

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**  
**ΠΑΡΟΧΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ**

**ΚΗΛΑΔΗΣ ΕΡΡΙΚΟΣ**  
**ΑΕΜ.: 5778**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ. ΤΑΓΑΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΙΟΥΛΙΟΣ 2021**



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

*Η παρούσα διπλωματική σηματοδοτεί την ολοκλήρωση του κύκλου εξειδίκευσης στον τομέα της Βιομηχανικής Διοίκησης του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.*

*Το κεντρικό θέμα της διπλωματικής αφορά στην στατιστική ανάλυση πραγματικών επιχειρησιακών δεδομένων που προέκυψαν από την λειτουργία του τμήματος τεχνικής υποστήριξης πελατών της ελληνικής πολυεθνικής εταιρείας INTRALOT S.A.*

*Πρωταρχικός στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η εμπέδωση των επιστημονικών μεθόδων και τεχνικών που άπτονται του τομέα της Βιομηχανικής Διοίκησης του τμήματος, καθώς και η επέκτασή τους σε γειτνιάζοντα επιστημονικά πεδία, μέσω της μελέτης νέων μεθόδων και προσεγγίσεων.*

*Δευτερευόντως, η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στην εξαγωγή αξιοποιήσιμων επιχειρησιακών συμπερασμάτων, όπως επίσης και στην διατύπωση βελτιωτικών προτάσεων που αφορούν κρίσιμες παραμέτρους λειτουργίας του τμήματος υποστήριξης πελατών.*

*Προς επίτευξη των στόχων, επιχειρήθηκε η ολιστική προσέγγιση του θέματος της εργασίας, ενώ επιλέχθηκε η χρήση πληθώρας εργαλείων και μεθόδων προκειμένου να παρουσιαστούν και να αναλυθούν τα δεδομένα, ώστε να εξαχθούν τα κατάλληλα συμπεράσματα.*

*Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον καθηγητή και επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, Δρ. Γεώργιο Ταγαρά, για την πολύτιμη συμβολή του στην εκπόνηση της εργασίας αλλά και στο σύνολο των σπουδών μου, μέσω της αδιάλειπτης ηθικής και ακαδημαϊκής υποστήριξης.*

*Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους της εταιρείας για την εξαιρετική συνεργασία και το ενδιαφέρον που έδειξαν καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Σκοπός-Στόχοι .....	1
1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.....	2
<b>2. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΕΛΑΤΩΝ .....</b>	<b>3</b>
2.1 Γενικά.....	3
2.2 Αρχές Λειτουργίας ΤΤΥΠ .....	3
2.2.1 Είδη Αιτημάτων .....	3
2.2.2 Ανθρώπινο Δυναμικό.....	7
2.2.3 Σύστημα Ιεράρχησης Προτεραιότητας Αιτημάτων .....	9
2.2.4 Συμφωνίες Επιπέδου Υπηρεσιών (Service Level Agreements) .....	12
<b>3. ΣΥΣΤΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΓΩΝ.....</b>	<b>15</b>
3.1 Γενικά.....	15
3.2 Στατιστική Μάθηση (Statistical Learning) .....	16
3.2.1 Εισαγωγή – Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	16
3.2.2 Περιγραφή Βασικών Μεθόδων Συσταδοποίησης.....	17
3.2.2.1 Μέθοδος K-Μέσων (K-Means) .....	17
3.2.2.2 Μέθοδος Ιεραρχικής Συσταδοποίησης .....	21
3.3 Εφαρμογή Ιεραρχικού Αλγορίθμου (Hierarchical Clustering) .....	24
3.3.1 Μεθοδολογία .....	24
3.3.2 Εξαγωγή και Ανάλυση Αποτελεσμάτων .....	27
<b>4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ .....</b>	<b>35</b>
4.1 Γενικά.....	35
4.2 Αξιολόγηση .....	36
4.2.1 Μεθοδολογία .....	36
4.2.2 Αξιολόγηση Εκτιμήσεων Ομάδας Πρόληψης .....	40
4.2.3 Αξιολόγηση Εκτιμήσεων Πελατών .....	41

<b>5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΑΦΙΞΕΩΝ – ΔΙΕΚΠΕΡΑΙΩΣΕΩΝ.....</b>	<b>43</b>
<b>5.1 Γενικά.....</b>	<b>43</b>
5.1.1 Μεθοδολογία .....	43
<b>5.2 Γεγονότα Αφίξεων .....</b>	<b>47</b>
5.2.1 Στάδιο Διερεύνησης.....	47
5.2.2 Έλεγχος Καλής Προσαρμογής $\chi^2$ .....	50
5.2.3 Εκτίμηση Παραμέτρων Κατανομής .....	51
5.2.4 Ορισμός Τυχαίων Μεταβλητών.....	51
<b>5.3 Γεγονότα Διεκπεραιώσεων.....</b>	<b>53</b>
5.3.1 Στάδιο Διερεύνησης.....	53
5.3.2 Έλεγχος Καλής Προσαρμογής $\chi^2$ .....	55
5.3.3 Ορισμός Τυχαίων Μεταβλητών.....	56
<b>5.4 Προσομοίωση Γεγονότων.....</b>	<b>57</b>
<b>6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>67</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>70</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>70</b>
<b>A. Παράρτημα Πινάκων .....</b>	<b>71</b>
<b>B. Παράρτημα Σχημάτων.....</b>	<b>77</b>
<b>Γ. Παράρτημα Κώδικα.....</b>	<b>81</b>

# **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

## **1.1 Γενικά**

Η εταιρεία INTRALOT S.A δραστηριοποιείται στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων λύσεων λογισμικού (software) και τερματικών μηχανών (terminals) για επιχειρήσεις οι οποίες παρέχουν υπηρεσίες σε όλο το φάσμα των τυχερών παιγνίων. Το αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι οι λειτουργίες που αφορούν το Τμήμα Τεχνικής Υποστήριξης Πελατών (ΤΤΥΠ) της εταιρείας. Το ΤΤΥΠ είναι επιφορτισμένο με την ευθύνη της διασφάλισης της ομαλής λειτουργίας των λύσεων λογισμικού μέσω μιας ακολουθίας ενεργειών επιθεώρησης, επιδιόρθωσης, παροχής τεχνικών πληροφοριών και ενημέρωσης προς τα ενδιαφερόμενα μέρη. Η εξέχουσα θέση της εταιρείας στον διεθνή ανταγωνισμό, σε συνδυασμό με την σημαντικότητα, το πλήθος και το μέγεθος των έργων που αναλαμβάνει, δημιουργούν έντονες πιέσεις στο συγκεκριμένο τμήμα της εταιρείας, το οποίο συχνά καλείται να ανταποκριθεί άμεσα και να επιλύσει ζητήματα υψηλών τεχνολογικών απαιτήσεων σε εξαιρετικά περιορισμένο χρόνο. Προκειμένου να διασφαλιστεί η υψηλή ποιότητα των υπηρεσιών, επιτυγχάνοντας παράλληλα την ελαχιστοποίηση των χρόνων διεκπεραίωσης των αιτημάτων που λαμβάνει το τμήμα από τους πελάτες, έχει θεσπιστεί ένα κεντρικό σύστημα καταγραφής και εποπτείας της προόδου των παραδοτέων. Επίσης, μέσω ενός συνόλου κανόνων βάσει των οποίων αξιολογείται η σημαντικότητα των αιτημάτων, επιδιώκεται η ορθολογική ιεράρχηση των προτεραιοτήτων στην κατεύθυνση της βελτίωσης της αποδοτικότητας του τμήματος. Κατά την λειτουργία του συστήματος παρατηρούνται ως επί το πλείστον στοχαστικά φαινόμενα, γεγονός το οποίο καθιστά την εν λόγω μελέτη περίπτωσης προνομιακό πεδίο εφαρμογής επιστημονικών μεθόδων και τεχνικών που θεραπεύουν ζητήματα του τομέα της Βιομηχανικής Διοίκησης και συναφών κλάδων. Συγκεκριμένα, για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας μελετήθηκαν και εφαρμόστηκαν μέθοδοι που συναντώνται σε επιστημονικές περιοχές όπως η Εφαρμοσμένη Στατιστική, η Επιχειρησιακή Έρευνα, η Μηχανική Μάθηση και η Προσομοίωση Στοχαστικών Συστημάτων.

## **1.2 Σκοπός-Στόχοι**

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί πρωτίστως στην εμπέδωση και διεύρυνση των γνώσεων που αποκτήθηκαν κατά την διάρκεια φοίτησης στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και ειδικότερα στην κατεύθυνση της Βιομηχανικής Διοίκησης. Η εκπόνηση της εργασίας με αντικείμενο μια ρεαλιστική μελέτη περίπτωσης και κατ' επέκταση η ανάλυση πραγματικών δεδομένων, αποτέλεσε μια ιδιαίτερως πρόσφορη και επωφελή διαδικασία στην κατεύθυνση της απόκτησης πολύτιμης εμπειρίας και γνώσης σχετικά με τις επιχειρησιακές λειτουργίες του ΤΤΥΠ. Επιπλέον, συνεισφέρει στην κατεύθυνση της ολοκλήρωσης της μετάβασης από το θεωρητικό πεδίο στο πεδίο της εφαρμογής, μια πορεία εξέχουσας σημασίας για την επιτυχή

ολοκλήρωση της διδακτικής διαδικασίας του τομέα της ΒΔ. Μέσω της συστηματικής αλληλεπίδρασης με στελέχη της εταιρείας εντοπίστηκαν τα κοινά σημεία ενδιαφέροντος και ακολούθως τέθηκαν οι στόχοι της εργασίας όπως παρουσιάζονται συνοπτικά στην συνέχεια.

Οι στόχοι συνοψίζονται επιγραμματικά στους παρακάτω:

- Διερεύνηση κρίσιμων χαρακτηριστικών συστήματος
- Κατανόηση των στοχαστικών φαινομένων που διέπουν το σύστημα
- Αξιολόγηση διαδικασιών που αφορούν την λειτουργία του συστήματος
- Υποβολή προτάσεων βελτίωσης της αποτελεσματικότητας του συστήματος
- Υποβολή προτάσεων μελλοντικής διερεύνησης του συστήματος

### **1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας**

Η διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας οργανώνεται σε 6 κεφάλαια. Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη εισαγωγή στο αντικείμενο μελέτης που αναλύεται στο κύριο σώμα της διπλωματικής εργασίας. Έπειτα, το 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο αποσκοπεί στην θεμελίωση της κατανόησης των πολύπλοκων λειτουργιών και διαδικασιών του ΤΤΥΠ, ώστε να καταστούν σαφείς οι κρίσιμες λεπτομέρειες, η γνώση των οποίων είναι αναγκαία για την ομαλή μετάβαση στα επόμενα κεφάλαια. Εν συνέχεια, το 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο σηματοδοτεί την έναρξη της εφαρμογής των μεθόδων ανάλυσης των δεδομένων. Συγκεκριμένα, μετά από σύντομη εισαγωγή στην Μη Επιβλεπόμενη Μάθηση και του βασικότερους αλγόριθμους της ακολουθεί η εφαρμογή της Συσταδοποίησης (Clustering) των έργων. Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο αξιολογείται η διαδικασία εκτίμησης της προτεραιότητας των αιτημάτων, όπως επίσης και η Συσταδοποίηση των έργων με κριτήριο την συνάφεια της ακρίβειας των εκτιμήσεων. Ακολούθως, στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο διενεργείται η ανάλυση της στοχαστικής συμπεριφοράς των γεγονότων που υφίστανται κατά την λειτουργία του συστήματος. Η ανάλυση αφορά τα γεγονότα άφιξης και εξυπηρέτησης των αιτημάτων. Το κεφάλαιο αυτό εξυπηρετεί ένα διττό σκοπό, καθώς πέραν της βαθύτερης κατανόησης των δεδομένων, αποτελεί και απαραίτητη γνώση για την υλοποίηση του μοντέλου της προσομοίωσης που παρουσιάζεται στο τέλος του κεφαλαίου. Τέλος, στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το σύνολο της μελέτης, προσφέροντας μια πανοραμική άποψη της διπλωματικής εργασίας όπως επίσης και τις ενδεχόμενες προοπτικές και δυνατότητες περαιτέρω ανάλυσης.

Αξιοσημείωτη είναι η συμβολή των Παραρτημάτων στην βελτίωση της οργάνωσης της διπλωματικής εργασίας. Στα παραρτήματα ο αναγνώστης κατόπιν αναφοράς στο κύριο σώμα της εργασίας, μπορεί να εντοπίσει πίνακες και σχήματα τα οποία για λόγους συνεκτικότητας και βέλτιστης αναγνωσιμότητας της εργασίας τοποθετούνται ξεχωριστά από το κείμενο, καθώς επίσης και τους κώδικες που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή των αλγορίθμων συσταδοποίησης έργων και τον υπολογισμό στατιστικών παραμέτρων.

## 2. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΕΛΑΤΩΝ

### 2.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές πτυχές του Τμήματος Τεχνικής Υποστήριξης Πελατών. Ξεκινώντας από τις αρχές λειτουργίας του τμήματος και παρουσιάζοντας γενικότερα στοιχεία που σχετίζονται άμεσα με τις αναλύσεις που ακολουθούν στα επόμενα κεφάλαια, οικοδομείται σταδιακά η κατανόηση του συστήματος.

Το ΤΤΥΠ λειτουργεί 24 ώρες την ημέρα για 365 μέρες τον χρόνο προκειμένου να ανταπεξέλθει εγκαίρως σε ενδεχόμενα αιτήματα που χρήζουν άμεσης διευθέτησης οποιαδήποτε στιγμή προκύψουν. Αναφορικά με τα δεδομένα που αναλύθηκαν για τους σκοπούς της διπλωματικής εργασίας, αυτά προέρχονται από την βάση δεδομένων του ΤΤΥΠ και προέκυψαν από την καταγραφή 21759 αιτημάτων εξυπηρέτησης κατά την διάρκεια του έτους 2019. Το σύνολο των αιτημάτων προέκυψε από 45 έργα τα οποία είχε αναλάβει η εταιρεία για το συγκεκριμένο έτος.

### 2.2 Αρχές Λειτουργίας ΤΤΥΠ

#### 2.2.1 Είδη Αιτημάτων

Η πρωταρχική διάκριση των αιτημάτων γίνεται με βάση το είδος σε 3 κατηγορίες όπως περιγράφεται παρακάτω:

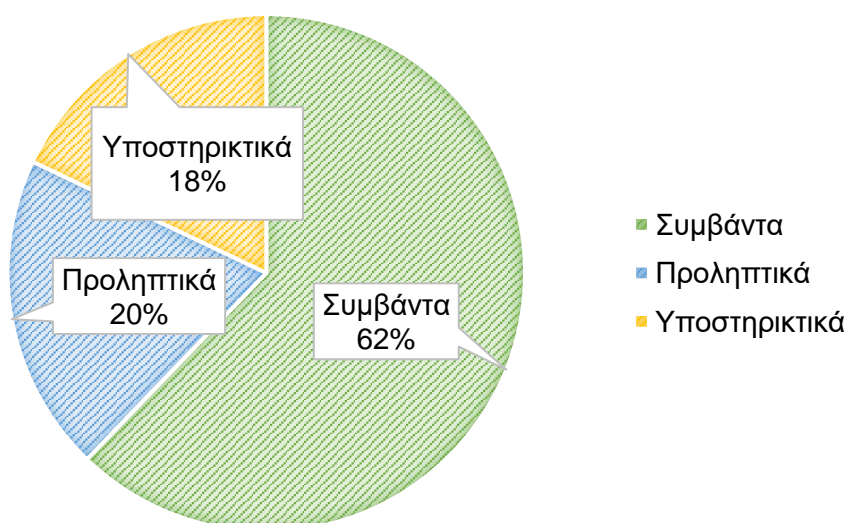
- i. **Συμβάν:** Το Αίτημα Συμβάντος δημιουργείται από τον πελάτη και αφορά την εμφάνιση δυσλειτουργιών στο σύστημα. Ο χρόνος εξυπηρέτησης των αιτημάτων συμβάντων πρέπει να συμμορφώνεται αυστηρά με την διμερή συμφωνία επιπέδων εξυπηρέτησης.
- ii. **Υποστηρικτικό:** Το Αίτημα Υποστήριξης δημιουργείται από τον πελάτη και αφορά την αναζήτηση τεχνικών πληροφοριών, παροχής πρόσβασης σε δεδομένα, έγκριση προσβασιμότητας σε πληροφοριακά συστήματα και επαναφορά κωδικών εισόδου. Ο χρόνος εξυπηρέτησης αιτημάτων υποστήριξης δεν υφίσταται νομικούς περιορισμούς μέσω διμερούς συμφωνίας επιπέδων εξυπηρέτησης καθώς σε εξαιρετικά σπάνιες περιπτώσεις έχουν χαρακτήρα κατεπείγοντος.
- iii. **Προληπτικό:** Το Αίτημα Πρόληψης, δημιουργείται από την Ομάδα Πρόληψης του τμήματος και αφορά τον εντοπισμό κινδύνων υπερφόρτωσης των Εξυπηρετητών (Servers), επικείμενων αστοχιών των Δικτύων (Networks), σταδιακή εξάντληση του αποθηκευτικού χώρου των Βάσεων Δεδομένων (Databases) και ενδεχόμενη υπολειτουργία των εφαρμογών. Ο χρόνος εξυπηρέτησης του προληπτικού αιτήματος δεν υφίσταται νομικούς περιορισμούς μέσω διμερούς συμφωνίας επιπέδων εξυπηρέτησης καθώς τα ζητήματα αυτά αντιμετωπίζονται αποκλειστικά ενδομηματικά.



Με την βοήθεια του πίνακα 2.1 και του σχήματος 2.1 γίνεται σαφές ότι η συντριπτική πλειοψηφία των αιτημάτων που καταχωρήθηκαν στο σύστημα του ΤΤΥΠ υπάγονται σύμφωνα με το είδος τους στην κατηγορία «Συμβάν». Δεδομένης της ύπαρξης αυστηρών χρονικών περιορισμών για την εξυπηρέτηση του συγκεκριμένου είδους αιτημάτων, είναι εμφανές ότι το μέγεθος της πίεσης που αυτά ασκούν στο σύστημα είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Σχετικά με αιτήματα των ειδών «Υποστηρικτικό» και «Προληπτικό» αυτά φαίνεται πως μοιράζονται περίπου το ίδιο μερίδιο όσον αφορά το πλήθος τους. Αξίζει να αναφερθεί πως προληπτικά αιτήματα, αν και αποτελούν το 20% του συνόλου των αιτημάτων, συχνά δημιουργούν εξίσου σημαντικές πιέσεις με τα συμβάντα λόγω της έκτακτης συνθήκης που δημιουργεί ο εντοπισμός κινδύνου μερικής αστοχίας ή υπολειτουργίας της εκάστοτε λύσης λογισμικού. Στο σχήμα 2.2 απεικονίζεται το συνολικό πλήθος των αιτημάτων ανά είδος, σε σχέση με την ημέρα της εβδομάδας κατά την οποία καταχωρήθηκαν στο σύστημα. Όσον αφορά τα συμβάντα, με εξαίρεση το Σαββατοκύριακο κατά το οποίο παρατηρείται έντονη μείωση των αιτημάτων, η κατανομή τους κατά τις καθημερινές δεν υπόκειται σε σημαντική διακύμανση. Το ίδιο ισχύει και για τα υποστηρικτικά αιτήματα, ωστόσο δεν μπορεί να παραλειφθεί το γεγονός ότι τόσο τα συμβάντα όσο και τα υποστηρικτικά αιτήματα παρουσιάζουν το μέγιστό τους την ημέρα Τρίτη.

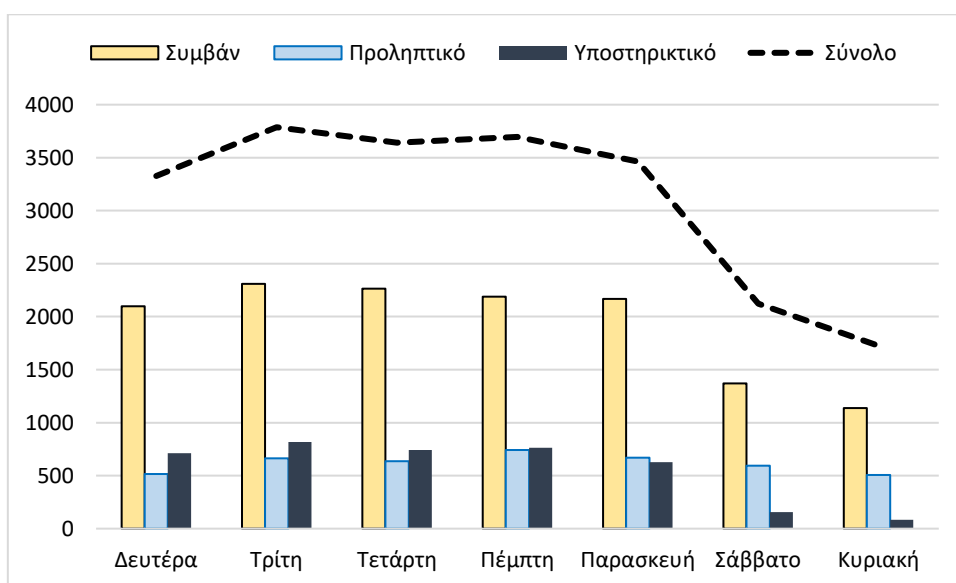
Πίνακας 2.1: Πλήθος αιτημάτων ανά είδος για το έτος 2019

Είδος Αιτήματος	Πλήθος Αιτημάτων
Συμβάν	13534
Υποστηρικτικό	3900
Προληπτικό	4325
<b>Σύνολο</b>	<b>21759</b>

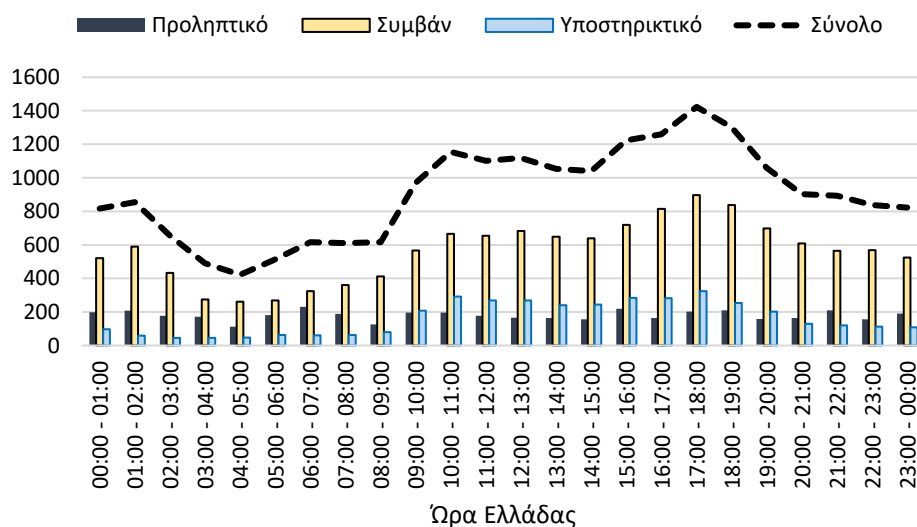


Σχήμα 2.1: Ποσοστό ανά είδος επί του συνόλου των αιτημάτων για το έτος 2019

Η συρρίκνωση του πλήθους των αιτημάτων το Σαββατοκύριακο οφείλεται στο γεγονός ότι πολλά από τα έργα της εταιρείας αφορούν πελάτες σε χώρες όπου αρκετές εκ των δραστηριοτήτων τυχερών παιγνίων αναστέλλονται για τις 2 αυτές ημέρες με αποτέλεσμα τα λογισμικά συστήματα της εταιρείας να δέχονται μειωμένες πιέσεις και να παρουσιάζουν λιγότερα προβλήματα. Το συνολικό πλήθος των προληπτικών αιτημάτων για κάθε ημέρα της εβδομάδας υπόκειται σε ελάχιστη διασπορά η οποία παρουσιάζει ελαφρώς ανοδική πορεία από την Δευτέρα μέχρι την Πέμπτη όπου κορυφώνεται προτού αρχίσει ελαφρώς καθοδική πορεία μέχρι την Κυριακή. Στο σχήμα 2.3 παρατηρούμε ότι το σύνολο των αιτημάτων κυμαίνεται ημερησίως σε μεγάλο εύρος τιμών, με τις χαμηλότερες τιμές να εμφανίζονται από τις 02:00 μέχρι τις 09:00 ενώ οι ώρες αιχμής εντοπίζονται στο διάστημα μεταξύ 09:00 και 19:00.

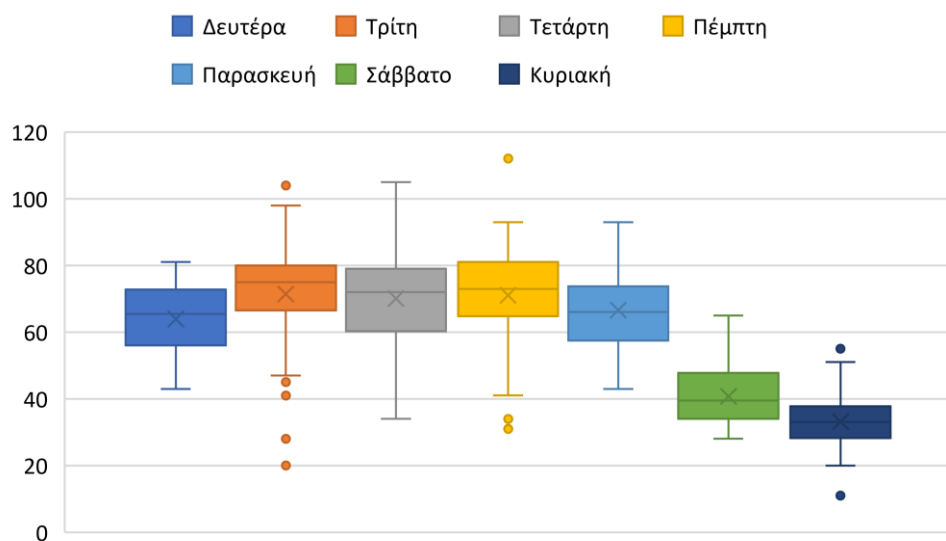


Σχήμα 2.2: Πλήθος αιτημάτων ανά είδος και ανά ημέρα της εβδομάδας

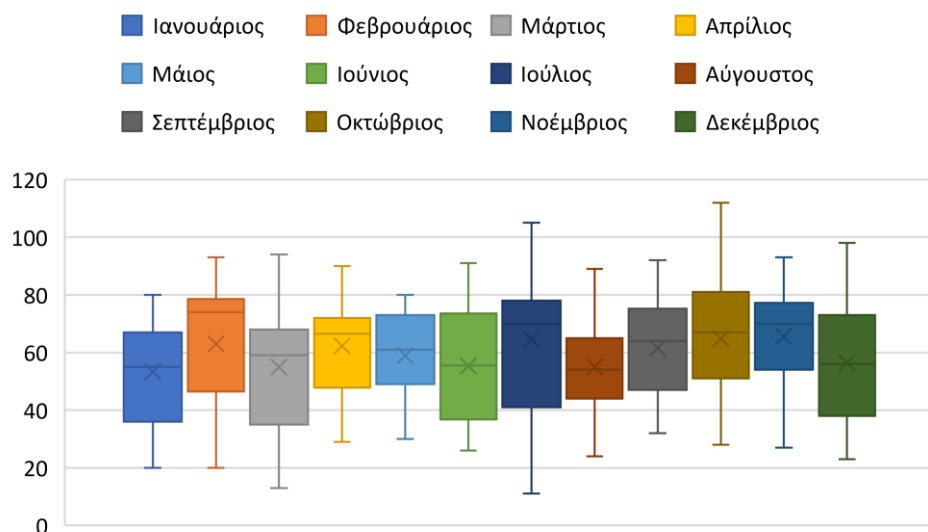


Σχήμα 2.3: Πλήθος αιτημάτων ανά είδος και ανά ώρα της ημέρας

Προσεγγίζοντας πιο διεξοδικά την κατανόηση των δεδομένων, στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα θηκογράμματα των αιτημάτων ανά ημέρα και ανά μήνα στο σχήμα 2.4 και 2.5 αντίστοιχα. Η συγκεκριμένη μέθοδος απεικόνισης πλεονεκτεί όσον αφορά την περιεκτικότητά της σε πληροφορίες σχετικά με τα δεδομένα. Από τα θηκογράμματα μπορούμε άμεσα να διακρίνουμε σημαντικά στοιχεία της περιγραφικής στατιστικής και να βγάλουμε συμπεράσματα σχετικά με την λοξότητα (skewness) των κατανομών. Η επεξήγηση του τρόπου με τον οποίο αντλούμε αυτές τις πληροφορίες παρουσιάζεται με την βοήθεια του σχήματος Β.1 στο παράρτημα Β. Η αξιοποίηση των θηκογραμμάτων δύναται να συνεισφέρει στην βελτίωση της οργάνωσης της δυναμικότητας του τμήματος, προκειμένου να αναλυθούν οι κίνδυνοι πλεονάζουσας δυναμικότητας και καθυστερημένης εξυπηρέτησης.



Σχήμα 2.4: Θηκόγραμμα απεικόνισης κατανομής των αιτημάτων ανά ημέρα



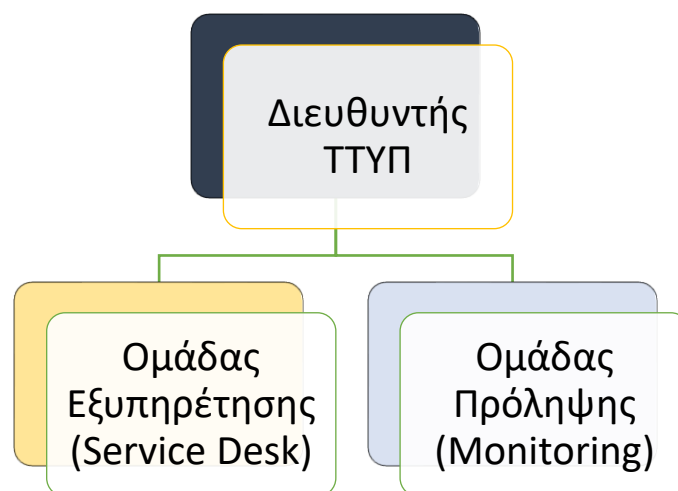
Σχήμα 2.5: Θηκόγραμμα απεικόνισης κατανομής των αιτημάτων ανά μήνα

## 2.2.2 Ανθρώπινο Δυναμικό

Το Τμήμα Τεχνικής Υποστήριξης Πελατών όπως έχει ήδη αναφερθεί, βρίσκεται σε λειτουργία καθ' όλη την διάρκεια του έτους για 24 ώρες την ημέρα. Η ανάγκη για αδιάλειπτη λειτουργία του συστήματος προκύπτει από την ανάληψη πληθώρας έργων εκ μέρους της εταιρείας, τα οποία αφορούν είτε διαδικτυακές είτε δια ζώσης δραστηριότητες τυχερών παιγνίων σε χώρες με διαφορετική ζώνη ώρας. Συνεπώς, προκειμένου η εταιρεία να προσαρμοστεί στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των πελατών και να διαχειρίζεται άμεσα τα αιτήματα που λαμβάνει, ο διευθυντής του τμήματος έχει εναρμονίσει την στελέχωσή του ανά ημέρα και ανά ώρα ανάλογα με την κατανομή του φόρτου εργασίας ανά χρονική περίοδο.

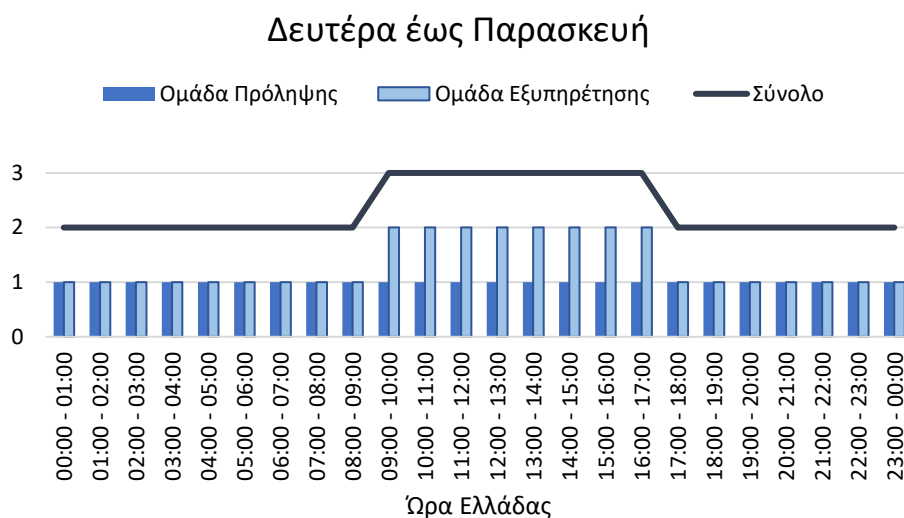
Το συνολικό ανθρώπινο δυναμικό του τμήματος για το έτος 2019 πλην του διευθυντή, αποτελούνταν από 13 εργαζόμενους εκ των οποίων οι 7 υπάγονταν στην Ομάδα Εξυπηρέτησης (Service Desk) και οι 6 στην Ομάδα Πρόληψης (Monitoring). Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά οι αρμοδιότητες των εργαζομένων των δύο ομάδων.

- **Ομάδα Εξυπηρέτησης (ΟΕ):** Οι εργαζόμενοι που την συγκροτούν είναι υπεύθυνοι για την αξιολόγηση της σημαντικότητας των αιτημάτων, την δρομολόγηση και διεκπεραίωση ενεργειών επιδιόρθωσης και την επικοινωνία με τους πελάτες για την παροχή βοήθειας τεχνικού και συμβουλευτικού χαρακτήρα.
- **Ομάδα Πρόληψης (ΟΠ):** Οι εργαζόμενοι που την συγκροτούν είναι υπεύθυνοι για την συνεχή παρακολούθηση της κατάστασης των λογισμικών συστημάτων με στόχο τον έγκαιρο εντοπισμό κινδύνων που απειλούν την λειτουργία τους. Χρησιμοποιώντας επικουρικά ένα αυτοματοποιημένο σύστημα παρακολούθησης της «υγείας» των συστημάτων αλλά και με εφαρμογή χειροκίνητου ελέγχου οριακών συνθηκών, διαβιβάζουν στην Ομάδα Εξυπηρέτησης τα αιτήματα που δημιουργούν προκειμένου να διευθετηθούν προτού προκαλέσουν ανεπιθύμητες δυσλειτουργίες και αστοχίες.

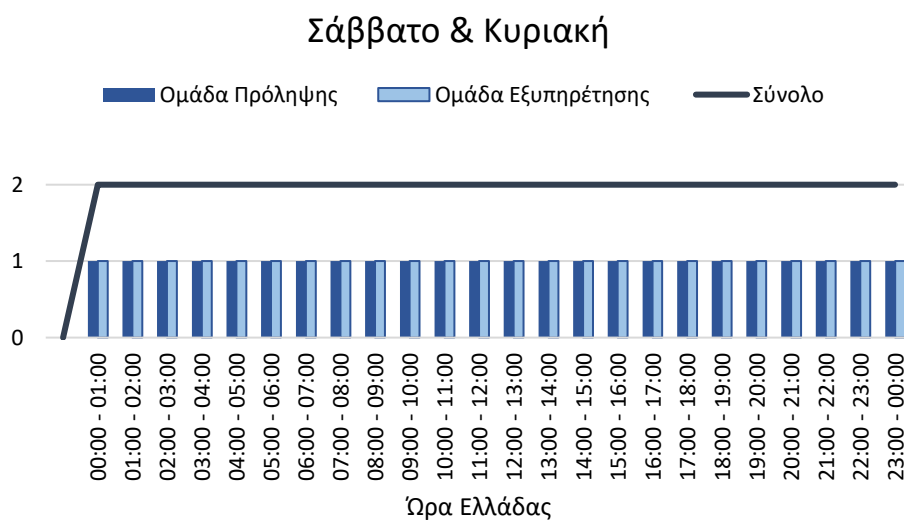


Σχήμα 2.6: Οργανωτική διάρθρωση Τμήματος Τεχνικής Υποστήριξης Πελατών

Για το 2019 ο προγραμματισμός του ανθρώπινου δυναμικού παρουσιάζεται στο σχήμα 2.7 και 2.8 για τις καθημερινές και τα Σαββατοκύριακα αντίστοιχα. Όσον αφορά τις καθημερινές, η δυναμικότητα του τμήματος αποτελείται από έναν εργαζόμενο της ΟΕ και έναν της ΟΠ ενώ ένας ακόμη εργαζόμενος της ομάδας ΟΕ προστίθεται στην δυναμικότητα από τις 09:00 μέχρι τις 17:00. Το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα συμπίπτει κατά κανόνα με τις ώρες αιχμής της εισροής αιτημάτων στο σύστημα, όπως έχουμε παρατηρήσει από το σχήμα 2.3. Αντιθέτως, οι ημέρες του Σαββατοκύριακου έχουν σταθερή δυναμικότητα, με έναν υπάλληλο από κάθε ομάδα. Το 2019 το πρόγραμμα υπέστη ελάχιστες τροποποιήσεις έκτακτου χαρακτήρα λόγω απρόοπτων περιστατικών, οι οποίες δεν επηρεάζουν σημαντικά την ανάλυση μας.



