0	0
2019	6	211	0	211
2019	7	568	0	568
2019	8	0	0	0
2019	9	142	0	142

Showing 1 to 12 of 12 entries

[Export Extratime Report File](#)

Σχήμα 5.20: Καρτέλα Monitoring - Extratime FTE

Overview Vacation Extratime FTE Actual FTE Forecast Reporting

Suggestion

Year	Month	Suggested FTE Actual	Real FTE Actual	Difference
2018	10	7122	0	7122
2018	11	9107	0	9107
2018	12	8226	0	8226
2019	1	7973	0	7973
2019	2	7274	0	7274
2019	3	7029	0	7029
2019	4	6235	0	6235
2019	5	6416	0	6416
2019	6	6738	0	6738
2019	7	7059	0	7059
2019	8	6347	0	6347
2019	9	6572	0	6572

Showing 1 to 12 of 12 entries

[Export Actual FTE File](#)

Σχήμα 5.21: Καρτέλα Monitoring - Overtime FTE

Year	Month	Eligible Customers	Forecast	Error	Error (%)
2018	1	21336	26993	5657	26.5
2018	2	15934	22041	6107	38.3
2018	3	18065	20105	2040	11.3
2018	4	21068	19838	-7130	-33.8
2018	5	18772	16265	-2507	-13.4
2018	6	14850	18641	3791	25.5

Showing 1 to 6 of 6 entries

Export Forecast Report File

Σχήμα 5.22: Καρτέλα Monitoring - Forecast

Export Historical Data

Stores

select a store name

From 01/07/2018 To 08/07/2018 Export

All Stores

7 - MEGA PERISTERI

8 - KALLITHEA

11 - KORIDALLOS

12 - PAGRATI

16 - AGIA PARASKEVI

17 - NEA ERITHREA

18 - GLEADA

From 12/07/2018 To 16/07/2018 Export

Σχήμα 5.23: Καρτέλα Monitoring - Εξαγωγή Πληροφοριών

5.2 Σύνδεση Χρήστη ως Manager

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το σενάριο εισαγωγής στο σύστημα ενός χρήστη που ανήκει στην κατηγορία των Managers. Στο κάτω μέρος του πλάγιου μενού υπάρχει η δυνατότητα για αποσύνδεση από το σύστημα μέσω του κουμπιού Logout. Η κυριότερη διαφορά αυτής της ομάδας χρηστών με την εντίστοιχη των directors είναι ότι τους παρουσιάζεται η εικόνα μόνο του δικού τους καταστήματος και όχι για όλο το δίκτυο και επιπλέον δεν έχουν πληροφορία για το μηνιαίο budget. Οι δυνατότητες που προσφέρονται μπορούν να ενταχθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

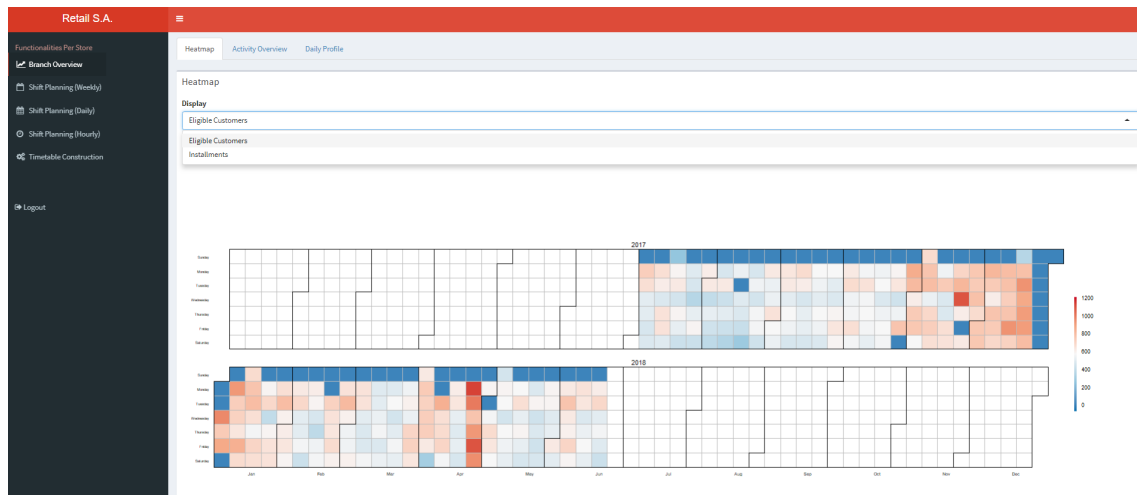
- Μελέτη δραστηριότητας καταστήματος ως προς τα ιστορικά του στοιχεία
- Τροποποίηση τρέχουσας πρότασης
- Κατασκευή Ονομαστικού Προγράμματος