Σχήμα 2.7: Προγραμματισμός ανθρώπινου δυναμικού από Δευτέρα έως Παρασκευή

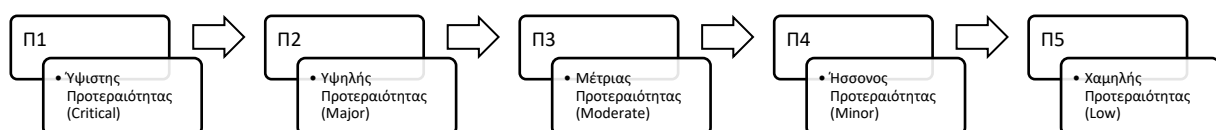


Σχήμα 2.8: Προγραμματισμός ανθρώπινου δυναμικού για το σαββατοκύριακο

### 2.2.3 Σύστημα Ιεράρχησης Προτεραιότητας Αιτημάτων

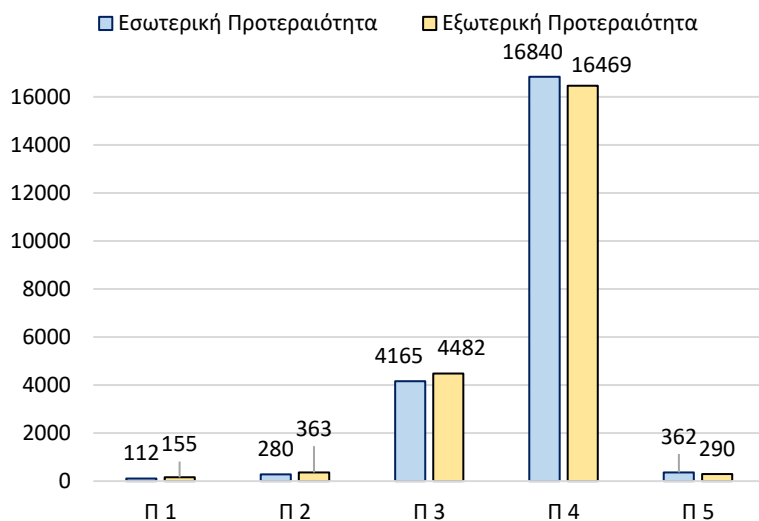
Η ιεράρχηση των εν αναμονή αιτημάτων αποτελεί διαδικασία βαρύνουσας σημασίας για την εύρυθμη λειτουργία του ΤΤΥΠ. Η κρισιμότητα της ορθολογικής ιεράρχησης των αιτημάτων με κριτήριο την σημαντικότητά τους, έγκειται στο γεγονός ότι για συγκεκριμένη κατηγορία αιτημάτων υφίστανται νομικές δεσμεύσεις, έναντι των πελατών, ως προς τους χρόνους διεκπεραίωσης του εκάστοτε αιτήματος. Επιπλέον, για το σύνολο των αιτημάτων, ανεξαρτήτως της ύπαρξης νομικών δεσμεύσεων, οι οποίες περιγράφονται αναλυτικά στην παράγραφο 2.2.4 της υποενότητας 2.2, η εταιρεία επιθυμεί να εξασφαλίσει την μέγιστη δυνατή ικανοποίηση των πελατών ώστε να αναπτύξει σχέση αμοιβαίας εμπιστοσύνης με τους πελάτες, διασφαλίζοντας παράλληλα την αξιοπιστία των λύσεων λογισμικού που παρέχει.

Πέραν του είδους των αιτημάτων, τα αιτήματα αξιολογούνται προκειμένου να ιεραρχηθούν στην κλίμακα των προτεραιοτήτων. Αυτή η διαδικασία αποτελείται από δύο φάσεις. Αρχικά, ο εκάστοτε δημιουργός του αιτήματος, δηλαδή είτε κάποιος πελάτης, είτε κάποιος εργαζόμενος της Ομάδας Πρόληψης καταχωρεί τα στοιχεία του αιτήματος σε μια ειδικά διαμορφωμένη διαδικτυακή πλατφόρμα κάνοντας περιγραφή του ζητήματος και αξιολογώντας προσεγγιστικά το επίπεδο προτεραιότητας του ζητήματος. Η πρώτη φάση που περιγράψαμε ονομάζεται για τις ανάγκες της εργασίας «Εξωτερική Προτεραιότητα». Έπειτα, η Ομάδα Εξυπηρέτησης παραλαμβάνει το αίτημα και αξιολογεί εκ νέου το επίπεδο προτεραιότητας. Η συγκεκριμένη διαδικασία εκτίμησης του επιπέδου προτεραιότητας εκ μέρους της Ομάδας Εξυπηρέτησης ακολουθεί κατά γράμμα διμερώς προσυμφωνημένους τεχνικούς όρους. Η δεύτερη φάση που περιγράψαμε ονομάζεται για τις ανάγκες της εργασίας «Εσωτερική Προτεραιότητα». Συχνά παρατηρείται οι αξιολογήσεις του επιπέδου της προτεραιότητας να αποκλίνουν ιδιαίτερα όταν ο δημιουργός του αιτήματος δεν ανήκει στην Ομάδα Πρόληψης. Στην προαναφερθείσα περίπτωση η πάγια πολιτική της εταιρείας είναι η επικοινωνία με τον πελάτη προκειμένου να γίνει επεξήγηση των παραμέτρων που οδηγούν στην συγκεκριμένη βαθμίδα προτεραιότητας και να οδηγηθούν σε σύγκλιση απόψεων τα ενδιαφερόμενα μέρη, πάντοτε σε κλίμα κατανόησης και εμπιστοσύνης. Το επίπεδο προτεραιότητας σε φθίνουσα πορεία συμβολίζεται ως Π1 (Critical), Π2 (Major), Π3 (Moderate), Π4 (Minor), Π5 (Low). Για το είδος αιτήματος «Συμβάν» κάθε βαθμίδα προτεραιότητας αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο χρονικό περιορισμό ο οποίος καθορίζεται σαφώς από την διμερή συμφωνία επιπέδου υπηρεσιών μεταξύ της εταιρείας και των πελατών της, σχετικά με την εξυπηρέτηση του εκάστοτε αιτήματος.

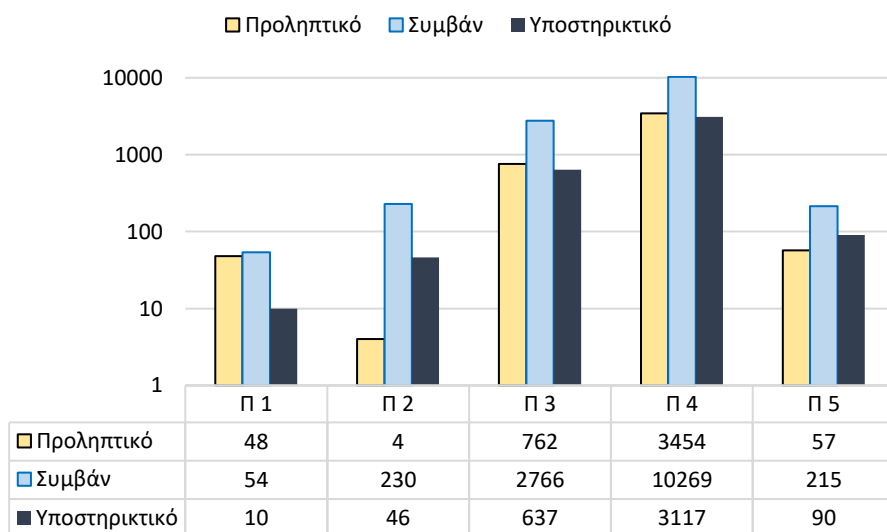


Σχήμα 2.9: Διαβάθμιση προτεραιότητας σε φθίνουσα πορεία από αριστερά προς τα δεξιά

Είναι σημαντικό να αποκτήσουμε μια πρώτη εικόνα του πλήθους των αιτημάτων κατά την διάρκεια του έτους 2019. Τα σχήματα 2.10 και 2.11 μας βοηθούν να βγάλουμε κάποια γενικά συμπεράσματα. Αρχικά, σύμφωνα με την εσωτερική αξιολόγηση προτεραιότητας, κατατάσσονται λιγότερα αιτήματα ως Π1, Π2 και Π3 σε σχέση με την εξωτερική αξιολόγηση προτεραιότητας που υπενθυμίζουμε ότι γίνεται από τους πελάτες και την Ομάδα Πρόληψης. Το φαινόμενο αυτό αντιστρέφεται για τα επίπεδα προτεραιότητας Π4 και Π5. Επίσης είναι εμφανές ότι τα περισσότερα αιτήματα που απασχολούν το τμήμα ανήκουν πρωτίστως στην βαθμίδα Π4 και δευτερευόντως στην βαθμίδα Π3. Στο σχήμα 2.11 βλέπουμε πως κατανέμονται τα αιτήματα ανά είδος και προτεραιότητα σε λογαριθμική κλίμακα με βάση το 10. Εκεί παρατηρούμε ότι η παρουσία των προληπτικών αιτημάτων προτεραιότητας Π1 είναι περίπου ίση με αυτή των συμβάντων παρότι διαφέρουν σημαντικά στον αριθμό συνολικών αιτημάτων.

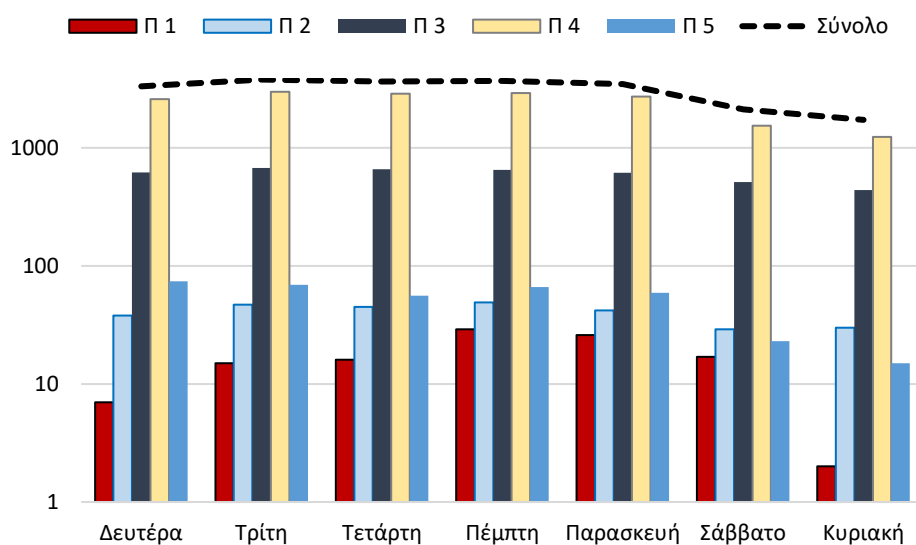


Σχήμα 2.10: Συνολικά αιτήματα ανά επίπεδο εσωτερικής και εξωτερικής προτεραιότητας

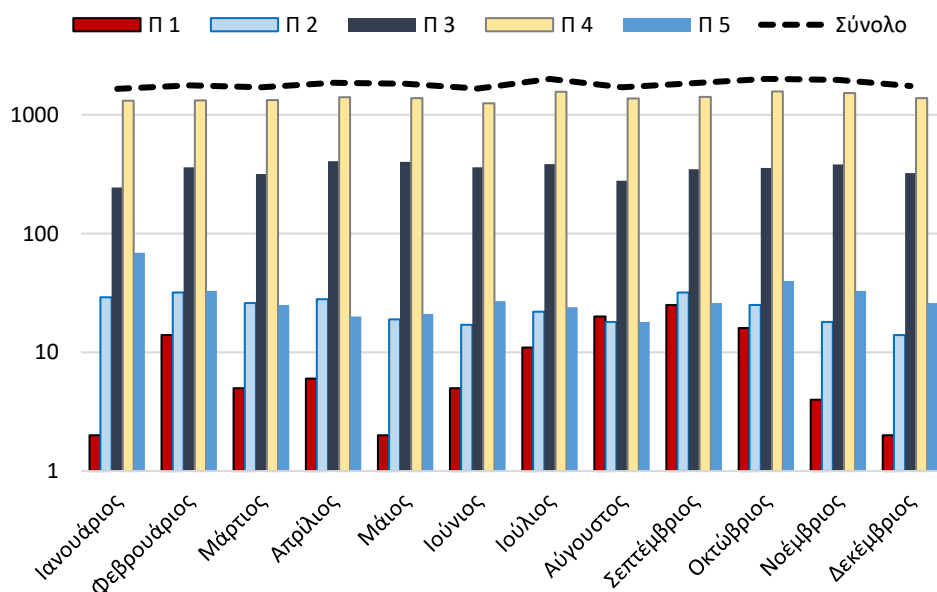


Σχήμα 2.11: Αιτήματα ανά είδος σύμφωνα με το επίπεδο εσωτερικής προτεραιότητας

Η διαπίστωση της σχετικά συχνής παρουσίας προληπτικών αιτημάτων για το επίπεδο προτεραιότητας Π1 είναι σημαντική προκειμένου να αντιληφθούμε την αναγκαιότητα της ύπαρξης της Ομάδας Πρόληψης του ΤΤΥΠ. Αν υποθέσουμε ότι δεν υπήρχε η συγκεκριμένη πρόνοια εκ μέρους της εταιρείας, αρκετά ζητήματα ύψιστης σημαντικότητας θα γινόντουσαν αντιληπτά από τους πελάτες αφού πρώτα είχαν προκαλέσει σοβαρές δυσλειτουργίες στα λογισμικά συστήματα. Στα σχήματα 2.12 και 2.13 παρουσιάζεται το πλήθος των αιτημάτων σε λογαριθμική κλίμακα ανά επίπεδο εσωτερικής προτεραιότητας για κάθε ημέρα και μήνα αντίστοιχα. Από το σχήμα 2.13, διακρίνεται η περιορισμένη διακύμανση του πλήθους των αιτημάτων μεταξύ των μηνών του έτους 2019.



Σχήμα 2.12: Πλήθος αιτημάτων ανά επίπεδο εσωτερικής προτεραιότητας και ανά ημέρα



Σχήμα 2.13: Πλήθος αιτημάτων ανά επίπεδο εσωτερικής προτεραιότητας ανά μήνα



## 2.2.4 Συμφωνίες Επιπέδου Υπηρεσιών (Service Level Agreements)

Η εταιρεία και κατ' επέκταση το Τμήμα Τεχνικής Υποστήριξης Πελατών δεσμεύεται νομικά, μέσω της υπογραφής διμερών συμφωνιών επιπέδου υπηρεσιών, να διεκπεραιώνει τα αιτήματα του είδους «Συμβάν» εντός κάποιων προκαθορισμένων χρονικών ορίων. Οι συμφωνίες αυτές εντάσσονται στην ευρύτερη προσπάθεια της ποσοτικοποίησης της ποιότητας των υπηρεσιών με τρόπο αμοιβαίως αποδεκτό από τα ενδιαφερόμενα μέρη. Παράλληλα, οι συμφωνίες είναι συνδεδεμένες με ρήτρες, η ενεργοποίηση των οποίων συνεπάγεται οικονομικές αποζημιώσεις από την εταιρεία προς τους πελάτες της. Για κάθε ένα από τα 45 συστήματα που βρισκόντουσαν σε λειτουργία το 2019, η εταιρεία είχε συνάψει συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών που αφορούσαν ειδικά τις υπηρεσίες υποστήριξης που παρέχει το ΤΤΥΠ. Η ανάλυση των τεχνικών όρων που καθορίζονται από τις συγκεκριμένες συμφωνίες δεν συνεισφέρει στην επίτευξη των στόχων της εργασίας με εξαίρεση τα κριτήρια μέτρησης της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών. Σχετικά με τους χρονικούς δείκτες μέτρησης, σύμφωνα με τους οποίους αξιολογούνται οι υπηρεσίες που παρέχει το τμήμα, αυτοί είναι ο **Χρόνος Απόκρισης** και ο **Χρόνος Διεκπεραίωσης**. Για κάθε διαφορετικό έργο και επίπεδο προτεραιότητας υπάρχει ένα καθορισμένο χρονικό όριο και για τους 2 δείκτες, το οποίο το ΤΤΥΠ οφείλει να μην υπερβαίνει.

- i. **Χρόνος Απόκρισης:** Είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της χρονικής στιγμής στην οποία γίνεται η είσοδος ή αλλιώς το «άνοιγμα» του αιτήματος στο σύστημα, μέχρι την στιγμή που το ΤΤΥΠ επιβεβαιώνει ότι έχει λάβει το αίτημα και το αξιολογεί.
- ii. **Χρόνος Διεκπεραίωσης:** Αμέσως μετά την έλευση ενός αιτήματος στο σύστημα ξεκινάει να καταγράφεται ο χρόνος διεκπεραίωσής του. Σε περίπτωση που το ΤΤΥΠ χρειαστεί επιπλέον πληροφορίες ή διευκρινίσεις από τον πελάτη σχετικά με το ζήτημα που αντιμετωπίζει το σύστημα, το χρονικό διάστημα μέχρι να λάβει απάντηση αφαιρείται από τον χρόνο διεκπεραίωσης. Μόλις το ΤΤΥΠ επιλύσει το ζήτημα ο χρόνος σταματάει να καταγράφεται. Έπειτα ο πελάτης ελέγχει την λειτουργικότητα του συστήματος και επιβεβαιώνει το «κλείσιμο» του αιτήματος. Σε σπάνιες περιπτώσεις όπου η αρχική επίλυση δεν αποκαθιστά πλήρως την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος, έχουμε επανεκκίνηση της καταγραφής του χρόνου διεκπεραίωσης με συμπερίληψη του χρονικού διαστήματος κατά το οποίο γίνεται ο έλεγχος της λειτουργικότητας του συστήματος.

Ο δείκτης μέτρησης που θα μας απασχολήσει στο πλαίσιο της εργασίας είναι ο χρόνος διεκπεραίωσης των αιτημάτων. Χωρίς να απαξιώνεται η σημασία του χρόνου απόκρισης, η καθοριστική παράμετρος που εκ των πραγμάτων απασχολεί τους πελάτες, καθώς επιφέρει οικονομικές επιπτώσεις, είναι ο χρόνος διεκπεραίωσης. Προκειμένου να αποκτήσουμε μια εικόνα των χρονικών ορίων αλλά και του επιπέδου ικανοποίησης των αιτημάτων του είδους «συμβάν» ξεχωριστά για κάθε έργο και επίπεδο προτεραιότητας αλλά και εν συνόλω,

χρησιμοποιούμε τον πίνακα 2.2. Ουσιαστικά ο πίνακας 2.2 αποτελεί την συγχώνευση δύο πινάκων. Αριστερά βρίσκεται ο υποπίνακας με τα χρονικά όρια των συμβάντων, όπως αυτά ορίζονται από τις διμερείς συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών. Προκειμένου να προστατευθούν τα δεδομένα των συμφωνιών, τα στοιχεία των χρονικών ορίων εμφανίζονται με χρωματική διαβάθμιση χωρίς να υπάρχουν αριθμητικές τιμές. Για κάθε συνδυασμό έργου και επιπέδου προτεραιότητας, υπάρχει στο αντίστοιχο κελί μια απόχρωση του μπλε. Όσο πιο σκούρο είναι το χρώμα του κελιού, τόσο πιο μικρό είναι το χρονικό όριο σε σχέση με τα υπόλοιπα όρια στο σύνολο του πίνακα. Για παράδειγμα για τα Έργα 7,12,15,17 και 32 σε επίπεδο προτεραιότητας Π1 παρατηρούμε τα πιο «αυστηρά» χρονικά όρια τα οποία έχουν σχεδόν μαύρο χρώμα. Προκειμένου να δοθεί η «αίσθηση» της τάξης μεγέθους των χρονικών ορίων, στην τελευταία

Πίνακας 2.2: Χρονικά όρια και ποσοστά ικανοποίησης αιτημάτων του είδους «συμβάν»

Χρονικά Όρια Συμβάντων						Ποσοστό Ικανοποίησης Χρονικών Ορίων Συμβάντων						
Έργο	Π1	Π2	Π3	Π4	Π5	Έργο	Π1	Π2	Π3	Π4	Π5	Σταθμικός Μέσος
1						1	100%	86%	93%	98%	100%	96%
2						2	100%	100%	93%	96%	100%	96%
3						3	100%	89%	82%	83%	100%	83%
4						4	85%	85%	96%	97%	100%	96%
5						5	100%	95%	93%	93%	100%	93%
6						6	100%	100%	99%	99%	100%	99%
7						7	100%	100%	82%	95%	100%	94%
8						8	100%	100%	99%	99%	100%	99%
9						9	100%	100%	91%	99%	100%	98%
10						10	100%	100%	97%	99%	100%	98%
11						11	100%	100%	100%	100%	100%	100%
12						12	60%	100%	95%	97%	100%	95%
13						13	100%	100%	97%	98%	100%	98%
14						14	100%	100%	97%	97%	100%	97%
15						15	100%	100%	94%	79%	100%	86%
16						16	100%	100%	100%	95%	100%	96%
17						17	100%	100%	80%	83%	100%	83%
18						18	100%	100%	87%	86%	100%	88%
19						19	100%	100%	100%	68%	100%	74%
20						20	100%	100%	96%	90%	100%	92%
21						21	100%	33%	93%	83%	100%	83%
22						22	33%	80%	91%	89%	100%	88%
23						23	100%	100%	80%	90%	100%	89%
24						24	100%	100%	89%	99%	100%	98%
25						25	100%	0%	93%	95%	100%	94%
26						26	100%	100%	92%	100%	100%	99%
27						27	100%	100%	80%	99%	100%	98%
28						28	100%	100%	100%	99%	100%	99%
29						29	100%	100%	94%	87%	100%	89%
30						30	100%	100%	100%	86%	100%	87%
31						31	100%	100%	95%	99%	100%	98%
32						32	50%	100%	88%	97%	100%	94%
33						33	100%	100%	100%	95%	100%	96%
34						34	100%	100%	90%	79%	100%	82%
35						35	100%	100%	100%	100%	100%	100%
36						36	100%	100%	100%	100%	100%	100%
37						37	100%	100%	78%	96%	100%	92%
38						38	100%	100%	100%	100%	90%	97%
39						39	100%	100%	100%	81%	100%	85%
40						40	100%	100%	80%	100%	100%	95%
41						41	100%	100%	100%	100%	100%	100%
42						42	100%	100%	100%	100%	100%	100%
43						43	100%	100%	100%	100%	100%	100%
44						44	100%	100%	100%	100%	100%	100%
45						45	100%	100%	100%	100%	100%	100%
M.T [Λεπτά]	202	220	719	8123	22011	Σύνολο	87%	93%	93%	94%	100%	✓ 93.90%

γραμμή του πίνακα δίνεται η μέση τιμή σε λεπτά για κάθε επίπεδο προτεραιότητας. Έτσι, συγκρίνοντας την χρωματική ένταση της μέσης τιμής με αυτές των αντίστοιχων κελιών των έργων, προκύπτει η σχετική χρονική διαβάθμιση των συμφωνιών. Στον έτερο υποπίνακα, παρατίθενται τα ποσοστά ικανοποίησης των χρονικών ορίων για τα συμβάντα. Κάθε κελί αποτελείται από το ποσοστό ικανοποίησης αλλά και από μια μπάρα, ώστε να είναι εύκολα ανιχνεύσιμες με το μάτι οι ακραίες τιμές. Στην τελευταία γραμμή με την ονομασία «Σύνολο» παρουσιάζονται τα ποσοστά ικανοποίησης για κάθε επίπεδο προτεραιότητας. Τα συγκεκριμένα ποσοστά αποτελούν προϊόν στάθμισης με συντελεστή το εκάστοτε πλήθος των αιτημάτων ανά έργο και επίπεδο προτεραιότητας. Με την ίδια μέθοδο δημιουργήθηκαν και τα στοιχεία της τελευταίας στήλης με όνομα «Σταθμικός Μέσος» ώστε να παρουσιαστούν τα ποσοστά ικανοποίησης των χρονικών ορίων για κάθε έργο συγκεντρωτικά. Τέλος, το ποσοστό ικανοποίησης των χρονικών ορίων όλων των αιτημάτων του είδους «Συμβάν» υπολογίστηκε ως το **93.9%** επί του συνόλου των **13534** συμβάντων που αναφέρθηκαν κατά το έτος 2019. Οι στόχοι που είχαν τεθεί στο τμήμα κατά το ίδιο έτος, αφορούσαν ειδικά τα αιτήματα συμβάντων των επιπέδων προτεραιότητας Π1, Π2 και Π3. Το τμήμα υπερέβη τον στόχο που είχε τοποθετηθεί στο 90%, καθώς για τα συγκεκριμένα επίπεδα προτεραιότητας το ποσοστό ικανοποίησης, κατόπιν μετρήσεων που εκτελέσαμε, προέκυψε **92.49%**. Με βάση τα προαναφερθέντα στοιχεία η λειτουργία του τμήματος μπορεί να χαρακτηριστεί ιδιαίτερα επιτυχής.

Για τα αιτήματα των άλλων δύο ειδών (Υποστηρικτικά, Προληπτικά) η εταιρεία εφαρμόζει εσωτερικά κριτήρια αξιολόγησης που συμπεριλαμβάνουν δεδομένα που δεν έγιναν γνωστά για τις ανάγκες της εργασίας και συνεπώς δεν παρουσιάζονται. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε την σημαντικότητα των οικονομικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τις συγκεκριμένες συμφωνίες. Δεδομένου ότι αυτές οι παράμετροι δεν είναι διαθέσιμες για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας, πρέπει να αναφερθεί ότι, προκειμένου να παρθούν ορθολογικές αποφάσεις οδηγούμενες από τα δεδομένα του προβλήματος, τίθεται ως απαραίτητη προϋπόθεση η εξισορρόπηση μεταξύ των στοιχείων κόστους, δηλαδή του συνολικού κόστους μη έγκαιρης ικανοποίησης ενός αιτήματος, το οποίο εμπεριέχει ένα υπολογίσιμο και ένα εμπειρικά προσεγγίσιμο κόστος, και του αντίρροπού του, που είναι το κόστος των επιπλέον μονάδων δυναμικότητας που απαιτούνται προκειμένου να ανταπεξέλθει το τμήμα εγκαίρως. Αναφορικά με το υπολογίσιμο μέρος της μη έγκαιρης ικανοποίησης ενός αιτήματος, αυτό εντοπίζεται στις προκαθορισμένες οικονομικές ρήτρες που εμπεριέχουν οι συμφωνίες. Σχετικά με το κόστος μη ικανοποιημένων πελάτων, αυτό είναι αδύνατο να υπολογιστεί με ακρίβεια. Ωστόσο η εμπειρία του επικεφαλής του ΤΤΥΠ σε συνεργασία με την γνωμοδότηση διοικητικών στελεχών, μπορούν να συνεισφέρουν προσεγγιστικά στην διατύπωση της αντικειμενικής συνάρτησης ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους.

### 3. ΣΥΣΤΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΓΩΝ

#### 3.1 Γενικά

Το παρόν κεφάλαιο στοχεύει στην συσταδοποίηση ή αλλιώς ομαδοποίηση των 45 έργων σύμφωνα με ένα σύνολο χαρακτηριστικών που αυτά διαθέτουν. Κάθε έργο είναι μοναδικό, δεδομένου ότι οι υπηρεσίες που παρέχει η εταιρεία είναι εξατομικευμένου χαρακτήρα. Αποτέλεσμα αυτού, είναι οι ανάγκες των έργων να διαφοροποιούνται άρδην. Η συνθήκη της μοναδικότητας των έργων αυξάνει την πολυπλοκότητα της ανάλυσής μας και δυσχεραίνει το εγχείρημα της μοντελοποίησης του συστήματος. Πέραν αυτών των προβλημάτων, η υπαγωγή των έργων σε υποομάδες με κοινά χαρακτηριστικά βοηθά σε πολλά επίπεδα. Πρωτίστως συνεισφέρει στην διαδικασία λήψης στρατηγικών, τακτικών και επιχειρησιακών αποφάσεων ενώ δευτερευόντως βελτιώνει την διατμηματική και ενδοτμηματική επικοινωνία. Κατά την διάρκεια των διερευνητικών επαφών με την εταιρεία, αποφεύχθηκε η λεπτομερής παράθεση της ομαδοποίησης που το τμήμα χρησιμοποίησε κατά το έτος 2019 ώστε να περιοριστεί η πιθανότητα μεροληπτικής διερεύνησης. Ωστόσο αναφέρθηκε ότι η μέθοδος ομαδοποίησης που εφαρμόστηκε από το τμήμα ήταν εμπειρική.

Για την επίτευξη του στόχου, αξιοποιήθηκαν αλγόριθμοι μη επιβλεπόμενης στατιστικής μάθησης (Unsupervised Statistical Learning) οι οποίοι περιγράφονται αναλυτικά στην υποενότητα 3.2. Ακολούθως στην υποενότητα 3.3 εφαρμόζονται οι αλγόριθμοι συσταδοποίησης με διάφορες ρυθμίσεις παραμέτρων προκειμένου να εξάγουμε εναλλακτικές ομαδοποιήσεις.

Συνοπτικά το συγκεκριμένο κεφάλαιο συνεισφέρει στην πολυδιάστατη ομαδοποίηση των έργων, λαμβάνοντας υπόψιν μεγάλο μέρος των χαρακτηριστικών τους και εκτιμώντας τον βαθμό στον οποίο αυτά ομοιάζουν μεταξύ τους. Η ανάλυση αυτή σε επίπεδο ανθρώπινου νου είναι εξαιρετικά δύσκολη έως αδύνατη ανεξαρτήτως της εμπειρίας και των γνώσεων που μπορεί κάποιος να διαθέτει. Με την χρήση μεθόδων μηχανικής μάθησης αναθέτουμε αυτό το δύσκολο εγχείρημα στον υπολογιστή μας.

Το θεωρητικό υπόβαθρο του παρόντος κεφαλαίου βασίζεται κατά κύριο λόγο στο σύγγραμμα των (James, et al., 2013).

## 3.2 Στατιστική Μάθηση (Statistical Learning)

### 3.2.1 Εισαγωγή – Θεωρητικό Υπόβαθρο

Η στατιστική μάθηση είναι μια νέα περιοχή της στατιστικής που αναπτύσσεται παράλληλα με την επιστήμη των υπολογιστών και συγκεκριμένα με την μηχανική μάθηση. Ουσιαστικά αναφέρεται σε μια συλλογή μεθόδων και εργαλείων που συνεισφέρουν στην μοντελοποίηση και την κατανόηση περίπλοκων συνόλων δεδομένων. Τα περισσότερα προβλήματα που θεραπεύει η στατιστική μάθηση διακρίνονται σε δύο βασικούς τύπους, την επιβλεπόμενη ή αλλιώς επιτηρούμενη (supervised) και την μη επιβλεπόμενη (unsupervised) μάθηση.

- **Επιβλεπόμενη Μάθηση:** Εμπεριέχει την κατάσρωση στατιστικών μοντέλων με στόχο την εκτίμηση ή την πρόβλεψη της απόκρισης των μεταβλητών εξόδου, με βάση μια ή περισσότερες μεταβλητές εισόδου. Συγκεκριμένα, η επιβλεπόμενη μάθηση αφορά την ανάπτυξη αλγορίθμων που εκπαιδεύονται χρησιμοποιώντας ένα κλάσμα των χαρακτηρισμένων δεδομένων (labeled training set) και ελέγχονται με ένα ή περισσότερα διαφορετικά υποσύνολα δοκιμής (testing set) με στόχο την ελαχιστοποίηση του σφάλματος της εκτίμησης ή της πρόβλεψης. Οι κύριες κατηγορίες προβλημάτων που θεραπεύει η επιβλεπόμενη μάθηση είναι η ταξινόμηση (classification) και η παλινδρόμηση (regression).
- **Μη Επιβλεπόμενη Μάθηση:** Σε αντίθεση με την επιβλεπόμενη μάθηση, στην περίπτωση της μη επιβλεπόμενης μάθησης δεν διαθέτουμε μεταβλητές απόκρισης. Έτσι, στοχεύουμε στην εξόρυξη πληροφοριών που μας διαφωτίζουν σχετικά με την φύση των δεδομένων, τις πιθανές ομοιότητες που αυτά έχουν μεταξύ τους και την δομή τους. Ενδεικτικά δύο βασικές κατηγορίες προβλημάτων που αφορούν την μη επιβλεπόμενη μάθηση είναι η ανάλυση κύριων συνιστωσών (Principal Components Analysis – PCA) και η συσταδοποίηση, η οποία αποτελεί το επίκεντρο του ενδιαφέροντος στο παρόν κεφάλαιο.

Οι μέθοδοι συσταδοποίησης (clustering methods) εμπεριέχουν ένα ευρύ φάσμα τεχνικών εύρεσης υποομάδων και συστάδων μέσα σε ένα σύνολο δεδομένων. Η ομαδοποίηση των παρατηρήσεων ενός συνόλου δεδομένων αποσκοπεί στον διαχωρισμό τους με τρόπο ώστε οι παρατηρήσεις της κάθε ομάδας να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο όμοιες μεταξύ τους και παράλληλα οι παρατηρήσεις που βρίσκονται σε διαφορετικές ομάδες να είναι αρκούντως διαφορετικές. Προφανώς, είναι σημαντικό να προσδιοριστούν με περισσότερη σαφήνεια οι έννοιες «όμοιο» και «διαφορετικό». Στην πραγματικότητα, οι έννοιες αυτές δεν ορίζονται μονοσήμαντα αλλά εξετάζονται υπό το πρίσμα του εκάστοτε πεδίου εφαρμογής ενώ βασίζονται στην γνώση και την γενικότερη αντίληψη που υπάρχει για τα υπό μελέτη δεδομένα. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα σύνολο δεδομένων που αποτελείται από  $n$  παρατηρήσεις, εκ των οποίων κάθε μία διαθέτει  $p$  χαρακτηριστικά. Έστω ότι οι παρατηρήσεις είναι  $n=45$ , όσα είναι και τα έργα τα οποία εξυπηρετούσε το τμήμα κατά το έτος 2019. Επίσης

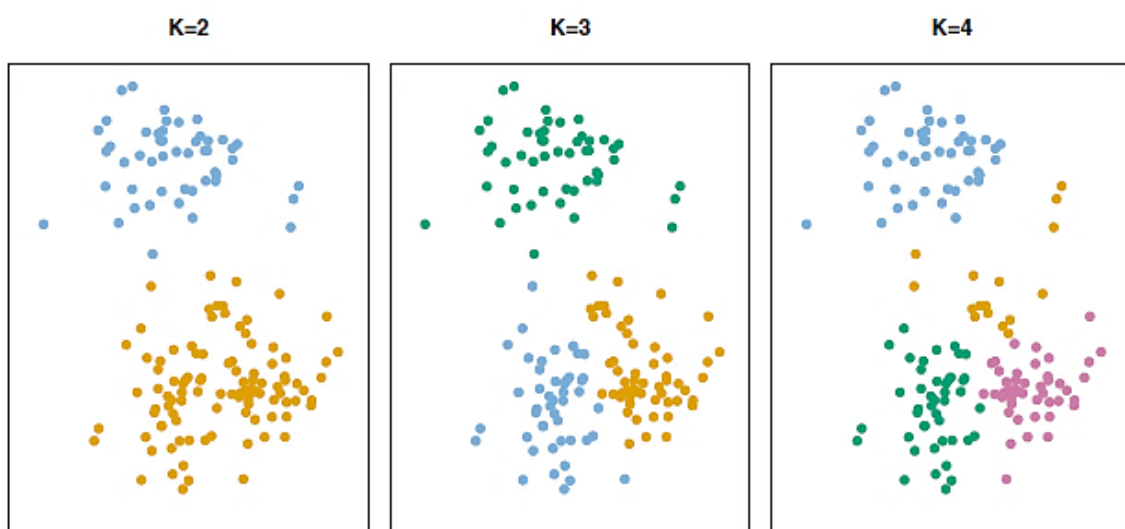
ας υποθέσουμε ότι  $p=3$ , δηλαδή ότι μας ενδιαφέρει να ομαδοποιήσουμε τα έργα σύμφωνα με τρία βασικά χαρακτηριστικά. Χάριν απλούστευσης, θεωρούμε ως βασικά χαρακτηριστικά το πλήθος των αιτημάτων για κάθε διαφορετικό είδος, δηλαδή συμβάν, προληπτικό και υποστηρικτικό. Τα αποτελέσματα των διαφόρων μεθόδων συσταδοποίησης δύνανται να μας υποδείξουν ποια έργα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιογένεια μεταξύ τους για τα συγκεκριμένα τρία χαρακτηριστικά, τοποθετώντας τα σε κατάλληλες συστάδες και υποομάδες.

Καθώς η συσταδοποίηση είναι ιδιαίτερα δημοφιλής σε πλείστα πεδία εφαρμογής, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι συσταδοποίησης. Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας επικεντρωνόμαστε στις δύο κυρίαρχες προσεγγίσεις και συγκεκριμένα στις μεθόδους K-Μέσων (K-Means) και Ιεραρχικής Συσταδοποίησης (Hierarchical Clustering). Όσον αφορά την μέθοδο K-Μέσων, η ομαδοποίηση των παρατηρήσεων γίνεται σε ένα προκαθορισμένο πλήθος συστάδων. Αντιθέτως, στην ιεραρχική συσταδοποίηση το πλήθος των συστάδων δεν είναι προκαθορισμένο. Εφαρμόζοντας την ιεραρχική μέθοδο, λαμβάνουμε μια οπτική απεικόνιση των παρατηρήσεων, τύπου δενδρογράμματος (dendrogram). Το δενδρόγραμμα μας επιτρέπει να δούμε τις ομάδες που δημιουργούνται για κάθε πιθανό πλήθος ομάδων. Οι δύο διαφορετικές μέθοδοι παρουσιάζονται εκτενώς στην συνέχεια.

### 3.2.2 Περιγραφή Βασικών Μεθόδων Συσταδοποίησης

#### 3.2.2.1 Μέθοδος K-Μέσων (K-Means)

Η συσταδοποίηση με χρήση της μεθόδου K-Μέσων είναι μια σχετικά απλή και συγχρόνως κομψή προσέγγιση διαμέρισης ενός συνόλου δεδομένων σε K διακριτές, μη επικαλυπτόμενες ομάδες. Η εκτέλεση της ομαδοποίησης απαιτεί τον προκαθορισμό του πλήθους των συστάδων ώστε ο αλγόριθμος να τοποθετήσει κάθε μια παρατήρηση σε ακριβώς μια συστάδα.



Σχήμα 3.3: Συσταδοποιημένα δεδομένα προσομοίωσης. Πηγή: (James, et al., 2013)

Στο σχήμα 3.3 μπορούμε να διακρίνουμε διαδοχικά τις ομαδοποιήσεις σε δισδιάστατη απεικόνιση, όπως αυτές προέκυψαν από 150 δεδομένα προσομοίωσης για  $K=2$ ,  $K=3$ ,  $K=4$  αντίστοιχα. Ο διαχωρισμός των ομάδων γίνεται εμφανής μέσω των διαφορετικών χρωμάτων που έχουν οι παρατηρήσεις ανάλογα με την ομάδα στην οποία ανήκουν. Το παράδειγμα μας βοηθάει να αντιληφθούμε το μέγεθος της επίδρασης που έχει στο αποτέλεσμα η εκλογή του  $K$ .

Όσον αφορά την μαθηματική διατύπωση του προβλήματος, αρχικά πρέπει να οριστούν κάποιες ιδιότητες. Έστω ότι  $C_1, \dots, C_K$  είναι τα σύνολα που αποτελούνται από τις παρατηρήσεις που ανήκουν σε κάθε μια από τις  $K$  συστάδες. Αυτά τα υποσύνολα ικανοποιούν τις δύο παρακάτω ιδιότητες:

1.  $C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_K = \{1, \dots, n\}$ . Δηλαδή, κάθε παρατήρηση ανήκει τουλάχιστον σε μια από τις  $K$  συστάδες.
2.  $C_k \cap C_{k'} = \emptyset$  για όλα τα  $k \neq k'$ . Με άλλα λόγια, οι συστάδες δεν επικαλύπτονται και συνεπώς καμία παρατήρηση δεν ανήκει σε παραπάνω από μια ομάδες.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, εάν η παρατήρηση  $i$  ανήκει στην  $k$  συστάδα τότε ισχύει  $i \in C_k$ . Η ιδέα πίσω από την συσταδοποίηση  $K$ -Μέσων είναι ότι μια καλή ομαδοποίηση, είναι αυτή η οποία ελαχιστοποιεί τον βαθμό διαφοροποίησης των παρατηρήσεων μέσα σε κάθε συστάδα. Η διαφοροποίηση εντός των συστάδων για την συστάδα  $C_k$  είναι το μέτρο της παρέκκλισης  $W(C_k)$  μεταξύ των παρατηρήσεων που ανήκουν σε αυτήν. Έτσι, στην ουσία επιδιώκουμε την επίλυση του προβλήματος ελαχιστοποίησης 3.1:

$$\underset{C_1, \dots, C_K}{\text{minimize}} \left\{ \sum_{k=1}^K W(C_k) \right\} \quad (3.1)$$

Προκειμένου να καταστήσουμε το παραπάνω πρόβλημα επιλύσιμο πρέπει να οριστεί με σαφήνεια ο όρος  $W(C_k)$ . Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους ορίζεται το μέτρο παρέκκλισης, ωστόσο η πιο διαδεδομένη επιλογή είναι η τετραγωνική Ευκλείδεια απόσταση η οποία ορίζεται ως:

$$W(C_k) = \frac{1}{|C_k|} \sum_{i, i' \in C_k} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{i'j})^2 \quad (3.2)$$

Όπου ο όρος  $|C_k|$  εκφράζει το πλήθος των παρατηρήσεων της  $k$ -ωστής συστάδας. Επομένως, η απόκλιση των τιμών εντός της συστάδας, είναι το άθροισμα όλων των τετραγωνικών Ευκλείδειων αποστάσεων που δημιουργούν τα ζεύγη των παρατηρήσεων που ανήκουν στην συστάδα  $k$ , διαιρεμένο με τον συνολικό αριθμό παρατηρήσεων της συστάδας. Από 3.1 και 3.2:

$$\underset{C_1, \dots, C_K}{\text{minimize}} \left\{ \sum_{k=1}^K \frac{1}{|C_k|} \sum_{i, i' \in C_k} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{i'j})^2 \right\} \quad (3.3)$$

Στο σημείο αυτό παρουσιάζουμε την βασική αλγοριθμική λογική που υπάρχει πίσω από την επίλυση του προβλήματος που ορίσαμε. Η ομαδοποίηση των παρατηρήσεων σε  $K$  συστάδες ώστε να ελαχιστοποιείται η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος είναι ένα εξαιρετικά δύσκολο εγχείρημα, καθώς υπάρχουν  $K^n$  δυνατοί τρόποι ομαδοποίησης  $n$  παρατηρήσεων σε  $K$  συστάδες. Ένας απλός αλγόριθμος που προσφέρει ικανοποιητικές λύσεις στο πρόβλημα παρουσιάζεται παρακάτω, ενώ στο σχήμα 3.3 μπορούμε να δούμε την εφαρμογή του.

### Βήματα Αλγορίθμου K-Μέσων

1. Τυχαία εναπόθεση κάθε μιας εκ των παρατηρήσεων σε μια εκ των  $K$  συστάδων.
2. Επανάληψη βήματος μέχρι να σταματήσουν να μεταβάλλονται οι συστάδες
  - a) Για κάθε μια από τις συστάδες, υπολογίζεται το κεντροειδές της. Το κεντροειδές της συστάδας  $k$  είναι το διάνυσμα των μέσων των  $p$  χαρακτηριστικών στην  $k$ -ωστή συστάδα.
  - b) Εναπόθεση κάθε μιας παρατήρησης στην συστάδα με το πλησιέστερο κεντροειδές χρησιμοποιώντας την μετρική της Ευκλείδειας απόστασης.

Ο αλγόριθμος μας εξασφαλίζει την ελάττωση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης σε κάθε βήμα. Η ταυτότητα 3.4 από το σύγγραμμα των (James, et al., 2013) μας διαφωτίζει σχετικά με τα αίτια της συγκεκριμένη ιδιότητας:

$$\frac{1}{|C_k|} \sum_{i,i' \in C_k} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{i'j})^2 = 2 \sum_{i \in C_k} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \bar{x}_{kj})^2 \quad (3.4)$$

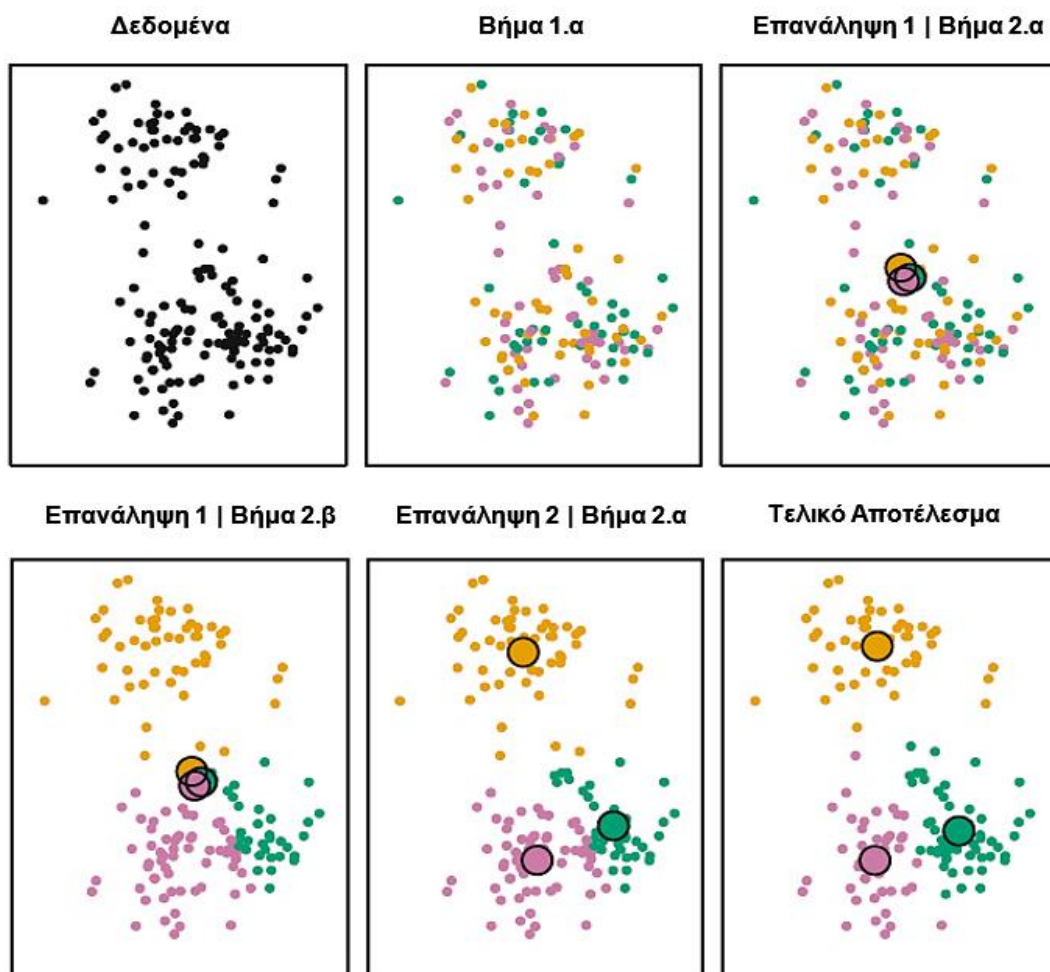
Όπου  $\bar{x}_{kj} = \frac{1}{|C_k|} \sum_{i \in C_k} x_{ij}$  είναι ο μέσος του χαρακτηριστικού  $j$  στην συστάδα  $C_k$ . Στο βήμα 2.a οι μέσες τιμές της κάθε συστάδας για κάθε χαρακτηριστικό είναι οι σταθερές που ελαχιστοποιούν το άθροισμα των τετραγωνικών αποκλίσεων. Στο βήμα 2.b, η εκ νέου τοποθέτηση των παρατηρήσεων στα κοντινότερα κέντρα που έχουν διαμορφωθεί από το προηγούμενο βήμα, δύνανται να μεταβάλλει την αντικειμενική συνάρτηση, μόνο στην κατεύθυνση της ελάττωσης, όπως προκύπτει και από την ταυτότητα 3.4. Έτσι, όσο ο αλγόριθμος εκτελείται, η συσταδοποίηση συνεχώς θα βελτιώνεται, μέχρις ότου η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης 3.3 πάψει να μεταβάλλεται. Στο σημείο αυτό πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σχετικά με την λειτουργία και τις δυνατότητες του αλγορίθμου. Η δομή του αλγορίθμου επιτρέπει την εύρεση των τοπικών βέλτιστων (local optimum) και όχι των ολικών βέλτιστων (global optimum). Συνέπεια της δυνατότητας του αλγορίθμου να εντοπίζει τα τοπικά βέλτιστα και εκεί να σταματάει την αναζήτηση, είναι η εξάρτηση του αποτελέσματος από την πρωταρχική τυχαία ομαδοποίηση που υλοποιείται στο 1<sup>ο</sup> βήμα του αλγορίθμου. Για τον λόγο αυτό, κρίνεται σκόπιμο, η εφαρμογή του αλγορίθμου να πραγματοποιείται αρκετές φορές με



εναλλακτικές ρυθμίσεις αρχικοποίησης. Έτσι κάποιος μπορεί να εντοπίσει την ολική βέλτιστη λύση που ελαχιστοποιεί την αντικειμενική συνάρτηση 3.3.

Από το σχήμα 3.4 είναι εμφανές ότι η τυχαία συσταδοποίηση που υλοποιεί ο αλγόριθμος στο βήμα 1.α προκαλεί την σύμπτωση των κεντροειδών στην 1<sup>η</sup> επανάληψη του βήματος 2.α. Η 1<sup>η</sup> επανάληψη του βήματος 2.β είναι το καθοριστικό βήμα για την εύρεση των κεντροειδών που θα βελτιστοποιήσουν την λύση κατόπιν και της 2<sup>ης</sup> επανάληψης του βήματος 2.α.

Ένα βασικό ερώτημα που γεννάται προτού εφαρμόσουμε την μέθοδο Κ-Μέσων, σχετίζεται με τον καθορισμό του πλήθους των συστάδων που θα αναζητήσει ο αλγόριθμος. Το ερώτημα αυτό δεν επιδέχεται μονοσήμαντη απάντηση. Στην πράξη, πολύ συχνά η αυθαίρετη επιλογή του πλήθους  $K$  αποφεύγεται ακολουθώντας την διερευνητική προσέγγιση του πειραματισμού με διάφορα  $K$ . Κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, αυτά αξιολογούνται και ερμηνεύονται κατάλληλα. Η εμπειρία και η γνώση που υπάρχει σχετικά με τα δεδομένα που αναλύονται σε κάθε διαφορετική περίπτωση, αποτελούν θεμελιώδη κριτήρια επιλογής του πλήθους  $K$  που τελικά ερμηνεύει ή ομαδοποιεί καταλληλότερα τις παρατηρήσεις του εκάστοτε προβλήματος.



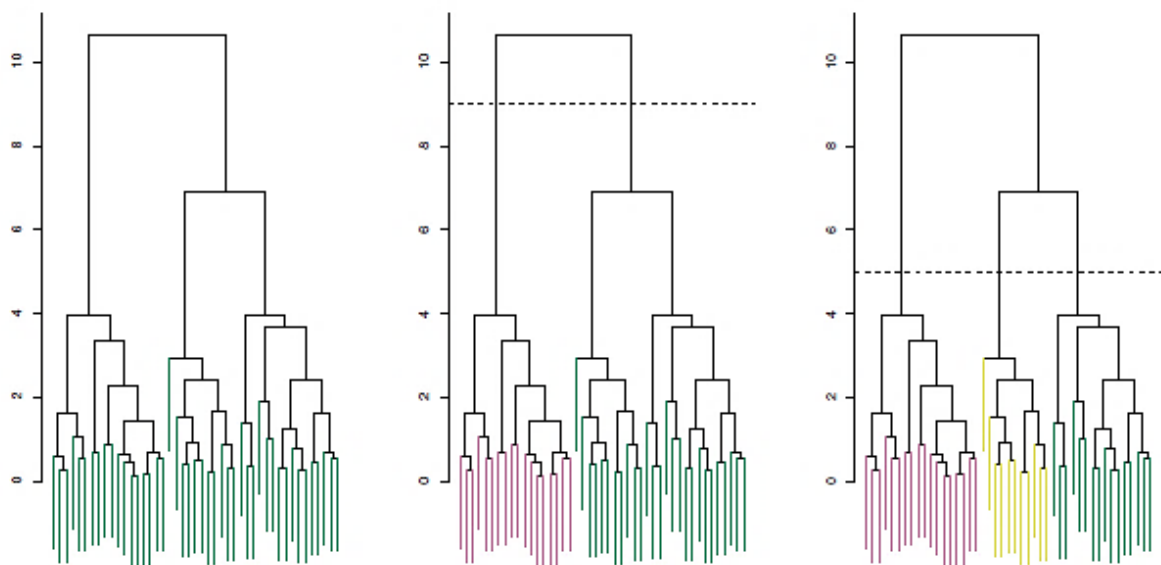
Σχήμα 3.4: Διαδικασία αλγορίθμου Κ-Μέσων για  $K=3$ . Πηγή: (James, et al., 2013)

### 3.2.2.2 Μέθοδος Ιεραρχικής Συσταδοποίησης

Αν θεωρήσουμε ότι η ανάγκη για προκαθορισμό του πλήθους των συστάδων  $K$  αποτελεί μειονέκτημα της μεθόδου  $K$ -Μέσων, η ιεραρχική συσταδοποίηση πλεονεκτεί στο συγκεκριμένο σημείο καθώς δεν απαιτείται η εξ αρχής επιλογή του πλήθους  $K$ . Επιπλέον, η ιεραρχική συσταδοποίηση προσφέρει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο ευέλικτης ερμηνείας των αποτελεσμάτων. Πρόκειται για την απεικόνιση με χρήση δενδρογράμματος.

Για τις ανάγκες της εργασίας θα αναλύσουμε την συσσωρευτική (bottom-up ή agglomerative) προσέγγιση συσταδοποίησης, η οποία είναι και η πιο συνηθισμένη προσέγγιση ιεραρχικής συσταδοποίησης. Η συγκεκριμένη προσέγγιση καθορίζει ως σημείο αφετηρίας της συσταδοποίησης τις απολήξεις του δένδρου και την προοδευτική κατάληξη στον «κορμό» του.

Προκειμένου να αποσαφηνιστεί ο τρόπος λειτουργίας της συγκεκριμένης προσέγγισης, ας υποθέσουμε ότι έχουμε 45 παρατηρήσεις, όσα είναι και τα έργα που εξυπηρετούσε το ΤΤΥΠ το έτος 2019. Ενδεικτικά το αποτέλεσμα της ιεραρχικής συσταδοποίησης με πλήρη δεσμό (θα αναλυθεί παρακάτω), είναι το δενδρογράμμα που βλέπουμε αριστερά στο σχήμα 3.5. Ξεκινώντας από κάτω, εντοπίζουμε τα φύλλα (leaves) τα οποία απεικονίζουν κάθε μια από τις 45 παρατηρήσεις. Κατευθυνόμενοι προς τα πάνω, παρατηρούμε ότι κάποια φύλλα αρχίζουν να ενώνονται μεταξύ τους σε κλαδιά (branches). Αυτό σημαίνει ότι τα φύλλα που ενώνονται ομοιάζουν μεταξύ τους. Ανεβαίνοντας και άλλο, παρατηρούμε κλαδιά να ενώνονται είτε μεταξύ τους, είτε με άλλα κλαδιά. Όσο πιο νωρίς, δηλαδή όσο πιο χαμηλά στο δένδρο, λαμβάνει χώρα η σύντηξη, τόσο περισσότερο ομοιάζουν οι ομάδες των παρατηρήσεων μεταξύ τους. Συνοψίζοντας τα παραπάνω θα μπορούσαμε να πούμε ότι παίρνουμε τυχαία δύο παρατηρήσεις και βλέπουμε το σημείο στο οποίο ενώνονται πρώτη φορά. Το ύψος στο οποίο



Σχήμα 3.5: Απεικόνιση δενδρογράμματος. Πηγή: (James, et al., 2013)

αυτό συμβαίνει, όπως ορίζεται στον κάθετο άξονα του σχήματος, υποδεικνύει πόσο διαφορετικές είναι αυτές οι δύο παρατηρήσεις μεταξύ τους. Συνεπώς οι παρατηρήσεις που ενώνονται στην βάση του δενδρογράμματος είναι πολύ όμοιες μεταξύ τους, ενώ αυτές που ενώνονται κοντά στην κορυφή, τείνουν να διαφέρουν σημαντικά.

Προσεγγίζοντας την μέθοδο μαθηματικά, υπάρχουν  $2^{n-1}$  δυνατές αναδιατάξεις του δενδρογράμματος, όπου  $n$  είναι ο αριθμός των φύλλων ή αλλιώς των παρατηρήσεων. Αυτό συμβαίνει καθώς υπάρχουν  $n-1$  σημεία σύντηξης. Επίσης, η αντιμετάθεση δύο κλάδων μέσα στο δενδρόγραμμα δεν επηρεάζει την ερμηνεία του αποτελέσματος, συνεπώς δεν μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα με βάση την εγγύτητα των παρατηρήσεων στον οριζόντιο άξονα.

Αφού αναλύσαμε την σημασία της απεικόνισης που βρίσκεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 3.5, μπορούμε να προχωρήσουμε στον εντοπισμό των συστάδων. Αρχικά, όπως φαίνεται στο κεντρικό μέρος του σχήματος 3.5, σχεδιάζουμε μια οριζόντια γραμμή η οποία τέμνει το δενδρόγραμμα σε δύο σημεία. Οι παρατηρήσεις που συνδέονται με τον αριστερό κλάδο σχηματίζουν την μια συστάδα που φέρει ιώδες χρώμα, ενώ η άλλη συστάδα βρίσκεται δεξιά και φέρει πράσινο χρώμα. Αντιστοίχως, σχεδιάζοντας την οριζόντια γραμμή στο ύψος 4.5 παρατηρούμε ότι διαμορφώνονται τρεις συστάδες σύμφωνα με την απεικόνιση που βρίσκεται δεξιά στο σχήμα 3.5. Είναι σαφές ότι μέσω της ρύθμισης του ύψους της οριζόντιας γραμμής (threshold) καθορίζουμε το πλήθος των συστάδων ενώ παράλληλα έχουμε πλήρη εικόνα όλων των συστάδων που μπορούμε να θεωρήσουμε εναλλακτικά. Η συγκεκριμένη δυνατότητα ευελιξίας καθιστά την μέθοδο της ιεραρχικής συσταδοποίησης ιδιαίτερα ελκυστική.

Η αλγοριθμική διαδικασία που δημιουργεί το δενδρόγραμμα χαρακτηρίζεται από απλότητα. Ξεκινώντας, πρέπει να ορίσουμε το μέτρο της ανομοιότητας μεταξύ των παρατηρήσεων. Συνηθέστερα, ως μέτρο της ανομοιότητας ορίζεται η τετραγωνική Ευκλείδεια απόσταση όπως την περιγράφει η σχέση 3.2. Ο αλγόριθμος υλοποιείται επαναληπτικά. Αρχικά, ξεκινώντας από το κατώτερο μέρος του δενδρογράμματος, κάθε παρατήρηση λογίζεται ως διακριτή συστάδα. Επομένως, στην αρχή της εκτέλεσης του αλγορίθμου υπάρχουν  $n$  συστάδες, όσες είναι και οι παρατηρήσεις. Οι δύο συστάδες που είναι περισσότερο όμοιες μεταξύ τους συντήκονται, μειώνοντας έτσι το πλήθος των συστάδων σε  $n-1$ . Αμέσως μετά, οι επόμενες δύο συστάδες που είναι λιγότερο ανόμοιες μεταξύ τους, συντήκονται μειώνοντας το πλήθος των συστάδων σε  $n-2$ . Η συγκεκριμένη επαναληπτική διαδικασία εκτελείται μέχρις ότου όλες οι παρατηρήσεις υπαχθούν σε μια μοναδική συστάδα, όπου σηματοδοτείται και η ολοκλήρωση του δενδρογράμματος.

Ένας σοβαρός προβληματισμός που προκύπτει καθώς αναλογιζόμαστε την όλη διαδικασία είναι πως σύμφωνα με την διαδικασία που περιγράψαμε, η έννοια της ανομοιότητας μεταξύ των παρατηρήσεων, σταδιακά επεκτείνεται στο πεδίο των ομάδων των παρατηρήσεων που

διαμορφώνονται κατά την διάρκεια της εκτέλεσης του αλγορίθμου. Προκειμένου να επιτευχθεί η επέκταση της έννοιας της ανομοιότητας στο πεδίο των ομάδων των παρατηρήσεων, επινοήθηκε η έννοια της διασύνδεσης ή αλλιώς του δεσμού (Linkage). Ανάλογα με το είδος του δεσμού που επιλέγεται να λειτουργήσει ως κριτήριο διαμόρφωσης των συστάδων, η τελική συσταδοποίηση διαφέρει σημαντικά. Η επιλογή του είδους του δεσμού έγκειται στην διακριτική ευχέρεια του ερευνητή και εξαρτάται από την μελέτη περίπτωσης που μας ενδιαφέρει, και συγκεκριμένα από την φυσική σημασία των παρατηρήσεων που επιθυμούμε να ομαδοποιήσουμε. Η κατάλληλη επιλογή του είδους δεσμού είναι καθοριστικός παράγοντας επιτυχίας της μεθόδου. Οι τρεις πιο γνωστοί δεσμοί περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω:

- **Πλήρης (Complete Linkage):** Μέγιστη ανομοιότητα μεταξύ των συστάδων. Υπολογίζει την ανομοιότητα όλων των δυνατών ζευγών παρατηρήσεων μεταξύ δύο συστάδων A και B και καταγράφει την μεγαλύτερη εξ αυτών.
- **Απλός (Single Linkage):** Ελάχιστη ανομοιότητα μεταξύ των συστάδων. Υπολογίζει την ανομοιότητα όλων των δυνατών ζευγών παρατηρήσεων μεταξύ δύο συστάδων A και B και καταγράφει την μικρότερη εξ αυτών.
- **Μέσος (Average Linkage):** Μέση ανομοιότητα μεταξύ των συστάδων. Υπολογίζει την ανομοιότητα όλων των δυνατών ζευγών παρατηρήσεων μεταξύ δύο συστάδων A και B και καταγράφει την μέση τιμή τους.

#### Βήματα Ιεραρχικού Αλγορίθμου

1. Εκκίνηση με  $n$  παρατηρήσεις και υπολογισμό των  $\binom{n}{2} = n(n-1)/2$  ανά ζεύγη ανομοιοτήτων, θεωρώντας κάθε παρατήρηση ως αυτοτελή συστάδα.
2. Για  $i = n, n-1, \dots, 2$ :
  - a) Εξετάζοντας ανά ζεύγη την ανομοιότητα μεταξύ όλων των συστάδων, γίνεται ταυτοποίηση αυτών που παρουσιάζουν την μικρότερη ανομοιότητα και συντήκονται σε μια κοινή συστάδα.
  - b) Υπολογίζεται εκ νέου η ανά ζεύγη ανομοιότητα μεταξύ των κλάσεων για τις  $i-1$  εναπομείνουσες συστάδες.

Παρενθετικά, προτού εφαρμόσουμε τους ιεραρχικούς αλγορίθμους με σκοπό την συσταδοποίηση, κρίνεται απαραίτητο να αναφέρουμε την σημασία που έχουν τα φυσικά μεγέθη των χαρακτηριστικών των παρατηρήσεων με βάση τα οποία γίνεται η συσταδοποίηση. Για παράδειγμα η μετρική των τετραγωνικών Ευκλείδειων αποστάσεων είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις διαφορές μεγέθους των χαρακτηριστικών, με αποτέλεσμα όταν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά απέχουν περισσότερο από άλλα σε απόλυτες μονάδες να επηρεάζεται επί τα χείρω η συσταδοποίηση. Το πρόβλημα αυτό, θεραπεύεται με διάφορες μεθόδους μετασχηματισμού των δεδομένων ώστε να εκφράζονται στην ίδια τάξη μεγέθους.

### 3.3 Εφαρμογή Ιεραρχικού Αλγορίθμου (Hierarchical Clustering)

#### 3.3.1 Μεθοδολογία

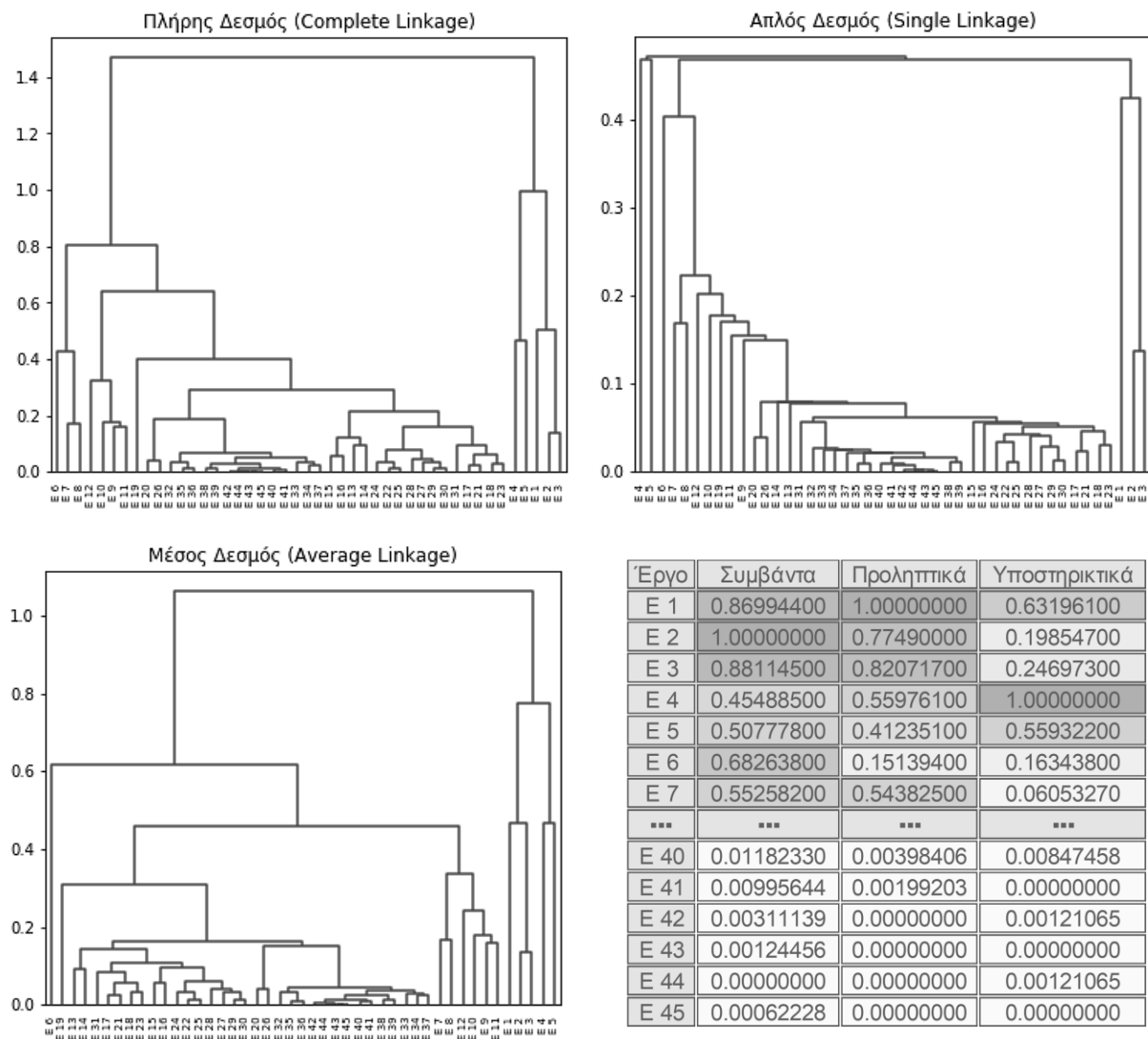
Αρχικά, η επιλογή του ιεραρχικού αλγορίθμου έναντι άλλων αλγορίθμων συσταδοποίησης, έγινε λόγω των συγκριτικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει στα επιμέρους σημεία ενδιαφέροντος για το συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογής της μεθόδου. Η δυνατότητα της απεικόνισης των εξαγόμενων αποτελεσμάτων με χρήση δενδρογράμματος, μας προσφέρει μια πανοραμική εικόνα ιδιαίτερα χρήσιμη προκειμένου να ερμηνεύσουμε τα δεδομένα μας και να διατυπώσουμε τεκμηριωμένα τα κατάλληλα συμπεράσματα σχετικά με αυτά. Επιπλέον, έχει ήδη τονιστεί ότι για την εφαρμογή του ιεραρχικού αλγορίθμου δεν απαιτείται ο προκαθορισμός του πλήθους των συστάδων. Αντιθέτως, η απόφαση του πλήθους των συστάδων μπορεί να ληφθεί κατά την επισκόπηση του δενδρογράμματος, γεγονός που μας προσφέρει επιπλέον βαθμούς ελευθερίας σε σχέση με άλλες μεθόδους συσταδοποίησης.

Η εφαρμογή της ιεραρχικής συσταδοποίησης θα έχει διερευνητικό χαρακτήρα, λαμβάνοντας υπόψιν διαφορετικούς συνδυασμούς χαρακτηριστικών και ρυθμίζοντας διαφορετικά τις παραμέτρους του αλγόριθμου. Παρακάτω παρατίθενται τα χαρακτηριστικά, μέρος των οποίων θα χρησιμοποιηθούν σε διάφορους συνδυασμούς ή και μεμονωμένα ανάλογα την περίπτωση της συσταδοποίησης που θέλουμε να υλοποιήσουμε:

1. Πλήθος αιτημάτων ανά είδος (Συμβάν, Προληπτικό, Υποστηρικτικό)
2. Πλήθος αιτημάτων ανά επίπεδο προτεραιότητας (Π1, Π2, Π3, Π4, Π5)
3. Συνολικό πλήθος αιτημάτων
4. Χρονικά όρια συμφωνιών επιπέδου υπηρεσιών
5. Πλήθος αιτημάτων για κάθε ώρα της ημέρας (Πλην Προληπτικών)
6. Πλήθος αιτημάτων για κάθε ημέρα της εβδομάδας
7. Πλήθος αιτημάτων για κάθε μήνα του έτους
8. Δείκτες αξιοπιστίας εκτίμησης προτεραιότητας

Η εκτέλεση του αλγορίθμου πραγματοποιήθηκε στην γλώσσα προγραμματισμού Python 3.7, με χρήση των βιβλιοθηκών Pandas, Sklearn, Matplotlib και SciPy. Ο βασικός κώδικας Γ.1 που συντάχθηκε με σκοπό την συσταδοποίηση των έργων παρατίθεται στην πλήρη του έκταση στο ειδικό παράρτημα Γ. Δεδομένου ότι κατά την χρήση εναλλακτικών χαρακτηριστικών ο κώδικας διαφοροποιείται ελάχιστα, δεν κρίνεται σκόπιμο να παρουσιάσουμε παρόμοιο κώδικα πολλές φορές, παρά μόνον να επισημάνουμε κάποιες εναλλακτικές παραμετροποιήσεις που αφορούν τις μεθόδους που εφαρμόζουμε. Όσον αφορά την μέθοδο κανονικοποίησης των τιμών των χαρακτηριστικών των έργων, κατά την σύνταξη του αλγορίθμου επιλέξαμε την κλίμακα MinMaxScaler η οποία μετασχηματίζει τα δεδομένα στο πεδίο τιμών [0,1] με αναλογικές αποστάσεις από την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της εκάστοτε στήλης χαρακτηριστικών.

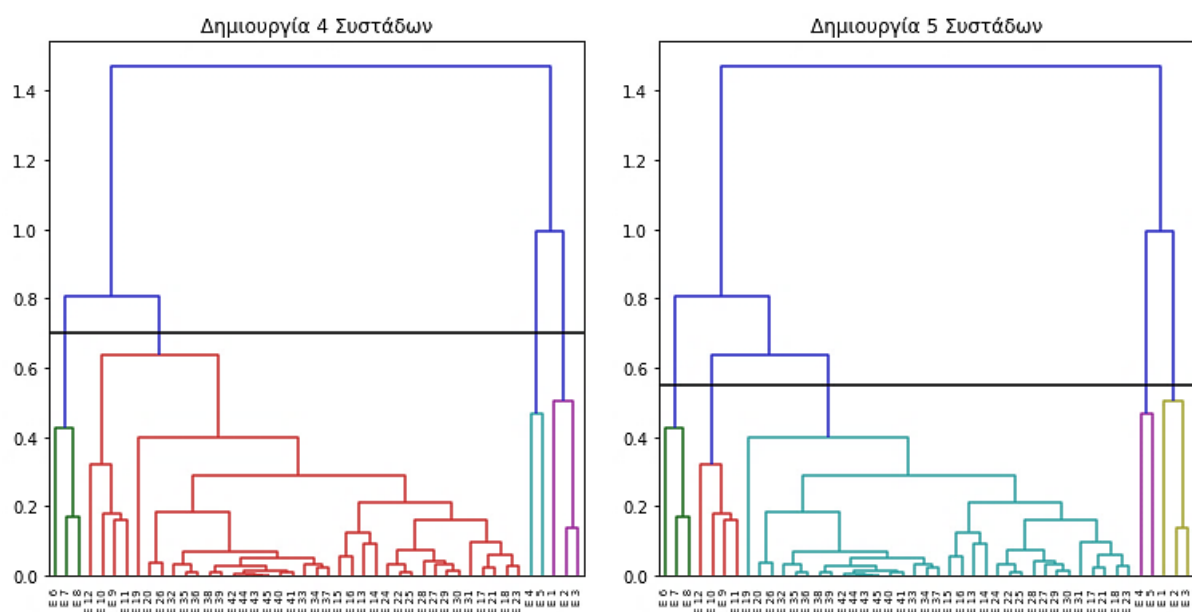
Το είδος δεσμού που επιλέχθηκε να εφαρμοστεί στο σύνολο των συσταδοποιήσεων που παρουσιάζονται στην υποενότητα 3.3.2 είναι ο πλήρης δεσμός. Οι λόγοι που οδήγησαν σε αυτή την απόφαση περιγράφονται με την βοήθεια μιας προκαταρκτικής διερεύνησης των δενδρογραμμάτων του σχήματος που προκύπτουν από την εφαρμογή του ιεραρχικού αλγορίθμου και με τα τρία είδη δεσμού. Ως χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται το πλήθος των αιτημάτων ανά είδος (συμβάν, προληπτικό, υποστηρικτικό). Στο σχήμα 3.6 εντοπίζονται τρεις απεικονίσεις και ένας πίνακας. Οι απεικονίσεις είναι τα δενδρογράμματα για κάθε ένα από τα είδη δεσμών που μελετάμε. Οι τιμές των χαρακτηριστικών όπως προέκυψαν έπειτα από την εφαρμογή της προσαρμογής σε κλίμακα MinMaxScaler παρουσιάζονται στο 4<sup>ο</sup> τεταρτημόριο του σχήματος 3.6 ενώ ο αντίστοιχος πίνακας Α.1 με τις πραγματικές τιμές των χαρακτηριστικών δίνεται στο παράρτημα πινάκων Α. Παρατηρούμε ότι σε κάθε στήλη η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή είναι το 1 και το 0 αντίστοιχα. Έτσι, παρά το γεγονός ότι τα αιτήματα τύπου συμβάντα είναι κατά κανόνα πολύ περισσότερα από αυτά των άλλων ειδών και κατά συνέπεια οι διαφορές



Σχήμα 3.6: Εναλλακτικοί δεσμοί συσταδοποίησης με βάση το πλήθος των αιτημάτων ανά είδος

τους μεταξύ των έργων είναι μεγαλύτερες λόγω μεγαλύτερης τάξης μεγέθους, μέσω της αδιαστατοποίησης πετυχαίνουμε τον «δίκαιο» υπολογισμό των αποστάσεων. Στο 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup> τεταρτημόριο του σχήματος βρίσκονται τα δενδρογράμματα του πλήρους, του απλού και του μέσου δεσμού στις αντίστοιχες θέσεις. Το είδος που διαφαίνεται να εξυπηρετεί καλύτερα τις ανάγκες μας είναι ο πλήρης δεσμός, καθώς μας εξασφαλίζει την μέγιστη δυνατή ανομοιότητα μεταξύ των συστάδων και αυτός είναι κυρίως ο λόγος που προκρίνεται ως καλύτερη επιλογή για τις συσταδοποιήσεις που θα ακολουθήσουν στην υποενότητα 3.3.2.