Οι παραπάνω κατηγορίες μαζί με όλες τις επιπρόσθετες λειτουργίες που περιλαμβάνουν έχουν χωριστεί στις παρακάτω πέντε καρτέλες:

- Branch Overview
- Shift Planning (Weekly)
- Shift Planning (Daily)
- Shift Planning (Hourly)
- Timetable Construction

5.2.1 Overview Δραστηριότητας Καταστήματος

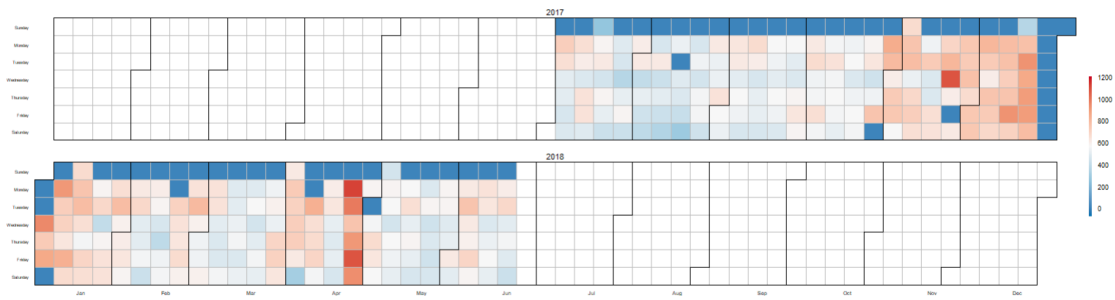
Στην καρτέλα Branch Overview ο χρήστης μπορεί να δει την εικόνα του καταστήματος με τη λειτουργία της καρτέλας να είναι αποκλειστικά εποπτική.



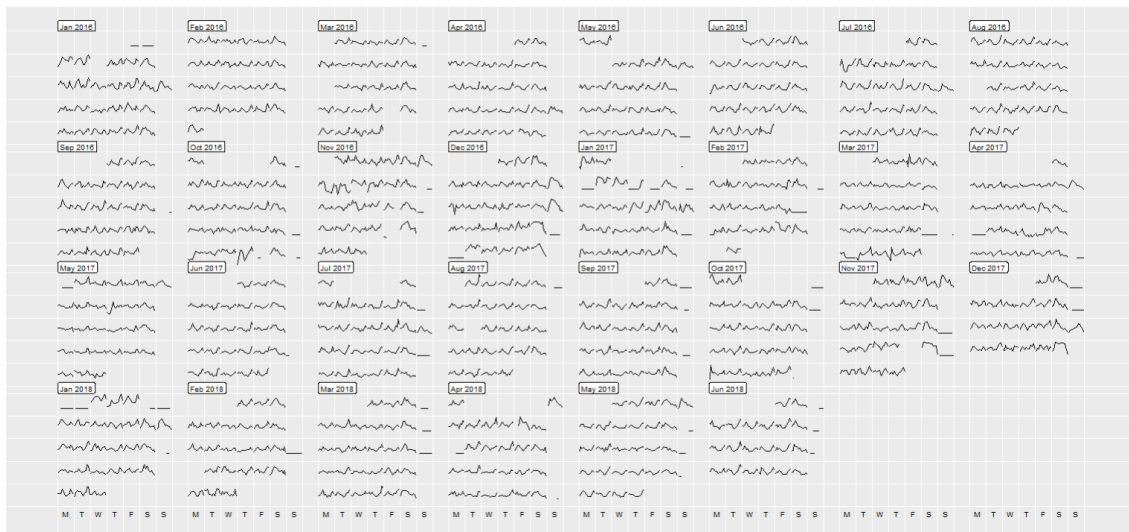
Σχήμα 5.24: Καρτέλα Branch Overview

Όπως και στο σύστημα του director, στο κάτω μέρος της οθόνης υπάρχει ένα σύνολο από καρτέλες από τις οποίες ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μία από τις παρακάτω επιλογές:

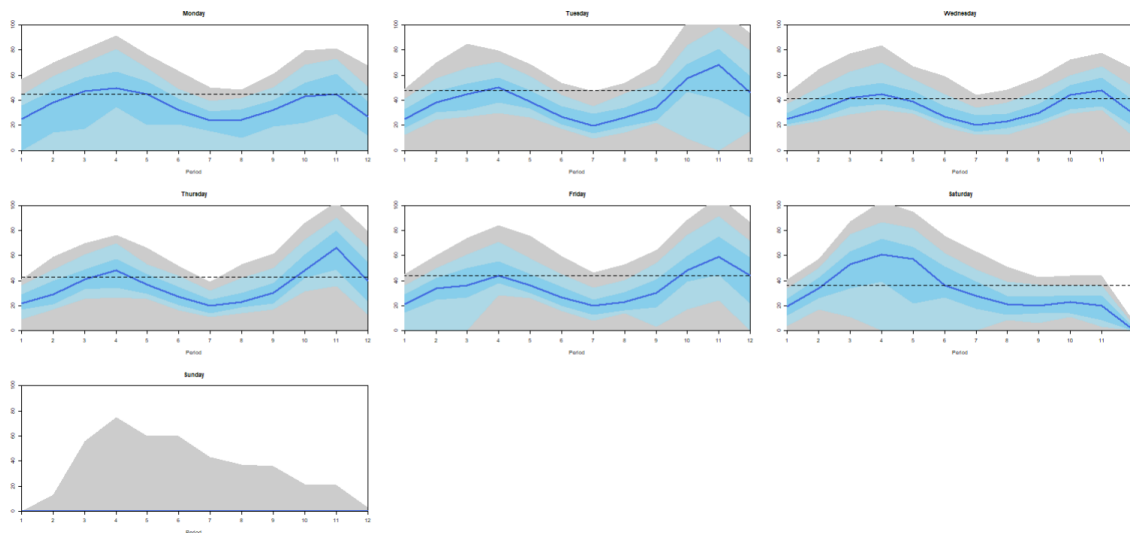
- Heatmap, όπου με κατάλληλο χρωματισμό φαίνεται στο διάγραμμα η δραστηριότητα του καταστήματος. Η μεταβλητή που παρουσιάζεται είναι μία από τις επιλογές που περιλαμβάνει το dropdown πεδίο πάνω από το διάγραμμα. Αυτές περιλαμβάνουν το σύνολο των πελατών που πραγματοποίησαν αγορές, και το σύνολο των πελατών που πραγματοποίησαν πληρωμή δόσεων.
- Activity Overview, όπου φαίνεται ημερολογιακά ο τρόπος που κατανέμεται η δραστηριότητα του καταστήματος μέσα σε κάθε ημέρα. Η μεταβλητή που παρουσιάζεται είναι μία από τις επιλογές που αναφέρθηκαν και προηγουμένως.
- Daily Profile, όπου φαίνεται το μέσο προφίλ κάθε ημέρας της εβδομάδας σε διάγραμμα. Η μεταβλητή που παρουσιάζεται είναι και πάλι μία από τις επιλογές που αναφέρθηκαν και προηγουμένως.