Προκειμένου να αναπτύξουμε την επεξήγηση της μεθοδολογία στο πλήρες εύρος της, θα ολοκληρώσουμε την συσταδοποίηση επιλέγοντας το είδος του πλήρους δεσμού. Η επιλογή του πλήρους των συστάδων γίνεται έμμεσα καθορίζοντας το ύψος της οριζόντιας γραμμής (threshold) που τέμνει το δενδρόγραμμα. Έστω ότι επιθυμούμε να διακρίνουμε τα έργα σε 4 συστάδες. Ορίζοντας το ύψος της οριζόντιας γραμμής στο 0.7 έτσι ώστε αυτή να τέμνει το δενδρόγραμμα σε 4 σημεία, πετυχαίνουμε τον σκοπό μας. Ομοίως μπορούμε να ορίσουμε το πλήθος των συστάδων για κάθε εφικτό αριθμό συστάδων, όπου στην περίπτωση μας είναι από 1 έως 45 συστάδες. Στον πίνακα 3.1 τα έργα τοποθετημένα στις συστάδες τους για τα δύο διαφορετικά πλήθη συστάδων. Για την δημιουργία 5 συστάδων το ύψος ορίστηκε ως 0.55.



Σχήμα 3.7: Σύγκριση αποτελεσμάτων για διαφορετικό αριθμό συστάδων  $K=4$  &  $K=5$

Πίνακας 3.1: Αναλυτική παρουσίαση συστάδων με βάση το πλήθος των αιτημάτων ανά είδος

Συστάδα	Έργα σε 4 Συστάδες	Έργα 5 Συστάδες
1η	1-2-3	1-2-3
2η	4-5	4-5
3η	6-7-8	6-7-8
4η	9...45	9-10-11-12
5η	-	13...45

### 3.3.2 Εξαγωγή και Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Στην παρούσα υποενότητα χρησιμοποιούμε τον ιεραρχικό αλγόριθμο με στόχο την συσταδοποίηση των έργων σύμφωνα με πληθώρα υποσυνόλων χαρακτηριστικών. Εφόσον η μεθοδολογία παρουσιάστηκε εκτενώς στην παράγραφο 3.3.1, εστιάζουμε την προσοχή μας στην εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων. Επίσης, αρκετά από τα εξαγόμενα του αλγόριθμου που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο του πειραματισμού για την εκλογή πλήθους συστάδων ή άλλων παραμέτρων δεν κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν αναλυτικά.

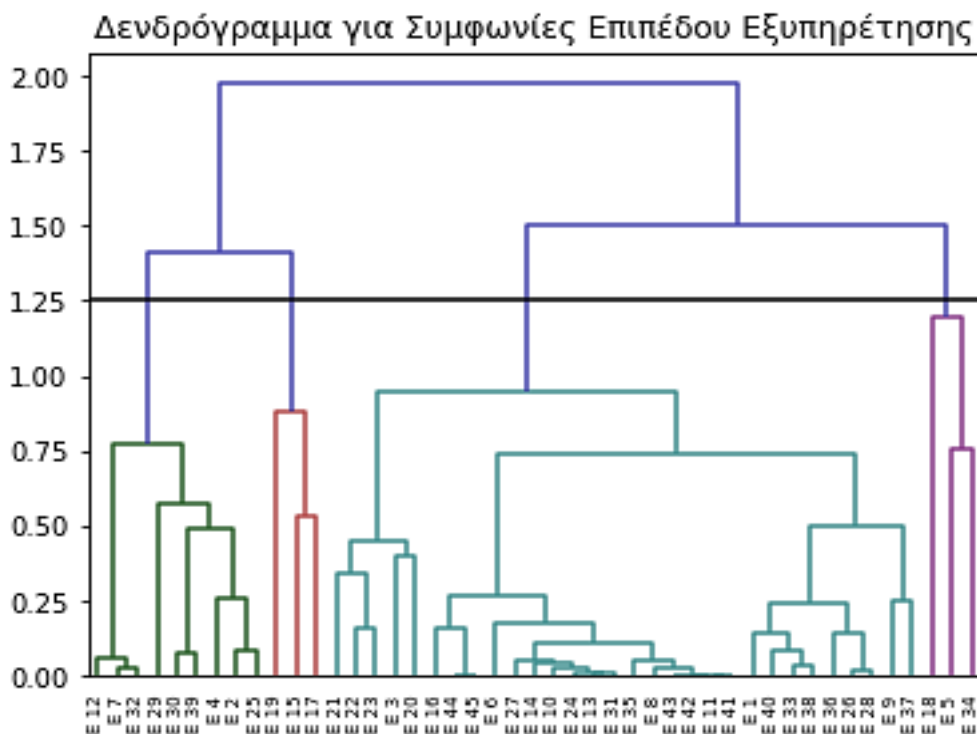
**1<sup>η</sup> Συσταδοποίηση:** Το ΤΤΥΠ ενδιαφέρεται να ομαδοποιήσει τις συμφωνίες επιπέδου εξυπηρέτησης έτσι ώστε να εξάγει συμπεράσματα σχετικά με τον βαθμό επισφάλειας που ενέχουν ως προς την ικανοποίηση των χρονικών ορίων που αυτές ορίζουν. Όπως έχουμε αναλύσει με μεγάλη λεπτομέρεια στην υποενότητα 2.2.4, κάθε έργο διαθέτει ξεχωριστά χαρακτηριστικά ως προς τις συμφωνίες αυτές. Η ομαδοποίηση των συμφωνιών θα γίνει έμμεσα, μέσω της συσταδοποίησης των έργων με κριτήριο τα χαρακτηριστικά των χρονικών ορίων για κάθε επίπεδο προτεραιότητας (5 για κάθε έργο) καθώς και το ποσοστό ικανοποίησης τους (1 για κάθε έργο).

Η συσταδοποίηση υλοποιήθηκε με την μέθοδο του πλήρους δεσμού και μετασχηματισμό των τιμών με MinMaxScaler. Οι στήλες των χαρακτηριστικών ήταν τα χρονικά όρια για τα συμβάντα σε επίπεδο προτεραιότητας Π1, Π2, Π3, Π4, και Π5 ενώ συμπεριλήφθηκε και η στήλη των σταθμικών μέσων των ποσοστών ικανοποίησης των αιτημάτων για κάθε έργο από τον πίνακα του παραρτήματος 2.2.

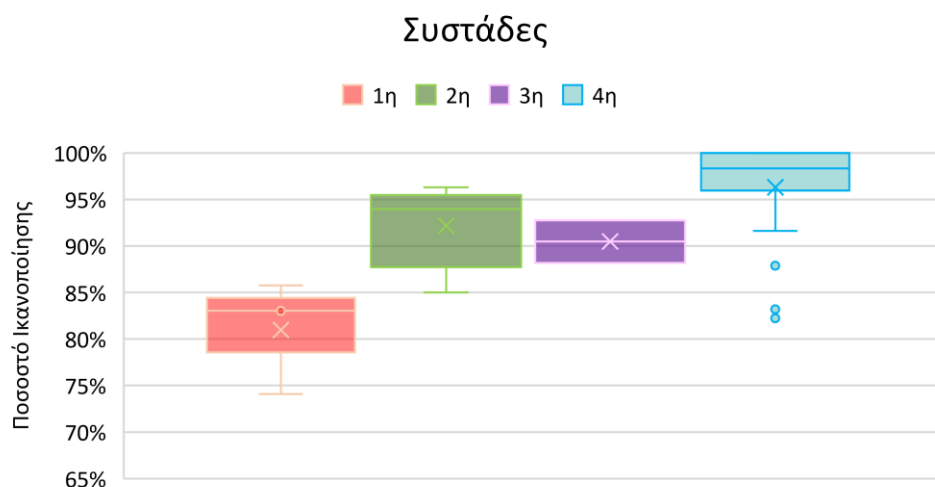
Στο δενδρόγραμμα 3.8 βλέπουμε τις 4 διαμορφωμένες συστάδες, όπως αυτές προέκυψαν με καθορισμό του ύψους της οριζόντιας γραμμής στο 1.25. Προκειμένου να δούμε την αποτελεσματικότητα της συσταδοποίησης, στον πίνακα 3.2 ταξινομήσαμε τα έργα και τα χρονικά όρια, σύμφωνα με τις συστάδες που προέκυψαν από την εφαρμογή του αλγορίθμου. Πράγματι, είναι εμφανές ότι ο αλγόριθμος εντοπίζει τα έργα που ομοιάζουν περισσότερο στα 6 χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν. Τα αποτελέσματα της συσταδοποίησης κρίθηκε σκόπιμο να αναλυθούν μέσω της απεικόνισης θηκογράμματος. Παρατηρώντας το σχήμα 3.9 μπορούμε να διακρίνουμε με σχετική ευκολία τα βασικά στοιχεία των κατανομών που ακολουθούν τα ποσοστά ικανοποίησης χρονικών ορίων, για τις 4 διαφορετικές συστάδες που προέκυψαν. Το πρώτο συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι οι συμφωνίες που ανήκουν στην 1<sup>η</sup> συστάδα (E 15, E 17, E 19) φαίνεται να ενέχουν τον μέγιστο κίνδυνο καθυστερημένης ικανοποίησης. Αντίθετα η 4<sup>η</sup> συστάδα παρουσιάζει αρκετά μικρότερα επίπεδα επισφάλειας, με εξαίρεση κάποιες ακραίες περιπτώσεις που οριακά προσεγγίζουν την μέση τιμή της 1<sup>ης</sup> συστάδας. Συγκεκριμένα η διάμεσος της 4<sup>ης</sup> συστάδας είναι περίπου 98% ενώ η μέση τιμή περίπου 96%. Επιπλέον η 4<sup>η</sup> συστάδα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς σε αυτήν υπάγονται 30 από τα 45



συνολικά έργα ενώ από την άλλη πλευρά η 1<sup>η</sup> και η 3<sup>η</sup> συστάδα αποτελούνται από 3 έργα η κάθε μια. Η ετεροβαρής συσταδοποίηση που προέκυψε δεν πρέπει να προκαλεί ανησυχία, καθώς οι συμφωνίες επιπέδων εξυπηρέτησης διαπραγματεύονται μέσα σε κάποια προτυποποιημένα πλαίσια ενώ οι διαφοροποιήσεις είναι κατά κανόνα σχετικά μικρές. Οι συμφωνίες για τα έργα που υπάγονται στην 1<sup>η</sup> και την 3<sup>η</sup> συστάδα αποτελούν εξαίρεση στον κανόνα. Η ενδεδειγμένη διαδικασία για να αποκτήσει η ανάλυση μεγαλύτερο πρακτικό ενδιαφέρον σε επίπεδο ανάλυσης κινδύνου, προϋποθέτει την ύπαρξη δεδομένων που αφορούν τις οικονομικές επιπτώσεις των εκάστοτε καθυστερήσεων.



Σχήμα 3.8: Έμμεση συσταδοποίηση συμφωνιών επιπέδου εξυπηρέτησης



Σχήμα 3.9: Θηκόγραμμα ποσοστών ικανοποίησης χρονικών ορίων για κάθε συστάδα

Πίνακας 3.2: Χρονικά όρια και αντίστοιχα ποσοστά ικανοποίησης ταξινομημένα κατά συστάδες

Χρονικά Όρια Συμβάντων							
Συστάδα	Έργο	Π1	Π2	Π3	Π4	Π5	Ποσοστό Ικανοποίησης
1η	1	19					74%
	1	17					83%
	1	15					86%
2η	2	39					85%
	2	30					87%
	2	29					89%
	2	32					94%
	2	25					94%
	2	7					94%
	2	12					95%
	2	2					96%
	2	4					96%
	2	34					82%
3η	3	18					88%
	3	5					93%
	4	3					83%
	4	21					83%
	4	22					88%
	4	23					89%
	4	20					92%
	4	37					92%
	4	40					95%
	4	16					96%
4η	4	1					96%
	4	33					96%
	4	38					97%
	4	14					97%
	4	24					98%
	4	27					98%
	4	13					98%
	4	31					98%
	4	9					98%
	4	10					98%
	4	26					99%
	4	28					99%
	4	6					99%
	4	8					99%
	4	11					100%
	4	35					100%
	4	36					100%
	4	41					100%
	4	42					100%
	4	43					100%
	4	44					100%
	4	45					100%

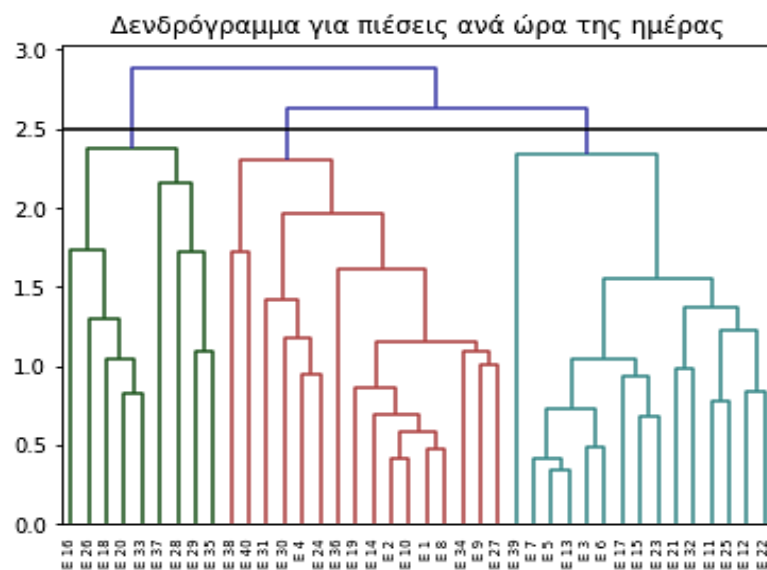
**2<sup>η</sup> Συσταδοποίηση:** Το ΤΤΥΠ επιθυμεί να ομαδοποιήσει τα έργα σύμφωνα με τα χρονικά και ημερολογιακά στοιχεία των στιγμών άφιξης των αιτημάτων που αυτά εισάγουν στο σύστημα. Η συγκεκριμένη συσταδοποίηση έχει ως κεντρικό στόχο να αποτελέσει το εφαλτήριο για μελλοντικές προβλέψεις. Συγκεκριμένα, είναι πολύ σημαντικό για το ΤΤΥΠ, όταν ένα υποψήφιο νέο έργο βρίσκεται στο στάδιο των διαπραγματεύσεων για την σύναψη συμφωνίας με την εταιρεία, να μπορεί να εκτιμήσει προσεγγιστικά όσο το δυνατόν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις πιέσεις που αυτό θα προκαλέσει, καθώς επίσης και τον τρόπο με τον οποίο αυτές θα κατανέμονται στο πεδίο του χρόνου μελλοντικά. Δεδομένου ότι η εταιρεία δύναται να αντιστοιχίσει το υποψήφιο έργο με ένα ή περισσότερα υφιστάμενα έργα, σύμφωνα με κάποια κοινά γνωρίσματα, η συσταδοποίηση που υλοποιείται παρακάτω συνεισφέρει στην προσπάθεια αυτή. Στα γνωρίσματα, όσον αφορά την χρονική κατανομή των πιέσεων, συμπεριλαμβάνονται τα γεωγραφικά στοιχεία της έδρας λειτουργίας των συστημάτων καθώς και οι υπηρεσίες που το κάθε έργο παρέχει στους τελικούς πελάτες. Ωστόσο είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι δεν αρκεί η ταύτιση του ενδεχόμενου υποψήφιου έργου με κάποιο ή κάποια από τα υφιστάμενα έργα σε ένα από τα δύο προαναφερθέντα στοιχεία. Παραδείγματος χάριν, δύο έργα που εδρεύουν στην ίδια χώρα μπορεί να παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις ως προς την κατανομή των πιέσεων που προκαλούν λόγω του ότι μπορεί να προσφέρουν διαφορετικού τύπου υπηρεσίες τυχερών παιγνίων. Η συσταδοποίηση με την χρήση του ιεραρχικού αλγόριθμου στην προκείμενη περίπτωση, προσφέρει μια πολυδιάστατη ανάλυση που μας επιτρέπει να αντλήσουμε χρήσιμες πληροφορίες οι οποίες θα συνεκτιμηθούν κατά την διαδικασία λήψης αποφάσεων με σκοπό να ενισχύσουν τις εμπειρικές μεθόδους. Η συσταδοποίηση κρίθηκε σκόπιμο να διαιρεθεί σε τρεις αυτοτελείς συσταδοποιήσεις των οποίων τα χαρακτηριστικά παρατίθενται διαδοχικά παρακάτω:

- i. το πλήθος των αιτημάτων για κάθε ώρα της ημέρας
- ii. το πλήθος των αιτημάτων για κάθε ημέρα της εβδομάδας
- iii. το πλήθος αιτημάτων για κάθε μήνα του έτους

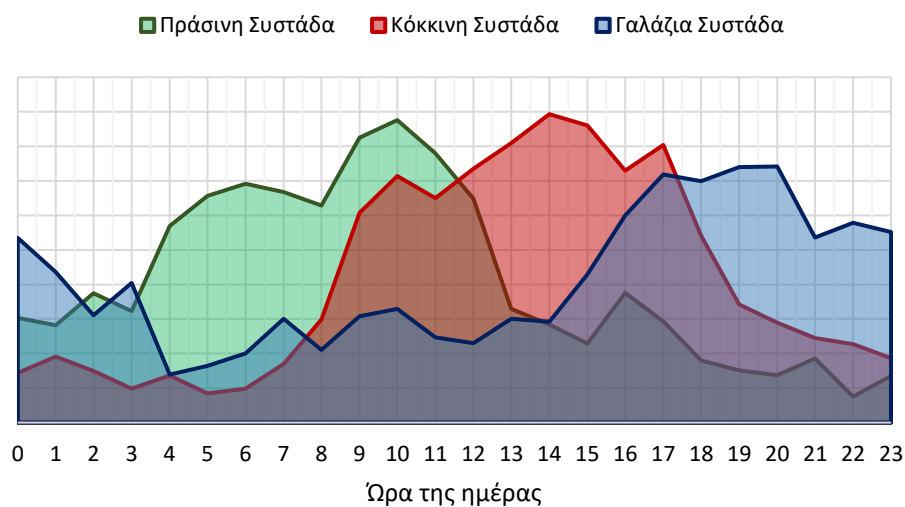
Η αιτία διάσπασης των χαρακτηριστικών είναι το γεγονός ότι επιθυμούμε να διακρίνουμε τα έργα με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Εάν εισαγάγαμε ταυτόχρονα στον αλγόριθμο το σύνολο των χαρακτηριστικών i, ii και iii, το αποτέλεσμα που θα μας έδινε, δεν θα μας παρέιχε τις επιθυμητές πληροφορίες σχετικά με την ομοιότητα δύο τυχαίων έργων, έστω έργο Α και έργο Β, όσον αφορά την συμπεριφορά δημιουργίας των αιτημάτων σε ημερήσια, εβδομαδιαία και μηνιαία βάση ξεχωριστά. Αντιθέτως θα μας έδινε μία πεπλεγμένη σύνθεση αυτών των χαρακτηριστικών που δεν εξυπηρετεί τους σκοπούς μας. Η συσταδοποίηση υλοποιήθηκε με την μέθοδο του πλήρους δεσμού και μετασχηματισμό των τιμών με MinMaxScaler. Επιπλέον, τα αιτήματα κάθε έργου για κάθε ένα από τα χαρακτηριστικά αδιαστατοποιήθηκαν ώστε να μην επιδρά το απόλυτο μέγεθος τους στα εξαγόμενα αποτελέσματα.

Στη διαδικασία δεν συμπεριελήφθησαν τα έργα 41, 42, 43, 44, 45 λόγω των αμελητέων πιέσεων που προκαλούν στο σύστημα. Ο αλγόριθμος συσταδοποίησης για τα έργα με κριτήριο το πλήθος των αιτημάτων ανά ώρα της ημέρας, ανά ημέρα της εβδομάδας και ανά μήνα του έτους εξήγαγε ως αποτελέσματα τα δένδρογράμματα των σχημάτων 3.10, 3.12 και 3.14 αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα των επιμέρους συσταδοποιήσεων χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των μέσων τιμών της ανηγμένης πίεσης προς το σύστημα ανά συστάδα. Στα σχήματα 3.11, 3.13 και 3.15 παρουσιάζονται οι ανηγμένες κατανομές των αιτημάτων για κάθε διαφορετική συστάδα, στην διάρκεια κάθε ώρα της ημέρας, κάθε μέρας της εβδομάδας και κάθε μήνα του έτους αντίστοιχα.

ι. το πλήθος των αιτημάτων για κάθε ώρα της ημέρας



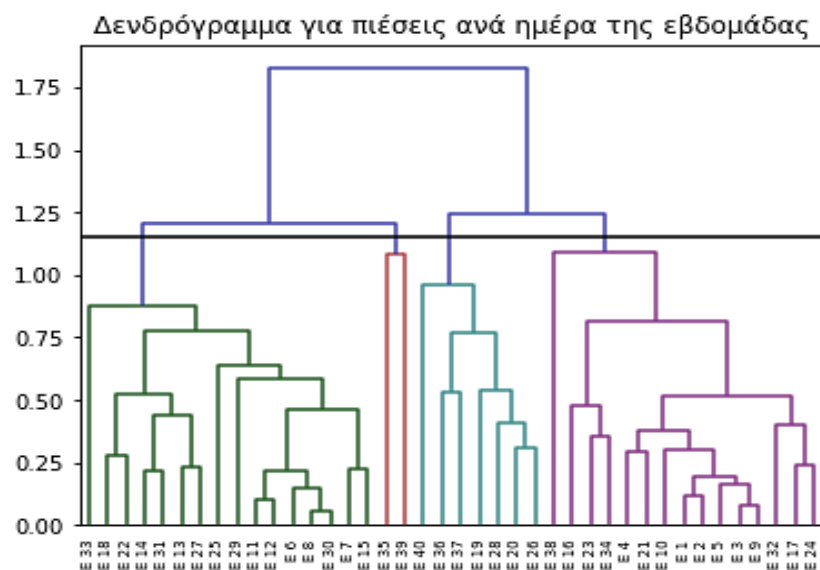
Σχήμα 3.10: Δενδρόγραμμα συσταδοποίησης έργων (πιέσεις ανά ώρα της ημέρας)



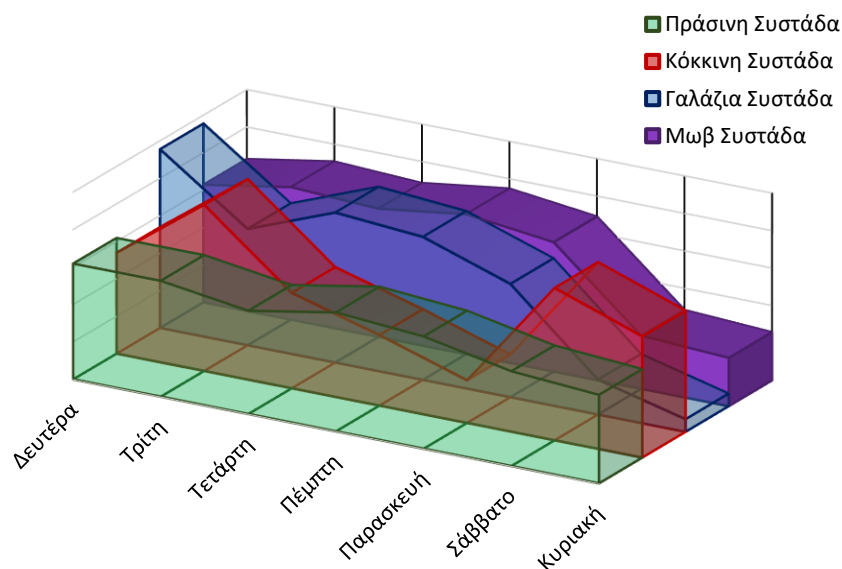
Σχήμα 3.11: Ποιοτικό διάγραμμα ανηγμένων πιέσεων των συστάδων ανά ώρα της ημέρας

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαφορά φάσης μεταξύ των τριών συστάδων. Συγκεκριμένα από το σχήμα 3.11 μπορούμε να διακρίνουμε ότι οι συστάδες βρίσκονται σε επιπορεία μεταξύ τους όσον αφορά τις ώρες των μέγιστων πιέσεων. Ξεκινώντας από την πράσινη συστάδα, τα έργα που ανήκουν σε αυτήν παρουσιάζουν υψηλές πιέσεις στο διάστημα μεταξύ 04:00 - 12:00. Κατά το χρονικό διάστημα 09:00 – 17:00 παρουσιάζουν υψηλές πιέσεις τα έργα της κόκκινης συστάδας ενώ στο χρονικό διάστημα 16:00-00:00 παρουσιάζουν υψηλές πιέσεις τα έργα που ανήκουν στην γαλάζια συστάδα.

ii. το πλήθος των αιτημάτων για κάθε ημέρα της εβδομάδας



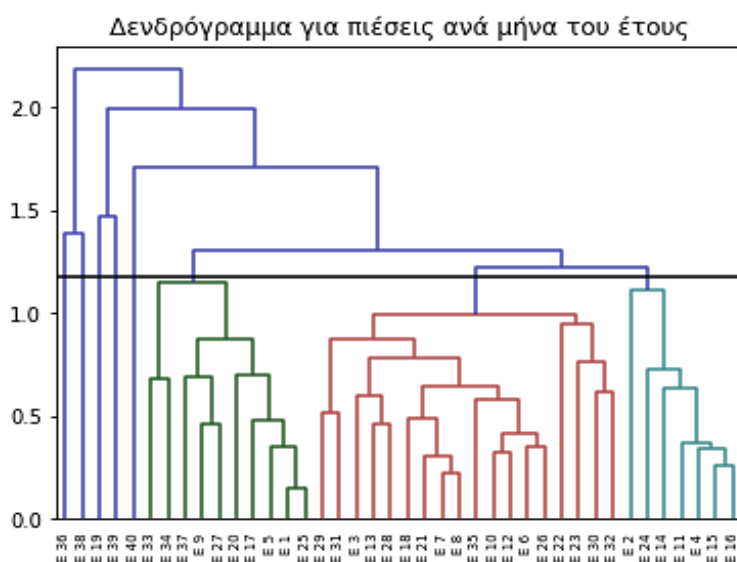
Σχήμα 3.12: Δενδρόγραμμα συσταδοποίησης έργων (πιέσεις ανά ημέρα της εβδομάδας)



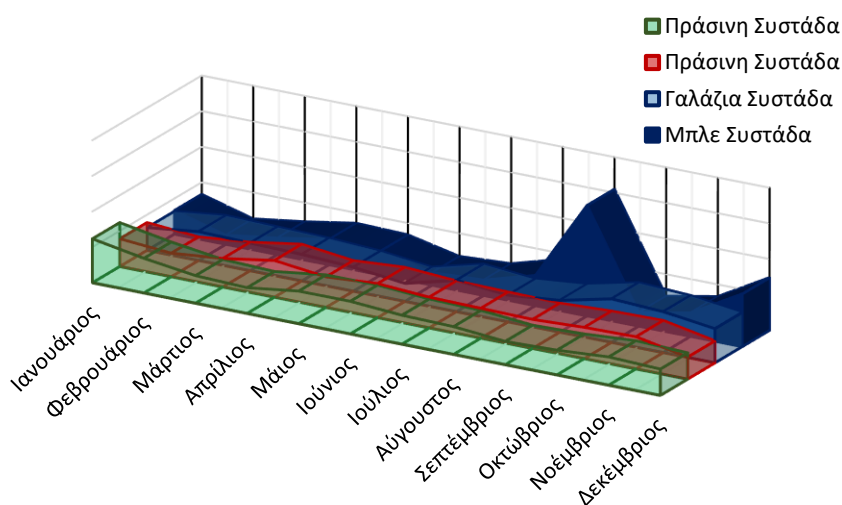
Σχήμα 3.13: Ποιοτικό διάγραμμα ανηγμένων πιέσεων των συστάδων ανά ημέρα της εβδομάδας

Από την προσεκτική παρατήρηση του σχήματος 3.13 προκύπτει το συμπέρασμα ότι η πράσινη συστάδα αποτελείται από έργα που προκαλούν σχετικά σταθερές πιέσεις στο σύστημα καθ' όλη την διάρκεια της εβδομάδας. Τα έργα που αποτελούν την μωβ και την γαλάζια συστάδα παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες γεγονός που μας υποδεικνύει και το δενδρόγραμμα, καθώς αν καθορίζαμε το κατώφλι (threshold) στο ύψος 1.25, τα έργα που τις αποτελούν θα συγχωνεύονταν σε μια κοινή συστάδα. Ωστόσο, μέσω του σχήματος 3.13 μπορούμε να διακρίνουμε ότι διαφοροποιούνται σημαντικά ως προς τις ημέρες Δευτέρα και Τετάρτη. Τα δύο έργα (E35, E39) που συναποτελούν την κόκκινη συστάδα διαφέρουν σημαντικά από τα υπόλοιπα καθώς παρουσιάζουν τα μέγιστα τους τις ημέρες Τρίτη, Σάββατο και Κυριακή ενώ για τις υπόλοιπες ημέρες οι πιέσεις που προκαλούν είναι ασθενείς.

iii. Πλήθος αιτημάτων για κάθε μήνα του έτους



Σχήμα 3.14: Δενδρόγραμμα συσταδοποίησης έργων (πιέσεις ανά μήνα του έτους)



Σχήμα 3.15: Ποιοτικό διάγραμμα ανηγμένων πιέσεων των συστάδων ανά μήνα του έτους

Στην συγκεκριμένη συσταδοποίηση για λόγους καλύτερης διαχείρισης των αποτελεσμάτων συγχωνεύσαμε τα έργα 19, 36, 38, 39, 40 στην μπλε συστάδα. Η συγκεκριμένη συστάδα είναι η μόνη που διαφοροποιείται σημαντικά ως προς την κατανομή των ανηγμένων πιέσεων όπως παρουσιάζονται στο σχήμα 3.15. Τα έργα που την αποτελούν παρουσιάζουν έντονη αύξηση των πιέσεων που προκαλούν στο σύστημα κατά τον μήνα Σεπτέμβριο. Αντίθετα με την μπλε συστάδα, όλες οι υπόλοιπες διακρίνονται από σχετική σταθερότητα. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθούμε στα μέγιστα που παρουσιάζουν. Για την πράσινη, την κόκκινη και την γαλάζια συστάδα, το μέγιστο φορτίο εντοπίζεται τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο και Οκτώβριο αντίστοιχα.

## **4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ**

### **4.1 Γενικά**

Στο παρόν κεφάλαιο αναπτύσσεται ένας μηχανισμός αξιολόγησης της διαδικασίας εκτίμησης του επιπέδου προτεραιότητας των αιτημάτων. Η σημαντικότητα της ορθής εκτίμησης του επιπέδου προτεραιότητας των αιτημάτων έχει αναλυθεί εκτενώς στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Η εκτίμηση της προτεραιότητας των αιτημάτων διακρίνεται σε εσωτερική και εξωτερική. Ως εξωτερική, ορίζεται η προτεραιότητα σύμφωνα με την εκτίμηση του δημιουργού του αιτήματος ο οποίος μπορεί είτε να είναι πελάτης (συμβάντα και υποστηρικτικά αιτήματα), είτε να είναι εργαζόμενος του ΤΤΥΠ ο οποίος ανήκει στην ομάδα πρόληψης (προληπτικά αιτήματα). Οι δύο διαφορετικές περιπτώσεις εξωτερικών εκτιμήσεων προτεραιότητας θα αξιολογηθούν ξεχωριστά στις υποενότητες 4.2.2 και 4.2.3. Η εσωτερική προτεραιότητα, δηλαδή ο τελικός καθορισμός του επιπέδου προτεραιότητας των αιτημάτων αποτελεί το σημείο αναφοράς στην αξιολόγηση των εκτιμήσεων. Υπενθυμίζουμε ότι η εσωτερική προτεραιότητα είναι η τελική προτεραιότητα που αποδίδεται στο εκάστοτε αίτημα από την ομάδα εξυπηρέτησης του ΤΤΥΠ.

Αναφορικά με τα προληπτικά αιτήματα που δημιουργούνται από υπαλλήλους του ΤΤΥΠ και συγκεκριμένα από την ομάδα πρόληψης, κρίθηκε σκόπιμο να αξιολογηθούν ανά βάρδια. Οι διαφορές μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής προτεραιότητας για τα προληπτικά αιτήματα έχουν ως γενεσιουργό αιτία το γεγονός ότι οι εργαζόμενοι που ανήκουν στην ομάδα πρόληψης, δεδομένου ότι ασχολούνται αποκλειστικά με την παρακολούθηση της «υγείας» των συστημάτων, δεν έχουν ολοκληρωμένη εικόνα για τα τρέχοντα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του φόρτου εργασίας της ομάδας εξυπηρέτησης με αποτέλεσμα να αξιολογούν συχνά τα αιτήματα ανεπιτυχώς. Επομένως, είναι σκόπιμο να αξιολογηθεί και αυτή η κατηγορία εκτιμήσεων προκειμένου το τμήμα να εντοπίσει τις επιμέρους αδυναμίες στην διαδικασία και να τις αντιμετωπίσει. Η αξιολόγηση της εκτίμησης της προτεραιότητας από τους πελάτες, πραγματοποιείται στην υποενότητα 4.2.2.

Το ΤΤΥΠ έχει διαπιστώσει ότι συχνά η εσωτερική και η εξωτερική αξιολόγηση των αιτημάτων διαφέρουν, πολλές φορές μάλιστα οι αποκλίσεις είναι μεγάλες. Το φαινόμενο αυτό είναι σημαντικό να τεθεί υπό διερεύνηση καθώς παρακωλύει την εύρυθμη λειτουργία του τμήματος. Συγκεκριμένα όσον αφορά τις αποκλίσεις μεταξύ πελατών και ΤΤΥΠ, η κατάσταση είναι ιδιαίτερα κρίσιμη καθώς το τμήμα συχνά καλείται να επικοινωνήσει με τους πελάτες προκειμένου να εξηγήσει τις τεχνικές παραμέτρους που ορίζουν τα επίπεδα προτεραιότητας εν μέσω διαδικασιών επίλυσης άλλων σοβαρότερων ζητημάτων και υψηλού φόρτου εργασιών. Η αξιολόγηση της εκτίμησης της προτεραιότητας από την ομάδα πρόληψης του ΤΤΥΠ, πραγματοποιείται στην υποενότητα 4.2.3. Οι μέθοδοι και οι τεχνικές που θα χρησιμοποιηθούν για τους παραπάνω σκοπούς περιγράφονται στην αμέσως επόμενη ενότητα.



## 4.2 Αξιολόγηση

### 4.2.1 Μεθοδολογία

Η ενδεδειγμένη απεικόνιση των δεδομένων που αφορούν τις εκτιμήσεις του επιπέδου προτεραιότητας των αιτημάτων, είναι η απεικόνιση σε μορφή πίνακα όπου τα στοιχεία του πίνακα  $f_{ij}$  % για  $i, j = 1, 2, \dots, 5$  εκφράζουν τις επί τοις εκατό σχετικές συχνότητες με τις οποίες παρουσιάζεται ο κάθε συνδυασμός εσωτερικής ( $i$ ) και εξωτερικής ( $j$ ) προτεραιότητας, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 4.1. Προς απλούστευση των συμβολισμών αντί για το  $f_{ij}$  % θα χρησιμοποιείται ο συμβολισμός  $\alpha_{ij}$ . Οι σχέσεις 4.1 και 4.2 περιγράφουν τον τρόπο υπολογισμού των στοιχείων του πίνακα 4.1 μέσω των στοιχείων του πίνακα 4.2.

$$v_{\cdot j} = \sum_{i=1}^5 v_{ij} \text{ για } j = 1, 2, \dots, 5 \quad (4.1)$$

$$\alpha_{ij} = 100 \frac{v_{ij}}{v_{\cdot j}} \% \text{ για } i, j = 1, 2, \dots, 5 \quad (4.2)$$

Πίνακας 4.1: Επί τοις εκατό σχετικές συχνότητες

<b>Εξωτερική</b> <b>Εσωτερική</b>	<b>Π 1</b>	<b>Π 2</b>	<b>Π 3</b>	<b>Π 4</b>	<b>Π 5</b>
<b>Π 1</b>	$\alpha_{11}$	$\alpha_{12}$	$\alpha_{13}$	$\alpha_{14}$	$\alpha_{15}$
<b>Π 2</b>	$\alpha_{21}$	$\alpha_{22}$	$\alpha_{23}$	$\alpha_{24}$	$\alpha_{25}$
<b>Π 3</b>	$\alpha_{31}$	$\alpha_{32}$	$\alpha_{33}$	$\alpha_{34}$	$\alpha_{35}$
<b>Π 4</b>	$\alpha_{41}$	$\alpha_{42}$	$\alpha_{43}$	$\alpha_{44}$	$\alpha_{45}$
<b>Π 5</b>	$\alpha_{51}$	$\alpha_{52}$	$\alpha_{53}$	$\alpha_{54}$	$\alpha_{55}$

Πίνακας 4.2: Συχνότητες

<b>Εξωτερική</b> <b>Εσωτερική</b>	<b>Π 1</b>	<b>Π 2</b>	<b>Π 3</b>	<b>Π 4</b>	<b>Π 5</b>
<b>Π 1</b>	$v_{11}$	$v_{12}$	$v_{13}$	$v_{14}$	$v_{15}$
<b>Π 2</b>	$v_{21}$	$v_{22}$	$v_{23}$	$v_{24}$	$v_{25}$
<b>Π 3</b>	$v_{31}$	$v_{32}$	$v_{33}$	$v_{34}$	$v_{35}$
<b>Π 4</b>	$v_{41}$	$v_{42}$	$v_{43}$	$v_{44}$	$v_{45}$
<b>Π 5</b>	$v_{51}$	$v_{52}$	$v_{53}$	$v_{54}$	$v_{55}$
<b>Άθροισμα Αιτημάτων</b>	$v_{\cdot 1}$	$v_{\cdot 2}$	$v_{\cdot 3}$	$v_{\cdot 4}$	$v_{\cdot 5}$

Προκειμένου να αποσαφηνίσουμε πλήρως την σημασία των στοιχείων των πινάκων 4.1 και 4.2 παρατίθεται η περιγραφή τους:

$v_{ij}$ : Είναι το πλήθος των αιτημάτων που εκτιμήθηκαν εξωτερικά ως προτεραιότητας  $j$  και εν συνεχεία καταχωρήθηκαν εσωτερικά ως προτεραιότητας  $i$ . Για  $v_{ij}$  όπου  $i = j$  η εξωτερική προτεραιότητα ήταν ορθή καθώς ταυτίζεται με την εσωτερική προτεραιότητα.

$v_{.j}$ : Είναι το πλήθος των αιτημάτων που εκτιμήθηκαν εξωτερικά ως προτεραιότητα  $j$ .

$a_{ij}$ : Είναι το ποσοστό των αιτημάτων που εκτιμήθηκαν εξωτερικά ως προτεραιότητας  $j$  και εν συνεχεία καταχωρήθηκαν εσωτερικά ως προτεραιότητας  $i$ .

Προκειμένου να αποσαφηνιστούν πλήρως όσα αναλύθηκαν μέχρι αυτό το σημείο, παρατίθενται δύο ενδεικτικοί πίνακες όπως αυτοί προέκυψαν για το σύνολο των αιτημάτων του έτους 2019. Προκειμένου να αποφευχθεί η συνεχής παράθεση των πινάκων συχνότητων, προσθέσαμε στον πίνακα 4.4 το άθροισμα των συχνότητων ως χρήσιμη πληροφορία.

Πίνακας 4.3: Συχνότητες για το σύνολο των αιτημάτων του έτους 2019

<b>Εξωτερική Εσωτερική</b>	<b>Π 1</b>	<b>Π 2</b>	<b>Π 3</b>	<b>Π 4</b>	<b>Π 5</b>
<b>Π 1</b>	104	5	0	3	0
<b>Π 2</b>	5	265	6	4	0
<b>Π 3</b>	37	87	3887	154	0
<b>Π 4</b>	9	6	584	16231	10
<b>Π 5</b>	0	0	5	77	280
<b>Άθροισμα Αιτημάτων</b>	155	363	4482	16469	290

Πίνακας 4.4: Επί τοις εκατό συχνότητες για το σύνολο των αιτημάτων του έτους 2019

<b>Εξωτερική Εσωτερική</b>	<b>Π 1</b>	<b>Π 2</b>	<b>Π 3</b>	<b>Π 4</b>	<b>Π 5</b>
<b>Π 1</b>	67.10%	1.38%	0.00%	0.02%	0.00%
<b>Π 2</b>	3.23%	73.00%	0.13%	0.02%	0.00%
<b>Π 3</b>	23.87%	23.97%	86.72%	0.94%	0.00%
<b>Π 4</b>	5.81%	1.65%	13.03%	98.55%	3.45%
<b>Π 5</b>	0.00%	0.00%	0.11%	0.47%	96.55%
<b>Άθροισμα Αιτημάτων</b>	155	363	4482	16469	290

Με σκοπό την βέλτιστη απεικόνιση των στοιχείων του πίνακα των επί τοις εκατό συχνοτήτων χρησιμοποιήθηκαν κλίμακες χρωμάτων. Συγκεκριμένα, για τα στοιχεία που ανήκουν στην κύρια διαγώνιο του πίνακα, δηλαδή όπου  $i = j$ , χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα του μπλε χρώματος. Όσο πιο υψηλό είναι το ποσοστό του κάθε στοιχείου της διαγωνίου, τόσο πιο έντονη είναι η απόχρωση του μπλε. Για τα στοιχεία κάτω και πάνω από την κύρια διαγώνιο, δηλαδή τις εσφαλμένες εκτιμήσεις όπου  $i \neq j$ , χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα του κόκκινου χρώματος. Όσο πιο υψηλό είναι το ποσοστό του κάθε στοιχείου πάνω και κάτω από την κύρια διαγώνιο, τόσο πιο έντονη είναι η απόχρωση του κόκκινου.

Σύμφωνα με τον πίνακα 4.4 προκύπτει ότι από τα 155 αιτήματα που εκτιμήθηκαν ως Π1 κατά την διαδικασία της εκτίμησης εξωτερικής προτεραιότητας, μόλις το 67.10% είχαν εκτιμηθεί σωστά. Ως «σωστή» εκτίμηση εξωτερικής προτεραιότητας, θεωρούμε την εκτίμηση που ταυτίζεται με την εκτίμηση της εσωτερικής προτεραιότητας για το εκάστοτε αίτημα. Αντιθέτως, το 5.81% ήταν επιπέδου Π4, το 23.87% ήταν επιπέδου Π3 και το 3.23% ήταν επιπέδου Π2. Ομοίως πραγματοποιείται η ανάγνωση των πινάκων για όλα τα επίπεδα εξωτερικής προτεραιότητας.

Οι πίνακες που παρουσιάσαμε εκφράζονται σε δύο διαστάσεις. Το γεγονός αυτό μας δημιουργεί κάποιες δυσκολίες όσον αφορά την αξιολόγηση των εκτιμήσεων των επιπέδων προτεραιότητας. Για τον λόγο αυτό σχεδιάστηκε μια μετρική μέθοδος που διευκολύνει την όλη διαδικασία μεταφέροντας την δισδιάστατη υπόσταση των πινάκων σε ένα μονόμετρο μέγεθος. Η μετρική αυτή ονομάστηκε «Δείκτης Αξιοπιστίας Εκτίμησης» (ΔΑΕ) και το πεδίο τιμών του σχεδιάστηκε να είναι το διάστημα  $[-1, 1]$ . Για τον σχεδιασμό του δείκτη διαμορφώθηκε ο πίνακας συντελεστών 4.5, ο οποίος επεξηγείται παρακάτω στο κείμενο, με την συνεισφορά του βοηθητικού πίνακα 4.6. Ο πίνακας 4.5 αποτελείται από 25 στοιχεία. Στην κύρια διαγώνιο βρίσκονται οι συντελεστές επιβράβευσης. Η μεγαλύτερη επιβράβευση βρίσκεται στην θέση  $(i = 1, j = 1)$  και ελαττώνεται σταδιακά μέχρι την θέση  $(i = 5, j = 5)$ . Τα στοιχεία άνω και κάτω της κύριας διαγωνίου του πίνακα αποτελούνται από τους συντελεστές ποινής. Τα στοιχεία είναι συμμετρικά ως προς την κύρια διαγώνιο. Ο υπολογισμός του ΔΑΕ είναι ο εξής:

$$\Delta AE = \frac{\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 a_{ij} \cdot c_{ij}}{\sum_{i=j} c_{ij}} \quad (4.3)$$

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναλυθεί το σκεπτικό της διαμόρφωσης του πίνακα 4.5. Οι συντελεστές επιβράβευσης, δηλαδή τα στοιχεία της κύριας διαγωνίου, φθίνουν όσο μειώνεται το εσωτερικό-πραγματικό επίπεδο προτεραιότητας, με το σκεπτικό ότι όσο πιο υψηλό είναι το επίπεδο προτεραιότητας, τόσο πιο σημαντικό είναι να υπάρχει ορθός χαρακτηρισμός μέσω της εξωτερικής προτεραιότητας, ώστε να δοθεί εξ αρχής η απαραίτητη προσοχή από την ομάδα εξυπηρέτησης.

Όσον αφορά τους συντελεστές ποινής που εντοπίζονται άνω και κάτω της κύριας διαγωνίου, έχει επιλεγεί η βαθμιαία αύξησή τους, όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής προτεραιότητας. Προκειμένου ο δείκτης αξιοπιστίας εκτίμησης να λαμβάνει τιμές στο πεδίο τιμών  $[-1,1]$ , μεριμνήσαμε το άθροισμα των στοιχείων της κύριας διαγωνίου ( $c_{11}+c_{22}+c_{33}+c_{44}+c_{55}=30$ ) να είναι ίσο με το άθροισμα των συντελεστών ποινής οι οποίοι απέχουν τις μέγιστες αποστάσεις από την κύρια διαγώνιο ( $c_{51}+c_{52}+c_{13}+c_{14}+c_{15}=-30$ ).

Αξίζει να σημειωθεί ότι ειδικά για την περίπτωση όπου η εξωτερική προτεραιότητα είναι επιπέδου Π3, η μέγιστη ποινή επιλέχθηκε να αποδοθεί στην θέση της μέγιστης υποτίμησης, δηλαδή στο στοιχείο  $c_{13}$  και όχι στην περίπτωση της μέγιστης υπερτίμησης, δηλαδή στο στοιχείο  $c_{53}$ , με το σκεπτικό ότι η υποτίμηση της προτεραιότητας κατά 2 επίπεδα προτεραιότητας έχει δυσμενέστερες επιπτώσεις από την υπερτίμηση της κατά 2 επίπεδα προτεραιότητας. Οι σχετικές αποφάσεις για την απόδοση των κατάλληλων τιμών στους συντελεστές επιβράβευσης και ποινής, προέκυψαν από αλληλεπίδραση με τον διευθυντή του ΤΤΥΠ, αξιοποιώντας την εμπειρία και τις γνώσεις του σχετικά με τα κρίσιμα χαρακτηριστικά της διαχείρισης των αιτημάτων.

Πίνακας 4.5: Πίνακας συντελεστών

<b>Εξωτερική Εσωτερική</b>	<b>Π 1</b>	<b>Π 2</b>	<b>Π 3</b>	<b>Π 4</b>	<b>Π 5</b>
<b>Π 1</b>	<b>10</b>	<b>-4</b>	<b>-5</b>	<b>-6</b>	<b>-7</b>
<b>Π 2</b>	<b>-4</b>	<b>8</b>	<b>-3</b>	<b>-4</b>	<b>-5</b>
<b>Π 3</b>	<b>-5</b>	<b>-3</b>	<b>6</b>	<b>-2</b>	<b>-4</b>
<b>Π 4</b>	<b>-6</b>	<b>-4</b>	<b>-2</b>	<b>4</b>	<b>-1</b>
<b>Π 5</b>	<b>-7</b>	<b>-5</b>	<b>-4</b>	<b>-1</b>	<b>2</b>

Πίνακας 4.6: Βοηθητικός πίνακας συντελεστών

<b>i \ j</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>c<sub>11</sub></b>	<b>c<sub>12</sub></b>	<b>c<sub>13</sub></b>	<b>c<sub>14</sub></b>	<b>c<sub>15</sub></b>
<b>2</b>	<b>c<sub>21</sub></b>	<b>c<sub>22</sub></b>	<b>c<sub>23</sub></b>	<b>c<sub>24</sub></b>	<b>c<sub>25</sub></b>
<b>3</b>	<b>c<sub>31</sub></b>	<b>c<sub>32</sub></b>	<b>c<sub>33</sub></b>	<b>c<sub>34</sub></b>	<b>c<sub>35</sub></b>
<b>4</b>	<b>c<sub>41</sub></b>	<b>c<sub>42</sub></b>	<b>c<sub>43</sub></b>	<b>c<sub>44</sub></b>	<b>c<sub>45</sub></b>
<b>5</b>	<b>c<sub>51</sub></b>	<b>c<sub>52</sub></b>	<b>c<sub>53</sub></b>	<b>c<sub>54</sub></b>	<b>c<sub>55</sub></b>

#### 4.2.2 Αξιολόγηση Εκτιμήσεων Ομάδας Πρόληψης

Η ομάδα πρόληψης, ούσα επιφορτισμένη με την ευθύνη της συνεχούς παρακολούθησης της «υγείας» των συστημάτων, συχνά δεν είναι σε θέση να προσαρμόσει την εκτίμηση της για το επίπεδο προτεραιότητας του εκάστοτε αιτήματος, καθώς δεν έχει την ολοκληρωμένη εικόνα του φόρτου εργασίας του τμήματος εξυπηρέτησης και των εν αναμονή αιτημάτων ανά πάσα στιγμή. Επιπλέον, ο διευθυντής του τμήματος έχει διαπιστώσει ότι η διαδικασία της εκτίμησης της προτεραιότητας υπόκειται στο φαινόμενο της υποκειμενικής κρίσης, με κάποιους εργαζόμενους της ομάδας πρόληψης να παρουσιάζουν συνέπεια ως προς την υπερεκτίμηση ή την υποτίμηση του επιπέδου προτεραιότητας. Η εφαρμογή της εμπειρικής μεθόδου που αναπτύξαμε στην υποενότητα 4.2.1 θα μας δώσει μια σαφέστερη εικόνα σχετικά με την αξιοπιστία της εκτίμησης της προτεραιότητας από τα μέλη της ομάδας πρόληψης.

Πίνακας 4.7: Αξιολόγηση εκτιμήσεων ομάδας πρόληψης  $\Delta AE=0.7$

<b>Εξωτερική</b> <b>Εσωτερική</b>	<b>Π 1</b>	<b>Π 2</b>	<b>Π 3</b>	<b>Π 4</b>	<b>Π 5</b>
<b>Π 1</b>	78.69%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>Π 2</b>	0.00%	57.14%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>Π 3</b>	13.11%	42.86%	90.20%	0.71%	0.00%
<b>Π 4</b>	8.20%	0.00%	9.68%	99.23%	3.57%
<b>Π 5</b>	0.00%	0.00%	0.12%	0.06%	96.43%
<b>Άθροισμα Αιτημάτων</b>	61	7	806	3395	56

Παρατηρούμε ότι οι εργαζόμενοι που ανήκουν στην ομάδα πρόληψης τείνουν να υπερεκτιμούν τα επίπεδα προτεραιότητας. Προκειμένου να επεκτείνουμε την ανάλυση μας, διαμορφώσαμε τους πίνακες Α.2, Α.3 και Α.4 που παρουσιάζονται στο παράρτημα των πινάκων. Οι πίνακες αυτοί προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων ξεχωριστά για κάθε βάρδια. Οι δείκτες αξιοπιστίας εκτίμησης για κάθε ξεχωριστή βάρδια της ομάδας εξυπηρέτησης παρατίθενται στον πίνακα 4.8. Από την ανάλυση προκύπτει ότι κατά την διάρκεια της 2<sup>ης</sup> βάρδιας επιτυγχάνεται ο χαμηλότερος δείκτης αξιοπιστίας των εκτιμήσεων.

Πίνακας 4.8: Αξιολόγηση εκτιμήσεων ομάδας πρόληψης ανά βάρδια

<b>Ομάδα Πρόληψης</b>		
06:00 - 14:00	1η Βάρδια	$\Delta AE = 0.8402$
14:00 - 22:00	2η Βάρδια	$\Delta AE = 0.5768$
22:00 - 06:00	3η Βάρδια	$\Delta AE = 0.8267$
Συνολικά		$\Delta AE = 0.7023$

### 4.2.3 Αξιολόγηση Εκτιμήσεων Πελατών

Εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία με αυτή του παρουσιάστηκε στην υποενότητα 4.2.1 θα αξιολογήσουμε τις εκτιμήσεις των πελατών, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των συμβάντων και των υποστηρικτικών αιτημάτων είτε συνολικά, είτε μεμονωμένα. Στον πίνακα 4.9 παρουσιάζονται οι επί τοις εκατό συχνότητες για τα συμβάντα και τα υποστηρικτικά αιτήματα που εισάγουν στο σύστημα οι πελάτες συνολικά. Από τον πίνακα 4.9 παρατηρούμε πολύ έντονη παρουσία εσφαλμένων εκτιμήσεων για τα αιτήματα που οι πελάτες χαρακτηρίζουν ως επιπέδου προτεραιότητας Π1 και Π2. Συγκεκριμένα για τα αιτήματα με εξωτερική προτεραιότητα Π1, περίπου το 30% εξ αυτών είναι επιπέδου προτεραιότητας Π3. Για τα αιτήματα με εξωτερική προτεραιότητα Π2 περίπου το 24% τελικά λαμβάνει τον χαρακτηρισμό Π3. Η σύγκλιση μεταξύ των πελατών και του ΤΤΥΠ όσον αφορά τα επίπεδο προτεραιότητας Π4 και Π5, είναι εντυπωσιακή. Ο δείκτης αξιοπιστίας των εκτιμήσεων υπολογίστηκε 0.6553.

Πίνακας 4.9: Αξιολόγηση εκτιμήσεων πελατών (συμβάντα-υποστηρικτικά) ΔΑΕ=0.65

<b>Εξωτερική</b> <b>Εσωτερική</b>	<b>Π 1</b>	<b>Π 2</b>	<b>Π 3</b>	<b>Π 4</b>	<b>Π 5</b>
<b>Π 1</b>	59.57%	1.40%	0.00%	0.02%	0.00%
<b>Π 2</b>	5.32%	73.31%	0.16%	0.03%	0.00%
<b>Π 3</b>	30.85%	23.60%	85.96%	0.99%	0.00%
<b>Π 4</b>	4.26%	1.69%	13.76%	98.38%	3.42%
<b>Π 5</b>	0.00%	0.00%	0.11%	0.57%	96.58%
<b>Άθροισμα Αιτημάτων</b>	94	356	3676	13074	234

Πίνακας 4.10: Αξιολόγηση εκτιμήσεων πελατών (συμβάντα) ΔΑΕ=0.63

<b>Εξωτερική</b> <b>Εσωτερική</b>	<b>Π 1</b>	<b>Π 2</b>	<b>Π 3</b>	<b>Π 4</b>	<b>Π 5</b>
<b>Π 1</b>	56.10%	1.67%	0.00%	0.03%	0.00%
<b>Π 2</b>	6.10%	72.58%	0.13%	0.04%	0.00%
<b>Π 3</b>	32.93%	24.75%	84.36%	1.19%	0.00%
<b>Π 4</b>	4.88%	1.00%	15.44%	98.26%	2.92%
<b>Π 5</b>	0.00%	0.00%	0.07%	0.47%	97.08%
<b>Άθροισμα Αιτημάτων</b>	82	299	3018	9964	171

Πίνακας 4.11: Αξιολόγηση εκτιμήσεων πελατών (υποστηρικτικά)  $\Delta AE=0.81$

<b>Εξωτερική</b> <b>Εσωτερική</b>	<b>Π 1</b>	<b>Π 2</b>	<b>Π 3</b>	<b>Π 4</b>	<b>Π 5</b>
<b>Π 1</b>	83.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>Π 2</b>	0.00%	77.19%	0.30%	0.00%	0.00%
<b>Π 3</b>	16.67%	17.54%	93.31%	0.35%	0.00%
<b>Π 4</b>	0.00%	5.26%	6.08%	98.75%	4.76%
<b>Π 5</b>	0.00%	0.00%	0.30%	0.90%	95.24%
<b>Άθροισμα Αιτημάτων</b>	12	57	658	3110	63

Οι πίνακες 4.10 και 4.11 μας βοηθούν να αναγνωρίσουμε τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των εκτιμήσεων που αφορούν τα συμβάντα και των εκτιμήσεων που αφορούν τα υποστηρικτικά αιτήματα. Με μια πρώτη ματιά παρατηρούμε ότι τα ποσοστά που αντιστοιχούν στα στοιχεία της κύριας διαγωνίου των αιτημάτων υποστηρικτικού είδους, είναι αρκετά πιο υψηλά, γεγονός που υποδηλώνει την μεγαλύτερη ακρίβεια στις εκτιμήσεις του επιπέδου προτεραιότητας από τους πελάτες στην περίπτωση των υποστηρικτικών αιτημάτων σε σχέση με τα συμβάντα. Όσον αφορά τους δείκτες αξιοπιστίας των εκτιμήσεων, για το είδος αιτήματος «συμβάν» είναι 0.6314 ενώ για το είδος αιτημάτων «υποστηρικτικό» είναι 0.8063. Η διαφοροποίηση αυτή ερμηνεύεται κυρίως από το την φύση των ζητημάτων που προκαλούν τα δύο διαφορετικά είδη αιτημάτων. Όπως έχουμε αναφέρει στο κεφάλαιο 2, τα υποστηρικτικά αιτήματα σπάνια έχουν χαρακτήρα κατεπείγοντος σε αντίθεση με τα συμβάντα όπου είναι ζητήματα που προκύπτουν ξαφνικά και προκαλούν κάποιου είδους ανησυχία στους πελάτες ακόμα και αν στην πραγματικότητα το πρόβλημα δεν χρήζει άμεσης επίλυσης. Ο δείκτης αξιοπιστίας των εκτιμήσεων των πελατών παρουσιάζεται στο παράρτημα Α στον πίνακα Α.5 ξεχωριστά για τα πρώτα 18 έργα, δηλαδή από το Ε 1 μέχρι και το Ε 18, ενώ τα έργα Ε 19 μέχρι και το Ε 45 έχουν συγχωνευτεί σε ένα έργο, λόγω του χαμηλού αριθμού αιτημάτων που εισήγαγαν στο σύστημα κατά το έτος 2019. Η ταξινόμηση των έργων στον πίνακα Α.5 έγινε από τον υψηλότερο δείκτη αξιοπιστίας προς τον χαμηλότερο. Από την κατάταξη των έργων σύμφωνα με τον  $\Delta AE$  την υψηλότερη αξιοπιστία έχει το έργο Ε 15 ( $\Delta AE \approx 0.97$ ) ενώ την χαμηλότερη αξιοπιστία την εντοπίζουμε στο έργο Ε 12 ( $\Delta AE \approx 0.29$ ). Η αξία της ύπαρξης του εν λόγω δείκτη έχει ιδιαίτερο πρακτικό ενδιαφέρον. Το ΤΤΥΠ έχοντας στην διάθεση του την παρούσα αξιολόγηση, μπορεί να οργανώσει μια συντεταγμένη προσπάθεια ενημέρωσης με σκοπό την ριζική διευθέτηση του προβλήματος των εσφαλμένων εκτιμήσεων. Οι πελάτες που διακρίνονται από χαμηλούς  $\Delta AE$  είναι απαραίτητο να βρίσκονται στο επίκεντρο αυτής της προσπάθειας ώστε μελλοντικά να μειωθούν οι αστοχίες των εκτιμήσεων τους.

## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΑΦΙΞΕΩΝ – ΔΙΕΚΠΕΡΑΙΩΣΕΩΝ

### 5.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο επιτελείται μια πολύπλευρη ανάλυση με σκοπό την κατανόηση των γεγονότων αφίξεων και διεκπεραιώσεων των αιτημάτων μέσα από μια διαδικασία διερεύνησης των στοχαστικών φαινομένων που διέπουν το σύστημα. Ορίζοντας τις κατάλληλες τυχαίες μεταβλητές με σκοπό την μαθηματική περιγραφή των γεγονότων αφίξεων-διεκπεραιώσεων και διατυπώνοντας παραδοχές με στόχο την δημιουργία ενός ικανοποιητικά όμοιου αλλά παράλληλα σημαντικά απλοποιημένου μοντέλου του πραγματικού συστήματος, το κεφάλαιο αυτό στοχεύει στην διεύρυνση των γνώσεών μας σχετικά με τις διαδικασίες του συστήματος και θεμελιώνει ενδεχόμενες μελλοντικές εφαρμογές μεθόδων προσομοίωσης.

#### 5.1.1 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθείται προκειμένου να αναλύσουμε τα γεγονότα αφίξεων και διεκπεραιώσεων των αιτημάτων αποτελείται από ένα σύνολο ενεργειών απεικόνισης των δεδομένων κυρίως με χρήση ιστογραμμάτων και χαρτών πιθανότητας, καθώς επίσης και από την επισκόπηση στοιχείων περιγραφικής στατιστικής με σκοπό την άντληση κρίσιμων πληροφοριών. Ο ορισμός των τυχαίων μεταβλητών πραγματοποιείται αφού πρώτα έχει προηγηθεί μια σειρά από διερευνητικές δοκιμές εναλλακτικών επιλογών διαμέρισης των δεδομένων οι οποίες παρουσιάζονται τμηματικά όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο καθώς η συνολική τους παρουσίαση δεν εξυπηρετεί τις ανάγκες της ανάλυσής μας.

Τα δεδομένα που αφορούν τις αφίξεις και τις εξυπηρετήσεις των αιτημάτων θεωρητικά αποτελούν το δείγμα του πληθυσμού για τον οποίο θέλουμε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με τα είδη των κατανομών που περιγράφουν μαθηματικά τις συχνότητες εμφάνισης των αιτημάτων, τους χρόνους μεταξύ των αφίξεων και τους χρόνους διεκπεραίωσης τους.

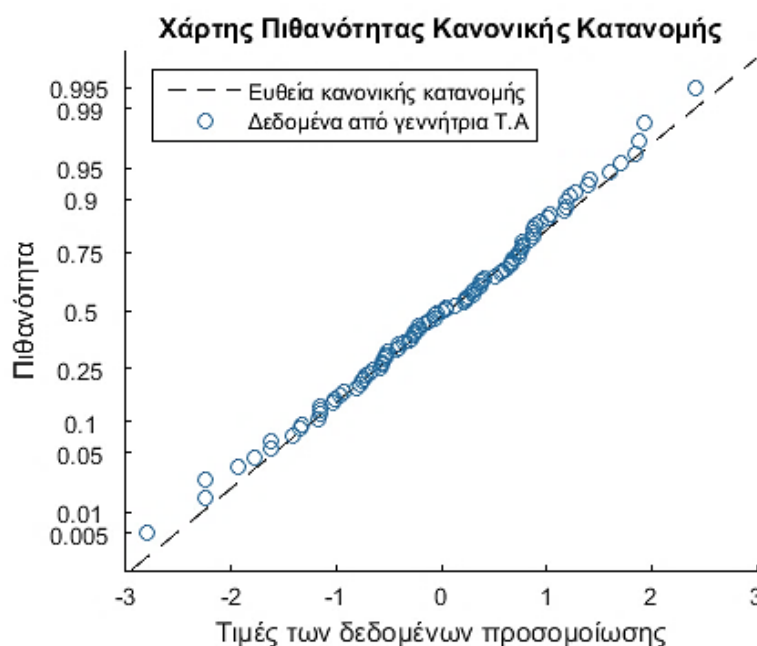
Σχετικά με τους χρόνους μεταξύ των αφίξεων άλλα και τους χρόνους διεκπεραίωσης, για την διευκόλυνση της διαχείρισης των δεδομένων, οι χρόνοι εκφράζονται σε λεπτά της ώρας και λαμβάνουν μόνο ακέραιες τιμές, καθώς η επίδραση των δευτερολέπτων στην ανάλυση μας είναι αμελητέα.

Το λογισμικό πρόγραμμα MATLAB αποτέλεσε το βασικό εργαλείο ανάλυσης για το παρόν κεφάλαιο, καθώς προσφέρει εύκολες και άμεσες λύσεις σχετικά με τον έλεγχο προσαρμογής της κατανομής. Συγκεκριμένα ένα σημαντικό εργαλείο μη παραμετρικής ανάλυσης που αξιοποιήθηκε προκειμένου να αξιολογηθεί προκαταρκτικά η προσαρμογή των εξεταζόμενων τυχαίων μεταβλητών σε κάποιες βασικές κατανομές συναρτήσεων μεταβλητών, ήταν η γραφική απεικόνιση του χάρτη πιθανότητας (Chambers, 1983) μέσω της εντολής *probplot(x)*. Η γραφική απεικόνιση του χάρτη πιθανότητας με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι μια



εξαιρετικά γρήγορη και άοκνη διαδικασία που προσφέρει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την προσαρμογή ενός συνόλου δειγματικών παρατηρήσεων σε κάποια συγκεκριμένη κατανομή πιθανοτήτων. Η επεξήγηση της συγκεκριμένης γραφικής μεθόδου υλοποιείται παρακάτω με την αξιοποίηση δεδομένων που παρήχθησαν με την χρήση γεννήτριας τυχαίων αριθμών του MATLAB. Συγκεκριμένα, δημιουργήσαμε 100 παρατηρήσεις μέσω της εντολής  $r = \text{normrnd}(0,1,[100,1])$  η οποία δημιουργεί δεδομένα που ακολουθούν την ανηγμένη κανονική κατανομή. Στην συνέχεια με την εντολή  $\text{probplot}('normal',r)$  δημιουργείται η γραφική απεικόνιση του χάρτη πιθανότητας για την κανονική κατανομή όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 5.1. Ο οριζόντιος άξονας του χάρτη πιθανοτήτων αποτελείται από τις τιμές των δεδομένων προσομοίωσης που δημιουργήσαμε μέσω της γεννήτριας τυχαίων αριθμών (με αριθμητική κλίμακα) ενώ ο κατακόρυφος άξονας αποτελείται από τις τιμές της αθροιστικής πιθανότητας της ανηγμένης κανονικής κατανομής σε μια ειδική κλίμακα που προκύπτει από την αντίστροφη συνάρτηση της κανονικής κατανομής.

Η σχεδόν ολοκληρωτική ταύτιση των παρατηρήσεων στην ευθεία διακεκομμένη γραμμή επιβεβαιώνει πως τα δεδομένα που παρήχθησαν από την γεννήτρια τυχαίων αριθμών, μπορούμε να υποθέσουμε με μεγάλη ασφάλεια ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή. Φυσικά η εγγύτητα των σημείων σε σχέση με την ευθεία διακεκομμένη γραμμή, ειδικά όταν πρόκειται για πραγματικά δεδομένα δεν είναι τόσο ικανοποιητική, γεγονός που γεννά την ανάγκη ελέγχου καλής προσαρμογής της κατανομής. Αξίζει να σημειωθεί ότι πέραν της κανονικής κατανομής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και άλλες κατανομές αναφοράς όπως τις συνεχείς κατανομές Weibull και την εκθετική, ενώ με μερικά επιπλέον βήματα μπορούμε να υλοποιήσουμε την ίδια μέθοδο και για διακριτές κατανομές συχνοτήτων.



Σχήμα 5.1: Χάρτης πιθανότητας κανονικής κατανομής για δεδομένα προσομοίωσης

Όσον αφορά τον έλεγχο καλής προσαρμογής της κατανομής για τις διάφορες τυχαίες μεταβλητές που μελετώνται στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι με την χρήση της μεθόδου ελέγχου  $X^2$  που δημιουργήθηκε από τον Karl Pearson το 1903 και στηρίζεται στην κατανομή  $X^2$ . Ουσιαστικά ο έλεγχος  $X^2$  είναι μια διαδικασία σύγκρισης μεταξύ της συχνότητας των τιμών ενός δείγματος χωρισμένου σε κλάσεις, με την αναμενόμενη συχνότητα των ίδιων κλάσεων σύμφωνα με την θεωρητική κατανομή που έχουμε υποθέσει για τον πληθυσμό, με στόχο την εξαγωγή στατιστικών συμπερασμάτων για ορισμένο επίπεδο σημαντικότητας. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω.

### Έλεγχος $X^2$

Αρχικά θέτουμε ως  $x_1, x_2, \dots, x_n$  τις  $n$  τιμές από έναν πληθυσμό που ακολουθεί άγνωστη σε εμάς κατανομή. Σχεδιάζουμε την κατανομή συχνοτήτων των δειγματικών τιμών για  $k$  κλάσεις με συχνότητες  $f_i$  για  $i = 1, 2, \dots, k$ . Εν συνεχεία διατυπώνουμε την υπόθεση την οποία επιθυμούμε να ελέγξουμε, σχετικά με την κατανομή συχνότητας που υποθέτουμε ότι ακολουθεί ο πληθυσμός. Έπειτα, δεδομένου ότι σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις ελέγχου καλής προσαρμογής κατανομής οι παράμετροι του πληθυσμού που μελετάμε είναι άγνωστες, αυτές πρέπει να εκτιμηθούν αξιοποιώντας τις τιμές του δείγματος. Αφού ολοκληρωθεί το στάδιο της εκτίμησης των παραμέτρων, υπολογίζουμε την  $p_i$  η οποία είναι η θεωρητική πιθανότητα, ανάλογα με την ελεγχόμενη κατανομή, να παρουσιαστεί μια τιμή στην κλάση  $i$  της κατανομής του πληθυσμού.

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_i - m_i)^2}{m_i} \quad (5.1)$$

Επομένως η συχνότητα των τιμών που θεωρητικά θα έπρεπε να περιλαμβάνονται στην κλάση  $i$  είναι ίση με  $m_i = np_i$  όπου  $n = f_1 + f_2 + \dots + f_k$ . Εφόσον η υπόθεση ότι ο πληθυσμός ακολουθεί κάποια συγκεκριμένη κατανομή ισχύει, αναμένεται οι διαφορές  $f_i - m_i$  μεταξύ των συχνοτήτων που παρατηρούμε από τις τιμές του δείγματος και των θεωρητικών συχνοτήτων που υπολογίστηκαν για κάθε κλάση, να μην είναι στατιστικά σημαντικές σε ορισμένο επίπεδο σημαντικότητας. Η μεταβλητή που ορίζεται στην σχέση 5.1, ακολουθεί κατανομή  $X^2$  με  $k-1-\lambda$  βαθμούς ελευθερίας όπου  $k$  είναι το πλήθος των κλάσεων και  $\lambda$  το πλήθος των άγνωστων παραμέτρων της κατανομής. Αν η υπολογισμένη τιμή  $X^2$  είναι μεγαλύτερη από την τιμή που εντοπίζουμε στους αντίστοιχους πίνακες για ορισμένο επίπεδο σημαντικότητας και βαθμούς ελευθερίας, τότε απορρίπτουμε την υπόθεση ο πληθυσμός να ακολουθεί την συγκεκριμένη κατανομή (Ψωινός, 1999).

Για τις ανάγκες της εργασίας, ο έλεγχος υποθέσεων  $X^2$ , όπου χρειάστηκε, υλοποιήθηκε με την χρήση της εντολής `[h,p,stats] = chi2gof(x,Name,Value)` του MATLAB. Η ανάλυση της

διαδικασίας του ελέγχου προσαρμογής με την χρήση του Excel, υπερβαίνει τους σκοπούς της εργασίας και έτσι η απευθείας παρουσίαση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων κρίνεται επαρκής.

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα προσομοίωσης που δημιουργήσαμε για να παρουσιάσουμε την γραφική μέθοδο του χάρτη πιθανότητας, παρακάτω χρησιμοποιείται ένα παράδειγμα εφαρμογής της συγκεκριμένης εντολής ώστε να καταστεί σαφής ο τρόπος εξαγωγής των πληροφοριών που αυτή μας παρέχει. Το πρόγραμμα MATLAB διαθέτει αντίστοιχες εντολές για τους ελέγχους καλής προσαρμογής Kolmogorov-Smirnov και Lilliefors με της εντολές *kstest(x)* και *lillietest(x)*.

Η εντολή για τον έλεγχο προσαρμογής  $X^2$  των δεδομένων που έχουμε δημιουργήσει στο διάνυσμα  $r$  στην κανονική κατανομή, σε επίπεδο σημαντικότητας έστω  $\alpha = 0.01$  είναι η  $[h,p,stats] = chi2gof(r,'alpha',0.01,'edges',[...])$ . Η εκτίμηση των άγνωστων παραμέτρων εκτελείται αυτόματα. Παρατηρούμε ότι στο όρισμα της εντολής δεν γίνεται αναφορά στην κανονική κατανομή, παρά μόνο στο διάνυσμα των δεδομένων και στο επίπεδο σημαντικότητας. Αυτό συμβαίνει διότι η κανονική κατανομή είναι η προεπιλεγμένη κατανομή ελέγχου προσαρμογής. Το πρόγραμμα εξάγει τα αποτελέσματα όπως φαίνονται παρακάτω:

- $h$  – Αποτέλεσμα ελέγχου υπόθεσης

Το  $h$  παίρνει είτε την τιμή 0 στην περίπτωση όπου δεν απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση  $H_0$ , δηλαδή ο πληθυσμός μας να ακολουθεί την κανονική κατανομή, είτε την τιμή 1 στην περίπτωση όπου η  $H_0$  απορρίπτεται. Για το παράδειγμα μας το αποτέλεσμα είναι  $h = 0$  επομένως δεν απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha = 0.01$ .

- $p$  – p-value

Το ελάχιστο επίπεδο σημαντικότητας για το οποίο απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση  $H_0$  για το παράδειγμα μας είναι  $p = 0.3775$ .

- $stats$  – Στοιχεία της διαδικασίας
  - $chi2stat$ : η τιμή της  $X^2$  όπου για το παράδειγμα μας είναι  $X^2 = 4.2162$
  - $df$ : οι βαθμοί ελευθερίας, όπου για το παράδειγμα μας είναι  $df = 4$
  - $edges$ : το διάνυσμα των ορίων των κλάσεων, όπου για το παράδειγμα μας είναι  $[-2.9443 \ -1.6397 \ -0.9875 \ -0.3352 \ 0.3171 \ 0.9693 \ 1.6216 \ 3.5784]$
  - $O$ : Το διάνυσμα του πλήθους των παρατηρήσεων του δείγματος για κάθε κλάση ( $f_i$ ) όπου για το παράδειγμα είναι  $f_i = [5 \ 14 \ 13 \ 25 \ 22 \ 14 \ 7]$
  - $E$ : Το διάνυσμα του πλήθους των θεωρητικών τιμών για κάθε κλάση ( $m_i$ ), όπου για το παράδειγμα μας είναι  $m_i = [6.4690 \ 10.4995 \ 17.7006 \ 21.9573 \ 20.0432 \ 13.4631 \ 9.8673]$

## **5.2 Γεγονότα Αφίξεων**

### **5.2.1 Στάδιο Διερεύνησης**

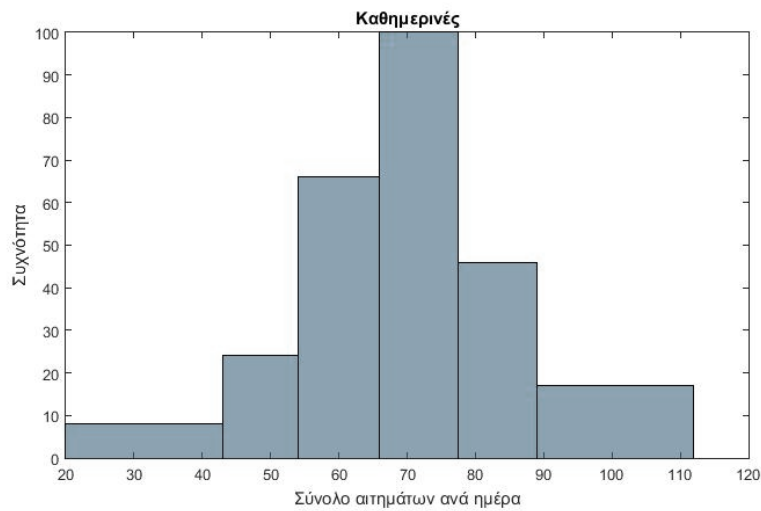
Παρά το γεγονός ότι η συνολική μοντελοποίηση του συστήματος παρουσιάζεται στην ενότητα 5.4, η έναρξη της δημιουργίας του μοντέλου σηματοδοτείται στην παρούσα ενότητα. Όπως έχει αναφερθεί επανειλημμένα, το σύστημα που βρίσκεται στο επίκεντρο της εργασίας, χαρακτηρίζεται από έντονη πολυπλοκότητα. Τα στοχαστικά φαινόμενα που χαρακτηρίζουν την είσοδο των αιτημάτων στο σύστημα είναι σημαντικό να αναγνωριστούν προκειμένου να αποδώσει η διαδικασία της δημιουργίας ισοδύναμων μοντέλων. Η φιλοσοφία πίσω από την προσέγγιση που ακολουθείται, είναι η κατά το δυνατόν αποδόμηση της πολυπλοκότητας του συστήματος. Φυσικά η μείωση της πολυπλοκότητας είναι συνυφασμένη με κάποιο κόστος όσον αφορά την ακρίβεια, το οποίο πρέπει να λαμβάνουμε υπόψιν. Έτσι, κάθε ενέργεια στην κατεύθυνση της άμβλυνσης της πολυπλοκότητας συνοδεύεται από ένα σκεπτικό αντιστάθμισης κόστους οφέλους μεταξύ της πιστότητας του μοντέλου στο πραγματικό σύστημα, και της ευελιξίας που μας προσφέρει η ενδεχόμενη απλοποίηση του συστήματος.