(α') Heatmap



(β') Activity Overview



(γ') Daily Profile

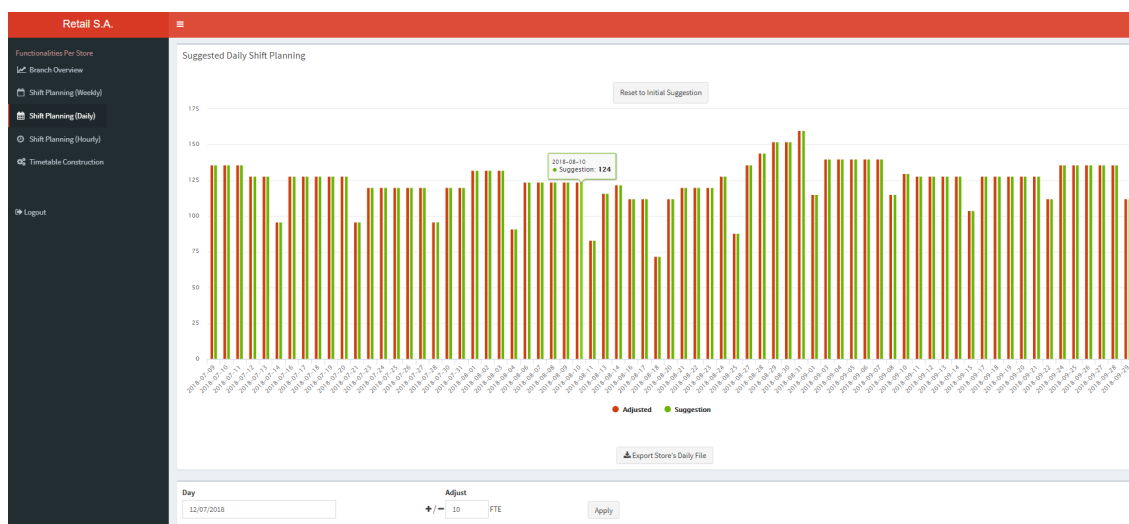
Σχήμα 5.25: Καρτέλα Branch Overview - Διαγράμματα

5.2.2 Καρτέλες Προγραμματισμού Εργαζομένων

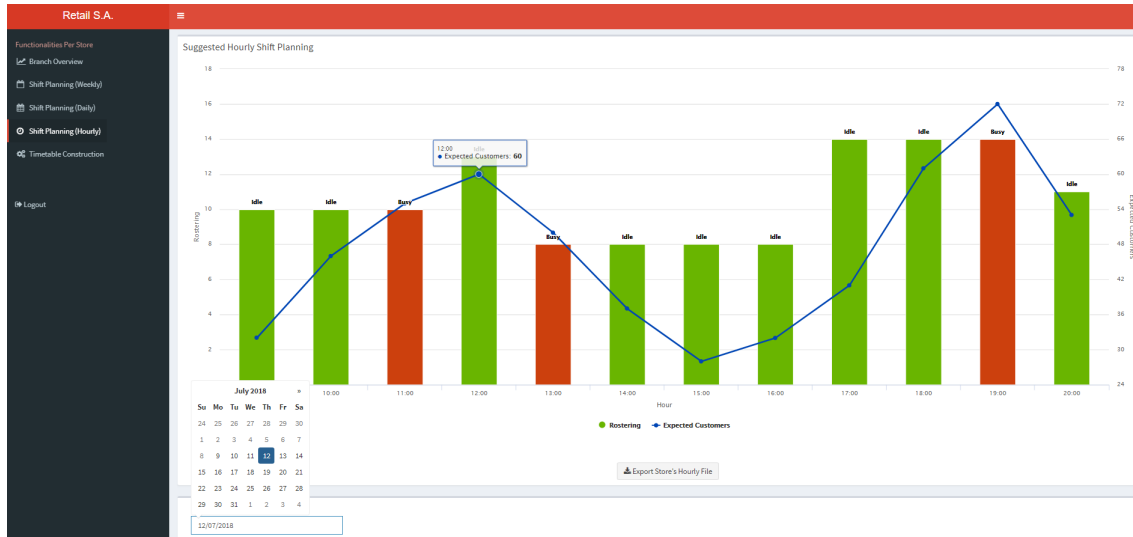
Οι καρτέλες Shift Planning (Weekly), Shift Planning (Daily) και Shift Planning (Hourly) έχουν την ίδια ακριβώς λειτουργικότητα με τις αντίστοιχες του συστήματος του director. Στις εικόνες 5.26 - 5.28 φαίνεται η λειτουργία τους.



Σχήμα 5.26: Καρτέλα Shift Planning (Weekly)



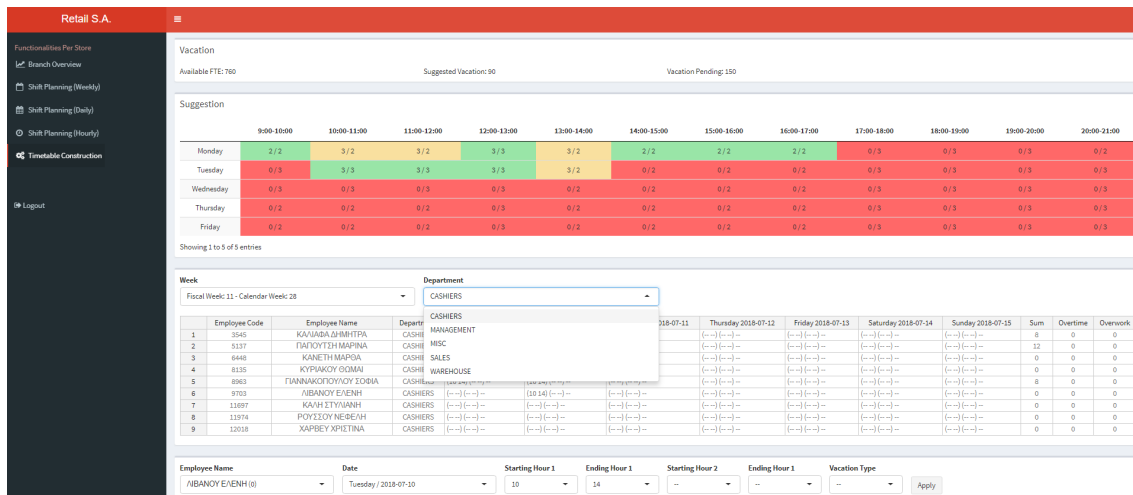
Σχήμα 5.27: Καρτέλα Shift Planning (Daily)



Σχήμα 5.28: Καρτέλα Shift Planning (Hourly)

5.2.3 Κατασκευή Ονομαστικού Προγράμματος

Μια επιπλέον διαφοροποίηση του συστήματος των Managers από εκείνο του Director είναι η καρτέλα Timetable Construction. Οι καρτέλες Shift Planning (Weekly), στην οποία ο χρήστης ανάλογα με την πρόταση του συστήματος μπορεί πλέον σε ονομαστικό επίπεδο να προγραμματίσει τη λειτουργία του καταστήματός του. Αρχικά, στο πάνω μέρος της οθόνης φαίνεται για εποπτικούς λόγους τον συνολικό σε FTEs αριθμό που υπάρχει διαθέσιμος στο κατάστημά του καθώς και το σύνολο των αδειών που προτείνονται και εκκρεμούν.



Σχήμα 5.29: Καρτέλα Timetable Construction

Στο κέντρο της οθόνης φαίνεται ο προγραμματισμός του καταστήματος σε σχέση με την πρόταση του συστήματος. Για κάθε ώρα με κόκκινο χρώμα σημειώνονται οι ώρες για τις οποίες ο χρήστης έχει προγραμματίσει μικρότερο αριθμό εργαζομένων από την πρόταση του συστήματος.

τος, με πορτοκαλί εκείνες οι ώρες όπου έχει ξεπεραστεί ο προτεινόμενος αριθμός και τέλος με πράσινο χρώμα οι ώρες εκείνες για τις οποίες η πρόταση συμπίπτει με τον προγραμματισμό που κατασκευάζει σχεδιάσει ο χρήστης.

Suggestion

	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00
Monday	2/2	3/2	3/2	3/3	3/2	2/2	2/2	2/2	0/3	0/3	0/3	0/2
Tuesday	0/3	3/3	3/3	3/3	3/2	0/2	0/2	0/2	0/3	0/3	0/3	0/3
Wednesday	0/3	0/3	0/3	0/3	0/2	0/2	0/2	0/2	0/3	0/3	0/3	0/3
Thursday	0/2	0/2	0/2	0/3	0/2	0/2	0/2	0/2	0/3	0/3	0/3	0/3
Friday	0/2	0/2	0/2	0/3	0/2	0/2	0/2	0/2	0/3	0/3	0/3	0/3