#### ***Παραδοχές***

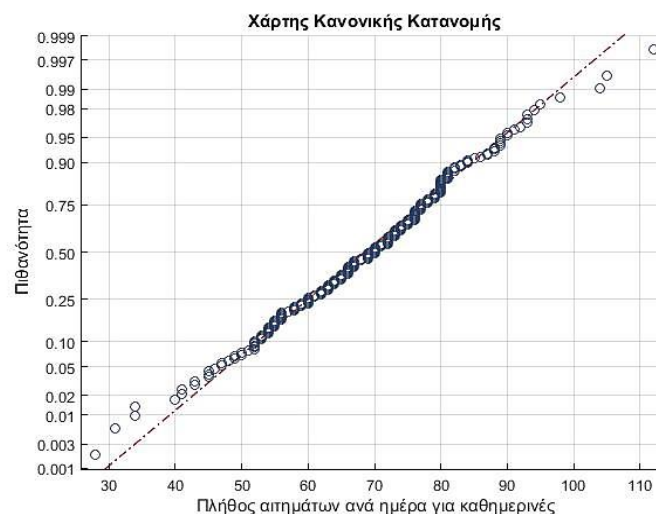
- Οι μεταβολές στο πλήθος των εισερχόμενων αιτημάτων για τις διαφορετικές ώρες της ημέρας δεν είναι σημαντικές και οφείλονται σε τυχαία γεγονότα. Η συγκεκριμένη παραδοχή είναι εν μέρει καταχρηστική σύμφωνα με το σχήμα 2.3, καθώς παρατηρούμε μια έντονη μείωση των συνολικών αιτημάτων κατά το χρονικό διάστημα που ξεκινάει λίγο μετά τα μεσάνυχτα και τελειώνει στις 10 το πρωί. Ωστόσο, δεδομένων των χαρακτηριστικών χρόνων που εκφράζουν την δυναμική του συστήματος, εκτιμάται ότι η παραδοχή αυτή δεν θα έχει σημαντική επίπτωση στην πιστότητα του μοντέλου.
- Οι μεταβολές στο πλήθος των εισερχόμενων αιτημάτων για τις ημέρες Δευτέρα μέχρι και Παρασκευή δεν είναι σημαντικές και οφείλονται σε τυχαία γεγονότα. Ομοίως, και για τις ημέρες Σάββατο και Κυριακή. Συνεπώς η μελέτη που αφορά τις αφίξεις που παρουσιάζονται τις καθημερινές θα γίνει ξεχωριστά από την μελέτη που αφορά τις αφίξεις που παρουσιάζονται τα σαββατοκύριακα. Η απόφαση της συγκεκριμένης διάκρισης των ημερών προκύπτει από την παρατήρηση του θηκογράμματος που παρουσιάζεται στο σχήμα 2.4.
- Οι μεταβολές στο πλήθος των εισερχόμενων αιτημάτων για κάθε διαφορετικό μήνα του έτους δεν είναι σημαντικές και οφείλονται σε τυχαία γεγονότα. Η παραδοχή διατυπώθηκε κατόπιν επισκόπησης του θηκογράμματος που παρουσιάζεται στο σχήμα 2.5.
- Τα αιτήματα ακολουθούν το ίδιο είδος κατανομής συχνότητας ανεξαρτήτως είδους και επιπέδου προτεραιότητας αλλά διαφοροποιούνται ως προς τις παραμέτρους κατανομής.
- Οι αφίξεις των αιτημάτων είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους.

## Καθημερινές

Αρχικά δημιουργήσαμε μια στήλη δεδομένων με το πλήθος των αιτημάτων που προέκυψαν για κάθε διαφορετική ημέρα του έτους, συμπεριλαμβάνοντας μόνο τις ημέρες από Δευτέρα έως και Παρασκευή. Έπειτα, αξιοποιώντας την εντολή `histogram(x,edges)` η οποία για την συγκεκριμένη περίπτωση γίνεται `histogram(kathimerines,[20,43,54,66,77.5,89,112])` όπου  $x$  είναι το διάνυσμα με τις παρατηρήσεις του δείγματος μας και `edges` το διάνυσμα των επιθυμητών ορίων των κλάσεων, δημιουργείται το ιστόγραμμα συχνοτήτων. Το ιστόγραμμα των συγκεκριμένων παρατηρήσεων παρουσιάζεται στο σχήμα 5.2 προκειμένου να δούμε αν η κατανομή των συχνοτήτων φαίνεται να ακολουθεί κάποια συγκεκριμένη γνωστή κατανομή. Παρατηρώντας το εξαγόμενο ιστόγραμμα μπορούμε αρχικά να υποθέσουμε ότι η συχνότητα των δεδομένων μας ακολουθεί την κανονική κατανομή. Την αρχική μας υπόθεση ενισχύει σημαντικά η απεικόνιση του χάρτη πιθανότητας στο σχήμα 5.3.



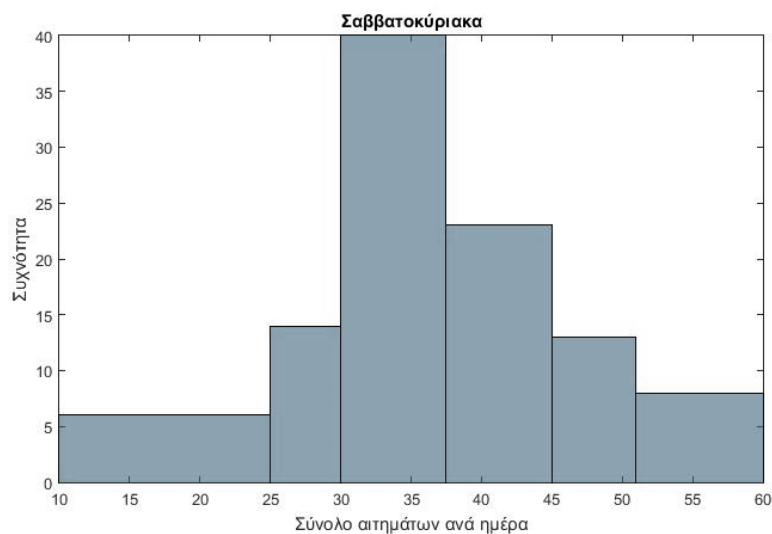
Σχήμα 5.2: Ιστόγραμμα συνόλου αιτημάτων ανά ημέρα για τις καθημερινές ( $n=261$ )



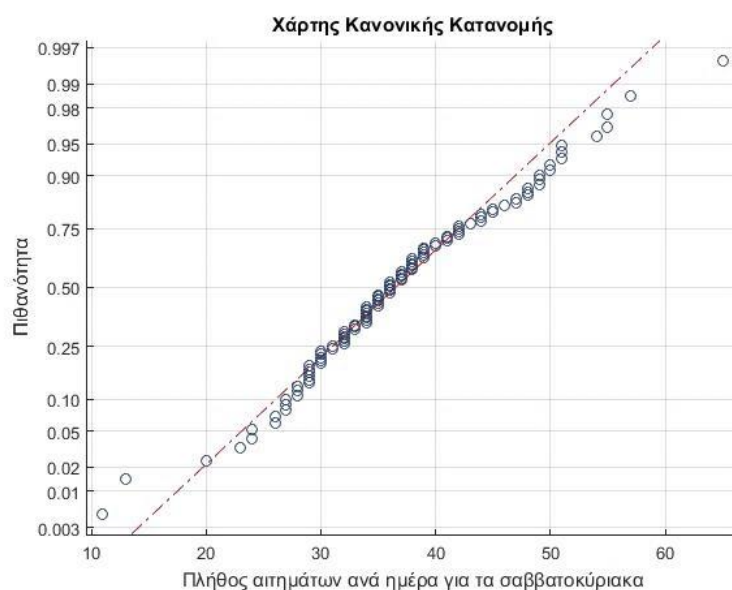
Σχήμα 5.3: Χάρτης πιθανότητας για πλήθος αιτημάτων ανά ημέρα για τις καθημερινές

## Σαββατοκύριακα

Ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που εργαστήκαμε για τις καθημερινές, αναλύουμε και τις ημέρες του Σαββατοκύριακου. Με χρήση της συνάρτησης `histogram(Sk, [10,25,30,37.5,45,51,60])` δημιουργούμε το ιστόγραμμα που παρουσιάζεται στο σχήμα 5.4 και παρατηρούμε ότι υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ομοιότητας με την κανονική κατανομή. Επεκτείνοντας την ανάλυση μας με την χρήση του χάρτη πιθανότητας που παρουσιάζεται στο σχήμα 5.5, διαπιστώνουμε πως οι αποστάσεις των παρατηρήσεων από την ευθεία της κανονικής κατανομής δημιουργούν την ανάγκη για περαιτέρω έλεγχο προκειμένου να αποφανθούμε εάν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το πλήθος των αιτημάτων ανά ημέρα για τις ημέρες Σάββατο και Κυριακή ακολουθεί την κανονική κατανομή.



Σχήμα 5.4: Ιστόγραμμα συνόλου αιτημάτων ανά ημέρα για τα σαββατοκύριακα ( $n=104$ )



Σχήμα 5.5: Χάρτης πιθανότητας για πλήθος αιτημάτων ανά ημέρα για τα σαββατοκύριακα

## 5.2.2 Έλεγχος Καλής Προσαρμογής $\chi^2$

Τα σχήματα 5.3 και 5.5 που απεικονίζουν τους χάρτες πιθανοτήτων, ενισχύουν περαιτέρω την απόφαση της υπόθεσης κανονικής κατανομής. Ωστόσο όπως έχουμε επισημάνει, ο χάρτης πιθανοτήτων δεν είναι δόκιμο να καθίσταται το αποκλειστικό κριτήριο απόφασης σχετικά με την ορθότητα της αρχικής υπόθεσης. Αντιθέτως, είναι απαραίτητο να πραγματοποιήσουμε τον έλεγχο κανονικής κατανομής  $\chi^2$  και να αξιολογήσουμε τα εξαγόμενα αποτελέσματα του ελέγχου, όπως το κρίσιμο μέγεθος p-value. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε την σημαντικότητα του μεγέθους p-value. Δεδομένου ότι επιθυμούμε να «προστατεύσουμε» την μηδενική υπόθεση από το να απορριφθεί όταν στην πραγματικότητα ισχύει, εφόσον μας ενδιαφέρει η κατά προσέγγιση ανίχνευση της κατανομής που ακολουθούν οι τυχαίες μεταβλητές μας, επιλέχθηκαν χαμηλές τιμές επιπέδου σημαντικότητας ( $\alpha = 0.01$ ) κατά την διάρκεια των ελέγχων καλής προσαρμογής. Παρόλα αυτά, όπως έχουμε πει, τα αποτελέσματα του ελέγχου καλής προσαρμογής στο MATLAB εξάγουν και το p-value, δηλαδή το ελάχιστο επίπεδο σημαντικότητας στο οποίο απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση. Σε περίπτωση που ο έλεγχος μας αποδώσει σχετικά υψηλό p-value σε σύγκριση με το επίπεδο σημαντικότητας που επιλέξαμε, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μη απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης είναι μια σχετικά ασφαλής επιλογή στο πλαίσιο των επιδιώξεων μας. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ελέγχων καλής προσαρμογής  $\chi^2$  ξεχωριστά για το πλήθος των αιτημάτων ανά ημέρα τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα με την βοήθεια του πίνακα 5.1 καθώς και η διατύπωση του ελέγχου της υπόθεσης.

Χρησιμοποιώντας εκ νέου την συνάρτηση *chi2gof* πραγματοποιείται ο έλεγχος καλής προσαρμογής ξεχωριστά για τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα. Ο διαχωρισμός των κλάσεων για τον έλεγχο επιλέχθηκε να είναι ίδιος με τον διαχωρισμό των κλάσεων όπως εμφανίζεται στα ιστογράμματα 5.2 και 5.4. Η υπόθεση διατυπώνεται ως εξής:

$$H_0 : \text{Πλήθος αιτημάτων} \sim N(\bar{x}, s^2)$$

$$H_1 : \text{Πλήθος αιτημάτων} \not\sim N(\bar{x}, s^2)$$

Πίνακας 5.1: Πίνακας αποτελεσμάτων ελέγχου  $\chi^2$

Αποτελέσματα Ελέγχου Καλής Προσαρμογής $\chi^2$								
Κανονική Κατανομή	$H_0$	$\chi^2$	$\kappa$	$\lambda$	B.E	$\alpha$	p-value	n
Καθημερινές	✓	5.1096	6	2	3	0.01	0.1639	261
Σαββατοκύριακα	✓	5.7944	6	2	3	0.01	0.1221	104

Από τον πίνακα 5.1 γίνεται σαφές ότι δεν υπάρχουν επαρκείς στατιστικές ενδείξεις ώστε να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση για τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα. Οι τιμές των p-values είναι αρκετά υψηλές, γεγονός που μας υποδεικνύει πως η απόφαση της μη απόρριψης της μηδενικής υπόθεσης είναι σχετικά ασφαλής.

### 5.2.3 Εκτίμηση Παραμέτρων Κατανομής

Εφόσον ο έλεγχος καλής προσαρμογής στην κανονική κατανομή κρίθηκε επιτυχής καθώς δεν απορρίφθηκαν οι μηδενικές υποθέσεις, μπορούμε να συνεχίσουμε εκτιμώντας τις παραμέτρους των κατανομών. Η συγκεκριμένη διαδικασία απλοποιείται σημαντικά με την χρήση της εντολής  $[muHat, sigmaHat, muCI, sigmaCI] = normfit(x, alpha)$ . Η συγκεκριμένη εντολή εξάγει ως αποτελέσματα την σημειακή εκτιμήτρια της μέσης τιμής του πληθυσμού  $\hat{\mu}$  και την εκτιμήτρια της τυπικής απόκλισης του πληθυσμού  $\hat{\sigma}$ . Επίσης εξάγει τα όρια των διαστημάτων εμπιστοσύνης των εκτιμήσεων  $100(1 - \alpha)\%$  για ορισμένο επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha$ . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με την βοήθεια του πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα εκτιμήσεων των παραμέτρων

Αποτελέσματα Ελέγχου Καλής Προσαρμογής $\chi^2$							
	Σημειακή Εκτιμήτρια	Διάστημα Εμπιστοσύνης		Σημειακή Εκτιμήτρια	Διάστημα Εμπιστοσύνης		(1- $\alpha$ )·100%
	Μέσης Τιμής	Κάτω Όριο	Άνω Όριο	Τυπικής Απόκλισης	Κάτω Όριο	Άνω Όριο	
Καθημερινές	68.6322	66.9821	70.2823	13.5378	12.4675	14.8107	95%
Σαββατοκύριακα	36.9231	35.1894	38.6567	8.9146	7.8458	10.3232	95%

Το πρόγραμμα, προκειμένου να υπολογίσει τις σημειακές εκτιμήτριες χρησιμοποιεί τις αμερόληπτες εκτιμήτριες που παρουσιάζονται στις σχέσεις 5.3 και 5.4 για την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση αντίστοιχα.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (5.3)$$

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (5.4)$$

### 5.2.4 Ορισμός Τυχαίων Μεταβλητών

Ο απώτερος σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να ορίσουμε τις κατάλληλες τυχαίες μεταβλητές οι οποίες θα αποτελέσουν την βάση των επικείμενων προσπαθειών προσομοίωσης του συστήματος. Δεδομένου του μεγάλου πλήθους έργων και της πληθώρας των αιτημάτων που αυτά δημιουργούν, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το μέγεθος του πληθυσμού (εν δυνάμει αιτημάτων) ως στοιχείο της διαδικασίας αφίξεων, μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά άπειρο. Με βάση την συγκεκριμένη παραδοχή, προκύπτει ότι ο ρυθμός νέων αφίξεων αιτημάτων στο σύστημα είναι ανεξάρτητος από τον αριθμό των αιτημάτων που βρίσκονται ήδη στο σύστημα (Ταγαράς, 2011). Έχοντας αποδεχτεί τις μηδενικές υποθέσεις των ελέγχων καλής προσαρμογής στην κανονική κατανομή, και έχοντας διατυπώσει την παραδοχή του άπειρου πληθυσμού, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι μέσοι ρυθμοί αφίξεων των αιτημάτων ανά ημέρα και εν συνεχεία ανά λεπτό είναι ίσοι με τις σημειακές εκτιμήτριες της μέσης τιμής όπως αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2.



Εφόσον θεωρήσαμε ότι το φαινόμενο των αφίξεων επαναλαμβάνεται τυχαία στον χρόνο με μέσο ρυθμό  $\lambda_{K\alpha\theta}$  και  $\lambda_{\Sigma K}$  για τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα αντίστοιχα, οι τυχαίες μεταβλητές καθορίζονται παρακάτω υποθέτοντας εκθετικές κατανομές για τους χρόνους μεταξύ αφίξεων των αιτημάτων, ενώ στο σχήμα 5.6 απεικονίζονται διαγραμματικά οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας:

### Καθημερινές

$$\lambda_{K\alpha\theta} = 68.63 \left[ \frac{\text{αιτήματα}}{\text{ημέρα}} \right] = 0.04765 \left[ \frac{\text{αιτήματα}}{\text{λεπτό}} \right]$$

$T_{K\alpha\theta}$  : το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών αφίξεων τις καθημερινές σε λεπτά

$$f_{T_{K\alpha\theta}}(t) = 0.04765e^{-0.04765t}, \quad t > 0 \quad (5.5)$$

Επομένως η τυχαία μεταβλητή  $T_{K\alpha\theta} \sim \text{Exp}(0.04765)$  έχει μέση τιμή και μεταβλητότητα:

$$E[T_{K\alpha\theta}] = 20.98 \text{ λεπτά}$$

$$\text{Var}[T_{K\alpha\theta}] = 440.16 \text{ λεπτά}^2$$

### Σαββατοκύριακα

$$\lambda_{\Sigma K} = 36.92 \left[ \frac{\text{αιτήματα}}{\text{ημέρα}} \right] = 0.02563 \left[ \frac{\text{αιτήματα}}{\text{λεπτό}} \right]$$

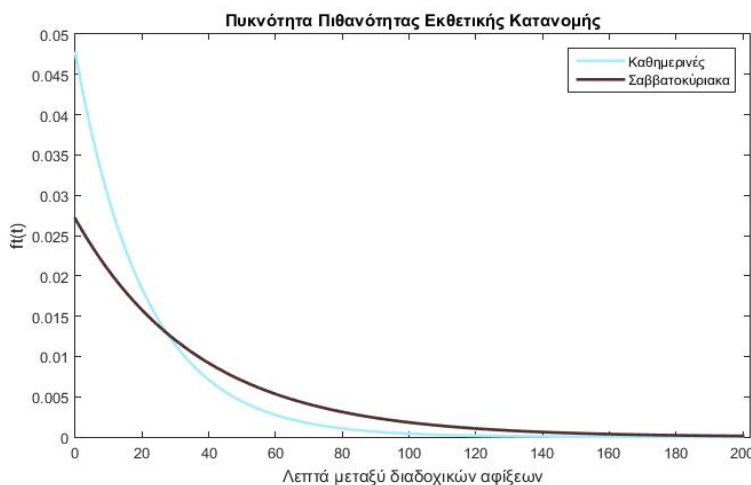
$T_{\Sigma K}$  : το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών αφίξεων τα σαββατοκύριακα σε λεπτά

$$f_{T_{\Sigma K}}(t) = 0.02563e^{-0.02563t}, \quad t > 0 \quad (5.6)$$

Επομένως η τυχαία μεταβλητή  $T_{\Sigma K} \sim \text{Exp}(0.02563)$  έχει μέση τιμή και μεταβλητότητα:

$$E[T_{\Sigma K}] = 39.01 \text{ λεπτά}$$

$$\text{Var}[T_{\Sigma K}] = 1522.3 \text{ λεπτά}^2$$



Σχήμα 5.6: Συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας για τις συνεχείς τυχαίες μεταβλητές  $T_{K\alpha\theta}$ ,  $T_{\Sigma K}$

## **5.3 Γεγονότα Διεκπεραιώσεων**

### **5.3.1 Στάδιο Διερεύνησης**

Η ανάλυση στο πλαίσιο της εργασίας υπόκειται σε κάποιους περιορισμούς ειδικά σε ότι αφορά την ανάλυση των γεγονότων αναχώρησης-διεκπεραίωσης των αιτημάτων από το σύστημα. Τα δεδομένα που διατέθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας δεν εμπεριέχουν επαρκή στοιχεία σχετικά με την πλήρη πορεία των αιτημάτων από την χρονική στιγμή της άφιξης μέχρι την χρονική στιγμή της επικύρωσης της ολοκλήρωσης της εξυπηρέτησης από τον εκάστοτε πελάτη. Συγκεκριμένα, αρκετά χρήσιμα χρονικά στοιχεία μας είναι παντελώς άγνωστα, όπως ο χρόνος αναμονής του εκάστοτε αιτήματος μέχρι να εκκινήσει η επίλυση του ή το χρονικό διάστημα κατά το οποίο έχει διακοπεί η διαδικασία επίλυσης καθώς μπορεί να έχει προκύψει κάποιο άλλο επείγον ζήτημα στο μεσοδιάστημα. Επιπλέον, η απουσία δεδομένων σχετικά με την δυναμικότητα σε εργατοώρες που αξιοποιήθηκε κατά την επίλυση του κάθε αιτήματος, καθιστά πρακτικά αδύνατο να υλοποιήσουμε έστω και κατά προσέγγιση την μέτρηση της εργασίας. Παρά τους προαναφερθέντες περιορισμούς, η αξιοποίηση των κρισιμότερων εκ των διαθέσιμων χρόνων διεκπεραίωσης μπορεί να αποτελέσει στέρεα βάση για την διαδικασία μοντελοποίησης και κατ' επέκταση για την προσομοίωση του συστήματος. Ο χρόνος διεκπεραίωσης έχει οριστεί ως μέγεθος στην παράγραφο 2.2.4(ii). Η διερεύνηση και εν συνεχεία η προσομοίωση των γεγονότων εξυπηρέτησης αποφασίστηκε να επικεντρωθεί σε 4 κρίσιμες κατηγορίες αιτημάτων (Συμβάντα Π1, Συμβάντα Π2, Συμβάντα Π3, Προληπτικά Π1 & Π2).

Σχετικά με την επιλογή της συμπερίληψης των συμβάντων προτεραιότητας Π1, Π2 και Π3 στην διαδικασία διερεύνησης, αυτή υπαγορεύτηκε από το γεγονός ότι η εταιρεία για το έτος ενδιαφέροντος της εργασίας μας, είχε θέσει ως στόχο στο ΤΤΥΠ, το μέσο σταθμικό ποσοστό ικανοποίησης των συγκεκριμένων αιτημάτων εντός των συμφωνηθέντων χρονικών ορίων, να είναι μεγαλύτερο ή ίσο του 90%. Εφόσον η εταιρεία ενδιαφέρεται για το συγκεκριμένο μέτρο απόδοσης, η διαδικασία της προσομοίωσης κρίθηκε σκόπιμο να προσεγγίσει το ποσοστό ικανοποίησης, συμπεριλαμβάνοντας αποκλειστικά τα πρώτα 3 επίπεδα προτεραιότητας των συμβάντων και αγνοώντας τα υπόλοιπα.

Όσον αφορά τα προληπτικά αιτήματα Π1 & Π2, κρίθηκε σκόπιμο να συμπεριληφθούν στην ανάλυση και εν συνεχεία να προσομοιωθούν προκειμένου να συγκριθούν με τα πραγματικά δεδομένα. Ο λόγος που καθιστά τα συγκεκριμένα αιτήματα κρίσιμα είναι ότι αφορούν σοβαρά ζητήματα που πρέπει να επιλυθούν άμεσα και αποτελούν ένα σημαντικό κριτήριο απόδοσης του τμήματος παρά το γεγονός ότι δεν υπόκεινται σε χρονικούς περιορισμούς διμερών συμφωνιών. Η συγχώνευση των προληπτικών αιτημάτων Π1 και Π2 σε μία κατηγορία είναι

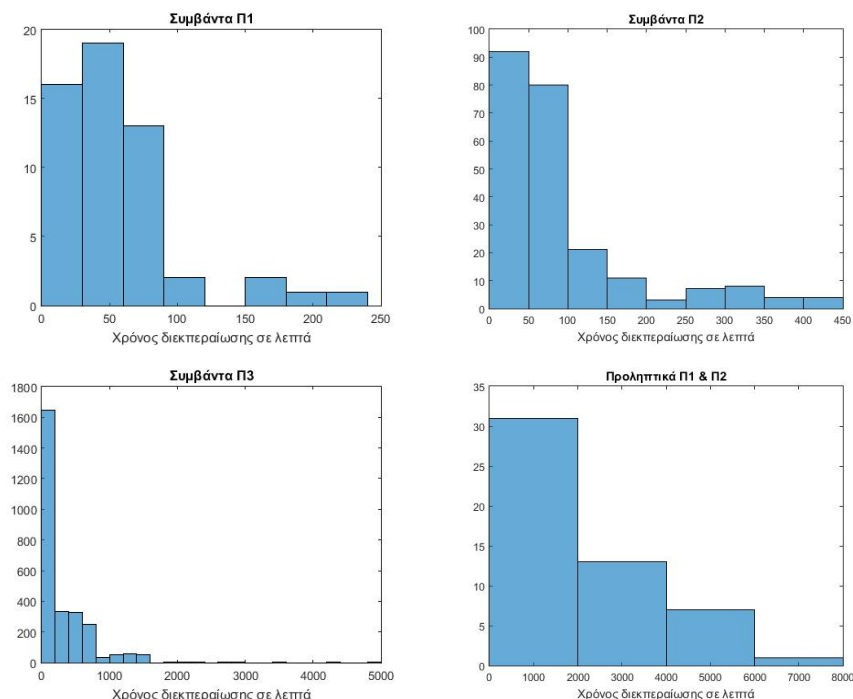
επιβεβλημένη καθώς στην συντριπτική τους πλειοψηφία τα προληπτικά αιτήματα Π1 και Π2 αντιμετωπίζονται με παρόμοιο τρόπο από το τμήμα.

Δεδομένου ότι η αντικειμενική μας επιδίωξη με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, είναι να δημιουργήσουμε ένα μοντέλο του συστήματος που να ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στην πραγματικότητα και ταυτόχρονα να αμβλύνει την πολυπλοκότητα του συστήματος προκειμένου να διευκολύνει την εξαγωγή συμπερασμάτων, αποφασίστηκε η διατύπωση παραδοχών που εξυπηρετούν τους σκοπούς μας.

### Παραδοχές

- Οι χρόνοι διεκπεραίωσης είναι ανεξάρτητοι από την χρονική στιγμή άφιξης των αιτημάτων.
- Οι χρόνοι διεκπεραίωσης για τα συμβάντα διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με το επίπεδο προτεραιότητας (Π1, Π2, Π3).
- Οι χρόνοι εξυπηρέτησης για τα συμβάντα για κάθε διαφορετικό επίπεδο προτεραιότητας δεν εξαρτώνται από τους χρονικούς περιορισμούς των διμερών συμβάσεων.
- Οι χρόνοι διεκπεραίωσης για τα προληπτικά αιτήματα των επιπέδων προτεραιότητας Π1 και Π2 δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, επομένως μπορούν να αναλυθούν ως μια ενιαία κατηγορία αιτημάτων.

Προκειμένου να αποκτήσουμε μια πρώτη εικόνα σχετικά με την κατανομή των χρόνων διεκπεραίωσης των κατηγοριών αιτημάτων που διακρίναμε προηγουμένως, στο σχήμα 5.7 απεικονίζονται ενδεικτικά τα αντίστοιχα ιστογράμματα.



Σχήμα 5.7: Διερευνητική απεικόνιση ιστογραμμάτων των χρόνων διεκπεραίωσης

### 5.3.2 Έλεγχος Καλής Προσαρμογής $\chi^2$

Έχοντας αναλύσει εκτενώς την διαδικασία του ελέγχου καλής προσαρμογής, στην παρούσα υποενότητα θα παρουσιαστούν απευθείας τα αποτελέσματα των ελέγχων. Τα ιστογράμματα του σχήματος 5.7 υποδηλώνουν ότι πιθανότατα οι τυχαίες μεταβλητές που μας ενδιαφέρει να καθορίσουμε, ακολουθούν την εκθετική κατανομή.

Χρησιμοποιώντας εκ νέου την συνάρτηση *chi2gof* πραγματοποιείται ο έλεγχος καλής προσαρμογής ξεχωριστά για την κάθε μια από τις τέσσερις κατηγορίες αιτημάτων που διακρίναμε. Ο διαχωρισμός των κλάσεων για τον έλεγχο ταυτίζεται με τον διαχωρισμό των κλάσεων στα ιστογράμματα που παρουσιάζονται στο σχήμα 5.8. Η υπόθεση διατυπώνεται ως εξής:

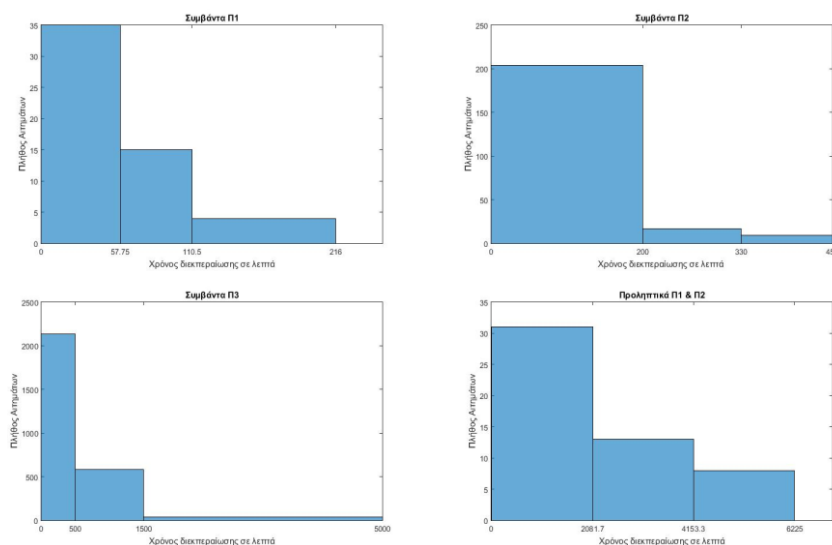
$$H_0 : \text{Χρόνος διεκπεραίωσης} \sim \text{Exp}(\hat{\lambda})$$

$$H_1 : \text{Χρόνος διεκπεραίωσης} \neq \text{Exp}(\hat{\lambda})$$

Πίνακας 5.3: Πίνακας αποτελεσμάτων ελέγχου  $\chi^2$

Αποτελέσματα Ελέγχου Καλής Προσαρμογής $\chi^2$									
Εκθετική Κατανομή	$H_0$	$\chi^2$	κ	λ	B.E	α	p-value	Παράμετρος λ	n
Συμβάντα Π1	✓	2.4760	3	1	1	0.01	0.1156	0.018	54
Συμβάντα Π2	✓	1.9764	3	1	1	0.01	0.1598	0.0112	230
Συμβάντα Π3	✓	2.9367	3	1	1	0.01	0.0866	0.003	2766
Προληπτικά Π1 & Π2	✓	1.0860	3	1	1	0.01	0.2974	5.17E-04	52

Η μη απόρριψη των ελέγχων με 1 βαθμό ελευθερίας προκαλεί κάποιους εύλογους προβληματισμούς. Οι προσπάθειες ελέγχου με περισσότερους βαθμούς ελευθερίας απέτυχαν, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη αρκετών ακραίων τιμών. Η αντιμετώπιση του συγκεκριμένου ζητήματος απαιτεί την επιπλέον αποσύνθεση των κατηγοριών των αιτημάτων.



Σχήμα 5.8: Ιστογράμματα χρόνων διεκπεραίωσης

### 5.3.3 Ορισμός Τυχαίων Μεταβλητών

Στην παρούσα υποενότητα καθορίζονται οι τυχαίες μεταβλητές που αφορούν τους χρόνους διεκπεραίωσης των αιτημάτων για τις 4 κατηγορίες που διακρίναμε.

#### **Συμβάντα Π1**

$T_{\Sigma\Pi_1}$  : ο χρόνος διεκπεραίωσης ενός αιτήματος συμβάντος επιπέδου προτεραιότητας Π1

$$f_{T_{\Sigma\Pi_1}}(t) = 0.018e^{-0.018t}, \quad t > 0 \quad (5.7)$$

Επομένως η τυχαία μεταβλητή  $T_{\Sigma\Pi_1} \sim \text{Exp}(0.018)$  έχει μέση τιμή και μεταβλητότητα:

$$E[T_{\Sigma\Pi_1}] = 55.55 \text{ λεπτά}$$

$$\text{Var}[T_{\Sigma\Pi_1}] = 3086.41 \text{ λεπτά}^2$$

#### **Συμβάντα Π2**

$T_{\Sigma\Pi_2}$  : ο χρόνος διεκπεραίωσης ενός αιτήματος συμβάντος επιπέδου προτεραιότητας Π2

$$f_{T_{\Sigma\Pi_2}}(t) = 0.0112e^{-0.0112t}, \quad t > 0 \quad (5.8)$$

Επομένως η τυχαία μεταβλητή  $T_{\Sigma\Pi_2} \sim \text{Exp}(0.0112)$  έχει μέση τιμή και μεταβλητότητα:

$$E[T_{\Sigma\Pi_2}] = 89.28 \text{ λεπτά}$$

$$\text{Var}[T_{\Sigma\Pi_2}] = 7971.93 \text{ λεπτά}^2$$

#### **Συμβάντα Π3**

$T_{\Sigma\Pi_3}$  : ο χρόνος διεκπεραίωσης ενός αιτήματος συμβάντος επιπέδου προτεραιότητας Π3

$$f_{T_{\Sigma\Pi_3}}(t) = 0.003e^{-0.003t}, \quad t > 0 \quad (5.9)$$

Επομένως η τυχαία μεταβλητή  $T_{\Sigma\Pi_3} \sim \text{Exp}(0.003)$  έχει μέση τιμή και μεταβλητότητα:

$$E[T_{\Sigma\Pi_3}] = 333.33 \text{ λεπτά}$$

$$\text{Var}[T_{\Sigma\Pi_3}] = 111111.11 \text{ λεπτά}^2$$

#### **Προληπτικά Π1 & Π2**

$T_{\Pi\Pi_1|2}$  : ο χρόνος διεκπεραίωσης ενός προληπτικού αιτήματος επιπέδου Π1 & Π2

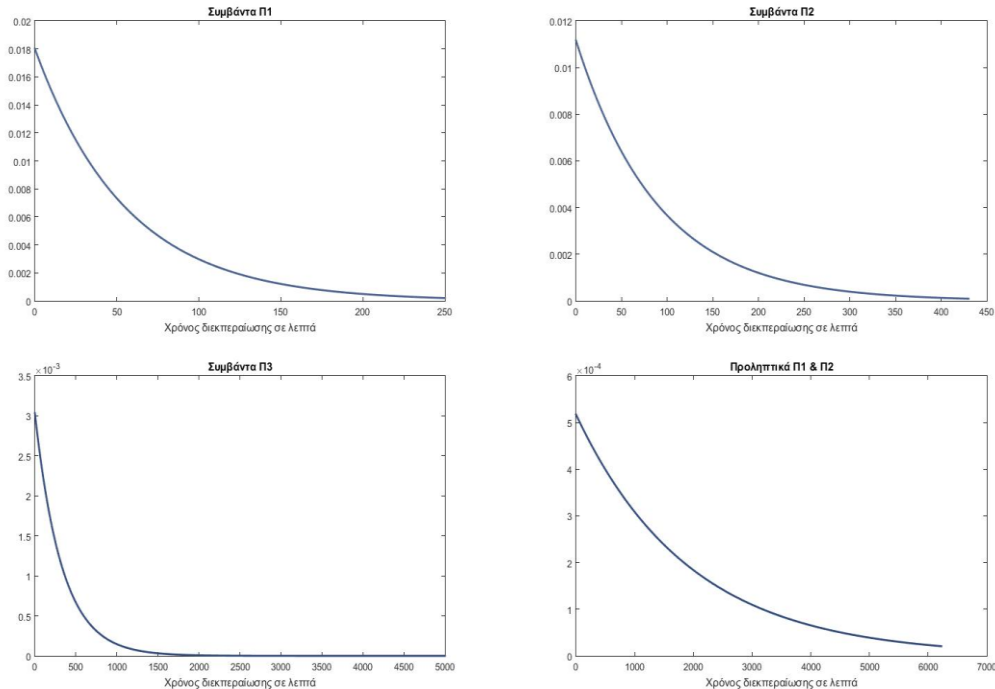
$$f_{T_{\Pi\Pi_1|2}}(t) = 0.00051723e^{-0.00051723t}, \quad t > 0 \quad (5.10)$$

Επομένως η τυχαία μεταβλητή  $T_{\Pi\Pi_1|2} \sim \text{Exp}(0.00051723)$  έχει μέση τιμή και μεταβλητότητα:

$$E[T_{\Pi\Pi_1|2}] = 1933.37 \text{ λεπτά}$$

$$\text{Var}[T_{\Pi\Pi_1|2}] = 3737942.24 \text{ λεπτά}^2$$

Το σχήμα 5.9 απεικονίζει τις συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας των χρόνων διεκπεραίωσης για τις 4 κατηγορίες αιτημάτων που διαμορφώσαμε. Οι συγκεκριμένες τυχαίες μεταβλητές θα ενισχύσουν το εγχείρημα της προσομοίωσης, παρέχοντας σημαντικές διευκολύνσεις στην διαδικασία παραγωγής των κατάλληλων τυχαίων αριθμών.