Showing 1 to 5 of 5 entries

Σχήμα 5.30: Αξιοποίηση Εργαζομένων Καταστήματος

Στο κάτω μέρος της οθόνης, αρχικά υπάρχει ένα dropdown μενού μέσω του οποίου ο χρήστης επιλέγει την εβδομάδα που τον ενδιαφέρει να προγραμματίσει ως προς τις βάρδιες των εργαζομένων. Δίπλα υπάρχει ένα αντίστοιχο μενού για επιλογή της κατηγορίας εργαζομένων που θα προγραμματίσει (Cashiers, management, sales, warehouse, misc). και υπάρχει αρχικά ένας πίνακας που περιέχει τους εργαζόμενους που διαθέτει το κατάστημα, το ρόλο τους, τις ώρες για τις οποίες έχουν προγραμματιστεί να δουλέψουν, τις άδειες που έχει προγραμματιστεί να λάβουν και τέλος τις ώρες υπερωρίας και υπερεργασίας. Τέλος, στο κάτω μέρος της οθόνης υπάρχουν διαθέσιμα όλα τα απαραίτητα πεδία για τη συμπλήρωση του πίνακα με τον προγραμματισμό της εργασίας τους. Αυτά έχουν τη μορφή κουμπιών και dropdown μενού και όχι εισαγωγής ελεύθερου κειμένου προκειμένου να εξασφαλίζεται η καλή λειτουργία της εφαρμογής.

Week: Fiscal Week 11 - Calendar Week 28

Department: CASHIERS

Employee Code	Employee Name	Department	Monday 2018-07-09	Tuesday 2018-07-10	Wednesday 2018-07-11	Thursday 2018-07-12	Friday 2018-07-13	Saturday 2018-07-14	Sunday 2018-07-15	Sum	Overtime	Overwork
1	3545 ΚΑΛΙΑΒΑ ΔΗΜΗΤΡΑ	CASHIERS	(9:13) (13:17) --	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	8	0	0
2	5137 ΠΑΛΙΟΥΤΣΗ ΜΑΡΙΝΑ	CASHIERS	(9:13) (13:17) --	(10:14) (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	12	0	0
3	6448 ΚΑΝΕΤΗ ΜΑΡΓΑ	CASHIERS	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	0	0	0
4	8135 ΚΥΡΙΑΚΟΥ ΘΩΔΩΗ	CASHIERS	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	0	0	0
5	8863 ΠΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΣΟΦΙΑ	CASHIERS	(10:14) (--)--	(10:14) (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	8	0	0
6	9703 ΛΙΒΑΝΟΥ ΕΛΕΝΗ	CASHIERS	-- (--)--	(10:14) (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	0	0	0
7	11697 ΚΑΛΗ ΣΤΥΛΙΑΝΗ	CASHIERS	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	0	0	0
8	11974 ΡΟΥΣΣΟΥ ΝΕΦΕΛΗ	CASHIERS	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	0	0	0
9	12018 ΧΑΡΒΕΥ ΧΡΙΣΤΙΝΑ	CASHIERS	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	-- (--)--	0	0	0

Employee Name: ΛΙΒΑΝΟΥ ΕΛΕΝΗ (0)

Date: Tuesday / 2018-07-10

Starting Hour 1: 10

Ending Hour 1: 14

Starting Hour 2: --

Ending Hour 2: --

Vacation Type: --

Apply

Σχήμα 5.31: Εργαλείο Κατασκευής Προγράμματος

Κεφάλαιο 6

Επίλογος και Δυνατότητες Επέκτασης

Η παρούσα εργασία αποτελείται από δύο βασικά μέρη. Στο πρώτο μέρος γίνεται περιγραφή του προβλήματος της προετοιμασίας του προγράμματος εργασίας των εργαζομένων μιας εταιρείας, προκειμένου να είναι δυνατή η ικανοποίηση της ζήτησής της καθώς και μια γενική βιβλιογραφική επισκόπηση ορισμένων προσεγγίσεών του. Στο δεύτερο μέρος της αναπτύσσεται και εφαρμόζεται μία μεθοδολογία βελτιστοποίησης του εργατικού δυναμικού ενός συνόλου καταστημάτων λιανικής, η οποία βασίζεται στην πρόβλεψη της εισόδου πελατών σε αυτά και ενσωματώνεται σε διαδικτυακή εφαρμογή. Η εφαρμογή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους αρμόδιους με τη χρήση των κωδικών τους και φιλοξενείται σε κεντρικό server με αποτέλεσμα να είναι άμεσα διαθέσιμη χωρίς να χρειάζεται εγκατάσταση. Οι πληροφορίες που παρέχει η αρχική αυτή έκδοση της πλατφόρμας είναι σε μορφή διαγραμμάτων, πινάκων, αρχείων και μηνυμάτων κειμένου και αφορούν τα εξής στοιχεία:

- Τα ιστορικά στοιχεία της δραστηριότητας των καταστημάτων
- Τον προτεινόμενο αριθμό εργαζομένων για τους επόμενους 16 μήνες μαζί με το κόστος της πρότασης αυτής
- Τον προγραμματισμό των προτεινόμενων εργαζομένων σε επίπεδο εβδομάδας, ημέρας και ώρας μαζί με τον ρόλο του κάθε εργαζόμενου σε κάθε κατάσταση του δικτύου
- Τα αποτελέσματα του συστήματος σε σύγκριση με την πραγματική δραστηριότητα των καταστημάτων

Βασικό σημείο της μελέτης αποτέλεσε η αυτοματοποίηση του τρόπου με τον οποίο εξετάζονται οι παράμετροι του κάθε καταστήματος για την παραγωγή των παραπάνω αποτελεσμάτων, αφού στο σύνολο τους τα καταστήματα παρουσιάζουν ποικίλες διαφορές. Η προσπάθεια αυτή είναι ένα σημαντικό εργαλείο για το σύνολο των χρηστών της ιδιαίτερα αν ληφθεί υπόψη πως σε τέτοιου είδους καταστήματα οι διαδικασίες αυτές γίνονται σχεδόν αποκλειστικά χειροκίνητα. Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε δίνει τη δυνατότητα οι παραπάνω διαδικασίες να αυτοματοποιούνται με τρόπο εύχρηστο. Αυτό αποδεικνύεται και από το γεγονός πως η εφαρμογή βρίσκεται

ήδη σε πιλοτικό στάδιο σε αντίστοιχο δίκτυο καταστημάτων μεγάλης ελληνικής επιχείρησης και έχει λάβει θετικές κριτικές από το σύνολο των χρηστών της.

Ένα επιπλέον μεγάλο προτέρημα της εφαρμογής σχετίζεται επίσης με τον τρόπο με τον οποίο αναπτύχθηκε. Η παρούσα εργασία αξιοποιεί πλήρως τις δυνατότητες της R, του πακέτου Shiny εργαλείων που εντάσσονται σε λύσεις ανοιχτού κώδικα. Η εξ ολοκλήρου ανάπτυξη της πλατφόρμας σε R έχει επίσης ως αποτέλεσμα να είναι πολύ εύκολα επεκτάσιμη ακόμα και από ανθρώπους που δεν είναι γνώριμοι με τη χρήση πολύπλοκων σύγχρονων εργαλείων ανάπτυξης web εφαρμογών, καθώς είναι γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται ευρέως από ανθρώπους διάφορας ειδικότητας.

Όσον αφορά μελλοντικές επεκτάσεις της εφαρμογής, ένα σενάριο που θα μπορούσε να εξεταστεί είναι η τροποποίησή της ώστε να είναι πλήρως προσαρμόσιμο στον τρόπο με τον οποίο κάθε εταιρεία συλλέγει τα δεδομένα της. Παράλληλα, μπορεί να εξεταστεί η πιθανότητα επέκτασής της με τέτοιο τρόπο ώστε να χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό βαρδιών εργαζομένων σε επιχειρήσεις που προσφέρουν διαφορετικές υπηρεσίες. Ένα τέτοιο σενάριο είναι για παράδειγμα η αξιοποίησή της σε Call Centers. Επιπλέον μπορούν να ληφθούν υπόψη ενδεχόμενα για ενσωμάτωση σε ένα ευρύτερο Business Intelligence εργαλείο. Τέλος, θα ήταν χρήσιμο να εξεταστεί το σενάριο δημιουργίας διαφορετικών ιεραρχικών επιπέδων ως προς τις ομάδες χρηστών.

Bibliography

- [1] Dean Attali. *shinyjs: Easily Improve the User Experience of Your Shiny Apps in Seconds*, 2017. R package version 0.9.1.
- [2] Winston Chang and Barbara Borges Ribeiro. *shinydashboard: Create Dashboards with 'Shiny'*, 2017. R package version 0.6.1.
- [3] Winston Chang, Joe Cheng, JJ Allaire, Yihui Xie, and Jonathan McPherson. *shiny: Web Application Framework for R*, 2017. R package version 1.0.5.
- [4] Matt Dowle and Arun Srinivasan. *data.table: Extension of 'data.frame'*, 2018. R package version 1.11.2.
- [5] Andreas Ernst, Houyuan Jiang, Mohan Krishnamoorthy, and David Sier. Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. 153:3–27, 02 2004.
- [6] Marek Gagolewski. *R package stringi: Character string processing facilities*, 2017.
- [7] Garrett Golemund and Hadley Wickham. Dates and times made easy with lubridate. *Journal of Statistical Software*, 40(3):1–25, 2011.
- [8] Rob Hyndman, George Athanasopoulos, Christoph Bergmeir, Gabriel Caceres, Leanne Chhay, Mitchell O'Hara-Wild, Fotios Petropoulos, Slava Razbash, Earo Wang, and Farah Yasmeen. *forecast: Forecasting functions for time series and linear models*, 2018. R package version 8.4.
- [9] Rob J Hyndman and Yeasmin Khandakar. Automatic time series forecasting: the forecast package for R. *Journal of Statistical Software*, 26(3):1–22, 2008.
- [10] David James and Kurt Hornik. *chron: Chronological Objects which Can Handle Dates and Times*, 2017. R package version 2.3-51. S original by David James, R port by Kurt Hornik.
- [11] M. G. Kendall, A. Stuart, and J. K. Ord, editors. *Kendall's Advanced Theory of Statistics*. Oxford University Press, Inc., New York, NY, USA, 1987.

-
- [12] Nikolaos Kourentzes and Fotios Petropoulos. Forecasting with multivariate temporal aggregation: The case of promotional modelling. *International Journal of Production Economics*, 181:298, 2016.
- [13] Nikolaos Kourentzes and Fotios Petropoulos. *MAPA: Multiple Aggregation Prediction Algorithm*, 2018. R package version 2.0.4.
- [14] Nikolaos Kourentzes, Fotios Petropoulos, and Juan R. Trapero. Improving forecasting by estimating time series structural components across multiple frequencies. *International Journal of Forecasting*, 30(2):593, 2014.
- [15] Joshua Kunst. *highcharter: A Wrapper for the 'Highcharts' Library*, 2017. R package version 0.5.0.
- [16] Spyros Makridakis, S C. Wheelwright, and Rob Hyndman. Forecasting: Methods and applications. 35, 01 1984.
- [17] Jeroen Ooms, David James, Saikat DebRoy, Hadley Wickham, and Jeffrey Horner. *RMySQL: Database Interface and 'MySQL' Driver for R*, 2017. R package version 0.10.13.
- [18] Jonathan Owen. *rhandsontable: Interface to the 'Handsontable.js' Library*, 2016. R package version 0.3.4.
- [19] R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017.
- [20] Deepayan Sarkar. *Lattice: Multivariate Data Visualization with R*. Springer, New York, 2008. ISBN 978-0-387-75968-5.
- [21] Ivan Svetunkov. *smooth: Forecasting Using Smoothing Functions*, 2017. R package version 2.2.1.
- [22] Earo Wang, Di Cook, and Rob Hyndman. *sugrrants: Supporting Graphs for Analysing Time Series*, 2017. R package version 0.1.0.
- [23] Hadley Wickham. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2009.
- [24] Hadley Wickham. The split-apply-combine strategy for data analysis. *Journal of Statistical Software*, 40(1):1–29, 2011.
- [25] Hadley Wickham, Romain Francois, Lionel Henry, and Kirill Muller. *dplyr: A Grammar of Data Manipulation*, 2017. R package version 0.7.4.
- [26] Yihui Xie. *DT: A Wrapper of the JavaScript Library 'DataTables'*, 2018. R package version 0.4.

-
- [27] Yihui Xie, Taiyun Wei, and Yixuan Qiu. *fun: Use R for Fun*, 2011. R package version 0.1-0.
- [28] Achim Zeileis and Gabor Grothendieck. zoo: S3 infrastructure for regular and irregular time series. *Journal of Statistical Software*, 14(6):1–27, 2005.