Σχήμα 5.9: Συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας των χρόνων διεκπεραίωσης

## 5.4 Προσομοίωση Γεγονότων

Προκειμένου να αξιολογήσουμε την αποτελεσματικότητα της μοντελοποίησης των γεγονότων άφιξης και διεκπεραίωσης των αιτημάτων, στην παρούσα ενότητα προβαίνουμε στην υλοποίηση της προσομοίωσης των γεγονότων άφιξης και διεκπεραίωσης για χρονικό ορίζοντα ενός έτους και 100 επαναλήψεις. Προτού παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, είναι απαραίτητο να παρατεθούν οι υπό συνθήκη πιθανότητες που αφορούν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των αιτημάτων, καθώς επίσης και να αναλυθεί η μεθοδολογία κατάστρωσης του μοντέλου στο λογισμικό πακέτο Excel. Η επιλογή να υλοποιηθεί η προσομοίωση στο συγκεκριμένο πρόγραμμα σχετίζεται με την ευελιξία που παρέχει στον χρήστη καθώς επίσης και με την διαφάνεια που προσφέρει σχετικά με τις λειτουργίες που συνθέτουν τον μηχανισμό της προσομοίωσης. Φυσικά, η επιλογή αυτή συνεπάγεται επιπλέον κόπο και χρόνο ενώ ενέχει αρκετούς κινδύνους πρόκλησης σφαλμάτων τα οποία είναι κατά κανόνα δύσκολο να εντοπιστούν. Το προσομοιωτικό πρότυπο που διαμορφώσαμε είναι δυναμικό, στοχαστικό και διακριτού χρόνου (λόγω στρογγυλοποιήσεων). Όσον αφορά την ροή του χρόνου της προσομοίωσης, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ο μηχανισμός επόμενου γεγονότος (next-event time advance). Ο μηχανισμός αυτός καθορίζει την χρονική στιγμή του επόμενου γεγονότος και μεταβαίνει σε αυτήν προσπερνώντας τον ενδιάμεσο χρόνο που

χαρακτηρίζεται από απουσία γεγονότων. Προτού αναπτύξουμε σε πλήρες εύρος την μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την υλοποίηση της προσομοίωσης, είναι σκόπιμο να αναφερθούμε σε κάποιες σημαντικές παραδοχές που επηρεάζουν την διαδικασία. Αρχικά θεωρήσαμε ότι η πιθανότητα ένα τυχαίο γεγονός άφιξης, να χαρακτηρίζεται από κάποιο συγκεκριμένο είδος (προληπτικό, συμβάν, υποστηρικτικό) ακολουθεί την εμπειρική κατανομή πιθανότητας που εναρμονίζεται με την επί τοις εκατό σχετική συχνότητα εμφάνισης του συγκεκριμένου είδους αιτημάτων κατά το έτος 2019 και παρουσιάζεται στον πίνακα 5.4. Όπως είναι εμφανές από τον πίνακα, οι κατανομές διαφέρουν σημαντικά μεταξύ καθημερινών και σαββατοκύριακων γεγονότων που είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψιν. Η ανάγνωση του πίνακα παρατίθεται με την βοήθεια ενός παραδείγματος, πχ. η πιθανότητα ένα νέο αίτημα που εισήχθη στο σύστημα να είναι προληπτικό, υπό την συνθήκη ότι η ημέρα εισόδου του είναι καθημερινή, είναι 18%.

*Πίνακας 5.4: Πιθανότητα για κάθε αίτημα να είναι συγκεκριμένου είδους*

	Καθημερινές	Σαββατοκύριακο
P(είδος=Προληπτικό)	18.00%	28.63%
P(είδος=Συμβάν)	61.56%	65.16%
P(είδος=Υποστηρικτικό)	20.44%	6.21%

Ο χαρακτηρισμός των νέων αιτημάτων μέσω πιθανοτητικών σχέσεων επεκτάθηκε και στο επίπεδο προτεραιότητας με αντίστοιχο τρόπο. Στην περίπτωση των επιπέδων προτεραιότητας ακολουθήθηκε η εναρμόνιση των πιθανοτήτων με τις επί τοις εκατό συχνότητες εμφάνισης των εκάστοτε αιτημάτων. Η ανάγνωση του πίνακα 5.5 παρατίθεται με την βοήθεια ενός παραδείγματος, πχ. η πιθανότητα ένα αίτημα να είναι επιπέδου προτεραιότητας Π3, δεδομένου ότι εισήχθη Σάββατο και είναι είδους «προληπτικό» είναι 19.71%.

*Πίνακας 5.5: Πιθανότητα για κάθε αίτημα να είναι συγκεκριμένου είδους προτεραιότητας*

Καθημερινές	P(επ.πρωτ=Π 1)	P(επ.πρωτ=Π 2)	P(επ.πρωτ=Π 3)	P(επ.πρωτ=Π 4)	P(επ.πρωτ=Π 5)
Προληπτικό	1.18%	0.09%	16.90%	80.46%	1.36%
Συμβάν	0.41%	1.60%	19.14%	77.11%	1.74%
Υποστηρικτικό	0.27%	1.15%	15.21%	80.96%	2.40%
Σαββατοκύριακο	P(επ.πρωτ=Π 1)	P(επ.πρωτ=Π 2)	P(επ.πρωτ=Π 3)	P(επ.πρωτ=Π 4)	P(επ.πρωτ=Π 5)
Προληπτικό	0.91%	0.09%	19.71%	78.11%	1.18%
Συμβάν	0.36%	2.15%	26.14%	70.43%	0.92%
Υποστηρικτικό	0.00%	1.67%	33.47%	64.02%	0.84%

Επίσης για τις ανάγκες της προσομοίωσης, κρίθηκε απαραίτητο να καθοριστούν τα κατάλληλα χρονικά όρια των συμφωνιών επιπέδου εξυπηρέτησης για τα 3 πρώτα επίπεδα προτεραιότητας συμβάντων (Π1, Π2, Π3). Τα χρονικά όρια είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό του ποσοστού ικανοποίησης των αιτημάτων, ο οποίος όπως έχει ήδη αναφερθεί αφορά μόνο τα συμβάντα Π1, Π2, Π3. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ως

χρονικό όριο για κάθε μια από τις 3 κατηγορίες αιτημάτων που αναφέραμε, ο μέσο όρος των ορίων που προέκυψαν στην πράξη το έτος 2019. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών των μέσων όρων των ορίων παρουσιάζονται στον πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6: Χρονικά όρια εξυπηρέτησης των αιτημάτων

	Χρονικό Όριο (λεπτά)
Συμβάν Π1	120
Συμβάν Π2	227
Συμβάν Π3	870

Έχοντας διαμορφώσει πλήρως τον θεωρητικό μηχανισμό παραγωγής των τυχαίων γεγονότων μπορούμε να μεταβούμε στην φάση του προγραμματισμού του προτύπου. Η κεντρική ιδέα της προσομοίωσης που υλοποιήσαμε είναι η προσέγγιση της πραγματικότητας μέσω ενός προτύπου που παράγει στοχαστικά γεγονότα τα οποία σε μέλλοντα χρόνο μπορούν να προσεγγιστούν βαθύτερα και αναλυτικότερα προκειμένου να επεκταθεί η ανάλυση στο πεδίο της βελτιστοποίησης και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για το σύστημα.

### Προγραμματισμός Προτύπου

- 1) Η πρώτη στήλη αποτελείται από τις ημερομηνίες των αφίξεων. Ως ημερομηνία εκκίνησης της προσομοίωσης ορίστηκε η 01-01-2019 και ώρα 00:00. Η επόμενη ημερομηνία ορίζεται προσθέτοντας στην προηγούμενη, τον χρόνο μεταξύ των αφίξεων όπως ορίζεται στο (2).
- 2) Δημιουργήθηκαν δύο στήλες στις οποίες παράγονται οι τυχαίοι αριθμοί που εκφράζουν τα λεπτά μεταξύ διαδοχικών αφίξεων  $T_{καθ} \sim \text{Exp}(0.04765)$  και  $T_{σκ} \sim \text{Exp}(0.02563)$  για τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα αντίστοιχα. Δεδομένου ότι η τυχαίες μεταβλητές που ορίσαμε ακολουθούν την εκθετική κατανομή (συνεχής), χρησιμοποιήθηκε συνάρτηση στρογγυλοποίησης ώστε να μεταβούμε στο διακριτό πεδίου του χρόνου. Η ενδεχόμενη ταυτόχρονη άφιξη αιτημάτων δεν προκαλεί προβληματισμό καθώς κάτι τέτοιο είναι πιθανό να συμβεί στην πράξη. Επίσης, η ακρίβεια της τάξης του λεπτού της ώρας είναι επαρκής.
- 3) Μια τρίτη στήλη αποτελείται από το κατάλληλο χρονικό διάστημα μεταξύ αφίξεων που αποδίδεται μέσω μιας λογικής συνάρτησης ανάλογα με την ημέρα άφιξης του αιτήματος.
- 4) Σύμφωνα με τις πιθανότητες που παρουσιάζονται στους πίνακες 5.4 και 5.5, χαρακτηρίζονται τα αιτήματα ως προς το είδος και το επίπεδο προτεραιότητας τους.
- 5) Δημιουργήθηκαν 4 στήλες, μια για κάθε συνδυασμό είδους αιτήματος και επιπέδου προτεραιότητας (Συμβάν Π1, Συμβάν Π2, Συμβάν Π3, Προληπτικό Π1 & Π2). Εκεί παρήχθησαν οι κατάλληλοι τυχαίοι αριθμοί που εκφράζουν τους χρόνους εξυπηρέτησης ( $T_{\Sigma\Pi1} \sim \text{Exp}(0.018)$ ,  $T_{\Sigma\Pi2} \sim \text{Exp}(0.0112)$ ,  $T_{\Sigma\Pi3} \sim \text{Exp}(0.003)$ ,  $T_{\Pi\Pi1|2} \sim \text{Exp}(0.00051723)$ ). Μέσω της χρήσης λογικών συναρτήσεων IF διαμορφώθηκε μια νέα στήλη με τους τελικούς χρόνους διεκπεραίωσης του εκάστοτε αιτήματος.



Οι πίνακες 5.7 και 5.8 παρουσιάζουν ενδεικτικά των τρόπων με τον οποίο παράγονται τα δεδομένα της προσομοίωσης. Αξίζει να αναφερθεί ότι για την υλοποίηση της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκαν πολλές βοηθητικές στήλες υπολογιστικών συναρτήσεων, που δεν κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν εκτενώς. Στον πίνακα Α.6 εμπεριέχονται τα κρίσιμα μεγέθη που προέκυψαν από τις 100 επαναλήψεις της προσομοίωσης. Με γνώμονα την βέλτιστη οργάνωση της εργασίας επιλέχθηκε η διαγραμματική απεικόνιση τους (σχήματα 5.10, 5.11, Β.5, Β.6, Β.7, Β.8).

*Πίνακας 5.7: Ενδεικτικό φύλλο δεδομένων προσομοίωσης για όλα τα είδη αιτημάτων*

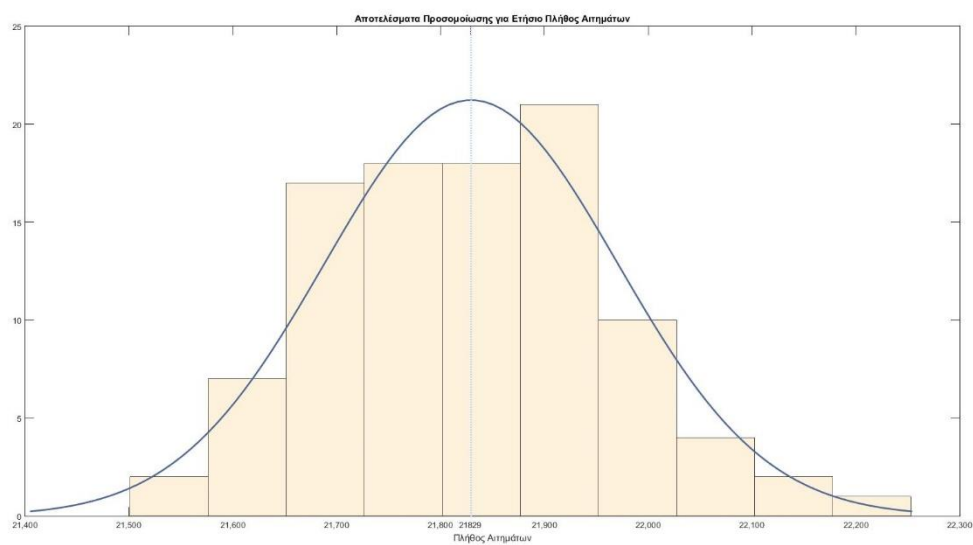
Άνοιγμα Αιτήματος	Λεπτά	Ημέρα	Μήνας	Είδος Αιτήματος	Επίπεδο Προτεραιότητας	Κωδικός
01-01-19 00:00	19	Τρίτη	Ιανουάριος	Υποστηρικτικό	Π3	ΥΠ3
01-01-19 01:17	77	Τρίτη	Ιανουάριος	Συμβάν	Π4	ΣΠ4
01-01-19 01:46	29	Τρίτη	Ιανουάριος	Συμβάν	Π4	ΣΠ4
01-01-19 02:06	20	Τρίτη	Ιανουάριος	Προληπτικό	Π4	ΠΠ4
01-01-19 02:18	12	Τρίτη	Ιανουάριος	Συμβάν	Π4	ΣΠ4
01-01-19 02:20	2	Τρίτη	Ιανουάριος	Υποστηρικτικό	Π5	ΥΠ5
01-01-19 02:49	29	Τρίτη	Ιανουάριος	Προληπτικό	Π4	ΠΠ4
01-01-19 02:53	4	Τρίτη	Ιανουάριος	Υποστηρικτικό	Π4	ΥΠ4
01-01-19 03:14	21	Τρίτη	Ιανουάριος	Συμβάν	Π4	ΣΠ4
01-01-19 03:16	2	Τρίτη	Ιανουάριος	Συμβάν	Π4	ΣΠ4
01-01-19 03:30	14	Τρίτη	Ιανουάριος	Προληπτικό	Π3	ΠΠ3
01-01-19 03:33	3	Τρίτη	Ιανουάριος	Υποστηρικτικό	Π4	ΥΠ4
01-01-19 03:59	26	Τρίτη	Ιανουάριος	Συμβάν	Π4	ΣΠ4
01-01-19 04:50	51	Τρίτη	Ιανουάριος	Συμβάν	Π4	ΣΠ4
01-01-19 05:20	30	Τρίτη	Ιανουάριος	Συμβάν	Π4	ΣΠ4
01-01-19 05:36	16	Τρίτη	Ιανουάριος	Συμβάν	Π4	ΣΠ4
01-01-19 06:05	29	Τρίτη	Ιανουάριος	Συμβάν	Π4	ΣΠ4
01-01-19 06:24	19	Τρίτη	Ιανουάριος	Συμβάν	Π4	ΣΠ4
01-01-19 06:42	18	Τρίτη	Ιανουάριος	Συμβάν	Π4	ΣΠ4

*Πίνακας 5.8: Ενδεικτικό φύλλο δεδομένων προσομοίωσης για συμβάντα επιπέδου προτεραιότητας Π1, Π2, Π3.*

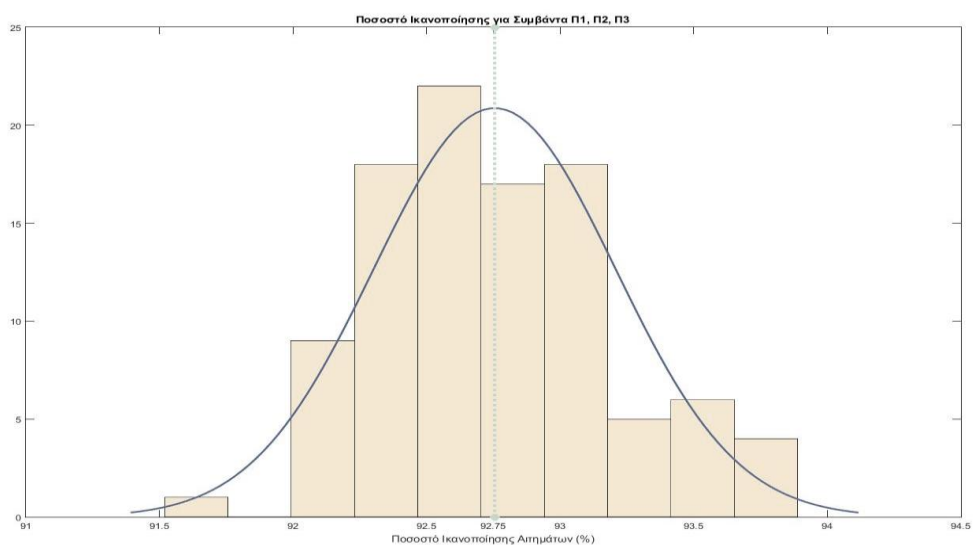
Άνοιγμα Αιτήματος	Είδος Αιτήματος	Κωδικός	Χρόνος Διεκπεραίωσης	Χρονικό Όριο	Ικανοποίηση Χρ. Ορίου
01-01-19 09:32	Συμβάν	ΣΠ3	152	870	✓
01-01-19 12:18	Συμβάν	ΣΠ3	71	870	✓
01-01-19 16:00	Συμβάν	ΣΠ3	1552	870	✗
01-01-19 16:24	Συμβάν	ΣΠ3	247	870	✓
01-01-19 19:42	Συμβάν	ΣΠ2	593	227	✗
01-01-19 21:22	Συμβάν	ΣΠ3	135	870	✓
02-01-19 00:55	Συμβάν	ΣΠ3	324	870	✓
02-01-19 01:15	Συμβάν	ΣΠ3	547	870	✓
02-01-19 03:48	Συμβάν	ΣΠ3	472	870	✓
02-01-19 04:03	Συμβάν	ΣΠ3	278	870	✓
02-01-19 06:24	Συμβάν	ΣΠ3	430	870	✓
02-01-19 09:13	Συμβάν	ΣΠ3	42	870	✓
02-01-19 09:54	Συμβάν	ΣΠ3	428	870	✓
02-01-19 13:48	Συμβάν	ΣΠ3	753	870	✓
02-01-19 18:20	Συμβάν	ΣΠ3	363	870	✓
03-01-19 11:56	Συμβάν	ΣΠ3	214	870	✓
03-01-19 12:54	Συμβάν	ΣΠ3	481	870	✓
03-01-19 13:53	Συμβάν	ΣΠ3	11	870	✓
03-01-19 17:39	Συμβάν	ΣΠ3	662	870	✓

Κατόπιν υλοποίησης 100 επαναλήψεων προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος, κρίθηκε σκόπιμο να αναλυθούν συνοπτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

Στο σχήμα 5.10 είναι εμφανές ότι η μέση τιμή του πλήθους των αιτημάτων για τις 100 επαναλήψεις, είναι 21829 αιτήματα ετησίως. Η μέση τιμή προσεγγίζει πολύ ικανοποιητικά το πλήθος των αιτημάτων που εισήλθαν πράγματι στο σύστημα το έτος 2019 γεγονός που υποδεικνύει ότι η διαδικασία παραγωγής τυχαίων αριθμών μπορεί να θεωρηθεί επιτυχής ως προς το σκέλος του συνόλου των αιτημάτων. Τέλος το εύρος των τιμών που παρατηρήθηκαν βρίσκεται σε λογικά πλαίσια σύμφωνα με την εμπειρία των στελεχών του ΤΤΥΠ.



Σχήμα 5.10: Ιστόγραμμα συχνοτήτων του ετήσιου πλήθους των αιτημάτων (προσομοίωση)



Σχήμα 5.11: Ιστόγραμμα συχνοτήτων του ποσοστού ικανοποίησης των συμβάντων Π1, Π2, Π3

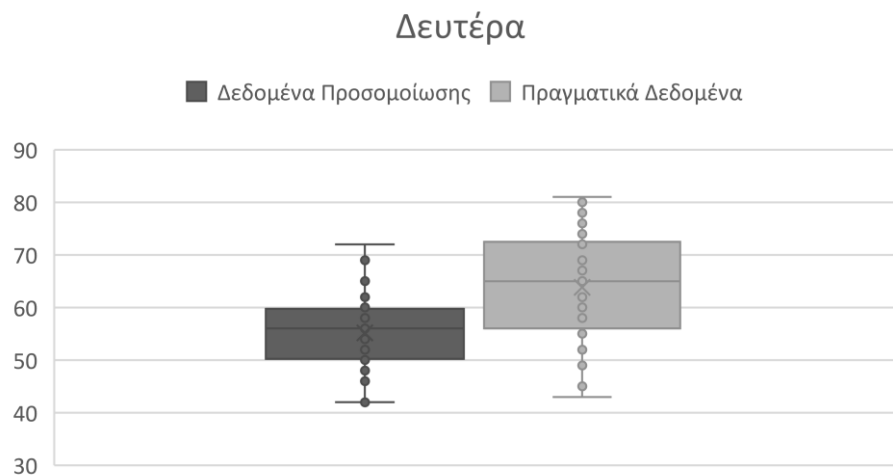
Το ιστόγραμμα 5.11 αφορά το ετήσιο ποσοστό ικανοποίησης των αιτημάτων όπως το έχουμε ήδη ορίσει. Υπενθυμίζουμε ότι ο στόχος που το τμήμα καλείται να επιτύχει είναι το ποσοστό ικανοποίησης να είναι μεγαλύτερο από 90% για τα συμβάντα προτεραιότητας Π1, Π2, Π3. Το τμήμα για το έτος 2019, πέτυχε ποσοστό ικανοποίησης 92.49%, ενώ για το ίδιο μέγεθος η μέση τιμή που προέκυψε από τις 100 επαναλήψεις της προσομοίωσης είναι 92.75%.

Επίσης αξίζει να αναφερθεί ότι σε καμία από τις 100 επαναλήψεις δεν παρατηρήθηκε ποσοστό ικανοποίησης μικρότερο του 91%. Δεδομένου ότι έχουμε εισαγάγει στον υπολογισμό του ποσοστού ικανοποίησης τα χρονικά όρια διεκπεραίωσης κατά προσέγγιση, δεν είναι ιδιαίτερα ασφαλές να εξαγάγουμε συμπεράσματα σχετικά με την βεβαιότητα επίτευξης του στόχου.

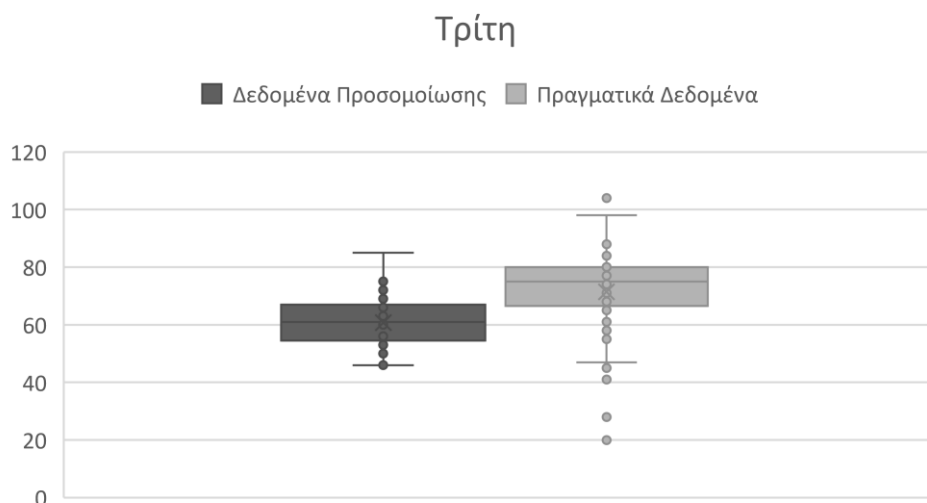
Στο σημείο αυτό γίνεται μια ενδοσκόπηση σχετικά με ένα βασικό ποιοτικό χαρακτηριστικό της διαδικασίας της προσομοίωσης. Συγκεκριμένα, μας ενδιαφέρει να εξετάσουμε κατά πόσο οι παραδοχές αλλά και γενικότερα ο τρόπος με τον οποίο ορίσαμε τις τυχαίες μεταβλητές και προγραμματίσαμε την προσομοίωση, παράγουν αποτελέσματα που ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στην πραγματικότητα. Για τον σκοπό αυτό απεικονίσαμε τα θηκογράμματα (σχήμα 5.12 μέχρι 5.18) για κάθε διαφορετική ημέρα της εβδομάδας και συγκρίναμε τα πραγματικά δεδομένα με τα δεδομένα που προέκυψαν από μια ξεχωριστή εκτέλεση του προγράμματος προσομοίωσης που έγινε ειδικά για τον σκοπό αυτό.

Μέσω της παρατήρησης των θηκογραμμάτων διαπιστώνεται ότι τις καθημερινές, με εξαίρεση την Δευτέρα, η διασπορά των πραγματικών δεδομένων που εκφράζουν το πλήθος των ημερήσιων αιτημάτων είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την διασπορά των αντίστοιχων δεδομένων που παρήχθησαν από την προσομοίωση. Όσον αφορά τα μέτρα θέσης των κατανομών, διαπιστώνεται εύκολα ότι η προσομοίωση παράγει κατά μέσο όρο μικρότερο πλήθος αιτημάτων ανά ημέρα, για τις καθημερινές, ενώ το φαινόμενο αντιστρέφεται κατά τις ημέρες του σαββατοκύριακου, με την Κυριακή να παρουσιάζει τις σημαντικότερες αποκλίσεις.

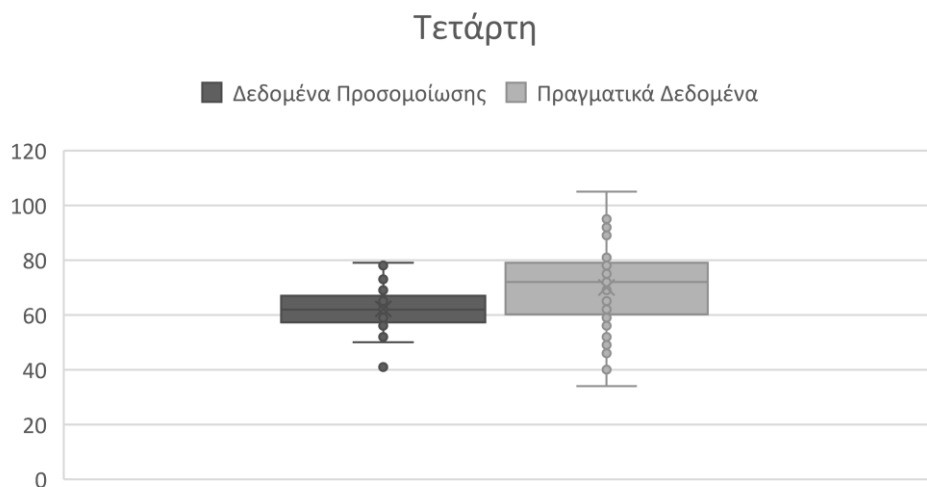
Η γενεσιουργός αιτία των αποκλίσεων των μέτρων θέσης (μέση τιμή και διάμεσος) μεταξύ των πραγματικών δεδομένων και των δεδομένων της προσομοίωσης, εντοπίζεται στην 2<sup>η</sup> κατά σειρά παραδοχή, η οποία διατυπώθηκε κατά το στάδιο της διερεύνησης των γεγονότων. Η συγκεκριμένη παραδοχή εδράζεται στην θεώρηση ότι οι ημέρες Δευτέρα, Τρίτη, Τετάρτη, Πέμπτη και Παρασκευή δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους όσον αφορά τα συνολικά αιτήματα ανά ημέρα, ενώ η ίδια παραδοχή διατυπώθηκε και για τις ημέρες Σάββατο και Κυριακή. Παρατηρώντας το σχήμα 2.4 είναι πρόδηλο ότι η παραδοχή αυτή αποκλίνει από την πραγματικότητα. Ωστόσο η εναλλακτική προσέγγιση, δηλαδή η επιλογή του καθορισμού τυχαίων μεταβλητών για κάθε διαφορετική μέρα, θα προσέθετε επιπλέον πολυπλοκότητα στην ανάλυση, η οποία δεδομένων των στοχεύσεων της εργασίας, θα δημιουργούσε περισσότερα προβλήματα από αυτά που δύναται να θεραπεύσει.



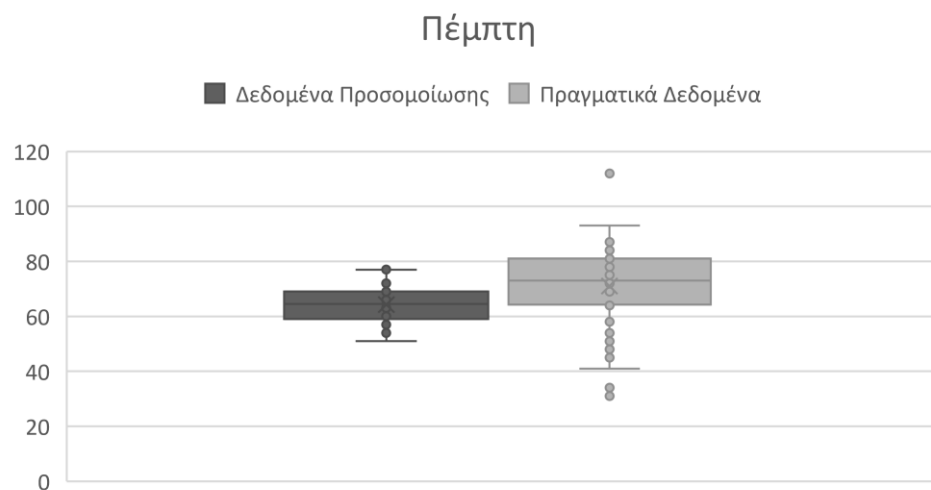
Σχήμα 5.12: Συγκριτικά θηκογράμματα απεικόνισης κατανομών των αιτημάτων για τις Δευτέρες



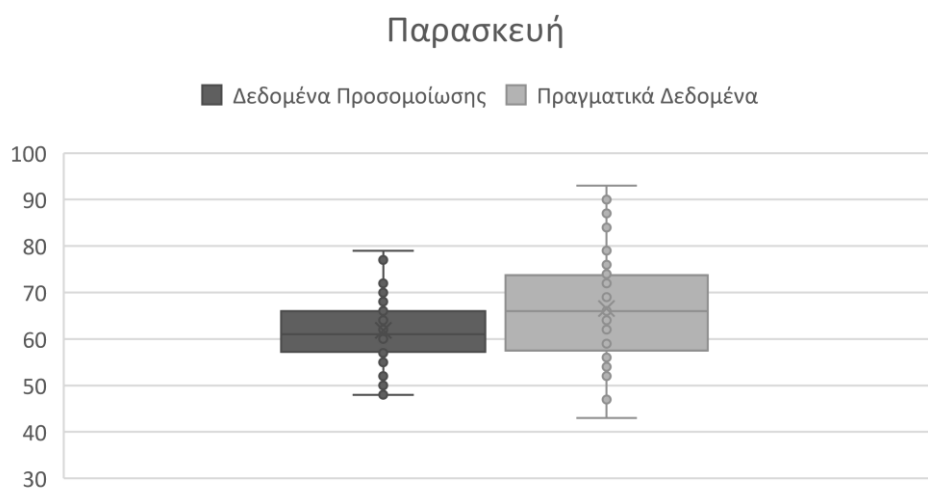
Σχήμα 5.13: Συγκριτικά θηκογράμματα απεικόνισης κατανομών των αιτημάτων για τις Τρίτες



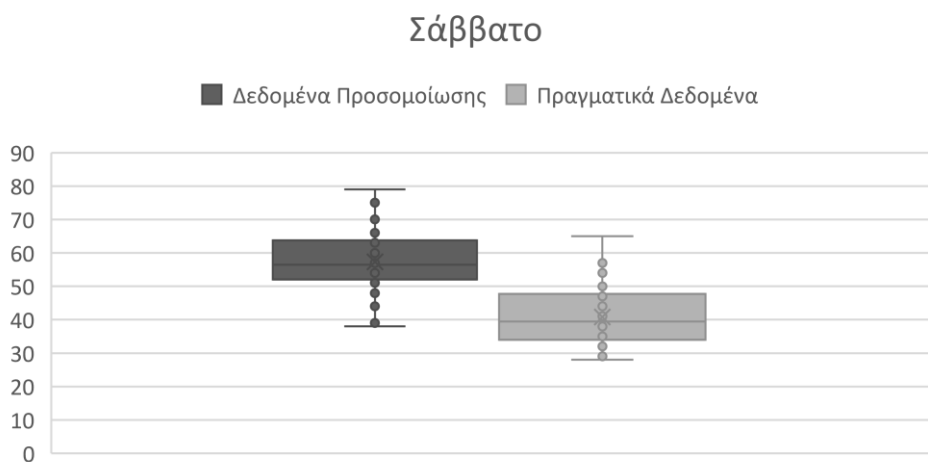
Σχήμα 5.14: Συγκριτικά θηκογράμματα απεικόνισης κατανομών των αιτημάτων για τις Τετάρτες



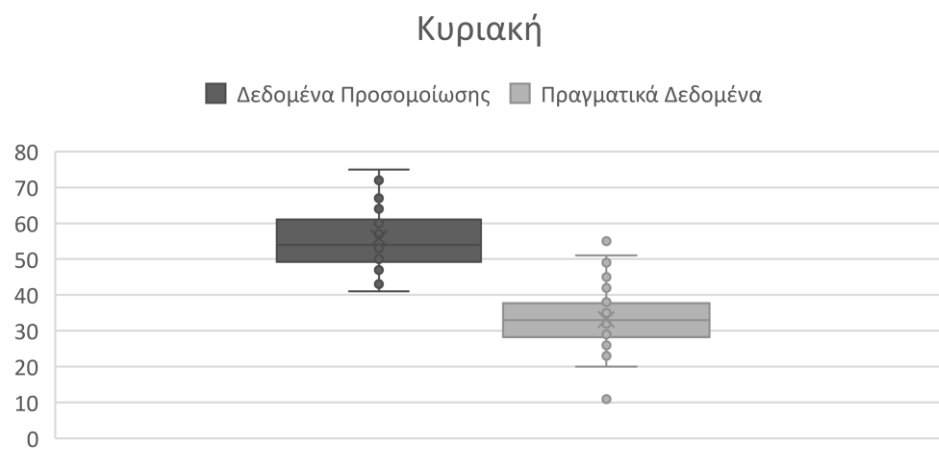
Σχήμα 5.15: Συγκριτικά θηκογράμματα απεικόνισης κατανομών των αιτημάτων για τις Πέμπτες



Σχήμα 5.16: Συγκριτικά θηκογράμματα απεικόνισης κατανομών των αιτημάτων για τις Παρασκευές



Σχήμα 5.17: Συγκριτικά θηκογράμματα απεικόνισης κατανομών των αιτημάτων για τα Σάββατα



Σχήμα 5.18: Συγκριτικά θηκογράμματα απεικόνισης κατανομών των αιτημάτων για τις Κυριακές



## 6. ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην ολιστική προσέγγιση των λειτουργιών του Τμήματος Τεχνικής Υποστήριξης Πελατών της εταιρείας Lottery Solutions. Μέσω της εφαρμογής μεθόδων απεικόνισης και ανάλυσης των δεδομένων, τα οποία προέκυψαν από την λειτουργία του τμήματος καθ' όλη την διάρκεια του έτους 2019, επιδιώχθηκε η εξαγωγή αξιοποιήσιμων συμπερασμάτων καθώς επίσης και ο εντοπισμός των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που διέπουν το σύστημα.

Η εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση των διαδικασιών που άπτονται της διαχείρισης των αιτημάτων εξυπηρέτησης τα οποία εισήχθησαν στο σύστημα είτε από την ομάδα πρόληψης του ΤΤΥΠ, είτε από τους πελάτες, δηλαδή από τα 45 έργα τα οποία εξυπηρετούσε το τμήμα κατά την διάρκεια του έτους 2019. Τα αιτήματα διακρίνονται σε 3 είδη (Συμβάντα 62%, Προληπτικά 20%, Υποστηρικτικά 18%), ενώ κάθε είδος χαρακτηρίζεται από 5 επίπεδα προτεραιότητας (Π1, Π2, Π3, Π4, Π5) με το Π1 να αποτελεί το ανώτερο και το Π5 το κατώτερο επίπεδο προτεραιότητας.

Η απεικόνιση των δεδομένων με την χρήση διαγραμμάτων διαφόρων τύπων, αξιοποιήθηκε σε όλη την έκταση της διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα, τα σχήματα 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 και 2.5 απαντούν με σαφήνεια σε κρίσιμα ερωτήματα σχετικά με την κατανομή των αιτημάτων ανά ώρα, ημέρα και μήνα. Από την προσεκτική παρατήρηση των διαγραμμάτων προκύπτει διαδοχικά ότι το πλήθος των αναφερόμενων αιτημάτων εμφανίζεται μειωμένο κατά τις ημέρες του σαββατοκύριακου σε σχέση με της καθημερινές, ενώ η Κυριακή παρουσιάζει κατά κανόνα το ελάχιστο πλήθος αιτημάτων. Οι ώρες αιχμής της πίεσης στο σύστημα εντοπίζονται από τις 10:00 μέχρι τις 19:00 με κορύφωση στο διάστημα μεταξύ 17:00 και 18:00 ώρα Ελλάδος. Τέλος, σχετικά με την κατανομή των αιτημάτων ανά μήνα, οι μικρές διακυμάνσεις των μέτρων θέσης που περιγράφουν τις πιέσεις που δέχεται το τμήμα από μήνα σε μήνα, φαίνεται πως οφείλονται σε τυχαία φαινόμενα και όχι στην επιρροή κάποιου άλλου παράγοντα.

Όσον αφορά την διάρθρωση και τον προγραμματισμό της στελέχωσης των εργαζομένων στο τμήμα όπως παρουσιάζεται στα σχήματα 2.6, 2.7 και 2.8, από την διεύθυνση του τμήματος, επιχειρήθηκε η εναρμόνισή της με την κατανομή των πιέσεων μέσω της αύξησης της δυναμικότητας κατά τα χρονικά διαστήματα που παρουσιάζεται η αιχμή της πίεσης.

Σχετικά με τα επίπεδα προτεραιότητας, αυτά καθορίζονται τελικώς από την ομάδα εξυπηρέτησης του τμήματος τεχνικής υποστήριξης (εσωτερική προτεραιότητα), αφού πρώτα έχουν αξιολογηθεί από τον πελάτη ή τον υπάλληλο της ομάδας πρόληψης που εισάγει το αίτημα στο σύστημα (εξωτερική προτεραιότητα). Η παρατήρηση των σχημάτων 2.10 και 2.11 οδήγησαν στην πρωταρχική διαπίστωση της έντονης παρουσίας διαφοροποιήσεων μεταξύ



των εσωτερικών και των εξωτερικών εκτιμήσεων, γεγονός που οδήγησε στην απόφαση της ενδελεχούς ανάλυσής τους η οποία παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 4.

Ένα εξαιρετικά σημαντικό ζήτημα που αφορά τις συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών (service level agreements) μεταξύ της εταιρείας και των πελατών, αναλύθηκε στην υποενότητα 2.2.4, με έμφαση στην κρίσιμη παράμετρο των συμφωνιών που είναι ο χρόνος διεκπεραίωσης. Συγκεκριμένα, η εταιρεία και κατά συνέπεια το ΤΤΥΠ δεσμεύεται έναντι των πελατών να διεκπεραιώσει τα αιτήματα είδους «Συμβάντα» εντός κάποιων διμερώς συμφωνημένων χρονικών ορίων, η υπέρβαση των οποίων συνεπάγεται οικονομικές κυρώσεις. Μέσω του πίνακα 2.2 παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη εικόνα της αυστηρότητας των ορίων, καθώς και των ποσοστών ικανοποίησής τους. Αναφορικά με τον εταιρικό στόχο που έχει τεθεί απέναντι στο τμήμα, υπολογίστηκε ότι για τα αιτήματα συμβάντων επιπέδου προτεραιότητας Π1, Π2 και Π3 το τμήμα υπερέβη τον στόχο που είχε τοποθετηθεί στο 90%, καθώς κατόπιν μετρήσεων αυτό προέκυψε 92.49%. Η παρατηρούμενη διαφοροποίηση των χρονικών ορίων ανά έργο σε συνδυασμό με την εμφανή διαφοροποίηση των ποσοστών ικανοποίησης, προκάλεσε το ενδιαφέρον για περαιτέρω ανάλυση. Η ανάλυση υλοποιήθηκε με την χρήση της μεθόδου ιεραρχικής συσταδοποίησης και τα αποτελέσματά της εμφανίζονται στον πίνακα 3.2 και τα σχήματα 3.8 και 3.9. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τον συγκερασμό των σχημάτων και του πίνακα είναι ότι η πιο επισφαλής στρατηγική συμφωνιών επιπέδων εξυπηρέτησης είναι εκείνη που προσομοιάζει με το πρότυπο των συμφωνιών που επιλέχθηκαν για τα έργα 15, 17 και 19. Η εν λόγω ανάλυση δύναται να θεμελιώσει την μελλοντική ποσοτικοποίηση των κινδύνων εφόσον μας καταστούν γνωστά τα οικονομικά στοιχεία που συνοδεύουν τις διμερείς συμφωνίες επιπέδου εξυπηρέτησης.

Έπειτα, εφαρμόζοντας την ιεραρχική συσταδοποίηση με βάση τα ημερολογιακά στοιχεία των αιτημάτων και ειδικότερα για τις ώρες της ημέρας, προκύπτει ο διαχωρισμός των έργων σε 3 ζώνες αιχμής οι οποίες βρίσκονται σε διαφορά φάσης μεταξύ τους όπως φαίνεται στο σχήμα 3.11. Δεδομένου ότι κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας οι χώρες προέλευσης των έργων δεν μας είχαν γνωστοποιηθεί, ερμηνεύσαμε τα αποτελέσματα σε συνεργασία με τον διευθυντή του ΤΤΥΠ, ο οποίος επιβεβαίωσε ότι η συσταδοποίηση διαχώρισε επιτυχώς τα έργα σε 3 γεωγραφικές ζώνες. Συγκεκριμένα στην πράσινη συστάδα ανήκουν έργα από την Ασία και την Ωκεανία, στην κόκκινη συστάδα ανήκουν έργα από την Ευρωπαϊκή Ήπειρο και στην γαλάζια συστάδα ανήκουν έργα από την Αμερικανική Ήπειρο.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο επινοήθηκαν και αναπτύχθηκαν πρωτότυπες τεχνικές αξιολόγησης της αξιοπιστίας των εκτιμήσεων των επιπέδων προτεραιότητας από τους πελάτες αλλά και από τους υπαλλήλους της ομάδας πρόληψης του τμήματος. Σχετικά με τα αποτελέσματα που αφορούν τους πελάτες, η διαίσθηση που είχε ο διευθυντής του τμήματος προτού του παρουσιαστούν τα εξαγόμενα αποτελέσματα, ταυτίστηκε πλήρως με τα αποτελέσματα της

ανάλυσης. Σχετικά με την δυνατότητα διατύπωσης συμπερασμάτων στην περίπτωση της αξιολόγησης της ομάδας πρόληψης, θα ήταν εξαιρετικά χρήσιμο, μια μελλοντική προσέγγιση να συμπεριλαμβάνει κάθε εργαζόμενο ξεχωριστά, ως δεδομένο στο στάδιο της ανάλυσης.

Προκειμένου να κατανοήσουμε καλύτερα τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες του συστήματος στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο καταστρώθηκε και υλοποιήθηκε μια εκτενής στατιστική ανάλυση των γεγονότων αφίξεων και διεκπεραιώσεων έτσι ώστε να θεμελιωθεί το προσομοιωτικό πρότυπο του συστήματος. Αφού διενεργήθηκαν οι κατάλληλοι έλεγχοι καλής προσαρμογής των τυχαίων μεταβλητών που ορίσαμε για να περιγράψουμε τα γεγονότα, σχεδιάστηκε το προσομοιωτικό πρότυπο. Στην διάρκεια του σχεδιασμού του προτύπου διατυπώθηκαν παραδοχές που απλοποίησαν σε σημαντικό βαθμό το σύστημα. Οι παραδοχές αυτές σε συνδυασμό με τις υποθέσεις που έγιναν αποδεκτές, σχετικά με το είδος των κατανομών που ακολουθούν οι κρίσιμες τυχαίες μεταβλητές και τις παραμέτρους τους, κρίθηκαν επαρκής ως προς το σκέλος της προσέγγισης του συνολικού πλήθους αιτημάτων, του ποσοστού ικανοποίησης των συμβάντων (Π1, Π2, Π3) αλλά και των μέσων χρόνων διεκπεραίωσης των τεσσάρων κρίσιμων κατηγοριών αιτημάτων (Συμβάντα Π1, Συμβάντα Π2, Συμβάντα Π3, Προληπτικά Π1 & Π2). Ωστόσο, κατά την σύγκριση μεταξύ των πραγματικών δεδομένων και των δεδομένων προσομοίωσης, μέσω των θηκογραμμάτων απεικόνισης των κατανομών των αιτημάτων ανά ημέρα, το πρότυπο δεν αποδείχτηκε εξίσου ικανοποιητικό. Η αποτυχία του προτύπου στο συγκεκριμένο πεδίο μελέτης ενδεχομένως να σχετίζεται με τις παραδοχές που συνοδεύουν την διαδικασία καθορισμού των τυχαίων μεταβλητών που περιγράφουν τα γεγονότα αφίξεων. Η πιστότητα του μοντέλου δύναται να βελτιωθεί με την περαιτέρω ανάλυση των γεγονότων αφίξεων-διεκπεραιώσεων, ενώ το πεδίο μελέτης προτείνεται να στραφεί στην ανάλυση των ανταγωνιστικών στοιχείων κόστους με στόχο την βελτιστοποίησης των οικονομικών μεγεθών. Τα ανταγωνιστικά στοιχεία κόστους στην προκειμένη περίπτωση αποτελούνται από το κόστος αποτυχίας να ικανοποιηθούν τα χρονικά όρια των συμφωνιών (καθορισμένο κόστος συμφωνιών επιπέδου υπηρεσιών) και το κόστος που προκύπτει από την αύξηση της δυναμικότητας του τμήματος.

## Βιβλιογραφία

**Chambers, John, William Cleveland, Beat Kleiner, Paul Tukey. 1983.** *Graphical Methods for Data Analysis*. Wadsworth : s.n., 1983.

**James, Gareth, et al. 2013.** *An Introduction to Statistical Learning*. s.l. : Springer, 2013.

**Μπερτσέκας, Δημήτριος Π. και Τσιτσικλής, Γιάννης Ν. 2002.** *Εισαγωγή στις Πιθανότητες*. Cambridge : ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, 2002.

**Μυλωνάς, Νίκος και Παπαδόπουλος, Βασίλης. 2017.** *ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ*. s.l. : ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, 2017.

**Ταγαράς, Γεώργιος. 2011.** *ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ II*. Θεσσαλονίκη : ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 2011.

**Ψωινός, Δημήτριος Π. 1999.** *ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ*. Θεσσαλονίκη : ΖΗΤΗ, 1999.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### Α. Παράρτημα Πινάκων

Α.1: Χαρακτηριστικά πριν από την αδιαστατοποίηση

Έργο	Συμβάντα	Προληπτικά	Υποστηρικτικά
E 1	1398	502	522
E 2	1607	389	164
E 3	1416	412	204
E 4	731	281	826
E 5	816	207	462
E 6	1097	76	135
E 7	888	273	50
E 8	678	220	43
E 9	420	146	146
E 10	252	218	154
E 11	345	179	32
E 12	244	275	13
E 13	344	85	85
E 14	306	103	18
E 15	232	99	70
E 16	148	88	73
E 17	224	50	34
E 18	203	37	63
E 19	27	0	260
E 20	143	7	133
E 21	220	45	17
E 22	165	87	11
E 23	176	27	50
E 24	136	80	31
E 25	149	89	8
E 26	136	6	101
E 27	143	52	23
E 28	93	64	36
E 29	122	63	5
E 30	115	57	7
E 31	159	9	9
E 32	79	20	22
E 33	75	0	14
E 34	45	12	24
E 35	34	21	12
E 36	36	23	5
E 37	37	0	22
E 38	32	8	2
E 39	20	12	5
E 40	19	2	7
E 41	16	1	0
E 42	5	0	1
E 43	2	0	0
E 44	0	0	1
E 45	1	0	0

A.2: Αξιολόγηση εκτιμήσεων 1<sup>ης</sup> βάρδιας ομάδας πρόληψης ΔΑΕ = 0.84

Εξωτερική Εσωτερική	Π 1	Π 2	Π 3	Π 4	Π 5
Π 1	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Π 2	0.00%	66.67%	0.00%	0.00%	0.00%
Π 3	0.00%	33.33%	90.12%	0.46%	0.00%
Π 4	0.00%	0.00%	9.47%	99.45%	10.00%
Π 5	0.00%	0.00%	0.41%	0.09%	90.00%
Άθροισμα Αιτημάτων	15	3	243	1090	20

A.3: Αξιολόγηση εκτιμήσεων 2<sup>ης</sup> βάρδιας ομάδας πρόληψης ΔΑΕ = 0.58

Εξωτερική Εσωτερική	Π 1	Π 2	Π 3	Π 4	Π 5
Π 1	70.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Π 2	0.00%	33.33%	0.00%	0.00%	0.00%
Π 3	20.00%	66.67%	91.05%	0.78%	0.00%
Π 4	10.00%	0.00%	8.95%	99.22%	0.00%
Π 5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
Άθροισμα Αιτημάτων	10	3	313	1151	7

A.4: Αξιολόγηση εκτιμήσεων 3<sup>ης</sup> βάρδιας ομάδας πρόληψης ΔΑΕ= 0.83

Εξωτερική Εσωτερική	Π 1	Π 2	Π 3	Π 4	Π 5
Π 1	72.22%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Π 2	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Π 3	16.67%	0.00%	89.20%	0.87%	0.00%
Π 4	11.11%	0.00%	10.80%	99.05%	0.00%
Π 5	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%	100.00%
Άθροισμα Αιτημάτων	36	1	250	1154	29

*Α.5: Πίνακας δεικτών αξιοπιστίας εκτιμήσεων επιπέδου προτεραιότητας ανά έργο*

Έργο	ΔΑΕ
E 15	0.9672
E 3	0.9358
E 6	0.9013
E 2	0.8875
E 19 έως E45	0.878
E 10	0.833
E 11	0.831
E 17	0.8215
E 7	0.8206
E 5	0.7798
E 16	0.7722
E 4	0.7592
E 1	0.705
E 8	0.6763
E 9	0.6635
E 13	0.6214
E 18	0.5284
E 14	0.434
E 12	0.2943

Πίνακας Α.6: Κρίσιμα μεγέθη εξαγόμενων αποτελεσμάτων προσομοίωσης

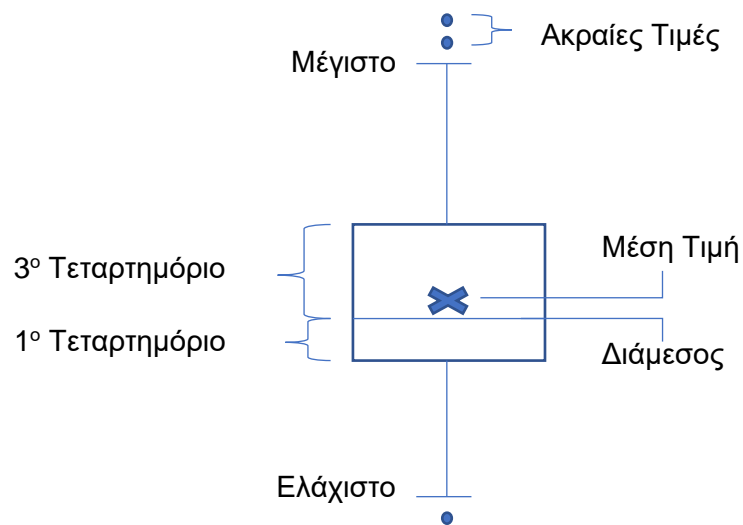
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για 100 επαναλήψεις						
Α.Α	Συνολικό Πλήθος Αιτημάτων	Ποσοστό Ικανοποίησης Συμφωνιών	Μέσος Χρόνος Διεκπεραίωσης			
			ΣΠ1	ΣΠ2	ΣΠ3	ΠΠ1 & ΠΠ2
1	21921	92.43%	55.48	89.55	332.75	1945.95
2	21945	92.11%	55.26	89.82	332.51	1938.90
3	21675	92.05%	55.74	89.89	336.57	1917.84
4	21598	92.72%	55.49	88.05	330.93	1926.43
5	21784	92.67%	55.77	89.01	329.57	1920.72
6	21843	92.57%	54.92	89.45	331.27	1946.08
7	21696	92.35%	55.46	90.07	335.62	1937.27
8	21503	92.97%	55.88	88.73	333.16	1911.33
9	21800	92.29%	55.57	88.62	334.17	1947.30
10	21743	92.27%	55.60	88.32	335.77	1940.14
11	21848	92.38%	55.12	87.84	333.92	1917.29
12	21962	93.53%	55.14	89.14	333.46	1931.86
13	21796	93.69%	55.71	89.26	331.44	1926.85
14	21913	92.97%	54.86	89.49	331.65	1943.56
15	21712	93.53%	55.53	88.57	330.86	1952.28
16	21896	92.60%	55.42	89.22	329.48	1938.91
17	21809	92.93%	55.60	89.03	335.14	1936.03
18	21961	93.25%	55.22	89.06	331.22	1930.40
19	21826	92.13%	55.03	90.00	336.38	1910.88
20	21770	93.08%	55.63	88.13	333.55	1924.09
21	21775	92.48%	55.95	88.99	332.43	1933.24
22	21865	92.40%	55.18	89.19	334.58	1948.20
23	22107	92.49%	55.73	88.95	334.50	1948.68
24	22253	92.49%	55.52	89.42	325.28	1932.31
25	22106	92.55%	55.85	89.59	330.56	1928.68
26	21746	92.58%	55.43	89.30	332.36	1934.55
27	21665	92.13%	55.59	88.91	336.08	1938.20
28	21868	92.66%	55.44	88.32	330.80	1931.71
29	21787	92.29%	55.50	88.77	333.17	1946.27
30	21911	93.37%	55.30	88.40	330.42	1904.85
31	21916	91.52%	55.73	88.89	337.60	1918.47
32	21729	92.97%	55.32	88.97	335.03	1917.97
33	22092	92.87%	55.26	89.00	331.77	1929.75
34	21898	93.84%	54.99	89.35	334.87	1942.82
35	21952	92.71%	55.15	88.94	335.22	1910.79
36	21725	93.19%	55.30	89.02	331.07	1929.15
37	21900	92.79%	55.74	90.08	331.10	1913.05
38	22023	92.28%	55.92	89.28	333.81	1935.98
39	21647	92.29%	55.80	90.52	331.71	1918.57
40	21674	92.90%	55.91	89.29	333.59	1921.14
41	21855	92.16%	55.40	89.62	335.01	1930.11
42	21826	93.43%	55.61	89.02	335.02	1943.64
43	21621	92.76%	55.55	88.37	334.21	1938.15
44	22006	93.08%	55.71	89.84	332.59	1918.66
45	21683	93.89%	54.47	89.22	329.13	1946.25
46	21663	92.22%	55.45	89.27	334.00	1934.10
47	21761	93.48%	55.70	89.06	332.85	1923.24
48	21701	92.98%	56.06	89.08	333.96	1928.36
49	21857	92.81%	55.91	89.16	334.42	1945.44
50	21890	93.15%	55.31	88.59	330.67	1932.47

Συγκεντρωτικά αποτελέσματα προσομοίωσης για 100 επαναλήψεις						
Α.Α	Συνολικό Πλήθος Αιτημάτων	Ποσοστό Ικανοποίησης Συμφωνιών	Μέσος Χρόνος Διεκπεραίωσης			
			ΣΠ1	ΣΠ2	ΣΠ3	ΠΠ1 & ΠΠ2
51	22024	92.48%	56.10	90.71	333.35	1936.70
52	21726	92.00%	56.28	90.22	335.45	1927.02
53	21781	92.39%	55.60	88.14	332.92	1950.87
54	21865	92.44%	54.91	89.65	336.16	1939.12
55	21879	92.82%	55.57	90.71	329.41	1938.75
56	21809	92.49%	56.01	89.36	329.20	1929.82
57	21931	93.16%	55.77	89.14	333.79	1937.43
58	21669	92.42%	55.67	89.83	333.43	1925.26
59	21716	92.58%	55.28	89.21	332.71	1924.35
60	21723	92.00%	55.65	89.85	333.09	1926.28
61	21699	93.37%	55.05	89.28	330.88	1938.28
62	21692	92.79%	55.78	89.80	332.84	1918.49
63	21937	92.59%	55.10	89.19	334.40	1928.73
64	21616	92.94%	55.43	88.98	332.77	1933.61
65	21860	92.57%	55.32	88.84	329.50	1951.82
66	21893	93.61%	55.69	89.11	330.20	1947.98
67	21803	92.81%	55.97	88.34	331.15	1920.53
68	21940	93.66%	55.48	88.64	331.26	1945.96
69	21658	93.10%	56.15	88.41	329.70	1931.37
70	22100	92.89%	55.59	89.51	332.57	1940.45
71	21926	92.45%	55.35	89.24	331.34	1949.57
72	21797	92.94%	55.06	88.73	335.97	1927.89
73	21823	92.62%	55.35	90.23	335.73	1934.97
74	21813	93.10%	55.20	89.48	337.22	1922.44
75	21743	92.55%	56.26	89.38	337.78	1916.57
76	22003	92.56%	55.45	89.62	333.84	1929.26
77	21860	92.22%	55.45	87.94	336.20	1937.82
78	21993	92.44%	55.90	89.33	333.90	1922.87
79	21901	92.75%	55.45	90.41	330.60	1939.63
80	21795	92.25%	55.67	88.74	336.09	1918.07
81	21791	92.91%	55.46	88.85	333.83	1935.48
82	21907	92.37%	55.15	88.53	330.07	1953.43
83	21762	92.52%	55.18	89.42	333.39	1935.23
84	21588	93.11%	55.39	89.57	334.17	1946.45
85	21602	93.16%	55.25	88.16	332.74	1929.77
86	21744	92.66%	55.89	90.51	335.42	1923.74
87	22022	93.58%	55.67	88.24	332.55	1911.01
88	22052	93.13%	55.67	89.39	335.69	1937.22
89	21867	93.12%	56.01	90.04	332.26	1934.97
90	21977	93.41%	55.99	89.43	331.98	1946.67
91	21501	92.61%	55.59	88.77	333.54	1918.77
92	21593	92.61%	55.98	89.53	332.78	1912.91
93	21687	93.09%	55.12	89.04	332.05	1935.59
94	22045	92.35%	55.94	88.32	333.66	1952.19
95	21887	93.00%	55.08	90.22	329.57	1935.67
96	21931	93.01%	56.06	88.38	334.28	1926.86
97	21978	92.52%	55.59	88.91	336.06	1936.47
98	21834	92.71%	55.34	89.42	330.81	1928.77
99	21928	92.86%	55.78	89.62	331.56	1946.46
100	21780	92.46%	55.60	89.93	332.05	1950.04

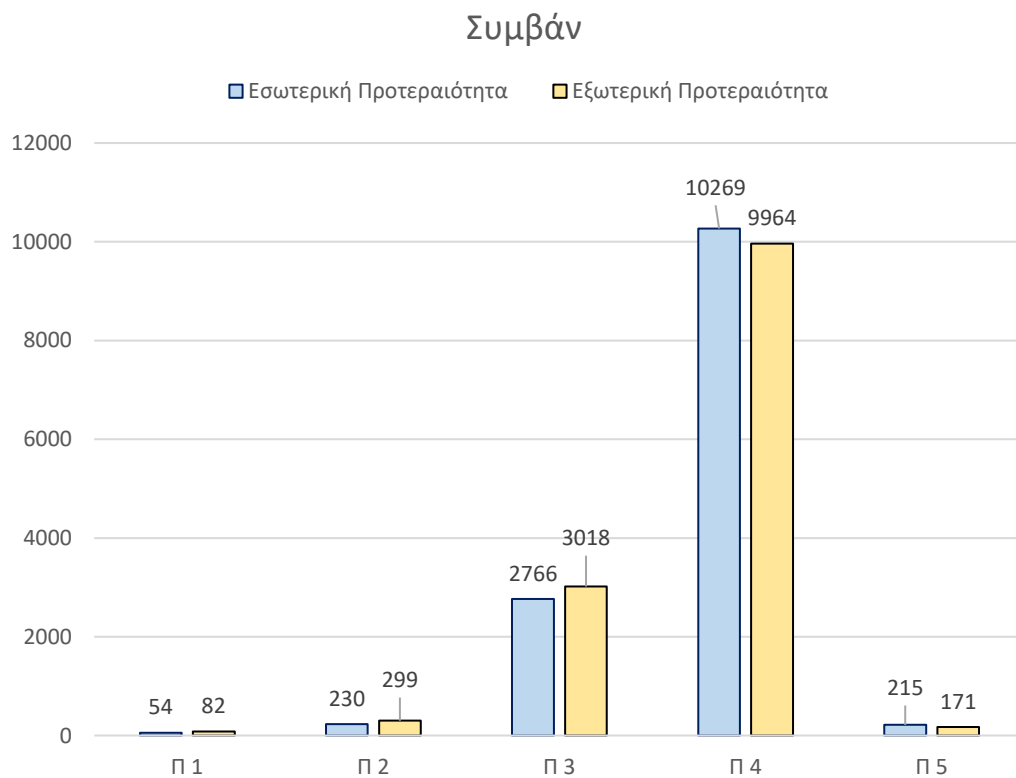




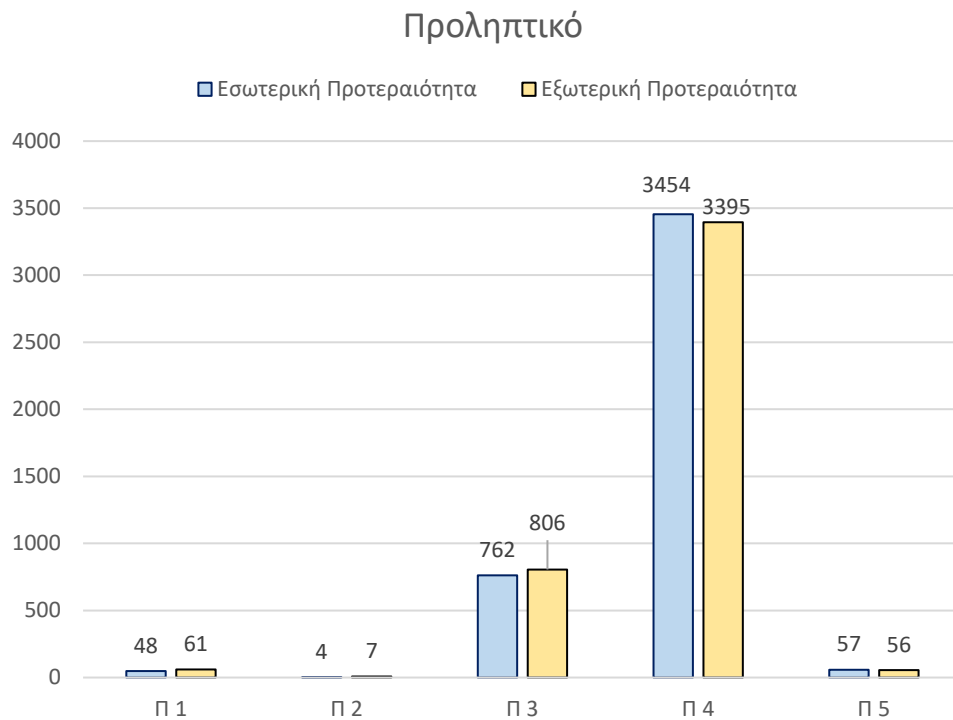
## Β. Παράρτημα Σχημάτων



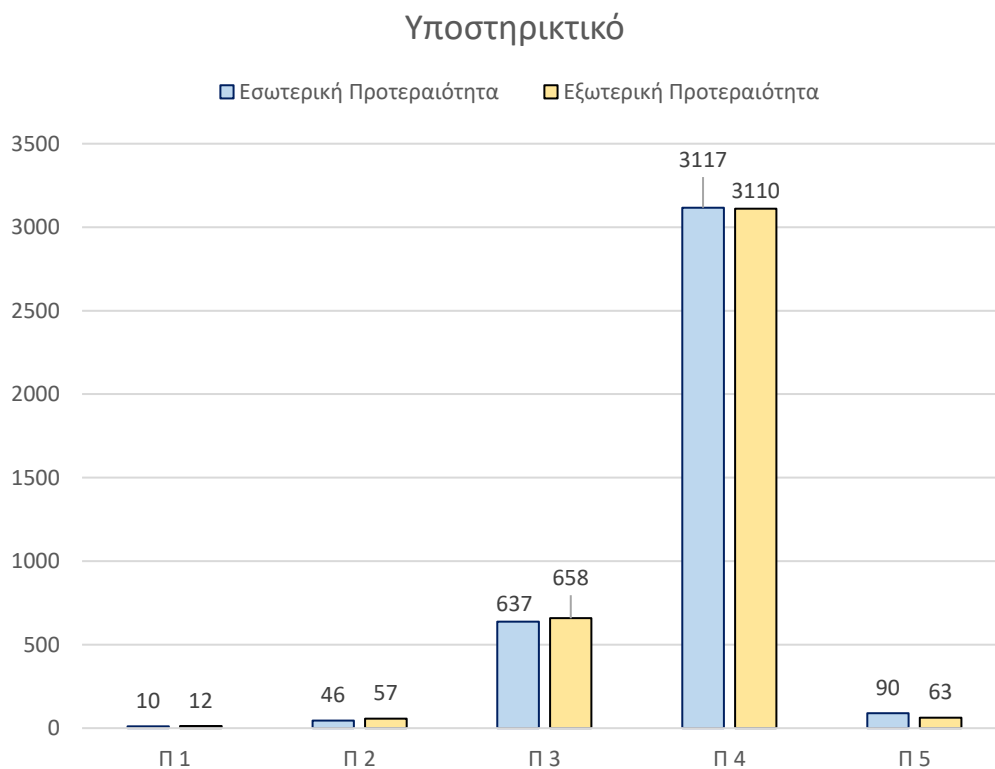
### Β.1: Επεξήγηση Οηκογραμμάτων (Boxplots)



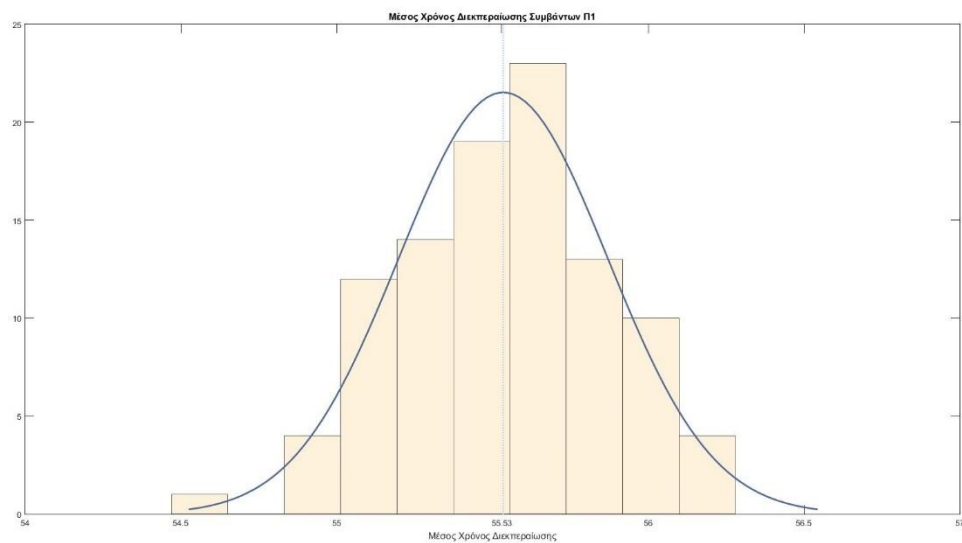
### Β.2: Αιτήματα ανά επίπεδο εσωτερικής και εξωτερικής προτεραιότητας «Συμβάν»



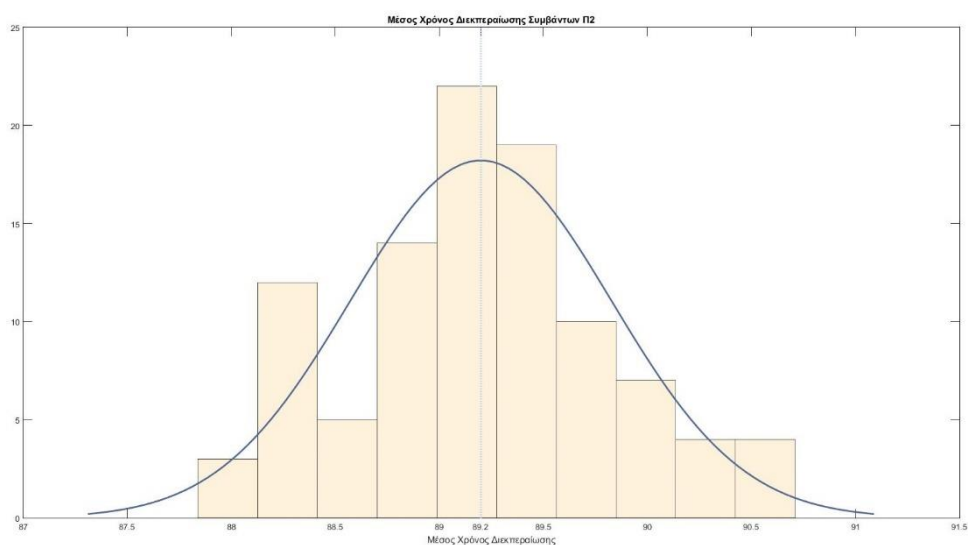
*B.3: Αιτήματα ανά επίπεδο εσωτερικής και εξωτερικής προτεραιότητας «Προληπτικό»*



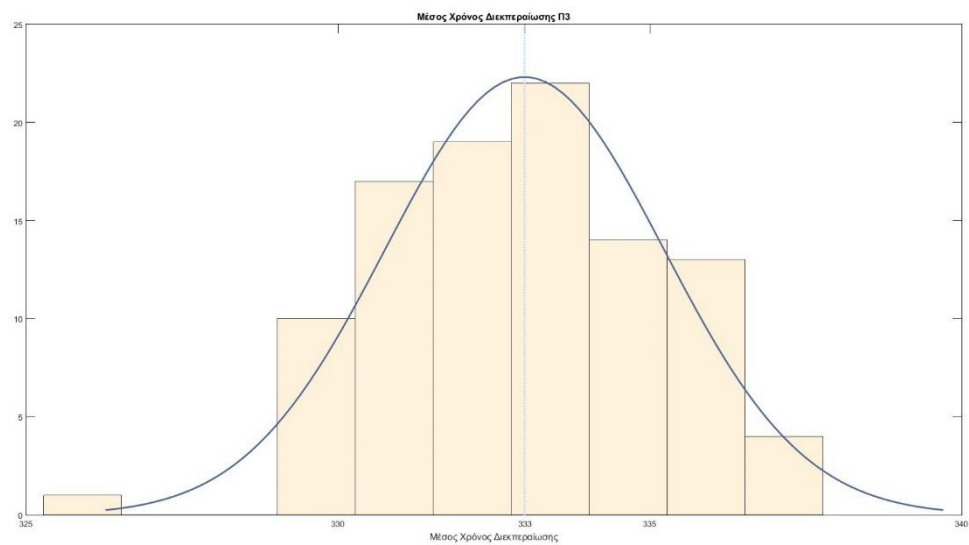
*B.4: Αιτήματα ανά επίπεδο εσωτερικής και εξωτερικής προτεραιότητας «Υποστηρικτικό»*



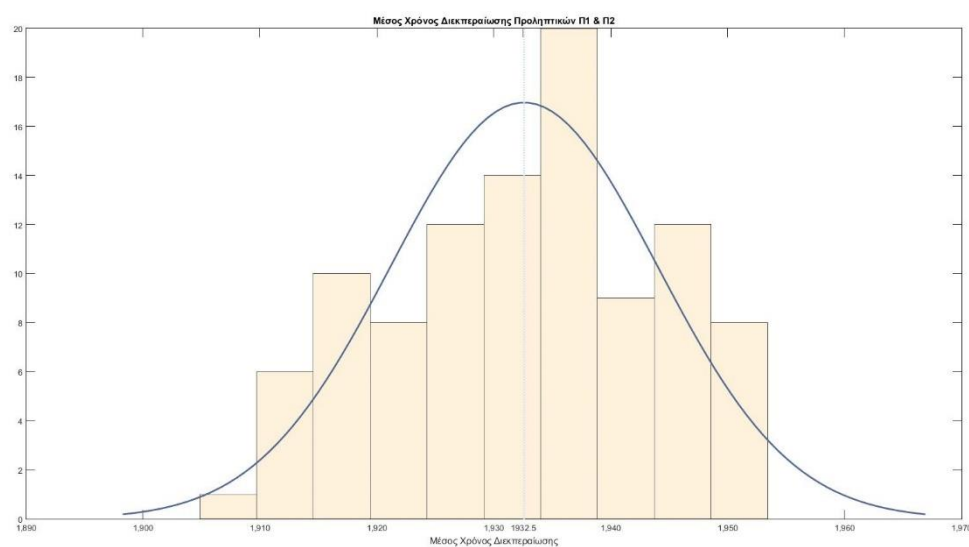
**B.5: Ιστόγραμμα συχνοτήτων του μέσου χρόνου διεκπεραίωσης συμβάντων Π1**



**B.6: Ιστόγραμμα συχνοτήτων του μέσου χρόνου διεκπεραίωσης συμβάντων Π2**



**B.7: Ιστόγραμμα συχνοτήτων του μέσου χρόνου διεκπεραίωσης συμβάντων Π3**



**B.8: Ιστόγραμμα συχνοτήτων του μέσου χρόνου διεκπεραίωσης προληπτικών αιτημάτων Π1&Π2**

## Γ. Παράρτημα Κώδικα

Γ.1: Βασικός κώδικας συσταδοποίησης σε γλώσσα προγραμματισμού Python 3.7

```
1 import pandas as pd
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
4 from scipy.cluster.hierarchy import dendrogram, linkage, fcluster
5
6 plt.figure(figsize=(50, 20))
7 # εισαγωγή δεδομένων στον αλγόριθμο
8 data = pd.read_excel('Hier_test.xlsx')
9 Έργο = data.iloc[:, 0].tolist()
10 X = data.iloc[:, 1:]
11
12 # μετασχηματισμό σε κατάλληλη κλίμακα
13 X = MinMaxScaler().fit_transform(X)
14
15 #hierarchy.set_link_color_palette("None")
16 # εκτέλεση αλγορίθμου
17 # εναλλακτικά στην παράμετρο method μπορούμε ('single') ή ('average')
18 Z = linkage(X, method='complete')
19
20 # απεικόνιση δένδρογράμματος
21 threshold = 1
22
23 fig, ax = plt.subplots()
24 plt.title('Δενδρόγραμμα Συσταδοποίησης Έργων')
25
26 plt.ylabel('Απόσταση')
27 dendrogram(Z, labels = Έργο, color_threshold = threshold, leaf_font_size=7,
28           show_contracted=False, leaf_rotation = 90)
29 ax.axhline(y = threshold, c = 'k')
30 fig.subplots_adjust(bottom=0.88)
31
32 # εκτύπωση αποτελεσμάτων
33 labels = fcluster(Z, threshold, criterion='distance')
34 print(labels)
35 print(threshold)
```